Ⅴ-2-5-4-2　耐圧強化ベント系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-5-4-2-1　管の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 ····· 2
2.1　概略系統図 ····· 2
2.2　鳥瞰図 ····· 4
3.　計算条件 ····· 13
3.1　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 13
3.2　設計条件 ····· 14
3.3　材料及び許容応力 ····· 19
3.4　設計用地震力 ····· 20
4.　解析結果及び評価 ····· 21
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 21
4.2　評価結果 ····· 27
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 27
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 28
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 29

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-11　機器・配管の耐震支持設計方針」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示すとおりとする。

(1)　管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルの鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。

(2)　支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3)　弁

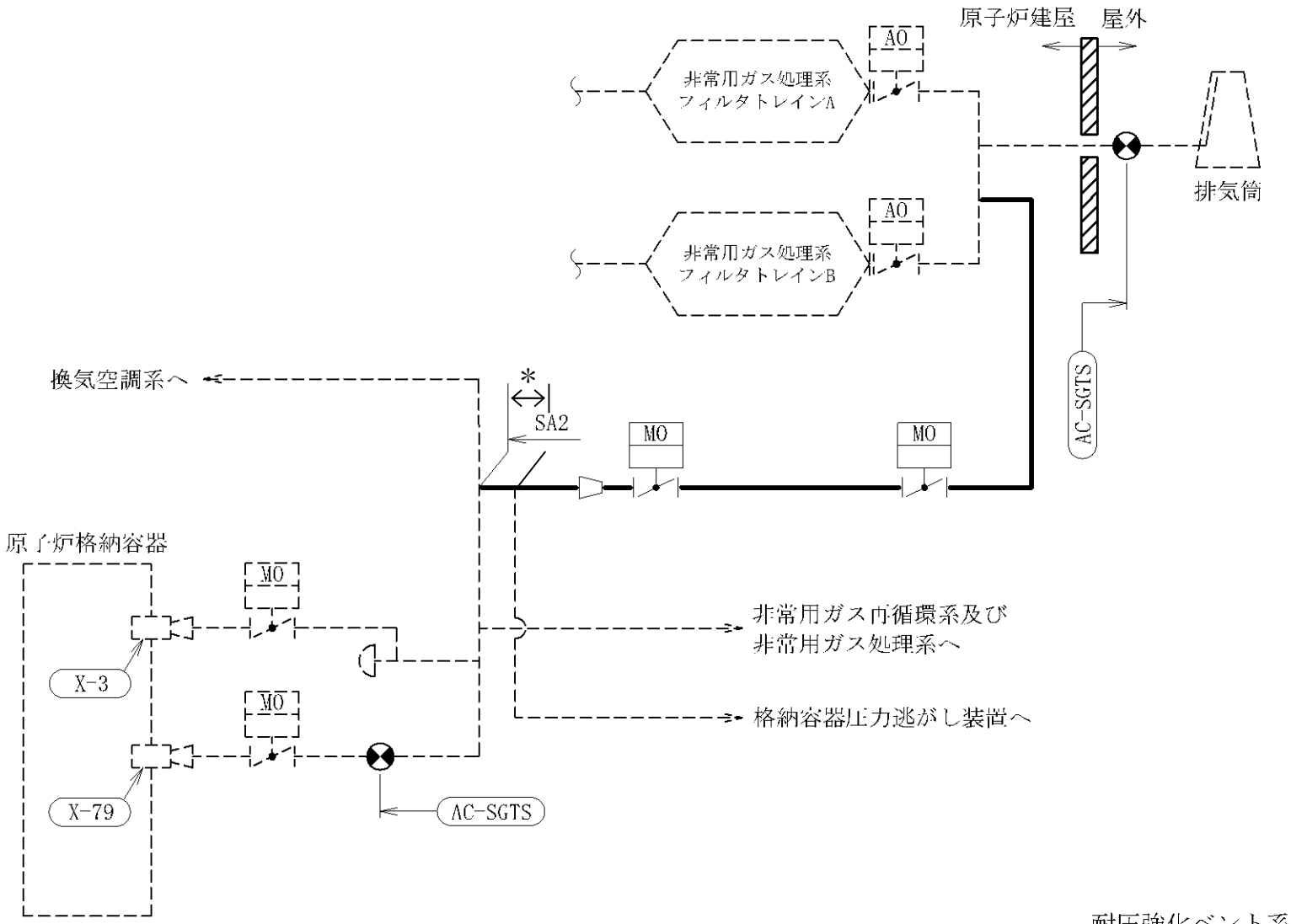
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管

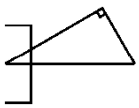
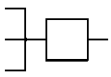
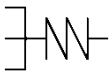
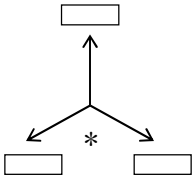


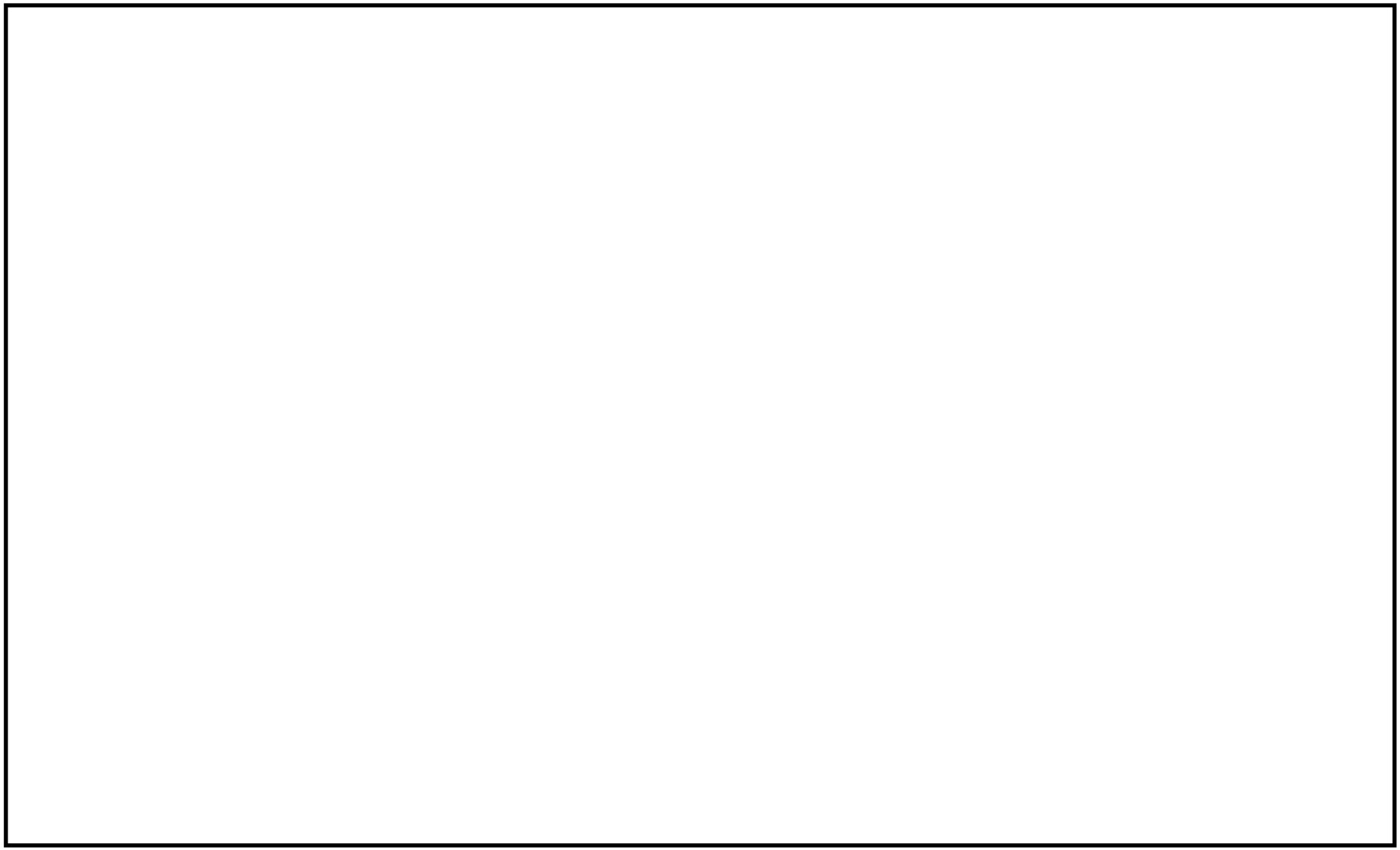
耐圧強化ベント系概略系統図

注記　＊：格納容器圧力逃がし装置，窒素ガス代替注入系と兼用。

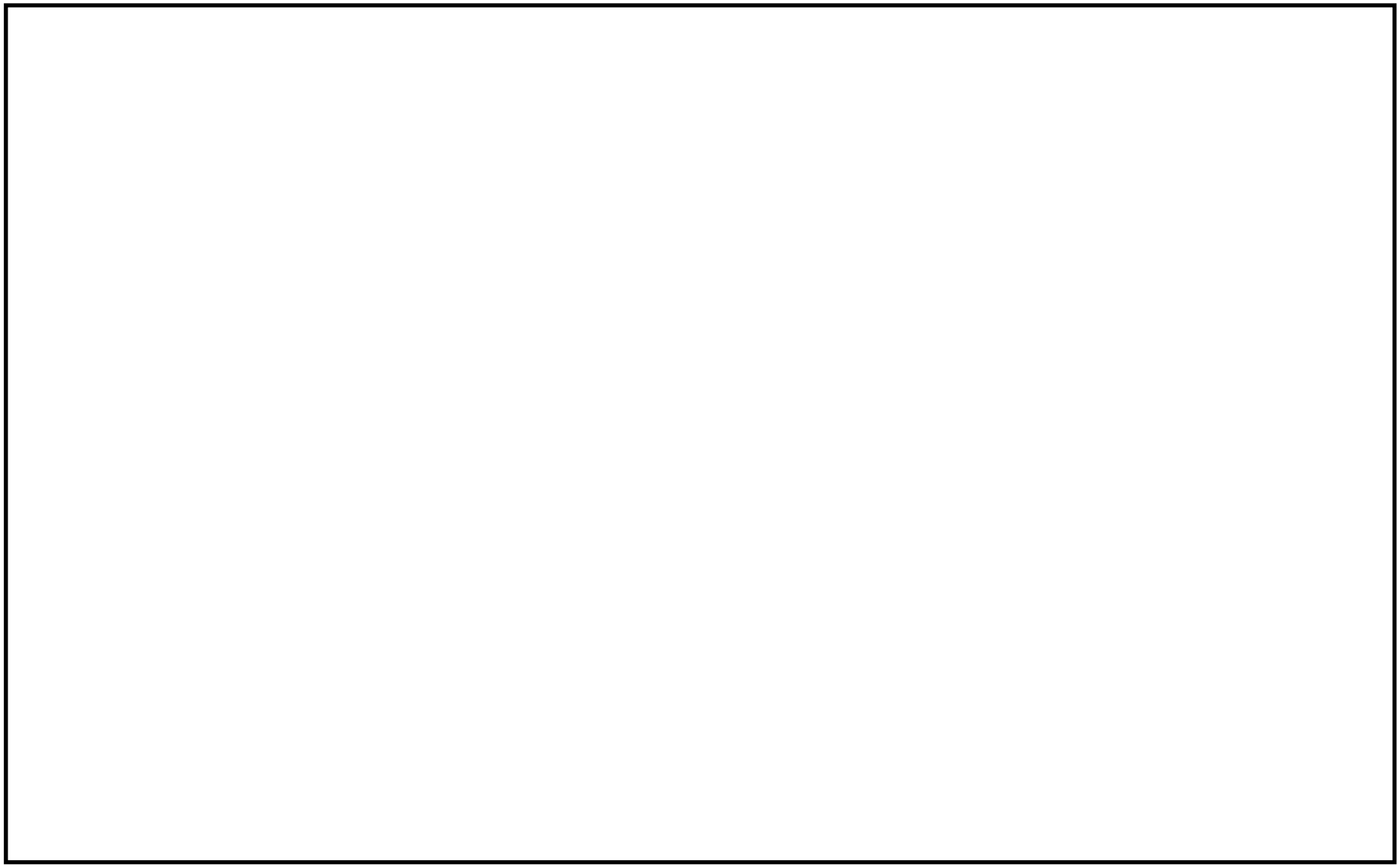
2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

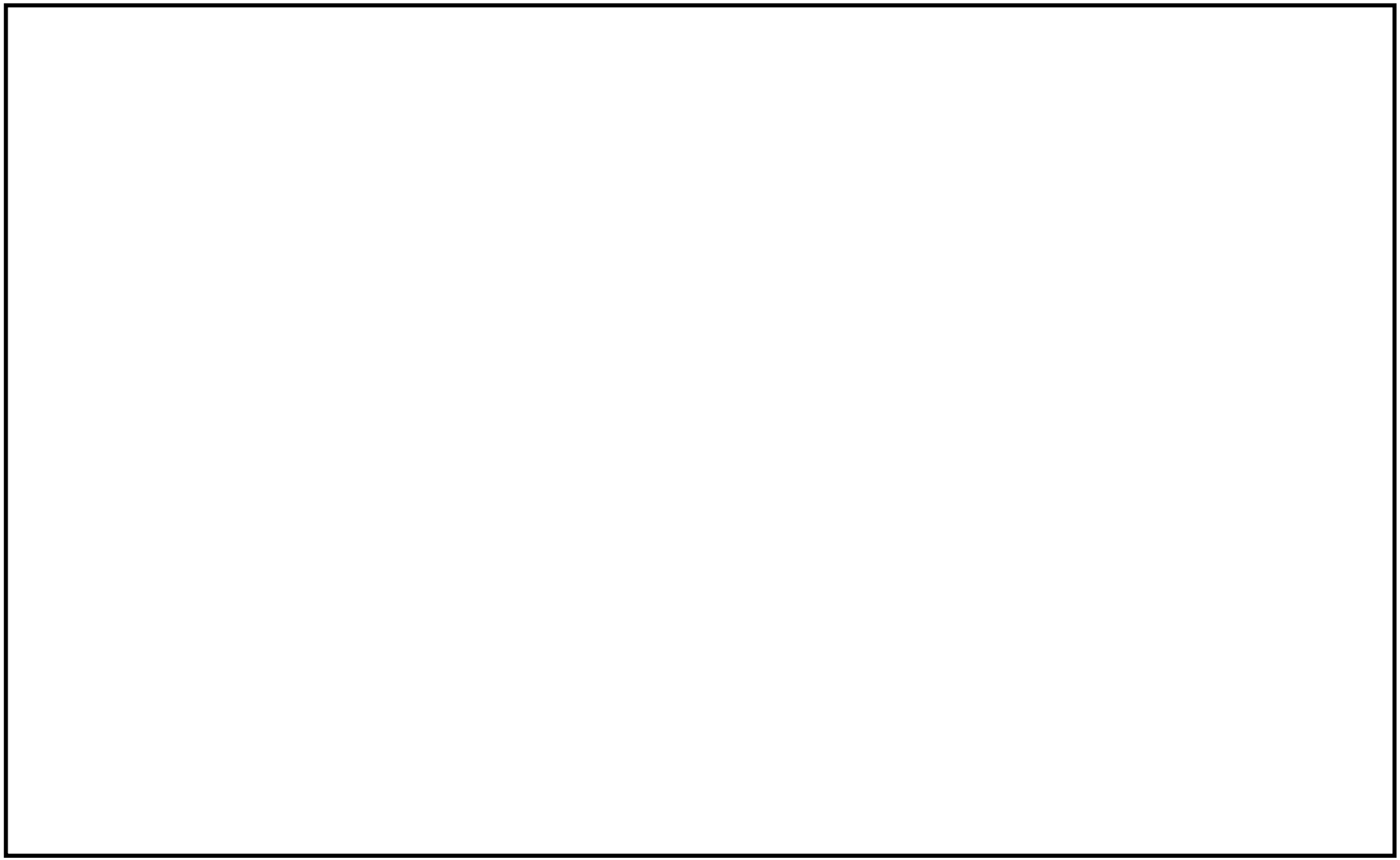
記　　号	内　　容
━━━　（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
――――　（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ―　（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
○ ◎	節　　点 質　　点
	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。）
	注：鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。



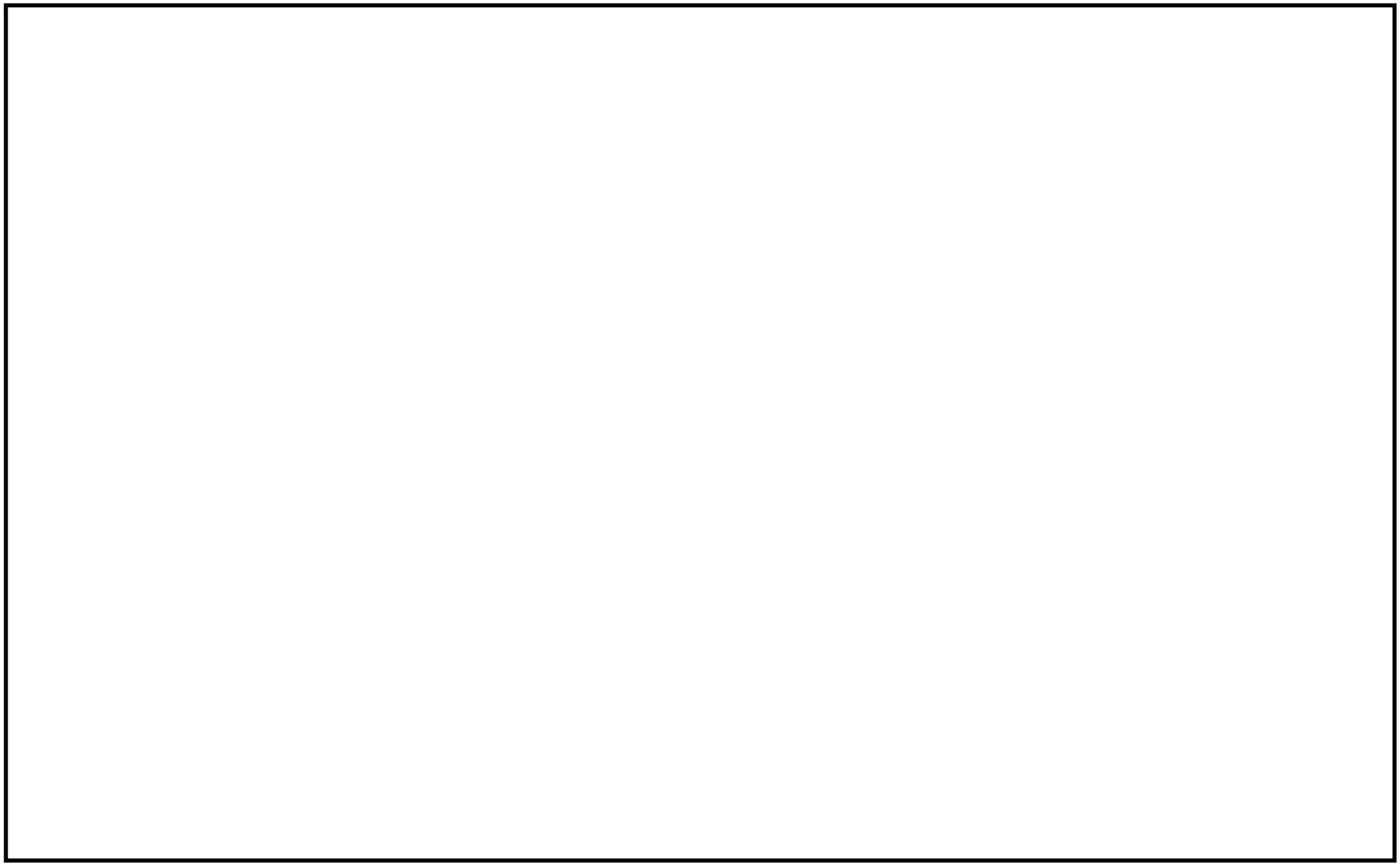
鳥瞰図	AC-SGTS(SA)(1/8)



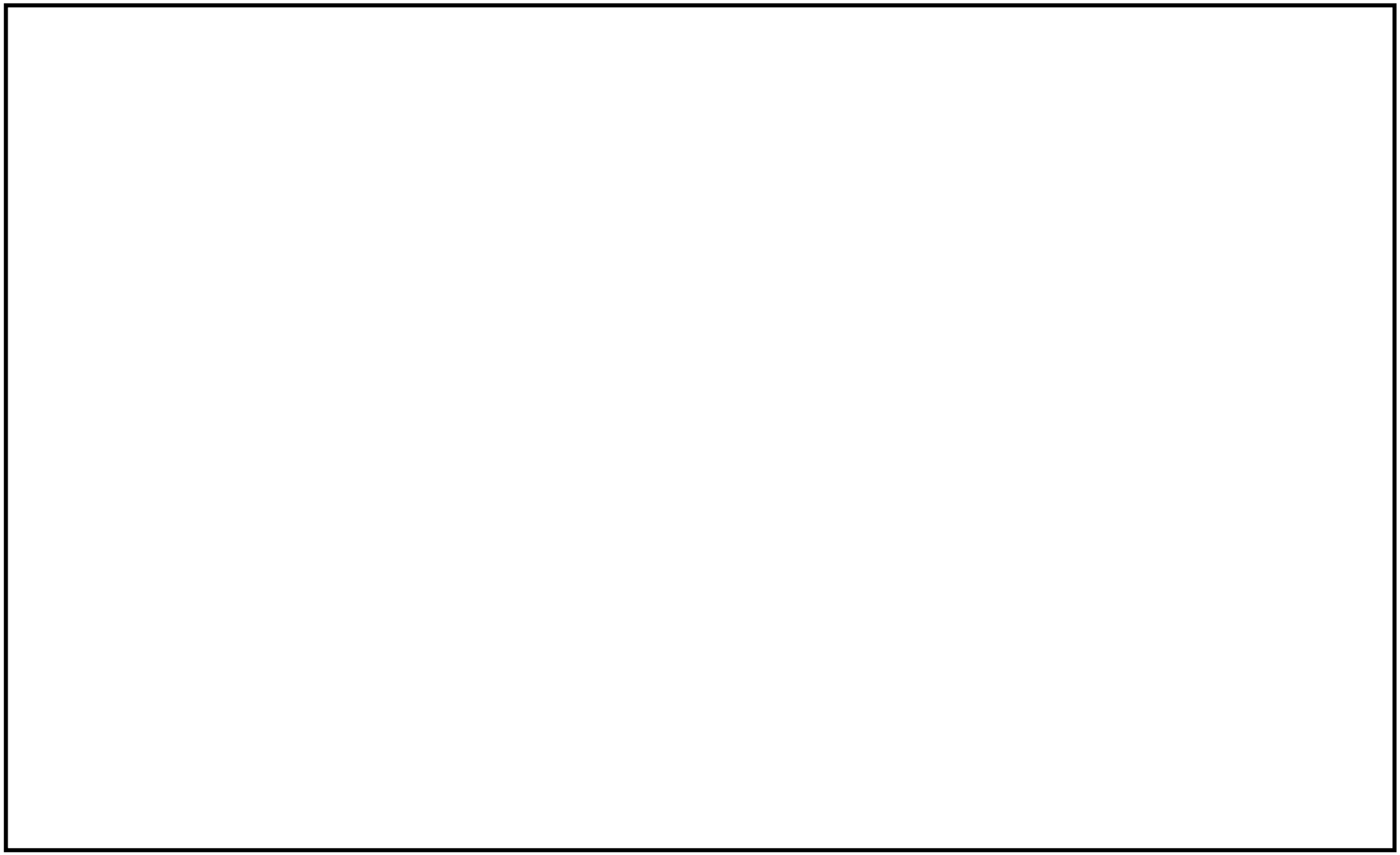
鳥瞰図	AC-SGTS(SA)(2/8)



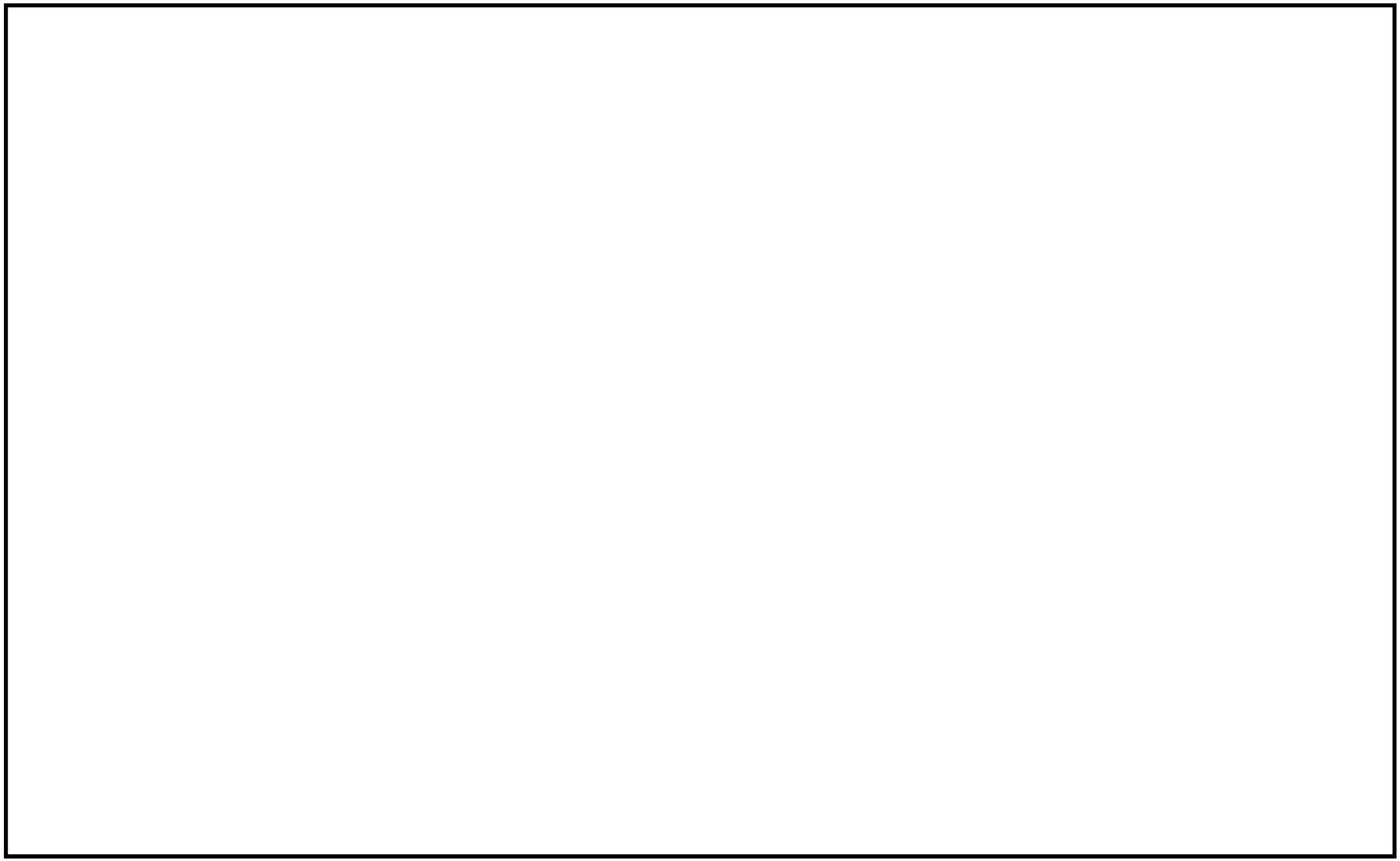
鳥瞰図	AC-SGTS(SA)(3/8)



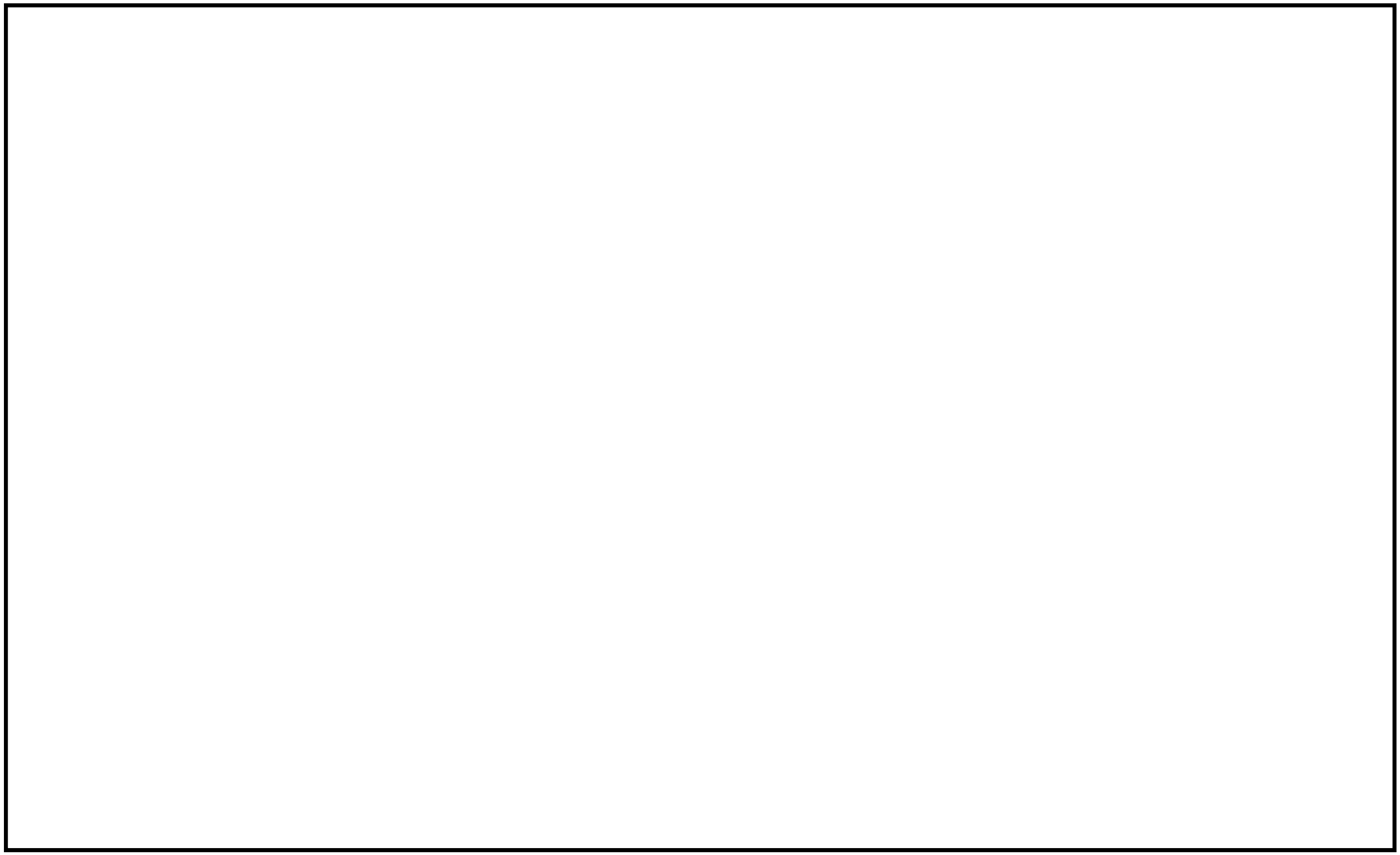
鳥瞰図	AC-SGTS(SA)(4/8)



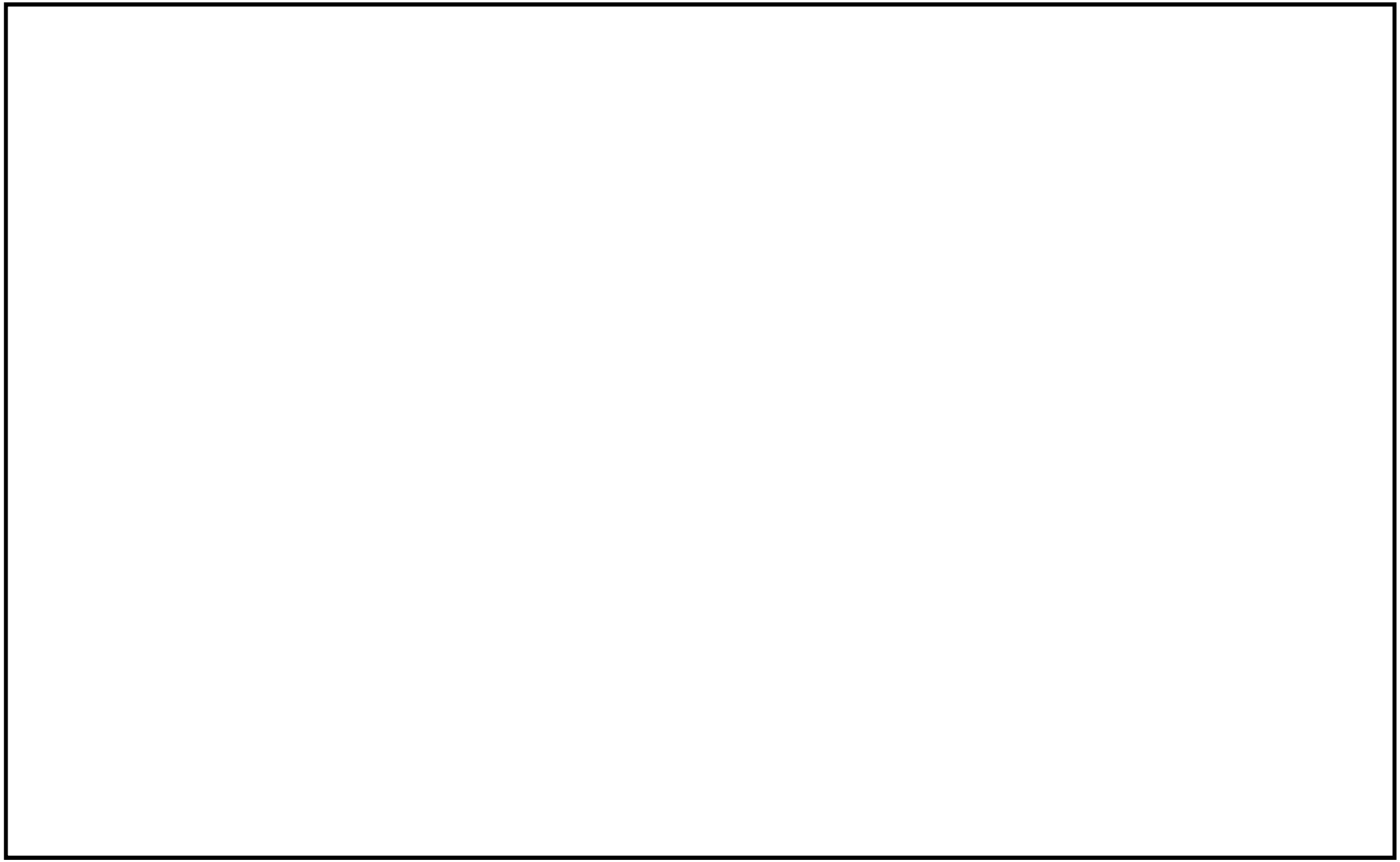
鳥瞰図	AC-SGTS(SA)(5/8)



鳥瞰図	AC-SGTS(SA)(6/8)



鳥瞰図	AC-SGTS(SA)(7/8)



鳥瞰図	AC-SGTS(SA)(8/8)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	耐圧強化ベント系	ＳＡ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２管	－	V_L+S_s	V_AS
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	格納容器圧力逃がし装置	ＳＡ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２管	－	V_L+S_s	V_AS
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備の放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	窒素ガス代替注入系	ＳＡ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	V_L+S_s	V_AS
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備の圧力逃がし装置	格納容器圧力逃がし装置	ＳＡ	常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	V_L+S_s	V_AS

注記＊1： ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。
＊2： 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。
＊3： 運転状態の添字Ｌは荷重が作用している状態を示す。
＊4： 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。
＊5： 許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

3.2　設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　AC-SGTS

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	209～210	0.62	200	457.2	12.7	SM400C	S	
2	211～212F，215F～216F 217F～2211	0.62	200	318.5	10.3	STPT410	S	

フランジ部の質量

鳥　瞰　図　AC-SGTS

質量	対応する評価点
[redacted]	212F，215F，216F，217F

弁部の寸法

鳥　瞰　図　AC-SGTS

評価点	外径（mm）	厚さ（mm）	長さ（mm）
212F～213			
213～2131			
2131～2132			
2132～2133			
213～215F			
216F～2161			
2161～2162			
2162～2163			
2163～2164			
2161～217F			

弁部の質量

鳥　瞰　図　AC-SGTS

質量	対応する評価点
[redacted]	213，2161
	2131，2162
	2132，2163
	2133，2164

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　AC-SGTS

支持点番号	各軸方向ばね定数（N/mm）			各軸回り回転ばね定数（N・mm/rad）		
	X	Y	Z	X	Y	Z
2151	[redacted]		－	－	－	－

3.3　材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材　　料	最高使用温度 (℃)	許容応力 (MPa) *			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SM400C	200	－	193	373	－
STPT410	200	－	207	404	－

注記　＊：評価に使用しない許容応力は「－」と記載する。

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
AC-SGTS	[redacted]	EL. 38.000 m	[redacted]

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 AC-SGTS

耐震設計上の重要度分類		―		
適用する地震動等		S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向
		2.62	2.62	8.36
		2.62	2.62	8.36
		1.98	1.98	7.48
		1.98	1.98	7.48
		1.76	1.76	6.89
		1.69	1.69	5.43
		1.89	1.89	4.76
		1.89	1.89	4.68
		1.50	1.50	3.10
		―	―	―
動 的 震 度*2		1.67	1.67	1.44

注記 ＊1：各モードの固有周期に対し，設備評価用床応答曲線より得られる震度を示す。

＊2：S_d又はS_s地震動に基づく最大設計用床応答加速度より定めた震度を示す。

＊3：固有周期が 0.050 s 以下であることを示す。

各モードに対応する刺激係数

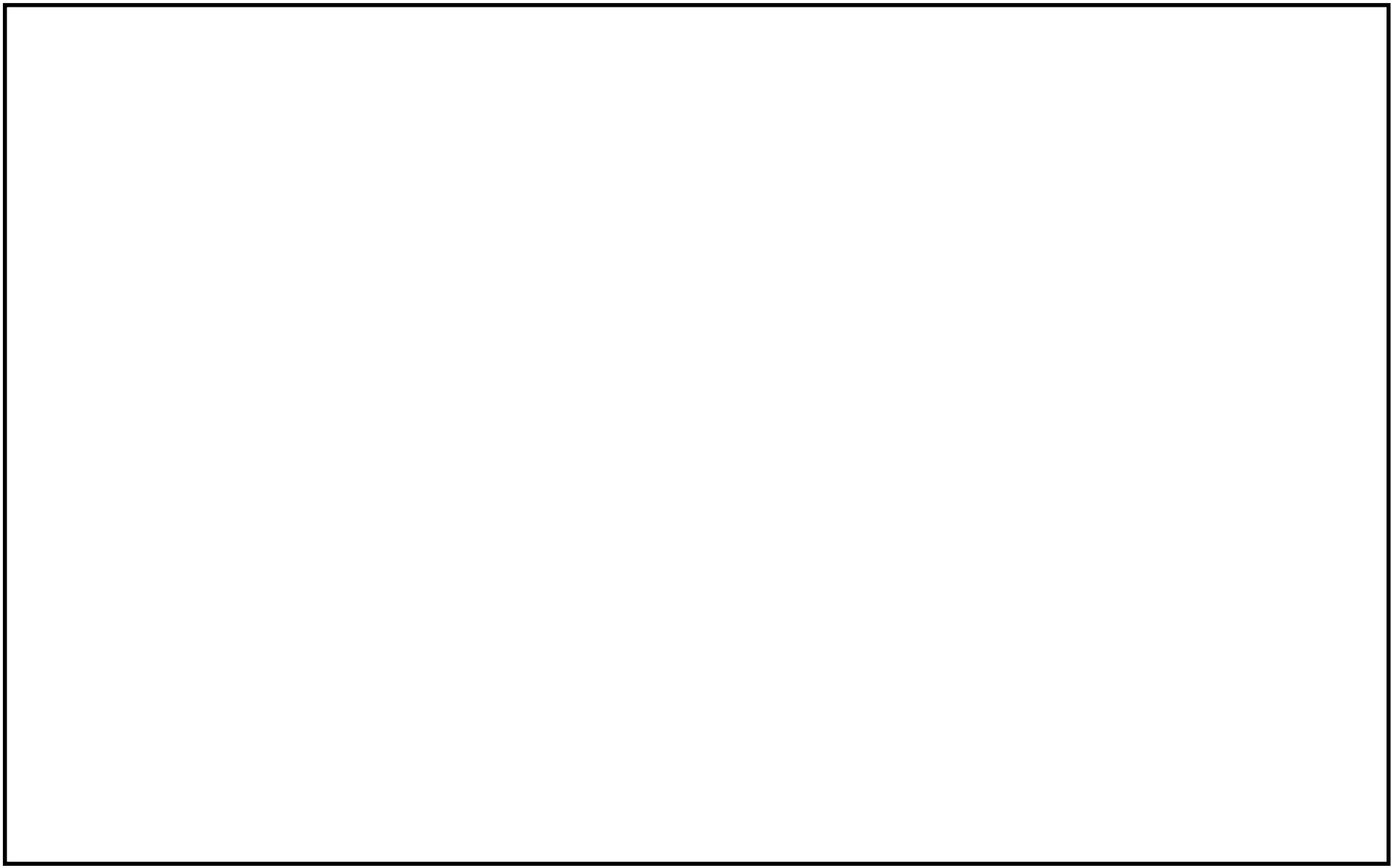
鳥　瞰　図　ANI-7

モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数*		
		X方向	Y方向	Z方向

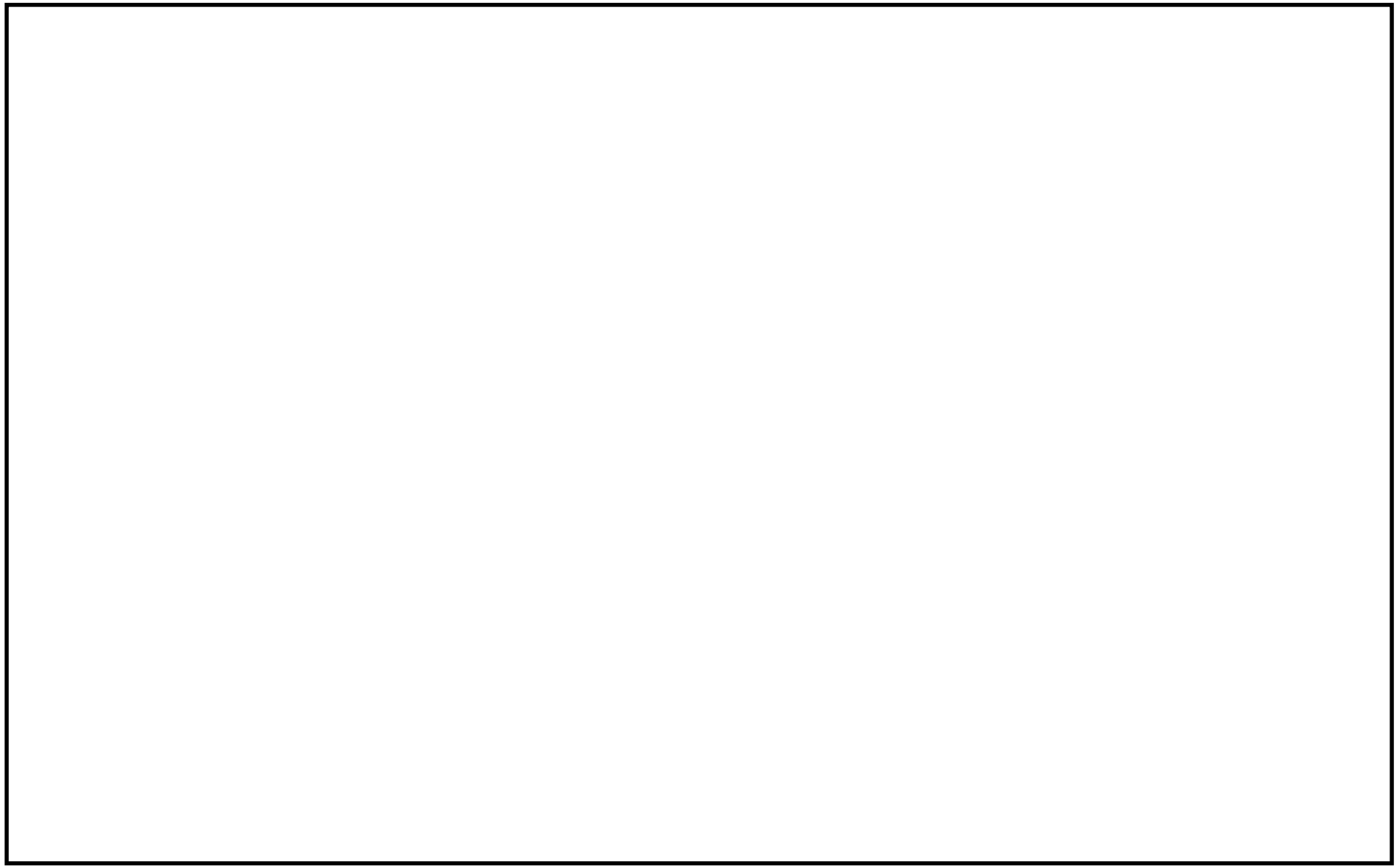
注記　＊：刺激係数はモード質量を正規化し，固有ベクトルと質量マトリクスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

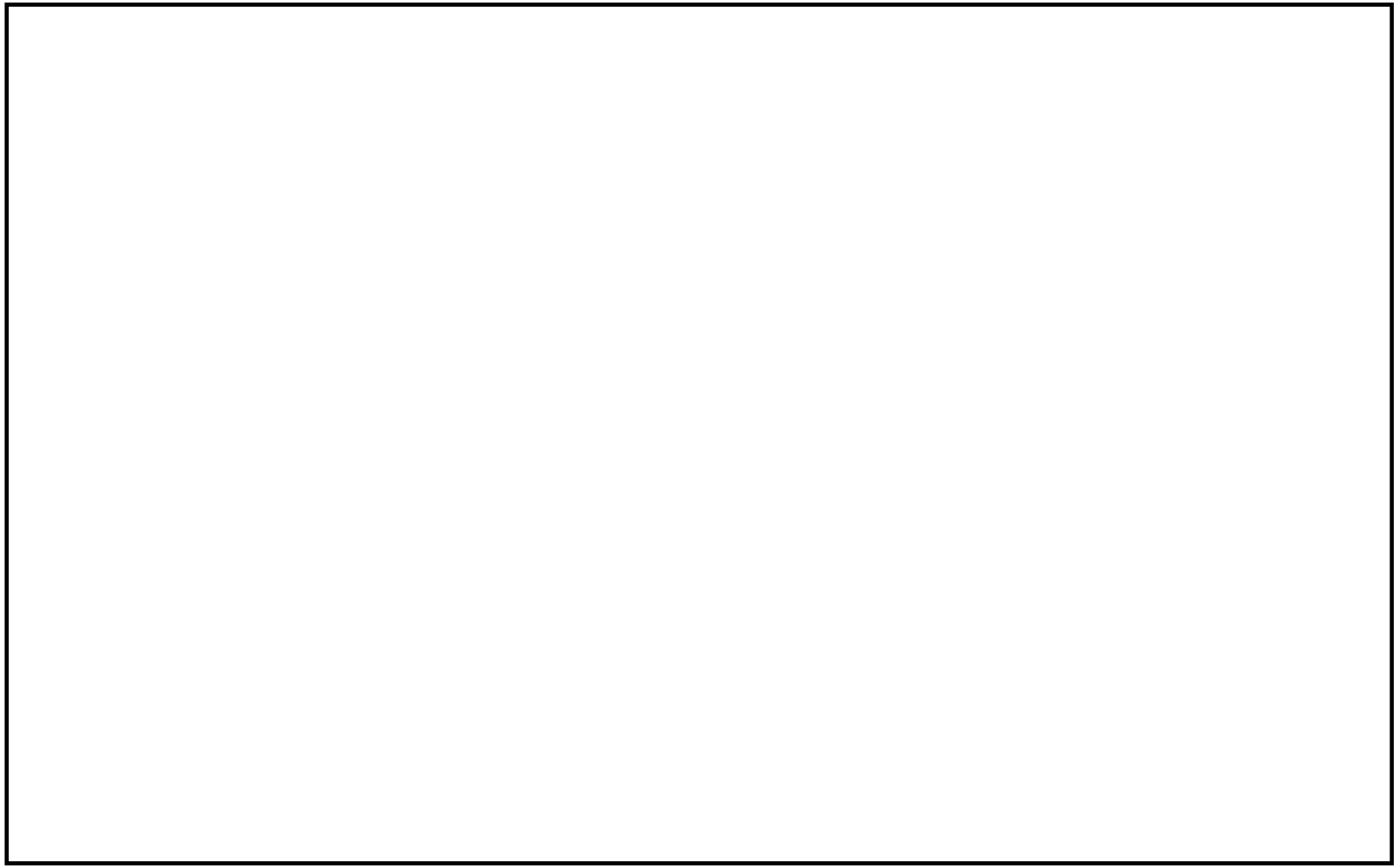
振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



鳥瞰図	ＡＣ－ＳＧＴＳ



鳥瞰図	ＡＣ－ＳＧＴＳ



鳥瞰図	ＡＣ－ＳＧＴＳ

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管

鳥瞰図	許容応力状態（供用状態）	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価（MPa）		一次＋二次応力評価（MPa）		疲労評価
				計算応力 S_{prm}（S_s）	許容応力 $0.9S_u$	計算応力 S_n（S_s）	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
AC-SGTS	IV_AS	2092	S_{prm}（S_s）	[redacted]	335	[redacted]	－	－
	IV_AS	2092	S_n（S_s）		－		356	－

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
－	－	－	－	－	－	－

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力（kN）			モーメント（kN・m）			応力分類	計算応力(MPa)	許容応力(MPa)
					F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
RE-SGTS-R001	レストレイント	パイプバンド	STK400 SM400B	200	39.7	53.3	0	－	－	－	圧縮	42	111

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度*（×9.8 m/s²）		機能確認済加速度（×9.8 m/s²）		構造強度評価結果（MPa）	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
－	－	－	－	－	－	－	－	－

注記　＊：応答加速度は，打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

Ⅴ-2-5-5　非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-5-5-1　高圧炉心スプレイ系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-5-5-1-1　高圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 固有値解析及び構造強度評価 ····· 3
3.1 固有値解析及び構造強度評価方法 ····· 3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
3.3 解析モデル及び諸元 ····· 9
3.4 固有周期 ····· 9
3.5 設計用地震力 ····· 10
4. 機能維持評価 ····· 11
4.1 動的機能維持評価方法 ····· 11
5. 評価結果 ····· 12
5.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 12
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 12

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，高圧炉心スプレイ系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ポンプは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

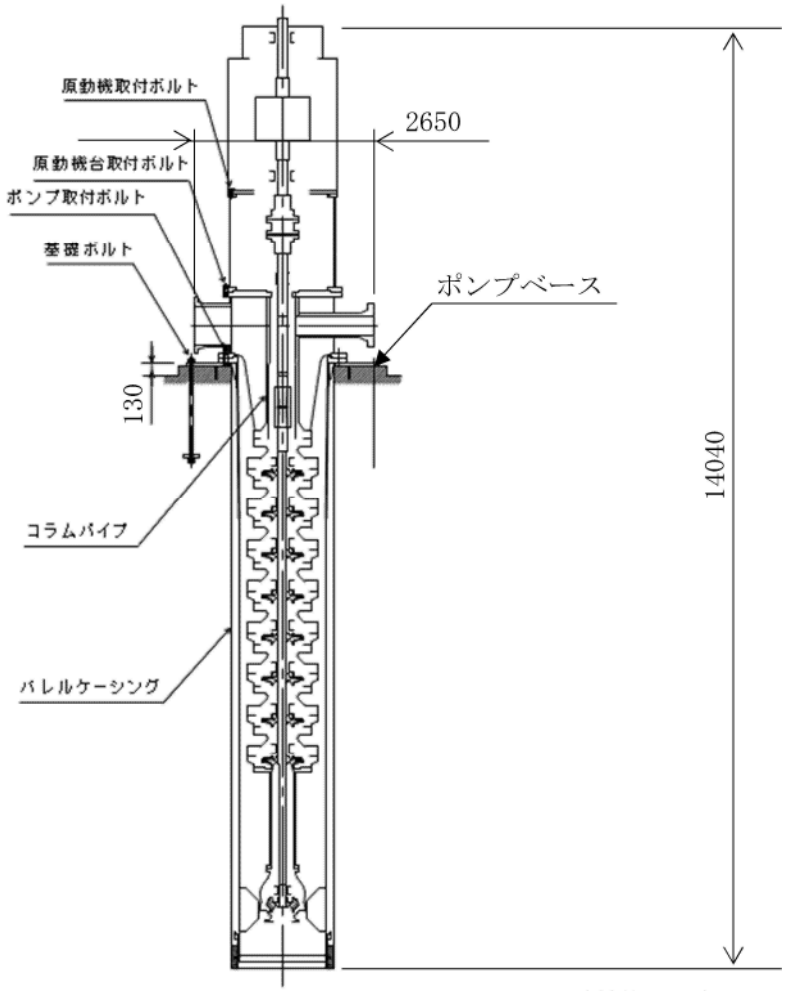
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-5　たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ポンプはポンプベースに固定され，ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	ピットバレル形 たて軸ポンプ	

3.　固有値解析及び構造強度評価

3.1　固有値解析及び構造強度評価方法

高圧炉心スプレイ系ポンプの構造はたて軸ポンプであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-5　たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2　荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ系ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2　許容応力

高圧炉心スプレイ系ポンプの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 及び表 3-4 のとおりとする。

3.2.3　使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ系ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 に示す。

表 3-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系ポンプ	S	クラス２ポンプ*	$D+P_D+M_D+S_d$*	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊：クラス２ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系ポンプ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２ポンプ*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

＊2：重大事故等クラス２ポンプの支持構造物を含む。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-3　許容応力（クラス２，３ポンプ及び重大事故等クラス２ポンプ）

許容応力状態	許容限界*			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
ⅢAS	S_yと 0.6・S_uの小さい方 ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と 1.2・Ｓとの大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動S_d又は基準地震動S_sのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・S_y以下であれば，疲労解析は行わない。	
ⅣAS				
ⅤAS （ⅤASとしてⅣASの許容限界を用いる。）	0.6・S_u	左欄の 1.5 倍の値	基準地震動S_sのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・S_y以下であれば，疲労解析は行わない。	

注記　＊：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4　許容応力（クラス２，３支持構造物及び重大事故等クラス２支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-5　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
バレルケーシング		最高使用温度	100	194	373	－
コラムパイプ		最高使用温度	100	194	373	－
基礎ボルト		周囲環境温度		206	385	－
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	100	685	847	－
原動機台取付ボルト		最高使用温度	100	194	373	－
原動機取付ボルト		周囲環境温度		206	385	－

表 3-6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
バレルケーシング		最高使用温度	148	181	373	－
コラムパイプ		最高使用温度	148	181	373	－
基礎ボルト		周囲環境温度		206	385	－
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	148	654	847	－
原動機台取付ボルト		最高使用温度	148	181	373	－
原動機取付ボルト		周囲環境温度		206	385	－

3.3　解析モデル及び諸元

固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は，本計算書の【高圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。解析コードは，「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-1　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

3.4　固有周期

固有値解析の結果を表 3-7 に，振動モード図を図 3-1 に示す。鉛直方向は，3 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 3-7　固有値解析結果

モード	固有周期（ｓ）	卓越方向	刺激係数	
			X	Y
1次	0.115	水平	2.326	0.000
2次	0.047	水平	－	－

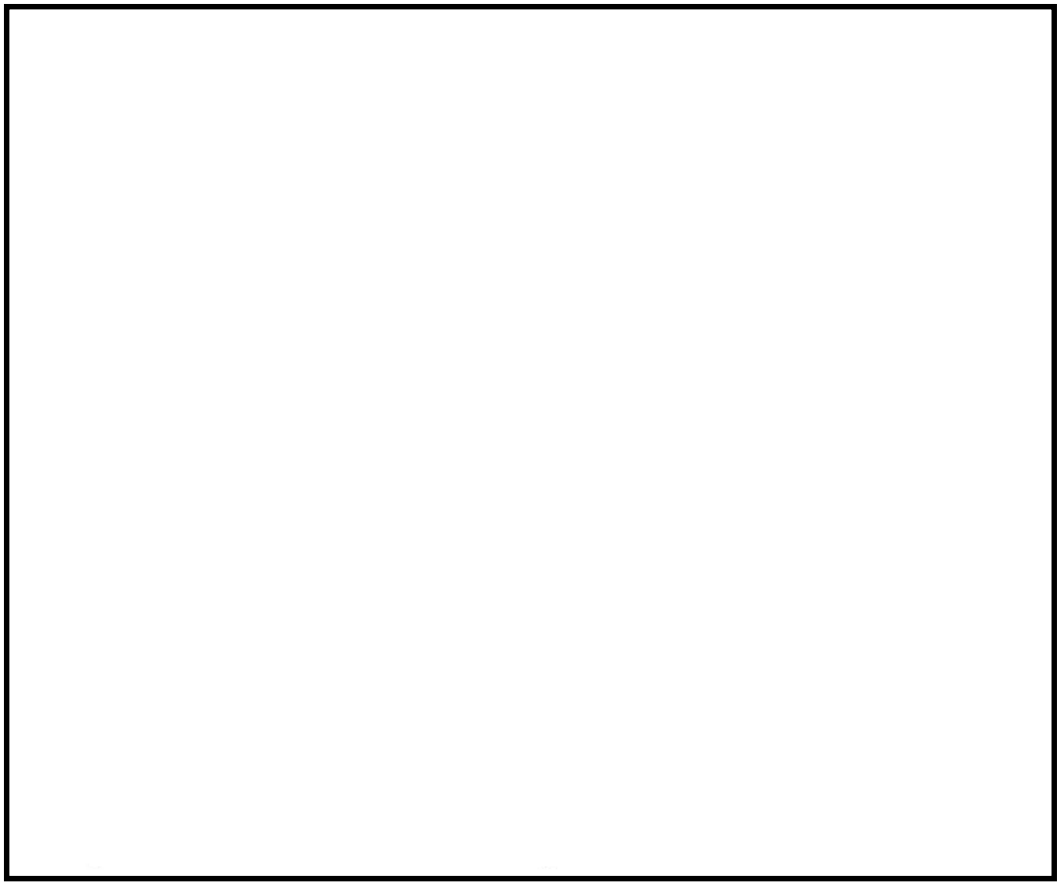


図 3-1　振動モード（1 次モード　水平方向　0.115 ｓ）

3.5　設計用地震力

「弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度」及び「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

評価に用いる設計用地震力を表3-8に示す。

表 3-8　設計用地震力

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$		減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平	鉛直
[redacted] EL. －4.0*1	0.115	0.05 以下*2	C_H＝0.58 又は＊3	C_V＝0.48	C_H＝0.87 又は＊4	C_V＝0.90	1.0	－

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

＊3：弾性設計用地震動Ｓ$_d$に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

＊4：基準地震動Ｓ$_s$に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

高圧炉心スプレイ系ポンプの地震後の動的機能維持評価について，以下に示す。

高圧炉心スプレイ系ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	ピットバレル形ポンプ	水平	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形すべり軸受電動機	水平	2.5
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	最高使用圧力 (MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸込側	吐出側
高圧炉心スプレイ系ポンプ	S	[redacted] EL. −4.0*1	0.115	0.05 以下*2	C_H=0.58 又は*3	C_V=0.48	C_H=0.87 又は*4	C_V=0.90	C_p=0.09	100	[redacted]	0.76	11.07

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：固有値解析より，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。
*3：弾性設計用地震動S_dに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。
*4：基準地震動S_sに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	n_{fi}	M_p (N·mm)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)
基礎ボルト (i=1)	[redacted]			12	12	−	206*2	385*2	206	247
ポンプ取付ボルト (i=2)				40	40	1.451×10^7	685*1	847*1	592	592
原動機台取付ボルト (i=3)				8	8	1.451×10^7	194*1	373*1	194	232
原動機取付ボルト (i=4)				12	12	1.451×10^7	206*2	385*2	206	247

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min⁻¹)
Hp=[redacted]	N=[redacted]

(2) バレルケーシング，コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	−	194*	373*	1272.0	14.0
コラムパイプ	−	194*	373*	340.0	22.0

注記 *：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M_i (N・mm)		F_{bi} (N)		Q_{bi} (N)	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)						
ポンプ取付ボルト (i=2)						
原動機台取付ボルト (i=3)						
原動機取付ボルト (i=4)						

(2) バレルケーシング，コラムパイプに作用する力

部 材	M (N・mm)	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
バレルケーシング		
コラムパイプ		

1.4 結論

1.4.1 固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1次	0.115	水平

1.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	−	f_{ts1}=154*	σ_{b1}= 8	f_{ts1}=185*
		せん断	τ_{b1}= 9	f_{sb1}=118	τ_{b1}=12	f_{sb1}=142
ポンプ取付ボルト		引張り	σ_{b2}= 3	f_{ts2}=444*	σ_{b2}=11	f_{ts2}=444*
		せん断	τ_{b2}= 5	f_{sb2}=342	τ_{b2}= 7	f_{sb2}=342
原動機台取付ボルト		引張り	σ_{b3}=19	f_{ts3}=145*	σ_{b3}=41	f_{ts3}=174*
		せん断	τ_{b3}=15	f_{sb3}=112	τ_{b3}=21	f_{sb3}=134
原動機取付ボルト		引張り	σ_{b4}= 5	f_{ts4}=154*	σ_{b4}=15	f_{ts4}=185*
		せん断	τ_{b4}= 7	f_{sb4}=118	τ_{b4}= 9	f_{sb4}=142

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：f_{tsi}=Min[1.4・f_{toi}−1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

1.4.3 バレルケーシング，コラムパイプの応力

(単位：MPa)

部 材	材料		一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動S_d又は静的震度	35	194
		基準地震動S_s	45	223
コラムパイプ		弾性設計用地震動S_d又は静的震度	134	194
		基準地震動S_s	204	223

すべて許容応力以下である。

1.4.4　動的機能維持の評価結果

1.4.4.1　機能確認済加速度との比較　　(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.72*1	10.0
	鉛直方向	0.75*2	1.0
原動機	水平方向	0.72*1	2.5
	鉛直方向	0.75*2	1.0

注記　＊1：水平方向評価用加速度はコラム先端の応答加速度又は1.0ZPAのうちいずれか大きい値。

＊2：鉛直方向評価用加速度は1.0ZPA。

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5　その他の機器要目

(1)　節点データ

節点番号	節点座標（mm）		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			
83			
84			
85			
86			
87			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
1	1-2	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
2	2-3	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
3	3-4	1		7.724×10^{6}	1.545×10^{7}
4	4-5	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
5	5-6	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
6	6-7	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
7	7-8	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
8	8-9	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
9	9-10	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
10	10-11	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
11	11-12	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
12	12-13	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
13	13-14	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
14	14-15	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
15	15-16	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
16	16-17	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
17	17-18	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
18	18-19	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
19	19-20	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
20	20-21	1		1.497×10^{8}	2.994×10^{8}
21	21-22	1		2.833×10^{7}	5.667×10^{7}
22	22-23	1		2.833×10^{7}	5.667×10^{7}
23	23-24	1		3.217×10^{7}	6.434×10^{7}
24	24-25	1		3.217×10^{7}	6.434×10^{7}
25	25-26	4		3.230×10^{8}	6.459×10^{8}
26	26-27	6		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
27	27-28	6		5.153×10^{7}	1.031×10^{8}
28	28-29	6		2.833×10^{7}	5.667×10^{7}
29	30-31	2		1.650×10^{8}	3.300×10^{8}
30	31-32	2		1.313×10^{9}	2.625×10^{9}
31	32-33	2		1.313×10^{9}	2.625×10^{9}
32	33-34	3		6.562×10^{8}	1.312×10^{9}
33	34-35	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
34	35-36	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
35	36-37	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
36	37-38	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
37	38-39	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
38	39-40	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
39	40-41	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
40	41-42	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
41	42-43	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
42	43-44	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
43	44-45	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
44	45-46	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
45	46-47	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
46	47-48	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
47	48-49	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
48	49-50	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
49	50-51	3		2.645×10^{9}	5.291×10^{9}

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
50	51-52	3		1.442×10^{9}	2.884×10^{9}
51	52-53	3		1.442×10^{9}	2.884×10^{9}
52	53-54	3		2.650×10^{8}	5.299×10^{8}
53	53-83	3		1.442×10^{9}	2.884×10^{9}
54	55-56	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
55	56-57	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
56	57-58	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
57	58-59	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
58	59-60	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
59	60-61	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
60	61-62	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
61	62-63	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
62	63-64	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
63	64-65	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
64	65-66	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
65	66-67	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
66	67-68	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
67	68-69	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
68	69-70	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
69	70-71	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
70	71-72	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
71	72-73	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
72	73-74	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
73	74-75	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
74	75-76	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
75	76-77	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
76	77-78	3		1.305×10^{10}	2.611×10^{10}
77	79-80	5		2.865×10^{12}	5.731×10^{12}
78	80-81	3		4.907×10^{11}	9.814×10^{11}
79	81-82	3		3.047×10^{10}	6.093×10^{10}
80	82-83	3		3.047×10^{10}	6.093×10^{10}
81	83-84	5		2.838×10^{10}	5.677×10^{10}
82	84-85	6		1.887×10^{10}	3.774×10^{10}
83	85-86	6		1.887×10^{10}	3.774×10^{10}
84	86-87	6		5.646×10^{9}	1.129×10^{10}

(3)　ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数		
2	32			
5	35			
7	37			
9	39			
11	41			
13	43			
15	45			
17	47			
19	49			
24	54			
27	85			
28	86			
31	58			
28	86			
78	80			
78	80			

(4) 節点の質量

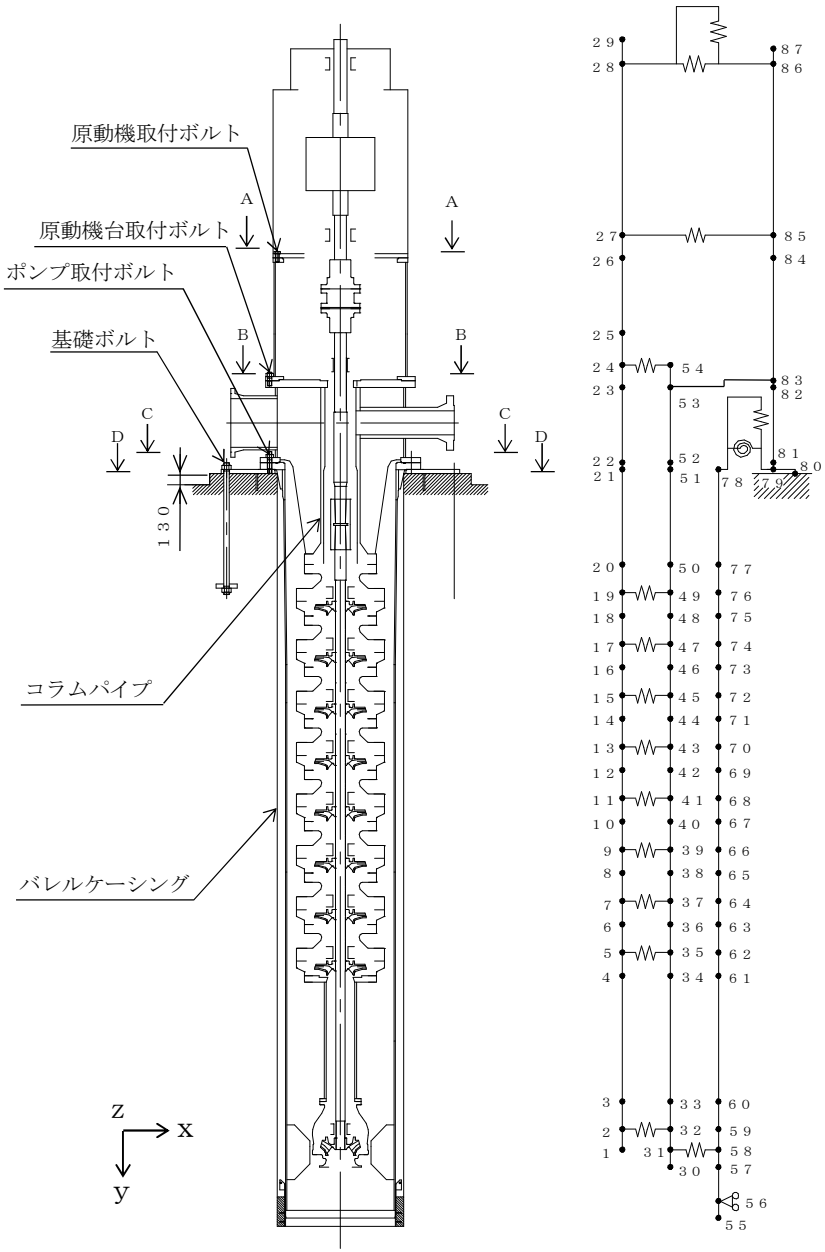
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	

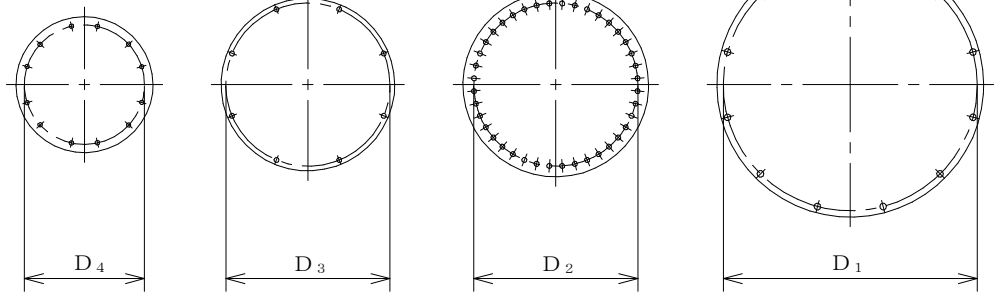
(続き)

節点番号	質量 (kg)
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	
87	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm^3)	ポアソン比 (－)	材質	部位
1	100	1.96×10^5		0.3		ポンプ
2	100	1.97×10^5		0.3		ポンプ
3	100	1.98×10^5		0.3		ポンプ
4		1.99×10^5		0.3		原動機
5		2.00×10^5		0.3		原動機
6		1.99×10^5		0.3		原動機





A～A矢視図　B～B矢視図　C～C矢視図　D～D矢視図

【高圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	最高使用圧力 (MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸込側	吐出側
高圧炉心スプレイ系ポンプ	常設耐震／防止	[redacted] EL. －4.0*1	0.116	0.05 以下*2	－	－	C_H＝0.87 又は＊3	C_V＝0.90	C_p＝0.09	148	[redacted]	0.76	11.07

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

＊3：基準地震動S_sに基づく設計用床応答スペクトルより得られる値。

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	n_{fi}	M_p (N･mm)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)
基礎ボルト（i＝1）	[redacted]			12	12	－	206*2	385*2	－	247
ポンプ取付ボルト（i＝2）				40	40	1.451×10^7	654*1	847*1	－	592
原動機台取付ボルト（i＝3）				8	8	1.451×10^7	181*1	373*1	－	217
原動機取付ボルト（i＝4）				12	12	1.451×10^7	206*2	385*2	－	247

注記 ＊1：最高使用温度で算出

＊2：周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
Hp＝[redacted]	N＝[redacted]

(2) バレルケーシング，コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	－	181*	373*	1272.0	14.0
コラムパイプ	－	181*	373*	340.0	22.0

注記 ＊：最高使用温度で算出

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M_i (N・mm)		F_{bi} (N)		Q_{bi} (N)	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	－		－		－	
ポンプ取付ボルト (i=2)	－		－		－	
原動機台取付ボルト (i=3)	－		－		－	
原動機取付ボルト (i=4)	－		－		－	

(2) バレルケーシング，コラムパイプに作用する力

部 材	M (N・mm)	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
バレルケーシング	－	
コラムパイプ	－	

2.4 結論

2.4.1 固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1次	0.115	水平

2.4.2 ボルトの応力 (単位：MPa)

部 材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_{b1}= 8	f_{ts1}=185*
		せん断	－	－	τ_{b1}=12	f_{sb1}=142
ポンプ取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b2}=11	f_{ts2}=444*
		せん断	－	－	τ_{b2}= 7	f_{sb2}=342
原動機台取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b3}=41	f_{ts3}=163*
		せん断	－	－	τ_{b3}=21	f_{sb3}=125
原動機取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b4}=15	f_{ts4}=185*
		せん断	－	－	τ_{b4}= 9	f_{sb4}=142

すべて許容応力以下である。

注記 *：f_{tsi}=Min[1.4・f_{toi}−1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

2.4.3 バレルケーシング，コラムパイプの応力 (単位：MPa)

部 材	材料	一次一般膜応力		
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動S_d又は静的震度	－	－
		基準地震動S_s	45	223
コラムパイプ		弾性設計用地震動S_d又は静的震度	－	－
		基準地震動S_s	204	223

すべて許容応力以下である。

2.4.4　動的機能維持の評価結果

2.4.4.1　機能確認済加速度との比較　　(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.72*1	10.0
	鉛直方向	0.75*2	1.0
原動機	水平方向	0.72*1	2.5
	鉛直方向	0.75*2	1.0

注記　＊1：水平方向評価用加速度はコラム先端の応答加速度又は1.0ZPAのうちいずれか大きい値。

＊2：鉛直方向評価用加速度は1.0ZPA。

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2.5　その他の機器要目

(1)　節点データ

節点番号	節点座標（mm）		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			
83			
84			
85			
86			
87			

(2)　要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
1	1-2	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
2	2-3	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
3	3-4	1		7.724×10^{6}	1.545×10^{7}
4	4-5	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
5	5-6	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
6	6-7	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
7	7-8	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
8	8-9	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
9	9-10	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
10	10-11	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
11	11-12	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
12	12-13	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
13	13-14	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
14	14-15	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
15	15-16	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
16	16-17	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
17	17-18	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
18	18-19	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
19	19-20	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
20	20-21	1		1.497×10^{8}	2.994×10^{8}
21	21-22	1		2.833×10^{7}	5.667×10^{7}
22	22-23	1		2.833×10^{7}	5.667×10^{7}
23	23-24	1		3.217×10^{7}	6.434×10^{7}
24	24-25	1		3.217×10^{7}	6.434×10^{7}
25	25-26	4		3.230×10^{8}	6.459×10^{8}
26	26-27	6		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
27	27-28	6		5.153×10^{7}	1.031×10^{8}
28	28-29	6		2.833×10^{7}	5.667×10^{7}
29	30-31	2		1.650×10^{8}	3.300×10^{8}
30	31-32	2		1.313×10^{9}	2.625×10^{9}
31	32-33	2		1.313×10^{9}	2.625×10^{9}
32	33-34	3		6.562×10^{8}	1.312×10^{9}
33	34-35	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
34	35-36	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
35	36-37	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
36	37-38	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
37	38-39	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
38	39-40	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
39	40-41	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
40	41-42	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
41	42-43	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
42	43-44	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
43	44-45	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
44	45-46	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
45	46-47	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
46	47-48	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
47	48-49	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
48	49-50	2		3.872×10^{10}	7.744×10^{10}
49	50-51	3		2.645×10^{9}	5.291×10^{9}

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
50	51-52	3		1.442×10^{9}	2.884×10^{9}
51	52-53	3		1.442×10^{9}	2.884×10^{9}
52	53-54	3		2.650×10^{8}	5.299×10^{8}
53	53-83	3		1.442×10^{9}	2.884×10^{9}
54	55-56	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
55	56-57	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
56	57-58	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
57	58-59	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
58	59-60	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
59	60-61	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
60	61-62	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
61	62-63	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
62	63-64	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
63	64-65	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
64	65-66	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
65	66-67	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
66	67-68	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
67	68-69	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
68	69-70	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
69	70-71	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
70	71-72	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
71	72-73	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
72	73-74	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
73	74-75	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
74	75-76	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
75	76-77	3		1.169×10^{10}	2.339×10^{10}
76	77-78	3		1.305×10^{10}	2.611×10^{10}
77	79-80	5		2.865×10^{12}	5.731×10^{12}
78	80-81	3		4.907×10^{11}	9.814×10^{11}
79	81-82	3		3.047×10^{10}	6.093×10^{10}
80	82-83	3		3.047×10^{10}	6.093×10^{10}
81	83-84	5		2.838×10^{10}	5.677×10^{10}
82	84-85	6		1.887×10^{10}	3.774×10^{10}
83	85-86	6		1.887×10^{10}	3.774×10^{10}
84	86-87	6		5.646×10^{9}	1.129×10^{10}

(3)　ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
2	32	
5	35	
7	37	
9	39	
11	41	
13	43	
15	45	
17	47	
19	49	
24	54	
27	85	
28	86	
31	58	
28	86	
78	80	
78	80	

(4)　節点の質量

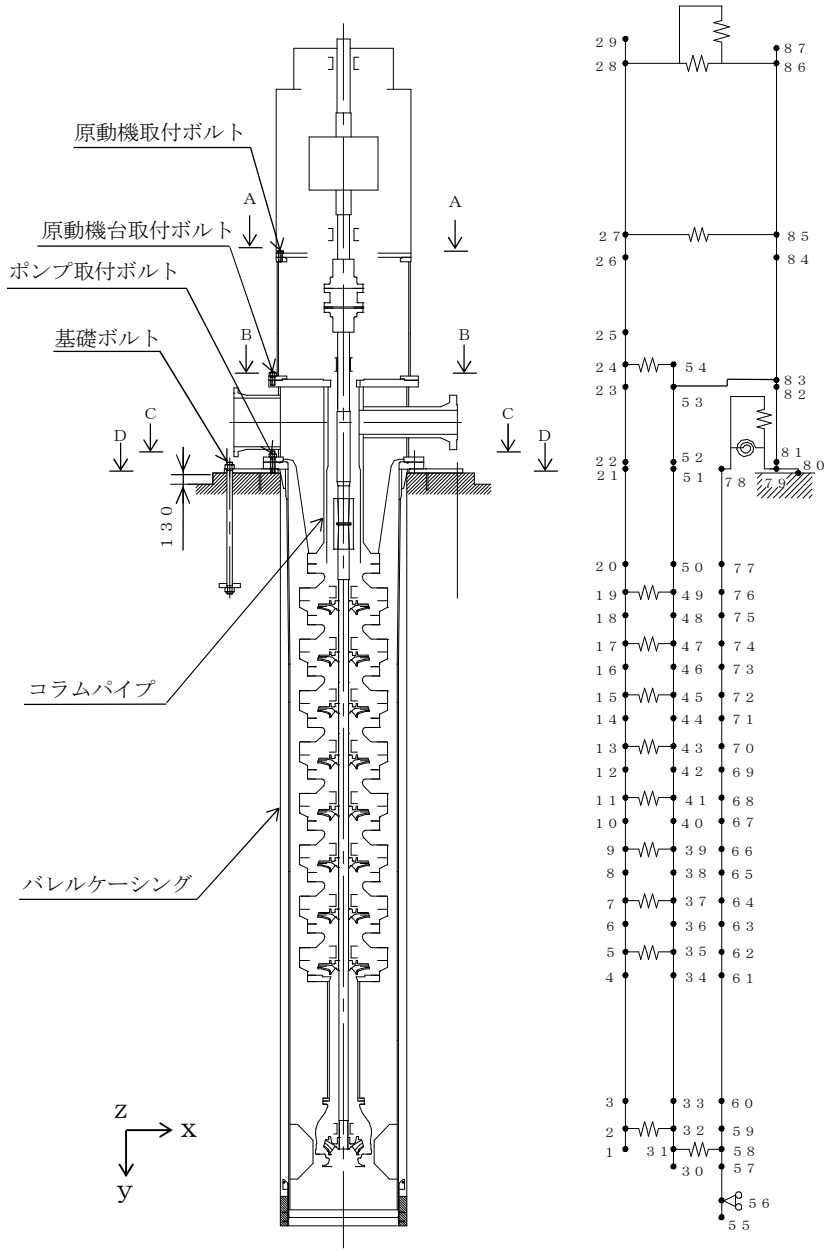
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	

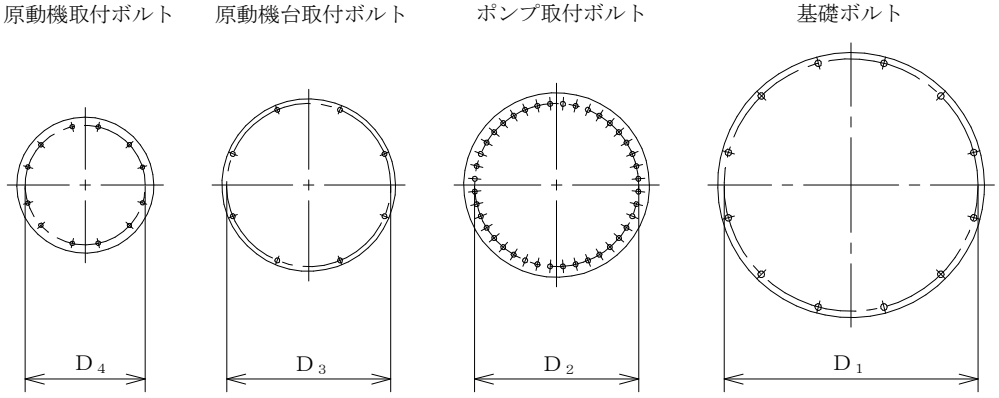
（続き）

節点番号	質量 (kg)
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	
87	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm^3)	ポアソン比 (－)	材質	部位
1	100	1.96×10^5		0.3		ポンプ
2	100	1.97×10^5		0.3		ポンプ
3	100	1.98×10^5		0.3		ポンプ
4		1.99×10^5		0.3		原動機
5		2.00×10^5		0.3		原動機
6		1.99×10^5		0.3		原動機


原動機取付ボルト
原動機台取付ボルト
ポンプ取付ボルト
基礎ボルト
コラムパイプ
バレルケーシング
A
B
C
D
130
z
x
y
29
28
87
86
27
85
26
84
25
24
54
83
23
82
53
81
80
22
52
21
51
78
79
20
50
77
19
49
76
18
48
75
17
47
74
16
46
73
15
45
72
14
44
71
13
43
70
12
42
69
11
41
68
10
40
67
9
39
66
8
38
65
7
37
64
6
36
63
5
35
62
4
34
61
3
33
60
2
32
59
1
31
58
30
57
56
55


原動機取付ボルト
原動機台取付ボルト
ポンプ取付ボルト
基礎ボルト
D4
D3
D2
D1
A～A矢視図
B～B矢視図
C～C矢視図
D～D矢視図

Ⅴ-2-5-5-1-2　高圧炉心スプレイ系ストレーナの耐震性についての計算書

１．概要

本計算書では，高圧炉心スプレイ系ストレーナの耐震性について説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ストレーナは残留熱除去系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナと同様の形状を有しており，解析モデルや評価条件については同等である。また，添付書類「Ⅴ-2-5-4-1-3　残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」において，ストレーナの解析モデルを用いた耐震性の評価を実施しており，その荷重条件については上記のストレーナで最大となる値を用いている。

以上より，本計算書の評価結果については，添付書類「Ⅴ-2-5-4-1-3　残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」による。

Ⅴ-2-5-5-1-3　管の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 ····· 2
2.1　概略系統図 ····· 2
2.2　鳥瞰図 ····· 4
3.　計算条件 ····· 11
3.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 11
3.2　設計条件 ····· 13
3.3　材料及び許容応力 ····· 23
3.4　設計用地震力 ····· 24
4.　解析結果及び評価 ····· 25
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 25
4.2　評価結果 ····· 37
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 37
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 39
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 40
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 41

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示す通りである。

(1)　管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全４モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2)　支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3)　弁

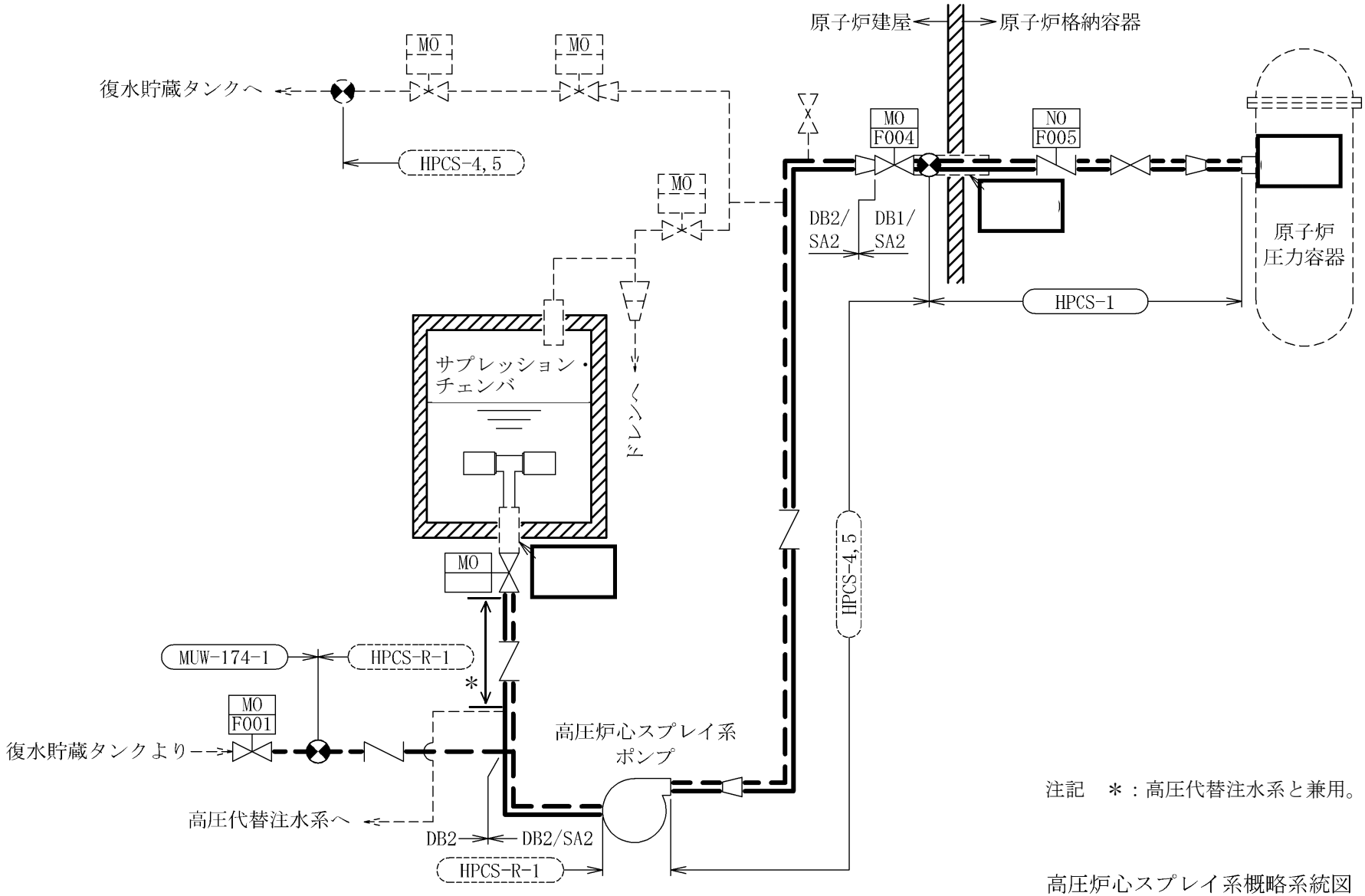
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記　　号	内　　容
―――― （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
― ― ― （太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――― （細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管

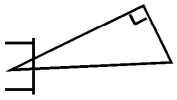
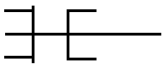
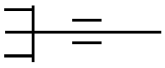
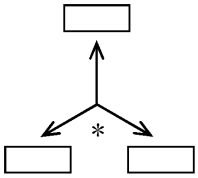


注記　＊：高圧代替注水系と兼用。

高圧炉心スプレイ系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記　　号	内　　容
━━━━ （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
──── （細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質　　点
⊗	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。）
	注：　鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

鳥瞰図	HPCS-1(DB)(1/2)

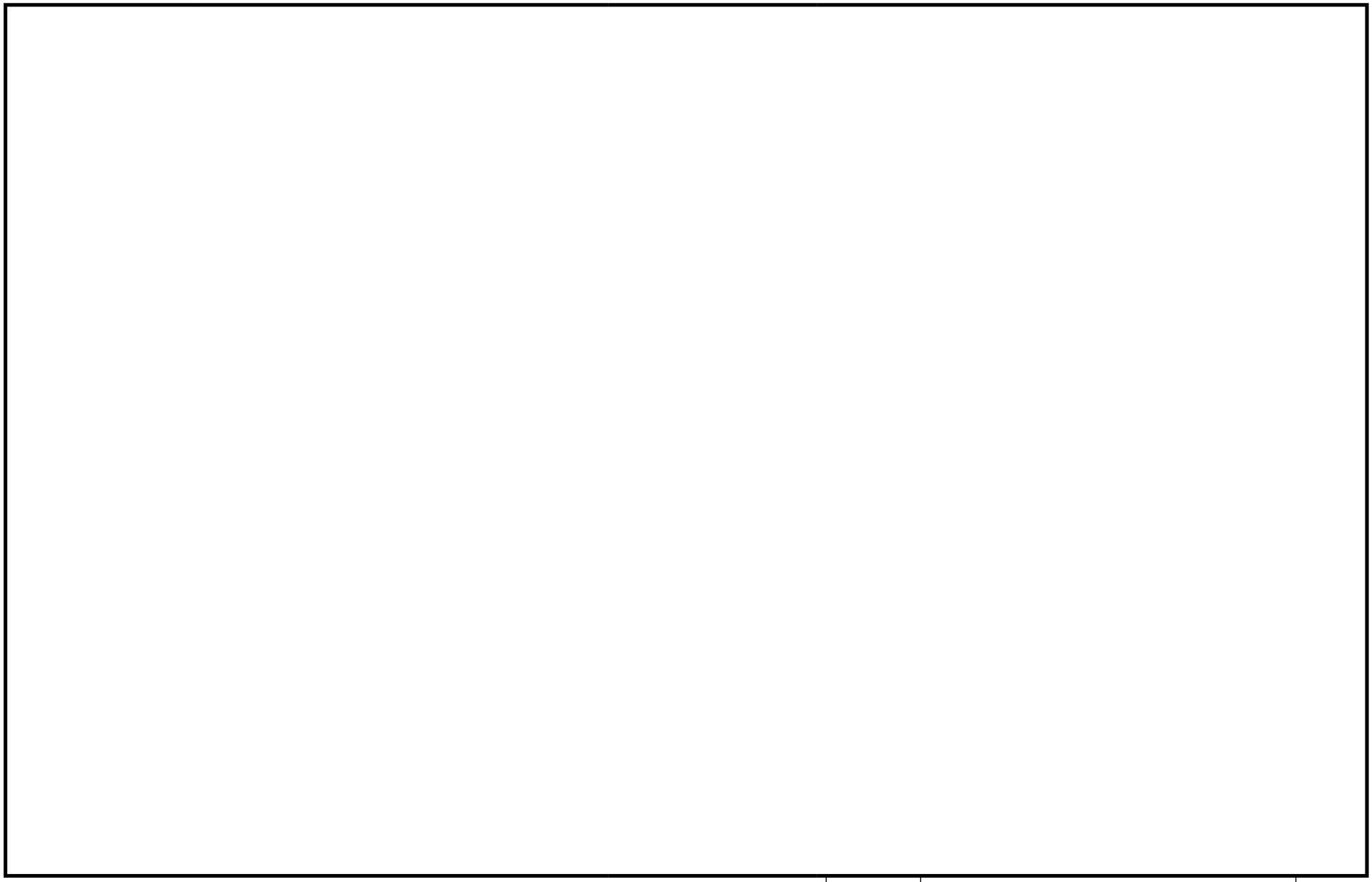
9

鳥瞰図	HPCS-1(DB)(2/2)

鳥瞰図	HPCS-1(SA)(1/2)

鳥瞰図	HPCS-1(SA)(2/2)

鳥瞰図	MUW-174-1(DB)(1/2)



鳥瞰図	MUW-174-1(DB)(2/2)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系	ＤＢ	—	クラス１管 クラス２管	Ｓ	I_L+S_d	III_AS
							II_L+S_d	
							$IV_L(L)+S_d$	
							I_L+S_s	IV_AS
							II_L+S_s	
							$V_L(L)+S_d$ *6,7	V_AS
							$V_L(LL)+S_s$ *6	
			ＳＡ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２管	—	$V_L(L)+S_d$ *6,7	V_AS
							$V_L(LL)+S_s$ *6	
							V_L+S_s	
		高圧代替注水系	ＳＡ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２管	—	$V_L(L)+S_d$ *6,7	V_AS
							$V_L(LL)+S_s$ *6	
							V_L+S_s	

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	高圧代替注水系	ＳＡ	常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	V_L（L）＋S_d*6,7	V_AS
							V_L（ＬＬ）＋S_s*6	
							V_L＋S_s	

注記　＊1：ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。
＊2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。
＊3：運転状態の添字Ｌは荷重，（Ｌ）は荷重が長期間作用している状態，（ＬＬ）は（Ｌ）より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。
＊4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。
＊5：許容応力状態V_ASは許容応力状態Ⅳ$_A$Ｓの許容限界を使用し，許容応力状態Ⅳ$_A$Ｓとして評価を実施する。
＊6：プロセス条件に加え，重大事故時の原子炉格納容器バウンダリ条件として，重大事故時の原子炉格納容器限界温度及び圧力を考慮する。
＊7：荷重の組合せV_L（Ｌ）＋S_dはV_L（Ｌ）＋S_sに包絡されるため，評価を省略する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPCS-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～6	8.62	302	318.5	17.4		S	
2	6～13,13～19 19～23,23～27 28～32,33～35	8.62	302	318.5	17.4	STS49	S	
3	36～39N	8.62	302	267.4	15.1	STS49	S	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　HPCS-1

質量	対応する評価点
[redacted]	1A～6
	6～23
	23～27,28～32
	33～35
	36～39N

弁部の寸法

鳥　瞰　図　HPCS-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
27～28	[redacted]			32～33	[redacted]		

弁部の質量

鳥　瞰　図　HPCS-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	27～28	[redacted]	32～33

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　HPCS-1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
8						
12						
** 15 **						
** 16 **						
18						
** 29 **						
30						
** 31 **						
34						
37						
N9						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　MUW-174-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8～13	1.04	66	508.0	9.5	SUS304TP	S	
2	13～14	1.04	66	508.0	9.5	SM41B	S	
3	16～23A	0.70	100	508.0	9.5	SM41B	S	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　MUW-174-1

質量	対応する評価点
[redacted]	8～14

弁部の寸法

鳥　瞰　図　MUW-174-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
14～140				140～141			
141～15				140～16			

弁部の質量

鳥　瞰　図　MUW-174-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	14,16	[redacted]	140
	141		15

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MUW-174-1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
8						
111						
17						
** 190 **						
23A						

3.3　材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材　　料	最高使用温度 (℃)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
	302	122	182	—	—
STS49	302	138	209	—	—
SUS304TP	66	—	188	479	126
SM41B	66	—	234	385	—
SM41B	100	—	221	373	—

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数(%)
HPCS-1	原子炉しゃへい壁		
MUW-174-1			
	タービン建屋		

4.　解析結果及び評価

4.1　固有周期及び設計震度

鳥　瞰　図　HPCS-1

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
動的震度							
静的震度							

各モードに対応する刺激係数

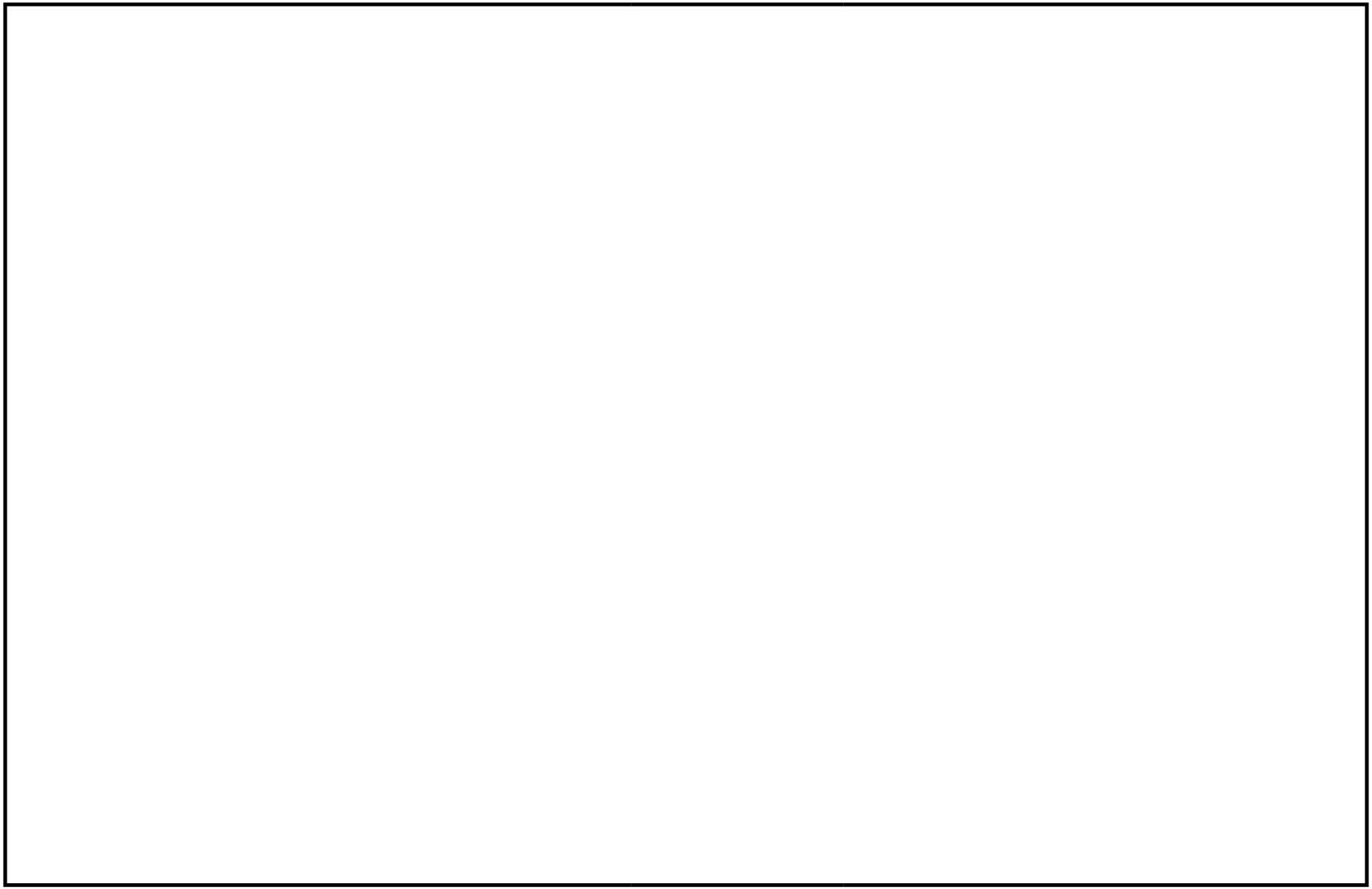
鳥　瞰　図　HPCS-1

モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				

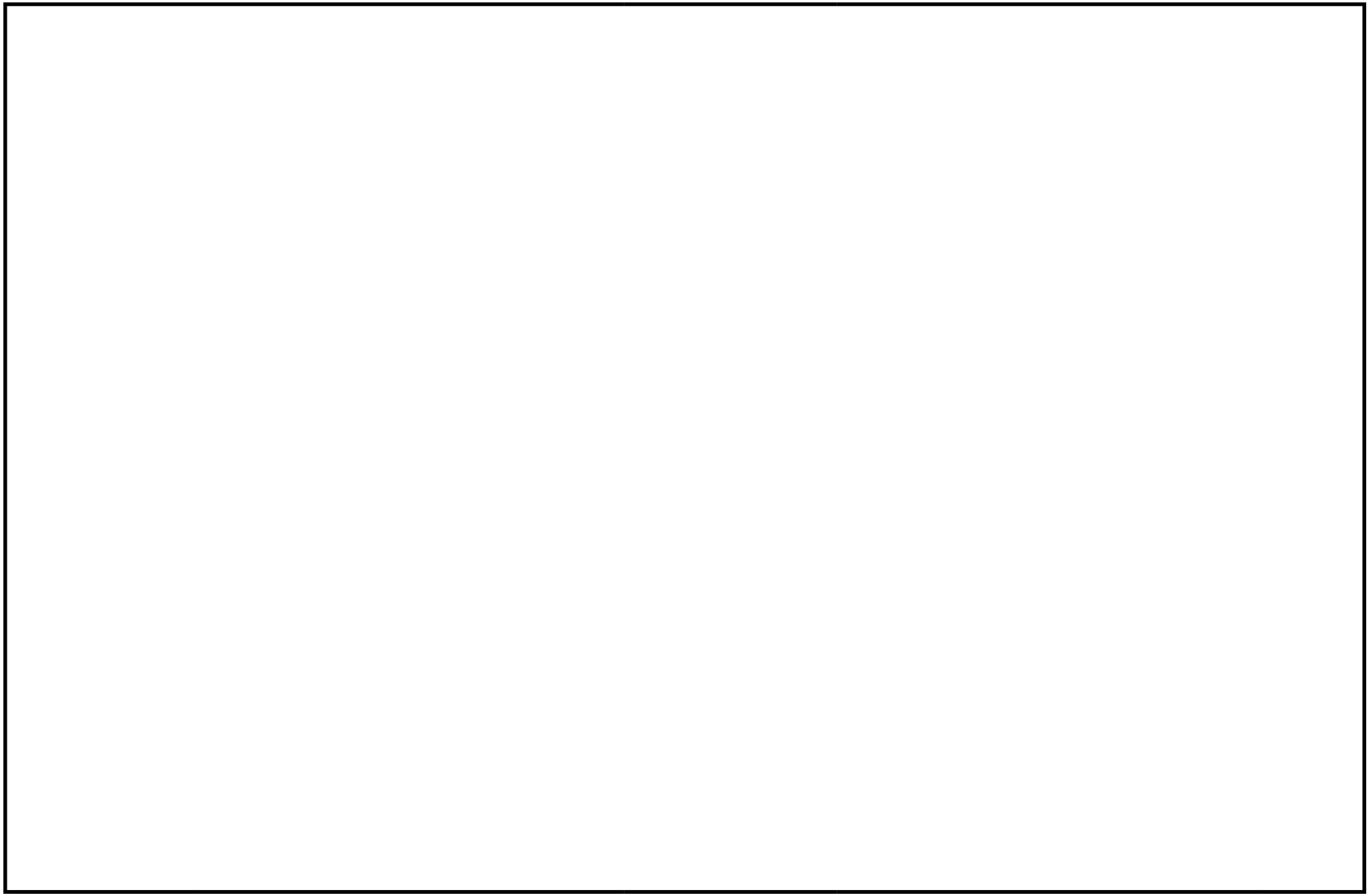
代表的振動モード図

振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

鳥瞰図	HPCS-1



鳥瞰図	HPCS-1



鳥瞰図	HPCS-1

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 MUW-174-1

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
12次							
13次							
動的震度							
静的震度							

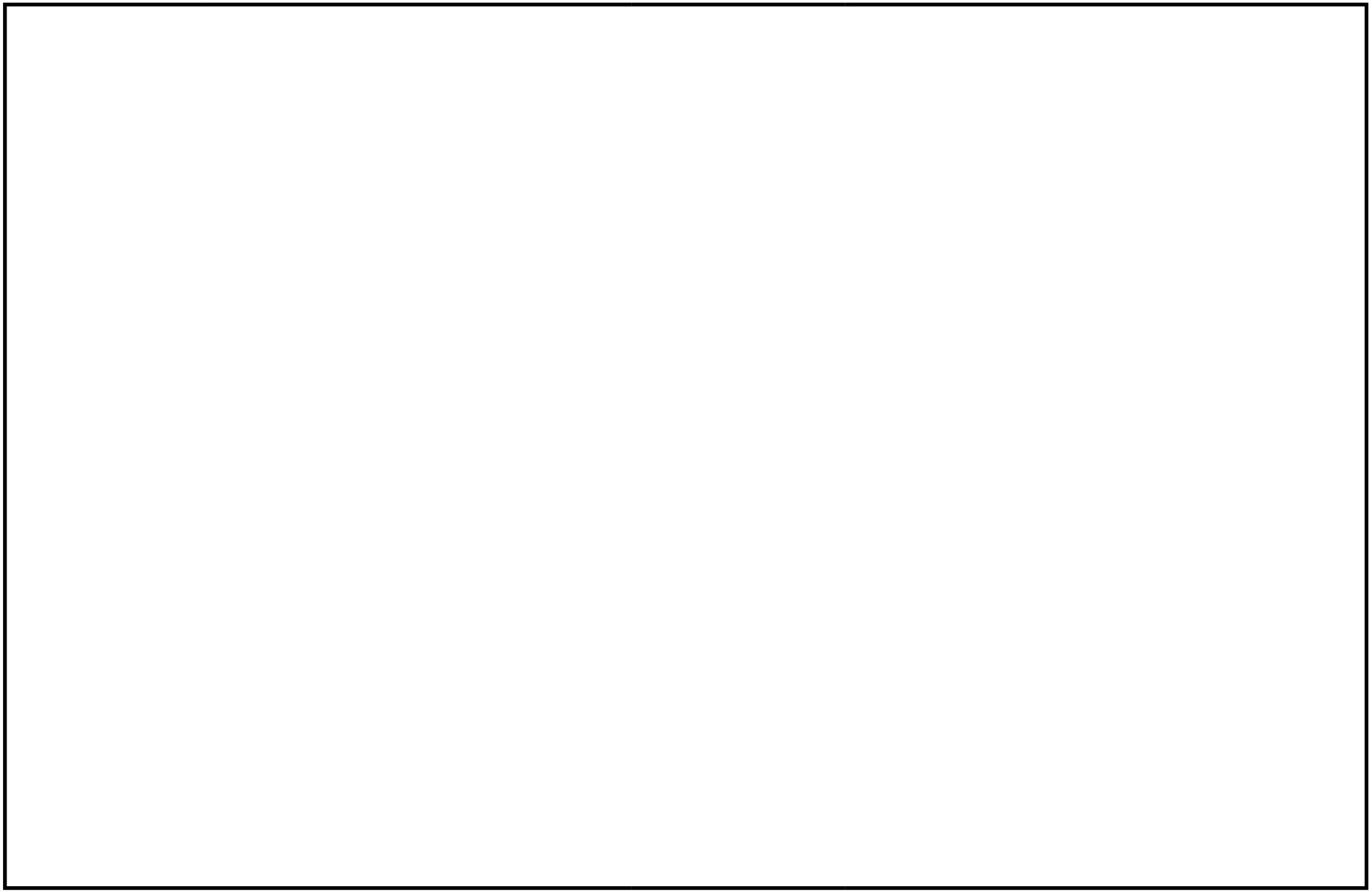
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　MUW-174-1

モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
12次				
13次				

代表的振動モード図

振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



鳥瞰図	MUW-174-1

鳥瞰図	MUW-174-1

鳥瞰図	MUW-174-1

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管であってクラス１管

鳥瞰図	許容応力状態（供用状態）	最大応力評価点	配管要素名称	最大応力区分	一次応力評価 (MPa)				一次＋二次応力評価 (MPa)		疲労評価
					一次応力 S_{prm}（S_d） S_{prm}（S_s）	許容応力 min（2.25S_m，1.8S_y） min(3S_m，2S_y)	ねじり応力 S_t（S_d） S_t（S_s）	許容応力 0.55S_m 0.73S_m	一次＋二次応力 S_n（S_s）	許容応力 3S_m	疲労累積係数 U＋US_s
HPCS-1	ⅢAS	13	ELBOW	S_{prm}（S_d）	168	310	－	－	－	－	－
HPCS-1	ⅢAS	24	BUTT WELD	S_t（S_d）	－	－	56	75	－	－	－
HPCS-1	ⅣAS	13	ELBOW	S_{prm}（S_s）	226	414	－	－	－	－	－
HPCS-1	ⅣAS	24	BUTT WELD	S_t（S_s）	－	－	93	100	－	－	－
HPCS-1	ⅣAS	13	ELBOW	S_n（S_s）	－	－	－	－	739	414	0.4508
HPCS-1	ⅣAS	13	ELBOW	U＋US_s	－	－	－	－	－	－	0.4508

クラス２以下の管及び重大事故等クラス２管であってクラス２以下の管

鳥瞰図	許容応力状態（供用状態）	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価（MPa）		一次＋二次応力評価（MPa）		疲労評価
				計算応力 S_{prm}（S_d）S_{prm}（S_s）	許容応力 S_y* $0.9S_u$	計算応力 S_n（S_s）	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
MUW-174-1	ⅢAS	13	S_{prm}（S_d）	77	188	－	－	－
MUW-174-1	ⅣAS	13	S_{prm}（S_s）	113	346	－	－	－
MUW-174-1	ⅣAS	13	S_n（S_s）	－	－	169	376	－

注記　＊：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，S_yと$1.2S_h$のうち大きい方とする。

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
SNO-HPCS-1BX	オイルスナッバ	HSP-10	添付資料「V-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について		122.0	150.0
SH-HPCS-30	スプリングハンガ	VS-1			40.1	54.7
CH-HPCS-1A	コンスタントハンガ	CSH-28			19.1	19.7

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力（kN）			モーメント（kN・m）			応力分類	計算応力(MPa)	許容応力(MPa)
					F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
AN-HPCS-37	アンカ	ラグ	[redacted] SS41	302	69.4	82.8	85.8	88.9	182.0	120.0	組合せ	121	136
RE-HPCS-1B	レストレイント	パイプバンド	SM400B STKR400	302	0	0	167.0	－	－	－	圧縮	77	99

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度*（×9.8 m/s²）		機能確認済加速度（×9.8 m/s²）		構造強度評価結果（MPa）	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
E22-F005	逆止め弁	β（S_s）	2.8	1.4	6.0	6.0	－	－
E22-F001	止め弁	β（S_s）	3.9	1.2	6.0	6.0	－	－

注記　＊：応答加速度は，打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{III_AS}$					許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	HPCS-1	13	168	310	1.84	○	13	226	414	1.83	○	13	739	414	0.56	○	13	0.4508	○
2	HPCS-4,5	21A	86	274	3.18	－	21A	100	364	3.64	－	21A	95	366	3.85	－	21A	0	－

注記　：$\mathrm{III_AS}$の一次＋二次応力の許容値は$\mathrm{IV_AS}$と同様であることから，地震荷重が大きい$\mathrm{IV_AS}$の一次＋二次応力裕度最小を代表とする。
$\mathrm{IV_AS}$の計算応力は，$\mathrm{V_AS}$と$\mathrm{IV_AS}$の大きい方を記載している。

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{III_AS}$					許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	HPCS-4,5	2808	63	214	3.39	－	2808	72	363	5.04	－	3005	38	488	12.84	－	－	－	－
2	HPCS-R-1	4	41	207	5.04	－	4	54	335	6.2	－	4	95	414	4.35	－	－	－	－
3	MUW-174-1	13	77	188	2.44	○	13	113	346	3.06	○	13	169	376	2.22	○	－	－	－

注記　：$\mathrm{III_AS}$の一次＋二次応力の許容値は$\mathrm{IV_AS}$と同様であることから，地震荷重が大きい$\mathrm{IV_AS}$の一次＋二次応力裕度最小を代表とする。
$\mathrm{IV_AS}$の計算応力は，$\mathrm{V_AS}$と$\mathrm{IV_AS}$の大きい方を記載している。

Ⅴ-2-5-5-1-4　ストレーナ部ティーの耐震計算書（高圧炉心スプレイ系）

1. 概要

本計算書では，高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーの耐震性について説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーは残留熱除去系ストレーナ部ティー及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーと同様の形状を有しており，評価条件については同等である。また，添付書類「Ⅴ-2-5-4-1-5　ストレーナ部ティーの耐震計算書（残留熱除去系）」において，ストレーナの解析モデルを用いた耐震性の評価を実施しており，その荷重条件については上記のストレーナで最大となる値を用いている。

以上より，本計算書の評価結果については，添付書類「Ⅴ-2-5-4-1-5　ストレーナ部ティーの耐震計算書（残留熱除去系）」による。

Ⅴ-2-5-5-2　低圧炉心スプレイ系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-5-5-2-1　低圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 固有値解析及び構造強度評価 ····· 3
3.1 固有値解析及び構造強度評価方法 ····· 3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
3.3 解析モデル及び諸元 ····· 9
3.4 固有周期 ····· 9
3.5 設計用地震力 ····· 10
4. 機能維持評価 ····· 11
4.1 動的機能維持評価方法 ····· 11
5. 評価結果 ····· 12
5.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 12
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 12

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，低圧炉心スプレイ系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

低圧炉心スプレイ系ポンプは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

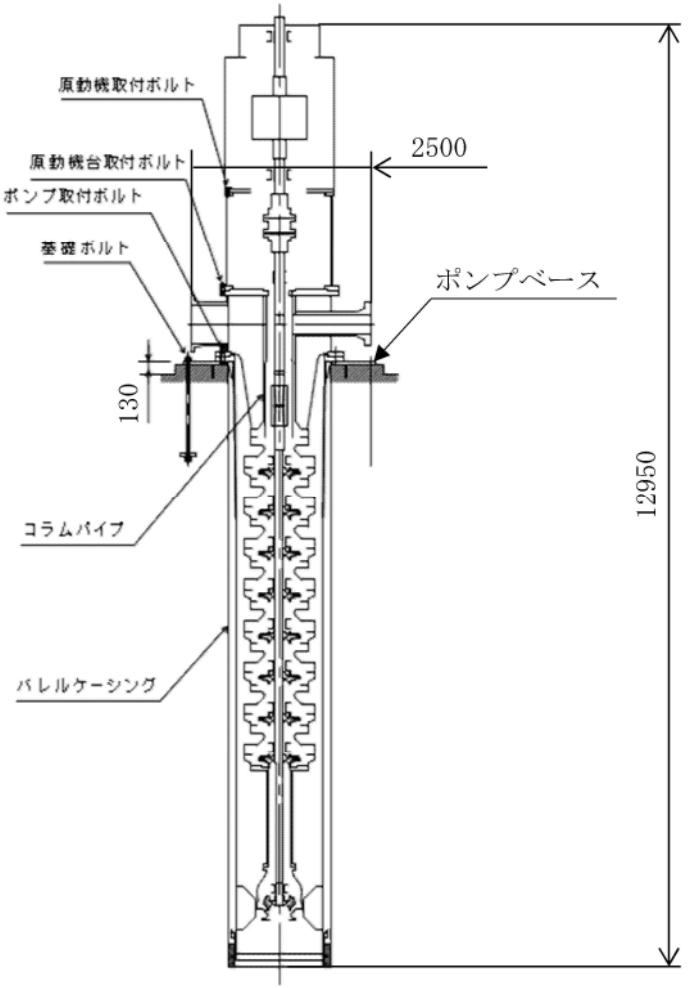
2. 一般事項

本計算書は,添付書類「Ⅴ-2-1-13-5　たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1　構造計画

低圧炉心スプレイ系ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ポンプはポンプベースに固定され，ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	ピットバレル形たて軸ポンプ	

3.　固有値解析及び構造強度評価

3.1　固有値解析及び構造強度評価方法

低圧炉心スプレイ系ポンプの構造はたて軸ポンプであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-5　たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2　荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧炉心スプレイ系ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2　許容応力

低圧炉心スプレイ系ポンプの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 及び表 3-4 のとおりとする。

3.2.3　使用材料の許容応力評価条件

低圧炉心スプレイ系ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 に示す。

表 3-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系ポンプ	S	クラス２ポンプ*	$D+P_D+M_D+S_d$*	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊：クラス２ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系ポンプ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２ポンプ*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてⅣ$_A$Sの許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

＊2：重大事故等クラス２ポンプの支持構造物を含む。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-3　許容応力（クラス２，３ポンプ及び重大事故等クラス２ポンプ）

許容応力状態	許容限界*			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
ⅢAS	S_yと 0.6・S_uの小さい方 ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と 1.2・Ｓとの大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動S_d又は基準地震動S_sのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・S_y以下であれば，疲労解析は行わない。	
ⅣAS				
ⅤAS （ⅤASとしてⅣASの許容限界を用いる。）	0.6・S_u	左欄の 1.5 倍の値	基準地震動S_sのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・S_y以下であれば，疲労解析は行わない。	

注記　＊：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4　許容応力（クラス２，３支持構造物及び重大事故等クラス２支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-5　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
バレルケーシング		最高使用温度	100	194	373	－
コラムパイプ		最高使用温度	100	194	373	－
基礎ボルト		周囲環境温度		206	385	－
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	100	685	847	－
原動機台取付ボルト		最高使用温度	100	194	373	－
原動機取付ボルト		周囲環境温度		206	385	－

表 3-6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
バレルケーシング		最高使用温度	148	181	373	－
コラムパイプ		最高使用温度	148	181	373	－
基礎ボルト		周囲環境温度		206	385	－
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	148	654	847	－
原動機台取付ボルト		最高使用温度	148	181	373	－
原動機取付ボルト		周囲環境温度		206	385	－

3.3　解析モデル及び諸元

固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は，本計算書の【低圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。解析コードは，「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-1　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

3.4　固有周期

固有値解析の結果を表 3-7 に，振動モード図を図 3-1 に示す。鉛直方向は，3 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 3-7　固有値解析結果

モード	固有周期（ｓ）	卓越方向	刺激係数	
			X	Y
1次	0.086	水平	1.206	0.000
2次	0.045	水平	－	－

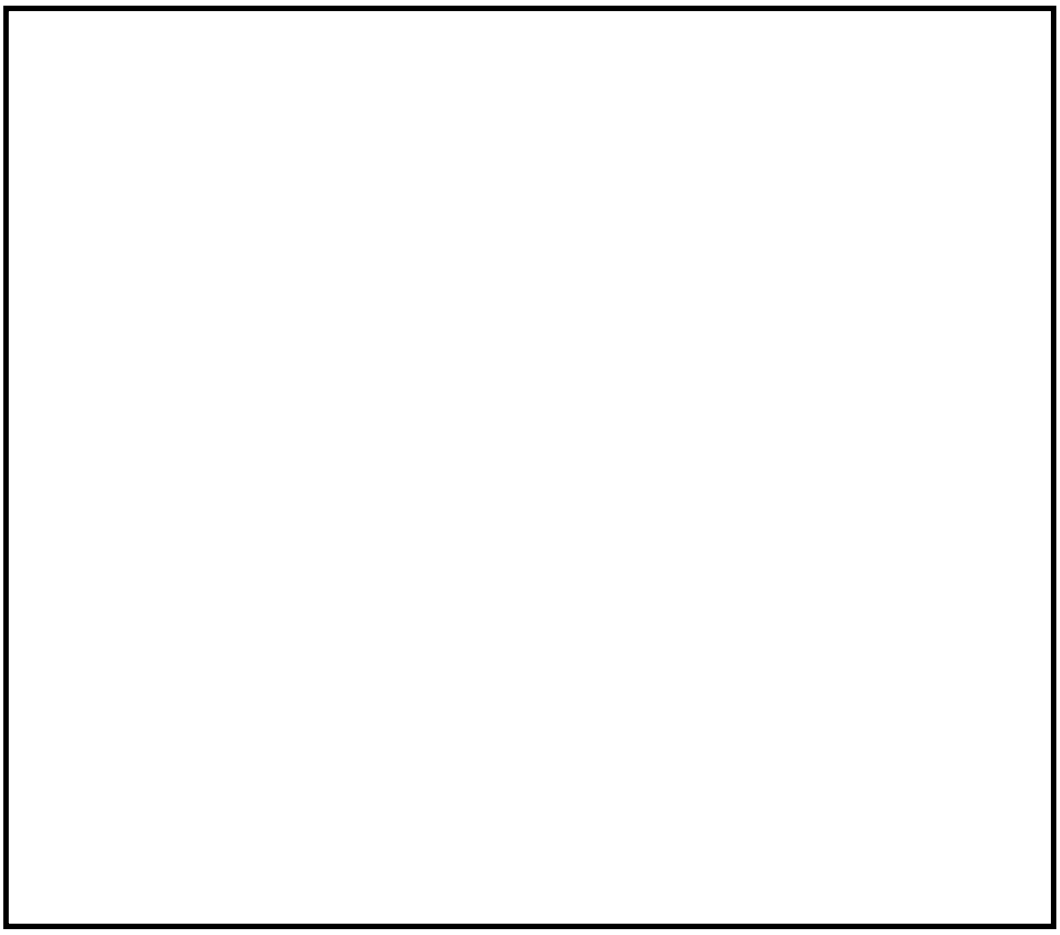


図 3-1　振動モード（１次モード　水平方向　0.086ｓ）

NT2 補③ Ⅴ-2-5-5-2-1 R1

3.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表3-8に示す。

「弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度」及び「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 3-8　設計用地震力

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$		減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平	鉛直
[redacted] EL. －4.0*1	0.086	0.05 以下*2	C_H＝0.58 又は＊3	C_V＝0.48	C_H＝0.87 又は＊4	C_V＝0.90	1.0	－

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

＊3：弾性設計用地震動Ｓ$_d$に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

＊4：基準地震動Ｓ$_s$に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

低圧炉心スプレイ系ポンプの地震後の動的機能維持評価について，以下に示す。

低圧炉心スプレイ系ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	ピットバレル形ポンプ	水平	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形ころがり軸受電動機	水平	2.5
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

低圧炉心スプレイ系ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

低圧炉心スプレイ系ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	最高使用圧力 (MPa)	
			水平方向	水平方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸込側	吐出側
低圧炉心スプレイ系ポンプ	S	EL. −4.0*1	0.086	0.05 以下*2	C_H=0.58 又は*3	C_V=0.48	C_H=0.87 又は*4	C_V=0.90	C_p=0.05	100	[redacted]	0.76	3.97

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

*3：弾性設計用地震動S_dに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

*4：基準地震動S_sに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}	M_p (N·mm)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)
基礎ボルト (i=1)	[redacted]			8	8	−	206*2	385*2	206	247
ポンプ取付ボルト (i=2)				40	40	1.194×10^7	685*1	847*1	592	592
原動機台取付ボルト (i=3)				8	8	1.194×10^7	194*1	373*1	194	232
原動機取付ボルト (i=4)				8	8	1.194×10^7	206*2	385*2	206	247

注記 *1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
Hp=[redacted]	N=[redacted]

(2) バレルケーシング，コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	−	194*	373*	1072.0	14.0
コラムパイプ	−	194*	373*	363.6	28.0

注記 *：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部　　材	M_i (N・mm)		F_{bi} (N)		Q_{bi} (N)	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)						
ポンプ取付ボルト (i=2)						
原動機台取付ボルト (i=3)						
原動機取付ボルト (i=4)						

(2) バレルケーシング，コラムパイプに作用する力

部材	M (N・mm)	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
バレルケーシング		
コラムパイプ		

1.4 結論

1.4.1 固有周期

モード	固有周期(s)	卓越方向
1次	0.086	水平

1.4.2 ボルトの応力　　(単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	f_{ts1}=154*	σ_{b1}=12	f_{ts1}=185*
		せん断	τ_{b1}= 9	f_{sb1}=118	τ_{b1}=12	f_{sb1}=142
ポンプ取付ボルト		引張り	σ_{b2}= 3	f_{ts2}=444*	σ_{b2}= 9	f_{ts2}=444*
		せん断	τ_{b2}= 4	f_{sb2}=342	τ_{b2}= 5	f_{sb2}=342
原動機台取付ボルト		引張り	σ_{b3}=13	f_{ts3}=145*	σ_{b3}=29	f_{ts3}=174*
		せん断	τ_{b3}= 9	f_{sb3}=112	τ_{b3}=13	f_{sb3}=134
原動機取付ボルト		引張り	σ_{b4}= 7	f_{ts4}=154*	σ_{b4}=20	f_{ts4}=185*
		せん断	τ_{b4}= 9	f_{sb4}=118	τ_{b4}=11	f_{sb4}=142

すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{tsi}=Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

1.4.3 バレルケーシング，コラムパイプの応力　　(単位：MPa)

部　　材	材料		一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動S_d又は静的震度	29	194
		基準地震動S_s	29	223
コラムパイプ		弾性設計用地震動S_d又は静的震度	27	194
		基準地震動S_s	34	223

すべて許容応力以下である。

1.4.4 動的機能維持の評価結果

1.4.4.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.72*1	10.0
	鉛直方向	0.75*2	1.0
原動機	水平方向	0.72*1	2.5
	鉛直方向	0.75*2	1.0

注記 ＊1：水平方向評価用加速度はコラム先端の応答加速度又は1.0ZPAのうちいずれか大きい値。
＊2：鉛直方向評価用加速度は1.0ZPA。

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5　その他の機器要目

(1)　節点データ

節点番号	節点座標（mm）		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			
83			
84			
85			
86			
87			

(2)　要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
1	1-2	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
2	2-3	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
3	3-4	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
4	4-5	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
5	5-6	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
6	6-7	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
7	7-8	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
8	8-9	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
9	9-10	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
10	10-11	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
11	11-12	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
12	12-13	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
13	13-14	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
14	14-15	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
15	15-16	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
16	16-17	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
17	17-18	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
18	18-19	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
19	19-20	1		6.397×10^{7}	1.279×10^{8}
20	20-21	1		2.833×10^{7}	5.667×10^{7}
21	21-22	1		2.833×10^{7}	5.667×10^{7}
22	22-23	1		2.833×10^{7}	5.667×10^{7}
23	23-24	1		3.217×10^{7}	6.434×10^{7}
24	24-25	1		3.217×10^{7}	6.434×10^{7}
25	25-26	4		3.230×10^{8}	6.459×10^{8}
26	26-27	6		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
27	27-28	6		5.153×10^{7}	1.031×10^{8}
28	28-29	6		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
29	30-31	2		1.971×10^{8}	3.943×10^{8}
30	31-32	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
31	32-33	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
32	33-34	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
33	34-35	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
34	35-36	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
35	36-37	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
36	37-38	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
37	38-39	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
38	39-40	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
39	40-41	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
40	41-42	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
41	42-43	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
42	43-44	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
43	44-45	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
44	45-46	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
45	46-47	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
46	47-48	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
47	48-49	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
48	49-50	3		6.637×10^{8}	1.327×10^{9}
49	50-51	3		6.637×10^{8}	1.327×10^{9}

（続き）

断面特性番号 （要素番号）	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
50	51-52	3		6.637×10^{8}	1.327×10^{9}
51	52-53	3		6.637×10^{8}	1.327×10^{9}
52	53-54	3		2.650×10^{8}	5.299×10^{8}
53	53-83	3		6.637×10^{8}	1.327×10^{9}
54	55-56	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
55	56-57	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
56	57-58	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
57	58-59	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
58	59-60	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
59	60-61	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
60	61-62	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
61	62-63	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
62	63-64	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
63	64-65	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
64	65-66	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
65	66-67	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
66	67-68	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
67	68-69	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
68	69-70	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
69	70-71	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
70	71-72	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
71	72-73	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
72	73-74	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
73	74-75	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
74	75-76	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
75	76-77	3		8.019×10^{9}	1.604×10^{10}
76	77-78	3		1.665×10^{10}	3.329×10^{10}
77	79-80	5		2.478×10^{12}	4.956×10^{12}
78	80-81	3		5.625×10^{11}	1.125×10^{12}
79	81-82	3		3.047×10^{10}	6.093×10^{10}
80	82-83	3		3.047×10^{10}	6.093×10^{10}
81	83-84	5		2.198×10^{10}	4.396×10^{10}
82	84-85	6		9.513×10^{9}	1.903×10^{10}
83	85-86	6		9.513×10^{9}	1.903×10^{10}
84	86-87	6		1.293×10^{10}	2.587×10^{10}

(3)　ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
2	32	
4	34	
6	36	
8	38	
10	40	
12	42	
14	44	
16	46	
18	48	
24	54	
27	85	
28	86	
31	58	
28	86	
78	80	
78	80	

(4)　節点の質量

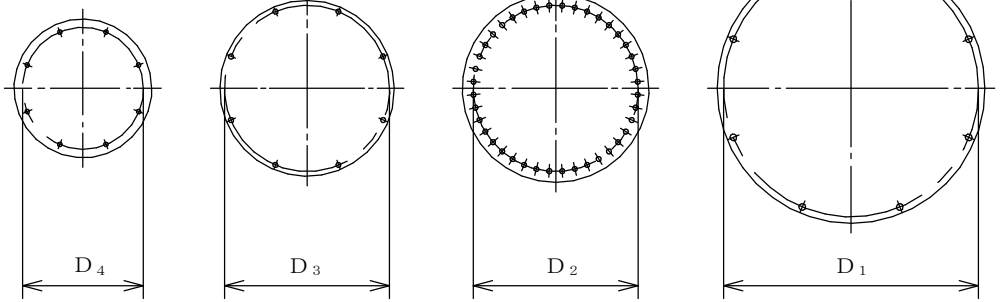
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	

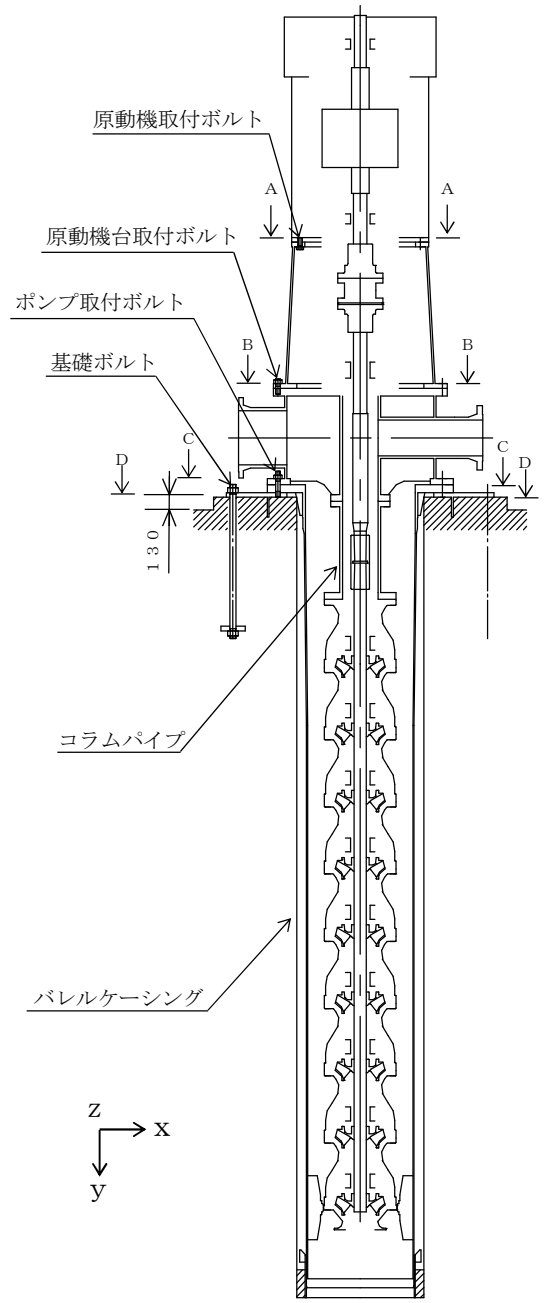
(続き)

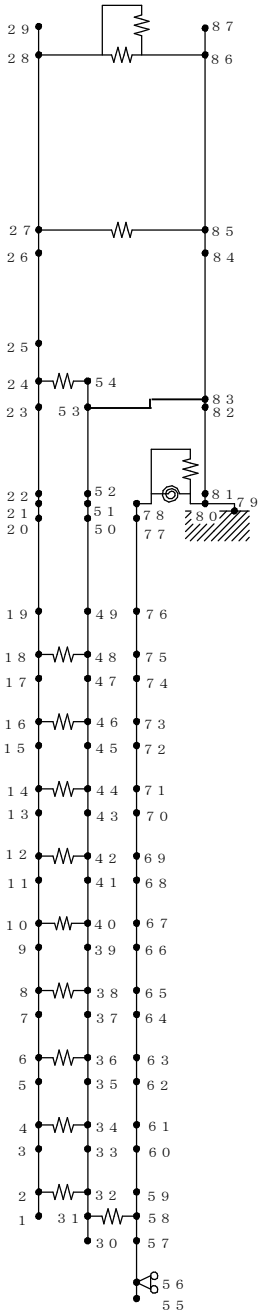
節点番号	質量 (kg)
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	
87	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm^3)	ポアソン比 (－)	材質	部位
1	100	1.96×10^5		0.3		ポンプ
2	100	1.97×10^5		0.3		ポンプ
3	100	1.98×10^5		0.3		ポンプ
4		1.99×10^5		0.3		原動機
5		2.00×10^5		0.3		原動機
6		1.99×10^5		0.3		原動機


原動機取付ボルト
原動機台取付ボルト
ポンプ取付ボルト
基礎ボルト
D4
D3
D2
D1
A～A矢視図
B～B矢視図
C～C矢視図
D～D矢視図


原動機取付ボルト
原動機台取付ボルト
ポンプ取付ボルト
基礎ボルト
A
B
C
D
130
コラムパイプ
バレルケーシング
z
x
y



2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度(℃)	周囲環境温度(℃)	最高使用圧力(MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸込側	吐出側
低圧炉心スプレイ系ポンプ	常設／防止	[redacted] EL. −4.0*1	0.086	0.05 以下*2	−	−	C_H=0.87 又は*3	C_V=0.90	C_p=0.05	148	[redacted]	0.76	3.97

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

*3：基準地震動S_sに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	n_{fi}	M_p (N·mm)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)
基礎ボルト (i=1)	[redacted]			8	8	−	206*2	385*2	−	247
ポンプ取付ボルト (i=2)				40	40	1.194×10^7	654*1	847*1	−	592
原動機台取付ボルト (i=3)				8	8	1.194×10^7	181*1	373*1	−	217
原動機取付ボルト (i=4)				8	8	1.194×10^7	206*2	385*2	−	247

注記 *1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min⁻¹)
Hp= [redacted]	N= [redacted]

(2) バレルケーシング，コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	−	181*	373*	1072.0	14.0
コラムパイプ	−	181*	373*	363.6	28.0

注記 *：最高使用温度で算出

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M_i (N・mm)		F_{bi} (N)		Q_{bi} (N)	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	－		－		－	
ポンプ取付ボルト (i=2)	－		－		－	
原動機台取付ボルト (i=3)	－		－		－	
原動機取付ボルト (i=4)	－		－		－	

(2) バレルケーシング，コラムパイプに作用する力

部材	M (N・mm)	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
バレルケーシング	－	
コラムパイプ	－	

2.4 結論

2.4.1 固有周期

モード	固有周期(s)	卓越方向
1次	0.086	水平

2.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_{b1}=12$	$f_{ts1}=185^*$
		せん断	－	－	$\tau_{b1}=12$	$f_{sb1}=142$
ポンプ取付ボルト		引張り	－	－	$\sigma_{b2}=9$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	－	－	$\tau_{b2}=5$	$f_{sb2}=342$
原動機台取付ボルト		引張り	－	－	$\sigma_{b3}=29$	$f_{ts3}=163^*$
		せん断	－	－	$\tau_{b3}=13$	$f_{sb3}=125$
原動機取付ボルト		引張り	－	－	$\sigma_{b4}=20$	$f_{ts4}=185^*$
		せん断	－	－	$\tau_{b4}=11$	$f_{sb4}=142$

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

2.4.3 バレルケーシング，コラムパイプの応力

(単位：MPa)

部材	材料		一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動S_d又は静的震度	－	－
		基準地震動S_s	29	223
コラムパイプ		弾性設計用地震動S_d又は静的震度	－	－
		基準地震動S_s	34	223

すべて許容応力以下である。

2.4.4　動的機能維持の評価結果

2.4.4.1　機能確認済加速度との比較　　(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.72*1	10.0
	鉛直方向	0.75*2	1.0
原動機	水平方向	0.72*1	2.5
	鉛直方向	0.75*2	1.0

注記　＊1：水平方向評価用加速度はコラム先端の応答加速度又は1.0ZPAのうちいずれか大きい値。
　　＊2：鉛直方向評価用加速度は1.0ZPA。

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2.5　その他の機器要目

(1)　節点データ

節点番号	節点座標（mm）		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			
83			
84			
85			
86			
87			

(2)　要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
1	1-2	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
2	2-3	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
3	3-4	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
4	4-5	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
5	5-6	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
6	6-7	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
7	7-8	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
8	8-9	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
9	9-10	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
10	10-11	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
11	11-12	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
12	12-13	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
13	13-14	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
14	14-15	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
15	15-16	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
16	16-17	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
17	17-18	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
18	18-19	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
19	19-20	1		6.397×10^{7}	1.279×10^{8}
20	20-21	1		2.833×10^{7}	5.667×10^{7}
21	21-22	1		2.833×10^{7}	5.667×10^{7}
22	22-23	1		2.833×10^{7}	5.667×10^{7}
23	23-24	1		3.217×10^{7}	6.434×10^{7}
24	24-25	1		3.217×10^{7}	6.434×10^{7}
25	25-26	4		3.230×10^{8}	6.459×10^{8}
26	26-27	6		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
27	27-28	6		5.153×10^{7}	1.031×10^{8}
28	28-29	6		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
29	30-31	2		1.971×10^{8}	3.943×10^{8}
30	31-32	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
31	32-33	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
32	33-34	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
33	34-35	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
34	35-36	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
35	36-37	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
36	37-38	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
37	38-39	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
38	39-40	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
39	40-41	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
40	41-42	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
41	42-43	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
42	43-44	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
43	44-45	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
44	45-46	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
45	46-47	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
46	47-48	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
47	48-49	2		1.807×10^{9}	3.614×10^{9}
48	49-50	3		6.637×10^{8}	1.327×10^{9}
49	50-51	3		6.637×10^{8}	1.327×10^{9}

（続き）

断面特性番号 （要素番号）	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
50	51-52	3		6.637×10^{8}	1.327×10^{9}
51	52-53	3		6.637×10^{8}	1.327×10^{9}
52	53-54	3		2.650×10^{8}	5.299×10^{8}
53	53-83	3		6.637×10^{8}	1.327×10^{9}
54	55-56	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
55	56-57	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
56	57-58	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
57	58-59	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
58	59-60	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
59	60-61	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
60	61-62	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
61	62-63	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
62	63-64	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
63	64-65	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
64	65-66	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
65	66-67	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
66	67-68	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
67	68-69	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
68	69-70	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
69	70-71	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
70	71-72	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
71	72-73	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
72	73-74	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
73	74-75	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
74	75-76	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
75	76-77	3		8.019×10^{9}	1.604×10^{10}
76	77-78	3		1.665×10^{10}	3.329×10^{10}
77	79-80	5		2.478×10^{12}	4.956×10^{12}
78	80-81	3		5.625×10^{11}	1.125×10^{12}
79	81-82	3		3.047×10^{10}	6.093×10^{10}
80	82-83	3		3.047×10^{10}	6.093×10^{10}
81	83-84	5		2.198×10^{10}	4.396×10^{10}
82	84-85	6		9.513×10^{9}	1.903×10^{10}
83	85-86	6		9.513×10^{9}	1.903×10^{10}
84	86-87	6		1.293×10^{10}	2.587×10^{10}

(3)　ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
2	32	
4	34	
6	36	
8	38	
10	40	
12	42	
14	44	
16	46	
18	48	
24	54	
27	85	
28	86	
31	58	
28	86	
78	80	
78	80	

(4)　節点の質量

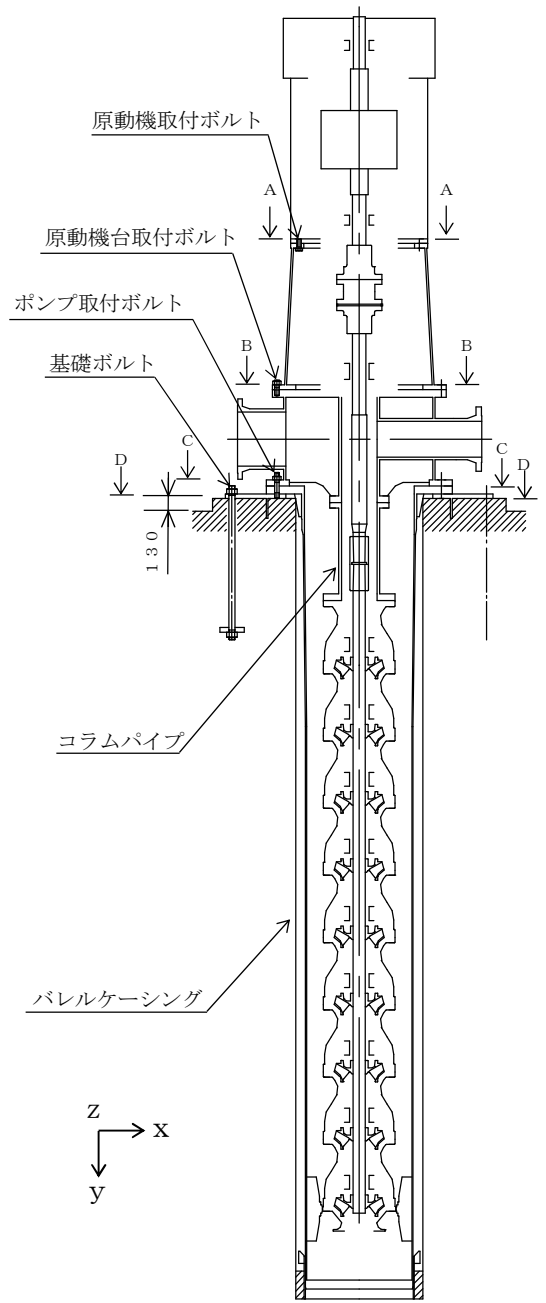
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	

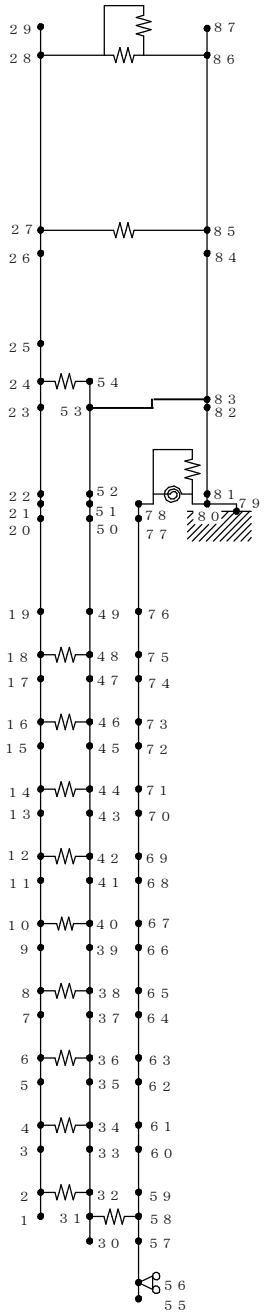
(続き)

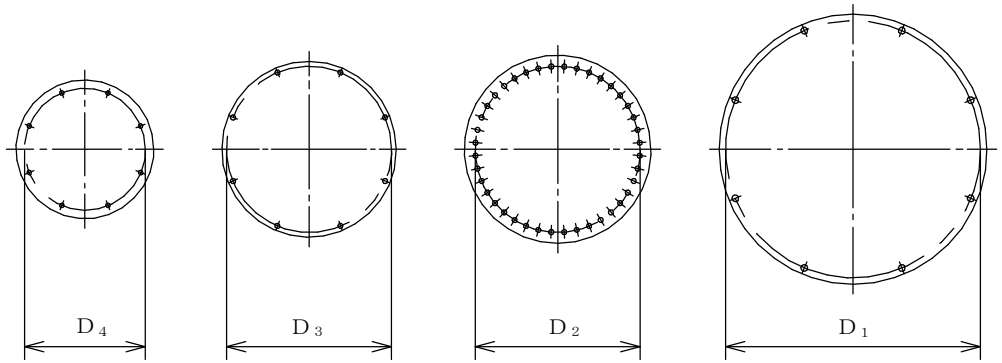
節点番号	質量 (kg)
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	
87	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm^3)	ポアソン比 (－)	材質	部位
1	148	1.92×10^5		0.3		ポンプ
2	148	1.93×10^5		0.3		ポンプ
3	148	1.95×10^5		0.3		ポンプ
4		1.99×10^5		0.3		原動機
5		2.00×10^5		0.3		原動機
6		1.99×10^5		0.3		原動機







A～A矢視図　B～B矢視図　C～C矢視図　D～D矢視図

Ⅴ-2-5-5-2-2　低圧炉心スプレイ系ストレーナの耐震性についての計算書

1. 概要

本計算書では，低圧炉心スプレイ系ストレーナの耐震性について説明するものである。

低圧炉心スプレイ系ストレーナは残留熱除去系ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ストレーナと同様の形状を有しており，解析モデルや評価条件については同等である。また，添付書類「Ⅴ-2-5-4-1-3　残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」において，ストレーナの解析モデルを用いた耐震性の評価を実施しており，その荷重については上記のストレーナで最大となる値を用いている。

以上より，本計算書の評価結果については，添付書類「Ⅴ-2-5-4-1-3　残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」による。

Ⅴ-2-5-5-2-3　管の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 ····· 2
2.1　概略系統図 ····· 2
2.2　鳥瞰図 ····· 4
3.　計算条件 ····· 17
3.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 17
3.2　設計条件 ····· 19
3.3　材料及び許容応力 ····· 35
3.4　設計用地震力 ····· 36
4.　解析結果及び評価 ····· 37
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 37
4.2　評価結果 ····· 55
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 55
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 57
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 58
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 59

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示す通りである。

(1)　管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全３モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2)　支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3)　弁

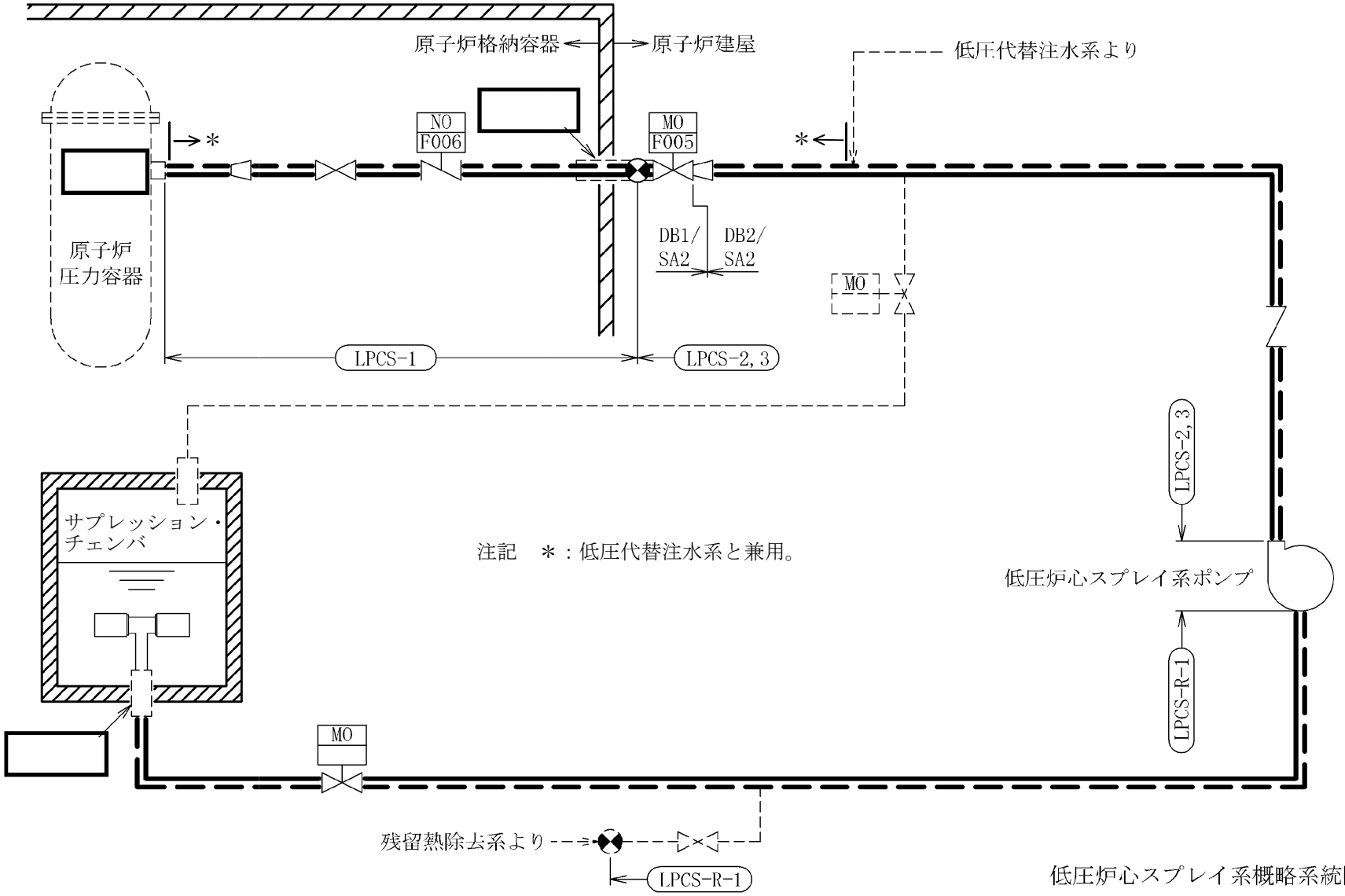
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

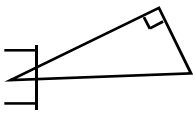
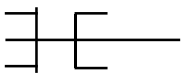
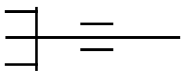
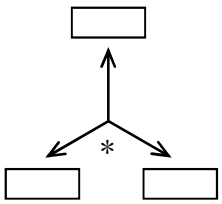
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管

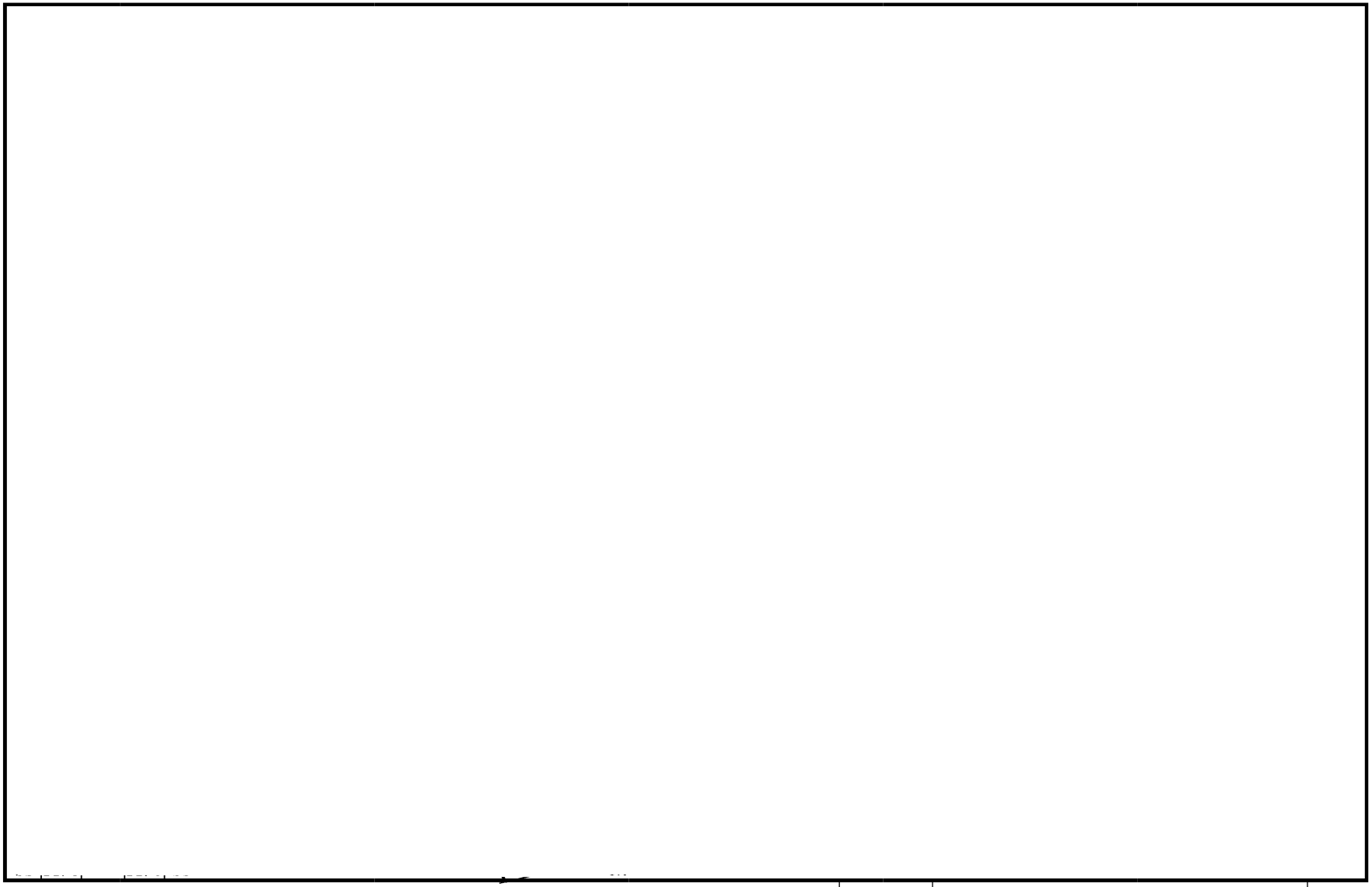


低圧炉心スプレイ系概略系統図

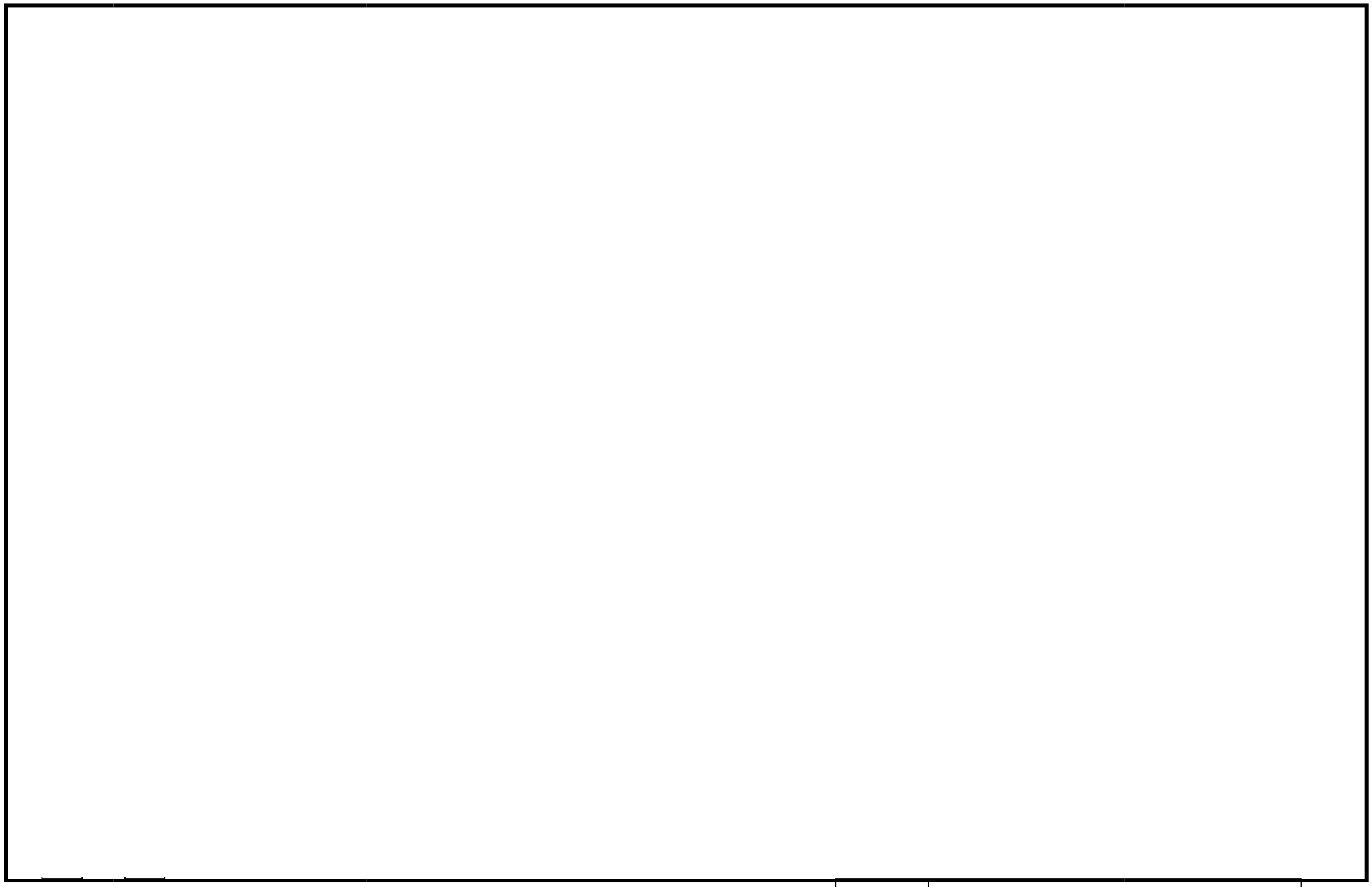
2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

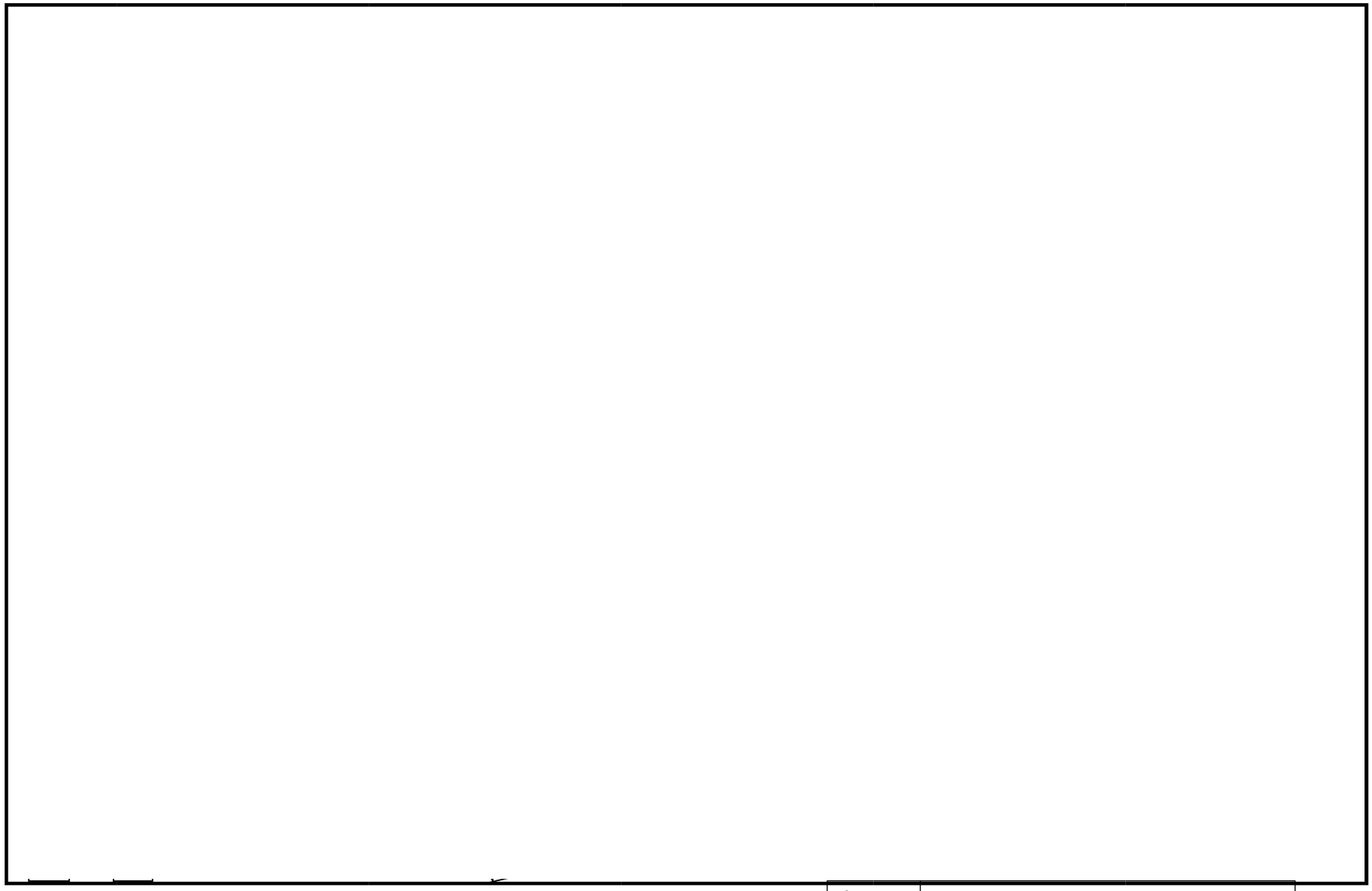
記　　号	内　　容
━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - -（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質　　点
	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。）
	注：　鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



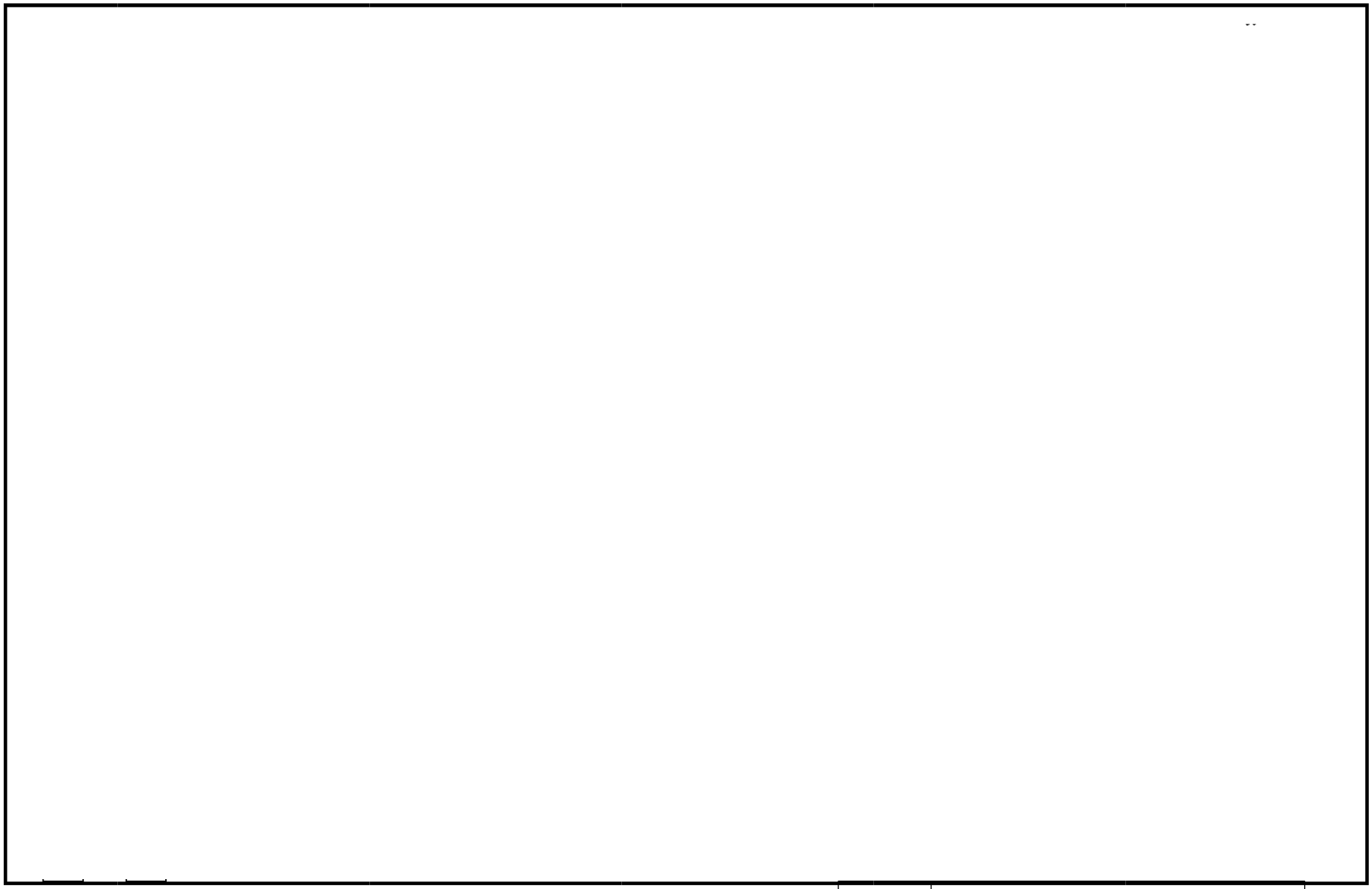
鳥瞰図	LPCS-1(DB)(1/2)



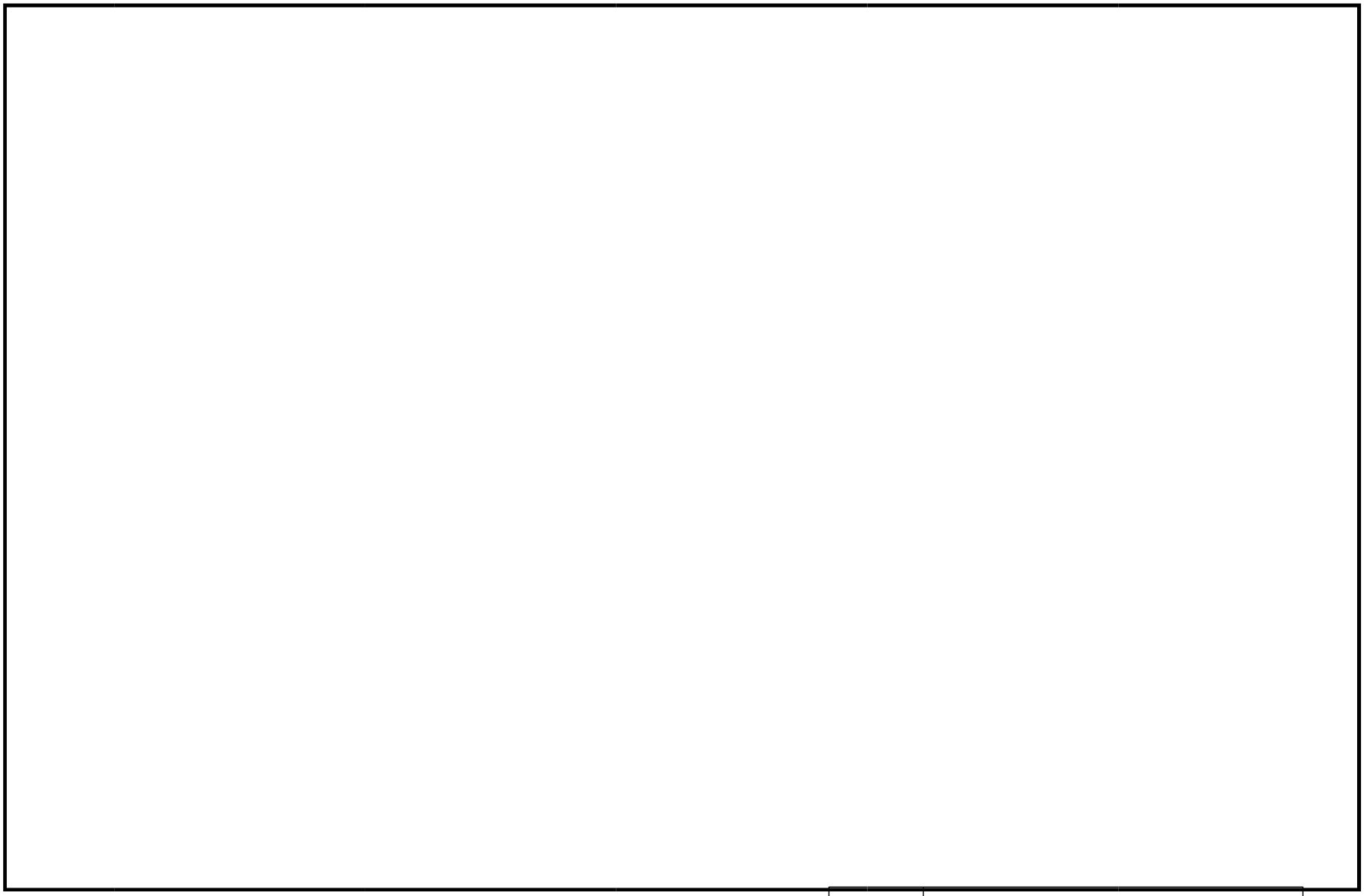
鳥瞰図	LPCS-1(DB)(2/2)



鳥瞰図	LPCS-1(SA)(1/2)

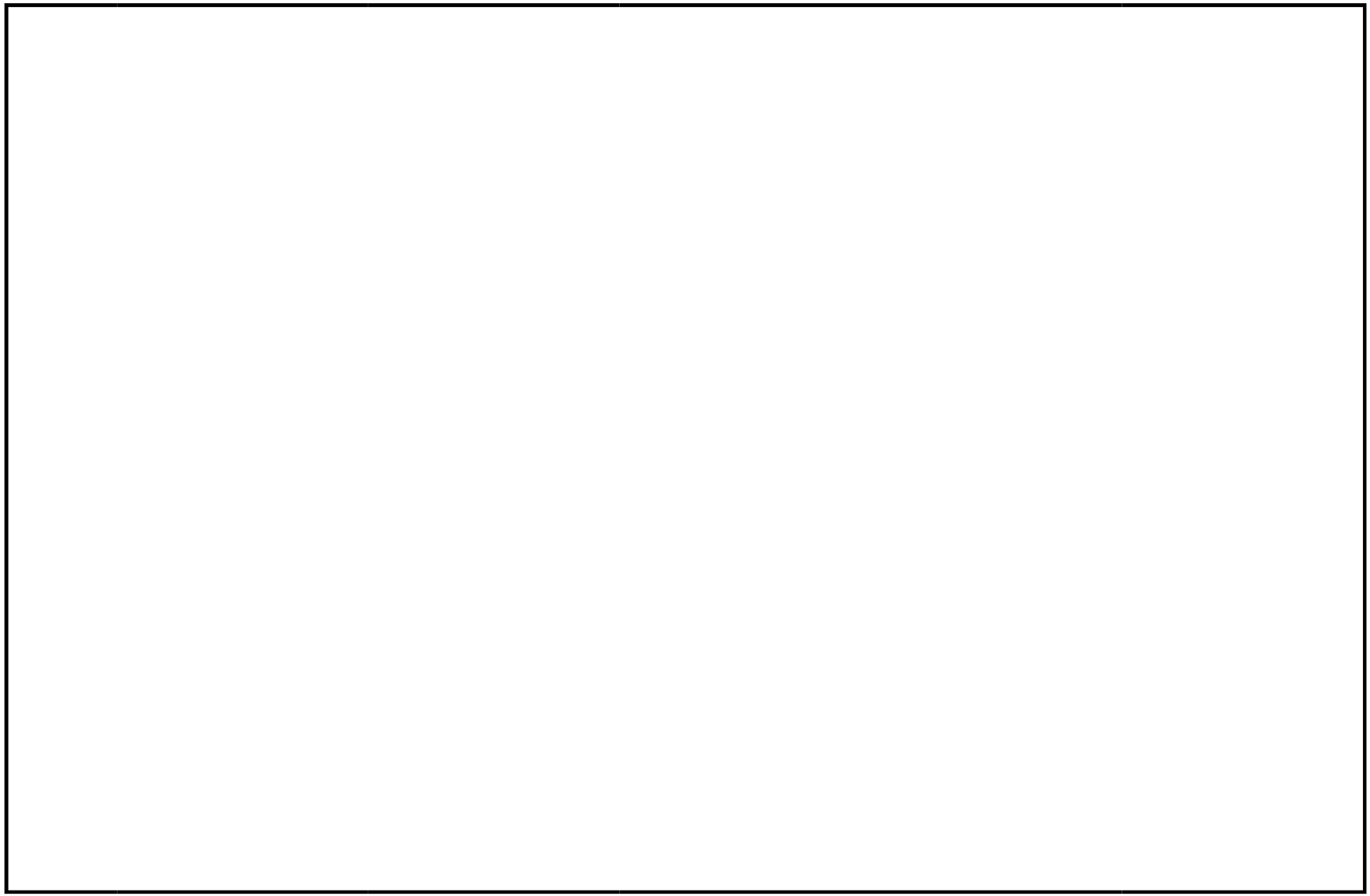


鳥瞰図	LPCS-1(SA)(2/2)

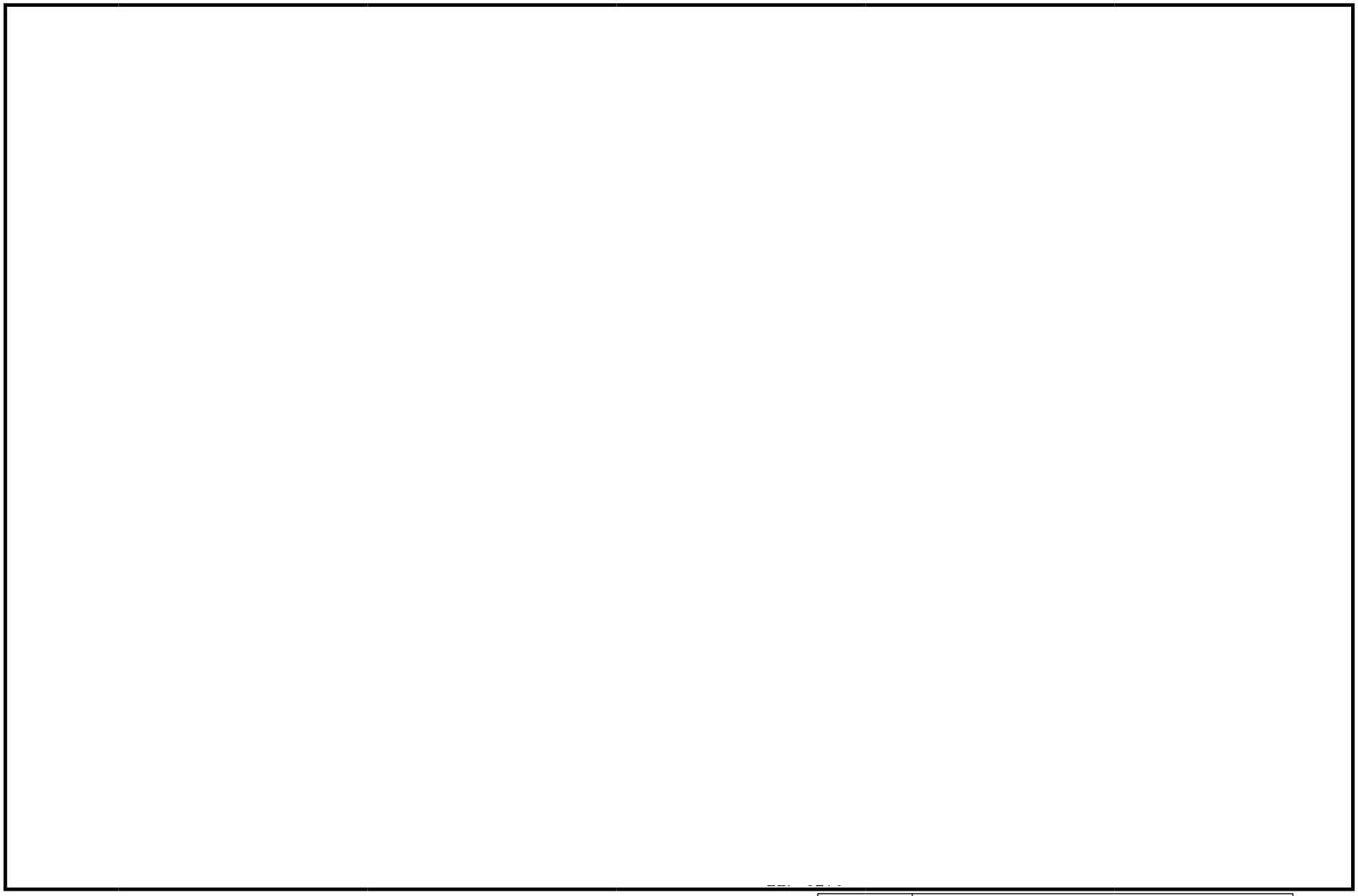


鳥瞰図	LPCS-2,3(DB)(1/3)

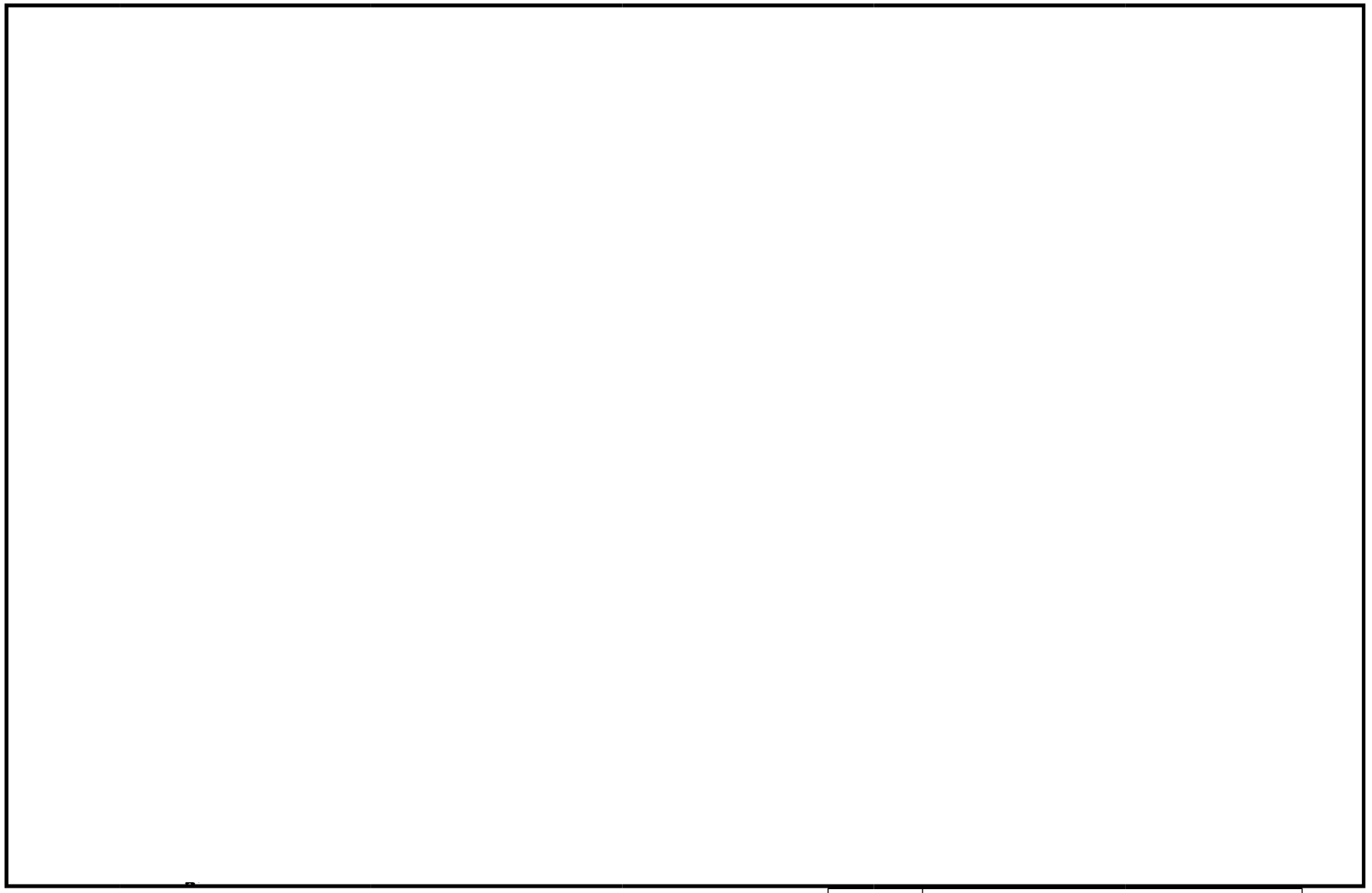
鳥瞰図	LPCS-2,3(DB)(2/3)



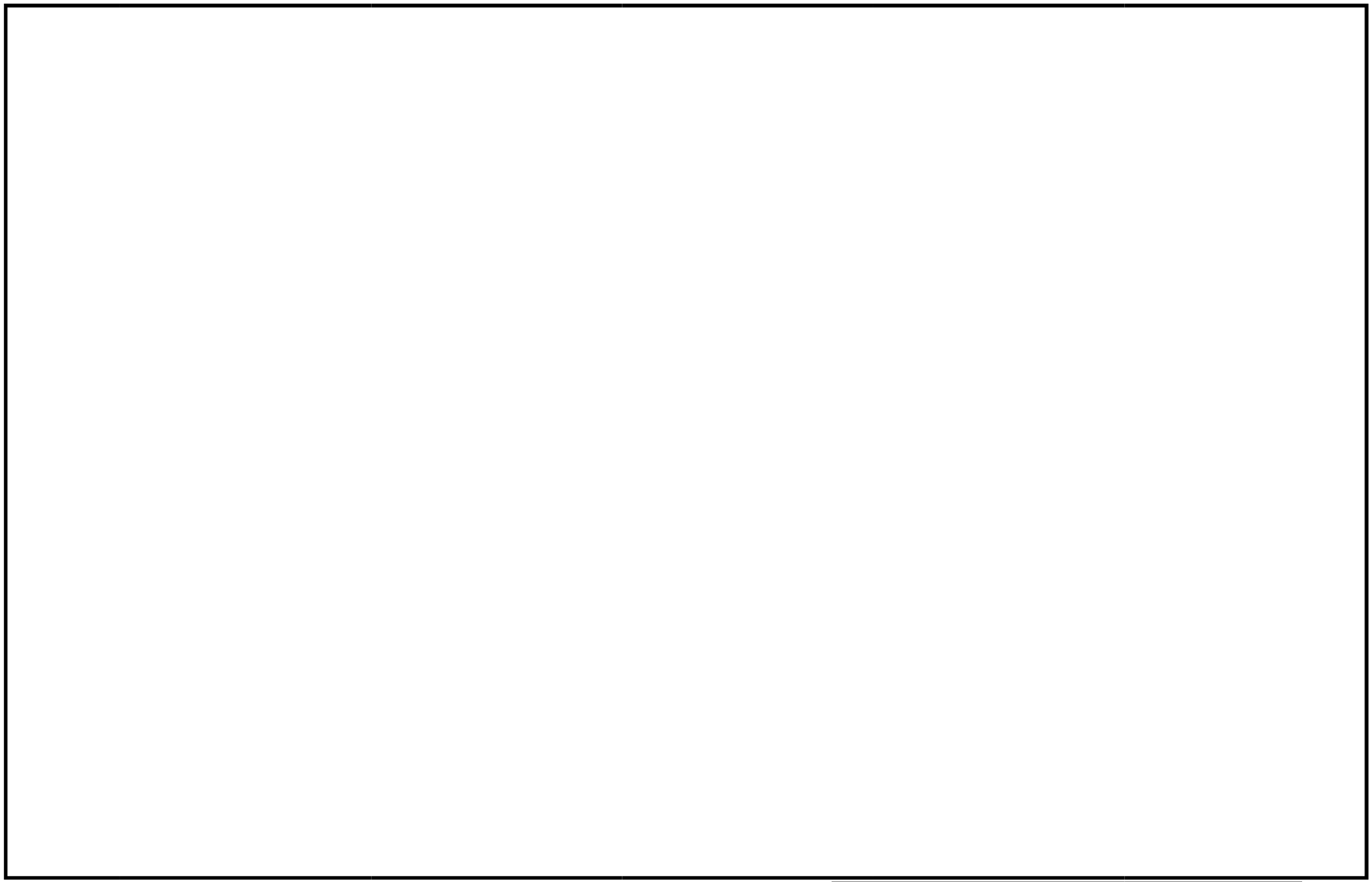
鳥瞰図	LPCS-2,3(DB)(3/3)



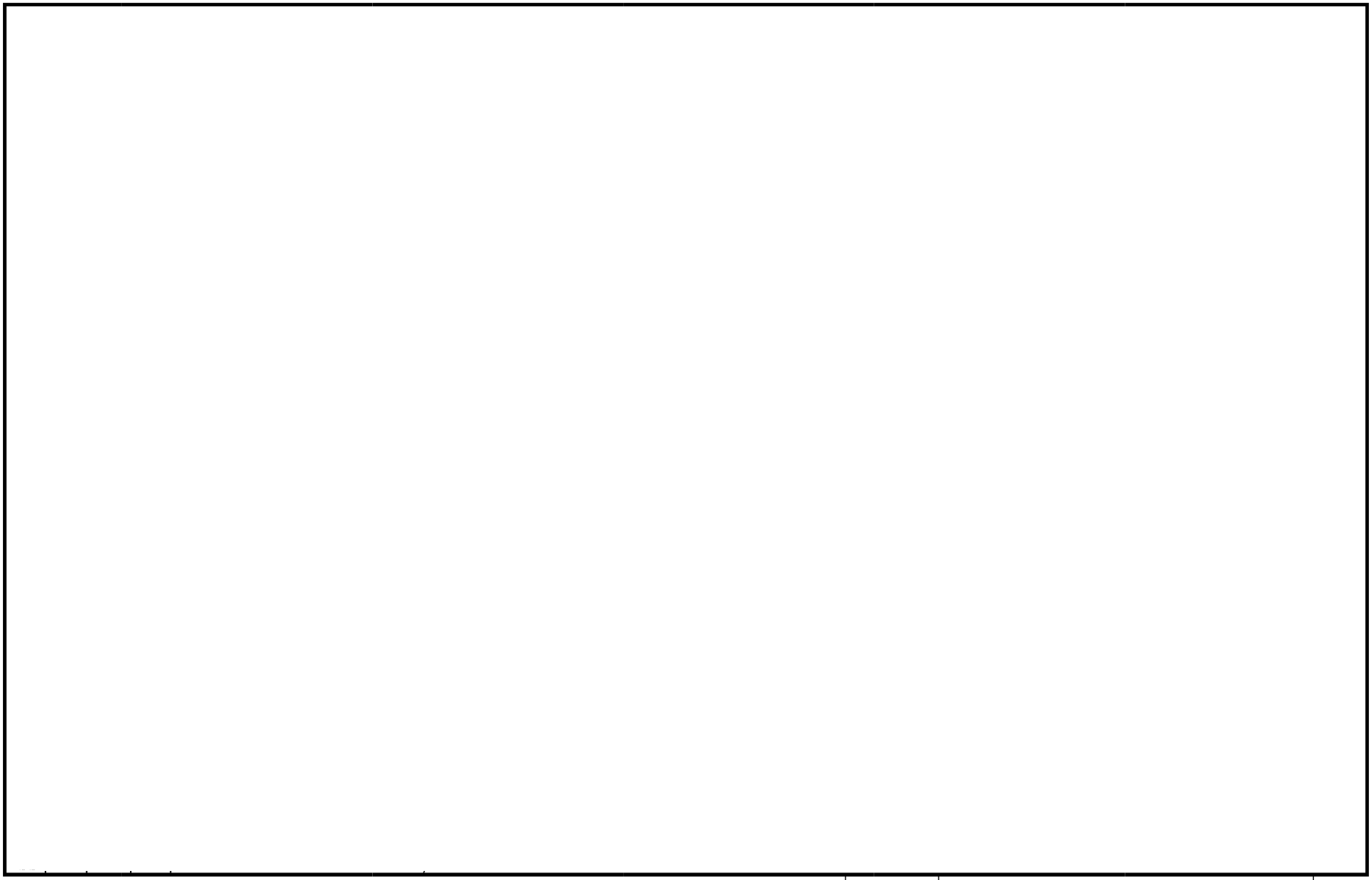
鳥瞰図	LPCS-2,3(SA)(1/3)



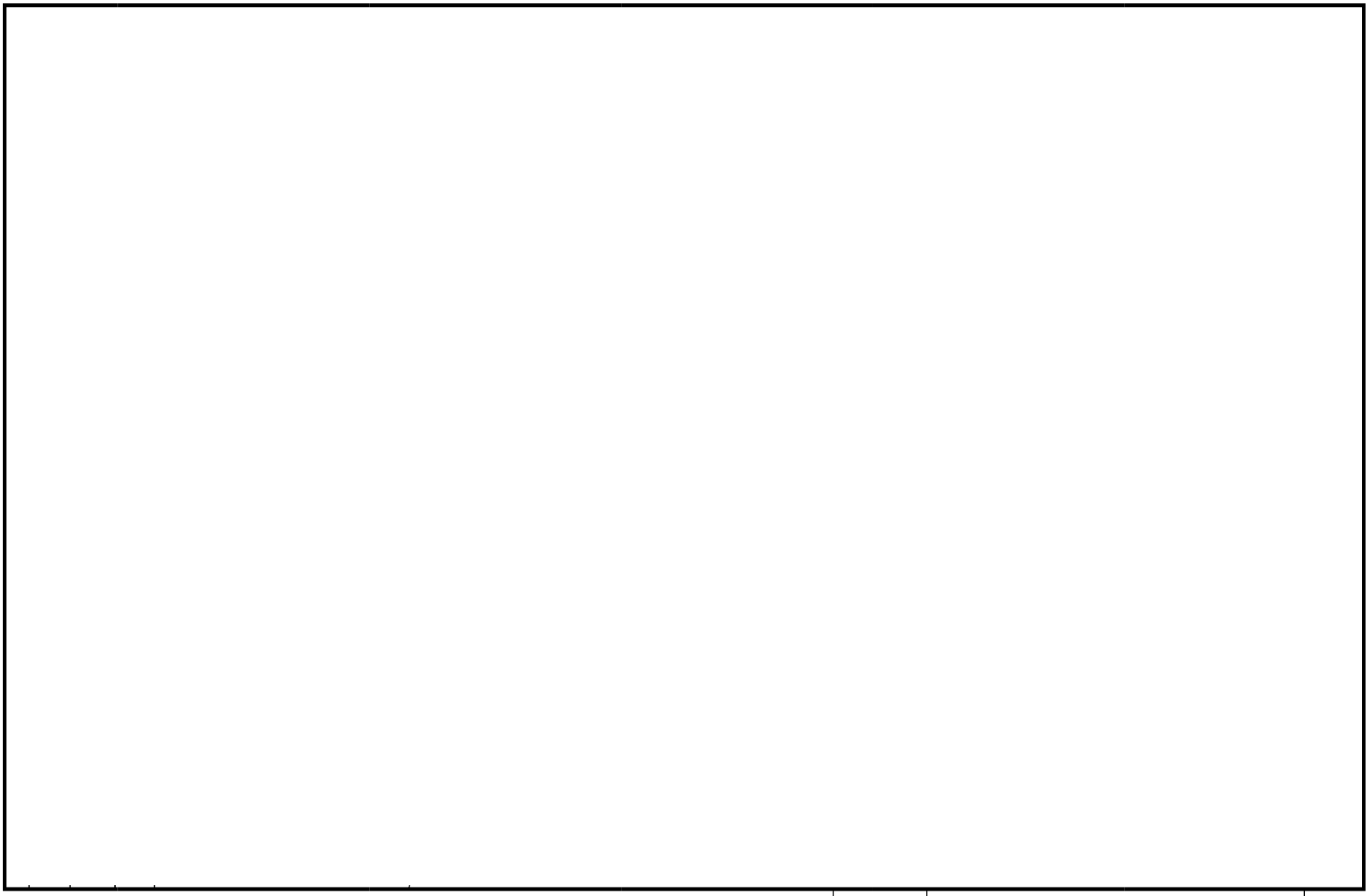
鳥瞰図	LPCS-2,3(SA)(2/3)



鳥瞰図	LPCS-2,3(SA)(3/3)



鳥瞰図	LPCS-R-1(DB)



鳥瞰図	LPCS-R-1(SA)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系	ＤＢ	—	クラス１管 クラス２管	Ｓ	I_L+S_d	III_AS
							II_L+S_d	
							$IV_L(L)+S_d$	
							I_L+S_s	IV_AS
							II_L+S_s	
			ＳＡ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２管	—	$V_L(L)+S_d$*6,7	V_AS
							$V_L(LL)+S_s$*6	
							V_L+S_s	
		低圧代替注水系	ＳＡ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２管	—	$V_L(L)+S_d$*6,7	V_AS
							$V_L(LL)+S_s$*6	
							V_L+S_s	

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	低圧代替注水系	ＳＡ	常設／緩和	重大事故等クラス２管	―	V_L（Ｌ）＋S_d*6,7	$V_A S$
							V_L（ＬＬ）＋S_s*6	
							V_L＋S_s	

注記　＊1：ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。
＊2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。
＊3：運転状態の添字Lは荷重，（Ｌ）は荷重が長期間作用している状態，（ＬＬ）は（Ｌ）より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。
＊4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。
＊5：許容応力状態$V_A S$は許容応力状態Ⅳ$_A$Ｓの許容限界を使用し，許容応力状態Ⅳ$_A$Ｓとして評価を実施する。
＊6：プロセス条件に加え，重大事故時の原子炉格納容器バウンダリ条件として，重大事故時の原子炉格納容器限界温度及び圧力を考慮する。
＊7：荷重の組合せV_L（Ｌ）＋S_dはV_L（ＬＬ）＋S_sに包絡されるため，評価を省略する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 LPCS-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～7	8.62	302	318.5	17.4		S	
2	7～15,15～21 21～27,27～31 32～36,38～39	8.62	302	318.5	17.4	STS49	S	
3	40～42N	8.62	302	267.4	15.1	STS49	S	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　LPCS-1

質量	対応する評価点
[redacted]	1A～7
	7～27
	27～31,32～36
	38～39
	40～42N

弁部の寸法

鳥　瞰　図　LPCS-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
31～32	[redacted]			36～38	[redacted]		

弁部の質量

鳥　瞰　図　LPCS-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	31～32	[redacted]	36～38

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　LPCS-1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
9						
** 17 **						
18						
** 18 **						
19						
26						
** 26 **						
33						
34						
** 35 **						
N9						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　LPCS-2,3

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N～6,7～71	4.14	148	406.4	12.7	SM50B	S	
2	74～75A	8.62	302	318.5	17.4		S	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　LPCS-2,3

質量	対応する評価点
[redacted]	74～75A

フランジ部の質量

鳥　瞰　図　LPCS-2,3

質量	対応する評価点
[redacted]	1N
[redacted]	24F,65F

弁部の寸法

鳥　瞰　図　LPCS-2,3

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
6～7				72～73			
73～7301				7301～7302			
73～74							

弁部の質量

鳥　瞰　図　LPCS-2,3

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	6～7	[redacted]	72,74
	73		7301
	7302		

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　LPCS-2,3

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
5						
9						
19						
28						
36						
40						
44						
48						
** 53 **						
54						
62						
75A						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　LPCS-R-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3～4,8～24N	0.70	148	609.6	9.5	SM41B	S	[redacted]

フランジ部の質量

鳥　瞰　図　LPCS-R-1

質量	対応する評価点
[redacted]	19F, 20F, 24N

弁部の寸法

鳥　瞰　図　LPCS-R-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
4～5	[redacted]			5～6	[redacted]		
6～7				5～8			

弁部の質量

鳥　瞰　図　LPCS-R-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	4,8	[redacted]	5
	6		7

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　LPCS-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
** 1N **						
** 1N **						
10						
15						
15						
1601						
22						
24N						

3.3　材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材　　料	最高使用温度 (℃)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
[redacted]	302	122	182	—	—
STS49	302	138	209	—	—
SM50B	148	—	273	441	—
SM41B	148	—	207	373	—

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
LPCS-1	原子炉しゃへい壁		
LPCS-2, 3			
LPCS-R-1			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 LPCS-1

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　LPCS-1

モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				

代表的振動モード図

振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

鳥瞰図	ＬＰＣＳ－１

鳥瞰図	ＬＰＣＳ－１

鳥瞰図	ＬＰＣＳ－１

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥　瞰　図　LPCS-2,3

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
11 次							
12 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

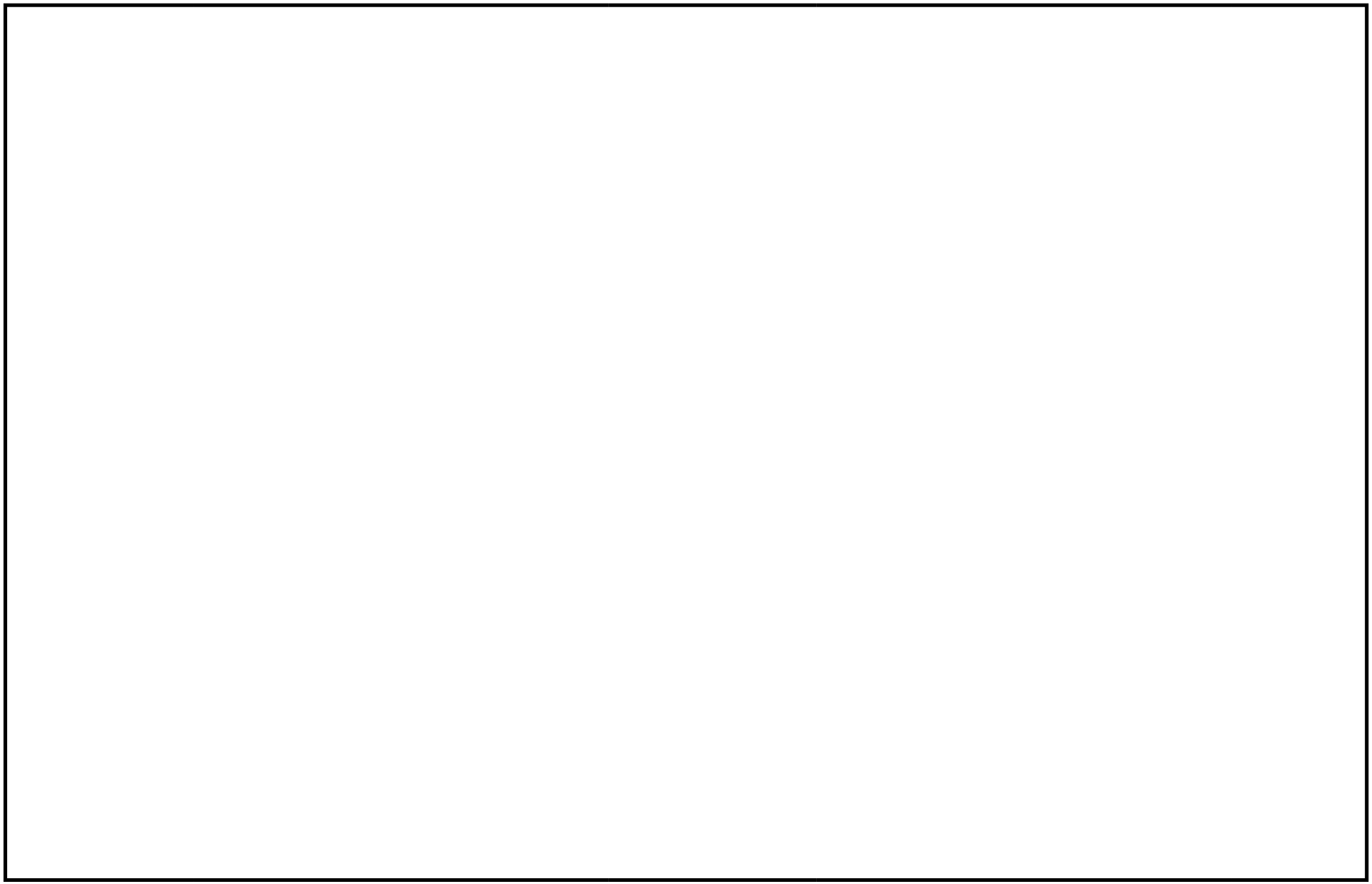
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　LPCS-2,3

モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
11 次				
12 次				

代表的振動モード図

振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



鳥瞰図	ＬＰＣＳ－２，３

鳥瞰図	ＬＰＣＳ－２，３

鳥瞰図	ＬＰＣＳ－２，３

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥　瞰　図　LPCS-R-1

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		Ｓｄ及び静的震度			Ｓｓ		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		Ｘ方向	Ｚ方向	Ｙ方向	Ｘ方向	Ｚ方向	Ｙ方向
次							
次							
3 次							
次							
次							
6 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

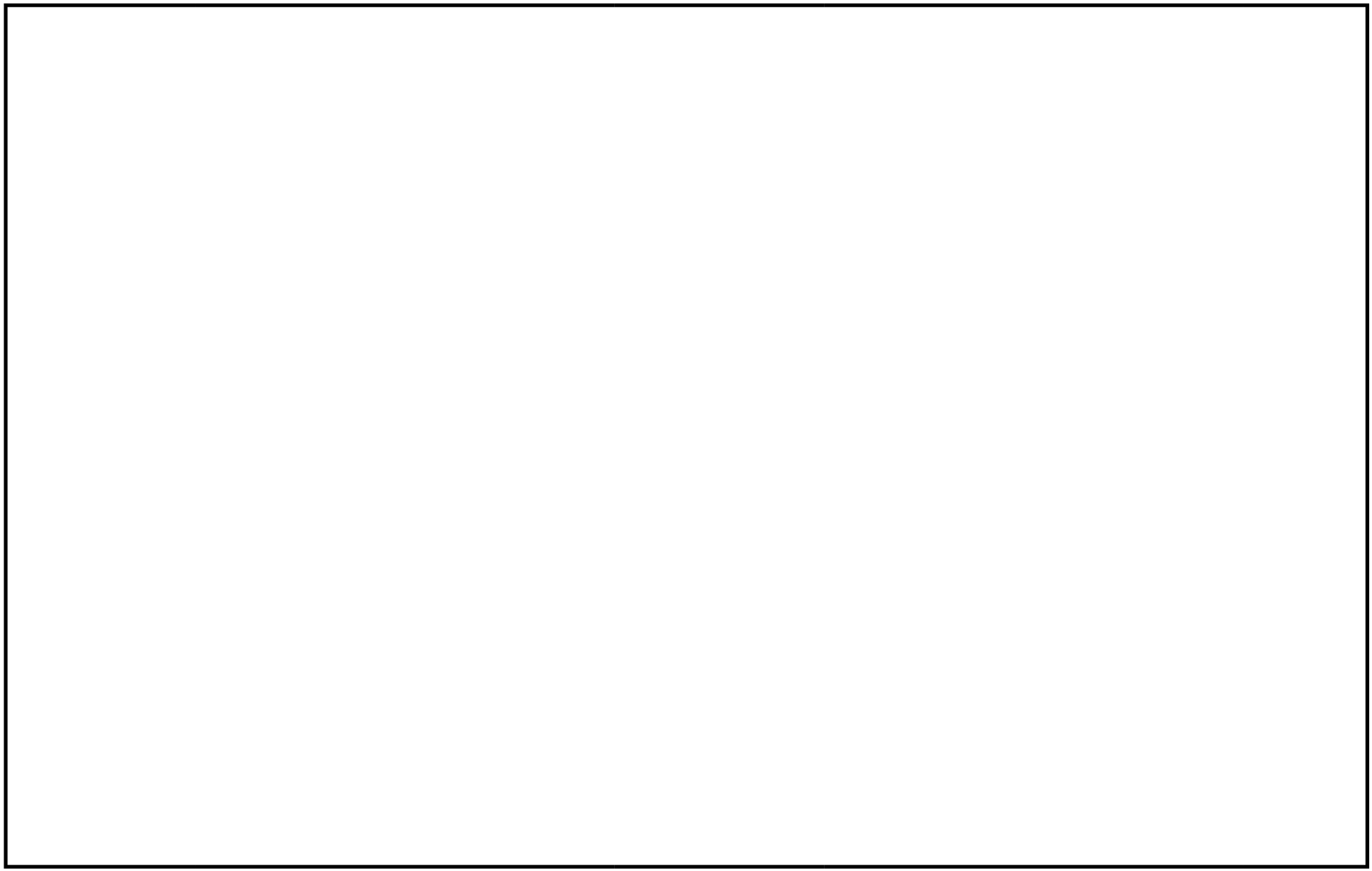
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　LPCS-R-1

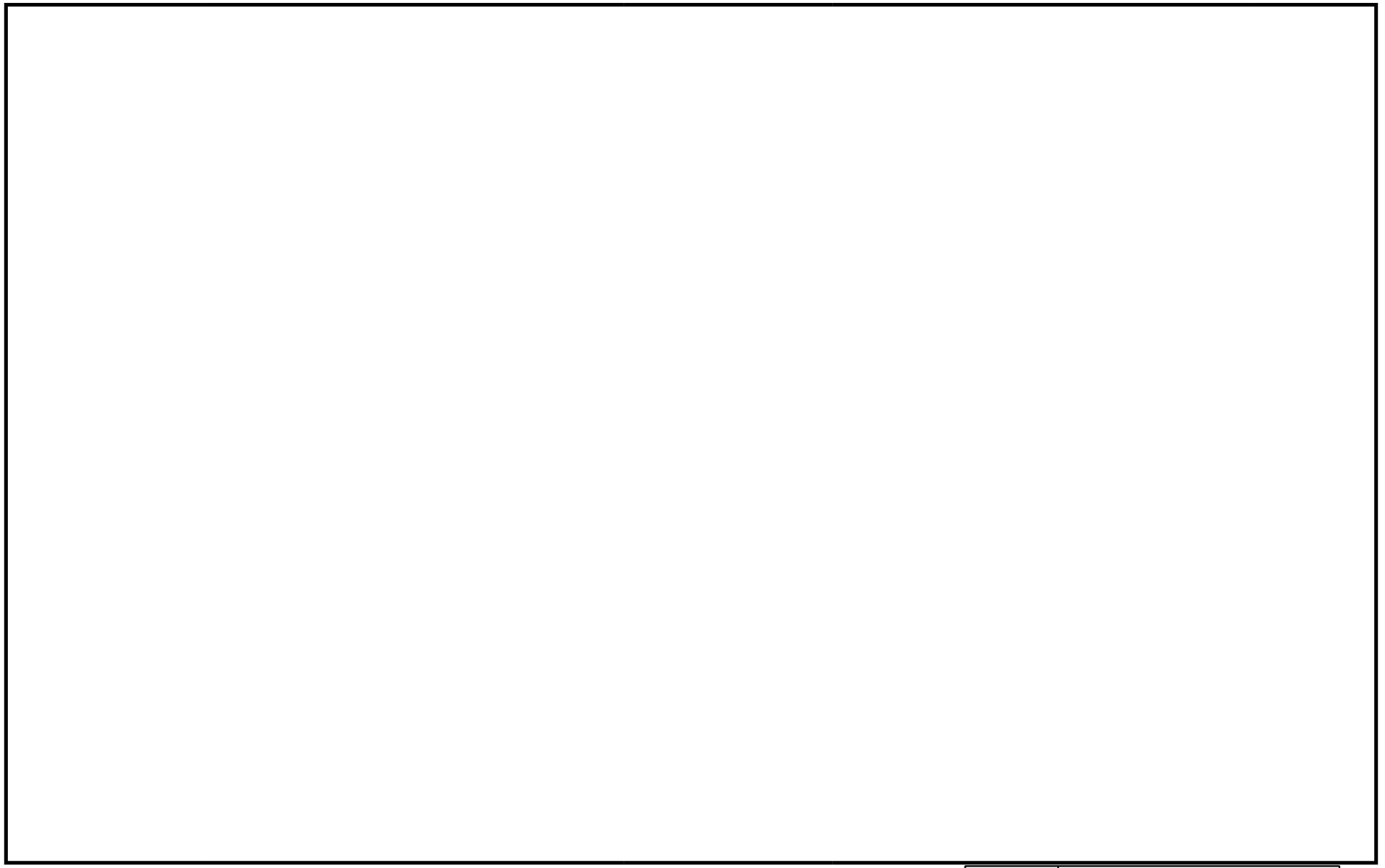
モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				

代表的振動モード図

振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



鳥瞰図	ＬＰＣＳ－Ｒ－１



鳥瞰図	ＬＰＣＳ－Ｒ－１

鳥瞰図	ＬＰＣＳ－Ｒ－１

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管であってクラス１管

鳥瞰図	許容応力状態（供用状態）	最大応力評価点	配管要素名称	最大応力区分	一次応力評価 (MPa)				一次＋二次応力評価 (MPa)		疲労評価
					一次応力 S_{prm}（S_d） S_{prm}（S_s）	許容応力 min（2.25S_m，1.8S_y） min(3S_m，2S_y)	ねじり応力 S_t（S_d） S_t（S_s）	許容応力 0.55S_m 0.73S_m	一次＋二次応力 S_n（S_s）	許容応力 3S_m	疲労累積係数 U＋US_s
LPCS-1	ⅢAS	28	BUTT WELD	S_{prm}（S_d）	108	310	—	—	—	—	—
LPCS-1	ⅢAS	8	ELBOW	S_t（S_d）	—	—	30	75	—	—	—
LPCS-1	ⅣAS	20	ELBOW	S_{prm}（S_s）	112	414	—	—	—	—	—
LPCS-1	ⅣAS	8	ELBOW	S_t（S_s）	—	—	53	100	—	—	—
LPCS-1	ⅣAS	8	ELBOW	S_n（S_s）	—	—	—	—	373	414	—
LPCS-1	ⅣAS	8	ELBOW	U＋US_s	—	—	—	—	—	—	0.0078

重大事故等クラス２管であってクラス２以下の管

鳥瞰図	許容応力状態（供用状態）	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価（MPa）		一次＋二次応力評価（MPa）		疲労評価
				計算応力 S_{prm}（S_d）S_{prm}（S_s）	許容応力 S_y* $0.9S_u$	計算応力 S_n（S_s）	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
LPCS-2,3	ⅢAS	30	S_{prm}（S_d）	117	273	—	—	—
LPCS-2,3	ⅣAS	30	S_{prm}（S_s）	150	396	—	—	—
LPCS-R-1	ⅣAS	13	S_n（S_s）	—	—	194	414	—

注記　＊：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，S_yと$1.2S_h$のうち大きい方とする。

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
SNO-LPCS-48	オイルスナッバ	SN-10	添付書類「V-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		60.6	150.0
RO-LPCS-48	ロッドレストレイント	RSA-6			91.5	108.0
SH-LPCS-50	スプリングハンガ	VS-1			13.1	17.6
CH-LPCS-7	コンスタントハンガ	CSH-33			19.0	19.7

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力（kN）			モーメント（kN・m）			応力分類	計算応力(MPa)	許容応力(MPa)
					F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
AN-LPCS-1	アンカ	ラグ	[redacted] SS41	302	61.2	88.0	92.5	102.0	119.0	79.3	組合せ	93	136
RE-LPCS-15	レストレイント	ラグ	SM41A	148	32.4	146.0	17.7	－	－	－	組合せ	48	63

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応力加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度＊ (×9.8 m/s^2)		機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
E21-F006	逆止め弁	β（S_d）	3.7	2.3	6.0	6.0	—	—
E21-F005	止め弁	β（S_d）	1.2	1.9	6.0	6.0	—	—

注記　＊：応答加速度は，打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果　（クラス１範囲）

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{III_AS}$					許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$											
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	LPCS-1	28	108	310	2.87	○	20	112	414	3.69	○	8	373	414	1.10	○	8	0.0078	○
2	LPCS-2，3	75A	86	274	3.18	－	75A	97	364	3.75	－	75A	67	366	5.46	－	74	0	－

注記　：$\mathrm{III_AS}$の一次＋二次応力の許容値は$\mathrm{IV_AS}$と同様であることから，地震荷重が大きい$\mathrm{IV_AS}$の一次＋二次応力裕度最小を代表とする。$\mathrm{IV_AS}$の計算応力は，$\mathrm{V_AS}$と$\mathrm{IV_AS}$の大きい方を記載している。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果　（クラス２範囲）

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{III_AS}$					許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$											
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	LPCS-2，3	30	117	273	2.33	○	30	150	396	2.64	○	30	153	546	3.56	－	－	－	－
2	LPCS-R-1	13	69	207	3.00	－	13	92	335	3.68	－	13	194	414	2.13	○	－	－	－

注記　：$\mathrm{III_AS}$の一次＋二次応力の許容値は$\mathrm{IV_AS}$と同様であることから，地震荷重が大きい$\mathrm{IV_AS}$の一次＋二次応力裕度最小を代表とする。$\mathrm{IV_AS}$の計算応力は，$\mathrm{V_AS}$と$\mathrm{IV_AS}$の大きい方を記載している。

Ⅴ-2-5-5-2-4　ストレーナ部ティーの耐震計算書（低圧炉心スプレイ系）

1. 概要

本計算書では，低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーの耐震性について説明するものである。

低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーは残留熱除去系ストレーナ部ティー及び高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーと同様の形状を有しており,評価条件については同等である。また，添付書類「Ⅴ-2-5-4-1-5　ストレーナ部ティーの耐震計算書（残留熱除去系)」において，ストレーナの解析モデルを用いた耐震性の評価を実施しており，その荷重条件については上記のストレーナで最大となる値を用いている。

以上より，本計算書の評価結果については，添付書類「Ⅴ-2-5-4-1-5　ストレーナ部ティーの耐震計算書（残留熱除去系)」による。

NT2 補③ Ⅴ-2-5-5-2-4 R0E

Ⅴ-2-5-5-3　原子炉隔離時冷却系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-5-5-3-1　原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
2.2 評価方針 3
2.3 適用基準 4
2.4 記号の説明 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 6
3. 評価部位 7
4. 地震応答解析及び構造強度評価 9
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 9
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 9
4.3 解析モデル及び諸元 15
4.4 固有周期 16
4.5 設計用地震力 17
4.6 計算方法 18
4.7 計算条件 25
4.8 応力の評価 25
5. 評価結果 25
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果 25
6. 引用文献 27

1. 概要

本計算書は，技術基準規則の解釈第 17 条 4 において記載される「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及び添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，原子炉隔離時冷却系ストレーナが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は原子炉隔離時冷却系ストレーナの応力評価により行う。

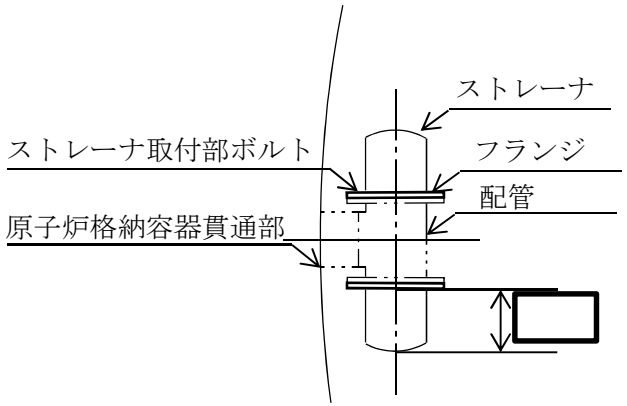
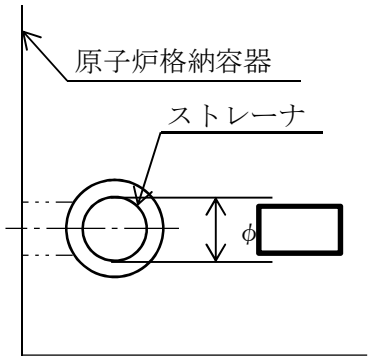
原子炉隔離時冷却系ストレーナは，重大事故等対処設備において常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却系ストレーナの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ストレーナはサプレッション・プール内に水没された状態で設置されており，原子炉格納容器貫通部に取り付けられたティーにフランジ及び取付ボルトにより据え付けられる。	円筒形	  （単位：mm）

2.2　評価方針

原子炉隔離時冷却系ストレーナの応力評価は，非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について(平成 20 年 2 月 27 日付け平成 20・02・12 原院第 5 号)に基づき設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき,「2.1 構造計画」にて示す原子炉隔離時冷却系ストレーナの部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において,「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを,「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

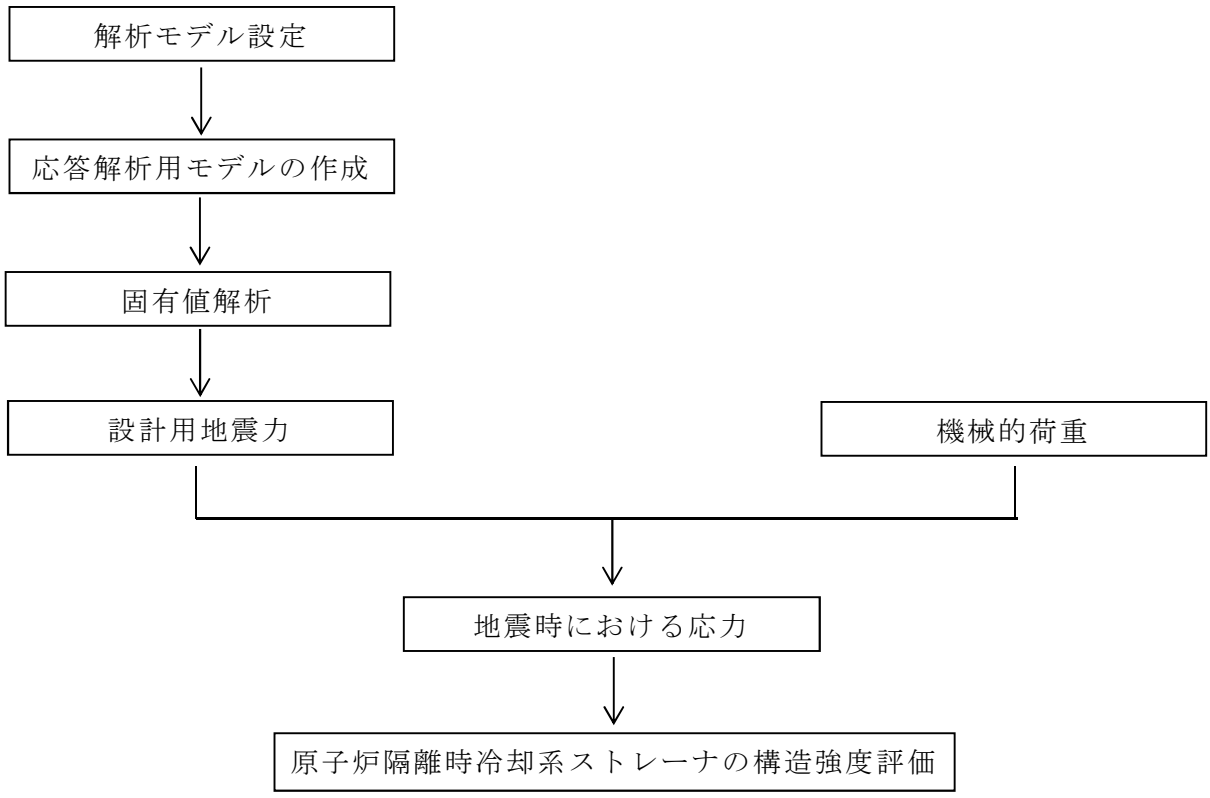


図 2-1　原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）

(5)　非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（平成 20 年 2 月 27 日付け平成 20・02・12 原院第 5 号）

2.4　記号の説明

記　号	記　号　の　説　明	単　位
A	断面積	mm^2
a	ボルト穴中心円半径	mm
b	フランジ内半径	mm
D_i	各部位の直径（ｉ＝0，1…）	mm
d	孔径，ボルトの直径	mm
F	軸力	N
f_t	ボルトの発生応力	MPa
L	長さ	mm
ℓ	ディスク間ギャップ，ボルトのＺ軸からの距離	mm
M	モーメント	N･mm
n	ボルトの本数	－
P	孔の間隔（中心間）	mm
P_b	一次曲げ応力	MPa
P_L	一次局部膜応力	MPa
P_m	一次一般膜応力	MPa
Q	二次応力	MPa
S_d*	弾性設計用地震動S_dにより定まる地震力又は静的地震力	－
S_s	基準地震動S_sにより定まる地震力	－
t	板厚	mm
W	ストレーナ重心に作用する荷重	－
X	軸直角方向（水平）	－
Y	軸方向	－
Z	軸直角方向（鉛直）	－
β	形状係数	－
σ_r	曲げ応力	MPa

注　：ここで定義されない記号については，各計算の項目において説明する。

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	－	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
モーメント	N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

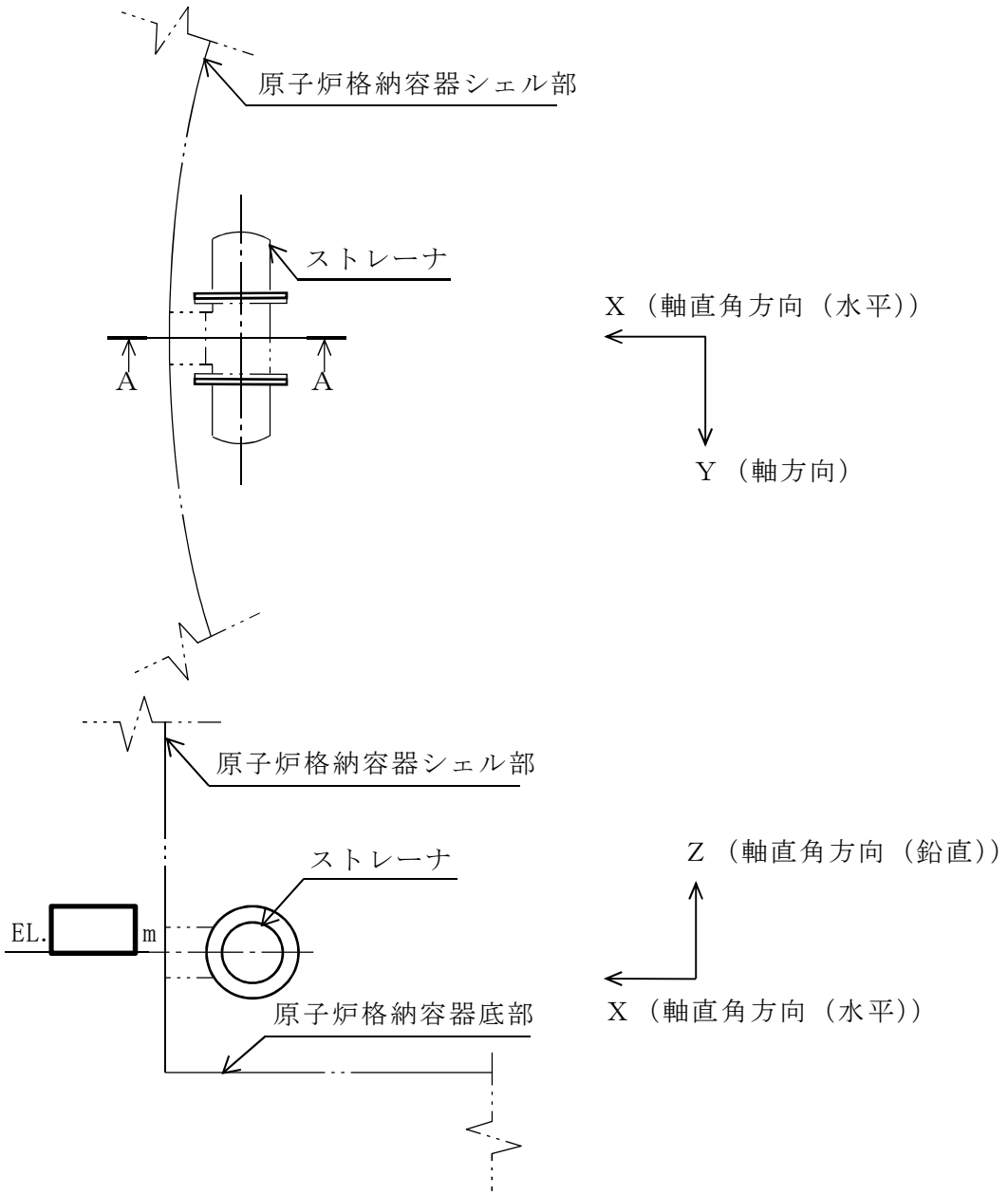
注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

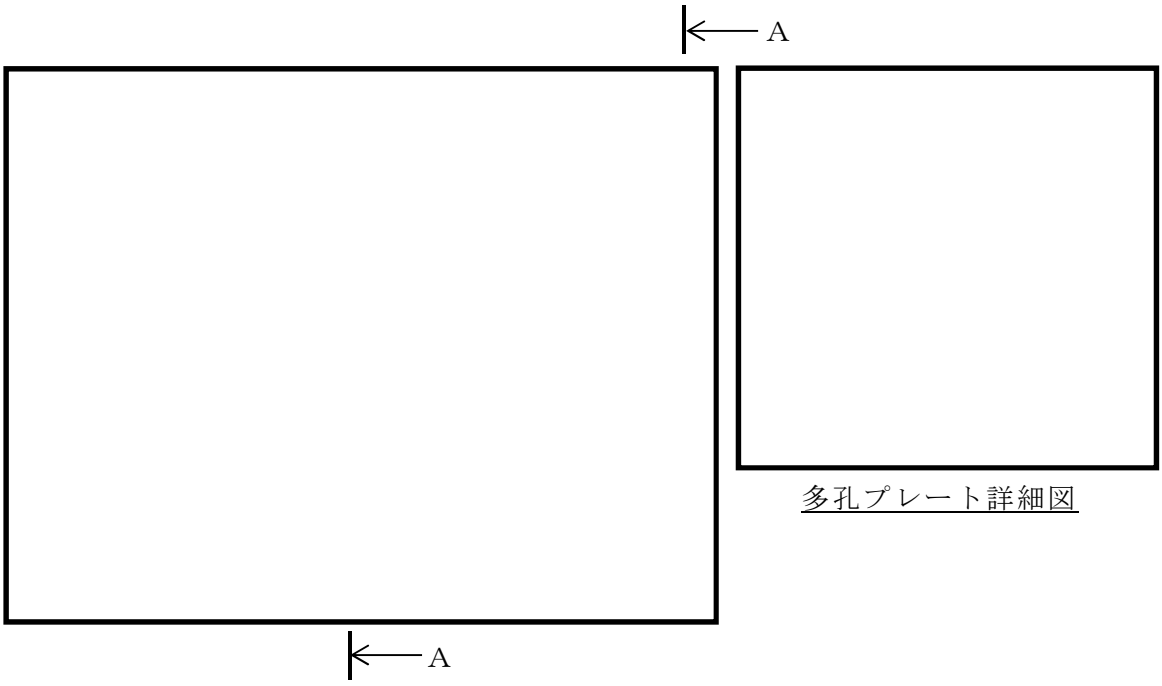
3. 評価部位

原子炉隔離時冷却系ストレーナの取付け状況，形状及び主要寸法を図 3-1 及び図 3-2 に示す。

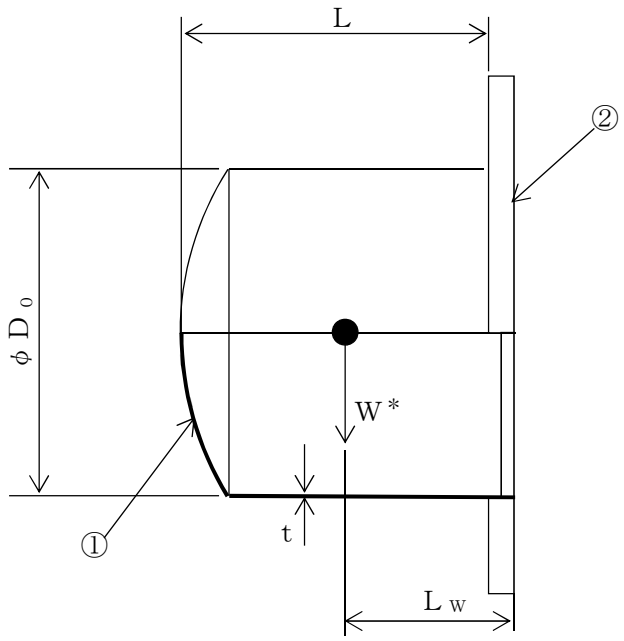


A～A断面図

図 3-1　原子炉隔離時冷却系ストレーナの取付け状況



多孔プレート詳細図



A～A矢視図

D 0 = L = L W = t = d =
P =

① 多孔プレート　　②フランジ（厚さ　mm）

注記　＊：W（死荷重）の作用点を示す。

図 3-2　原子炉隔離時冷却系ストレーナの形状及び主要寸法（単位：mm）

4.　地震応答解析及び構造強度評価

4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　原子炉隔離時冷却系ストレーナは，原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーに据付部材を介さずに，取付ボルトにて直接接続されるものとする。

(2)　地震力は，原子炉隔離時冷却系ストレーナに対して軸方向及び軸直角方向（水平，鉛直）に作用するものとし，軸直角方向に作用する荷重については水平方向と鉛直方向地震力の二乗和平方根により算出する。

(3)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

(4)　概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉隔離時冷却系ストレーナの荷重の組合せ及び許容応力状態の評価に用いるものを表 4-1 に，荷重の組合せ整理表を表 4-2 に示し，表で使用される記号は添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に従うものとする。

4.2.2　許容応力

原子炉隔離時冷却系ストレーナの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

表4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系ストレーナ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２	$D+P_{SA}+M_{SA}+S_s$	V_AS*2

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

＊2：許容応力状態V_ASとしてIV_ASの許容応力を用いる。

表 4-2　荷重の組合せ整理表

	運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	ＳＲＶ荷重		ＬＯＣＡ荷重			地震荷重		許容応力状態
					運転時	中小破断時	ﾌﾟｰﾙｽｳｪﾙ	蒸気凝縮(CO)	ﾁｬｷﾞﾝｸﾞ(CH)	S_d荷重	S_s荷重	
ＳＡ	運転状態Ｖ(Ｌ)*1	○		○						○		V_AS*2
	運転状態Ｖ(ＬＬ)	○		○							○	V_AS*2

注記　＊1：運転状態Ｖ(Ｌ)は，運転状態Ｖ(ＬＬ)の評価で代表される。

＊2：許容応力状態V_ASとしてIV_ASの許容応力を用いる。

表4-3　許容応力

（ストレーナ本体）

許容応力状態	一次一般膜応力	一次応力（曲げ応力を含む）	一次＋二次応力*1
$\mathrm{IV_AS}$	0.6・S_u	左欄の1.5倍の値	S_d又はS_s地震動のみによる疲労解析を行い疲労累積係数が1.0以下であること。ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が2・S_y以下であれば，疲労解析は不要である。
$\mathrm{V_AS}$*2			

注記　＊1：二次応力が発生する場合のみ考慮する。

＊2：許容応力状態$\mathrm{V_AS}$として，$\mathrm{IV_AS}$の許容応力を用いる。

（ボルト）

許容応力状態	許容応力（MPa）
$\mathrm{IV_AS}$	2・S
$\mathrm{V_AS}$*	

注記　＊：許容応力状態$\mathrm{V_AS}$として，$\mathrm{IV_AS}$の許容応力を用いる。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件及び許容応力

原子炉隔離時冷却系ストレーナの許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-4 及び表 4-5 に示す。また，使用材料の許容応力のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 及び表 4-7 に示す。

なお，各評価部位の使用材料については以下のとおり。

多孔プレート　　SUS304

フランジ　　SUS304

ストレーナ取付部ボルト　　SUS304

表4-4　使用材料（ストレーナ本体）の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件（℃）		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
多孔プレート	SUS304	周囲環境温度	106	－	169	438	－
フランジ	SUS304	周囲環境温度	106	－	169	438	－

表4-5　使用材料（ボルト）の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件（℃）		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
ストレーナ取付部ボルト	SUS304	周囲環境温度	106	104	－	－	－

表4-6　ストレーナ本体の許容応力（重大事故等対処設備）

材料	許容応力状態	許容応力（MPa）		
		一次応力		一次＋二次応力*1
		P_m*2	P_L+P_b	P_L+P_b+Q
SUS304	V_AS	263	394	338

注記　＊1：二次応力が発生する場合のみ考慮する。（今回の計算においては，二次応力（通常運転時温度による応力を含む。）は発生しない。）

＊2：評価対象は，構造または形状の不連続性を有する部分であることから，発生する一次一般膜応力は十分に小さいため，評価結果の記載については省略する。

表 4-7　ストレーナ取付部ボルトの許容応力（重大事故等対処設備）

材料	許容応力状態	許容応力（MPa）
SUS304	V_AS	209

4.2.4　設計荷重

原子炉隔離時冷却系ストレーナの設計荷重のうち，地震荷重及びフランジの設計荷重は，ストレーナ，ティー，貫通部及び原子炉格納容器までの範囲を考慮（ストレーナから原子炉格納容器までの連成モデルを用いて解析を行い，各部の反力を算出）して設定する。なお，解析モデルについては4.3項　解析モデル及び諸元にて説明する。

(1)　死荷重

原子炉隔離時冷却系ストレーナの自重による荷重を考慮する。なお，原子炉隔離時冷却系ストレーナに付着する異物は想定しない。

原子炉隔離時冷却系ストレーナの自重　W_1＝[redacted] N

内包水を含めた原子炉隔離時冷却系ストレーナの自重　W_2＝[redacted] N

(2)　差圧

差圧による荷重*は，原子炉隔離時冷却系ストレーナを通しての最大設計差圧より設定し，以下のとおりとする。

差圧荷重　P_{dif}＝[redacted] kPa

注記　＊：差圧荷重は運転状態Ⅴの荷重の組合せ時に考慮する。

4.3　解析モデル及び諸元

解析モデルの概要を以下に示す。

(1)　原子炉隔離時冷却系ストレーナの応力評価として,固有値を算出するためのストレーナから原子炉格納容器までをモデル化したはりモデル（以下「応答解析用モデル」という。）について説明する。

(2)　4.2.4 項　設計荷重のとおり，応答解析用モデルではストレーナから原子炉格納容器までの連成モデルを用いて解析を行い，固有値及び各部の反力を算出する。応答解析用モデルについて図 4-1 に，機器諸元について表 4-8 に示す。なお，ストレーナについては，構造上十分に剛であるため，剛体としてモデル化している。表 4-8 に記載の材質はストレーナ部ティー及び貫通部スリーブの材質を示す。

(3)　本設備はサプレッション・プールに水没している機器であるため，内包水及び排除水の影響を加味し，ストレーナ質量に含んでいる。

(4)　解析コードは「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，固有値及び荷重を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-1　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

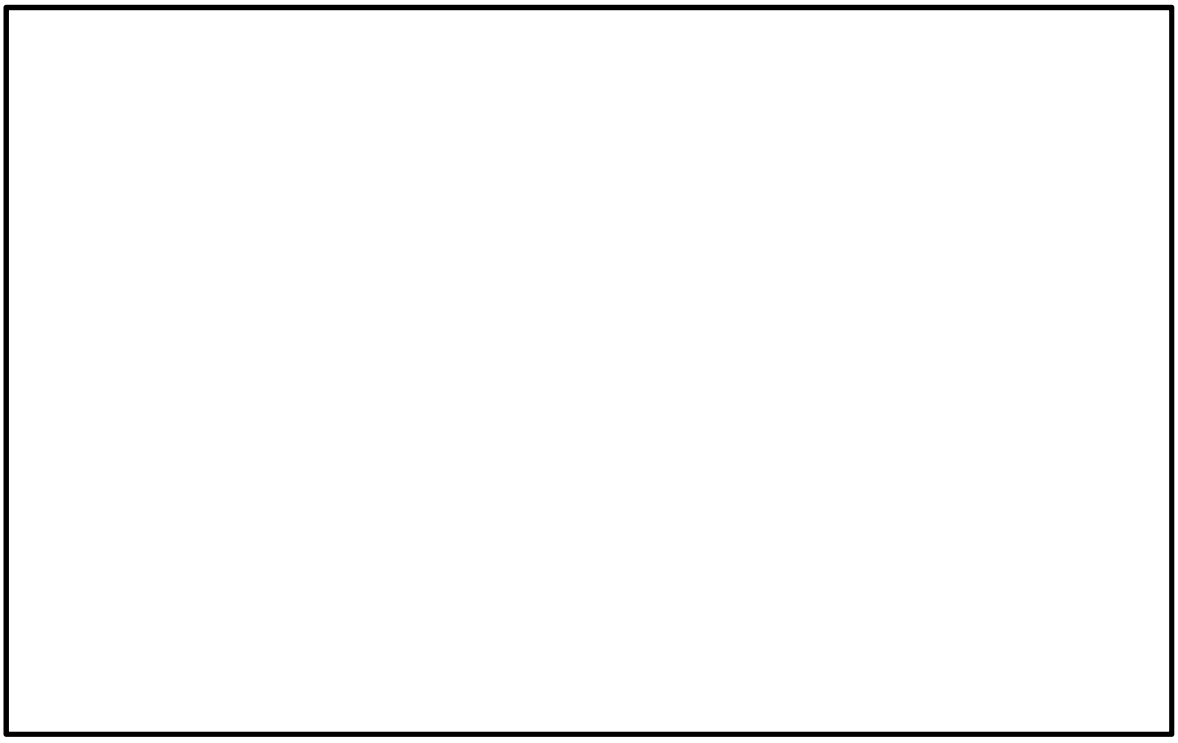


図 4-1　応答解析用モデル

表 4-8　機器諸元

項目	単位	入力値
材質	－	
ストレーナ質量	kg/個	
温度	℃	106
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	－	
要素数	個	
節点数	個	

4.4　固有周期

応答解析用モデルによる固有値解析の結果を表 4-9 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 4-9　固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次		水平

図 4-2　振動モード（1 次モード　　s）

4.5　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 4-10 に示す。

なお，図 3-1 に示すように，ストレーナの軸方向には水平方向の震度，軸直角方向には水平方向及び鉛直方向の震度が作用するため，軸方向及び軸直角方向に作用する地震力を表 4-11 に示す。

表 4-10　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
格納容器内 EL.[redacted]	[redacted]	0.05 以下*	－	－	1.01	0.93

注記　＊：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 4-11　ストレーナに作用する地震力

取付け位置　EL.[redacted] m		
地震荷重	軸方向震度	軸直角方向震度
Ｓ$_s$	Ｃ$_A$＝1.01	Ｃ$_R$＝1.38

注　：方向は図3-1参照。

ただし，軸直角方向震度については，二乗和平方根としている。

4.6　計算方法

4.6.1　応力評価点

原子炉隔離時冷却系ストレーナの構造は，フランジに円筒型の多孔プレートが取付く構造となっている。ここでは，多孔プレートとフランジの取付部，フランジ及びボルトを応力評価点として選定し，評価を実施する。

応力評価点を表 4-12 及び図 4-3 に示す。

表 4-12　応力評価点

名称	応力評価点番号	応力評価点
多孔プレート	Ｐ１	多孔プレートとフランジの取付部
フランジ	Ｐ２	フランジ
ストレーナ取付部ボルト	Ｐ３	ボルト

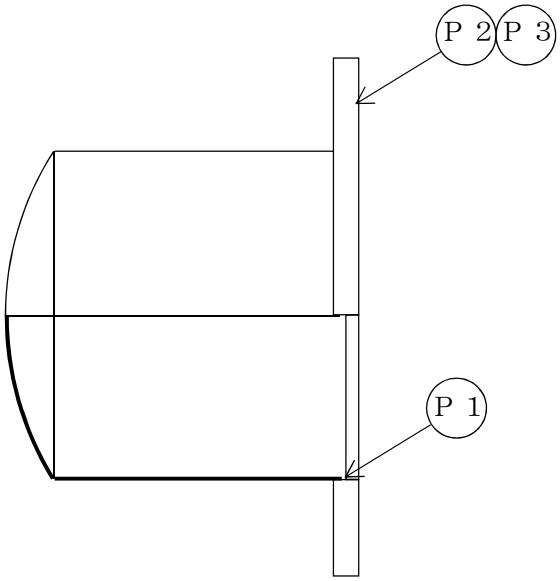


図 4-3　応力評価点

4.6.2　応力計算方法

応力計算方法について，以下に示す。なお，フランジ及びボルトについては作用する荷重についても本項目で記載する。

(1)　多孔プレート（応力評価点Ｐ１）

a.　差圧荷重による応力

円周方向応力

$$\sigma_t = -\frac{P_{dif} \cdot D_0}{2 \cdot t'}$$

ここに，

P_{dif}　：4.2.4(2)に示す差圧荷重

D_0　：ストレーナ直径＝[redacted](mm)

t'　：多孔プレートの等価板厚（設計・建設規格　PVE-3251 準用）

$$= \frac{P - d}{P} \cdot t$$

P　：孔の間隔（中心間）＝[redacted](mm)

d　：孔径＝[redacted](mm)

t　：板厚＝[redacted](mm)

軸方向応力

$$\sigma_\ell = -\frac{P_{dif} \cdot D_0}{4 \cdot t'}$$

b.　ストレーナに作用する荷重による応力

(a)　死荷重による荷重

軸直角方向荷重によるモーメント

$$M_{ZX} = W_1 \cdot L_W$$

軸直角方向荷重

$$F_{ZX} = W_1$$

ここに，

W_1　：4.2.4(1)に示す原子炉隔離時冷却系ストレーナの自重(N)

L_W　：モーメントアーム＝[redacted](mm)

(b)　地震荷重作用時荷重

軸方向荷重

$$F_Y = \pm C_A \cdot W_2$$

軸直角方向荷重によるモーメント

$$M_{ZX} = \pm C_R \cdot W_2 \cdot L_W$$

軸直角方向荷重

$F_{ZX} = \pm C_R \cdot W_2$

ここに，

C_A　：表 4-11 に示す地震荷重作用時の軸方向震度

C_R　：表 4-11 に示す地震荷重作用時の軸直角方向震度

W_2　：4.2.4(1)に示す内包水を含めた原子炉隔離時冷却系ストレーナの自重(N)

L_W　：モーメントアーム

(c) 各荷重による応力

軸方向荷重による応力

$$\sigma = \frac{F_Y}{A}$$

ここに，

A　：ストレーナ取付部円筒胴の断面積

$$= \frac{\pi \cdot \left\{D_0^{\,2} - (D_0 - 2 \cdot t')^2\right\}}{4}$$

モーメントによる応力

$$\sigma_b = \frac{M_{ZX}}{Z}$$

ここに，

Z　：ストレーナ取付部円筒胴の断面係数

$$= \frac{\pi \cdot \left\{D_0^{\,4} - (D_0 - 2 \cdot t')^4\right\}}{32 \cdot D_0}$$

軸直角方向荷重による応力

$$\tau = \frac{F_{ZX}}{A}$$

ここに，

A　：ストレーナ取付部円筒胴の断面積

(2) フランジ（応力評価点Ｐ２）

ストレーナ取付部フランジの設計荷重は，ストレーナに作用する荷重から算出したフランジ部のモーメントを用いる。ここでのモーメントとは，図 4-4 に示すように，ストレーナ重心に作用する荷重とその作用点からフランジまでのモーメントアームから計算したモーメントであり，フランジに対して面外方向の曲げモーメント（２方向ある面外方向曲げモーメントの二乗和平方根の合成値）とする。

ストレーナ重心がフランジ中心軸上に位置することから，フランジ面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は発生しないため，ここでは評価対象としない。

フランジの設計荷重を表 4-13 に示す。

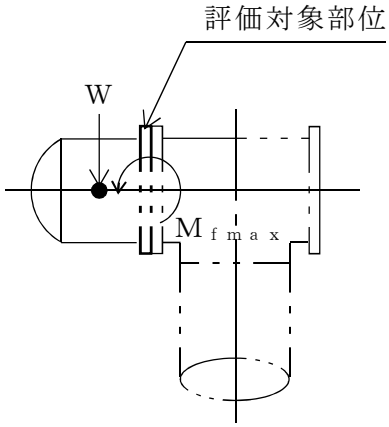


図 4-4　フランジに作用するモーメント

表 4-13　フランジの設計荷重

荷重		モーメント (N･mm)
1	死荷重	
2	差圧	
3	ストレーナＳ$_s$地震荷重	

表 4-13 に記載した荷重から，以下に示す計算方法により応力評価を行う。

ストレーナ取付部のフランジは，一般的なフランジとは異なりガスケットを使用しない。そこで，フランジを以下のようにモデル化し，応力評価を行う。

フランジを外周（ボルト穴中心円直径）が固定された平板と考え，表 4-13 に示すモーメントが中心部に作用すると考える。この場合の発生応力は，引用文献(1)より，図 4-5 に示す計算モデルで下記の計算式より求める。

$$\sigma_r = \frac{\beta \cdot M_{f\,max}}{a \cdot t^2}$$

ここに，

σ_r　：曲げ応力（MPa）

$M_{f\,max}$　：表 4-13 に示すモーメント（N･mm）

a　：ボルト穴中心円半径＝[redacted]（mm）

b　：フランジ内半径＝[redacted]（mm）

t　：フランジ板厚＝[redacted]（mm）

β　：b／a（＝[redacted]）から決まる計算上の係数＝[redacted]

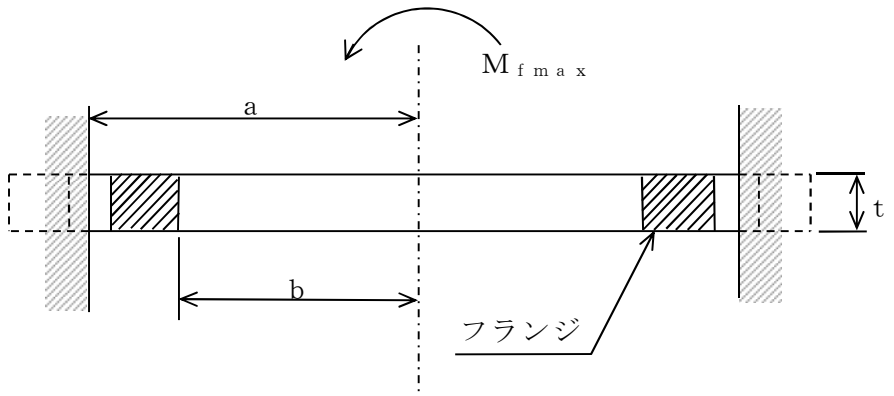


図 4-5　フランジ断面の計算モデル

(3) ストレーナ取付部ボルト（応力評価点Ｐ３）

ストレーナ取付部ボルトの設計荷重は，4.6.2 項(2)に示すフランジに作用する最大モーメントに加え，ストレーナの軸方向に発生する反力であるボルトの軸方向荷重を考慮した引張力を合算して応力評価を行う。フランジとボルトは摩擦接合であるため，ボルトに対するせん断力は作用しないものとする。また，計算で用いるボルト径は，安全側にボルトの谷径を用いるものとする。

ボルトの設計荷重を表 4-14 に示す。

表 4-14　ボルトの設計荷重

荷重		軸方向荷重(N)
1	死荷重	
2	差圧	
3	ストレーナＳ$_s$地震荷重	

ボルトには，表 4-13 に示すモーメントに加え，ストレーナの軸方向に発生する荷重によりボルトの軸方向荷重が発生する。

フランジに作用するモーメントにより，ボルトに生じる軸力は，以下のように算出する。

図 4-6 に示すフランジの中心を通る中立軸（Ｚ軸）まわりのモーメントを考える。このとき，Ｚ軸まわりのモーメントは，各ボルトに発生する軸力とボルトのＺ軸からの距離の積から得られるモーメントとつりあっていると考えることができる。ここで，軸方向荷重によって中立軸が移動するが，軸方向荷重のボルトへの影響が小さいため，軸方向荷重による中立軸の移動は無視する。

したがって，Ｚ軸まわりのモーメントと各ボルトの軸力の関係は下記となる。

$$M_Z = \sum_{k=1}^{n} F_{tk} \cdot \ell_k$$

ここに，M_Z ：Ｚ軸まわりのモーメント（N･mm）

F_{tk}：各ボルトに発生する軸力（N）

ℓ_k　：任意のボルトｋにおけるＺ軸からの距離（mm）

ｎ　：ボルトの本数＝

なお，ストレーナ重心がフランジ中心軸上に位置することから，フランジ面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は発生しないため，ここでは評価対象としない。

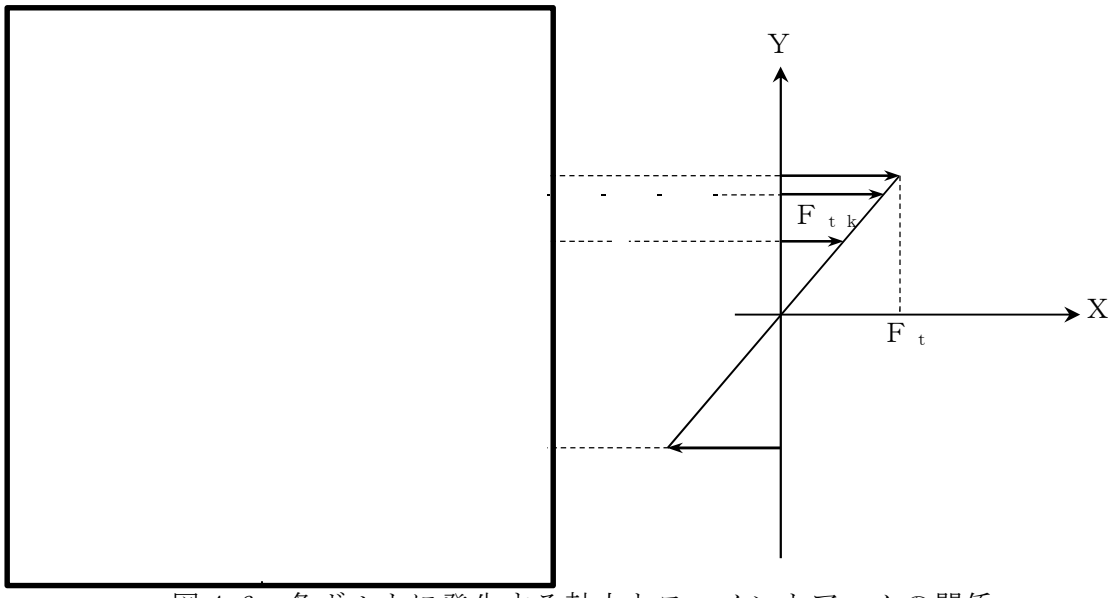


図 4-6　各ボルトに発生する軸力とモーメントアームの関係

また，ボルト軸力のＺ軸まわりのモーメント寄与分は中立軸上ではゼロであり，図 4-6 に示すように，曲げモーメントを伝えるボルトの軸力は回転中心からの距離に比例して変化するとして算定する。この場合，ボルトに発生する最大の軸力をF_tとすると，各ボルトに発生する軸力F_{tk}は下記となる。

$$F_{tk}=F_t\cdot\frac{\ell_k}{D_1/2}$$

ここに，F_t　　：最大の軸力が発生するボルトの軸力（N）

F_{tk}　　：各ボルトに発生する軸力（N）

D_1　　：ボルト孔中心円直径＝[　　]（mm）

以上より，ｎが偶数の場合，Ｚ軸まわりのモーメントは下記となる。

$$M_Z=\frac{2\cdot F_t}{D_1}\cdot\sum_{k=1}^{n}\ell_k^{\,2}=\frac{F_t\cdot D_1\cdot n}{4}$$

ただし，$\ell_k=\frac{D_1}{2}\cdot\sin\{\frac{2\cdot\pi}{n}\cdot(k-1)\}$

よって，表 4-13 に示すモーメントから，ボルトの軸力は以下のように算出できる。

$$F_t=\frac{4\cdot M_{f\,max}}{D_1\cdot n}$$

したがって，ボルトに発生する応力は下記となる。

$$f_t = \frac{F_t}{A_S} + \frac{F_{axl}}{A_S \cdot n}$$

ここに，f_t　：ボルトの発生応力（MPa）

A_S　：ボルトの有効断面積＝$\frac{\pi \cdot d_b^2}{4}$（$mm^2$）

d_b　：ボルトのねじ部谷径＝[　　]（mm）

F_{axl}　：表 4-14 に示す軸方向荷重（N）

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は，本計算書の 4.2 項　荷重の組合せ及び許容応力及び 4.5 項　設計用地震力に示す。

4.8　応力の評価

4.6 項　計算方法で求めた応力は表 4-6 及び表 4-7 に記載される値以下であること。

5.　評価結果

5.1　重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却系ストレーナの重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生応力は許容応力を満足しており，耐震性を有することを確認した。

(1)　許容応力状態V_ASに対する評価

許容応力状態V_ASに対する応力評価結果を表 5-1 に示す。

表 4-1 に示す荷重の組合せのうち，$D + P_{SA} + M_{SA} + S_s$の評価について記載している。

表 5-1　許容応力状態V_ASに対する応力評価結果（$D+P_{SA}+M_{SA}+S_s$）

評価対象設備	評価部位		応力分類	V_AS		判定	備考
				発生応力	許容応力		
				MPa	MPa		
原子炉隔離時冷却系ストレーナ	Ｐ１	多孔プレートとフランジの取付部	一次膜応力＋一次曲げ応力	[redacted]	394	○	
	Ｐ２	フランジ	曲げ応力		394	○	
	Ｐ３	ボルト	引張応力		209	○	

6. 引用文献

(1) WARREN C. YOUNG

“ROARK’S FORMULAS for Stress and Strain” 7th Edition

Ⅴ-2-5-5-4　高圧代替注水系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-5-5-4-1　常設高圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要……1
2.　一般事項……1
2.1　構造計画……1
3.　固有周期……3
3.1　固有周期の算出方法……3
4.　構造強度評価……3
4.1　構造強度評価方法……3
4.2　荷重の組合せ及び許容応力……3
5.　機能維持評価……7
5.1　機能維持評価方法……7
5.2　動的機能維持評価……7
6.　評価結果……8
6.1　重大事故等対処設備としての評価結果……8

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，常設高圧代替注水系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

常設高圧代替注水系ポンプは，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

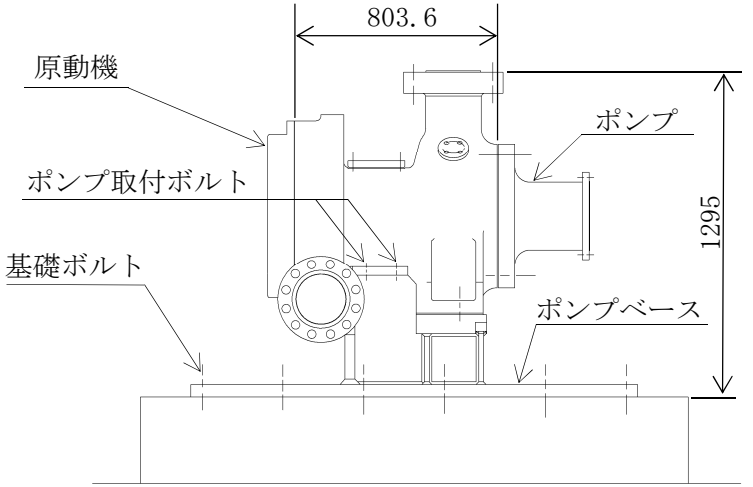
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

常設高圧代替注水系ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ポンプはポンプベースに固定され，ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	ターボ形横軸ポンプ	 （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

振動試験により固有振動数（共振周波数）を測定する。固有周期を表 3-1 に示す。試験の結果，水平方向，鉛直方向の固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 3-1　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

常設高圧代替注水系ポンプの構造は横軸ポンプであるため，構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-1-13-4　横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

常設高圧代替注水系ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2　許容応力

常設高圧代替注水系ポンプの許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

常設高圧代替注水系ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	常設高圧代替注水系ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２ポンプ*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして，IV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：重大事故等クラス２ポンプの支持構造物を含む。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等クラス２支持構造物）

許容応力状態	許　容　限　界*1*2 （ボ　ル　ト　等）	
	一　次　応　力	
	引張り	せん断
ⅣＡＳ	1.5・ｆ$_t$*	1.5・ｆ$_s$*
ＶＡＳ （ＶＡＳとして，ⅣＡＳの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	SNB7 (径≦63 mm)	周囲環境温度	[redacted]	699	803	—
ポンプ取付ボルト	SNB7 相当 (径≦63 mm) [redacted]	最高使用温度	120	663	759	—

5.　機能維持評価

5.1　機能維持評価方法

常設高圧代替注水系ポンプの機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針 4.1　動的機能維持」にて設定した動的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が，動的機能維持確認済加速度以下であることを，「5.2　動的機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6.　評価結果」に示す。

常設高圧代替注水系ポンプは横形のポンプであるが，原動機であるタービンと一体構造となっており，既往の研究によって機能維持が確認された適用機種と構造・作動原理が異なることから，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　表 4-1　動的機能維持確認済加速度」の適用機種の機能確認済加速度を適用できない。そのため，個別の加振試験によって得られる機能維持を確認した加速度を機能確認済加速度として，評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。

常設高圧代替注水系ポンプの機能維持評価フローを図 5-1 に示す。

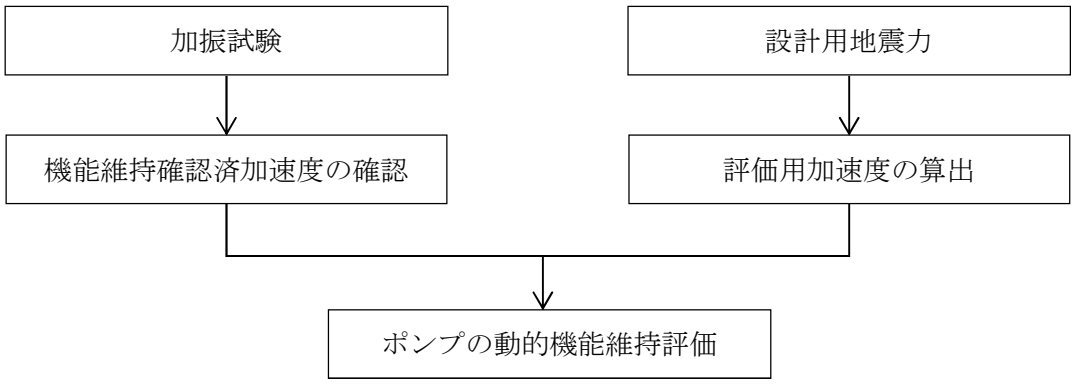


図 5-1　常設高圧代替注水系ポンプの機能維持評価フロー

5.2　動的機能維持評価

5.2.1　評価用加速度

常設高圧代替注水系ポンプの動的機能維持評価について，以下に示す。

ポンプはポンプベースに固定され，ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付けられることから，設計用地震力は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に示す，常設高圧代替注水系ポンプの設置床における基準地震動Ｓ$_s$に基づき設定する。評価用加速度には，設置場所の設備評価用床最大加速度を適用する。

評価用加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1　評価用加速度　　(×9.8m/s^2)

対象機器設置箇所	加振方向		最大加速度
			S_s
[redacted]	水平	NS	0.72
		EW	0.72
EL. -4.0 (m)	鉛直		0.75

5.2.2　機能確認済加速度

常設高圧代替注水系ポンプの機能確認済加速度について以下に示す。

常設高圧代替注水系ポンプは，添付書類「V-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，実機の据付状態を模擬した上で，当該機器が設置される床における設備評価用床応答曲線を包絡する模擬地震波により加振試験を行い，動的機能の健全性を確認した。機能確認済加速度には，加振台において測定した最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-2 に示す。

表 5-2　機能確認済加速度　　(×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
常設高圧代替注水系ポンプ	水平	[redacted]
	鉛直	

6.　評価結果

6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

常設高圧代替注水系ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【常設高圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

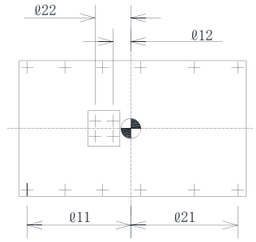
1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
常設高圧代替注水系ポンプ	常設耐震／防止常設／緩和	EL. -4.0*			—	—	C_H=0.87	C_V=0.90	C_p=0.77	120	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} *3 (mm)	ℓ_{2i} *3 (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi} *3
基礎ボルト (i=1)						12	2
							6
ポンプ取付ボルト (i=2)						4	2
							2

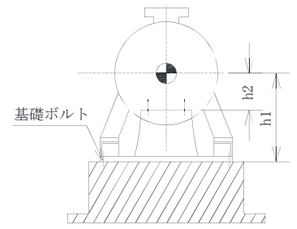


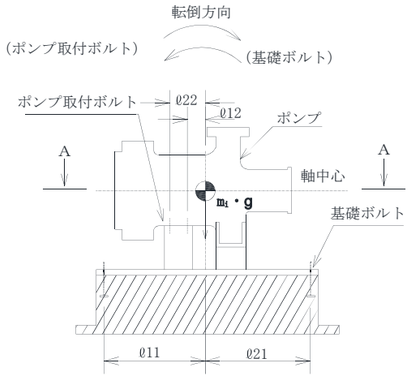
A～A矢視図

部 材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向		M_p (N・mm)	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	699*2	803*2	—	562	—	軸	—	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	663*1	759*1	—	531	—	軸	—	—

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
H_p=	N_p=

注記 ＊1：最高使用温度で算出
＊2：周囲環境温度で算出
＊3：各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。





1.3　計算数値

ボルトに作用する力　　（単位：N）

部　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）	―	1.897×10^4	―	5.852×10^4
ポンプ取付ボルト（i＝2）	―	4.500×10^4	―	4.257×10^4

1.4　結論

1.4.1　ボルトの応力　　（単位：MPa）

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SNB7	引張り	―	―	σ_{b1}=19	f_{ts1}=421*
		せん断	―	―	τ_{b1}=5	f_{sb1}=324
ポンプ取付ボルト	SNB7 相当	引張り	―	―	σ_{b2}=64	f_{ts2}=398*
		せん断	―	―	τ_{b2}=15	f_{sb2}=306

すべて許容応力以下である。　　注記　＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

1.4.2　動的機能維持の評価結果　　（×9.8 m/s²）

		評価用加速度	機能確認済加速度
常設高圧代替注水系ポンプ	水平方向	0.72	
	鉛直方向	0.75	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-5-5-4-2　管の耐震性についての計算書

目　次

1.　概要 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 2
2.1　概略系統図 2
2.2　鳥瞰図 4
3.　計算条件 7
3.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 7
3.2　設計条件 8
3.3　材料及び許容応力 16
3.4　設計用地震力 17
4.　解析結果及び評価 18
4.1　固有周期及び設計震度 18
4.2　評価結果 24
4.2.1　管の応力評価結果 24
4.2.2　支持構造物評価結果 25
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 26
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 27

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」及び「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していること説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示す通りとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全８モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件および評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式単位に支持点荷重が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3) 弁

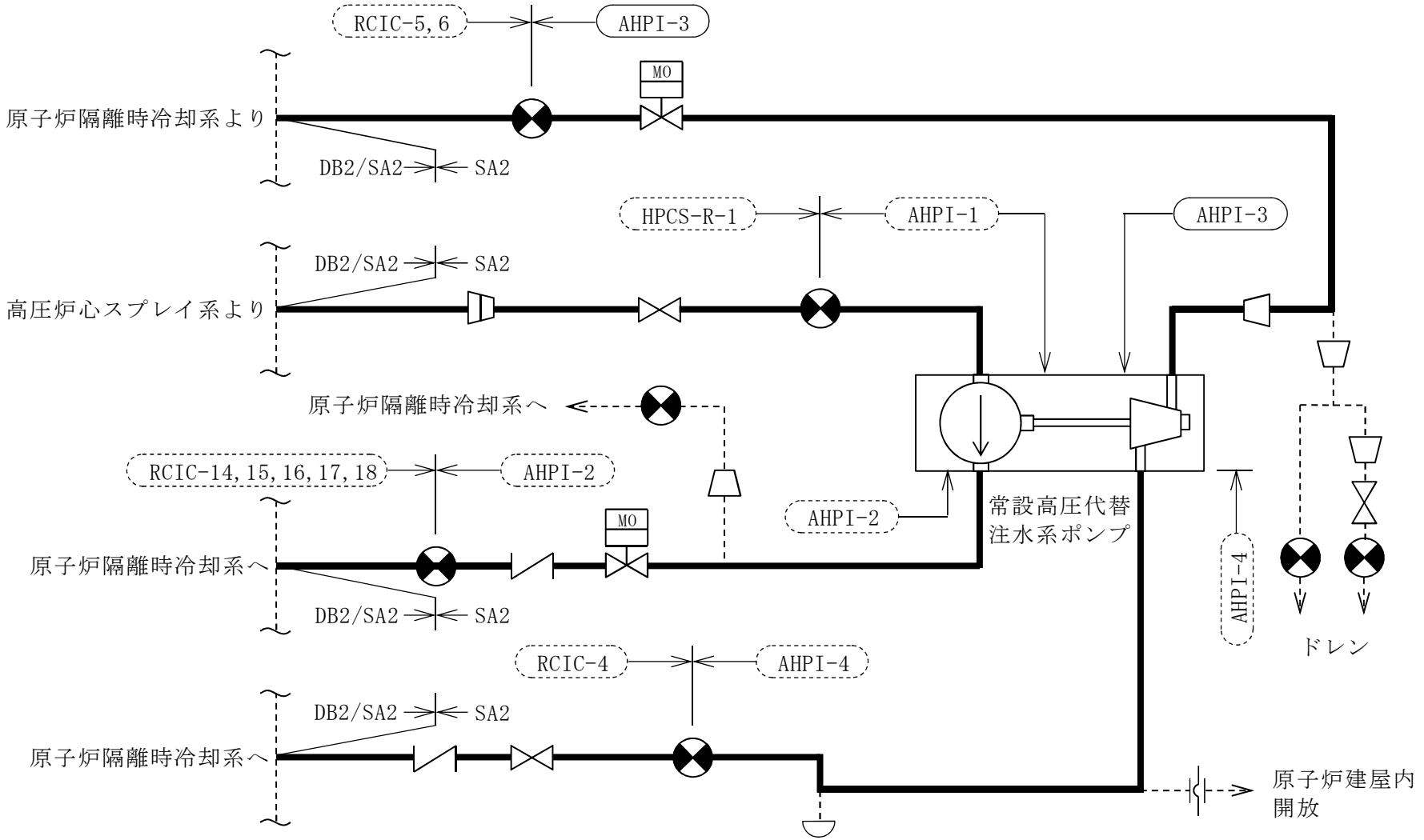
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

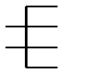
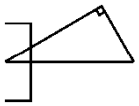
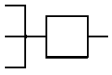
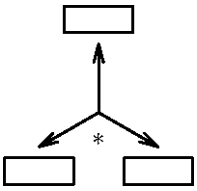
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○－○－○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○－○－○○	鳥瞰図番号（評価結果のみを記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管

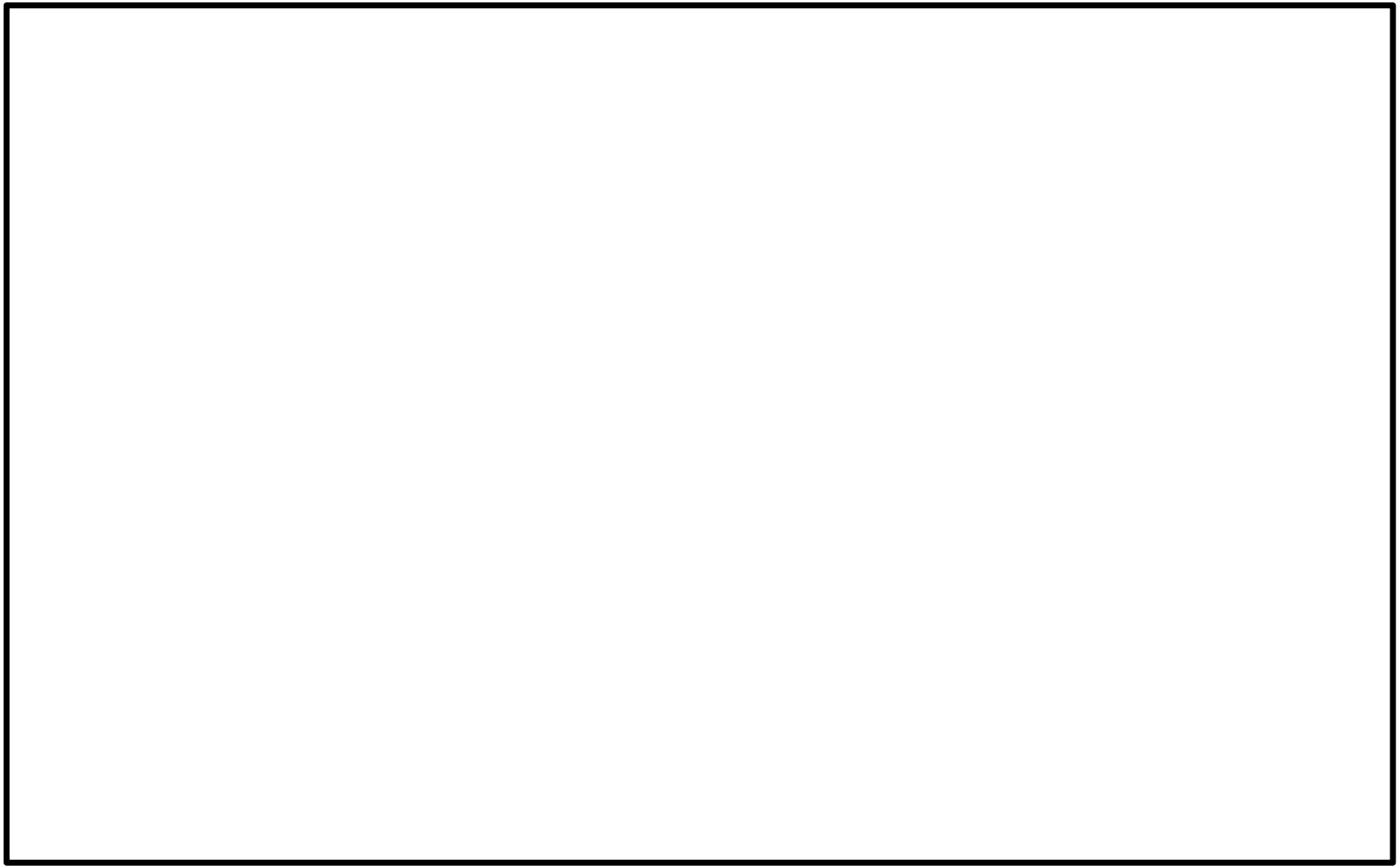


高圧代替注水系概略系統図

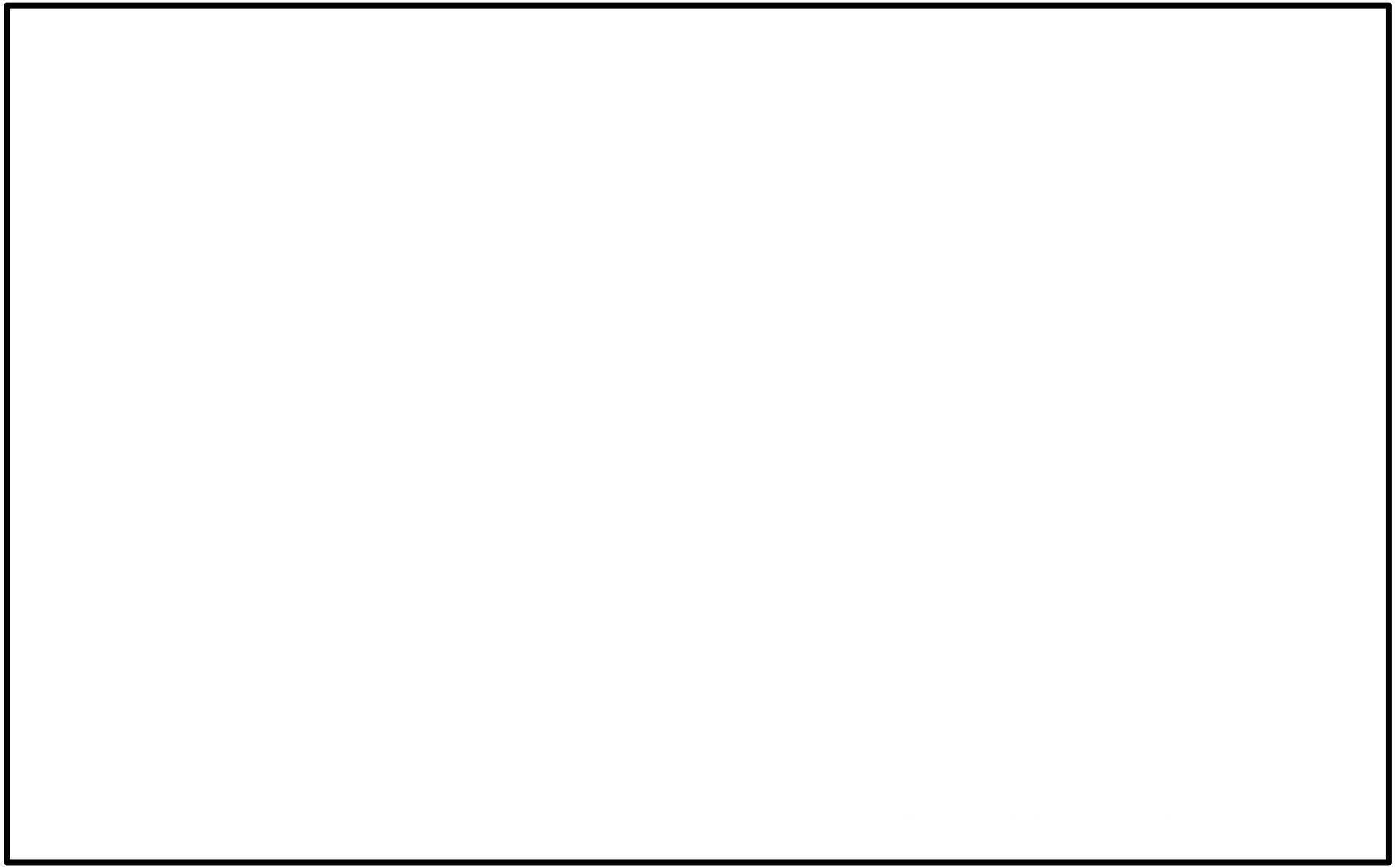
2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「（ＳＡ）」,設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「（ＤＢ）」とする。）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
○ ◎	節　　点 質　　点
	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	拘束点の地震による相対変位量（mm） （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。）
	注：　鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。



鳥瞰図	AHPI-3（ＳＡ） (1／2)



鳥瞰図	AHPI-3（ＳＡ） (2／2)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧代替注水系	ＳＡ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２管	－	V_L(Ｌ)＋S_d*6,7	V_AS
							V_L(ＬＬ)＋S_s*6	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備の原子炉格納容器安全設備	高圧代替注水系	ＳＡ	常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	V_L(Ｌ)＋S_d*6,7	V_AS
							V_L(ＬＬ)＋S_s*6	

注記 ＊1： ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。

＊2： 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊3： 運転状態の添字Ｌは荷重，(Ｌ)は荷重が長期間作用している状態，(ＬＬ)は(Ｌ)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

＊4： 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

＊5： 許容応力状態V_ASは許容応力状態$Ⅳ_AS$の許容限界を使用し，許容応力状態$Ⅳ_AS$として評価を実施する。

＊6： プロセス条件に加え，重大事故時の原子炉格納容器バウンダリ条件として，重大事故時の原子炉格納容器限界温度及び圧力を考慮する。

＊7： 荷重の組合せV_L(Ｌ)＋S_dはV_L(ＬＬ)＋S_sに包絡されるため，評価を省略する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図番号 AHPI-3

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	801, 1, 3,600,802, 4 6, 7, 9,311,901,312 10, 12,803, 13, 15,602 804,603,805,604,806, 16 18,605, 19, 21,807, 22 24, 25, 27, 28,606, 30 808,607,809,608,810,609 31, 33,811,610, 34, 36 37, 39, 40, 42,812,611 813, 43, 45, 46, 48,612 814,613, 49, 51, 52, 54 815,614, 55, 57,816, 58 60,817, 61, 63, 64, 66 67, 69, 70, 72,818, 73 75, 76, 78,615, 79, 81 82, 84,819, 85,616, 87 820, 88	8.62	302	114.3	8.6	STPT410	－	[redacted]

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図番号　AHPI-3

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	617, 90,821, 91, 93, 618 94, 96,822,619,823, 97 99,100,102,412,411, 221	8.62	302	114.3	8.6	STPT410	－	[redacted]
2	222,501,103,105,502,1001	8.62	302	89.1	7.6	STPT410	－	

配管の付加質量

鳥瞰図番号　AHPI-3

質量	対応する評価点
[redacted]	801, 1, 3,600,802, 4, 6, 7, 9,311,901,312, 10, 12 803, 13, 15,602,804, 603,805,604,806, 16, 18,605, 19, 21 807, 22, 24, 25, 27, 28,606, 30,808,607,809,608,810,609 31, 33,811,610, 34, 36, 37, 39, 40, 42,812,611,813, 43 45, 46, 48,612,814, 613, 49, 51, 52, 54,815,614, 55, 57 816, 58, 60,817, 61, 63, 64, 66, 67, 69, 70, 72,818, 73 75, 76, 78,615, 79, 81, 82, 84,819, 85,616, 87,820, 88 617, 90,821, 91, 93, 618, 94, 96,822,619,823, 97, 99,100 102,412,411,221
[redacted]	222,501,103,105,502,1001

フランジ部の質量

鳥瞰図番号　AHPI-3

質量	対応する評価点
[redacted]	501
	502

弁部の質量

鳥瞰図番号　AHPI-3

質量	対応する評価点
[redacted]	901
	951

弁部の寸法

鳥瞰図番号　AHPI-3

評価点	外径（mm）	厚さ（mm）	長さ（mm）
901	[redacted]		

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号　AHPI-3

支持点番号	各軸方向ばね定数（N/mm）			各軸回り回転ばね定数（N・mm/rad）		
	X	Y	Z	X	Y	Z
801						
802						
803*						
803*						
804						
805						
806						
807						
808						
809						
810						
811*						
811						
812*						
812						
813*						
813						
814*						
814						
815*						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号　AHPI-3

支持点番号	各軸方向ばね定数（N/mm）			各軸回り回転ばね定数（N・mm/rad）		
	X	Y	Z	X	Y	Z
815						
816*						
816*						
817						
818						
819						
820*						
820*						
821						
822						
823*						
823*						
1001						

3.3　材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (℃)	許容応力（MPa）*			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT410	302	－	182	404	103

注記　＊：評価に使用しない許容応力については「－」と記載する。

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数（%）
AHPI-3	[redacted]	EL.　8.200 m	[redacted]
		EL.　2.000 m	
		EL. -4.000 m	

4.　解析結果及び評価

4.1　固有周期及び設計震度

鳥瞰図番号　AHPI-3

耐震設計上の重要度分類		－		
適用する地震動等		S_s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向
		3.25	3.25	4.96
		3.25	3.25	4.21
		2.66	2.66	3.13
		1.42	1.42	2.07
		1.10	1.10	1.82
		1.08	1.08	1.82
		1.08	1.08	1.82
		1.08	1.08	1.82
		0.92	0.92	0.80
		0.92	0.92	0.80
動的震度*2		1.10	1.10	0.96

注記　＊1：各モードの固有周期に対し，設備評価用床応答曲線より得られる震度を示す。

＊2：Ｓｄ 又はＳｓ 地震動に基づく最大設計用床応答加速度より定めた震度を示す。

＊3：固有周期が 0.050s 以下であることを示す

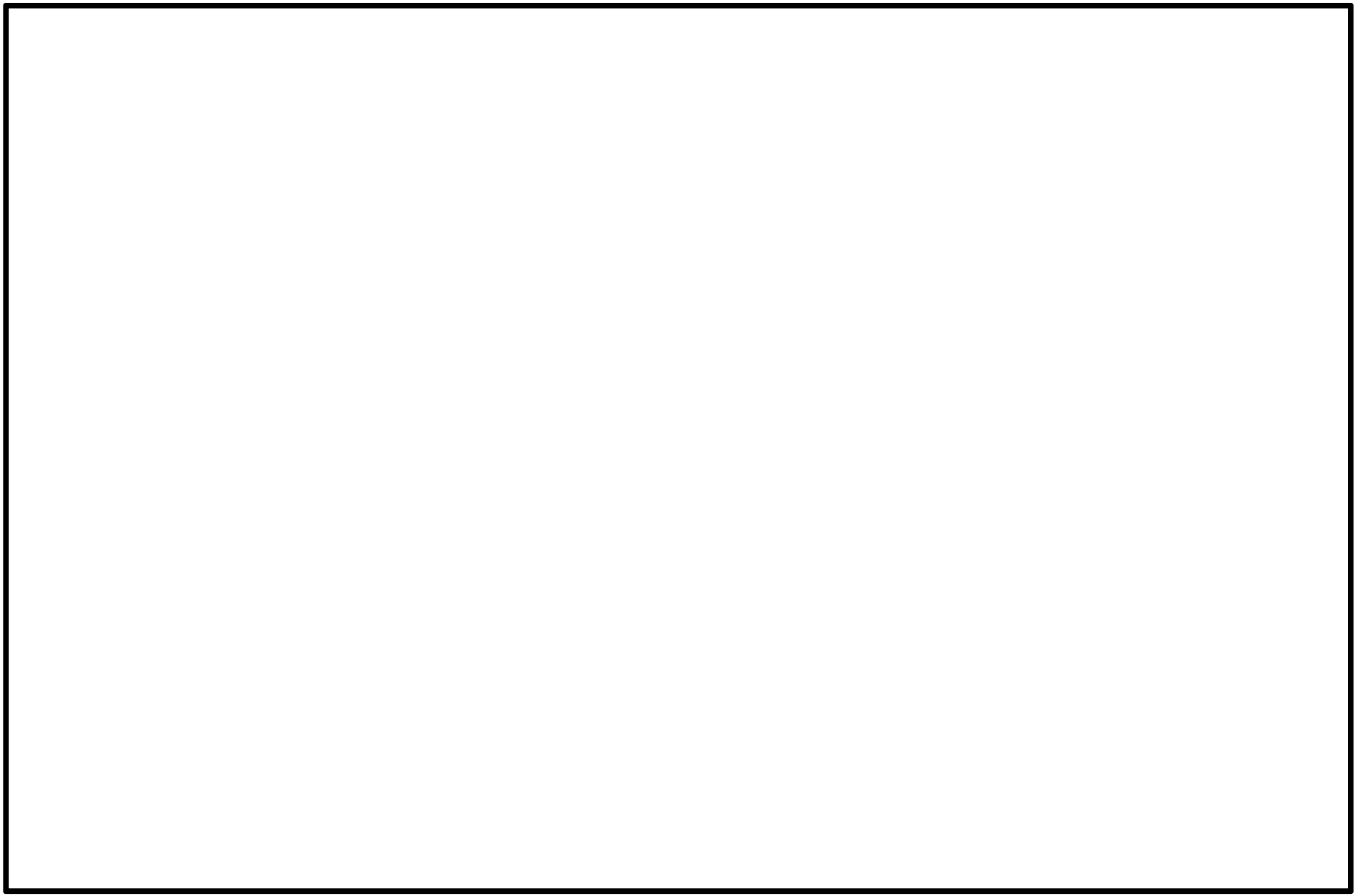
各モードに対応する刺激係数

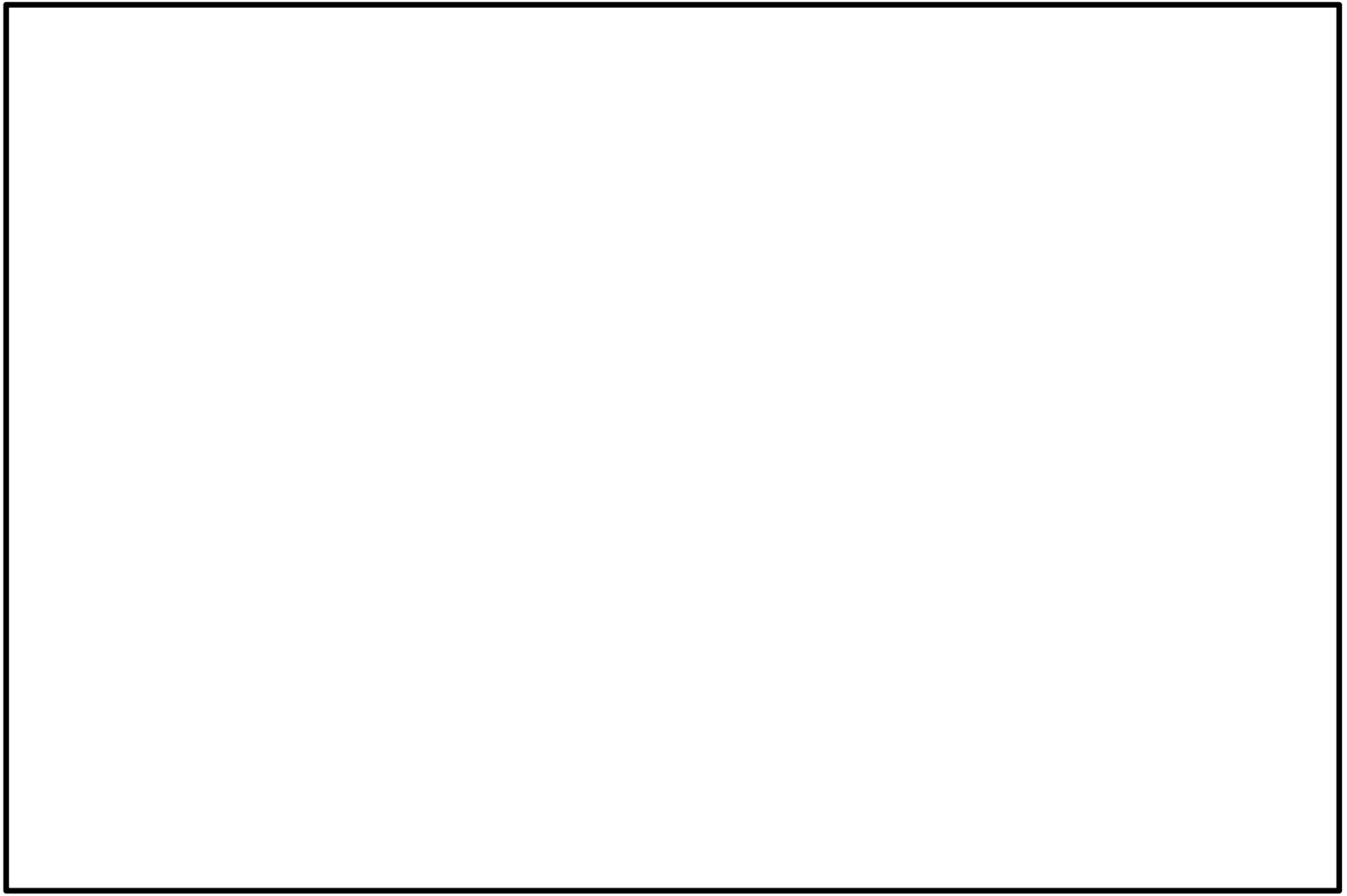
鳥瞰図番号　AHPI-3

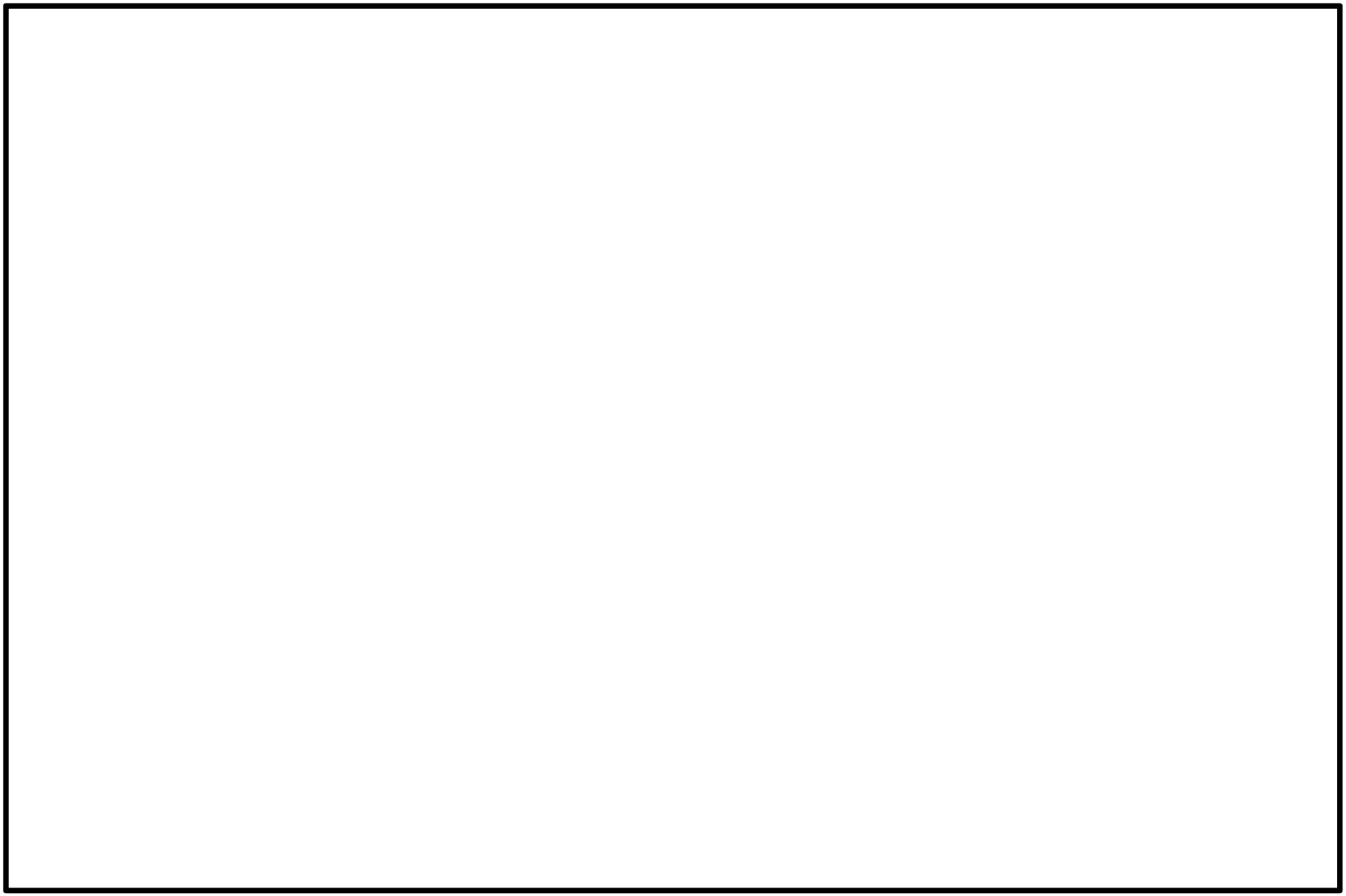
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向

代表的振動モード図

振動モード図は，3 次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。







4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管

鳥瞰図	許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価（MPa）		一次＋二次応力評価（MPa）		疲労評価
				計算応力 S_{prm}（S_s）	許容応力 $0.9S_u$	計算応力 S_n（S_s）	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
AHPI-3	V_AS	4	S_{prm}（S_s）	[redacted]	363	－	－	－
AHPI-3	V_AS	9	S_n（S_s）	－	－	[redacted]	364	－

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果(荷重評価)

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					支持点荷重(kN)	許容荷重(kN)
SNO-AHPI-2-005	オイルスナッバ	SN-3	「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		26	45
RO-AHPI-4-001	ロッドレストレイント	RSA-6			67	108

支持構造物評価結果(応力評価)

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN)			応力分類	計算応力(MPa)	許容応力(MPa)
					F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
RE-AHPI-4-022	レストレイント	サドル	SS400	135	80	25	—	—	—	—	せん断	38	65
AN-AHPI-4-007	アンカ	ラグ	STKR400 STPT410	135	62	12.4	50	16.4	78	40	組合せ	202	223

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	型式	要求機能	応答加速度* (×9.8 m/s^2)		機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
SA13-MO-F300	一般弁	β （S_s）	3.5	1.0	6.0	6.0	－	－

注記　＊：応答加速度は打ち切り振動数 50Hz として計算した結果を示す。

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス２範囲）

No.	配管モデル	供用状態（$Ⅳ_AS$）												
		一次応力（膜＋曲げ）					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力[MPa]	許容応力[MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力[MPa]	許容応力[MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	AHPI-1	1		363		－	1		434		－	－	－	－
2	AHPI-2	15		363		－	15		434		－	－	－	－
3	AHPI-3	4		363		○	9		364		○	－	－	－
4	AHPI-4	810		363		－	810		430		－	－	－	－
5	RCIC-14,15,16,17,18	192		363		－	192		434		－	－	－	－
6	HPCS-R-1	60		363		－	53		428		－	－	－	－
7	RCIC-4	61		363		－	61		430		－	－	－	－
8	RCIC-5,6	408A		363		－	408A		364		－	－	－	－

Ⅴ-2-5-5-5　低圧代替注水系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-5-5-5-1　常設低圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 構造強度評価 ····· 3
3.1 構造強度評価方法 ····· 3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
4. 機能維持評価 ····· 7
4.1 動的機能維持評価方法 ····· 7
5. 評価結果 ····· 8
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 8

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，常設低圧代替注水系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

常設低圧代替注水系ポンプは，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

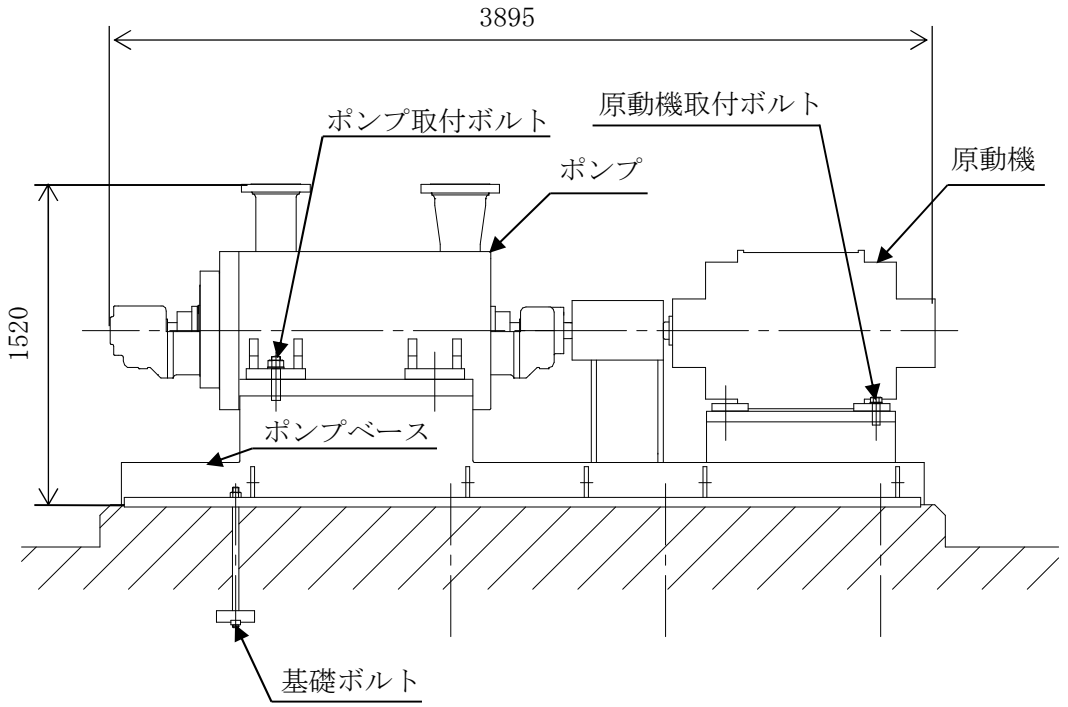
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-4　横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1　構造計画

常設低圧代替注水系ポンプの構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ポンプはポンプベースに固定され，ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	ターボ形横軸ポンプ	 （単位：mm）

3.　構造強度評価

3.1　構造強度評価方法

常設低圧代替注水系ポンプの構造は横軸ポンプであるため，構造強度評価は，添付書類「V-2-1-13-4　横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2　荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

常設低圧代替注水系ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3－1に示す。

3.2.2　許容応力

常設低圧代替注水系ポンプの許容応力を表3－2に示す。

3.2.3　使用材料の許容応力評価条件

常設低圧代替注水系ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3－3に示す。

表３－１　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	常設低圧代替注水系ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２ポンプ*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	常設低圧代替注水系ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２ポンプ*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：重大事故等クラス２ポンプの支持構造物を含む。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3－2　許容応力（重大事故等クラス２支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅣＡＳ	1.5・ｆ$_t$*	1.5・ｆ$_s$*
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3－3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		—	188	479	205
ポンプ取付ボルト		周囲環境温度		—	699	803	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度		—	699	803	—

4.　機能維持評価

4.1　動的機能維持評価方法

常設低圧代替注水系ポンプの地震後の動的機能維持評価について，以下に示す。

常設低圧代替注水系ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4－1 に示す。

表 4－1　機能確認済加速度　（単位：×9.8 m/s^2）

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形多段遠心式ポンプ	水平	1.4
		鉛直	1.0
原動機	横形すべり軸受電動機	水平	2.6
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

常設低圧代替注水系ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【常設低圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
常設低圧代替注水系ポンプ	常設耐震／防止常設／緩和	常設低圧代替注水系ポンプ格納槽 EL. -18.5*1	—*2	—*2	—	—	C_H=1.58	C_V=1.10	C_P=0.09	66	

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	n_{fi}	
							弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)						8	—	2
								4
ポンプ取付ボルト (i=2)						4	—	2
								2
原動機取付ボルト (i=3)						4	—	2
								2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		M_P (N・mm)	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	188*2	479*2	—	246	—	軸直角	—	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	699*1 (径≦63mm)	803*1 (径≦63mm)	—	562	—	軸	—	—
原動機取付ボルト (i=3)	699*2 (径≦63mm)	803*2 (径≦63mm)	—	562	—	軸直角	—	1.210×10^6

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
H_p=	N=

注記 *1：周囲環境温度で算出

*2：最高使用温度で算出

*3：各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i＝1)	－		－	
ポンプ取付ボルト (i＝2)	－		－	
原動機取付ボルト (i＝3)	－		－	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_{b1}＝ 38	f_{ts1}＝184*
		せん断	－	－	τ_{b1}＝ 25	f_{sb1}＝142
ポンプ取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b2}＝ 12	f_{ts2}＝421*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝ 16	f_{sb2}＝324
原動機取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b3}＝ 32	f_{ts3}＝421*
		せん断	－	－	τ_{b3}＝ 21	f_{sb3}＝324

すべて許容応力以下である。

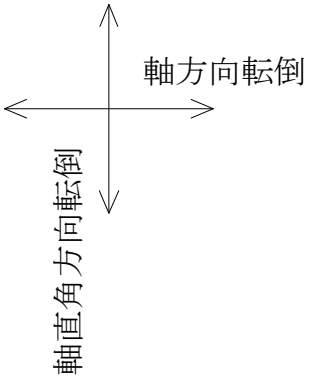
注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

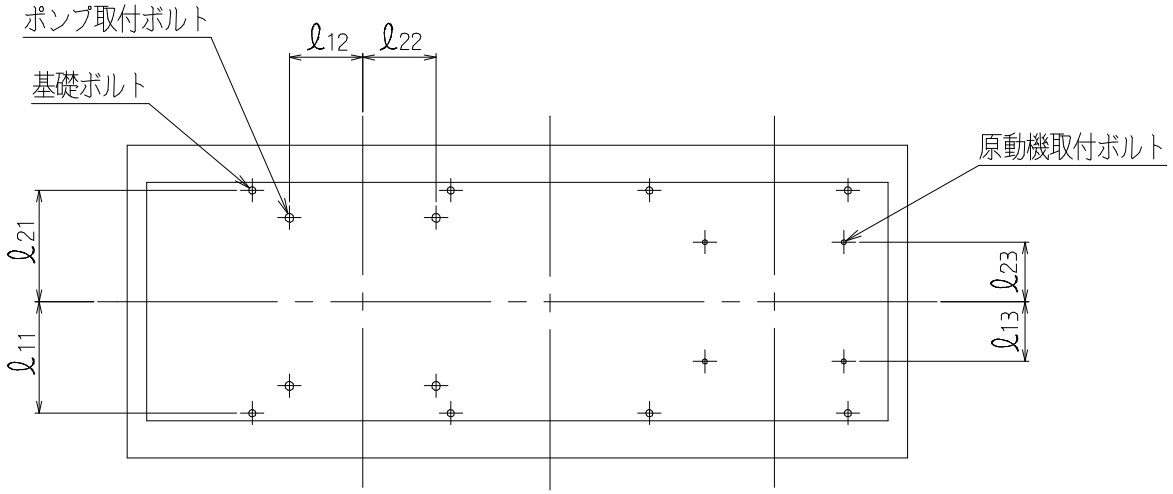
1.4.2 動的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.31	1.4
	鉛直方向	0.92	1.0
原動機	水平方向	1.31	2.6
	鉛直方向	0.92	1.0

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

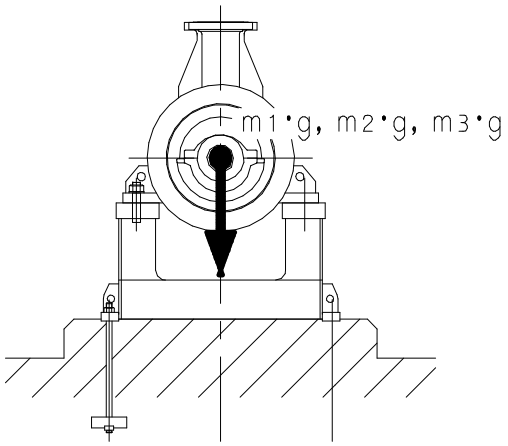


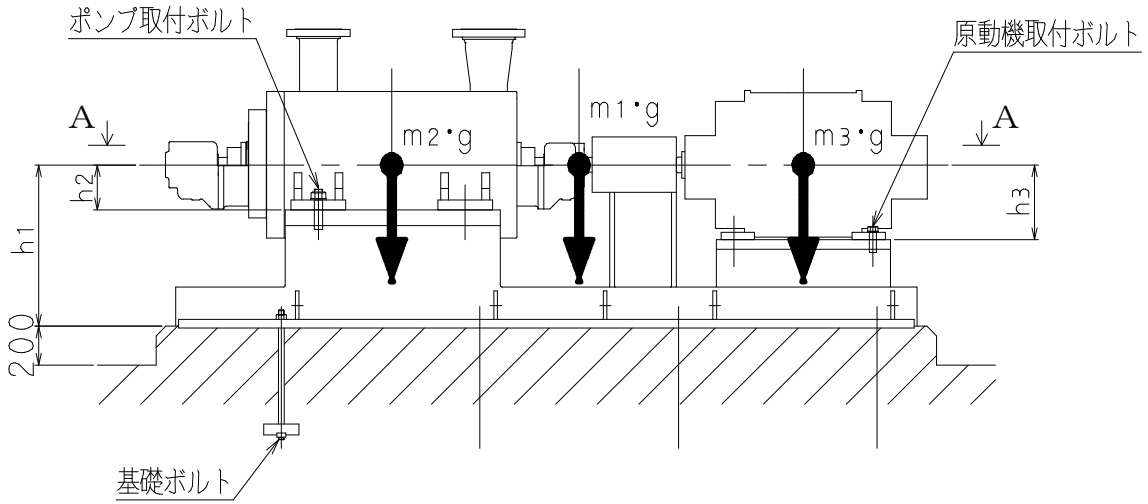


A～A矢視図

($\ell_{1i} \leqq \ell_{2i}$)

11





Ⅴ-2-5-5-5-2　管の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 ····· 2
2.1　概略系統図 ····· 2
2.2　鳥瞰図 ····· 9
3.　計算条件 ····· 11
3.1　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 11
3.2　設計条件 ····· 12
3.3　材料及び許容応力 ····· 16
3.4　設計用地震力 ····· 17
4.　解析結果及び評価 ····· 18
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 18
4.2　評価結果 ····· 23
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 23
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 24
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 26
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 27

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-11　機器・配管の耐震支持設計方針」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示すとおりとする。

(1)　管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全２９モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2)　支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3)　弁

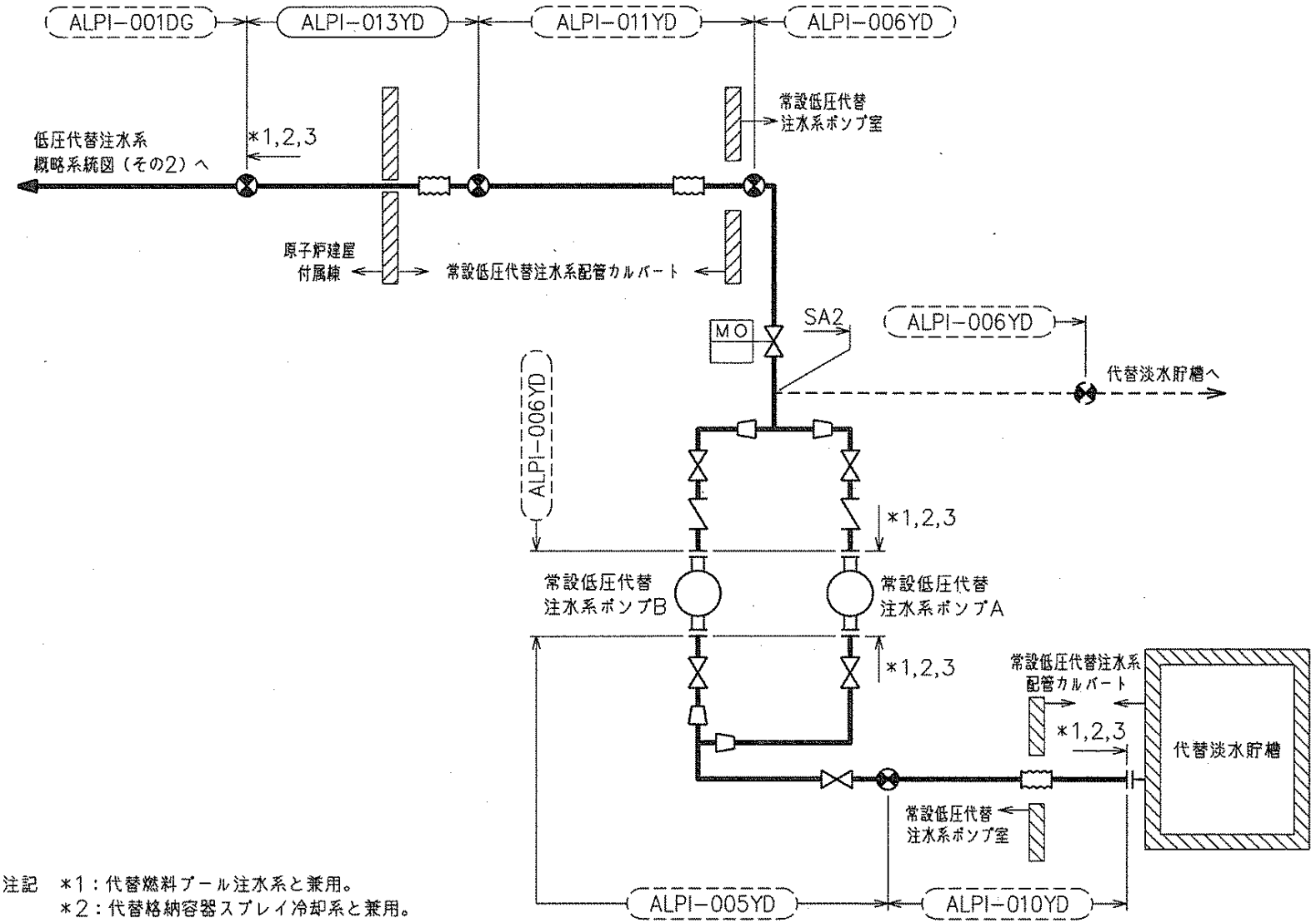
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

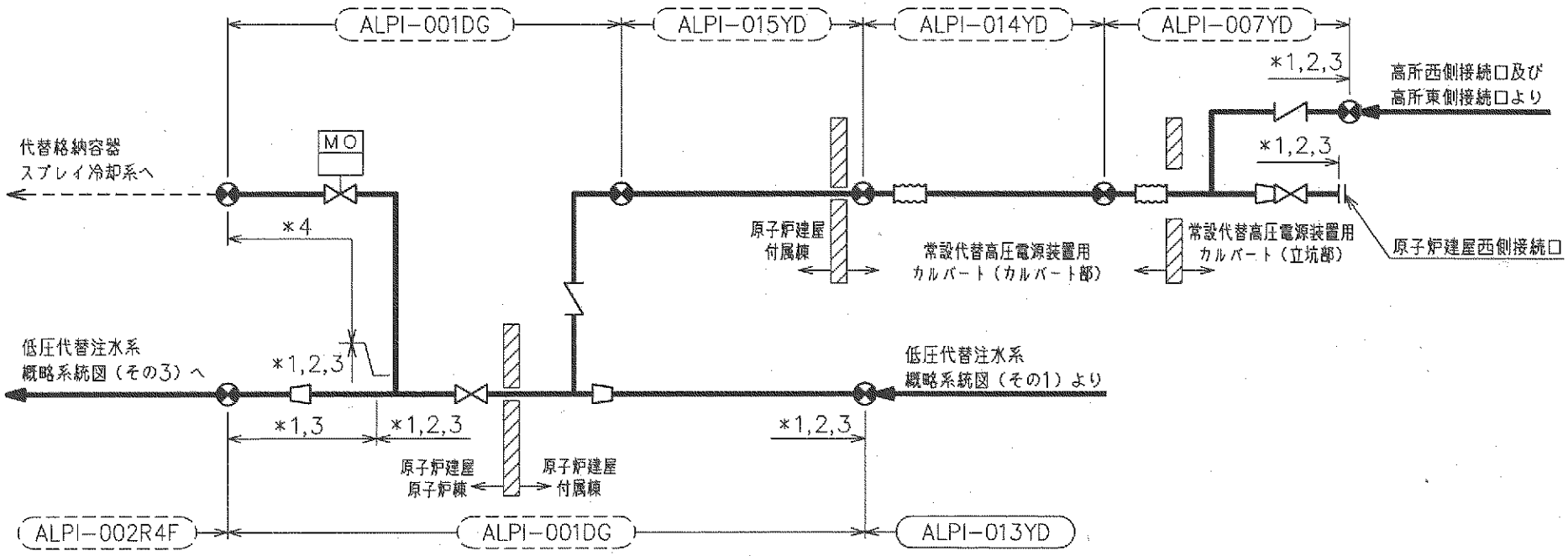
概略系統図記号凡例

記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管



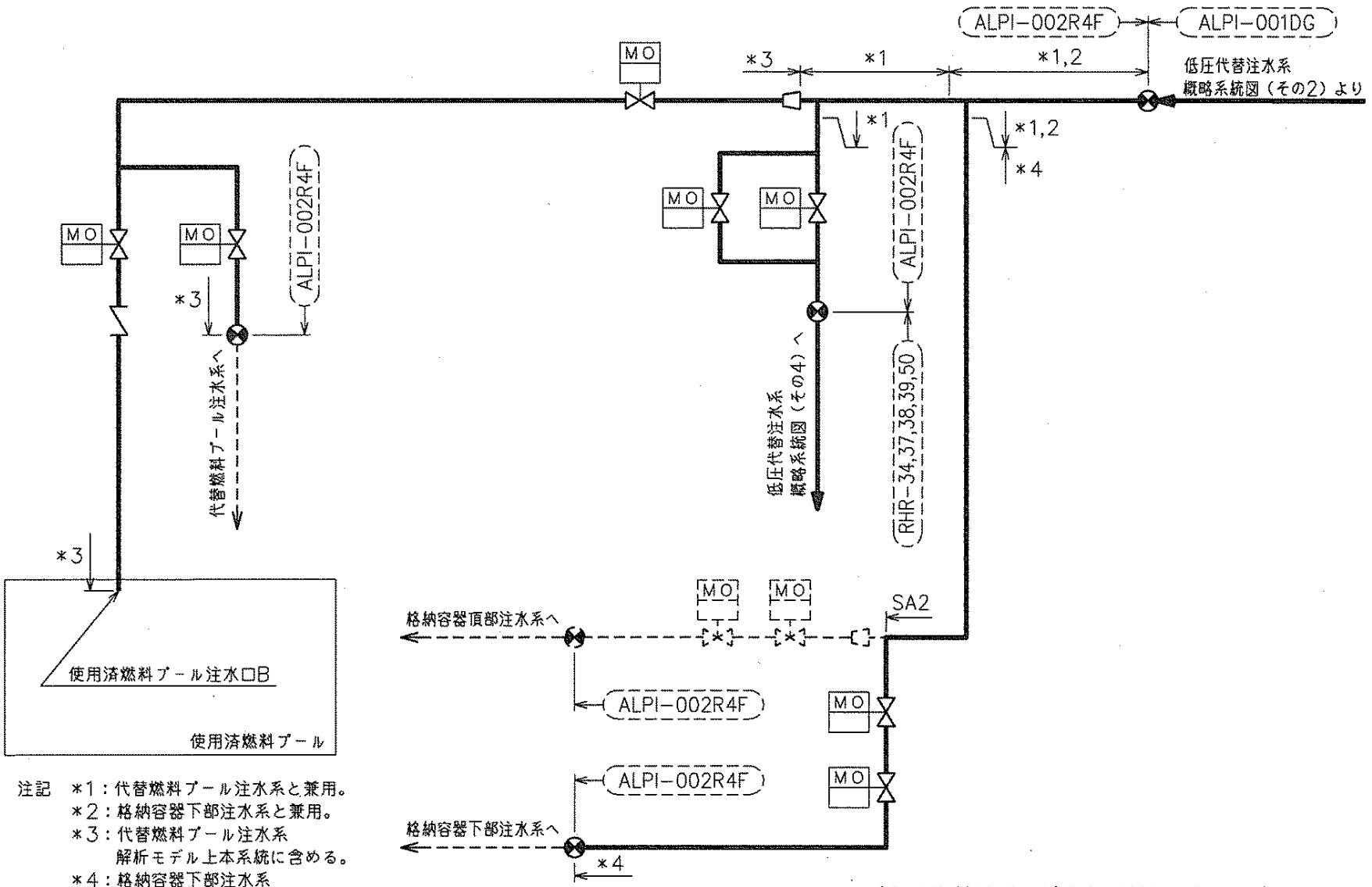
注記　＊1：代替燃料プール注水系と兼用。
　　＊2：代替格納容器スプレイ冷却系と兼用。
　　＊3：格納容器下部注水系と兼用。

低圧代替注水系概略系統図（その1）



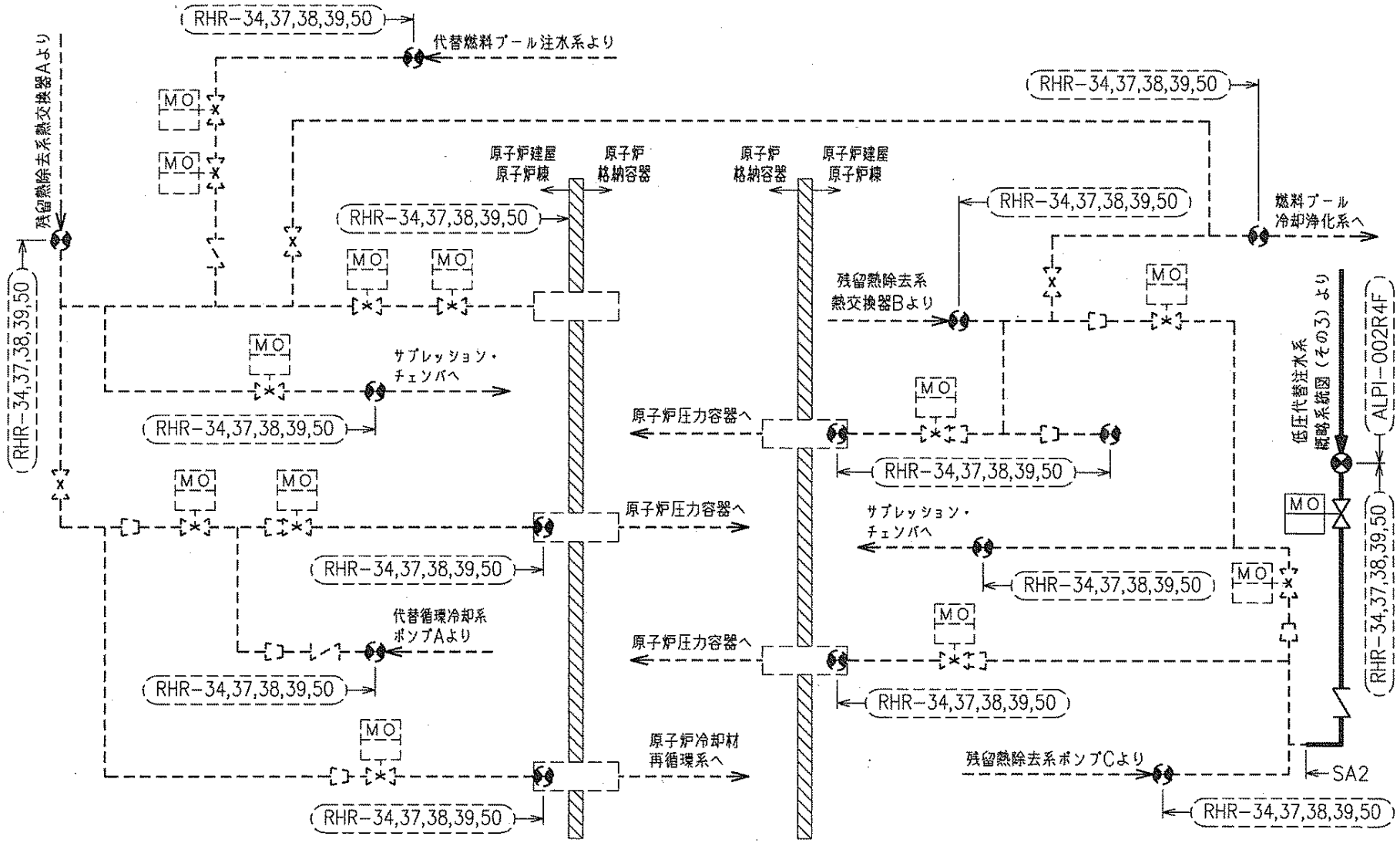
注記　＊1：代替燃料プール注水系と兼用。
　　＊2：代替格納容器スプレイ冷却系と兼用。
　　＊3：格納容器下部注水系と兼用。
　　＊4：代替格納容器スプレイ冷却系
　　解析モデル上本系統に含める。

低圧代替注水系概略系統図（その2）

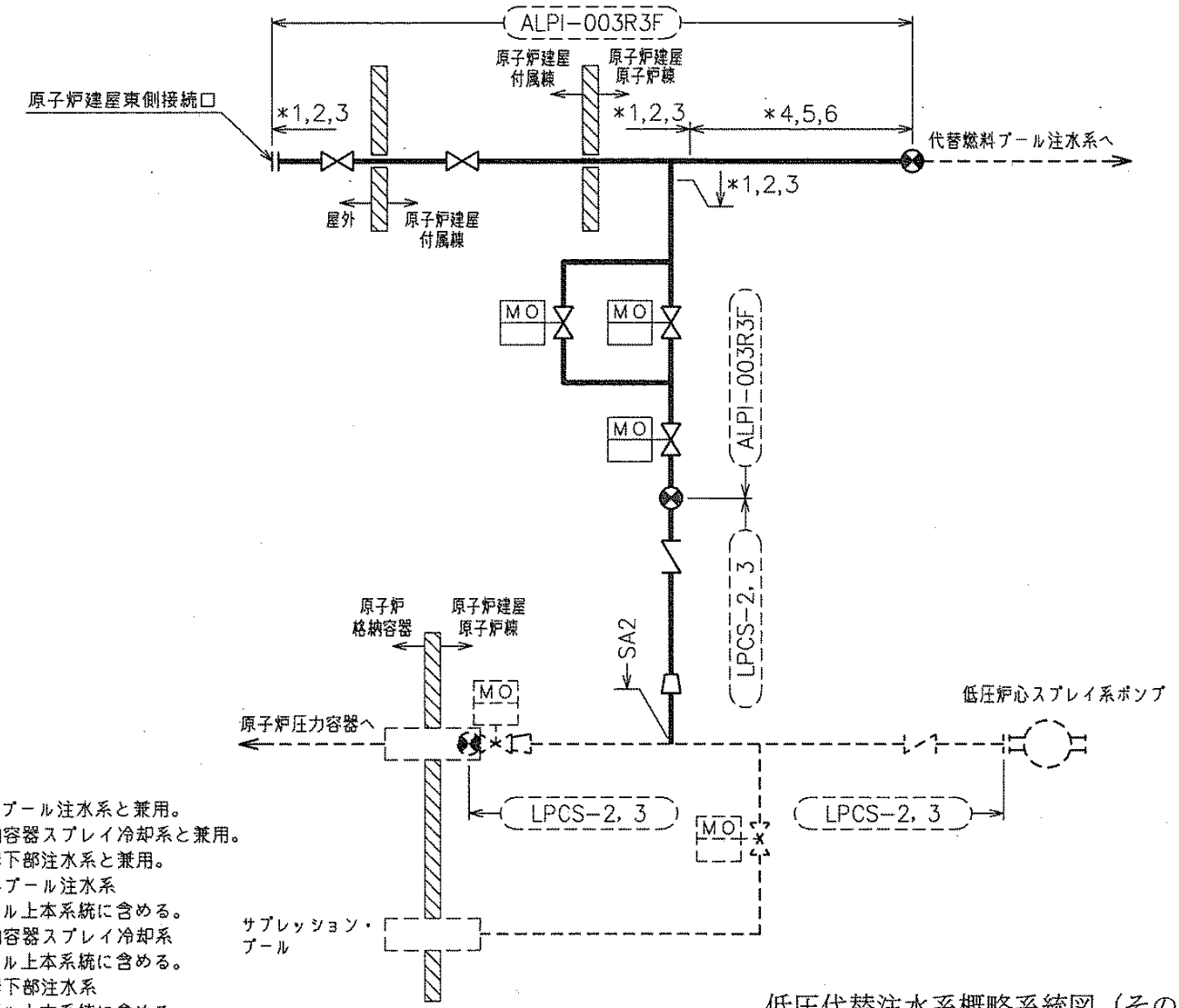


注記　＊1：代替燃料プール注水系と兼用。
＊2：格納容器下部注水系と兼用。
＊3：代替燃料プール注水系
解析モデル上本系統に含める。
＊4：格納容器下部注水系
解析モデル上本系統に含める。

低圧代替注水系概略系統図（その3）

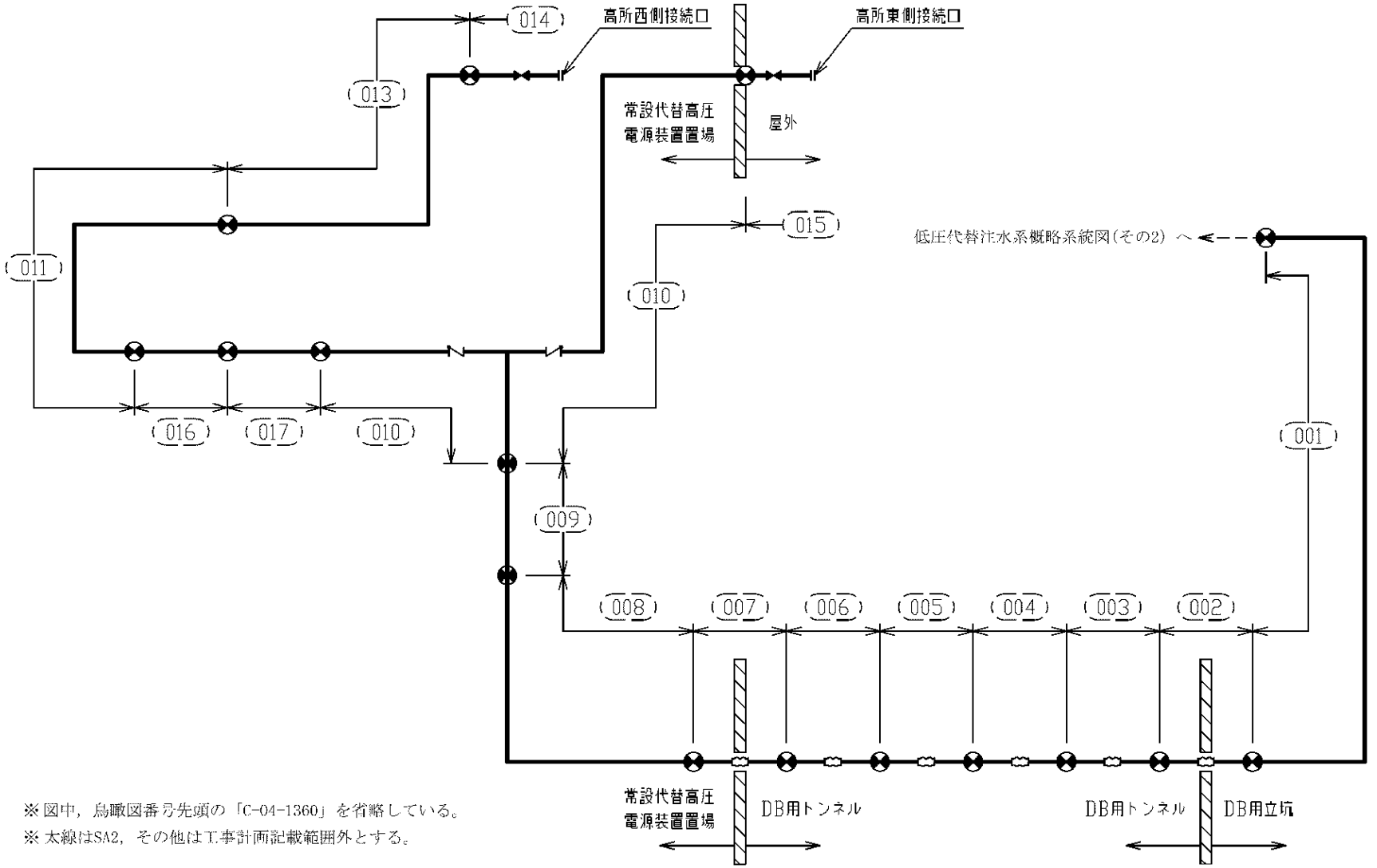


低圧代替注水系概略系統図（その4）



注記　*1：代替燃料プール注水系と兼用。
*2：代替格納容器スプレイ冷却系と兼用。
*3：格納容器下部注水系と兼用。
*4：代替燃料プール注水系
解析モデル上本系統に含める。
*5：代替格納容器スプレイ冷却系
解析モデル上本系統に含める。
*6：格納容器下部注水系
解析モデル上本系統に含める。

低圧代替注水系概略系統図（その5）

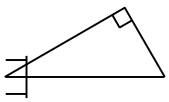
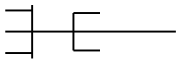
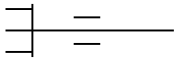
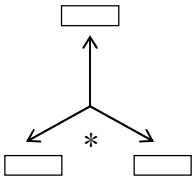


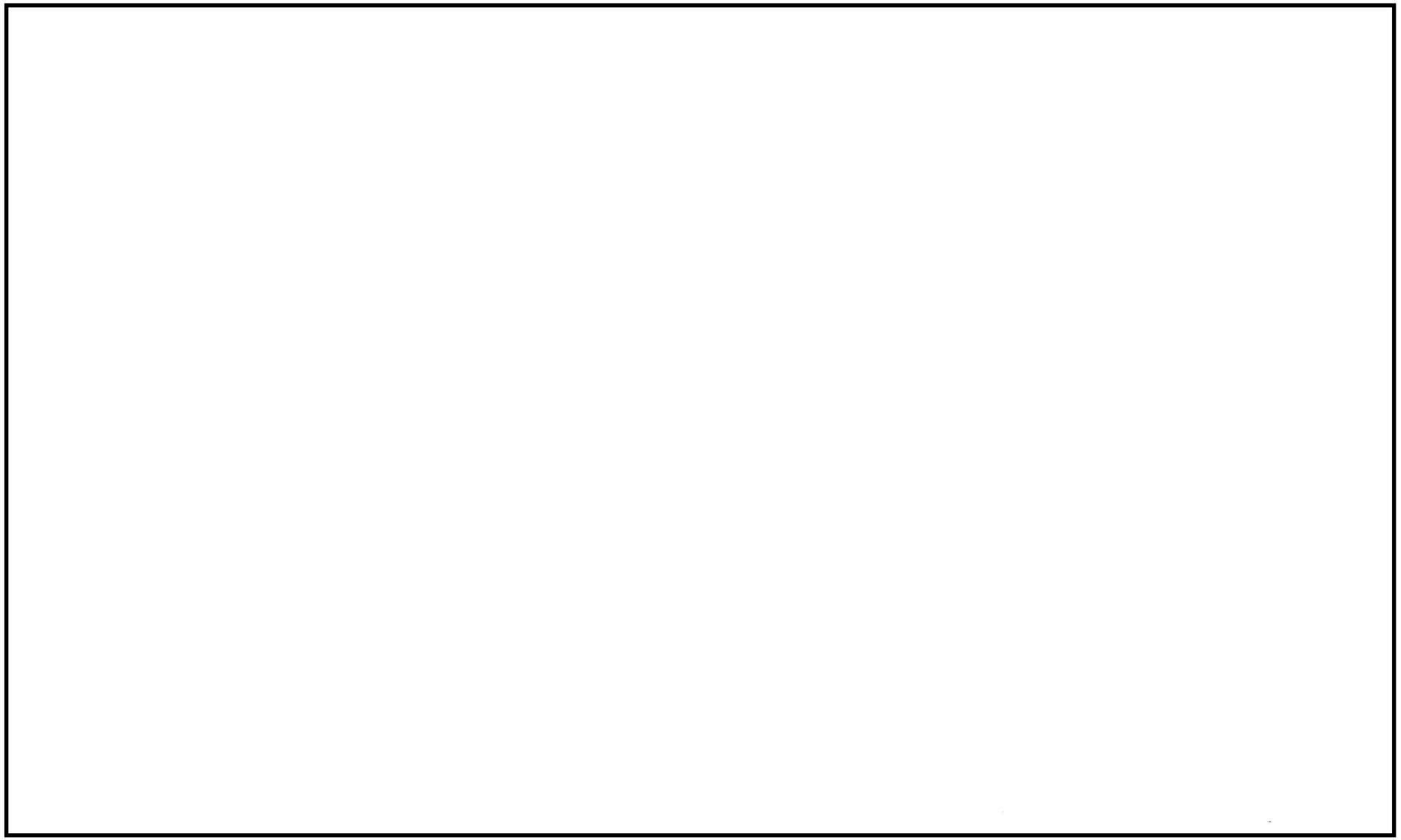
※図中，烏瞰図番号先頭の「C-04-1360」を省略している。
※太線はSA2，その他は工事計画記載範囲外とする。

低圧代替注水系概略系統図（その6）

2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記　　号	内　　容
━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質　　点
	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。）
	注：鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。



鳥瞰図	ALPI-013YD (SA)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	代替燃料プール注水系	ＳＡ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	V_L+S_s	V_AS
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	低圧代替注水系	ＳＡ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	V_L+S_s	V_AS
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備の原子炉格納容器安全設備	代替格納容器スプレイ冷却系	ＳＡ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	V_L+S_s	V_AS
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備の原子炉格納容器安全設備	格納容器下部注水系	ＳＡ	常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	V_L+S_s	V_AS
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備の原子炉格納容器安全設備	低圧代替注水系	ＳＡ	常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	V_L+S_s	V_AS

注記＊1： ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。
＊2： 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。
＊3： 運転状態の添字Ｌは荷重，（Ｌ）は荷重が長期間作用している状態，（ＬＬ）は（Ｌ）より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。
＊4： 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。
＊5： 許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

3.2　設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　ALPI-013YD

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	A00～A01，A04～A13	3.14	66	216.3	8.2	STPT410	－	[redacted]

伸縮継手部の質量

鳥　瞰　図　ALPI-013YD

質量	対応する評価点
[redacted]	A01～A02，A03～A04
	A02～A03

フランジ部の質量

鳥　瞰　図　ALPI-013YD

質量	対応する評価点
[redacted]	A01，A04

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　ALPI-013YD

支持点番号	各軸方向ばね定数（N/mm）			各軸回り回転ばね定数（N・mm/rad）		
	X	Y	Z	X	Y	Z
A00						
A05						
A10						
A12						
A13						

3.3　材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材　　料	最高使用温度 (℃)	許容応力 (MPa) *			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT410	66	－	231	407	－

注記　＊：評価に使用しない許容応力は「－」と記載する。

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
ALPI-013YD	[redacted]	EL. -4.000 m	[redacted]
	常設低圧代替注水系 配管カルバート	EL. -1.830 m	

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 ALPI-013YD

耐震設計上の重要度分類		－		
適用する地震動等		S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向
		2.39	2.39	4.28
		2.21	2.21	4.28
		－	－	－
動 的 震 度*2		0.96	0.96	0.92

注記 ＊1：各モードの固有周期に対し，設備評価用床応答曲線より得られる震度を示す。

＊2：S_d又はS_s地震動に基づく最大設計用床応答加速度より定めた震度を示す。

＊3：固有周期が 0.050 s 以下であることを示す。

各モードに対応する刺激係数

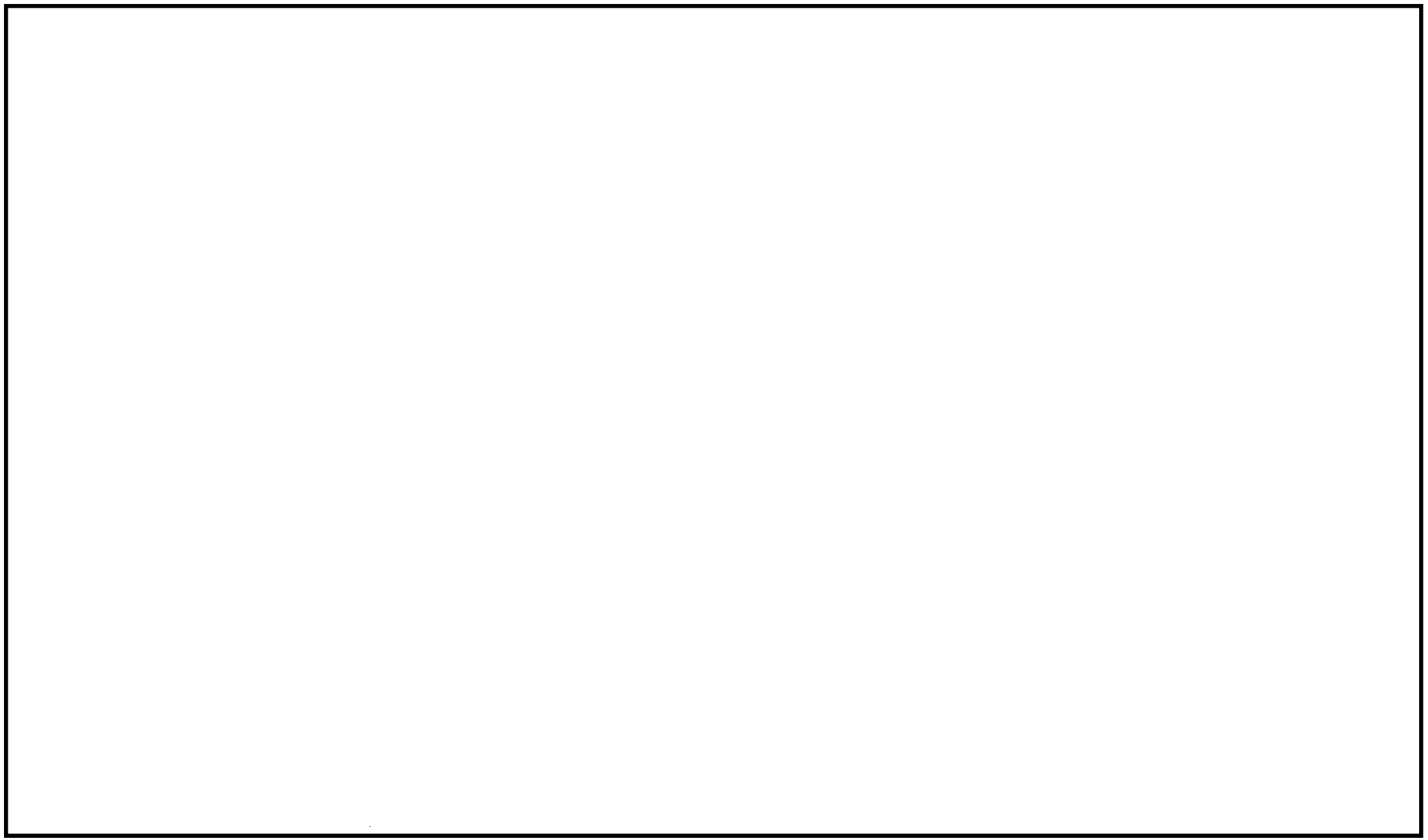
鳥　瞰　図　ALPI-013YD

モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数*		
		X方向	Y方向	Z方向

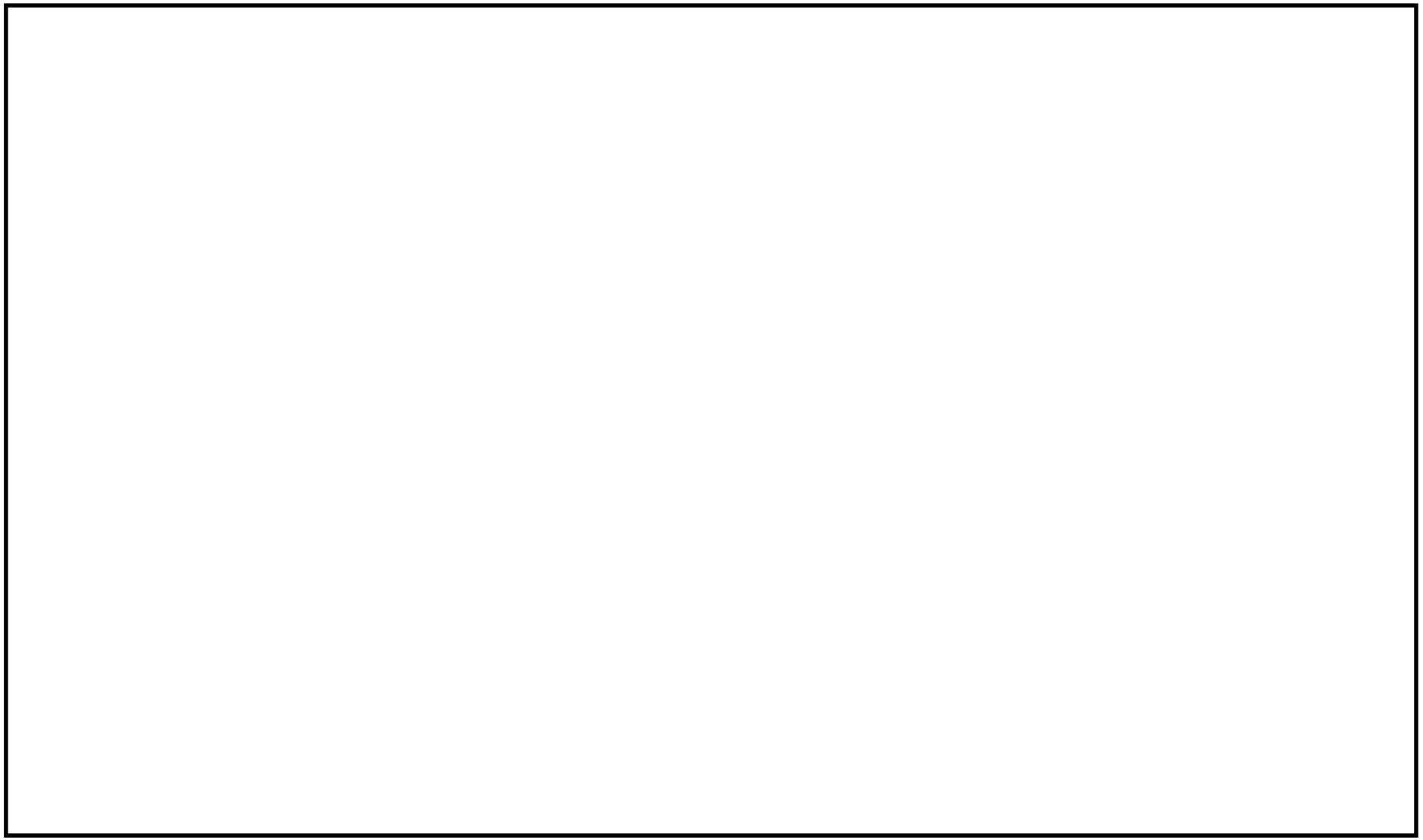
注記　＊：刺激係数はモード質量を正規化し，固有ベクトルと質量マトリクスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



鳥瞰図	ALPI-013YD



鳥瞰図	ALPI-013YD

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管

鳥瞰図	許容応力状態（供用状態）	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価（MPa）		一次＋二次応力評価（MPa）		疲労評価
				計算応力 S_{prm}（S_s）	許容応力 $0.9S_u$	計算応力 S_n（S_s）	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
ALPI-013YD	V_AS	A05	S_{prm}（S_s）		366		－	－
ALPI-013YD	V_AS	A05	S_n（S_s）		－		462	－

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
ALPI-009SNM	メカニカルスナッバ	SMS-3	添付書類「Ⅴ-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		8	45
ALPI-017SNM	メカニカルスナッバ	SMS-6			6	90
ALPI-023SNM	メカニカルスナッバ	SMS-10			6	150
ALPI-020SNM	メカニカルスナッバ	SMS-16			3	240
ALPI-312SNM	メカニカルスナッバ	SMS-25			3	375
ALPI-165ROR	ロッドレストレイント	RSA-1			6	18
ALPI-011ROR	ロッドレストレイント	RSA-3			9	54
ALPI-121ROR-1	ロッドレストレイント	RSA-6			16	108

注　反力が最大となる支持点の支持構造物評価結果（荷重評価）は，本系統であって評価結果の記載を省略する範囲も示す。

支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力（kN）			モーメント（kN・m）			応力分類	計算応力(MPa)	許容応力(MPa)
					F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
ALPI-083RES	レストレイント	架構	STKR400	100	34	0	19	－	－	－	組合せ	45	234
ALPI-102ANC	アンカ	架構	STKR400	100	5	8	40	5	3	2	組合せ	36	234

注　反力が最大となる支持点の支持構造物評価結果（応力評価）は，本系統であって評価結果の記載を省略する範囲も示す。

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度* (×9.8 m/s^2)		機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
－	－	－	－	－	－	－	－	－

注記　＊ 応答加速度は，打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス２範囲）

No	配管モデル	許容応力状態 V_AS												
		一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	ALPI-010YD	A07F	36	366	10.16	－	A07F	60	462	7.70	－	－	－	－
2	ALPI-005YD	A00	23	366	15.91	－	A00	32	462	14.43	－	－	－	－
3	ALPI-006YD	A24	72	366	5.08	－	C21	72	462	6.41	－	－	－	－
4	ALPI-011YD	A06	107	366	3.42	－	A06	126	462	3.66	－	－	－	－
5	ALPI-013YD	A05	142	366	2.57	○	A05	194	462	2.38	○	－	－	－
6	ALPI-001DG	A66F	116	366	3.15	－	A66F	172	462	2.68	－	－	－	－
7	ALPI-002R4F	C50	92	366	3.97	－	C50	146	462	3.16	－	－	－	－
8	RHR-34,37,38,39,50	544	62	363	5.85	－	579	66	462	7.00	－	－	－	－
9	ALPI-007YD	A16	58	366	6.31	－	A16	58	462	7.96	－	－	－	－
10	ALPI-014YD	A12	38	366	9.63	－	A12	32	462	14.43	－	－	－	－
11	ALPI-015YD	A00	24	366	15.25	－	A00	18	462	25.66	－	－	－	－
12	ALPI-003R3F	A109F	97	366	3.77	－	A108N	134	462	3.44	－	－	－	－
13	LPCS-2,3	120	34	363	10.67	－	131A	28	462	16.50	－	－	－	－
14	C-04-1360-001	A09	45	431	9.57	－	A04AN	45	376	8.35	－	－	－	－
15	C-04-1360-002	A12	17	431	25.35	－	A12	11	376	34.18	－	－	－	－
16	C-04-1360-003	A07	14	431	30.78	－	A07	4	376	94.00	－	－	－	－
17	C-04-1360-004	A15	15	431	28.73	－	A10	6	376	62.66	－	－	－	－

No	配管モデル	許容応力状態 V_AS												
		一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
18	C-04-1360-005	A05	16	431	26.93	—	A08	6	376	62.66	—	—	—	—
19	C-04-1360-006	A13	15	431	28.73	—	A13	3	376	125.33	—	—	—	—
20	C-04-1360-007	A03	17	431	25.35	—	A03	12	376	31.33	—	—	—	—
21	C-04-1360-008	A00	20	431	21.55	—	A00	19	376	19.78	—	—	—	—
22	C-04-1360-009	A00	21	431	20.52	—	A00	22	376	17.09	—	—	—	—
23	C-04-1360-010	A01	40	431	10.77	—	A08F	45	376	8.35	—	—	—	—
24	C-04-1360-011	A12N	33	431	13.06	—	A12N	43	376	8.74	—	—	—	—
25	C-04-1360-013	A05	37	431	11.64	—	A05	51	376	7.37	—	—	—	—
26	C-04-1360-014	A05	17	431	25.35	—	A05	11	376	34.18	—	—	—	—
27	C-04-1360-015	A00	17	431	25.35	—	A00	6	376	62.66	—	—	—	—
28	C-04-1360-016	A02F	29	431	14.86	—	A02F	36	376	10.44	—	—	—	—
29	C-04-1360-017	A01N	16	431	26.93	—	A01N	7	376	53.71	—	—	—	—

Ⅴ-2-5-5-6　代替循環冷却系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-5-5-6-1　代替循環冷却系ポンプの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 構造強度評価 ····· 3
3.1 構造強度評価方法 ····· 3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
4. 機能維持評価 ····· 7
4.1 動的機能維持評価方法 ····· 7
5. 評価結果 ····· 8
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 8

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，代替循環冷却系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

代替循環冷却系ポンプは，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

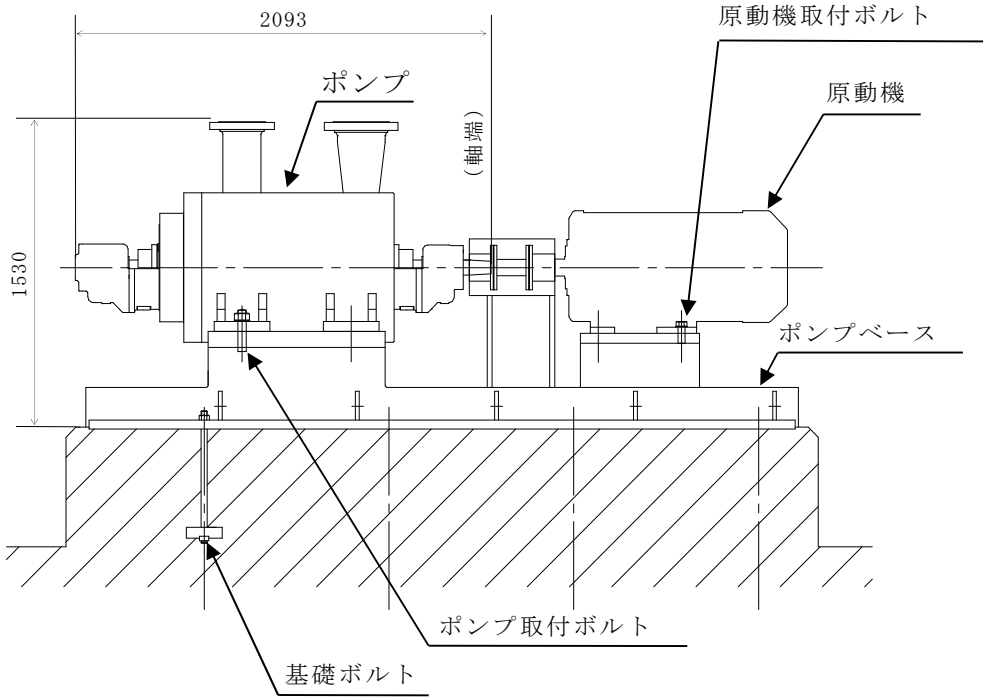
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-4　横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

代替循環冷却系ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ポンプはポンプベースに固定され，ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	ターボ形横軸ポンプ	

（単位：mm）

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

代替循環冷却系ポンプの構造は横軸ポンプであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

代替循環冷却系ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

代替循環冷却系ポンプの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-2 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

代替循環冷却系ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

表 3-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	代替循環冷却系ポンプ	常設／緩和	重大事故等クラス２ポンプ*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：重大事故等クラス２ポンプの支持構造物を含む。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-2　許容応力（重大事故等クラス２支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1，*2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅣＡＳ	1.5・f_t^*	1.5・f_s^*
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件（℃）		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		—	171	441	205
ポンプ取付ボルト		周囲環境温度		—	673	759	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度		—	673	759	—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

代替循環冷却系ポンプの地震時の動的機能維持評価について，以下に示す。

代替循環冷却系ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形多段遠心式ポンプ	水平	1.4
		鉛直	1.0
原動機	横形ころがり軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

代替循環冷却系ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【代替循環冷却系ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ（m）	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
代替循環冷却系ポンプ	常設／緩和	EL. -4.00*1	—*2	—*2	—	—	C_H=0.87	C_V=0.90		—	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}*1 (mm)	ℓ_{2i}*1 (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*1	
							弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）						8	—	2
								4
ポンプ取付ボルト（i＝2）						4	—	2
								2
原動機取付ボルト（i＝3）						4	—	2
								2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向		M_P (N・mm)	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）	171*2	441*2	—	230	—	軸直角	—	—
ポンプ取付ボルト（i＝2）	673*2	759*2	—	531	—	軸	—	—
原動機取付ボルト（i＝3）	673*2	759*2	—	531	—	軸直角	—	

予想最大両振幅（μm）	回転速度（min^{-1}）

注記 ＊1：各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。
＊2：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）	－		－	
ポンプ取付ボルト（i＝2）	－		－	
原動機取付ボルト（i＝3）	－		－	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－		
		せん断	－	－		
ポンプ取付ボルト		引張り	－	－		
		せん断	－	－		
原動機取付ボルト		引張り	－	－		
		せん断	－	－		

すべて許容応力以下である。

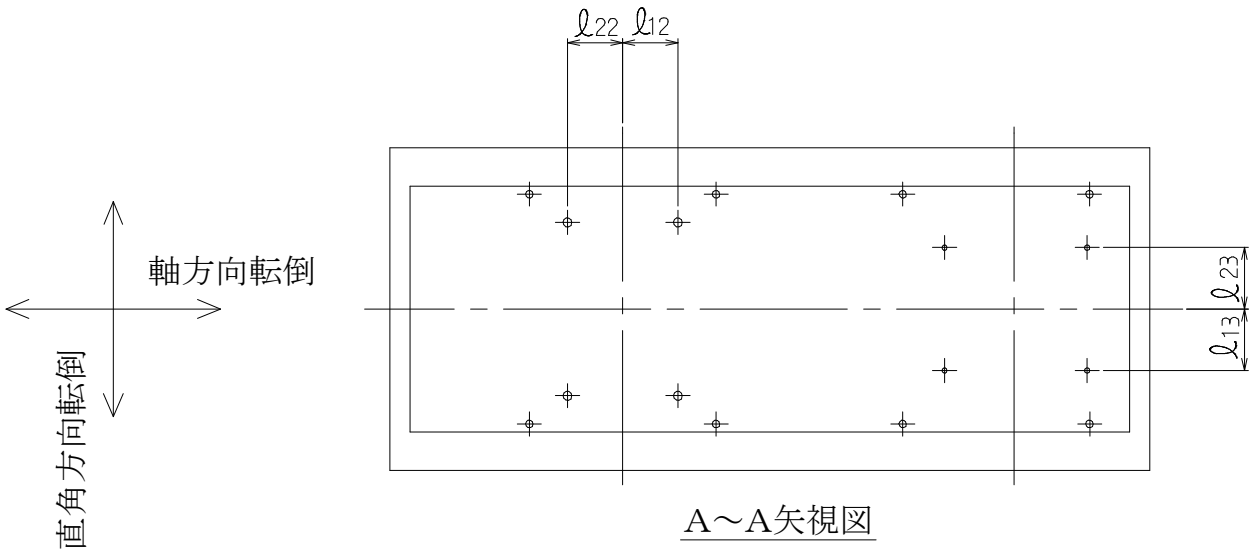
注記　＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau bi,\ f_{toi}]$より算出

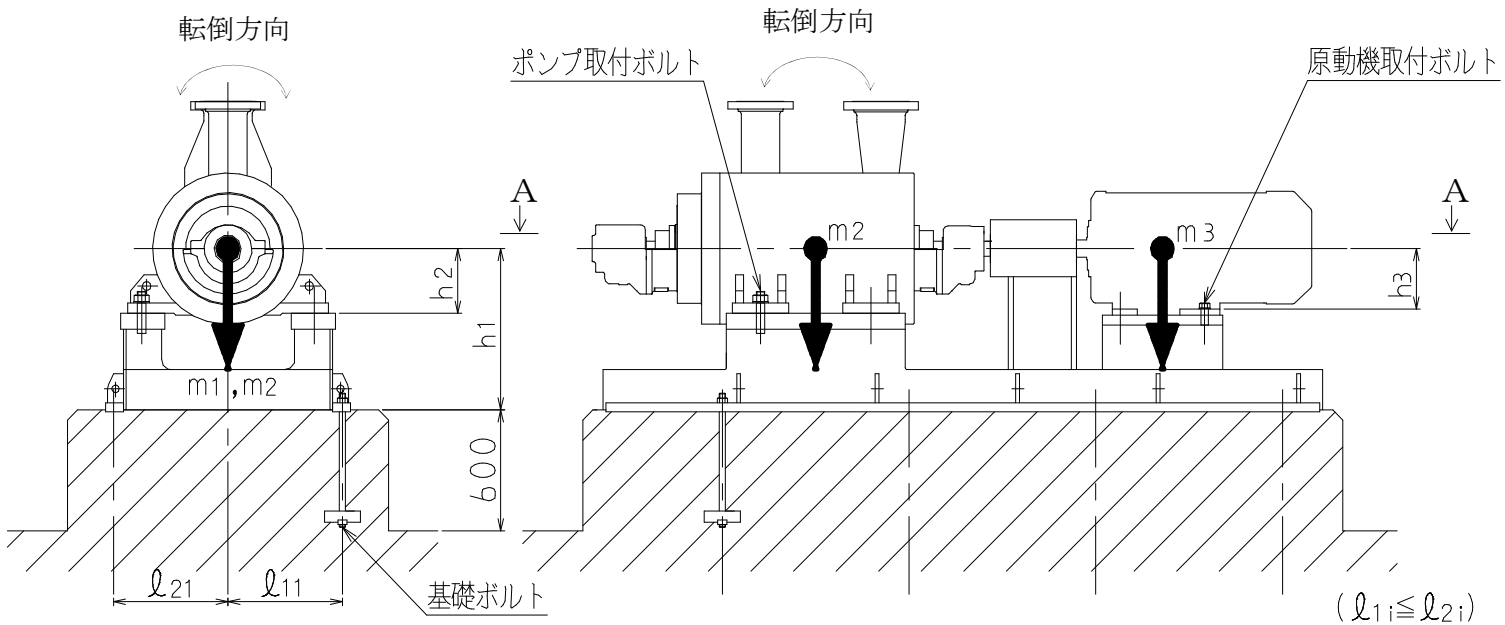
1.4.2 動的機能の評価結果

(×9.8m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.72	1.4
	鉛直方向	0.75	1.0
原動機	水平方向	0.72	4.7
	鉛直方向	0.75	1.0

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。


軸方向転倒
軸直角方向転倒
ℓ22
ℓ12
ℓ23
ℓ13
A～A矢視図


転倒方向
転倒方向
ポンプ取付ボルト
原動機取付ボルト
A
A
m1,m2
m2
m3
h2
h1
h3
600
ℓ21
ℓ11
基礎ボルト
(ℓ1i≦ℓ2i)

Ⅴ-2-5-5-6-2　管の耐震性についての計算書

目　次

1.　概要 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 2
2.1　概略系統図 2
2.2　鳥瞰図 4
3.　計算条件 8
3.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 8
3.2　設計条件 9
3.3　材料及び許容応力 18
3.4　設計用地震力 19
4.　解析結果及び評価 20
4.1　固有周期及び設計震度 20
4.2　評価結果 26
4.2.1　管の応力評価結果 26
4.2.2　支持構造物評価結果 27
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 28
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 29

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全８モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3) 弁

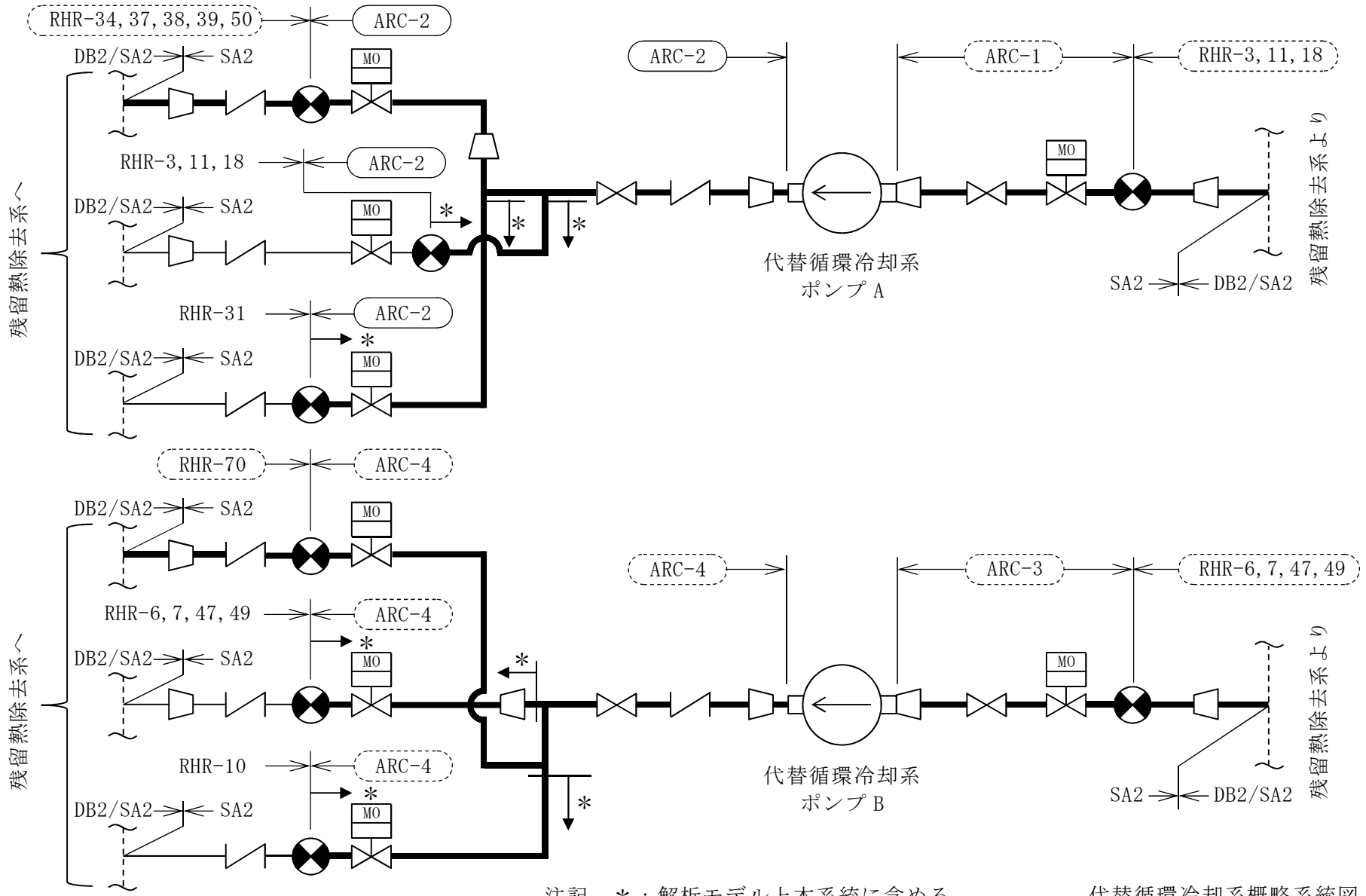
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号 （鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管

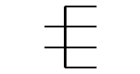
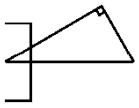
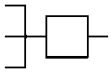
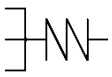
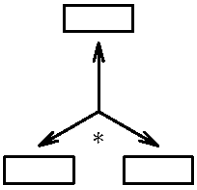


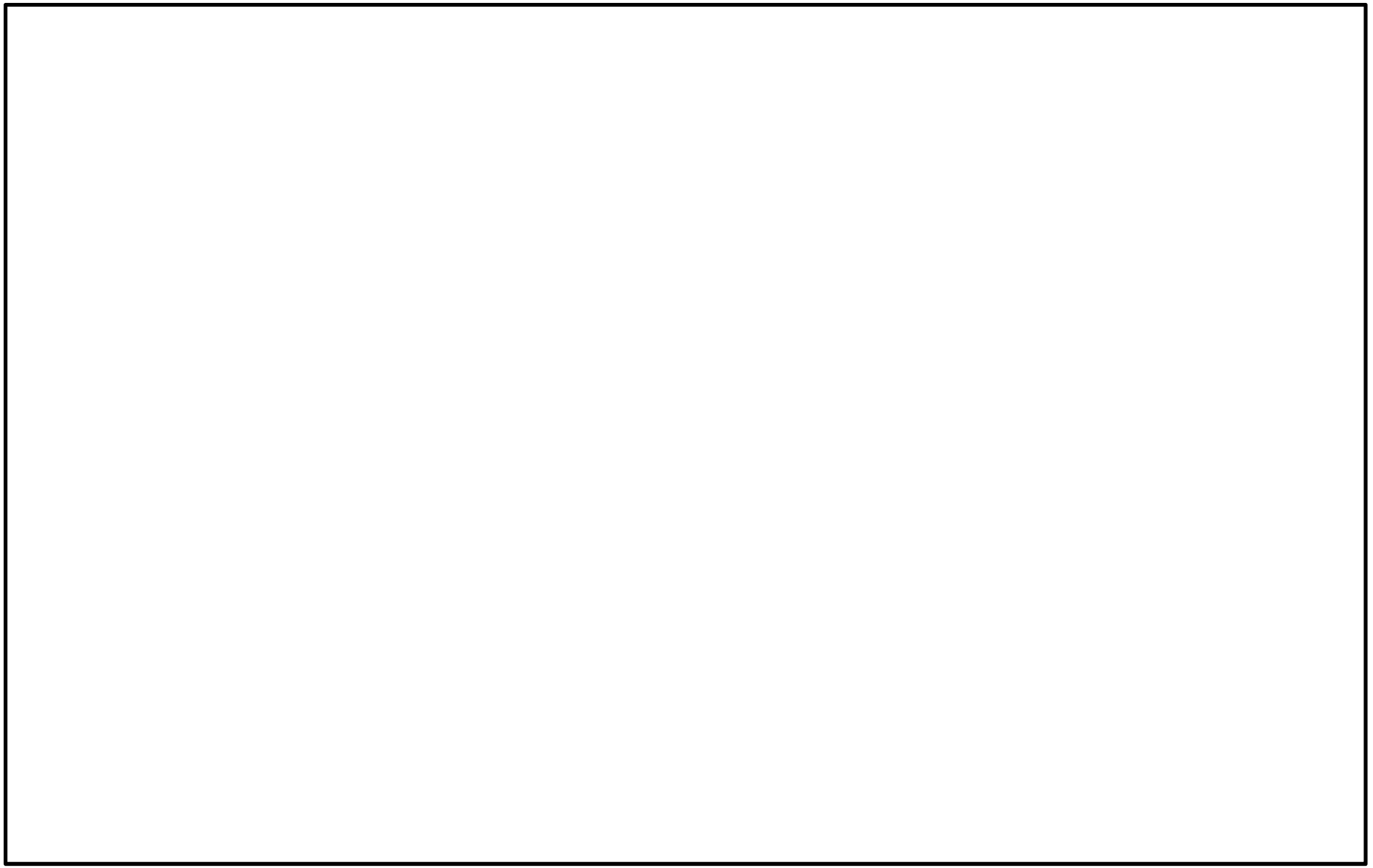
注記　＊：解析モデル上本系統に含める。

代替循環冷却系概略系統図

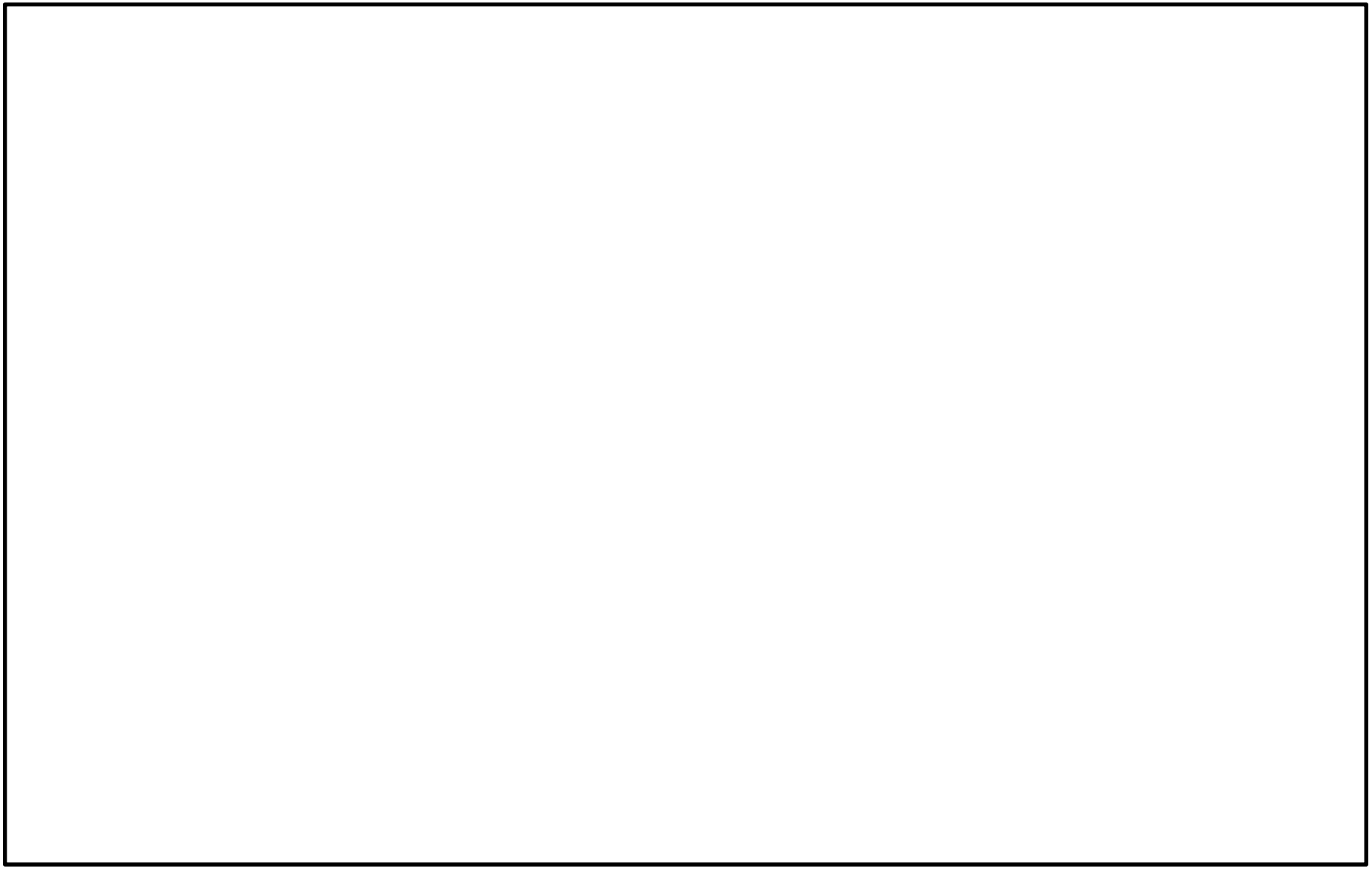
2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

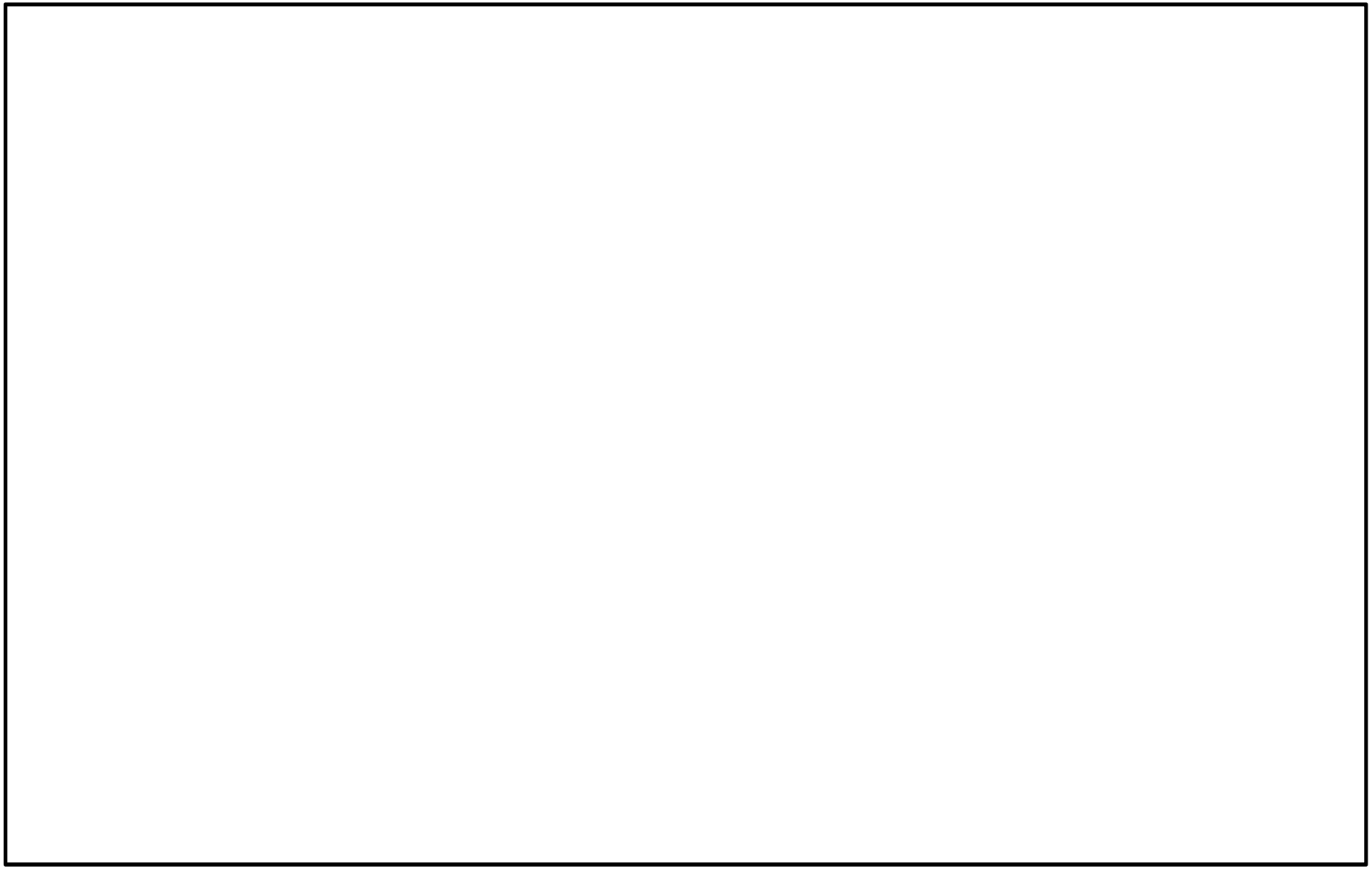
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
○ ◎	節　　点 質　　点
	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	拘束点の地震による相対変位量（mm） （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。）
	注：　鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。



鳥瞰図	ARC-2（ＳＡ）（1／3）



鳥瞰図	ARC-2（ＳＡ）（2／3）



鳥瞰図	ARC-2（ＳＡ）(3／3)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	代替循環冷却系	ＳＡ	常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	V_L+S_s	V_AS

注記 ＊1： ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。

＊2： 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊3： 運転状態の添字Ｌは荷重，（Ｌ）は荷重が長期間作用している状態，（ＬＬ）は（Ｌ）より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

＊4： 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

＊5： 許容応力状態V_ASは許容応力状態$Ⅳ_AS$の許容限界を使用し，許容応力状態$Ⅳ_AS$として評価を実施する。

3.2　設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　ARC-2

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	212,502,　2,　4,600,311 901,312,　6,801,503,　7 601,　9,802,321,902,322 11,803,504,　12,　14,602 15,　17,505,804,603,506 805,412,411,413,421,221 423,621,829,622,　96,　98 830,　99,623,101,102,104 831,105,624,107,832,341 904	3.45	80	216.3	8.2	STPT410	－	[redacted]
2	904,342,108,625,110,833 111,113,114,626,116,834	0.86	80	216.3	8.2	STPT410	－	[redacted]

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　ARC-2

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
3	1001,501,211,411,414,604 806, 18, 20, 21, 23,605 807,507,606, 24, 26,808 27, 29,701, 30, 32,809 607, 33, 35,810, 36, 38 39, 41,811	3.45	80	165.2	7.1	STPT410	－	[redacted]

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　ARC-2

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
4	222,812, 42, 44,608, 45 47,813, 48, 50,609,814 610,815,611, 51, 53,816 54, 56,612, 57, 59, 60 62,817, 63, 65, 66, 68 613, 69, 71, 72, 74,818 75, 77,819, 78, 80, 81 614, 83,820,615,821,616 508,822, 84, 86,823, 87 89,824,617,825,618,826 619,331,903,332,827, 90 92,620, 93, 95,828	3.45	80	114.3	6.0	STPT410	－	[redacted]

配管の付加質量

鳥　瞰　図　ARC-2

質量	対応する評価点
[redacted]	212,502, 2, 4,600,311,901,312, 6,801,503, 7,601, 9 802,321,902,322, 11,803,504, 12, 14,602, 15, 17,505,804 603,506,805,412,411,413,421,221,423,621,829,622, 96, 98 830, 99,623,101,102,104,831,105,624,107,832,341,904,342 108,625,110,833,111,113,114,626,116,834
[redacted]	1001,501,211,411,414,604,806, 18, 20, 21, 23,605,807,507 606, 24, 26,808, 27, 29,701, 30, 32,809,607, 33, 35,810 36, 38,39, 41,811
[redacted]	222,812, 42, 44,608, 45, 47,813, 48, 50,609,814,610,815 611, 51, 53,816, 54, 56,612, 57, 59, 60, 62,817, 63, 65 66, 68,613, 69, 71, 72, 74,818, 75, 77,819, 78, 80, 81 614, 83,820,615,821,616,508,822, 84, 86,823, 87, 89,824 617,825,618,826,619,331,903,332,827, 90, 92,620, 93, 95 828

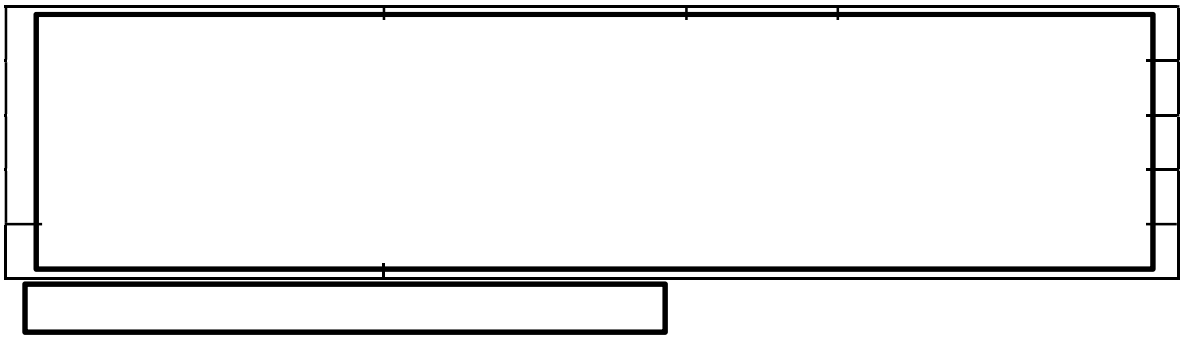
フランジ部の質量

鳥　瞰　図　ARC-2

質量	対応する評価点
	501
	502,503,504,505
	506
	507
	508

弁部の寸法

鳥　瞰　図　ARC-2



弁部の質量

鳥　瞰　図　ARC-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	901	[redacted]	902
	903		953
	904		954

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　ARC-2

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1001						
801						
802						
803						
804						
805						
806						
807						
808						
809						
810						
811						
812						
813						
814						
815						
816						
817						
818						
819						
820						
821						
822						
823						
824						
825						
826						
827						
828						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　ARC-2

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
829						
830						
831						
832						
833						
834						

3.3　材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (℃)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT410	80	－	225	406	－

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数(%)
ARC-2	[redacted]	EL. 20.300 m	[redacted]
		EL. 14.000 m	
		EL. 8.200 m	
		EL. 2.000 m	
		EL. -4.000 m	

4.　解析結果及び評価

4.1　固有周期及び設計震度

鳥　瞰　図　ARC-2

耐震設計上の重要度分類		－		
適用する地震動等		S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
動的震度				

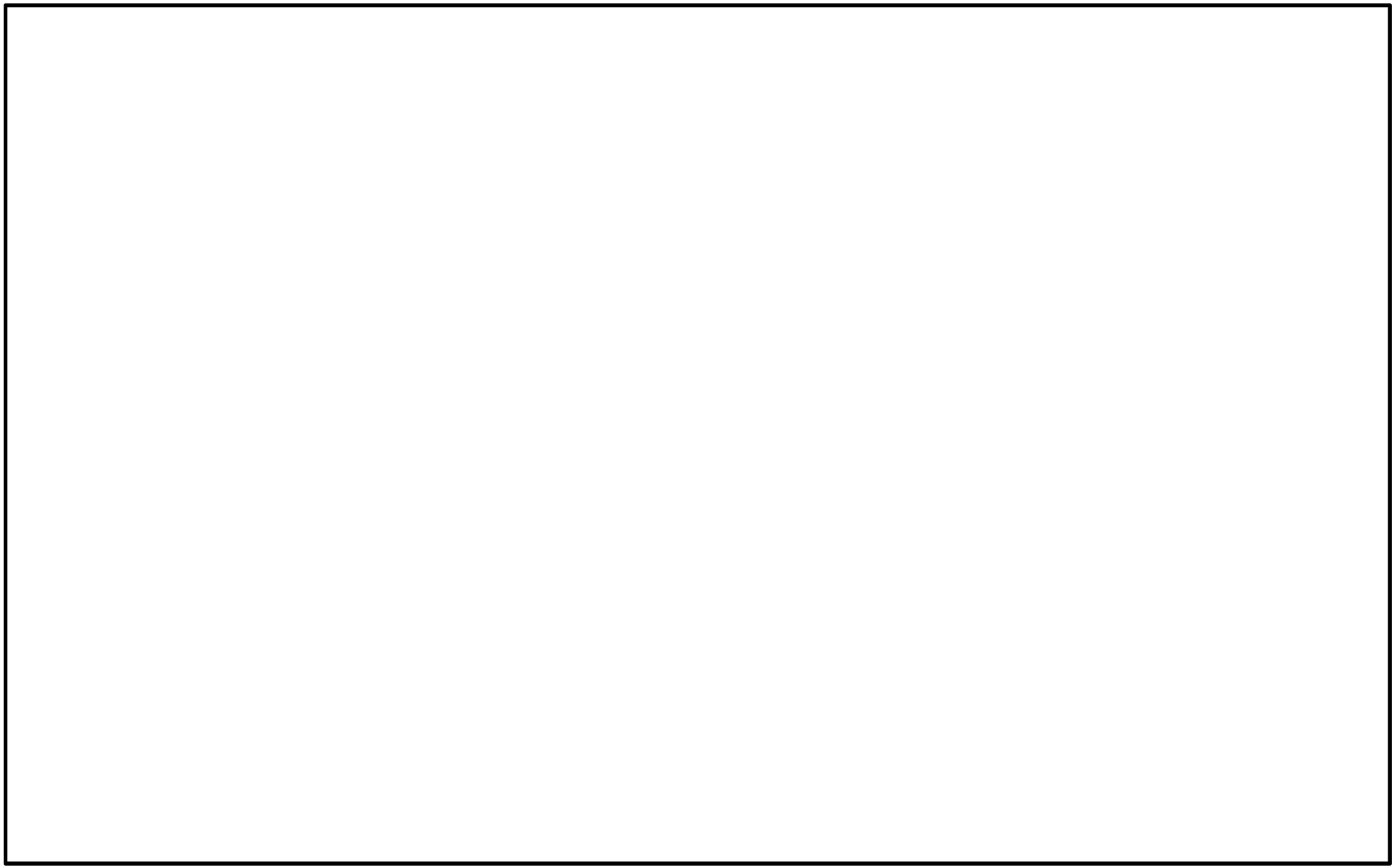
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　ARC-2

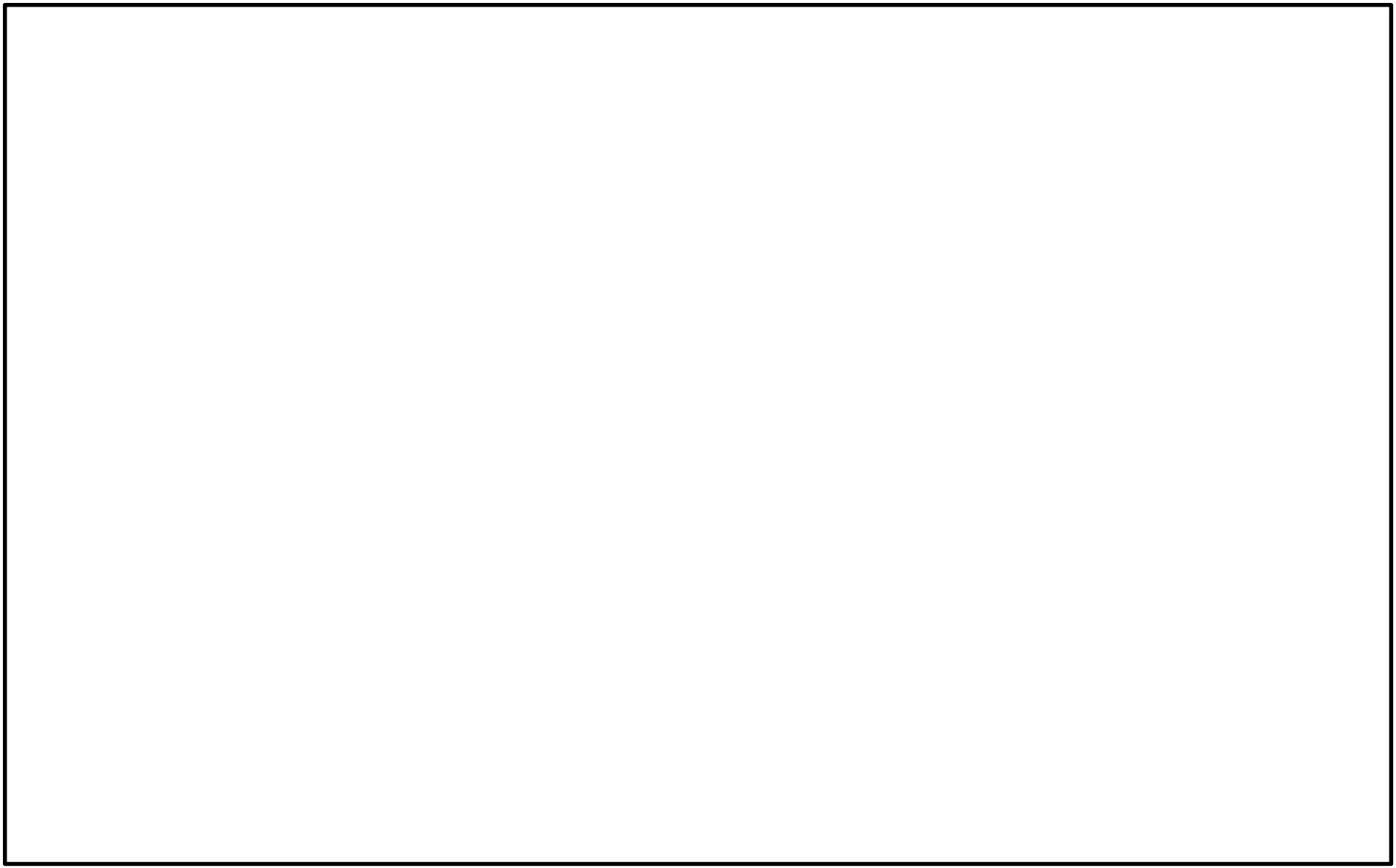
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向

代表的振動モード図

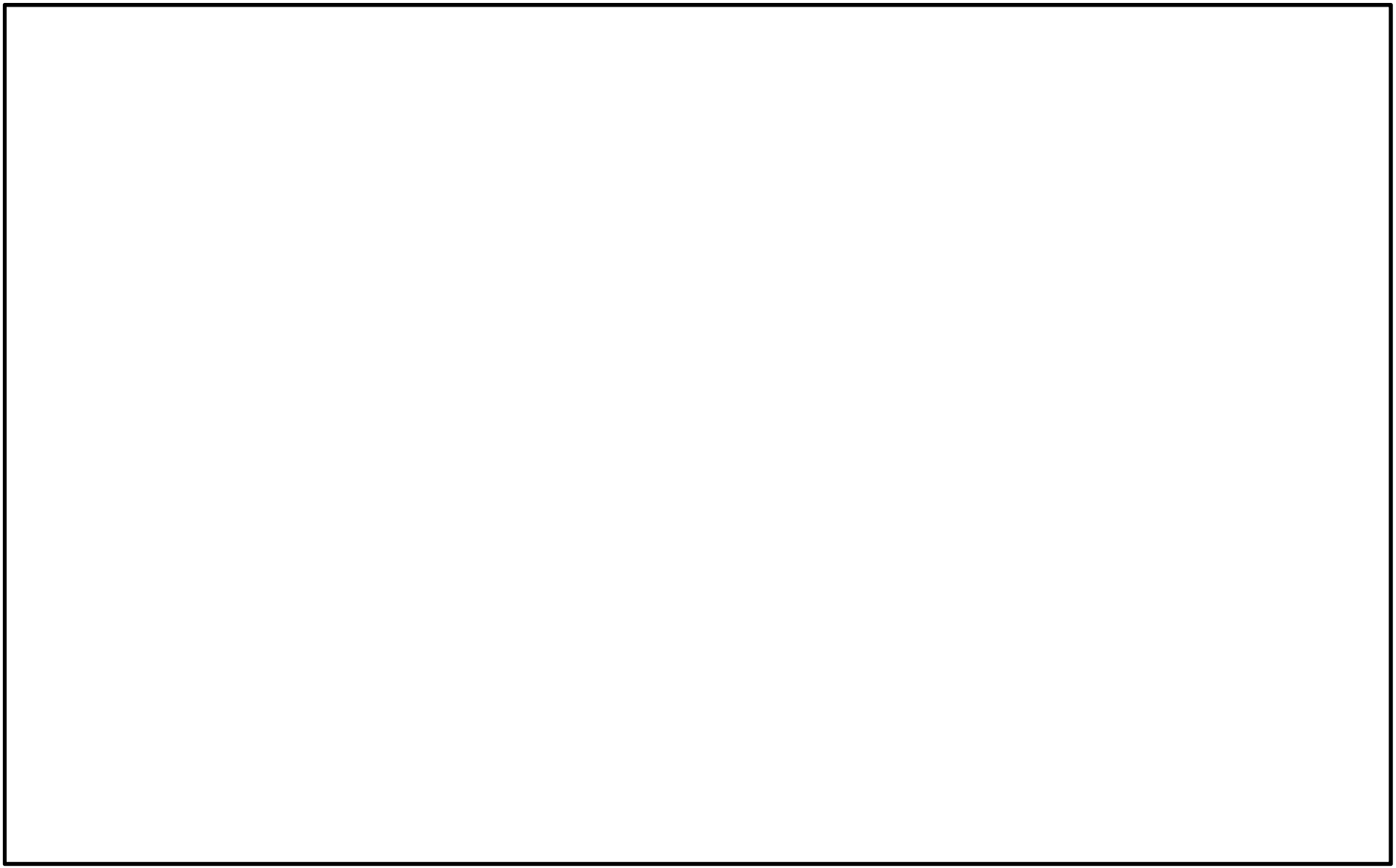
振動モード図は，3 次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



鳥瞰図	ARC-2



鳥瞰図	ARC-2



鳥瞰図	ARC-2

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管

鳥瞰図	許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価(MPa)		一次＋二次応力評価(MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{prm}(S_s)$	許容応力 $0.9S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
ARC-2	V_AS	68	$S_{prm}(S_s)$	186	365	－	－	－
ARC-2	V_AS	68	$S_n(S_s)$	－	－	316	450	－

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果(荷重評価)

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
SNO-ARC-1-002	オイルスナッバ	SN-3	添付書類「V-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		20	45
RO-ARC-1-003	ロッドレストレイント	RSA-3			40	54

支持構造物評価結果(応力評価)

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN·m)			応力分類	計算応力(MPa)	許容応力(MPa)
					F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
RE-ARC-2-032	レストレイント	Uボルト	SS400	80	—	6.8	33	—	—	—	組合せ	125	277
AN-ARC-2-004	アンカ	ラグ	STPT410	80	15.8	22	42	46	11.2	15.6	組合せ	117	155

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度（×9.8 m/s²）		機能確認済加速度（×9.8 m/s²）		構造強度評価結果（MPa）	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
－	－	－	－	－	－	－	－	－

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス２範囲）

No	配管モデル	許容応力状態　V_AS												
		一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	RHR-3,11,18	113	42	363	8.64	－	113	22	420	19.09	－	－	－	－
2	ARC-1	21	66	363	5.50	－	21	52	420	8.07	－	－	－	－
3	ARC-2	68	186	365	1.96	○	68	316	450	1.42	○	－	－	－
4	RHR-34,37,38,39,50	513A	134	365	2.72	－	513A	201	450	2.23	－	－	－	－
5	RHR-6,7,47,49	60	51	363	7.11	－	60	30	420	14.00	－	－	－	－
6	ARC-3	1	65	363	5.58	－	1	54	420	7.77	－	－	－	－
7	ARC-4	833	115	365	3.17	－	833	157	450	2.86	－	－	－	－
8	RHR-70	103	140	363	2.59	－	103	211	420	1.99	－	－	－	－

Ⅴ-2-5-6　原子炉冷却材補給設備の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-5-6-1　原子炉隔離時冷却系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-5-6-1-1　原子炉隔離時冷却系ポンプの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 構造強度評価 ····· 3
3.1 構造強度評価方法 ····· 3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
4. 機能維持評価 ····· 7
4.1 動的機能維持評価方法 ····· 7
5. 評価結果 ····· 8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 8

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，原子炉隔離時冷却系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

原子炉隔離時冷却系ポンプは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

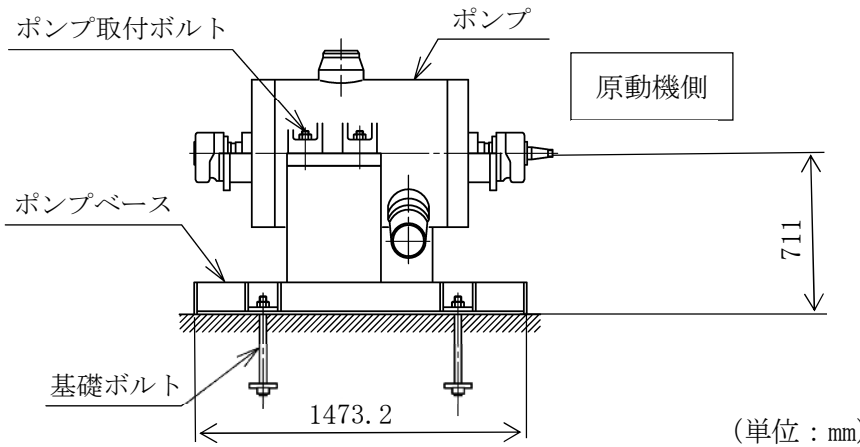
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-4　横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却系ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ポンプはポンプベースに固定され，ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	ターボ形横軸ポンプ	

3.　構造強度評価

3.1　構造強度評価方法

原子炉隔離時冷却系ポンプの構造は横軸ポンプであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2　荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉隔離時冷却系ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2　許容応力

原子炉隔離時冷却系ポンプの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 のとおりとする。

3.2.3　使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却系ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

表 3-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系ポンプ	S	クラス２ポンプ*	$D+P_D+M_D+S_d$*	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊：クラス２ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系ポンプ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２ポンプ*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

＊2：重大事故等クラス２ポンプの支持構造物を含む。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-3　許容応力（クラス２，３支持構造物及び重大事故等クラス２支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢＡＳ	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣＡＳ	1.5・f_t*	1.5・f_s*
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		－	730	868	－
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	66*2	－	330	535	－

注記

＊2：ポンプの最高使用温度は 60 ℃である。

表 3-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		－	730	868	－
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	106	－	313	524	－

注記

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

原子炉隔離時冷却系ポンプの地震後の動的機能維持評価について，以下に示す。

原子炉隔離時冷却系ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形多段遠心式ポンプ	水平	1.4
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉隔離時冷却系ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却系ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉隔離時冷却系ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
原子炉隔離時冷却系ポンプ	S	[redacted] EL. −4.0*1	−*2	−*2	C_H=0.58	C_V=0.48	C_H=0.87	C_V=0.90	C_P=0.46	66*3	[redacted]

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
＊3：ポンプの最高使用温度は60 ℃である。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}*3 (mm)	ℓ_{2i}*3 (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	n_{fi}*3	
							弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	[redacted]					4	2	2
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)						4	2	2
								2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向		M_P (N・mm)	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	730*2	868*2	607	607	軸	軸	−	−
ポンプ取付ボルト (i=2)	330*1	535*1	330	375	軸直角	軸	1.148×10^6	−

注記 ＊1：最高使用温度で算出
＊2：周囲環境温度で算出
＊3：各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min⁻¹)
H_p=[redacted]	N=[redacted]

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i＝1)	1.060×10^4	1.678×10^4	3.039×10^4	3.887×10^4
ポンプ取付ボルト (i＝2)	333.4	4.274×10^3	2.438×10^4	3.117×10^4

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	$\sigma_{b1}=17$	$f_{ts1}=455$*	$\sigma_{b1}=27$	$f_{ts1}=455$*
		せん断	$\tau_{b1}=12$	$f_{sb1}=350$	$\tau_{b1}=16$	$f_{sb1}=350$
ポンプ取付ボルト		引張り	$\sigma_{b2}=1$	$f_{ts2}=247$*	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=281$*
		せん断	$\tau_{b2}=8$	$f_{sb2}=190$	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=216$

すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

1.4.2 動的機能維持の評価結果 ($\times9.8\ m/s^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.72	1.4
	鉛直方向	0.75	1.0

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

【原子炉隔離時冷却系ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
原子炉隔離時冷却系ポンプ	常設耐震／防止	[redacted] EL. −4.0*1	−*2	−*2	−	−	C_H=0.87	C_V=0.90	C_P=0.46	106	[redacted]

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}*3 (mm)	ℓ_{2i}*3 (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	n_{fi}*3	
							弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	[redacted]					4	−	2
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)						4	−	2
								2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向		M_P (N・mm)	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	730*2	868*2	−	607	−	軸	−	−
ポンプ取付ボルト (i=2)	313*1	524*1	−	366	−	軸	−	−

注記 ＊1：最高使用温度で算出
＊2：周囲環境温度で算出
＊3：各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
H_p=[redacted]	N=[redacted]

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i＝1)	－	1.678×10^4	－	3.887×10^4
ポンプ取付ボルト (i＝2)	－	4.274×10^3	－	3.117×10^4

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	－	－	$\sigma_{b1}=27$	$f_{ts1}=455$*
		せん断	－	－	$\tau_{b1}=16$	$f_{sb1}=350$
ポンプ取付ボルト		引張り	－	－	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=275$*
		せん断	－	－	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=211$

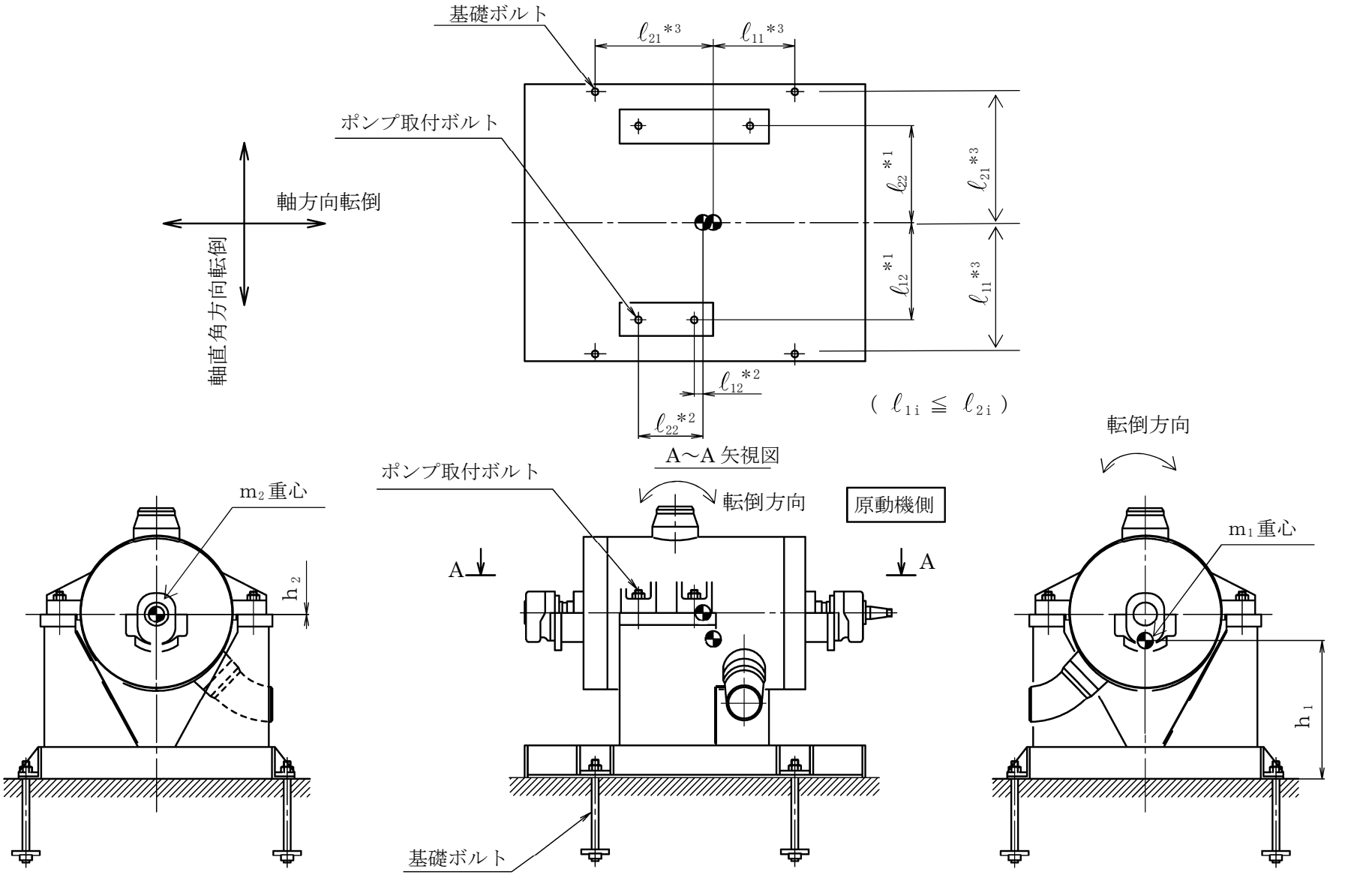
すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

2.4.2 動的機能維持の評価結果 ($\times9.8\ m/s^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.72	1.4
	鉛直方向	0.75	1.0

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



注記　＊1：ポンプ取付ボルトの弾性設計用地震動S_d又は静的震度に対する評価時の寸法を示す。
＊2：ポンプ取付ボルトの基準地震動S_sに対する評価時の寸法を示す。
＊3：基礎ボルトの評価時の寸法を示す。

Ⅴ-2-5-6-1-2　原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用蒸気タービンの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ・・・

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の検討方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用蒸気タービン（以下「原子炉隔離時冷却系タービン」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

原子炉隔離時冷却系タービンは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

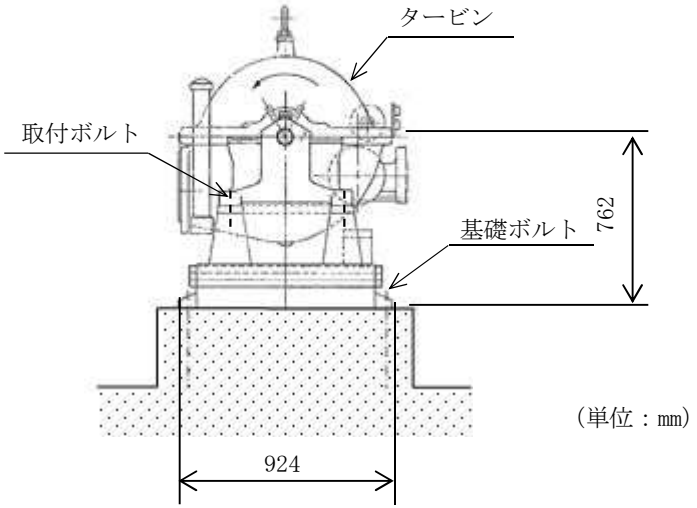
2.　一般事項

本計算書は，添付書類「V-2-1-13-4　横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価を行う。

2.1　構造計画

原子炉隔離時冷却系タービンの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
タービンはタービンベースに固定され，タービンベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	衝動螺旋流背圧式蒸気タービン	

3.　構造強度評価

3.1　構造強度評価方法

原子炉隔離時冷却系タービンの構造は衝動螺旋流背圧式蒸気タービンであり，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-4　横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2　荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉隔離時冷却系タービンの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2　許容応力

原子炉隔離時冷却系タービンの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 のとおりとする。

3.2.3　使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却系タービンの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

表 3-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系タービン	S	クラス２ポンプ*	$D+P_D+M_D+S_d$*	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊：クラス２ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系タービン	常設耐震／防止	重大事故等クラス２ポンプ*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

＊2：重大事故等クラス２ポンプの支持構造物を含む。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-3　許容応力（クラス２，３支持構造物及び重大事故等クラス２支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t^*	1.5・f_s^*
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		320	507	―
タービン取付ボルト		最高使用温度	302	591	847	―

注記　＊

表 3-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		320	507	―
タービン取付ボルト		最高使用温度	302	591	847	―

注記　＊

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

原子炉隔離時冷却系タービンの地震後の動的機能維持評価について，以下に示す。

原子炉隔離時冷却系タービンは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため，添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
タービン	原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用蒸気タービン	水平	2.4
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉隔離時冷却系タービンの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却系タービンの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉隔離時冷却系タービンの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
原子炉隔離時冷却系タービン	S	EL. -4.0*1	—*2	C_H=0.58	C_v=0.48	C_H=0.87	C_v=0.90	C_p=0.46	302	

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}*3 (mm)	ℓ_{2i}*3 (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	n_{fi}*3	
							弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)								
タービン取付ボルト (i=2)								

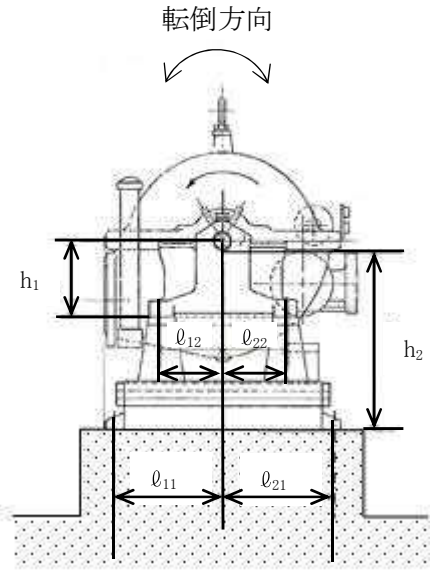
部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		M_p (N·mm)	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	320*2	507*2	320	354	軸直角	軸直角	1.148×10^6	1.148×10^6
タービン取付ボルト (i=2)	591*1	847*1	591	592	軸直角	軸直角	1.148×10^6	1.148×10^6

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
H_p	N

注記 *1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

*3：各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。



1.3 計算数値

ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	6.496×10^3	9.712×10^3	2.183×10^4	2.791×10^4
タービン取付ボルト (i=2)	1.132×10^4	1.760×10^4	1.764×10^4	2.256×10^4

1.4 結　　論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_{b1}=15$	$f_{ts1}=240$*	$\sigma_{b1}=22$	$f_{ts1}=266$*
		せん断	$\tau_{b1}=8$	$f_{sb1}=184$	$\tau_{b1}=11$	$f_{sb1}=204$
タービン取付ボルト		引張り	$\sigma_{b2}=58$	$f_{ts2}=443$*	$\sigma_{b2}=89$	$f_{ts2}=444$*
		せん断	$\tau_{b2}=45$	$f_{sb2}=341$	$\tau_{b2}=57$	$f_{sb2}=342$

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot\tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

1.4.2 動的機能維持の評価結果 ($\times9.8\ m/s^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉隔離時冷却系タービン	水平方向	0.72	2.4
	鉛直方向	0.75	1.0

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
原子炉隔離時冷却系タービン	常設耐震／防止常設／緩和	[redacted] EL. −4.0*1	−*2	−	−	C_H=0.87	C_V=0.90	C_p=0.46	302	[redacted]

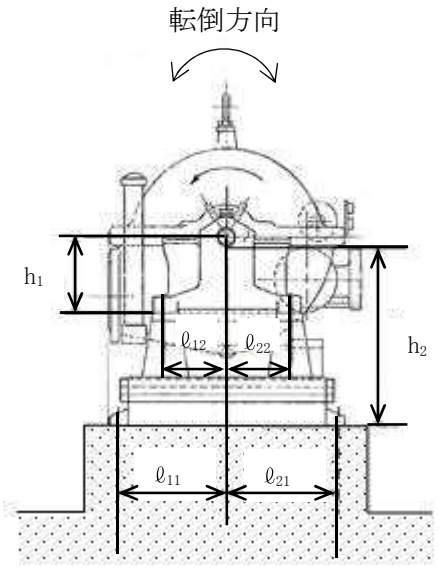
注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}*3 (mm)	ℓ_{2i}*3 (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	n_{fi}*3	
							弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	[redacted]							
タービン取付ボルト (i=2)								

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		M_p (N·mm)	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	320*2	507*2	−	354	−	軸直角	−	1.148×10^6
タービン取付ボルト (i=2)	591*1	847*1	−	592	−	軸直角	−	1.148×10^6



予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
H_p [redacted]	N [redacted]

注記 *1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

*3：各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i＝1)	－	9.712×10^3	－	2.791×10^4
タービン取付ボルト (i＝2)	－	9.964×10^3	－	2.256×10^4

2.4 結　論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	－	－	σ_{b1}＝22	f_{ts1}＝266*
		せん断	－	－	τ_{b1}＝11	f_{sb1}＝204
タービン取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b2}＝89	f_{ts2}＝444*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝57	f_{sb2}＝342

すべて許容応力以下である。　注記　＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot\tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

2.4.2 動的機能維持の評価結果 ($\times9.8$ m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉隔離時冷却系タービン	水平方向	0.72	2.4
	鉛直方向	0.75	1.0

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-5-6-1-3　管の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 ····· 2
2.1　概略系統図 ····· 2
2.2　鳥瞰図 ····· 4
3.　計算条件 ····· 19
3.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 19
3.2　設計条件 ····· 21
3.3　材料及び許容応力 ····· 35
3.4　設計用地震力 ····· 36
4.　解析結果及び評価 ····· 37
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 37
4.2　評価結果 ····· 54
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 54
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 56
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 57
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 58

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示す通りである。

(1)　管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全１１モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2)　支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3)　弁

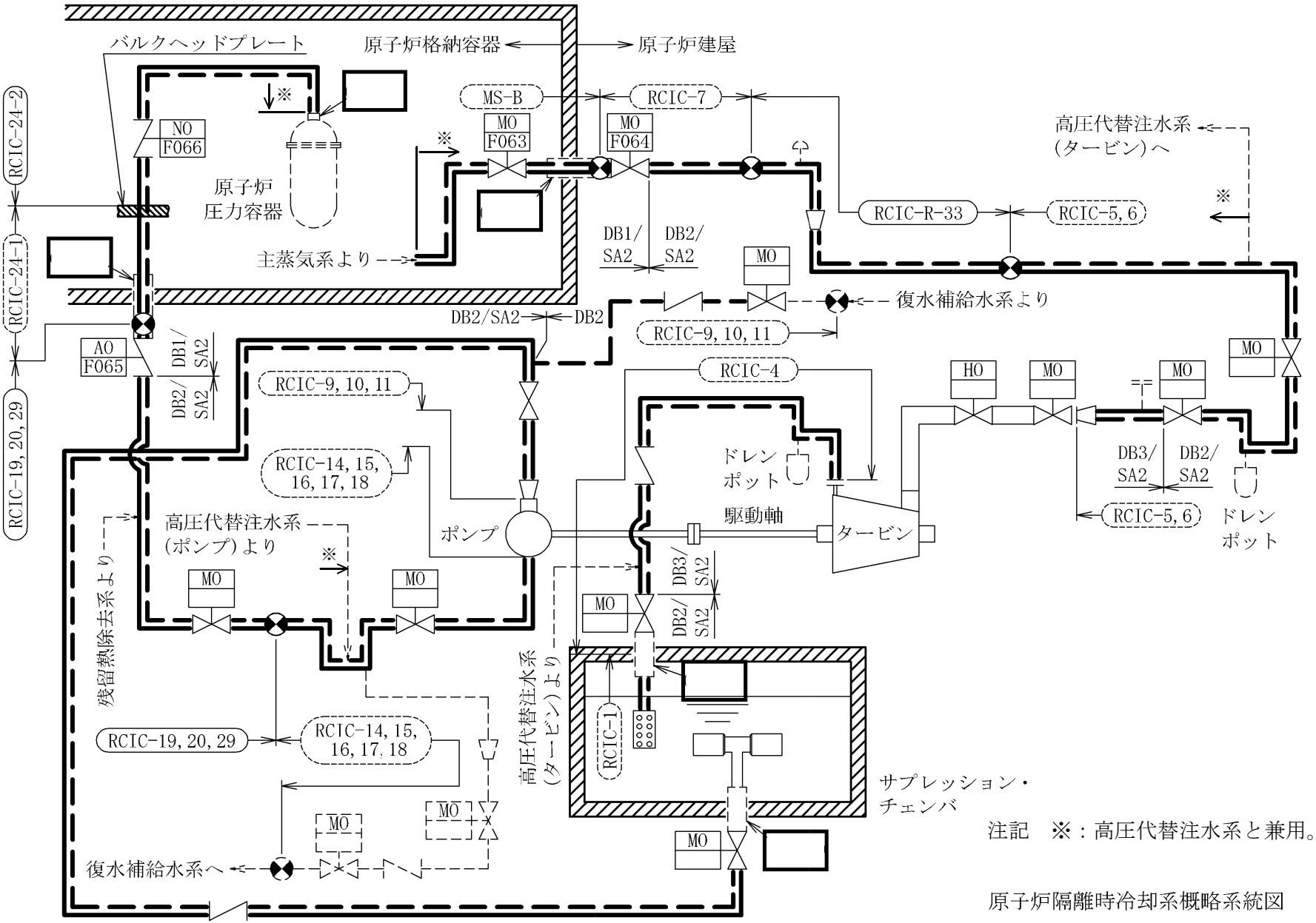
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記　　号	内　　容
―――― （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
― ― ― （太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――― （細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，評価条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管

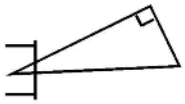
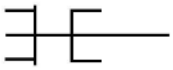
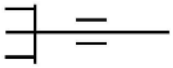
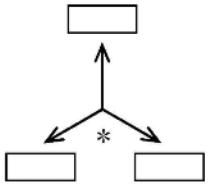


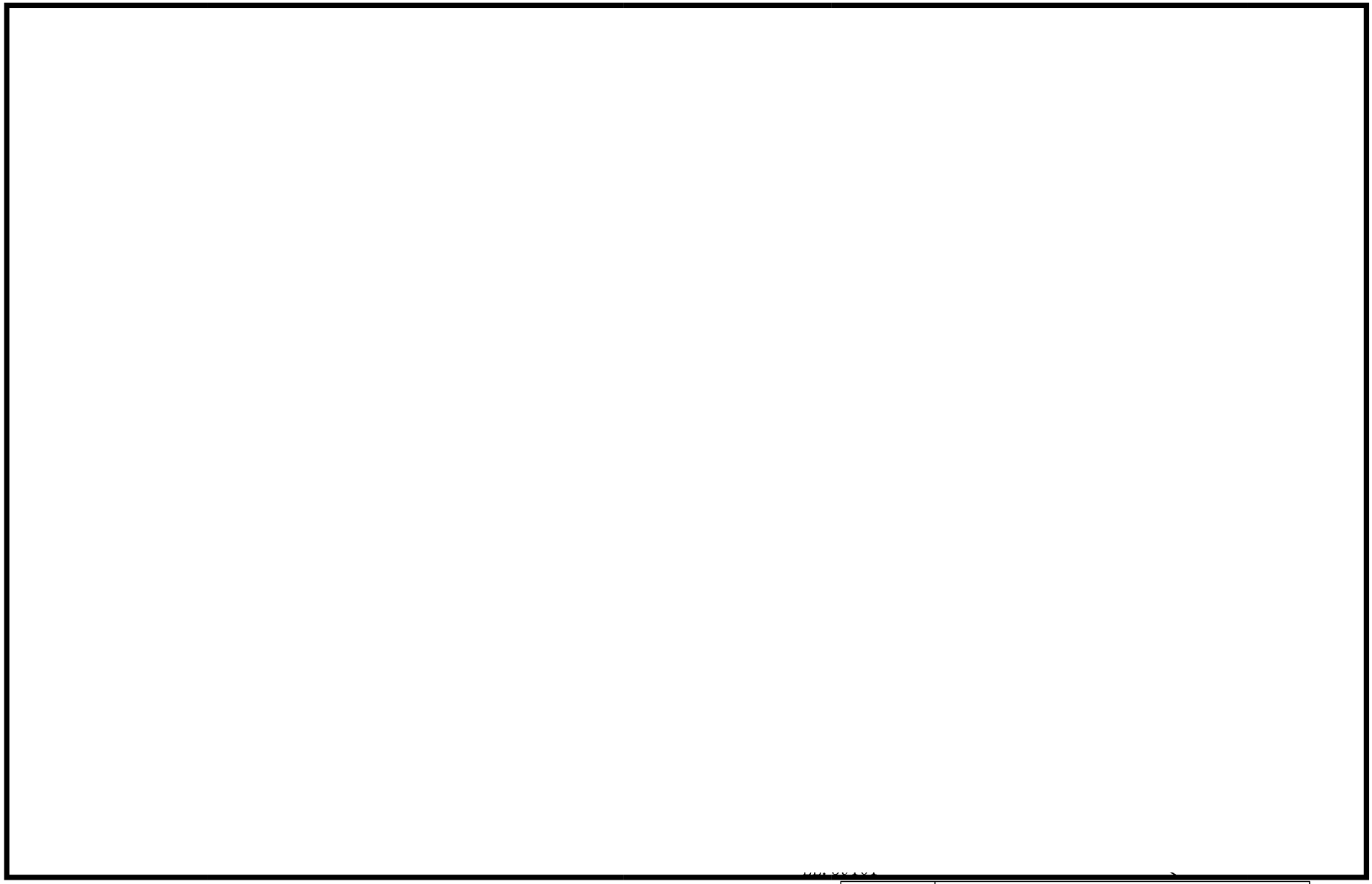
注記　※：高圧代替注水系と兼用。

原子炉隔離時冷却系概略系統図

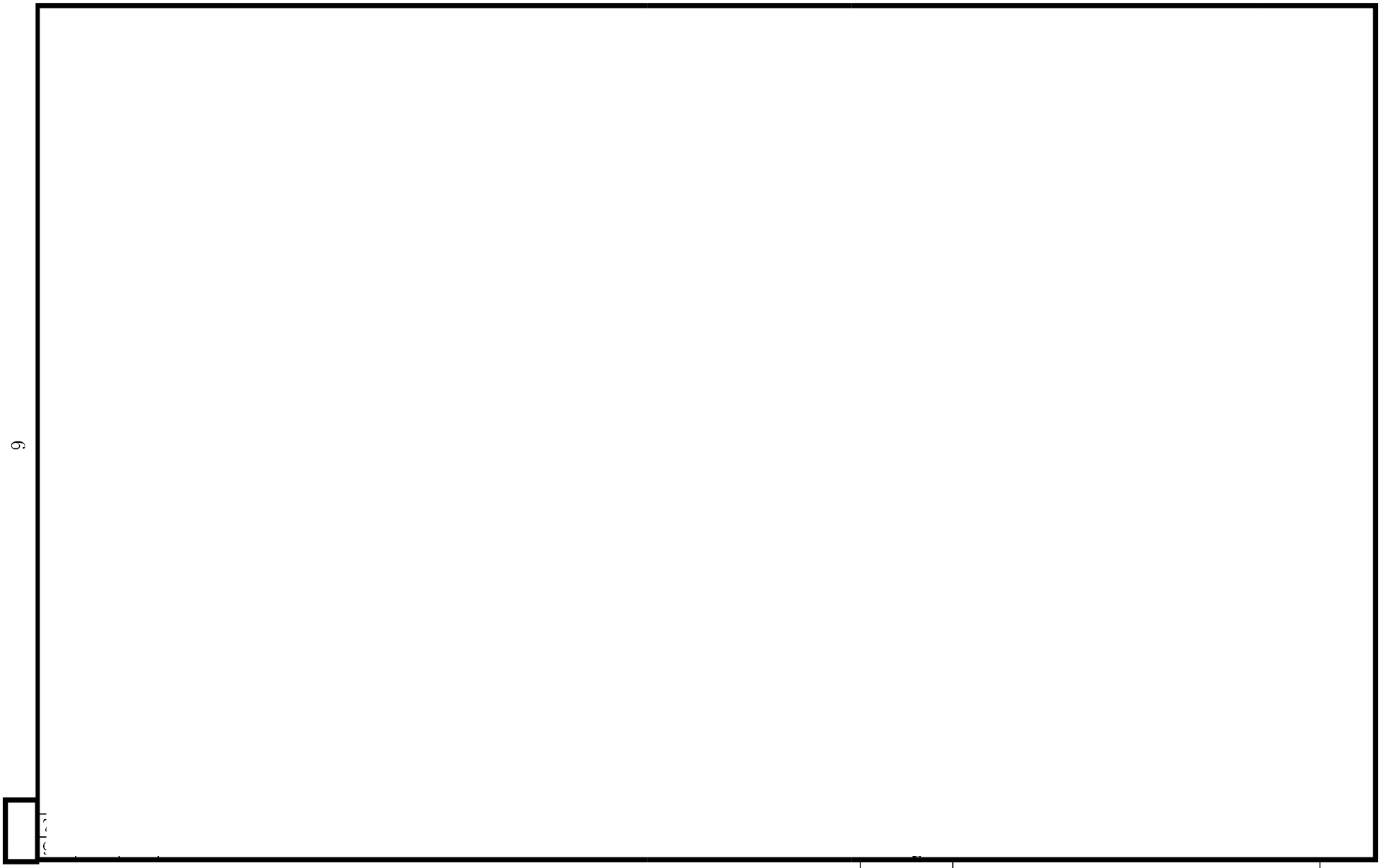
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

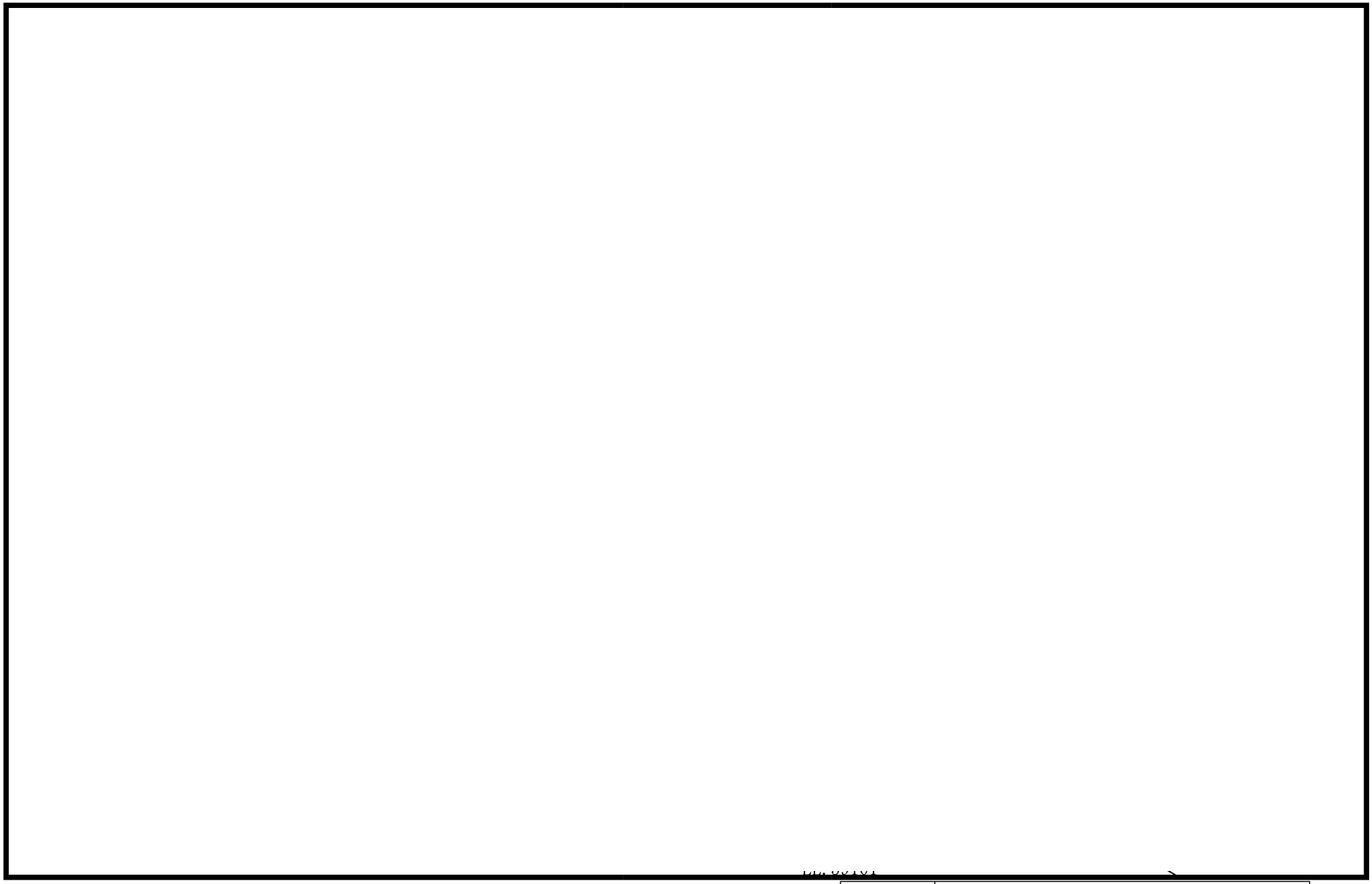
記　　号	内　　容
━━━━ （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
──── （細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質　　点
⊗	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) （ ＊ は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□ 内に変位量を記載する。）
	注：　鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



鳥瞰図	RCIC-24-2(DB)(1/2)



鳥瞰図	RCIC-24-2(DB)(2/2)



鳥瞰図	RCIC-24-2(SA)(1/2)

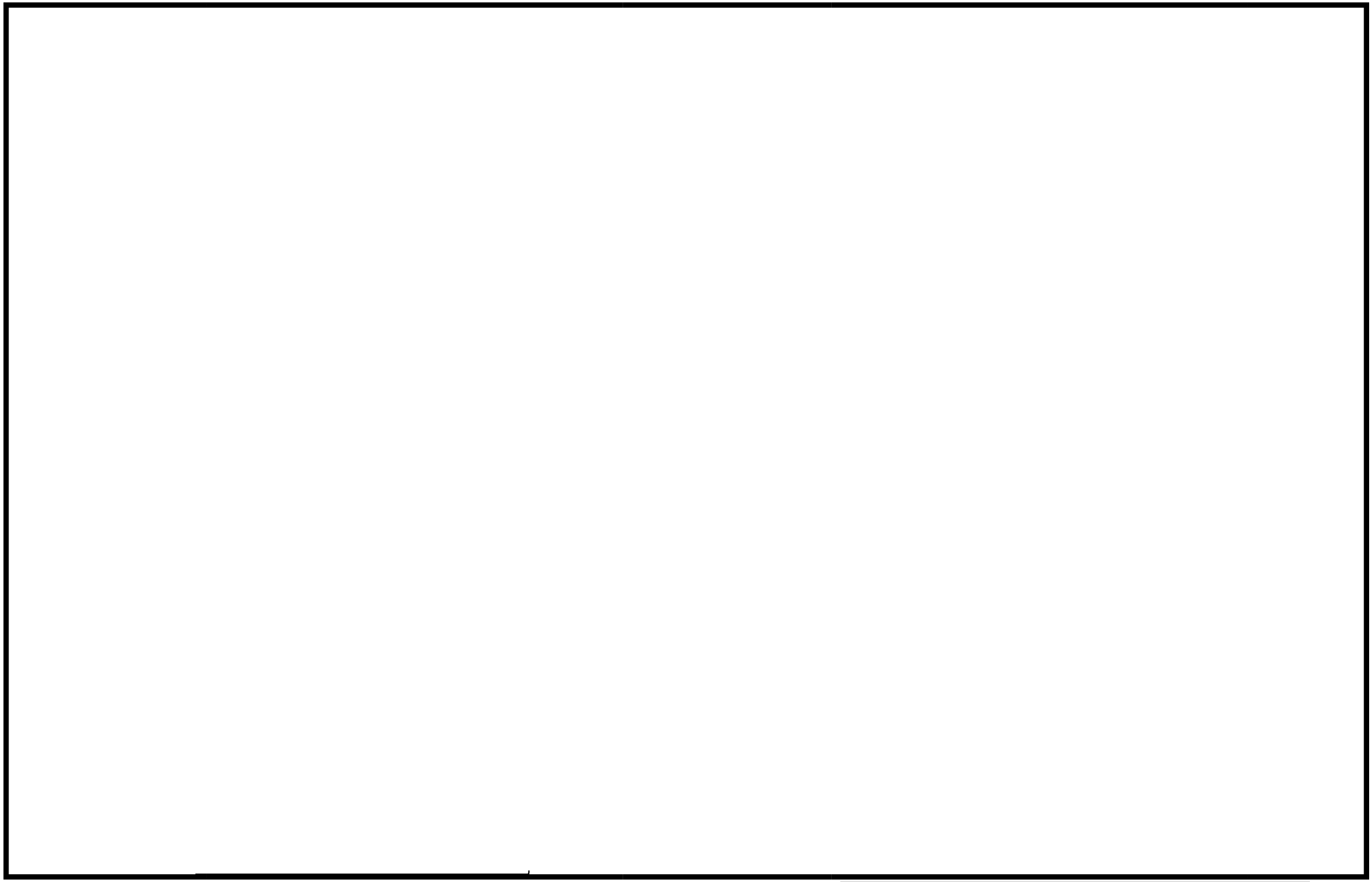
8

鳥瞰図	RCIC-24-2(SA)(2/2)

鳥瞰図	RCIC-19,20,29(DB)(1/4)

鳥瞰図	RCIC-19,20,29(DB)(2/4)

鳥瞰図	RCIC-19,20,29(DB)(3/4)

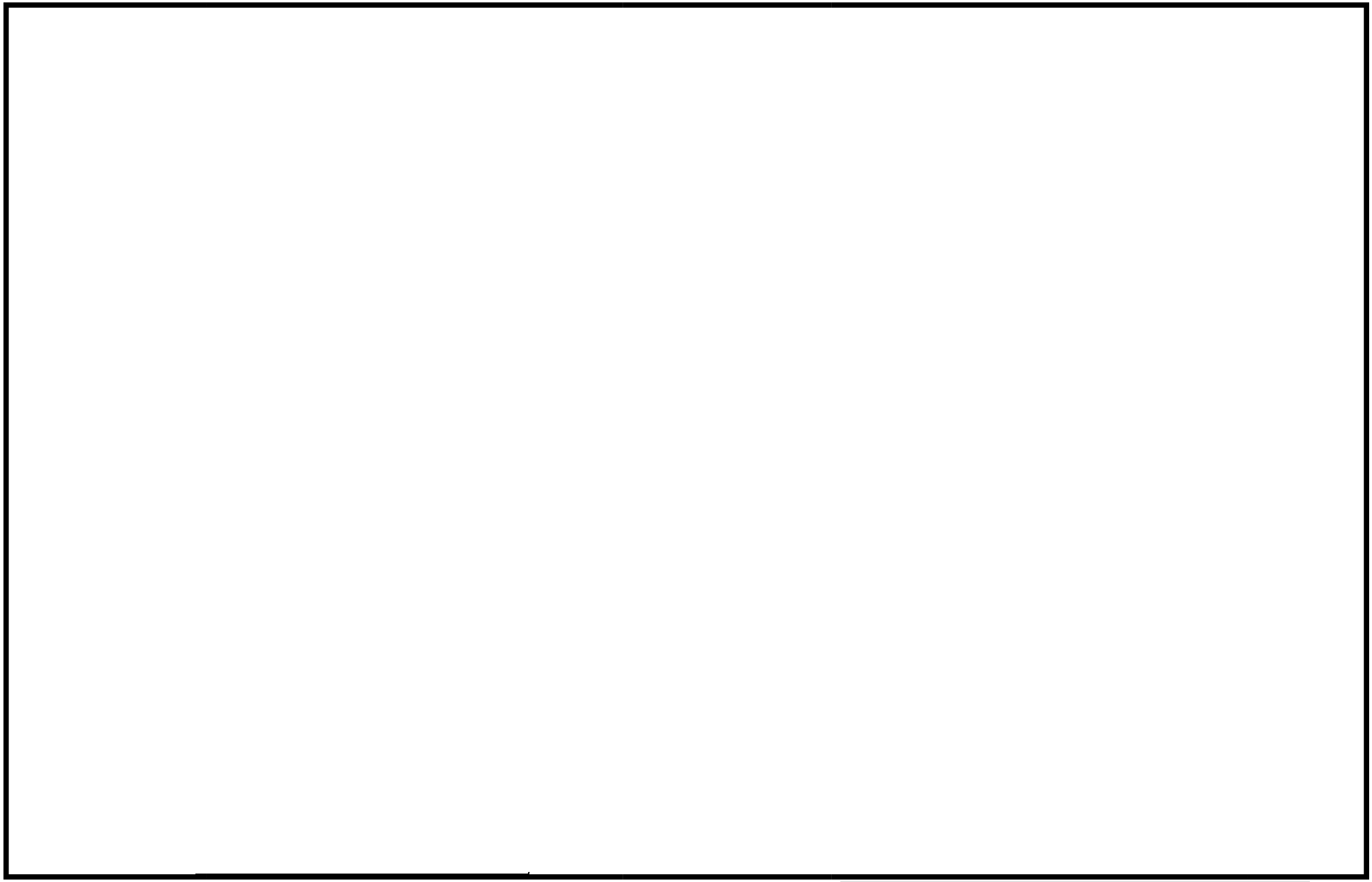


鳥瞰図	RCIC-19,20,29(DB)(4/4)

鳥瞰図	RCIC-19,20,29(SA)(1/4)

鳥瞰図	RCIC-19,20,29(SA)(2/4)

鳥瞰図	RCIC-19,20,29(SA)(3/4)



鳥瞰図	RCIC-19,20,29(SA)(4/4)

鳥瞰図	RCIC-R-33(DB)

鳥瞰図	RCIC-R-33(SA)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材補給設備	原子炉隔離時冷却系	ＤＢ	—	クラス１管 クラス２管 クラス３管	Ｓ	I_L+S_d	III_AS
							II_L+S_d	
							I_L+S_s	IV_AS
							II_L+S_s	
							$IV_L(L)+S_d$*6	
	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備		ＳＡ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２管	—	$V_L(L)+S_d$*7,8	V_AS
							$V_L(LL)+S_s$*7	
							V_L+S_s	
	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧代替注水系	ＳＡ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２管	—	$V_L(L)+S_d$*7,8	V_AS
							$V_L(LL)+S_s$*7	
							V_L+S_s	

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	高圧代替注水系	ＳＡ	常設／緩和	重大事故等クラス２管	—	V_L（L）＋S_d*7,8	$V_A S$
							V_L（ＬＬ）＋S_s*7	
							V_L＋S_s	

注記　＊1：ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。
＊2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。
＊3：運転状態の添字Lは荷重，（L）は荷重が長期間作用している状態，（ＬＬ）は（L）より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。
＊4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。
＊5：許容応力状態$V_A S$は許容応力状態$IV_A S$の許容限界を使用し，許容応力状態$IV_A S$として評価を実施する。
＊6：クラス１管においてのみ考慮する。
＊7：プロセス条件に加え，重大事故時の原子炉格納容器バウンダリ条件として，重大事故時の原子炉格納容器限界温度及び圧力を考慮する。
＊8：荷重の組合せV_L（L）＋S_dはV_L（ＬＬ）＋S_sに包絡されるため，評価を省略する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RCIC-24-2

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～3F	8.62	302	165.2	11.0	SUS304TP	S	[redacted]
2	3F～35	8.62	302	165.2	14.3	[redacted]	S	[redacted]
3	36～42N	8.62	302	165.2	14.3	[redacted]	S	[redacted]

配管の付加質量

鳥　瞰　図　RCIC-24-2

質量	対応する評価点
[redacted]	1A～2,4～35
	2～4
	36～39
	39～42N

フランジ部の質量

鳥　瞰　図　RC1C-24-2

質量	対応する評価点
[redacted]	3F,38F
	42N

弁部の寸法

鳥　瞰　図　RCIC-24-2

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
35～36	[redacted]		

弁部の質量

鳥　瞰　図　RCIC-24-2

質量	対応する評価点
[redacted]	35～36

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　RCIC-24-2

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
** 10 **						
** 11 **						
14						
16						
** 1701 **						
19						
21						
** 32 **						
33						
N4						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　RCIC-19,20,29

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～67	10.70	120	165.2	14.3	STPT42	S	[redacted]
2	71～76,77～78A	8.62	302	165.2	11.0	SUS304TP	S	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　RCIC-19,20,29

質量	対応する評価点
[redacted]	71～76,77～78A

弁部の寸法

鳥　瞰　図　RCIC-19,20,29

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
67～68				68～69			
69～70				68～71			
76～77							

弁部の質量

鳥　瞰　図　RCIC-19,20,29

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	67,71	[redacted]	68
	69		70
	76～77		

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　RCIC-19,20,29

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
7						
16						
17						
21						
25						
30						
33						
38						
42S						
46						
50						
56						
62						
** 66 **						
78A						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　RCIC-R-33

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～31	8.62	302	267.4	15.1	STPT49	S	
2	31～36	8.62	302	267.4	15.1	STPT480	S	
3	37～44A	8.62	302	114.3	8.6	STPT42	S	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　RCIC-R-33

質量	対応する評価点
[redacted]	1A～36
	37～44A

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　RCIC-R-33

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
7						
8						
14						
17						
19						
22						
26						
34						
3801						
44A						

3.3　材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材　　料	最高使用温度 (℃)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SUS304TP	302	114	126	391	110
	302	122	182	—	—
STPT42	120	—	217	404	—
STPT49	302	—	209	423	—
STPT480	302	—	209	423	—
STPT42	302	—	182	404	—

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
RCIC-24-2	原子炉格納容器		
RCIC-19,20,29	原子炉建屋		
RCIC-R-33	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RC1C-24-2

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　RCIC-24-2

モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				

代表的振動モード図

振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

鳥瞰図	ＲＣＩＣ－２４－２

鳥瞰図	ＲＣＩＣ－２４－２

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥瞰図 RCIC-19,20,29

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
13 次							
14 次							
動的震度							
静的震度							

各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　RCIC-19，20，29

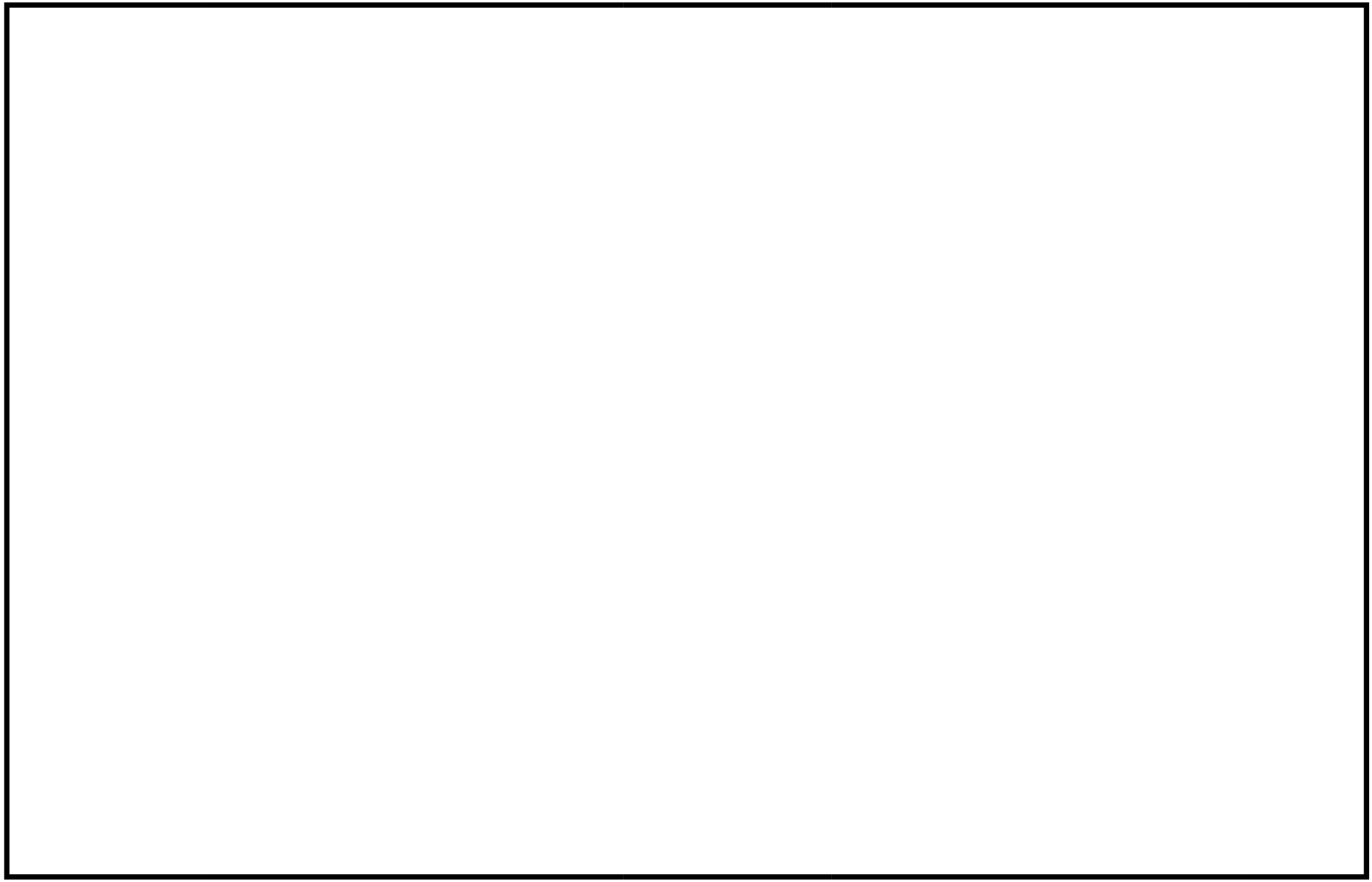
モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
13次				
14次				

代表的振動モード図

振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

鳥瞰図	ＲＣＩＣ－１９，２０，２９

鳥瞰図	ＲＣＩＣ－１９，２０，２９



鳥瞰図	ＲＣＩＣ－１９，２０，２９

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RC1C-R-33

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　RCIC-R-33

モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				

代表的振動モード図

振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

鳥瞰図	ＲＣＩＣ－Ｒ－３３

鳥瞰図	ＲＣＩＣ－Ｒ－３３

鳥瞰図	ＲＣＩＣ－Ｒ－３３

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管であってクラス１管

鳥瞰図	許容応力状態（供用状態）	最大応力評価点	配管要素名称	最大応力区分	一次応力評価 (MPa)				一次＋二次応力評価 (MPa)		疲労評価
					一次応力 S_{prm}（S_d） S_{prm}（S_s）	許容応力 min（2.25S_m，1.8S_y） min(3S_m，2S_y)	ねじり応力 S_t（S_d） S_t（S_s）	許容応力 0.55S_m 0.73S_m	一次＋二次応力 S_n（S_s）	許容応力 3S_m	疲労累積係数 U＋US_s
RCIC-19,20,29	$III_A S$	78A	SUP.PT	S_{prm}（S_d）	128	226	－	－	－	－	－
RCIC-19,20,29	$III_A S$	77	BUTT WELD	S_t（S_d）	－	－	30	62	－	－	－
RCIC-19,20,29	$IV_A S$	78A	SUP.PT	S_{prm}（S_s）	161	252	－	－	－	－	－
RCIC-19,20,29	$IV_A S$	77	BUTT WELD	S_t（S_s）	－	－	39	83	－	－	－
RCIC-24-2	$IV_A S$	40	ELBOW	S_n（S_s）	－	－	－	－	640	366	0.2791
RCIC-24-2	$IV_A S$	40	ELBOW	U＋US_s	－	－	－	－	－	－	0.2791

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス２以下の管及び重大事故等クラス２管であってクラス２以下の管

鳥瞰図	許容応力状態（供用状態）	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価（MPa）		一次＋二次応力評価（MPa）		疲労評価
				計算応力 S_{prm}（S_d） S_{prm}（S_s）	許容応力 S_y* $0.9S_u$	計算応力 S_n（S_s）	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
RCIC-19,20,29	ⅢAS	76	S_{prm}（S_d）	91	132	－	－	－
RCIC-R-33	ⅣAS	44A	S_{prm}（S_s）	148	363	－	－	－
RCIC-R-33	ⅣAS	44A	S_n（S_s）	－	－	231	364	－

注記　＊：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，S_yと$1.2S_h$のうち大きい方とする。

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
SNO-RCIC-504-1,2	オイルスナッバ	SN-3	添付書類「V-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		28.4	45.0
SH-RCIC-505	スプリングハンガ	VS-L2			23.0	30.5
CH-RCIC-8	コンスタントハンガ	CSB-9			2.3	2.3

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力（kN）			モーメント（kN・m）			応力分類	計算応力(MPa)	許容応力(MPa)
					F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
AN-RCIC-71	アンカ	ラグ	SS41	302	62.9	76.0	65.4	76.9	90.6	44.9	組合せ	53	136
RE-RCIC-77	レストレイント	ラグ	SM41A	302	13.7	34.8	0	－	－	－	組合せ	27	51

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度＊ (×9.8 m/s^2)		機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
E51-F066	逆止め弁	β(Ｓｓ)	1.9	4.9	6.0	6.0	－	－
E51-F063	止め弁	β(Ｓｓ)	4.7	4.0	6.0	6.0	－	－

注記 ＊：応答加速度は，打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス１範囲）

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{III}_A\mathrm{S}$					許容応力状態 $\mathrm{IV}_A\mathrm{S}$												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	RCIC-24-1(PCV)	17A	52	226	4.34	—	17A	58	252	4.34	—	9	133	342	2.57	—	10	0.0029	—
2	RCIC-24-1(RSW)	17A	52	226	4.34	—	17A	57	252	4.42	—	9	131	342	2.61	—	10	0.0029	—
3	RCIC-24-2	40	98	274	2.79	—	40	146	364	2.49	—	40	640	366	0.57	○	40	0.2791	○
4	RCIC-19,20,29	78A	128	226	1.76	○	78A	161	252	1.56	○	78A	168	342	2.03	—	77	0.0008	—
5	MS-B	912	124	310	2.50	—	912	133	414	3.11	—	920	236	414	1.75	—	920	0.0034	—

注記 ：$\mathrm{III}_A\mathrm{S}$の一次＋二次応力の許容値は$\mathrm{IV}_A\mathrm{S}$と同様であることから，地震荷重が大きい$\mathrm{IV}_A\mathrm{S}$の一次＋二次応力裕度最小を代表とする。$\mathrm{IV}_A\mathrm{S}$の計算応力は，$\mathrm{V}_A\mathrm{S}$と$\mathrm{IV}_A\mathrm{S}$の大きい方を記載している。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス２範囲）

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{III}_A\mathrm{S}$					許容応力状態 $\mathrm{IV}_A\mathrm{S}$												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	RCIC-1	2	22	215	9.77	—	2	26	363	13.96	—	17	61	430	7.04	—	—	—	—
2	RCIC-4	8002	40	215	5.37	—	8002	58	363	6.25	—	8002	114	430	3.77	—	—	—	—
3	RCIC-5,6	1201	95	182	1.91	—	1201	132	363	2.75	—	1201	178	364	2.04	—	—	—	—
4	RCIC-7	100A	56	209	3.73	—	100A	62	380	6.12	—	1052	32	418	13.06	—	—	—	—
5	RCIC-9,10,11	8	40	219	5.47	—	8	54	363	6.72	—	8	80	438	5.47	—	—	—	—
6	RCIC-14,15,16,17	34	88	219	2.48	—	37	122	363	2.97	—	37	154	438	2.84	—	—	—	—
7	RCIC-19,20,29	76	91	132	1.45	○	76	113	351	3.10	—	73	115	252	2.19	—	—	—	—
8	RCIC-R-33	44A	102	182	1.78	—	44A	148	363	2.45	○	44A	231	364	1.57	○	—	—	—

注記 ：$\mathrm{III}_A\mathrm{S}$の一次＋二次応力の許容値は$\mathrm{IV}_A\mathrm{S}$と同様であることから，地震荷重が大きい$\mathrm{IV}_A\mathrm{S}$の一次＋二次応力裕度最小を代表とする。$\mathrm{IV}_A\mathrm{S}$の計算応力は，$\mathrm{V}_A\mathrm{S}$と$\mathrm{IV}_A\mathrm{S}$の大きい方を記載している。

Ⅴ-2-5-6-1-4　ストレーナ部ティーの耐震計算書（原子炉隔離時冷却系）

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 4
2.4 記号の説明 ····· 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 6
3. 評価部位 ····· 7
4. 地震応答解析及び構造強度評価 ····· 8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 8
4.3 解析モデル及び諸元 ····· 11
4.4 固有周期 ····· 12
4.5 設計用地震力 ····· 13
4.6 計算方法 ····· 13
4.7 計算条件 ····· 15
4.8 応力の評価 ····· 15
5. 評価結果 ····· 15
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 15

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の検討方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーが十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの応力評価により行う。

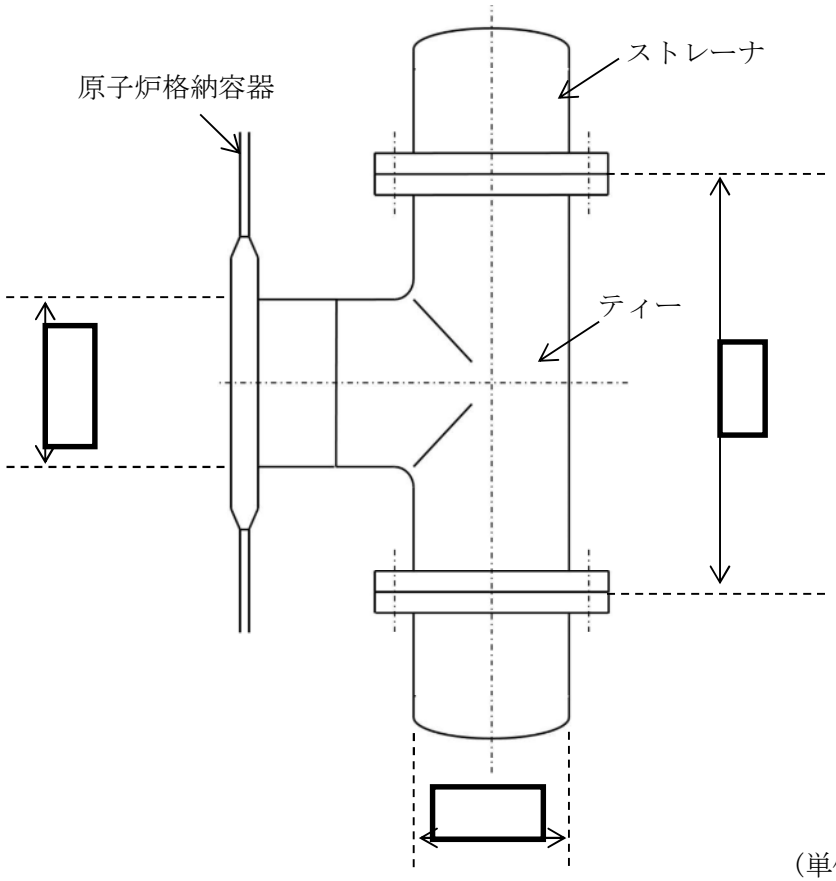
原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーは，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ストレーナ部ティーは，サプレッション・プール内に水没された状態で設置されており，原子炉格納容器貫通部に取り付けられている。	ティー	

2.2　評価方針

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの評価部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

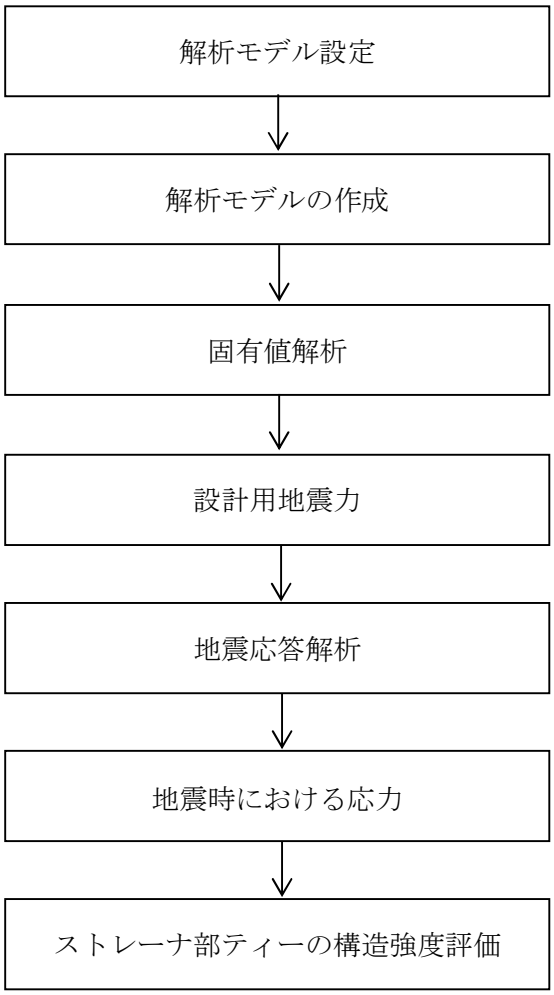


図 2-1　原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4　記号の説明

記　号	記　号　の　説　明	単　位
S_{prm}	発生応力	MPa
P	最高使用圧力（設計圧力）	MPa
D_o	管の外径	mm
t	管の厚さ	mm
B_1	設計・建設規格　表 PPB-3812.1-1 で規定する応力係数 [redacted]	－
B_{2b}	設計・建設規格　式 PPB-4.29 により計算した分岐管の応力係数 $=0.4\cdot\left(\frac{R_m}{T_r}\right)^{\frac{2}{3}}$ [redacted]	－
R_m	主管の平均半径	mm
T_r	主管の厚さ	mm
B_{2r}	設計・建設規格　式 PPB-4.30 により計算した主管の応力係数 $=0.5\cdot\left(\frac{R_m}{T_r}\right)^{\frac{2}{3}}$ [redacted]	－
M_b	表 4-8 に示す分岐管に作用するモーメント	N･mm
M_r	表 4-8 に示す主管に作用するモーメント	N･mm
Z_b	分岐管の断面係数	mm^3
Z_r	主管の断面係数	mm^3

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	－	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	－	－	整数位*1
圧力	kPa	－	－	整数位
長さ	mm	小数点以下第 2 位	四捨五入	小数点以下第 1 位
モーメント	N･mm	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁*2
力	N	有効数字 4 桁目	切上げ	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの形状を図 3-1 に示す。

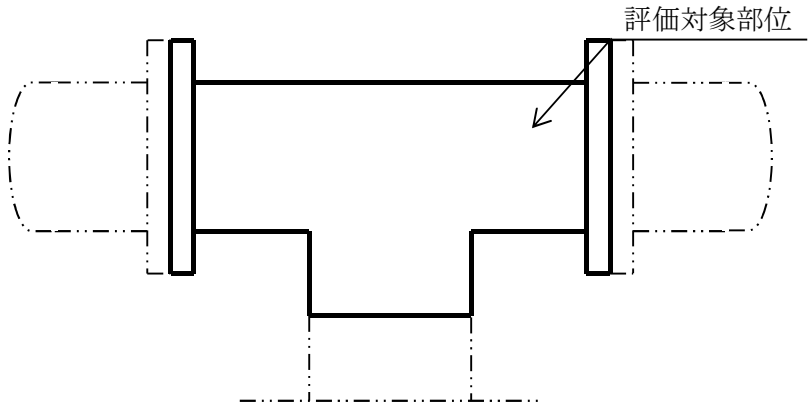


図 3-1　原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの形状

ティーの主要寸法を表 3-1 に示す。

表 3-1　ティーの主要寸法

貫通部番号	部位	外径(mm)	板厚(mm)	フランジ間距離(mm)
	主管	216.3		
	分岐管	216.3		

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) ストレーナ部ティーは，ストレーナ部を含む一体モデルでの地震応答解析から得られたモーメントとストレーナから作用する荷重を用いて構造強度評価を行う。

(2) ストレーナ部ティーと格納容器は溶接構造で取付けられており，地震応答解析に用いるモデルでは，取付け部をばね拘束とする。

(3) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

(4) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

基準地震動の策定に伴う地震荷重との組合せの評価として，荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

ストレーナ部ティーの許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容応力

ストレーナ部ティーの許容応力評価条件を表 4-3 に示す。また，使用材料の許容応力を表 4-4 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティー	常設耐震／防止	重大事故等クラス２	$D+P_{SA}+M_{SA}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる）

注記　＊：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

表 4-2　許容応力（重大事故等クラス２管（クラス２，３管））

許容応力状態	一次一般膜応力	一次応力（曲げ応力を含む）	一次＋二次応力	一次＋二次＋ピーク応力
$Ⅳ_AS$	$0.6S_u$	$0.9S_u$	S_d又はS_s地震動のみによる疲労解析を行い疲労累積係数が 1.0 以下であること。ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が $2S_y$以下であれば，疲労解析は不要である。	
V_AS	$0.6S_u$	$0.9S_u$		

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
ティー	[redacted]	[redacted]	－	219	377	－

表 4-4　許容応力（重大事故等対処設備）　　（単位：MPa）

材料	許容応力状態	許容応力強さ		
		一次応力		一次＋二次応力*1
		P_m*2	P_L+P_b	P_L+P_b+Q
GSTPL 相当	$V_A S$	226	339	438

注記　＊1：二次応力が発生する場合のみ考慮する。（今回の計算においては，二次応力（通常運転時温度による応力含む。）は発生しない。）

＊2：基本板厚計算書で膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施していることから，評価結果の記載については省略する。

4.3　解析モデル及び諸元

ストレーナ部ティーの解析モデルを図 4-1 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を表 4-5 に示す。

ストレーナ部ティーの解析は，ストレーナ部及び貫通部スリーブを含む，はり要素を用いた有限要素モデルとする。ストレーナ部ティーと格納容器は溶接構造で取付けられており，取付け部はばね拘束とする。なお，本設備はサプレッション・プールに水没している機器であるため，内包水及び排除水の影響を加味し，ストレーナ質量に含んでいる。

解析コードは，「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-1　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

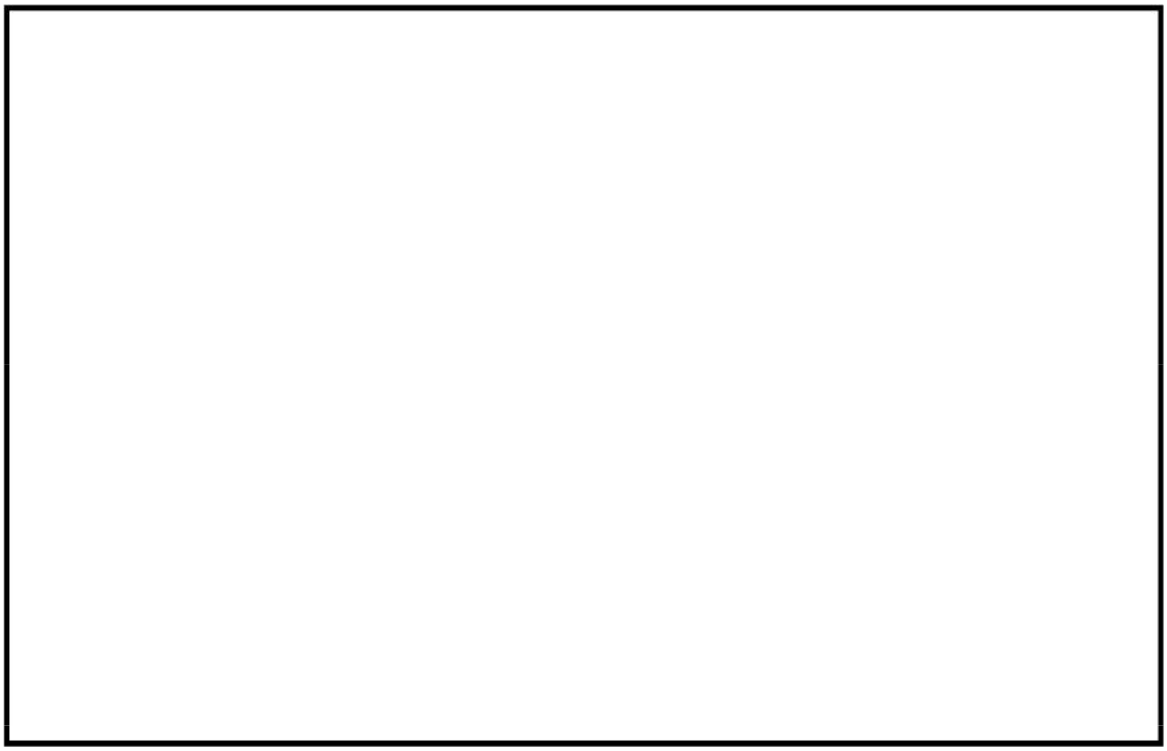


図 4-1　ストレーナ部ティーの解析モデル

表 4-5　機器諸元

項目	単位	入力値
材質	－	
温度	℃	106
圧力	kPa	493
縦弾性係数	MPa	
ストレーナ質量	kg/個	
ポアソン比	－	
要素数	個	
節点数	個	

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表 4-6 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 4-6　固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次		水平

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-7 に示す。

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-7　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
格納容器内 EL. －2.50		0.05 以下*	－	－	C_H＝1.01	C_V＝0.93

注記　＊：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

NT2 補③ Ⅴ-2-5-6-1-4 R0

4.6　計算方法

ティーに発生する応力は，設計・建設規格 PPC-3520 に従い算出する。なお，ティーの溶接継手は管の板厚の強度と同等以上となるように設計しているため，ここでは管について評価を行う。

応力算出は以下の式に従う。

$$S_{prm}=\frac{B_1 \cdot P \cdot D_o}{2 \cdot t}+\frac{B_{2b} \cdot M_b}{Z_b}+\frac{B_{2r} \cdot M_r}{Z_r}$$

4.6.1　設計荷重

ストレーナに作用する荷重（死荷重，水力学的動荷重，地震荷重等）はフランジを介してティーに伝達され，最終的に貫通部に伝達される。このため，ティーの設計荷重としては，ティー自身に作用する荷重に加え，先の伝達荷重を考慮する。

4.6.2　死荷重

ティーの死荷重を表 4-8 に示す。

表 4-8　死荷重

部位	原子炉隔離時冷却系
ティー	

4.6.3　応力解析に用いるモーメント

応力解析に用いるモーメントは，図 4-2 に示す主管と分岐管に作用するモーメントを用いる。主管のモーメントは 4.6.1 項に示したようにストレーナからの伝達荷重を考慮し，分岐管のモーメントは先の伝達荷重に加え，ティー自身に作用する荷重から算出したモーメントを考慮する。

算出したモーメントを表 4-9 に示す。ここでのモーメントとは，設計・建設規格　解説 PPC-3520 の考え方に基づいて設定した 3 方向のモーメントを二乗和平方根で合成したものである。

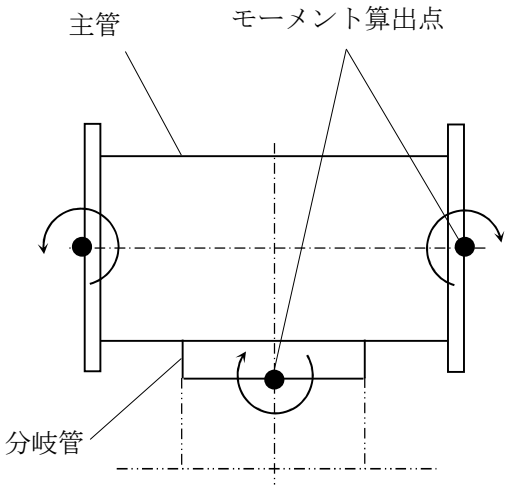


図 4-2　ティーのモーメント算出点

表 4-9　ティーの設計荷重　　（単位：N･mm）

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	異物荷重		
3	差圧（ＳＡ）		
4	S_s地震荷重		
5	異物S_s地震荷重		

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は，本計算書の 4.2 項　荷重の組合せ及び許容応力及び 4.5 項　設計用地震力に示す。

4.8　応力の評価

4.8.1　ストレーナ部ティー応力評価

4.6 項　計算方法で求めた応力は表 4-4 に記載される値以下であること。

5.　評価結果

5.1　重大事故等対処設備としての評価結果

ティーの重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生応力は許容応力を満足しており，耐震性を有することを確認した。

(1)　許容応力状態V_ASに対する評価

許容応力状態V_ASに対する応力評価結果を表 5-1 に示す。

表 4-1 に示す荷重の組合せのうち，$D+P_{SA}+M_{SA}+S_s$の評価について評価を記載している。

表 5-1　許容応力状態V_ASに対する評価結果

($D+P_{SA}+M_{SA}+S_s$)

V_AS		判定	備考
発生応力	許容応力		
MPa	MPa		
9	339	○	－

Ⅴ-2-5-7　原子炉補機冷却設備の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-5-7-1　残留熱除去系海水系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-5-7-1-1　残留熱除去系海水系ポンプの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 固有値解析及び構造強度評価 ····· 3
3.1 固有値解析及び構造強度評価方法 ····· 3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
3.3 解析モデル及び諸元 ····· 9
3.4 固有周期 ····· 9
3.5 設計用地震力 ····· 10
4. 機能維持評価 ····· 11
4.1 動的機能維持評価方法 ····· 11
5. 評価結果 ····· 12
5.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 12
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 12

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，残留熱除去系海水系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

残留熱除去系海水系ポンプは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

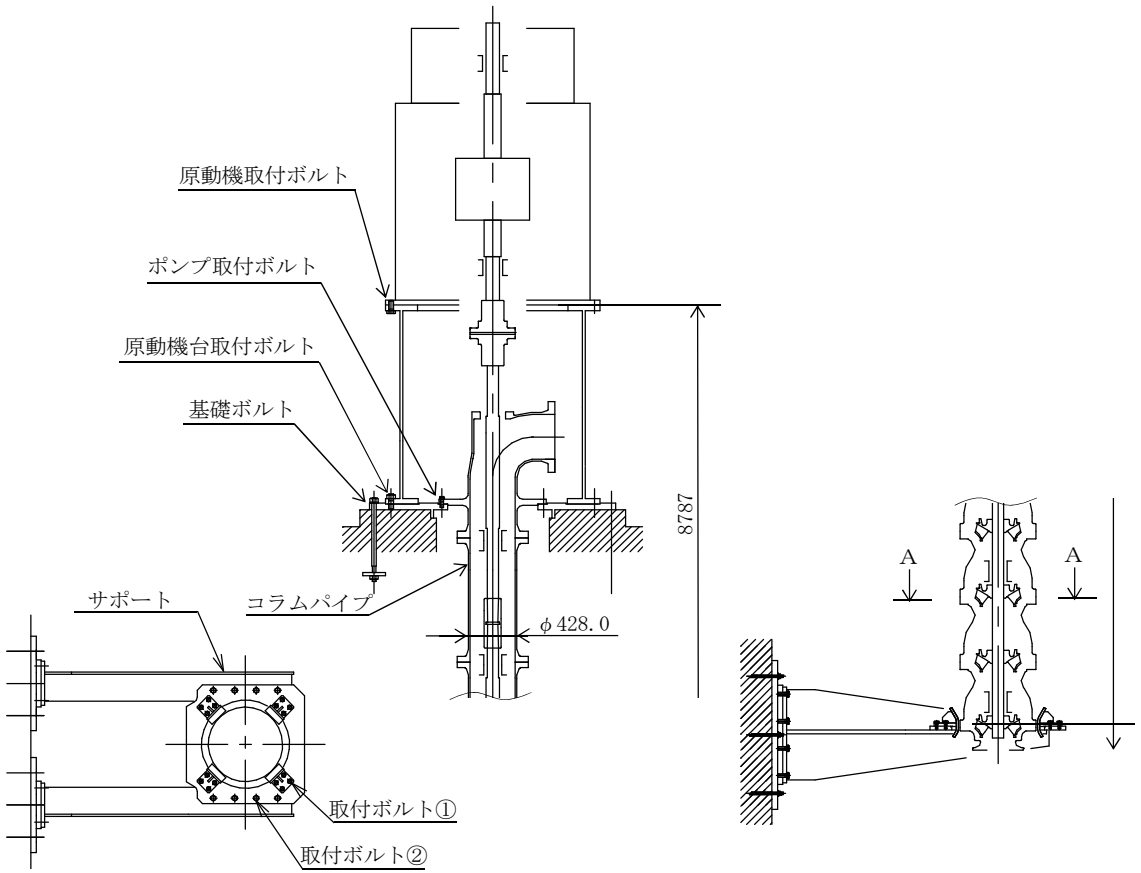
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-5　たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

残留熱除去系海水系ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ポンプはポンプベースに固定され，ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。また，コラムパイプの先端はサポートにて水平方向を支持されている。	ターボ形たて軸ポンプ	

3.　固有値解析及び構造強度評価

3.1　固有値解析及び構造強度評価方法

残留熱除去系海水系ポンプの構造はたて軸ポンプであるため，固有値解析及び構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-5　たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2　荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

残留熱除去系海水系ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2　許容応力

残留熱除去系海水系ポンプの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 及び表 3-4 のとおりとする。

3.2.3　使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系海水系ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 に示す。

表 3-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	残留熱除去系海水系ポンプ	S	Non*1	$D+P_D+M_D+S_d$*2	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊1：クラス３ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。また，クラス３ポンプの支持構造物を含む。

＊2：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 3-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ＊1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	残留熱除去系海水系ポンプ	常設耐震／防止常設／緩和	重大事故等クラス２ポンプ*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：重大事故等クラス２ポンプの支持構造物を含む。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-3　許容応力（クラス２，３ポンプ及び重大事故等クラス２ポンプ）

許容応力状態	許容限界*			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
ⅢAS	S_yと 0.6・S_uの小さい方 ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と 1.2・S との大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動S_d又は基準地震動S_sのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・S_y以下であれば，疲労解析は行わない。	
ⅣAS	0.6・S_u	左欄の 1.5 倍の値		
ⅤAS （ⅤASとしてⅣASの許容限界を用いる。）			基準地震動S_sのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・S_y以下であれば，疲労解析は行わない。	

注記　＊：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4　許容応力（クラス２，３支持構造物及び重大事故等クラス２支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1 （ボルト等以外）	許容限界*1，*2 （ボルト等）	
	一次応力	一次応力	
	曲げ	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_b	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_b^*	1.5・f_t^*	1.5・f_s^*
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）			

注記　＊1：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

＊2：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

表 3-5　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
コラムパイプ		最高使用温度	50	110	169	472	—
基礎ボルト		周囲環境温度		—	260	430	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	50	—	198	504	205
原動機台取付ボルト		周囲環境温度		—	198	504	205
原動機取付ボルト		周囲環境温度		—	198	504	205
サポート		周囲環境温度		—	169	472	175
サポート取付ボルト①		周囲環境温度		—	198	504	205
サポート取付ボルト②		周囲環境温度		—	198	504	205

表 3-6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
コラムパイプ		最高使用温度	50	110	169	472	—
基礎ボルト		周囲環境温度		—	260	430	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	50	—	198	504	205
原動機台取付ボルト		周囲環境温度		—	198	504	205
原動機取付ボルト		周囲環境温度		—	198	504	205
サポート		周囲環境温度		—	169	472	175
サポート取付ボルト①		周囲環境温度		—	198	504	205
サポート取付ボルト②		周囲環境温度		—	198	504	205

3.3　解析モデル及び諸元

固有値解析及び構造評価に用いる解析モデル及び諸元は，本計算書の【残留熱除去系海水系ポンプの耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。解析コードは，「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-1　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

3.4　固有周期

固有値解析の結果を表 3-7 に，振動モード図を図 3-1 に示す。鉛直方向は，3 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 3-7　固有値解析結果

モード	固有周期（ｓ）	卓越方向	刺激係数	
			X	Y
1次	0.067	水平	-2.529	0.000
2次	0.038	水平	－	－

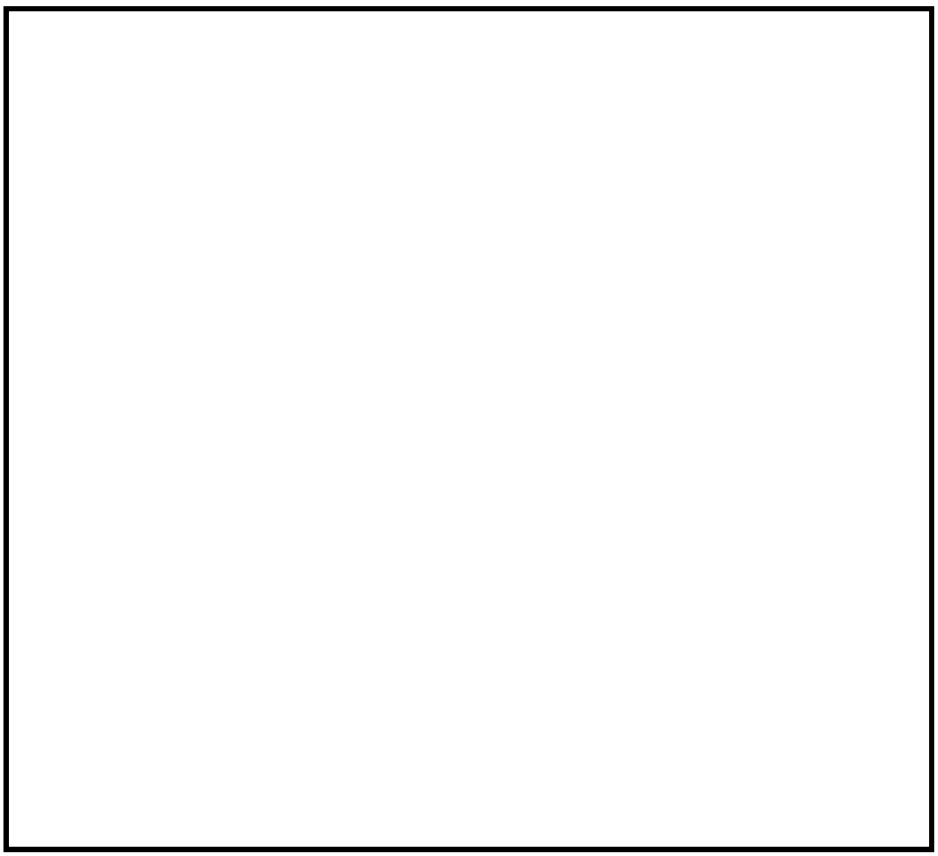


図 3-1　振動モード（１次モード　水平方向　0.067ｓ）

3.5　設計用地震力

「弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度」及び「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

評価に用いる設計用地震力を表3-8及び表3-9に示す。

表 3-8　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$		減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平	鉛直
海水ポンプ室 EL. 0.8*1	0.067	0.05 以下*2	－*3	－*3	C_H＝1.10 又は＊4	C_V＝1.03	1.0	－

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

＊3：ⅢＡＳについては，基準地震動Ｓ$_s$で評価する。

＊4：基準地震動Ｓ$_s$に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

表 3-9　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$		減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平	鉛直
海水ポンプ室 EL. 0.8*1	0.067	0.05 以下*2	－	－	C_H＝1.10 又は＊3	C_V＝1.03	1.0	－

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

＊3：基準地震動Ｓ$_s$に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

残留熱除去系海水系ポンプの地震後の動的機能維持評価について，以下に示す。

残留熱除去系海水系ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	立形斜流ポンプ	水平	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形ころがり軸受電動機	水平	2.5
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去系海水系ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。なお，弾性設計用地震動S_d及び静的震度は基準地震動S_sを下回っており，基準地震動S_sによる発生値が，弾性設計用地震動S_d又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動S_d又は静的震度による発生値の算出を省略した。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系海水系ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系海水系ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ（m）	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）	最高使用圧力（MPa）
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
残留熱除去系海水系ポンプ	S	取水ポンプ室 EL. 0.8*1	0.067	0.05 以下*2	－*3	－*3	C_H＝1.10 又は＊4	C_V＝1.03	C_p＝0.09	50		3.45

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。
＊3：ⅢASについては，基準地震動Ｓｓで評価する。
＊4：基準地震動S_sに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	n_{fi}	M_p (N·mm)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)
基礎ボルト（i＝1）				8	8	－	260*2	430*2	260	301
ポンプ取付ボルト（i＝2）				8	8	5.730×10^6	198*1	504*1	205	246
原動機台取付ボルト（i＝3）				8	8	5.730×10^6	198*2	504*2	205	246
原動機取付ボルト（i＝4）				8	8	5.730×10^6	198*2	504*2	205	246

注記 ＊1：最高使用温度で算出
＊2：周囲環境温度で算出

(2) コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	110*	169*	472*	400.0	14.0

注記 ＊：最高使用温度で算出

(3) サポート

部材	L (mm)	Z_s (mm³)	E (MPa)	A_f (mm²)	ℓ_b (mm)	h (mm)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT）(MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
サポート							169*	472*	175	175	210

注記 ＊：周囲環境温度で算出

(4)サポート取付ボルト

部　　材	A_{sbj} (mm²)	n_{sj}	S_{yj} (MPa)	S_{uj} (MPa)	S_{yj} (RT) (MPa)	F_j (MPa)	F_j^* (MPa)
サポート取付ボルト① (j=1)	[redacted]	4	198*	504*	205	205	246
サポート取付ボルト② (j=2)		8	198*	504*	205	205	246

注記　＊：周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
H_p [redacted]	N [redacted]

1.3　計算数値

(1) ボルトに作用する力

部　　材	M_i (N・mm)		F_{bi} (N)		Q_{bi} (N)	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)	－	[redacted]	－	[redacted]	－	[redacted]
ポンプ取付ボルト (i=2)	－		－		－	
原動機台取付ボルト (i=3)	－		－		－	
原動機取付ボルト (i=4)	－		－		－	

(2) コラムパイプに作用する力

(単位：N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
コラムパイプ	－	[redacted]

(3)サポート及びサポート取付ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	W	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
サポート	－	[redacted]
サポート取付ボルト①	－	
サポート取付ボルト②	－	

1.4 結　論

1.4.1 固有周期

モード	固有周期（s）	卓越方向
1次	0.067	水平

1.4.2 ボルトの応力　（単位：MPa）

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力*1	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	σ_{b1}=69	f_{ts1}=195*2	σ_{b1}=69	f_{ts1}=225*2
		せん断	τ_{b1}=24	f_{sb1}=150	τ_{b1}=24	f_{sb1}=173
ポンプ取付ボルト		引張り	σ_{b2}=148	f_{ts2}=153*2	σ_{b2}=148	f_{ts2}=184*2
		せん断	τ_{b2}=26	f_{sb2}=118	τ_{b2}=26	f_{sb2}=142
原動機台取付ボルト		引張り	σ_{b3}=71	f_{ts3}=153*2	σ_{b3}=71	f_{ts3}=184*2
		せん断	τ_{b3}=19	f_{sb3}=118	τ_{b3}=19	f_{sb3}=142
原動機取付ボルト		引張り	σ_{b4}=30	f_{ts4}=153*2	σ_{b4}=30	f_{ts4}=184*2
		せん断	τ_{b4}=17	f_{sb4}=118	τ_{b4}=17	f_{sb4}=142

注記　*1：基準地震動Ｓｓによる算出値

*2：f_{tsi}=Min[1.4・f_{toi}−1.6・τbi，f_{toi}]より算出

すべて許容応力以下である。

1.4.3 コラムパイプの応力　（単位：MPa）

部材	材料	一次一般膜応力		
			算出応力	許容応力
コラムパイプ	[redacted]	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	σ=118*	S_a=169
		基準地震動S_s	σ=118	S_a=283

すべて許容応力以下である。　注記　*：基準地震動Ｓｓによる算出値

1.4.4 サポート及びポート取付ボルトの応力　（単位：MPa）

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力*	許容応力	算出応力	許容応力
サポート	[redacted]	曲げ	σ_s=119	f_{bs}=175	σ_s=119	f_{bs}=210
サポート取付ボルト①		せん断	τ_{sb1}=47	f_{ssb1}=118	τ_{sb1}=47	f_{ssb1}=142
サポート取付ボルト②		せん断	τ_{sb2}=15	f_{ssb2}=118	τ_{sb2}=15	f_{ssb2}=142

すべて許容応力以下である。　注記　*：基準地震動S_sによる算出値

1.4.4　動的機能の評価結果

1.4.4.1　機能確認済加速度との比較　　(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.91*1	10.0
	鉛直方向	0.86*2	1.0
原動機	水平方向	0.91*1	2.5
	鉛直方向	0.86*2	1.0

注記　＊1：水平方向評価用加速度はコラム先端の応答加速度又は1.0ZPAのうちいずれか大きい値。

＊2：鉛直方向評価用加速度は1.0ZPA。

評価用加速度はすべて機能維持確認済加速度以下である。

1.5　その他の機器要目

(1)　節点データ

節点番号	節点座標(mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			

（続き）

節点番号	節点座標(mm)		
	x	y	z
50			
51			
52			
53			
54			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
1	1-2	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
2	2-3	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
3	3-44	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
4	44-4	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
5	4-5	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
6	5-6	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
7	6-7	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
8	7-8	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
9	8-9	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
10	9-10	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
11	10-48	1		9.517×10^{6}	1.903×10^{7}
12	48-49	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
13	49-45	1		2.485×10^{7}	4.970×10^{7}
14	45-11	1		1.402×10^{7}	2.804×10^{7}
15	11-12	1		1.402×10^{7}	2.804×10^{7}
16	12-13	1		8.585×10^{6}	1.717×10^{7}
17	13-14	1		8.585×10^{6}	1.717×10^{7}
18	14-15	1		8.585×10^{6}	1.717×10^{7}
19	15-16	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
20	16-17	2		1.236×10^{8}	2.472×10^{8}
21	17-18	4		9.198×10^{6}	1.840×10^{7}
22	18-53	4		2.485×10^{7}	4.970×10^{7}
23	19-20	4		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
24	21-22	1		1.659×10^{8}	3.318×10^{8}
25	22-23	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
26	23-24	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
27	24-46	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
28	46-25	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
29	25-26	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
30	26-27	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
31	27-28	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
32	28-29	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
33	29-30	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
34	30-31	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
35	31-50	1		3.906×10^{8}	7.811×10^{8}
36	50-51	1		3.906×10^{8}	7.811×10^{8}
37	51-47	1		3.906×10^{8}	7.811×10^{8}
38	47-32	1		3.906×10^{8}	7.811×10^{8}
39	32-33	1		3.906×10^{8}	7.811×10^{8}
40	33-34	1		4.849×10^{8}	9.698×10^{8}
41	34-35	1		4.849×10^{8}	9.698×10^{8}
42	35-36	1		4.849×10^{8}	9.698×10^{8}
43	43-37	3		4.952×10^{11}	9.904×10^{11}
44	43-38	3		4.035×10^{11}	8.070×10^{11}
45	38-39	3		2.895×10^{10}	5.790×10^{10}
46	39-40	4		1.770×10^{10}	3.541×10^{10}
47	40-54	4		1.770×10^{10}	3.541×10^{10}
48	41-42	4		1.036×10^{10}	2.071×10^{10}
49	53-19	4		2.485×10^{7}	4.970×10^{7}
50	54-41	4		1.770×10^{10}	3.541×10^{10}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
2	23	
5	26	
9	30	
48	50	
11	32	
18	40	
19	41	
22	52	
19	41	
34	37	
34	37	

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	

（続き）

節点番号	質量 (kg)
50	
51	
52	
53	
54	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm^3)	ポアソン比 (－)	材質	部位
1		1.93×10^5	7.920×10^{-6}	0.3		ポンプ
2		1.99×10^5	7.740×10^{-6}	0.3		ポンプ
3		2.01×10^5	7.860×10^{-6}	0.3		原動機
4		1.99×10^5	7.860×10^{-6}	0.3		原動機

【残留熱除去系海水系ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	最高使用圧力 (MPa)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
残留熱除去系海水系ポンプ	常設耐震／防止常設／緩和	取水ポンプ室 EL. 0.8*1	0.067	0.05 以下*2	－	－	C_H=1.10 又は*2	C_V=1.03 又は*2	C_p=0.09	50		3.45

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。
*3：基準地震動Ｓｓに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}	M_p (N·mm)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)
基礎ボルト (i=1)				8	8	－	260*2	430*2	－	301
ポンプ取付ボルト (i=2)				8	8	5.730×10^6	198*1	504*1	－	246
原動機台取付ボルト (i=3)				8	8	5.730×10^6	198*2	504*2	－	246
原動機取付ボルト (i=4)				8	8	5.730×10^6	198*2	504*2	－	246

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

(2) コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	110*	169*	472*	400.0	14.0

注記 *：最高使用温度で算出

(3) サポート

部材	L (mm)	Z_s (mm^3)	E (MPa)	A_f (mm^2)	ℓ_b (mm)	h (mm)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
サポート							169*	472*	175	175	210

注記 *：周囲環境温度で算出

(4)サポート取付ボルト

部　　材	A_{sbj} (mm²)	n_{sj}	S_{yj} (MPa)	S_{uj} (MPa)	S_{yj} (RT) (MPa)	F_j (MPa)	F_j^* (MPa)
サポート取付ボルト① (j＝1)		4	198*	504*	205	205	246
サポート取付ボルト② (j＝2)		8	198*	504*	205	205	246

注記　＊：周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min⁻¹)
H_p＝	N

2.3　計算数値

(1) ボルトに作用する力

部　　材	M_i (N・mm)		F_{bi} (N)		Q_{bi} (N)	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i＝1)	－		－		－	
ポンプ取付ボルト (i＝2)	－		－		－	
原動機台取付ボルト (i＝3)	－		－		－	
原動機取付ボルト (i＝4)	－		－		－	

(2) コラムパイプに作用する力

(単位：N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
コラムパイプ	－	

(3)サポート及びサポート取付ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	W	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
サポート	－	
サポート取付ボルト①	－	
サポート取付ボルト②	－	

2.4 結　論

2.4.1 固有周期

モード	固有周期（s）	卓越方向
1次	0.067	水平

2.4.2 ボルトの応力

（単位：MPa）

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_{b1}=69	f_{ts1}=225*
		せん断	－	－	τ_{b1}=24	f_{sb1}=173
ポンプ取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b2}=148	f_{ts2}=184*
		せん断	－	－	τ_{b2}=26	f_{sb2}=142
原動機台取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b3}=71	f_{ts3}=184*
		せん断	－	－	τ_{b3}=19	f_{sb3}=142
原動機取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b4}=30	f_{ts4}=184*
		せん断	－	－	τ_{b4}=17	f_{sb4}=142

すべて許容応力以下である。　　注記　＊：f_{tsi}=Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

2.4.3 コラムパイプの応力

（単位：MPa）

部材	材料	一次一般膜応力		
			算出応力	許容応力
コラムパイプ		弾性設計用地震動S_d又は静的震度	－	－
		基準地震動S_s	σ=118	S_a=283

すべて許容応力以下である。

2.4.4 サポート及びサポート取付ボルトの応力

（単位：MPa）

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
サポート		曲げ	－	－	σ_s=119	f_{bs}=210
サポート取付ボルト①		せん断	－	－	τ_{sb1}=47	f_{ssb1}=142
サポート取付ボルト②		せん断	－	－	τ_{sb2}=15	f_{ssb2}=142

すべて許容応力以下である。

2.4.4　動的機能の評価結果

2.4.4.1　機能確認済加速度との比較　　(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.91*1	10.0
	鉛直方向	0.86*2	1.0
原動機	水平方向	0.91*1	2.5
	鉛直方向	0.86*2	1.0

注記　＊1：水平方向評価用加速度はコラム先端の応答加速度又は1.0ZPAのうちいずれか大きい値。

＊2：鉛直方向評価用加速度は1.0ZPA。

評価用加速度はすべて機能維持確認済加速度以下である。

2.5　その他の機器要目

(1)　節点データ

節点番号	節点座標(mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			

（続き）

節点番号	節点座標(mm)		
	x	y	z
50			
51			
52			
53			
54			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
1	1-2	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
2	2-3	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
3	3-44	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
4	44-4	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
5	4-5	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
6	5-6	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
7	6-7	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
8	7-8	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
9	8-9	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
10	9-10	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
11	10-48	1		9.517×10^{6}	1.903×10^{7}
12	48-49	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
13	49-45	1		2.485×10^{7}	4.970×10^{7}
14	45-11	1		1.402×10^{7}	2.804×10^{7}
15	11-12	1		1.402×10^{7}	2.804×10^{7}
16	12-13	1		8.585×10^{6}	1.717×10^{7}
17	13-14	1		8.585×10^{6}	1.717×10^{7}
18	14-15	1		8.585×10^{6}	1.717×10^{7}
19	15-16	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
20	16-17	2		1.236×10^{8}	2.472×10^{8}
21	17-18	4		9.198×10^{6}	1.840×10^{7}
22	18-53	4		2.485×10^{7}	4.970×10^{7}
23	19-20	4		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
24	21-22	1		1.659×10^{8}	3.318×10^{8}
25	22-23	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
26	23-24	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
27	24-46	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
28	46-25	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
29	25-26	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
30	26-27	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
31	27-28	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
32	28-29	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
33	29-30	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
34	30-31	1		1.351×10^{9}	2.703×10^{9}
35	31-50	1		3.906×10^{8}	7.811×10^{8}
36	50-51	1		3.906×10^{8}	7.811×10^{8}
37	51-47	1		3.906×10^{8}	7.811×10^{8}
38	47-32	1		3.906×10^{8}	7.811×10^{8}
39	32-33	1		3.906×10^{8}	7.811×10^{8}
40	33-34	1		4.849×10^{8}	9.698×10^{8}
41	34-35	1		4.849×10^{8}	9.698×10^{8}
42	35-36	1		4.849×10^{8}	9.698×10^{8}
43	43-37	3		4.952×10^{11}	9.904×10^{11}
44	43-38	3		4.035×10^{11}	8.070×10^{11}
45	38-39	3		2.895×10^{10}	5.790×10^{10}
46	39-40	4		1.770×10^{10}	3.541×10^{10}
47	40-54	4		1.770×10^{10}	3.541×10^{10}
48	41-42	4		1.036×10^{10}	2.071×10^{10}
49	53-19	4		2.485×10^{7}	4.970×10^{7}
50	54-41	4		1.770×10^{10}	3.541×10^{10}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
2	23	
5	26	
9	30	
48	50	
11	32	
18	40	
19	41	
22	52	
19	41	
34	37	
34	37	

(4) 節点の質量

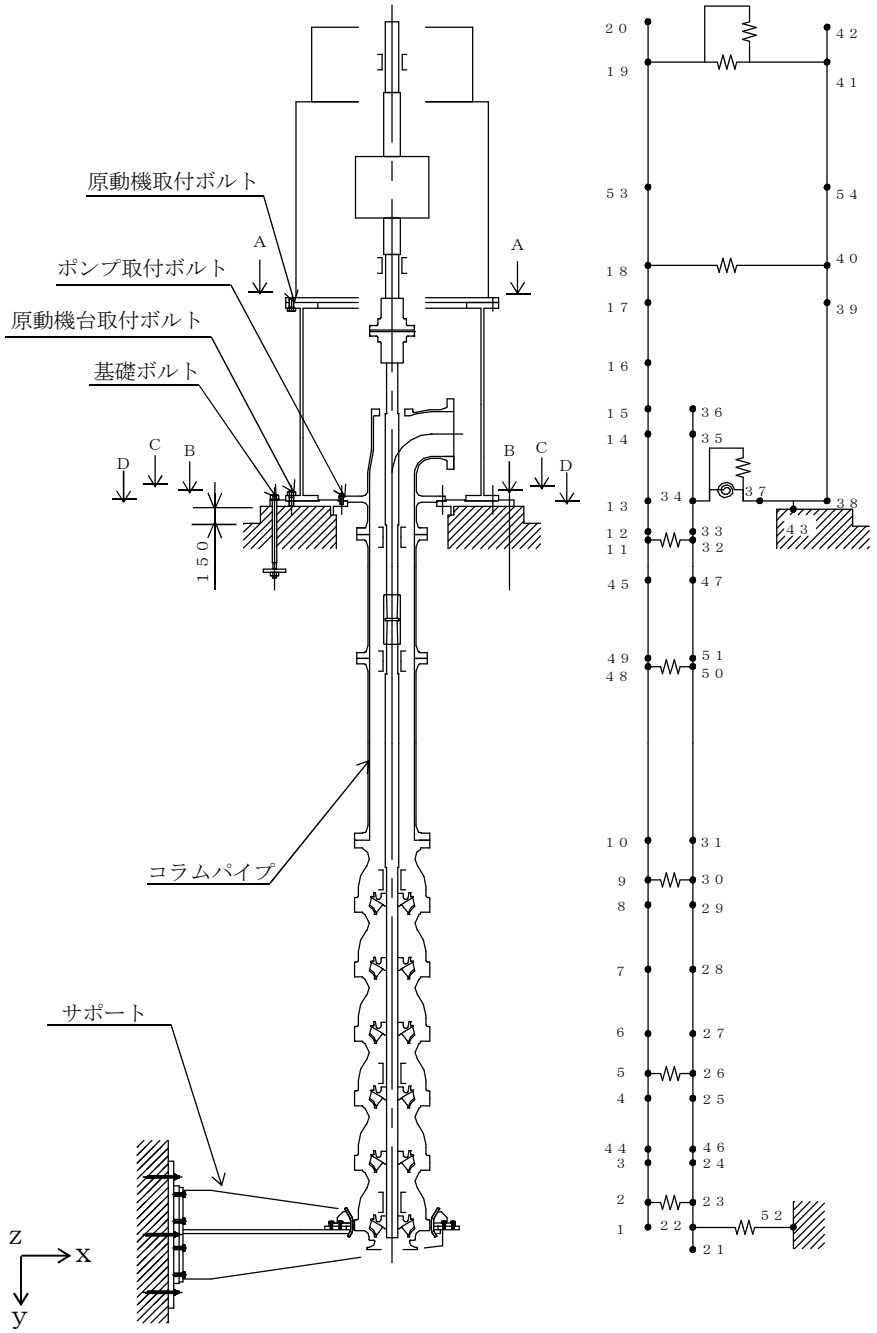
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	

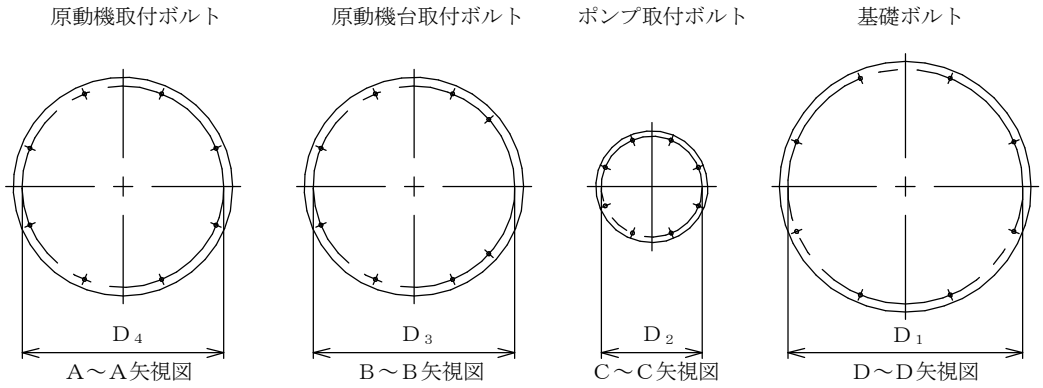
（続き）

節点番号	質量 (kg)
50	
51	
52	
53	
54	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm^3)	ポアソン比 (－)	材質	部位
1		1.93×10^5	7.920×10^{-6}	0.3		ポンプ
2		1.99×10^5	7.740×10^{-6}	0.3		ポンプ
3		2.01×10^5	7.860×10^{-6}	0.3		原動機
4		1.99×10^5	7.860×10^{-6}	0.3		原動機


原動機取付ボルト
ポンプ取付ボルト
原動機台取付ボルト
基礎ボルト
コラムパイプ
サポート
A
B
C
D
150
z
x
y
20
19
53
18
17
16
15
14
13
12
11
45
49
48
10
9
8
7
6
5
4
44
3
2
1
42
41
54
40
39
36
35
37
34
38
43
33
32
47
51
50
31
30
29
28
27
26
25
46
24
23
52
22
21


原動機取付ボルト
原動機台取付ボルト
ポンプ取付ボルト
基礎ボルト
D4
D3
D2
D1
A～A矢視図
B～B矢視図
C～C矢視図
D～D矢視図

Ⅴ-2-5-7-1-2　残留熱除去系海水系ストレーナの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
2.2 評価方針 3
2.3 適用基準 3
2.4 記号の説明 4
2.5 計算精度と数値の丸め方 5
3. 評価部位 5
4. 固有周期 5
5. 構造強度評価 6
5.1 構造強度評価方法 6
5.2 荷重の組合せ及び許容応力 7
5.3 設計用地震力 11
5.4 計算方法 12
5.5 計算条件 14
5.6 応力の評価 14
6. 評価結果 14
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 14
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果 14

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の基本方針に基づき，残留熱除去系海水系ストレーナが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

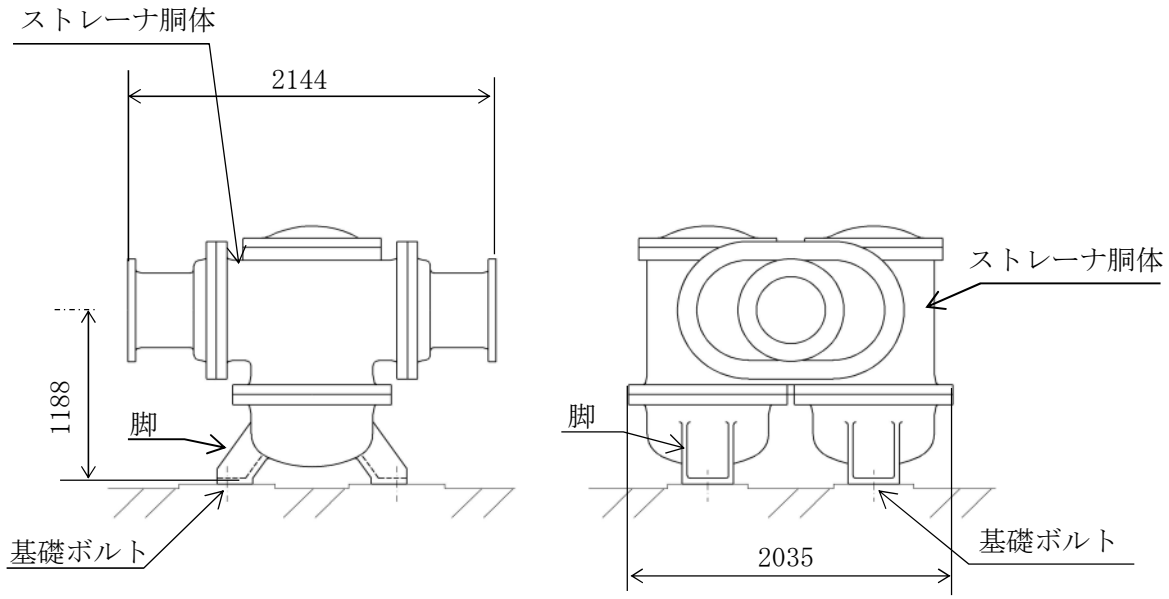
残留熱除去系海水系ストレーナは設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系海水系ストレーナの構造計画を表 2-1 に示す。

表2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ストレーナは胴と一体の脚で支持し，脚を基礎ボルトで支持する。	たて置円筒形ストレーナ	 （単位：mm）

2.2　評価方針

残留熱除去系海水系ストレーナの構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」のうち「3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す残留熱除去系海水系ストレーナの部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において「4.　固有周期」に基づく設計用地震力による応力等が許容限界に収まることを，「5.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6.　評価結果」に示す。

残留熱除去系海水系ストレーナの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

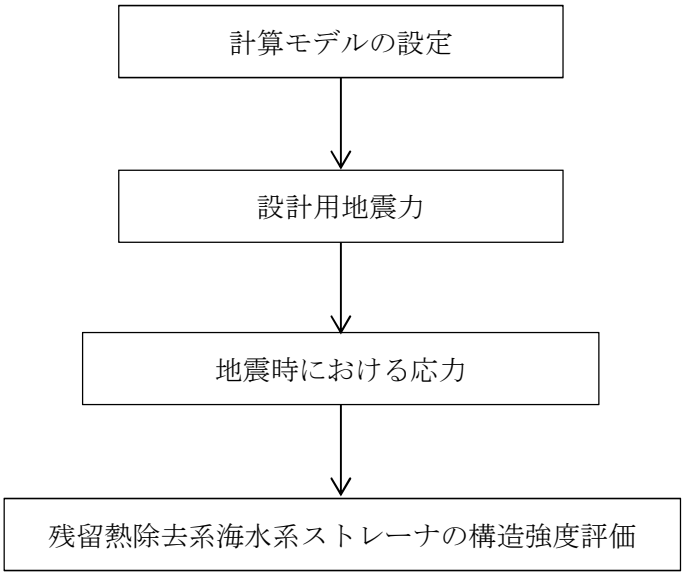


図 2-1　残留熱除去系海水系ストレーナの耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格　SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力（１本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力（f_sを1.5倍した値又はf_s^*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力（f_tを1.5倍した値又はf_t^*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h	基礎から重心までの距離	mm
ℓ_1	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*	mm
m	運転時質量	kg
n	基礎ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	－
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表９に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表８に定める値	MPa
π	円周率	－
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

注　＊：$\ell_1 \leqq \ell_2$

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保すること。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3.　評価部位

残留熱除去系海水系ストレーナの耐震評価は，「5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。残留熱除去系海水系ストレーナの評価部位については，表2-1の概略構造図に示す。

4.　固有周期

残留熱除去系海水系ストレーナは1個の大きなブロック状であり，重心の位置がブロック状のほぼ中心にあり，かつ，下面が基礎ボルトにて固定されている。したがって全体を一つの剛体とみなせるため，固有周期は十分に小さく，固有周期の計算は省略する。

5.　構造強度評価

5.1　構造強度評価方法

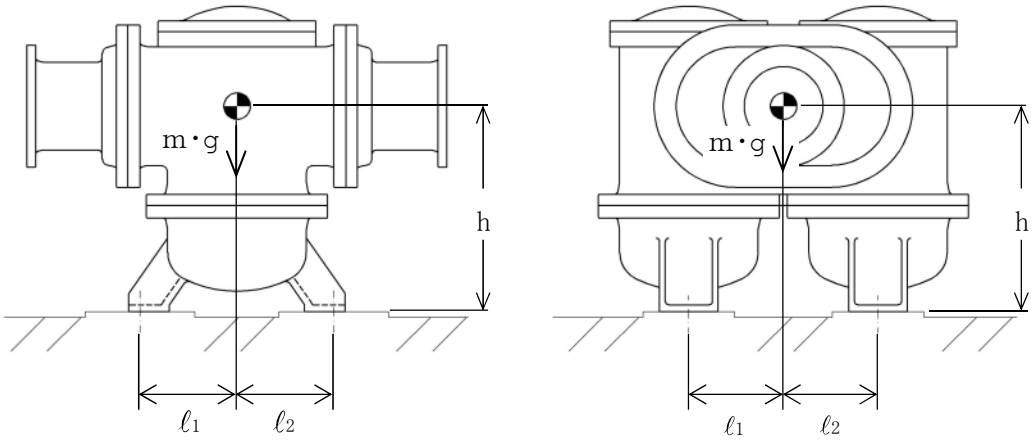
(1)　ストレーナ及び内容物の質量は重心に集中するものとする。

(2)　地震力はストレーナに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(3)　ストレーナは基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで，基礎については剛となるよう設計する。

(4)　転倒方向は図 5-1 により検討し，計算条件の厳しい方で耐震性についての計算を行う。

(5)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。



（長辺方向）　　（短辺方向）

図 5-1　概　要　図

5.2　荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

残留熱除去系海水系ストレーナの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2　許容応力

残留熱除去系海水系ストレーナの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系海水系ストレーナの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	残留熱除去系海水系ストレーナ	S	クラス３容器*	$D+P_D+M_D+S_d^*$	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊：クラス３容器の支持構造物を含む。

表5-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	残留熱除去系海水系ストレーナ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２容器*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして，IV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：重大事故等クラス２容器の支持構造物を含む。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-3　許容応力（クラス２，３支持構造物及び重大事故等クラス２支持構造物）

許容応力状態	許　容　限　界*1, *2 （ボ　ル　ト　等）	
	一　次　応　力	
	引張り	せん断
$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
$\mathrm{IV}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$\mathrm{V}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$ （$\mathrm{V}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$として，$\mathrm{IV}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能な場合は評価を省略する。

表5-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		231	394

表5-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		231	394

5.3　設計用地震力

「弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度」及び「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

表 5-6　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
		水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
海水ポンプ室 EL. 0.30*1	－*2	C_H＝0.81	C_V＝1.23	C_H＝1.38	C_V＝2.70

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

表 5-7　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
		水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
海水ポンプ室 EL. 0.30*1	－*2	－	－	C_H＝1.38	C_V＝2.70

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

5.4　計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による引張応力とせん断応力について計算する。

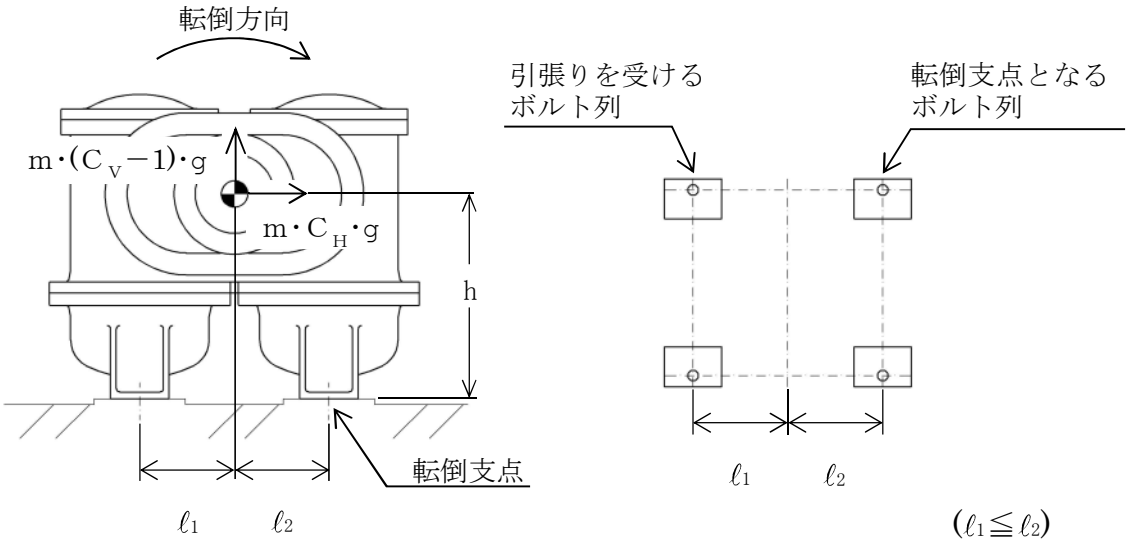


図5-2　計算モデル（短辺方向転倒）

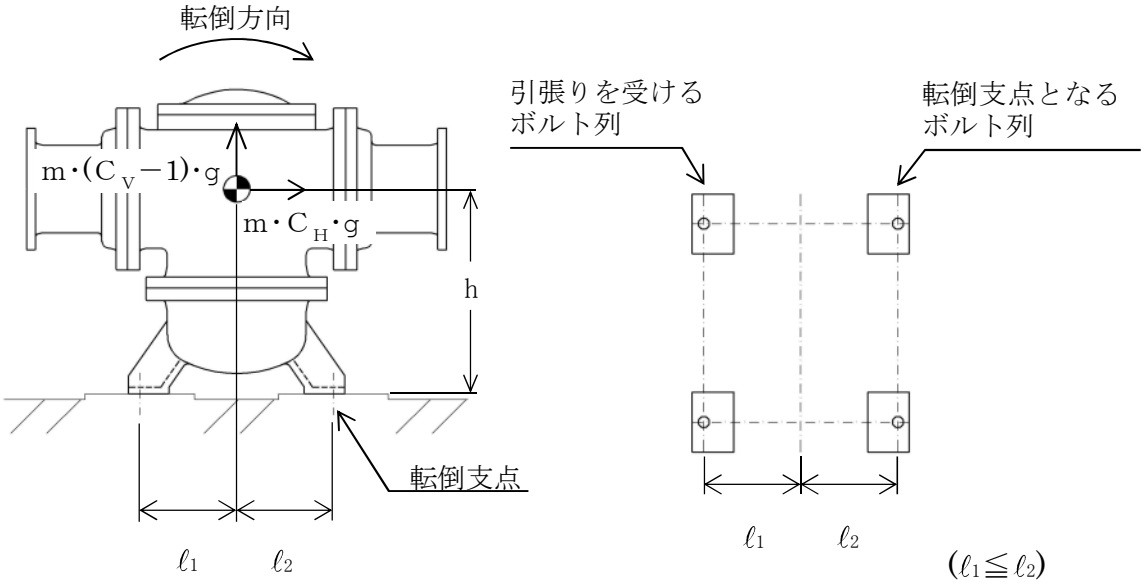


図 5-3　計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として，図 5-2 及び図 5-3 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \cdots\cdots \quad (5.4.3)$$

ただし，F_bが負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので，引張応力の計算は行なわない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g \quad \cdots\cdots \quad (5.4.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.5)$$

5.5　計算条件

応力の計算に用いる計算条件は，本計算書の【残留熱除去系海水系ストレーナの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6　応力の評価

5.4項で求めた基礎ボルトの引張応力σ_bは，次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。

せん断応力τ_bはせん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。

$$f_{ts}=1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.6.1)$$

かつ，

$$f_{ts}\leqq f_{to} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.6.2)$$

ただし，f_{to}及びf_{sb}は下表による。

	弾性設計用地震動S_d又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

6.　評価結果

6.1　設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去系海水系ストレーナの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を次頁以降の表に示す。

6.2　重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系海水系ストレーナの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系海水系ストレーナの耐震性についての計算結果】

1.　設計基準対象施設

1.1　設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
残留熱除去系海水系ストレーナ	S	海水ポンプ室 EL. 0.30*1	—*2	C_H=0.81	C_V=1.23	C_H=1.38	C_V=2.70	—	□

注記　*1：基準床レベルを示す。
　　*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

1.2　機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト						4	2
							2

注記　*：ボルトの機器要目における上段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)		転倒方向
			弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	
基礎ボルト	231	394	231	276	短辺

1.3　計算数値

ボルトに作用する力　　（単位：N）

部　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	5.068×10^4	1.179×10^5	7.824×10^4	1.333×10^5

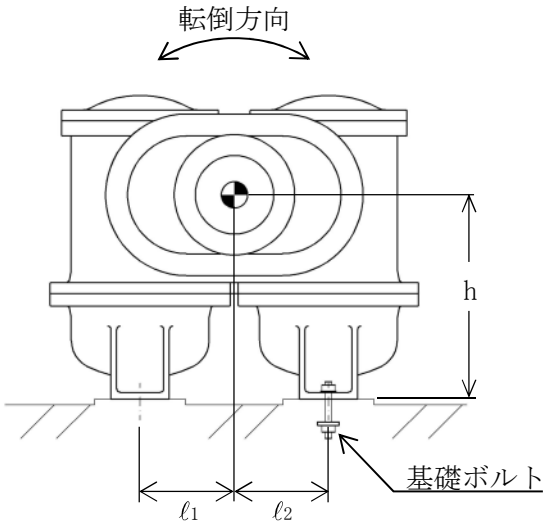
1.4　結　　論

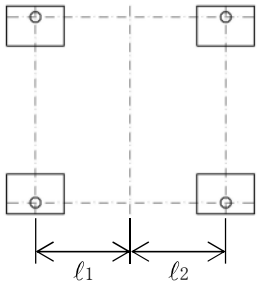
ボルトの応力　　（単位：MPa）

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引　張　り	$\sigma_b = 72$	$f_{ts} = 173^*$	$\sigma_b = 167$	$f_{ts} = 207^*$
		せ　ん　断	$\tau_b = 28$	$f_{sb} = 133$	$\tau_b = 48$	$f_{sb} = 159$

すべて許容応力以下である。

注記＊：$f_{tsi} = \mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi} - 1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$





【残留熱除去系海水系ストレーナの耐震性についての計算結果】

2.　重大事故等対処設備

2.1　設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
残留熱除去系海水系ストレーナ	常設耐震／防止常設／緩和	海水ポンプ室 EL. 0.30*1	—*2	—	—	C_H=1.38	C_V=2.70	—	[redacted]

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

2.2　機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト	[redacted]					4	2
							2

注記　＊：ボルトの機器要目における上段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)		転倒方向
			弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	
基礎ボルト	231	394	—	276	短辺

2.3　計算数値

ボルトに作用する力　　（単位：N）

部　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	—	1.179×10^5	—	1.333×10^5

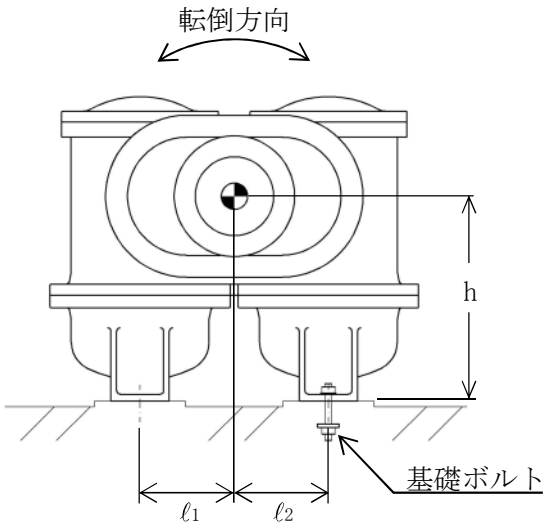
2.4　結　論

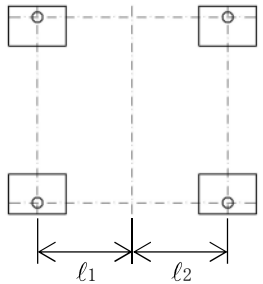
ボルトの応力　　（単位：MPa）

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引　張　り	—	—	$\sigma_b = 167$	$f_{ts} = 207^*$
		せ　ん　断	—	—	$\tau_b = 48$	$f_{sb} = 159$

すべて許容応力以下である。

注記＊：$f_{tsi} = \mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi} - 1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$





Ⅴ-2-5-7-1-3　管の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 ····· 2
2.1　概略系統図 ····· 2
2.2　鳥瞰図 ····· 5
3.　計算条件 ····· 9
3.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 9
3.2　設計条件 ····· 10
3.3　材料及び許容応力 ····· 20
3.4　設計用地震力 ····· 21
4.　解析結果及び評価 ····· 22
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 22
4.2　評価結果 ····· 28
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 28
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 29
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 30
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 31

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示す通りである。

(1)　管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全８モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2)　支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3)　弁

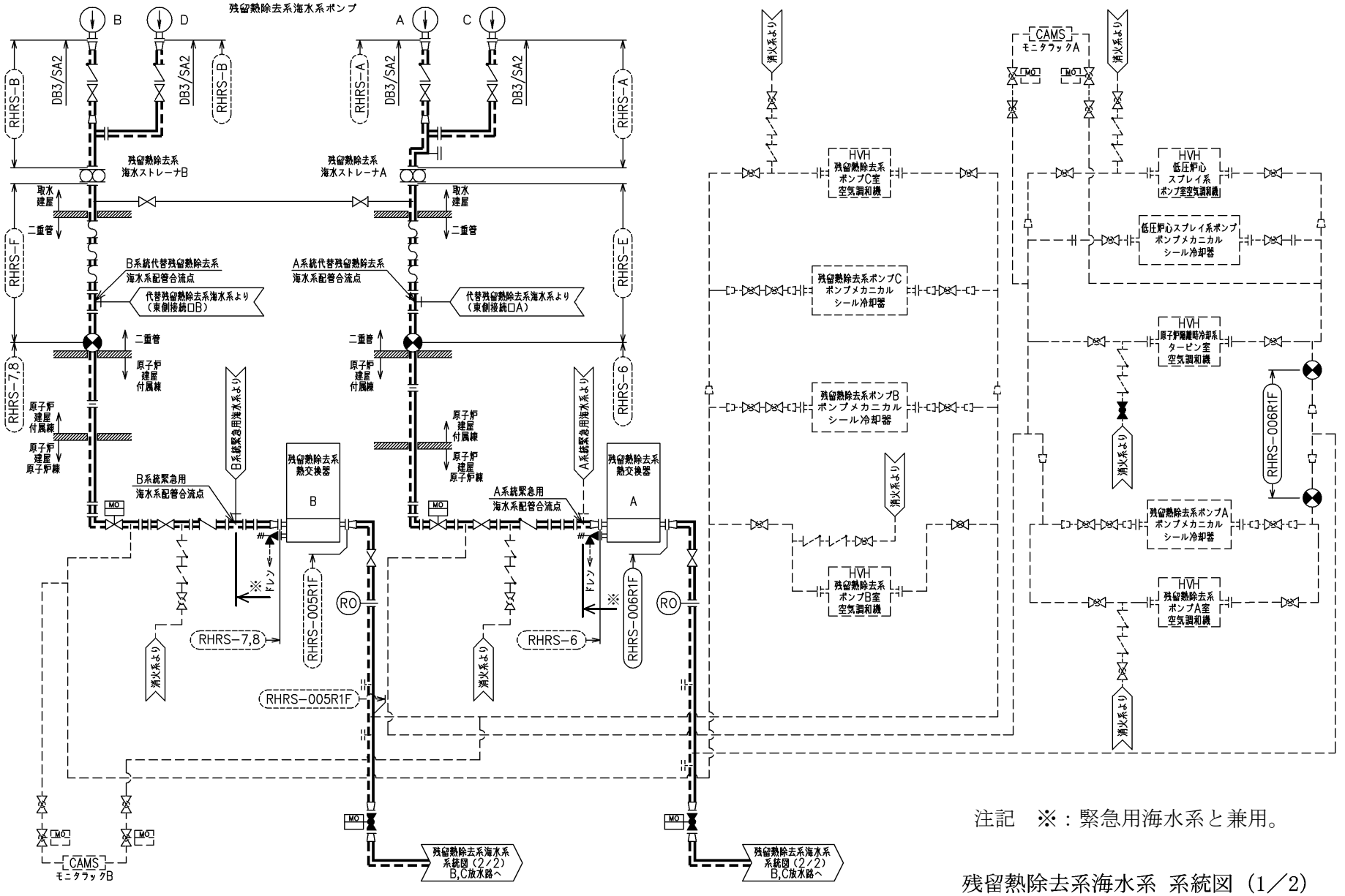
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

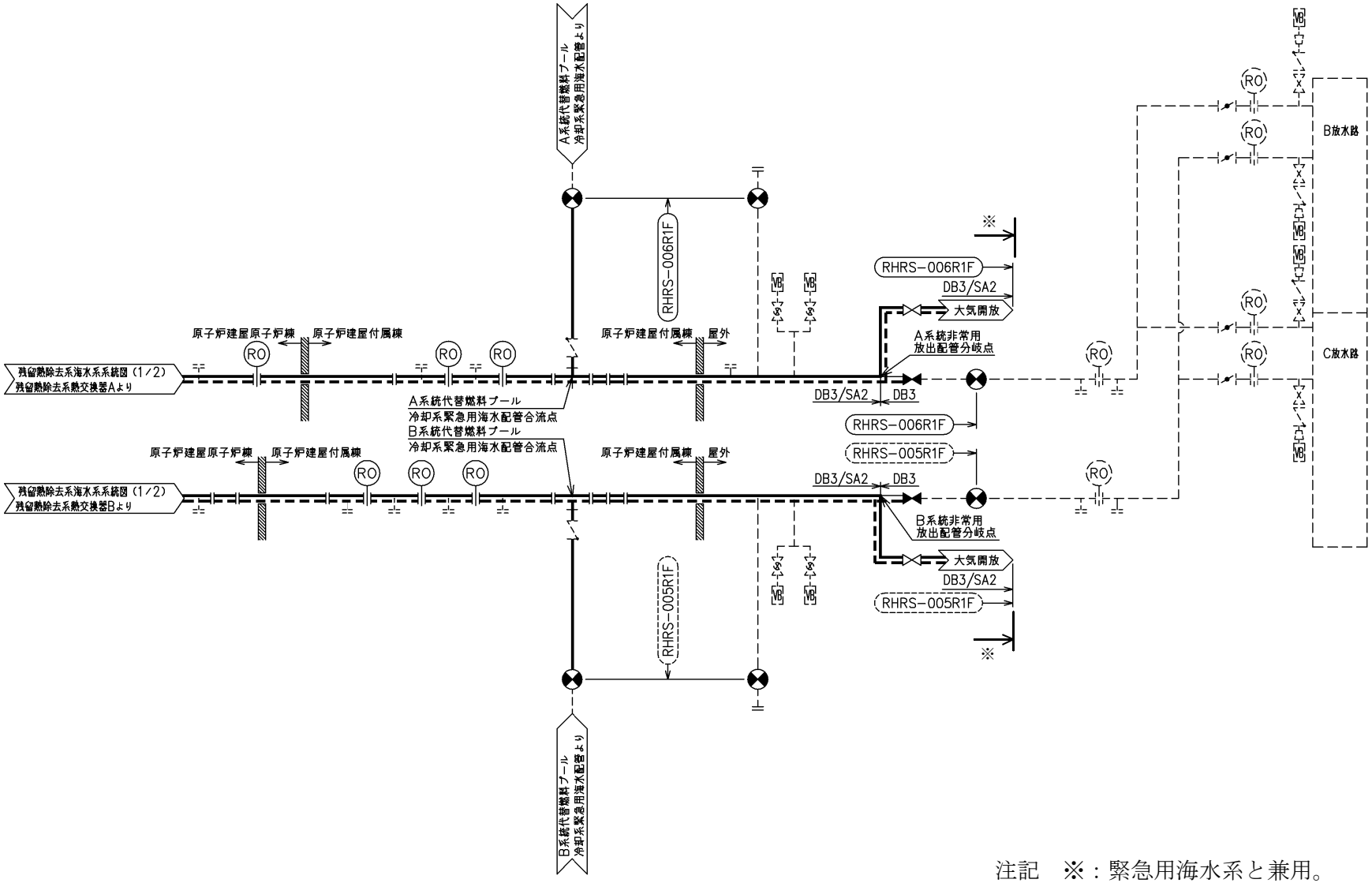
概略系統図記号凡例

記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管



注記　※：緊急用海水系と兼用。

残留熱除去系海水系 系統図（1／2）

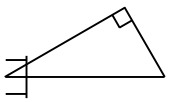
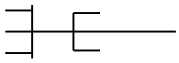
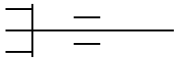
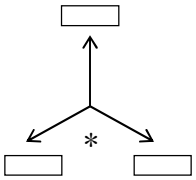


注記　※：緊急用海水系と兼用。

残留熱除去系海水系 系統図（2／2）

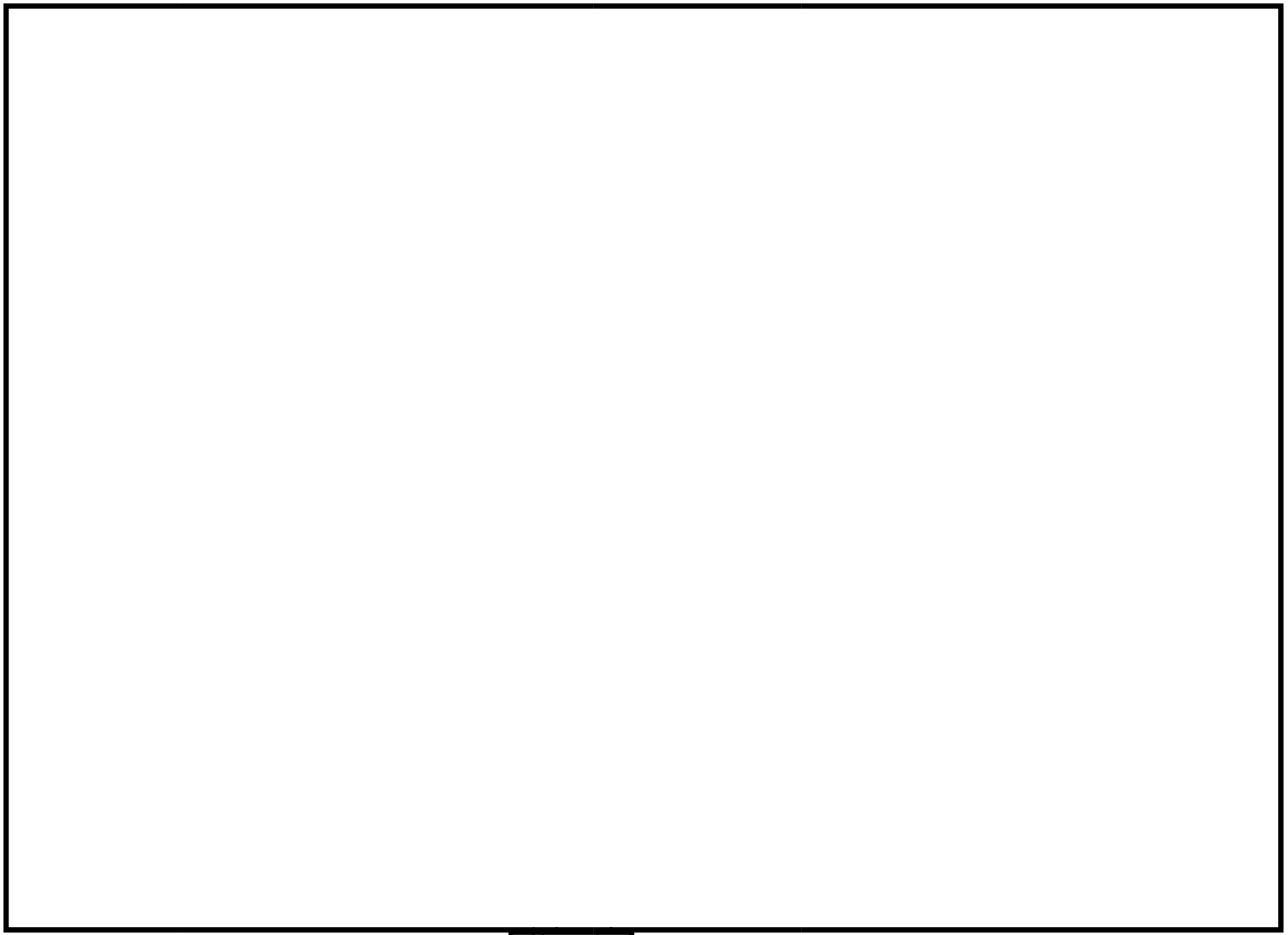
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記　　号	内　　容
━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質　　点
⊗	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。）
	注：鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。

鳥瞰図	RHRS−006R1F (1／3)

鳥瞰図	RHRS−006R1F（2／3）



鳥瞰図	RHRS−006R1F（3／3）

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	残留熱除去系海水系	ＤＢ	－	クラス３管	Ｓ	I_L+S_d	III_AS
							II_L+S_d	
							$IV_L(L)+S_d$	
							I_L+S_s	IV_AS
							II_L+S_s	
			ＳＡ	常設耐震／防止常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	V_L+S_s	V_AS
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	緊急用海水系	ＳＡ	常設耐震／防止常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	V_L+S_s	V_AS

注記 ＊1：ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。
＊2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。
＊3：運転状態の添字Ｌは荷重，(Ｌ)は荷重が長期間作用している状態，(ＬＬ)は(Ｌ)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。
＊4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。
＊5：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

3.2　設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　RHRS-006R1F

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	A00～A01	3.45	84	457.2	12.7	SF440A	S	
2	A01	3.45	84	457.2	12.7	SM50B	S	
3	A02～A04F, A11N～A11F, A14～A18, A21N～A21F, A24～A27, A30N～A30F, A33～A36, A39N～A41, A43～A46, A55～A56F, A59～A100, A108～A64, A66～A70	3.45	84	508.0	12.7	SM50B	S	
4	A04F～A06, A09～A11N, A11F～A14, A18～A21N, A21F～A24, A27～A30N, A30F～A33, A36～A39N, A41～A43, A53～A55, A58～A59, A100～A108, A64～A66, A70～A71	3.45	84	508.0	12.7	SF440A	S	
5	A47	3.45	84	355.6	12.7	SM50B	S	
6	A52	3.45	84	355.6	12.7	SB410	S	
7	A47～A48, A51～A52	3.45	84	355.6	12.7	SF440A	S	

鳥　瞰　図　RHRS-006R1F

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
8	A53	3.45	84	508.0	12.7	SB410	S	[redacted]
9	A56F～A58	3.45	84	508.0	12.7	SF45A	S	
10	A73N～A73F,A76～A80,A82～A85, A87～A89,A91～A95,A98N～A99F, A102～A105,B01～B03, B06N～B06F,B13～B15, B18N～B18F,B21～B27, B30N～B30F,B33～B35,B37～B40, B43N～B43F,B46～B51, B54N～B55F,B58～B61F, B64～B68,B70～B72,B74～B77, B71～C01,C04N～C04F,C07～C10	3.45	84	508.0	20.6	STPT410	S	

鳥　瞰　図　RHRS-006R1F

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
11	A71～A73N, A73F～A76, A80～A82, A85～A87, A89～A91, A95～A98N, A99F～A102, A105～B01, B03～B06N, B06F～B08, B12～B13, B15～B18N, B18F～B21, B27～B30N, B30F～B33, B35～B37, B40～B43N, B43F～B46, B51～B54N, B55F～B58, B61F～B64, B68～B70, B72～B74, B77～B78, C01～C04N, C04F～C07, C10～C11	3.45	84	508.0	20.6	SF440A	S	[redacted]
12	B09～B85, B87～B10N, B10F～B88	3.45	84	508.0	12.7	SGV410	S	
13	B10N～B10F	3.45	84	508.0	12.7	STPT410	S	
14	B08～B09, B85～B87, B88～B12	3.45	84	508.0	12.7	SF440A	S	
15	B82～B83, D01～D07, D09～D16, D19N～D19F, D22～D29, D31～D33, D36N～D38, D40～D43, D46N～D47, D50N～D50F, D53～D58, D61N～D61F, D64～D66, C68～D71	3.45	84	508.0	15.1	SB410	S	

鳥　瞰　図　RHRS-006R1F

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
16	B81～B82,C14～D01,D07～D09, D16～D19N,D19F～D22,D29～D31, D33～D36N,D38～D40,D43～D46N, D47～D50N,D50F～D53, D58～D61N,D61F～D64,D66～D68	3.45	84	508.0	15.1	SF440A	S	□

配管の付加質量

鳥　瞰　図　RHRS-006R1F

質量	対応する評価点
[redacted]	A00～A01,A47～A52
	A01～A47,A52～B24

フランジ部の質量

鳥　瞰　図　RHRS-006R1F

質量	対応する評価点
[redacted]	A00
	A06, A09
	A13, A19, A23, A28, A32, A37, A42
	A48, A51
	A54
	A58
	A71
	A75, A81, A86, A90, A96, A101, A106, B04, B16, B20, B28, B32, B36, B41, B45, B52, B57 B63, B69, B73, C02, C06
	A107, A65
	B08, B12
	B86
	B78, B81, C11, C14
	D08, D17, D21, D30, D34, D39, D44, D48, D52, D59, D63, D67

オリフィス部の質量

鳥　瞰　図　RHRS-006R1F

質量	対応する評価点
[redacted]	A65,A106
	A81
	A13

弁部の寸法

鳥　瞰　図　RHRS-006R1F

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
A06～A09				A08～A501			
A48～A51				A50～A503			
A503～A504				B78～B81			
B80～A505				A505～A506			
C11～C14				C13～A507			
A507～A508							

弁部の質量

鳥　瞰　図　RHRS-006R1F

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	A501	[redacted]	A48, A51
	A50		A503
	A504		B78, B81, C11, C14
	B80, C13		A505, A507
	A506, A508		

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　RHRS-006R1F

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
A09						
A15						
A17						
A28						
A34						
A109						
A45						
A60						
A67						
A83						
A94						
B02						
B89						
B22						
B38						
B47						
B59						
B66						
B76						
B83						
C09						
D05						
D11						
D15						
D24						
D28						
D41						
D57						
D69						

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材　　料	最高使用温度 (℃)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SM50B	84	—	300	451	—
STPT410	84	—	224	406	—
SF440A	84	—	212	401	—
SB410	84	—	205	394	—
SGV410	84	—	205	374	—
STPT42	84	—	224	406	—
SF45A	84	—	212	401	—

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付資料「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は添付資料「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
RHRS-006R1F			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RHRS-006R1F

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
58次							
59次							
動的震度							
静的震度							

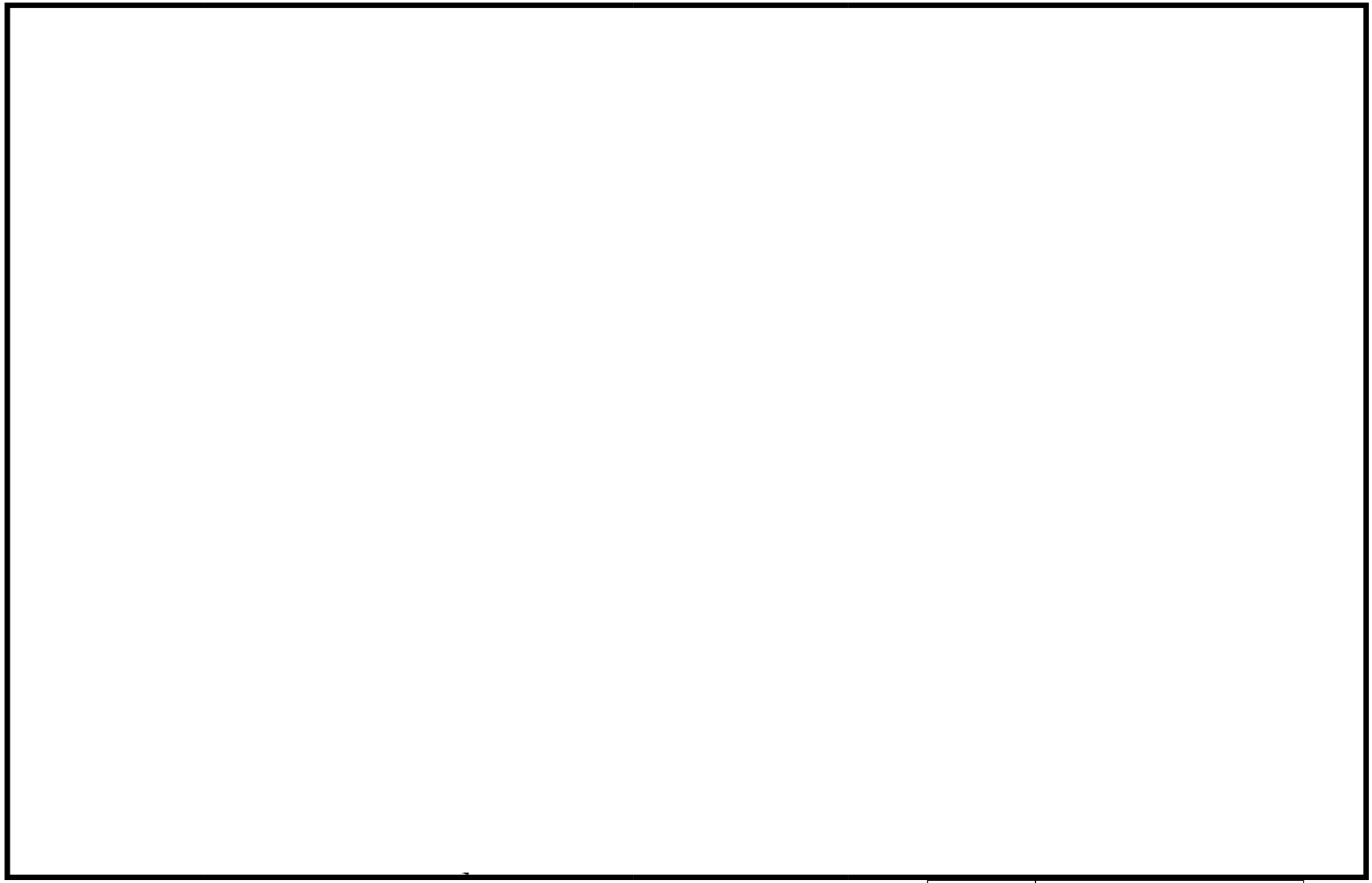
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　RHRS-006R1F

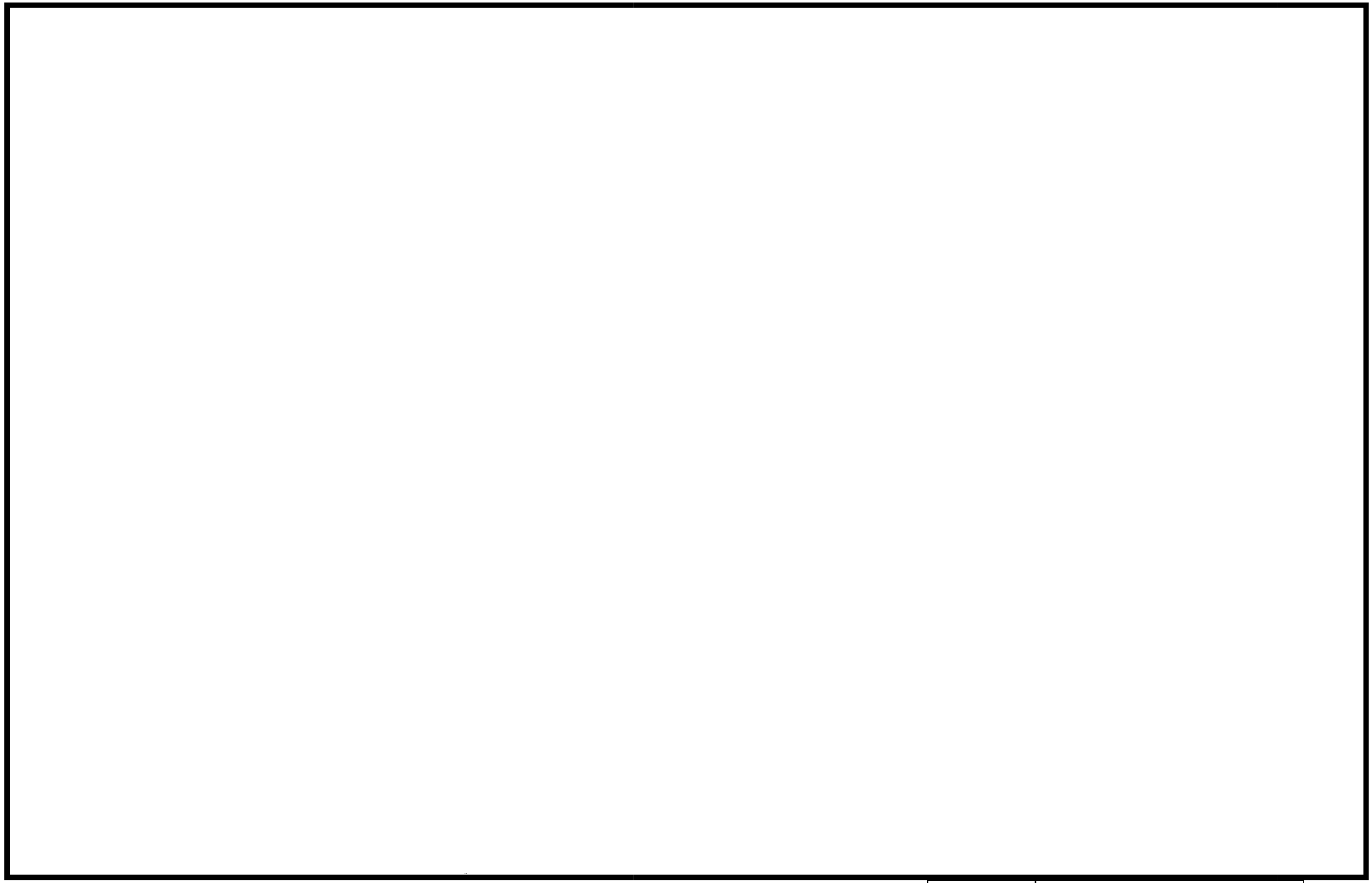
モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
58次				
59次				

代表的振動モード図

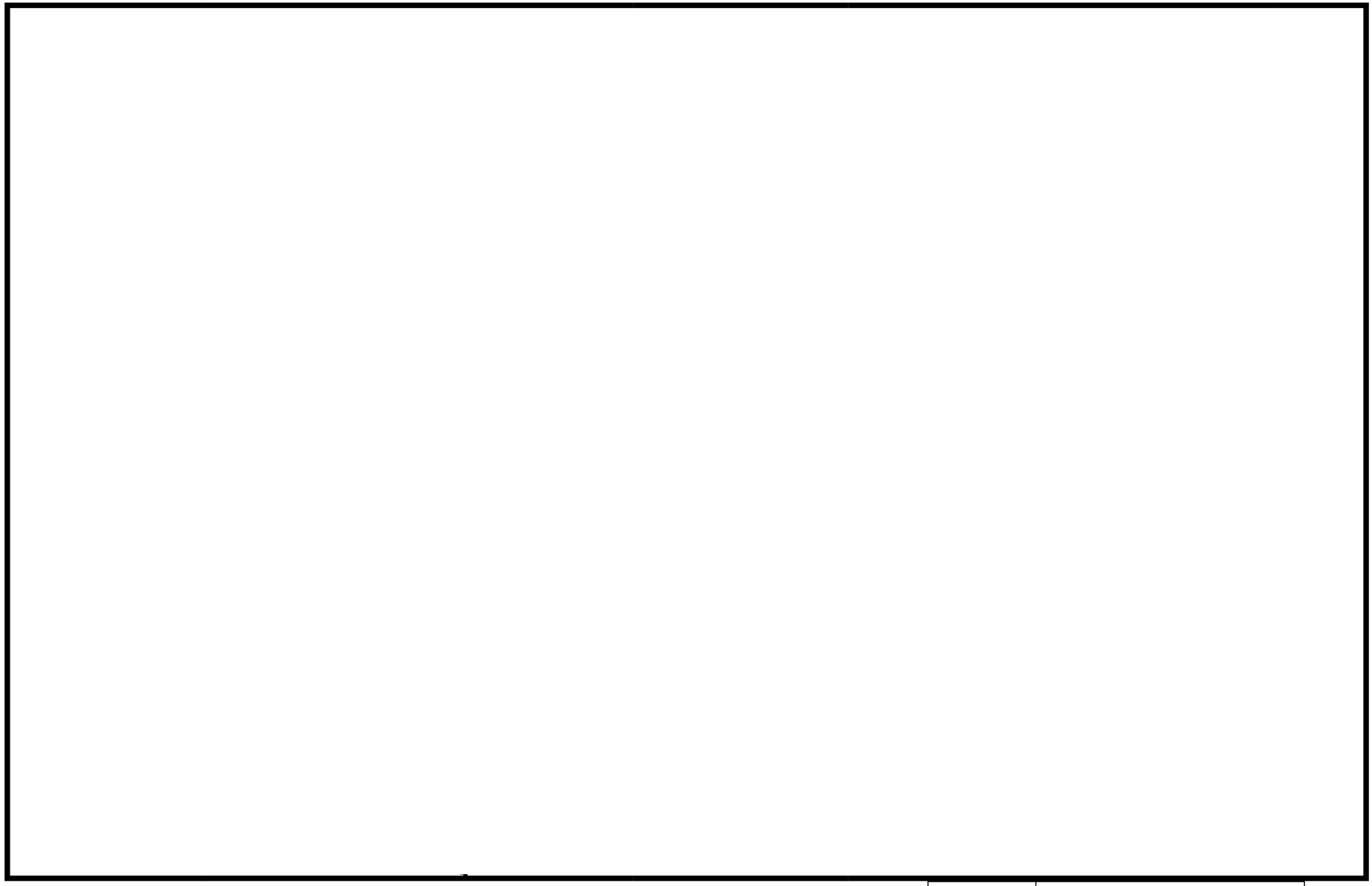
振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



鳥瞰図	RHRS-006R1F



鳥瞰図	RHRS-006R1F



鳥瞰図	RHRS-006R1F

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管であってクラス３管

鳥瞰図	許容応力状態（供用状態）	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価（MPa）		一次＋二次応力評価（MPa）		疲労評価
				計算応力 S_{prm}（S_d）S_{prm}（S_s）	許容応力 S_y $0.9S_u$	計算応力 S_n（S_s）	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
RHRS-006R1F	ⅢAS	B10N	S_{prm}（S_d）	143	205	－	－	－
	ⅣAS	B10N	S_{prm}（S_s）	233	336	－	－	－
	ⅣAS	B10N	S_n（S_s）	－	－	390	410	－

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
RHRS-408SNM	メカニカルスナッバ	SMS-10	添付書類「V-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		131	150
SNO-RHRS-Y018	オイルスナッバ	SN-60			406	900
SH-RHRS-R015	スプリングハンガー	VS-1			38.7	41.3
RHRS-405ROR	ロッドレストレイント	RS-6			63.3	108

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力（kN）			モーメント（kN・m）			応力分類	計算応力(MPa)	許容応力(MPa)
					F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
RE-RHRS-H1076	レストレイント	ラグ	SM400B	49	843	63.9	21.8	－	－	－	組合せ	76	148
RHRS-144ANC	アンカ	ラグ	SM400B	84	338	70.7	143	146	228	219	せん断	145	152

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度 (×9.8 m/s^2)		機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
－	－	－	－	－	－	－	－	－

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス２管であってクラス３管範囲）

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{III_AS}$					許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	RHRS-6	53	63	225	3.57	－	53	74	369	4.98	－	28	67	650	9.70	－	－	－	－
2	RHRS-7,8	133	117	225	1.92	－	133	167	369	2.20	－	133	256	450	1.75	－	－	－	－
3	RHRS-A	115	69	325	4.71	－	115	84	441	5.25	－	115	62	650	10.48	－	－	－	－
4	RHRS-B	113	84	245	2.91	－	113	121	369	3.04	－	113	155	490	3.16	－	－	－	－
5	RHRS-E	2303	100	225	2.25	－	2303	128	369	2.88	－	2303	169	450	2.66	－	－	－	－
6	RHRS-F	142F	107	225	2.10	－	143	139	369	2.65	－	143	190	450	2.36	－	－	－	－
7	RHRS-005R1F	B90	139	224	1.61	－	B90	217	365	1.68	－	B90	400	448	1.12	－	－	－	－
8	RHRS-006R1F	B10N	143	205	1.43	○	B10N	233	336	1.44	○	B10N	390	410	1.05	○	－	－	－

注記　：$\mathrm{III_AS}$の一次＋二次応力の許容値は$\mathrm{IV_AS}$と同様であることから，地震荷重が大きい$\mathrm{IV_AS}$の一次＋二次応力裕度最小を代表とする。$\mathrm{IV_AS}$の計算応力は，$\mathrm{V_AS}$と$\mathrm{IV_AS}$の大きい方を記載している。

Ⅴ-2-5-7-2　緊急用海水系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-5-7-2-1　緊急用海水ポンプの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 固有値解析及び構造強度評価 ····· 3
3.1 固有値解析及び構造強度評価方法 ····· 3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
3.3 解析モデル及び諸元 ····· 8
3.4 固有周期 ····· 8
3.5 設計用地震力 ····· 9
4. 機能維持評価 ····· 10
4.1 動的機能維持評価方法 ····· 10
5. 評価結果 ····· 11
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 11

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，緊急用海水ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

緊急用海水ポンプは，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

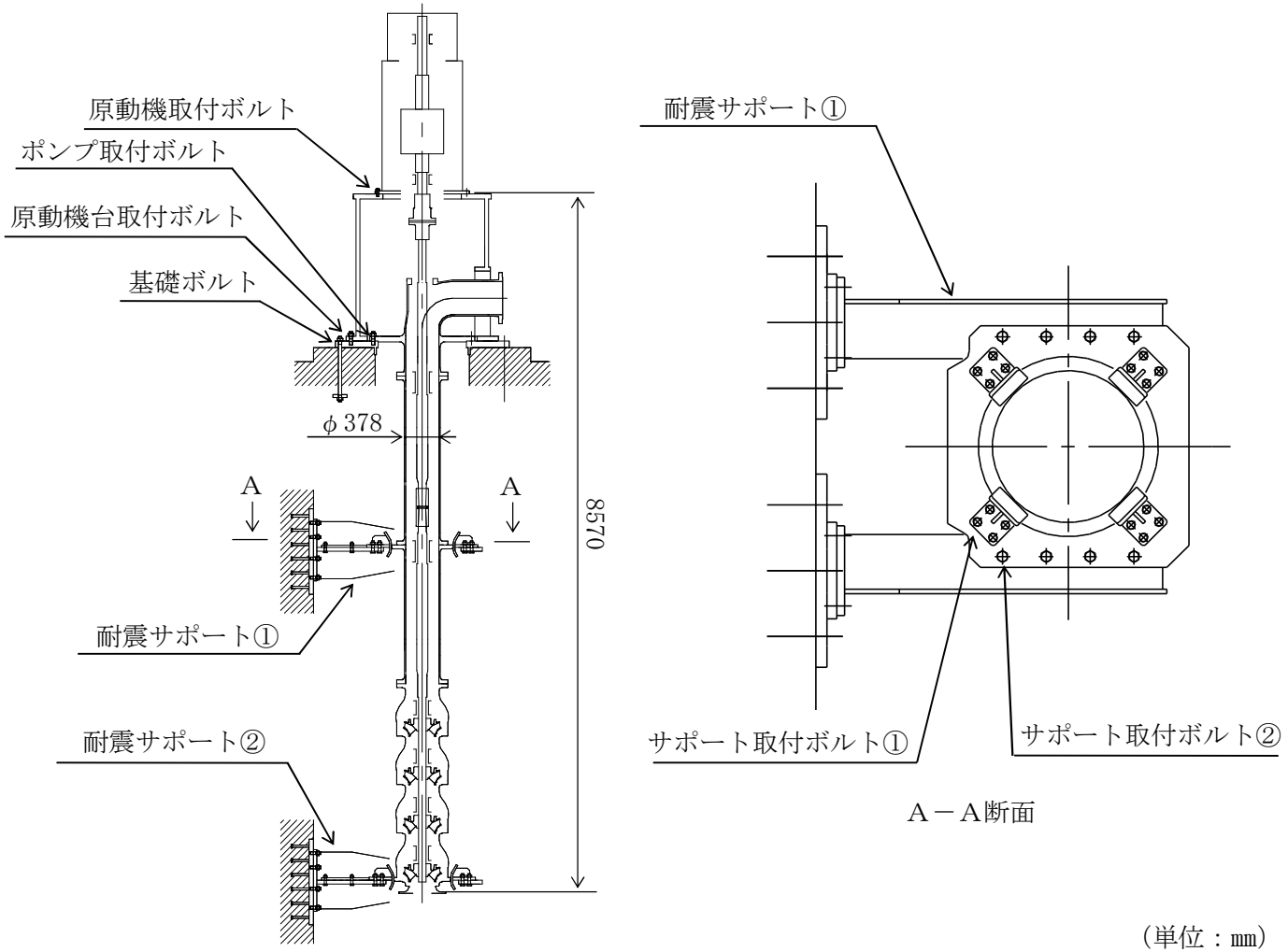
2. 一般事項

本計算書は,添付書類「Ⅴ-2-1-13-5　たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

緊急用海水ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ポンプはポンプベースに固定され，ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。また，コラムパイプの先端はサポートにて水平方向を固定されている。	ターボ形たて軸ポンプ	

3.　固有値解析及び構造強度評価

3.1　固有値解析及び構造強度評価方法

緊急用海水ポンプの構造はたて軸ポンプであるため，固有値解析及び構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-5　たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2　荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急用海水ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2　許容応力

緊急用海水ポンプの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 3-2 及び表 3-3 に示す。

3.2.3　使用材料の許容応力評価条件

緊急用海水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-4 に示す。

表 3-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	緊急用海水ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス２ポンプ*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$\mathrm{IV_AS}$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$\mathrm{V_AS}$ （$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：重大事故等クラス２ポンプの支持構造物を含む。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-2　許容応力（重大事故等クラス２ポンプ）

許容応力状態	許容限界*			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
$Ⅳ_AS$	0.6・S_u	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動S_d又は基準地震動S_sのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・S_y以下であれば，疲労解析は行わない。	
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）			基準地震動S_sのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・S_y以下であれば，疲労解析は行わない。	

注記　＊：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3　許容応力（重大事故等クラス２支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1 （ボルト等以外）	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	一次応力	
	曲げ	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）			

注記　＊1：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

＊2：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

表 3-4　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
コラムパイプ		周囲環境温度		108	159	459	－
基礎ボルト		周囲環境温度		－	188	479	205
ポンプ取付ボルト		周囲環境温度		－	188	479	205
原動機台取付ボルト		周囲環境温度		－	188	479	205
原動機取付ボルト		周囲環境温度		－	188	479	205
耐震サポート①		周囲環境温度		－	159	459	175
耐震サポート②		周囲環境温度		－	159	459	175
サポート取付ボルト①		周囲環境温度		－	191	496	205
サポート取付ボルト②		周囲環境温度		－	191	496	205

3.3　解析モデル及び諸元

固有値解析及び構造評価に用いる解析モデル及び諸元は，本計算書の【緊急用海水ポンプの耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。解析コードは，「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，「Ⅴ-5-1　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

3.4　固有周期

固有値解析の結果を表 3-5 に示す。1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 3-5　固有値解析結果

モード	固有周期 （ｓ）	卓越方向
1次	0.031	水平

3.5　設計用地震力

「弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度」及び「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表3-6に示す。

表 3-6　設計用地震力（重大事故等施設）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
格納槽内 EL. 0.8*1	0.031	0.05 以下*2	－	－	C_H＝1.83	C_V＝1.05

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

緊急用海水ポンプの地震後の動的機能維持評価について，以下に示す。

緊急用海水ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため，添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	立形斜流ポンプ	水平	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形ころがり軸受電動機	水平	2.5
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

緊急用海水ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【緊急用海水ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	最高使用圧力 (MPa)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
緊急用海水ポンプ	常設耐震／防止常設／緩和	格納槽内 EL. 0.8*1	0.031	0.05 以下*2	－	－	C_H＝1.83	C_V＝1.05	C_p＝0.09	－		2.45

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}	M_p (N･mm)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)
基礎ボルト（i＝1）				8	8	－	188*	479*	－	246
ポンプ取付ボルト（i＝2）				12	12	3.247×10^6	188*	479*	－	246
原動機台取付ボルト（i＝3）				14	14	3.247×10^6	188*	479*	－	246
原動機取付ボルト（i＝4）				8	8	3.247×10^6	188*	479*	－	246

注記 ＊：周囲環境温度で算出

(2) コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	108*	159*	459*	350.0	14.0

注記 ＊：周囲環境温度で算出

(3) サポート

部材	L (mm)	Z_s (mm^3)	E (MPa)	A_f (mm^2)	ℓ_b (mm)	h (mm)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
耐震サポート①							159*	459*	175	－	210
耐震サポート②							159*	459*	175	－	210

注記 ＊：周囲環境温度で算出

(4) サポート取付ボルト

部　　材	A_{sbj} (mm^2)	n_{sj}	S_{yj} (MPa)	S_{uj} (MPa)	S_{yj}（RT） (MPa)	F_j (MPa)	F_j^* (MPa)
サポート取付ボルト① (j＝1)	[redacted]	4	191*	496*	205	－	246
サポート取付ボルト② (j＝2)		8	191*	496*	205	－	246

注記　＊：周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
Hp＝[redacted]	N＝[redacted]

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部　材	M_i (N･mm)		F_{bi} (N)		Q_{bi} (N)	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i＝1)	－	[redacted]	－	[redacted]	－	[redacted]
ポンプ取付ボルト (i＝2)	－		－		－	
原動機台取付ボルト (i＝3)	－		－		－	
原動機取付ボルト (i＝4)	－		－		－	

(2) コラムパイプに作用する力　（単位：N・mm）

部　材	M	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
コラムパイプ	－	[redacted]

(3) サポート及びサポート取付ボルトに作用する力　（単位：N）

部材	W	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
耐震サポート①	－	[redacted]
耐震サポート②	－	
サポート取付ボルト①*	－	
サポート取付ボルト②*	－	

注記　＊：Wが大きくなる耐震サポート①の取付ボルトについて評価する。

1.4 結論

1.4.1 固有周期

モード	固有周期（s）	卓越方向
1次	0.031	水平

1.4.2 ボルトの応力 （単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_{b1}=56	f_{ts1}=184*
		せん断	－	－	τ_{b1}=24	f_{sb1}=142
ポンプ取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b2}= 2	f_{ts2}=184*
		せん断	－	－	τ_{b2}= 4	f_{sb2}=142
原動機台取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b3}=34	f_{ts3}=184*
		せん断	－	－	τ_{b3}=12	f_{sb3}=142
原動機取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b4}=57	f_{ts4}=184*
		せん断	－	－	τ_{b4}=36	f_{sb4}=142

すべて許容応力以下である。 注記 ＊：f_{tsi}=Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}, f_{toi}]より算出

1.4.3 コラムパイプの応力 （単位：MPa）

部材	材料	一次一般膜応力		
			算出応力	許容応力
コラムパイプ		弾性設計用地震動S_d又は静的震度	－	－
		基準地震動S_s	σ=41	Sa=275

すべて許容応力以下である。

1.4.4 サポート及びサポート取付ボルトの応力 （単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
耐震サポート①		曲げ	－	－	σ_s=34	f_{bs}=210
耐震サポート②		曲げ	－	－	σ_s=32	f_{bs}=210
サポート取付ボルト①		せん断	－	－	τ_{sb1}=23	f_{ssb1}=142
サポート取付ボルト②		せん断	－	－	τ_{sb2}=8	f_{ssb2}=142

すべて許容応力以下である。

1.4.5　動的機能の評価結果

1.4.5.1　機能確認済加速度との比較　　(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.52*1	10.0
	鉛直方向	0.87*2	1.0
原動機	水平方向	1.52*1	2.5
	鉛直方向	0.87*2	1.0

注記　＊1：水平方向評価用加速度はコラム先端の応答加速度又は1.0ZPAのうちいずれか大きい値。

＊2：鉛直方向評価用加速度は1.0ZPA。

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5　その他の機器要目

(1)　節点データ

節点番号	節点座標（mm）		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			

（続き）

節点番号	節点座標（mm）		
	x	y	z
50			
51			
52			
53			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
1	1-2	1		4.909×10^{6}	9.817×10^{6}
2	2-3	1		4.909×10^{6}	9.817×10^{6}
3	3-4	1		4.909×10^{6}	9.817×10^{6}
4	4-5	1		4.909×10^{6}	9.817×10^{6}
5	5-6	1		4.909×10^{6}	9.817×10^{6}
6	6-7	1		4.909×10^{6}	9.817×10^{6}
7	7-8	1		4.909×10^{6}	9.817×10^{6}
8	8-9	1		4.909×10^{6}	9.817×10^{6}
9	9-10	1		4.528×10^{6}	9.055×10^{6}
10	10-11	1		8.585×10^{6}	1.717×10^{7}
11	11-12	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
12	12-13	1		8.585×10^{6}	1.717×10^{7}
13	13-14	1		8.585×10^{6}	1.717×10^{7}
14	14-15	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
15	15-16	1		4.528×10^{6}	9.055×10^{6}
16	16-17	1		4.528×10^{6}	9.055×10^{6}
17	17-18	1		4.528×10^{6}	9.055×10^{6}
18	18-19	1		4.909×10^{6}	9.817×10^{6}
19	19-20	2		2.170×10^{7}	4.340×10^{7}
20	20-21	5		3.998×10^{6}	7.996×10^{6}
21	21-22	5		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
22	22-23	5		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
23	23-24	5		4.909×10^{6}	9.817×10^{6}
24	25-26	1		9.502×10^{7}	1.900×10^{8}
25	26-27	1		1.227×10^{9}	2.454×10^{9}
26	27-28	1		1.227×10^{9}	2.454×10^{9}
27	28-29	1		1.227×10^{9}	2.454×10^{9}
28	29-30	1		1.227×10^{9}	2.454×10^{9}
29	30-31	1		1.227×10^{9}	2.454×10^{9}
30	31-32	1		1.227×10^{9}	2.454×10^{9}
31	32-33	1		1.227×10^{9}	2.454×10^{9}
32	33-34	1		1.227×10^{9}	2.454×10^{9}
33	34-35	1		1.227×10^{9}	2.454×10^{9}
34	35-36	1		2.655×10^{8}	5.311×10^{8}
35	36-37	1		2.655×10^{8}	5.311×10^{8}
36	37-38	1		2.655×10^{8}	5.311×10^{8}
37	38-39	1		2.655×10^{8}	5.311×10^{8}
38	39-40	1		2.655×10^{8}	5.311×10^{8}
39	40-41	1		2.869×10^{8}	5.738×10^{8}
40	41-42	1		2.869×10^{8}	5.738×10^{8}
41	42-43	1		2.869×10^{8}	5.738×10^{8}
42	51-44	3		2.172×10^{11}	4.344×10^{11}
43	51-45	3		3.075×10^{11}	6.149×10^{11}
44	45-46	3		3.955×10^{10}	7.909×10^{10}
45	46-47	4		2.774×10^{9}	5.547×10^{9}
46	47-48	4		2.774×10^{9}	5.547×10^{9}
47	48-49	4		2.774×10^{9}	5.547×10^{9}
48	49-50	4		1.774×10^{9}	3.548×10^{9}

(3)　ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
2	27	
5	30	
7	32	
9	34	
11	36	
14	39	
21	47	
23	49	
26	52	
37	53	
23	49	
41	44	
41	44	

(4) 節点の質量

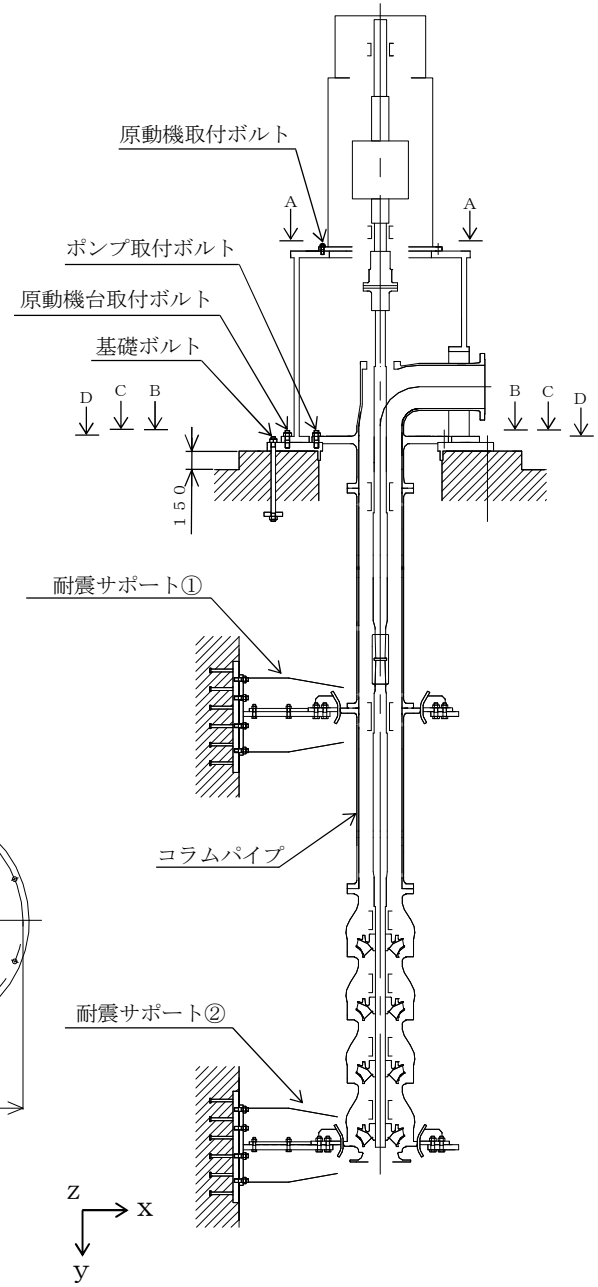
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	

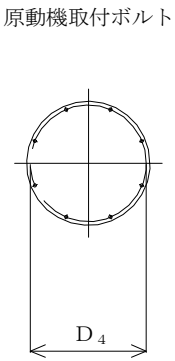
（続き）

節点番号	質量 (kg)
50	
51	
52	
53	

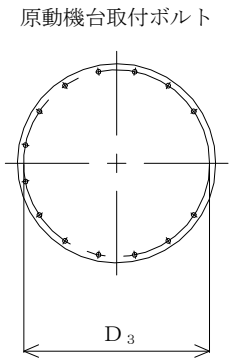
(5) 材料物性値

材料番号	温　度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm^3)	ポアソン比 (－)	材　質	部位
1		1.92×10^{5}	7.92×10^{-6}	0.3		ポンプ
2		1.98×10^{5}	7.74×10^{-6}	0.3		ポンプ
3		2.00×10^{5}	7.86×10^{-6}	0.3		ポンプベース 原動機台
4		1.99×10^{5}	7.86×10^{-6}	0.3		原動機
5		1.98×10^{5}	7.85×10^{-6}	0.3		原動機

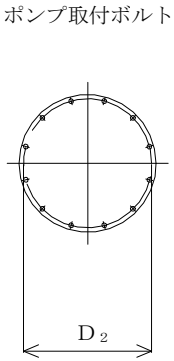




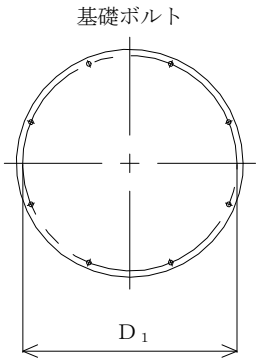
A～A矢視図



B～B矢視図



C～C矢視図



D～D矢視図

Ⅴ-2-5-7-2-2　緊急用海水系ストレーナの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 3
2.4 記号の説明 ····· 4
2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 5
3. 評価部位 ····· 5
4. 固有周期 ····· 5
5. 構造強度評価 ····· 6
5.1 構造強度評価方法 ····· 6
5.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 7
5.3 設計用地震力 ····· 11
5.4 計算方法 ····· 12
5.5 計算条件 ····· 14
5.6 応力の評価 ····· 14
6. 評価結果 ····· 14
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 14

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，緊急用海水系ストレーナが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

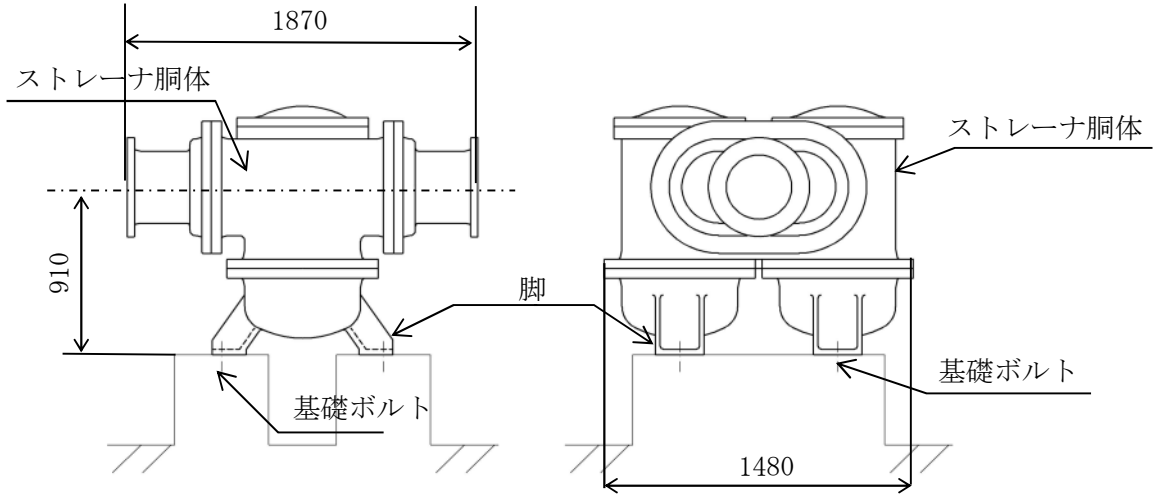
緊急用海水系ストレーナは，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

緊急用海水系ストレーナの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ストレーナは胴と一体の脚で支持し，脚を基礎ボルトで支持する。	たて置円筒形ストレーナ	正面図　側面図  （長辺方向）　（短辺方向） （単位：mm）

2.2　評価方針

緊急用海水系ストレーナの構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す緊急用海水系ストレーナの部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.　固有周期」に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6.　評価結果」に示す。

緊急用海水系ストレーナの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

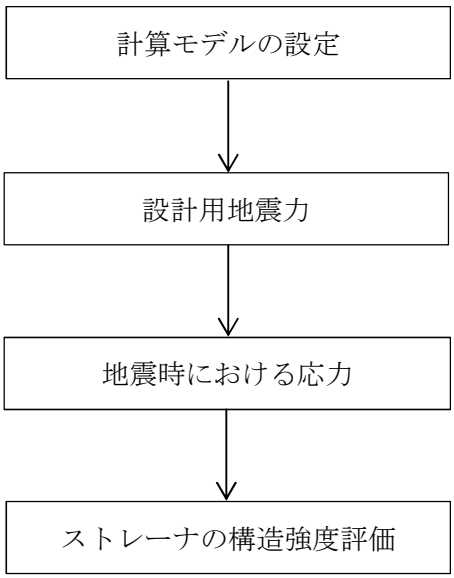


図 2-1　緊急用海水系ストレーナの耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991　追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4　記号の説明

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力（f_sを1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力（f_tを1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
ℓ_1	重心と基礎ボルト間の水平方向距離	mm
ℓ_2	重心と基礎ボルト間の水平方向距離	mm
m	運転時質量	kg
n	基礎ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	－
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（RT）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40 ℃における値	MPa
π	円周率	－
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

注1：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格　ＪＳＭＥ　ＳＮＣ１－2005（2007年追補版含む。））（日本機械学会　2007年9月）をいう。

注2：$\ell_1 \leqq \ell_2$

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保すること。

表示する数値の丸め方は，表2-2に示す通りとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3.　評価部位

緊急用海水系ストレーナの耐震評価は，「5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。

緊急用海水系ストレーナの耐震評価部位については，表2-1の概略構造図に示す。

4.　固有周期

緊急用海水系ストレーナは1個の大きなブロック状をしており，重心の位置がブロック状のほぼ中心にあり，かつ，下面が基礎ボルトにて固定されている。

したがって，全体的に一つの剛体とみなせるため，固有周期は十分に小さく，固有周期の計算は省略する。

5.　構造強度評価

5.1　構造強度評価方法

(1)　ストレーナ及び内容物の質量は重心に集中しているものとする。

(2)　地震力はストレーナに対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(3)　ストレーナは基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。ここで，基礎については剛となるよう設計する。

(4)　転倒方向は図 5-1 により検討し，計算条件の厳しい方で耐震性についての計算を行う。

(5)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

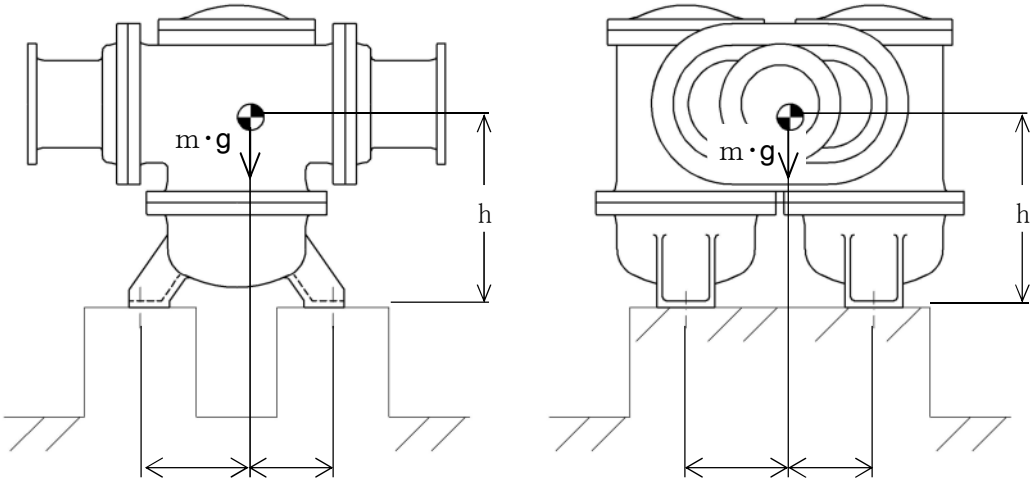


図 5-1　概要図

5.2　荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急用海水系ストレーナの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2　許容応力

緊急用海水系ストレーナの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 に示す。

5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

緊急用海水系ストレーナの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	緊急用海水系ストレーナ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２容器*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：重大事故等クラス２容器の支持構造物を含む。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-2　許容応力（重大事故等クラス２支持構造物）

許容応力状態	許　容　限　界*1, *2 （ボ　ル　ト　等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)
基礎ボルト	SUS316	周囲環境温度	[redacted]	191	496

5.3　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

表 5-4　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
		水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
緊急用海水ポンプピット EL.0.80*1	－*2	－	－	C_H=1.83	C_V=1.05

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

5.4　計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による引張応力とせん断応力について計算する。

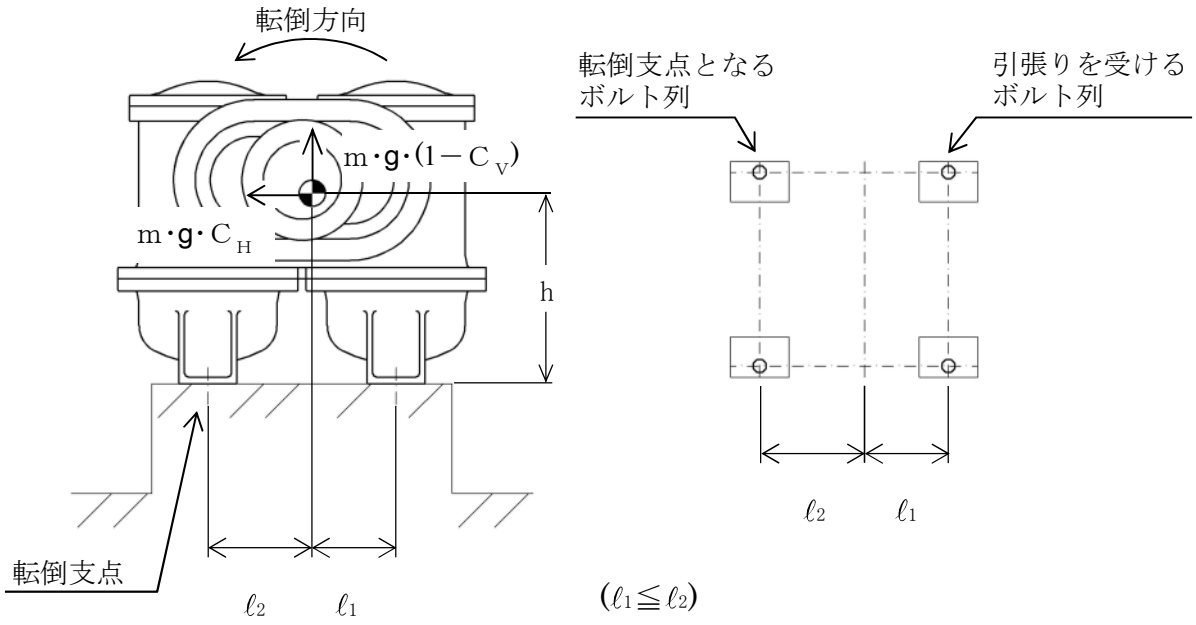


図5-2　計算モデル（軸直角方向転倒）

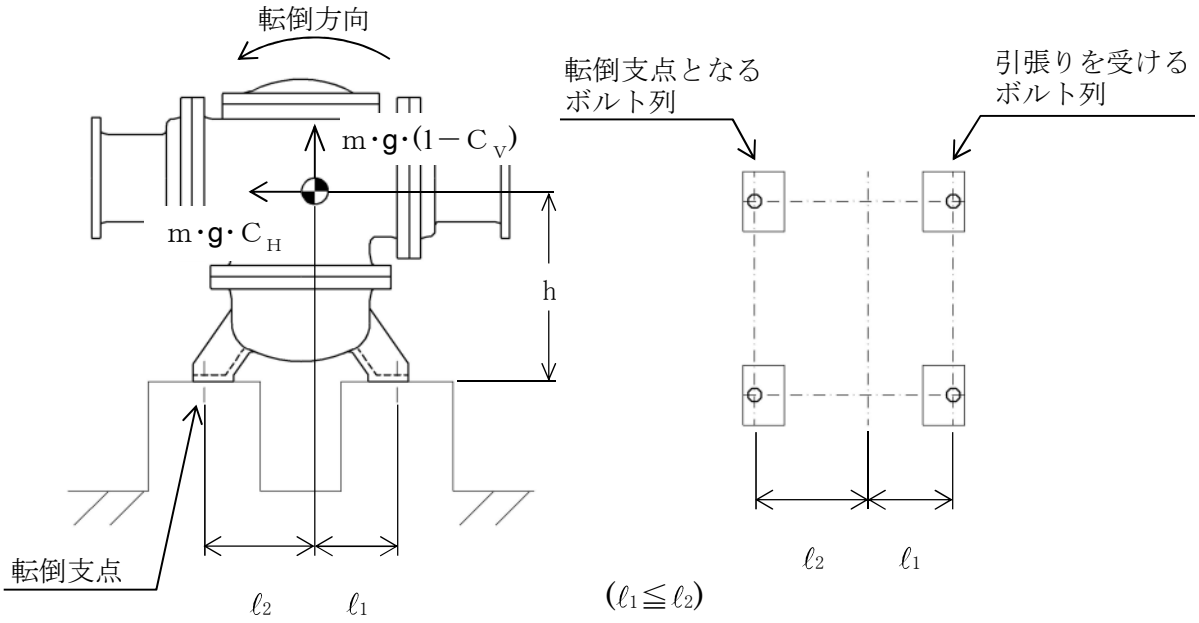


図5-3　計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，図5-2及び図5-3でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え，これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = m \cdot C_H \cdot g \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.5)$$

5.5　計算条件

応力の計算に用いる計算条件は，本計算書の【緊急用海水系ストレーナの耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

5.6　応力の評価

5.4項で求めた基礎ボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。

せん断応力τ_bはせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \cdots\cdots (5.6.1.1)$$

かつ，

$$f_{ts} \leqq f_{to} \quad \cdots\cdots (5.6.1.2)$$

ただし，f_{to}及びf_{sb}は下表による。

	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6.　評価結果

6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

緊急用海水系ストレーナの重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【緊急用海水系ストレーナの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
緊急用海水系ストレーナ	常設耐震／防止常設／緩和	緊急用海水ポンプピット EL. 0.80*1	－*2	－	－	C_H=1.83	C_V=1.05	－	[redacted]

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

1.2 機器要目

1.2.1 基礎ボルト

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト	[redacted]				1.018×10^3 (M36)	4	2 2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)		転倒方向
			弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	
基礎ボルト	191	496	－	246	軸直角

注記 ＊：ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

基礎ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	－	4.736×10^4	－	1.005×10^5

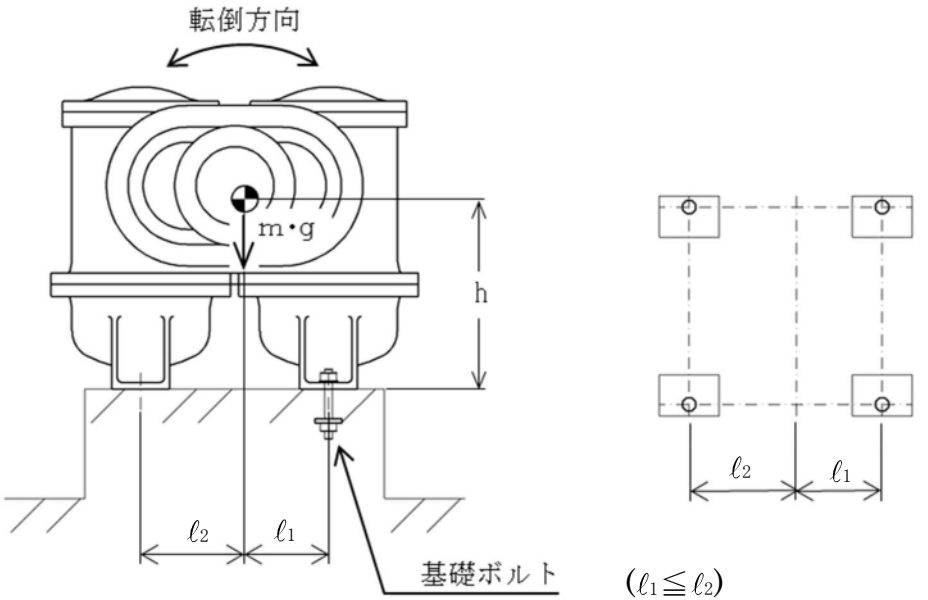
1.4 結　　論

ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SUS316	引張り	－	－	$\sigma_b=47$	$f_{ts}=184$*
		せん断	－	－	$\tau_b=25$	$f_{sb}=142$

すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau b,\ f_{to}]$



Ⅴ-2-5-7-2-3　管の耐震性についての計算書

目　次

1.　概要 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 2
2.1　概略系統図 2
2.2　鳥瞰図 4
3.　計算条件 10
3.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 10
3.2　設計条件 11
3.3　材料及び許容応力 18
3.4　設計用地震力 19
4.　解析結果及び評価 20
4.1　固有周期及び設計震度 20
4.2　評価結果 26
4.2.1　管の応力評価結果 26
4.2.2　支持構造物評価結果 27
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 28
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 29

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全９モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3) 弁

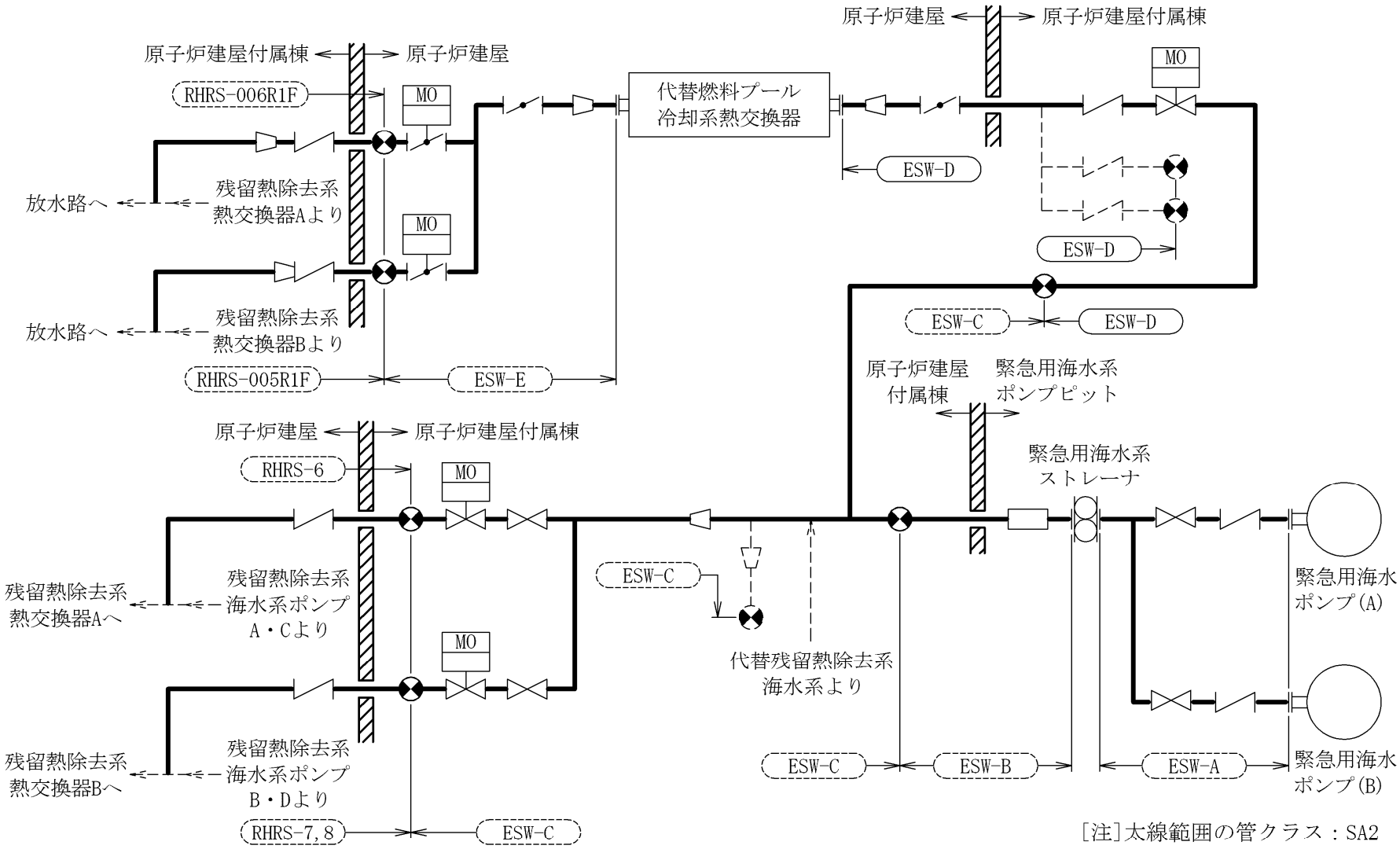
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○－○－○○	鳥瞰図番号 （鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○－○－○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管

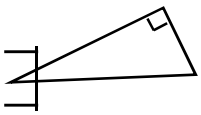
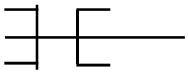
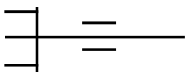
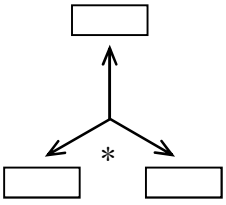


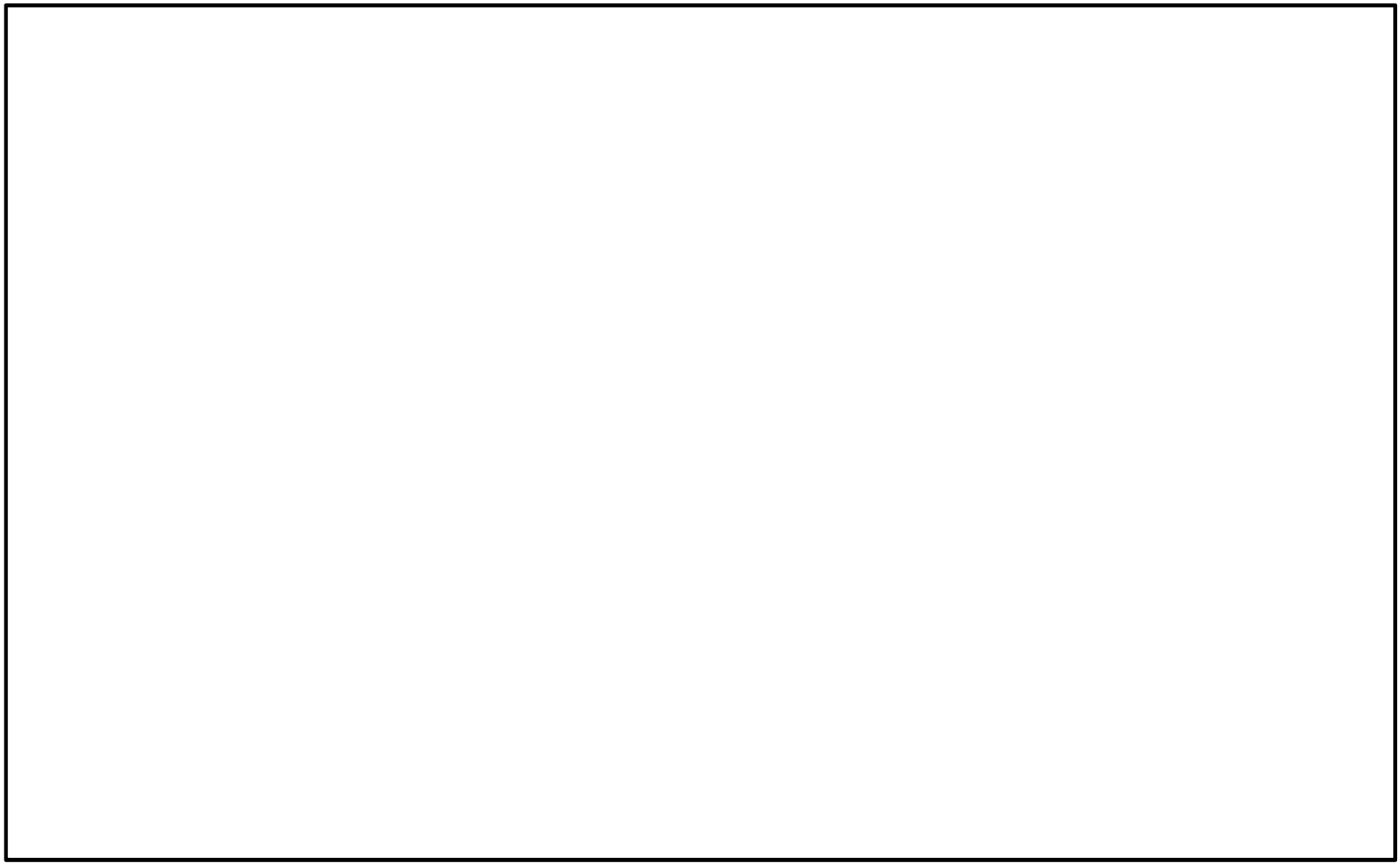
［注］太線範囲の管クラス：SA2

緊急用海水系概略系統図

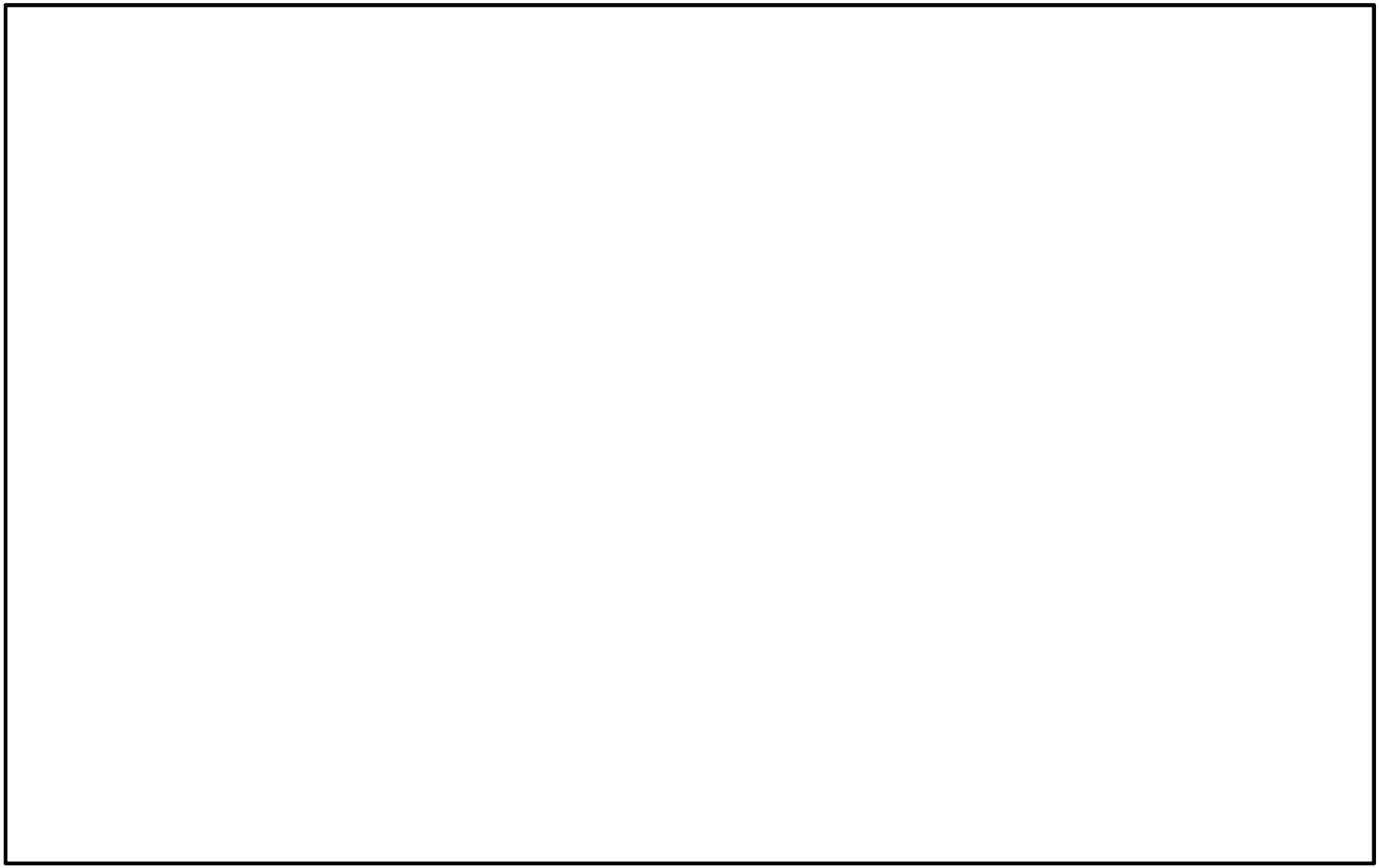
2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

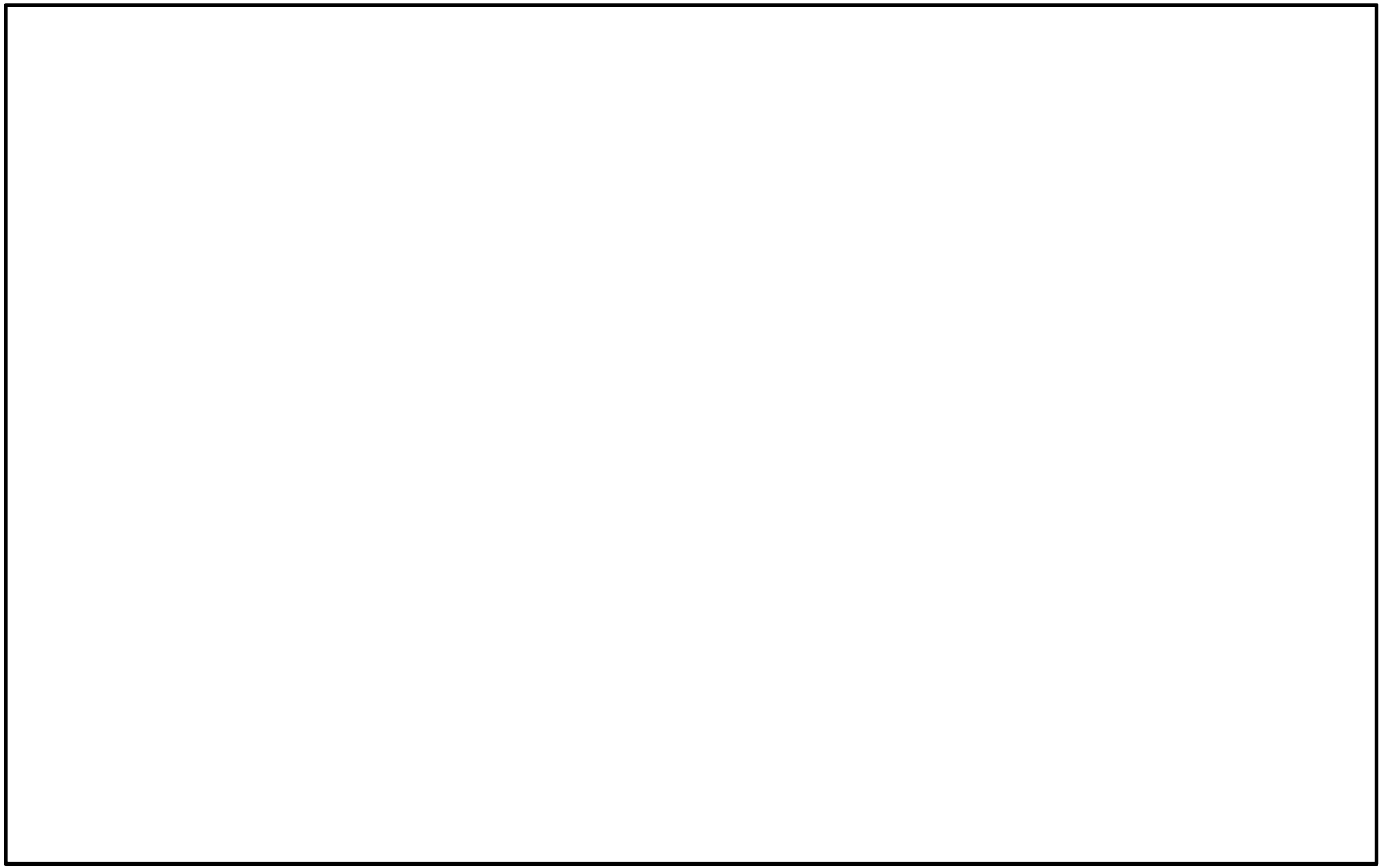
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
――――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質　　点
	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量（mm） （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。）
	注：　鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。



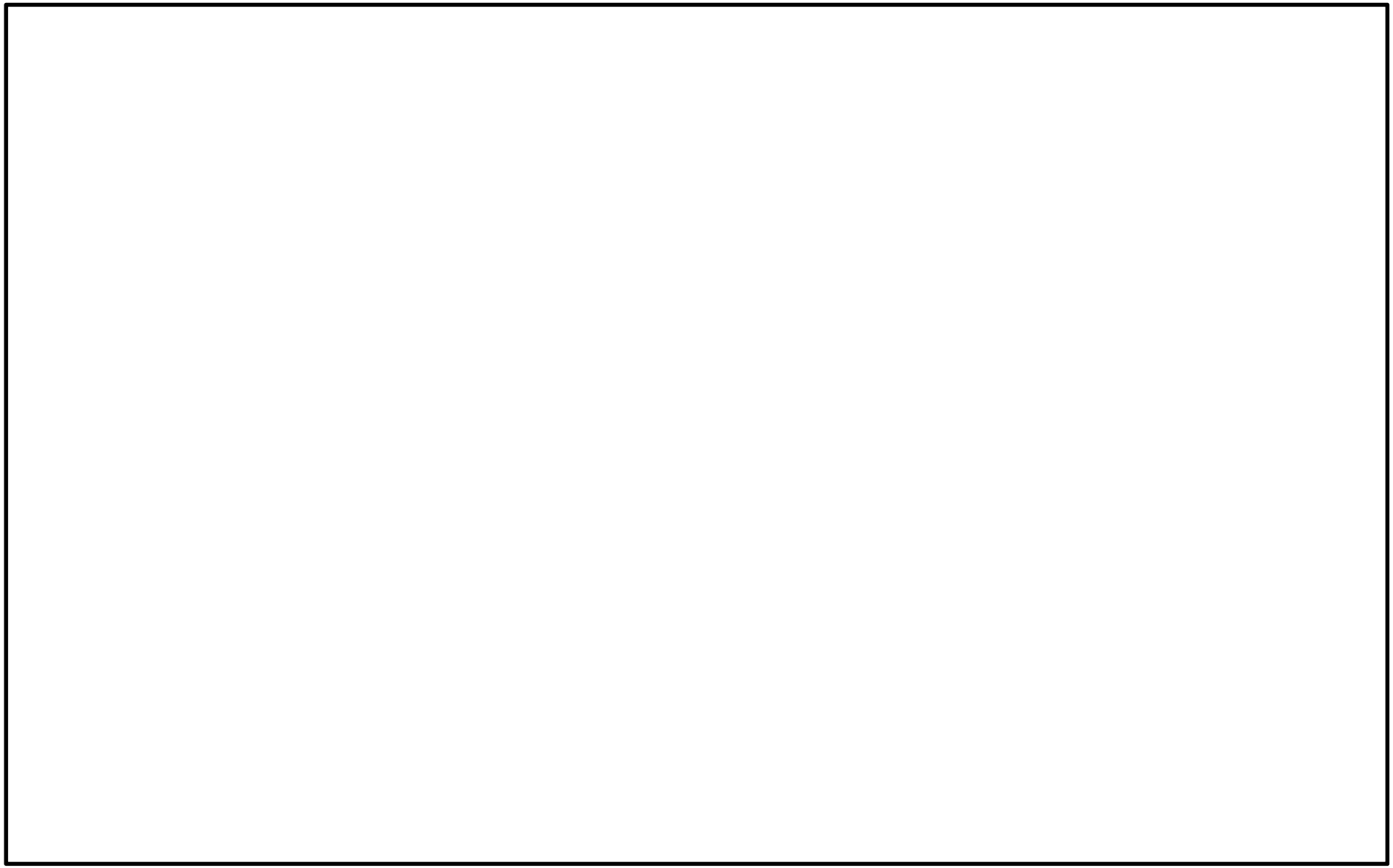
鳥瞰図	ESW-D（ＳＡ）（1／5）



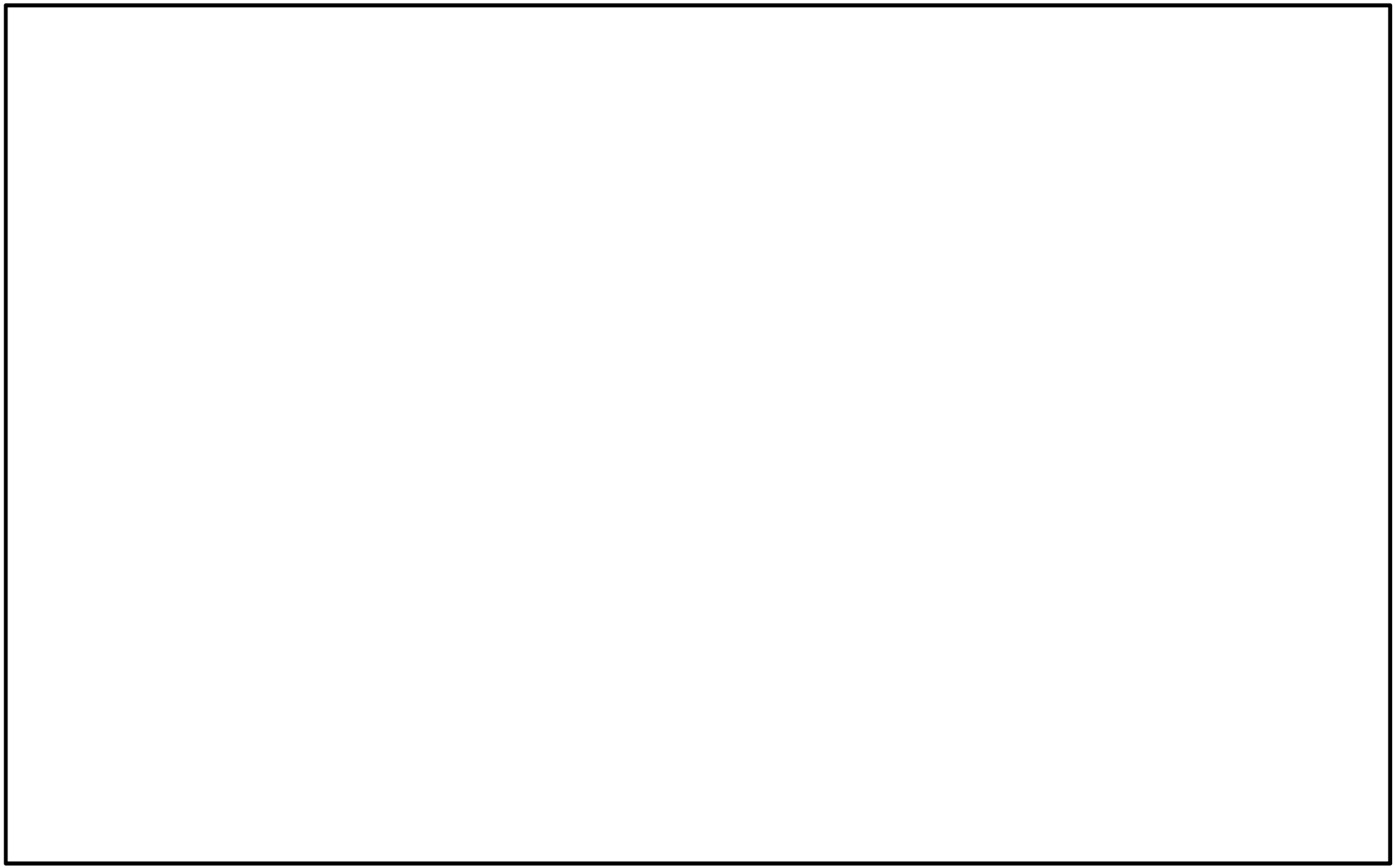
鳥瞰図	ESW-D（ＳＡ）（2／5）



鳥瞰図	ESW-D（ＳＡ）（3／5）



鳥瞰図	ESW-D（ＳＡ）（4／5）



鳥瞰図	ESW-D（ＳＡ）（5／5）

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	緊急用海水系	ＳＡ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	$V_L + S_s$	$V_A S$

注記 ＊1： ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。

＊2： 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊3： 運転状態の添字Ｌは荷重，（Ｌ）は荷重が長期間作用している状態，（ＬＬ）は（Ｌ）より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

＊4： 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

＊5： 許容応力状態$V_A S$は許容応力状態$IV_A S$の許容限界を使用し，許容応力状態$IV_A S$として評価を実施する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 ESW-D

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～40F	2.45	40	165.2	7.1	STPT410	－	
2	44F～46F,47F～262F 265F～272	0.98	40	165.2	7.1	STPT410	－	
3	273～278N	0.98	40	114.3	6.0	STPT410	－	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　ESW-D

質量	対応する評価点
[redacted]	1A～40F,44F～46F,47F～262F,265F～272
	273～278N

フランジ部の質量

鳥　瞰　図　ESW-D

質量	対応する評価点
	3F, 7F, 10F, 13F, 19F, 22F, 25F, 28F, 31F, 35F, 38F
	40F, 44F
	46F, 47F, 262F, 265F
	50F, 52F, 56F, 60F, 63F, 65F, 68F, 70F, 73F, 76F, 78F, 81F 86F, 89F, 93F, 94F, 97F, 101F, 104F, 111F, 115F, 118F, 120F, 123F 125F, 128F, 131F, 137F, 140F, 142F, 145F, 150F, 156F, 161F, 164F, 170F 173F, 176F, 180F, 183F, 186F, 190F, 193F, 194F, 197F, 199F, 202F, 203F 206F, 214F, 220F, 225F, 228F, 230F, 233F, 234F, 237F, 243F, 246F, 249F 254F, 257F, 259F, 267F, 270F, 271F
	274F, 277F
	278N

弁部の寸法

鳥　瞰　図　ESW-D

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
40F～41				41～42			
42～43				41～44F			
46F～47F				262F～263			
263～264				263～265F			

弁部の質量

鳥　瞰　図　ESW-D

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	40F, 44F	[redacted]	41
	42		43
	46F～47F		262F, 265F
	263		264

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　ESW-D

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
15						
27						
39						
45						
51						
57						
69						
77						
90						
98						
106						
119						
133						
141						
149						
154						
159						
165						
169						
178						
182						
189						
198						
210						
218						
224						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　ESW-D

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
233						
238						
245						
258						
266						
278N						

3.3　材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (℃)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT410	40	－	245	410	－

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数(%)
ESW-D	[redacted]	EL. 20.300 m	[redacted]

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 ESW-D

耐震設計上の重要度分類		－		
適用する地震動等		S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
33次				
34次				
動的震度				

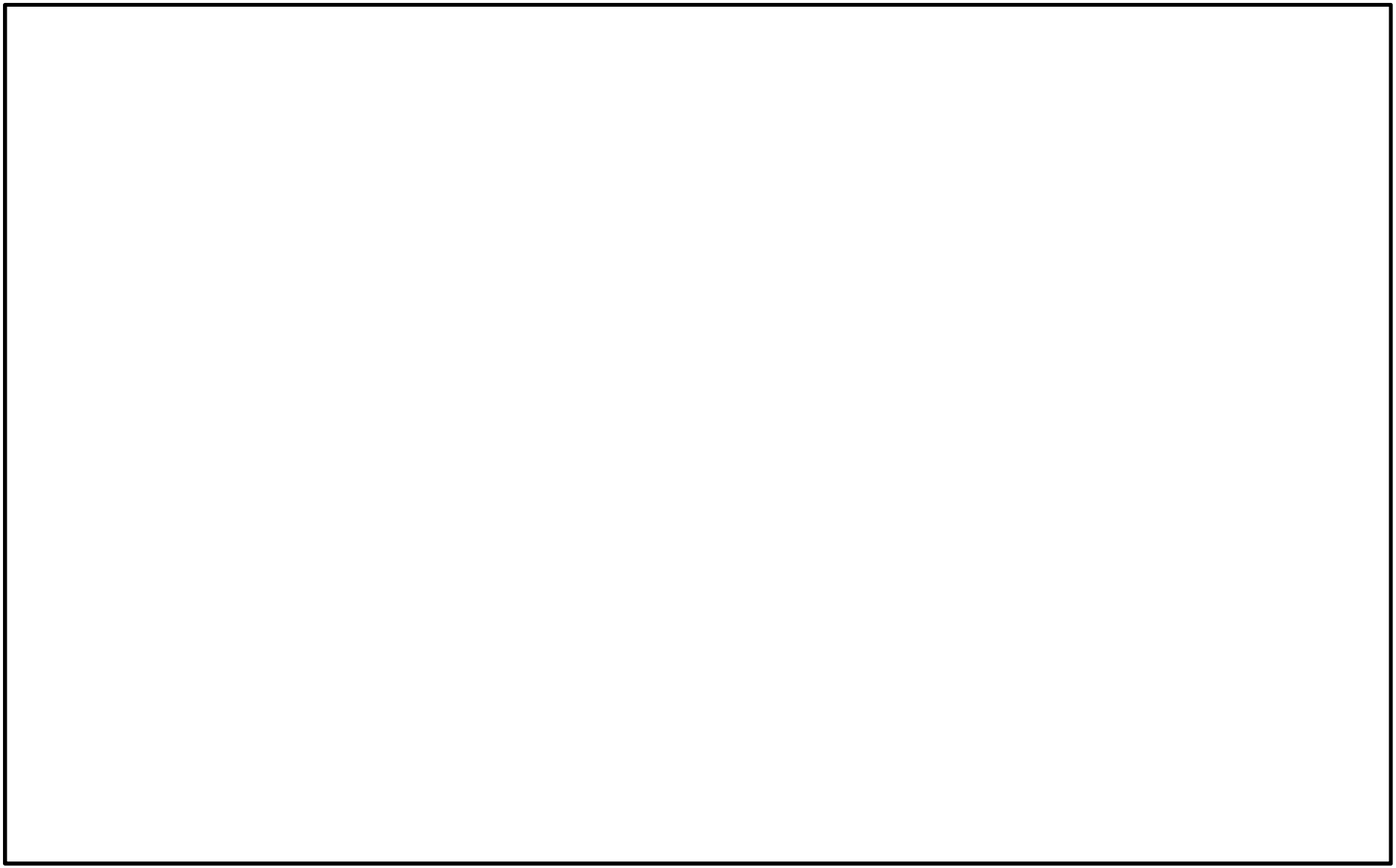
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　ESW-D

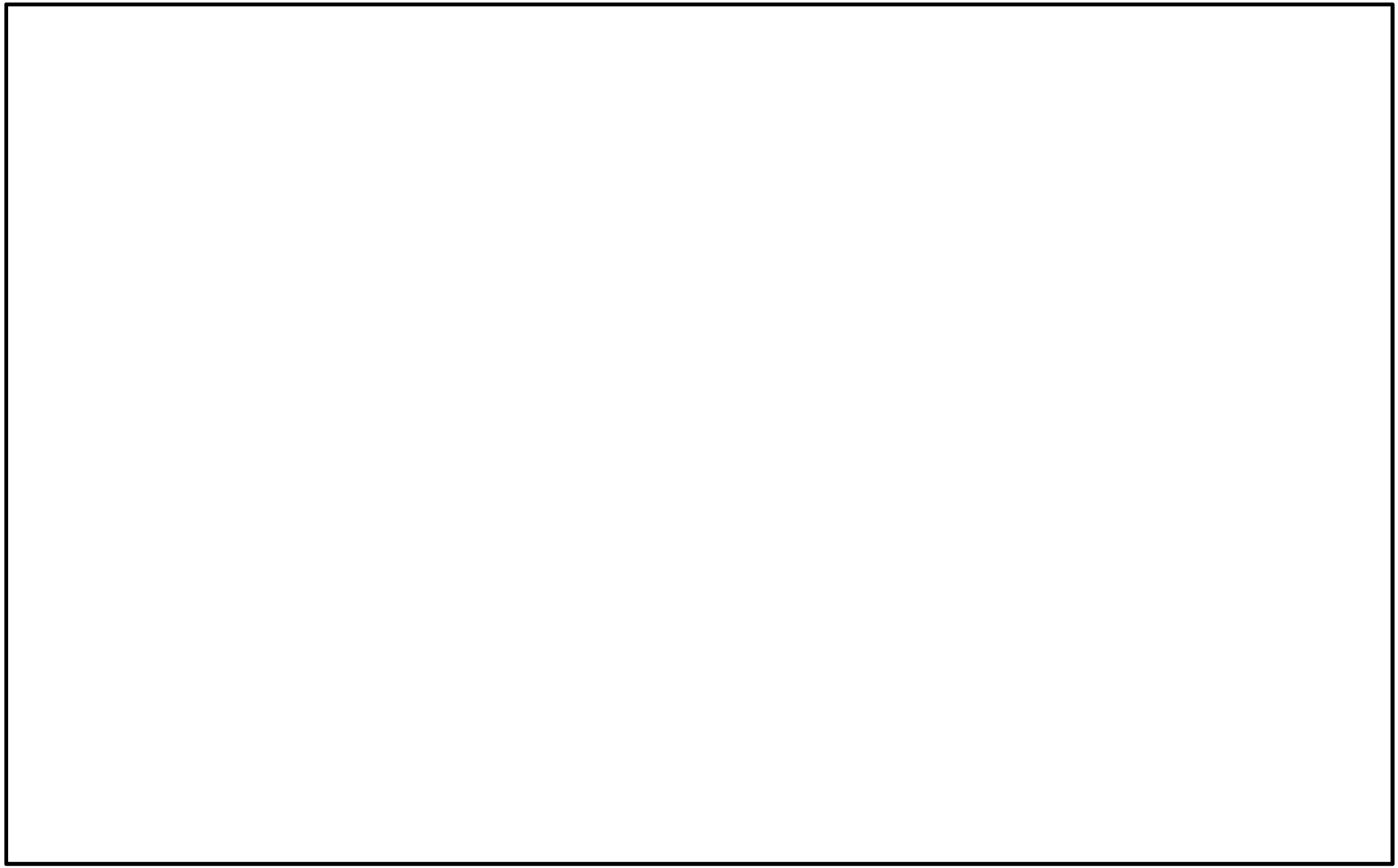
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
33次				

代表的振動モード図

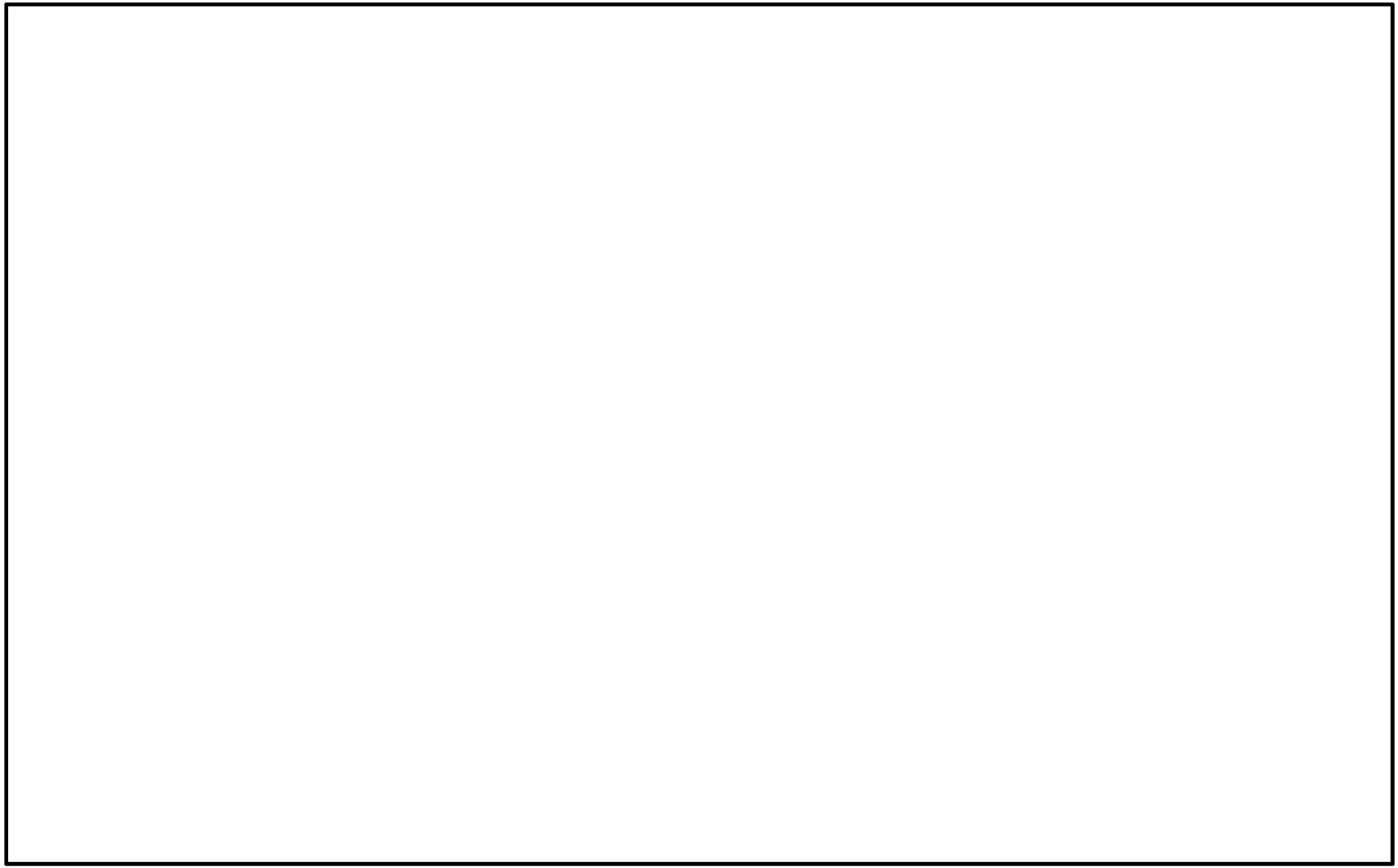
振動モード図は，3 次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



鳥瞰図	ESW-D



鳥瞰図	ESW-D



鳥瞰図	ESW-D

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管

鳥瞰図	許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価(MPa)		一次＋二次応力評価(MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{prm}(S_s)$	許容応力 $0.9S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
ESW-D	V_AS	138	$S_{prm}(S_s)$	249	369	－	－	－
ESW-D	V_AS	138	$S_n(S_s)$	－	－	482	490	－

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果(荷重評価)

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
SNO-ESW-Y001	オイルスナッバ	SN-16	添付書類「Ⅴ-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		38.9	240.0
RO-ESW-R004	ロッドレストレイント	RTS-6			38.8	108.0
SH-RHRS-R012	スプリングハンガ	VS-1			25.0	30.5

支持構造物評価結果(応力評価)

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN·m)			応力分類	計算応力(MPa)	許容応力(MPa)
					F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
RE-ESW-R008	レストレイント	パイプバンド	STK400 SM400B	100	79.0	59.9	0.0	—	—	—	圧縮	61	129
AN-ESW-R003	アンカ	ラグ	SGV410	100	46.3	82.4	61.2	20.7	116.0	156.0	組合せ	79	138

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	型式	要求機能	応答加速度 (×9.8 m/s²)		機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
－	－	－	－	－	－	－	－	－

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス２範囲）

No	配管モデル	許容応力状態　V_AS												
		一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	ESW-A	30N	45	369	8.20	－	30N	44	490	11.13	－	－	－	－
2	ESW-B	19A	201	369	1.83	－	19A	294	490	1.66	－	－	－	－
3	ESW-C	3	150	369	2.46	－	3	240	490	2.04	－	－	－	－
4	ESW-D	138	249	369	1.48	○	138	482	490	1.01	○	－	－	－
5	ESW-E	126	164	366	2.23	－	126	304	462	1.51	－	－	－	－
6	RHRS-6	70	58	369	6.36	－	73	53	490	9.24	－	－	－	－
7	RHRS-7,8	161	136	369	2.71	－	161	221	490	2.21	－	－	－	－
8	RHRS-005R1F	F02	241	366	1.51	－	F02	410	434	1.05	－	－	－	－
9	RHRS-006R1F	I02	189	366	1.93	－	I02	330	434	1.31	－	－	－	－

Ⅴ-2-5-8　原子炉冷却材浄化設備の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-5-8-1　原子炉冷却材浄化系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-5-8-1-1　管の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 ····· 2
2.1　概略系統図 ····· 2
2.2　鳥瞰図 ····· 4
3.　計算条件 ····· 17
3.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 17
3.2　設計条件 ····· 18
3.3　材料及び許容応力 ····· 31
3.4　設計用地震力 ····· 32
4.　解析結果及び評価 ····· 33
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 33
4.2　評価結果 ····· 45
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 45
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 48
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 49
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 50

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示す通りである。

(1)　管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全３モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2)　支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3)　弁

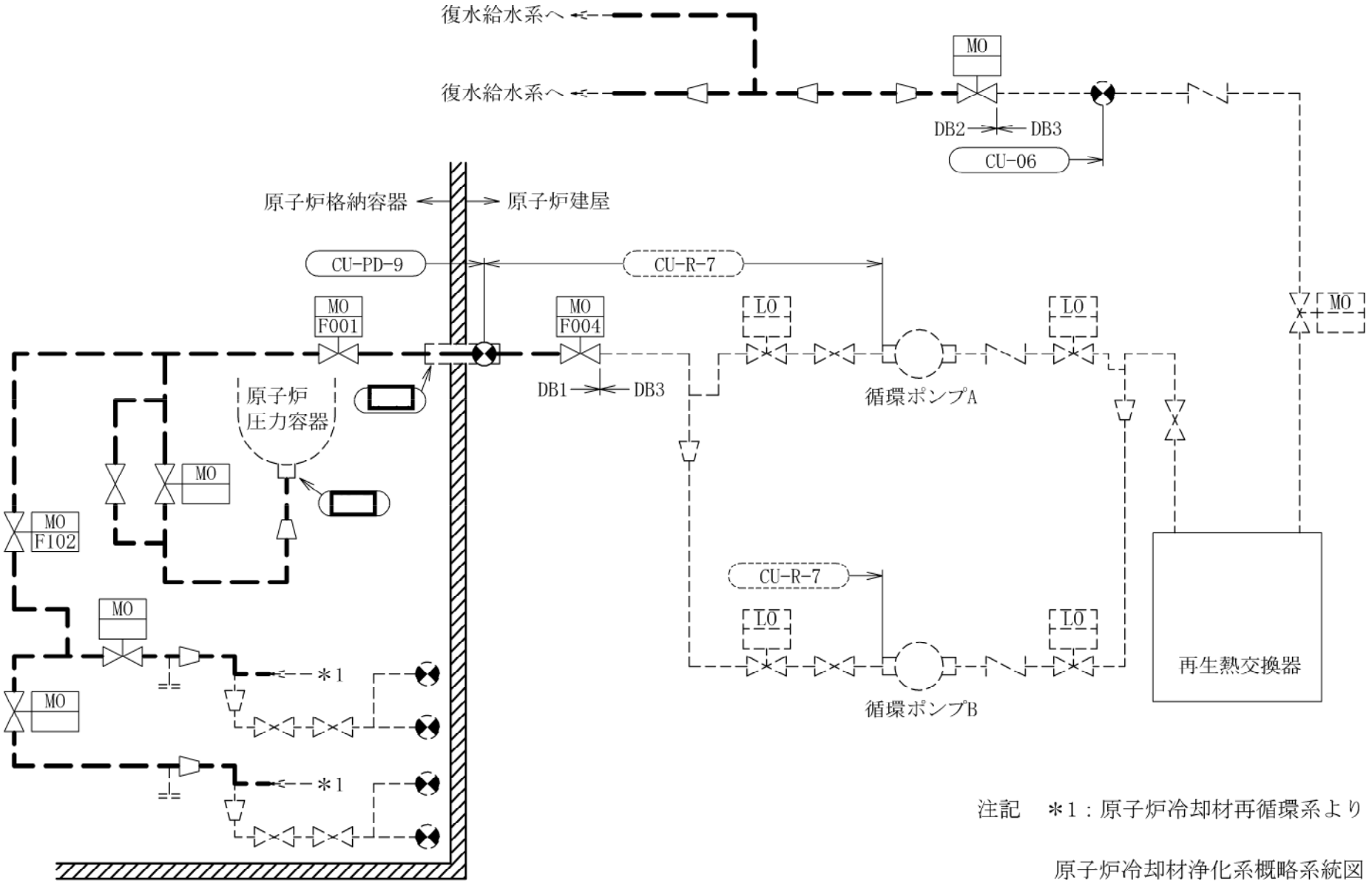
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

記　　号	内　　容
―――――― （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
― ― ― （太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――― （細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - - （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管

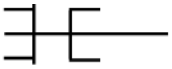
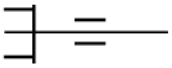
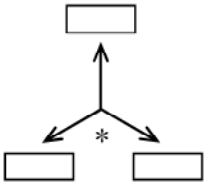


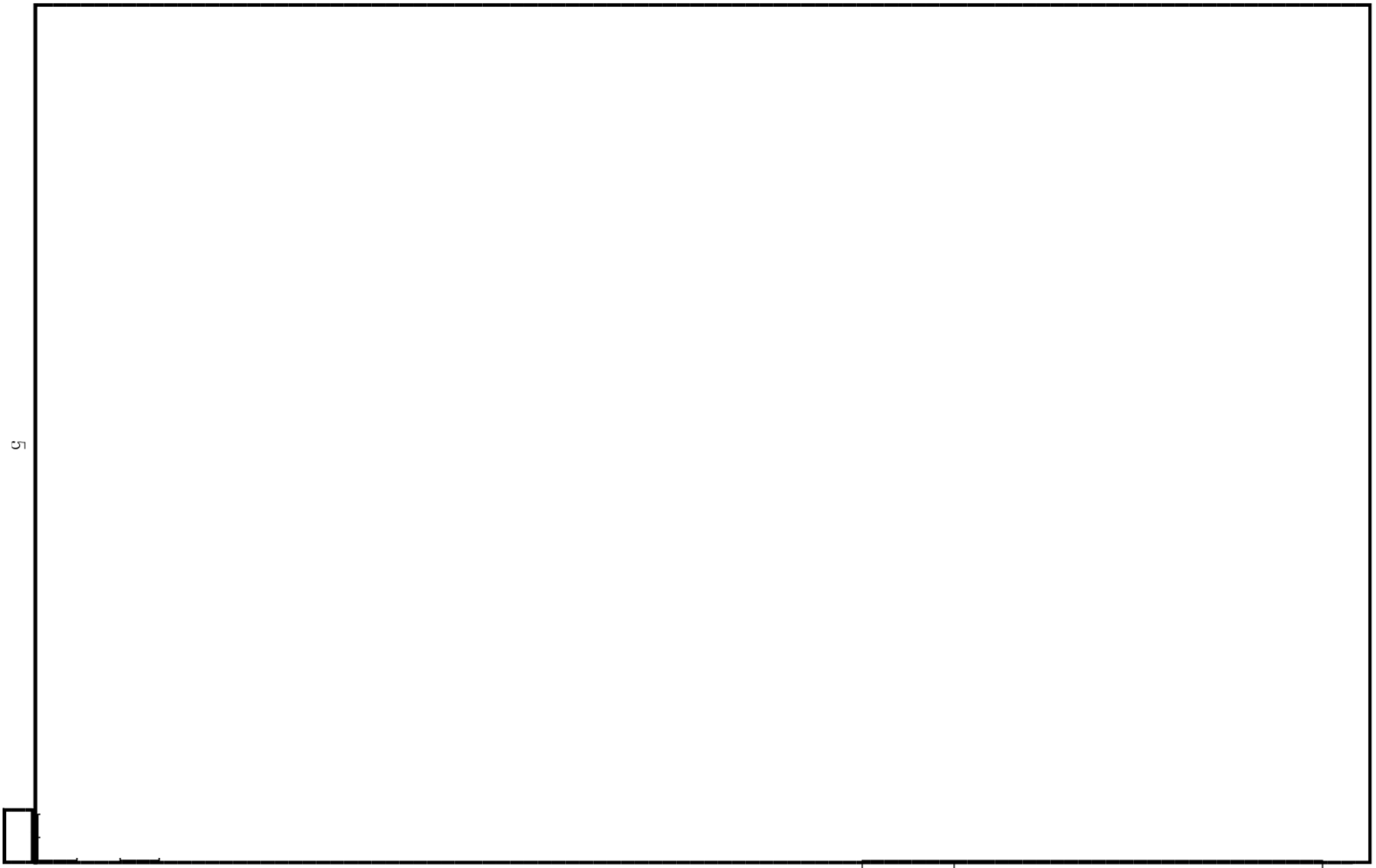
注記　＊1：原子炉冷却材再循環系より

原子炉冷却材浄化系概略系統図

2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記　　号	内　　容
━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
―――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - -（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質　　点
⊗	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) （ * は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□ 内に変位量を記載する。）
	注：　鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

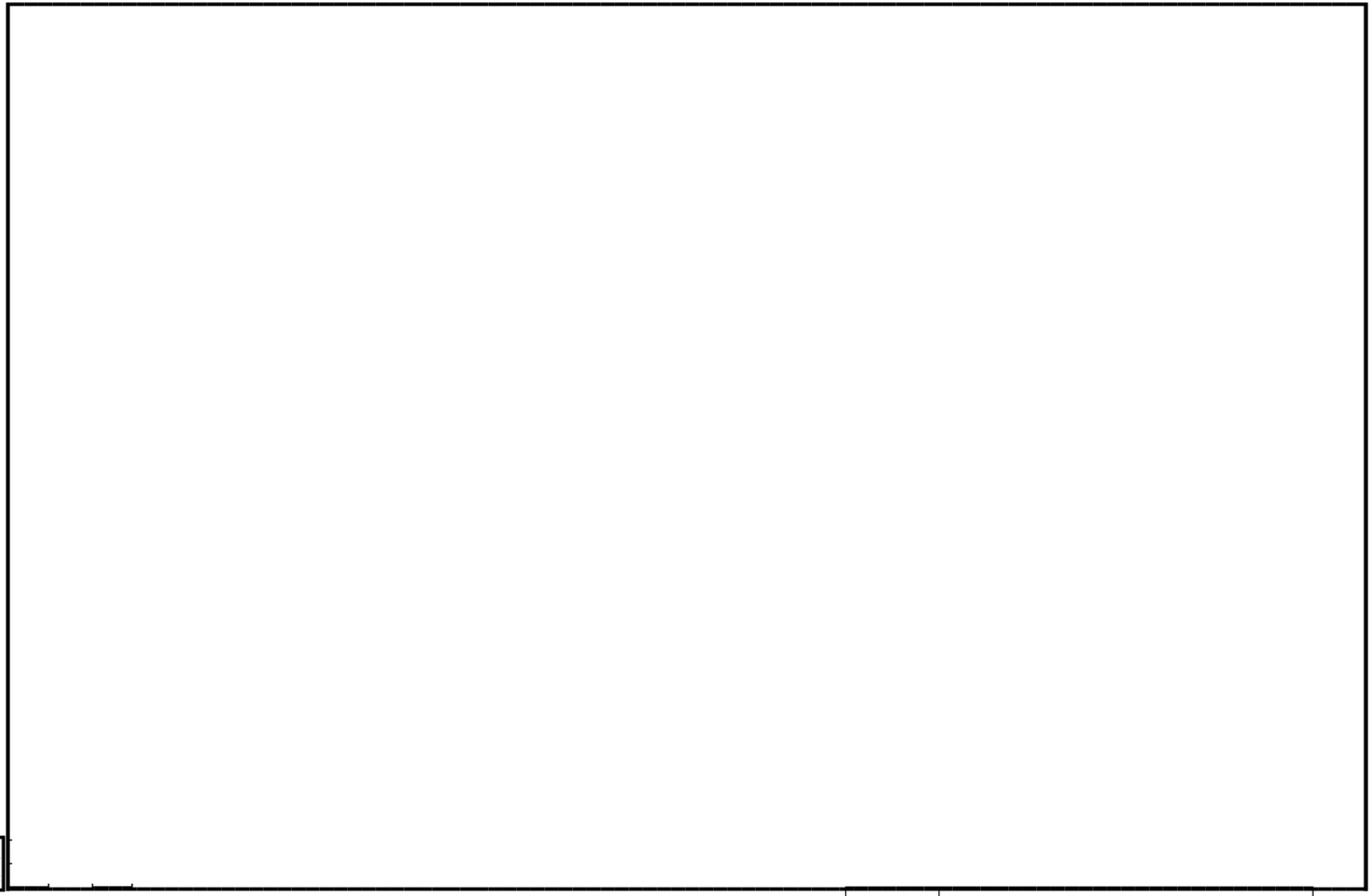


鳥瞰図	CU-PD-9(DB)(1/9)

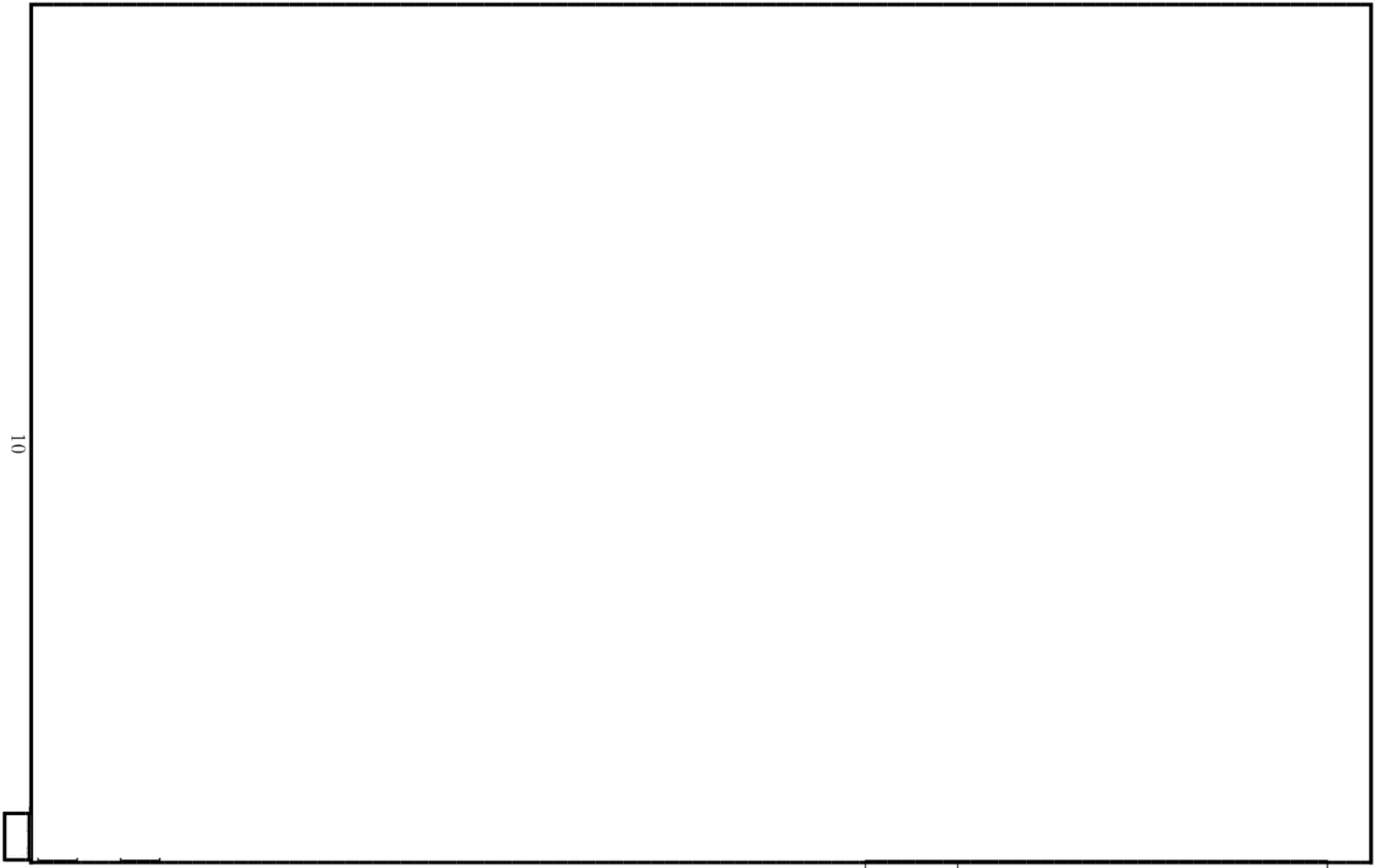
鳥瞰図	CU-PD-9(DB)(2/9)

鳥瞰図	CU-PD-9(DB)(3/9)

鳥瞰図	CU-PD-9(DB)(4/9)



鳥瞰図	CU-PD-9(DB)(5/9)



鳥瞰図	CU-PD-9(DB)(6/9)

鳥瞰図	CU-PD-9(DB)(7/9)

鳥瞰図	CU-PD-9(DB)(8/9)

鳥瞰図	CU-PD-9(DB)(9/9)

鳥瞰図	CU-06(DB)(1/3)

鳥瞰図	CU-06(DB)(2/3)

鳥瞰図	CU-06(DB)(3/3)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材浄化設備	原子炉冷却材浄化系	ＤＢ	―	クラス１管 クラス２管 クラス３管	Ｓ	$\mathrm{I}_{L}+\mathrm{S}_{d}$	$\mathrm{III}_{A}\mathrm{S}$
							$\mathrm{II}_{L}+\mathrm{S}_{d}$	
							$\mathrm{I}_{L}+\mathrm{S}_{s}$	$\mathrm{IV}_{A}\mathrm{S}$
							$\mathrm{II}_{L}+\mathrm{S}_{s}$	
							$\mathrm{IV}_{L}(\mathrm{L})+\mathrm{S}_{d}$ *5	

注記　＊1：ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。

＊2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊3：運転状態の添字Ｌは荷重，（Ｌ）は荷重が長期間作用している状態，（ＬＬ）は（Ｌ）より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

＊4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

＊5：クラス１管においてのみ考慮する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 CU-PD-9

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～6	8.62	302	165.2	11.0	SUS316LTP	S	
2	6～8,9～11 12～38,58～62 63～71,72～81 67～202,203～242	8.62	302	165.2	11.0	SUS316TP	S	
3	11～12	8.62	302	165.2	11.0	SUSF316	S	
4	38～58	8.62	302	165.2	11.0	SUS304TP	S	
5	82～83,83～162	8.62	302	114.3	8.6	SUS316TP	S	

鳥 瞰 図 CU-PD-9

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
5	243～244, 244～362	8.62	302	114.3	8.6	SUS316TP	S	
6	162～163N, 362～363N	8.62	302	114.3	8.6		S	
7	51～401	8.62	302	76.3	7.0	SUS304TP	S	
8	401～402	8.62	302	76.3	9.5	SUS304TP	S	
9	402～426, 427～430 439～464, 425～507 508～429	8.62	302	76.3	9.5	STPT49	S	
10	430～439	8.62	302	76.3	9.5	STS49	S	
11	465～471N	8.62	302	60.5	8.7	STPT49	S	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　CU-PD-9

質量	対応する評価点
	1A～4001
	4001～8, 9～20, 21～25, 26～50, 52～58 77～78, 80～81 161～163N
	20～21, 25～26
	50～52, 51～401
	58～62, 63～66, 68～71
	66～68, 67～201
	72～77
	78～80, 239～241
	82～83, 83～161, 243～244, 244～361
	201～202, 203～239, 241～242 361～363N
	401～409, 411～418, 439～464, 465～471N
	409～411
	418～424, 427～428, 433～439, 501～507, 508～509
	424～426, 425～501
	428～433, 509～429

弁部の寸法

鳥　瞰　図　CU-PD-9

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
8～8001				8001～8002			
8002～8003				8003～8004			
8001～9				62～6201			
6201～6202				6202～6203			
6203～6204				6204～6205			
6201～63				71～7101			
7101～7102				7102～7103			
7103～7104				7104～7105			
7101～72				202～2021			
2021～2022				2022～2023			
2023～2024				2024～2025			
2021～203				426～4261			
4261～4262				4262～4263			
4263～4264				4261～427			
507～508							

弁部の質量

鳥　瞰　図　CU-PD-9

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	8～8001, 8001～9	[redacted]	8, 9
	8001		8003, 7103, 2023
	8004		62～6201, 6201～63
	62, 63		6201
	6204		6205
	71～7101, 7101～72		71, 72, 202, 203
	7101, 2021		7105, 2025
	202～2021, 2021～203		426～4261, 4261～427
	426, 427		4261
	4263		4264
	507～508		

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　CU-PD-9

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
5						
** 8003 **						
** 8003 **						
14						
**　14 **						
31						
**　39 **						
40						
**　41 **						
49						
**　53 **						
**　57 **						
60						
61						
**　61 **						
** 6203 **						
** 6203 **						
65						
69						
70						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　CU-PD-9

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** **						
3						
** **						
** 6 **						
63N						
** 2 **						
** 2 7 **						
2 9						
2 2						
2 8						
**						
6						
6 **						
**						
3 **						
3						
3 **						
363N						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　CU-PD-9

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
410						
415						
416						
** 419 **						
421						
4263						
** 4263 **						
** 4263 **						
429						
435						
435						
438						
438						
** 4401 **						
446						
451						
454						
457						
463						
N1						
** 502 **						
505						
** 505 **						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　CU-06

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	80～81	9.80	302	165.2	11.0	STPT49	S	
2	82～84,90～92	8.62	302	165.2	11.0	STPT49	S	
3	85～89	8.62	302	267.4	15.1	STPA23	S	
4	93～108,91～162	8.62	302	114.3	8.6	STPT49	S	
5	108～109,162～163	8.62	302	114.3	11.1	STPT49	S	
6	109～111N,163～165N	8.62	302	114.3	11.1	ASTM A182F.11	S	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　CU-06

質量	対応する評価点
[redacted]	80～81, 82～84, 90～92
	85～89
	93～111N, 91～165N

弁部の寸法

鳥　瞰　図　CU-06

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
81～8101				8101～8102			
8102～8103				8101～82			

弁部の質量

鳥　瞰　図　CU-06

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	81, 82	[redacted]	8101
	8102		8103

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　CU-06

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
80						
88						
95						
95						
100						
104						
111N						
154						
158						
165N						

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材　　料	最高使用温度 (℃)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SUS316LTP	302	94	104	—	—
SUS316TP	302	118	130	—	—
SUSF316	302	118	130	—	—
SUS304TP	302	114	126	—	—
	302	114	126	—	—
STPT49	302	138	209	423	—
STS49	302	138	209	—	—
STPA23	302	—	163	400	—
ASTM A182F.11	302	—	163	400	—

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
CU-PD-9	ペデスタル		
CU-06			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 CU-PD-9

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
23 次							
24 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　CU-PD-9

モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
23 次				
24 次				

代表的振動モード図

振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

鳥瞰図	CU－PD－9

鳥瞰図	ＣＵ－ＰＤ－９

鳥瞰図	CU－PD－9

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥　瞰　図　CU-06

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
14 次							
15 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

各モードに対応する刺激係数

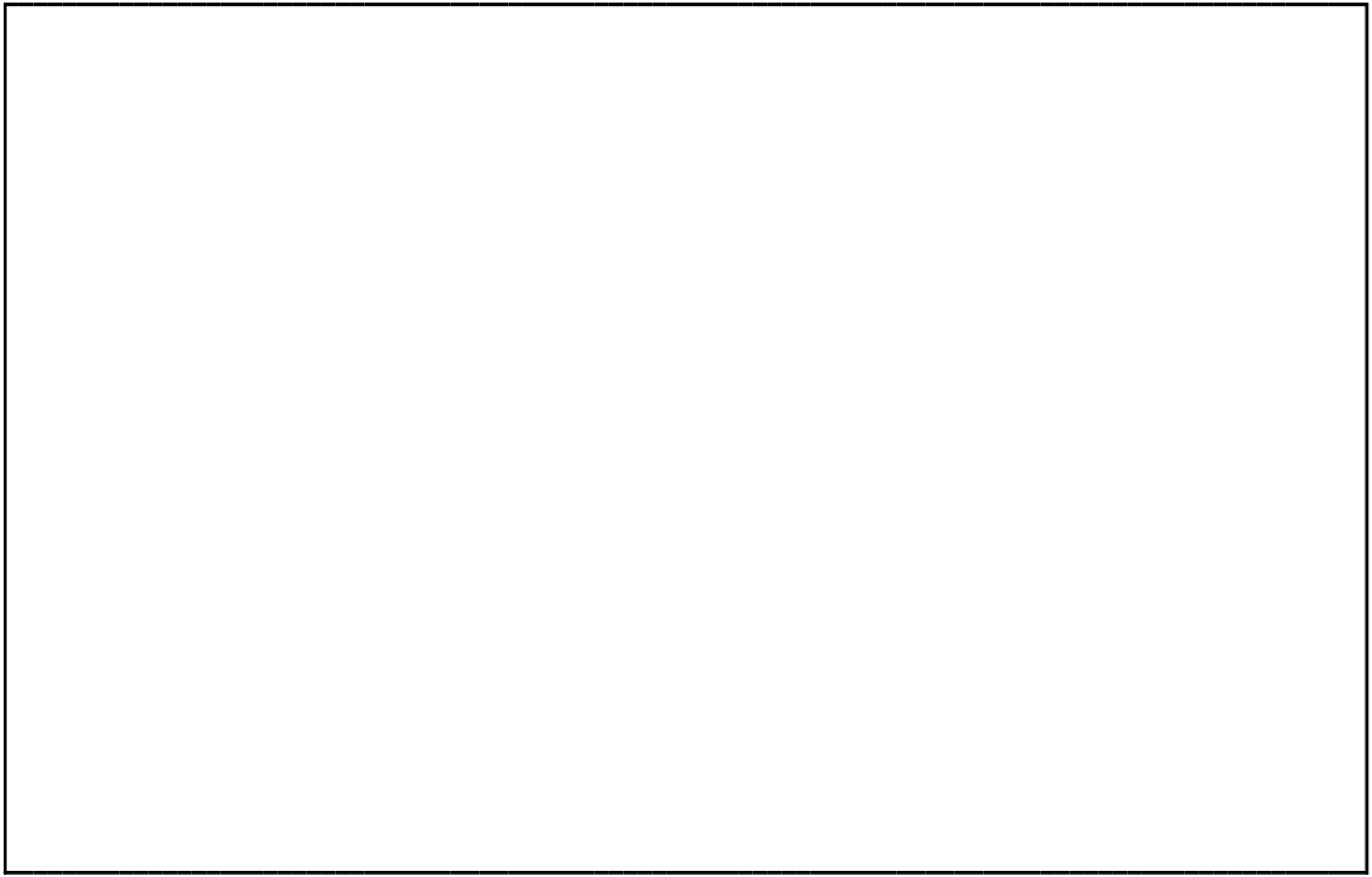
鳥　瞰　図　CU-06

モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
14 次				
15 次				

代表的振動モード図

振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

鳥瞰図	ＣＵ－０６



鳥瞰図	ＣＵ－０６

鳥瞰図	ＣＵ－０６

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス１管

鳥瞰図	許容応力状態（供用状態）	最大応力評価点	配管要素名称	最大応力区分	一次応力評価 (MPa)				一次＋二次応力評価 (MPa)		疲労評価
					一次応力 S_{prm}（S_d） S_{prm}（S_s）	許容応力 min（2.25S_m，1.8S_y） min(3S_m，2S_y)	ねじり応力 S_t（S_d） S_t（S_s）	許容応力 0.55S_m 0.73S_m	一次＋二次応力 S_n（S_s）	許容応力 3S_m	疲労累積係数 U＋US_s
CU-PD-9	ⅢAS	67	TEE	S_{prm}（S_d）	158	234	－	－	－	－	－
CU-PD-9	ⅢAS	75	ELBOW	S_t（S_d）	－	－	101*	64	－	－	－
CU-PD-9	ⅣAS	67	TEE	S_{prm}（S_s）	215	260	－	－	－	－	－
CU-PD-9	ⅣAS	75	ELBOW	S_t（S_s）	－	－	142*	86	－	－	－
CU-PD-9	ⅣAS	83	TEE	S_n（S_s）	－	－	－	－	1013	354	0.5155
CU-PD-9	ⅣAS	82	REDUCER	U＋US_s	－	－	－	－	－	－	0.5457

注記 ＊：ねじりによる応力が許容応力状態ⅢASのとき 0.55S_m，又は許容応力状態ⅣASのとき 0.73S_mを超える評価点を示し，次ページに曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態III_ASのとき0.55S_m，又は許容応力状態IV_ASのとき0.73S_mを超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

鳥瞰図	評価点	一次応力評価 (MPa)			
		ねじり応力 S_t（S_d） S_t（S_s）	許容応力 0.55S_m 0.73S_m	曲げとねじり応力 S_t+S_b（S_d） S_t+S_b（S_s）	許容応力 1.8S_m 2.4S_m
CU-PD-9	75	101	64	114	212
CU-PD-9	75	142	86	162	283

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス２以下の管

鳥瞰図	許容応力状態（供用状態）	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価（MPa）		一次＋二次応力評価（MPa）		疲労評価
				計算応力 S_{prm}（S_d）S_{prm}（S_s）	許容応力 S_y* $0.9S_u$	計算応力 S_n（S_s）	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
CU-06	III_AS	80	S_{prm}（S_d）	65	209	－	－	－
CU-06	IV_AS	80	S_{prm}（S_s）	78	380	－	－	－
CU-06	IV_AS	93	S_n（S_s）	－	－	70	418	－

注記　＊：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，S_yと$1.2S_h$のうち大きい方とする。

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
SNO-CU-59	オイルスナッバ	HSP-5	添付書類「V-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		61.7	75.0
SH-CU-66	スプリングハンガ	VSA-L4			5.2	7.3
CH-CU-68	コンスタントハンガ	CSH-33			24.4	24.7

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力（kN）			モーメント（kN・m）			応力分類	計算応力(MPa)	許容応力(MPa)
					F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
AN-CU-61	アンカ	ラグ	SGV49 SS41	302	39.7	15.0	34.0	9.1	11.1	12.4	組合せ	17	136
RE-CU-46A	レストレイント	パイプバンド	SM400B	302	0	23.3	0	－	－	－	圧縮	67	115

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応力加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度*（×9.8 m/s²）		機能確認済加速度（×9.8 m/s²）		構造強度評価結果（MPa）	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
G33-F001	止め弁	α（S_s）	4.8	1.5	6.0	6.0	－	－

注記　＊：応答加速度は，打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス１範囲）

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{III_AS}$					許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	CU-PD-9	67	158	234	1.48	○	67	215	260	1.20	○	83	1013	354	0.34	○	82	0.5457	○
2	CU-R-7	2	82	234	2.85	－	2	108	260	2.40	－	4	215	354	1.64	－	4	0.0008	－

注記　：$\mathrm{III_AS}$の一次＋二次応力の許容値は$\mathrm{IV_AS}$と同様であることから，地震荷重が大きい$\mathrm{IV_AS}$の一次＋二次応力裕度最小を代表とする。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス２範囲）

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{III_AS}$					許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	CU-06	80	65	209	3.21	○	80	78	380	4.87	○	93	70	418	5.97	○	－	－	－
2	CU-R-7	7	51	182	3.56	－	7	59	363	6.15	－	6	33	364	11.03	－	－	－	－

注記　：$\mathrm{III_AS}$の一次＋二次応力の許容値は$\mathrm{IV_AS}$と同様であることから，地震荷重が大きい$\mathrm{IV_AS}$の一次＋二次応力裕度最小を代表とする。

Ⅴ-2-6　計測制御系統施設の耐震性についての計算書

目次

Ⅴ-2-6-1　計測制御系統施設の耐震計算結果
Ⅴ-2-6-2　制御材の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-2-1　制御棒の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-3　制御材駆動装置の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-3-1　制御棒駆動機構の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-3-2　制御棒駆動水圧系の耐震性についての計算書
　　Ⅴ-2-6-3-2-1　水圧制御ユニットの耐震性についての計算書
　　Ⅴ-2-6-3-2-2　管の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-4　ほう酸水注入設備の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-4-1　ほう酸水注入系の耐震性についての計算書
　　Ⅴ-2-6-4-1-1　ほう酸水注入ポンプの耐震性についての計算書
　　Ⅴ-2-6-4-1-2　ほう酸水貯蔵タンクの耐震性についての計算書
　　Ⅴ-2-6-4-1-3　管の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5　計測装置の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-1　起動領域計装の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-2　出力領域計装の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-3　主蒸気流量の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-4　原子炉圧力容器温度の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-5　高圧代替注水系系統流量の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-6　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-7　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-8　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-9　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-10　代替循環冷却系原子炉注水流量の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-11　代替循環冷却系ポンプ入口温度の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-12　残留熱除去系熱交換器入口温度の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-13　残留熱除去系熱交換器出口温度の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-14　原子炉隔離時冷却系系統流量の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-15　高圧炉心スプレイ系系統流量の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-16　低圧炉心スプレイ系系統流量の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-17　残留熱除去系系統流量の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-18　原子炉圧力の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-19　原子炉圧力（ＳＡ）の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-20　原子炉水位の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-6-5-21　原子炉水位（広帯域）の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-6-5-22　原子炉水位（燃料域）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-23　原子炉水位（ＳＡ広帯域）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-24　原子炉水位（ＳＡ燃料域）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-25　ドライウェル圧力の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-26　サプレッション・チェンバ圧力の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-27　サプレッション・プール水温度の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-28　ドライウェル雰囲気温度の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-29　サプレッション・チェンバ雰囲気温度の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-30　格納容器内水素濃度の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-31　格納容器内水素濃度（ＳＡ）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-32　格納容器内酸素濃度の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-33　格納容器内酸素濃度（ＳＡ）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-34　格納容器下部水温の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-35　代替淡水貯槽水位の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-36　西側淡水貯水設備水位の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-37　低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-38　低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-39　低圧代替注水系格納容器下部注水流量の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-40　代替循環冷却系格納容器スプレイ流量の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-41　サプレッション・プール水位の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-42　格納容器下部水位の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-5-43　原子炉建屋水素濃度の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-6　制御用空気設備の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-6-1　窒素供給系の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-6-1-1　管の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-6-2　非常用窒素供給系の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-6-2-1　管の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-6-3　非常用逃がし安全弁駆動系の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-6-3-1　管の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7　その他の計測制御設備の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-1　計測制御設備の盤の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-2　衛星電話設備（固定型）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-2-1　衛星電話設備（固定型）（中央制御室）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-2-2　屋外アンテナ（中央制御室）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-2-3　衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-2-4　衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-6-7-2-5　屋外アンテナ（緊急時対策所）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-2-6　衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-3　安全パラメータ表示システム（ＳＰＤＳ）ＳＰＤＳデータ表示装置の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-4　安全パラメータ表示システム（ＳＰＤＳ）無線通信用アンテナの耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-5　統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-6　統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-7　ＬＡＮ収容架（ＳＡ）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-8　再循環系ポンプ遮断器の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-9　再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-10　格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-11　フィルタ装置入口水素濃度の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-12　静的触媒式水素再結合器動作監視装置の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-13　フィルタ装置水位の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-14　フィルタ装置圧力の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-15　フィルタ装置スクラビング水温度の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-16　残留熱除去系海水系系統流量の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-17　緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-18　緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-19　常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-20　常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-21　代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-22　原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-23　高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-24　低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-25　残留熱除去系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-26　非常用窒素供給系供給圧力の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-27　非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ圧力の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-28　非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-6-7-29　非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-6-1　計測制御系統施設の耐震計算結果

目次

1. 概要 ····· 1
2. 耐震評価条件整理 ····· 1

1. 概要

本資料は，計測制御系統施設の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

計測制御系統施設の設備に対して，設計基準対象施設の耐震設計上の重要度分類，重大事故等対処設備の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については，耐震評価における手法及び条件について，既に認可を受けた実績と差異の有無を整理した。また，重大事故等対処設備のうち，設計基準対象施設であるものについては，重大事故等対処設備の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表2-1に示す。

通信連絡設備については設備が複数の機器により構成されている。添付書類「Ⅴ-1-1-10　通信連絡設備に関する説明書」に記載の機器構成を図2-1～図2-3に示し，その機器構成による設備の内訳を表2-2に示す。

計測制御系統施設のうち，新設又は，新規登録の設計基準対象施設並びに重大事故等対処設備の耐震計算は表2-1に示す計算書に記載することとする。

なお，既設の設備における弾性設計用地震動S_d又は静的地震力による耐震計算については，基準地震動S_sによる評価結果が弾性設計用地震動S_d又は静的地震力の許容限界を満足する場合，省略することとする。弾性設計用地震動S_dによる疲労評価については，弾性設計用地震動S_dによる繰返し回数が，基準地震動S_sで設定している繰返し回数以内であることを確認しているため，省略する。

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（1/18）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
計測制御系統施設	制御材	制御棒	S	無	Ⅴ-2-6-2-1	常設耐震／防止	無	Ⅴ-2-6-2-1
	制御材駆動装置	制御棒駆動機構	S	有	Ⅴ-2-6-3-1	常設耐震／防止	無	Ⅴ-2-6-3-1
		水圧制御ユニット	S	無	Ⅴ-2-6-3-2-1	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-6-3-2-1
		主要弁	S	無	Ⅴ-2-6-3-2-1	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-6-3-2-1
		主配管	S	無	Ⅴ-2-6-3-2-2	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-6-3-2-2
		主配管	S	無	Ⅴ-2-6-3-2-2	－	－	－
		主配管	S(原子炉格納施設に記載)	－	－	常設耐震／防止	無	Ⅴ-2-9-2-9
	ほう酸水注入設備	ほう酸水注入ポンプ	S	無	Ⅴ-2-6-4-1-1	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-6-4-1-1
		ほう酸水貯蔵タンク	S	無	Ⅴ-2-6-4-1-2	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-6-4-1-2
		主配管	S	無	Ⅴ-2-6-4-1-3	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-6-4-1-3
		主配管	S(原子炉格納施設に記載)	－	－	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-9-2-9

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（2/18）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
計測制御系統施設	ほう酸水注入設備	差圧検出・ほう酸水注入管（ティーより N10 ノズルまでの外管）	S(原子炉本体に記載)	－	－	常設耐震／防止	無	Ⅴ-2-3-4-2-4*2
		差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部）	S(原子炉本体に記載)	－	－	常設耐震／防止	無	Ⅴ-2-3-4-3-10*2
		原子炉圧力容器	S(原子炉本体に記載)	－	－	常設耐震／防止	無	Ⅴ-2-3-4-1*2
		炉心支持構造物	S(原子炉本体に記載)	－	－	常設耐震／防止	無	Ⅴ-2-3-3-2*2
	計測装置	起動領域計装	S	無	Ⅴ-2-6-5-1	常設耐震／防止	無	Ⅴ-2-6-5-1
		出力領域計装	S	無	Ⅴ-2-6-5-2	常設耐震／防止	無	Ⅴ-2-6-5-2
		主蒸気流量	S	無	Ⅴ-2-6-5-3	－	－	－
		原子炉圧力容器温度	－	－	－	常設／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-4
		高圧代替注水系系統流量	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-5

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（3/18）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
計測制御系統施設	計測装置	低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-6
		低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-7
		低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-8
		低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-9
		代替循環冷却系原子炉注水流量	－	－	－	常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-10

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（4/18）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
計測制御系統施設	計測装置	代替循環冷却系ポンプ入口温度	－	－	－	常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-11
		残留熱除去系熱交換器入口温度	C	－	－	常設／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-12
		残留熱除去系熱交換器出口温度	C	－	－	常設／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-13
		原子炉隔離時冷却系系統流量	S	無	Ⅴ-2-6-5-14	常設耐震／防止	無	Ⅴ-2-6-5-14
		高圧炉心スプレイ系系統流量	S	無	Ⅴ-2-6-5-15	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-6-5-15
		低圧炉心スプレイ系系統流量	S	無	Ⅴ-2-6-5-16	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-6-5-16
		残留熱除去系系統流量	S	無	Ⅴ-2-6-5-17	常設耐震／防止 常設／緩和	有	Ⅴ-2-6-5-17

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（5/18）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
計測制御系統施設	計測装置	原子炉圧力	S*3	無	Ⅴ-2-6-5-18	常設耐震／防止 常設／緩和	有	Ⅴ-2-6-5-18
			S*4	無	Ⅴ-2-6-5-18	－	－	－
		原子炉圧力（ＳＡ）	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-19
		原子炉水位	S	無	Ⅴ-2-6-5-20	－	－	－
		原子炉水位（広帯域）	S*5	無	Ⅴ-2-6-5-21	常設耐震／防止 常設／緩和	有	Ⅴ-2-6-5-21
			－	－	－	常設耐震／防止*6	－	Ⅴ-2-6-5-21
		原子炉水位（燃料域）	S	無	Ⅴ-2-6-5-22	常設耐震／防止 常設／緩和	有	Ⅴ-2-6-5-22

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（6/18）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
計測制御系統施設	計測装置	原子炉水位（ＳＡ広帯域）	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-23
		原子炉水位（ＳＡ燃料域）	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-24
		ドライウェル圧力	S*7	無	Ⅴ-2-6-5-25	－	－	－
			－	－	－	常設耐震／防止*8 常設／緩和*8	－	Ⅴ-2-6-5-25
		サプレッション・チェンバ圧力	S*9	無	Ⅴ-2-6-5-26	－	－	－
			－	－	－	常設耐震／防止*10 常設／緩和*10	－	Ⅴ-2-6-5-26

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（7/18）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
計測制御系統施設	計測装置	サプレッション・プール水温度	S*11	無	Ⅴ-2-6-5-27	－	－	－
			－	－	－	常設耐震／防止*12 常設／緩和*12	－	Ⅴ-2-6-5-27
		ドライウェル雰囲気温度	－	－	－	常設／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-28
		サプレッション・チェンバ雰囲気温度	－	－	－	常設／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-29
		格納容器内水素濃度	S	無	Ⅴ-2-6-5-30	－	－	－
		格納容器内水素濃度（ＳＡ）	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-31
		格納容器内酸素濃度	S	無	Ⅴ-2-6-5-32	－	－	－

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（8/18）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
計測制御系統施設	計測装置	格納容器内酸素濃度（ＳＡ）	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-33
		格納容器下部水温	－	－	－	常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-34
		代替淡水貯槽水位	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-35
		西側淡水貯水設備水位	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-36
		低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-37
		低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-38

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（9/18）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
計測制御系統施設	計測装置	低圧代替注水系格納容器下部注水流量	－	－	－	常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-39
		代替循環冷却系格納容器スプレイ流量	－	－	－	常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-40
		サプレッション・プール水位	S*13	無	Ⅴ-2-6-5-41	－	－	－
			－	－	－	常設耐震／防止*14 常設／緩和*14	－	Ⅴ-2-6-5-41
		格納容器下部水位	－	－	－	常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-42
		原子炉建屋水素濃度	－	－	－	常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-5-43

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（10/18）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
計測制御系統施設	制御用空気設備	自動減圧機能用アキュムレータ	S(原子炉原子炉冷却系統施設に記載)	－	－	常設耐震／防止	無	V-2-5-3-1-1*15
		主配管	S	無	V-2-6-6-1-1	－	－	－
		主配管	－	－	－	常設耐震／防止	－	V-2-6-6-2-1
		主配管	－	－	－	常設耐震／防止	－	V-2-6-6-3-1
	その他の計測制御設備	所内電気操作盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-6-7-1
		タービン補機盤	S	無	V-2-6-7-1	－	－	－
		窒素置換－空調換気制御盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-6-7-1
		非常用ガス処理系，非常用ガス循環系操作盤	S	無	V-2-6-7-1	常設／緩和	無	V-2-6-7-1

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（11/18）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	タービン補機補助継電器盤	S	無	V-2-6-7-1	－	－	－
		緊急時炉心冷却系操作盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-6-7-1
		原子炉補機操作盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止	無	V-2-6-7-1
		原子炉制御操作盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-6-7-1
		プロセス放射線モニタ計装盤	S	無	V-2-6-7-1	－	－	－
		出力領域モニタ計装盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止	無	V-2-6-7-1
		原子炉保護系継電器盤	S	無	V-2-6-7-1	－	－	－

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（12/18）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	プロセス計装盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止	無	V-2-6-7-1
		残留熱除去系（B），（C）補助継電器盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-6-7-1
		原子炉隔離時冷却系継電器盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止	無	V-2-6-7-1
		原子炉格納容器隔離系継電器盤	S	無	V-2-6-7-1	－	－	－
		高圧炉心スプレイ系継電器盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止	無	V-2-6-7-1
		自動減圧系継電器盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止	無	V-2-6-7-1
		低圧炉心スプレイ系，残留熱除去系（A）補助継電器盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-6-7-1

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（13/18）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	漏えい検出系操作盤	S	無	V-2-6-7-1	－	－	－
		プロセス放射線モニタ，起動領域モニタ操作盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止	無	V-2-6-7-1
		格納容器雰囲気監視系操作盤	S	無	V-2-6-7-1	－	－	－
		サプレッション・プール温度記録計盤	S	無	V-2-6-7-1	－	－	－
		原子炉保護系トリップユニット盤	S	無	V-2-6-7-1	－	－	－
		緊急時炉心冷却系トリップユニット盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-6-7-1
		高圧炉心スプレイ系トリップユニット盤	S	無	V-2-6-7-1	常設耐震／防止	無	V-2-6-7-1

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（14/18）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	RCIC タービン制御盤	S	無	Ⅴ-2-6-7-1	常設耐震／防止	無	Ⅴ-2-6-7-1
		原子炉遠隔停止操作盤	S	無	Ⅴ-2-6-7-1	常設耐震／防止	無	Ⅴ-2-6-7-1
		ほう酸水注入ポンプ操作盤	S	無	Ⅴ-2-6-7-1	常設耐震／防止 常設／緩和	有	Ⅴ-2-6-7-1
		ＳＡ設備新設盤	S	－	Ⅴ-2-6-7-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	Ⅴ-2-6-7-1
		安全パラメータ表示システム（ＳＰＤＳ）新設盤	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	無	Ⅴ-2-6-7-1
		再循環系ポンプ遮断器	S	無	Ⅴ-2-6-7-8	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-6-7-8
		再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器	－	－	－	常設耐震／防止	－	Ⅴ-2-6-7-9

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（15/18）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-7-10
		フィルタ装置入口水素濃度	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-7-11
		静的触媒式水素再結合器動作監視装置	－	－	－	常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-7-12
		フィルタ装置水位	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-7-13
		フィルタ装置圧力	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-7-14
		フィルタ装置スクラビング水温度	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-7-15
		残留熱除去系海水系系統流量	C	－	－	常設／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-7-16

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（16/18）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-7-17
		緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-7-18
		常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-7-19
		常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-7-20
		代替循環冷却系ポンプ吐出圧力	－	－	－	常設／緩和	－	Ⅴ-2-6-7-21
		原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力	C	－	－	常設／防止	－	Ⅴ-2-6-7-22

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（17/18）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力	C	－	－	常設／防止	－	Ⅴ-2-6-7-23
		低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力	S	無	Ⅴ-2-6-7-24	常設耐震／防止 常設／防止	有	Ⅴ-2-6-7-24
		残留熱除去系ポンプ吐出圧力	S	無	Ⅴ-2-6-7-25	常設耐震／防止 常設／防止	有	Ⅴ-2-6-7-25
		非常用窒素供給系供給圧力	－	－	－	常設／防止	－	Ⅴ-2-6-7-26
		非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ圧力	－	－	－	常設／防止	－	Ⅴ-2-6-7-27
		非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力	－	－	－	常設／防止	－	Ⅴ-2-6-7-28
		非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力	－	－	－	常設／防止	－	Ⅴ-2-6-7-29

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（18/18）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施工前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
計測制御系統施設	その他	衛星電話設備（固定型）	C （新規登録）	－	－	常設／防止 常設／緩和 その他	－	表 2-2*16
		安全パラメータ表示システム（ＳＰＤＳ）	C （新規登録）	－	－	常設／防止 常設／緩和	－	表 2-2*16
		統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備	C （新規登録）	－	－	その他	－	表 2-2*16

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「その他」は常設重大事故等対処施設（防止でも緩和でもない設備）を示す。

＊2：原子炉本体と兼用の設備であり、評価内容が共通であるため、耐震評価は添付書類「Ⅴ-2-3 原子炉本体の耐震性についての計算書」に記載する。

＊3：対象計器は，PT-B22-N051A，PT-B22-N051B。

＊4：対象計器は，PT-B22-N078A，PT-B22-N078B，PT-B22-N078C，PT-B22-N078D。

＊5：対象計器は，LT-B22-N091A，LT-B22-N091B，LT-B22-N091C，LT-B22-N091D。

＊6：対象計器は，LT-B22-N079A，LT-B22-N079B，LT-B22-N079C，LT-B22-N079D。

＊7：対象計器は，PT-B22-N067A，PT-B22-N067B，PT-B22-N067C，PT-B22-N067D，PT-B22-N094A，PT-B22-N094B，PT-B22-N094C，PT-B22-N094D，PT-C72-N050A，PT-C72-N050B，PT-C72-N050C，PT-C72-N050D，PT-26-79.51A，PT-26-79.51B。

＊8：対象計器は，PT-26-79.60。

＊9：対象計器は，PT-26-79.52A，PT-26-79.52B。

＊10：対象計器は，PT-26-79.61。

＊11：対象計器は，TE-T23-N001B，TE-T23-N001C，TE-T23-N002B，TE-T23-N002C，TE-T23-N003B，TE-T23-N003C，TE-T23-N004B，TE-T23-N004C，TE-T23-N005B，TE-T23-N005C，TE-T23-N006B，TE-T23-N006C，TE-T23-N007，TE-T23-N009，TE-T23-N011，TE-T23-N012，TE-T23-N013，TE-T23-N014，TE-T23-N015，TE-T23-N017，TE-T23-N019，TE-T23-N020，TE-T23-N021，TE-T23-N022。

＊12：対象計器は，TE-T23-N030，TE-T23-N040，TE-T23-N050。

＊13：対象計器は，LT-26-79.5A，LT-26-79.5B。

＊14：対象計器は，LT-26-79.60。

＊15：原子炉冷却系統施設と兼用の設備であり、評価内容が共通であるため、耐震評価は添付書類「Ⅴ-2-5 原子炉冷却系統施設の耐震性についての計算書」に記載する。

＊16：通信連絡設備は複数の機器で構成されているため，別途整理し，表 2-2 に記載する。

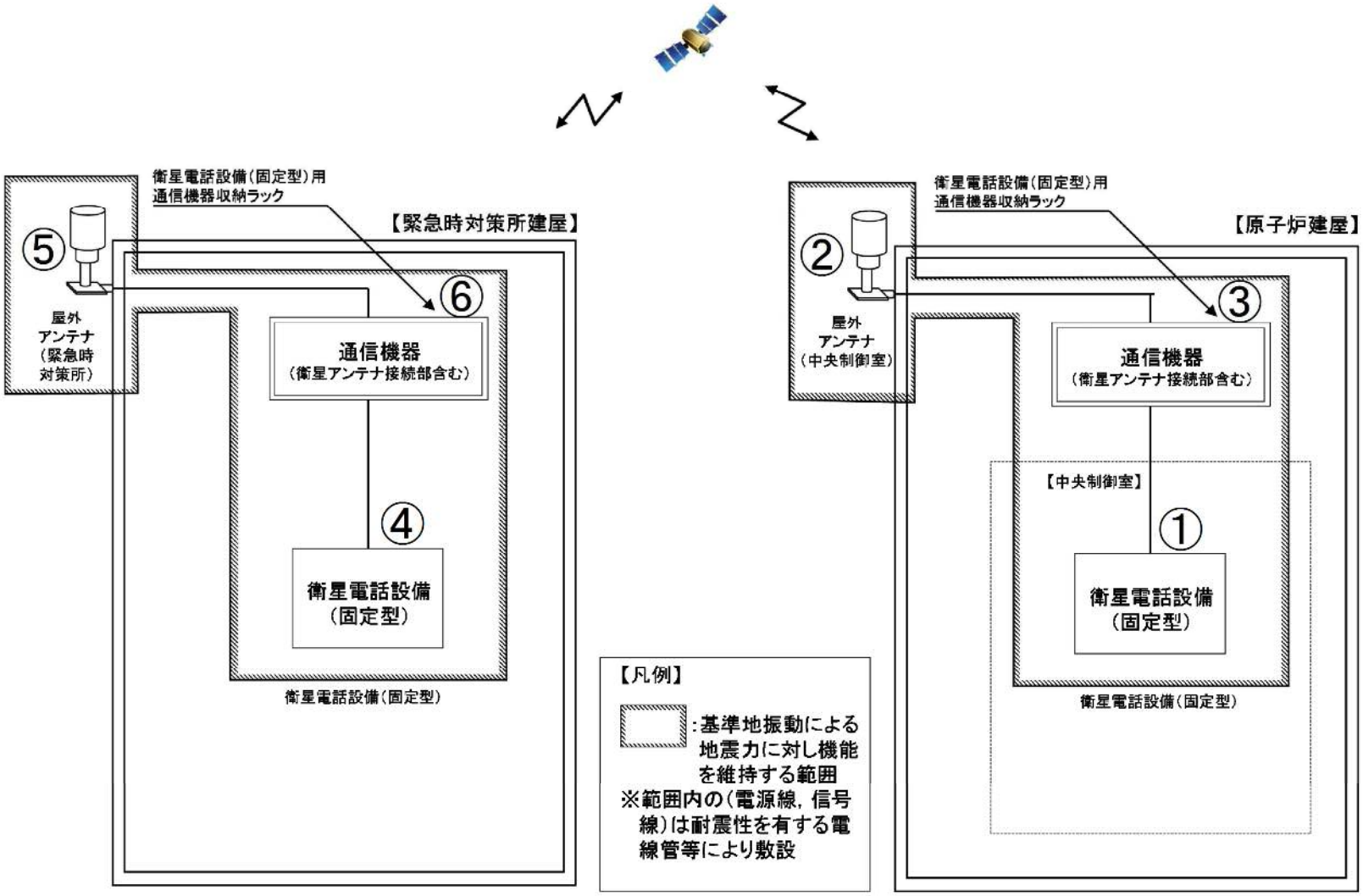
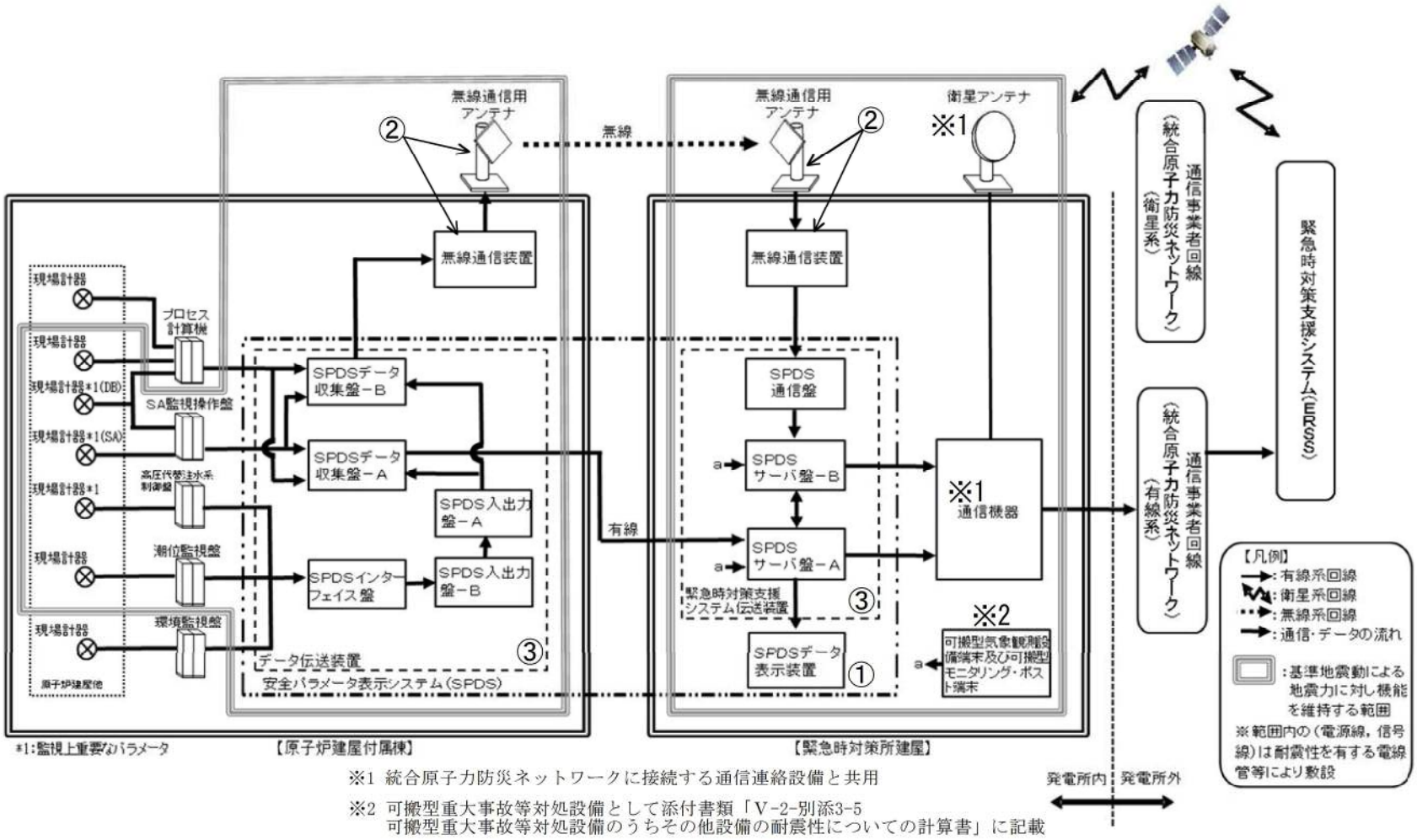


図 2-1 衛星電話設備（固定型） 概略構成図



※1 統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備と共用

※2 可搬型重大事故等対処設備として添付書類「Ⅴ-2-別添3-5 可搬型重大事故等対処設備のうちその他設備の耐震性についての計算書」に記載

図 2-2 安全パラメータ表示システム（ＳＰＤＳ）及びデータ伝送装置の概略構成図

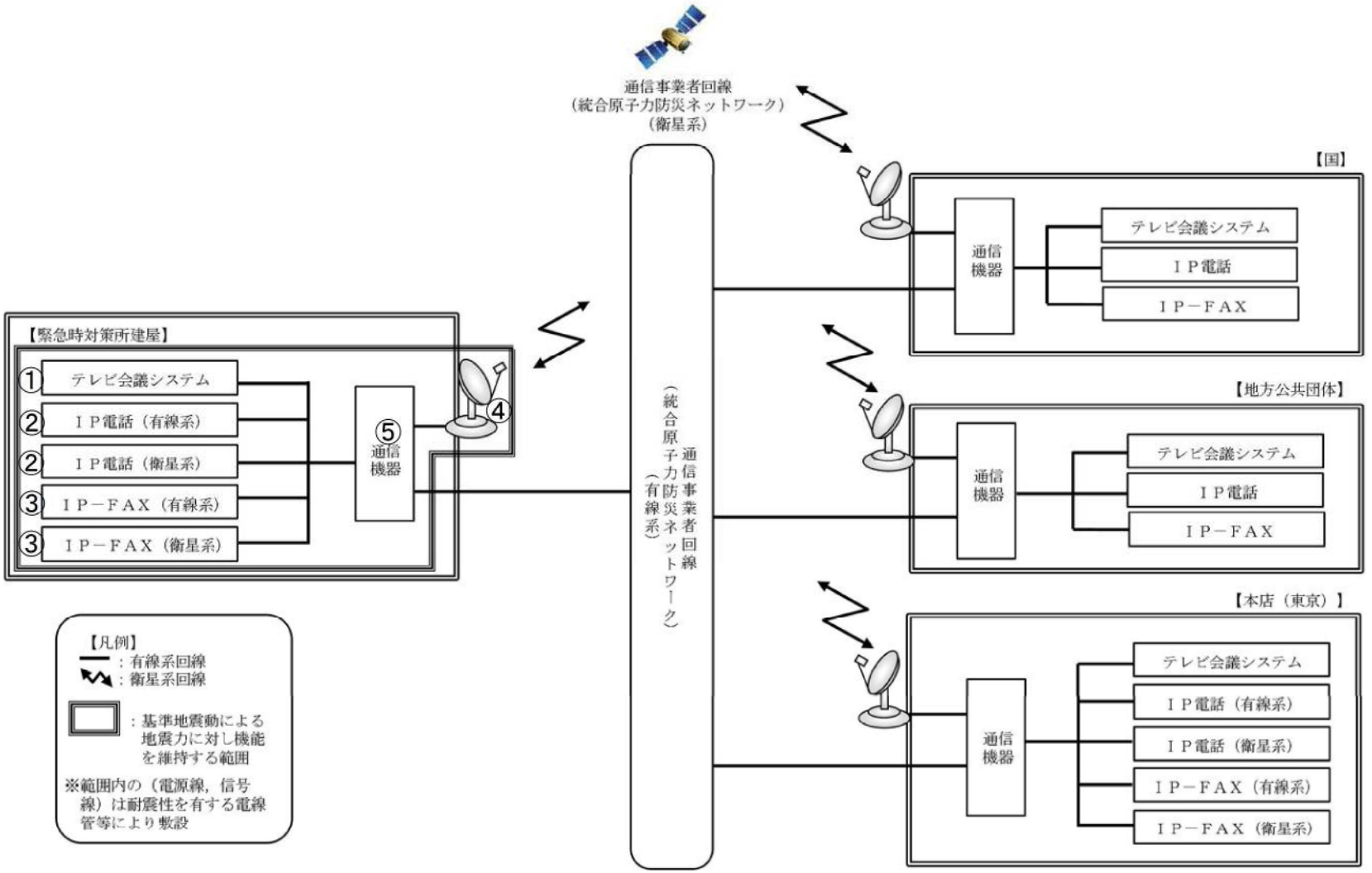


図 2-3 統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の概略構成図

表 2-2 耐震評価条件整理一覧表（通信連絡設備）(1/3)

評価対象設備				衛星電話設備（固定型）	安全パラメータ表示システム（ＳＰＤＳ）	統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備	耐震計算の記載箇所
				図 2-1	図 2-2	図 2-3	
計測制御系統施設	その他	衛星電話設備（固定型）	衛星電話設備（固定型）（中央制御室）	①	－	－	Ⅴ-2-6-7-2-1
			屋外アンテナ（中央制御室）	②	－	－	Ⅴ-2-6-7-2-2
			衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）	③	－	－	Ⅴ-2-6-7-2-3
			衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）	④	－	－	Ⅴ-2-6-7-2-4
			屋外アンテナ（緊急時対策所）	⑤	－	－	Ⅴ-2-6-7-2-5
			衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）	⑥	－	－	Ⅴ-2-6-7-2-6

表 2-2 耐震評価条件整理一覧表（通信連絡設備）(2/3)

評価対象設備				衛星電話設備（固定型）	安全パラメータ表示システム（ＳＰＤＳ）	統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備	耐震計算の記載箇所
				図 2-1	図 2-2	図 2-3	
計測制御系統施設	その他	安全パラメータ表示システム（ＳＰＤＳ）	ＳＰＤＳデータ表示装置	－	①	－	Ⅴ-2-6-7-3
			無線通信用アンテナ	－	②	－	Ⅴ-2-6-7-4
			ＳＰＤＳデータ収集盤－Ａ	－	③	－	Ⅴ-2-6-1
			ＳＰＤＳデータ収集盤－Ｂ	－	③	－	Ⅴ-2-6-1
			ＳＰＤＳ入出力盤－Ａ	－	③	－	Ⅴ-2-6-1
			ＳＰＤＳ入出力盤－Ｂ	－	③	－	Ⅴ-2-6-1
			ＳＰＤＳインターフェース盤	－	③	－	Ⅴ-2-6-1
			ＳＰＤＳ通信盤	－	③	－	Ⅴ-2-6-1
			ＳＰＤＳ入出力盤－Ａ	－	③	－	Ⅴ-2-6-1
			ＳＰＤＳ入出力盤－Ｂ	－	③	－	Ⅴ-2-6-1

表 2-2 耐震評価条件整理一覧表（通信連絡設備）(3/3)

評価対象設備				衛星電話設備（固定型）	安全パラメータ表示システム（ＳＰＤＳ）	統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備	耐震計算の記載箇所
				図 2-1	図 2-2	図 2-3	
計測制御系統施設	その他	統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備	テレビ会議システム	－	－	①	Ⅴ-2-6-7-5
			ＩＰ電話（有線系，衛星系）	－	－	②	Ⅴ-2-6-7-5
			ＩＰ－ＦＡＸ（有線系，衛星系）	－	－	③	Ⅴ-2-6-7-5
			統合原子力防災ネットワーク設備 衛星アンテナ	－	－	④	Ⅴ-2-6-7-6
			ＬＡＮ収容架（SA）	－	－	⑤	Ⅴ-2-6-7-7

Ⅴ-2-6-2　制御材の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-6-2-1　制御棒の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 燃料集合体の地震応答解析 ····· 3
4. 制御棒の挿入性試験 ····· 7
4.1 試験装置 ····· 7
4.2 試験方法 ····· 7
4.3 試験結果 ····· 7
5. 制御棒挿入性に対する鉛直方向地震による影響評価 ····· 13
5.1 作用荷重及びそれに伴う挿入時間遅れ ····· 13
5.2 燃料集合体の浮上り ····· 13
6. 評価結果 ····· 14
7. 引用文献 ····· 14

1. 概要

本計算書は，制御棒の耐震性について示すものである。

地震時において制御棒に要求されるのは，制御棒の挿入機能の確保である。

制御棒の挿入機能の確保については，原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編（ＪＥＡＧ 4601・補－1984）にしたがって，地震時における制御棒の挿入性についての検討を行い，基準地震動Ｓ$_s$に対し制御棒の挿入性が確保されることを試験により確認する。ここで，地震時に制御棒の挿入性を阻害する支配的要因は，燃料集合体の水平方向地震による相対変位であることから，制御棒挿入試験は水平方向地震に対して実施する。また，鉛直方向地震に対してはその影響を評価する。

制御棒の挿入機能確保に必要な形状を維持するための構造部材は，シース，ハンドル，タイロッド，落下速度リミッタであり，制御棒挿入試験により挿入機能が確認される。

なお，ボロンカーバイド型制御棒の運転寿命は，核的寿命，機械的寿命のうち核的寿命によって定まる。

ボロンカーバイド型制御棒のボロンカーバイド粉末を充填した中性子吸収棒については，中性子照射によるガス等の発生に伴い中性子吸収棒の内圧が上昇するが，寿命末期において中性子吸収棒の変形は生じない。

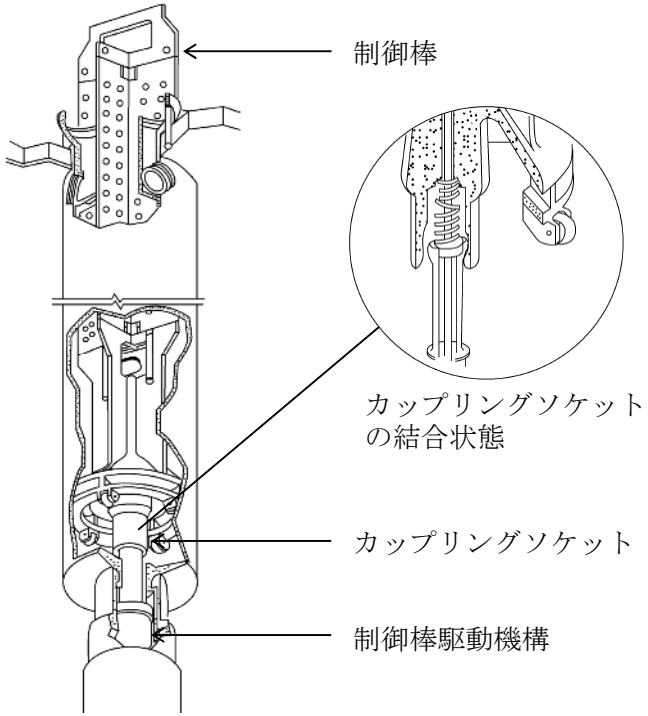
以上より，制御棒の寿命中において中性子吸収材によるシースの変形はないことから，制御棒の挿入性に影響を与えることはない。

2. 一般事項

2.1 構造計画

制御棒の構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　構造計画

計 画 の 概 要		概　略　構　造　図
基礎・支持構造	主体構造	
制御棒は，カップリングソケットにより制御棒駆動機構に支持される。	十字形制御棒	

3.　燃料集合体の地震応答解析

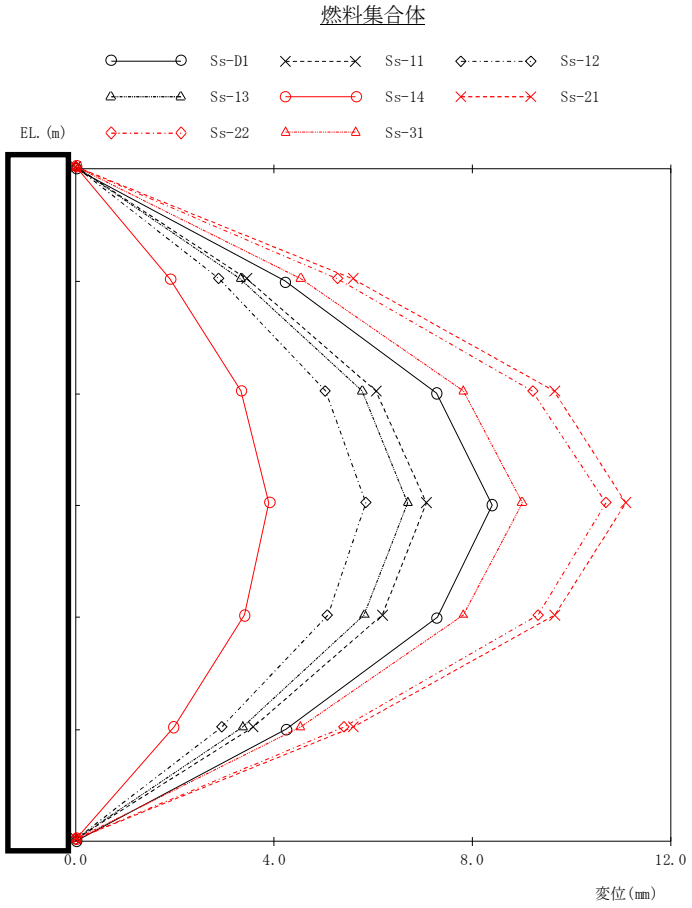
燃料集合体の地震応答解析は，添付書類「Ⅴ-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」にて圧力容器内部構造物の一部として実施している。

設計用地震波としては，基準地震動Ｓ$_s$を採用している。

応答解析は，時刻歴応答解析法を適用して建屋のＮＳ方向，ＥＷ方向及び鉛直方向について実施している。

燃料集合体の計算された最大応答相対変位は，地震応答解析の結果，図 3－1 に示すとおり 11.1 mm であり，制御棒挿入性の評価に適用する相対変位は，最大応答相対変位を 1.5 倍した 16.8 mm とする。

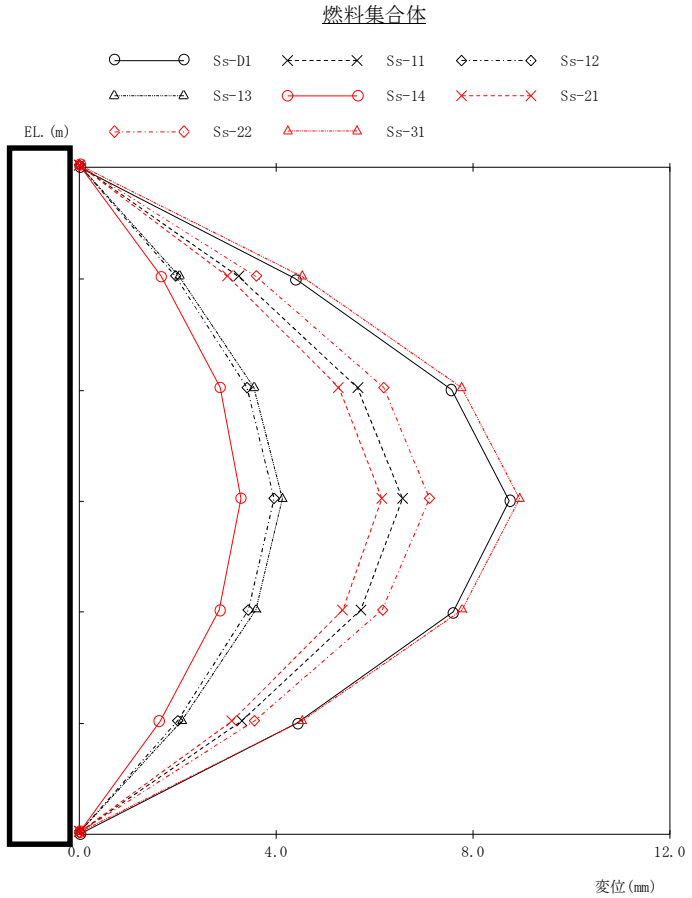
また，燃料集合体の計算された鉛直方向の加速度は，地震応答解析の結果，図 3－2 に示すとおり 0.83×9.8 m/s^2 であり，制御棒挿入性の評価に適用する鉛直方向の加速度は，地震応答解析結果を 1.5 倍した 1.24×9.8 m/s^2 とする。



(単位：mm)

Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31	備　考
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	上部格子板
4.21	3.45	2.89	3.32	1.90	5.59	5.28	4.54	
7.27	6.05	5.03	5.78	3.33	9.65	9.21	7.81	
8.39	7.07	5.84	6.70	3.89	11.1	10.7	9.00	燃料集合体中央
7.29	6.18	5.08	5.82	3.40	9.67	9.33	7.81	
4.24	3.58	2.94	3.37	1.98	5.60	5.41	4.53	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	炉心支持板

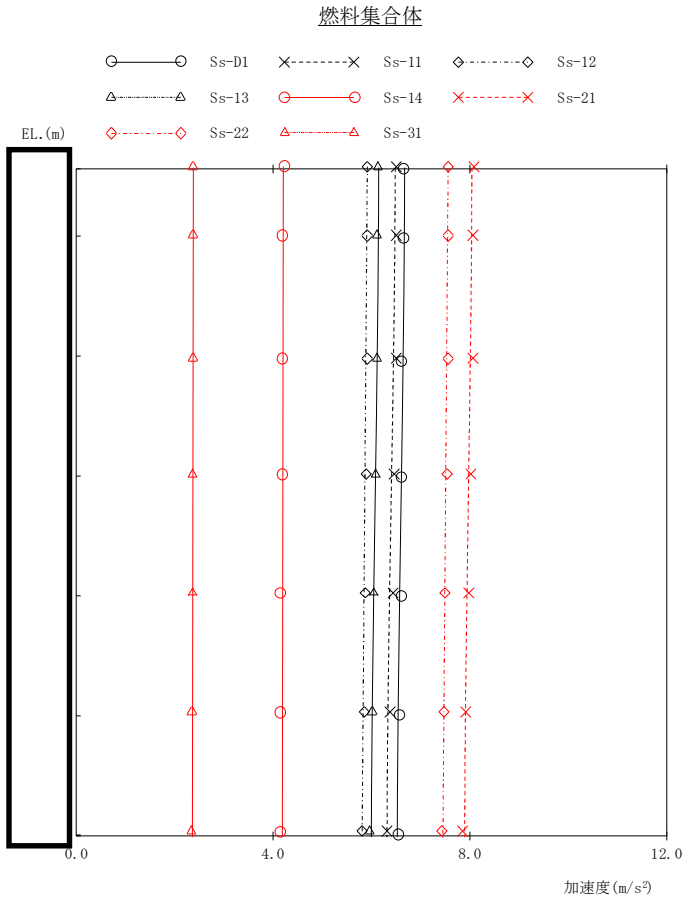
図 3－1(1)　燃料集合体最大応答相対変位（ＮＳ方向）



(単位：mm)

Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31	備　考
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	上部格子板
4.38	3.23	1.95	2.03	1.66	3.01	3.59	4.52	
7.57	5.65	3.40	3.55	2.86	5.27	6.19	7.77	
8.74	6.57	3.95	4.13	3.28	6.14	7.12	8.95	燃料集合体中央
7.60	5.72	3.43	3.59	2.84	5.35	6.16	7.78	
4.42	3.30	1.99	2.08	1.64	3.10	3.56	4.52	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	炉心支持板

図 3－1(2)　燃料集合体最大応答相対変位（ＥＷ方向）



(単位：m/s²)

Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31	備　考
6.63	6.51	5.92	6.12	4.21	8.08	7.56	2.37	上部格子板
6.63	6.51	5.92	6.11	4.20	8.07	7.56	2.37	
6.62	6.50	5.91	6.10	4.19	8.05	7.55	2.37	
6.61	6.47	5.90	6.08	4.17	8.01	7.53	2.36	燃料集合体中央
6.59	6.43	5.87	6.04	4.15	7.97	7.50	2.36	
6.57	6.38	5.85	6.01	4.15	7.91	7.46	2.35	
6.54	6.32	5.81	5.96	4.15	7.84	7.42	2.34	炉心支持板

図 3－2　燃料集合体最大応答加速度（ＵＤ方向）

4.　制御棒の挿入性試験

水平方向地震により燃料集合体に相対変位が生じた状態で制御棒の挿入性が確保されることを確認するため，試験を実施している。試験は昭和 53 年まで当時の株式会社 日立製作所（現在の日立ＧＥニュークリア・エナジー株式会社）にて実施したものである。

4.1　試験装置

試験装置の概要を図 4－1 に示す。試験装置は炉心を模擬するために，試験容器内に上部格子板，燃料集合体，制御棒案内管を据え付け，下部に制御棒駆動機構ハウジングを接続している。

試験用機器仕様の概要を表 4－1 に示す。燃料集合体の質量を模擬するため，燃料ペレットに鉛を使用している。制御棒及び制御棒駆動機構等の供試体は実機仕様である。

試験に用いた計測装置の概要を図 4－2 に示す。

4.2　試験方法

試験条件を表 4－2 に示す。

図 4－1 に示す試験容器内に 4 体の質量模擬燃料集合体を組み込んで，試験容器中央部に設けられている油圧加振機により試験容器を介して燃料集合体を強制加振し，スクラム試験を実施した。

試験では，燃料集合体の相対変位（振幅）及び制御棒の挿入時間を測定した。

4.3　試験結果

図 4－3 に燃料集合体相対変位と 90 ％ストロークスクラム時間の関係を示す。

これによると，燃料集合体の相対変位が約 40 mm においても，90 ％ストロークスクラム時間が 3.5 秒以内である。

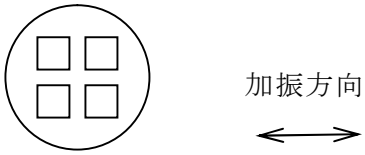
なお，制御棒挿入試験後において制御棒の外観に有意な変化はなかった。

表 4－1　試験用機器仕様の概要

試 験 用 機 器	仕　様　の　概　要
燃料集合体	質量模擬燃料集合体 （質量模擬のため，燃料ペレットに鉛を使用）
制　御　棒	実機仕様*
燃料支持金具	実機仕様
制御棒案内管	実機仕様
制御棒駆動機構	実機仕様
水圧制御ユニット	実機仕様
油圧加振機	加振力　　：水平 2.5×10^{5} N ストローク　：±100 mm

注記　＊：試験用の制御棒は，フォロワ付制御棒である。フォロワとは，制御棒先端にあるステンレス鋼製のハンドル部を延長した部分のことである。その設置目的は，制御棒先端部の出力分布の勾配を緩やかにして，制御棒引抜時の出力変動幅を低減し，燃料の健全性向上を図ることである。なお，フォロワ付制御棒が国内プラントに採用されたのは東海第二発電所の運転開始以降であるため，東海第二発電所にはフォロワ付制御棒は採用されていないが，フォロワ付の方が制御棒の質量が増加する分，挿入時間は増す方向であり，試験としては安全側である。

表 4－2　試験条件

項　　目	条　　件
温　　度	室 温
圧　　力	常 圧*
加 振 条 件	加振方向　：水平方向  加振振幅　：燃料集合体の最大振幅が 0～40 mm の範囲 加振振動数：約 5～6 Hz（燃料集合体の 水中固有振動数相当） 加振波形　：正弦波
スクラム開始時 の制御棒位置	全引き抜き状態

注記　＊：アキュムレータ圧力の調整により原子炉定格圧力
（6.93 MPa[gage]）時のスクラムを模擬

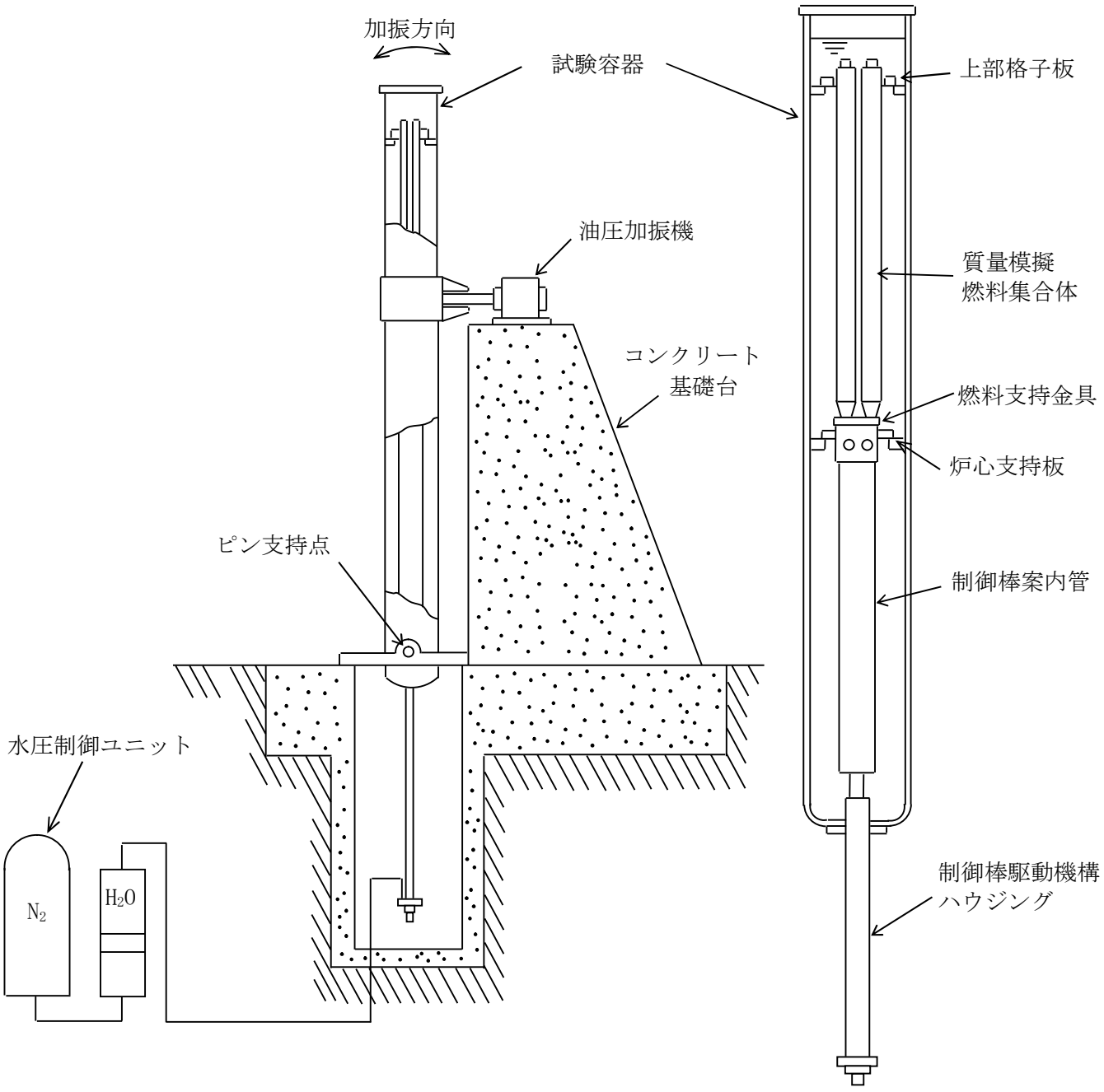

加振方向
試験容器
上部格子板
油圧加振機
質量模擬
燃料集合体
コンクリート
基礎台
燃料支持金具
炉心支持板
ピン支持点
制御棒案内管
水圧制御ユニット
N_2
H_2O
制御棒駆動機構
ハウジング

図 4－1　試験装置の概要

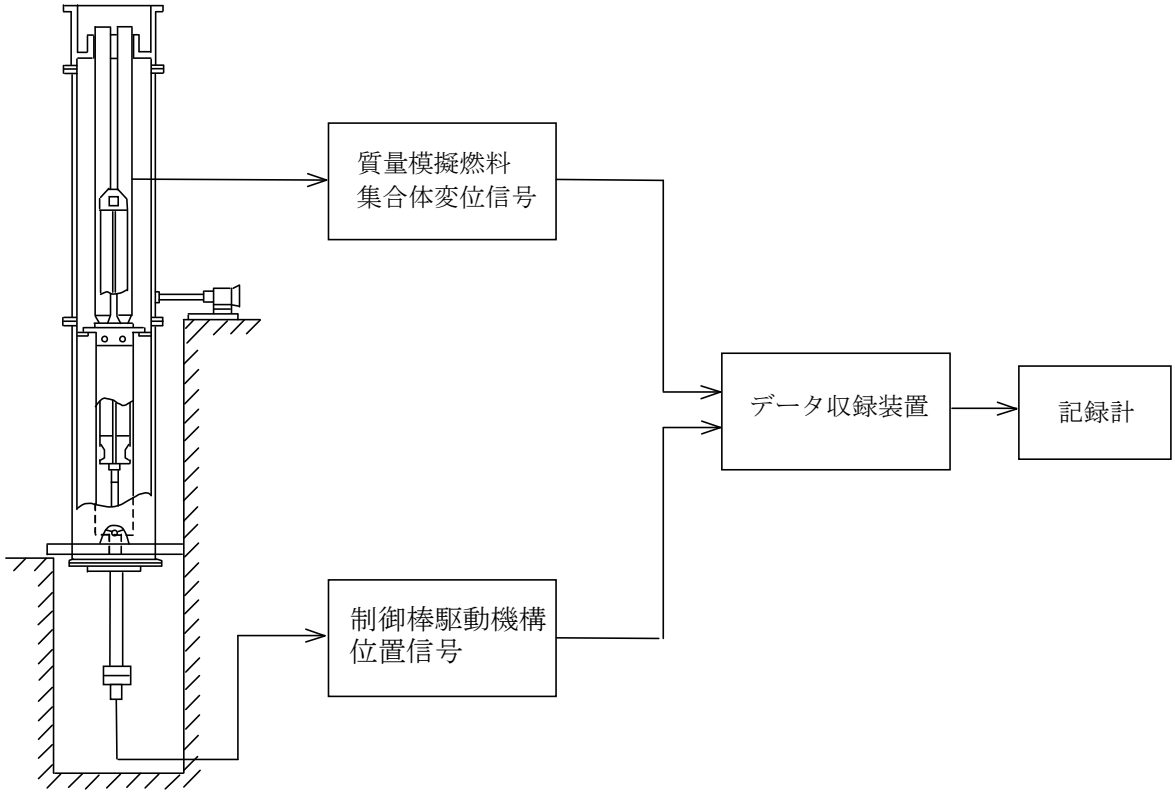


図 4－2　計測装置の概要

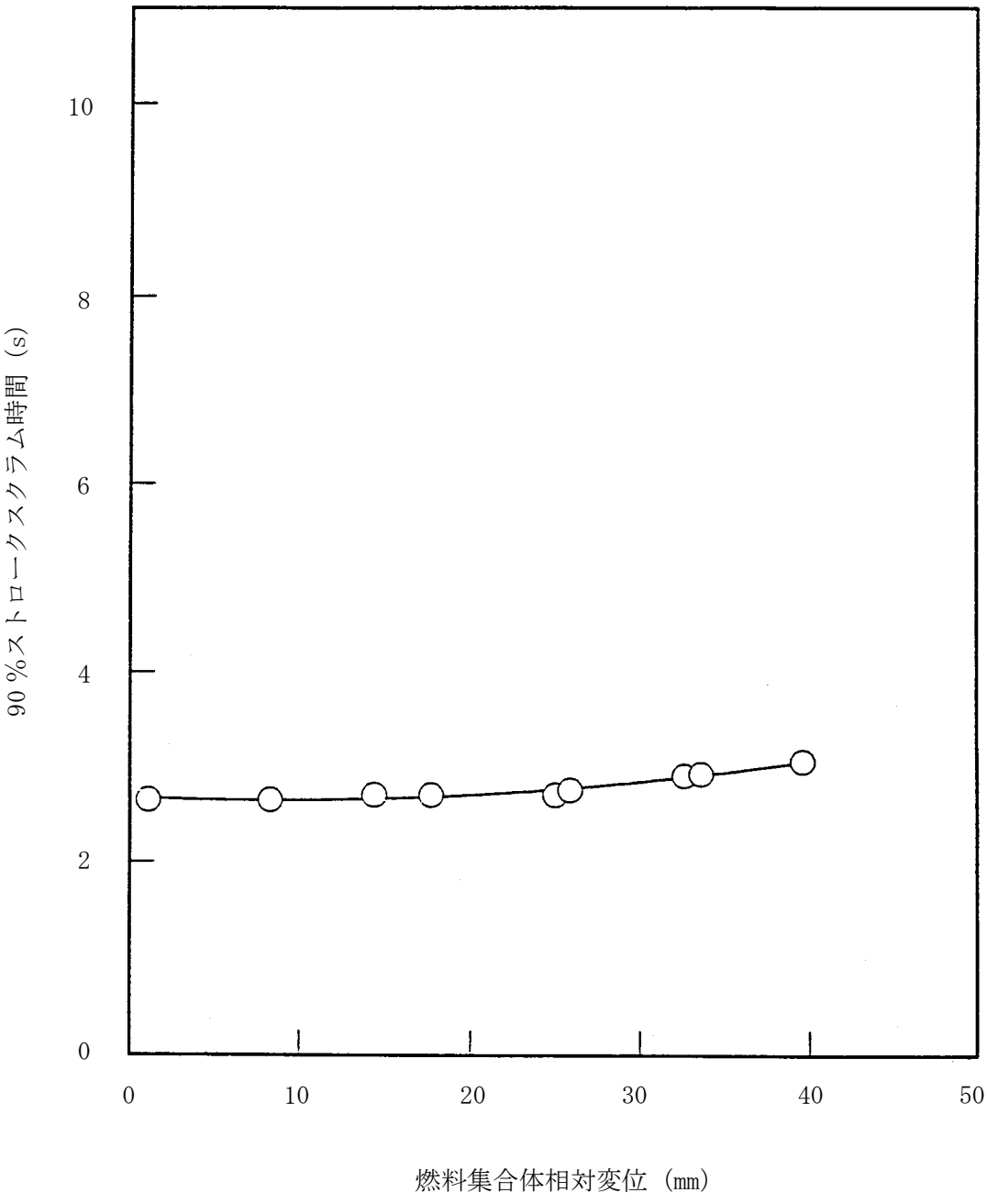


図 4－3　燃料集合体相対変位のスクラム時間に及ぼす影響

（ボロンカーバイド型制御棒）

5.　制御棒挿入性に対する鉛直方向地震による影響評価

鉛直方向地震により制御棒の挿入性に与える影響について，次の観点で評価する。

(1)　鉛直方向の作用荷重及びそれに伴う挿入時間遅れ

(2)　燃料集合体の浮上り

5.1　作用荷重及びそれに伴う挿入時間遅れ

制御棒に作用する荷重について，制御棒に作用する鉛直方向地震力と地震スクラムにより生じるその他の荷重との大小関係を確認し，評価した。その結果，交番荷重である鉛直地震動の加速度 1.24×9.8 m/s^{2}が，仮に常時制御棒の挿入方向と逆向き（下向き）の場合でも，制御棒の挿入力（上向き）は下向きの力に対して，大きくなっており，鉛直方向の作用荷重による制御棒挿入性への影響はない。また，鉛直方向の作用荷重は，実際には交番荷重として作用することから，挿入時間の遅れに対する影響は小さく，スクラム目安時間を超えることはない。

5.2　燃料集合体の浮上り

鉛直方向地震による燃料集合体の浮上りの制御棒挿入性への影響については，独立行政法人 原子力安全基盤機構[(1)(2)]で評価している。評価結果に基づき影響を評価すると，東海第二発電所における鉛直方向地震に対して燃料集合体が燃料支持金具設置深さ 60 mm を超えるような浮上りは生じず，さらに，鉛直方向地震に加え水平方向地震が作用し燃料支持金具の面に沿って上方向に移動する事象を想定する場合でも，燃料支持金具からの離脱は生じない。

6. 評価結果

燃料集合体の地震応答解析の結果,燃料集合体の最大応答相対変位は図 3－1 に示したように 40 mm 以下である。

また，制御棒挿入試験の結果より，燃料集合体の相対変位が約 40 mm においても，通常のスクラム仕様値 90 %ストローク 3.5 秒以内であり，試験後において制御棒の外観に有意な変化がないことが確認された。さらに，鉛直方向地震による制御棒挿入性への影響について，制御棒に作用する荷重，挿入時間遅れ及び燃料集合体の浮上りに対して問題ないことを確認した。

したがって，基準地震動Ｓ$_s$に対する制御棒の挿入性と健全性は確保される。

7. 引用文献

(1) 独立行政法人 原子力安全基盤機構 平成 17 年度「原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 機器耐力その２（ＢＷＲ制御棒挿入性）に係る報告書」（平成 18 年 9 月）

(2) 独立行政法人 原子力安全基盤機構 平成 17 年度「原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 機器耐力その３（総合評価）に係る報告書」（平成 18 年 8 月）

Ⅴ-2-6-3　制御材駆動装置の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-6-3-1　制御棒駆動機構の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 4
2.4 記号の説明 ····· 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 6
3. 評価部位 ····· 7
4. 固有周期 ····· 7
5. 構造強度評価 ····· 8
5.1 構造強度評価方法 ····· 8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 8
5.3 設計用地震力 ····· 11
5.4 計算方法 ····· 12
5.5 計算条件 ····· 14
5.6 応力の評価 ····· 15
6. 評価結果 ····· 15
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 15
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 15

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき，制御棒駆動機構が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

制御棒駆動機構は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

制御棒駆動機構の構造計画を表 2-1 に示す。

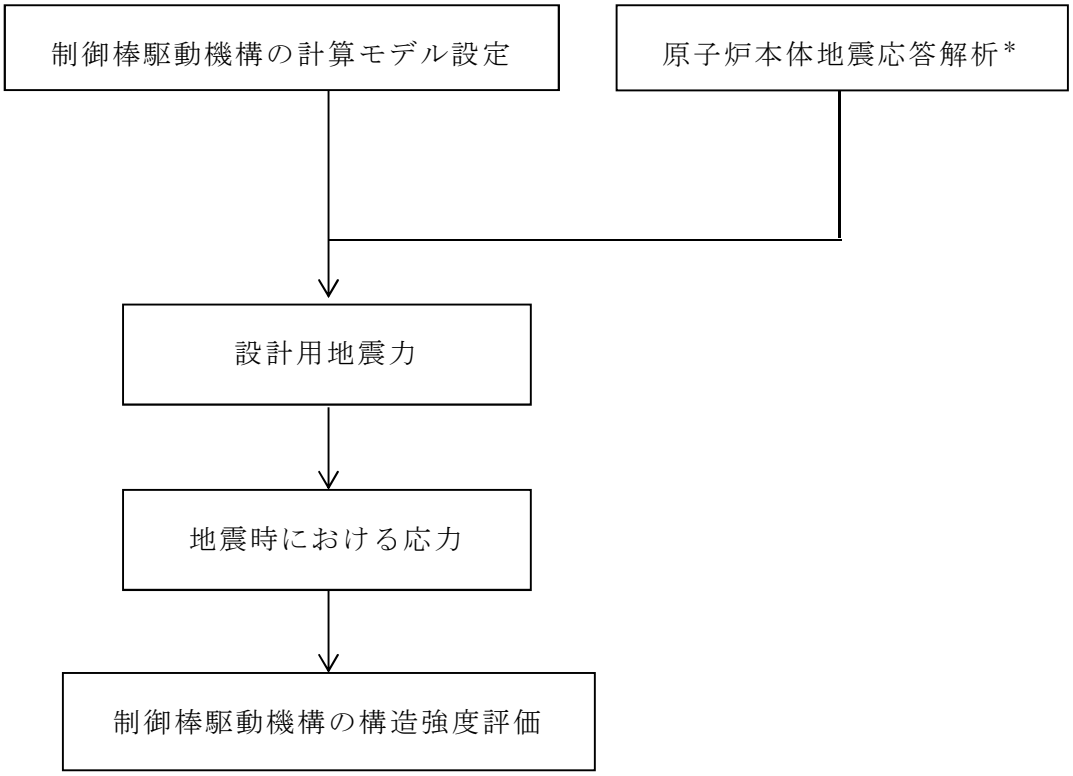
表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
制御棒駆動機構は，圧力容器下部から延長している制御棒駆動機構ハウジング内に収容する一体構造物で，制御棒駆動機構ハウジングの下端フランジに締付ボルトで接合される。	ラッチ機構を備えた水圧ピストンシリンダ構造。水圧ピストンシリンダは，ピストンチューブ，インデックスチューブ，シリンダーチューブ等から構成される。また，ラッチ機構は，コレットフィンガー，コレットスプリング等から構成される。	

2.2　評価方針

制御棒駆動機構の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」のうち「3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す制御棒駆動機構の部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，添付書類「Ⅴ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づく発生荷重による応力等が許容限界内に収まることを，「5.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

制御棒駆動機構の耐震評価フローを図 2-1 に示す。



注記　＊：発生荷重は，添付書類「Ⅴ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」における原子炉本体地震応答解析より得られる値。

図 2-1　制御棒駆動機構の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記号	記号の説明	単位
B_1，B_2	設計・建設規格　PPB-3810 に規定する応力係数（一次応力の計算に使用するもの）	—
C_2	設計・建設規格　PPB-3810 に規定する応力係数（一次＋二次応力の計算に使用するもの）	—
D_0	管の外径	mm
E	設計・建設規格　付録材料図表　Part6　表 1 に規定する縦弾性係数	MPa
F_w	制御棒駆動機構の自重	N
F_{scr}	スクラム反力により制御棒駆動機構に生じる荷重	N
F_v	鉛直方向震度により制御棒駆動機構に生じる地震荷重	N
K_2	設計・建設規格　PPB-3810 に規定する応力係数（ピーク応力の計算に使用するもの）	—
K_e	設計・建設規格　PPB-3536 に規定する係数（繰返しピーク応力強さの計算に使用するもの）	—
M_{hsg}	水平方向震度により制御棒駆動機構ハウジングに生じるモーメント	N･mm
M_{ip}	管の機械的荷重（地震による慣性力を含む。）により生じるモーメント	N･mm
M_{is}	管の地震動の慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅	N･mm
n_i	繰返し荷重 i の実際の繰返し回数	回
N_i	設計・建設規格　PPB-3534 による繰返し荷重 i の許容繰返し回数	回
P	地震と組合せるべき運転状態における圧力	MPa
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_m	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 1 に規定する材料の設計応力強さ	MPa
S_n	一次＋二次応力	MPa
S_p	ピーク応力	MPa
S_{prm}	一次応力	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 8 に規定する材料の設計降伏点	MPa
t	管の厚さ	mm
U	疲労累積係数	—
Z_i	管の断面係数	mm^3

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりである。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
縦弾性係数		MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
断面係数		mm^3	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*1
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*1
モーメント		N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*1
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*2		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
設計震度		－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
圧力		MPa	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
長さ	下記以外の長さ	mm	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
	最小厚さ	mm	小数点以下第3位	切捨て	小数点以下第2位
温度		℃	－	－	整数位
疲労累積係数		－	小数点以下第5位	切上げ	小数点以下第4位

注記　＊1：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊2：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における設計応力強さ，許容引張応力及び設計降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

制御棒駆動機構の要求機能は，クラス１の耐圧バウンダリとスクラム機能である。本計算書では，クラス１の耐圧バウンダリであるフランジについて耐震評価を実施する。また，スクラム機能の耐震評価については，添付書類「Ⅴ-2-6-2-1　制御棒の耐震性についての計算書」にて確認している。

4. 固有周期

表 2-1 の概略構造図に示すように，制御棒駆動機構は制御棒駆動機構ハウジングに据付部材を介さずに，締付ボルトにて直接接続される構造である。したがって，固有周期は，添付書類「Ⅴ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」における原子炉本体地震応答解析により確認している。

5.　構造強度評価

5.1　構造強度評価方法

(1)　制御棒駆動機構ハウジングの下端フランジとの接合部品である制御棒駆動機構フランジを評価部位とし，フランジの最小板厚部を管とみなして評価を実施する。

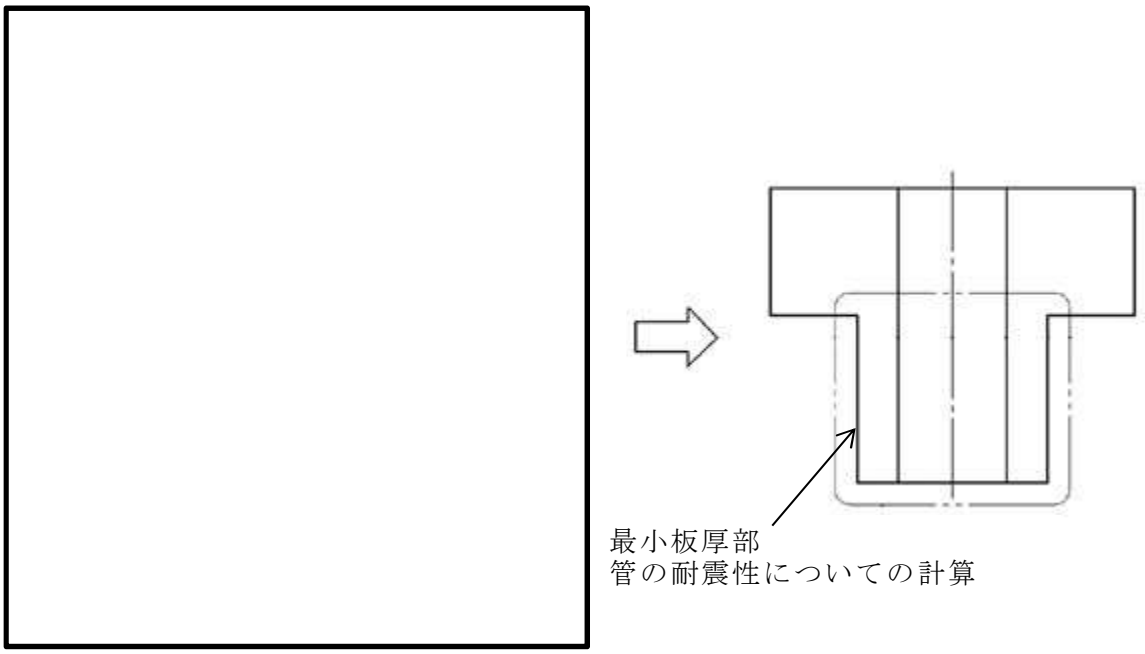


図 5-1　評価モデル

5.2　荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

制御棒駆動機構の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2　許容応力

制御棒駆動機構の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

制御棒駆動機構の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表 5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統設備	制御材駆動装置	制御棒駆動機構	S	－*	D＋P＋M＋S_d*	ⅢAS
					D＋P＋M＋S_s	ⅣAS
					D＋P_L＋M_L＋S_d*	

注記　＊：クラス１管の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統設備	制御材駆動装置	制御棒駆動機構	常設耐震／防止	－*2	D＋P＋M＋S_s	ⅣAS
					D＋P_L＋M_L＋S_d*	
					－*3	V_AS*3

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

＊2：重大事故等クラス２管（クラス１管）の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲は重大事故等発生時の環境条件が設計条件（圧力・温度等）を超える時間が短期（10^{-1}年未満）であるため，運転状態ⅤにおいてS_d又はS_s地震力との組合せは考慮不要とする。

表 5-3　許容応力（クラス１管及び重大事故等クラス２管であってクラス１管）

許容応力状態	許容限界		
	一次応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ピーク応力
ⅢAS	Min(2.25・S_m，1.8・S_y)	3・S_m S_d又はS_s地震動のみによる応力振幅について評価する。	S_d又はS_s地震動のみによる疲労解析を行い，運転状態Ⅰ，Ⅱにおける疲労累積係数との和が 1.0 以下であること。
ⅣAS	Min(3・S_m，2・S_y)		

表 5-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

材料	最高使用温度 (℃)	S_m (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_h (MPa)
SUSF304	302	114	126	－	－
SUSF304 相当	302	114	126	－	－

表 5-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

材料	最高使用温度 (℃)	S_m (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_h (MPa)
SUSF304	302	114	126	－	－
SUSF304 相当	302	114	126	－	－

5.3　設計用地震力

「弾性設計用地震動S_d又は静的震度」及び「基準地震動S_s」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

表 5-6　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び 床面高さ (m)	弾性設計用地震動S_d又は 静的震度		基準地震動S_s	
	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
EL. 17.142[*1]	－[*2]	C_V＝0.73	－[*2]	C_V＝1.34

注記　＊1：制御棒駆動機構ハウジングの取付面のレベルを示す。

＊2：水平方向震度により発生する荷重は，原子炉本体地震応答解析より得られる値。

表 5-7　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び 床面高さ (m)	弾性設計用地震動S_d又は 静的震度		基準地震動S_s	
	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
EL. 17.142[*1]	－	－	－[*2]	C_V＝1.34

注記　＊1：制御棒駆動機構ハウジングの取付面のレベルを示す。

＊2：水平方向震度により発生する荷重は，原子炉本体地震応答解析より得られる値。

5.4　計算方法

5.4.1　応力の計算方法

5.4.1.1　管の計算方法

地震荷重として制御棒駆動機構ハウジングの応答の最大値が作用するものとして実施する。

耐震評価モデルを図 5-2 に示す。

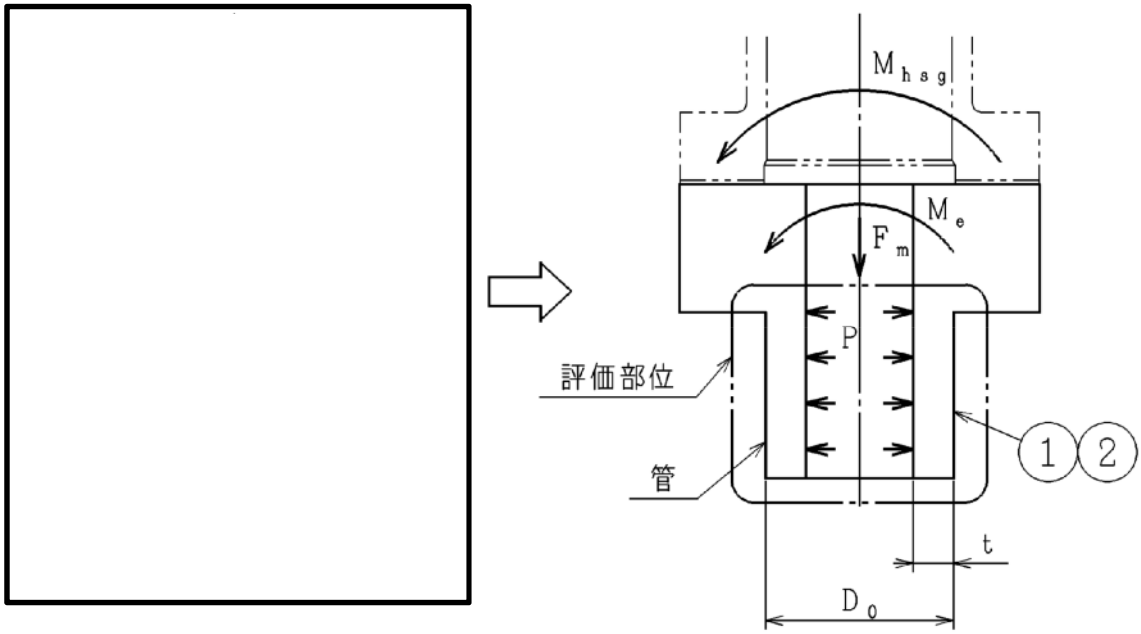


図 5-2　耐震評価モデル

a.　管に作用するモーメント

(a)　管の機械的荷重（地震による慣性力を含む）により生じるモーメント

機械的荷重として自重とスクラム反力による荷重，地震による慣性力として地震動による鉛直荷重と応答モーメントを考慮すると以下となる。

$$M_{ip} = M_{hsg} + M_e$$

$$= M_{hsg} + \frac{D_0^2 + \left(D_0 - 2 \cdot t\right)^2}{8 \cdot D_0} \cdot F_m \qquad \cdots\cdots\cdots (5.4.1)$$

ここで,

$$F_m = F_w + F_{scr} + F_v^* \qquad \cdots\cdots\cdots (5.4.2)$$

注記　＊：F_vは，表 5-6 及び 5-7 に示す鉛直方向設計震度C_Vより算出する鉛直方向地震荷重

(b) 管の地震動の慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅

相対変位は生じないことから，地震動の慣性力として地震動による鉛直荷重と応答モーメントを考慮すると以下となる。

$$M_{is}=\left\{M_{hsg}+\frac{D_0{}^2+\left(D_0-2\cdot t\right)^2}{8\cdot D_0}\cdot F_v\right\}\times 2 \quad \cdots\cdots (5.4.3)$$

b. 耐震性についての計算

(a) 一次応力

$$S_{prm}=\frac{B_1\cdot P\cdot D_0}{2\cdot t}+\frac{B_2\cdot M_{ip}}{Z_i} \quad \cdots\cdots (5.4.4)$$

ここで,

$$Z_i=\frac{\pi}{32}\cdot\frac{D_0{}^4-\left(D_0-2\cdot t\right)^4}{D_0} \quad \cdots\cdots (5.4.5)$$

とする。

(b) 一次＋二次応力

$$S_n=\frac{C_2\cdot M_{is}}{Z_i} \quad \cdots\cdots (5.4.6)$$

(c) ピーク応力

$$S_p=\frac{K_2\cdot C_2\cdot M_{is}}{Z_i} \quad \cdots\cdots (5.4.7)$$

(d) 繰返しピーク応力強さ

$$S_\ell=\frac{K_e\cdot S_p}{2} \quad \cdots\cdots (5.4.8)$$

(e) 疲労累積係数

$$\sum\left(\frac{n_i}{N_i}\right)\leqq 1.0 \quad \cdots\cdots (5.4.9)$$

5.5　計算条件

表 5-8　計算条件

項目	記号	単位	数値等	
			管ＮＯ．１	管ＮＯ．２
材料	－	－	SUSF304	SUSF304 相当
設計・建設規格　PPB-3810 に規定する応力係数	B_1	－		
設計・建設規格　PPB-3810 に規定する応力係数	B_2	－		
設計・建設規格　PPB-3810 に規定する応力係数	C_2	－		
管の外径	D_o	mm		
使用温度における材料の縦弾性係数	E	MPa		
自重	F_w	N		
スクラム反力により生じる荷重	F_{scr}	N		
鉛直方向震度（S_d）により生じる地震荷重*1	F_v	N		
鉛直方向震度（S_s）により生じる地震荷重*1	F_v	N		
設計・建設規格　PPB-3810 に規定する応力係数	K_2	－		
設計・建設規格　PPB-3536 に規定する係数	K_e	－		
水平方向震度（S_d又は静的震度）により制御棒駆動機構ハウジングに生じるモーメントの最大値*2	M_{hsg}	N･mm		
水平方向震度（S_s）により制御棒駆動機構ハウジングに生じるモーメントの最大値*2	M_{hsg}	N･mm		
地震と組合せるべき運転状態における圧力	P	MPa		
管の厚さ	t	mm		

注記　＊1：添付書類「Ⅴ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」の原子炉本体地震応答解析により得られる応答軸力と鉛直方向設計震度より算出する鉛直方向荷重のうち大きい方の値。

＊2：添付書類「Ⅴ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」の原子炉本体地震応答解析により得られた値。

5.6　応力の評価

5.6.1　管の応力評価

5.4.1 項で求めた応力が許容応力以下であること。許容応力は 5.5.2 項　表 5-3 による。

6.　評価結果

6.1　設計基準対象施設としての評価結果

制御棒駆動機構の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2　重大事故等対処設備としての評価結果

制御棒駆動機構の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【制御棒駆動機構の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
制御棒駆動機構	S	[redacted] EL. 17.142*1	－*2	－*3	C_V=0.73	－*3	C_V=1.34	302	－

注記 ＊1：制御棒駆動機構ハウジングの取付面のレベルを示す。

＊2：固有周期は，添付書類「V-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」によるものとする。

＊3：水平方向震度により発生する荷重は，原子炉本体地震応答解析より得られる値。

1.2 機器要目

部材	D_0 (mm)	t (mm)	M_{hsg} (N・mm)		F_w (N)	F_{scr} (N)	F_v (N)		P (MP_a)	n_i (回)
			弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s			弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s		
管NO. 1	[redacted]									
管NO. 2										

部材	Z_i (mm^3)	B_1	B_2	C_2	K_2	K_e	S_m (MP_a)	S_y (MP_a)	縦弾性係数 E (MP_a)
管NO. 1	[redacted]						114	126	176000*2
管NO. 2							114	126	176000*2

注記 ＊1：運転条件の回数に設計用地震応力繰返し回数[redacted]を加えた回数

＊2：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

管に作用するモーメント

部　材	M_{ip} (N・mm)		M_{is} (N・mm)	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
管NO. 1				
管NO. 2				

許容繰返し回数

部　材	S_p (MPa)		S_1 (MPa)		N_i (回)	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
管NO. 1						
管NO. 2						

1.4 結論

1.4.1 応力

許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価(MPa)		一次＋二次応力評価(MPa)		疲労評価
			一次応力 S_{prm}（S_d） S_{prm}（S_s）	許容応力 Min(2.25・S_m，1.8・S_y) Min(3・S_m，2・S_y)	一次＋二次応力 S_n（S_d） S_n（S_s）	許容応力 3・S_m 3・S_m	疲労累積係数 U＋US$_d$ U＋US$_s$
ⅢAS	管NO. 1 最小断面	S_{prm}（S_d）	21	226	－	－	－
ⅢAS		S_n（S_d）	－	－	14	342	－
ⅢAS		U＋U_{Sd}	－	－	－	－	0.0000
ⅣAS		S_{prm}（S_s）	22	252	－	－	－
ⅣAS		S_n（S_s）	－	－	15	342	－
ⅣAS		U＋US s	－	－	－	－	0.0000
ⅢAS	管NO. 2 最小断面	S_{prm}（S_d）	21	226	－	－	－
ⅢAS		S_n（S_d）	－	－	14	342	－
ⅢAS		U＋US d	－	－	－	－	0.0000
ⅣAS		S_{prm}（S_s）	22	252	－	－	－
ⅣAS		S_n（S_s）	－	－	15	342	－
ⅣAS		U＋US s	－	－	－	－	0.0000

すべて許容応力以下である。

【制御棒駆動機構の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
制御棒駆動機構	常設耐震／防止	[redacted] EL. 17.142*1	－*2	－	－	－*3	C_V＝1.34	302	－

注記 ＊1：制御棒駆動機構ハウジングの取付面のレベルを示す。

＊2：固有周期は，添付書類「V-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」によるものとする。

＊3：水平方向震度により発生する荷重は，原子炉本体地震応答解析より得られる値。

2.2 機器要目

部材	D_0 (mm)	t (mm)	M_{hsg} (N・mm)		F_w (N)	F_{scr} (N)	F_v (N)		P (MP_a)	n_i (回)
			弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s			弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s		
管NO. 1	[redacted]		－	[redacted]			－	[redacted]		
管NO. 2			－				－			

部材	Z_i (mm^3)	B_1	B_2	C_2	K_2	K_e	S_m (MP_a)	S_y (MP_a)	縦弾性係数 E (MP_a)
管NO. 1	[redacted]						114	126	176000*2
管NO. 2							114	126	176000*2

注記 ＊1：運転条件の回数に設計用地震応力繰返し回数 [redacted] を加えた回数

＊2：最高使用温度で算出

2.3 計算数値

管に作用するモーメント

部　材	M_{ip} (N・mm)		M_{is} (N・mm)	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
管NO. 1	－	[redacted]	－	[redacted]
管NO. 2	－	[redacted]	－	[redacted]

許容繰返し回数

部　材	S_p (MPa)		S_l (MPa)		N_i (回)	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
管NO. 1	－	[redacted]	－	[redacted]	－	[redacted]
管NO. 2	－	[redacted]	－	[redacted]	－	[redacted]

2.4　結論

2.4.1　応力

許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価(MPa)		一次＋二次応力評価(MPa)		疲労評価
			一次応力 S_{prm}（S_s）	許容応力 Min(3・S_m, 2・S_y)	一次＋二次応力 S_n（S_s）	許容応力 3・S_m	疲労累積係数 U＋US$_s$
ⅣAS	管NO. 1 最小断面	S_{prm}（S_s）	22	252	－	－	－
ⅣAS		S_n（S_s）	－	－	15	342	－
ⅣAS		U＋US s	－	－	－	－	0.0000
ⅣAS	管NO. 2 最小断面	S_{prm}（S_s）	22	252	－	－	－
ⅣAS		S_n（S_s）	－	－	15	342	－
ⅣAS		U＋US s	－	－	－	－	0.0000

すべて許容応力以下である。

Ⅴ-2-6-3-2　制御棒駆動水圧系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-6-3-2-1　水圧制御ユニットの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 4
2.4 記号の説明 ····· 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 7
3. 評価部位 ····· 8
4. 地震応答解析及び構造強度評価 ····· 8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 8
4.3 解析モデル及び諸元 ····· 12
4.4 固有周期 ····· 14
4.5 設計用地震力 ····· 15
4.6 計算方法 ····· 16
4.7 計算条件 ····· 18
4.8 応力の評価 ····· 18
5. 機能維持評価 ····· 20
5.1 動的機能維持評価方法 ····· 20
6. 評価結果 ····· 20
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 20
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 20

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき，水圧制御ユニットが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

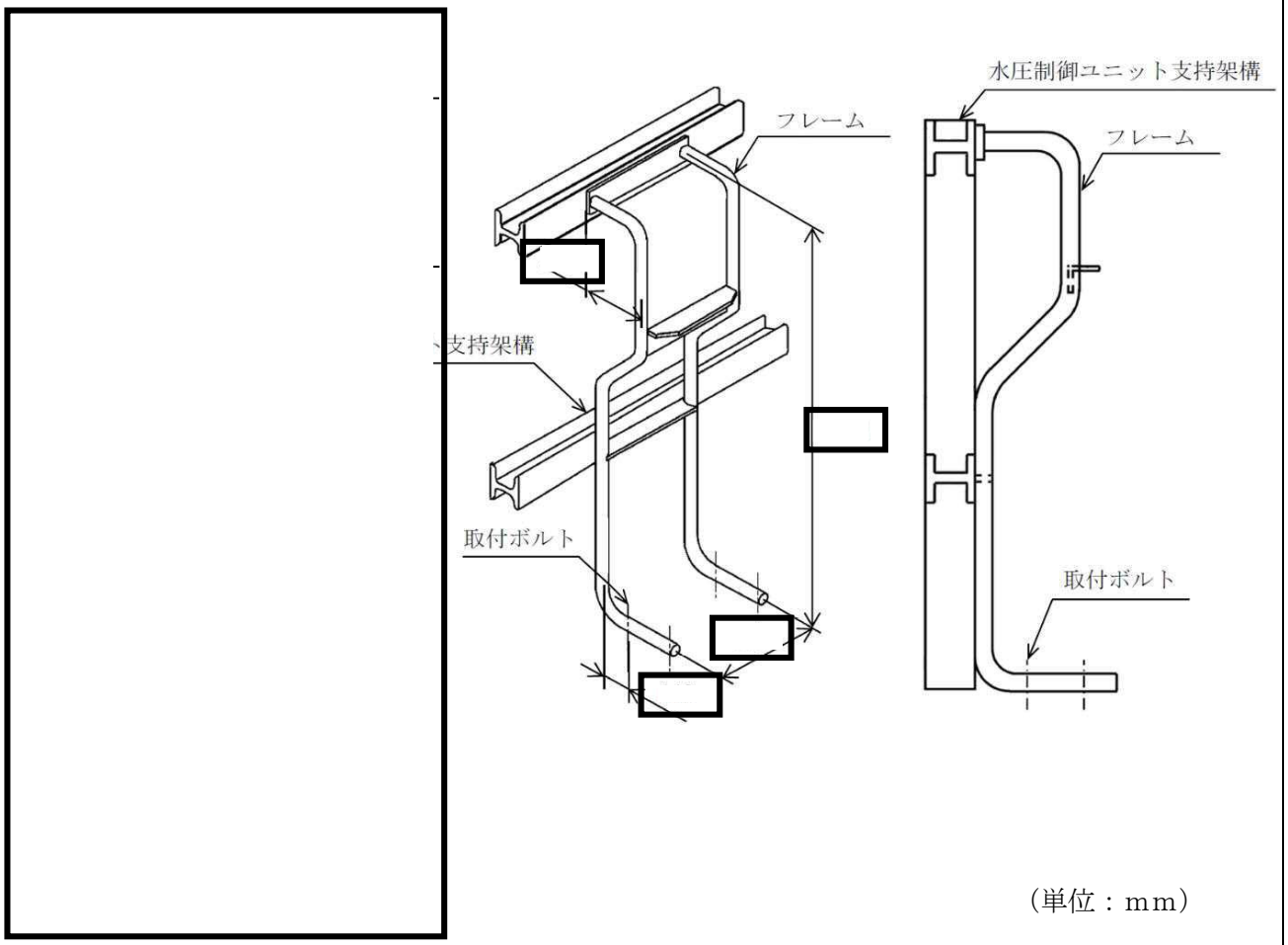
水圧制御ユニットは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

水圧制御ユニットの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
水圧制御ユニットのフレームは，十分剛な支持架構に取付ボルトにより固定されている。	配管ユニット，スクラム弁，セレクタ弁，スクラムパイロット弁，端子箱，アキュムレータ，窒素容器，計装ユニット等の水圧制御ユニット構成部品がフレームに固定された構造。	

2.2　評価方針

水圧制御ユニットの応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」のうち「3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す水圧制御ユニットの部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，ＣＲＤスクラム弁の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」のうち「4.1　動的機能維持　(2)　回転機器及び弁」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを，「5.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」にて示す。

水圧制御ユニット及びＣＲＤスクラム弁の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

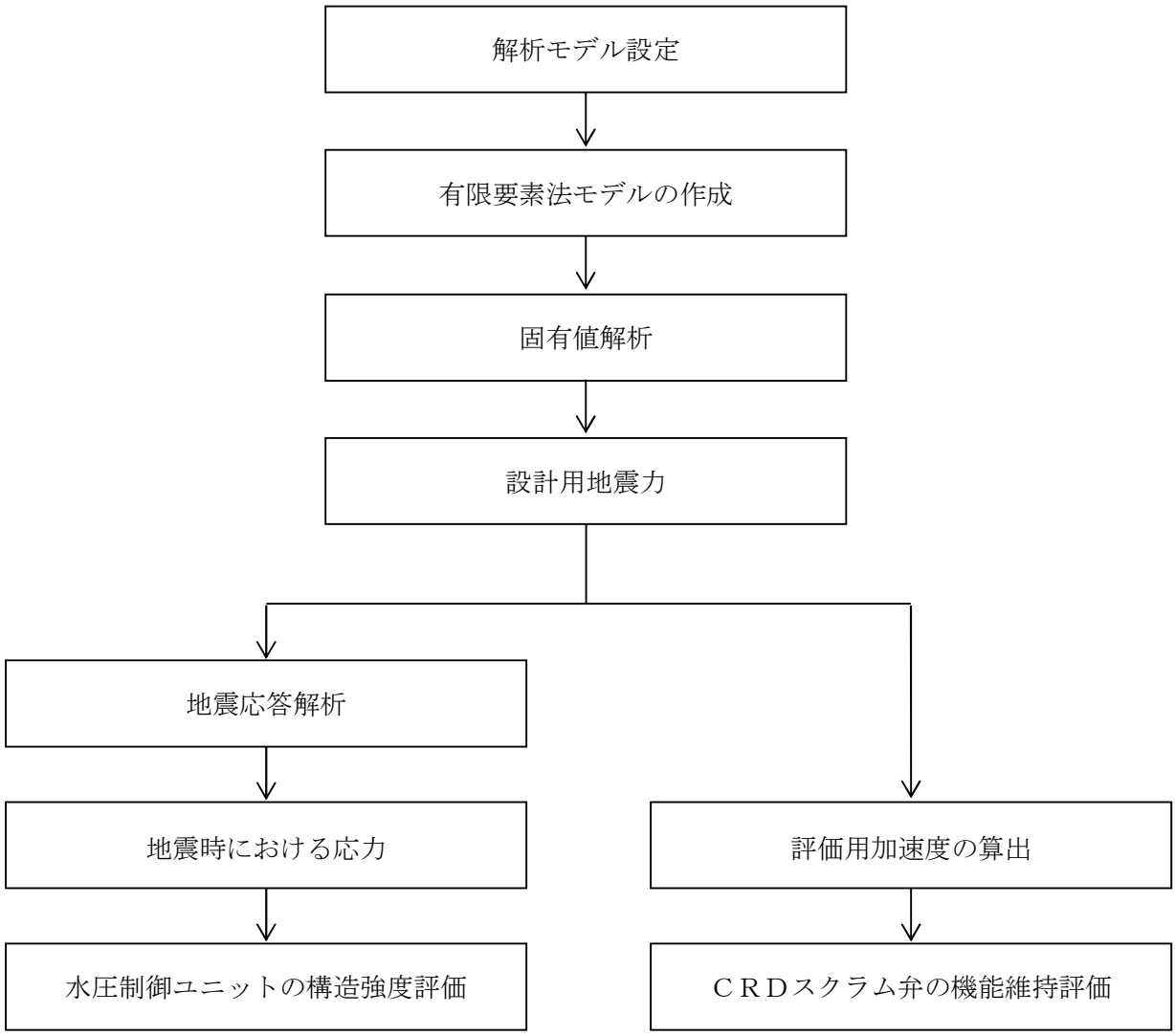


図 2-1　水圧制御ユニット及びＣＲＤスクラム弁の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記　号	記　号　の　説　明	単　位
A	フレームの断面積	mm^2
A_b	取付ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	―
C_V	鉛直方向設計震度	―
D_o	外径	mm
D_i	内径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F^*	Ｆ値を求める際において，設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_b	取付ボルトに作用する引張力	N
F_x	フレームの軸力（ｘ方向）	N
F_y	フレームのせん断力（ｙ方向）	N
F_z	フレームのせん断力（ｚ方向）	N
f_b	フレームの許容曲げ応力	MPa
f_c	フレームの許容圧縮応力	MPa
f_s	フレームの許容せん断応力（f_sを 1.5 倍した値又はf_s^*を 1.5 倍した値）	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力（f_sを1.5倍した値又はf_s^*を1.5倍した値）	MPa
f_t	フレームの許容引張応力（f_tを1.5倍した値又はf_t^*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける取付ボルトの許容引張応力（f_tを1.5倍した値又はf_t^*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
I_p	フレームの断面二次極モーメント	mm^4
I_y	フレームの断面二次モーメント（ｙ軸）	mm^4
I_z	フレームの断面二次モーメント（ｚ軸）	mm^4
i	断面二次半径	mm
ℓ	取付ボルト間の距離	mm
ℓ_k	座屈長さ	mm
M_x	フレームのねじりモーメント（ｘ軸）	N･mm
M_y	フレームの曲げモーメント（ｙ軸）	N･mm
M_z	フレームの曲げモーメント（ｚ軸）	N･mm

記　号	記　号　の　説　明	単　位
m_i	荷重位置の質量（ｉ＝ａ，ｂ，ｃ，ｄ，ｅ）	kg
Q_b	取付ボルトに作用するせん断力	N
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（ＲＴ）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40 ℃における値	MPa
Ｘ，Ｙ，Ｚ	絶対（節点）座標軸	－
ｘ，ｙ，ｚ	局所（要素）座標軸	－
Z_p	フレームのねじり断面係数	mm^3
Z_y	フレームの断面係数（ｙ軸）	mm^3
Z_z	フレームの断面係数（ｚ軸）	mm^3
Λ	フレームの限界細長比	－
λ	フレームの有効細長比	－
ν	座屈に対する安全率	－
σ_b	フレームに生じる曲げ応力	MPa
σ_c	フレームに生じる圧縮応力	MPa
σ_f	フレームに生じる組合せ応力	MPa
σ_{fa}	フレームに生じる引張応力又は圧縮応力と曲げ応力の和	MPa
σ_t	フレームに生じる引張応力	MPa
σ_{th}	取付ボルトに生じる引張応力	MPa
τ	フレームに生じるせん断応力	MPa
τ_b	取付ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度		℃	—	—	整数位*1
質量		kg	—	—	整数位又は 小数点以下第 1 位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位*1
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 又は第 3 位	四捨五入	小数点以下第 1 位 又は第 2 位
面積		mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
モーメント		N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
縦弾性係数		MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
座屈の評価		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

＊3：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

水圧制御ユニットの耐震評価は，「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，フレーム及び取付ボルトについて実施する。なお，水圧制御ユニットは，構造物として十分な剛性を有しており，支持構造物であるフレーム及び取付ボルトが健全であればスクラム機能を維持できるため，フレーム及び取付ボルトを評価対象とする。水圧制御ユニットの耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) 水圧制御ユニットのフレームは，十分剛な水圧制御ユニット支持架構に取付ボルトにより固定されるものとする。

(2) 水圧制御ユニットの質量には，フレーム自身の質量のほか，配管ユニット，スクラム弁，セレクタ弁，スクラムパイロット弁，端子箱，アキュムレータ，窒素容器，計装ユニット及びそれらに内包する水の質量を考慮する。

(3) 地震力は，水圧制御ユニットに対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし，作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。

(4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

(5) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

水圧制御ユニットの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

水圧制御ユニットの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

水圧制御ユニットの許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	制御材駆動装置	水圧制御ユニット	S	クラス２支持構造物	$D+P_D+M_D+S_d$*	$Ⅲ_AS$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$Ⅳ_AS$

表 4-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	制御材駆動装置	水圧制御ユニット	常設耐震/防止	重大事故等クラス２支持構造物	$D+P_D+M_D+S_s$*2	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

＊2：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-3　許容応力（クラス２支持構造物及び重大事故等クラス２支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1,*2（ボルト等以外）				許容限界*1,*2（ボルト等）	
	一次応力				一次応力	
	引張り	せん断	圧縮	曲げ	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s	1.5・f_c	1.5・f_b	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t^*	1.5・f_s^*	1.5・f_c^*	1.5・f_b^*	1.5・f_t^*	1.5・f_s^*
VAS（VASとしてⅣASの許容限界を用いる）						

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
フレーム		周囲環境温度		—	205	365	—
		周囲環境温度		—	241	394	—
取付ボルト		周囲環境温度		—	231	394	—

表 4-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
フレーム		周囲環境温度		—	189	357	—
		周囲環境温度		—	234	385	—
取付ボルト		周囲環境温度		—	225	385	—

4.3　解析モデル及び諸元

水圧制御ユニットの解析モデルを図 4-1 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を表 4-6 に示す。

(1)　図 4-1 中〇内の数字は部材番号（要素番号），数字は節点番号を示す。

(2)　図 4-1 中の ◒ は荷重位置を示し，m_a，m_bは［　］kg，m_cは［　］kg，m_dは［　］kg，m_eは［　］kg であり，総質量は［　］kg である。

(3)　図 4-1 中実線はフレーム部材，点線はフレーム部と荷重位置の質量m_a～m_eとを結ぶ要素を示す。

(4)　拘束条件は，ＨＣＵフレーム下端と上端を固定（ボルトによる固定）とする。ＨＣＵフレーム中段をフレーム軸方向自由，フレーム軸直角方向固定（Ｕボルトによる固定）とする。

(5)　部材の応力算出に必要な機器要目を表 4-7 に示す。

(6)　解析コードは，「ＳＡＰ－Ⅳ」を使用し，固有値及び荷重を求める。
なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ－5－3　計算機プログラム（解析コード）の概要 ・ＳＡＰ－Ⅳ」に示す。

表 4-6　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
	－	－	
質量	m_a	kg	
	m_b	kg	
	m_c	kg	
	m_d	kg	
	m_e	kg	
温度条件	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

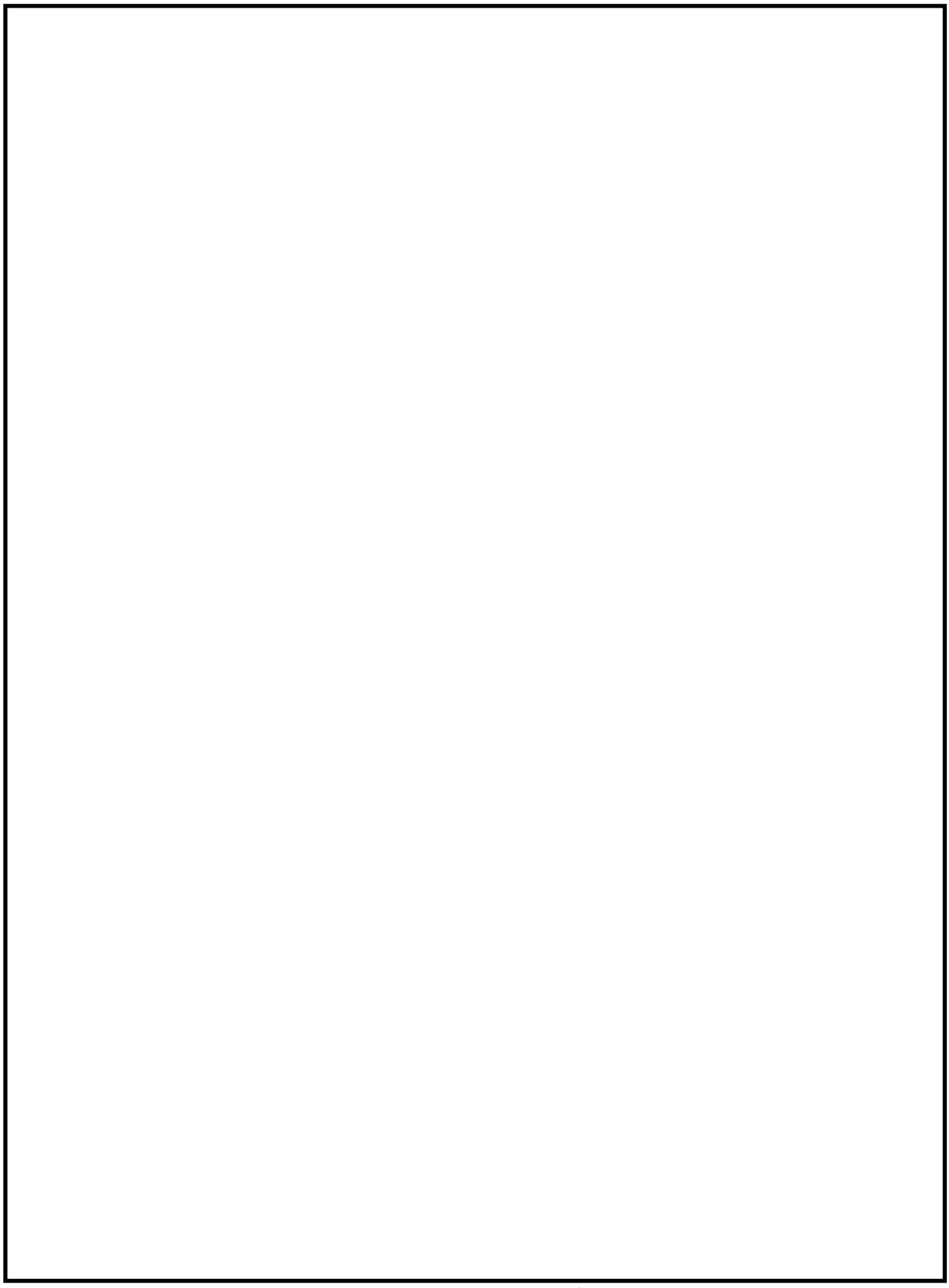
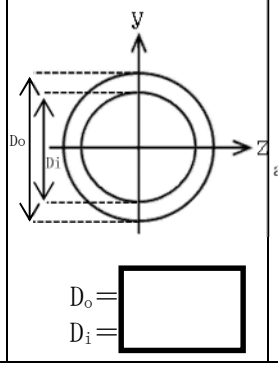
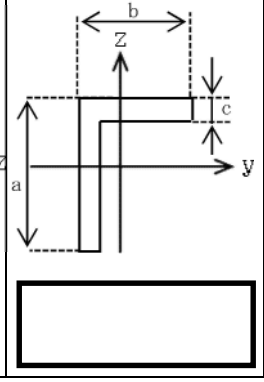
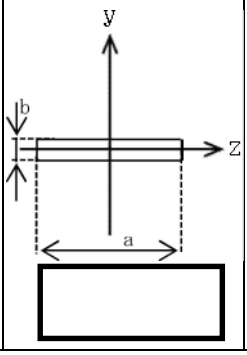
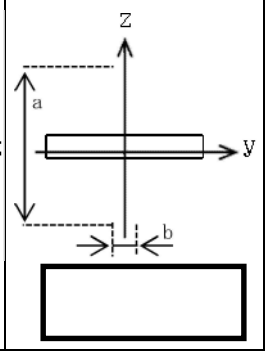


図 4-1　水圧制御ユニット解析モデル（単位：mm）

表 4-7　部材の機器要目

材料				
対象要素	①—⑭	⑮—⑰	⑱—⑳	㉑—㉓
A （mm^2）				
I_y （mm^4）				
I_z （mm^4）				
I_p （mm^4）				
Z_y （mm^3）				
Z_z （mm^3）				
Z_p （mm^3）				
断面形状（mm）				

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表 4-8 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 4-8　固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次	0.009	水平

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-9 及び表 4-10 に示す。

「弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度」及び「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

表 4-9　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
[redacted] EL. 20.3*1	0.009	0.05 以下*2	C_H＝0.88	C_V＝0.62	C_H＝1.55	C_V＝1.17

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 4-10　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
[redacted] EL. 20.3*1	0.009	0.05 以下*2	—	—	C_H＝1.55	C_V＝1.17

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

4.6　計算方法

4.6.1　応力の計算方法

4.6.1.1　フレームの応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力F_x，せん断力F_y，F_z，ねじりモーメントM_x及び曲げモーメントM_y，M_zより各応力を次のように求める。

(1)　引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t=\frac{|F_x|}{A} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.1)$$

$$\sigma_c=-\frac{|F_x|}{A} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.2)$$

(2)　せん断応力

$$\tau=\mathrm{Max}\left\{\sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A}+\frac{|M_x|}{Z_p}\right)^2+\left(\frac{|F_z|}{A}\right)^2},\sqrt{\left(\frac{|F_z|}{A}+\frac{|M_x|}{Z_p}\right)^2+\left(\frac{|F_y|}{A}\right)^2}\right\} \quad \cdots (4.6.1.1.3)$$

(3)　曲げ応力

鋼管の場合は，

$$\sigma_b=\sqrt{\left(\frac{M_y}{Z_y}\right)^2+\left(\frac{M_z}{Z_z}\right)^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.4)$$

形鋼の場合は，

$$\sigma_b=\frac{|M_y|}{Z_y}+\frac{|M_z|}{Z_z} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.5)$$

(4)　組合せ応力

$$\sigma_f=\sqrt{\sigma_{fa}{}^2+3\cdot\tau^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.6)$$

ここで，

$$\sigma_{fa}=\frac{|F_x|}{A}+\sigma_b \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.7)$$

4.6.1.2　取付ボルトの応力

取付ボルトに生じる応力は，地震による引張応力とせん断応力について計算する。

(1)　ボルト取付要領

水圧制御ユニットの取付ボルトの取付図を図 4-2 に示す。

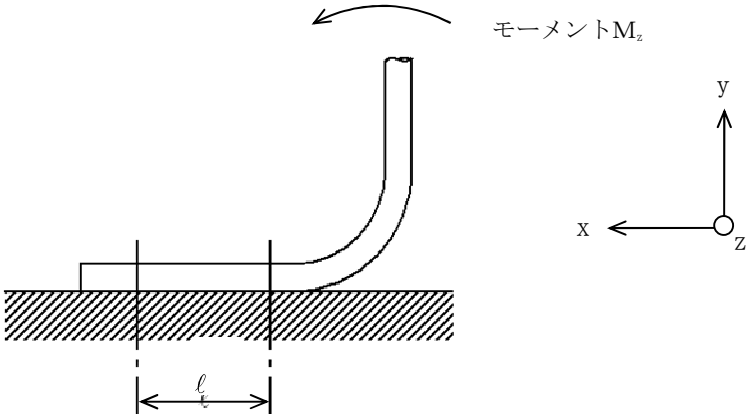


図 4-2　取付ボルトの取付図

(2)　引張応力

取付ボルトに対する引張応力は，ボルトの軸方向引張力F_yとモーメントM_zを考え，これを保守的にボルトで受けるものとして計算する。

a.　引張力

$$F_b=|F_y|+\frac{|M_z|}{\ell} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.1)$$

b.　引張応力

$$\sigma_{tb}=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.2)$$

(3)　せん断応力

a.　せん断力

$$Q_b=\sqrt{|F_x|^2+\left(|F_z|+\frac{|M_x|}{D_i}+\frac{|M_y|}{\ell}\right)^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.3)$$

b.　せん断応力

$$\tau_b=\frac{Q_b}{2\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.4)$$

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重（水圧制御ユニット）及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【水圧制御ユニットの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8　応力の評価

4.8.1　フレームの応力評価

(1)　4.6.1.1 項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，許容組合せ応力は f_t 以下であること。

		弾性設計用地震動S_d又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t		$\frac{F}{1.5}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	STPG38 （$\lambda \leqq \Lambda$）	$\left\{1-0.4\cdot\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\cdot\frac{F}{\nu}\cdot 1.5$	$\left\{1-0.4\cdot\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\cdot\frac{F^*}{\nu}\cdot 1.5$
	SS41 （$\lambda > \Lambda$）	$0.277\cdot F\cdot\left(\frac{\Lambda}{\lambda}\right)^2\cdot 1.5$	$0.277\cdot F^*\cdot\left(\frac{\Lambda}{\lambda}\right)^2\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s		$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b		$\frac{F}{1.5}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

ただし，

$$\lambda=\frac{\ell_k}{i} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.8.1.1)$$

弾性設計用地震動S_d又は静的震度による荷重との組合せの場合

$$\Lambda=\sqrt{\frac{\pi^2\cdot E}{0.6\cdot F}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.8.1.2)$$

基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合

$$\Lambda=\sqrt{\frac{\pi^2\cdot E}{0.6\cdot F^*}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.8.1.3)$$

$$\nu=1.5+\frac{2}{3}\cdot\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.8.1.4)$$

(2)　圧縮力と曲げモーメントを受ける部材の応力は次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_c|}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}\leqq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{\sigma_b-|\sigma_c|}{f_t}\leqq 1 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.8.1.5)$$

4.8.2　取付ボルトの応力評価

4.6.1.2 項で求めた取付ボルトの引張応力 σ_{tb} は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to} は下表によること。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.8.2.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし，f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。

評価用加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の検討方針」による。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

水圧制御ユニットの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

水圧制御ユニットの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【水圧制御ユニットの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	設計上の耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
水圧制御ユニット	S	EL. 20.3*1	0.009	0.05以下*2	C_H=0.88	C_V=0.62	C_H=1.55	C_V=1.17	－	－	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であることを確認した。

1.2 機器要目

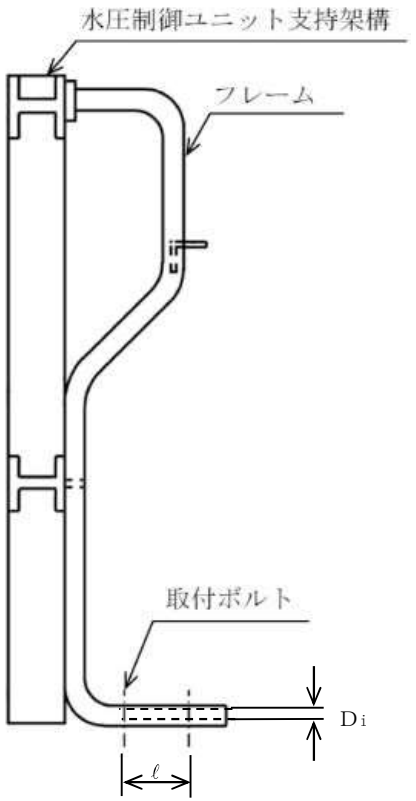
ℓ (mm)	A_b (mm^2)	D_i (mm)

材料	要素番号	E (MPa)	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	Λ	ν
	⑧						
	⑫						
	⑳						

	要素番号	
	⑧⑩⑫	⑳
A (mm^2)		
Z_y (mm^3)		
Z_z (mm^3)		
Z_p (mm^3)		
材料		

部材	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
フレーム		205	365	205	246
		241	394	241	276
取付ボルト		231	394	231	276

注記 ＊1：弾性設計用地震動S_d又は静的震度による荷重との組合せの場合
＊2：基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合



1.3 計算数値

1.3.1 フレームの荷重及びモーメント

要素番号	節点番号	弾性設計用地震動S_d又は静的震度					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
⑧	10						
⑩	10						
⑫	12						
⑳	20						

注：添え字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

要素番号	節点番号	基準地震動S_s					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
⑧	10						
⑩	10						
⑫	12						
⑳	20						

注：添え字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2　取付ボルトの荷重及びモーメント

要素番号	節点番号	弾性設計用地震動S_d又は静的震度					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
⑭	14						

注：添え字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

要素番号	節点番号	基準地震動S_s					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
⑬	13						
⑭	14						

注：添え字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

1.4 結論

1.4.1 応力

(単位:MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度				基準地震動S_s			
			要素番号	節点番号	算出応力	許容応力	要素番号	節点番号	算出応力	許容応力
フレーム		引張り	⑫	12	σ_t =1	f_t =205	⑫	12	σ_t =1	f_t =246
		圧縮	⑫	12	σ_c =1*1	f_c =183	⑫	12	σ_c =1*1	f_c =214
		せん断	⑩	10	τ =1	f_s =118	⑩	10	τ =2	f_s =142
		曲げ	⑧	10	σ_b =2	f_b =205	⑧	10	σ_b =3	f_b =246
		組合せ	⑧	10	σ_f =3	f_t =205	⑧	10	σ_f =3	f_t =246
		圧縮と曲げの組合せ(座屈の評価)	⑧	10	$\frac{\lvert\sigma_c\rvert}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}\leqq 1$ かつ $\frac{\sigma_b-\lvert\sigma_c\rvert}{f_t}\leqq 1$		⑧	10	$\frac{\lvert\sigma_c\rvert}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}\leqq 1$ かつ $\frac{\sigma_b-\lvert\sigma_c\rvert}{f_t}\leqq 1$	
					0.01(無次元)				0.01(無次元)	
		引張り	⑳	20	σ_t =3	f_t =241	⑳	20	σ_t =4	f_t =276
		圧縮	⑳	20	σ_c =3*1	f_c =43	⑳	20	σ_c =4*1	f_c =43
		せん断	⑳	20	τ =7	f_s =139	⑳	20	τ =9	f_s =159
		曲げ	⑳	20	σ_b =49	f_b =241	⑳	20	σ_b =69	f_b =276
		組合せ	⑳	20	σ_f =53	f_t =241	⑳	20	σ_f =74	f_t =276
		圧縮と曲げの組合せ(座屈の評価)	⑳	20	$\frac{\lvert\sigma_c\rvert}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}\leqq 1$ かつ $\frac{\sigma_b-\lvert\sigma_c\rvert}{f_t}\leqq 1$		⑳	20	$\frac{\lvert\sigma_c\rvert}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}\leqq 1$ かつ $\frac{\sigma_b-\lvert\sigma_c\rvert}{f_t}\leqq 1$	
					0.27(無次元)				0.34(無次元)	
取付ボルト		引張り	⑭	14	σ_{tb}=1	f_{ts}=173*2	⑬	13	σ_{tb}=1	f_{ts}=207*2
		せん断	⑭	14	τ_b =1	f_{sb}=133	⑭	14	τ_b =1	f_{sb}=159

すべて許容応力以下である。

注記 *1:絶対値を記載

*2:f_{ts}=Min[1.4・f_{to}−1.6・τ_b, f_{to}]より算出

1.4.2　動的機能の評価結果　　(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ＣＲＤスクラム弁 （弁番号：126）	水平方向	1.29	6.0
	鉛直方向	0.98	6.0
ＣＲＤスクラム弁 （弁番号：127）	水平方向	1.29	6.0
	鉛直方向	0.98	6.0

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
水圧制御ユニット	－（S_s）	EL. 20.3*1		0.05以下*2	－	－	C_H=1.55	C_V=1.17	－	－	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析より0.05秒以下であることを確認した。

2.2 機器要目

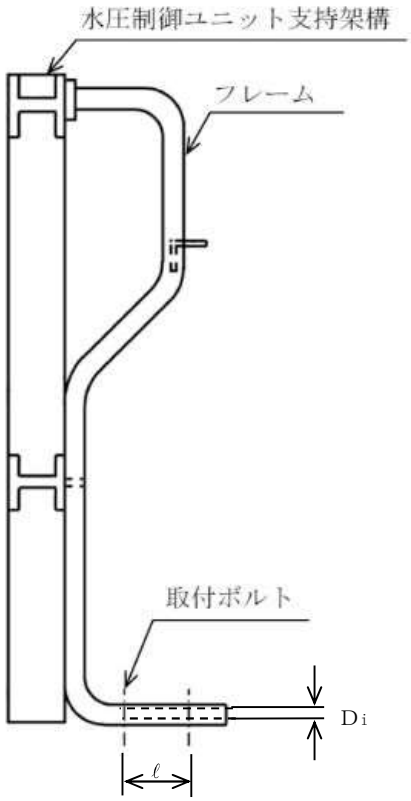
ℓ (mm)	A_b (mm^2)	D_i (mm)

材料	要素番号	E (MPa)	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	Λ	ν
	⑧						
	⑫						
	⑳						

	要素番号	
	⑧ ⑩ ⑫	⑳
A (mm^2)		
Z_y (mm^3)		
Z_z (mm^3)		
Z_p (mm^3)		
材料		

部材	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
フレーム		189	357	－	227
		234	385	－	270
取付ボルト		225	385	－	270

注記 ＊：基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合



2.3 計算数値

2.3.1 フレームの荷重及びモーメント

要素番号	節点番号	基準地震動S_s					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
⑧	10						
⑩	10						
⑫	12						
⑳	20						

注：添え字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

2.3.2　取付ボルトの荷重及びモーメント

要素番号	節点番号	基準地震動S_s					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
⑬	13						
⑭	14						

注：添え字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

2.4 結論

2.4.1 応力

(単位:MPa)

部材	材料	応力	基準地震動S_s			
			要素番号	節点番号	算出応力	許容応力
フレーム		引張り	⑫	12	$\sigma_t=1$	$f_t=227$
		圧縮	⑫	12	$\sigma_c=1$*1	$f_c=200$
		せん断	⑩	10	$\tau=2$	$f_s=131$
		曲げ	⑧	10	$\sigma_b=3$	$f_b=227$
		組合せ	⑧	10	$\sigma_f=3$	$f_t=227$
		圧縮と曲げの組合せ(座屈の評価)	⑧	10	$\frac{\lvert\sigma_c\rvert}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}\leqq 1$ かつ $\frac{\sigma_b-\lvert\sigma_c\rvert}{f_t}\leqq 1$	
					0.02(無次元)	
		引張り	⑳	20	$\sigma_t=4$	$f_t=270$
		圧縮	⑳	20	$\sigma_c=4$*1	$f_c=43$
		せん断	⑳	20	$\tau=9$	$f_s=155$
		曲げ	⑳	20	$\sigma_b=69$	$f_b=270$
		組合せ	⑳	20	$\sigma_f=74$	$f_t=270$
		圧縮と曲げの組合せ(座屈の評価)	⑳	20	$\frac{\lvert\sigma_c\rvert}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}\leqq 1$ かつ $\frac{\sigma_b-\lvert\sigma_c\rvert}{f_t}\leqq 1$	
					0.34(無次元)	
取付ボルト		引張り	⑬	13	$\sigma_{tb}=1$	$f_{ts}=202$*2
		せん断	⑭	14	$\tau_b=1$	$f_{sb}=155$

すべて許容応力以下である。

注記 *1:絶対値を記載

*2:$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot\tau_b,\ f_{to}]$より算出

2.4.2　動的機能の評価結果　　(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ＣＲＤスクラム弁 （弁番号：126）	水平方向	1.29	6.0
	鉛直方向	0.98	6.0
ＣＲＤスクラム弁 （弁番号：127）	水平方向	1.29	6.0
	鉛直方向	0.98	6.0

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-3-2-2　管の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 ····· 2
2.1　概略系統図 ····· 2
2.2　鳥瞰図 ····· 4
3.　計算条件 ····· 7
3.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 7
3.2　設計条件 ····· 8
3.3　材料及び許容応力 ····· 10
3.4　設計用地震力 ····· 11
4.　解析結果及び評価 ····· 12
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 12
4.2　評価結果 ····· 18
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 18
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 19
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 20
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 21

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示す通りである。

(1)　管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全１２モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2)　支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3)　弁

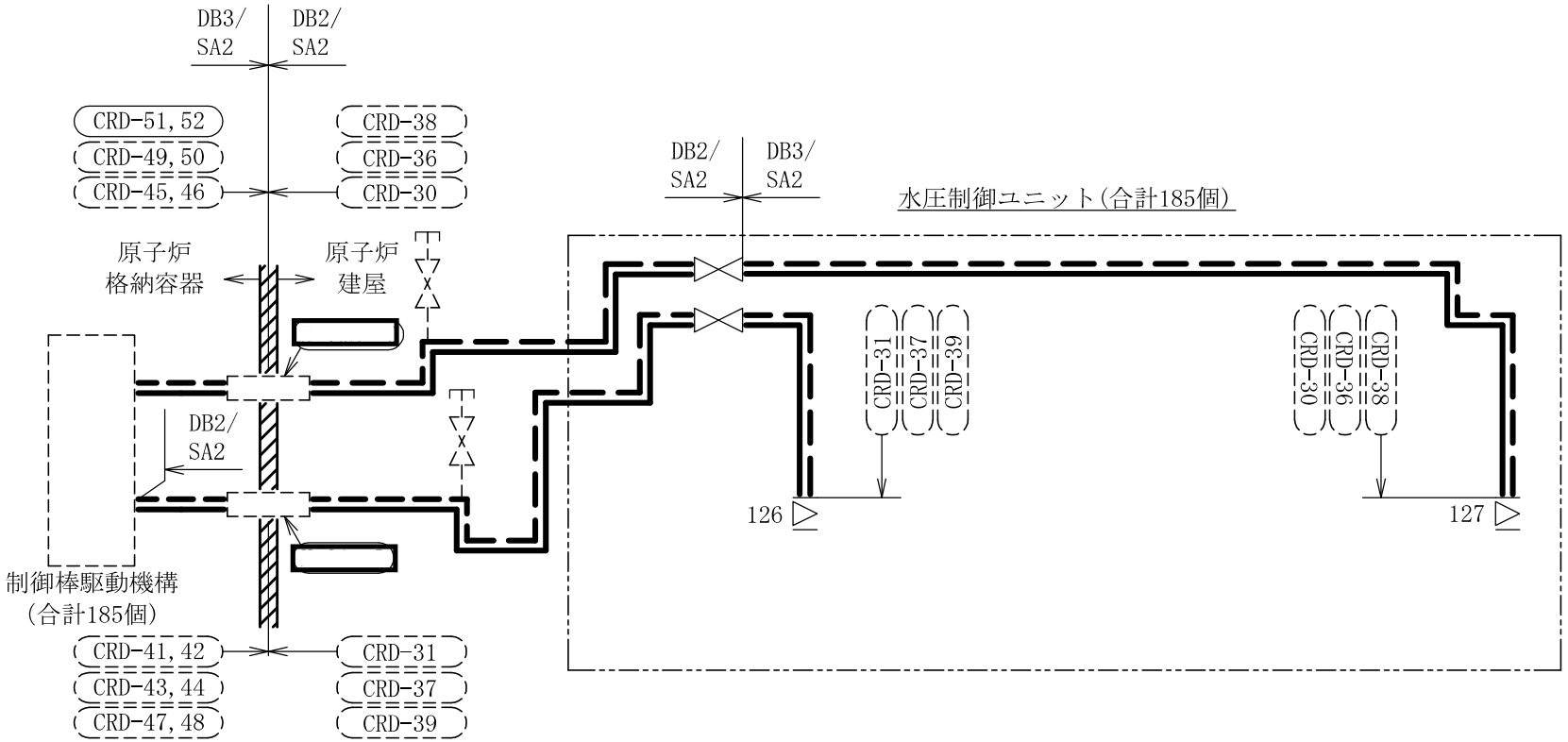
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

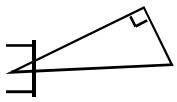
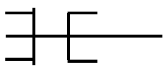
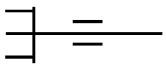
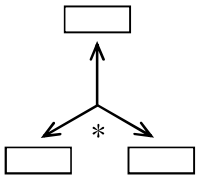
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - -（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管



制御棒駆動水圧系概略系統図

2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記　　号	内　　容
━━━━ （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
──── （細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質　　点
⊗	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。）
	注：　鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

鳥瞰図	CRD-51,52(DB)

鳥瞰図	CRD-51,52(SA)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
計測制御系統施設	制御棒駆動水圧設備	制御棒駆動水圧系	ＤＢ	－	クラス２管 クラス３管	Ｓ	$\mathrm{I}_{L}+\mathrm{S}_{d}$	$\mathrm{III}_{A}\mathrm{S}$
							$\mathrm{II}_{L}+\mathrm{S}_{d}$	
							$\mathrm{I}_{L}+\mathrm{S}_{s}$	$\mathrm{IV}_{A}\mathrm{S}$
							$\mathrm{II}_{L}+\mathrm{S}_{s}$	
			ＳＡ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２管	－	$\mathrm{V}_{L}+\mathrm{S}_{s}$	$\mathrm{V}_{A}\mathrm{S}$

注記＊1： ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。

＊2： 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊3： 運転状態の添字Ｌは荷重，（Ｌ）は荷重が長期間作用している状態，（ＬＬ）は（Ｌ）より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

＊4： 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

＊5： 許容応力状態$\mathrm{V}_{A}\mathrm{S}$は許容応力状態$\mathrm{IV}_{A}\mathrm{S}$の許容限界を使用し、許容応力状態$\mathrm{IV}_{A}\mathrm{S}$として評価を実施する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 CRD-51,52

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	29W～4801	12.06	66	26.7	3.9	SUS3 4TP	S	
2	4801～61N	12.06	74	26.7	3.9	SUS3 4TP	S	

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　CRD-51,52

支持点番号	各軸方向ばね定数（N/mm）			各軸回り回転ばね定数（N・mm/rad）		
	X	Y	Z	X	Y	Z
28N						
33						
** 33 **						
39						
** 39 **						
** 39 **						
** 41 **						
** 41 **						
** 44 **						
** 44 **						
** 4501 **						
** 4501 **						
48						
** 48 **						
55						
58						
61N						

3.3　材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材　　料	最高使用温度 (℃)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SUS304TP	66	－	188	479	126
SUS304TP	74	－	183	467	126

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
CRD-51,52	原子炉しゃへい壁		

4. 解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 CRD-51,52

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
動的震度							
静的震度							

各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　CRD-51,52

モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				

代表的振動モード図

振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

鳥瞰図	ＣＲＤ－５１，５２

鳥瞰図	ＣＲＤ－５１，５２

鳥瞰図	ＣＲＤ－５１，５２

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管であってクラス２以下の管

鳥瞰図	許容応力状態（供用状態）	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価（MPa）		一次＋二次応力評価（MPa）		疲労評価
				計算応力	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				S_{prm}（S_d） S_{prm}（S_s）	S_y* $0.9S_u$	S_n（S_s）	$2S_y$	US_s
CRD-51,52	ⅢAS	39	S_{prm}（S_d）	136	188	－	－	－
CRD-51,52	ⅣAS	39	S_{prm}（S_s）	194	431	－	－	－
CRD-51,52	ⅣAS	39	S_n（S_s）	－	－	392	376	0.0002

注記　＊：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，S_yと$1.2S_h$のうち大きい方とする。

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
－	－	－	－	－	－	－

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力（kN）			モーメント（kN・m）			応力分類	計算応力(MPa)	許容応力(MPa)
					F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
RE-CRD-2D	レストレイント	ラグ	SUS304	200	0.2	0.7	0	－	－	－	組合せ	29	49

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

スクラム弁（弁番号 126，127）は，水圧制御ユニット内に設置されているため，動的機能維持評価結果は添付書類「Ⅴ-2-6-3-2-1　水圧制御ユニットの耐震性についての計算書」に示す。

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス２，３範囲）

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{III_AS}$					許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	CRD-30	300N	63	188	2.98	－	300N	84	431	5.13	－	300N	99	376	3.79	－	－	－	－
2	CRD-31	100N	51	188	3.68	－	100N	64	431	6.73	－	1041	71	376	5.29	－	－	－	－
3	CRD-36	101N	75	188	2.50	－	101N	95	431	4.53	－	106	125	376	3.00	－	－	－	－
4	CRD-37	100N	66	188	2.84	－	100N	90	431	4.78	－	100N	109	376	3.44	－	－	－	－
5	CRD-38	105	78	188	2.41	－	105	102	431	4.22	－	105	164	376	2.29	－	－	－	－
6	CRD-39	100N	55	188	3.41	－	100N	70	431	6.15	－	100N	80	376	4.70	－	－	－	－
7	CRD-41	52N	56	183	3.26	－	52N	76	420	5.52	－	52N	148	366	2.47	－	－	－	－
8	CRD-43	62N	88	183	2.07	－	62N	129	420	3.25	－	62N	228	366	1.60	－	－	－	－
9	CRD-45	46	36	188	5.22	－	46	41	431	10.51	－	29W	101	376	3.72	－	－	－	－
10	CRD-47	42	35	188	5.37	－	42	40	431	10.77	－	54N	88	366	4.15	－	－	－	－
11	CRD-49	52N	77	183	2.37	－	52N	117	420	3.58	－	52N	230	366	1.59	－	－	－	－
12	CRD-51	39	136	188	1.38	○	39	194	431	2.22	○	39	392	376	0.95	○	39	0.0002	○

注記　：$\mathrm{III_AS}$の一次＋二次応力の許容値は$\mathrm{IV_AS}$と同様であることから，地震荷重が大きい$\mathrm{IV_AS}$の一次＋二次応力裕度最小を代表とする。$\mathrm{IV_AS}$の計算応力は，$\mathrm{V_AS}$と$\mathrm{IV_AS}$の大きい方を記載している。

Ⅴ-2-6-4　ほう酸水注入設備の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-6-4-1　ほう酸水注入系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-6-4-1-1　ほう酸水注入ポンプの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 構造強度評価 ····· 3
3.1 構造強度評価方法 ····· 3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
4. 機能維持評価 ····· 8
4.1 動的機能維持評価方法 ····· 8
5. 評価結果 ····· 9
5.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 9
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 9

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，ほう酸水注入ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

ほう酸水注入ポンプは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

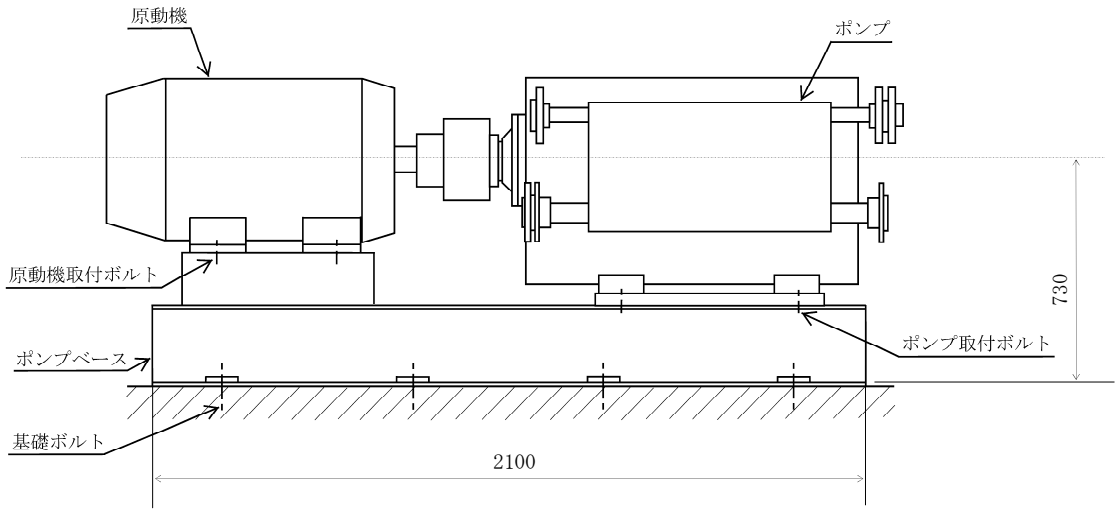
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-4　横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

ほう酸水注入ポンプの構造計画を表2-1に示す。

表2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ポンプはポンプベースに固定され，ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	往復形横軸ポンプ	

（単位：mm）

3.　構造強度評価

3.1　構造強度評価方法

ほう酸水注入ポンプは横軸ポンプと類似の構造であるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-4　横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2　荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

ほう酸水注入ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-1に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-2に示す。

3.2.2　許容応力

ほう酸水注入ポンプの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表3-3のとおりとする。

3.2.3　使用材料の許容応力評価条件

ほう酸水注入ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-4に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-5に示す。

表3-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	ほう酸水注入設備	ほう酸水注入ポンプ	S	クラス２ポンプ*1	$D+P_D+M_D+S_d^{*}$ *2	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊1：クラス２ポンプの支持構造物を含む。

＊2：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表3-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	ほう酸水注入設備	ほう酸水注入ポンプ	常設耐震／防止常設／緩和	重大事故等クラス２ポンプ*2	$D+P_D+M_D+S_s$ *3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）
原子炉冷却系統施設	その他原子炉注水設備	ほう酸水注入ポンプ	常設／緩和	重大事故等クラス２ポンプ*2	$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

（続き）

原子炉格納施設	その他安全設備	ほう酸水注入ポンプ	常設／緩和	重大事故等クラス２ポンプ*2	D＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋S_s	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：重大事故等クラス２ポンプの支持構造物を含む。

＊3：「D＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋S_s」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表3-3　許容応力（クラス２，３支持構造物及び重大事故等クラス２支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1，*2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢＡＳ	1.5・ｆ$_{t}$	1.5・ｆ$_{s}$
ⅣＡＳ	1.5・ｆ$_{t}^{*}$	1.5・ｆ$_{s}^{*}$
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表3-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		231	394	—
ポンプ取付ボルト		周囲環境温度		211	394	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度		211	394	—

表3-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		225	385	—
ポンプ取付ボルト		周囲環境温度		206	385	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度		206	385	—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

ほう酸水注入ポンプの地震時の動的機能維持評価について，以下に示す。

ほう酸水注入ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表4-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
往復動式ポンプ	横形３連 往復動式ポンプ	水平	1.6
		鉛直	1.0
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ほう酸水注入ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。なお，弾性設計用地震動S_d及び静的震度は基準地震動S_sを下回っており，基準地震動S_sによる発生値が，弾性設計用地震動S_d又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動S_d又は静的震度による発生値の算出を省略した。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ほう酸水注入ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ほう酸水注入ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度(℃)	周囲環境温度(℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
ほう酸水注入ポンプ	S	[redacted] EL. 38.80*1	－*2	－*2	－*3	－*3	C_H=1.67	C_V=1.44	C_P=0.05	－	[redacted]

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
＊3：III_ASについては，基準地震動S_sで評価する。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}*3 (mm)	ℓ_{2i}*3 (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*	
							弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	[redacted]					8	－	2
								4
ポンプ取付ボルト (i=2)						4	－	2
								2
原動機取付ボルト (i=3)						4	－	2
								2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向		M_P (N・mm)	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	231	394	231	276	－	軸	－	－
ポンプ取付ボルト (i=2)	211	394	211	253	－	軸	－	－
原動機取付ボルト (i=3)	211	394	211	253	－	軸直角	－	3.533×10^5

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

予想最大両振幅 (μm)	ポンプ回転速度 (min^{-1})	原動機回転速度 (min^{-1})
H_P [redacted]	N_P [redacted]	N [redacted]

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 （単位：N）

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）	－		－	
ポンプ取付ボルト（i＝2）	－		－	
原動機取付ボルト（i＝3）	－		－	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 （単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力*1	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	σ_{b1}＝37	f_{ts1}＝173*2	σ_{b1}＝37	f_{ts1}＝207*2
		せん断	τ_{b1}＝16	f_{sb1}＝133	τ_{b1}＝16	f_{sb1}＝159
ポンプ取付ボルト		引張り	σ_{b2}＝38	f_{ts2}＝158*2	σ_{b2}＝38	f_{ts2}＝190*2
		せん断	τ_{b2}＝23	f_{sb2}＝122	τ_{b2}＝23	f_{sb2}＝146
原動機取付ボルト		引張り	σ_{b3}＝10	f_{ts3}＝158*2	σ_{b3}＝10	f_{ts3}＝190*2
		せん断	τ_{b3}＝6	f_{sb3}＝122	τ_{b3}＝6	f_{sb3}＝146

すべて許容応力以下である。

注記 *1：基準地震動S_sによる算出値

*2：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}, f_{toi}]より算出

1.4.2 動的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
往復動式ポンプ	水平方向	1.40	1.6
	鉛直方向	1.00	1.0
原動機	水平方向	1.40	4.7
	鉛直方向	1.00	1.0

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度(℃)	周囲環境温度(℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
ほう酸水注入ポンプ	常設耐震／防止常設／緩和	[redacted] EL. 38.80*1	－*2	－*2	－	－	C_H=1.67	C_V=1.44	C_P=0.05	－	[redacted]

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	n_{fi}*	
							弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	[redacted]					8	－	2
								4
ポンプ取付ボルト (i=2)						4	－	2
								2
原動機取付ボルト (i=3)						4	－	2
								2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向		M_P (N・mm)	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	225	385	－	270	－	軸	－	－
ポンプ取付ボルト (i=2)	206	385	－	247	－	軸	－	－
原動機取付ボルト (i=3)	206	385	－	247	－	軸直角	－	3.533×10^5

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

予想最大両振幅 (μm)	ポンプ回転速度 (min⁻¹)	原動機回転速度 (min⁻¹)
H_P [redacted]	N_P [redacted]	N [redacted]

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 （単位：N）

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）	－		－	
ポンプ取付ボルト（i＝2）	－		－	
原動機取付ボルト（i＝3）	－		－	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 （単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_{b1}＝37	f_{ts1}＝202*
		せん断	－	－	τ_{b1}＝16	f_{sb1}＝155
ポンプ取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b2}＝38	f_{ts2}＝185*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝23	f_{sb2}＝142
原動機取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b3}＝10	f_{ts3}＝185*
		せん断	－	－	τ_{b3}＝6	f_{sb3}＝142

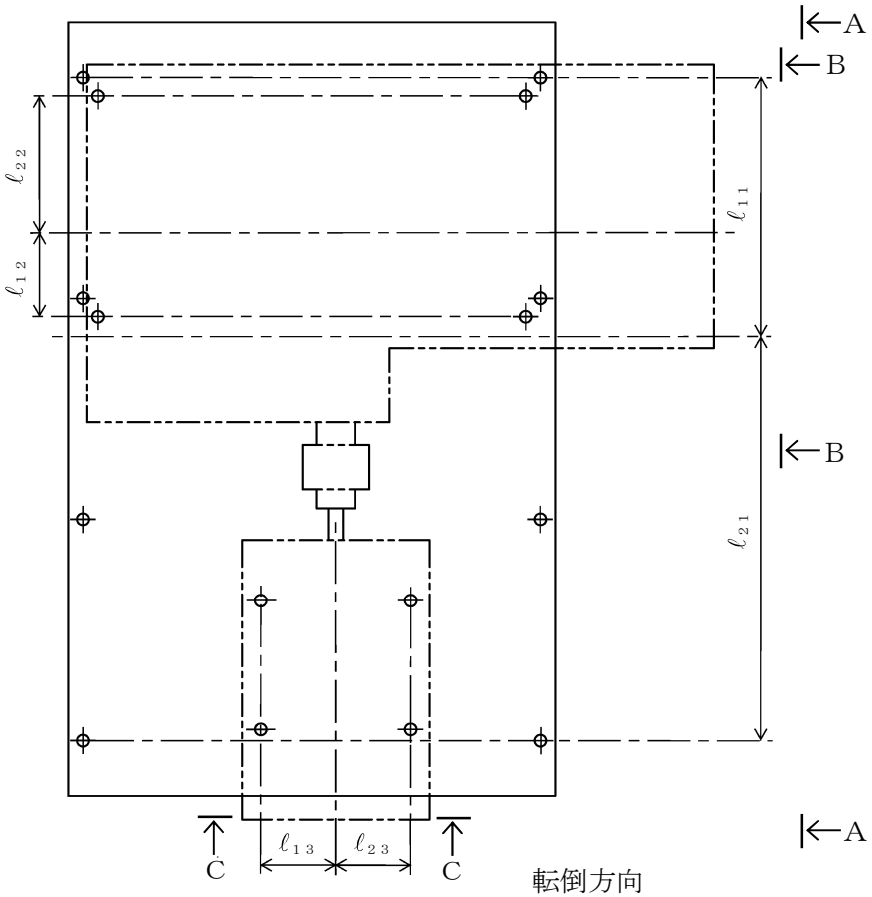
すべて許容応力以下である。

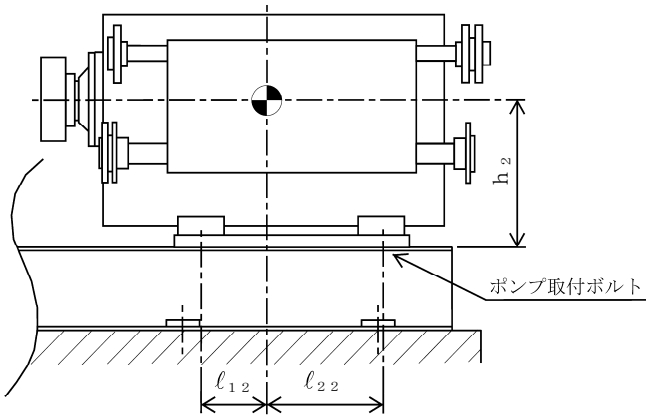
注記 ＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}, f_{toi}]より算出

2.4.2 動的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
往復動式ポンプ	水平方向	1.40	1.6
	鉛直方向	1.00	1.0
原動機	水平方向	1.40	4.7
	鉛直方向	1.00	1.0

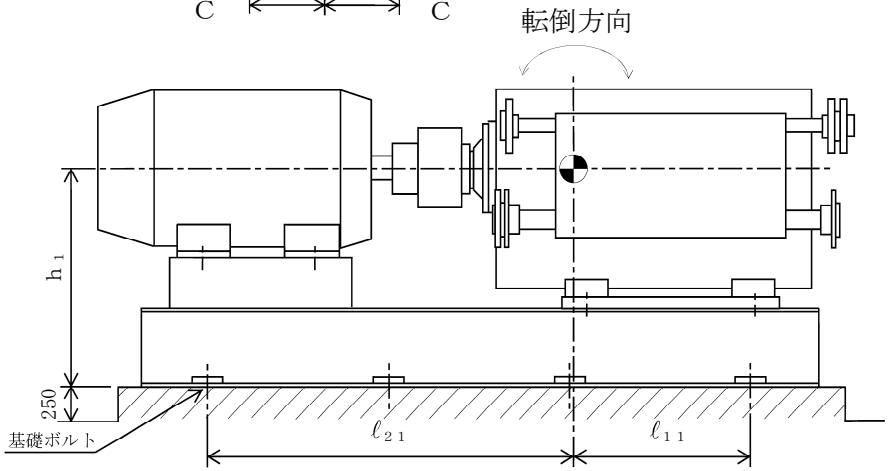
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。





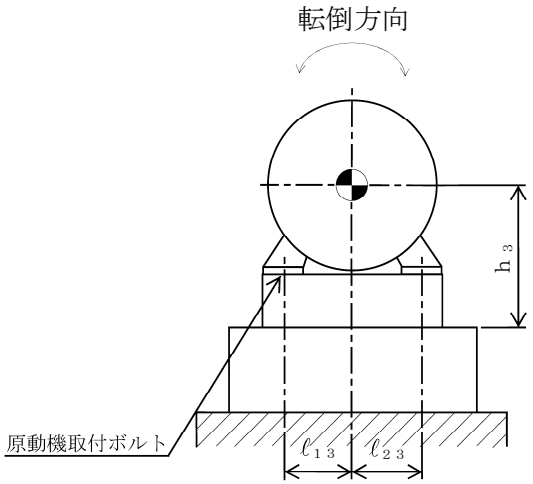
B～B矢視図

（ポンプ取付ボルト）



A～A矢視図

（基礎ボルト）



C～C矢視図

（原動機取付ボルト）

Ⅴ-2-6-4-1-2　ほう酸水貯蔵タンクの耐震性についての計算書

目次

1. 概　要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 構造強度評価 ····· 2
3.1 構造強度評価方法 ····· 2
3.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 2
4. 評価結果 ····· 8
4.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 8
4.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 8

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき，ほう酸水貯蔵タンクが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

ほう酸水貯蔵タンクは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

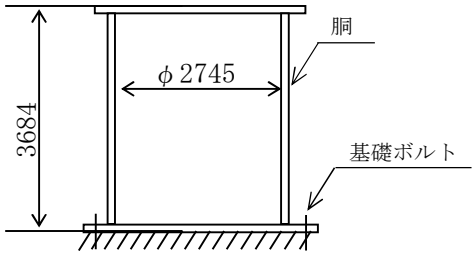
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-3　平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1　構造計画

ほう酸水貯蔵タンクの構造計画を表2-1に示す。

表2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎･支持構造	主体構造	
底板により床に基礎ボルトで設置する。	下面及び上面に平板を有するたて置円筒形容器	 （単位：mm）

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

ほう酸水貯蔵タンクの構造は平底たて置円筒形容器であるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-3 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ほう酸水貯蔵タンクの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-1に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-2に示す。

3.2.2 許容応力

ほう酸水貯蔵タンクの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表3-3及び表3-4のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ほう酸水貯蔵タンクの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-5に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-6に示す。

表 3-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統設備	ほう酸水注入設備	ほう酸水貯蔵タンク	S	クラス２容器*	$D+P_D+M_D+S_d$	$Ⅲ_AS$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$Ⅳ_AS$

注記　＊：クラス２容器の支持構造物を含む。

表 3-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統設備	ほう酸水注入設備	ほう酸水貯蔵タンク	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等*2 クラス２容器	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる）
原子炉冷却系統施設	その他原子炉注水設備	ほう酸水貯蔵タンク	常設／緩和	重大事故等*2 クラス２容器	$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる）
原子炉格納施設	その他の安全設備	ほう酸水貯蔵タンク	常設／緩和	重大事故等*2 クラス２容器	$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：重大事故等クラス２容器の支持構造物を含む。

＊3：「Ｄ＋Ｐ$_{SAD}$＋Ｍ$_{SAD}$＋Ｓ$_{s}$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-3　許容応力（クラス２容器及び重大事故等クラス２容器）

許容応力状態	許容限界*1, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
ⅢAS	S_yと 0.6・S_uの小さい方 ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と 1.2・Sとの大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動S_d又は基準地震動S_sのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・S_y以下であれば，疲労解析は行わない。	
ⅣAS	0.6・S_u	左欄の 1.5 倍の値		
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）			基準地震動S_sのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・S_y以下であれば，疲労解析は行わない。	

注記　＊1：座屈に対する評価は，クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4　許容応力（クラス２，３支持構造物及び重大事故等クラス２支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-5　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)
胴板	SUS304	最高使用温度	66	126	188	479	－
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	－	764	906	－

表 3-6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)
胴板	SUS304	最高使用温度	66	126	188	479	－
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	－	730	868	－

4. 評価結果

4.1 設計基準対象施設としての評価結果

ほう酸水貯蔵タンクの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

4.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ほう酸水貯蔵タンクの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ほう酸水貯蔵タンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設 計 条 件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
ほう酸水貯蔵タンク	S	EL. 38.8 *			C_H= 1.03	C_V= 0.76	C_H= 1.67	C_V= 1.44	静水頭	66		1.07

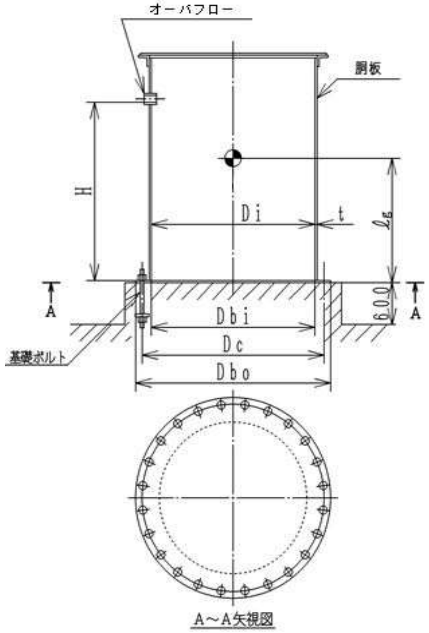
注記 *：基準床レベルを示す。

1.2 機 器 要 目

m_0 (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	E (MPa)	G (MPa)	ℓ_g (mm)	H (mm)	s	n
		2745	5.0						

D_c (mm)	D_{bo} (mm)	D_{bi} (mm)	A_b (mm^2)	S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S（胴板） (MPa)	S_y（基礎ボルト） (MPa)	S_u（基礎ボルト） (MPa)	F（基礎ボルト） (MPa)	F*（基礎ボルト） (MPa)
				188 *1	479 *1	126 *1	764 *2	906 *2	634 *2	634 *2

注記 *1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出



1.3 計 算 数 値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

応力の種類		弾性設計用地震動S_d又は静的震度			基準地震動S_s		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭による応力		$\sigma_{\phi 1}$= 10	−	−	$\sigma_{\phi 1}$= 10	−	−
鉛直方向地震による引張応力		$\sigma_{\phi 2}$= 8	−	−	$\sigma_{\phi 2}$= 15	−	−
空質量による圧縮応力		−	σ_{X2}= 1	−	−	σ_{X2}= 1	−
鉛直方向地震による軸方向応力		−	σ_{X3}= 1	−	−	σ_{X3}= 1	−
水平方向地震による応力		−	σ_{X4}= 15	τ= 12	−	σ_{X4}= 23	τ= 19
応力の和	引張側	σ_{ϕ}= 18	σ_{Xt}= 14	−	σ_{ϕ}= 25	σ_{Xt}= 24	−
	圧縮側	σ_{ϕ}= -18	σ_{Xc}= 15	−	σ_{ϕ}= -25	σ_{Xc}= 24	−
組合せ応力	引張り	σ_{0t}= 28			σ_{0t}= 42		
	圧縮	σ_{0c}= 19			σ_{0c}= 30		

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

（単位：MPa）

応力の種類		弾性設計用地震動S_d又は静的震度			基準地震動S_s		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による応力		$\sigma_{\phi 2}$= 8	σ_{X3}= 1	－	$\sigma_{\phi 2}$= 15	σ_{X3}= 1	－
水平方向地震による応力		－	σ_{X4}= 15	τ= 12	－	σ_{X4}= 23	τ= 19
応力の和	引張側	$\sigma_{2\phi}$= 8	σ_{2Xt}= 15	－	$\sigma_{2\phi}$= 15	σ_{2Xt}= 24	－
	圧縮側	$\sigma_{2\phi}$= -8	σ_{2Xc}= 15	－	$\sigma_{2\phi}$= -15	σ_{2Xc}= 24	－
組合せ応力（変動値）	引張り	σ_{2t}= 46			σ_{2t}= 76		
	圧縮	σ_{2c}= 39			σ_{2c}= 62		

1.3.2 基礎ボルトに生じる応力

（単位：MPa）

	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
引張応力	σ_b= 24	σ_b= 52
せん断応力	τ_b= 15	τ_b= 24

1.4 結論

1.4.1 固有周期

（単位：s）

方向	固有周期
水平方向	[redacted]
鉛直方向	[redacted]

1.4.2 応力

（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS304	一次一般膜	σ_0= 28	S_a= 188	σ_0= 42	S_a= 287
		一次＋二次	σ_2= 46	S_a= 377	σ_2= 76	S_a= 377
		圧縮と曲げの組合せ	$\frac{\eta\cdot(\sigma_{x2}+\sigma_{x3})}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{x4}}{f_b}\leqq 1$		$\frac{\eta\cdot(\sigma_{x2}+\sigma_{x3})}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{x4}}{f_b}\leqq 1$	
		（座屈の評価）	0.13 （無次元）		0.20 （無次元）	
基礎ボルト	[redacted]	引張り	σ_b= 24	f_{ts}= 475 *	σ_b= 52	f_{ts}= 475 *
		せん断	τ_b= 15	f_{sb}= 366	τ_b= 24	f_{sb}= 366

すべて許容応力以下である。

注記＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b, f_{to}]より算出

【ほう酸水貯蔵タンクの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設 計 条 件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
ほう酸水貯蔵タンク	常設耐震／防止	EL. 38.8 *			C_H= －	C_V= －	C_H= 1.67	C_V= 1.44	静水頭	66		1.07

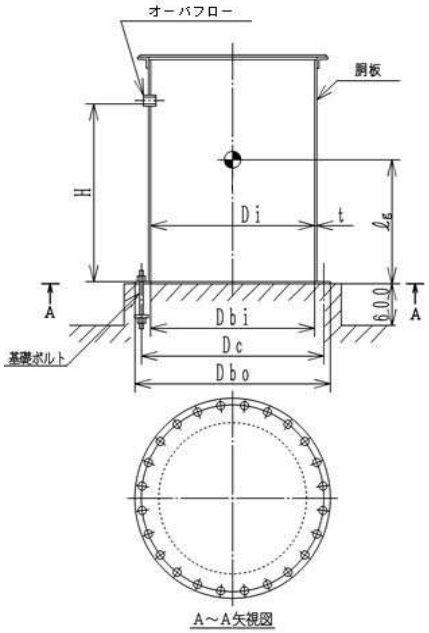
注記 *：基準床レベルを示す。

2.2 機 器 要 目

m_0 (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	E (MPa)	G (MPa)	ℓ_g (mm)	H (mm)	s	n
		2745	5.0						

D_c (mm)	D_{bo} (mm)	D_{bi} (mm)	A_b (mm^2)	S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S（胴板） (MPa)	S_y（基礎ボルト） (MPa)	S_u（基礎ボルト） (MPa)	F（基礎ボルト） (MPa)	F^*（基礎ボルト） (MPa)
				188 *1	479 *1	126 *1	730 *2	868 *2	607 *2	607 *2

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出



2.3 計 算 数 値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

応力の種類		弾性設計用地震動S_d又は静的震度			基準地震動S_s		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭による応力		－	－	－	$\sigma_{\phi 1}$= 10	－	－
鉛直方向地震による引張応力		－	－	－	$\sigma_{\phi 2}$= 15	－	－
空質量による圧縮応力		－	－	－	－	σ_{X2}= 1	－
鉛直方向地震による軸方向応力		－	－	－	－	σ_{X3}= 1	－
水平方向地震による応力		－	－	－	－	σ_{X4}= 23	τ= 19
応力の和	引張側	－	－	－	σ_{ϕ}= 25	σ_{Xt}= 24	－
	圧縮側	－	－	－	σ_{ϕ}= -25	σ_{Xc}= 24	－
組合せ応力	引張り	－			σ_{0t}= 42		
	圧縮	－			σ_{0c}= 30		

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

応力の種類		弾性設計用地震動S_d又は静的震度			基準地震動S_s		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による応力		－	－	－	$\sigma_{\phi 2}=$ 15	$\sigma_{X3}=$ 1	－
水平方向地震による応力		－	－	－	－	$\sigma_{X4}=$ 23	$\tau=$ 19
応力の和	引張側	－	－	－	$\sigma_{2\phi}=$ 15	$\sigma_{2Xt}=$ 24	－
	圧縮側	－	－	－	$\sigma_{2\phi}=$ -15	$\sigma_{2Xc}=$ 24	－
組合せ応力（変動値）	引張り	－			$\sigma_{2t}=$ 76		
	圧縮	－			$\sigma_{2c}=$ 62		

2.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
引張応力	－	$\sigma_b=$ 52
せん断応力	－	$\tau_b=$ 24

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	[redacted]
鉛直方向	[redacted]

2.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS304	一次一般膜	－	－	$\sigma_0=$ 42	$S_a=$ 287
		一次＋二次	－	－	$\sigma_2=$ 76	$S_a=$ 377
		圧縮と曲げの組合せ	－		$\frac{\eta\cdot(\sigma_{x2}+\sigma_{x3})}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{x4}}{f_b}\leqq 1$	
		（座屈の評価）	－		0.20 （無次元）	
基礎ボルト	[redacted]	引張り	－	－	$\sigma_b=$ 52	$f_{ts}=$ 455 *
		せん断	－	－	$\tau_b=$ 24	$f_{sb}=$ 350

すべて許容応力以下である。

注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot\tau_b,\ f_{to}]$より算出

Ⅴ-2-6-4-1-3　管の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 ····· 2
2.1　概略系統図 ····· 2
2.2　鳥瞰図 ····· 4
3.　計算条件 ····· 8
3.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 8
3.2　設計条件 ····· 9
3.3　材料及び許容応力 ····· 15
3.4　設計用地震力 ····· 16
4.　解析結果及び評価 ····· 17
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 17
4.2　評価結果 ····· 23
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 23
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 24
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 25
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 26

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示す通りである。

(1)　管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全１１モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2)　支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3)　弁

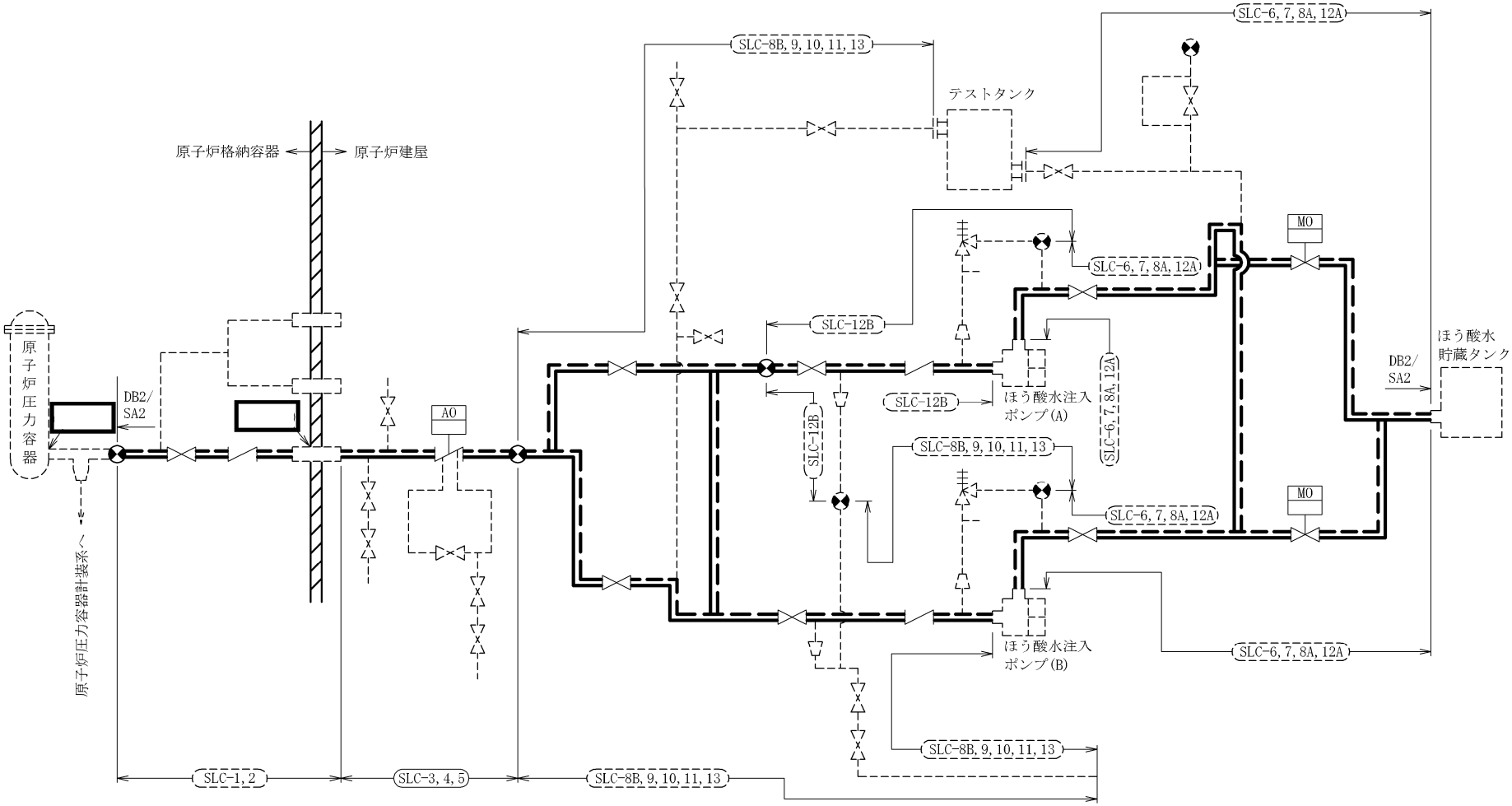
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

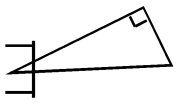
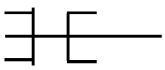
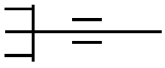
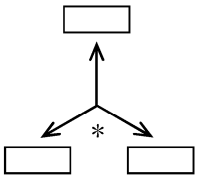
記　　号	内　　容
━━━━━ （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━ （太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――― （細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管



ほう酸水注入系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記　　号	内　　容
━━━━ （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
──── （細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質　　点
⊗	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。）
	注：　鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

鳥瞰図	SLC-3,4,5(DB/SA)(1/3)

鳥瞰図	SLC-3,4,5(DB/SA)(2/3)

鳥瞰図	SLC-3,4,5(DB/SA)(3/3)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
計測制御系統施設	ほう酸水注入設備	ほう酸水注入系	ＤＢ	—	クラス２管	Ｓ	I_L+S_d	III_AS
							II_L+S_d	
							I_L+S_s	IV_AS
							II_L+S_s	
			ＳＡ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	$V_L(L)+S_d$*6,*7	V_AS
							$V_L(LL)+S_s$*6	
原子炉冷却系統施設	その他原子炉注水設備	ほう酸水注入系	ＳＡ	常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	$V_L(L)+S_d$*6,*7	V_AS
							$V_L(LL)+S_s$*6	
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	ほう酸水注入系	ＳＡ	常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	$V_L(L)+S_d$*6,*7	V_AS
							$V_L(LL)+S_s$*6	

注記 ＊1：ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。

＊2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊3：運転状態の添字Ｌは荷重，（Ｌ）は荷重が長期間作用している状態，（ＬＬ）は（Ｌ）より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

＊4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

＊5：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

＊6：重大事故時の原子炉格納容器バウンダリ閉じ込め機能維持要求として，原子炉格納容器バウンダリにおいて考慮する荷重の組合せを示す。

＊7：荷重の組合せ$V_L(L)+S_d$は$V_L(LL)+S_s$に包絡されるため，評価を省略する。

3.2　設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3W～6Z,6Z～12Z 12Z～18W,24W～55A	9.66	302	48.6	5.1	SUS304TP	S	[redacted]

配管の付加質量

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

質量	対応する評価点
[redacted]	3W～6Z,6Z～12Z,12Z～18W,24W～55A

弁部の寸法

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
18W～20				20～22			
22～24W							

弁部の質量

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	18W～20,20～22	[redacted]	22～24W

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
** 1N **						
** 1N **						
10						
** 1501 **						
** 181 **						
182						
2401						
** 2401 **						
** 27 **						
** 27 **						
** 29 **						
** 29 **						
3003						
311						
33						
35						
37						
391						
41						
42						
45						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
49						
51						
5300						
55A						

3.3　材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材　　料	最高使用温度 (℃)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SUS304TP	302	—	126	391	110

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
SLC-3，4，5			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 SLC-3,4,5

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
11 次							
12 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

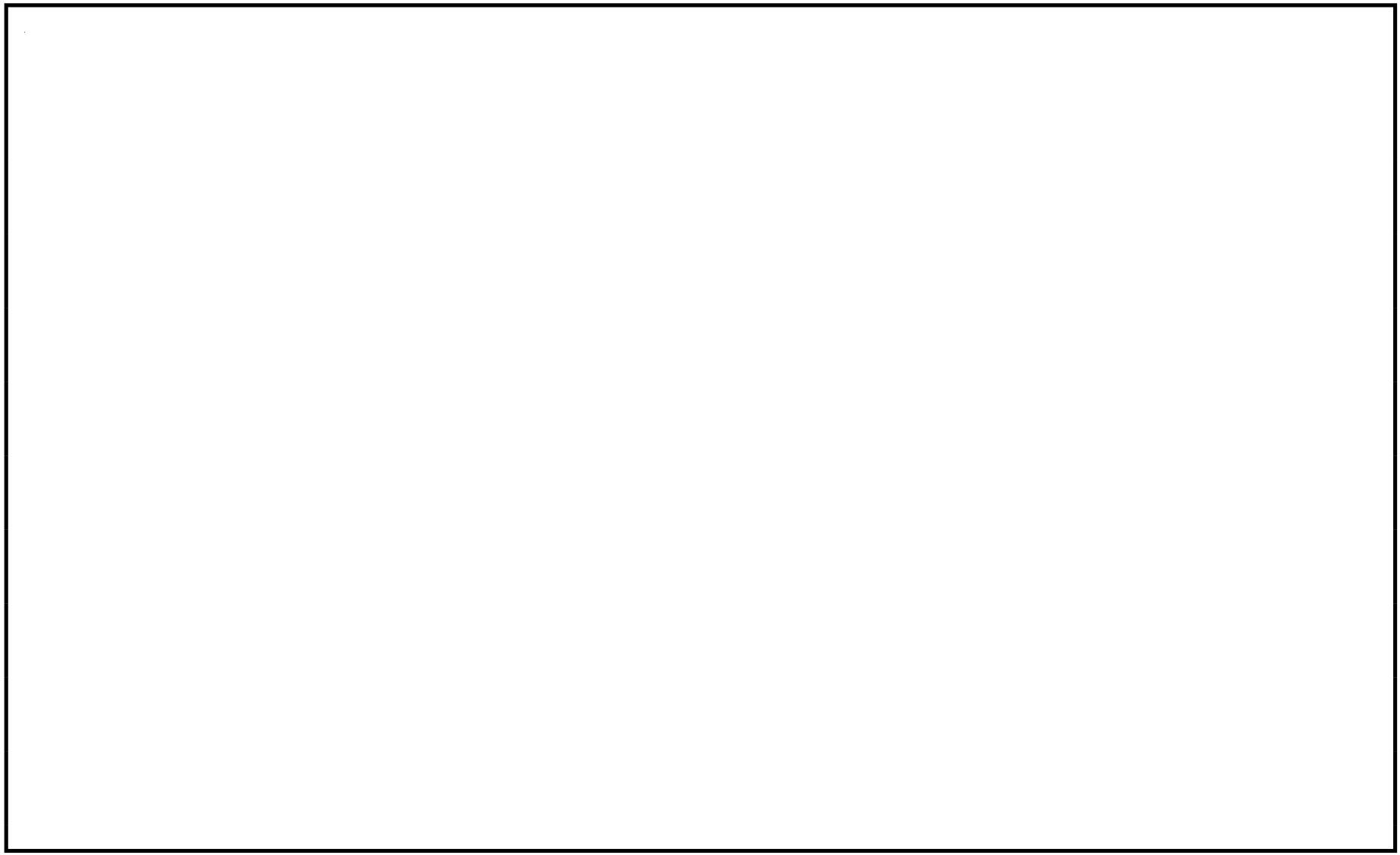
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

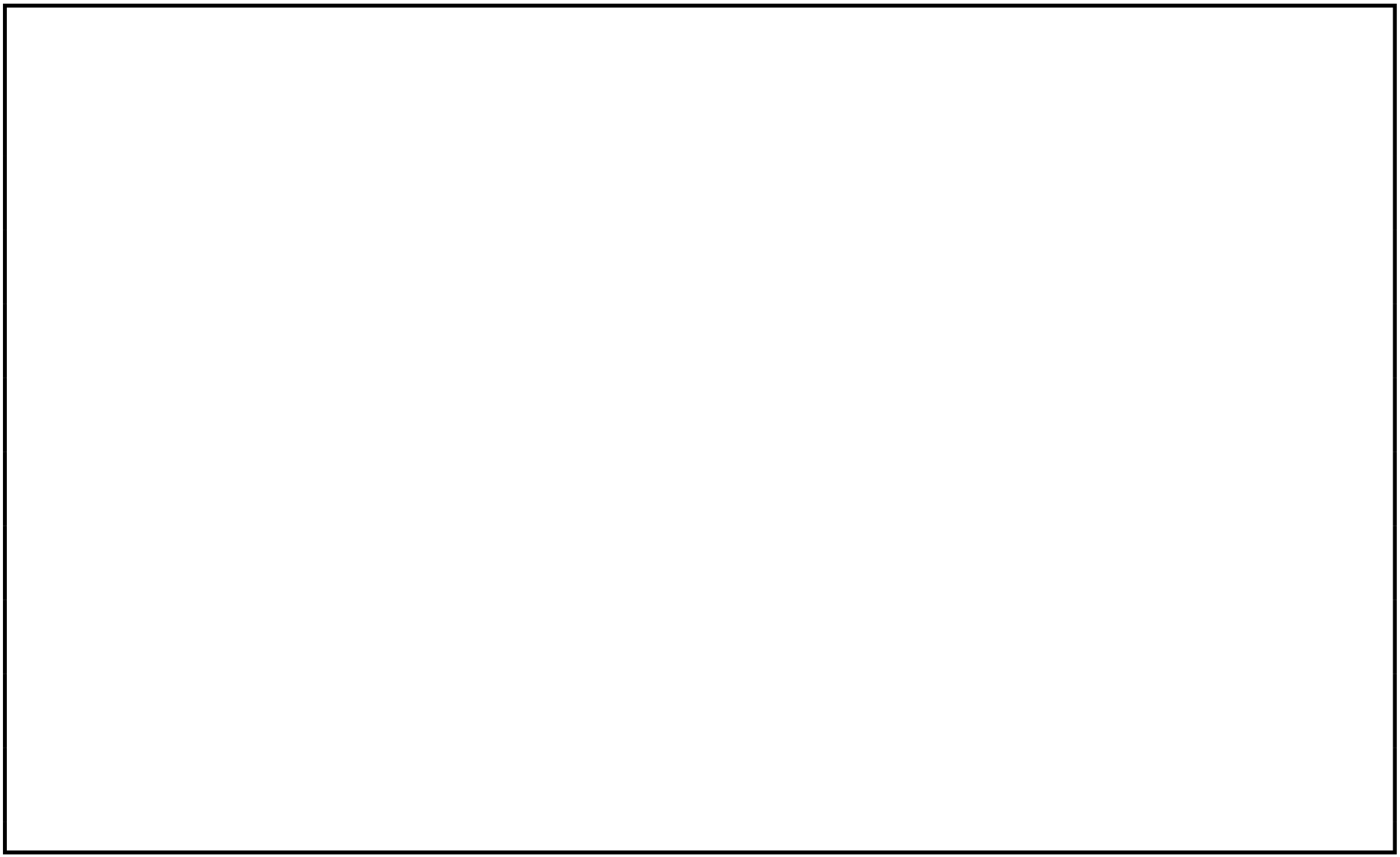
モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
11 次				
12 次				

代表的振動モード図

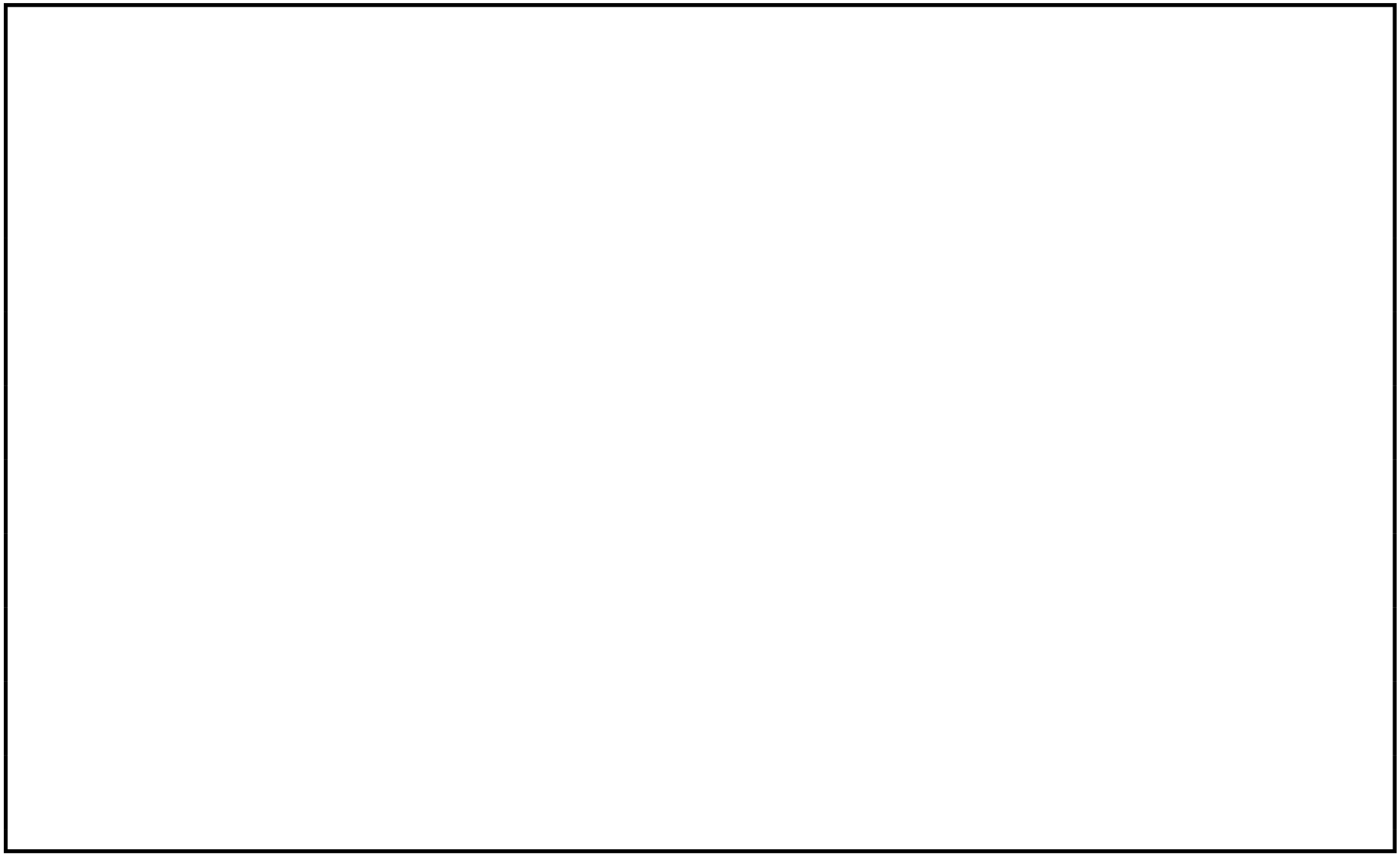
振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



鳥瞰図	SLC-3, 4, 5



鳥瞰図	SLC-3, 4, 5



鳥瞰図	SLC-3,4,5

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管であってクラス２以下の管

鳥瞰図	許容応力状態（供用状態）	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価（MPa）		一次＋二次応力評価（MPa）		疲労評価
				計算応力 S_{prm}（S_d）S_{prm}（S_s）	許容応力 S_y* $0.9S_u$	計算応力 S_n（S_s）	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
SLC-3,4,5	ⅢAS	30W	S_{prm}（S_d）	96	132	—	—	—
SLC-3,4,5	ⅣAS	30W	S_{prm}（S_s）	144	351	—	—	—
SLC-3,4,5	ⅣAS	30W	S_n（S_s）	—	—	202	252	—

注記　＊：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，S_yと$1.2S_h$のうち大きい方とする。

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
SNO-SLC-27C	オイルスナッバ	HSP-05	添付書類「V-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		2.9	7.5
SNM-SLC-35T1	メカニカルスナッバ	SMS-03			0.3	4.5
SH-SLC-R004	スプリングハンガ	VSA-L4			1.2	1.7

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力（kN）			モーメント（kN・m）			応力分類	計算応力(MPa)	許容応力(MPa)
					F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
RE-SLC-50	レストレイント	パイプバンド	STK400 SM400B	66	0	5.0	0	－	－	－	圧縮	16	142
AN-SLC-90	アンカ	ラグ	SUS304	66	2.8	0.4	0.4	0.1	0.2	0.2	組合せ	85	141

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度 ($\times$9.8 m/s^2)		機能確認済加速度 ($\times$9.8 m/s^2)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
－	－	－	－	－	－	－	－	－

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス２範囲）

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{III_AS}$					許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	SLC-1,2	800	56	132	2.35	－	8W	75	351	4.68	－	4	146	252	1.72	－	－	－	－
2	SLC-3,4,5	30W	96	132	1.37	○	30W	144	351	2.43	○	30W	202	252	1.24	○	－	－	－
3	SLC-6,7,8A	11	25	188	7.52	－	11	33	431	13.06	－	28	38	376	9.89	－	－	－	－
4	SLC-8B,9,10	25W	97	283	2.91	－	25W	120	376	3.13	－	25W	82	376	4.58	－	－	－	－
5	SLC-12B	431W	77	283	3.67	－	431W	98	376	3.83	－	431W	81	376	4.64	－	－	－	－

注記　：$\mathrm{III_AS}$の一次＋二次応力の許容値は$\mathrm{IV_AS}$と同様であることから，地震荷重が大きい$\mathrm{IV_AS}$の一次＋二次応力裕度最小を代表とする。$\mathrm{IV_AS}$の計算応力は，$\mathrm{V_AS}$と$\mathrm{IV_AS}$の大きい方を記載している。

Ⅴ-2-6-5　計測装置の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-6-5-1　起動領域計装の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
1.1 一般事項 1
1.2 構造の説明 1
1.3 記号の説明 3
1.4 適用基準 4
1.5 形状・寸法・材料 4
1.6 解析範囲 4
2. 計算条件 6
2.1 設計条件 6
2.2 運転条件 6
2.3 重大事故等時の条件 7
2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態 7
2.5 材料 7
2.6 物性値 7
2.7 荷重の組合せと応力評価 8
2.8 許容限界 8
2.9 応力の記号と方向 8
3. 外荷重の条件 9
3.1 死荷重 9
3.2 地震荷重 9
4. 応力解析 28
4.1 応力解析の手順 28
4.2 応力計算 29
4.3 応力の評価 32
5. 応力強さの評価 32
5.1 一次一般膜応力強さの評価 32
5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価 32
6. 引用文献 32

図表目次

図 1-1　形状・寸法・材料・応力評価点 ····· 5
図 2-1　運転条件 ····· 11
図 3-1　解析モデル ····· 21
図 3-2　振動モード ····· 23
図 3-3　動的応答加速度分布図 ····· 25
図 4-1　地震荷重による応力の計算モデル ····· 33

表 1-1　ドライチューブの構造計画 ····· 2
表 2-1　ドライチューブの各許容応力状態における外圧 ····· 14
表 2-2　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 15
表 2-3　応力計算に使用する材料の物性値 ····· 17
表 2-4　荷重の組合せ ····· 17
表 2-5　許容限界 ····· 18
表 3-1　外荷重 ····· 20
表 3-2　部材定数 ····· 22
表 3-3　節点質量 ····· 22
表 3-4　固有値解析結果 ····· 23
表 3-5　設計用地震力 ····· 24
表 3-6　動的応答加速度 ····· 27
表 3-7　静的加速度 ····· 27
表 4-1　応力の分類 ····· 34
表 4-2　断面性状 ····· 34
表 5-1　一次一般膜応力強さの評価のまとめ ····· 35
表 5-2　一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ ····· 35

1. 概要

1.1 一般事項

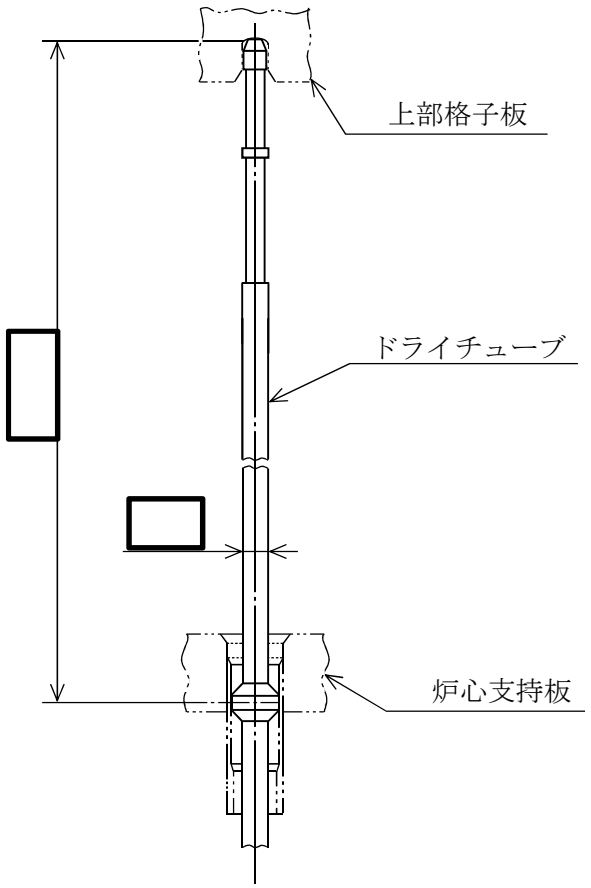
本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の基本方針に基づき，起動領域計装ドライチューブ（以下「ドライチューブ」という。）が設計用地震力に対し十分な構造強度を有していることを説明するものである。

ドライチューブは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

1.2 構造の説明

ドライチューブの構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1　ドライチューブの構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉圧力容器内上部格子板で上方が支持され，炉心支持板で水平方向が支持される。炉心支持板より下方では，中性子計測案内管及び中性子計測ハウジング下端に取り付けられたフランジに固定される。	外径[redacted]の長尺円筒形構造物	

1.3　記号の説明

本計算書において，下記の記号を使用する。ただし，本文中に別途記載ある場合は，この限りではない。

記　号	記　号　の　説　明	単　位
A	断面積	mm^2
D_i	内径	mm
D_o	外径	mm
E	縦弾性係数	MPa
H	水平力	N
I	断面二次モーメント	mm^4
L	リングからプランジャ先端までの長さ	mm
ℓ	リングからチャンネルボックスに接触する点までの距離	mm
ℓ'	リングから応力評価点までの距離	mm
P_b	一次曲げ応力	MPa
P_m	一次一般膜応力	MPa
P_o	外圧	MPa
S_d*	弾性設計用地震動S_dにより定まる地震力又は静的地震力	－
S_m	設計応力強さ	MPa
S_s	基準地震動S_sにより定まる地震力	－
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
V	鉛直力	N
t	厚さ	mm
δ_D	設計たわみ量	mm
η	溶接部の継手効率	－
σ_ℓ	軸方向応力	MPa
σ_r	半径方向応力	MPa
σ_t	周方向応力	MPa
$\tau_{t\ell}$	せん断応力	MPa

1.4　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　ＳＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）

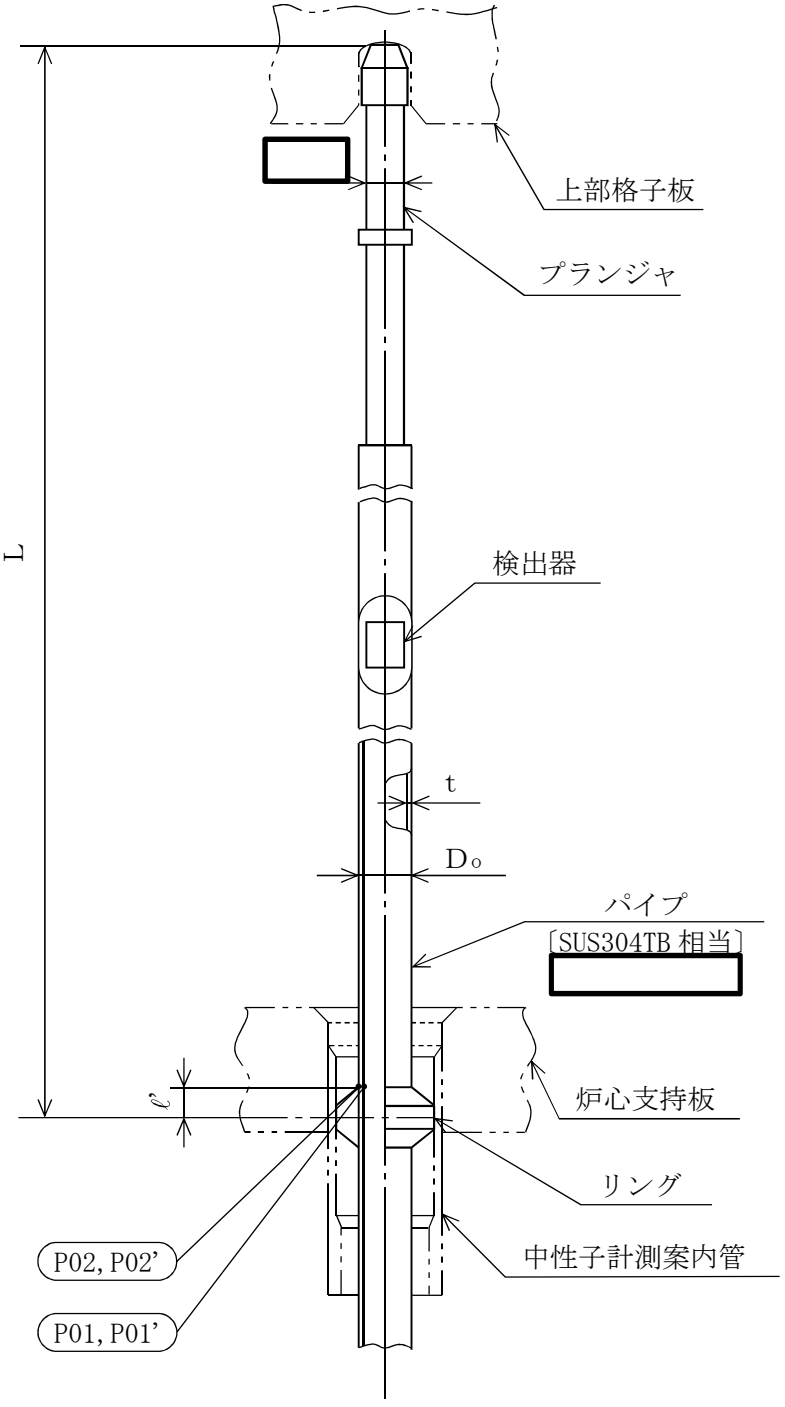
注：本計算書において，設計・建設規格の条項は「設計・建設規格　○○○-△△△△（◇）a.（a）」として示す。

1.5　形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を，図 1-1 に示す。

1.6　解析範囲

応力計算は，図 1-1 に示す応力評価点について行う。



：応力評価点
〔　　〕：ＪＩＳ相当材
(　　)：材　　料

Do ＝
t ＝
L ＝
ℓ' ＝

図 1-1　形状・寸法・材料・応力評価点（単位：mm）

2. 計算条件

2.1 設計条件

最高使用圧力（外圧） ：8.62 MPa

最高使用温度 ：302 ℃

2.2 運転条件

2.2.1 運転状態Ⅰ及びⅡ

(1)	ボルト締付け	{ボルト締付け}	[C01]
(2)	耐圧試験（最高使用圧力以下）	{耐圧試験最高使用圧力以下}	[C02]
(3)	起動（昇温）	{起動昇温}	[C03]
(4)	起動（タービン起動）	{起動タービン起動}	[C04]
(5)	夜間低出力運転（出力 75 %）	{夜間低出力運転出力 75 %}	[C05]
(6)	週末低出力運転（出力 50 %）	{週末低出力運転出力 50 %}	[C06]
(7)	制御棒パターン変更	{制御棒パターン変更}	[C07]
(8)	給水加熱機能喪失（発電機トリップ）	{発電機トリップ}	[C08]
(9)	給水加熱機能喪失（給水加熱器部分バイパス）	{給水加熱器部分バイパス}	[C09]
(10)	スクラム（タービントリップ）	{スクラムタービントリップ}	[C10]
(11)	スクラム（その他のスクラム）	{スクラムその他のスクラム}	[C11]
(12)	定格出力運転	{定格出力運転}	[C12]
(13)	停止（タービン停止）	{停止タービン停止}	[C13]
(14)	停止（高温待機）	{停止高温待機}	[C14]
(15)	停止（冷却）	{停止冷却}	[C15]
(16)	停止（容器満水）	{停止容器満水}	[C16]
(17)	停止（満水後冷却）	{停止満水後冷却}	[C17]
(18)	ボルト取外し	{ボルト取外し}	[C18]
(19)	燃料交換	{燃料交換}	[C19]
(20)	スクラム（原子炉給水ポンプ停止）	{スクラム原子炉給水ポンプ停止}	[C20]
(21)	スクラム（逃がし安全弁誤作動）	{スクラム逃がし安全弁誤作動}	[C21]

2.2.2 運転状態Ⅲ

(1)	スクラム（過大圧力）	{スクラム過大圧力}	[C22]
(2)	冷却材再循環系仕切弁誤作動（冷状態）	{冷再循環系仕切弁誤作動}	[C23]
(3)	冷却材再循環ポンプ誤起動（冷状態）	{冷再循環ポンプ誤起動}	[C24]

2.2.3　運転状態Ⅳ

(1)　冷却材喪失事故　　{冷却材喪失事故}　　[C25]

各運転条件における，ドライチューブの外圧（原子炉圧力容器の内圧）の変化，周囲の流体の温度変化及びその繰返し回数を図 2-1(1)に示す。

なお，ドライチューブの外圧は，設置箇所のうち最も厳しい領域Ｃ（図 2-1(2)）の値を用いることとし，表 2-1 に示す。

2.3　重大事故等時の条件

重大事故等時の条件は以下のとおりである。

圧力条件　　：

温度条件　　：

2.4　荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を，表 2-2 に示す。

なお，ドライチューブは，原子炉圧力容器内部に位置するため，炉心支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

また，各許容応力状態で考慮する外荷重は，3 章に示すとおりである。

2.5　材料

材料は，次に示すとおりである。

パイプ：SUS304TB 相当

2.6　物性値

応力計算に使用する材料の物性値は，下記のとおりである。

(1)　縦弾性係数Ｅは，設計・建設規格　付録材料図表　Part6　表 1 に定められたものによる。

(2)　応力計算に使用する物性値は，最高使用温度（　℃）に対する値を用いる。

(3)　材料の物性値を，表 2-3 に示す。

2.7　荷重の組合せと応力評価

荷重の組合せと応力評価項目の対応を表 2-4 に示す。

表 2-4 及び本計算書において使用する荷重の種類と記号は，下記のとおりである。

荷　重	記　号
(1)　ドライチューブの外圧（原子炉圧力容器の内圧）	[L01]
(2)　死荷重（機器の自重及びばね荷重により生じる荷重）	[L04]
(3)　機器の地震時の慣性力による地震荷重S_d^*（一次荷重）	[L14]
(4)　機器の地震時の慣性力による地震荷重S_s　（一次荷重）	[L16]

2.8　許容限界

(1)　設計応力強さS_m，設計降伏点S_y，設計引張強さS_uはそれぞれ設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 1，表 8 及び表 9 に定められたものを使用する。

(2)　一次応力強さの評価には,各運転状態における流体の最高温度(運転状態Ⅰ及びⅡ　　℃)に対する許容限界を用いる。

(3)　ドライチューブの各運転状態の応力強さの評価に用いる許容限界は，表 2-5 に示すとおりである。

(4)　ドライチューブの応力評価点は，溶接部でないためη＝1.00 を用いる。

2.9　応力の記号と方向

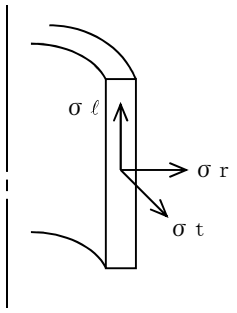
応力の記号とその方向は，下記のとおりとする。

σ_t　：周方向応力

σ_ℓ　：軸方向応力

σ_r　：半径方向応力

$\tau_{t\ell}$　：せん断応力



3.　外荷重の条件

3.1　死荷重

機器の自重及びばね荷重を考慮する。評価に適用する死荷重を表 3-1 に示す。

3.2　地震荷重

3.2.1　地震応答解析の基本方針

(1)　ドライチューブの地震応答解析は，3.2.2 項に示す[　　]でモデル化したＦＥＭモデルにより実施する。

(2)　強度上重要で，耐震計算上評価が厳しくなる炉心支持板と上部格子板間のドライチューブをモデル化する。

(3)　ドライチューブの質量は，炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の全質量と比して小さいことから，これらとの連成系としては考えず，これらの構造物の地震応答解析により得られた炉心支持板及び上部格子板における応答曲線（減衰定数[　　]）を包絡してドライチューブに対する入力とする。

(4)　解析コードは「ＳＡＰ－Ⅳ」を使用し，固有値及び動的応答加速度を求める。

なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-3　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＳＡＰ－Ⅳ」に示す。

3.2.2　解析モデル及び諸元

ドライチューブの解析モデルを図 3-1 に，解析モデルの諸元を表 3-2 及び表 3-3 に示す。

(1)　ドライチューブの上方は，上部格子板の溝に入って支持される構造であるため，上部格子板位置での支持条件は[　　]とする。

[　　]

[　　]とする。

(2)　[　　]考慮する。

3.2.3　固有周期

固有値解析の結果を表 3-4 に，振動モード図を図 3-2 に示す。

なお，鉛直方向については，3 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

3.2.4　設計用地震力

「弾性設計用地震力Ｓ$_d$又は静的震度」及び「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」及び「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

地震荷重の算出に用いる設計用地震力を表 3-5 に示す。

3.2.5　応答解析結果

(1)　動的震度による応答加速度

ドライチューブの節点位置における動的震度による応答加速度(以下「動的応答加速度」という。）を図 3-3 に示す。また，ドライチューブに作用する動的応答加速度の最大値を表 3-6 に示す。

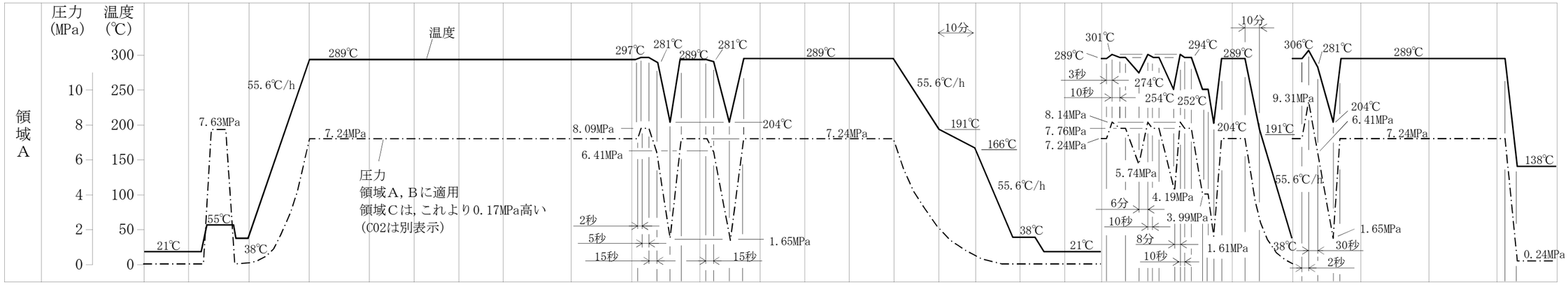
(2)　静的震度による加速度

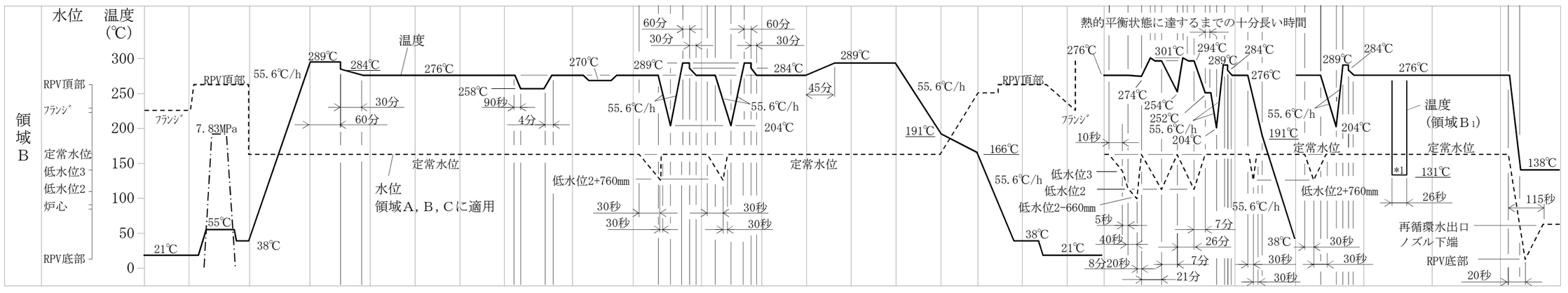
ドライチューブに作用する静的震度による加速度（以下「静的加速度」という。）を表 3-7 に示す。

3.2.6　地震荷重の算出結果

ドライチューブに対する地震荷重を表 3-1 に示す。なお，地震荷重Ｓ$_d$*については，表 3-6(1)及び表 3-7 に示すように静的加速度より動的応答加速度の方が大きいので，動的応答加速度を用いて求めた結果を示す。

運転状態	Ⅰ及びⅡ																					Ⅲ			Ⅳ
運転条件	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25
運転名称	ボルト締付け	耐圧試験 最高使用圧力以下	起動 昇温	起動 タービン起動	夜間低出力運転（出力75%）	週末低出力運転（出力50%）	制御棒ﾊﾟﾀｰﾝ変更	給水加熱機能喪失 発電機ﾄﾘｯﾌﾟ	給水加熱器部分ﾊﾞｲﾊﾟｽ	スクラム ﾀｰﾋﾞﾝﾄﾘｯﾌﾟ	スクラム その他のスクラム	定格出力運転	停止 ﾀｰﾋﾞﾝ停止	停止 高温待機	停止 冷却	停止 容器満水	停止 満水後冷却	ボルト取外し	燃料交換	スクラム 原子炉給水ﾎﾟﾝﾌﾟ停止	スクラム 逃がし安全弁誤作動	過大圧力	冷却材再循環系仕切弁誤作動（冷状態）	冷却材再循環ﾎﾟﾝﾌﾟ誤起動（冷状態）	冷却材喪失事故
回数	123	130	120	120	10000	2000	400	10	70	40	140		111					123		10	9	1	1	1	1





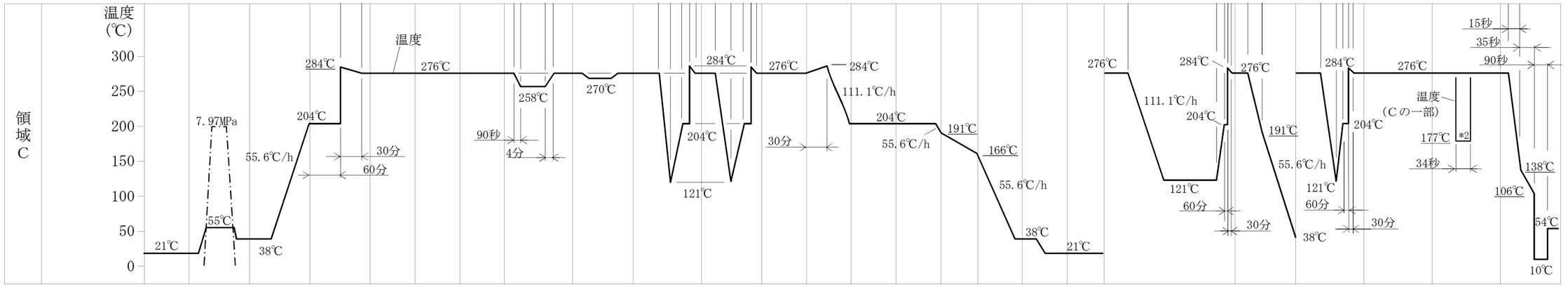


図2-1(1)　運転条件

注記　＊1：

＊2：

注 1：

注 2：

注 3：

注 4：

注 5：

注 6：

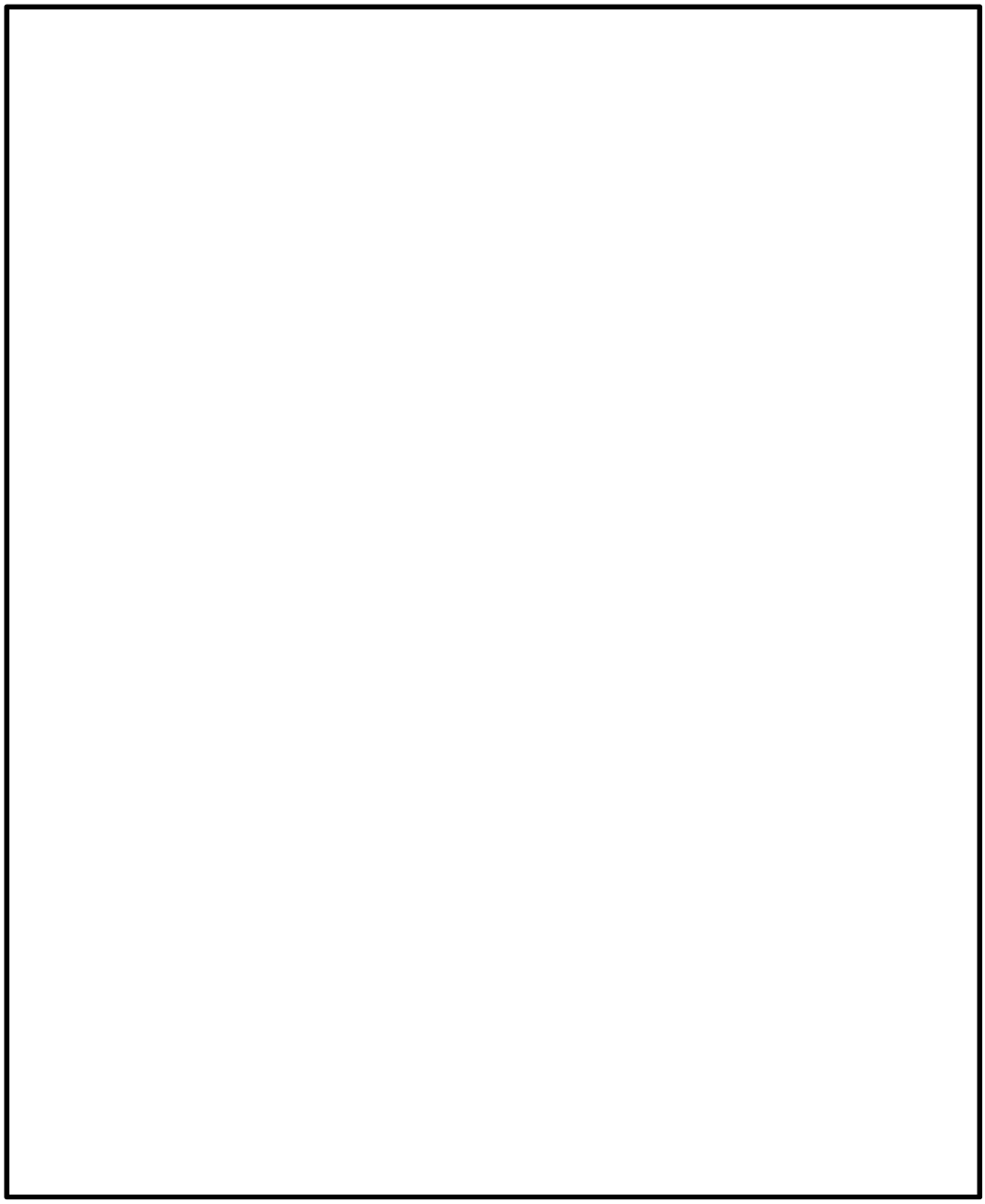


図 2-1(2)　運転条件
（原子炉圧力容器内領域図）

表 2-1　ドライチューブの各許容応力状態における外圧

（単位：MPa）

許容応力状態	外圧
$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	[redacted]
$\mathrm{IV}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	[redacted]

表 2-2(1)　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	許容応力状態	荷重の組合せ
計測制御系統設備	核計測装置	起動領域計装ドライチューブ	S	－*	ⅢAS	D＋P＋S_d*
					ⅣAS	D＋P＋S_s

［記号の説明］

P　：　各許容応力状態における外圧

D　：　死荷重

S_d*　：　弾性設計用地震動S_dにより定まる地震力又は静的地震力

S_s　：　基準地震動S_sにより定まる地震力

注記　＊：原子炉圧力容器内部に位置するため，炉心支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 2-2 (2)　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	許容応力状態	荷重の組合せ
計装制御系統設備	核計測装置	起動領域計装ドライチューブ	常設耐震／防止	－*2	V_AS*3	$D+P_{SAL}+S_d$**4
						$D+P_{SALL}+S_s$*4

［記号の説明］

P_{SAL}	：	重大事故等時の状態で長期的に作用する圧力荷重
P_{SALL}	：	重大事故等時の状態で超長期的に作用する圧力荷重
D	：	死荷重
S_d*	：	弾性設計用地震動S_dにより定まる地震力又は静的地震力
S_s	：	基準地震動S_sにより定まる地震力

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

＊2：原子炉圧力容器内部に位置するため，炉心支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊3：V_ASとして，$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。

＊4：「$D+P+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

注：許容応力状態V_ASにおける荷重の組合せで，重大事故後の状態における圧力荷重P_{SAL}及びP_{SALL}は，設計基準対象施設で想定される圧力と比べて小さいため，許容応力状態V_ASにおける荷重の組合せによる評価は，設計基準対象施設の評価に包絡される。

表 2-3　応力計算に使用する材料の物性値

分類	材料	温度 (℃)	E $\times 10^5$(MPa)
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304TB 相当 [redacted]	302	[redacted]

表 2-4　荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	応力評価
$\mathrm{III}_A S$	L01＋L04＋L14	P_m $P_m + P_b$
$\mathrm{IV}_A S$	L01＋L04＋L16	P_m $P_m + P_b$

表 2-5(1)　許容限界

許容応力状態	許容限界	
	一次一般膜応力強さ	一次一般膜 ＋一次曲げ応力強さ
$\mathrm{III}_A\mathrm{S}$	$1.5 \cdot S_m$ *1	左欄の 1.5 倍の値*1
$\mathrm{IV}_A\mathrm{S}$	$2/3 \cdot S_u$ *2 ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $2/3 \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方。	左欄の 1.5 倍の値*2

注記　＊1：設計・建設規格　CSS-3160(2)の崩壊荷重の下限に基づく場合は，この限りではない。

＊2：設計・建設規格　CSS-3160(3)の崩壊荷重の下限に基づく評価を適用する場合は，この限りではない。

表 2-5(2)　許容限界

（単位：MPa）

応力分類	一次一般膜応力強さ（P_m）	
許容応力状態	III_AS	IV_AS
温度	[redacted]	
SUS304TB	172	260
許容応力の算出式	$1.5 \cdot S_m$	Min $(2.4 \cdot S_m,\ 2/3 \cdot S_u)$

表 2-5(3)　許容限界

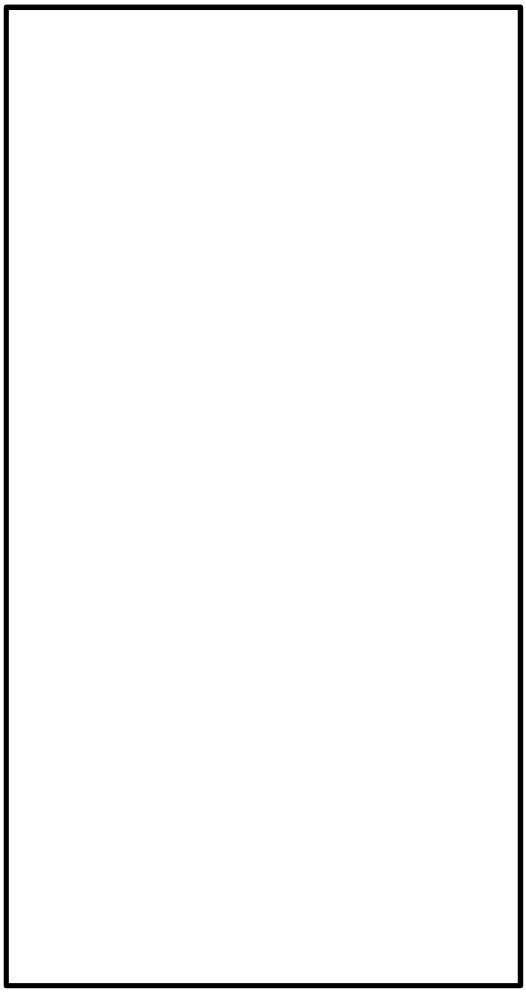
（単位：MPa）

応力分類	一次一般膜＋一次曲げ応力強さ（$P_m + P_b$）	
許容応力状態	III_AS	IV_AS
温度	[redacted]	
SUS304TB	258	391
許容応力の算出式	$2.25 \cdot S_m$	Min $(3.6 \cdot S_m,\ S_u)$

表 3-1　外荷重

記号	荷重名称	鉛直力	水平力	地震時ドライチューブ設計たわみ量
		V (N)	H (N)	δ_D (mm)
L04	死荷重			
L14	地震荷重S_d*			
L16	地震荷重S_s			

注：水平力Hはドライチューブに一様に加える。



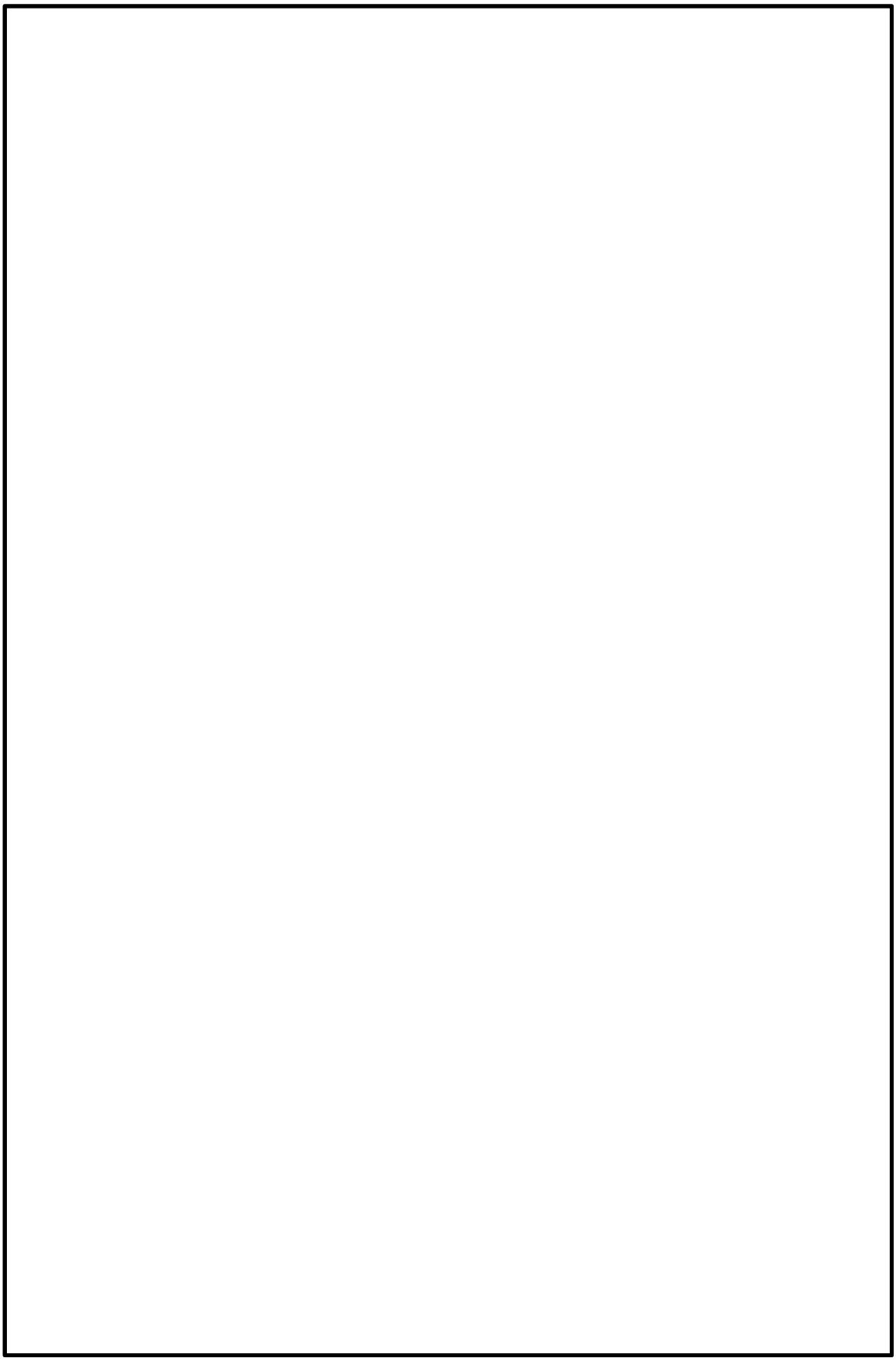


図 3-1　解析モデル

表 3-2　部材定数

部材番号	長さ (mm)	断面二次モーメント (mm^4)	せん断断面積 (mm^2)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

表 3-3　節点質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

表 3-4　固有値解析結果

次数	固有周期（s）	卓越方向	刺激係数	
			水平	鉛直
1 次				
2 次				
3 次				

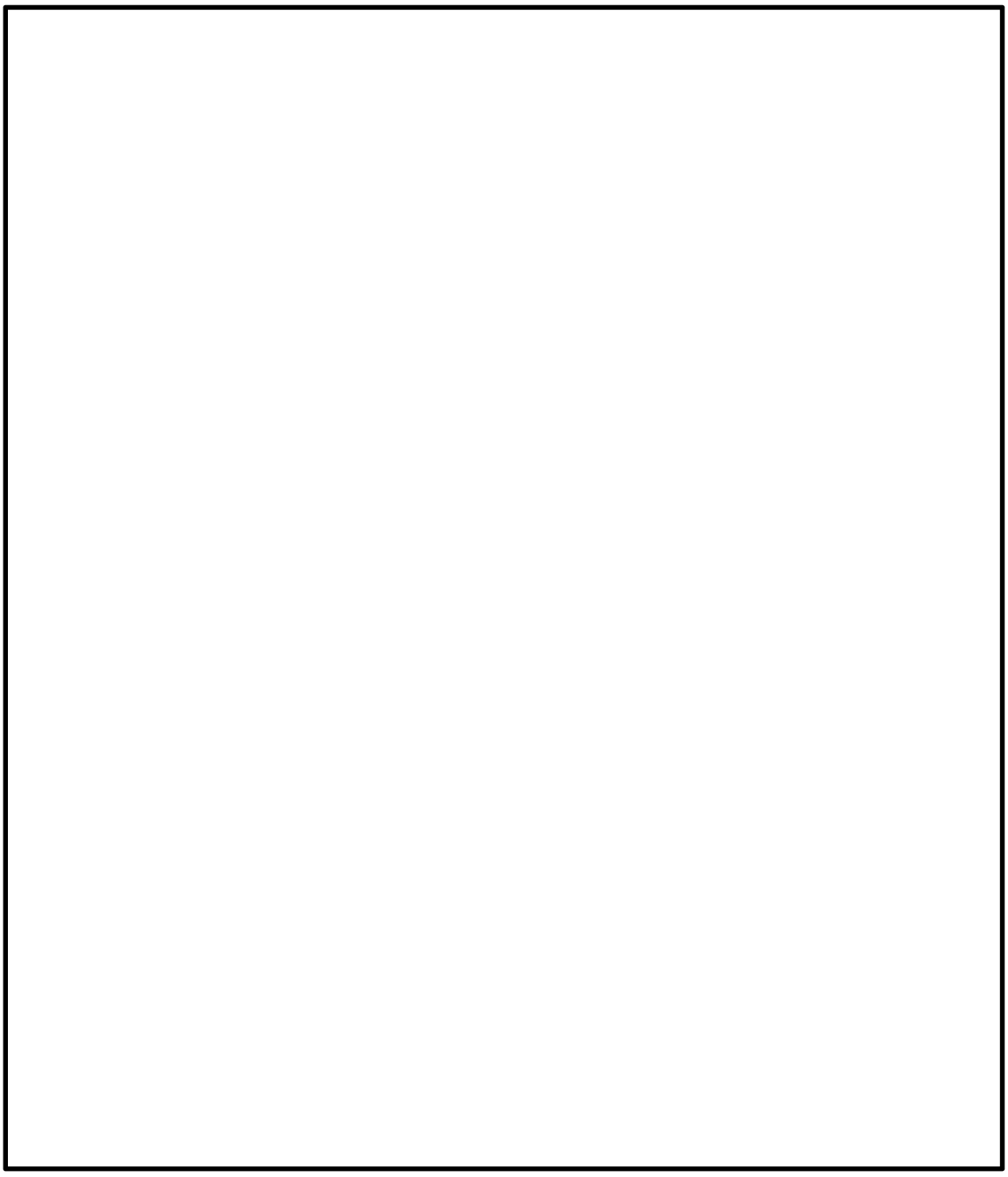


図 3-2　振動モード

表 3-5(1)　設計用地震力

建物・構築物	標高（m）	減衰定数（%）	
		水平	
		鉛直	

注記　＊：溶接構造物に適用される減衰定数の値

表 3-5(2)　設計用地震力

適用する地震動等		弾性設計用地震動Ｓ$_d$ 又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
モード	固有周期（s）	水平震度	鉛直震度	水平震度	鉛直震度
1 次					
2 次					
3 次					
動的震度					
静的震度					

注：

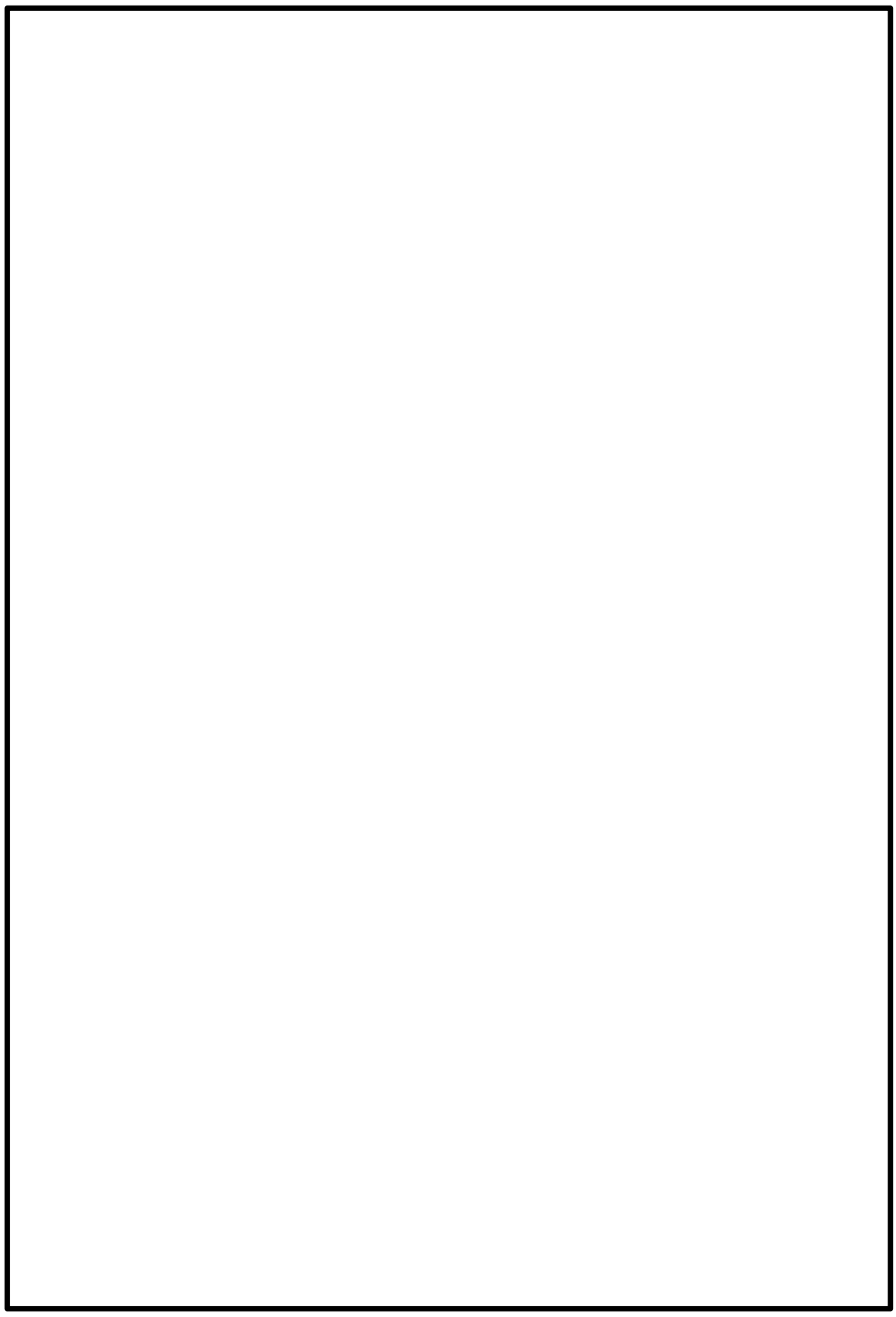


図 3-3(1)　動的応答加速度分布図
（弾性設計用地震動Ｓ$_d$）

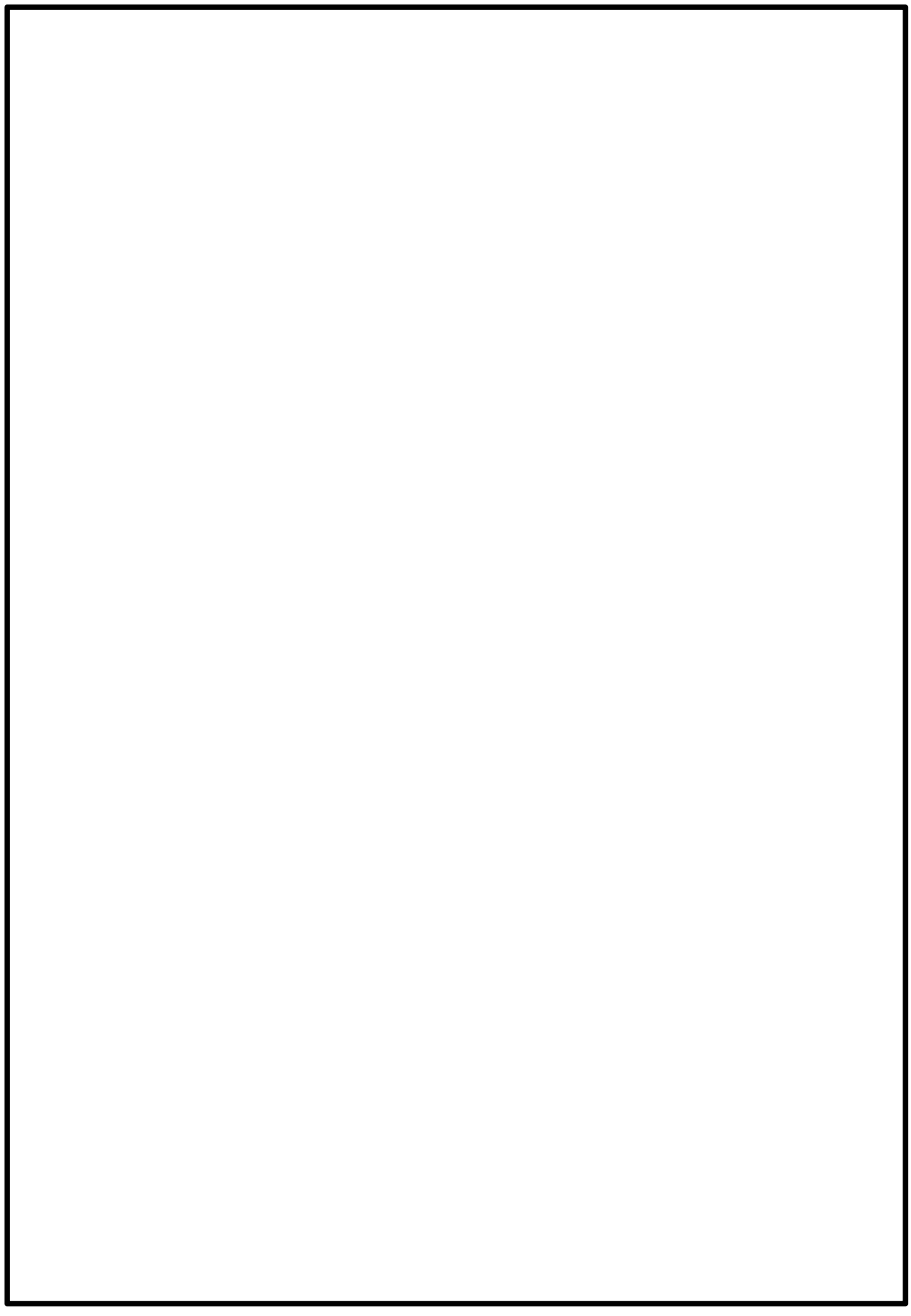


図 3-3(2)　動的応答加速度分布図
（基準地震動Ｓ$_s$）

表 3-6(1)　動的応答加速度

（弾性設計用地震動Ｓ$_d$）

（単位：m/s^2）

位置	加速度
節点番号 6	[redacted]

表 3-6(2)　動的応答加速度

（基準地震動Ｓ$_s$）

（単位：m/s^2）

位置	加速度
節点番号 6	[redacted]

表 3-7　静的加速度

（単位：m/s^2）

位置	加速度
炉心支持板	[redacted]
上部格子板	[redacted]

4. 応力解析

4.1 応力解析の手順

応力解析を行う手順について述べる。

4.1.1 荷重条件

荷重条件は2章及び3章に示す。

4.1.2 応力計算と応力の分類

(1) 応力計算の方法

a. 応力計算は荷重の種類ごとに行う。荷重として与えられるものは次の2つである。

(a) 外圧

(b) 外荷重

b. 解析する箇所の形状は，次の方針に従ってモデル化する。

(a) 構造の不連続を考慮して応力の最も厳しい箇所に応力評価点（面）を選ぶ。なお，軸対称モデル解析において，非軸対称な外荷重による応力評価を行った場合，荷重の入力方位と応力評価点の方位の関係により応力に極大値と極小値が生じる。外荷重による応力が極大となる方位の応力評価点は［例 P01］と表し，極小となる方位の応力評価点には，プライム（’）を付けて［例 P01’］と表す。

一次応力の評価は，内外面の応力評価点を含む断面（応力評価面）について行う。

(2) 応力の分類

応力の計算結果は，表4-1の応力の分類方法に従って分類し，計算を行う。

4.2　応力計算

4.2.1　外圧による応力

(1)　荷重条件（L01）

ドライチューブの各許容応力状態における外圧を，表 2-1 に示す。

(2)　計算方法

a.　一次一般膜応力

外圧P_oによる一次一般膜応力は，次式で求める。

$$\sigma_t = -\frac{Y}{Y-1} \cdot P_o$$

$$\sigma_\ell = -\frac{Y^2}{Y^2-1} \cdot P_o$$

$$\sigma_r = -\frac{Y}{Y+1} \cdot P_o$$

ここで，$Y = \frac{D_o}{D_i}$

なお，各応力評価点でのD_o，D_iは表 4-2 に示す。

b.　一次一般膜＋一次曲げ応力

外圧P_oによる一次曲げ応力は，存在しない。したがって，一次一般膜＋一次曲げ応力は，一次一般膜応力と同じである。

NT2 補③ V-2-6-5-2 R0

4.2.2　外荷重による応力

(1)　荷重条件（L04，L14 及び L16）

ドライチューブに働く外荷重を，表 3-1 に示す。

(2)　計算方法

外荷重による応力は，以下により求める。

a.　死荷重（L04）

死荷重による応力は次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = -\frac{V}{A}$$

b.　地震荷重（L14 及び L16）

(a)　水平方向地震荷重による応力

[redacted]

応力計算モデルを図 4-1 に示す。

[redacted]

[redacted]応力評価点の曲げモーメントM_E，せん断力F_Eは次のようになる。

$$M_E = P_B \cdot (\ell - \ell') - \frac{1}{2} \cdot w \cdot (\ell - \ell')^2$$

$$F_E = w \cdot (\ell - \ell') - P_B$$

ここで,

$$P_B = \frac{w \cdot \ell}{3}$$

$$w = \frac{H}{L}$$

$$\ell = \left(\frac{72 \cdot \delta_D \cdot E \cdot I}{w} \right)^{\frac{1}{4}}$$

なお，Ｉはパイプ母材に対する値を用いる。
したがって，応力評価点に生じる一次曲げ応力は次のようになる。

$$\sigma_\ell = \pm \frac{M_E}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

また，各応力評価点で生じる一次一般膜応力は

$$\tau_{t\ell} = \pm \frac{F_E}{A}$$

ただし，各応力評価点のD_o，Ａ，Ｉは表 4-2 による。

(b) 鉛直方向地震荷重による応力
鉛直方向地震による応力は次式で求める。

$$\sigma_\ell = \frac{V}{A}$$

4.3　応力の評価

4.3.1　主応力

4.2 節で計算された応力は，応力の分類ごとに重ね合わせ，組合せ応力を求める。

組合せ応力は，一般にσ_t，σ_ℓ，σ_r，$\tau_{t\ell}$，$\tau_{\ell r}$，τ_{rt}の 6 成分をもつが，主応力σは，引用文献(1)の 1.3.6 項により，次式を満足する 3 根σ_1，σ_2，σ_3として計算する。

$$\sigma^3-(\sigma_t+\sigma_\ell+\sigma_r)\cdot\sigma^2+(\sigma_t\cdot\sigma_\ell+\sigma_\ell\cdot\sigma_r+\sigma_r\cdot\sigma_t-\tau_{t\ell}^2-\tau_{\ell r}^2-\tau_{rt}^2)\cdot\sigma-\sigma_t\cdot\sigma_\ell\cdot\sigma_r+\sigma_t\cdot\tau_{\ell r}^2+\sigma_\ell\cdot\tau_{rt}^2+\sigma_r\cdot\tau_{t\ell}^2-2\cdot\tau_{t\ell}\cdot\tau_{\ell r}\cdot\tau_{rt}=0$$

上式により主応力を求める。

4.3.2　応力強さ

以下の 3 つの主応力差の絶対値で最大のものを応力強さとする。

$$S_{12}=\sigma_1-\sigma_2$$

$$S_{23}=\sigma_2-\sigma_3$$

$$S_{31}=\sigma_3-\sigma_1$$

5.　応力強さの評価

5.1　一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて，表 5-1 に示す。

表 5-1 より，各許容応力状態の一次一般膜応力強さは，2.8 節に示す許容限界を満足する。

5.2　一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて，表 5-2 に示す。

表 5-2 より，各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，2.8 節に示す許容限界を満足する。

6.　引用文献

(1)　機械工学便覧　基礎編　α3（日本機械学会）

図 4-1　地震荷重による応力の計算モデル（単位：mm）

表 4-1　応力の分類

	位　　置	荷重の種類	応力の分類	
管状構造物	不連続部より遠い部分	圧力差	一般膜応力	P_m
		外荷重又はモーメント	全断面について平均した一般膜応力	P_m
			曲げ応力	P_b

注：

P_m　：圧力差又は機械的荷重によって生じる膜応力であって，構造上の不連続性及び局部的形状の変化によって生じる膜応力は除く。ただし，実際の応力評価では，応力評価面を構造上の不連続部にとることが多いので，内径，板厚がその応力評価面での値に等しい単純な殻を仮定し，シェル理論又ははり理論を用いて計算した応力を，その応力評価面におけるP_mとする。

P_b　：外力，内力及びモーメントに対して，単純な平衡の法則を満足する曲げ応力をいう。

表 4-2　断面性状

応力評価点	t (mm)	D_o (mm)	A (mm^2)	I (mm^4)
P01，P02				

表 5-1　一次一般膜応力強さの評価のまとめ

（単位：MPa）

応力評価面	許容応力状態ⅢＡＳ		許容応力状態ⅣＡＳ	
	応力強さ	許容値	応力強さ	許容値
P01 P02	33	172	33	260
P01’ P02’	33	172	33	260

表 5-2　一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

（単位：MPa）

応力評価面	許容応力状態ⅢＡＳ		許容応力状態ⅣＡＳ	
	応力強さ	許容値	応力強さ	許容値
P01 P02	130	258	187	391
P01’ P02’	132	258	189	391

Ⅴ-2-6-5-2　出力領域計装の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
1.1 一般事項 1
1.2 構造の説明 1
1.3 記号の説明 3
1.4 適用基準 4
1.5 形状・寸法・材料 4
1.6 解析範囲 4
2. 計算条件 6
2.1 設計条件 6
2.2 運転条件 6
2.3 重大事故等時の条件 7
2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態 7
2.5 材料 7
2.6 物性値 7
2.7 荷重の組合せと応力評価 8
2.8 許容限界 8
2.9 応力の記号と方向 8
3. 外荷重の条件 9
3.1 死荷重 9
3.2 地震荷重 9
4. 応力解析 28
4.1 応力解析の手順 28
4.2 応力計算 29
4.3 応力の評価 32
5. 応力強さの評価 32
5.1 一次一般膜応力強さの評価 32
5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価 32
6. 引用文献 32

図表目次

図 1-1　形状・寸法・材料・応力評価点 ····· 5
図 2-1　運転条件 ····· 11
図 3-1　解析モデル ····· 21
図 3-2　振動モード ····· 23
図 3-3　動的応答加速度分布図 ····· 25
図 4-1　地震荷重による応力の計算モデル ····· 33

表 1-1　ＬＰＲＭ検出器集合体の構造計画 ····· 2
表 2-1　ＬＰＲＭ検出器集合体の各許容応力状態における外圧 ····· 14
表 2-2　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 15
表 2-3　応力計算に使用する材料の物性値 ····· 17
表 2-4　荷重の組合せ ····· 17
表 2-5　許容限界 ····· 18
表 2-6　溶接部の継手効率 ····· 19
表 3-1　外荷重 ····· 20
表 3-2　部材定数 ····· 22
表 3-3　節点質量 ····· 22
表 3-4　固有値解析結果 ····· 23
表 3-5　設計用地震力 ····· 24
表 3-6　動的応答加速度 ····· 27
表 3-7　静的加速度 ····· 27
表 4-1　応力の分類 ····· 34
表 4-2　断面性状 ····· 34
表 5-1　一次一般膜応力強さの評価のまとめ ····· 35
表 5-2　一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ ····· 35

1. 概要

1.1 一般事項

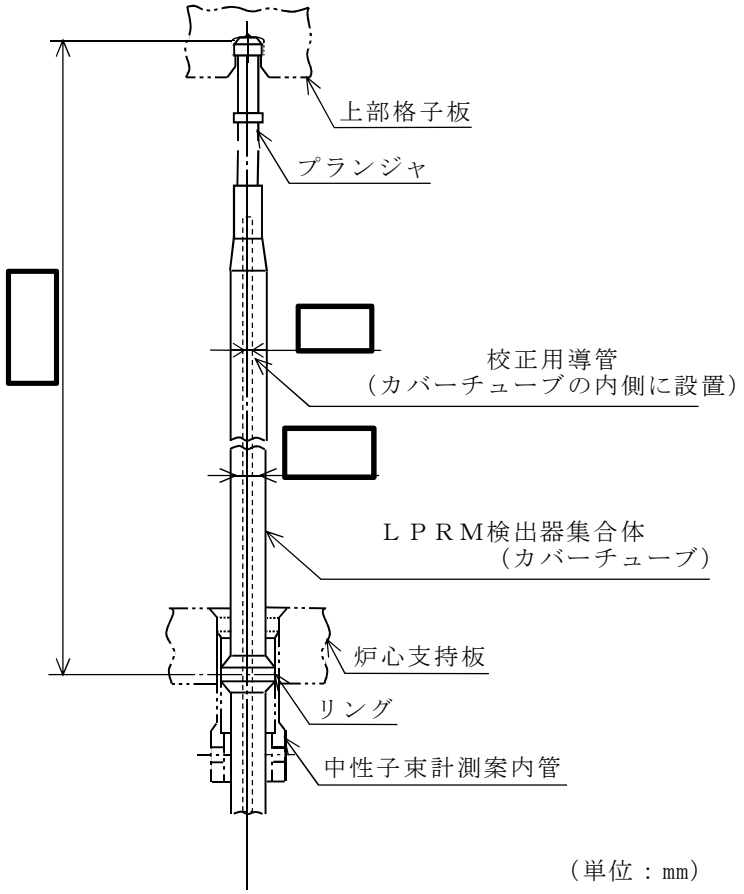
本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の基本方針に基づき，平均出力領域モニタの出力領域計装（以下「ＬＰＲＭ」という。）検出器集合体が設計用地震力に対し十分な構造強度を有していることを説明するものである。

ＬＰＲＭ検出器集合体は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

1.2 構造の説明

ＬＰＲＭ検出器集合体の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1　ＬＰＲＭ検出器集合体の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉圧力容器内上部格子板で上方が支持され，炉心支持板で水平方向をが支持される。炉心支持板より下方では，中性子計測案内管及び中性子計測ハウジングでガイドされ，中性子計測ハウジング下端に取り付けられたフランジに固定される。	ＬＰＲＭ検出器集合体は，カバーチューブの内側に校正用導管を内蔵する構造の長尺円筒構造物であり，カバーチューブの直径は［　　］mm，校正用導管の直径は，［　　］mm である。	

1.3　記号の説明

本計算書において，下記の記号を使用する。ただし，本文中に別途記載ある場合は，この限りではない。

記　号	記　号　の　説　明	単　位
A	断面積	mm^2
D_i	内径	mm
D_o	外径	mm
E	縦弾性係数	MPa
H	水平力	N
I	断面二次モーメント	mm^4
L	リングからプランジャ先端までの長さ	mm
	リングからチャンネルボックスに接触する点までの距離	mm
’	リングから応力評価点までの距離	mm
P_b	一次曲げ応力	MPa
P_m	一次一般膜応力	MPa
P_o	外圧	MPa
S_d*	弾性設計用地震動S_dにより定まる地震力又は静的地震力	－
S_m	設計応力強さ	MPa
S_s	基準地震動S_sにより定まる地震力	－
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
V	鉛直力	N
t	厚さ	mm
δ_D	設計たわみ量	mm
η	溶接部の継手効率	－
σ_ℓ	軸方向応力	MPa
σ_r	半径方向応力	MPa
σ_t	周方向応力	MPa
$\tau_{t\ell}$	せん断応力	MPa

1.4　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥＳ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）

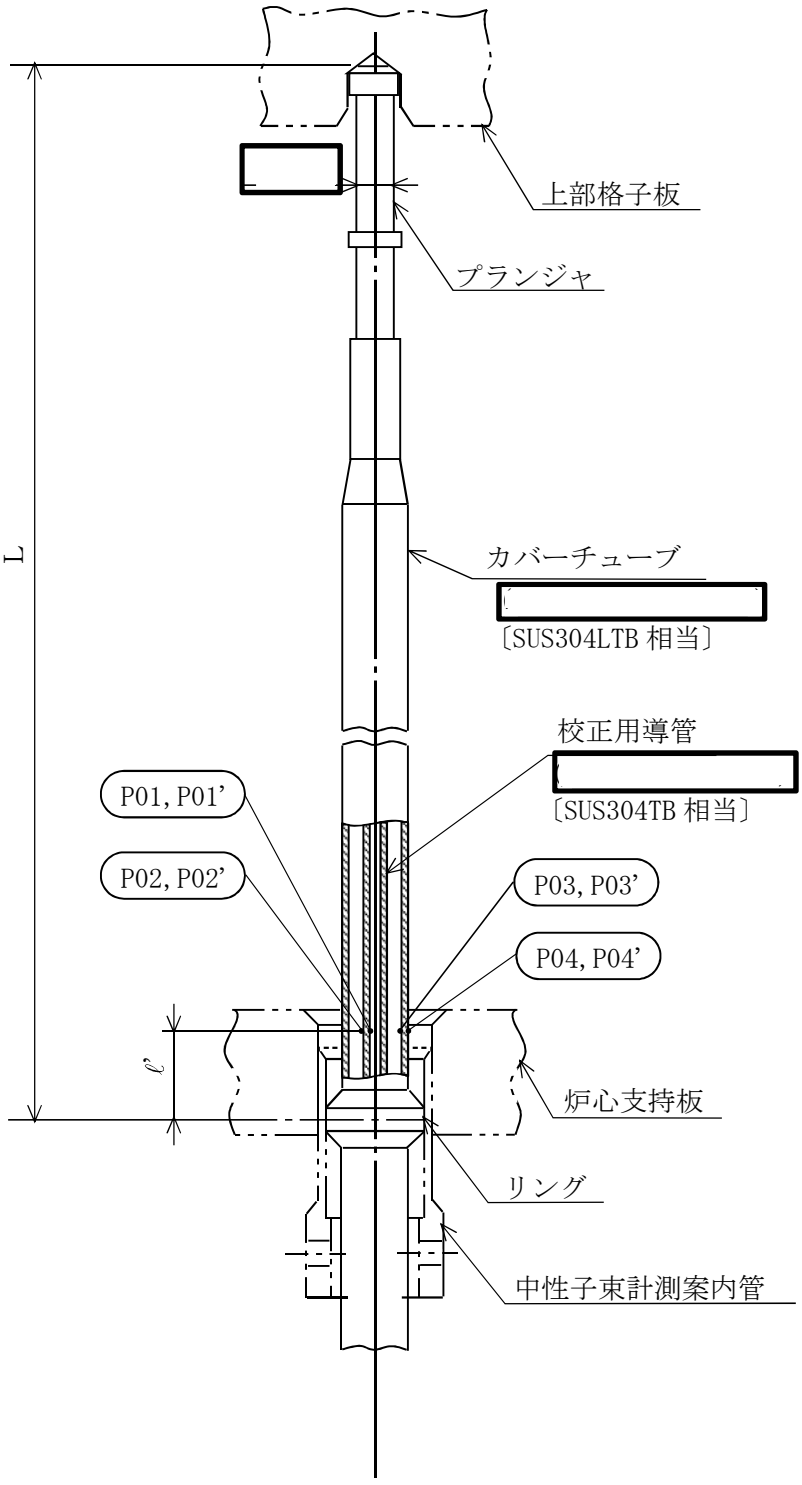
注:本計算書において,設計・建設規格の条項は「設計・建設規格　○○○-△△△△(◇)a.(a)」として示す。

1.5　形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を，図 1-1 に示す。

1.6　解析範囲

応力計算は，図 1-1 に示す応力評価点について行う。



：応力評価点
〔　　〕：材料

L ＝
ℓ’ ＝

図 1－1　形状・寸法・材料・応力評価点（単位：mm）

2. 計算条件

2.1 設計条件

最高使用圧力（外圧）　　：8.62 MPa

最高使用温度　　：302 ℃

なお，ＬＰＲＭ検出器集合体の校正用導管の内圧は0 MPaとしている。

2.2 運転条件

2.2.1 運転状態Ⅰ及びⅡ

(1)	ボルト締付け	{ボルト締付け}	[C01]
(2)	耐圧試験（最高使用圧力以下）	{耐圧試験最高使用圧力以下}	[C02]
(3)	起動（昇温）	{起動昇温}	[C03]
(4)	起動（タービン起動）	{起動タービン起動}	[C04]
(5)	夜間低出力運転（出力75 %）	{夜間低出力運転出力75 %}	[C05]
(6)	週末低出力運転（出力50 %）	{週末低出力運転出力50 %}	[C06]
(7)	制御棒パターン変更	{制御棒パターン変更}	[C07]
(8)	給水加熱機能喪失（発電機トリップ）	{発電機トリップ}	[C08]
(9)	給水加熱機能喪失（給水加熱器部分バイパス）	{給水加熱器部分バイパス}	[C09]
(10)	スクラム（タービントリップ）	{スクラムタービントリップ}	[C10]
(11)	スクラム（その他のスクラム）	{スクラムその他のスクラム}	[C11]
(12)	定格出力運転	{定格出力運転}	[C12]
(13)	停止（タービン停止）	{停止タービン停止}	[C13]
(14)	停止（高温待機）	{停止高温待機}	[C14]
(15)	停止（冷却）	{停止冷却}	[C15]
(16)	停止（容器満水）	{停止容器満水}	[C16]
(17)	停止（満水後冷却）	{停止満水後冷却}	[C17]
(18)	ボルト取外し	{ボルト取外し}	[C18]
(19)	燃料交換	{燃料交換}	[C19]
(20)	スクラム（原子炉給水ポンプ停止）	{スクラム原子炉給水ポンプ停止}	[C20]
(21)	スクラム（逃がし安全弁誤作動）	{スクラム逃がし安全弁誤作動}	[C21]

2.2.2 運転状態Ⅲ

(1)	スクラム（過大圧力）	{スクラム過大圧力}	[C22]
(2)	冷却材再循環系仕切弁誤作動（冷状態）	{冷再循環系仕切弁誤作動}	[C23]
(3)	冷却材再循環ポンプ誤起動（冷状態）	{冷再循環ポンプ誤起動}	[C24]

2.2.3　運転状態Ⅳ

(1)　冷却材喪失事故　　{冷却材喪失事故}　　[C25]

各運転条件における，ＬＰＲＭ検出器集合体の校正用導管の外圧（原子炉圧力容器の内圧）の変化，周囲の流体の温度変化及びその繰返し回数を図 2-1(1)に示す。

なお，ＬＰＲＭ検出器集合体の校正用導管の外圧は，設置箇所のうち最も厳しい領域Ｃ（図 2-1(2)）の値を用いることとし，表 2-1 に示す。

2.3　重大事故等時の条件

重大事故等時の条件は以下のとおりである。

圧力条件　　：設計条件と同じ

温度条件　　：設計条件と同じ

2.4　荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を，表 2-2 に示す。

なお，ＬＰＲＭ検出器集合体は，原子炉圧力容器内部に位置するため，炉心支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

また，各許容応力状態で考慮する荷重は，3 章に示すとおりである。

2.5　材料

各部の材料は，次に示すとおりである。

校正用導管　　：SUS304TB 相当[redacted]　（耐圧部）

カバーチューブ：SUS304LTB 相当[redacted]　（非耐圧部）

2.6　物性値

応力計算に使用する材料の物性値は，下記のとおりである。

(1)　縦弾性係数Ｅは設計・建設規格　付録材料図表　Part6　表 1 に定められたものによる。

(2)　応力計算に使用する物性値は，最高使用温度（302 ℃）に対する値を用いる。

(3)　材料の物性値を，表 2-3 に示す。

2.7　荷重の組合せと応力評価

荷重の組合せと応力評価項目の対応を表 2-4 に示す。

表 2-4 及び本計算書において使用する荷重の種類と記号は，下記のとおりである。

荷重	記　号
(1)　ＬＰＲＭ検出器集合体の校正用導管の外圧（原子炉圧力容器の内圧）	［L01］
(2)　死荷重（機器の自重により生じる荷重）	［L04］
(3)　機器の地震時の振動による地震荷重S_d^*（一次荷重）	［L14］
(4)　機器の地震時の振動による地震荷重S_s（一次荷重）	［L16］

2.8　許容限界

(1)　設計応力強さS_m，設計降伏点S_y，設計引張強さS_uはそれぞれ設計・建設規格　付録　材料図表　Part5　表 1，表 8 及び表 9 に定められたものを使用する。

(2)　一次応力強さの評価には，各運転状態における流体の最高温度（運転状態Ⅰ及びⅡ［　　］℃）に対する許容限界を用いる。

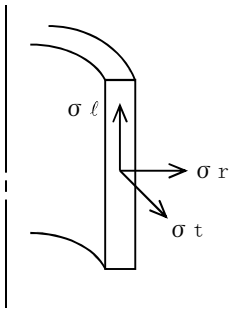
(3)　ＬＰＲＭ検出器集合体の各運転状態の応力強さの評価に用いる許容限界は，表 2-5 に示すとおりである。

(4)　ＬＰＲＭ検出器集合体の応力評価点における溶接部の継手効率は，継手の種類及び適用する検査の種類により定め，表 2-6 に示すとおりとする。ＬＰＲＭ検出器集合体の溶接部でない応力評価点では，$\eta = 1.00$ を用いる。

2.9　応力の記号と方向

応力の記号とその方向は，下記のとおりとする。

σ_t　：周方向応力
σ_ℓ　：軸方向応力
σ_r　：半径方向応力
$\tau_{t\ell}$　：せん断応力



3.　外荷重の条件

3.1　死荷重

機器の自重及びばね荷重を考慮する。評価に適用する死荷重を表 3-1 に示す。

3.2　地震荷重

3.2.1　地震応答解析の基本方針

(1)　ＬＰＲＭ検出器集合体の地震応答解析は，3.2.2 項に示すはり要素でモデル化したＦＥＭモデルにより実施する。

(2)　強度上重要で，耐震計算上評価が厳しくなる炉心支持板と上部格子板間のＬＰＲＭ検出器集合体する。

(3)　ＬＰＲＭ検出器集合体の質量は，炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の全質量と比して小さいことから，これらとの連成系としては考えず，これらの構造物の地震応答解析により得られた炉心支持板及び上部格子板における応答曲線（減衰定数 [redacted] を包絡してＬＰＲＭ検出器集合体に対する入力とする。

(4)　解析コードは「ＳＡＰ－Ⅳ」を使用し，固有値及び動的応答加速度を求める。

なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-3　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＳＡＰ－Ⅳ」に示す。

3.2.2　解析モデル及び諸元

ＬＰＲＭ検出器集合体の解析モデルを図 3-1 に，解析モデルの諸元を表 3-2 及び表 3-3 に示す。

(1)　ＬＰＲＭ検出器集合体の上方は，上部格子板の溝に入って支持される構造であるため，上部格子板位置での支持条件は [redacted] とする。

[redacted]

[redacted] とする。

(2)　[redacted] 考慮する。

3.2.3　固有周期

固有値解析の結果を表 3-4 に，振動モード図を図 3-2 に示す。

なお，鉛直方向については，3 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

3.2.4　設計用地震力

「弾性設計用地震力Ｓ$_{d}$又は静的震度」及び「基準地震動Ｓ$_{s}$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」及び「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

地震荷重の算出に用いる設計用地震力を表 3-5 に示す。

3.2.5　応答解析結果

(1)　動的震度による応答加速度

ＬＰＲＭ検出器集合体の節点位置における動的震度による応答加速度（以下「動的応答加速度）という。）を図 3-3 に示す。また，ＬＰＲＭ検出器集合体に作用する動的応答加速度の最大値を表 3-6 に示す。

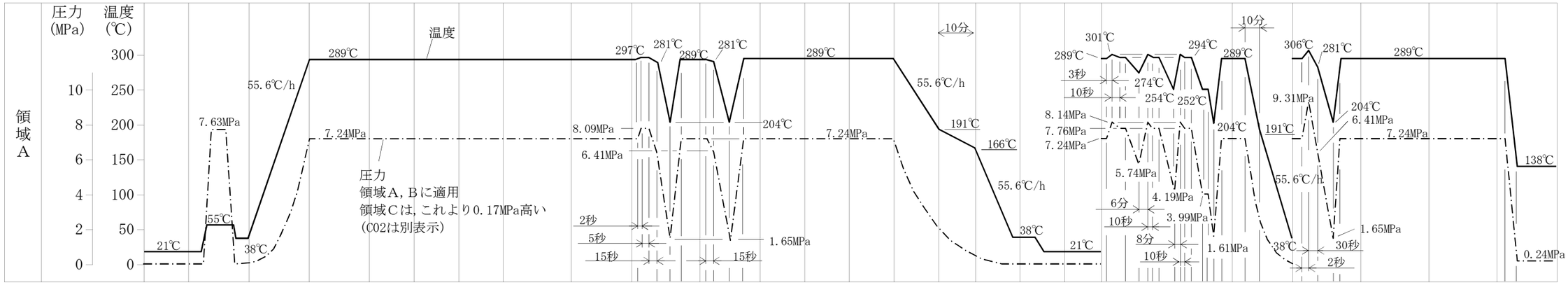
(2)　静的震度による加速度

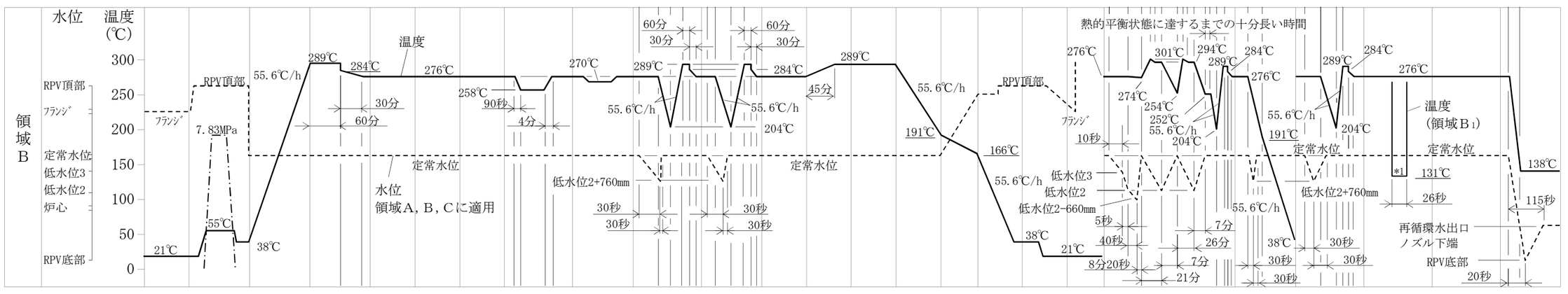
ＬＰＲＭ検出器集合体に作用する静的震度による加速度（以下「静的加速度」という。）を表 3-7 に示す。

3.2.6　地震荷重の算出結果

ＬＰＲＭ検出器集合体に対する地震荷重を表 3-1 に示す。なお，地震荷重Ｓ$_{d}$*については，表 3-6(1)及び表 3-7 に示すように静的加速度より動的応答加速度の方が大きいので，動的応答加速度を用いて求めた結果を示す。

運転状態	Ⅰ及びⅡ																					Ⅲ			Ⅳ
運転条件	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25
運転名称	ボルト締付け	耐圧試験 最高使用圧力以下	起動 昇温	起動 タービン起動	夜間低出力運転（出力75%）	週末低出力運転（出力50%）	制御棒ﾊﾟﾀｰﾝ変更	給水加熱機能喪失 発電機ﾄﾘｯﾌﾟ	給水加熱器部分ﾊﾞｲﾊﾟｽ	スクラム ﾀｰﾋﾞﾝﾄﾘｯﾌﾟ	スクラム その他のスクラム	定格出力運転	停止 ﾀｰﾋﾞﾝ停止	停止 高温待機	停止 冷却	停止 容器満水	停止 満水後冷却	ボルト取外し	燃料交換	スクラム 原子炉給水ﾎﾟﾝﾌﾟ停止	スクラム 逃がし安全弁誤作動	過大圧力	冷却材再循環系仕切弁誤作動（冷状態）	冷却材再循環ﾎﾟﾝﾌﾟ誤起動（冷状態）	冷却材喪失事故
回数	123	130	120	120	10000	2000	400	10	70	40	140		111					123		10	9	1	1	1	1





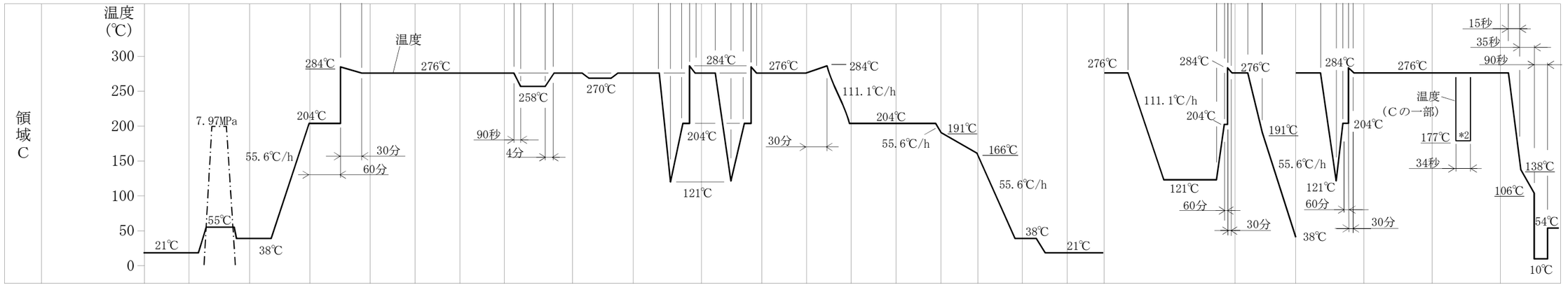


図2-1(1)　運転条件

注記　＊1：

＊2：

注 1：

注 2：

注 3：

注 4：

注 5：

注 6：

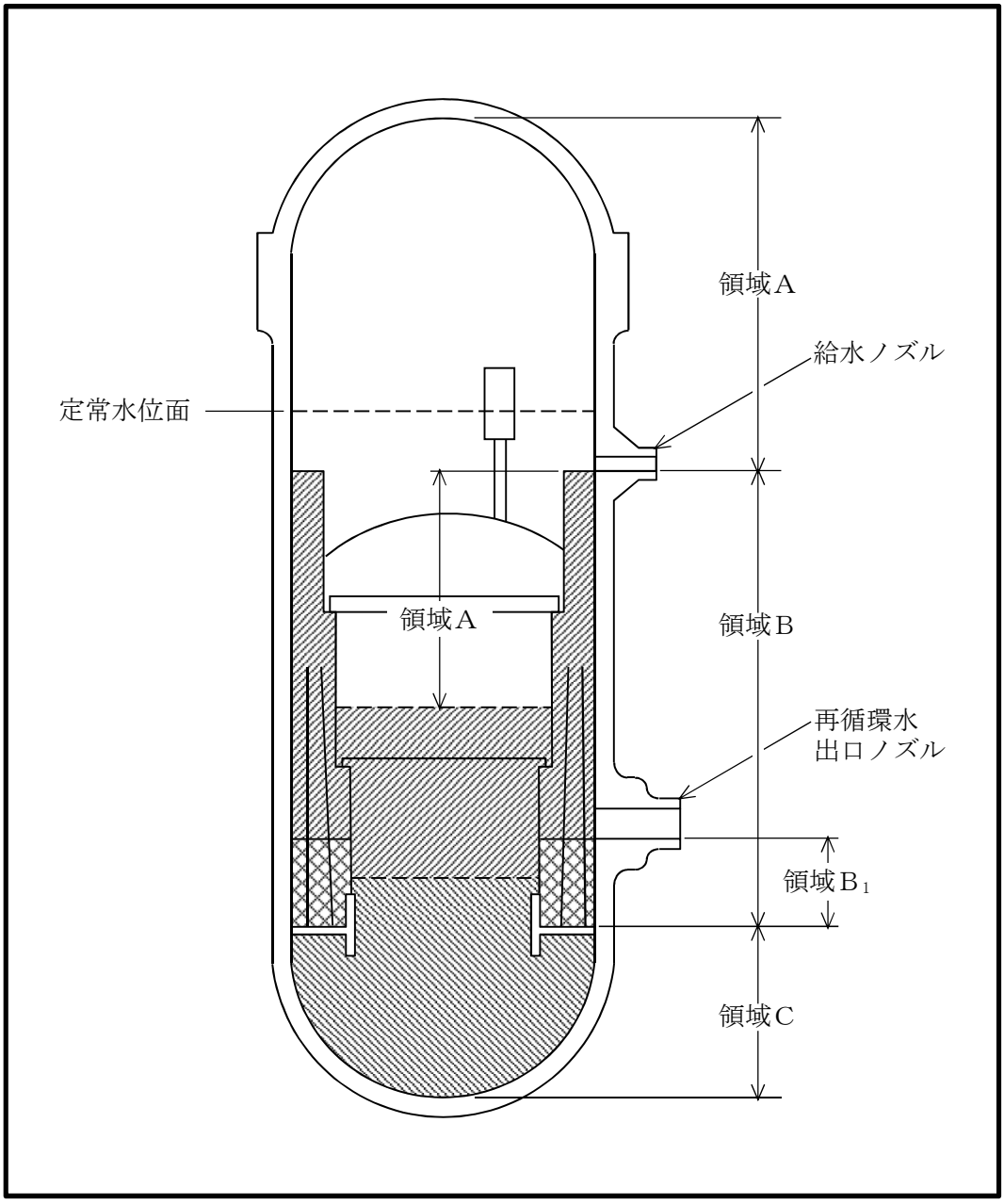


図 2-1(2)　運転条件
（原子炉圧力容器内領域図）

表 2-1　ＬＰＲＭ検出器集合体の各許容応力状態における外圧

（単位：MPa）

許容応力状態	外圧
$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	[redacted]
$\mathrm{IV}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	[redacted]

表 2-2(1)　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	許容応力状態	荷重の組合せ
計測制御系統設備	核計測装置	出力領域計装／出力領域計装集合体	S	－*	$\mathrm{III}_A S$	$D+P+S_d{}^*$
					$\mathrm{IV}_A S$	$D+P+S_s$

［記号の説明］

P	：	各許容応力状態における外圧
D	：	死荷重
$S_d{}^*$	：	弾性設計用地震動S_dにより定まる地震力又は静的地震力
S_s	：	基準地震動S_sにより定まる地震力

注記　＊：原子炉圧力容器内部に位置するため，炉心支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 2-2(2)　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	許容応力状態	荷重の組合せ
計装制御系統設備	核計測装置	出力領域計装／出力領域計装集合体	常設耐震／防止	－*2	V_AS*3	$D+P_{SAL}+S_d$**4
						$D+P_{SALL}+S_s$*4

［記号の説明］

P_{SAL}　：　重大事故等時の状態で長期的に作用する圧力荷重

P_{SALL}　：　重大事故等時の状態で超長期的に作用する圧力荷重

D　：　死荷重

S_d*　：　弾性設計用地震動S_dにより定まる地震力又は静的地震力

S_s　：　基準地震動S_sにより定まる地震力

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

＊2：原子炉圧力容器内部に位置するため，炉心支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊3：V_ASとして，$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。

＊4：「$D+P+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

注：許容応力状態V_ASにおける荷重の組合せで，重大事故後の状態における圧力荷重P_{SAL}及びP_{SALL}は，設計基準対象施設で想定される圧力と比べて小さいため，許容応力状態V_ASにおける荷重の組合せによる評価は，設計基準対象施設の評価に包絡される。

表 2-3　応力計算に使用する材料の物性値

分類	材料	温度 (℃)	E $\times 10^5$(MPa)
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304TB 相当 [redacted]	302	[redacted]
	SUS304LTB 相当 [redacted]	302	

注：以降，材料は新ＪＩＳ相当材で記す。

表 2-4　荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	応力評価
ⅢAS	L01＋L04＋L14	P_m P_m+P_b
ⅣAS	L01＋L04＋L16	P_m P_m+P_b

表 2-5(1)　許容限界

許容応力状態	許容限界	
	一次一般膜応力強さ	一次一般膜 ＋一次曲げ応力強さ
ⅢAS	1.5・S_m*1	左欄の 1.5 倍の値*1
ⅣAS	2/3・S_u*2 ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については 2/3・S_uと 2.4・S_mの小さい方。	左欄の 1.5 倍の値*2

注記　＊1：設計・建設規格　CSS-3160(2)の崩壊荷重の下限に基づく場合は，この限りではない。

＊2：設計・建設規格　CSS-3160(3)の崩壊荷重の下限に基づく評価を適用する場合は，この限りではない。

表 2-5(2)　許容限界

（単位：MPa）

応力分類	一次一般膜応力強さ（P_m）	
許容応力状態	ⅢAS	ⅣAS
温度		
SUS304TB	172	260
SUS304LTB	94	150
許容応力の算出式	1.5・S_m	Min (2.4・S_m, 2/3・S_u)

表 2-5(3)　許容限界

（単位：MPa）

応力分類	一次一般膜＋一次曲げ応力強さ（P_m＋P_b）	
許容応力状態	ⅢAS	ⅣAS
温度(℃)		
SUS304TB	258	391
SUS304LTB	141	226
許容応力の算出式	2.25・S_m	Min (3.6・S_m, S_u)

表 2-6　溶接部の継手効率

継手の分類	対応する応力評価面	継手の種類	検査の種類*	継手効率
管と管の周継手				

注記　＊：検査の種類を示す記号は次のとおりである。

表 3-1　外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力	地震時ＬＰＲＭ設計たわみ量
		校正用導管	カバーチューブ		
		V (N)		H (N)	δ_D (mm)
L04	死荷重				
L14	地震荷重S_d*				
L16	地震荷重S_s				

注 1：

注 2：

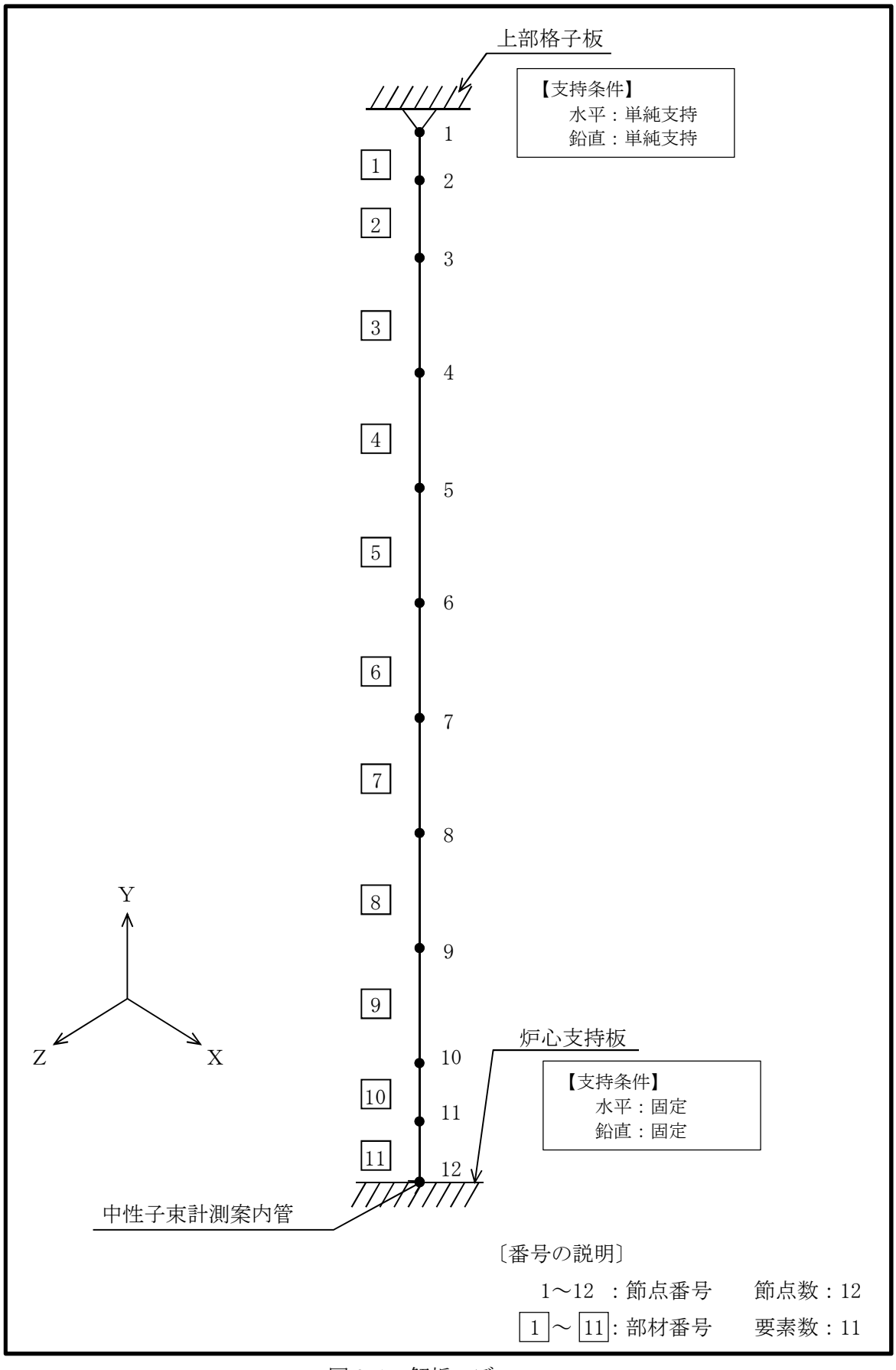

上部格子板
【支持条件】
水平：単純支持
鉛直：単純支持
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
Y
Z
X
炉心支持板
【支持条件】
水平：固定
鉛直：固定
中性子束計測案内管
〔番号の説明〕
1～12 ：節点番号 節点数：12
1 ～ 11 : 部材番号 要素数：11

図 3-1　解析モデル

表 3-2　部材定数

部材番号	長さ (mm)	断面二次モーメント (mm^4)	せん断断面積 (mm^2)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					

表 3-3　節点質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	

表 3-4　固有値解析結果

次数	固有周期（s）	卓越方向	刺激係数	
			水平	鉛直
1 次				
2 次				
3 次				

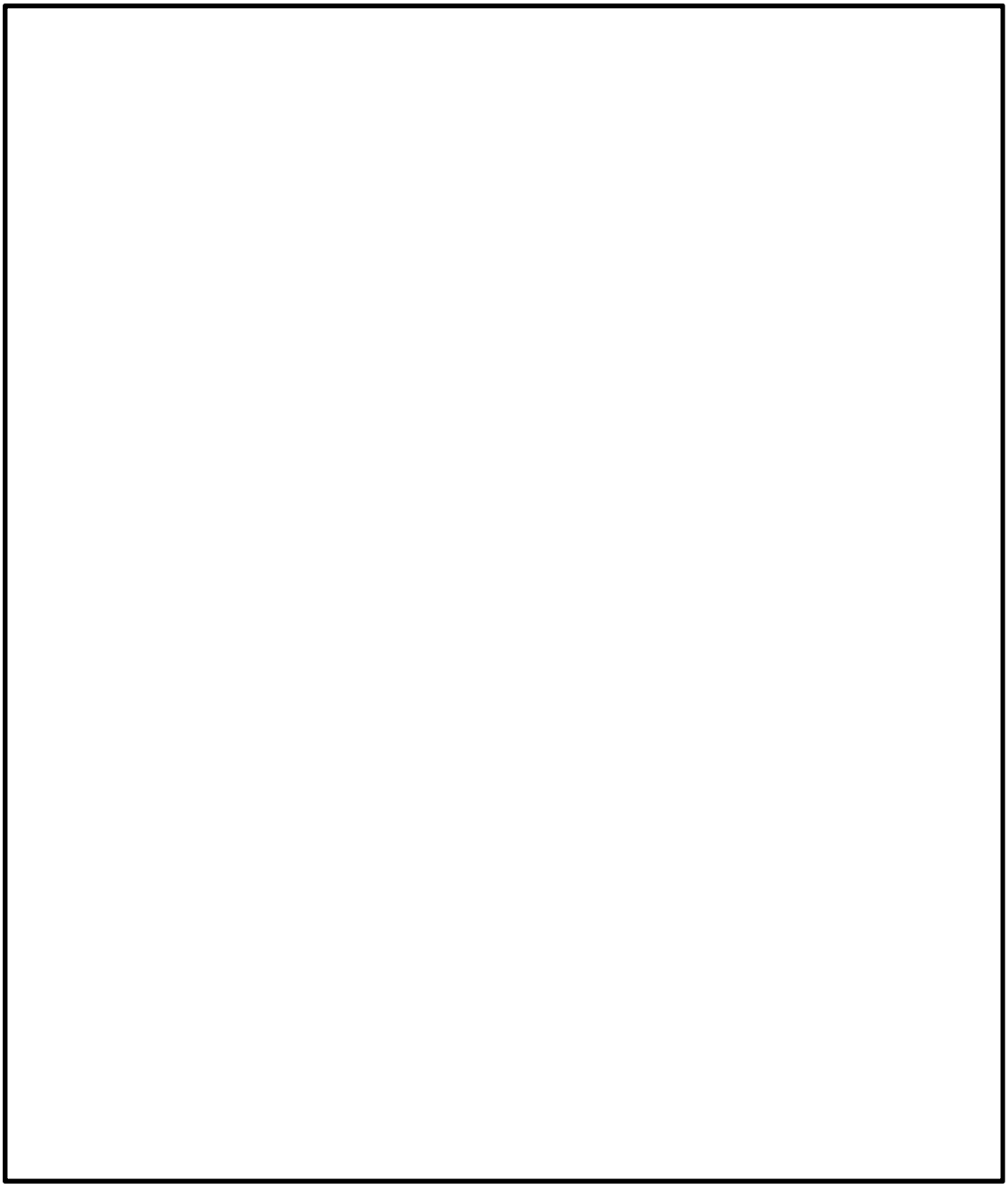


図 3-2　振動モード

表 3-5(1)　設計用地震力

建物・構築物	標高（m）	減衰定数（%）	
		水平	
		鉛直	

注記　＊：

表 3-5(2)　設計用地震力

適用する地震動等		弾性設計用地震動Ｓ$_d$ 又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
モード	固有周期（s）	応答水平震度	鉛直震度	応答水平震度	鉛直震度
1 次					
2 次					
3 次					
動的震度					
静的震度					

注：

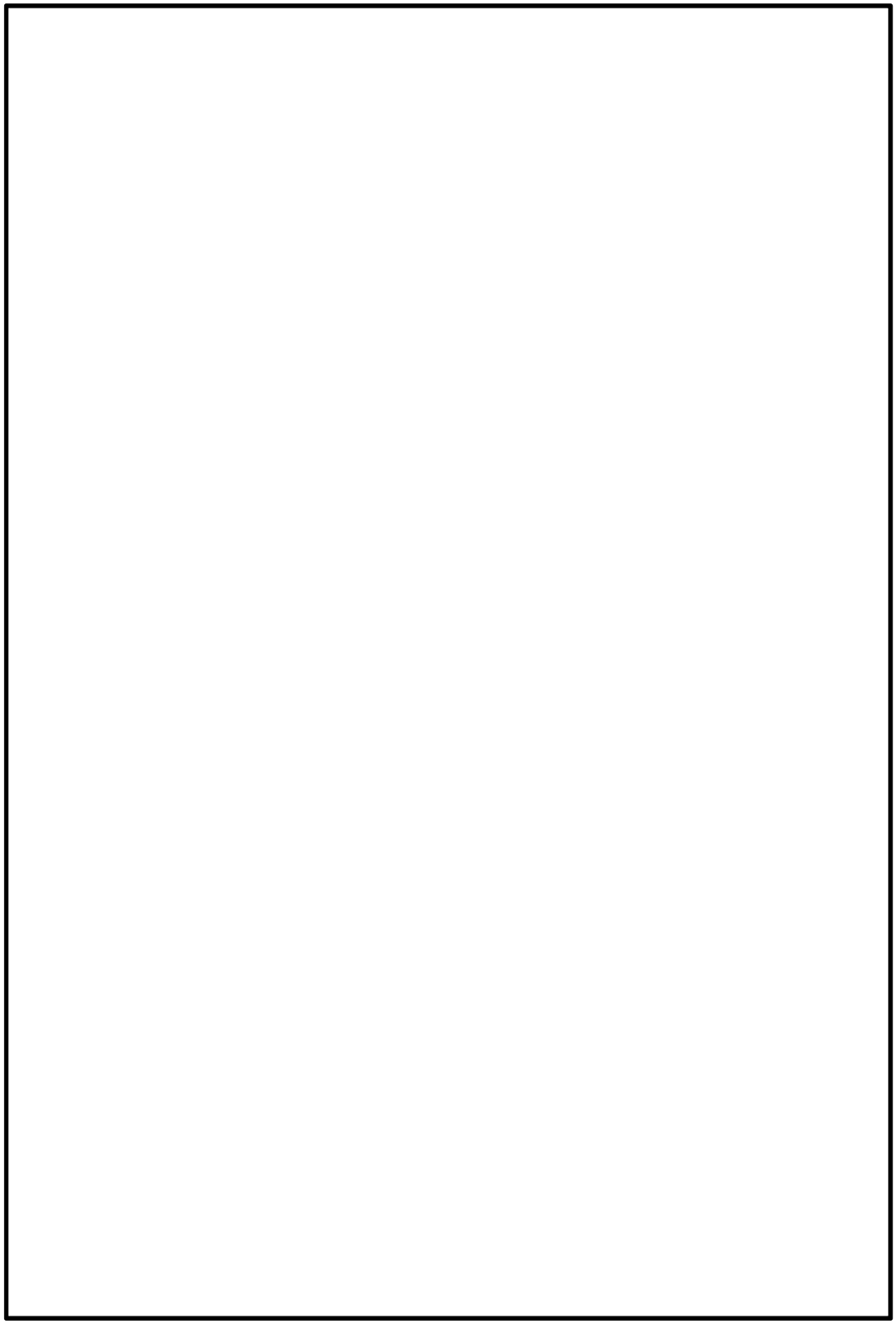


図 3-3(1)　動的応答加速度分布図
（弾性設計用地震動Ｓ$_d$）

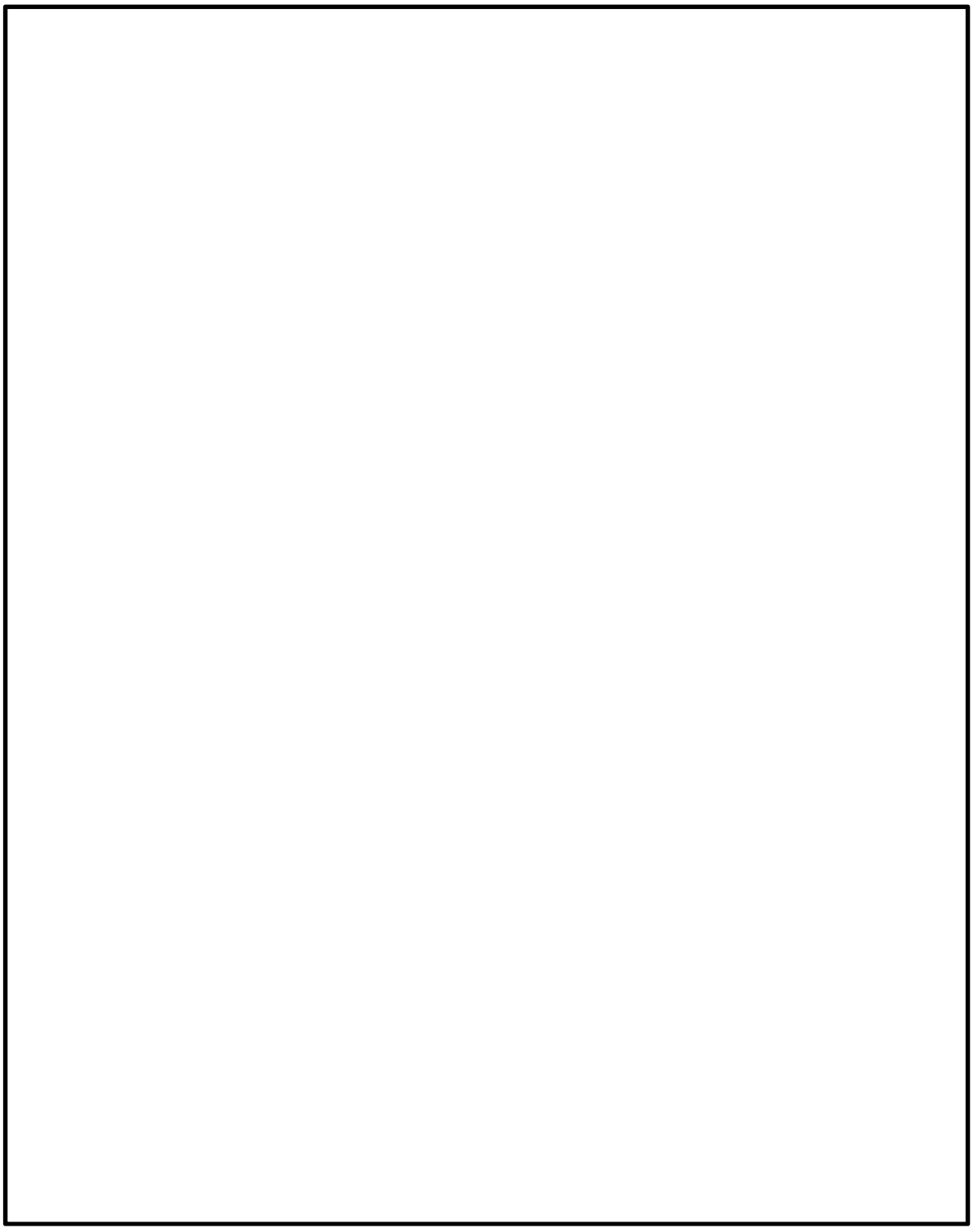


図 3-3(2)　動的応答加速度分布図
（基準地震動Ｓ$_s$）

表 3-6(1)　動的応答加速度

（弾性設計用地震動Ｓ$_d$）

（単位：m/s^2）

位置	加速度
節点番号 6	[redacted]

表 3-6(2)　動的応答加速度

（基準地震動Ｓ$_s$）

（単位：m/s^2）

位置	加速度
節点番号 6	[redacted]

表 3-7　静的加速度

（単位：m/s^2）

位置	加速度
炉心支持板	[redacted]
上部格子板	

4. 応力解析

4.1 応力解析の手順

応力解析を行う手順について述べる。

4.1.1 荷重条件

荷重条件は2章及び3章に示す。

4.1.2 応力計算と応力の分類

(1) 応力計算の方法

a. 応力計算は荷重の種類ごとに行う。荷重として与えられるものは次の2つである。

(a) 外圧

(b) 外荷重

b. 解析する箇所の形状は，次の方針に従ってモデル化する。

(a) 構造の不連続を考慮して応力の最も厳しい箇所に応力評価点（面）を選ぶ。なお，軸対称モデル解析において，非軸対称な外荷重による応力評価を行った場合，荷重の入力方位と応力評価点の方位の関係により応力に極大値と極小値が生じる。外荷重による応力が極大となる方位の応力評価点は［例 P01］と表し，極小となる方位の応力評価点には，プライム（’）を付けて［例 P01’］と表す。

一次応力の評価は，内外面の応力評価点を含む断面（応力評価面）について行う。

(2) 応力の分類

応力の計算結果は，表4-1の応力の分類方法に従って分類し，計算を行う。

4.2　応力計算

4.2.1　外圧による応力

(1)　荷重条件（L01）

ＬＰＲＭ検出器集合体の各許容応力状態における外圧を表 2-1 に示す。

なお，カバーチューブ及びプランジャでは，内外面の圧力差がないので，応力は発生しない。

(2)　計算方法

a.　一次一般膜応力

外圧P_oによる一次一般膜応力は，次式で求める。

$$\sigma_t = -\frac{Y}{Y-1} \cdot P_o$$

$$\sigma_\ell = -\frac{Y^2}{Y^2-1} \cdot P_o$$

$$\sigma_r = -\frac{Y}{Y+1} \cdot P_o$$

ここで，$Y = \frac{D_o}{D_i}$

なお，各応力評価点でのD_o，D_iは表 4-2 に示す。

b.　一次一般膜＋一次曲げ応力

外圧P_oによる一次曲げ応力は，存在しない。したがって，一次一般膜＋一次曲げ応力は，一次一般膜応力と同じである。

4.2.2　外荷重による応力

(1)　荷重条件（L04，L14 及び L16）

ＬＰＲＭ検出器集合体に働く外荷重を，表 3-1 に示す。

(2)　計算方法

外荷重による応力は，以下により求める。

a.　死荷重（L04）

死荷重による応力は次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = -\frac{V}{A}$$

b.　地震荷重（L14 及び L16）

(a)　水平方向地震荷重による応力

[redacted]

応力計算モデルを図 4-1 に示す。

[redacted]

[redacted]応力評価点の曲げモーメントM_E，せん断力F_Eは次のようになる。

$$M_E = P_B \cdot (\ell - \ell') - \frac{1}{2} \cdot w \cdot (\ell - \ell')^2$$

$$F_E = w \cdot (\ell - \ell') - P_B$$

ここで,

$$P_B = \frac{w \cdot \ell}{3}$$

$$w = \frac{H}{L}$$

$$\ell = \left(\frac{72 \cdot \delta_D \cdot E \cdot I}{w} \right)^{\frac{1}{4}}$$

なお，Ｉはカバーチューブ母材に対する値を用い，校正用導管のＨの値ではその断面二次モーメントを考慮する。

したがって，応力評価点に生じる一次曲げ応力は次のようになる。

$$\sigma_\ell = \pm \frac{M_E}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

また，各応力評価点で生じる一次一般膜応力は

$$\tau_{t\ell} = \pm \frac{F_E}{A}$$

ただし，各応力評価点のD_o，Ａ，Ｉは表 4-2 による。

(b) 鉛直方向地震荷重による応力

鉛直方向地震による応力は次式で求める。

$$\sigma_\ell = \frac{V}{A}$$

4.3　応力の評価

4.3.1　主応力

4.2節で計算された応力は，応力の分類ごとに重ね合わせ，組合せ応力を求める。

組合せ応力は，一般にσ_t，σ_ℓ，σ_r，$\tau_{t\ell}$，$\tau_{\ell r}$，τ_{rt}の6成分をもつが，主応力σは，引用文献(1)の1.3.6項により，次式を満足する3根σ_1，σ_2，σ_3として計算する。

$$\sigma^3-(\sigma_t+\sigma_\ell+\sigma_r)\cdot\sigma^2+(\sigma_t\cdot\sigma_\ell+\sigma_\ell\cdot\sigma_r+\sigma_r\cdot\sigma_t-\tau_{t\ell}^2-\tau_{\ell r}^2-\tau_{rt}^2)\cdot\sigma-\sigma_t\cdot\sigma_\ell\cdot\sigma_r+\sigma_t\cdot\tau_{\ell r}^2+\sigma_\ell\cdot\tau_{rt}^2+\sigma_r\cdot\tau_{t\ell}^2-2\cdot\tau_{t\ell}\cdot\tau_{\ell r}\cdot\tau_{rt}=0$$

上式により主応力を求める。

4.3.2　応力強さ

以下の3つの主応力差の絶対値で最大のものを応力強さとする。

$$S_{12}=\sigma_1-\sigma_2$$

$$S_{23}=\sigma_2-\sigma_3$$

$$S_{31}=\sigma_3-\sigma_1$$

5.　応力強さの評価

5.1　一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて，表5-1に示す。

表5-1より，各許容応力状態の一次一般膜応力強さは，2.8節に示す許容限界を満足する。

5.2　一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて，表5-2に示す。

表5-2より，各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，2.8節に示す許容限界を満足する。

6.　引用文献

(1)　機械工学便覧　基礎編　α3（日本機械学会）

図 4-1　地震荷重による応力の計算モデル（単位：mm）

表 4-1　応力の分類

	位　　置	荷重の種類	応力の分類	
管状構造物	不連続部より遠い部分	圧力差	一般膜応力	P_m
		外荷重又はモーメント	全断面について平均した一般膜応力 曲げ応力	P_m P_b

注：

P_m　：圧力差又は機械的荷重によって生じる膜応力であって，構造上の不連続性及び局部的形状の変化によって生じる膜応力は除く。ただし，実際の応力評価では，応力評価面を構造上の不連続部にとることが多いので，内径，板厚がその応力評価面での値に等しい単純な殻を仮定し，シェル理論又ははり理論を用いて計算した応力を，その応力評価面におけるP_mとする。

P_b　：外力，内力及びモーメントに対して，単純な平衡の法則を満足する曲げ応力をいう。

表 4-2　断面性状

応力評価点	D_o (mm)	D_i (mm)	A (mm^2)	I (mm^4)
P01，P02				
P03，P04				

表 5-1　一次一般膜応力強さの評価のまとめ

（単位：MPa）

部分及び材料	応力評価面	許容応力状態ⅢAS		許容応力状態ⅣAS	
		応力強さ	許容値	応力強さ	許容値
校正用導管 SUS304TB	P01 P02	27	172	27	260
	P01' P02'	27	172	27	260
カバーチューブ SUS304LTB	P03 P04	4	94*	6	150*
	P03' P04'	4	94*	6	150*

注記　＊：

表 5-2　一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

（単位：MPa）

部分及び材料	応力評価面	許容応力状態ⅢAS		許容応力状態ⅣAS	
		応力強さ	許容値	応力強さ	許容値
校正用導管 SUS304TB	P01 P02	60	258	85	391
	P01' P02'	61	258	86	391
カバーチューブ SUS304LTB	P03 P04	122	141*	188	226*
	P03' P04'	125	141*	191	226*

注記　＊：

Ⅴ-2-6-5-3　主蒸気流量の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
3. 固有周期 3
3.1 固有周期の算出方法 3
4. 構造強度評価 3
4.1 構造強度評価方法 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 3
4.2.2 許容応力 3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 3
5. 機能維持評価 6
5.1 電気的機能維持評価方法 6
6. 評価結果 7
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 7

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，主蒸気流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

主蒸気流量は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお，構造強度評価については，計装ラックの取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また，電気的機能維持評価については，評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電気的機能維持評価に用いる評価用加速度は，設置床高さが同じで計装ラックが剛構造の場合は同じ加速度となることから，構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1　概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
DPT-E31-N086A（代表） DPT-E31-N087A（代表） DPT-E31-N088A（代表） DPT-E31-N089A（代表） DPT-E31-N086B DPT-E31-N087B DPT-E31-N088B DPT-E31-N089B DPT-E31-N086C DPT-E31-N087C DPT-E31-N088C DPT-E31-N089C DPT-E31-N086D DPT-E31-N087D DPT-E31-N088D DPT-E31-N089D	Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針	表 2-1　構造計画

2. 一般事項

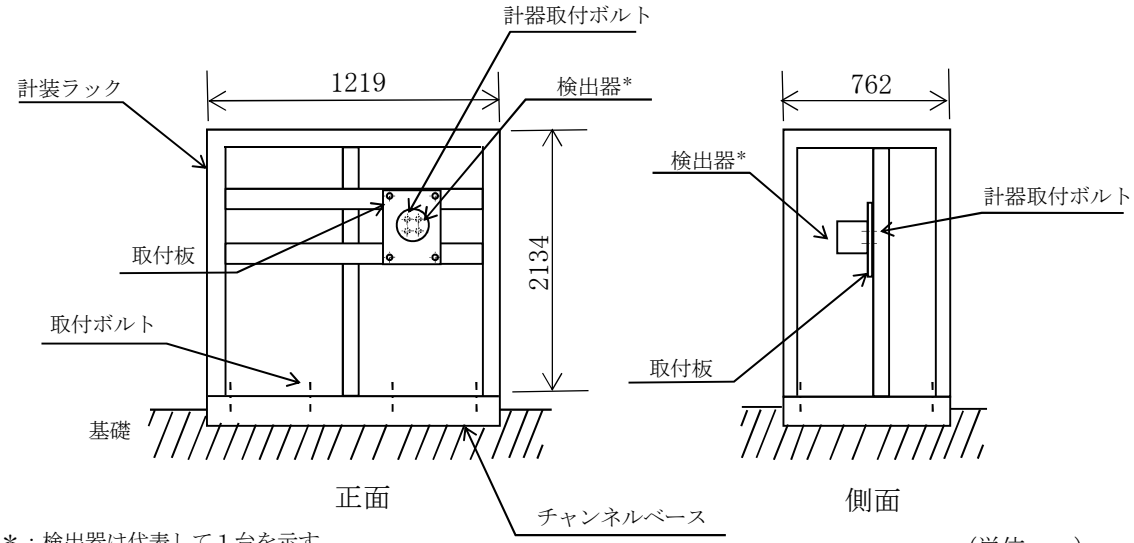
主蒸気流量は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

主蒸気流量の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。 計装ラックは，基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	【H22-P015(DPT-E31-N086A，DPT-E31-N087A，DPT-E31-N088A，DPT-E31-N089A)】



注記　＊：検出器は代表して１台を示す。

（単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

主蒸気流量の固有周期は，構造が同様な計装ラックに対する打振試験の結果から固有周期は0.05秒以下であり，剛とする。固有周期を表3-1示す。

表3-1　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

主蒸気流量の構造は直立形計装ラックのため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

主蒸気流量の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に示す。

4.2.2　許容応力

主蒸気流量の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表4-2のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

主蒸気流量の使用材料の許容応力評価条件を表4-3に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	主蒸気流量 (DPT-E31-N086A DPT-E31-N087A DPT-E31-N088A DPT-E31-N089A)	S	－*1	$D+P_D+M_D+S_d$ *2	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊2：S_sと組合せ，$\mathrm{III}_A S$の評価を実施する。

表 4-2　許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1,*2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	1.5・f_t	1.5・f_s
$\mathrm{IV}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	1.5・f_t*	1.5・f_s*

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}(RT) (MPa)
取付ボルト (i＝2)	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	235	400	－

5.　機能維持評価

5.1　電気的機能維持評価方法

主蒸気流量の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

主蒸気流量の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1　機能確認済加速度　　(×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
主蒸気流量 (DPT-E31-N086A DPT-E31-N087A DPT-E31-N088A DPT-E31-N089A)	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

主蒸気流量の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【主蒸気流量(H22-P015(DPT-E31-N086A, DPT-E31-N087A, DPT-E31-N088A, DPT-E31-N089A))の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度(℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
主蒸気流量	S	EL. 14.00*			C_H=0.69	C_V=0.53	C_H=1.13	C_V=0.99	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 主蒸気流量

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i=2)							4
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

（単位：MPa）

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i＝2)		引張り	$\sigma_{b2}=9$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=18$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

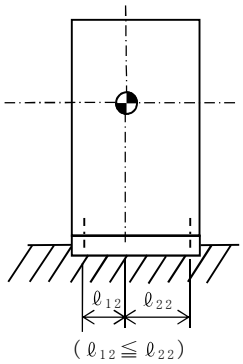
注記　＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

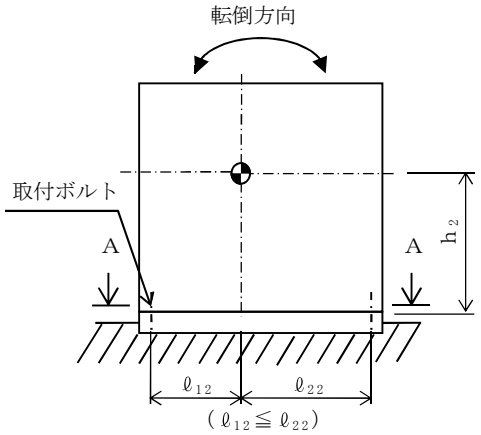
（×9.8 m/s²）

		評価用加速度	機能確認済加速度
主蒸気流量	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.83	

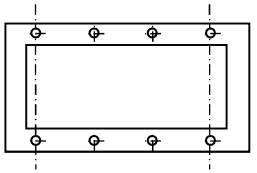
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



A～A矢視図

Ⅴ-2-6-5-4　原子炉圧力容器温度の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 3
3. 評価部位 ····· 3
4. 機能維持評価 ····· 4
4.1 評価用加速度 ····· 4
4.2 機能確認済加速度 ····· 5
5. 評価結果 ····· 6
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 6

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき，原子炉圧力容器温度が設計用地震力に対して十分な電気的機能を有していることを説明するものである。

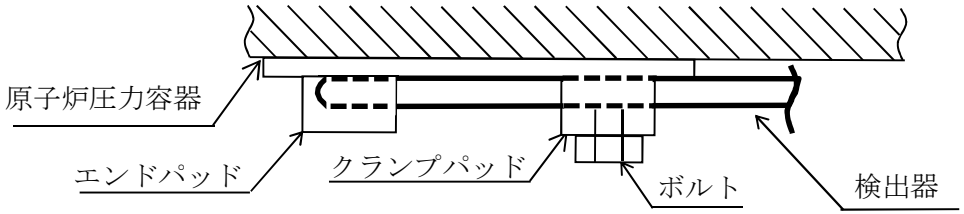
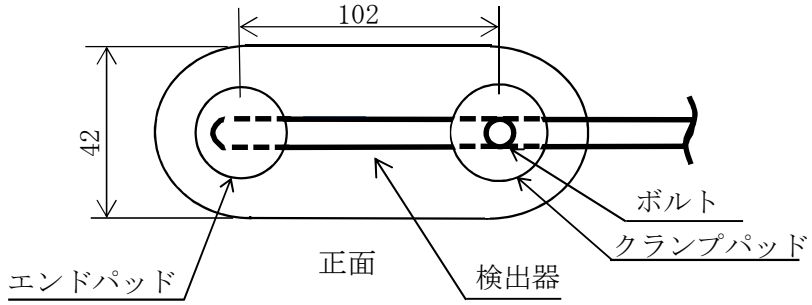
原子炉圧力容器温度は，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉圧力容器温度の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は原子炉圧力容器に直接取り付けられたエンドパッド及びクランプパッドにより固定する。クランプパッドはボルトを用いて検出器を固定する。	熱電対	 側面  正面 （単位：mm）

2.2　評価方針

原子炉圧力容器温度の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針 4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「4.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

原子炉圧力容器温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

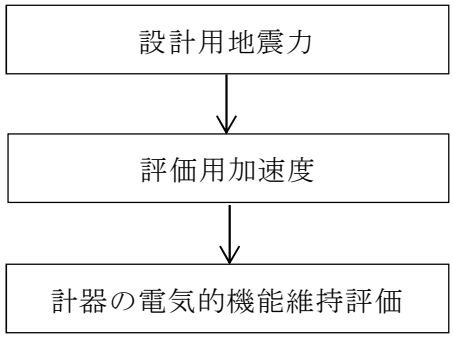


図 2-1　原子炉圧力容器温度の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

3.　評価部位

原子炉圧力容器温度は，原子炉圧力容器に直接取り付けられたエンドパッド及びクランプパッドに挿入され固定されることから，原子炉圧力容器が支持している。原子炉圧力容器の構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-3-4　原子炉圧力容器の耐震性についての計算書」にて実施しているため，本計算書では，原子炉圧力容器の地震応答解析結果を用いた原子炉圧力容器温度の電気的機能維持評価について示す。

原子炉圧力容器温度の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

原子炉圧力容器温度は，原子炉圧力容器に直接取り付けられたエンドパッド及びクランプパッドに挿入され固定されることから，評価用加速度は，「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力として添付書類「Ⅴ-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。評価用加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価用加速度 (×9.8 m/s^2)

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	基準地震動Ｓ$_s$ 評価用加速度
原子炉圧力容器温度 (TE-B22-N030C)	原子炉格納容器内 EL.38.22 (EL.38.30*)	水平	1.56
		鉛直	1.16
原子炉圧力容器温度 (TE-B22-N030G)	原子炉格納容器内 EL.32.82 (EL.33.13*)	水平	1.35
		鉛直	1.15
原子炉圧力容器温度 (TE-B22-N030H)	原子炉格納容器内 EL.22.47 (EL.22.10*)	水平	1.34
		鉛直	1.10
原子炉圧力容器温度 (TE-B22-N030S)	原子炉格納容器内 EL.20.58 (EL.20.29*)	水平	1.35
		鉛直	1.11

注記 ＊：基準床レベルを示す。

4.2　機能確認済加速度

原子炉圧力容器温度の機能確認済加速度については以下に示す。

原子炉圧力容器温度の機能確認済加速度には，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉圧力容器温度	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉圧力容器温度の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電気的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉圧力容器温度の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 電気的機能維持の評価結果

（×9.8 m/s²）

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉圧力容器温度	水平方向	1.56	
（TE-B22-N030C）	鉛直方向	1.16	
原子炉圧力容器温度	水平方向	1.35	
（TE-B22-N030G）	鉛直方向	1.15	
原子炉圧力容器温度	水平方向	1.34	
（TE-B22-N030H）	鉛直方向	1.10	
原子炉圧力容器温度	水平方向	1.35	
（TE-B22-N030S）	鉛直方向	1.11	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-5-5　高圧代替注水系系統流量の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 固有周期 ····· 3
3.1 固有周期の算出方法 ····· 3
3.1.1 水平方向（X方向，Z方向） ····· 3
3.1.2 鉛直方向（Y方向） ····· 3
3.2 固有周期の計算条件 ····· 4
3.3 固有周期の計算結果 ····· 4
4. 構造強度評価 ····· 5
4.1 構造強度評価方法 ····· 5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 5
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 5
4.2.2 許容応力 ····· 5
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 5
5. 機能維持評価 ····· 8
5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 8
6. 評価結果 ····· 9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 9

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，高圧代替注水系系統流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

高圧代替注水系系統流量は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

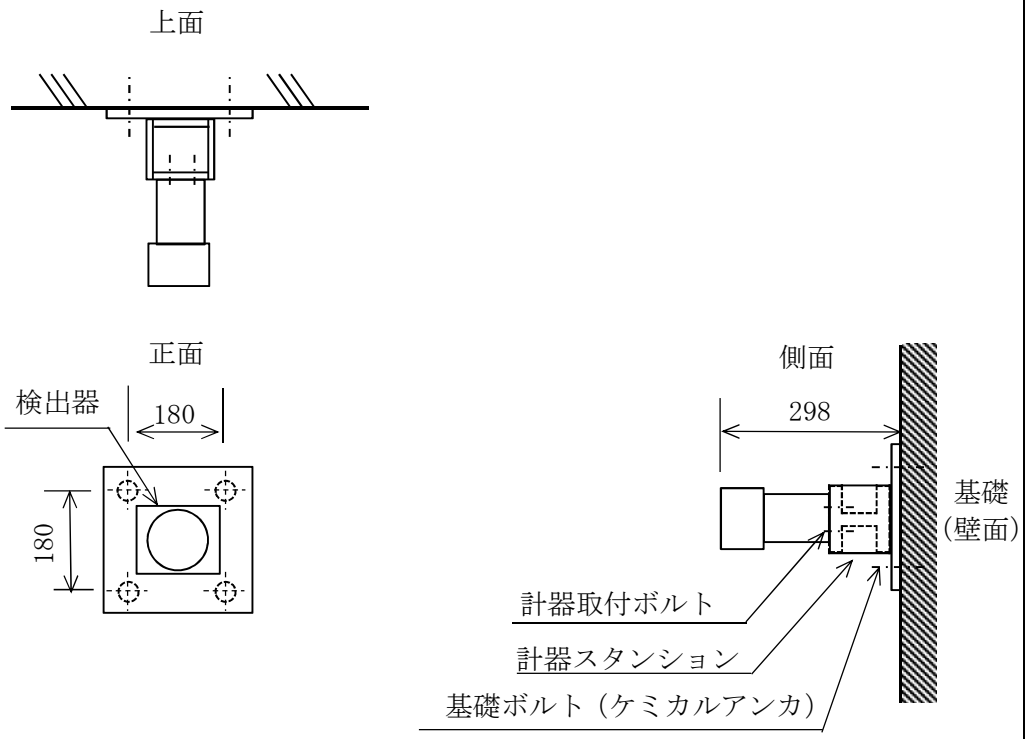
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1　構造計画

高圧代替注水系系統流量の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

高圧代替注水系系統流量の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　高圧代替注水系系統流量は，図 3-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で 1 箇所を原子炉建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1 点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4)　図 3-1 中の ⊕ は検出器及び計器スタンションの質点，●は計器スタンションの支持点，━ は計器スタンションを示す。

3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{h_2{}^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{h_2}{A_s\cdot G}\right)}\qquad\cdot\cdot\cdot(3.1.1.1)$$

(2)　Ｚ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

Ｙ方向に対する固有周期を 3.1.1.1 式で求める。

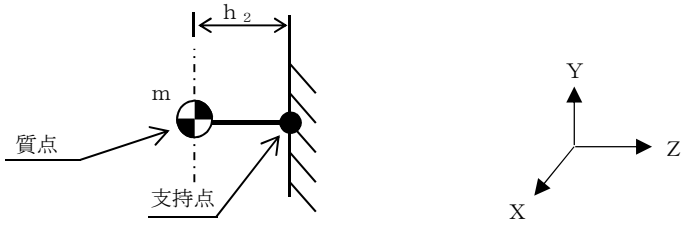
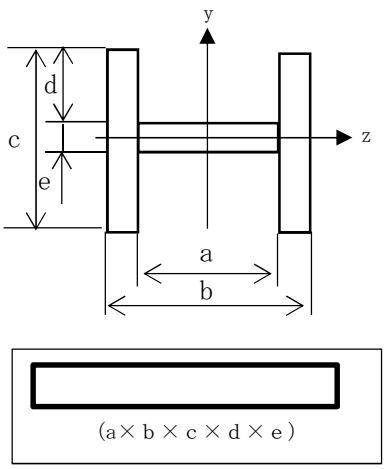


図 3-1　固有周期の計算モデル

3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
取付面から重心までの距離（壁掛形）	h_2	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状(mm)			

3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向及び鉛直方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，水平方向のＺ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。

表 3-2　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

高圧代替注水系系統流量の構造は壁掛形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧代替注水系系統流量の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2　許容応力

高圧代替注水系系統流量の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

高圧代替注水系系統流量の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	高圧代替注水系系統流量	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。
＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	234	385	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

高圧代替注水系系統流量の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

高圧代替注水系系統流量の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
高圧代替注水系系統流量	水平	[redacted]
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧代替注水系系統流量の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧代替注水系系統流量の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
高圧代替注水系系統流量	常設耐震／防止常設／緩和	EL. −4.00 (EL. 2.00*)			−	−	C_H=0.96	C_V=0.92	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 高圧代替注水系系統流量

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	nf_V	nf_H
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	234	385	−	270	−	水平方向

1.3 計算結果

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　材	材　料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=162^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=124$

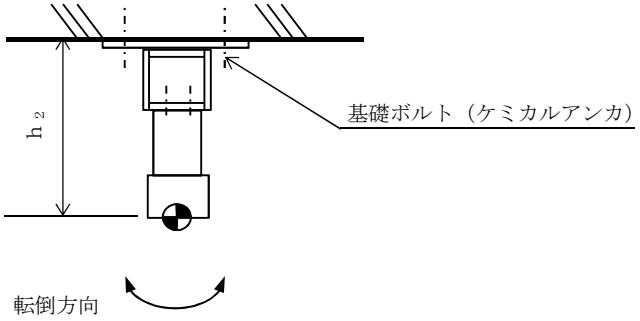
すべて許容応力以下である。

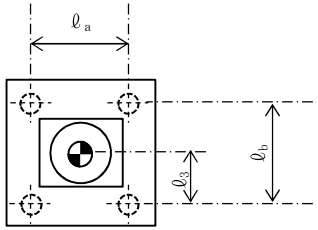
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s²)

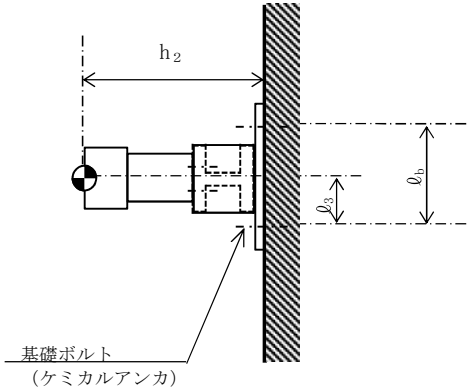
		評価用加速度	機能確認済加速度
高圧代替注水系系統流量	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-5-6　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）の耐震性についての計算書

目次

1. 低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）……1
1.1 概要……1
1.2 一般事項……1
1.2.1 構造計画……1
1.3 固有周期……3
1.3.1 固有周期の算出方法……3
1.3.2 固有周期の計算条件……4
1.3.3 固有周期の計算結果……4
1.4 構造強度評価……5
1.4.1 構造強度評価方法……5
1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力……5
1.5 機能維持評価……8
1.5.1 電気的機能維持評価方法……8
1.6 評価結果……9
1.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果……9
2. 低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体……13
2.1 概要……13
2.2 一般事項……13
2.2.1 構造計画……13
2.2.2 評価方針……15
2.2.3 適用基準……16
2.2.4 記号の説明……17
2.2.5 計算精度と数値の丸め方……18
2.3 評価部位……19
2.4 固有周期……19
2.4.1 固有値解析方法……19
2.4.2 解析モデル及び諸元……20
2.4.3 固有値解析結果……22
2.5 構造強度評価……23
2.5.1 構造強度評価方法……23
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力……23
2.5.3 設計用地震力……26
2.5.4 計算方法……27
2.5.5 計算条件……29
2.5.6 応力の評価……29
2.6 評価結果……30
2.6.1 評価結果……30

1. 低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）

1.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

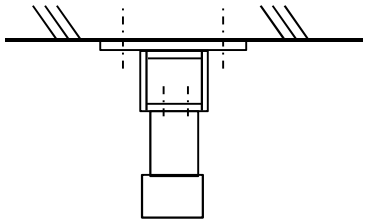
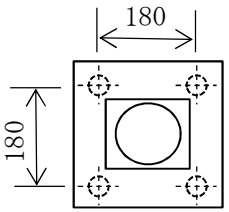
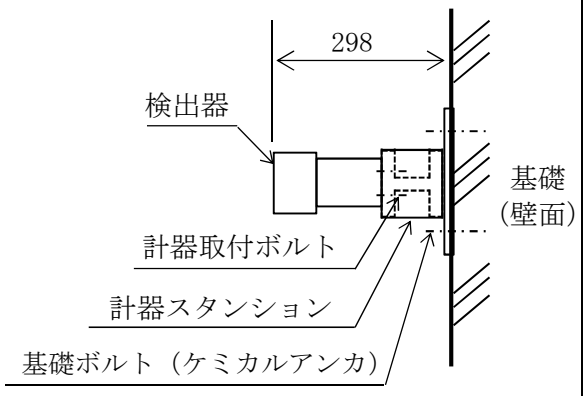
1.2 一般事項

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

1.2.1 構造計画

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	 上面  正面  側面 （単位：mm）

1.3　固有周期

1.3.1　固有周期の算出方法

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）は，図 1-1 に示す壁固定の１質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で原子炉建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）１点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4)　図 1-1 中の◓ は検出器及び計器スタンションの質点,● は計器スタンションの支持点,━ は計器スタンションを示す。

1.3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{{h_2}^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{h_2}{A_s\cdot G}\right)}\qquad\cdot\cdot\cdot(1.3.1.1.1)$$

(2)　Ｚ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

1.3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

(1)　Ｙ方向に対する固有周期を 1.3.1.1.1 式で求める。

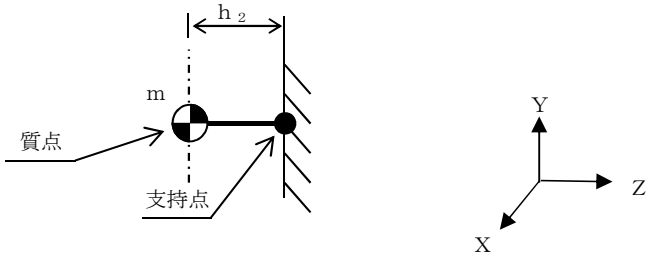
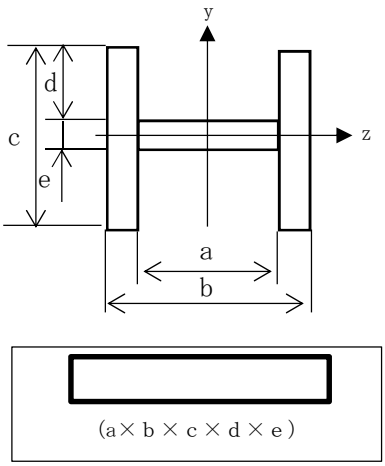


図 1-1　固有周期の計算モデル

1.3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 1-2 に示す。

表 1-2　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
取付面から重心までの距離（壁掛形）	h 2	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			 （a×b×c×d×e）

1.3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向のＸ方向及び鉛直方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，水平方向のＺ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 1-3 に示す。

表 1-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

1.4　構造強度評価

1.4.1　構造強度評価方法

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）の構造は壁掛形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4 に示す。

1.4.2.2　許容応力

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 のとおりとする。

1.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-6 に示す。

表 1-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	低圧代替注水系 原子炉注水流量 （常設ライン用）	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして $Ⅳ_AS$の許容限界 を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 1-5　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

1.5　機能維持評価

1.5.1　電気的機能維持評価方法

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-7 に示す。

表 1-7　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
低圧代替注水系 原子炉注水流量 （常設ライン用）	水平	
	鉛直	

1.6　評価結果

1.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）	常設耐震／防止 常設／緩和	EL. 20. 30 (EL. 29. 00*)			－	－	C_H＝1. 55	C_V＝1. 17	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F＊ (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部　　材	F_b		F_{b1}		F_{b2}		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト								

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=5$	$f_{ts}=156$*
		せん断	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=120$

すべて許容応力以下である。

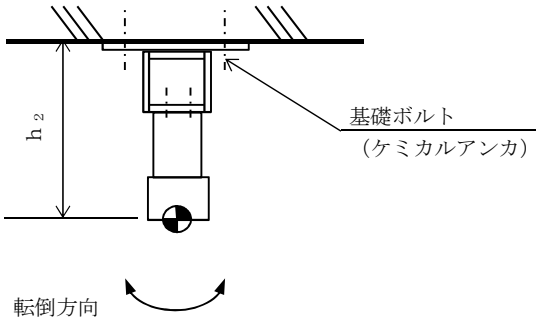
注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

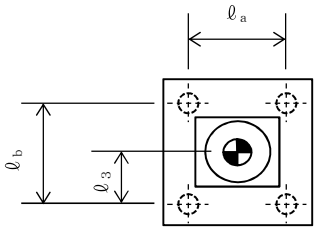
1.4.2 電気的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s^2)

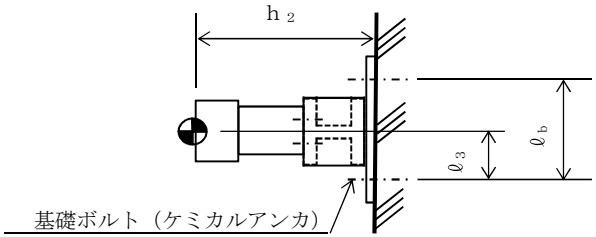
		評価用加速度	機能確認済加速度
低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

2. 低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体

2.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

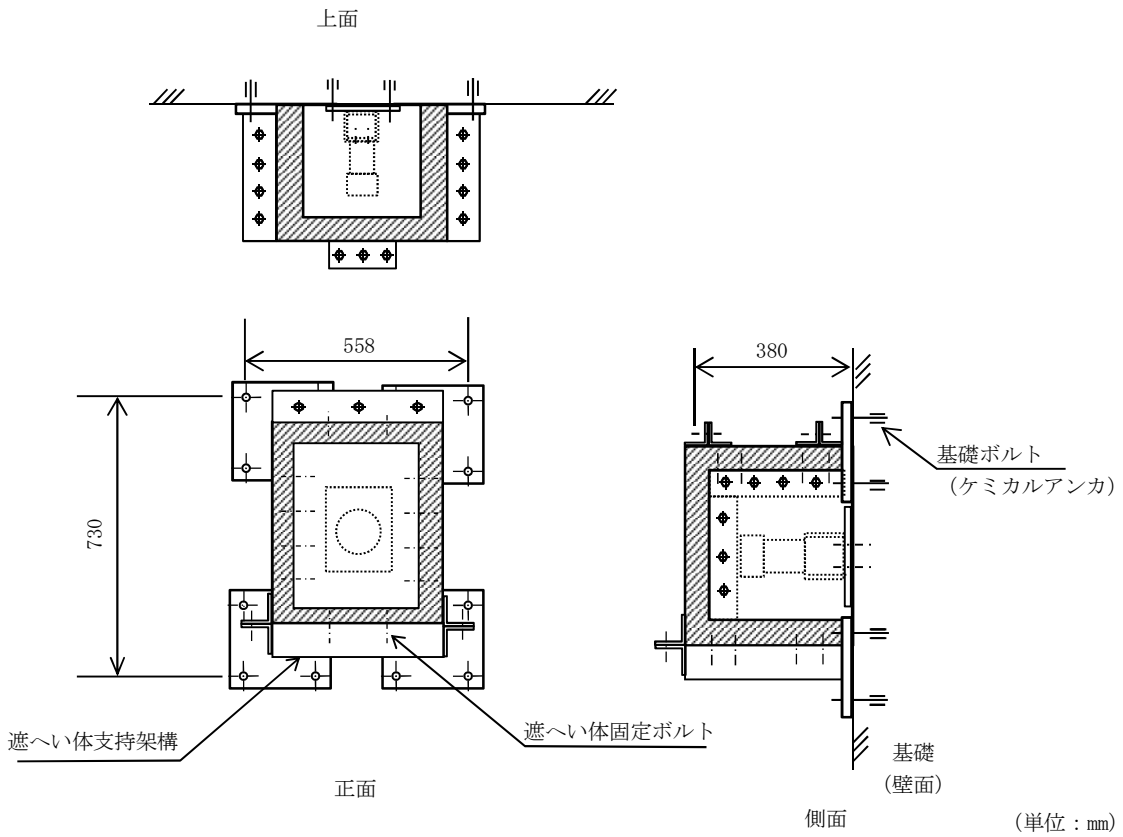
低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
遮へい体は，遮へい体固定ボルトにより遮へい体支持架構に固定される。 遮へい体支持架構は，基礎に基礎ボルトで設置する。	遮へい体	

2.2.2　評価方針

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.2.1　構造計画」にて低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体の部位を踏まえ「2.3　評価部位」にて設定する箇所において，「2.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「2.5　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.6　評価結果」に示す。

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

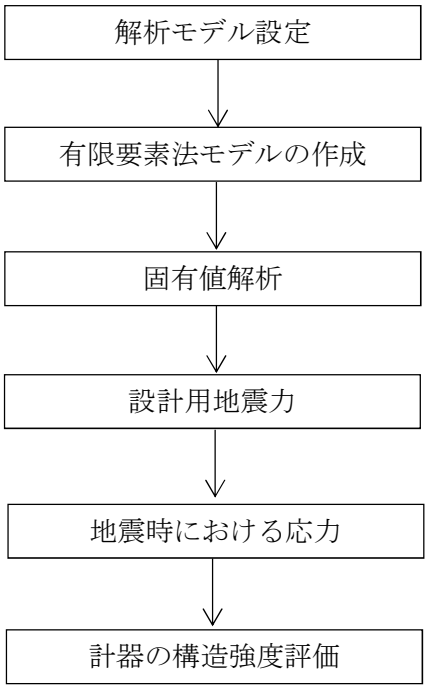


図 2-1　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体の耐震評価フロー

2.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	遮へい体支持架構の断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_2	取付面から質点までの距離(壁掛形)	mm
I_p	遮へい体支持架構の断面二次極モーメント	mm^4
I_y	遮へい体支持架構の断面二次モーメント（ｙ軸）	mm^4
I_z	遮へい体支持架構の二次モーメント（ｚ軸）	mm^4
ℓ_3	質点と下側ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_a	側面(左右)ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離(壁掛形)	mm
m	遮へい体及び遮へい体支持架構の総質量	kg
m_a	遮へい体の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
Z_p	遮へい体支持架構のねじり断面係数	mm^3
Z_y	遮へい体支持架構の断面係数（ｙ軸）	mm^3
Z_z	遮へい体支持架構の断面係数（ｚ軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表 2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第４位	四捨五入	小数点以下第３位
震度	－	小数点以下第３位	切上げ	小数点以下第２位
温度	℃	－	－	整数位
質量*1	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字５桁目	四捨五入	有効数字４桁*2
モーメント	N･mm	有効数字５桁目	四捨五入	有効数字４桁*2
力	N	有効数字５桁目	四捨五入	有効数字４桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第１位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第１位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第１位を切り捨て，整数位までの値とする。

2.3　評価部位

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体の耐震評価は，「2.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体の耐震評価箇所については，表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4　固有周期

2.4.1　固有値解析方法

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体の固有値解析方法を「2.4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

2.4.2　解析モデル及び諸元

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体の解析モデルを 3 次元はりモデルとして図 2-2 に，解析モデルの概要を以下に示す。遮へい体は遮へい体に溶接されている鋼材と下部の遮へい体支持架構に固定され壁面に 4 箇所で固定されている。解析モデルでは遮へい体支持架構を①～③の部材，遮へい体に溶接されている鋼材を④～⑩の部材で組まれたものとみなし，支持点 4 点で固定されるものとする。遮へい体の質量は 8 箇所に分散されるものとし，保守的に取り付け位置の上部に配置する。機器の諸元を表 2-3，部材の機器要目を表 2-4 に示す。

(1)　図 2-2 中○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2)　図 2-2 中の ◓ は遮へい体の質点m_aを示し，8 箇所に分散している。なお，質点m_aの質量は 1 個あたり□kg で，8 箇所を合計すると□kg である。

(3)　図 2-2 中の ―― は遮へい体支持架構，－－－ は仮想鋼材， は支持点（遮へい体及び遮へい体支持架構基礎部）を示す。

(4)　拘束条件は，ＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

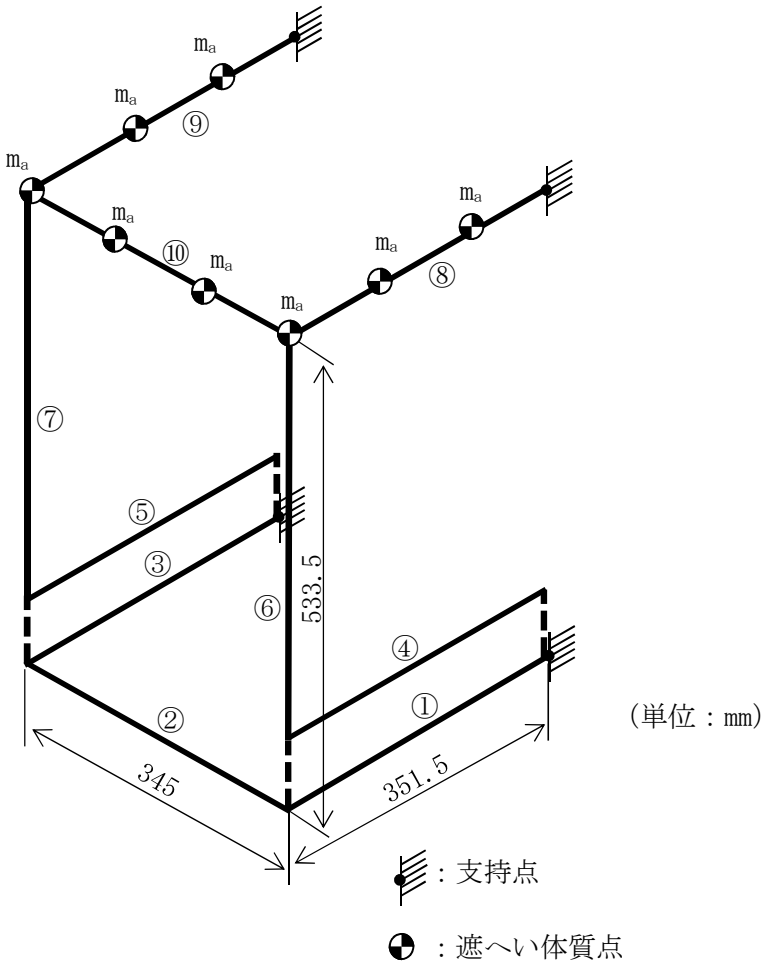


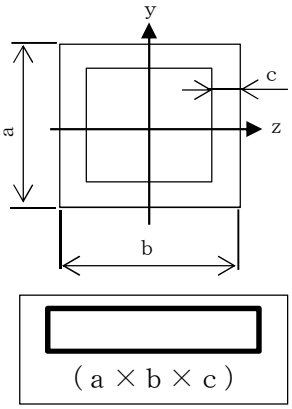
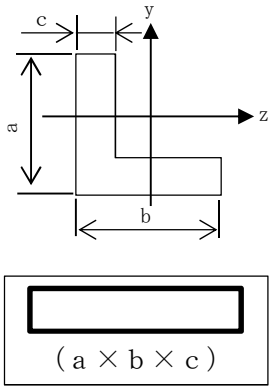
図 2-2　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）
遮へい体　解析モデル

表 2-3　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

注記　＊：() 内は合計質量を示す。

表 2-4　部材の機器要目

材料		
対象要素	①－③	④－⑩
A （mm^2）		
I_y （mm^4）		
I_z （mm^4）		
I_p （mm^4）		
Z_y （mm^3）		
Z_z （mm^3）		
Z_p （mm^3）		
断面形状(mm)		

2.4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 2-5 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 2-5　固有値解析結果(s)

モード	固有周期	卓越方向
1 次		水平

2.5　構造強度評価

2.5.1　構造強度評価方法

(1)　地震力は低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2)　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体は，基礎ボルトにより壁面に固定されるものとする。

(3)　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体の質量は遮へい体及び遮へい体支持架構を考慮する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

2.5.2　荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

2.5.2.2　許容応力

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 2-7 のとおりとする。

2.5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-8 に示す。

表 2-6　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$\mathrm{IV_AS}$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$\mathrm{V_AS}$（$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 2-7　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2（ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$\mathrm{IV_AS}$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*
$\mathrm{V_AS}$（$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-8　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	—

2.5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-9 に示す。

表 2-9　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL. 20.30 (EL. 29.00*1)			—	—	C_H＝1.55	C_V＝1.17

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

2.5.4　計算方法

2.5.4.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

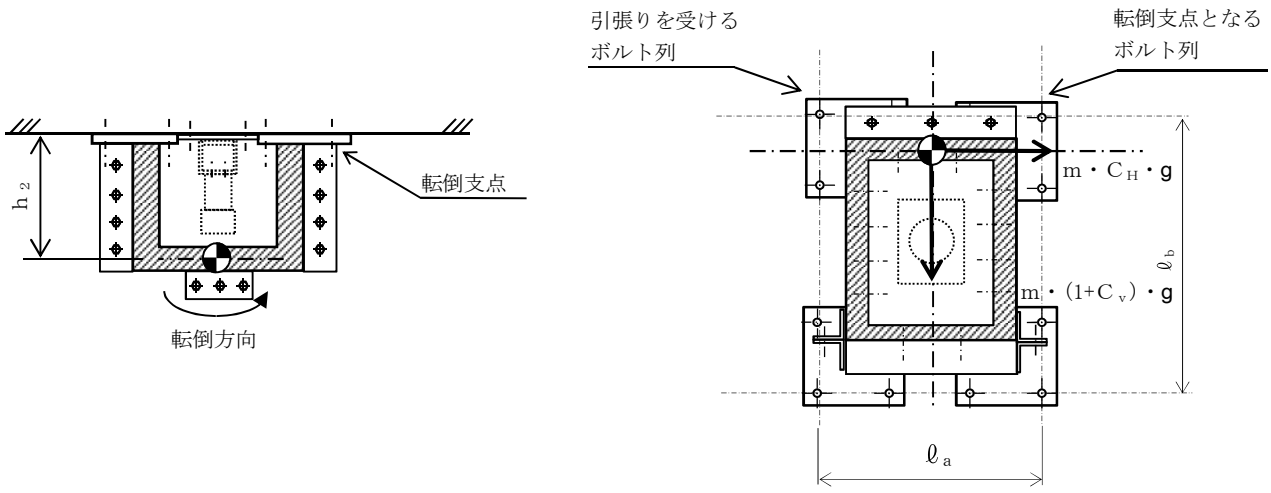


図2-3(1)　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体 計算モデル
（壁掛形　水平方向転倒の場合）

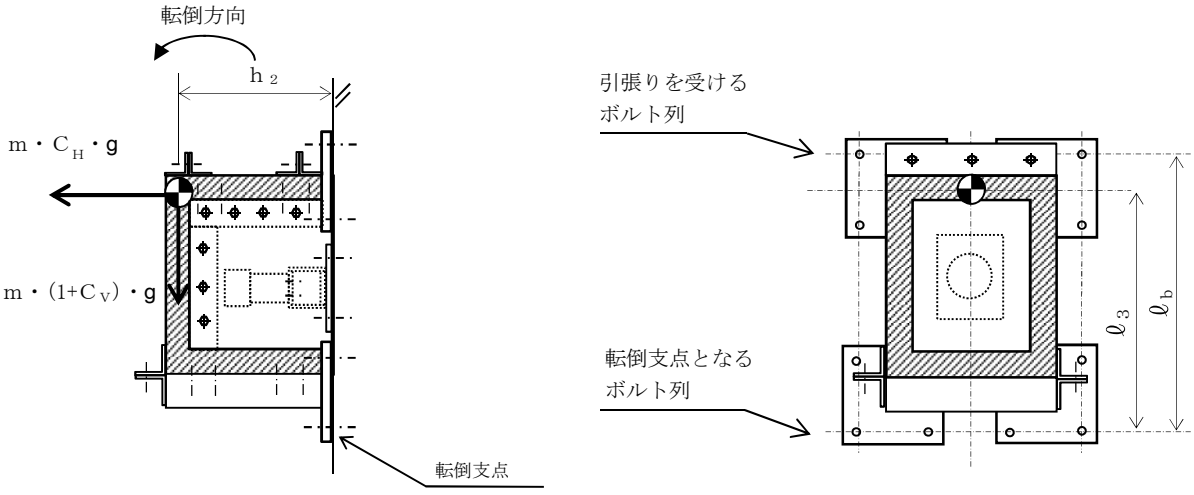


図2-3(2)　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体 計算モデル
（壁掛形　鉛直方向転倒の場合）

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図2-3で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図2-3(1)の場合の引張力

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.1)$$

計算モデル図2-3(2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}(F_{b1},\ F_{b2}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.5)$$

(2)　せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_{b1}=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.6)$$

$$Q_{b2}=m\cdot g\cdot(1+C_V) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.8)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.9)$$

2.5.5　計算条件

2.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器様目に示す。

2.5.6　応力の評価

2.5.6.1　ボルトの応力評価

2.5.4.1 項で求めたボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。ただし，f_{to}及びf_{sb}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.6.1.1)$$

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。

	弾性設計用地震動S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

2.6　評価結果

2.6.1　評価結果

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体	常設耐震／防止 常設／緩和	EL. 20. 30 (EL. 29. 00＊1)			－	－	C_H＝1. 55	C_V＝1. 17	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析により 0. 05 秒以下であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								4	4

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	鉛直方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4　結論

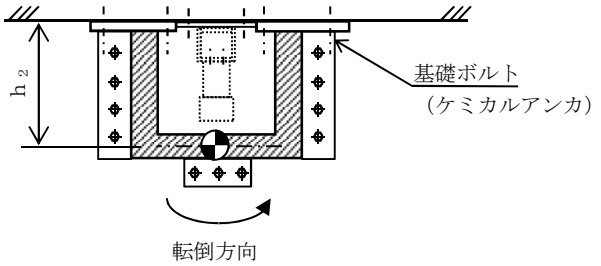
1.4.1　ボルトの応力

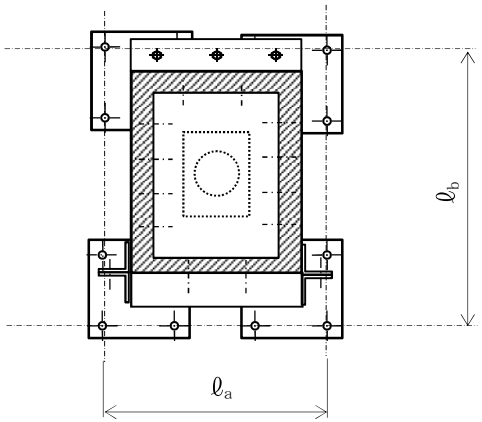
（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=31	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=11	f_{sb}=120

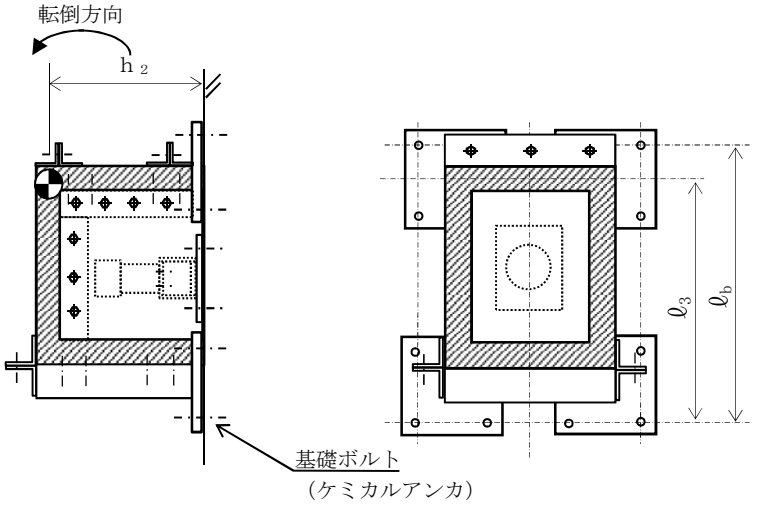
すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}−1.6・τ_b，f_{to}]より算出





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-5-7　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）の耐震性についての計算書

目次

1. 低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）……1
1.1 概要……1
1.2 一般事項……1
1.2.1 構造計画……1
1.3 固有周期……3
1.3.1 固有周期の算出方法……3
1.3.2 固有周期の計算条件……4
1.3.3 固有周期の計算結果……5
1.4 構造強度評価……6
1.4.1 構造強度評価方法……6
1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力……6
1.5. 機能維持評価……9
1.5.1 電気的機能維持評価方法……9
1.6 評価結果……10
1.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果……10
2. 低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体……14
2.1 概要……14
2.2 一般事項……14
2.2.1 構造計画……14
2.2.2 評価方針……16
2.2.3 適用基準……17
2.2.4 記号の説明……18
2.2.5 計算精度と数値の丸め方……19
2.3 評価部位……20
2.4 固有周期……20
2.4.1 固有値解析方法……20
2.4.2 解析モデル及び諸元……21
2.4.3 固有値解析結果……23
2.5 構造強度評価……24
2.5.1 構造強度評価方法……24
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力……24
2.5.3 設計用地震力……27
2.5.4 計算方法……28
2.5.5 計算条件……30
2.5.6 応力の評価……30
2.6 評価結果……31
2.6.1 評価結果……31

1. 低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）

1.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

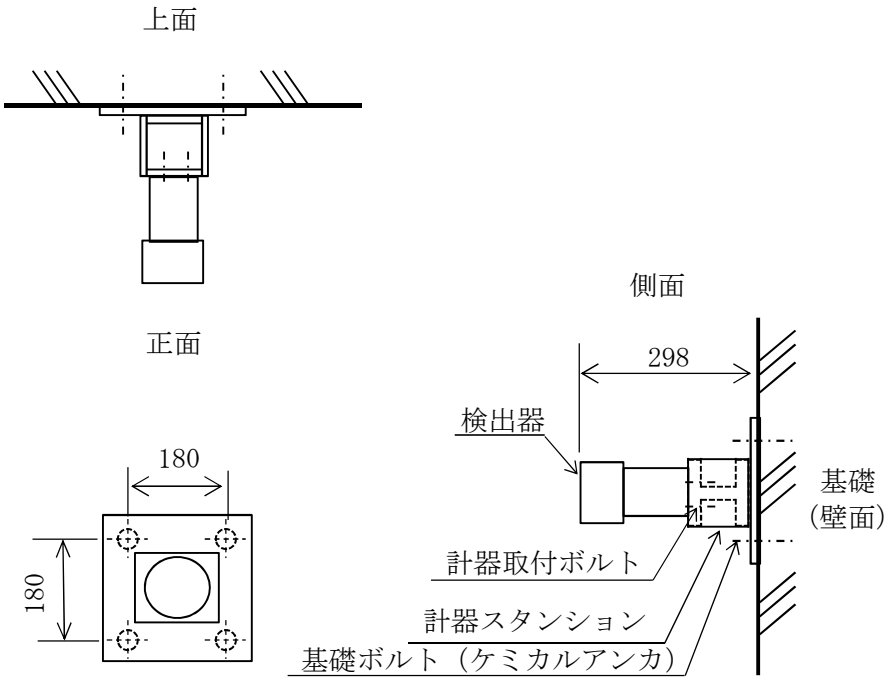
1.2 一般事項

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

1.2.1 構造計画

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	 (単位:mm)

1.3　固有周期

1.3.1　固有周期の算出方法

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）は，図 1-1 に示す壁固定の１質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で原子炉建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）１点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4)　図 1-1 中の ⊕ は検出器及び計器スタンションの質点,● は計器スタンションの支持点, ― は計器スタンションを示す。

1.3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{{h_2}^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{h_2}{A_s\cdot G}\right)}\quad\cdots(1.3.1.1.1)$$

(2)　Ｚ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

1.3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

(1)　Ｙ方向に対する固有周期を 1.3.1.1.1 式で求める。

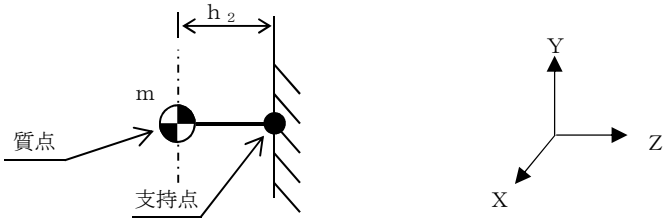
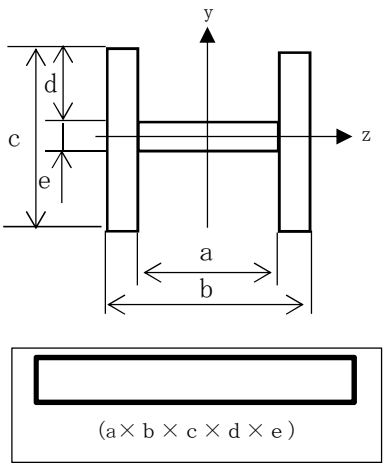


図 1-1　固有周期の計算モデル

1.3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 1-2 に示す。

表 1-2　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
取付面から重心までの距離（壁掛形）	h_2	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			

1.3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向のＸ方向及び鉛直方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，水平方向のＺ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 1-3 に示す。

表 1-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向
[redacted]	[redacted]

1.4　構造強度評価

1.4.1　構造強度評価方法

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）の構造は壁掛形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4 に示す。

1.4.2.2　許容応力

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 のとおりとする。

1.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-6 に示す。

表 1-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	低圧代替注水系 原子炉注水流量 （常設ライン狭帯域用）	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 1-5　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1,*2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 （℃）		S_y （MPa）	S_u （MPa）	S_y（RT） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

1.5.　機能維持評価

1.5.1　電気的機能維持評価方法

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）の電気的機能維持評価について，以下に示す。電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-7 に示す。

表 1-7　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
低圧代替注水系 原子炉注水流量 （常設ライン狭帯域用）	水平	
	鉛直	

1.6　評価結果

1.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）	常設耐震／防止常設／緩和	[redacted] EL. 20. 30 (EL. 29. 00*)	[redacted]		－	－	C_H＝1. 55	C_V＝1. 17	[redacted]

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト	[redacted]							2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F＊ (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=5$	$f_{ts}=156^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=120$

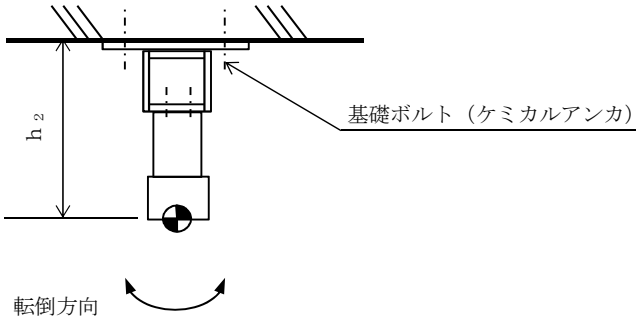
すべて許容応力以下である。

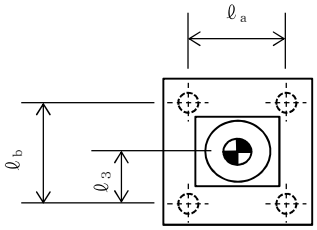
注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

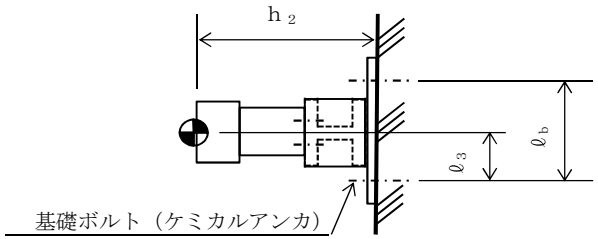
		評価用加速度	機能確認済加速度
低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

2. 低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体

2.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

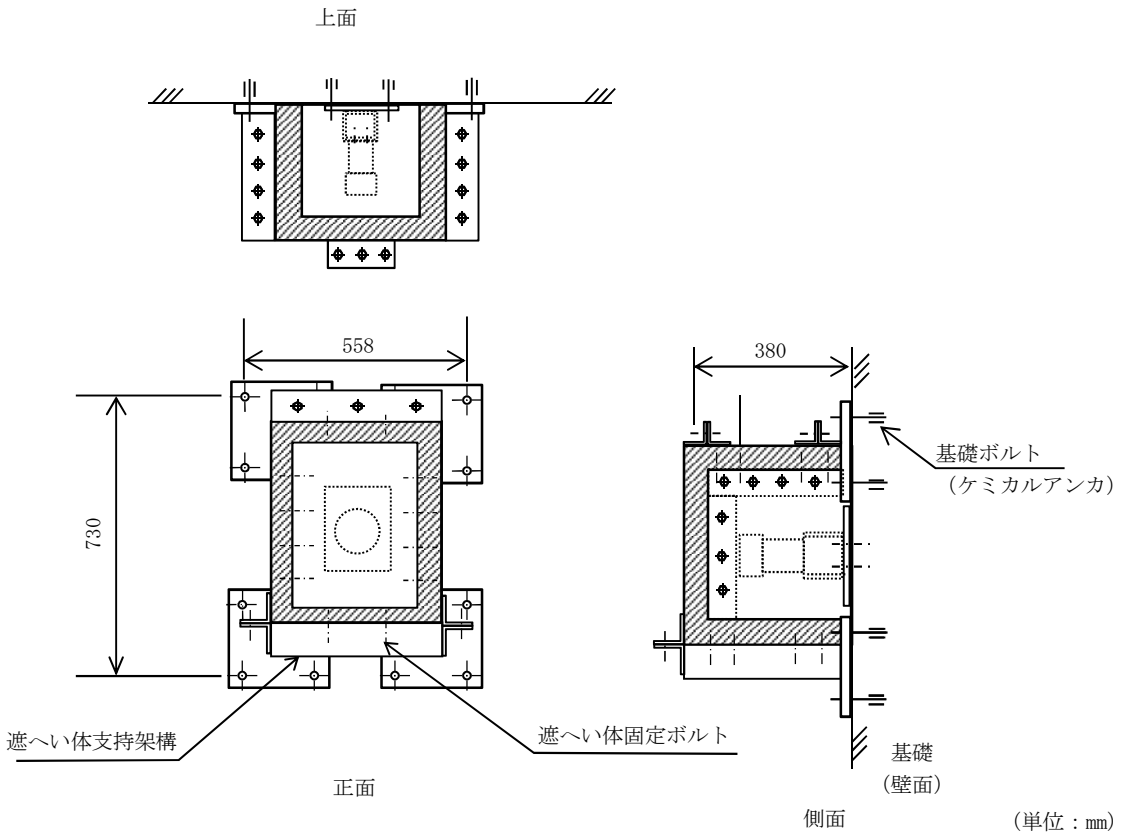
低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
遮へい体は，遮へい体固定ボルトにより遮へい体支持架構に固定される。 遮へい体支持架構は，基礎に基礎ボルトで設置する。	遮へい体	

2.2.2　評価方針

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.2.1　構造計画」にて低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体の部位を踏まえ「2.3　評価部位」にて設定する箇所において，「2.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「2.5　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.6　評価結果」に示す。

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

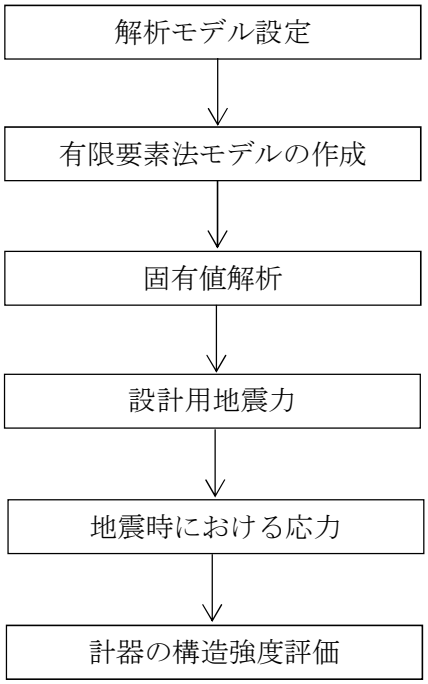


図 2-1　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）
遮へい体の耐震評価フロー

2.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））
ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	遮へい体支持架構の断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_2	取付面から質点までの距離(壁掛形)	mm
I_p	遮へい体支持架構の断面二次極モーメント	mm^4
I_y	遮へい体支持架構の断面二次モーメント（ｙ軸）	mm^4
I_z	遮へい体支持架構の二次モーメント（ｚ軸）	mm^4
ℓ_3	質点と下側ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_a	側面(左右)ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離(壁掛形)	mm
m	遮へい体及び遮へい体支持架構の総質量	kg
m_a	遮へい体の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
Z_p	遮へい体支持架構のねじり断面係数	mm^3
Z_y	遮へい体支持架構の断面係数（y軸）	mm^3
Z_z	遮へい体支持架構の断面係数（z軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表 2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量*1	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

2.3　評価部位

低圧代替注水系原子炉注水流量(常設ライン狭帯域用)遮へい体の耐震評価は,「2.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体の耐震評価箇所については，表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4　固有周期

2.4.1　固有値解析方法

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体の固有値解析方法を「2.4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

2.4.2　解析モデル及び諸元

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体の解析モデルを３次元はりモデルとして図 2-2 に，解析モデルの概要を以下に示す。遮へい体は遮へい体に溶接されている鋼材と，下部の遮へい体支持架構に固定され，原子炉建屋壁面に４箇所で固定されている。解析モデルでは遮へい体支持架構を①～③の部材，遮へい体に溶接されている鋼材を④～⑩の部材で組まれたものとみなし，支持点４点で固定されるものとする。遮へい体の質量は８箇所に分散されるものとし，保守的に取付位置の上部に配置する。機器の諸元を表 2-3，部材の機器要目を表 2-4 に示す。

(1)　図 2-2 中○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2)　図 2-2 中の ◓ は遮へい体の質点m_aを示し，８箇所に分散している。なお，質点m_aの質量は１個あたり□kg で，８箇所を合計すると□kg である。

(3)　図 2-2 中の ―― は遮へい体支持架構，－－－ は仮想鋼材， は支持点（遮へい体支持架構基礎部）を示す。

(4)　拘束条件は，ＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値及び荷重を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

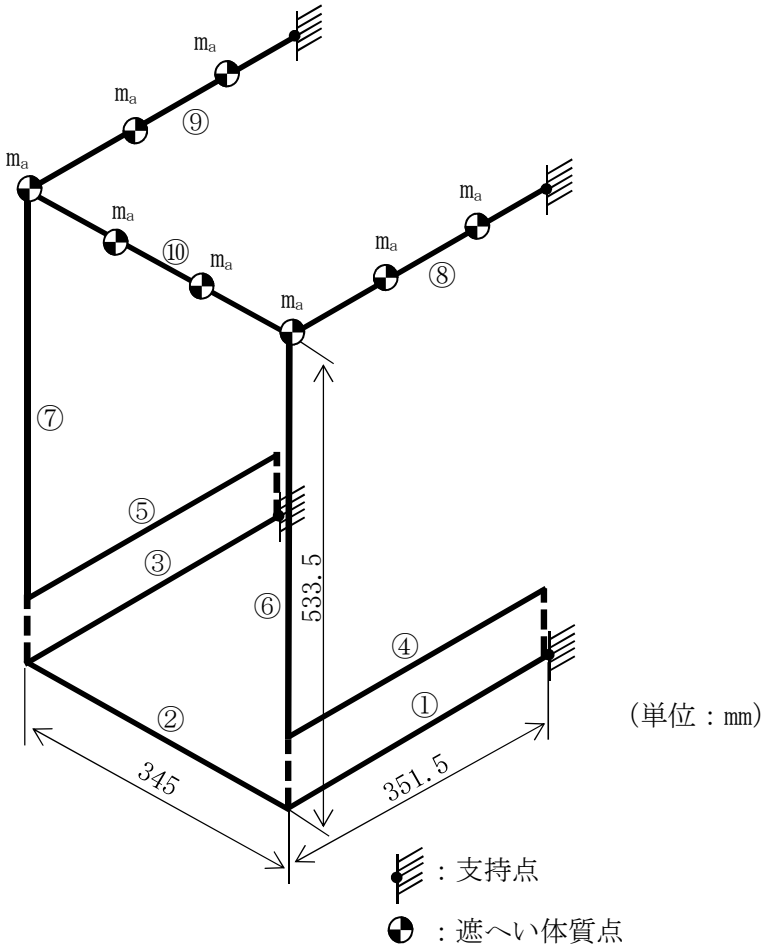


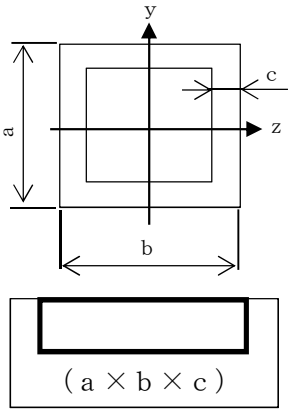
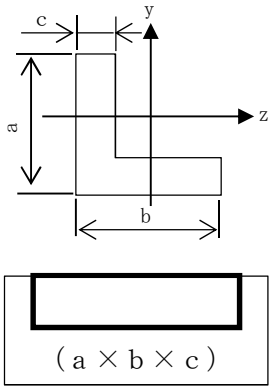
図 2-2　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）
遮へい体　解析モデル

表 2-3　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

注記　＊：() 内は合計質量を示す。

表 2-4　部材の機器要目

材料		
対象要素	①－③	④－⑩
A （mm^2）		
I_y （mm^4）		
I_z （mm^4）		
I_p （mm^4）		
Z_y （mm^3）		
Z_z （mm^3）		
Z_p （mm^3）		
断面形状(mm)		

2.4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 2-5 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 2-5　固有値解析結果(s)

モード	固有周期	卓越方向
1 次		水平

2.5　構造強度評価

2.5.1　構造強度評価方法

(1)　地震力は低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2)　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体は，基礎ボルトにより固定されるものとする。

(3)　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体の質量は，遮へい体支持架構を考慮する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

2.5.2　荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

2.5.2.2　許容応力

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 2-7 のとおりとする。

2.5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-8 に示す。

表 2-6　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 2-7　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-8　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	—

2.5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-9 に示す。

表 2-9　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL. 20.30 (EL. 29.00*1)			－	－	C_H=1.55	C_V=1.17

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

2.5.4　計算方法

2.5.4.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

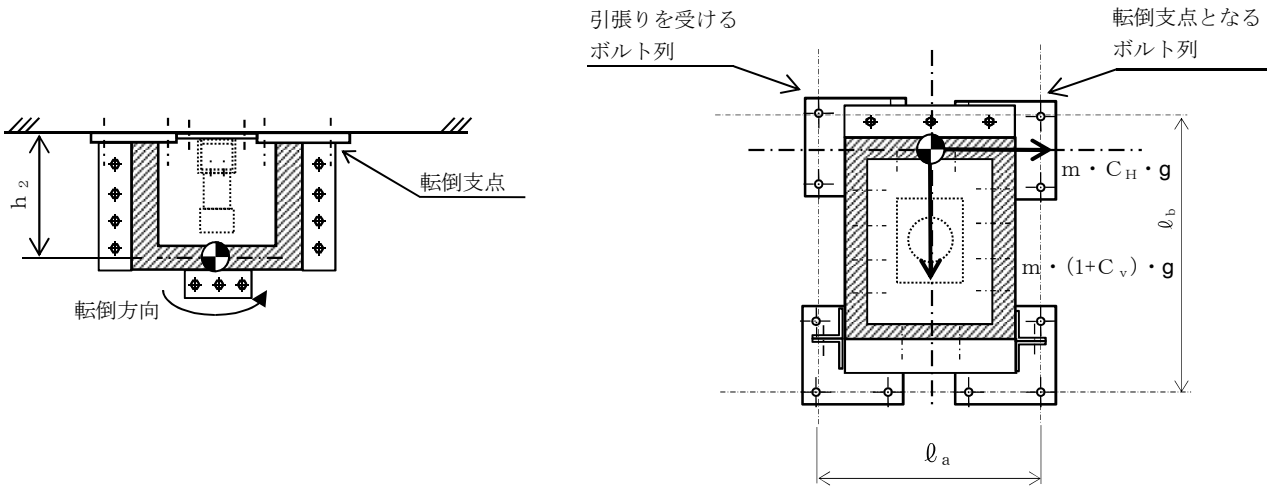


図 2-3(1)　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体
計算モデル(壁掛形　水平方向転倒の場合)

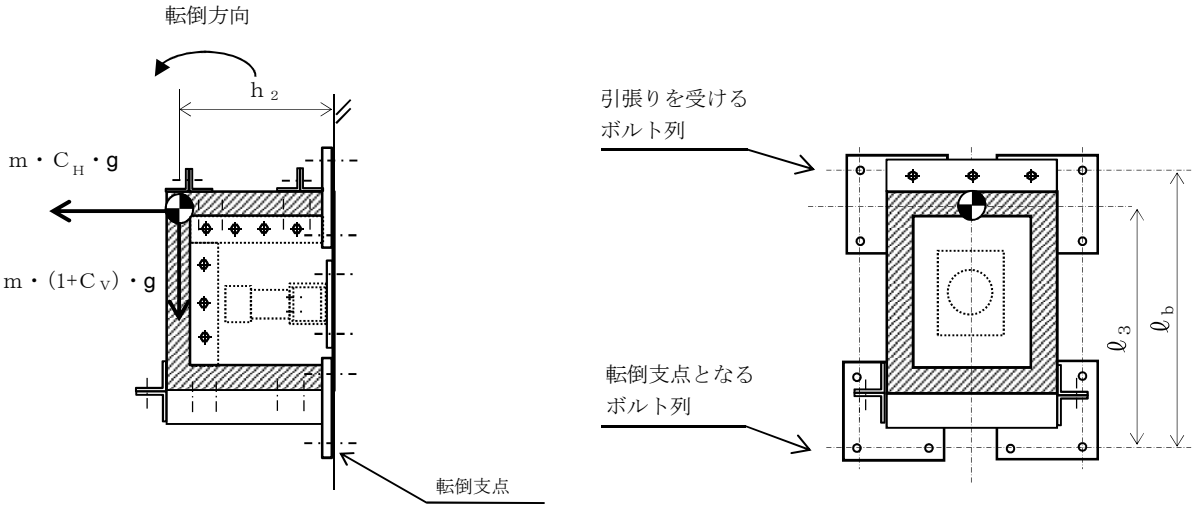


図 2-3(2)　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体
計算モデル(壁掛形　鉛直方向転倒の場合)

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図2-3で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図2-3(1)の場合の引張力

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \cdots\cdots (2.5.4.1.1)$$

計算モデル図2－3(2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \cdots\cdots (2.5.4.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}(F_{b1},\ F_{b2}) \cdots\cdots (2.5.4.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \cdots\cdots (2.5.4.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \cdots\cdots (2.5.4.1.5)$$

(2)　せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_{b1}=m\cdot g\cdot C_H \cdots\cdots (2.5.4.1.6)$$

$$Q_{b2}=m\cdot g\cdot(1+C_V) \cdots\cdots (2.5.4.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \cdots\cdots (2.5.4.1.8)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \cdots\cdots (2.5.4.1.9)$$

2.5.5　計算条件

2.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器様目に示す。

2.5.6　応力の評価

2.5.6.1　ボルトの応力評価

2.5.4.1 項で求めたボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts} 以下であること。

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb} 以下であること。ただし，f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

$$f_{ts} = \mathrm{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.6.1.1)$$

せん断応力τ_bは,せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb} 以下であること。

	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.6　評価結果

2.6.1　評価結果

低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体	常設耐震／防止 常設／緩和	EL. 20.30 (EL. 29.00*1)			－	－	C_H＝1.55	C_V＝1.17	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析により 0.05 秒以下であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								4	4

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	鉛直方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 （単位：N）

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

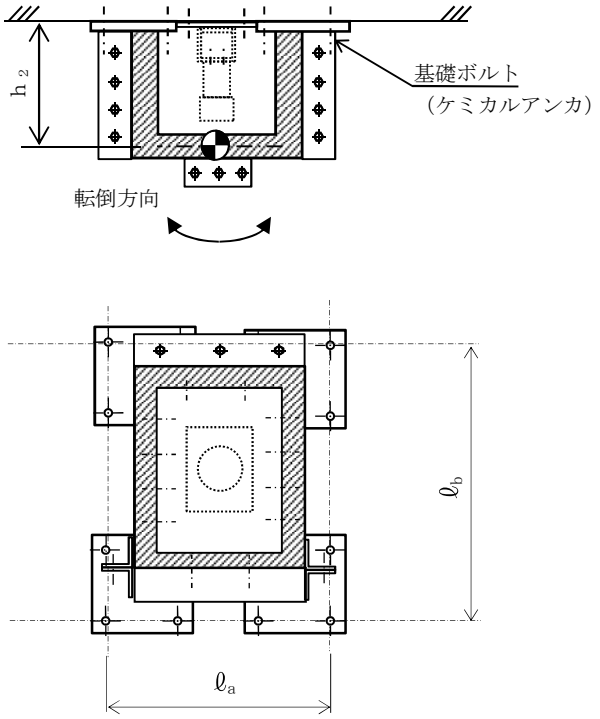
1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 （単位：MPa）

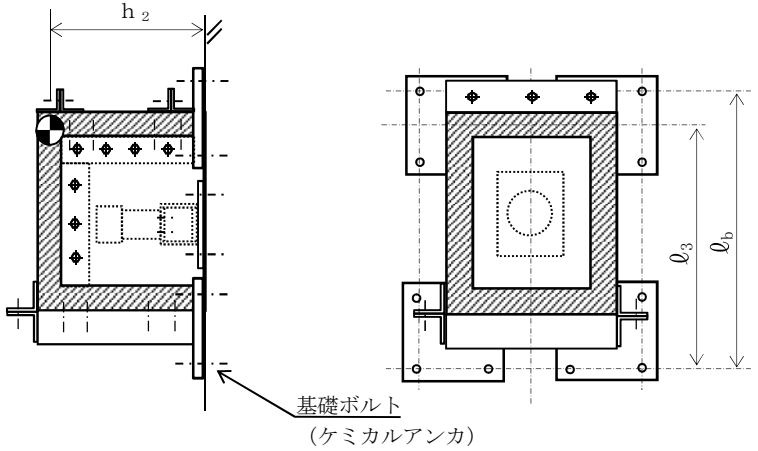
部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b＝31	f_{ts}＝156*
		せん断	－	－	τ_b＝11	f_{sb}＝120

すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-5-8　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）の耐震性についての計算書

目次

1. 低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）・・・

1. 低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）

1.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

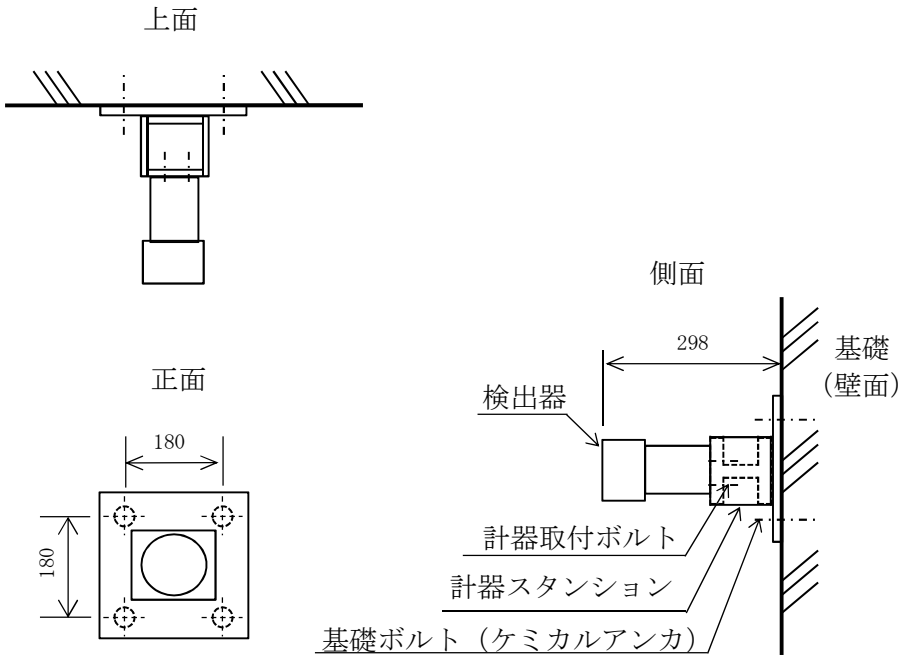
1.2 一般事項

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

1.2.1 構造計画

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	 （単位：mm）

1.3　固有周期

1.3.1　固有周期の算出方法

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）は，図 1-1 に示す壁固定の１質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で原子炉建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）１点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4)　図 1-1 中の ◓ は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，━ は計器スタンションを示す。

1.3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{{h_2}^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{h_2}{A_s\cdot G}\right)}\qquad\cdots(1.3.1.1.1)$$

(2)　Ｚ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

1.3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

(1)　Ｙ方向に対する固有周期を 1.3.1.1.1 式で求める。

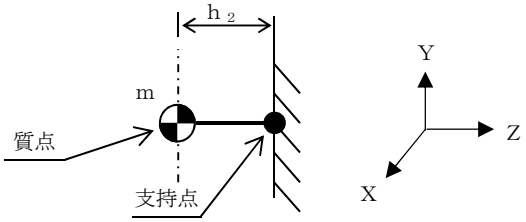
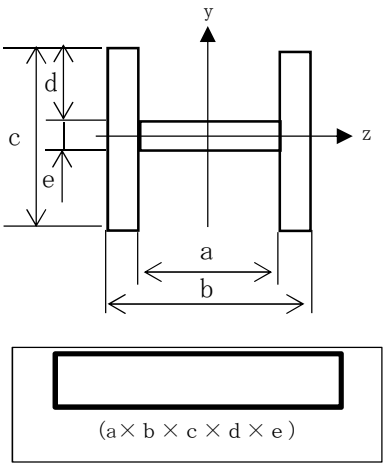


図 1-1　固有周期の計算モデル

1.3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 1-2 に示す。

表 1-2　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
取付面から重心までの距離（壁掛形）	h_2	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			

1.3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向のＸ方向及び鉛直方向は 0.05 秒であり，剛であることを確認した。また，水平方向のＺ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 1-3 に示す。

表 1-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

1.4　構造強度評価

1.4.1　構造強度評価方法

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）の構造は壁掛形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4 に示す。

1.4.2.2　許容応力

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 のとおりとする。

1.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-6 に示す。

表 1-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	低圧代替注水系 原子炉注水流量 （可搬ライン用）	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして $Ⅳ_AS$の許容限界 を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 1-5　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 （℃）		S_y （MPa）	S_u （MPa）	S_y（RT） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	234	385	－

1.5　機能維持評価

1.5.1　電気的機能維持評価方法

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）の電気的機能維持評価について，以下に示す。電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-7 に示す。

表 1-7　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
低圧代替注水系 原子炉注水流量 （可搬ライン用）	水平	
	鉛直	

1.6　評価結果

1.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）	常設耐震／防止常設／緩和	[redacted] EL.14.00 (EL.20.30*)	[redacted]		—	—	C_H=1.34	C_V=1.01	[redacted]

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト	[redacted]							2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	234	385	—	270	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=162^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=124$

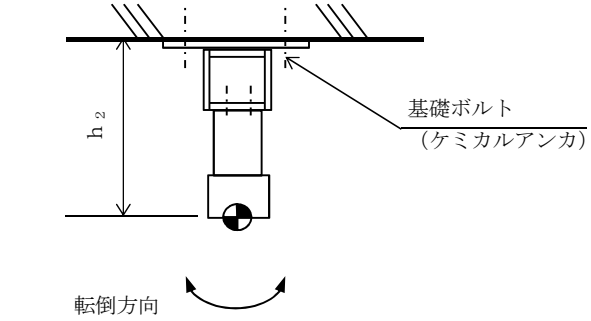
すべて許容応力以下である。

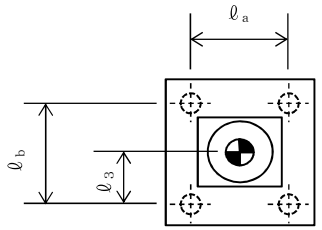
注記 ＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b, f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

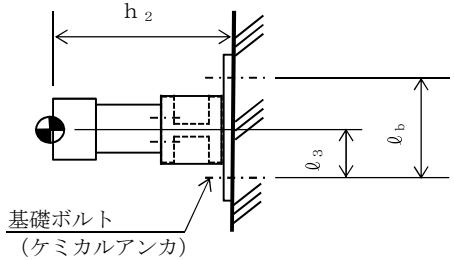
		評価用加速度	機能確認済加速度
低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

2.　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体

2.1　概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

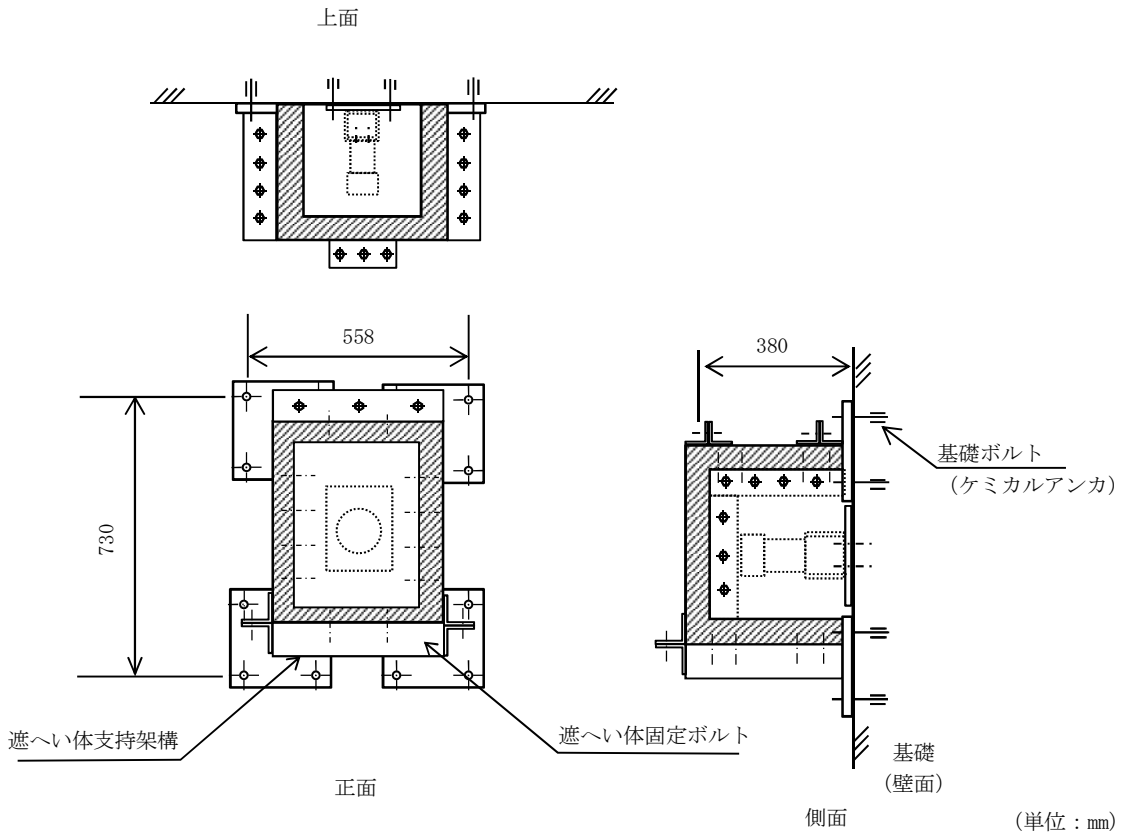
低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2.2　一般事項

2.2.1　構造計画

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
遮へい体は，遮へい体固定ボルトにより遮へい体支持架構に固定される。 遮へい体支持架構は，基礎に基礎ボルトで設置する。	遮へい体	

2.2.2　評価方針

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.2.1　構造計画」にて低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体の部位を踏まえ「2.3　評価部位」にて設定する箇所において，「2.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「2.5　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.6　評価結果」に示す。

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

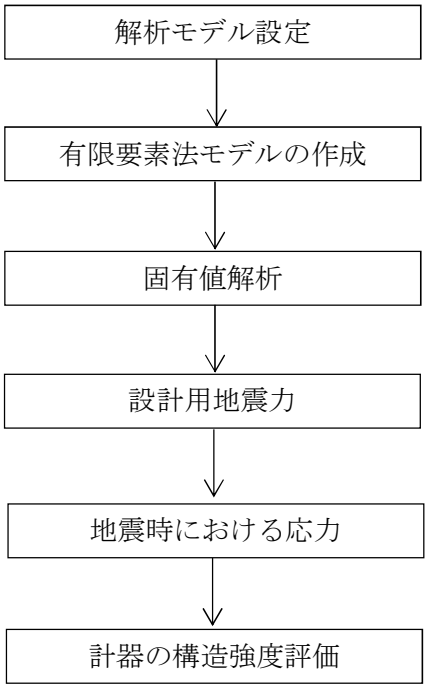


図 2-1　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）
遮へい体の耐震評価フロー

2.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））
ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	遮へい体支持架構の断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_2	取付面から質点までの距離(壁掛形)	mm
I_p	遮へい体支持架構の断面二次極モーメント	mm^4
I_y	遮へい体支持架構の断面二次モーメント（ｙ軸）	mm^4
I_z	遮へい体支持架構の二次モーメント（ｚ軸）	mm^4
ℓ_3	質点と下側ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_a	側面(左右)ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離(壁掛形)	mm
m	遮へい体及び遮へい体支持架構の総質量	kg
m_a	遮へい体の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
Z_p	遮へい体支持架構のねじり断面係数	mm^3
Z_y	遮へい体支持架構の断面係数（y軸）	mm^3
Z_z	遮へい体支持架構の断面係数（z軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表 2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量*1	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。
＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。
＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

2.3　評価部位

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体の耐震評価は，「2.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体の耐震評価箇所については，表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4　固有周期

2.4.1　固有値解析方法

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体の固有値解析方法を「2.4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

2.4.2　解析モデル及び諸元

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体の解析モデルを 3 次元はりモデルとして図 2-2 に，解析モデルの概要を以下に示す。遮へい体は遮へい体に溶接されている鋼材と，下部の遮へい体支持架構に固定され，原子炉建屋壁面に４箇所で固定されている。解析モデルでは遮へい体支持架構を①～③の部材，遮へい体に溶接されている鋼材を④～⑩の部材で組まれたものとみなし，支持点４点で固定されるものとする。遮へい体の質量は８箇所に分散されるものとし，保守的に取付位置の上部に配置する。機器の諸元を表 2-3，部材の機器要目を表 2-4 に示す。

(1)　図 2-2 中○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2)　図 2-2 中の ◓ は遮へい体の質点m_aを示し，8 箇所に分散している。なお，質点 m_aの質量は 1 個あたり□kg で，8 箇所を合計すると□kg である。

(3)　図 2-2 中の ―― は遮へい体支持架構，－－－ は仮想鋼材， は支持点（遮へい体支持架構基礎部）を示す。

(4)　拘束条件は，ＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値及び荷重を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

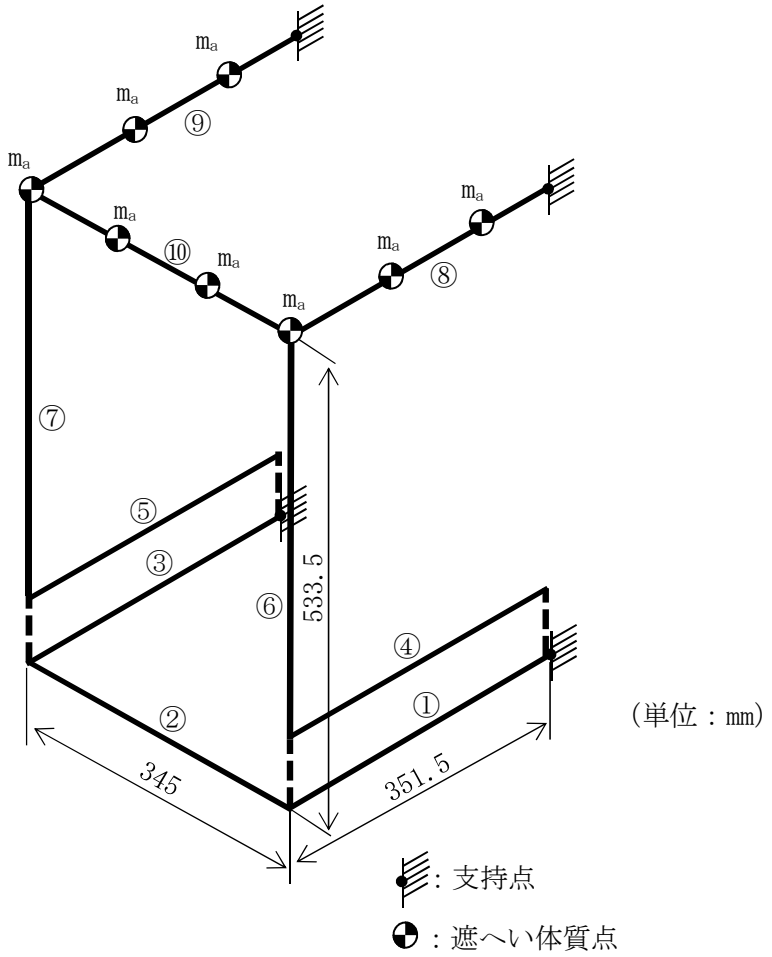


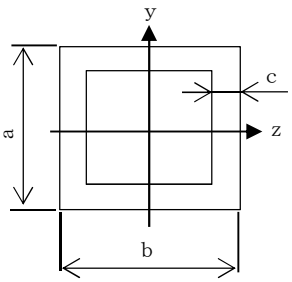
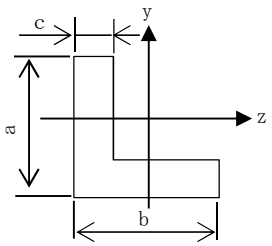
図 2-2　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）
遮へい体　解析モデル

表 2-3　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

注記　＊：() 内は合計質量を示す。

表 2-4　部材の機器要目

材料		
対象要素	①－③	④－⑩
A （mm^2）		
I_y （mm^4）		
I_z （mm^4）		
I_p （mm^4）		
Z_y （mm^3）		
Z_z （mm^3）		
Z_p （mm^3）		
断面形状(mm)	 （ａ×ｂ×ｃ）	 （ａ×ｂ×ｃ）

2.4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 2-5 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 2-5　固有値解析結果(s)

モード	固有周期	卓越方向
1 次		水平

2.5　構造強度評価

2.5.1　構造強度評価方法

(1)　地震力は低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2)　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体は，基礎ボルトにより固定されるものとする。

(3)　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体の質量は，遮へい体支持架構を考慮する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

2.5.2　荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

2.5.2.2　許容応力

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 2-7 のとおりとする。

2.5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-8 に示す。

表 2-6　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 2-7　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2（ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*
V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-8　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	234	385	—

2.5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-9 に示す。

表 2-9　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL. 14.00 (EL. 20.30*1)			—	—	C_H=1.34	C_V=1.01

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

2.5.4　計算方法

2.5.4.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

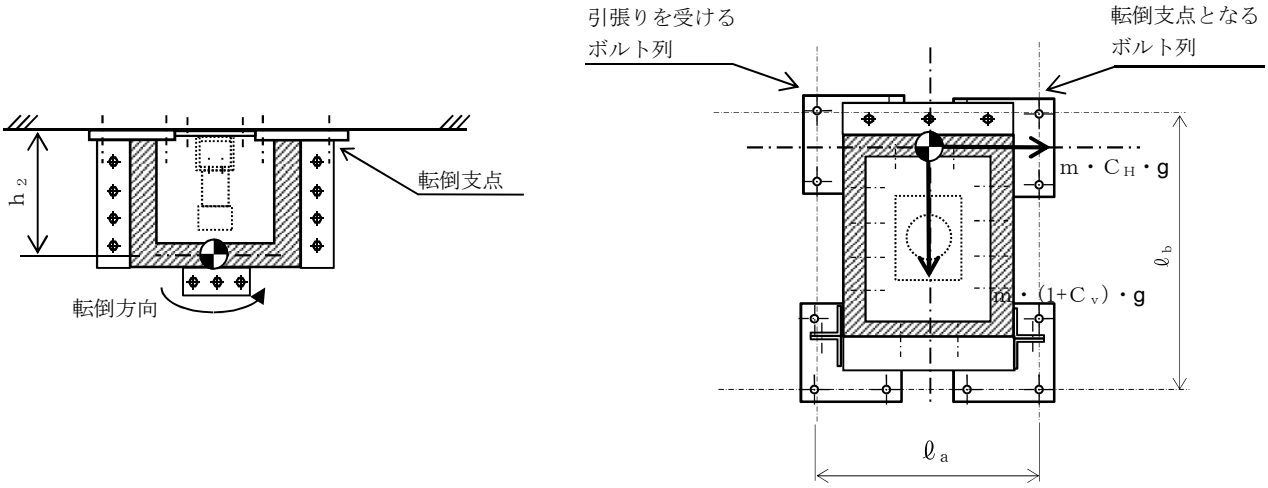


図 2-3(1)　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体
計算モデル(壁掛形　水平方向転倒の場合)

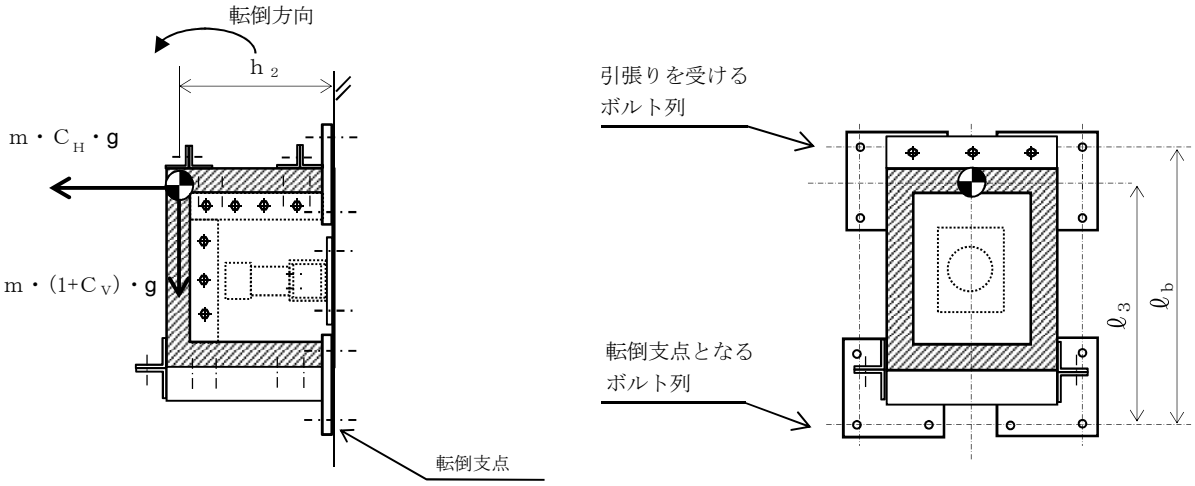


図 2-3(2)　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体
計算モデル(壁掛形　鉛直方向転倒の場合)

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図2-3で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図2-3(1)の場合の引張力

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.1)$$

計算モデル図2-3(2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}(F_{b1},\ F_{b2}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.5)$$

(2)　せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_{b1}=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.6)$$

$$Q_{b2}=m\cdot g\cdot(1+C_V) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.8)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.9)$$

2.5.5　計算条件

2.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器様目に示す。

2.5.6　応力の評価

2.5.6.1　ボルトの応力評価

2.5.4.1 項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b は，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし，f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (2.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

2.6　評価結果

2.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体	常設耐震／防止 常設／緩和	EL. 14.00 (EL. 20.30＊1)			－	－	C_H＝1.34	C_V＝1.01	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析により 0.05 秒以下であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								4	4

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F＊ (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	234	385	－	270	－	鉛直方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

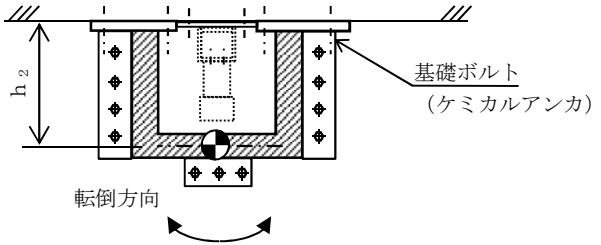
1.4.1 ボルトの応力

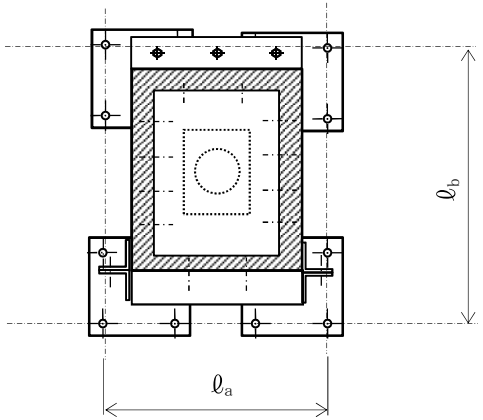
（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動Sd又は静的震度		基準地震動Ss	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=28	f_{ts}=162*
		せん断	－	－	τ_b=10	f_{sb}=124

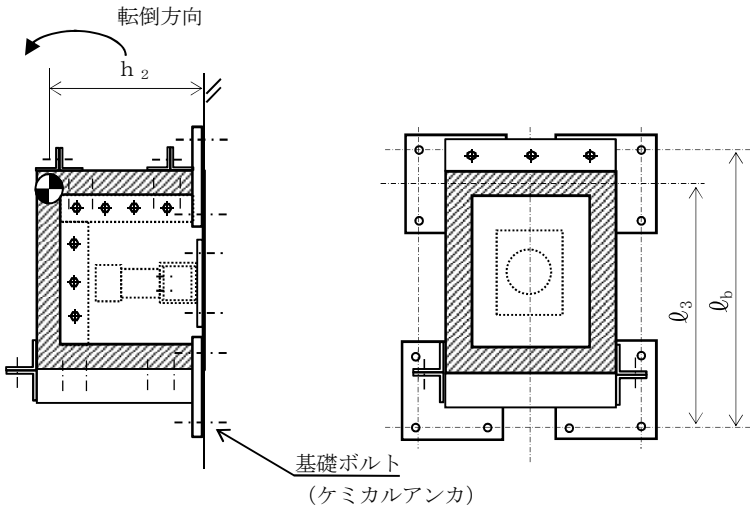
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b, f_{to}]より算出





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-5-9　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）の耐震性についての計算書

目次

1. 低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）・・・

1. 低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）

1.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

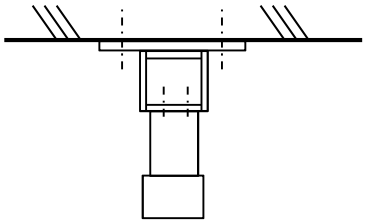
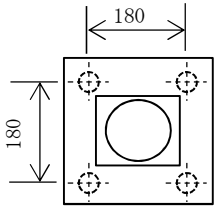
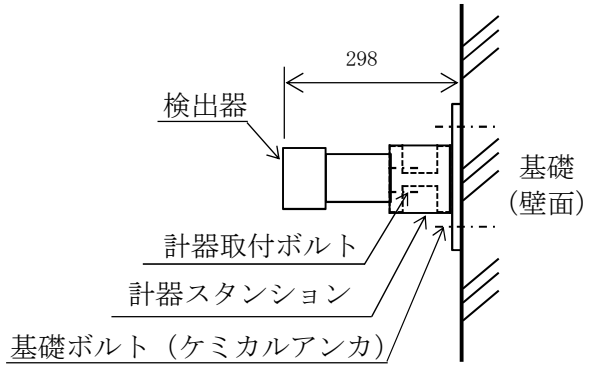
1.2 一般事項

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

1.2.1 構造計画

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	 上面  正面  側面 （単位：mm）

1.3　固有周期

1.3.1　固有周期の算出方法

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）は，図 1-1 に示す壁固定の１質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で原子炉建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）１点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4)　図 1-1 中の ⊕ は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，── は計器スタンションを示す。

1.3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{h_2{}^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{h_2}{A_s\cdot G}\right)}\qquad\cdots(1.3.1.1.1)$$

(2)　Ｚ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

1.3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

(1)　Ｙ方向に対する固有周期を 1.3.1.1.1 式で求める。

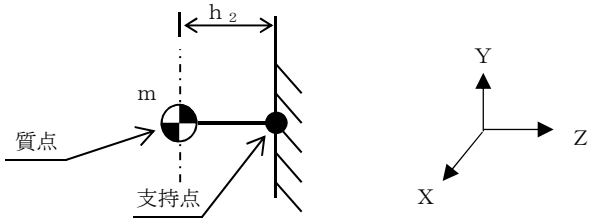
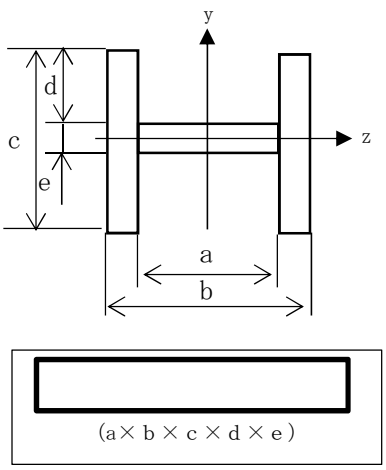


図 1-1　固有周期の計算モデル

1.3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 1-2 に示す。

表 1-2　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
取付面から重心までの距離（壁掛形）	h_2	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			

1.3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向のＸ方向及び鉛直方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，水平方向のＺ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 1-3 に示す。

表 1-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向
[redacted]	[redacted]

1.4　構造強度評価

1.4.1　構造強度評価方法

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）の構造は壁掛形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4 に示す。

1.4.2.2　許容応力

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 のとおりとする。

1.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-6 に示す。

表 1-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	低圧代替注水系 原子炉注水流量 （可搬ライン狭帯域用）	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 1-5　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 （℃）		S_y （MPa）	S_u （MPa）	S_y（RT） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	234	385	－

1.5　機能維持評価

1.5.1　電気的機能維持評価方法

低圧代替注水系原子炉注水流量(可搬ライン狭帯域用)の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-7 に示す。

表 1-7　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
低圧代替注水系 原子炉注水流量 （可搬ライン狭帯域用）	水平	
	鉛直	

1.6　評価結果

1.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）	常設耐震／防止常設／緩和	[redacted] EL.14.00 (EL.20.30*)	[redacted]		—	—	C_H=1.34	C_V=1.01	[redacted]

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト	[redacted]							2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	234	385	—	270	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_S	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_S
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_S	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=162^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=124$

すべて許容応力以下である。

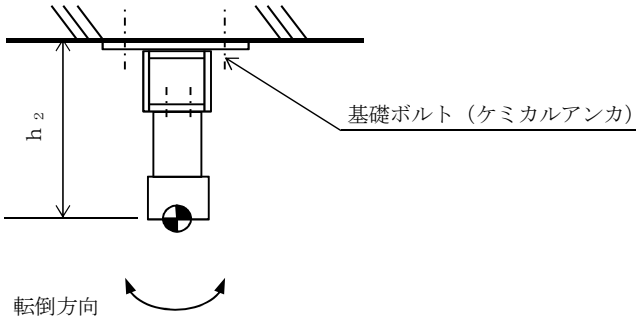
注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

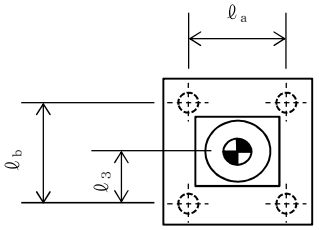
1.4.2 電気的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s^2)

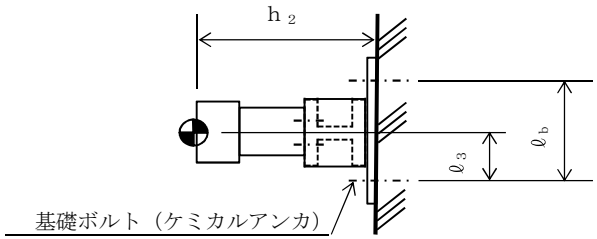
		評価用加速度	機能確認済加速度
低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

2. 低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体

2.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

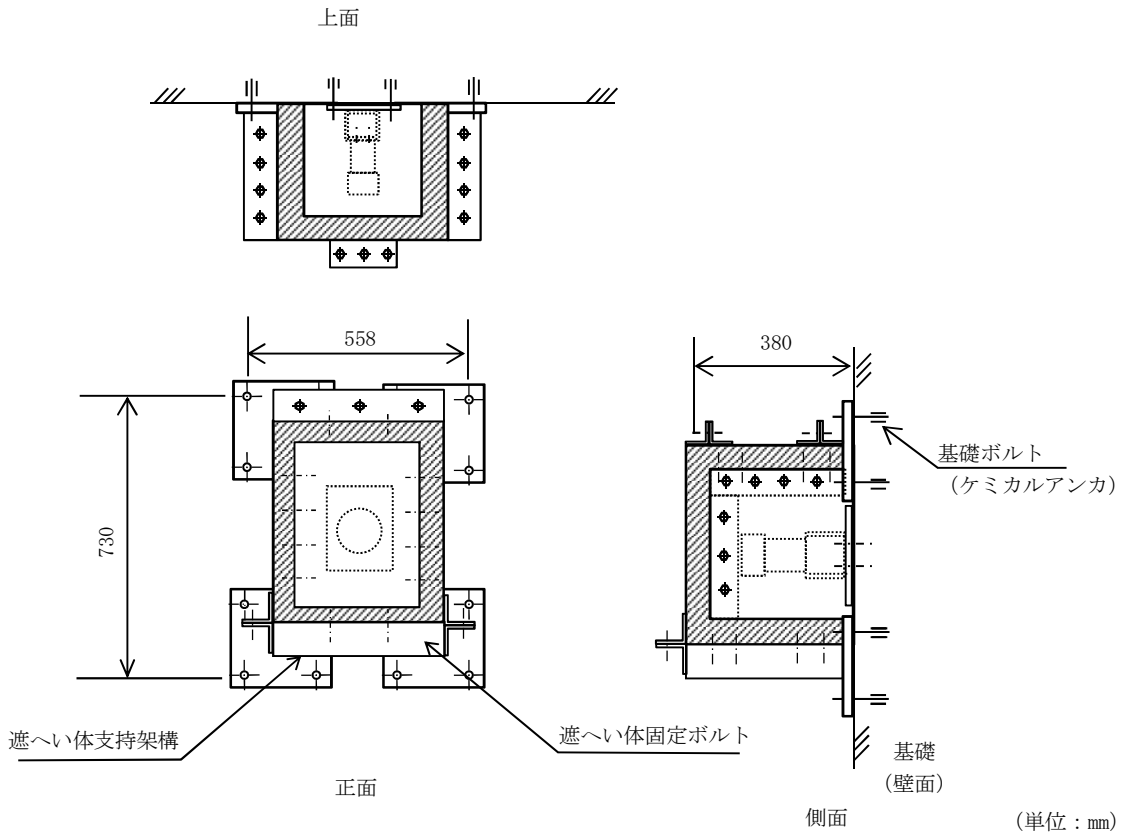
低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
遮へい体は，遮へい体固定ボルトにより遮へい体支持架構に固定される。 遮へい体支持架構は，基礎に基礎ボルトで設置する。	遮へい体	

2.2.2　評価方針

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.2.1　構造計画」にて低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体の部位を踏まえ「2.3　評価部位」にて設定する箇所において，「2.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「2.5　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.6　評価結果」に示す。

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

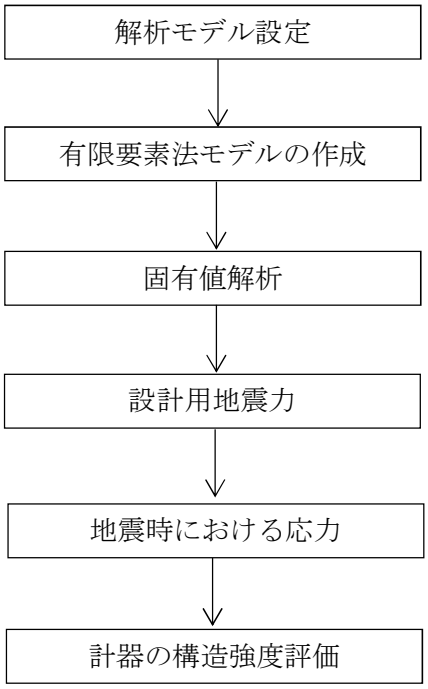


図 2-1　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）
遮へい体の耐震評価フロー

2.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991追補版(日本電気協会)

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	遮へい体支持架構の断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_2	取付面から質点までの距離（壁掛形）	mm
I_p	遮へい体支持架構の断面二次極モーメント	mm^4
I_y	遮へい体支持架構の断面二次モーメント（ｙ軸）	mm^4
I_z	遮へい体支持架構の二次モーメント（ｚ軸）	mm^4
ℓ_3	質点と下側ボルト間の距離（壁掛形）	mm
ℓ_a	側面（左右）ボルト間の距離（壁掛形）	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離（壁掛形）	mm
m	遮へい体及び遮へい体支持架構の総質量	kg
m_a	遮へい体の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（側面方向）（壁掛形）	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（正面方向）（壁掛形）	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
Z_p	遮へい体支持架構のねじり断面係数	mm^3

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
Z_y	遮へい体支持架構の断面係数（ｙ軸）	mm^3
Z_z	遮へい体支持架構の断面係数（ｚ軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表 2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	－	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	－	－	整数位
質量*1	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
モーメント	N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

2.3　評価部位

低圧代替注水系原子炉注水流量(可搬ライン狭帯域用)遮へい体の耐震評価は,「2.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体の耐震評価箇所については，表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4　固有周期

2.4.1　固有値解析方法

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体の固有値解析方法を「2.4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

2.4.2　解析モデル及び諸元

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体の解析モデルを3次元はりモデルとして図2-2に，解析モデルの概要を以下に示す。遮へい体は遮へい体に溶接されている鋼材と下部の遮へい体支持架構に固定され壁面に 4 箇所で固定されている。解析モデルでは遮へい体支持架構を①～③の部材，遮へい体に溶接されている鋼材を④～⑩の部材で組まれたものとみなし，支持点4点で固定されるものとする。遮へい体の質量は8箇所に分散されるものとし，保守的に取り付け位置の上部に配置する。機器の諸元を表 2-3，部材の機器要目を表 2-4 に示す。

(1)　図2-2 中①～⑩内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2)　図 2-2 中の ◓ は遮へい体の質点m_aを示し，8 箇所に分散している。なお，質点m_aの質量は1個あたり□kg で，8 箇所を合計すると□kg である。

(3)　図 2-2 中の ━━ は遮へい体支持架構，－ － は仮想鋼材， は支持点（遮へい体支持架構基礎部）を示す。

(4)　拘束条件は，ＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値及び荷重を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

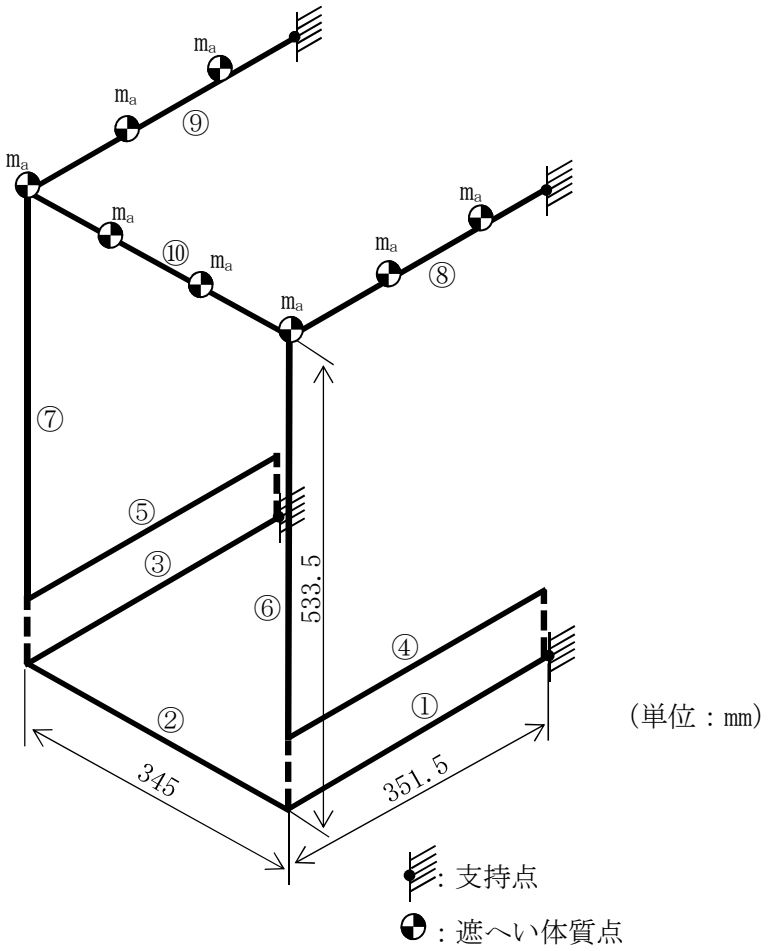


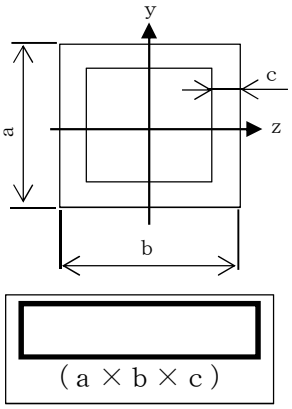
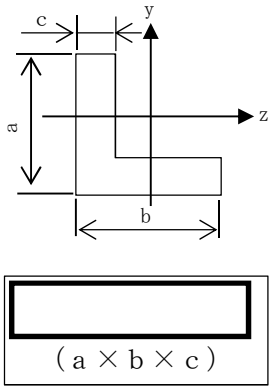
図 2-2　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）
遮へい体　解析モデル

表 2-3　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

注記　＊：() 内は合計質量を示す。

表 2-4　部材の機器要目

材料		
対象要素	①－③	④－⑩
A （mm^2）		
I_y （mm^4）		
I_z （mm^4）		
I_p （mm^4）		
Z_y （mm^3）		
Z_z （mm^3）		
Z_p （mm^3）		
断面形状(mm)		

2.4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 2-5 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 2-5　固有値解析結果(s)

モード	固有周期	卓越方向
1 次		水平

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

(1) 地震力は低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2) 低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体は，基礎ボルトにより壁面に固定されるものとする。

(3) 低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体の質量は遮へい体及び遮へい体支持架構を考慮する。

(4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

2.5.2.2 許容応力

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 2-7 のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-8 に示す。

表 2-6　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	低圧代替注水系 原子炉注水流量 （可搬ライン狭帯域用）	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 2-7　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-8　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	234	385	—

2.5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-9 に示す。

表 2-9　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
[redacted] EL. 14.00 (EL. 20.30*1)	[redacted]		—	—	C_H＝1.34	C_V＝1.01

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

2.5.4　計算方法

2.5.4.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

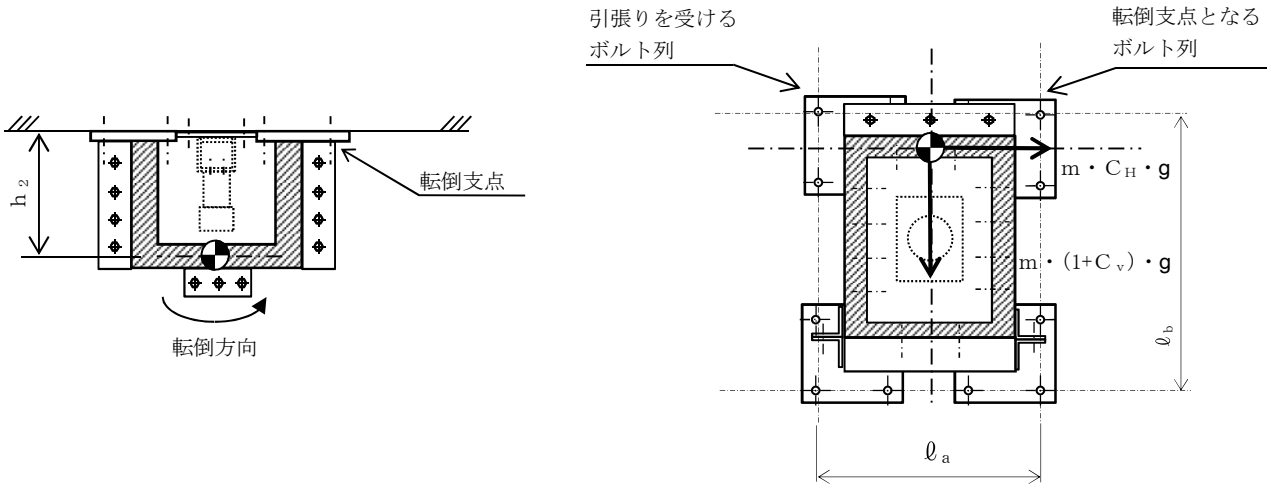


図2-3(1)　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体
計算モデル(壁掛形　水平方向転倒の場合)

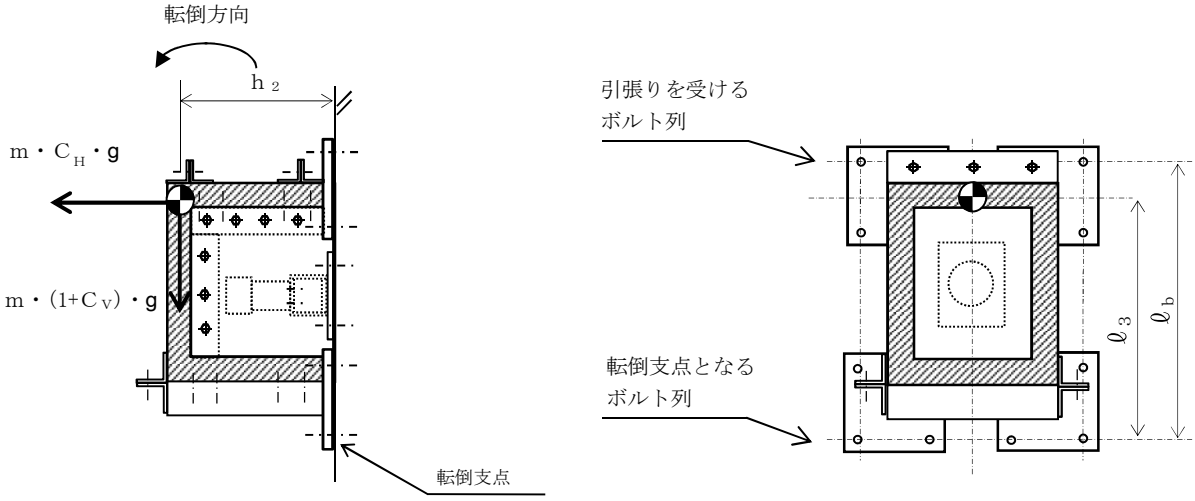


図2-3(2)　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体
計算モデル(壁掛形　鉛直方向転倒の場合)

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図2-3で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図2-3(1)の場合の引張力

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \cdots\cdots (2.5.4.1.1)$$

計算モデル図2-3(2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \cdots\cdots (2.5.4.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}(F_{b1},\ F_{b2}) \cdots\cdots (2.5.4.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \cdots\cdots (2.5.4.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \cdots\cdots (2.5.4.1.5)$$

(2)　せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_{b1}=m\cdot g\cdot C_H \cdots\cdots (2.5.4.1.6)$$

$$Q_{b2}=m\cdot g\cdot(1+C_V) \cdots\cdots (2.5.4.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \cdots\cdots (2.5.4.1.8)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \cdots\cdots (2.5.4.1.9)$$

2.5.5　計算条件

2.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器様目に示す。

2.5.6　応力の評価

2.5.6.1　ボルトの応力評価

2.5.4.1 項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b は，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし，f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

2.6　評価結果

2.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用)】遮へい体の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体	常設耐震／防止 常設／緩和	EL.14.00 (EL.20.30*1)			－	－	C_H=1.34	C_V=1.01	

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：固有値解析により 0.05 秒以下であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								4	4

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	234	385	－	270	－	鉛直方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

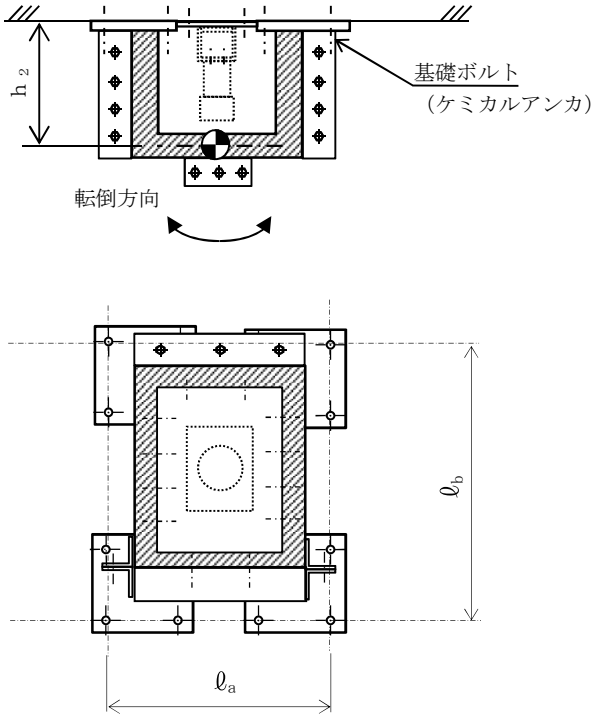
1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

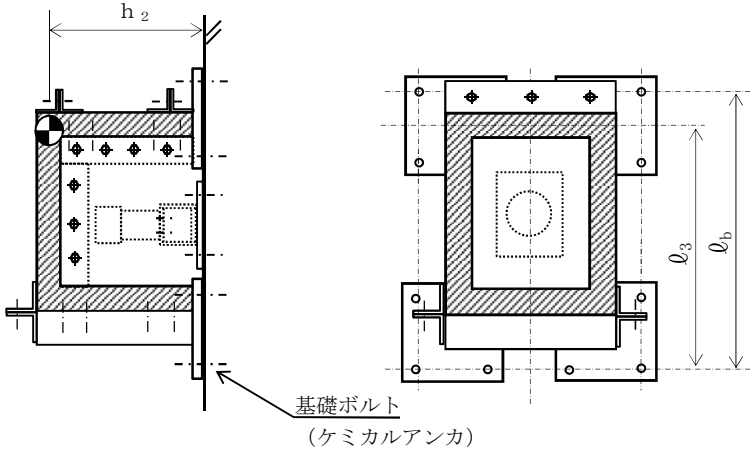
部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=28	f_{ts}=162*
		せん断	－	－	τ_b=10	f_{sb}=124

すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-5-10　代替循環冷却系原子炉注水流量の耐震性についての計算書

目次

1. 代替循環冷却系原子炉注水流量 1
1.1 概要 1
1.2 一般事項 1
1.2.1 構造計画 1
1.3 固有周期 3
1.3.1 固有周期の算出方法 3
1.3.2 固有周期の計算条件 4
1.3.3 固有周期の計算結果 4
1.4 構造強度評価 5
1.4.1 構造強度評価方法 5
1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力 5
1.5 機能維持評価 8
1.5.1 電気的機能維持評価方法 8
1.6 評価結果 9
1.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 9
2. 代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体 16
2.1 概要 16
2.2 一般事項 16
2.2.1 構造計画 16
2.2.2 評価方針 18
2.2.3 適用基準 19
2.2.4 記号の説明 20
2.2.5 計算精度と数値の丸め方 21
2.3 評価部位 22
2.4 固有周期 22
2.4.1 固有値解析方法 22
2.4.2 解析モデル及び諸元 23
2.4.3 固有値解析結果 25
2.5 構造強度評価 26
2.5.1 構造強度評価方法 26
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力 26
2.5.3 設計用地震力 29
2.5.4 計算方法 30
2.5.5 計算条件 32

2.5.6　応力の評価 32
2.6　評価結果 33
2.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果 33

1. 代替循環冷却系原子炉注水流量

1.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，代替循環冷却系原子炉注水流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

代替循環冷却系原子炉注水流量は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

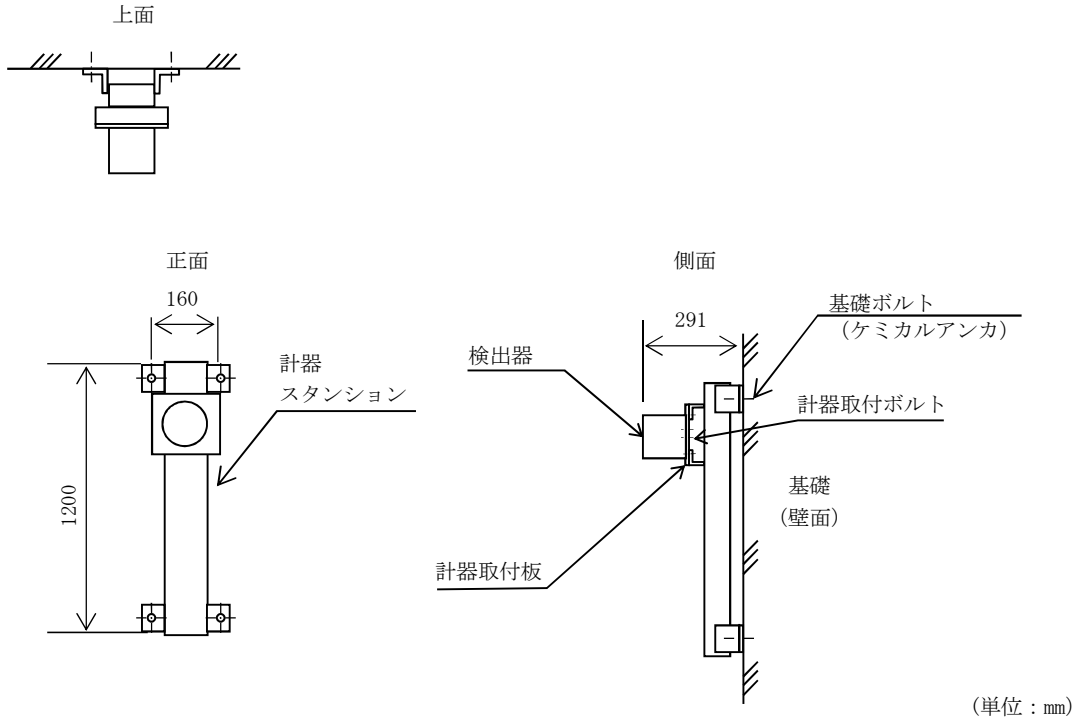
1.2 一般事項

代替循環冷却系原子炉注水流量は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

1.2.1 構造計画

代替循環冷却系原子炉注水流量の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	

1.3 固有周期

1.3.1 固有周期の算出方法

代替循環冷却系原子炉注水流量の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 代替循環冷却系原子炉注水流量は，図 1-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

(2) 計器スタンションは鋼材で上下 2 箇所を原子炉建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）2 点で固定されるものとする。

(3) 検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は計器スタンションの中心に設定する。

(4) 図 1-1 中の ◓ は検出器及び計器スタンションの質点，●は計器スタンションの支持点，━ は計器スタンションを示す。

1.3.1.1 水平方向（X方向，Z方向）

(1) X方向及びZ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{\ell_b{}^3}{48\cdot E\cdot I}+\frac{\ell_b}{4\cdot A_s\cdot G}\right)} \quad \cdots(1.3.1.1.1)$$

1.3.1.2 鉛直方向（Y方向）

(1) Y方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

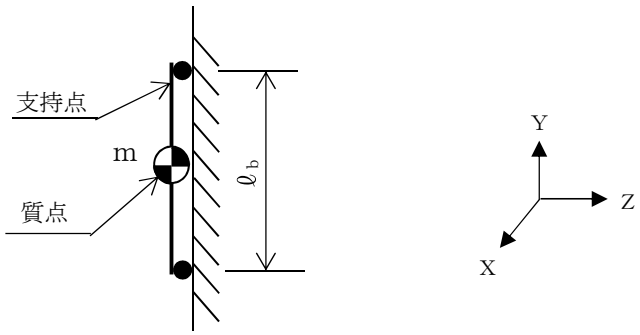
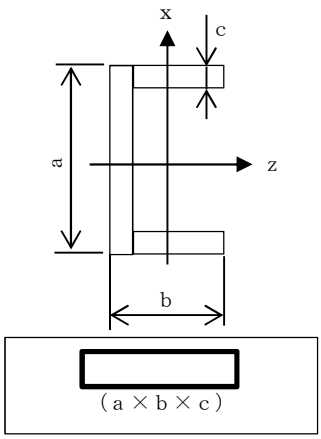


図 1-1 固有周期の計算モデル

1.3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 1-2 に示す。

表 1-2　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
上下ボルト間の距離（壁掛形）	ℓ_b	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			

1.3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 1-3 に示す。

表 1-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

注記　＊：水平方向は固有周期が長いＺ方向の
固有周期を示す。

1.4　構造強度評価

1.4.1　構造強度評価方法

代替循環冷却系原子炉注水流量の構造は壁掛形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

代替循環冷却系原子炉注水流量の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4 に示す。

1.4.2.2　許容応力

代替循環冷却系原子炉注水流量の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 のとおりとする。

1.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

代替循環冷却系原子炉注水流量の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-6 に示す。

表 1-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	代替循環冷却系原子炉注水流量	常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 1-5　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 （℃）		S_y （MPa）	S_u （MPa）	S_y（RT） （MPa）
基礎ボルト	[redacted] （径≦16 mm）	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

1.5　機能維持評価

1.5.1　電気的機能維持評価方法

代替循環冷却系原子炉注水流量の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

代替循環冷却系原子炉注水流量の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-7 に示す。

表 1-7　機能確認済加速度　　(×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
代替循環冷却系 原子炉注水流量 (FT-SA17-N013A)	水平	
	鉛直	
代替循環冷却系 原子炉注水流量 (FT-SA17-N013B)	水平	
	鉛直	

1.6　評価結果

1.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

代替循環冷却系原子炉注水流量の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【代替循環冷却系原子炉注水流量(FT-SA17-N013A)の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
代替循環冷却系原子炉注水流量	常設／緩和	EL. 14.00 (EL. 20.30*)			－	－	C_H=1.34	C_V=1.01	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 代替循環冷却系原子炉注水流量

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=3	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=2	f_{sb}=120

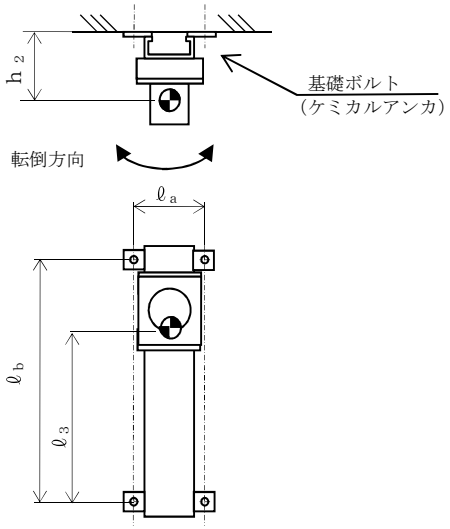
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

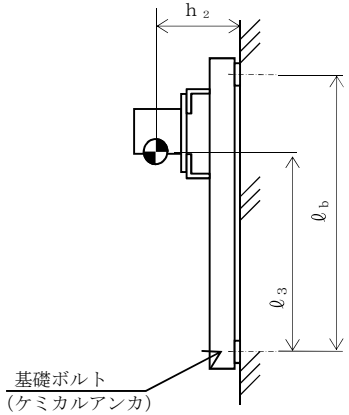
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
代替循環冷却系原子炉注水流量	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

【代替循環冷却系原子炉注水流量(FT-SA17-N013B)の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
代替循環冷却系原子炉注水流量	常設／緩和	[redacted] EL.-4.00 (EL.2.00*)	[redacted]		－	－	C_H=0.96	C_V=0.92	[redacted]

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 代替循環冷却系原子炉注水流量

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト	[redacted]							2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=3$	$f_{ts}=156^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=2$	$f_{sb}=120$

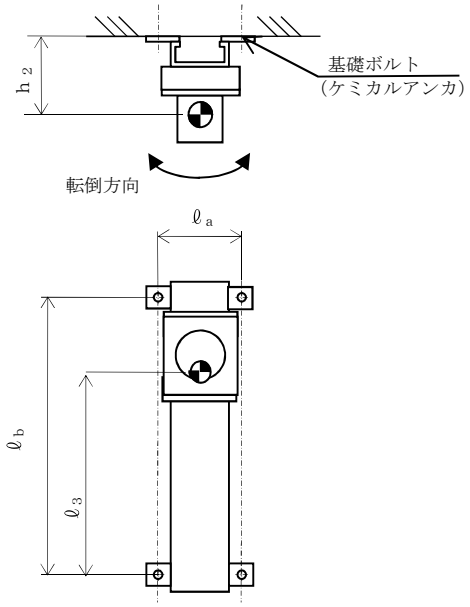
すべて許容応力以下である。

注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

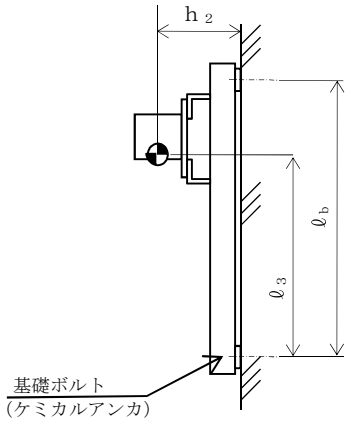
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
代替循環冷却系原子炉注水流量	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

2.　代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体

2.1　概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

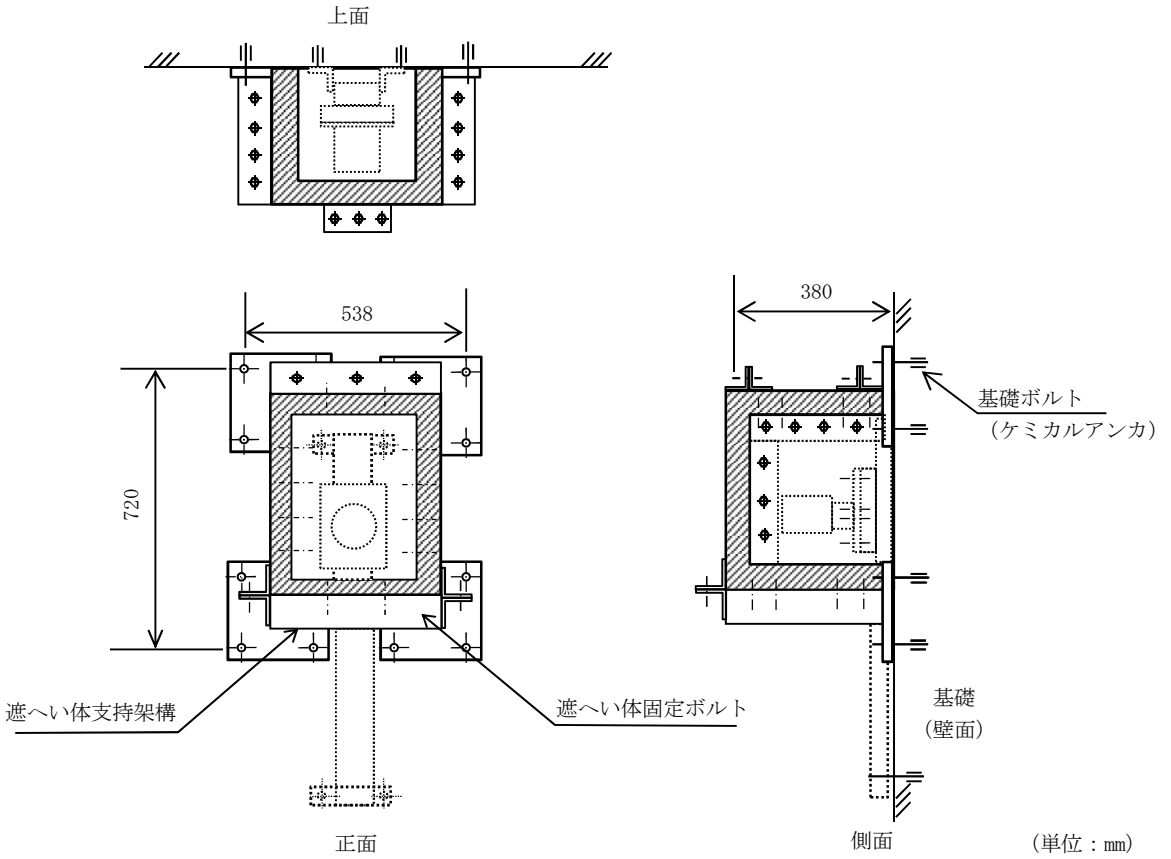
代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2.2　一般事項

2.2.1　構造計画

代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
遮へい体は，遮へい体固定ボルトにより遮へい体支持架構に固定される。 遮へい体支持架構は，基礎に基礎ボルトで設置する。	遮へい体	

2.2.2　評価方針

代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.2.1　構造計画」にて代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体の部位を踏まえ「2.3　評価部位」にて設定する箇所において，「2.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「2.5　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.6　評価結果」に示す。

代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

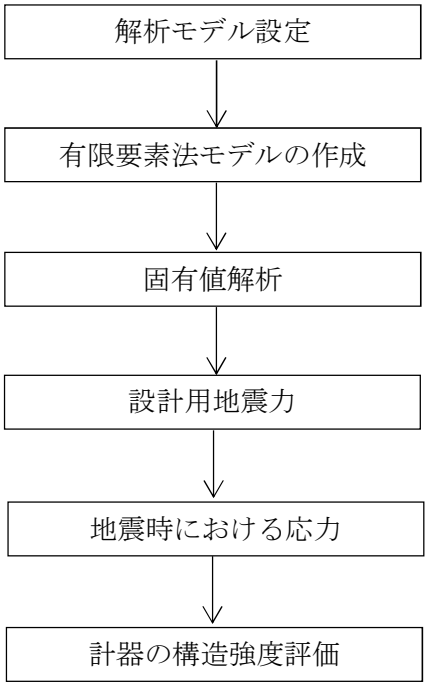


図 2-1　代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体の耐震評価フロー

2.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版(日本電気協会)

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））
ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	遮へい体支持架構の断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_2	取付面から重心までの距離（壁掛形）	mm
I_p	遮へい体支持架構の断面二次極モーメント	mm^4
I_y	遮へい体支持架構の断面二次モーメント（ｙ軸）	mm^4
I_z	遮へい体支持架構の二次モーメント（ｚ軸）	mm^4
ℓ_3	重心と下側ボルト間の距離（壁掛形）	mm
ℓ_a	側面（左右）ボルト間の距離（壁掛形）	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離（壁掛形）	mm
m	遮へい体及び遮へい体支持架構の総質量	kg
m_a	遮へい体の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa

記号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
Z_p	遮へい体支持架構のねじり断面係数	mm^3
Z_y	遮へい体支持架構の断面係数（ｙ軸）	mm^3
Z_z	遮へい体支持架構の断面係数（ｚ軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	－	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	－	－	整数位
質量*1	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
モーメント	N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。
＊2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。
＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

2.3　評価部位

代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体の耐震評価は，「2.5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体の耐震評価箇所については，表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4　固有周期

2.4.1　固有値解析方法

代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体の固有値解析方法を「2.4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

2.4.2　解析モデル及び諸元

代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体の解析モデルを 3 次元はりモデルとして図 2-2 に，解析モデルの概要を以下に示す。遮へい体は遮へい体に溶接されている鋼材と下部の遮へい体支持架構に固定され壁面に 4 箇所で固定されている。解析モデルでは遮へい体支持架構を①～③の部材，遮へい体に溶接されている鋼材を④～⑩の部材で組まれたものとみなし，支持点 4 点で固定されるものとする。遮へい体の質量は 8 箇所に分散されるものとし，保守的に取り付け位置の上部に配置する。機器の諸元を表 2-3，部材の機器要目を表 2-4 に示す。

(1)　図 2-2 中①～⑩内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

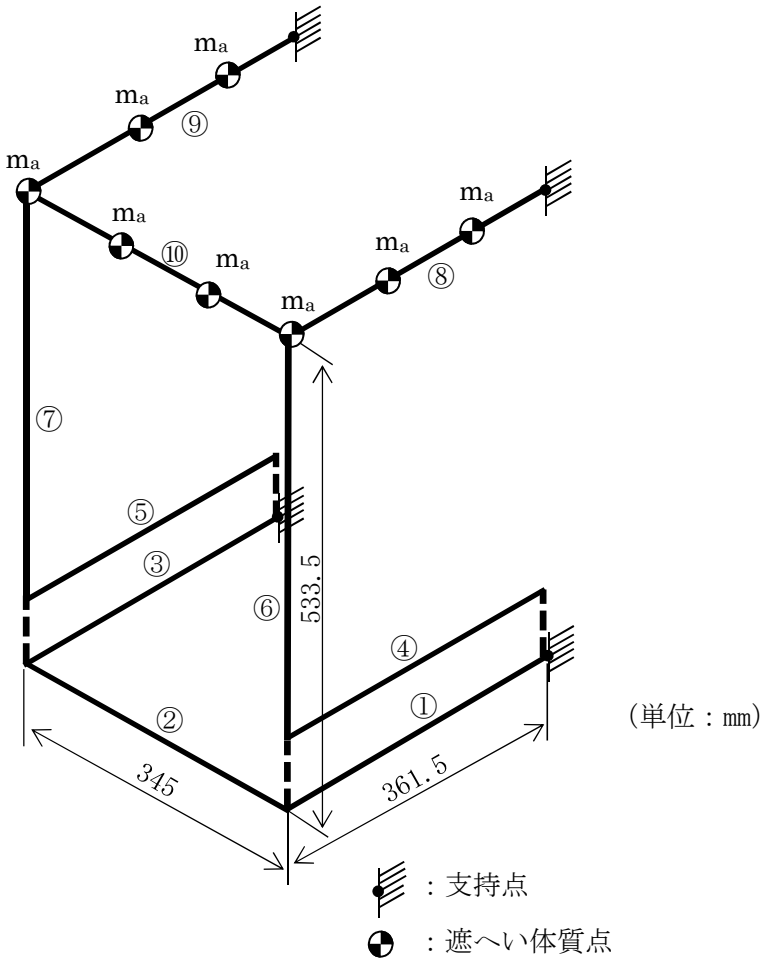
(2)　図 2-2 中の ◓ は遮へい体の質点m_aを示し，8 箇所に分散している。なお，質点m_aの質量は 1 個あたり□kg で，8 箇所を合計すると□kg である。

(3)　図 2-2 中の ―― は遮へい体支持架構，－ － は仮想鋼材， は支持点（遮へい体支持架構基礎部）を示す。

(4)　拘束条件は，ＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値及び荷重を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。



（単位：mm）

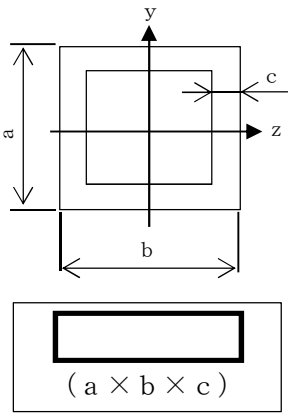
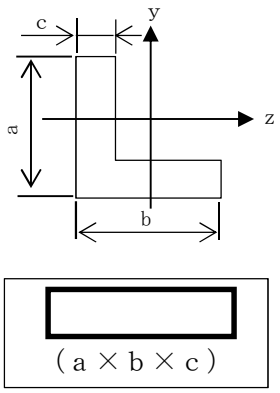
図 2-2　代替循環冷却系原子炉注水流量
（FT-SA17-N013A）遮へい体　解析モデル

表 2-3　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

注記　＊：() 内は合計質量を示す。

表 2-4　部材の機器要目

材料		
対象要素	①～③	④～⑩
A （mm^2）		
I_y （mm^4）		
I_z （mm^4）		
I_p （mm^4）		
Z_y （mm^3）		
Z_z （mm^3）		
Z_p （mm^3）		
断面形状(mm)		

2.4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 2-5 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 2-5　固有値解析結果(s)

モード	固有周期	卓越方向
1 次		水平

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

(1) 地震力は代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2) 代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体は，基礎ボルトにより壁面に固定されるものとする。

(3) 代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体の質量は遮へい体及び遮へい体支持架構を考慮する。

(4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

2.5.2.2 許容応力

代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 2-7 のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-8 に示す。

表 2-6　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体	常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 2-7　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2（ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*
V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-8　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted] (径≦16 mm)	周囲環境温度	[redacted]	221	373	—

2.5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-9 に示す。

表 2-9　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL. 14.00 (EL. 20.30*1)			－	－	C_H=1.34	C_V=1.01

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

2.5.4　計算方法

2.5.4.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

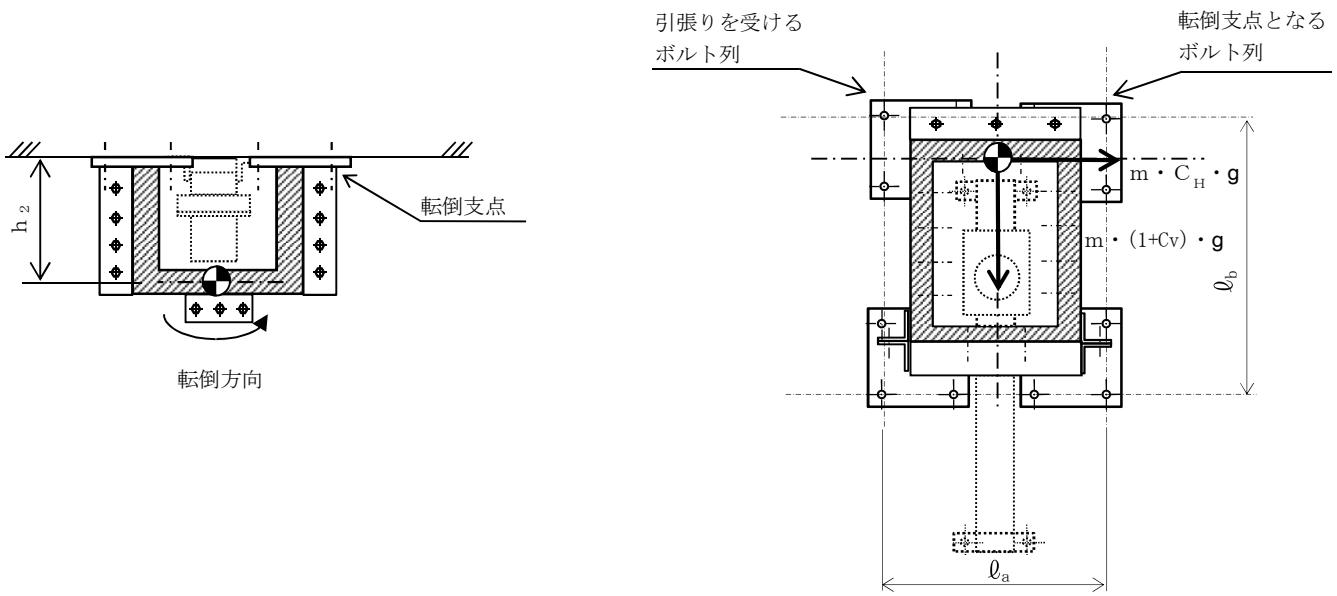


図 2-3(1)　代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体　計算モデル
（壁掛形　水平方向転倒の場合）

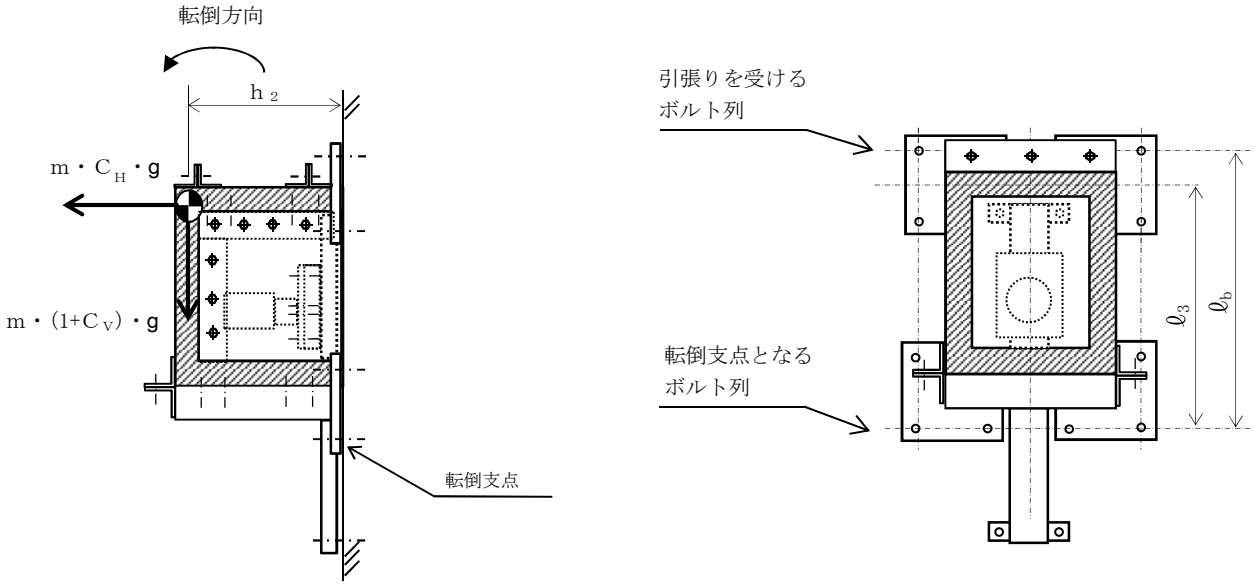


図 2-3(2)　代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体　計算モデル
（壁掛形　鉛直方向転倒の場合）

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図2-3で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図2-3(1)の場合の引張力

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.1)$$

計算モデル図2-3(2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}(F_{b1},\ F_{b2}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.5)$$

(2)　せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_{b1}=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.6)$$

$$Q_{b2}=m\cdot g\cdot(1+C_V) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.8)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.9)$$

2.5.5　計算条件

2.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.5.6　応力の評価

2.5.6.1　ボルトの応力評価

2.5.4.1項で求めたボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。ただし，f_{to}及びf_{sb}は下表による。

$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b, f_{to}]$ ……(2.5.6.1.1)

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。

	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

2.6　評価結果

2.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体	常設／緩和	EL.14.00 (EL.20.30*1)			－	－	C_H＝1.34	C_V＝1.01	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析により 0.05 秒以下であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								4	4

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	鉛直方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

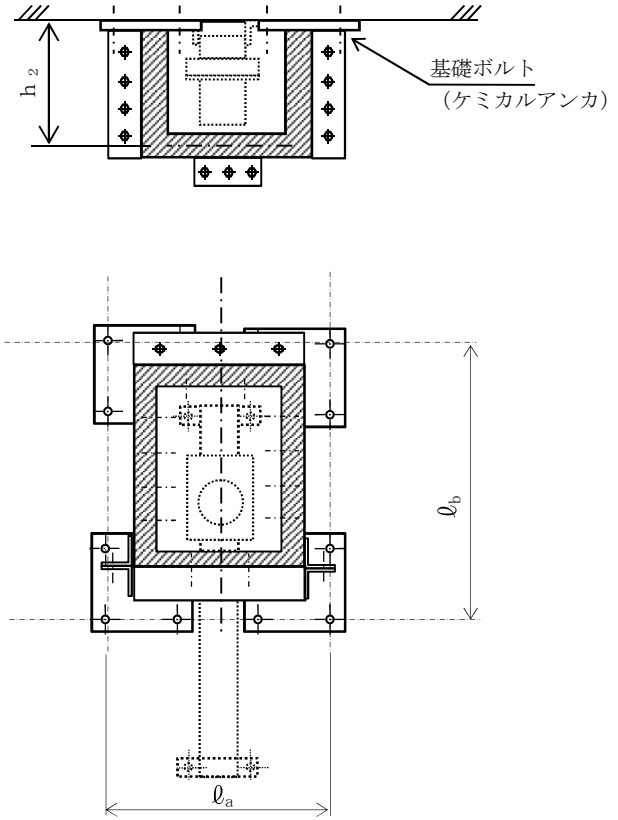
1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

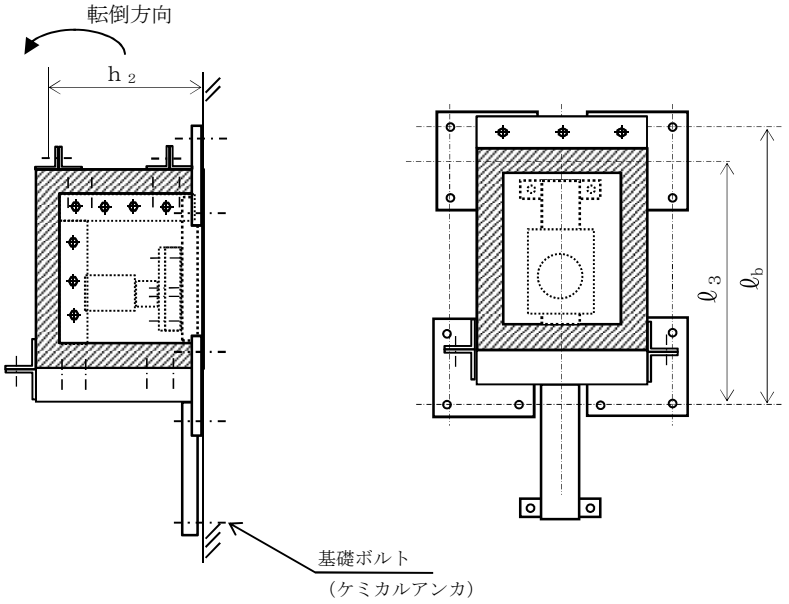
部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=38	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=14	f_{sb}=120*

すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b, f_{to}]より算出



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-5-11　代替循環冷却系ポンプ入口温度の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 3
3. 評価部位 ····· 3
4. 機能維持評価 ····· 4
4.1 評価用加速度 ····· 4
4.2 機能確認済加速度 ····· 5
5. 評価結果 ····· 6
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 6

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき，代替循環冷却系ポンプ入口温度が設計用地震力に対して十分な電気的機能を有していることを説明するものである。

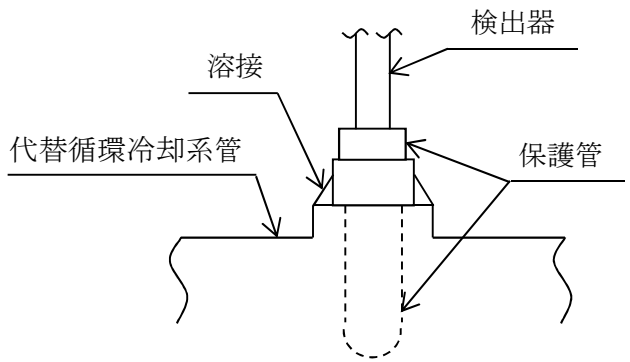
代替循環冷却系ポンプ入口温度は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

代替循環冷却系ポンプ入口温度の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，代替循環冷却系管に溶接された保護管に固定する。	熱電対	

2.2　評価方針

代替循環冷却系ポンプ入口温度の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「4.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

代替循環冷却系ポンプ入口温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

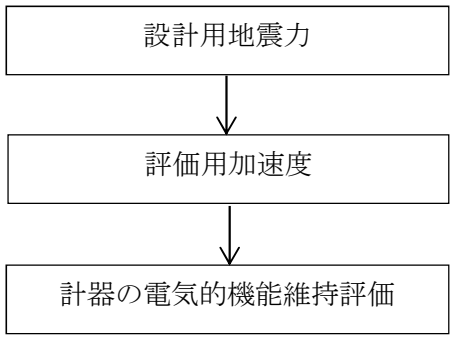


図 2-1　代替循環冷却系ポンプ入口温度の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991追補版（日本電気協会）

3.　評価部位

代替循環冷却系ポンプ入口温度は，代替循環冷却系管に直接取り付けられた保護管に挿入され固定されることから，代替循環冷却系管が支持している。代替循環冷却系管の構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-5-5-6-2　管の耐震性についての計算書」にて実施しているため，本計算書では，代替循環冷却系管の地震応答解析結果を用いた代替循環冷却系ポンプ入口温度の電気的機能維持評価について示す。

代替循環冷却系ポンプ入口温度の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

代替循環冷却系ポンプ入口温度は代替循環冷却系管に直接取り付けられた保護管に挿入されることから，評価用加速度は，「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力として添付書類「Ⅴ-2-5-5-6-2 管の耐震性についての計算書」に示す重大事故等対処設備の地震応答解析で評価した代替循環冷却系ポンプ入口温度取付部に相当する質点に生じる応答加速度及び添付書類「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく基準床レベルの応答加速度のうち厳しいほうを選択する。評価用加速度を表 4-1，表 4-2 に示す。

表 4-1 評価用加速度（質点に生じる応答加速度） （×9.8 m/s^2）

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	基準地震動Ｓ$_s$ 評価用加速度
代替循環冷却系ポンプ入口温度 (TE-SA17-N001A)	EL. －1.07	水平	0.61
		鉛直	0.08
代替循環冷却系ポンプ入口温度 (TE-SA17-N001B)	EL. －0.97	水平	0.07
		鉛直	0.41

表 4-2 評価用加速度（基準床レベルの応答加速度） （×9.8 m/s^2）

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	基準地震動Ｓ$_s$ 評価用加速度
代替循環冷却系ポンプ入口温度	EL. 2.00*	水平	0.96
		鉛直	0.92

注記 ＊：基準床レベルを示す。

4.2　機能確認済加速度

代替循環冷却系ポンプ入口温度の機能確認済加速度については以下に示す。

代替循環冷却系ポンプ入口温度の機能確認済加速度には，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-3 に示す。

表 4-3　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度		
代替循環冷却系ポンプ入口温度	水平			
	鉛直			

5.　評価結果

5.1　重大事故等対処設備としての評価結果

代替循環冷却系ポンプ入口温度の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電気的機能が維持されていることを確認した。

(1)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【代替循環冷却系ポンプ入口温度の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 電気的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
代替循環冷却系ポンプ入口温度	水平方向	0.96	
	鉛直方向	0.92	

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-5-12　残留熱除去系熱交換器入口温度の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 3
3. 評価部位 ····· 3
4. 機能維持評価 ····· 4
4.1 評価用加速度 ····· 4
4.2 機能確認済加速度 ····· 5
5. 評価結果 ····· 6
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 6

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき，残留熱除去系熱交換器入口温度が設計用地震力に対して十分な電気的機能を有していることを説明するものである。

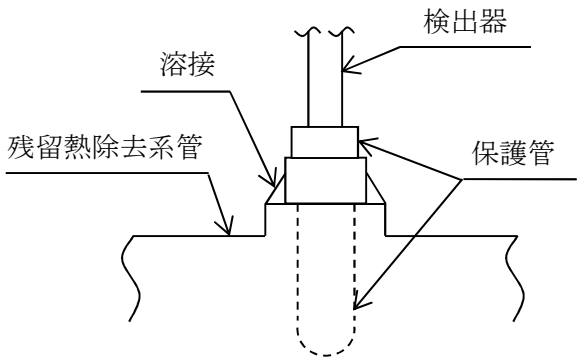
残留熱除去系熱交換器入口温度は，設計基準対象施設においてはＣクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系熱交換器入口温度の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，残留熱除去系管に溶接された保護管に固定する。	熱電対	

2.2　評価方針

残留熱除去系熱交換器入口温度の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「4.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

残留熱除去系熱交換器入口温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

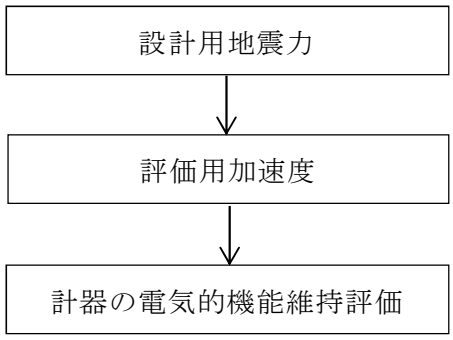


図 2-1　残留熱除去系熱交換器入口温度の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991追補版（日本電気協会）

3.　評価部位

残留熱除去系熱交換器入口温度は，残留熱除去系配管に直接取り付けられた保護管に挿入され固定されることから，残留熱除去系管が支持している。残留熱除去系管の構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-5-4-1-4　管の耐震性についての計算書」にて実施しているため，本計算書では，残留熱除去系管の地震応答解析結果を用いた残留熱除去系熱交換器入口温度の電気的機能維持評価について示す。

残留熱除去系熱交換器入口温度の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

残留熱除去系熱交換器入口温度は残留熱除去系配管に直接取り付けられた保護管に挿入されることから，評価用加速度は，「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力として添付書類「Ⅴ-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書」に示す重大事故等対処設備の地震応答解析で評価した残留熱除去系熱交換器入口温度取付部に相当する質点に生じる応答加速度及び添付書類「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく基準床レベルの応答加速度のうち厳しいほうを選択する。評価用加速度を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 評価用加速度（質点に生じる応答加速度） （×9.8 m/s^2）

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	基準地震動Ｓ$_s$ 評価用加速度
残留熱除去系熱交換器入口温度 (TE-E12-N004A)	[redacted] EL. 9.99	水平	0.92
		鉛直	0.11
残留熱除去系熱交換器入口温度 (TE-E12-N004B)	[redacted] EL. 9.99	水平	0.31
		鉛直	0.21

表 4-2 評価用加速度（基準床レベルの応答加速度） （×9.8 m/s^2）

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	基準地震動Ｓ$_s$ 評価用加速度
残留熱除去系熱交換器入口温度	[redacted] EL. 14.00*	水平	1.13
		鉛直	0.99

注記 ＊：基準床レベルを示す。

4.2　機能確認済加速度

残留熱除去系熱交換器入口温度の機能確認済加速度については以下に示す。

残留熱除去系熱交換器入口温度の機能確認済加速度には，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-3 に示す。

表 4-3　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
残留熱除去系 熱交換器入口温度	水平	
	鉛直	

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系熱交換器入口温度の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電気的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系熱交換器入口温度の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 電気的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
残留熱除去系熱交換器入口温度	水平方向	1.13	
	鉛直方向	0.99	

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-5-13　残留熱除去系熱交換器出口温度の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 3
3. 評価部位 ····· 3
4. 機能維持評価 ····· 4
4.1 評価用加速度 ····· 4
4.2 機能確認済加速度 ····· 5
5. 評価結果 ····· 6
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 6

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき，残留熱除去系熱交換器出口温度が設計用地震力に対して十分な電気的機能を有していることを説明するものである。

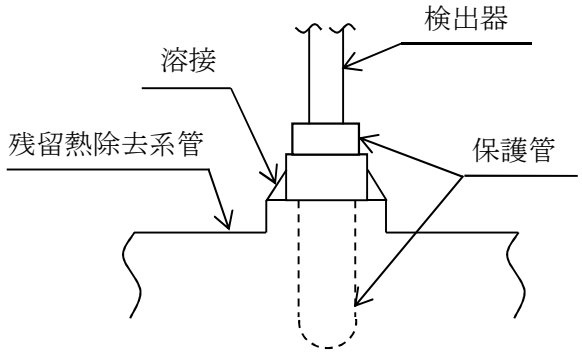
残留熱除去系熱交換器出口温度は，設計基準対象施設においてはＣクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系熱交換器出口温度の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，残留熱除去系管に溶接された保護管に固定する。	熱電対	

2.2　評価方針

残留熱除去系熱交換器出口温度の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「4.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

残留熱除去系熱交換器出口温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

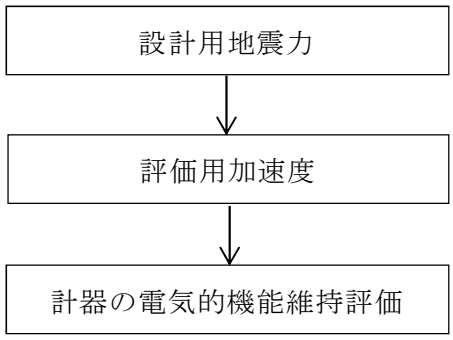


図 2-1　残留熱除去系熱交換器出口温度の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991追補版（日本電気協会）

3.　評価部位

残留熱除去系熱交換器出口温度は，残留熱除去系管に直接取り付けられた保護管に挿入され固定されることから，残留熱除去系管が支持している。残留熱除去系管の構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-5-4-1-4　管の耐震性についての計算書」にて実施しているため，本計算書では，残留熱除去系管の地震応答解析結果を用いた残留熱除去系熱交換器出口温度の電気的機能維持評価について示す。

残留熱除去系熱交換器出口温度の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

残留熱除去系熱交換器出口温度は残留熱除去系管に直接取り付けられた保護管に挿入されることから，評価用加速度は，「基準地震動Ｓｓ」による地震力として添付書類「Ⅴ-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書」に示す重大事故等対処設備の地震応答解析で評価した残留熱除去系熱交換器出口温度取付部に相当する質点に生じる応答加速度及び添付書類「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく基準床レベルの応答加速度のうち厳しいほうを選択する。評価用加速度を表 4-1，表 4-2 に示す。

表 4-1 評価用加速度（質点に生じる応答加速度） （×9.8 m/s²）

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	基準地震動Ｓｓ 評価用加速度
残留熱除去系熱交換器出口温度 (TE-E12-N027A)	[redacted] EL. 2.70	水平	1.03
		鉛直	0.62
残留熱除去系熱交換器出口温度 (TE-E12-N027B)	[redacted] EL. 2.70	水平	0.92
		鉛直	0.82

表 4-2 評価用加速度（基準床レベルの応答加速度） （×9.8 m/s²）

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	基準地震動Ｓｓ 評価用加速度
残留熱除去系熱交換器出口温度	[redacted] EL. 8.20*	水平	1.10
		鉛直	0.96

注記 ＊：基準床レベルを示す。

4.2　機能確認済加速度

残留熱除去系熱交換器出口温度の機能確認済加速度については以下に示す。

残留熱除去系熱交換器出口温度の機能確認済加速度には，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-3 に示す。

表 4-3　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
残留熱除去系熱交換器出口温度	水平	
	鉛直	

5.　評価結果

5.1　重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系熱交換器出口温度の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電気的機能が維持されていることを確認した。

(1)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系熱交換器出口温度の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 電気的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
残留熱除去系熱交換器出口温度	水平方向	1.10	[redacted]
	鉛直方向	0.96	

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-5-14　原子炉隔離時冷却系系統流量の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
2.2 評価方針 3
2.3 適用基準 4
2.4 記号の説明 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 6
3. 評価部位 7
4. 固有周期 7
4.1 固有値解析方法 7
4.2 解析モデル及び諸元 7
4.3 固有値解析結果 9
5. 構造強度評価 10
5.1 構造強度評価方法 10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力 10
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 10
5.2.2 許容応力 10
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件 10
5.3 設計用地震力 14
5.4 計算方法 15
5.4.1 応力の計算方法 15
5.5 計算条件 17
5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件 17
5.6 応力の評価 18
5.6.1 ボルトの応力評価 18
6. 機能維持評価 19
6.1 電気的機能維持評価方法 19
7. 評価結果 20
7.1 設計基準対象施設としての評価結果 20
7.2 重大事故等対処設備としての評価結果 20

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，原子炉隔離時冷却系系統流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

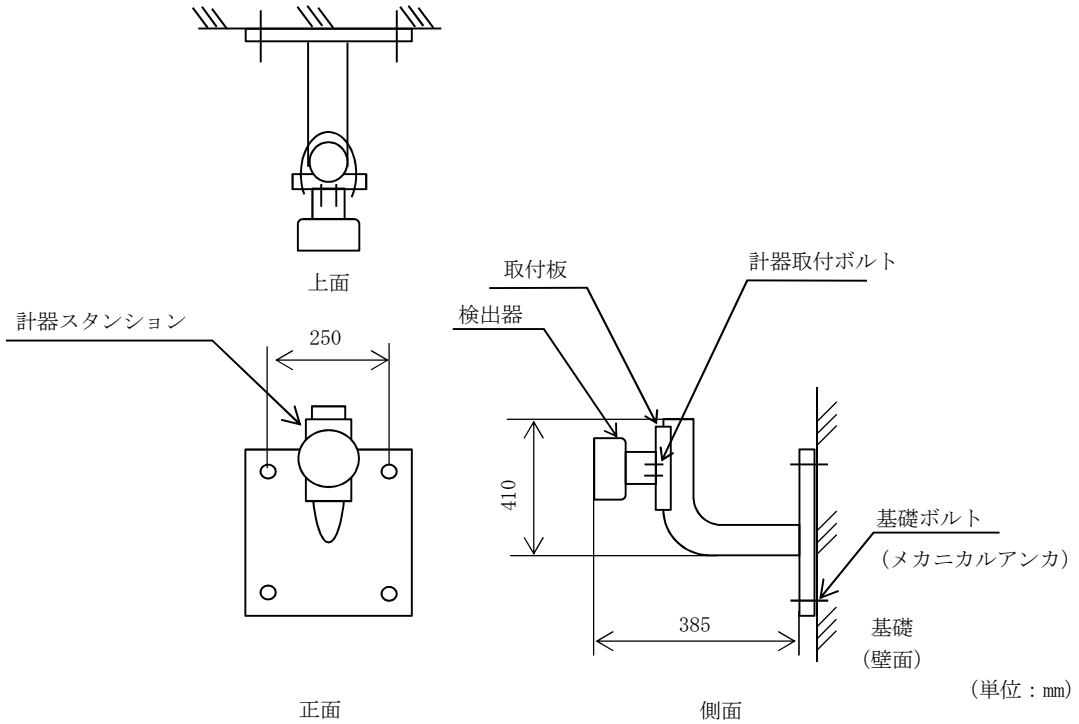
原子炉隔離時冷却系系統流量は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却系系統流量の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取り付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	

2.2　評価方針

原子炉隔離時冷却系系統流量の応力評価は,添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき,「2.1　構造計画」にて示す原子炉隔離時冷却系系統流量の部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において,「4.　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計地震力による応力等が許容限界内に収まることを,「5.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また,原子炉隔離時冷却系系統流量の機能維持評価は,添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針 4.3　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき,地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを,「6.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7.　評価結果」に示す。

原子炉隔離時冷却系系統流量の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

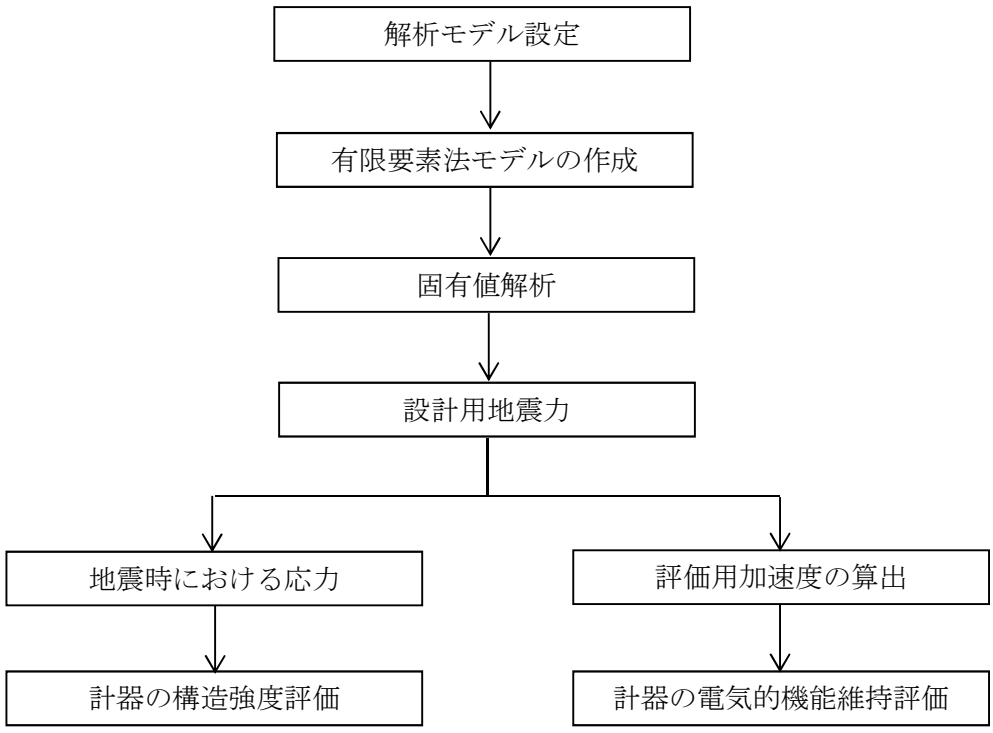


図 2-1　原子炉隔離時冷却系系統流量の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	計器スタンション断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_v	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	－
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛計器スタンション取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛計器スタンション取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_sを1.5倍した値又はf_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_tを1.5倍した値又はf_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_2	取付面から重心までの距離（壁掛形）	mm
I_p	計器スタンションの断面二次極モーメント	mm^4
I_y	計器スタンションの断面二次モーメント（y軸）	mm^4
I_z	計器スタンションの断面二次モーメント（z軸）	mm^4
ℓ_3	重心と下側ボルト間の距離（壁掛形）	mm
ℓ_a	側面（左右）ボルト間の距離（壁掛形）	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離（壁掛形）	mm
m	検出器及び計器スタンションの総質量	kg
m_a	検出器の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	－

記号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（ＲＴ）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
Z_p	計器スタンションのねじり断面係数	mm^3
Z_y	計器スタンションの断面係数（ｙ軸）	mm^3
Z_z	計器スタンションの断面係数（ｚ軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積*2	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3.　評価部位

原子炉隔離時冷却系系統流量の耐震評価は，「5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部について実施する。原子炉隔離時冷却系系統流量の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4.　固有周期

4.1　固有値解析方法

原子炉隔離時冷却系系統流量の固有値解析方法を「4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

4.2　解析モデル及び諸元

原子炉隔離時冷却系系統流量の解析モデルを 3 次元はりモデルとして図 4-1 に，解析モデルの概要を以下に示す。計器スタンションはＬ字に曲がった円筒で原子炉建屋壁面に固定されることから，①及び②の部材で組まれたＬ字とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1 点で固定されるものとする。また，解析モデルにおいて，検出器の質量は質点に集中するものとし，質点は検出器の取付位置に設置する。機器の諸元を表 4-1，部材の機器要目を表 4-2 に示す。

(1)　図 4-1 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

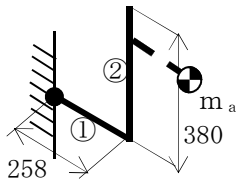
(2)　図 4-1 中の ◓ は検出器質点を示し，m_aは 10 kg である。

(3)　図 4-1 中の ━━ は計器スタンション，╍╍ は仮想鋼材， は支持点（計器スタンション基礎部）を示す。

(4)　拘束条件として，基礎部のＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。



(単位：mm)

：支持点(計器スタンション基礎部)

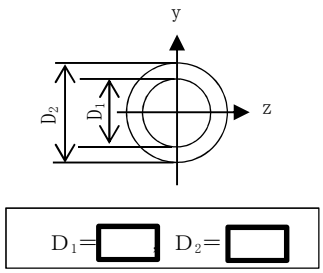
◓ ：検出器質点

図 4-1　解析モデル

表4-1　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

表 4-2　部材の機器要目

材料	
対象要素	①－②
A （mm^2）	
I_y （mm^4）	
I_z （mm^4）	
I_p （mm^4）	
Z_y （mm^3）	
Z_z （mm^3）	
Z_p （mm^3）	
断面形状(mm)	 D1= D2=

4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-3 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であるため，固有周期の算出は省略した。

表4-3　固有値解析結果

モード	固有周期（ｓ）	卓越方向
１次	[redacted]	水平

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

(1) 地震力は，原子炉隔離時冷却系系統流量に対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(2) 原子炉隔離時冷却系系統流量は，基礎ボルトにより壁面に固定されるものとする。

(3) 原子炉隔離時冷却系系統流量の質量は検出器及び計器スタンションを考慮する。

(4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉隔離時冷却系系統流量の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

原子炉隔離時冷却系系統流量の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却系系統流量の使用材料の許容応力評価条件のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-4に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-5に示す。

表 5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	原子炉隔離時冷却系系統流量	S	－*1	$D+P_D+M_D+S_d^*$*2	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊2：Ｓｓと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 5-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	原子炉隔離時冷却系系統流量	常設耐震／防止	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-3　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
VAS （VASとしてⅣASの 許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	234	385	－

表 5-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	234	385	－

5.3　設計用地震力

「弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度」及び「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表5-6及び表5-7に示す。

表5-6　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL.-4.00 (EL.2.00*1)			C_H=0.58	C_v=0.48	C_H=0.96	C_v=0.92

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より0.05秒以下であり剛であることを確認した。

表5-7　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL. -4.00 (EL. 2.00*1)			－	－	C_H=0.96	C_v=0.92

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より0.05秒以下であり剛であることを確認した。

5.4　計算方法

5.4.1　応力の計算方法

5.4.1.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

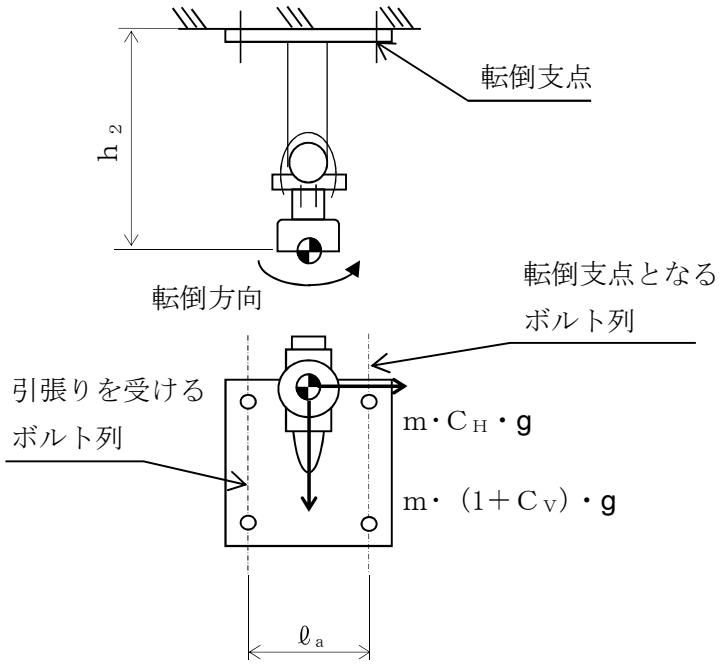


図5-1（1）　計算モデル

（壁掛形　水平方向転倒の場合）

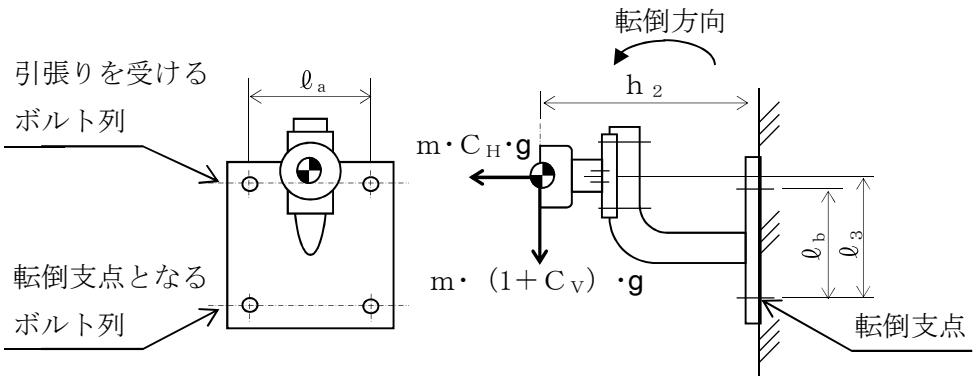


図5-1（2）　計算モデル

（壁掛形　鉛直方向転倒の場合）

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図5-1で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図5-1 (1)の場合の引張力

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \cdots\cdots (5.4.1.1.1)$$

計算モデル図5-1 (2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_v)\cdot h_2}{n_{fv}\cdot \ell_b}\right) \cdots\cdots (5.4.1.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}(F_{b1}, F_{b2}) \cdots\cdots (5.4.1.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \cdots\cdots (5.4.1.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \cdots\cdots (5.4.1.1.5)$$

(2)　せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_{b1}=m\cdot g\cdot C_H \cdots\cdots (5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2}=m\cdot g\cdot(1+C_V) \cdots\cdots (5.4.1.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \cdots\cdots (5.4.1.1.8)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \cdots\cdots (5.4.1.1.9)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【原子炉隔離時冷却系系統流量の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

5.6　応力の評価

5.6.1　ボルトの応力評価

5.4.1.1 項で求めた基礎ボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。ただし，f_{to}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (5.6.1.1)$$

せん断応力τ_bはせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。ただし，f_{sb}は下表による。

	弾性設計用地震動S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電気的機能維持評価方法

原子炉隔離時冷却系系統流量の電気的機能維持評価について以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

原子炉隔離時冷却系系統流量の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉隔離時冷却系系統流量	水平	
	鉛直	

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉隔離時冷却系系統流量の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却系系統流量の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉隔離時冷却系系統流量の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉隔離時冷却系系統流量	S	EL. -4.00 (EL. 2.00*1)			C_H=0.58	C_v=0.48	C_H=0.96	C_v=0.92	

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉隔離時冷却系系統流量

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fv}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	234	385	234	270	水平方向	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	σ_b＝5	f_{ts}＝140*	σ_b＝6	f_{ts}＝162*
		せん断	τ_b＝1	f_{sb}＝108	τ_b＝2	f_{sb}＝124

すべて許容応力以下である。

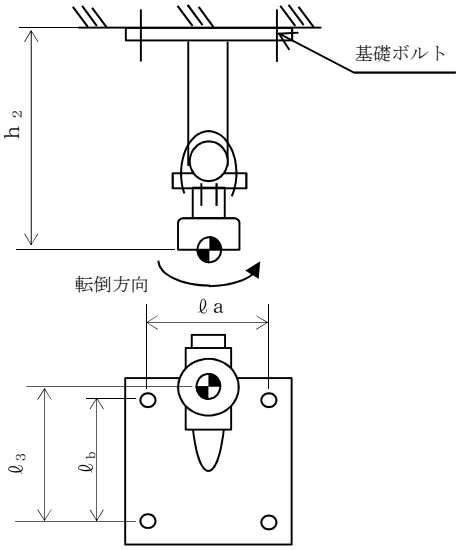
注記　＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

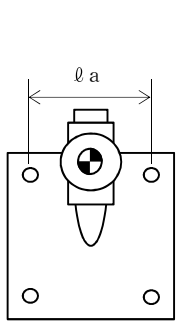
(×9.8 m/s^2)

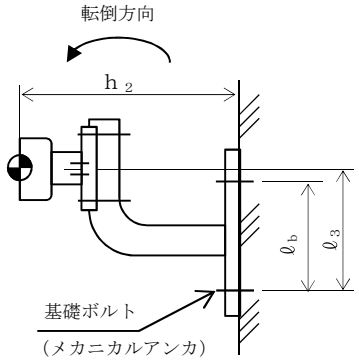
		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉隔離時冷却系系統流量	水平方向	0.80	[redacted]
	鉛直方向	0.77	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）





側面（鉛直方向）

【原子炉隔離時冷却系系統流量の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
原子炉隔離時冷却系系統流量	常設／耐震	EL. -4.00 (EL. 2.00*1)			－	－	C_H=0.96	C_v=0.92	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

2.2 機器要目

2.2.1 原子炉隔離時冷却系系統流量

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fv}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	234	385	－	270	－	水平方向

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	－	－	$\sigma_b=6$	$f_{ts}=162$*
		せん断	－	－	$\tau_b=2$	$f_{sb}=124$

すべて許容応力以下である。

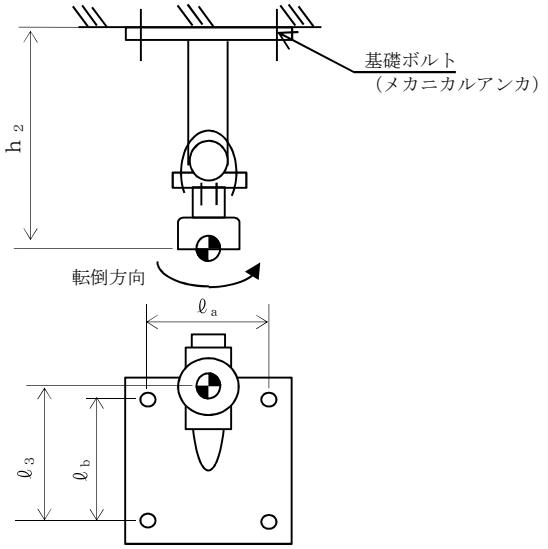
注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b, f_{to}]$より算出

2.4.2 電気的機能維持の評価結果

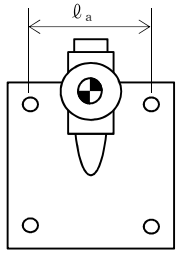
(×9.8 m/s^2)

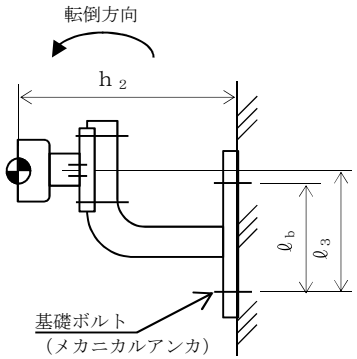
		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉隔離時冷却系系統流量	水平方向	0.80	[redacted]
	鉛直方向	0.77	

評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）





側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-5-15　高圧炉心スプレイ系系統流量の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
3. 固有周期 3
3.1 固有周期の算出方法 3
4. 構造強度評価 3
4.1 構造強度評価方法 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 3
4.2.2 許容応力 3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 3
5. 機能維持評価 6
5.1 電気的機能維持評価方法 6
6. 評価結果 7
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 7
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果 7

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，高圧炉心スプレイ系系統流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ系系統流量は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

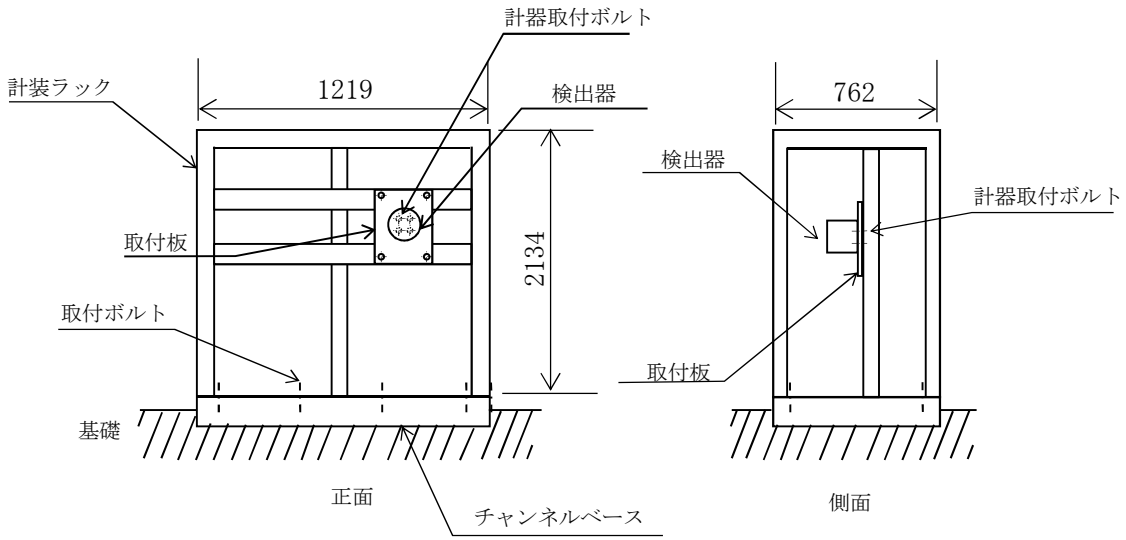
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系系統流量の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。 計装ラックは，基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	 （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

高圧炉心スプレイ系系統流量の固有周期は，構造が同様な計器ラックに対する打振試験の結果から，0.05 秒以下であり剛とする。固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

高圧炉心スプレイ系系統流量の構造は直立形計装ラックであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ系系統流量の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2　許容応力

高圧炉心スプレイ系系統流量の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ系系統流量の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	高圧炉心スプレイ系系統流量	S	—*1	$D+P_D+M_D+S_d$ *2	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊1 ：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。
　　＊2 ：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 4-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	高圧炉心スプレイ系系統流量	常設耐震／防止	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$ *3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1 ：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。
　　＊2 ：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。
　　＊3 ：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-3　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅲ_AS$	1.5・f_t	1.5・f_s
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}（RT） (MPa)
取付ボルト (i＝2)		周囲環境温度	235	400	－

表 4-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}（RT） (MPa)
取付ボルト (i＝2)		周囲環境温度	225	385	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

高圧炉心スプレイ系系統流量の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

高圧炉心スプレイ系系統流量の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
高圧炉心スプレイ系系統流量	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ系系統流量の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系系統流量の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレイ系系統流量の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度(℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
高圧炉心スプレイ系系統流量	S	EL. 2.00*			C_H=0.58	C_V=0.48	C_H=0.96	C_V=0.92	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 高圧炉心スプレイ系系統流量

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	nf_i*
取付ボルト (i=2)							4
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i＝2)		引張り	σ_{b2}＝7	f_{ts2}＝176*	σ_{b2}＝14	f_{ts2}＝210*
		せん断	τ_{b2}＝2	f_{sb2}＝135	τ_{b2}＝3	f_{sb2}＝161

すべて許容応力以下である。

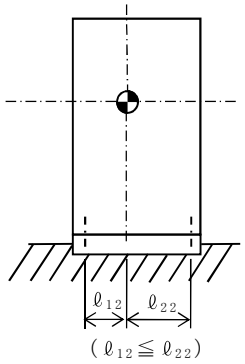
注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

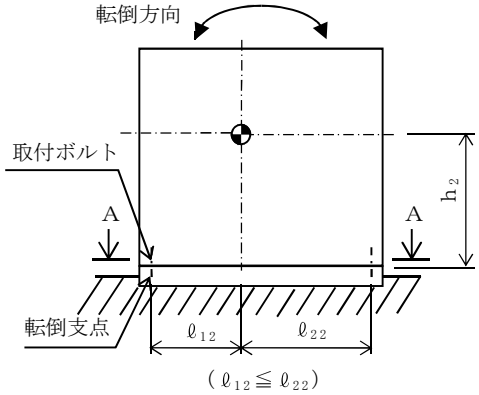
(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
高圧炉心スプレイ系系統流量	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

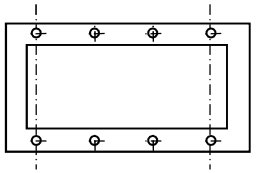
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



A～A矢視図

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
高圧炉心スプレイ系系統流量	常設耐震／防止	EL. 2.00*			－	－	C_H=0.96	C_V=0.92	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 高圧炉心スプレイ系系統流量

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i=2)							

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)	225	385	－	270	－	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)				

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i＝2)		引張り	－	－	σ_{b2}＝14	f_{ts2}＝202*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝3	f_{sb2}＝155

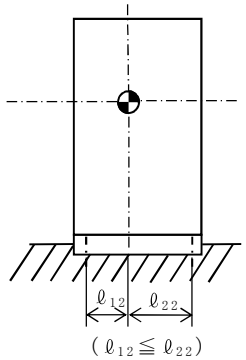
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

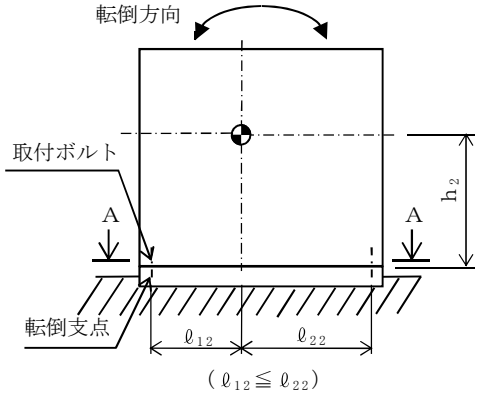
2.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
高圧炉心スプレイ系系統流量	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

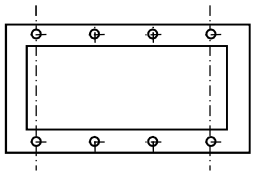
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



A～A矢視図

Ⅴ-2-6-5-16　低圧炉心スプレイ系系統流量の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
3. 固有周期 3
3.1 固有周期の算出方法 3
4. 構造強度評価 3
4.1 構造強度評価方法 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 3
4.2.2 許容応力 3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 3
5. 機能維持評価 7
5.1 電気的機能維持評価方法 7
6. 評価結果 8
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 8
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果 8

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，低圧炉心スプレイ系系統流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

低圧炉心スプレイ系系統流量は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

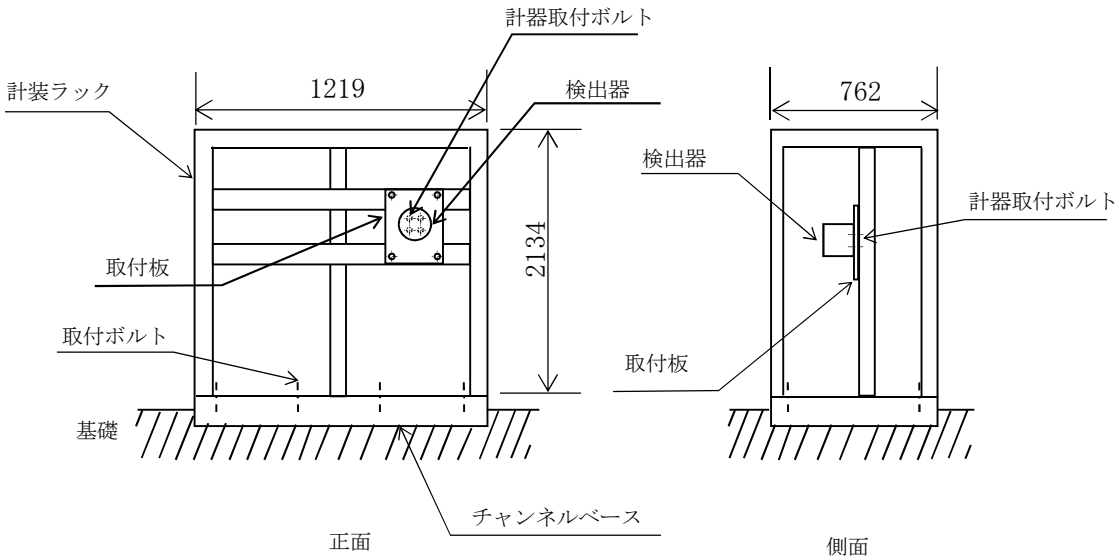
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

低圧炉心スプレイ系系統流量の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。 計装ラックは，基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	 （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

低圧炉心スプレイ系系統流量の固有周期は，構造が同様な計装ラックに対する打振試験の結果から，0.05 秒以下であり剛とする。固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

低圧炉心スプレイ系系統流量の構造は直立形計装ラックであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧炉心スプレイ系系統流量の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2　許容応力

低圧炉心スプレイ系系統流量の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

低圧炉心スプレイ系系統流量の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	低圧炉心スプレイ系系統流量	S	—*1	$D+P_D+M_D+S_d$*2	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊1 ：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。
　　＊2 ：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 4-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	低圧炉心スプレイ系系統流量	常設耐震／防止	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1 ：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。
　　＊2 ：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。
　　＊3 ：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-3　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
VAS （VASとしてⅣASの 許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}(RT) (MPa)
取付ボルト (i＝2)	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	235	400	－

表 4-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}(RT) (MPa)
取付ボルト (i＝2)	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	225	385	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

低圧炉心スプレイ系系統流量の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

低圧炉心スプレイ系系統流量の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
低圧炉心スプレイ系 系統流量	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

低圧炉心スプレイ系系統流量の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

低圧炉心スプレイ系系統流量の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧炉心スプレイ系系統流量の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度(℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
低圧炉心スプレイ系系統流量	S	EL. 2.00*			C_H=0.58	C_V=0.48	C_H=0.96	C_V=0.92	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 低圧炉心スプレイ系系統流量

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i=2)							4
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i＝2)		引張り	σ_{b2}＝6	f_{ts2}＝176*	σ_{b2}＝14	f_{ts2}＝210*
		せん断	τ_{b2}＝2	f_{sb2}＝135	τ_{b2}＝3	f_{sb2}＝161

すべて許容応力以下である。

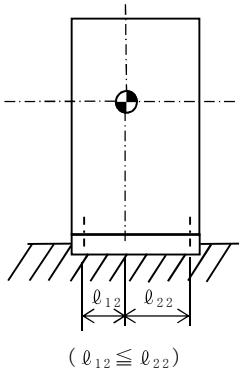
注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

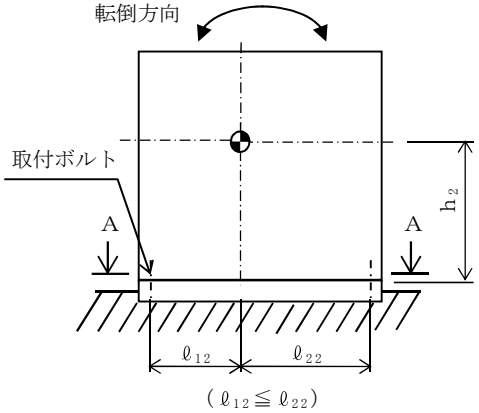
(×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
低圧炉心スプレイ系 系統流量	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

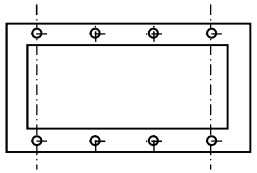
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



A～A矢視図

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
低圧炉心スプレイ系系統流量	常設耐震／防止	EL. 2.00*			－	－	C_H=0.96	C_V=0.92	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 低圧炉心スプレイ系系統流量

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i=2)							4
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)	225	385	－	269	－	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)				

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i＝2)		引張り	－	－	σ_{b2}＝14	f_{ts2}＝202*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝3	f_{sb2}＝155

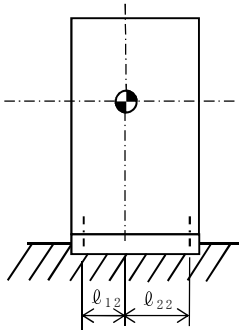
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}, f_{toi}]より算出

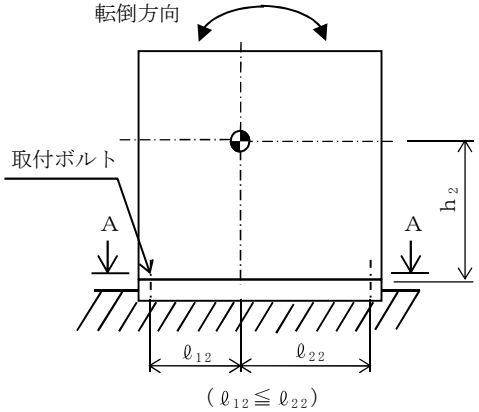
2.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
低圧炉心スプレイ系系統流量	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

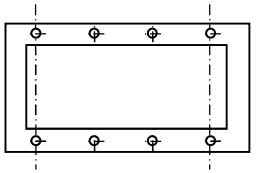
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



A～A矢視図

Ⅴ-2-6-5-17　残留熱除去系系統流量の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 固有周期 ····· 3
3.1 固有周期の算出方法 ····· 3
4. 構造強度評価 ····· 3
4.1 構造強度評価方法 ····· 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 3
4.2.2 許容応力 ····· 3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 3
5. 機能維持評価 ····· 7
5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 7
6. 評価結果 ····· 8
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 8
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 8

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，残留熱除去系系統流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

残留熱除去系系統流量は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，分類に応じた構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお，構造強度評価については，計装ラックの取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また，電気的機能維持評価については，評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電気的機能維持評価に用いる評価用加速度は，設置床高さが同じで計装ラックが剛構造の場合は同じ加速度となることから，構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1　概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
FT-E12-N015A FT-E12-N015B FT-E12-N015C（代表）	Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針	表 2-1　構造計画

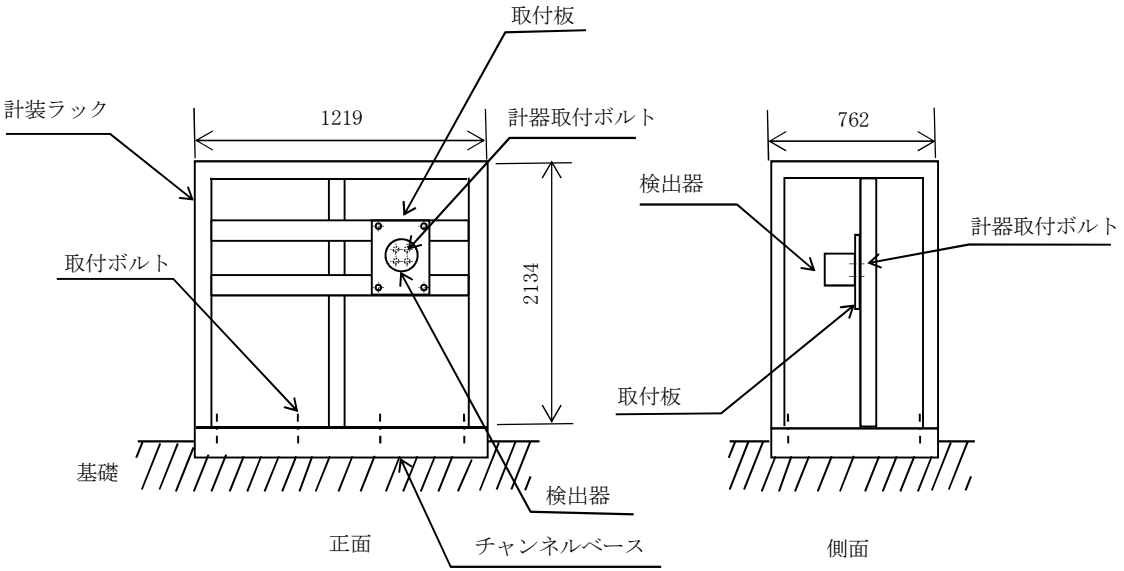
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1　構造計画

残留熱除去系系統流量の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。 計装ラックは，基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	【H22-P021B（FT-E12-N015C）】  （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

残留熱除去系系統流量の固有周期は,構造が同様な計装ラックに対する打振試験の結果から,固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

残留熱除去系系統流量の構造は直立形計装ラックであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

残留熱除去系系統流量の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2　許容応力

残留熱除去系系統流量の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系系統流量の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	残留熱除去系系統流量	S	－*1	$D+P_D+M_D+S_d^*$*2	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊2：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 4-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	残留熱除去系系統流量	常設耐震／防止常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-3　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}(RT) (MPa)
取付ボルト (i＝2)	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	235	400	―

表 4-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}(RT) (MPa)
取付ボルト (i＝2)	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	225	385	―

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

残留熱除去系系統流量の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

残留熱除去系系統流量の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
残留熱除去系系統流量	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去系系統流量の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系系統流量の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系系統流量の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
残留熱除去系系統流量	S	EL. 2. 00*			C_H＝0. 58	C_v＝0. 48	C_H＝0. 96	C_v＝0. 92	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 残留熱除去系系統流量

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i＝2)							4
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト（i＝2）				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（i＝2）		引張り	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=176$*	$\sigma_{b2}=14$	$f_{ts2}=210$*
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=161$

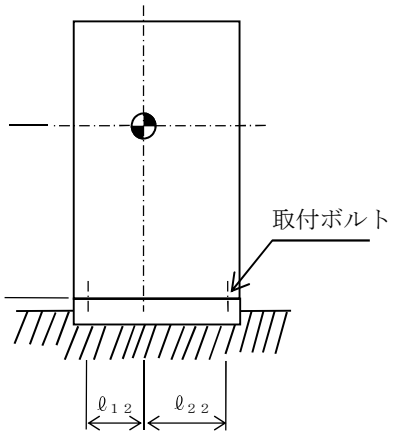
すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s²)

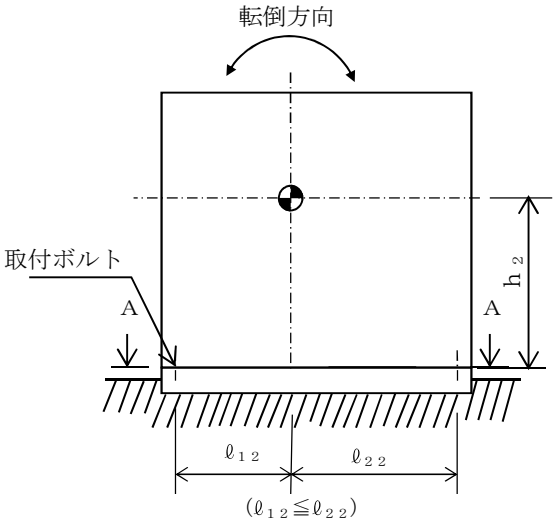
		評価用加速度	機能確認済加速度
残留熱除去系系統流量	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



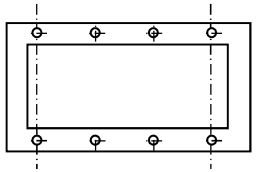
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$

側面（短辺方向）



$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$

正面（長辺方向）



A～A矢視図

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
残留熱除去系系統流量	常設／耐震防止常設／緩和	EL. 2.00*			－	－	C_H＝0.96	C_V＝0.92	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 残留熱除去系系統流量

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i＝2)							4
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)	225	385	－	270	－	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)				

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（i＝2）	[redacted]	引張り	－	－	σ_{b2}＝14	f_{ts2}＝202*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝3	f_{sb2}＝155

すべて許容応力以下である。

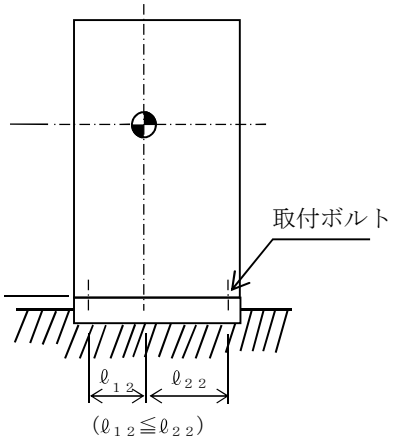
注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

2.4.2 電気的機能維持の評価結果

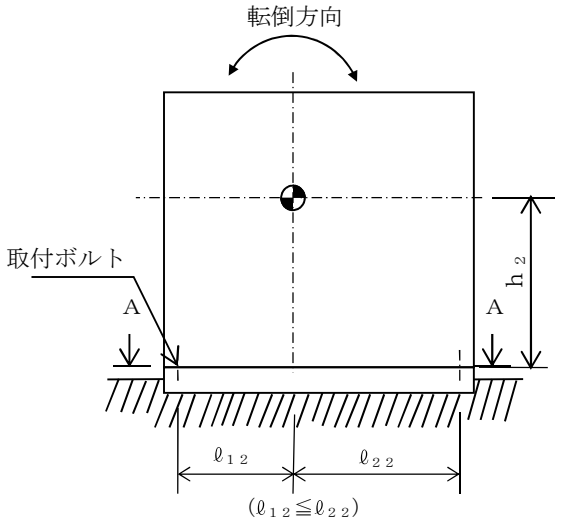
（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
残留熱除去系系統流量	水平方向	0.80	[redacted]
	鉛直方向	0.77	

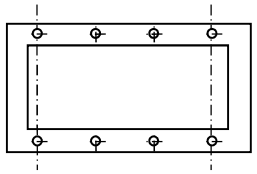
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



A～A矢視図

Ⅴ-2-6-5-18　原子炉圧力の耐震性についての計算書

目　　次

1.　原子炉圧力（PT-B22-N078A,B,C,D）・・・

1.　原子炉圧力（PT-B22-N078A,B,C,D）

1.1　概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，原子炉圧力（PT-B22-N078A,B,C,D）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

原子炉圧力（PT-B22-N078A,B,C,D）は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお，構造強度評価については，計装ラックの取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また，電気的機能維持評価については，評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電気的機能維持評価に用いる評価用加速度は，設置床高さが同じで計装ラックが剛構造の場合は同じ加速度となることから，構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1　概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
PT-B22-N078A（代表） PT-B22-N078B PT-B22-N078C PT-B22-N078D	Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針	表 1-2　構造計画

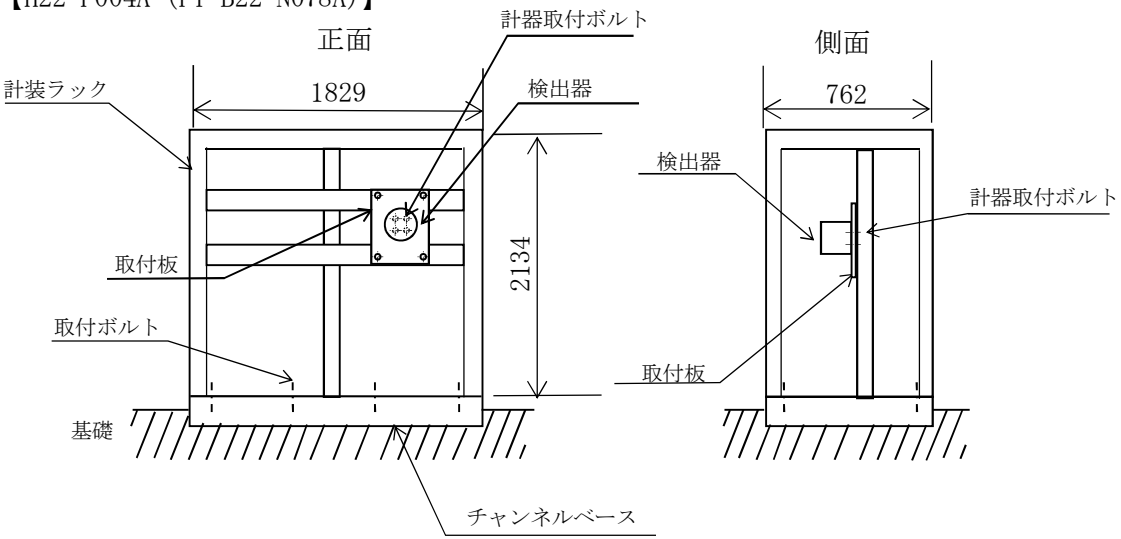
1.2　一般事項

原子炉圧力（PT-B22-N078A,B,C,D）は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

1.2.1　構造計画

原子炉圧力（PT-B22-N078A,B,C,D）の構造計画を表 1-2 に示す。

表 1-2　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。 計装ラックは，基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	【H22-P004A（PT-B22-N078A）】  （単位：mm）

1.3　固有周期

1.3.1　固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により，当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ，振動計，分析器）により固有振動数を測定する。測定の結果，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。固有周期を表 1-3 に示す。

表 1-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

1.4　構造強度評価

1.4.1　構造強度評価方法

原子炉圧力（PT-B22-N078A）の構造は直立型計装ラックであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉圧力（PT-B22-N078A）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 1-4 に示す。

1.4.2.2　許容応力

原子炉圧力（PT-B22-N078A）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 のとおりとする。

1.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

原子炉圧力（PT-B22-N078A）の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 1-6 に示す。

表 1-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	原子炉圧力 (PT-B22-N078A)	S	－*1	$D+P_D+M_D+S_d$*2	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊2：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 1-5　許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
III_AS	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
IV_AS	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-6　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}（RT） (MPa)
取付ボルト （i＝2)		周囲環境温度		235	400	－

1.5　機能維持評価

1.5.1　電気的機能維持評価方法

原子炉圧力（PT-B22-N078A）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉圧力（PT-B22-N078A）の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-7 に示す。

表 1-7　機能確認済加速度　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉圧力 (PT-B22-N078A)	水平	[redacted]
	鉛直	

1.6　評価結果

1.6.1　設計基準対象施設としての評価結果

原子炉圧力（PT-B22-N078A）の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有することを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉圧力（H22-P004A（PT-B22-N078A））の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉圧力 (PT-B22-N078A)	S	EL. 20.30*			C_H=0.78	C_V=0.54	C_H=1.34	C_V=1.01	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉圧力

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i=2)							6
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3　計算数値

1.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト（i＝2）				

1.4　結論

1.4.1　ボルトの応力　　(単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（i＝2）		引張り	σ_{b2}＝7	f_{ts2}＝176*	σ_{b2}＝17	f_{ts2}＝210*
		せん断	τ_{b2}＝2	f_{sb2}＝135	τ_{b2}＝4	f_{sb2}＝161

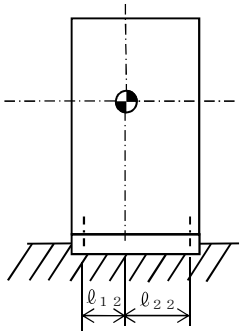
すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

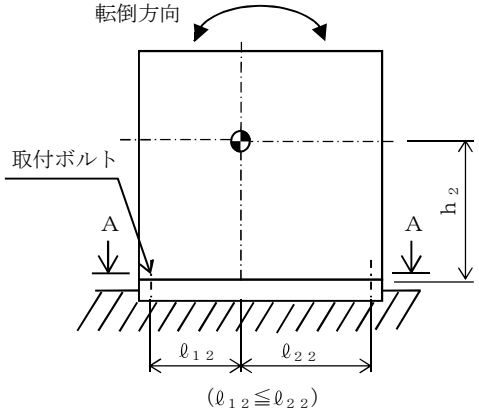
1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉圧力	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

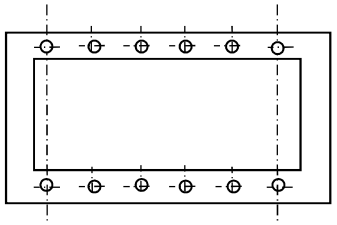
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



A～A矢視図

2.　原子炉圧力（PT-B22-N051A,B）

2.1　概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，原子炉圧力（PT-B22-N051A,B）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

原子炉圧力（PT-B22-N051A,B）は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお，構造強度評価については，計装ラックの取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また，電気的機能維持評価については，評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電気的機能維持評価に用いる評価用加速度は，設置床高さが同じで計装ラックが剛構造の場合は同じ加速度となることから，構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。評価対象を表 2-1 に示す。

表 2-1　概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
PT-B22-N051A（代表） PT-B22-N051B	Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針	表 2-1　構造計画

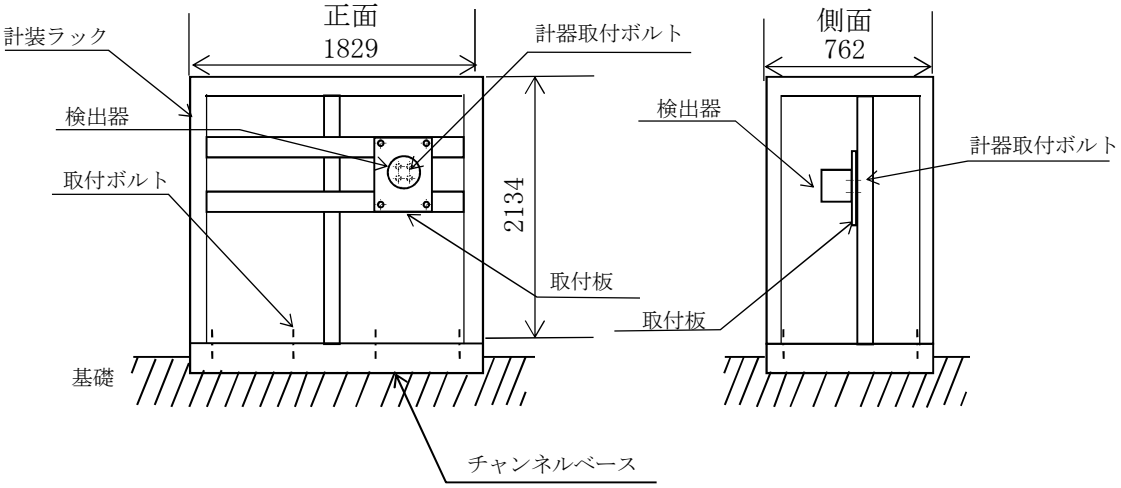
2.2　一般事項

原子炉圧力（PT-B22-N051A）は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.2.1　構造計画

原子炉圧力の構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-2　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。 計装ラックは，基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	【H22-P026B(PT-B22-N051A)】  （単位：mm）

2.3　固有周期

2.3.1　固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により，当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ，振動計，分析器）により固有振動数を測定する。測定の結果，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。固有周期を表 2-3 に示す。

表 2-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

2.4　構造強度評価

2.4.1　構造強度評価方法

原子炉圧力（PT-B22-N051A）の構造は直立型計装ラックであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

2.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

(1)　荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉圧力（PT-B22-N051A）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表2-4に,重大事故等対処設備の評価に用いるものを表2-5に示す。

(2)　許容応力

原子炉圧力（PT-B22-N051A）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 2-6 のとおりとする。

(3)　使用材料の許容応力評価条件

原子炉圧力（PT-B22-N051A）の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2-7 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-8 に示す。

表 2-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	原子炉圧力 (PT-B22-N051A)	S	—*1	$D+P_D+M_D+S_d$*2	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊2：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 2-5　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	原子炉圧力 (PT-B22-N051A)	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 2-6　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-7　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}（RT） (MPa)
取付ボルト （i＝2）	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	235	400	－

表 2-8　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}（RT） (MPa)
取付ボルト (i＝2)	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	212	373	－

2.5　機能維持評価

2.5.1　電気的機能維持評価方法

原子炉圧力（PT-B22-N051A）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉圧力（PT-B22-N051A）の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-9 に示す。

表 2-9　機能確認済加速度　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度		
原子炉圧力 (PT-B22-N051A)	水平			
	鉛直			

2.6 評価結果

2.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉圧力（PT-B22-N051A）の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

2.6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉圧力（PT-B22-N051A）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉圧力（H22-P026B(PT-B22-N051A)）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉圧力 (PT-B22-N051A)	S	EL. 20.30*			C_H=0.78	C_V=0.54	C_H=1.34	C_V=1.01	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉圧力

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i=2)							6
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト（i＝2）				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（i＝2）		引張り	σ_{b2}＝6	f_{ts2}＝176*	σ_{b2}＝16	f_{ts2}＝210*
		せん断	τ_{b2}＝2	f_{sb2}＝135	τ_{b2}＝4	f_{sb2}＝161

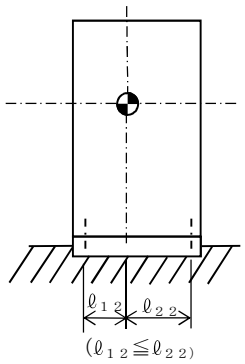
すべて許容応力以下である。

注記 *：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

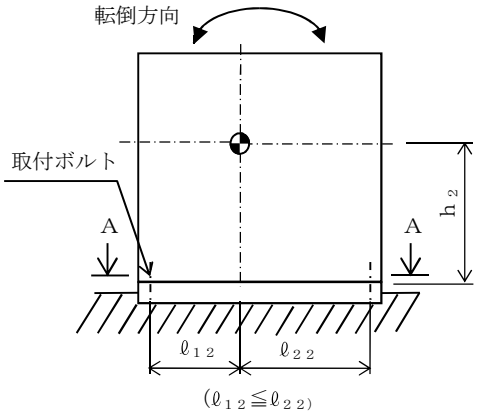
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉圧力 (PT-B22-N051A)	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

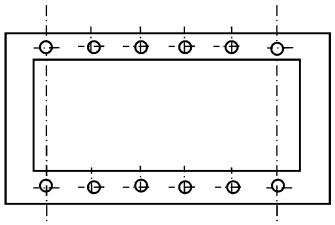
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



A～A矢視図

2. 重大事故等対象施設

2.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉圧力 (PT-B22-N051A)	常設耐震／防止常設／緩和	EL. 20. 30*			－	－	C_H＝1. 34	C_V＝1. 01	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 原子炉圧力

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i＝2)							6
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)	212	373	－	254	－	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト（i＝2）				

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（i＝2）		引張り	－	－	σ_{b2}＝16	f_{ts2}＝190*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝4	f_{sb2}＝146

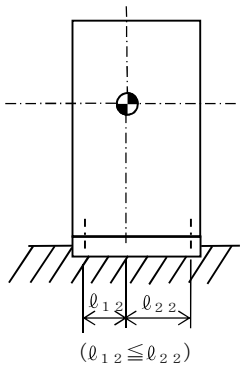
すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

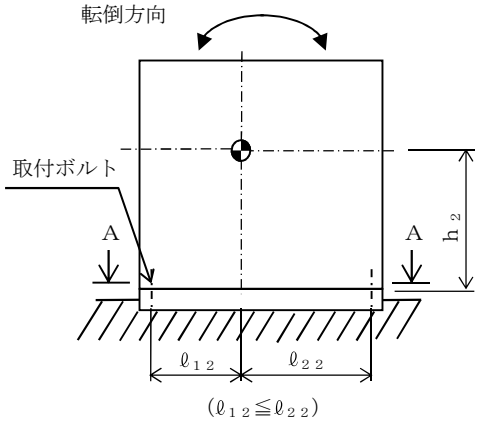
2.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉圧力 (PT-B22-N051A)	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

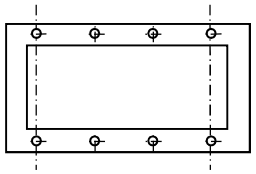
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



A～A矢視図

Ⅴ-2-6-5-19　原子炉圧力（ＳＡ）の耐震性についての計算書

目次

1. 原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A, C) 1
1.1 概要 1
1.2 一般事項 1
1.2.1 構造計画 1
1.2.2 評価方針 3
1.2.3 適用基準 4
1.2.4 記号の説明 5
1.2.5 計算精度と数値の丸め方 7
1.3 評価部位 8
1.4 固有周期 9
1.4.1 固有値解析方法 9
1.4.2 解析モデル及び諸元 9
1.4.3 固有値解析結果 11
1.5 構造強度評価 12
1.5.1 構造強度評価方法 12
1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力 12
1.5.3 設計用地震力 15
1.5.4 計算方法 16
1.5.5 計算条件 18
1.5.6 応力の評価 19
1.6 機能維持評価 20
1.6.1 電気的機能維持評価方法 20
1.7 評価結果 21
1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果 21
2. 原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071B, D) 24
2.1 概要 24
2.2 一般事項 24
2.2.1 構造計画 24
2.3 固有周期 26
2.3.1 固有周期の算出方法 26
2.3.2 固有周期の計算条件 27
2.3.3 固有周期の計算結果 27
2.4 構造強度評価 28
2.4.1 構造強度評価方法 28
2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力 28
2.5 機能維持評価 31

2.5.1　電気的機能維持評価方法 31
2.6　評価結果 32
2.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果 32

1. 原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C)

1.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

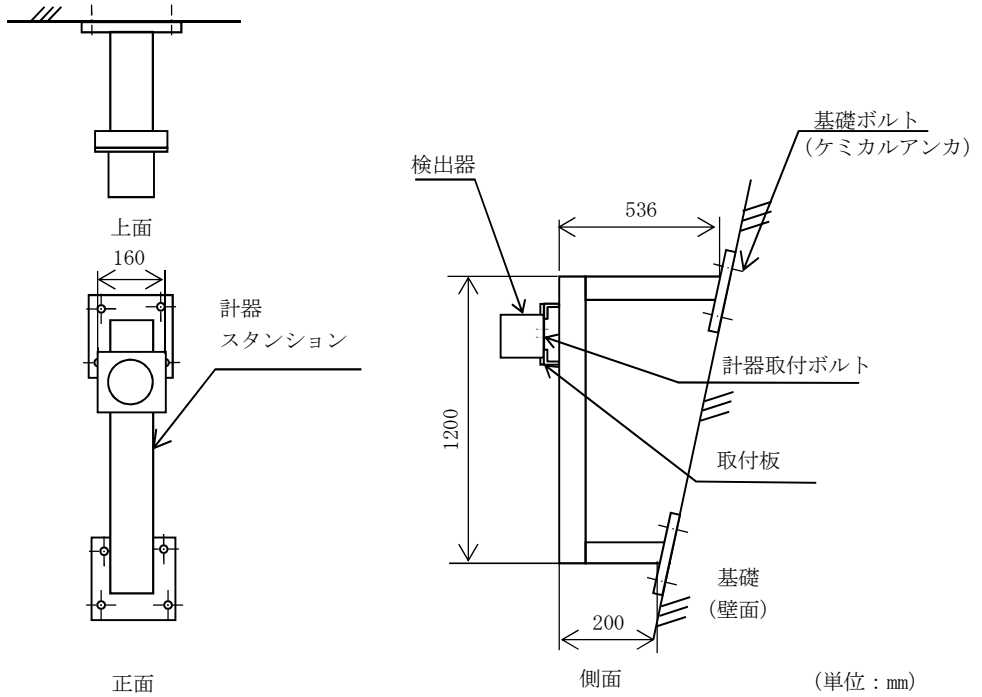
原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取り付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	【PT-B22-N071A，C】 

1.2.2　評価方針

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「1.2.1　構造計画」にて示す原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の部位を踏まえ「1.3　評価部位」にて設定する箇所において，「1.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「1.5　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「1.6　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「1.7　評価結果」に示す。

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の耐震評価フローを図 1-1 に示す。

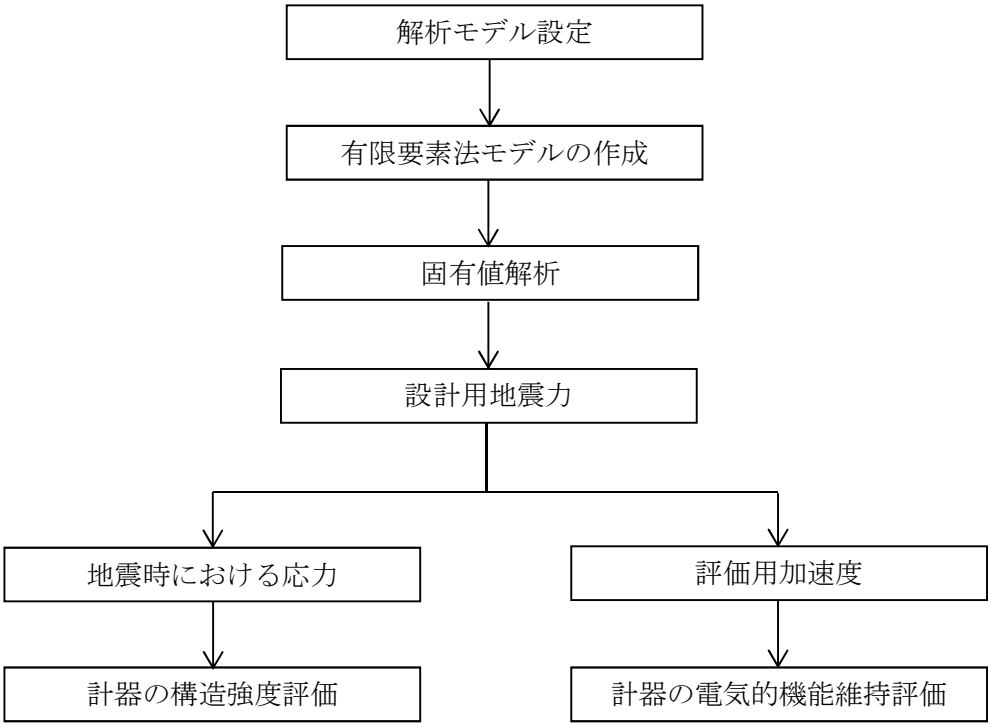


図 1-1　原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の耐震評価フロー

1.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥＳ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

1.2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	計器スタンションの断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3131　に定める値	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3133　に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛板取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛板取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_2	取付面から重心までの距離（壁掛形）	mm
I_p	計器スタンションの断面二次極モーメント	mm^4
I_y	計器スタンションの断面二次モーメント（ｙ軸）	mm^4
I_z	計器スタンションの断面二次モーメント（ｚ軸）	mm^4
ℓ_3	重心と下側ボルト間の距離（壁掛形）	mm
ℓ_a	正面（左右）ボルト間の距離（壁掛形）	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離(壁掛形)	mm
m	検出器及び計器スタンションの総質量	kg
m_a	検出器の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N

記号	記号の説明	単位
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（RT）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
Z_p	計器スタンションのねじり断面係数	mm^3
Z_y	計器スタンションの断面係数（y軸）	mm^3
Z_z	計器スタンションの断面係数（z軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

1.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表1-2に示すとおりとする。

表1-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積*2	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

1.3　評価部位

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の耐震評価は，「1.5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部について実施する。

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の耐震評価部位については，表 1-1 の概略構造図に示す。

1.4　固有周期

1.4.1　固有値解析方法

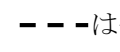
原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の固有値解析方法を「1.4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

1.4.2　解析モデル及び諸元

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の解析モデルを 3 次元はりモデルとして図 1-2 に，解析モデルの概要を以下に示す。計器スタンションはコの字に組まれた鋼材で原子炉建屋の壁面に 2 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，①～③の部材で組まれたコの字とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）2 点で固定されるものとする。また，解析モデルにおいて，検出器の質量は質点に集中するものとし，質点は検出器の取付位置に設置する。機器の諸元を表 1-3，部材の機器要目を表 1-4 に示す。

(1)　図 1-2 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2)　図 1-2 中の ◓ は検出器質点を示し，m_aは 14 kg である。

(3)　図 1-2 中の ――は計器スタンション，－－－は仮想鋼材，  は支持点（計器スタンション基礎部）を示す。

(4)　拘束条件として，基礎部のＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

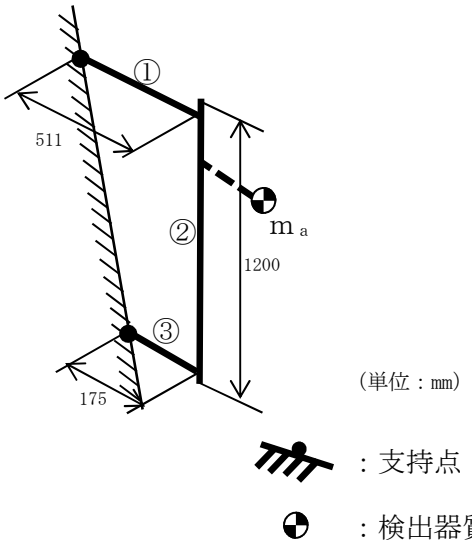
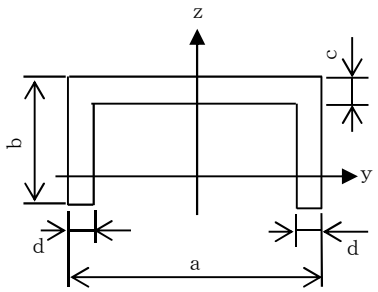


図 1-2　原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）解析モデル

表 1-3　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

表 1-4　部材の機器要目

材料	
対象要素	①－③
A （mm^2）	
I_y （mm^4）	
I_z （mm^4）	
I_p （mm^4）	
Z_y （mm^3）	
Z_z （mm^3）	
Z_p （mm^3）	
断面形状（mm）	 （a × b × c × d）

1.4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 1-5 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であるため，固有周期の算出は省略した。

表1-5　固有値解析結果

モード	固有周期（s）	卓越方向
1次	[redacted]	水平

1.5　構造強度評価

1.5.1　構造強度評価方法

(1)　地震力は，原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）に対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(2)　原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）は，基礎ボルトにより壁面に固定されるものとする。

(3)　原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の質量は検出器，弁及び計器スタンションを考慮する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

1.5.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-6 に示す。

1.5.2.2　許容応力

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 1-7 のとおりとする。

1.5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-8 に示す。

表 1-6　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	原子炉圧力（ＳＡ） (PT-B22-N071A，C)	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 1-7　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-8　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

1.5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 1-9 に示す。

表 1-9　設計用地震力（重大事故等対処設備）

設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
		水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
常設耐震／防止常設／緩和	EL. 20. 30 (EL. 29. 00*1)			－	－	C_H＝ 1. 55	C_V＝ 1. 17

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.5.4　計算方法

1.5.4.1　応力の計算方法

1.5.4.1.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

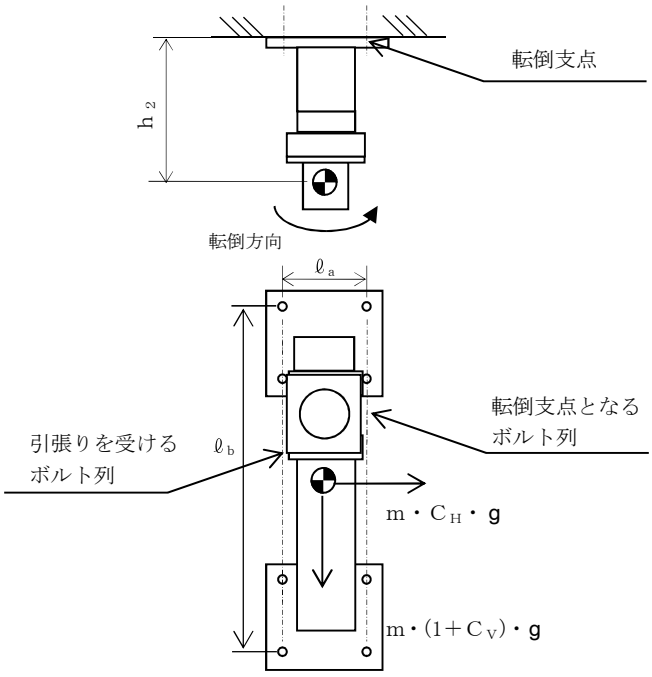


図1-3（1）　計算モデル

（壁掛形　水平方向転倒の場合）

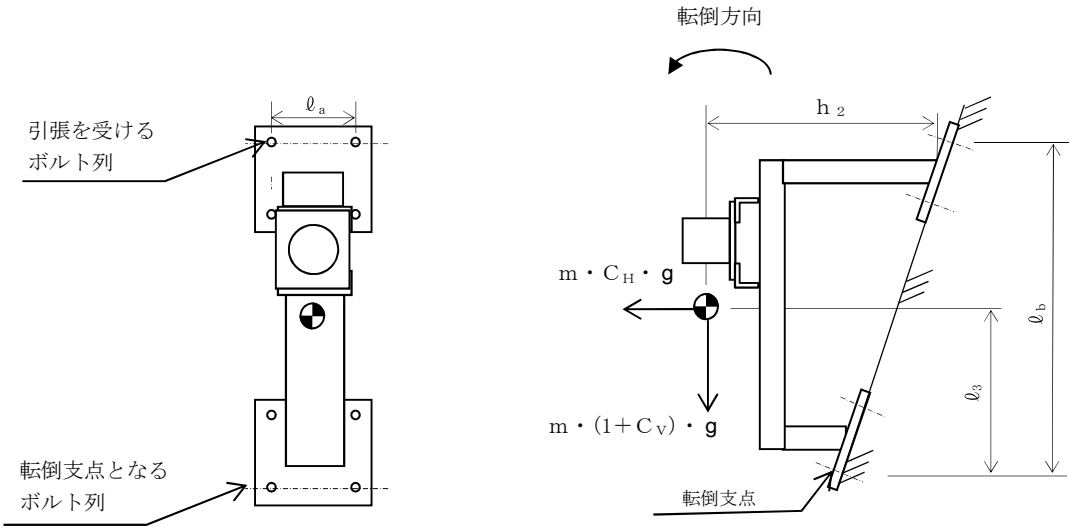


図1-3（2）　計算モデル

（壁掛形　鉛直方向転倒の場合）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図1-3で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図1-3（1）の場合の引張力

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.1)$$

計算モデル図1-3（2）の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}(F_{b1},\ F_{b2}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_{b1}=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2}=m\cdot g\cdot(1+C_V) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.8)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.9)$$

1.5.5　計算条件

1.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の【原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

1.5.6　応力の評価

1.5.6.1　ボルトの応力評価

1.5.4.1項で求めた基礎ボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。ただし，f_{to}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.6.1.1)$$

せん断応力τ_bはせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。ただし，f_{sb}は下表による。

	弾性設計用地震動S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

1.6　機能維持評価

1.6.1　電気的機能維持評価方法

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の電気的機能維持評価について以下に示す。なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-10 に示す。

表 1-10　機能確認済加速度　　(×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉圧力（ＳＡ） (PT-B22-N071A，C)	水平	
	鉛直	

1.7　評価結果

1.7.1　重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動Ｓd又は静的震度		基準地震動Ｓs		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C)	常設耐震／防止常設／緩和	EL.20.30 (EL.29.00*1)			－	－	C_H＝1.55	C_V＝1.17	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C)

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	4

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動Ｓd又は静的震度	基準地震動Ｓs
基礎ボルト	221	373	－	261	－	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動Ｓd又は静的震度	基準地震動Ｓs	弾性設計用地震動Ｓd又は静的震度	基準地震動Ｓs
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b＝10	f_{ts}＝156*
		せん断	－	－	τ_b＝2	f_{sb}＝120

すべて許容応力以下である。

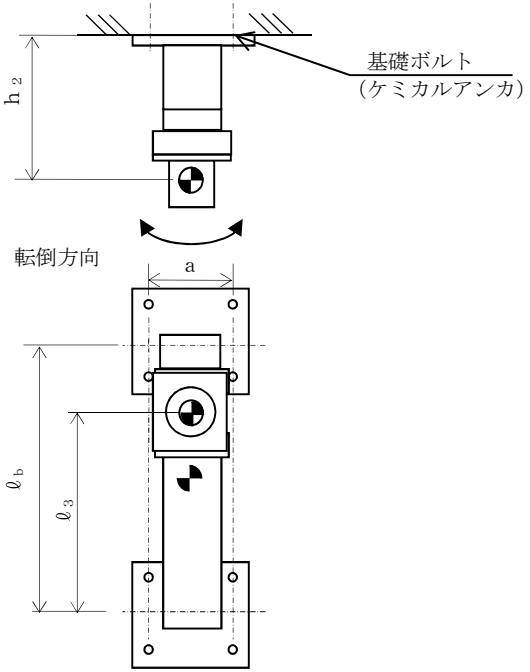
注記　＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，　f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

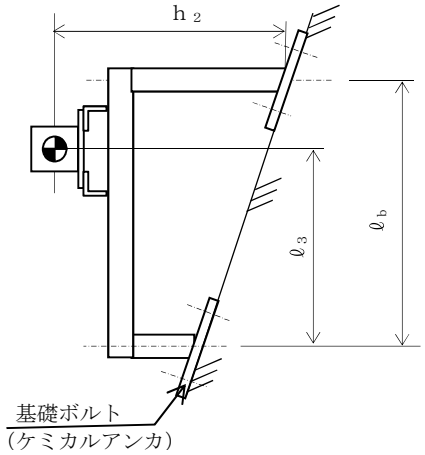
（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉圧力（ＳＡ） (PT-B22-N071A，C)	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

2. 原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071B, D)

2.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071B, D) が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071B, D) は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

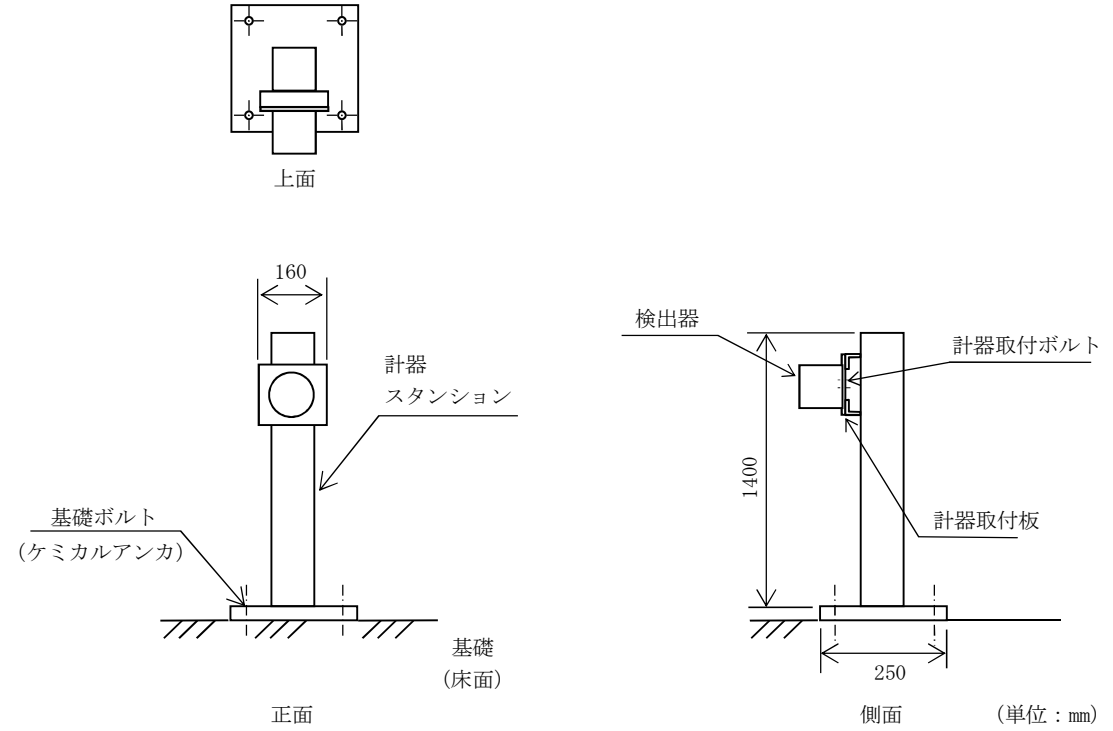
2.2 一般事項

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071B, D) は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.2.1 構造計画

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071B, D) の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取り付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	【PT-B22-071B,D】 

2.3 固有周期

2.3.1 固有周期の算出方法

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071B，D）の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071B，D）は，図 2-1 に示す床固定の１質点系振動モデルとして考える。

(2) 計器スタンションは鋼材で原子炉建屋床面に固定されているため，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1 点で固定されるものとする。

(3) 検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4) 図 2-1 中の ⊕ は検出器及び計器スタンションの質点，●は計器スタンションの支持点，――は計器スタンションを示す。

2.3.1.1 水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{h_1{}^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{h_1}{A_s\cdot G}\right)} \quad \cdots(3.1.1.1)$$

2.3.1.2 鉛直方向（Ｙ方向）

Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

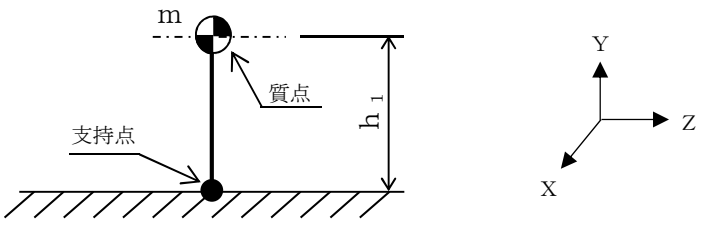
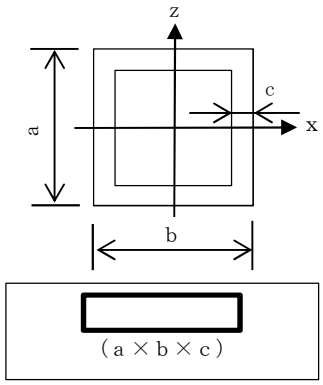


図 2-1　固有周期の計算モデル

2.3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 2-2 に示す。

表 2-2　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
取付面から重心までの距離	h_1	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			

2.3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向の固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。固有周期の計算結果を表 2-3 示す。

表 2-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

2.4　構造強度評価

2.4.1　構造強度評価方法

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071B, D) の構造は直立形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

2.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

2.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071B, D) の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-4 に示す。

2.4.2.2　許容応力

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071B, D) の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 2-5 のとおりとする。

2.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071B, D) の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

表 2-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	原子炉圧力（ＳＡ） (PT-B22-N071B, D)	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 2-5　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

2.5　機能維持評価

2.5.1　電気的機能維持評価方法

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071B, D）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071B, D）の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-7 に示す。

表 2-7　機能確認済加速度　　(×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉圧力（ＳＡ） (PT-B22-N071B, D)	水平	
	鉛直	

2.6　評価結果

2.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071B, D) の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉圧力（ＳＡ）（PT-B22-N071B，D）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉圧力（ＳＡ）（PT-B22-N071B，D）	常設耐震／防止常設／緩和	EL.20.30 (EL.29.00*1)			－	－	C_H＝1.55	C_V＝1.17	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉圧力（ＳＡ）（PT-B22-N071B，D）

部材	m (kg)	h_1 (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト							2
							2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	前後方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=19$	$f_{ts}=156^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=2$	$f_{sb}=120$

すべて許容応力以下である。

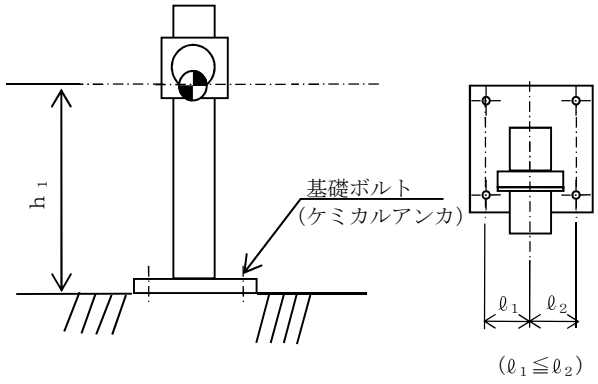
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

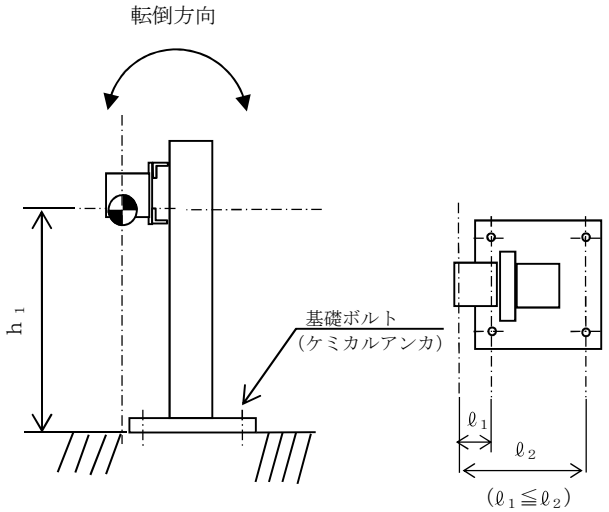
(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉圧力（ＳＡ） (PT-B22-N071B, D)	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（左右方向）



側面（前後方向）

Ⅴ-2-6-5-20　原子炉水位の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
3. 固有周期 3
3.1 固有周期の算出方法 3
4. 構造強度評価 3
4.1 構造強度評価方法 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 3
4.2.2 許容応力 3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 3
5. 機能維持評価 5
5.1 電気的機能維持評価方法 5
6. 評価結果 5
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 5

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，原子炉水位が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

原子炉水位は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお，構造強度評価については，計装ラックの取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また，電気的機能維持評価については，評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電気的機能維持評価に用いる評価用加速度は，設置床高さが同じで計装ラックが剛構造の場合は同じ加速度となることから，構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1　概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
LT-B22-N073A（代表） LT-B22-N073B LT-B22-N073C（代表） LT-B22-N073D LT-B22-N080A（代表） LT-B22-N080B LT-B22-N080C LT-B22-N080D LT-B22-N081A（代表） LT-B22-N081B LT-B22-N081C LT-B22-N081D LT-B22-N095A LT-B22-N095B	Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針	表 2-1　構造計画

2. 一般事項

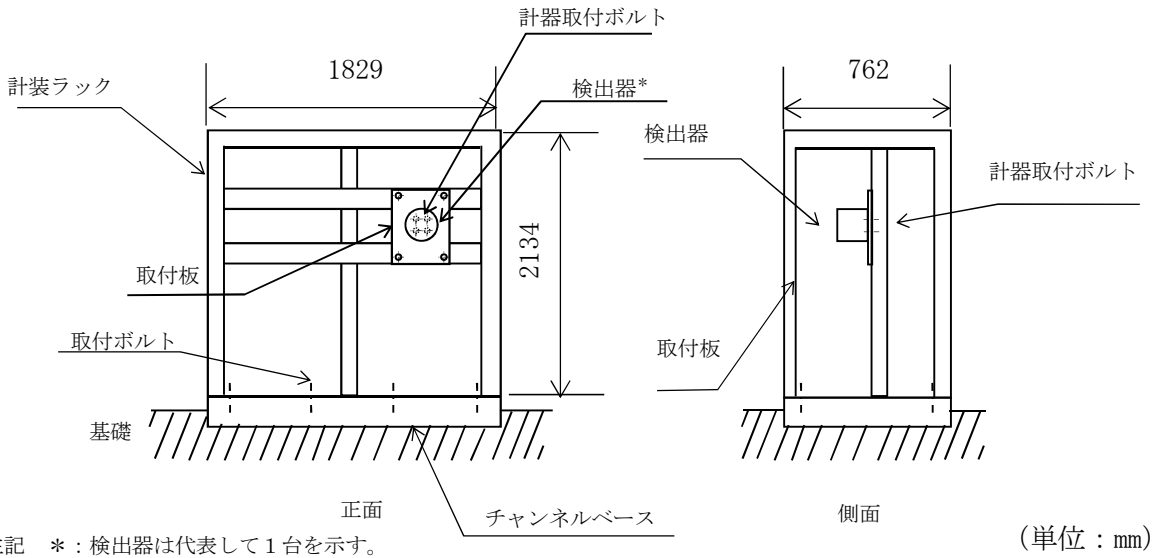
本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1　構造計画

原子炉水位の構造計画を表 2-1 に示す。

NT2 補② Ⅴ-2-6-5-20 R1

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。 計装ラックは，基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	差圧式水位検出器	【H22-P004A(LT-B22-N073A，LT-B22-N073C，LT-B22-N080A，LT-B22-N081A)】  注記　＊：検出器は代表して１台を示す。 （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により，当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ，振動計，分析器）により固有振動数を測定する。測定の結果，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

原子炉水位の構造は直立形計装ラックであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉水位の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2　許容応力

原子炉水位の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

原子炉水位の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	原子炉水位	S	－*1	$D+P_D+M_D+S_d$*2	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊2：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 4-2　許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2（ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
III_AS	$1.5\cdot f_t$	$1.5\cdot f_s$
IV_AS	$1.5\cdot f_t$*	$1.5\cdot f_s$*

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件（℃）		S_{yi}（MPa）	S_{ui}（MPa）	S_{yi}（RT）（MPa）
取付ボルト（i＝2）		周囲環境温度		235	400	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

原子炉水位の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉水位の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉水位 (LT-B22-N073A LT-B22-N073C LT-B22-N080A LT-B22-N081A)	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉水位の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉水位（H22-P004A(LT-B22-N073A，LT-B22-N073C，LT-B22-N080A，LT-B22-N081A)）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ（m）	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度（℃）
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉水位	S	EL. 20.30*1			C_H＝0.78	C_V＝0.54	C_H＝1.34	C_V＝1.01	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉水位

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト（i＝2）							6 2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト（i＝2）	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 （単位：N）

部　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト（i＝2）				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 （単位：MPa）

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（i＝2）		引張り	$\sigma_{b2}=7$	$f_{ts2}=176$*	$\sigma_{b2}=17$	$f_{ts2}=210$*
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

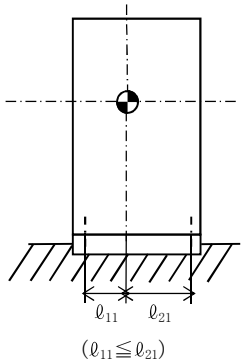
すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

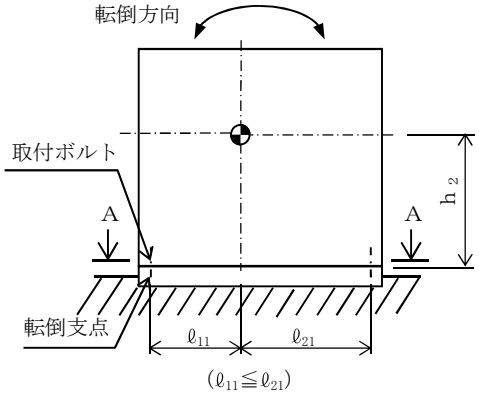
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

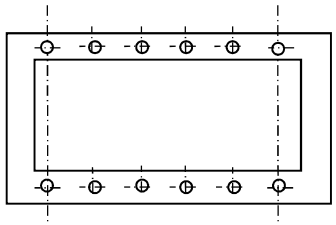
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



A～A矢視図

Ⅴ-2-6-5-21　原子炉水位（広帯域）の耐震性についての計算書

目次

1. 原子炉水位（広帯域）（計装ラック） ····· 1
1.1 概要 ····· 1
1.2 一般事項 ····· 1
1.2.1 構造計画 ····· 1
1.3 固有周期 ····· 3
1.3.1 固有周期の算出方法 ····· 3
1.4 構造強度評価 ····· 3
1.4.1 構造強度評価方法 ····· 3
1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
1.5 機能維持評価 ····· 7
1.5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 7
1.6 評価結果 ····· 8
1.6.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 8
1.6.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 8
2. 原子炉水位（広帯域）（計器スタンション） ····· 15
2.1 概要 ····· 15
2.2 一般事項 ····· 15
2.2.1 構造計画 ····· 15
2.3 固有周期 ····· 17
2.3.1 固有周期の算出方法 ····· 17
2.3.2 固有周期の計算条件 ····· 18
2.3.3 固有周期の計算結果 ····· 18
2.4 構造強度評価 ····· 19
2.4.1 構造強度評価方法 ····· 19
2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 19
2.5 機能維持評価 ····· 22
2.5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 22
2.6 評価結果 ····· 23
2.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 23

1.　原子炉水位（広帯域）（計装ラック）

1.1　概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，原子炉水位（広帯域）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお，構造強度評価については，計装ラックの取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また，電気的機能維持評価については，評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電気的機能維持評価に用いる評価用加速度は，設置床高さが同じで計装ラックが剛構造の場合は同じ加速度となることから，構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1　概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
LT-B22-N091A LT-B22-N091B（代表） LT-B22-N091C LT-B22-N091D（代表）	Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針	表 1-2　構造計画

1.2　一般事項

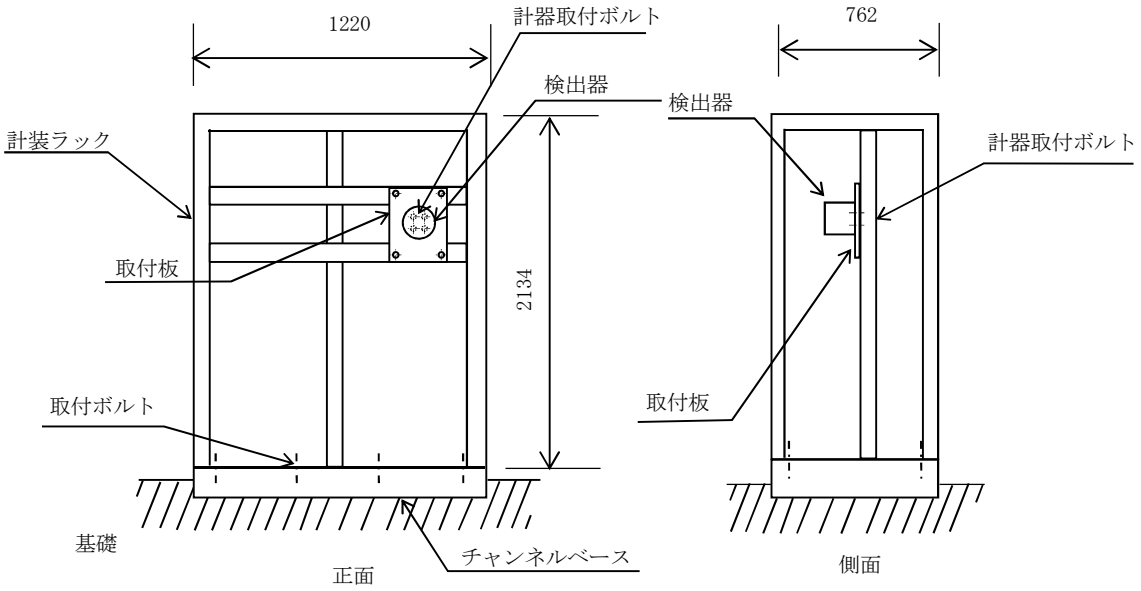
原子炉水位（広帯域）（計装ラック）は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

1.2.1　構造計画

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）の構造計画を表 1-2 に示す。

表 1-2　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。 計装ラックは,基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	差圧式水位検出器	【H22-P027B(LT-B22-091B，LT-B22-091D)】



注記　＊：検出器は代表して１台を示す。

（単位：mm）

1.3　固有周期

1.3.1　固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により，当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ，振動計，分析器）により固有振動数を測定する。測定の結果，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。固有周期を表 1-3 に示す。

表 1-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

1.4　構造強度評価

1.4.1　構造強度評価方法

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）の構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 1-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-5 に示す。

1.4.2.2　許容応力

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 1-6 のとおりとする。

1.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 1-7 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-8 に示す。

表 1-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	原子炉水位（広帯域）（LT-B22-091B LT-B22-091D）	S	－*1	$D+P_D+M_D+S_d$*2	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。
＊2：Ｓｓと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 1-5　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	原子炉水位（広帯域）（LT-B22-N091B LT-B22-N091D）	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。
＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。
＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 1-6　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-7　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}（ＲＴ） (MPa)
取付ボルト （ｉ＝2）	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	235	400	－

表 1-8　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}（ＲＴ） (MPa)
取付ボルト （ｉ＝2）	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	212	373	－

1.5　機能維持評価

1.5.1　電気的機能維持評価方法

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）の電気的機能維持評価について，以下に示す。電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-9 に示す。

表 1-9　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉水位（広帯域） （LT-B22-N091B LT-B22-N091D）	水平	[redacted]
	鉛直	

1.6　評価結果

1.6.1　設計基準対象施設としての評価結果

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果価

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

1.6.2　重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉水位（広帯域）（計装ラック）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果価

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉水位（広帯域）（計装ラック）（H22-P027B(LT-B22-N091B,D)）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ（m）	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度（℃）
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉水位（広帯域）	S	EL. 20.30*			C_H＝0.78	C_V＝0.54	C_H＝1.34	C_V＝1.01	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉水位（広帯域）

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト（i＝2）							4
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト（i＝2）	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 （単位：N）

部　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト（i＝2）				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 （単位：MPa）

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（i＝2）		引張り	σ_{b2}＝10	f_{ts2}＝176*	σ_{b2}＝20	f_{ts2}＝210*
		せん断	τ_{b2}＝3	f_{sb2}＝135	τ_{b2}＝4	f_{ts2}＝161

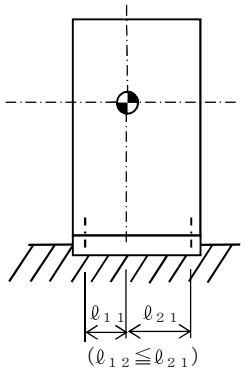
すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

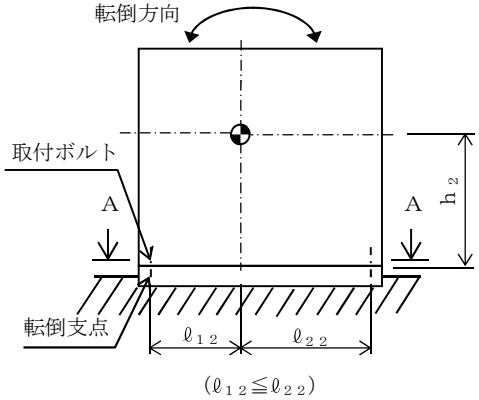
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位（広帯域）	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

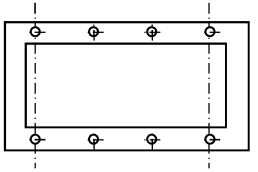
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



A～A矢視図

【原子炉水位（広帯域）（計装ラック）（H22-P027B(LT-B22-N091B,D)）の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度(℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉水位（広帯域）	常設耐震／防止常設／緩和	EL.20.30*			－	－	C_H＝1.34	C_V＝1.01	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 原子炉水位（広帯域）

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト（i＝2）							4 2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト（i＝2）	212	373	－	254	－	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 （単位：N）

部　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト（i＝2）				

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 （単位：MPa）

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（i＝2）		引張り	－	－	σ_{b2}＝20	f_{ts2}＝190*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝4	f_{sb2}＝146

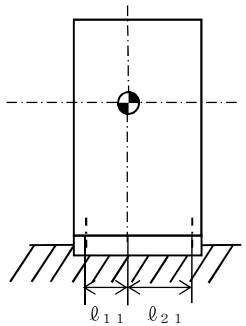
すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

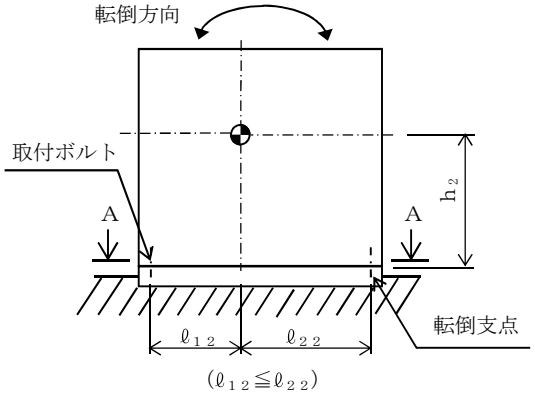
2.4.2 電気的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位（広帯域）	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

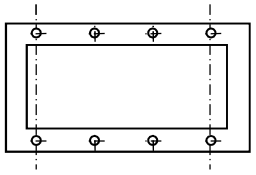
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



A～A矢視図

2.　原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）

2.1　概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，原子炉水位（広帯域）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

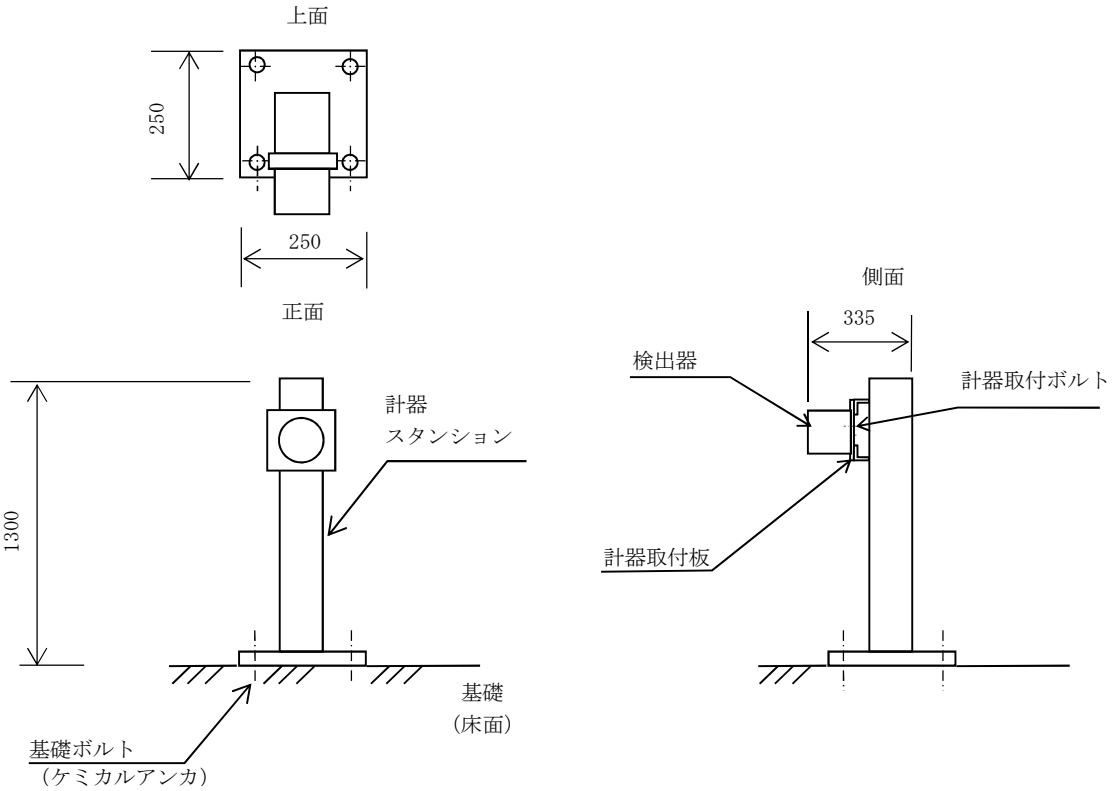
2.2　一般事項

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.2.1　構造計画

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式水位検出器	

2.3　固有周期

2.3.1　固有周期の算出方法

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　原子炉水位（広帯域）は，図 2-1 に示す床固定の１質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で原子炉建屋床面に固定されているため，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1 点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4)　図 2-1 中の ⊕ は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，━ は計器スタンションを示す。

2.3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{h_1^{3}}{3\cdot E\cdot I}+\frac{h_1}{A_s\cdot G}\right)} \qquad \cdot\cdot\cdot(2.3.1.1.1)$$

2.3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

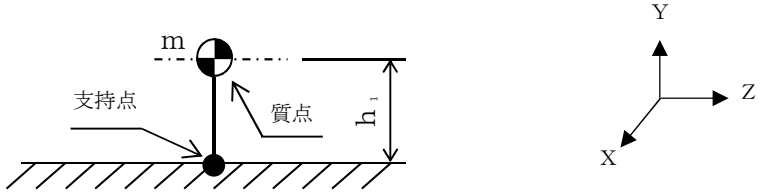
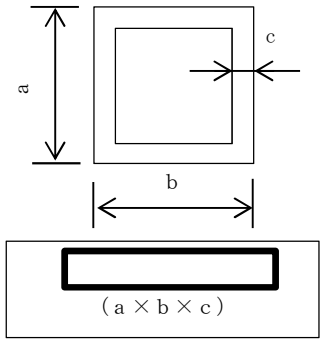


図 2-1　固有周期の計算モデル

2.3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 2-2 に示す。

表 2-2　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
取付面から重心までの距離	h_1	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			

2.3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向は，0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 2-3 示す。

表 2-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

2.4　構造強度評価

2.4.1　構造強度評価方法

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）の構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

2.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

(1)　荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-4 に示す。

(2)　許容応力

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 2-5 のとおりとする。

(3)　使用材料の許容応力評価条件

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

表 2-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	原子炉水位（広帯域）	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 2-5　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。
＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 （℃）		S_y （MPa）	S_u （MPa）	S_y（RT） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

2.5　機能維持評価

2.5.1　電気的機能維持評価方法

原子炉水位(広帯域)(計器スタンション)の電気的機能維持評価について,以下に示す。電気的機能維持評価は,添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉水位（広帯域）(計器スタンション）の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 2-7 に示す。

表 2-7　機能確認済加速度　　(×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉水位（広帯域）	水平	[redacted]
	鉛直	

2.6　評価結果

2.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉水位（広帯域）（計器スタンション）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉水位(広帯域)(計器スタンション)の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉水位(広帯域)	常設耐震／防止 常設／緩和	EL. 20.30*			－	－	C_H＝1.34	C_V＝1.01	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉水位(広帯域)

部材	m (kg)	h_1 (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト							2 2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	前後方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=16$	$f_{ts}=156^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=2$	$f_{sb}=120$

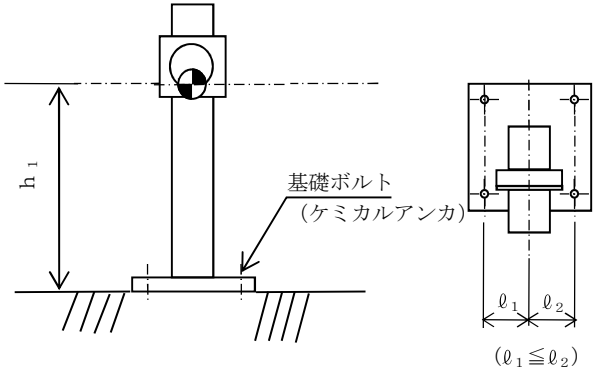
すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b, f_{to}]$より算出

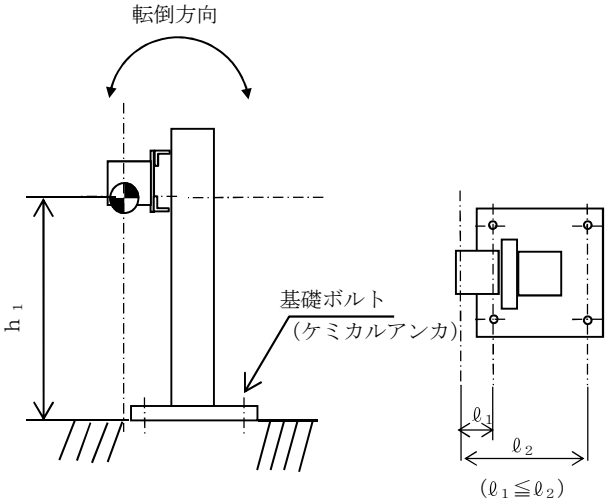
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位(広帯域)	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（左右方向）



側面（前後方向）

Ⅴ-2-6-5-22　原子炉水位（燃料域）の耐震性についての計算書

目次

1.　原子炉水位（燃料域）（計装ラック）……1
1.1　概要……1
1.2　一般事項……1
1.2.1　構造計画……1
1.3　固有周期……3
1.3.1　固有周期の算出方法……3
1.4　構造強度評価……3
1.4.1　構造強度評価方法……3
1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力……3
1.5.　機能維持評価……7
1.5.1　電気的機能維持評価方法……7
1.6　評価結果……8
1.6.1　設計基準対象施設としての評価結果……8
1.6.2　重大事故等対処設備としての評価結果……8
2.　原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）……15
2.1　概要……15
2.2　一般事項……15
2.2.1　構造計画……15
2.3　固有周期……17
2.3.1　固有周期の算出方法……17
2.3.2　固有周期の計算条件……18
2.3.3　固有周期の計算結果……18
2.4　構造強度評価……19
2.4.1　構造強度評価方法……19
2.4.2　荷重の組合せ及び許容応力……19
2.5　機能維持評価……23
2.5.1　電気的機能維持評価方法……23
2.6　評価結果……24
2.6.1　設計基準対象施設としての評価結果……24
2.6.2　重大事故等対処設備としての評価結果……24

1. 原子炉水位（燃料域）（計装ラック）

1.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，原子炉水位（燃料域）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

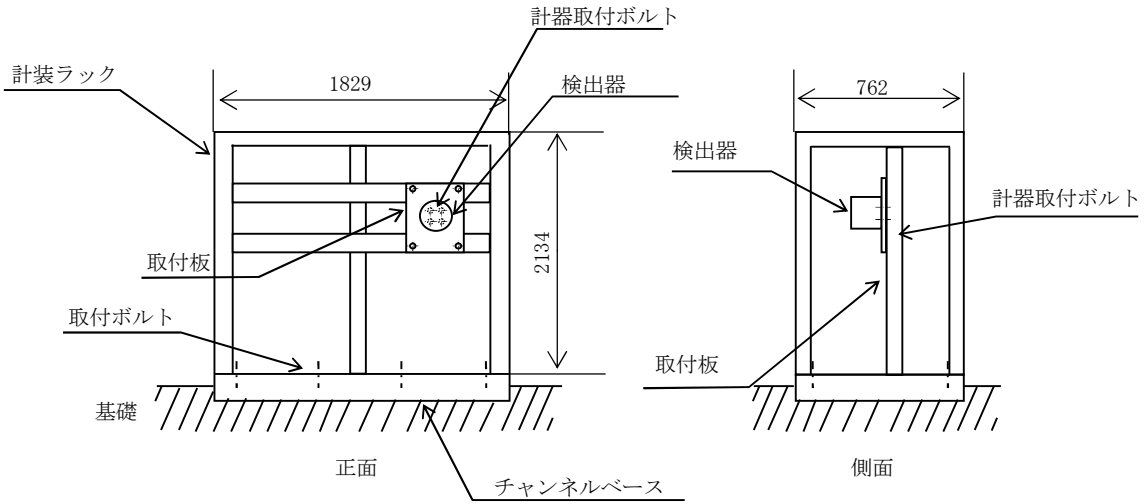
1.2 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

1.2.1 構造計画

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。 計装ラックは，基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	差圧式水位検出器	 （単位：mm）

1.3　固有周期

1.3.1　固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により，当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ，振動計，分析器）により固有振動数を測定する。測定の結果，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。固有周期を表 1-2 に示す。

表 1-2　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

1.4　構造強度評価

1.4.1　構造強度評価方法

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）の構造は直立形計装ラックであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 1-3 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4 に示す。

1.4.2.2　許容応力

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 のとおりとする。

1.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 1-6 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-7 に示す。

表 1-3　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	原子炉水位（燃料域）	S	—*1	$D+P_D+M_D+S_d^*$*2	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊2：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 1-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	原子炉水位（燃料域）	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 1-5　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅲ_AS$	1.5・f_t	1.5・f_s
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-6　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}（ＲＴ） (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	235	400	－

表 1-7　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}（ＲＴ） (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	212	373	－

1.5.　機能維持評価

1.5.1　電気的機能維持評価方法

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-8 に示す。

表 1-8　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉水位（燃料域）	水平	
	鉛直	

1.6 評価結果

1.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

1.6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉水位（燃料域）（計装ラック）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉水位（燃料域）（計装ラック）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉水位（燃料域）	S	EL. 14.00*			C_H＝0.69	C_V＝0.53	C_H＝1.13	C_V＝0.99	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉水位（燃料域）

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト（i＝2）							6
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト（i＝2）	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i＝2)		引張り	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=14$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=161$

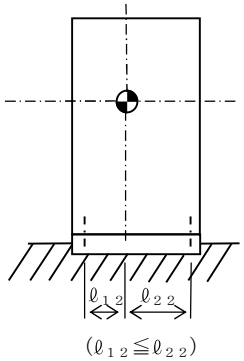
すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

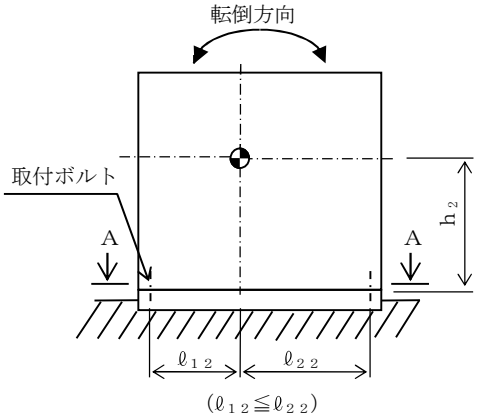
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位（燃料域）	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.83	

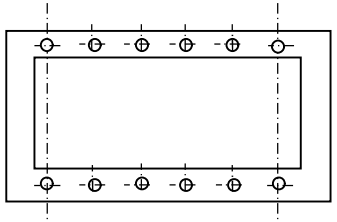
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



A～A矢視図

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉水位（燃料域）	常設耐震／防止常設／緩和	EL. 14.00*			－	－	C_H＝1.13	C_V＝0.99	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 原子炉水位（燃料域）

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト（i＝2）							6
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト（i＝2）	212	373	－	254	－	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト（i＝2）				

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（i＝2）		引張り	－	－	σ_{b2}＝14	f_{ts2}＝190*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝3	f_{sb2}＝146

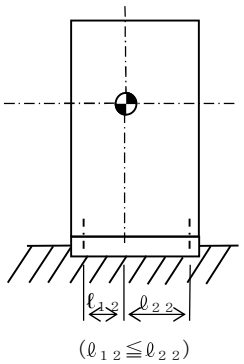
すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

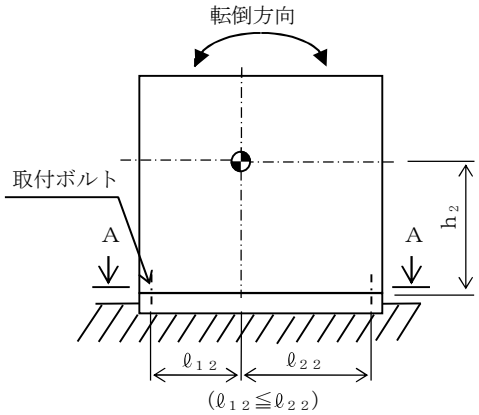
2.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位（燃料域）	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.83	

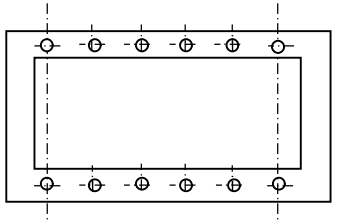
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



A～A矢視図

2.　原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）

2.1　概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，原子炉水位（燃料域）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

原子炉水位(燃料域)(計器スタンション)は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

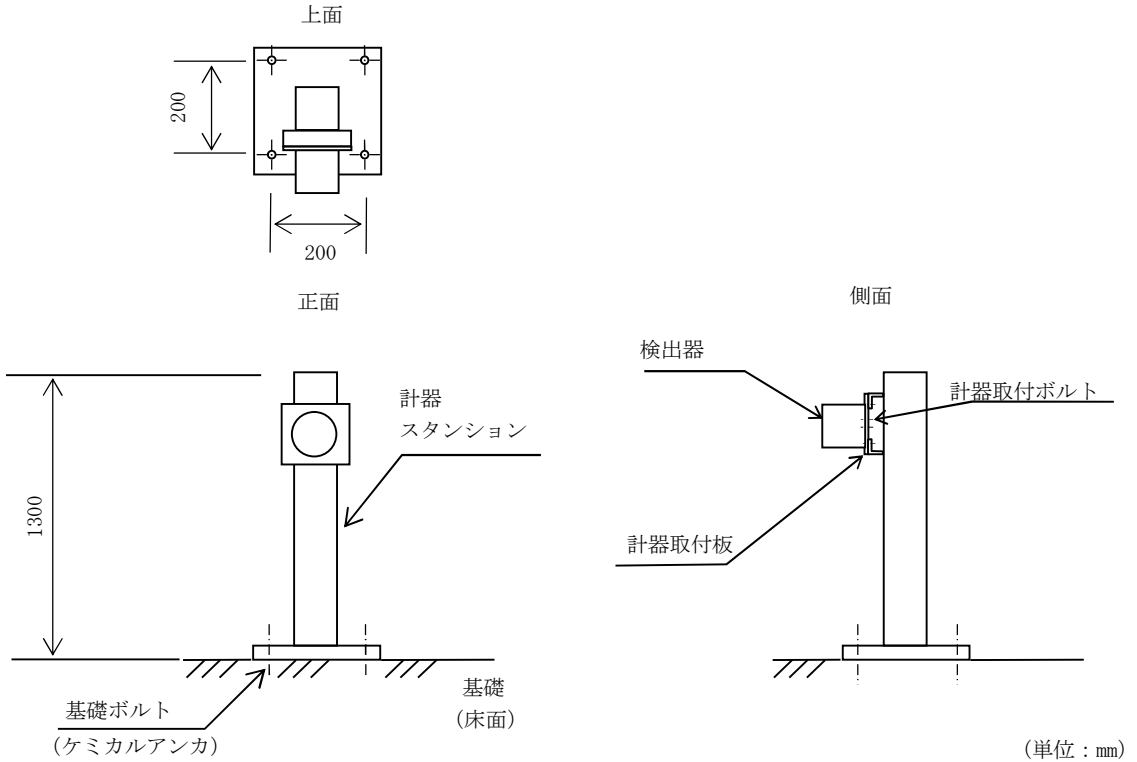
2.2　一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.2.1　構造計画

原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式水位検出器	

2.3　固有周期

2.3.1　固有周期の算出方法

原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　原子炉水位（燃料域）は，図 2-1 に示す下端固定の１質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で床面に固定されているため，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）１点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4)　図 2-1 中の ◓ は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，━ は計器スタンションを示す。

2.3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

2.3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \quad \cdots (2.3.1.1.1)$$

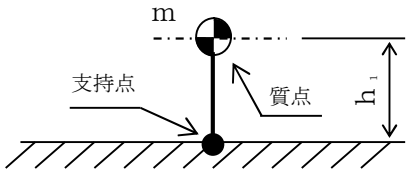


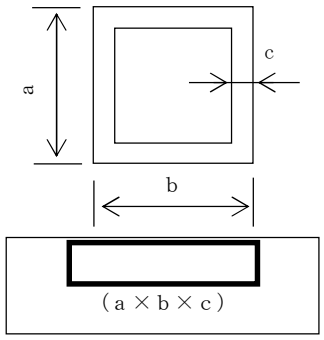
図 2-1　固有周期の計算モデル

NT2 補② Ⅴ-2-6-5-22 R1

2.3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 2-2 に示す。

表 2-2　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
据付面から重心までの距離	h_1	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			

2.3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向は，0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 2-3 示す。

表 2-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

2.4　構造強度評価

2.4.1　構造強度評価方法

原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）の構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

2.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

(1)　荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-5 に示す。

(2)　許容応力

原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 2-6 のとおりとする。

(3)　使用材料の許容応力評価条件

原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2-7 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-8 に示す。

表 2-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	原子炉水位（燃料域）	S	－*1	$D+P_D+M_D+S_d$*2	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。
　　＊2：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 2-5　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	原子炉水位（燃料域）	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。
　　＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。
　　＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 2-6　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
VAS （VASとしてⅣASの 許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-7　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	245	400	－

表 2-8　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

2.5　機能維持評価

2.5.1　電気的機能維持評価方法

原子炉水位(燃料域)(計器スタンション)の電気的機能維持評価について,以下に示す。電気的機能維持評価は,添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉水位（燃料域）(計器スタンション）の機能確認済加速度には,同形式の検出器単体の正弦波加振試験において,電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 2-9 に示す。

表 2-9　機能確認済加速度　　(×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉水位（燃料域）	水平	[redacted]
	鉛直	

2.6　評価結果

2.6.1　設計基準対象施設としての評価結果

原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果価

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

2.6.2　重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果価

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉水位（燃料域）（計器スタンション）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉水位（燃料域）	S	EL. 14.00*			C_H＝0.69	C_V＝0.53	C_H＝1.13	C_V＝0.99	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉水位（燃料域）

部材	m (kg)	h_1 (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト							2
							2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	245	400	245	280	前後方向	前後方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 原子炉水位（燃料域）に作用する力 （単位：N）

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 原子炉水位（燃料域）の応力 （単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b=9$	$f_{ts}=147^*$	$\sigma_b=15$	$f_{ts}=168^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=113$	$\tau_b=2$	$f_{sb}=129$

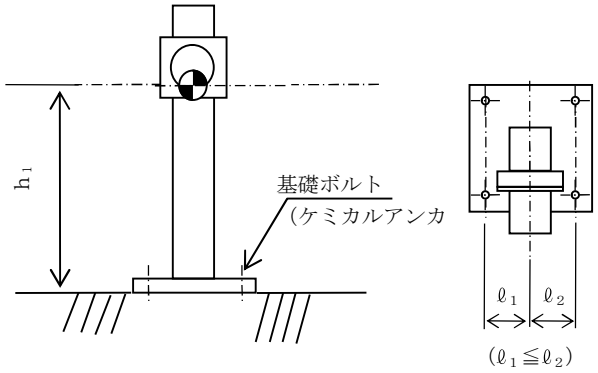
すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

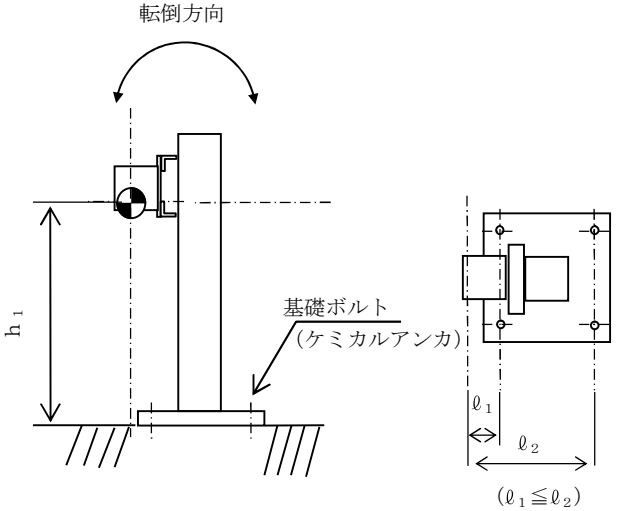
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位（燃料域）	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.83	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（左右方向）



側面（前後方向）

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉水位（燃料域）	常設耐震／防止常設／緩和	EL. 14.00*			－	－	C_H＝1.13	C_V＝0.99	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 原子炉水位（燃料域）

部材	m (kg)	h_1 (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト							2
							2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	前後方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 原子炉水位（燃料域）に作用する力 （単位：N）

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

2.4 結論

2.4.1 原子炉水位（燃料域）の応力 （単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=15$	$f_{ts}=156^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=2$	$f_{sb}=120$

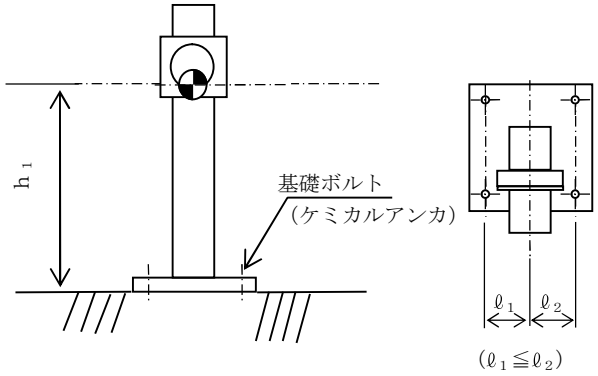
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b, f_{to}]$より算出

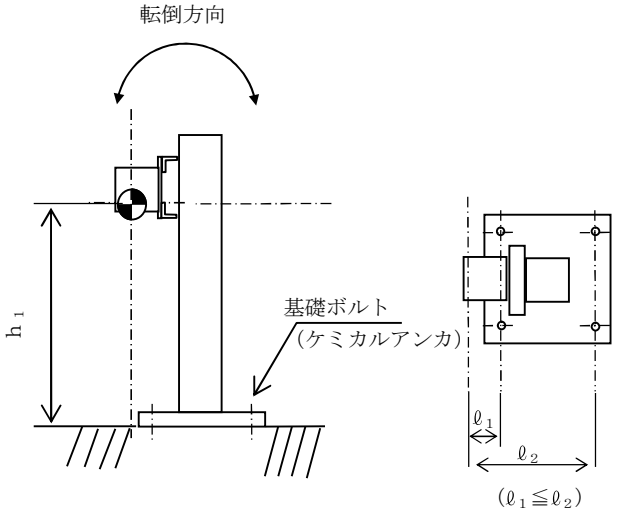
2.4.2 電気的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位（燃料域）	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.83	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（左右方面）



側面（前後方面）

Ⅴ-2-6-5-23　原子炉水位（ＳＡ広帯域）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 4
2.4 記号の説明 ····· 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 7
3. 評価部位 ····· 8
4. 固有周期 ····· 8
4.1 固有値解析方法 ····· 8
4.2 解析モデル及び諸元 ····· 8
4.3 固有値解析結果 ····· 11
5. 構造強度評価 ····· 12
5.1 構造強度評価方法 ····· 12
5.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 12
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 12
5.2.2 許容応力 ····· 12
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 12
5.3 設計用地震力 ····· 15
5.4 計算方法 ····· 16
5.4.1 応力の計算方法 ····· 16
5.5 計算条件 ····· 19
5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件 ····· 19
5.6 応力の評価 ····· 20
5.6.1 ボルトの応力評価 ····· 20
6. 機能維持評価 ····· 21
6.1 電気的機能維持評価方法 ····· 21
7. 評価結果 ····· 22
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 22

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，原子炉水位（ＳＡ広帯域）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

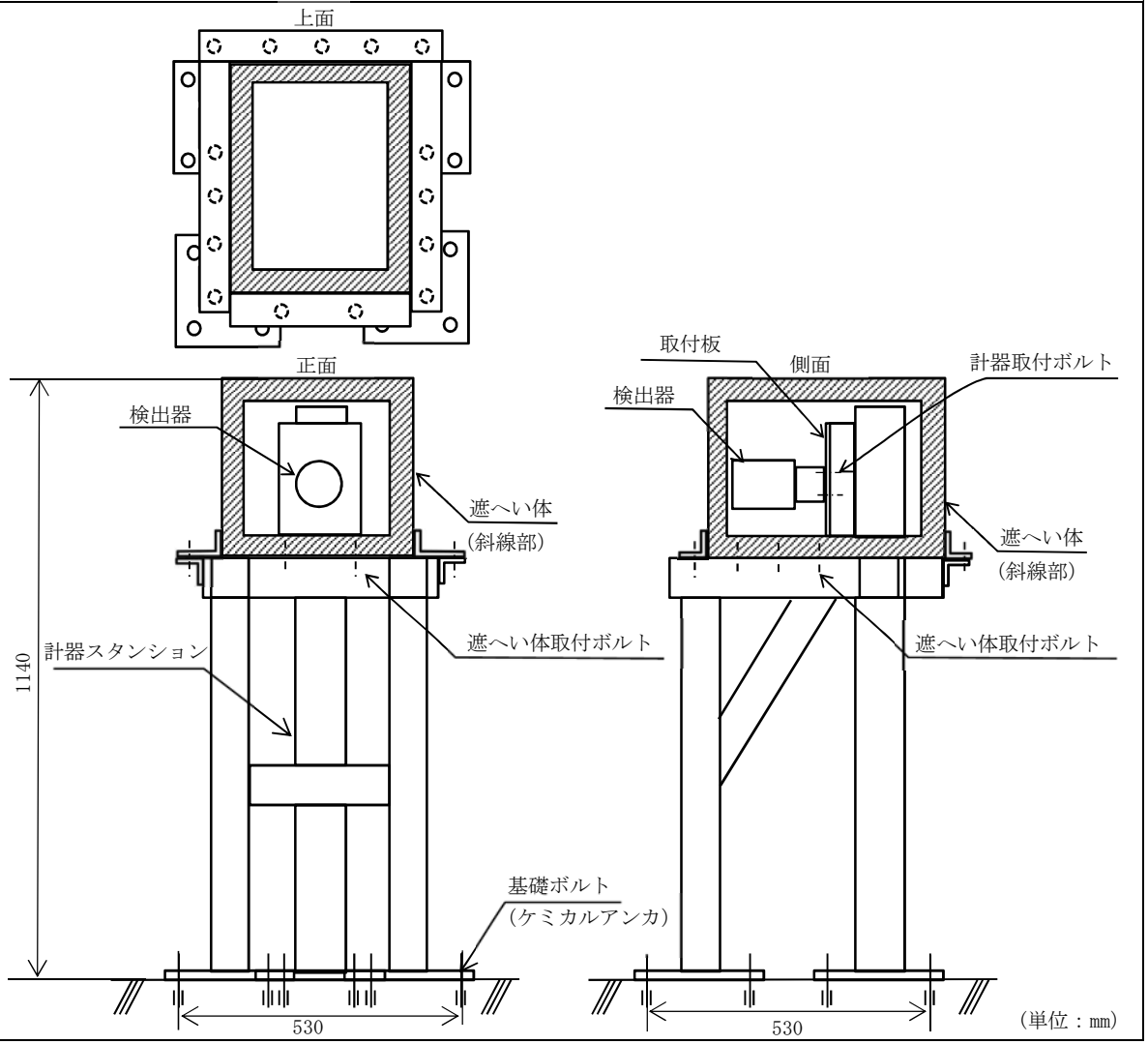
原子炉水位（ＳＡ広帯域）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉水位（ＳＡ広帯域）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。 遮へい体は遮へい体取付ボルトにより，計器スタンションに固定される。	差圧式水位検出器 遮へい体	

2.2　評価方針

原子炉水位（ＳＡ広帯域）の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す原子炉水位（ＳＡ広帯域）の部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「5.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，原子炉水位（ＳＡ広帯域）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「6.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7.　評価結果」に示す。

原子炉水位（ＳＡ広帯域）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

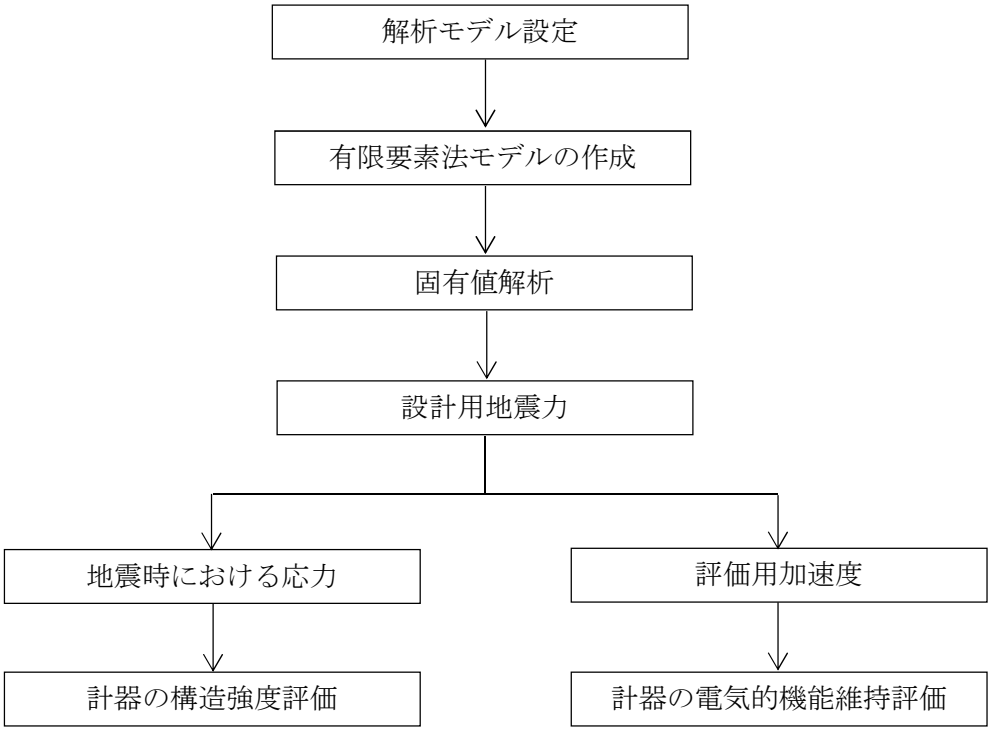


図 2-1　原子炉水位（ＳＡ広帯域）の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））
ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	計器スタンションの断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3131　に定める値	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3133　に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_1	取付面から重心までの距離	mm
I_p	計器スタンションの断面二次極モーメント	mm^4
I_y	計器スタンションの断面二次モーメント（y軸）	mm^4
I_Z	計器スタンションの断面二次モーメント（z軸）	mm^4
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	検出器，弁，計器スタンション及び遮へい体の総質量	kg
m_a	検出器及び弁の質量	kg
m_b	遮へい体の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（ＲＴ）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
Z_p	計器スタンションのねじり断面係数	mm^3
Z_y	計器スタンションの断面係数（ｙ軸）	mm^3
Z_z	計器スタンションの断面係数（ｚ軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記　＊：$\ell_1 \leqq \ell_2$

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積*2	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て,整数位までの値とする。

3. 評価部位

原子炉水位（ＳＡ広帯域）の耐震評価は，「5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部について実施する。原子炉水位（ＳＡ広帯域）の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

原子炉水位（ＳＡ広帯域）の固有値解析方法を「4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

4.2 解析モデル及び諸元

原子炉水位（ＳＡ広帯域）の解析モデルを３次元はりモデルとして図 4-1 に，解析モデルの概要を以下に示す。遮へい体は箱型で検出器を覆うように取り付けられることから，解析モデルにおいて，⑪～㉒の部材で組んだ直方体とみなす。また，計器スタンションは複数の鋼材で組まれ，原子炉建屋床面に 3 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，①～⑩及び㉓の部材で組まれたものとみなし，支持点 3 点で固定されるものとする。解析モデルにおいて，検出器及び弁の質量は質点m_aに集中するものとし，質点m_aは検出器の取付位置に設置する。また，解析モデルにおいて，遮へい体の質量は 8 箇所の質点m_bに分散されるものとし，質点m_bは保守的に遮へい体の取付位置の上部に設置する。機器の諸元を表 4-1，部材の機器要目を表 4-2 に示す。

(1) 図 4-1 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2) 図 4-1 中の は検出器，弁の質点m_a及び遮へい体の質点m_bを示し，質点m_bについては 8 箇所に分散している。なお，質点m_aの質量は□kg，質点m_bの質量は１個あたり□kg で 8 箇所を合計すると□ kg である。

(3) 図 4-1 中の ―― は計器スタンション，－－－ は仮想鋼材， は支持点（計器スタンション基礎部）を示す。

(4) 拘束条件として，基礎部のＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5) 解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値及び荷重を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

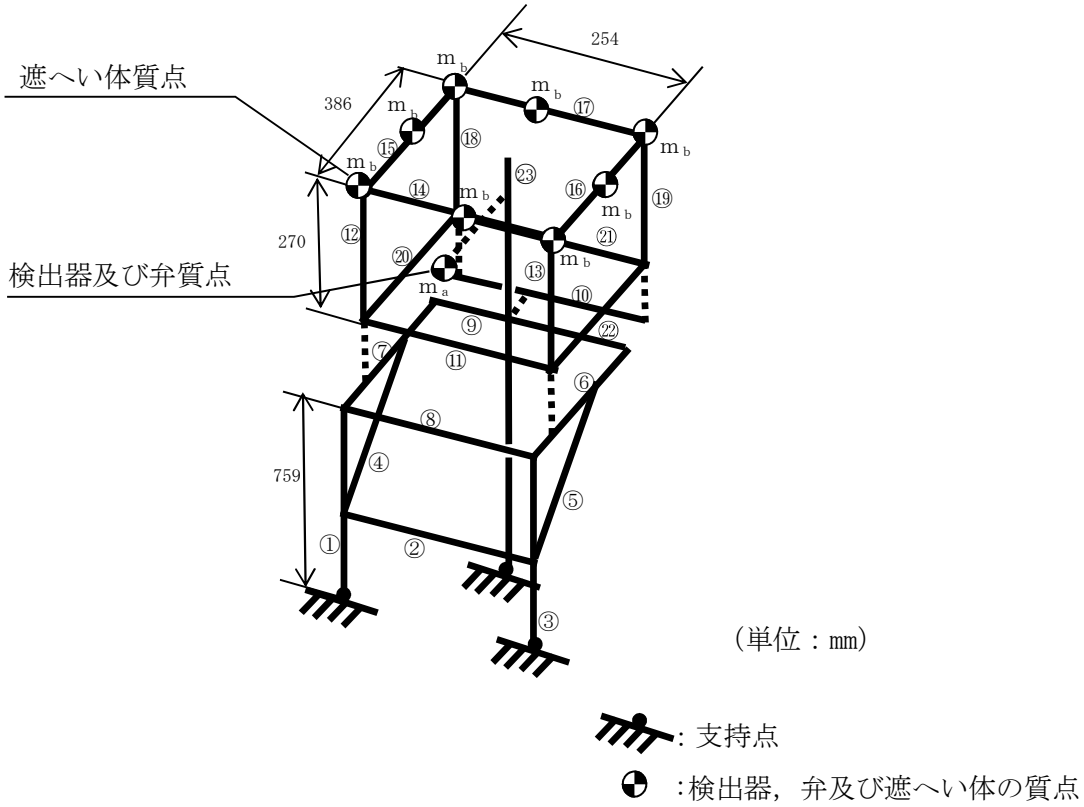


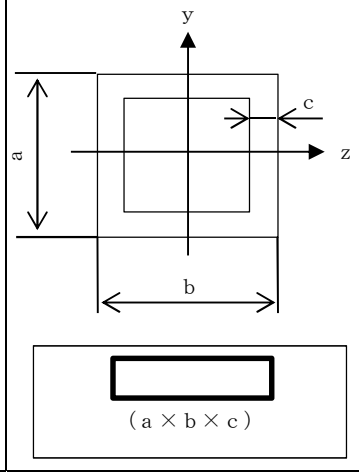
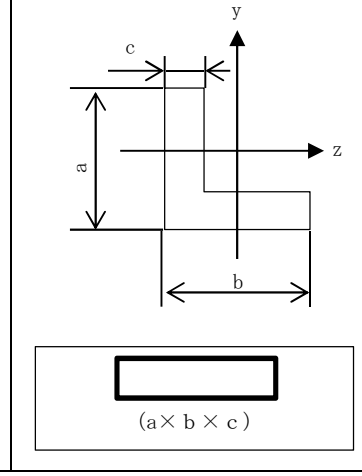
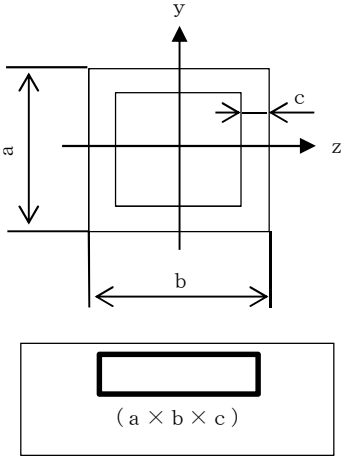
図 4-1　解析モデル

表4-1　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_a	kg	
	m_b		
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

注記　＊：() 内は合計質量を示す。

表 4-2　部材の機器要目

材料			
対象要素	①-⑩	⑪-㉒	㉓
A （mm^2）			
I_y （mm^4）			
I_z （mm^4）			
I_p （mm^4）			
Z_y （mm^3）			
Z_z （mm^3）			
Z_p （mm^3）			
断面形状 （mm）			

4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-3 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表4-3　固有値解析結果

モード	固有周期（s）	卓越方向
１次	[redacted]	水平

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

(1) 地震力は，原子炉水位（ＳＡ広帯域）に対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(2) 原子炉水位（ＳＡ広帯域）は，基礎ボルトにより壁面に固定されるものとする。

(3) 原子炉水位（ＳＡ広帯域）の質量は遮へい体及び遮へい体支持架構を考慮する。

(4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉水位（ＳＡ広帯域）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

原子炉水位（ＳＡ広帯域）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉水位（ＳＡ広帯域）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	原子炉水位（ＳＡ広帯域）	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅣＡＳ	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの 許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

表 5-4　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL. 20.30*1			－	－	C_H＝1.34	C_V＝1.01

注記　＊1：基準床レベルを示す。

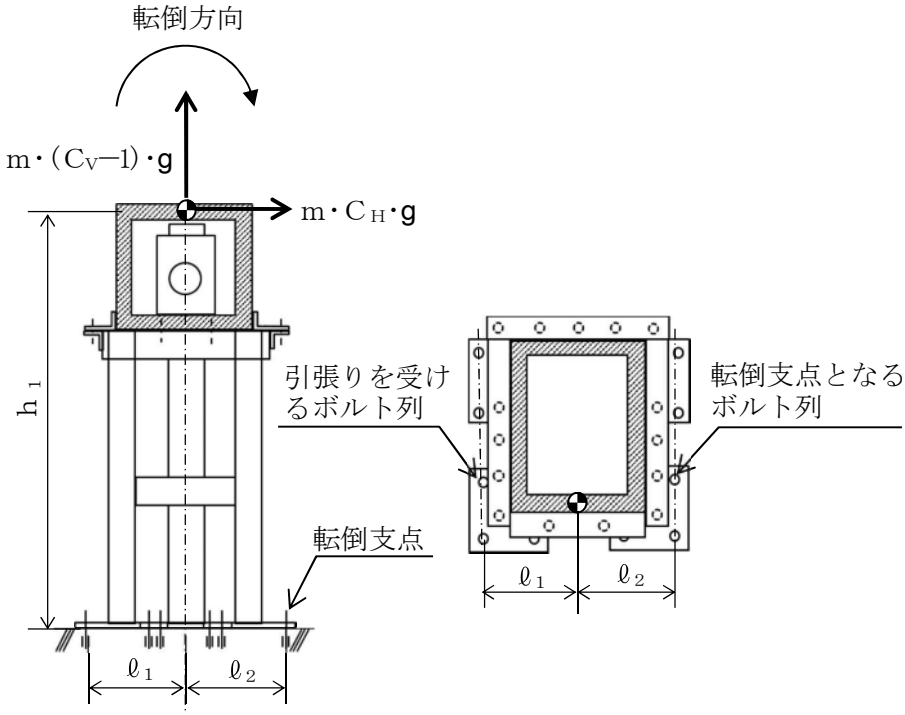
＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

5.4　計算方法

5.4.1　応力の計算方法

5.4.1.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。



$(\ell_1 \leqq \ell_2)$

図5-1（1）　計算モデル
（直立型　正面方向転倒－2（1－C_V）＜0の場合）

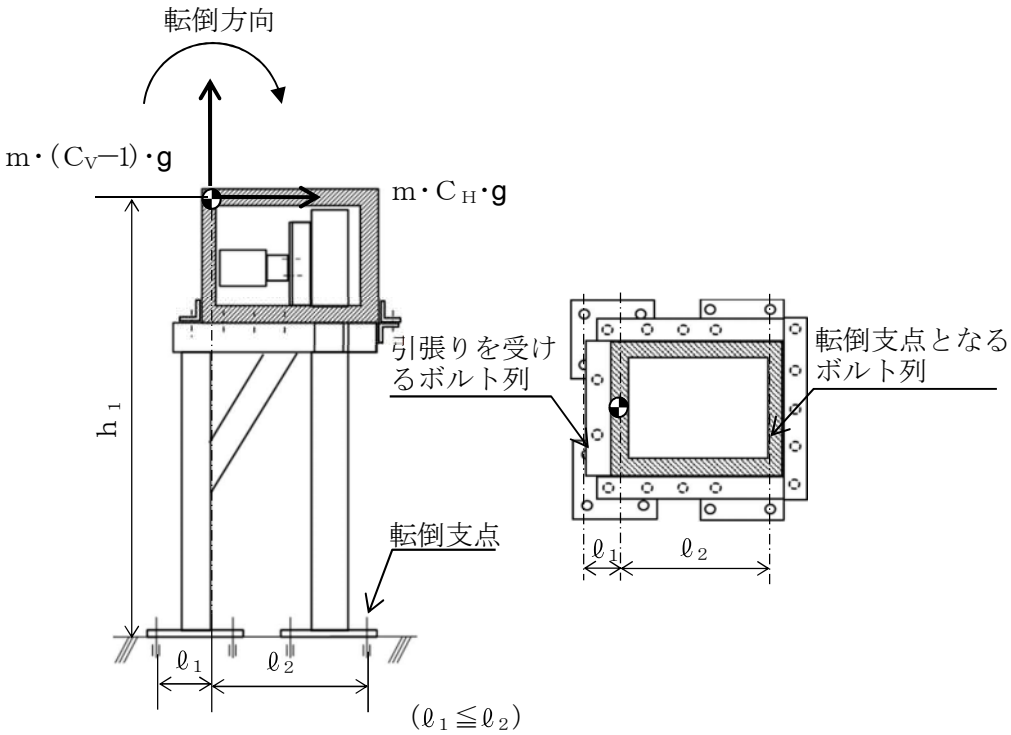


図5-1（2）　計算モデル

（直立型　側面方向転倒－2（1－C_V）＜0の場合）

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図5-1で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図5-1（1）及び図5-1（2）の場合の引張力

$$F_b=\frac{m\cdot g\cdot C_H\cdot h_1-m\cdot g\cdot(1-C_V)\cdot \ell_2}{n_f\cdot(\ell_1+\ell_2)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.1)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.5)$$

5.5　計算条件

5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【原子炉水位（ＳＡ広帯域）の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

5.6　応力の評価

5.6.1　ボルトの応力評価

5.4.1.1 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to} は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし，f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動Ｓ$_d$ 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓ$_s$による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電気的機能維持評価方法

原子炉水位（ＳＡ広帯域）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

原子炉水位（ＳＡ広帯域）の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉水位（ＳＡ広帯域）	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉水位（ＳＡ広帯域）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉水位（ＳＡ広帯域）の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉水位（ＳＡ広帯域）	常設耐震／防止常設／緩和	EL. 20. 30*1			－	－	C_H＝1. 34	C_V＝1. 01	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉水位（ＳＡ広帯域）

部材	m (kg)	h_1 (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト							4
							4

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	前後方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4　結論

1.4.1　ボルトの応力

（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	－	－	$\sigma_b=36$	$f_{ts}=156^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=5$	$f_{sb}=120$

すべて許容応力以下である。

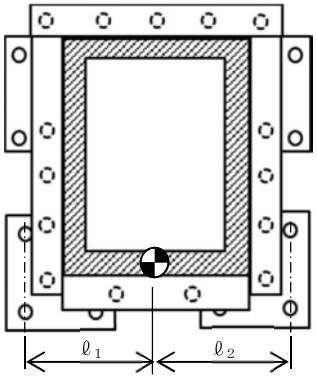
注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2　電気的機能維持の評価結果

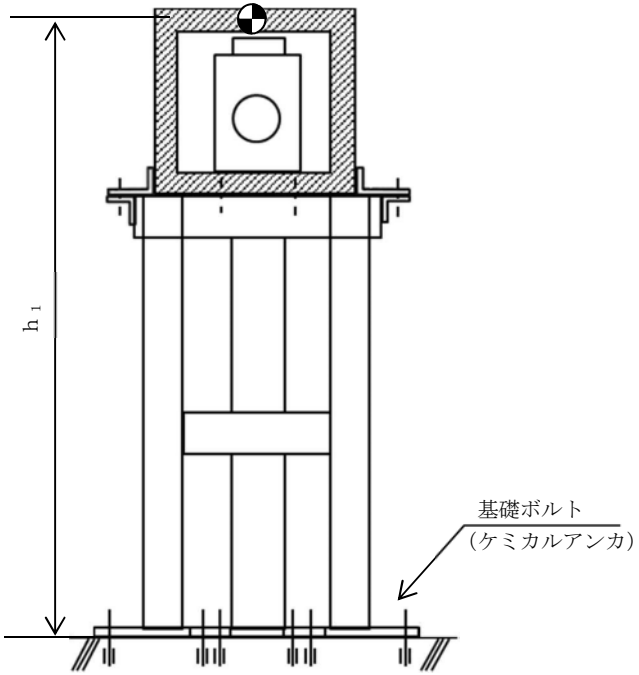
（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位（ＳＡ広帯域）	水平方向	1.11	[redacted]
	鉛直方向	0.84	

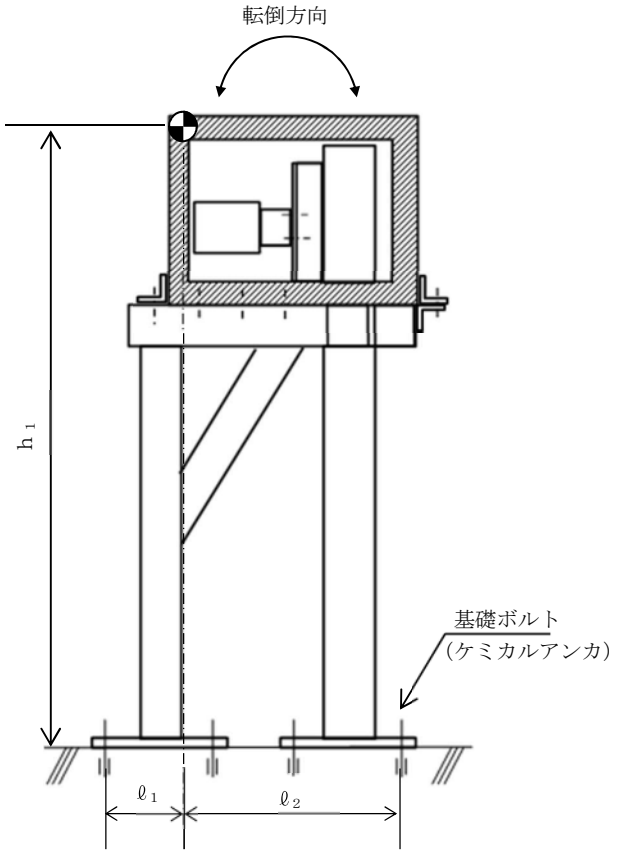
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



(ℓ1≦ℓ2)



正面（左右方向）



側面（前後方向）

Ⅴ-2-6-5-24　原子炉水位（ＳＡ燃料域）の耐震性についての計算書

目　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
3.　固有周期 ····· 3
3.1　固有周期の算出方法 ····· 3
3.2　固有周期の計算条件 ····· 4
3.3　固有周期の計算結果 ····· 4
4.　構造強度評価 ····· 5
4.1　構造強度評価方法 ····· 5
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 5
5.　機能維持評価 ····· 8
5.1　電気的機能維持評価方法 ····· 8
6.　評価結果 ····· 9
6.1　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 9

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，原子炉水位（ＳＡ燃料域）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

原子炉水位（ＳＡ燃料域）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

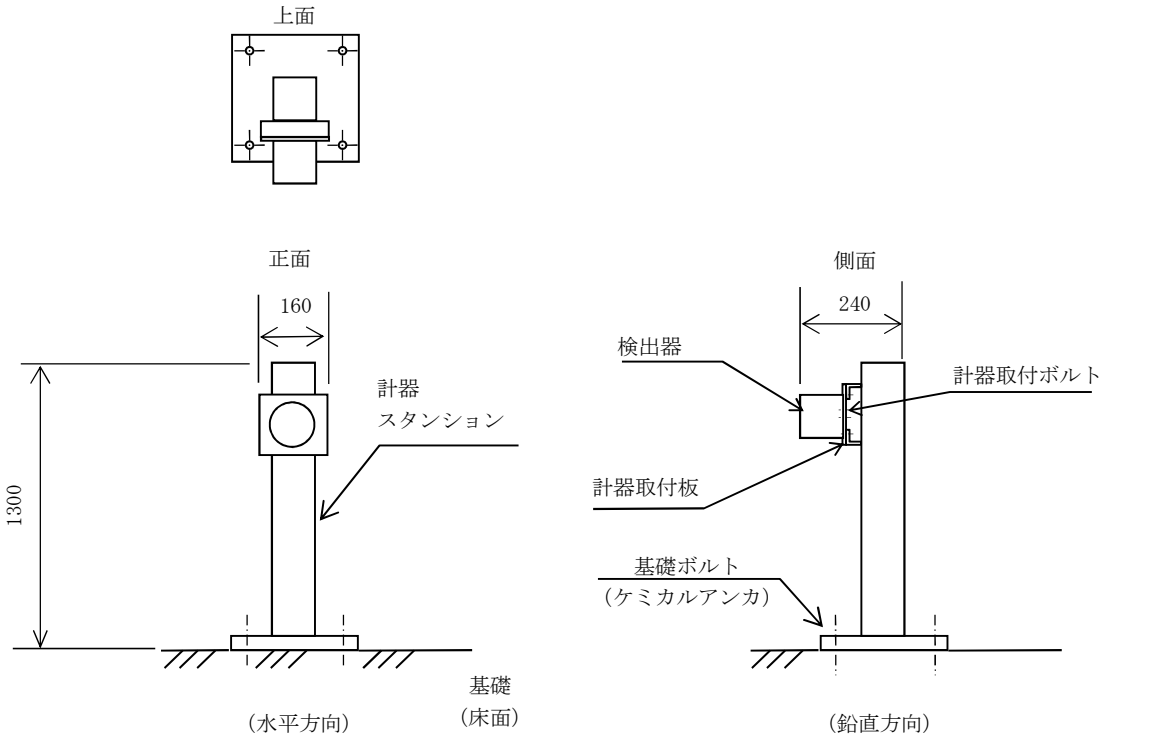
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

原子炉水位（ＳＡ燃料域）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式水位検出器	

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

原子炉水位（ＳＡ燃料域）の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　原子炉水位（ＳＡ燃料域）は，図 3-1 に示す床固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で原子炉建屋床面に固定されているため，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1 点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4)　図 2-1 中の ⊕ は検出器及び計器スタンションの質点，●は計器スタンションの支持点，―は計器スタンションを示す。

3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1{}^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \quad \cdots (3.1.1.1)$$

3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

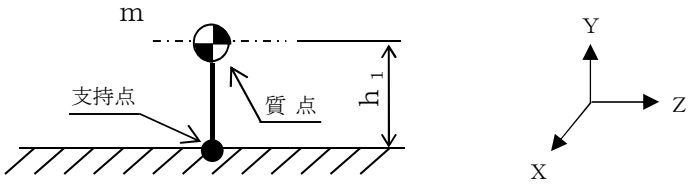
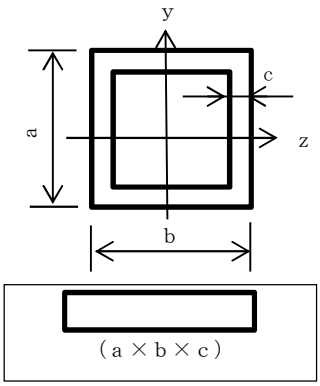


図 3-1　固有周期の計算モデル

3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及びスタンションの質量	m	kg	
取付面から重心までの距離	h_1	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			

3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-2 示す。

表 3-2　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

原子炉水位（ＳＡ燃料域）の構造は直立型計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉水位（ＳＡ燃料域）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2　許容応力

原子炉水位（ＳＡ燃料域）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力

原子炉水位（ＳＡ燃料域）の使用材料の許容応力のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	原子炉水位（ＳＡ燃料域）	常設耐震／防止 常設／緩和	―*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅣＡＳ	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	234	385	－

5.　機能維持評価

5.1　電気的機能維持評価方法

原子炉水位（ＳＡ燃料域）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉水位（ＳＡ燃料域）の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉水位（ＳＡ燃料域）	水平	
	鉛直	

6.　評価結果

6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉水位（ＳＡ燃料域）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉水位（ＳＡ燃料域）の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉水位（ＳＡ燃料域）	常設耐震／防止常設／緩和	EL. 14.00*			－	－	C_H＝1.13	C_V＝0.99	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉水位（ＳＡ燃料域）

部材	m (kg)	h_1 (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト							2
							2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	234	385	－	270	－	前後方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は前後方法転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=15$	$f_{ts}=162^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=2$	$f_{sb}=124$

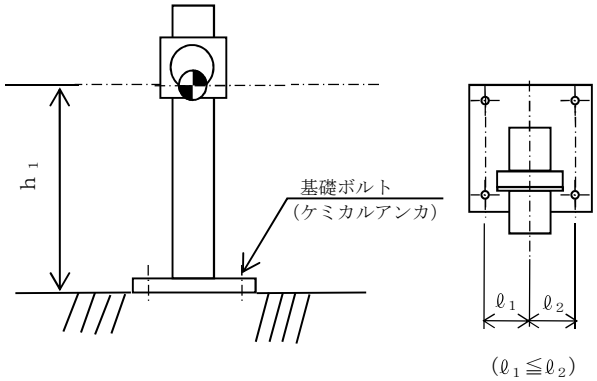
すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b, f_{to}]$より算出

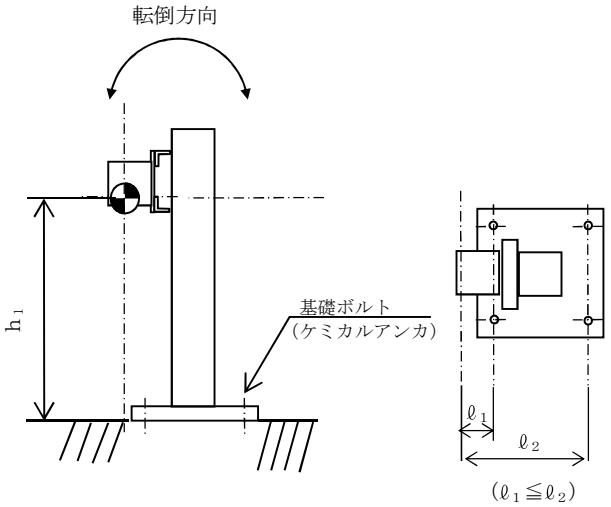
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位計（ＳＡ燃料域）	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.83	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（左右方向）



側面（前後方向）

Ⅴ-2-6-5-25　ドライウェル圧力の耐震性についての計算書

目　　次

1.　ドライウェル圧力（計装ラック）……1
1.1　概要……1
1.2　一般事項……1
1.2.1　構造計画……1
1.3　固有周期……3
1.3.1　固有周期の算出方法……3
1.4　構造強度評価……3
1.4.1　構造強度評価方法……3
1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力……3
1.5　機能維持評価……5
1.5.1　電気的機能維持評価方法……5
1.6　評価結果……5
1.6.1　設計基準対象施設としての評価結果……5
2.　ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51A））……9
2.1　概要……9
2.2　一般事項……9
2.2.1　構造計画……9
2.3　固有周期……11
2.3.1　固有周期の算出方法……11
2.3.2　固有周期の計算条件……12
2.3.3　固有周期の計算結果……12
2.4　構造強度評価……13
2.4.1　構造強度評価方法……13
2.4.2　荷重の組合せ及び許容応力……13
2.5　機能維持評価……15
2.5.1　電気的機能維持評価方法……15
2.6　評価結果……15
2.6.1　設計基準対象施設としての評価結果……15
3.　ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51B））……18
3.1　概要……18
3.2　一般事項……18
3.2.1　構造計画……18
3.3　固有周期……20
3.3.1　固有周期の算出方法……20
3.3.2　固有周期の計算条件……21
3.3.3　固有周期の計算結果……21
3.4　構造強度評価……22
3.4.1　構造強度評価方法……22
3.4.2　荷重の組合せ及び許容応力……22
3.5　機能維持評価……24
3.5.1　電気的機能維持評価方法……24
3.6　評価結果……24
3.6.1　設計基準対象施設としての評価結果……24
4.　ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））……28
4.1　概要……28
4.2　一般事項……28
4.2.1　構造計画……28
4.2.2　評価方針……30
4.2.3　適用基準……31

4.2.4　記号の説明 32
4.2.5　計算精度と数値の丸め方 33
4.3　評価部位 34
4.4　固有周期 34
4.4.1　固有周期の算出方法 34
4.4.2　固有周期の計算条件 35
4.4.3　固有周期の計算結果 35
4.5　構造強度評価 36
4.5.1　構造強度評価方法 36
4.5.2　荷重の組合せ及び許容応力 36
4.5.3　設計用地震力 39
4.5.4　計算方法 40
4.5.5　計算条件 42
4.5.6　応力の評価 42
4.6　機能維持評価 43
4.6.1　電気的機能維持評価方法 43
4.7　評価結果 44
4.7.1　重大事故等対処設備としての評価結果 44
5.　ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体 48
5.1　概要 48
5.2　一般事項 48
5.2.1　構造計画 48
5.2.2　評価方針 50
5.2.3　適用基準 51
5.2.4　記号の説明 52
5.2.5　計算精度と数値の丸め方 54
5.3　評価部位 55
5.4　固有周期 55
5.4.1　固有値解析方法 55
5.4.2　解析モデル及び諸元 55
5.4.3　固有値解析結果 58
5.5　構造強度評価 59
5.5.1　構造強度評価方法 59
5.5.2　荷重の組合せ及び許容応力 59
5.5.3　設計用地震力 62
5.5.4　計算方法 63
5.5.5　計算条件 65
5.5.6　応力の評価 65
5.6　評価結果 66
5.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果 66

1.　ドライウェル圧力（計装ラック）

1.1　概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，ドライウェル圧力（計装ラック）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

ドライウェル圧力（計装ラック）は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお，構造強度評価については，計装ラックの取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また，電気的機能維持評価については，評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電気的機能維持評価に用いる評価用加速度は，設置床高さが同じで計装ラックが剛構造の場合は同じ加速度となることから，構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1　概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
PT-B22-N067A（代表） PT-B22-N067B PT-B22-N067C（代表） PT-B22-N067D PT-B22-N094A PT-B22-N094B PT-B22-N094C PT-B22-N094D PT-C72-N050A（代表） PT-C72-N050B PT-C72-N050C PT-C72-N050D	Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針	表 1-2　構造計画

1.2　一般事項

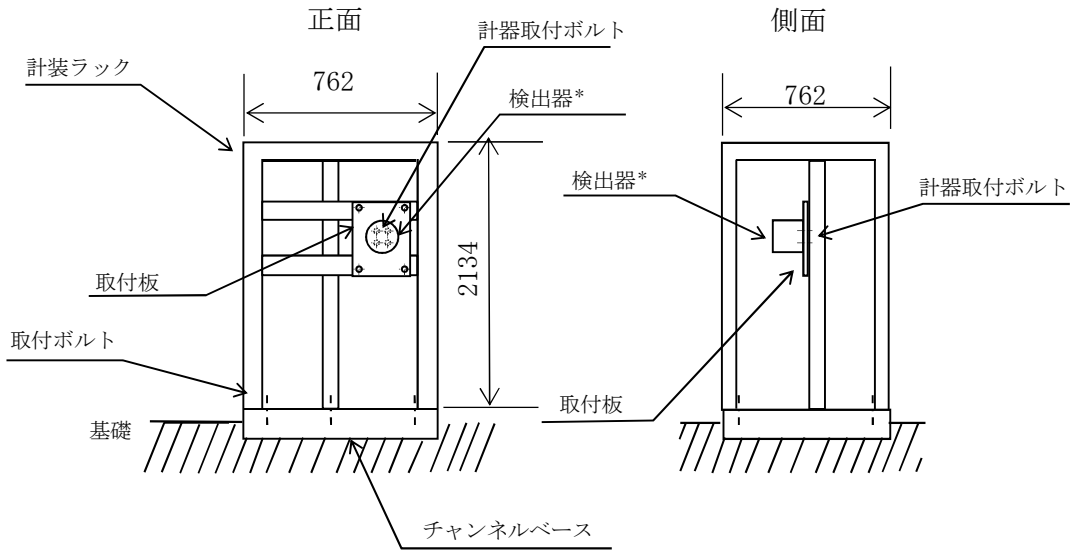
ドライウェル圧力（計装ラック）は,添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

1.2.1　構造計画

ドライウェル圧力（計装ラック）の構造計画を表 1-2 に示す。

NT2 補② Ⅴ-2-6-5-25 R1

表 1-2　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。 計装ラックは，基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	【H22-P004B(PT-B22-N067A,PT-B22-N067C,PT-C72-N050A)】  注記　＊：検出器は代表して１台を示す。 （単位：mm）

1.3　固有周期

1.3.1　固有周期の算出方法

ドライウェル圧力（計装ラック）は，プラスチックハンマ等により，当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ，振動計，分析器）により測定する。測定の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。固有周期を表 1-3 に示す。

表 1-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

1.4　構造強度評価

1.4.1　構造強度評価方法

ドライウェル圧力（計装ラック）の構造は直立形計装ラックであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

(1)　荷重の組合せ及び許容応力状態

ドライウェル圧力（計装ラック）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 1-4 に示す。

(2)　許容応力

ドライウェル圧力（計装ラック）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 のとおりとする。

(3)　使用材料の許容応力評価条件

ドライウェル圧力（計装ラック）の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 1-6 に示す。

表 1-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	ドライウェル圧力	S	－*1	$D+P_D+M_D+S_d$*2	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

注記　*1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。
　　*2：S_sと組合せ，$\mathrm{III}_A S$の評価を実施する。

表 1-5　許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2（ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$\mathrm{III}_A S$	1.5・f_t	1.5・f_s
$\mathrm{IV}_A S$	1.5・f_t*	1.5・f_s*

注記　*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。
　　*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-6　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件（℃）		S_{yi}（MPa）	S_{ui}（MPa）	$S_{yi}(RT)$（MPa）
取付ボルト（i＝2）	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	235	400	－

1.5　機能維持評価

1.5.1　電気的機能維持評価方法

ドライウェル圧力（計装ラック）の地震後の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

ドライウェル圧力（計装ラック）の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-7 に示す。

表 1-7　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
ドライウェル圧力	水平	
	鉛直	

1.6　評価結果

1.6.1　設計基準対象施設としての評価結果

ドライウェル圧力（計装ラック）の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ドライウェル圧力（計装ラック(H22-P004B(PT-B22-N067A,PT-B22-N067C,PT-C72-N050A)))の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
ドライウェル圧力	S	EL.20.30*			C_H=0.78	C_V=0.54	C_H=1.34	C_V=1.01	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 ドライウェル圧力

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i=2)							3
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i＝2)		引張り	σ_{b2}＝17	f_{ts2}＝176*	σ_{b2}＝30	f_{ts2}＝210*
		せん断	τ_{b2}＝3	f_{sb2}＝135	τ_{b2}＝4	f_{sb2}＝161

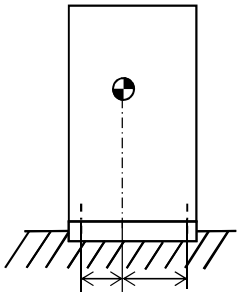
すべて許容応力以下である。

注記＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

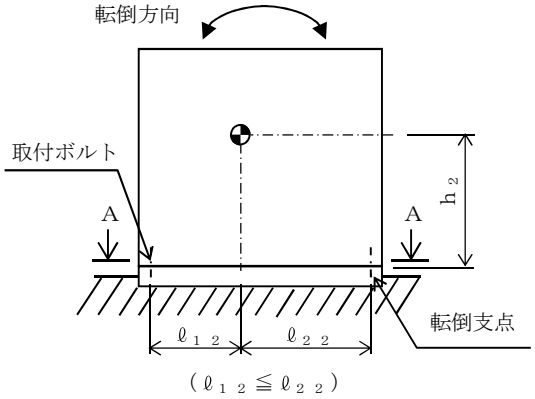
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ドライウェル圧力	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

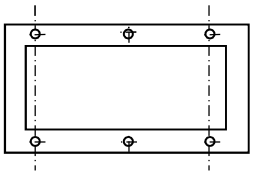
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



A～A矢視図

2. ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51A））

2.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51A））が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51A））は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

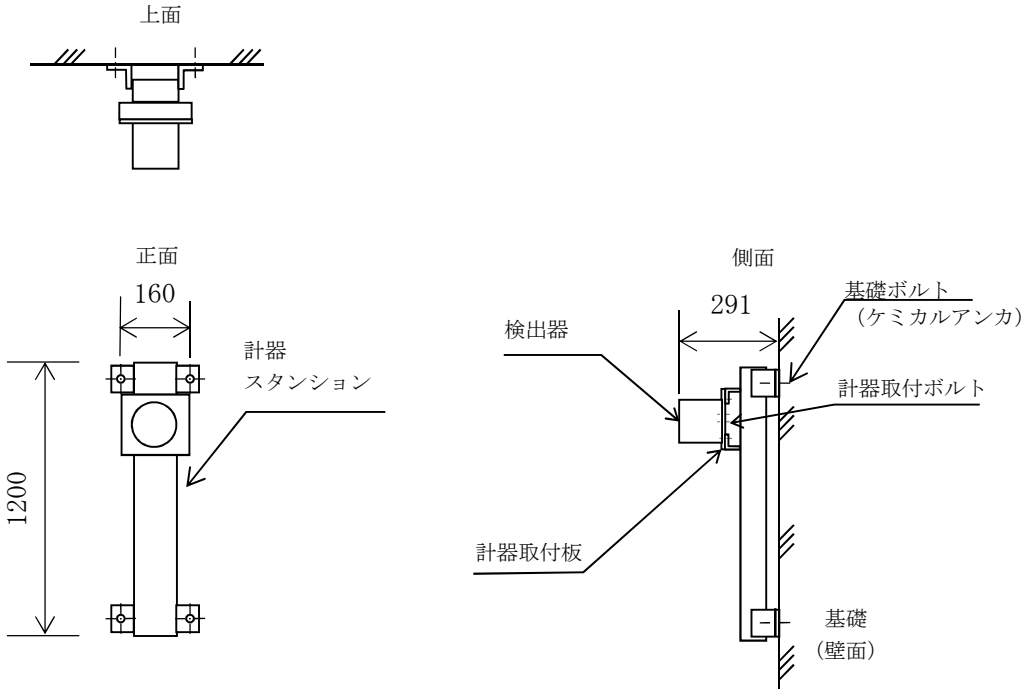
2.2 一般事項

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51A））は,添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.2.1 構造計画

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51A））の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	【PT-26-79.51A】  （単位：mm）

2.3 固有周期

2.3.1 固有周期の算出方法

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51A））の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51A））は，図 2-1 に示す壁固定の１質点系振動モデルとして考える。

(2) 計器スタンションは鋼材で上下２箇所を原子炉建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）２点で固定されるものとする。

(3) 検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は計器スタンションの中心に設定する。

(4) 図 2-1 中の ⊕ は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，━ は計器スタンションを示す。

2.3.1.1 水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1) Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{\ell_b{}^3}{48 \cdot E \cdot I} + \frac{\ell_b}{4 \cdot A_s \cdot G} \right)} \quad \cdots (2.3.1.1.1)$$

2.3.1.2 鉛直方向（Ｙ方向）

(1) Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

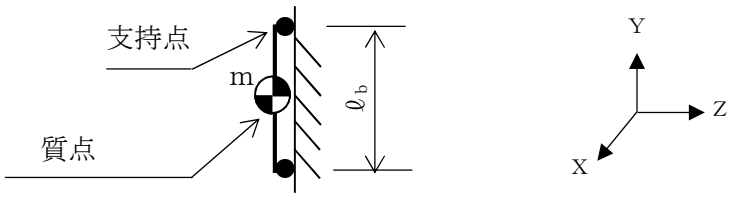
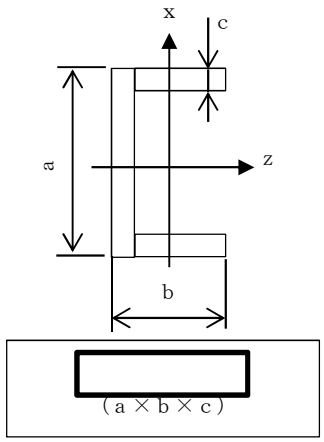


図 2-1 固有周期の計算モデル

2.3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 2-2 に示す。

表 2-2　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
上下ボルト間の距離（壁掛形）	ℓ_b	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状(mm)			

2.3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 2-3 に示す。

表 2-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

注記　＊：水平方向は固有周期が長いＺ方向の固有周期を示す。

2.4　構造強度評価

2.4.1　構造強度評価方法

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51A））の構造は壁掛形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

2.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

2.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51A））の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2-4 に示す。

2.4.2.2　許容応力

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51A））の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 2-5 のとおりとする。

2.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51A））の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

表 2-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	ドライウェル圧力	S	－*1	$D+P_D+M_D+S_d$*2	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

注記　*1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*2：S_sと組合せ，$\mathrm{III}_A S$の評価を実施する。

表 2-5　許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2（ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$\mathrm{III}_A S$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
$\mathrm{IV}_A S$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*

注記　*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-6　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件（℃）		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		245	400	－

2.5　機能維持評価

2.5.1　電気的機能維持評価方法

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51A））の地震後の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51A））の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-7 に示す。

表 2-7　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
ドライウェル圧力	水平	
	鉛直	

2.6　評価結果

2.6.1　設計基準対象施設としての評価結果

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51A））の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ドライウェル圧力(計器スタンション（PT-26-79.51A)）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
ドライウェル圧力	S	EL.20.30 (EL.29.00*1)			C_H=0.88	C_V=0.62	C_H=1.55	C_V=1.17	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 ドライウェル圧力

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	245	400	245	280	水平方向	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=147^*$	$\sigma_b=3$	$f_{ts}=168^*$
		せん断	$\tau_b=2$	$f_{sb}=113$	$\tau_b=2$	$f_{sb}=129$

すべて許容応力以下である。

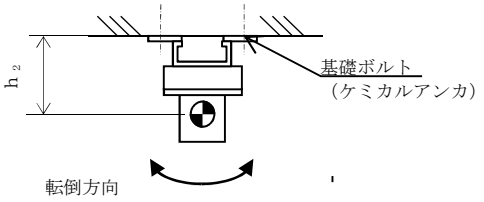
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot\tau_b,\ f_{to}]$より算出

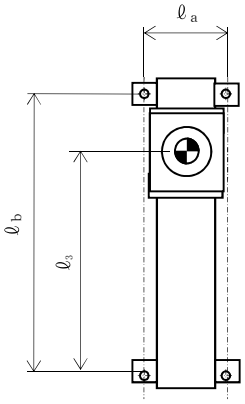
1.4.2 電気的機能維持の評価結果

（×9.8 m/s²）

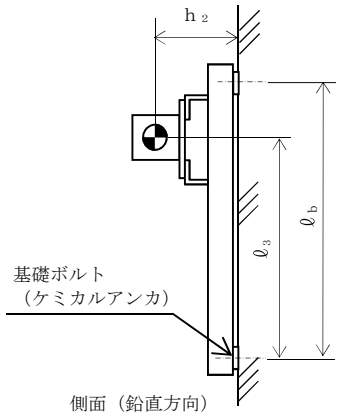
		評価用加速度	機能確認済加速度
ドライウェル圧力	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

3. ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51B））

3.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51B））が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51B））は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

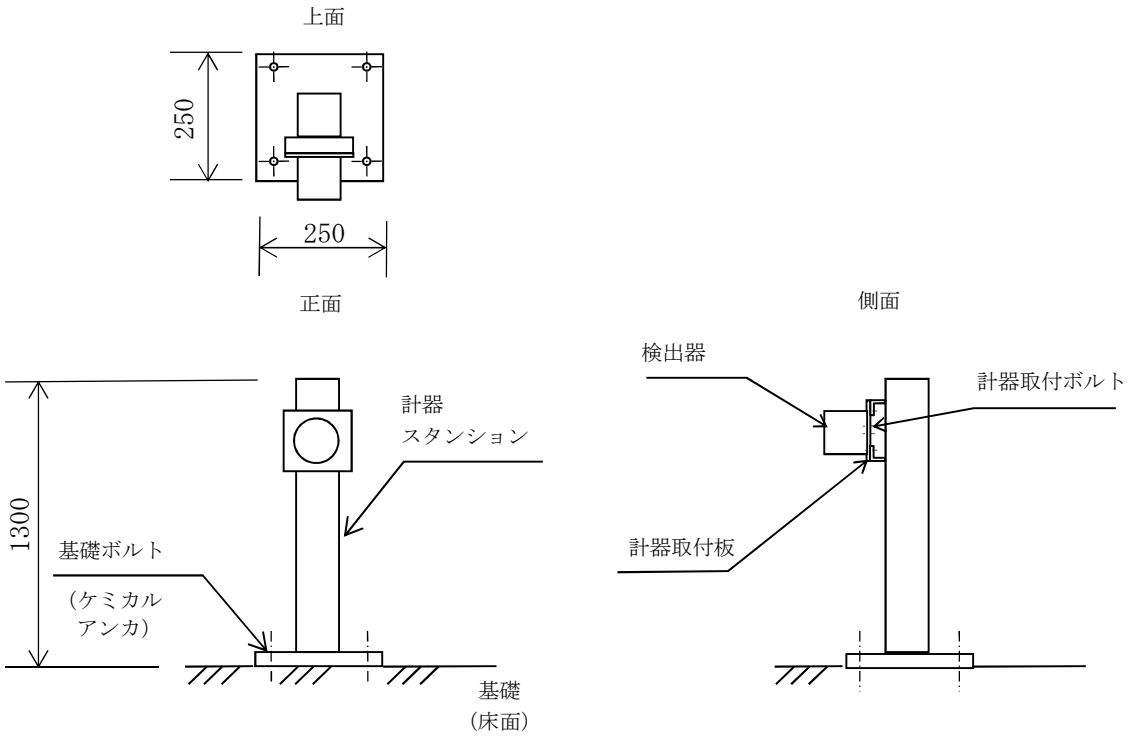
3.2 一般事項

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51B））は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

3.2.1 構造計画

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51B））の構造計画を表 3-1 に示す。

表 3-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	【PT-26-79.51B】  （単位：mm）

3.3　固有周期

3.3.1　固有周期の算出方法

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51B））の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51B））は，図 3-1 に示す床固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で原子炉建屋床面に固定されているため，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1 点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4)　図 3-1 中の ⊕ は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，━ は計器スタンションを示す。

3.3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{h_1{}^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{h_1}{A_s\cdot G}\right)} \qquad \cdots(3.3.1.1.1)$$

3.3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

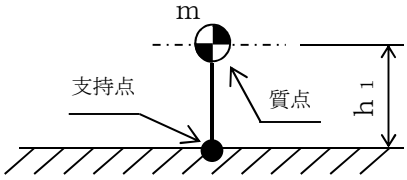
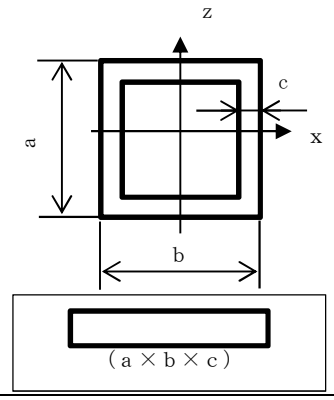


図 3-1　固有周期の計算モデル

3.3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-2 に示す。

表 3-2　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
取付面から重心までの距離	h_1	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			

3.3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-3 示す。

表 3-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

3.4　構造強度評価

3.4.1　構造強度評価方法

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51B））の構造は直立形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

3.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51B））の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に示す。

3.4.2.2　許容応力

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51B））の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 3-5 のとおりとする。

3.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51B））の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-6 に示す。

表 3-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	ドライウェル圧力	S	－*1	$D+P_D+M_D+S_d$ *2	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

注記　*1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*2：S_sと組合せ，$\mathrm{III}_A S$の評価を実施する。

表 3-5　許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2（ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$\mathrm{III}_A S$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
$\mathrm{IV}_A S$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*

注記　*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-6　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件（℃）		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	245	400	－

3.5　機能維持評価

3.5.1　電気的機能維持評価方法

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51B））の地震後の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51B））の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 3-7 に示す。

表 3-7　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
ドライウェル圧力	水平	
	鉛直	

3.6　評価結果

3.6.1　設計基準対象施設としての評価結果

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.51B））の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ドライウェル圧力(計器スタンション（PT-26-79.51B)）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
ドライウェル圧力	S	EL.20.30*			C_H=0.78	C_V=0.54	C_H=1.34	C_V=1.01	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 ドライウェル圧力

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト							2
							2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	245	400	245	280	前後方向	前後方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b=9$	$f_{ts}=147^*$	$\sigma_b=16$	$f_{ts}=168^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=113$	$\tau_b=2$	$f_{sb}=129$

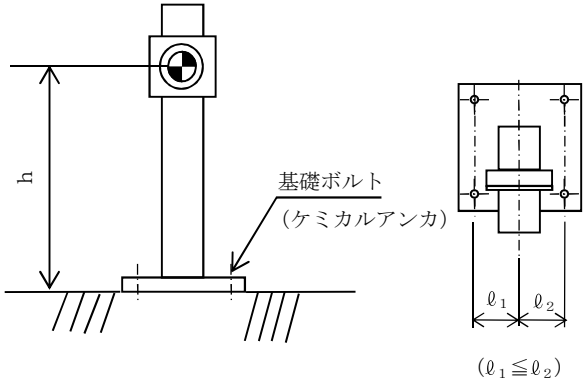
すべて許容応力以下である。

注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

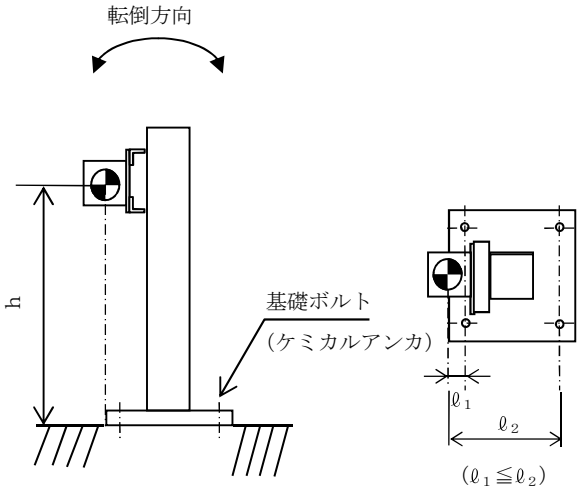
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8 m/s^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ドライウェル圧力	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（左右方向）



側面（前後方向）

4. ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））

4.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

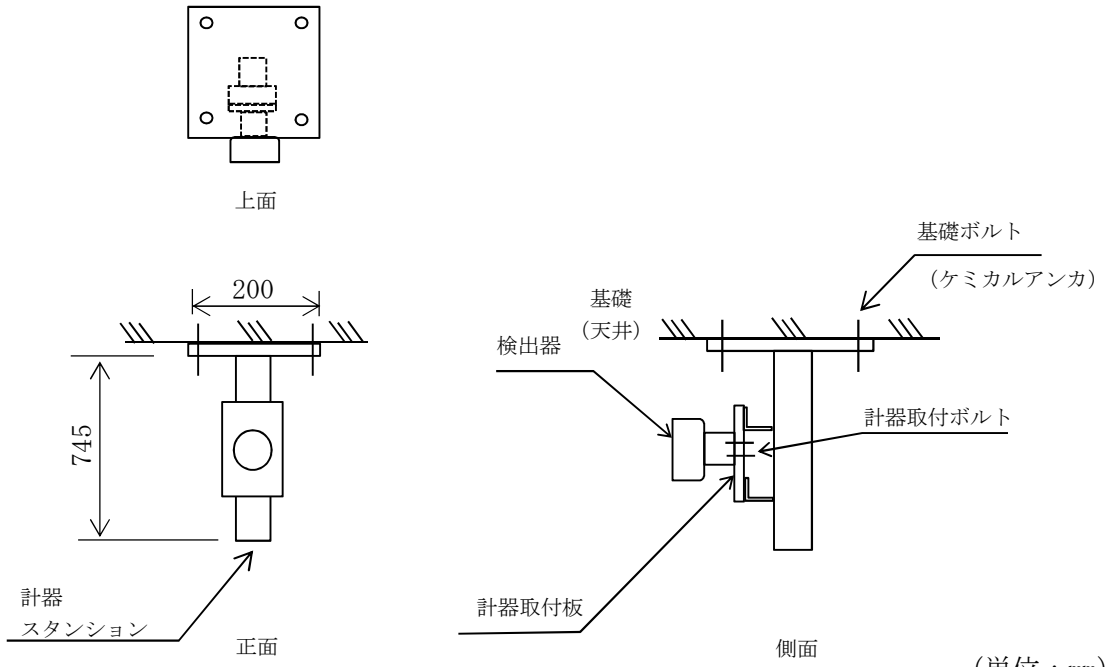
ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

4.2 一般事項

4.2.1 構造計画

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））の構造計画を表 4-1 に示す。

表 4-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	【PT-26-79.60】  （単位：mm）

4.2.2　評価方針

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「4.2.1　構造計画」にて示すドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））の部位を踏まえ「4.3　評価部位」にて設定する箇所において，「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.5　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「4.6　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「4.7　評価結果」に示す。

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））の耐震評価フローを図 4-1 に示す。

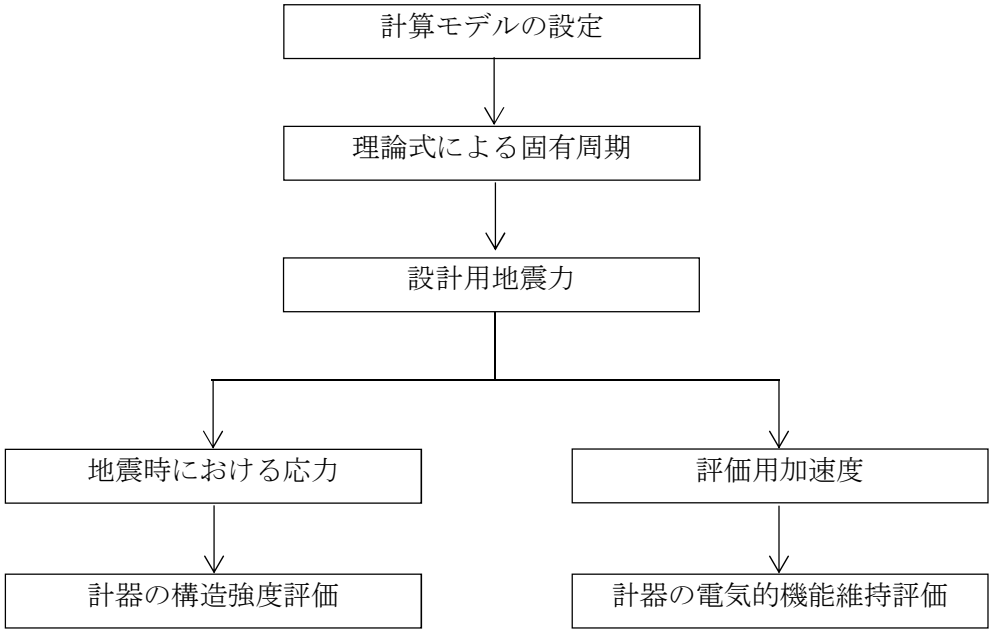


図 4-1　ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））の耐震評価フロー

4.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

4.2.4　記号の説明

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
A_S	計器スタンションの断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
G	せん断弾性係数	MPa
h_1	取付面から重心までの距離	mm
I	計器スタンションの断面二次モーメント	mm^4
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	検出器質点の質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
T	固有周期	s
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記　＊：$\ell_1 \leqq \ell_2$

4.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表 4-2 に示すとおりとする。

表 4-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	－	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

4.3　評価部位

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））の耐震評価は，「4.5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））の耐震評価部位については，表 4-1 の概略構造図に示す。

4.4　固有周期

4.4.1　固有周期の算出方法

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））は，図 4-2 に示す天井固定の１質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で原子炉建屋天井に固定されているため，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1 点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4)　図 4-2 中の ◓ は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，━は計器スタンションを示す。

4.4.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \qquad \cdots (4.4.1.1.1)$$

4.4.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

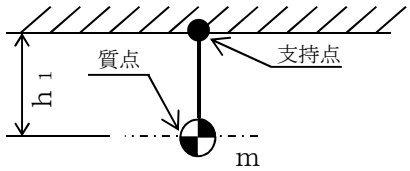


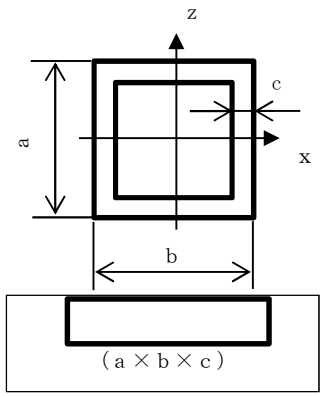
図 4-2　固有周期の計算モデル

NT2 補② V-2-6-5-25 R1

4.4.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 4-3 に示す。

表 4-3　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
取付面から重心までの距離	h_1	mm	
計器スタンションの材質	―	―	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			

4.4.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 4-3 示す。

表 4-4　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4.5　構造強度評価

4.5.1　構造強度評価方法

(1)　ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））の質量は質点に集中するものとする。

(2)　地震力はドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））に対して水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(3)　検出器は天井に基礎ボルトで固定されるものとする。

(4)　転倒方向は，図 4-3 計算モデルにおける短辺方向及び長辺方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

(5)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.5.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

4.5.2.2　許容応力

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-6 のとおりとする。

4.5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-7 に示す。

表 4-5　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	ドライウェル圧力	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$\mathrm{IV_AS}$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$\mathrm{V_AS}$ （$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-6　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅣＡＳ	1.5・ｆ$_t$*	1.5・ｆ$_s$*
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-7　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 （℃）		Ｓ$_y$ （MPa）	Ｓ$_u$ （MPa）	Ｓ$_y$（ＲＴ） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

4.5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-8 に示す。

表 4-8　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
[redacted] EL. 29.00 (EL. 34.70*1)	[redacted]		－	－	C_H＝1.64	C_V＝1.34

注記　＊1：基準床レベルを示す。
　　＊2：固有周期は十分小さく，計算は省略する。

4.5.4　計算方法

4.5.4.1　基礎ボルトの算出方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

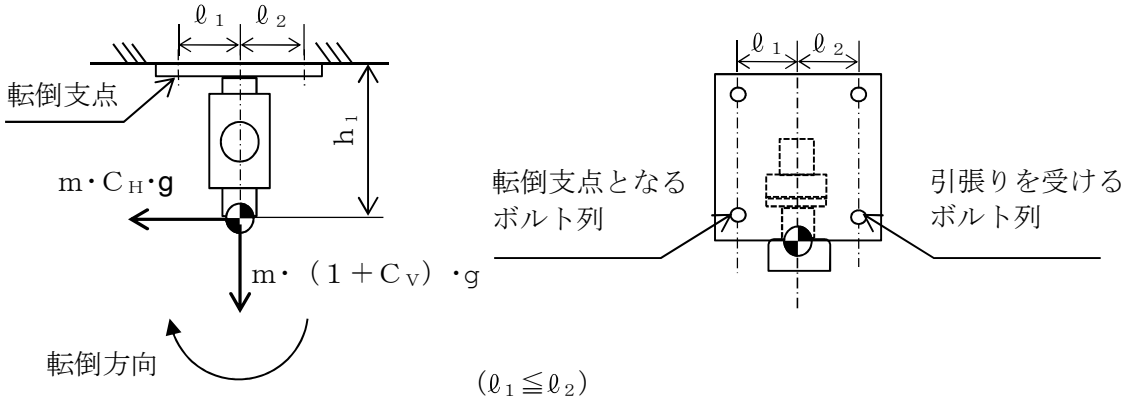


図4-3(1)　ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））計算モデル
（直立形　正面方向転倒の場合）

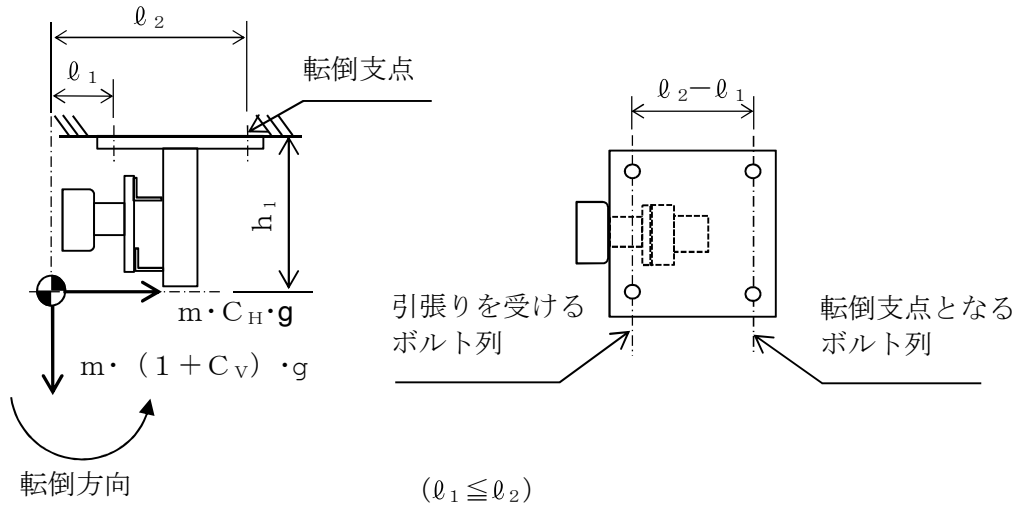


図4-3(2)　ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））計算モデル
（直立形　側面方向転倒の場合）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図4-3で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図4-3(1)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 + m \cdot g \cdot (1 + C_V) \cdot \ell_1}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \quad \cdots\cdots\cdots (4.5.4.1.1)$$

計算モデル図4-3(2)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 + m \cdot g \cdot (1 + C_V) \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_2 - \ell_1)} \quad \cdots\cdots\cdots (4.5.4.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots (4.5.4.1.3)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots (4.5.4.1.4)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots (4.5.4.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots (4.5.4.1.6)$$

4.5.5　計算条件

4.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.5.6　応力の評価

4.5.6.1　ボルトの応力評価

4.5.4.1 項で求めたボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。ただし，f_{to}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (4.5.6.1.1)$$

せん断応力τ_bはせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。ただし，f_{sb}は下表による。

	弾性設計用地震動S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

4.6　機能維持評価

4.6.1　電気的機能維持評価方法

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））の地震後の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-9 に示す。

表 4-9　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
ドライウェル圧力	水平	
	鉛直	

4.7　評価結果

4.7.1　重大事故等対処設備としての評価結果

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ドライウェル圧力(PT-26-79.60)の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
ドライウェル圧力	常設耐震／防止 常設／緩和	EL.29.00 (EL.34.70*1)			－	－	C_H=1.64	C_V=1.34	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 ドライウェル圧力

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f
基礎ボルト							2
							2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	前後方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=11$	$f_{ts}=156$*
		せん断	－	－	$\tau_b=2$	$f_{sb}=120$

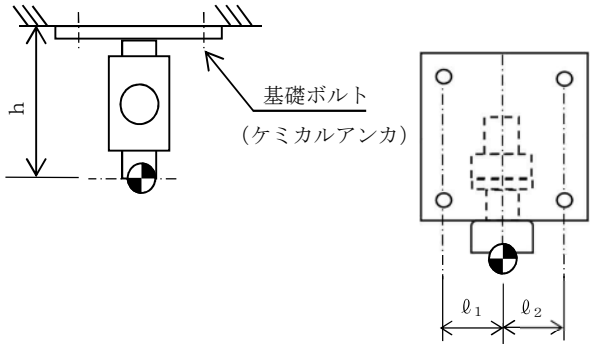
すべて許容応力以下である。

注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

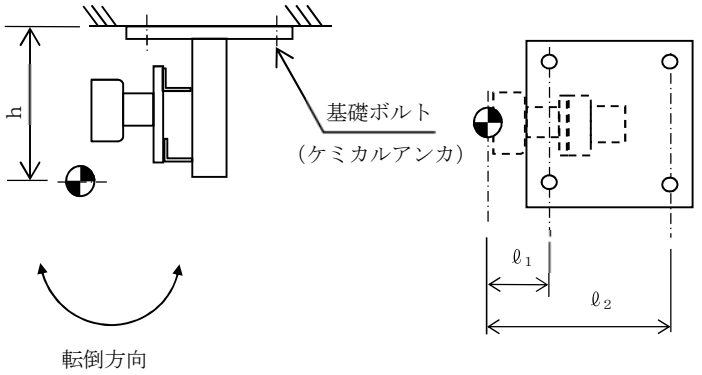
		評価用加速度	機能確認済加速度
ドライウェル圧力	水平方向	1.37	
	鉛直方向	1.11	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



（$\ell_1 \leqq \ell_2$）

正面（左右方向）



（$\ell_1 \leqq \ell_2$）

側面（前後方向）

5. ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体

5.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき，ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

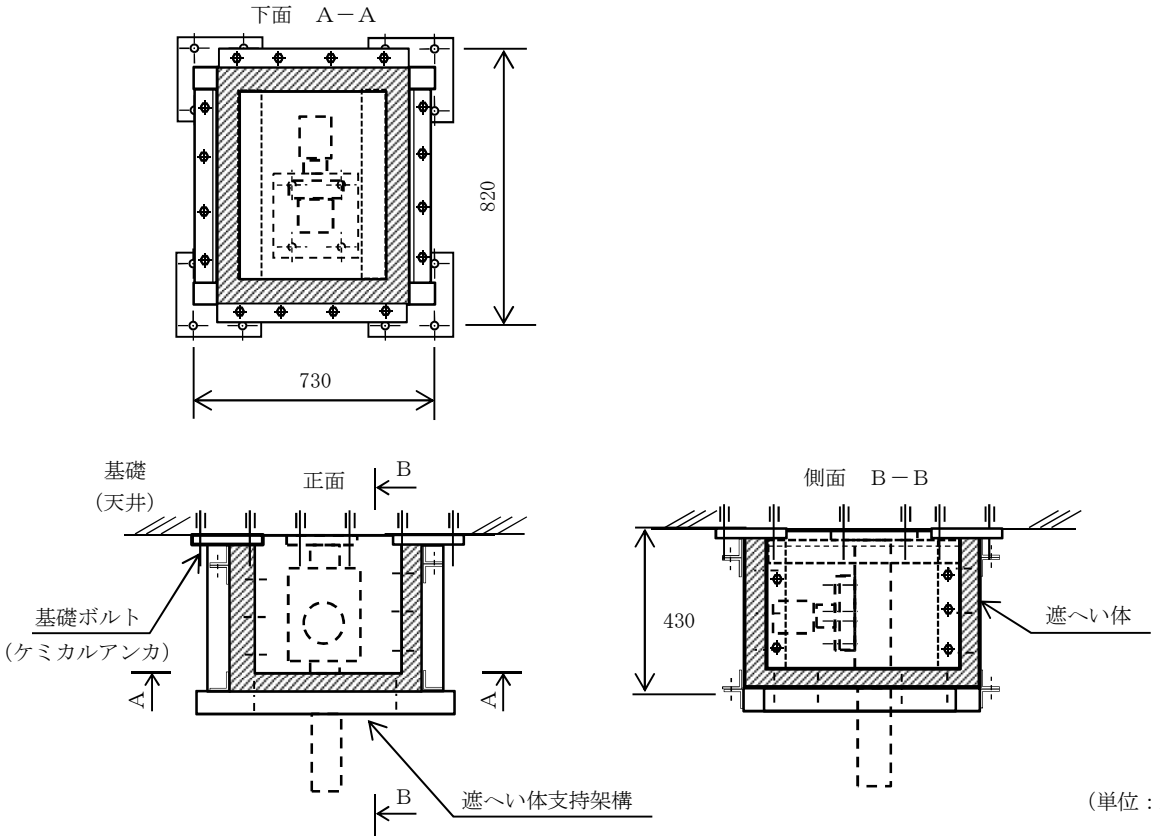
5.2 一般事項

5.2.1 構造計画

ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体の構造計画を表 5-1 に示す。

表 5-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
遮へい体は，遮へい体支持架構に固定され，遮へい体支持架構は，基礎に基礎ボルトで設置する。	遮へい体	【PT-26-79.60 用遮へい体】



5.2.2　評価方針

ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「5.2.1　構造計画」にて示すドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体の部位を踏まえ「5.3　評価部位」にて設定する箇所において，「5.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「5.5　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.6　評価結果」に示す。

ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体の耐震評価フローを図 5-1 に示す。

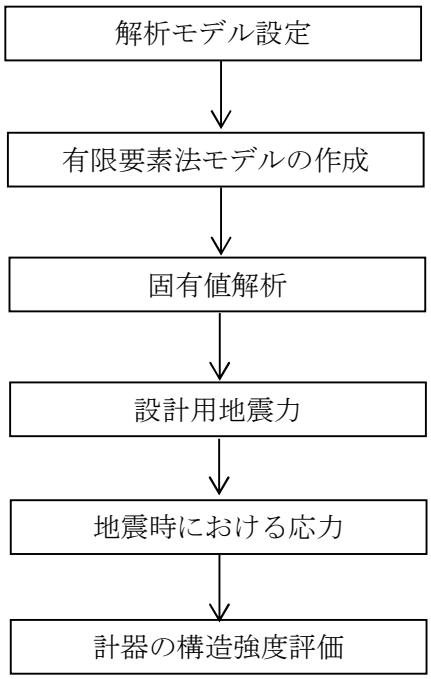


図 5-1　ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体の耐震評価フロー

5.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

5.2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	遮へい体支持架構断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_1	取付面から重心までの距離	mm
I_p	遮へい体支持架構の断面二次極モーメント	mm^4
I_y	遮へい体支持架構の断面二次モーメント（y軸）	mm^4
I_z	遮へい体支持架構の断面二次モーメント（z軸）	mm^4
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	遮へい体及び遮へい体支持架構の総質量	kg
m_a	遮へい体の分割質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N

記号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（ＲＴ）	設計・建設規格 付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
Z_p	遮へい体支持架構のねじり断面係数	mm^3
Z_y	遮へい体支持架構の断面係数（ｙ軸）	mm^3
Z_z	遮へい体支持架構の断面係数（ｚ軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記　＊：$\ell_1 \leqq \ell_2$

5.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表5-2に示すとおりとする。

表5-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

5.3　評価部位

ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体の耐震評価は，「5.5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体の耐震評価部位については，表 5-1 の概略構造図に示す。

5.4　固有周期

5.4.1　固有値解析方法

ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体の固有値解析方法を「5.4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

5.4.2　解析モデル及び諸元

ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体の解析モデルを 3 次元はりモデルとして図 5-2 に，解析モデルの概要を以下に示す。遮へい体は遮へい体に溶接されている鋼材と下部の遮へい体支持架構に固定され，原子炉建屋天井面に 4 箇所で固定されている。解析モデルでは，遮へい体支持架構を①～⑧の部材，遮へい体に溶接されている鋼材を⑨～⑯の部材で組まれたものと見なし，支持点 4 点で固定されるものとする。遮へい体の質量は 8 箇所に分散されるものとし，保守的に取付位置の上部に配置する。機器の諸元を表 5-3，部材の機器要目を表 5-4 に示す。

(1)　図 5-2 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

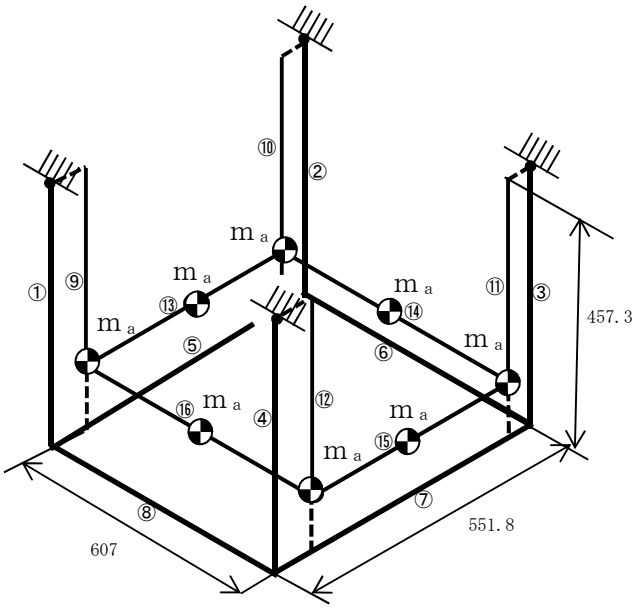
(2)　図 5-2 中の ◓ は遮へい体の質点を示し，質点m_aは 8 箇所に分散している。なお，質点m_aの質量は 1 個あたり □ kg で 8 箇所を合計すると □ kg である。

(3)　図 5-2 中の ━━ は遮へい体支持架構，╍╍ は仮想鋼材， は支持点(遮へい体支持架構基礎部)を示す。

(4)　拘束条件は，ＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値及び荷重を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。



（単位：mm）

：支持点

：遮へい体質点

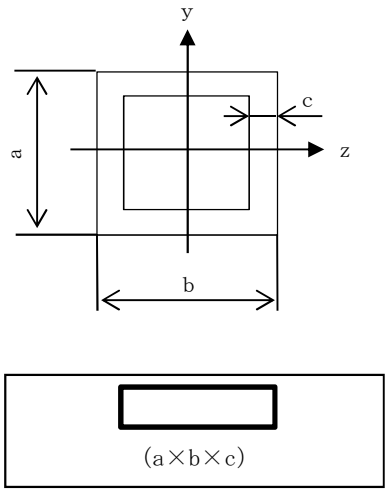
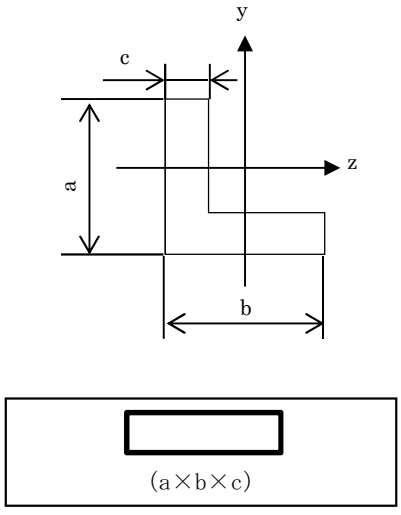
図 5-2　ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体解析モデル

表5-3　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

注記＊：（）内は合計質量を示す。

表 5-4　ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体部材の機器要目

材料		
対象要素	①－⑧	⑨－⑯
A （mm^2）		
I_y （mm^4）		
I_z （mm^4）		
I_p （mm^4）		
Z_y （mm^3）		
Z_z （mm^3）		
Z_p （mm^3）		
断面形状(mm)		

5.4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 5-5 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表5-5　固有値解析結果

モード	固有周期（ｓ）	卓越方向
１次	[redacted]	水平

5.5　構造強度評価

5.5.1　構造強度評価方法

(1)　地震力は，ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体に対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(2)　ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体は，基礎ボルトにより天井面に固定されるものとする。

(3)　ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体の質量は遮へい体及び遮へい体支持架構を考慮する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

5.5.2　荷重の組合せ及び許容応力

5.5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-6 に示す。

5.5.2.2　許容応力

ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-7 のとおりとする。

5.5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体の使用材料の許容応力評価条件を表 5-8 に示す。

表 5-6　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	ドライウェル圧力（PT-26-79.60 用）遮へい体	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$\mathrm{IV_AS}$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$\mathrm{V_AS}$（$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-7　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅣＡＳ	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの 許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-8　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 （℃）		Ｓｙ （MPa）	Ｓｕ （MPa）	Ｓｙ（ＲＴ） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

5.5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-9 に示す。

表 5-9　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL. 29.00 (EL. 34.70*1)			－	－	C_H=1.64	C_V=1.34

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

5.5.4　計算方法

5.5.4.1　応力の計算方法

5.5.4.1.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

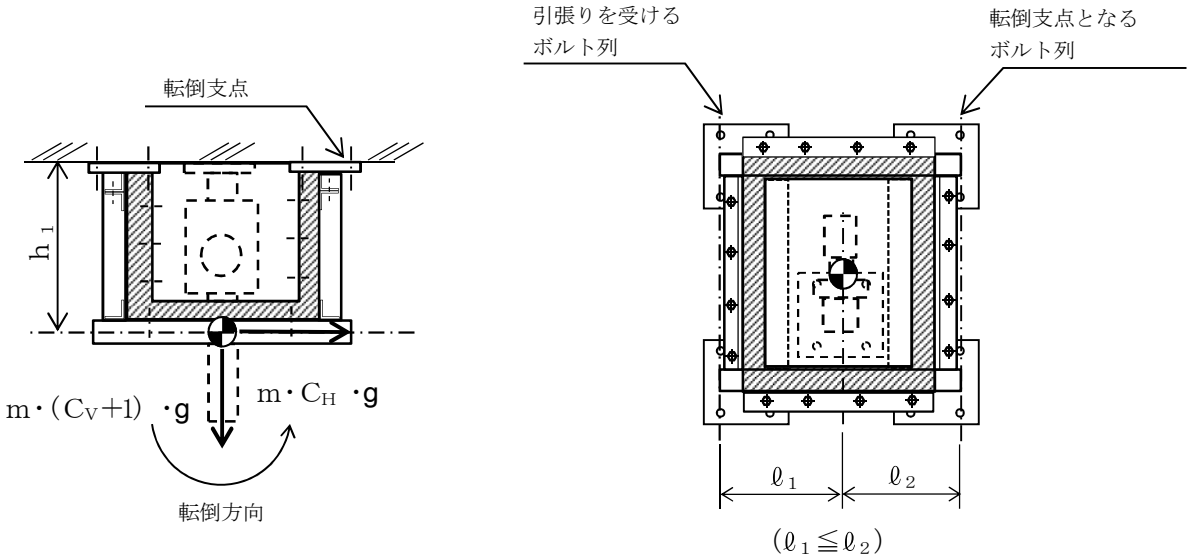


図5-3(1)　計算モデル
(直立形　左右方向転倒の場合)

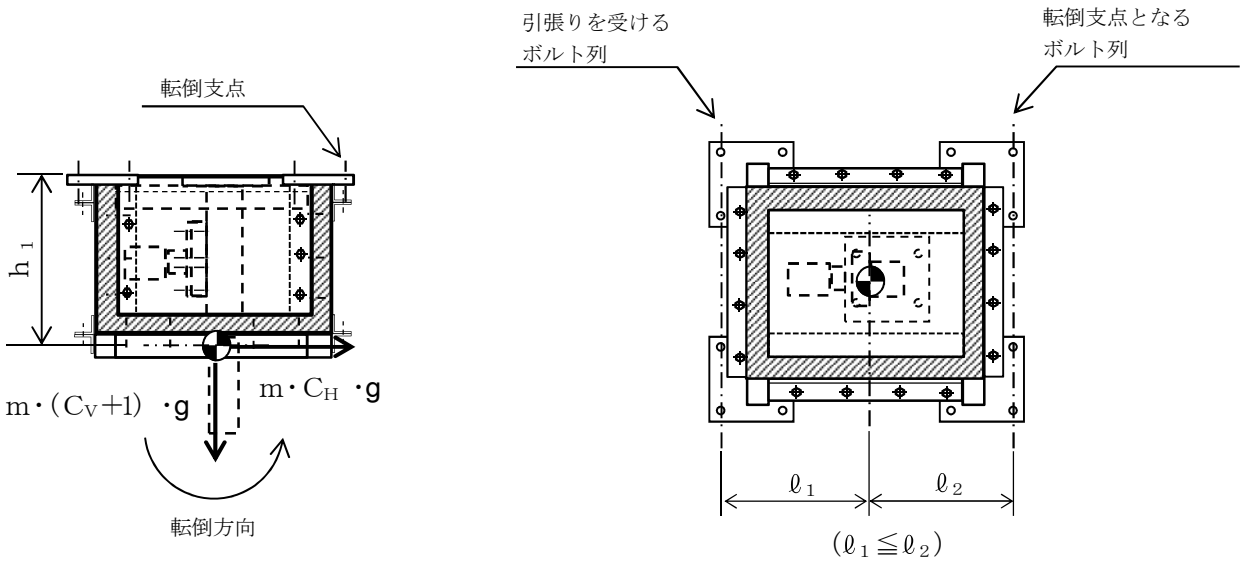


図5-3(2)　計算モデル
(直立形　前後方向転倒の場合)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図5-3で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図5-(1)及び図5-3(2)の場合の引張力

$$F_b=\frac{m\cdot g\cdot C_H\cdot h_1+m\cdot g\cdot(1+C_V)\cdot \ell_2}{n_f\cdot(\ell_1+\ell_2)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.5.4.1.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.5.4.1.1.5)$$

5.5.5　計算条件

5.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【ドライウェル圧力（PT-26-79.60用）遮へい体の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

5.5.6　応力の評価

5.5.6.1　ボルトの応力評価

5.5.4.1.1項で求めた基礎ボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。ただし，f_{to}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (5.5.6.1.1)$$

せん断応力τ_bはせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。ただし，f_{sb}は下表による。

	弾性設計用地震動S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

5.6　評価結果

5.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

ドライウェル圧力（PT-26-79.60）遮へい体の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ドライウェル圧力（PT-26-79.60）遮へい体の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
ドライウェル圧力 (遮へい体)	常設耐震／防止 常設／緩和	[redacted] EL.29.00 (EL.34.70*1)	[redacted]		—	—	C_H=1.64	C_V=1.34	[redacted]

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 ドライウェル圧力（PT-26-79.60）遮へい体

部材	m (kg)	h_1 (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト	[redacted]						4
							4

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	221	373	—	261	—	左右方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	[redacted]			

1.4　結論

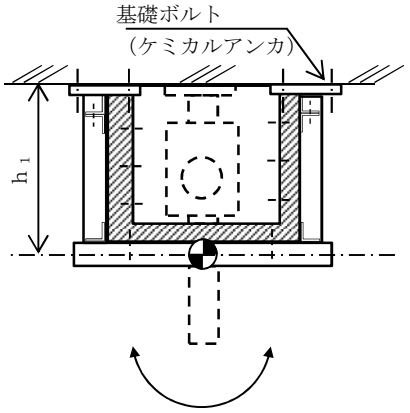
1.4.1　ボルトの応力

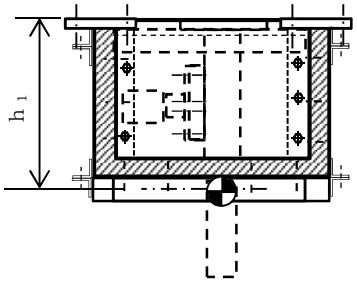
（単位：MPa）

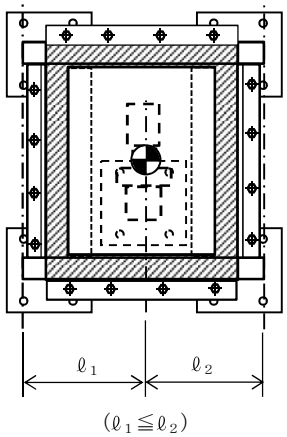
部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	□	引張り	－	－	σ_b＝42	f_{ts}＝156*
		せん断	－	－	τ_b＝11	f_{sb}＝120

すべて許容応力以下である。

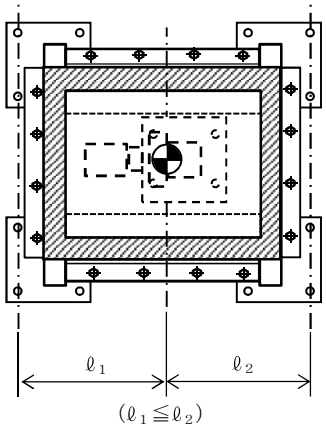
注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出







正面（左右方向）



側面（前後方向）

Ⅴ-2-6-5-26　サプレッション・チェンバ圧力の耐震性についての計算書

目次

1. サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A） 1
1.1 概要 1
1.2 一般事項 1
1.2.1 構造計画 1
1.2.2 評価方針 3
1.2.3 適用基準 4
1.2.4 記号の説明 5
1.2.5 計算精度と数値の丸め方 7
1.3 評価部位 8
1.4 固有周期 8
1.4.1 固有値解析方法 8
1.4.2 解析モデル及び諸元 8
1.4.3 固有値解析結果 10
1.5 構造強度評価 11
1.5.1 構造強度評価方法 11
1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力 11
1.5.3 設計用地震力 14
1.5.4 計算方法 15
1.5.5 計算条件 17
1.5.6 応力の評価 17
1.6 機能維持評価 18
1.6.1 電気的機能維持評価方法 18
1.7 評価結果 18
1.7.1 評価結果 18
2. サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B） 21
2.1 概要 21
2.2 一般事項 21
2.2.1 構造計画 21
2.2.2 評価方針 23
2.2.3 適用基準 24
2.2.4 記号の説明 25
2.2.5 計算精度と数値の丸め方 26
2.3 評価部位 27
2.4 地震応答解析及び構造強度評価 27
2.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 27
2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力 27
2.4.3 解析モデル及び諸元 30

2.4.4　固有周期 32
2.4.5　設計用地震力 32
2.4.6　計算方法 33
2.4.7　計算条件 35
2.4.8　応力の評価 35
2.5　機能維持評価 36
2.5.1　電気的機能維持評価方法 36
2.6　評価結果 36
2.6.1　設計基準対象施設としての評価結果 36
3.　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61） 40
3.1　概要 40
3.2　一般事項 40
3.2.1　構造計画 40
3.2.2　評価方針 42
3.2.3　適用基準 43
3.2.4　記号の説明 44
3.2.5　計算精度と数値の丸め方 45
3.3　評価部位 46
3.4　固有周期 46
3.4.1　固有周期の計算方法 46
3.4.2　固有周期の計算条件 47
3.4.3　固有周期の計算結果 47
3.5　構造強度評価 48
3.5.1　構造強度評価方法 48
3.5.2　荷重の組合せ及び許容応力 48
3.5.3　設計用地震力 51
3.5.4　計算方法 52
3.5.5　計算条件 54
3.5.6　応力の評価 54
3.6　機能維持評価 55
3.6.1　電気的機能維持評価方法 55
3.7　評価結果 55
3.7.1　重大事故等対処設備としての評価結果 55
4.　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用遮へい体） 58
4.1　概要 58
4.2　一般事項 58
4.2.1　構造計画 58
4.2.2　評価方針 60

4.2.3　適用基準 61
4.2.4　記号の説明 62
4.2.5　計算精度と数値の丸め方 63
4.3　評価部位 64
4.4　固有周期 64
4.4.1　固有値解析方法 64
4.4.2　解析モデル及び諸元 65
4.4.3　固有値解析結果 68
4.5　構造強度評価 69
4.5.1　構造強度評価方法 69
4.5.2　荷重の組合せ及び許容応力 69
4.5.3　設計用地震力 72
4.5.4　計算方法 73
4.5.5　計算条件 75
4.5.6　応力の評価 75
4.7　評価結果 76
4.7.1　重大事故等対処設備としての評価結果 76

1. サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）

1.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

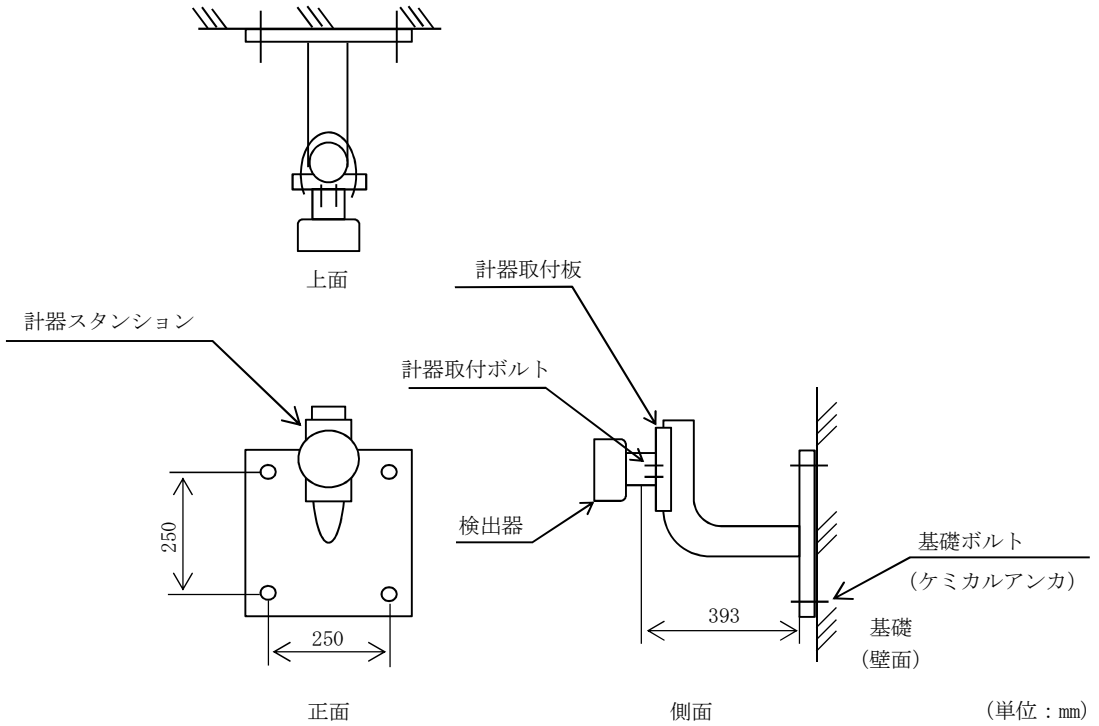
サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取り付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	【PT-26-79.52A】 

1.2.2　評価方針

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき,「1.2.1　構造計画」にてサプレッション・チェンバ圧力(PT-26-79.52A)の部位を踏まえ「1.3　評価部位」にて設定する箇所において,「1.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを,「1.5　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.3 電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを,「1.6　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「1.7　評価結果」に示す。

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）の耐震評価フローを図 1-1 に示す。

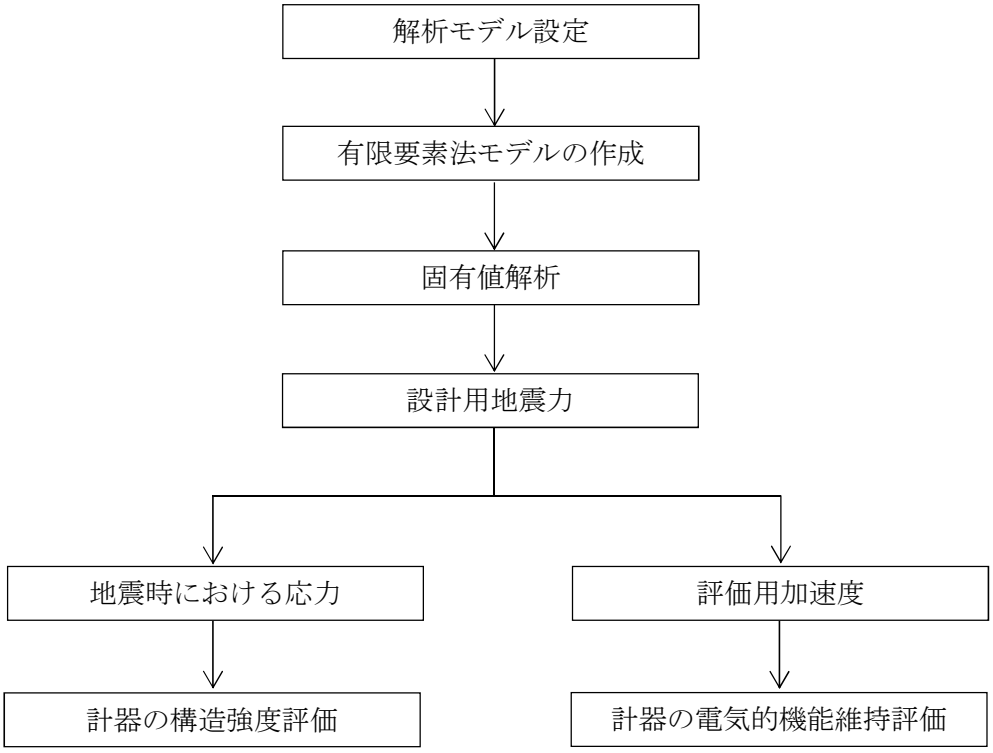


図 1-1　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）の耐震評価フロー

1.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

1.2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	計器スタンションの断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛板取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）(壁掛形)	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛板取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）(壁掛形)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力(f_sを1.5倍した値又はf_s*を1.5倍した値)	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_tを1.5倍した値又はf_t*を1.5倍した値)	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_2	取付面から重心までの距離(壁掛形)	mm
I_p	計器スタンションの断面二次極モーメント	mm^4
I_y	計器スタンションの断面二次モーメント（ｙ軸)	mm^4
I_z	計器スタンションの断面二次モーメント（ｚ軸)	mm^4
ℓ_3	重心と下側ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_a	正面(左右)ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離(壁掛形)	mm
m	検出器及び計器スタンションの総質量	kg
m_a	検出器の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（ＲＴ）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
Z_p	計器スタンションのねじり断面係数	mm^3
Z_y	計器スタンションの断面係数（ｙ軸）	mm^3
Z_z	計器スタンションの断面係数（ｚ軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

1.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表1-2に示すとおりとする。

表1-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量*1	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

1.3　評価部位

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）の耐震評価は，「1.5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）の耐震評価部位については，表 1-1 の概略構造図に示す。

1.4　固有周期

1.4.1　固有値解析方法

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）の固有値解析方法を「1.4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

1.4.2　解析モデル及び諸元

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）の解析モデルを 3 次元はりモデルとして図 1-2 に，解析モデルの概要を以下に示す。計器スタンションはＬ字に曲がった円筒で原子炉建屋壁面に固定されることから，①及び②の部材で組まれたＬ字とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1 点で固定されるものとする。また，解析モデルにおいて，検出器の質量は質点に集中するものとし，質点は検出器の取付位置に設置する。機器の諸元を表 1-3，部材の機器要目を表 1-4 に示す。

(1)　図 1-2 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

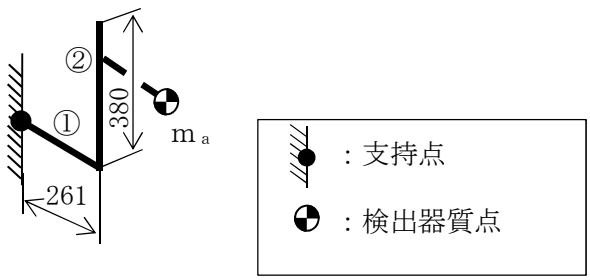
(2)　図 1-2 中の ⊕ は検出器質点を示し，m_a は □ kg である。

(3)　図 1-2 中の ━━ は計器スタンション，╍╍ は仮想鋼材， は支持点を示す。

(4)　拘束条件として，基礎部のＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。



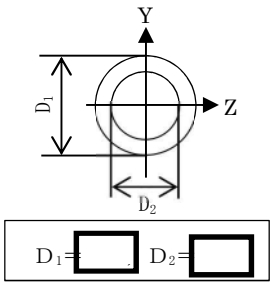
（単位：mm）

図 1-2　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）解析モデル

表 1-3　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

表 1-4　部材の機器要目

材料			
対象要素		①－②	
A （mm^2）			
I_y （mm^4）			
I_z （mm^4）			
I_p （mm^4）			
Z_y （mm^3）			
Z_z （mm^3）			
Z_p （mm^3）			
断面形状（mm）	 D1= D2=		

1.4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 1-5 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 1-5　固有値解析結果（s）

モード	固有周期	卓越方向
1 次	[redacted]	水平

1.5　構造強度評価

1.5.1　構造強度評価方法

(1)　地震力は，サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）は，基礎ボルトにより壁面に固定されるものとする。

(3)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）の質量は検出器及び計器スタンションを考慮する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

1.5.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 1-6 に示す。

1.5.2.2　許容応力

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 1-7 のとおりとする。

1.5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 1-8 に示す。

表 1-6　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）	S	—*1	$D+P_D+M_D+S_d^*$*2	ⅢAS
					$D+P_D+M_D+S_s$	ⅣAS

注記　*1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*2：S_sと組合せ，ⅢASの評価を実施する。

表 1-7　許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2（ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
ⅣAS	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*

注記　*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-8　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	245	400	—

1.5.3　設計用地震力

「弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震動」及び「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 1-9 に示す。

表 1-9　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL. 8. 20 (EL. 14. 00*1)			C_H=0. 69	C_V=0. 53	C_H=1. 13	C_V=0. 99

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.5.4　計算方法

1.5.4.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

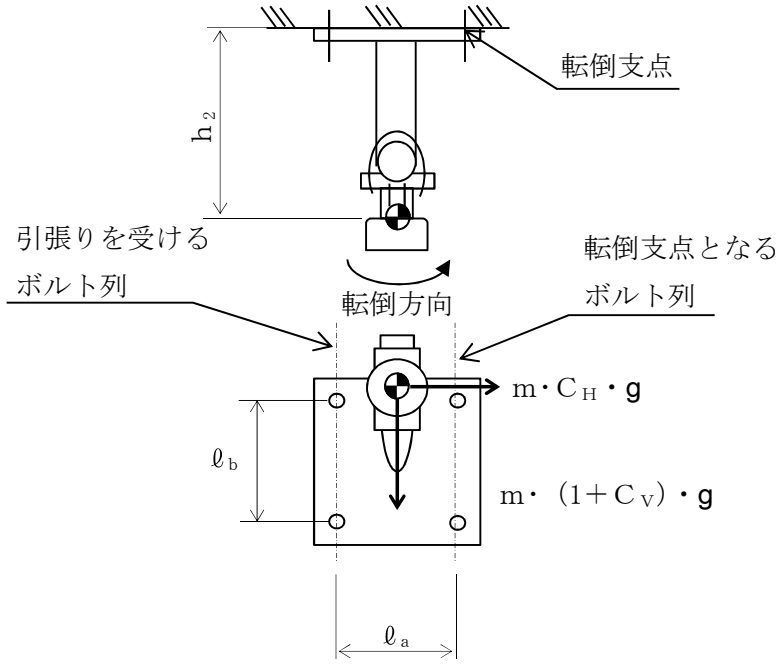


図1-3(1)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）計算モデル
（壁掛形　水平方向転倒の場合）

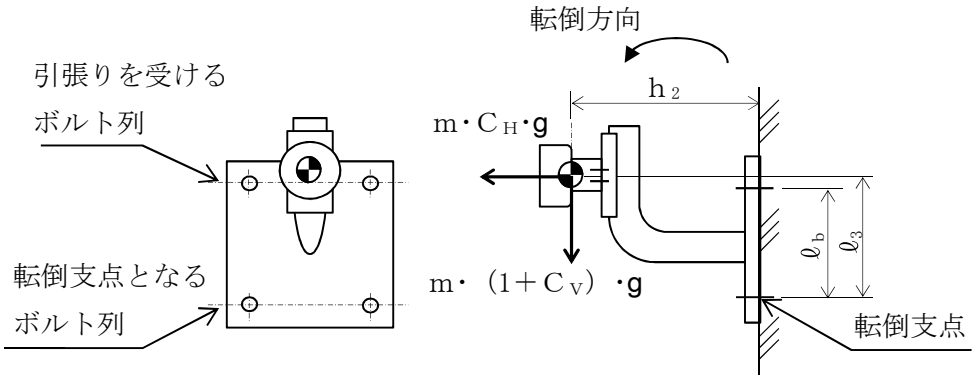


図1-3(2)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）計算モデル
（壁掛形　鉛直方向転倒の場合）

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図1-3で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図1-3(1)の場合の引張力

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1)$$

計算モデル図1-3(2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}\,(F_{b1},\ F_{b2}) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.5)$$

(2)　せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_{b1}=\ m\cdot g\cdot C_H \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.6)$$

$$Q_{b2}=\ m\cdot g\cdot(1+C_V) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.8)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.9)$$

1.5.5　計算条件

1.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器様目に示す。

1.5.6　応力の評価

1.5.6.1　ボルトの応力評価

1.5.4.1 項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to} は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (1.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし，f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

1.6　機能維持評価

1.6.1　電気的機能維持評価方法

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）の電気的機能維持評価について以下に示す。電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-10 に示す。

表 1-10　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
サプレッション・チェンバ圧力 (PT-26-79.52A)	水平	
	鉛直	

1.7　評価結果

1.7.1　評価結果

サプレッション・チェンバ圧力の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【サプレッション・チェンバ圧力(PT-26-79.52A)の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
サプレッション・チェンバ圧力	S	EL.8.20 (EL.14.00*1)			C_H=0.69	C_V=0.53	C_H=1.13	C_V=0.99	

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 サプレッション・チェンバ圧力(PT-26-79.52A)

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	245	400	245	280	水平方向	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	σ_b=4	f_{ts}=147*	σ_b=6	f_{ts}=168*
		せん断	τ_b=1	f_{sb}=113	τ_b=2	f_{sb}=129

すべて許容応力以下である。

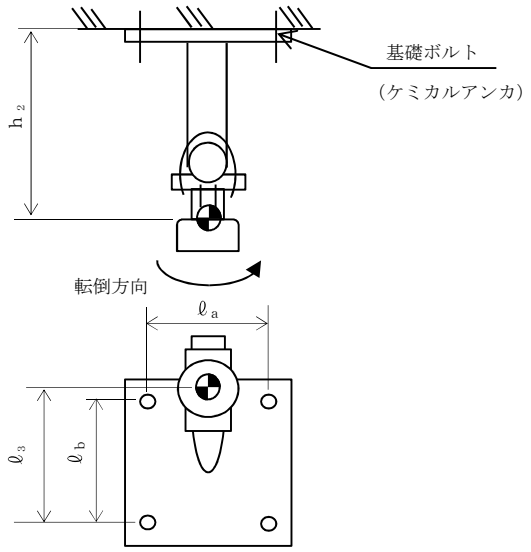
注記 ＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}−1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

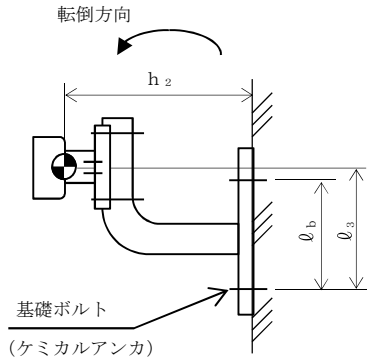
（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
サプレッション・チェンバ圧力	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.83	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

2. サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）

2.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

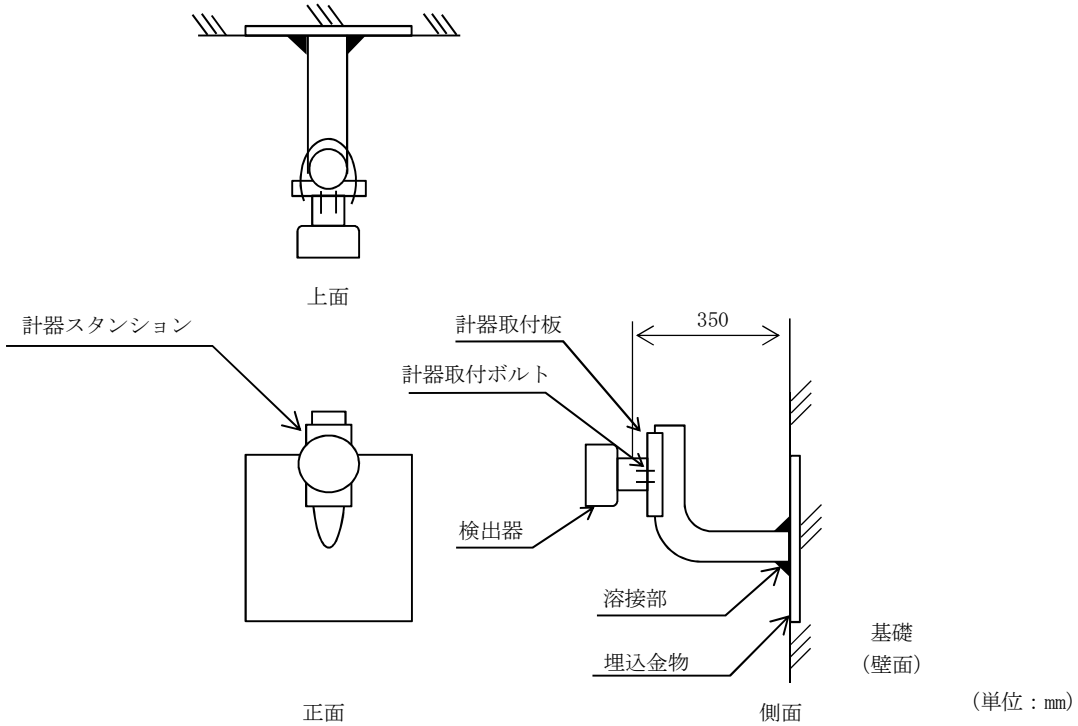
サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取り付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，埋込金物に溶接で設置する。	弾性圧力検出器	【PT-26-79.52B】 

2.2.2　評価方針

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.2.1　構造計画」にて示すサプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）の部位を踏まえ「2.3　評価部位」にて設定する箇所において，「2.4.3　解析モデル及び諸元」及び「2.4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「2.4　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.6　評価結果」に示す。

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

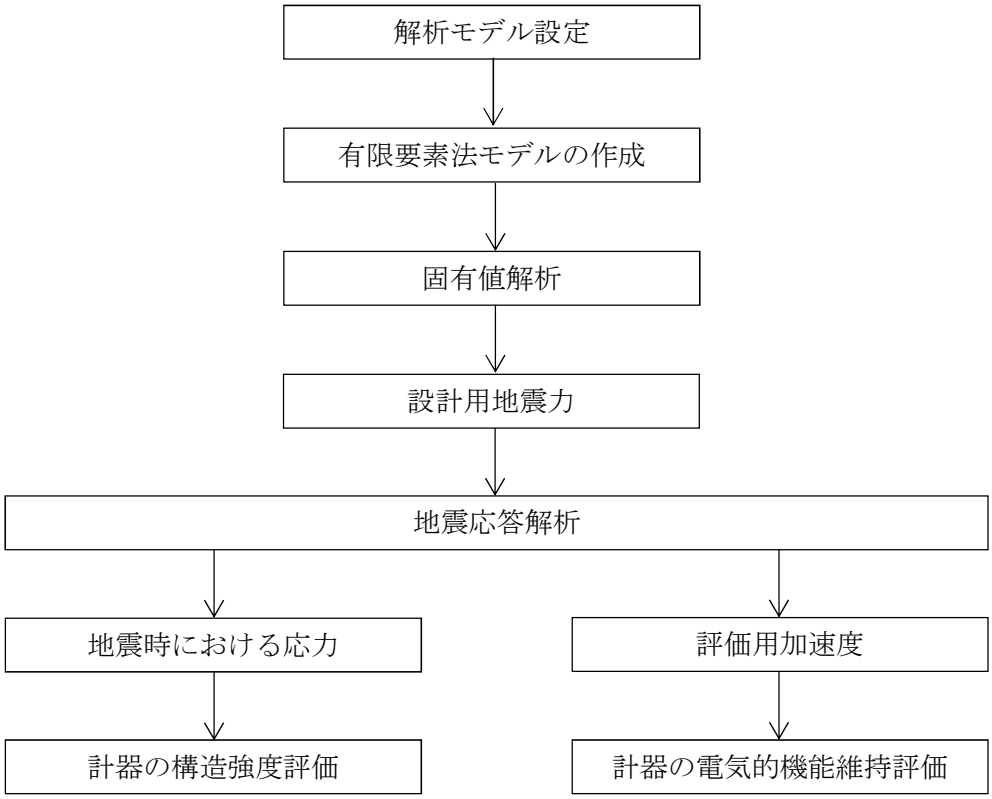


図 2-1　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）の耐震評価フロー

2.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
a	溶接部の有効のど厚	mm
A	計器スタンションの断面積	mm^2
A_w	溶接部の有効断面積	mm^2
A_{wY}	溶接部のF_Yに対する有効断面積	mm^2
A_{wZ}	溶接部のF_Zに対する有効断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
D	計器スタンションの径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3に定める値	MPa
F_X	溶接部に作用する力（X方向）	N
F_Y	溶接部に作用する力（Y方向）	N
F_Z	溶接部に作用する力（Z方向）	N
f_s	溶接部の許容せん断応力（f_sを1.5倍した値又はf_s*を1.5倍した値）	MPa
I_p	計器スタンションの断面二次極モーメント	mm^4
I_y	計器スタンションの断面二次モーメント（y軸）	mm^4
I_z	計器スタンションの断面二次モーメント（z軸）	mm^4
ℓ	据付面から検出器の重心までの距離	mm
m_a	検出器及び検出器固定金具の質量	kg
M_X	溶接部に作用するモーメント（X軸）	N・mm
M_Y	溶接部に作用するモーメント（Y軸）	N・mm
M_Z	溶接部に作用するモーメント（Z軸）	N・mm
s	溶接脚長	mm
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
Z_p	溶接全断面におけるねじり断面係数	mm^3
Z_y	溶接全断面における断面係数（y軸）	mm^3
Z_z	溶接全断面における断面係数（z軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_t	溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_b	溶接部に生じる曲げ応力	MPa
σ_w	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
τ	溶接部に生じるせん断応力	MPa

2.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量*1	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

2.3　評価部位

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）の耐震評価は，「2.4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる溶接部を選定して実施する。サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4　地震応答解析及び構造強度評価

2.4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　地震力はサプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）は，溶接により壁面の埋込金物に固定されるものする。

(3)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）の質量は，検出器，取付板及び計器スタンションを考慮する。

(4)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）の質量は，検出器，取付板及び計器スタンションの重心に集中するものとする。

(5)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を用いる。

2.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

2.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2-4 に示す。

2.4.2.2　許容応力

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 2-5 のとおりとする。

2.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

表 2-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）	S	－*1	$D+P_D+M_D+S_d$ ***2**	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊2：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 2-5　許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2（ボルト以外）			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	曲げ
III_AS	$1.5\cdot f_t$	$1.5\cdot f_s$	$1.5\cdot f_c$	$1.5\cdot f_b$
IV_AS	$1.5\cdot f_t$*	$1.5\cdot f_s$*	$1.5\cdot f_c$*	$1.5\cdot f_b$*

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-6　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
溶接部	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	235	400	—

2.4.3　解析モデル及び諸元

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）の解析モデルを3次元はりモデルとして図2-2に，解析モデルの概要を以下に示す。計器スタンションはＬ字に曲がった円筒で原子炉建屋壁面に溶接されることから，①及び②の部材で組まれたＬ字とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1点で固定されるものとする。また，解析モデルにおいて，検出器の質量は質点に集中するものとし，質点は検出器の取付位置に設置する。機器の諸元を表2-7，部材の機器要目を表2-8に示す。

(1)　図2-2中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2)　図2-2中の ◓ は検出器質点を示し，m_aは□kgである。

(3)　図2-2中の ━━ はサポート鋼材，╍╍ は仮想鋼材， は支持点（計器スタンション基礎部）を示す。

(4)　拘束条件として，基礎部のＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値及び荷重を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

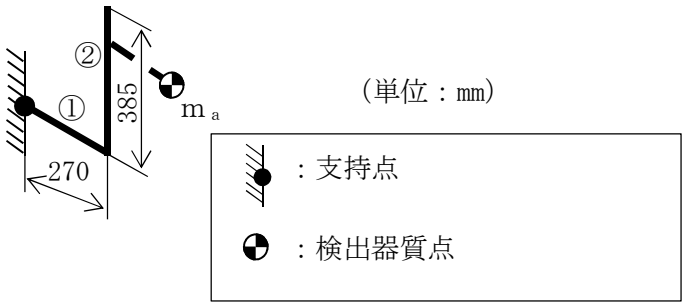
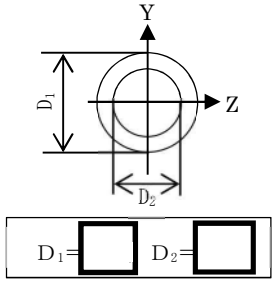


図2-2　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）解析モデル

表 2-7　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

表 2-8　部材の機器要目

材料	
対象要素	①－②
A （mm^2）	
I_y （mm^4）	
I_z （mm^4）	
I_p （mm^4）	
Z_y （mm^3）	
Z_z （mm^3）	
Z_p （mm^3）	
断面形状（mm）	

2.4.4　固有周期

固有値解析結果を表 2-9 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表2-9　固有値解析結果

モード	固有周期（s）	卓越方向
1 次	[redacted]	水平

2.4.5　設計用地震力

「弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震動」及び「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-10 に示す。

表 2-10　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$ 又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
[redacted] EL. 8. 20 (EL. 14. 00*1)	[redacted]		C_H=0. 69	C_V=0. 53	C_H=1. 13	C_V=0. 99

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

2.4.6　計算方法

2.4.6.1　溶接部の応力

3 次元はりモデルによる地震応答解析から溶接部の内力を求めて，その結果を用いて理論式にて溶接部を評価する。

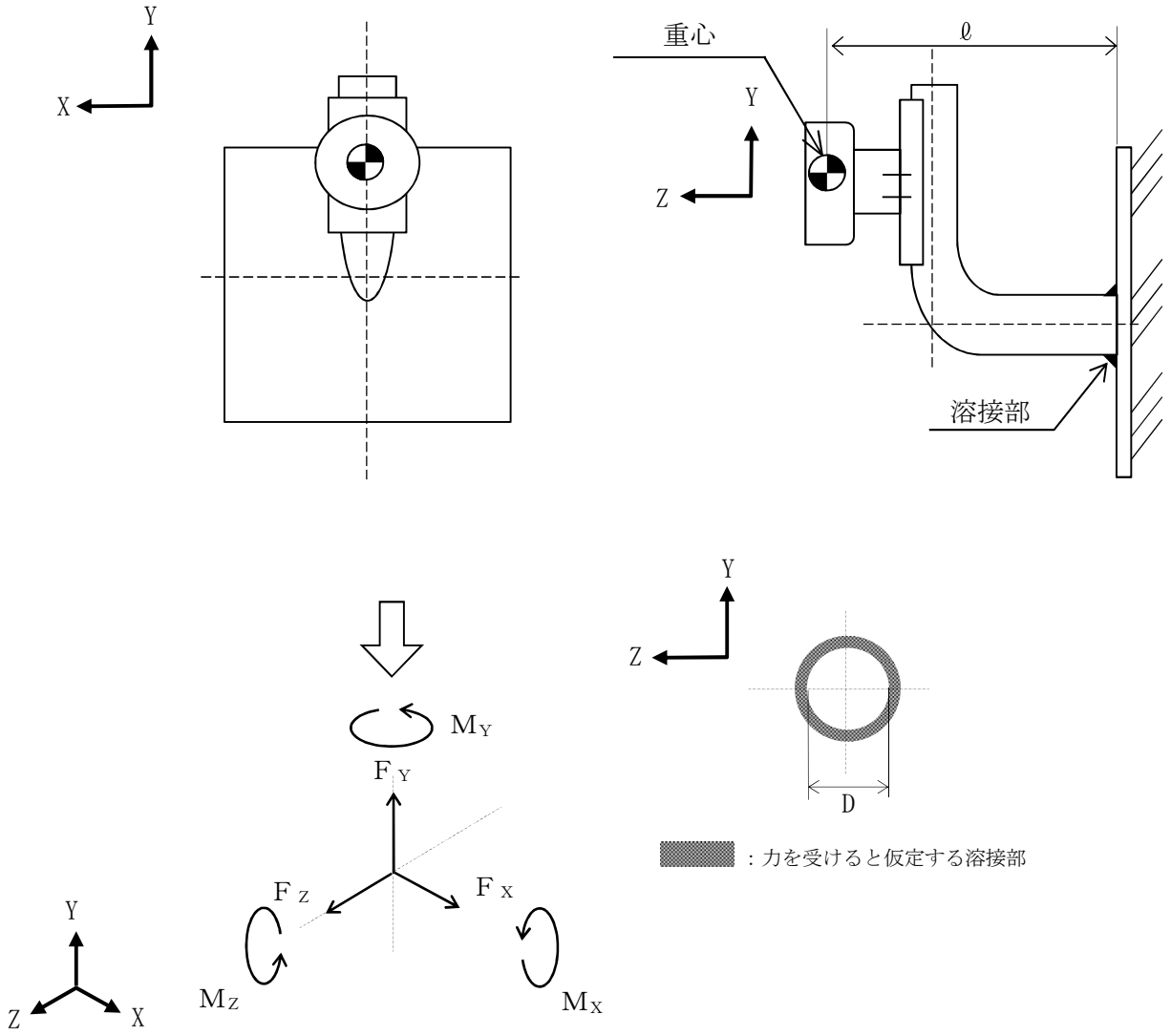


図 2-3　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）計算モデル（溶接部）

地震応答解析によって得られた溶接部評価点の最大反力とモーメントを表 2-11 に示す。

表2-11　溶接部発生反力，モーメント

対象計器	許容応力状態	反力(N)			モーメント(N・mm)		
		F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z
PT-26-79.52B	C（$Ⅲ_AS$）						
	D（$Ⅳ_AS$）						

(1)　引張応力

溶接部に対する引張応力は，全溶接断面積で受けるものとして計算する。

引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_X}{A_w} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.4.6.1.1)$$

ここで，引張り力を受ける溶接部の有効断面積A_wは，次式により求める。

$$A_w = \frac{\pi}{4} \{(D+2\cdot a)^2 - D^2\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.4.6.1.2)$$

ただし，溶接部の有効のど厚 a は，

$$a = 0.7\cdot s \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.4.6.1.3)$$

(2)　せん断応力

溶接部に対するせん断応力は，各方向の有効せん断面積で受けるものとして計算する。

せん断応力

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{F_Y}{A_{wY}} + \frac{M_X}{Z_p}\right)^2 + \left(\frac{F_Z}{A_{wZ}} + \frac{M_X}{Z_p}\right)^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.4.6.1.4)$$

ここで，A_{wY}，A_{wZ}はせん断力を受ける各方向の有効断面積，Z_pは溶接断面におけるねじり断面係数を示す。

A_{wY}，A_{wZ}は，次式により求める。

$$A_{wY} = \frac{1}{2}\cdot\frac{\pi}{4}((D+2\cdot a)^2 - D^2)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.4.6.1.5)$$

$$A_{wZ} = \frac{1}{2}\cdot\frac{\pi}{4}((D+2\cdot a)^2 - D^2)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.4.6.1.6)$$

(3) 曲げ応力

溶接部に対する曲げモーメントは，図2-3でＹ軸方向，Ｚ軸方向に対する曲げモーメントを最も外側の溶接部で受けるものとして計算する。

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_Y}{Z_Y} + \frac{M_Z}{Z_Z} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.4.6.1.7)$$

Z_Y，Z_Zは溶接断面のＹ軸及びＺ軸に関する断面係数を示す。

(4) 組合せ応力

溶接に対する組合せ応力は，各応力を足し合わせたものとして計算する。

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + \tau^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.4.6.1.8)$$

2.4.7 計算条件

2.4.7.1 溶接部の応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

2.4.8 応力の評価

2.4.8.1 溶接部の評価

2.4.6.1項で求めた溶接部に発生する応力は，許容応力f_s以下であること。

ただし，f_sは下表による。

	弾性設計用地震動S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.5　機能維持評価

2.5.1　電気的機能維持評価方法

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）の電気的機能維持評価について以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-12 に示す。

表 2-12　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）	水平	
	鉛直	

2.6　評価結果

2.6.1　設計基準対象施設としての評価結果

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【サプレッション・チェンバ圧力(PT-26-79.52B)の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
サプレッション・チェンバ圧力	S	EL.8.20 (EL.14.00*1)			C_H=0.69	C_V=0.53	C_H=1.13	C_V=0.99	

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 サプレッション・チェンバ圧力 (PT-26-79.52B)

部材	ℓ (mm)	s (mm)	a (mm)	D (mm)	A_w (mm²)	A_{wY} (mm²)	A_{wZ} (mm²)	Z_Y (mm³)	Z_Z (mm³)	Z_p (mm³)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
溶接部											235	400	235	280

1.3 計算数値

1.3.1 溶接部に作用する力

(単位：N)

部 材	F_X		F_Y		F_Z	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
溶接部						

1.3.2 溶接部に作用するモーメント

(単位：N・mm)

部 材	M_X		M_Y		M_Z	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
溶接部						

1.4 結論

1.4.1 溶接部の応力

(単位：MPa)

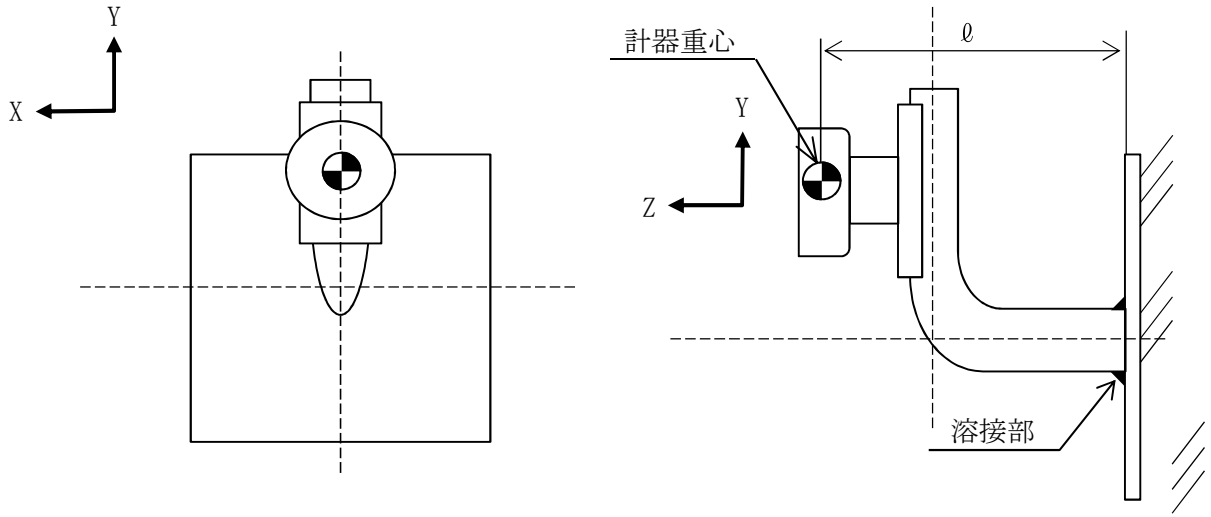
部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
溶接部		引張り	$\sigma_t=1$	$f_s=135$	$\sigma_t=1$	$f_s=161$
		せん断	$\tau=4$	$f_s=135$	$\tau=6$	$f_s=161$
		曲げ	$\sigma_b=22$	$f_s=135$	$\sigma_b=31$	$f_s=161$
		組合せ	$\sigma_w=22$	$f_s=135$	$\sigma_w=32$	$f_s=161$

すべて許容応力以下である。

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　（×9.8 m/s²）

		評価用加速度	機能確認済加速度
サプレッション・チェンバ圧力	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.83	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



3. サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）

3.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61)が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）は，重大事故等対処設備において常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

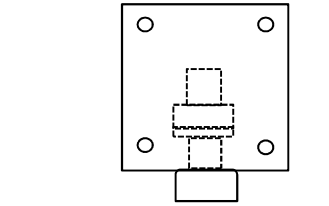
3.2 一般事項

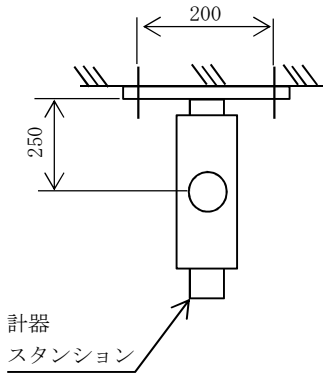
3.2.1 構造計画

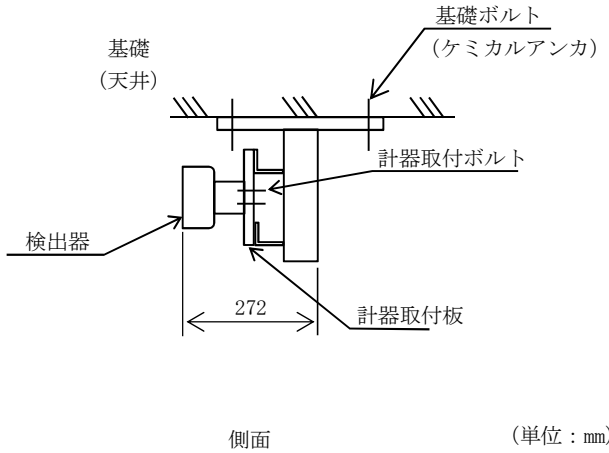
サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）の構造計画を表 3-1 に示す。

表 3-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	【PT-26-79.61】







(単位：mm)

3.2.2　評価方針

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「3.2.1　構造計画」にて示すサプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）の部位を踏まえ「3.3　評価部位」にて設定する箇所において，「3.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「3.5　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.3　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「3.6　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「3.7　評価結果」に示す。

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）の耐震評価フローを図 3-1 に示す。

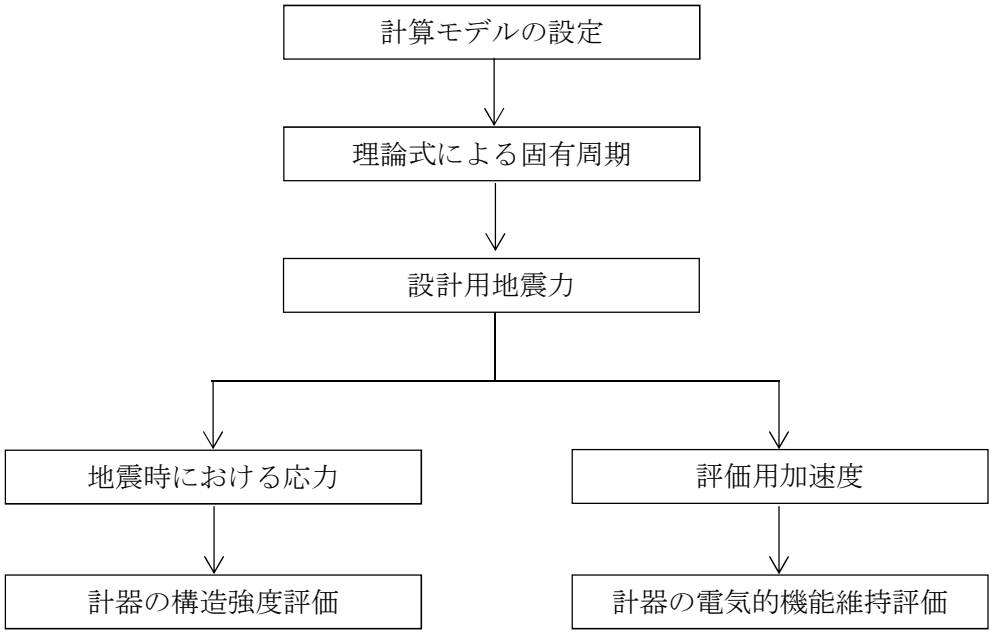


図 3-1　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）の耐震評価フロー

3.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

3.2.4　記号の説明

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
A	ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	計器スタンションの断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
G	せん断弾性係数	MPa
h_1	取付面から重心までの距離	mm
I	計器スタンションの断面二次モーメント	mm^4
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m_a	検出器質点の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
T	固有周期	s
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記　＊：$\ell_1 \leqq \ell_2$

3.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表3-2に示すとおりとする。

表3-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ	mm	－	－	整数位*1
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第1位*3	切捨て	整数位*3

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3.3　評価部位

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）の耐震評価は，「3.5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）の耐震評価部位については，表 3-1 の概略構造図に示す。

3.4　固有周期

3.4.1　固有周期の計算方法

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）は，図 3-2 に示す天井固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で原子炉建屋天井に固定されているため，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1 点で固定されるものとする。

(3)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）の質量は，質点に集中するものとするものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4)　図 3-2 中の ⊕ は検出器及び計器スタンションの質点，●は計器スタンションの支持点，━は計器スタンションを示す。

3.4.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期は次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \quad \cdots (3.1.1.1)$$

3.4.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

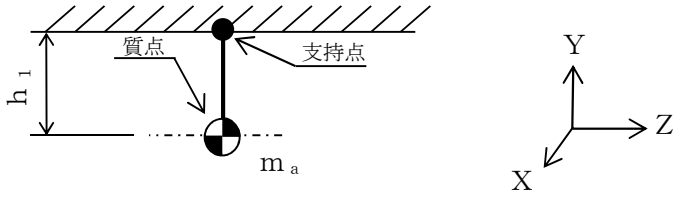
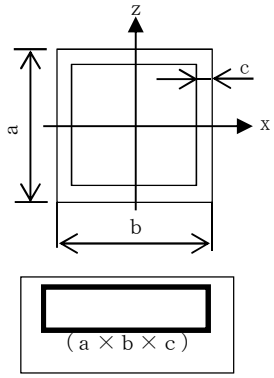


図 3-2　固有周期の計算モデル

3.4.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-3 に示す。

表 3-3　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び検出器スタンションの質量	m_a	kg	
据付面から質点までの距離	h_1	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			

3.4.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-4 に示す。

表 3-4　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

3.5　構造強度評価

3.5.1　構造強度評価方法

(1)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）の質量は質点に集中するものとする。

(2)　地震力はサプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）に対して水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(3)　検出器は天井に基礎ボルトで固定されるものとする。

(4)　転倒方向は，図 3-3 の計算モデルにおける正面方向及び側面方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

(5)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

3.5.2　荷重の組合せ及び許容応力

3.5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.5.2.2　許容応力

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 3-6 のとおりとする。

3.5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-7 に示す。

表 3-5　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$\mathrm{IV_AS}$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$\mathrm{V_AS}$（$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-6　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2（ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$\mathrm{IV_AS}$	$1.5\cdot f_t$*	$1.5\cdot f_s$*
$\mathrm{V_AS}$（$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-7　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	—

3.5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 3-8 に示す。

表 3-8　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
[redacted] EL. 8.20 (EL. 14.00*1)	[redacted]		－	－	C_H＝1.13	C_V＝0.99

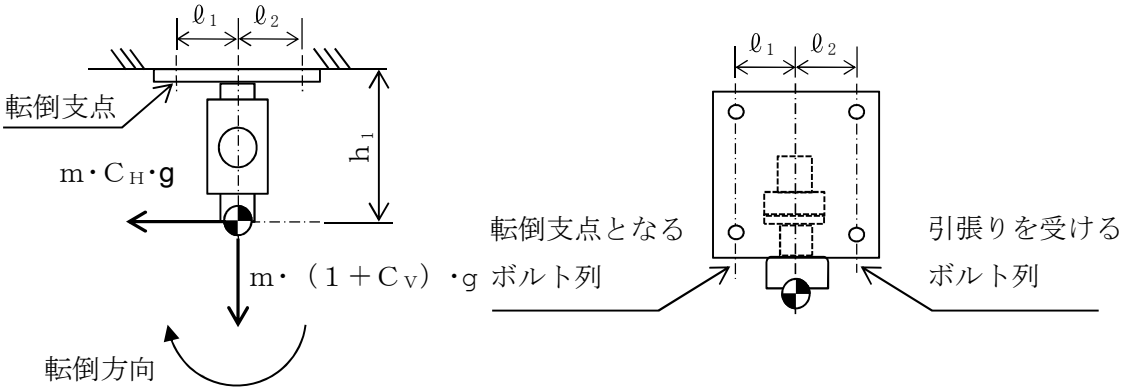
注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

3.5.4　計算方法

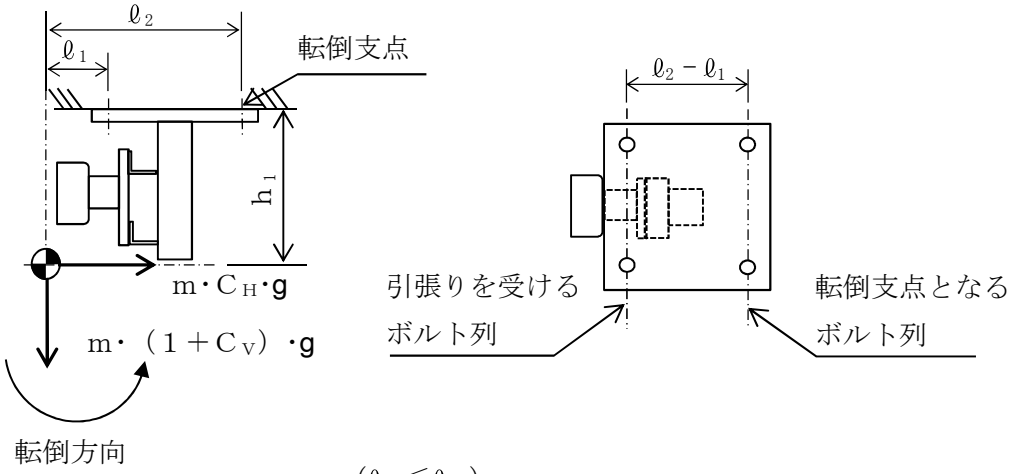
3.5.4.1　基礎ボルトの算出方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。



（$\ell_1 \leqq \ell_2$）

図3-3(1)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）計算モデル
（直立形　正面方向転倒の場合）



（$\ell_1 \leqq \ell_2$）

図3-3(2)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）計算モデル
（直立形　側面方向転倒の場合）

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図3-3(1)及び図3-3(2)で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図3-3(1)の場合の引張力

$$F_b=\frac{m\cdot g\cdot C_H\cdot h_1+m\cdot g\cdot (1+C_V)\cdot \ell_1}{n_f\cdot (\ell_1+\ell_2)} \quad \cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.1)$$

計算モデル図3-3(2)の場合の引張力

$$F_b=\frac{m\cdot g\cdot C_H\cdot h_1+m\cdot g\cdot (1+C_V)\cdot \ell_2}{n_f\cdot (\ell_2-\ell_1)} \quad \cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.2)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.3)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.4)$$

(2)　せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_b=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.5)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.6)$$

3.5.5　計算条件

3.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

3.5.6　応力の評価

3.5.6.1　ボルトの応力評価

3.5.4.1項で求めたボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。ただし，f_{to}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.6.1.1)$$

せん断応力τ_bはせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。ただし，f_{sb}は下表による。

	弾性設計用地震動S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

3.6　機能維持評価

3.6.1　電気的機能維持評価方法

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）の電気的機能維持評価について以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 3-9 に示す。

表 3-9　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
サプレッション・チェンバ圧力 (PT-26-79.61)	水平	
	鉛直	

3.7　評価結果

3.7.1　重大事故等対処設備としての評価結果

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【サプレッション・チェンバ圧力(PT-26-79.61)の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
サプレッション・チェンバ圧力	常設耐震／防止常設／緩和	EL. 8.20 (EL. 14.00*1)			－	－	C_H=1.13	C_V=0.99	

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析結果より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 サプレッション・チェンバ圧力 (PT-26-79.61)

部材	m (kg)	h_1 (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト							2 2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	前後方向

注記 *：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=9	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=1	f_{sb}=120

すべて許容応力以下である。

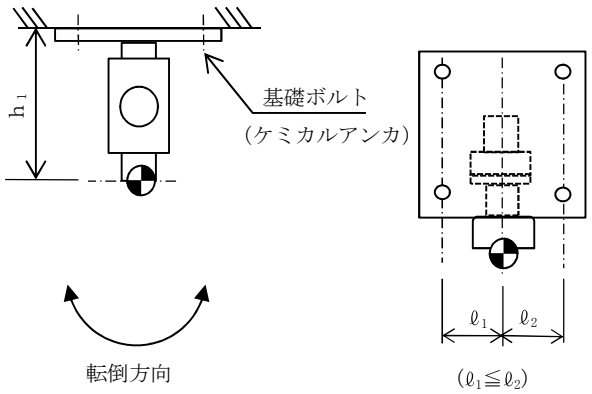
注記＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b, f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

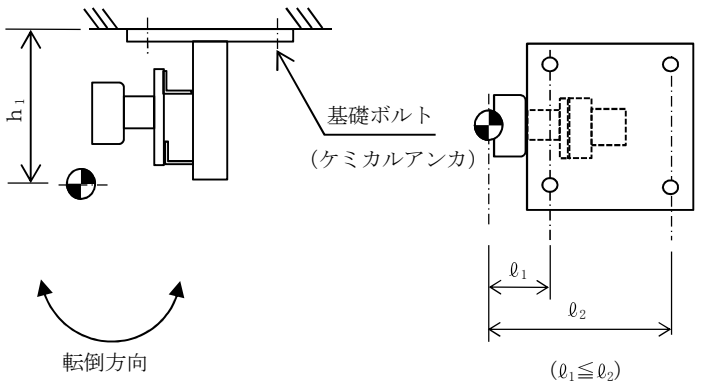
（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
サプレッション・チェンバ圧力	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.83	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

4. サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用遮へい体）

4.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用遮へい体）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用遮へい体）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

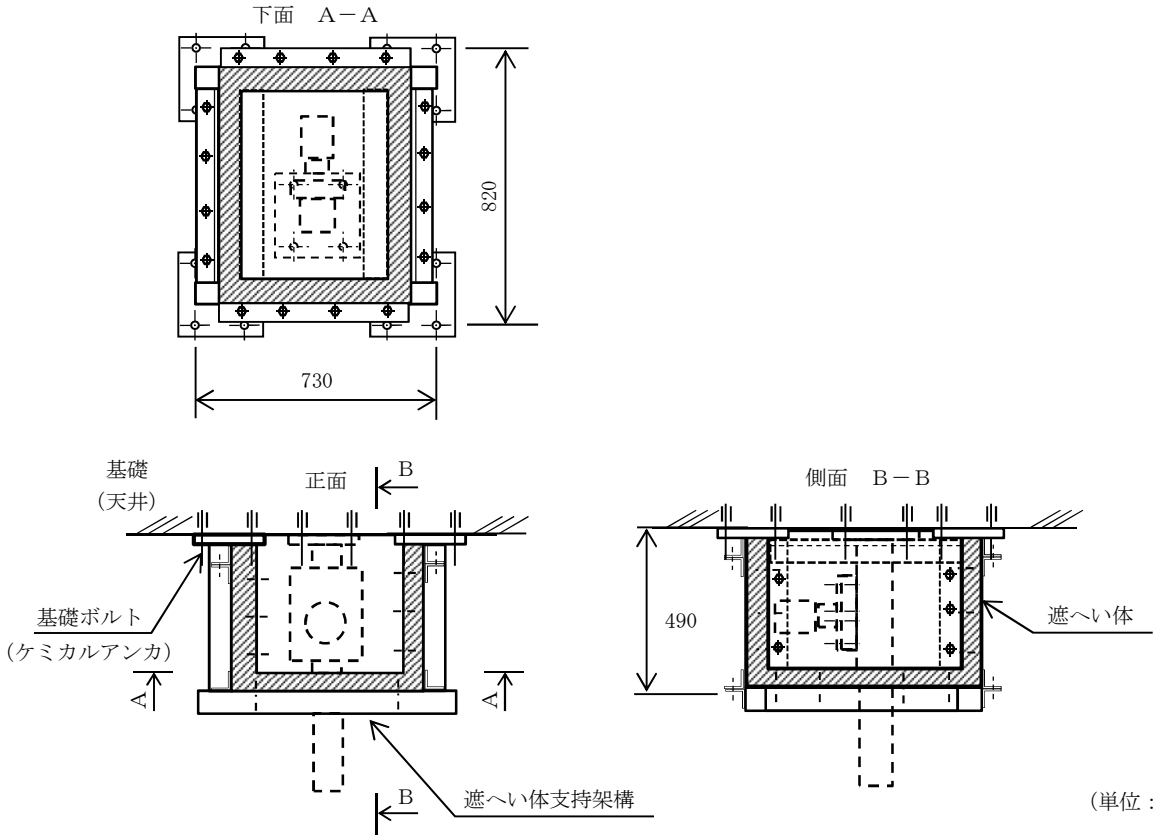
4.2 一般事項

4.2.1 構造計画

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用遮へい体）の構造計画を表 4-1 に示す。

表 4-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
遮へい体は，遮へい体支持架構に固定され，遮へい体支持架構は，基礎に基礎ボルトで設置する。	遮へい体	【PT-26-79.61 用遮へい体】



4.2.2　評価方針

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用）遮へい体の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「4.2.1　構造計画」にてサプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用遮へい体）の部位を踏まえ「4.3　評価部位」にて設定する箇所において，「4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.5　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「4.6　評価結果」に示す。

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用）遮へい体の耐震評価フローを図 4-1 に示す。

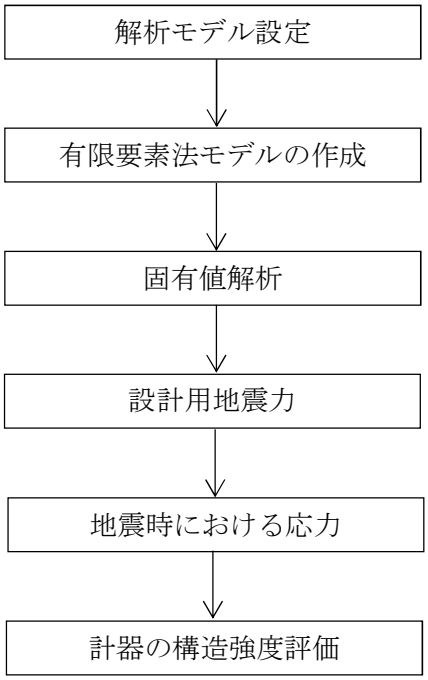


図 4-1　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用）遮へい体の耐震評価フロー

4.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

4.2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	遮へい体支持架構の断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_1	取付面から重心までの距離	mm
I_p	遮へい体支持架構の断面二次極モーメント	mm^4
I_y	遮へい体支持架構の断面二次モーメント（y軸）	mm^4
I_z	遮へい体支持架構の二次モーメント（z軸）	mm^4
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	遮へい体及び遮へい体支持架構の総質量	kg
m_a	遮へい体の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
Z_p	遮へい体支持架構のねじり断面係数	mm^3
Z_y	遮へい体支持架構の断面係数（y軸）	mm^3
Z_z	遮へい体支持架構の断面係数（z軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記　＊：$\ell_1 \leqq \ell_2$

4.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表4-2に示すとおりとする。

表4-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量*1	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

4.3　評価部位

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用）遮へい体の耐震評価は，「4.5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用）遮へい体の耐震評価部位については，表 4-1 の概略構造図に示す。

4.4　固有周期

4.4.1　固有値解析方法

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用）遮へい体の固有値解析方法を「4.4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

4.4.2　解析モデル及び諸元

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用）遮へい体の解析モデルを 3 次元はりモデルとして図 4-2 に，解析モデルの概要を以下に示す。遮へい体は遮へい体に溶接されている鋼材と下部の遮へい体支持架構に固定され，原子炉建屋天井面に 4 箇所で固定されている。解析モデルでは，遮へい体支持架構を①～⑧の部材，遮へい体に溶接されている鋼材を⑨～⑯の部材で組まれたものとみなし，支持点 4 点で固定されるものとする。遮へい体の質量は 8 箇所に分散されるものとし，保守的に取付位置の上部に配置する。機器の諸元を表 4-3，部材の機器要目を表 4-4 に示す。

(1)　図 4-2 中○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2)　図 4-2 中の ◓ は遮へい体の質点を示し，質点m_aは 8 箇所に分散している。なお，質点m_aの質量は 1 個あたり [redacted] kg で，8 箇所を合計すると [redacted] kg である。

(3)　図 4-2 中の ━━ は遮へい体支持架構，- - - - は仮想鋼材， は支持点を示す。

(4)　拘束条件は，ＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

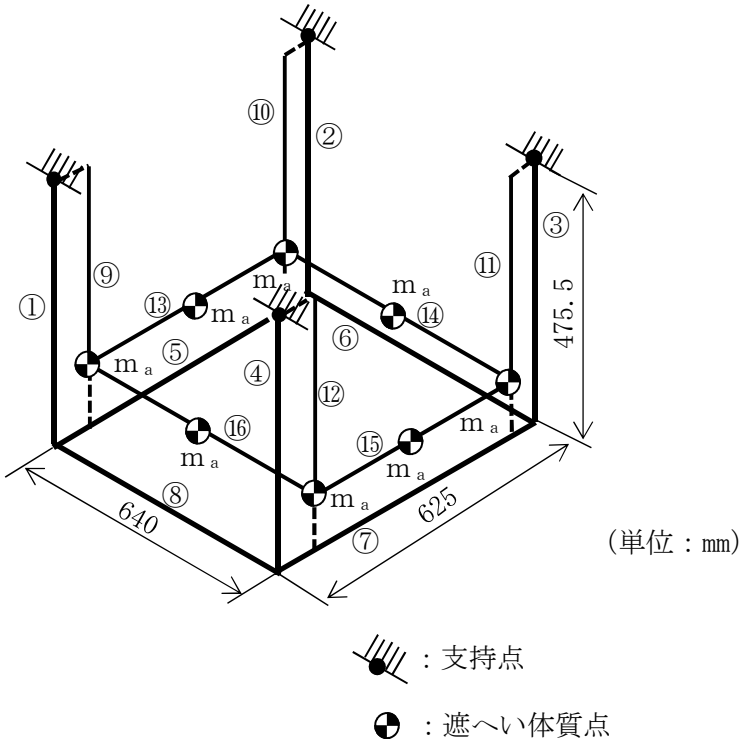


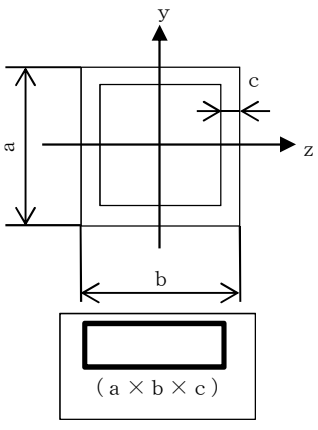
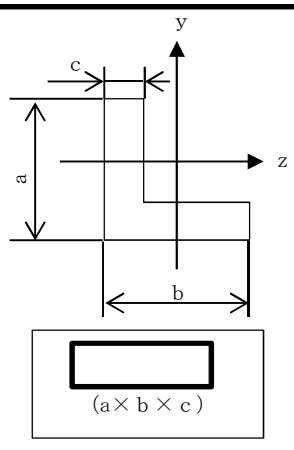
図 4-2　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用）遮へい体解析モデル

表 4-3　機器諸元（PT-26-79.61 用）遮へい体

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

注記　＊：() 内は合計質量を示す。

表 4-4　部材の機器要目

材料		
対象要素	①－⑧	⑨－⑯
A （mm^2）		
I_y （mm^4）		
I_z （mm^4）		
I_p （mm^4）		
Z_y （mm^3）		
Z_z （mm^3）		
Z_p （mm^3）		
断面形状 （mm）		

4.4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-5 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 4-5　固有値解析結果(s)

モード	固有周期	卓越方向
1 次	[redacted]	水平

4.5　構造強度評価

4.5.1　構造強度評価方法

(1)　地震力はサプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用）遮へい体に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用）遮へい体は，基礎ボルトにより天井に固定されるものとする。

(3)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用）遮へい体の質量は遮へい体及び遮へい体支持架構を考慮する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.5.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用）遮へい体の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

4.5.2.2　許容応力

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用）遮へい体の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-7 のとおりとする。

4.5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用）遮へい体の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-8 に示す。

表 4-6　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用）遮へい体	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-7　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅣＡＳ	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-8　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 （℃）		Ｓｙ （MPa）	Ｓｕ （MPa）	Ｓｙ（ＲＴ） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	—

4.5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-9 に示す。

表 4-9　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL. 8.20 (EL. 14.00*1)			－	－	C_H=1.13	C_V=0.99

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

4.5.4　計算方法

4.5.4.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

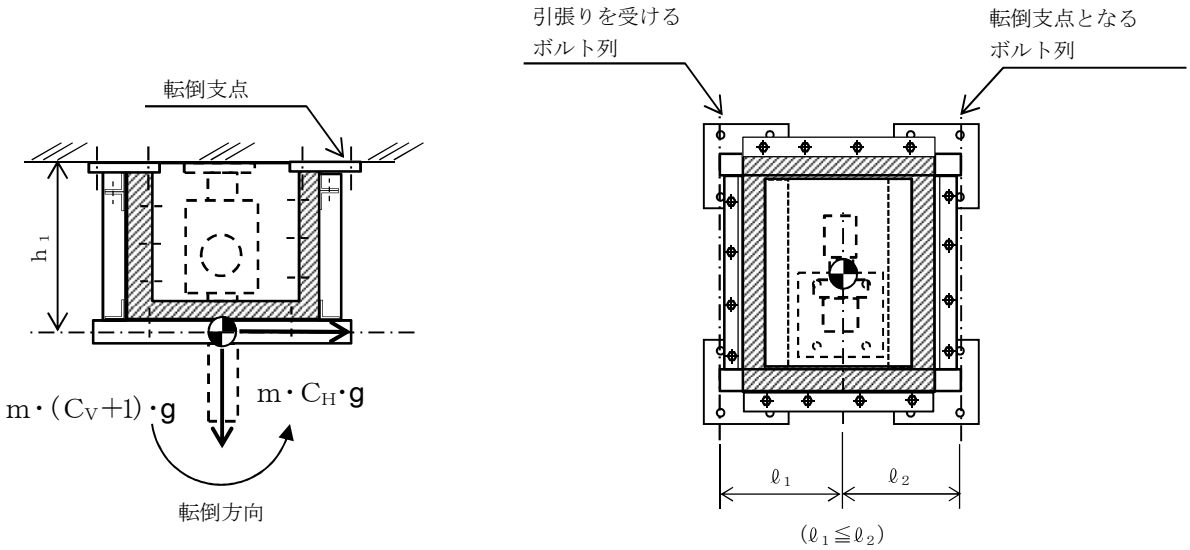


図4-3(1)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61用遮へい体）計算モデル
（直立形　正面方向転倒の場合）

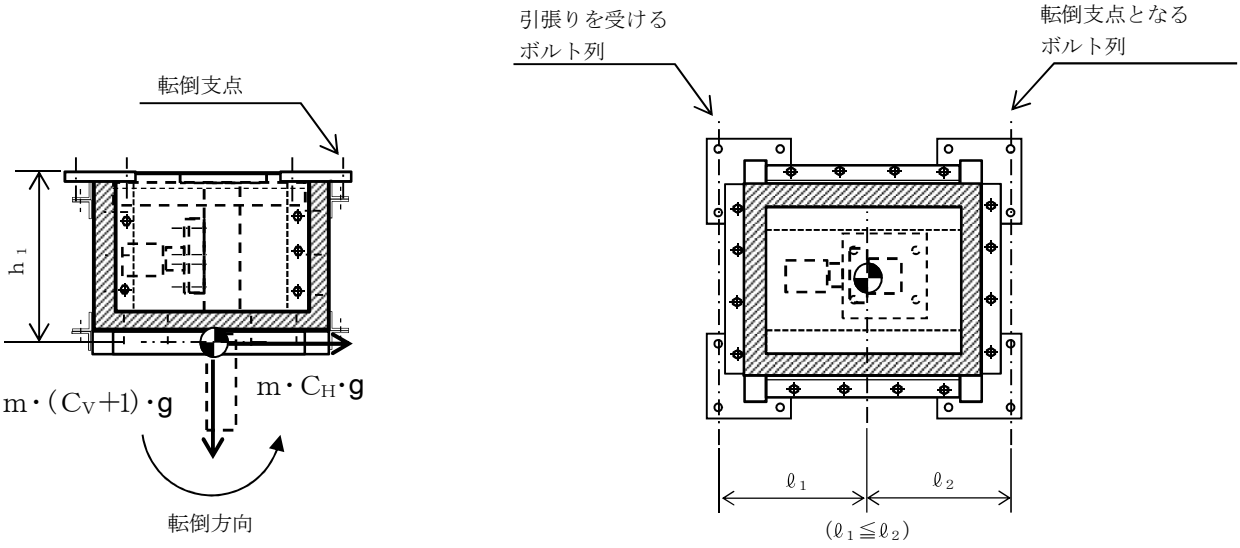


図4-3(2)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61用遮へい体）計算モデル
（直立形　側面方向転倒の場合）

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図4-3で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図4-3(1)及び図4-3(2)の場合の引張力

$$F_b=\frac{m\cdot g\cdot C_H\cdot h_1+m\cdot g\cdot(1+C_v)\cdot \ell_1}{n_f\cdot(\ell_1+\ell_2)} \cdots\cdots\cdots (4.5.4.1.1)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \cdots\cdots\cdots (4.5.4.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \cdots\cdots\cdots (4.5.4.1.3)$$

(2)　せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_b= m\cdot g\cdot C_H \cdots\cdots\cdots (4.5.4.1.4)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \cdots\cdots\cdots (4.5.4.1.5)$$

4.5.5　計算条件

4.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61用）遮へい体の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.5.6　応力の評価

4.5.6.1　ボルトの応力評価

4.4.6.1項で求めたボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。ただし，f_{to}及びf_{sb}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (4.5.6.1.1)$$

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。

	弾性設計用地震動S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

4.7　評価結果

4.7.1　重大事故等対処設備としての評価結果

サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用）遮へい体の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用）遮へい体の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
サプレッション・チェンバ圧力	常設耐震／防止 常設／緩和	EL. 8.20 (EL. 14.00*1)			－	－	C_H＝1.13	C_v＝0.99	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析により 0.05 秒以下であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 サプレッション・チェンバ圧力(PT-26-79.61 用遮へい体)

部材	m (kg)	h_1 (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト							4 4

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	水平方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は水平方向転倒に対する
評価時の要目を示し，下段は鉛直方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

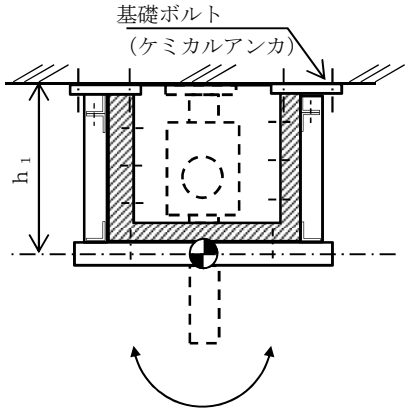
1.4　結論

1.4.1　サプレッション・チェンバ圧力(PT-26-79.61 用遮へい体)の応力　　(単位：MPa)

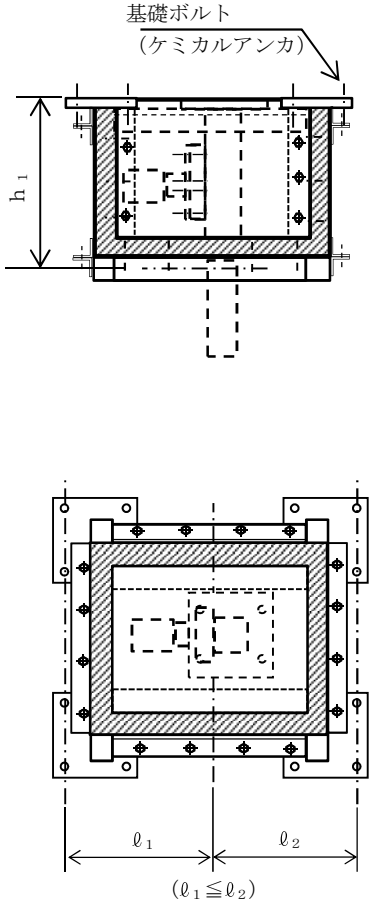
部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=47	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=10	f_{sb}=120

すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b, f_{to}]より算出



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-5-27　サプレッション・プール水温度の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 …… 1
2. 一般事項 …… 1
2.1 構造計画 …… 1
2.2 評価方針 …… 4
2.3 適用基準 …… 4
3. 評価部位 …… 4
4. 機能維持評価 …… 5
4.1 評価用加速度 …… 5
4.2 機能確認済加速度 …… 6
5. 評価結果 …… 7
5.1 設計基準対象施設としての評価結果 …… 7
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 …… 7

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき，サプレッション・プール水温度が設計用地震力に対して十分な電気的機能を有していることを説明するものである。

サプレッション・プール水温度は，設計基準対象施設はＳクラス施設に，重大事故等対処設備は常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

サプレッション・プール水温度の構造計画を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

表 2-1　構造計画

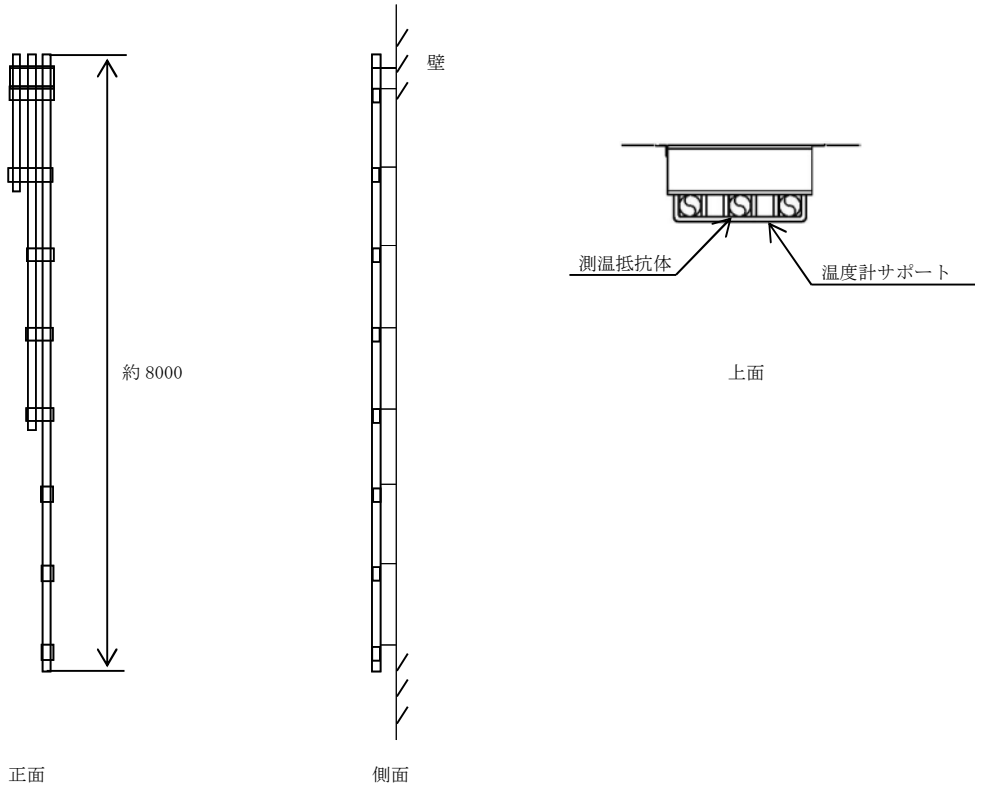
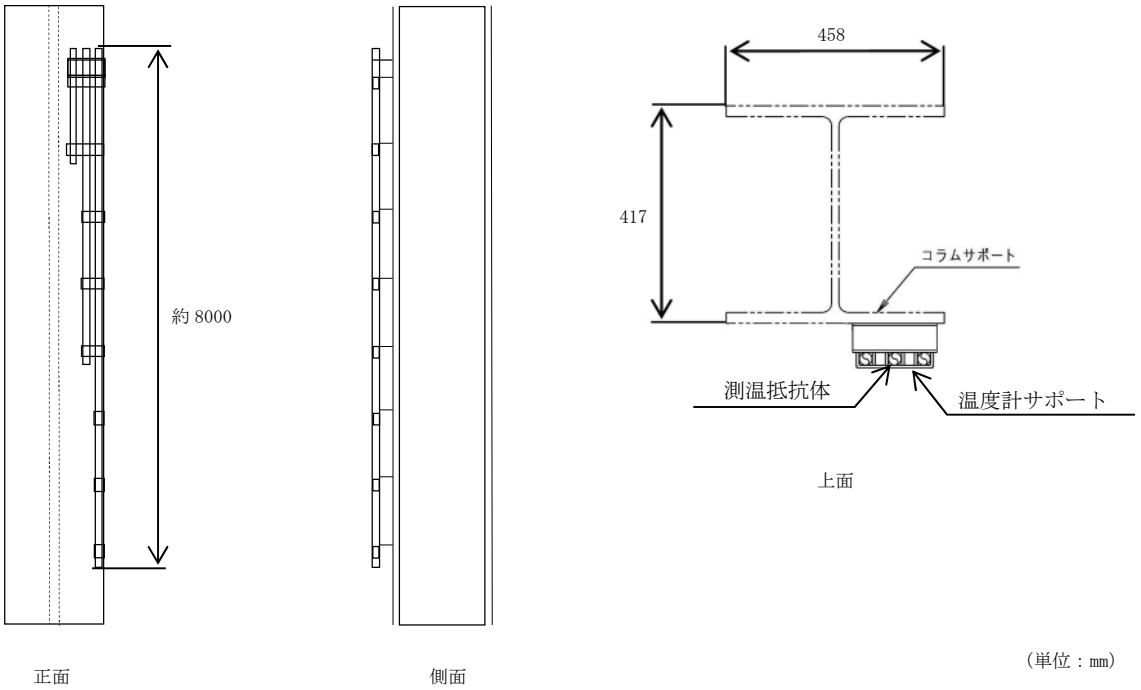
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
温度計は，温度計保護管内に設置し，温度計保護管は，温度計サポートを介して，サプレッション・チェンバ内の壁に設置する。	測温抵抗体	【TE-T23-N001B, N001C, N002B, N002C, N003B, N003C, N007, N009, N011, N012, N013, N014】  （単位：mm）

表 2-2　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
温度計は，温度計保護管内に設置し，温度計保護管は，温度計サポートを介して，コラムサポートに設置する。	測温抵抗体	【TE-T23- N004B, N004C, N005B, N005C, N006B, N006C, N015, N017, N019, N020, N021, N022, N030, N040, N050】



2.2　評価方針

サプレッション・プール水温度の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「4.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

サプレッション・プール水温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

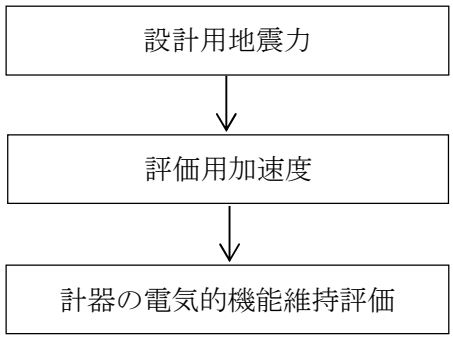


図 2-1　サプレッション・プール水温度の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991追補版（日本電気協会）

3.　評価部位

サプレッション・プール水温度は，サプレッション・チェンバ内の壁もしくはコラムサポートに直接取り付けられた温度計サポートに挿入され固定されることから，サプレッション・チェンバが支持している。サプレッション・チェンバの構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-9-2-1　原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」にて実施しているため，本計算書では，原子炉格納容器本体の地震応答解析結果を用いたサプレッション・プール水温度の電気的機能維持評価について示す。

サプレッション・プール水温度の耐震評価箇所については，表 2-1 及び表 2-2 の概略構造図に示す。

4. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

サプレッション・プール水温度はサプレッション・チェンバの壁もしくはコラムサポートに直接取り付けられた温度計サポートに挿入され固定されることから，評価用加速度は，「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力として添付書類「Ⅴ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。評価用加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価用加速度　　(×9.8 m/s^2)

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	基準地震動Ｓ$_s$
			評価用加速度
サプレッション・プール水温度	[redacted] EL. 13.20*	水平	1.00
		鉛直	0.93

注記　＊：基準床レベルを示す。

4.2　機能確認済加速度

サプレッション・プール水温度の機能確認済加速度については以下に示す。

サプレッション・プール水温度の機能確認済加速度には，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
サプレッション・プール水温度	水平	
	鉛直	

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

サプレッション・プール水温度の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電気的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

サプレッション・プール水温度の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電気的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【サプレッション・プール水温度の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象設備

1.1 電気的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
サプレッション・プール水温度 (TE-T23-N001B～N006B) (TE-T23-N001C～N006C) (TE-T23-N007,N009) (TE-T23-N011～N015) (TE-T23-N017) (TE-T23-N019～N022)	水平方向	1.00	
	鉛直方向	0.93	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 電気的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
サプレッション・プール水温度 (TE-T23-N030) (TE-T23-N040) (TE-T23-N050)	水平方向	1.00	
	鉛直方向	0.93	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-5-28　ドライウェル雰囲気温度の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
2.2 評価方針 5
2.3 適用基準 5
3. 評価部位 5
4. 機能維持評価 6
4.1 評価用加速度 6
4.2 機能確認済加速度 7
5. 評価結果 8
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果 8

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき，ドライウェル雰囲気温度が設計用地震力に対して十分な電気的機能を有していることを説明するものである。

ドライウェル雰囲気温度は，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ドライウェル雰囲気温度の構造計画を表 2-1，表 2-2，表 2-3 に示す。

表 2-1　構造計画

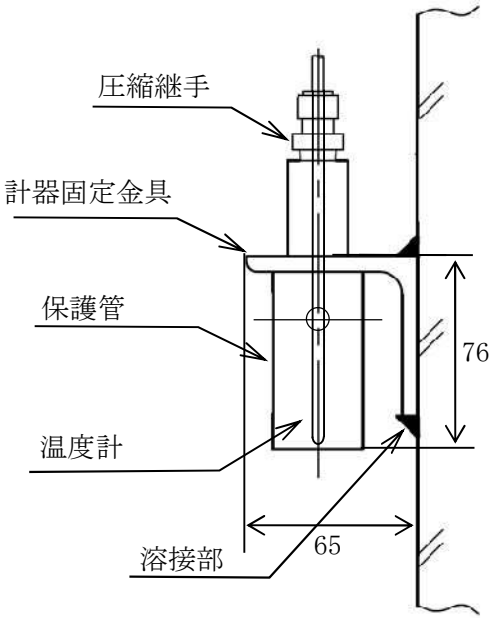
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
温度計は，計器固定金具に圧縮継手により固定する。 計器固定金具は，溶接により原子炉本体の基礎に設置する。	熱電対	【TE-26-79.61A，B】  （単位：mm）

表 2-2　構造計画

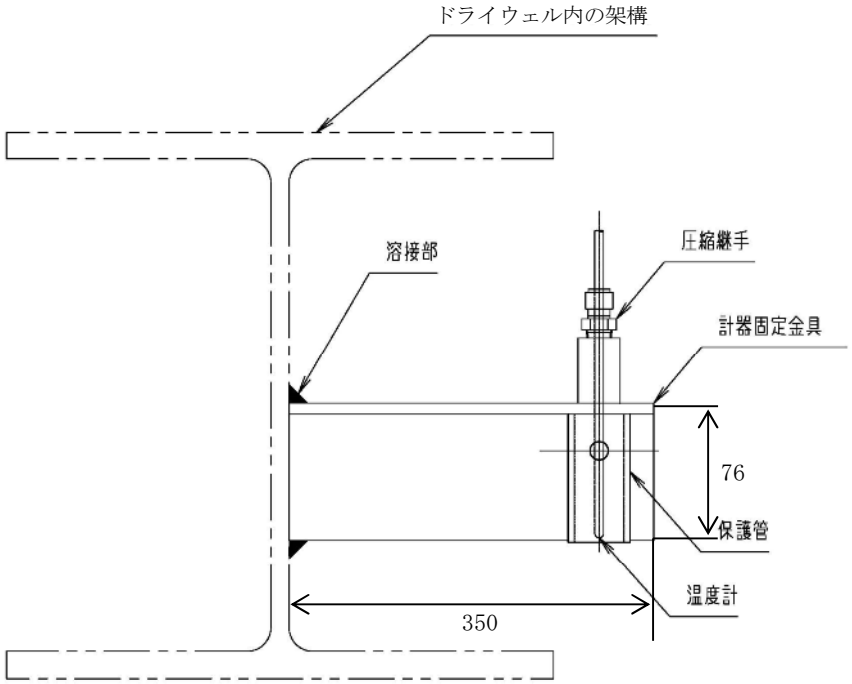
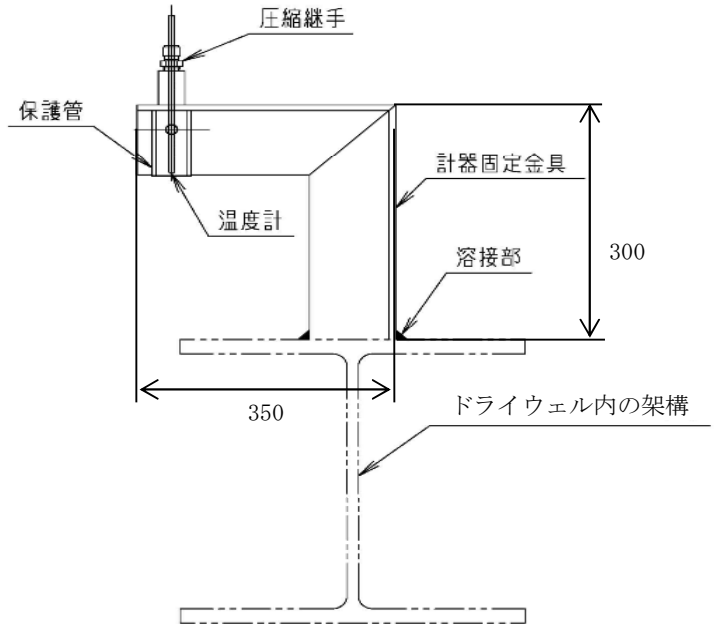
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
温度計は，計器固定金具に圧縮継手により固定する。 計器固定金具は，溶接によりドライウェル内の架構に設置する。	熱電対	【TE-26-79.63A，B，TE-26-79.64A，B】  （単位：mm）

表 2-3　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
温度計は，計器固定金具に圧縮継手により固定する。 計器固定金具は，溶接によりドライウェル内の架構に設置する。	熱電対	【TE-26-79.62A，B】  （単位：mm）

2.2　評価方針

ドライウェル雰囲気温度の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2 電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「4.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

ドライウェル雰囲気温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

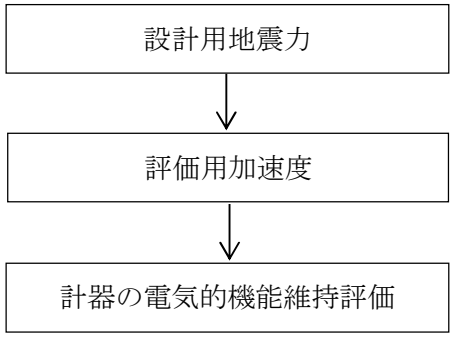


図 2-1　ドライウェル雰囲気温度の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991追補版（日本電気協会）

3.　評価部位

ドライウェル雰囲気温度は，計器固定金具に圧縮継手により固定され，計器固定金具は溶接によりドライウェル内の架構又はペデスタル壁面に設置することから，ドライウェル又はペデスタルが支持している。ドライウェル，ペデスタルの構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-9-2-1　原子炉格納容器の耐震性についての計算書」にて実施しているため，本計算書では，原子炉格納容器本体の地震応答解析結果を用いたドライウェル雰囲気温度の電気的機能維持評価について示す。

ドライウェル雰囲気温度の耐震評価部位については，表 2-1，表 2-2，表 2-3 の概略構造図に示す。

4. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

ドライウェル雰囲気温度はドライウェル内の架構又はペデスタル壁面に直接取り付けられた計器固定金具に固定されることから，評価用加速度は，「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力として添付書類「Ⅴ-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。評価用加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価用加速度 （×9.8 m/s^2）

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	基準地震動Ｓ$_s$ 評価用加速度
ドライウェル雰囲気温度 (TE-26-79.61A,B)	[redacted] EL.16.62*	水平	1.17
		鉛直	0.98
ドライウェル雰囲気温度 (TE-26-79.62A,B TE-26-79.63A,B TE-26-79.64A,B)	[redacted] EL.44.17*	水平	1.77
		鉛直	1.17

注記 ＊：基準床レベルを示す。

4.2　機能確認済加速度

ドライウェル雰囲気温度の機能確認済加速度については以下に示す。

ドライウェル雰囲気温度の機能確認済加速度には，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
ドライウェル雰囲気温度 (TE-26-79.61A,B TE-26-79.62A,B TE-26-79.63A,B TE-26-79.64A,B)	水平	
	鉛直	

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

ドライウェル雰囲気温度の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電気的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ドライウェル雰囲気温度の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ドライウェル雰囲気温度 (TE-26-79.61A,B)	水平方向	1.17	
	鉛直方向	0.98	
ドライウェル雰囲気温度 (TE-26-79.62A,B TE-26-79.63A,B TE-26-79.64A,B)	水平方向	1.77	
	鉛直方向	1.17	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-5-29　サプレッション・チェンバ雰囲気温度の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 3
3. 評価部位 ····· 3
4. 機能維持評価 ····· 4
4.1 評価用加速度 ····· 4
4.2 機能確認済加速度 ····· 5
5. 評価結果 ····· 6
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 6

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，サプレッション・チェンバ雰囲気温度が設計用地震力に対して十分な電気的機能を有していることを説明するものである。

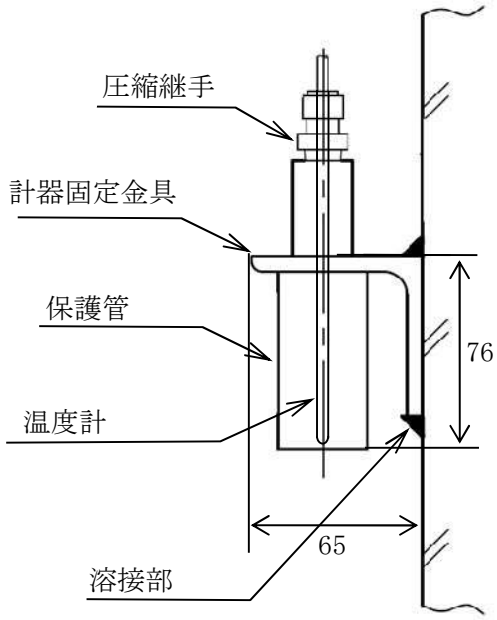
サプレッション・チェンバ雰囲気温度は，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

サプレッション・チェンバ雰囲気温度の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
温度計は，計器固定金具に圧縮継手により固定する。 計器固定金具は，溶接によりサプレッション・チェンバ内上部架構に設置する。	熱電対	 （単位：mm）

2.2　評価方針

サプレッション・チェンバ雰囲気温度の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「4.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

サプレッション・チェンバ雰囲気温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

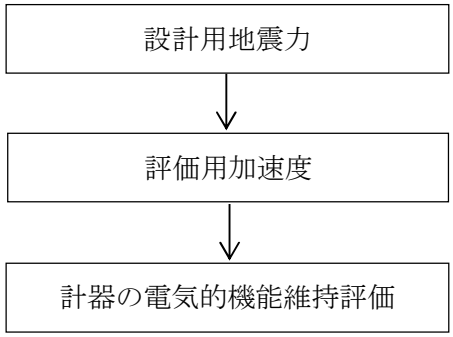


図 2-1　サプレッション・チェンバ雰囲気温度の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991追補版（日本電気協会）

3.　評価部位

サプレッション・チェンバ雰囲気温度は，計器固定金具に圧縮継手により固定され，計器固定金具は溶接によりサプレッション・チェンバ内上部架構に設置することから，サプレッション・チェンバが支持している。サプレッション・チェンバの構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-9-2-1　原子炉格納容器の耐震性についての計算書」にて実施しているため，本計算書では，原子炉格納容器本体の地震応答解析結果を用いたサプレッション・チェンバ雰囲気温度の電気的機能維持評価について示す。

サプレッション・チェンバ雰囲気温度の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

サプレッション・チェンバ雰囲気温度はサプレッション・チェンバ内上部架構に設置することから，評価用加速度は，「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力として添付書類「Ⅴ-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。評価用加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価用地震力 （×9.8 m/s^2）

機器名称	対象機器設置箇所（m）	方向	基準地震動Ｓ$_s$ 評価用加速度
サプレッション・チェンバ雰囲気温度	[redacted] EL. 13.20*	水平	1.00
		鉛直	0.93

注記 ＊：基準床レベルを示す。

4.2　機能確認済加速度

サプレッション・チェンバ雰囲気温度の機能確認済加速度については以下に示す。

サプレッション・チェンバ雰囲気温度の機能確認済加速度には，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2　機能確認済加速度　　(×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
サプレッション・チェンバ雰囲気温度	水平	
	鉛直	

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

サプレッション・チェンバ雰囲気温度の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電気的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【サプレッション・チェンバ雰囲気温度の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 電気的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
サプレッション・チェンバ雰囲気温度	水平方向	1.00	
	鉛直方向	0.93	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-5-30　格納容器内水素濃度の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 固有周期 ····· 3
3.1 固有周期の算出方法 ····· 3
4. 構造強度評価 ····· 3
4.1 構造強度評価方法 ····· 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 3
4.2.2 許容応力 ····· 3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 3
5. 機能維持評価 ····· 6
5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 6
6. 評価結果 ····· 6
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 6

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお，本計算書では，添付書類「Ⅴ-2-6-5-32　格納容器内酸素濃度の耐震性についての計算書」の評価も併せて説明する。

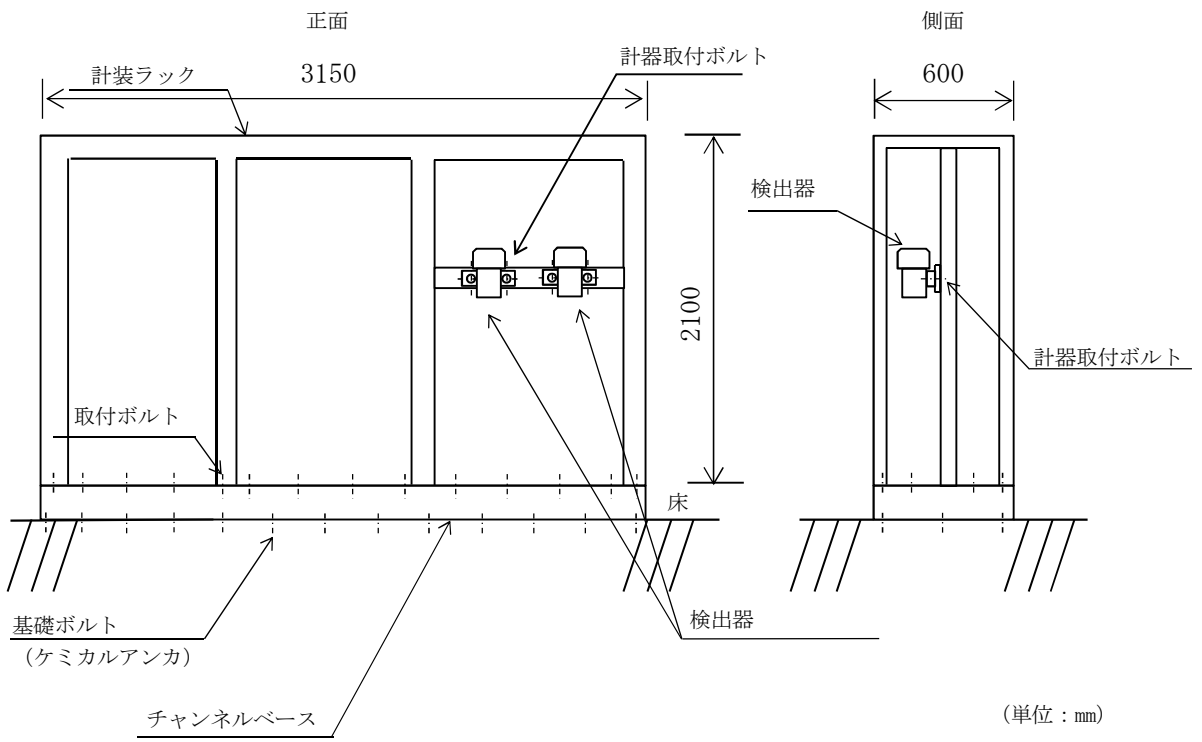
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計装ラックに固定される。 計装ラックは，チャンネルベースに取付ボルトで設置され，チャンネルベースは基礎ボルトで固定される。	熱伝導式水素検出器 磁気風式酸素検出器	

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により，当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ，振動計，分析器）により記録解析する。測定の結果，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度の構造は直立型計装ラックであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2　許容応力

格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	格納容器内水素濃度 格納容器内酸素濃度	S	－*	$D+P_D+M_D+S_d$*	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2　許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
III_AS	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
IV_AS	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}（ＲＴ） (MPa)
基礎ボルト (ｉ＝1)	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	235	400	－
取付ボルト (ｉ＝2)		周囲環境温度	[redacted]	235	400	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
格納容器内水素濃度 格納容器内酸素濃度	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

格納容器内水素濃度及び格納容器内酸素濃度の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【格納容器内水素濃度（D23-H2E-N002A），格納容器内酸素濃度（D23-O2E-N001A）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
格納容器内水素濃度 格納容器内酸素濃度	S	EL. 20. 30*			C_H=0. 78	C_V=0. 54	C_H=1. 34	C_V=1. 01	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 格納容器内水素濃度，格納容器内酸素濃度

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
基礎ボルト（i＝1）							
取付ボルト（i＝2）							

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）	235	400	235	280	短辺方向	短辺方向
取付ボルト（i＝2）	235	400	235	280	短辺方向	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)				
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1}=14$	$f_{ts1}=141^*$	$\sigma_{b1}=30$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	$\tau_{b1}=3$	$f_{sb1}=108$	$\tau_{b1}=5$	$f_{sb1}=129$
取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=9$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=18$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

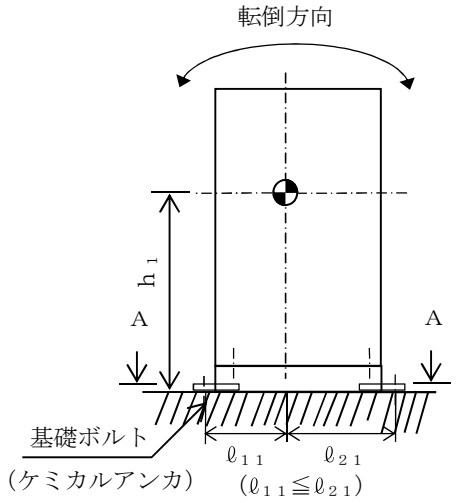
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

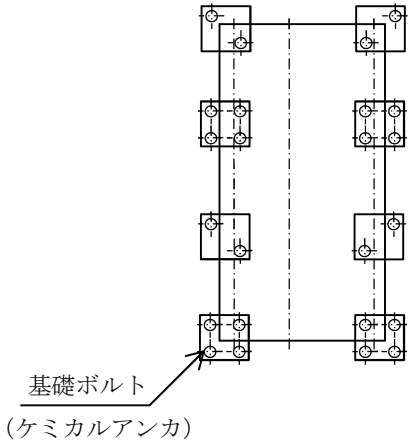
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
格納容器内水素濃度 格納容器内酸素濃度	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

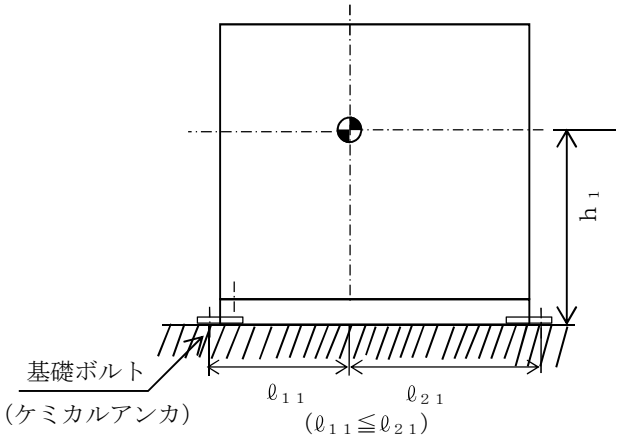
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



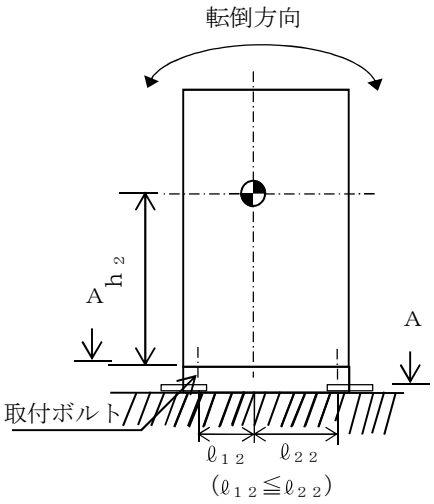
側面（短辺方向）



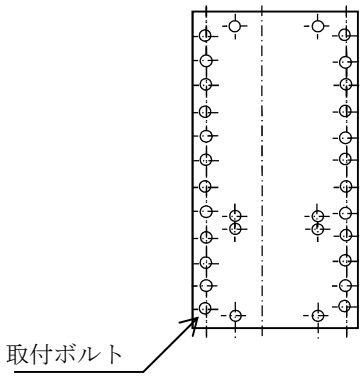
A～A矢視図



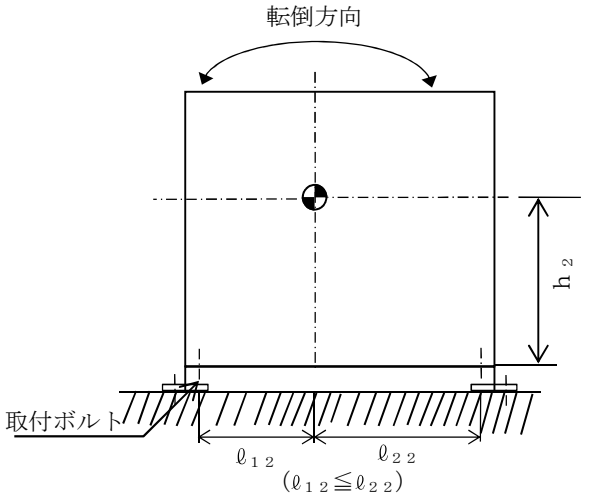
正面（長辺方向）



側面（短辺方向）



A～A矢視図



正面（長辺方向）

【格納容器内水素濃度（D23-H2E-N002B），格納容器内酸素濃度（D23-02E-N001B）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
格納容器内水素濃度 格納容器内酸素濃度	S	EL. 29.00*			C_H＝0.88	C_V＝0.62	C_H＝1.55	C_V＝1.17	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 格納容器内水素濃度，格納容器内酸素濃度

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
基礎ボルト（i＝1）							
取付ボルト（i＝2）							

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）	235	400	235	280	短辺方向	短辺方向
取付ボルト（i＝2）	235	400	235	280	短辺方向	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)				
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1}=19$	$f_{ts1}=141$*	$\sigma_{b1}=40$	$f_{ts1}=168$*
		せん断	$\tau_{b1}=4$	$f_{sb1}=108$	$\tau_{b1}=7$	$f_{sb1}=129$
取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=10$	$f_{ts2}=176$*	$\sigma_{b2}=24$	$f_{ts2}=210$*
		せん断	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

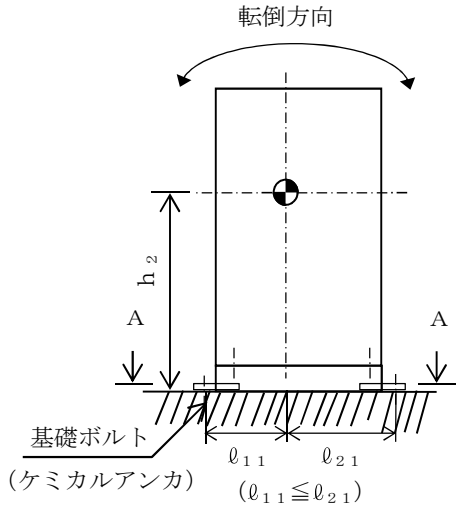
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

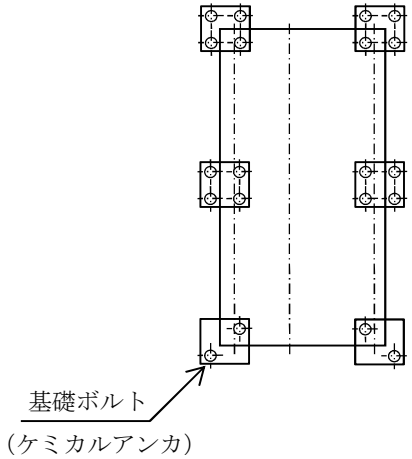
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
格納容器内水素濃度 格納容器内酸素濃度	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

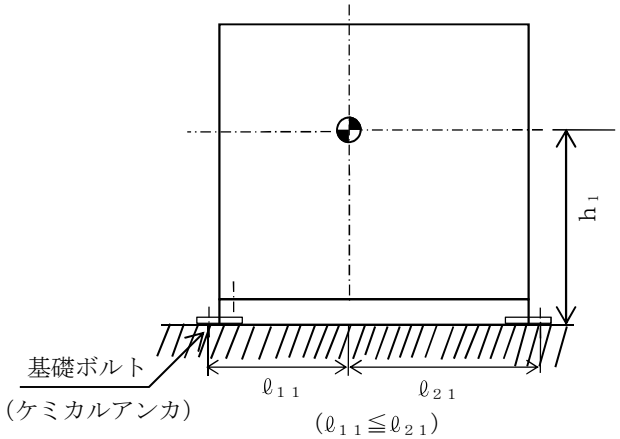
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



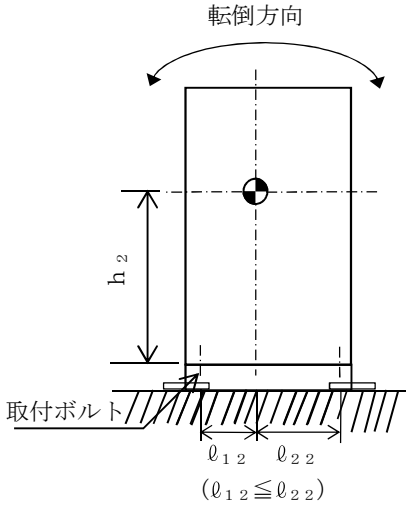
側面（短辺方向）



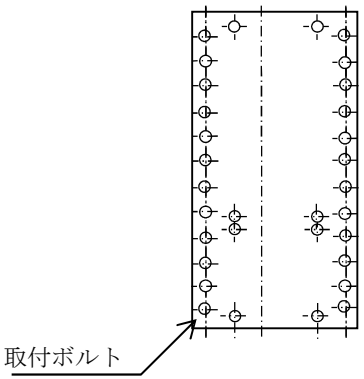
A～A矢視図



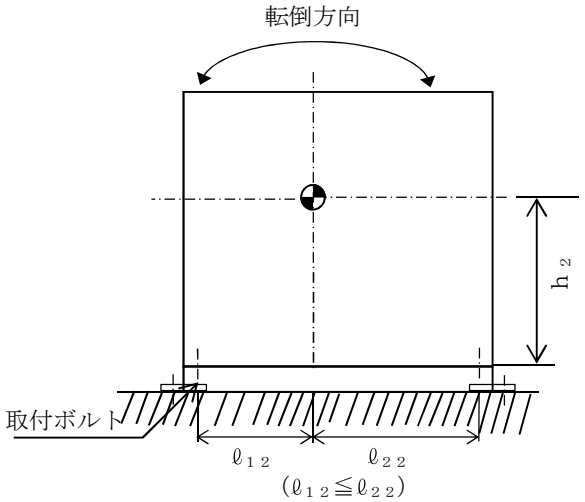
正面（長辺方向）



側面（短辺方向）



A～A矢視図



正面（長辺方向）

Ⅴ-2-6-5-31　格納容器内水素濃度（ＳＡ）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 固有周期 ····· 3
3.1 固有周期の算出方法 ····· 3
4. 構造強度評価 ····· 3
4.1 構造強度評価方法 ····· 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 3
4.2.2 許容応力 ····· 3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 3
5. 機能維持評価 ····· 6
5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 6
6. 評価結果 ····· 7
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 7

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，格納容器内水素濃度（ＳＡ），格納容器内酸素濃度（ＳＡ）及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

格納容器内水素濃度（ＳＡ），格納容器内酸素濃度（ＳＡ）及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお，本計算書では，添付書類「Ⅴ-2-6-5-33　格納容器内酸素濃度（ＳＡ）の耐震性についての計算書」及び添付書類「Ⅴ-2-6-7-10　格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置の耐震性についての計算書」の評価も併せて説明する。

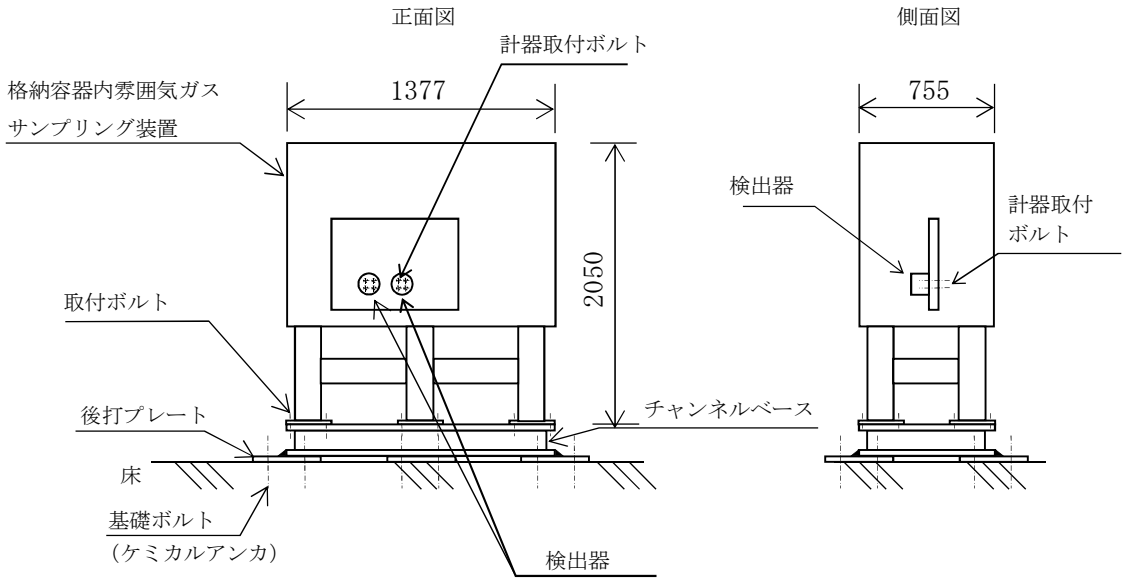
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

格納容器内水素濃度（ＳＡ），格納容器内酸素濃度（ＳＡ）及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトによりガスサンプリング装置に取付けられた取付板に固定される。 格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置は，取付ボルトによりチャンネルベースに固定する。 チャンネルベースは床面に設置された後打プレートに固定する。 後打プレートは基礎ボルトにより床面に設置する。	熱伝導式水素検出器 磁気力式酸素検出器 格納容器内ガスサンプリング装置	

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

振動試験装置により固有振動数（共振周波数）を測定する。測定の結果，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

格納容器内水素濃度（ＳＡ），格納容器内酸素濃度（ＳＡ）及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置の構造は直立形計装ラックであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

格納容器内水素濃度（ＳＡ），格納容器内酸素濃度（ＳＡ）及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2　許容応力

格納容器内水素濃度（ＳＡ），格納容器内酸素濃度（ＳＡ）及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

格納容器内水素濃度（ＳＡ），格納容器内酸素濃度（ＳＡ）及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	格納容器内水素濃度（ＳＡ） 格納容器内酸素濃度（ＳＡ） 格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV_AS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
V_AS （V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}（RT） (MPa)
基礎ボルト （i＝1）		周囲環境温度		225	385	－
取付ボルト （i＝2）		周囲環境温度		234	385	－

5.　機能維持評価

5.1　電気的機能維持評価方法

格納容器内水素濃度（ＳＡ）及び格納容器内酸素濃度（ＳＡ）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

格納容器内水素濃度（ＳＡ）及び格納容器内酸素濃度（ＳＡ）の機能確認済加速度には，格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置一式で行った加振試験により，電気的機能の健全性を確認した加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
格納容器内雰囲気 ガスサンプリング装置	水平	
	鉛直	

6.　評価結果

6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

格納容器内水素濃度（ＳＡ），格納容器内酸素濃度（ＳＡ）及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【格納容器内水素濃度計（ＳＡ）(H2E-SA19-N002A)，格納容器内酸素濃度計（ＳＡ）(02E-SA19-N001A) 及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置	常設耐震／防止 常設／緩和	[redacted] EL. 20. 30*	[redacted]		－	－	C_H＝1. 34	C_V＝1. 01	[redacted]

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}
基礎ボルト（ｉ＝1）	[redacted]						4
							4
取付ボルト（ｉ＝2）							4
							4

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（ｉ＝1）	225	385	－	270	－	短辺方向
取付ボルト（ｉ＝2）	234	385	－	270	－	短辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i＝1)				
取付ボルト (i＝2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i＝1)		引張り	－	－	σ_{b1}＝17	f_{ts1}＝162*
		せん断	－	－	τ_{b1}＝4	f_{sb1}＝124
取付ボルト (i＝2)		引張り	－	－	σ_{b2}＝30	f_{ts2}＝202*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝6	f_{sb2}＝155

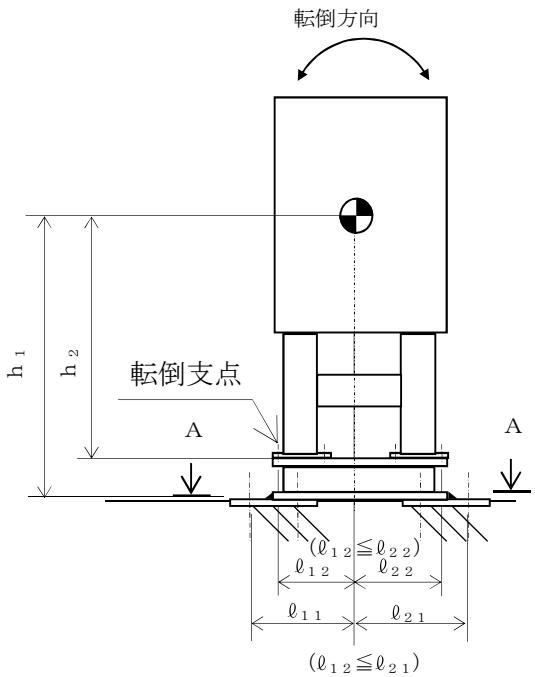
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

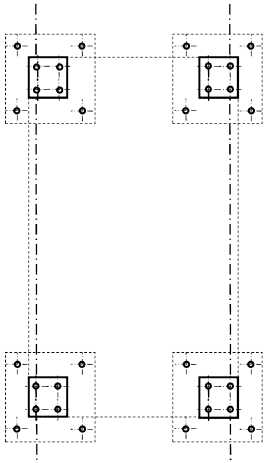
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

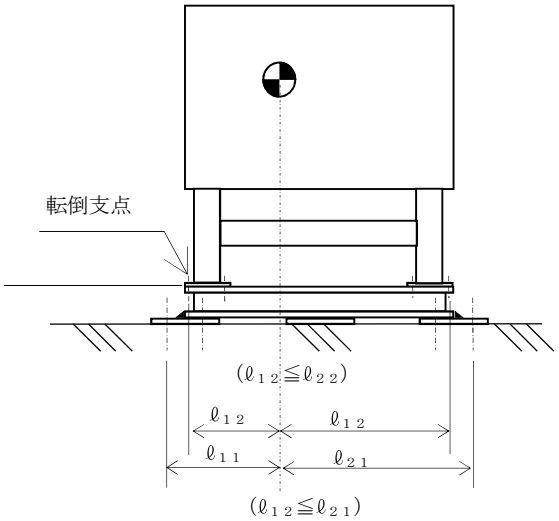
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



A～A矢視図



正面（長辺方向）

【格納容器内水素濃度計（ＳＡ）(H2E-SA19-N002B)，格納容器内酸素濃度計（ＳＡ）(02E-SA19-N001B) 及び格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置	常設耐震／防止 常設／緩和	[redacted] EL. 14. 00*	[redacted]		－	－	C_H＝1. 13	C_V＝0. 99	[redacted]

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}
基礎ボルト（ｉ＝1）	[redacted]						4
							4
取付ボルト（ｉ＝2）							4
							4

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（ｉ＝1）	225	385	－	270	－	短辺方向
取付ボルト（ｉ＝2）	234	385	－	270	－	短辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）				
取付ボルト（i＝2）				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（i＝1）		引張り	－	－	σ_{b1}＝15	f_{ts1}＝162*
		せん断	－	－	τ_{b1}＝3	f_{sb1}＝124
取付ボルト（i＝2）		引張り	－	－	σ_{b2}＝25	f_{ts2}＝202*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝5	f_{sb2}＝155

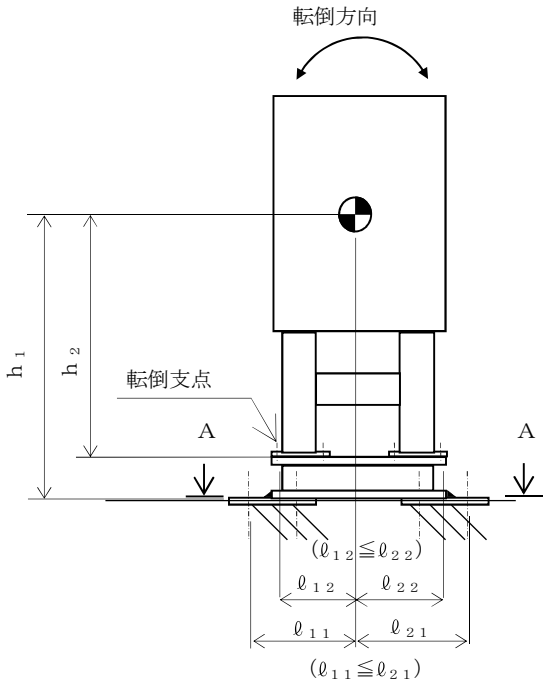
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}, f_{toi}]より算出

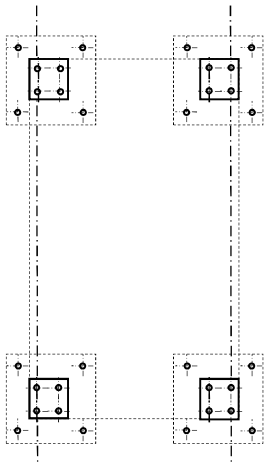
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.83	

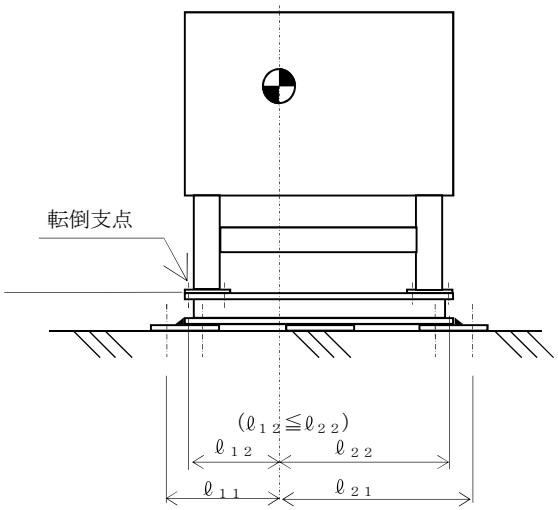
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



A～A矢視図



正面（長辺方向）

Ⅴ-2-6-5-32　格納容器内酸素濃度の耐震性についての計算書

格納容器内酸素濃度の耐震計算は，添付書類「Ⅴ-2-6-5-30　格納容器内水素濃度の耐震性についての計算書」で説明する。

Ⅴ-2-6-5-33　格納容器内酸素濃度（ＳＡ）の耐震性についての計算書

格納容器内酸素濃度（ＳＡ）の耐震性についての耐震計算は，添付書類「Ⅴ-2-6-5-31　格納容器内水素濃度（ＳＡ）の耐震性についての計算書」で説明する。

Ⅴ-2-6-5-34　格納容器下部水温の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
2.2 評価方針 4
2.3 適用基準 5
2.4 記号の説明 6
2.5 計算精度と数値の丸め方 8
3. 評価部位 9
4. 地震応答解析及び構造強度評価 9
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 9
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 9
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 9
4.2.2 許容応力 9
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 9
4.3 解析モデル及び諸元 12
4.4 固有周期 17
4.5 設計用地震力 18
4.6 計算方法 19
4.6.1 基礎ボルトの応力 19
4.7 計算条件 22
4.7.1 基礎ボルトの応力計算条件 22
4.8 応力の評価 22
4.8.1 基礎ボルトの応力評価 22
5. 機能維持評価 23
5.1 電気的機能維持評価方法 23
6. 評価結果 23
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 23

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，格納容器下部水温が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

格納容器下部水温は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

格納容器下部水温の構造計画を表 2-1，表 2-2 に示す。

表 2-1　構造計画

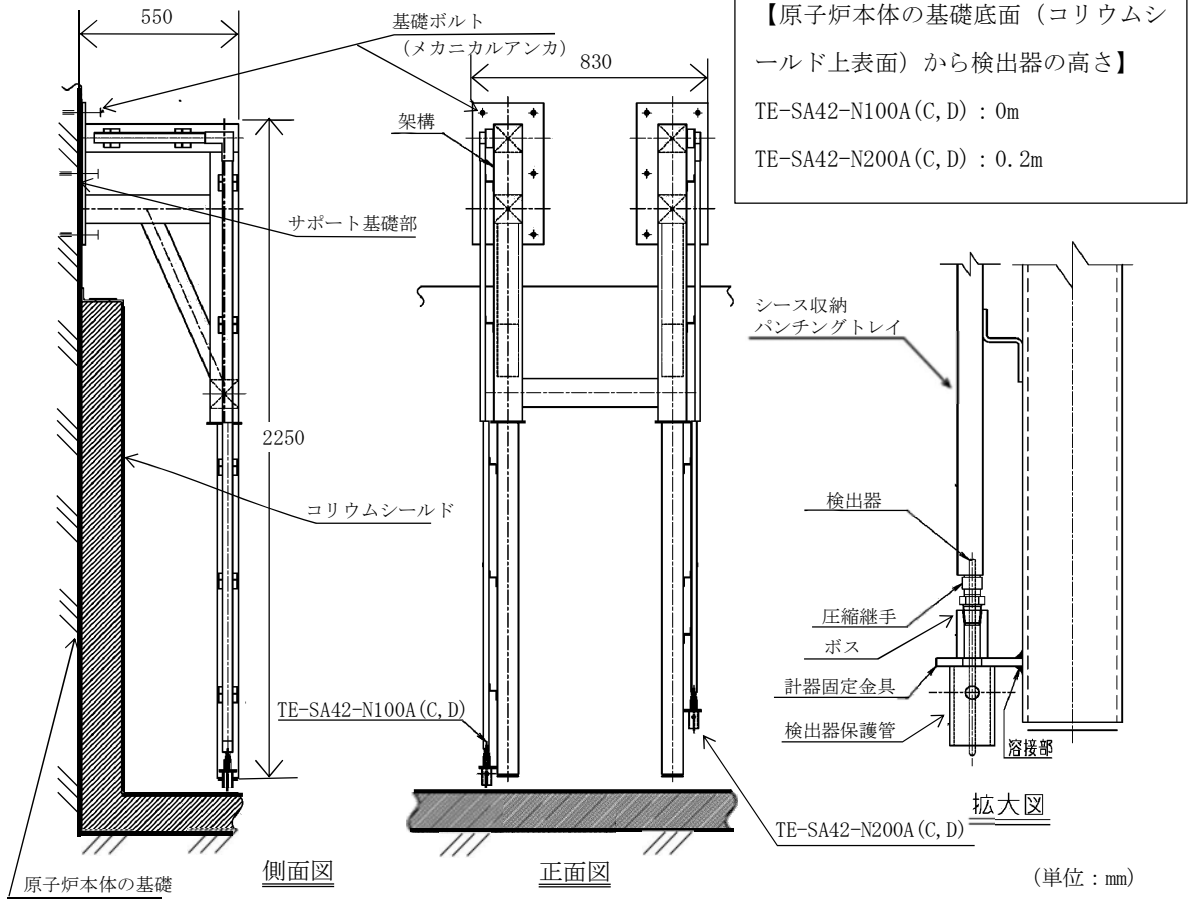
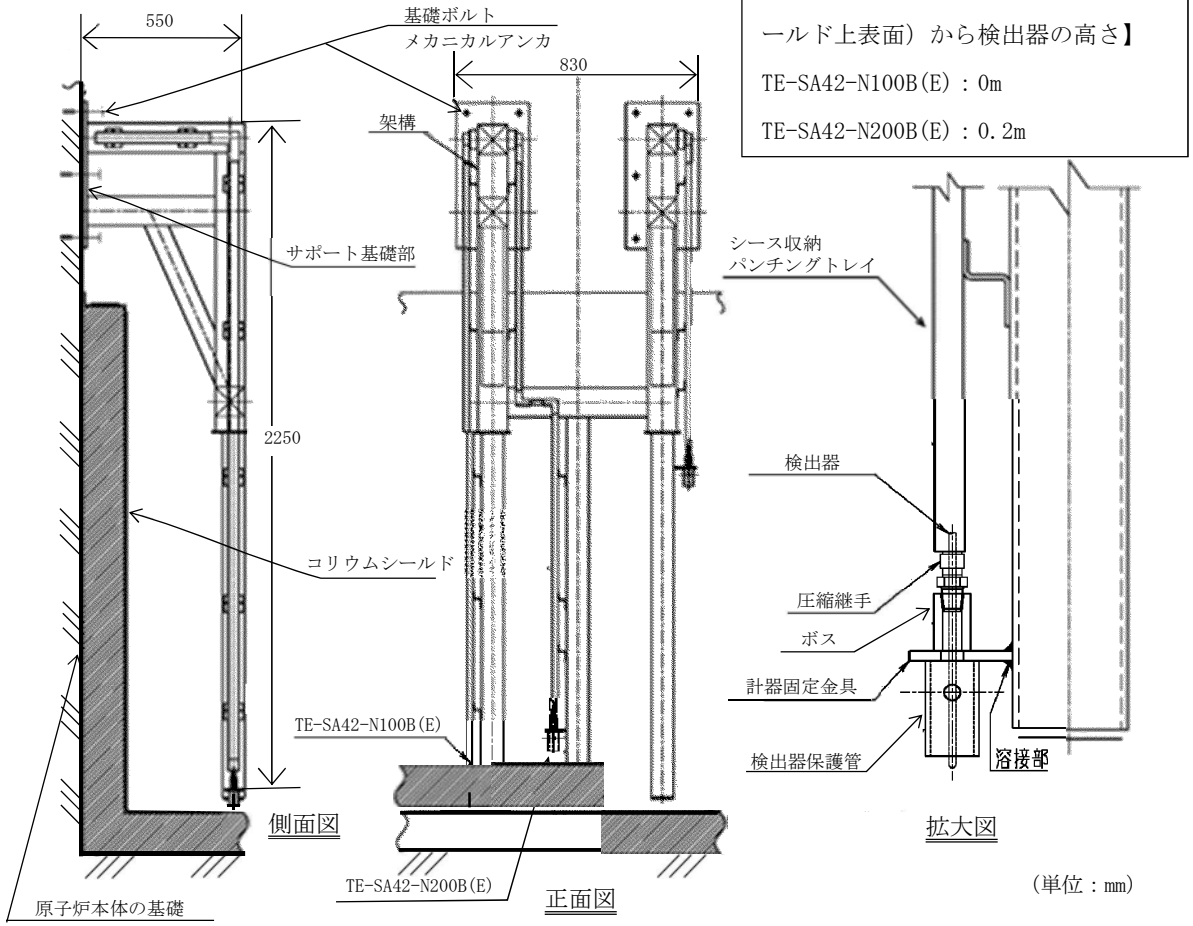
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器固定金具に圧縮継手により固定する。 計器固定金具は，溶接により架構に固定する。架構は基礎ボルトにより原子炉本体の基礎の壁面に設置する。	測温抵抗体	【TE-SA42-N100A,C,D，TE-SA42-N200A,C,D】 

表 2-2　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器固定金具に圧縮継手により固定する。 計器固定金具は，溶接により架構に固定する。架構は基礎ボルトにより原子炉本体の基礎の壁面に設置する。	測温抵抗体	【TE-SA42-N100B,E，TE-SA42-N200B,E】 【原子炉本体の基礎底面（コリウムシールド上表面）から検出器の高さ】 TE-SA42-N100B(E)：0m TE-SA42-N200B(E)：0.2m 

2.2　評価方針

格納容器下部水温の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す格納容器下部水温の部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，格納容器下部水温の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「5.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6.　評価結果」に示す。

格納容器下部水温の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

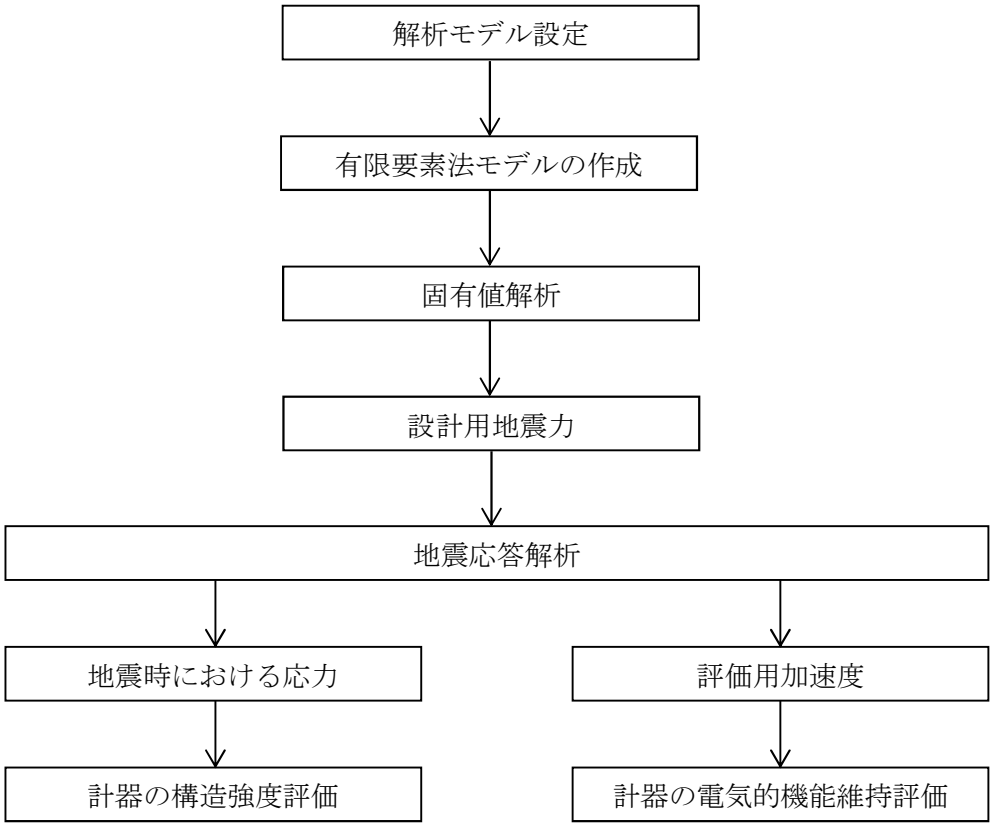


図 2-1　格納容器下部水温の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1) 原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3) 原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） ＪＳＭＥ ＳＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
A	架構及び計器固定金具の断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3131 又は SSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_X	サポート基礎部に作用する力（X方向）	N
F_Y	サポート基礎部に作用する力（Y方向）	N
F_Z	サポート基礎部に作用する力（Z方向）	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
I_p	架構及び計器固定金具の断面二次極モーメント	mm^4
I_y	架構及び計器固定金具の断面二次モーメント（y軸）	mm^4
I_z	架構及び計器固定金具の断面二次モーメント（z軸）	mm^4
ℓ	壁面から検出器及び検出器保護管質点までの距離	mm
ℓ_1	水平方向に並ぶ基礎ボルト間の距離	mm
ℓ_2	鉛直方向に並ぶ基礎ボルト間の距離	mm
ℓ_3	ℓ_1，ℓ_2のうち短い方の距離	mm
M_X	サポート基礎部に作用するモーメント（x軸）	N･mm
M_Y	サポート基礎部に作用するモーメント（y軸）	N･mm
M_Z	サポート基礎部に作用するモーメント（z軸）	N･mm
m_a	検出器（圧縮継手及びボスを含む）の質量	kg
m_b	検出器保護管の質量	kg
m_c，m_d，m_e	シース収納パンチングトレイの質量	kg
n	基礎ボルトの本数(金物（サポート基礎部）1枚当たり)	－
n_Y	M_Yの引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	－
n_Z	M_Zの引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	－
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力（1本当たり）	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（RT）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
Z_p	架構及び計器固定金具のねじり断面係数	mm^3
Z_y	架構及び計器固定金具の断面係数（y軸）	mm^3
Z_z	架構及び計器固定金具の断面係数（z軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表2-3に示すとおりとする。

表2-3　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量*1	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3.　評価部位

格納容器下部水温の耐震評価は，「4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。格納容器下部水温の耐震評価部位については，表 2-1，表 2-2 の概略構造図に示す。

4.　地震応答解析及び構造強度評価

4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　地震力は格納容器下部水温に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2)　格納容器下部水温は，基礎ボルトにより壁面に固定されるものとする。

(3)　格納容器下部水温の質量は，検出器，圧縮継手，ボス，検出器保護管，架構，計器固定金具及びシース収納パンチングトレイを考慮する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

格納容器下部水温の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2　許容応力

格納容器下部水温の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

格納容器下部水温の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	格納容器下部水温	常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許　容　限　界*1, *2 （ボ　ル　ト　等）	
	一　次　応　力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	144	402	205

4.3　解析モデル及び諸元

格納容器下部水温の解析モデルを３次元はりモデルとして図 4-1 及び図 4-2 に，解析モデルの概要を以下に示す。

検出器が設置される架構（(①～⑪) *1，[①～⑫] *2）及び検出器固定金具（(⑫，⑬)，[⑬～⑮]）は鋼材で構成され，架構①～④にて原子炉本体の基礎の壁面に固定されており，原子炉本体の基礎の壁面に沿って底部に向かい敷設されている。

また，解析モデルにおいて，検出器及び検出器保護管の質量は検出器固定金具より仮想鋼材を介した上下の質点に集中するものとし，質点はそれぞれの取付位置に設置する。なお，架構（(①，③，⑤，⑥，⑩，⑪)，[①，③，⑤～⑦，⑩～⑫]）に沿って敷設されたシース収納用パンチングトレイの質量は，架構との固定部に集中するものとし，質点は当該固定部に設置する。

機器の諸元を表 4-4 及び表 4-6，部材の機器要目を表 4-5 及び表 4-7 に示す。

(1)　図 4-1，図 4-2 中○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2)　図 4-1，図 4-2 中の ◒ は検出器，圧縮継手，ボス，検出器保護管及びシース収納パンチングトレイの質点を示し，検出器，圧縮継手，ボスで構成する質量m_aは□ kg，検出器保護管の質量m_bは□ kg，シース収納パンチングトレイの質量m_cは□ kg，m_dは□ kg，m_eは□ kg である。

(3)　図 4-1，図 4-2 中の ━━ は架構，－－ は仮想鋼材， は支持点を示す。

(4)　拘束条件として，基礎部のＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

注記　＊1：図 4-1 に示す部材番号を（　）内に示す。
　　＊2：図 4-2 に示す部材番号を［　］内に示す。

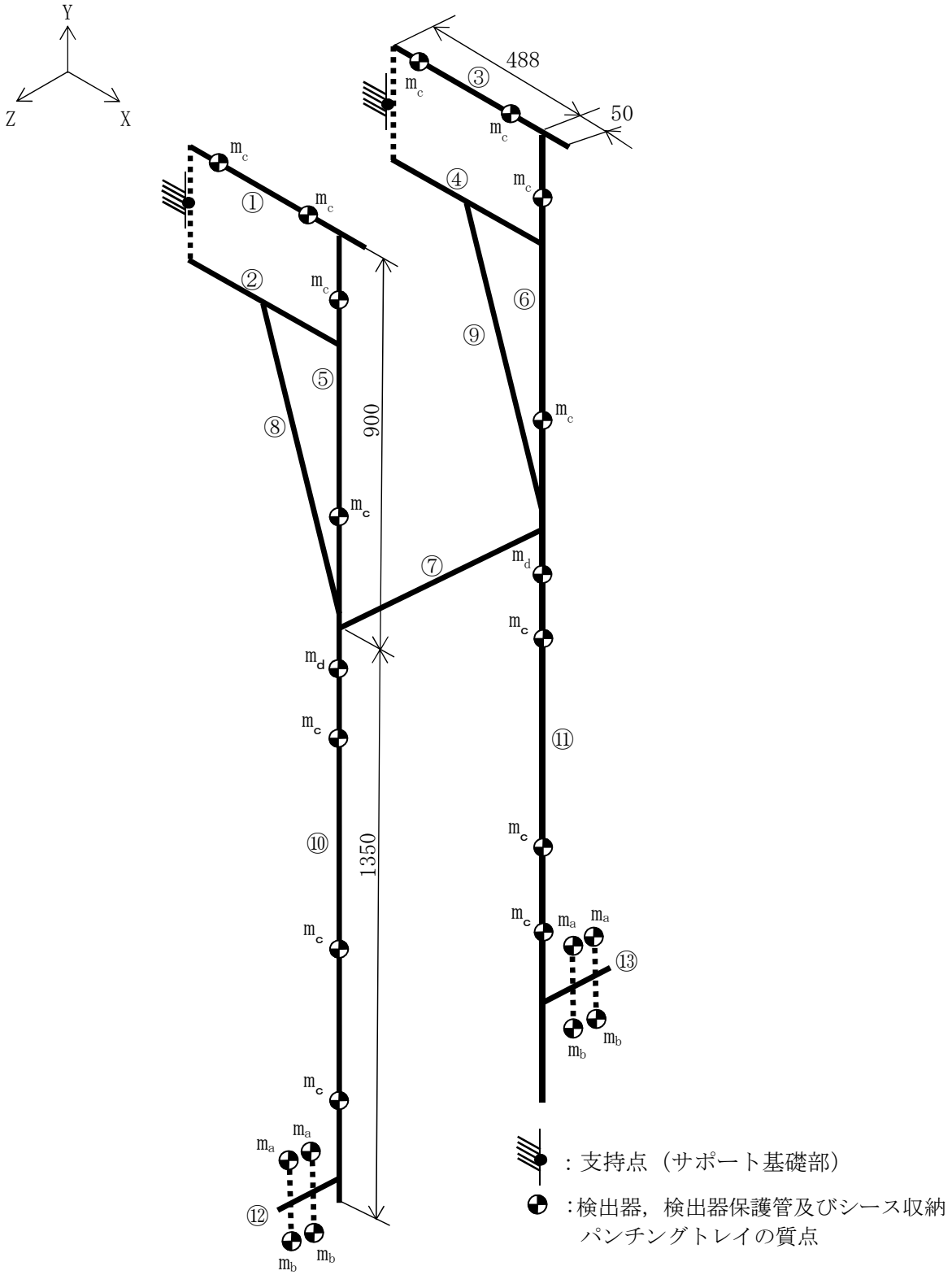


図 4-1　格納容器下部水温(TE-SA42-N100A,C,D)及び(TE-SA42-N200A,C,D)
解析モデル

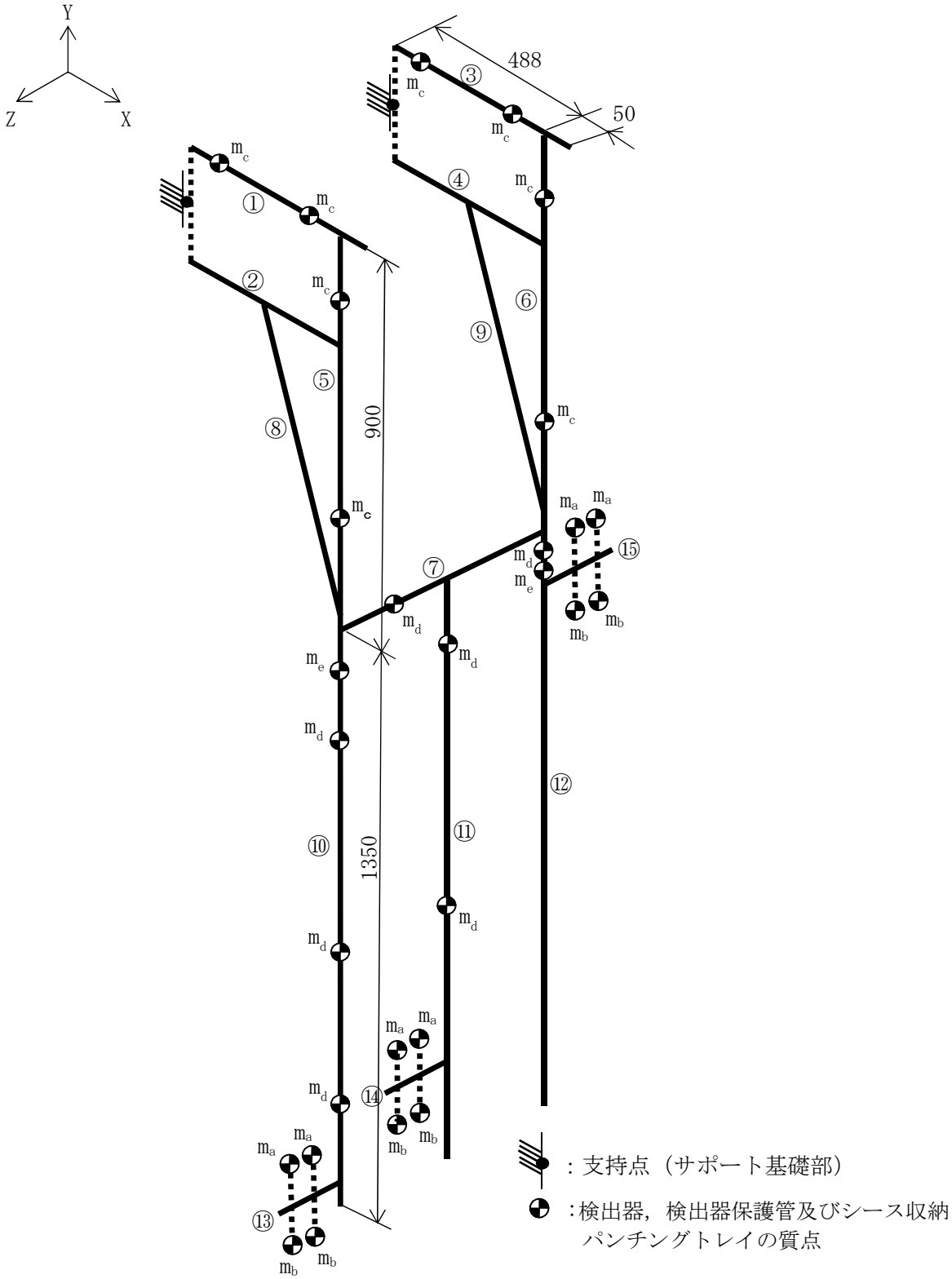


図 4-2　格納容器下部水温(TE-SA42-N100B,E)及び(TE-SA42-N200B,E)
解析モデル

表 4-4　機器諸元(TE-SA42-N100A,C,D)(TE-SA42-N200A,C,D)

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
	m_b		
	m_c		
	m_d		
	m_e		
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

表 4-5　部材の機器要目(TE-SA42-N100A,C,D)(TE-SA42-N200A,C,D)

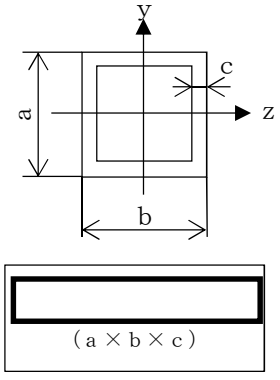
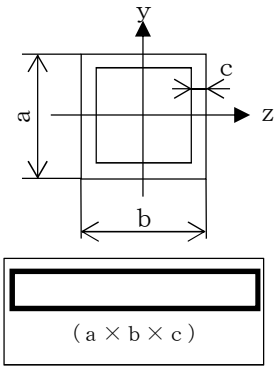
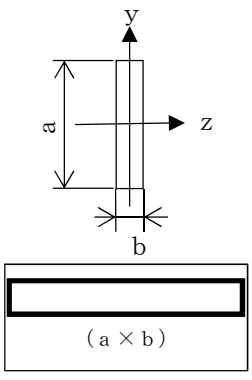
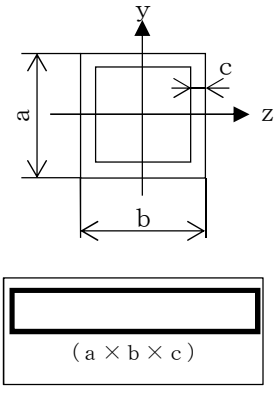
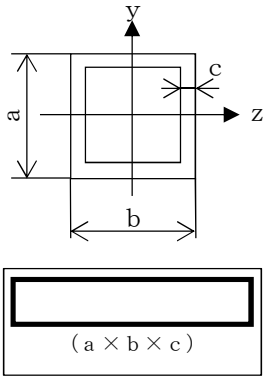
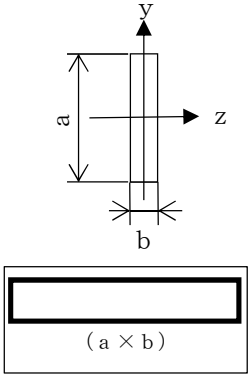
材料			
対象要素	①－⑦	⑧－⑪	⑫,⑬
A (mm^2)			
I_y (mm^4)			
I_z (mm^4)			
I_p (mm^4)			
Z_y (mm^3)			
Z_z (mm^3)			
Z_p (mm^3)			
断面形状 (mm)			

表 4-6　機器諸元(TE-SA42-N100B,E)(TE-SA42-N200B,E)

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
	m_b		
	m_c		
	m_d		
	m_e		
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

表 4-7　部材の機器要目(TE-SA42-N100B,E)(TE-SA42-N200B,E)

材料			
対象要素	①－⑦	⑧－⑫	⑬－⑮
A (mm^2)			
I_y (mm^4)			
I_z (mm^4)			
I_p (mm^4)			
Z_y (mm^3)			
Z_z (mm^3)			
Z_p (mm^3)			
断面形状 (mm)			

4.4　固有周期

固有値解析結果を表 4-8，表 4-9 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 4-8　固有値解析結果(TE-SA42-N100A,C,D)(TE-SA42-N200A,C,D)

モード	固有周期(s)	卓越方向
１次	[redacted]	水平

表 4-9　固有値解析結果(TE-SA42-N100B,E)(TE-SA42-N200B,E)

モード	固有周期(s)	卓越方向
１次	[redacted]	水平

4.5　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-10 に示す。

表 4-10　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
TE-SA42-N100A,C,D TE-SA42-N200A,C,D [redacted] EL.11.81～12.01 (EL.16.62*1)	[redacted]		－	－	C_H＝1.40	C_V＝1.18
TE-SA42-N100B,E TE-SA42-N200B,E [redacted] EL.11.81～12.01 (EL.16.62*1)	[redacted]		－	－	C_H＝1.40	C_V＝1.18

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

4.6　計算方法

4.6.1　基礎ボルトの応力

3次元はりモデルによる地震応答解析からサポート基礎部の荷重を算出し，その結果を用いて理論式にて基礎ボルトを評価する。

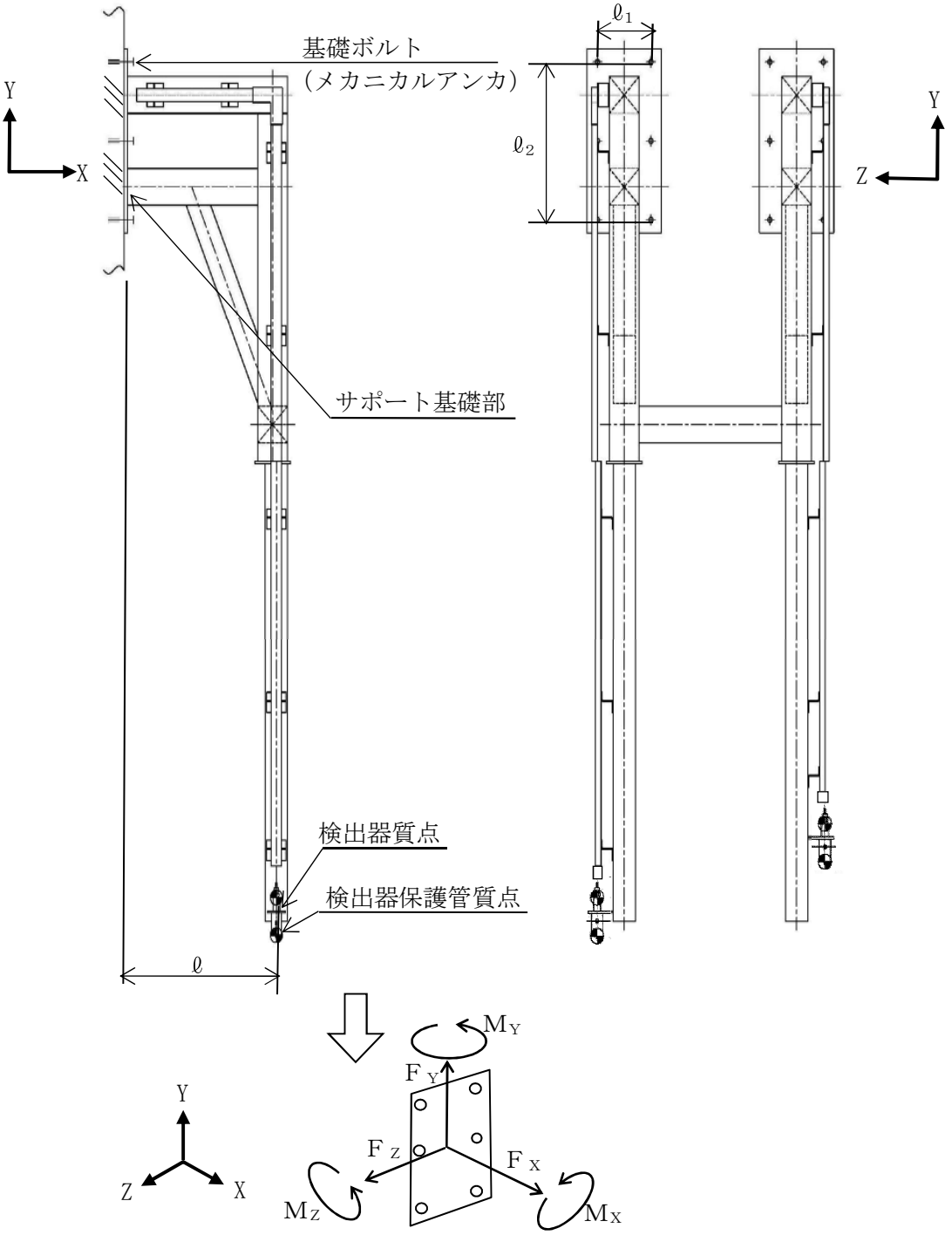


図 4-3　格納容器下部水温（TE-SA42-N100A,C,D）及び（TE-SA42-N200A,C,D）計算モデル（サポート基礎部）

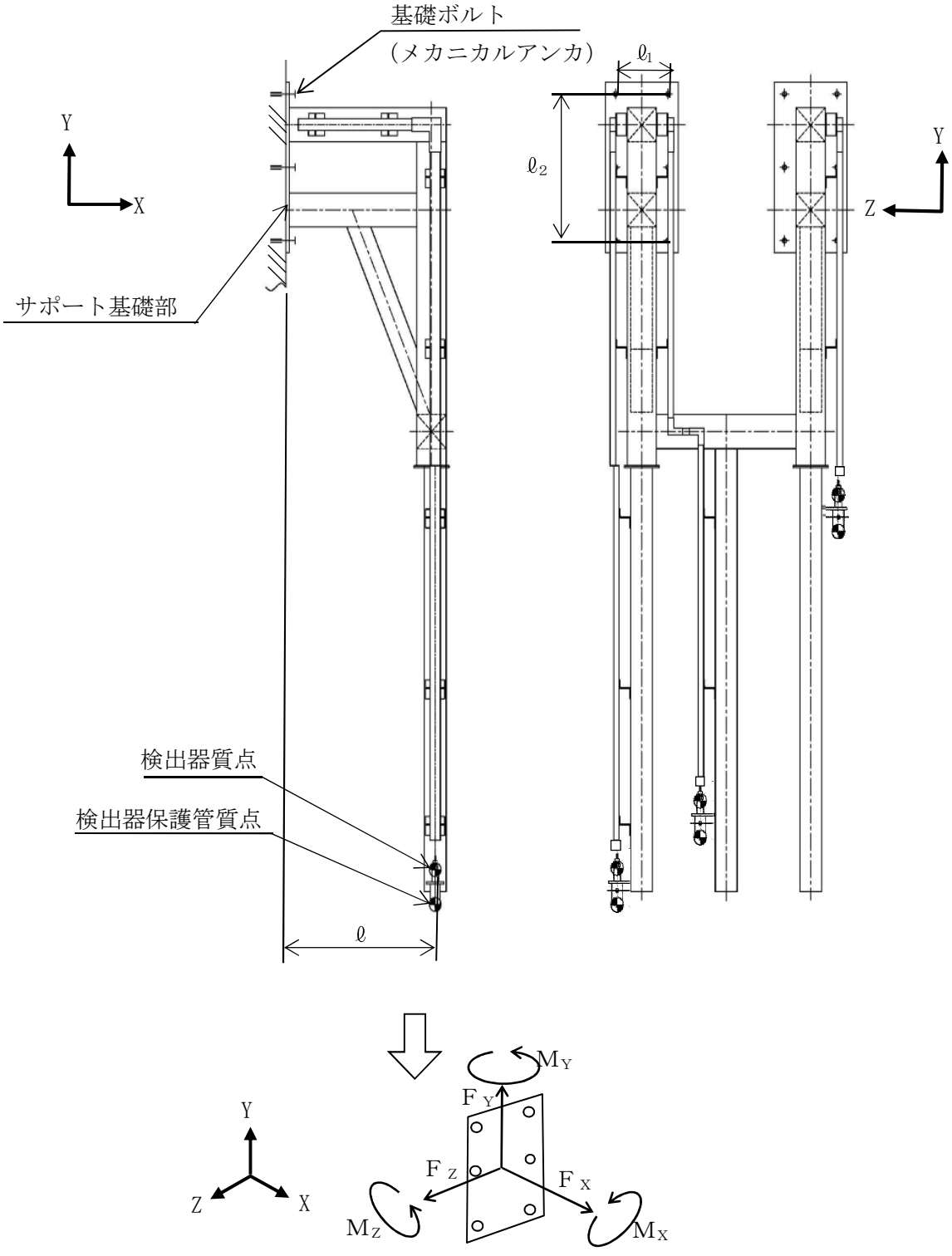


図 4-4　格納容器下部水温(TE-SA42-N100B,E)及び(TE-SA42-N200B,E)計算モデル
（サポート基礎部）

地震応答解析によって得られたサポート基礎部評価点の反力とモーメントを表 4-11 に示す。

表4-11　サポート発生反力，モーメント

対象計器	反力(N)			モーメント(N･mm)		
	F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z
TE-SA42-N100A,C,D TE-SA42-N200A,C,D						
TE-SA42-N100B,E TE-SA42-N200B,E						

(1)　引張応力

基礎ボルト（1本当り）に対する引張応力は，下式により計算する。

引張力（F_b）

$$F_b = \frac{F_X}{n} + \frac{M_Y}{\ell_1 \cdot n_Y} + \frac{M_Z}{\ell_2 \cdot n_Z} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \cdots\cdots (4.6.1.3)$$

(2)　せん断応力

基礎ボルト（1本当り）に対するせん断応力は，下式により計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_Y{}^2 + F_Z{}^2}}{n} + \frac{M_X}{n \cdot \ell_3} \quad \cdots\cdots (4.6.1.4)$$

ここで，ボルト間距離ℓ_3は次式により求める。

$$\ell_3 = \mathrm{Min}(\ell_1, \ell_2) \quad \cdots\cdots (4.6.1.5)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \quad \cdots\cdots (4.6.1.6)$$

4.7　計算条件

4.7.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【格納容器下部水温の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

4.8　応力の評価

4.8.1　基礎ボルトの応力評価

4.6.1項で求めたボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。ただし，f_{to}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}\left[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b, f_{to}\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.8.1.1)$$

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。ただし，f_{sb}は下表による。

	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

格納容器下部水温の電気的機能維持評価について以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。

格納容器下部水温の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
格納容器下部水温 (TE-SA42-N100A～E) (TE-SA42-N200A～E)	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

格納容器下部水温の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【格納容器下部水温（TE-SA42-N100A～E，TE-SA42-N200A～E）の耐震性についての計算結果の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
格納容器下部水温 (TE-SA42-N100A,C,D) (TE-SA42-N200A,C,D)	常設／緩和	[redacted] EL.11.81～12.01 (EL.16.62*1)	[redacted]		—	—	C_H＝1.40	C_V＝1.18	[redacted]
格納容器下部水温 (TE-SA42-N100B,E) (TE-SA42-N200B,E)	常設／緩和	[redacted] EL.11.81～12.01 (EL.16.62*1)	[redacted]		—	—	C_H＝1.40	C_V＝1.18	[redacted]

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 格納容器下部水温

部材	ℓ (mm)	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	n	n_Y	n_Z	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト (TE-SA42-N100A～E) (TE-SA42-N200A～E)	[redacted]							2	2	144	402	205	194

注記 ＊：基礎ボルトの本数は保守的に[redacted]本として評価をする。

1.3　計算数値

1.3.1　サポート基礎部に作用する力

（単位：N）

部　材	F_X		F_Y		F_Z	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
サポート部 (TE-SA42-N100A,C,D) (TE-SA42-N200A,C,D)						
サポート部 (TE-SA42-N100B,E) (TE-SA42-N200B,E)						

1.3.2　サポート基礎部に作用するモーメント

（単位：N･mm）

部　材	M_X		M_Y		M_Z	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
サポート部 (TE-SA42-N100A,C,D) (TE-SA42-N200A,C,D)						
サポート部 (TE-SA42-N100B,E) (TE-SA42-N200B,E)						

1.3.3　ボルトに作用する力　　（単位：N）

部　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (TE-SA42-N100A,C,D) (TE-SA42-N200A,C,D)				
基礎ボルト (TE-SA42-N100B,E) (TE-SA42-N200B,E)				

1.4　結論

1.4.1　ボルトの応力　　（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (TE-SA42-N100A,C,D) (TE-SA42-N200A,C,D)		引張り	—	—	$\sigma_b=25$	$f_{ts}=116^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=11$	$f_{sb}=89$
基礎ボルト (TE-SA42-N100B,E) (TE-SA42-N200B,E)		引張り	—	—	$\sigma_b=33$	$f_{ts}=116^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=14$	$f_{sb}=89$

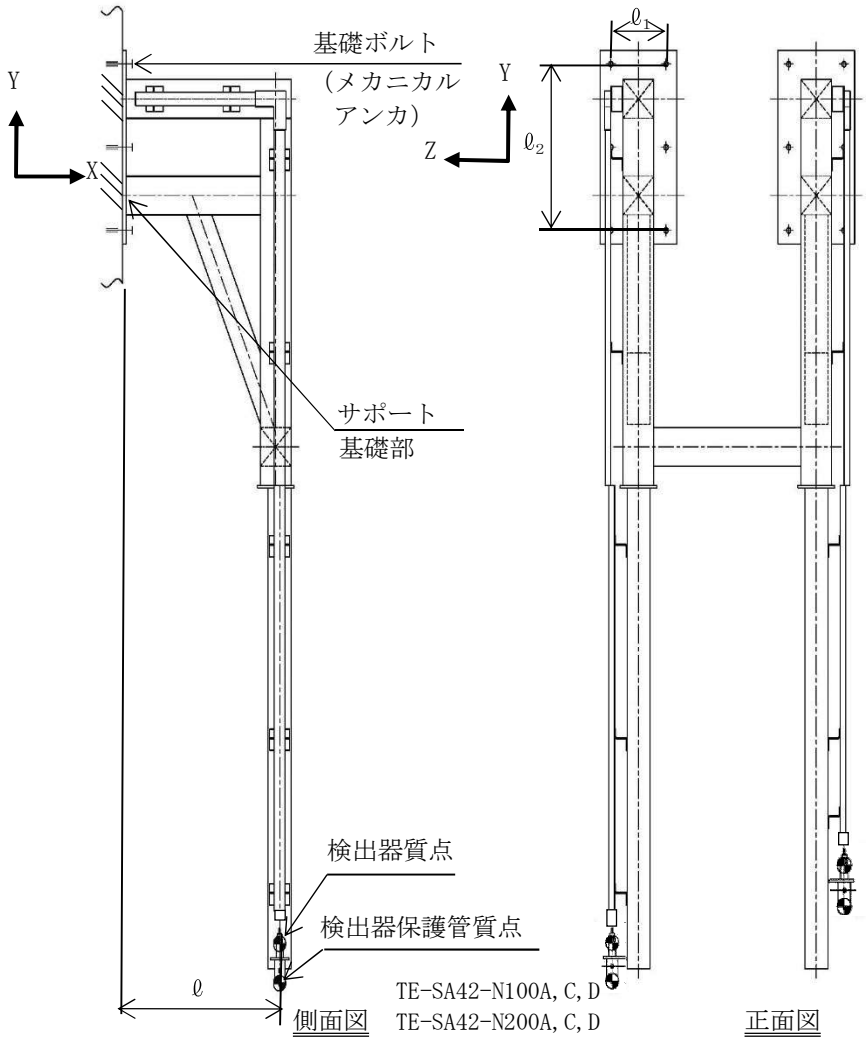
すべて許容応力以下である。

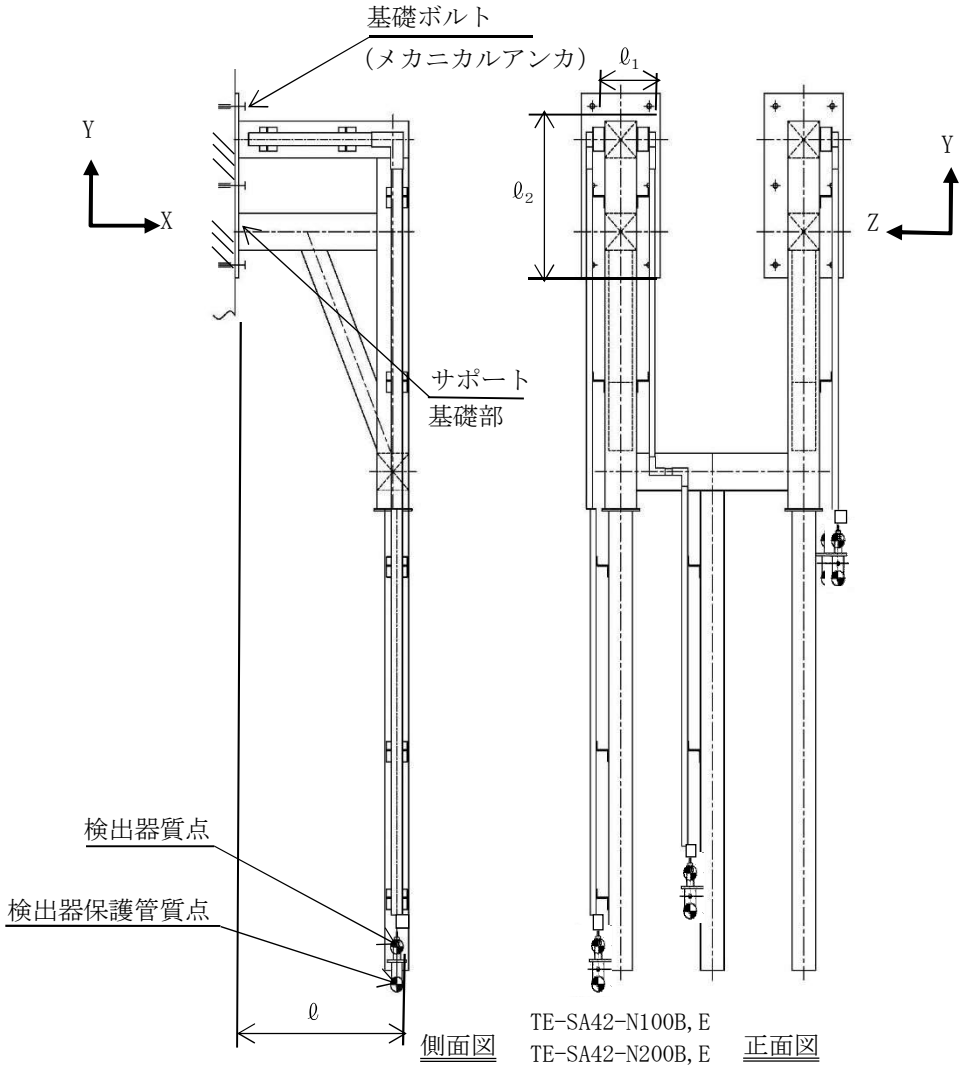
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
格納容器下部水温 (TE-SA42-N100A～E) (TE-SA42-N200A～E)	水平方向	1.17	
	鉛直方向	0.98	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。





Ⅴ-2-6-5-35　代替淡水貯槽水位の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
3. 固有周期 3
3.1 固有周期の算出方法 3
3.1.1 水平方向（X方向，Z方向） 3
3.1.2 鉛直方向（Y方向） 3
3.2 固有周期の計算条件 4
3.3 固有周期の計算結果 4
4. 構造強度評価 5
4.1 構造強度評価方法 5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 5
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 5
4.2.2 許容応力 5
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 5
5. 機能維持評価 8
5.1 電気的機能維持評価方法 8
6. 評価結果 9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 9

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，代替淡水貯槽水位が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

代替淡水貯槽水位は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

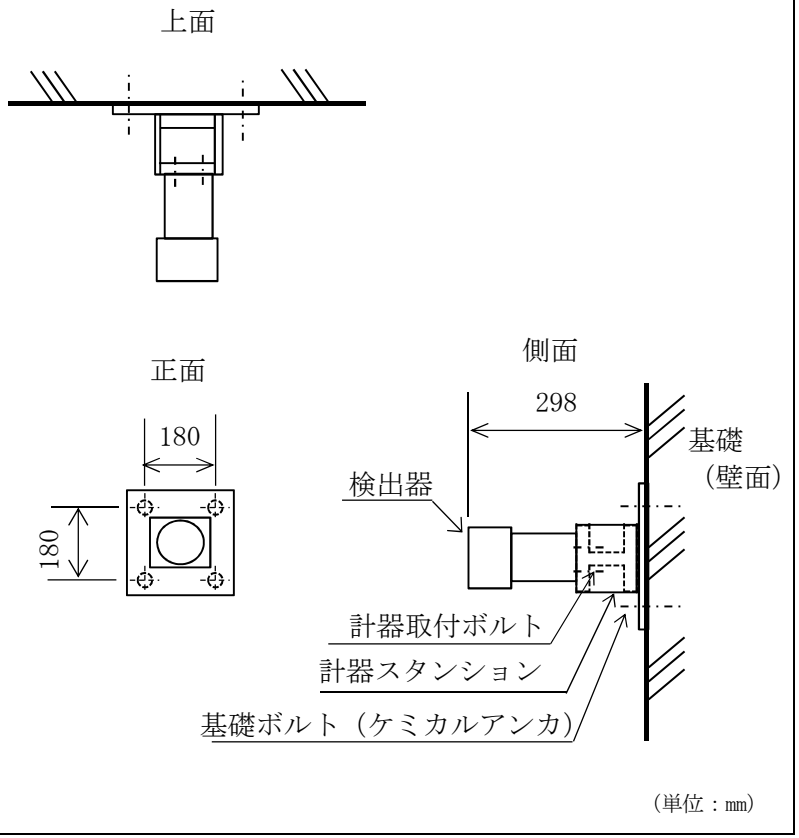
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1　構造計画

代替淡水貯槽水位の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式水位検出器	

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

代替淡水貯槽水位の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　代替淡水貯槽水位は，図 3-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で 1 箇所を原子炉建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1 点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4)　図 3-1 中の ⊕ は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，━ は計器スタンションを示す。

3.1.1　水平方向（X方向，Z方向）

(1)　X方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{{h_2}^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{h_2}{A_s\cdot G}\right)} \quad \cdots(3.1.1.1)$$

(2)　Z方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

3.1.2　鉛直方向（Y方向）

Y方向に対する固有周期を 3.1.1.1 式で求める。

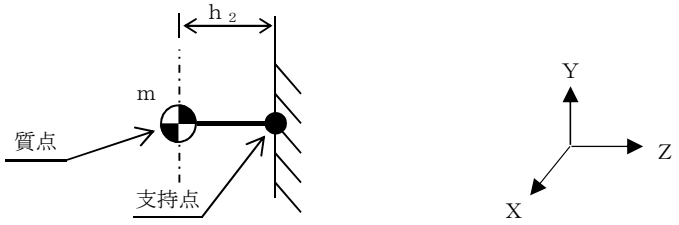


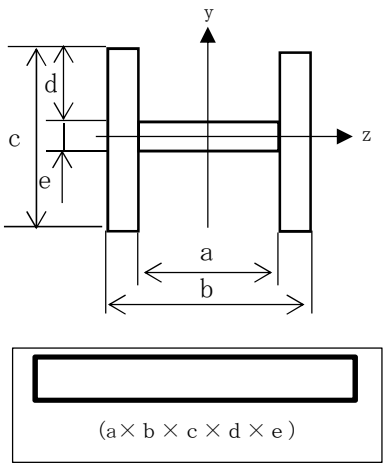
図 3-1　固有周期の計算モデル

NT2 補② V-2-6-5-35 R1

3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
取付面から重心までの距離（壁掛形）	h_2	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状(mm)			

3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向及び鉛直方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，水平方向のＺ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。

表 3-2　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

代替淡水貯槽水位の構造は壁掛形計器スタンションであるため，構造強度評価は「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

代替淡水貯槽水位の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

代替淡水貯槽水位の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

代替淡水貯槽水位の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4－1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	代替淡水貯槽水位	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$\mathrm{IV_AS}$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$\mathrm{V_AS}$ （$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価計算の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等）*1*2	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$Ⅴ_AS$（$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件（℃）		S_y（MPa）	S_u（MPa）	S_y（RT）（MPa）
基礎ボルト	[redacted]（径≦16 mm）	周囲環境温度	[redacted]	234	385	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

代替淡水貯槽水位の電気的機能維持評価について，以下に示す。電気的機能維持評価は，「V-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

代替淡水貯槽水位の機能確認済加速度には，同型式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
代替淡水貯槽水位	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

代替淡水貯槽水位の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【代替淡水貯槽水位の重大事故等対処設備としての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
代替淡水貯槽水位	常設耐震／防止 常設／緩和	常設低圧代替注水系ポンプ室 EL.-18.50 (EL.-11.00*)			—	—	C_H=0.86	C_V=0.67	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 代替淡水貯槽水位

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	234	385	—	270	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 代替淡水貯槽水位に作用する力 (単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 代替淡水貯槽水位の応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=3$	$f_{ts}=162^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=124$

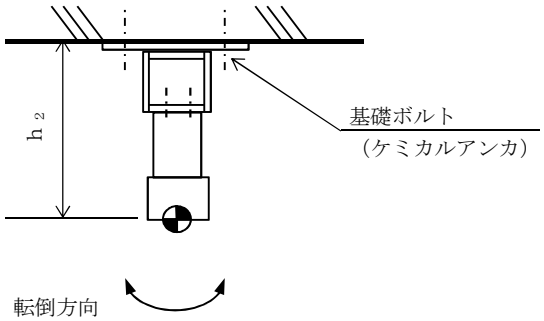
すべて許容応力以下である。

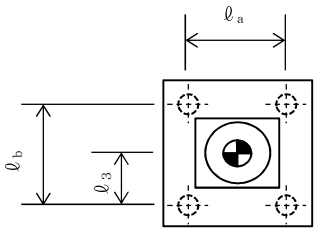
注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b, f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

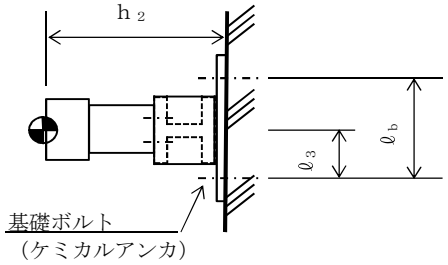
		評価用加速度	機能確認済加速度
代替淡水貯槽水位	水平方向	0.72	
	鉛直方向	0.56	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-5-36　西側淡水貯水設備水位の耐震性についての計算書

目次

1. 概要・・・

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，西側淡水貯水設備水位が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

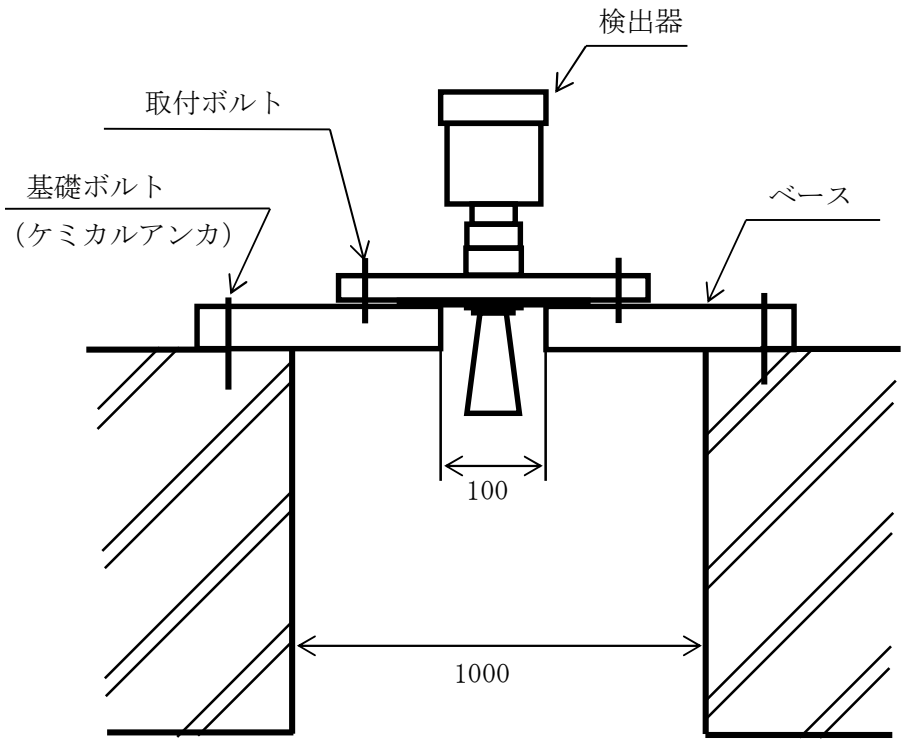
西側淡水貯水設備水位は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

西側淡水貯水設備水位の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトによりベースに固定され，ベースは基礎に基礎ボルトで設置する。	電波式水位検出器	 （単位:mm）

2.2　評価方針

西側淡水貯水設備水位の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す西側淡水貯水設備水位の部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.　固有周期」で測定した固有周期に基づく設計地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「5.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，西側淡水貯水設備水位の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「6.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7.　評価結果」に示す。

西側淡水貯水設備水位の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

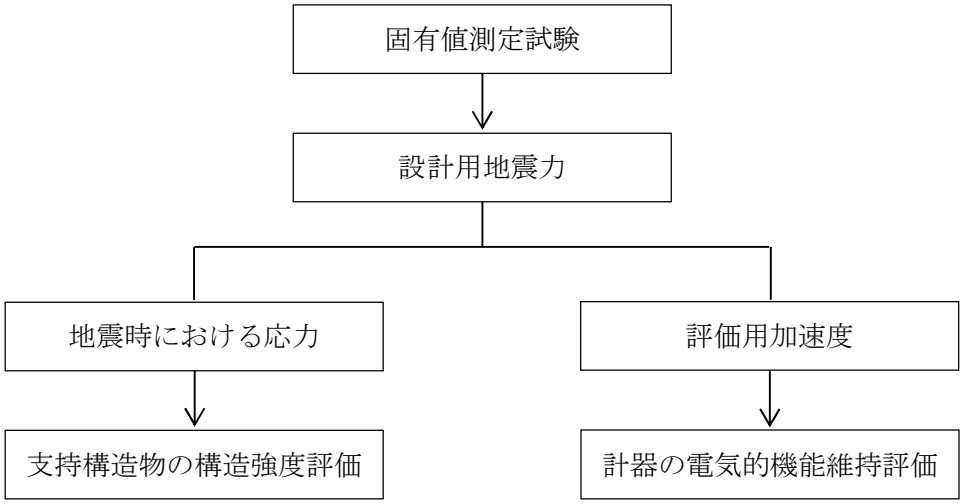


図 2-1　西側淡水貯水設備水位の耐震評価フロー

2.3　適用基準

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
A_{bi}	ボルトの軸断面積*1	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
D	取付ボルトのピッチ円直径	mm
d_i	ボルトの呼び径*1	mm
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値*1	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1本当たり）*1	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力*1（f_s^*を1.5倍した値）	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力*1（f_t^*を1.5倍した値）	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力*1	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
L	支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかるボルトまでの距離	mm
ℓ	重心と基礎ボルト間の水平方向距離	mm
m_i	検出器又は検出器＋ベースの質量*2	kg
n_i	ボルトの本数*1	－
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数*1	－
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力*1	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値*1	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値*1	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値*1	MPa
π	円周率	－
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力*1	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*1	MPa

注記　＊1：A_{bi}，d_i，F_i^*，F_{bi}，f_{sbi}，f_{toi}，f_{tsi}，h_i，n_i，n_{fi}，Q_{bi}，S_{ui}，S_{yi}，σ_{bi}，τ_{bi} の添え字ｉの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：基礎ボルト

ｉ＝2：取付ボルト

＊2：m_iの添字ｉの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：検出器＋ベース

ｉ＝2：検出器

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は，表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	－	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

3.　評価部位

西側淡水貯水設備水位の耐震評価は，「5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて実施する。

西側淡水貯水設備水位の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4.　固有周期

4.1　基本方針

西側淡水貯水設備水位の固有周期は，振動試験（加振試験）にて求める。

4.2　固有周期の算出方法

振動試験装置により固有振動数を測定する。西側淡水貯水設備水位の外形図を表 2-1 の構造計画に示す。

4.3　固有周期の算出結果

固有周期の算出結果を表 4-1 に示す。鉛直方向は固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，水平方向は柔な領域に固有周期がないことから，剛であることを確認した。

表 4-1　固有周期(s)

水平	鉛直

5.　構造強度評価

5.1　構造強度評価方法

(1)　西側淡水貯水設備水位の質量は，重心に集中しているものとする。

(2)　地震力は西側淡水貯水設備水位に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(3)　西側淡水貯水設備水位は取付ボルトでベースに固定されており，ベースは基礎ボルトで基礎に固定されるものとする。

(4)　ボルトの配置については取付ボルトは円形配置とし，基礎ボルトは矩形配置とする。

(5)　重心位置については，計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

5.2　荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

西側淡水貯水設備水位の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2　許容応力

西側淡水貯水設備水位の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

西側淡水貯水設備水位の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	西側淡水貯水設備水位	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の 許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（ＲＴ） (MPa)
基礎ボルト （ｉ＝1)	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	205	520	－
取付ボルト （ｉ＝2)		周囲環境温度		205	520	－

5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

表 5-4　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL. －13.50*			－	－	C_H=0.81	C_V=0.71

注記　＊：基準床レベルを示す。

5.4　計算方法

5.4.1　応力の計算方法

5.4.1.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。図 5-1 に計算モデルを示す。

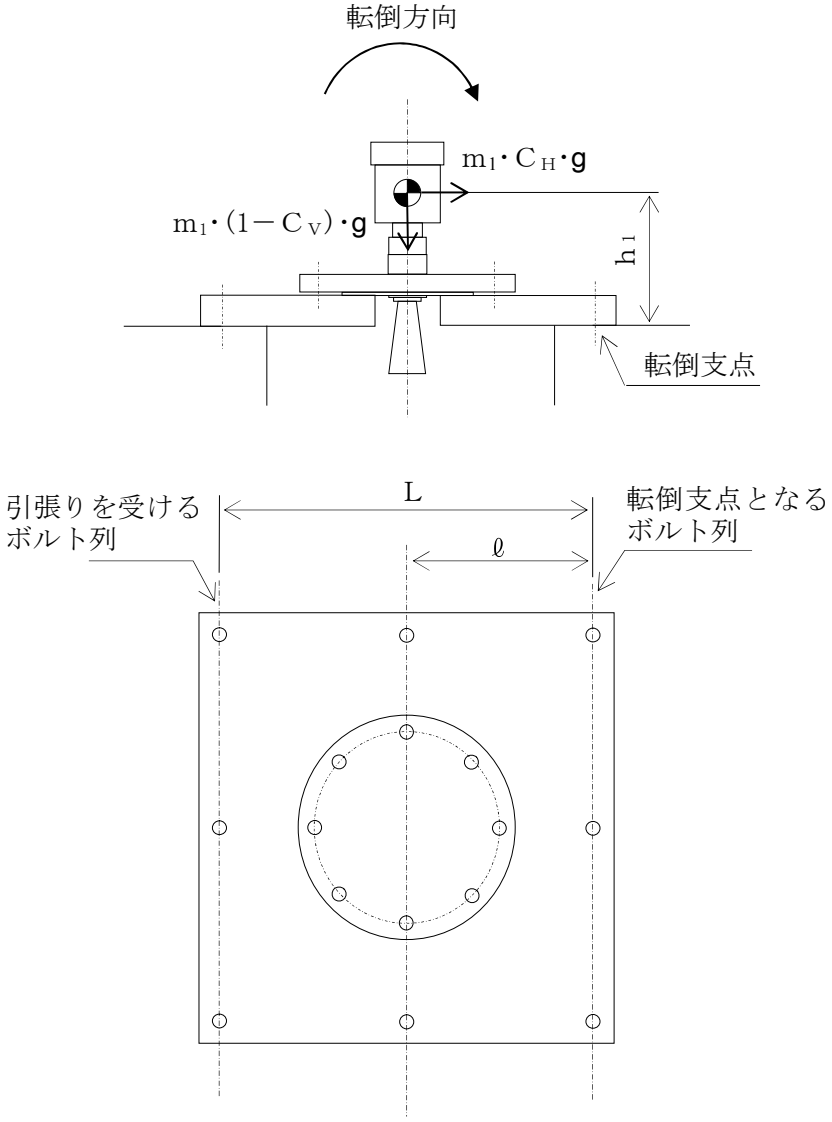


図 5-1　計算モデル

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，図5-1に示すボルトを支点とする転倒を考え，これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_{b1}）

$$F_{b1}=\frac{m_1 \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g + m_1 \cdot (C_V-1) \cdot \ell \cdot g}{n_{f1} \cdot L} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.1)$$

引張応力（σ_{b1}）

$$\sigma_{b1}=\frac{F_{b1}}{A_{b1}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_{b1}は次式により求める。

$$A_{b1}=\frac{\pi}{4} \cdot d_1^{\,2} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.3)$$

ただし，F_bが負のときボルトには引張力が生じないので，引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_{b1}）

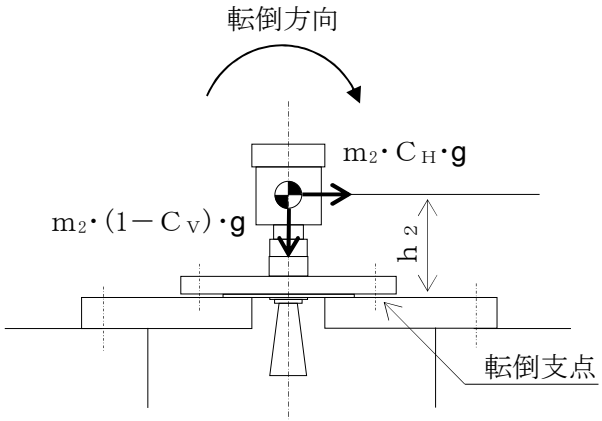
$$Q_{b1} = m_1 \cdot C_H \cdot g \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力（τ_{b1}）

$$\tau_{b1}=\frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2　取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。図 5-2 に計算モデルを示す。



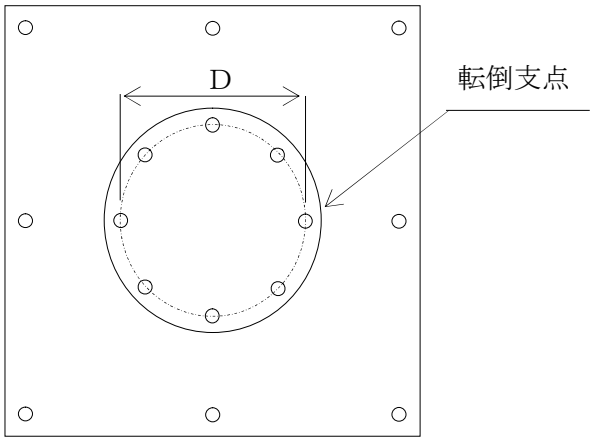


図 5-2　計算モデル

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は，図5-2に示すボルトを支点とする転倒を考え，これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_{b2}）

$$F_{b2}=\frac{8}{3D}\cdot\frac{m_2\cdot C_H\cdot h_2\cdot g + m_2\cdot(C_V-1)\cdot 0.5\cdot D\cdot g}{n_{f2}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.1)$$

引張応力（σ_{b2}）

$$\sigma_{b2}=\frac{F_{b2}}{A_{b2}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.2)$$

ここで，取付ボルトの軸断面積A_{b2}は次式により求める。

$$A_{b2}=\frac{\pi}{4}\cdot d_2{}^2 \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.3)$$

(2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_{b2}）

$$Q_{b2}= m_2\cdot C_H\cdot g \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力（τ_{b2}）

$$\tau_{b2}= \frac{Q_{b2}}{n_2\cdot A_{b2}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.5)$$

5.5　計算条件

5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる数値を表 5-5 に示す。

表 5-5　基礎ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	－	－	
温度条件（周囲環境温度）	－	℃	
ボルトの呼び径	d_1	mm	
検出器＋ベースの質量	m_1	kg	
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
取付面から重心までの距離	h_1	mm	
重心とボルト間の水平方向距離	ℓ	mm	
支点としているボルトより最大引張応力がかかるボルトまでの距離	L	mm	
ボルトの本数	n_1	－	
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	n_{f1}	－	3

5.5.2　取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる数値を表 5-6 に示す。

表 5-6　取付ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	－	－	
温度条件（周囲環境温度）	－	℃	
ボルトの呼び径	d_2	mm	
検出器の質量	m_2	kg	
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
取付面から重心までの距離	h_2	mm	
取付ボルトのピッチ円直径	D	mm	
ボルトの本数	n_2	－	
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	n_{f2}	－	8

5.6　応力の評価

5.6.1　ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力σ_{bi}は次式より求めた許容引張応力f_{tsi}以下であること。ただし，f_{toi}は下表による。

$$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.6.1.1)$$

せん断応力τ_{bi}は，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sbi}以下であること。ただし，f_{sbi}は下表による。

	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\dfrac{F_i^{*}}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\dfrac{F_i^{*}}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電気的機能維持評価方法

西側淡水貯水設備水位の電気的機能維持評価について以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

西側淡水貯水設備水位の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
西側淡水貯水設備水位	水平	
	鉛直	

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

西側淡水貯水設備水位の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【西側淡水貯水設備水位の耐震性についての計算結果】

1.　重大事故等対処設備

1.1　設計条件

機　器　名　称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
西側淡水貯水設備水位	常設耐震／防止常設／緩和	EL. －13.50*			－	－	C_H＝0.81	C_V＝0.71	

注記　＊：基準床レベルを示す。

1.2　機器要目

1.2.1　西側淡水貯水設備水位

部　　材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ (mm)	L (mm)	D (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
												弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト (i=1)								3	205	520	246	－	－
取付ボルト (i=2)								8	205	520	246	－	－

1.3　計算数値

1.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト (i=1)				
取付ボルト (i=2)				

1.4　結論

1.4.1　ボルトの応力

（単位：MPa）

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	－	f_{ts1}*＝147
		せん断	－	－	τ_{b1}＝1	f_{sb1}＝113
取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b2}＝0	f_{ts2}*＝184
		せん断	－	－	τ_{b2}＝0	f_{sb2}＝142

すべて許容応力以下である。

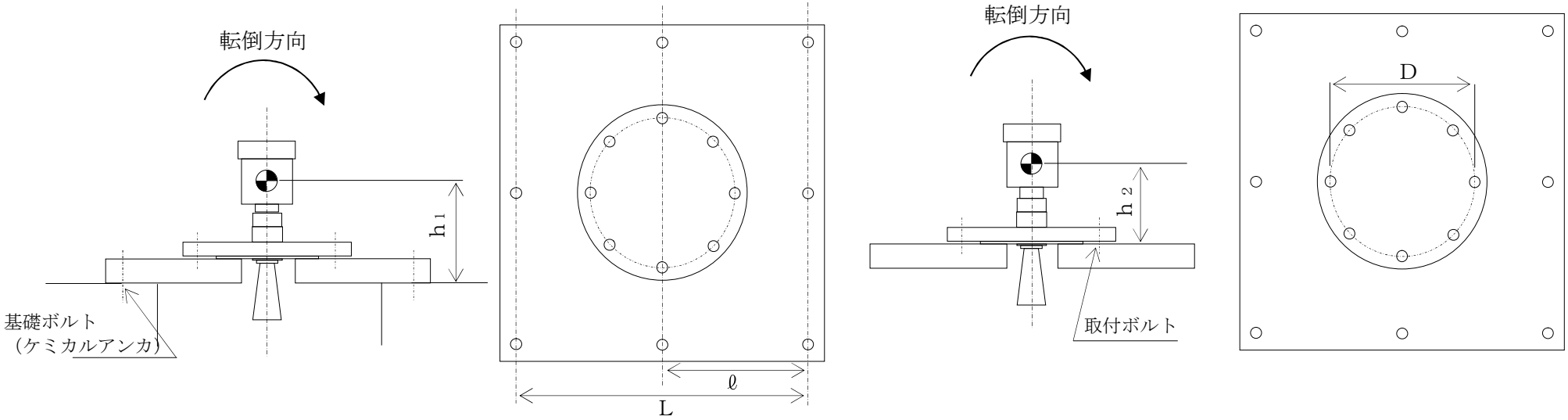
注記＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τbi，f_{toi}]より算出

1.4.2　電気的機能維持の評価結果

（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
西側淡水貯水設備水位	水平方向	0.68	
	鉛直方向	0.59	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



Ⅴ-2-6-5-37　低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
3. 固有周期 3
3.1 固有周期の算出方法 3
3.1.1 水平方向（X方向，Z方向） 3
3.1.2 鉛直方向（Y方向） 3
3.2 固有周期の計算条件 4
3.3 固有周期の計算結果 4
4. 構造強度評価 5
4.1 構造強度評価方法 5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 5
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 5
4.2.2 許容応力 5
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 5
5. 機能維持評価 8
5.1 電気的機能維持評価方法 8
6. 評価結果 9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 9

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

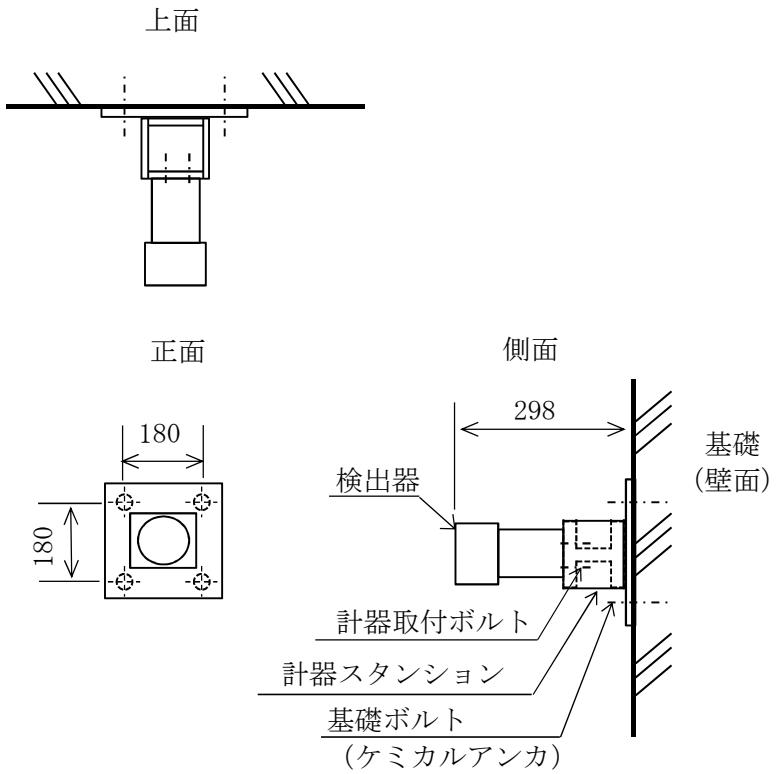
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1　構造計画

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）は，図 3-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で 1 箇所を原子炉建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1 点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4)　図 3-1 中の ⊕ は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，━ は計器スタンションを示す。

3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{{h_2}^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_2}{A_s \cdot G} \right)} \quad \cdots (3.1.1.1)$$

(2)　Ｚ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

Ｙ方向に対する固有周期を 3.1.1.1 式で求める。

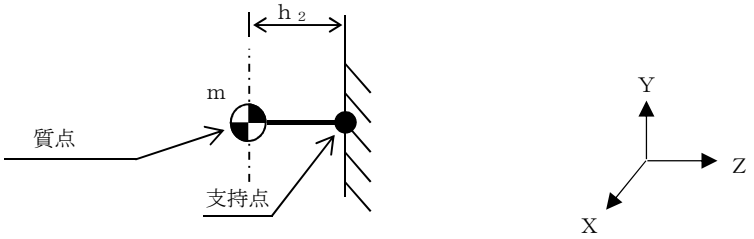


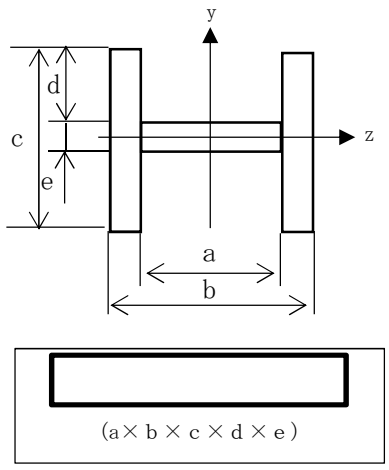
図 3-1　固有周期の計算モデル

NT2 補② V-2-6-5-37 R1

3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
取付面から重心までの距離（壁掛形）	h_2	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	As	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状(mm)			

3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向及び鉛直方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，水平方向のＺ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。

表 3-2　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）の構造は壁掛形計器スタンションであるため，構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	低圧代替注水系 格納容器スプレイ流量 （常設ライン用）	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして IV_ASの許容限界 を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 （℃）		S_y （MPa）	S_u （MPa）	S_y（RT） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）	常設耐震／防止常設／緩和	[redacted] EL. 2.00 (EL. 8.20*)	[redacted]		—	—	C_H=1.10	C_V=0.96	[redacted]

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト									

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	—	261	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=156^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=120$

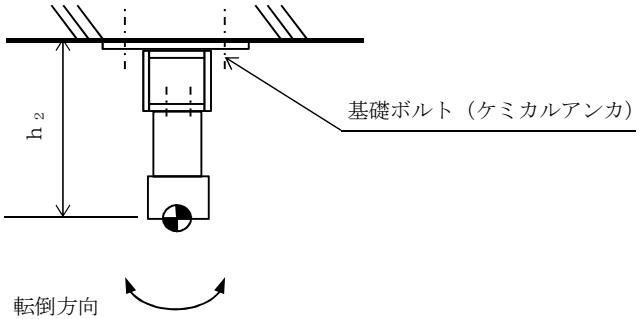
すべて許容応力以下である。

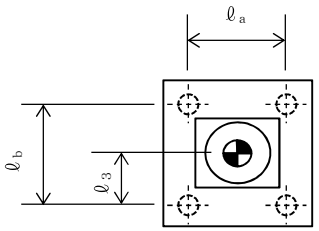
注記 ＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b, f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

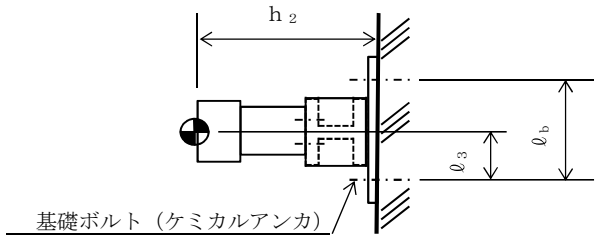
		評価用加速度	機能確認済加速度
低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）	水平方向	0.92	
	鉛直方向	0.80	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-5-38　低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）の耐震性についての計算書

目次

1.　低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）・・・

1. 低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）

1.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

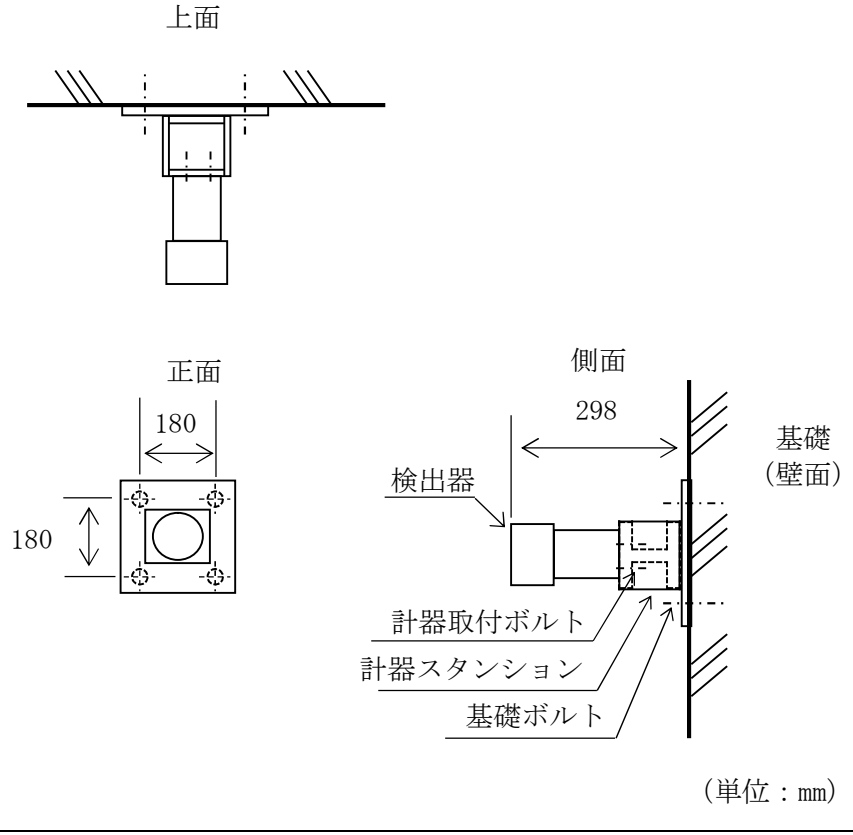
1.2 一般事項

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

1.2.1 構造計画

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	

1.3 固有周期

1.3.1 固有周期の算出方法

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）は，図 1-1 に示す壁固定の１質点系振動モデルとして考える。

(2) 計器スタンションは鋼材で原子炉建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）１点で固定されるものとする。

(3) 検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4) 図 1-1 中の ◓ は検出器及び計器スタンションの質点，●は計器スタンションの支持点，━ は計器スタンションを示す。

1.3.1.1 水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1) Ｘ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{{h_2}^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_2}{A_s \cdot G} \right)} \quad \cdots (1.3.1.1.1)$$

(2) Ｚ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

1.3.1.2 鉛直方向（Ｙ方向）

(1) Ｙ方向に対する固有周期を 1.3.1.1.1 式で求める。

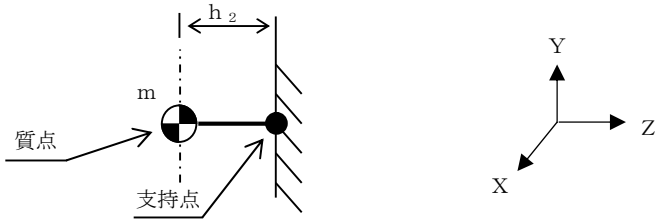
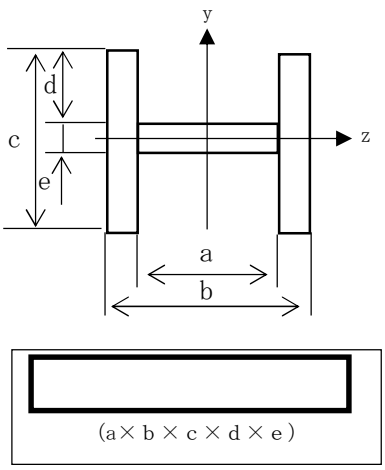


図 1-1 固有周期の計算モデル

1.3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 1-2 に示す。

表 1-2　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
取付面から重心までの距離（壁掛形）	h_2	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			

1.3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向のＸ方向及び鉛直方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，水平方向のＺ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 1-3 に示す。

表 1-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

1.4　構造強度評価

1.4.1　構造強度評価方法

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）の構造は壁掛形計器スタンションであるため，構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4 に示す。

1.4.2.2　許容応力

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 のとおりとする。

1.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-6 に示す。

表 1-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	低圧代替注水系 格納容器スプレイ流量 （可搬ライン用）	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 1-5　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1,*2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の 許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	234	385	－

1.5　機能維持評価

1.5.1　電気的機能維持評価方法

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量(可搬ライン用)の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）に設置される検出器の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-7 に示す。

表 1-7　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
低圧代替注水系格納容器 スプレイ流量 （可搬ライン用）	水平	
	鉛直	

1.6　評価結果

1.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）	常設耐震／防止常設／緩和	[redacted] EL. 20.30 (EL. 29.00*)	[redacted]		—	—	C_H=1.55	C_V=1.17	[redacted]

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト	[redacted]							2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	234	385	—	270	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=5$	$f_{ts}=162^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=124$

すべて許容応力以下である。

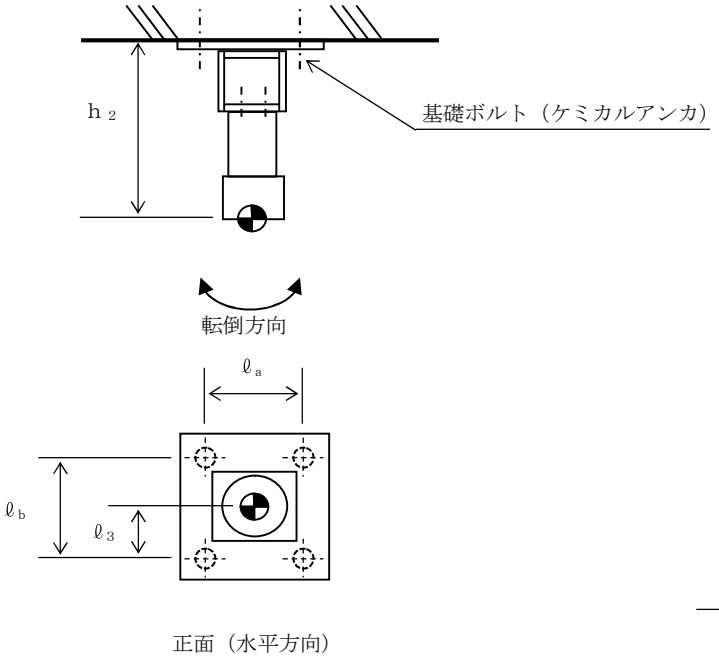
注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

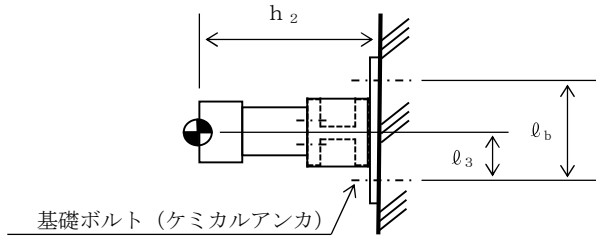
(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

2. 低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体

2.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

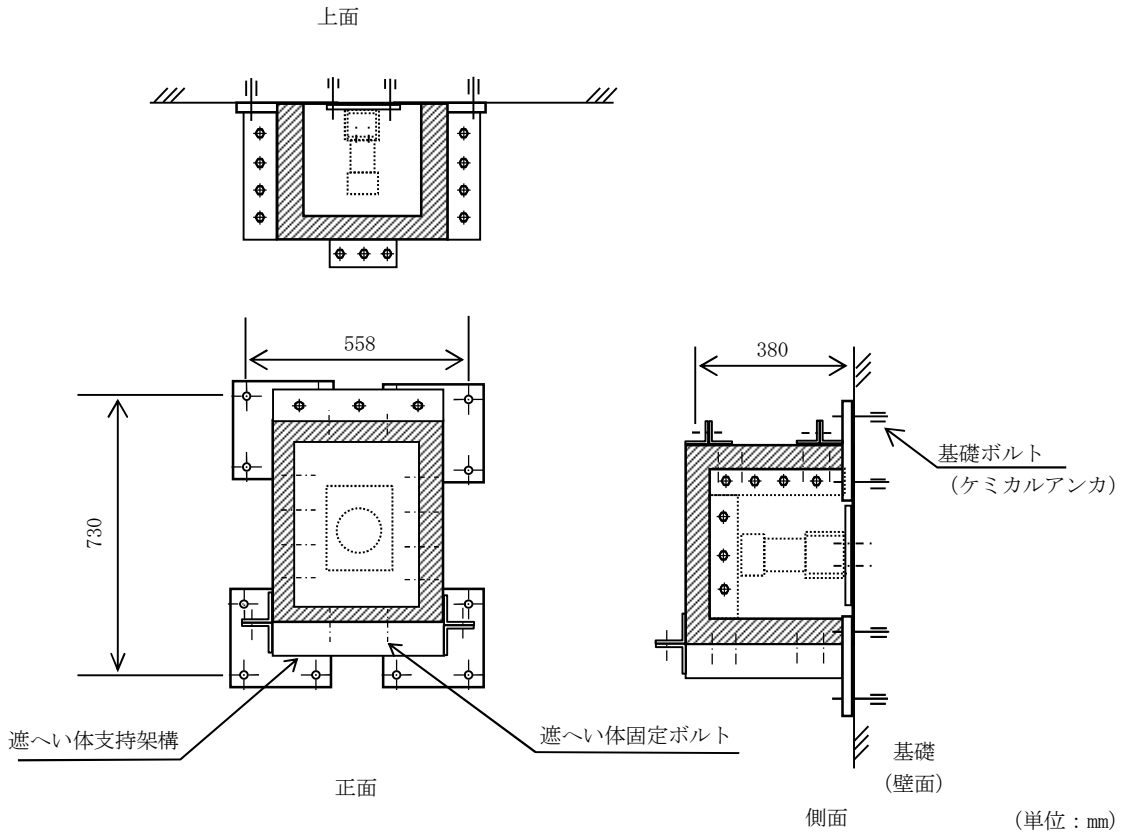
低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
遮へい体は，遮へい体固定ボルトにより遮へい体支持架構に固定される。 遮へい体支持架構は，基礎に基礎ボルトで設置する。	遮へい体	

2.2.2　評価方針

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.2.1　構造計画」にて低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体の部位を踏まえ「2.3　評価部位」にて設定する箇所において，「2.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「2.5　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.6　評価結果」に示す。

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体の耐震評価フローを図2-1に示す。

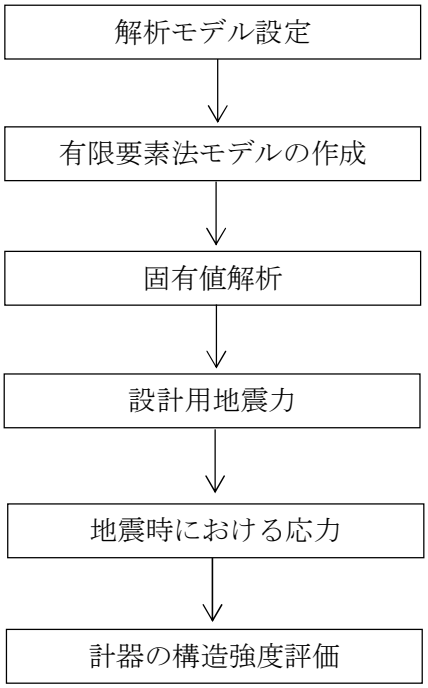


図2-1　低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）
遮へい体の耐震評価フロー

2.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥ　ＳＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	遮へい体支持架構の断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_2	取付面から質点までの距離(壁掛形)	mm
I_p	遮へい体支持架構の断面二次極モーメント	mm^4
I_y	遮へい体支持架構の断面二次モーメント（ｙ軸）	mm^4
I_z	遮へい体支持架構の二次モーメント（ｚ軸）	mm^4
ℓ_3	質点と下側ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_a	側面(左右)ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離(壁掛形)	mm
m	遮へい体及び遮へい体支持架構の総質量	kg
m_a	遮へい体の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
Z_p	遮へい体支持架構のねじり断面係数	mm^3
Z_y	遮へい体支持架構の断面係数（y軸）	mm^3
Z_z	遮へい体支持架構の断面係数（z軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量*1	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

2.3　評価部位

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体の耐震評価は，「2.5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体の耐震評価箇所については，表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4　固有周期

2.4.1　固有値解析方法

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体の固有値解析方法を「2.4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

2.4.2　解析モデル及び諸元

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体の解析モデルを3次元はりモデルとして図2-2に，解析モデルの概要を以下に示す。遮へい体は遮へい体に溶接されている鋼材と，下部の遮へい体支持架構に固定され，原子炉建屋壁面に4箇所で固定されている。解析モデルでは遮へい体支持架構を①～③の部材，遮へい体に溶接されている鋼材を④～⑩の部材で組まれたものとみなし，支持点4点で固定されるものとする。遮へい体の質量は8箇所に分散されるものとし，保守的に取付位置の上部に配置する。機器の諸元を表2-3，部材の機器要目を表2-4に示す。

(1)　図2-2中○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2)　図2-2中の ◓ は遮へい体の質点m_aを示し，8箇所に分散している。なお，質点m_aの質量は1個あたり□kgで，8箇所を合計すると□kgである。

(3)　図2-2中の ―― は遮へい体支持架構，－ － ・ は仮想鋼材， は支持点（遮へい体支持架構基礎部）を示す。

(4)　拘束条件は，ＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値及び荷重を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

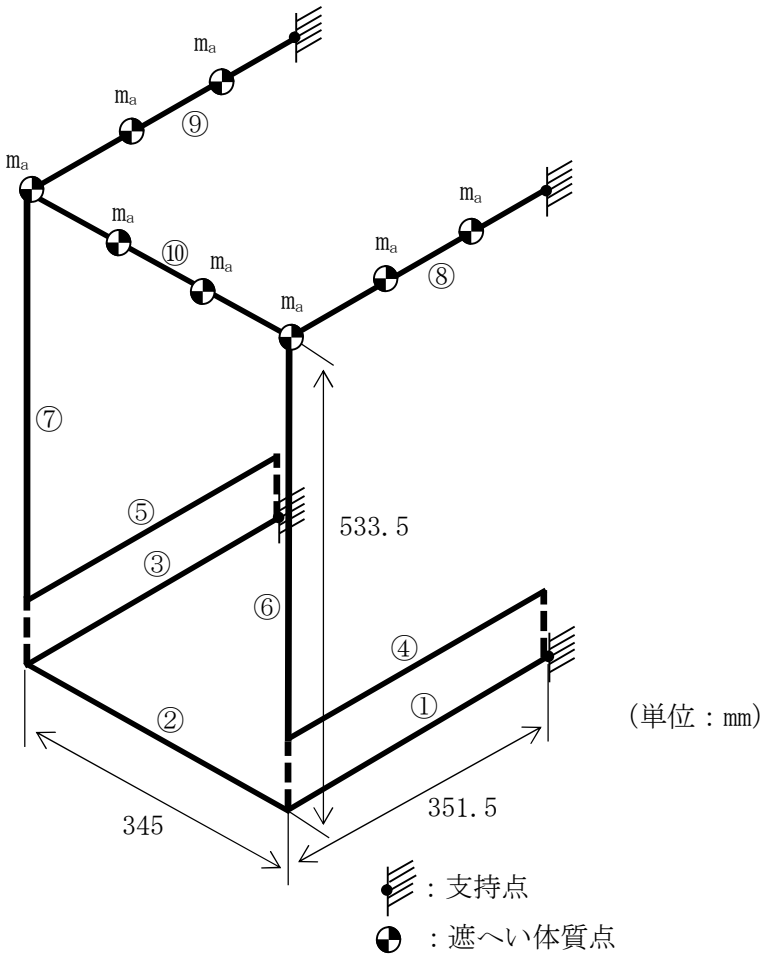


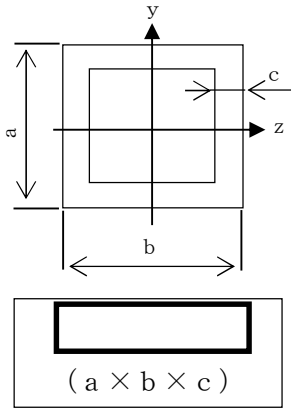
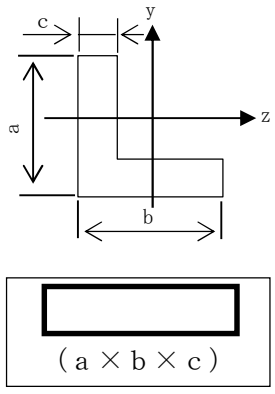
図 2-2　低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）
遮へい体　解析モデル

表 2-3　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

注記　＊：（　）内は合計質量を示す。

表 2-4　部材の機器要目

材料		
対象要素	①－③	④－⑩
A （mm^2）		
I_y （mm^4）		
I_z （mm^4）		
I_p （mm^4）		
Z_y （mm^3）		
Z_z （mm^3）		
Z_p （mm^3）		
断面形状(mm)		

2.4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 2-5 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 2-5　固有値解析結果(s)

モード	固有周期	卓越方向
1 次		水平

2.5　構造強度評価

2.5.1　構造強度評価方法

(1)　地震力は低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2)　低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体は，基礎ボルトにより固定されるものとする。

(3)　低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体の質量は，遮へい体支持架構を考慮する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

2.5.2　荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

2.5.2.2　許容応力

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 2-7 のとおりとする。

2.5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-8 に示す。

表 2-6　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 2-7　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1，*2 （ボルト等） 一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5・f_t$*	$1.5・f_s$*
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-8　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	234	385	―

2.5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-9 に示す。

表 2-9　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL. 20.30 (EL. 29.00*1)			—	—	C_H=1.55	C_V=1.17

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

2.5.4　計算方法

2.5.4.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

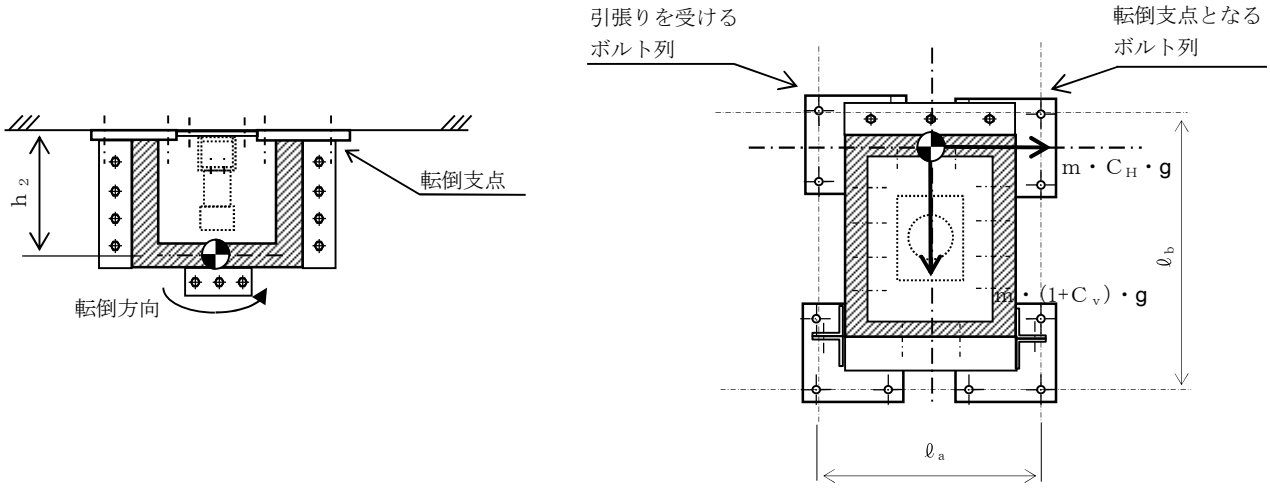


図 2-3(1)　低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体 計算モデル
（壁掛型　水平方向転倒の場合）

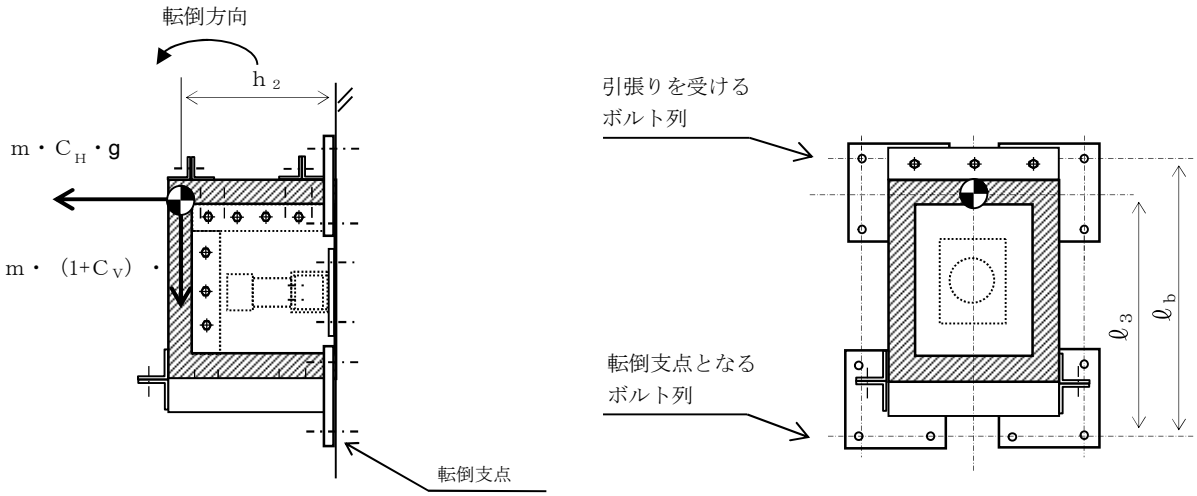


図 2-3(2)　低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体　計算モデル
（壁掛型　鉛直方向転倒の場合）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図 2-3 で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図2-3 (1)の場合の引張力

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.1)$$

計算モデル図2－3 (2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}(F_{b1},\ F_{b2}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_{b1}=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.6)$$

$$Q_{b2}=m\cdot g\cdot(1+C_V) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.8)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.9)$$

2.5.5　計算条件

2.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器様目に示す。

2.5.6　応力の評価

2.5.6.1　ボルトの応力評価

2.5.4.1項で求めたボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。ただし，f_{to}及びf_{sb}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (2.5.6.1.1)$$

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。

	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

2.6　評価結果

2.6.1　評価結果

低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体	常設耐震／防止常設／緩和	EL. 20.30 (EL. 29.00*1)			－	－	C_H＝1.55	C_V＝1.17	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析により 0.05 秒以下であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								4	4

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	234	385	－	270	－	鉛直方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4　結論

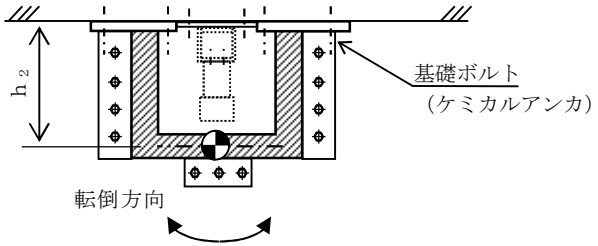
1.4.1　ボルトの応力

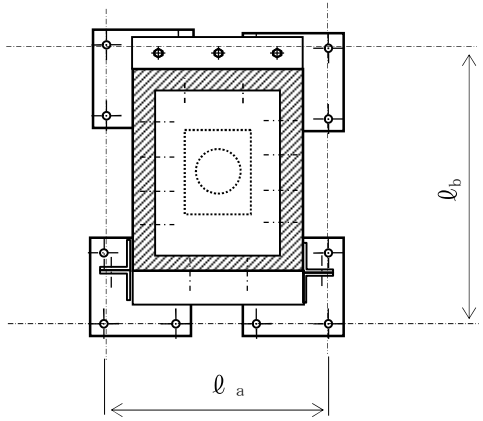
（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=31	f_{ts}=162*
		せん断	－	－	τ_b=11	f_{sb}=124

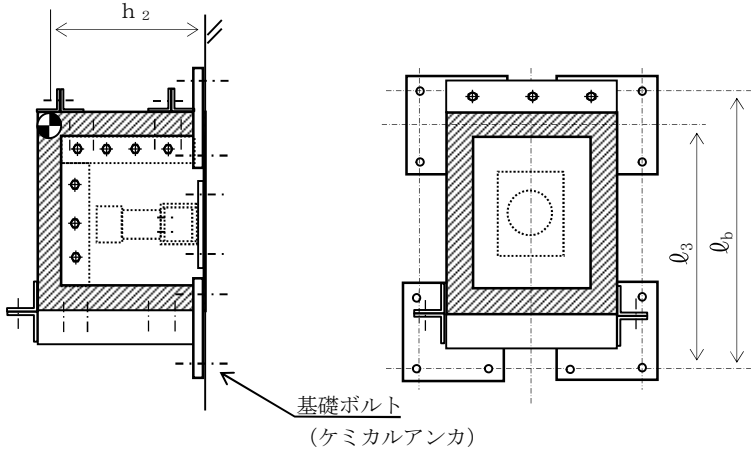
すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-5-39　低圧代替注水系格納容器下部注水流量の耐震性についての計算書

目次

1.　低圧代替注水系格納容器下部注水流量 …… 1
1.1　概要 …… 1
1.2　一般事項 …… 1
1.2.1　構造計画 …… 1
1.3　固有周期 …… 3
1.3.1　固有周期の算出方法 …… 3
1.3.2　固有周期の計算条件 …… 4
1.3.3　固有周期の計算結果 …… 5
1.4　構造強度評価 …… 6
1.4.1　構造強度評価方法 …… 6
1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力 …… 6
1.5　機能維持評価 …… 9
1.5.1　電気的機能維持評価方法 …… 9
1.6　評価結果 …… 10
1.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果 …… 10
2.　低圧代替注水系格納容器下部注水流量（遮へい体） …… 14
2.1　概要 …… 14
2.2　一般事項 …… 14
2.2.1　構造計画 …… 14
2.2.2　評価方針 …… 16
2.2.3　適用基準 …… 17
2.2.4　記号の説明 …… 18
2.2.5　計算精度と数値の丸め方 …… 19
2.3　評価部位 …… 20
2.4　固有周期 …… 20
2.4.1　固有値解析方法 …… 20
2.4.2　解析モデル及び諸元 …… 21
2.4.3　固有値解析結果 …… 23
2.5　構造強度評価 …… 24
2.5.1　構造強度評価方法 …… 24
2.5.2　荷重の組合せ及び許容応力 …… 24
2.5.3　設計用地震力 …… 27
2.5.4　計算方法 …… 28
2.5.5　計算条件 …… 30
2.5.6　応力の評価 …… 30
2.6　評価結果 …… 31
2.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果 …… 31

1. 低圧代替注水系格納容器下部注水流量

1.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，低圧代替注水系格納容器下部注水流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

低圧代替注水系格納容器下部注水流量は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

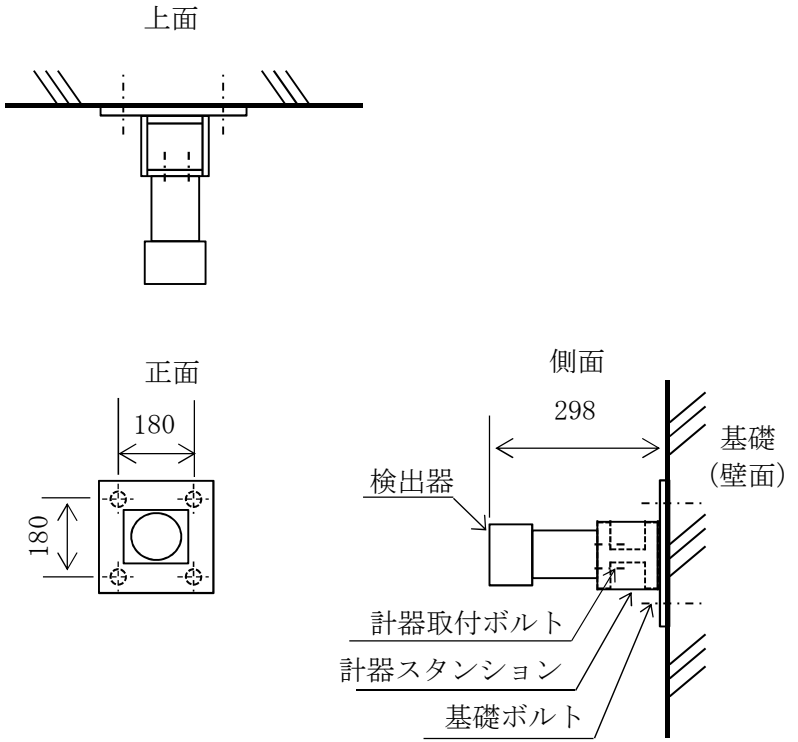
1.2 一般事項

低圧代替注水系格納容器下部注水流量は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

1.2.1 構造計画

低圧代替注水系格納容器下部注水流量の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	 (単位：mm)

1.3 固有周期

1.3.1 固有周期の算出方法

低圧代替注水系格納容器下部注水流量の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 低圧代替注水系格納容器下部注水流量は，図 1-1 に示す壁固定の１質点系振動モデルとして考える。

(2) 計器スタンションは鋼材で原子炉建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）１点で固定されるものとする。

(3) 検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4) 図 1-1 中の ◓ は検出器及び計器スタンションの質点，●は計器スタンションの支持点，━ は計器スタンションを示す。

1.3.1.1 水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1) Ｘ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{{h_2}^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_2}{A_s \cdot G} \right)} \quad \cdots (1.3.1.1.1)$$

(2) Ｚ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

1.3.1.2 鉛直方向（Ｙ方向）

(1) Ｙ方向に対する固有周期を 1.3.1.1.1 式で求める。

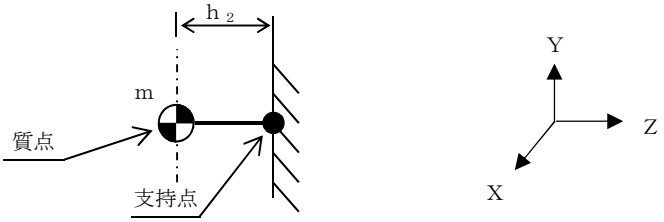
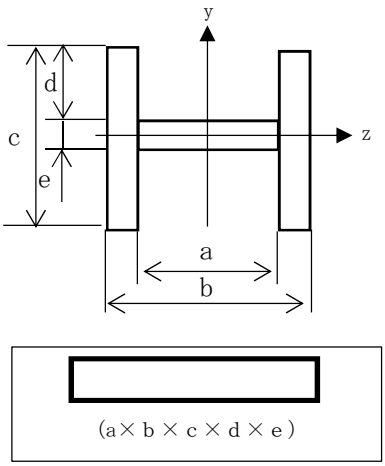


図 1-1 固有周期の計算モデル

1.3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 1-2 に示す。

表 1-2　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
取付面から重心までの距離（壁掛形）	h_2	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			

1.3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向のＸ方向及び鉛直方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，水平方向のＺ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 1-3 に示す。

表 1-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向
[redacted]	[redacted]

1.4　構造強度評価

1.4.1　構造強度評価方法

低圧代替注水系格納容器下部注水流量の構造は壁掛形計器スタンションであるため，構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧代替注水系格納容器下部注水流量の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4 に示す。

1.4.2.2　許容応力

低圧代替注水系格納容器下部注水流量の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 のとおりとする。

1.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

低圧代替注水系格納容器下部注水流量の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-6 に示す。

表 1-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	低圧代替注水系 格納容器下部注水流量	常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 1-5　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 （℃）		S_y （MPa）	S_u （MPa）	S_y（RT） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

1.5　機能維持評価

1.5.1　電気的機能維持評価方法

低圧代替注水系格納容器下部注水流量の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

低圧代替注水系格納容器下部注水流量に設置される検出器の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-7 に示す。

表 1-7　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
低圧代替注水系格納容器 下部注水流量	水平	
	鉛直	

1.6　評価結果

1.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

低圧代替注水系格納容器下部注水流量の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧代替注水系格納容器下部注水流量の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
低圧代替注水系格納容器下部注水流量	常設／緩和	[redacted] EL. 20.30 (EL. 29.00*)	[redacted]		—	—	C_H=1.55	C_V=1.17	[redacted]

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 低圧代替注水系格納容器下部注水流量

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト	[redacted]							2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	—	261	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=5$	$f_{ts}=156^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=120$

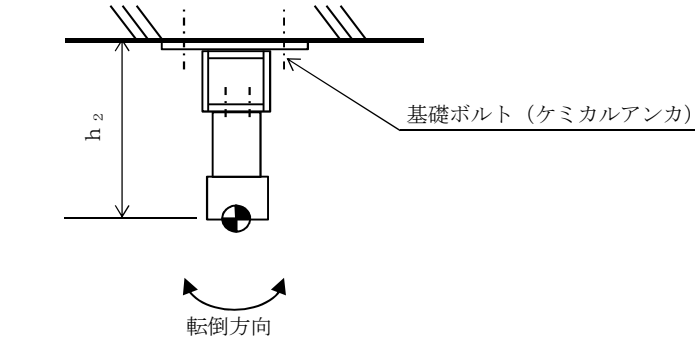
すべて許容応力以下である。

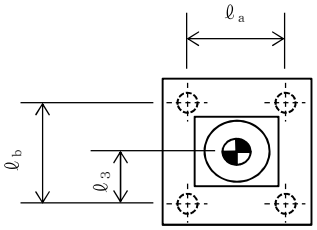
注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

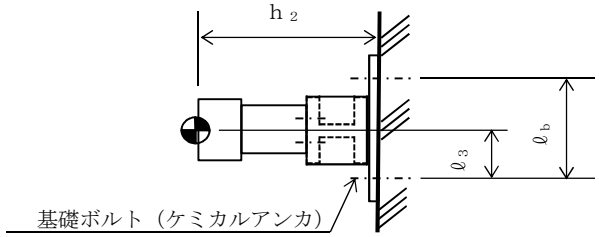
		評価用加速度	機能確認済加速度
低圧代替注水系格納容器下部注水流量	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

2.　低圧代替注水系格納容器下部注水流量（遮へい体）

2.1　概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

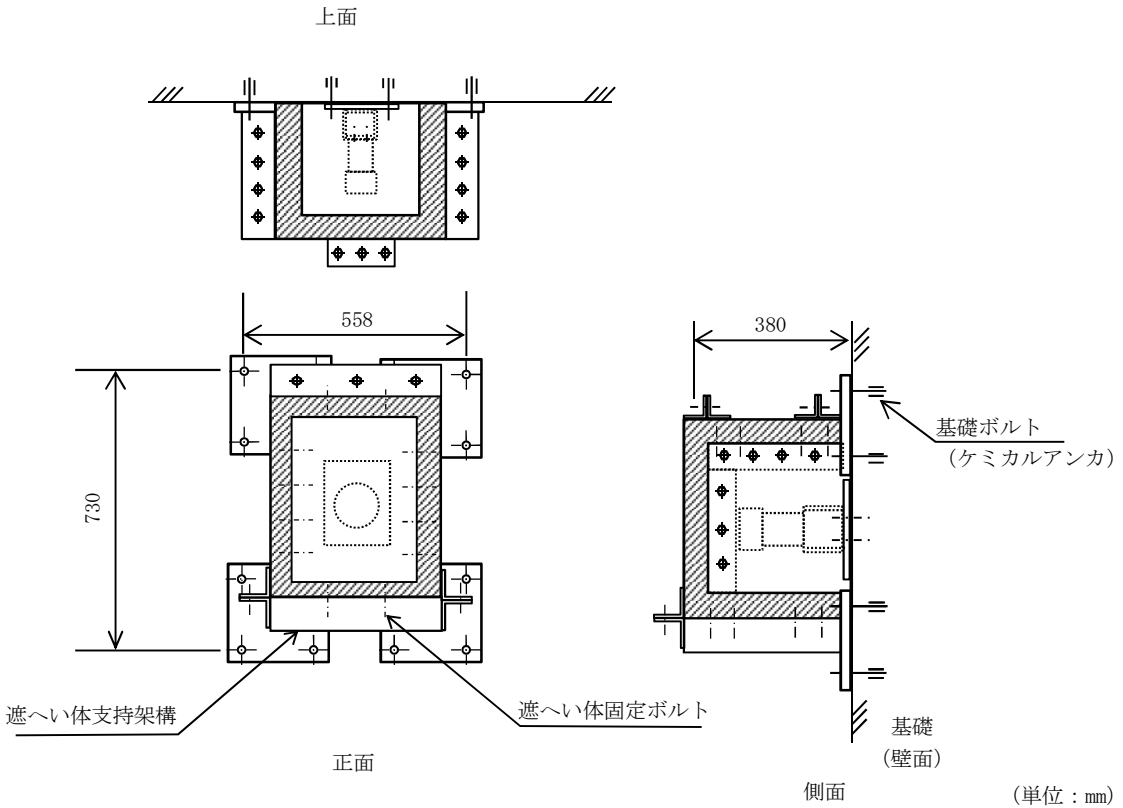
低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2.2　一般事項

2.2.1　構造計画

低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
遮へい体は，遮へい体固定ボルトにより遮へい体支持架構に固定される。 遮へい体支持架構は，基礎に基礎ボルトで設置する。	遮へい体	

2.2.2　評価方針

低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.2.1　構造計画」にて低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体の部位を踏まえ「2.3　評価部位」にて設定する箇所において，「2.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「2.5　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.6　評価結果」に示す。

低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

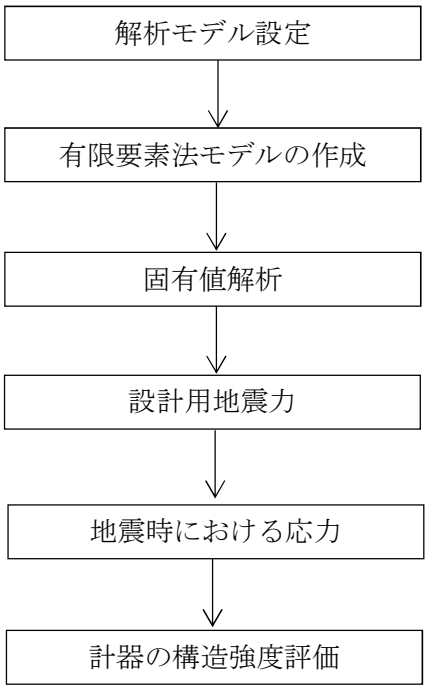


図 2-1　低圧代替注水系格納容器下部注水流量
遮へい体の耐震評価フロー

2.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））
ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	遮へい体支持架構の断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_2	取付面から質点までの距離(壁掛形)	mm
I_p	遮へい体支持架構の断面二次極モーメント	mm^4
I_y	遮へい体支持架構の断面二次モーメント（ｙ軸）	mm^4
I_z	遮へい体支持架構の二次モーメント（ｚ軸）	mm^4
ℓ_3	質点と下側ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_a	側面(左右)ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離(壁掛形)	mm
m	遮へい体及び遮へい体支持架構の総質量	kg
m_a	遮へい体の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
Z_p	遮へい体支持架構のねじり断面係数	mm^3
Z_y	遮へい体支持架構の断面係数（y軸）	mm^3
Z_z	遮へい体支持架構の断面係数（z軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量*1	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

2.3　評価部位

低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体の耐震評価は，「2.5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体の耐震評価箇所については，表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4　固有周期

2.4.1　固有値解析方法

低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体の固有値解析方法を「2.4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

2.4.2　解析モデル及び諸元

低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体の解析モデルを 3 次元はりモデルとして図 2-2 に,解析モデルの概要を以下に示す。遮へい体は遮へい体に溶接されている鋼材と，下部の遮へい体支持架構に固定され，原子炉建屋壁面に 4 箇所で固定されている。解析モデルでは遮へい体支持架構を①～③の部材，遮へい体に溶接されている鋼材を④～⑩の部材で組まれたものとみなし，支持点 4 点で固定されるものとする。遮へい体の質量は 8 箇所に分散されるものとし，保守的に取付位置の上部に配置する。機器の諸元を表 2-3，部材の機器要目を表 2-4 に示す。

(1)　図 2-2 中○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2)　図 2-2 中の ◓ は遮へい体の質点m_aを示し，8 箇所に分散している。なお，質点m_aの質量は 1 個あたり□kg で，8 箇所を合計すると□kg である。

(3)　図 2-2 中の―― は遮へい体支持架構，－－－は仮想鋼材， は支持点（遮へい体支持架構基礎部）を示す。

(4)　拘束条件は，ＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは,「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

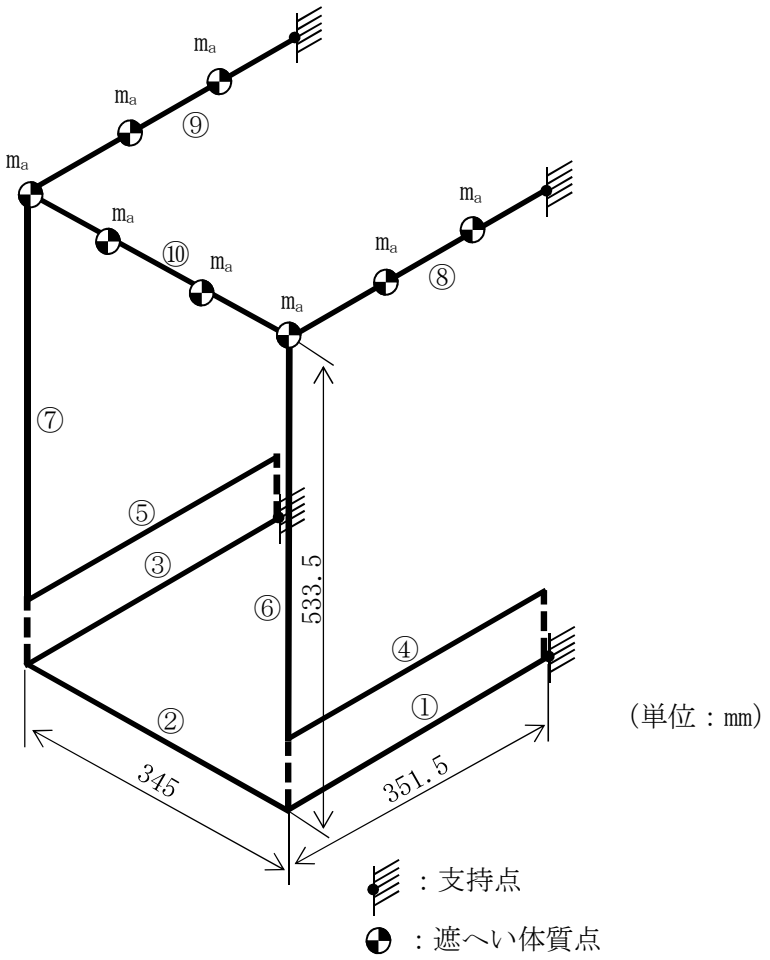


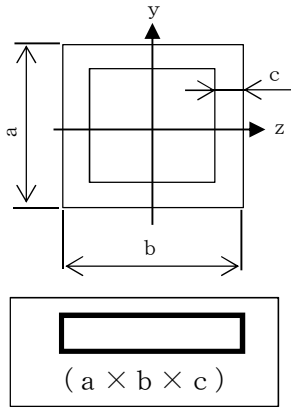
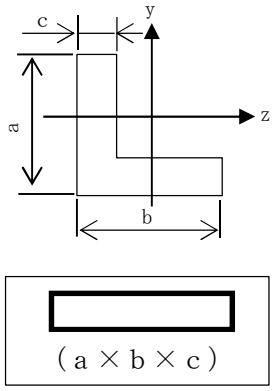
図 2-2　低圧代替注水系格納容器下部注水流量
遮へい体　解析モデル

表 2-3　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

注記　＊：() 内は合計質量を示す。

表 2-4　部材の機器要目

材料		
対象要素	①－③	④－⑩
A （mm^2）		
I_y （mm^4）		
I_z （mm^4）		
I_p （mm^4）		
Z_y （mm^3）		
Z_z （mm^3）		
Z_p （mm^3）		
断面形状(mm)		

2.4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 2-5 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 2-5　固有値解析結果(s)

モード	固有周期	卓越方向
1 次		水平

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

(1) 低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2) 低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体は，基礎ボルトにより固定されるものとする。

(3) 低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体の質量は，遮へい体支持架構を考慮する。

(4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

2.5.2.2 許容応力

低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 2-7 のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-8 に示す。

表 2-6　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体	常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 2-7　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2（ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*
V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-8　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	—

2.5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-9 に示す。

表 2-9　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL. 20.30 (EL. 29.00*1)			－	－	C_H＝1.55	C_V＝1.17

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

2.5.4　計算方法

2.5.4.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

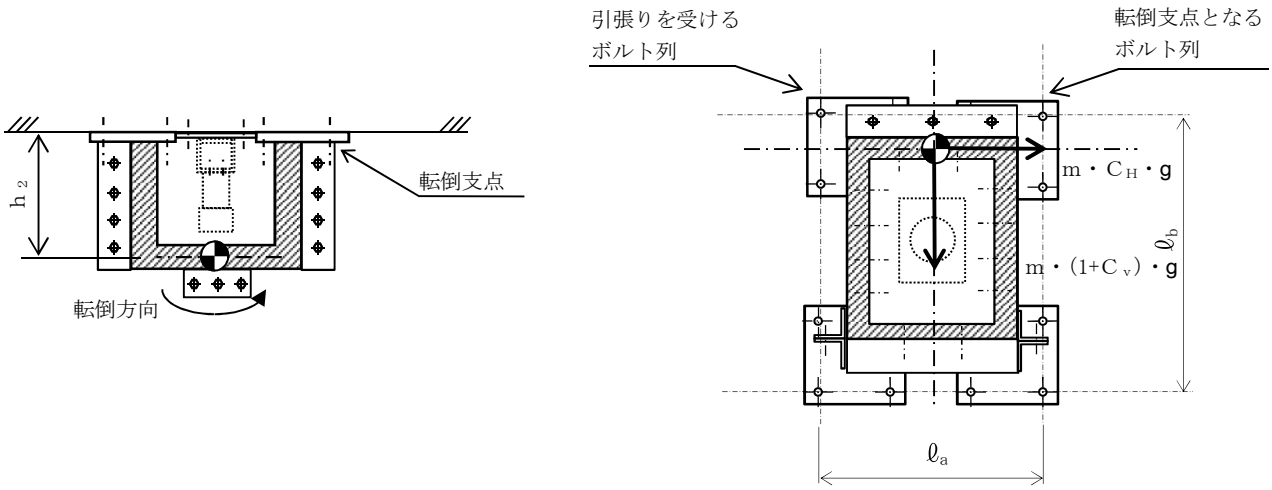


図 2-3(1)　低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体　計算モデル
（壁掛形　水平方向転倒の場合）

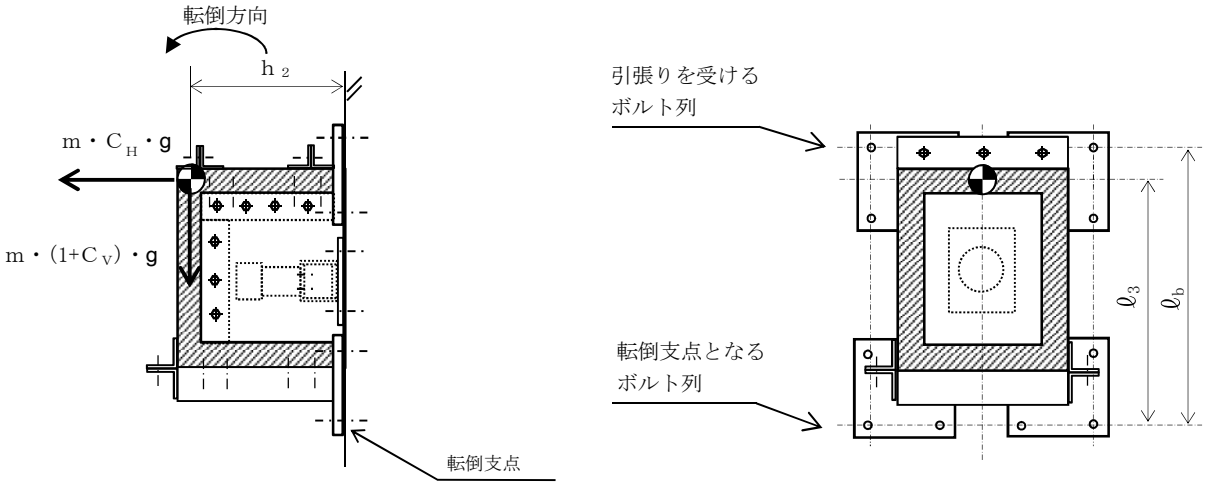


図 2-3(2)　　低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体　計算モデル
（壁掛形　鉛直方向転倒の場合）

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図 2-3 で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図2-3 (1)の場合の引張力

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.1)$$

計算モデル図2-3 (2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}\,(F_{b1},\ F_{b2}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.5)$$

(2)　せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_{b1}=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.6)$$

$$Q_{b2}=m\cdot g\cdot(1+C_V) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.8)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.9)$$

2.5.5　計算条件

2.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器様目に示す。

2.5.6　応力の評価

2.5.6.1　ボルトの応力評価

2.5.4.1 項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b は，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし，f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

$$f_{ts} = \mathrm{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

	基準地震動Ｓ$_s$による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.6　評価結果

2.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体	常設／緩和	EL. 20.30 (EL. 29.00*1)			－	－	C_H＝1.55	C_V＝1.17	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析により 0.05 秒以下であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								4	4

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	鉛直方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4　結論

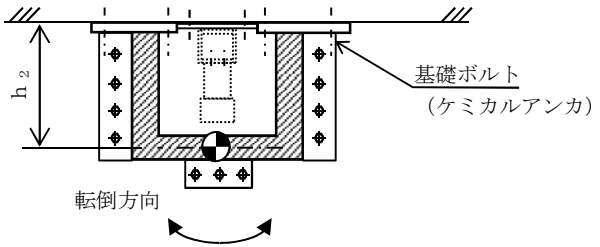
1.4.1　ボルトの応力

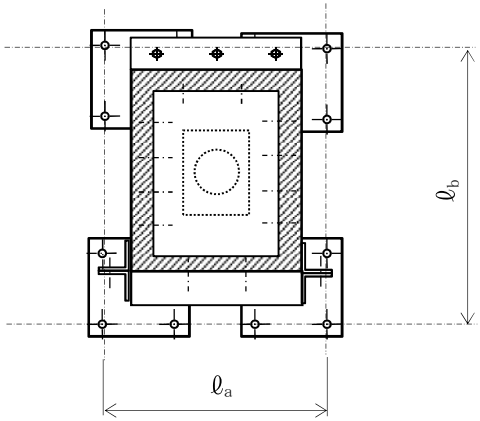
（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=31	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=11	f_{sb}=120

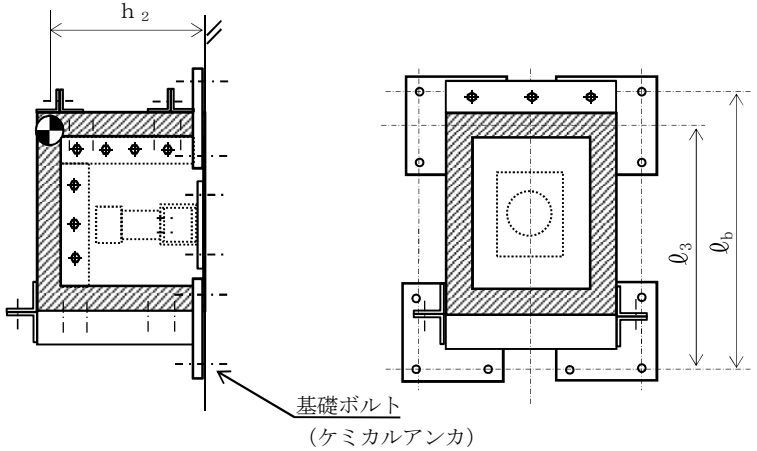
すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-5-40　代替循環冷却系格納容器スプレイ流量の耐震性についての計算書

目次

1. 代替循環冷却系格納容器スプレイ流量 1
1.1 概要 1
1.2 一般事項 1
1.2.1 構造計画 1
1.3 固有周期 3
1.3.1 固有周期の算出方法 3
1.3.2 固有周期の計算条件 4
1.3.3 固有周期の計算結果 5
1.4 構造強度評価 6
1.4.1 構造強度評価方法 6
1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力 6
1.5 機能維持評価 9
1.5.1 電気的機能維持評価方法 9
1.6 評価結果 10
1.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 10
2. 代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体 14
2.1 概要 14
2.2 一般事項 14
2.2.1 構造計画 14
2.2.2 評価方針 16
2.2.3 適用基準 17
2.2.4 記号の説明 18
2.2.5 計算精度と数値の丸め方 20
2.3 評価部位 21
2.4 固有周期 21
2.4.1 固有値解析方法 21
2.4.2 解析モデル及び諸元 22
2.4.3 固有値解析結果 24
2.5 構造強度評価 25
2.5.1 構造強度評価方法 25
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力 25
2.5.3 設計用地震力 28
2.5.4 計算方法 29
2.5.5 計算条件 31
2.5.6 応力の評価 31

2.6　評価結果 32
2.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果 32

1. 代替循環冷却系格納容器スプレイ流量

1.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，代替循環冷却系格納容器スプレイ流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

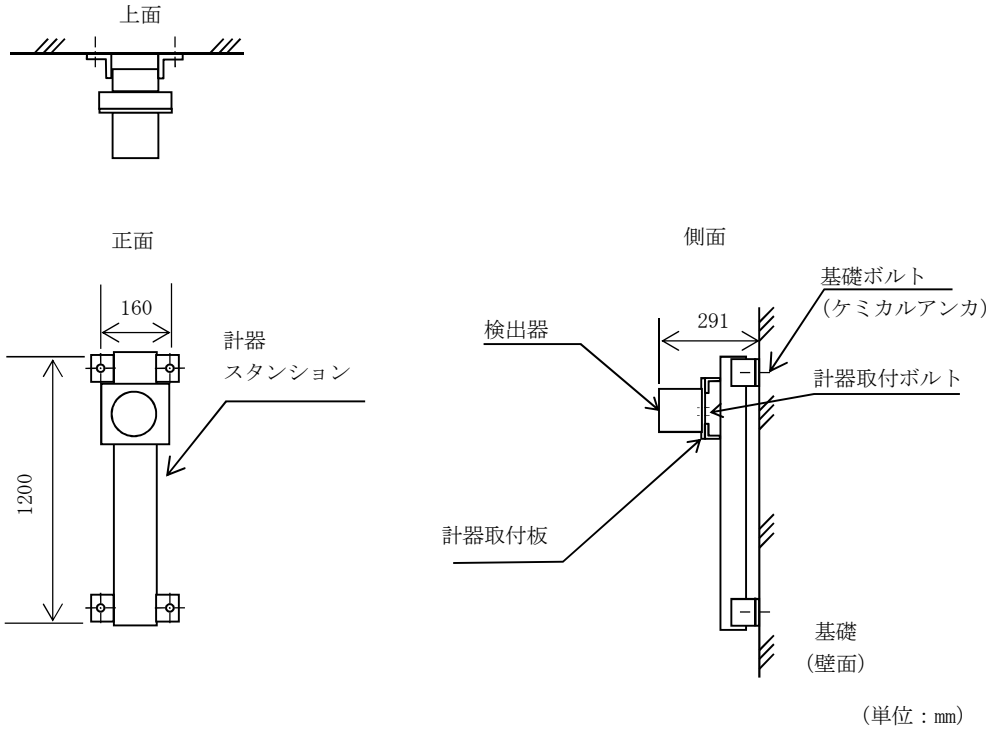
1.2 一般事項

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

1.2.1 構造計画

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	

1.3 固有周期

1.3.1 固有周期の算出方法

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 代替循環冷却系格納容器スプレイ流量は，図 1-1 に示す壁固定の１質点系振動モデルとして考える。

(2) 計器スタンションは鋼材で上下２箇所を原子炉建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）２点で固定されるものとする。

(3) 検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は計器スタンションの中心に設定する。

(4) 図 1-1 中の ⊕ は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，— は計器スタンションを示す。

1.3.1.1 水平方向（X方向，Z方向）

X方向及びZ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{\ell_b{}^3}{48\cdot E\cdot I}+\frac{\ell_b}{4\cdot A_s\cdot G}\right)} \quad \cdots(1.3.1.1.1)$$

1.3.1.2 鉛直方向（Y方向）

Y方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

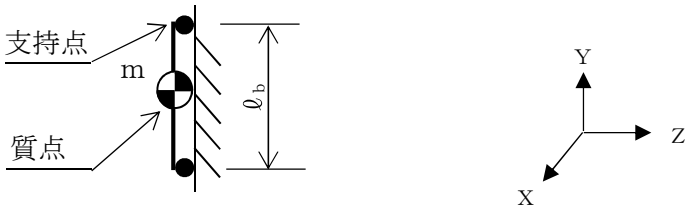
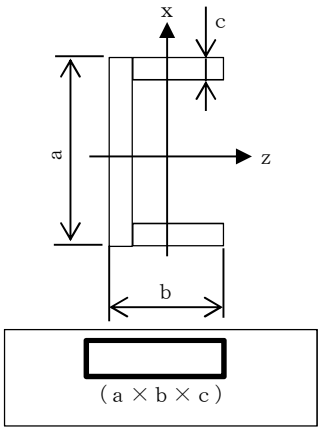


図 1-1 固有周期の計算モデル

1.3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 1-2 に示す。

表 1-2　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
上下ボルト間の距離（壁掛形）	ℓ_b	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	As	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			

1.3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また,鉛直方向のＹ方向は十分な剛性を有していることから,固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 1-3 に示す。

表 1-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向
[redacted]	[redacted]

注記　＊：水平方向は固有周期が長いＺ方向の固有周期を示す。

1.4　構造強度評価

1.4.1　構造強度評価方法

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量の構造は壁掛形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4 に示す。

1.4.2.2　許容応力

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 のとおりとする。

1.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-6 に示す。

表 1-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	代替循環冷却系格納容器スプレイ流量	常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 1-5　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 （℃）		S_y （MPa）	S_u （MPa）	S_y（RT） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

1.5　機能維持評価

1.5.1　電気的機能維持評価方法

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-7 に示す。

表 1-7　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
代替循環冷却系 格納容器スプレイ流量	水平	
	鉛直	

1.6　評価結果

1.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【代替循環冷却系格納容器スプレイ流量の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
代替循環冷却系格納容器スプレイ流量	常設／緩和	EL.-4.00 (EL.2.00*)			—	—	C_H=0.96	C_V=0.92	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 代替循環冷却系格納容器スプレイ流量

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	—	261	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=3	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=2	f_{sb}=120

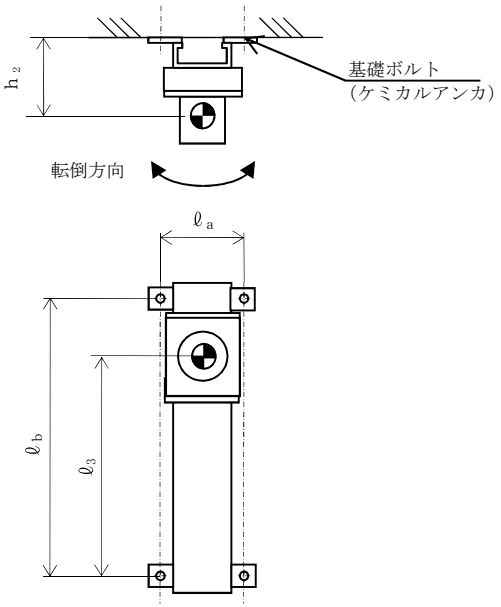
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}−1.6・τ_b, f_{to}]より算出

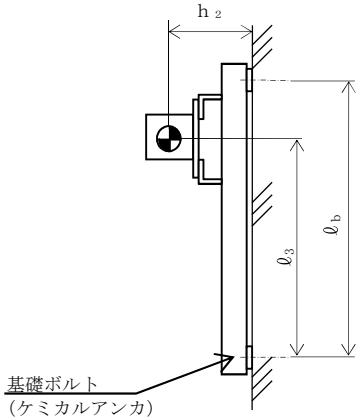
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
代替循環冷却系格納容器スプレイ流量	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

2. 代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体

2.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

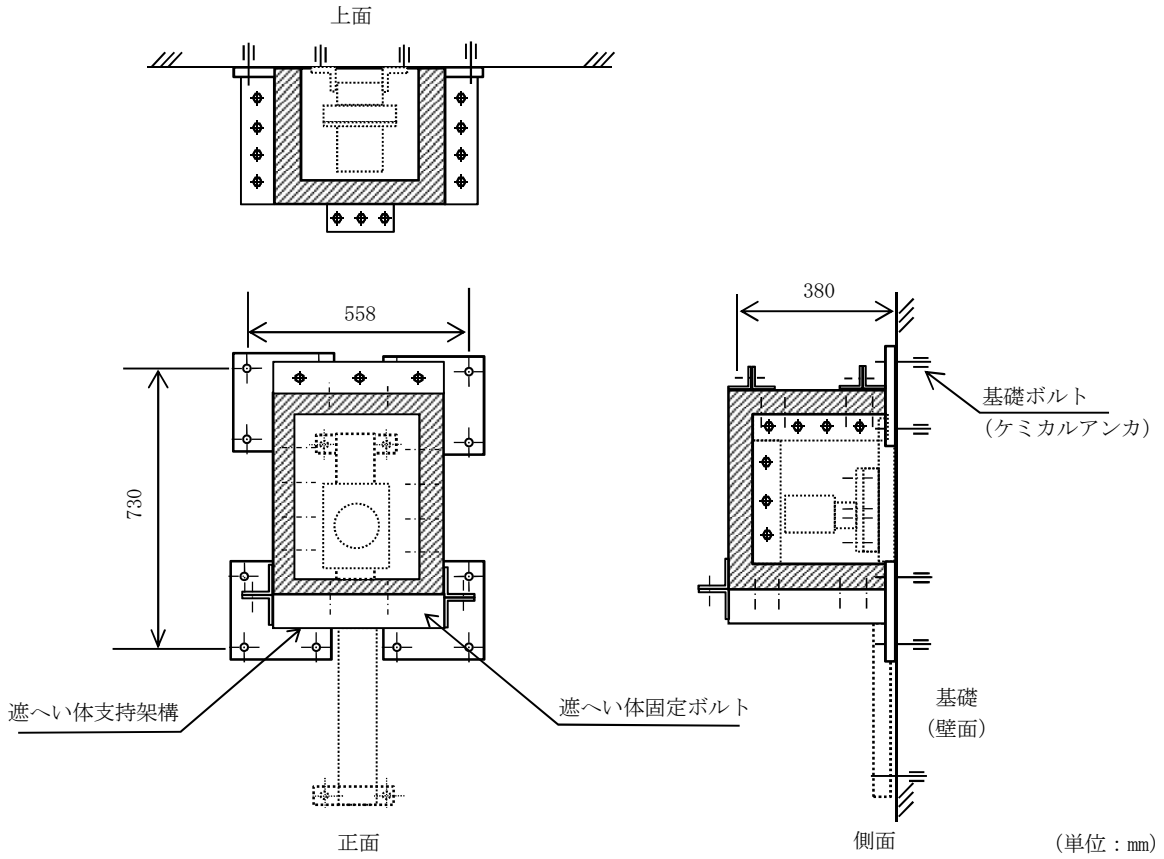
代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
遮へい体は，遮へい体固定ボルトにより遮へい体支持架構に固定される。 遮へい体支持架構は，基礎に基礎ボルトで設置する。	遮へい体	

2.2.2　評価方針

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.2.1　構造計画」にて代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体の部位を踏まえ「2.3　評価部位」にて設定する箇所において，「2.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「2.5　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.6　評価結果」に示す。

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

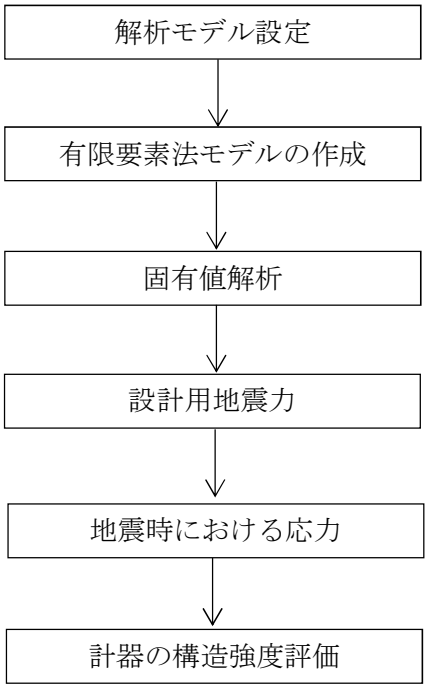


図 2-1　代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体の耐震評価フロー

2.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	遮へい体支持架構の断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_2	取付面から質点までの距離(壁掛形)	mm
I_p	遮へい体支持架構の断面二次極モーメント	mm^4
I_y	遮へい体支持架構の断面二次モーメント（ｙ軸）	mm^4
I_z	遮へい体支持架構の二次モーメント（ｚ軸）	mm^4
ℓ_3	質点と下側ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_a	側面(左右)ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離(壁掛形)	mm
m	遮へい体及び遮へい体支持架構の総質量	kg
m_a	遮へい体の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa

記号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
Z_p	遮へい体支持架構のねじり断面係数	mm^3
Z_y	遮へい体支持架構の断面係数（y軸）	mm^3
Z_z	遮へい体支持架構の断面係数（z軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	－	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	－	－	整数位
質量*1	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
モーメント	N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。
＊2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。
＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

2.3　評価部位

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体の耐震評価は,「2.5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体の耐震評価箇所については，表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4　固有周期

2.4.1　固有値解析方法

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体の固有値解析方法を「2.4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

2.4.2　解析モデル及び諸元

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体の解析モデルを 3 次元はりモデルとして図 2-2 に，解析モデルの概要を以下に示す。遮へい体は遮へい体に溶接されている鋼材と，下部の遮へい体支持架構に固定され，原子炉建屋壁面に４箇所で固定されている。解析モデルでは遮へい体支持架構を①～③の部材，遮へい体に溶接されている鋼材を④～⑩の部材で組まれたものとみなし，支持点４点で固定されるものとする。遮へい体の質量は８箇所に分散されるものとし，保守的に取付位置の上部に配置する。機器の諸元を表 2-3，部材の機器要目を表 2-4 に示す。

(1)　図 2-2 中①～⑩内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

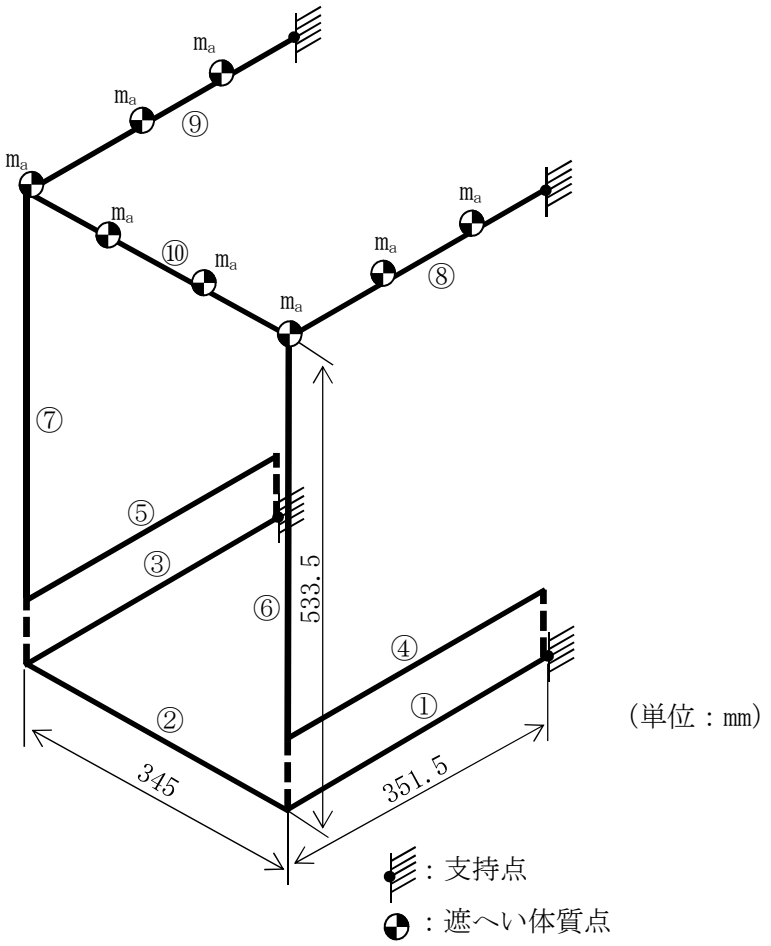
(2)　図 2-2 中の ◓ は遮へい体の質点m_aを示し，8 箇所に分散している。なお，質点m_aの質量は 1 個あたり □ kg で，8 箇所を合計すると □ kg である。

(3)　図 2-2 中の ━━ は遮へい体支持架構，╍╍ は仮想鋼材， ⋔ は支持点（遮へい体支持架構基礎部）を示す。

(4)　拘束条件は，ＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値及び荷重を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。



（単位：mm）

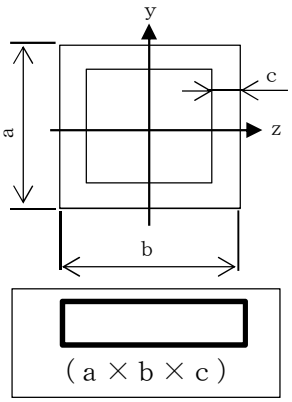
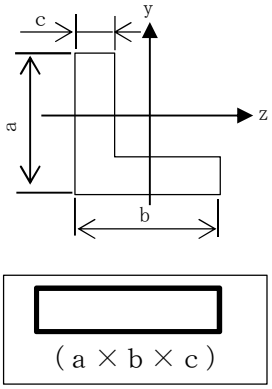
図 2-2　代替循環冷却系格納容器スプレイ流量
遮へい体　解析モデル

表 2-3　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

注記　＊：() 内は合計質量を示す。

表 2-4　部材の機器要目

材料		
対象要素	①－③	④－⑩
A （mm^2）		
I_y （mm^4）		
I_z （mm^4）		
I_p （mm^4）		
Z_y （mm^3）		
Z_z （mm^3）		
Z_p （mm^3）		
断面形状（mm）		

2.4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 2-5 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。また，鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 2-5　固有値解析結果（s）

モード	固有周期	卓越方向
1 次		水平

2.5　構造強度評価

2.5.1　構造強度評価方法

(1)　地震力は代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2)　代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体は，基礎ボルトにより壁面に固定されているものとする。

(3)　代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体の質量は，遮へい体支持架構を考慮する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

2.5.2　荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

2.5.2.2　許容応力

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 2-7 のとおりとする。

2.5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-8 に示す。

表 2-6　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	代替循環冷却系格納容器スプレイ流量	常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 2-7　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2（ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*
V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-8　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	—

2.5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-9 に示す。

表 2-9　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
[redacted] EL.-4.00 (EL.2.00*1)	[redacted]		—	—	C_H=0.96	C_V=0.92

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

2.5.4　計算方法

2.5.4.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

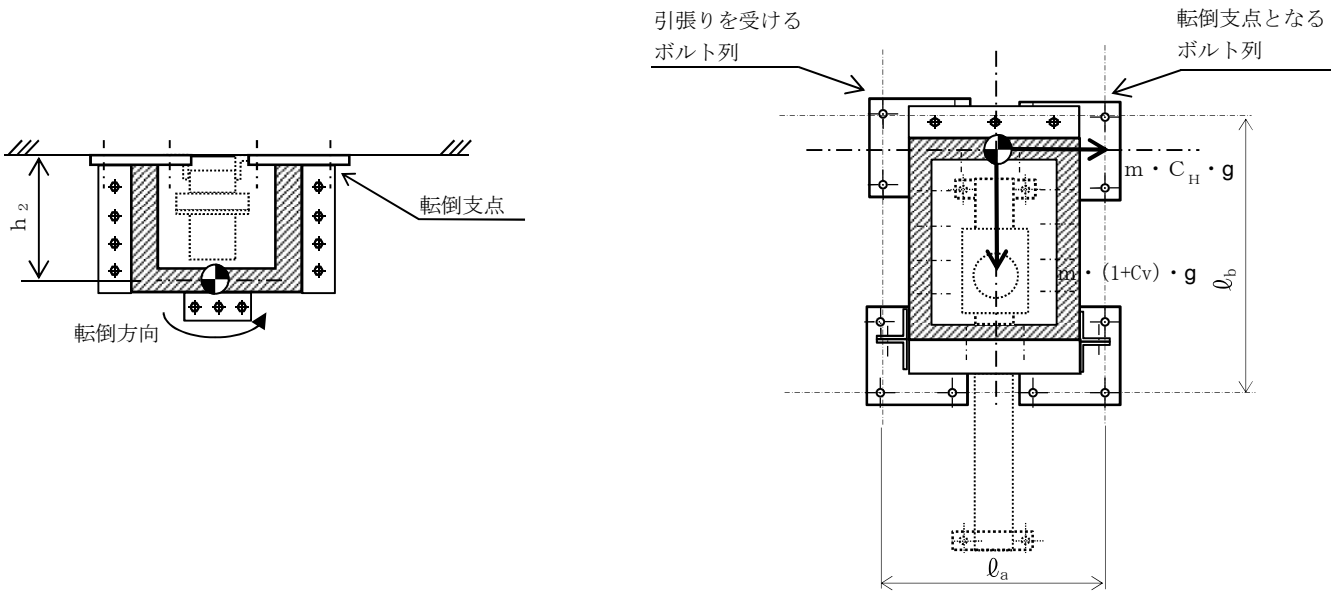


図2-3(1)　代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体　計算モデル
(壁掛形　水平方向転倒の場合)

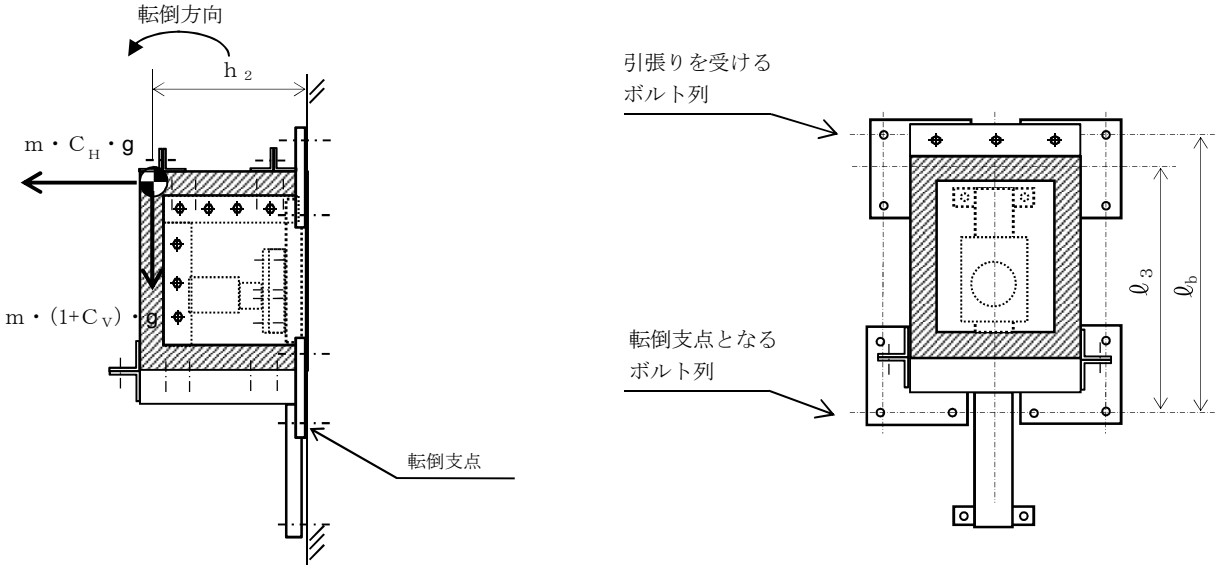


図2-3(2)　代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体計算モデル
(壁掛形　鉛直方向転倒の場合)

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図2-3で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図2-3(1)の場合の引張力

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.5.4.1.1)$$

計算モデル図2-3(2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.5.4.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}(F_{b1},\ F_{b2}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.5.4.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.5.4.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.5.4.1.5)$$

(2)　せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_b=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.5.4.1.6)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.5.4.1.7)$$

2.5.5　計算条件

2.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器様目に示す。

2.5.6　応力の評価

2.5.6.1　ボルトの応力評価

2.5.4.1項で求めたボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。ただし，f_{to}及びf_{sb}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (2.5.6.1.1)$$

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。

	弾性設計用地震動S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

2.6 評価結果

2.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体	常設／緩和	EL.-4.00 (EL.2.00*1)			－	－	C_H=0.96	C_V=0.92	

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析により 0.05 秒以下であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								4	4

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	鉛直方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

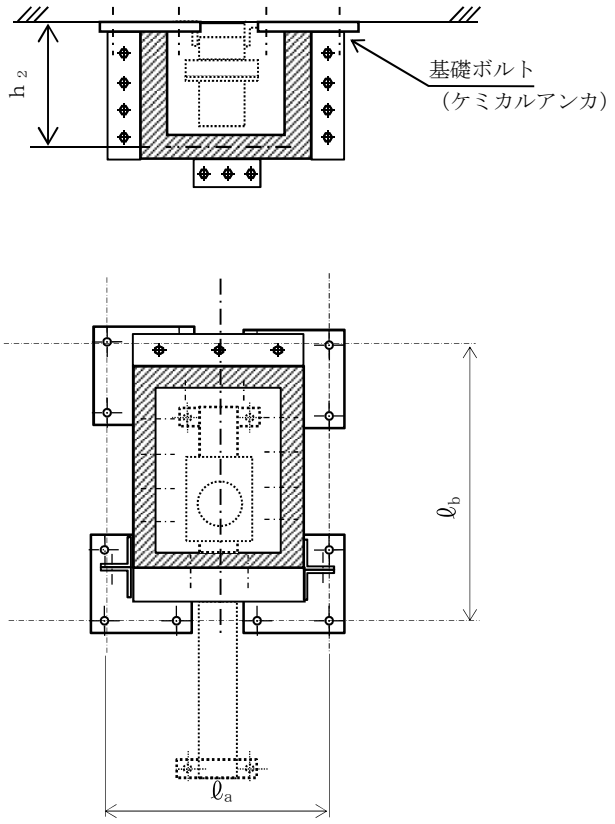
1.4 結論

1.4.1 代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体の応力 (単位：MPa)

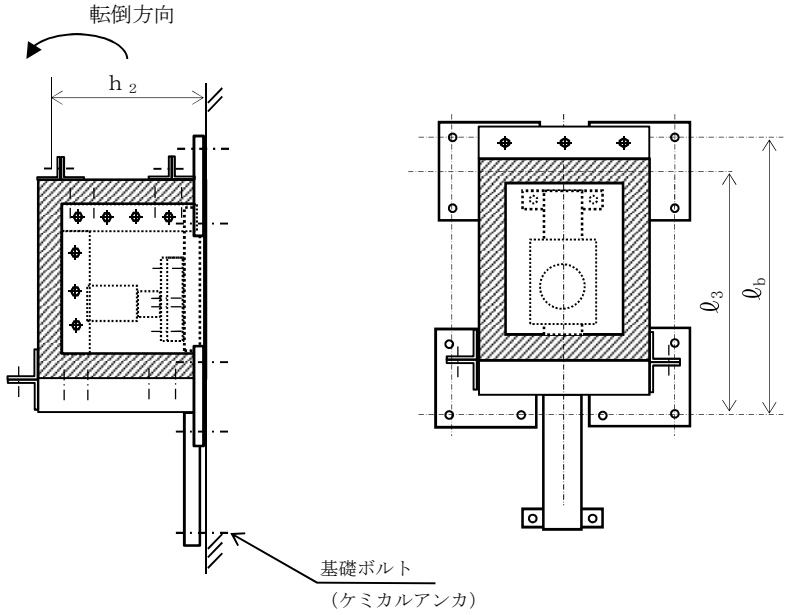
部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=23	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=9	f_{sb}=120

すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-5-41　サプレッション・プール水位の耐震性についての計算書

目次

1. サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A） ····· 1
1.1 概要 ····· 1
1.2 一般事項 ····· 1
1.2.1 構造計画 ····· 1
1.2.2 評価方針 ····· 3
1.2.3 適用基準 ····· 4
1.2.4 記号の説明 ····· 5
1.2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 7
1.3 評価部位 ····· 8
1.4 地震応答解析及び構造強度評価 ····· 8
1.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 8
1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 8
1.4.3 解析モデル及び諸元 ····· 11
1.4.4 固有周期 ····· 13
1.4.5 設計用地震力 ····· 13
1.4.6 計算方法 ····· 14
1.4.7 計算条件 ····· 16
1.4.8 応力の評価 ····· 16
1.5 機能維持評価 ····· 17
1.5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 17
1.6 評価結果 ····· 17
1.6.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 17
2. サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B） ····· 21
2.1 概要 ····· 21
2.2 一般事項 ····· 21
2.2.1 構造計画 ····· 21
2.2.2 評価方針 ····· 23
2.2.3 適用基準 ····· 24
2.2.4 記号の説明 ····· 25
2.2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 27
2.3 評価部位 ····· 28
2.4 固有周期 ····· 28
2.4.1 固有値解析方法 ····· 28
2.4.2 解析モデル及び諸元 ····· 28
2.4.3 固有値解析結果 ····· 30
2.5 構造強度評価 ····· 31

2.5.1　構造強度評価方法 ····· 31
2.5.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 31
2.5.3　設計用地震力 ····· 34
2.5.4　計算方法 ····· 35
2.5.5　計算条件 ····· 37
2.5.6　応力の評価 ····· 37
2.6　機能維持評価 ····· 38
2.6.1　電気的機能維持評価方法 ····· 38
2.7　評価結果 ····· 38
2.7.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 38
3.　サプレッション・プール水位（LT-26-79.60） ····· 41
3.1　概要 ····· 41
3.2　一般事項 ····· 41
3.2.1　構造計画 ····· 41
3.2.2　評価方針 ····· 43
3.2.3　適用基準 ····· 44
3.2.4　記号の説明 ····· 45
3.2.5　計算精度と数値の丸め方 ····· 46
3.3　評価部位 ····· 47
3.4　固有周期 ····· 47
3.4.1　固有周期の計算方法 ····· 47
3.4.2　固有周期の計算条件 ····· 48
3.4.3　固有周期の計算結果 ····· 48
3.5　構造強度評価 ····· 49
3.5.1　構造強度評価方法 ····· 49
3.5.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 49
3.5.3　設計用地震力 ····· 52
3.5.4　計算方法 ····· 53
3.5.5　計算条件 ····· 55
3.5.6　応力の評価 ····· 55
3.6　機能維持評価 ····· 56
3.6.1　電気的機能維持評価方法 ····· 56
3.7　評価結果 ····· 56
3.7.1　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 56
4.　サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体 ····· 59
4.1　概要 ····· 59
4.2　一般事項 ····· 59
4.2.1　構造計画 ····· 59

4.2.2　評価方針 ····· 61
4.2.3　適用基準 ····· 62
4.2.4　記号の説明 ····· 63
4.2.5　計算精度と数値の丸め方 ····· 65
4.3　評価部位 ····· 66
4.4　固有周期 ····· 66
4.4.1　固有値解析方法 ····· 66
4.4.2　解析モデル及び諸元 ····· 67
4.4.3　固有値解析結果 ····· 69
4.5　構造強度評価 ····· 70
4.5.1　構造強度評価方法 ····· 70
4.5.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 70
4.5.3　設計用地震力 ····· 73
4.5.4　計算方法 ····· 74
4.5.5　計算条件 ····· 76
4.5.6　応力の評価 ····· 76
4.6　評価結果 ····· 77
4.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 77

1. サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）

1.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能維持を有していることを説明するものである。

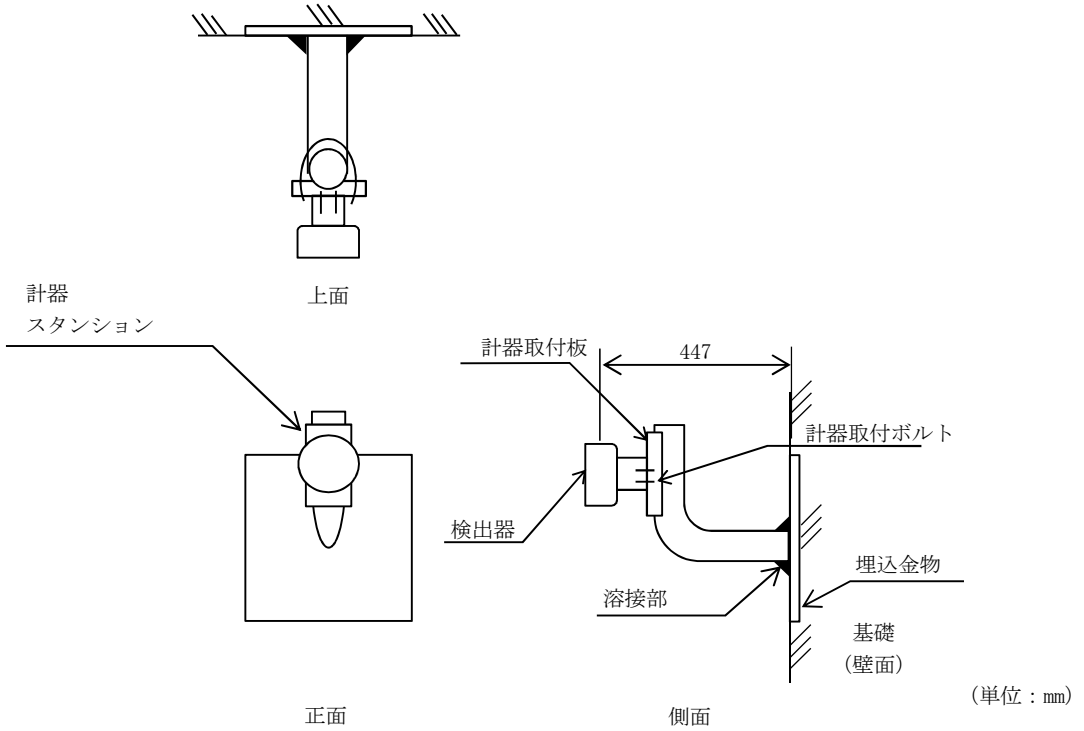
サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取り付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，埋込金物に溶接で設置する。	差圧式水位検出器	【LT-26-79.5A】 

1.2.2　評価方針

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき,「1.2.1　構造計画」にて示すサプレッション・プール水位(LT-26-79.5A)の部位を踏まえ「1.3　評価部位」にて設定する箇所において,「1.4.3　解析モデル及び諸元」及び「1.4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを,「1.4　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「1.6　評価結果」に示す。

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）の耐震評価フローを図 1-1 に示す。

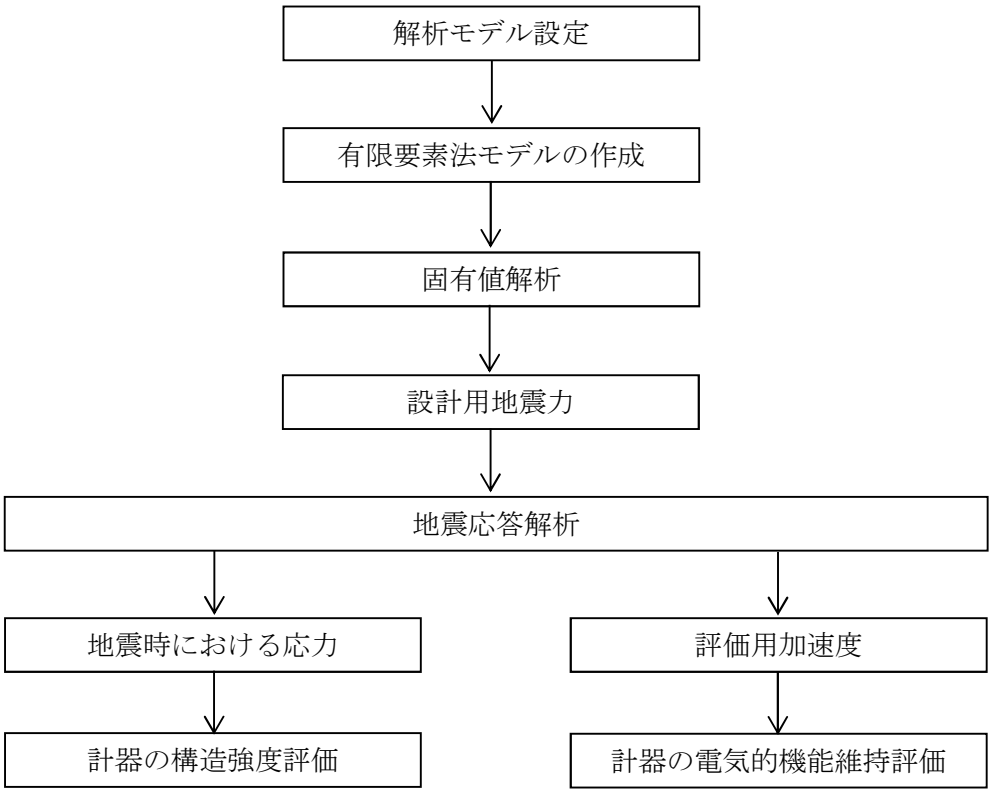


図 1-1　サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）の耐震評価フロー

1.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

1.2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
a	溶接部の有効のど厚	mm
A	計器スタンションの断面積	mm^2
A_w	溶接部の有効断面積	mm^2
A_{wY}	溶接部のF_Yに対する有効断面積	mm^2
A_{wZ}	溶接部のF_Zに対する有効断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
D	計器スタンションの径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3121.1に定める値	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3121.3に定める値	MPa
F_X	溶接部に作用する力（X方向）	N
F_Y	溶接部に作用する力（Y方向）	N
F_Z	溶接部に作用する力（Z方向）	N
f_s	溶接部の許容せん断応力（f_sを1.5倍した値又はf_s*を1.5倍した値）	MPa
I_p	計器スタンションの断面二次極モーメント	mm^4
I_y	計器スタンションの断面二次モーメント（y軸）	mm^4
I_z	計器スタンションの断面二次モーメント（z軸）	mm^4
ℓ	据付面から検出器の重心までの距離	mm
m_a	検出器及び検出器固定金具の質量	kg
M_X	溶接部に作用するモーメント（X軸）	N･mm
M_Y	溶接部に作用するモーメント（Y軸）	N･mm
M_Z	溶接部に作用するモーメント（Z軸）	N･mm
s	溶接脚長	mm
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
Z_p	溶接全断面におけるねじり断面係数	mm^3
Z_Y	溶接全断面におけるY軸方向の断面係数	mm^3
Z_Z	溶接全断面におけるZ軸方向の断面係数	mm^3
Z_p	計器スタンションのねじり断面係数	mm^3
Z_y	計器スタンションの断面係数（y軸）	mm^3
Z_z	計器スタンションの断面係数（z軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
π	円周率	－
σ_t	溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_b	溶接部に生じる曲げ応力	MPa
σ_w	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
τ	溶接部に生じるせん断応力	MPa

1.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表1-2に示すとおりとする。

表1-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

1.3　評価部位

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）の耐震評価は，「1.4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる溶接部を選定して実施する。サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）の耐震評価部位については，表 1-1 の概略構造図に示す。

1.4　地震応答解析及び構造強度評価

1.4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　地震力はサプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2)　サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）は，溶接により壁面の埋込金物に固定されるものとする。

(3)　サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）の質量は，検出器，取付板及び計器スタンションを考慮する。

(4)　サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）の質量は，検出器，取付板及び計器スタンションの質点に集中するものとする。

(5)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を用いる。

1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 1-3 に示す。

1.4.2.2　許容応力

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 1-4 のとおりとする。

1.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 1-5 に示す。

表 1-3　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	サプレッション・プール水位 (LT-26-79.5A)	S	―*1	$D+P_D+M_D+S_d$**2	ⅢAS
					$D+P_D+M_D+S_s$	ⅣAS

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊2：S_sと組合せ，ⅢASの評価を実施する。

表 1-4　許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト以外）			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	曲げ
ⅢAS	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$
ⅣAS	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*	$1.5 \cdot f_c$*	$1.5 \cdot f_b$*

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-5　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
溶接部	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	207	385	—

1.4.3　解析モデル及び諸元

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）の解析モデルを3次元はりモデルとして図1-2に，解析モデルの概要を以下に示す。計器スタンションはＬ字に曲がった円筒で壁面に溶接されることから，①及び②の部材で組まれたＬ字とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1点で固定されるものとする。また，解析モデルにおいて，検出器の質量は質点に集中するものとし，質点は検出器の取付位置に設置する。機器の諸元を表1-6，部材の機器要目を表1-7に示す。

(1)　図1-2中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2)　図1-2中の ◓ は検出器の質点を示し，m_aは□kgである。

(3)　図1-2中の ―― はサポート鋼材，－－－は仮想鋼材， は支持点（計器スタンション基礎部）を示す。

(4)　拘束条件として，基礎部のＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

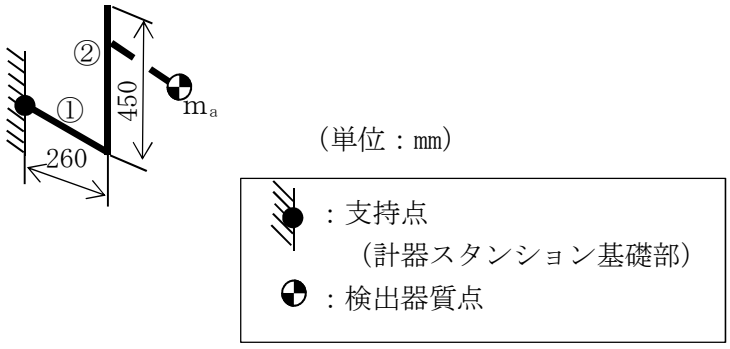
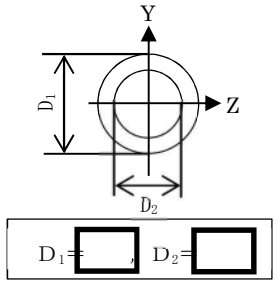


図1-2　サプレッション・プール水位
（LT-26-79.5A）解析モデル

表 1-6　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

表 1-7　部材の機器要目

材料	
対象要素	①－②
A （mm^2）	
I_y （mm^4）	
I_z （mm^4）	
I_p （mm^4）	
Z_y （mm^3）	
Z_z （mm^3）	
Z_p （mm^3）	
断面形状（mm）	

1.4.4　固有周期

固有値解析結果を表 1-8 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 1-8　固有値解析結果(s)

モード	固有周期	卓越方向
1 次	[redacted]	水平

1.4.5　設計用地震力

「弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震動」及び「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 1-9 に示す。

表 1-9　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$ 又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
[redacted] EL.-4.00 (EL.2.00*1)	[redacted]		C_H=0.58	C_V=0.48	C_H=0.96	C_V=0.92

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.4.6　計算方法

1.4.6.1　溶接部の応力

3 次元はりモデルによる地震応答解析から溶接部の内力を求めて，その結果を用いて理論式にて溶接部を評価する。

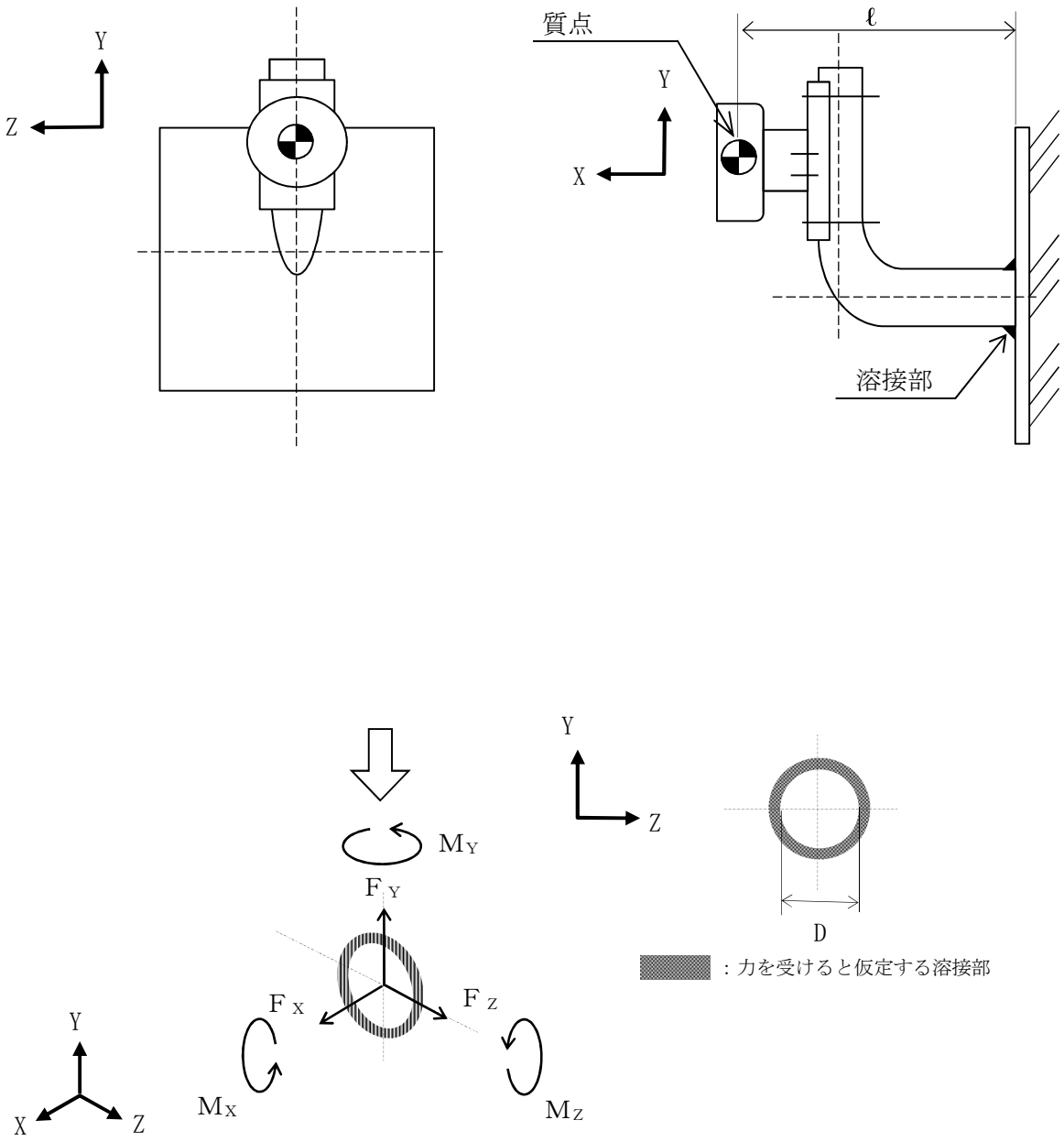


図 1-3　計算モデル（溶接部）

地震応答解析によって得られた溶接部評価点の最大反力とモーメントを表 1-10 に示す。

表1-10　溶接部発生反力，モーメント

対象計器	許容応力状態	反力(N)			モーメント(N･mm)		
		F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z
LT-26-79.5A	C（III_AS）						
	D（IV_AS）						

(1)　引張応力

溶接部に対する引張応力は，全溶接断面積で受けるものとして計算する。

引張応力（σ_t）

$$\sigma_t = \frac{F_X}{A_w} \quad \cdots\cdots (1.4.6.1.1)$$

ここで，引張り力を受ける溶接部の有効断面積A_wは，次式により求める。

$$A_w = \frac{\pi}{4} \{(D+2\cdot a)^2 - D^2\} \quad \cdots\cdots (1.4.6.1.2)$$

ただし，溶接部の有効のど厚 a は，

$$a = 0.7\cdot s \quad \cdots\cdots (1.4.6.1.3)$$

(2)　せん断応力

溶接部に対するせん断応力は，各方向の有効せん断面積で受けるものとして計算する。

せん断応力（τ）

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{F_Y}{A_{wY}} + \frac{M_X}{Z_p}\right)^2 + \left(\frac{F_Z}{A_{wZ}} + \frac{M_X}{Z_p}\right)^2} \quad \cdots\cdots (1.4.6.1.4)$$

ここで，A_{wY}，A_{wZ}はせん断力を受ける各方向の有効断面積，Z_pは溶接断面におけるねじり断面係数を示す。

A_{wY}，A_{wZ}は，次式により求める。

$$A_{wY} = \frac{1}{2}\cdot\frac{\pi}{4}((D+2\cdot a)^2 - D^2) \quad \cdots\cdots (1.4.6.1.5)$$

$$A_{wZ} = \frac{1}{2}\cdot\frac{\pi}{4}((D+2\cdot a)^2 - D^2) \quad \cdots\cdots (1.4.6.1.6)$$

(3)　曲げ応力

溶接部に対する曲げモーメントは，図1-3でＹ軸方向，Ｚ軸方向に対する曲げモーメントを最も外側の溶接部で受けるものとして計算する。

曲げ応力（σ_b）

$$\sigma_b = \frac{M_Y}{Z_Y} + \frac{M_Z}{Z_Z} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.4.6.1.7)$$

Z_Y，Z_Zは溶接断面のＹ軸及びＺ軸に関する断面係数を示す。

(4)　組合せ応力

溶接に対する組合せ応力は，各応力を足し合わせたものとして計算する。

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + \tau^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.4.6.1.8)$$

1.4.7　計算条件

1.4.7.1　溶接部の応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）の【サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

1.4.8　応力の評価

1.4.8.1　溶接部の評価

1.4.6.1項で求めた溶接部に発生する応力は，許容応力 f_s 以下であること。

ただし，f_s は下表による。

	弾性設計用地震動Ｓ$_d$ 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓ$_s$による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

1.5　機能維持評価

1.5.1　電気的機能維持評価方法

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）の電気的機能維持評価について，以下に示す。なお，機能確認済加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同型式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-11 に示す。

表 1-11　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）	水平	
	鉛直	

1.6　評価結果

1.6.1　設計基準対象施設としての評価結果

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【サプレッション・プール水位(LT-26-79.5A)の耐震性についての計算結果】

1.設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
サプレッション・プール水位	S	EL.-4.00 (EL.2.00*1)			C_H=0.58	C_V=0.48	C_H=0.96	C_V=0.92	

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：固有値解析により0.05秒以下であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 サプレッション・プール水位(LT-26-79.5A)

部材	ℓ (mm)	s (mm)	a (mm)	D (mm)	A_w (mm^2)	A_{wY} (mm^2)	A_{wZ} (mm^2)	Z_Y (mm^3)	Z_Z (mm^3)	Z_p (mm^3)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
溶接部											207	385	207	249

1.3 計算数値

1.3.1 溶接部に作用する力

（単位：N）

部材	F_X		F_Y		F_Z	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
溶接部						

1.3.2 溶接部に作用するモーメント

（単位：N･mm）

部材	M_X		M_Y		M_Z	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
溶接部						

1.4 結論

1.4.1 溶接部の応力

（単位：MPa）

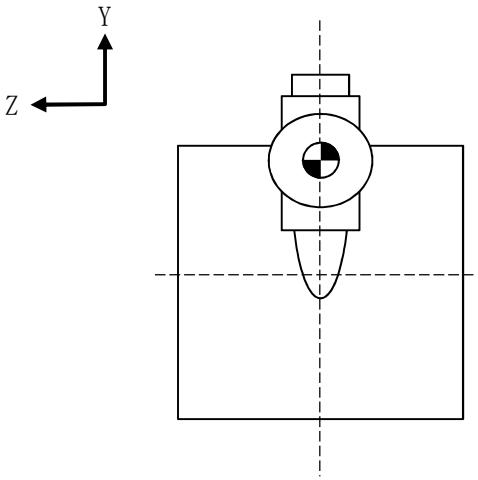
部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
溶接部		引張り	$\sigma_t=1$	$f_s=119$	$\sigma_t=1$	$f_s=143$
		せん断	$\tau=5$	$f_s=119$	$\tau=7$	$f_s=143$
		曲げ	$\sigma_b=24$	$f_s=119$	$\sigma_b=34$	$f_s=143$
		組合せ	$\sigma_w=24$	$f_s=119$	$\sigma_w=35$	$f_s=143$

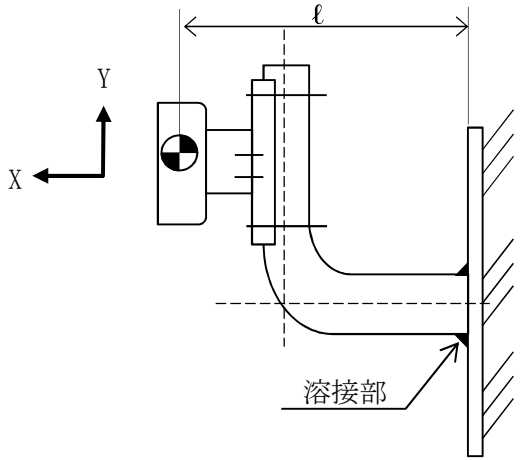
すべて許容応力以下である。

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
溶接部	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。





2.　サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）

2.1　概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

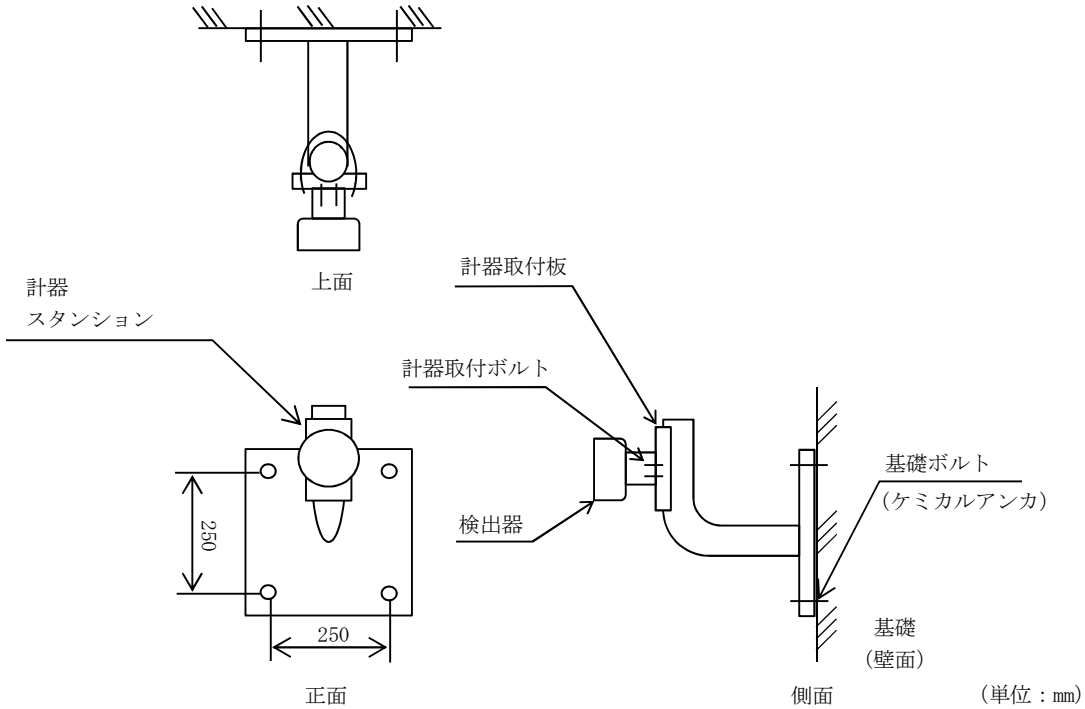
サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2.2　一般事項

2.2.1　構造計画

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取り付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式水位検出器	【LT-26-79.5B】 

2.2.2　評価方針

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.2.1　構造計画」にて示すサプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の部位を踏まえ「2.3　評価部位」にて設定する箇所において，「2.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「2.5　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「2.6　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.7　評価結果」に示す。

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

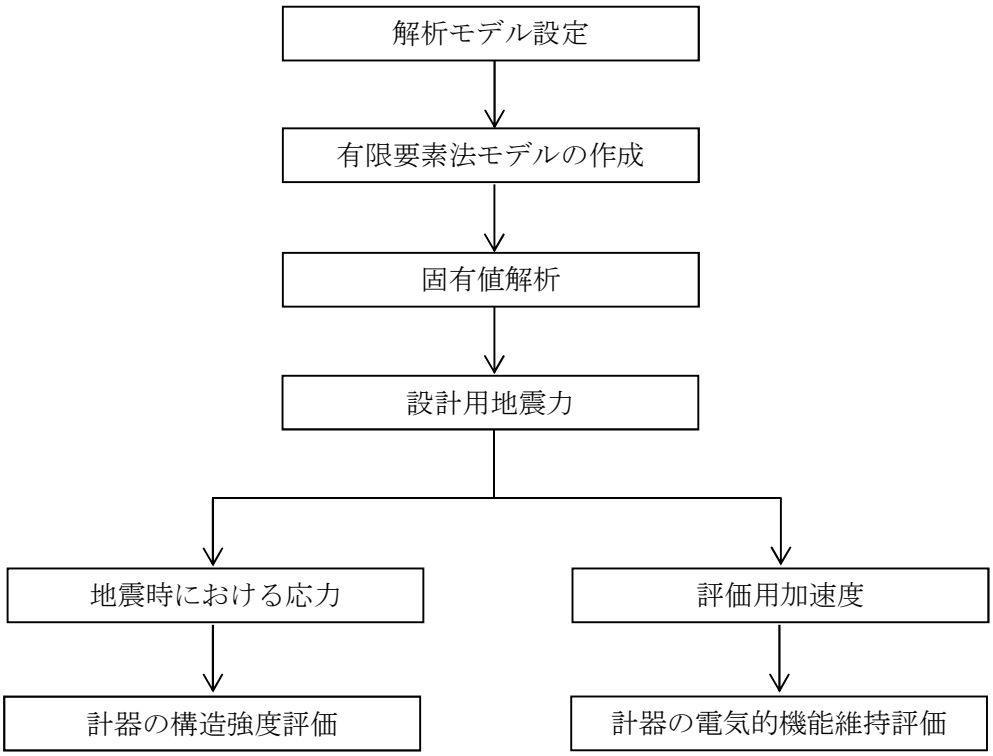


図 2-1　サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の耐震評価フロー

2.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	計器スタンションの断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛計器スタンション取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛計器スタンション取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_sを1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_tを1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_2	据付面から重心までの距離(壁掛形)	mm
I_p	計器スタンションの断面二次極モーメント	mm^4
I_y	計器スタンションの断面二次モーメント（ｙ軸）	mm^4
I_z	計器スタンションの断面二次モーメント（ｚ軸）	mm^4
ℓ_3	重心と下側ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_a	側面(左右)ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離(壁掛形)	mm
m	検出器及び計器スタンションの総質量	kg
m_a	検出器の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N

記号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
Z_p	計器スタンションのねじり断面係数	mm^3
Z_y	計器スタンションの断面係数（y軸）	mm^3
Z_z	計器スタンションの断面係数（z軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

2.3　評価部位

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の耐震評価は，「2.5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4　固有周期

2.4.1　固有値解析方法

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の固有値解析方法を「2.4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

2.4.2　解析モデル及び諸元

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の解析モデルを３次元はりモデルとして図 2-2 に，解析モデルの概要を以下に示す。計器スタンションはＬ字に曲がった円筒で壁面に固定されることから，①及び②の部材で組まれたＬ字とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）１点で固定されるものとする。また，解析モデルにおいて，検出器の質量は質点に集中するものとし，質点は検出器の取付位置に設置する。機器の諸元を表 2-3，部材の機器要目を表 2-4 に示す。

(1)　図 2-2 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2)　図 2-2 中の ◓ は検出器質点を示し，m_aは□kg である。

(3)　図 2-2 中の ―― は計器スタンション，－ － は仮想鋼材， は支持点を示す。

(4)　拘束条件として，基礎部のＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

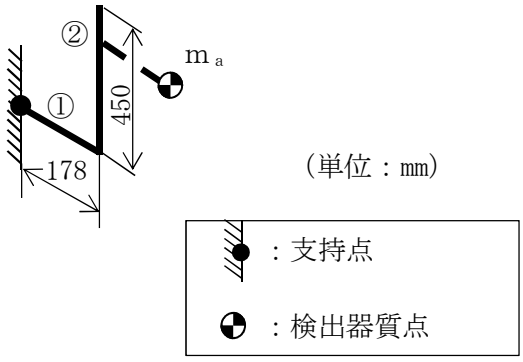
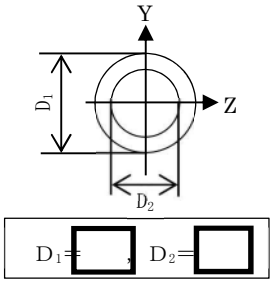


図 2-2　サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）解析モデル

表 2-3　機器諸元（LT-26-79.5B）

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

表 2-4　部材の機器要目

材料	
対象要素	①－②
A（mm^2）	
I_y（mm^4）	
I_z（mm^4）	
I_p（mm^4）	
Z_y（mm^3）	
Z_z（mm^3）	
Z_p（mm^3）	
断面形状（mm）	

2.4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 2-5 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 2-5　固有値解析結果(s)

モード	固有周期	卓越方向
1 次	[redacted]	水平

2.5　構造強度評価

2.5.1　構造強度評価方法

(1)　サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の質量は質点に集中するものとする。

(2)　地震力はサプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）に対して水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(3)　検出器は壁面に基礎ボルトで固定されるものとする。

(4)　転倒方向は，図 2-3(1)，図 2-3(2)の計算モデルにおける水平方向及び鉛直方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

(5)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

2.5.2　荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

2.5.2.2　許容応力

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 2-7 のとおりとする。

2.5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2-8 に示す。

表 2-6　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	サプレッション・プール水位 (LT-26-79.5B)	S	―*1	D＋P_D＋M_D＋S_d**2	ⅢAS
					D＋P_D＋M_D＋S_s	ⅣAS

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊2：S_sと組合せ，ⅢASの評価を実施する。

表 2-7　許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-8　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	234	385	—

2.5.3　設計用地震力

「弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震動」及び「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-9 に示す。

表 2-9　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL.-4.00 (EL.2.00*1)			C_H=0.58	C_V=0.48	C_H=0.96	C_V=0.92

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

2.5.4　計算方法

2.5.4.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

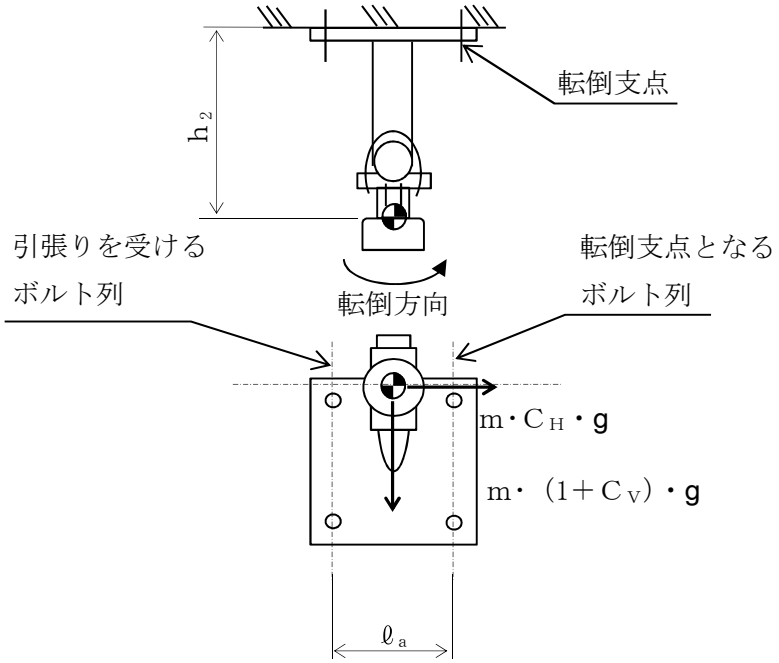


図2-3(1)　サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）計算モデル
（壁掛形　水平方向転倒の場合）

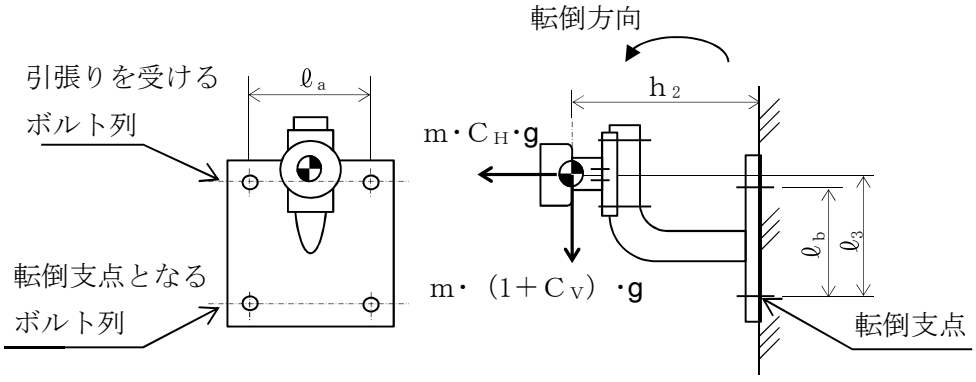


図2-3(2)　サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）計算モデル
（壁掛形　鉛直方向転倒の場合）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図2-3で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図2-3(1)の場合の引張力

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.1)$$

計算モデル図2-3(2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}\,(F_{b1},\ F_{b2}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_{b1}=\ m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.6)$$

$$Q_{b2}=\ m\cdot g\cdot (1+C_V) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.8)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.9)$$

2.5.5　計算条件

2.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の【サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器様目に示す。

2.5.6　応力の評価

2.5.6.1　ボルトの応力評価

2.5.4.1 項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b は，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし，f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

2.6　機能維持評価

2.6.1　電気的機能維持評価方法

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の電気的機能維持評価について以下に示す。電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-10 に示す。

表 2-10　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
サプレッション・プール水位 (LT-26-79.5B)	水平	
	鉛直	

2.7　評価結果

2.7.1　設計基準対象施設としての評価結果

サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【サプレッション・プール水位(LT-26-79.5B)の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
サプレッション・プール水位	S	EL.-4.00 (EL.2.00*1)			C_H=0.58	C_V=0.48	C_H=0.96	C_V=0.92	

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 サプレッション・プール水位(LT-26-79.5B)

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	234	385	234	270	鉛直方向	鉛直方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F_b		F_{b1}		F_{b2}		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト								

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	σ_b=4	f_{ts}=140*	σ_b=5	f_{ts}=162*
		せん断	τ_b=1	f_{sb}=108	τ_b=2	f_{sb}=124

すべて許容応力以下である。

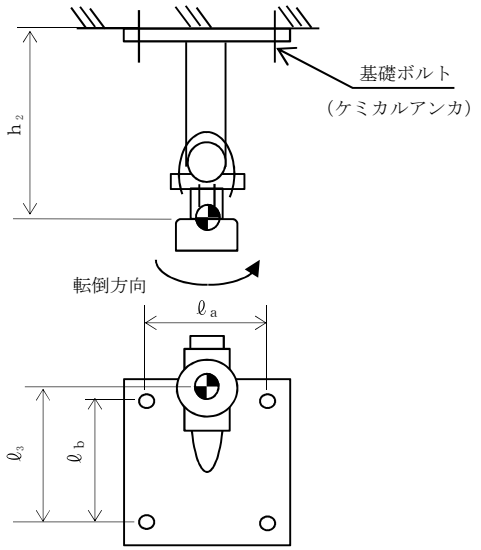
注記 ＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}−1.6・τ_b, f_{to}]より算出

2.4.2 電気的機能維持の評価結果

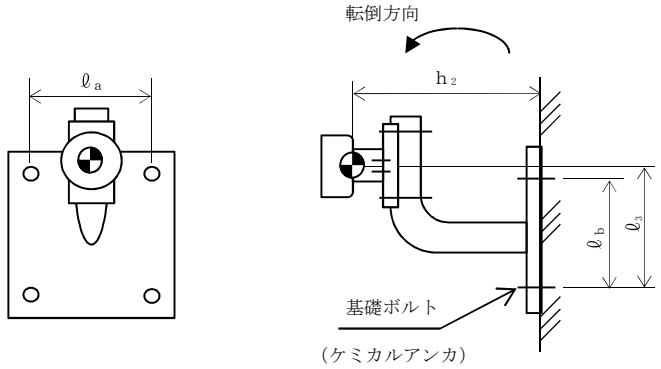
（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
サプレッション・プール水位	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

3. サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）

3.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，サプレッション・プール水位（LT-26-79.60)が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

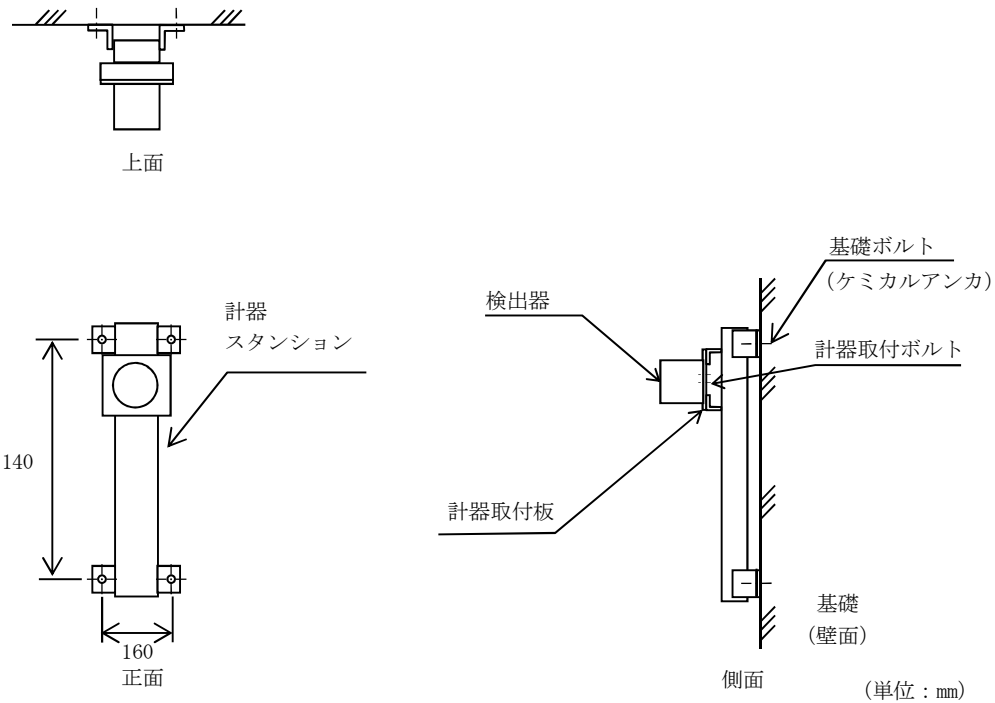
サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）は，重大事故等対処設備において常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

3.2 一般事項

3.2.1 構造計画

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の構造計画を表 3-1 に示す。

表 3-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取り付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式水位検出器	【LT-26-79.60】 

3.2.2　評価方針

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「3.2.1　構造計画」にて示すサプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の部位を踏まえ「3.3　評価部位」にて設定する箇所において，「3.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「3.5　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「3.6　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「3.7　評価結果」に示す。

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の耐震評価フローを図 3-1 に示す。

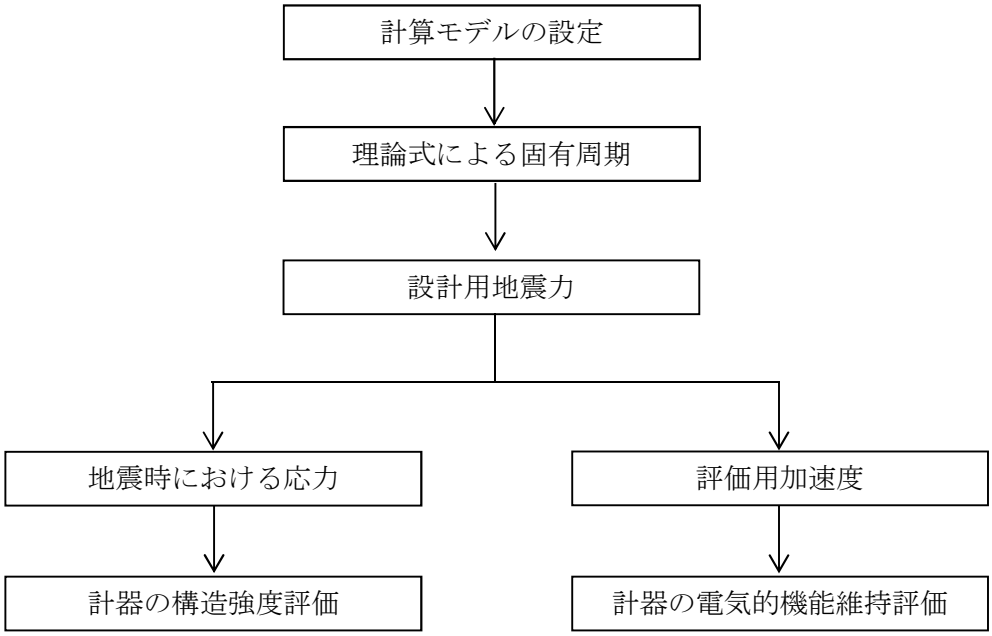


図 3-1　サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の耐震評価フロー

3.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

3.2.4　記号の説明

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
A_{b1}	ボルトの軸断面積	mm^2
A_S	計器スタンションの断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛計器スタンション取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛計器スタンション取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_sを1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_tを1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
G	せん断弾性係数	MPa
h_2	据付面から重心までの距離	mm
I	計器スタンションの断面二次モーメント	mm^4
ℓ_3	重心と下側ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_a	側面(左右)ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離(壁掛形)	mm
m_a	検出器質点の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
T	固有周期	s
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

3.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表3-2に示すとおりとする。

表3-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3.3　評価部位

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の耐震評価は，「3.5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の耐震評価部位については，表 3-1 の概略構造図に示す。

3.4　固有周期

3.4.1　固有周期の計算方法

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）は，図 3-2 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で上下 2 箇所を壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）2 点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は計器スタンションの中心に設定する。

(4)　図 3-2 中の ◓ は検出器及び計器スタンションの質点，●は計器スタンションの支持点，―― は計器スタンションを示す。

3.4.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{\ell_b{}^3}{48 \cdot E \cdot I} + \frac{\ell_b}{4 \cdot A_s \cdot G} \right)} \cdots (3.4.1.1.1)$$

3.4.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

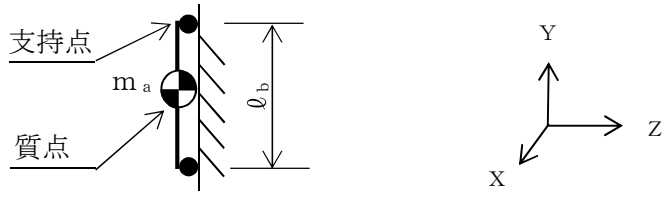
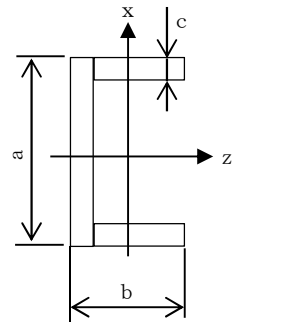


図 3-2　固有周期の計算モデル

3.4.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-3 に示す。

表 3-3　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m_a	kg	
上下ボルト間の距離（壁掛形）	ℓ_b	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	As	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状(mm)			 100×50×5（a×b×c）

3.4.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向は，0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-4 に示す。

表 3-4　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

注記　＊：水平方向は固有周期が長いＺ方向の固有周期を示す。

3.5　構造強度評価

3.5.1　構造強度評価方法

(1)　サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の質量は質点に集中するものとする。

(2)　地震力はサプレッション・プール水位（LT-26-79.60）に対して水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(3)　検出器は壁面に基礎ボルトで固定されるものとする。

(4)　転倒方向は，図 3-3(1)，図 3-3(2)の計算モデルにおける水平方向及び鉛直方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

(5)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

3.5.2　荷重の組合せ及び許容応力

3.5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.5.2.2　許容応力

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-6 のとおりとする。

3.5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-7 に示す。

表 3-5　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	サプレッション・プール水位 (LT-26-79.60)	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$\mathrm{IV_AS}$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$\mathrm{V_AS}$ （$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-6　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
$\mathrm{IV_AS}$	$1.5\cdot f_t$*	$1.5\cdot f_s$*
$\mathrm{V_AS}$ （$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-7　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	—

3.5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 3-8 に示す。

表 3-8　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
[redacted] EL. -4.00 (EL. 2.00*1)	[redacted]		－	－	C_H=0.96	C_V=0.92

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有周期は十分小さく，計算は省略する。

3.5.4　計算方法

3.5.4.1　基礎ボルトの算出方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

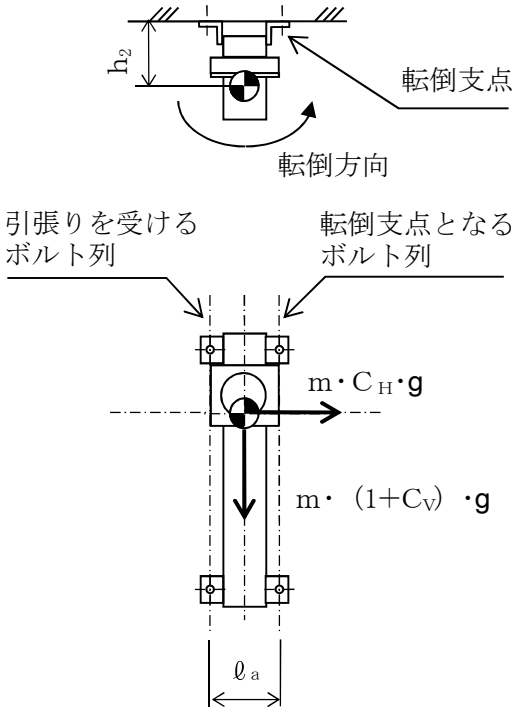


図3-3(1)　LT-26-79.60 計算モデル

（壁掛形　水平方向転倒の場合）

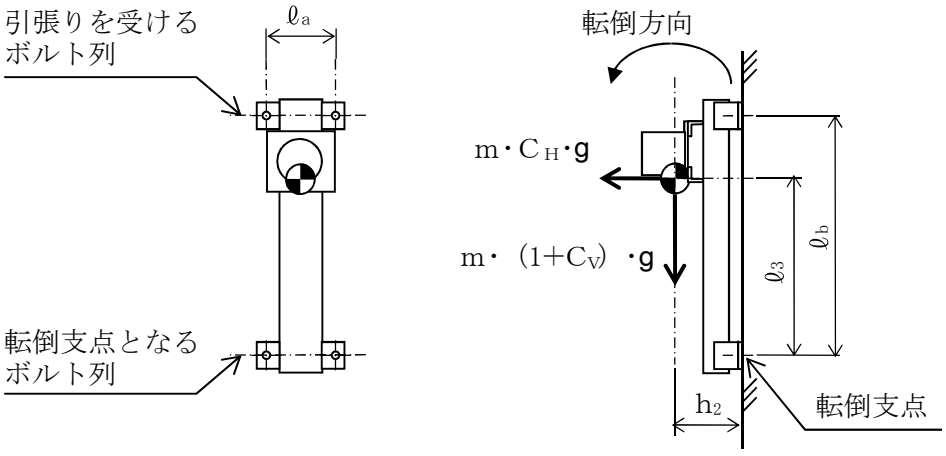


図3-3(2)　LT-26-79.60 計算モデル

（壁掛形　鉛直方向転倒の場合）

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図3-3(1)及び図3-3(2)で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図3-3(1)の場合の引張力

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.1)$$

計算モデル図3-3(2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}\,(F_{b1},\ F_{b2}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.5)$$

(2)　せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_{b1}=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.6)$$

$$Q_{b2}=m\cdot g\cdot(1+C_V) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.8)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.9)$$

3.5.5　計算条件

3.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の【サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器様目に示す。

3.5.6　応力の評価

3.5.6.1　ボルトの応力評価

3.5.4.1項で求めたボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。ただし，f_{to}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (3.5.6.1.1)$$

せん断応力τ_bはせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。ただし，f_{sb}は下表による。

	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

3.6　機能維持評価

3.6.1　電気的機能維持評価方法

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の電気的機能維持評価について以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 3-9 に示す。

表 3-9　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
サプレッション・プール水位 （LT-26-79.60）	水平	
	鉛直	

3.7　評価結果

3.7.1　重大事故等対処設備としての評価結果

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
サプレッション・プール水位	常設耐震／防止常設／緩和	EL.-4.00 (EL.2.00*1)			－	－	C_H=0.96	C_V=0.92	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有周期は十分小さく，計算は省略する。

1.2 機器要目

1.2.1 サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 （単位：N）

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	－	－	σ_b=3	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=2	f_{sb}=120

すべて許容応力以下である。

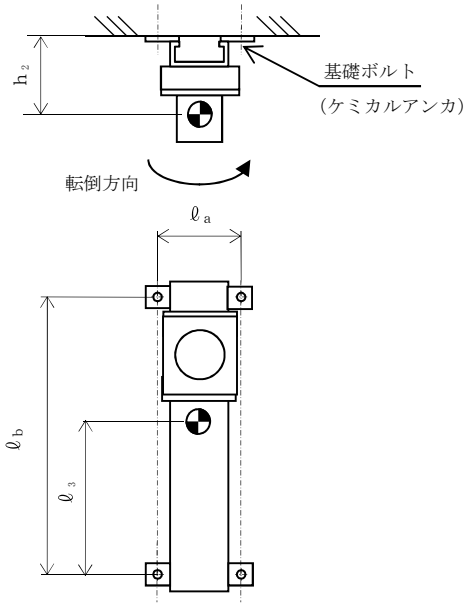
注記＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

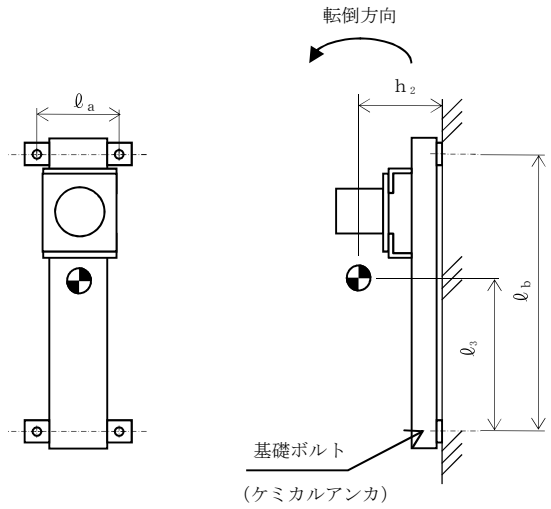
（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
サプレッション・プール水位	水平方向	0.80	[redacted]
	鉛直方向	0.77	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

4. サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体

4.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

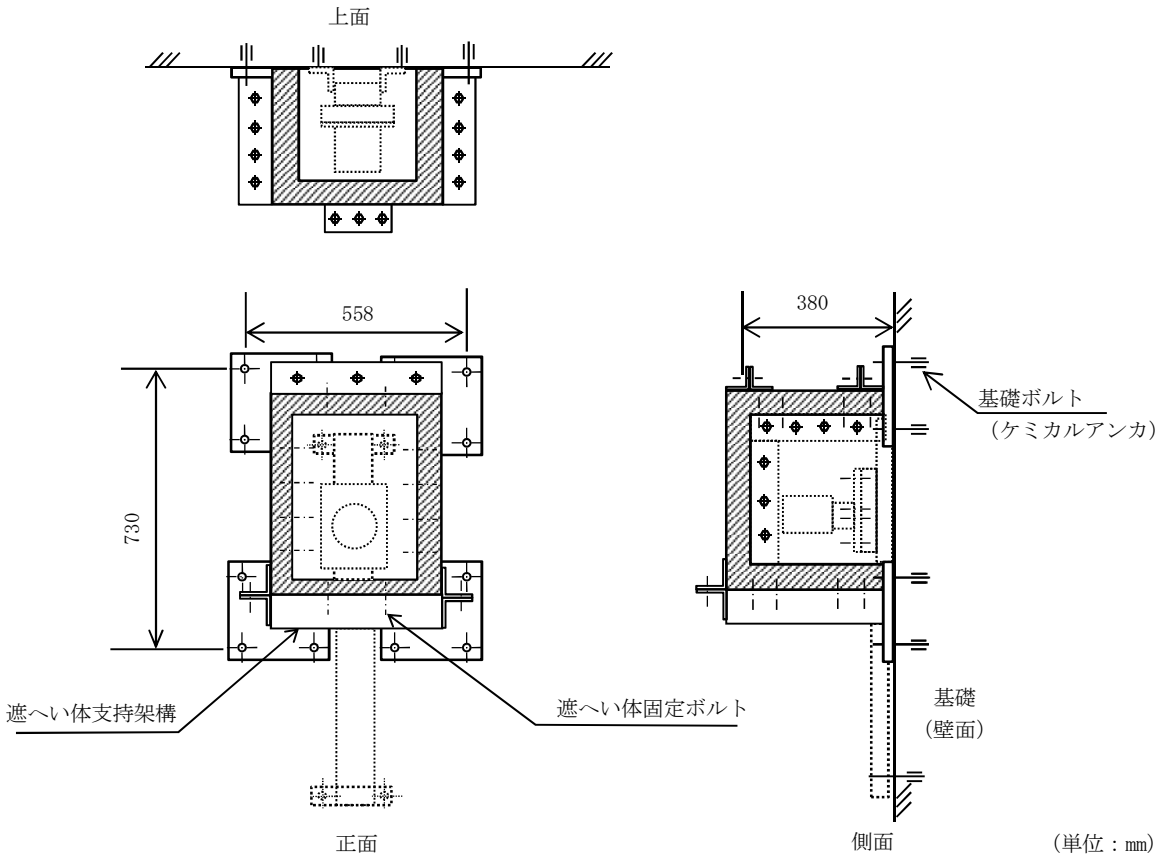
サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

4.2 一般事項

4.2.1 構造計画

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体の構造計画を表 4-1 に示す。

表 4-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
遮へい体は，遮へい体固定ボルトにより遮へい体支持架構に固定される。 遮へい体支持架構は，基礎に基礎ボルトで設置する。	遮へい体	

4.2.2　評価方針

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「4.2.1　構造計画」にてサプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体の部位を踏まえ「4.3　評価部位」にて設定する箇所において，「4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「4.6　評価結果」に示す。

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体の耐震評価フローを図 4-1 に示す。

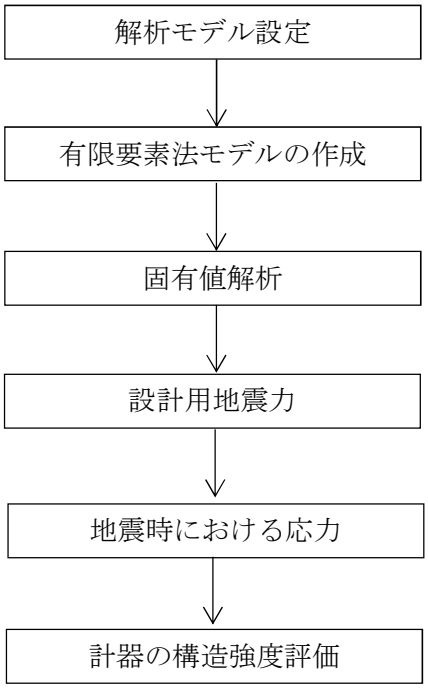


図 4-1　サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体の耐震評価フロー

4.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥＳ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

4.2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	遮へい体支持架構の断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び据付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び据付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_2	据付面から質点までの距離(壁掛形)	mm
I_p	遮へい体支持架構の断面二次極モーメント	mm^4
I_y	遮へい体支持架構の断面二次モーメント（ｙ軸）	mm^4
I_z	遮へい体支持架構の二次モーメント（ｚ軸）	mm^4
ℓ_3	質点と下側ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_a	側面(左右)ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離(壁掛形)	mm
m	遮へい体及び遮へい体支持架構の総質量	kg
m_a	遮へい体の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
Z_p	遮へい体支持架構のねじり断面係数	mm^3
Z_y	遮へい体支持架構の断面係数（ｙ軸）	mm^3
Z_z	遮へい体支持架構の断面係数（ｚ軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

4.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表4-2に示すとおりとする。

表4-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

4.3　評価部位

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体の耐震評価は，「4.5　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体の耐震評価箇所については，表 4-1 の概略構造図に示す。

4.4　固有周期

4.4.1　固有値解析方法

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体の固有値解析方法を「4.4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

4.4.2　解析モデル及び諸元

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体の解析モデルを３次元はりモデルとして図 4-2 に，解析モデルの概要を以下に示す。遮へい体は遮へい体に溶接されている鋼材と，下部の遮へい体支持架構に固定され，原子炉建屋壁面に４箇所で固定されている。解析モデルでは遮へい体支持架構を①～③の部材，遮へい体に溶接されている鋼材を④～⑩の部材で組まれたものとみなし，支持点４点で固定されるものとする。遮へい体の質量は８箇所に分散されるものとし，保守的に取付位置の上部に配置する。機器の諸元を表 4-3，部材の機器要目を表 4-4 に示す。

(1)　図 4-2 中○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2)　図 4-2 中の ◓ は遮へい体の質点を示し質点m_aは８箇所に分散している。なお，質点m_aの質量は１個あたり□kg で 8 箇所を合計すると□kg である。

(3)　図 4-2 中の ━ は遮へい体支持架構，╍ は仮想鋼材， は支持点(遮へい体支持架構基礎部)を示す。

(4)　拘束条件は，ＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

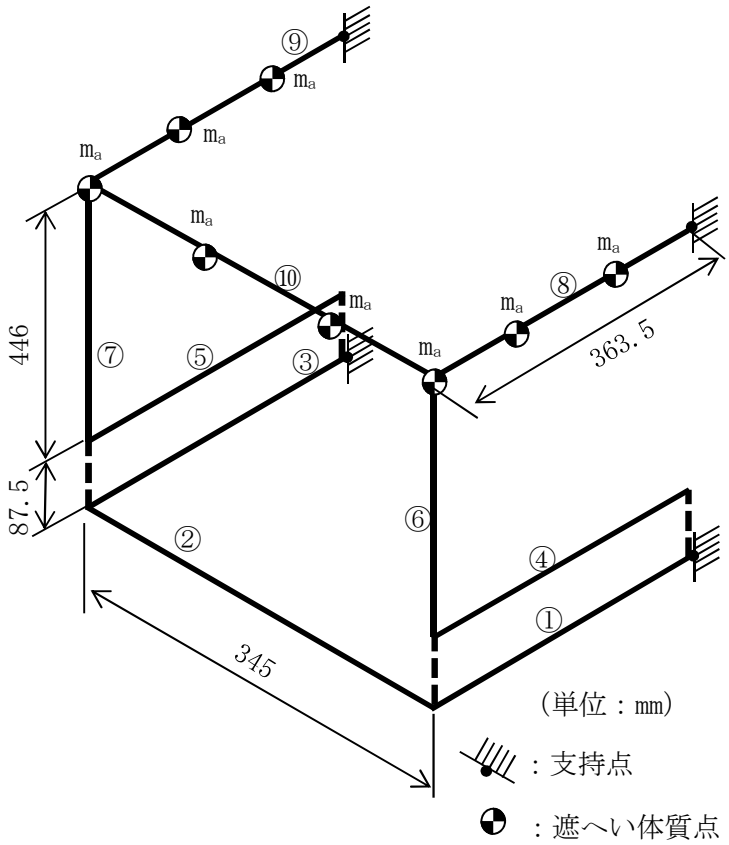


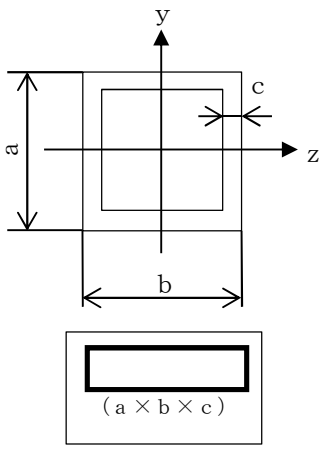
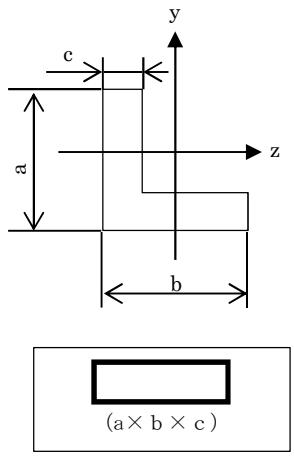
図 4-2　サプレッション・プール水位
（LT-26-79.60 用）遮へい体解析モデル

表 4-3　機器諸元（LT-26-79.60 用遮へい体）

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

注記＊：() 内は合計質量を示す。

表 4-4　部材の機器要目

材料		
対象要素	①－③	④－⑩
A （mm^2）		
I_y （mm^4）		
I_z （mm^4）		
I_p （mm^4）		
Z_y （mm^3）		
Z_z （mm^3）		
Z_p （mm^3）		
断面形状 （mm）		

4.4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-5 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 4-5　固有値解析結果(s)

モード	固有周期	卓越方向
1 次	[redacted]	水平

4.5　構造強度評価

4.5.1　構造強度評価方法

(1)　サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2)　サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体は，基礎ボルトにより固定されるものとする。

(3)　サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体の質量は，遮へい体支持架構を考慮する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.5.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

4.5.2.2　許容応力

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-7 のとおりとする。

4.5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-8 に示す。

表 4-6　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用）遮へい体	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	D＋P_D＋M_D＋S_d**3	ⅢAS
					D＋P_D＋M_D＋S_s	ⅣAS

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「D＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋S_s」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-7　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-8　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	—

4.5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-9 に示す。

表 4-9　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL.-4.00 (EL.2.00*1)			－	－	C_H＝0.96	C_V＝0.92

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

4.5.4　計算方法

4.5.4.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

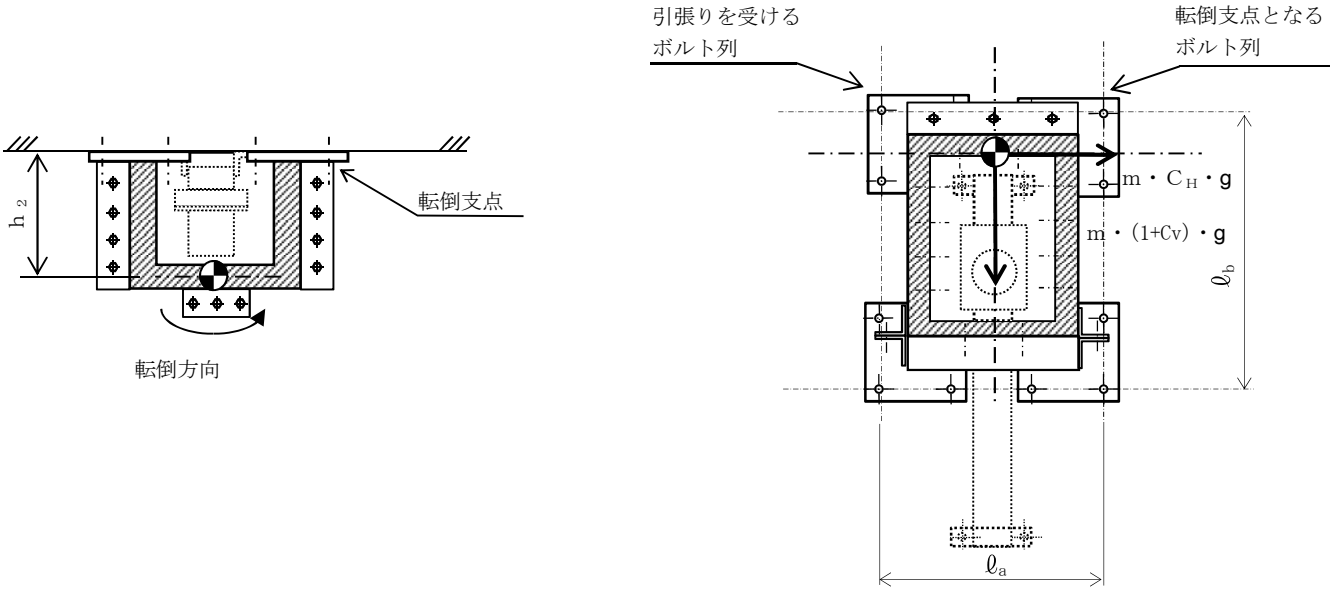


図4-3(1)　サプレッション・プール水位（LT-26-79.60用）遮へい体計算モデル
（壁掛形　水平方向転倒の場合）

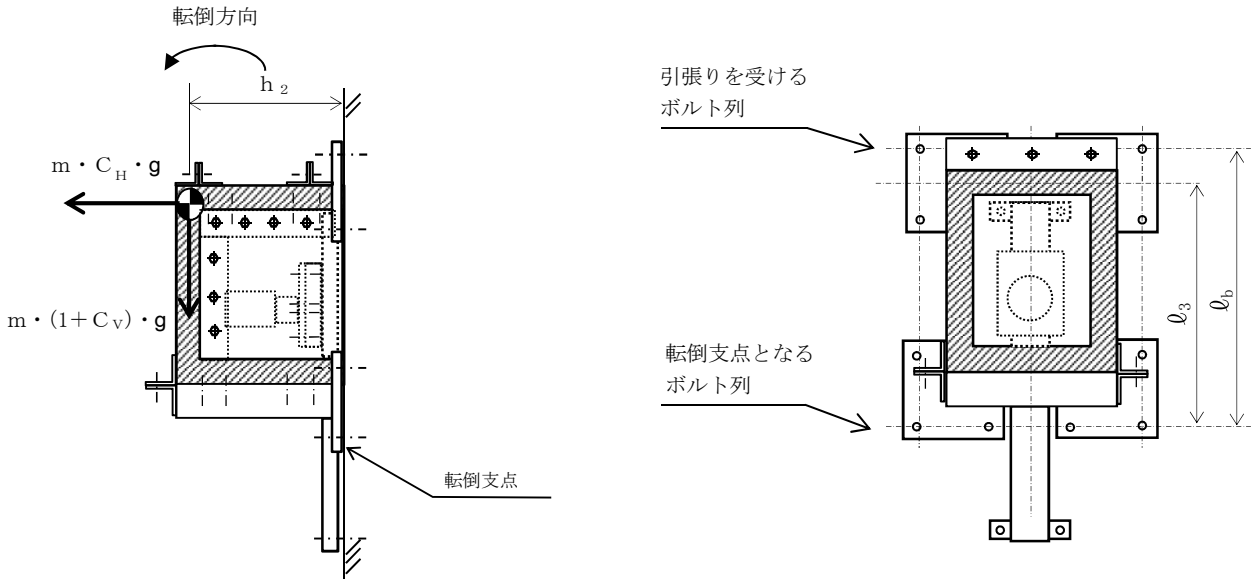


図4-3(2)　サプレッション・プール水位（LT-26-79.60用）遮へい体計算モデル
（壁掛形　鉛直方向転倒の場合）

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図 4-3(1)及び図 4-3(2)で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図4-3(1)の場合の引張力

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots(4.5.4.1.1)$$

計算モデル図4-3(2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots(4.5.4.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}\,(F_{b1},\ F_{b2}) \quad \cdots\cdots(4.5.4.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots(4.5.4.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots(4.5.4.1.5)$$

(2)　せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_{b1}=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots(4.5.4.1.6)$$

$$Q_{b2}=m\cdot g\cdot(1+C_V) \quad \cdots\cdots(4.5.4.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \quad \cdots\cdots(4.5.4.1.8)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots(4.5.4.1.9)$$

4.5.5　計算条件

4.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，サプレッション・プール水位（LT-26-79.60用）遮へい体の【サプレッション・プール水位（LT-26-79.60用）遮へい体の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器様目に示す。

4.5.6　応力の評価

4.5.6.1　ボルトの応力評価

4.5.4.1項で求めたボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。ただし，f_{to}及びf_{sb}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.5.6.1.1)$$

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。

	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

4.6　評価結果

4.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

サプレッション・プール水位（LT-26-79.60用）遮へい体の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【サプレッション・プール水位(LT-26-79.60 用)遮へい体の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
サプレッション・プール水位（遮へい体）	S	EL.-4.00 (EL.2.00*1)			－	－	C_H=0.96	C_V=0.92	

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：固有値解析により 0.05 秒以下であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 サプレッション・プール水位(LT-26-79.60 用)遮へい体

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								4	4

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 基礎ボルトに作用する力 (単位：N)

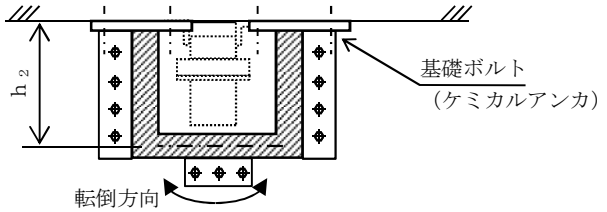
部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

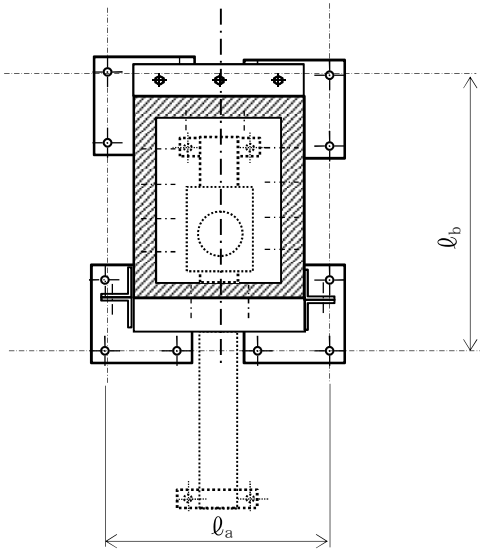
1.4　結論

1.4.1　サプレッション・プール水位(LT-26-79.60 用)遮へい体の応力　　(単位：MPa)

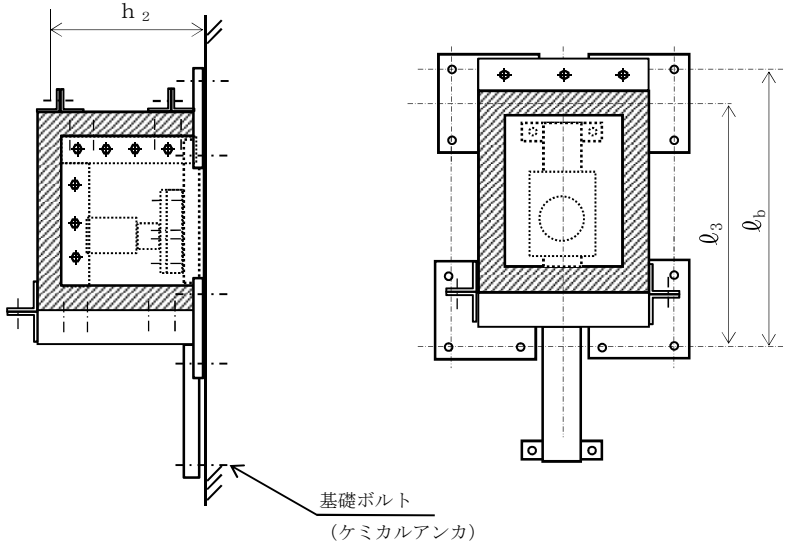
部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動Ｓd又は静的震度		基準地震動Ｓs	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=23	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=9	f_{sb}=120*

すべて許容応力以下である。　　注記　＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}−1.6・τ_b，f_{to}]より算出





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-5-42　格納容器下部水位の耐震性についての計算書

目次

1. 格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B） 1
1.1 概要 1
1.2 一般事項 1
1.2.1 構造計画 1
1.2.2 評価方針 3
1.2.3 適用基準 4
1.2.4 記号の説明 5
1.2.5 計算精度と数値の丸め方 7
1.3 評価部位 8
1.4 地震応答解析及び構造強度評価 8
1.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 8
1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力 8
1.4.3 解析モデル及び諸元 11
1.4.4 固有周期 14
1.4.5 設計用地震力 14
1.4.6 計算方法 15
1.4.7 計算条件 17
1.4.8 応力の評価 17
1.5 機能維持評価 18
1.5.1 格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）の電気的機能維持評価方法 18
1.6 評価結果 19
1.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 19
2. 格納容器下部水位（LS-SA42-N004A,B，LS-SA42-N005A,B） 23
2.1 概要 23
2.2 一般事項 23
2.2.1 構造計画 23
2.2.2 評価方針 25
2.2.3 適用基準 26
2.3 評価部位 27
2.4 機能維持評価 27
2.4.1 評価用加速度 27
2.4.2 機能確認済加速度 28
2.5 評価結果 28
2.5.1 重大事故等対処設備としての評価結果 28

1. 格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）

1.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

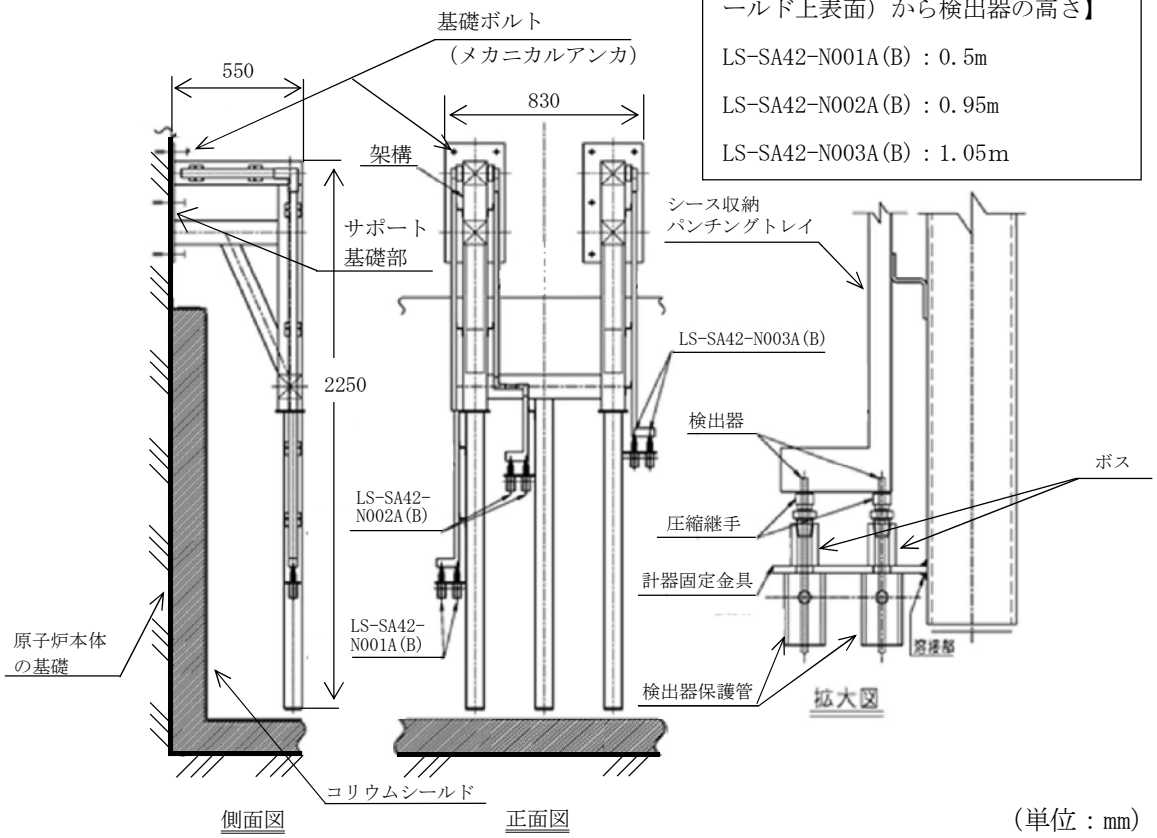
格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器固定金具に圧縮継手により固定する。 計器固定金具は，溶接により架構に固定する。架構は基礎ボルトにより原子炉本体の基礎の壁面に設置する。	電極式水位検出器	【LS- SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B】 【原子炉本体の基礎底面（コリウムシールド上表面）から検出器の高さ】 LS-SA42-N001A(B)：0.5m LS-SA42-N002A(B)：0.95m LS-SA42-N003A(B)：1.05m  （単位：mm）

1.2.2　評価方針

格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「1.2.1　構造計画」にて示す格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）の部位を踏まえ「1.3　評価部位」にて設定する箇所において，「1.4.3　解析モデル及び諸元」及び「1.4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「1.4　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「1.5　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「1.6　評価結果」に示す。

格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）の耐震評価フローを図 1-1 に示す。

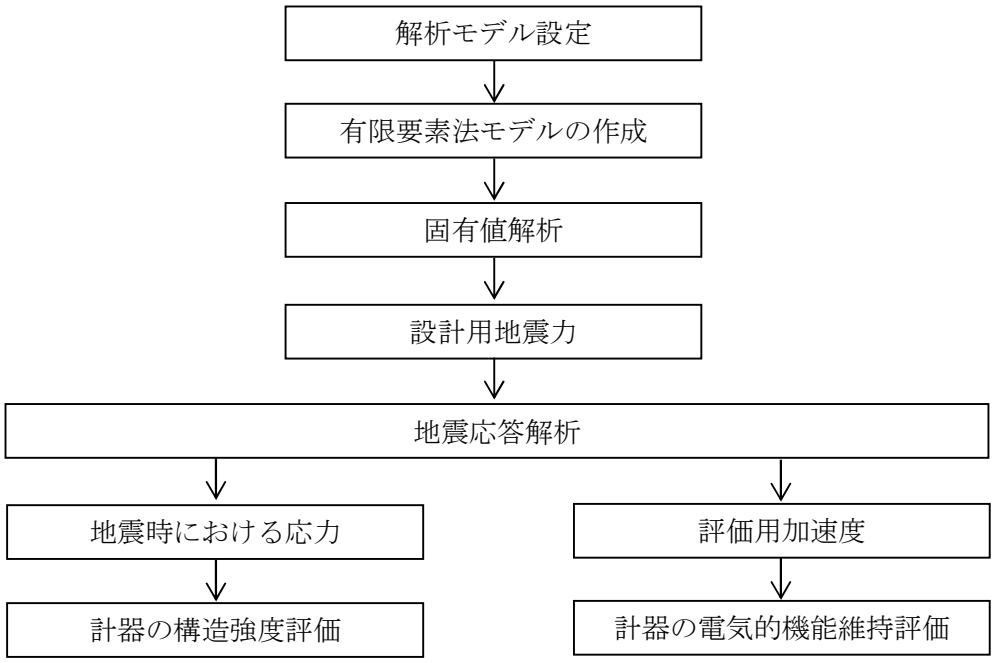


図 1-1　格納容器下部水位(LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B)の耐震評価フロー

1.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類･許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１･補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））
ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

1.2.4　記号の説明

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
A	架構及び計器固定金具の断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_X	サポート基礎部に作用する力（X方向）	N
F_Y	サポート基礎部に作用する力（Y方向）	N
F_Z	サポート基礎部に作用する力（Z方向）	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
I_p	架構及び計器固定金具の断面二次極モーメント	mm^4
I_y	架構及び計器固定金具の断面二次モーメント（y軸）	mm^4
I_z	架構及び計器固定金具の断面二次モーメント（z軸）	mm^4
ℓ	壁面から計器及び計器保護管重心までの距離	mm
ℓ_1	水平方向に並ぶ基礎ボルト間の距離	mm
ℓ_2	鉛直方向に並ぶ基礎ボルト間の距離	mm
ℓ_3	ℓ_1，ℓ_2のうち短い方の距離	mm
M_X	サポート基礎部に作用するモーメント（x軸）	N･mm
M_Y	サポート基礎部に作用するモーメント（y軸）	N･mm
M_Z	サポート基礎部に作用するモーメント（z軸）	N･mm
m_a	検出器（圧縮継手及びボスを含む）の質量	kg
m_b	検出器保護管の質量	kg
m_c, m_d, m_e	シース収納パンチングトレイの質量	kg
n	基礎ボルトの本数(金物（サポート基礎部）1枚当たり)	－
n_Y	M_Yの引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	－
n_Z	M_Zの引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	－
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力（1本当たり）	MPa

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（ＲＴ）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
Z_p	架構及び計器固定金具のねじり断面係数	mm^3
Z_y	架構及び計器固定金具の断面係数（ｙ軸）	mm^3
Z_z	架構及び計器固定金具の断面係数（ｚ軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

1.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表1-2に示すとおりとする。

表1-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量*1	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

1.3　評価部位

格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）の耐震評価は，「1.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）の耐震評価箇所については，表 1-1 の概略構造図に示す。

1.4　地震応答解析及び構造強度評価

1.4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　地震力は格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2)　格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）は，基礎ボルトにより壁面に固定されるものとする。

(3)　格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）の質量は，検出器，圧縮継手，ボス，検出器保護管，架構，計器固定金具及びシース収納パンチングトレイを考慮する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-3 に示す。

1.4.2.2　許容応力

格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 1-4 のとおりとする。

1.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-5 に示す。

表 1-3　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	格納容器下部水位 (LS-SA42-N001A～N003A LS-SA42-N001B～N003B)	常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 1-4　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許　容　限　界*1, *2 （ボ　ル　ト　等）	
	一　次　応　力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	144	402	205
計器固定金具	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	144	402	205

1.4.3　解析モデル及び諸元

格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）の解析モデルを３次元はりモデルとして図 1-2 に，解析モデルの概要を以下に示す。

検出器が設置される架構（①～⑫）及び検出器固定金具（⑬～⑮）は鋼材で構成され，架構①～④にて原子炉本体の基礎の壁面に固定されており，原子炉本体の基礎の壁面に沿って底部に向かい敷設されている。

また，解析モデルにおいて，検出器及び検出器保護管の質量は，計器固定金具より仮想鋼材を介した上下の質点に集中するものとし，質点は仮想鋼材の端部に設置する。なお，架構（①，③，⑤～⑦，⑩～⑫）に沿って敷設されたシース収納用パンチングトレイの質量は，架構との固定部に集中するものとし，質点は当該固定部に設置する。

機器の諸元を表 1-6，部材の機器要目を表 1-7 に示す。

(1)　図 1-2 中○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2)　図 1-2 中の ◒ は検出器，圧縮継手，ボス，検出器保護管及びシース収納パンチングトレイの質点を示し，検出器，圧縮継手及びボスで構成する質量m_aは□kg，検出器保護管の質量m_bは□kg，シース収納パンチングトレイの質量m_cは□kg，m_dは□kg，m_eは□kg である。

(3)　図 1-2 中の ━━ は架構，－－ は仮想鋼材， は支持点を示す。

(4)　拘束条件として，基礎部のＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

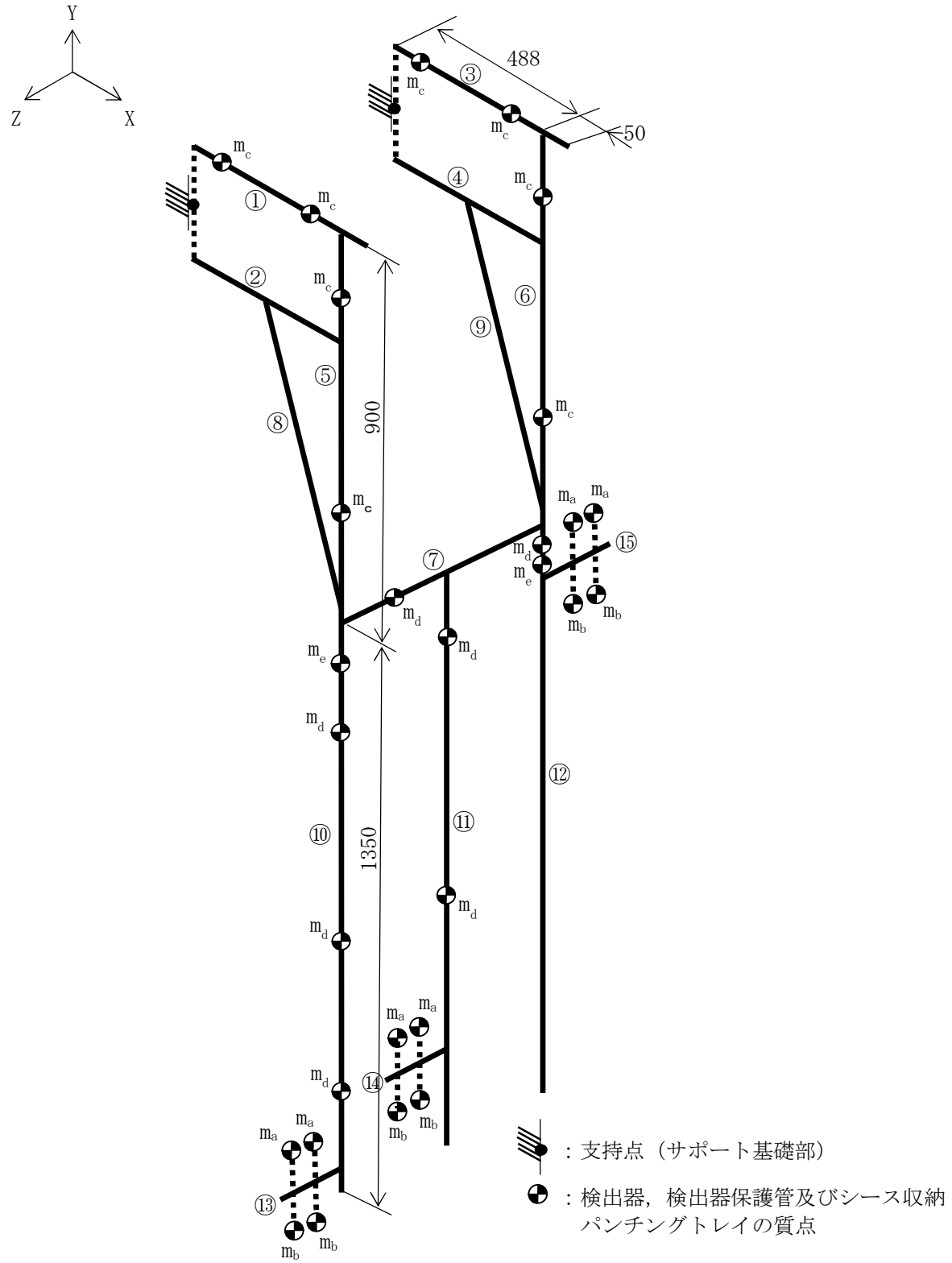
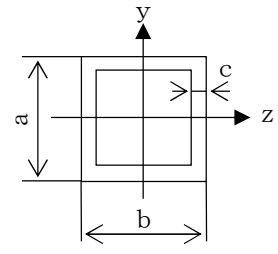
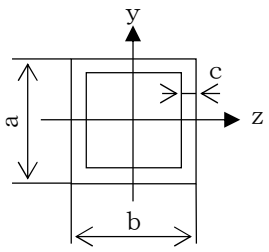
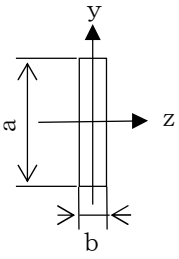


図 1-2　格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）解析モデル

表 1-6　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
	m_b		
	m_c		
	m_d		
	m_e		
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

表 1-7　部材の機器要目

材料			
対象要素	①－⑦	⑧－⑫	⑬－⑮
A（mm^2）			
I_y（mm^4）			
I_z（mm^4）			
I_p（mm^4）			
Z_y（mm^3）			
Z_z（mm^3）			
Z_p（mm^3）			
断面形状 （mm）	 （a×b×c）	 （a×b×c）	 （a×b）

1.4.4　固有周期

固有値解析結果を表 1-8 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 1-8　固有値解析結果

モード	固有周期(s)	卓越方向
1 次	[redacted]	水平

1.4.5　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力については，添付書類「Ⅴ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 1-9 に示す。

表 1-9　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
LS-SA42-N001A～N003A LS-SA42-N001B～N003B [redacted] EL.12.31～12.86 (EL.16.62*1)	[redacted]		－	－	C_H＝1.40	C_V＝1.18

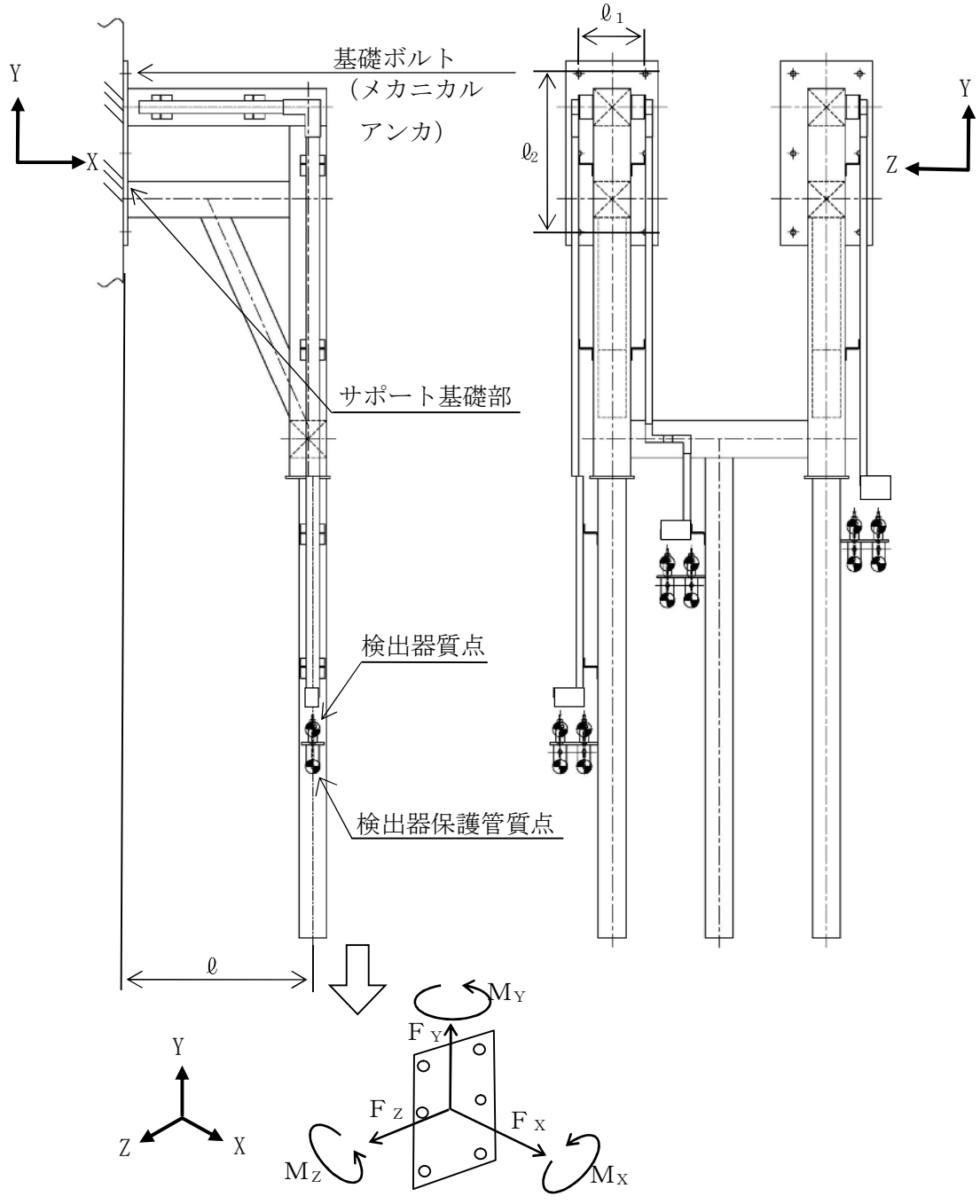
注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.4.6　計算方法

1.4.6.1　基礎ボルトの応力

３次元はりモデルによる地震応答解析からサポート基礎部の荷重を算出し，その結果を用いて理論式にて基礎ボルトを評価する。



s

図 1-3　格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）計算モデル（サポート基礎部）

地震応答解析によって得られたサポート基礎部の評価点の反力とモーメントを表 1-10 に示す。

表 1-10　サポート発生反力，モーメント

対象計器	反力(N)			モーメント(N・mm)		
	F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z
LS-SA42-N001A～N003A						
LS-SA42-N001B～N003B						

(1)　引張応力

基礎ボルト（1本当り）に対する引張応力は，下式により計算する。

引張力（F_b）

$$F_b = \frac{F_X}{n} + \frac{M_Y}{\ell_1 \cdot n_Y} + \frac{M_Z}{\ell_2 \cdot n_Z} \quad \cdots\cdots (1.4.6.1.1)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots (1.4.6.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \cdots\cdots (1.4.6.1.3)$$

(2)　せん断応力

基礎ボルト（1本当り）に対するせん断応力は，下式により計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_Y{}^2 + F_Z{}^2}}{n} + \frac{M_X}{n \cdot \ell_3} \quad \cdots\cdots (1.4.6.1.4)$$

ここで，ボルト間距離ℓ_3は次式により求める。

$$\ell_3 = \mathrm{Min}(\ell_1, \ell_2) \quad \cdots\cdots (1.4.6.1.5)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \quad \cdots\cdots (1.4.6.1.6)$$

1.4.7　計算条件

1.4.7.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）の【格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

1.4.8　応力の評価

1.4.8.1　基礎ボルトの応力評価

1.4.6.1項で求めたボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。ただし，f_{to}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}\left[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.4.8.1.1)$$

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。ただし，f_{sb}は下表による。

	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

1.5　機能維持評価

1.5.1　格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）の電気的機能維持評価方法

格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）の電気的機能維持評価について以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。

格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 1-11 に示す。

表 1-11　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
格納容器下部水位 (LS-SA42-N001A～N003A) (LS-SA42-N001B～N003B)	水平	
	鉛直	

1.6　評価結果

1.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有することを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～003A，LS-SA42-N001B～003B）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
格納容器下部水位	常設／緩和	EL.12.31～12.86 (EL.16.62*1)			—	—	C_H＝1.40	C_V＝1.18	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 基礎ボルト

部材	ℓ (mm)	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	n	n_Y	n_Z	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト							2	2	144	402	205	194

注記 ＊：基礎ボルトの本数は保守的に 本として評価をする。

1.3 計算数値

1.3.1 サポートに作用する力

(単位：N)

部 材	F_X		F_Y		F_Z	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
サポート部						

1.3.2 サポートに作用するモーメント

(単位：N・mm)

部 材	M_X		M_Y		M_Z	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
サポート部						

1.3.3 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結 論

1.4.1 基礎ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=33$	$f_{ts}=116^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=14$	$f_{sb}=89$

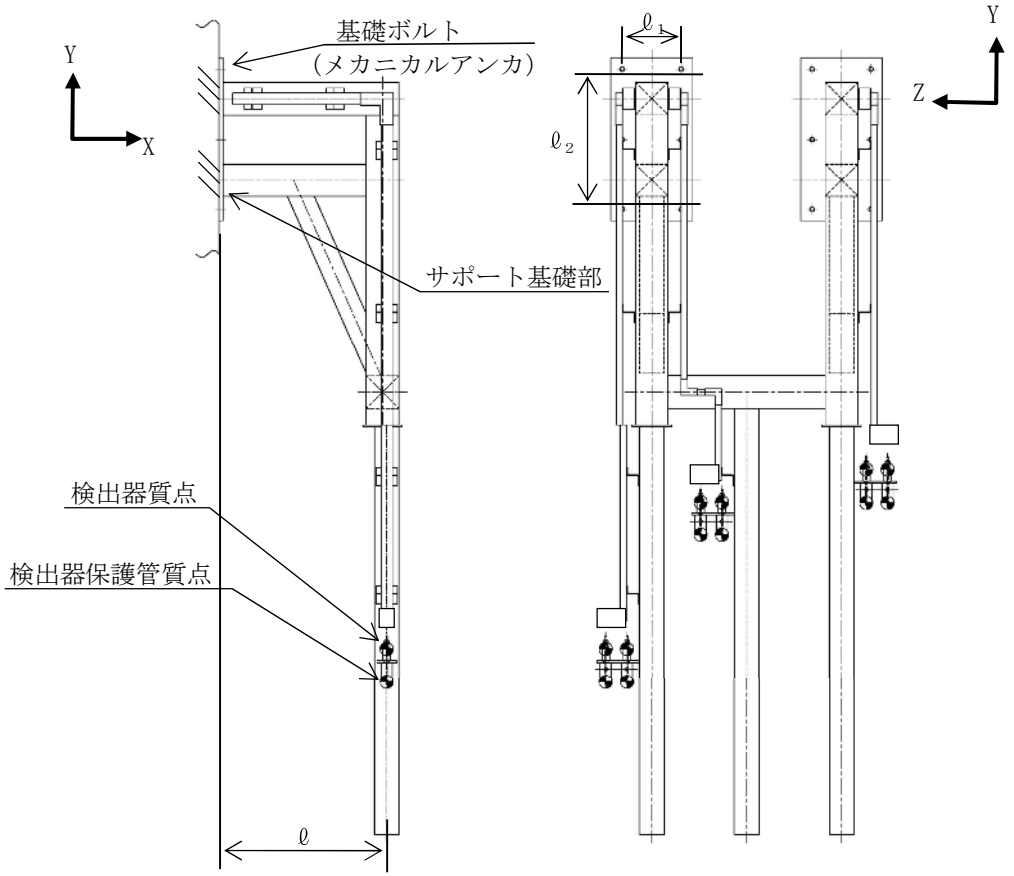
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot\tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　（×9.8 m/s²）

		評価用加速度	機能確認済加速度
格納容器下部水位	水平方向	1.17	
	鉛直方向	0.98	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



2. 格納容器下部水位（LS-SA42-N004A,B，LS-SA42-N005A,B）

2.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，格納容器下部水位（LS-SA42-N004A,B，LS-SA42-N005A,B）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

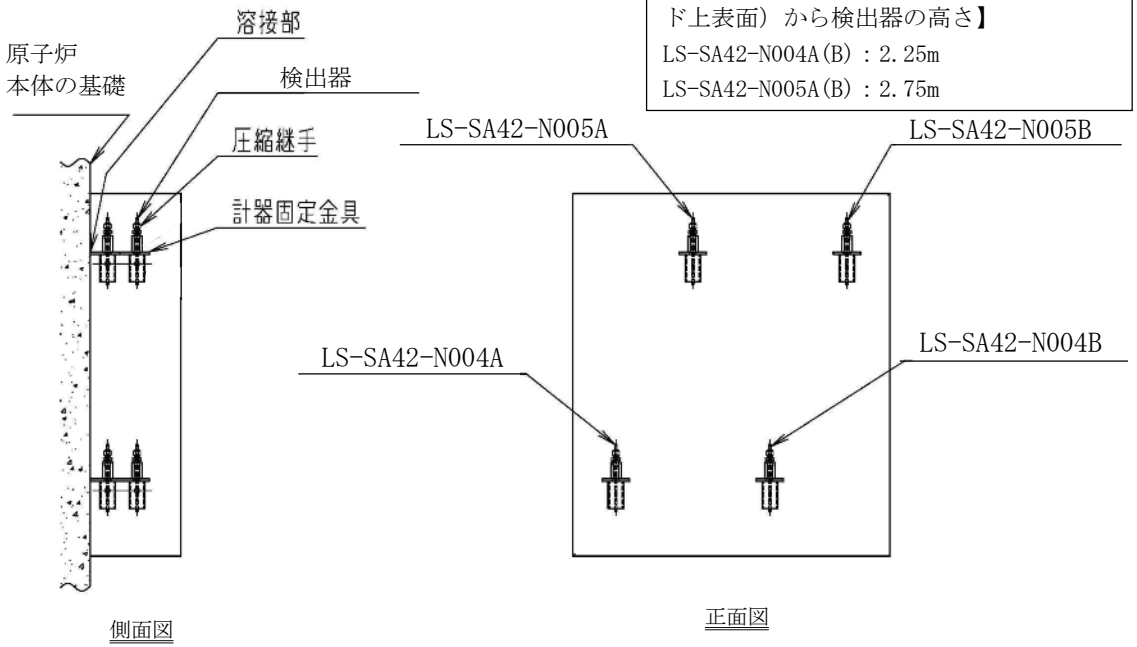
格納容器下部水位（LS-SA42-N004A,B，LS-SA42-N005A,B）は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

格納容器下部水位（LS-SA42-N004A,B，LS-SA42-N005A,B）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器固定金具に圧縮継手により固定する。 計器固定金具は，溶接により原子炉本体の基礎の壁面に設置する。	電極式水位検出器	【LS-SA42-N004A,B，LS-SA42-N005A,B】 【原子炉本体の基礎底面（コリウムシールド上表面）から検出器の高さ】 LS-SA42-N004A(B)：2.25m LS-SA42-N005A(B)：2.75m 

2.2.2　評価方針

格納容器下部水位（LS-SA42-N004A,B，LS-SA42-N005A,B）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「2.4　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.5　評価結果」に示す。

格納容器下部水位（LS-SA42-N004A,B，LS-SA42-N005A,B）の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

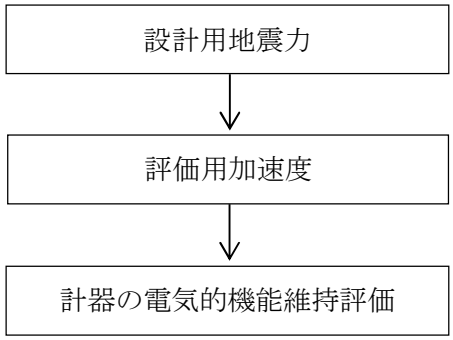


図 2-2　格納容器下部水位（LS-SA42-N004A,B，LS-SA42-N005A,B）の耐震評価フロー

2.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

2.3　評価部位

格納容器下部水位（LS-SA42-N004A,B，LS-SA42-N005A,B）は，原子炉本体の基礎の壁面に直接取り付けられた計器固定金具に固定されることから，原子炉本体の基礎が支持している。原子炉本体の基礎の構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」にて実施しているため，本計算書では，原子炉本体の基礎の壁面に生じる加速度を用いて格納容器下部水位（LS-SA42-N004A,B，LS-SA42-N005A,B）の電気的機能維持評価について示す。

2.4　機能維持評価

2.4.1　評価用加速度

格納容器下部水位(LS-SA42-N004A,B，LS-SA42-N005A,B)は，原子炉本体の基礎の壁面に直接設置された計器固定金具に固定されることから，評価用加速度は「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力として，添付書類「Ⅴ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。評価用加速度を表 2-2 に示す。

表 2-2　評価用加速度　（×9.8 m/s^2）

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	基準地震動Ｓ$_s$ 評価用加速度
格納容器下部水位 (LS-SA42-N004A,B) (LS-SA42-N005A,B)	[redacted] (EL. 14.06～ 14.56) (EL. 16.62*)	水平	1.17
		鉛直	0.98

注記　＊1：基準床レベルを示す。

2.4.2　機能確認済加速度

格納容器下部水位(LS-SA42-N004A,B, LS-SA42-N005A,B)の機能確認済加速度については以下に示す。

格納容器下部水位(LS-SA42-N004A,B, LS-SA42-N005A,B)の機能確認済加速度には，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 2-3 に示す。

表 2-3　機能確認済加速度　　(×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
格納容器下部水位 (LS-SA42-N004A,B) (LS-SA42-N005A,B)	水平	
	鉛直	

2.5　評価結果

2.5.1　重大事故等対処設備としての評価結果

格納容器下部水位(LS-SA42-N004A,B, LS-SA42-N005A,B)については，重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電気的機能が維持されていることを確認した。

(1)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【格納容器下部水位(LS-SA42-N004A,B, LS-SA42-N005A,B)の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
格納容器下部水位	水平方向	1.17	
	鉛直方向	0.98	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-5-43　原子炉建屋水素濃度の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 4
2.3 適用基準 ····· 5
2.4 記号の説明 ····· 6
2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 8
3. 評価部位 ····· 9
4. 地震応答解析及び構造強度評価 ····· 9
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 9
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 9
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 9
4.2.2 許容応力 ····· 9
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 9
4.3 解析モデル及び諸元 ····· 13
4.4 固有周期 ····· 17
4.5 設計用地震力 ····· 18
4.6 計算方法 ····· 19
4.6.1 基礎ボルトの応力 ····· 19
4.7 計算条件 ····· 22
4.7.1 基礎ボルトの応力計算条件 ····· 22
4.8 応力の評価 ····· 22
4.8.1 基礎ボルトの応力評価 ····· 22
5. 機能維持評価 ····· 23
5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 23
6. 評価結果 ····· 24
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 24

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，原子炉建屋水素濃度が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

原子炉建屋水素濃度は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお，構造強度評価については，基礎ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また，電気的機能維持評価については，評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。

表 1-1　概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
H2E-SA16-N001 H2E-SA16-N002（代表） H2E-SA16-N003（代表）	Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針	表 2-1　構造計画
H2E-SA16-N004（代表） H2E-SA16-N005（代表）	Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針	表 2-2　構造計画

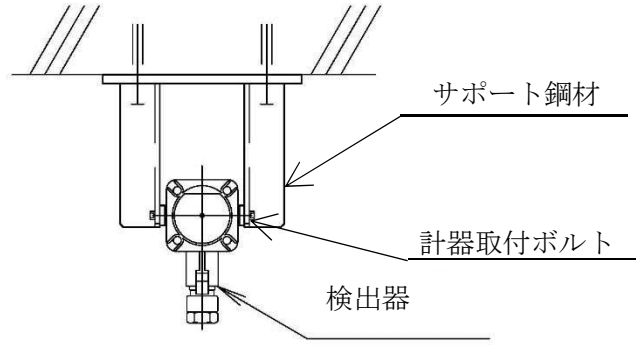
2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉建屋水素濃度の構造計画を表 2-1，表 2-2 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，サポート鋼材に計器取付ボルトにより固定する。 サポート鋼材は，基礎ボルトにより壁面に設置する。	熱伝導式水素検出器	【H2E-SA16-N002,N003】



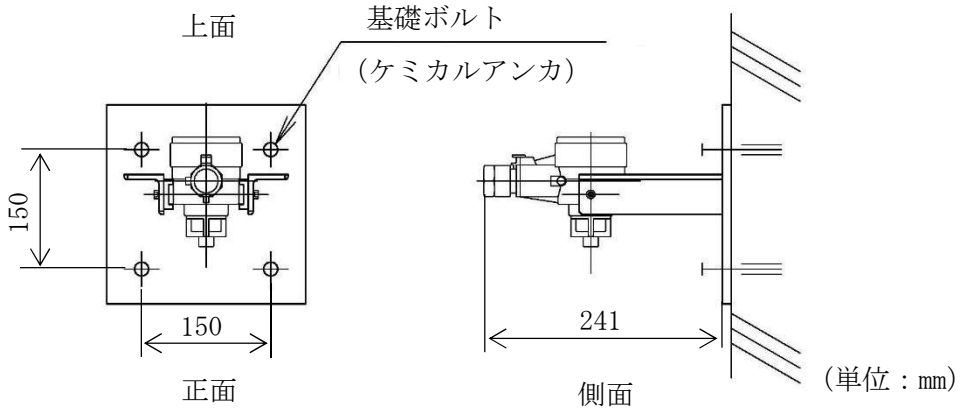
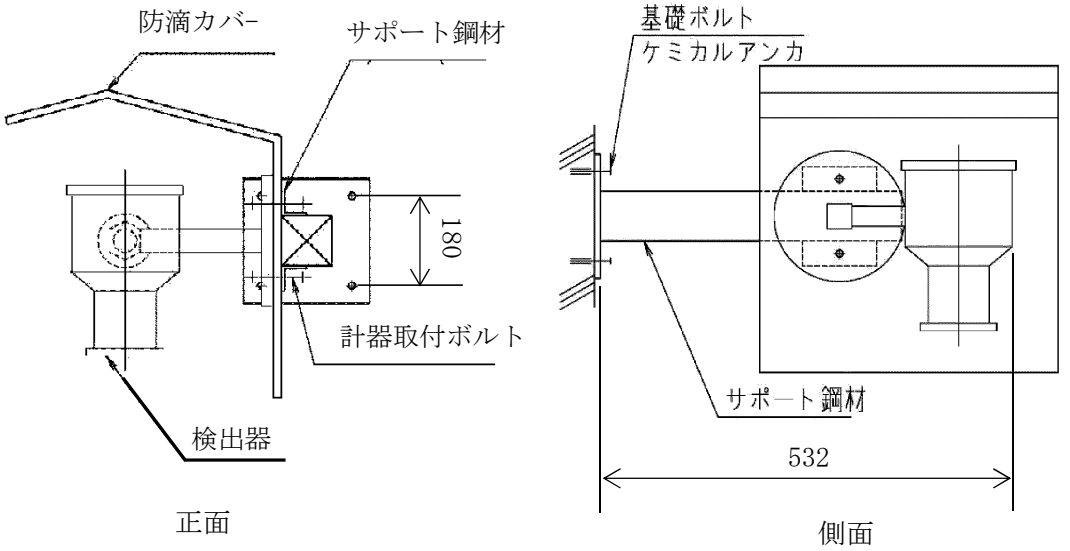


表 2-2　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，サポート鋼材に計器取付ボルトにより固定する。 サポート鋼材は，基礎ボルトにより壁面に設置する。	触媒式水素検出器	【H2E-SA16-N004,N005】



2.2　評価方針

原子炉建屋水素濃度の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す原子炉建屋水素濃度の部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で算出した固有周期及び荷重に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6.　評価結果」に示す。

原子炉建屋水素濃度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

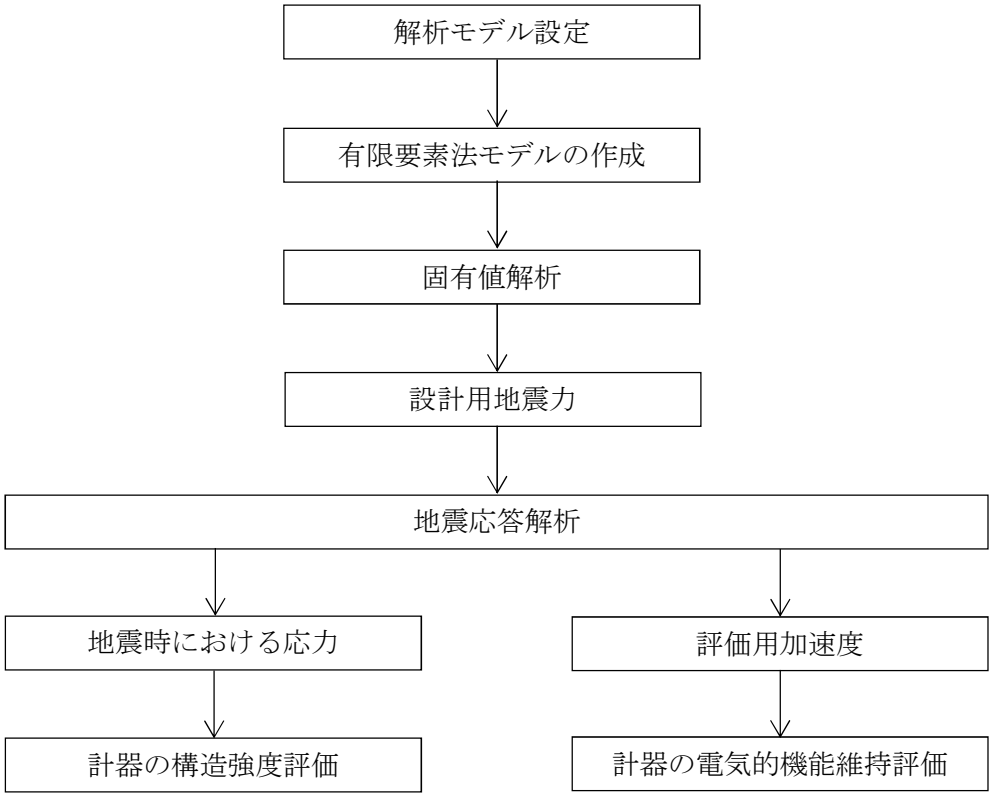


図 2-1　原子炉建屋水素濃度の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））

ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
A	サポートの断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3131 又は SSB-3133に定める値	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3131 又は SSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力（１本当り）	N
F_X	サポート基礎部に作用する力（X方向）	N
F_Y	サポート基礎部に作用する力（Y方向）	N
F_Z	サポート基礎部に作用する力（Z方向）	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
I_p	サポートの断面二次極モーメント	mm^4
I_y	サポートの断面二次モーメント（ｙ軸）	mm^4
I_z	サポートの断面二次モーメント（ｚ軸）	mm^4
ℓ	検出器及び防滴カバーの重心までの距離	mm
ℓ_1	ボルト間距離（水平方向）	mm
ℓ_2	ボルト間距離（鉛直方向）	mm
ℓ_3	ボルト間距離（水平方向と鉛直方向の小さい方）	mm
m_a	H2E-SA16-N002,N003 の検出器の質量	kg
m_b	H2E-SA16-N004,N005 の検出器及び防滴カバーの質量	kg
M_X	サポート基礎部に作用するモーメント（X軸）	N・mm
M_Y	サポート基礎部に作用するモーメント（Y軸）	N・mm
M_Z	サポート基礎部に作用するモーメント（Z軸）	N・mm
n	基礎ボルトの本数	－
n_Y	M_Yの引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	－
n_Z	M_Zの引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	－
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力（１本当り）	MPa

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
Z_p	サポートのねじり断面係数	mm^3
Z_y	サポートの断面係数（y軸）	mm^3
Z_z	サポートの断面係数（z軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表2-3に示す通りとする。

表2-3　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量*1	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

原子炉建屋水素濃度の耐震評価は，「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。原子炉建屋水素濃度の耐震評価部位については，表 2-1，表 2-2 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) 地震力は原子炉建屋水素濃度に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2) 原子炉建屋水素濃度は，基礎ボルトにより壁面に固定されるものとする。

(3) 原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N002,N003）の質量は，検出器，サポート鋼材を考慮する。

(4) 原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N004,N005）の質量は，検出器，防滴カバー，サポート鋼材を考慮する。

(5) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉建屋水素濃度の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

原子炉建屋水素濃度の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉建屋水素濃度の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	計測装置	原子炉建屋水素濃度	常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許　容　限　界*1, *2 （ボ　ル　ト　等）	
	一　次　応　力	
	引張り	せん断
IV_AS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
V_AS （V_ASとしてIV_ASの 許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

4.3　解析モデル及び諸元

原子炉建屋水素濃度の解析モデルを３次元はりモデルとして図 4-1，図 4-2 に，解析モデルの概要を以下に示す。原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N002,N003）において，サポート鋼材は検出器を挟み込むように組まれた鋼材で，原子炉建屋の壁面に固定されることから，解析モデルにおいて，①及び②の部材の直線とみなし，保守的に支持点（サポート基礎部）1 点で固定されるものとする。また，解析モデルにおいて，検出器の質量は質点に集中するものとし，質点は検出器の取付位置に設置する。原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N004,N005）において，サポート鋼材は検出器及び防滴カバーを固定する③及び④の鋼材と③及び④の鋼材を固定している⑤の鋼材で構成されており，⑤の鋼材は原子炉建屋の壁面に固定されることから，解析モデルにおいて，③～⑤の部材で組まれた直線とみなし，支持点（サポート基礎部）1 点で固定されるものとする。また，解析モデルにおいて，検出器及び防滴カバーの質量は質点に集中するものとし，質点は検出器及び防滴カバーの取付位置に設置する。機器の諸元を表 4-4 及び表 4-6，部材の機器要目を表 4-5 及び表 4-7 に示す。

(1)　図 4-1 及び図 4-2 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2)　図 4-1 中の ◔ は検出器の質点を示し，m_aは□kg である。また，図 2-4 中の ◔ は検出器及び防滴カバーの質点を示し，m_bは□kg である。

(3)　図 2-3 及び図 2-4 中の ━━ はサポート鋼材，－ － は仮想鋼材，● は支持点（サポート基礎部）を示す。

(4)　拘束条件として，基礎部のＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値及び荷重を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

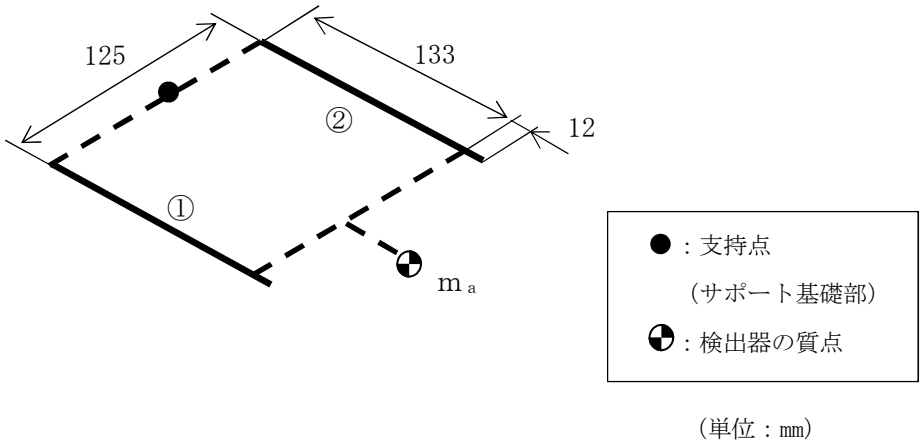


図 4-1　原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N002,N003）解析モデル

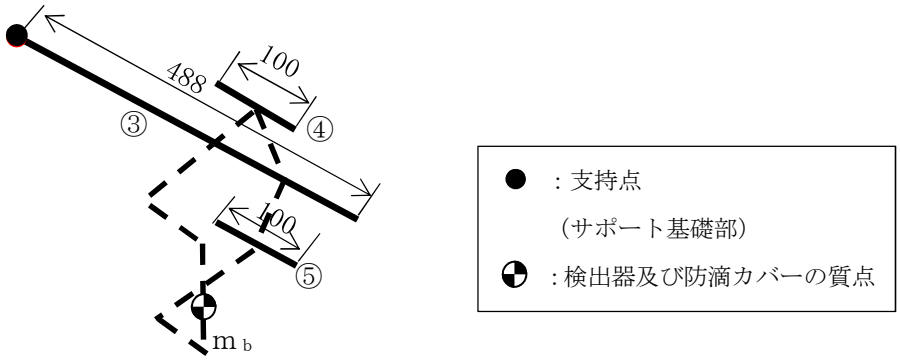


図 4-2　原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N004,N005）解析モデル

表 4-4　原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N002,N003）機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

表 4-5　原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N002,N003）部材の機器要目

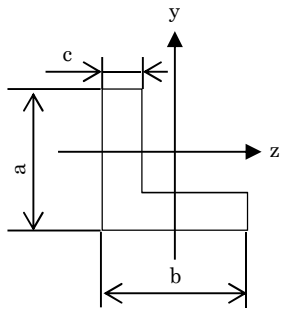
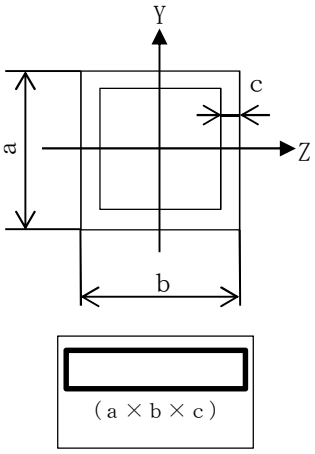
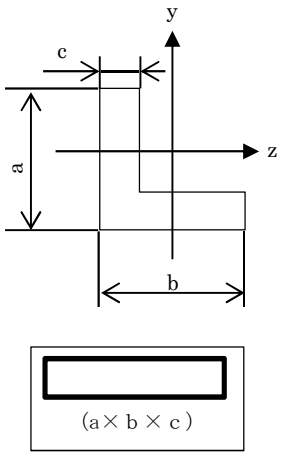
材料	
対象要素	①-②
A（mm^2）	
I_y（mm^4）	
I_z（mm^4）	
I_p（mm^4）	
Z_y（mm^3）	
Z_z（mm^3）	
Z_p（mm^3）	
断面形状 （mm）	 （a×b×c）

表 4-6　原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N004,N005）機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_b	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

表 4-7　原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N004,N005）部材の機器要目

材料		
対象要素	③	④-⑤
A （mm^2）		
I_y （mm^4）		
I_z （mm^4）		
I_p （mm^4）		
Z_y （mm^3）		
Z_z （mm^3）		
Z_p （mm^3）		
断面形状 （mm）		

4.4　固有周期

原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N002,N003）の固有値解析結果を表 4-8 に，原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N004,N005）の固有値解析結果を表 4-9 に示す。

１次モードは鉛直方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，水平方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 4-8　原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N002,N003）固有値解析結果(s)

モード	固有周期（ｓ）	卓越方向
１次	[redacted]	鉛直

表 4-9　原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N004,N005）固有値解析結果(s)

モード	固有周期（ｓ）	卓越方向
１次	[redacted]	鉛直

4.5　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-10 に示す。

表 4-10　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$ 又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
H2E-SA16-N002 H2E-SA16-N003 [redacted] EL. 14.00 (EL. 20.30*1)	0.05 以下*2	[redacted]	－	－	C_H=1.34	C_V=1.01
H2E-SA16-N004 H2E-SA16-N005 [redacted] EL. 46.50 (EL. 63.65*1)	0.05 以下*2	[redacted]	－	－	C_H=2.45	C_V=1.88

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

4.6　計算方法

4.6.1　基礎ボルトの応力

３次元はりモデルによる地震応答解析からサポート基礎部荷重を算出し，その結果を用いて理論式にて基礎ボルトを評価する。

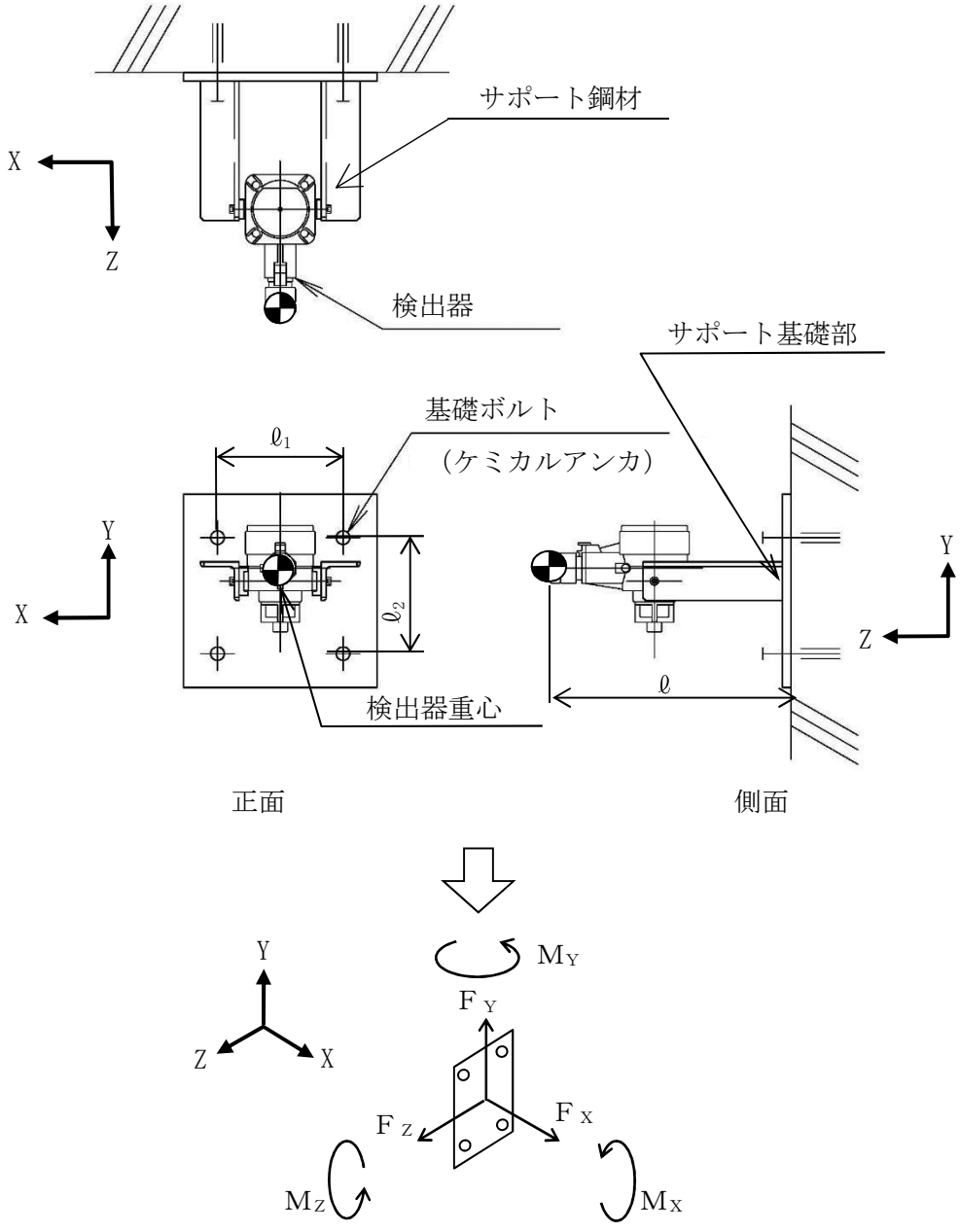


図 4-3　原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N002,N003）計算モデル
（サポート，基礎ボルト）

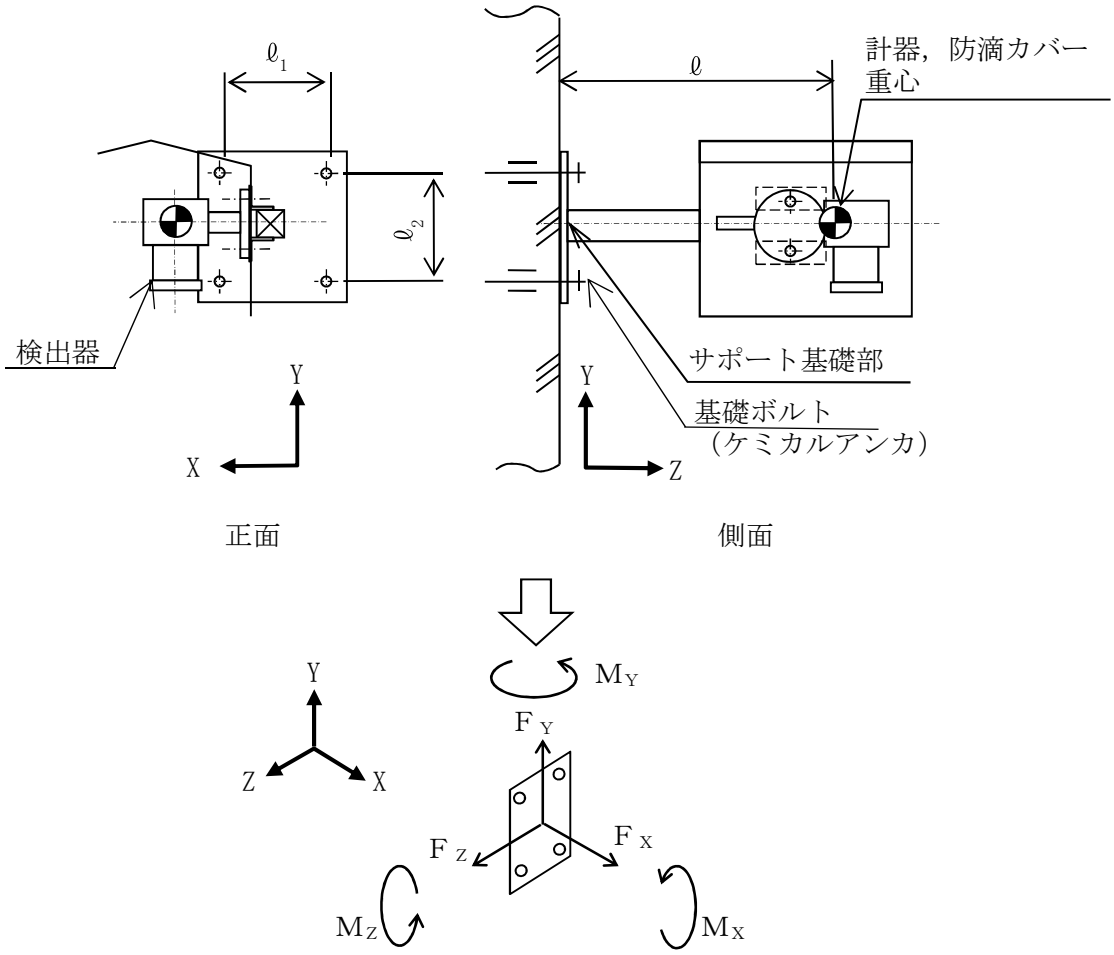


図 4-4　原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N004,N005）計算モデル
（サポート，基礎ボルト）

地震応答解析によって得られたサポート基礎部の最大反力とモーメントを表 4-11 に示す。

表4-11　サポート発生反力，モーメント

対象計器	反力(N)			モーメント(N・mm)		
	F_X	F_y	F_z	M_X	M_y	M_z
H2E-SA16-N002 H2E-SA16-N003						
H2E-SA16-N004 H2E-SA16-N005						

(1)　引張応力

基礎ボルト（1本当り）に対する引張応力は，下式により計算する。

引張力（F_b）

$$F_b = \frac{F_X}{n} + \frac{M_Y}{\ell_1 \cdot n_Y} + \frac{M_Z}{\ell_2 \cdot n_Z} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.1)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.3)$$

(2)　せん断応力

基礎ボルト（1本当り）に対するせん断応力は，下式により計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_Y{}^2 + F_Z{}^2}}{n} + \frac{M_X}{\ell_3 \cdot n} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.4)$$

ここで，ボルト間距離ℓ_3は次式により求める。

$$\ell_3 = \mathrm{Min}(\ell_1, \ell_2) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.5)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.6)$$

4.7　計算条件

4.7.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【原子炉建屋水素濃度の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

4.8　応力の評価

4.8.1　基礎ボルトの応力評価

4.6.1項で求めたボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力 f_{sb} 以下であること。ただし，f_{to} は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4.8.1.1)$$

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb} 以下であること。ただし，f_{sb} は下表による。

	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

原子炉建屋水素濃度の地震後の電気的機能維持評価について以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

原子炉建屋水素濃度の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-2 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N002) (H2E-SA16-N003)	水平	
	鉛直	
原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N004) (H2E-SA16-N005)	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉建屋水素濃度の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉建屋水素濃度の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N002) (H2E-SA16-N003)	常設／緩和	[redacted] EL. 14.00 (EL. 20.30*1)	[redacted]		－	－	C_H=1.34	C_V=1.01	[redacted]
原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N004) (H2E-SA16-N005)	常設／緩和	[redacted] EL. 46.50 (EL. 63.65*1)	[redacted]		－	－	C_H=2.45	C_V=1.88	[redacted]

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉建屋水素濃度

部材	ℓ (mm)	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	n	n_1	n_2	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト (H2E-SA16-N002) (H2E-SA16-N003)	[redacted]						2	2	221	373	261
基礎ボルト (H2E-SA16-N004) (H2E-SA16-N005)	[redacted]						2	2	221	373	261

1.3 計算数値

1.3.1 サポートに作用する力

(単位：N)

部 材	F_x		F_y		F_z	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
サポート部 (H2E-SA16-N002) (H2E-SA16-N003)						
サポート部 (H2E-SA16-N004) (H2E-SA16-N005)						

1.3.2 サポートに作用するモーメント

(単位：N・mm)

部 材	M_x		M_y		M_z	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
サポート部 (H2E-SA16-N002) (H2E-SA16-N003)						
サポート部 (H2E-SA16-N004) (H2E-SA16-N005)						

1.3.3　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
サポート部 (H2E-SA16-N002) (H2E-SA16-N003)				
サポート部 (H2E-SA16-N004) (H2E-SA16-N005)				

1.4 結　　論

1.4.1　ボルトの応力　　(単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (H2E-SA16-N002) (H2E-SA16-N003)		引張り	－	－	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=156^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=0$	$f_{sb}=120$
基礎ボルト (H2E-SA16-N004) (H2E-SA16-N005)		引張り	－	－	$\sigma_b=10$	$f_{ts}=156^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=3$	$f_{sb}=120$

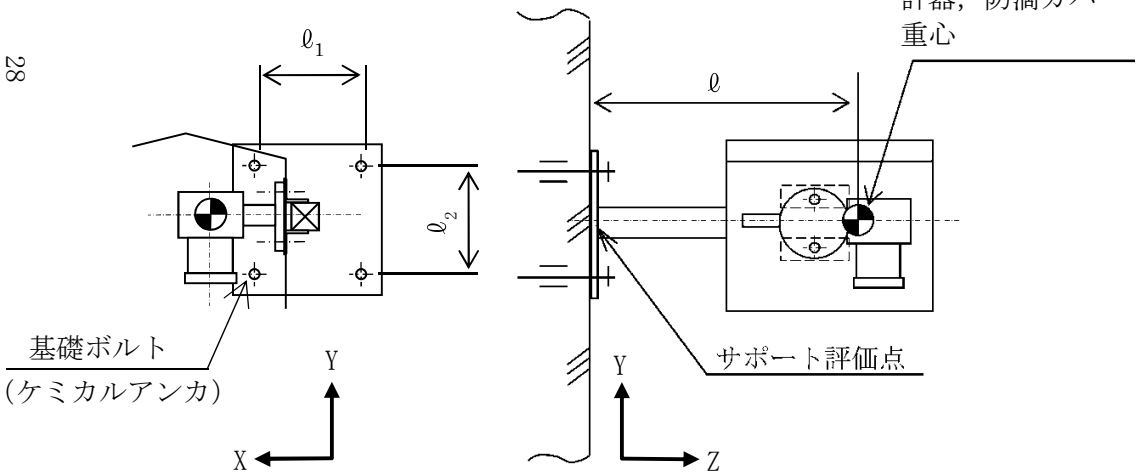
すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

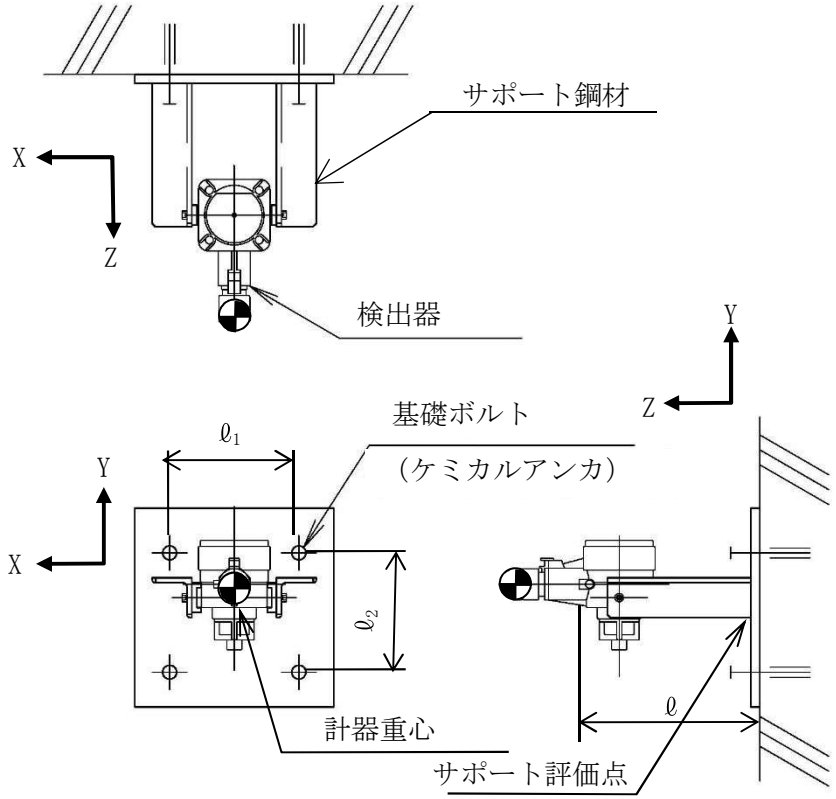
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s²）

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N002) (H2E-SA16-N003)	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	
原子炉建屋水素濃度 (H2E-SA16-N004) (H2E-SA16-N005)	水平方向	2.04	
	鉛直方向	1.56	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）　側面（鉛直方向）



正面（水平方向）　側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-6　制御用空気設備の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-6-6-1　窒素供給系の耐震性についての計算書

V-2-6-6-1-1　管の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 ····· 2
2.1　概略系統図 ····· 2
2.2　鳥瞰図 ····· 4
3.　計算条件 ····· 9
3.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 9
3.2　設計条件 ····· 10
3.3　材料及び許容応力 ····· 18
3.4　設計用地震力 ····· 19
4.　解析結果及び評価 ····· 20
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 20
4.2　評価結果 ····· 32
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 32
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 33
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 34
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 35

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示す通りである。

(1)　管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全６モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2)　支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3)　弁

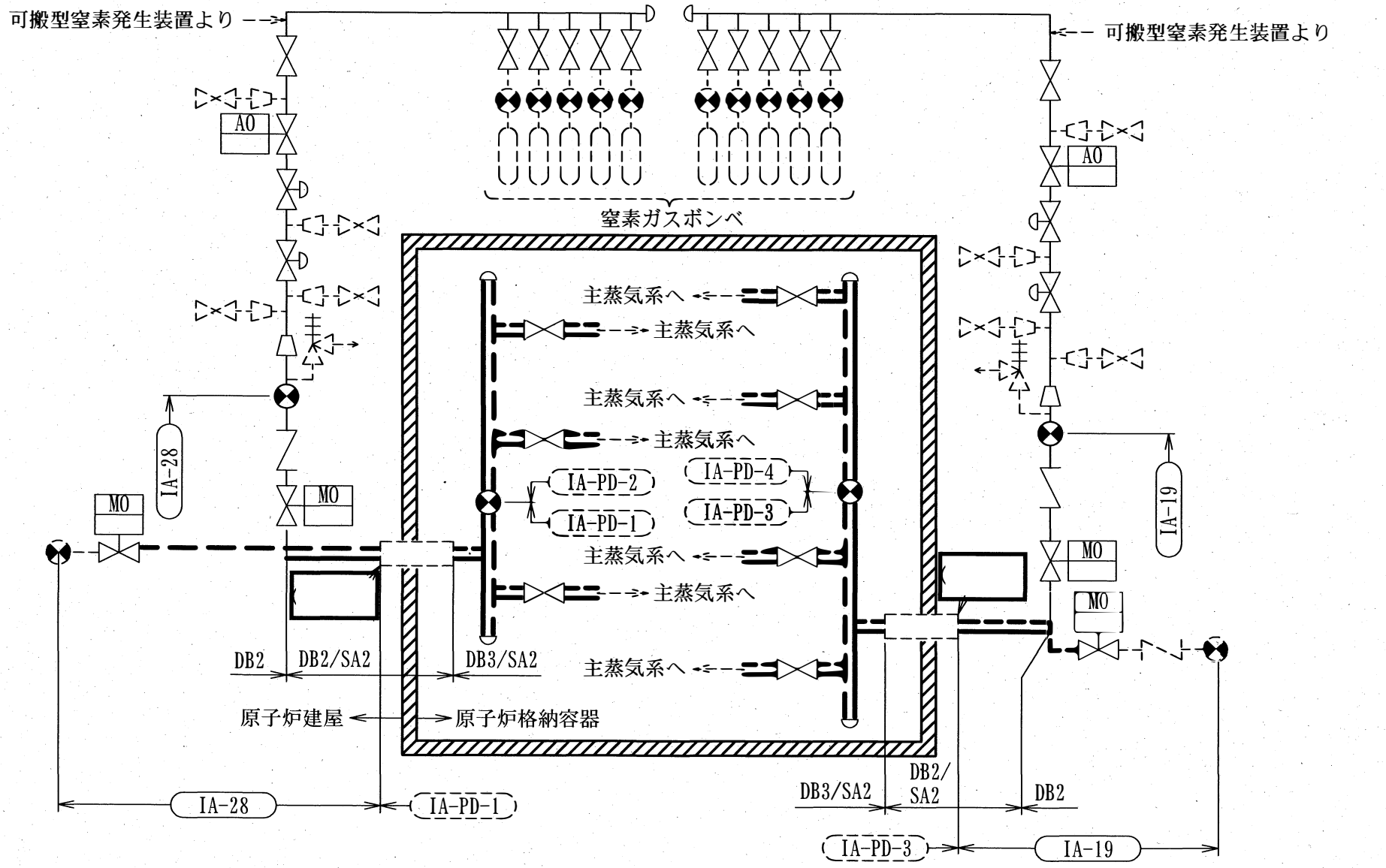
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

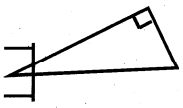
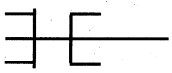
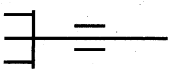
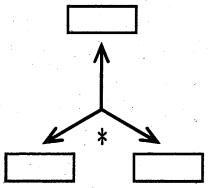
記　　号	内　　容
―――― （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
― ― ― （太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――― （細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管

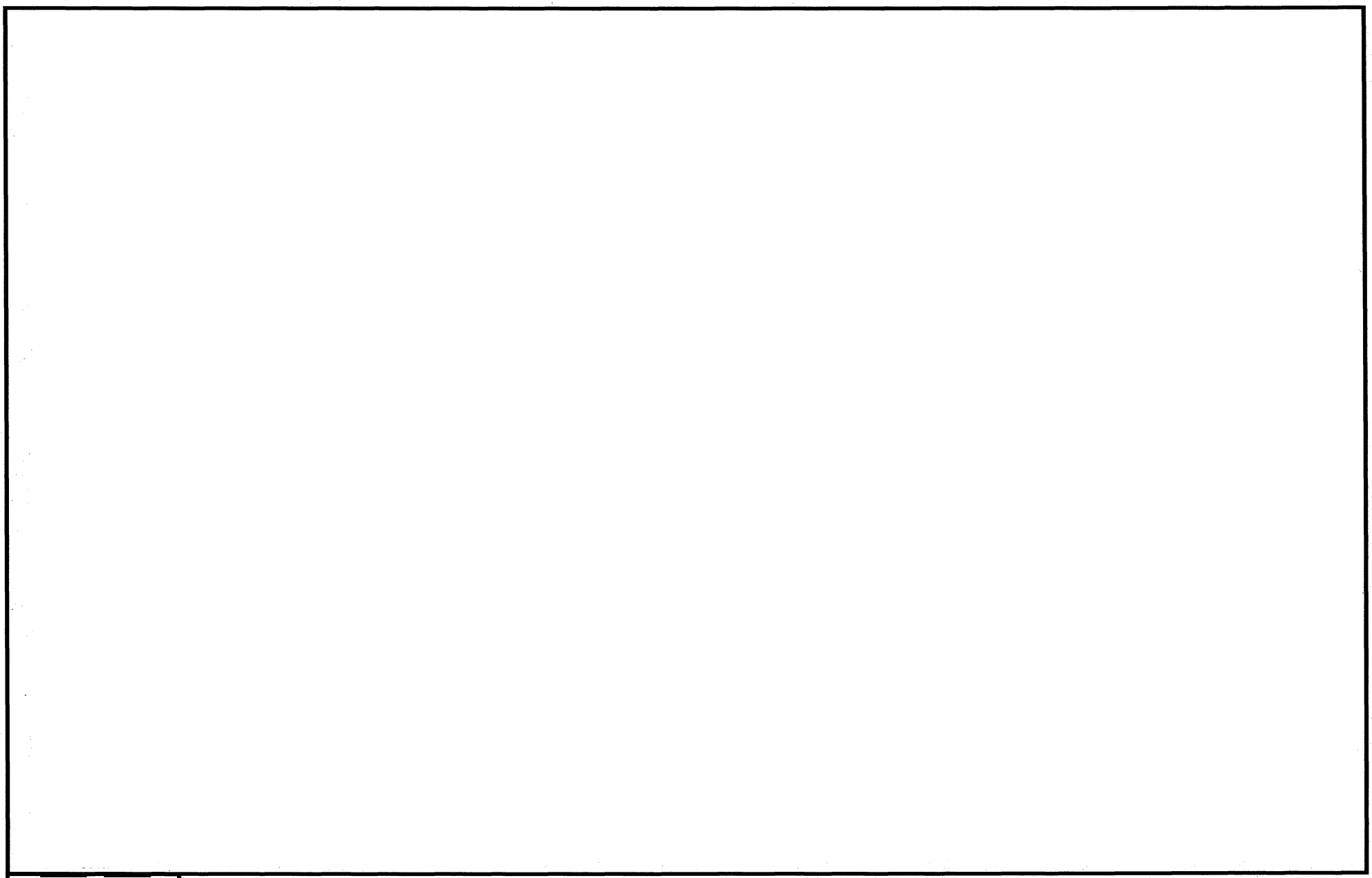

可搬型窒素発生装置より
可搬型窒素発生装置より
AO
AO
窒素ガスボンベ
主蒸気系へ
主蒸気系へ
主蒸気系へ
主蒸気系へ
主蒸気系へ
主蒸気系へ
主蒸気系へ
IA-PD-2
IA-PD-1
IA-PD-4
IA-PD-3
IA-28
IA-19
MO
MO
MO
MO
DB2
DB2/SA2
DB3/SA2
原子炉建屋
原子炉格納容器
DB3/SA2
DB2/SA2
DB2
IA-28
IA-PD-1
IA-PD-3
IA-19

窒素供給系概略系統図

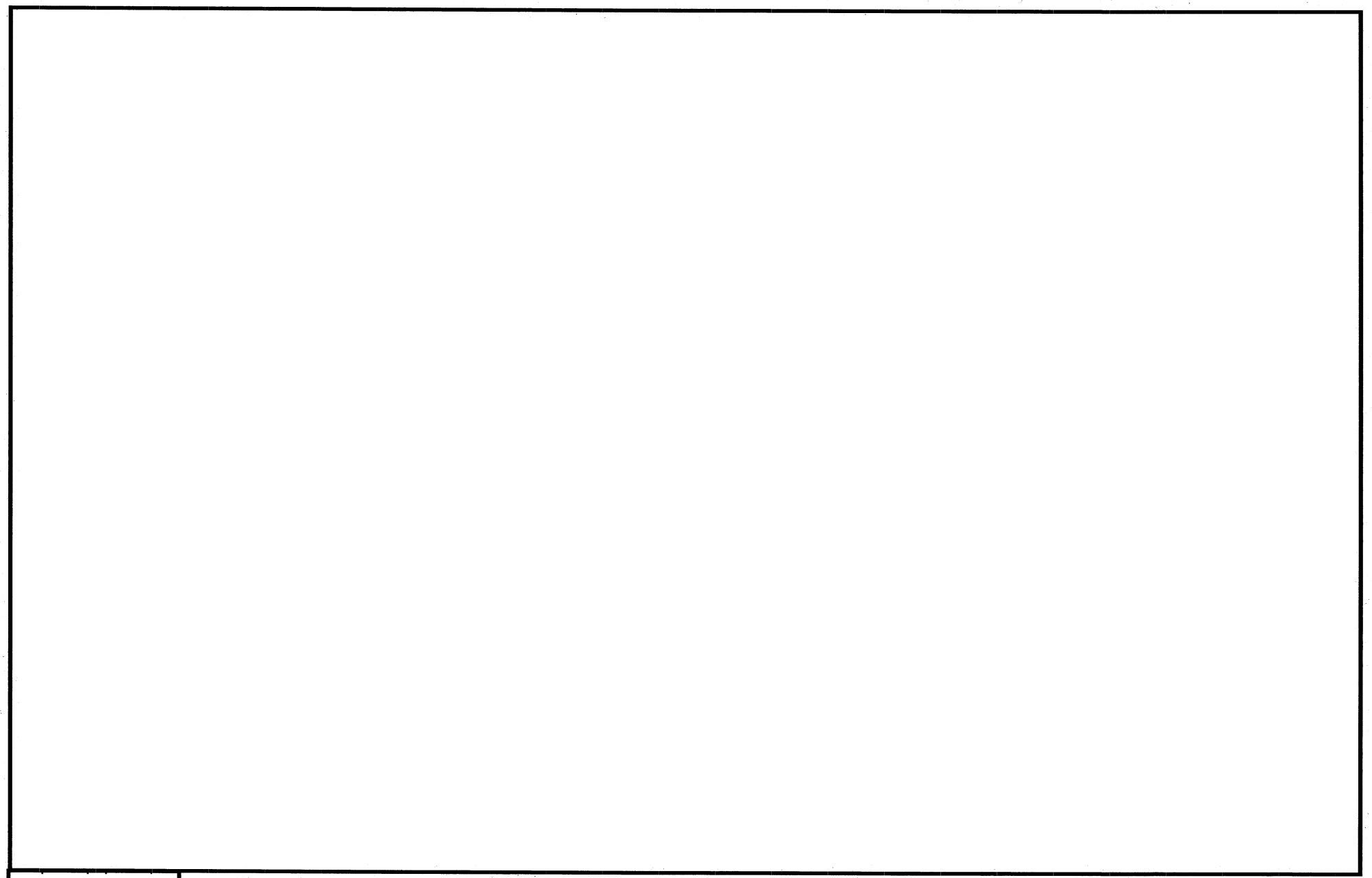
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

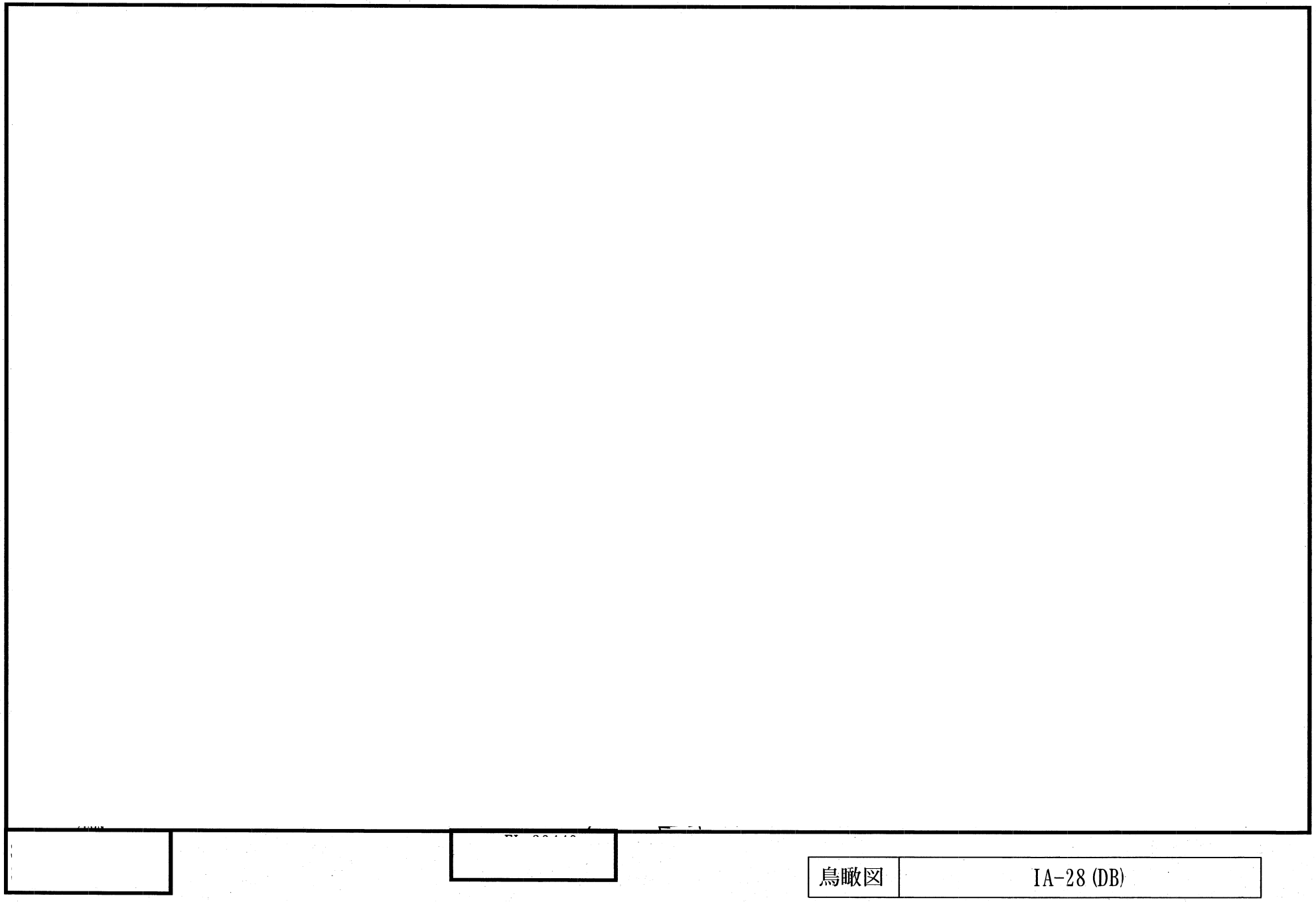
記　　号	内　　容
━━━━ （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
──── （細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質　　点
⊗	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。）
	注：　鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



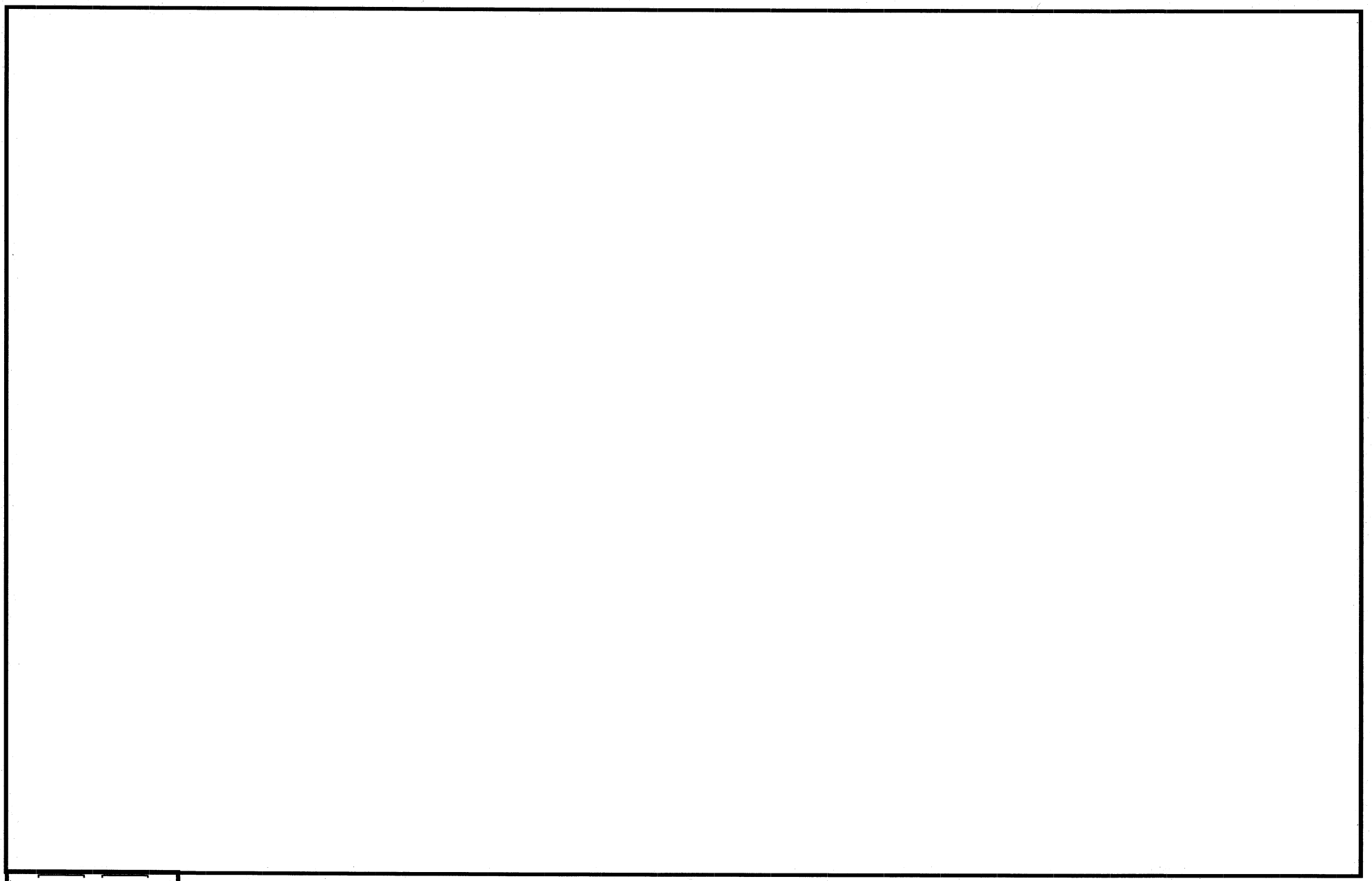
鳥瞰図	IA-19 (DB)



鳥瞰図	IA-19 (SA)



鳥瞰図	IA-28 (DB)



鳥瞰図	IA-28 (SA)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
計測制御系統施設	制御用空気設備	窒素供給系	ＤＢ	―	クラス２管 クラス３管	Ｓ	I_L+S_d	III_AS
							II_L+S_d	
							I_L+S_s	IV_AS
							II_L+S_s	
		非常用窒素供給系	ＳＡ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２管	―	$V_L(L)+S_d$*6,7	V_AS
							$V_L(LL)+S_s$*6	
							V_L+S_s	

注記 ＊1： ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。

＊2： 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊3： 運転状態の添字Ｌは荷重，（Ｌ）は荷重が長期間作用している状態，（ＬＬ）は（Ｌ）より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

＊4： 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

＊5： 許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

＊6： プロセス条件に加え，重大事故時の原子炉格納容器バウンダリ条件として，重大事故時の原子炉格納容器限界温度及び圧力を考慮する。

＊7： 荷重の組合せV_L（Ｌ）＋S_dはV_L（ＬＬ）＋S_sに包絡されるため，評価を省略する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 IA-19

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	98～102W, 106W～107W 108W～109A	1.38	66	60.5	3.9	SUS304TP	S	[redacted]
2	98～137W	2.28	171	60.5	3.9	SUS304TP	S	

弁部の寸法

鳥　瞰　図　IA-19

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
102W～103				103～104			
104～1041				1041～105			
103～106W				107W～108W			

弁部の質量

鳥　瞰　図　IA-19

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	107W～108W	[redacted]	102W, 106W
	103		104
	105		

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　IA-19

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
9901						
103						
** 1041 **						
109A						
138N						
** 138N **						
** 138N **						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　IA-28

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～2W, 7W～11	1.38	66	60.5	3.9	SUS304TP	S	[redacted]
2	11～26W	2.28	171	60.5	3.9	SUS304TP	S	[redacted]

弁部の寸法

鳥　瞰　図　IA-28

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
2W～3	[redacted]			3～4	[redacted]		
4～6				3～7W			

弁部の質量

鳥　瞰　図　IA-28

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	2W, 7W	[redacted]	3
	4		6

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　IA-28

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
3						
8						
** 8 **						
15						
19						
260N						
** 260N **						
** 260N **						

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材　料	最高使用温度 (℃)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SUS304TP	66	—	188	479	126
SUS304TP	171	—	150	413	113

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付資料「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は添付資料「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
IA-19	[redacted]	[redacted]	[redacted]
IA-28			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 IA-19

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		Sd及び静的震度			Ss		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　IA-19

モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				

代表的振動モード図

振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

鳥瞰図	IA－19

鳥瞰図	IA－19

鳥瞰図	ＩＡ－１９

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 IA-28

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		Sd及び静的震度			Ss		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　IA-28

モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				

代表的振動モード図

振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

鳥瞰図	ＩＡ－２８

鳥瞰図	ＩＡ－２８

鳥瞰図	IA－28

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管であってクラス２以下の管

鳥瞰図	許容応力状態（供用状態）	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価（MPa）		一次＋二次応力評価（MPa）		疲労評価
				計算応力 S_{prm}（S_d）S_{prm}（S_s）	許容応力 S_y* $0.9S_u$	計算応力 S_n（S_s）	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
IA-19	III_AS	102W	S_{prm}（S_d）	74	188	－	－	－
IA-28	IV_AS	2W	S_{prm}（S_s）	127	431	－	－	－
IA-19	IV_AS	102W	S_n（S_s）	－	－	277	376	－

注記　＊：オーステナイト系ステンレス鋼及びニッケル合金については，S_yと$1.2S_h$のうち大きい方とする。

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
SNO-IA-R004	オイルスナッバ	SN-03	添付書類「V-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		3.1	4.5

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力（kN）			モーメント（kN・m）			応力分類	計算応力(MPa)	許容応力(MPa)
					F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
AN-IA-P005	アンカ	ラグ	SUS304	200	1.4	0.3	0.1	0.1	0.3	0.1	組合せ	46	111
RE-IA-R013	レストレイント	Uプレート	SUS304 STKR400	66	1.2	5.6	0	－	－	－	せん断	19	117
RH-IA-R009	リジットハンガ	台座	STKR400 SS400	66	0	1.5	0	－	－	－	圧縮	5	83

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度 ($\times 9.8$ m/s^2)		機能確認済加速度 ($\times 9.8$ m/s^2)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
－	－	－	－	－	－	－	－	－

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス２，３範囲）

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{III_AS}$					許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	IA-19	102W	74	188	2.54	○	102W	125	431	3.44	－	102W	277	376	1.35	○	－	－	－
2	IA-28	2W	74	188	2.54	○	2W	127	431	3.39	○	2W	239	376	1.57	－	－	－	－
3	IA-PD-1	58W	28	150	5.35	－	58W	42	371	8.83	－	41W	174	300	1.72	－	－	－	－
4	IA-PD-2	104W	36	150	4.16	－	104W	51	371	7.27	－	48W	63	300	4.76	－	－	－	－
5	IA-PD-3	44W	35	150	4.28	－	46W	52	371	7.13	－	37W	183	300	1.63	－	－	－	－
6	IA-PD-4	98	31	150	4.83	－	94W	41	371	9.04	－	106	61	300	4.91	－	－	－	－

注記　：$\mathrm{III_AS}$の一次＋二次応力の許容値は$\mathrm{IV_AS}$と同様であることから，地震荷重が大きい$\mathrm{IV_AS}$の一次＋二次応力裕度最小を代表とする。$\mathrm{IV_AS}$の計算応力は，$\mathrm{V_AS}$と$\mathrm{IV_AS}$の大きい方を記載している。

Ⅴ-2-6-6-2　非常用窒素供給系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-6-6-2-1　管の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 ····· 2
2.1　概略系統図 ····· 2
2.2　鳥瞰図 ····· 4
3.　計算条件 ····· 7
3.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 7
3.2　設計条件 ····· 8
3.3　材料及び許容応力 ····· 16
3.4　設計用地震力 ····· 17
4.　解析結果及び評価 ····· 18
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 18
4.2　評価結果 ····· 30
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 30
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 31
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 32
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 33

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示す通りである。

(1)　管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全５モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2)　支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3)　弁

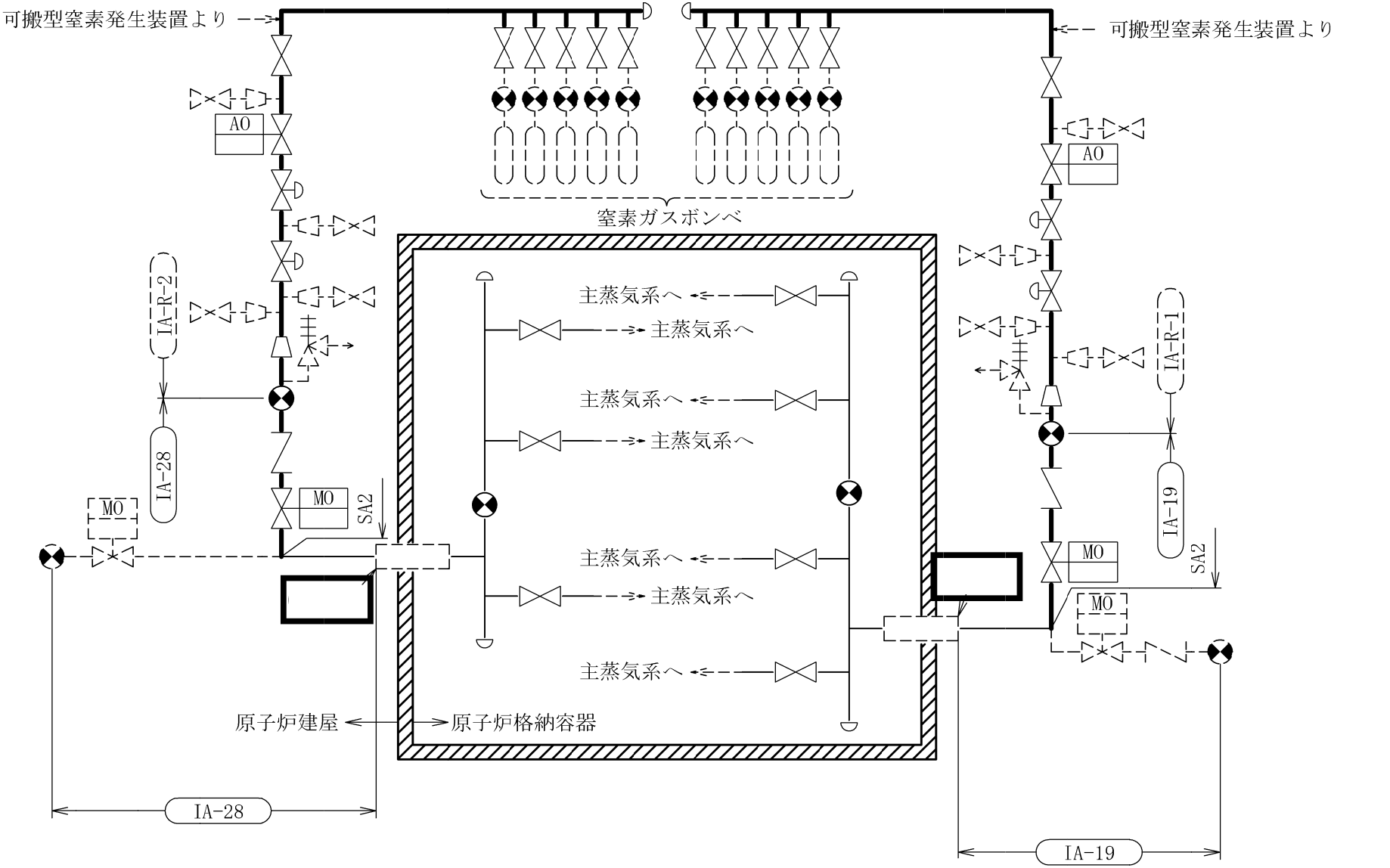
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

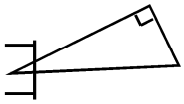
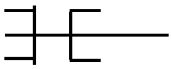
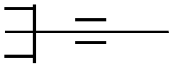
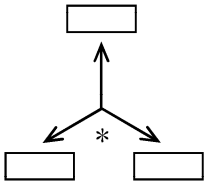
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - -（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管



非常用窒素供給系概略系統図

2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記　　号	内　　容
━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
―――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - -（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質　　点
⊗	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。）
	注：　鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

鳥瞰図	IA-19(SA)

鳥瞰図	IA-28(SA)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震クラス	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
計測制御系統施設	制御用空気設備	非常用窒素供給系	ＳＡ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２管	―	V_L(L)＋S_d*6,7	V_AS
							V_L(ＬＬ)＋S_s*6	
							V_L＋S_s	

注記＊1： ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。

＊2： 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊3： 運転状態の添字Lは荷重，(Ｌ)は荷重が長期間作用している状態，(ＬＬ)は(Ｌ)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

＊4： 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

＊5： 許容応力状態V_ASは許容応力状態Ⅳ$_A$Ｓの許容限界を使用し，許容応力状態Ⅳ$_A$Ｓとして評価を実施する。

＊6： プロセス条件に加え，重大事故時の原子炉格納容器バウンダリ条件として，重大事故時の原子炉格納容器限界温度及び圧力を考慮する。

＊7： 荷重の組合せV_L(Ｌ)＋S_dはV_L(ＬＬ)＋S_sに包絡されるため，評価を省略する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 IA-19

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	74A～87W	1.38	66	60.5	5.5	SUS304TP	—	[redacted]
2	88W～92W,96W～98	2.28	171	60.5	3.9	SUS304TP	—	

弁部の寸法

鳥　瞰　図　IA-19

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
87W～88W				92W～93			
93～94				94～9401			
9401～95				93～96W			

弁部の質量

鳥　瞰　図　IA-19

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	87W～88W	[redacted]	92W,96W
	93		94
	95		

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　IA-19

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
74A						
77						
** 81 **						
** 81 **						
** 8401 **						
93						
** 9401 **						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　IA-28

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	11～33W,37W～42W	2.28	171	60.5	3.9	SUS304TP	—	[redacted]
2	43W～65A	1.38	66	60.5	5.5	SUS304TP	—	

弁部の寸法

鳥　瞰　図　IA-28

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
33W～34				34～35			
35～36				34～37W			
42W～43W							

弁部の質量

鳥　瞰　図　IA-28

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	33W,37W	[redacted]	34
	35		36
	42W～43W		

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　IA-28

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
32						
** 32 **						
34						
38						
** 38 **						
48						
57						
65A						

3.3　材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材　　料	最高使用温度 (℃)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SUS304TP	66	—	188	479	—
SUS304TP	171	—	150	413	—

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
IA-19	[redacted]	[redacted]	
IA-28			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 IA-19

耐震設計上の重要度分類		—		
適用する地震動等		S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
動 的 震 度				

各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　IA-19

モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				

代表的振動モード図

振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

鳥瞰図	ＩＡ－１９

鳥瞰図	ＩＡ－１９

1

鳥瞰図	ＩＡ－１９

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥　瞰　図　IA-28

耐震設計上の重要度分類		—		
適用する地震動等		S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
動 的 震 度				

各モードに対応する刺激係数

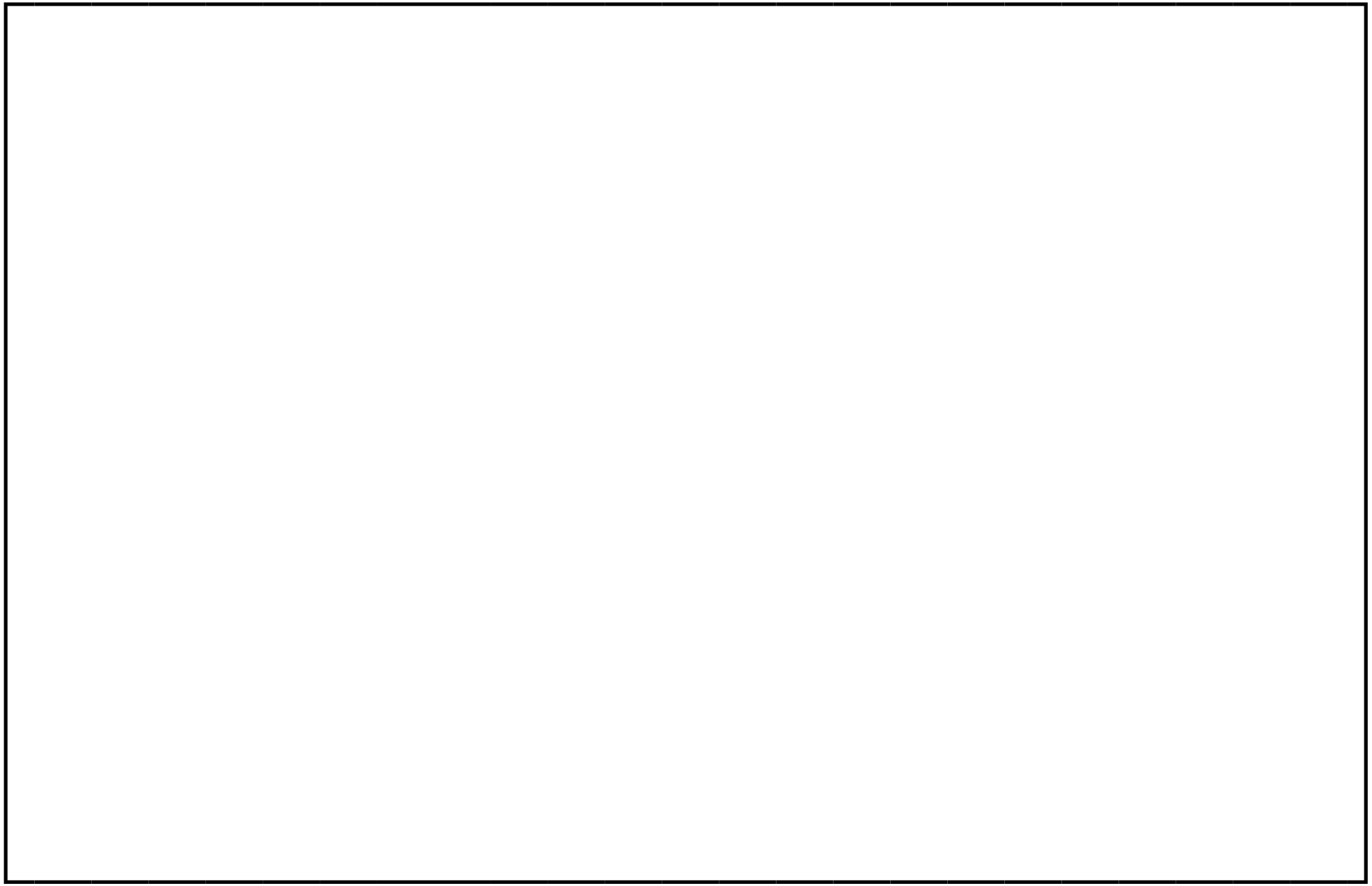
鳥　瞰　図　IA-28

モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				

代表的振動モード図

振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

鳥瞰図	ＩＡ－２８



鳥瞰図	ＩＡ－２８

鳥瞰図	ＩＡ－２８

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管

鳥瞰図	許容応力状態（供用状態）	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価（MPa）		一次＋二次応力評価（MPa）		疲労評価
				計算応力 S_{prm}（S_s）	許容応力 $0.9S_u$	計算応力 S_n（S_s）	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
IA-28	V_AS	39W	S_{prm}（S_s）	144	371	—	—	—
IA-19	V_AS	96W	S_n（S_s）	—	—	274	300	—

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
SNO-IA-R001	オイルスナッバ	SN-03	添付書類「V-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		2.0	4.5

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力（kN）			モーメント（kN・m）			応力分類	計算応力(MPa)	許容応力(MPa)
					F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
AN-IA-P006	アンカ	ラグ	SUS304	66	1.1	0.6	2.2	0.2	0.4	0.3	組合せ	45	117
RE-IA-R018	レストレイント	Uプレート	SUS304	171	1.2	4.7	0	－	－	－	せん断	28	201
RH-IA-R008	リジットハンガ	台座	STKR400 SS400	171	0	2.1	0	－	－	－	圧縮	7	67

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度*（×9.8 m/s^2）		機能確認済加速度（×9.8 m/s^2）		構造強度評価結果（MPa）	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
－	－	－	－	－	－	－	－	－

注記　＊：応答加速度は，打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス２範囲）

No.	配管モデル	許容応力状態 V_AS												
		一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	IA-19	92W	112	371	3.31	－	96W	274	300	1.09	○	－	－	－
2	IA-28	39W	144	371	2.57	○	37W	239	300	1.25	－	－	－	－
3	IA-R-1	3301	97	431	4.44	－	64W	138	376	2.72	－	－	－	－
4	IA-R-2	1431	83	431	5.19	－	109	147	376	2.55	－	－	－	－

Ⅴ-2-6-6-3　非常用逃がし安全弁駆動系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-6-6-3-1　管の耐震性についての計算書

目　次

1.　概要 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 2
2.1　概略系統図 2
2.2　鳥瞰図 4
3.　計算条件 10
3.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 10
3.2　設計条件 11
3.3　材料及び許容応力 20
3.4　設計用地震力 21
4.　解析結果及び評価 22
4.1　固有周期及び設計震度 22
4.2　評価結果 28
4.2.1　管の応力評価結果 28
4.2.2　支持構造物評価結果 29
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 30
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 31

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全４モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3) 弁

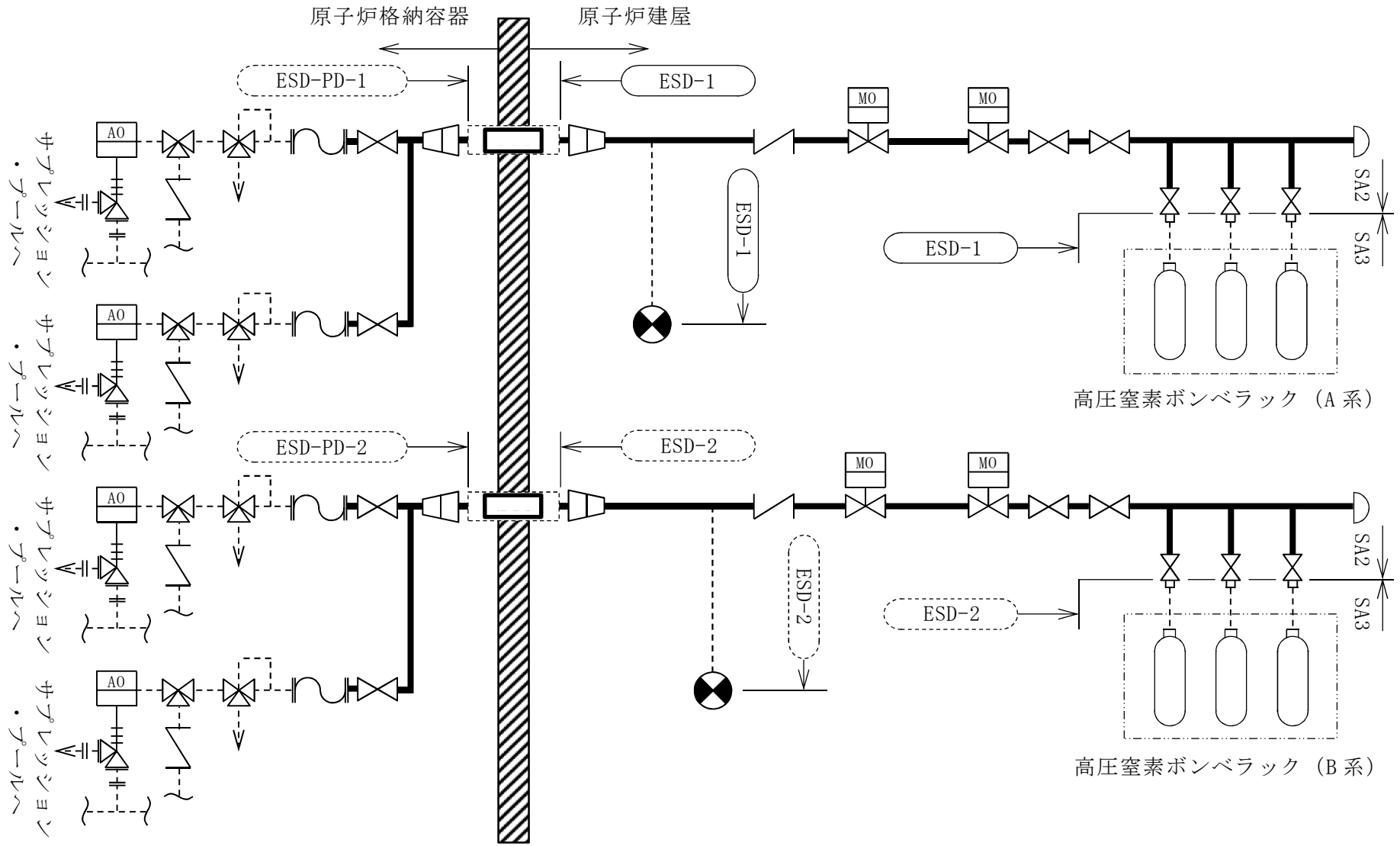
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

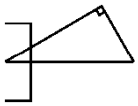
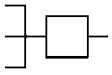
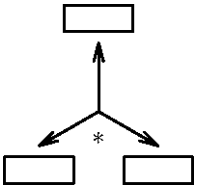
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号 （鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管

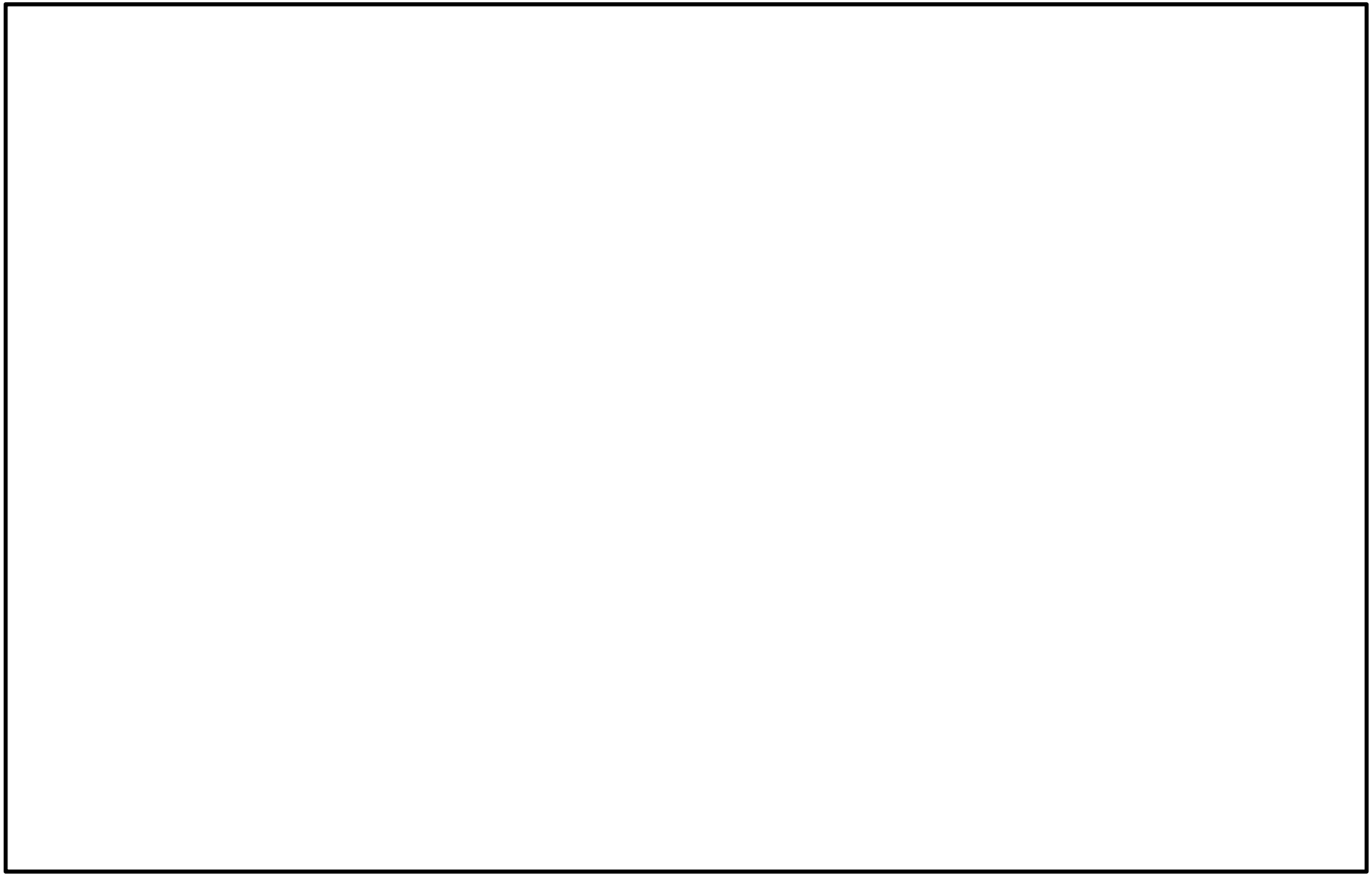


非常用逃がし安全弁駆動系概略系統図

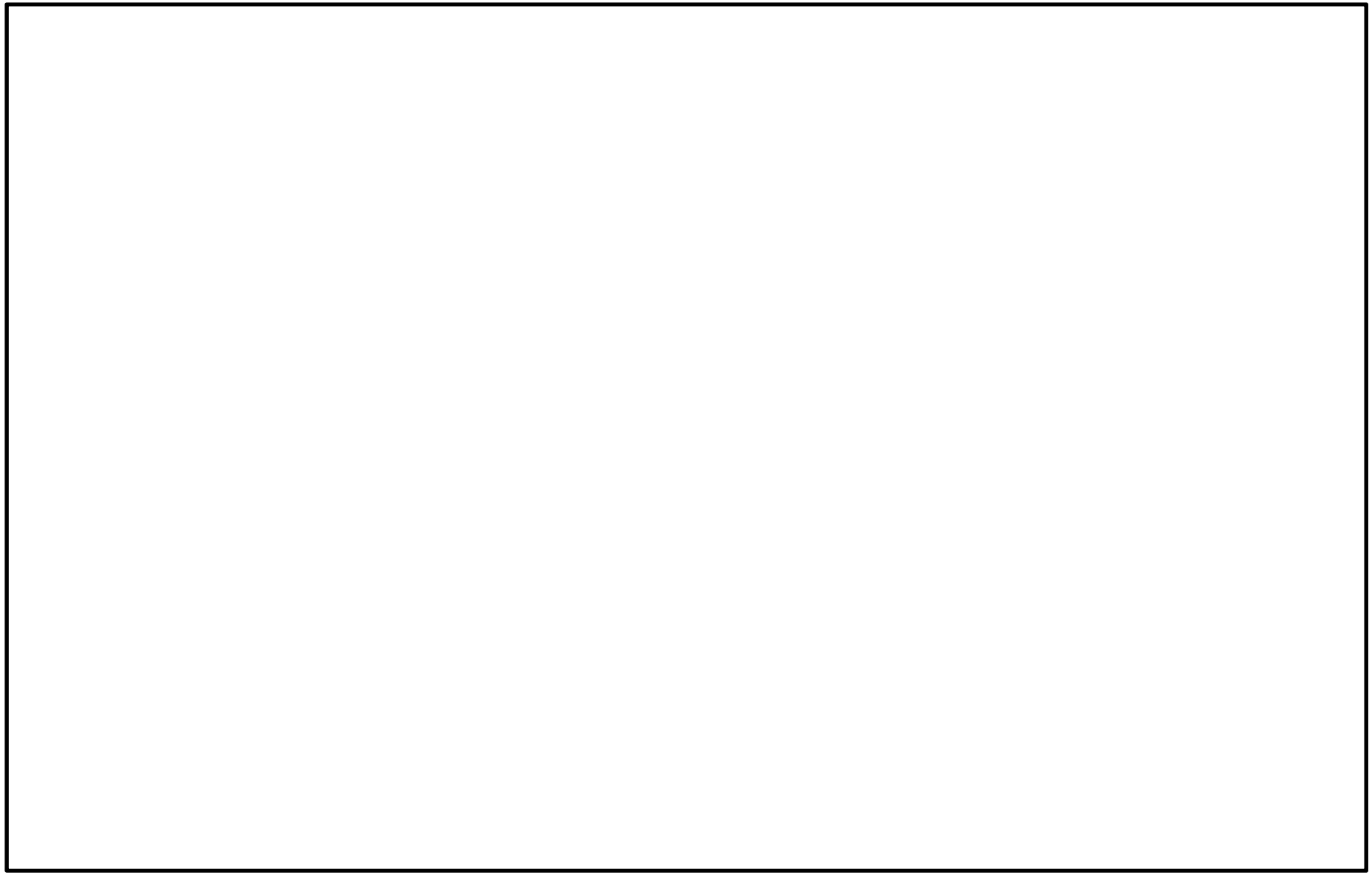
2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

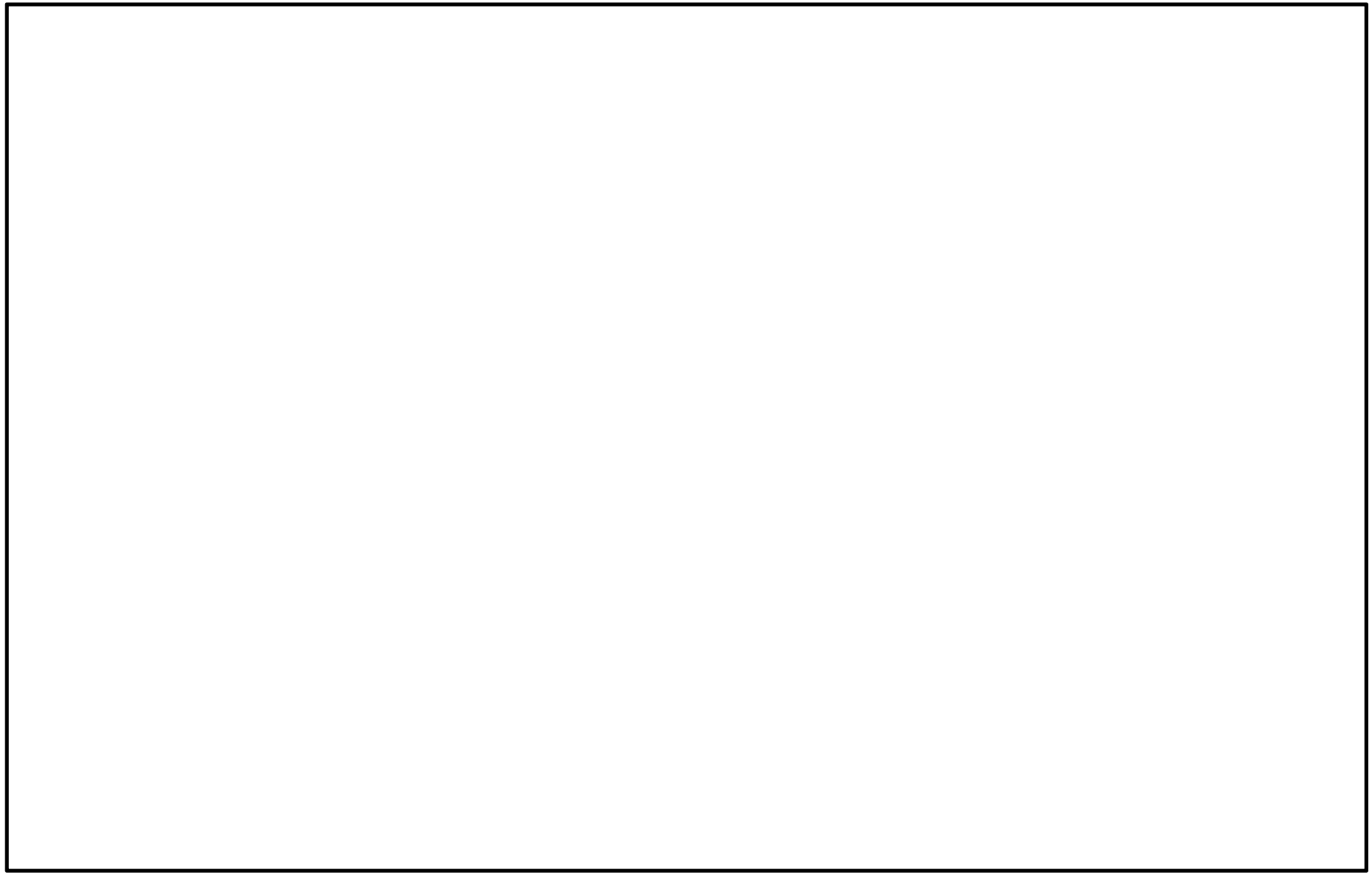
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
○ ◎	節　　点 質　　点
	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	拘束点の地震による相対変位量（mm） （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。）
	注：　鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。



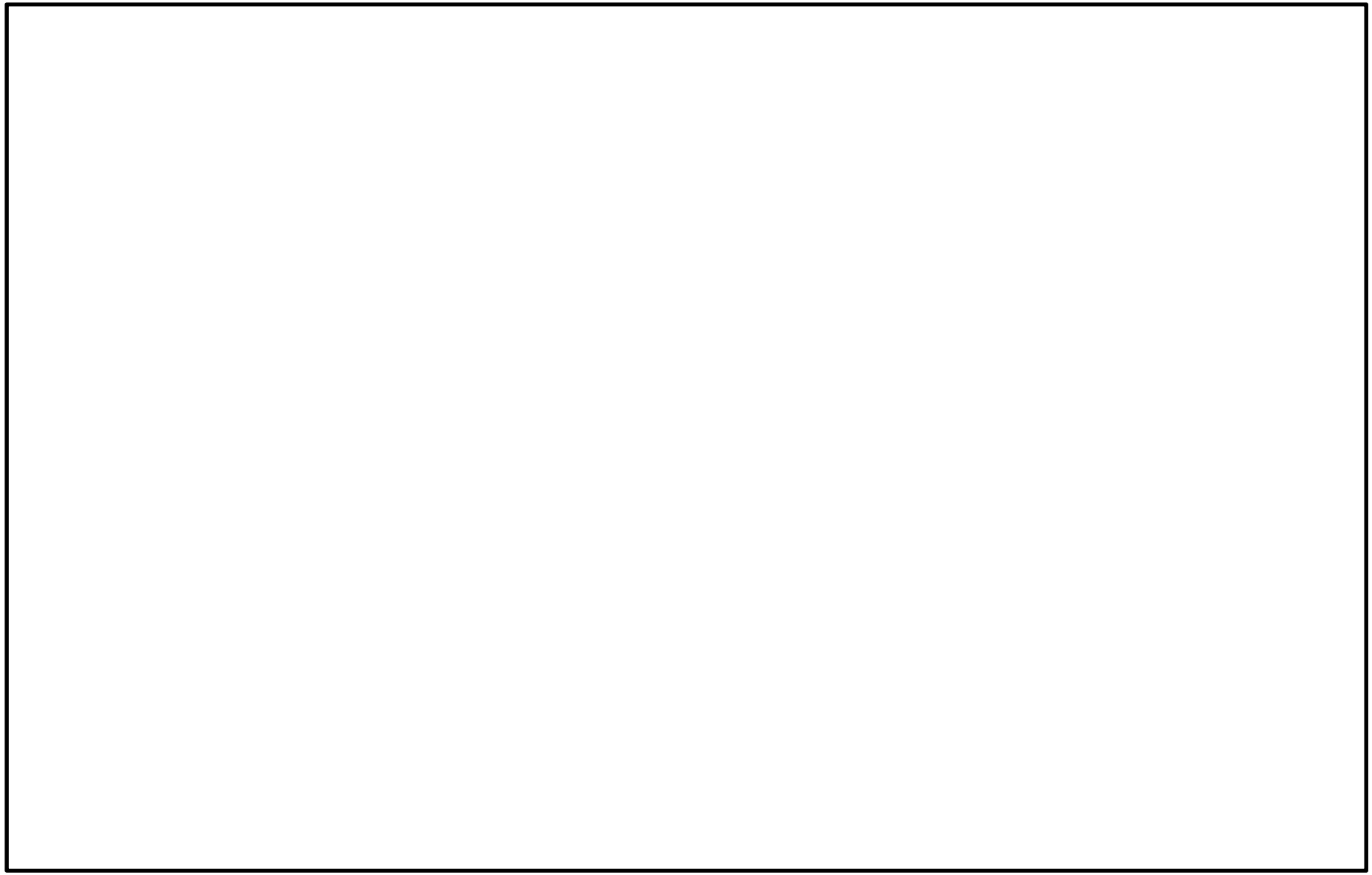
鳥瞰図	ESD-1（ＳＡ）（1／5）



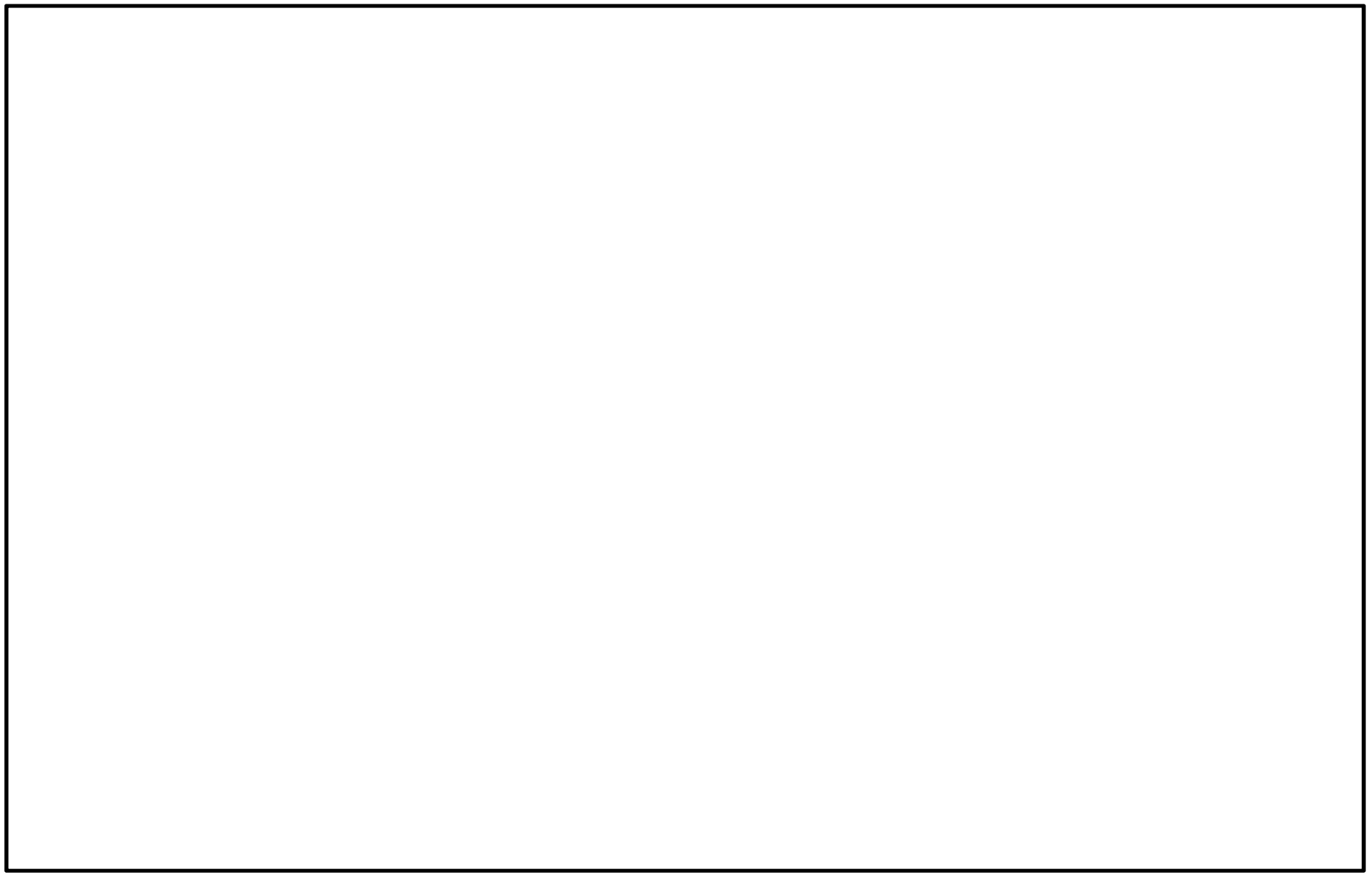
鳥瞰図	ESD-1（ＳＡ）（2／5）



鳥瞰図	ESD-1（ＳＡ）（3／5）



鳥瞰図	ESD-1（ＳＡ）（4／5）



鳥瞰図	ESD-1（ＳＡ）（5／5）

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
計測制御系統施設	制御用空気設備	非常用逃がし安全弁駆動系	ＳＡ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２管	－	V_L（Ｌ）＋S_d*6,7	V_AS
							V_L（ＬＬ）＋S_s*6	

注記 ＊1： ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。

＊2： 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊3： 運転状態の添字Ｌは荷重，（Ｌ）は荷重が長期間作用している状態，（ＬＬ）は（Ｌ）より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

＊4： 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

＊5： 許容応力状態V_ASは許容応力状態Ⅳ$_A$Ｓの許容限界を使用し，許容応力状態Ⅳ$_A$Ｓとして評価を実施する。

＊6： プロセス条件に加え，重大事故時の原子炉格納容器バウンダリ条件として，重大事故時の原子炉格納容器限界温度及び圧力を考慮する。

＊7： 荷重の組合せV_L（Ｌ）＋S_dはV_L（ＬＬ）＋S_sに包絡されるため，評価を省略する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 ESD-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	501, 412,411,413,600, 422 421, 423,601,432,431, 433 1, 3,602,311,901, 312 801, 442,441,443, 4, 6 321, 902,322, 7, 9, 802 331, 903,414,845,361, 906 362, 424,846,371,907, 372 434, 847,381,908,382	15.0	66	27.2	3.9	SUS304TP	－	[redacted]
2	903, 332,803, 10, 12, 13 15, 804,603, 16, 18, 805 19, 21,604,806, 22, 605 24, 807,606,808, 25, 27 809, 607,810, 28, 30, 608 31, 33,811, 34, 36, 609 812, 610,813, 37, 39, 611 814, 40, 42,612,815, 43	1.45	66	27.2	2.9	SUS304TP	－	[redacted]

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　ESD-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
2	45, 613,816, 46, 48,614 817, 615, 49, 51,818, 52 54, 616, 55, 57,819,617 820, 618, 58, 60,821,619 822, 61, 63, 64, 66,620 823, 67, 69, 70, 72,621 824, 622, 73, 75, 76, 78 825, 79, 81,826,623,827 624, 828, 82, 84, 85, 87 625, 88, 90, 91, 93,829 626, 830,627,452,451,453 94, 96, 97, 99,831,100 102, 628,103,105,832,629 833, 630,834,631,106,108 835, 109,111,112,114,836 115, 117,632,118,120,837	1.45	66	27.2	2.9	SUS304TP	－	

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　ESD-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
2	121, 123,124,126,127,129 838, 130,132,133,135,839 633, 840,136,138,634,139 141, 142,144,462,461,463 841, 341,904	1.45	66	27.2	2.9	SUS304TP	－	[redacted]
3	904, 342,842,351,905,352 635, 474,471,472,145,147 148, 150,636,843,151,153 844, 154,156,637,211	2.28	171	27.2	2.9	SUS304TP	－	[redacted]
4	212	2.28	171	60.5	3.9	SUS304TP	－	[redacted]
5	213, 157	2.28	171	89.1	5.5	SUS304TP	－	[redacted]
6	157, 158	2.28	171	89.1	5.5	SFVC2B	－	[redacted]

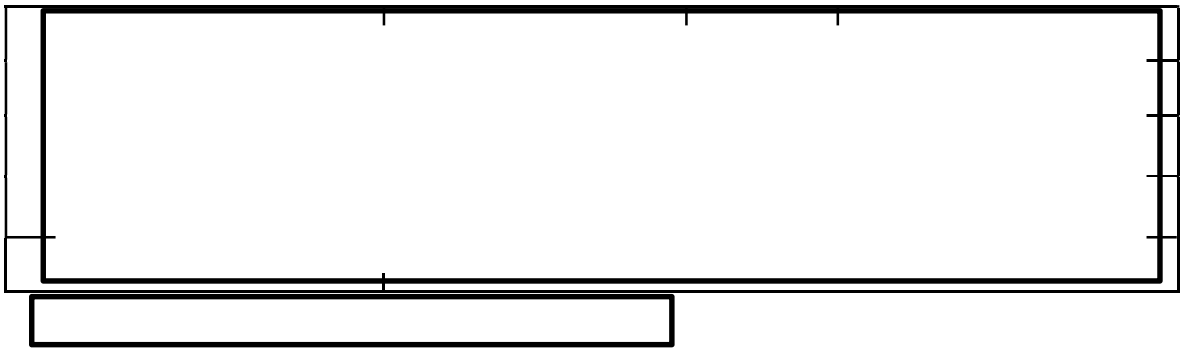
フランジ部の質量

鳥　瞰　図　ESD-1

質量	対応する評価点
[redacted]	501
	362,372,382

弁部の寸法

鳥　瞰　図　ESD-1



弁部の質量

鳥　瞰　図　ESD-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	901, 906, 907, 908	[redacted]	902
	903		953, 954
	904		905

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　ESD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
801						
902						
802						
803						
804						
805						
806						
807						
808						
809						
810						
811						
812						
813						
814						
815						
** 816 **						
816						
817						
** 818 **						
818						
819						
820						
821						
822						

** 印は　斜め拘束を示す。　また，下段は方向余弦を示す。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　ESD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
823						
824						
825						
826						
827						
828						
829						
830						
831						
832						
833						
834						
835						
836						
837						
838						
839						
840						
** 841 **						
841						
** 842 **						
842						
** 843 **						

** 印は　斜め拘束を示す。　また，下段は方向余弦を示す。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　ESD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)	各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)
** 843 **		
843		
844		
845		
846		
847		
853		
** 854 **		
** 854 **		

** 印は　斜め拘束を示す。　また，下段は方向余弦を示す。

3.3　材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (℃)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SUS304TP	66	－	188	479	－
SUS304TP	171	－	150	413	－
SFVC2B	171	－	217	438	－

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数(%)
ESD-1	[redacted]	EL. 29.000 m	[redacted]
		EL. 20.300 m	
		EL. 14.000 m	
		EL. 8.200 m	
	[redacted]	EL. 24.422 m	
		EL. 21.420 m	

4.　解析結果及び評価

4.1　固有周期及び設計震度

鳥　瞰　図　ESD-1

耐震設計上の重要度分類		－		
適用する地震動等		S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
動的震度				

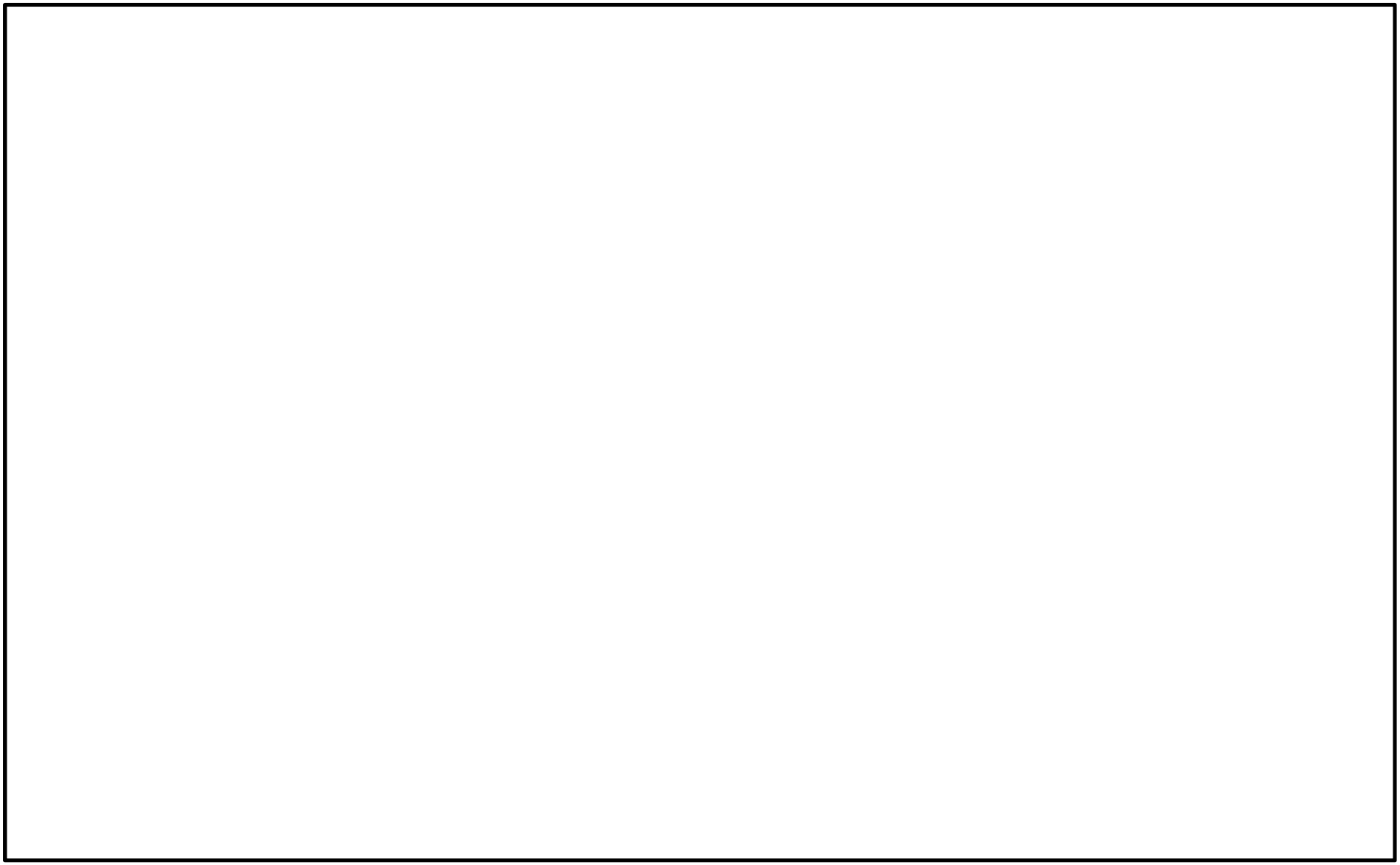
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　ESD-1

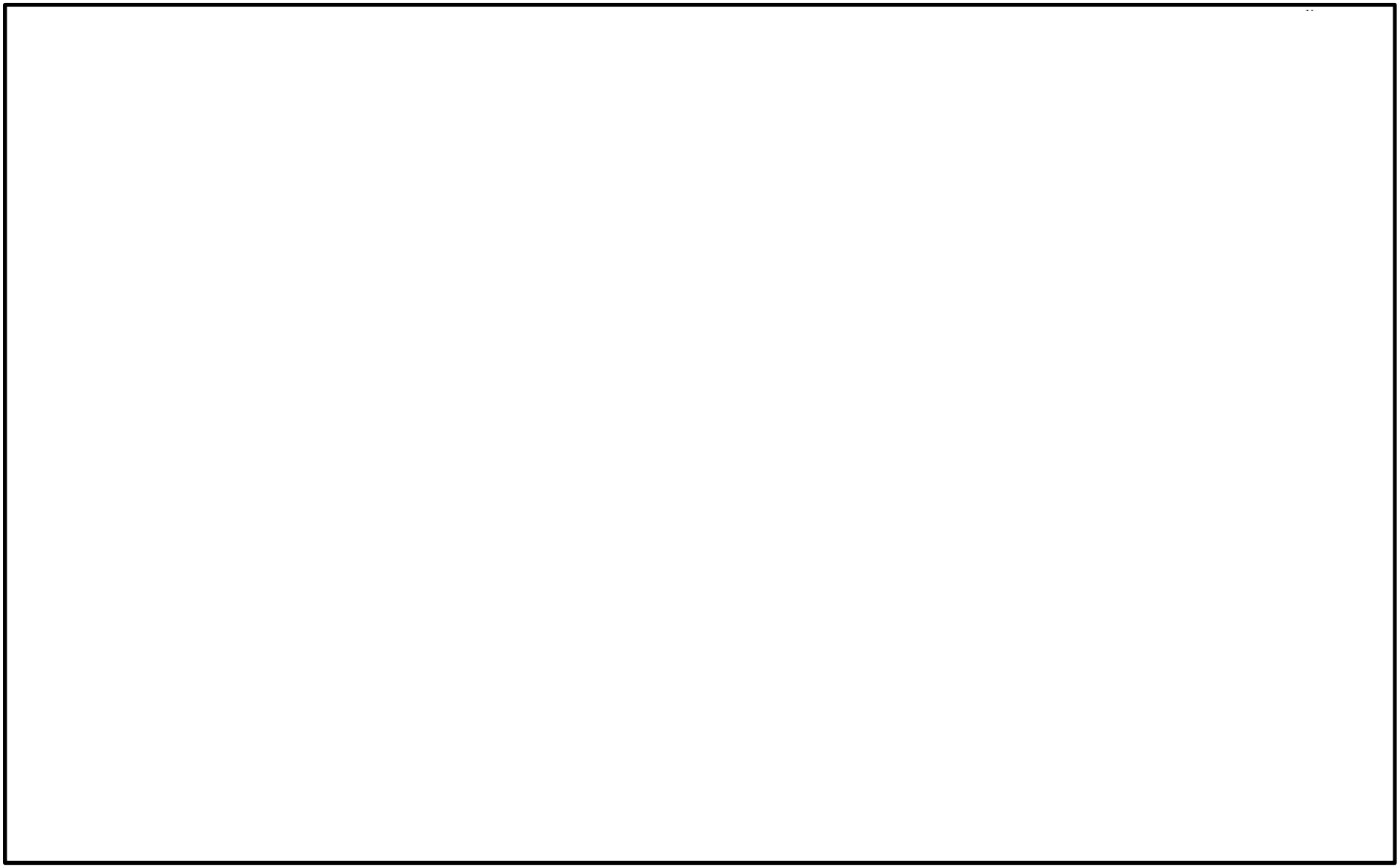
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向

代表的振動モード図

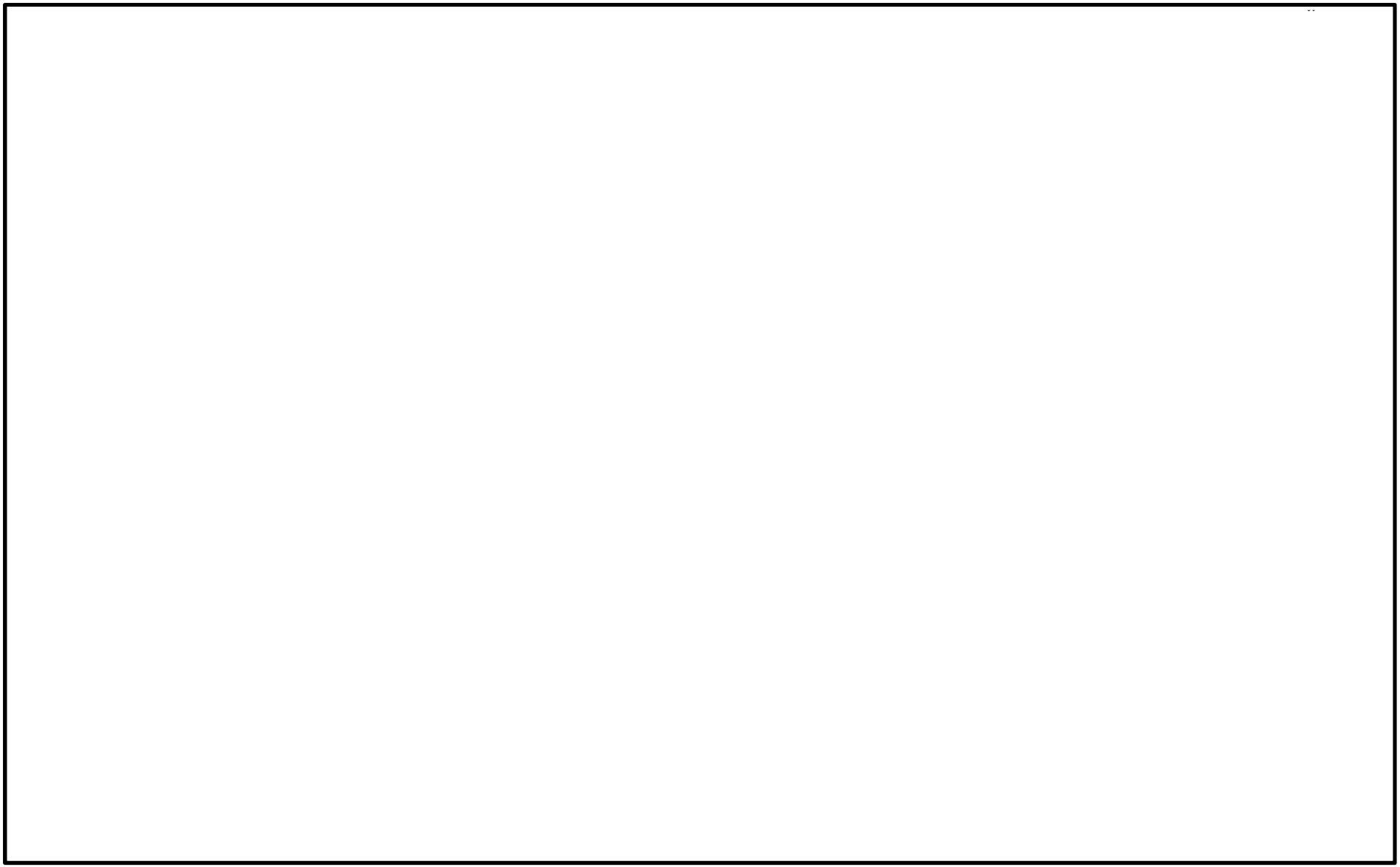
振動モード図は，3 次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



鳥瞰図	ESD-1



鳥瞰図	ESD-1



鳥瞰図	ESD-1

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管

鳥瞰図	許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価(MPa)		一次＋二次応力評価(MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{prm}(S_s)$	許容応力 $0.9S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
ESD-1	V_AS	903	$S_{prm}(S_s)$	207	431	－	－	－
ESD-1	V_AS	610	$S_n(S_s)$	－	－	294	376	－

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果(荷重評価)

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
SNO-ESD-2-001	オイルスナッバ	SN-03	添付書類「V-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		0.64	4.5
RO-ESD-2-004 RO-ESD-2-005	ロッドレストレイント	RTS-06			2.1	10.8

支持構造物評価結果(応力評価)

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN·m)			応力分類	計算応力(MPa)	許容応力(MPa)
					F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
RE-ESD-1-008	レストレイント	ビーム	SS400	66	—	5.1	—	—	—	—	曲げ	26	270
AN-ESD-2-003	アンカ	Uバンド	SS400	66	0.32	0.46	0.64	0.026	0.026	0.012	組合せ	13	283

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度 (×9.8 m/s²)		機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
－	－	－	－	－	－	－	－	－

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス２範囲）

No	配管モデル	許容応力状態　V_AS												
		一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	ESD-1	903	207	431	2.08	○	610	294	376	1.27	○	－	－	－
2	ESD-PD-1	115	99	371	3.74	－	115	180	300	1.66	－	－	－	－
3	ESD-2	903	199	431	2.16	－	904	222	300	1.35	－	－	－	－
4	ESD-PD-2	78	132	371	2.81	－	69	225	300	1.33	－	－	－	－

Ⅴ-2-6-7　その他の計測制御設備の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-6-7-1　計測制御設備の盤の耐震性についての計算書

目　次

1.　計測制御設備の盤（ベンチ形）・・・

3.1　概要・・・

1.　計測制御設備の盤（ベンチ形）

1.1　概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，計測制御設備の盤（ベンチ形）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

計測制御設備の盤（ベンチ形）のうち原子炉制御操作盤は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお，構造強度評価については，計測制御設備の盤（ベンチ形）のボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。電気的機能維持評価については機能確認済加速度が最も低い器具を代表として評価する。

表 1-1　概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
緊急時炉心冷却系操作盤	Ⅴ-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針	表 1-2　構造計画
所内電気操作盤		
原子炉補機操作盤		
原子炉制御操作盤（代表）		

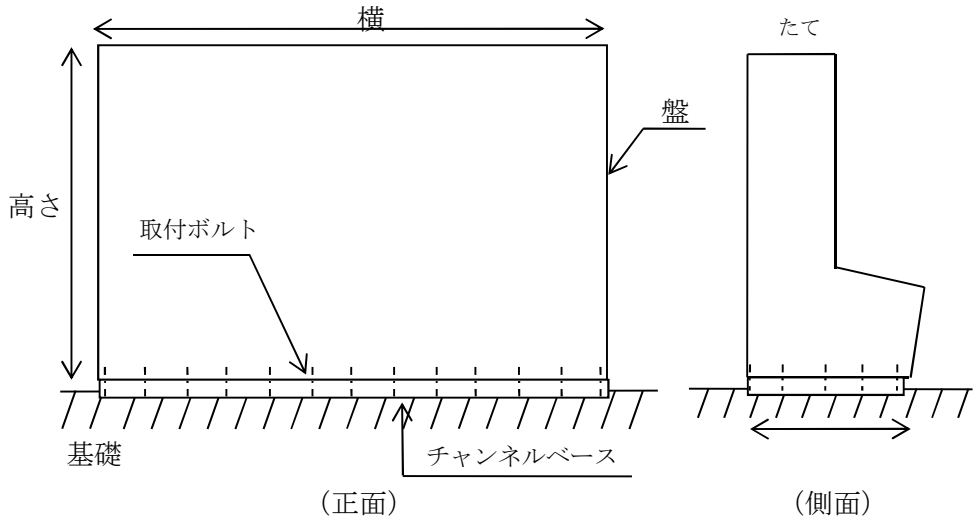
1.2　一般事項

原子炉制御操作盤は,添付書類「Ⅴ-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

1.2.1　構造計画

原子炉制御操作盤の構造計画を表 1-2 に示す。

表 1-2　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉制御操作盤は，基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	ベンチ形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）	

	原子炉制御操作盤
たて	1525 mm
横	4410 mm
高さ	2286 mm

1.3　固有周期

1.3.1　固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により，当該盤に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ，振動計，分析器）により記録する。試験の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

固有周期を表 1-3 に示す。

表 1-3　固有周期（s）

機器名称	水平方向	鉛直方向
原子炉制御操作盤	[redacted]	

1.4　構造強度評価

1.4.1　構造強度評価方法

原子炉制御操作盤の構造はベンチ形盤であるため，構造強度評価は，添付書類「V-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉制御操作盤の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 1-4 に，重大事故等対処設備としての評価に用いるものを表 1-5 に示す。

1.4.2.2　許容応力

原子炉制御操作盤の許容応力は，添付書類「V-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 1-6 のとおりとする。

1.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

原子炉制御操作盤の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 1-7 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-8 に示す。

表 1-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	原子炉制御操作盤	S	―*1	$D+P_D+M_D+S_d$*2	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊2：S_sと組合せ，$\mathrm{III}_A S$の評価を実施する。

表 1-5　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	原子炉制御操作盤	常設耐震／防止常設／緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$\mathrm{IV_AS}$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$\mathrm{V_AS}$（$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 1-6　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-7　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	235	400	－

表 1-8　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	235	400	－

1.5　機能維持評価

1.5.1　電気的機能維持評価方法

原子炉制御操作盤の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉制御操作盤に設置される器具の機能確認済加速度には，同形式の器具の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した器具の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-9 に示す。

表 1-9　機能確認済加速度　　(×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉制御操作盤	水平	[redacted]
	鉛直	

1.6　評価結果

1.6.1　設計基準対象施設としての評価結果

原子炉制御操作盤の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

1.6.2　重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉制御操作盤の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉制御操作盤の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉制御操作盤	S	EL. 18.00 (EL. 20.30*)			C_H＝0.78	C_V＝0.54	C_H＝1.34	C_V＝1.01	

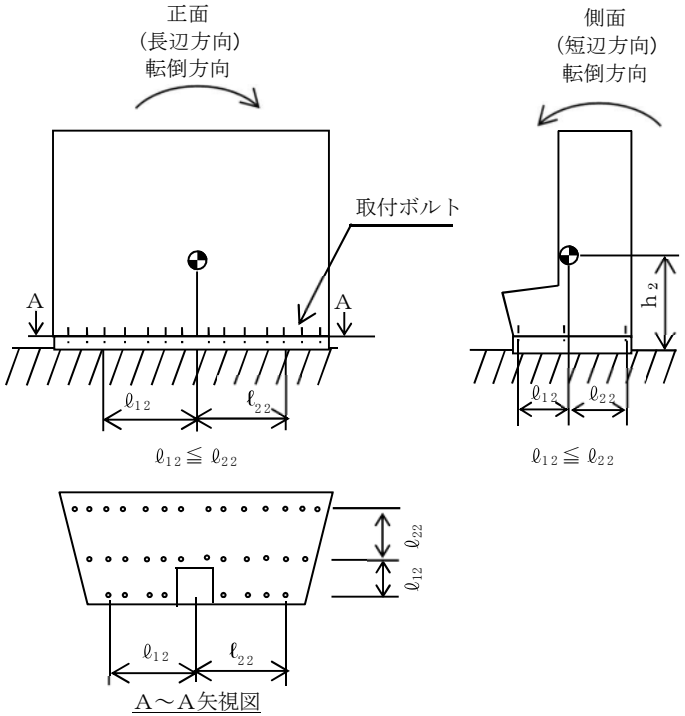
注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i＝2)							8
							3

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)	235	400	235	280	短辺方向	長辺方向



A～A矢視図

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト		引張り	$\sigma_{b2}=9$	$f_{ts2}=176$*	$\sigma_{b2}=31$	$f_{ts2}=210$*
		せん断	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=6$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉制御操作盤	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

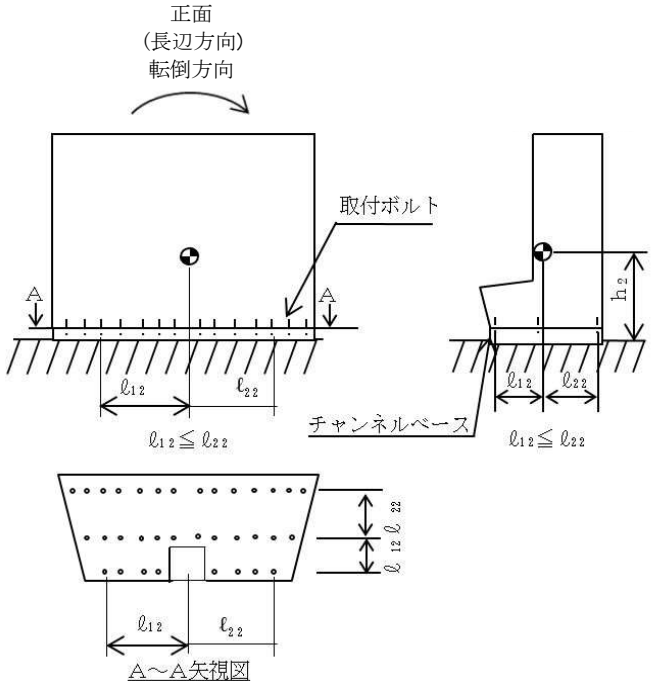
機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉制御操作盤	常設耐震／防止 常設／緩和	EL. 18.00 (EL. 20.30*)			－	－	C_H=1.34	C_V=1.01	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i=2)							8 3

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。



部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)	235	400	－	280	－	長辺方向

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)				

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト		引張り	－	－	$\sigma_{b2}=31$	$f_{ts2}=210$*
		せん断	－	－	$\tau_{b2}=6$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

2.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉制御操作盤	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 計測制御設備の盤（直立形）

2.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，計測制御設備の盤（直立形）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

計測制御設備の盤（直立形）のうち格納容器雰囲気監視系操作盤は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお，構造強度評価については，計測制御設備の盤（直立形）のボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。電気的機能維持評価については機能確認済加速度が最も低い器具を代表として評価する。

表 2-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
プロセス計装盤	Ⅴ-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針	表 2-2 構造計画
タービン補機盤		
窒素置換－空調換気制御盤		
非常用ガス処理系,非常用ガス循環系操作盤		
タービン補機補助継電器盤		
プロセス放射線モニタ計装盤		
出力領域モニタ計装盤		
原子炉保護系継電器盤		
残留熱除去系（B），（C）補助継電器盤		
原子炉隔離時冷却系継電器盤		
原子炉格納容器隔離系継電器盤		
高圧炉心スプレイ系継電器盤		
自動減圧系継電器盤		
低圧炉心スプレイ系，残留熱除去系（A）補助継電器盤		
漏えい検出系操作盤		
プロセス放射線モニタ,起動領域モニタ操作盤		
格納容器雰囲気監視系操作盤（代表）		
サプレッション・プール温度記録計盤		
原子炉保護系トリップユニット盤		

評価部位	評価方法	構造計画
緊急時炉心冷却系トリップユニット盤	Ⅴ-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針	表 2-2　構造計画
高圧炉心スプレイ系トリップユニット盤		
ＲＣＩＣタービン制御盤		
原子炉遠隔停止操作盤		
ＳＡ設備新設盤		
安全パラメータ表示システム（ＳＰＤＳ）新設盤		

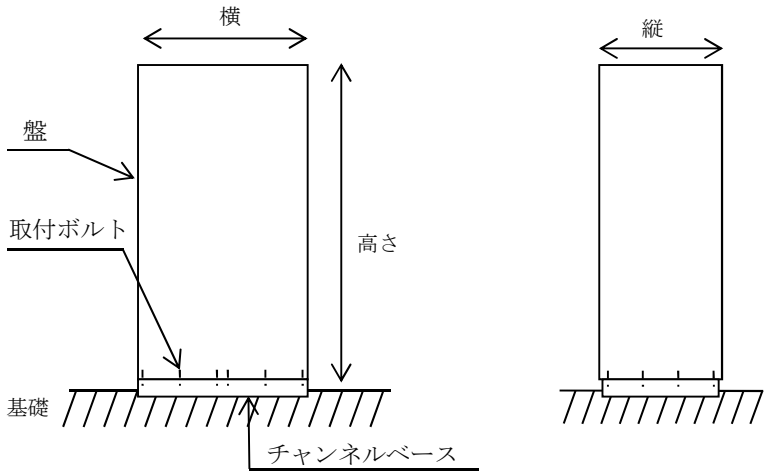
2.2　一般事項

格納容器雰囲気監視系操作盤は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.2.1　構造計画

格納容器雰囲気監視系操作盤の構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-2　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
格納容器雰囲気監視系操作盤は，基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	直立形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）	

	格納容器雰囲気監視系操作盤
たて	914 mm
横	792 mm
高さ	2286 mm

2.3　固有周期

2.3.1　固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により，当該盤に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ，振動計，分析器）により記録する。試験の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

固有周期を表 2-3 に示す。

表 2-3　固有周期（s）

機器名称	水平方向	鉛直方向
格納容器雰囲気監視系操作盤		

2.4　構造強度評価

2.4.1　構造強度評価方法

格納容器雰囲気監視系操作盤の構造は直立形盤であるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

2.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

2.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

格納容器雰囲気監視系操作盤の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2-4 に示す。

2.4.2.2　許容応力

格納容器雰囲気監視系操作盤の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 2-5 のとおりとする。

2.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

格納容器雰囲気監視系操作盤の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

表 2-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	格納容器雰囲気監視系操作盤	S	―*1	$D+P_D+M_D+S_d$*2	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊2：S_sと組合せ，$\mathrm{III}_A S$の評価を実施する。

表 2-5　許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2（ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$\mathrm{III}_A S$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
$\mathrm{IV}_A S$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-6　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
取付ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	235	400	－

2.5　機能維持評価

2.5.1　電気的機能維持評価方法

格納容器雰囲気監視系操作盤の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

格納容器雰囲気監視系操作盤に設置される器具の機能確認済加速度には，同形式の器具の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した器具の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-7 に示す。

表 2-7　機能確認済加速度　　(×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
格納容器雰囲気監視系操作盤	水平	
	鉛直	

2.6　評価結果

2.6.1　設計基準対象施設としての評価結果

格納容器雰囲気監視系操作盤の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【格納容器雰囲気監視系操作盤の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
格納容器雰囲気監視系操作盤	S	EL.18.00 (EL.20.30*)			C_H=0.78	C_V=0.54	C_H=1.34	C_V=1.01	

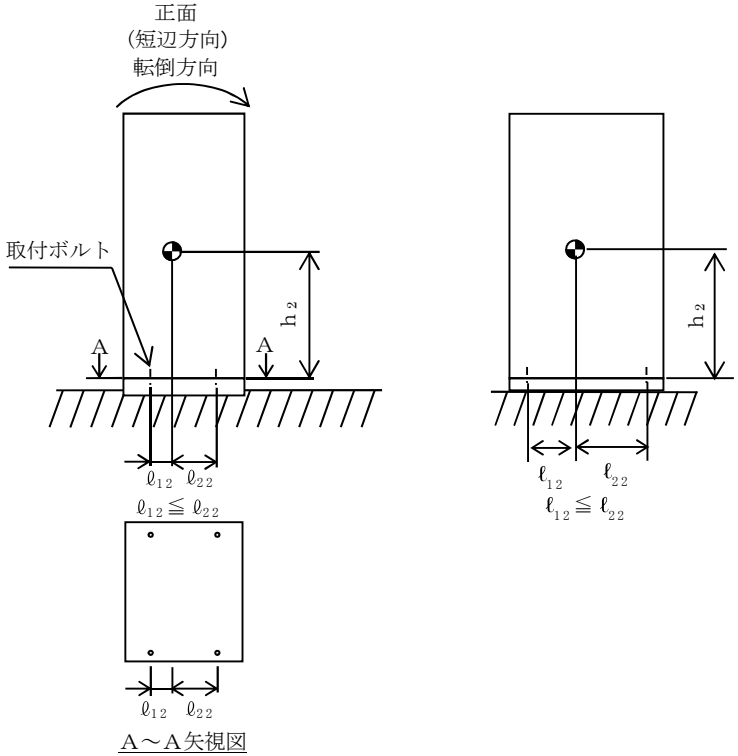
注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i=2)							2
							2

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	短辺方向	短辺方向



A～A矢視図

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト		引張り	σ_{b2}=43	f_{ts2}=176*	σ_{b2}=82	f_{ts2}=210*
		せん断	τ_{b2}=10	f_{sb2}=135	τ_{b2}=17	f_{sb2}=161

すべて許容応力以下である。

注記 *：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}−1.6・τ_b, f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
格納容器雰囲気監視系操作盤	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。

3. 計測制御設備の盤（壁掛形）

3.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，計測制御設備の盤（壁掛形）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

計測制御設備の盤（壁掛形）のうちほう酸水注入ポンプ操作盤は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお，構造強度評価については，計測制御設備の盤（壁掛形）のボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。電気的機能維持評価については機能確認済加速度が最も低い器具を代表として評価する。

表 3-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
ほう酸水注入ポンプ操作盤（代表）	Ⅴ-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針	表 3-2 構造計画
ＳＡ設備新設盤		

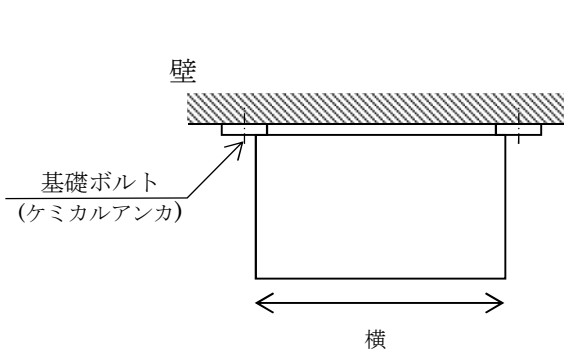
3.2 一般事項

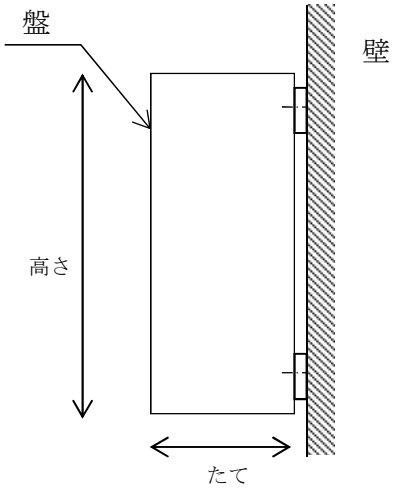
ほう酸水注入ポンプ操作盤は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

3.2.1 構造計画

ほう酸水注入ポンプ操作盤の構造計画を表 3-2 に示す。

表 3-2　構造計画

<table>
<tr><th colspan="2">計画の概要</th><th rowspan="2">概略構造図</th></tr>
<tr><th>基礎・支持構造</th><th>主体構造</th></tr>
<tr><td>ほう酸水注入ポンプ操作盤は，壁に基礎ボルトで設置する。</td><td>壁掛形
（鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）</td><td>


（上面）


（側面）
<table>
<tr><th></th><th>ほう酸水注入ポンプ操作盤</th></tr>
<tr><td>たて</td><td>350 mm</td></tr>
<tr><td>横</td><td>500 mm</td></tr>
<tr><td>高さ</td><td>340 mm</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

3.3　固有周期

3.3.1　固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により，当該盤に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ，振動計，分析器）により記録する。試験の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

固有周期を表 3-3 に示す。

表 3-3　固有周期（s）

機器名称	水平方向	鉛直方向
ほう酸水注入ポンプ操作盤		

3.4　構造強度評価

3.4.1　構造強度評価方法

ほう酸水注入ポンプ操作盤の構造は壁掛形盤であるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

3.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

ほう酸水注入ポンプ操作盤の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に，重大事故等対処設備としての評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.4.2.2　許容応力

ほう酸水注入ポンプ操作盤の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 3-6 のとおりとする。

3.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

ほう酸水注入ポンプ操作盤の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-7 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-8 に示す。

表 3-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	ほう酸水注入ポンプ操作盤	S	―*1	$D+P_D+M_D+S_d^{*}$*2	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊2：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 3-5　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	ほう酸水注入ポンプ操作盤	常設耐震／防止常設／緩和	―*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-6　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-7　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	245	400	－

表 3-8　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	234	385	－

3.5　機能維持評価

3.5.1　電気的機能維持評価方法

ほう酸水注入ポンプ操作盤の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

ほう酸水注入ポンプ操作盤に設置される器具の機能確認済加速度には，同形式の器具の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した器具の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 3-9 に示す。

表 3-9　機能確認済加速度　　(×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
ほう酸水注入ポンプ 操作盤	水平	
	鉛直	

3.6　評価結果

3.6.1　設計基準対象施設としての評価結果

ほう酸水注入ポンプ操作盤の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

3.6.2　重大事故等対処設備としての評価結果

ほう酸水注入ポンプ操作盤の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ほう酸水注入ポンプ操作盤の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

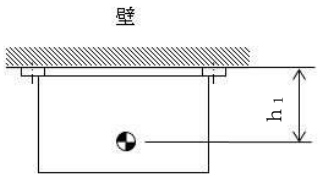
1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
ほう酸水注入ポンプ操作盤	S	EL. 38.80 (EL. 46.50*)			C_H=1.17	C_V=0.80	C_H=1.74	C_V=1.52	

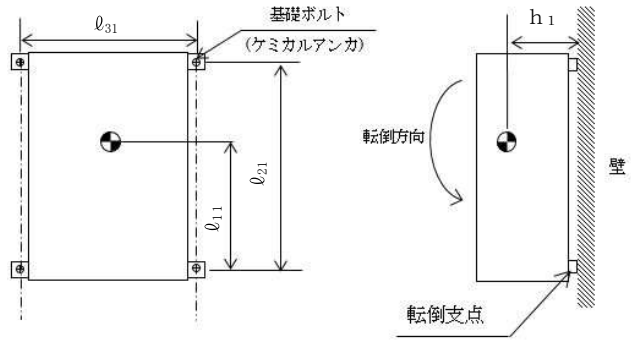
注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	ℓ_{3i} (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fVi}	n_{fHi}
基礎ボルト (i=1)								2	2



部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	245	400	245	280	鉛直方向	鉛直方向



1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_{b1}=3$	$f_{ts1}=147^*$	$\sigma_{b1}=5$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	$\tau_{b1}=2$	$f_{sb1}=113$	$\tau_{b1}=3$	$f_{sb1}=129$

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ほう酸水注入ポンプ操作盤	水平方向	1.10	
	鉛直方向	0.94	

評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。

【ほう酸水注入ポンプ操作盤の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

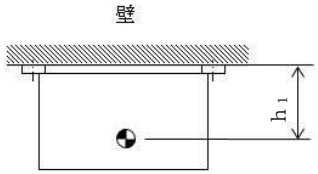
2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
ほう酸水注入ポンプ操作盤	常設耐震／防止常設／緩和	EL. 38.80 (EL. 46.50*)			－	－	C_H=1.74	C_V=1.52	

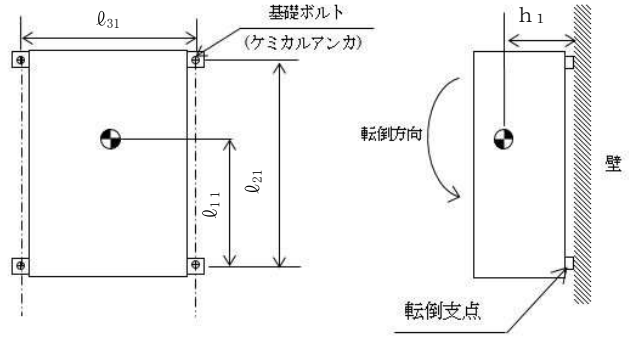
注記 ＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	ℓ_{3i} (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fVi}	n_{fHi}
基礎ボルト (i=1)								2	2



部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	234	385	－	270	－	鉛直方向



2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)				

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_{b1}=5$	$f_{ts1}=161^*$
		せん断	－	－	$\tau_{b1}=3$	$f_{sb1}=124$

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

2.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ほう酸水注入ポンプ操作盤	水平方向	1.10	
	鉛直方向	0.94	

評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-7-2　衛星電話設備（固定型）の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-6-7-2-1　衛星電話設備（固定型）（中央制御室）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要……1
2. 一般事項……1
2.1 構造計画……1
2.2 評価方針……3
2.3 適用基準……3
3. 評価部位……3
4. 機能維持評価……4
4.1 評価用加速度……4
4.2 機能確認済加速度……5
5. 評価結果……6
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果……6

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき，衛星電話設備（固定型）（中央制御室）が設計用地震力に対して十分な電気的機能を有していることを説明するものである。

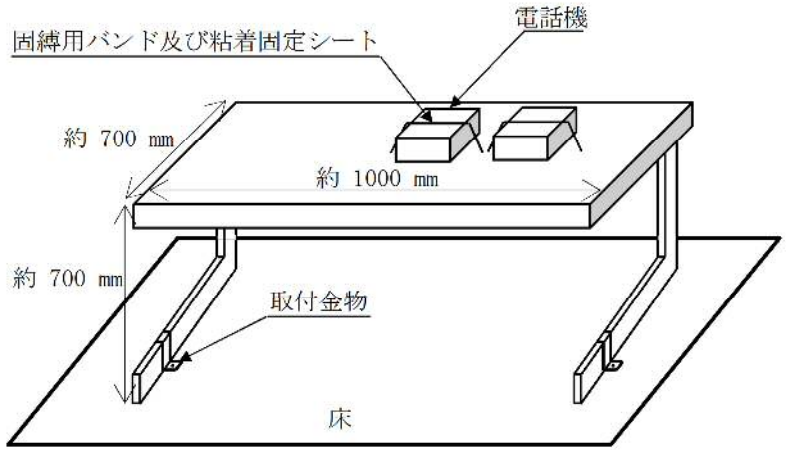
衛星電話設備（固定型）（中央制御室）は，設計基準対象施設においてはCクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備及び常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）に分類される。以下，重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

衛星電話設備（固定型）（中央制御室）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
電話機を固縛用バンド及び粘着固定シートにて机上に固縛する。 机は取付金物を使用し，ボルトで床に固定する。	電話機	

2.2　評価方針

衛星電話設備（固定型）（中央制御室）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」のうち「4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「4.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

衛星電話設備（固定型）（中央制御室）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

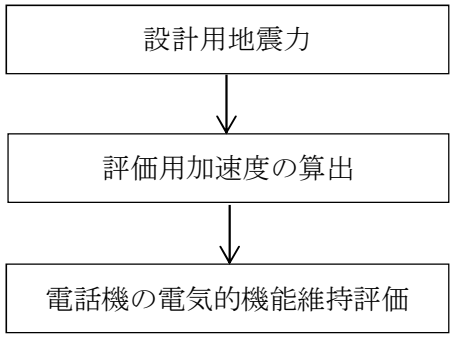


図 2-1　衛星電話設備（固定型）（中央制御室）の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

3.　評価部位

衛星電話設備（固定型）（中央制御室）は，電話機を固縛用バンド及び粘着固定シートにて机上に固縛することから，机が支持している。机は取付金物にて床に固定する。本計算書では，衛星電話設備（固定型）（中央制御室）の電気的機能維持評価について示す。衛星電話設備（固定型）（中央制御室）の評価部位を，表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

衛星電話設備（固定型）（中央制御室）は，電話機を固縛用バンド及び粘着固定シートにて机上に固縛することから，机が支持している。机についても取付金物にて床に固定することから，設計用地震力は添付書類「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す，衛星電話設備（固定型）（中央制御室）の設置床における基準地震動S_sに基づく設備評価用床応答曲線とし，評価用加速度には設置床の最大応答加速度を適用する。

評価用加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価用加速度 （×9.8 m/s^2）

機器名称	据付場所及び床面高さ (m)	方向	基準地震動S_s 評価用加速度
衛星電話設備（固定型）（中央制御室）	[redacted] EL. 18.00 (EL. 20.30*)	水平	0.81
		鉛直	0.62

注記 ＊：基準床レベルを示す。

4.2　機能確認済加速度

衛星電話設備（固定型）（中央制御室）の機能確認済加速度について以下に示す。

衛星電話設備（固定型）（中央制御室）は，「2.1　構造計画」に示す実機の据付状態を模擬し，机及び固縛を含め加振台上に設置した上で，当該機器が設置される床における設備評価用床応答曲線を包絡する模擬地震波により加振試験を行う。機能確認済加速度には，加振試験において電気的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
衛星電話設備（固定型）（中央制御室）	水平	1.79
	鉛直	1.66

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

衛星電話設備（固定型）（中央制御室）の重大事故等の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電気的機能を有していることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁の表に示す。

【衛星電話設備（固定型）（中央制御室）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 電気的機能維持の評価結果

（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
衛星電話設備 （固定型） （中央制御室）	水平方向	0.81	1.79
	鉛直方向	0.62	1.66

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-7-2-2　屋外アンテナ（中央制御室）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
2.2 評価方針 3
2.3 適用基準 4
2.4 記号の説明 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 6
3. 評価部位 7
4. 地震応答解析及び構造強度評価 7
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 7
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 7
4.3 解析モデル及び諸元 11
4.4 固有周期 14
4.5 設計用地震力 14
4.6 計算方法 15
4.7 計算条件 17
4.8 応力の評価 17
5. 機能維持評価 18
5.1 電気的機能維持評価方法 18
6. 評価結果 18
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 18

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，屋外アンテナ（中央制御室）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

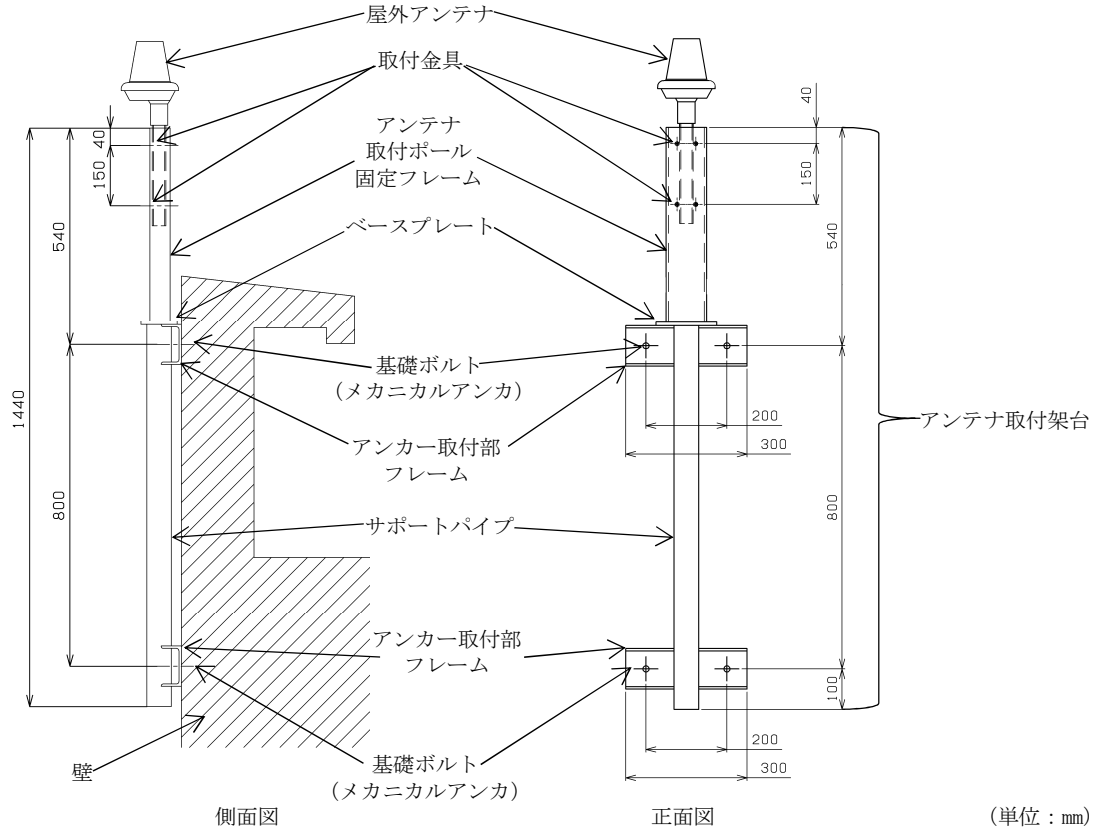
屋外アンテナ（中央制御室）は，設計基準対象施設においてはCクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備及び常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

屋外アンテナ（中央制御室）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
屋外アンテナを取付金具にてアンテナ取付架台に取り付ける。 アンテナ取付架台は，アンテナ取付ポール固定フレーム，ベースプレート，サポートパイプ及びアンカー取付け部フレームより構成する。 アンテナ取付架台は，基礎ボルトにて壁に固定する。	屋外アンテナ	

2.2　評価方針

屋外アンテナ（中央制御室）の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」のうち「3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す屋外アンテナ（中央制御室）の部位を踏まえ，「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，屋外アンテナ（中央制御室）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」のうち「4.2　電気的機能維持」にて設定した方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを「5.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6.　評価結果」に示す。

屋外アンテナ（中央制御室）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

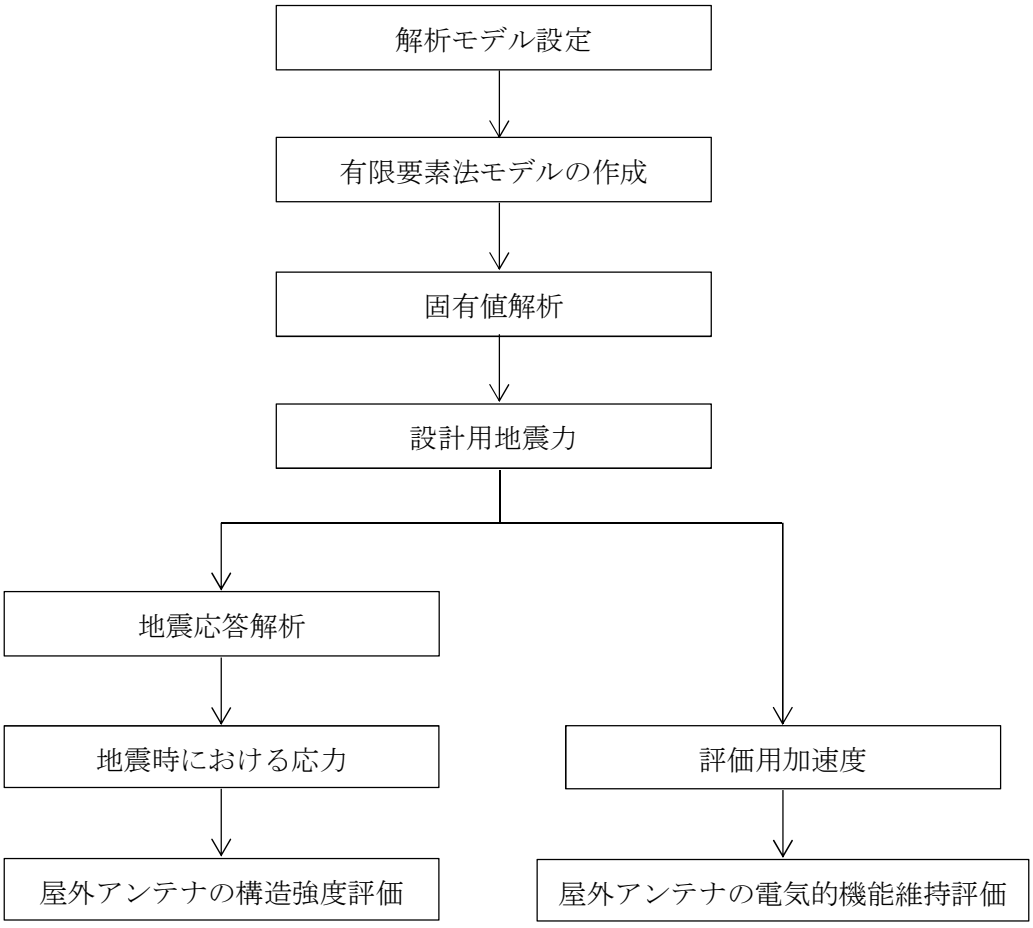


図 2-1　屋外アンテナ（中央制御室）の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
T	温度条件（雰囲気温度）	℃
E	縦弾性係数	MPa
ν	ポアソン比	－
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3133に定める値	MPa
A	アンテナ取付架台の断面積	mm^2
I_y	アンテナ取付架台の断面二次モーメント（Y軸）	mm^4
I_z	アンテナ取付架台の断面二次モーメント（Z軸）	mm^4
J	アンテナ取付架台のねじり定数	mm^4
A_y	アンテナ取付架台の有効せん断面積（Y軸）	mm^2
A_z	アンテナ取付架台の有効せん断面積（Z軸）	mm^2
Z_y	アンテナ取付架台の断面係数（Y軸）	mm^3
Z_z	アンテナ取付架台の断面係数（Z軸）	mm^3
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
Q_y	基礎ボルトに作用するY軸方向のせん断力	N
Q_z	基礎ボルトに作用するZ軸方向のせん断力	N
A_b	基礎ボルトの断面積	mm^2
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力（f_t^*を1.5倍した値）	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力（f_s^*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
σ_{bt}	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	―	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	―	―	整数位
長さ	mm	―	―	整数位*1
面積*2	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

＊3：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は,比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て,整数位までの値とする。

3. 評価部位

屋外アンテナ（中央制御室）の耐震評価は，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトを選定して実施する。屋外アンテナ（中央制御室）の評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) 固有周期及び荷重を求めるため，アンテナ取付架台をはり要素としてモデル化した 3 次元 FEM モデルによる固有値解析を行う。固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した上で，1.2 倍した設置床の最大応答加速度を用いた静解析を実施する。

(2) 屋外アンテナは，建屋の壁面に設置し，基礎ボルトにより固定されるものとする。

(3) 解析モデルの質量には，屋外アンテナの質量とアンテナ取付架台の質量を考慮する。

(4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

屋外アンテナ（中央制御室）の重大事故等対処設備の評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4-1 に示す。また，本設備の構造や形状から，風荷重及び積雪荷重の影響が無視できない可能性があることから，風荷重及び積雪荷重を組合せて評価を行う。

4.2.2 許容応力

屋外アンテナ（中央制御室）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

屋外アンテナ（中央制御室）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

4.2.4 風荷重

風荷重は，風速 30 m/s を使用し，屋外アンテナ（中央制御室）の架台形状，風向きを踏まえ，作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表 4-4 に示す。

4.2.5 積雪荷重

積雪荷重は，単位荷重 20 N/cm/m^2 *を使用し，屋外アンテナ（中央制御室）の架台形状を踏まえ，作用する積雪荷重を算出する。算出した積雪荷重を表 4-5 に示す。

注記　＊：積雪量 1cm ごとに 1m^2 あたり 20N であることを示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他	屋外アンテナ（中央制御室）	常設／防止 常設／緩和 その他	－*2	$D+P_D+M_D+S_s+P_k+P_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_k+P_s$	V_AS （V_ASとして，$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「その他」は常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_k+P_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の 許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	205	520	―

表 4-4　基準速度圧

作用する部位	基準速度圧 (N/m^2)
アンテナ取付架台	1808.3

表 4-5　積雪荷重

作用する部位	積雪荷重 (N)
アンテナ取付架台	9.502

4.3　解析モデル及び諸元

解析モデルを図 4-1 に，解析モデルの諸元を表 4-6，外形図を図 4-2 に示す。

(1)　図 4-1 の△は拘束節点を示し，■は質量付加位置を表す。

(2)　屋外アンテナ及び取付金具の質量は，耐震評価上厳しくなる最上端の節点位置に質量要素として設定した。アンテナ取付架台の質量は，はり要素の材料特性に質量密度を設定することでモデル化した。

(3)　拘束条件として，図 4-1 の△の節点について，基礎ボルトにて壁面に固定されるため，XYZ 並進方向を拘束する。かつ，アンカー取付部フレームと壁面が接していることから，X 軸回りの回転を拘束する。

(4)　部材の機器要目を表 4-7 に示す。

(5)　解析コードは「ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用する。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-49　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

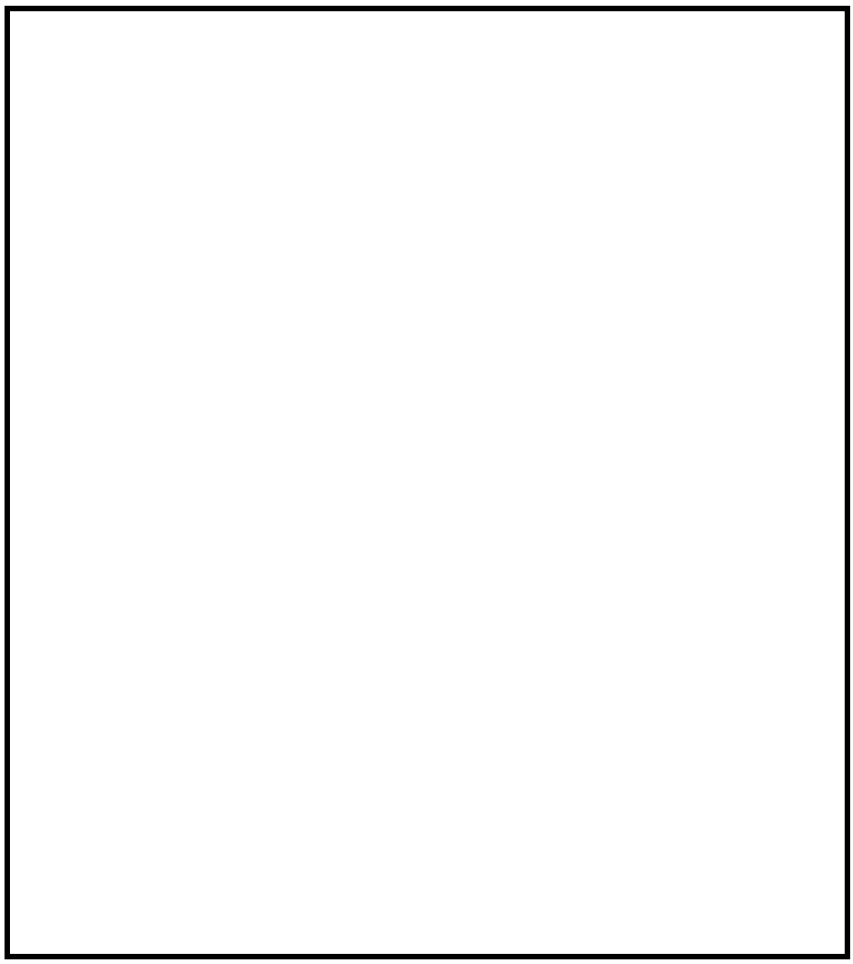


図 4-1　解析モデル図

表 4-6　解析モデルの諸元

項　目	単位	入力値
材料	－	
温度条件	℃	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	－	
寸法	－	図 4-2
要素数	個	
節点数	個	
質量（アンテナ取付架台）	kg	
質量（アンテナ＋取付金具）	kg	

表 4-7 部材の機器要目

機器名称			屋外アンテナ（中央制御室）			
対象要素			アンカー取付部フレーム	サポートパイプ	ベースプレート	アンテナ取付ポールフレーム
材料						
断面形状						
寸法		mm				
断面積	A	mm^2				
断面二次モーメント	I_y	mm^4				
	I_z	mm^4				
ねじり定数	J	mm^4				
せん断面積	A_y	mm^2				
	A_z	mm^2				
断面係数	Z_y	mm^3				
	Z_z	mm^3				

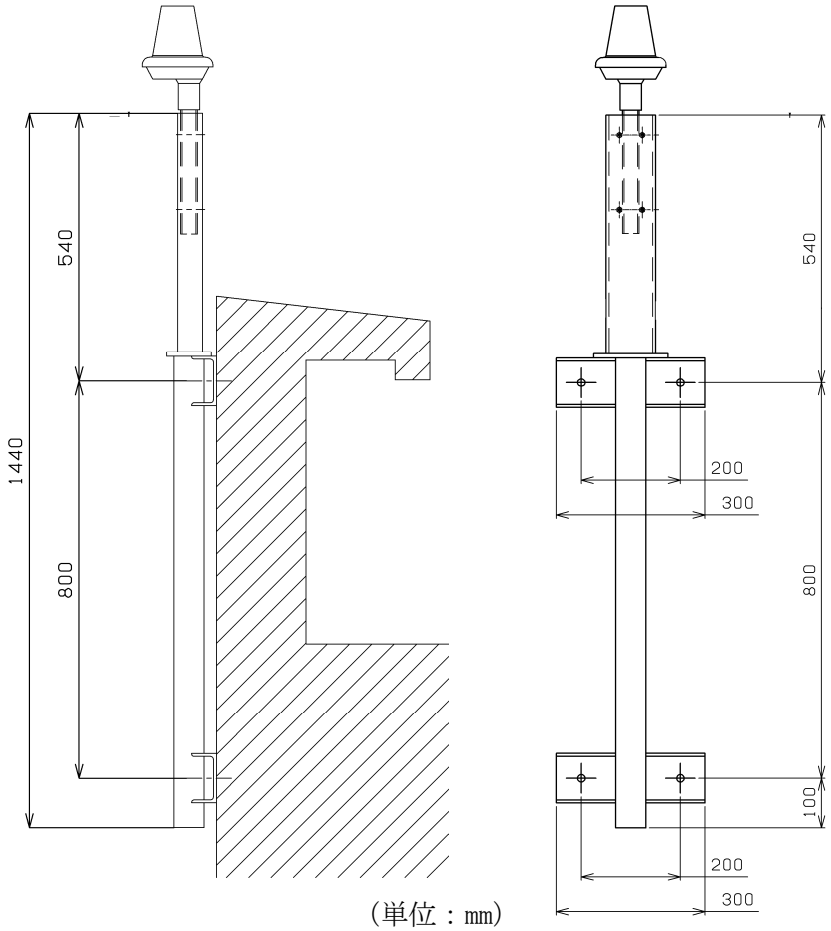


図 4-2　屋外アンテナ（中央制御室）外形図

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表 4-8 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 4-8　固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次	[redacted]	水平

4.5　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 4-9 に示す。

表 4-9　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
[redacted] EL. 63.65*1	[redacted]	0.05 以下*2	C_H＝2.45	C_V＝1.88

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

4.6　計算方法

ＦＥＭ解析の結果から得られる基礎ボルト部の最大荷重を用いて，表 4-10 の式により最大応力を算出する。なお，風荷重について，表 4-4 に示す基準速度圧が，壁面に設置されているアンテナ取付架台に向かい，0 度，45 度又は 90 度の方向から常時作用するものとして解析を行う。雪荷重については，表 4-5 に示す積雪荷重が，鉛直方向から常時作用するものとして解析を行い，最も応力の厳しい値を評価結果とする。最大応力発生部位を図 4-3 に示す。

表 4-10　応力計算式

応力の種類	単位	応力計算式
引張応力 σ_{bt}	MPa	$\frac{F_b}{A_b}$
せん断応力 τ_b	MPa	$\frac{Q_b}{A_b}$

ここで，

基礎ボルトに作用するせん断力　$Q_b=\sqrt{Q_y^2+Q_z^2}$

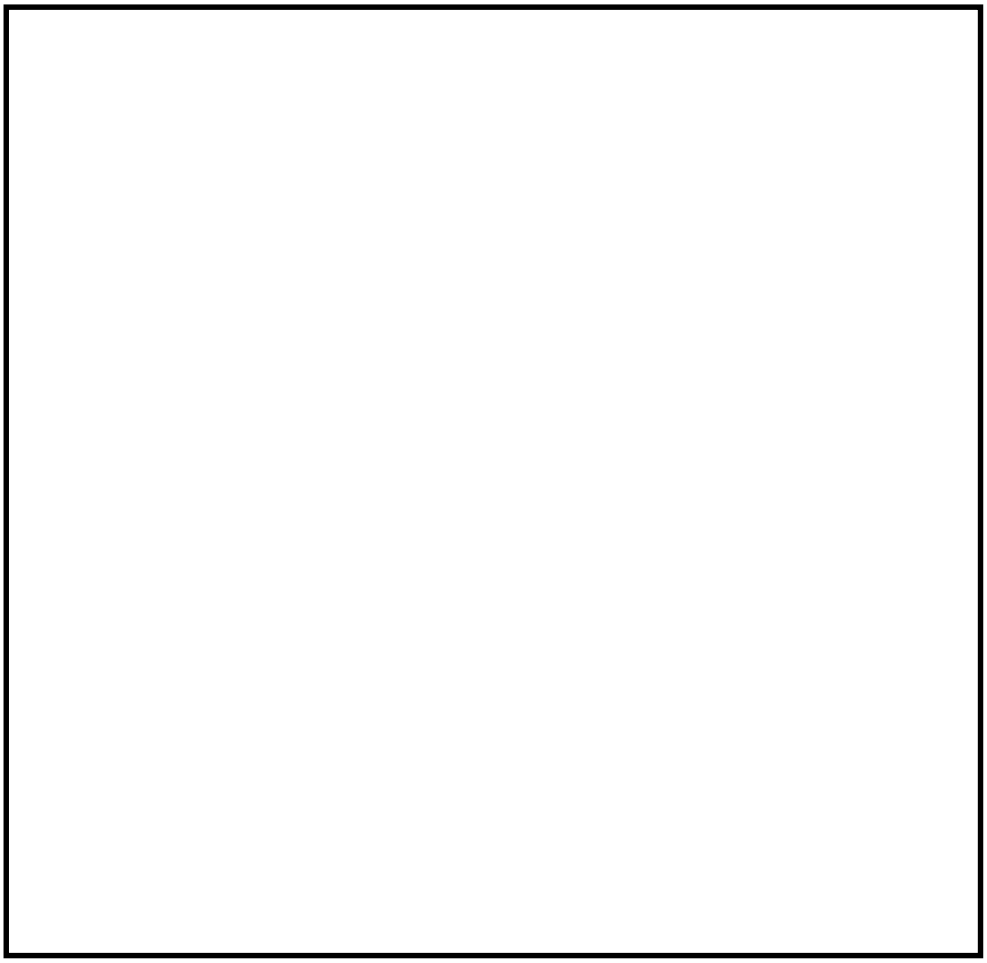


図 4-3　最大応力発生部位

4.7　計算条件

(1)　基礎ボルト

記号	説明	単位	値
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N	489.8
Q_y	基礎ボルトに作用するＹ軸方向のせん断力	N	170.7
Q_z	基礎ボルトに作用するＺ軸方向のせん断力	N	644.3
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N	666.5
A_b	基礎ボルトの断面積（M12 ボルト）	mm^2	113.1
F^*	設計・建設規格　SSB-3133 に定める値	MPa	246

4.8　応力の評価

4.8.1　基礎ボルトの応力評価

4.6項で求めた基礎ボルトの引張応力σ_{bt}は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$$

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし， f_{sb} は下表による。

	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

屋外アンテナ（中央制御室）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

屋外アンテナ(中央制御室)の評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には，同形式の器具の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
屋外アンテナ（中央制御室）	水平	8.24
	鉛直	8.16

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

屋外アンテナ（中央制御室）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【屋外アンテナ（中央制御室）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
屋外アンテナ（中央制御室）	常設／防止 常設／緩和 その他	EL. 63.65*1		0.05 以下*2	C_H＝2.45	C_V＝1.88	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

1.2 機器要目

4.3 項に示すとおり。

1.3 計算数値

4.7 項に示すとおり。

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 （単位：MPa）

部材	材料	応力	基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	σ_{bt}＝ 5	f_{ts}＝ 147*
		せん断	τ_b＝ 6	f_{sb}＝ 113

すべて許容応力以下である。 ＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
屋外アンテナ（中央制御室）	水平方向	2.04	8.24
	鉛直方向	1.56	8.16

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-7-2-3　衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
2.2 評価方針 3
2.3 適用基準 4
2.4 記号の説明 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 7
3. 評価部位 8
4. 地震応答解析及び構造強度評価 8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 8
4.3 解析モデル及び諸元 12
4.4 固有周期 15
4.5 設計用地震力 15
4.6 計算方法 16
4.7 計算条件 19
4.8 応力の評価 20
5. 機能維持評価 22
5.1 電気的機能維持評価方法 22
6. 評価結果 22
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 22

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

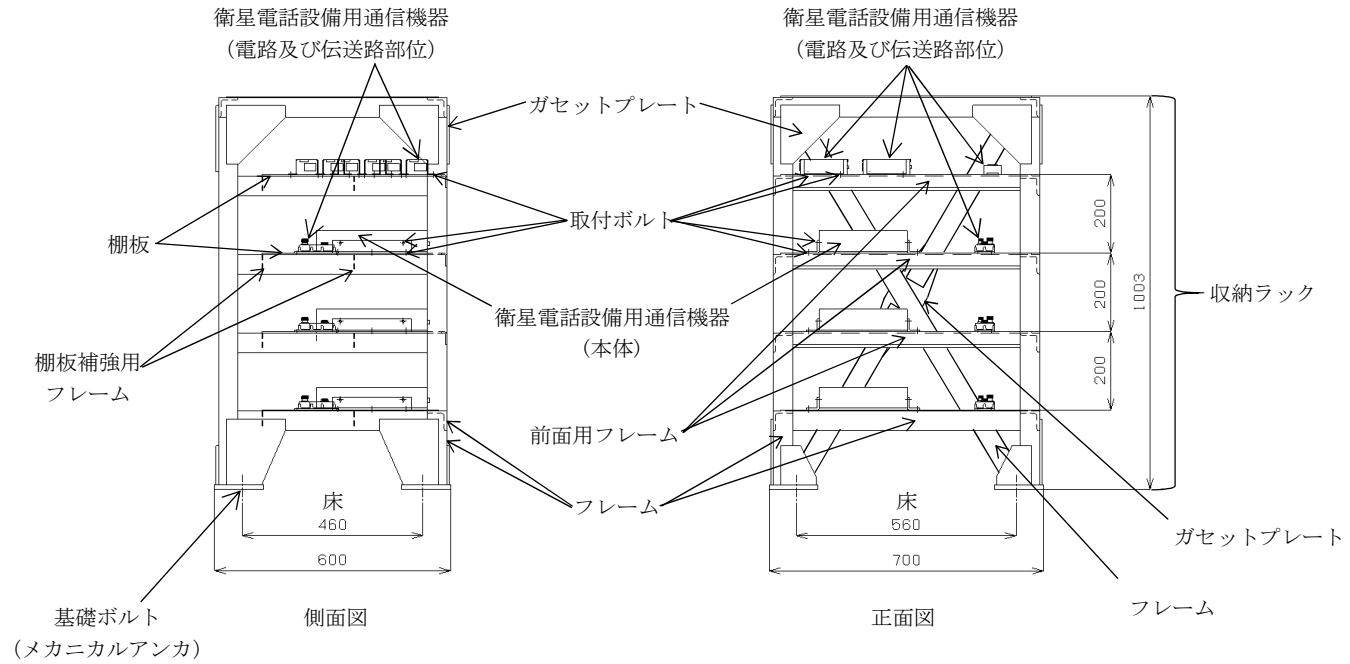
衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備及び常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
フレームは，基礎ボルトにて床に固定する。 棚板及びガセットプレートは，溶接にてフレームに固定する。 衛星電話設備用通信機器は，棚板に取付金物及び取付ボルトにて固定する。	直立形 （衛星電話設備用通信機器を開放型のラックに収納する。）	

2.2　評価方針

衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」のうち「3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）の部位を踏まえ，「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」のうち「4.2　電気的機能維持」にて設定した方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを「5.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6.　評価結果」に示す。

衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

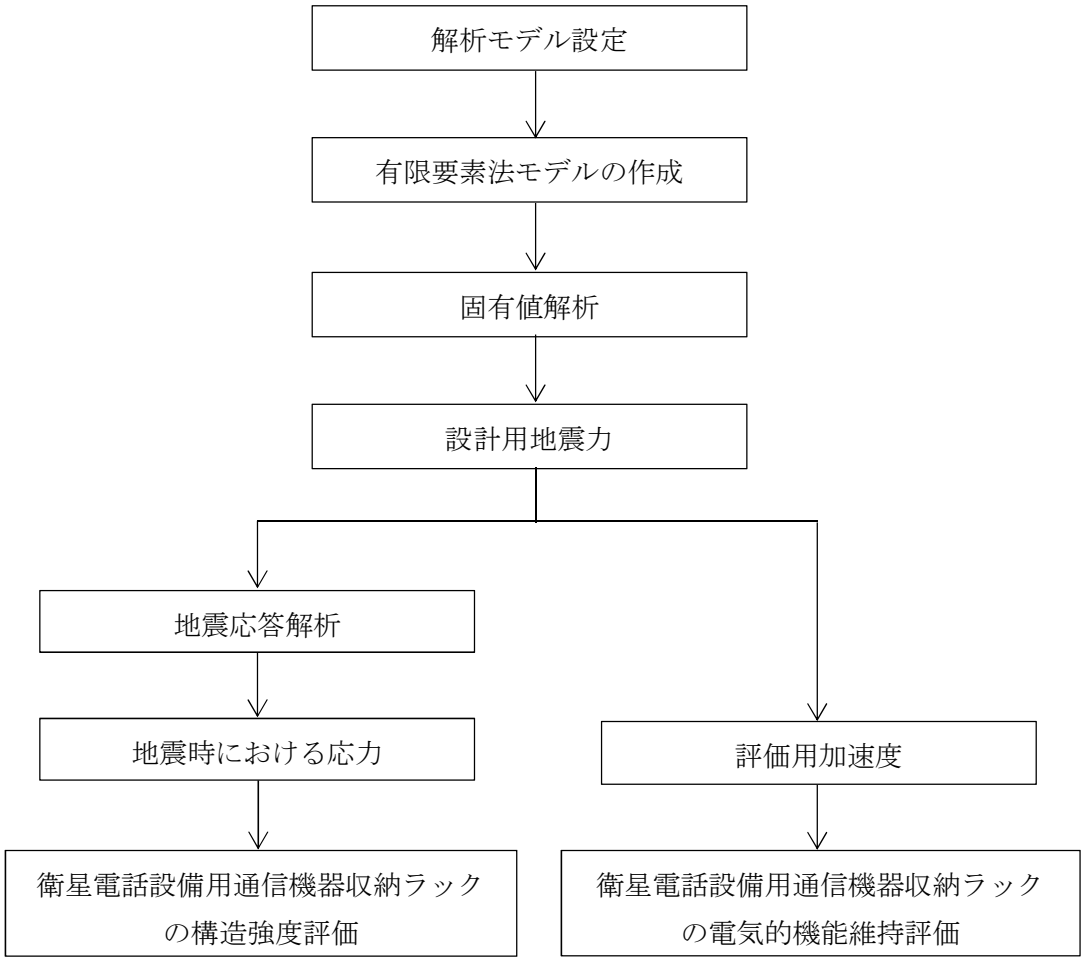


図 2-1　衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
T	温度条件（雰囲気温度）	℃
E	縦弾性係数	MPa
ν	ポアソン比	－
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
フレームの応力計算に使用する記号		
A	フレームの断面積	mm^2
I_y	フレームの断面二次モーメント（Y軸）	mm^4
I_z	フレームの断面二次モーメント（Z軸）	mm^4
J	フレームのねじり定数	mm^4
A_y	フレームの有効せん断断面積（Y軸）	mm^2
A_z	フレームの有効せん断断面積（Z軸）	mm^2
Z_y	フレームのY軸周りの断面係数	mm^3
Z_z	フレームのZ軸周りの断面係数	mm^3
F_t	フレームに作用する引張力	N
F_c	フレームに作用する圧縮力	N
F_y	フレームに作用するY軸方向のせん断力	N
F_z	フレームに作用するZ軸方向のせん断力	N
M_y	フレームに作用するY軸周りの曲げモーメント	N･mm
M_z	フレームに作用するZ軸周りの曲げモーメント	N･mm
A_t	引張力が作用するフレームの断面積	mm^2
A_c	圧縮力が作用するフレームの断面積	mm^2
f_t	フレームの許容引張応力（f_t^*を1.5倍した値）	MPa
f_s	フレームの許容せん断応力（f_s^*を1.5倍した値）	MPa
f_c	フレームの許容圧縮応力（f_c^*を1.5倍した値）	MPa
f_b	フレームの許容曲げ応力（f_b^*を1.5倍した値）	MPa
σ_t	フレームに生じる引張応力	MPa
τ	フレームに生じるせん断応力	MPa
σ_c	フレームに生じる圧縮応力	MPa
σ_b	フレームに生じる曲げ応力	MPa
基礎ボルトの応力計算に使用する記号		
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N

Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
Q_y	基礎ボルトに作用するＹ軸方向のせん断力	N
Q_z	基礎ボルトに作用するＺ軸方向のせん断力	N
A_b	基礎ボルトの断面積	mm^2
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力（f_t^*を1.5倍した値）	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力（f_s^*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
σ_{bt}	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位*1
	フレームの厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積*2		mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント		N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

＊3：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は,比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て,整数位までの値とする。

3. 評価部位

衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）の耐震評価は，耐震評価上厳しくなるフレーム及び基礎ボルトを対象に選定する。衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) 固有周期及び荷重を求めるため，ラックを構成する鋼材をはり要素及びシェル要素としてモデル化した 3 次元 FEM モデルによる固有値解析を行う。固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した上で，1.2 倍した設置床の最大応答加速度を用いた静解析を実施する。

(2) 衛星電話設備用通信機器収納ラックは，建屋の床面に設置し，基礎ボルトにより固定されるものとする。

(3) 解析モデルの質量には，ラックの質量と取付器具の質量を考慮する。

(4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）の重大事故等対処設備の評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他	衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）	常設／防止 常設／緩和 その他	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして，$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「その他」は常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2, *3（ボルト等以外）				許容限界*2, *3（ボルト等）	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$Ⅴ_AS$（$Ⅴ_AS$として，$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）						

注記　＊1：「鋼構造設計基準　SI 単位版」（2002 年日本建築学会）等の幅厚比の制限を満足させる。

＊2：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊3：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
フレーム	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	205	520	－
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	205	520	－

4.3　解析モデル及び諸元

解析モデルを図 4-1，解析モデルの諸元を表 4-4，外形図を図 4-2 に示す。

(1)　図 4-1 の△は拘束節点を示し，■は質量付加位置を表す。

(2)　拘束条件として，図 4-1 の△の節点について，基礎ボルト位置において XYZ 並進方向を拘束する。

(3)　取付器具の質量は取付位置での中心に付加する。フレームの質量は，はり要素の材料特性に質量密度を設定することでモデル化した。

(4)　部材の機器要目を表 4-5 に示す。

(5)　解析コードは「ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用する。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-49　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

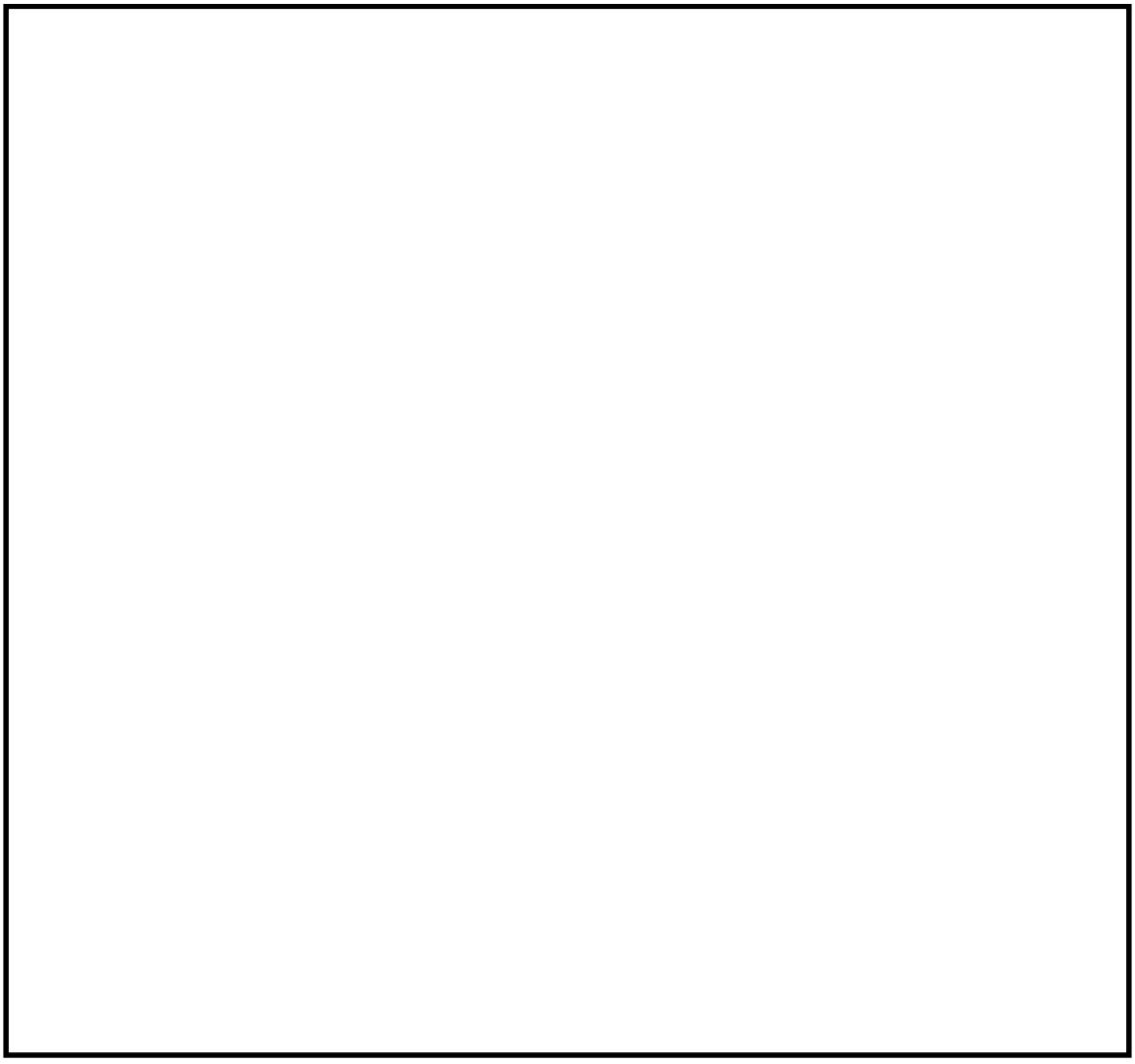


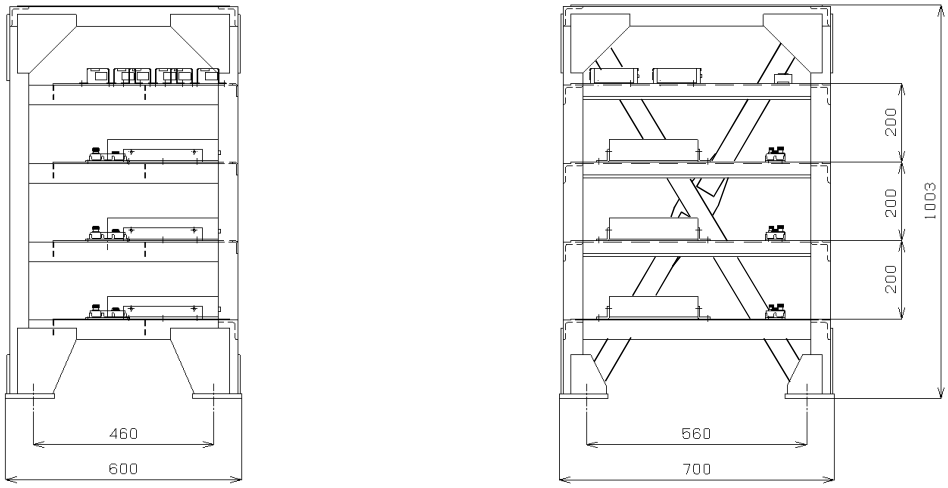
図 4-1　解析モデル図

表 4-4　解析モデルの諸元

項　目	単位	入力値
材料	－	
温度条件(雰囲気温度)	℃	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	－	
寸法	－	図 4-2
要素数	個	
節点数	個	
質量（収納ラック）	kg	
質量（器具）	kg	

表 4-5 部材の機器要目

機器名称			衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）		
対象要素			フレーム	前面用フレーム	棚板補強用フレーム
材料					
断面形状					
寸法		mm			
断面積	A	mm^2			
断面二次モーメント	I_y	mm^4			
	I_z	mm^4			
ねじり定数	J	mm^4			
せん断面積	A_y	mm^2			
	A_z	mm^2			
断面係数	Z_y	mm^3			
	Z_z	mm^3			



（単位：mm）

側面図　　正面図

図 4-2　衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）外形図

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表 4-6 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 4-6　固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次	[redacted]	水平

4.5　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 4-7 に示す。

表 4-7　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
[redacted] EL. 18.00 (EL. 20.30*1)	[redacted]	0.05 以下*2	C_H＝1.34	C_V＝1.01

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

4.6　計算方法

4.6.1　フレームの応力評価

ＦＥＭ解析の結果から得られるフレーム部分のはり要素の荷重，モーメントを用いて，表 4-8 の式により最大応力を算出する。また，最大応力発生部位を図 4-3 に示す。

表 4-8　応力計算式

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力　σ_t		MPa	$\frac{F_t}{A_t}$
せん断応力　τ		MPa	$\frac{F_y}{A_y}$ ，$\frac{F_z}{A_z}$
圧縮応力　σ_c		MPa	$\frac{F_c}{A_c}$
曲げ応力　σ_b		MPa	$\frac{M_y}{Z_y}$ ，$\frac{M_z}{Z_z}$
組合せ	引張＋曲げ	－	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leqq 1$
	圧縮＋曲げ	－	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leqq 1$

4.6.2　基礎ボルトの応力評価

ＦＥＭ解析の結果から得られる基礎ボルト部の最大荷重を用いて，表 4-9 の式により最大応力を算出する。また，最大応力発生部位を図 4-3 に示す。

表 4-9　応力計算式

応力の種類	単位	応力計算式
引張応力 σ_{bt}	MPa	$\frac{F_b}{A_b}$
せん断応力 τ_b	MPa	$\frac{Q_b}{A_b}$

ここで，

基礎ボルトに作用するせん断力　$Q_b=\sqrt{Q_y^2+Q_z^2}$

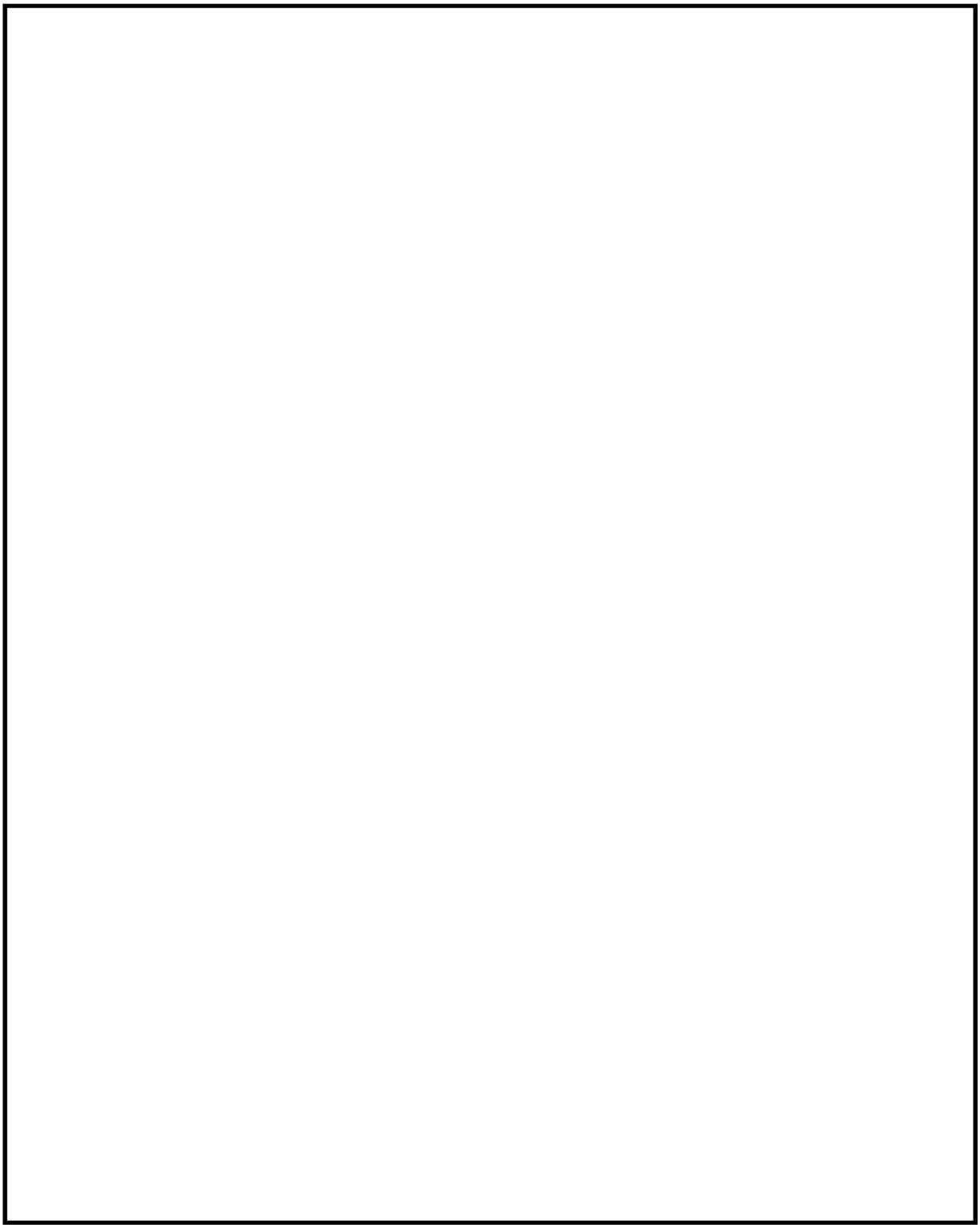


図 4-3　最大応力発生部位

4.7　計算条件

(1)フレーム

（前後＋鉛直）

記号	説明	単位	値
F_t	フレームに作用する引張力	N	344.4
F_c	フレームに作用する圧縮力	N	938.1
A_t	引張力が作用するフレームの断面積	mm^2	114.0
A_c	圧縮力が作用するフレームの断面積	mm^2	564.4
F_y	フレームに作用するＹ軸方向のせん断力	N	440.4
A_y	フレームの有効せん断断面積（Ｙ軸）	mm^2	246.9
M_z	フレームに作用するＺ軸周りの曲げモーメント	N･mm	9.043×10^4
Z_z	フレームのＺ軸周りの断面係数	mm^3	3.540×10^3
F^*	設計・建設規格　SSB-3121.3 に定める値	MPa	246

（左右＋鉛直）

記号	説明	単位	値
F_t	フレームに作用する引張力	N	354.2
F_c	フレームに作用する圧縮力	N	1.371×10^3
A_t	引張力が作用するフレームの断面積	mm^2	114.0
A_c	圧縮力が作用するフレームの断面積	mm^2	564.4
F_z	フレームに作用するＺ軸方向のせん断力	N	381.6
A_z	フレームの有効せん断断面積（Ｚ軸）	mm^2	246.9
M_z	フレームに作用するＺ軸周りの曲げモーメント	N･mm	7.151×10^4
Z_z	フレームのＺ軸周りの断面係数	mm^3	3.540×10^3
F^*	設計・建設規格　SSB-3121.3 に定める値	MPa	246

(2)基礎ボルト

記号	説明	単位	値
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N	2.236×10^3
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N	562.6
Q_y	基礎ボルトに作用するＹ軸方向のせん断力	N	209.7
Q_z	基礎ボルトに作用するＺ軸方向のせん断力	N	522.1
A_b	基礎ボルトの断面積（M12 ボルト）	mm^2	113.1
F^*	設計・建設規格　SSB-3133 に定める値	MPa	246

4.8　応力の評価

4.8.1　フレームの応力評価

(1)　4.6.1項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，許容組合せ応力は f_t 以下であること。

		基準地震動Ｓ$_s$による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t		$\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s		$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	($\lambda \leqq \Lambda$)	$\left\{1-0.4\cdot\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\cdot\frac{F^*}{\nu}\cdot 1.5$
	($\lambda > \Lambda$)	$0.277\cdot F^*\cdot\left(\frac{\Lambda}{\lambda}\right)^2\cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b		$\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

ただし，

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i}$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2\cdot E}{0.6\cdot F^*}}$$

$$\nu = 1.5+\frac{2}{3}\cdot\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

(2)　引張力と曲げモーメントを受ける部材の応力は次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leqq 1$$

(3)　圧縮力と曲げモーメントを受ける部材の応力は次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leqq 1$$

4.8.2　基礎ボルトの応力評価

4.6.2項で求めた基礎ボルトの引張応力σ_{bt}は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$$

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし， f_{sb} は下表による。

	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）は，実機の据付状態を模擬した上で，当該機器が設置される床における設備評価用床応答曲線を包絡する模擬地震波により加振試験を行う。機能確認済加速度には，加振試験において電気的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
衛星電話設備用 通信機器収納ラック （中央制御室）	水平	1.84
	鉛直	1.67

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
衛星電話設備用通信機器収納ラック（中央制御室）	常設／防止 常設／緩和 その他	[redacted] EL. 18.00 (EL. 20.30*1)	[redacted]	0.05 以下*2	C_H＝1.34	C_V＝1.01	[redacted]

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

1.2 機器要目

4.3 項に示すとおり。

1.3 計算数値

4.7 項に示すとおり。

1.4 結論

1.4.1 応力

部材	材料	応力	加速度の方向	基準地震動S_s	
				算出応力	許容応力
フレーム	□	引張り	前後+上下	σ_t = 3	f_t = 246
			左右+上下	σ_t = 4	
		せん断	前後+上下	τ = 2	f_s = 142
			左右+上下	τ = 2	
		圧縮	前後+上下	σ_c = 2	f_c = 185
			左右+上下	σ_c = 3	
		曲げ	前後+上下	σ_b = 26	f_b = 246
			左右+上下	σ_b = 21	
		引張＋曲げの組合せ	－	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leqq 1$	
			前後+上下	0.11（無次元）	
			左右+上下	0.09（無次元）	
		圧縮＋曲げの組合せ	－	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leqq 1$	
			前後+上下	0.11（無次元）	
			左右+上下	0.09（無次元）	
基礎ボルト	□	引張り	－	σ_{bt} = 20	f_{ts} = 147*
		せん断		τ_b = 5	f_{sb} = 113

すべて許容応力以下である。

＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s²）

		評価用加速度	機能確認済加速度
衛星電話設備用 通信機器収納ラック （中央制御室）	水平方向	0.81	1.84
	鉛直方向	0.62	1.67

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-7-2-4　衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要……1
2. 一般事項……1
2.1 構造計画……1
2.2 評価方針……3
2.3 適用基準……3
3. 評価部位……3
4. 機能維持評価……4
4.1 評価用加速度……4
4.2 機能確認済加速度……5
5. 評価結果……6
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果……6

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき，衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）が設計用地震力に対して十分な電気的機能を有していることを説明するものである。

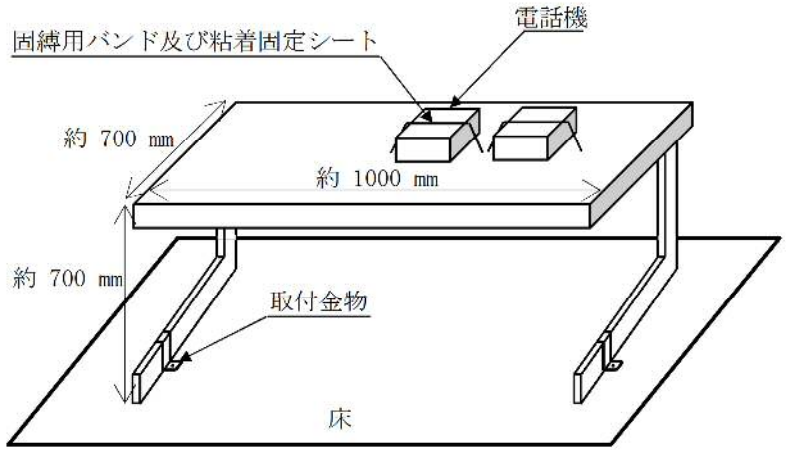
衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）は，設計基準対象施設においてはＣクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備及び常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）に分類される。以下，重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
電話機を固縛用バンド及び粘着固定シートにて机上に固縛する。 机は取付金物を使用し，ボルトで床に固定する。	電話機	

2.2　評価方針

衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」のうち「4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「4.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

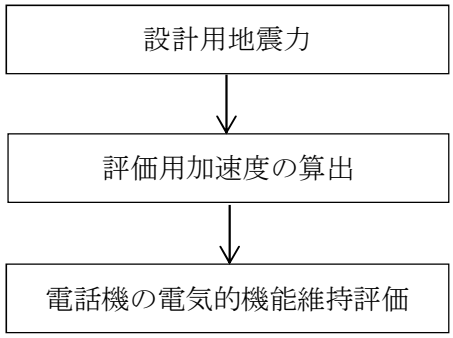


図 2-1　衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

3.　評価部位

衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）は，電話機を固縛用バンド及び粘着固定シートにて机上に固縛することから，机が支持している。机は取付金物にて床に固定する。本計算書では，衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）の電気的機能維持評価について示す。衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）の評価部位を，表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）は，電話機を固縛用バンド及び粘着固定シートにて机上に固縛することから，机が支持している。机についても取付金物にて床に固定することから，設計用地震力は添付書類「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す，衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）の設置床における基準地震動Ｓｓに基づく設備評価用床応答曲線とし，評価用加速度には設置床の最大応答加速度を適用する。

評価用加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価用加速度 （×9.8 m/s^2）

機器名称	据付場所及び床面高さ (m)	方向	基準地震動Ｓｓ 評価用加速度
衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）	[redacted] EL. 30.30	水平	0.67
		鉛直	0.61

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

4.2　機能確認済加速度

衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）の機能確認済加速度について以下に示す。

衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）は，「2.1　構造計画」に示す実機の据付状態を模擬した上で，机及び固縛を含め加振台上に設置した上で，当該機器が設置される床における設備評価用床応答曲線を包絡する模擬地震波により加振試験を行う。機能確認済加速度には，加振試験において電気的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）	水平	1.79
	鉛直	1.66

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）の重大事故等の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電気的機能を有していることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁の表に示す。

【衛星電話設備（固定型）（緊急時対策所）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 電気的機能維持の評価結果

（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
衛星電話設備 （固定型） （緊急時対策所）	水平方向	0.67	1.79
	鉛直方向	0.61	1.66

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-7-2-5　屋外アンテナ（緊急時対策所）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
2.2 評価方針 3
2.3 適用基準 4
2.4 記号の説明 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 6
3. 評価部位 7
4. 地震応答解析及び構造強度評価 7
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 7
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 7
4.3 解析モデル及び諸元 11
4.4 固有周期 14
4.5 設計用地震力 14
4.6 計算方法 15
4.7 計算条件 17
4.8 応力の評価 17
5. 機能維持評価 18
5.1 電気的機能維持評価方法 18
6. 評価結果 18
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 18

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，屋外アンテナ（緊急時対策所）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

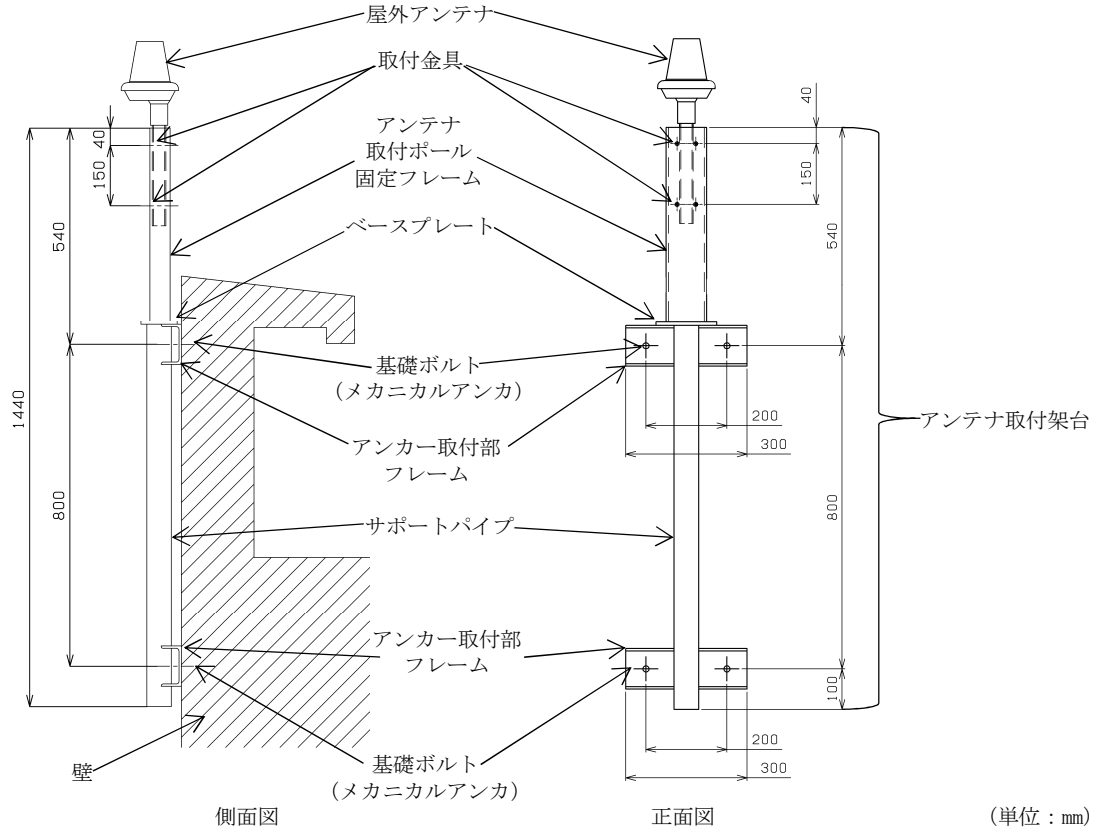
屋外アンテナ（緊急時対策所）は，設計基準対象施設においてはCクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備及び常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

屋外アンテナ（緊急時対策所）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
屋外アンテナを取付金具にてアンテナ取付架台に取り付ける。 アンテナ取付架台は，アンテナ取付ポール固定フレーム，ベースプレート，サポートパイプ及びアンカー取付け部フレームより構成する。 アンテナ取付架台は，基礎ボルトにて壁に固定する。	屋外アンテナ	

2.2　評価方針

屋外アンテナ（緊急時対策所）の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」のうち「3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す屋外アンテナ（緊急時対策所）の部位を踏まえ，「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，屋外アンテナ（緊急時対策所）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」のうち「4.2　電気的機能維持」にて設定した方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを「5.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6.　評価結果」に示す。

屋外アンテナ（緊急時対策所）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

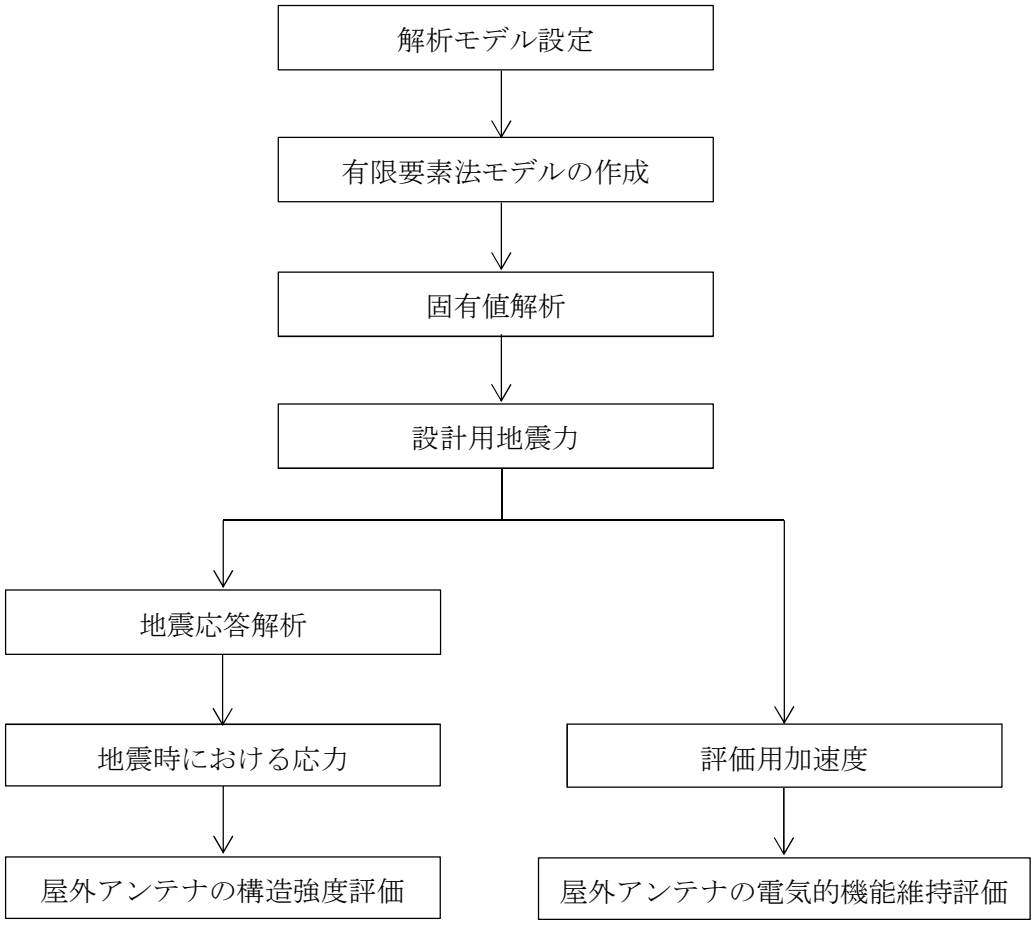


図 2-1　屋外アンテナ（緊急時対策所）の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
T	温度条件（雰囲気温度）	℃
E	縦弾性係数	MPa
ν	ポアソン比	－
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3133に定める値	MPa
A	アンテナ取付架台の断面積	mm^2
I_y	アンテナ取付架台の断面二次モーメント（Y軸）	mm^4
I_z	アンテナ取付架台の断面二次モーメント（Z軸）	mm^4
J	アンテナ取付架台のねじり定数	mm^4
A_y	アンテナ取付架台の有効せん断面積（Y軸）	mm^2
A_z	アンテナ取付架台の有効せん断面積（Z軸）	mm^2
Z_y	アンテナ取付架台の断面係数（Y軸）	mm^3
Z_z	アンテナ取付架台の断面係数（Z軸）	mm^3
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
Q_y	基礎ボルトに作用するY軸方向のせん断力	N
Q_z	基礎ボルトに作用するZ軸方向のせん断力	N
A_b	基礎ボルトの断面積	mm^2
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力（f_t^*を1.5倍した値）	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力（f_s^*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
σ_{bt}	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	―	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	―	―	整数位
長さ	mm	―	―	整数位*1
面積*2	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

＊3：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は,比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て,整数位までの値とする。

3. 評価部位

屋外アンテナ（緊急時対策所）の耐震評価は，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトを選定して実施する。屋外アンテナ（緊急時対策所）の評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) 固有周期及び荷重を求めるため，アンテナ取付架台をはり要素としてモデル化した 3 次元 FEM モデルによる固有値解析を行う。固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した上で，1.2 倍した設置床の最大応答加速度を用いた静解析を実施する。

(2) 屋外アンテナは，建屋の壁面に設置し，基礎ボルトにより固定されるものとする。

(3) 解析モデルの質量には，屋外アンテナの質量とアンテナ取付架台の質量を考慮する。

(4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

屋外アンテナ（緊急時対策所）の重大事故等対処設備の評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4-1 に示す。また，本設備の構造や形状から，風荷重及び積雪荷重の影響が無視できない可能性があることから，風荷重及び積雪荷重を組合せて評価を行う。

4.2.2 許容応力

屋外アンテナ（緊急時対策所）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

屋外アンテナ（緊急時対策所）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

4.2.4 風荷重

風荷重は，風速 30 m/s を使用し，屋外アンテナ（緊急時対策所）の架台形状，風向きを踏まえ，作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表 4-4 に示す。

4.2.5 積雪荷重

積雪荷重は，単位荷重 20 N/cm/m^2 *を使用し，屋外アンテナ（緊急時対策所）の架台形状を踏まえ，作用する積雪荷重を算出する。算出した積雪荷重を表 4-5 に示す。

注記　＊：積雪量 1 cm ごとに 1 m^2 あたり 20 N であることを示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他	屋外アンテナ（緊急時対策所）	常設／防止 常設／緩和 その他	－*2	$D+P_D+M_D+S_s+P_k+P_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_k+P_s$	V_AS （V_ASとして，$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「その他」は常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_k+P_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	205	520	―

表 4-4　基準速度圧

作用する部位	基準速度圧 (N/m^2)
アンテナ取付架台	1533.6

表 4-5　積雪荷重

作用する部位	積雪荷重 (N)
アンテナ取付架台	9.502

4.3　解析モデル及び諸元

解析モデルを図 4-1 に，解析モデルの諸元を表 4-6，外形図を図 4-2 に示す。

(1)　図 4-1 の△は拘束節点を示し，■は質量付加位置を表す。

(2)　屋外アンテナ及び取付金具の質量は，耐震評価上厳しくなる最上端の節点位置に質量要素として設定した。アンテナ取付架台の質量は，はり要素の材料特性に質量密度を設定することでモデル化した。

(3)　拘束条件として，図 4-1 の△の節点について，基礎ボルトにて壁面に固定されるため，XYZ 並進方向を拘束する。かつ，アンカー取付部フレームと壁面が接していることから，X 軸回りの回転を拘束する。

(4)　部材の機器要目を表 4-7 に示す。

(5)　解析コードは「ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用する。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-49　計算機プログラム（解析コード）の概要　・ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

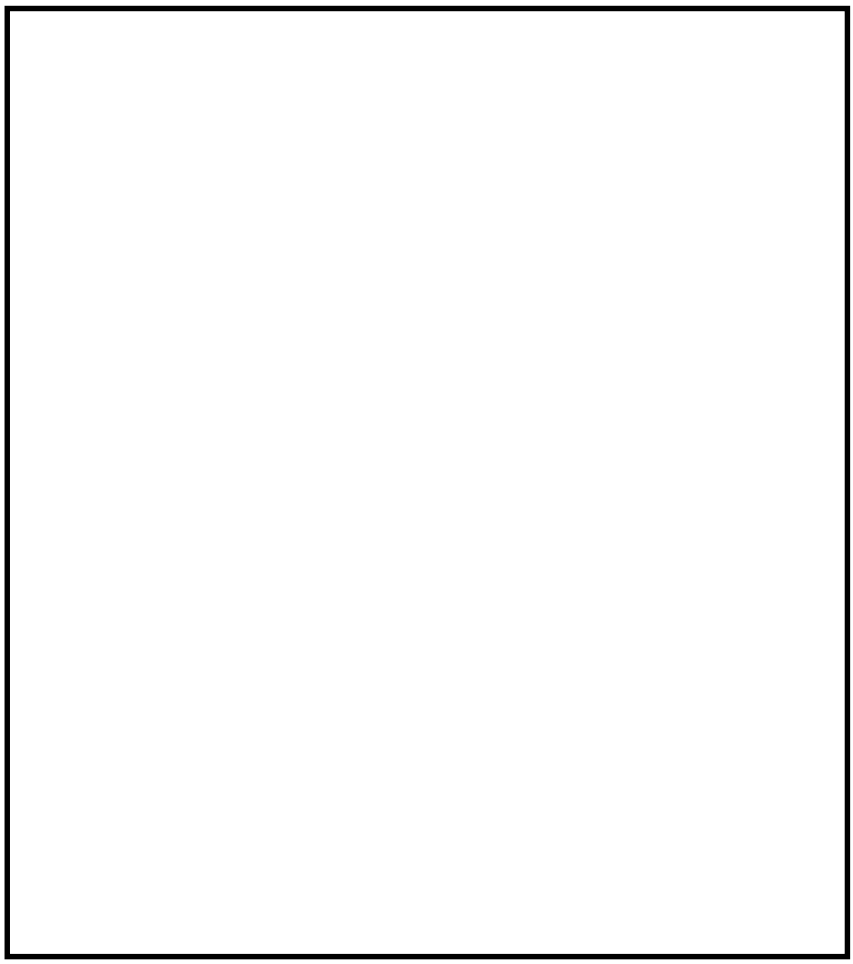


図 4-1　解析モデル図

表 4-6　解析モデルの諸元

項　目	単位	入力値
材料	－	
温度条件	℃	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	－	
寸法	－	図 4-2
要素数	個	
節点数	個	
質量（アンテナ取付架台）	kg	
質量（アンテナ＋取付金具）	kg	

表 4-7 部材の機器要目

機器名称			屋外アンテナ（緊急時対策所）			
対象要素			アンカー取付部フレーム	サポートパイプ	ベースプレート	アンテナ取付ポールフレーム
材料						
断面形状						
寸法		mm				
断面積	A	mm^2				
断面二次モーメント	I_y	mm^4				
	I_z	mm^4				
ねじり定数	J	mm^4				
せん断面積	A_y	mm^2				
	A_z	mm^2				
断面係数	Z_y	mm^3				
	Z_z	mm^3				

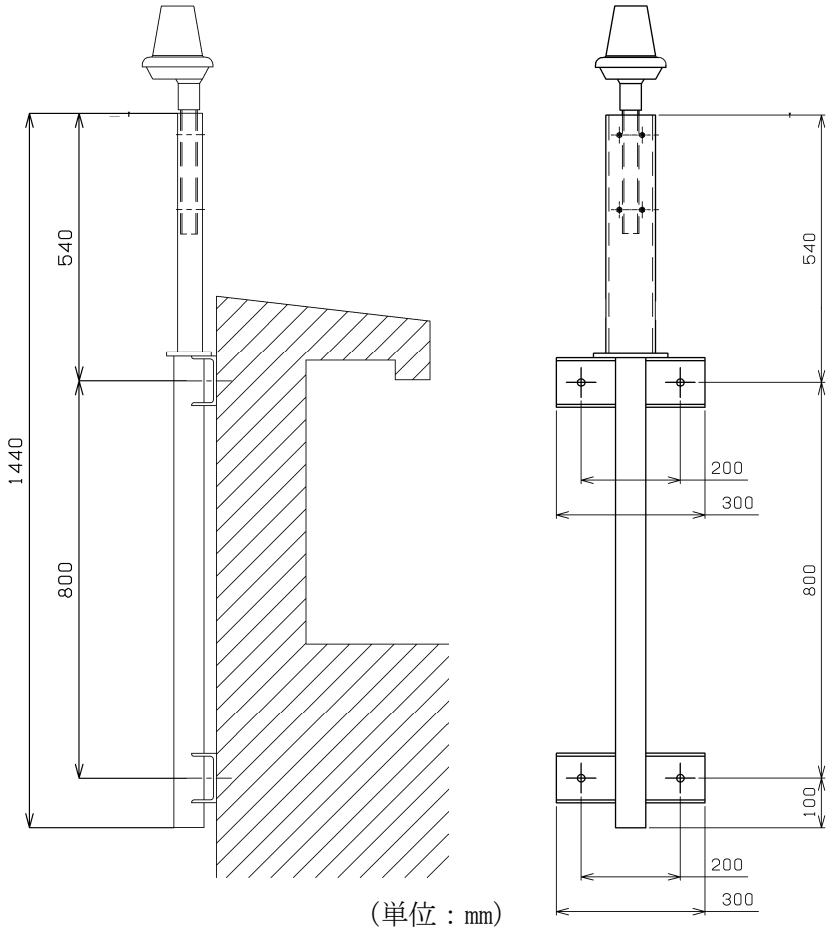


図 4-2　屋外アンテナ（緊急時対策所）外形図

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表 4-8 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 4-8　固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次	[redacted]	水平

4.5　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 4-9 に示す。

表 4-9　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
[redacted] EL. 51.00*1	[redacted]	0.05 以下*2	C_H＝1.93	C_V＝1.45

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

4.6　計算方法

ＦＥＭ解析の結果から得られる基礎ボルト部の最大荷重を用いて，表 4-10 の式により最大応力を算出する。なお，風荷重について，表 4-4 に示す基準速度圧が，壁面に設置されているアンテナ取付架台に向かい，0 度，45 度又は 90 度の方向から常時作用するものとして解析を行う。雪荷重については，表 4-5 に示す積雪荷重が，鉛直方向から常時作用するものとして解析を行い，最も応力の厳しい値を評価結果とする。最大応力発生部位を図 4-3 に示す。

表 4-10　応力計算式

応力の種類	単位	応力計算式
引張応力 σ_{bt}	MPa	$\frac{F_b}{A_b}$
せん断応力 τ_b	MPa	$\frac{Q_b}{A_b}$

ここで，

基礎ボルトに作用するせん断力　$Q_b=\sqrt{Q_y^2+Q_z^2}$

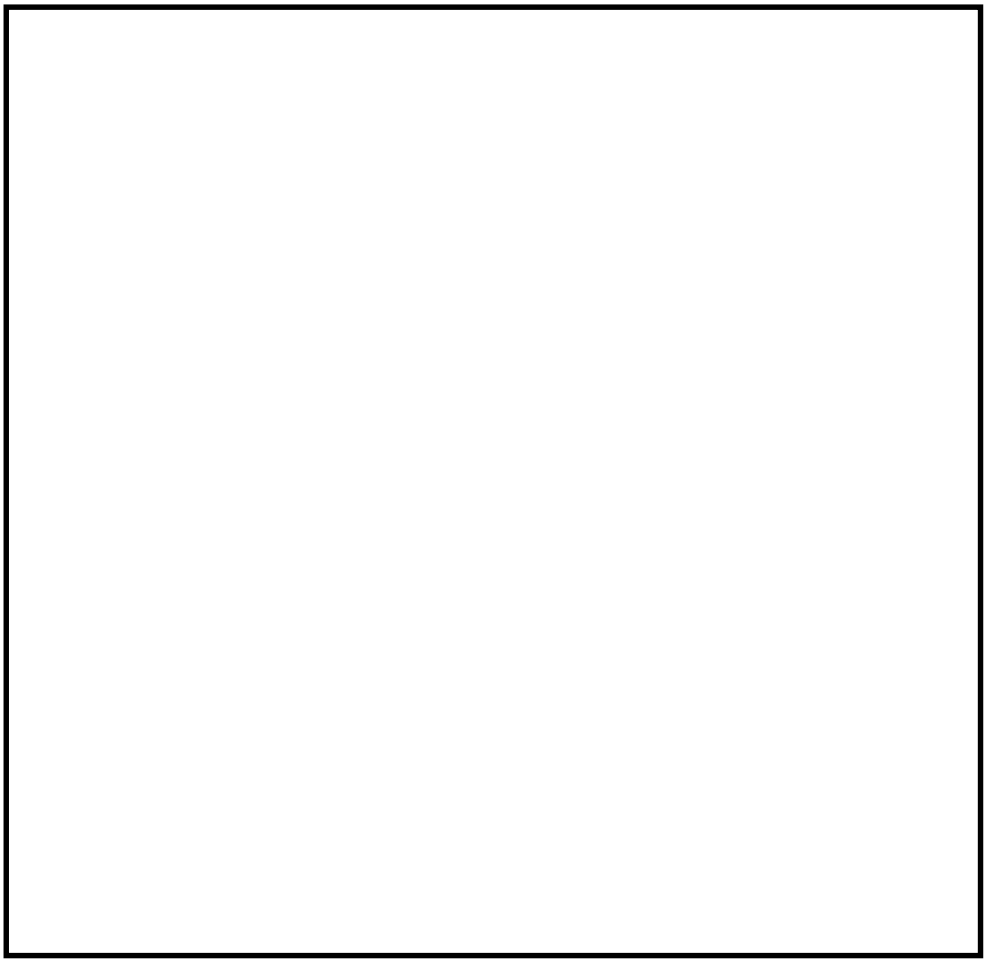


図 4-3　最大応力発生部位

4.7　計算条件

(1)　基礎ボルト

記号	説明	単位	値
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N	404.0
Q_y	基礎ボルトに作用するＹ軸方向のせん断力	N	136.1
Q_z	基礎ボルトに作用するＺ軸方向のせん断力	N	531.9
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断応力	N	549.0
A_b	基礎ボルトの断面積（M12 ボルト）	mm^2	113.1
F^*	設計・建設規格　SSB-3133 に定める値	MPa	246

4.8　応力の評価

4.8.1　基礎ボルトの応力評価

4.6項で求めた基礎ボルトの引張応力σ_{bt}は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$$

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし， f_{sb} は下表による。

	基準地震動Ｓ$_s$による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

屋外アンテナ（緊急時対策所）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

屋外アンテナ（緊急時対策所）の評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には，同形式の器具の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
屋外アンテナ（緊急時対策所）	水平	8.24
	鉛直	8.16

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

屋外アンテナ（緊急時対策所）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【屋外アンテナ（緊急時対策所）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
屋外アンテナ（緊急時対策所）	常設／防止 常設／緩和 その他	EL. 51.00*1		0.05 以下*2	C_H＝1.93	C_V＝1.45	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

1.2 機器要目

4.3 項に示すとおり。

1.3 計算数値

4.7 項に示すとおり。

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 （単位：MPa）

部材	材料	応力	基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	σ_{bt}＝ 4	f_{ts}＝ 147*
		せん断	τ_b＝ 5	f_{sb}＝ 113

すべて許容応力以下である。 ＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s²）

		評価用加速度	機能確認済加速度
屋外アンテナ（緊急時対策所）	水平方向	1.61	8.24
	鉛直方向	1.21	8.16

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-7-2-6　衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
2.2 評価方針 3
2.3 適用基準 4
2.4 記号の説明 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 7
3. 評価部位 8
4. 地震応答解析及び構造強度評価 8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 8
4.3 解析モデル及び諸元 12
4.4 固有周期 15
4.5 設計用地震力 15
4.6 計算方法 16
4.7 計算条件 19
4.8 応力の評価 20
5. 機能維持評価 22
5.1 電気的機能維持評価方法 22
6. 評価結果 22
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 22

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

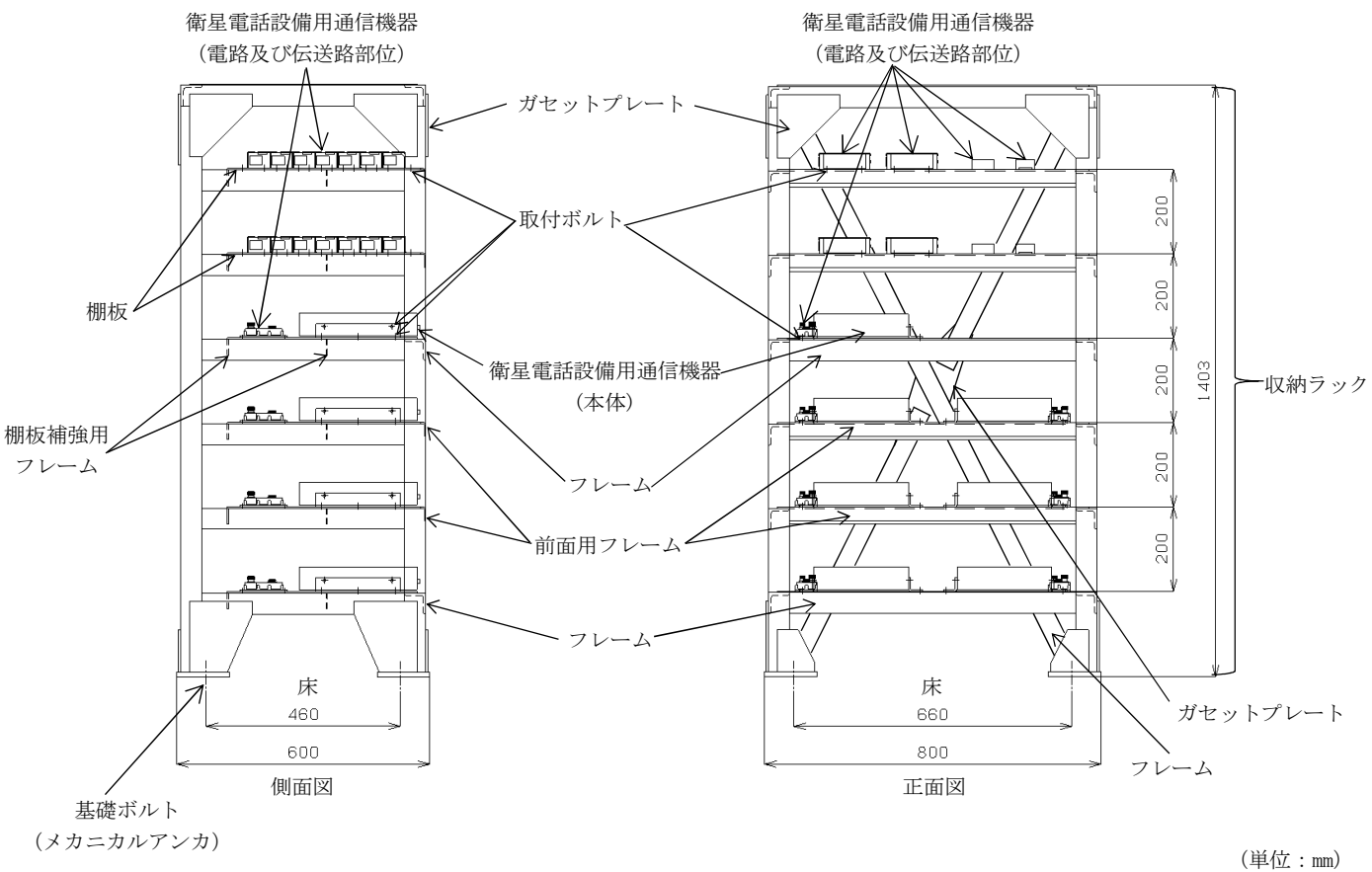
衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備及び常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
フレームは，基礎ボルトにて床に固定する。 棚板及びガセットプレートは，溶接にてフレームに固定する。 衛星電話設備用通信機器は，棚板に取付金物及び取付ボルトにて固定する。	直立形 （衛星電話設備用通信機器を開放型のラックに収納する。）	

2.2　評価方針

衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」のうち「3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）の部位を踏まえ，「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」のうち「4.2　電気的機能維持」にて設定した方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを「5.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6.　評価結果」に示す。

衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

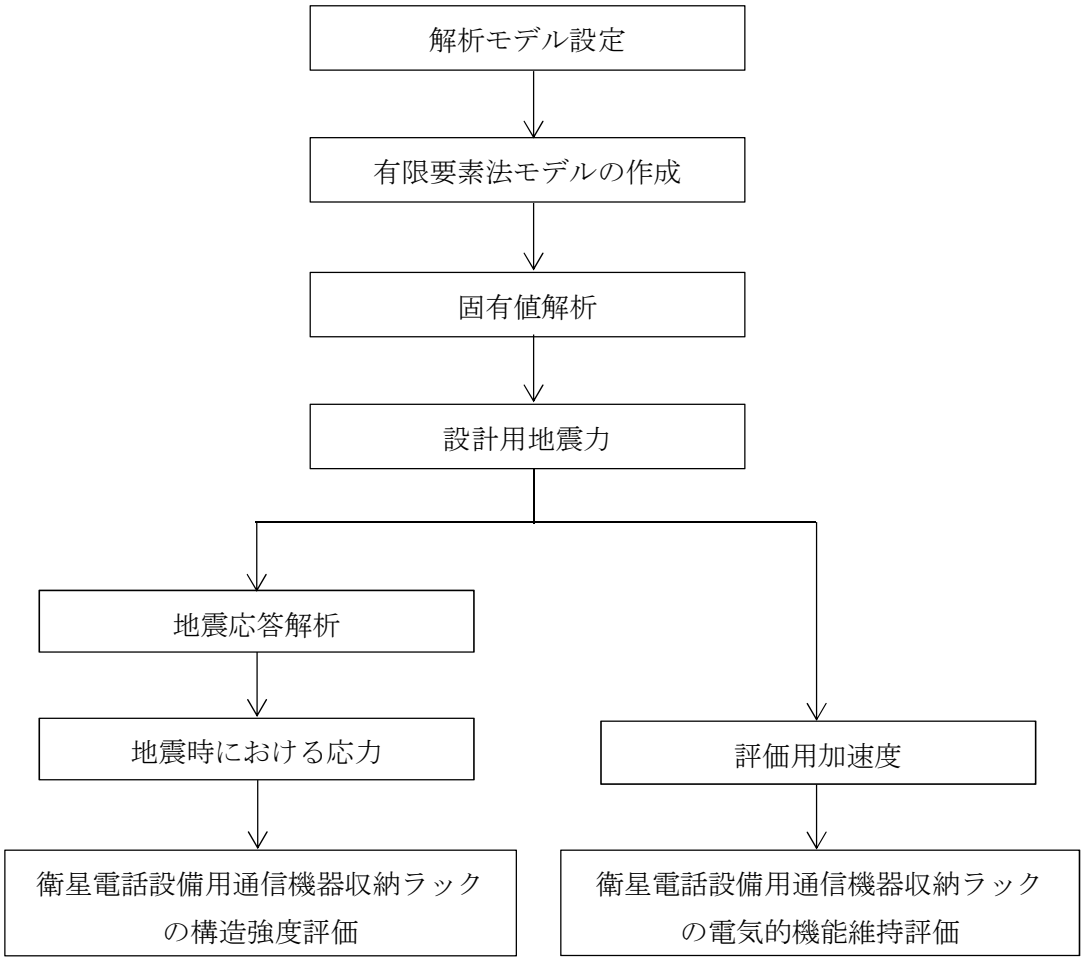


図 2-1　衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
T	温度条件（雰囲気温度）	℃
E	縦弾性係数	MPa
ν	ポアソン比	－
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
フレームの応力計算に使用する記号		
A	フレームの断面積	mm^2
I_y	フレームの断面二次モーメント（Y軸）	mm^4
I_z	フレームの断面二次モーメント（Z軸）	mm^4
J	フレームのねじり定数	mm^4
A_y	フレームの有効せん断断面積（Y軸）	mm^2
A_z	フレームの有効せん断断面積（Z軸）	mm^2
Z_y	フレームのY軸周りの断面係数	mm^3
Z_z	フレームのZ軸周りの断面係数	mm^3
F_t	フレームに作用する引張力	N
F_c	フレームに作用する圧縮力	N
F_y	フレームに作用するY軸方向のせん断力	N
F_z	フレームに作用するZ軸方向のせん断力	N
M_y	フレームに作用するY軸周りの曲げモーメント	N･mm
M_z	フレームに作用するZ軸周りの曲げモーメント	N･mm
A_t	引張力が作用するフレームの断面積	mm^2
A_c	圧縮力が作用するフレームの断面積	mm^2
f_t	フレームの許容引張応力（f_t^*を1.5倍した値）	MPa
f_s	フレームの許容せん断応力（f_s^*を1.5倍した値）	MPa
f_c	フレームの許容圧縮応力（f_c^*を1.5倍した値）	MPa
f_b	フレームの許容曲げ応力（f_b^*を1.5倍した値）	MPa
σ_t	フレームに生じる引張応力	MPa
τ	フレームに生じるせん断応力	MPa
σ_c	フレームに生じる圧縮応力	MPa
σ_b	フレームに生じる曲げ応力	MPa
基礎ボルトの応力計算に使用する記号		
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N

Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
Q_y	基礎ボルトに作用するＹ軸方向のせん断力	N
Q_z	基礎ボルトに作用するＺ軸方向のせん断力	N
A_b	基礎ボルトの断面積	mm^2
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力（f_t^*を1.5倍した値）	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力（f_s^*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
σ_{bt}	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位*1
	フレームの厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積*2		mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント		N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

＊3：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は,比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て,整数位までの値とする。

3.　評価部位

衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）の耐震評価は，耐震評価上厳しくなるフレーム及び基礎ボルトを対象に選定する。衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4.　地震応答解析及び構造強度評価

4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　固有周期及び荷重を求めるため，ラックを構成する鋼材をはり要素及びシェル要素としてモデル化した 3 次元 FEM モデルによる固有値解析を行う。固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した上で，1.2 倍した設置床の最大応答加速度を用いた静解析を実施する。

(2)　衛星電話設備用通信機器収納ラックは，建屋の床面に設置し，基礎ボルトにより固定されるものとする。

(3)　解析モデルの質量には，ラックの質量と取付器具の質量を考慮する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）の重大事故等対処設備の評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4-1 に示す。

4.2.2　許容応力

衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他	衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）	常設／防止 常設／緩和 その他	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして，$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「その他」は常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2, *3（ボルト等以外）				許容限界*2, *3（ボルト等）	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$Ⅴ_AS$（$Ⅴ_AS$として，$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）						

注記　＊1：「鋼構造設計基準　SI 単位版」（2002 年日本建築学会）等の幅厚比の制限を満足させる。

＊2：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊3：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
フレーム	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	205	520	－
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	205	520	－

4.3　解析モデル及び諸元

解析モデルを図 4-1，解析モデルの諸元を表 4-4，外形図を図 4-2 に示す。

(1)　図 4-1 の△は拘束節点を示し，■は質量付加位置を表す。

(2)　拘束条件として，図 4-1 の△の節点について，基礎ボルト位置において XYZ 並進方向を拘束する。

(3)　取付器具の質量は取付位置での中心に付加する。フレームの質量は，はり要素の材料特性に質量密度を設定することでモデル化した。

(4)　部材の機器要目を表 4-5 に示す。

(5)　解析コードは「ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用する。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-49　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

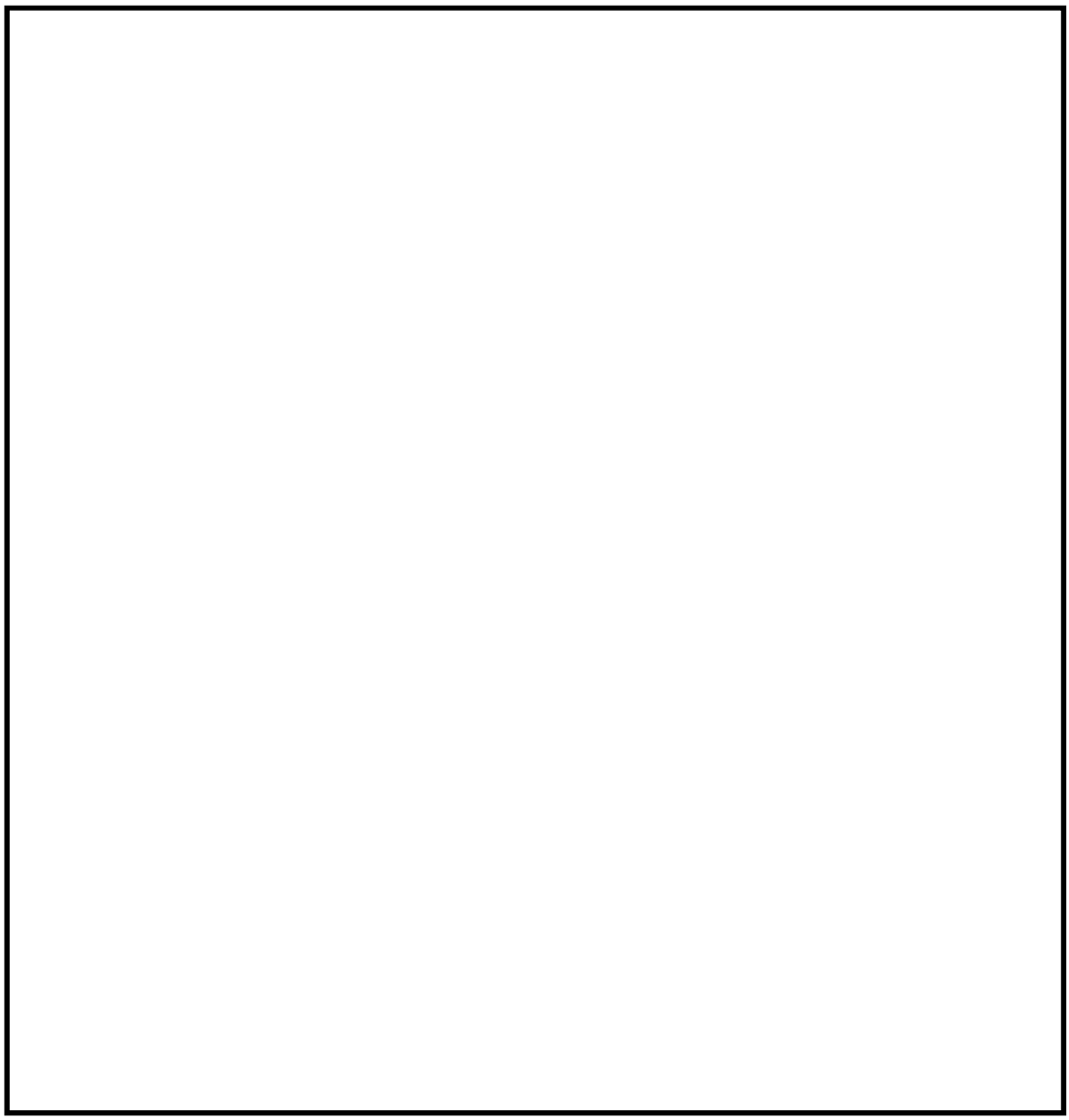


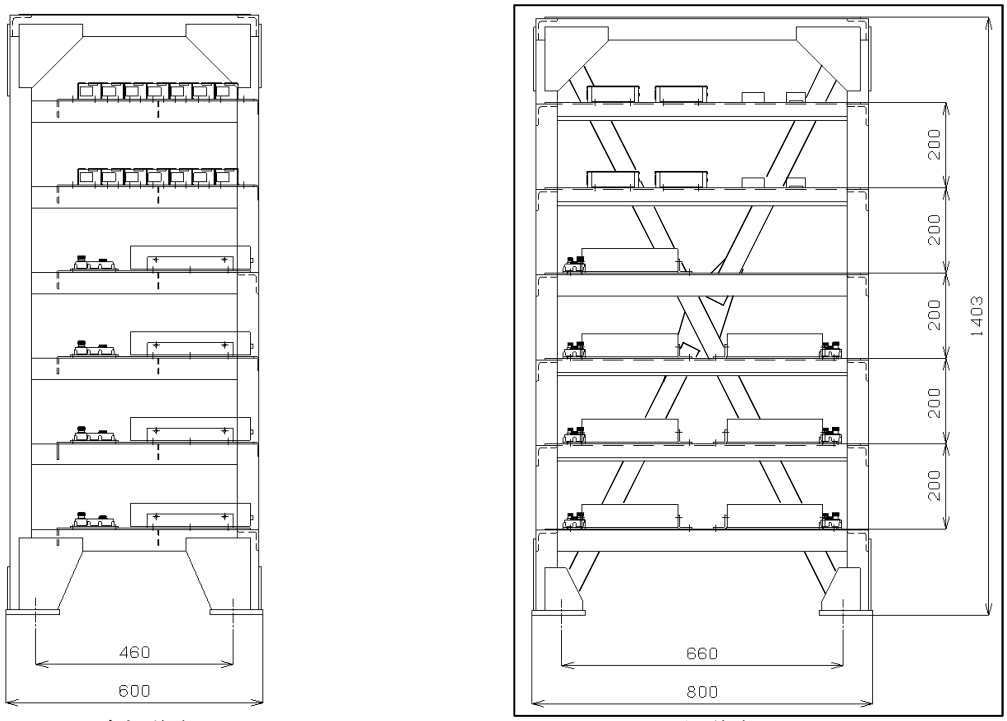
図 4-1　解析モデル図

表 4-4　解析モデルの諸元

項　目	単位	入力値
材料	－	
温度条件(雰囲気温度)	℃	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	－	
寸法	－	図 4-2
要素数	個	
節点数	個	
質量（収納ラック）	kg	
質量（器具）	kg	

表 4-5 部材の機器要目

機器名称			衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）		
対象要素			フレーム	前面用フレーム	棚板補強用フレーム
材料					
断面形状					
寸法		mm			
断面積	A	mm^2			
断面二次モーメント	I_y	mm^4			
	I_z	mm^4			
ねじり定数	J	mm^4			
せん断面積	A_y	mm^2			
	A_z	mm^2			
断面係数	Z_y	mm^3			
	Z_z	mm^3			



側面図　　（単位：mm）　　正面図

図 4-2　衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）外形図

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表 4-6 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 4-6　固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次	[redacted]	水平

4.5　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 4-7 に示す。

表 4-7　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
[redacted] EL. 30.30*1	[redacted]	0.05 以下*2	C_H＝1.54	C_V＝1.36

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

4.6　計算方法

4.6.1　フレームの応力評価

ＦＥＭ解析の結果から得られるフレーム部分のはり要素の荷重，モーメントを用いて，表 4-8 の式により最大応力を算出する。また，最大応力発生部位を図 4-3 に示す。

表 4-8　応力計算式

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力　σ_t		MPa	$\frac{F_t}{A_t}$
せん断応力　τ		MPa	$\frac{F_y}{A_y}$ ，$\frac{F_z}{A_z}$
圧縮応力　σ_c		MPa	$\frac{F_c}{A_c}$
曲げ応力　σ_b		MPa	$\frac{M_y}{Z_y}$ ，$\frac{M_z}{Z_z}$
組合せ	引張＋曲げ	－	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leqq 1$
	圧縮＋曲げ	－	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leqq 1$

4.6.2　基礎ボルトの応力評価

ＦＥＭ解析の結果から得られる基礎ボルト部の最大荷重を用いて，表 4-9 の式により最大応力を算出する。また，最大応力発生部位を図 4-3 に示す。

表 4-9　応力計算式

応力の種類	単位	応力計算式
引張応力 σ_{bt}	MPa	$\frac{F_b}{A_b}$
せん断応力 τ_b	MPa	$\frac{Q_b}{A_b}$

ここで，

基礎ボルトに作用するせん断力　$Q_b=\sqrt{Q_y^2+Q_z^2}$

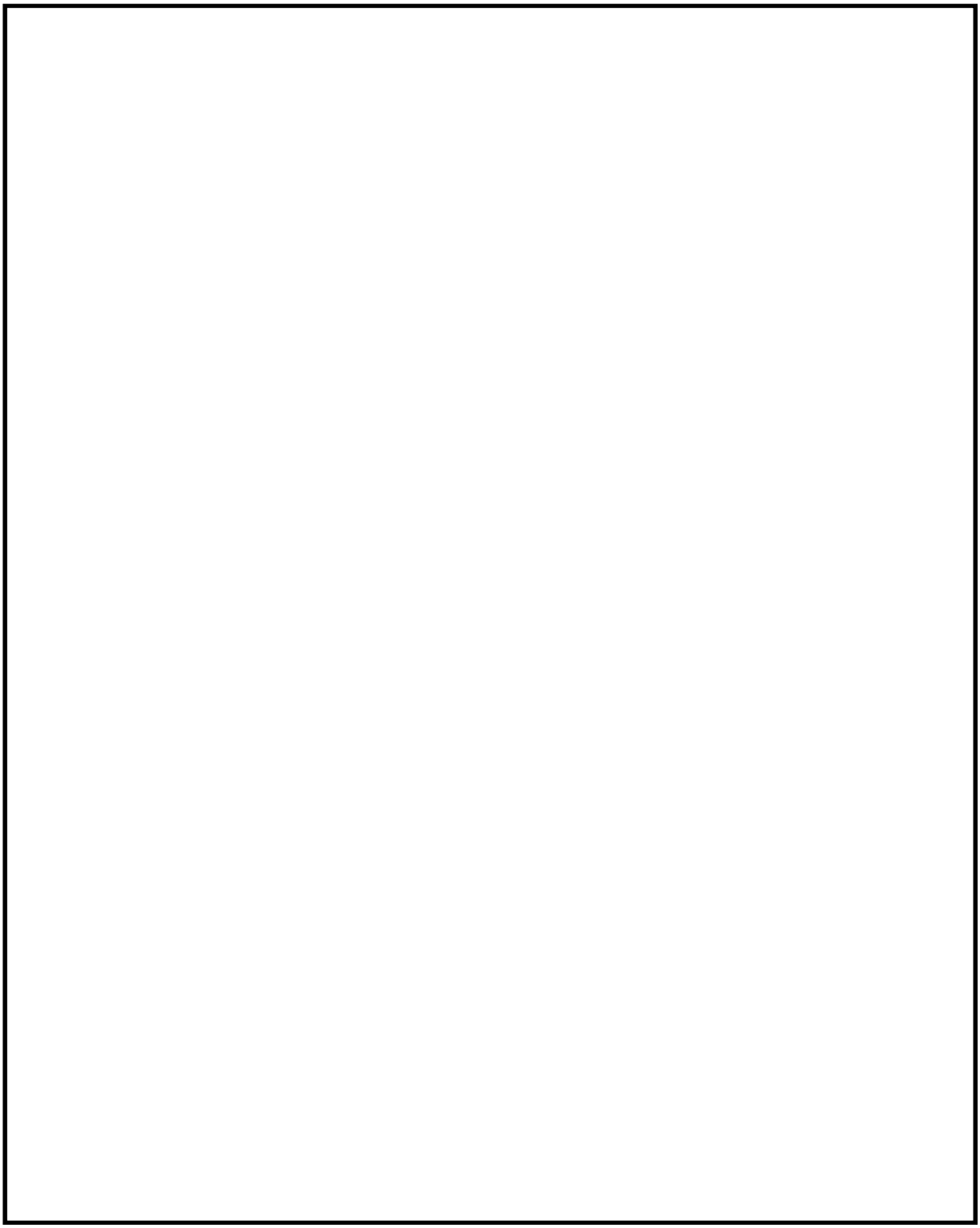


図 4-3　最大応力発生部位

4.7　計算条件

(1)フレーム

（前後＋鉛直）

記号	説明	単位	値
F_t	フレームに作用する引張力	N	846.2
F_c	フレームに作用する圧縮力	N	2.105×10^3
A_t	引張力が作用するフレームの断面積	mm^2	114.0
A_c	圧縮力が作用するフレームの断面積	mm^2	564.4
F_y	フレームに作用するＹ軸方向のせん断力	N	778.7
A_y	フレームの有効せん断断面積（Ｙ軸）	mm^2	246.9
M_z	フレームに作用するＺ軸周りの曲げモーメント	N･mm	1.674×10^5
Z_z	フレームのＺ軸周りの断面係数	mm^3	3.540×10^3
F^*	設計・建設規格　SSB-3121.3 に定める値	MPa	246

（左右＋鉛直）

記号	説明	単位	値
F_t	フレームに作用する引張力	N	864.0
F_c	フレームに作用する圧縮力	N	2.688×10^3
A_t	引張力が作用するフレームの断面積	mm^2	114.0
A_c	圧縮力が作用するフレームの断面積	mm^2	564.4
F_y	フレームに作用するＹ軸方向のせん断力	N	758.7
A_y	フレームの有効せん断断面積（Ｙ軸）	mm^2	246.9
M_z	フレームに作用するＺ軸周りの曲げモーメント	N･mm	1.522×10^5
Z_z	フレームのＺ軸周りの断面係数	mm^3	3.540×10^3
F^*	設計・建設規格　SSB-3121.3 に定める値	MPa	246

(2)基礎ボルト

記号	説明	単位	値
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N	4.399×10^3
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N	923.4
Q_y	基礎ボルトに作用するＹ軸方向のせん断力	N	231.5
Q_z	基礎ボルトに作用するＺ軸方向のせん断力	N	893.9
A_b	基礎ボルトの断面積（M12 ボルト）	mm^2	113.1
F^*	設計・建設規格　SSB-3133 に定める値	MPa	246

4.8　応力の評価

4.8.1　フレームの応力評価

(1)　4.6.1項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，許容組合せ応力は f_t 以下であること。

		基準地震動Ｓ$_s$による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t		$\dfrac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s		$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	($\lambda \leqq \Lambda$)	$\left\{1-0.4\cdot\left(\dfrac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\cdot\dfrac{F^*}{\nu}\cdot 1.5$
	($\lambda > \Lambda$)	$0.277\cdot F^*\cdot\left(\dfrac{\Lambda}{\lambda}\right)^2\cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b		$\dfrac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

ただし，

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i}$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2\cdot E}{0.6\cdot F^*}}$$

$$\nu = 1.5+\frac{2}{3}\cdot\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

(2)　引張力と曲げモーメントを受ける部材の応力は次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leqq 1$$

(3)　圧縮力と曲げモーメントを受ける部材の応力は次式を満足すること。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leqq 1$$

4.8.2　基礎ボルトの応力評価

4.6.2項で求めた基礎ボルトの引張応力σ_{bt}は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$$

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし， f_{sb} は下表による。

	基準地震動Ｓ$_s$による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）は，実機の据付状態を模擬した上で，当該機器が設置される床における設備評価用床応答曲線を包絡する模擬地震波により加振試験を行う。機能確認済加速度には，加振試験において電気的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
衛星電話設備用 通信機器収納ラック （緊急時対策所）	水平	1.84
	鉛直	1.67

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
衛星電話設備用通信機器収納ラック（緊急時対策所）	常設／防止 常設／緩和 その他	[redacted] EL. 30.30*1	[redacted]	0.05 以下*2	C_H＝1.54	C_V＝1.36	[redacted]

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

1.2 機器要目

4.3 項に示すとおり。

1.3 計算数値

4.7 項に示すとおり。

1.4 結論

1.4.1 応力

部材	材料	応力	加速度の方向	基準地震動S_s	
				算出応力	許容応力
フレーム	□	引張り	前後+上下	σ_t ＝ 8	f_t ＝ 246
			左右+上下	σ_t ＝ 8	
		せん断	前後+上下	τ ＝ 4	f_s ＝ 142
			左右+上下	τ ＝ 3	
		圧縮	前後+上下	σ_c ＝ 4	f_c ＝ 139
			左右+上下	σ_c ＝ 5	
		曲げ	前後+上下	σ_b ＝ 48	f_b ＝ 246
			左右+上下	σ_b ＝ 43	
		引張＋曲げの組合せ	－	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leqq 1$	
			前後+上下	0.20（無次元）	
			左右+上下	0.19（無次元）	
		圧縮＋曲げの組合せ	－	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leqq 1$	
			前後+上下	0.20（無次元）	
			左右+上下	0.18（無次元）	
基礎ボルト	□	引張り	－	σ_{bt} ＝ 39	f_{ts} ＝ 147*
		せん断		τ_b ＝ 9	f_{sb} ＝ 113

すべて許容応力以下である。

＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s²）

		評価用加速度	機能確認済加速度
衛星電話設備用 通信機器収納ラック （緊急時対策所）	水平方向	0.67	1.84
	鉛直方向	0.61	1.67

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-7-3　安全パラメータ表示システム（ＳＰＤＳ）
ＳＰＤＳデータ表示装置の耐震性についての計算書

目次

1. 概要……1
2. 一般事項……1
2.1 構造計画……1
2.2 評価方針……2
2.3 適用基準……2
3. 評価部位……2
4. 機能維持評価……3
4.1 評価用加速度……3
4.2 機能確認済加速度……4
5. 評価結果……5
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果……5

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき，ＳＰＤＳデータ表示装置が設計用地震力に対して十分な電気的機能を有していることを説明するものである。

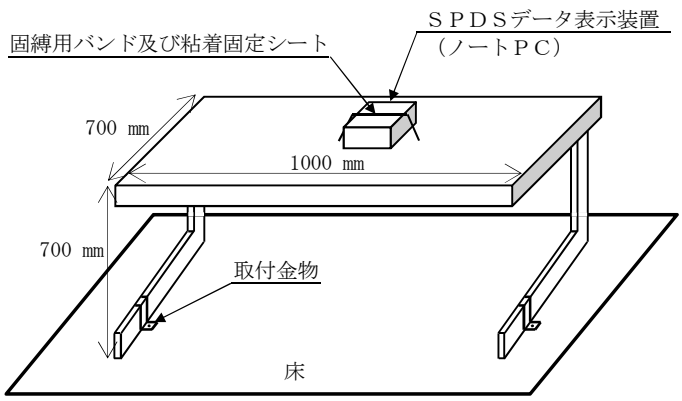
ＳＰＤＳデータ表示装置は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ＳＰＤＳデータ表示装置の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　ＳＰＤＳデータ表示装置の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ノートＰＣを固縛用バンド及び粘着固定シートにて机上に固縛する。 机は取付金物を使用し，ボルトで床に固定する。	ノートＰＣ	

2.2　評価方針

ＳＰＤＳデータ表示装置の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」のうち「4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「4.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

ＳＰＤＳデータ表示装置の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

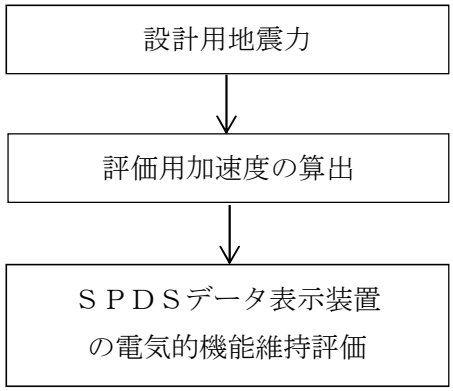


図 2-1　ＳＰＤＳデータ表示装置の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

3.　評価部位

ＳＰＤＳデータ表示装置は，ノートＰＣを固縛用バンド及び粘着固定シートにて机上に固縛することから，机が支持している。机は取付金物にて床に固定する。本計算書では，ＳＰＤＳデータ表示装置の電気的機能維持評価について示す。ＳＰＤＳデータ表示装置の評価部位を，表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

ＳＰＤＳデータ表示装置は，ノートＰＣを固縛用バンド及び粘着固定シートにて机上に固縛することから，机が支持している。机についても取付金物にて床に固定することから，設計用地震力は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に示す，ＳＰＤＳデータ表示装置の設置床における基準地震動Ｓｓに基づく設備評価用床応答曲線とし，評価用加速度には，設置床の最大応答加速度を適用する。

評価用加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価用加速度　（×9.8 m/s^2）

機器名称	据付場所及び床面高さ (m)	方向	基準地震動Ｓｓ 評価用加速度
[redacted]	[redacted] EL. 30.30*1	水平	0.67
		鉛直	0.61

注記　＊1：基準床レベルを示す。

4.2　機能確認済加速度

ＳＰＤＳデータ表示装置の機能確認済加速度について以下に示す。

ＳＰＤＳデータ表示装置は，「2.1　構造計画」に示す実機の据付状態を模擬し，机及び固縛を含め加振台上に設置した上で，当該機器が設置される床における設備評価用床応答曲線を包絡する模擬地震波により加振試験を行う。機能確認済加速度には，加振試験において電気的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
ＳＰＤＳデータ表示装置	水平	1.80
	鉛直	1.65

5.　評価結果

5.1　重大事故等対処設備としての評価結果

ＳＰＤＳデータ表示装置の重大事故等の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電気的機能を有していることを確認した。

(1)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁の表に示す。

【ＳＰＤＳデータ表示装置の耐震性についての計算結果】

1.　重大事故等対処設備

1.1　電気的機能維持の評価結果

（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
ＳＰＤＳデータ表示装置	水平方向	0.67	1.80
	鉛直方向	0.61	1.65

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-7-4　安全パラメータ表示システム（ＳＰＤＳ）
無線通信用アンテナの耐震性についての計算書

目次

1. 無線通信用アンテナ（原子炉建屋側） ····· 1
1.1 概要 ····· 1
1.2 一般事項 ····· 1
1.2.1 構造計画 ····· 1
1.2.2 評価方針 ····· 3
1.2.3 適用基準 ····· 4
1.2.4 記号の説明 ····· 5
1.2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 6
1.3 評価部位 ····· 7
1.4 固有周期 ····· 7
1.4.1 基本方針 ····· 7
1.4.2 固有周期の算出方法 ····· 7
1.4.3 固有周期の算出結果 ····· 7
1.5 構造強度評価 ····· 8
1.5.1 構造強度評価方法 ····· 8
1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 8
1.5.3 設計用地震力 ····· 12
1.5.4 計算方法 ····· 13
1.5.5 計算条件 ····· 15
1.5.6 応力の評価 ····· 16
1.6 機能維持評価 ····· 17
1.6.1 電気的機能維持評価方法 ····· 17
1.7 評価結果 ····· 18
1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 18
2. 無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側） ····· 21
2.1 概要 ····· 21
2.2 一般事項 ····· 21
2.2.1 構造計画 ····· 21
2.2.2 評価方針 ····· 23
2.2.3 適用基準 ····· 24
2.2.4 記号の説明 ····· 25
2.2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 26
2.3 評価部位 ····· 27
2.4 固有周期 ····· 27

2.4.1　基本方針 ····· 27
2.4.2　固有周期の算出方法 ····· 27
2.4.3　固有周期の算出結果 ····· 27
2.5　構造強度評価 ····· 28
2.5.1　構造強度評価方法 ····· 28
2.5.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 28
2.5.3　設計用地震力 ····· 32
2.5.4　計算方法 ····· 33
2.5.5　計算条件 ····· 35
2.5.6　応力の評価 ····· 36
2.6　機能維持評価 ····· 37
2.6.1　電気的機能維持評価方法 ····· 37
2.7　評価結果 ····· 38
2.7.1　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 38

1. 無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）

1.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は，無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の振動試験及び応力評価並びに機能維持評価により行う。

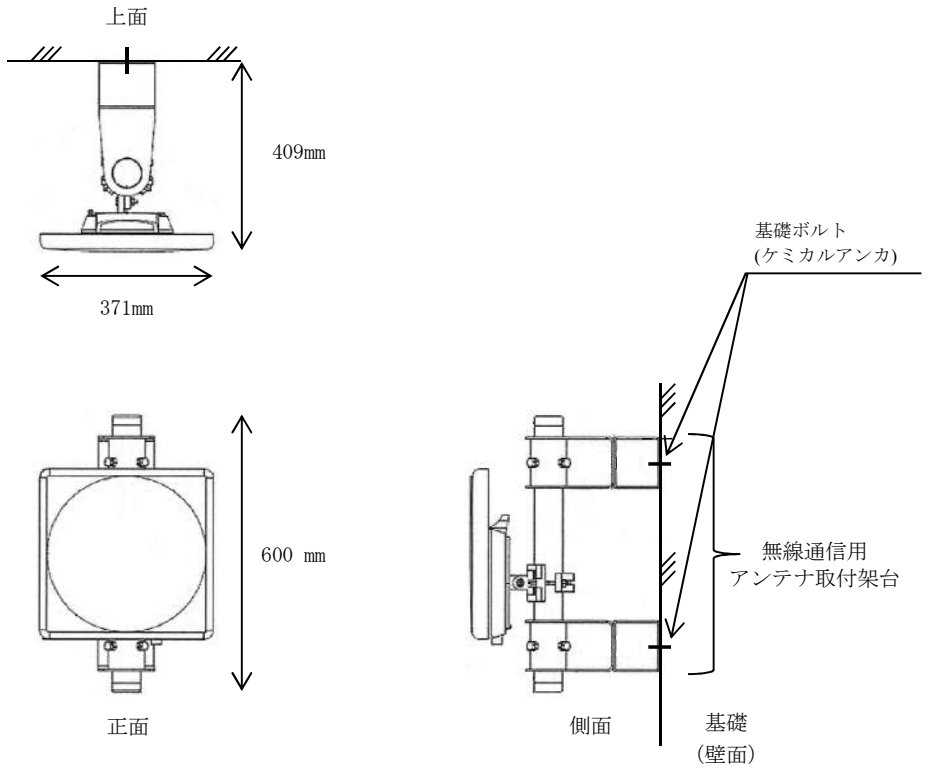
無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の構造計画を表 1.2-1 に示す。

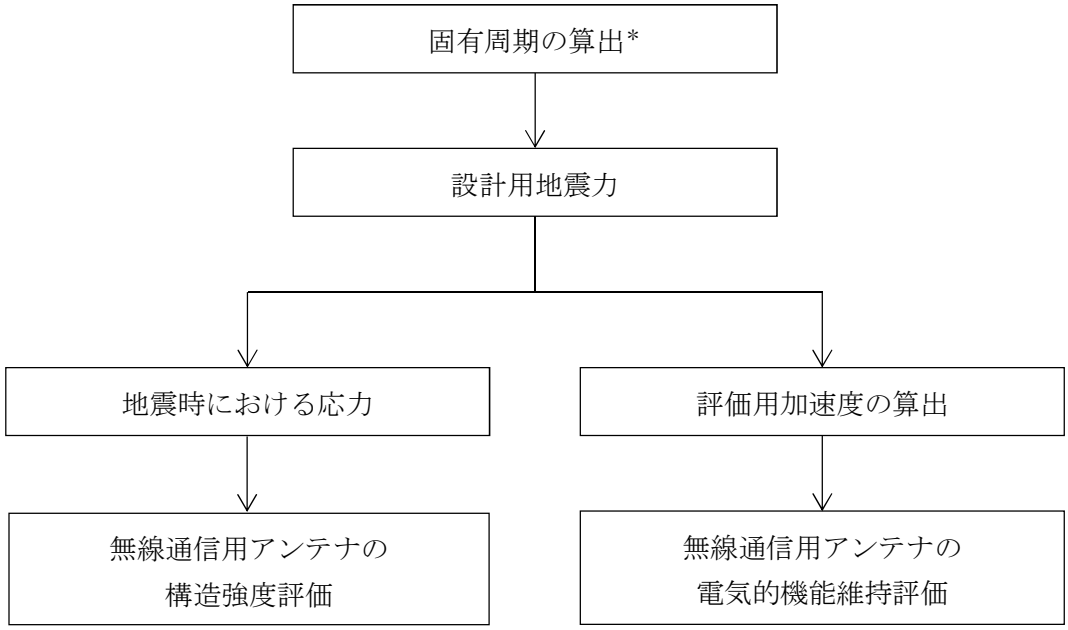
表 1.2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）は，基礎（壁面）に基礎ボルトで設置する。	無線通信用アンテナ（原子炉建屋）	

1.2.2　評価方針

無線通信用アンテナ(原子炉建屋側)は,添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき,「1.2.1 構造計画」にて示す無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）部位を踏まえ「1.3　評価部位」にて設定する箇所において,「1.4　固有周期」で測定した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを,「1.5　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを,「1.6　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「1.7　評価結果」に示す。

無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の耐震評価フローを図 1.2-2 に示す。



＊：算出方法は，振動試験又は理論式による。

図 1.2-2　無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の耐震評価フロー

1.2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥＳ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

1.2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	無線通信用アンテナ取付架台の断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_1	取付面から重心までの距離	mm
h_2	取付面から重心までの距離(壁掛形)	mm
h_a	取付面からアンテナ先端までの距離(壁掛形)	mm
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_3	重心と下側ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_a	側面(左右)ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離(壁掛形)	mm
m	無線通信用アンテナの質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	－
P_k	風荷重	N
P_s	積雪荷重	N
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N

記号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part５ 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part５ 表8に定める値	MPa
S_y（ＲＴ）	設計・建設規格 付録材料図表 Part５ 表8に定める材料の40℃における値	MPa
π	円周率	―
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記　＊：$\ell_1 \leqq \ell_2$

1.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は６桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は，表 1.2-3 に示すとおりとする。

表 1.2-3　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第４位	四捨五入	小数点以下第３位
震度	―	小数点以下第３位	切上げ	小数点以下第２位
温度	℃	―	―	整数位
質量	kg	―	―	整数位
長さ*1	mm	―	―	整数位
面積*2	mm^2	有効数字５桁目	四捨五入	有効数字４桁*2
モーメント	N・mm	有効数字５桁目	四捨五入	有効数字４桁*2
断面二次モーメント	mm^4	有効数字５桁目	四捨五入	有効数字４桁*2
力	N	有効数字５桁目	四捨五入	有効数字４桁*2
縦弾性係数	MPa	有効数字４桁目	四捨五入	有効数字３桁
算出応力	MPa	小数点以下第１位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第１位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第１位を切り捨て，整数位までの値とする。

1.3　評価部位

無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の耐震評価は，「1.5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部ついて実施する。

無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の耐震評価部位については，表 1.2-1 の概略構造図に示す。

1.4.　固有周期

1.4.1　基本方針

無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の固有周期は，振動試験（加振試験）にて求める。

1.4.2　固有周期の算出方法

振動試験装置にて無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の固有振動数を測定する。

1.4.3　固有周期の算出結果

固有周期の算出結果を表 1.4-1 に示す。水平及び鉛直方向は固有周期が 0.05s 以下であり，剛であることを確認した。

表 1.4-1　固有周期(s)

水平	鉛直

1.5　構造強度評価

1.5.1　構造強度評価方法

(1)　無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の質量は，重心に集中しているものとする。

(2)　地震力は，無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）に対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(3)　無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）は基礎ボルトで基礎（壁面）に固定されており，固定端とする。

(4)　転倒方向は，図 1.5-7 (1)，図 1.5-7(2)計算モデルにおける短辺方向及び長辺方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

(5)　無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の重心位置については，転倒方向を考慮して，計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

1.5.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1.5-1 に示す。

1.5.2.2　許容応力

無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の許容応力を表 1.5-2 に示す。

1.5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1.5-3 に示す。

1.5.2.4　風荷重

風荷重は，風速 30 m/s を使用し，無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の形状，風向きを踏まえ，作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表 1.5-4 に示す。

1.5.2.5　積雪荷重

積雪荷重は，単位荷重 20 N/cm/m^2 *を使用し，無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の形状を踏まえ，作用する積雪荷重を算出する。算出した積雪荷重を表 1.5-5 に示す。

注記　＊：積雪量 1cm ごとに 1m^2 あたり 20N であることを示す。

表 1.5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他	無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）	常設／防止 常設／緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s+P_k+P_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_k+P_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_k+P_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 1.5-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1.5-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ(ＲＴ) (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	235	400	－

表 1.5-4　基準速度圧

作用する部位	基準速度圧 (N)
無線通信用アンテナ取付架台	1059

表 1.5-5　積雪荷重

作用する部位	積雪荷重 (N)
無線通信用アンテナ取付架台	91.04

1.5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 1.5-6 に示す。

表 1.5-6　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL. 63.65*1			－	－	C_H=2.45	C_V=1.88

注記　＊1：基準床レベルを示す。

1.5.4　計算方法

1.5.4.1　応力の計算方法

1.5.4.1.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

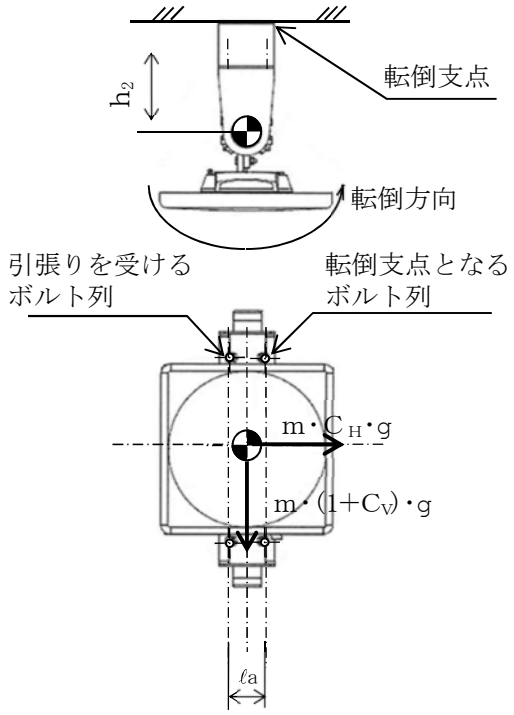


図1.5-7(1)　計算モデル（短辺方向転倒）

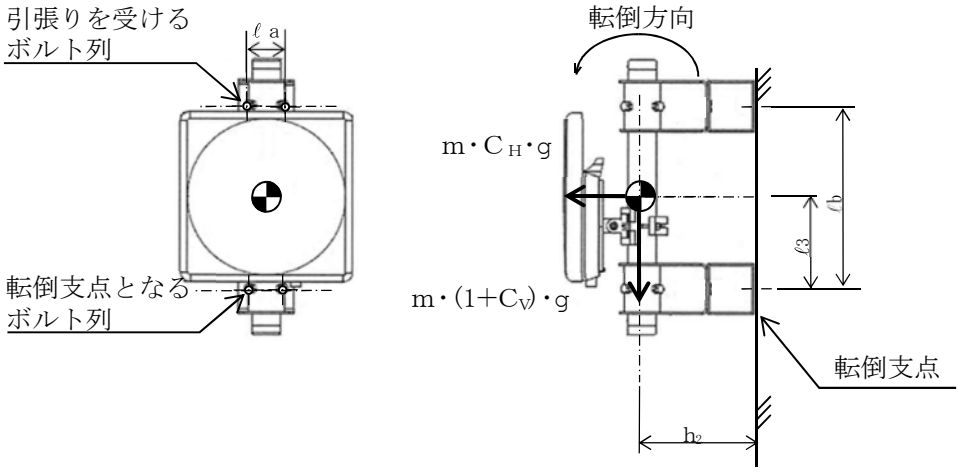


図1.5-7(2)　計算モデル（長辺方向転倒）

(1)　引張応力

ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図1－5－7(1)及び図1－5－7(2)で最外列のボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図1.5-7(1)の場合の引張力

$$F_{b1}=(m\cdot g+0.35P_S)\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right)+\left(\frac{P_K\cdot h_a}{n_{fH}\cdot \ell_a}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.1)$$

計算モデル図1.5-7(2)の場合の引張力

$$F_{b2}=(m\cdot g+0.35P_S)\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \cdots (1.5.4.1.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}(F_{b1},\ F_{b2}) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.4)$$

ここで，ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.5)$$

ただし，F_bが負のときボルトには引張力が生じないので，引張応力の計算は行わない。

(2)　せん断応力

ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

a.壁掛形

$$Q_{b1}=(m\cdot g+0.35P_S)\cdot C_H \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2}=(m\cdot g+0.35P_S)\cdot(1+C_V) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_b=\frac{Q_b+P_K}{n\cdot A_b} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.9)$$

1.5.5　計算条件

1.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

1.5.6　応力の評価

1.5.6.1　ボルトの応力評価

1.5.4.1.1 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to} は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし，f_{sb} は下表による。

	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

1.6　機能維持評価

1.6.1　電気的機能維持評価方法

無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の電気的機能維持評価について以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1.6-1 に示す。

表 1.6-1　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）	水平	
	鉛直	

1.7　評価結果

1.7.1　重大事故等対処設備としての評価結果

無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。

発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
無線通信用アンテナ (原子炉建屋側)	常設／防止 常設／緩和	原子炉建屋			－	－	C_H=2.45	C_V=1.88	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								1	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F＊ (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	205	520	－	205	－	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	－		－	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=23	f_{ts}=123*
		せん断	－	－	τ_b=5	f_{sb}=94

すべて許容応力以下である。

注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）	水平方向	2.04	
	鉛直方向	1.56	

評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）

2.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は，無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の振動試験及び応力評価並びに機能維持評価により行う。

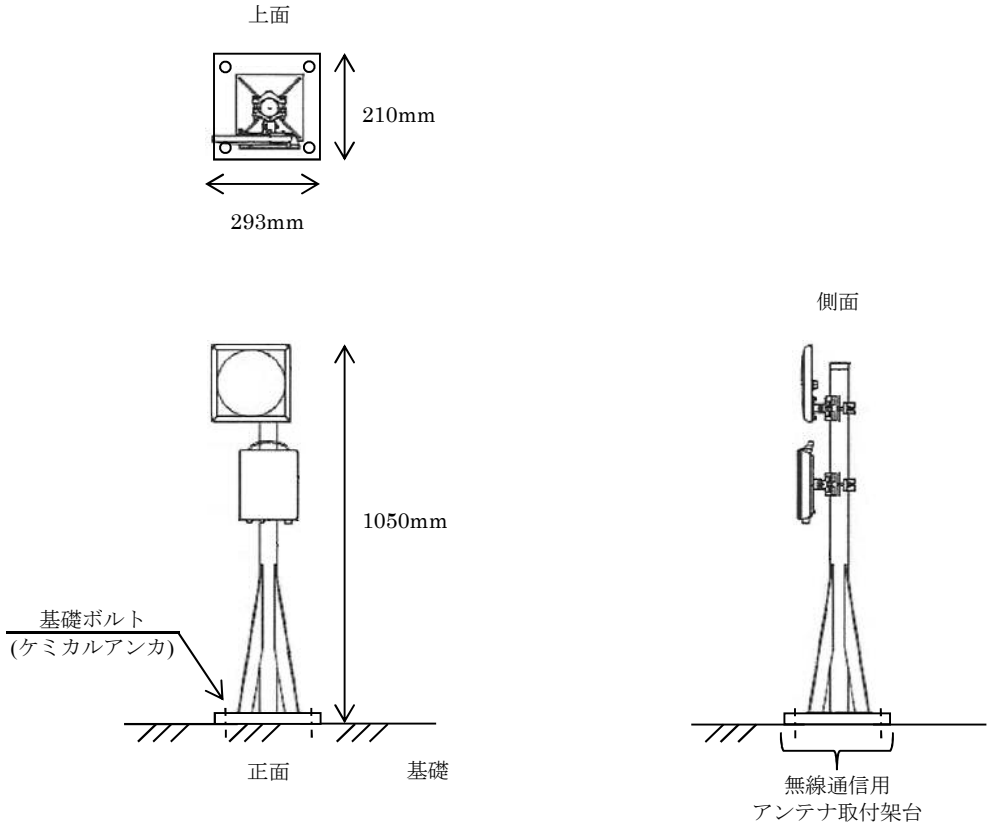
無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の構造計画を表 2.2-1 に示す。

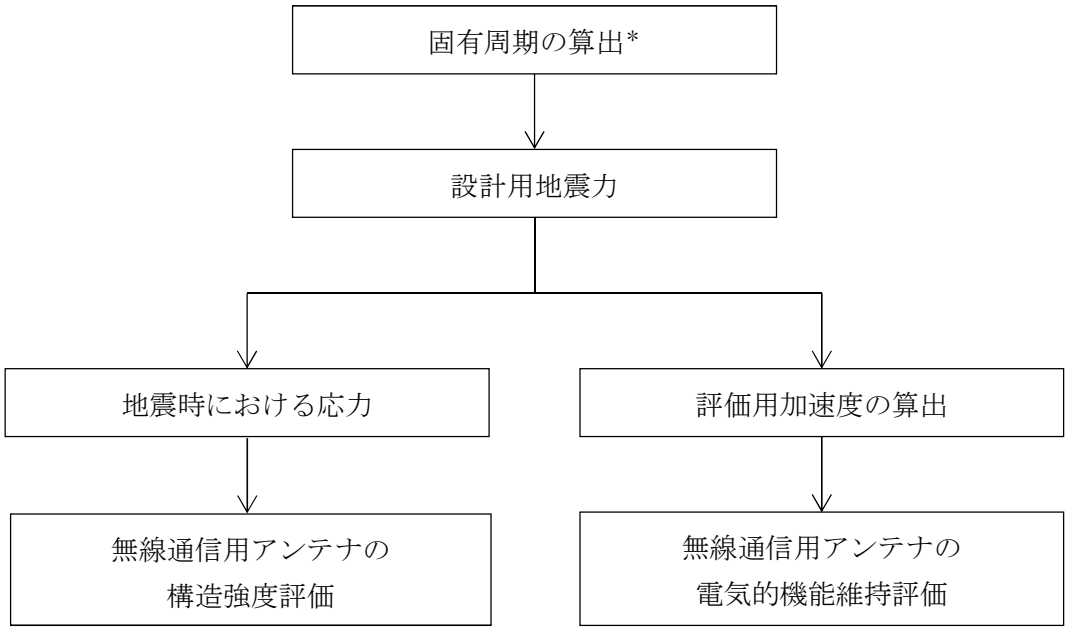
表 2.2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）は，基礎に基礎ボルトで設置する。	無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）	

2.2.2　評価方針

無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.2.1　構造計画」にて示す無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）部位を踏まえ「2.3 評価部位」にて設定する箇所において，「2.4　固有周期」で測定した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを，「2.5　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「2.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.7　評価結果」に示す。

無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の耐震評価フローを図 2.2-2 に示す。



＊：算出方法は，振動試験又は理論式による。

図 2.2-2　無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の耐震評価フロー

2.2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥＳ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	無線通信用アンテナ取付架台の断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_1	取付面から重心までの距離	mm
h_2	取付面から重心までの距離(壁掛形)	mm
h_a	取付面からアンテナ先端までの距離(壁掛形)	mm
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_3	重心と下側ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_a	側面(左右)ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離(壁掛形)	mm
m	無線通信用アンテナの質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	－
P_k	風荷重	N
P_s	積雪荷重	N
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N

記号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part５ 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part５ 表8に定める値	MPa
S_y（ＲＴ）	設計・建設規格 付録材料図表 Part５ 表8に定める材料の40℃における値	MPa
π	円周率	―
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記　＊：$\ell_1 \leqq \ell_2$

2.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は６桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は，表 2.2-3 に示すとおりとする。

表 2.2-3　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第４位	四捨五入	小数点以下第３位
震度	―	小数点以下第３位	切上げ	小数点以下第２位
温度	℃	―	―	整数位
質量	kg	―	―	整数位
長さ*1	mm	―	―	整数位
面積*2	mm^2	有効数字５桁目	四捨五入	有効数字４桁*2
モーメント	N･mm	有効数字５桁目	四捨五入	有効数字４桁*2
断面二次モーメント	mm^4	有効数字５桁目	四捨五入	有効数字４桁*2
力	N	有効数字５桁目	四捨五入	有効数字４桁*2
縦弾性係数	MPa	有効数字４桁目	四捨五入	有効数字３桁
算出応力	MPa	小数点以下第１位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第１位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第１位を切り捨て，整数位までの値とする。

2.3　評価部位

無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の耐震評価は，「2.5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部について実施する。

無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の耐震評価部位については，表 2.2-1 の概略構造図に示す。

2.4.　固有周期

2.4.1　基本方針

無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の固有周期は，振動試験（加振試験）にて求める。

2.4.2　固有周期の算出方法

振動試験装置にて無線通信用アンテナ(緊急時対策所建屋側)の固有振動数を測定する。

2.4.3　固有周期の算出結果

固有周期の算出結果を表2.4-1示す。水平及び鉛直方向は固有周期が0.05s以下であり，剛であることを確認した。

表 2.4-1　固有周期(s)

水平	鉛直

2.5. 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

(1) 無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の質量は，重心に集中しているものとする。

(2) 地震力は，無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）に対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(3) 無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）は基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。

(4) 転倒方向は，図 2.5-7 計算モデルにおける短辺方向及び長辺方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

(5) 無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の重心位置については，転倒方向を考慮して，計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。

(6) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2.5-1 に示す。

2.5.2.2 許容応力

無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の許容応力を表 2.5-2 に示す。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2.5-3 に示す。

2.5.2.4 風荷重

風荷重は，風速 30 m/s を使用し，無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の形状，風向きを踏まえ，作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表 2.5-4 に示す。

2.5.2.5 積雪荷重

積雪荷重は，単位荷重 20 N/cm/m^2 *を使用し，無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の形状を踏まえ，作用する積雪荷重を算出する。算出した積雪荷重を表 2.5-5 に示す。

注記 ＊：積雪量 1cm ごとに 1m^2 あたり 20N であることを示す。

表 2.5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他	無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）	常設／防止 常設／緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s+P_k+P_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_k+P_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_S+P_k+P_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 2.5-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2.5-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	205	520	－

表 2.5-4　基準速度圧

作用する部位	基準速度圧 (N)
無線通信用アンテナ取付架台	1162

表 2.5-5　積雪荷重

作用する部位	積雪荷重 (N)
無線通信用アンテナ取付架台	42.51

2.5.3　設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 2.5-6 に示す。

「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 2.5-6　設計用地震力（重大事故等対処設備）

設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
		水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
常設／防止 常設／緩和	緊急時対策所建屋側			－	－	C_H=1.93	C_V=1.45

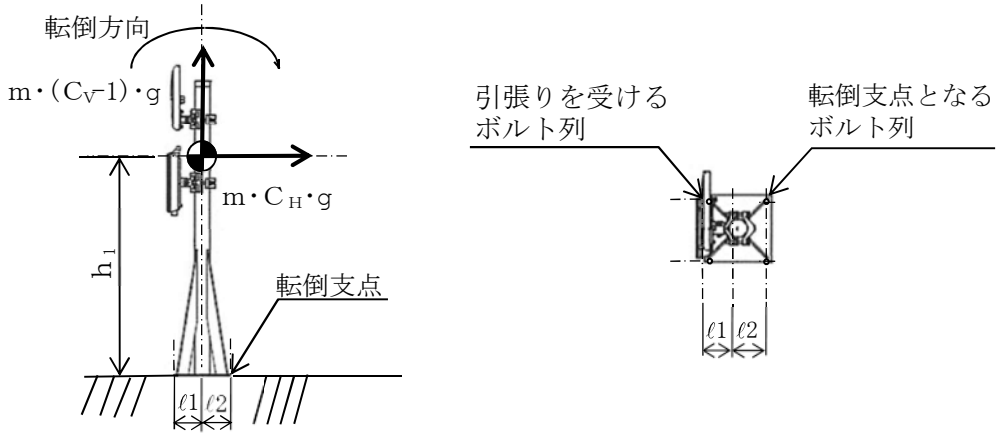
注記　＊1：基準床レベルを示す。

2.5.4　計算方法

2.5.4.1　応力の計算方法

2.5.4.1.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。



($\ell_1 \leqq \ell_2$)

図2.5-7　計算モデル

（直立形　側面方向転倒－1（1－C_V）≧0の場合）

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図2.5-7で最外列のボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図2.5-7の場合の引張力

$$F_b=\frac{(m\cdot g+0.35P_S)\cdot C_H\cdot h_1+P_K\cdot h_a-(m\cdot g+0.35P_S)\cdot(1-C_V)\cdot \ell_2}{n_f\cdot(\ell_1+\ell_2)} \quad \cdots\cdots (2.5.4.1.1.1)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots (2.5.4.1.1.2)$$

ここで，ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots (2.5.3.1.1.3)$$

ただし，F_bが負のときボルトには引張力が生じないので，引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

a. 直立形

$$Q_b = (m\cdot g+0.35P_S)\cdot C_H \quad \cdots\cdots (2.5.3.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b=\frac{Q_b+P_K}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots (2.5.3.1.1.5)$$

2.5.5　計算条件

2.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.5.6　応力の評価

2.5.6.1　ボルトの応力評価

2.5.4.1.1 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to} は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (2.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし，f_{sb} は下表による。

	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

2.6　機能維持評価

2.6.1　電気的機能維持評価方法

無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の電気的機能維持評価について以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2.6-1 に示す。

表 2.6-1　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）	水平	
	鉛直	

2.7　評価結果

2.7.1　重大事故等対処設備としての評価結果

無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。

発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）	常設／防止 常設／緩和	緊急時対策所建屋			－	－	C_H=1.93	C_V=1.45	

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_i (mm)	ℓ_2 (mm)	A_b (mm^2)	n_i	nf_i*
基礎ボルト							2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	205	520	－	205	－	側面方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	－		－	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=27	f_{ts}=123*
		せん断	－	－	τ_b=4	f_{sb}=94

すべて許容応力以下である。

注記＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}－1.6・τb，f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
無線通信用アンテナ（緊急時対策所建屋側）	水平方向	1.61	
	鉛直方向	1.21	

評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-7-5　統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 3
3. 評価部位 ····· 3
4. 機能維持評価 ····· 5
4.1 評価用加速度 ····· 5
4.2 機能確認済加速度 ····· 5
5. 評価結果 ····· 6
5.1 重大事故等対処施設としての評価結果 ····· 6

1.　概要

本資料は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき，統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備が設計用地震力に対して十分な電気的機能を有していることを説明するものである。

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備は，設計基準対象施設においてはCクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故等対処設備(防止でも緩和でもない設備)に分類される。以下，重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。

2.　一般事項

2.1　構造計画

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の構造計画を表 2-1～表 2-4 に示す。

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備は，ＩＰ電話（有線系），ＩＰ電話（衛星系），ＩＰ－ＦＡＸ及びテレビ会議システムで構成される。

表 2-1　構造計画（ＩＰ電話（有線系））

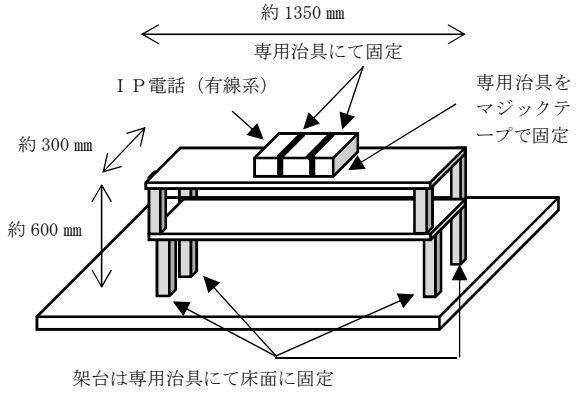
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ＩＰ電話(有線系)を専用治具にて固定し，専用治具はマジックテープにて架台の上に固定する。また，架台は専用治具にて床面に固定する。	電話機	

表 2-2　構造計画（ＩＰ電話（衛星系））

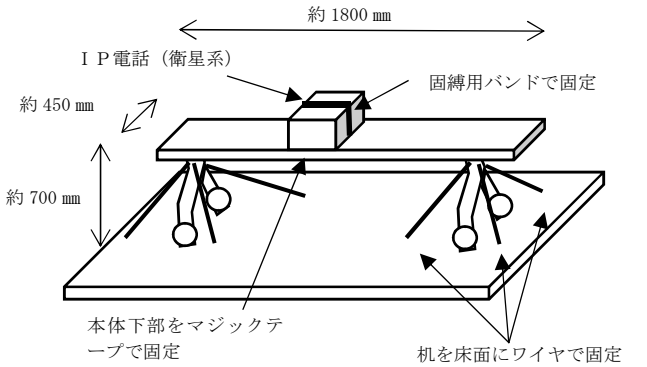
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ＩＰ電話(衛星系)を固縛用バンド及びマジックテープにて机の上に固定する。また，机はワイヤにて床面に固定する。	電話機	

表 2-3　構造計画（ＩＰ－ＦＡＸ）

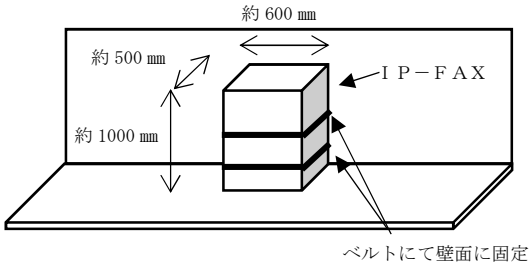
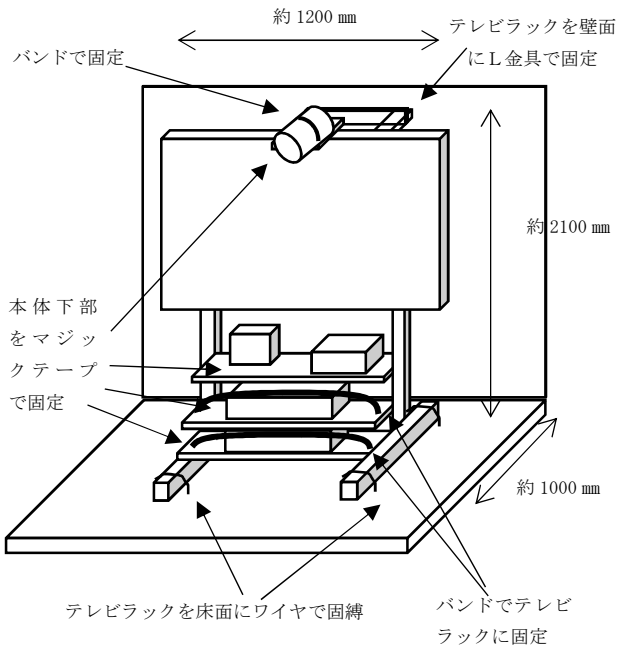
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ＩＰ－ＦＡＸをベルトにて壁面に固定する。	ＦＡＸ	

表 2-4　構造計画（テレビ会議システム）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
テレビ会議システムをバンド及びマジックテープでテレビラックに固定する。 また，テレビラックは壁面にＬ金具で固定及び床面にワイヤで固縛する。	テレビ	

2.2　評価方針

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針 4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「4.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

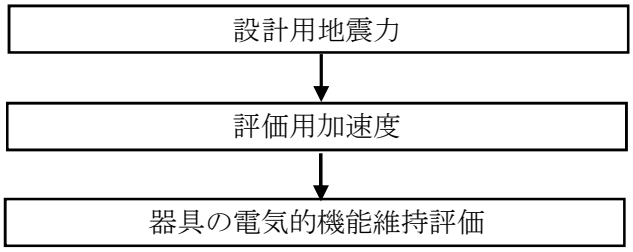


図 2-1　統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991　追補版（日本電気協会）

3.　評価部位

評価部位は統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の本体である。本計算書では，加振試験結果を用いた統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の電気的機能維持評価について示す。

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の電気的機能維持評価は，統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備設置床の加速度により実施する。統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の耐震評価部位については，表 2-1～表 2-4 の概略構造図に示す。

また，評価する器具の外形図を図 3-1～図 3-4 に示す。

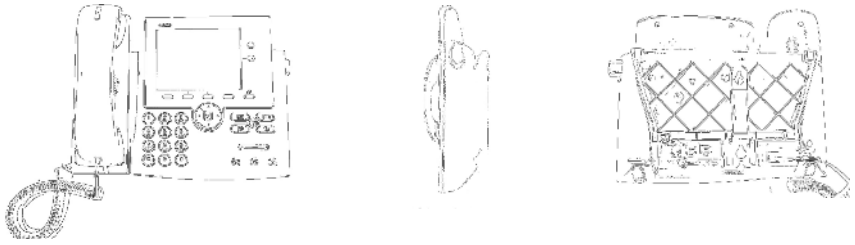


図 3-1　ＩＰ電話（有線系）外形図

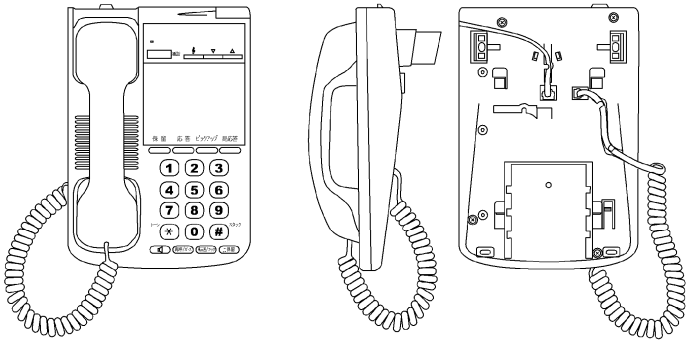


図 3-2　ＩＰ電話（衛星系）外形図

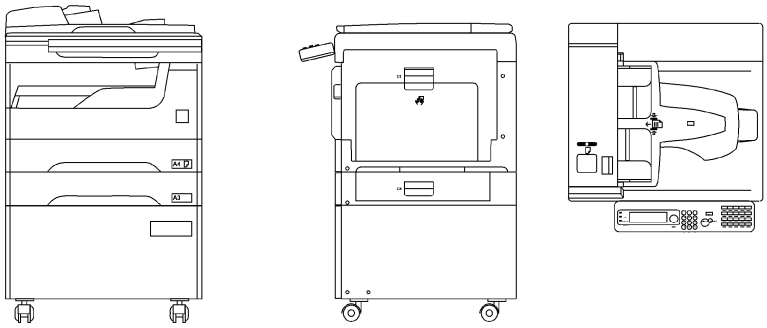


図 3-3　ＩＰ－ＦＡＸ外形図

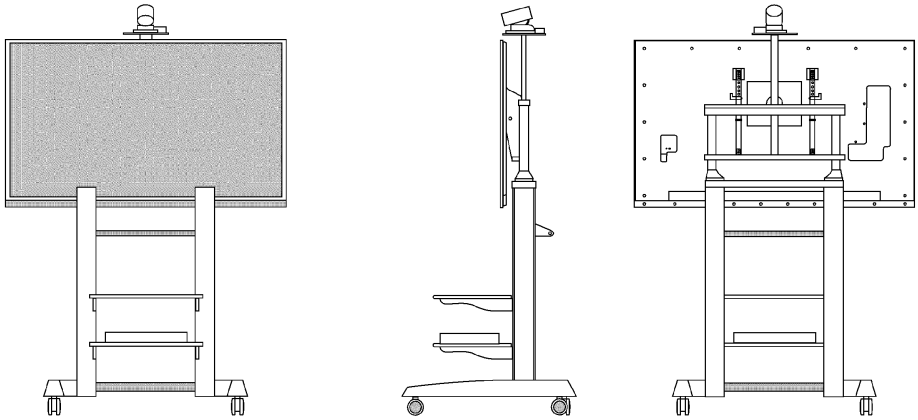


図 3-4　テレビ会議システム外形図

4. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備は，緊急時対策所に設置されることから，評価用加速度は，「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力として，添付書類「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき，作成した設備評価用床応答曲線を用いて，統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の設置床の最大応答加速度とする。評価用加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価用加速度 （×9.8 m／s^2）

機器名称	対象機器設置個所 (m)	方向	基準地震動Ｓ$_s$ 評価用加速度
統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備	緊急時対策所 EL. 30.30	水平	1.28
		鉛直	1.14

4.2 機能確認済加速度

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の機能確認済加速度については以下に示す。

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち，ＩＰ電話（有線系）の機能確認済加速度には，加振台上に実機の固縛状態を模擬し固定した同型式の電話機単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した電話機の加速度を適用する。なお，実機の据付には，固有周期が水平方向及び鉛直方向とも 0.05 秒以下であり剛であることを確認した架台を使用する。架台の耐震性については，添付書類「Ⅴ-2-別添 3-5 可搬型重大事故等対処設備のうちその他設備の耐震性についての計算書」に示す。ＩＰ電話（有線系）は添付書類「Ⅴ-2-別添 3-5 可搬型重大事故等対処設備のうちその他設備の耐震性についての計算書」中に記載の収納箱架台固縛のうち架台 3 の上に，電話機単体の加振試験と同じ状態で設置する。

また，統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち，ＩＰ電話（衛星系），ＩＰ－ＦＡＸ及びテレビ会議システムについては，実機の据付状態を模擬し，ＩＰ電話（衛星系）については机，テレビ会議システムについてはテレビラックを含め加振台上に設置し，2.1 構造計画の概略構造図に記載のとおり固定及び固縛し，当該機器が設置される床における設備評価用床応答曲線を上回る模擬地震波により加振試験を行う。機能確認済加速度には，加振試験において電気的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2　機能確認済加速度　　（×9.8 m／s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
ＩＰ電話（有線系）	水平	
	鉛直	
ＩＰ電話（衛星系）	水平	
	鉛直	
ＩＰ－ＦＡＸ	水平	
	鉛直	
テレビ会議システム	水平	
	鉛直	

5.　評価結果

5.1　重大事故等対処施設としての評価結果

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電気的機能が維持されていることを確認した。

(1)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を表 5-1 に示す。

表 5-1　電気的機能維持の評価結果（重大事故等対処施設）　（×9.8 m／s²）

評価対象設備			加振方向	評価用加速度	機能確認済加速度
計測制御系統施設	その他	ＩＰ電話（有線系）	水平	1.28	
			鉛直	1.14	
		ＩＰ電話（衛星系）	水平	1.28	
			鉛直	1.14	
		ＩＰ－ＦＡＸ	水平	1.28	
			鉛直	1.14	
		テレビ会議システム	水平	1.28	
			鉛直	1.14	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-7-6　統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 2
2.3 適用基準 ····· 3
2.4 記号の説明 ····· 4
2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 7
3. 評価部位 ····· 7
4. 固有周期 ····· 8
4.1 固有値解析方法 ····· 8
4.2 解析モデル及び諸元 ····· 8
4.3 固有値解析結果 ····· 10
5. 構造強度評価 ····· 13
5.1 構造強度評価方法 ····· 13
5.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 13
5.3 設計用地震力 ····· 16
5.4 計算方法 ····· 17
5.5 計算条件 ····· 22
5.6 応力の評価 ····· 22
6. 機能維持評価 ····· 23
6.1 電気的機能維持評価方法 ····· 23
7. 評価結果 ····· 24
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 24

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

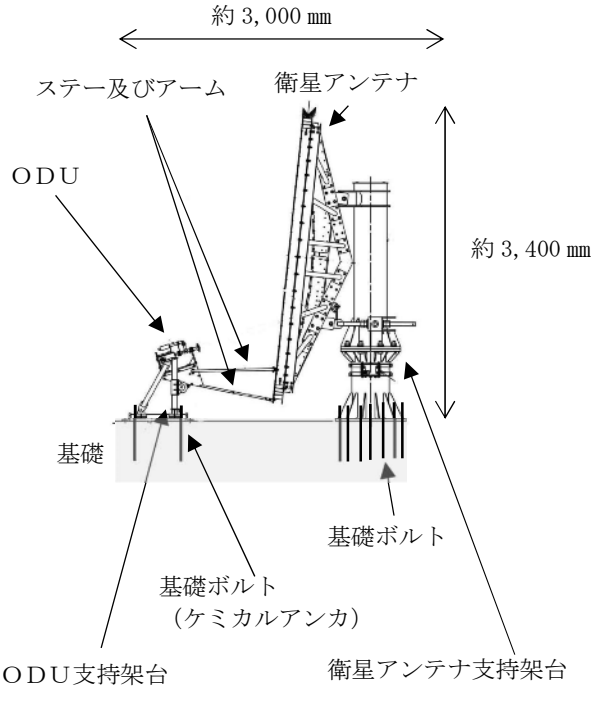
統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナは，設計基準対象施設においてはCクラス施設に分類される。また，統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナは，重大事故等対処設備においては常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）に分類されるが，重大事故等時に使用する通信連絡設備であることを考慮し，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

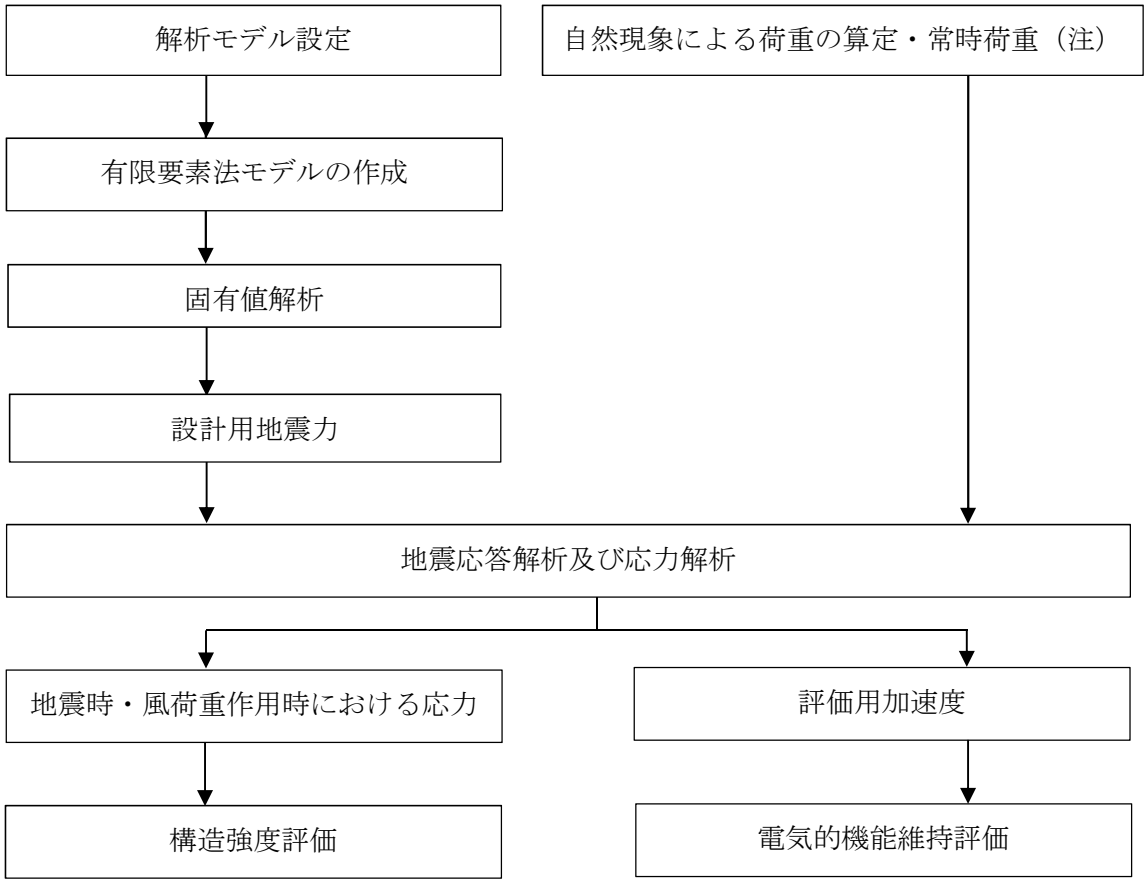
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
衛星アンテナは，ボルトにより衛星アンテナ支持架台に固定され，衛星アンテナ支持架台は基礎ボルトにより基礎に固定される。 ＯＤＵ（送受信装置）は，ボルトによりＯＤＵ支持架台に固定され，ＯＤＵ支持架台は基礎ボルトにより基礎に固定される。 ＯＤＵと衛星アンテナはステー及びアームにより連結される。	アンテナ（注）	

（注）機能維持評価を行う，ＯＤＵを実装

2.2　評価方針

衛星アンテナの応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの部位を踏まえ，「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「5.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「6.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を，「7. 評価結果」に示す。

統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの耐震評価フローを図 2-1 に示す。



（注）常時荷重は，自重，風荷重を考慮するものとする。また，上面積は小さく，積雪荷重はわずかであるため，積雪荷重を含めない。

図 2-1　統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991　追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））
ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4　記号の説明

添付書類「V-2-1-13-3　平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」より引用

記　号	記　号　の　説　明	単　位
A	胴の軸断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_e	胴の有効せん断断面積	mm^2
C_c	基礎ボルト計算における係数	－
C_H	水平方向設計震度	－
C_t	基礎ボルト計算における係数	－
C_v	鉛直方向設計震度	－
D_{bi}	ベースプレートの内径	mm
D_{bo}	ベースプレートの外径	mm
D_c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D_i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	－
F	設計・建設規格　SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_c	基礎に作用する圧縮力	N
F_t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f_c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力(f_s*を1.5倍した値)	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm^4
K_H	水平方向ばね定数	N/m
K_V	鉛直方向ばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	－
ℓ_1, ℓ_2	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離	mm
ℓ_g	基礎から容器重心までの距離	mm
M_s	基礎に作用する転倒モーメント	N･mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_e	容器の空質量	kg
n	基礎ボルトの本数	－
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa

記　号	記　号　の　説　明	単　位
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（RT）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	－
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
z	基礎ボルト計算における係数	－
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
η	座屈応力に対する安全率	－
π	円周率	－
ρ'	液体の密度（＝比重×10^{-6}）	kg/mm^3
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{2\phi}$	地震動のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値（圧縮側）	MPa
σ_{2t}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値（引張側）	MPa
σ_{2xc}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{2xt}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和（引張側）	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
σ_{x1}，$\sigma_{\phi 1}$	静水頭により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x3}	胴の鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震により胴に生じる曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和（引張側）	MPa
σ_ϕ	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
ϕ_1（x）	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
ϕ_2（x）	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

添付書類「V-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」より引用

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_1	取付面から重心までの距離	mm
h_2	取付面から重心までの距離(壁掛形)	mm
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_3	重心と下側ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_a	側面(左右)ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離(壁掛形)	mm
m	計器スタンションの質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N

記号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part５　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part５　表8に定める値	MPa
S_y（ＲＴ）	設計・建設規格　付録材料図表　Part５　表8に定める材料の40℃における値	MPa
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記　＊：$\ell_1 \leqq \ell_2$

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
固有振動数	Hz	小数点以下第2位	四捨五入	小数点以下第1位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ	mm	－	－	整数位*1
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　*1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

*3：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3.　評価部位

統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの耐震評価は，「5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルト，ステー，アーム，衛星アンテナ支持架台及びＯＤＵ支持架台を選定して実施する（但し，固有値解析の結果，固有振動数が20Hz以上（固有周期が0.05秒以下）の場合は，評価部位は基礎ボルトのみとする。）。統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの耐震評価部位については，表2-1の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの固有値解析方法を以下に示す。

(1) 統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナを 4.2 解析モデル及び諸元に示す 3 次元はり要素及びシェル要素によりモデル化した 3 次元ＦＥＭモデルまたはソリッドモデルとする。

4.2 解析モデル及び諸元

統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの解析モデルを図 4-1 に，解析モデルの概要を表 4-1 に示す。

(1) 統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの質量は重心に集中するものとする。

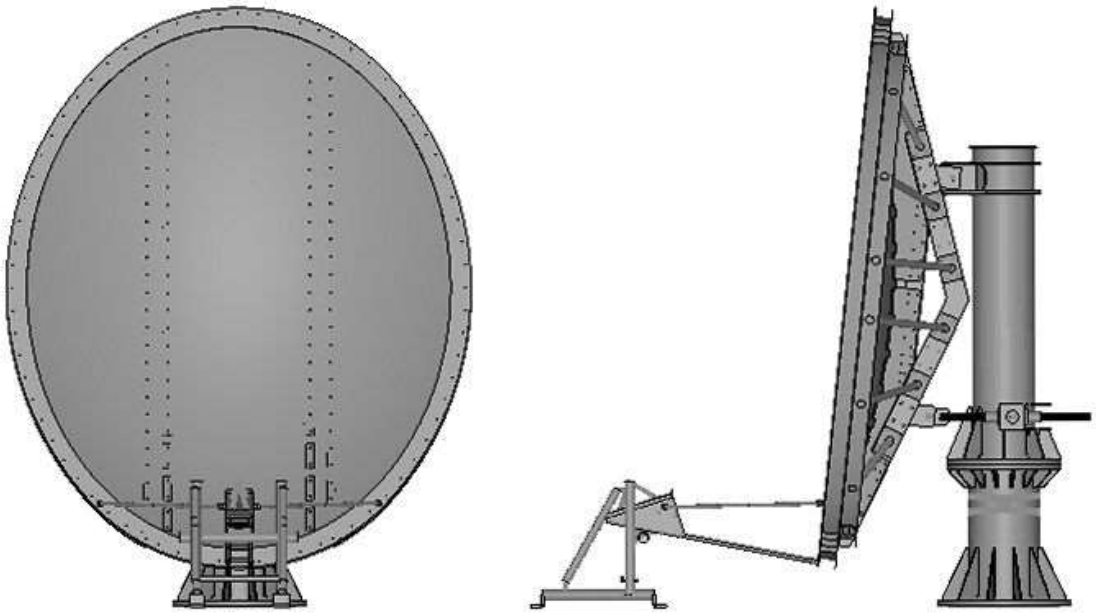
(2) 統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの重心位置については，計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定するものとする。

(3) ＯＤＵ（電源部含む）は，取り付け位置に質量要素として付加する。

(4) 拘束条件は，基礎ボルト固定部を完全固定とする。なお，基礎ボルト部は剛体として評価する。

(5) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

(6) 解析コードは，「ＡＢＡＱＵＳ」を使用する。なお，評価に用いる「ＡＢＡＱＵＳ」の検証及び妥当性確認などの概要については，添付書類「Ⅴ-5-5 計算機プログラム（解析コード）の概要・ＡＢＡＱＵＳ」に示す。



正面図　　側面図

図 4-1 解析モデル

表 4-1　解析モデルの諸元

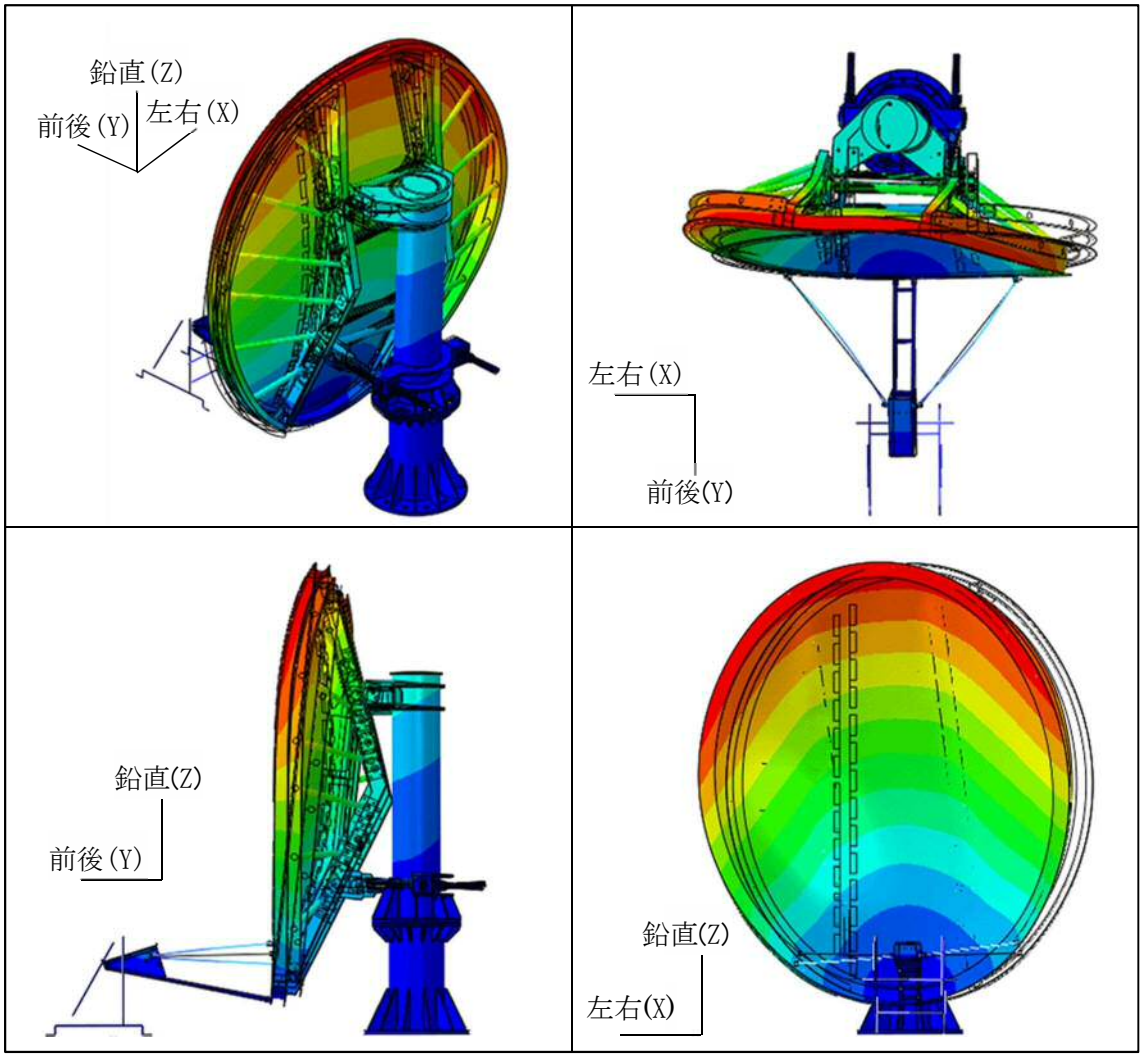
項目		記号	単位	入力値
材質		－	－	SS400(16mm 以下)
		－	－	SS400(25mm 以下)
		－	－	STK400
		－	－	A5052P-H34
		－	－	A6063S-T5
		－	－	SUS304
温度条件（雰囲気温度）		T	℃	40
縦弾性係数	SS400/STK400	E	MPa	2.05×10^{5}
	A5052P－H34	E	MPa	7.0×10^{4}
	A6063S-T5	E	MPa	7.0×10^{4}
	SUS304	E	MPa	1.93×10^{5}
密度	SS400/STK400	V	kg/mm^3	7.87×10^{-6}
	A5052P－H34	V	kg/mm^3	2.7×10^{-6}
	A6063S-T5	V	kg/mm^3	2.7×10^{-6}
	SUS304	V	kg/mm^3	8.03×10^{-6}

4.3　固有値解析結果

固有値解析結果（固有振動数及び固有周期）を表 4-2 に示す。また，振動モード図を図 4-2，図 4-3 及び図 4-4 に示す。左右方向は 1 次モードにおいて卓越し，固有振動数が 20Hz 以上（固有周期が 0.05 秒以下）であり，剛であることを確認した。また，前後方向は 2 次モードにおいて，鉛直方向は 6 次モードにおいて卓越し，それぞれ固有振動数が 20Hz 以上（固有周期が 0.05 秒以下）であり剛であることを確認した。

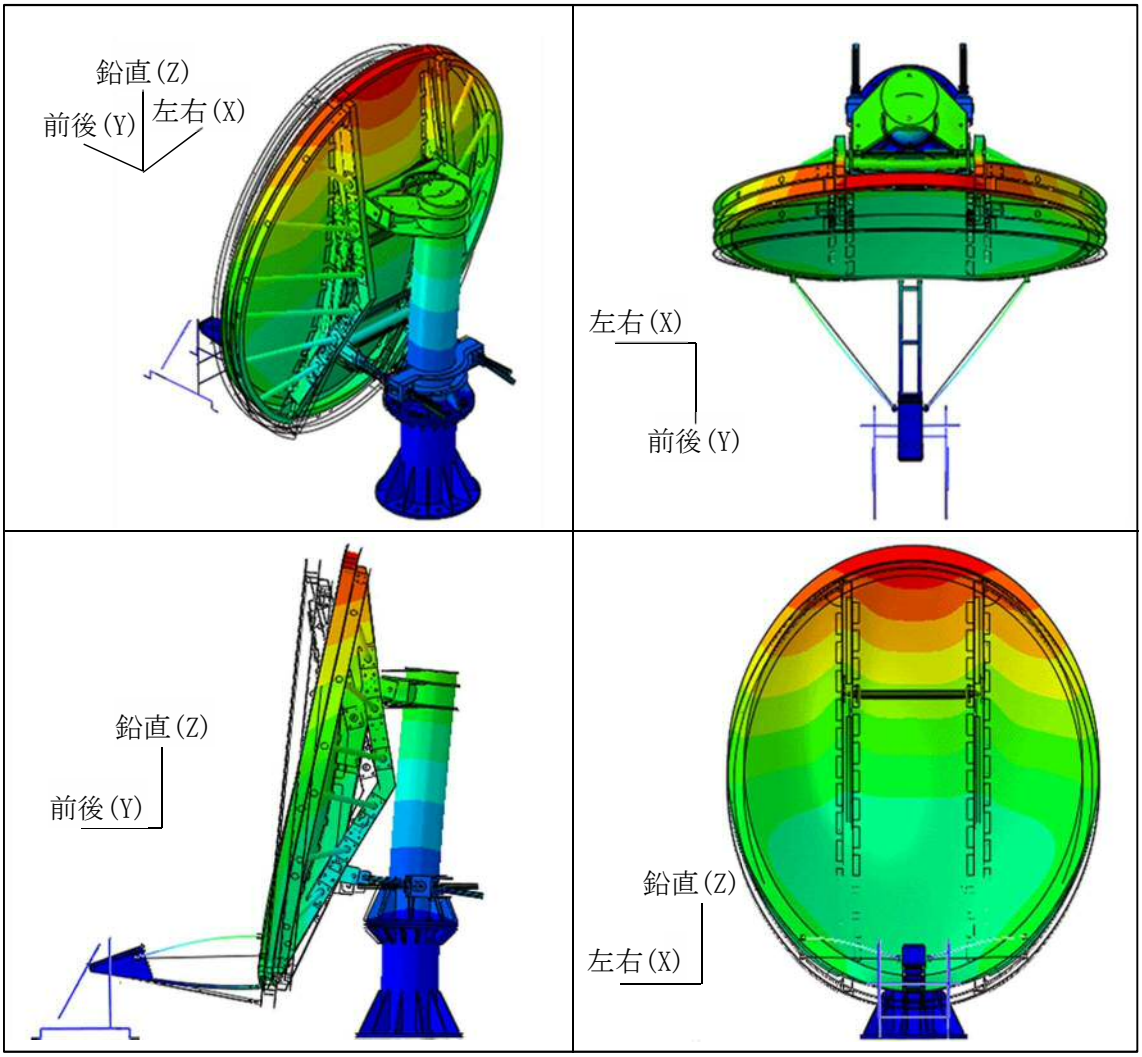
表 4-2 固有振動数及び固有周期

次数	固有振動数	固有周期	刺激係数			卓越方向
	(Hz)	(s)	左右方向(X)	前後方向(Y)	鉛直方向(Z)	
1	23.0	0.043	0.525	0.000	0.000	左右(X)
2	28.8	0.035	-0.001	-0.552	0.249	前後(Y)
6	50.6	0.020	0.000	0.414	0.367	鉛直(Z)



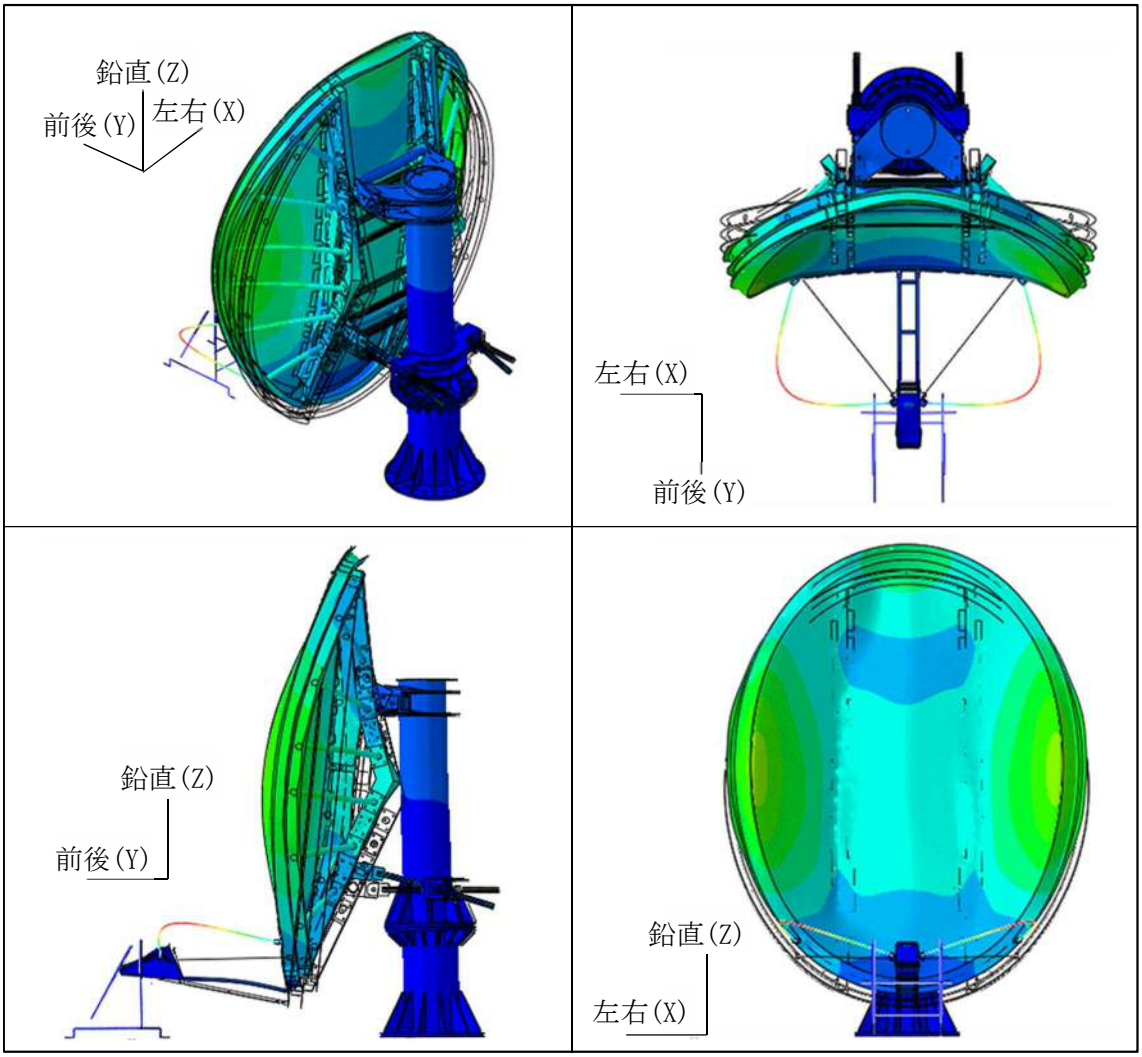
※図中の色は固有振動数モードにおける，変形の相対的な大きさを表す。（赤：変形大，青：変形小）

図 4-2 1 次モード図　(23.0Hz，0.043s)



※図中の色は固有振動数モードにおける，変形の相対的な大きさを表す。(赤：変形大，青：変形小)

図 4-3 2 次モード図　(28.8Hz，0.035s)



※図中の色は固有振動数モードにおける，変形の相対的な大きさを表す。(赤：変形大，青：変形小)

図 4-4 6 次モード図 (50.6Hz，0.020s)

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)～(6)のほか，次の条件で計算する。

(1) 地震力は，統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナに対して，水平及び鉛直方向から作用するものとする。

(2) 風荷重は，統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナに対して，水平方向から作用するものとする。

なお，統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナは常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）に分類されるが，重大事故等時に使用する通信連絡設備であることを考慮し，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他	統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナ	その他*4	－*2	$D+P_D+M_D+S_s+P_K$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_K$	V_AS（V_ASとして，$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる）

注記　＊1：「その他」は常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_K$」の評価に包絡される場合は，評価結果の記載を省略する。

＊4：常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）に分類されるが，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

表 5-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容 応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
V_AS （V_ASとして，$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる）		

注　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		Sy (MPa)	Su (MPa)	Sy(RT) (MPa)
基礎ボルト	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	－

5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

表 5-4　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
緊急時対策所建屋 EL.51.00*1	0.05*2	0.05*2	C_H＝1.93	C_V＝1.45

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

5.4　計算方法

5.4.1　応力の計算方法

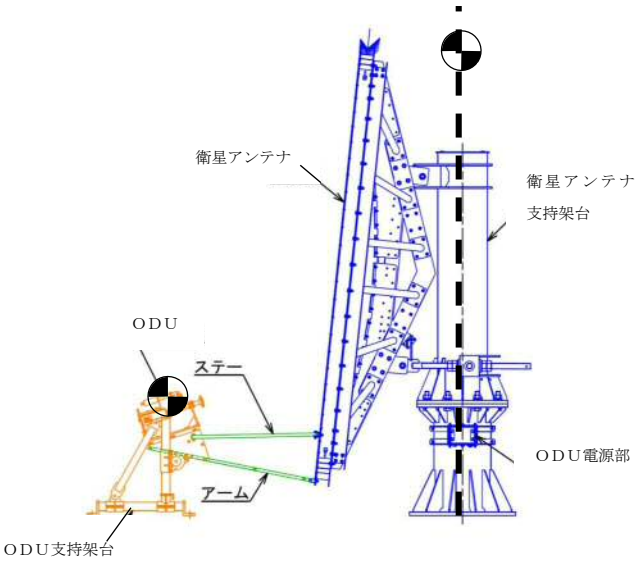
統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの固有値解析の結果，固有振動数が20Hz 以上（固有周期が 0.05 秒以下）であり剛であることから，評価部位は耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。

5.4.1.1　基礎ボルトの計算方法

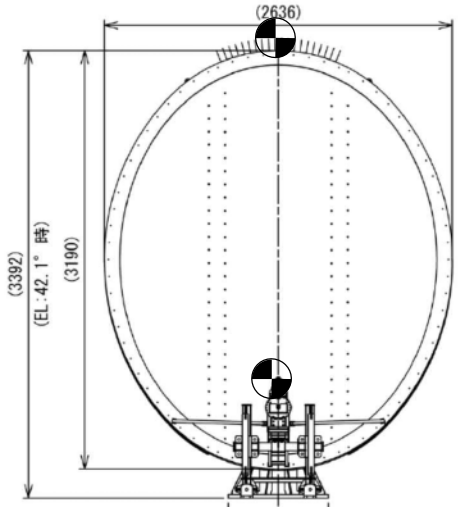
衛星アンテナ支持架台を基礎に固定する基礎ボルトは，円周配置ボルトであることから添付書類「V-2-1-13-3　平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」の円形配置ボルトの評価法を基本として，風荷重を考慮した評価を行う。

また，ＯＤＵ支持架台を基礎に固定する基礎ボルトは，矩形配置ボルトであることから，添付書類「V-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」の矩形配置ボルトの評価法を基本として，風荷重を考慮した評価を行う。

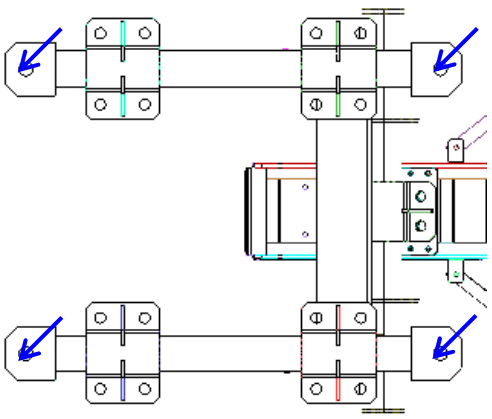
計算モデル及び基礎ボルトの配置図を図 5-1 に示す。



前後方向計算モデル概念図（側面図）

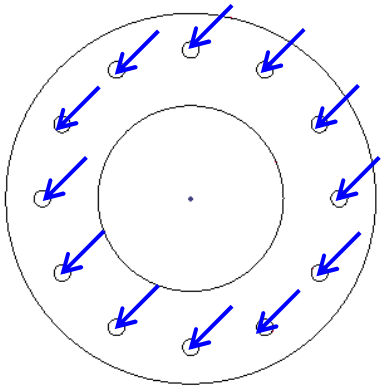


左右方向計算モデル概念図（正面図）



：基礎ボルト位置

ＯＤＵ支持架台
基礎ボルト配置図



：基礎ボルト位置

衛星アンテナ支持架台
基礎ボルト配置図

図 5-1　計算モデル及び基礎ボルト配置図

(1)　衛星アンテナ支持架台の基礎ボルト

この項目において衛星アンテナ支持架台の基礎ボルトを「基礎ボルト１」という。

①　引張応力

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルト１の引張荷重と基礎部の圧縮荷重については，荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。

基礎ボルト１に生じる引張応力は以下のとおり計算する。

引張応力	単位	計算式
前後加振時	MPa	$\sigma_{b11}=\dfrac{2\cdot F_{t1}{}^{*1}}{t_1\cdot D_c\cdot C_{t1}}$
左右加振時		$\sigma_{b12}=\dfrac{2\cdot F_{t2}{}^{*2}}{t_1\cdot D_c\cdot C_{t2}}$

$*1：F_{t1}=\dfrac{M_{s1}-(1-C_v)m_1\cdot g\cdot z_1\cdot D_c}{e_1\cdot D_c}$　，　$*2：F_{t2}=\dfrac{M_{s2}-(1-C_v)m_1\cdot g\cdot z_2\cdot D_c}{e_2\cdot D_c}$

なお，F_{t1}及びF_{t2}の算定式におけるM_{s1}及びM_{s2}は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-3　平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」の評価式に風荷重を考慮した以下の式より算出する。

「平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」の評価式	風荷重考慮式
$M_s=C_H\cdot m\cdot g\cdot h$	$M_s=(C_H\cdot m\cdot g+P_k)\cdot h$

記号の説明を，表 5-5 に示す。

表 5-5　記号の説明

記号	説明	単位	数値
F_{t1}, F_{t2}	基礎ボルト１に作用する引張力	N	－
t_1	基礎ボルト１の面積相当板幅	mm	4.426
D_c	基礎ボルト１のピッチ円直径	mm	610
C_{t1}, C_{t2}	基礎ボルト計算における係数	－	2.595
M_{s1}, M_{s2}	基礎に作用する転倒モーメント	N・mm	－
C_v	鉛直方向設計震度	－	1.45
m_1	質点１の質量	kg	900
g	重力加速度	m/s^2	9.80665
z_1, z_2	基礎ボルト計算における係数	－	0.4527
e_1, e_2	基礎ボルト計算における係数	－	0.7775
C_H	水平方向設計震度	－	1.93
h_1	基礎から質点１の重心までの距離	mm	3392
P_{k11}	基礎ボルト 1 の評価に考慮する風荷重（前後方向加振時）	N	1.537935×10^4
P_{k12}	基礎ボルト 1 の評価に考慮する風荷重（左右方向加振時）	N	5.703704×10^3

② せん断応力

基礎ボルト１に生じるせん断応力は次のとおり計算する。

せん断応力	単位	計算式
前後加振時	MPa	$\tau_{b11}=\frac{C_H \cdot m_1 \cdot g+P_{k11}}{n_1 \cdot A_{b1}}$
左右加振時		$\tau_{b12}=\frac{C_H \cdot m_1 \cdot g+P_{k12}}{n_1 \cdot A_{b1}}$

なお，上表の計算式は，「Ⅴ-2-1-13-3　平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」の評価式に風荷重を考慮した以下の式としている。

「平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」の評価式	風荷重考慮式
$\tau_b=\frac{C_H \cdot m \cdot g}{n \cdot A_b}$	$\tau_b=\frac{C_H \cdot m \cdot g+P_k}{n \cdot A_b}$

記号の説明を，表 5-6 に示す。

表 5-6　記号の説明

記号	説明	単位	数値
C_H	水平方向設計震度	－	1.93
m_1	質点 1 の質量	kg	900
g	重力加速度	m/s^2	9.80665
P_{k11}	基礎ボルト 1 の評価に考慮する風荷重（前後方向加振時）	N	1.537935×10^4
P_{k12}	基礎ボルト 1 の評価に考慮する風荷重（左右方向加振時）	N	5.703704×10^3
n_1	基礎ボルト 1 の本数	－	12
A_{b1}	基礎ボルト 1 の軸断面積（$=\pi d_1^2/4$）	mm^2	706.9

(2)　ＯＤＵ支持架台の基礎ボルト

この項目においてＯＤＵ支持架台の基礎ボルトを「基礎ボルト２」という。

①　引張応力

基礎ボルト２に生じる引張応力は次のとおり計算する。

引張応力	単位	計算式
前後加振時	MPa	$\sigma_{b21}=\frac{F_{b1}}{A_{b2}}$ *1
左右加振時		$\sigma_{b22}=\frac{F_{b2}}{A_{b2}}$ *2

＊1：$F_{b1}=\frac{(m_2\cdot C_H\cdot g+P_{k21})\cdot h_2-m_2\cdot(1-C_v)l_2\cdot g}{n_{f1}(l_1+l_2)}$　，　＊2：$F_{b2}=\frac{(C_H\cdot m_2\cdot g+P_{k22})\cdot h_2-m_2\cdot(1-C_v)l_4\cdot g}{n_{f2}(l_3+l_4)}$

なお，F_{b1}及びF_{b2}は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」の評価式に風荷重を考慮した以下の式としている。

「計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」の評価式	風荷重考慮式
$F_b=\frac{m\cdot C_H\cdot h\cdot g-m\cdot(1-C_v)l_2\cdot g}{n_f(l_1+l_2)}$	$F_b=\frac{(m\cdot C_H\cdot g+P_k)\cdot h-m\cdot(1-C_v)l_2\cdot g}{n_f(l_1+l_2)}$

記号の説明を，表 5-7 に示す。

表 5-7　記号の説明

記号	説明	単位	数値
A_{b2}	基礎ボルト 2 の軸断面積（$=\pi d_2^2/4$）	mm^2	314.2
m_2	質点 2 の質量	kg	86
C_H	水平方向設計震度	－	1.93
g	重力加速度	m/s^2	9.80665
P_{k21}	基礎ボルト 2 の評価に考慮する風荷重（前後方向加振時）	N	7.236158×10^2
P_{k22}	基礎ボルト 2 の評価に考慮する風荷重（左右方向加振時）	N	9.652328×10^2
h_2	基礎から質点 2 の重心までの距離	mm	888
C_v	鉛直方向設計震度	－	1.45
l_2	重心と基礎ボルト間の水平方向（前後）距離（$l_1 \leqq l_2$）	mm	528
l_4	重心と基礎ボルト間の水平方向（左右）距離（$l_3 \leqq l_4$）	mm	240
n_2	基礎ボルト 2 の本数	－	4
n_{f1}, n_{f2}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－	2
l_1	重心と基礎ボルト間の水平方向（前後）距離（$l_1 \leqq l_2$）	mm	172
l_3	重心と基礎ボルト間の水平方向（左右）距離（$l_3 \leqq l_4$）	mm	240

② せん断応力

基礎ボルト２に生じるせん断応力は次のとおり計算する。

引張応力	単位	計算式
前後加振時	MPa	$\tau_{b21}=\frac{Q_{b1}}{n_2 \cdot A_{b2}}$
左右加振時		$\tau_{b22}=\frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}}$

なお，上表の計算式は，「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」の評価式に風荷重を考慮した以下の式としている。

「計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」の評価式	風荷重考慮式
$Q_b=m \cdot C_H \cdot g$	$Q_b=m \cdot C_H \cdot g+P_k$

記号の説明を表 5-8 に示す。

表 5-8　記号の説明

記号	説明	単位	数値
A_{b2}	基礎ボルト 2 の軸断面積（$=\pi d_2^2/4$）	mm^2	314.2
n_2	基礎ボルト 2 の本数	－	4
m_2	質点 2 の質量	kg	86
C_H	水平方向設計震度	－	1.93
g	重力加速度	m/s^2	9.80665
P_{k21}	基礎ボルト 2 の評価に考慮する風荷重（前後方向加振時）	N	7.236158×10^2
P_{k22}	基礎ボルト 2 の評価に考慮する風荷重（左右方向加振時）	N	9.652328×10^2

5.5　計算条件

5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

(1)　耐震計算モデルは 1 質点系モデルとする。基礎ボルトの評価において衛星アンテナ支持架台とＯＤＵ支持架台は独立していると仮定して評価する。

(2)　衛星アンテナ支持架台の基礎ボルト（基礎ボルト１）の評価には衛星アンテナ支持架台側の質量を，ＯＤＵ支持架台の基礎ボルト（基礎ボルト２）はＯＤＵ部側の質量を考慮する。中間に位置するステー及びアームの質量は保守的に両者に考慮する。

(3)　衛星アンテナの重心位置に地震荷重が作用するものとする。

(4)　風荷重も地震荷重の作用点と同一点に作用するものとする。

5.6　応力の評価

5.6.1　ボルトの応力評価

5.4.1.1 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to} は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし，f_{sb} は下表による。

	基準地震動Ｓ$_s$による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電気的機能維持評価方法

統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの電気的機能維持評価について以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの機能確認済加速度は，添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，同型式のＯＤＵ単体及びＯＤＵ電源部単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。また，ＯＤＵ及びＯＤＵ電源部の実装図を図 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 （×9.8m/s^2）

評価部位	方向及び機能確認済加速度		
	X（左右）	Y（前後）	Z（鉛直）
ＯＤＵ			
ＯＤＵ電源部			

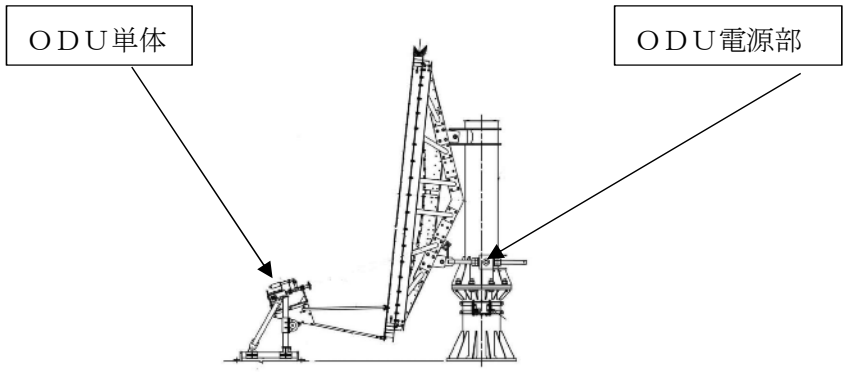


図 6-1 ＯＤＵ及びＯＤＵ電源部の実装図

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 7-1 に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を表 7-2 に示す。

表 7-1　基準地震動Ｓ$_s$に対する応力評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	加速度の方向	発生応力	許容応力
				MPa	MPa
衛星アンテナ	衛星アンテナ支持架台の基礎ボルト（基礎ボルト１）	引張応力	前後	67	184*
			左右	48	184*
		せん断応力	前後	4	142
			左右	3	142
	ＯＤＵ支持架台の基礎ボルト（基礎ボルト２）	引張応力	前後	6	147*
			左右	8	147*
		せん断応力	前後	2	113
			左右	3	113

すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

表 7-2　電気的機能維持評価結果（重大事故等対処施設）　（×9.8m/s^2）

評価対象設備	評価部位	機能確認済加速度との比較			
		水平方向		鉛直方向	
		評価用加速度	機能確認済加速度	評価用加速度	機能確認済加速度
統合原子力防災ネットワーク設備 衛星アンテナ	ＯＤＵ	1.61	[redacted]	1.21	[redacted]
	ＯＤＵ電源部	1.61		1.21	

評価用加速度（1.0ZPA）は全て機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-7-7　ＬＡＮ収容架（ＳＡ）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 固有周期 ····· 2
4. 構造強度評価 ····· 2
4.1 構造強度評価方法 ····· 2
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 2
5. 機能維持評価 ····· 5
5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 5
6. 評価結果 ····· 5
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果····· 5

1. 概要

本計算書は，添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，ＬＡＮ収容架（ＳＡ）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

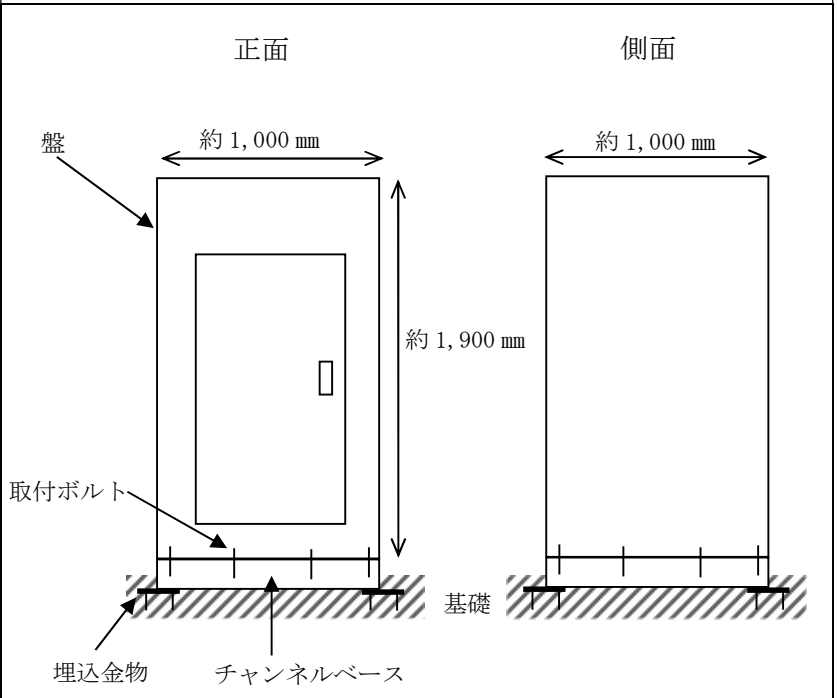
ＬＡＮ収容架（ＳＡ）は，設計基準対象施設においてはＣクラス施設に分類される。また，ＬＡＮ収容架（ＳＡ）は，重大事故等対処設備においては常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）に分類されるが，重大事故等時に使用する通信連絡設備であることを考慮し，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ＬＡＮ収容架（ＳＡ）の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ＬＡＮ収容架（ＳＡ）は，基礎に埋め込まれた埋込金物で固定されたチャンネルベースに，取付ボルトで設置する。	直立型（鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）	

3.　固有周期

ＬＡＮ収容架（ＳＡ）の固有周期は，構造が同様な盤に対する打振試験の測定結果から，剛とする。固有周期を表3-1に示す。

表3-1　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向
0.05以下	0.05以下

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

ＬＡＮ収容架（ＳＡ）の構造は直立型であるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。なお，ＬＡＮ収容架（ＳＡ）は常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）に分類されるが，重大事故等時に使用する通信連絡設備であることを考慮し，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

ＬＡＮ収容架（ＳＡ）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-1に示す。

4.2.2　許容応力

ＬＡＮ収容架（ＳＡ）の許容応力を表4-2に示す。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

ＬＡＮ収容架（ＳＡ）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-3に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他	ＬＡＮ収容架（ＳＡ）	その他*4	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして，$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる）

注記　＊1：「その他」は常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡される場合は，評価結果の記載を省略する。

＊4：常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）に分類されるが，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1，*2（ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*
V_AS（V_ASとして，$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	－

5.　機能維持評価

5.1　電気的機能維持評価方法

ＬＡＮ収容架（ＳＡ）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

ＬＡＮ収容架（ＳＡ）の機能確認済加速度には，ＬＡＮ収容架（ＳＡ）に収容する器具の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した器具の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表5-1に示す。

表5-1　機能確認済加速度　　（×9.8 m／s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
Ｌ３－ＳＷ	水平	
	鉛直	
ルータ	水平	
	鉛直	
ＶｏＩＰ－ＧＷ	水平	
	鉛直	
衛星モデム	水平	
	鉛直	
データ伝送アダプタ	水平	
	鉛直	
ＨＵＢ	水平	
	鉛直	

6.　評価結果

6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

ＬＡＮ収容架（ＳＡ）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

1.　重大事故等対処設備

1.1　設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
ＬＡＮ収容架（ＳＡ）	その他*1	緊急時対策所建屋2階 EL. 30.30*2	0.05以下	0.05以下	－	－	C_H＝1.54	C_V＝1.36	40

注記　＊1：常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）に分類されるが，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。
　　＊2：基準床レベルを示す。

1.2　機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_1 (mm) *	ℓ_2 (mm) *	A_b (mm^2)	n	n_f
取付ボルト	850	1050	420	500	201.1 (M16)	12	4
			420	500			4

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト	205	520	―	246	―	短辺方向

注記　＊：取付ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3　計算数値

1.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト	－	4.070×10^3	－	1.284×10^4

1.4　結論

1.4.1　ボルトの応力

（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト	SUS304	引張り	－	－	σ_b＝21	f_{ts}＝184*
		せん断	－	－	τ_b＝6	f_{sb}＝142

すべて許容応力以下である。

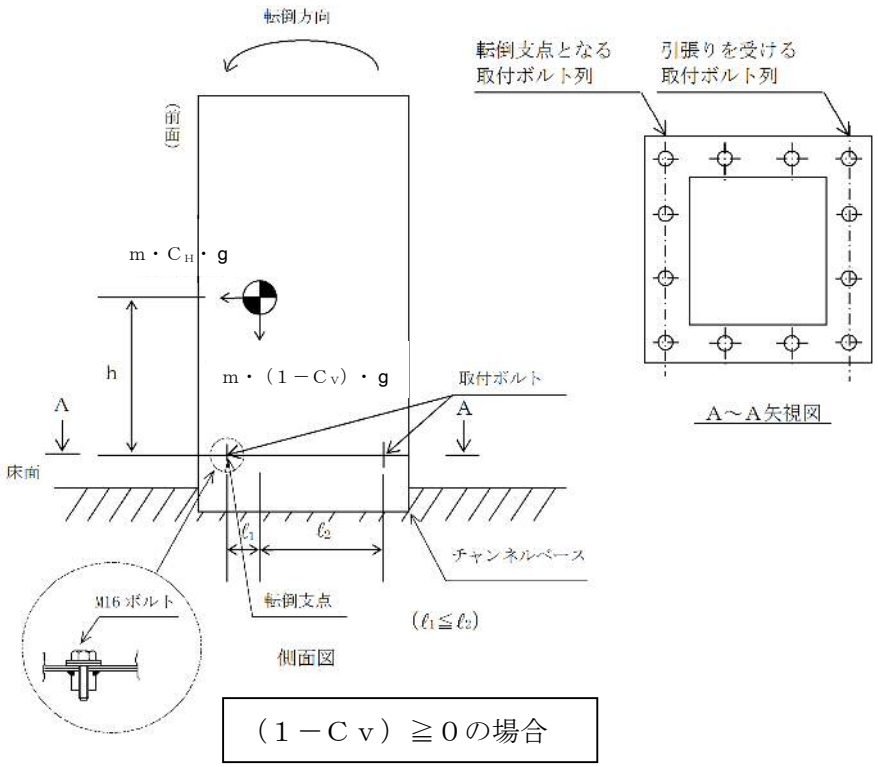
注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\tau_b, f_{to}]$より算出

1.4.2　電気的機能維持の評価結果

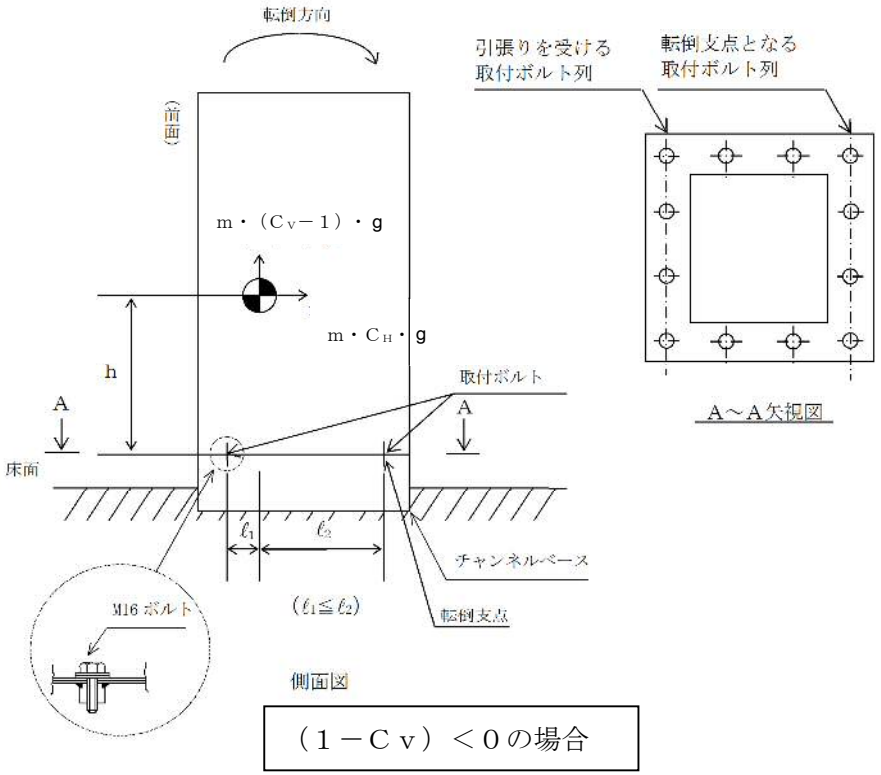
（×9.8 m／s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
Ｌ３－ＳＷ	水平	1.28	
	鉛直	1.14	
ルータ	水平	1.28	
	鉛直	1.14	
ＶｏＩＰ－ＧＷ	水平	1.28	
	鉛直	1.14	
衛星モデム	水平	1.28	
	鉛直	1.14	
データ伝送アダプタ	水平	1.28	
	鉛直	1.14	
ＨＵＢ	水平	1.28	
	鉛直	1.14	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



（１－Ｃｖ）≧０の場合



（１－Ｃｖ）＜０の場合

Ⅴ-2-6-7-8　再循環系ポンプ遮断器の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 固有周期 ····· 3
4. 構造強度評価 ····· 3
4.1 構造強度評価方法 ····· 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 3
4.2.2 許容応力 ····· 3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 3
5. 機能維持評価 ····· 7
5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 7
6. 評価結果 ····· 8
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 8
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 8

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，再循環系ポンプ遮断器が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

再循環系ポンプ遮断器は，設計基準対象施設においてはＳクラスに，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

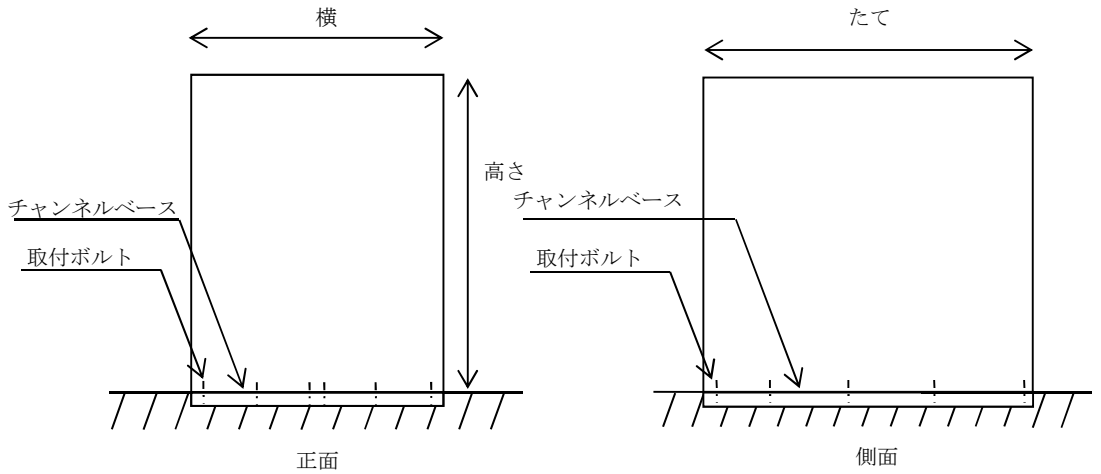
再循環系ポンプ遮断器は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

再循環系ポンプ遮断器の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
再循環系ポンプ遮断器は，基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	直立形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）	【再循環系ポンプ遮断器(A)，再循環系ポンプ遮断器(B)】



	再循環系ポンプ遮断器
たて	2740 mm
横	2000 mm
高さ	2750 mm

3.　固有周期

再循環系ポンプ遮断器の固有周期は，構造が同様な盤に対する打振試験の測定結果から，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期（s）

機器名称	水平方向	鉛直方向
再循環系ポンプ遮断器	[redacted]	

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

再循環系ポンプ遮断器の構造は直立形盤であるため,構造強度評価は,添付書類「Ⅴ-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

再循環系ポンプ遮断器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2　許容応力

再循環系ポンプ遮断器の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

再循環系ポンプ遮断器の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	再循環系ポンプ遮断器	S	－*1	$D+P_D+M_D+S_d$ *2	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊2：S_sと組合せ，$\mathrm{III}_A S$の評価を実施する。

表 4-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	再循環系ポンプ遮断器	常設耐震／防止	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$ *3	$\mathrm{IV}_A S$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$V_A S$（$V_A S$として$\mathrm{IV}_A S$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-3　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	235	400	－

表 4-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	235	400	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

再循環系ポンプ遮断器の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

再循環系ポンプ遮断器の機能確認済加速度には，当該器具と類似の器具の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した器具の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
再循環系ポンプ遮断器	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

再循環系ポンプ遮断器の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

再循環系ポンプ遮断器の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており,設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【再循環系ポンプ遮断器(A)の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
再循環系ポンプ遮断器(A)	S	EL. -4.00*			C_H=0.58	C_V=0.48	C_H=0.87	C_V=0.90	

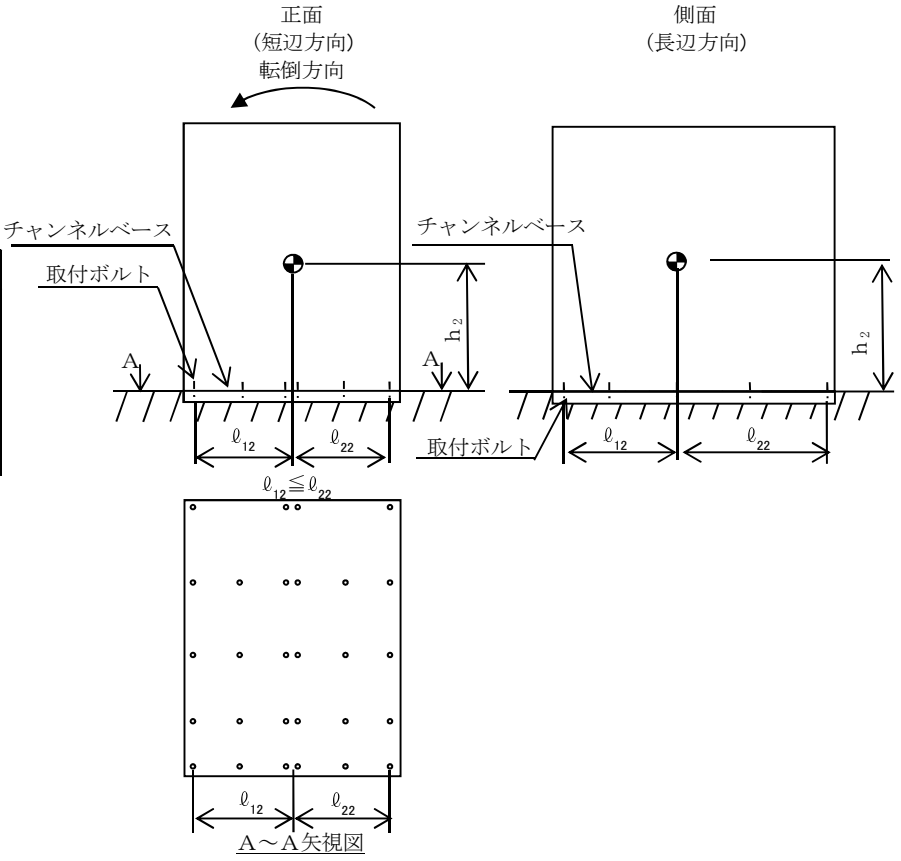
注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i=2)							5
							6

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	短辺方向	短辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。



A～A矢視図

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト		引張り	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=176$*	$\sigma_{b2}=36$	$f_{ts2}=210$*
		せん断	$\tau_{b2}=8$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=13$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
再循環系ポンプ遮断器(A)	水平方向	0.72	
	鉛直方向	0.75	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
再循環系ポンプ遮断器(A)	常設耐震／防止	EL. -4.00*				－	C_H=0.87	C_V=0.90	

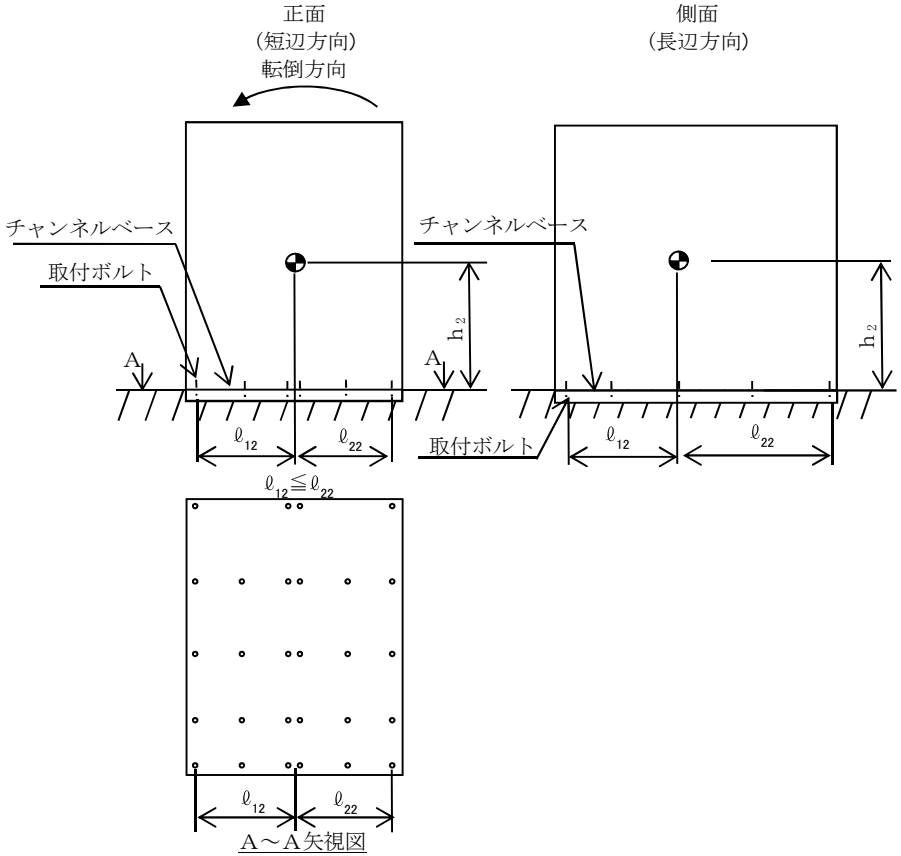
注記 ＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i=2)							5
							6

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)	235	400	－	280	－	短辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。



2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)				

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト		引張り	－	－	$\sigma_{b2}=36$	$f_{ts2}=210$*
		せん断	－	－	$\tau_{b2}=13$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

2.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
再循環系ポンプ遮断器(A)	水平方向	0.72	
	鉛直方向	0.75	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

【再循環系ポンプ遮断器(B)の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
再循環系ポンプ遮断器(B)	S	EL. 2.56 (EL. 8.20*)			C_H=0.63	C_V=0.50	C_H=1.10	C_V=0.96	

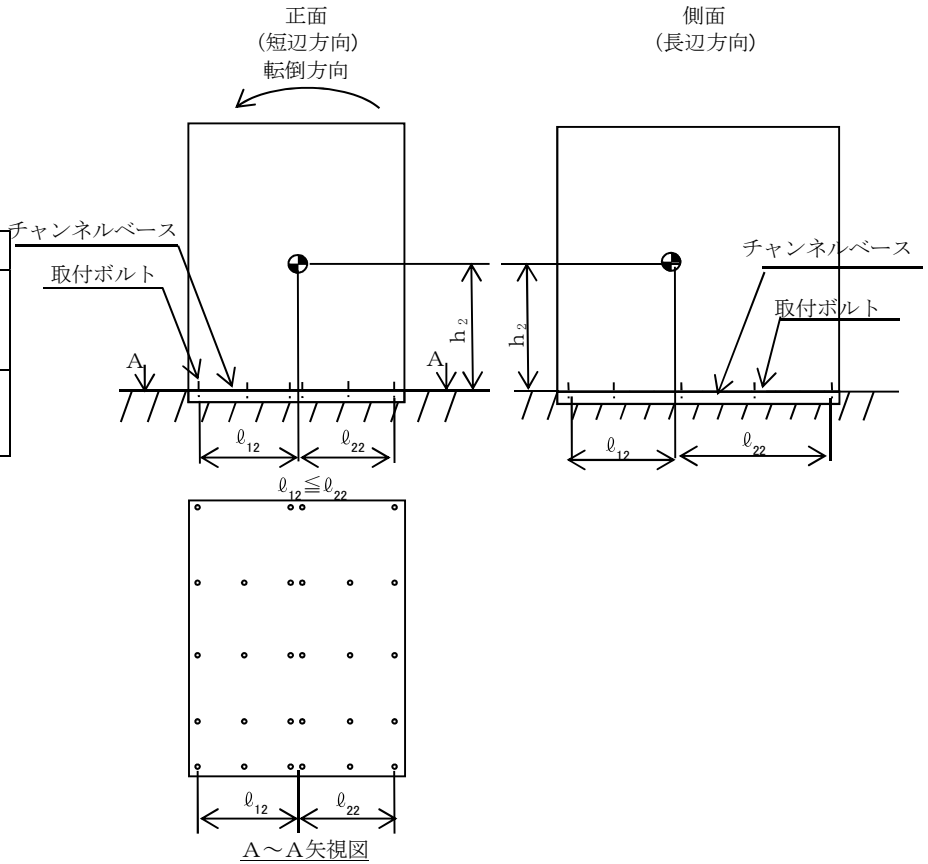
注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i=2)							5
							6

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	短辺方向	短辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。



1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i＝2)		引張り	σ_{b2}＝9	f_{ts2}＝176*	σ_{b2}＝49	f_{ts2}＝210*
		せん断	τ_{b2}＝9	f_{sb2}＝135	τ_{b2}＝16	f_{sb2}＝161

すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
再循環系ポンプ遮断器(B)	水平方向	0.92	
	鉛直方向	0.80	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
再循環系ポンプ遮断器(B)	常設耐震／防止	EL. 2.56 (EL. 8.20*)			－	－	C_H＝1.10	C_V＝0.96	

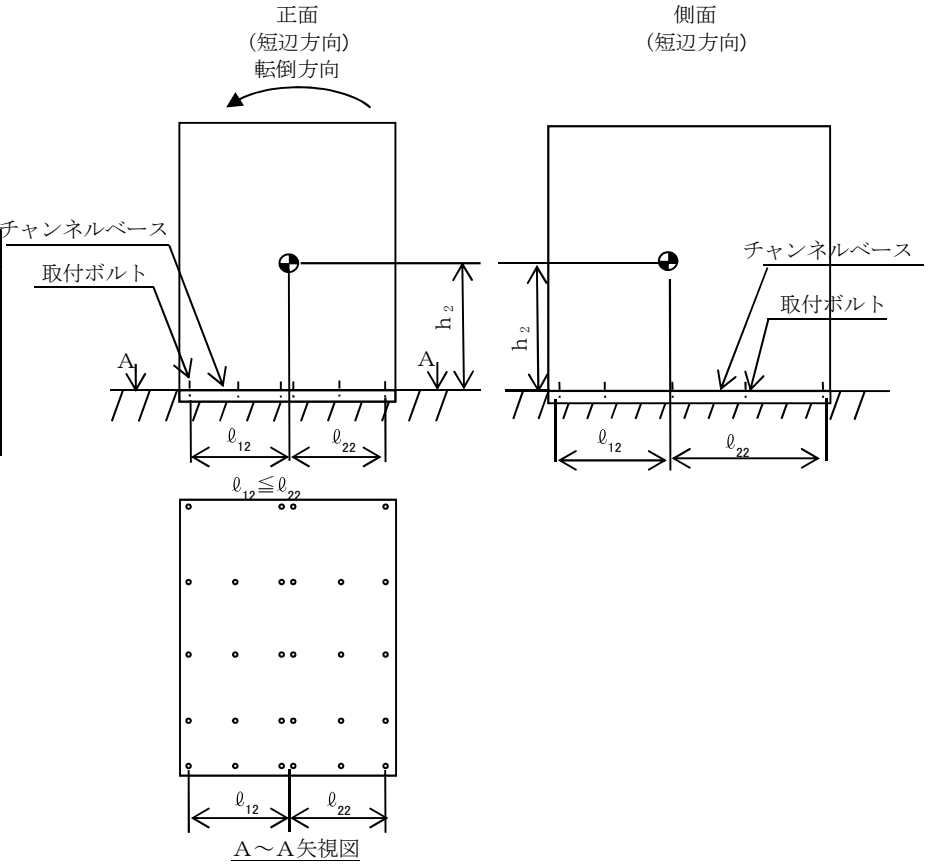
注記 ＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i＝2)							5
							6

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)	235	400	－	280	－	短辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。



A～A矢視図

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)				

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i=2)		引張り	－	－	σ_{b2}=49	f_{ts2}=210*
		せん断	－	－	τ_{b2}=16	f_{sb2}=161

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

2.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
再循環系ポンプ遮断器(B)	水平方向	0.92	
	鉛直方向	0.80	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-7-9　再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 固有周期 ····· 3
4. 構造強度評価 ····· 3
4.1 構造強度評価方法 ····· 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 3
4.2.2 許容応力 ····· 3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 3
5. 機能維持評価 ····· 7
5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 7
6. 評価結果 ····· 8
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 8

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

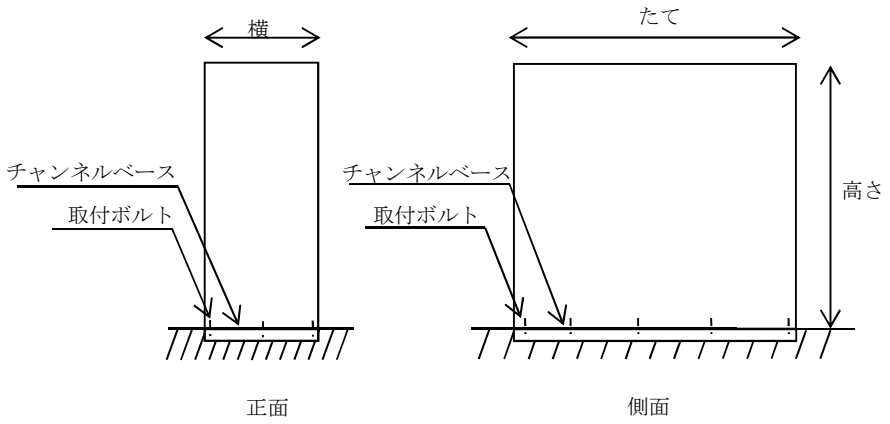
2. 一般事項

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器は，基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	直立形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）	

	再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器
たて	2540 mm
横	1000 mm
高さ	2750 mm

3.　固有周期

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の固有周期は，構造が同様な盤に対する打振試験の測定結果から，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期（s）

機器名称	水平方向	鉛直方向
再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器	[redacted]	

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の構造は直立形盤であるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2　許容応力

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器	常設耐震／防止	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（その他の指示構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	225	385	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の機能確認済加速度には，当該器具と類似の器具の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した器具の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器	常設耐震／防止	EL. 29.00*1			－	－	C_H＝1.55	C_V＝1.17	

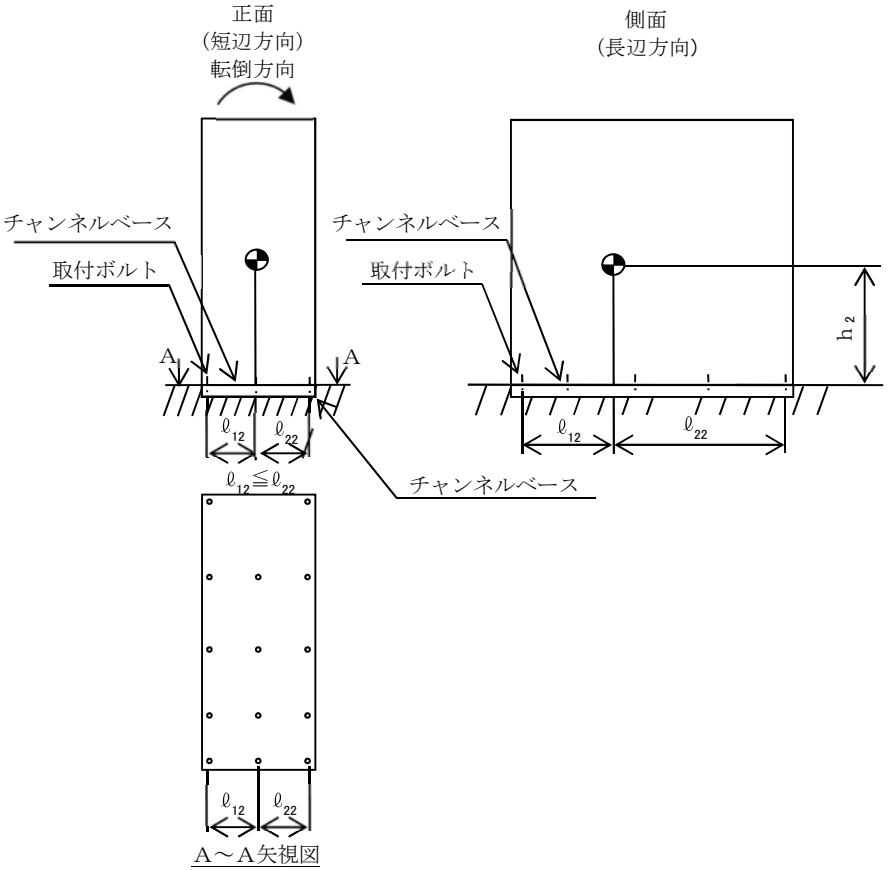
注記 ＊1：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i＝2)							5
							3

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)	225	385	－	269	－	短辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。



A～A矢視図

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)				

1.4 結　論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b2}＝63	f_{ts2}＝202*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝18	f_{sb2}＝155

すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-7-10　格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置

の耐震性についての計算書

格納容器内雰囲気ガスサンプリング装置の耐震性についての耐震計算は，添付書類「Ⅴ-2-6-5-31 格納容器内水素濃度（ＳＡ）の耐震性についての計算書」で説明する。

Ⅴ-2-6-7-11　フィルタ装置入口水素濃度の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
2.2 評価方針 3
2.3 適用基準 4
2.4 記号の説明 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 6
3. 評価部位 7
4. 固有周期 7
4.1 固有値解析方法 7
4.2 解析モデル及び諸元 7
4.3 固有値解析結果 9
5. 構造強度評価 10
5.1 構造強度評価方法 10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力 10
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 10
5.2.2 許容応力 10
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件 10
5.3 設計用地震力 13
5.4 計算方法 14
5.4.1 基礎ボルトの計算方法 14
5.5 計算条件 16
5.5.1 基礎ボルト及び取付ボルトの応力計算条件 16
5.6 応力の評価 16
5.6.1 ボルトの応力評価 16
6. 機能維持評価 17
6.1 電気的機能維持評価方法 17
7. 評価結果 18
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果 18

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，フィルタ装置入口水素濃度が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

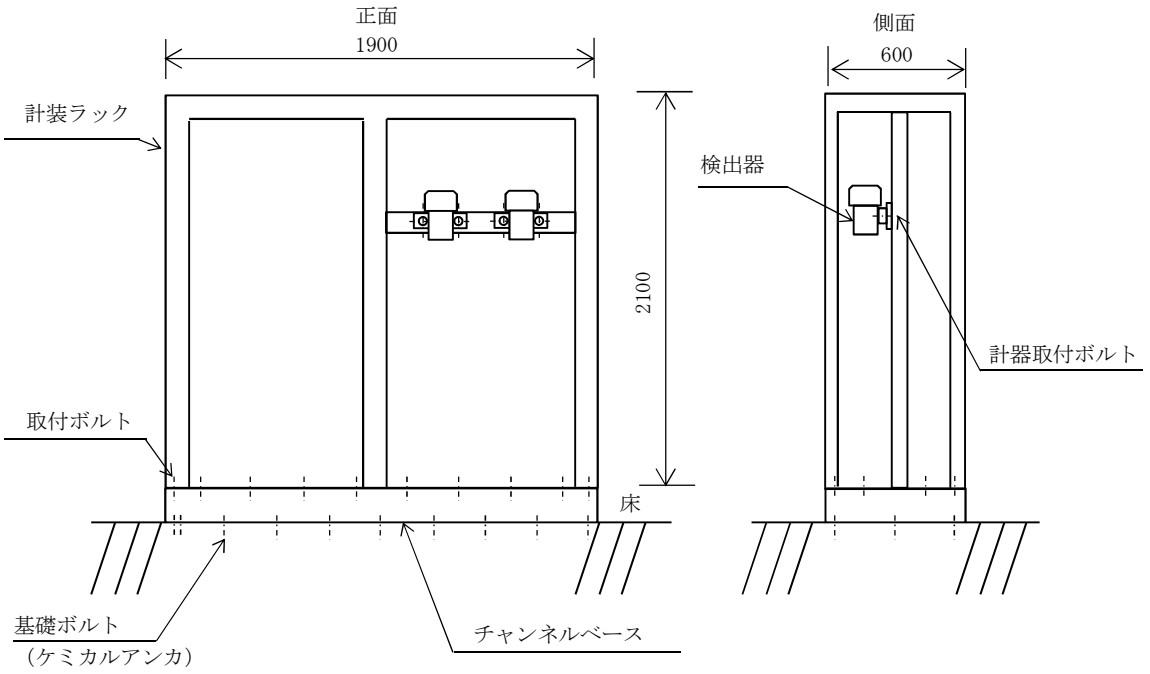
フィルタ装置入口水素濃度は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置入口水素濃度の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計装ラックに固定される。 計装ラックはチャンネルベースに取付ボルトで固定され，チャンネルベースは床に基礎ボルトで固定する。	熱伝導式検出器	

2.2　評価方針

フィルタ装置入口水素濃度の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示すフィルタ装置入口水素濃度の部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「5.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，フィルタ装置入口水素濃度の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「6.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7.　評価結果」に示す。

フィルタ装置入口水素濃度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

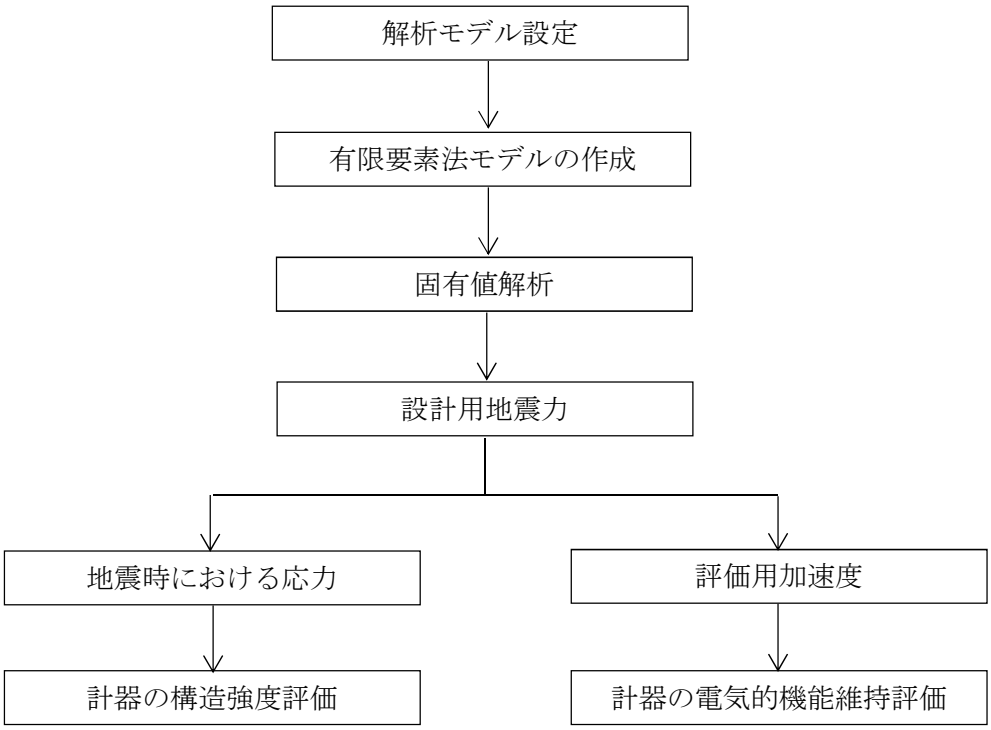


図 2-1　フィルタ装置入口水素濃度の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A_{bi}	ボルトの軸断面積*1	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d_i	ボルトの呼び径*1	mm
E	縦弾性係数	MPa
F_i	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値*1	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値*1	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1本当たり）*1	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s^*を1.5倍した値）*1	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t^*を1.5倍した値）*1	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力*1	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_i	取付面から重心までの距離*2	mm
ℓ_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離*1, *3	mm
ℓ_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離*1, *3	mm
m_i	フィルタ装置入口水素濃度の総質量*2	kg
m_1～m_{31}	部材の質量	kg
n_i	ボルトの本数*1	－
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数*1	－
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力*1	N
S_{ui}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値*1	MPa
S_{yi}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値*1	MPa
S_{yi}（RT）	設計・建設規格 付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値*1	MPa
π	円周率	－
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力*1	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*1	MPa

注記　＊1：A_{bi}, d_i, F_i, F_i^*, F_{bi}, f_{sbi}, f_{toi}, f_{tsi}, ℓ_{1i}, ℓ_{2i}, n_i, n_{fi}, Q_{bi}, S_{ui}, S_{yi}, σ_{bi}及びτ_{bi}の添字ｉの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：基礎ボルト

ｉ＝2：取付ボルト

＊2：h_i及びm_iの添字iの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：据付面

ｉ＝2：取付面

＊3：$\ell_{1i} \leqq \ell_{2i}$

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3.　評価部位

フィルタ装置入口水素濃度の耐震評価は，「5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。フィルタ装置入口水素濃度の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4.　固有周期

4.1　固有値解析方法

フィルタ装置入口水素濃度の固有値解析方法を以下に示す。

(1)　フィルタ装置入口水素濃度は，4.2　解析モデル及び諸元に示す 3 次元シェルモデルとして考える。

4.2　解析モデル及び諸元

フィルタ装置入口水素濃度の解析モデルを図 4-1 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を表 4-1 に示す。

(1)　フィルタ装置入口水素濃度の質量は，それぞれの質点に集中するものとする。

(2)　拘束条件は，基礎部のＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(3)　解析コードは，「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-1　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

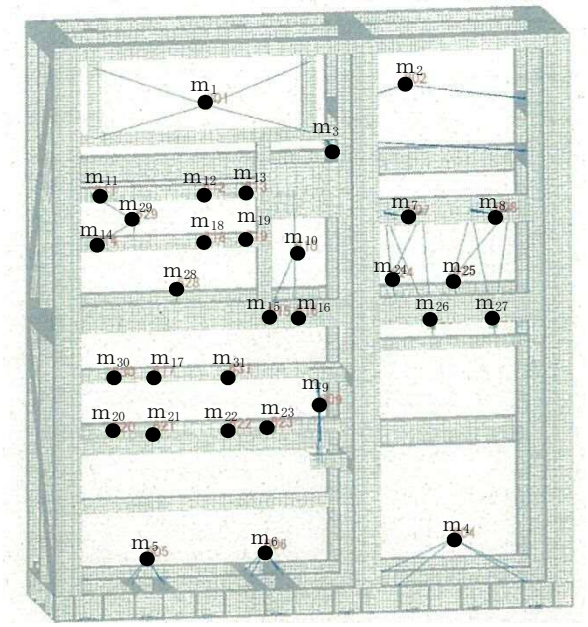


図 4-1　フィルタ装置入口水素濃度　解析モデル

表4-1　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	―	―	
質量	m	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	-	
要素数	―	個	
節点数	―	個	

表 4-2　部材の機器要目　　（単位：kg）

質点Ｎｏ.	部品名	質量	質点Ｎｏ.	部品名	質量
m_1	接続箱		m_{18}	電磁弁	
m_2	配線ダクト１		m_{19}	電磁弁	
m_3	配線ダクト２		m_{20}	電磁弁	
m_4	鉛遮へい箱		m_{21}	電磁弁	
m_5	サンプルポンプ		m_{22}	電磁弁	
m_6	サンプルポンプ		m_{23}	電磁弁	
m_7	水素分析計		m_{24}	電磁弁	
m_8	水素分析計		m_{25}	電磁弁	
m_9	流量指示伝送器		m_{26}	電磁弁	
m_{10}	圧力計		m_{27}	電磁弁	
m_{11}	グローブ弁		m_{28}	定流量弁	
m_{12}	グローブ弁		m_{29}	減圧弁	
m_{13}	グローブ弁		m_{30}	ニードル弁	
m_{14}	グローブ弁		m_{31}	ニードル弁	
m_{15}	グローブ弁		架台		
m_{16}	グローブ弁		チャンネルベース		
m_{17}	グローブ弁		合計		

4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-2 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であるため，固有周期の算出は省略した。

表4-2　固有値解析結果

モード	固有周期（s）	卓越方向
1 次	[redacted]	水平

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

(1) 地震力は，フィルタ装置入口水素濃度に対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(2) フィルタ装置入口水素濃度は，基礎ボルトにより床面に固定されるものとする。

(3) フィルタ装置入口水素濃度質量は検出器，弁，接続箱，ダクト，ポンプ，伝送器，架台及びチャンネルベースを考慮する。

(4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置入口水素濃度の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

フィルタ装置入口水素濃度の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

フィルタ装置入口水素濃度の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	フィルタ装置入口水素濃度	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5・f_t$*	$1.5・f_s$*
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}(RT) (MPa)
基礎ボルト (i＝1)		周囲環境温度	235	400	―
取付ボルト (i＝2)		周囲環境温度	235	400	―

5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-5 に示す。

表 5-5　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL. 22.00 (EL. 29.00*1)			－	－	C_H＝1.55	C_V＝1.17

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

5.4　計算方法

5.4.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

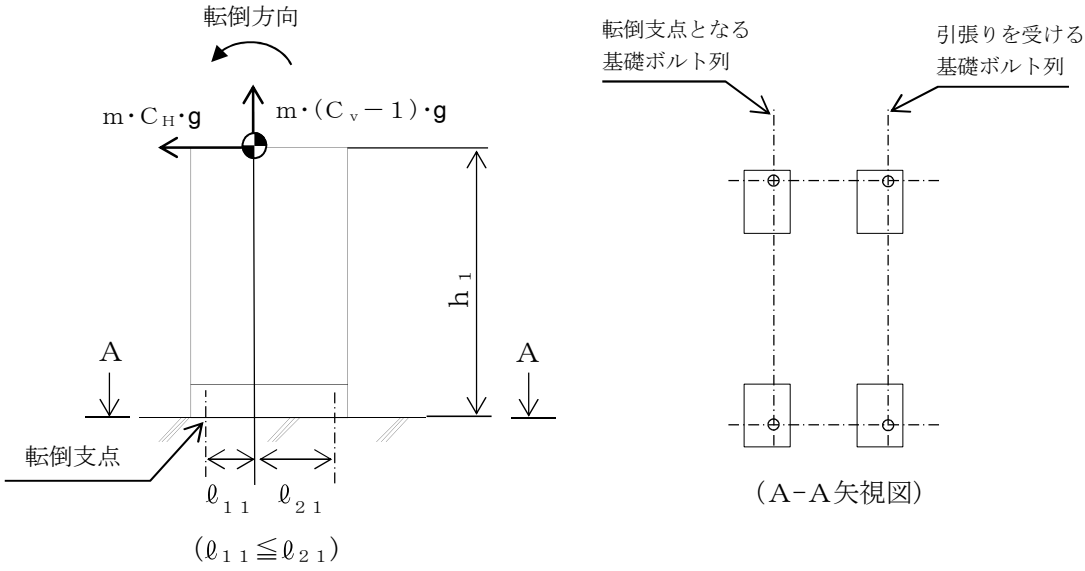


図 5-1(1)　フィルタ装置入口水素濃度　計算モデル（短辺方向転倒）

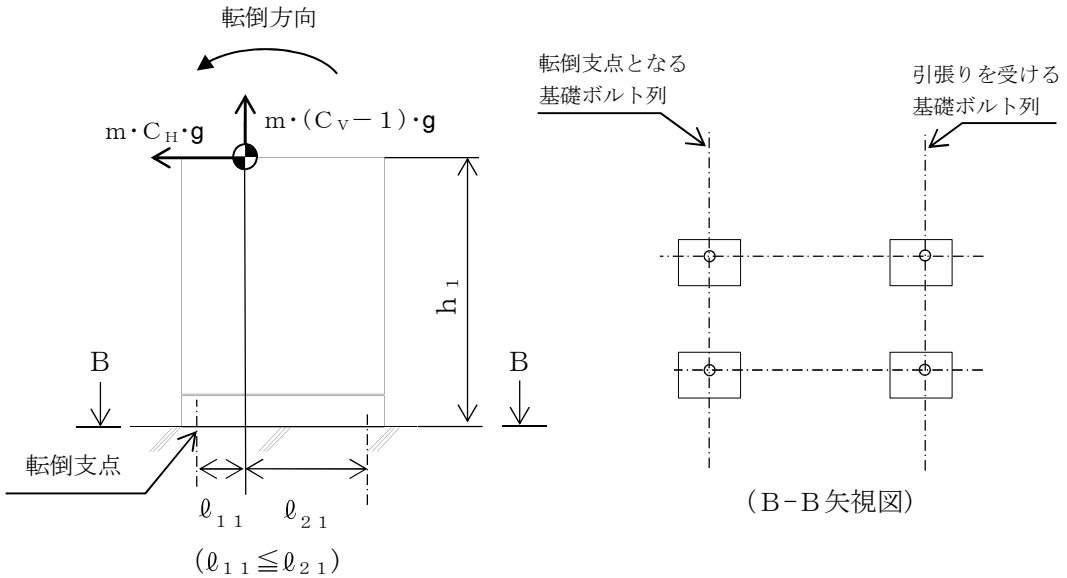


図 5-1(2)　フィルタ装置入口水素濃度　計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルト及び取付ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図 5-1(1)及び図 5-1(2)で最外列のボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図 5-1（1）及び 5-1（2）の場合の引張力

$$F_{bi}=\frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g - m_i \cdot (1-C_V) \cdot \ell_{1i} \cdot g}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i}+\ell_{2i})} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{bi}=\frac{F_{bi}}{A_{bi}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_{bi}は

$$A_{bi}=\frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \quad \cdots\cdots (5.4.1.3)$$

ただし，F_{bi}が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので，引張応力の計算は行なわない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{bi}=m_i \cdot C_H \cdot g \quad \cdots\cdots (5.4.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{bi}=\frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_{bi}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.5)$$

5.5　計算条件

5.5.1　基礎ボルト及び取付ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【フィルタ装置入口水素濃度の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

5.6　応力の評価

5.6.1　ボルトの応力評価

5.4.1 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。ただし，f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}] \quad \cdots\cdots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし，f_{sbi} は下表による。

	弾性設計用地震動Ｓ$_d$ 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓ$_s$による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\dfrac{F_i}{2}\cdot 1.5$	$\dfrac{F_i^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\dfrac{F_i}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\dfrac{F_i^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電気的機能維持評価方法

フィルタ装置入口水素濃度の電気的機能維持評価について，以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

フィルタ装置入口水素濃度の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置入口水素濃度	水平	
	鉛直	

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置入口水素濃度の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。

発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置入口水素濃度の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
フィルタ装置 入口水素濃度	常設耐震／防止 常設／緩和	EL. 22.00 (EL. 29.00*1)			－	－	C_H=1.55	C_V=1.17	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置入口水素濃度

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
基礎ボルト (i=1)							9 2
取付ボルト (i=2)							8 2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	235	400	－	280	－	長辺方向
取付ボルト (i=2)	235	400	－	280	－	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3　計算数値

1.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i＝1)	－		－	
取付ボルト (i＝2)	－		－	

1.4　結論

1.4.1　ボルトの応力　　(単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i＝1)		引張り	－	－	σ_{b1}＝20	f_{ts1}＝168*
		せん断	－	－	τ_{b1}＝4	f_{sb1}＝129
取付ボルト (i＝2)		引張り	－	－	σ_{b2}＝18	f_{ts2}＝210*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝4	f_{sb2}＝161

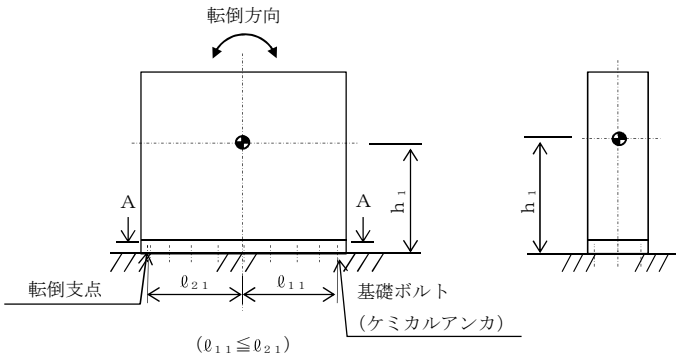
すべて許容応力以下である。

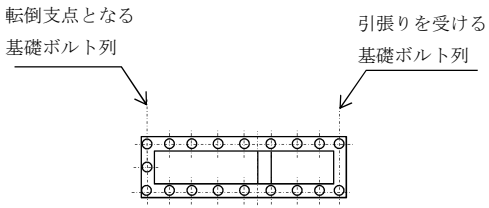
注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，　f_{toi}]より算出

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
フィルタ装置入口水素濃度	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

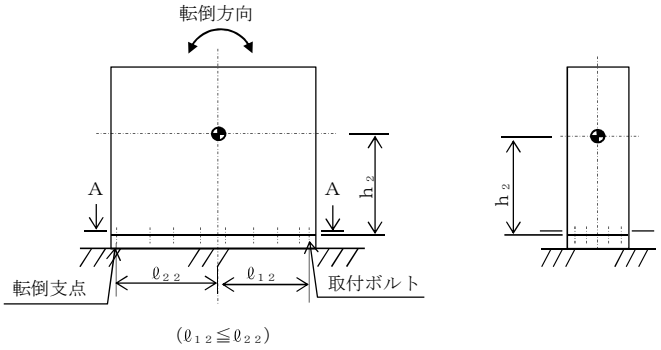
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

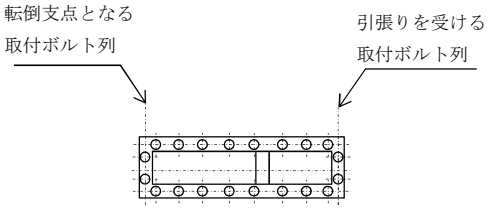




A～A矢視図

正面（長辺方向）　　側面（短辺方向）





A～A矢視図

正面（長辺方向）　　側面（短辺方向）

Ⅴ-2-6-7-12　静的触媒式水素再結合器動作監視装置の耐震性についての計算書

目　次

1.　静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）　1
1.1　概要　1
1.2　一般事項　1
1.2.1　構造計画　1
1.2.2　評価方針　3
1.2.3　適用基準　4
1.2.4　記号の説明　5
1.2.5　計算精度と数値の丸め方　6
1.3　評価部位　7
1.4　地震応答解析及び構造強度評価　7
1.4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法　7
1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力　7
1.4.3　解析モデル及び諸元　11
1.4.4　固有周期　13
1.4.5　設計用地震力　14
1.4.6　計算方法　15
1.4.7　計算条件　17
1.4.8　応力の評価　17
1.5　機能維持評価　18
1.5.1　静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の電気的機能維持評価方法　18
1.6　評価結果　19
1.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果　19
2.　静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）　22
2.1　概要　22
2.2　一般事項　22
2.2.1　構造計画　22
2.2.2　評価方針　24
2.2.3　適用基準　25
2.3　評価部位　26
2.4　機能維持評価　27
2.4.1　評価用加速度　27
2.4.2　機能確認済加速度　28
2.5　評価結果　29
2.5.1　重大事故等対処設備としての評価結果　29

1. 静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）

1.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）は，重大事故等対処設備において常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

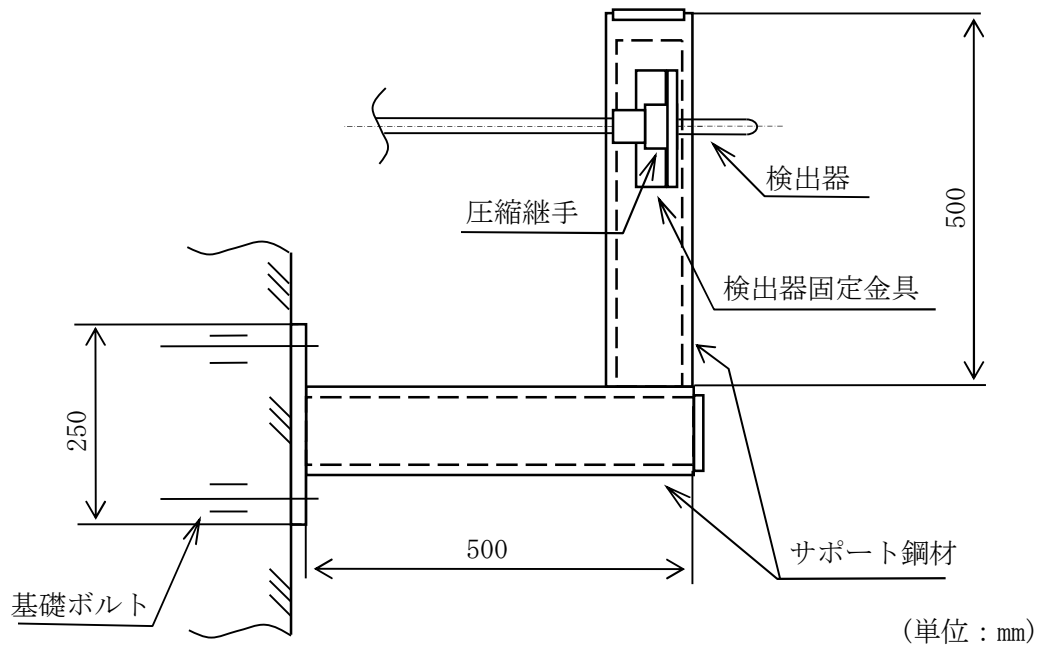
1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，検出器固定金具にて圧縮継手によりサポート鋼材に固定する。 サポート鋼材は，基礎ボルトにより壁面に設置する。	熱電対	【TE-SA16-N001A，N001B】



1.2.2　評価方針

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「1.2.1　構造計画」にて示す静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の部位を踏まえ「1.3　評価部位」にて設定する箇所において，「1.4.3　解析モデル及び諸元」及び「1.4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「1.4　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「1.6　評価結果」に示す。

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の耐震評価フローを図 1-1 に示す。

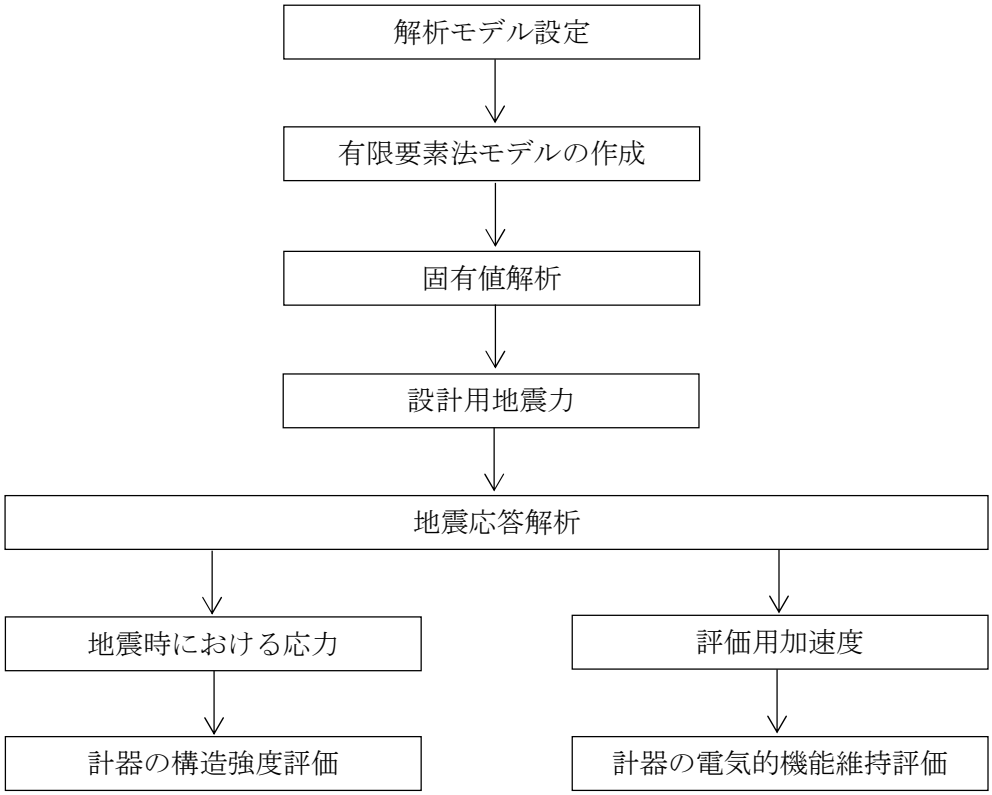


図 1-1　静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の耐震評価フロー

1.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

1.2.4　記号の説明

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
A	サポートの断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_X	サポート基礎部に作用する力（X方向）	N
F_Y	サポート基礎部に作用する力（Y方向）	N
F_Z	サポート基礎部に作用する力（Z方向）	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
I_p	サポートの断面二次極モーメント	mm^4
I_y	サポートの断面二次モーメント（y軸）	mm^4
I_z	サポートの断面二次モーメント（z軸）	mm^4
ℓ	検出器及び検出器固定金具の重心までの距離	mm
ℓ_1	ボルト間距離（水平方向）	mm
ℓ_2	ボルト間距離（鉛直方向）	mm
ℓ_3	ボルト間距離（水平方向と鉛直方向の小さい方）	mm
m_a	検出器及び検出器固定金具の質量	kg
M_X	サポート基礎部に作用するモーメント（X軸）	N･mm
M_Y	サポート基礎部に作用するモーメント（Y軸）	N･mm
M_Z	サポート基礎部に作用するモーメント（Z軸）	N･mm
n	基礎ボルトの本数	－
n_Y	M_Yの引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	－
n_Z	M_Zの引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	－
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力（1本当たり）	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
Z_p	サポートのねじり断面係数	mm^4
Z_y	サポートの断面係数（y軸）	mm^4
Z_z	サポートの断面係数（z軸）	mm^4
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

1.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表1-2に示すとおりとする。

表1-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量*1	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

1.3　評価部位

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の耐震評価は，「1.4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の耐震評価箇所については，表 1-1 の概略構造図に示す。

1.4　地震応答解析及び構造強度評価

1.4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　地震力は静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2)　静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）は，壁面に基礎ボルトで固定されるものとする。

(3)　静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の質量は，検出器，検出器固定金具，圧縮継手及びサポート鋼材を考慮する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を用いる。

1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-3 に示す。

1.4.2.2　許容応力

静的触媒式水素再結合器動作監視装置(入口温度)の許容応力は,添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 1-4 のとおりとする。

1.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-5 に示す。

表 1-3　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）	常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 1-4　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅣＡＳ	1.5・ｆ$_t$*	1.5・ｆ$_s$*
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

1.4.3　解析モデル及び諸元

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の解析モデルを 3 次元はりモデルとして図 1-2 に，解析モデルの概要を以下に示す。サポート鋼材はＬ字に組まれた鋼材で原子炉建屋の壁面に固定されることから，解析モデルにおいて，①及び②の部材で組まれたＬ字とみなし，支持点（サポート基礎部）1 点で固定されるものとする。また，解析モデルにおいて，検出器及び検出器固定金具の質量は質点に集中するものとし，質点は検出器の取付位置に設置する。機器の諸元を表 1-5，部材の機器要目を表 1-6 に示す。

(1)　図 1-2 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2)　図 1-2 中の ◓ は検出器及び検出器固定金具の質点を示し，m_aは□kg である。

(3)　図 1-2 中の ━━ はサポート鋼材，┅┅ は仮想鋼材， は支持点（サポート基礎部）を示す。

(4)　拘束条件として，基礎部のＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

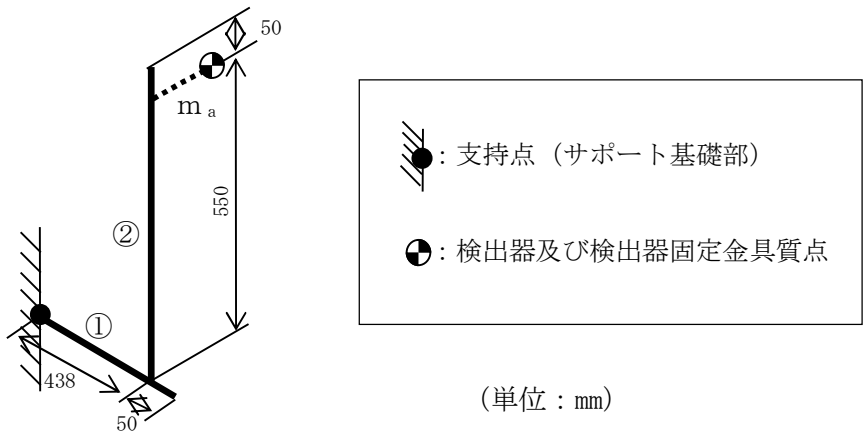
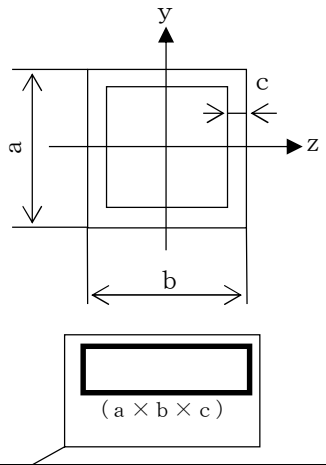
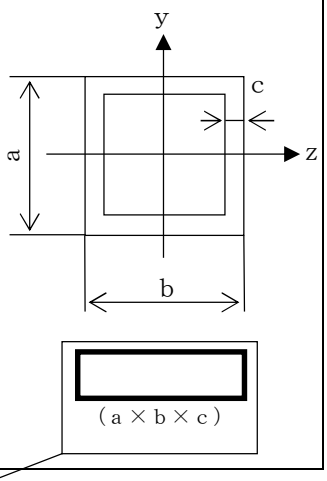


図 1-2　静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）解析モデル

表 1-5　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

表 1-6　部材の機器要目

材料		
対象要素	①	②
A （mm^2）		
I_y （mm^4）		
I_z （mm^4）		
I_p （mm^4）		
Z_y （mm^3）		
Z_z （mm^3）		
Z_p （mm^3）		
断面形状 （mm）		

1.4.4　固有周期

固有値解析結果を表 1-7 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表1-7　固有値解析結果

モード	固有周期（ｓ）	卓越方向
１次		水平

1.4.5　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力については，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 1－8 に示す。

表 1-8　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ(m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
[redacted] EL. 46.50 (EL. 57.00*1)	[redacted]		－	－	C_H=2.09	C_V=1.77

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.4.6　計算方法

1.4.6.1　基礎ボルトの応力

3 次元はりモデルによる地震応答解析からサポート基礎部の荷重を算出し，その結果を用いて理論式にて基礎ボルトを評価する。

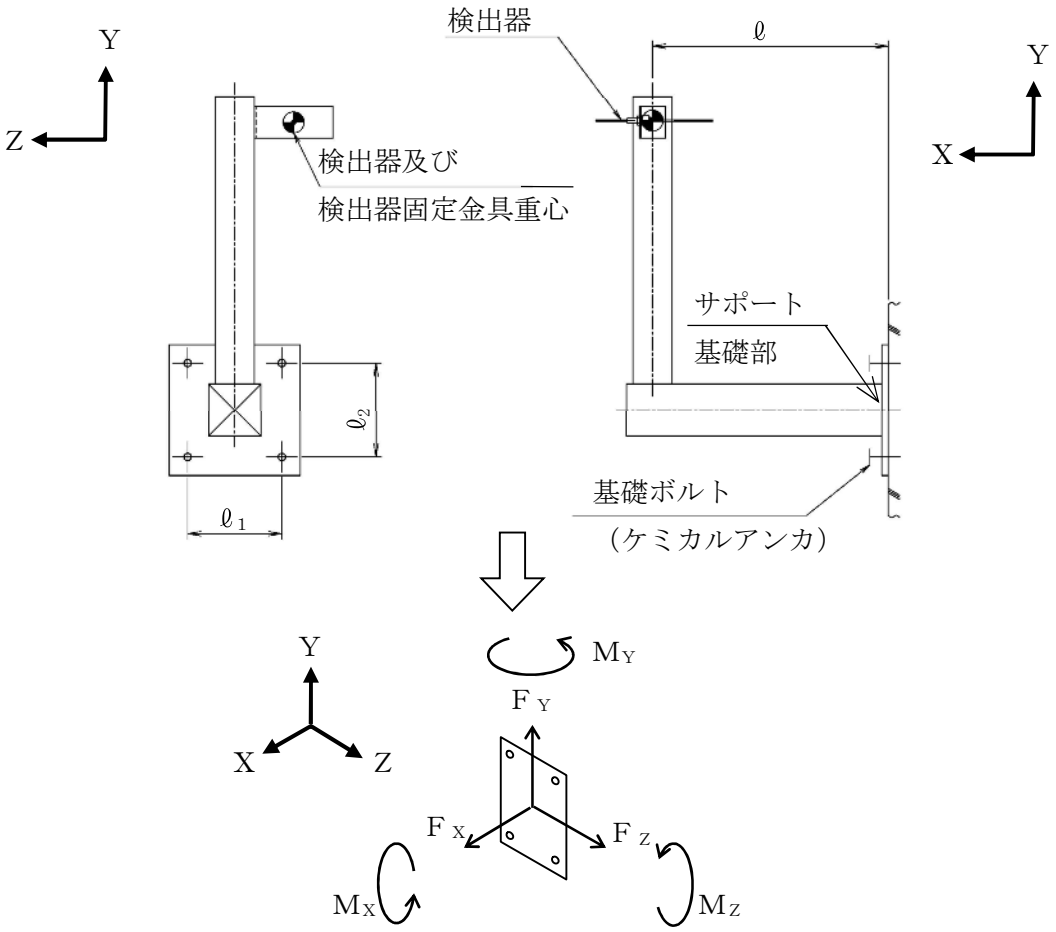


図 1-3　計算モデル（サポート基礎部，基礎ボルト）

地震応答解析によって得られたサポート基礎部の評価点の反力とモーメントを表 1-9 に示す。

表1-9　サポート発生反力，モーメント

対象計器	反力(N)			モーメント(N･mm)		
	F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z
TE-SA16-N001A，B						

(1) 引張応力

基礎ボルト（1本当り）に対する引張応力は，下式により計算する。

引張力（F_b）

$$F_b = \frac{F_X}{n} + \frac{M_Y}{\ell_1 \cdot n_Y} + \frac{M_Z}{\ell_2 \cdot n_Z} \quad \cdots\cdots (1.4.6.1.1)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots (1.4.6.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \cdots\cdots (1.4.6.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト（1本当り）に対するせん断応力は，下式により計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_Y{}^2 + F_Z{}^2}}{n} + \frac{M_X}{n \cdot \ell_3} \quad \cdots\cdots (1.4.6.1.4)$$

ここで，ボルト間距離ℓ_3は次式により求める。

$$\ell_3 = \mathrm{Min}(\ell_1, \ell_2) \quad \cdots\cdots (1.4.6.1.5)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \quad \cdots\cdots (1.4.6.1.6)$$

1.4.7　計算条件

1.4.7.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の【静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）（TE-SA16-N001A，B）の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

1.4.8　応力の評価

1.4.8.1　基礎ボルトの応力評価

1.4.6.1項で求めたボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。ただし，f_{to}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot\tau_b, f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.4.8.1.1)$$

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。

	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

1.5　機能維持評価

1.5.1　静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の電気的機能維持評価方法

静的触媒式水素再結合器動作監視装置(入口温度)の機能維持評価について以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-10 に示す。

表 1-10　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
静的触媒式水素再結合器 動作監視装置（入口温度）	水平	
	鉛直	

1.6　評価結果

1.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）（TE-SA16-N001A，B）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）	常設／緩和	EL. 46.50 (EL. 57.00*1)			—	—	C_H＝2.09	C_V＝1.77	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）

部材	ℓ (mm)	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	n	n_Y	n_Z	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト							2	2	221	373	261

1.3 計算数値

1.3.1 サポートに作用する力 （単位：N）

部材	F_X		F_Y		F_Z	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
サポート部						

1.3.2 サポートに作用するモーメント （単位：N･mm）

部材	M_X		M_Y		M_Z	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
サポート部						

1.3.3 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b=8$	$f_{ts}=156$*
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=120$

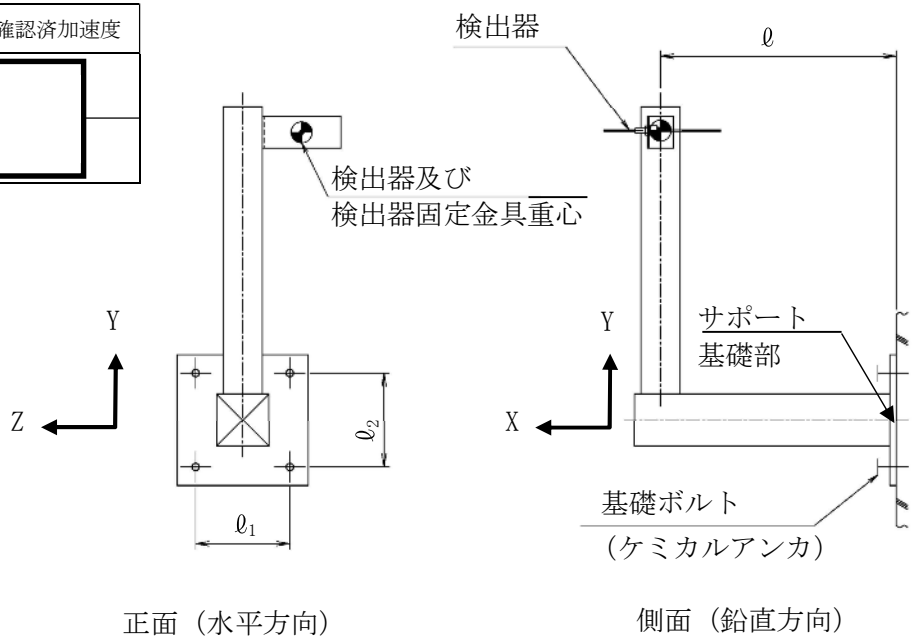
すべて許容応力以下である。

注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
静的触媒式水素再結合器動作監視装置（入口温度）	水平方向	1.74	
	鉛直方向	1.47	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）　　側面（鉛直方向）

2. 静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）

2.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

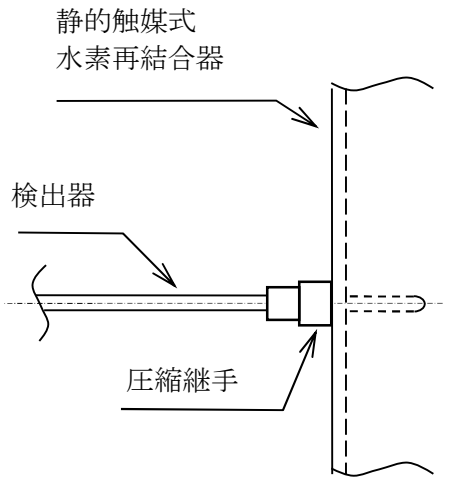
静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）は，重大事故等対処設備において常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，圧縮継手にて，静的触媒式水素再結合器に固定する。	熱電対	【TE-SA16-N002A，N002B】 

2.2.2　評価方針

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「2.4　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.5　評価結果」に示す。

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

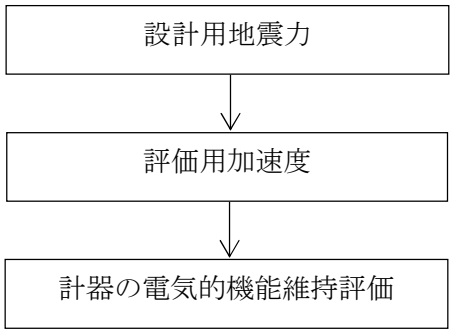


図 2-1　静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）の耐震評価フロー

2.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

2.3　評価部位

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）は，静的触媒式水素再結合器に挿入され固定されることから，静的触媒式水素再結合器が支持している。静的触媒式水素再結合器の構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-9-5-5-1　静的触媒式水素再結合器の耐震性についての計算書」にて実施しているため，静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）では，静的触媒式水素再結合器に生じる加速度を用いて静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）の電気的機能維持評価について示す。

2.4　機能維持評価

2.4.1　評価用加速度

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）は，静的触媒式水素再結合器に挿入され固定されることから評価用加速度は「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力として，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定し，評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。評価用加速度を表 2-2 に示す。

表 2-2　評価用加速度　　（×9.8 m/s^2）

機器名称	対象機器設置箇所	方向	基準地震動Ｓ$_s$ 評価用加速度
静的触媒式水素再結合器動作監視装置(出口温度) (TE-SA16-N002A, B)	[redacted] EL.46.50 (EL.57.00*)	水平	1.74
		鉛直	1.47

注記　＊：基準床レベルを示す。

2.4.2　機能確認済加速度

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）の機能確認済加速度については以下に示す。

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）の機能確認済加速度には，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表2-3に示す。

表2-3　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
静的触媒式水素再結合器 動作監視装置（出口温度）	水平	
	鉛直	

2.5　評価結果

2.5.1　重大事故等対処設備としての評価結果

静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）については，重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電気的機能が維持されていることを確認した。

(1)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【静的触媒式水素再結合器動作監視装置（出口温度）（TE-SA16-N002A，B）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 電気的機能維持の評価結果

（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
静的触媒式水素再結合器動作監視装置 （出口温度）	水平方向	1.74	
	鉛直方向	1.47	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-7-13　フィルタ装置水位の耐震性についての計算書

目次

1. フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）
1.1 概要 ····· 1
1.2 一般事項 ····· 1
1.2.1 構造計画 ····· 1
1.2.2 評価方針 ····· 3
1.2.3 適用基準 ····· 4
1.2.4 記号の説明 ····· 5
1.2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 7
1.3 評価部位 ····· 8
1.4 固有周期 ····· 8
1.4.1 固有値解析方法 ····· 8
1.4.2 解析モデル及び諸元 ····· 8
1.4.3 固有値解析結果 ····· 12
1.5 構造強度評価 ····· 13
1.5.1 構造強度評価方法 ····· 13
1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 13
1.5.3 設計用地震力 ····· 17
1.5.4 計算方法 ····· 18
1.5.5 計算条件 ····· 20
1.5.6 応力の評価 ····· 20
1.6 機能維持評価 ····· 21
1.6.1 電気的機能維持評価方法 ····· 21
1.7 評価結果 ····· 21
1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 21
2. フィルタ装置水位（LT-SA14-N101B） ····· 24
2.1 概要 ····· 24
2.2 一般事項 ····· 24
2.2.1 構造計画 ····· 24
2.3 固有周期 ····· 26
2.3.1 固有周期の算出方法 ····· 26
2.3.2 固有周期の計算条件 ····· 27
2.3.3 固有周期の計算結果 ····· 27
2.4 構造強度評価 ····· 28
2.4.1 構造強度評価方法 ····· 28

2.4.2　荷重の組合せ及び許容応力　・・・

1. フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）

1.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

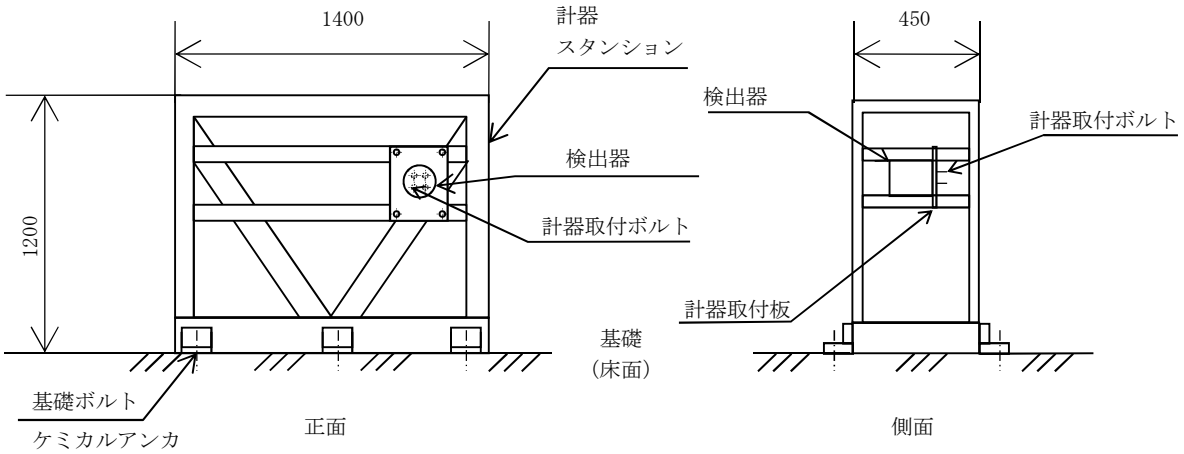
フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式水位検出器	【LT-SA14-N101A】  (単位：mm)

1.2.2　評価方針

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「1.2.1　構造計画」にて示すフィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）の部位を踏まえ「1.3　評価部位」にて設定する箇所において，「1.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「1.5　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「1.6　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「1.7　評価結果」に示す。

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）の耐震評価フローを図 1-1 に示す。

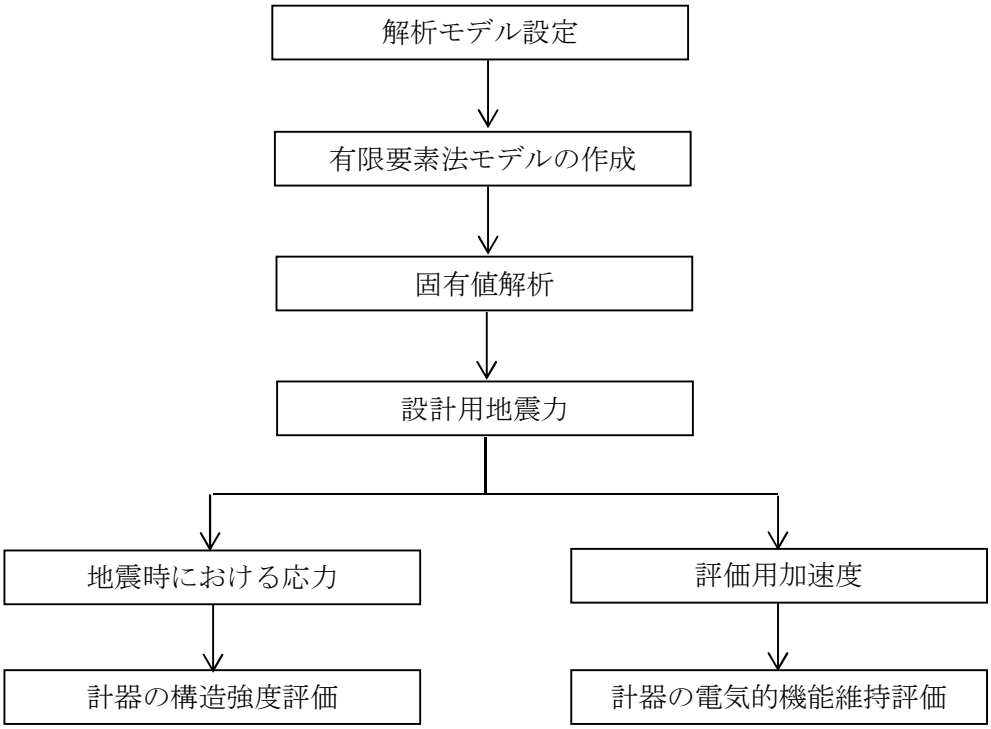


図 1-1　フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）の耐震評価フロー

1.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））
ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

1.2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	計器スタンションの断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_1	取付面から重心までの距離	mm
I_p	計器スタンションの断面二次極モーメント	mm^4
I_y	計器スタンションの断面二次モーメント（y軸）	mm^4
I_z	計器スタンションの断面二次モーメント（z軸）	mm^4
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	検出器,弁及び計器スタンションの総質量	kg
m_i	検出器及び弁の質量（i＝a～g）	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N

記号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（ＲＴ）	設計・建設規格 付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40 ℃における値	MPa
Z_p	計器スタンションのねじり断面係数	mm^3
Z_y	計器スタンションの断面係数（ｙ軸）	mm^3
Z_z	計器スタンションの断面係数（ｚ軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記　＊：$\ell_1 \leqq \ell_2$

1.2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表1-2に示すとおりとする。

表1-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積*2	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

1.3　評価部位

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）の耐震評価は，「1.5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部について実施する。フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）の耐震評価部位については，表 1-1 の概略構造図に示す。

1.4　固有周期

1.4.1　固有値解析方法

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）の固有値解析方法を「1.4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

1.4.2　解析モデル及び諸元

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）の解析モデルを 3 次元はりモデルとして図 1-2 に，解析モデルの概要を以下に示す。計器スタンションは複数の鋼材で構成された箱で床面に 6 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，①～㉖の部材で組まれた箱とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）6 点で固定されるものとする。また，検出器及び弁の質量は各々の質点に集中するものとし，質点は各検出器及び弁の取付位置に設置する。機器の諸元を表 1-3，部材の機器要目を表 1-4 に示す。

(1)　図 1-2 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

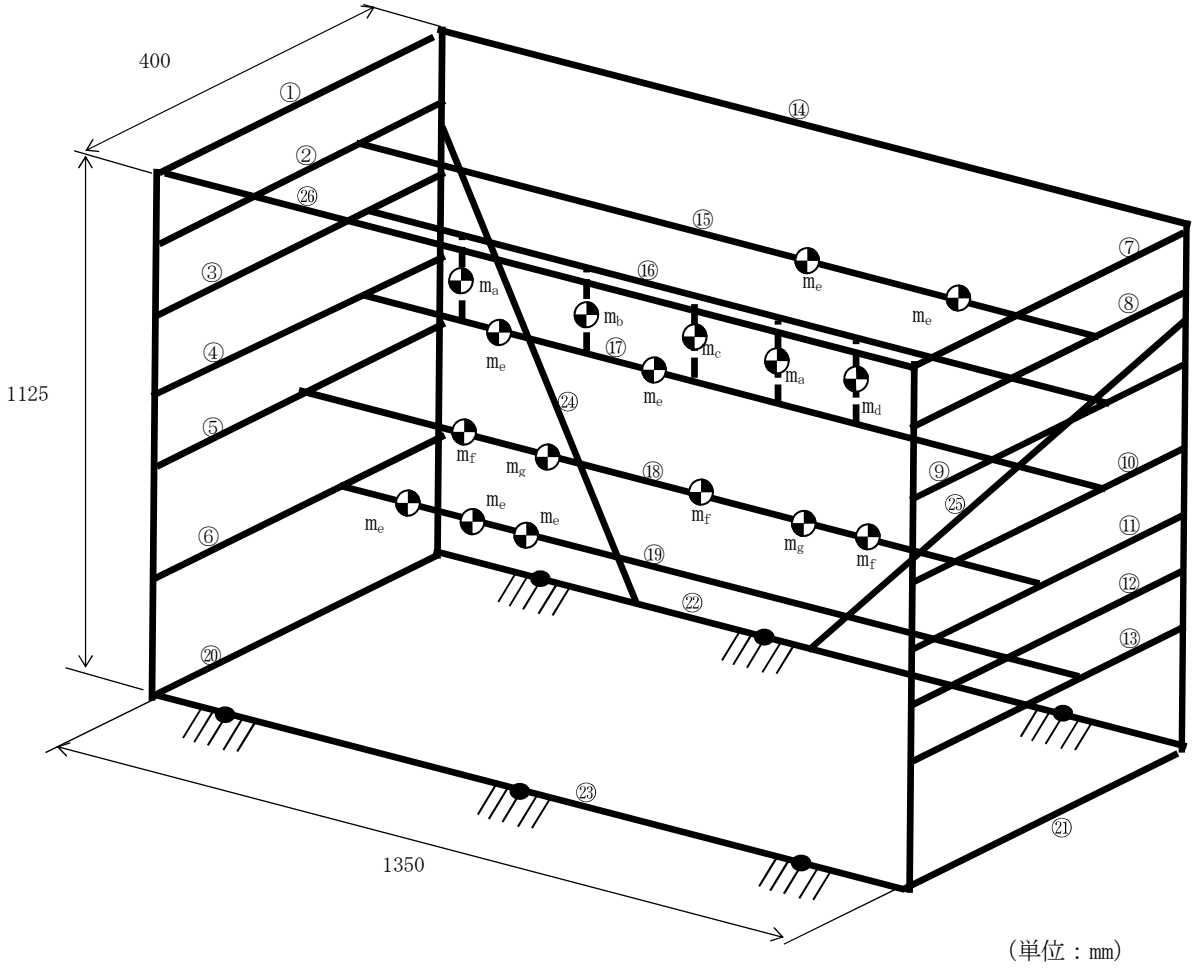
(2)　図 1-2 中の ◓ 検出器及び弁の質点を示し，m_aは□kg，m_bは□kg，m_cは□kg，m_dは□kg，m_eは□kg，m_fは□kg 及びm_gは□kg である。

(3)　図 1-2 中の ―― は計器スタンション，－－－ は仮想鋼材， は支持点（計器スタンション基礎部）を示す。

(4)　拘束条件として，基礎部のＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。



（単位：mm）

：支持点（計器スタンション基礎部）

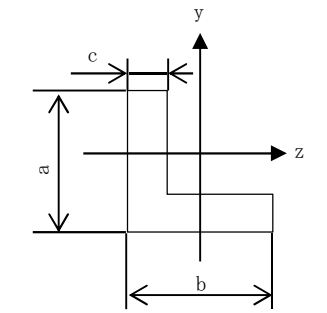
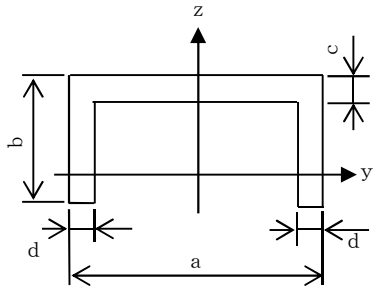
：検出器質点及び弁質点

図 1-2　解析モデル

表 1-3　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
	m_b	kg	
	m_c	kg	
	m_d	kg	
	m_e	kg	
	m_f	kg	
	m_g	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

表 1-4　部材の機器要目

材料	[redacted]	[redacted]
対象要素	①－⑲, ㉖	⑳－㉕
A （mm^2）	[redacted]	[redacted]
I_y （mm^4）		
I_z （mm^4）		
I_p （mm^4）		
Z_y （mm^3）		
Z_z （mm^3）		
Z_p （mm^3）		
断面形状 (mm)	 （a× b × c ）	 （ a × b × c × d ）

1.4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 1-5 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であることを確認した。

表1-5　固有値解析結果

モード	固有周期（ｓ）	卓越方向
１次	[redacted]	水平

1.5　構造強度評価

1.5.1　構造強度評価方法

(1)　地震力は，フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2)　フィルタ装置水位(LT-SA14-N101A)は,基礎ボルトにより壁面に固定されるものとする。

(3)　フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）の質量は検出器，弁及び計器スタンションを考慮する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

1.5.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-6 に示す。

1.5.2.2　許容応力

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 1-7 のとおりとする。

1.5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-8 に示す。

表 1-6　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	フィルタ装置水位	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 1-7　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の 許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-8　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		225	385	－

1.5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 1-9 に示す。

表 1-9　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
格納容器圧力逃がし装置格納槽 EL.-12.80*1	[redacted]		－	－	C_H=2.15	C_V=1.07

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.5.4　計算方法

1.5.4.1　応力の計算方法

1.5.4.1.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

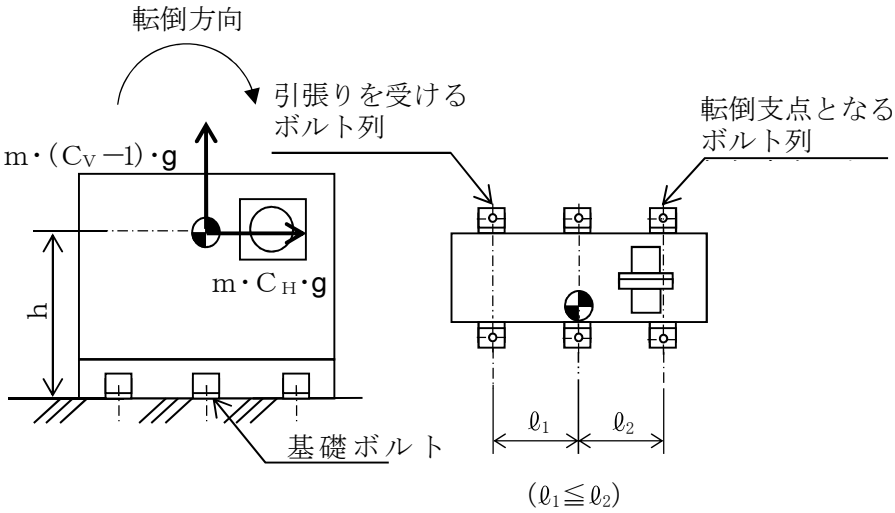


図1-3(1)　計算モデル

（直立形　左右方向転倒－2（1－CV）＜0の場合）

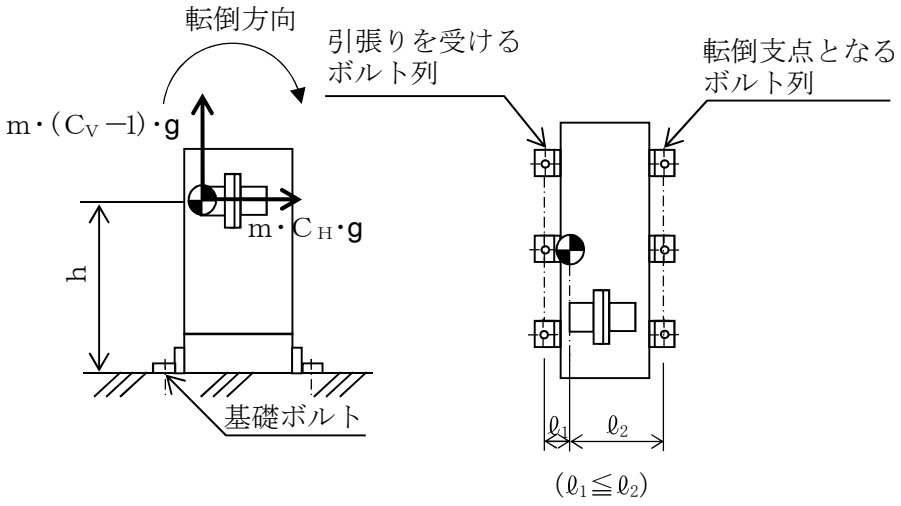


図 1-3(2)　計算モデル

（直立形　前後方向転倒－1（1－CV）＜0の場合）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図1-3で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図1-3(1)及び図1-3(2)の場合の引張力

$$F_b=\frac{m\cdot g\cdot C_H\cdot h_1-m\cdot g\cdot(1-C_V)\cdot \ell_2}{n_f\cdot(\ell_1+\ell_2)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.1)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.2)$$

ここで，ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_b = m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.4)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.1.5)$$

1.5.5　計算条件

1.5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【フィルタ装置水位(LT-SA14-N101A)の耐震性についての評価結果】の設計条件および機器要目に示す。

1.5.6　応力の評価

1.5.6.1　ボルトの応力評価

1.5.4.1.1 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to} は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (1.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし，f_{sb} は下表による。

	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

1.6　機能維持評価

1.6.1　電気的機能維持評価方法

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-10 に示す。

表 1-10　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置水位 （LT-SA14-N101A）	水平	
	鉛直	

1.7　評価結果

1.7.1　重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101A）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置水位(LT-SA14-N101A)の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
フィルタ装置水位	常設耐震／防止 常設／緩和	格納容器圧力 逃がし装置格納槽 EL.-12.80*1			—	—	C_H=2.15	C_V=1.07	

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置水位

部材	m (kg)	h_1 (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	nf*
基礎ボルト							2
							3

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	225	385	—	270	—	前後方向

注記 *：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=16	f_{ts}=162*
		せん断	－	－	τ_b=5	f_{sb}=124

すべて許容応力以下である。

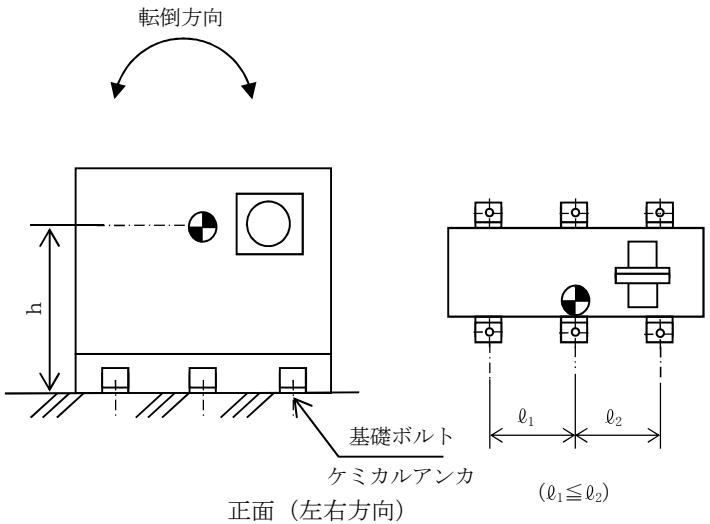
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

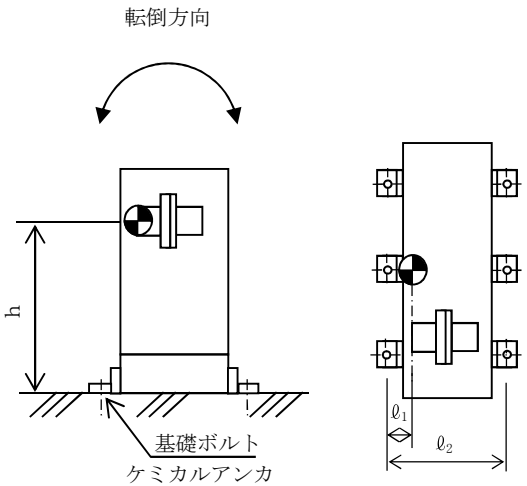
(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
フィルタ装置水位	水平方向	1.79	
	鉛直方向	0.89	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（左右方向）



側面（前後方向）

($\ell_1 \leqq \ell_2$)

2. フィルタ装置水位（LT-SA14-N101B）

2.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，フィルタ装置水位（LT-SA14-N101B）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101B）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

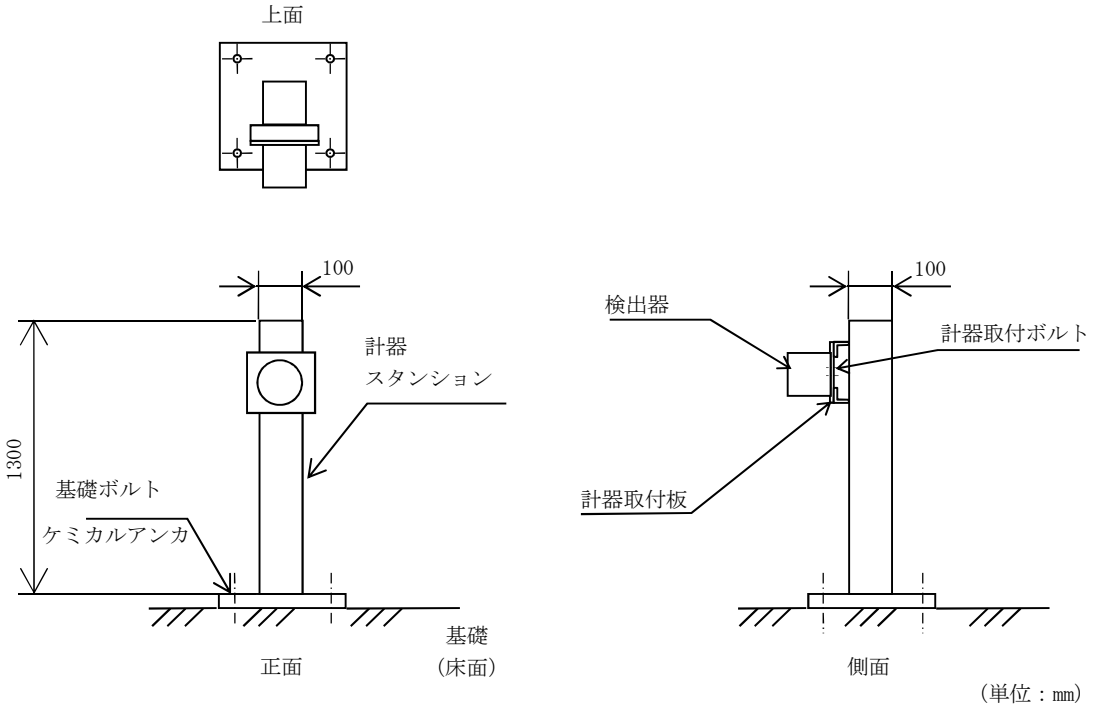
2.2 一般事項

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101B）は,添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.2.1 構造計画

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101B）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式水位検出器	【LT-SA14-N101B】 

2.3　固有周期

2.3.1　固有周期の算出方法

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101B）の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　フィルタ装置水位（LT-SA14-N101B）は，図 2-1 に示す床固定の１質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で原子炉建屋床面に固定されているため，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1 点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4)　図 2-1 中の ◓ は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，━ は計器スタンションを示す。

2.3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^{\,3}}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \quad \cdots (2.3.1.1.1)$$

2.3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

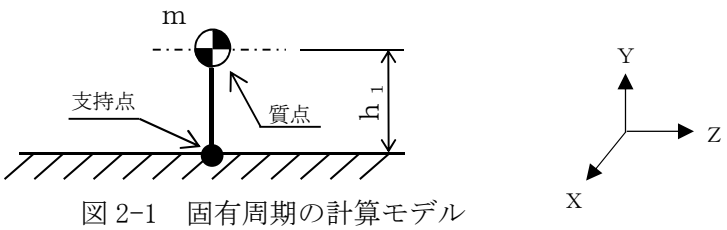
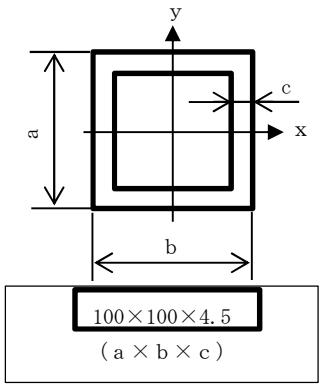


図 2-1　固有周期の計算モデル

2.3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 2-2 に示す。

表 2-2　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
取付面から重心までの距離	h_1	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			

2.3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 2-3 示す。

表 2-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

2.4　構造強度評価

2.4.1　構造強度評価方法

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101B）の構造は直立形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

2.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

2.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101B）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-4 に示す。

2.4.2.2　許容応力

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101B）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 2-5 のとおりとする。

2.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101B）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

表 2-4　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	フィルタ装置水位	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 2-5　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	234	385	－

2.5　機能維持評価

2.5.1　電気的機能維持評価方法

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101B）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101B）の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-7 に示す。

表 2-7　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置水位 （LT-SA14-N101B）	水平	
	鉛直	

2.6　評価結果

2.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置水位（LT-SA14-N101B）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置水位(LT-SA14-N101B)の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
フィルタ装置水位	常設耐震／防止 常設／緩和	格納容器圧力 逃がし装置格納槽 EL.-12.80*1			—	—	C_H=2.15	C_V=1.07	

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置水位

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	nf*
基礎ボルト							2 2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	234	385	—	270	—	前後方向

注記 *：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4　結論

1.4.1　ボルトの応力

（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	－	－	σ_b=23	f_{ts}=162*
		せん断	－	－	τ_b=3	f_{sb}=124

すべて許容応力以下である。

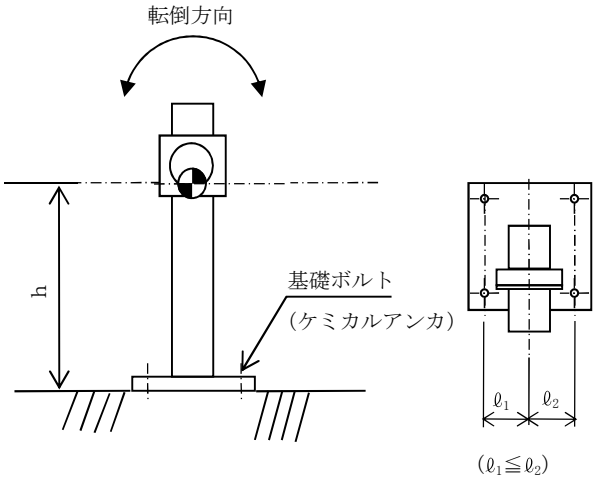
注記　＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4.2　電気的機能維持の評価結果

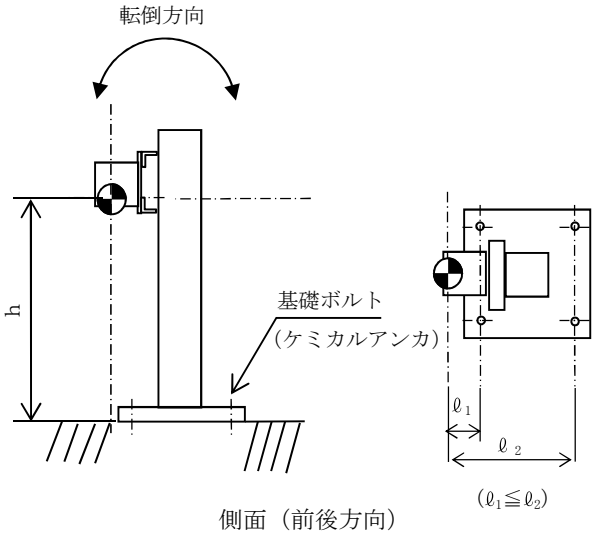
（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
フィルタ装置水位	水平方向	1.79	[redacted]
	鉛直方向	0.89	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（左右方向）



側面（前後方向）

Ⅴ-2-6-7-14　フィルタ装置圧力の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 4
2.4 記号の説明 ····· 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 7
3. 評価部位 ····· 8
4. 固有周期 ····· 8
4.1 固有値解析方法 ····· 8
4.2 解析モデル及び緒元 ····· 8
4.3 固有値解析結果 ····· 12
5. 構造強度評価 ····· 13
5.1 構造強度評価方法 ····· 13
5.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 13
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 13
5.2.2 許容応力 ····· 13
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 13
5.3 設計用地震力 ····· 17
5.4 計算方法 ····· 18
5.4.1 応力の計算方法 ····· 18
5.5 計算条件 ····· 20
5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件 ····· 20
5.6 応力の評価 ····· 20
5.6.1 ボルトの応力評価 ····· 20
6. 機能維持評価 ····· 21
6.1 電気的機能維持評価方法 ····· 21
7. 評価結果 ····· 22
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 22

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，フィルタ装置圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

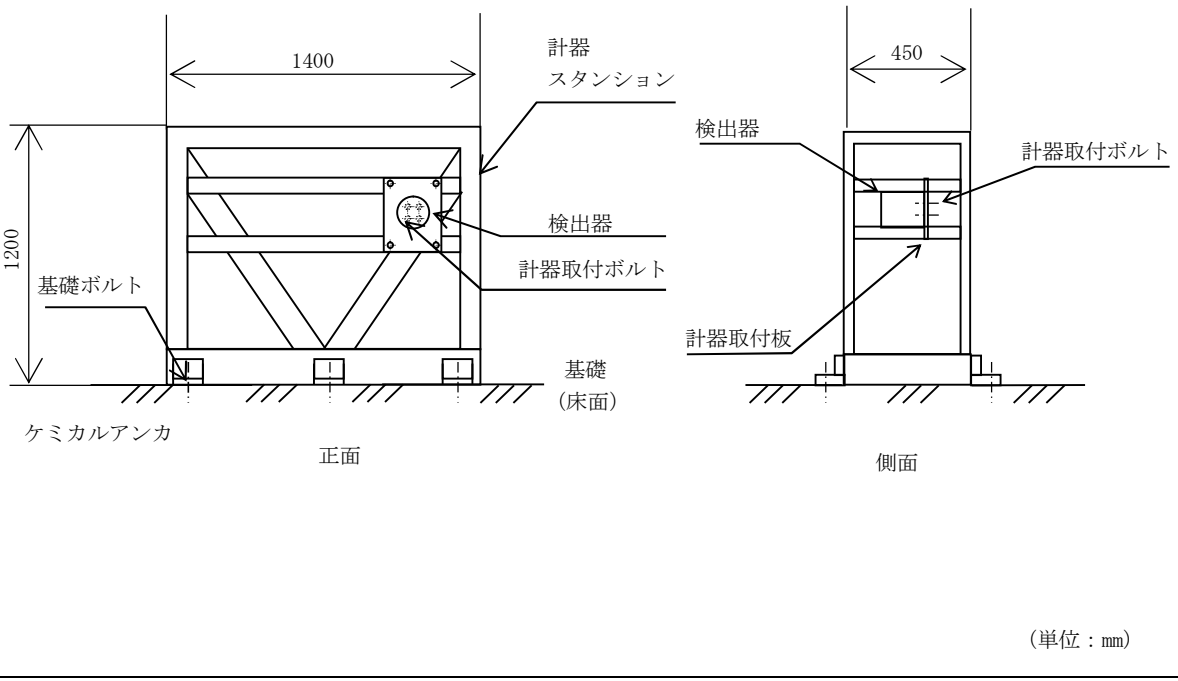
フィルタ装置圧力は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置圧力の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	

2.2　評価方針

フィルタ装置圧力の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示すフィルタ装置圧力の部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.固有周期」で算出した固有周期に基づく設計地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「5.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，フィルタ装置圧力の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.3　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「6.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7.評価結果」に示す。

フィルタ装置の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

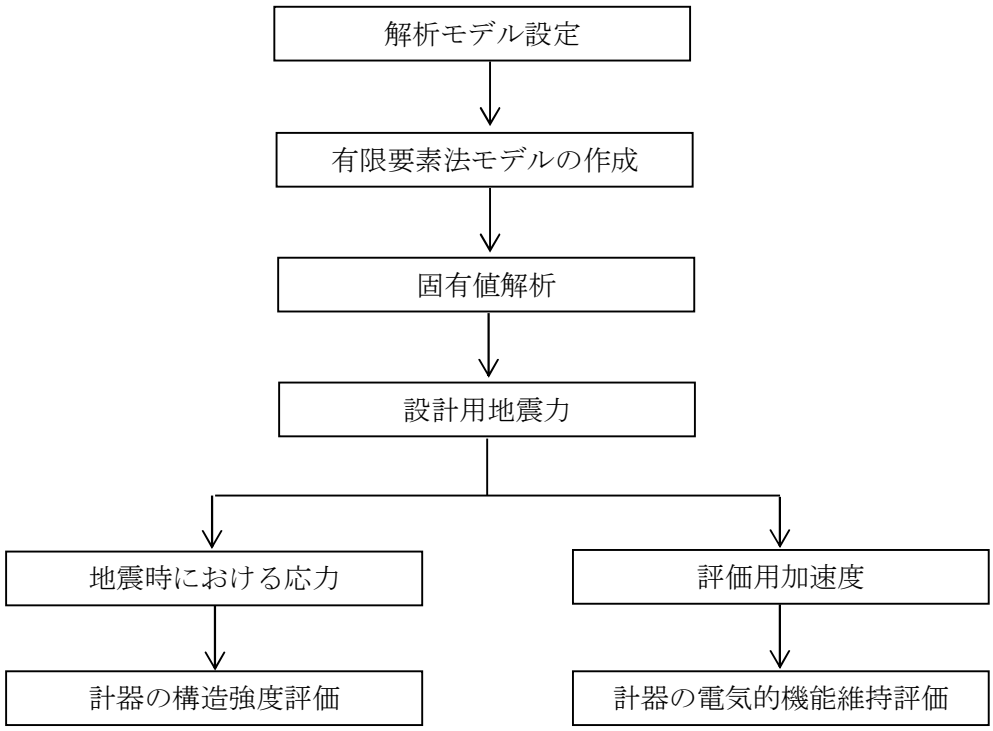


図 2-1　フィルタ装置圧力の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））

ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	計器スタンションの断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_1	取付面から重心までの距離	mm
I_p	計器スタンションの断面二次極モーメント	mm^4
I_y	計器スタンションの断面二次モーメント（ｙ軸）	mm^4
I_z	計器スタンションの断面二次モーメント（ｚ軸）	mm^4
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	計器，弁及び計器スタンションの総質量	kg
m_i	計器及び弁の質量（ｉ＝ａ～ｇ）	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N

記号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S_y（ＲＴ）	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40 ℃における値	MPa
Z_p	計器スタンションのねじり断面係数	mm^3
Z_y	計器スタンションの断面係数（ｙ軸）	mm^3
Z_z	計器スタンションの断面係数（ｚ軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記　＊：$\ell_1 \leqq \ell_2$

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積*2	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3.　評価部位

フィルタ装置圧力の耐震評価は，「5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部について実施する。フィルタ装置圧力の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4.　固有周期

4.1　固有値解析方法

フィルタ装置圧力の固有値解析方法を「4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

4.2　解析モデル及び諸元

フィルタ装置圧力の解析モデルを 3 次元はりモデルとして図 4-1 に，解析モデルの概要を以下に示す。計器スタンションは複数の鋼材で構成された箱で床面に 6 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，①～㉖の部材で組まれた箱とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）6 点で固定されるものとする。また，検出器及び弁の質量は各々の質点に集中するものとし，質点は各検出器及び弁の取付位置に設置する。機器の諸元を表 4-1，部材の機器要目を表 4-2 に示す。

(1)　図 4-1 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2)　図 4-1 中の ◓ は検出器及び弁の質点を示し，m_aは□kg，m_bは□kg，m_cは□kg，m_dは□kg，m_eは□kg，m_fは□kg 及びm_gは□kg である。

(3)　図 4-1 中の ―― は計器スタンション，－ － は仮想鋼材， は支持点（計器スタンション基礎部）を示す。

(4)　拘束条件として，基礎部のＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

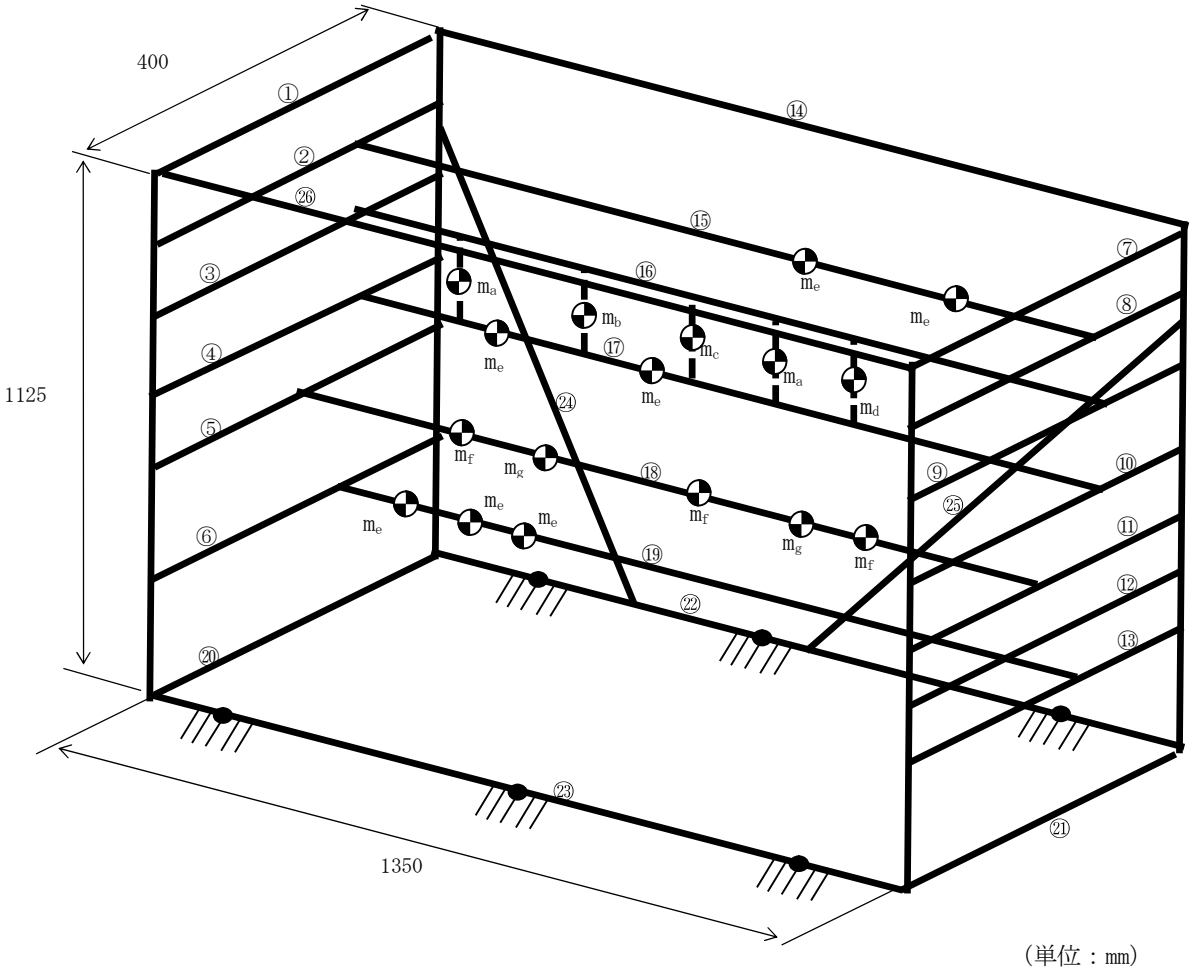
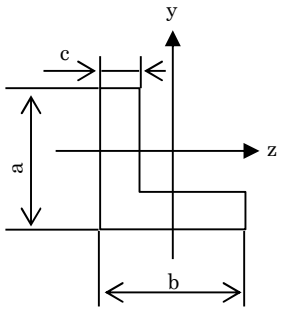
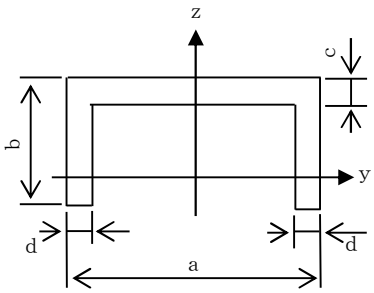

400
1125
1350
①
②
③
④
⑤
⑥
⑦
⑧
⑨
⑩
⑪
⑫
⑬
⑭
⑮
⑯
⑰
⑱
⑲
⑳
㉑
㉒
㉓
㉔
㉕
㉖
m_a
m_b
m_c
m_d
m_e
m_f
m_g
（単位：mm）
：支持点（計器スタンション基礎部）
：検出器質点及び弁質点

図 4-1　解析モデル

表 4-1　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
	m_b	kg	
	m_c	kg	
	m_d	kg	
	m_e	kg	
	m_f	kg	
	m_g	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

表 4-2　部材の機器要目

材料	[redacted]	[redacted]
対象要素	①－⑲, ㉖	⑳－㉕
A （mm^2）	[redacted]	[redacted]
I_y （mm^4）		
I_z （mm^4）		
I_p （mm^4）		
Z_y （mm^3）		
Z_z （mm^3）		
Z_p （mm^3）		
断面形状 (mm)	 (a× b × c)	 (a × b × c × d)

4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-3 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表4-3　固有値解析結果

モード	固有周期（ｓ）	卓越方向
１次	[redacted]	水平

5.　構造強度評価

5.1　構造強度評価方法

(1)　地震力は,フィルタ装置圧力に対して,水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(2)　フィルタ装置圧力は，基礎ボルトにより壁面に固定されるものとする。

(3)　フィルタ装置圧力の質量は検出器，弁及び計器スタンションを考慮する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

5.2　荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置圧力の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2　許容応力

フィルタ装置圧力の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

フィルタ装置圧力の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	フィルタ装置圧力	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$\mathrm{IV_AS}$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$\mathrm{V_AS}$ （$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	225	385	－

5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

表 5-4　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
格納容器圧力逃がし装置格納槽 EL. -12.80*1	[redacted]		－	－	C_H=2.15	C_V=1.07

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

5.4　計算方法

5.4.1　応力の計算方法

5.4.1.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

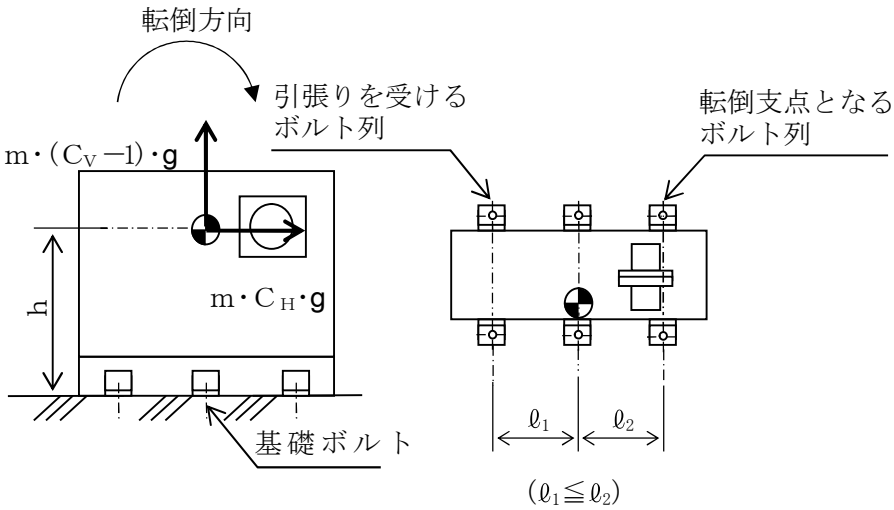


図5-1(1)　計算モデル

(直立形　左右方向転倒－2（1－CV)＜0の場合)

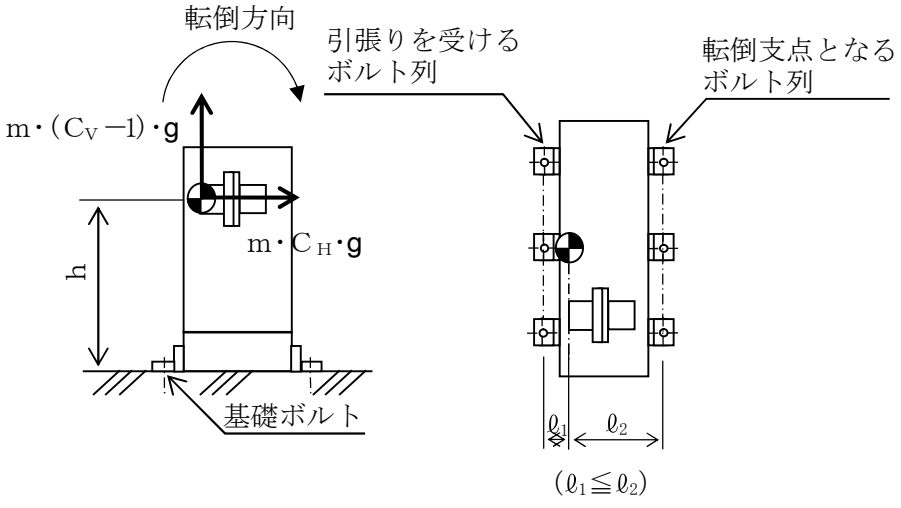


図5-1(2)　計算モデル

(直立形　前後方向転倒－1（1－CV)＜0の場合)

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図5-1で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図5-1(1)及び図5-1(2)の場合の引張力

$$F_b=\frac{m\cdot g\cdot C_H\cdot h_1-m\cdot g\cdot(1-C_V)\cdot \ell_2}{n_f\cdot(\ell_1+\ell_2)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.1)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.3)$$

(2)　せん断応力

ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_b = m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.5)$$

5.5　計算条件

5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【フィルタ装置圧力の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

5.6　応力の評価

5.6.1　ボルトの応力評価

5.4.1.1 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to} は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし，f_{sb} は下表による。

	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電気的機能維持評価方法

フィルタ装置圧力の電気的機能維持評価について，以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

フィルタ装置圧力の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置圧力	水平	
	鉛直	

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置圧力の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置圧力の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
フィルタ装置圧力	常設耐震／防止 常設／緩和	格納容器圧力 逃がし装置格納槽 EL. -12.80*1			—	—	C_H=2.15	C_V=1.07	

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置圧力

部材	m (kg)	h_1 (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	nf*
基礎ボルト							2
							3

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	225	385	—	270	—	前後方向

注記 *：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4　結論

1.4.1　ボルトの応力

（単位：MPa）

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=16	f_{ts}=162*
		せん断	－	－	τ_b=5	f_{sb}=124

すべて許容応力以下である。

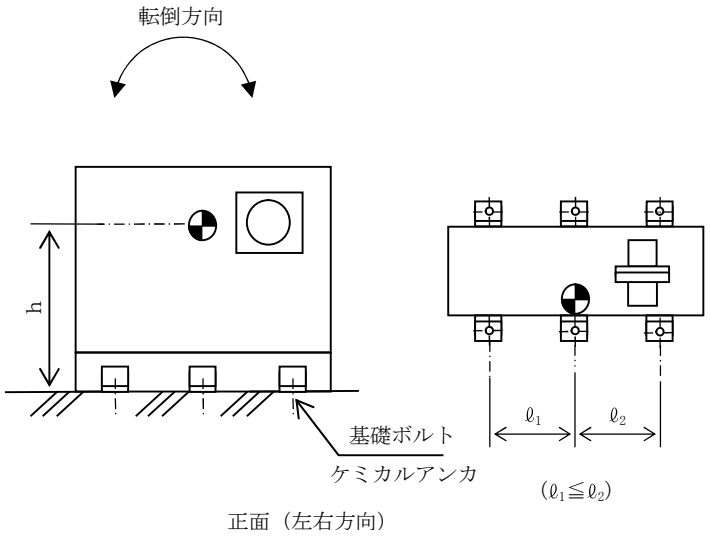
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2　電気的機能維持の評価結果

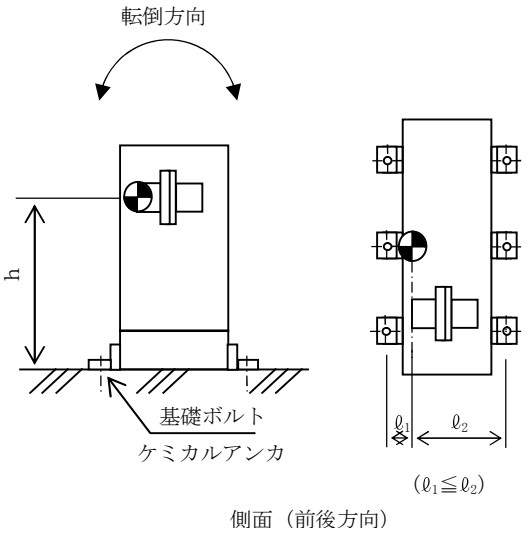
（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
フィルタ装置圧力	水平方向	1.79	
	鉛直方向	0.89	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（左右方向）



側面（前後方向）

Ⅴ-2-6-7-15　フィルタ装置スクラビング水温度の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 3
3. 評価部位 ····· 3
4. 機能維持評価 ····· 4
4.1 評価用加速度 ····· 4
4.2 機能確認済加速度 ····· 5
5. 評価結果 ····· 6
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 6

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき，フィルタ装置スクラビング水温度が設計用地震力に対して十分な電気的機能を有していることを説明するものである。

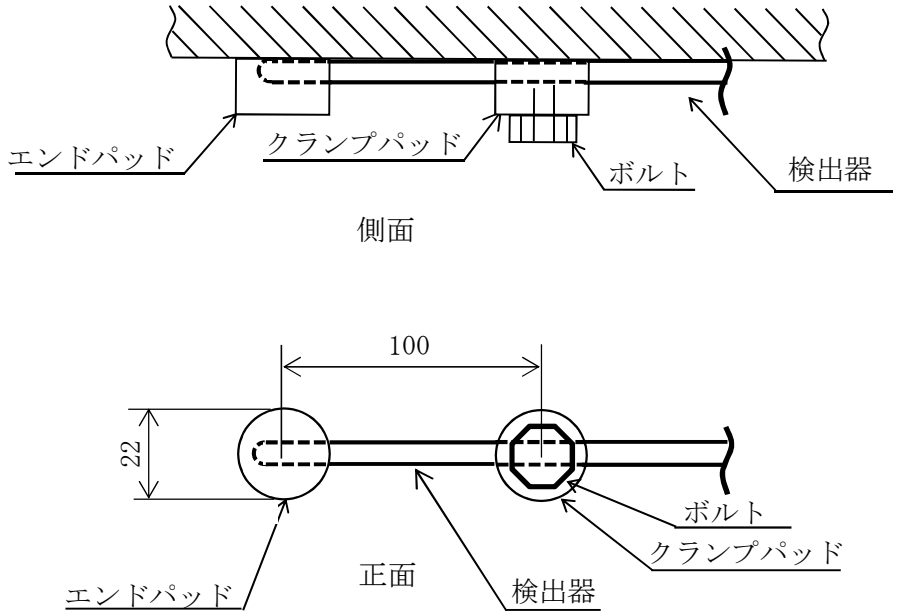
フィルタ装置スクラビング水温度は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置スクラビング水温度の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器はフィルタ装置に直接取り付けられたエンドパッド及びクランプパッドにより固定する。クランプパッドはボルトを用いて検出器を固定する。	熱電対	

2.2　評価方針

フィルタ装置スクラビング水温度の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「4.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

フィルタ装置スクラビング水温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

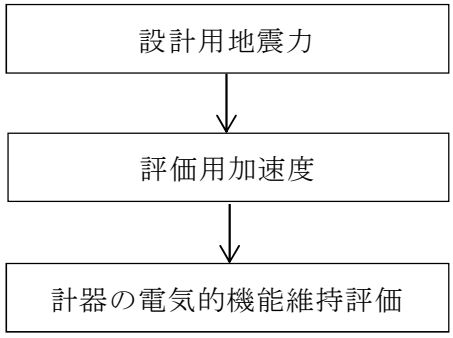


図 2-1　フィルタ装置スクラビング水温度の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991追補版（日本電気協会）

3.　評価部位

フィルタ装置スクラビング水温度は，フィルタ装置に直接取り付けられたエンドパッド及びクランプパッドに挿入され固定されることから，フィルタ装置が支持している。フィルタ装置の構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-9-7-1-2　フィルタ装置の耐震性についての計算書」にて実施しているため，本計算書では，フィルタ装置の地震応答解析結果を用いたフィルタ装置スクラビング水温度の電気的機能維持評価について示す。

フィルタ装置スクラビング水温度の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 機能維持評価

4.1 評価用加速度

フィルタ装置スクラビング水温度はフィルタ装置に直接取り付けられたエンドパッド及びクランプパッドに挿入されることから，評価用加速度は，「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力として添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。評価用加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価用加速度　　(×9.8 m/s^2)

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	基準地震動Ｓ$_s$ 評価用加速度
フィルタ装置 スクラビング水温度	[redacted]	水平	1.79
	EL. －11.41 (EL. －12.80*)	鉛直	0.89

注記　＊：基準床レベルを示す。

4.2　機能確認済加速度

フィルタ装置スクラビング水温度の機能確認済加速度については以下に示す。

フィルタ装置スクラビング水温度の機能確認済加速度には，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置 スクラビング水温度	水平	
	鉛直	

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置スクラビング水温度の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電気的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置スクラビング水温度の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 電気的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
フィルタ装置スクラビング水温度	水平方向	1.79	[redacted]
	鉛直方向	0.89	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-6-7-16　残留熱除去系海水系系統流量の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 4
2.4 記号の説明 ····· 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 6
3. 評価部位 ····· 7
4. 固有周期 ····· 7
4.1 固有値解析方法 ····· 7
4.2 解析モデル及び諸元 ····· 7
4.3 固有値解析結果 ····· 9
5. 構造強度評価 ····· 10
5.1 構造強度評価方法 ····· 10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 10
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 10
5.2.2 許容応力 ····· 10
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 10
5.3 設計用地震力 ····· 14
5.4 計算方法 ····· 15
5.4.1 応力の計算方法 ····· 15
5.5 計算条件 ····· 17
5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件 ····· 17
5.6 応力の評価 ····· 17
5.6.1 ボルトの応力評価 ····· 17
6. 機能維持評価 ····· 18
6.1 電気的機能維持評価方法 ····· 18
7. 評価結果 ····· 19
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 19

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，残留熱除去系海水系系統流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

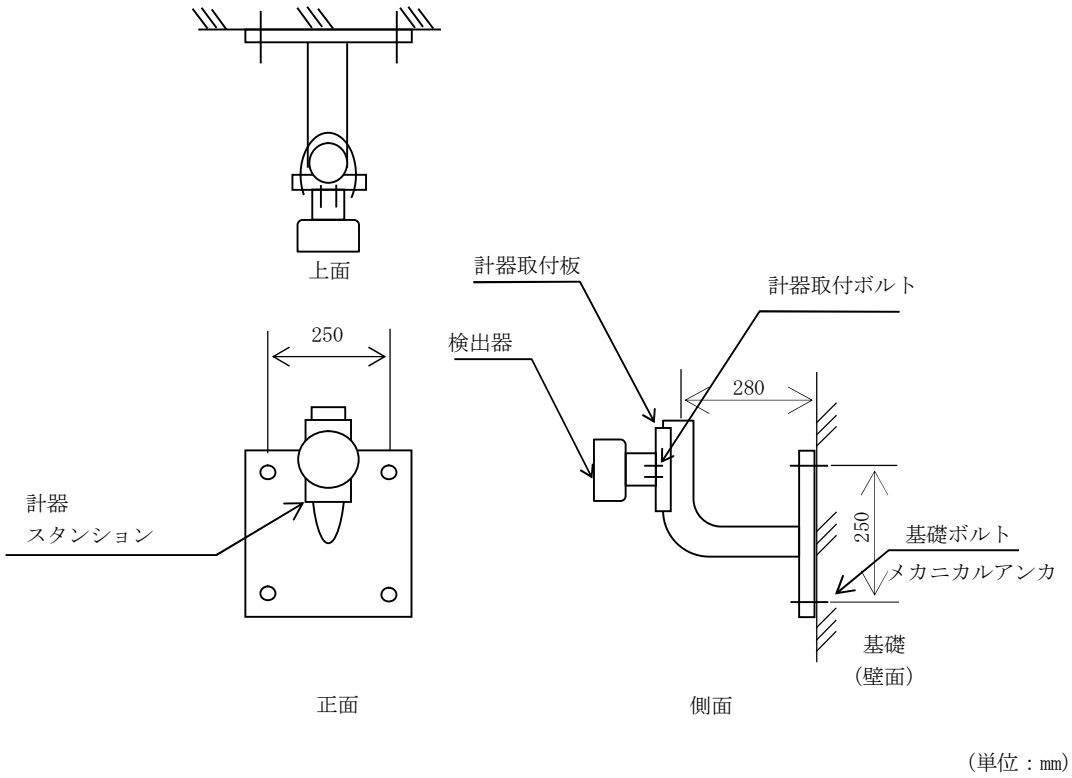
残留熱除去系海水系系統流量は，設計基準対象施設においてはCクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系海水系系統流量の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	

2.2　評価方針

残留熱除去系海水系系統流量の応力評価は,添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき,「2.1　構造計画」にて示す残留熱除去系海水系系統流量の部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において,「4.　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計地震力による応力等が許容限界内に収まることを,「5.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また,残留熱除去系海水系系統流量の機能維持評価は,添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針 4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき,地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを,「6.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7.　評価結果」に示す。

残留熱除去系海水系系統流量の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

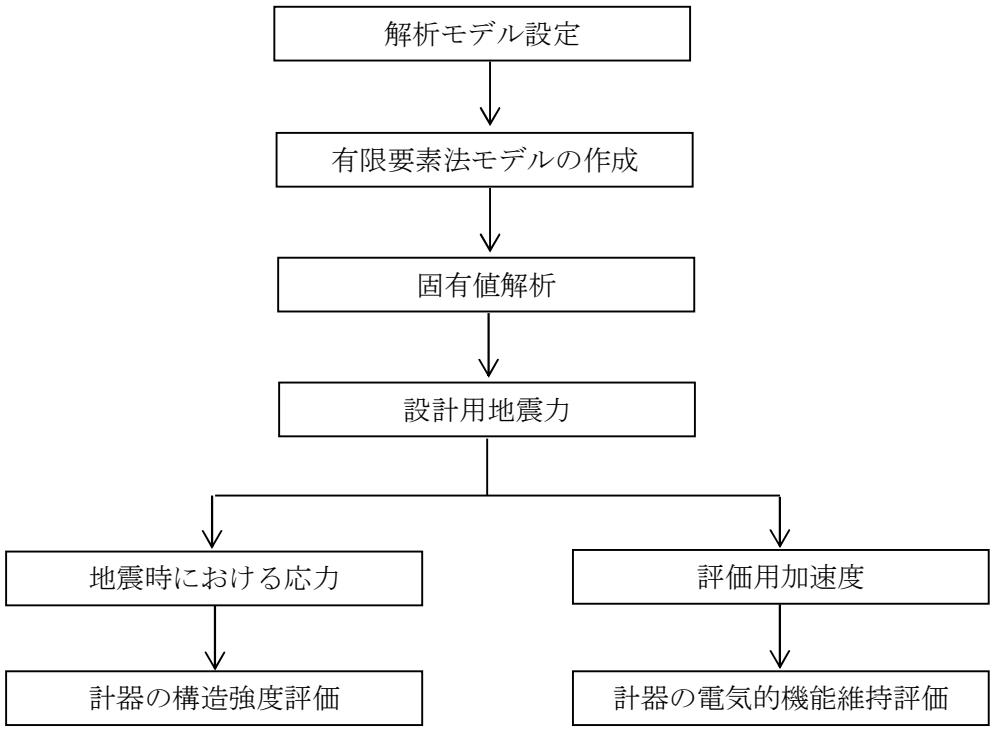


図 2-1　残留熱除去系海水系系統流量の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））
ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	計器スタンション断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及びスタンション取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）(壁掛形)	N
F_{b2}	鉛直方向地震及びスタンション取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）(壁掛形)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値)	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値)	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665)	m/s^2
h_2	取付面から重心までの距離(壁掛形)	mm
I_p	計器スタンションの断面二次極モーメント	mm^4
I_y	計器スタンションの断面二次モーメント（ｙ軸)	mm^4
I_z	計器スタンションの断面二次モーメント（ｚ軸)	mm^4
ℓ_3	重心と下側ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_a	側面(左右)ボルト間の距離(壁掛形)	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離(壁掛形)	mm
m	検出器及び計器スタンションの総質量	kg
m_a	検出器の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa

記号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
S_y（ＲＴ）	設計・建設規格 付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
Z_p	計器スタンションのねじり断面係数	mm^3
Z_y	計器スタンションの断面係数（ｙ軸）	mm^3
Z_z	計器スタンションの断面係数（ｚ軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積*2	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3.　評価部位

残留熱除去系海水系系統流量の耐震評価は，「5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部について実施する。残留熱除去系海水系系統流量の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4.　固有周期

4.1　固有値解析方法

残留熱除去系海水系系統流量の固有値解析方法を「4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

4.2　解析モデル及び諸元

残留熱除去系海水系系統流量の解析モデルを 3 次元はりモデルとして図 4-1 に，解析モデルの概要を以下に示す。計器スタンションはＬ字に曲がった円筒で原子炉建屋壁面に固定されることから，①及び②の部材で組まれたＬ字とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1 点で固定されるものとする。また，解析モデルにおいて，検出器の質量は質点に集中するものとし，質点は検出器の取付位置に設置する。また，機器の諸元を表 4-1，部材の機器要目を表 4-2 に示す。

(1)　図 4-1 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

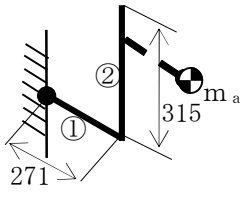
(2)　図 4-1 中の ◓ は検出器質点を示し，m_a は□ kg である。

(3)　図 4-1 中の ―― は計器スタンション，－ － は仮想鋼材， は支持点（計器スタンション基礎部）を示す。

(4)　拘束条件として，基礎部のＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。



（単位：mm）

：支持点(計器スタンション基礎部)

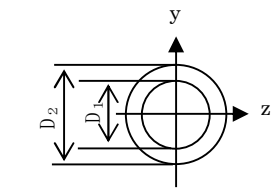
◓ ：検出器質点

図 4-1　解析モデル

表 4-1　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

表 4-2　部材の機器要目

材料	
対象要素	①－②
A （mm^2）	
I_y （mm^4）	
I_z （mm^4）	
I_p （mm^4）	
Z_y （mm^3）	
Z_z （mm^3）	
Z_p （mm^3）	
断面形状(mm)	 D1= D2=

4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-3 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表4-3　固有値解析結果

モード	固有周期（ｓ）	卓越方向
１次	[redacted]	水平

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)～(6)のほか，次の条件で計算する。

(1) 地震力は，残留熱除去系海水系系統流量に対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

残留熱除去系海水系系統流量の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

残留熱除去系海水系系統流量の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系海水系系統流量の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	残留熱除去系海水系系統流量	常設／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
基礎ボルト (FT-E12-N007A)	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	234	385	－
基礎ボルト (FT-E12-N007B)	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	233	383	－

5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4，表 5-5 に示す。

表 5-4　残留熱除去系海水系系統流量（FT-E12-N007A）の
設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL.-4.00 (EL.2.00*1)			－	－	C_H=0.96	C_V=0.92

注記　＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 5-5　残留熱除去系海水系系統流量（FT-E12-N007B）の
設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL.2.00 (EL.8.20*1)			－	－	C_H=1.10	C_V=0.96

注記　＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

5.4　計算方法

5.4.1　応力の計算方法

5.4.1.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

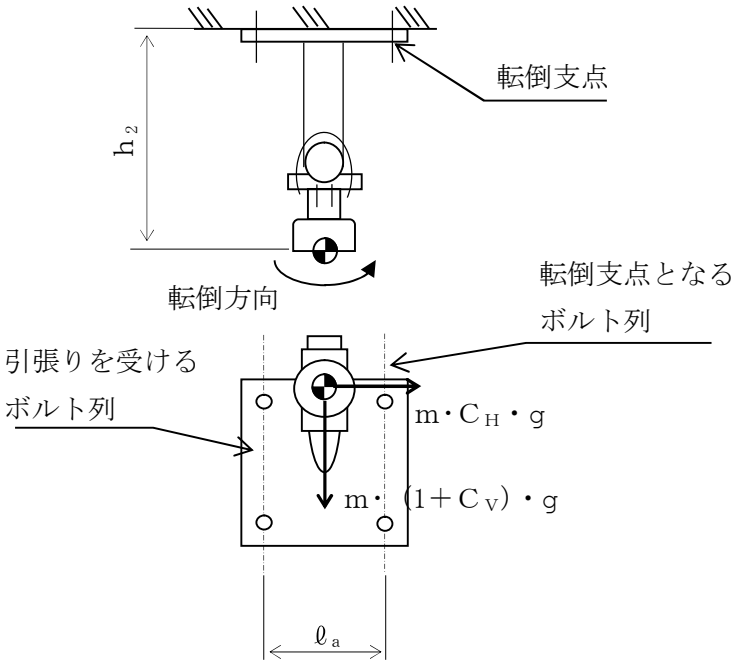


図5-1(1)　計算モデル

（壁掛形　水平方向転倒の場合）

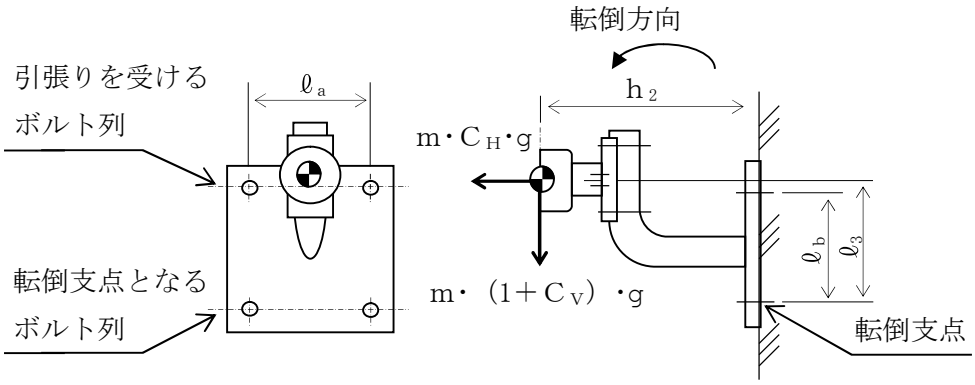


図5-1(2)　計算モデル

（壁掛形　鉛直方向転倒の場合）

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図5-1で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図5-1 (1)の場合の引張力

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.1)$$

計算モデル図5-1 (2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}(F_{b1},\ F_{b2}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.5)$$

(2)　せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_{b1}=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2}=m\cdot g\cdot(1+C_V) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.8)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.9)$$

5.5　計算条件

5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【残留熱除去系海水系系統流量の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

5.6　応力の評価

5.6.1　ボルトの応力評価

5.4.1.1 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to} は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし，f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電気的機能維持評価方法

残留熱除去系海水系系統流量の電気的機能維持評価について，以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

残留熱除去系海水系系統流量の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
残留熱除去系海水系系統流量	水平	
	鉛直	

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系海水系系統流量の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系海水系系統流量（FT-E12-N007A）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
残留熱除去系海水系系統流量	常設／防止 常設／緩和	EL.-4.00 (EL.2.00*1)			－	－	C_H=0.96	C_V=0.92	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 残留熱除去系海水系系統流量

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	234	385	－	270	－	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	－	－	$\sigma_b=6$	$f_{ts}=162^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=2$	$f_{sb}=124$

すべて許容応力以下である。

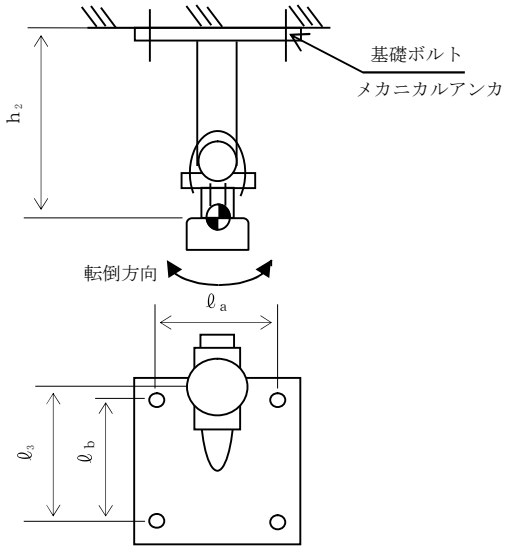
注記 ＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

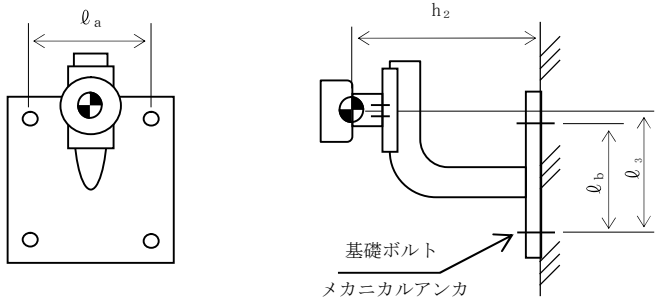
（×9.8 m/s²）

		評価用加速度	機能確認済加速度
残留熱除去系海水系系統流量	水平方向	0.80	[redacted]
	鉛直方向	0.77	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

【残留熱除去系海水系系統流量（FT-E12-N007B）の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
残留熱除去系海水系系統流量	常設／防止 常設／緩和	EL. 2.00 (EL. 8.20*1)			－	－	C_H＝1.10	C_V＝0.96	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

2.2 機器要目

2.2.1 残留熱除去系海水系系統流量

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	233	383	－	268	－	水平方向

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=6$	$f_{ts}=161^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=2$	$f_{sb}=123$

すべて許容応力以下である。

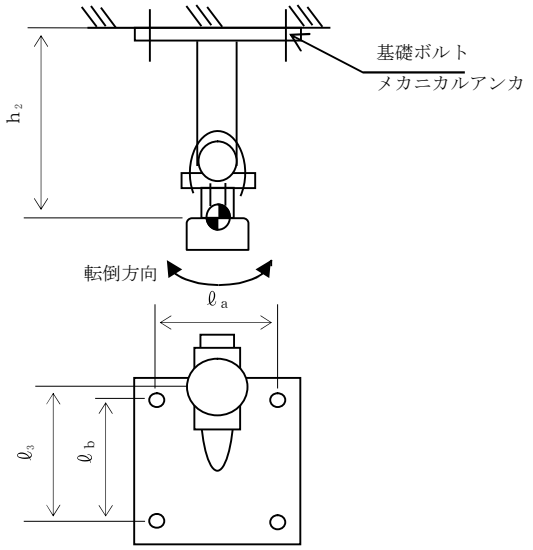
注記 ＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

2.4.2 電気的機能維持の評価結果

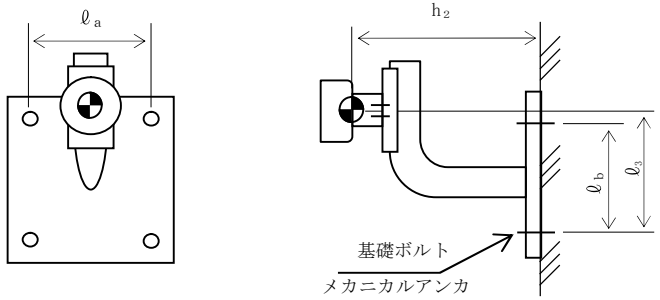
（×9.8 m/s²）

		評価用加速度	機能確認済加速度
残留熱除去系海水系系統流量	水平方向	0.92	
	鉛直方向	0.80	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-7-17　緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 固有周期 ····· 3
3.1 固有周期の算出方法 ····· 3
3.1.1 水平方向（X方向，Z方向） ····· 3
3.1.2 鉛直方向（Y方向） ····· 3
3.2 固有周期の計算条件 ····· 4
3.3 固有周期の計算結果 ····· 4
4. 構造強度評価 ····· 5
4.1 構造強度評価方法 ····· 5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 5
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 5
4.2.2 許容応力 ····· 5
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 5
5. 機能維持評価 ····· 8
5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 8
6. 評価結果 ····· 9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 9

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

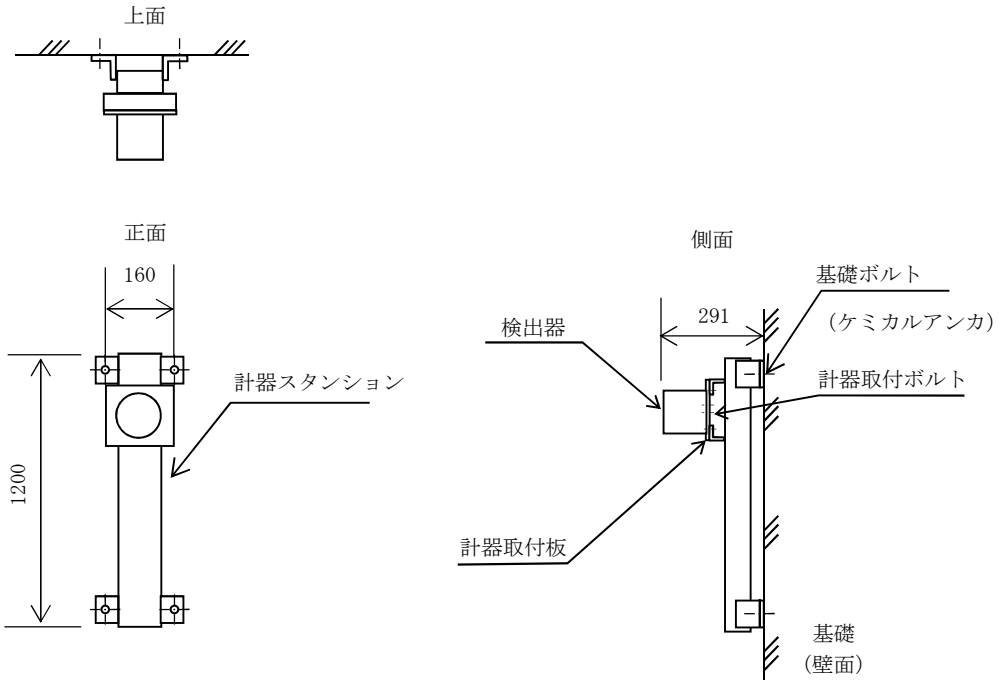
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）は，図 3-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で上下 2 箇所を原子炉建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）2 点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は計器スタンションの中心に設定する。

(4)　図 3-1 中の ◓ は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，━ は計器スタンションを示す。

3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{\ell_b{}^3}{48\cdot E\cdot I}+\frac{\ell_b}{4\cdot A_s\cdot G}\right)}\cdot\cdot\cdot(3.1.1.1)$$

3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

(1)　Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

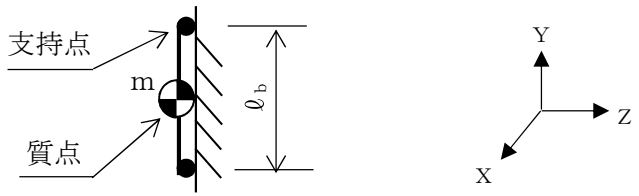
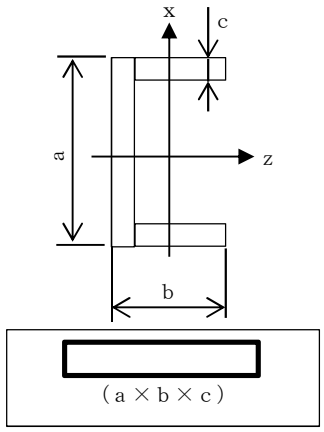


図 3-1　固有周期の計算モデル

3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
上下ボルト間の距離（壁掛形）	ℓ_b	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状(mm)			

3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向は，0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。

表 3-2　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

注記　＊：水平方向は固有周期が長いＺ方向の固有周期を示す。

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）の構造は壁掛形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2　許容応力

緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）	常設耐震／防止常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV_AS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
V_AS （V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	233	383	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【緊急用海水系流量(残留熱除去系熱交換器)耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
緊急用海水系流量(残留熱除去系熱交換器)	常設耐震／防止 常設／緩和	EL. -4.00 (EL. 8.20*)			－	－	C_H=1.10	C_V=0.96	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 緊急用海水系流量(残留熱除去系熱交換器)

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	233	383	－	268	－	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=3	f_{ts}=161*
		せん断	－	－	τ_b=2	f_{sb}=124

すべて許容応力以下である。

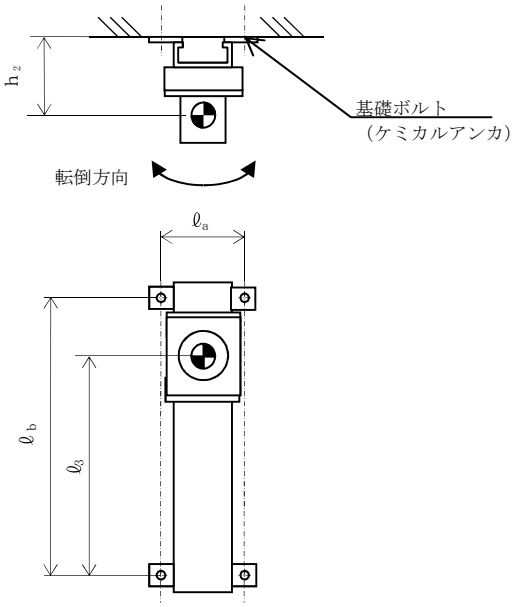
注記＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b, f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

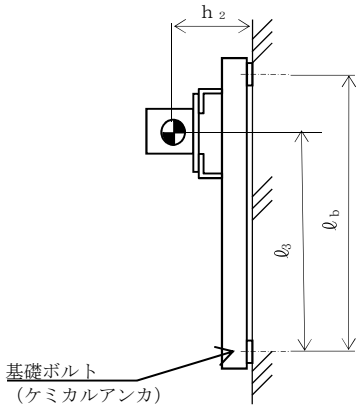
(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）	水平方向	0.92	
	鉛直方向	0.80	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-7-18　緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 固有周期 ····· 3
3.1 固有周期の算出方法 ····· 3
3.1.1 水平方向（X方向，Z方向） ····· 3
3.1.2 鉛直方向（Y方向） ····· 3
3.2 固有周期の計算条件 ····· 4
3.3 固有周期の計算結果 ····· 4
4. 構造強度評価 ····· 5
4.1 構造強度評価方法 ····· 5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 5
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 5
4.2.2 許容応力 ····· 5
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 5
5. 機能維持評価 ····· 8
5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 8
6. 評価結果 ····· 9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 9

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

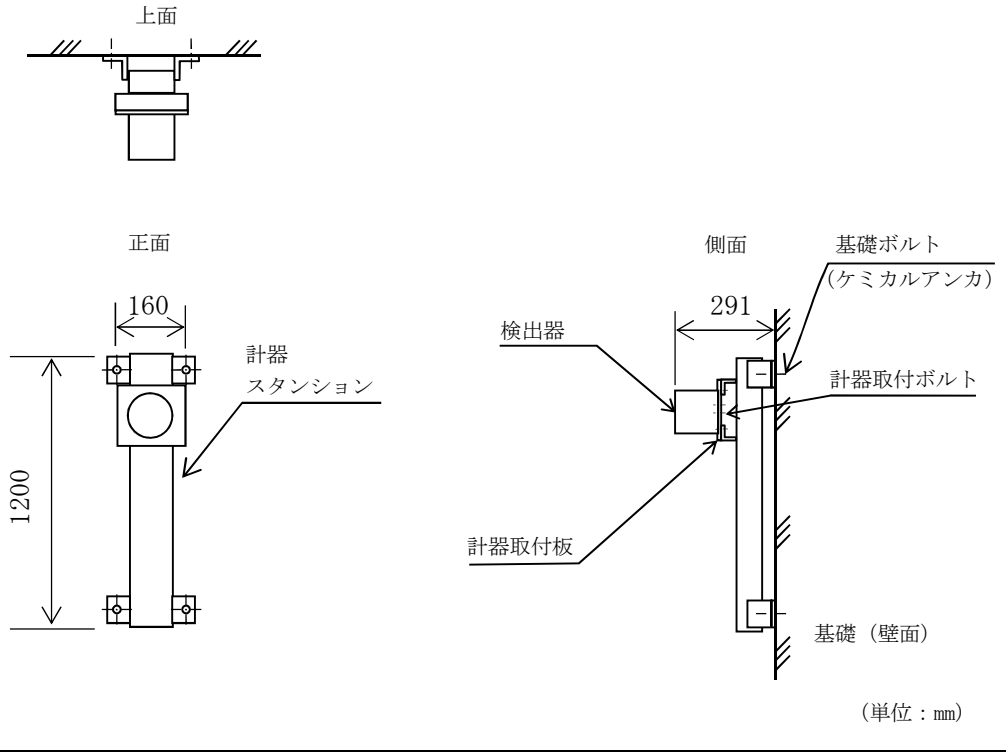
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	差圧式流量検出器	 上面 正面 160 計器 スタンション 1200 側面 基礎ボルト (ケミカルアンカ) 291 検出器 計器取付ボルト 計器取付板 基礎（壁面） （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）は，図 3-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で上下 2 箇所を原子炉建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）2 点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は計器スタンションの中心に設定する。

(4)　図 3-1 中の ◓ は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，━ は計器スタンションを示す。

3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{\ell_b{}^3}{48\cdot E\cdot I}+\frac{\ell_b}{4\cdot A_s\cdot G}\right)}\cdot\cdot\cdot(3.1.1.1)$$

3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

(1)　Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

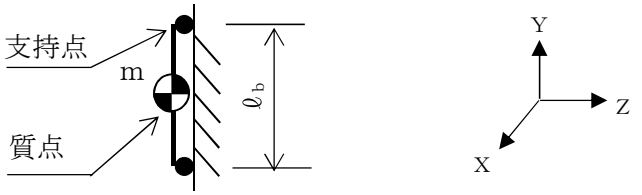
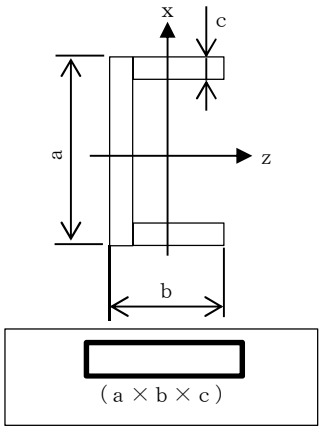


図 3-1　固有周期の計算モデル

3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
上下ボルト間の距離（壁掛形）	ℓ_b	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			

3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。

表 3-2　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

注記　＊：水平方向は固有周期が長いＺ方向の固有周期を示す。

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）の構造は壁掛形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2　許容応力

緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV_AS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
V_AS （V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	233	383	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
緊急用海水系流量 （残留熱除去系補機）	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【緊急用海水系流量(残留熱除去系補機)の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
緊急用海水系流量(残留熱除去系補機)	常設耐震／防止常設／緩和	EL. -4.00 (EL. 8.20*)			－	－	C_H=1.10	C_V=0.96	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 緊急用海水系流量(残留熱除去系補機)

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	233	383	－	268	－	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=3$	$f_{ts}=160^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=2$	$f_{sb}=123$

すべて許容応力以下である。

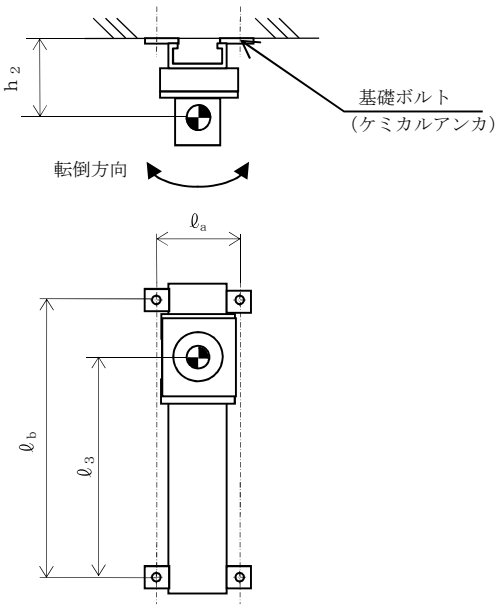
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

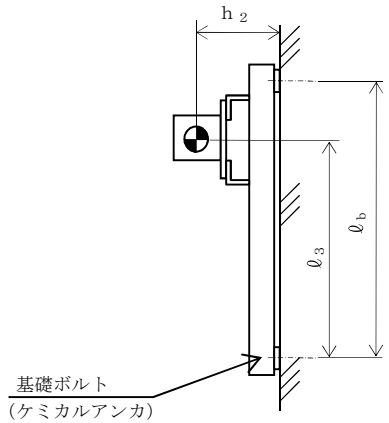
(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）	水平方向	0.92	
	鉛直方向	0.80	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-7-19　常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
3. 固有周期 3
3.1 固有周期の算出方法 3
4. 構造強度評価 3
4.1 構造強度評価方法 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 3
4.2.2 許容応力 3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 3
5. 機能維持評価 7
5.1 電気的機能維持評価方法 7
6. 評価結果 8
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 8

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

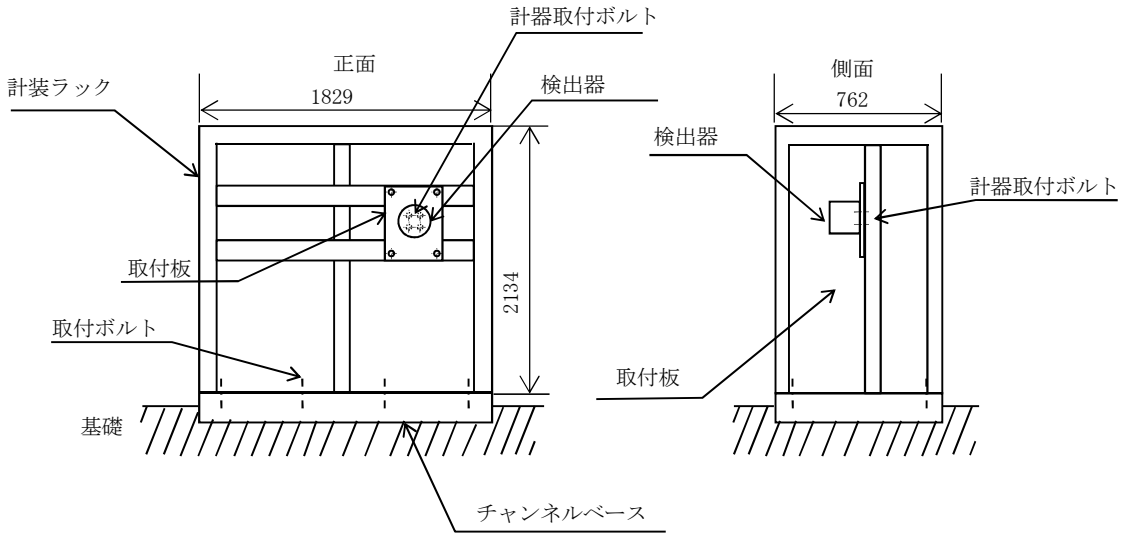
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1　構造計画

常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。 計装ラックは，基礎に埋め込まれたチャンネルベースにラック取付ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	 （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力の固有周期は，構造が同様な計装ラックに対する打診試験の結果から，0.05 秒以下であり剛とする。固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力の構造は直立形計装ラックであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2　許容応力

常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

NT2 補② Ⅴ-2-9-7-19 R2

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力	常設耐震／防止常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の 許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}(RT) (MPa)
取付ボルト (i＝2)	[redacted]	周囲環境温度 [redacted]	225	385	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力	常設耐震／防止 常設／緩和	EL. 2.00*			－	－	C_H=0.96	C_V=0.92	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i＝2)							6
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)	225	385	－	270	－	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト（i＝2）				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（i＝2）		引張り	－	－	σ_{b2}＝9	f_{ts2}＝202*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝2	f_{sb2}＝155

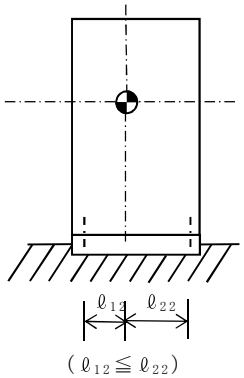
すべて許容応力以下である。

注記＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

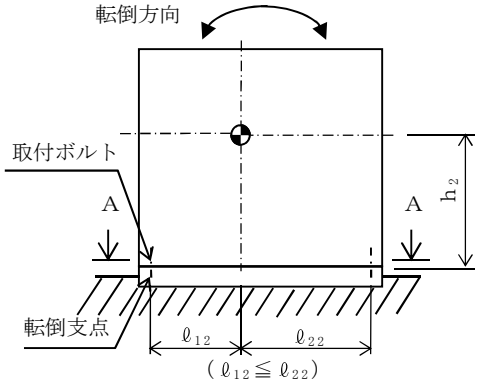
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

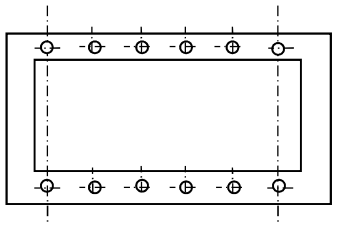
評価用加速度（1.0ZPA）は機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



Ａ～Ａ矢視図

Ⅴ-2-6-7-20　常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
3. 固有周期 3
3.1 固有周期の算出方法 3
3.1.1 水平方向（X方向，Z方向） 3
3.1.2 鉛直方向（Y方向） 3
3.2 固有周期の計算条件 4
3.3 固有周期の計算結果 4
4. 構造強度評価 5
4.1 構造強度評価方法 5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 5
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 5
4.2.2 許容応力 5
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 5
5. 機能維持評価 8
5.1 電気的機能維持評価方法 8
6. 評価結果 9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 9

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

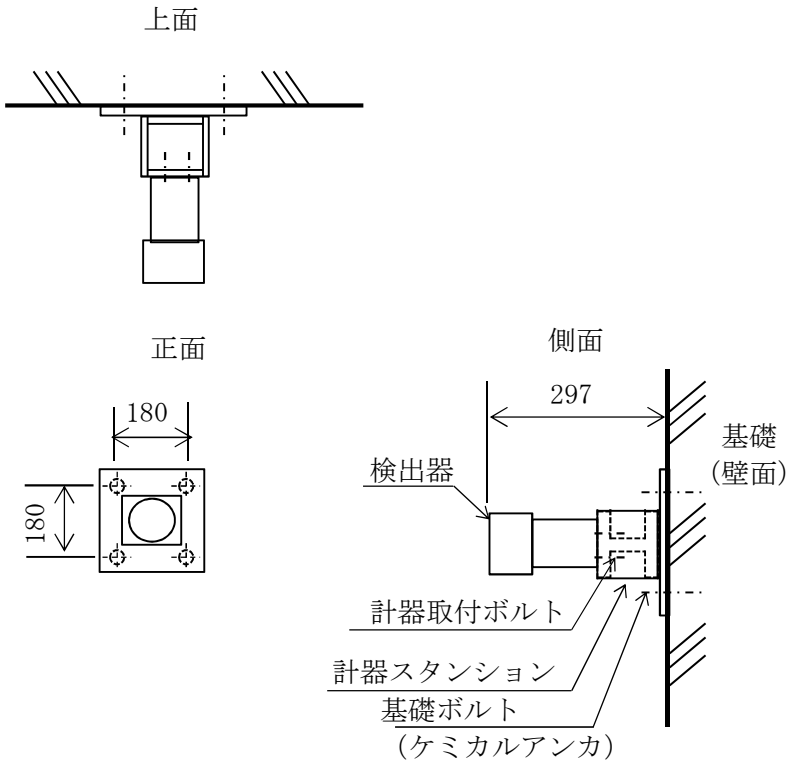
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力は，図 3-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で 1 箇所を原子炉建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1 点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4)　図 3-1 中の ◓ は検出器及び計器スタンションの質点，●は計器スタンションの支持点，━ は計器スタンションを示す。

3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{{h_2}^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{h_2}{A_s\cdot G}\right)}\quad\cdots(3.1.1.1)$$

(2)　Ｚ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

Ｙ方向に対する固有周期を 3.1.1.1 式で求める。

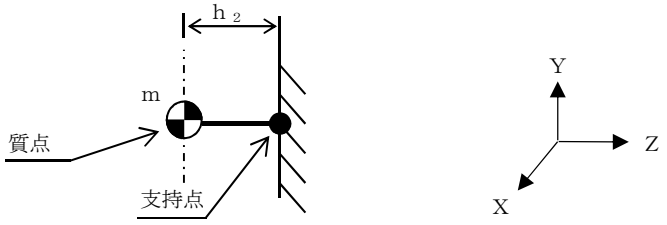
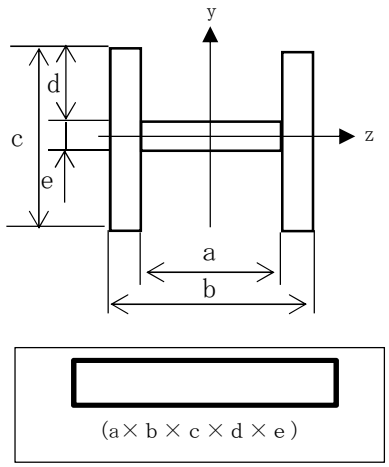


図 3-1　固有周期の計算モデル

3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
取付面から重心までの距離（壁掛形）	h_2	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状(mm)			

3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向及び鉛直方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，水平方向のＺ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。

表 3-2　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の構造は壁掛形計器スタンションであるため，構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅣＡＳ	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 （℃）		Ｓｙ （MPa）	Ｓｕ （MPa）	Ｓｙ（ＲＴ） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	234	385	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の電気的機能維持評価について，以下に示す。電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力	常設耐震／防止 常設／緩和	常設低圧代替注水系ポンプ室 EL. −11.00 (EL. −4.00*)	[redacted]		—	—	C_H=0.94	C_V=0.68	[redacted]

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト	[redacted]							2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	234	385	—	270	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=3$	$f_{ts}=162^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=124$

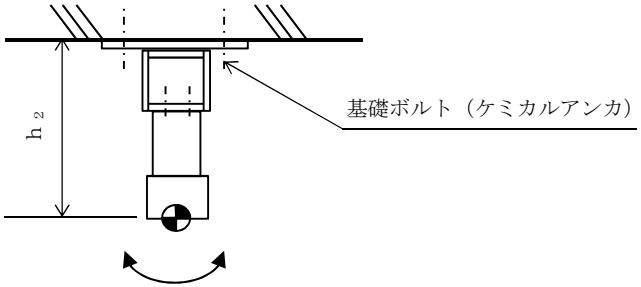
すべて許容応力以下である。

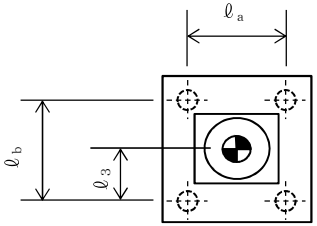
注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b, f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

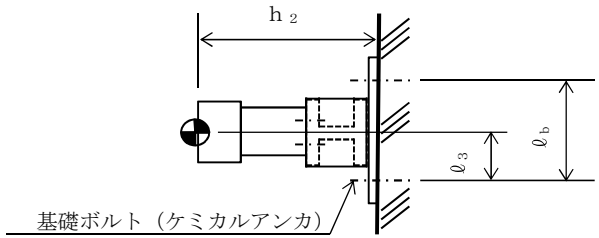
		評価用加速度	機能確認済加速度
常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力	水平方向	0.79	
	鉛直方向	0.57	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-7-21　代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 固有周期 ····· 3
3.1 固有周期の算出方法 ····· 3
3.1.1 水平方向（X方向，Z方向） ····· 3
3.1.2 鉛直方向（Y方向） ····· 3
3.2 固有周期の計算条件 ····· 4
3.3 固有周期の計算結果 ····· 4
4. 構造強度評価 ····· 5
4.1 構造強度評価方法 ····· 5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 5
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 5
4.2.2 許容応力 ····· 5
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 5
5. 機能維持評価 ····· 8
5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 8
6. 評価結果 ····· 9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 9

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，代替循環冷却系ポンプ吐出圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

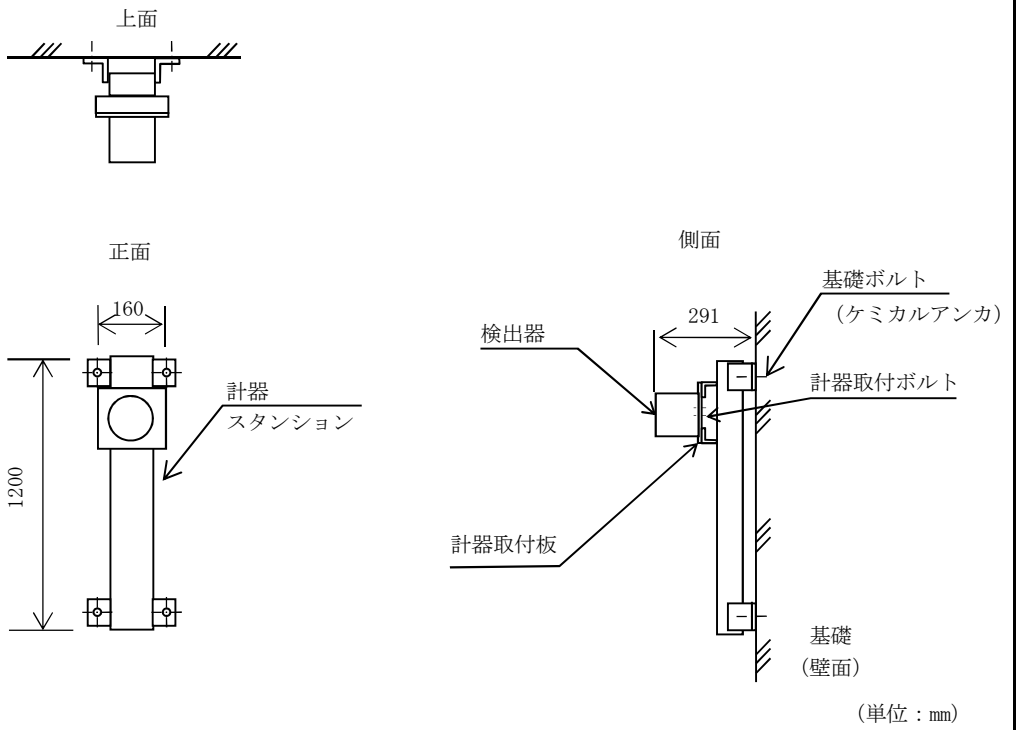
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　代替循環冷却系ポンプ吐出圧力は，図 3-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で上下 2 箇所を原子炉建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）2 点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は計器スタンションの中心に設定する。

(4)　図 3-1 中の ◓ は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，── は計器スタンションを示す。

3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{\ell_b{}^3}{48\cdot E\cdot I}+\frac{\ell_b}{4\cdot A_s\cdot G}\right)}\quad\cdots(3.1.1.1)$$

3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

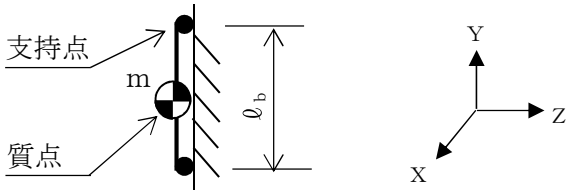
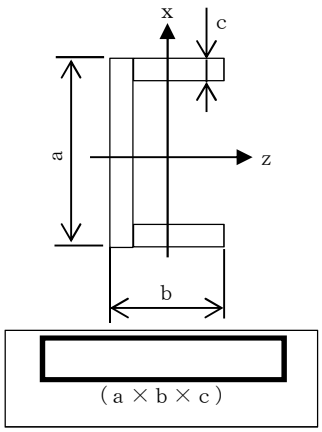


図 3-1　固有周期の計算モデル

3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
上下ボルト間の距離（壁掛形）	ℓ_b	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	As	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状(mm)			

3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向は 0.05 秒であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。

表 3-2　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

注記　＊：水平方向は固有周期が長い

Z 方向の固有周期を示す。

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の構造は壁掛形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2　許容応力

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	代替循環冷却系ポンプ吐出圧力	常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅣＡＳ	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	234	385	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
代替循環冷却系ポンプ吐出圧力	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【代替循環冷却系ポンプ吐出圧力の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
代替循環冷却系ポンプ吐出圧力	常設／緩和	[redacted] EL.-4.00 (EL.2.00*)	[redacted]		－	－	C_H＝0.96	C_V＝0.92	[redacted]

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 代替循環冷却系ポンプ吐出圧力

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト	[redacted]							2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	234	385	－	270	－	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=2	f_{ts}=162*
		せん断	－	－	τ_b=2	f_{sb}=124

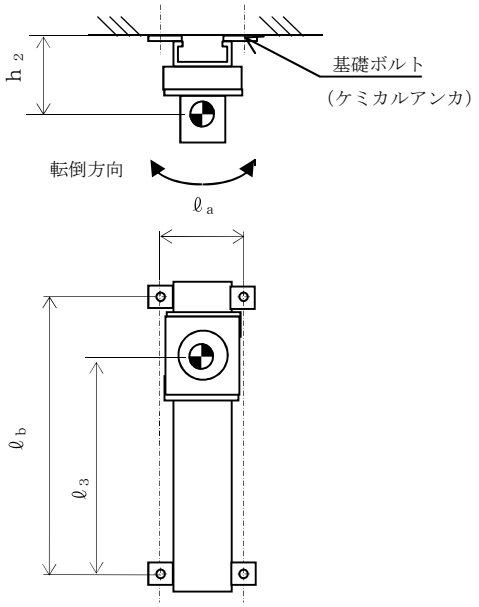
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}−1.6・τ_b, f_{to}]より算出

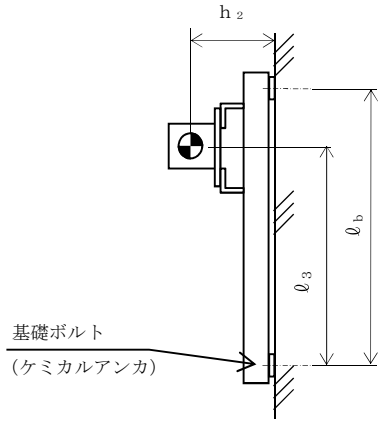
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
代替循環冷却系ポンプ吐出圧力	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-7-22　原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
3. 固有周期 3
3.1 固有周期の算出方法 3
4. 構造強度評価 3
4.1 構造強度評価方法 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 3
4.2.2 許容応力 3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 3
5. 機能維持評価 6
5.1 電気的機能維持評価方法 6
6. 評価結果 6
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 6

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力は，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備に分類されるが重大事故等時に使用する計装設備であることを考慮し，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

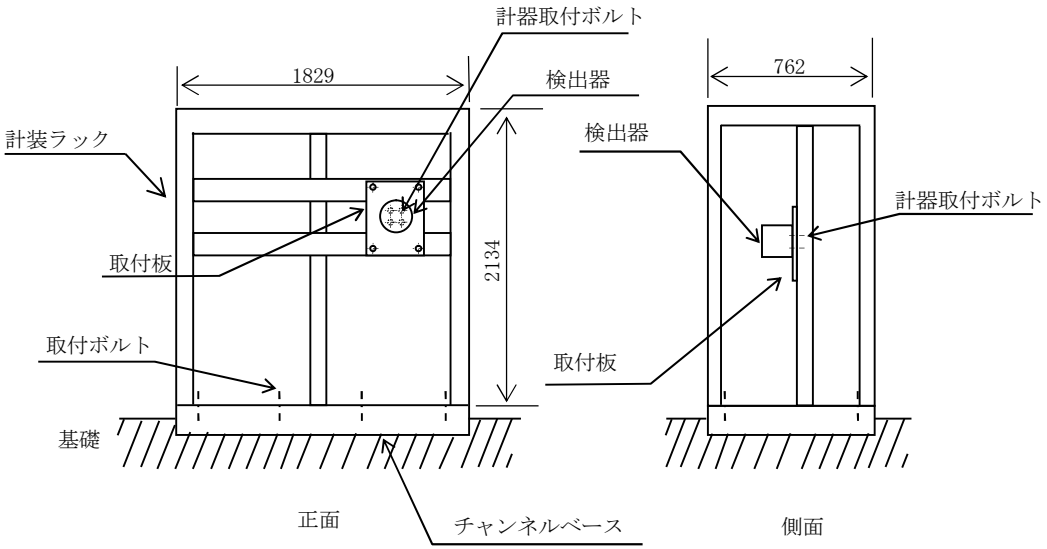
本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の構造計画を表 2-1 に示す。

NT2 補② Ⅴ-2-6-7-22 R2

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。 計装ラックは，基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の固有周期は，構造が同様な計装ラックに対する打診試験の結果から，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の構造は直立形計装ラックであるため,構造強度評価は,添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。なお，本設備は常設重大事故防止設備に分類されるが重大事故等時に使用する計装設備であることを考慮し，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2　許容応力

原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力	常設／防止*4	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／防止」は常設重大事故防止設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

＊4：常設重大事故防止設備に分類されるが，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の 許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 （℃）		S_{yi} （MPa）	S_{ui} （MPa）	S_{yi}（RT） （MPa）
取付ボルト （i＝2）		周囲環境温度		225	385	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力	常設／防止*1	EL. 2.00*2			－	－	C_H＝0.96	C_v＝0.92	

注記 ＊1：常設重大事故防止設備に分類されるが，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

＊2：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i＝2)							6
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)	225	385	－	270	－	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i＝2)		引張り	－	－	$\sigma_{b2}=9$	$f_{ts2}=202$*
		せん断	－	－	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=155$

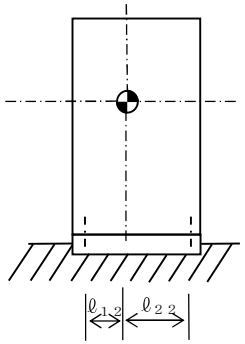
すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s²)

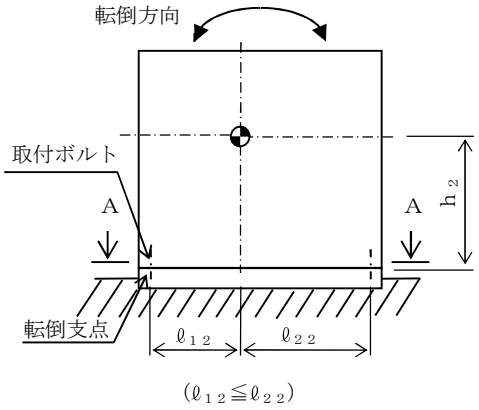
		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



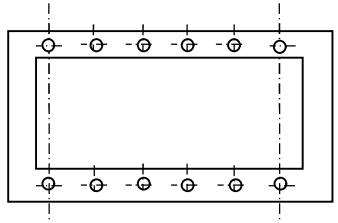
($\ell_{12} \leqq \ell_{22}$)

側面（短辺方向）



($\ell_{12} \leqq \ell_{22}$)

正面（長辺方向）



A～A矢視図

Ⅴ-2-6-7-23　高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
3. 固有周期 3
3.1 固有周期の算出方法 3
4. 構造強度評価 3
4.1 構造強度評価方法 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 3
4.2.2 許容応力 3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 3
5. 機能維持評価 6
5.1 電気的機能維持評価方法 6
6. 評価結果 6
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 6

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力は，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備に分類されるが，重大事故等時に使用する計装設備であることを考慮し，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

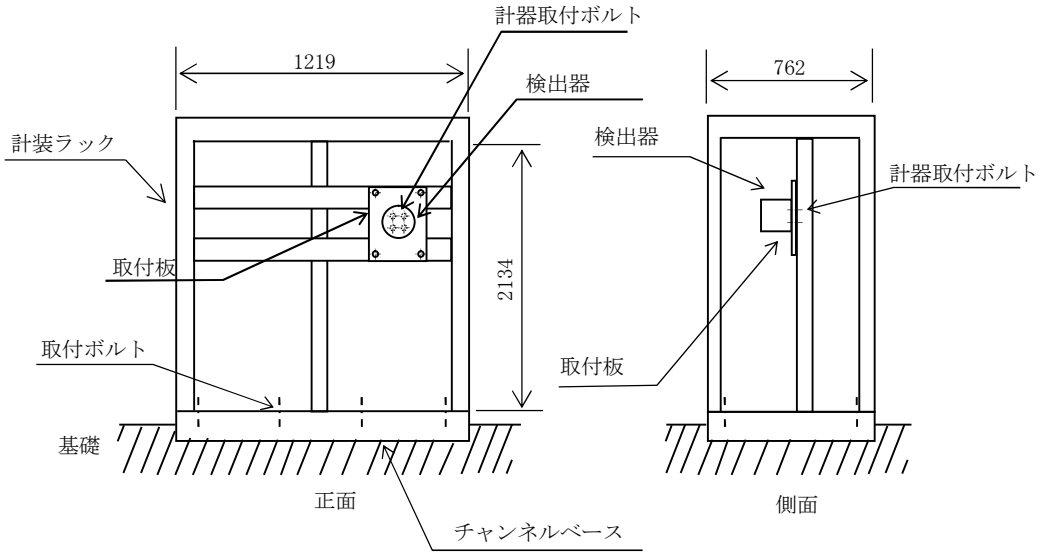
本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の構造計画を表 2-1 に示す。

NT2 補② Ⅴ-2-6-7-23 R2

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。 計装ラックは，基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	 （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の固有周期は，構造が同様な計装ラックに対する打診試験の結果から，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の構造は直立形計装ラックであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。なお，本設備は常設重大事故防止設備に分類されるが重大事故等時に使用する計装設備であることを考慮し，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2　許容応力

高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他計測装置	高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力	常設／防止*4	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／防止」は常設重大事故防止設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

＊4：常設重大事故防止設備に分類されるが，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の 許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}（RT） (MPa)
取付ボルト （i＝2）		周囲環境温度		225	385	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力	水平	[redacted]
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力	常設／防止*1	EL. 2.00*2			－	－	C_H=0.96	C_V=0.92	

注記 ＊1：常設重大事故防止設備に分類されるが，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

＊2：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i=2)							4
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)	225	385	－	270	－	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト（i＝2）				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（i＝2）		引張り	－	－	σ_{b2}＝14	f_{ts2}＝202*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝3	f_{sb2}＝155

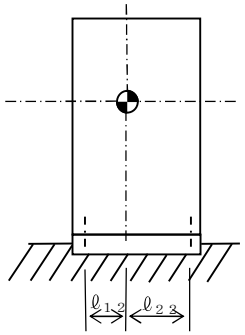
すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

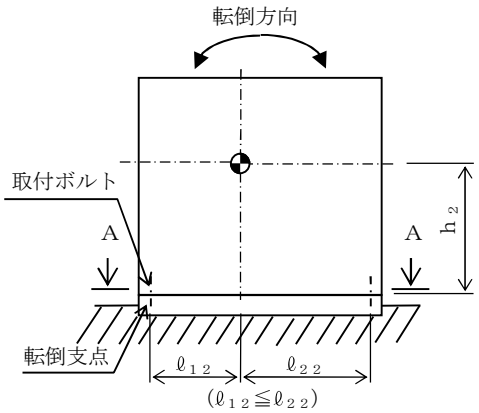
		評価用加速度	機能確認済加速度
高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

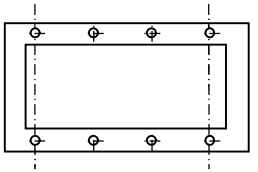


$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$

側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



A～A矢視図

Ⅴ-2-6-7-24　低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
3. 固有周期 3
3.1 固有周期の算出方法 3
4. 構造強度評価 3
4.1 構造強度評価方法 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 3
4.2.2 許容応力 3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 3
5. 機能維持評価 7
5.1 電気的機能維持評価方法 7
6. 評価結果 7
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 7
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果 7

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

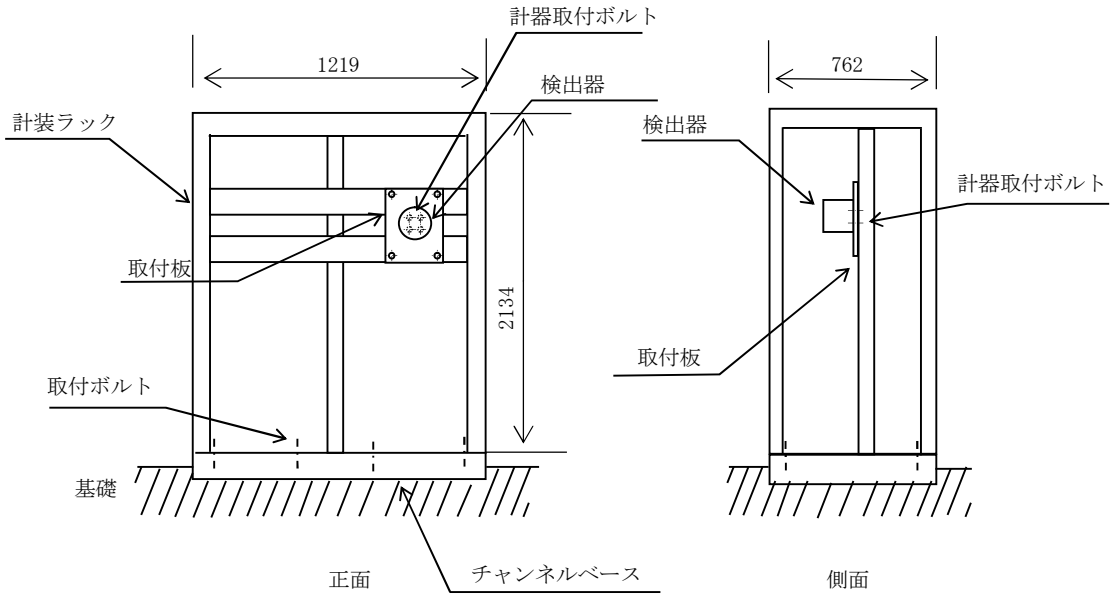
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。 計装ラックは，基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	 （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の固有周期は，構造が同様な計装ラックに対する打診試験の結果から，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の構造は直立形計装ラックであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2　許容応力

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力	S	—*1	$D+P_D+M_D+S_d$ ***2**	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊2：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 4-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力	常設耐震／防止	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$ *3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-3　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}(RT) (MPa)
取付ボルト (i＝2)	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	235	400	－

表 4-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}(RT) (MPa)
取付ボルト (i＝2)	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	225	385	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「V-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力	S	EL. 2.00*			C_H=0.58	C_v=0.48	C_H=0.96	C_v=0.92	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出系圧力

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i=2)							4
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト（i＝2）				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（i＝2）		引張り	σ_{b2}＝6	f_{ts2}＝176*	σ_{b2}＝14	f_{ts2}＝210*
		せん断	τ_{b2}＝2	f_{sb2}＝135	τ_{b2}＝3	f_{sb2}＝161

すべて許容応力以下である。

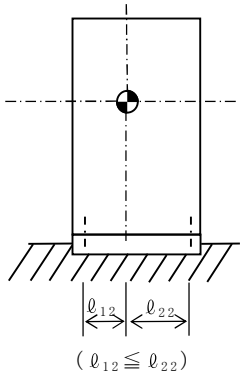
＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

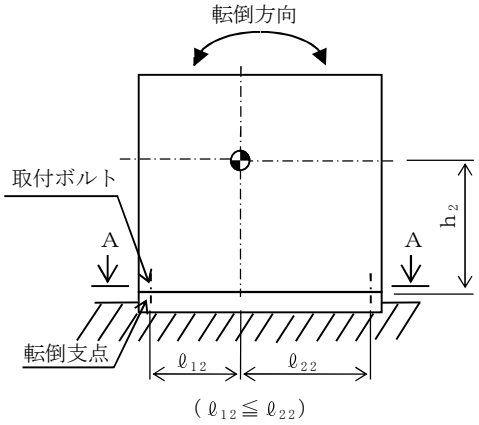
(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

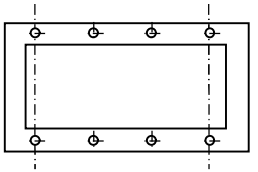
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



A～A矢視図

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力	常設耐震／防止	EL. 2.00*2			—	—	C_H=0.96	C_v=0.92	

注記＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト (i=2)							4
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i=2)	225	385	—	270	—	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)				

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i＝2)		引張り	－	－	σ_{b2}＝14	f_{ts2}＝202*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝3	f_{sb2}＝155

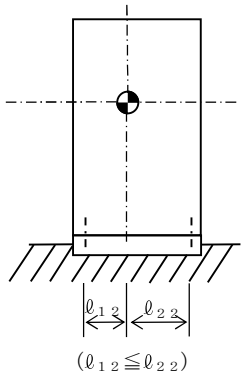
すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}, f_{toi}]より算出

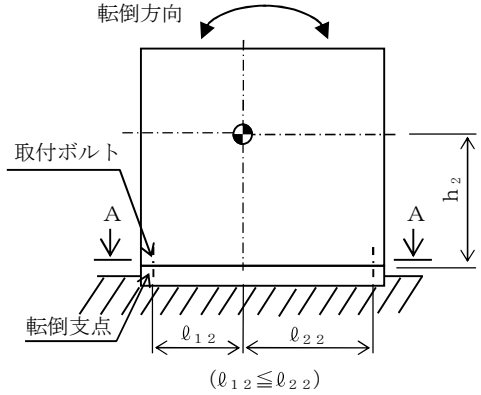
2.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

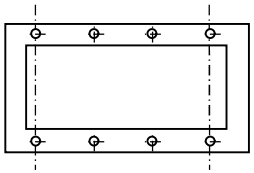
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



A～A矢視図

Ⅴ-2-6-7-25　残留熱除去系ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
3. 固有周期 3
3.1 固有周期の算出方法 3
4. 構造強度評価 3
4.1 構造強度評価方法 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 3
4.2.2 許容応力 3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 3
5. 機能維持評価 7
5.1 電気的機能維持評価方法 7
6. 評価結果 7
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 7
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果 7

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，残留熱除去系ポンプ吐出圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

残留熱除去系ポンプ吐出圧力は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお，構造強度評価については，計装ラックの取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また，電気的機能維持評価については，評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電気的機能維持評価に用いる評価用加速度は，設置床高さが同じで計装ラックが剛構造の場合は同じ加速度となることから，構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1　概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
PT-E12-N056A PT-E12-N056B PT-E12-N056C（代表）	Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針	表 2-1　構造計画

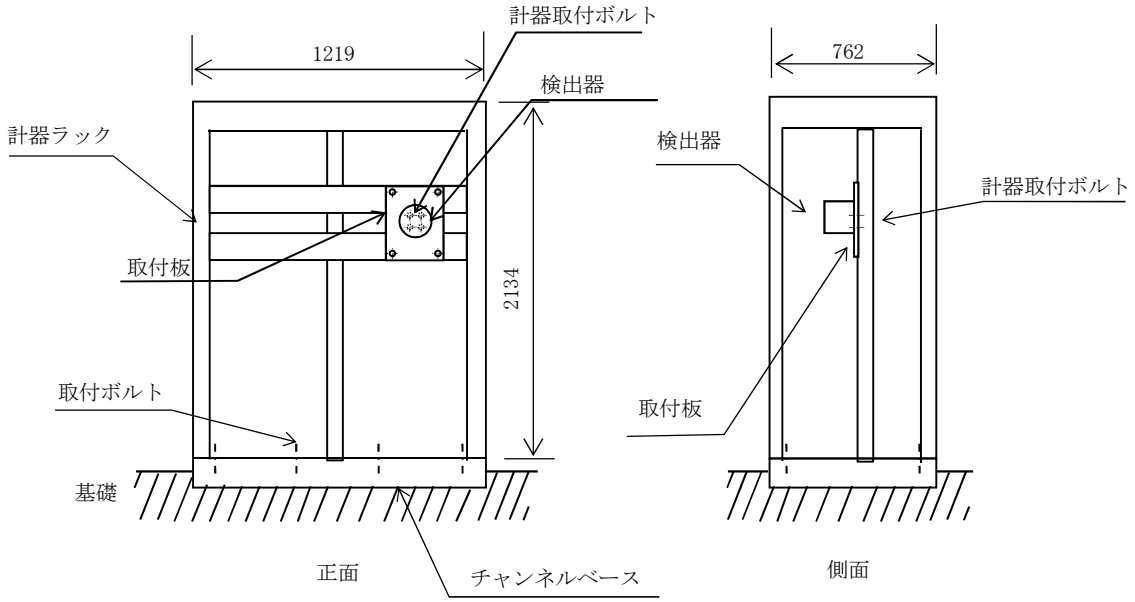
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1　構造計画

残留熱除去系ポンプ吐出圧力の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板により固定される。 計装ラックは，基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	【H22-P021(B) (PT-E12-N056C)】  (単位：mm)

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

残留熱除去系ポンプ吐出圧力の固有周期は，構造が同様な計装ラックに対する打診試験の結果から，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

残留熱除去系ポンプ吐出圧力の構造は直立形計装ラックであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

残留熱除去系ポンプ吐出圧力の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

4.2.2　許容応力

残留熱除去系ポンプ吐出圧力の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系ポンプ吐出圧力の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

NT2 補② Ⅴ-2-6-7-25 R1

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	残留熱除去系ポンプ吐出圧力	S	—*1	$D+P_D+M_D+S_d^*$*2	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊2：Ｓｓと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 4-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	残留熱除去系ポンプ吐出圧力*2	常設耐震／防止	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-3　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4　使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}（ＲＴ） (MPa)
取付ボルト （ｉ＝2）	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	235	400	－

表 4-5　使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}（ＲＴ） (MPa)
取付ボルト （ｉ＝2）	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	225	385	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

残留熱除去系ポンプ吐出圧力の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

残留熱除去系ポンプ吐出圧力の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
残留熱除去系ポンプ吐出圧力	水平	[redacted]
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去系ポンプ吐出圧力の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系ポンプ吐出圧力の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系ポンプ吐出圧力（H22-P021(B)（PT-E12-N056C)）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ（m）	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度（℃）
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
残留熱除去系ポンプ吐出圧力	S	EL.2.00*			C_H=0.58	C_V=0.48	C_H=0.96	C_V=0.92	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 残留熱除去系ポンプ吐出圧力

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト（i=2）							4
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト（i=2）	235	400	235	280	長辺方向	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i＝2)		引張り	σ_{b2}＝6	f_{ts2}＝176*	σ_{b2}＝14	f_{ts2}＝210*
		せん断	τ_{b2}＝2	f_{sb2}＝135	τ_{b2}＝3	f_{sb2}＝161

すべて許容応力以下である。

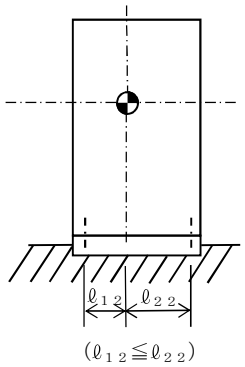
注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

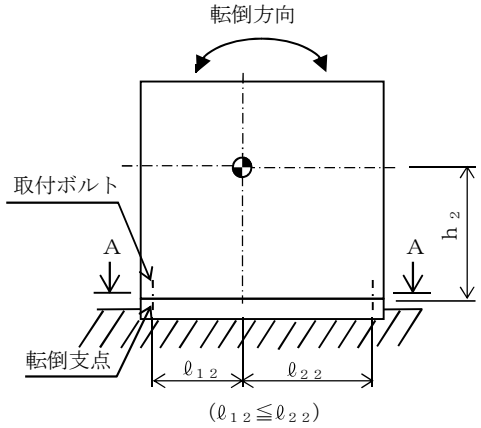
(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
残留熱除去系ポンプ吐出圧力	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

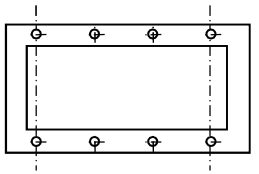
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



側面（短辺方向）



正面（長辺方向）



A～A矢視図

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ（m）	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度（℃）
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
残留熱除去系ポンプ吐出圧力	常設／耐震防止	EL. 2.00*			－	－	C_H＝0.96	C_V＝0.92	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 残留熱除去系ポンプ吐出圧力

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
取付ボルト（i＝2）							4
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト（i＝2）	225	385	－	270	－	長辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト (i＝2)				

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i＝2)		引張り	－	－	σ_b＝14	f_{ts}＝202*
		せん断	－	－	τ_b＝3	f_{sb}＝155

すべて許容応力以下である。

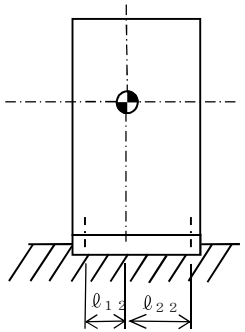
注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}, f_{toi}]より算出

2.4.2 電気的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s^2)

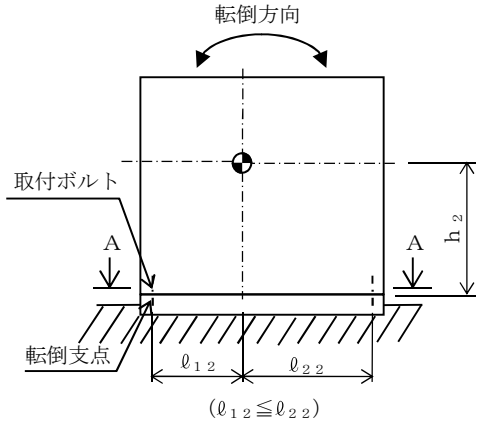
		評価用加速度	機能確認済加速度
残留熱除去系ポンプ吐出圧力	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



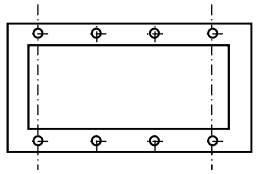
($\ell_{12} \leqq \ell_{22}$)

側面（短辺方向）



($\ell_{12} \leqq \ell_{22}$)

正面（長辺方向）



A～A矢視図

Ⅴ-2-6-7-26　非常用窒素供給系供給圧力の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
3. 固有周期 3
3.1 固有周期の算出方法 3
3.1.1 水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向） 3
3.1.2 鉛直方向（Ｙ方向） 3
3.2 固有周期の計算条件 4
3.3 固有周期の計算結果 4
4. 構造強度評価 5
4.1 構造強度評価方法 5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 5
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 5
4.2.2 許容応力 5
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 5
5. 機能維持評価 8
5.1 電気的機能維持評価方法 8
6. 評価結果 9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 9

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，非常用窒素供給系供給圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

非常用窒素供給系供給圧力は，設計基準対象施設においてはCクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備に分類されるが，重大事故等時に使用する計装設備であることを考慮し，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

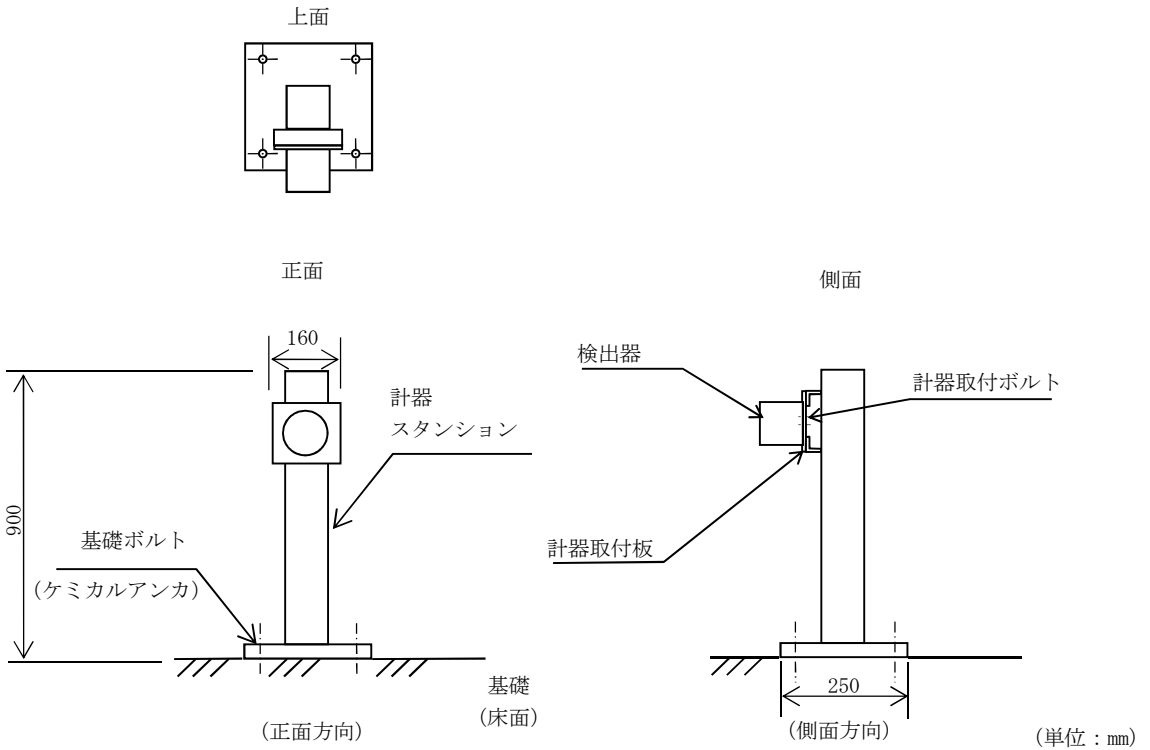
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

非常用窒素供給系供給圧力の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

非常用窒素供給系供給圧力の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　非常用窒素供給系供給圧力は，図 3-1 に示す床固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で下端面に固定されているため，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1 点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4)　図 3-1 中の ⊕ は検出器及び計器スタンションの質点，●は計器スタンションの支持点，―は計器スタンションを示す。

3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{h_1^{3}}{3\cdot E\cdot I}+\frac{h_1}{A_s\cdot G}\right)}\cdot\cdot\cdot(3.1.1.1)$$

3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

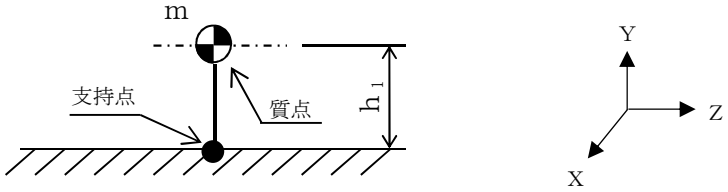
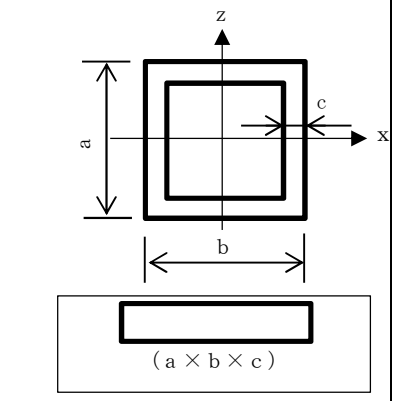


図 3-1　固有周期の計算モデル

3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及びスタンションの質量	m	k	
据付面から重心までの距離	h_1	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			

3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。

表 3-2　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

非常用窒素供給系供給圧力の構造は直立形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。なお，本設備は常設重大事故防止設備に分類されるが，重大事故等時に使用する計装設備であることを考慮し，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用窒素供給系供給圧力の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

非常用窒素供給系供給圧力の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用窒素供給系供給圧力の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	非常用窒素供給系供給圧力	常設／防止*4	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／防止」は常設重大事故防止設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

＊4：常設重大事故防止設備に分類されるが，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1，*2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 （℃）		S_y （MPa）	S_u （MPa）	S_y（RT） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

5.　機能維持評価

5.1　電気的機能維持評価方法

非常用窒素供給系供給圧力の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

非常用窒素供給系供給圧力の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1　機能確認済加速度　　(×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
非常用窒素供給系供給圧力	水平	
	鉛直	

6.　評価結果

6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

非常用窒素供給系供給圧力の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用窒素供給系供給圧力の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
非常用窒素供給系供給圧力	常設／防止*1	EL. 20.30*2			－	－	C_H=1.34	C_V=1.01	

注記 ＊1：常設重大事故防止設備に分類されるが，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

＊2：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 非常用窒素供給系供給圧力

部材	m (kg)	h_1 (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト							2
							2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	前後方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=10$	$f_{ts}=156$*
		せん断	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=120$

すべて許容応力以下である。

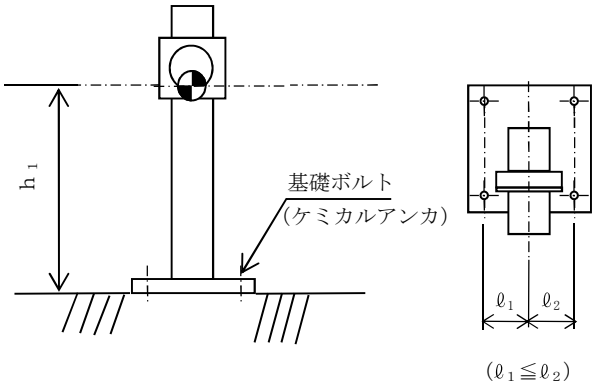
注記 ＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

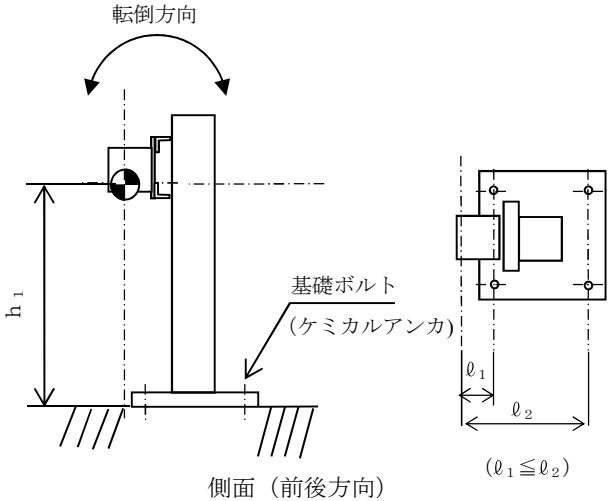
(×9.8m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
非常用窒素供給系供給圧力	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（左右方向）



側面（前後方向）

Ⅴ-2-6-7-27　非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ圧力の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
3. 固有周期 3
3.1 固有周期の算出方法 3
3.1.1 水平方向（X方向，Z方向） 3
3.1.2 鉛直方向（Y方向） 3
3.2 固有周期の計算条件 4
3.3 固有周期の計算結果 4
4. 構造強度評価 5
4.1 構造強度評価方法 5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 5
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 5
4.2.2 許容応力 5
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 5
5. 機能維持評価 8
5.1 電気的機能維持評価方法 8
6. 評価結果 9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 9

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ圧力は，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備に分類されるが重大事故等時に使用する計装設備であることを考慮し，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

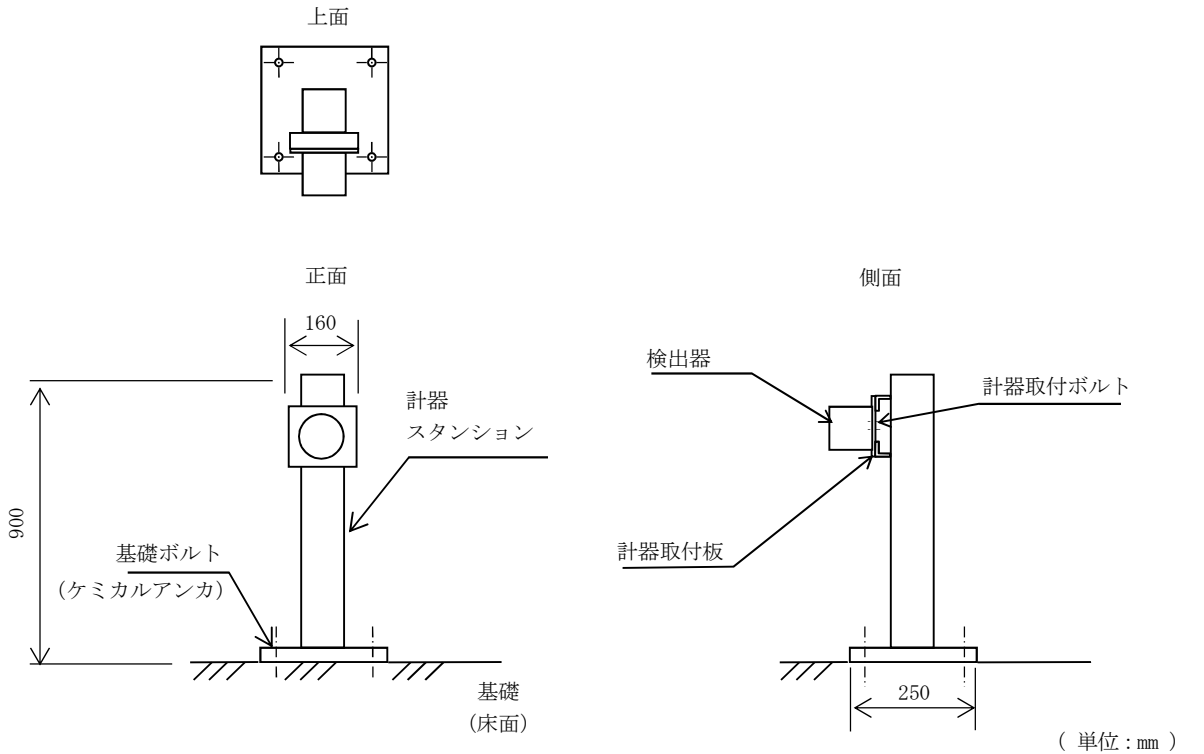
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ圧力の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ圧力の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ圧力は，図 3-1 に示す床固定の１質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で原子炉建屋床面に固定されているため，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1 点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4)　図 3-1 中の ◓ は検出器及び計器スタンションの質点，●は計器スタンションの支持点，―は計器スタンションを示す。

3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{h_1^{3}}{3\cdot E\cdot I}+\frac{h_1}{A_s\cdot G}\right)}\quad\cdots(3.1.1.1)$$

3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

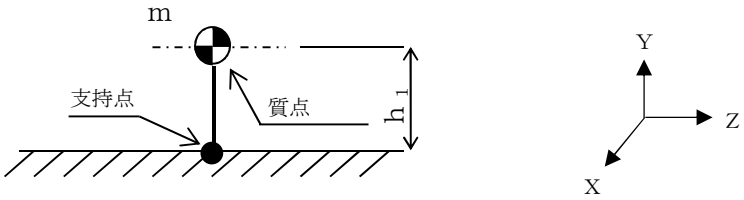
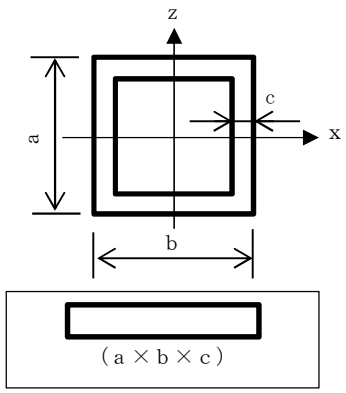


図 3-1　固有周期の計算モデル

3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及びスタンションの質量	m	kg	
取付面から重心までの距離	h_1	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状(mm)			

3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。

表 3-2　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ圧力の構造は直立形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。なお，本設備は常設重大事故防止設備に分類されるが，重大事故等時に使用する計装設備であることを考慮し，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ圧力の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ圧力の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ圧力の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	非常用窒素供給系 高圧窒素ボンベ圧力	常設／防止*4	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$\mathrm{IV_AS}$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$\mathrm{V_AS}$ （$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／防止」は常設重大事故防止設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

＊4：常設重大事故防止設備に分類されるが，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1，*2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の 許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 （℃）		S_y （MPa）	S_u （MPa）	S_y（RT） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ圧力の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ圧力の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
非常用窒素供給系 高圧窒素ボンベ圧力	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ圧力の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ圧力の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ圧力	常設／防止*1	EL. 20.30*2			－	－	C_H＝1.34	C_V＝1.01	

注記 ＊1：常設重大事故防止設備に分類されるが，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

＊2：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 非常用窒素供給系高圧窒素ボンベ圧力

部材	m (kg)	h_1 (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト							2
							2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	前後方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=10	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=1	f_{sb}=120

すべて許容応力以下である。

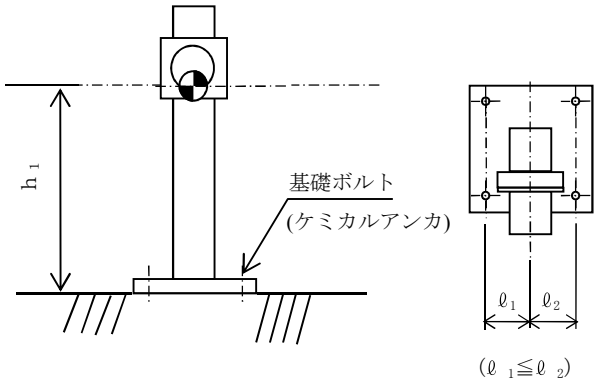
注記　＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

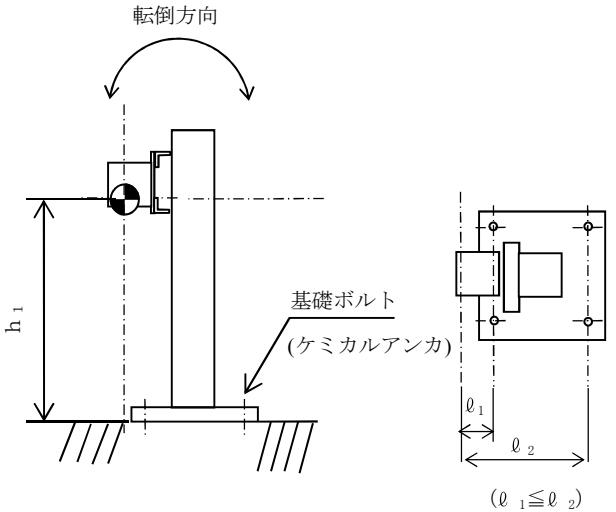
(×9.8m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
非常用窒素供給系 高圧窒素ボンベ出口圧力	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（左右方向）



側面（前後方向）

Ⅴ-2-6-7-28　非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 固有周期 ····· 3
3.1 固有周期の算出方法 ····· 3
3.1.1 水平方向（X方向，Z方向） ····· 3
3.1.2 鉛直方向（Y方向） ····· 3
3.2 固有周期の計算条件 ····· 4
3.3 固有周期の計算結果 ····· 4
4. 構造強度評価 ····· 5
4.1 構造強度評価方法 ····· 5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 5
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 5
4.2.2 許容応力 ····· 5
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 5
5. 機能維持評価 ····· 8
5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 8
6. 評価結果 ····· 9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 9

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力は，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備に分類されるが，重大事故等時に使用する計装設備であることを考慮し，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

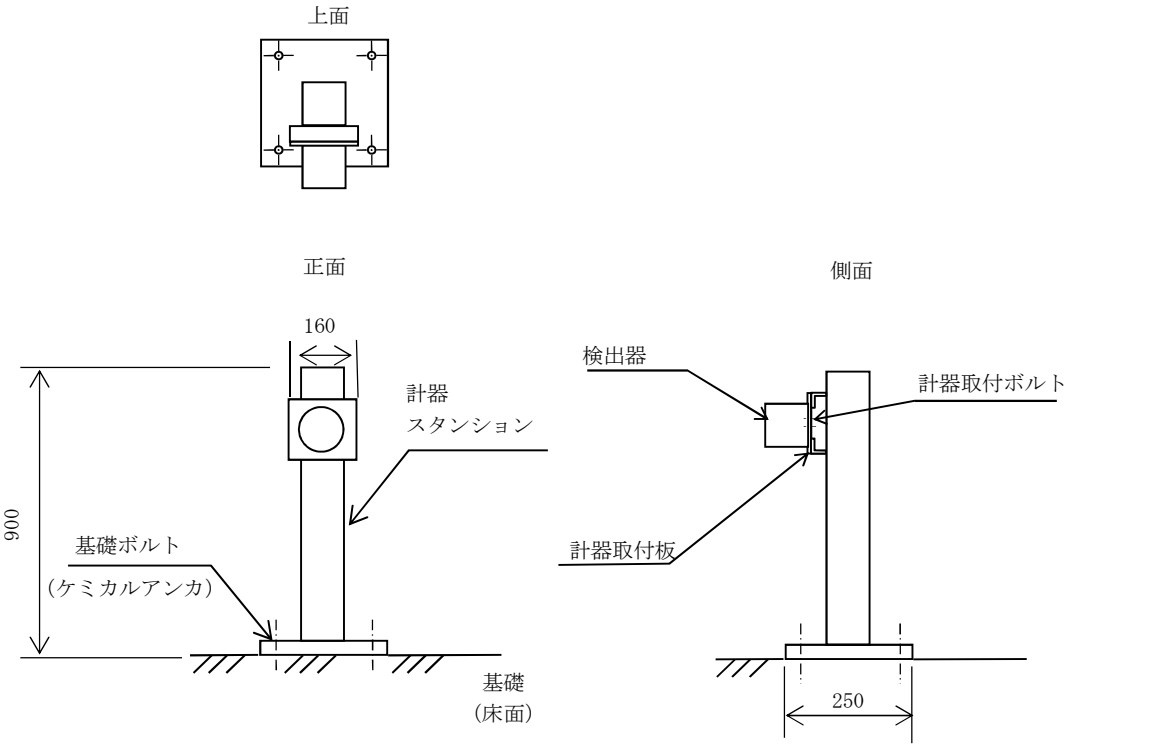
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力は，図 3-1 に示す床固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

(2) 計器スタンションは鋼材で原子炉建屋床面に固定されているため，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1 点で固定されるものとする。

(3) 検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4) 図 3-1 中の ⊕ は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，— は計器スタンションを示す。

3.1.1 水平方向（X方向，Z方向）

X方向及びZ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{{h_1}^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{h_1}{A_s\cdot G}\right)}\quad\cdots(3.1.1.1)$$

3.1.2 鉛直方向（Y方向）

Y方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

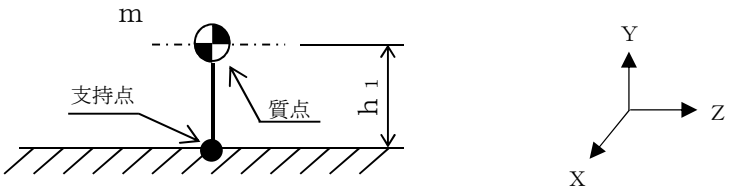
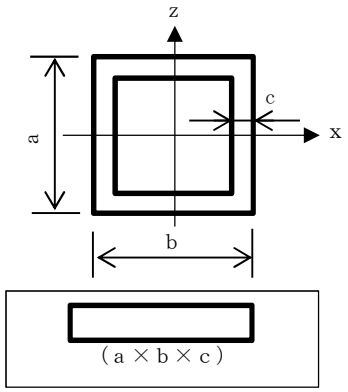


図 3-1 固有周期の計算モデル

3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及びスタンションの質量	m	kg	
取付面から重心までの距離	h_1	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状(mm)			

3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。

表 3-2　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の構造は直立形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。なお，本設備は常設重大事故防止設備に分類されるが重大事故等時に使用する計装設備であることを考慮し，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力	常設／防止*4	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$\mathrm{IV_AS}$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$\mathrm{V_AS}$（$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／防止」は常設重大事故防止設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

＊4：常設重大事故防止設備に分類されるが，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 （℃）		S_y （MPa）	S_u （MPa）	S_y（RT） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力	常設／防止*1	EL.20.30*2			－	－	C_H=1.34	C_V=1.01	

注記 ＊1：常設重大事故防止設備に分類されるが，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

＊2：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力

部材	m (kg)	h_1 (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト							2
							2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	前後方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=10	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=1	f_{sb}=120

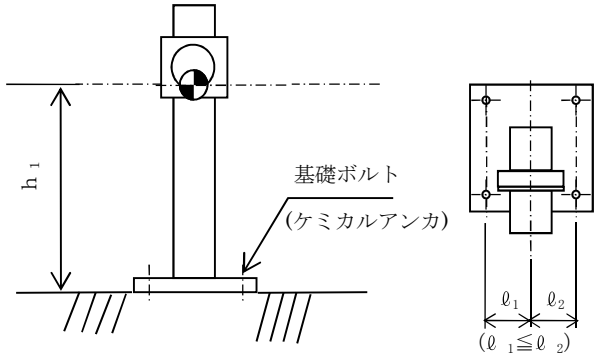
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}−1.6・τ_b, f_{to}]より算出

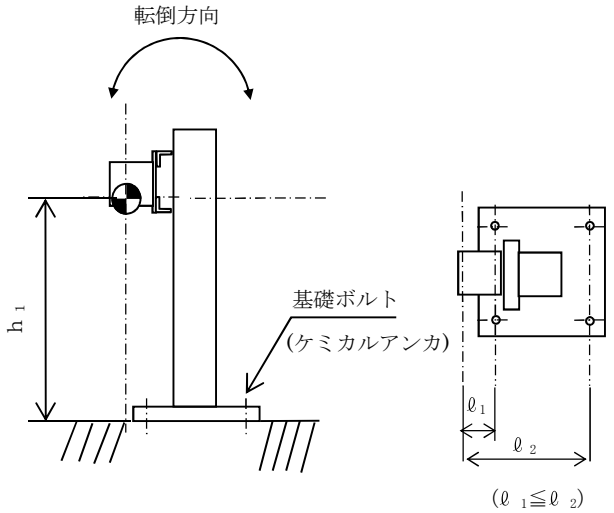
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
非常用逃がし安全弁駆動系供給圧力	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（左右方向）



側面（前後方向）

Ⅴ-2-6-7-29　非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 固有周期 ····· 3
3.1 固有周期の算出方法 ····· 3
3.1.1 水平方向（X方向，Z方向） ····· 3
3.1.2 鉛直方向（Y方向） ····· 3
3.2 固有周期の計算条件 ····· 4
3.3 固有周期の計算結果 ····· 4
4. 構造強度評価 ····· 5
4.1 構造強度評価方法 ····· 5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 5
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 5
4.2.2 許容応力 ····· 5
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 5
5. 機能維持評価 ····· 8
5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 8
6. 評価結果 ····· 9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 9

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力は，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備に分類されるが，重大事故等時に使用する計装設備であることを考慮し，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

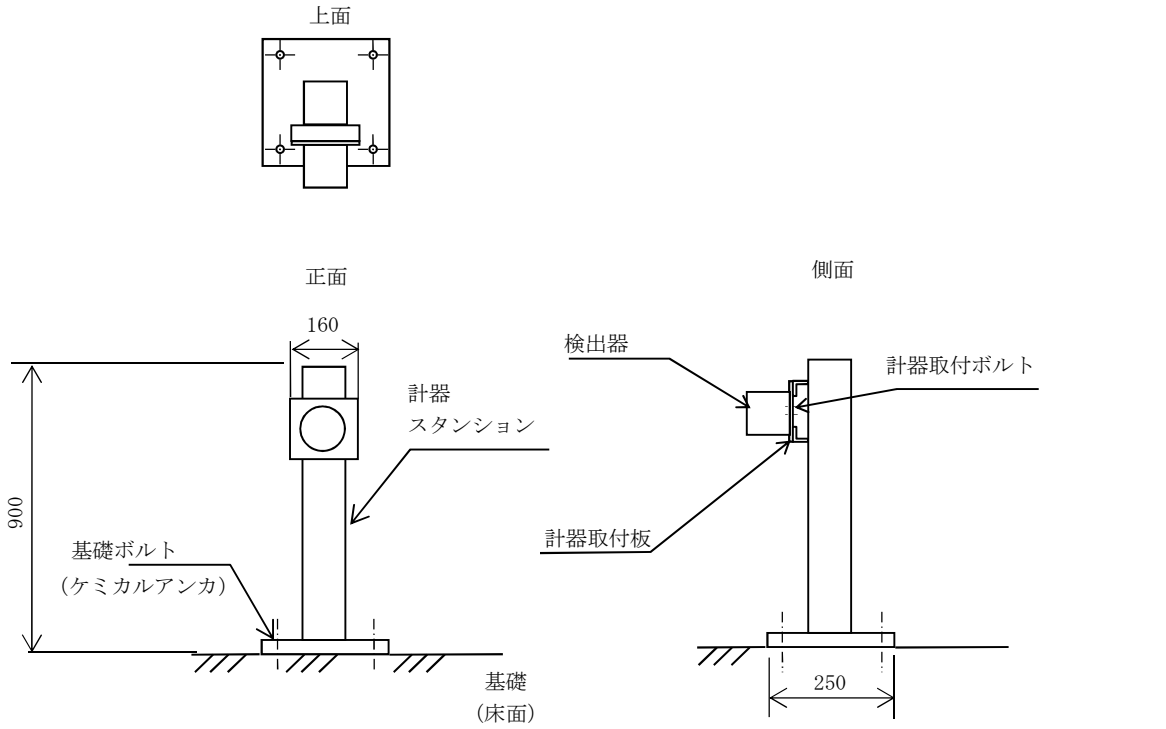
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	弾性圧力検出器	

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力は，図 3-1 に示す床固定の１質点系振動モデルとして考える。

(2) 計器スタンションは鋼材で原子炉建屋床面に固定されているため，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）1 点で固定されるものとする。

(3) 検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4) 図 3-1 中の◓ は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，―は計器スタンションを示す。

3.1.1 水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{h_1^{3}}{3\cdot E\cdot I}+\frac{h_1}{A_s\cdot G}\right)}\cdot\cdot\cdot(3.1.1.1)$$

3.1.2 鉛直方向（Ｙ方向）

Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

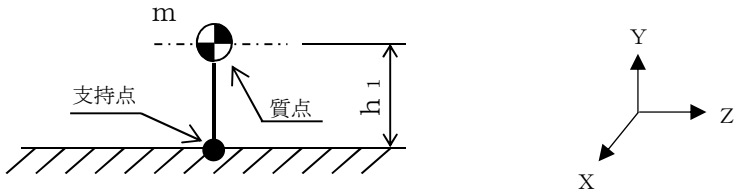
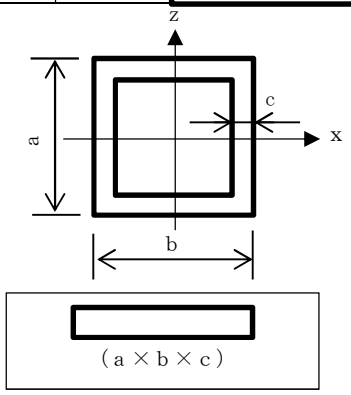


図 3-1 固有周期の計算モデル

3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及びスタンションの質量	m	kg	
据付面から重心までの距離	h_1	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状(mm)			

3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。

表 3-2　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力の構造は直立形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。なお，本設備は常設重大事故防止設備に分類されるが重大事故等時に使用する計装設備であることを考慮し，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他の計測制御設備	非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力	常設／防止*4	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$\mathrm{IV_AS}$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$\mathrm{V_AS}$（$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／防止」は常設重大事故防止設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

＊4：常設重大事故防止設備に分類されるが，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の 許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 （℃）	S_y （MPa）	S_u （MPa）	S_y（RT） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度 [redacted]	221	373	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
非常用逃がし安全弁駆動系 高圧窒素ボンベ圧力	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力	常設／防止*1	EL. 8.20*2			－	－	C_H＝1.10	C_V＝0.96	

注記 ＊1：常設重大事故防止設備に分類されるが，常設耐震重要重大事故防止設備と同等の評価を行う。

＊2：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力

部材	m (kg)	h_1 (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト							2
							2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	前後方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=8$	$f_{ts}=156$*
		せん断	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=120$

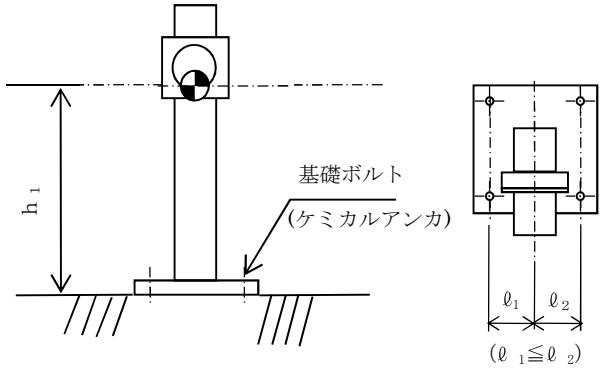
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

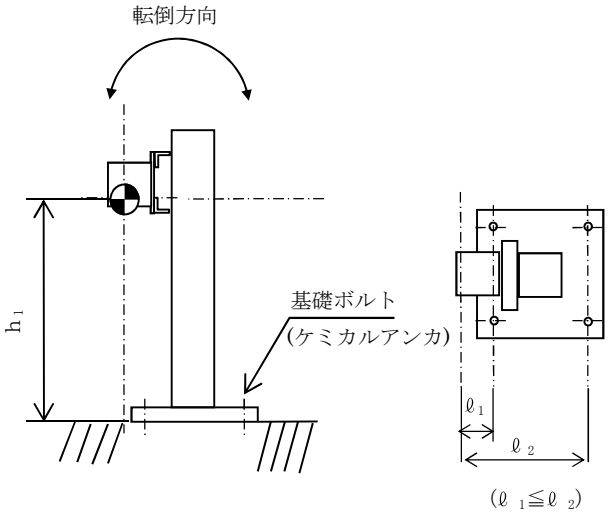
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\mathrm{m/s^2}$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
非常用逃がし安全弁駆動系高圧窒素ボンベ圧力	水平方向	0.92	
	鉛直方向	0.80	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（左右方向）



側面（前後方向）

Ⅴ-2-7　放射性廃棄物の廃棄施設の耐震性についての計算書

目次

Ⅴ-2-7-1　放射性廃棄物の廃棄施設の耐震計算結果
Ⅴ-2-7-2　気体，液体又は固体廃棄物処理設備の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-7-2-1　液体廃棄物処理系の耐震性についての計算書
　　Ⅴ-2-7-2-1-1　管の耐震性についての計算書
　　Ⅴ-2-7-2-1-2　格納容器床ドレンサンプの耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-7-2-2　液体廃棄物処理系（耐震Ｂクラス申請範囲）の耐震性についての計算書
　　Ⅴ-2-7-2-2-1　管の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-7-2-3　固体廃棄物処理系（耐震Ｂクラス申請範囲）の耐震性についての計算書
　　Ⅴ-2-7-2-3-1　管の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-7-2-4　主排気筒の耐震性についての計算書
　Ⅴ-2-7-2-5　非常用ガス処理系排気筒の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-7-1　放射性廃棄物の廃棄施設の耐震計算結果

目次

1. 概要 ····· 1
2. 耐震評価条件整理 ····· 1

1. 概要

本資料は，放射性廃棄物の廃棄施設の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

放射性廃棄物の廃棄施設の設備に対して，設計基準対象施設の耐震クラス，重大事故等対処設備の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については，耐震評価における手法及び条件について，既に認可を受けた実績と差異の有無を整理した。また，重大事故等対処設備のうち，設計基準対象施設であるものについては，重大事故等対処設備の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表 2-1 に示す。

放射性廃棄物の廃棄施設のうち，新設又は，新規登録の設計基準対象施設並びに重大事故等対処設備の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載することとする。

なお，既設の設備における弾性設計用地震動S_d又は静的地震力による耐震計算については，基準地震動S_sによる評価結果が弾性設計用地震動S_d又は静的地震力の許容限界を満足する場合，省略することとする。弾性設計用地震動S_dによる疲労評価については，弾性設計用地震動S_dによる繰返し回数が，基準地震動S_sで設定している繰返し回数以内であることを確認しているため，省略する。

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
放射性廃棄物の廃棄施設	気体，液体又は固体廃棄物処理設備	主要弁	S	無	V-2-7-2-1-1	－	－	－
		主配管	S	無	V-2-7-2-1-1	－	－	－
		格納容器床ドレンサンプ	B （新規登録）	－	－	（原子炉格納施設に記載）	－	－
		主配管	B	有	V-2-7-2-2-1	－	－	－
		主配管	B	有	V-2-7-2-3-1	－	－	－
		主排気筒	C	有	V-2-7-2-4	－	－	－
		非常用ガス処理系排気筒	S	有	V-2-7-2-5	（原子炉冷却系統施設及び原子炉格納施設に記載）	－	－

Ⅴ-2-7-2　気体，液体又は固体廃棄物処理設備の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-7-2-1　液体廃棄物処理系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-7-2-1-1　管の耐震性についての計算書

目　次

1.　概要 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 2
2.1　概略系統図 2
2.2　鳥瞰図 4
3.　計算条件 9
3.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 9
3.2　設計条件 10
3.3　材料及び許容応力 12
3.4　設計用地震力 13
4.　解析結果及び評価 14
4.1　固有周期及び設計震度 14
4.2　評価結果 20
4.2.1　管の応力評価結果 20
4.2.2　支持構造物評価結果 21
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 22
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 23

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は以下に示すとおりである。

(1)　管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全６モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの選定結果を 4.2.4 に記載する。

(2)　支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3)　弁

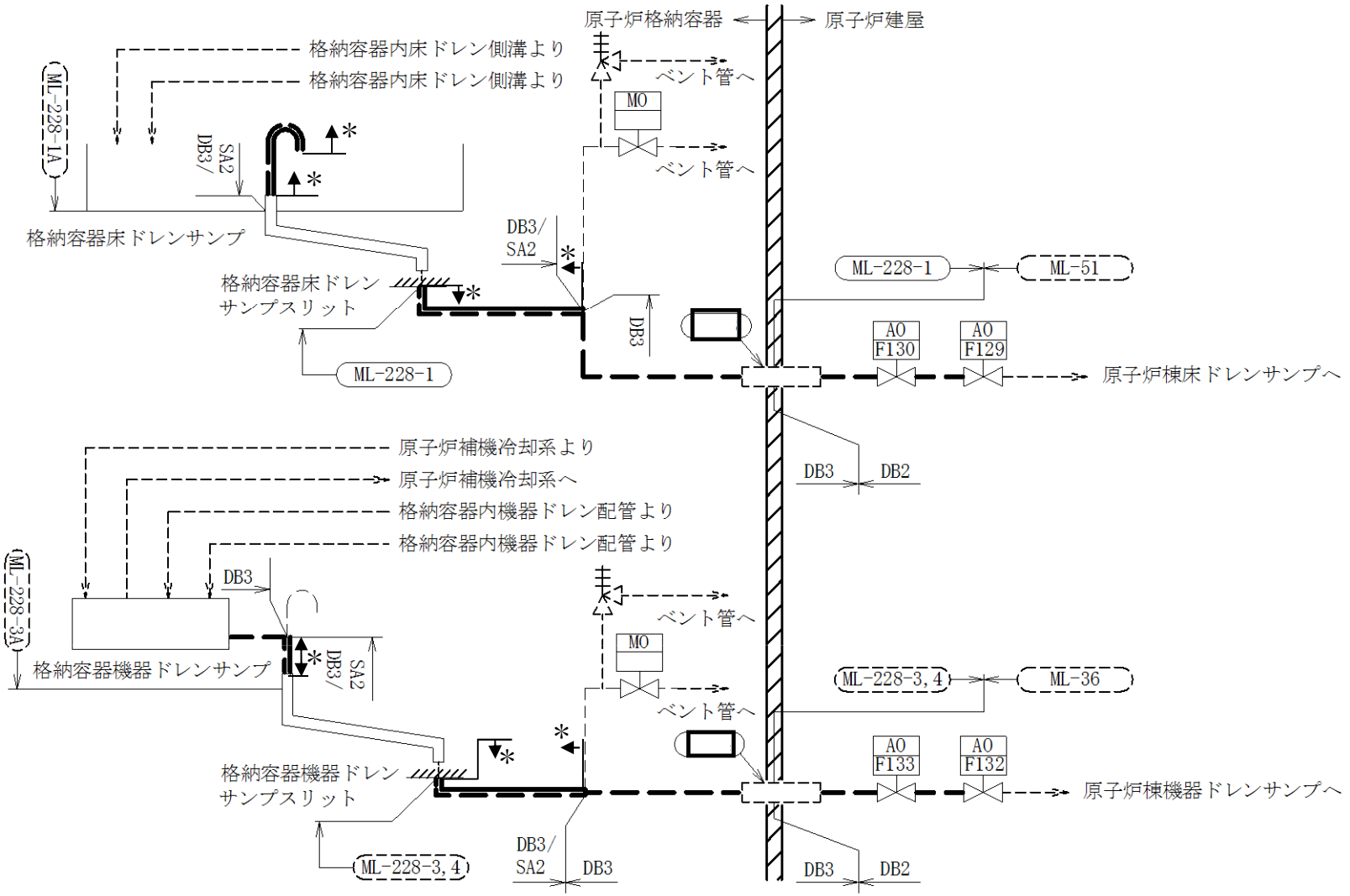
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号 （鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管

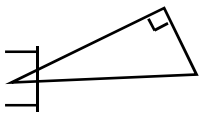
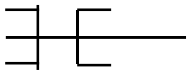
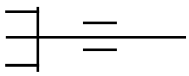
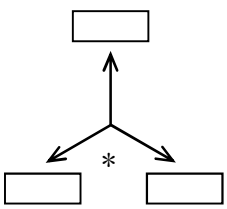


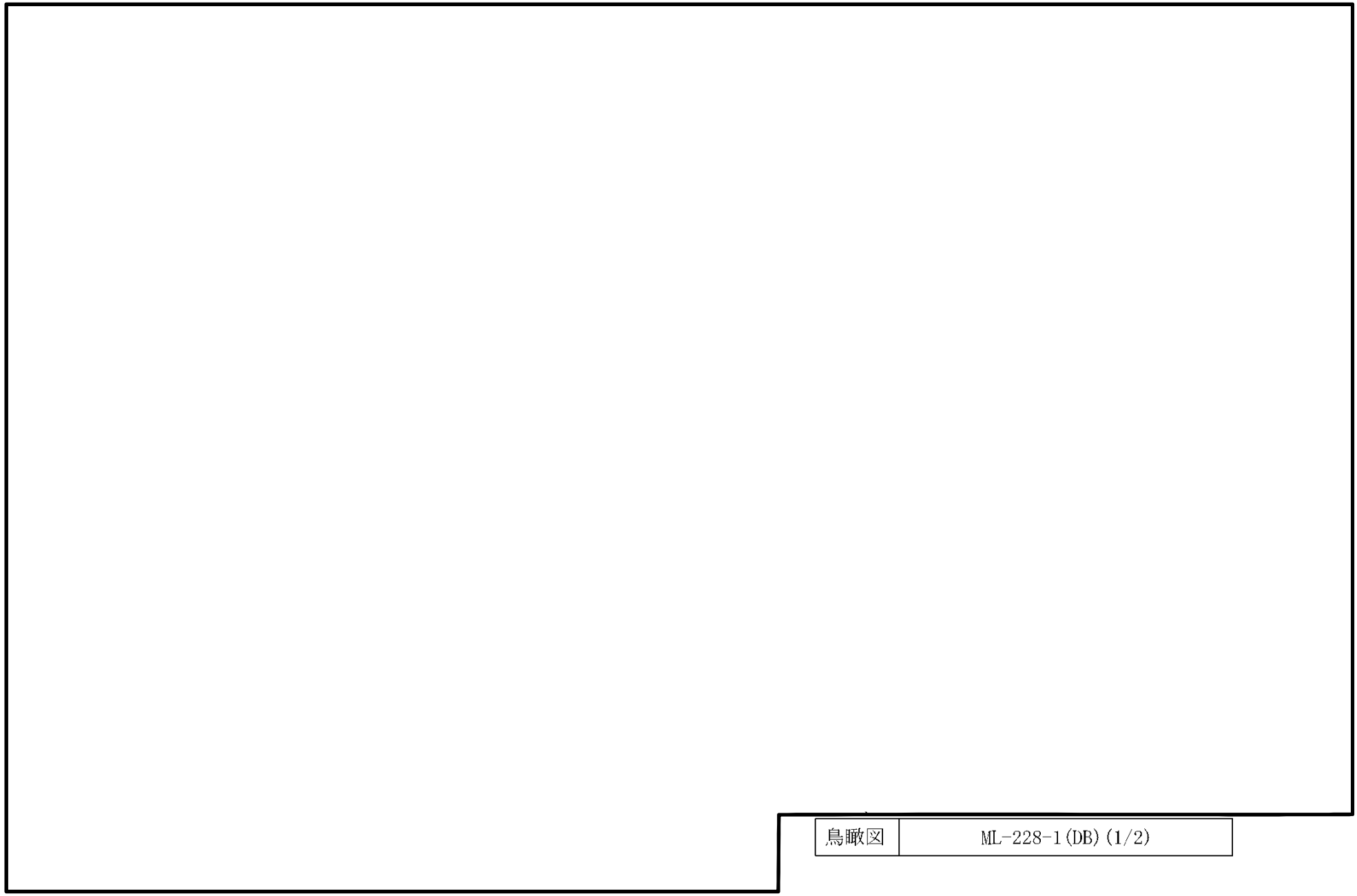
注記　＊：原子炉格納施設のうち圧力低減設備その他の安全設備の原子炉格納容器安全設備（ペデスタル排水系）と兼用する。

液体廃棄物処理系概略系統図

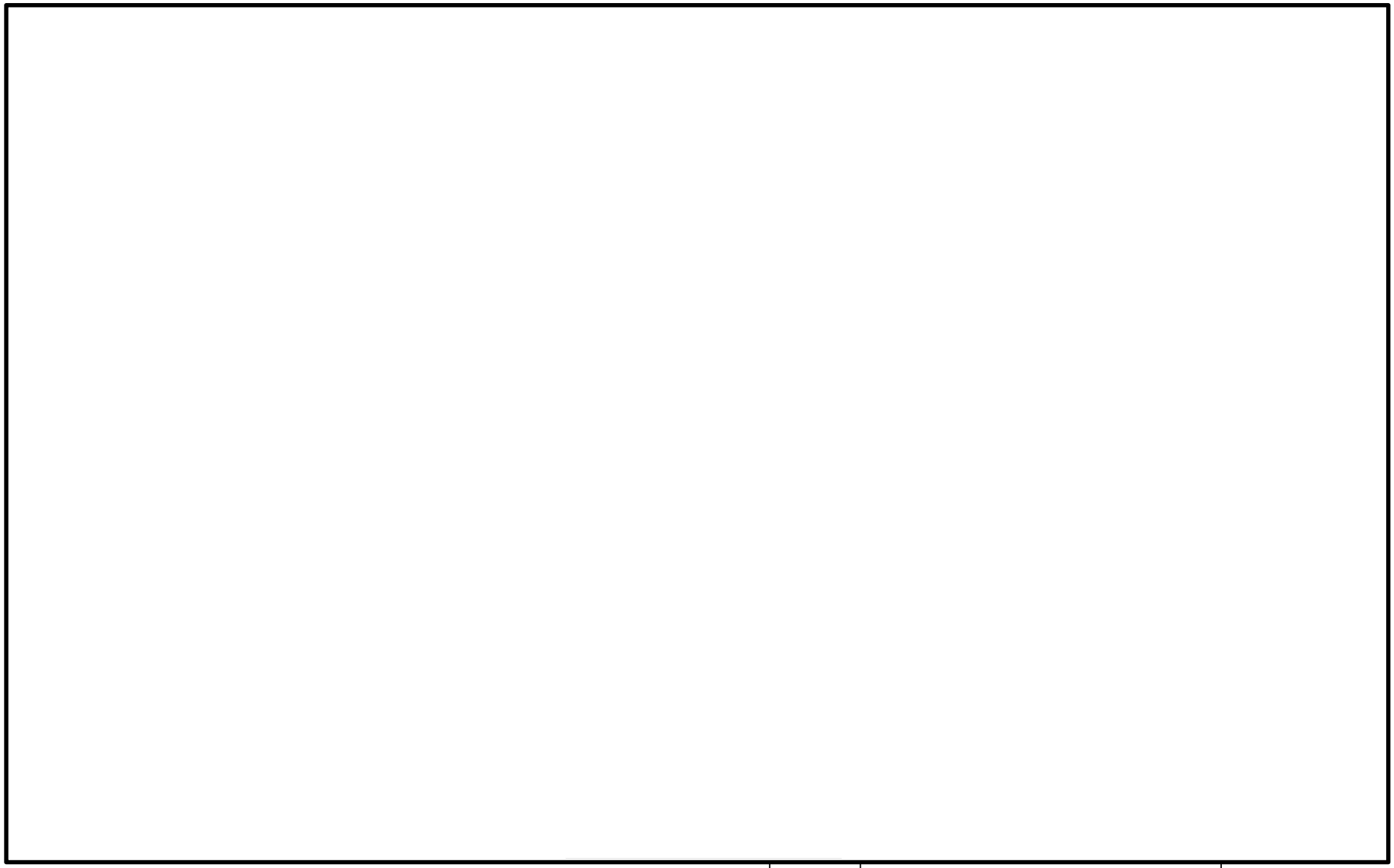
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

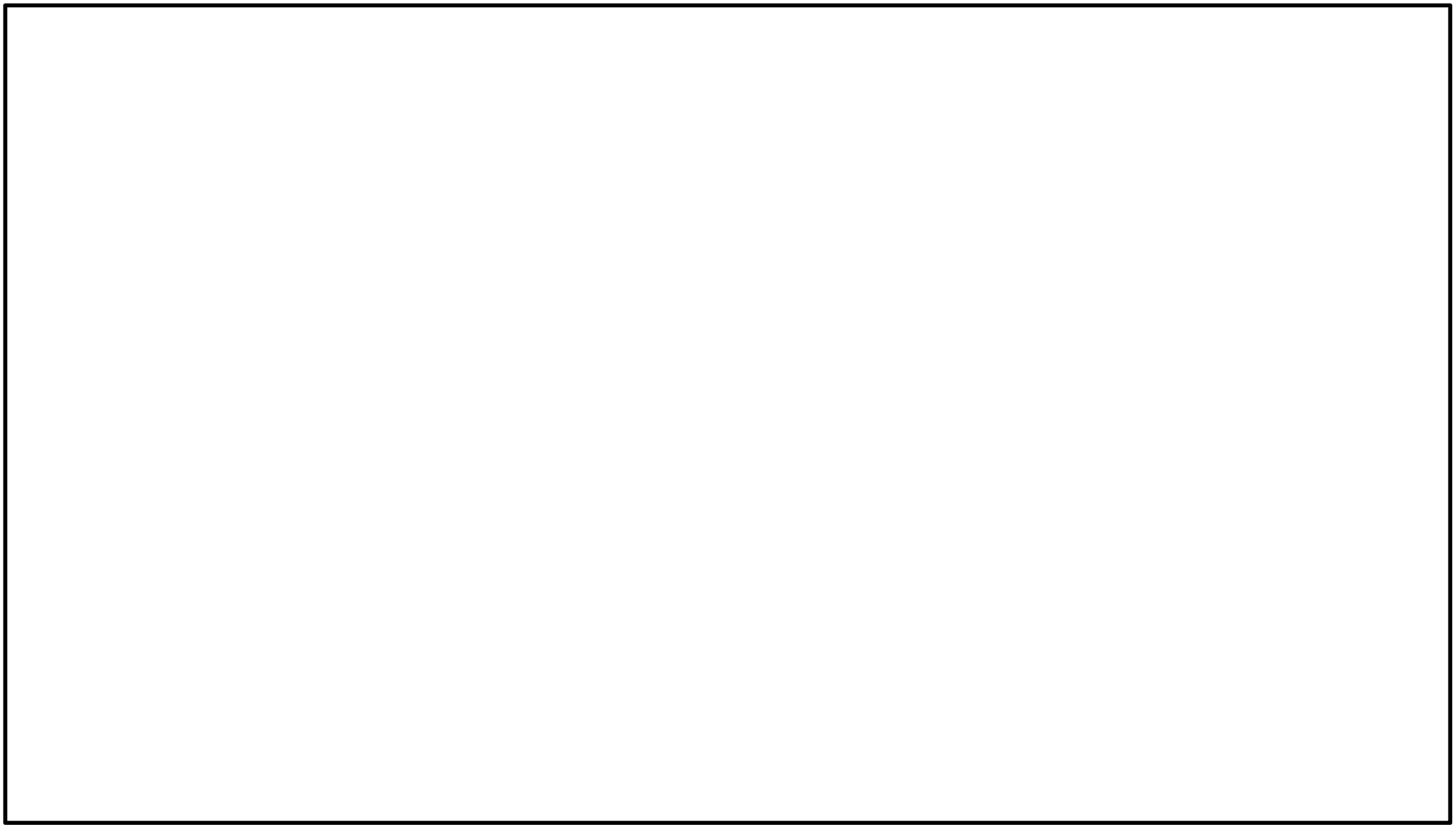
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - -（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質　　点
⊗	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量（mm） （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。）
	注：　鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。



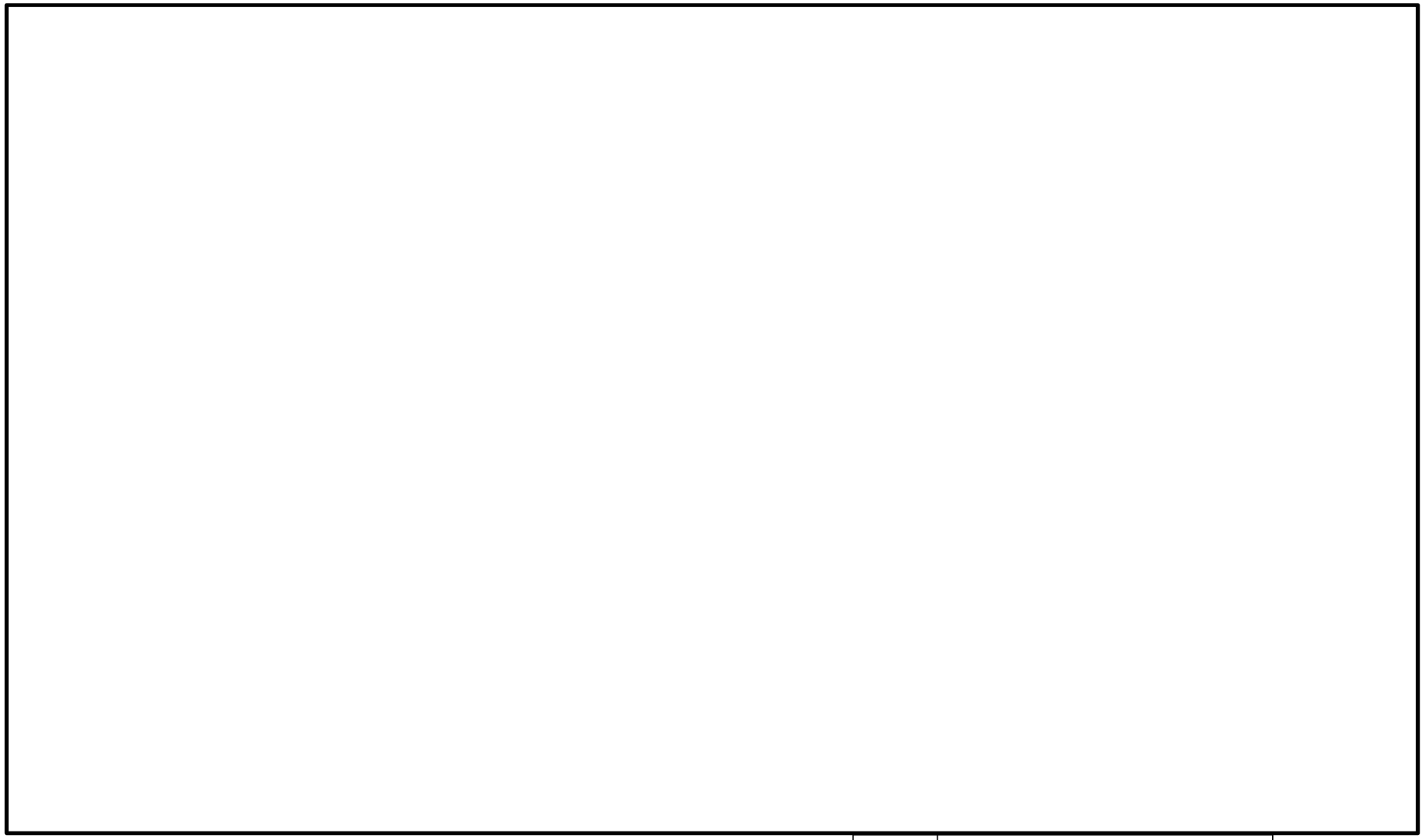
鳥瞰図	ML-228-1(DB)(1/2)



鳥瞰図	ML-228-1(DB)(2/2)



鳥瞰図	ML-228-1(SA)(1/2)



鳥瞰図	ML-228-1(SA)(2/2)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
放射性廃棄物の廃棄施設	気体，液体又は固体廃棄物処理設備（液体廃棄物処理系）	機器ドレン処理系	ＤＢ	－	クラス２管 クラス３管	Ｓ Ｂ*6	I_L+S_d	III_AS
							II_L+S_d	
							I_L+S_s	IV_AS
							II_L+S_s	
		床ドレン処理系	ＤＢ	－	クラス２管 クラス３管	Ｓ Ｂ*6	I_L+S_d	III_AS
							II_L+S_d	
							I_L+S_s	IV_AS
							II_L+S_s	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	ペデスタル排水系	ＳＡ	常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	V_L+S_s	V_AS

注記 ＊1：ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。
＊2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。
＊3：運転状態の添字Ｌは荷重，（Ｌ）は荷重が長期間作用している状態，（ＬＬ）は（Ｌ）より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。
＊4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。
＊5：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。
＊6：耐震設計上の重要度分類Ｓクラス及びS_s機能維持対象の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用し評価を実施する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 ML-228-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N～102	0.76	200	89.1	5.5	SUS304TP	B	
2	102～100	0.76	200	89.1	7.6	SUS316TP	B	
3	100～22	0.52	105	89.1	7.6	SUS316TP	B	

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　ML-228-1

支持点番号	各軸方向ばね定数（N/mm）			各軸回り回転ばね定数（N・mm/rad）		
	X	Y	Z	X	Y	Z
IN						
7						
** 7 **						
** 7 **						
12						
16						
** 16 **						
1801						
** 1801 **						
20						
** 20 **						
23N						

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (℃)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SUS304TP	200	－	144	402	111
SUS316TP	200	－	149	440	127
SUS316TP	105	－	174	472	128

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数(%)
ML-228-1	[redacted]	EL. 8.395 m	[redacted]

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 ML-228-1

耐震設計上の重要度分類		B					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
動的震度							
静的震度							

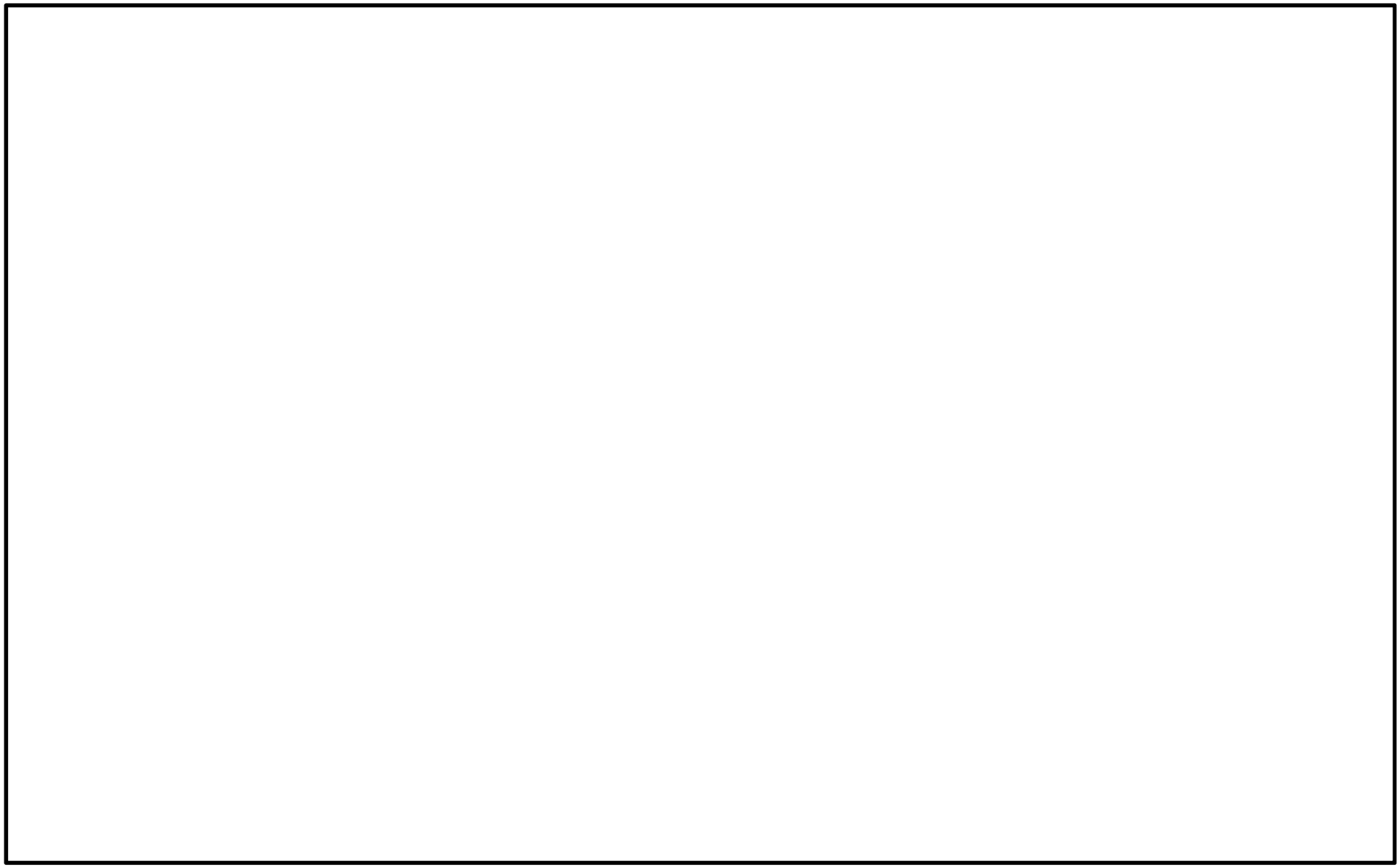
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　ML-228-1

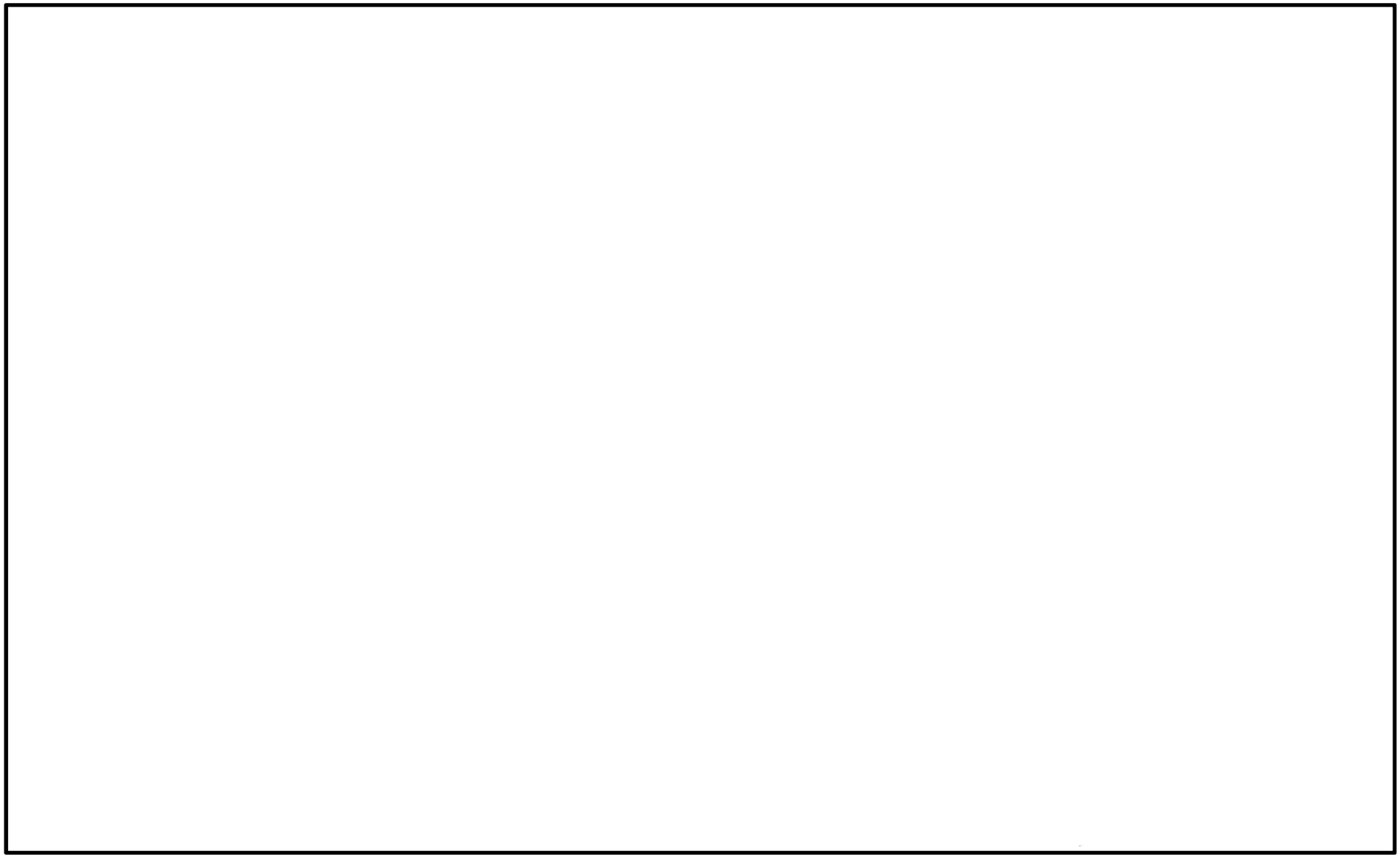
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				

代表的振動モード図

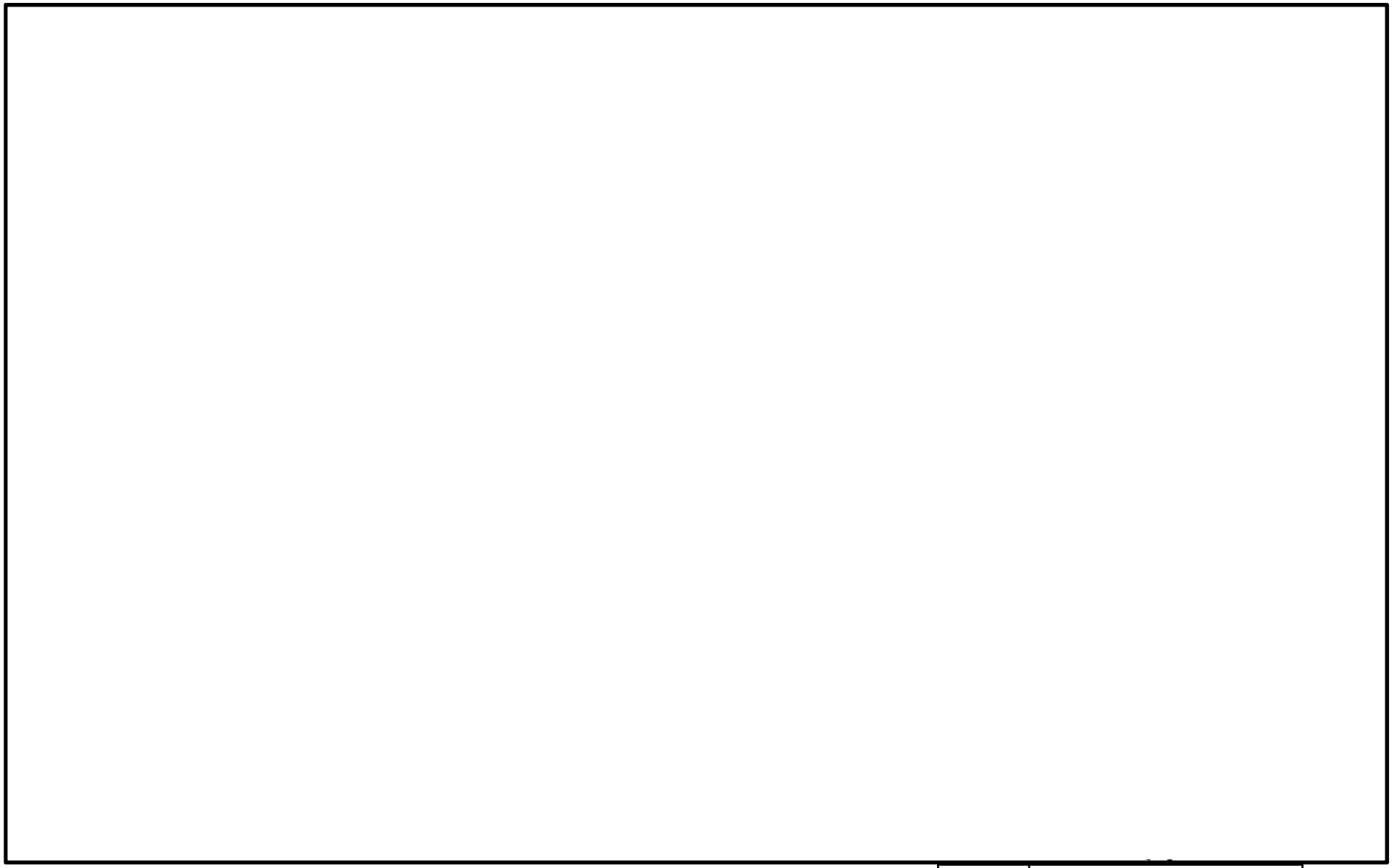
振動モード図は，3 次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



鳥瞰図	ＭＬ－２２８－１



鳥瞰図	ＭＬ－２２８－１



鳥瞰図	ＭＬ－２２８－１

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管であってクラス２以下の管

鳥瞰図	許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価（MPa）		一次＋二次応力評価（MPa）		疲労評価
				計算応力 S_{prm}（S_d） S_{prm}（S_s）	許容応力 S_y* $0.9S_u$	計算応力 S_n（S_s）	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
ML-228-1	ⅢAS	1N	S_{prm}（S_d）	76	144	－	－	－
ML-228-1	ⅣAS	1N	S_{prm}（S_s）	124	361	－	－	－
ML-228-1	ⅣAS	1N	S_n（S_s）	－	－	221	288	－

注記　＊：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，S_yと$1.2S_h$のうち大きい方とする。

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度（℃）	評価結果	
					計算荷重（kN）	許容荷重（kN）
SH-ML-904	スプリングハンガ	VAS-1	添付書類「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		0.9	0.9

支持構造物評価結果(応力評価)

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度（℃）	支持点荷重						評価結果		
					反力（kN）			モーメント（kN･m）			応力分類	計算応力（MPa）	許容応力（MPa）
					F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
RE-ML-900	レストレイント	パイプバンド	STKR400 SM400B	105	5.6	34.3	0	—	—	—	圧縮	72	133

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	評価結果（×9.8 m/s²）		機能確認済加速度（×9.8 m/s²）		構造強度評価結果（MPa）	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
－	－	－	－	－	－	－	－	－

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス２，３範囲）

No	配管モデル	許容応力状態 III_AS					許容応力状態 IV_AS												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	ML-228-1A	302	7	152	21.71	－	302	10	396	39.60	－	302	12	298	24.83	－	－	－	－
2	ML-228-3A	8N	4	174	43.50	－	8N	5	424	84.80	－	8N	6	348	58.00	－	－	－	－
3	ML-228-1	1N	76	144	1.89	○	1N	124	361	2.91	○	1N	221	288	1.30	○	－	－	－
4	ML-228-3, 4	14	29	174	6.00	－	14	43	424	9.86	－	14	92	348	3.78	－	－	－	－
5	ML-36	15	60	225	3.75	－	15	86	365	4.24	－	15	175	450	2.57	－	－	－	－
6	ML-51	16	70	225	3.21	－	16	108	365	3.37	－	16	209	450	2.15	－	－	－	－

Ⅴ-2-7-2-1-2　格納容器床ドレンサンプの耐震性についての計算書

格納容器床ドレンサンプの耐震性についての計算は，添付書類「Ⅴ-2-9-4-3-5-2　付属設備の耐震性についての計算書」の第１章　コリウムシールドの耐震性の計算書に含まれている。

Ⅴ-2-7-2-2　液体廃棄物処理系（耐震Ｂクラス申請範囲）の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-7-2-2-1　管の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 概略系統図及び鳥瞰図 2
2.1 概略系統図 2
2.2 鳥瞰図 7
3. 計算条件 18
3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 18
3.2 設計条件 19
3.3 材料及び許容応力 25
3.4 設計用地震力 26
4. 解析結果及び評価 27
4.1 固有周期及び設計震度 27
4.2 評価結果 33
4.2.1 管の応力評価結果 33
4.2.2 弁の動的機能維持評価結果 34
4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 35

1. 概要

新規制基準適合審査の一環で，原子炉建屋付属棟内に重大事故等対処施設（格納容器圧力逃がし装置及び電気盤等）を設置するスペースを確保するため，現在休止状態となっている放射性廃棄物処理設備について，機器の撤去及び配管の撤去・改造を実施することとしている。

このため，本計算書は，配管の改造分について，添付資料「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」及び「Ⅴ-2-1-14-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りとする。

(1) 管

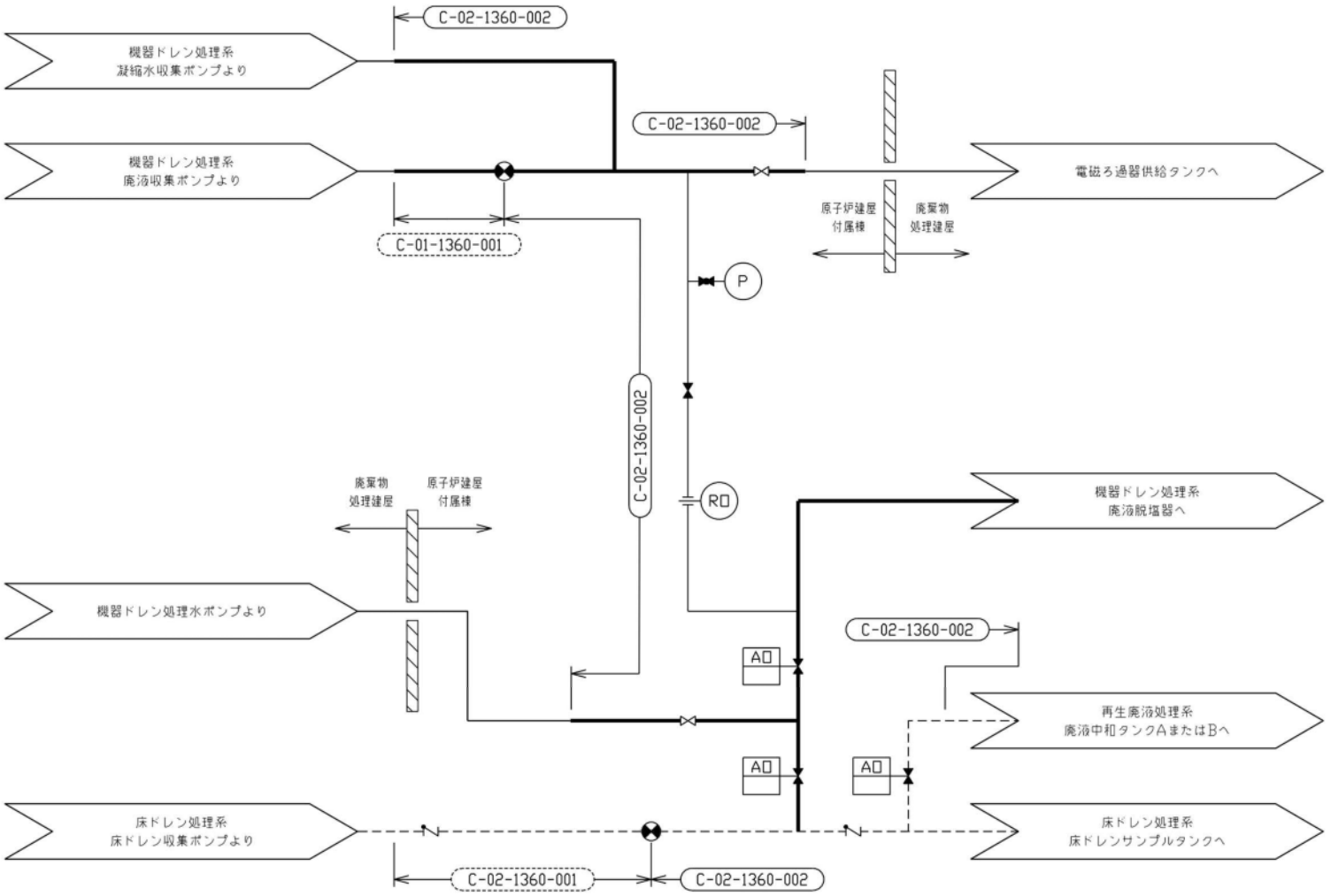
工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全3モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，設計条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.3に記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

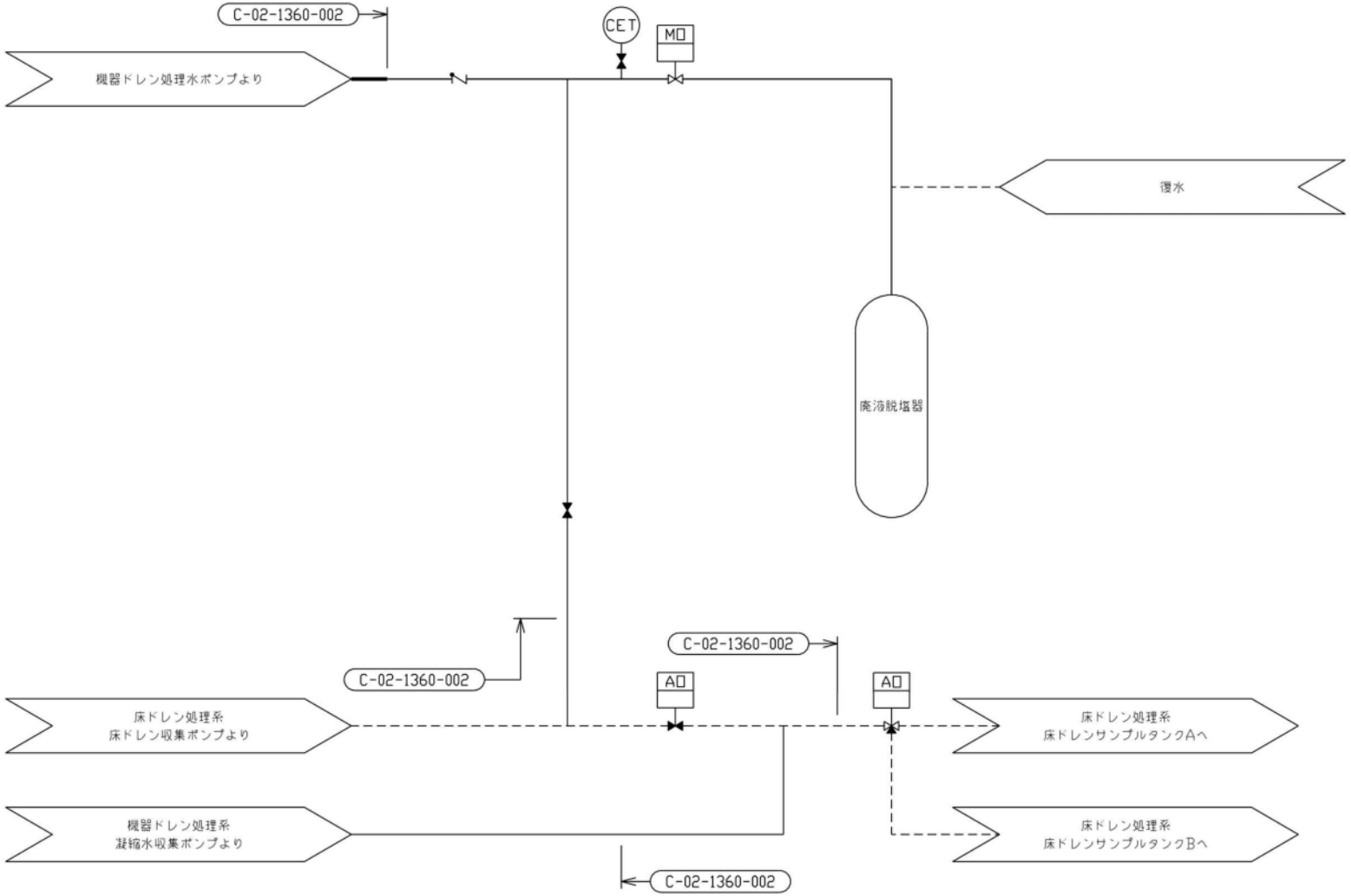
2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

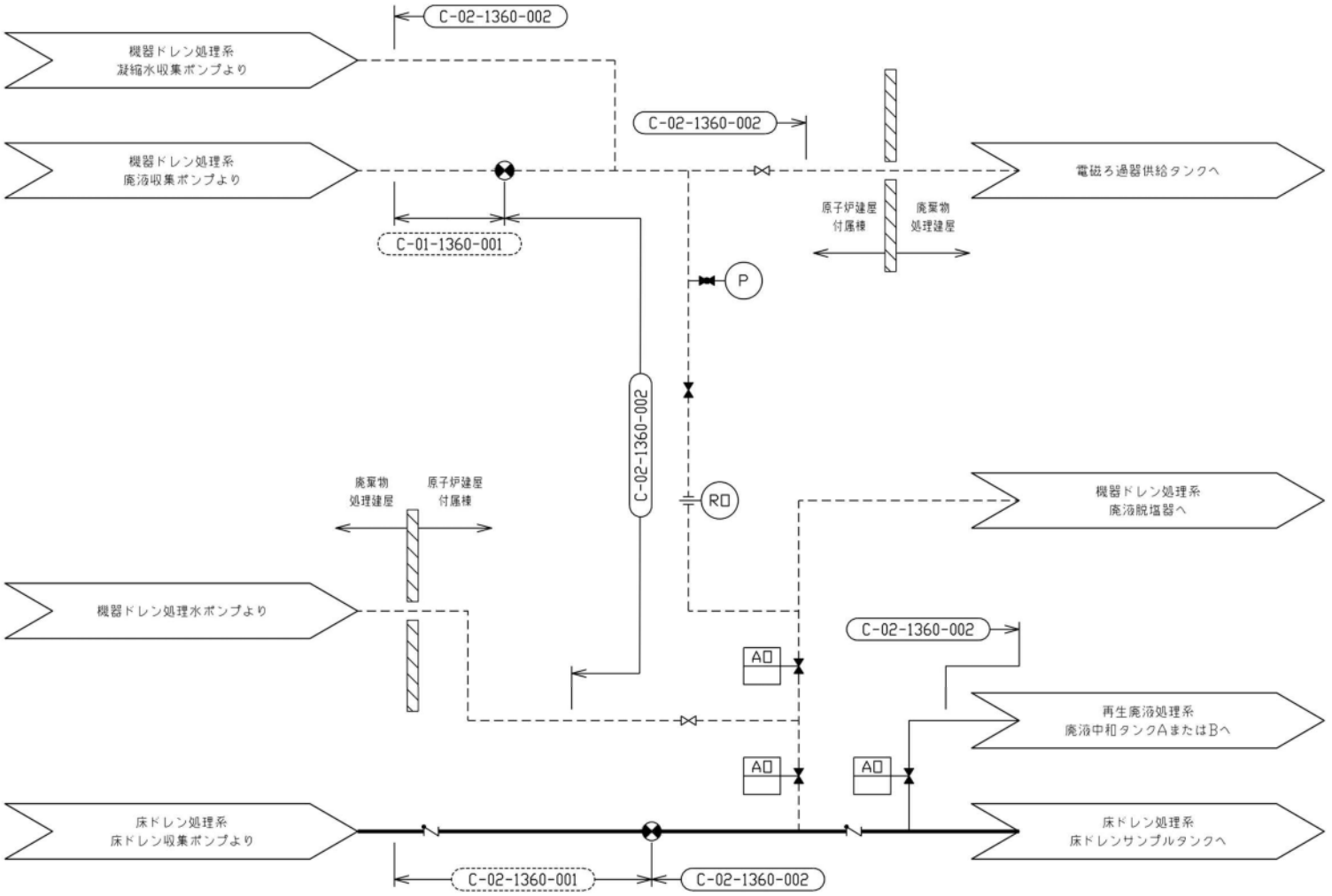
記 号	内 容
―――― （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （設計基準対象施設）
―――― （細線）	工事計画記載範囲外の管のうち，本計算書記載範囲の管 （設計基準対象施設）
---------- （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち， 他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○－○－○○	鳥瞰図番号 （鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○－○－○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
	アンカ
［管クラス］	
クラス３	クラス３管



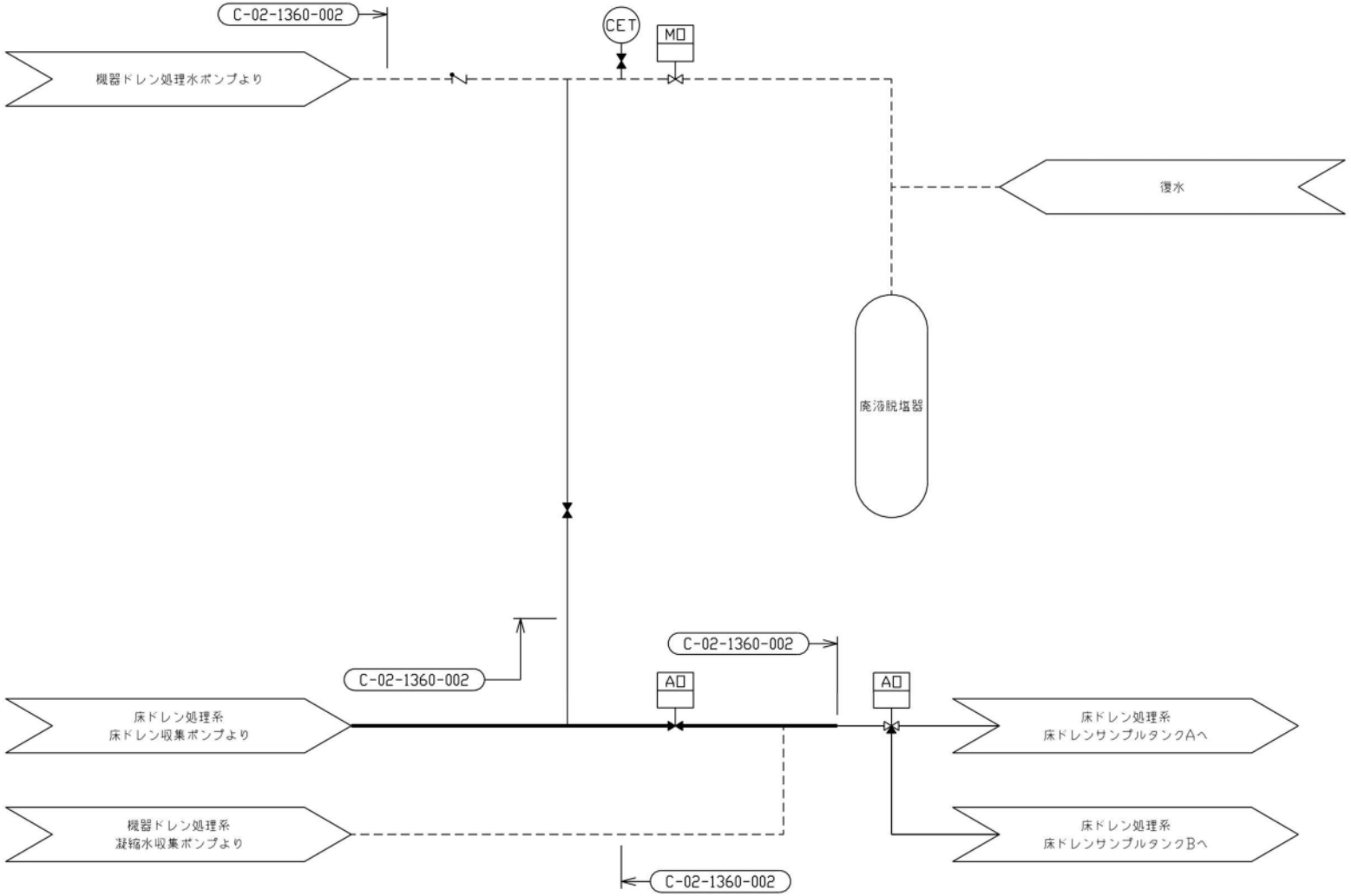
液体廃棄物処理系(機器ドレン処理系)概略系統図(1/2)



液体廃棄物処理系(機器ドレン処理系)概略系統図(2/2)



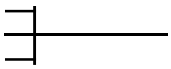
液体廃棄物処理系(床ドレン処理系)概略系統図(1/2)



液体廃棄物処理系(床ドレン処理系)概略系統図(2/2)

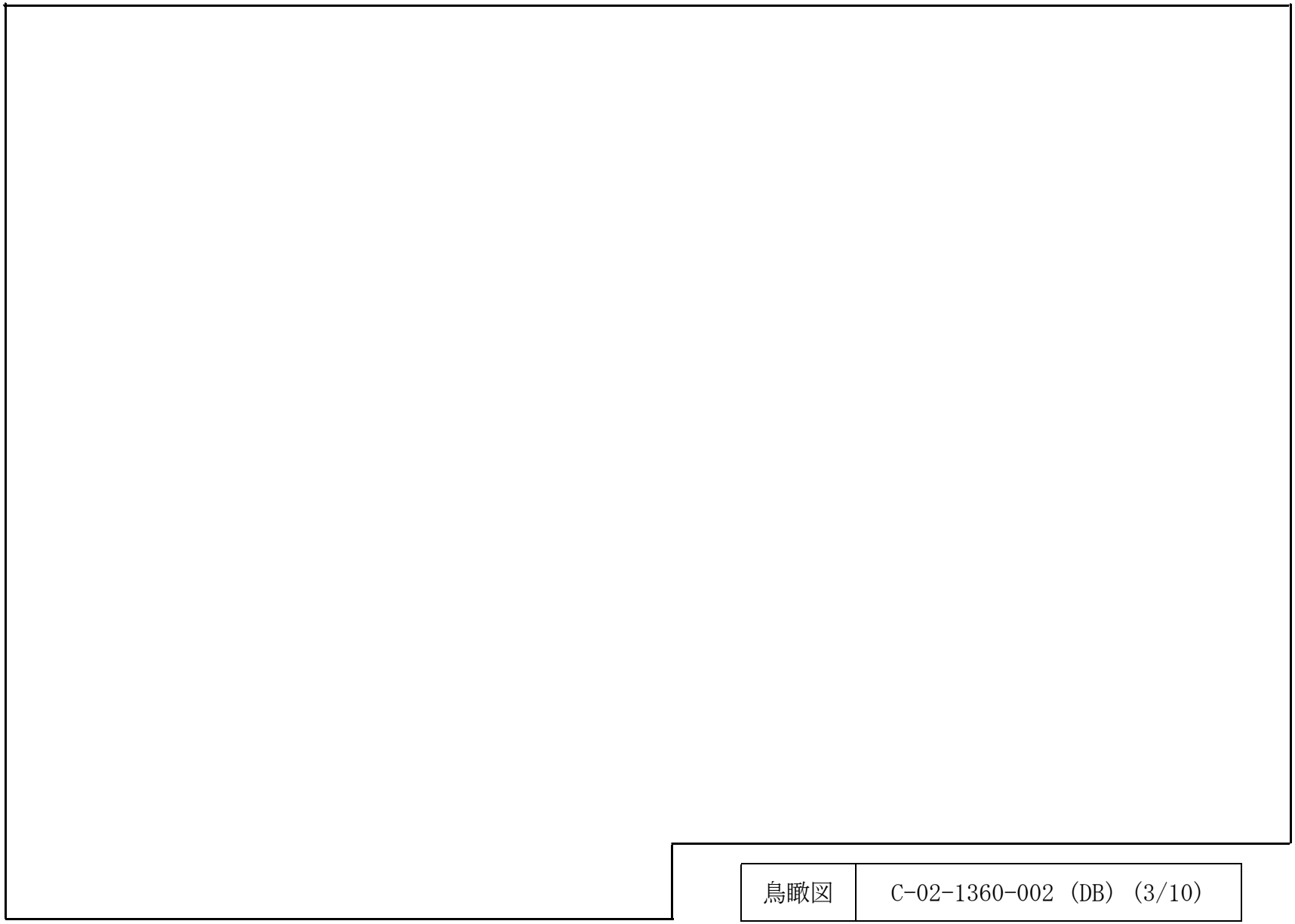
2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記　　号	内　　容
（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「（ＳＡ）」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「（ＤＢ）」とする。）
（細線）	工事計画記載範囲外の管のうち，本計算書記載範囲の管
	質　　点
	ア　ン　カ
	レストレイント
	注：　鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

鳥瞰図	C-02-1360-002 (DB) (1/10)

鳥瞰図	C-02-1360-002 (DB) (2/10)

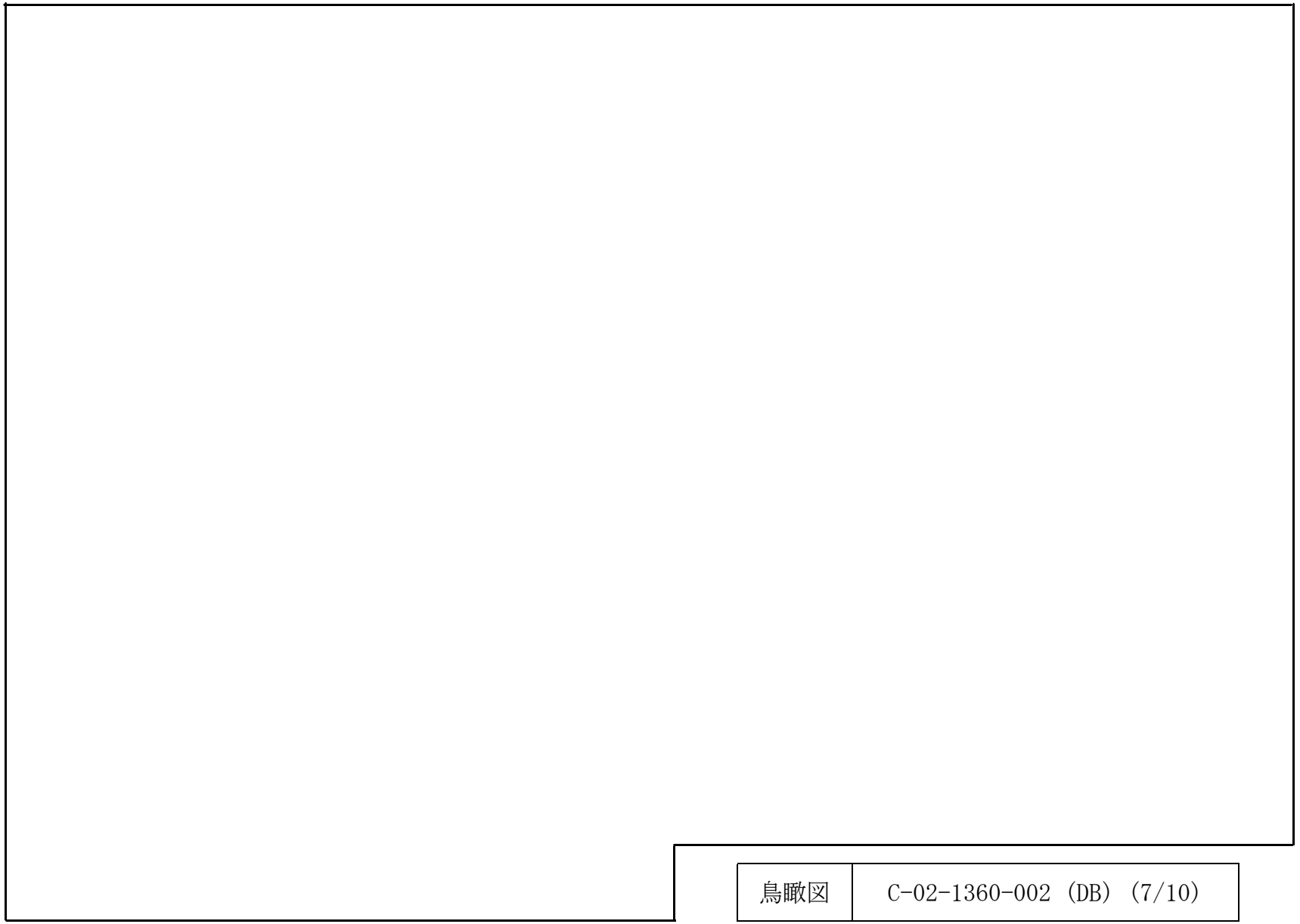


鳥瞰図	C-02-1360-002 (DB) (3/10)

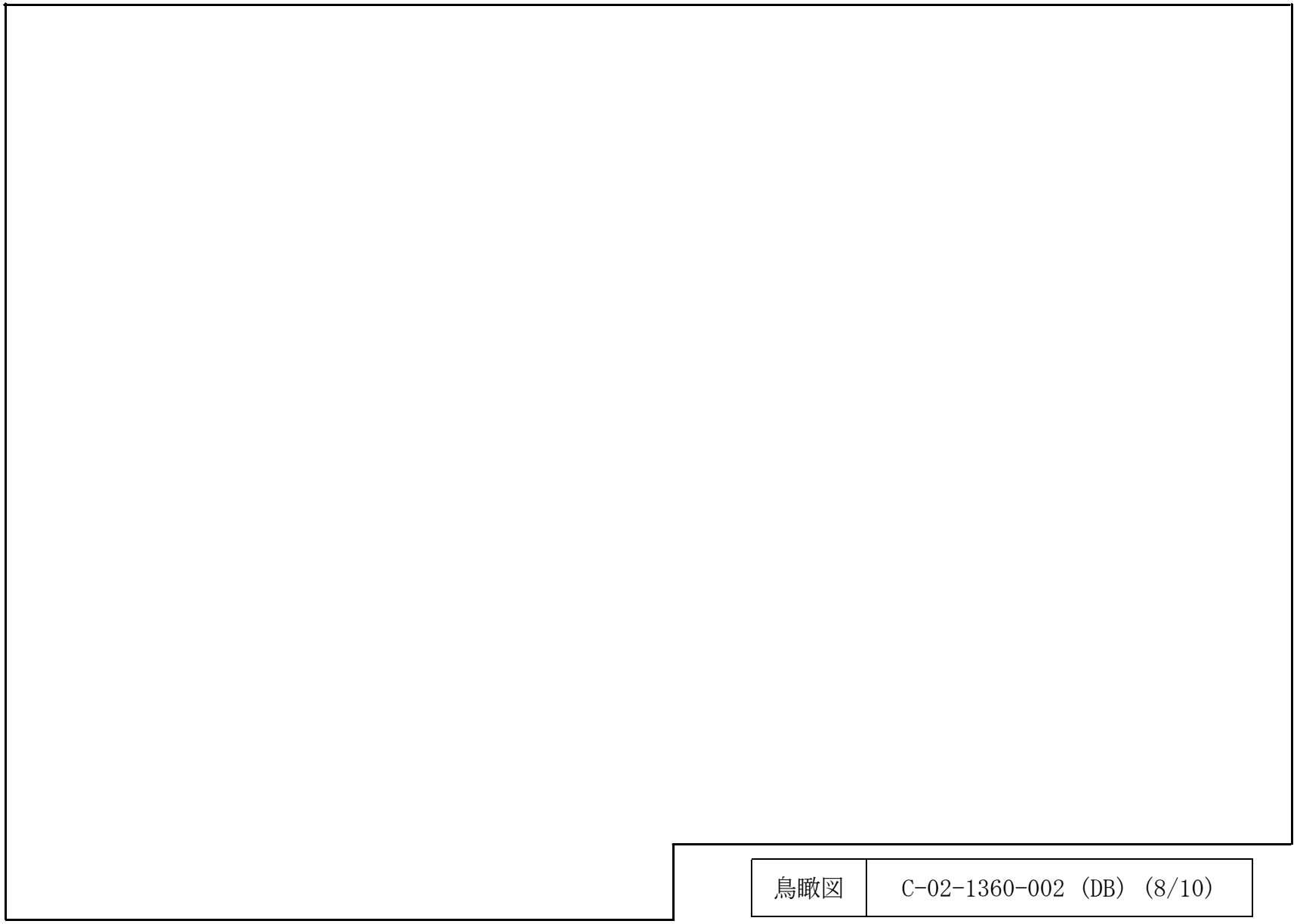
鳥瞰図	C-02-1360-002 (DB) (4/10)

鳥瞰図	C-02-1360-002 (DB) (5/10)

鳥瞰図	C-02-1360-002 (DB) (6/10)



鳥瞰図	C-02-1360-002 (DB) (7/10)



鳥瞰図	C-02-1360-002 (DB) (8/10)

鳥瞰図	C-02-1360-002 (DB) (9/10)

鳥瞰図	C-02-1360-002 (DB) (10/10)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ *2, *3	許容応力状態
放射性廃棄物の廃棄施設	液体廃棄物処理系	機器ドレン処理系 床ドレン処理系	ＤＢ	―	クラス３管	Ｂ	$\mathrm{I}_{L}+1/2S_{d}$ $\mathrm{II}_{L}+1/2S_{d}$	$B_{A}S$

注記 ＊1：ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。

＊2：運転状態の添字Ｌは荷重を示す。

＊3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

3.2　設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図番号　C-02-1360-002

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
P1	A00～A04N	1.42	65	114.3	6.0	STPT42	B	
P11	A04N～B02 B05～C06 C00～C12 D13～I00	1.42	65	114.3	6.0	STPT410	B	
P2	B05～B09	1.32	65	114.3	6.0	STPT42	B	
P12	C12～D05	1.32	65	114.3	6.0	STPT410	B	
S1	D00～D10	1.32	65	114.3	4.0	SUS304TP	B	
S6	D10～D19 D17～E04 E01～H04	1.42	65	114.3	4.0	SUS304TP	B	
P13	D19～D24 E04～E11 E08～F01F	1. 03	65	114.3	6.0	STPT410	B	
P15	C08～K03	1.42	65	27.2	3.9	STPT410	B	
P3	F01F～F03	1.03	65	114.3	6.0	STPT42	B	
P6	F02～G01	1.03	65	27.2	3.9	STPT42	B	
S2	D09～J08	1.32	65	114.3	6.0	SUS304TP	B	

配管の付加質量

鳥瞰図番号　C-02-1360-002

質量	対応する評価点
[redacted]	C13,G01
	K03

フランジ部の質量

鳥瞰図番号　C-02-1360-002

質量	対応する評価点
[redacted]	C13,C13

弁部の質量

鳥瞰図番号　C-02-1360-002

質量	対応する評価点
	K02～K03
	B05～B06, J04～J05
	D15～D16
	C11～C12
	D07～D08, D10～D11, D19～D20, E04～E05

弁部の寸法

鳥瞰図番号　C-02-1360-002

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
K02～K03			
D15～D16			
D07～D08,D10～D11			
B05～B06,C11～C12, D19～D20,E04～E05, J04～J05			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号　C-02-1360-002

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
A00						
A01						
A03						
A06						
A07						
A08						
A09						
B03						
B07						
B09						
C00						
C01						
C04						
C05						
C10						
C14						
C16						
D00						
D04						
D06						
D12						
D14						
D18						
D21						
D24						
E03						
E06						
E11						
F03						
＊　H03						
H04						
I00						
I01						
J02						
J06						
J08						

＊印のＹ軸方向のばね定数はマイナス側にのみとする。

3.3　材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (℃)	許容応力 (MPa) *			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT410	65	—	232	—	103
STPT42	65	—	232	—	103
SUS304TP	65	—	189	—	126

注記 ＊：評価に使用しない許容応力については「—」と記載する。

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は，添付資料「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は，添付資料「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数(%)
C-02-1360-002	[redacted]	E.L. 20.300 m	[redacted]

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図番号 C-02-1360-002

耐震設計上の重要度分類		B					
適用する地震動等		静的震度*5			1/2 S_d		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
		—	—	—	0.65	0.65	1.10
		—	—	—	0.65	0.65	0.93
		—	—	—	0.65	0.65	0.56
		—	—	—	0.56	0.56	0.50
		—	—	—	0.53	0.53	0.45
		—	—	—	0.52	0.52	0.42
		—	—	—	—	—	—
動 的 震 度*2		—	—	—	0.24	0.24	0.18
静 的 震 度*3		0.39	0.39	—	—	—	—

注記 ＊1： 各モードの固有周期に対し，設備評価用床応答曲線より得られる震度を示す。

＊2： S_d地震動に基づく最大設備評価用床応答加速度より定めた震度を示す。

＊3： $1.8C_I$より定めた震度を示す。

＊4： 固有周期が0.050s 以下であることを示す。

＊5： 静的震度を示す為，応答震度については「－」と記載する。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図番号　C-02-1360-002

モード	固有周期 (s)	刺激係数*1		
		X方向	Y方向	Z方向

注記　＊1：刺激係数は，モード質量を正規化し，固有ベクトルと質量マトリクスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を赤線で図示し，次ページ以降に示す。

鳥瞰図	C-02-1360-002

鳥瞰図	C-02-1360-002

鳥瞰図	C-02-1360-002

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス３管

鳥瞰図	許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価（MPa）		一次＋二次応力評価（MPa）		疲労評価
				計算応力 S_{prm}（S_d）	許容応力 S_y	計算応力 S_n（S_d）	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
C-02-1360-002	BAS	H01N	S_{prm}（S_d）		189	—	—	—

4.2.2 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度* (×9.8 m/s^2)		機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記　＊：応答加速度は，打ち切り振動数を50Hzとして計算した結果を示す。

：評価対象がない場合はすべての欄に「—」と記載する。

4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス３範囲）

No	配管 モデル	許容応力状態B_AS				
		一次応力				
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表
1	C-01-1360-001	A15N	12	232	19.33	―
2	C-02-1360-001	A32	18	232	12.88	―
3	C-02-1360-002	H01N	39	189	4.84	○

Ⅴ-2-7-2-3　固体廃棄物処理系（耐震Ｂクラス申請範囲）の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-7-2-3-1　管の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 概略系統図及び鳥瞰図 2
2.1 概略系統図 2
2.2 鳥瞰図 6
3. 計算条件 28
3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 28
3.2 設計条件 29
3.3 材料及び許容応力 37
3.4 設計用地震力 38
4. 解析結果及び評価 39
4.1 固有周期及び設計震度 39
4.2 評価結果 45
4.2.1 管の応力評価結果 45
4.2.2 弁の動的機能維持評価結果 46
4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 47

1. 概要

新規制基準適合審査の一環で，原子炉建屋付属棟内に重大事故等対処施設（格納容器圧力逃がし装置及び電気盤等）を設置するスペースを確保するため，現在休止状態となっている放射性廃棄物処理設備について，機器の撤去及び配管の撤去・改造を実施することとしている。

このため，本計算書は，配管の改造分について，添付資料「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」及び「Ⅴ-2-1-14-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りとする。

(1) 管

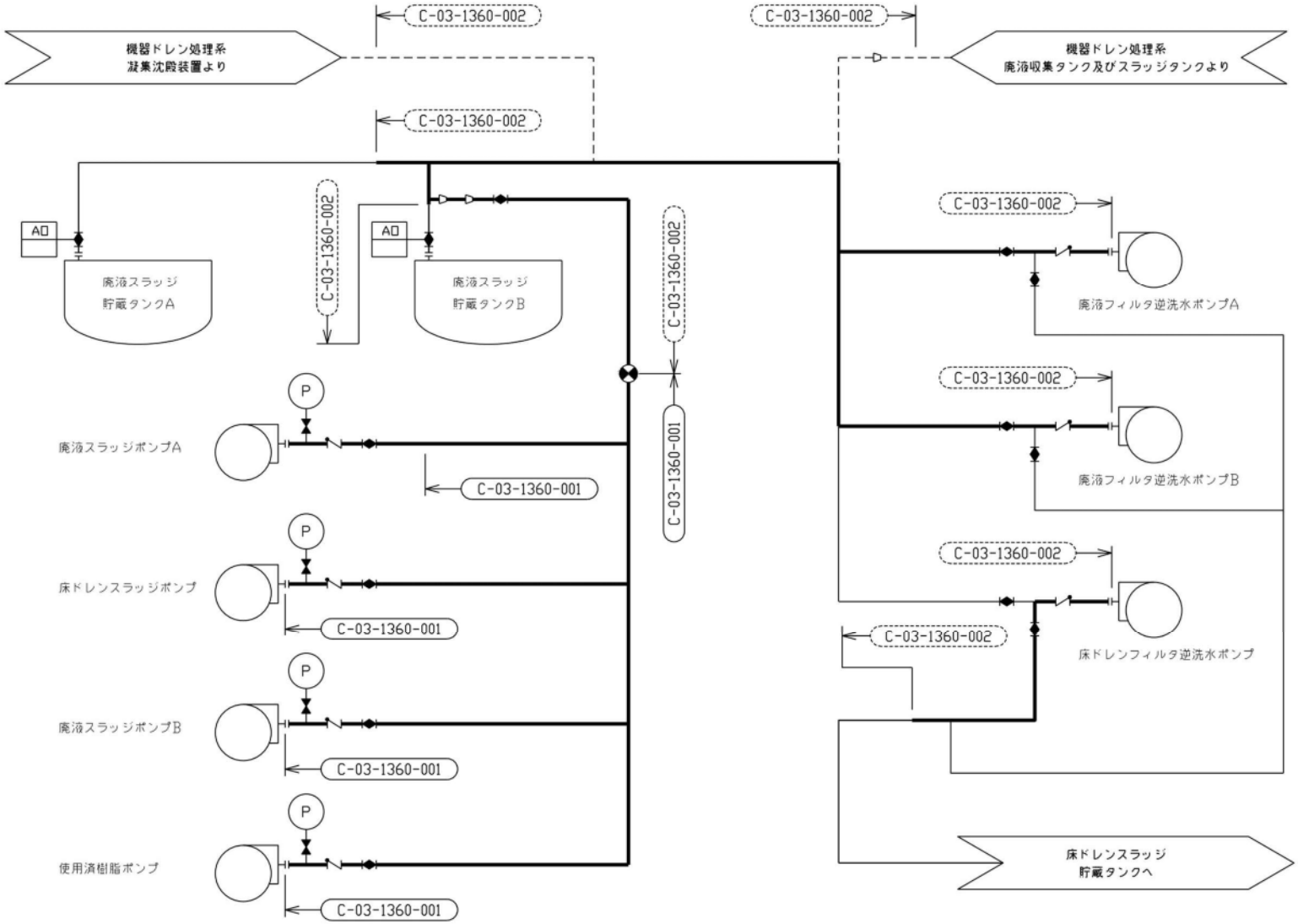
工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全4モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，設計条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.3に記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

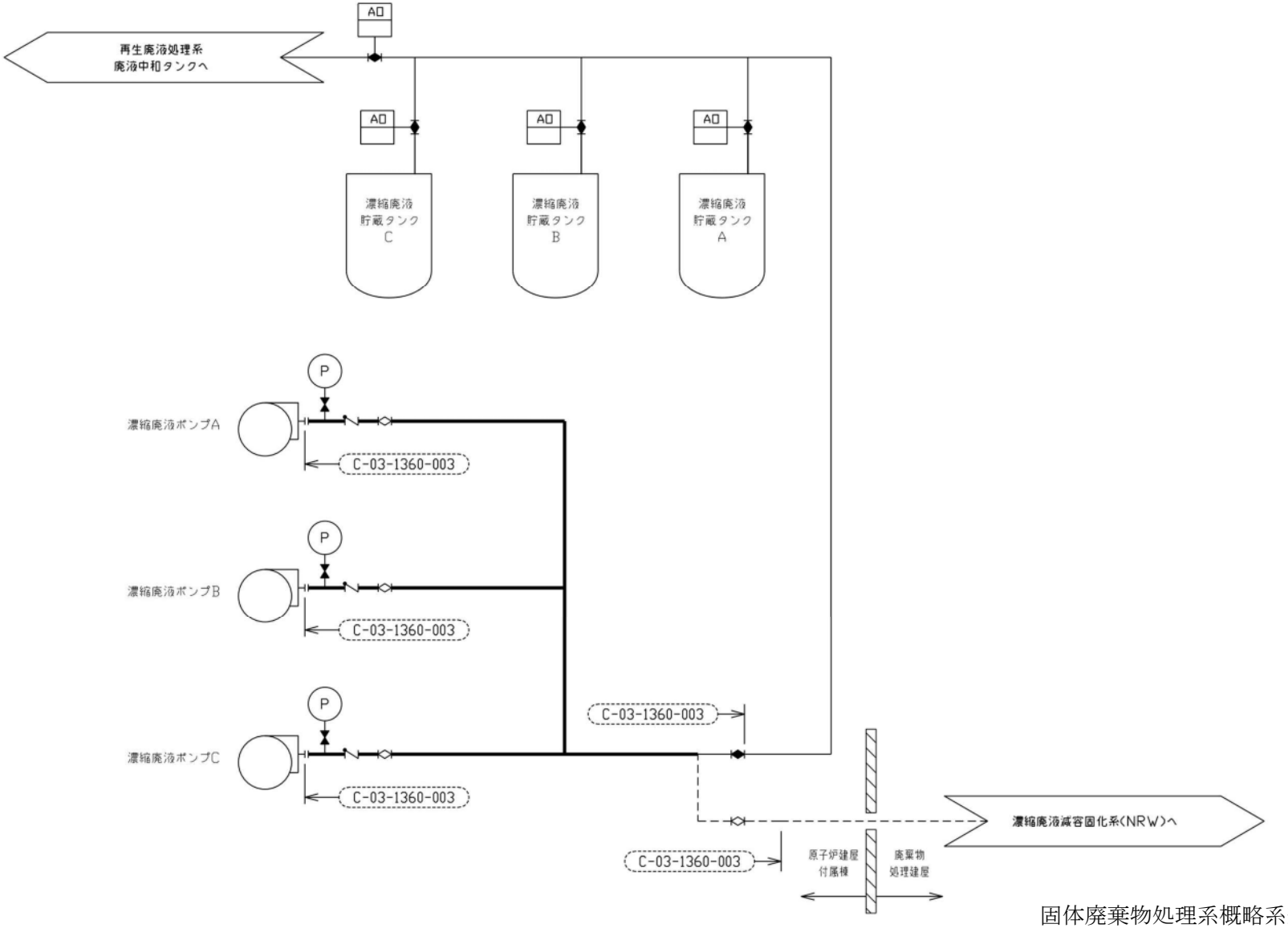
2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

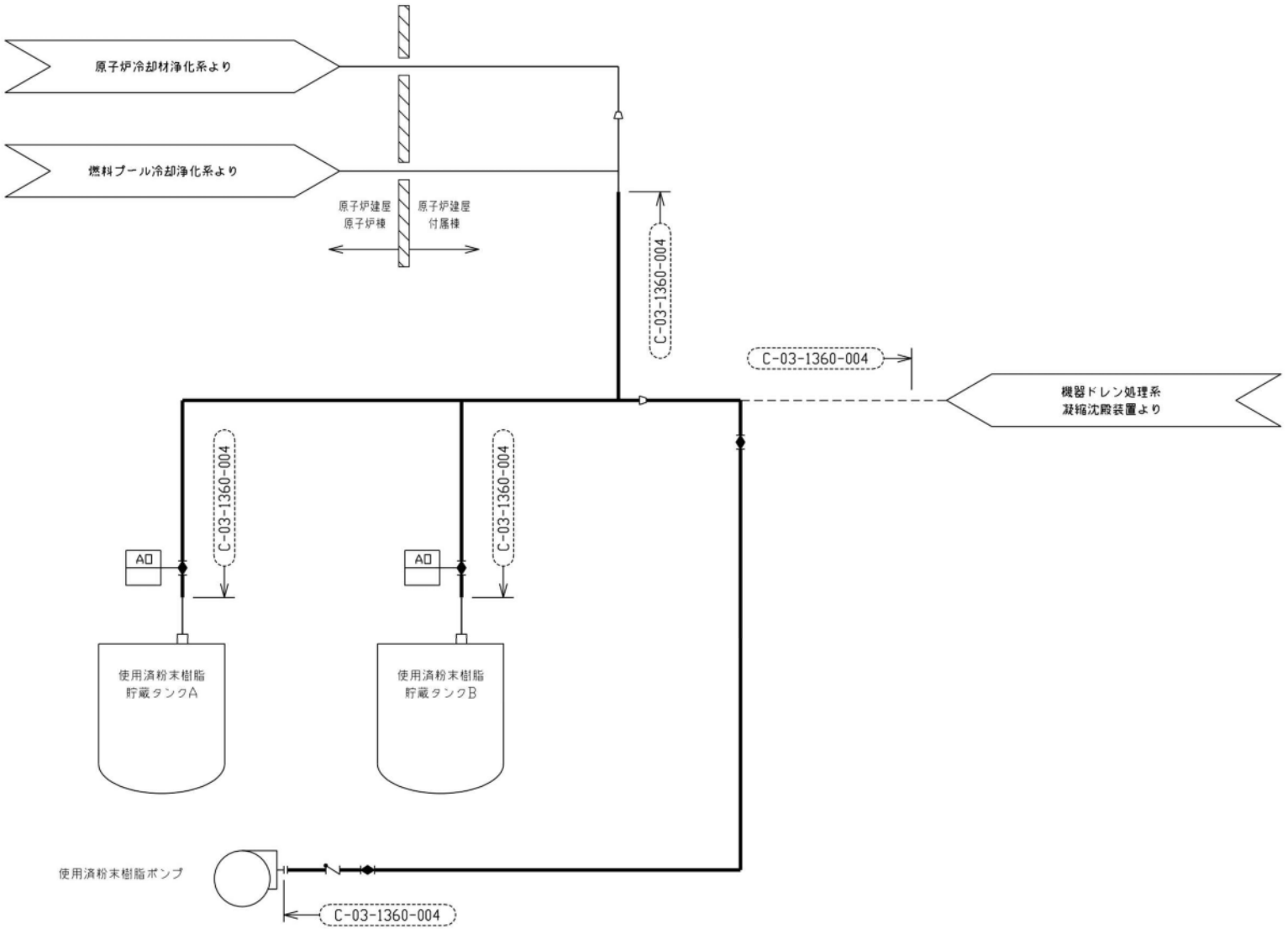
記 号	内 容
―――― （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （設計基準対象施設）
―――― （細線）	工事計画記載範囲外の管のうち，本計算書記載範囲の管 （設計基準対象施設）
---------- （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち， 他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○－○－○○	鳥瞰図番号 （鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○－○－○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
	アンカ
［管クラス］	
クラス３	クラス３管



固体廃棄物処理系概略系統図(1/3)



固体廃棄物処理系概略系統図(2/3)

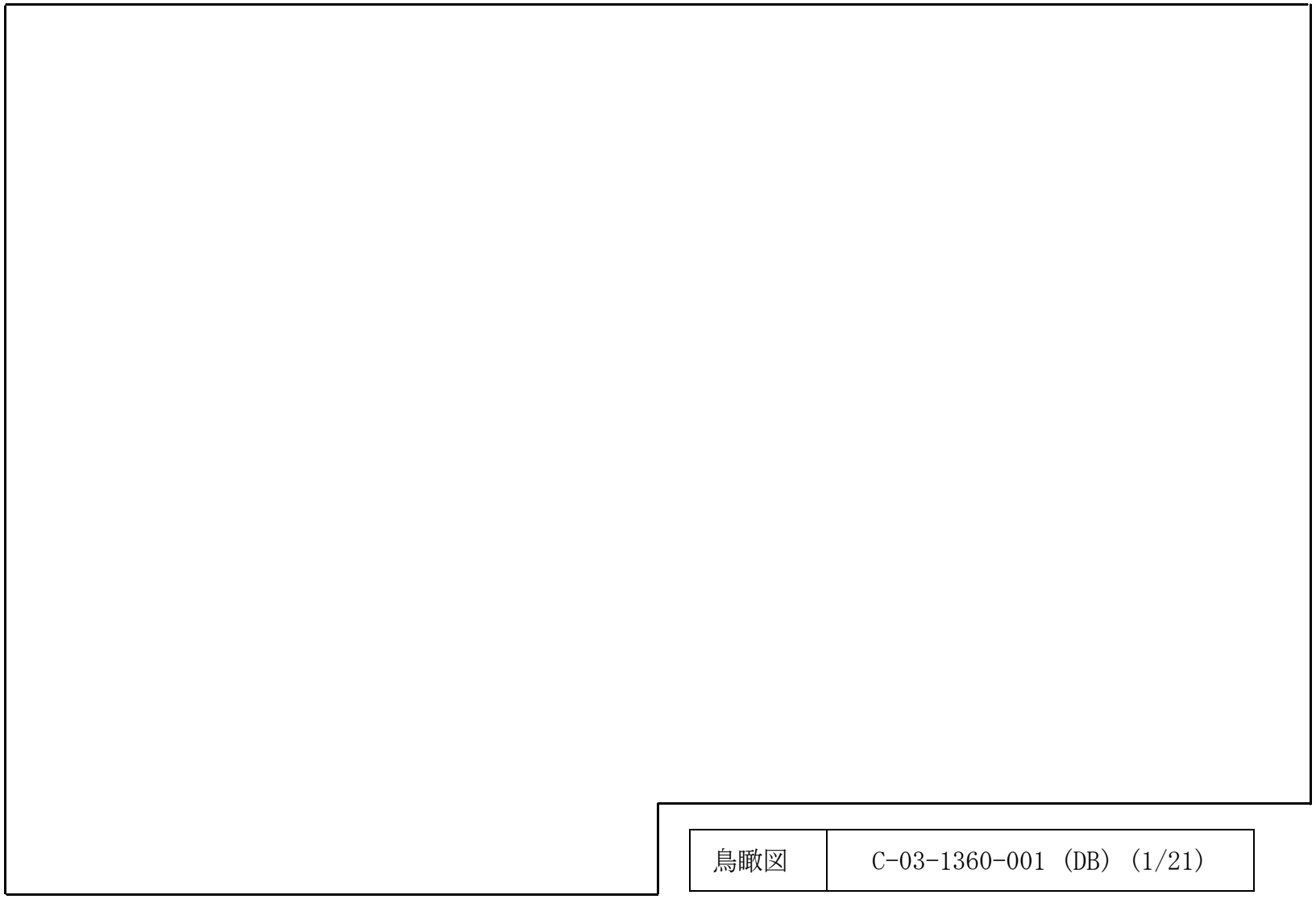


固体廃棄物処理系概略系統図(3/3)

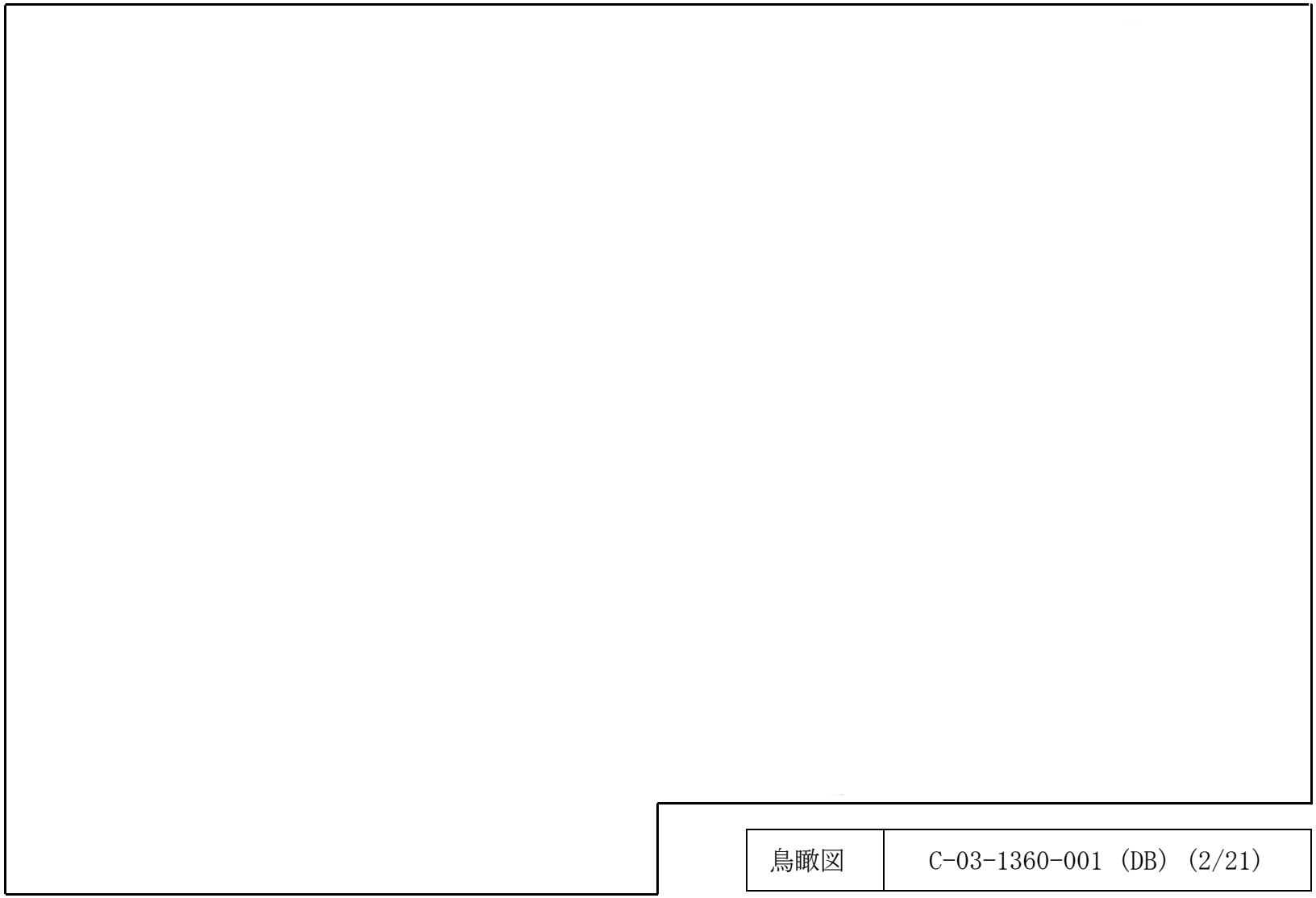
2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

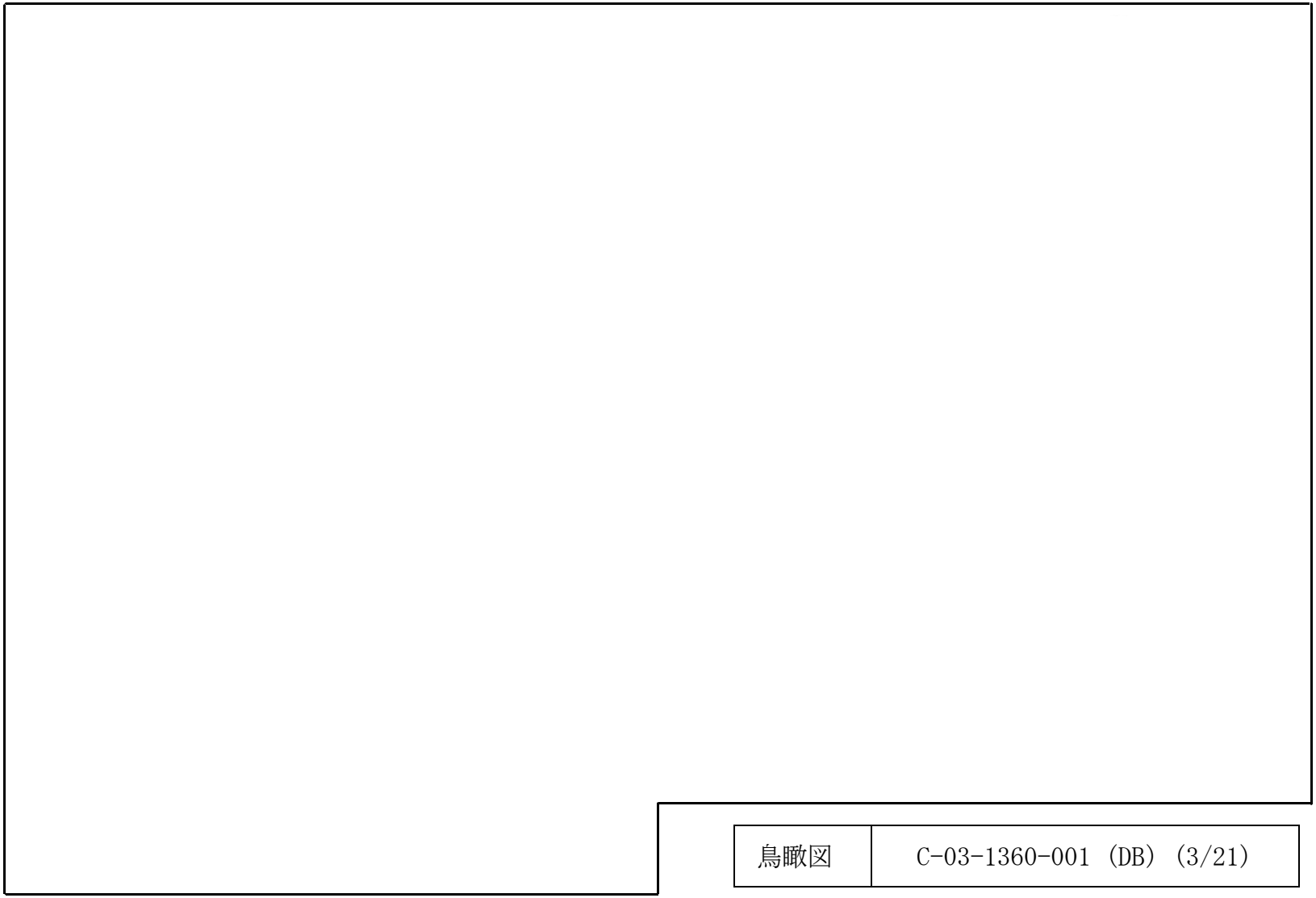
記　　号	内　　容
（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(ＳＡ)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(ＤＢ)」とする。）
（細線）	工事計画記載範囲外の管のうち，本計算書記載範囲の管
	質　　点
	ア　ン　カ
	レストレイント
	注：　鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



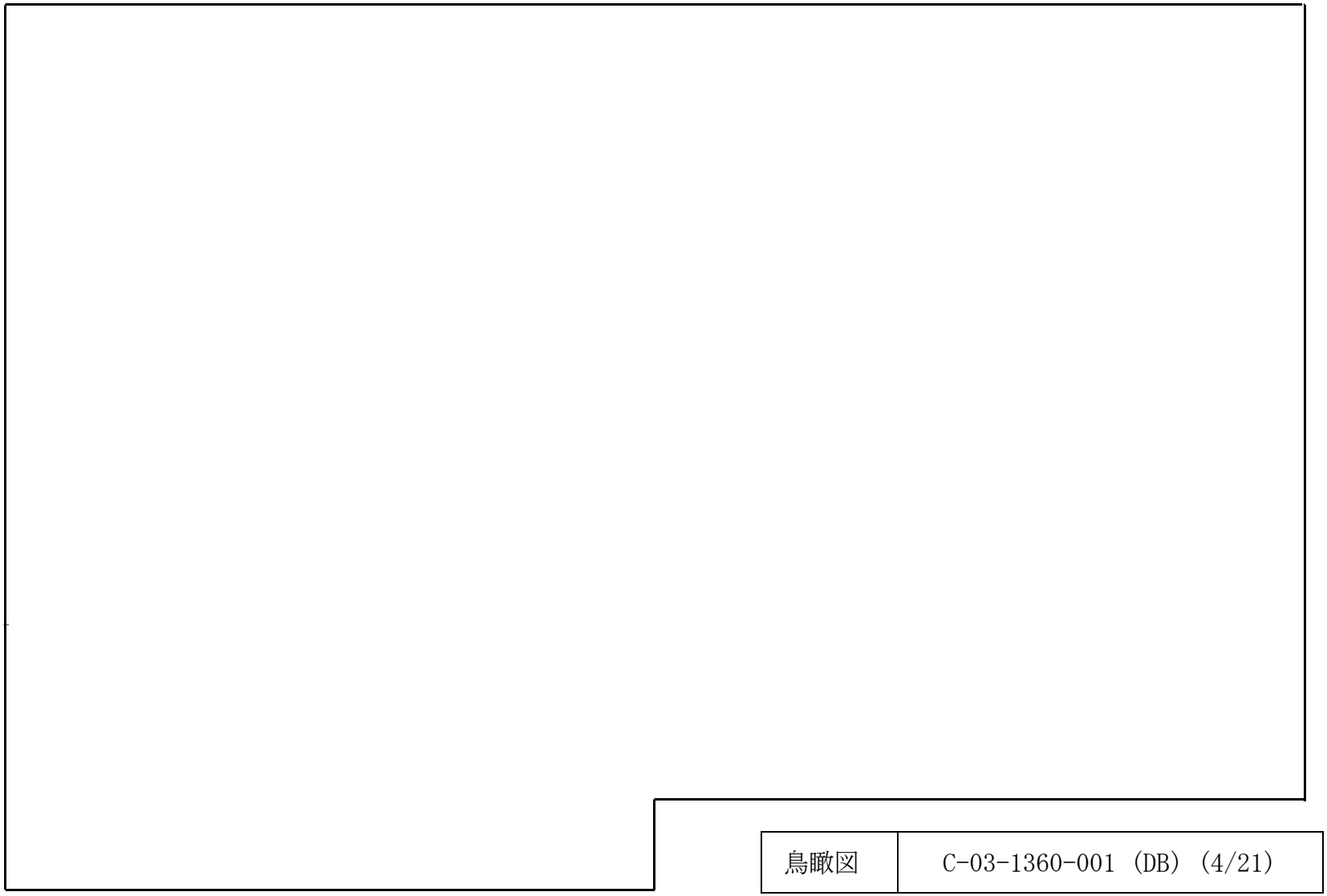
鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (1/21)



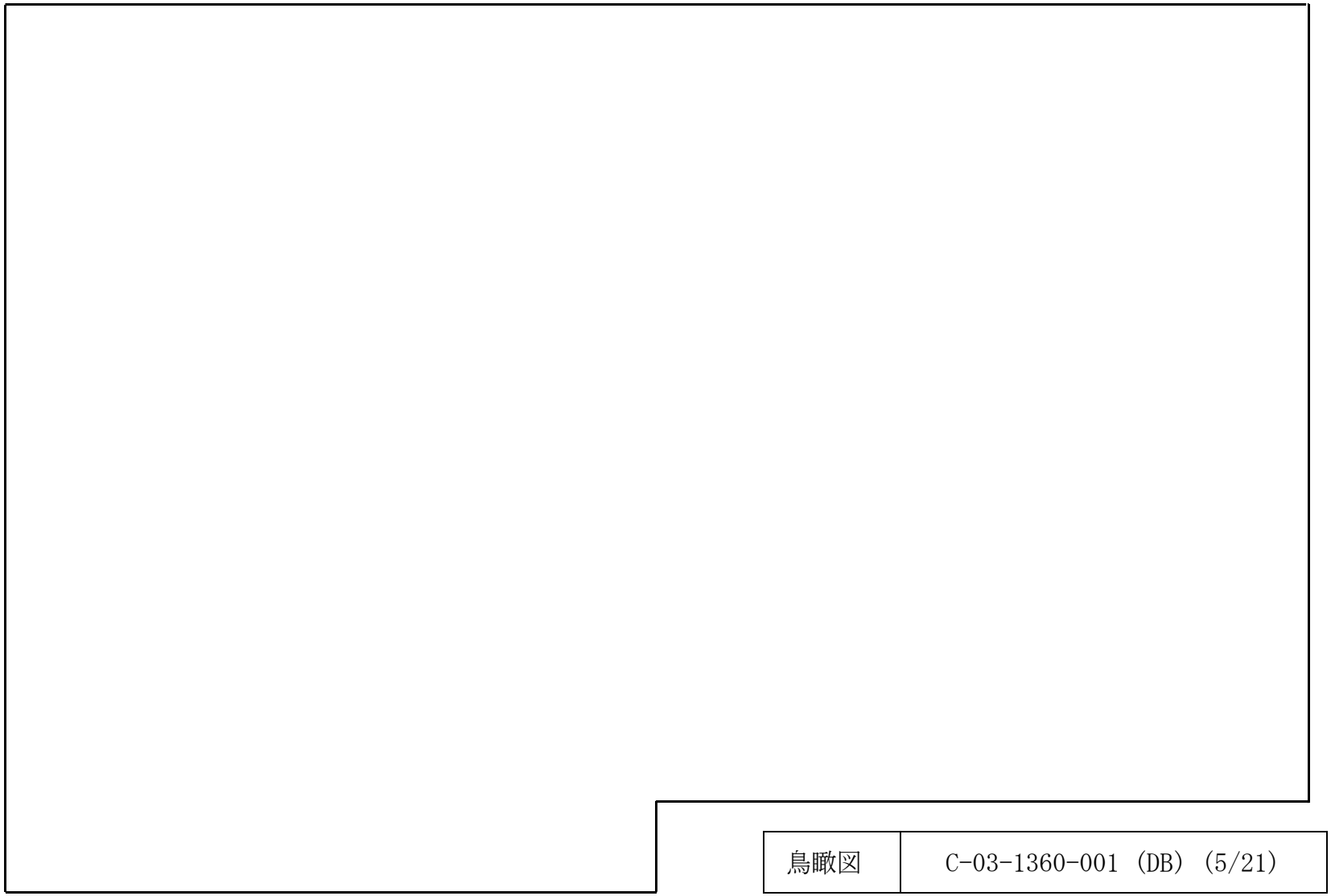
鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (2/21)



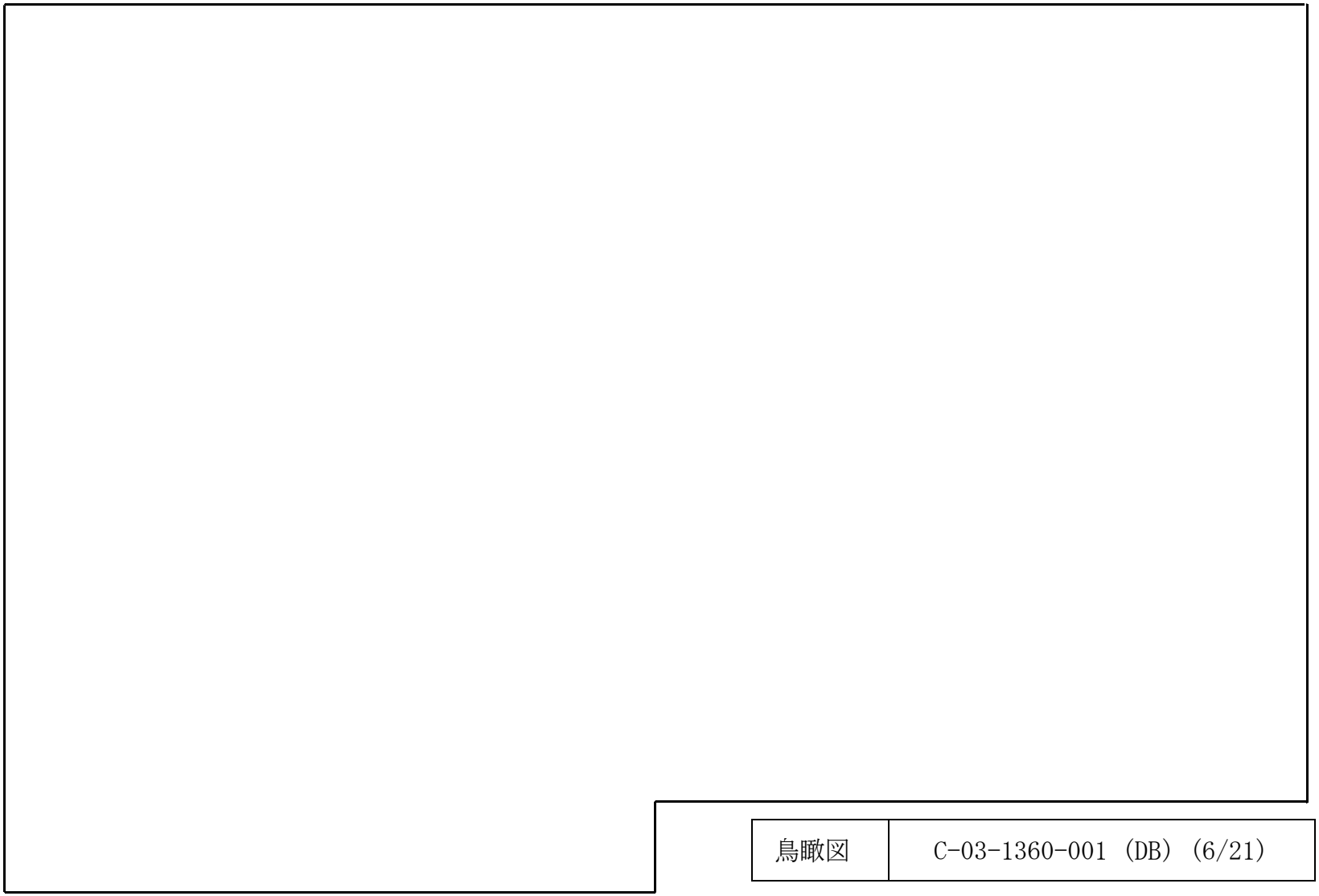
鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (3/21)



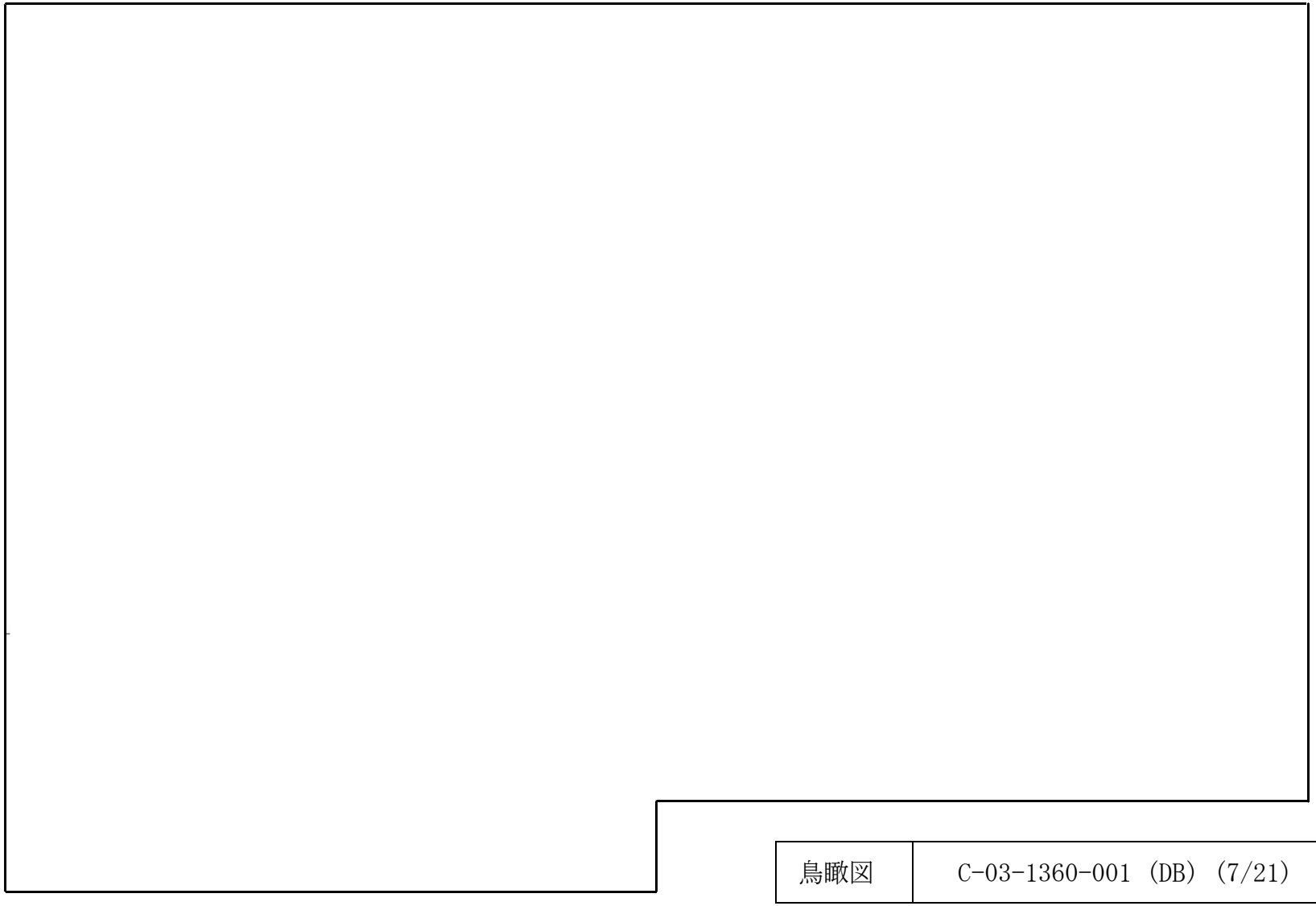
鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (4/21)



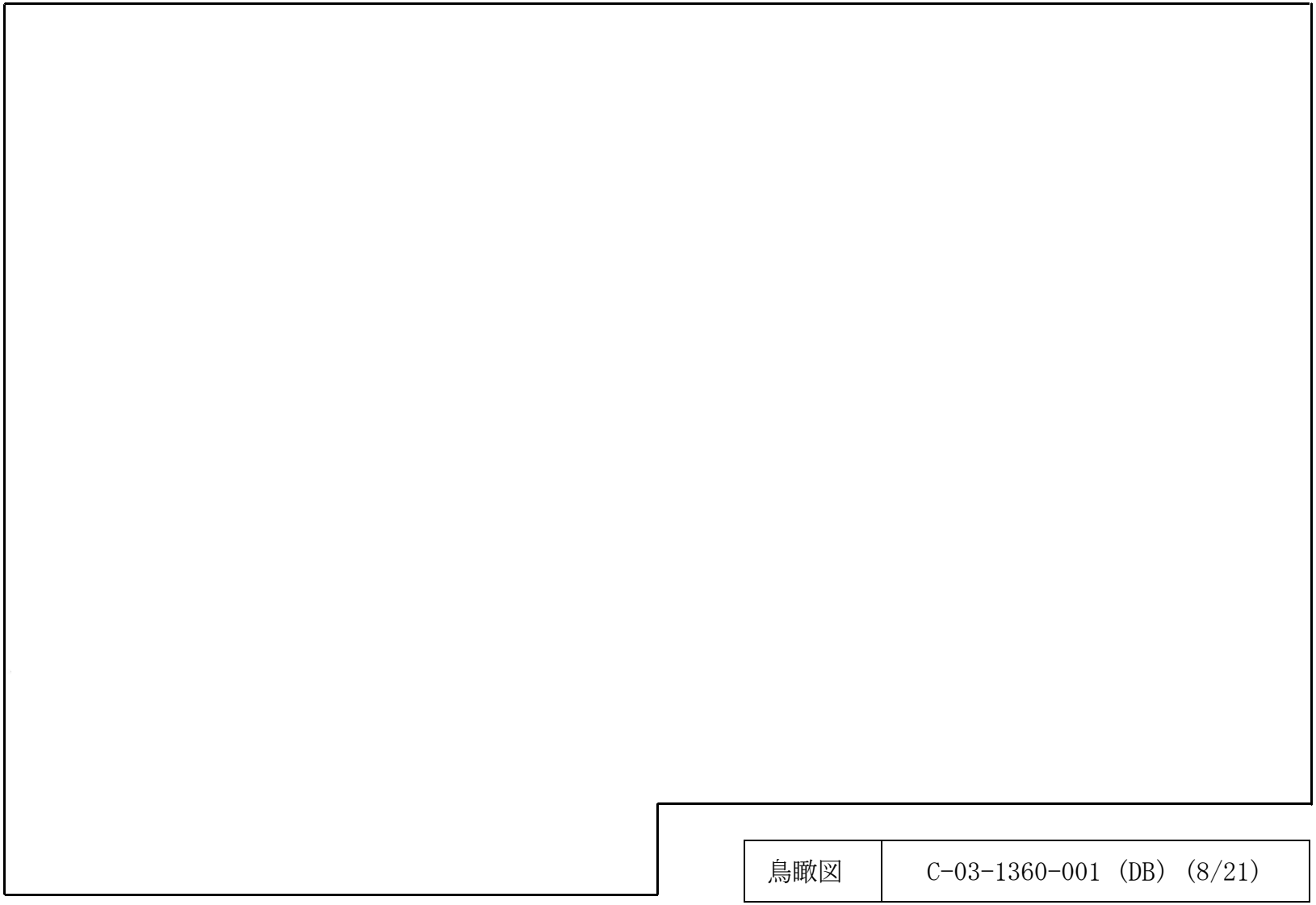
鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (5/21)



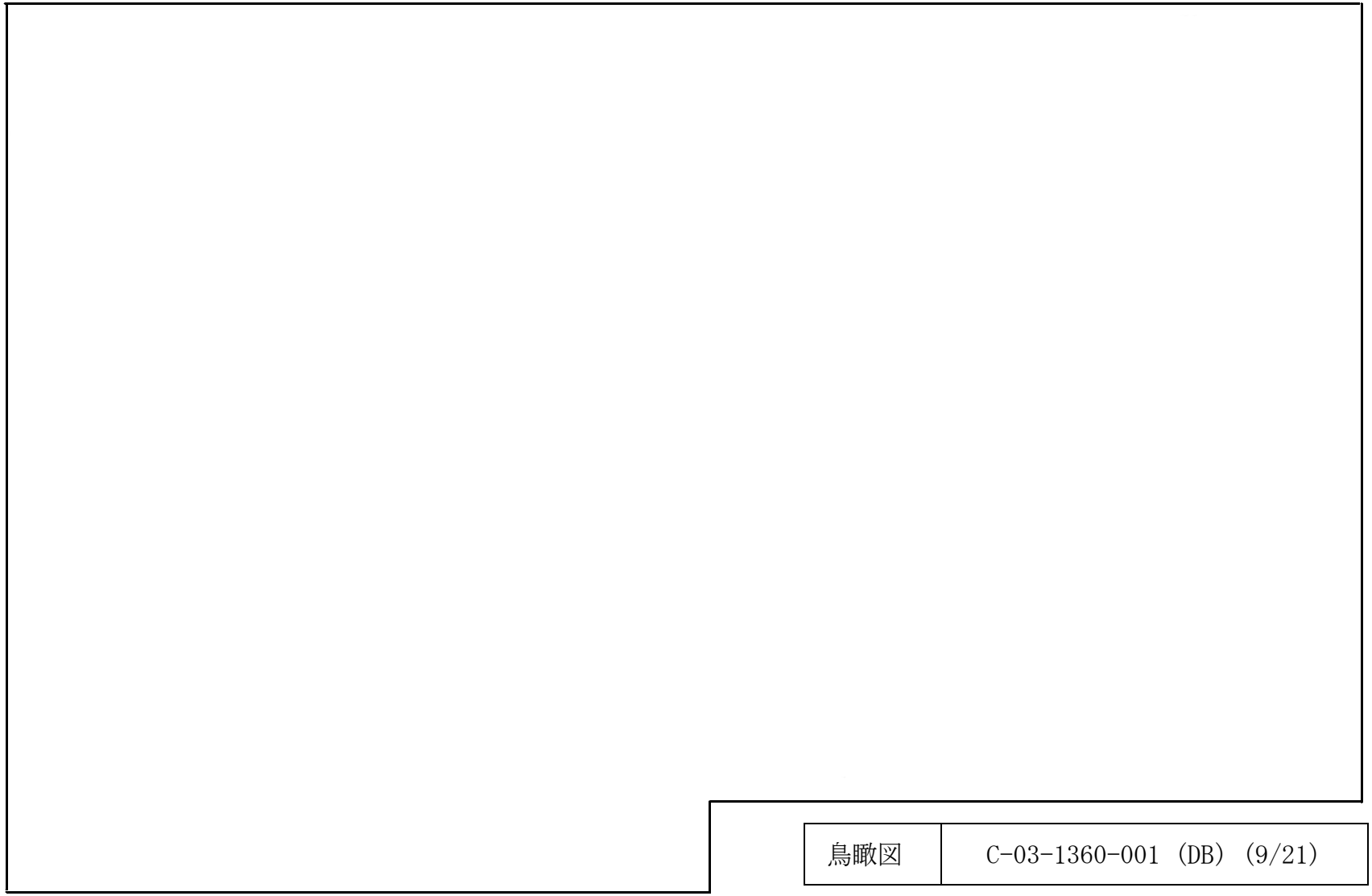
鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (6/21)



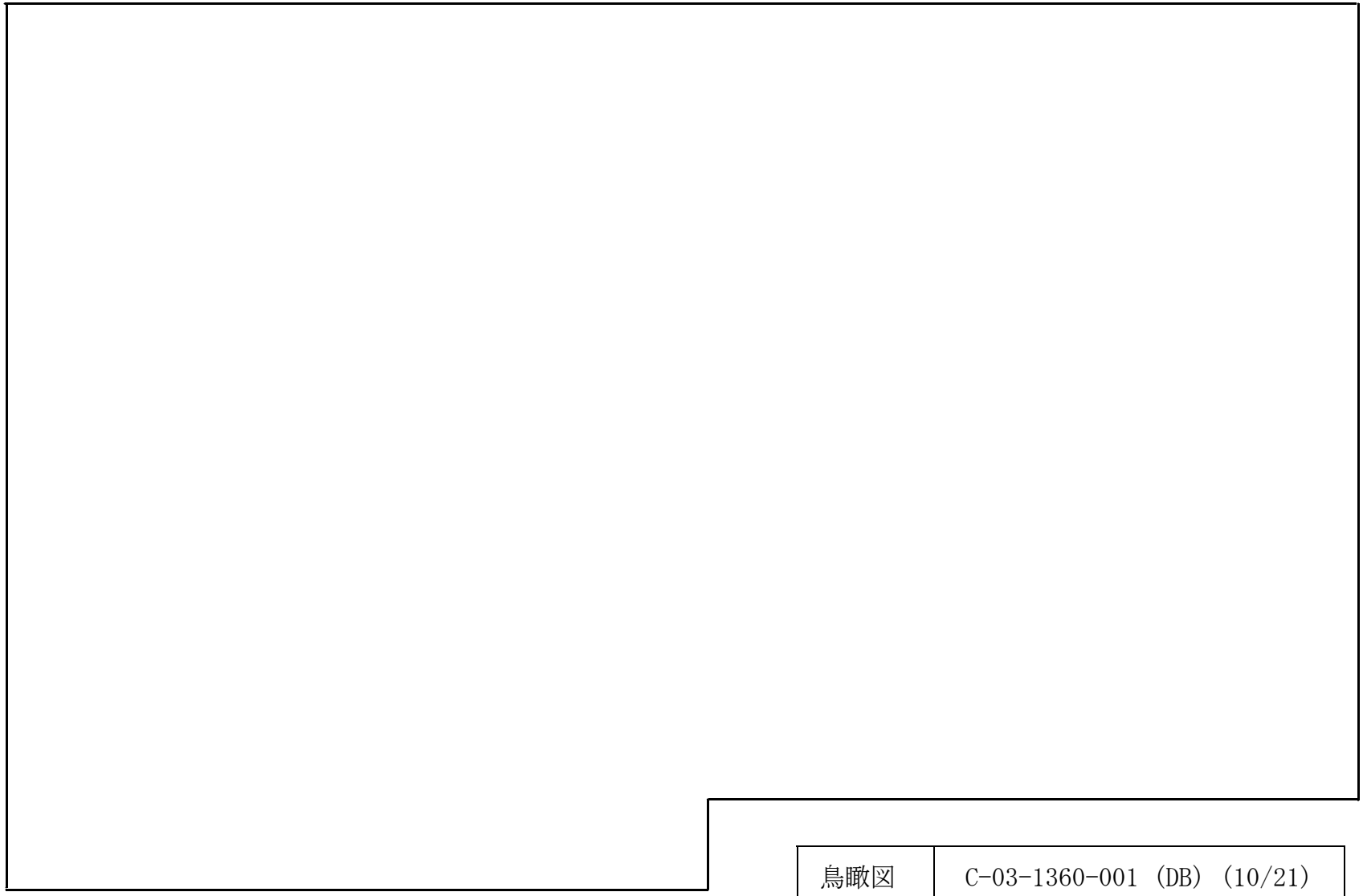
鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (7/21)



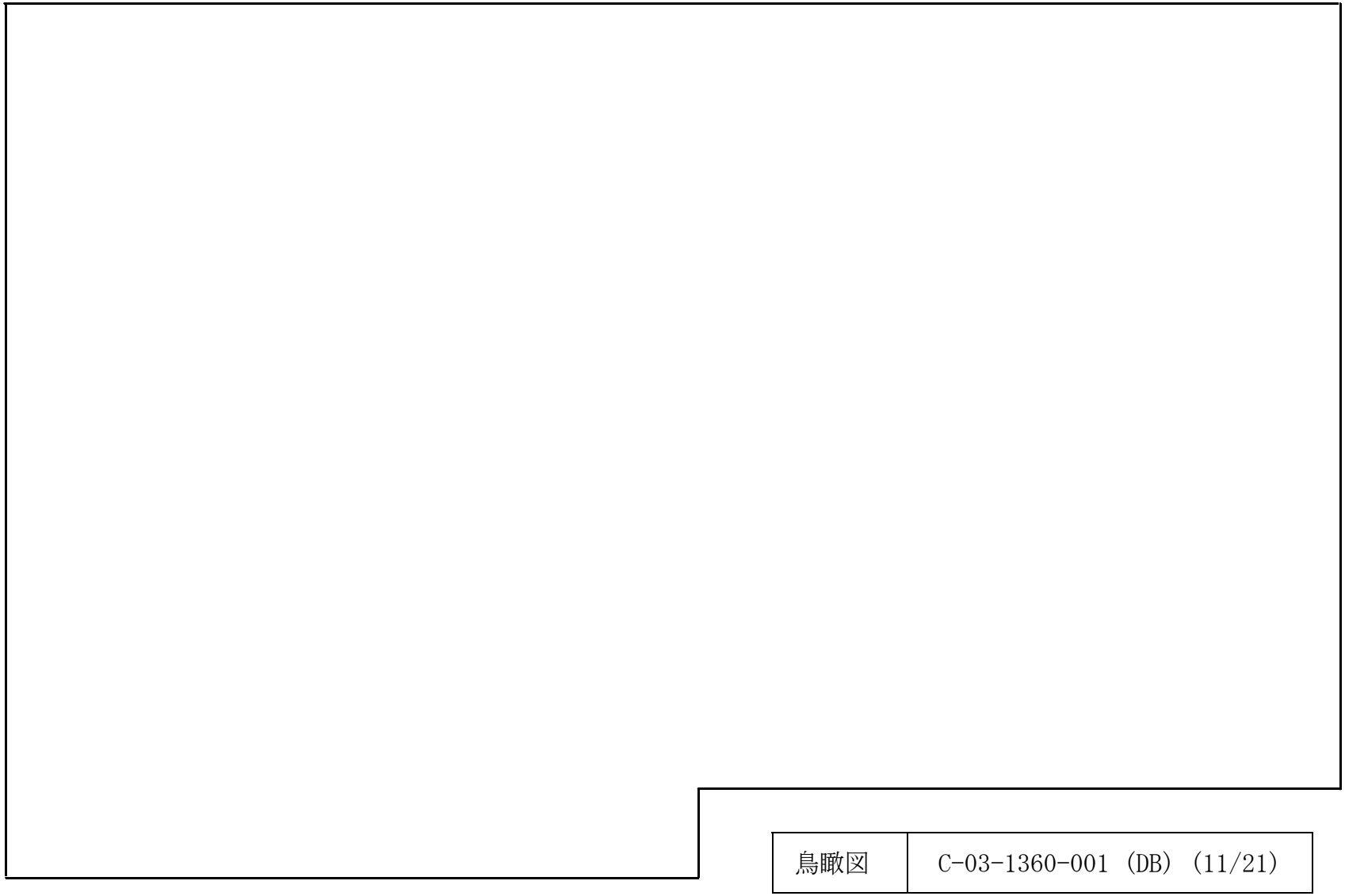
鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (8/21)



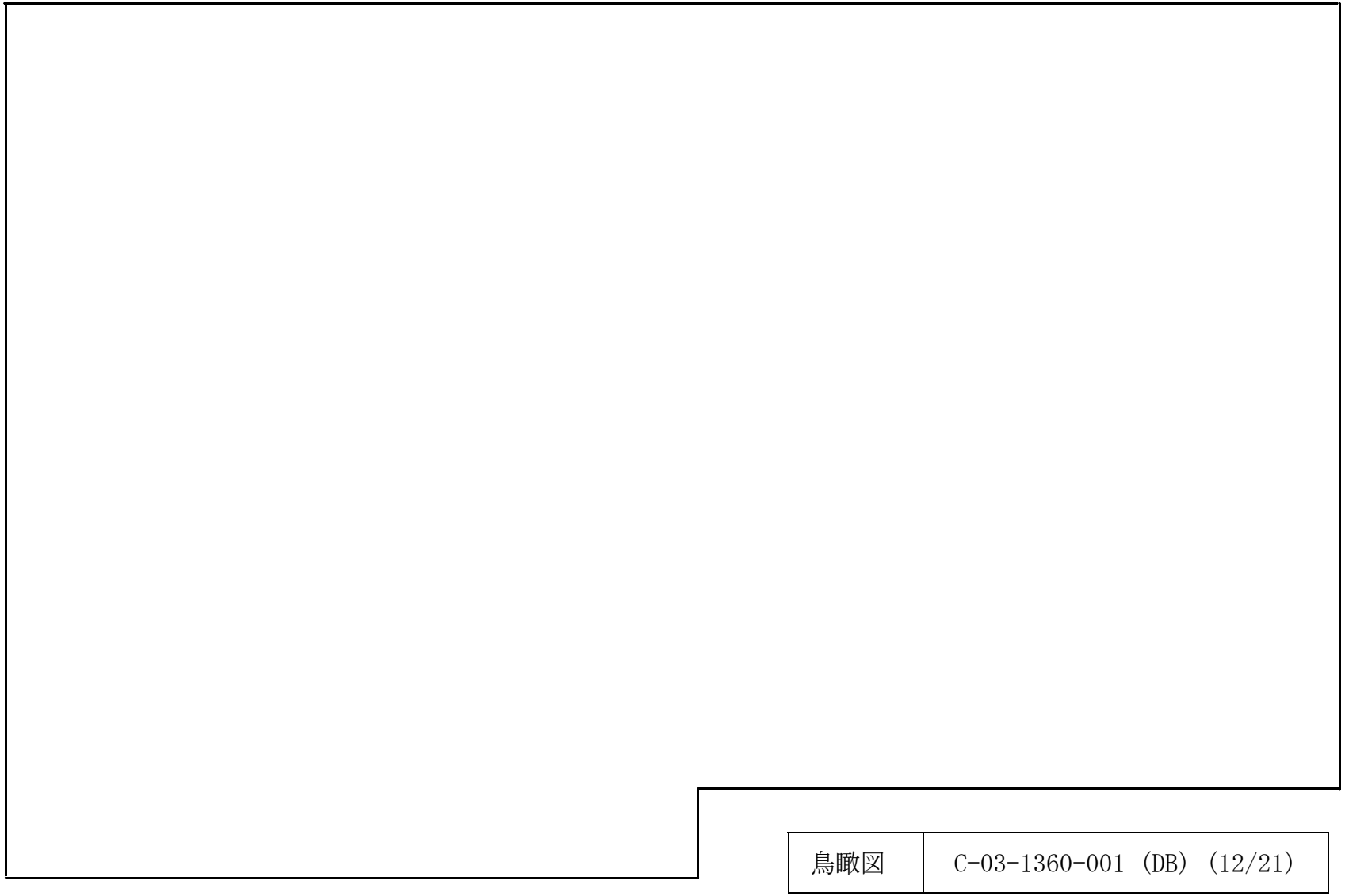
鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (9/21)



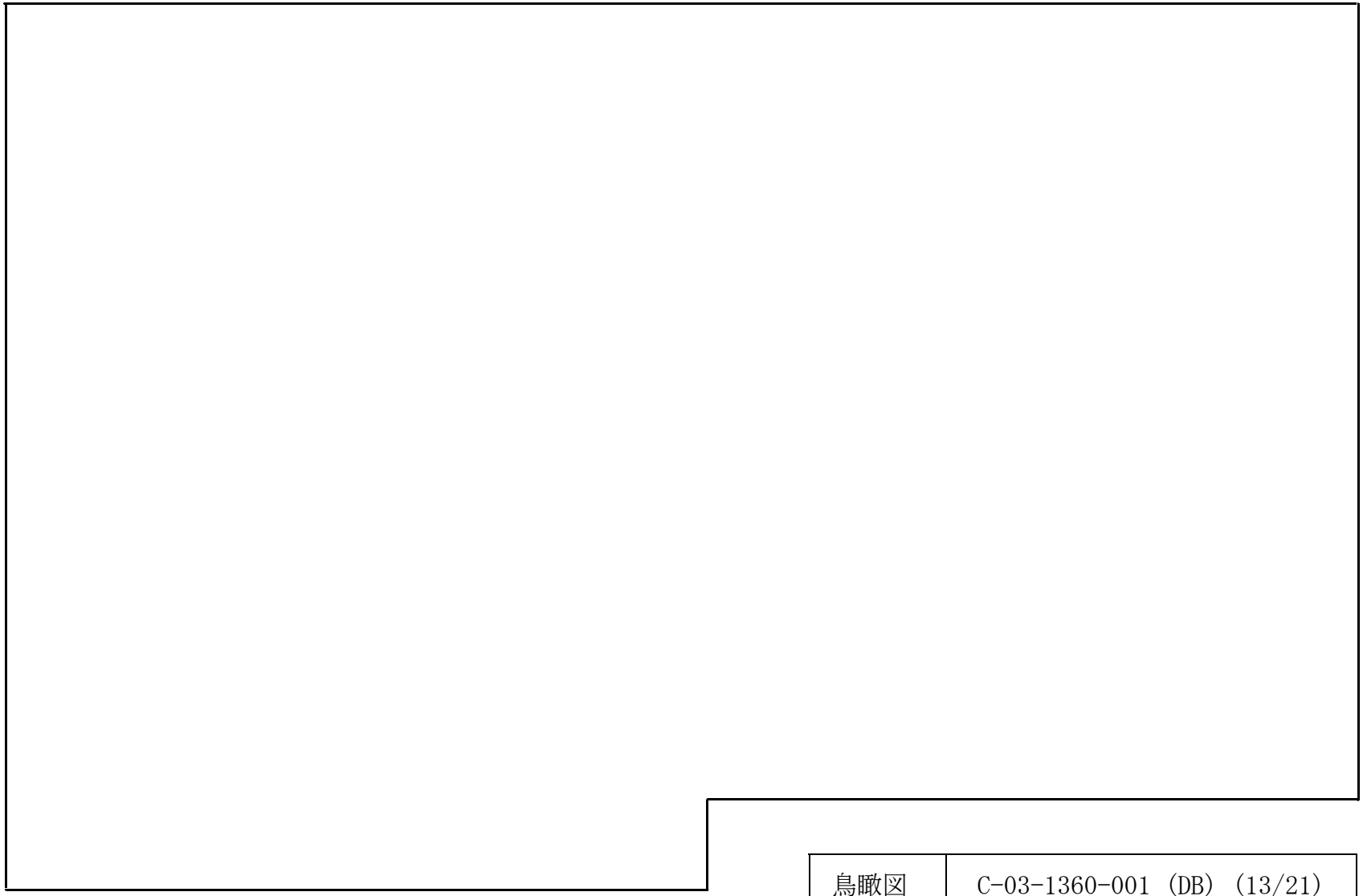
鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (10/21)



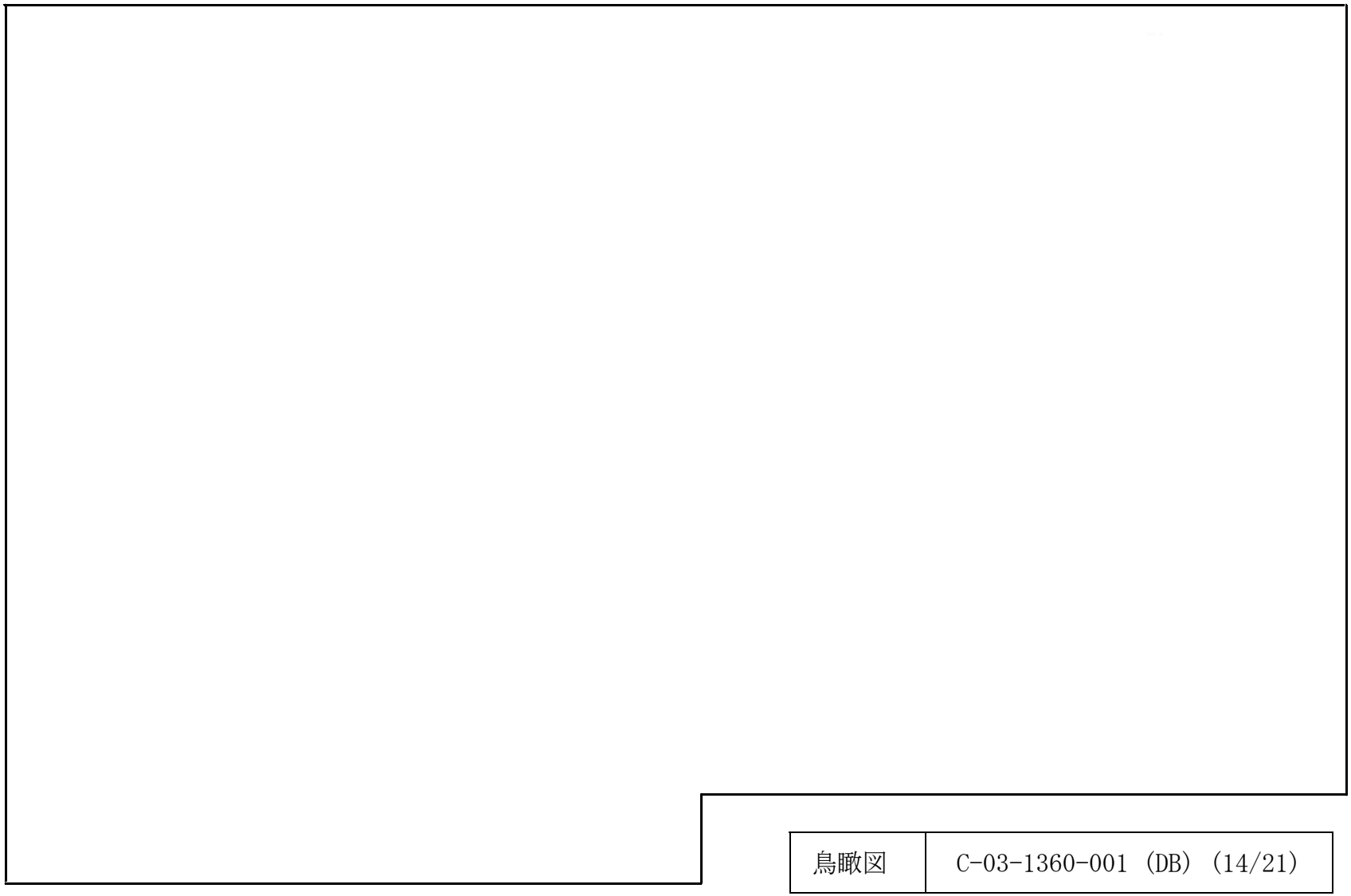
鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (11/21)



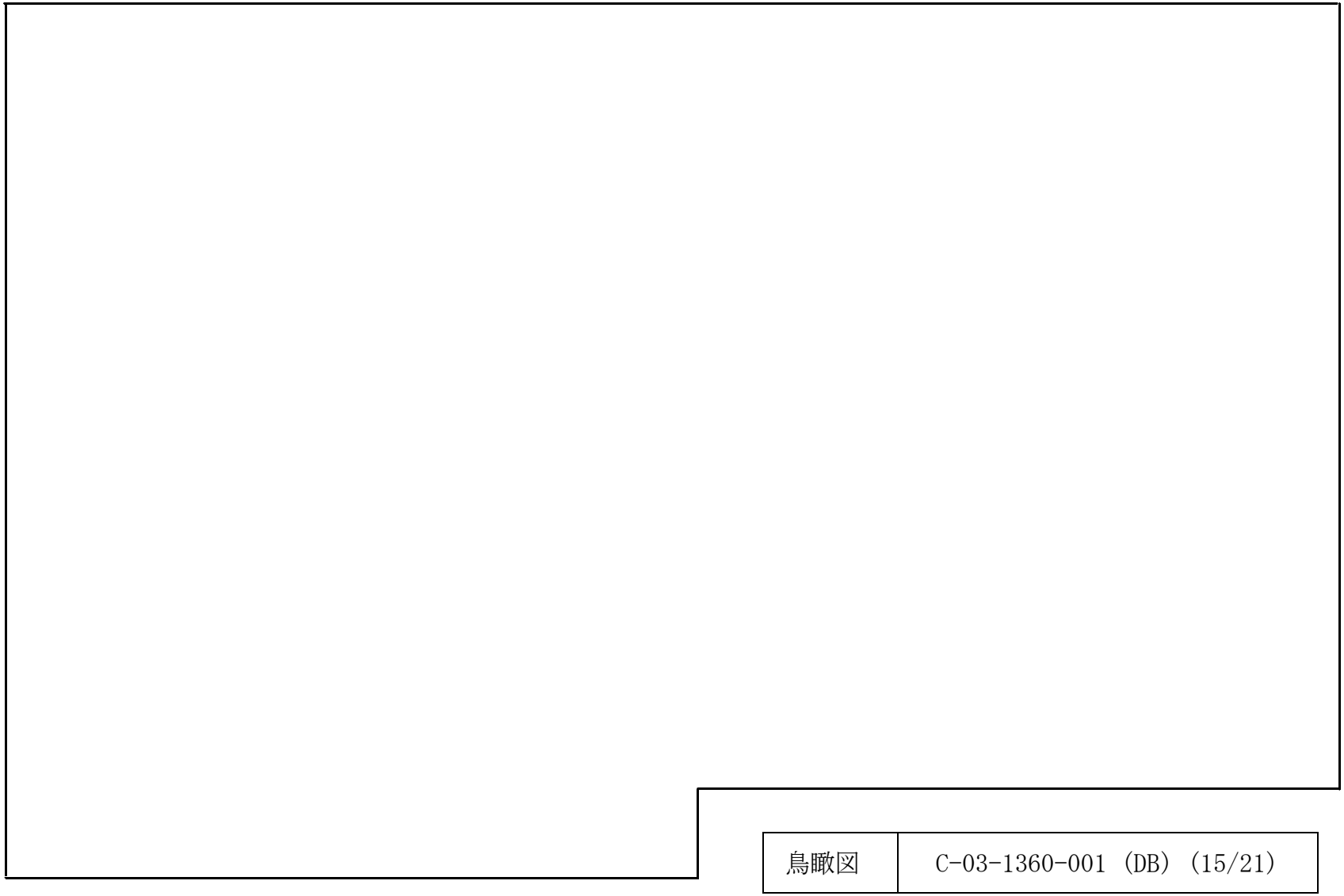
鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (12/21)



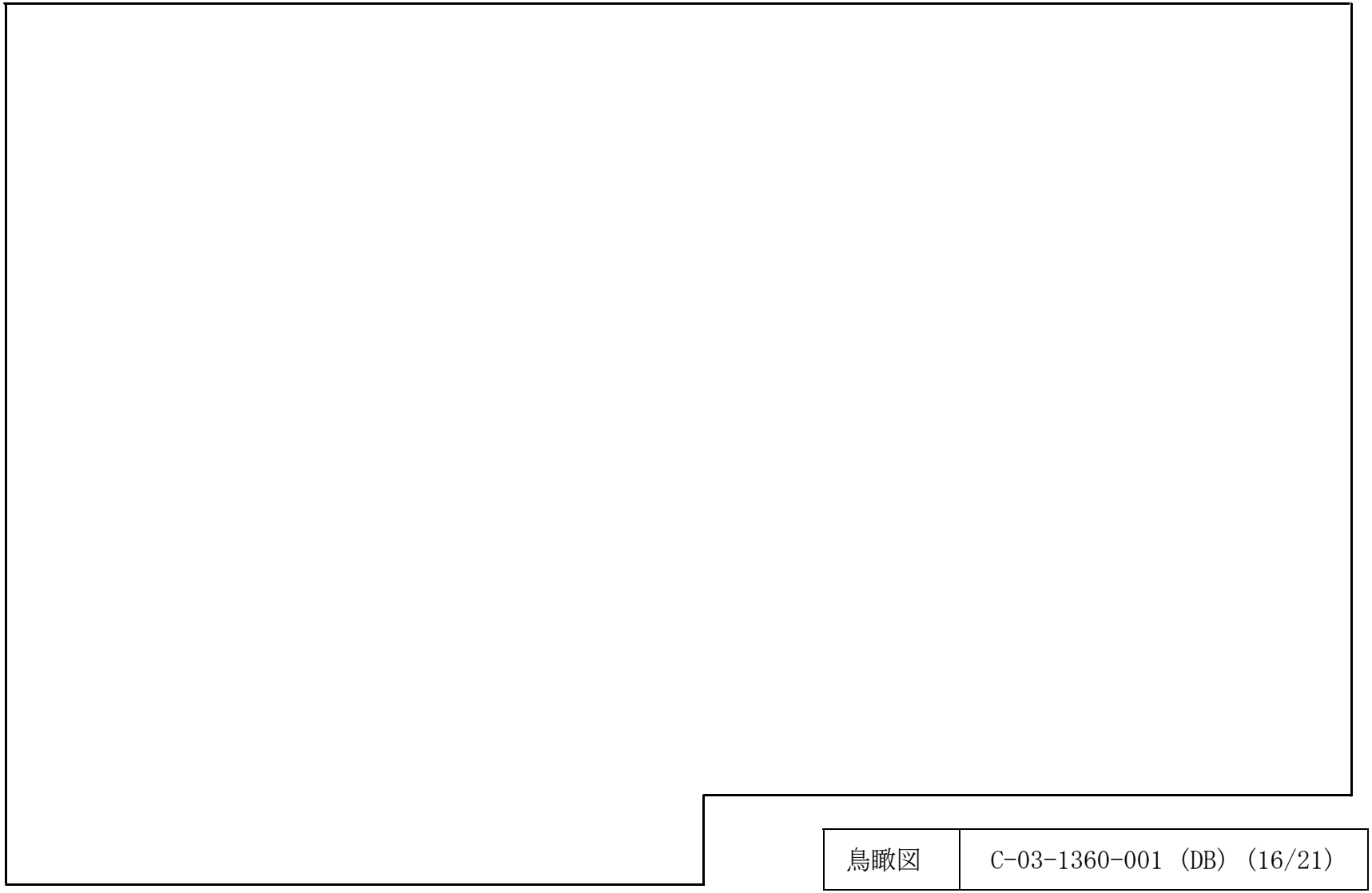
鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (13/21)



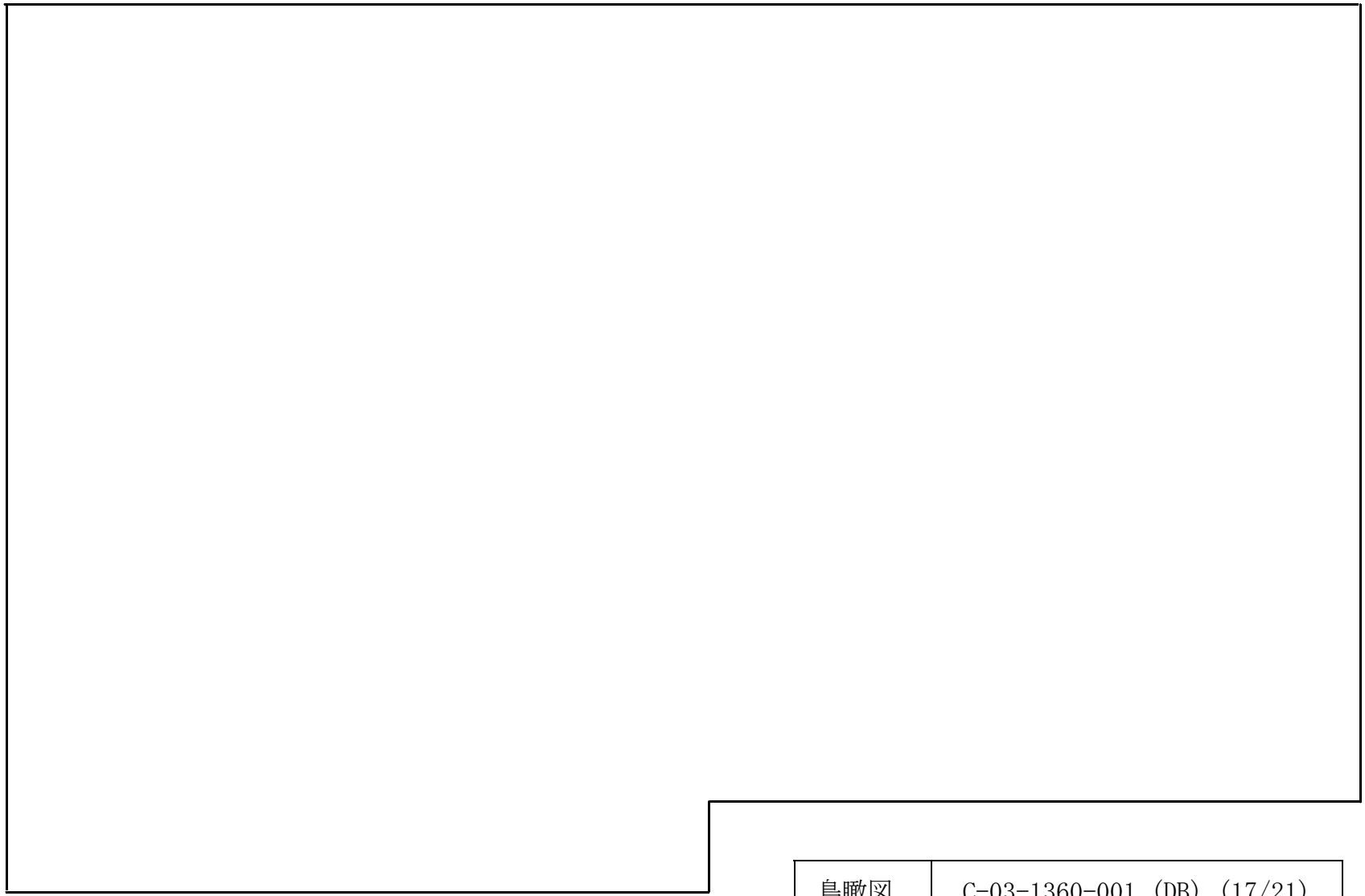
鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (14/21)



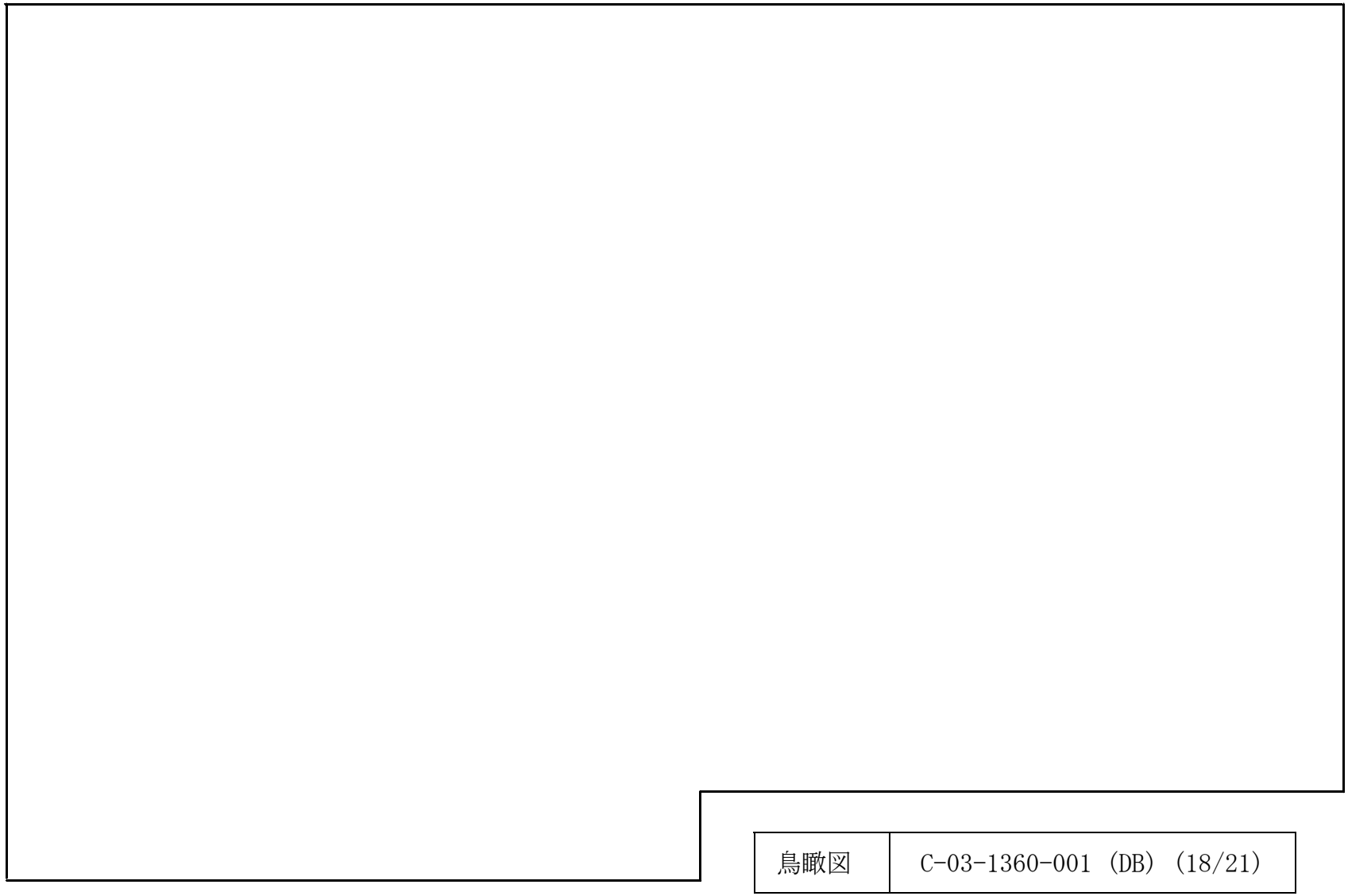
鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (15/21)



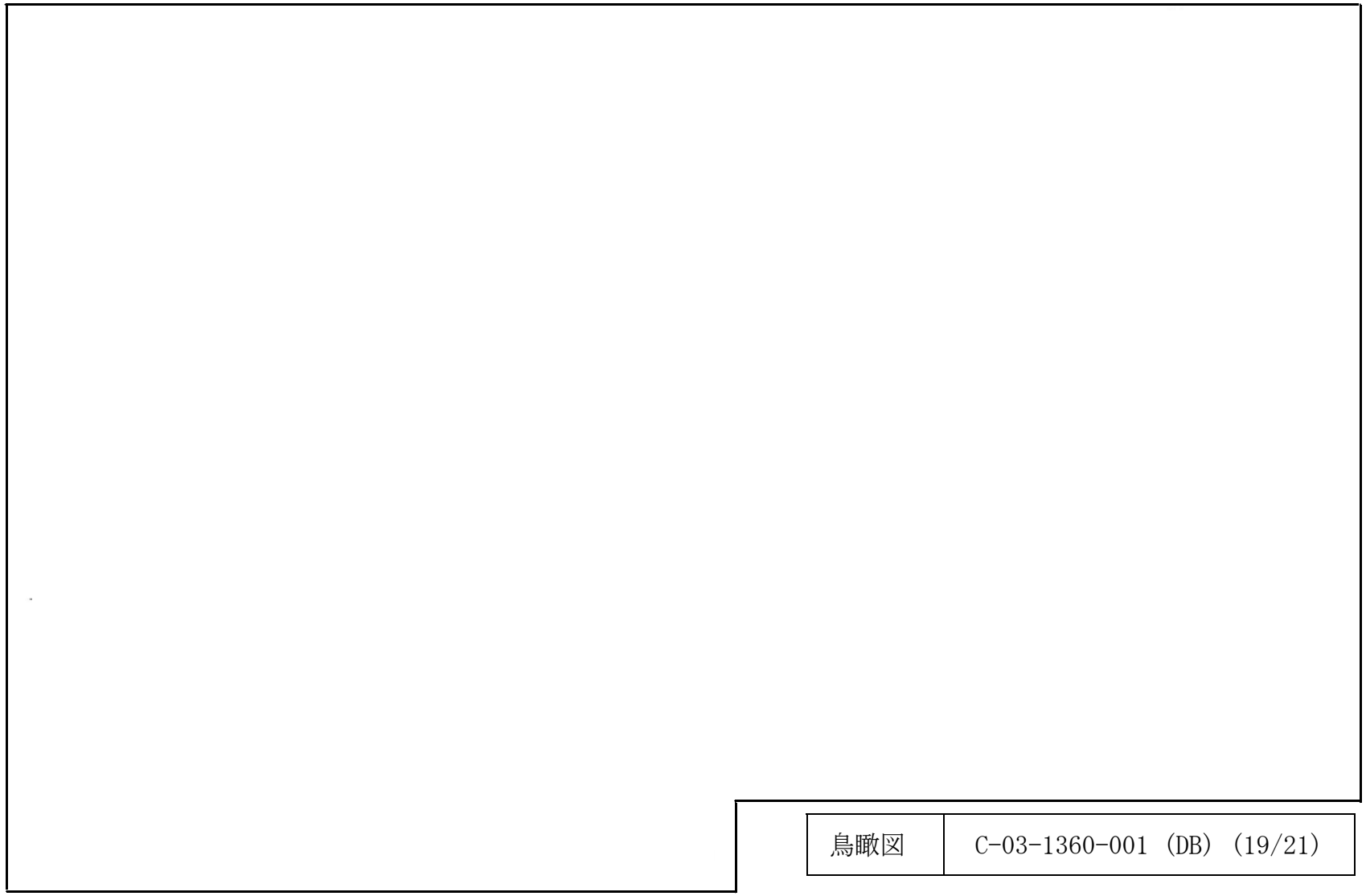
鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (16/21)



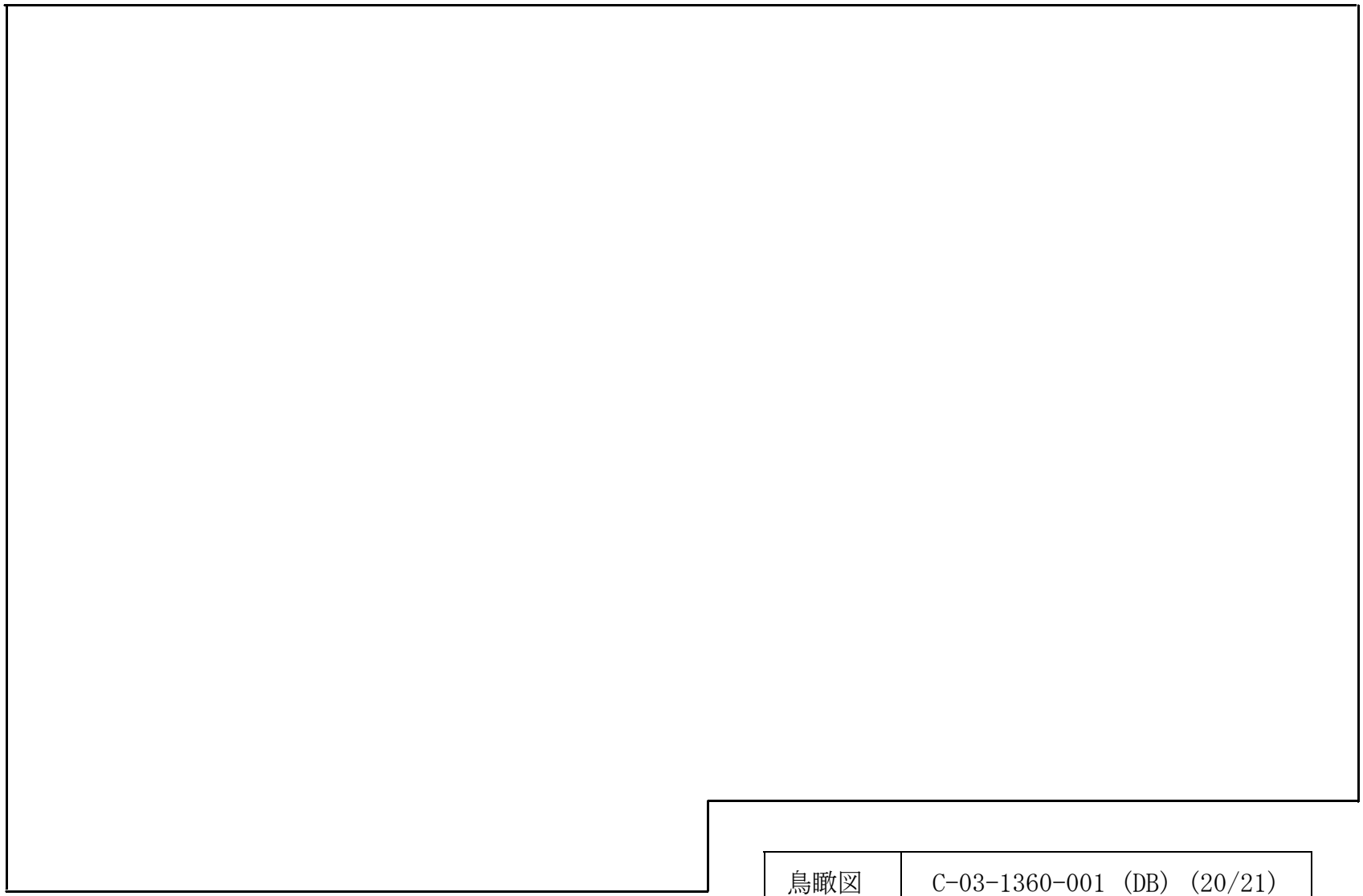
鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (17/21)



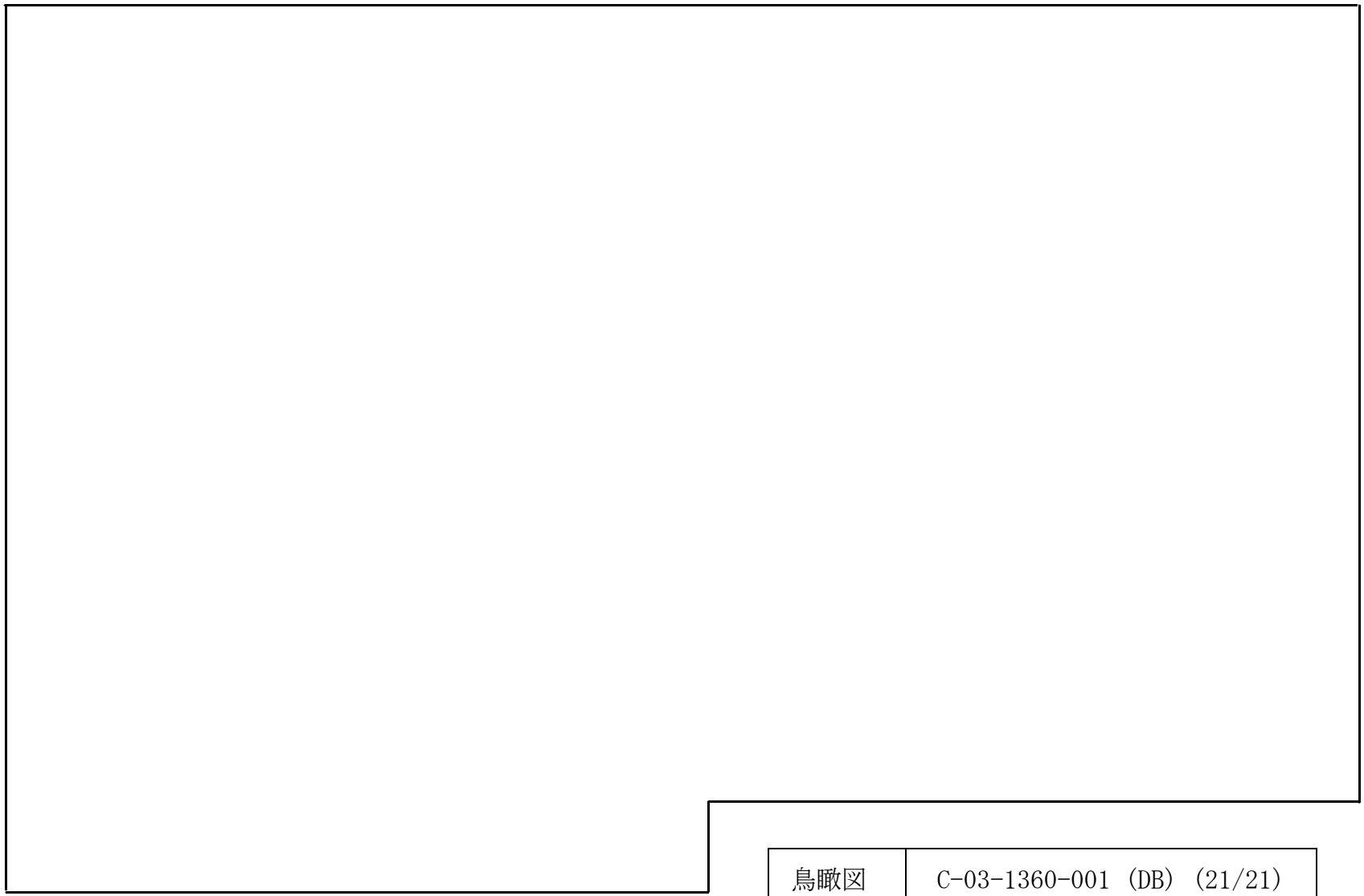
鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (18/21)



鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (19/21)



鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (20/21)



鳥瞰図	C-03-1360-001 (DB) (21/21)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ *2,*3	許容応力状態
放射性廃棄物の廃棄施設	固体廃棄物処理系	固体廃棄物処理系	ＤＢ	―	クラス３管	Ｂ	$\mathrm{I}_{L}+1/2S_{d}$ $\mathrm{II}_{L}+1/2S_{d}$	$B_{A}S$

注記 ＊1：ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。

＊2：運転状態の添字Ｌは荷重を示す。

＊3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

3.2　設計条件

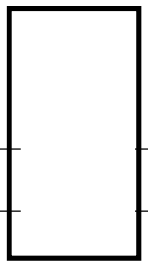
鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図番号　C-03-1360-001

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
P6	A07A～A94N A33～J17 A34～F31 A49～B20	1.96	65	34.0	4.5	STPT42	B	
P7	B20～B31 F31～F42	1.81	65	34.0	4.5	STPT42	B	
P8	B21～C03 B22～D04 B25～E02 F33～H02 F32～G02 F36～I02	1.81	65	27.2	3.9	STPT42	B	
P9	H02～H06	1.03	65	27.2	3.9	STPT42	B	
P12	A00～A07A A94N～A130	1.96	65	34.0	4.5	STPT410	B	
P13	A125～K03 A128～L02	1.96	65	27.2	3.9	STPT410	B	

配管の付加質量

鳥瞰図番号　C-03-1360-001

質量	対応する評価点
	A07A, A10, A12, A16, A18, A19, A21, A24, A28, A32, A38, A42, A46, A53, A57, A61, A63, A65, A67, A70, A73, A77, A80, A84, A86, A87, A89, A90, B01, B03, B05, B09, B11, B13, B15, B17, B26, B28, B30, F01, F03, F04, F06, F10, F12, F14, F16, F19, F21, F23, F25, F26, F28, F37, F39, F41, J01, J03, J04, J06, J10, J12, J14, J16
	E02, I02, L02
	C03, G02

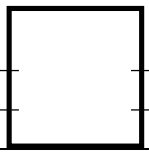
フランジ部の質量

鳥瞰図番号　C-03-1360-001

質量	対応する評価点
[redacted]	A130,B31,F42

弁部の質量

鳥瞰図番号　C-03-1360-001

質量	対応する評価点
	A126～A127,B23～B24,D01～D02,E01～E02,F34～F35, H01～H02,I01～I02,K01～K02,L01～L02
	C02～C03,G01～G02
	A121～A122,B19～B20,F30～F31

弁部の寸法

鳥瞰図番号　C-03-1360-001

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
D01～D02,E01～E02, H01～H02,I01～I02, K01～K02,L01～L02			
C02～C03,G01～G02			
A121～A122, B19～B20,F30～F31			
A126～A127, B23～B24,F34～F35			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号　C-03-1360-001

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
A00						
A01						
A02						
A03						
A05						
A06						
A08						
A09						
A13						
A14						
A15						
A22						
A23						
A25						
A26						
A27						
A29						
A30						
A31						
A35						
A36						
A37						
A39						
A40						
A41						
A43						
A44						
A45						
A47						
A48						
A50						
A51						
A52						
A54						
A55						
A56						
A58						
A59						
A60						

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
＊ A64						
A68						
A69						
A71						
A72						
A74						
A75						
A76						
A78						
A79						
A81						
A82						
A83						
A91						
A92						
A93						
A97						
A99						
A101						
A104						
A107						
A108						
A109						
A110						
A112						
A113						
A114						
A115						
A116						
A117						
A120						
A124						
A130						
B06						
B07						
B08						
B10						
B14						
B18						

＊印のＹ軸方向のばね定数はマイナス側にのみとする。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
B31						
D04						
F07						
F08						
F09						
＊ F13						
F17						
F18						
F20						
F22						
F29						
F42						
H06						
J07						
J08						
J09						
J13						
J17						
K03						

＊印のＹ軸方向のばね定数はマイナス側にのみとする。

3.3　材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (℃)	許容応力 (MPa) *			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT42	65	—	232	—	103
STPT410	65	—	232	—	103

注記 ＊：評価に使用しない許容応力については「—」と記載する。

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は，添付資料「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は，添付資料「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数(%)
C-03-1360-001	[redacted]	E.L. 8.200 m	[redacted]

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図番号 C-03-1360-001

耐震設計上の重要度分類		B					
適用する地震動等		静的震度*5			1/2 S_d		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
		—	—	—	0.40	0.40	0.69
		—	—	—	0.40	0.40	0.69
		—	—	—	0.40	0.40	0.69
		—	—	—	0.40	0.40	0.69
		—	—	—	0.40	0.40	0.69
		—	—	—	0.40	0.40	0.69
		—	—	—	0.40	0.40	0.69
		—	—	—	0.40	0.40	0.69
		—	—	—	0.26	0.26	0.54
		—	—	—	—	—	—
動 的 震 度*2		—	—	—	0.20	0.20	0.17
静 的 震 度*3		0.32	0.32	—	—	—	—

注記 ＊1： 各モードの固有周期に対し，設備評価用床応答曲線より得られる震度を示す。

＊2： S_d地震動に基づく最大設備評価用床応答加速度より定めた震度を示す。

＊3： $1.8C_I$より定めた震度を示す。

＊4： 固有周期が0.050s 以下であることを示す。

＊5： 静的震度を示す為，応答震度については「－」と記載する。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図番号　C-03-1360-001

モード	固有周期 (s)	刺激係数*1		
		X方向	Y方向	Z方向

注記　＊1：刺激係数は，モード質量を正規化し，固有ベクトルと質量マトリクスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を赤線で図示し，次ページ以降に示す。

鳥瞰図	C-03-1360-001

鳥瞰図	C-03-1360-001

鳥瞰図	C-03-1360-001

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス３管

鳥瞰図	許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価（MPa）		一次＋二次応力評価（MPa）		疲労評価
				計算応力 $S_{prm}(S_d)$	許容応力 S_y	計算応力 $S_n(S_d)$	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
C-03-1360-001	BAS	B21	$S_{prm}(S_d)$	81	232	—	—	—

4.2.2 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	応答加速度* (×9.8 m/s²)		機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記 ＊：応答加速度は，打ち切り振動数を50Hzとして計算した結果を示す。

：評価対象がない場合はすべての欄に「—」と記載する。

4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス３範囲）

No	配管 モデル	許容応力状態 B_AS				
		一次応力				
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表
1	C-03-1360-001	B21	81	232	2.86	○
2	C-03-1360-002	B19	37	232	6.27	—
3	C-03-1360-003	K03	50	160	3.20	—
4	C-03-1360-004	F01F	58	232	4.00	—

Ⅴ-2-7-2-4　主排気筒の耐震性についての計算書

添付書類「Ⅴ-2-7-2-4　主排気筒の耐震性についての計算書」は，添付書類「Ⅴ-2-2-14 主排気筒の地震応答計算書」，添付書類「Ⅴ-2-2-15-1　主排気筒の耐震性についての計算書」及び添付書類「Ⅴ-2-2-15-2　主排気筒の基礎の耐震性についての計算書」によるものとする。

NT2 補③ Ⅴ-2-7-2-4 R0E

Ⅴ-2-7-2-5　非常用ガス処理系排気筒の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 基本方針 ····· 2
2.1 位置 ····· 2
2.2 構造概要 ····· 3
2.3 適用規格・基準等 ····· 6
3. 評価方法 ····· 7
3.1 評価方針 ····· 7
3.2 荷重及び荷重の組合せ ····· 8
3.2.1 荷重 ····· 8
3.2.2 荷重の組合せ ····· 9
3.3 許容限界 ····· 10
3.3.1 許容限界 ····· 10
3.4 評価方法 ····· 11
3.4.1 応力評価方法 ····· 11
3.4.2 断面の評価方法 ····· 12
4. 評価結果 ····· 14
4.1 非常用ガス処理系排気筒の応力評価結果 ····· 14
4.2 非常用ガス処理系排気筒サポート（水平サポート）の応力評価結果 ····· 20
4.2.1 主排気筒径方向荷重の評価 ····· 21
4.2.2 主排気筒周方向荷重の評価 ····· 25
4.3 非常用ガス処理系排気筒サポート（自重サポート）の応力評価結果 ····· 30
4.3.1 主排気筒径方向荷重の評価 ····· 31
4.3.2 主排気筒周方向荷重の評価 ····· 34

1. 概要

本添付書類は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，非常用ガス処理系排気筒の地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり，その評価は，応力解析による評価により行う。

非常用ガス処理系排気筒は，設計基準対象施設においては「Ｓクラスの施設」に，重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に分類される。以下，それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2.　基本方針

2.1　位置

非常用ガス処理系排気筒の設置位置を図 2-1 に示す。

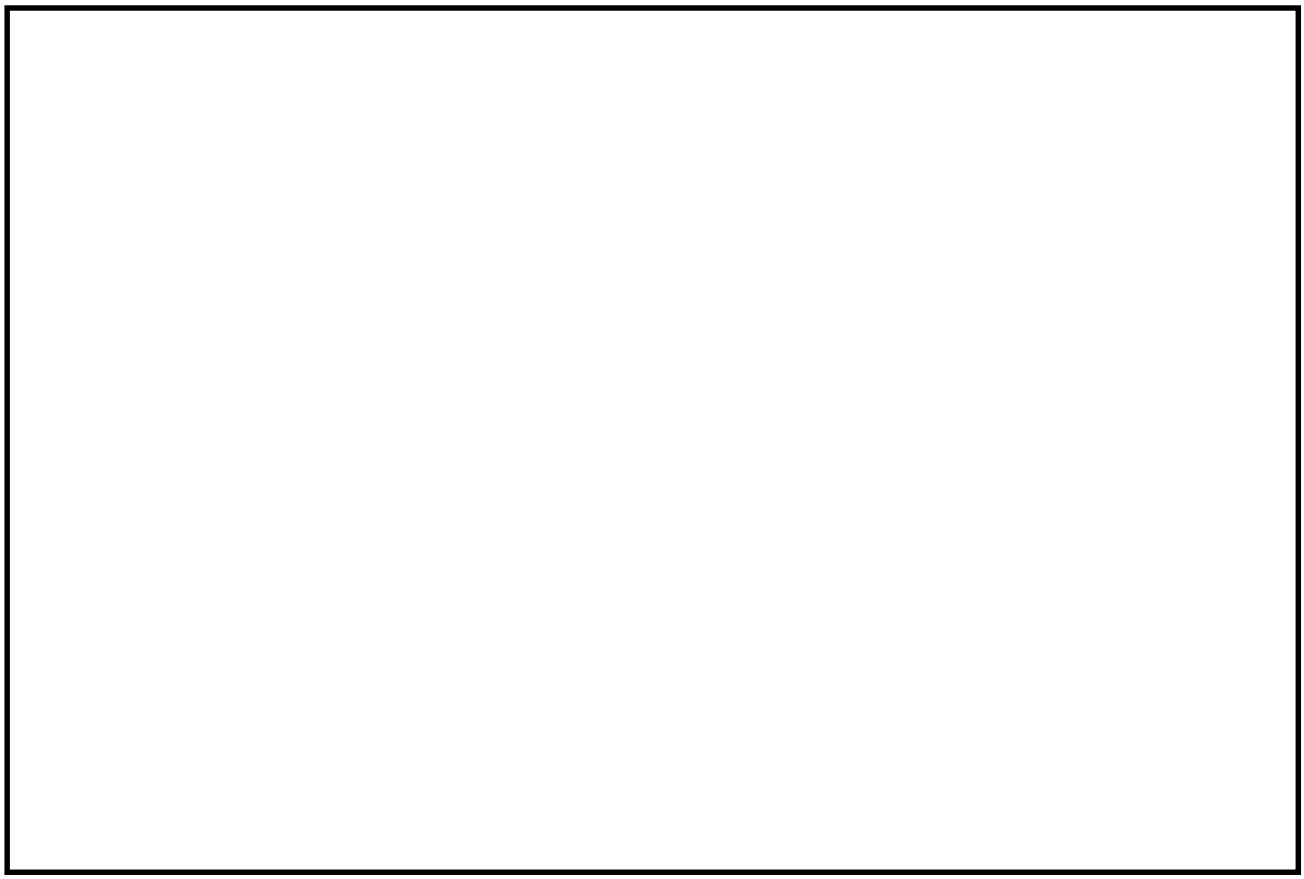


図 2-1　非常用ガス処理系排気筒の設置位置

2.2　構造概要

非常用ガス処理系排気筒は，EL.36ｍ付近から，主排気筒の外側に沿ってEL.148.000ｍまで立ち上がる。

非常用ガス処理系排気筒は，外径457.2 mm，板厚14.3 mmの鋼管である。非常用ガス処理系排気筒の自重は，EL.52.618 m の位置で主排気筒に取付けられた自重サポートで支持する。また風及び地震による水平力は，主排気筒に約5.0 mピッチで取付けられた水平サポートで支持する。

以下に，非常用ガス処理系排気筒の筒身及びサポートの構造概要を示し，構造概要図を図2-2～図2-4に示す。

構造概要

- 構造形式　　主排気筒支持型鋼製
- 筒身高さ　　EL.148.000 m
- 筒身径　　φ428.6 mm（内径）
- 支持点位置　EL.147.500 m，EL.142.950 m，EL.138.400 m，EL.133.000 m，EL.128.000 m，EL.123.000 m，EL.118.000 m，EL.113.000 m，EL.108.000 m，EL.103.000 m，EL.98.000 m，EL.93.000 m，EL.88.000 m，EL.83.000 m，EL.78.000 m，EL.73.000 m，EL.68.000 m，EL.63.000 m，EL.58.000 m，EL.52.618 m，EL.48.000 m，EL.43.000 m，EL.38.000 m
- 接続方法　　Uボルト接合（水平サポート），溶接接合（自重サポート）

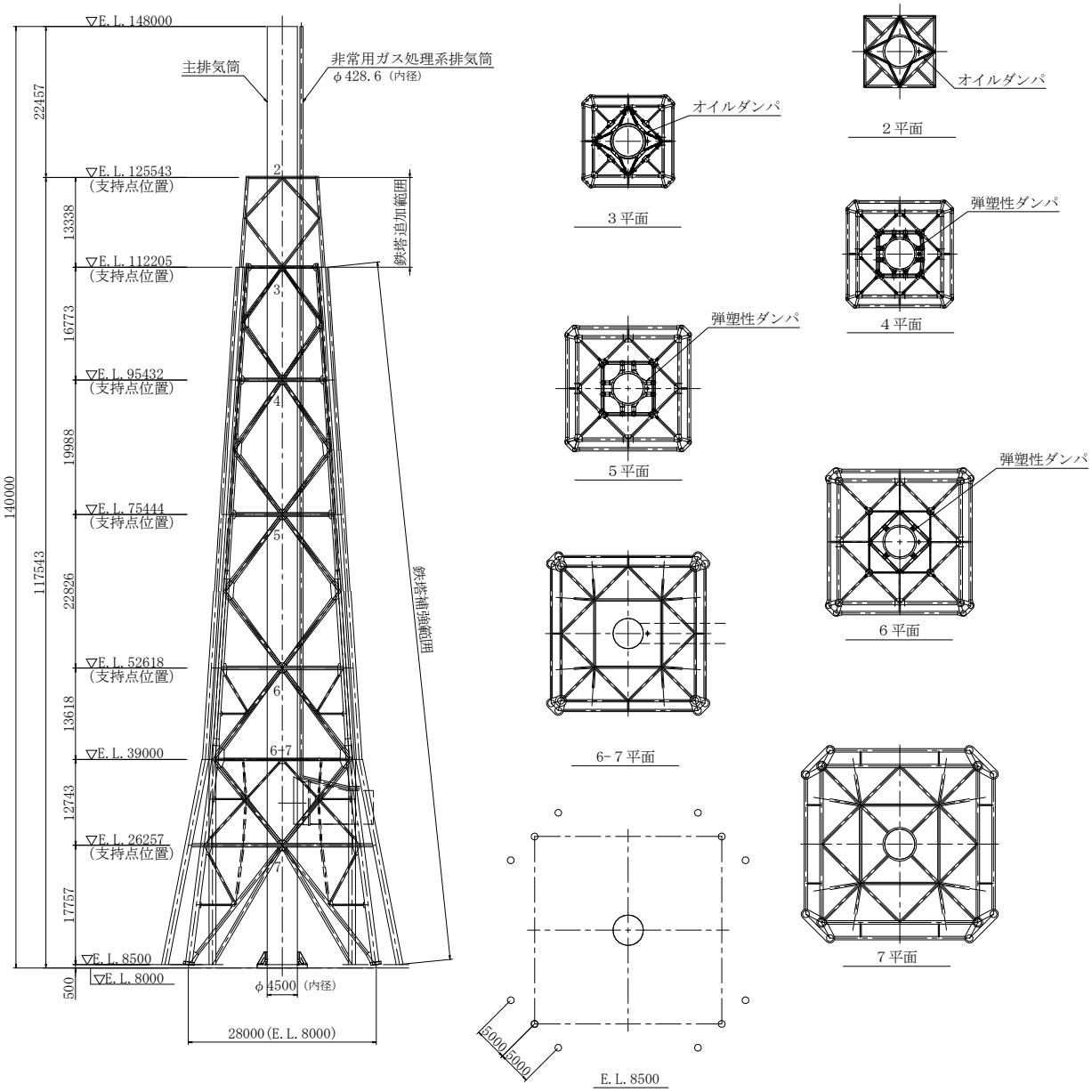


図 2-2　主排気筒及び非常用ガス処理系排気筒の構造概要図（単位：mm）

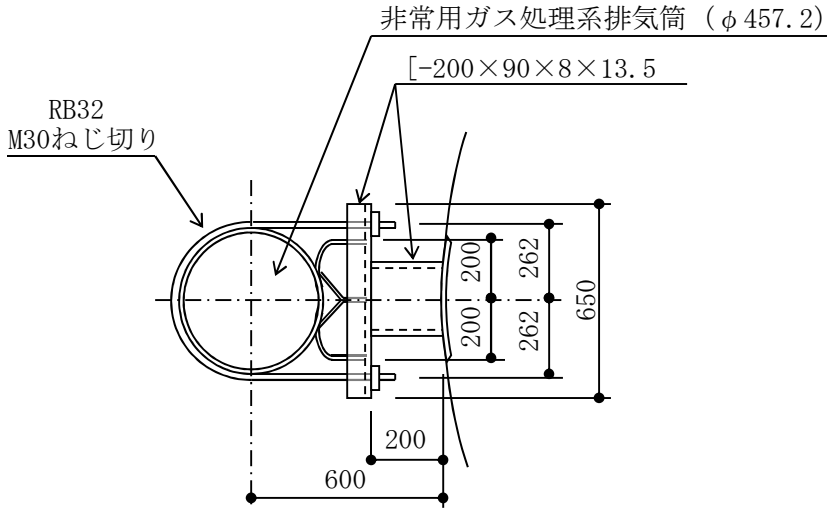


図 2-3　水平サポート構造概要図（単位：mm）

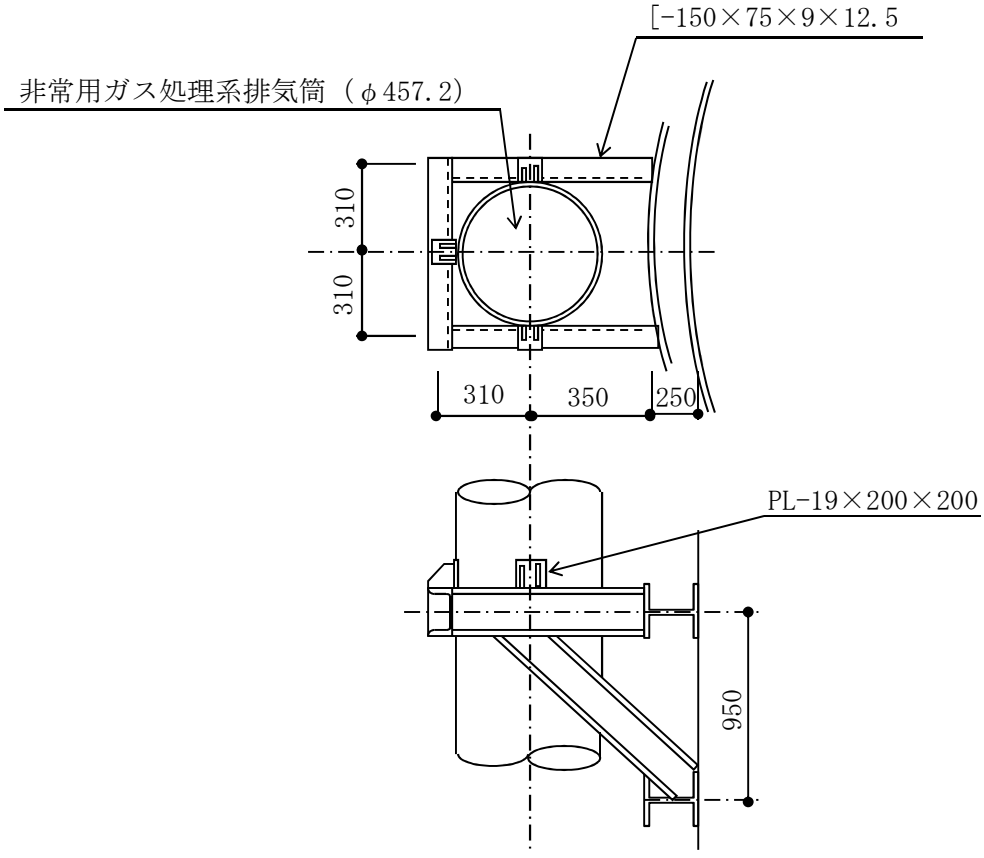


図 2-4　自重サポート構造概要図（単位：mm）

2.3　適用規格・基準等

非常用ガス処理系排気筒の評価において，適用する規格・基準等を以下に示す。

(1)　建築基準法・同施行令

(2)　鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-（(社) 日本建築学会，2005)

(3)　「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年度版（2007 年追補版を含む))
＜第Ⅰ編　軽水炉規格＞　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007)」(社) 日本機械学会

(4)　日本工業規格（ＪＩＳ）

3. 評価方法

3.1 評価方針

非常用ガス処理系排気筒は，「2.2 構造概要」に示す位置で主排気筒に支持されている。また非常用ガス処理系排気筒は剛性が主排気筒筒身に比較して小さいため，主排気筒の変形に追従する。したがって，主排気筒筒身の変位を非常用ガス処理系排気筒に与えることにより応力を算出し，最大応力で断面の算定を行う。

非常用ガス処理系排気筒を支持する自重サポート及び水平サポートは，非常用ガス処理系排気筒からサポートへ伝わる応力が最大となるものについて発生応力度を確認する。

3.2　荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。

3.2.1　荷重

(1)　固定荷重

非常用ガス処理系排気筒筒身の他に，降灰対策カバーの重量を考慮する。

(2)　積載荷重

非常用ガス処理系排気筒には積載物はない。よって積載荷重は考慮しない。

(3)　積雪荷重

非常用ガス処理系排気筒の降灰対策カバー部に対し，建築基準法施行令に基づいた積雪荷重を考慮する。

(4)　風荷重

平 12 建告第 1461 号第三号イに規定される算出法に基づいた風方向荷重によって生じる主排気筒の筒身の変形が，非常用ガス処理系排気筒に与える影響を考慮する。評価に用いる変位を表 3-1 に示す。

(5)　地震荷重

地震による主排気筒の筒身の変形が，非常用ガス処理系排気筒に与える影響を考慮する。この際，基準地震動S_sによる地震力（以下「S_s地震力」という。），静的地震力及び弾性設計用地震動S_dによる地震力（以下「S_d地震力」という。）によって生じる主排気筒筒身部の変位を与える。ここで，静的地震力による主排気筒筒身部の変位は，地震層せん断力係数（$3.0C_i$）を震度と読み替えて算定することとする。主排気筒の変位を表 3-1 に示す。なお，静的地震力及びS_d地震力では，静的地震力の方が大きいことから，静的地震力による主排気筒の変位を代表として記載した。

(6)　使用圧力，温度

最高使用圧力 0.62MPa，最高使用温度 200℃を考慮する。

表 3-1　主排気筒の変位

EL. (m)	変位(cm)					
	風荷重		地震荷重			
			S_s地震力		静的地震力	
	正面方向	斜め方向	正面方向	斜め方向	正面方向	斜め方向
148.000	10.51	11.02	48.58	48.70	120.34	120.34
138.000	8.66	9.13	38.72	38.80	97.53	97.53
125.543	6.40	6.81	27.38	27.47	69.81	69.81
112.205	4.16	4.52	18.43	18.49	43.04	43.04
95.432	2.02	2.32	11.98	11.99	18.62	18.62
75.444	1.08	1.29	7.20	7.15	8.28	8.28
52.618	0.61	0.73	3.12	3.10	4.13	4.13
26.257	0.17	0.20	0.22	0.22	0.96	0.96
8.500	0.00	0.00	0.09	0.09	0.00	0.00

3.2.2　荷重の組合せ

荷重の組合せは以下の表 3-2 による。

表 3-2　荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S_s地震力	$G+K_s{}^*+0.35S+W$
S_d地震力 及び 静的地震力	$G+K_d{}^*+0.35S+W$

［記号の説明］

G　：固定荷重

K_s ：S_s地震力

K_d ：S_d地震力又は静的地震力

S　：建築基準法の算出法に基づいた積雪荷重

W　：建築基準法の算出法に基づいた風荷重

注記　＊:地震荷重は,水平方向及び鉛直方向が動的地震力の場合は組合せ係数法による。水平方向及び鉛直方向が静的地震力の場合は同時に不利な方向に作用するものとする。

3.3　許容限界

3.3.1　許容限界

応力解析による評価における非常用ガス処理系排気筒の許容限界を，表 3-3 及び表 3-4 のとおり設定する。

表 3-3　応力解析による評価における許容限界（設計基準対象施設としての評価）

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界（評価基準値）
構造強度を有すること	S_s 地震力	筒身，サポート	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度
	S_d 地震力及び静的地震力	筒身，サポート	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度

表 3-4　応力解析による評価における許容限界（重大事故等対処施設としての評価）

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界（評価基準値）
構造強度を有すること	S_s 地震力	筒身，サポート	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度
	S_d 地震力及び静的地震力	筒身，サポート	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度

3.4 評価方法

3.4.1 応力評価方法

非常用ガス処理系排気筒の断面の評価に用いる応力は，3 次元ＦＥＭモデルを用いた弾性応力解析から求める。また，この解析より得られるサポート位置反力を用いて，サポートの検討を実施する。解析には，解析コード「ＭＳＣ ＮＡＳＴＲＡＮ」を用いる。また，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要・ＭＳＣ ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

応力解析にあたって，主排気筒筒身の剛性による影響を考慮するため，非常用ガス処理系排気筒及び主排気筒筒身を 3 次元の梁要素にてモデル化する。梁要素には，表 3-5 に示す物性値を与える。解析モデルは，主排気筒の脚部で完全固定されるとの境界条件を与える。非常用ガス処理系排気筒の応力解析モデルを図 3-1 に示す。

表 3-5 非常用ガス処理系排気筒の解析モデルに与える物性値

諸元	物性値
ヤング係数（非常用ガス処理系排気筒）	191000 N/mm^2
ヤング係数（主排気筒筒身）	202000 N/mm^2
ポアソン比	0.3

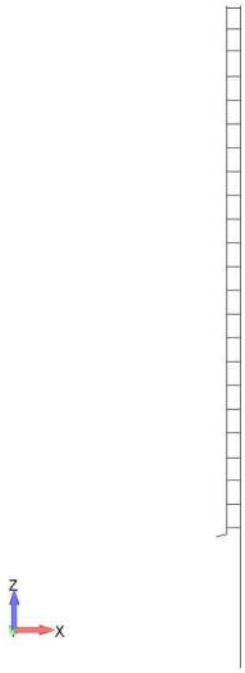


図 3-1 非常用ガス処理系排気筒の応力解析モデル

3.4.2　断面の評価方法

非常用ガス処理系排気筒の断面の評価に用いる応力は，3 次元ＦＥＭモデルを用いた応力解析により得られた各荷重による断面力（圧縮力，曲げモーメント，せん断力）を組み合わせることにより算定する。

(1)　非常用ガス処理系排気筒に対する断面の評価方法

応力検定

短期許容応力度に対する断面算定は，鋼構造設計規準に準拠して行う。

なお，断面性能の算定に腐食代２㎜（外側：1mm，内側：1mm）を控除した値を用いる。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leqq 1$$

ここで

σ_c　：平均圧縮応力度（$\sigma_c = N \cdot 10^3 / A$）（N/mm^2）

N　：圧縮力（kN）

A　：非常用ガス処理系排気筒の断面積（mm^2）

σ_b　：曲げ応力度（$\sigma_b = M \cdot 10^6 / Z$）（N/mm^2）

M　：曲げモーメント（kN･m）

Z　：断面係数（mm^3）

f_c　：短期許容圧縮応力度（N/mm^2）

f_b　：短期許容曲げ応力度（N/mm^2）

（f_c，f_b は次項による。）

(2)　サポートに対する断面の評価方法

応力検定

短期許容応力度に対する断面算定は，鋼構造設計規準に準拠して行う。

なお，断面性能の算定に腐食代１㎜（表面：1mm）を控除した値を用いる。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leqq 1$$

ここで

σ_c ：平均圧縮応力度（$\sigma_c = N \cdot 10^3 / A$）（N/mm^2）

N　：圧縮力（kN）

A　：断面積（mm^2）

σ_b ：曲げ応力度（$\sigma_b = M \cdot 10^6 / Z$）（N/mm^2）

M　：曲げモーメント（kN･m）

Z　：断面係数（mm^3）

f_c ：短期許容圧縮応力度（N/mm^2）

f_b ：短期許容曲げ応力度（N/mm^2）

（f_c，f_bは次項による。）

4.　評価結果

4.1　非常用ガス処理系排気筒の応力評価結果

「3.4.2　断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を，表4-1及び表4-2に示す。

(1) S_s地震荷重による非常用ガス処理系排気筒に対する断面の評価

以下に，断面評価結果を示す。

表 4-1 S_s地震荷重による非常用ガス処理系排気筒の断面評価（短期許容応力度検討時 軸力＋曲げ）(1/2)

EL. Z (m)	使用部材	材質	設計用断面力		断面性能			座屈長	細長比	短期許容		応力度		判定
			軸力 N (kN)	曲げ M (kN･m)	断面積 A (mm^2)	断面係数 Z_t (mm^3)	回転半径 i (mm)	L_k (mm)	λ	圧縮 f_c (N/mm^2)	曲げ f_b (N/mm^2)	圧縮 $\sigma_c=N/A$ (N/mm^2)	曲げ $\sigma_b=M/Z_t$ (N/mm^2)	$\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}$
148.000	Φ457.2×14.3	SM400B	15.90	0.000	17110	1850000	156.7	1000.0	6.4	192.8	193.0	1.0	0.1	0.01≦ 1.00
147.500	Φ457.2×14.3	SM400B	45.32	1.437	17110	1850000	156.7	4550.0	29.0	185.3	193.0	2.7	0.8	0.02≦ 1.00
142.950	Φ457.2×14.3	SM400B	74.73	1.660	17110	1850000	156.7	4550.0	29.0	185.3	193.0	4.4	0.9	0.03≦ 1.00
138.400	Φ457.2×14.3	SM400B	59.43	10.94	17110	1850000	156.7	5400.0	34.5	181.3	193.0	3.5	6.0	0.06≦ 1.00
133.000	Φ457.2×14.3	SM400B	76.95	18.09	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	4.5	9.8	0.08≦ 1.00
128.000	Φ457.2×14.3	SM400B	94.47	21.57	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	5.6	11.7	0.10≦ 1.00
123.000	Φ457.2×14.3	SM400B	112.0	21.57	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	6.6	11.7	0.10≦ 1.00
118.000	Φ457.2×14.3	SM400B	129.5	25.24	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	7.6	13.7	0.12≦ 1.00
113.000	Φ457.2×14.3	SM400B	271.3	11.40	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	15.9	6.2	0.12≦ 1.00
108.000	Φ457.2×14.3	SM400B	303.6	9.443	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	17.8	5.2	0.13≦ 1.00
103.000	Φ457.2×14.3	SM400B	335.9	8.677	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	19.7	4.7	0.14≦ 1.00
98.000	Φ457.2×14.3	SM400B	368.2	8.340	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	21.6	4.6	0.15≦ 1.00

注１ ：腐食代 2mm（内側：1mm，外側：1mm）を控除した断面により算定した断面性能により断面評価

注２ ：設計用応力Ｎには，鉛直震度による上下方向の地震荷重を含む

表 4-1　S_s地震荷重による非常用ガス処理系排気筒の断面評価（短期許容応力度検討時　軸力＋曲げ）(2/2)

EL. Z (m)	使用部材	材質	設計用断面力		断面性能			座屈長	細長比	短期許容		応力度		判定
			軸力 N (kN)	曲げ M (kN・m)	断面積 A (mm^2)	断面係数 Z_t (mm^3)	回転半径 i (mm)	L_k (mm)	λ	圧縮 f_c (N/mm^2)	曲げ f_b (N/mm^2)	圧縮 $\sigma_c=N/A$ (N/mm^2)	曲げ $\sigma_b=M/Z_t$ (N/mm^2)	$\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}$
93.000	Φ457.2×14.3	SM400B	400.6	7.268	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	23.5	4.0	0.15≦ 1.00
88.000	Φ457.2×14.3	SM400B	432.9	5.266	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	25.4	2.9	0.16≦ 1.00
83.000	Φ457.2×14.3	SM400B	465.2	4.017	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	27.2	2.2	0.16≦ 1.00
78.000	Φ457.2×14.3	SM400B	497.5	1.784	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	29.1	1.0	0.17≦ 1.00
73.000	Φ457.2×14.3	SM400B	529.9	1.468	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	31.0	0.8	0.18≦ 1.00
68.000	Φ457.2×14.3	SM400B	562.2	1.570	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	32.9	0.9	0.19≦ 1.00
63.000	Φ457.2×14.3	SM400B	594.5	1.114	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	34.8	0.7	0.20≦ 1.00
58.000	Φ457.2×14.3	SM400B	629.3	1.114	17110	1850000	156.7	5382.4	34.3	181.3	193.0	36.8	0.7	0.21≦ 1.00
52.618	Φ457.2×14.3	SM400B	106.6	1.108	17110	1850000	156.7	4617.6	29.5	183.9	193.0	6.3	0.6	0.04≦ 1.00
48.000	Φ457.2×14.3	SM400B	76.76	1.856	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	4.5	1.1	0.04≦ 1.00
43.000	Φ457.2×14.3	SM400B	44.44	15.01	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	2.6	8.2	0.06≦ 1.00
38.000	Φ457.2×14.3	SM400B	12.11	15.01	17110	1850000	156.7	7178.0	45.8	172.6	193.0	0.8	8.2	0.05≦ 1.00

注１　：腐食代 2mm（内側：1mm，外側：1mm）を控除した断面により算定した断面性能により断面評価

注２　：設計用応力Ｎには，鉛直震度による上下方向の地震荷重を含む

(2) 静的地震荷重による非常用ガス処理系排気筒に対する断面の評価

以下に，断面評価結果を示す。

表 4-2 静的地震荷重による非常用ガス処理系排気筒の断面評価（短期許容応力度検討時 軸力＋曲げ）(1/2)

EL. Z (m)	使用部材	材質	設計用断面力		断面性能			座屈長	細長比	短期許容		応力度		判定
			軸力 N (kN)	曲げ M (kN･m)	断面積 A (mm^2)	断面係数 Z_t (mm^3)	回転半径 i (mm)	L_k (mm)	λ	圧縮 f_c (N/mm^2)	曲げ f_b (N/mm^2)	圧縮 $\sigma_c=N/A$ (N/mm^2)	曲げ $\sigma_b=M/Z_t$ (N/mm^2)	$\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}$
148.000	Φ457.2×14.3	SM400B	4.895	0.000	17110	1850000	156.7	1000.0	6.4	192.8	193.0	0.3	0.1	0.01≦ 1.00
147.500	Φ457.2×14.3	SM400B	13.95	2.592	17110	1850000	156.7	4550.0	29.0	185.3	193.0	0.9	1.5	0.02≦ 1.00
142.950	Φ457.2×14.3	SM400B	23.00	2.592	17110	1850000	156.7	4550.0	29.0	185.3	193.0	1.4	1.5	0.02≦ 1.00
138.400	Φ457.2×14.3	SM400B	33.74	9.354	17110	1850000	156.7	5400.0	34.5	181.3	193.0	2.0	5.1	0.04≦ 1.00
133.000	Φ457.2×14.3	SM400B	43.69	12.68	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	2.6	6.9	0.05≦ 1.00
128.000	Φ457.2×14.3	SM400B	53.64	18.65	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	3.2	10.1	0.07≦ 1.00
123.000	Φ457.2×14.3	SM400B	63.58	26.89	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	3.8	14.6	0.10≦ 1.00
118.000	Φ457.2×14.3	SM400B	73.53	32.27	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	4.3	17.5	0.12≦ 1.00
113.000	Φ457.2×14.3	SM400B	83.48	41.90	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	4.9	22.7	0.15≦ 1.00
108.000	Φ457.2×14.3	SM400B	93.43	47.51	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	5.5	25.7	0.17≦ 1.00
103.000	Φ457.2×14.3	SM400B	103.4	66.09	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	6.1	35.8	0.22≦ 1.00
98.000	Φ457.2×14.3	SM400B	113.3	66.09	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	6.7	35.8	0.23≦ 1.00

注１ ：腐食代 2mm（内側：1mm，外側：1mm）を控除した断面により算定した断面性能により断面評価

注２ ：設計用応力Ｎには，鉛直震度（0.3G)による上下方向の地震荷重を含む

表 4-2　静的地震荷重による非常用ガス処理系排気筒の断面評価（短期許容応力度検討時　軸力＋曲げ）(2/2)

EL. Z (m)	使用部材	材質	設計用断面力		断面性能			座屈長	細長比	短期許容		応力度		判定
			軸力 N (kN)	曲げ M (kN・m)	断面積 A (mm^2)	断面係数 Z_t (mm^3)	回転半径 i (mm)	L_k (mm)	λ	圧縮 f_c (N/mm^2)	曲げ f_b (N/mm^2)	圧縮 $\sigma_c=N/A$ (N/mm^2)	曲げ $\sigma_b=M/Z_t$ (N/mm^2)	$\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}$
93.000	Φ457.2×14.3	SM400B	123.3	64.87	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	7.3	35.1	0.23≦ 1.00
88.000	Φ457.2×14.3	SM400B	133.2	40.57	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	7.8	22.0	0.16≦ 1.00
83.000	Φ457.2×14.3	SM400B	143.2	31.92	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	8.4	17.3	0.14≦ 1.00
78.000	Φ457.2×14.3	SM400B	153.1	13.20	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	9.0	7.2	0.09≦ 1.00
73.000	Φ457.2×14.3	SM400B	163.1	8.785	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	9.6	4.8	0.08≦ 1.00
68.000	Φ457.2×14.3	SM400B	173.0	8.785	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	10.2	4.8	0.09≦ 1.00
63.000	Φ457.2×14.3	SM400B	183.0	4.959	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	10.7	2.7	0.08≦ 1.00
58.000	Φ457.2×14.3	SM400B	193.7	3.838	17110	1850000	156.7	5382.4	34.3	181.3	193.0	11.4	2.1	0.08≦ 1.00
52.618	Φ457.2×14.3	SM400B	32.81	1.747	17110	1850000	156.7	4617.6	29.5	183.9	193.0	2.0	1.0	0.02≦ 1.00
48.000	Φ457.2×14.3	SM400B	23.62	1.955	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	1.4	1.1	0.02≦ 1.00
43.000	Φ457.2×14.3	SM400B	13.67	4.619	17110	1850000	156.7	5000.0	31.9	183.2	193.0	0.8	2.5	0.02≦ 1.00
38.000	Φ457.2×14.3	SM400B	3.727	4.619	17110	1850000	156.7	7178.0	45.8	172.6	193.0	0.3	2.5	0.02≦ 1.00

注１　：腐食代 2mm（内側：1mm，外側：1mm）を控除した断面により算定した断面性能により断面評価

注２　：設計用応力Ｎには，鉛直震度（0.3G)による上下方向の地震荷重を含む

(3)　内圧による非常用ガス処理系排気筒に対する断面の評価

内圧は非常用ガス処理系排気筒の円周方向の応力度を評価する。

・検討諸元

非常用ガス処理系排気筒内径	D_I＝430.6 mm（腐食代 2mm 控除）
非常用ガス処理系排気筒板厚	t＝12.3 mm（腐食代 2mm 控除）
内圧	P＝0.62 N/mm^2（ＳＡ）
内圧による発生応力度	$\sigma_h = P \cdot D_I / 2t$ ＝0.62×430.6／（2×12.3）＝10.9 N/mm^2
内圧以外による圧縮応力度	σ_c＝6.7 N/mm^2（表 4-2 より）
内圧以外による曲げ応力度	σ_b＝35.8 N/mm^2（表 4-2 より）
許容引張応力度	f_t＝193.0 N/mm^2
許容圧縮応力度	f_c＝183.2 N/mm^2（表 4-2 より）
許容曲げ応力度	f_b＝193.0 N/mm^2（表 4-2 より）
内圧に対する評価結果	σ_h / f_t＝10.9／193.0＝0.06≦1.00
軸力と曲げに対する評価結果	$\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}=\frac{6.7}{183.2}+\frac{35.8}{193.0}$＝0.23≦1.00

4.2　非常用ガス処理系排気筒サポート（水平サポート）の応力評価結果

短期許容検討時に発生する水平サポートが受ける水平力の最大値を用いて検討を行う。

水平サポートの形状図は，図 4-1 に示す。また，応力評価結果を表 4-3 に整理する。

設計荷重

最大水平力　　H　＝ 4616 N　　静的地震荷重

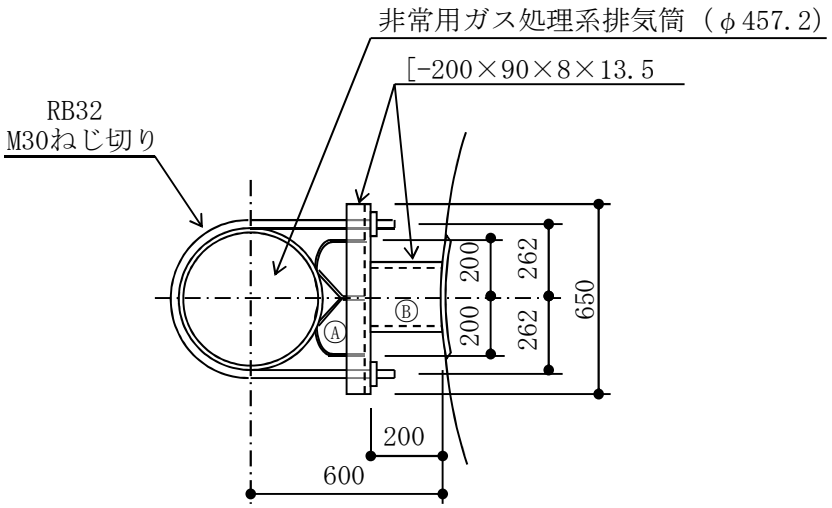


図 4-1　水平サポート概略図（単位：mm）

4.2.1　主排気筒径方向荷重の評価

(1)　Uボルト

Uボルトの引抜きに対する検討を行う。

・ボルト1本に作用する引抜力

ボルト引抜力　　$T = H / 2 = 2308$ N

・Uボルト諸元

サイズ	M30(ねじ切り)
材質	400 材相当
有効断面積	$A_1 = 479.8$ mm^2
設計基準強度	$f_t = F = 185.0$ N/mm^2
許容引張応力度（短期許容）	$f_{ts} = \min\{f_t,\ 1.4 f_t - 1.6\tau\} = 185.0$ N/mm^2

・応力度照査

Uボルトに作用する引張応力度　$\sigma_t = T / A_1 = \dfrac{2308}{479.8} = 4.9$ N/mm^2

応力度比　　$\sigma_t / f_{ts} = 4.9 / 185.0 = 0.03 \leqq 1.00$

(2) 受梁Ⓐの検討

受梁Ⓐが受梁Ⓑによって支持される片持梁とみなし，非常用ガス処理系排気筒から受ける水平力によって生じるせん断力と曲げモーメントについて検討を行う。

・受梁Ⓐ諸元

サイズ	[-200×90×8×13.5
材質	400 材相当
断面係数	Z_2＝42600 mm^3
せん断断面積	A_{s2}＝2024 mm^2
設計基準強度	F＝193.0 N/mm^2
許容曲げ応力度	f_b＝193.0 N/mm^2
許容せん断応力度	f_s＝111.4 N/mm^2

・作用力

せん断力	Q＝H／2＝4616／2＝2308 N
曲げモーメント	M＝Q・(524－200) ／2
	＝2308×（524－200）／2＝373900 N・mm

・作用応力度

曲げ応力度　$\sigma_b = M / Z_2 = \dfrac{373900}{42600} = 8.8$ N/mm^2

せん断応力度　$\tau = Q / A_{s2} = \dfrac{2308}{2024} = 1.2$ N/mm^2

・応力度照査

曲げ応力度比	σ_b / f_b＝8.8／193.0＝0.05 ≦ 1.00
せん断応力度比	τ / f_s＝1.2／111.4＝0.02 ≦ 1.00

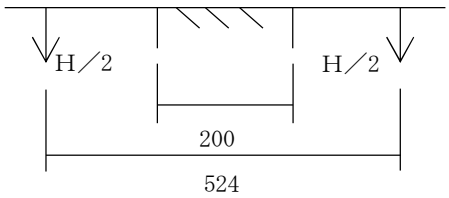


図 4-2　受梁Ⓐ寸法（単位：mm）

(3) 受梁Ⓑの検討

受梁Ⓑが非常用ガス処理系排気筒から受ける水平力によって生じる圧縮力について検討を行う。

・受梁Ⓑ諸元

サイズ	[-200×90×8×13.5
材質	400 材相当
断面積	A_3＝3074 mm^2
回転半径	i_3＝28.4 mm
座屈長	ℓ_3＝200 mm
設計基準強度	F＝193.0 N/mm^2
細長比	λ_3＝7.0
限界細長比	Λ_3＝127.6 N/mm^2
座屈安全率	ν_3＝1.5 N/mm^2
許容圧縮応力度	$f_c = F \cdot \dfrac{1-0.4\,(\lambda_3/\Lambda_3)^2}{\nu_3} \cdot 1.5$
	＝192.7 N/mm^2

・作用力

圧縮力　　N＝H＝4616 N

・作用応力度

圧縮応力度　　$\sigma_c = N/A_3 = \dfrac{4616}{3074}$ ＝1.6 N/mm^2

・応力度照査

応力度比　　σ_c / f_c＝1.6／192.7＝0.01 ≦ 1.00

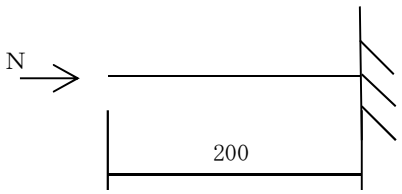


図 4-3　受梁Ⓑ寸法（単位：mm）

(4)　主排気筒当板溶接部の検討

主排気筒当板溶接部が非常用ガス処理系排気筒から受ける水平力によって生じるせん断力について検討を行う。

・溶接部諸元

当板サイズ	PL-22×400×400
材質	400 材相当
隅肉サイズ	s_4＝10.0 mm
有効のど厚	a_4＝10.0×0.7－1.0＝6.0 mm
鉛直方向溶接長	ℓ_{V4}＝400.0×2＝800.0 mm
水平方向溶接長	ℓ_{H4}＝400.0×2＝800.0 mm
有効断面積	$A_4 = a_4 \cdot (\ell_{V4} + \ell_{H4})$ ＝6.0×（800.0＋800.0）＝9600 mm^2
設計基準強度	F＝185.0 N/mm^2
許容せん断応力度	f_s＝106.8 N/mm^2

・作用力

せん断力	Q＝H＝4616 N

・作用応力度

せん断応力度	$\tau = Q / A_4 = \frac{4616}{9600}$ ＝0.5 N/mm^2

・応力度照査

応力度比	τ / f_s＝0.5／106.8＝0.01 ≦ 1.00

4.2.2　主排気筒周方向荷重の評価

(1)　Uボルト

Uボルトのせん断に対する検討を行う。

・ボルト1本に作用するせん断力

ボルトせん断力　　$Q = H / 2 = 2308$ N

・Uボルト諸元

サイズ	M30(ねじ切り)
材質	400 材相当
有効断面積	$A_1 = 479.8$ mm^2
設計基準強度	$F = 185.0$ N/mm^2
許容引張応力度（短期許容）	$f_s = F / \sqrt{3} = 106.8$ N/mm^2

・応力度照査

Uボルトに作用するせん断応力度　　$\tau = Q / A_1 = \dfrac{2308}{479.8} = 4.9$ N/mm^2

応力度比　　$\tau / f_s = 4.9 / 106.8 = 0.05 \leqq 1.00$

(2) 受梁Ⓐの検討

受梁Ⓐが受梁Ⓑによって支持される片持梁とみなし，非常用ガス処理系排気筒から受ける水平力によって生じる圧縮力について検討を行う。

・受梁Ⓐ諸元

サイズ	[-200×90×8×13.5
材質	400 材相当
断面積	A_2＝3074 mm^3
回転半径	i_2＝28.4 mm
座屈長	ℓ_2＝（524－200）／2＝162 mm
設計基準強度	F＝193.0 N/mm^2
細長比	λ_2＝5.7
限界細長比	Λ_2＝127.6 N/mm^2
座屈安全率	ν_2＝1.5
許容圧縮応力度	$f_c = F \cdot \dfrac{1-0.4(\lambda_2/\Lambda_2)^2}{\nu_2} \cdot 1.5$
	＝192.8 N/mm^2

・作用力

圧縮力　　N＝H／2＝4616／2＝2308 N

・作用応力度

圧縮応力度　　$\sigma_c = N/A_2 = \dfrac{2308}{3074}$ ＝0.8 N/mm^2

・応力度照査

応力度比　　σ_c / f_c＝0.8／192.8＝0.01 ≦ 1.00

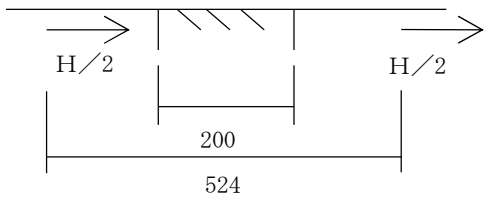


図 4-4　受梁Ⓐ寸法（単位：mm）

(3) 受梁Ⓑの検討

受梁Ⓑが非常用ガス処理系排気筒から受ける水平力によって生じるせん断力及び曲げモーメントについて検討を行う。

・受梁Ⓑ諸元

サイズ	[-200×90×8×13.5
材質	400 材相当
断面係数	Z_3＝205100 mm^3
せん断断面積	A_{s3}＝1050 mm^2
設計基準強度	F＝193.0 N/mm^2
許容曲げ応力度	f_t＝193.0 N/mm^2
許容せん断応力度	f_s＝111.4 N/mm^2

・作用力

せん断力	Q＝H＝4616 N
曲げモーメント	M＝Q・200
	＝4616×200＝923200 N・mm

・作用応力度

曲げ応力度　$\sigma_b = M / Z_3 = \dfrac{923200}{205100} = 4.6$ N/mm^2

せん断応力度　$\tau = Q / A_{s3} = \dfrac{4616}{1050} = 4.4$ N/mm^2

・応力度照査

曲げ応力度比	σ_b / f_b＝4.6／193.0＝0.03 ≦ 1.00
せん断応力度比	τ / f_s＝4.4／111.4＝0.04 ≦ 1.00

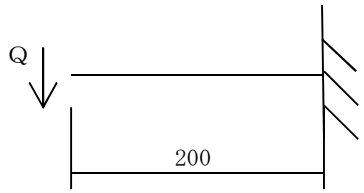


図 4-5　・受梁Ⓑ寸法（単位：mm）

(4)　主排気筒当板溶接部の検討

主排気筒当板溶接部が非常用ガス処理系排気筒から受ける水平力によって生じるせん断力と曲げモーメントについて検討を行う。なお，せん断力は溶接部全断面で，曲げモーメントについては，鉛直方向溶接部で負担するものとして検討する。

・溶接部諸元

当板サイズ	PL-22×400×400
材質	400 材相当
隅肉サイズ	s_4＝10.0 mm
有効のど厚	a_4＝10.0×0.7－1.0＝6.0 mm
鉛直方向溶接長	ℓ_{V4}＝400.0×2＝800.0 mm
水平方向溶接長	ℓ_{H4}＝400.0×2＝800.0 mm
鉛直方向有効断面積	$A_{V4}=a_4\cdot\ell_{V4}$＝6.0×800.0＝4800 mm^2
水平方向有効断面積	$A_{H4}=a_4\cdot\ell_{H4}$＝6.0×800.0＝4800 mm^2
合計有効断面積	$A_{S4}=A_{V3}+A_{V4}$＝4800＋4800＝9600 mm^2
鉛直方向有効断面係数	$Z_{V4}=A_{V4}\cdot(400/2+a_4/2)$ ＝4800×（400／2＋6.0／2） ＝974400 mm^3
設計基準強度	F＝185.0 N/mm^2
許容せん断応力度	f_s＝106.8 N/mm^2

・作用力

せん断力	Q＝H＝4616 N
曲げモーメント	M＝Q・200＝4616×200＝923200 N・mm

・作用応力度

せん断応力度（曲げ）	$\tau_b=M/Z_{V4}=\dfrac{923200}{974400}$ ＝1.0 N/mm^2
せん断応力度（水平力）	$\tau_s=Q/A_{S4}=\dfrac{4616}{9600}$ ＝0.5 N/mm^2
せん断応力度	$\tau=\tau_b+\tau_s$＝1.0＋0.5 ＝1.5 N/mm^2

・応力度照査

応力度比	τ/f_s＝1.5／106.8＝0.02 ≦ 1.00

表 4-3　短期許容荷重時算定結果一覧

		発生応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)	発生応力度 / 許容応力度
Uボルトの検討	せん断応力度	4.9	106.8	0.05　≦1.00
受梁Ⓐの検討	曲げ応力度	8.8	193.0	0.05　≦1.00
受梁Ⓑの検討	せん断応力度	4.4	111.4	0.04　≦1.00
当板溶接部の検討	せん断応力度	1.5	106.8	0.02　≦1.00

4.3　非常用ガス処理系排気筒サポート（自重サポート）の応力評価結果

短期許容検討時に発生する自重サポートが受ける水平力及び鉛直力の最大値を用いて検討を行う。ただし鉛直力には，鉛直震度による上下方向の地震荷重を含む。

自重サポートの形状図は，図 4-6 に示す。また，応力評価結果を表 4-4 に整理する。

設計荷重

最大引抜力	N_t	＝	386600 N	S_s地震動
最大圧縮力	N_c	＝	734300 N	S_s地震動
最大水平力	H	＝	1749 N	静的地震荷重

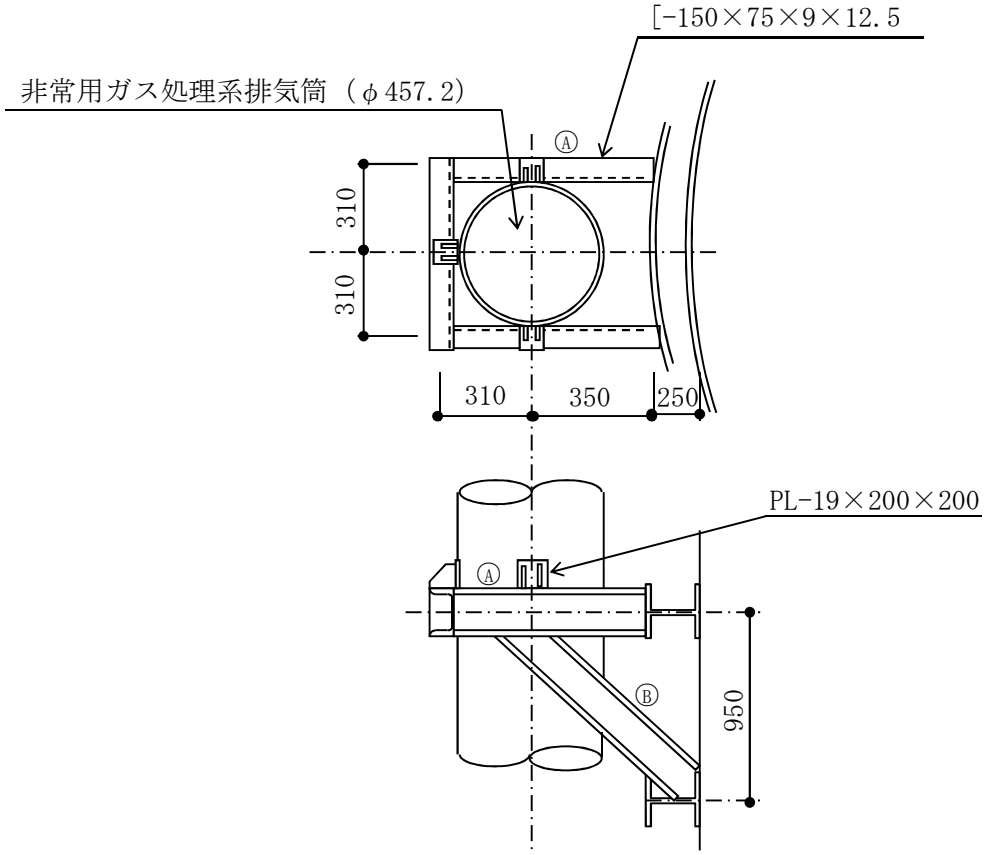


図 4-6　自重サポート概略図（単位：mm）

4.3.1　主排気筒径方向荷重の評価

(1)　受梁Ⓑの検討

受梁Ⓑが非常用ガス処理系排気筒の鉛直力によって生じる圧縮力に対する検討を行う。

・受梁Ⓑ諸元

サイズ	[-150×75×9×12.5 ＋ FB-9×90
材質	400 材相当
断面積	A_1＝3214 mm^3
回転半径	i_1＝20.9 mm
座屈長	ℓ_1＝1200 mm
設計基準強度	F＝193.0 N/mm^2
細長比	λ_1＝57.4
限界細長比	Λ_1＝127.6 N/mm^2
座屈安全率	ν_1＝1.63 N/mm^2
許容圧縮応力度	$f_c = F \cdot \dfrac{1-0.4(\lambda_1/\Lambda_1)^2}{\nu_1} \cdot 1.5$
	＝163.2 N/mm^2

・作用力

圧縮力　　$N_c' = (N_c/2)/\cos(30°)$

$= (734300/2)/\cos(30°) = 423900$ N

・作用応力度

圧縮応力度　　$\sigma_c = N_c'/A_1 = \dfrac{423900}{3214} = 131.9$ N/mm^2

・応力度照査

応力度比　　$\sigma_c / f_c = 131.9/163.2 = 0.81 \leqq 1.00$

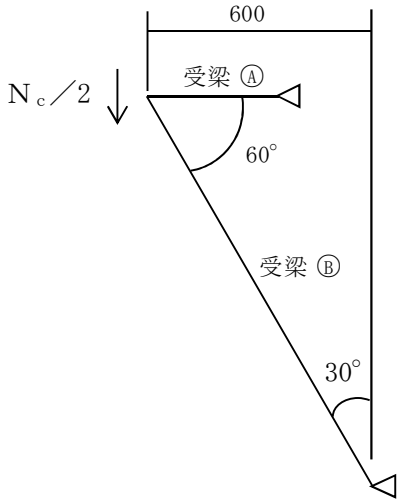


図 4-7　受梁Ⓑ寸法（単位：mm）

(2) 受梁Ⓐの検討

受梁Ⓐが，非常用ガス処理系排気筒から受ける水平力によって生じる圧縮力について検討を行う。

・受梁Ⓐ諸元

サイズ	[-150×75×9×12.5
材質	400 材相当
断面積	A_2＝2422 mm^3
回転半径	i_2＝23.1 mm
座屈長	ℓ_2＝350.0 mm
設計基準強度	F＝193.0 N/mm^2
細長比	λ_2＝15.2
限界細長比	Λ_2＝127.6 N/mm^2
座屈安全率	ν_2＝1.51 N/mm^2
許容圧縮応力度	$f_c = F \cdot \dfrac{1-0.4(\lambda_1/\Lambda_1)^2}{\nu_1} \cdot 1.5$
	＝190.6 N/mm^2

・作用力

圧縮力	$N_c' = (H + N_c \cdot \tan(30°))/2$
	＝（1749＋734300×tan（30°）／2＝212800 N

・作用応力度

圧縮応力度	$\sigma_c = N_c' / A_2 = \dfrac{212800}{2422}$ ＝87.9 N/mm^2

・応力度照査

応力度比	σ_c / f_c＝87.9／190.6＝0.47 ≦ 1.00

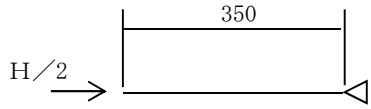


図 4-8　受梁Ⓐ寸法（単位：mm）

(3)　非常用ガス処理系排気筒当板溶接部の検討

非常用ガス処理系排気筒当板溶接部が非常用ガス処理系排気筒から受ける水平力及び鉛直力によって生じるせん断力について検討を行う。なお水平力は水平方向溶接部で，鉛直力は鉛直方向溶接部で負担するものとする。

・溶接部諸元

当板サイズ	PL-19×200×200
材質	400 材相当
隅肉サイズ	s_3＝12.0 mm
有効のど厚	a_3＝12.0×0.7－1.0＝7.4 mm
鉛直方向溶接長	ℓ_{V3}＝200.0×2＝400.0 mm
水平方向溶接長	ℓ_{H3}＝200.0×2＝400.0 mm
鉛直方向有効断面積	$A_{V3}=a_4\cdot\ell_{V3}$ ＝7.4×400.0＝2960 mm^2
水平方向有効断面積	$A_{H3}=a_4\cdot\ell_{H3}$ ＝7.4×400.0＝2960 mm^2
合計有効断面積	$A_{S3}=A_{V3}+A_{H3}$ ＝2960＋2960＝5920 mm^2
設計基準強度	F＝185.0 N/mm^2
許容せん断応力度	f_s＝106.8 N/mm^2

・作用力

鉛直力	$Q_V=N_c/2$＝（734300／2）＝367200 N
水平力	$Q_H=H/2$＝（1749／2）＝874.5 N

・作用応力度

せん断応力度（鉛直方向）	$\tau_V=Q_V/A_{S3}=\dfrac{367200}{5920}$ ＝62.1 N/mm^2
せん断応力度（水平方向）	$\tau_H=Q_H/A_{S3}=\dfrac{874.5}{5920}$ ＝0.2 N/mm^2
せん断応力度（合計）	$\tau=\sqrt{\tau_V^2+\tau_H^2}=\sqrt{62.1^2+0.2^2}$ ＝62.2 N/mm^2

・応力度照査

応力度比	τ/f_s＝62.2／106.8＝0.59 ≦ 1.00

4.3.2　主排気筒周方向荷重の評価

(1)　受梁Ⓑの検討

受梁Ⓑが非常用ガス処理系排気筒の鉛直力によって生じる圧縮力に対する検討を行う。

・受梁Ⓑ諸元

サイズ	[-150×75×9×12.5 ＋ FB-9×90
材質	400 材相当
断面積	A_1＝3214 mm^3
回転半径	i_1＝20.9 mm
座屈長	ℓ_1＝1200 mm
設計基準強度	F＝193.0 N/mm^2
細長比	λ_1＝57.4
限界細長比	Λ_1＝127.6 N/mm^2
座屈安全率	ν_1＝1.63 N/mm^2
許容圧縮応力度	$f_c = F \cdot \dfrac{1-0.4(\lambda_1/\Lambda_1)^2}{\nu_1} \cdot 1.5$
	＝163.2 N/mm^2

・作用力

圧縮力　　$N_c' = (N_c/2)/\cos(30°)$

$= (734300/2)/\cos(30°) = 423900$ N

・作用応力度

圧縮応力度　　$\sigma_c = N_c'/A_1 = \dfrac{423900}{3214} = 131.9$ N/mm^2

・応力度照査

応力度比　　$\sigma_c / f_c = 131.9/163.2 = 0.81 \leqq 1.00$

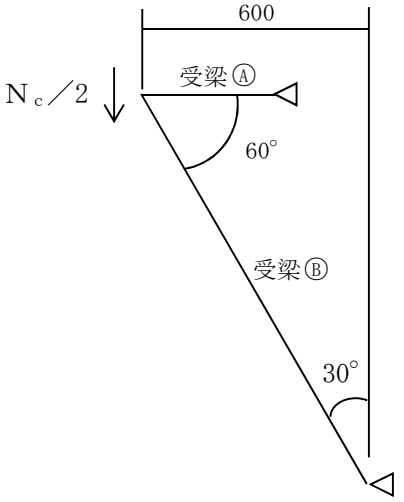


図 4-9　受梁Ⓑ寸法（単位：mm）

(2) 受梁Ⓐの検討

受梁Ⓐが，非常用ガス処理系排気筒から受ける水平力によって生じるせん断力と曲げモーメントについて検討を行う。

・受梁Ⓐ諸元

サイズ	[-150×75×9×12.5
材質	400 材相当
断面積	A_2＝2422 mm^3
断面係数	Z_2＝26660 mm^3
せん断断面積	A_{s2}＝1533 mm^3
回転半径	i_2＝23.1 mm
座屈長	ℓ_2＝350.0 mm
設計基準強度	F＝193.0 N/mm^2
細長比	λ_2＝15.2
限界細長比	Λ_2＝127.6 N/mm^2
座屈安全率	ν_2＝1.51 N/mm^2
許容圧縮応力度	$f_c = F \cdot \dfrac{1-0.4(\lambda_1/\Lambda_1)^2}{\nu_1} \cdot 1.5$
	＝190.6 N/mm^2
許容曲げ応力度	f_b＝193.0 N/mm^2
許容せん断応力度	f_s＝111.4 N/mm^2

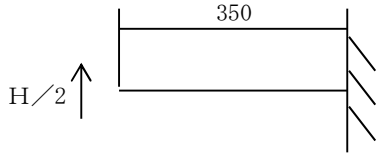


図4-10 受梁Ⓐ寸法
（単位：mm）

・作用力

圧縮力	$N_c' = (N_c \cdot \tan(30°))/2$
	＝(734300×tan(30°))／2＝212000 N
せん断力	Q＝H／2＝1749／2＝874.5 N
曲げモーメント	M＝Q・350＝874.5×350＝306100 N・mm

・作用応力度

圧縮応力度	$\sigma_c = N_c' / A_2 = \dfrac{212000}{2422}$ ＝87.6 N/mm^2
曲げ応力度	$\sigma_b = M / Z_2 = \dfrac{306100}{26660}$＝11.5 N/mm^2
せん断応力度	$\tau = Q / A_{s2} = \dfrac{874.5}{1533}$ ＝0.6 N/mm^2

・応力度照査

応力度比（圧縮＋曲げ）	$\sigma_c/f_c + \sigma_b/f_b = \dfrac{87.6}{190.6} + \dfrac{11.5}{193.0}$
	＝0.52 ≦ 1.00
応力度比（せん断）	τ/f_s＝0.6／111.4＝0.01 ≦ 1.00

(3)　非常用ガス処理系排気筒当板溶接部の検討

非常用ガス処理系排気筒当板溶接部が非常用ガス処理系排気筒から受ける水平力及び鉛直力によって生じるせん断力について検討を行う。なお水平力は水平方向溶接部で，鉛直力は鉛直方向溶接部で負担するものとする。

・溶接部諸元

当板サイズ	PL-19×200×200
材質	400 材相当
隅肉サイズ	s_3＝12.0 mm
有効のど厚	a_3＝12.0×0.7－1.0＝7.4 mm
鉛直方向溶接長	ℓ_{V3}＝200.0×2＝400.0 mm
水平方向溶接長	ℓ_{H3}＝200.0×2＝400.0 mm
鉛直方向有効断面積	$A_{V3}=a_4\cdot\ell_{V3}$ ＝7.4×400.0＝2960 mm^2
水平方向有効断面積	$A_{H3}=a_4\cdot\ell_{H3}$ ＝7.4×400.0＝2960 mm^2
合計有効断面積	$A_{S3}=A_{V3}+A_{H3}$ ＝2960＋2960＝5920 mm^2
設計基準強度	F＝185.0 N/mm^2
許容せん断応力度	f_s＝106.8 N/mm^2

・作用力

鉛直力	$Q_V=N_c/2$＝（734300／2）＝367200 N
水平力	$Q_H=H/2$＝（1749／2）＝874.5 N

・作用応力度

せん断応力度（鉛直方向）	$\tau_V=Q_V/A_{S3}=\dfrac{367200}{5920}$ ＝62.1 N/mm^2
せん断応力度（水平方向）	$\tau_H=Q_H/A_{S3}=\dfrac{874.5}{5920}$ ＝0.2 N/mm^2
せん断応力度（合計）	$\tau=\sqrt{\tau_V^2+\tau_H^2}=\sqrt{62.1^2+0.2^2}$ ＝62.2 N/mm^2

・応力度照査

応力度比	τ/f_s＝62.2／106.8＝0.59 ≦ 1.00

表 4-4　短期許容荷重時算定結果一覧

		発生応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)	発生応力度 / 許容応力度
受梁Ⓑの検討	圧縮応力度	131.9	163.2	0.81　≦1.00
受梁Ⓐの検討	圧縮応力度	87.6	190.6	0.52　≦1.00
	曲げ応力度	11.5	193.0	
非常用ガス処理系排気筒当板溶接部の検討	せん断応力度	62.2	106.8	0.59　≦1.00

Ⅴ-2-8　放射線管理施設の耐震性についての計算書

目次

Ⅴ-2-8-1　放射線管理施設の耐震計算結果
Ⅴ-2-8-2　放射線管理用計測装置の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-2-1　主蒸気管放射線モニタの耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-2-2　格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-2-3　格納容器雰囲気放射線モニタ（S／C）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-2-4　原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタの耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-2-5　フィルタ装置出口放射線モニタ　（低レンジ）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-2-6　フィルタ装置出口放射線モニタ　（高レンジ）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-2-7　耐圧強化ベント系放射線モニタの耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-2-8　使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-2-9　使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-3　換気設備の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-3-1　中央制御室換気系の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-3-1-1　中央制御室換気系ダクトの耐震性について計算書
Ⅴ-2-8-3-1-2　中央制御室換気系空気調和機ファン，中央制御室換気系フィルタ系ファンの耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-3-1-3　中央制御室換気系フィルタユニットの耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-3-2　中央制御室待避室の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-3-2-1　管の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-3-2-2　中央制御室待避室差圧の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-3-3　緊急時対策所換気系の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-3-3-1　緊急時対策所換気系ダクトの耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-3-3-2　管の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-3-3-3　緊急時対策所非常用送風機の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-3-3-4　緊急時対策所非常用フィルタ装置の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-3-3-5　緊急時対策所用差圧の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-3-4　第二弁操作室の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-3-4-1　管の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-3-4-2　第二弁操作室差圧の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-4　生体遮蔽の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-4-1　二次遮蔽の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-4-2　中央制御室遮蔽の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-4-3　中央制御室待避室遮蔽の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-4-4　緊急時対策所遮蔽の耐震性についての計算書
Ⅴ-2-8-4-5　第二弁操作室遮蔽の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-8-1　放射線管理施設の耐震計算結果

目次

1. 概要 ····· 1
2. 耐震評価条件整理 ····· 1

1. 概要

本資料は，放射線管理施設の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

放射線管理施設の設備に対して，設計基準対象施設の耐震クラス，重大事故等対処設備の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については，耐震評価における手法及び条件について，既に認可を受けた実績と差異の有無を整理した。また，重大事故等対処設備のうち，設計基準対象施設であるものについては，重大事故等対処設備の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表 2-1 に示す。

放射線管理施設のうち，新設又は，新規登録の設計基準対象施設並びに重大事故等対処設備の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載することとする。

なお，既設の設備における弾性設計用地震動S_d又は静的地震力による耐震計算については，基準地震動S_sによる評価結果が弾性設計用地震動S_d又は静的地震力の許容限界を満足する場合，省略することとする。弾性設計用地震動S_dによる疲労評価については，弾性設計用地震動S_dによる繰返し回数が，基準地震動S_sで設定している繰返し回数以内であることを確認しているため，省略する。

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（1/4）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
放射線管理施設	放射線管理用計測装置	主蒸気管放射線モニタ	S	無	Ⅴ-2-8-2-1	－	－	－
		格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）	S	無	Ⅴ-2-8-2-2	常設耐震／防止 常設／緩和	有	Ⅴ-2-8-2-2
		格納容器雰囲気放射線モニタ（S／C）	S	無	Ⅴ-2-8-2-3	常設耐震／防止 常設／緩和	有	Ⅴ-2-8-2-3
		原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタ	S	無	Ⅴ-2-8-2-4	－	－	－
		フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-8-2-5
		フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-8-2-6
		耐圧強化ベント系放射線モニタ	－	－	－	常設耐震／防止	－	Ⅴ-2-8-2-7

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（2/4）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
放射線管理施設	放射線管理用計測装置	使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-8-2-8
		使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-8-2-9
	換気設備	主配管（ダクト）	S	無	Ⅴ-2-8-3-1-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	Ⅴ-2-8-3-1-1
		中央制御室換気系空気調和機ファン	S	無	Ⅴ-2-8-3-1-2	常設耐震／防止 常設／緩和	無	Ⅴ-2-8-3-1-2
		中央制御室換気系フィルタ系ファン	S	無	Ⅴ-2-8-3-1-2	常設耐震／防止 常設／緩和	無	Ⅴ-2-8-3-1-2
		中央制御室換気系フィルタユニット	S	無	Ⅴ-2-8-3-1-3	常設耐震／防止 常設／緩和	無	Ⅴ-2-8-3-1-3

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（3/4）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
放射線管理施設	換気設備	主配管	－	－	－	常設／緩和	－	Ⅴ-2-8-3-2-1
		中央制御室待避室差圧計	－	－	－	常設／緩和	－	Ⅴ-2-8-3-2-2
		主配管（ダクト）	－	－	－	常設／緩和	－	Ⅴ-2-8-3-3-1
		主配管	－	－	－	常設／緩和	－	Ⅴ-2-8-3-3-2
		緊急時対策所非常用送風機	－	－	－	常設／緩和	－	Ⅴ-2-8-3-3-3
		緊急時対策所非常用フィルタ装置	－	－	－	常設／緩和	－	Ⅴ-2-8-3-3-4
		緊急時対策所用差圧計	－	－	－	常設／緩和	－	Ⅴ-2-8-3-3-5

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（4/4）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
放射線管理施設	換気設備	主配管	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-8-3-4-1
		第二弁操作室差圧計	－	－	－	常設／緩和	－	Ⅴ-2-8-3-4-2
	生体遮蔽装置	二次遮蔽	B	無	Ⅴ-2-8-4-1	常設／防止 常設／緩和	無	Ⅴ-2-8-4-1
		中央制御室遮蔽	S	－	Ⅴ-2-8-4-2	常設耐震／防止 常設／緩和	無	Ⅴ-2-8-4-2
		中央制御室待避室遮蔽	－	－	－	常設／緩和	－	Ⅴ-2-8-4-3
		緊急時対策所遮蔽	－	－	－	常設／緩和	－	Ⅴ-2-8-4-4
		第二弁操作室遮蔽	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-8-4-5

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備を示す。

Ⅴ-2-8-2　放射線管理用計測装置の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-8-2-1　主蒸気管放射線モニタの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 4
2.4 記号の説明 ····· 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 7
3. 評価部位 ····· 8
4. 地震応答解析及び構造強度評価 ····· 8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 8
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 8
4.2.2 許容応力 ····· 8
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 8
4.3 解析モデル及び諸元 ····· 11
4.4 固有周期 ····· 13
4.5 設計用地震力 ····· 14
4.6 計算方法 ····· 15
4.6.1 溶接部の応力 ····· 15
4.7 計算条件 ····· 17
4.7.1 溶接部の応力計算条件 ····· 17
4.8 応力の評価 ····· 17
4.8.1 溶接部の応力評価 ····· 17
5. 機能維持評価 ····· 18
5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 18
6. 評価結果 ····· 18
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 18

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，主蒸気管放射線モニタが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

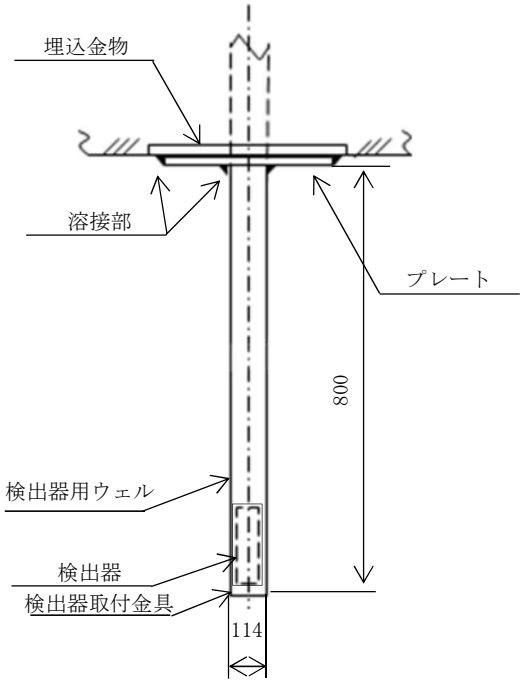
主蒸気管放射線モニタは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

主蒸気管放射線モニタの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，検出器取付金具により，検出器用ウェルに固定され，検出器用ウェルは埋込金物に溶接されたプレートに溶接で設置する。	電離箱	 （単位：mm）

2.2　評価方針

主蒸気管放射線モニタの応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す主蒸気管放射線モニタの部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で算出した固有周期及び荷重に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6.　評価結果」に示す。

主蒸気管放射線モニタの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

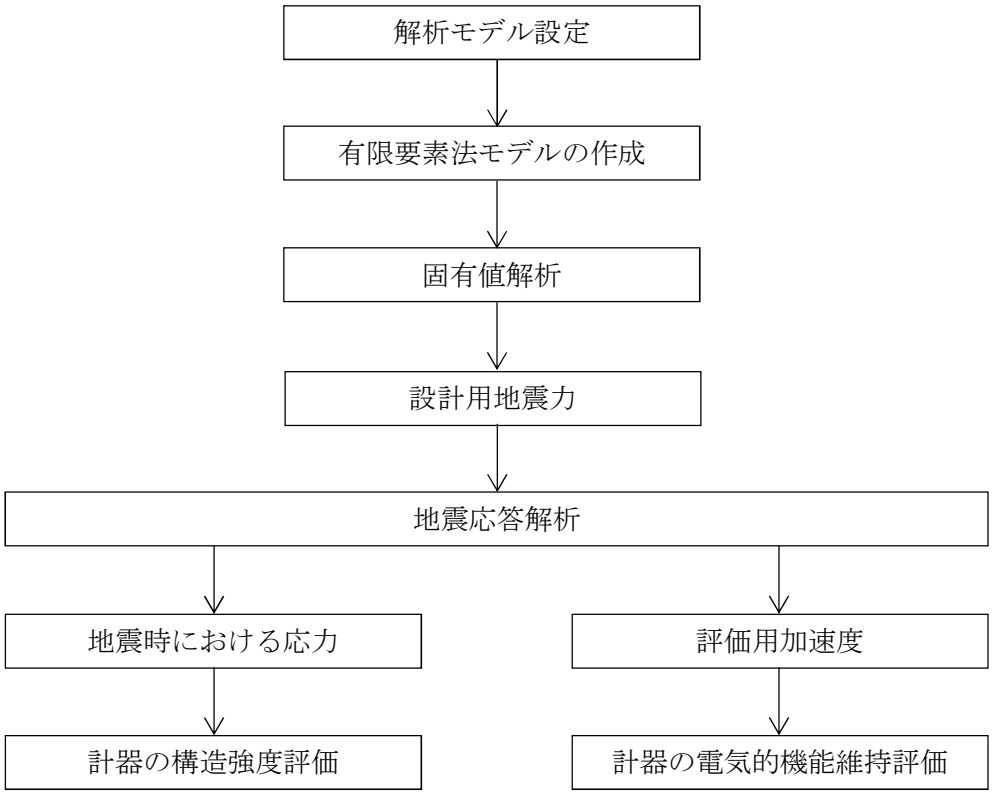


図 2-1　主蒸気管放射線モニタの耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））

ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
a	溶接部の有効のど厚	mm
A	検出器用ウェルの断面積	mm^2
A_w	溶接部の有効断面積	mm^2
A_{wX}	溶接部のF_Xに対する有効断面積	mm^2
A_{wZ}	溶接部のF_Zに対する有効断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
D_1	検出器用ウェルの外径	mm
D_2	検出器用ウェルの内径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3121.1に定める値	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3121.3に定める値	MPa
F_X	溶接部に作用する力（X方向）	N
F_Y	溶接部に作用する力（Y方向）	N
F_Z	溶接部に作用する力（Z方向）	N
f_s	溶接部の許容せん断応力（f_sを1.5倍した値またはf_s*を1.5倍した値）	MPa
I_p	検出器用ウェルの断面二次極モーメント	mm^4
I_y	検出器用ウェルの断面二次モーメント（y軸）	mm^4
I_z	検出器用ウェルの断面二次モーメント（z軸）	mm^4
ℓ	据付面から検出器及び検出器取付金具の重心までの距離	mm
m_a	検出器，検出器取付金具の質量	kg
M_X	溶接部に作用するモーメント（X軸）	N･mm
M_Y	溶接部に作用するモーメント（Y軸）	N･mm
M_Z	溶接部に作用するモーメント（Z軸）	N･mm
s	溶接脚長	mm
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
Z_{p1}	検出器用ウェルのねじり断面係数	mm^3
Z_{y1}	検出器用ウェルの断面係数（y軸）	mm^3
Z_{z1}	検出器用ウェルの断面係数（z軸）	mm^3
Z_{X2}	溶接全断面におけるX軸方向の断面係数	mm^3
Z_{Z2}	溶接全断面におけるZ軸方向の断面係数	mm^3
Z_{p2}	溶接全断面におけるねじり断面係数	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
σ_t	溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_b	溶接部に生じる曲げ応力	MPa
σ_w	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
τ	溶接部に生じるせん断応力	MPa

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	-	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	-	-	整数位
質量*1	kg	-	-	整数位
長さ*1	mm	-	-	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3.　評価部位

主蒸気管放射線モニタの耐震評価は，「4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる溶接部を選定して実施する。主蒸気管放射線モニタの耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4.　地震応答解析及び構造強度評価

4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　地震力は主蒸気管放射線モニタに対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(2)　主蒸気管モニタは，溶接により天井の埋込金物に固定されるものとする。

(3)　主蒸気管モニタの質量は，検出器，検出器取付金具，検出器用ウェル及びプレートを考慮する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

主蒸気管放射線モニタの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2-3 に示す。

4.2.2　許容応力

主蒸気管放射線モニタの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 2-4 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

主蒸気管放射線モニタの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2-5 に示す。

表 2-3　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	放射線管理用計測装置	主蒸気管放射線モニタ	S	－*	$D+P_D+M_D+S_d$*	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

注記　＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 2-4　許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許　容　限　界*1, *2 （ボ ル ト 以 外）			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	曲げ
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s	1.5・f_c	1.5・f_b
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*	1.5・f_c*	1.5・f_b*

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-5　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
溶接部	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	170	373	－

4.3　解析モデル及び諸元

主蒸気管放射線モニタの解析モデルを 3 次元はりモデルとして図 2-2 に，解析モデルの概要を以下に示す。検出器用ウェルは円筒で原子炉建屋に固定されることから，解析モデルにおいて，①の部材の直線とみなし，支持点（検出器用ウェル基礎部）1 点で固定されるものとする。また，解析モデルにおいて，検出器及び検出器取付金具の質量は質点に集中するものとし，質点は検出器取付位置に設置する。機器の諸元を表 2-6，部材の機器要目を表 2-7 に示す。

(1)　図 2-2 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

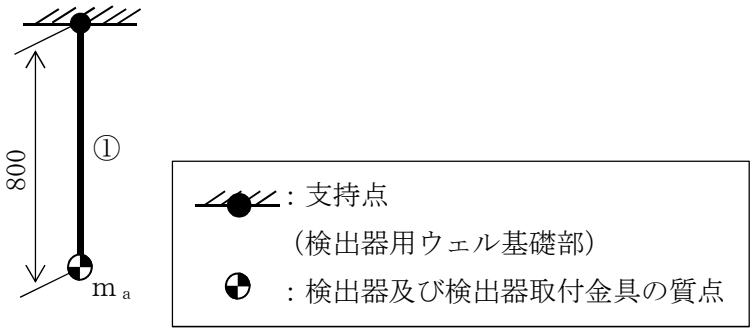
(2)　図 2-2 中の ⊕ は検出器及び検出器取付金具の質量を示し，m_a は□kg である。

(3)　図 2-2 中の ― は検出器用ウェルを，⋀● は支持点（検出器用ウェル基礎部）を示す。

(4)　拘束条件として，基礎部のＸＹＺ方向及び回転方向を固定する。

(5)　解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値及び荷重を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。



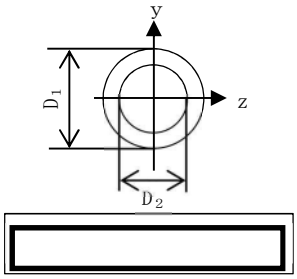
（単位：mm）

図 2-2　解析モデル

表 2-6　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

表 2-7　部材の機器要目

材料		
対象要素	①	
A（mm^2）		
I_y（mm^4）		
I_z（mm^4）		
I_p（mm^4）		
Z_{y1}（mm^3）		
Z_{z1}（mm^3）		
Z_{p1}（mm^3）		
断面形状（mm）		

4.4　固有周期

固有値解析結果を表 2-8 に示す。

１次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は２次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表2-8　固有値解析結果

モード	固有周期（ｓ）	卓越方向
１次		水平

4.5　設計用地震力

「弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度」及び「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-9 に示す。

表 2-9　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平	鉛直	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL. 20. 30＊1			C_H＝0. 78	C_v＝0. 54	C_H＝1. 34	C_v＝1. 01

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0. 05 秒以下であり剛であることを確認した。

4.6　計算方法

4.6.1　溶接部の応力

3次元はりモデルによる地震応答解析から溶接部の荷重を算出し，その結果を用いて理論式にて溶接部を評価する。

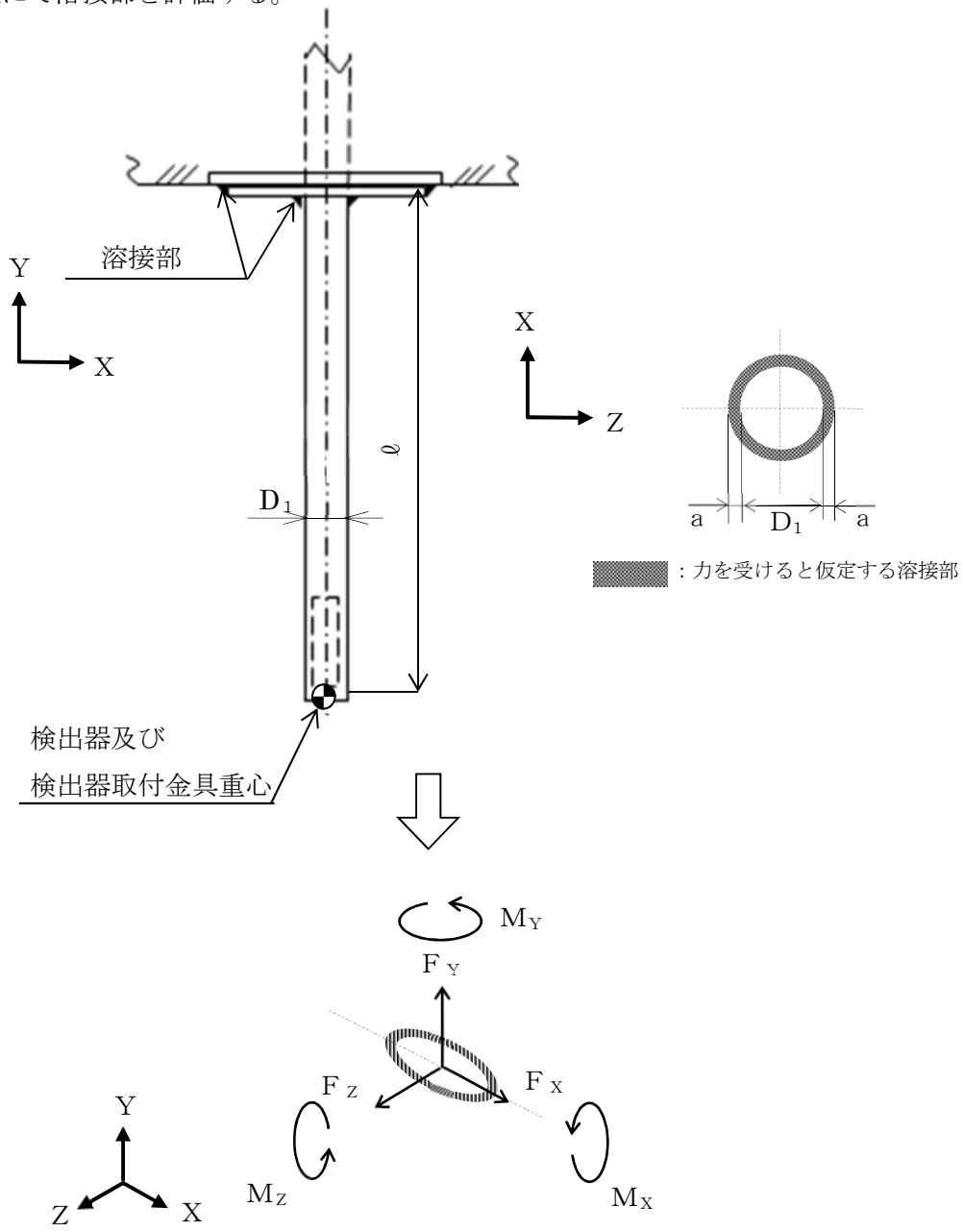


図 2-3　計算モデル（溶接部）

地震応答解析によって得られた溶接部評価点の反力とモーメントを表 2-10 に示す。

表2-10　溶接部発生反力，モーメント

対象計器	反力(N)			モーメント(N･mm)		
	F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z
D17-N003A D17-N003B D17-N003C D17-N003D						

(1)　引張応力

溶接部に対する引張応力は，全溶接断面積で受けるものとして計算する。

引張応力（σ_t）

$$\sigma_t = \frac{F_Y}{A_w} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1)$$

ここで，引張り力を受ける溶接部の有効断面積A_wは，次式により求める。

$$A_w = \frac{\pi}{4} \{(D_1+2\cdot a)^2 - D_1^2\} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2)$$

ただし，溶接部の有効のど厚 a は，

$$a = 0.7 \cdot s \quad \cdots\cdots (4.6.1.3)$$

(2)　せん断応力

溶接部に対するせん断応力は，各方向の有効せん断面積で受けるものとして計算する。

せん断応力（τ）

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{F_X}{A_{wX}} + \frac{M_Y}{Z_{p2}}\right)^2 + \left(\frac{F_Z}{A_{wZ}} + \frac{M_Y}{Z_{p2}}\right)^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.4)$$

ここで，A_{wX}，A_{wZ}はせん断力を受ける各方向の有効断面積，Z_pは溶接断面におけるねじり断面係数を示す。

A_{wX}，A_{wZ}は，次式により求める。

$$A_{wX} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{4} ((D_1+2\cdot a)^2 - D_1^2) \cdots\cdots (4.6.1.5)$$

$$A_{wZ} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{4} ((D+2\cdot a)^2 - D^2) \cdots\cdots (4.6.1.6)$$

(3)　曲げ応力

溶接部に対する曲げモーメントは，図4-2でＸ軸方向，Ｚ軸方向に対する曲げモーメントを最も外側の溶接部で受けるものとして計算する。

曲げ応力（σ_b）

$$\sigma_b = \frac{M_X}{Z_{X2}} + \frac{M_Z}{Z_{Z2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.7)$$

Z_X，Z_Zは溶接断面のＸ軸及びＺ軸に関する断面係数を示す。

(4)　組合せ応力

溶接に対する組合せ応力は，各応力を足し合わせたものとして計算する。

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + \tau^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.8)$$

4.7　計算条件

4.7.1　溶接部の応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【主蒸気管放射線モニタの耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

4.8　応力の評価

4.8.1　溶接部の応力評価

4.6.1項で求めた溶接部に発生する応力は，許容応力f_S以下であること。

ただし，f_Sは下表による。

	弾性設計用地震動Ｓ$_d$ 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓ$_s$による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_S	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

主蒸気管放射線モニタの電気的機能維持評価について，以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

主蒸気管放射線モニタの機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-11 に示す。

表 2-11 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
主蒸気管放射線モニタ	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

主蒸気管放射線モニタの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【主蒸気管放射線モニタの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
主蒸気管放射線モニタ	S	EL. 20.30*1			C_H=0.78	C_v=0.54	C_H=1.34	C_v=1.01	

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 主蒸気管放射線モニタ

部材	ℓ (mm)	s (mm)	a (mm)	D_1 (mm)	A_w (mm^2)	A_{wX} (mm^2)	A_{wZ} (mm^2)	Z_{X2} (mm^3)	Z_{Z2} (mm^3)	Z_{p2} (mm^3)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
溶接部											170	373	170	204

1.3 計算数値

1.3.1 溶接部に作用する力 (単位：N)

部材	F_X		F_Y		F_Z	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
溶接部						

1.3.2 溶接部に作用するモーメント (単位：N･mm)

部材	M_X		M_Y		M_Z	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
溶接部						

1.4　結論

1.4.1　溶接部の応力

（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
溶接部		引張り	σ_t＝1	f_s＝98	σ_t＝2	f_s＝117
		せん断	τ＝2	f_s＝98	τ＝3	f_s＝117
		曲げ	σ_b＝22	f_s＝98	σ_b＝37	f_s＝117
		組合せ	σ_w＝23	f_s＝98	σ_w＝39	f_s＝117

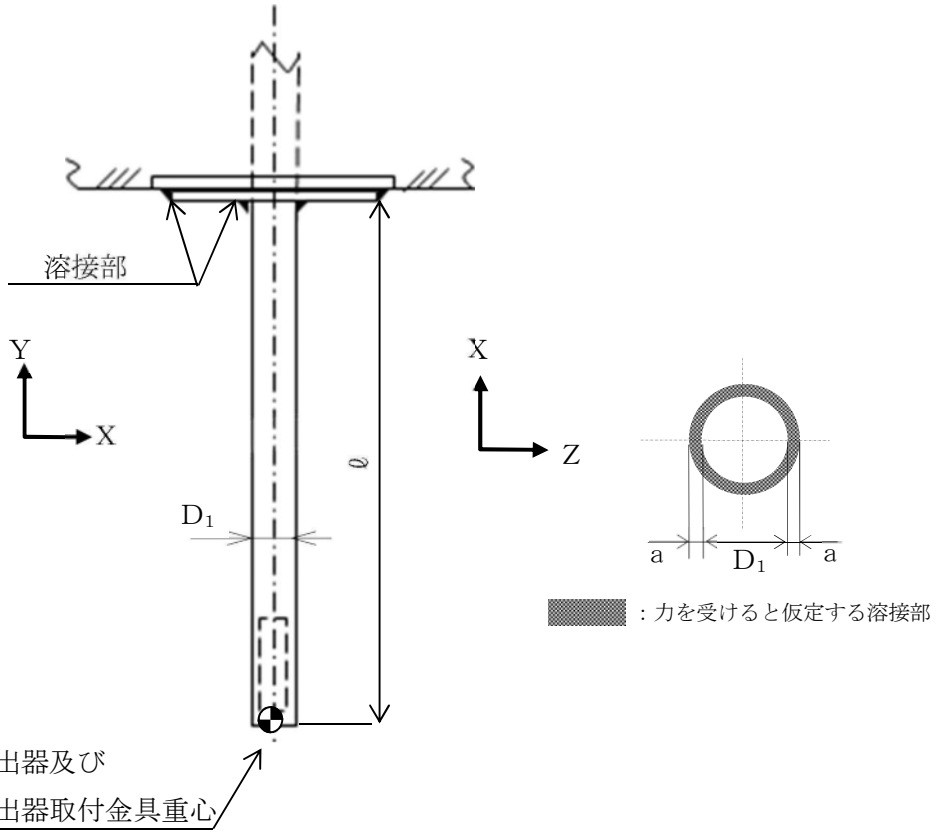
すべて許容応力以下である。

1.4.2　電気的機能維持の評価結果

（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
主蒸気管放射線モニタ	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



Ⅴ-2-8-2-2　格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｄ／Ｗ）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 4
2.4 記号の説明 ····· 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 6
3. 評価部位 ····· 7
4. 固有周期 ····· 7
4.1 固有値解析方法 ····· 7
4.2 解析モデル及び諸元 ····· 7
4.3 固有値解析結果 ····· 9
5. 構造強度評価 ····· 10
5.1 構造強度評価方法 ····· 10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 10
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 10
5.2.2 許容応力 ····· 10
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 10
5.3 設計用地震力 ····· 14
5.4 計算方法 ····· 15
5.4.1 応力の計算方法 ····· 15
5.5 計算条件 ····· 17
5.5.1 取付ボルトの応力計算条件 ····· 17
5.6 応力の評価 ····· 18
5.6.1 ボルトの応力評価 ····· 18
6. 機能維持評価 ····· 19
6.1 電気的機能維持評価方法 ····· 19
7. 評価結果 ····· 20
7.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 20
7.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 20

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

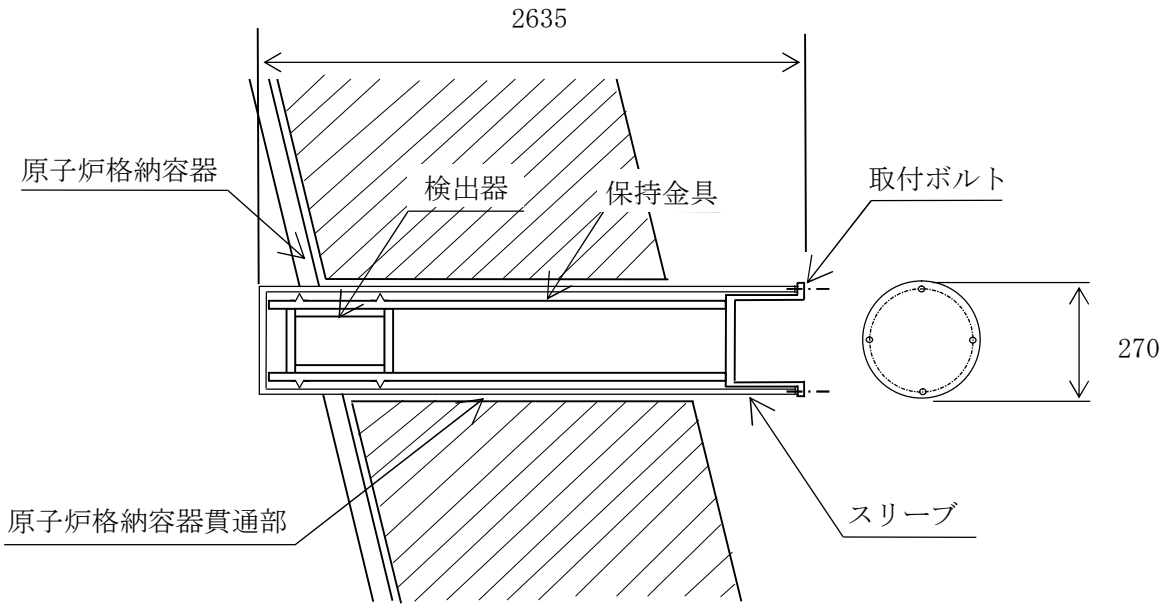
格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）は，設計基準対象施設においてはSクラス施設に，重大事故等対処設備においては，常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，保持金具に固定され取付ボルトで格納容器貫通部のスリーブに固定する。 保持金具のボルト固定部分は格納容器貫通部のスリーブにより半径方向は固定される。 スリーブは原子炉格納容器に溶接される。	電離箱	 （単位：mm）

2.2　評価方針

格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）の応力評価は，添付書類「V-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）の部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「5.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）の機能維持評価は，添付書類「V-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「6.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7.　評価結果」に示す。

格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

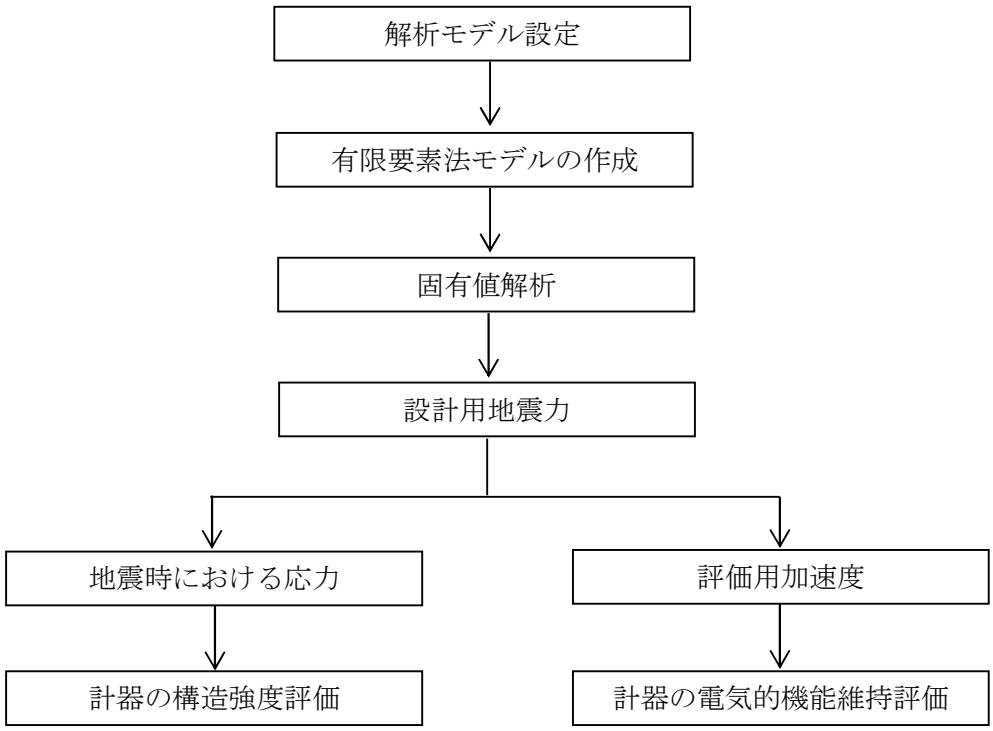


図 2-1　格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
A	スリーブの断面積	mm^2
A_b	取付ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	取付ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F_b	取付ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
f_{to}	引張力のみを受ける取付ボルトの許容引張応力（f_tを1.5倍した値又はf_t*を1.5倍した値）	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
I_p	スリーブの断面二次極モーメント	mm^4
I_y	スリーブの断面二次モーメント（ｙ軸）	mm^4
I_z	スリーブの断面二次モーメント（ｚ軸）	mm^4
m	格納容器貫通部のスリーブ及び検出器の総質量	kg
m_a	検出器及び保持金具の質量	kg
n	取付ボルトの本数	－
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
Z_p	スリーブのねじり断面係数	mm^3
Z_y	スリーブの断面係数（ｙ軸）	mm^3
Z_z	スリーブの断面係数（ｚ軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	取付ボルトに生じる引張応力	MPa

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は，表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3.　評価部位

格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｄ／Ｗ）の耐震評価は，「5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる取付ボルトについて実施する。

格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｄ／Ｗ）の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4.　固有周期

4.1　固有値解析方法

格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｄ／Ｗ）の固有値解析方法を「4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

4.2　解析モデル及び諸元

格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｄ／Ｗ）の解析モデルを 3 次元はりモデルとして図 4-1 に，解析モデルの概要を以下に示す。スリーブは円筒で格納容器に溶接されることから，解析モデルにおいて，①の部材の直線とみなし，支持点（格納容器との溶接部）１点で固定されるものとする。また，解析モデルにおいて，検出器及び保護金具の質量は質点に集中するものとし，重心はスリーブの中心に位置することから，質点はスリーブの中心に設置する。

機器の諸元を表 4-1，部材の機器要目を表 4-2 に示す。

(1)　図 4-1 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

(2)　図 4-1 中の ◓ は検出器及び保持金具の質点を示し，m_aは□kg である。

(3)　図 4-1 中の ━ はスリーブを，● は格納容器との溶接部を示す。

(4)　拘束条件として，溶接部は原子炉格納容器の剛性を模擬したばねでＸＹＺ方向を固定されるものとする。

(5)　解析コードは，「ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-1　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

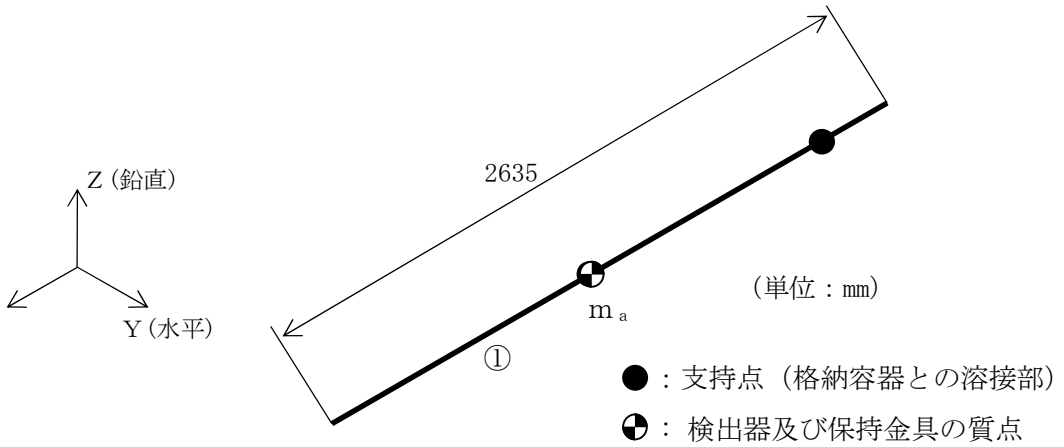


表 4-1　格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）機器諸元

項目	記号	単位	
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

表 4-2　部材の機器要目

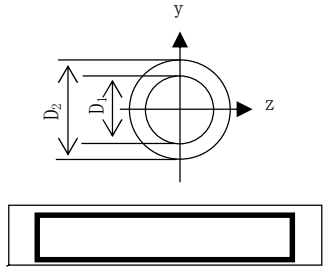
材料							
対象要素	①						
A （mm^2）							
I_y （mm^4）							
I_z （mm^4）							
I_p （mm^4）							
Z_y （mm^3）							
Z_z （mm^3）							
Z_p （mm^3）							
断面形状 （mm）							

図 4-1　解析モデル

4.3　固有値解析結果

格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）の固有値解析の結果を表 4-3 に示す。固有値解析の結果，X方向（スリーブの長手方向）については固有周期が 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表4-3　固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			X方向	Y方向	Z方向
1次		水平	0.000	0.439	0.000
2次		鉛直	0.000	0.000	0.438
3次		水平	0.529	0.000	0.000

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)～(6)のほか，次の条件で計算する。

(1) 格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）は取付ボルトにより格納容器貫通部のスリーブに固定されているため，取付ボルトについて評価を行う。

(2) 評価対象の取付ボルトで固定している保持金具によりスリーブの半径方向は固定されており，取付ボルトに対するせん断力は生じないことから，評価はスリーブの長手方向に発生する引張力について行う。

(3) 評価を行うスリーブの長手方向は固有値解析の結果，剛であることを確認していることから，静的解析により評価を行う。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）の許容応力は，添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表 5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	放射線管理用計測装置	格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）	S	－*1	$D+P_D+M_D+S_d^*$ *2	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　*1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*2：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 5-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	放射線管理用計測装置	格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）	常設耐震／防止常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$ *3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-3　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢＡＳ	1.5・ｆ ｔ	1.5・ｆ ｓ
ⅣＡＳ	1.5・ｆ ｔ*	1.5・ｆ ｓ*
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの 許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	201	373	―

表 5-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	193	373	―

5.3　設計用地震力

「弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度」及び「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-3-2　炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。評価に用いる設計用地震力を表 5-6，表 5-7 に示す。なお，固有周期及び設計用震度については，水平方向には評価を行う格納容器貫通部スリーブの長手方向の値を記載し，鉛直方向については評価を行わないため，記載を省略する。

表 5-6　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
[redacted] EL. 24. 80 (EL. 27. 43*1)	[redacted]		C_H=0. 88	－*3	C_H=1. 61	－*3
[redacted] EL. 24. 00 (EL. 24. 42*1)			C_H=0. 88	－*3	C_H=1. 54	－*3

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：格納容器貫通部スリーブの長手方向の固有周期を記載する。

＊3：せん断力の評価を行わないため，記載を省略する。

表 5-7　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
[redacted] EL. 24. 80 (EL. 27. 43*1)	[redacted]		－	－	C_H=1. 61	－*3
[redacted] EL. 24. 00 (EL. 24. 42*1)			－	－	C_H=1. 54	－*3

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：格納容器貫通部スリーブの長手方向の固有周期を記載する。

＊3：せん断力の評価を行わないため，記載を省略する。

5.4　計算方法

5.4.1　応力の計算方法

5.4.1.1　取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は，地震による震度により生じる引張力について計算する。引張力は固有値解析において剛であることを確認した格納容器貫通部スリーブの長手方向に発生することから，引張力の計算は静的解析とする。なお，せん断力は格納容器貫通部のスリーブ及び保持金具により固定されており，取付ボルトに対するせん断力は生じないことから計算しない。

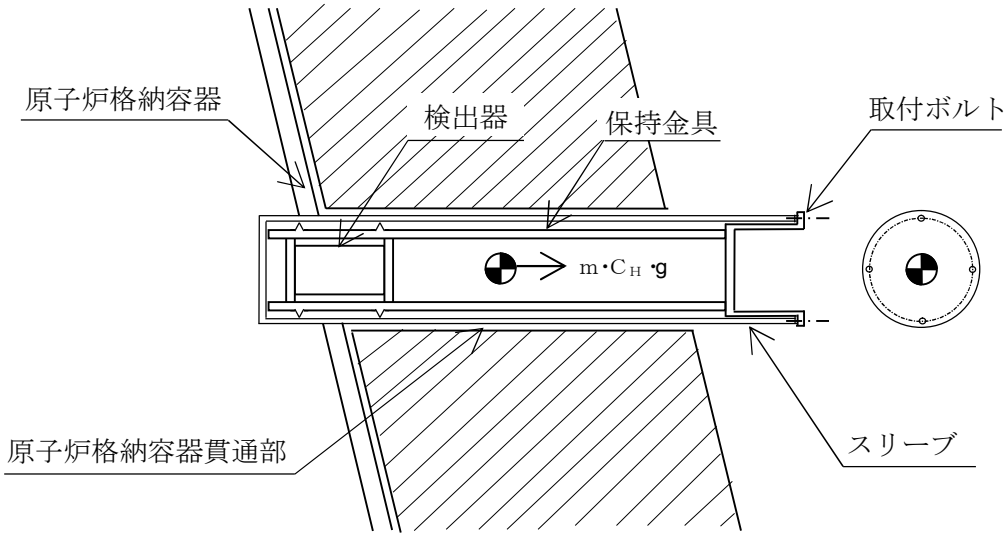


図5-1　計算モデル

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は，図5-1で示すように取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

$$F_b = \frac{m \cdot C_H \cdot g}{n} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.1)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.2)$$

ここで，取付ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.3)$$

5.5　計算条件

5.5.1　取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6　応力の評価

5.6.1　ボルトの応力評価

5.5.1項で求めたボルトの引張応力σ_bは許容引張応力f_{to}以下であること。ただし，f_{to}は下表による。

	弾性設計用地震動S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}$・1.5	$\frac{F^*}{2}$・1.5

6. 機能維持評価

6.1 電気的機能維持評価方法

格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）の電気的機能維持評価について以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）	水平	
	鉛直	

7.　評価結果

7.1　設計基準対象施設としての評価結果

格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

7.2　重大事故等対処設備としての評価結果

格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）(D23-N003A) の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）	S	EL. 24. 80 (EL. 27. 43*1)			C_H=0. 88	－*3	C_H=1. 61	－*3	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：格納容器貫通部スリーブの長手方向の固有周期を記載する。
＊3：せん断力の評価を行わないため，記載を省略する。

1.2 機器要目

1.2.1 格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）(D23-N003A)

部材	m (kg)	A_b (mm^2)	n	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
取付ボルト				201	373	201	241

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト		

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取 付 ボ ル ト	[redacted]	引張り	σ_b＝2	f_{to}＝150	σ_b＝4	f_{to}＝181

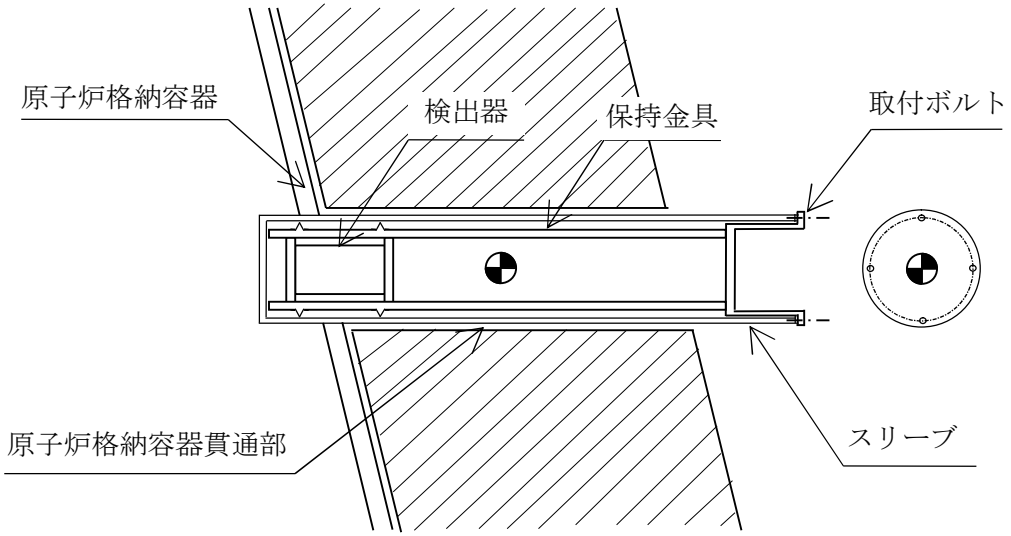
すべて許容応力以下である。

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度*	機能確認済加速度
格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）	水平方向	1.31	[redacted]
	鉛直方向	4.42	

注記　＊：評価用加速度は格納容器貫通部の応答加速度又は1.0ZPAのうちいずれかの大きい値。



2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）	常設耐震／防止常設／緩和	EL. 24.80 (EL. 27.43*1)			－	－	C_H＝1.61	－*3	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：格納容器貫通部スリーブの長手方向の固有周期を記載する。
＊3：せん断力の評価を行わないため，記載を省略する。

2.2 機器要目

2.2.1 格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）(D23-N003A)

部材	m (kg)	A_b (mm^2)	n	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)
取付ボルト				193	373	231

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト		

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取 付 ボ ル ト	[redacted]	引張り	－	－	σ_b＝4	f_{to}＝173

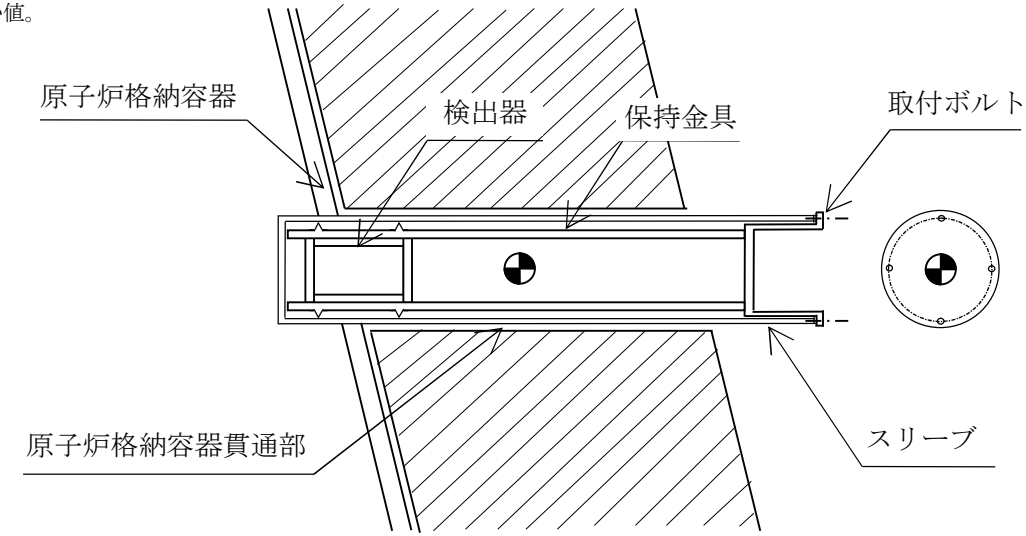
すべて許容応力以下である。

2.4.2 電気的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度*	機能確認済加速度
格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）	水平方向	1.31	[redacted]
	鉛直方向	4.42	

注記　＊：評価用加速度は格納容器貫通部の応答加速度又は1.0ZPAのうちいずれかの大きい値。



【格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）(D23-N003B) の耐震性についての計算結果】

3. 設計基準対象施設

3.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）	S	EL. 24. 00 (EL. 24. 42*1)			C_H=0. 88	－*3	C_H=1. 54	－*3	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：格納容器貫通部スリーブの長手方向の固有周期を記載する。
＊3：せん断力の評価を行わないため，記載を省略する。

3.2 機器要目

3.2.1 格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）(D23-N003B)

部材	m (kg)	A_b (mm^2)	n	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
取付ボルト				201	373	201	241

3.3 計算数値

3.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト		

3.4 結論

3.4.1 ボルトの応力

（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト	[redacted]	引張り	σ_b＝2	f_{to}＝150	σ_b＝4	f_{to}＝181

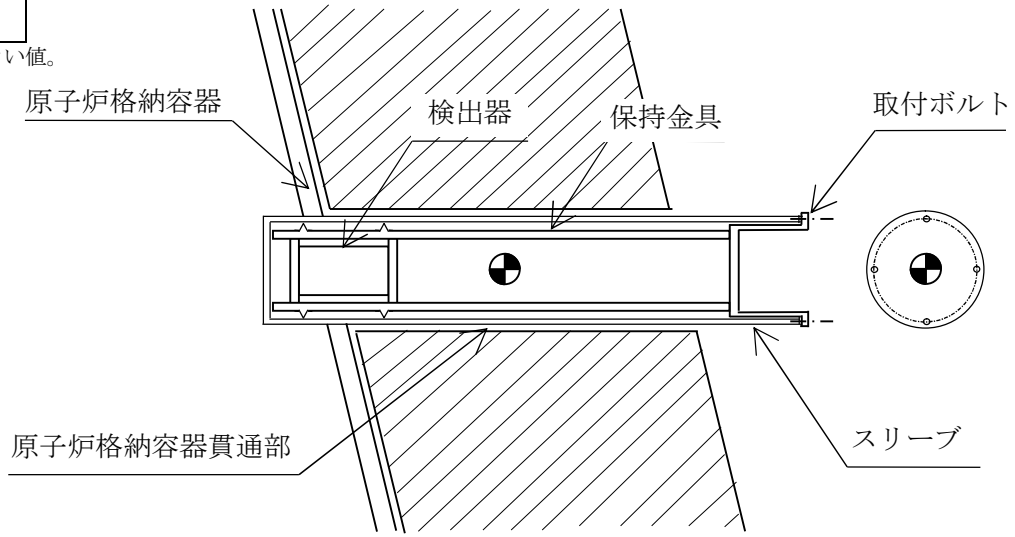
すべて許容応力以下である。

3.4.2 電気的機能維持の評価結果

（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度*	機能確認済加速度
格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）	水平方向	1.13	[redacted]
	鉛直方向	4.25	

注記　＊：評価用加速度は格納容器貫通部の応答加速度又は1.0ZPAのうちいずれかの大きい値。



4. 重大事故等対処設備

4.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
格納容器雰囲気放射線モニタ (D／W)	常設耐震／防止常設／緩和	EL. 24. 00 (EL. 24. 42*1)			－	－	C_H＝1. 54	－*3	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：格納容器貫通部スリーブの長手方向の固有周期を記載する。
＊3：せん断力の評価を行わないため，記載を省略する。

4.2 機器要目

4.2.1 格納容器雰囲気放射線モニタ (D／W) (D23-N003B)

部材	m (kg)	A_b (mm^2)	n	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)
取付ボルト				193	373	231

4.3 計算数値

4.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト	－	

4.4 結論

4.4.1 ボルトの応力

（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト	[redacted]	引張り	－	－	σ_b＝4	f_{to}＝173

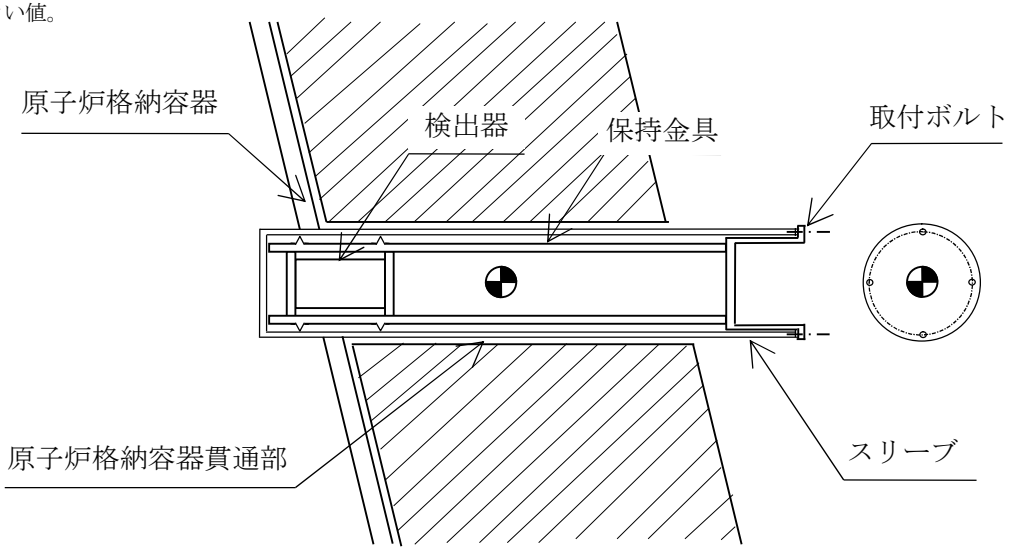
すべて許容応力以下である。

4.4.2 電気的機能維持の評価結果

（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度*	機能確認済加速度
格納容器雰囲気放射線モニタ（D／W）	水平方向	1.13	[redacted]
	鉛直方向	4.25	

注記　＊：評価用加速度は格納容器貫通部の応答加速度又は1.0ZPAのうちいずれかの大きい値。



Ⅴ-2-8-2-3　格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 4
2.4 記号の説明 ····· 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 7
3. 評価部位 ····· 8
4. 固有周期 ····· 8
4.1 固有値解析方法 ····· 8
4.2 解析モデル及び諸元 ····· 8
4.3 固有値解析結果 ····· 11
5 構造強度評価 ····· 12
5.1 構造強度評価方法 ····· 12
5.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 12
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 12
5.2.2 許容応力 ····· 12
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 12
5.3 設計用地震力 ····· 16
5.4 計算方法 ····· 17
5.4.1 基礎ボルトの計算方法 ····· 17
5.5 計算条件 ····· 19
5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件 ····· 19
5.6 応力の評価 ····· 19
5.6.1 ボルトの応力評価 ····· 19
6. 機能維持評価 ····· 20
6.1 電気的機能維持評価方法 ····· 20
7. 評価結果 ····· 21
7.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 21
7.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 21

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

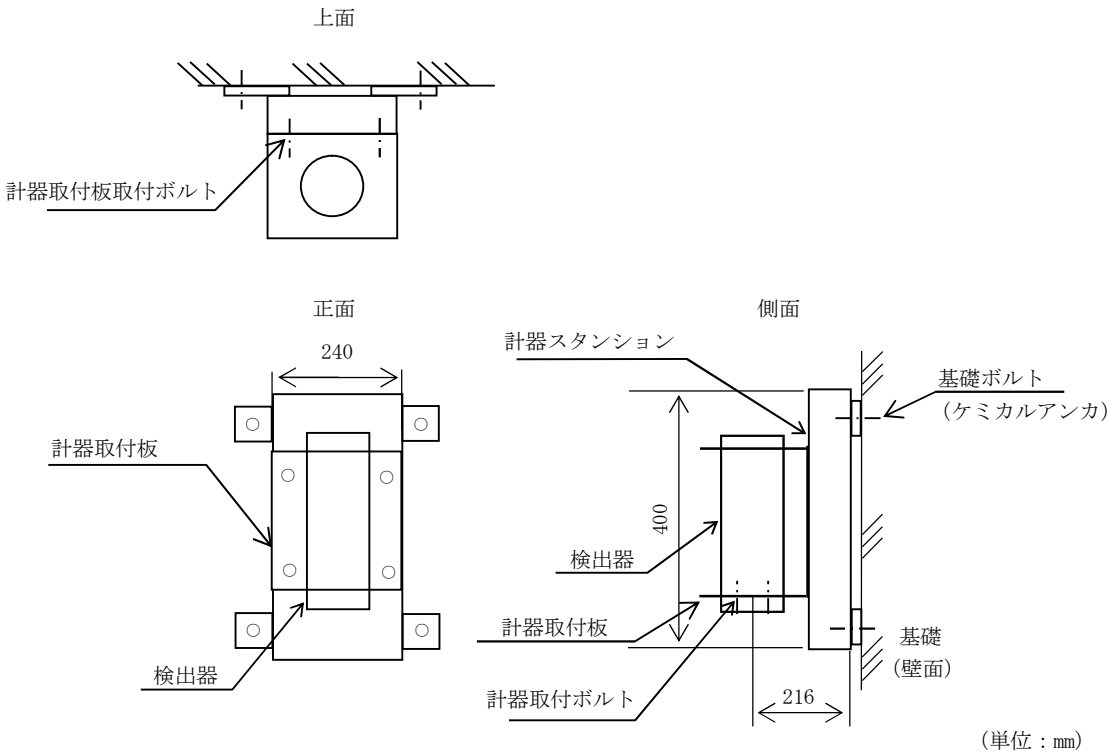
格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに計器取付板取付ボルトで取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	電離箱	

2.2　評価方針

格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「5.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「6.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7.　評価結果」に示す。

格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

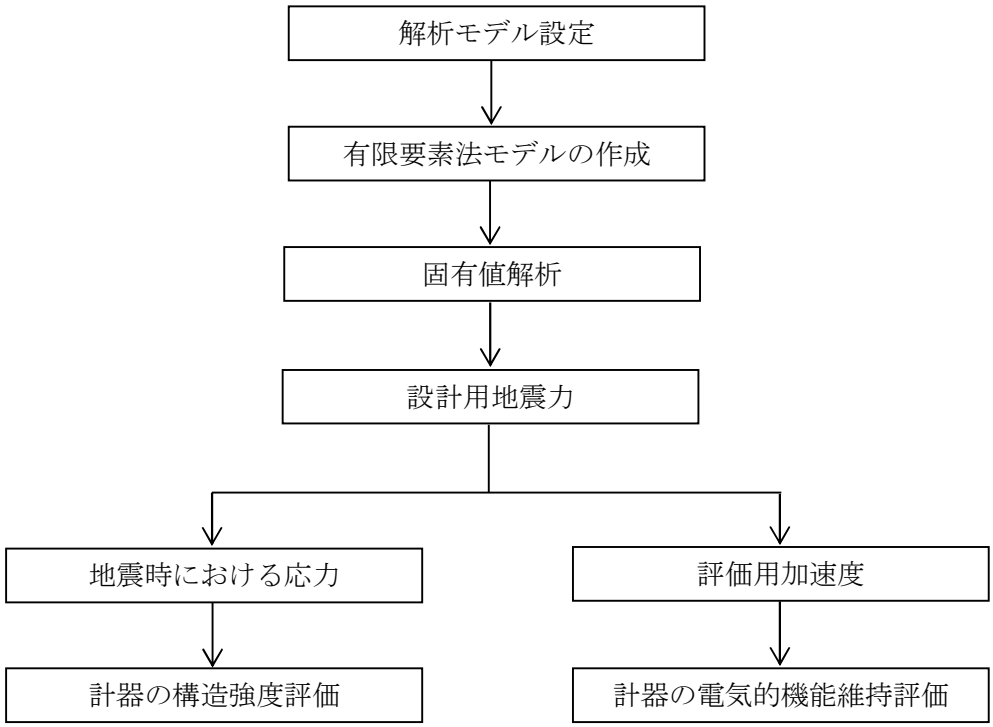


図 2-1　格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991追補版(日本電気協会)

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	計器スタンションの断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格　SSB-3131　に定める値	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3133　に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛板取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）(壁掛形)	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛板取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）(壁掛形)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_sを1.5倍した値又はf_s*を1.5倍した値)	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_tを1.5倍した値又はf_t*を1.5倍した値)	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665)	m/s^2
h_2	取付面から重心までの距離（壁掛形)	mm
I_p	計器スタンションの断面二次極モーメント	mm^4
I_y	計器スタンションの断面二次モーメント（ｙ軸)	mm^4
I_z	計器スタンションの断面二次モーメント（ｚ軸)	mm^4
ℓ_3	重心と下側ボルト間の距離（壁掛形)	mm
ℓ_a	側面(左右)ボルト間の距離（壁掛形)	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離（壁掛形)	mm
m	検出器及び計器スタンションの総質量	kg
m_a	検出器の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形)	N

記号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（ＲＴ）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
Z_p	計器スタンションのねじり断面係数	mm^3
Z_y	計器スタンションの断面係数（ｙ軸）	mm^3
Z_z	計器スタンションの断面係数（ｚ軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の耐震評価は，「5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の固有値解析方法を「4.2　解析モデル及び諸元」に示す。

4.2 解析モデル及び諸元

格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の解析モデルを 3 次元はりモデルとして図 4-1 に，解析モデルの概要を以下に示す。計器スタンションは長方形に組んだ鋼材で原子炉建屋の壁面に 4 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，①～④の部材で組んだ長方形とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）4 点で固定されるものとする。また，解析モデルにおいて，検出器の質量は質点に集中するものとし，質点は検出器の取付位置に設置する。機器の諸元のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。また，部材の機器要目を表 4-3 に示す。

(1) 図 4-1 中○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

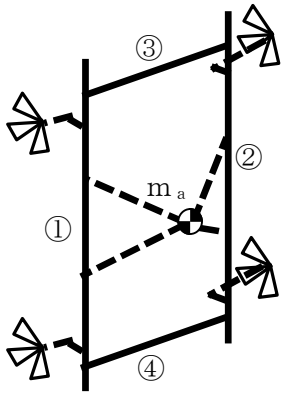
(2) 図 4-1 中の ◓ は検出器質点を示し，m_a は □ kg である。

(3) 図 4-1 中の ━━ は計器スタンション，╍╍ は仮想鋼材， は支持点（計器スタンション基礎部）を示す。

(4) 拘束条件として，基礎部のＸＹＺ方向を固定する。

(5) 解析コードは，「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。



（単位：mm）

：支持点

：検出器質点

図 4-1　解析モデル

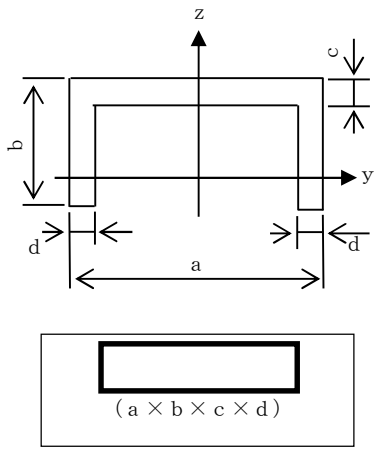
表 4-1　機器諸元（設計基準対象施設）

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

表4-2　機器諸元（重大事故等対処設備）

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

表 4-3　部材の機器要目

材料	
対象要素	①-④
A （mm^2）	
I_y （mm^4）	
I_z （mm^4）	
I_p （mm^4）	
Z_y （mm^3）	
Z_z （mm^3）	
Z_p （mm^3）	
断面形状（mm）	

4.3　固有値解析結果

固有値解析結果のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表4-4　固有値解析結果（設計基準対象施設）

モード	固有周期（s）	卓越方向
1次	[redacted]	水平

表4-5　固有値解析結果（重大事故等対処設備）

モード	固有周期（s）	卓越方向
1次	[redacted]	水平

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

(1) 地震力は，格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）に対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(2) 格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）は，基礎ボルトにより壁面に固定されるものとする。

(3) 格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の質量は検出器，弁及び計器スタンションを考慮する。

(4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の使用材料の許容応力評価条件のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表 5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	放射線管理用計測装置	格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）	S	—*1	$D+P_D+M_D+S_d^{*}$*2	$Ⅲ_AS$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$Ⅳ_AS$

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊2：S_sと組合せ，$Ⅲ_AS$の評価を実施する。

表 5-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	放射線管理用計測装置	格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-3　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	234	385	－

表 5-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	207	373	－

5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-6，表 5-7 に示す。

表 5-6　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL. 2.00 (EL. 3.79*1)			0.63*1	0.49*1	C_H＝1.01	C_V＝0.93

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 5-7　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
EL. 2.00 (EL. 3.79*1)			－	－	C_H＝1.01	C_V＝0.93

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

5.4　計算方法

5.4.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

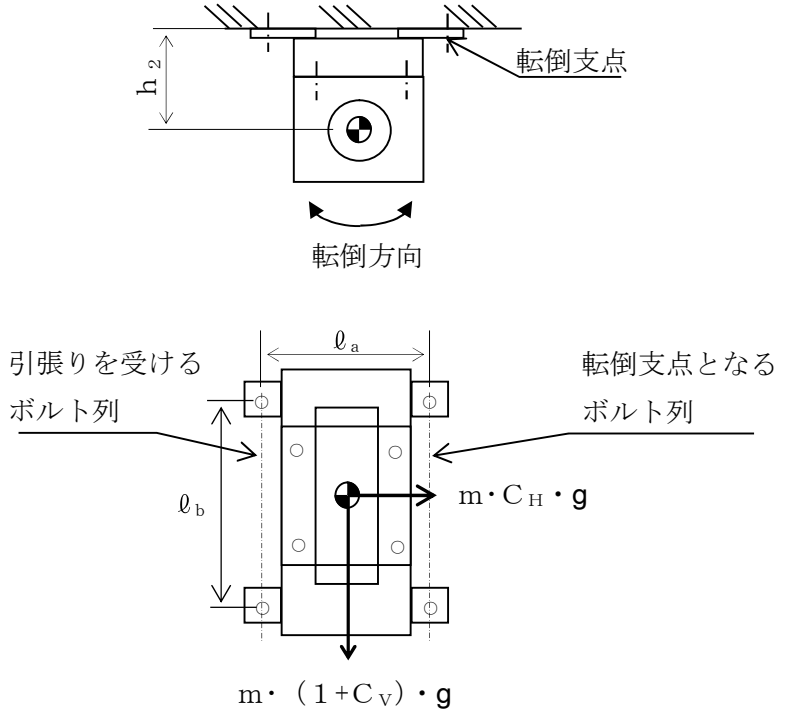


図5-1（1）　計算モデル

（壁掛形　水平方向転倒の場合）

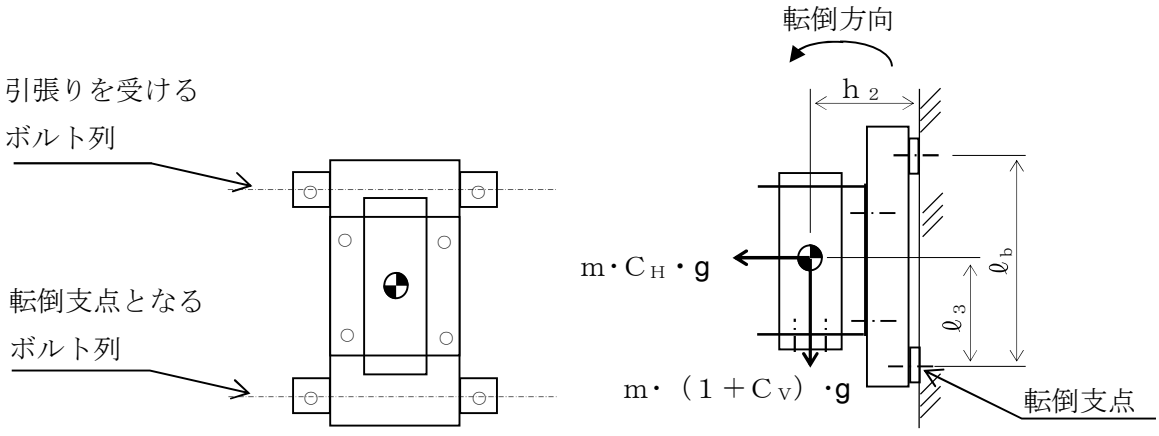


図5-1（2）　計算モデル

（壁掛形　鉛直方向転倒の場合）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図5-1で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図5-1（1）の場合の引張力

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots (5.4.1.1)$$

計算モデル図5-1（2）の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots (5.4.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}(F_{b1}, F_{b2}) \quad \cdots\cdots (5.4.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots (5.4.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots (5.4.1.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_{b1}=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots (5.4.1.6)$$

$$Q_{b2}=m\cdot g\cdot(1+C_V) \quad \cdots\cdots (5.4.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \quad \cdots\cdots (5.4.1.8)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots (5.4.1.9)$$

5.5　計算条件

5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

5.6　応力の評価

5.6.1　ボルトの応力評価

5.4.1 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to} は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし，f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動Ｓ$_d$ 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓ$_s$による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電気的機能維持評価方法

格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の電気的機能維持評価について以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）	水平	
	鉛直	

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）	Ｓ	EL. 2.00 (EL. 3.79*1)			C_H＝0.63	C_V＝0.49	C_H＝1.01	C_V＝0.93	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度	基準地震動Ｓ$_s$
基礎ボルト	234	385	234	270	水平方向	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度	基準地震動Ｓ$_s$	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度	基準地震動Ｓ$_s$
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	□	引張り	σ_b＝2	f_{ts}＝140*	σ_b＝3	f_{ts}＝162*
		せん断	τ_b＝1	f_{sb}＝108	τ_b＝2	f_{sb}＝124

すべて許容応力以下である。

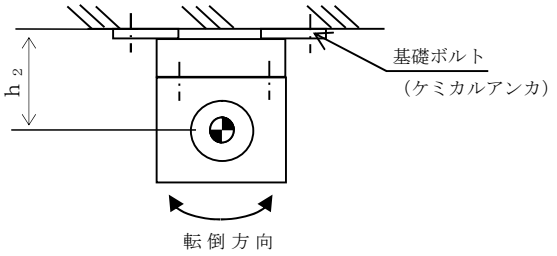
注記　＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

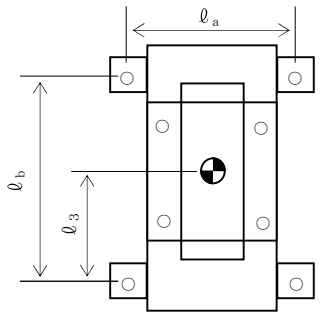
1.4.2 電気的機能維持の評価結果

（×9.8 m/s^2）

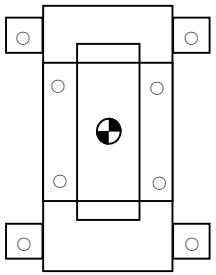
		評価用加速度	機能確認済加速度
格納容器雰囲気 放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）	水平方向	0.84	□
	鉛直方向	0.78	

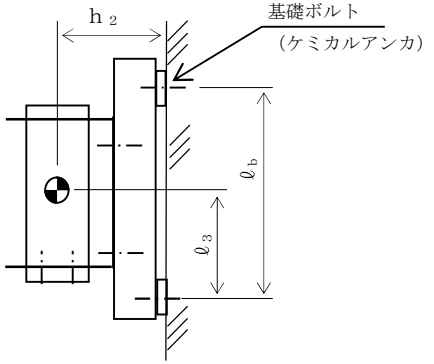
評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。





正面（水平方向）





側面（鉛直方向）

【格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）	常設耐震／防止常設／緩和	EL. 2.00 (EL. 3.79*1)			－	－	C_H＝1.01	C_V＝0.93	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

2.2 機器要目

2.2.1 格納容器雰囲気放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト									

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度	基準地震動Ｓ$_s$
基礎ボルト	207	373	－	249	－	水平方向

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度	基準地震動Ｓ$_s$	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度	基準地震動Ｓ$_s$
基礎ボルト				

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	－	－	σ_b＝3	f_{ts}＝149*
		せん断	－	－	τ_b＝2	f_{sb}＝115

すべて許容応力以下である。

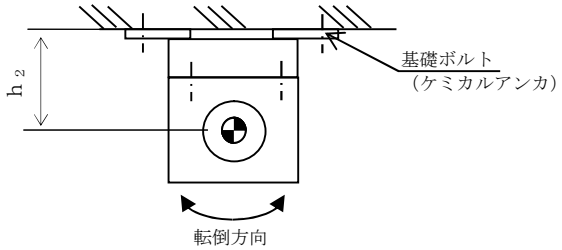
注記　＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

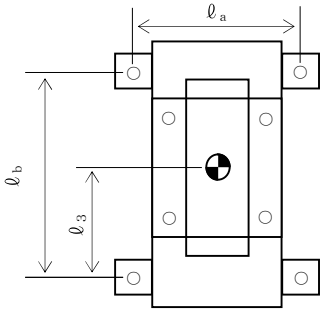
2.4.2 電気的機能維持の評価結果

（×9.8 m/s^2）

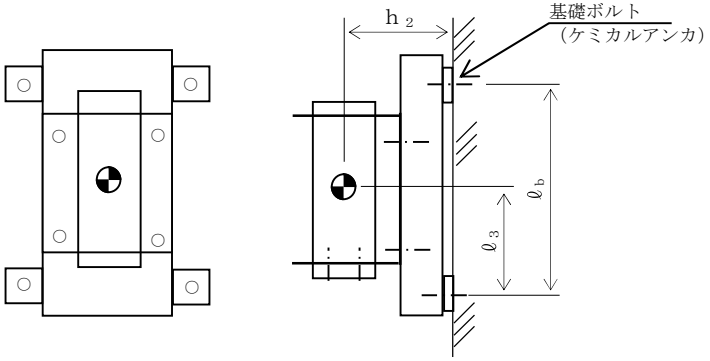
		評価用加速度	機能確認済加速度
格納容器雰囲気 放射線モニタ（Ｓ／Ｃ）	水平方向	0.84	[redacted]
	鉛直方向	0.78	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-8-2-4　原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタの

耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 固有周期 ····· 4
3.1 固有周期の算出方法 ····· 4
4. 構造強度評価 ····· 5
4.1 構造強度評価方法 ····· 5
4.2 荷重の組み合わせ及び許容応力 ····· 5
5. 機能維持評価 ····· 9
5.1 電気的機能維持評価方法 ····· 9
6. 評価結果 ····· 10
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 10

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタの構造計画を表 2-1，表 2-2 に示す。

表 2-1　構造計画

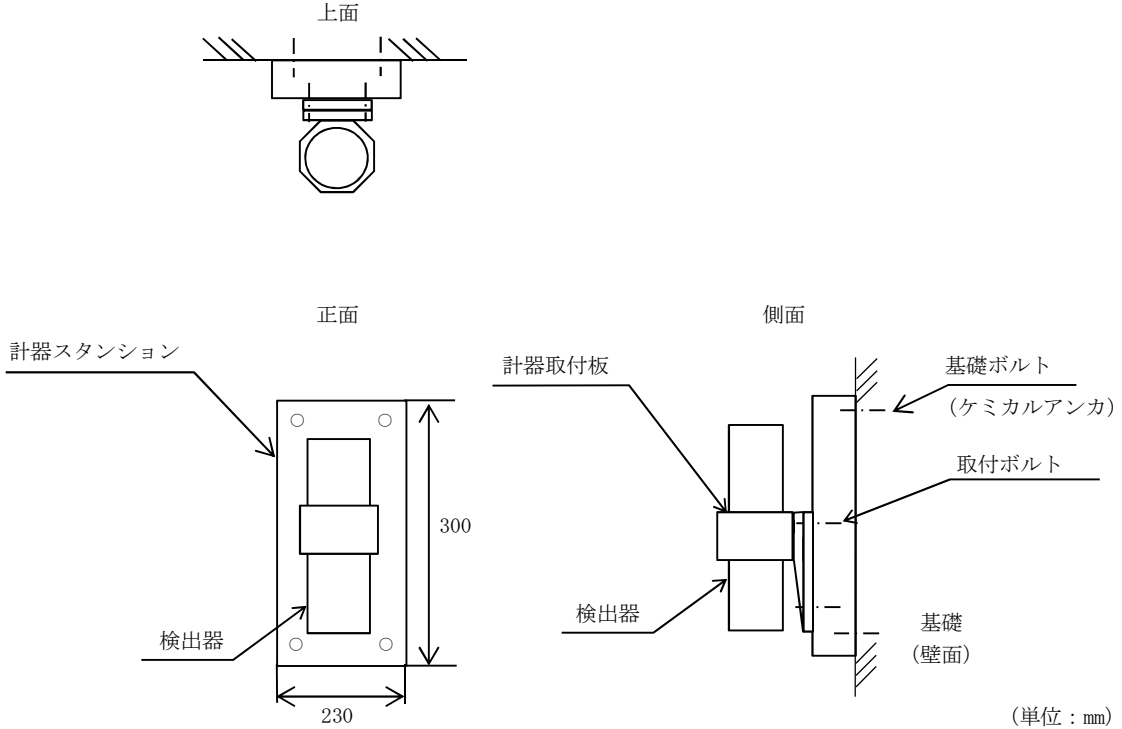
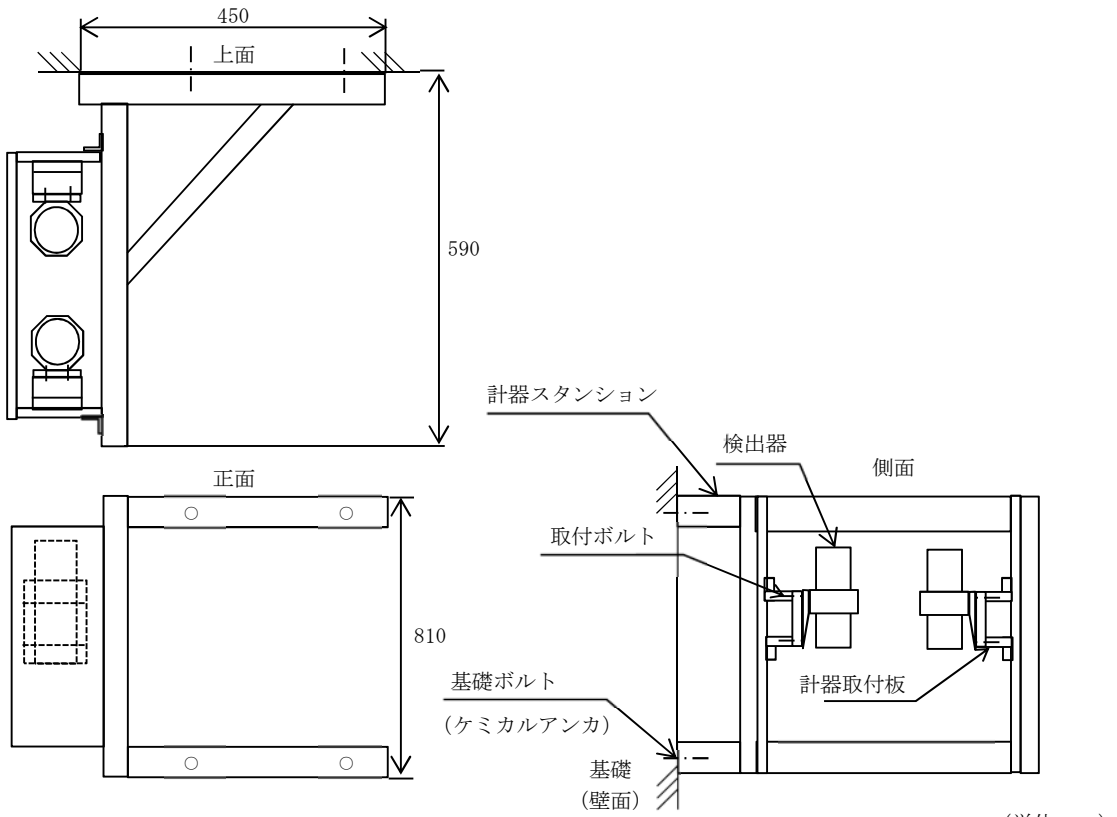
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付板に固定され，取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	半導体検出器	【RE-D17-N300A，B，C，D】 

表 2-2　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は,計器取付板に取付ボルトにより固定され,計器取付板は計器スタンションに固定される。 計器スタンションは,基礎に基礎ボルトで設置する。	半導体検出器	【RE-D17-N009A, B, C, D】  (単位：mm)

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により，当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ，振動計，分析器）により固有振動数を測定する。測定の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期（s）

対象計器	水平方向	鉛直方向
RE-D17-N300A		
RE-D17-N300B		
RE-D17-N300C		
RE-D17-N300D		
RE-D17-N009A,B		
RE-D17-N009C,D		

注記　＊：鉛直方向については，剛構造とみなす。

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタの構造は壁掛形計器スタンションであるため,構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2　許容応力

原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	放射線管理用計測装置	原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタ	S	—*1	$D+P_D+M_D+S_d$ **2	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

注記　*1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*2：S_sと組合せ，$\mathrm{III}_A S$の評価を実施する。

表 4-2　許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト (RE-D17-N300A, B, C, D)	[redacted]	[redacted]	245	400	－
基礎ボルト (RE-D17-N009A, B, C, D)	[redacted]	[redacted]	205	520	205

＊：新 JIS における SS400 相当

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタの電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタの機能確認済加速度には，同型式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタ	水平	[redacted]
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタ（RE-D17-N300A，B，C，D）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタ	S	EL. 46.50 (EL. 57.00*1)			C_H=1.44	C_V=0.94	C_H=2.09	C_V=1.77	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：鉛直方向は剛構造とみなす

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタ

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)	F (MPa)	F＊ (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	245	400	－	245	280	水平方向	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

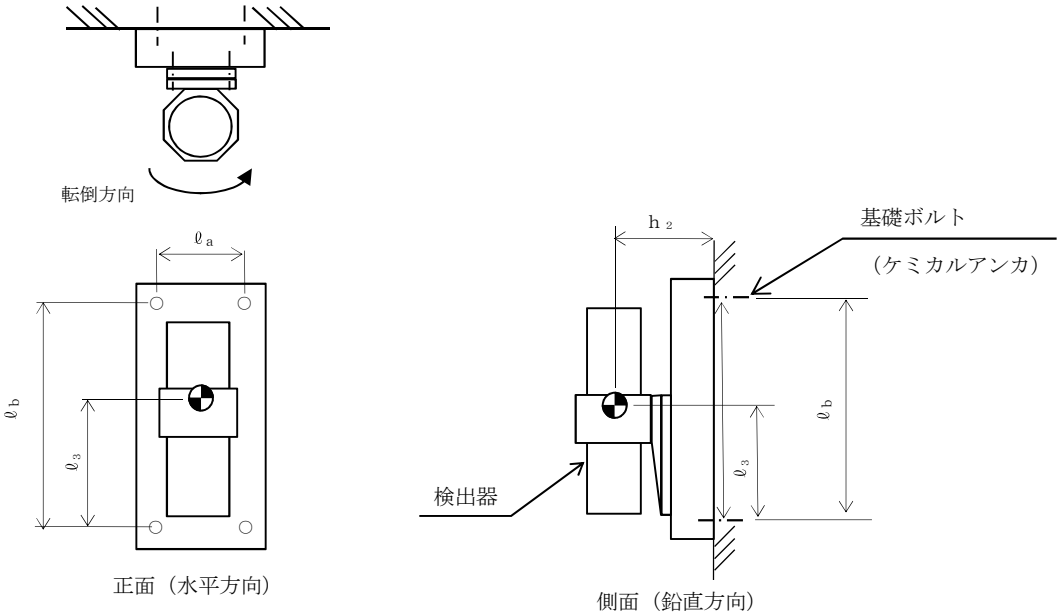
部　　材	材 料	応 力	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	σ_b＝1	f_{ts}＝147*	σ_b＝2	f_{ts}＝168*
		せん断	τ_b＝1	f_{sb}＝113	τ_b＝1	f_{sb}＝129

すべて許容応力以下である。　　注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果　　（×9.8m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉建屋換気系（ダクト） 放射線モニタ	水平方向	1.74	[redacted]
	鉛直方向	1.47	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



【原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタ（RE-D17-N009A，B，C，D）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタ	S	EL. 23.00 (EL. 29.00*1)			C_H=0.88	C_V=0.62	C_H=1.55	C_V=1.17	

注記 *1：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタ

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)	F (MPa)	F * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	205	520	205	205	246	鉛直方向	鉛直方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

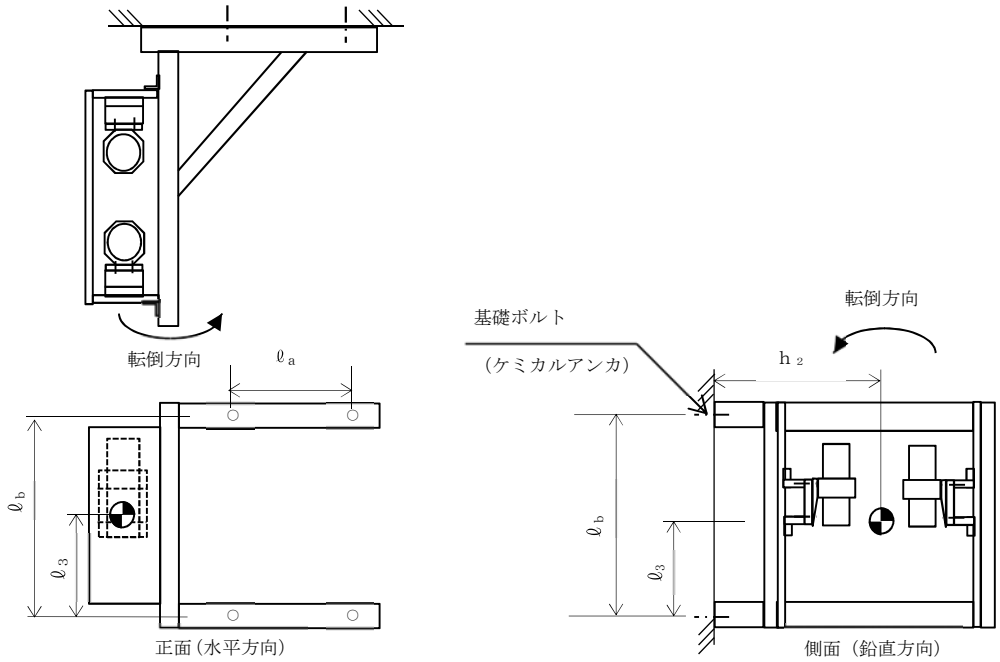
部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	σ_b＝2	f_{ts}＝123*	σ_b＝3	f_{ts}＝147*
		せん断	τ_b＝2	f_{sb}＝94	τ_b＝2	f_{sb}＝113

すべて許容応力以下である。　　注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果　　(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉建屋換気系（ダクト） 放射線モニタ	水平方向	1.29	[redacted]
	鉛直方向	0.98	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である



Ⅴ-2-8-2-5　フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
3. 固有周期 3
3.1 固有周期の算出方法 3
4. 構造強度評価 3
4.1 構造強度評価方法 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 3
4.2.2 許容応力 3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 3
5. 機能維持評価 6
5.1 電気的機能維持評価方法 6
6. 評価結果 7
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 7

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

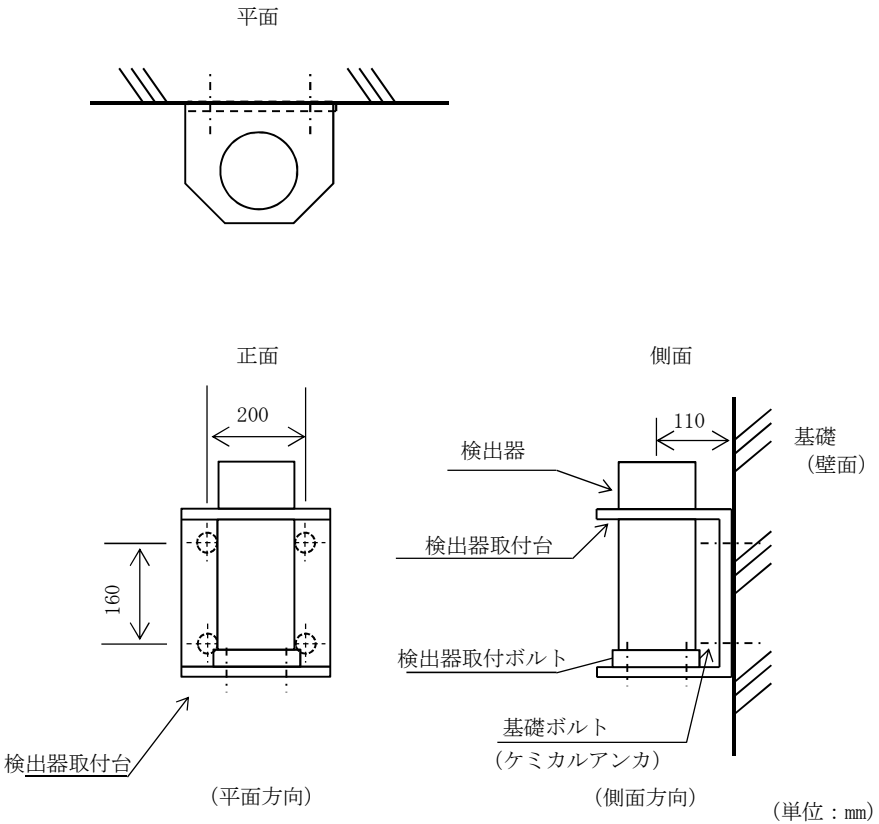
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，検出器取付ボルトにより検出器取付台に固定される。 検出器取付台は，基礎に基礎ボルトで設置する。	電離箱	

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

振動試験装置により固有振動数（共振周波数）を測定した。測定の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）の構造は検出器取付台であり，壁掛形計器スタンションと類似するため，構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2　許容応力

フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）	常設耐震／防止 常設／緩和	―*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
				$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価計算の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等）*1*2	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅣAS	1.5・f_t^*	1.5・f_s^*
VAS （VASとしてⅣASの 許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	245	400	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）の電気的機能維持評価について，以下に示す。電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）の機能確認済加速度には，同型式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）	水平	[redacted]
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）	常設耐震／防止常設／緩和	[redacted] EL. 8.20 (EL. 14.00*)	[redacted]		—	—	C_H＝1.13	C_V＝0.99	[redacted]

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト	[redacted]							2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	245	400	－	280	－	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）に作用する力 （単位：N）

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）の応力 （単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=168^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=129$

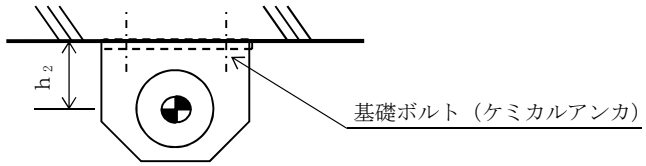
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s^2）

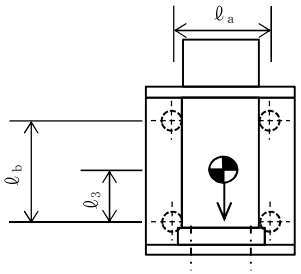
		評価用加速度	機能確認済加速度
フィルタ装置出口放射線モニタ（低レンジ）	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.83	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

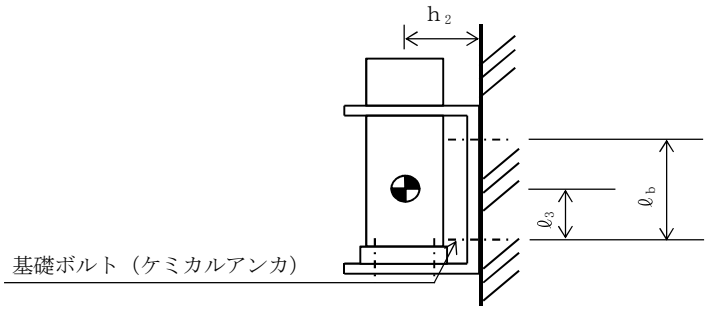


上面（水平方向）

転倒方向



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-8-2-6　フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
3. 固有周期 3
3.1 固有周期の算出方法 3
4. 構造強度評価 3
4.1 構造強度評価方法 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 3
4.2.2 許容応力 3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 3
5. 機能維持評価 6
5.1 電気的機能維持評価方法 6
6. 評価結果 7
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 7

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

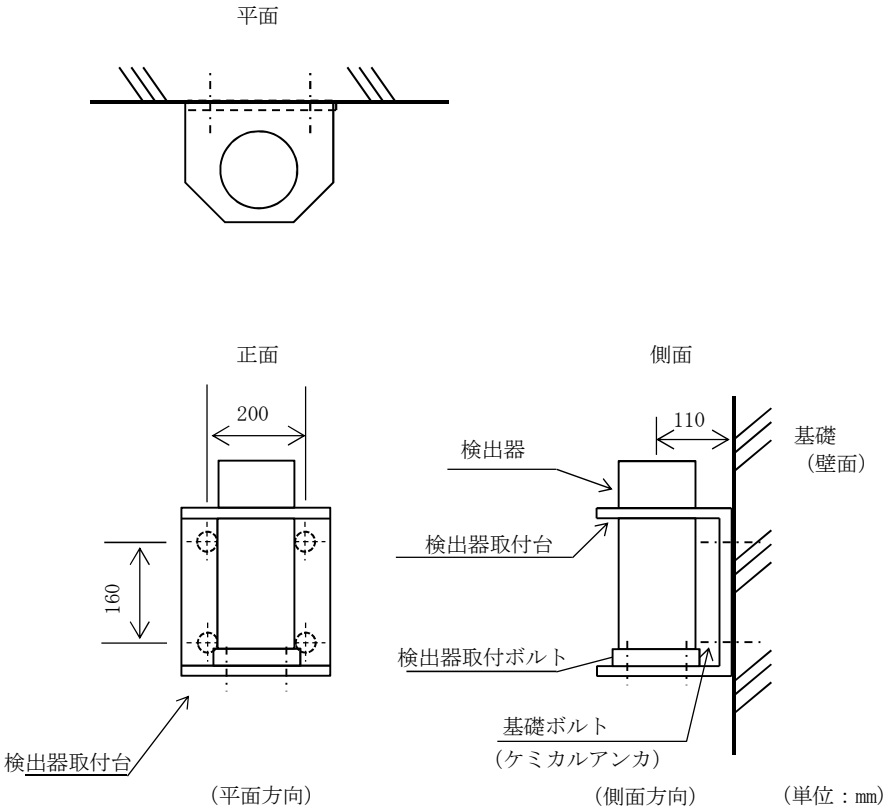
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1　構造計画

フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，検出器取付ボルトにより検出器取付台に固定される。 検出器取付台は，基礎に基礎ボルトで設置する。	電離箱	

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

振動試験装置により固有振動数（共振周波数）を測定する。測定の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）の構造は検出器取付台であり，壁掛形計器スタンションと類似するため，構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2　許容応力

フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
				$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価計算の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等）*1*2	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$Ⅴ_AS$（$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件（℃）		S_y（MPa）	S_u（MPa）	S_y（RT）（MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	245	392	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）の電気的機能維持評価について，以下に示す。電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）の機能確認済加速度には，同型式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）（RE-SA14-N500）	水平	
	鉛直	
フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）（RE-SA14-N502）	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）（RE-SA14-N500）の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）	常設耐震／防止常設／緩和	EL. 8.20 (EL. 14.00*)			—	—	C_H=1.13	C_V=0.99	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	245	400	—	280	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）に作用する力

（単位：N）

部　　材	F_b		F_{b1}		F_{b2}		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト								

1.4 結論

1.4.1 フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）の応力

（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=168^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=129$

すべて許容応力以下である。

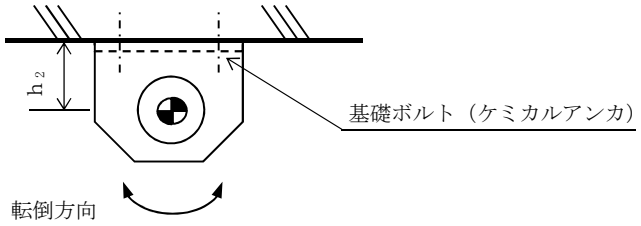
注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

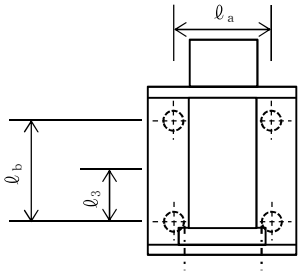
（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.83	

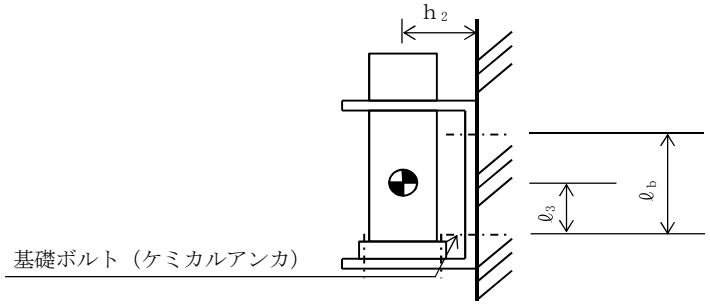
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



上面（水平方向）



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

【フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）（RE-SA14-N502）の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）	常設耐震／防止常設／緩和	EL. 23.70 (EL. 29.00*)			—	—	C_H=1.55	C_V=1.17	

注記 ＊：基準レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	245	400	—	280	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）に作用する力 （単位：N）

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）の応力 （単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=168^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=129$

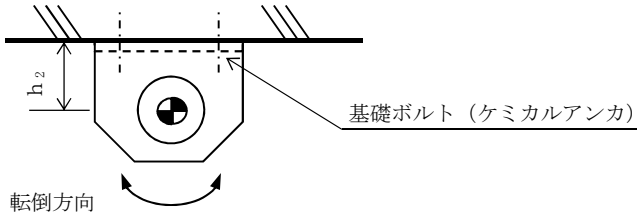
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

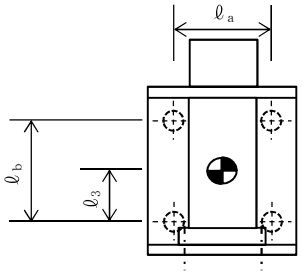
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
フィルタ装置出口放射線モニタ（高レンジ）	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

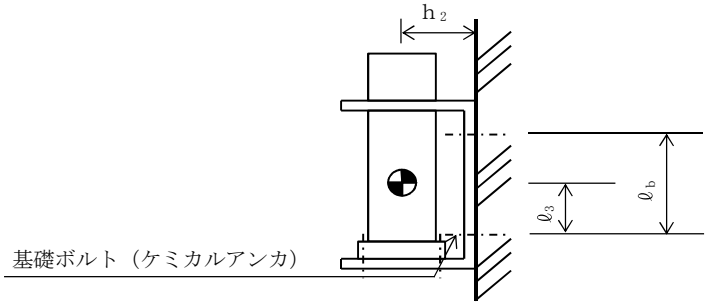
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



上面（水平方向）



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-8-2-7　耐圧強化ベント系放射線モニタの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 4
2.4 記号の説明 ····· 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 6
3. 評価部位 ····· 7
4. 固有周期 ····· 7
4.1 固有値解析方法 ····· 7
4.2 解析モデル及び諸元 ····· 7
4.3 固有値解析結果 ····· 10
5. 構造強度評価 ····· 11
5.1 構造強度評価方法 ····· 11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 11
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 11
5.2.2 許容応力 ····· 11
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件 ····· 11
5.3 設計用地震力 ····· 15
5.4 計算方法 ····· 16
5.4.1 応力の計算方法 ····· 16
5.5 計算条件 ····· 18
5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件 ····· 18
5.6 応力の評価 ····· 18
5.6.1 ボルトの応力評価 ····· 18
6. 機能維持評価 ····· 19
6.1 電気的機能維持評価方法 ····· 19
7. 評価結果 ····· 20
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 20

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，耐圧強化ベント系放射線モニタが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

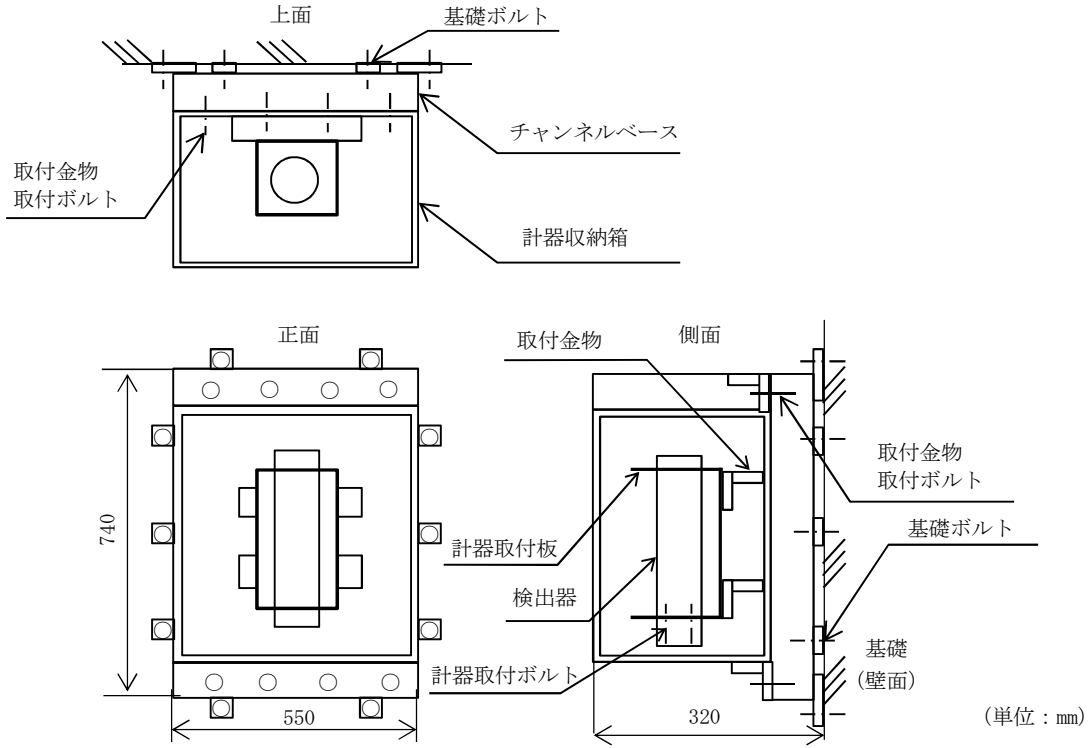
耐圧強化ベント系放射線モニタは，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての分類に応じた構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

耐圧強化ベント系放射線モニタの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより取付金物に取り付けられた計器取付板に固定され，取付金物は取付金物取付ボルトによりチャンネルベースに固定される。 チャンネルベースは，基礎に基礎ボルトで設置する。	電離箱	

2.2　評価方針

耐圧強化ベント系放射線モニタの応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針 3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1 構造計画」にて示す耐圧強化ベント系放射線モニタの部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「5.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，耐圧強化ベント系放射線モニタの機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.3　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「6.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7.　評価結果」に示す。

耐圧強化ベント系放射線モニタの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

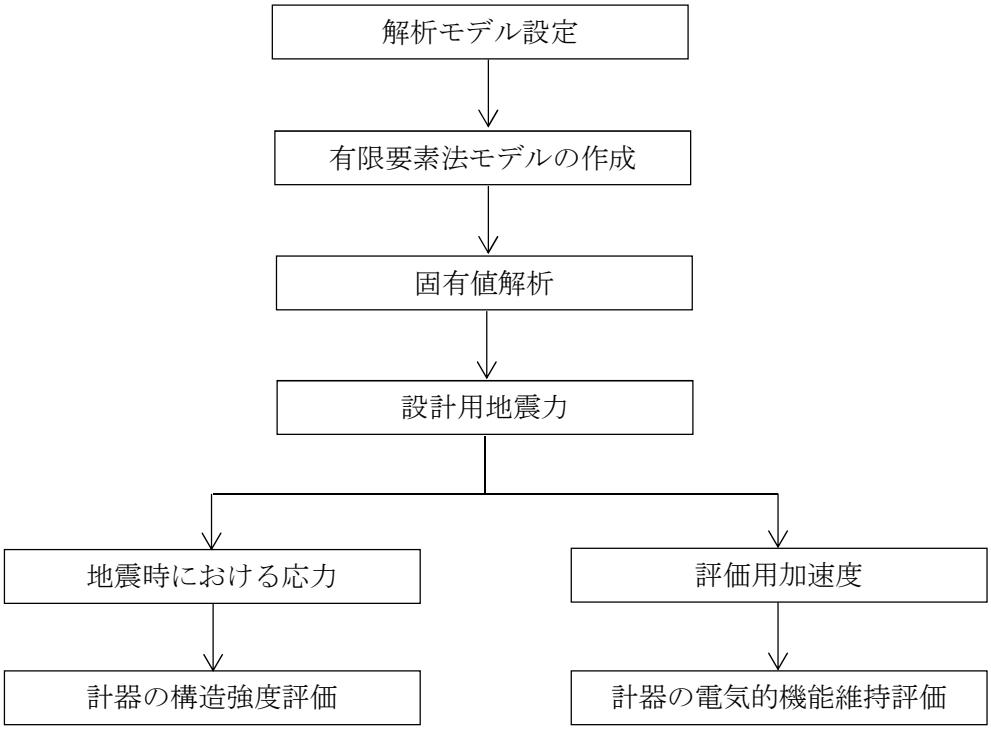


図 2-1　耐圧強化ベント系放射線モニタの耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥＳ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
A	計器収納箱及びチャンネルベースの断面積	mm^2
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛板取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛板取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（１本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_2	取付面から重心までの距離（壁掛形）	mm
I_p	計器収納箱及びチャンネルベースの断面二次極モーメント	mm^4
I_y	計器収納箱及びチャンネルベースの断面二次モーメント（ｙ軸）	mm^4
I_z	計器収納箱及びチャンネルベースの断面二次モーメント（ｚ軸）	mm^4
ℓ_3	重心と下側ボルト間の距離（壁掛形）	mm
ℓ_a	側面（左右）ボルト間の距離（壁掛形）	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離（壁掛形）	mm
m	検出器，計器収納箱及びチャンネルベースの総質量	kg
m_a	検出器の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa

記号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
S_y（RT）	設計・建設規格 付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
Z_p	計器収納箱及びチャンネルベースのねじり断面係数	mm^3
Z_y	計器収納箱及びチャンネルベースの断面係数（y軸）	mm^3
Z_z	計器収納箱及びチャンネルベースの断面係数（z軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は，表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積*2	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

耐圧強化ベント系放射線モニタの耐震評価は,「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき,耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部について実施する。耐圧強化ベント系放射線モニタの耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

耐圧強化ベント系放射線モニタの固有値解析方法を「4.2 解析モデル及び諸元」に示す。

4.2 解析モデル及び諸元

耐圧強化ベント系放射線モニタの解析モデルを 3 次元はりモデルとして図 4-1 に，解析モデルの概要を以下に示す。計器収納箱は箱型で検出器を覆うように取り付けられることから，解析モデルにおいて，⑤～⑱の部材で組んだ直方体とみなす。また，チャンネルベースは長方形に組んだ鋼材で原子炉建屋の壁面に 10 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，①～④の部材で組んだ長方形とみなし，支持点（チャンネルベース基礎部)）10 点で固定されるものとする。解析モデルにおいて，検出器の質量は質点m_aに集中するものとし，質点m_aは保守的に検出器の取付位置の上部に設置する。また，解析モデルにおいて，計器収納箱の質量は 5 箇所の質点m_bに分散されるものとし，質点m_bは保守的に計器収納箱の上部に設置する。機器の諸元を表 4-1，部材の機器要目を表 4-2 に示す。

(1) 図 4-1 中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。

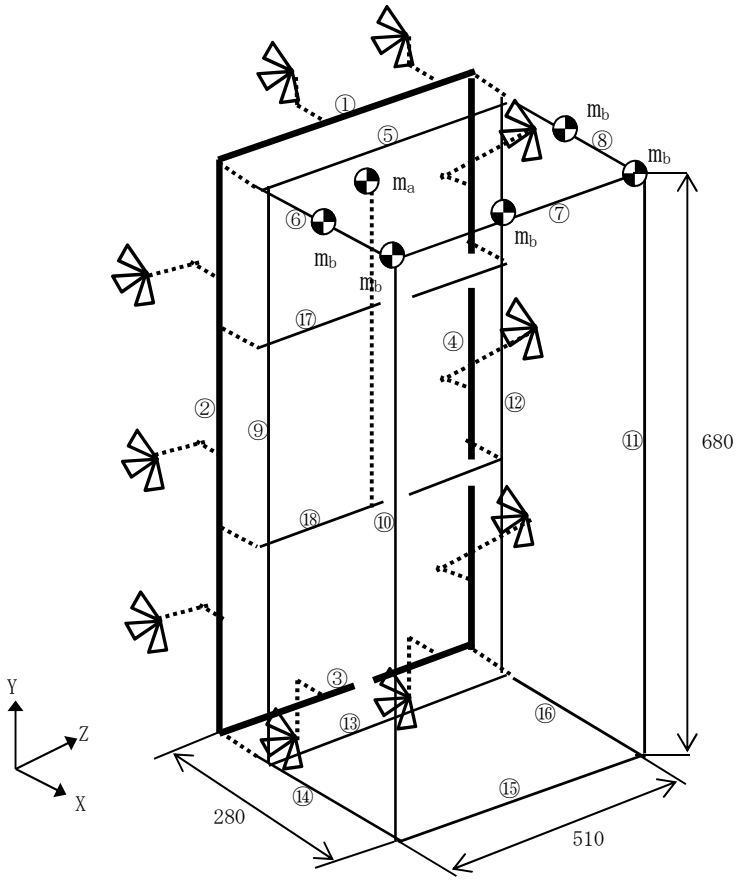
(2) 図 4-1 中の ◓ は検出器の質点m_a及び計器収納箱の質点m_bを示し，質点m_bについては 5 箇所に分散している。なお，質点m_aの質量は□kg，質点m_bの質量は 1 個あたり□kg で 5 箇所を合計すると□kg である。

(3) 図 4-1 中の ━━ は計器収納箱及びチャンネルベース，┅┅ は仮想鋼材， は支持点（チャンネルベース基礎部）を示す。

(4) 拘束条件として，基礎部のＸＹＺ方向を固定する。

(5) 解析コードは,「ＮＳＡＦＥ」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

(6) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。



（単位：mm）

：支持点(チャンネルベース基礎部)

：検出器及び計器収納箱の質点

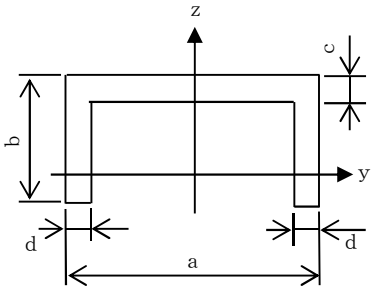
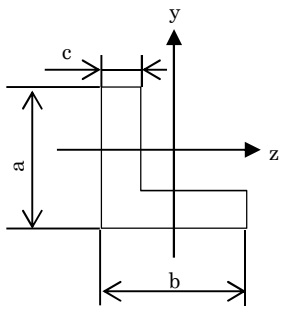
図 4-1　解析モデル

表4-1　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
	m_b		
温度条件 （雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

注記＊：（）内は合計質量を示す。

表 4-2　部材の機器要目

材料		
対象要素	①－④	⑤－⑱
A （mm^2）		
I_y （mm^4）		
I_z （mm^4）		
I_p （mm^4）		
Z_y （mm^3）		
Z_z （mm^3）		
Z_p （mm^3）		
断面形状(mm)	 （a × b × c × d）	 （a× b × c ）

4.3　固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-3 に示す。

1 次モードは鉛直方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，水平方向は 2 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であることを確認した。

表4-3　固有値解析結果

モード	固有周期（ｓ）	卓越方向
1 次	[redacted]	鉛直

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

(1) 地震力は，耐圧強化ベント系放射線モニタに対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(2) 耐圧強化ベント系放射線モニタの質量は重心に集中しているものとする。

(3) 耐圧強化ベント系放射線モニタは基礎ボルトで壁面に固定されており，固定端とする。

(4) 転倒方向は，図 5-1(1)及び図 5-1(2)の計算モデル（壁掛形）における水平方向及び鉛直方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方(許容値／発生値の小さい方をいう。)を記載する。

(5) 計器スタンションの重心位置については，転倒方向を考慮して，計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。

(6) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

耐圧強化ベント系放射線モニタの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

耐圧強化ベント系放射線モニタの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

耐圧強化ベント系放射線モニタの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	放射線管理用計測装置	耐圧強化ベント系放射線モニタ	常設耐震／防止	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1，*2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の 許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	205	520	―

5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

表 5-4　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
[redacted] EL. 36.00 (EL. 38.80*1)	[redacted]		－	－	C_H＝1.67	C_V＝1.44

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

5.4　計算方法

5.4.1　応力の計算方法

5.4.1.1　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

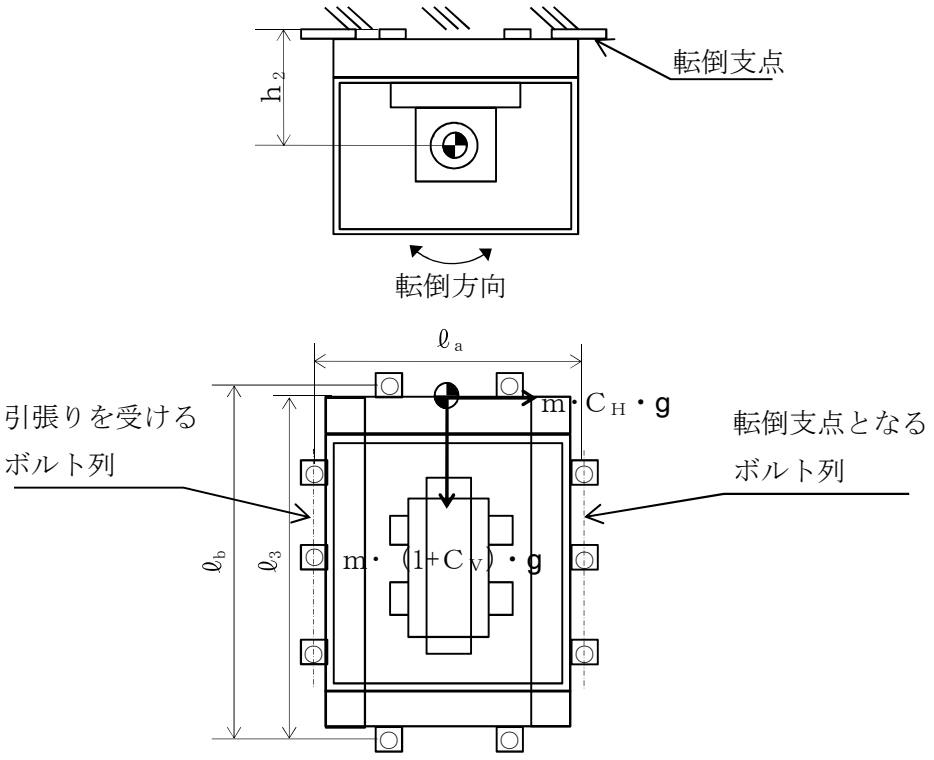


図5-1(1)　計算モデル

(壁掛型　水平方向転倒の場合)

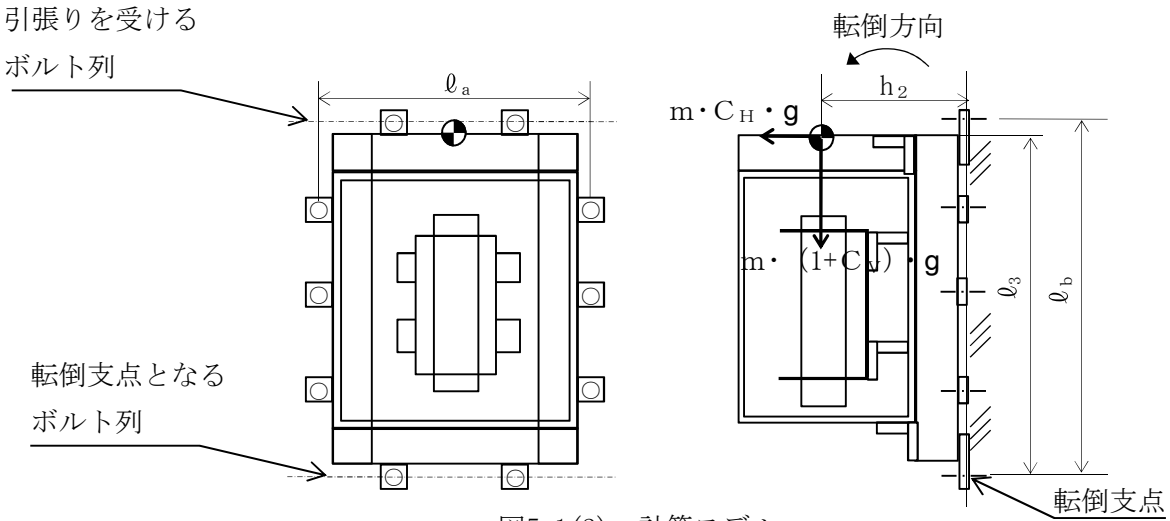


図5-1(2)　計算モデル

(壁掛型　鉛直方向転倒の場合)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図5-1で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図5-1 (1)の場合の引張力

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_{fH}\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \cdots\cdots (5.4.1.1.1)$$

計算モデル図5-1 (2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \cdots\cdots (5.4.1.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}(F_{b1},\ F_{b2}) \cdots\cdots (5.4.1.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \cdots\cdots (5.4.1.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \cdots\cdots (5.4.1.1.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_{b1}=m\cdot g\cdot C_H \cdots\cdots (5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2}=m\cdot g\cdot(1+C_V) \cdots\cdots (5.4.1.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \cdots\cdots (5.4.1.1.8)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \cdots\cdots (5.4.1.1.9)$$

5.5　計算条件

5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【耐圧強化ベント系放射線モニタの耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

5.6　応力の評価

5.6.1　ボルトの応力評価

5.4.1.1 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to} は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし，f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動Ｓ$_d$ 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓ$_s$による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電気的機能維持評価方法

耐圧強化ベント系放射線モニタの電気的機能維持評価について，以下に示す。

なお，評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

耐圧強化ベント系放射線モニタの機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
耐圧強化ベント系放射線モニタ	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処施設備としての評価結果

耐圧強化ベント系放射線モニタの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【耐圧強化ベント系放射線モニタの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
耐圧強化ベント系放射線モニタ	常設耐震／防止	EL. 38.80 (EL. 46.50*1)			－	－	C_H=1.67	C_V=1.44	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 耐圧強化ベント系放射線モニタ

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	3

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	205	520	－	246	－	鉛直方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト				

1.4　結論

1.4.1　ボルトの応力

（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	－	－	σ_b=14	f_{ts}=147*
		せん断	－	－	τ_b=4	f_{sb}=113

すべて許容応力以下である。

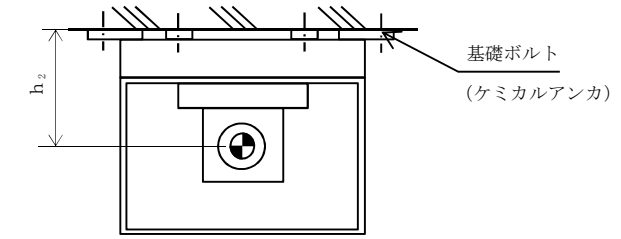
注記＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

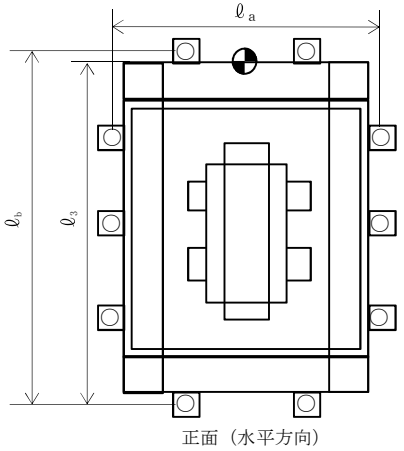
1.4.2　電気的機能維持の評価結果

（×9.8 m/s^2）

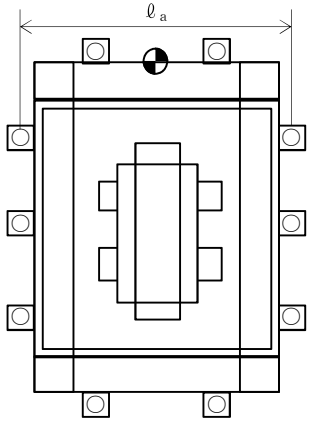
		評価用加速度	機能確認済加速度
耐圧強化ベント系放射線モニタ	水平方向	1.40	[redacted]
	鉛直方向	1.20	

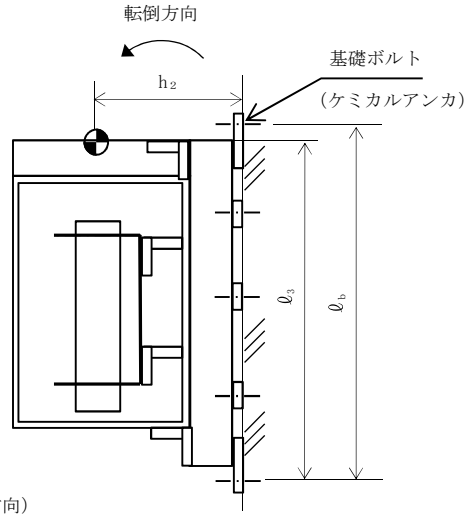
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。





正面（水平方向）





側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-8-2-8　使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
3. 固有周期 3
3.1 固有周期の算出方法 3
4. 構造強度評価 3
4.1 構造強度評価方法 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 3
4.2.2 許容応力 3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 3
5. 機能維持評価 6
5.1 電気的機能維持評価方法 6
6. 評価結果 7
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 7

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

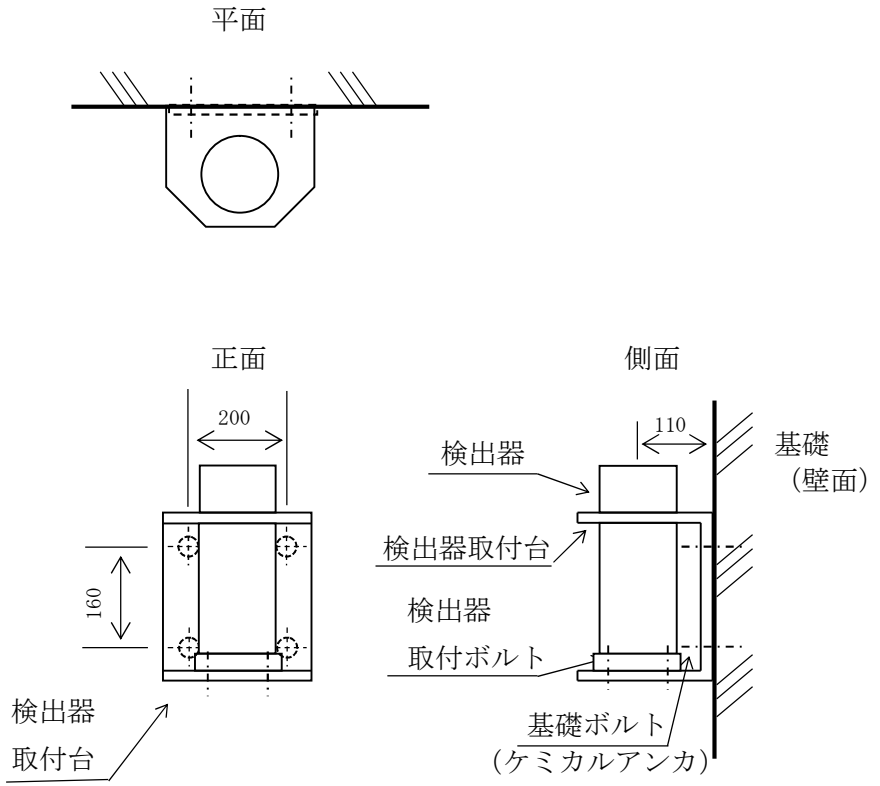
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1　構造計画

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，検出器取付ボルトにより検出器取付台に固定される。 検出器取付台は，基礎に基礎ボルトで設置する。	電離箱	 単位：(mm)

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

振動試験装置により固有振動数（共振周波数）を測定した。測定の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）の構造は検出器取付台であり，壁掛形計器スタンションと類似するため，構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）	常設耐震／防止 常設／緩和	―*2	$D+P_D+M_D+S_S$*3	$\mathrm{IV_AS}$
				$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_S$	$\mathrm{V_AS}$ （$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_S$」の評価に包絡されるため，評価計算の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等）*1*2	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$Ⅴ_AS$（$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件（℃）		S_y（MPa）	S_u（MPa）	S_y（RT）（MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）の電気的機能維持評価について，以下に示す。電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）の機能確認済加速度には，同型式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プールエリア放射線モニタ(低レンジ)	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）	常設耐震／防止常設／緩和	EL. 46.50 (EL. 57.00*)			—	—	C_H=2.09	C_V=1.77	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	—	261	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=3$	$f_{ts}=156^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=2$	$f_{sb}=120$

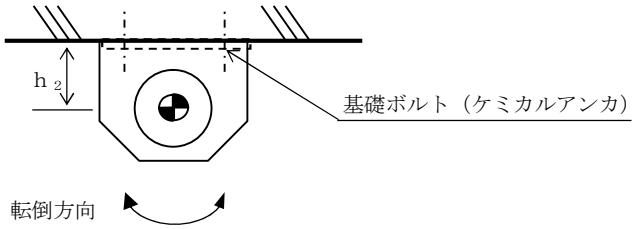
すべて許容応力以下である。

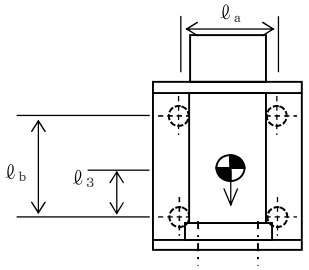
注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

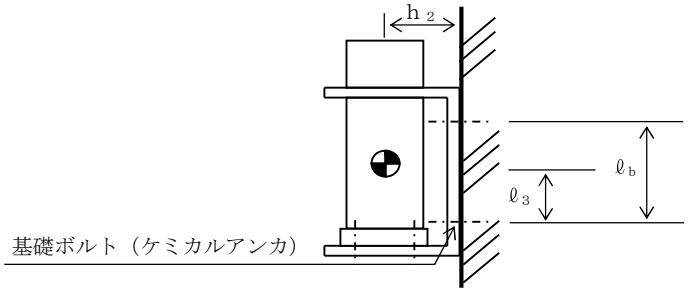
		評価用加速度	機能確認済加速度
使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ）	水平方向	1.74	
	鉛直方向	1.47	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-8-2-9　使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
3. 固有周期 3
3.1 固有周期の算出方法 3
4. 構造強度評価 3
4.1 構造強度評価方法 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 3
4.2.2 許容応力 3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 3
5. 機能維持評価 6
5.1 電気的機能維持評価方法 6
6. 評価結果 7
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 7

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

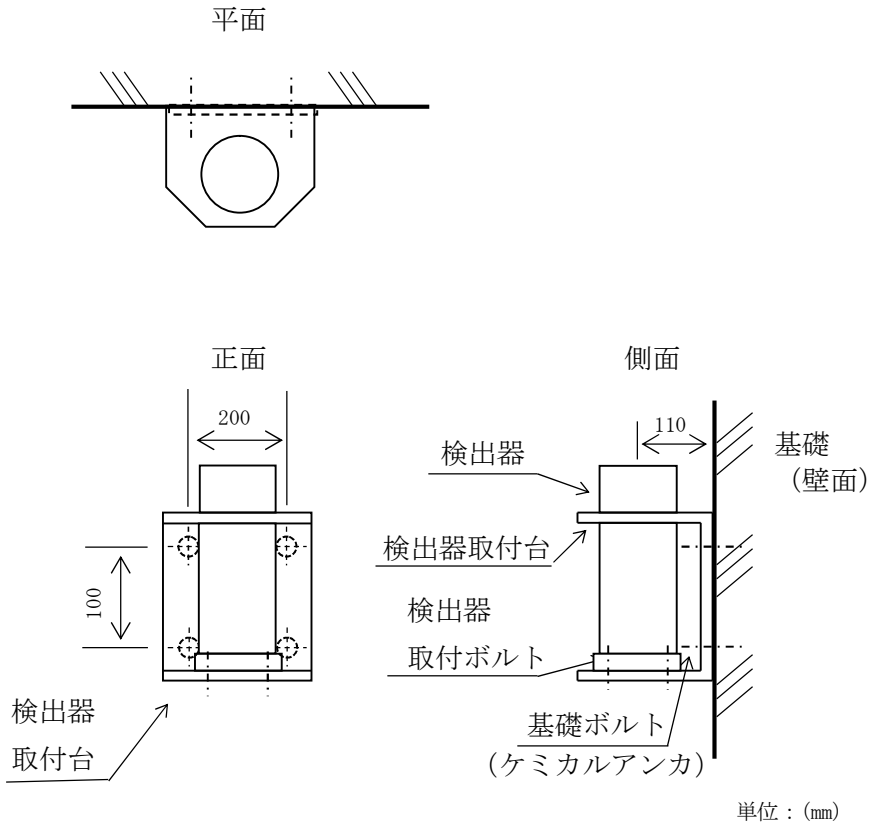
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1　構造計画

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，検出器取付ボルトにより検出器取付台に固定される。 検出器取付台は，基礎に基礎ボルトで設置する。	電離箱	

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

振動試験装置により固有振動数（共振周波数）を測定した。測定の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）の構造は検出器取付台であり，壁掛形計器スタンションと類似するため，構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	使用済燃料プールエリア 放射線モニタ（高レンジ）	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_S$*3	$\mathrm{IV_AS}$
				$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_S$	$\mathrm{V_AS}$ （$\mathrm{V_AS}$として $\mathrm{IV_AS}$の許容限界 を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_S$」の評価に包絡されるため，評価計算の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等）*1*2	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件（℃）		S_y（MPa）	S_u（MPa）	S_y（RT）（MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）の電気的機能維持評価について，以下に示す。電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）の機能確認済加速度には，同型式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プールエリア放射線モニタ(高レンジ)	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）の耐震性についての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）	常設耐震／防止常設／緩和	EL. 46.50 (EL. 57.00*)			—	—	C_H=2.09	C_V=1.77	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	221	373	－	261	－	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=3$	$f_{ts}=156$*
		せん断	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=120$

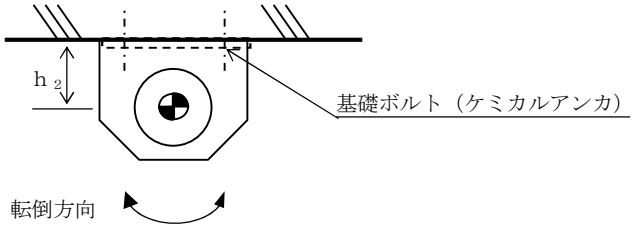
すべて許容応力以下である。

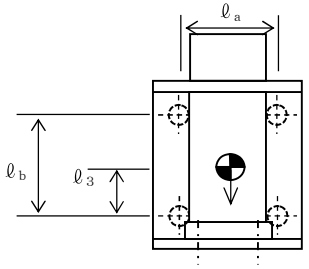
注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

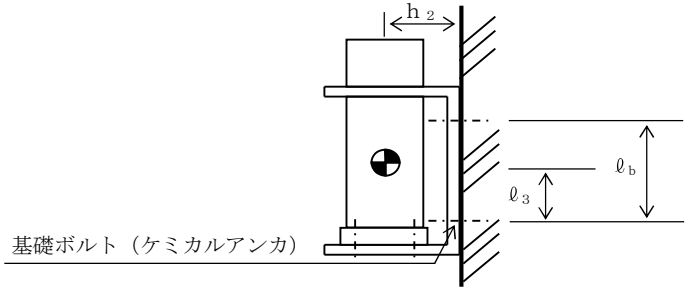
		評価用加速度	機能確認済加速度
使用済燃料プールエリア放射線モニタ（高レンジ）	水平方向	1.74	
	鉛直方向	1.47	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-8-3　換気設備の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-8-3-1　中央制御室換気系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-8-3-1-1　中央制御室換気系ダクトの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 一般事項 1
2.1 構造計画 1
2.2 評価方針 3
2.3 適用基準 5
2.4 記号の説明 6
2.5 計算精度と数値の丸め方 7
3. 評価部位 7
4. 固有振動数 8
4.1 固有振動数の計算方法 8
5. 構造強度評価 9
5.1 構造強度評価方法 9
5.2 荷重の組合せ及び許容応力 10
5.3 設計用地震力 14
6. 評価結果 14
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 14
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果 16
7. 支持構造物設計の基本方針 17
7.1 支持構造物の構造及び種類 17
7.2 支持構造物の耐震性確認 17

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」及び「Ⅴ-2-1-12-2　ダクト及び支持構造物の耐震計算について」にて設定している設計方針に基づき，中央制御室換気系ダクトが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は，構造強度評価により行う。

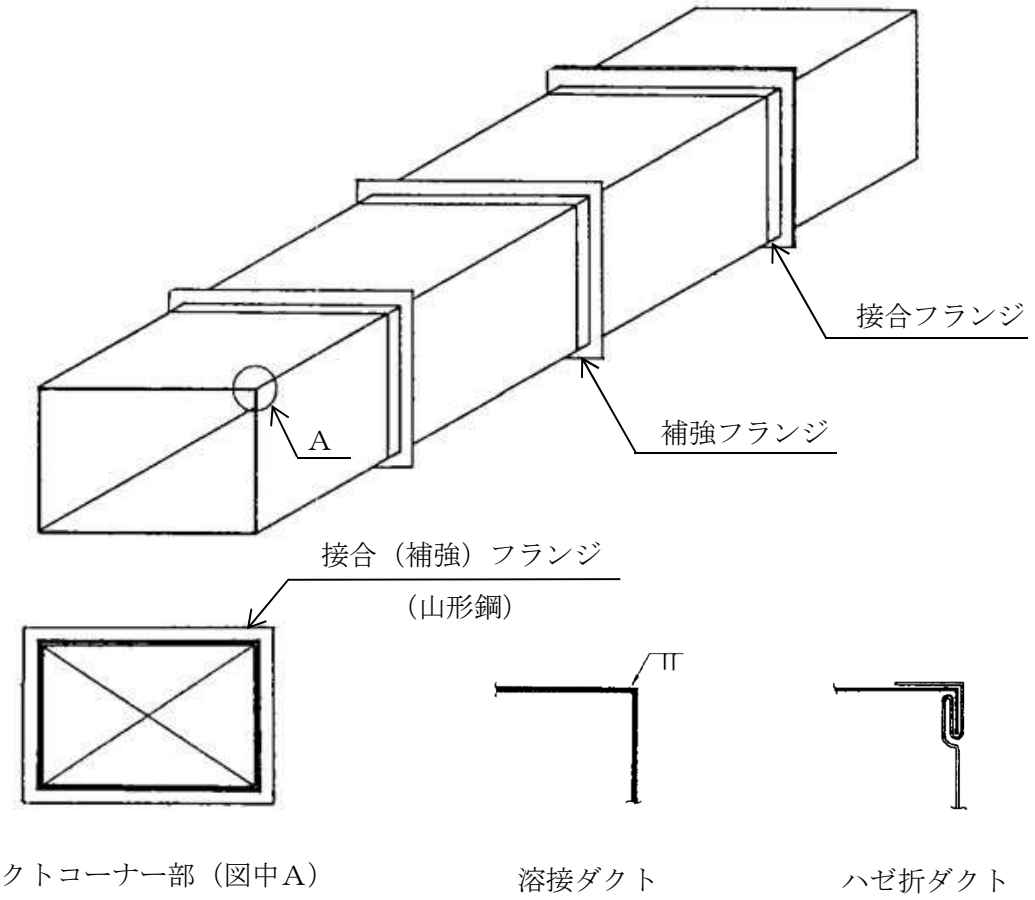
中央制御室換気系ダクトは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1　構造計画

中央制御室換気系ダクトの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
支持構造物を介して躯体へ支持されている。	角形ダクト	

2.2　評価方針

中央制御室換気系ダクト及びその支持構造物は適切な剛性を有するとともに，許容座屈曲げモーメントを満足する支持間隔とすることにより耐震性を確保する。

支持間隔の算定は，ダクトの固有振動数（fd）が十分剛（20 Hz 以上）となるよう算定する手法とダクトの固有振動数に応じた地震力で算定する手法が有り，このうち前者を手法 1，後者を手法 2 と呼び，この 2 つの手法を用いて支持間隔を決定する。以上 2 つの手法による支持点間隔設定手順を図 2-1 に示す。こうして定められた手法１の支持間隔以内で支持することにより耐震性を確保する。配置状況により手法１の支持点間隔に収まらない場合は、手法２の支持間隔以内で支持することにより耐震性を確保する。直管部，曲管部，重量物の取付部の支持間隔に対する方針を以下に示す

(1)　直管部

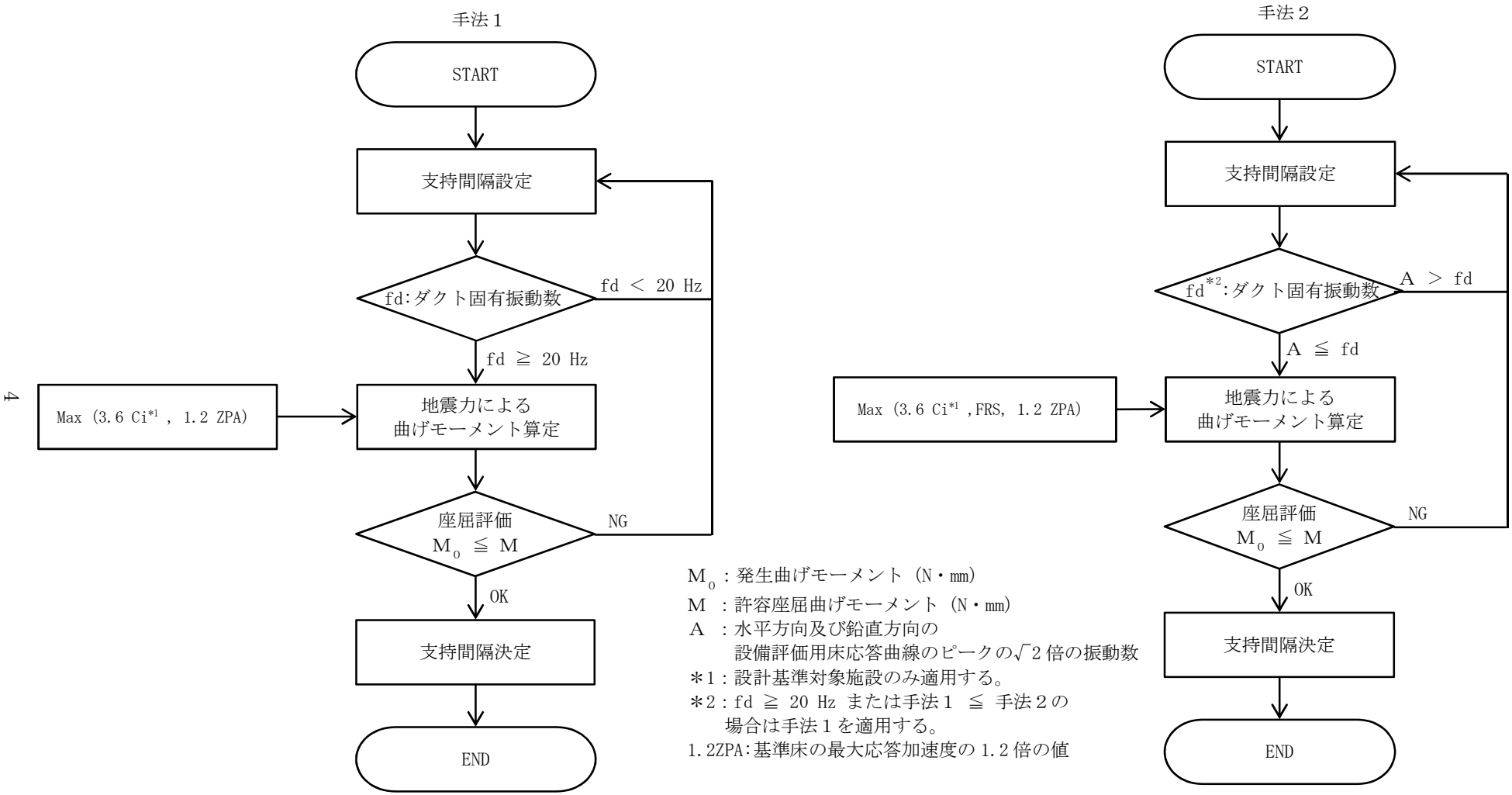
直管部は，図 2-1 で求まる支持間隔以下で支持するものとする。また，直管部が長い箇所には軸方向を拘束する支持構造物を設ける。

(2)　曲管部

曲管部は，直管部に比べ剛性，及び強度が低下するが，図 2-1 で求まる支持間隔は，曲管部の縮小率を包絡するように保守的な支持間隔としている。そのため，曲管部も，図 2-1 で求まる支持間隔以下で支持する。

(3)　重量物の取付部

ダクトに自動ダンパ，弁等の重量物が取り付く場合は，重量物自体又は近傍を支持するものとする。なお，近傍を支持する場合においては図 2-1 で求まる支持間隔と，当該重量物を考慮した支持間隔を用いて，支持点を設計する。



M_0：発生曲げモーメント（N・mm）
M ：許容座屈曲げモーメント（N・mm）
A ：水平方向及び鉛直方向の
設備評価用床応答曲線のピークの√2倍の振動数
＊1：設計基準対象施設のみ適用する。
＊2：fd ≧ 20 Hz または手法１ ≦ 手法２の
場合は手法１を適用する。
1.2ZPA:基準床の最大応答加速度の 1.2 倍の値

図 2-1　ダクト支持点間隔設定手順

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電機協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電機協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電機協会）

2.4　記号の説明

記　号	記　号　の　説　明	単　位
f	固有振動数	Hz
π	円周率	－
ℓ	両端単純支持間隔	mm
E	縦弾性係数	N/mm^2
g	重力加速度	mm/s^2
I	断面二次モーメント	mm^4
W	ダクト単位長さ重量	N/mm
β	断面二次モーメントの安全係数 （幅厚比 b/t≦600… β＝0.75 ， b/t＞600… β＝0.6）	－
a	ダクト長辺寸法	mm
b	ダクト短辺寸法	mm
ae	ダクトフランジの有効幅	mm
be	ダクトウェブの有効幅	mm
t	ダクト板厚	mm
a/b	アスペクト比	－
M_0	発生曲げモーメント	N･mm
α	設計震度	－
M	許容座屈曲げモーメント	N･mm
S	座屈曲げモーメントの安全係数（＝0.7）	－
M_T	座屈限界曲げモーメント	N･mm
λ	座屈限界曲げモーメントの補正係数*	－
ν	ポアソン比（＝0.3）	－
σ_y	降伏点	N/mm^2
γ	座屈限界曲げモーメントの安全係数（＝0.6）*	－

注記　＊：出典 共同研究報告書「機器配管系の合理的な耐震設計手法の確立に関する研究より，理論値と実験値の比率から定まる近似曲線を用いる。

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	―	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	―	―	整数位
質量	kg	―	―	整数位
長さ	mm	―	―	整数位*1
面積	mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
モーメント	N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

＊3：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

3.　評価部位

ダクトの耐震評価は「5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，ダクトについて評価を実施する。

4.　固有振動数

4.1　固有振動数の計算方法

(1)　計算モデル

ダクト系は,図 4-1 に示す両端を支持構造物で支持された両端単純支持梁にモデル化する。

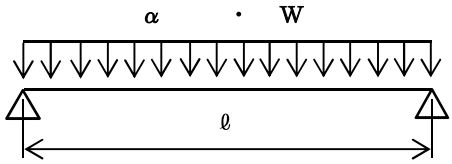


図 4-1　両端単純支持梁

(2)　固有振動数

両端単純支持された矩形ダクトの固有振動数は，次式で与えられる。算出に用いる矩形ダクトの断面図を図 4-2 に示す。

$$f = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{W}} \quad \cdots\cdots (4.1)$$

ここで,

$$I = \left(\frac{t \cdot be^3}{6} + ae \cdot t \cdot \frac{be^2}{2} \right) \cdot \beta \quad \cdots\cdots (4.2)$$

(4.1)及び(4.2)式の出典：共同研究報告書「機器配管系の合理的な耐震設計手法の確立に関する研究」

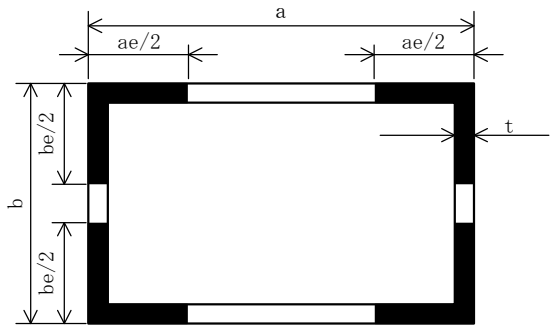


図 4-2　矩形ダクトの断面図

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

矩形ダクトの座屈評価を示す。地震時，両端単純支持された矩形ダクトに生じる曲げモーメントは次式で与えられる。

$$M_0=\frac{\alpha \cdot W \cdot \ell^2}{8} \quad \cdots\cdots (5.1)$$

ここで，矩形ダクトの座屈による大変形を防ぐために矩形ダクトに生じる曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となるようにする。

$$M_0 \leqq M \quad \cdots\cdots (5.2)$$

(4.3)，(4.4) 式より許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔は次式で与えられる。

$$\ell=\sqrt{\frac{8 \cdot M}{W \cdot \alpha}} \quad \cdots\cdots (5.3)$$

ここで,

$$M=S \cdot M_T \quad \cdots\cdots (5.4)$$

$$M_T=\lambda \cdot \frac{\pi \cdot t \cdot I}{\sqrt{1-\nu^2} \cdot b^2} \cdot \sqrt{E \cdot \sigma_y} \cdot \gamma \quad \cdots\cdots (5.5)$$

$$I=\frac{t \cdot b^3}{6}+ae \cdot t \cdot \frac{b^2}{2} \quad \cdots\cdots (5.6)$$

(5.2)から(5.6)式の出典：共同研究報告書「機器配管系の合理的な耐震設計手法の確立に関する研究」

5.2　荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

ダクトの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2　許容限界

ダクトの許容限界を表 5-3 及び表 5-4 に示す。

5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

ダクトの許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-5 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-6 に示す。

表 5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	換気設備	中央制御室換気系　主配管	S	Ｎｏｎ*1	$D+P_D+M_D+S_d$*2	$\mathrm{III}_A S$*2
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

注記　＊1：クラス４管の荷重の組合せ及び許容応力状態適用する。

＊2：ダクトの耐震支持間隔の算出においては，許容値となる許容座屈曲げモーメントの算出にあたり，評価手法上，ダクト材の降伏点を使用するため，基準地震動S_s評価と弾性設計用地震動S_d評価に用いる係数，許容値に差異はない。また，発生曲げモーメントの算出に当たっては，弾性設計用地震動S_dは基準地震動S_sに包絡されるため，弾性設計用地震動S_dに対する評価は省略する。

表 5-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	換気設備	中央制御室換気系　主配管	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス２管	$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$*2	$\mathrm{V}_A S$*2 （$\mathrm{V}_A S$として$\mathrm{IV}_A S$の許容限界を用いる）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」は「$D+P_D+M_D+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-3　許容限界（クラス４管）

許容応力状態	許容限界
$Ⅲ_AS$	地震時の加速度に対し機能が保たれるようサポートのスパン長を最大許容ピッチ以下に確保すること。 (最大許容ピッチは式(5.3)から(5.6)に基づき座屈限界曲げモーメントより算出する。)
$Ⅳ_AS$	

表 5-4　許容限界（重大事故等クラス２管（クラス４管））

許容応力状態	許容限界
$Ⅳ_AS$	地震時の加速度に対し機能が保たれるようサポートのスパン長を最大許容ピッチ以下に確保すること。 (最大許容ピッチは式(5.3)から(5.6)に基づき座屈限界曲げモーメントより算出する。)
$Ⅴ_AS$	

表 5-5　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S_y* (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
ダクト	SPG2	最高使用温度	40	－			－
ダクト	SGCC	最高使用温度	40	－			－
ダクト	SPHC	最高使用温度	40	－			－

注記　＊：

表 5-6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S_y* (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
ダクト	SPG2	最高使用温度	40	－			－
ダクト	SGCC	最高使用温度	40	－			－
ダクト	SPHC	最高使用温度	40	－			－

注記　＊：

5.3　設計用地震力

本計算書において評価に用いる静的震度及び基準地震動Ｓ$_s$による地震力は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。計算に考慮する設備評価用床応答曲線，及び添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を表 5-7 に示す。

なお、ダクトの耐震支持間隔の算出においては，許容値となる許容座屈曲げモーメントの算出にあたり，評価手法上，ダクト材の降伏点を使用するため，基準地震動Ｓ$_s$評価と弾性設計用地震動Ｓ$_d$評価に用いる許容値に差異はない。また，発生曲げモーメントの算出に当たっては，弾性設計用地震動Ｓ$_d$は基準地震動Ｓ$_s$に包絡されるため，弾性設計用地震動Ｓ$_d$に対する評価は省略する。

表 5-7　計算に考慮する設備評価用床応答曲線

建物・構築物	標高(m)	減衰定数(%)

6.　評価結果

6.1　設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室換気系ダクトの耐震支持間隔は，「2.2 評価方針」に示す手法 1 または手法 2 から定めており，設計基準対象施設としての各手法による支持間隔を表 6-1 に示す。この支持間隔以内で支持することにより，耐震性を確保する。

表 6-1　中央制御室換気系ダクトの耐震支持間隔（設計基準対象施設としての評価結果）

（単位：mm）

ダクト種別*1	ダクト		板厚	手法 1 より定まる支持間隔 (fd≧20 Hz)	手法 2 より定まる支持間隔*2 (fd＜20 Hz)
	長辺	短辺			
亜鉛鉄板溶接矩形ダクト	460	460	1.2		
	500	350	1.2		
	560	460	1.2		
	560	560	1.2		
	600	450	1.2		
	610	510	1.2		
	710	410	1.2		
	760	360	1.2		
	760	760	1.2		
	810	410	1.2		
	890	600	1.2		
	900	450	1.2		
	900	670	1.2		
	920	460	1.2		
	960	360	1.2		
	1000	880	1.2		
	1015	125	1.2		
	1015	215	1.2		
	1015	490	1.2		
	1015	545	1.2		
	1015	615	1.2		
	1015	760	1.2		
	1015	810	1.2		
	1580	910	1.2		
	1800	1600	1.2		
	2600	1000	1.2		

注記　＊1：全て保温有り。

＊2：算定した支持間隔が 20 Hz 以上の場合は，“－”とする。

表 6-1　中央制御室換気系ダクトの耐震支持間隔（設計基準対象施設としての評価結果）

（つづき）　（単位：mm）

ダクト種別*1	ダクト		板厚	手法 1 より定まる支持間隔 (fd≧20 Hz)	手法 2 より定まる支持間隔*2 (fd＜20 Hz)
	長辺	短辺			
鋼板溶接矩形ダクト	600	450	2.3		
	900	450	2.3		
	900	670	2.3		
	1000	880	2.3		
亜鉛鉄板ハゼ折矩形ダクト	450	450	0.8		
	460	460	0.8		
	600	450	0.8		
	890	600	1.2		
	950	790	0.8		
	1015	810	0.8		
	2200	1000	1.2		

注記　＊1：全て保温有り。

＊2：算定した支持間隔が 20 Hz 以上の場合は，“－”とする。

6.2　重大事故等対処設備としての評価結果

重大事故等対処設備としての各手法による支持間隔は，設計基準対象施設として支持間隔と同様であるため，記載を省略する。

7.　支持構造物設計の基本方針

7.1　支持構造物の構造及び種類

支持構造物は，形鋼を組み合わせた溶接構造を原則とし，その用途に応じて以下に大別する。

(1)　ダクト軸直角の 2 方向を拘束するもの

(2)　ダクト軸方向及び軸直角の 3 方向を拘束するもの

図 7-1～図 7-4 に支持構造物の代表例を示す。

7.2　支持構造物の耐震性確認

各支持構造物を，建屋の据付位置（天井,壁,床）毎に分類し，そのうち据付位置毎に最大の荷重を負担する支持構造物を代表として，その耐震性の確認結果を表 7-1 に示す。

耐震性の確認には，解析コード「ＮＳＡＦＥ」を使用する。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-4　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ」に示す。

表 7-1　ダクト支持構造物の耐震性確認結果

構造物	据付位置	許容応力状態	設計温度	荷重(N)		発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
				水 平	鉛 直		
支持架構	天井	$\mathrm{IV_AS}$	40 ℃	7460	15820	118	280
	壁	$\mathrm{IV_AS}$	40 ℃	8430	25610	141	280
	床	$\mathrm{IV_AS}$	40 ℃	1610	3430	33	280

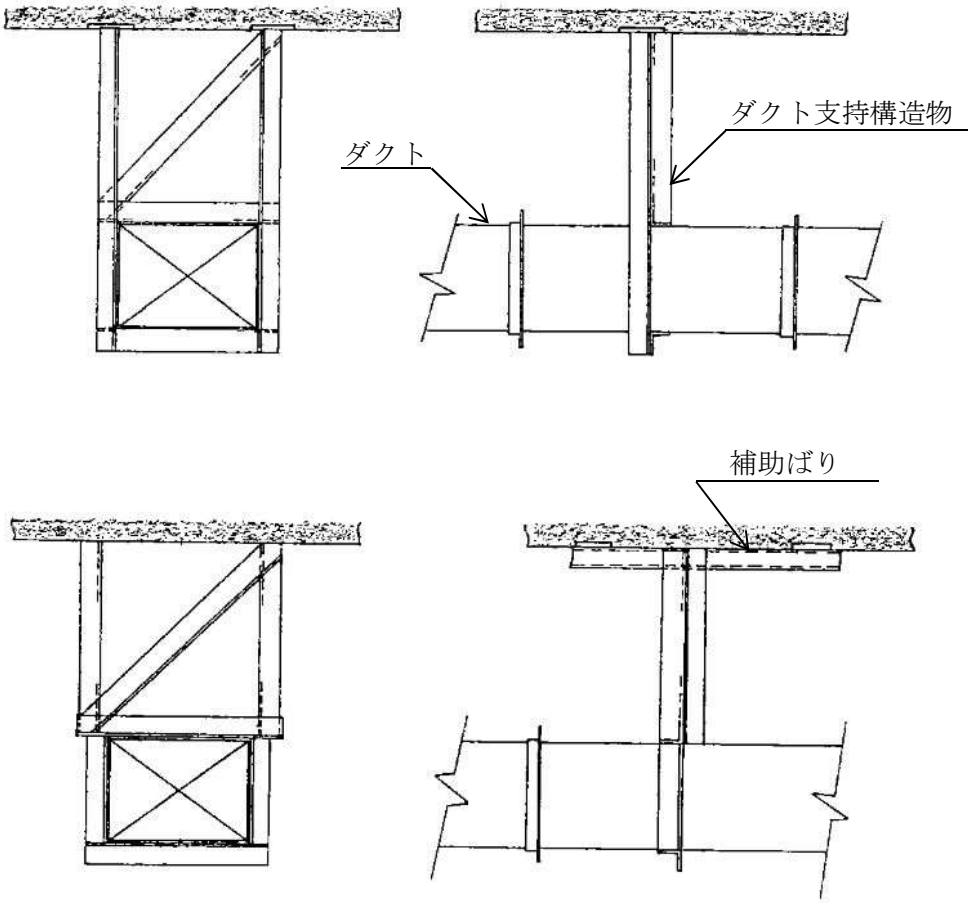


図 7-1　2 方向（軸直角方向）拘束の代表例

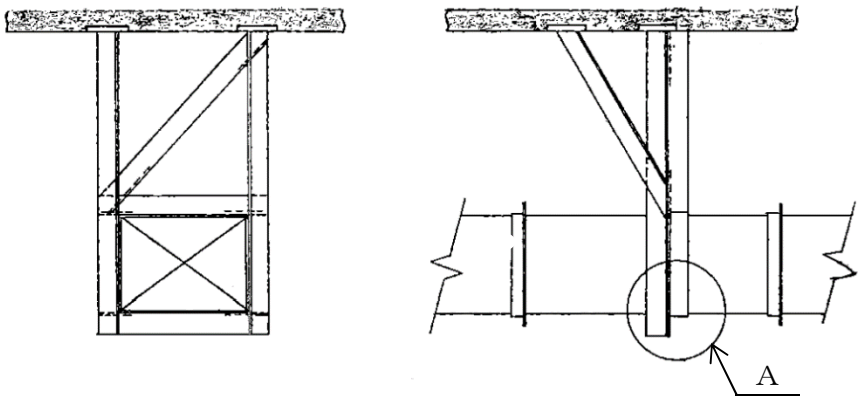
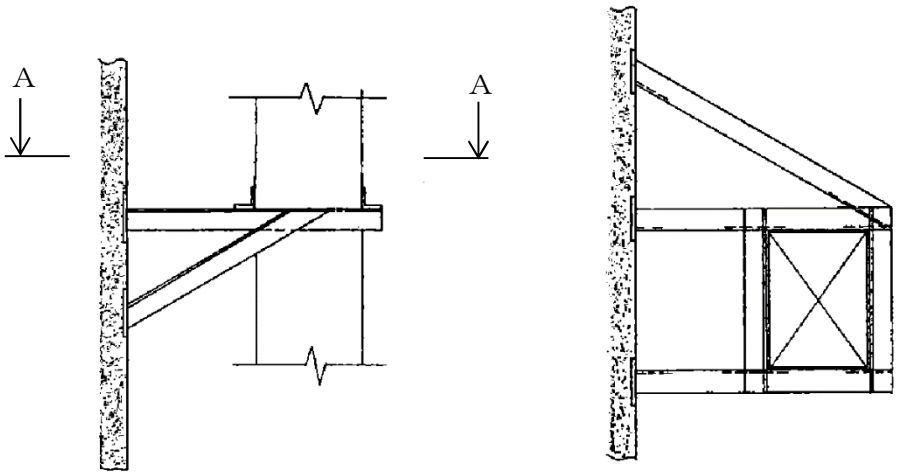


図 7-2　3 方向（軸方向及び軸直角方向）拘束の代表例

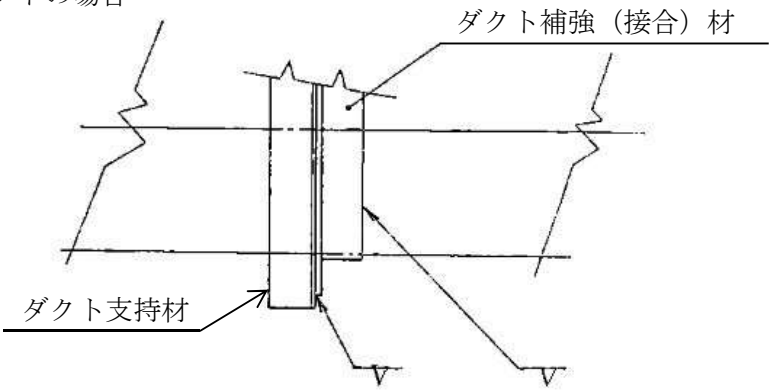


A～A矢視図

図 7-3　垂直ダクトの支持の代表例

図 7－2 におけるＡ部

溶接ダクトの場合



ハゼ折ダクトの場合

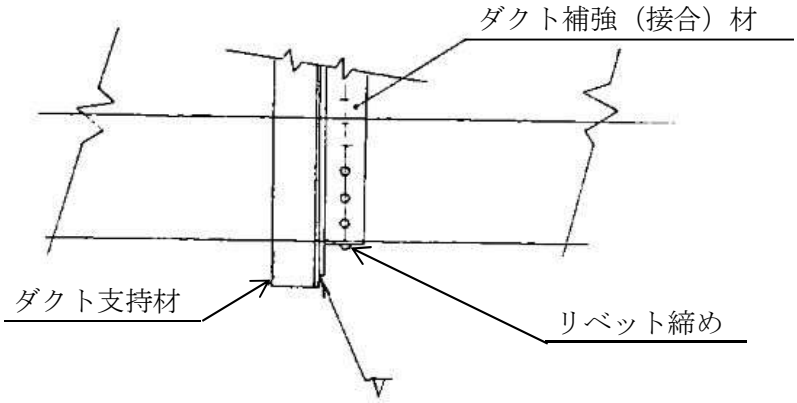


図 7-4　ダクトと支持構造物の接合

Ⅴ-2-8-3-1-2　中央制御室換気系空気調和機ファン，中央制御室換気系フィルタ系ファンの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 構造強度評価 ····· 4
3.1 構造強度評価方法 ····· 4
3.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 4
4. 機能維持評価 ····· 8
4.1 動的機能維持評価方法 ····· 8
5. 評価結果 ····· 9
5.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 9
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 9

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

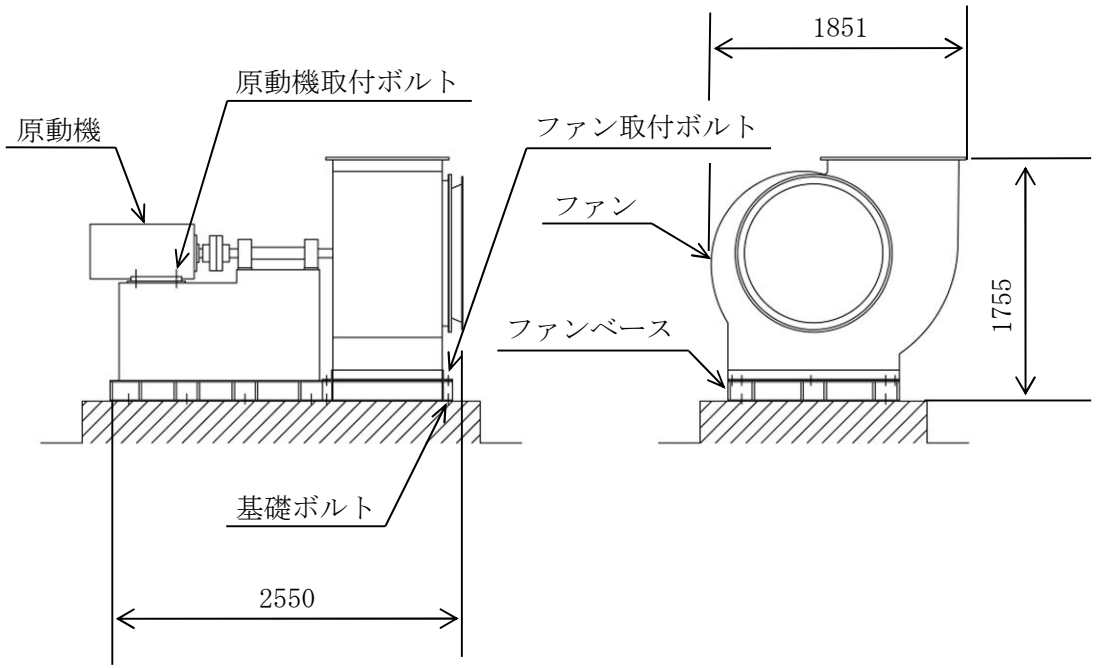
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-4　横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1　構造計画

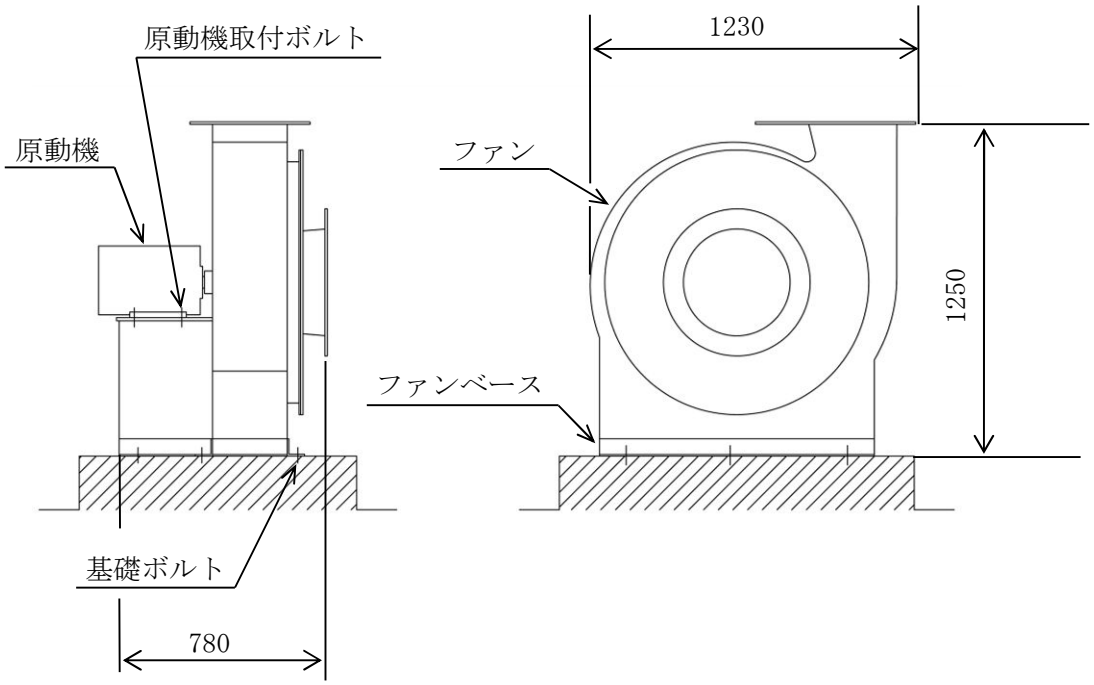
中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1　構造計画(1/2)（中央制御室換気系空気調和機ファン）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ファン及び原動機はベースに取付ボルトにより固定され，ベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	遠心直結型ファン	

（単位：mm）

表 2-1　構造計画(2/2)　(中央制御室換気系フィルタ系ファン)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
原動機はベースに取付ボルトにより固定され，ファン及びベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	遠心直動型ファン	 (単位：mm)

3.　構造強度評価

3.1　構造強度評価方法

中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンの構造は横軸ポンプと類似の構造であるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-4　横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2　荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2　許容応力

中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 のとおりとする。

3.2.3　使用材料の許容応力評価条件

中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

表 3-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	換気設備	中央制御室換気系空気調和機ファン	S	—*1	$D+P_D+M_D+S_d$*2	III_AS
		中央制御室換気系フィルタ系ファン			$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　*1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*2：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 3-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	換気設備	中央制御室換気系空気調和機ファン	常設耐震／防止常設／緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
		中央制御室換気系フィルタ系ファン			$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-3　許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅲ_AS$	1.5・f_t	1.5・f_s
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

機器名称	評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
中央制御室換気系空気調和機ファン	基礎ボルト		周囲環境温度		198	504	205
	ファン取付ボルト		周囲環境温度		231	394	－
	原動機取付ボルト		周囲環境温度		231	394	－
中央制御室換気系フィルタ系ファン	基礎ボルト		周囲環境温度		198	504	205
	原動機取付ボルト		周囲環境温度		231	394	－

表 3-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

機器名称	評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
中央制御室換気系空気調和機ファン	基礎ボルト		周囲環境温度		198	504	205
	ファン取付ボルト		周囲環境温度		231	394	－
	原動機取付ボルト		周囲環境温度		231	394	－
中央制御室換気系フィルタ系ファン	基礎ボルト		周囲環境温度		198	504	205
	原動機取付ボルト		周囲環境温度		231	394	－

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンの地震時及び地震後の動的機能維持評価について，以下に示す。

動的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)

機器名称	評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
中央制御室換気系空気調和機ファン	ファン	遠心直結型ファン	水平	2.3
			鉛直	1.0
	原動機	横形ころがり軸受電動機	水平	4.7
			鉛直	1.0
中央制御室換気系フィルタ系ファン	ファン	遠心直動型ファン	水平	2.6
			鉛直	1.0
	原動機	横形ころがり軸受電動機	水平	4.7
			鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

なお，弾性設計用地震動S_d及び静的震度は基準地震動S_sを下回っており，基準地震動S_sによる発生値が，弾性設計用地震動S_d又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動S_d又は静的震度による発生値の算出を省略した。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【中央制御室換気系空気調和機ファンの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ファン振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
中央制御室換気系空気調和機ファン	S	[redacted] EL. 29.00*1	—*2	—*2	—*3	—*3	C_H=1.55	C_V=1.17	C_P=0.09	—	50

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
*3：$Ⅲ_AS$については，基準地震動S_sで評価する。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm)	n_i	n_{fi}*
基礎ボルト (i=1)	[redacted]					13	2
							4
ファン取付ボルト (i=2)						7	2
							1
原動機取付ボルト (i=3)						4	2
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi} (RT) (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向		M_P (N・mm)	
						弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	198	504	205	205	246	—	軸直角	—	—
ファン取付ボルト (i=2)	231	394	—	231	276	—	軸直角	—	2.865×10^5
原動機取付ボルト (i=3)	231	394	—	231	276	—	軸直角	—	2.865×10^5

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
H_P=[redacted]	N=[redacted]

注記 *：各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i＝1)	－		－	
ファン取付ボルト (i＝2)	－		－	
原動機取付ボルト (i＝3)	－		－	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力*1	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	σ_{b1}＝37	f_{ts1}＝153*2	σ_{b1}＝37	f_{ts1}＝184*2
		せん断	τ_{b1}＝10	f_{sb1}＝118	τ_{b1}＝10	f_{sb1}＝142
ファン取付ボルト		引張り	σ_{b2}＝52	f_{ts2}＝173*2	σ_{b2}＝52	f_{ts2}＝207*2
		せん断	τ_{b2}＝10	f_{sb2}＝133	τ_{b2}＝10	f_{sb2}＝159
原動機取付ボルト		引張り	σ_{b3}＝13	f_{ts3}＝173*2	σ_{b3}＝13	f_{ts3}＝207*2
		せん断	τ_{b3}＝ 8	f_{sb3}＝133	τ_{b3}＝ 8	f_{sb3}＝159

すべて許容応力以下である。

注記 ＊1：基準地震動 S_s による算出値

＊2：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}, f_{toi}]より算出

1.4.2 動的機能の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.29	2.3
	鉛直方向	0.98	1.0
原動機	水平方向	1.29	4.7
	鉛直方向	0.98	1.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

【中央制御室換気系空気調和機ファンの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ファン振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
中央制御室換気系空気調和機ファン	常設耐震／防止常設／緩和	[redacted] EL. 29.00*1	−*2	−*2	−	−	C_H=1.55	C_V=1.17	C_P=0.09	−	[redacted]

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm)	n_i	n_{fi}*
基礎ボルト (i=1)	[redacted]					13	2
							4
ファン取付ボルト (i=2)						7	2
							1
原動機取付ボルト (i=3)						4	2
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi} (RT) (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向		M_P (N・mm)	
						弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	198	504	205	−	246	−	軸直角	−	−
ファン取付ボルト (i=2)	231	394	−	−	276	−	軸直角	−	2.865×10^5
原動機取付ボルト (i=3)	231	394	−	−	276	−	軸直角	−	2.865×10^5

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
H_P=[redacted]	N=[redacted]

注記 *：各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i＝1)	－		－	
ファン取付ボルト (i＝2)	－		－	
原動機取付ボルト (i＝3)	－		－	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_{b1}＝37	f_{ts1}＝184*
		せん断	－	－	τ_{b1}＝10	f_{sb1}＝142
ファン取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b2}＝52	f_{ts2}＝207*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝10	f_{sb2}＝159
原動機取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b3}＝13	f_{ts3}＝207*
		せん断	－	－	τ_{b3}＝ 8	f_{sb3}＝159

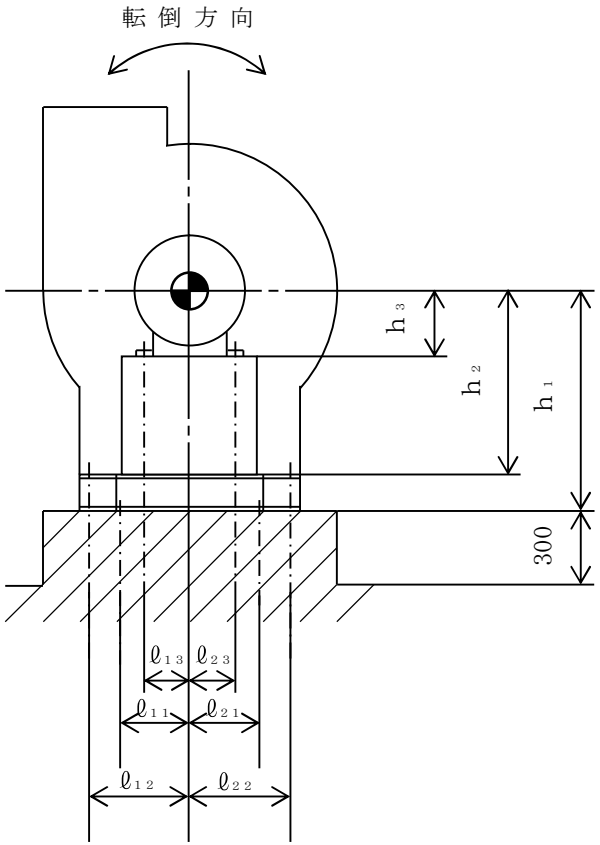
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

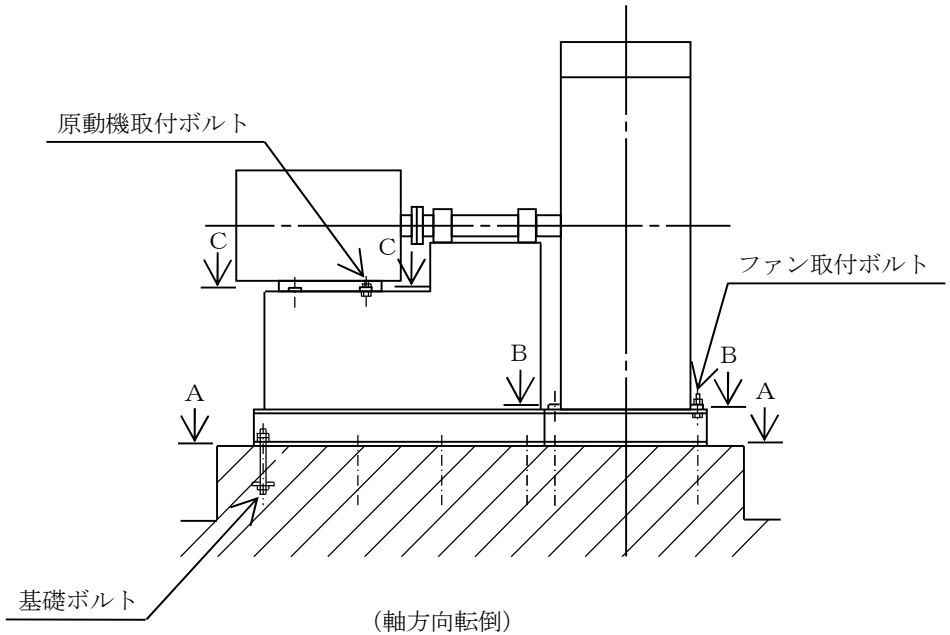
2.4.2 動的機能の評価結果 (×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.29	2.3
	鉛直方向	0.98	1.0
原動機	水平方向	1.29	4.7
	鉛直方向	0.98	1.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

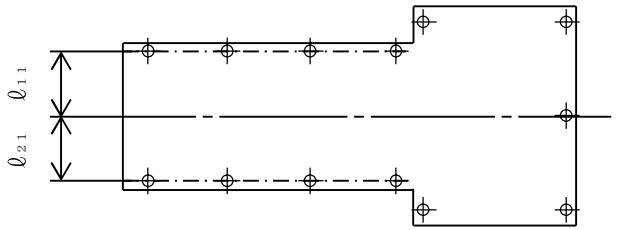


（軸直角方向転倒）

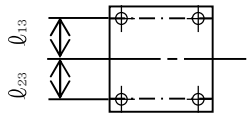


（軸方向転倒）

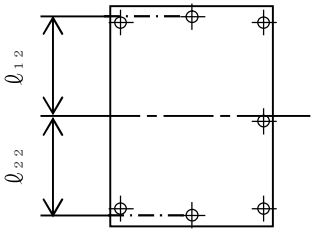
（$\ell_{1i} \leqq \ell_{2i}$）



A～A矢視図
（基礎ボルト）



C～C矢視図
（原動機取付ボルト）



B～B矢視図
（ファン取付ボルト）

【中央制御室換気系フィルタ系ファンの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ファン振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
中央制御室換気系フィルタ系ファン	S	[redacted] EL. 29.00*1	—*2	—*2	—*3	—*3	C_H=1.55	C_V=1.17	C_P=0.09	—	[redacted]

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
*3：III_ASについては，基準地震動S_sで評価する。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm)	n_i	n_{fi}*	
							弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	[redacted]					7	—	2
							—	1
原動機取付ボルト (i=3)						4	—	2
							—	2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}（RT） (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向		M_P (N・mm)	
						弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	198	504	205	205	246	—	軸直角	—	—
原動機取付ボルト (i=3)	231	394	—	231	276	—	軸	—	—

注記 *：各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
H_P=[redacted]	N=[redacted]

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i＝1)	－		－	
原動機取付ボルト (i＝3)	－		－	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力*1	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	σ_{b1}＝64	f_{ts1}＝153*2	σ_{b1}＝64	f_{ts1}＝184*2
		せん断	τ_{b1}＝ 7	f_{sb1}＝118	τ_{b1}＝ 7	f_{sb1}＝142
原動機取付ボルト		引張り	σ_{b3}＝15	f_{ts3}＝173*2	σ_{b3}＝15	f_{ts3}＝207*2
		せん断	τ_{b3}＝ 8	f_{sb3}＝133	τ_{b3}＝ 8	f_{sb3}＝159

すべて許容応力以下である。

注記 ＊1：基準地震動Ｓｓによる算出値

＊2：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}， f_{toi}]より算出

1.4.2 動的機能の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.29	2.6
	鉛直方向	0.98	1.0
原動機	水平方向	1.29	4.7
	鉛直方向	0.98	1.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

【中央制御室換気系フィルタ系ファンの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ファン振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
中央制御室換気系フィルタ系ファン	常設耐震／防止常設／緩和	EL. 29.00*1	－*2	－*2	－	－	C_H＝1.55	C_V＝1.17	C_P＝0.09	－	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	A_{bi} (mm)	n_i	n_{fi}*	
							弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i＝1)						7	－	2
							－	1
原動機取付ボルト (i＝3)						4	－	2
							－	2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi}（RT） (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向		M_P (N・mm)	
						弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i＝1)	198	504	205	－	246	－	軸直角	－	－
原動機取付ボルト (i＝3)	231	394	－	－	276	－	軸	－	－

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
H_P＝	N＝

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i＝1)	－		－	
原動機取付ボルト (i＝3)	－		－	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_{b1}＝64	f_{ts1}＝184*
		せん断	－	－	τ_{b1}＝ 7	f_{sb1}＝142
原動機取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b3}＝15	f_{ts3}＝207*
		せん断	－	－	τ_{b3}＝ 8	f_{sb3}＝159

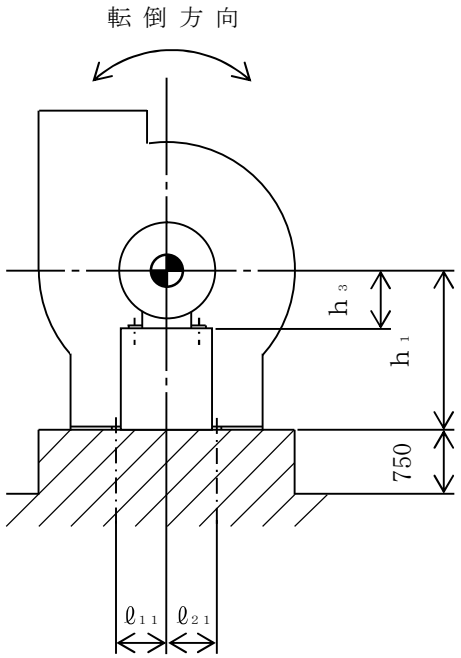
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：f_{tsi}＝ Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}， f_{toi}]より算出

2.4.2 動的機能の評価結果 (×9.8 m/s^2)

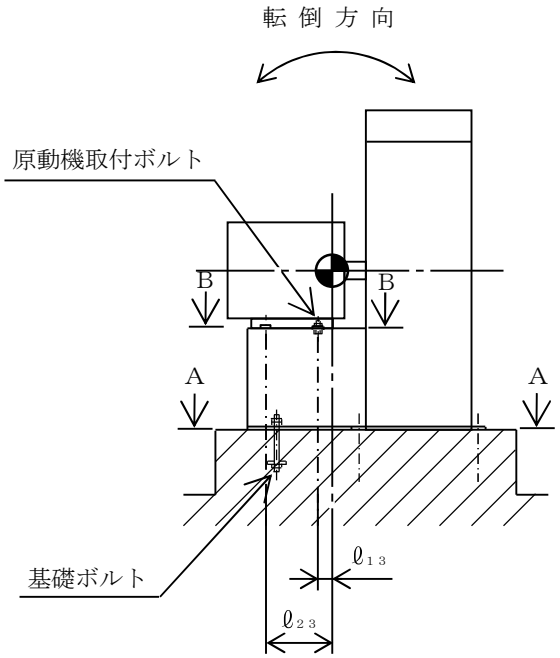
		評価用加速度	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.29	2.6
	鉛直方向	0.98	1.0
原動機	水平方向	1.29	4.7
	鉛直方向	0.98	1.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

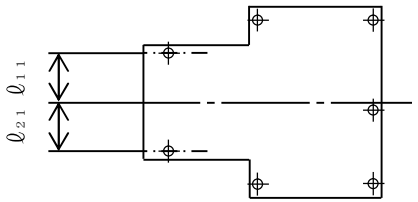


(軸直角方向転倒)

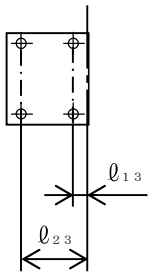
($\ell_{1i} \leqq \ell_{2i}$)



(軸方向転倒)



A～A矢視図
(基礎ボルト)



B～B矢視図
(原動機取付ボルト)

Ⅴ-2-8-3-1-3　中央制御室換気系フィルタユニットの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 4
2.4 記号の説明 ····· 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 6
3. 評価部位 ····· 6
4. 固有周期 ····· 7
4.1 固有周期の計算方法 ····· 7
4.2 固有周期の計算条件 ····· 8
4.3 固有周期の計算結果 ····· 8
5. 構造強度評価 ····· 9
5.1 構造強度評価方法 ····· 9
5.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 9
5.3 設計用地震力 ····· 13
5.4 計算方法 ····· 14
5.5 計算条件 ····· 17
5.6 応力の評価 ····· 17
6. 評価結果 ····· 18
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 18
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 18

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき，中央制御室換気系フィルタユニットが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

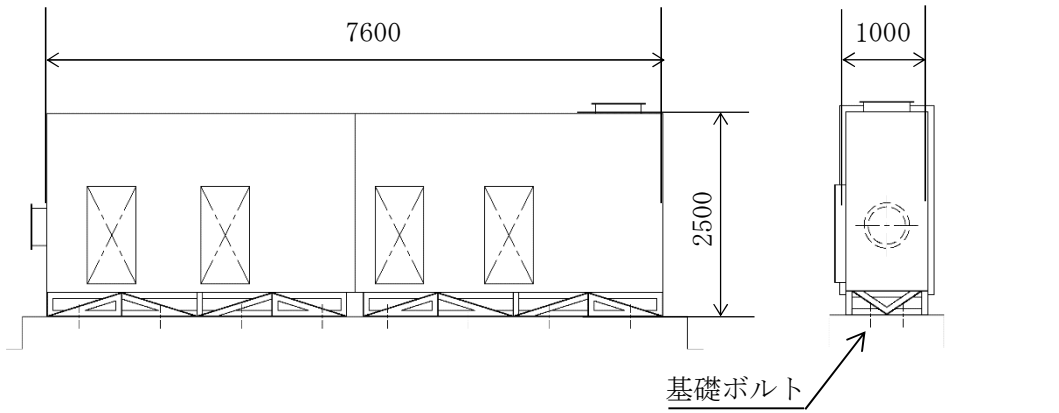
中央制御室換気系フィルタユニットは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

中央制御室換気系フィルタユニットの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
中央制御室換気系フィルタユニットは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	形鋼骨組及び鋼板外板による溶接構造。	 （単位：mm）

2.2　評価方針

中央制御室換気系フィルタユニットの応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」のうち「3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す中央制御室換気系フィルタユニットの部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.　固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「5.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6.　評価結果」に示す。

中央制御室換気系フィルタユニットの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

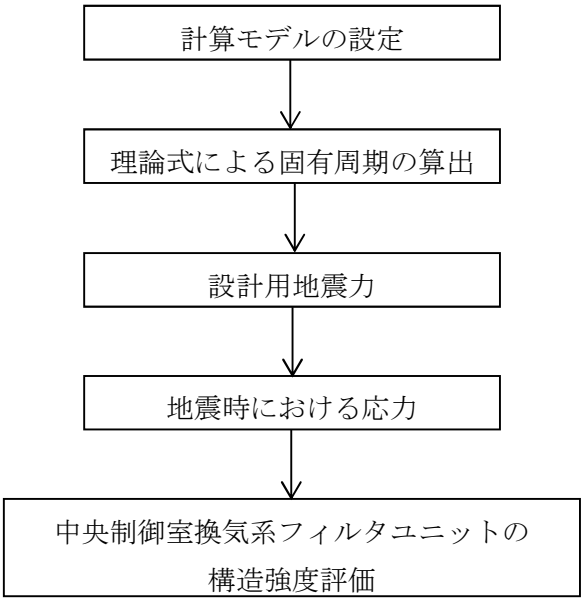


図 2-1　中央制御室換気系フィルタユニットの耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記　号	記　号　の　説　明	単　位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
A_e	ケーシングの有効せん断断面積	mm^2
A	ケーシングの断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f_sを 1.5 倍した値又はf_s^*を 1.5 倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f_tを 1.5 倍した値又はf_t^*を 1.5 倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h	据付面又は基礎面から重心までの距離	mm
I	断面二次モーメント	mm^4
K_H	水平方向ばね定数	N/m
K_V	鉛直方向ばね定数	N/m
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	運転時質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記　＊：$\ell_1 \leqq \ell_2$

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁*1
せん断弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁*1
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*2	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*1
断面二次モーメント	mm^4	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*1
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*1
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

＊2：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊3：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3.　評価部位

中央制御室換気系フィルタユニットの耐震評価は，「5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。中央制御室換気系フィルタユニットの耐震評価部位については，表2-1の概略構造図に示す。

4.　固有周期

4.1　固有周期の計算方法

中央制御室換気系フィルタユニットの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　計算モデル

a.　変形は中央制御室換気系フィルタユニットをはりと考えたときの曲げ及びせん断変形を考慮する。

b.　中央制御室換気系フィルタユニットは基礎ボルトで基礎に固定されているので，装置下部を固定端とする。

(2)　中央制御室換気系フィルタユニットは，図 4-1 に示す下端固定の 1 質点振動モデルとして考える。

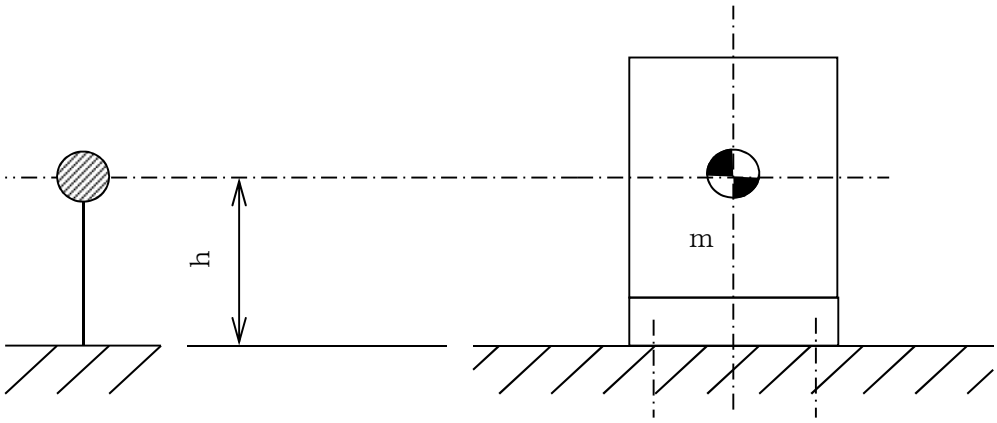


図 4-1　固有周期の計算モデル

(3)　固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数Kは次式で表される。

$$\text{水平方向}\quad K_H=\frac{1000}{\dfrac{h^3}{3\cdot E\cdot I}+\dfrac{h}{G\cdot A_e}} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.1)$$

$$\text{鉛直方向}\quad K_V=\frac{1000}{\dfrac{h}{E\cdot A}} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.2)$$

したがって，固有周期は次式で求められる。

$$\text{水平方向}\quad T_H=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{K_H}} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.3)$$

$$\text{鉛直方向}\quad T_V=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{K_V}} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.4)$$

NT2 補③ V-2-8-3-1-3 R0

4.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は，本計算書の【中央制御室換気系フィルタユニットの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-2 に示す。計算結果より，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 4-2　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

5.　構造強度評価

5.1　構造強度評価方法

(1)　中央制御室換気系フィルタユニットの質量は，重心に集中するものとする。

(2)　地震力は中央制御室換気系フィルタユニットに対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(3)　計算は，長辺方向及び短辺方向について行い，計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

5.2　荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

中央制御室換気系フィルタユニットの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5－2に示す。

5.2.2　許容応力

中央制御室換気系フィルタユニットの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表5-3のとおりとする。

5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

中央制御室換気系フィルタユニットの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-4に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-5に示す。

表 5-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	換気設備	中央制御室換気系フィルタユニット	S	―*1	$D+P_D+M_D+S_d$*2	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊2：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。

表 5-2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	換気設備	中央制御室換気系フィルタユニット	常設耐震／防止 常設／緩和	―*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-3　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1*2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅲ_AS$	1.5・f_t	1.5・f_s
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	211	394	－

[redacted]

表 5-5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	211	394	－

[redacted]

5.3　設計用地震力

「弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度」及び「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

表 5-6　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
[redacted] EL. 29.0*1	[redacted]		－*2	－*2	C_H＝1.55	C_V＝1.17

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：Ⅲ$_A$Ｓについては，基準地震動Ｓ$_s$で評価する。

表 5-7　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
[redacted] EL. 29.0*	[redacted]		－	－	C_H＝1.55	C_V＝1.17

注記　＊：基準床レベルを示す。

5.4　計算方法

5.4.1　応力の計算方法

ボルトの応力は地震による震度によって生じる引張力とせん断力について計算する。

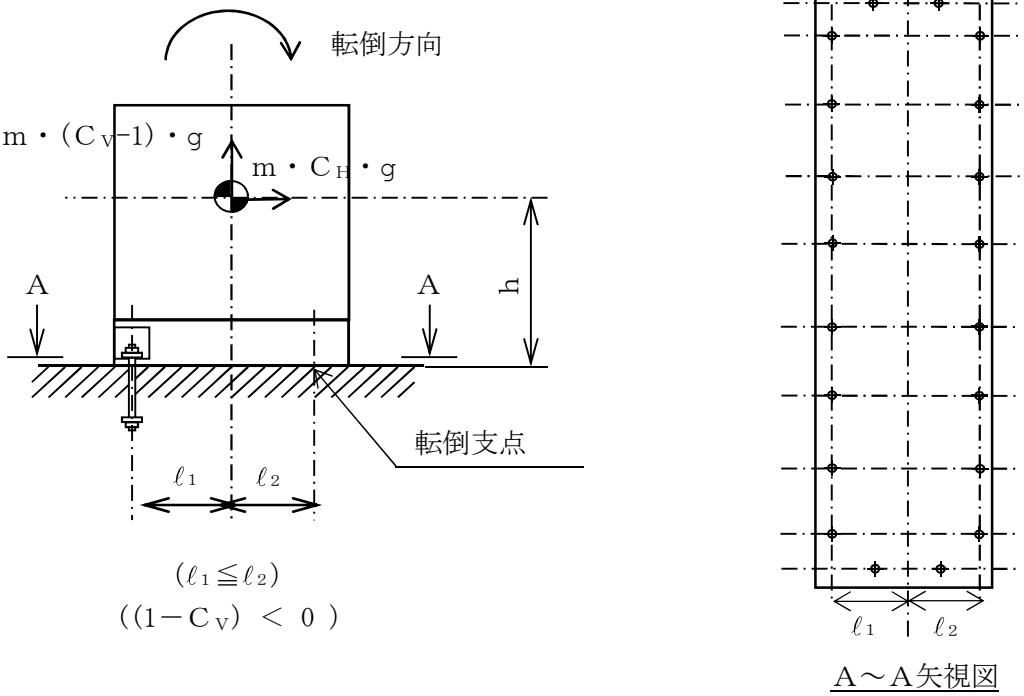


図 5-1　計算モデル（短辺方向転倒）

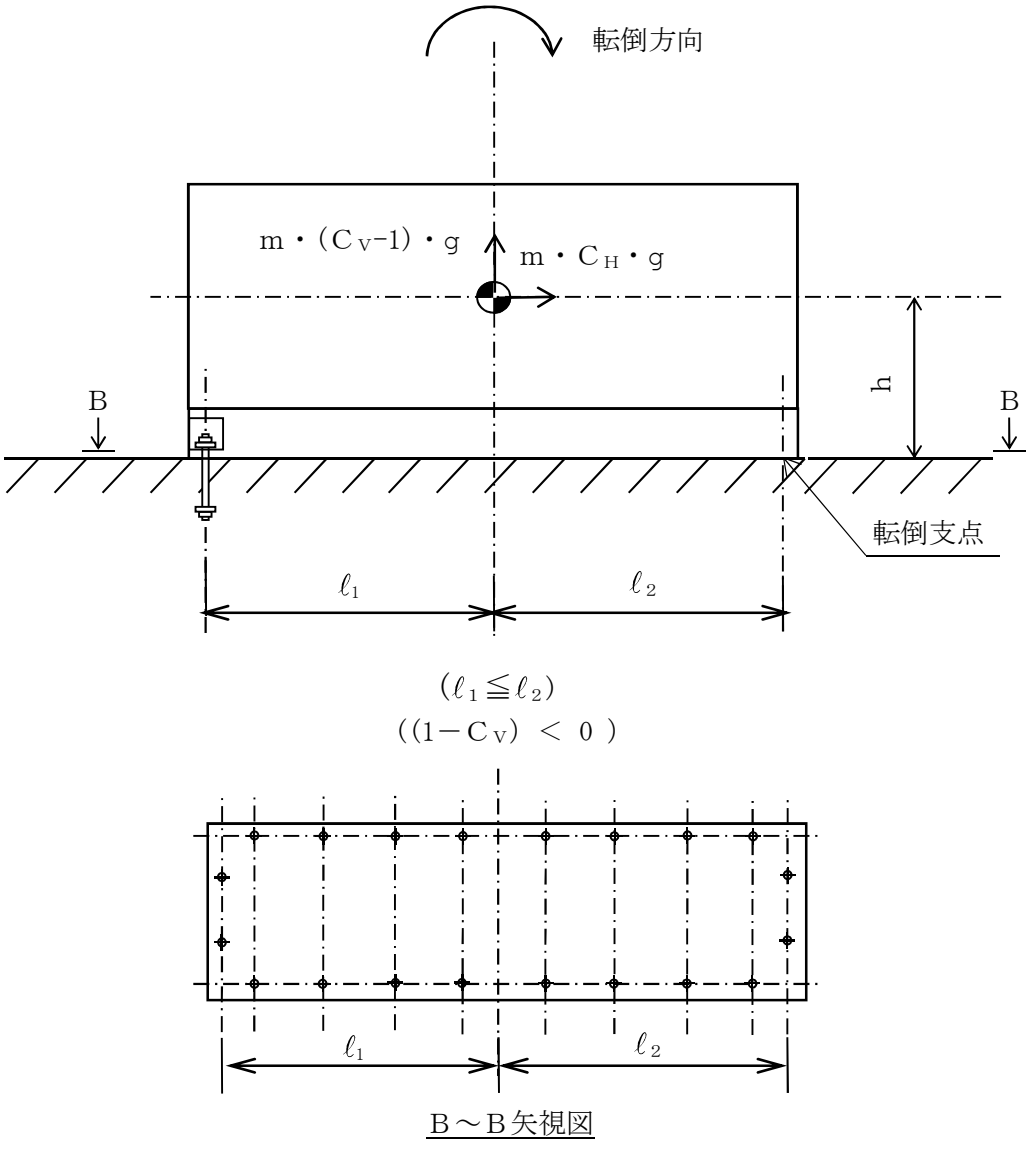


図 5-2　計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は図 5-1，図 5-2 でボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

（絶対値和）　$$F_b=\frac{m\cdot C_H\cdot h\cdot g-m\cdot(1-C_V)\cdot \ell_2\cdot g}{n_f\cdot(\ell_1+\ell_2)} \cdots\cdots\cdots (5.4.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \cdots\cdots\cdots (5.4.1.2)$$

ここで，ボルトの軸断面積A_bは

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \cdots\cdots\cdots (5.4.1.3)$$

ただし，F_bが負のとき基礎ボルトには引張力が生じないため，引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

せん断力

$$Q_b=m\cdot C_H\cdot g \cdots\cdots\cdots (5.4.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \cdots\cdots\cdots (5.4.1.5)$$

5.5　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【中央制御室換気系フィルタユニットの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6　応力の評価

5.6.1　ボルトの応力評価

5.4 項で求めたボルトの引張応力σ_{bi}は次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。ただし，f_{to}は下表による。

$$f_{ts} = \mathrm{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.6.1.1)$$

せん断応力τ_{bi}はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。ただし，f_{sb}は下表による。

	弾性設計用地震動S_d又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室換気系フィルタユニットの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

なお，弾性設計用地震動S_d及び静的震度は基準地震動S_sを下回っており，基準地震動S_sによる発生値が，弾性設計用地震動S_d又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動S_d又は静的震度による発生値の算出を省略した。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

中央制御室換気系フィルタユニットの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【中央制御室換気系フィルタユニットの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		最高使用温度(℃)	周囲環境温度(℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
中央制御室換気系フィルタユニット	S	EL. 29.0*1			－*2	－*2	C_H＝1.55	C_V＝1.17	－	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

＊2：ⅢASについては，基準地震動Ｓｓで評価する。

1.2 機器要目

E (MPa)	G (MPa)	I (mm^4)	A_e (mm^2)	A (mm^2)

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
												弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト								211	394	211	253	－	短　辺

注記 ＊：基礎ボルトの機器要目における上段は短辺方向に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向に対する評価時の要目を示す。

1.3 計 算 数 値

ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	—	1.341×10^4	—	6.840×10^4

1.4 結論

ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力*1	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	$\sigma_b=43$	$f_{ts}=158$*2	$\sigma_b=43$	$f_{ts}=190$*2
		せん断	$\tau_b=11$	$f_{sb}=122$	$\tau_b=11$	$f_{sb}=146$

注記　*1：基準地震動Ｓｓによる算出値

*2：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot\tau_b,\ f_{to}]$より算出

すべて許容応力以下である。

【中央制御室換気系フィルタユニットの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		最高使用温度(℃)	周囲環境温度(℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
中央制御室換気系フィルタユニット	常設耐震／防止常設／緩和	EL. 29.0*			－	－	C_H=1.55	C_V=1.17	－	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

E (MPa)	G (MPa)	I (mm^4)	A_e (mm^2)	A (mm^2)

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
												弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト								211	394	211	253	－	短　辺

注記 ＊：基礎ボルトの機器要目における上段は短辺方向に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向に対する評価時の要目を示す。

2.3 計 算 数 値

ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	－	1.341×10^4	－	6.840×10^4

2.4 結論

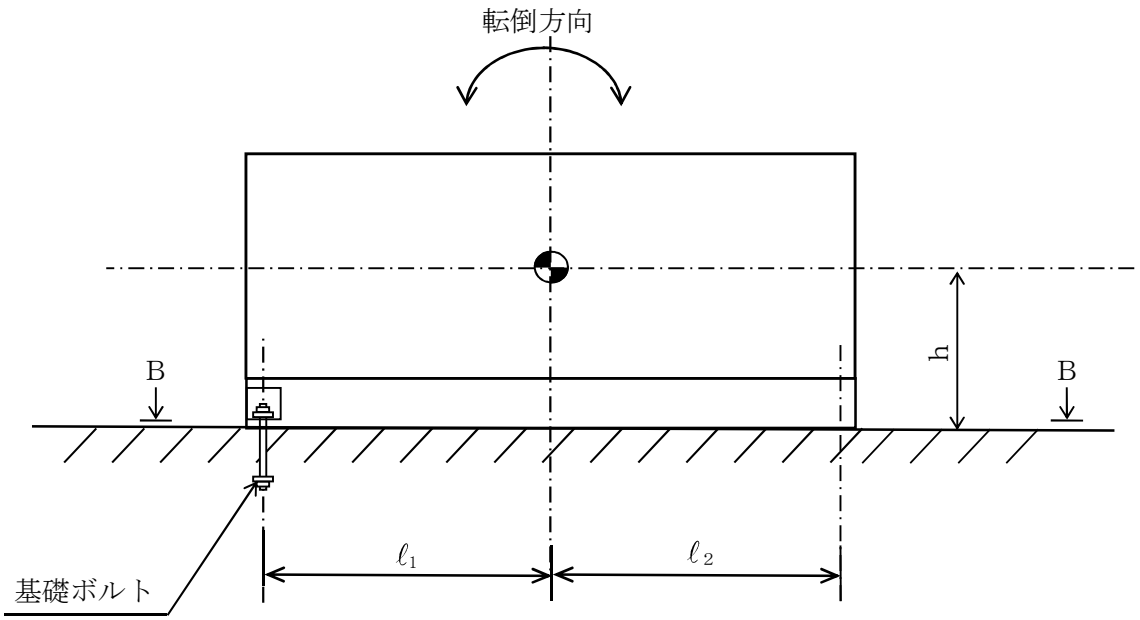
ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	－	－	$\sigma_b=43$	$f_{ts}=190$*
		せん断	－	－	$\tau_b=11$	$f_{sb}=146$

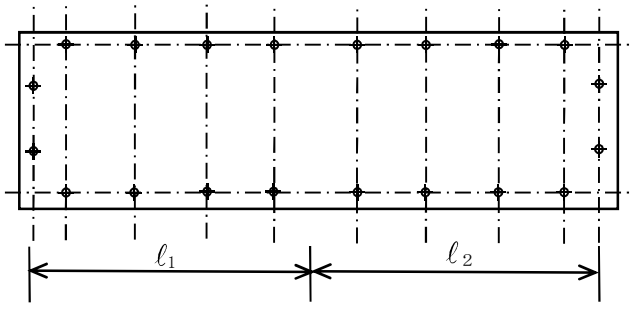
注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot\tau_b,\ f_{to}]$より算出

すべて許容応力以下である。

（長辺方向転倒）

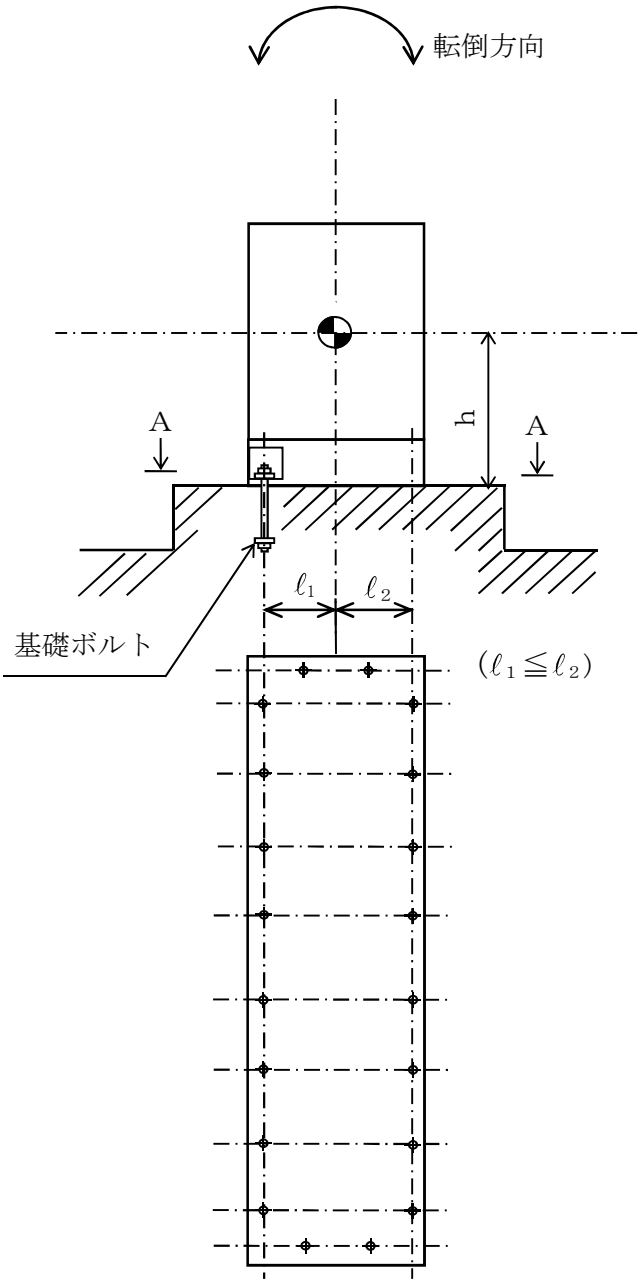


（$\ell_1 \leqq \ell_2$）



B～B矢視図

（短辺方向転倒）



A～A矢視図

Ⅴ-2-8-3-2　中央制御室待避室の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-8-3-2-1　管の耐震性についての計算書

目　次

1.　概要 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 2
2.1　概略系統図 2
2.2　鳥瞰図 4
3.　計算条件 9
3.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 9
3.2　設計条件 10
3.3　材料及び許容応力 19
3.4　設計用地震力 20
4.　解析結果及び評価 21
4.1　固有周期及び設計震度 21
4.2　評価結果 27
4.2.1　管の応力評価結果 27
4.2.2　支持構造物評価結果 28
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 29
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 30

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全１モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3) 弁

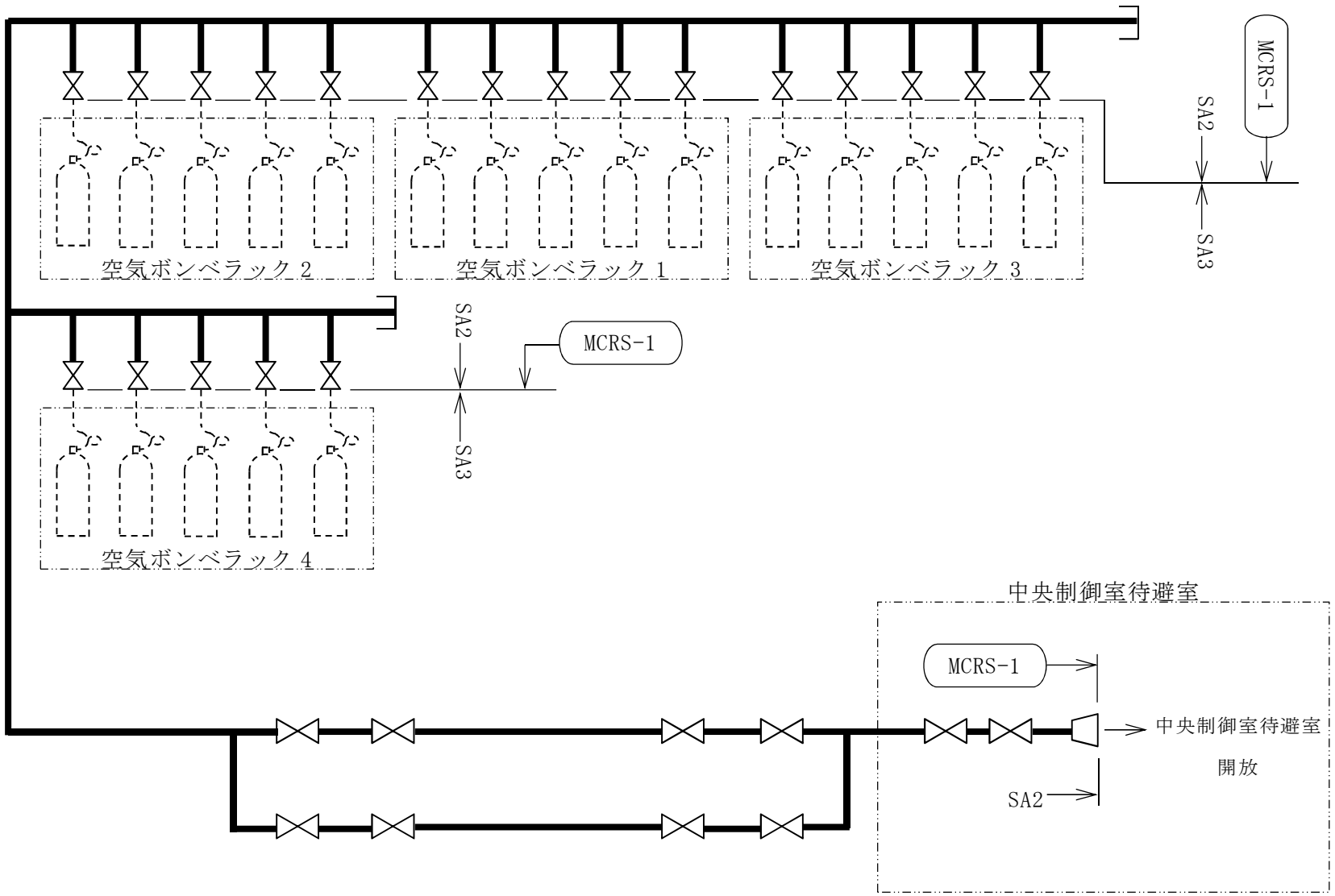
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

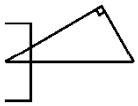
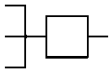
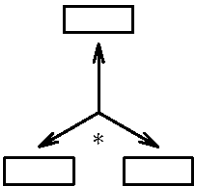
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管

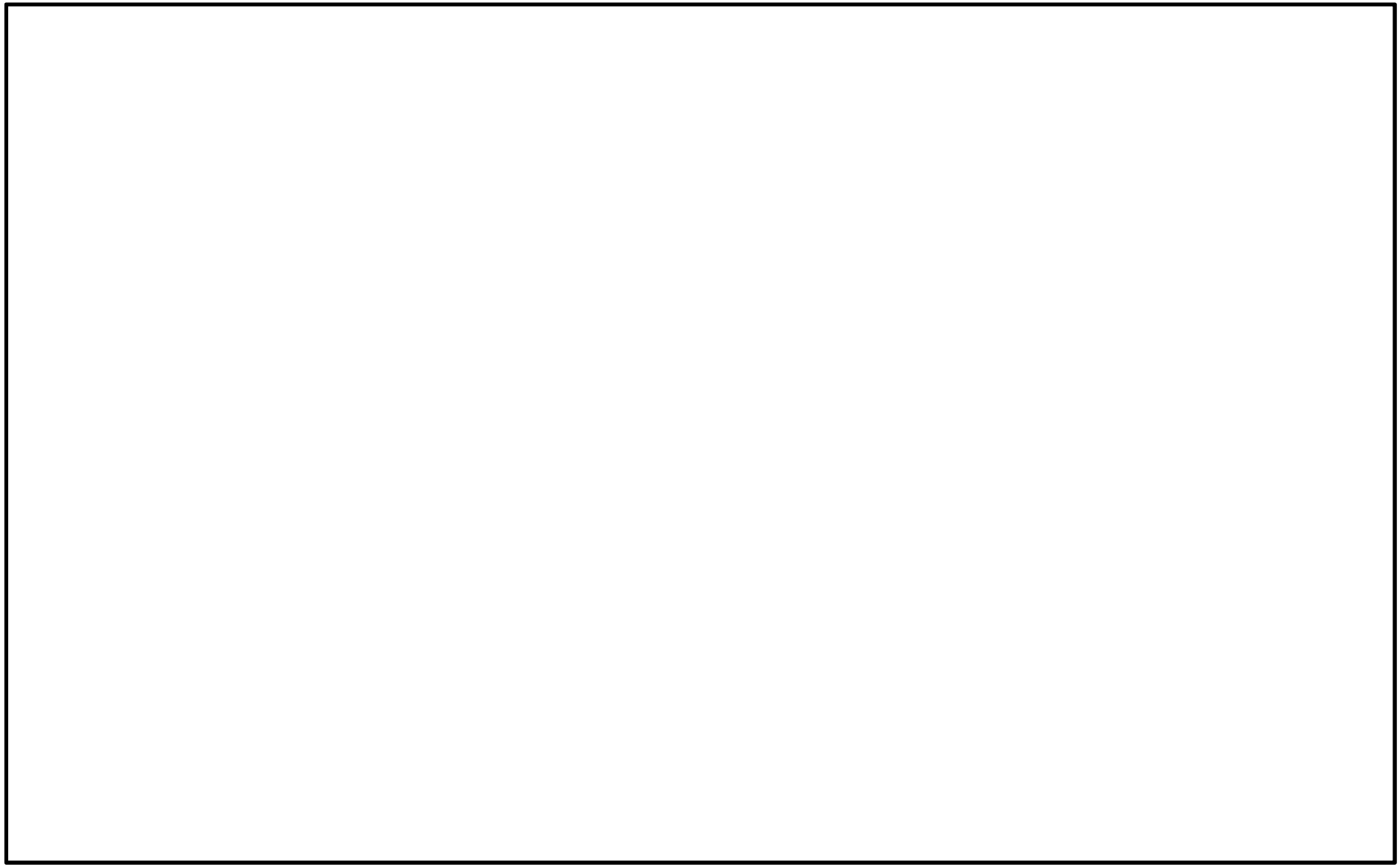


中央制御室待避室空気ボンベユニット配管概略系統図

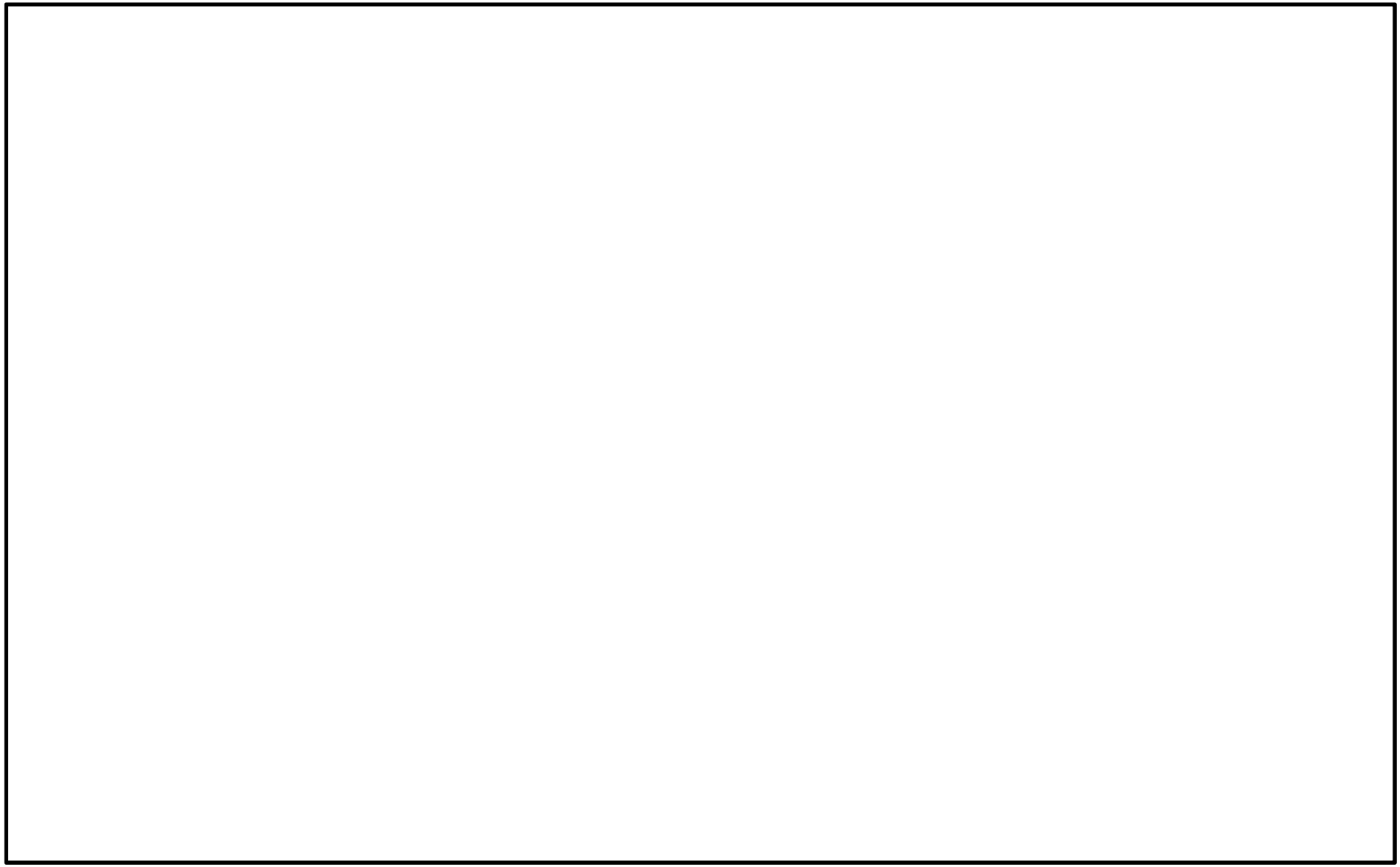
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

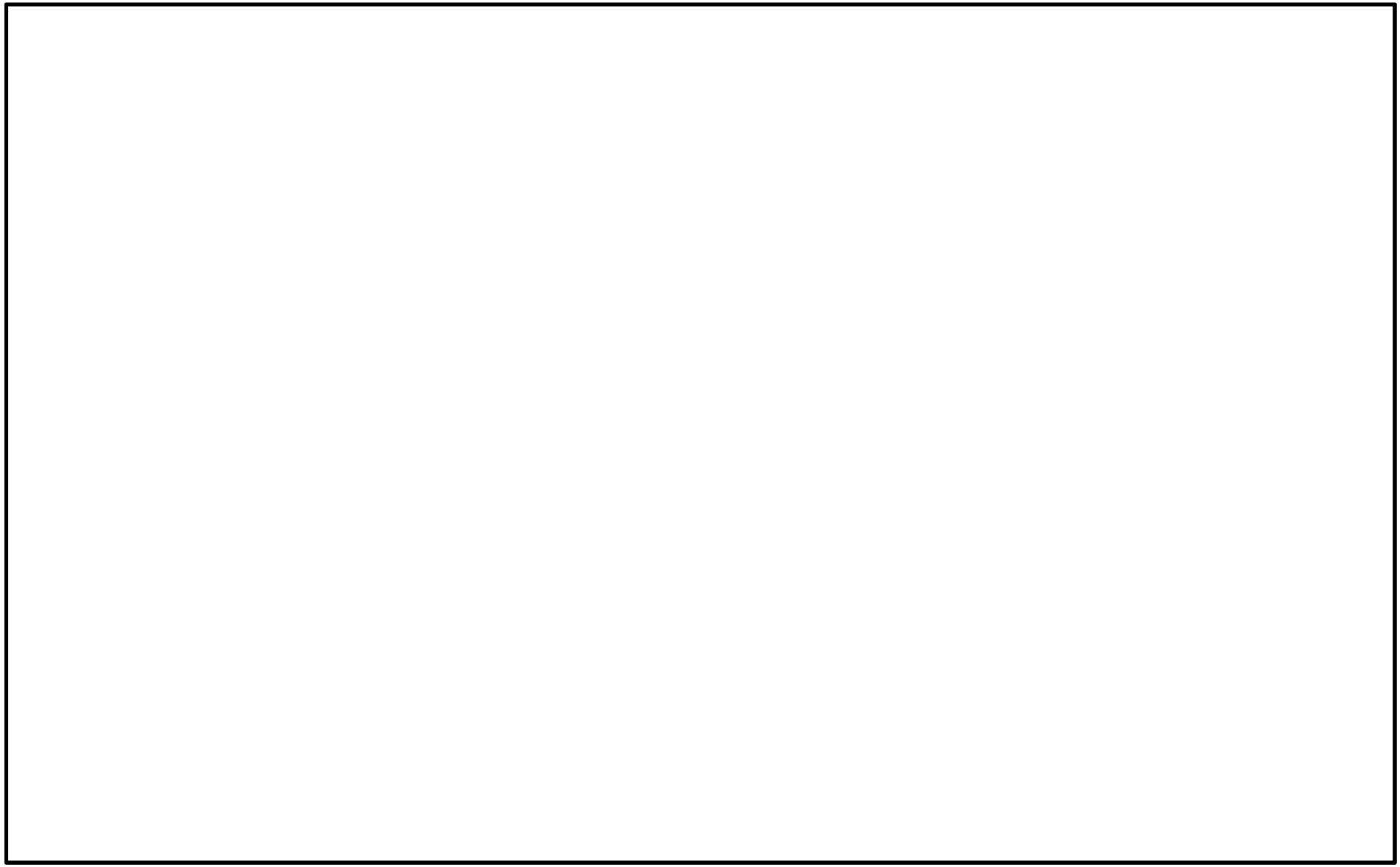
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
○	節　　点
◎	質　　点
	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	拘束点の地震による相対変位量（mm） （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。）
	注：　鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。



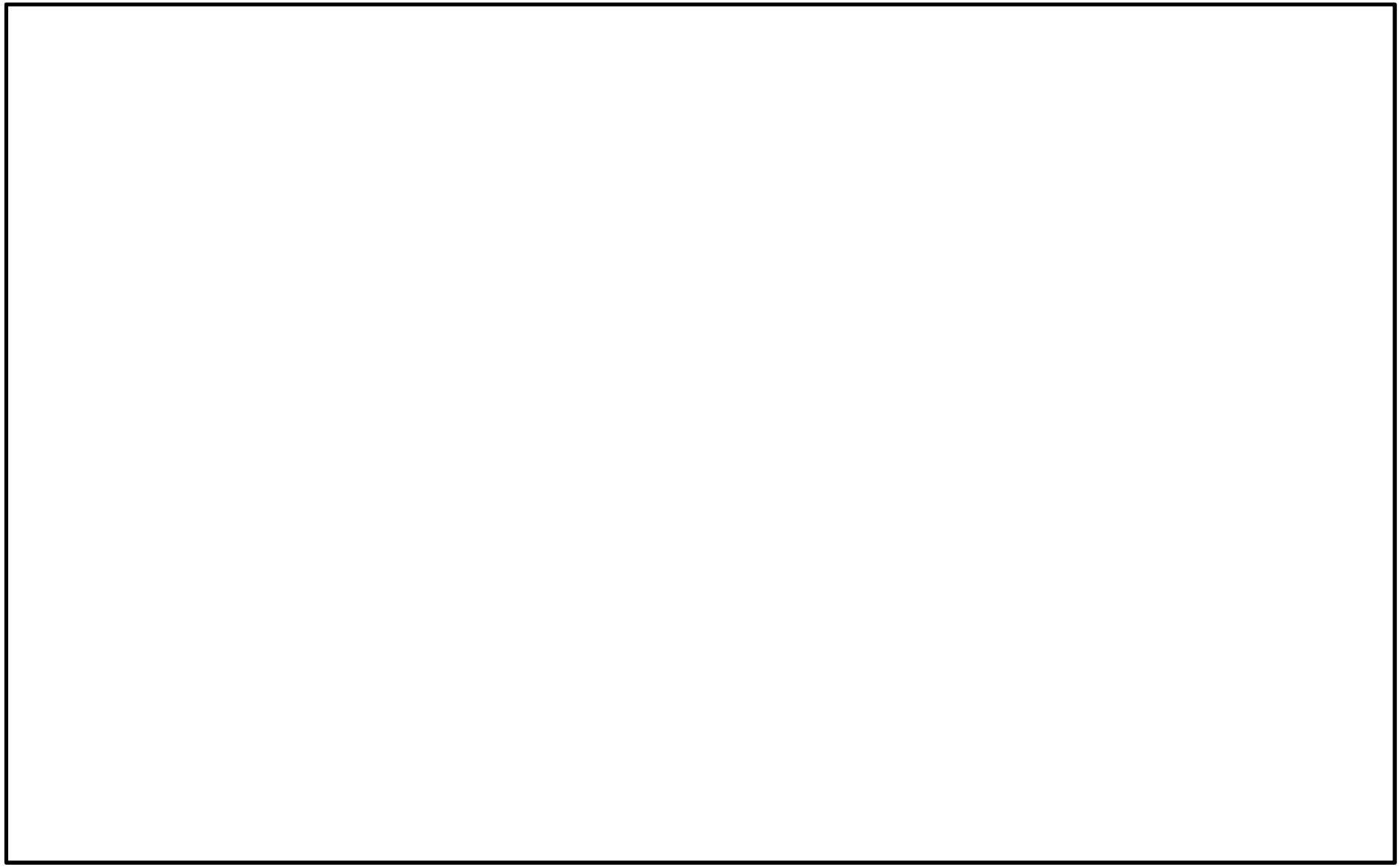
鳥瞰図	MCRS-1（ＳＡ）(1／4)



鳥瞰図	MCRS-1（ＳＡ）(2／4)



鳥瞰図	MCRS-1（ＳＡ）(3／4)



鳥瞰図	MCRS-1（ＳＡ）(4／4)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
放射線管理施設	換気設備	中央制御室待避室	ＳＡ	常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	$V_L + S_s$	$V_A S$

注記 ＊1： ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。

＊2： 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊3： 運転状態の添字Ｌは荷重，（Ｌ）は荷重が長期間作用している状態，（ＬＬ）は（Ｌ）より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

＊4： 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

＊5： 許容応力状態$V_A S$は許容応力状態$IV_A S$の許容限界を使用し，許容応力状態$IV_A S$として評価を実施する。

3.2　設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　MCRS-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	501,801,601,401,602,402 603,403,604,802,605,404 606,405,607,803,　1,608 804,609,　2,805,610,406 611,407,612,806,613,408 614,409,615,410,616,807 　3,617,808,618,　4,411 619,412,620,413,621,414 622,415,623,　5,　6,416 　7,809,624,　8,810,625 811,626,812,627,417,　9 813,628,418,301,901,302 814,303,902,834,311,906 312,835,313,907,314,836 315,908,316,837,317,909 318,838,319,910,320,839	14.70	40	27.2	3.9	SUS304TP	－	[redacted]

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　MCRS-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	321,911,322,840,323,912 324,841,325,913,326,842 327,914,328,843,329,915 330,651,844,331,916,332 652,845,333,917,334,653 846,335,918,336,654,847 337,919,338,655,848,339 920,340,656,424,657,425 658,426,659,427,660,428 661,849,503,663,850,341 921,342,664,851,343,922 344,665,852,345,923,346 666,853,347,924,348,667 854,349,925,350,351,926 352,668, 22,353,927,354 855,355,928	14.70	40	27.2	3.9	SUS304TP	－	[redacted]

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　MCRS-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
2	902,304,419,630,420,305 903,306,815,307,904,308 421,632,816, 10,422,633 817,634,818,635, 11,819 12,636,820,637,821, 13 14,638,822,639,823,640 15,824,641,825,642,826 643,827,644,828,645, 16 829, 17,646,830, 18,647 19, 20,831,648,832, 21 649,309,905,310,833,650 502,928,356,429,670,430 357,929,358,856,359,930 360, 23,672,673,857,361 931,362,674,858,363,932	1.80	40	27.2	2.9	SUS304TP	－	[redacted]

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　MCRS-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
2	364,365,933,366,505,677 859,367,934,368,201	1.80	40	27.2	2.9	SUS304TP	－	[redacted]
3	202	1.80	40	60.5	3.9	SUS304TP	－	[redacted]

フランジ部の質量

鳥　瞰　図　MCRS-1

質量	対応する評価点
[redacted]	501, 503
[redacted]	502, 505, 312, 314, 316, 318, 320, 322, 324, 326, 328, 330, 332, 334 336, 338, 340, 342, 344, 346, 348, 350

弁部の質量

鳥　瞰　図　MCRS-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
□	901,906,907,908,909 910,911,912,913,914 915,916,917,918,919 920,921,922,923,924 925,926,927	□	902,903,928,929
□	904,930,931,932,933 934	□	905

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MCRS-1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
801						
802						
803						
804						
805						
806						
807						
808						
809						
810						
811						
812						
813						
814						
902						
903						
815						
816						
817						
818						
819						
820						
821						
822						
823						
824						
825						
826						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MCRS-1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
827						
828						
829						
830						
831						
832						
833						
834						
835						
836						
837						
838						
839						
840						
841						
842						
843						
844						
845						
846						
847						
848						
849						
850						
851						
852						
853						
854						
855						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MCRS-1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
928						
929						
856						
857						
858						
859						

3.3　材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (℃)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SUS304TP	40	－	205	520	－

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数(%)
MCRS-1	[redacted]	EL. 29.000 m	[redacted]
		EL. 20.300 m	
		EL. 14.000 m	

4.　解析結果及び評価

4.1　固有周期及び設計震度

鳥　瞰　図　MCRS-1

耐震設計上の重要度分類	－		
適用する地震動等	S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度	応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
動的震度			

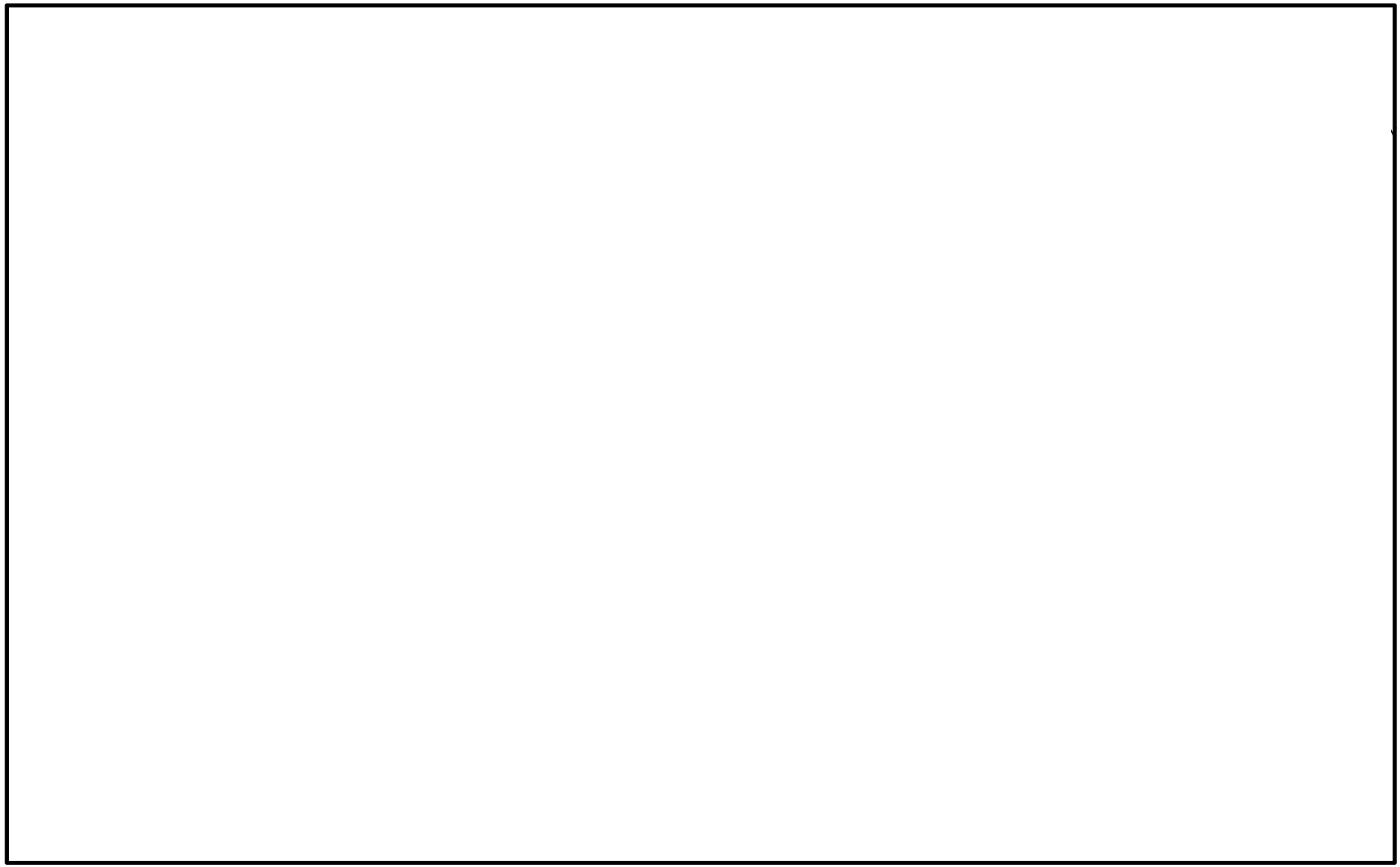
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　MCRS-1

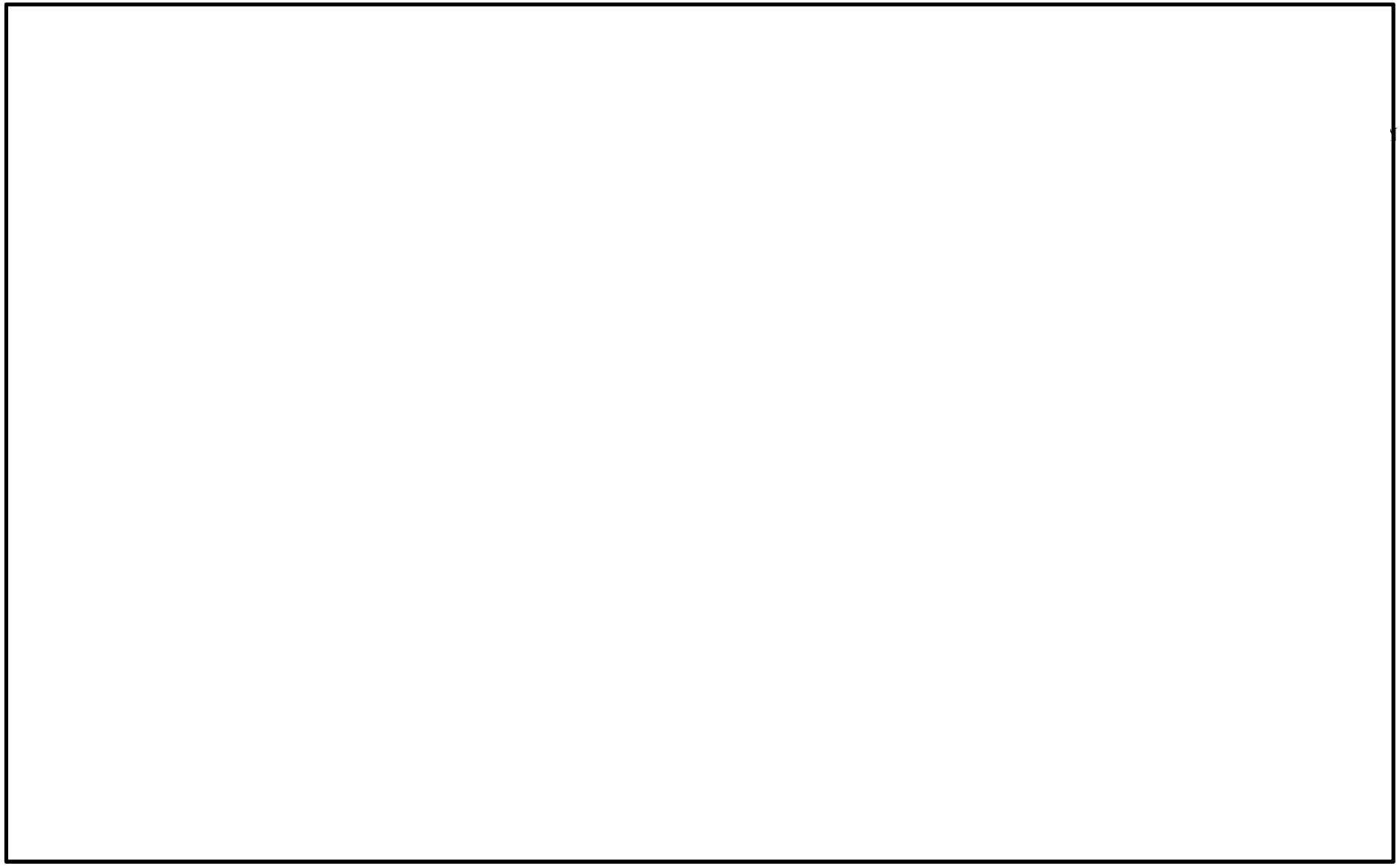
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向

代表的振動モード図

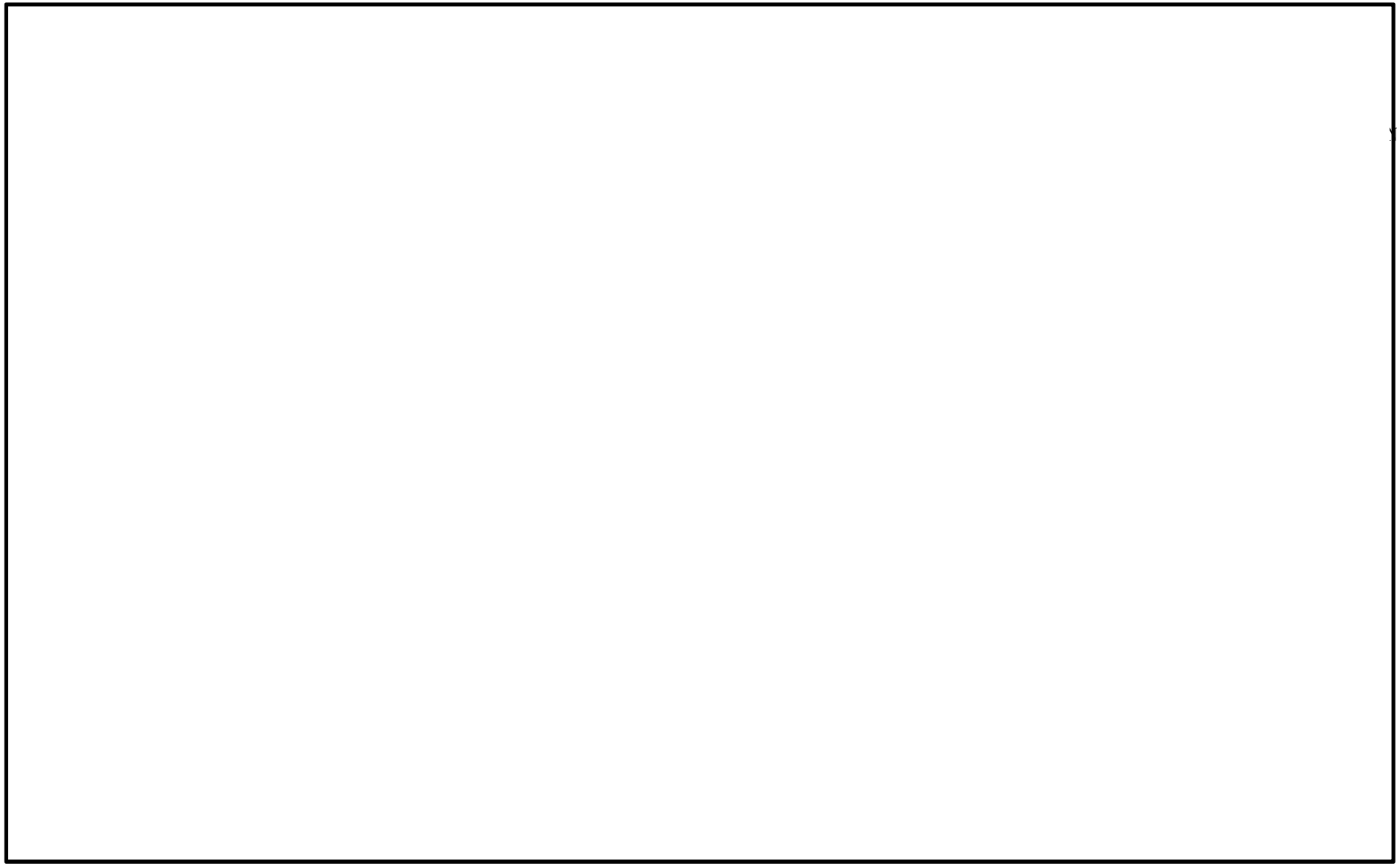
振動モード図は，3 次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



鳥瞰図	MCRS-1



鳥瞰図	MCRS-1



鳥瞰図	MCRS-1

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管

鳥瞰図	許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価(MPa)		一次＋二次応力評価(MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{prm}(S_s)$	許容応力 $0.9S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
MCRS-1	V_AS	428	$S_{prm}(S_s)$	244	468	－	－	－
MCRS-1	V_AS	428	$S_n(S_s)$	－	－	390	410	－

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
—	—	—	—	—	—	—

支持構造物評価結果(応力評価)

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN･m)			応力分類	計算応力(MPa)	許容応力(MPa)
					F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
RE-MCRS-1-036	レストレイント	Uボルト	SUS304	66	—	5.2	3.7	—	—	—	組合せ	90	258
AN-MCRS-1-002	アンカ	Uバンド	SS400	66	0.090	0.22	0.122	0.028	0.004	0.004	組合せ	8	283

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	評価結果（×9.8 m/s²）		機能確認済加速度（×9.8 m/s²）		構造強度評価結果（MPa）	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.3　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス２範囲）

No	配管モデル	許容応力状態　V_AS												
		一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	MCRS-1	428	244	468	1.91	○	428	390	410	1.05	○	－	－	－

Ⅴ-2-8-3-2-2　中央制御室待避室差圧の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ・・ 1
2. 一般事項 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
2.1 構造計画 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
3. 固有周期 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
3.1 固有周期の算出方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
3.2 固有周期の計算条件 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
3.3 固有周期の計算結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
4. 構造強度評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
4.1 構造強度評価方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
5. 機能維持評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
5.1 機能維持評価方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
6. 評価結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 9

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，中央制御室待避室差圧が設計用地震力に対して十分な構造強度及び機能を有していることを説明するものである。

中央制御室待避室差圧は,重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び機能維持評価を示す。

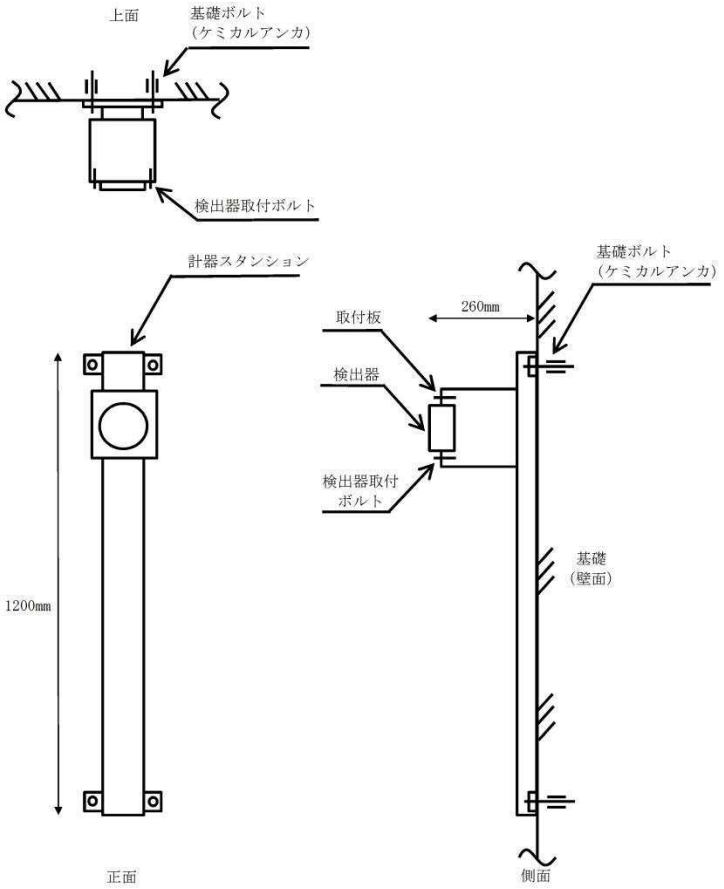
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

中央制御室待避室差圧の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，検出器取付ボルトにより取付板に固定され，取付板は，溶接により計器スタンションに固定される。 計器スタンションは，壁面に基礎ボルトで設置する。	弾性型差圧検出器	

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

中央制御室待避室差圧の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　中央制御室待避室差圧は，図 3-1 に示す壁固定の１質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で上下２箇所を原子炉建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）２点で固定されるものとする。

(3)検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は計器スタンションの中心に設定する。

(4)　図 3-1 中の ◓ は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，── は計器スタンションを示す。

3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{\ell_b^3}{48 \cdot E \cdot I} + \frac{\ell_b}{4 \cdot A_S \cdot G} \right)} \quad \cdots (3.1.1.1)$$

3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

(1)　Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

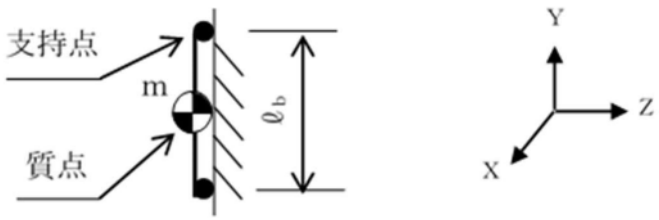
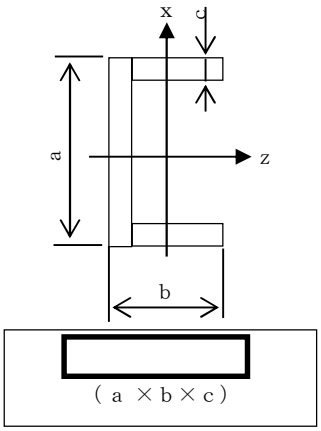


図 3-1　固有周期の計算モデル

3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
上下ボルト間の距離（壁掛形）	ℓ_b	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状(mm)			

3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から,水平方向は 0.05 秒以下であり,剛であることを確認した。また,鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。

表 3-2　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

注記　＊：水平方向は固有周期が長いＺ方向の固有周期を示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

中央制御室待避室差圧の構造は壁掛形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

中央制御室待避室差圧の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

中央制御室待避室差圧の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

中央制御室待避室差圧の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	換気設備	中央制御室待避室差圧	常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$ *3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 （℃）		Ｓｙ （MPa）	Ｓｕ （MPa）	Ｓｙ（ＲＴ） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	245	400	－

5. 機能維持評価

5.1 機能維持評価方法

中央制御室待避室差圧の機能維持評価について，以下に示す。

機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

中央制御室待避室差圧の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表5－1に示す。

表5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
中央制御室待避室差圧	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

中央制御室待避室差圧の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており,設計用地震力に対して十分な構造強度及び機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【中央制御室待避室差圧の重大事故等対処設備としての評価結果】

1．重大事故等対処設備

1.1　設計条件

機　器　名　称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
中央制御室待避室差圧	常設／緩和	EL. 18. 10 (EL. 20. 30*)			—	—	C_H＝1.34	C_V＝1.01	

注記　＊：基準床レベルを示す。

1.2　機器要目

1.2.1 中央制御室待避室差圧

部　　材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部　　材	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
基礎ボルト	245	400	－	280	－	水平方向

1.3　計算数値

1.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	－		－	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=4	f_{ts}=168*
		せん断	－	－	τ_b=2	f_{sb}=129

すべて許容応力以下である。

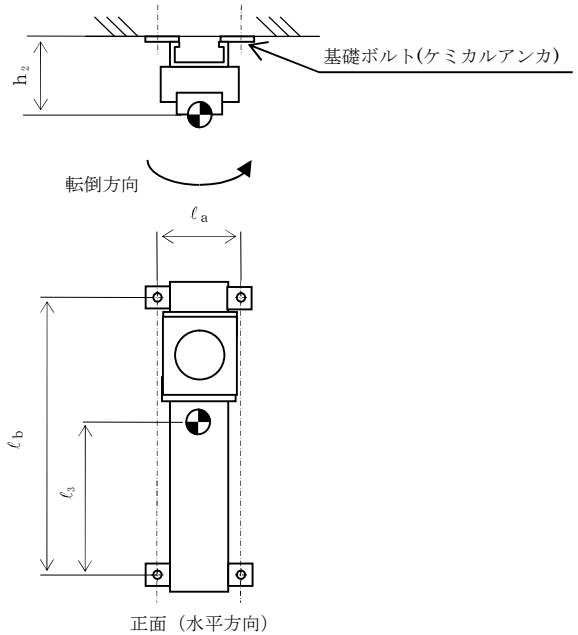
注記　＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

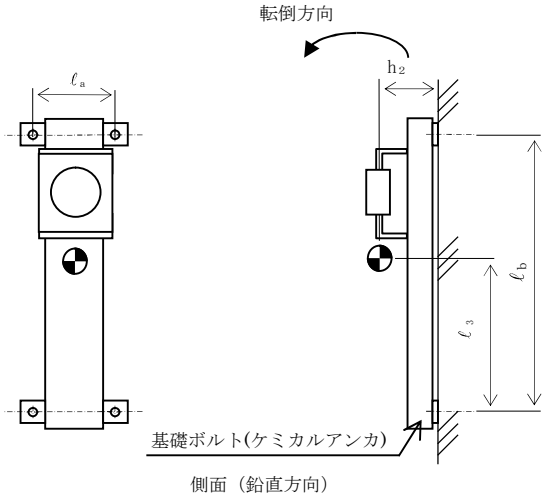
（単位：×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
中央制御室待避室差圧	水平方向	1.34	
	鉛直方向	1.01	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-8-3-3　緊急時対策所換気系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-8-3-3-1　緊急時対策所換気系ダクトの耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　耐震設計の原則 ····· 1
3.　ダクト及び支持構造物の設計手順 ····· 1
4.　ダクト設計の基本方針 ····· 3
4.1　重要度別による設計方針 ····· 3
4.2　荷重の組合せ ····· 3
4.3　設計用地震力 ····· 4
4.4　ダクト支持点の設計方法 ····· 4
4.4.1　手法1の支持間隔算定法 ····· 4
4.4.2　手法2の支持間隔算定法 ····· 4
4.5　耐震支持間隔 ····· 6
4.5.1　矩形ダクトの固有振動数 ····· 6
4.5.2　矩形ダクトの座屈評価 ····· 7
4.5.3　緊急時対策所換気系ダクトの耐震支持間隔 ····· 8
4.6　ダクトの構造 ····· 10
5.　支持構造物設計の基本方針 ····· 11
5.1　支持構造物の構造及び種類 ····· 11
5.2　支持方法 ····· 11
5.3　支持構造物の選定 ····· 13
5.4　支持構造物の耐震性確認 ····· 14
5.4.1　概要 ····· 14
5.4.2　支持構造物の耐震性確認 ····· 14

1. 概要

本方針は，緊急時対策所換気系ダクトに適用し，ダクト支持について耐震設計上十分安全であるように考慮すべき事項を定めたものである。

2. 耐震設計の原則

ダクト及びその支持構造物は，耐震設計上の重要度分類に応じた地震力に対して十分な強度を有するように設計する。

3. ダクト及び支持構造物の設計手順

ダクトの経路は，建屋の形状，機器の配置，配管，ケーブルトレイ等の経路を考慮し，耐震性を加味して決定する。

以上を考慮して決定されたダクト経路について支持方法を定めて，ダクトが十分な耐震強度を有するように支持点を決定する。

ダクト支持構造物の設計，製作，据付までの作業の流れを概念的に図 3-1 に示す。

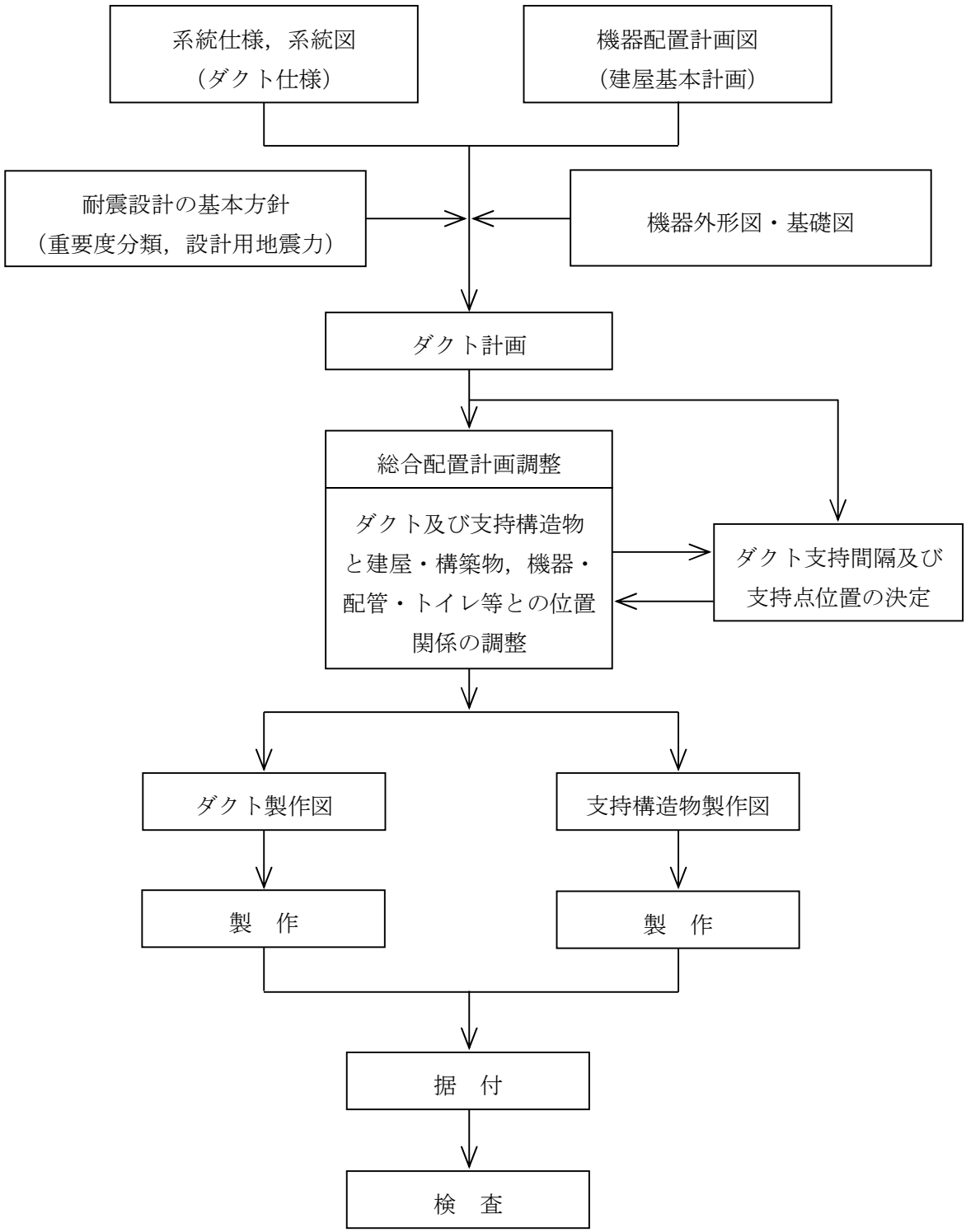


図 3-1　ダクト及び支持構造物の設計作業手順

4.　ダクト設計の基本方針

4.1　重要度別による設計方針

ダクトは，耐震設計上の重要度分類に応じてクラス分類し，表 4-1 に示す設計方針とする。

表 4-1　重要度分類と設計方針

重要度分類	設計方針
重大事故等* クラス 2 配管	地震時の加速度に対し機能が保たれるようサポートのスパン長さを最大許容ピッチ以下に確保すること。

注記　＊：重大事故等時の設備区分を示す。

4.2　荷重の組合せ

$D + P_D + M_D + S_S$　・・・

4.3　設計用地震力

ダクトについては，「V-2-1-1　耐震設計の基本方針」に示す設計用地震力を用いて評価を行う。

4.4　ダクト支持点の設計方法

ダクト及びその支持構造物は適切な剛性を有するとともに，許容座屈曲げモーメントを満足する支持間隔とすることにより耐震性を確保する。

支持間隔の算定は，ダクトの固有振動数（ｆｄ）が十分剛（20 Hz 以上）となるよう算定する手法とダクトの固有振動数に応じた地震力で算定する手法が有り，このうち前者を手法 1，後者を手法 2 と呼ぶ。今回は手法 1 にて支持間隔算出を行う。

また，ダクトの支持点は施工性及びダクトの周囲条件等を考慮して位置を決定する。

以上 2 つの方法による支持点決定までの設計手順を図 4-1 に示す。

4.4.1　手法 1 の支持間隔算定法

ダクトの固有振動数が 20 Hz 以上となる支持間隔と静的設計震度によりダクトに生じる曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となる支持間隔を算定し，いずれか小さい方を支持間隔とする。

4.4.2　手法 2 の支持間隔算定法

静的設計震度と設計用床応答スペクトルから地震力を算定し，ダクトに生じる曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となるように支持間隔を算定する。

ただし，支持間隔はダクトの固有振動数が建屋・構造物の一次固有振動数から大きい側に十分離れるように定めるものとし，固有振動数から定まる支持間隔と許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔のうち，いずれか小さい方とする。

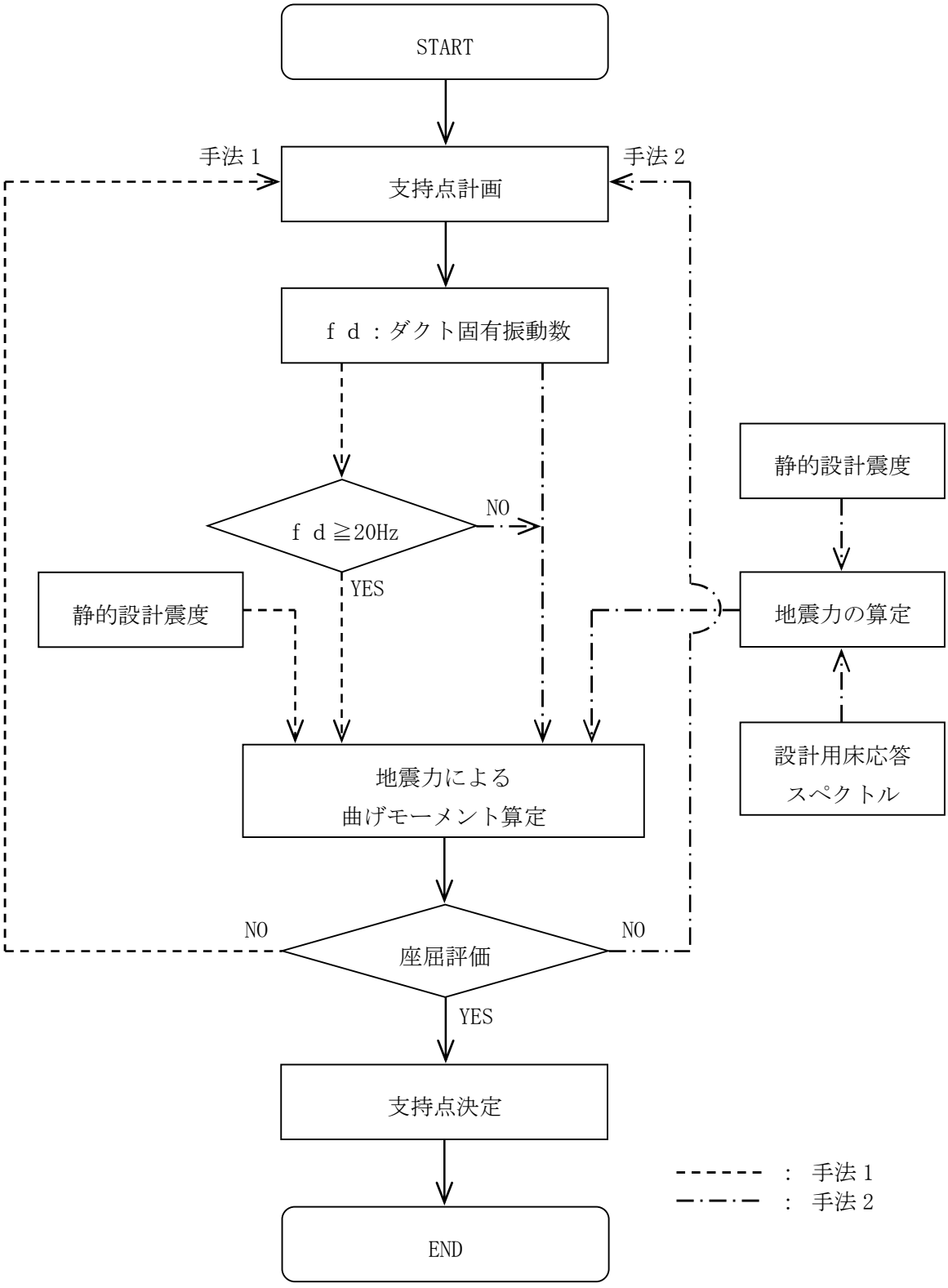


図 4-1 ダクト支持点設計手順

4.5　耐震支持間隔

ダクトの耐震支持間隔は，ダクトが薄板構造であることを考慮した剛性評価及び座屈強度に基づき定める。

なお，丸ダクトについては，弁接続用として使用されるものであり，前後の矩形ダクトと比べ十分な剛性を有していることから評価は矩形ダクトで代表する。

4.5.1　矩形ダクトの固有振動数

両端単純支持された矩形ダクトの固有振動数は，次式で与えられる。

$$f = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{W}} \quad \cdots\cdots (4.2)$$

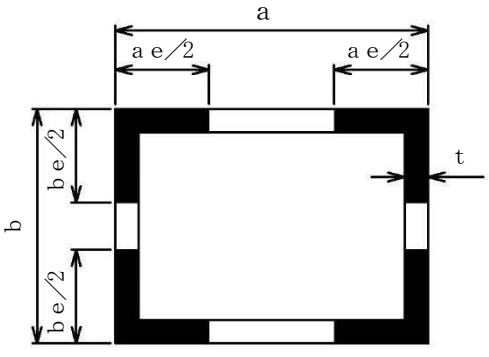
ここで，

$$I = \left(\frac{t \cdot be^3}{6} + ae \cdot t \cdot \frac{be^2}{2} \right) \cdot \beta \quad \cdots\cdots (4.3)$$

ここで，

f	：固有振動数	(Hz)
π	：円周率	(－)
ℓ	：両端単純支持間隔	(mm)
E	：縦弾性係数	(N/mm^2)
g	：重力加速度　(9806.65mm/s^2 ＝ 9.80665m/s^2)	(mm/s^2)
I	：断面二次モーメント	(mm^4)
W	：ダクト単位長さ重量	(N/mm)
β	：断面二次モーメントの安全係数	(－)

（幅厚比　b／t ≦600…β ＝0.75，b／t ＞600…β ＝0.6）



a	：ダクト長辺寸法	(mm)
b	：ダクト短辺寸法	(mm)
ae	：ダクトフランジの有効幅	(mm)
be	：ダクトウェブの有効幅	(mm)
t	：ダクト板厚	(mm)
a／b	：アスペクト比	(－)

図 4-2　矩形ダクトの断面図

4.5.2　矩形ダクトの座屈評価

地震時，両端単純支持された矩形ダクトに生じる曲げモーメントは次式で与えられる。

$$M_0 = \frac{\alpha \cdot W \cdot \ell^2}{8} \quad \cdots\cdots (4.4)$$

ここで，

M_0	：発生曲げモーメント	(N・mm)
α	：設計震度	(－)

ここで，矩形ダクトの座屈による大変形を防ぐために矩形ダクトに生じる曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となるようにする。

$$M_0 \leqq M \quad \cdots\cdots (4.5)$$

ここで，

M	：許容座屈曲げモーメント	(N・mm)

(4.4)，(4.5)式より許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔は次式で与えられる。

$$\ell = \sqrt{\frac{8 \cdot M}{W \cdot \alpha}} \quad \cdots\cdots (4.6)$$

ここで，

$$M = S \cdot M_T \quad \cdots\cdots (4.7)$$

$$M_T = \lambda \cdot \frac{\pi \cdot t \cdot I}{\sqrt{1-\nu^2} \cdot b^2} \cdot \sqrt{E \cdot \sigma_y} \cdot \gamma \quad \cdots\cdots (4.8)$$

$$I = \frac{t \cdot b^3}{6} + a e \cdot t \cdot \frac{b^2}{2} \quad \cdots\cdots (4.9)$$

S	：座屈曲げモーメントの安全係数(＝0.7)	(－)
M_T	：座屈限界曲げモーメント	(N・mm)
λ	：座屈限界曲げモーメントの補正係数	(－)
ν	：ポアソン比(＝0.3)	(－)
σ_y	：降伏点	(N/mm^2)
γ	：座屈限界曲げモーメントの安全係数(＝0.6)	(－)

4.5.3　緊急時対策所換気系ダクトの耐震支持間隔

緊急時対策所換気系ダクトの耐震支持間隔は，手法 1 から定めており，支持間隔が最も短くなるダクトを表 4-3 に示す。

表 4-3　矩形ダクトの耐震支持間隔

建屋	ＮＯ.	外径 (mm)	厚さ (mm)	単位長さ重量 (N/mm)	固有振動数が 20Hz となる支持間隔 (mm)	Ss 地震動より 定まる支持間隔 (mm)	耐震支持間隔 (mm)
緊急時対策所 建屋							
		以下余白					

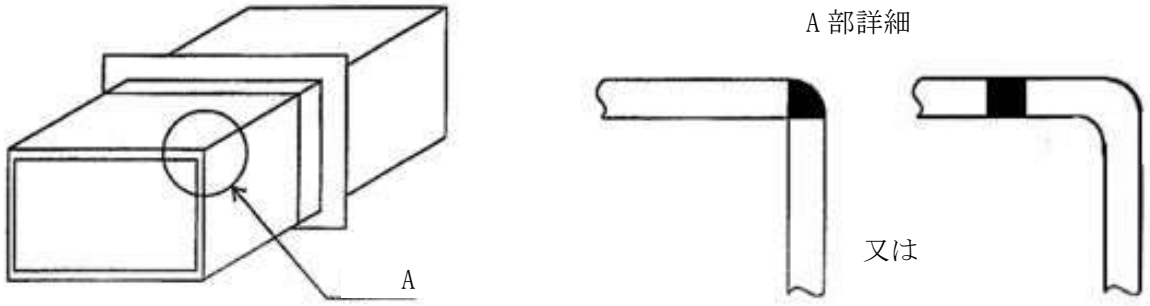
4.6　ダクトの構造

矩形ダクトは，溶接ダクトとはぜ折ダクトがある。

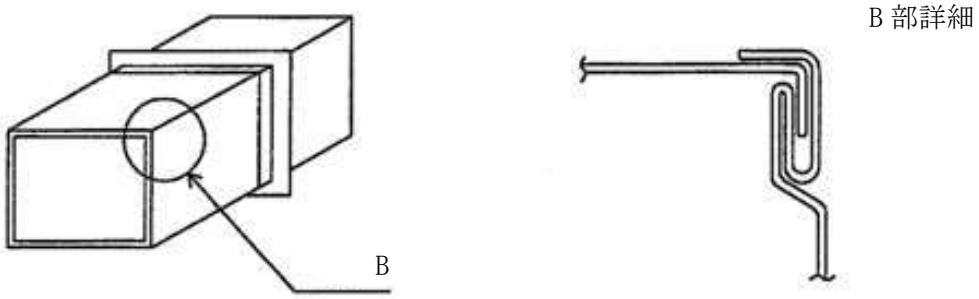
(1)　溶接ダクトは，二隅あるいは四隅を溶接継手とする。補強は，定ピッチで全周を形鋼で囲い，ダクトに断続溶接する。

(2)　はぜ折ダクトの補強は，定ピッチで全周を形鋼で囲いダクトにリベット止めする。

ダクト構造の代表例を図 4-3 に示す。



（溶接型矩形ダクト）



（はぜ折型矩形ダクト）

図 4-3　ダクトの構造

5.　支持構造物設計の基本方針

5.1　支持構造物の構造及び種類

支持構造物は，形鋼を組み合わせた溶接構造を原則とし，その用途に応じて以下に大別する。

(1)　ダクト軸直角の 2 方向を拘束するもの

(2)　ダクト軸方向及び軸直角の 3 方向を拘束するもの

図 5-1 に支持構造物の基本形状例を示す。

5.2　支持方法

(1)　直管部

ダクトの直管部は，4.5 節で求まる支持間隔以下で支持するものとする。また，直管部が長い箇所には軸方向を拘束する支持構造物を設けるものとする。

(2)　曲管部及び分岐部

曲管部及び分岐部は，これらの近傍を支持することを原則とする。

(3)　重量物の取付部

ダクトに自動ダンパ等の重量物が取り付く場合は，重量物近傍または重量物自体を支持するものとする。

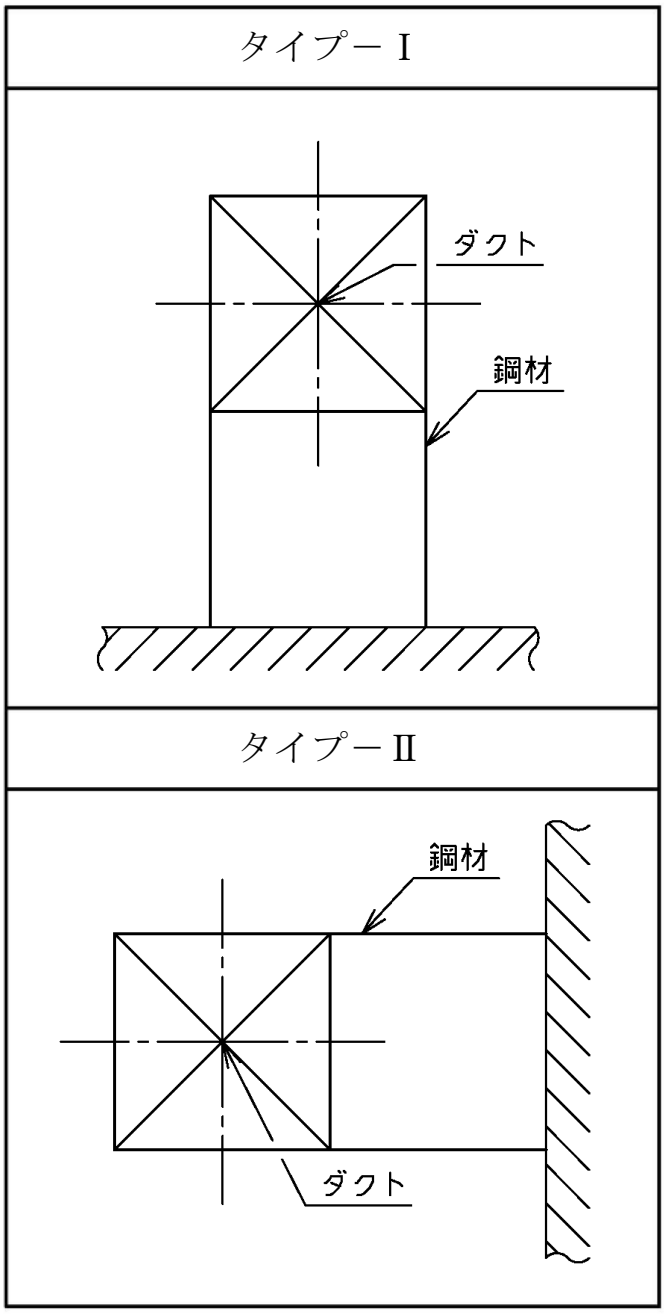


図 5-1　支持構造物の基本形状例

5.3　支持構造物の選定

支持構造物に用いる標準的な鋼材表を，表 5-1 に示す。本表に記載する鋼材の中から個々の条件に応じて単独又は組合せで使用するが，同等以上の強度を持つほかの鋼材も使用可能とする。

表 5-1　鋼材表

順位	形状*1	断面二次モーメント（cm^4）*2		単位質量 (kg/m)
		I_x	I_y	
1	L-40×40×5			
2	L-50×50×4			
3	L-50×50×6			
4	L-65×65×6			
5	L-75×75×6			
6	L-90×90×6			
7	□-50×50×3.2			
8	□-75×75×3.2			
9	□-100×100×3.2			
10	□-100×100×4.5			
11	□-125×125×4.5			
12	□-150×150×4.5			
13	C-75×40×5×7			
14	C-100×50×5×7.5			
15	C-125×65×6×8			
16	C-150×75×6.5×10			

注記　＊1：表中の記号は，L：山形鋼，C：みぞ形鋼，□：角形鋼管を示す。

＊2：表中の方向は，I_x：強軸，I_y：弱軸方向を示す。

5.4　支持構造物の耐震性確認

5.4.1　概要

各支持構造物について，ダクトに発生する荷重に対して十分な耐震性を有することを解析により確認した結果を示す。

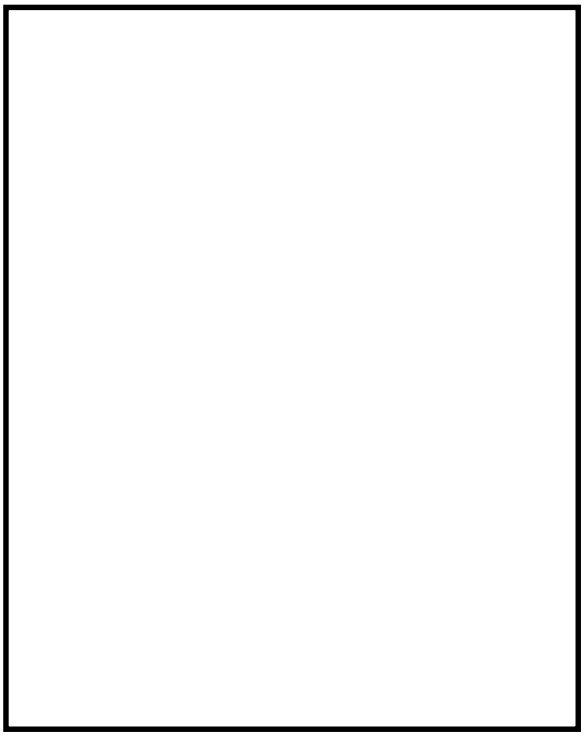
5.4.2　支持構造物の耐震性確認

耐震性を有することの確認は，次の支持構造物に関して実施する。なお，支持構造物の形状が多岐にわたるため，ここでは代表例に対する耐震性確認を示す。

表 5-2　支持構造物の評価条件

支持構造物	評価する荷重	適用する 許容応力状態	評価温度	評価結果の表番
支持構造物	S_S震度による 荷重	IV_AS	□℃	表 5-3（1/2～2/2）

表 5-3 (1/2)　支持構造物強度評価結果



許容応力(MPa)：141

支持構造物寸法 (mm)			震度 (-)		鋼材サイズ		評価部位	発生応力 (MPa)
L	A	H	水平	鉛直				
			1.93	1.45	主材	□-50×50×3.2	溶接部	105
					副材	L-50×50×6		

表 5-3 (2/2)　支持構造物強度評価結果

許容応力(MPa)：141

支持構造物寸法 (mm)			震度 (-)		鋼材サイズ		評価部位	発生応力 (MPa)
L	A	H	水平	鉛直				
			1.93	1.45	主材	□-50×50×3.2	溶接部	125
					副材	L-50×50×6		

Ⅴ-2-8-3-3-2　管の耐震性についての計算書

目　次

1.　概要 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 2
2.1　概略系統図 2
2.2　鳥瞰図 6
3.　計算条件 20
3.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 20
3.2　設計条件 21
3.3　材料及び許容応力 32
3.4　設計用地震力 33
4.　解析結果及び評価 34
4.1　固有周期及び設計震度 34
4.2　評価結果 40
4.2.1　管の応力評価結果 40
4.2.2　支持構造物評価結果 41
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 42
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 43

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全9モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。

代表モデルの選定結果及び全モデルの選定結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3) 弁

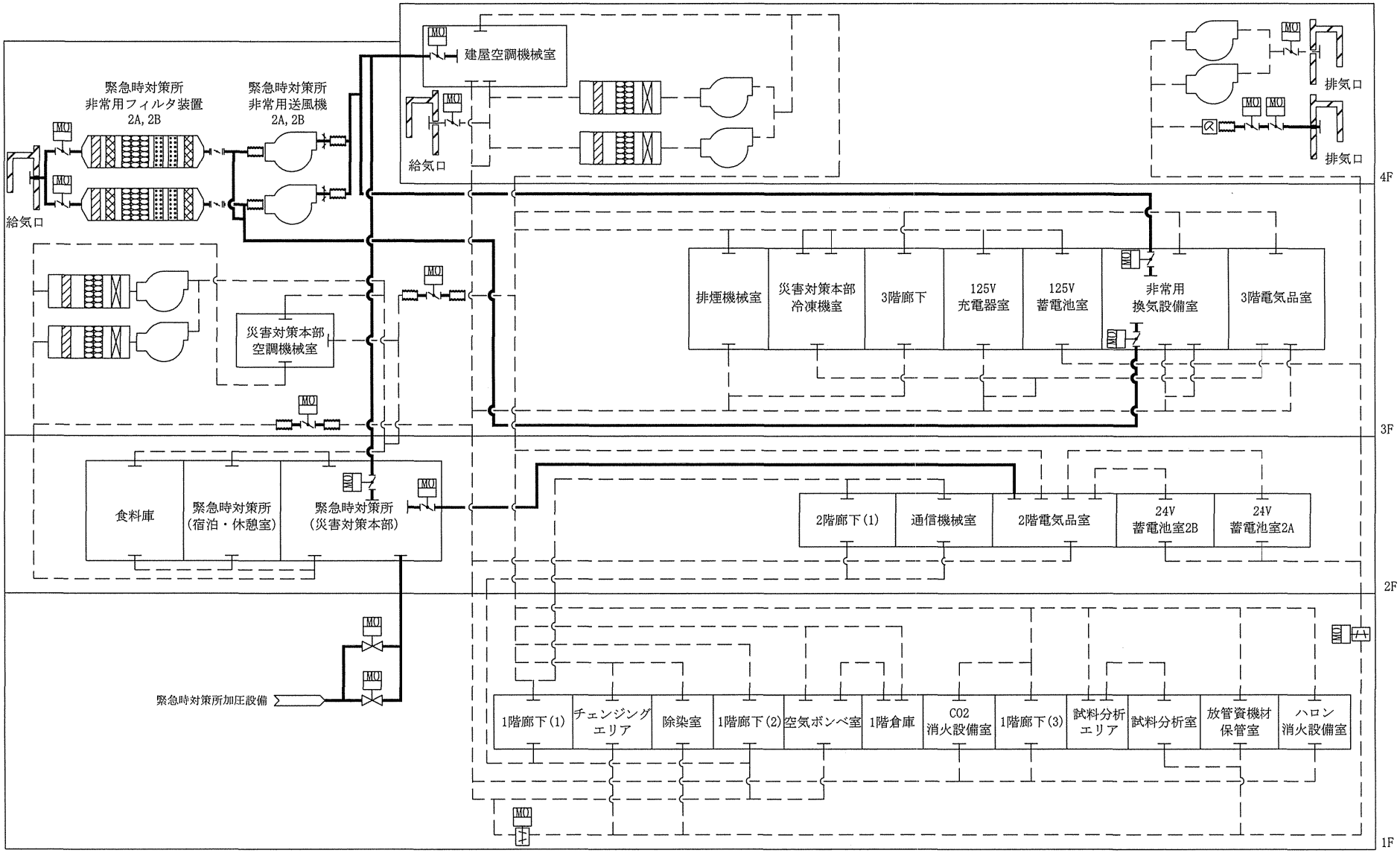
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

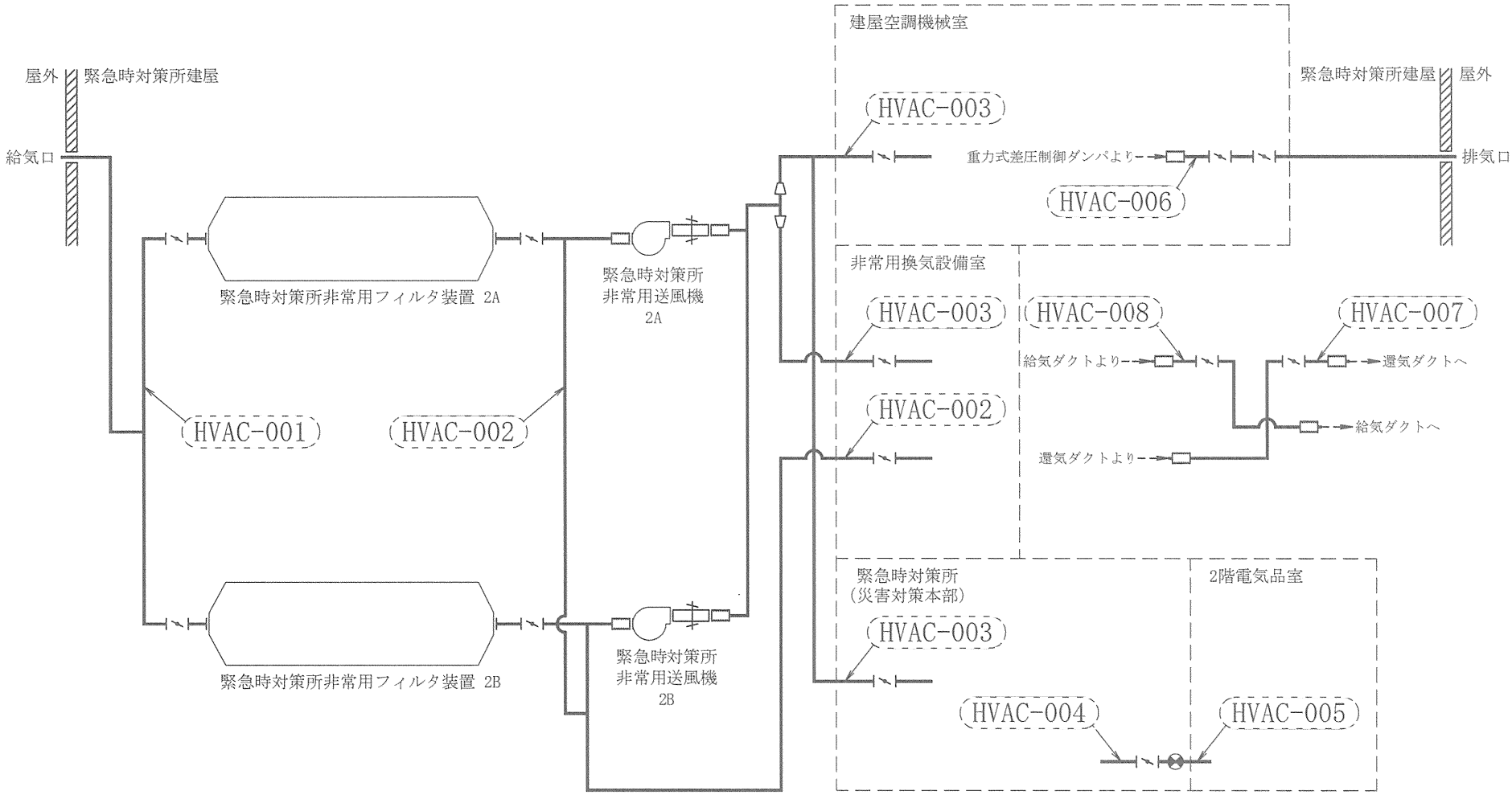
2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

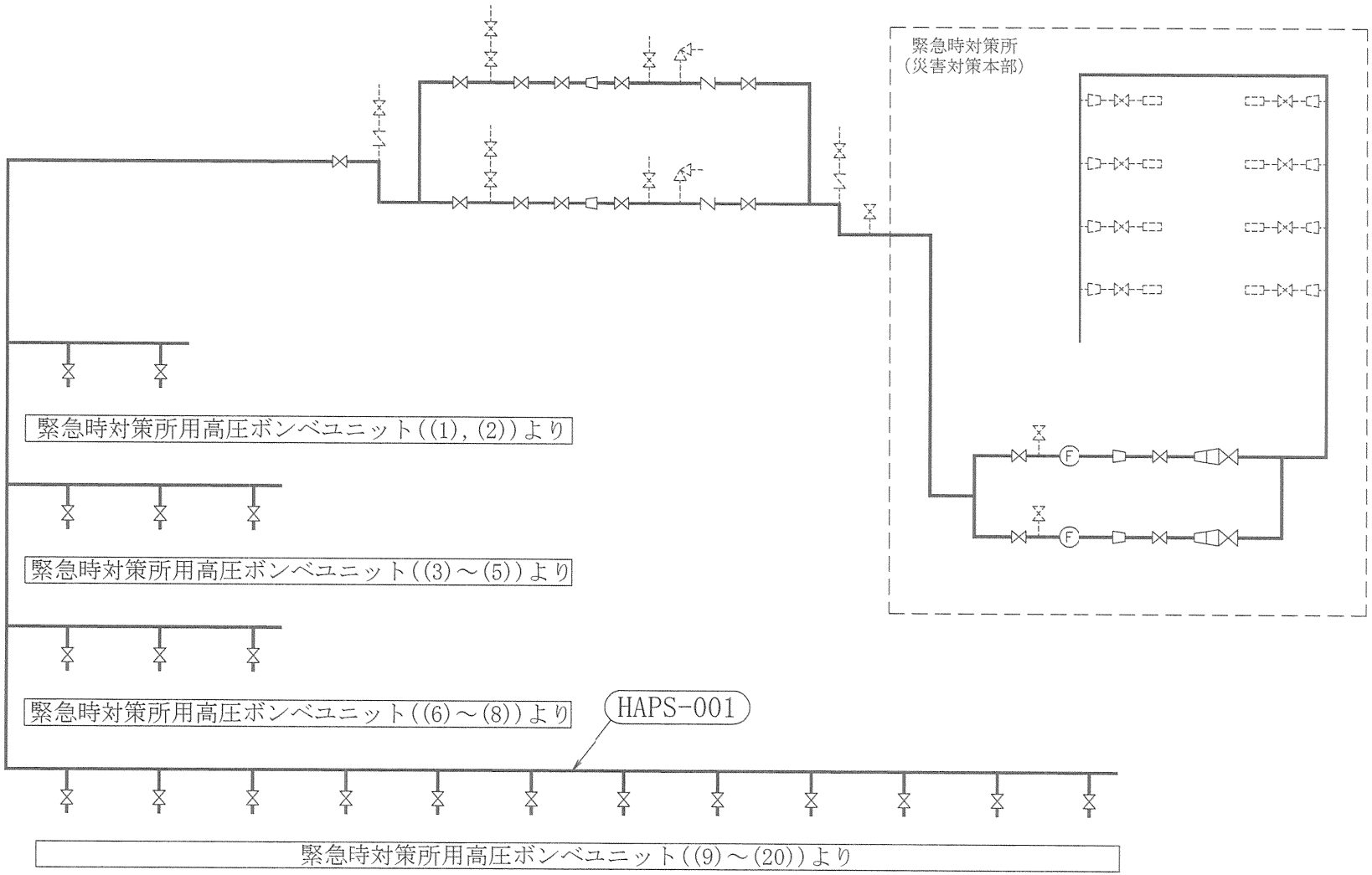
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○－○－○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○－○－○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管



緊急時対策所換気系概略系統図（1/3）



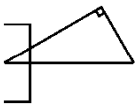
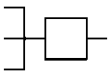
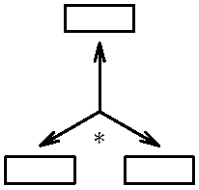
緊急時対策所換気系概略系統図（2/3）

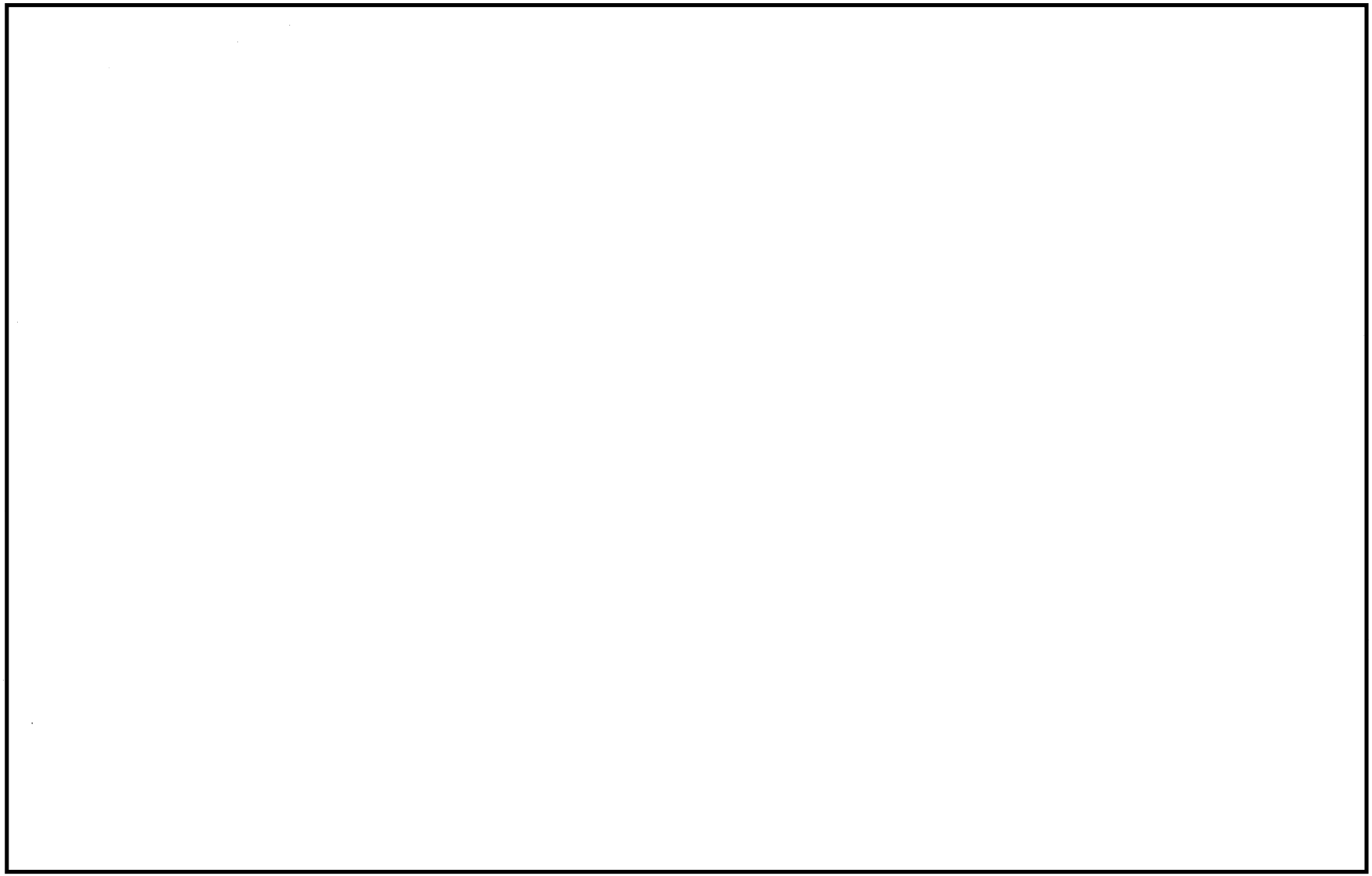


緊急時対策所換気系概略系統図 (3/3)

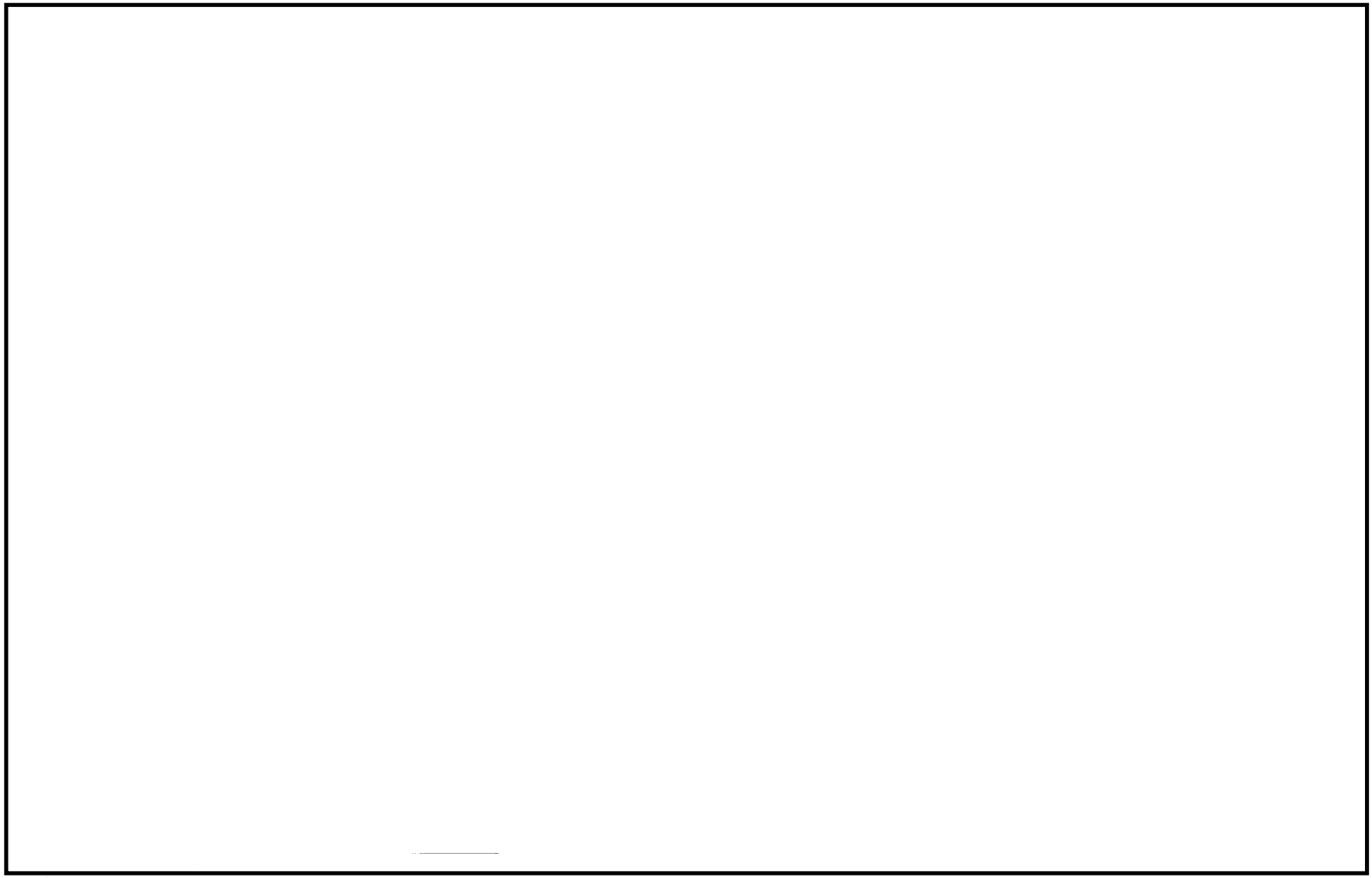
2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
――――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質　　点
	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。）
	スナッバ
	ハンガ
	拘束点の地震による相対変位量（mm） （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。）
	注：　鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。



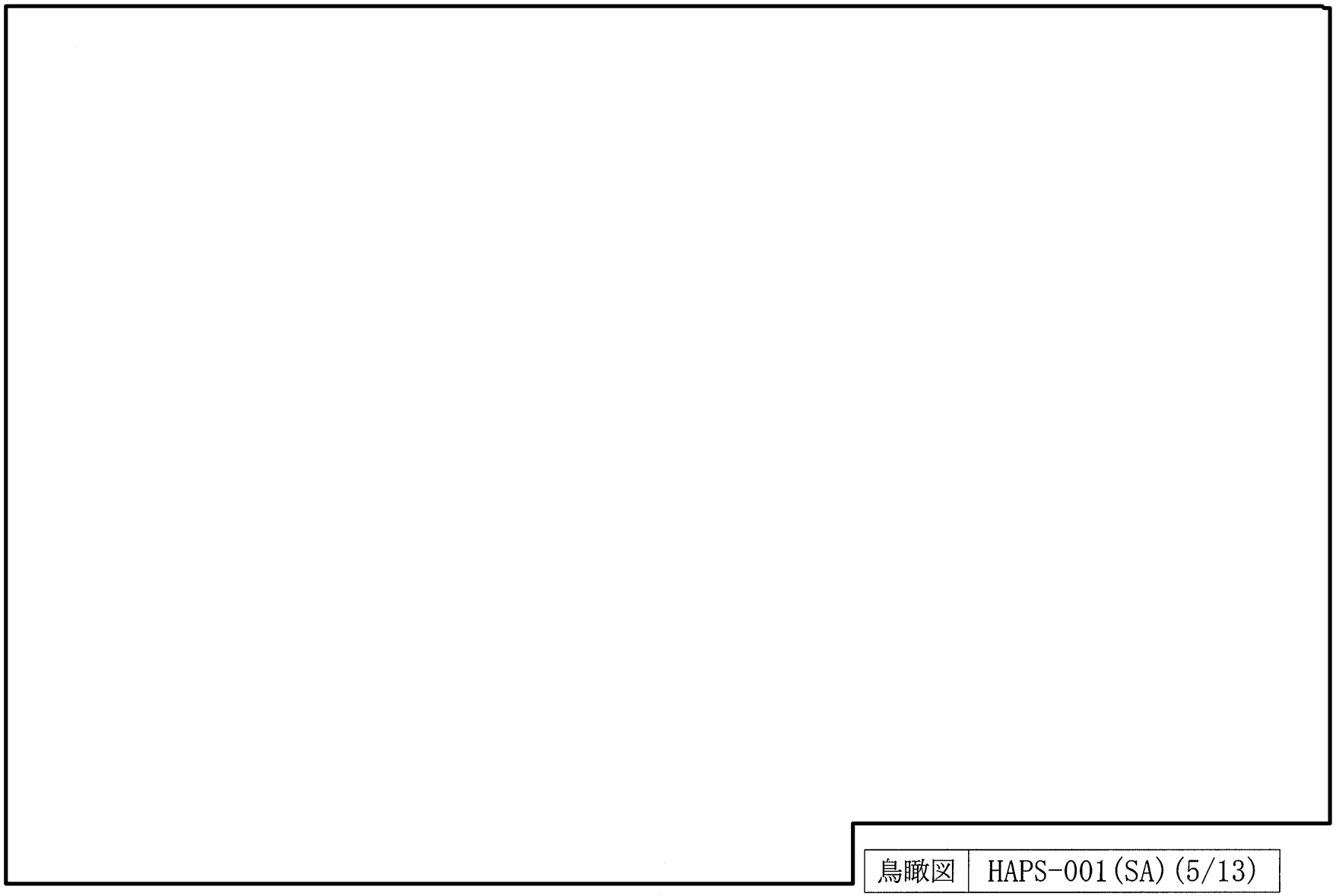
鳥瞰図	HAPS-001(SA)(1/13)



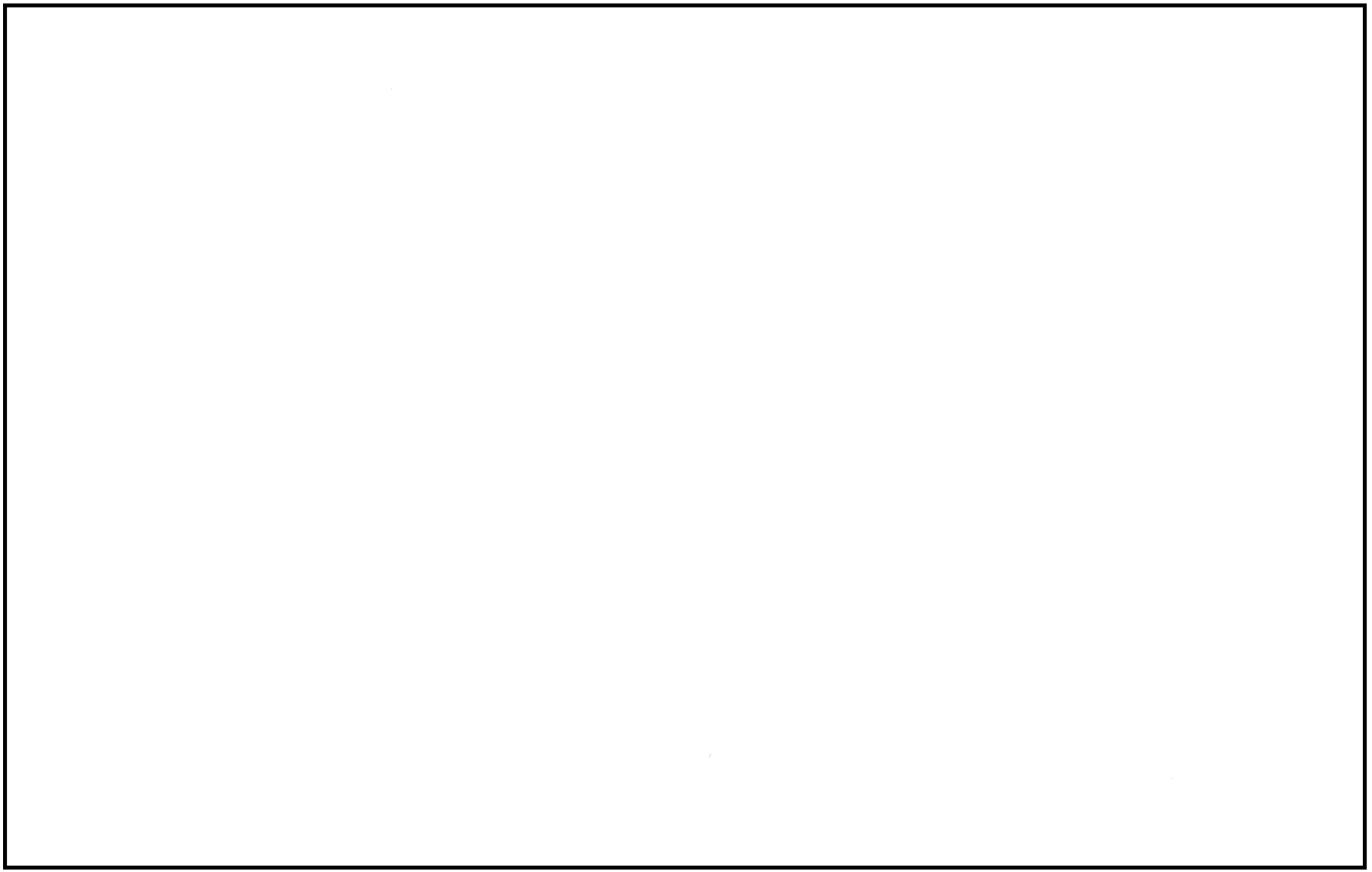
鳥瞰図	HAPS-001(SA)(2/13)

鳥瞰図	HAPS-001(SA)(3/13)

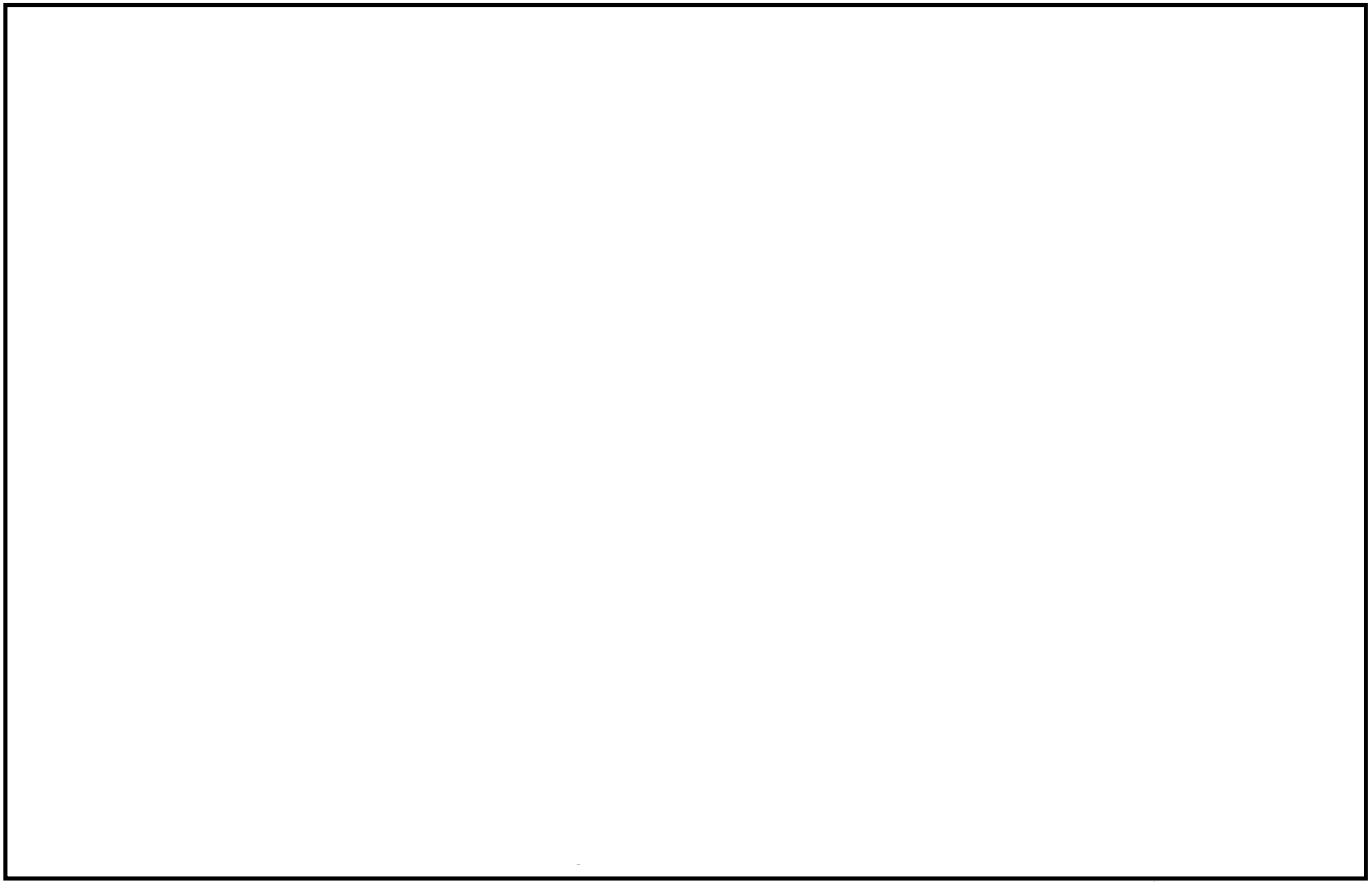
鳥瞰図	HAPS-001(SA)(4/13)



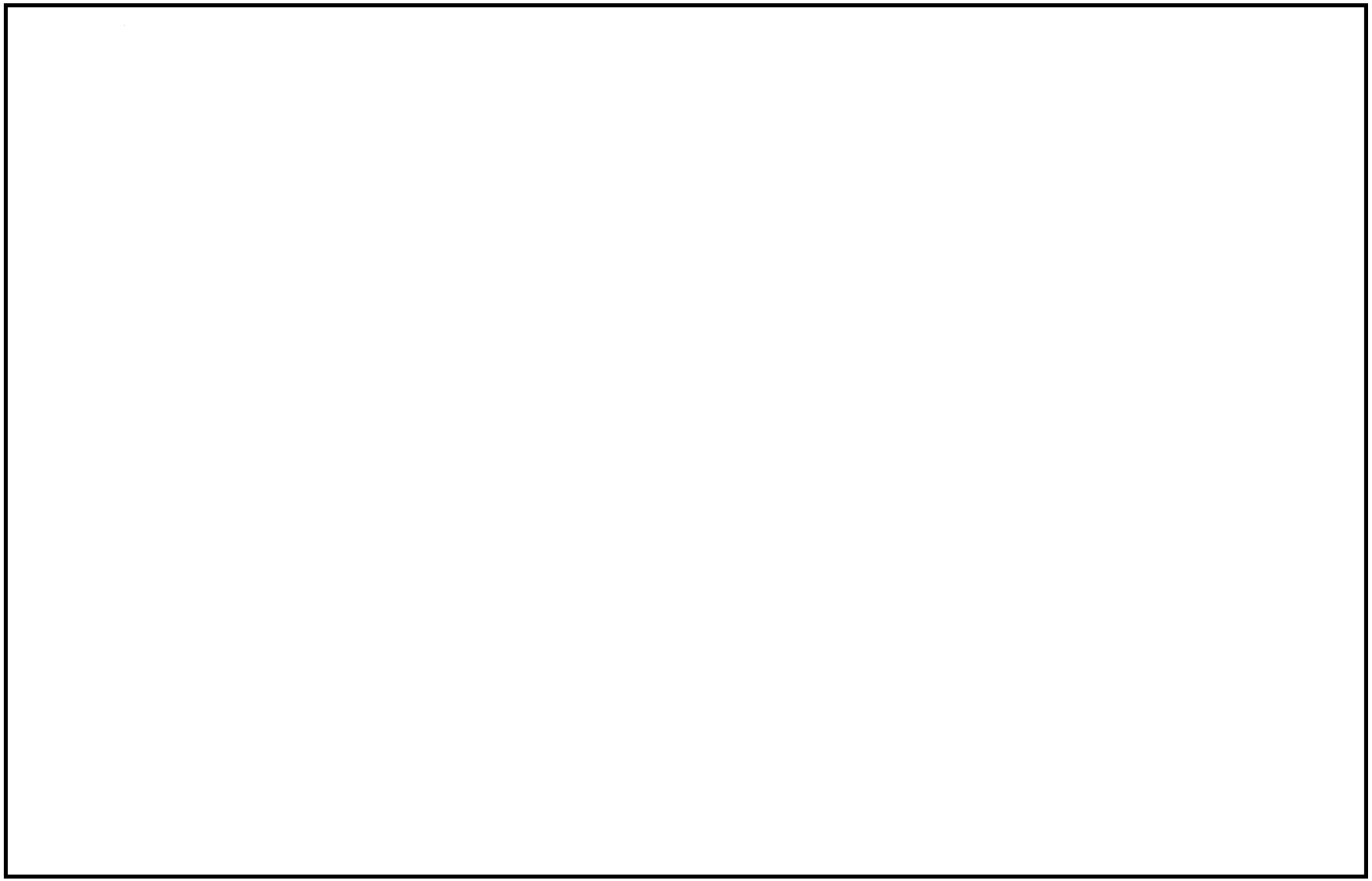
鳥瞰図	HAPS-001(SA)(5/13)



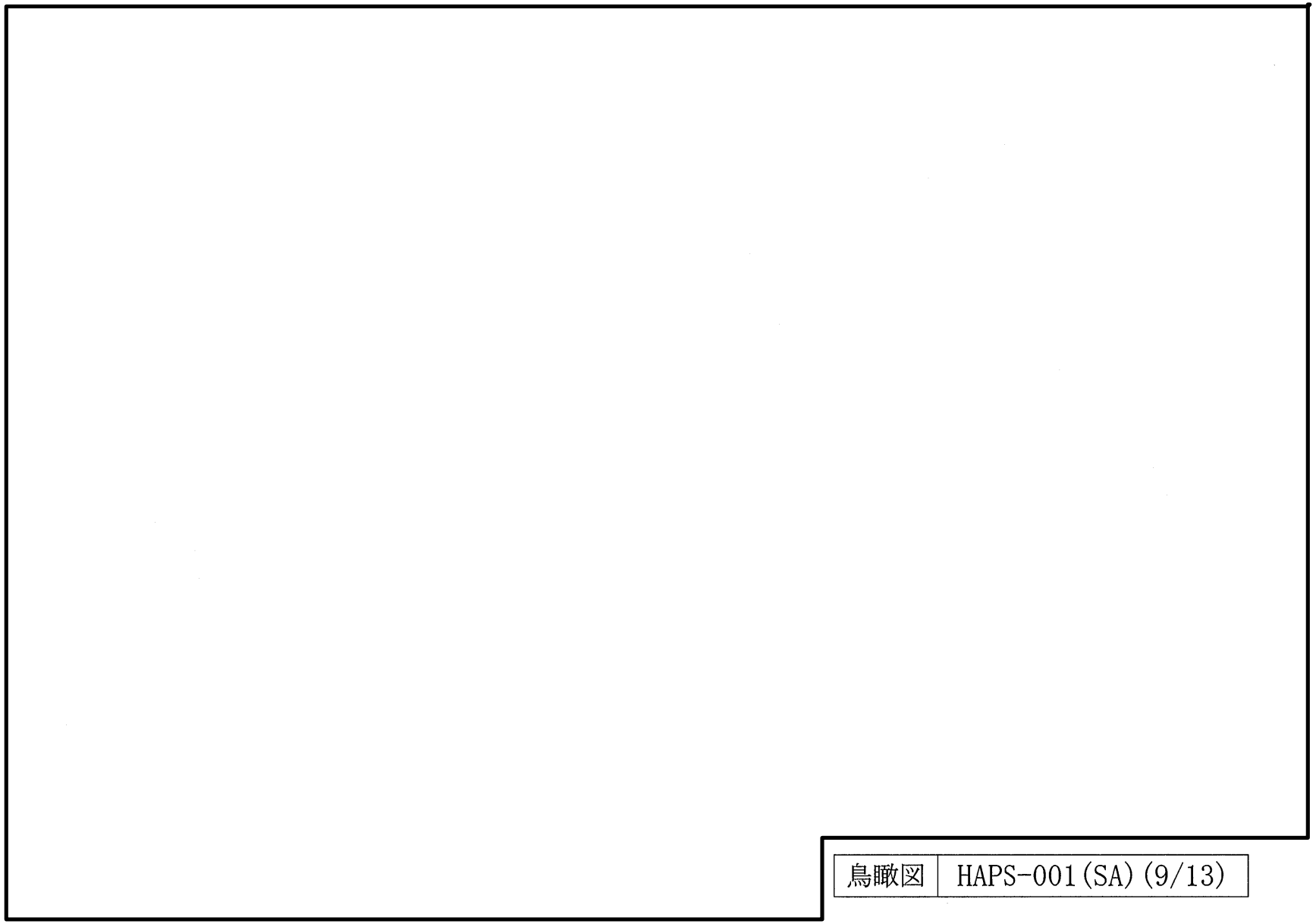
鳥瞰図	HAPS-001(SA)(6/13)



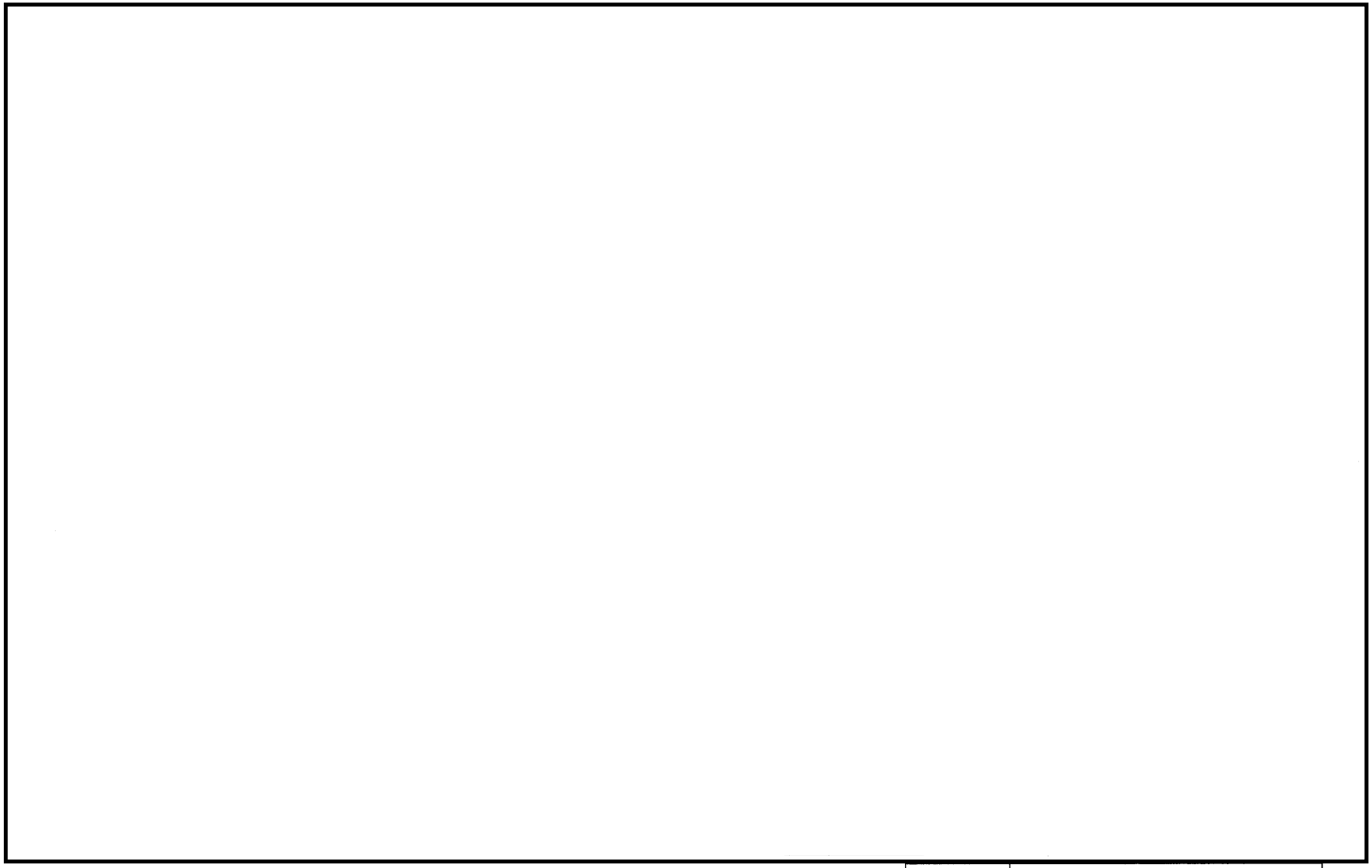
鳥瞰図	HAPS-001(SA)(7/13)



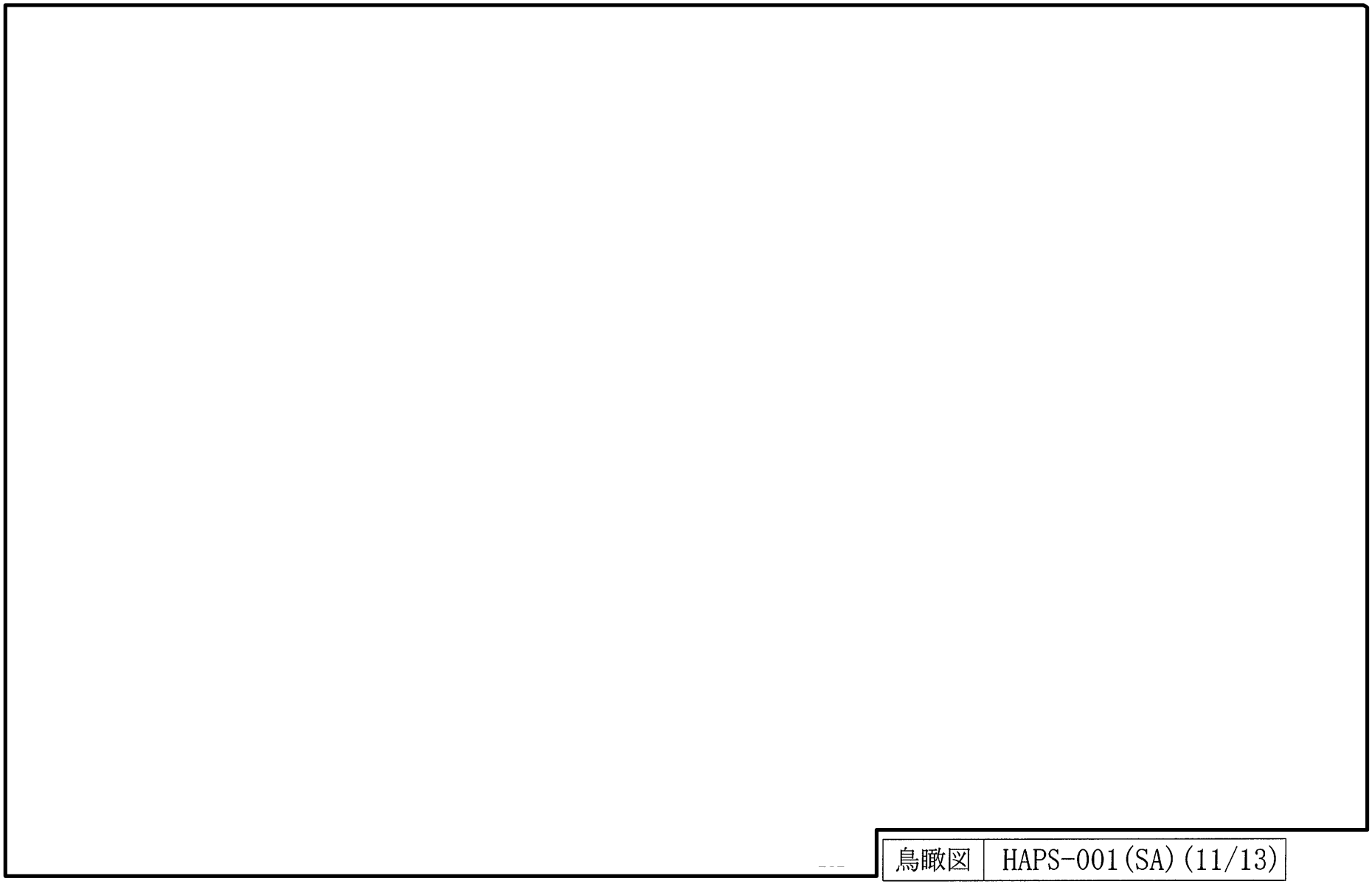
鳥瞰図	HAPS-001(SA)(8/13)



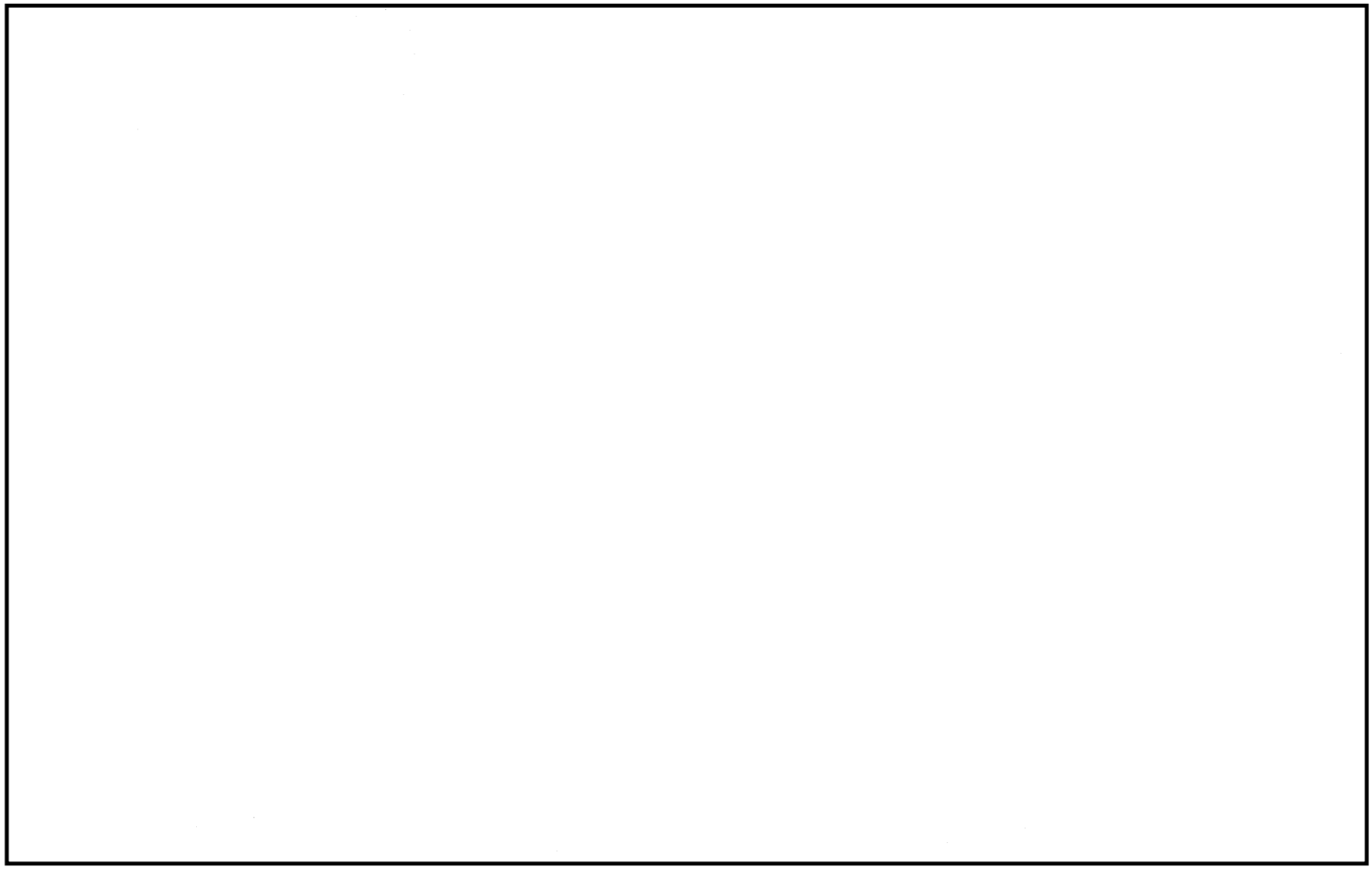
鳥瞰図	HAPS-001(SA)(9/13)



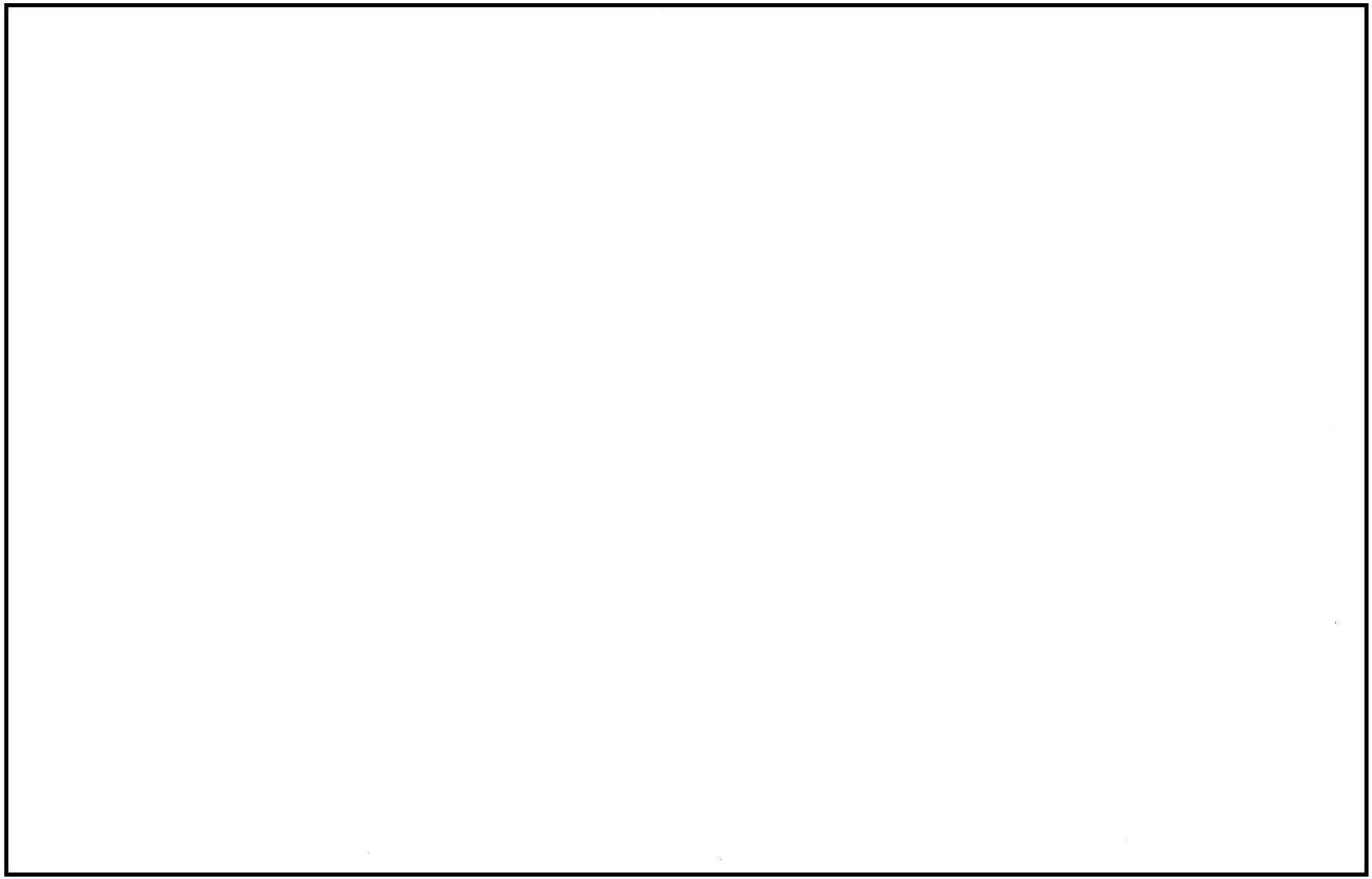
鳥瞰図	HAPS-001(SA)(10/13)



鳥瞰図 | HAPS-001(SA)(11/13)



鳥瞰図	HAPS-001(SA)(12/13)



鳥瞰図	HAPS-001(SA)(13/13)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
緊急時対策所	換気設備	緊急時対策所換気系	ＳＡ	常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	V_L+S_d	V_AS

注記 ＊1： ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。

＊2： 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊3： 運転状態の添字Ｌは荷重，（Ｌ）は荷重が長期間作用している状態，（ＬＬ）は（Ｌ）より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

＊4： 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

＊5： 許容応力状態V_ASは許容応力状態$Ⅳ_AS$の許容限界を使用し，許容応力状態$Ⅳ_AS$として評価を実施する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HAPS-001

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1 ～139 ,141 ～151 153 ～160 ,162 ～164 166 ～168 ,324 ～327 329 ～336 ,338 ～340 342 ～344 ,405 ～417 418 ～437 ,438 ～457 458F～461 ,463 ～467 468F～471 ,473 ～477 478F～481 ,483 ～487 488F～491 ,493 ～497 498F～501 ,503 ～507 508F～511 ,513 ～517 518F～521 ,523 ～527 528F～531 ,533 ～537 538F～541 ,543 ～547 548F～551 ,553 ～557	22.00	66	34.0	6.4	SUS304TP	－	[redacted]

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　HAPS-001

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	558F～561 ,563 ～567 568F～571 ,573 ～577 578F～581 ,583 ～587 588F～591 ,593 ～597 598F～601 ,603 ～607 608F～611 ,613 ～617 618F～621 ,623 ～627 628F～631 ,633 ～637 638F～641 ,643 ～647 648F～651 ,653 ～657	22.00	66	34.0	6.4	SUS304TP	－	
2	168 ～171 ,344 ～347	22.00	66	60.5	8.7	SUS304TP	－	

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　HAPS-001

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
3	173 ～183 ,185 ～187 189 ～227 ,229 ～235F 241F～244 ,349 ～359 361 ～363 ,365 ～369 370 ～373 ,375 ～381F 387F～390	0.86	66	60.5	3.9	SUS304TP	－	
4	244 ～246 ,248 ～251 390 ～392 ,394 ～397	0.86	66	34.0	3.4	SUS304TP	－	
5	251 ～253 ,397 ～399	0.86	66	76.3	5.2	SUS304TP	－	
6	253 , 254 ,256 ～323 399 , 400 ,402 ～404	0.86	66	165.2	7.1	SUS304TP	－	

弁部の寸法

鳥　瞰　図　HAPS-　1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
39～ 41,15 ～153 327～329,461～463 471～ 73,48 ～483 491～ 93,50 ～503 511～513,52 ～523 531～533,54 ～543 551～553,56 ～563 571～573,58 ～583 591～593,60 ～603 611～613,62 ～623 631～633,641～643 651～653			
60～ 62			
61,8 8			
818～820			
336～338			
337,82			
821～823			
64～ 66,340～342			
71～ 73,347～349			
83～ 5,359～36			
87～ 9,227～229 363～365,373～375			
246～2 8,392～394			
254～ 56,400～402			

弁部の質量

鳥　瞰　図　HAPS-　1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	1 0,152,3 8,462,472,48 492,502,5 2,522,532,542 552,562,572,582,592,602 612,622,632,642,652	[redacted]	188,36
	60,162,336,338		228,374
	6 ,337,8 8,82		238,38
	165,34		47,393
	172,34		255,401
	184,360		820,823

フランジ部の質量

鳥　瞰　図　HAPS-　1

質量	対応する評価点
[redacted]	235F, 24 F, 381F, 387F
	458F, 468F, 478F, 488F, 498F, 508F, 518F, 528F, 538F, 548F 558F, 568F, 578F, 588F, 598F, 608F, 618F, 628F, 638F, 648F

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　HAPS-　1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
2						
7						
9						
16						
1						
23						
8						
3						
35						
37						
2						
49						
5						
56						
58						
60						
63						
65						
67						
69						
74						
76						
8						
83						
88						
9						
95						
97						
2						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　HAPS-　1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
4						
9						
6						
18						
1						
23						
5						
3						
32						
35						
37						
2						
5						
5						
59						
63						
7						
7						
8						
9						
2						
2 3						
2 7						
2 9						
211						
2 4						
2 8						
22						
2 6						
234						
2 9						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　HAPS-　1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
257						
26						
266						
269						
273						
278						
282						
287						
29						
297						
3 2						
3						
3 7						
3						
3 7						
3						
3 6						
33						
335						
339						
3 6						
35						
358						
366						
368						
372						
38						
395						
4 3						
4 6						
4						
4 3						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　HAPS-　1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
419						
4 4						
4 6						
43						
433						
439						
4						
4 6						
451						
453						
46						
465						
47						
475						
48						
485						
490						
495						
5						
5 5						
5						
515						
5 0						
5 5						
53						
535						
54						
545						
550						
555						
56						
565						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　HAPS-　1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
570						
575						
58						
585						
59						
595						
6						
6 5						
6						
615						
6						
6 5						
63						
635						
6						
6 5						
65						
655						
819						
8 2						

3.3　材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度（℃）	許容応力（MPa）			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SUS304TP	66	－	188	479	－

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付資料「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は添付資料「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数（%）
HAPC-001	[redacted]	EL. 37.000 m	[redacted]
		EL. 30.300 m	
		EL. 23.300 m	

4.　解析結果及び評価

4.1　固有周期及び設計震度

鳥　瞰　図　HAPS-001

耐震設計上の重要度分類		－		
適用する地震動等		S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
動的震度				

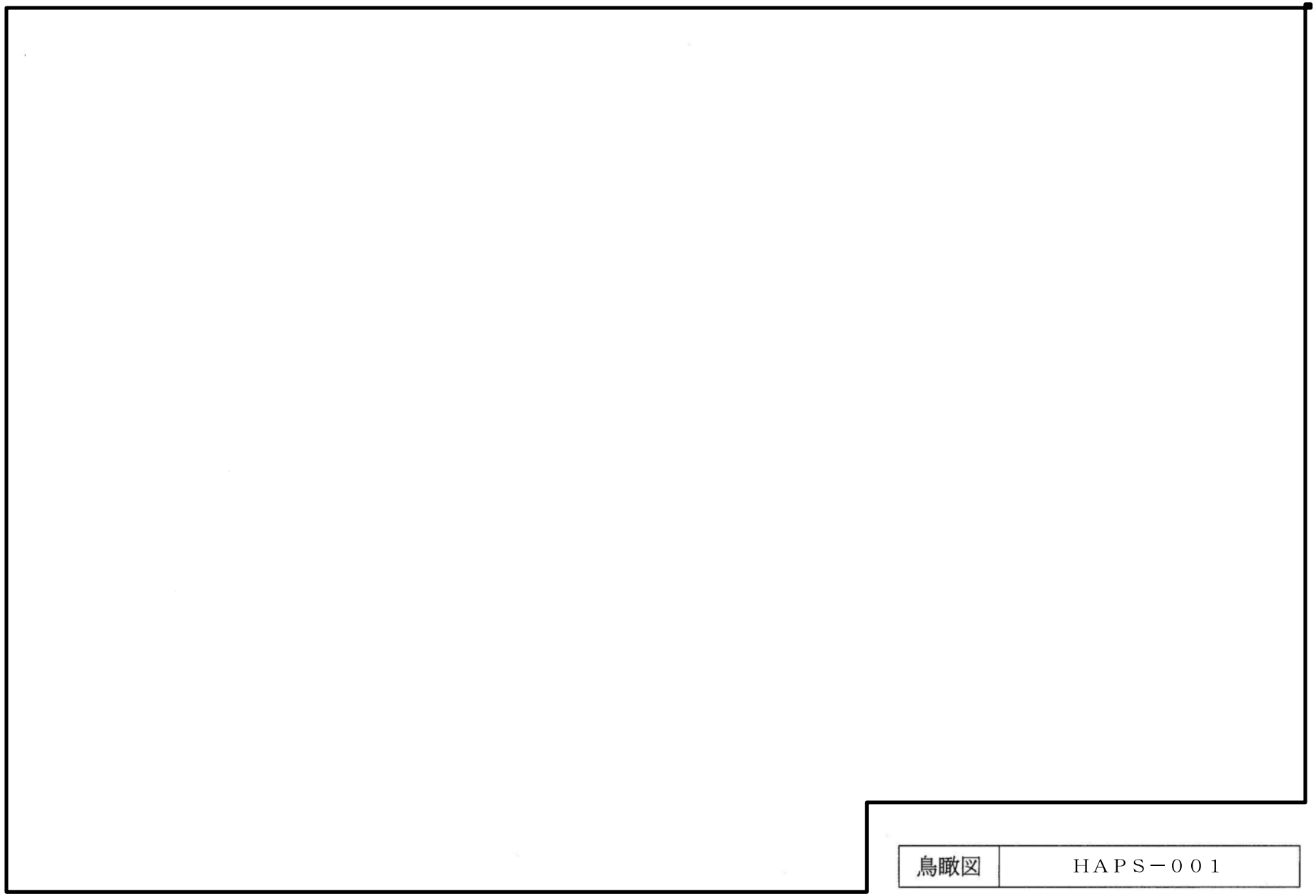
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　HAPS-001

モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向

代表的振動モード図

振動モード図は，3 次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



鳥瞰図	ＨＡＰＳ－００１

鳥瞰図	ＨＡＰＳ－００１

鳥瞰図	ＨＡＰＳ－００１

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管

鳥瞰図	許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価(MPa)		一次＋二次応力評価(MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{prm}(S_s)$	許容応力 $0.9S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
HAPS-001	V_AS	336	$S_{prm}(S_s)$	216	431	－	－	－
HAPS-001	V_AS	336	$S_n(S_s)$	－	－	341	376	－

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度（℃）	評価結果	
					計算荷重（kN）	許容荷重（kN）
－	－	－	－	－	－	－

支持構造物評価結果(応力評価)

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度（℃）	支持点荷重						評価結果		
					反力（kN）			モーメント（kN･m）			応力分類	計算応力（MPa）	許容応力（MPa）
					F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
2FHV-014	アンカ	アンカラグ	SM400B	40	7.8	5.2	5.5	2.0	0.9	2.1	組合せ	24	470
4FHV-017	レストレイント	ラグ	SM400B	40	15.4	18.1	121.5	－	－	－	組合せ	80	490

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	型式	要求機能	応答加速度 (×9.8 m/s^2)		機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
－	－	－	－	－	－	－	－	－

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

No	配管モデル	許容応力状態　V_AS												
		一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	HVAC-001	45	51	369	7.23	－	45	114	490	4.29	－	－	－	－
2	HVAC-002	10	35	369	10.54	－	10	50	490	9.80	－	－	－	－
3	HVAC-003	11	68	369	5.42	－	22	150	490	3.26	－	－	－	－
4	HVAC-004	6	21	369	17.57	－	6	34	490	14.41	－	－	－	－
5	HVAC-005	1	14	369	26.35	－	1	18	490	27.22	－	－	－	－
6	HVAC-006	10	16	369	23.06	－	10	24	490	20.41	－	－	－	－
7	HVAC-007	6	56	369	6.58	－	7	103	490	4.75	－	－	－	－
8	HVAC-008	9	94	369	3.92	－	9	159	490	3.08	－	－	－	－
9	HAPS-001	336	216	431	1.99	○	336	341	376	1.10	○	－	－	－

Ⅴ-2-8-3-3-3　緊急時対策所非常用送風機の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
3. 構造強度評価 ····· 2
3.1 構造強度評価方法 ····· 2
3.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 2
4. 機能維持評価 ····· 6
4.1 動的機能維持評価方法 ····· 6
5. 評価結果 ····· 7
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 7

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，緊急時対策所非常用送風機が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

緊急時対策所非常用送風機は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

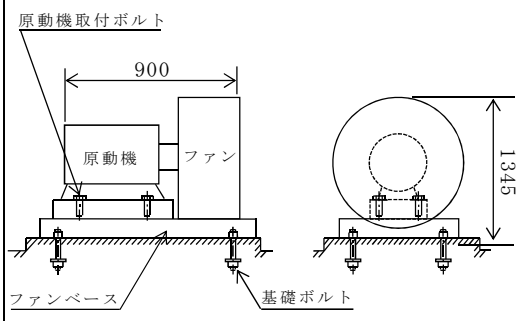
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-4　横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

緊急時対策所非常用送風機の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
原動機はファンベースに取付ボルトにより固定され，ファンベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	遠心直結型ファン	 （単位：mm）

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

緊急時対策所非常用送風機の構造は横軸ポンプと類似の構造であるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急時対策所非常用送風機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

緊急時対策所非常用送風機の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-2 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

緊急時対策所非常用送風機の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	換気設備	緊急時対策所 非常用送風機	常設／緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記 ＊1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-2　許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1，*2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		198	504	－
原動機取付ボルト		周囲環境温度		241	394	－

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

緊急時対策所非常用送風機の地震時の動的機能維持評価について，以下に示す。

緊急時対策所非常用送風機は地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ファン	遠心直結型ファン	水平	2.6
		鉛直	1.0
原動機	横形ころがり軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

緊急時対策所非常用送風機の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【緊急時対策所非常用送風機の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ファン振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
緊急時対策所非常用送風機	常設／緩和	緊急時対策所 EL. 37.0*1	−*2	−*2	−	−	C_H=1.64	C_V=1.00		−	

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}*1 (mm)	ℓ_{2i}*1 (mm)	A_{bi} (mm)	n_i	n_{fi}*1
基礎ボルト (i=1)						6	2
							2
原動機取付ボルト (i=2)						4	2
							2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi} (RT) (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向		M_P (N・mm)	
						弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	198*2	504*2	−	−	205	−	軸	−	−
原動機取付ボルト (i=2)	241*2	394*2	−	−	241	−	軸直角	−	

予想最大量振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
H_P=	N=

注記 *1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。
*2：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i＝1)	－	[redacted]	－	[redacted]
原動機取付ボルト (i＝2)	－		－	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		
			算出応力	算出応力	算出応力	許容応力	
基礎ボルト (i＝1)	[redacted]	引張り	－	－	[redacted]	[redacted]	*
		せん断	－	－			
原動機取付ボルト (i＝2)		引張り	－	－			*
		せん断	－	－			

すべて許容応力以下である。

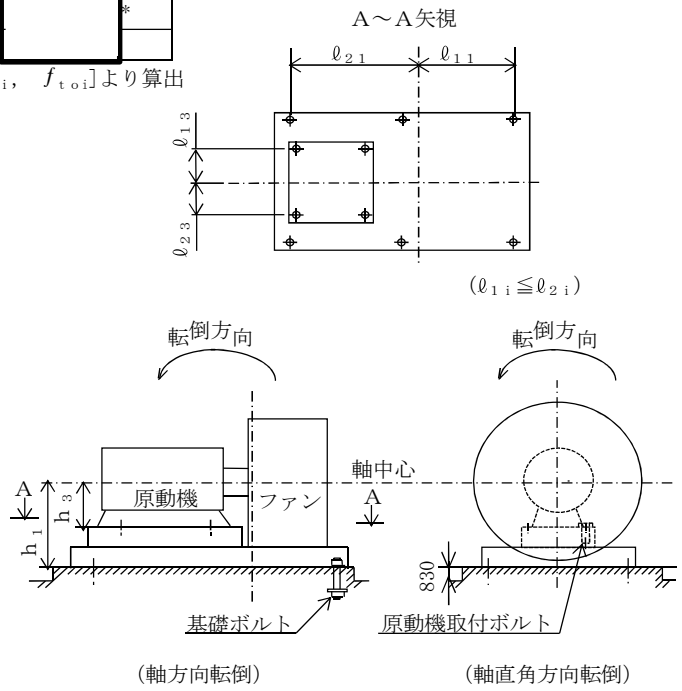
注記　＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$ より算出

1.4.2 動的機能維持の評価

(×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.36	2.6
	鉛直方向	1.0	1.0
原動機	水平方向	1.36	4.7
	鉛直方向	1.0	1.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



Ⅴ-2-8-3-3-4　緊急時対策所非常用フィルタ装置の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 1
2.1 構造計画 ····· 1
2.2 評価方針 ····· 3
2.3 適用基準 ····· 4
2.4 記号の説明 ····· 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 6
3. 評価部位 ····· 6
4. 固有周期 ····· 7
4.1 固有周期の計算方法 ····· 7
4.2 固有周期の計算条件 ····· 7
4.3 固有周期の計算結果 ····· 7
5. 構造強度評価 ····· 8
5.1 構造強度評価方法 ····· 8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 8
5.3 設計用地震力 ····· 11
5.4 計算方法 ····· 12
5.5 計算条件 ····· 14
5.6 応力の評価 ····· 14
6. 評価結果 ····· 15
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 15

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき，緊急時対策所非常用フィルタ装置が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

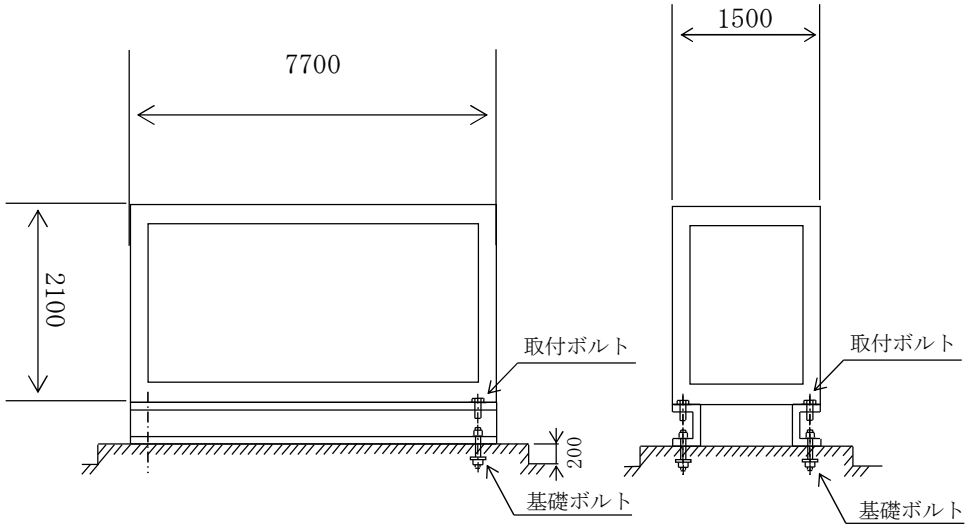
緊急時対策所非常用フィルタ装置は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1　構造計画

緊急時対策所非常用フィルタ装置の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
緊急時対策所非常用フィルタ装置は取付ボルトにて架台に固定され，架台は基礎ボルトにて基礎に据え付ける。	形鋼骨組及び鋼板外板による溶接構造。	 (単位：mm)

2.2　評価方針

緊急時対策所非常用フィルタ装置の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針 3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1 構造計画」にて示す緊急時対策所非常用フィルタ装置の部位を踏まえ，「3. 評価部位」にて設定する箇所において，「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

緊急時対策所非常用フィルタ装置の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

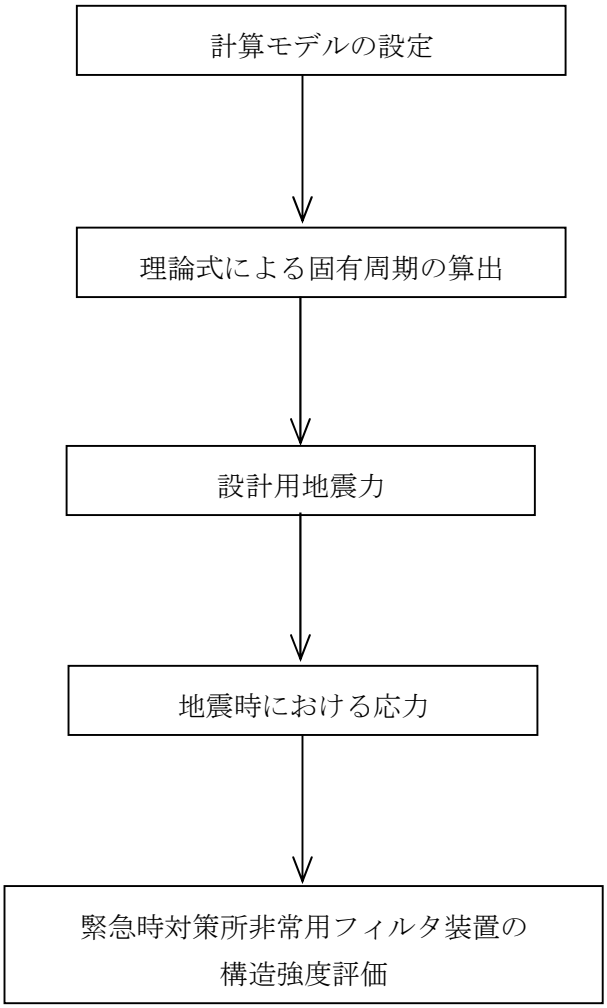


図 2-1　緊急時対策所非常用フィルタ装置の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1) 原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(2) 原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(3) 原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991　追補版（日本電気協会）

(4) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））ＪＳＭＥ　ＳＮＣ1－2005/2007）（日本機械学会2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4　記号の説明

記　号	記　号　の　説　明	単　位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	ケーシングの有効せん断断面積	mm^2
A	ケーシングの断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力（f^*_sを 1.5 倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（f^*_tを 1.5 倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h	据付面又は基礎面から重心までの距離	mm
I	断面二次モーメント	mm^4
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	運転時質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格　付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記　＊：$\ell_1 \leqq \ell_2$

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2　表示する数値の丸め方

数　値　の　種　類	単位	処　　理　　桁	処理方法	表　　示　　桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁*1
せん断弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁*1
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*2	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*1
断面二次モーメント	mm^4	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*1
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*1
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

＊2：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊3：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3．評価部位

緊急時対策所非常用フィルタ装置の耐震評価は，「5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて実施する。緊急時対策所非常用フィルタ装置の耐震評価部位については，表2-1の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

緊急時対策所非常用フィルタ装置の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

a. 変形は緊急時対策所非常用フィルタ装置をはりと考えたときの曲げ及びせん断変形を考慮する。

b. 緊急時対策所非常用フィルタ装置は基礎ボルトで基礎に固定されているので，装置下部を固定端とする。

(2) 緊急時対策所非常用フィルタ装置は，図 4-1 に示す下面固定の 1 質点振動モデルとして考える。

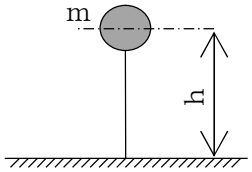


図 4-1 固有値解析の計算モデル

(3) 固有周期

緊急時対策所非常用フィルタ装置の固有周期の計算式を示す。

水平方向 $$T_H=2\cdot\pi\sqrt{\frac{m}{1000}\left(\frac{h^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{h}{A_s\cdot G}\right)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.3.1.1)$$

鉛直方向 $$T_V=2\cdot\pi\sqrt{\frac{m}{1000}\left(\frac{h}{E\cdot A_s}\right)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.3.1.2)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は，本計算書の【緊急時他紙錯書非常用フィルタ装置の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-2 に示す。計算結果より，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 4-2 固有周期

（単位：s）

水平方向	鉛直方向

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

(1) 緊急時対策所非常用フィルタ装置の質量は，重心に集中するものとする。

(2) 地震力は緊急時対策所非常用フィルタ装置に対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(3) 計算は,長辺方向及び短辺方向について行い,計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急時対策所非常用フィルタ装置の荷重組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

緊急時対策所非常用フィルタ装置の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

緊急時対策所非常用フィルタ装置の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	換気設備	緊急時対策所 非常用フィルタ 装置	常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記 ＊1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等）*1, *2	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t$ *	$1.5 \cdot f_s$ *
V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

部材	材料	温度条件（℃）		S_{yi}（MPa）	S_{ui}（MPa）	S_y（RT）（MPa）
基礎ボルト（i＝1）		周囲環境温度		198	504	－
取付ボルト（i＝2）		周囲環境温度		764	906	－

5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

表 5-4　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
緊急時対策所 EL.　37.0*	[redacted]		－	－	C_H＝1.62	C_V＝1.41

注記　＊：基準床レベルを示す。

5.4　計算方法

5.4.1　応力の計算方法

ボルトの応力は地震による震度によって生じる引張力とせん断力について計算する。

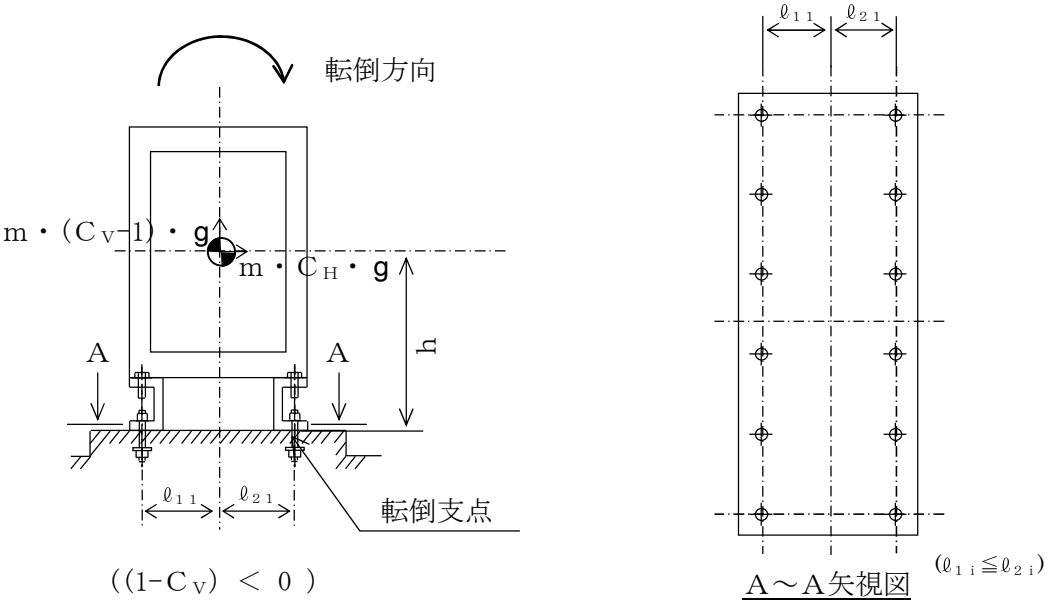


図 5－1　計算モデル（短辺方向転倒）

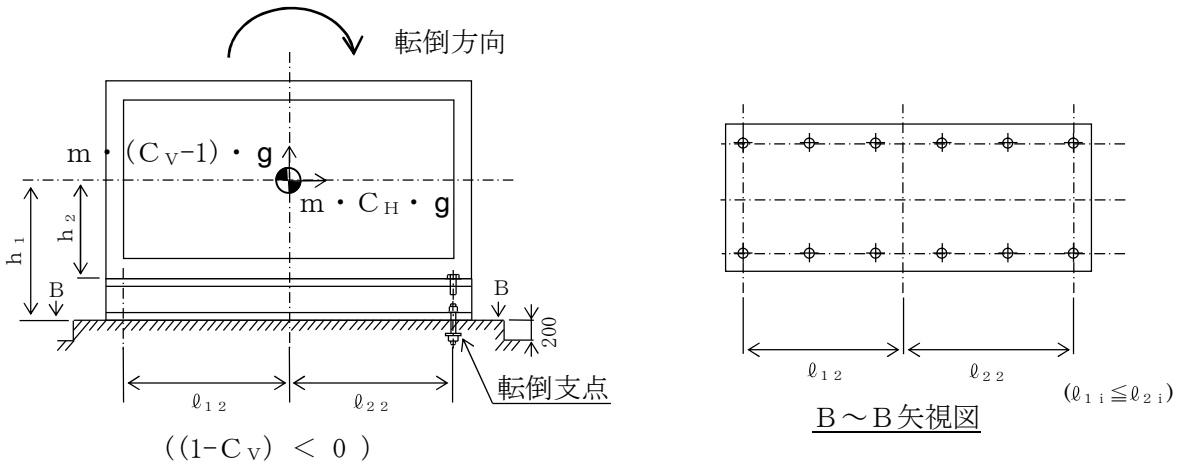


図 5－2　計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は図 5－1，図 5－2 でボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

（絶対値和） $$F_b=\frac{m\cdot C_H\cdot h\cdot g-m\cdot(1-C_V)\cdot \ell_2\cdot g}{n_f\cdot(\ell_1+\ell_2)} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2)$$

ここで，ボルトの軸断面積A_bは

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots (5.4.1.3)$$

ただし，F_bが負のとき基礎ボルトには引張力が生じないため，引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

せん断力

$$Q_b=m\cdot C_H\cdot g \quad \cdots\cdots (5.4.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots (5.4.1.5)$$

5.5　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【緊急時対策所非常用フィルタ装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6　応力の評価

5.6.1　ボルトの応力評価

5.4項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。ただし，f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \mathrm{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi},\ f_{toi}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし，f_{sbi} は下表による。

	弾性設計用地震動Ｓd又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓs による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

緊急時対策所非常用フィルタ装置の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容応力を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【緊急時対策所非常用フィルタ装置の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
緊急時対策所非常用フィルタ装置	常設／緩和	緊急時対策所 EL. 37.0*1			－	－	C_H=1.62	C_V=1.41	－	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

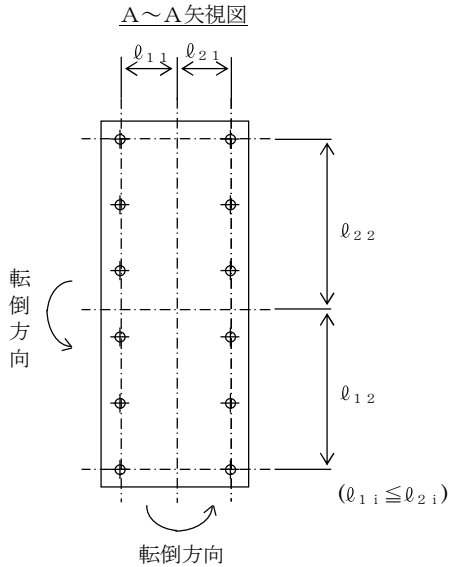
1.2 機器要目

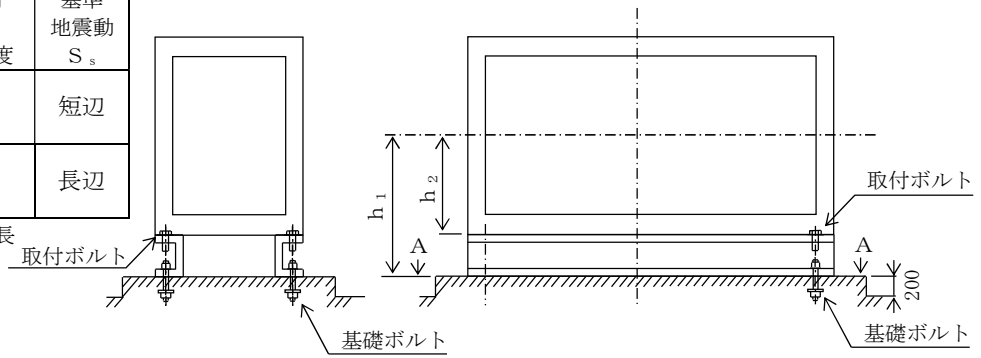
E (MPa)	G (MPa)	I (mm^4)	A_s (mm^2)	A (mm^2)

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}*1 (mm)	ℓ_{2i}*1 (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*1	
							弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i＝1)							－	
取付ボルト (i＝2)							－	

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i^* (MPa)		転倒方向	
			弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i＝1)	198*2	504*2	－	205	－	短辺
取付ボルト (i＝2)	764*2	906*2	－	634	－	長辺

注記 ＊1：基礎ボルトの機器要目における上段は短辺方向に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向に対する評価時の要目を示す。
＊2：周囲環境温度で算出





1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i＝1)	－	1.467×10^4	－	1.779×10^5
取付ボルト (i＝2)	－	1.234×10^4	－	1.573×10^5

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部　　材	材　料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i＝1)	[redacted]	引張り	－	－	[redacted]	[redacted]*
		せん断	－	－		
取付ボルト (i＝2)		引張り	－	－		
		せん断	－	－		

注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

すべて許容応力以下である。

Ⅴ-2-8-3-3-5　緊急時対策所用差圧の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ・・ 1
2. 一般事項 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
2.1 構造計画 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
3. 固有周期 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
3.1 固有周期の算出方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
3.2 固有周期の計算条件 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
3.3 固有周期の計算結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
4. 構造強度評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
4.1 構造強度評価方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
5. 機能維持評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
5.1 電気的機能維持評価方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
6. 評価結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
6.1 重大事故等対処施設としての評価結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，緊急時対策所用差圧が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

緊急時対策所用差圧は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

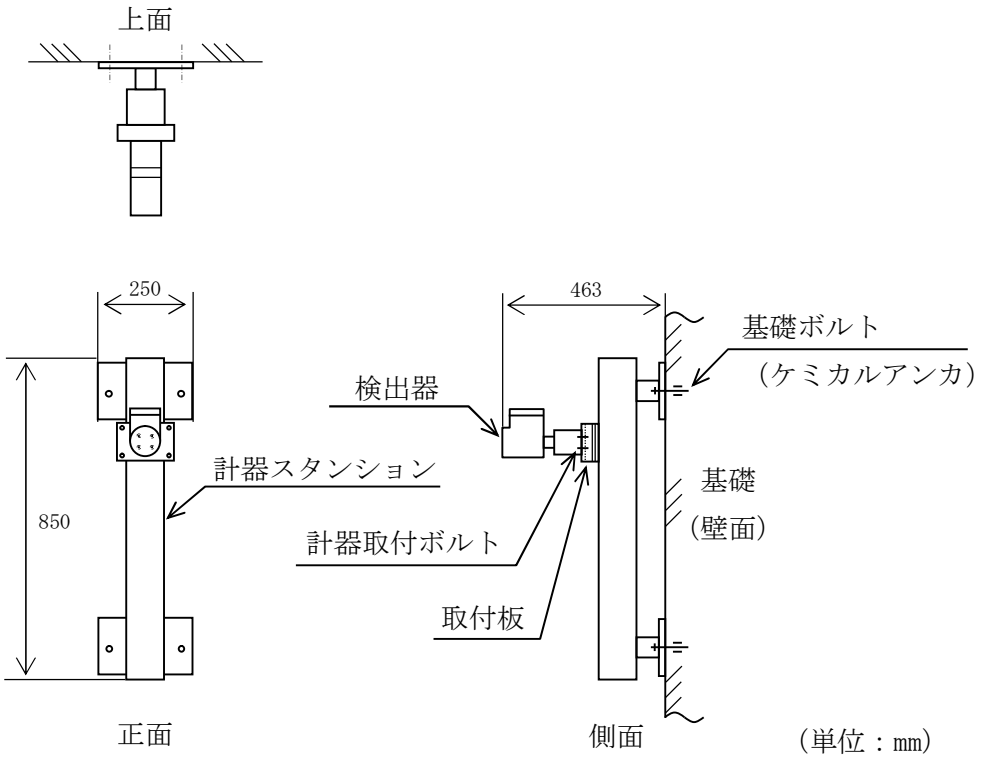
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

緊急時対策所用差圧の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	弾性型圧力検出器	

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

緊急時対策所用差圧計器スタンションの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　緊急時対策所用差圧計器スタンションは，図 3-1 に示す壁固定の１質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で上下２箇所を緊急時対策所建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）２点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。

(4)　図 3-1 中の ◓ は検出器及び計器スタンションの質点,● は計器スタンションの支持点,━ は計器スタンションを示す。

3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{10^3} \cdot \left(\frac{\ell_b{}^3}{48 \cdot E_1 \cdot I_1} + \frac{\ell_b}{4 \cdot A_b \cdot G_1} \right)} \quad \cdots (3.1.1.1)$$

3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

(1)　Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

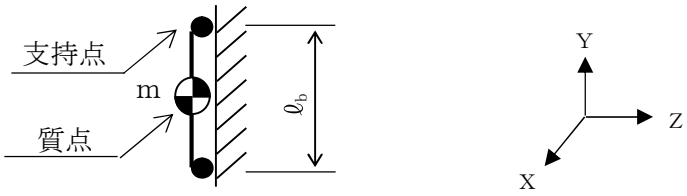
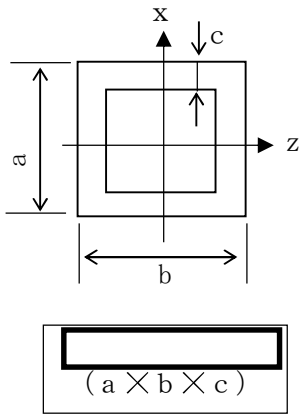


図 3－1　固有周期の計算モデル

3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
上下ボルト間の距離（壁掛型）	ℓ_b	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_b	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			

3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から,水平方向は 0.05 秒以下であり,剛であることを確認した。また,鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3－2 示す。

表 3－2　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

緊急時対策所用差圧の構造は壁掛形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急時対策所用差圧の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

緊急時対策所用差圧の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

緊急時対策所用差圧の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	換気設備	緊急時対策所用差圧	常設／緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$\mathrm{IV_AS}$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$\mathrm{V_AS}$（$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）

注記＊1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3 使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 （℃）		S_y （MPa）	S_u （MPa）	S_y（RT） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	245	400	—

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

緊急時対策所用差圧の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

緊急時対策所用差圧の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 （×9.8m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
緊急時対策所用差圧	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

緊急時対策所用差圧の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【緊急時対策所用差圧の耐震評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
緊急時対策所用差圧	常設／緩和	[redacted] EL. 30.30 (EL. 37.00*)	[redacted]	[redacted]	－	－	C_H＝1.62	C_V＝1.41	[redacted]

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 緊急時対策所用差圧

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト	[redacted]							2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	245	400	－	280	－	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	－	[redacted]	－	[redacted]

1.4 結　論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

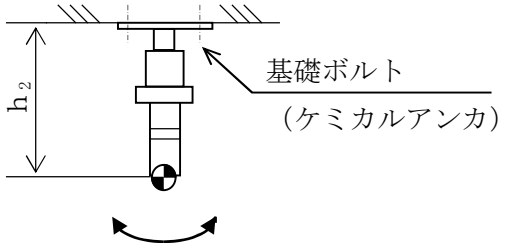
部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	－	－	σ_b＝ 8	f_{ts}＝168*
		せん断	－	－	τ_b＝ 2	f_{sb}＝128

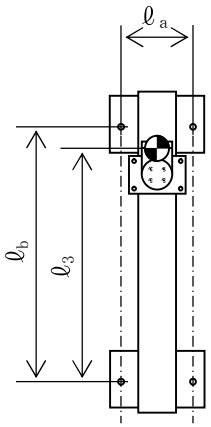
すべて許容応力以下である。　　注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b, f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8m/s^2)

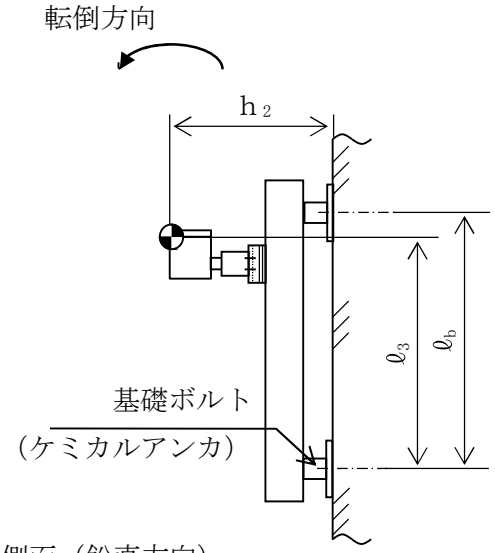
		評価用加速度	機能確認済加速度
緊急時対策所用差圧	水平方向	1.35	[redacted]
	鉛直方向	1.17	[redacted]

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-8-3-4　第二弁操作室の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-8-3-4-1　管の耐震性についての計算書

目　次

1.　概要 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 2
2.1　概略系統図 2
2.2　鳥瞰図 4
3.　計算条件 12
3.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 12
3.2　設計条件 13
3.3　材料及び許容応力 24
3.4　設計用地震力 25
4.　解析結果及び評価 26
4.1　固有周期及び設計震度 26
4.2　評価結果 32
4.2.1　管の応力評価結果 32
4.2.2　支持構造物評価結果 33
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 34
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 35

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全１モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3) 弁

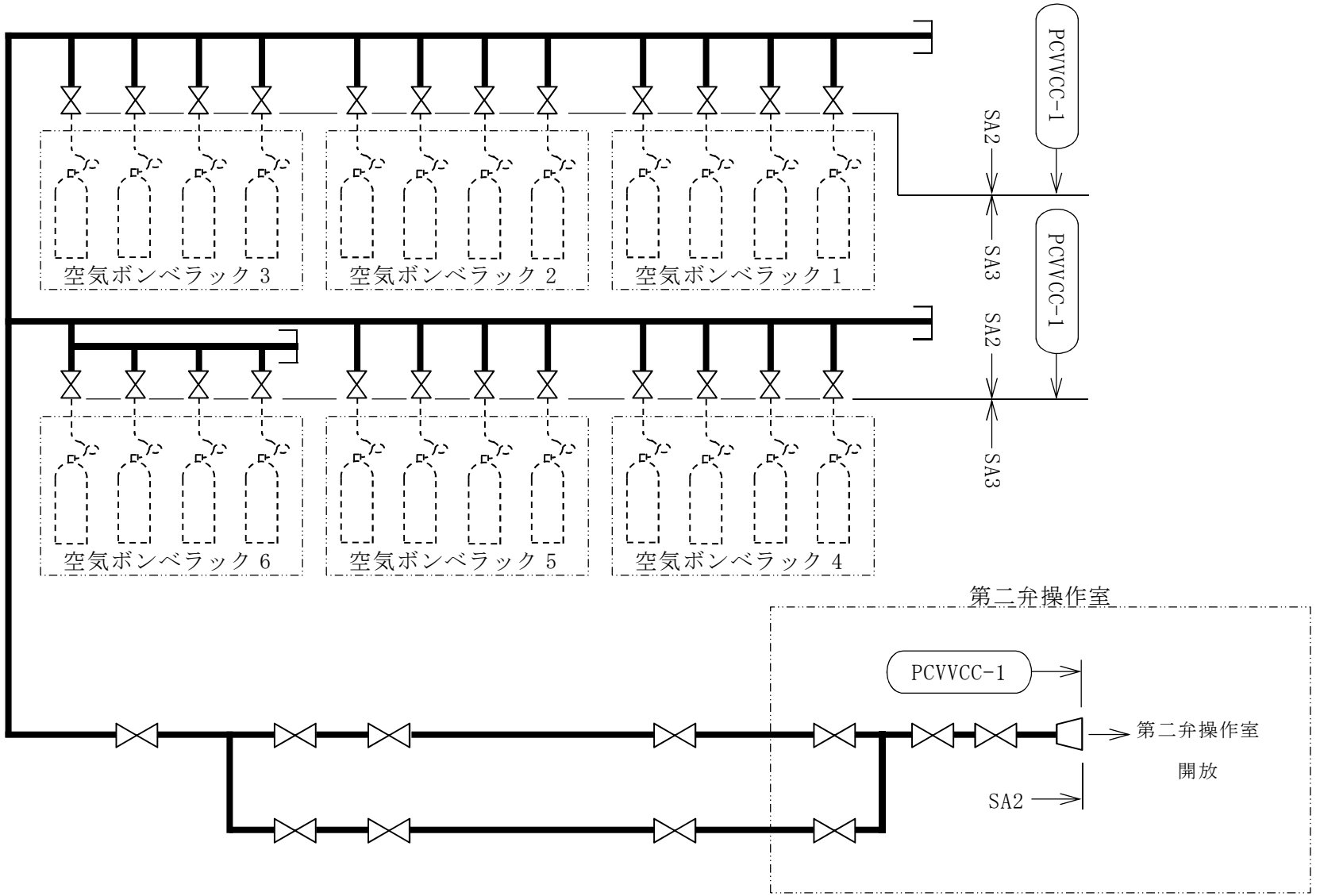
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

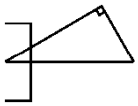
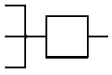
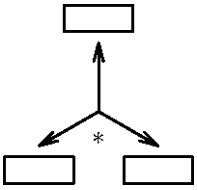
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○－○－○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○－○－○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
DB3	クラス３管
DB4	クラス４管
SA2	重大事故等クラス２管
SA3	重大事故等クラス３管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管
DB3/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス３管
DB4/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス４管

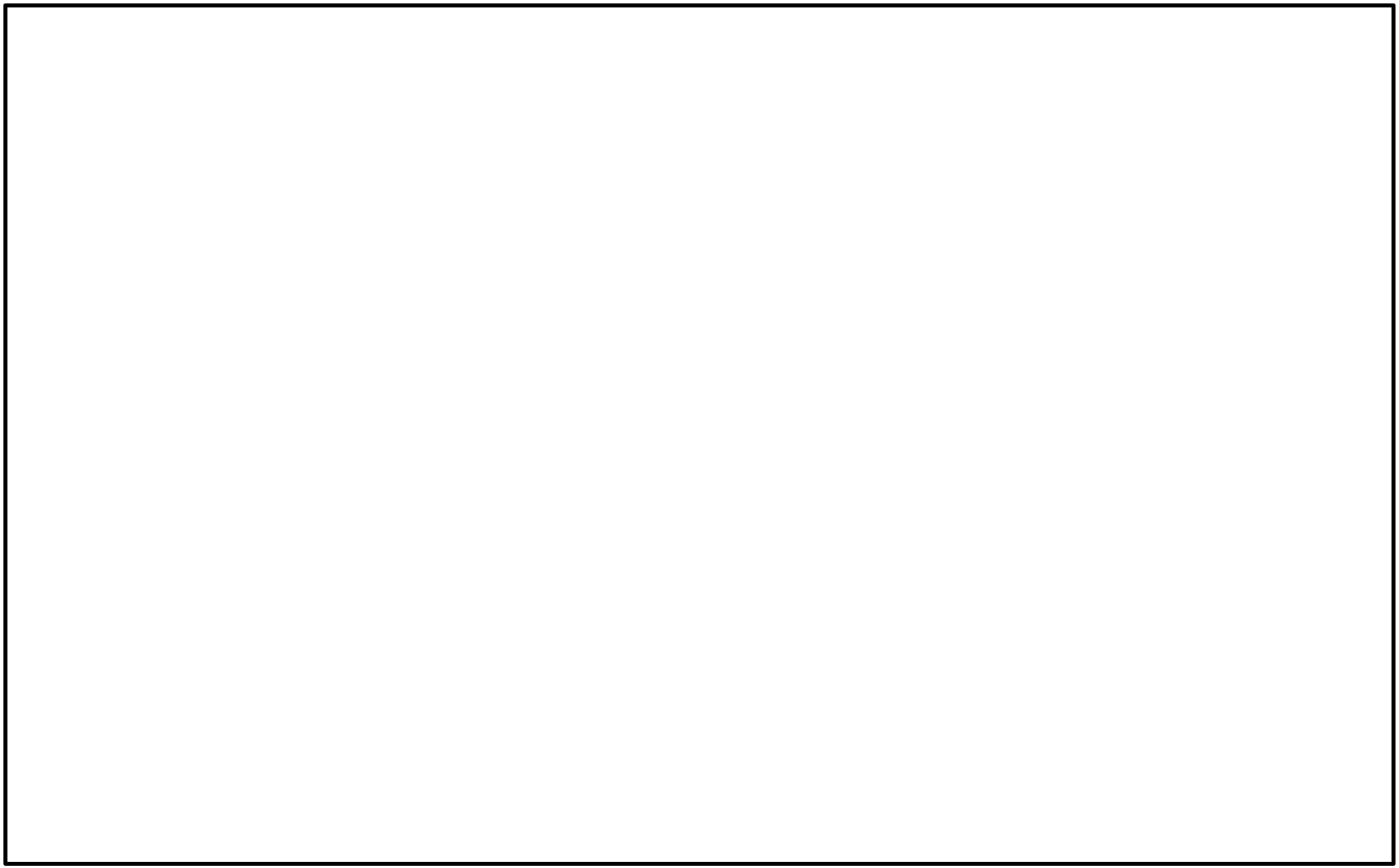


第二弁操作室空気ボンベユニット配管概略系統図

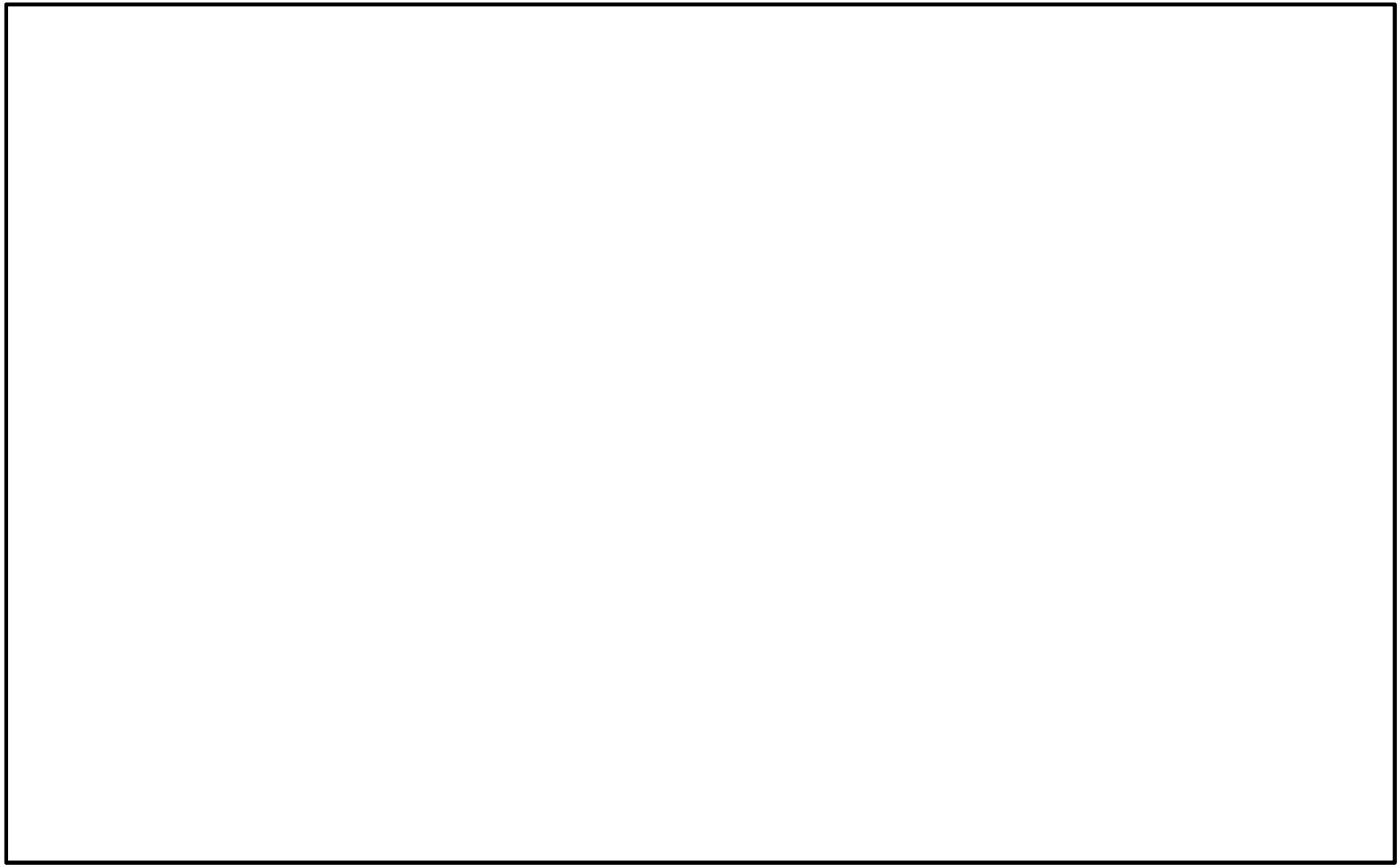
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

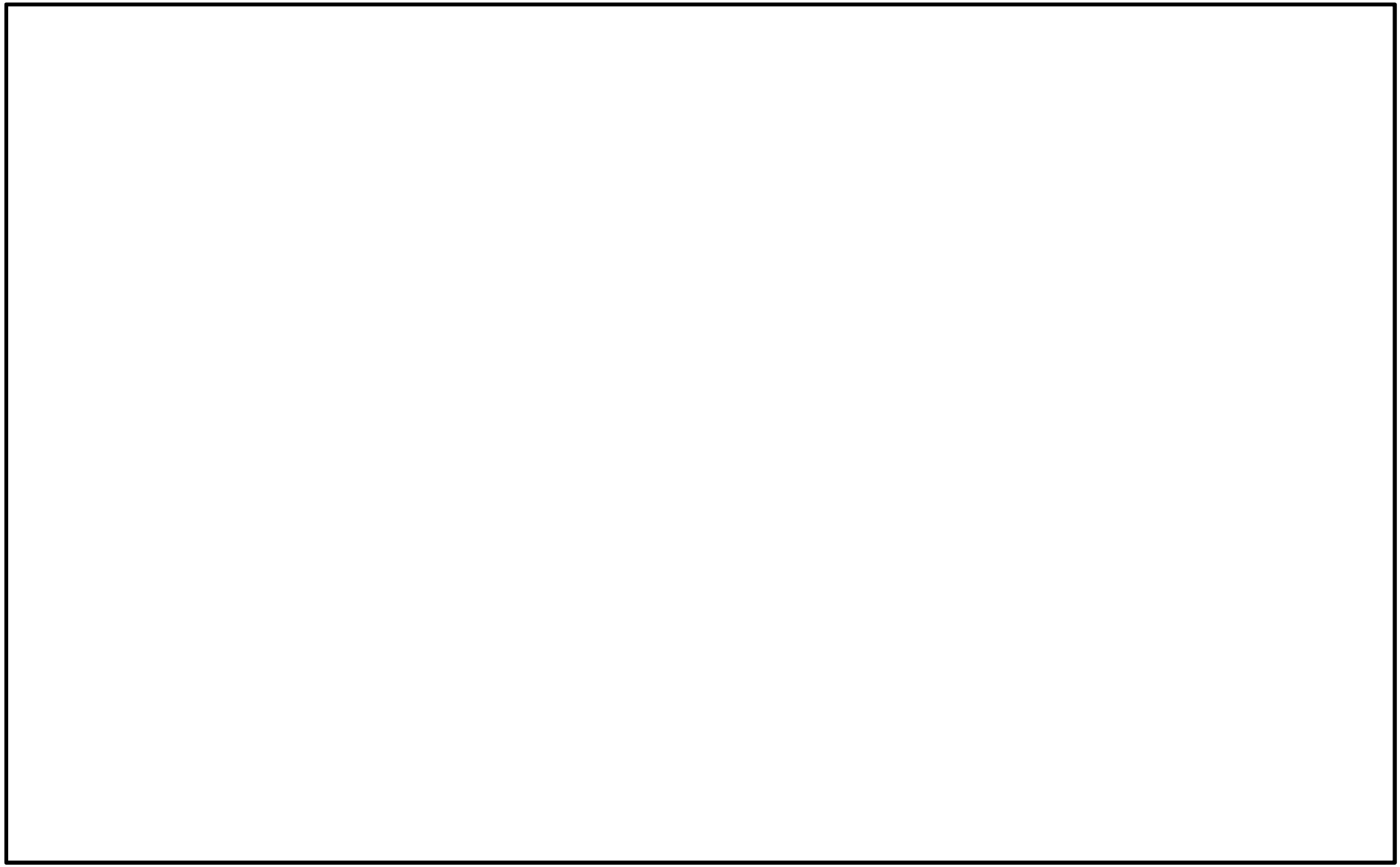
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
○ ◎	節　　点 質　　点
	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	拘束点の地震による相対変位量（mm） （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。）
	注：　鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。



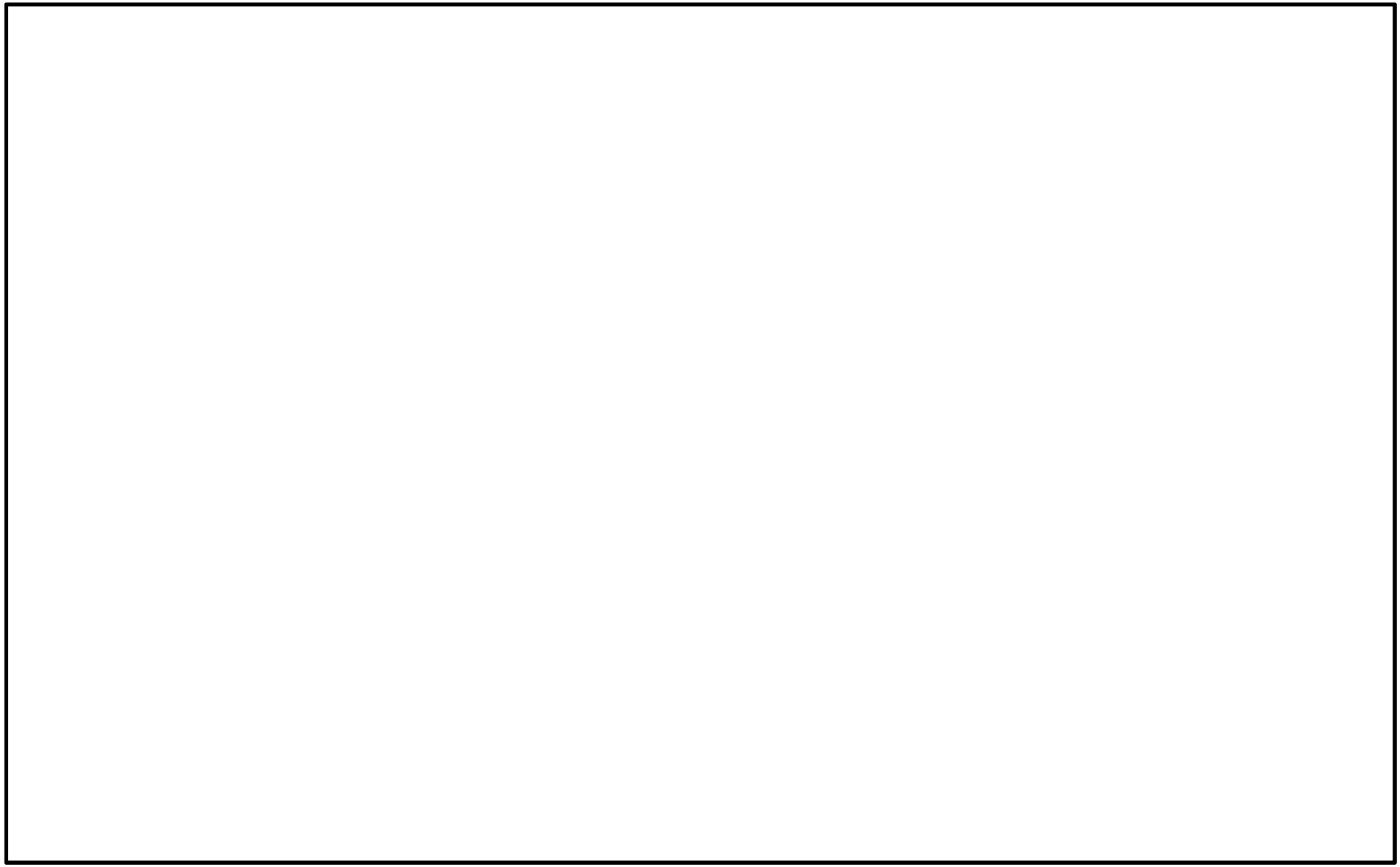
鳥瞰図	PCVVCC-1（ＳＡ）(1／7)



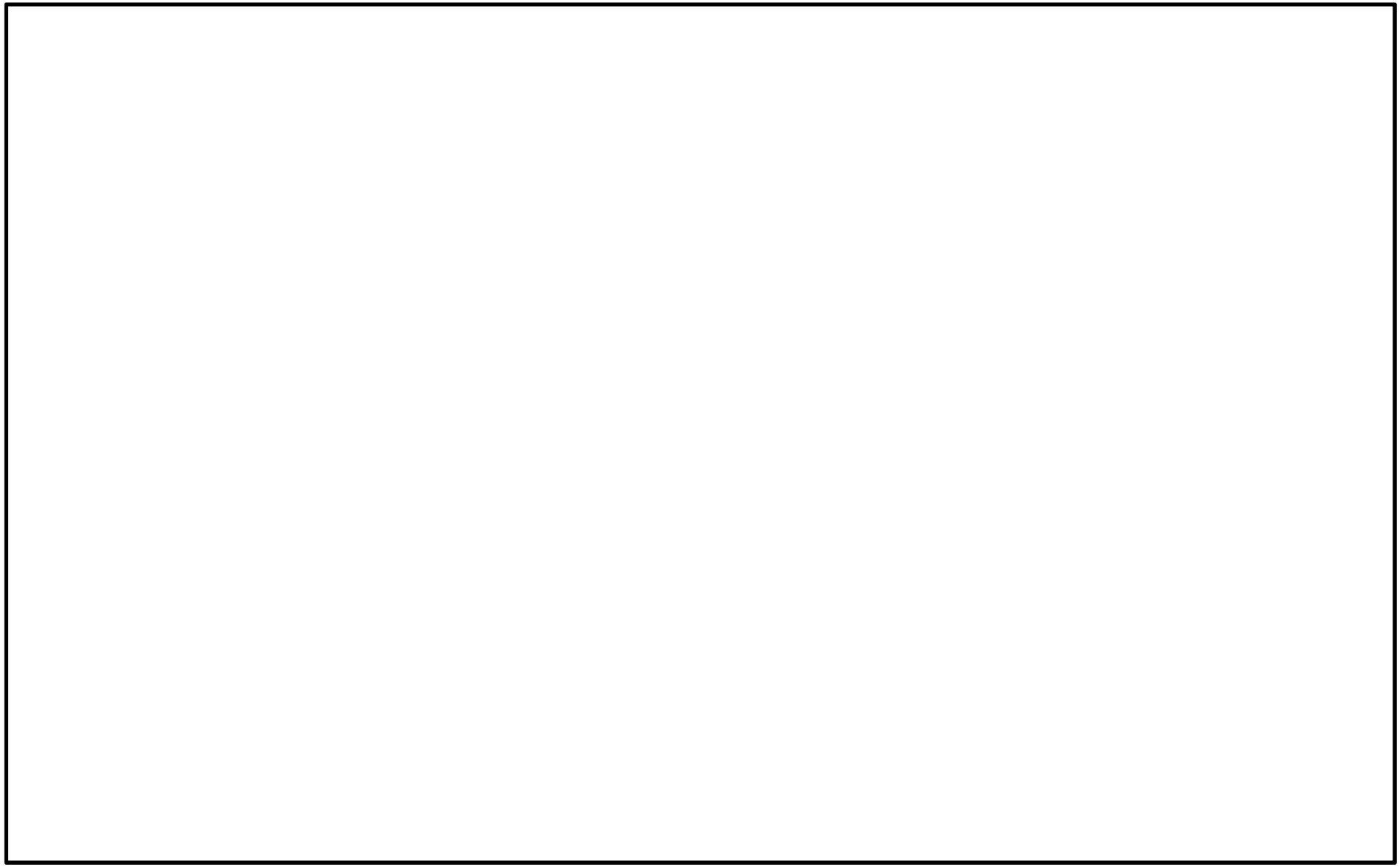
鳥瞰図	PCVVCC-1（ＳＡ）(2／7)



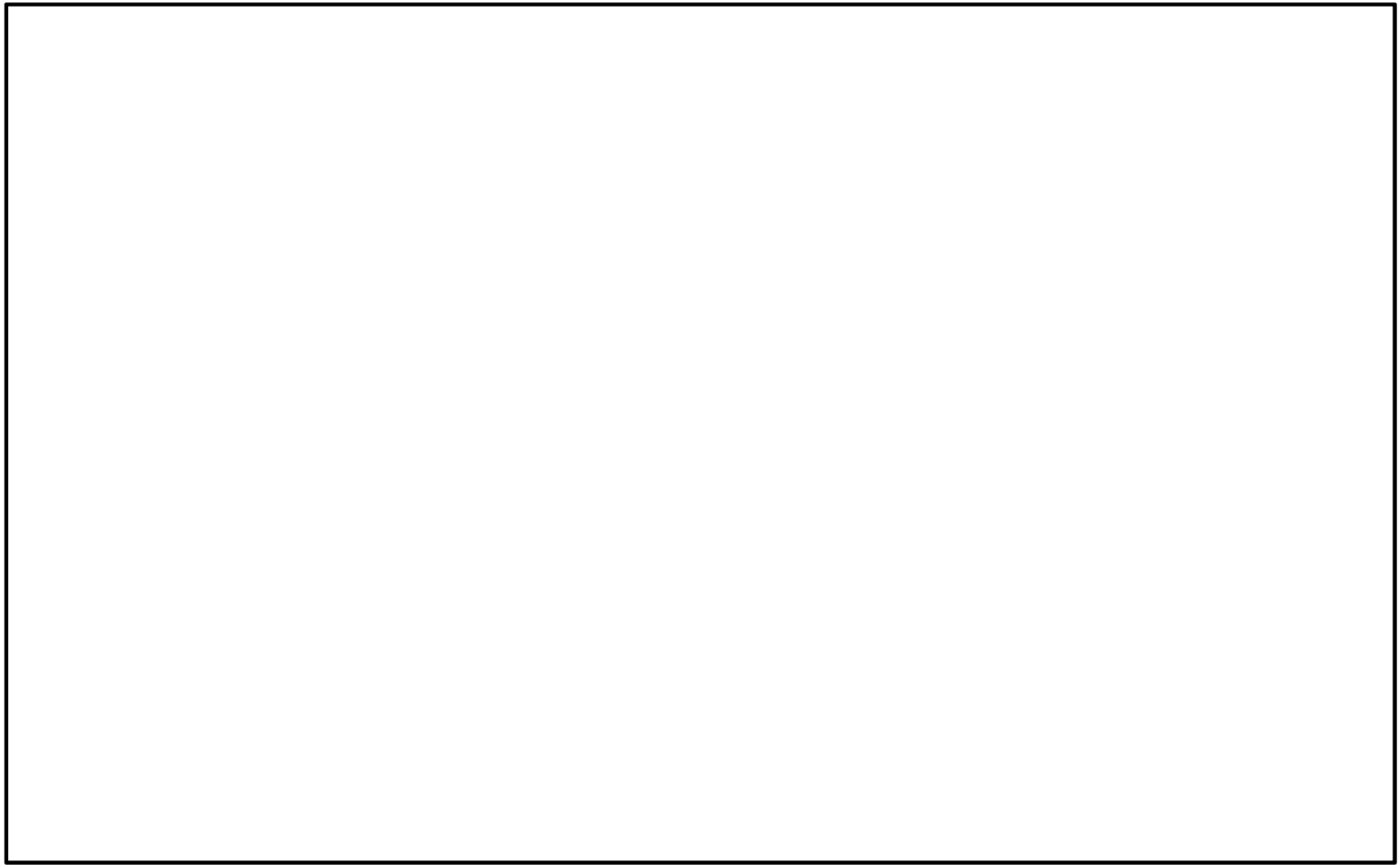
鳥瞰図	PCVVCC-1（ＳＡ）(3／7)



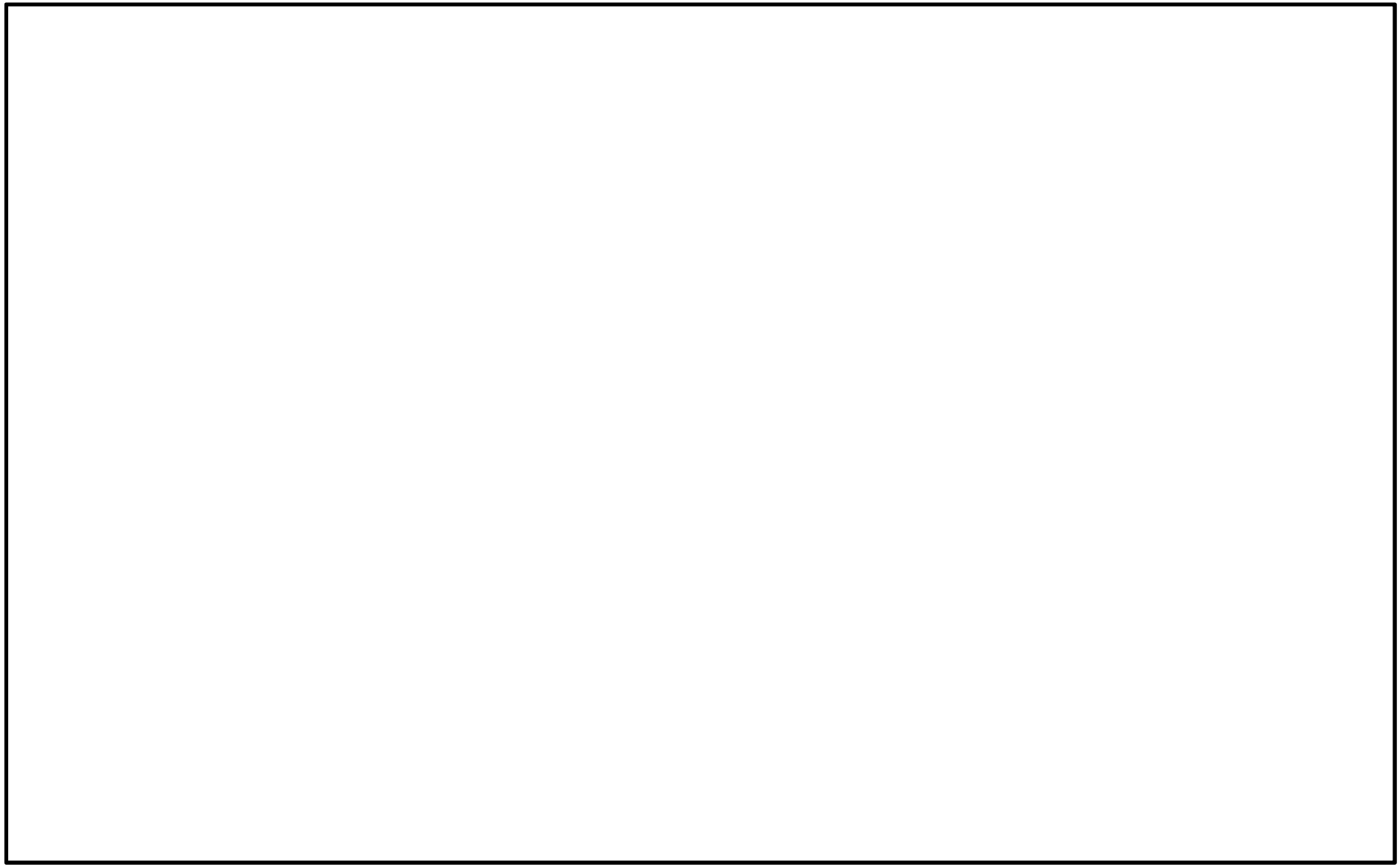
鳥瞰図	PCVVCC-1（ＳＡ）(4／7)



鳥瞰図	PCVVCC-1（ＳＡ）(5／7)



鳥瞰図	PCVVCC-1（ＳＡ）(6／7)



鳥瞰図	PCVVCC-1（ＳＡ）（7／7）

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
放射線管理施設	換気設備	第二弁操作室	ＳＡ	常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	$V_L + S_s$	$V_A S$

注記 ＊1： ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。

＊2： 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊3： 運転状態の添字Ｌは荷重，（Ｌ）は荷重が長期間作用している状態，（ＬＬ）は（Ｌ）より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

＊4： 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

＊5： 許容応力状態$V_A S$は許容応力状態$IV_A S$の許容限界を使用し，許容応力状態$IV_A S$として評価を実施する。

3.2 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 PCVVCC-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	501,801,601,401,602,402 603,403,604,404,605, 1 405,606,406,607,407,608 408,609,802,610,409,611 410,612,411,613,412,614 2,413,615,803, 3,616 804,617, 4,805,618, 5 806, 6, 8,619, 9,807 10, 12,808,620,414, 13 301,901,302,415,303,902 304, 14,809,305,903,648 834,313,907,314,649,835 315,908,316,650,836,317 909,318,651,837,319,910 320,652,838,321,911,322 653,839,323,912,324,654	14.70	40	27.2	3.9	SUS304TP	－	[redacted]

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　PCVVCC-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	840,325,913,326,655,841 327,914,328,656,842,329 915,330,657,843,331,916 332,658,844,333,917,334 659,845,335,918,336, 38 39,660,846,661,421, 40 662, 41,847, 42, 43, 44 422,663,423,664,424,665 425,666,848,667,426,668 427,669,428,670,429,671 849,503,672,430,673,431 674,432,675,433,676,850 504,678,851,337,919,338 679,852,339,920,340,680 853,341,921,342,681,854 343,922,344,682,855,345	14.70	40	27.2	3.9	SUS304TP	－	[redacted]

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　PCVVCC-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	923,346,683,856,347,924 348,684,857,349,925,350 685,858,351,926,352,686 859,353,927,354,687,860 355,928,356,688,861,357 929,358,689,862,359,930 360,361,931,362,690,863 45,691, 46,864,692,865 693,866,694,867, 47, 48 363,932,364,365,933	14.70	40	27.2	3.9	SUS304TP	－	[redacted]
2	903,306,416,621,417,307 904,308,810,622,811, 15 623,812,624, 16, 17,813 625,814, 18,626, 20,815 627,816, 21,628, 23,817 629,818, 24,630, 26,819	1.80	40	27.2	2.9	SUS304TP	－	[redacted]

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　PCVVCC-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
2	631,820, 27,632,821,633 28, 30,822,634,823,635 824,636,825, 31,637, 32 826,638,827,639,828, 33 34,640, 35,829, 36,641 830, 37,642,309,905,310 831,643,418,644,419,645 832,311,906,312,646,833 647,502,933,366,434,695 435,367,934,368,868, 49 696, 50,869,697,870,698 871, 51,699, 53,872,700 873, 54,711, 56,874,712 875, 57,713,876,714, 58 60,877,715,878,716,879 717, 61, 62,880,718,881	1.80	40	27.2	2.9	SUS304TP	－	[redacted]

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　PCVVCC-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
2	719,882, 63, 64,720, 65 883, 66,721,884, 67,722 369,935,370,885, 68,723 886,371,936,372,887,373 937,374,375,938,376,506 726,888,377,939,378,889 211	1.80	40	27.2	2.9	SUS304TP	－	[redacted]
3	212	1.80	40	60.5	3.9	SUS304TP	－	[redacted]

フランジ部の質量

鳥　瞰　図　PCVVCC-1

質量	対応する評価点
[redacted]	501, 503, 504
[redacted]	502, 314, 316, 318, 320, 322, 324, 326, 328, 330, 332, 334, 336, 338 340, 342, 344, 346, 348, 350, 352, 354, 356, 358, 360, 506

弁部の質量

鳥　瞰　図　PCVVCC-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
□	901,902,907,908,909 910,911,912,913,914 915,916,917,918,919 920,921,922,923,924 925,926,927,928,929 930,931,932	□	903,904,933,934
□	905,935,936,937,938 939	□	906

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　PCVVCC-1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
801						
802						
803						
804						
805						
806						
807						
808						
809						
903						
904						
810						
811						
812						
813						
814						
815						
816						
817						
818						
819						
820						
821						
822						
823						
824						
825						
826						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　PCVVCC-1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
827						
828						
829						
830						
831						
832						
833						
834						
835						
836						
837						
838						
839						
840						
841						
842						
843						
844						
845						
846						
847						
848						
849						
850						
851						
852						
853						
854						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　PCVVCC-1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
855						
856						
857						
858						
859						
860						
861						
862						
863						
864						
865						
866						
867						
933						
934						
868						
869						
870						
871						
872						
873						
874						
875						
876						
877						
878						
879						
880						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　PCVVCC-1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
881						
882						
883						
884						
885						
886						
887						
888						
889						

3.3　材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (℃)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SUS304TP	40	－	205	520	－

3.4　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数は添付書類「Ⅴ-2-1-6　地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数(%)
PCVVCC-1	[redacted]	EL. 29.000 m	[redacted]
		EL. 20.300 m	
		EL. 14.000 m	

4.　解析結果及び評価

4.1　固有周期及び設計震度

鳥　瞰　図　PCVVCC-1

耐震設計上の重要度分類		－		
適用する地震動等		S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
動的震度				

各モードに対応する刺激係数

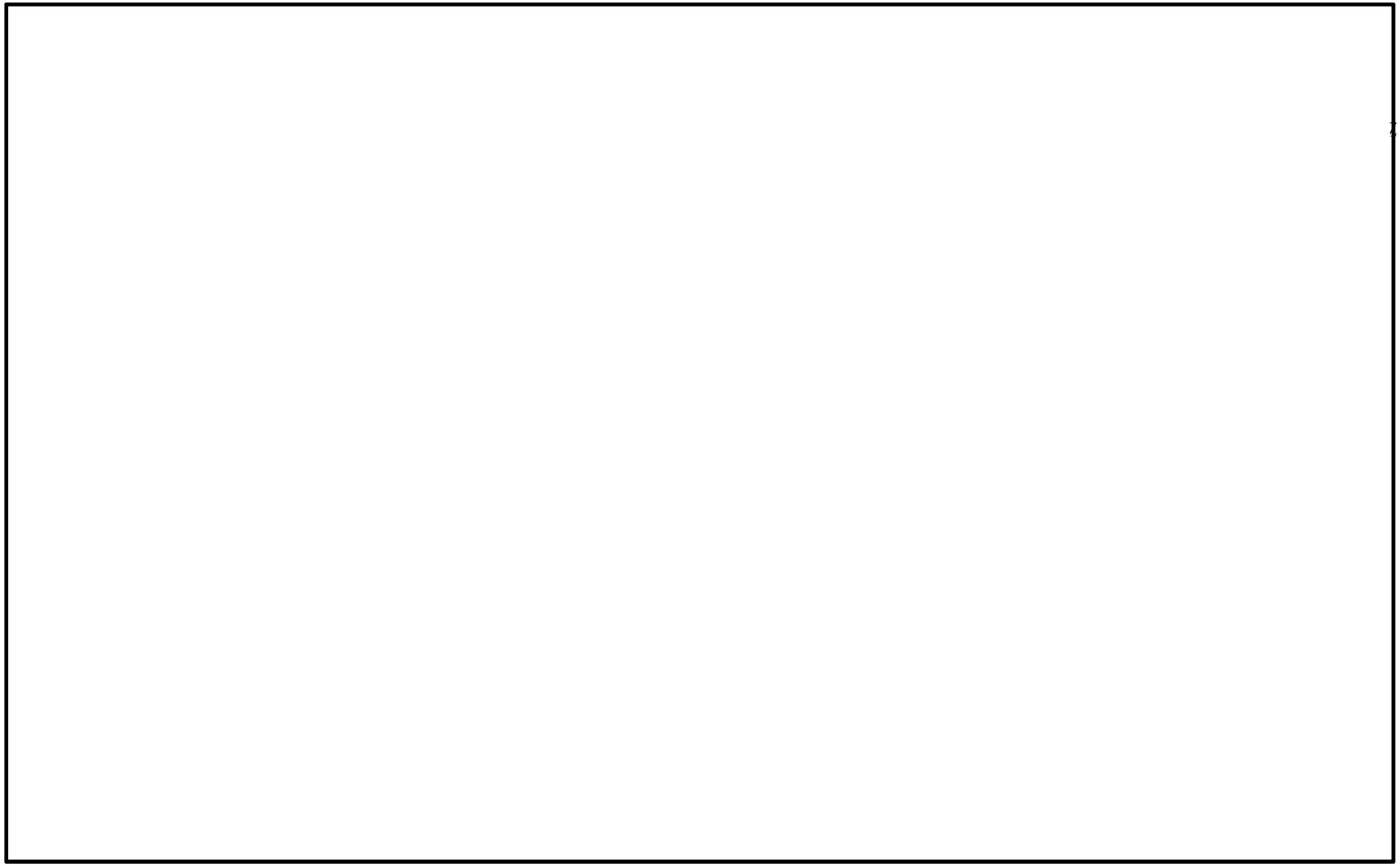
鳥　瞰　図　PCVVCC-1

モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向

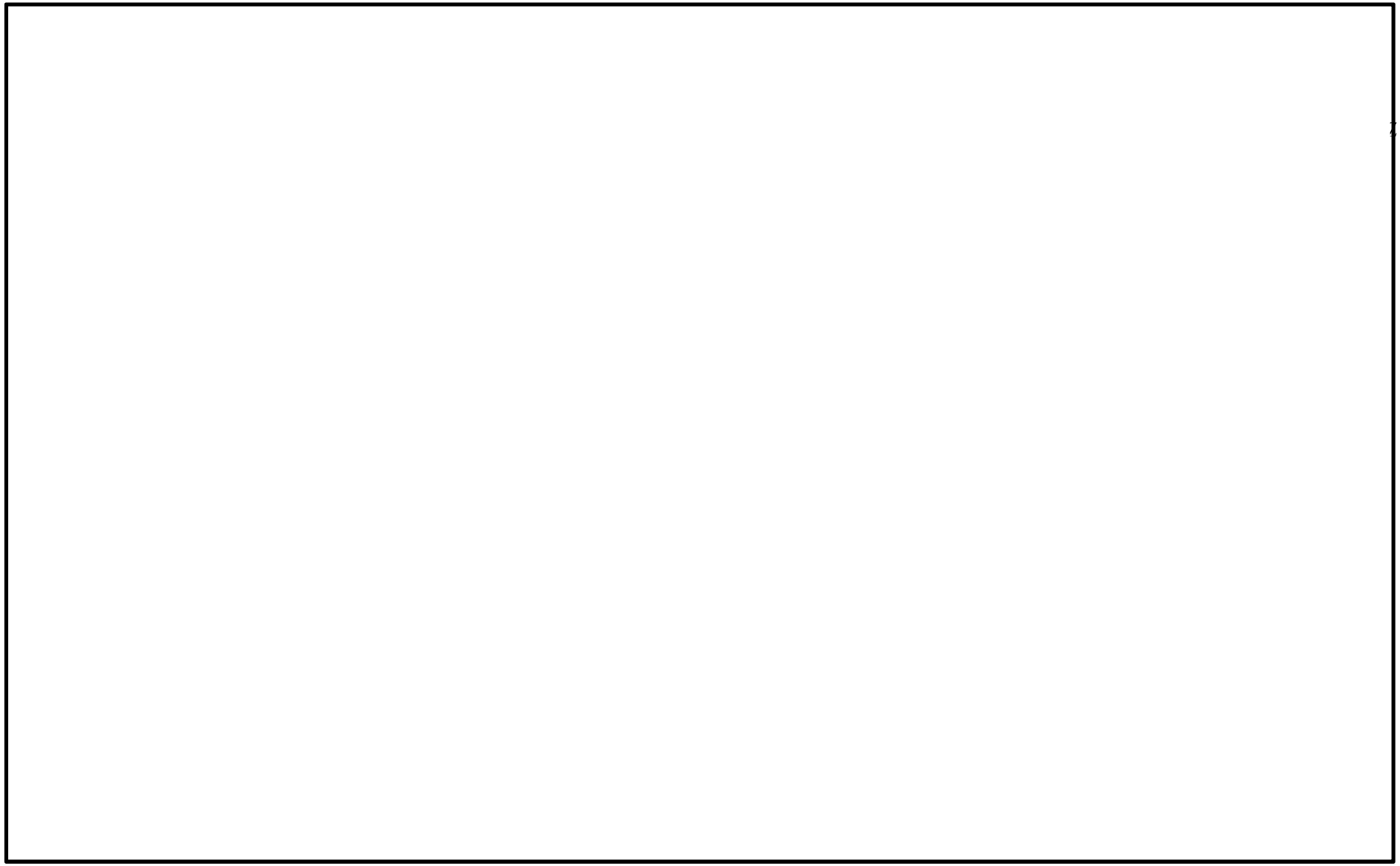
代表的振動モード図

振動モード図は，3 次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

鳥瞰図	PCVVCC-1



鳥瞰図	PCVVCC-1



鳥瞰図	PCVVCC-1

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管

鳥瞰図	許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価(MPa)		一次＋二次応力評価(MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{prm}(S_s)$	許容応力 $0.9S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
PCVVCC-1	V_AS	401	$S_{prm}(S_s)$	213	468	－	－	－
PCVVCC-1	V_AS	418	$S_n(S_s)$	－	－	361	410	－

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
—	—	—	—	—	—	—

支持構造物評価結果(応力評価)

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN･m)			応力分類	計算応力(MPa)	許容応力(MPa)
					F_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
RE-PCVVCC-1-070	レストレイント	Uボルト	SUS304	66	3.8	5.5	—	—	—	—	組合せ	93	258
AN-PCVVCC-1-002	アンカ	Uバンド	SS400	66	0.088	0.26	0.50	0.008	0.006	0.030	組合せ	10	283

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり応答加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	型式	要求機能	応答加速度 (×9.8 m/s²)		機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

No	配管モデル	許容応力状態　V_AS												
		一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	PCVVCC-1	401	213	468	2.19	○	418	361	410	1.13	○	－	－	－

Ⅴ-2-8-3-4-2　第二弁操作室差圧の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 ・・ 1
2. 一般事項 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
2.1 構造計画 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
3. 固有周期 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
3.1 固有周期の算出方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
3.2 固有周期の計算条件 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
3.3 固有周期の計算結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
4. 構造強度評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
4.1 構造強度評価方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
5. 機能維持評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
5.1 機能維持評価方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
6. 評価結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 9

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，第二弁操作室差圧が設計用地震力に対して十分な構造強度及び機能を有していることを説明するものである。

第二弁操作室差圧は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び機能維持評価を示す。

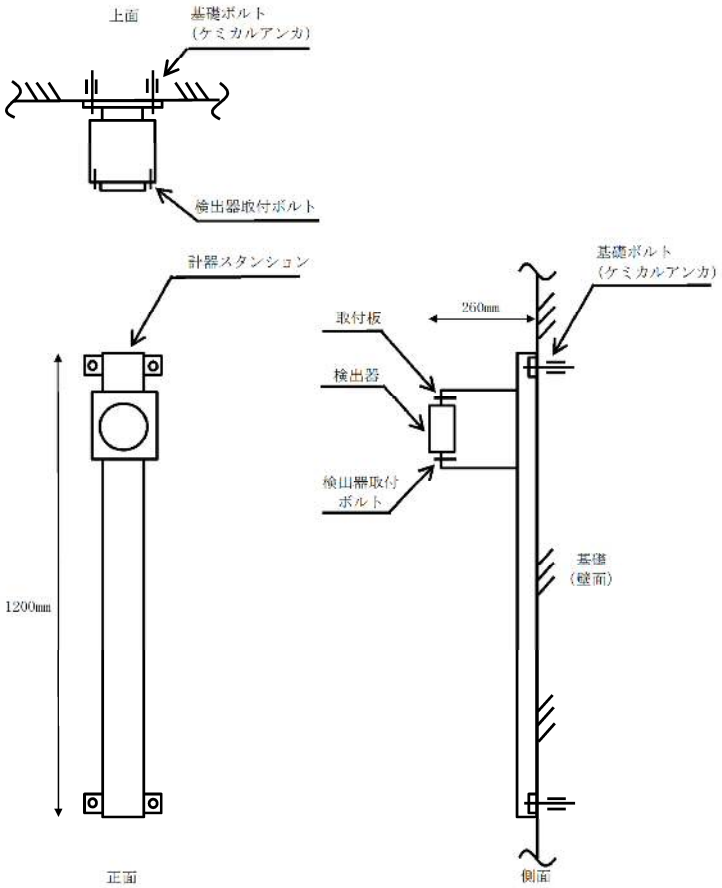
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

第二弁操作室差圧の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，検出器取付ボルトにより取付板に固定され，取付板は，溶接により計器スタンションに固定される。 計器スタンションは，壁面に基礎ボルトで設置する。	弾性型差圧検出器	

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出方法

第二弁操作室差圧の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　第二弁操作室差圧は，図 3-1 に示す壁固定の１質点系振動モデルとして考える。

(2)　計器スタンションは鋼材で上下２箇所を原子炉建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）２点で固定されるものとする。

(3)　検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は計器スタンションの中心に設定する。

(4)　図 3-1 中の ⊕ は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，── は計器スタンションを示す。

3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{\ell_b^3}{48 \cdot E \cdot I} + \frac{\ell_b}{4 \cdot A_S \cdot G} \right)} \quad \cdots (3.1.1.1)$$

3.1.2　鉛直方向

(1)　Ｙ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

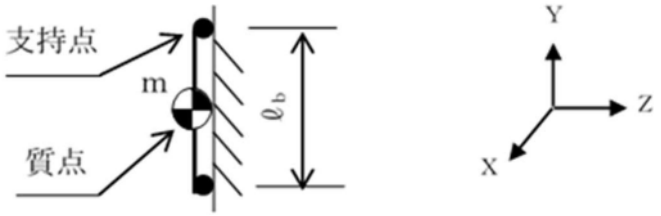
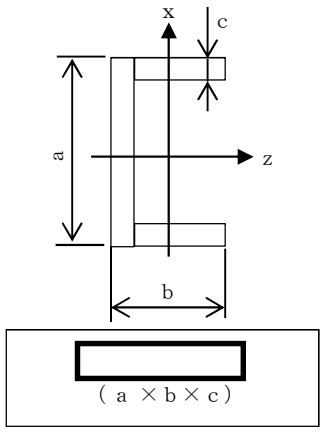


図 3-1　固有周期の計算モデル

3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
上下ボルト間の距離（壁掛形）	ℓ_b	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状(mm)			

3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算結果から，水平方向は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。

表 3-2　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

注記　＊：水平方向は固有周期が長いＺ方向の
固有周期を示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

第二弁操作室差圧の構造は壁掛形計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

第二弁操作室差圧の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

第二弁操作室差圧の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

第二弁操作室差圧の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処施設の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	換気設備	第二弁操作室差圧	常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$ *3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）		

注記　＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処施設）

評価部材	材料	温度条件 （℃）		S_y （MPa）	S_u （MPa）	S_y（RT） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	245	400	－

5.　機能維持評価

5.1　機能維持評価方法

第二弁操作室差圧の機能維持評価について，以下に示す。

機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

第二弁操作室差圧の機能確認済加速度には，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表5－1に示す。

表5-1　機能確認済加速度　　(×9.8 m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
第二弁操作室差圧	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

第二弁操作室差圧の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【第二弁操作室差圧の重大事故等対処設備としての評価結果】

1．重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
第二弁操作室差圧	常設／緩和	EL.22.00 (EL.29.00*)			—	—	C_H=1.55	C_V=1.17	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 第二弁操作室差圧(DPI-SA32-001)

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	245	400	—	280	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 Sd又は静的震度	基準地震動Ss	弾性設計用地震動 Sd又は静的震度	基準地震動Ss
基礎ボルト	—		—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

（単位：MPa）

部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=5$	$f_{ts}=168^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=3$	$f_{sb}=129$

すべて許容応力以下である。

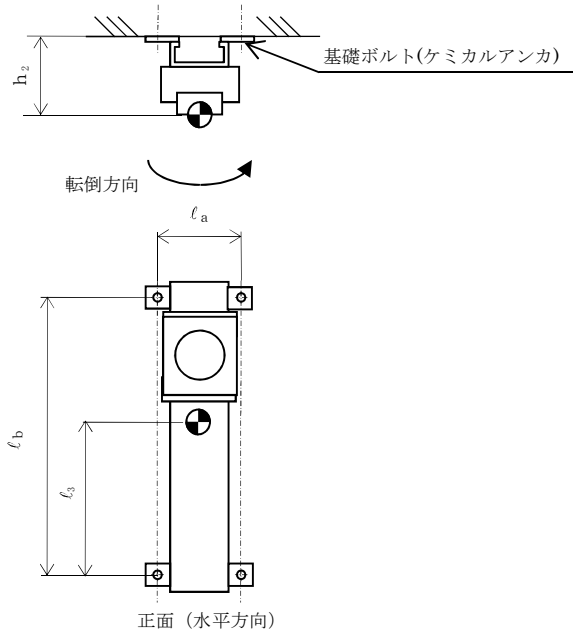
注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 機能の評価結果

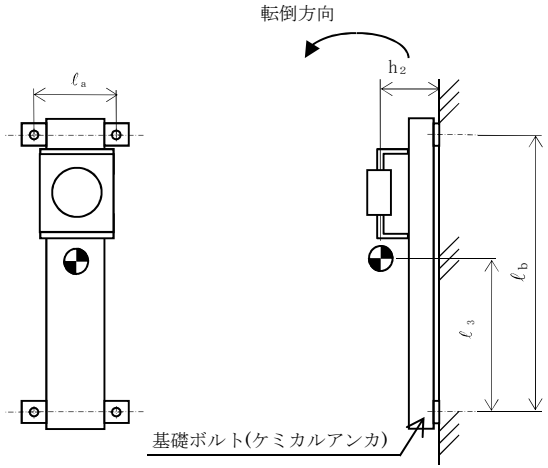
（単位：×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
第二弁操作室差圧	水平方向	1.55	
	鉛直方向	1.17	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-8-4　生体遮蔽の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-8-4-1　二次遮蔽の耐震性についての計算書

添付書類「Ⅴ-2-8-4-1　二次遮蔽の耐震性についての計算書」は，添付書類「Ⅴ-2-9-3-1　原子炉建屋原子炉棟の耐震性についての計算書」に倣うものとする。

NT2　補③　Ⅴ-2-8-4-1　R0E

Ⅴ-2-8-4-2　中央制御室遮蔽の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1
2. 基本方針 2
2.1 位置 2
2.2 構造概要 3
2.3 評価方針 8
2.4 適用規格・基準等 10
3. 地震応答解析による評価方法 11
4. 応力解析による評価方法 13
4.1 評価対象部位及び評価方針 13
4.2 荷重及び荷重の組合せ 16
4.3 許容限界 19
4.4 解析モデル及び諸元 23
4.5 評価方法 24
5. 評価結果 29
5.1 地震応答解析による評価結果 29
5.2 応力解析による評価結果 31

別紙1 中央制御室の気密性に関する計算書
別紙2 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した検討（中央制御室遮蔽）

1. 概要

本資料は，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第 38 条において設置することが要求されている中央制御室について，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，中央制御室遮蔽の地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり，その評価は，地震応答解析による評価及び応力解析による評価により行う。

中央制御室遮蔽は，設計基準対象施設においては「Ｓクラスの施設」に，重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備」及び「常設重大事故緩和設備」に分類される。

以下，それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

中央制御室遮蔽は，原子炉建屋の一部を構成している。中央制御室遮蔽を含む原子炉建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

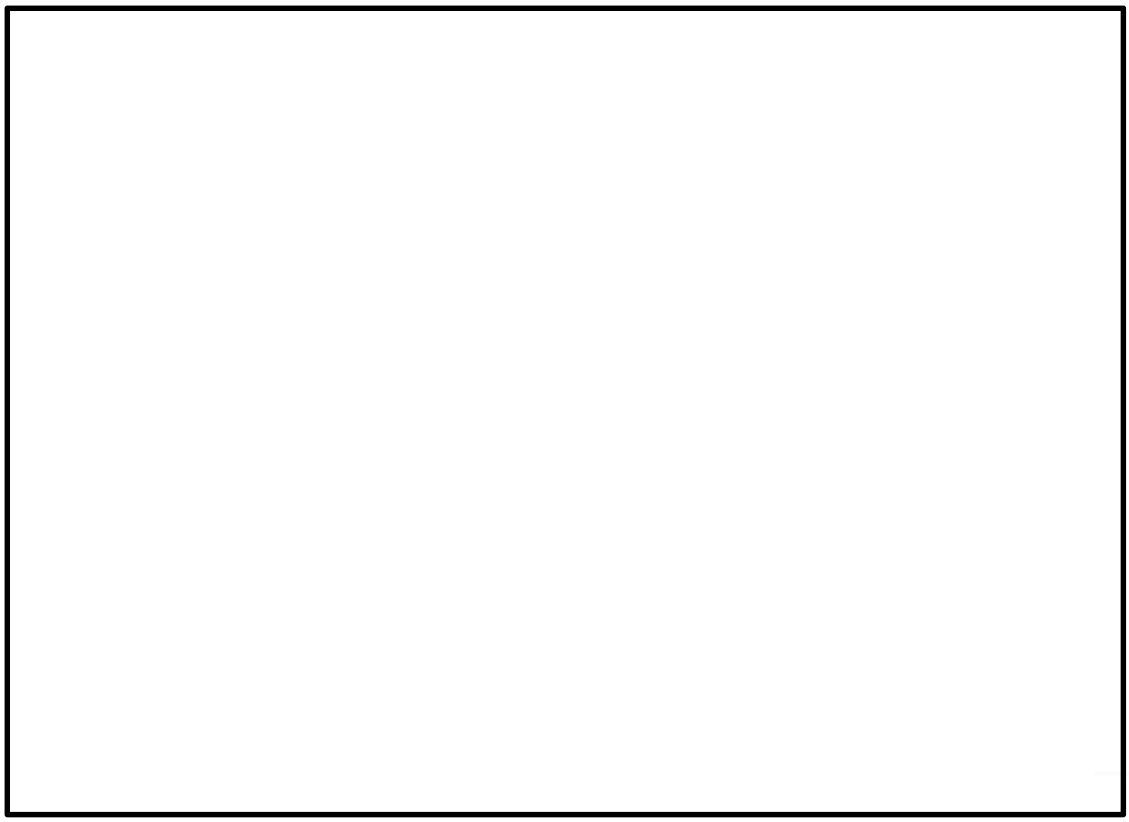


図 2-1 中央制御室遮蔽を含む原子炉建屋の設置位置

2.2 構造概要

原子炉建屋は，主体構造が鉄筋コンクリート造で，鉄骨造陸屋根をもつ地下2階，地上6階の建物である。中央部には，平面が南北方向 45.5 m，東西方向 42.5 m の原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）があり，その周囲には，平面が南北方向 68.5 m，東西方向 68.25 m の原子炉建屋付属棟（以下「付属棟」という。）を配置している。

中央制御室は付属棟の EL.18.0 m～EL.23.0 m に位置しており，平面規模は，南北方向 39.5 m，東西方向 27.0 m である。中央制御室遮蔽は，中央制御室を取り囲む壁，床スラブ及び天井スラブで構成されており，壁の厚さは 90 cm～120 cm，床スラブ及び天井スラブの厚さは 50 cm である。

中央制御室遮蔽の概略平面図及び概略断面図を図 2-2～図 2-5 に示す。

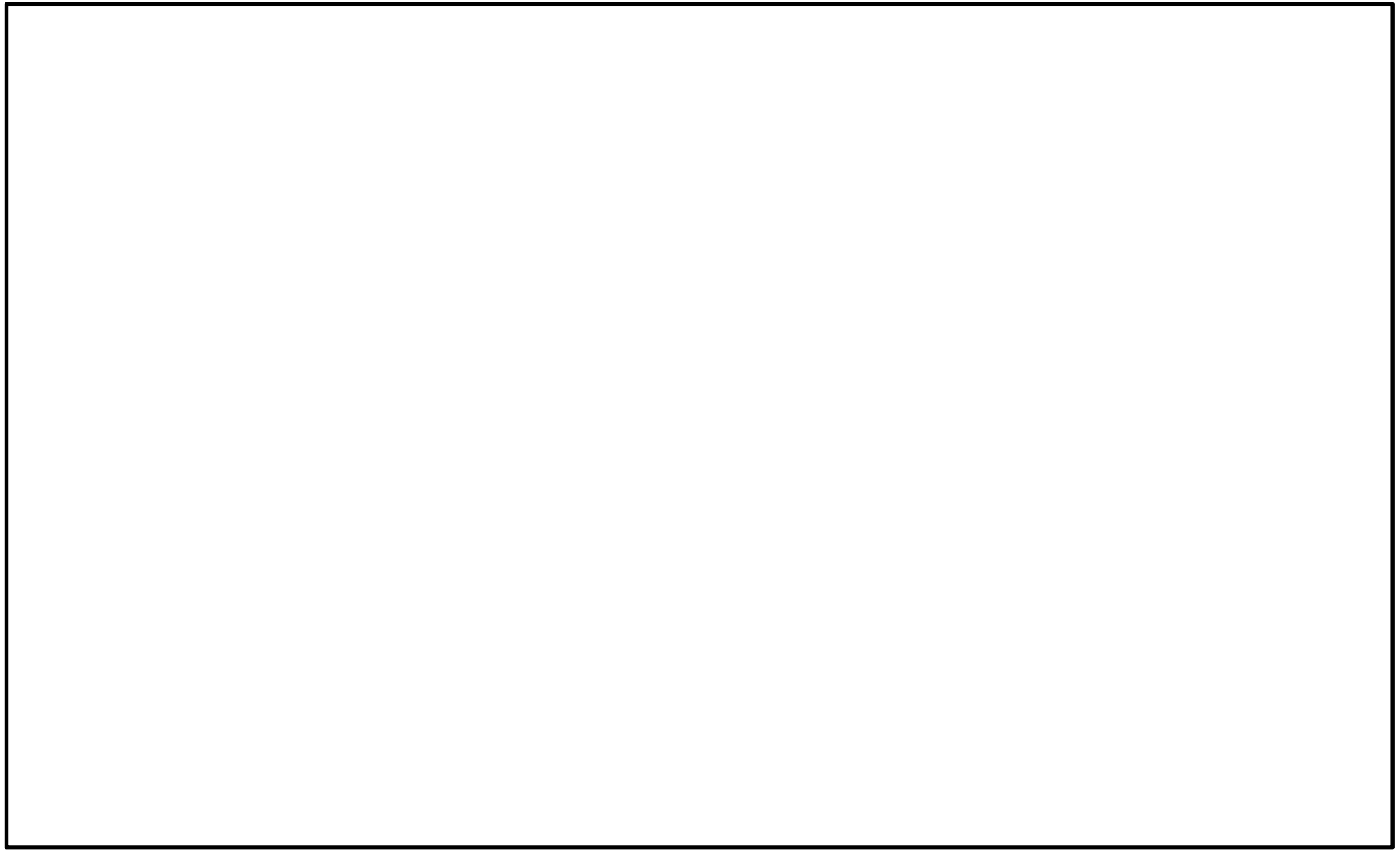


図 2-2　中央制御室遮蔽の概略平面図

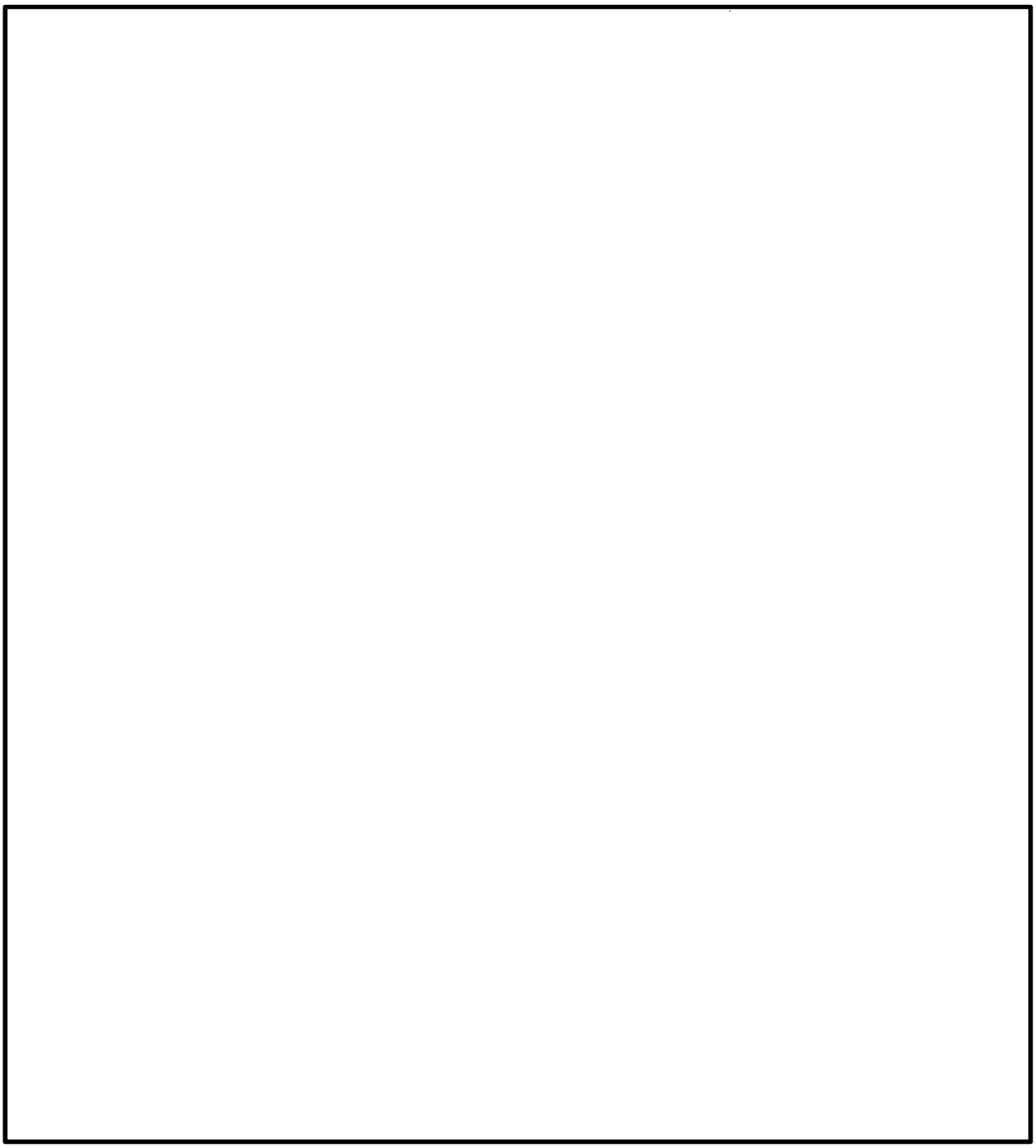


図 2-3　中央制御室遮蔽の概略断面図

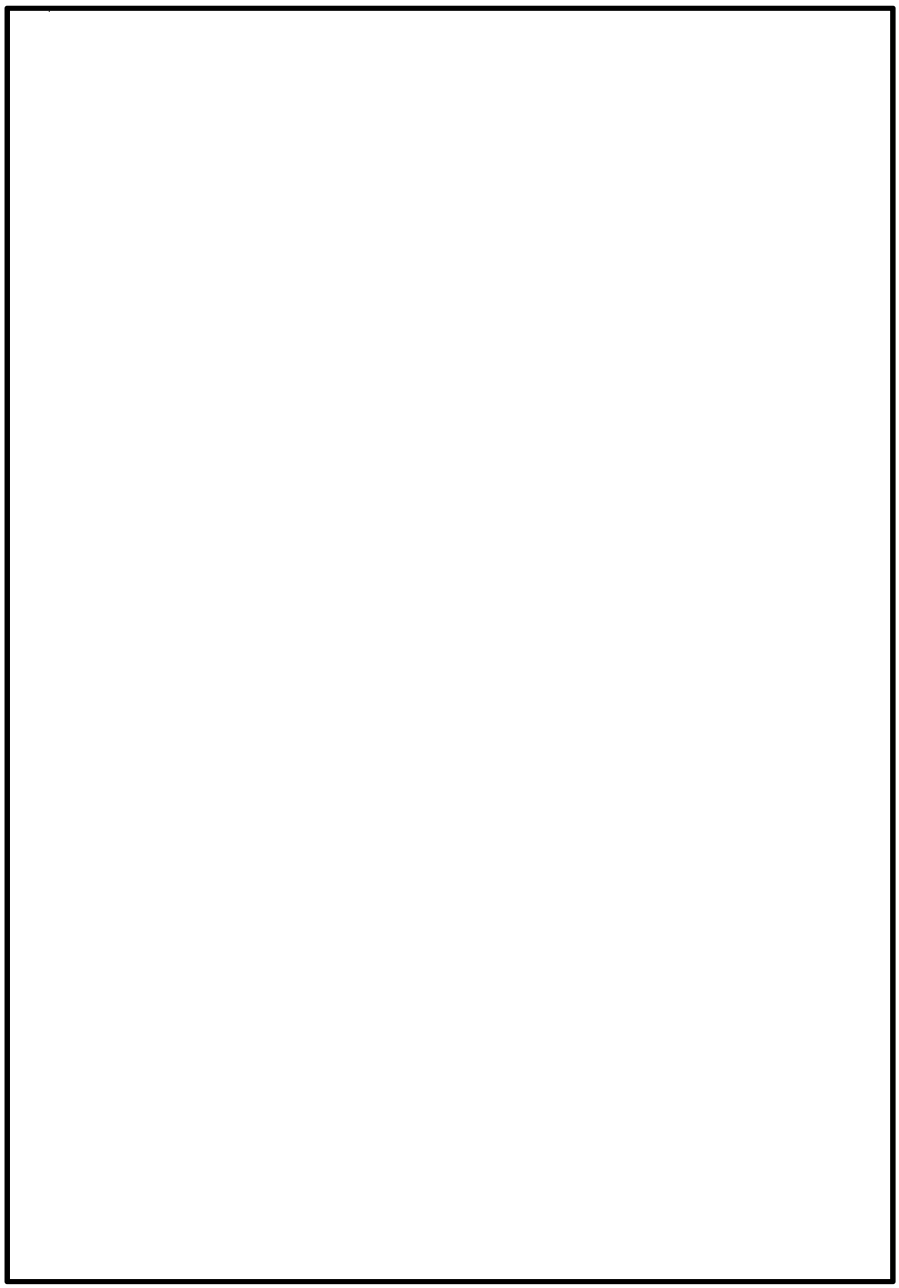


図 2-4 の概略平面図 (EL.23.0 m)

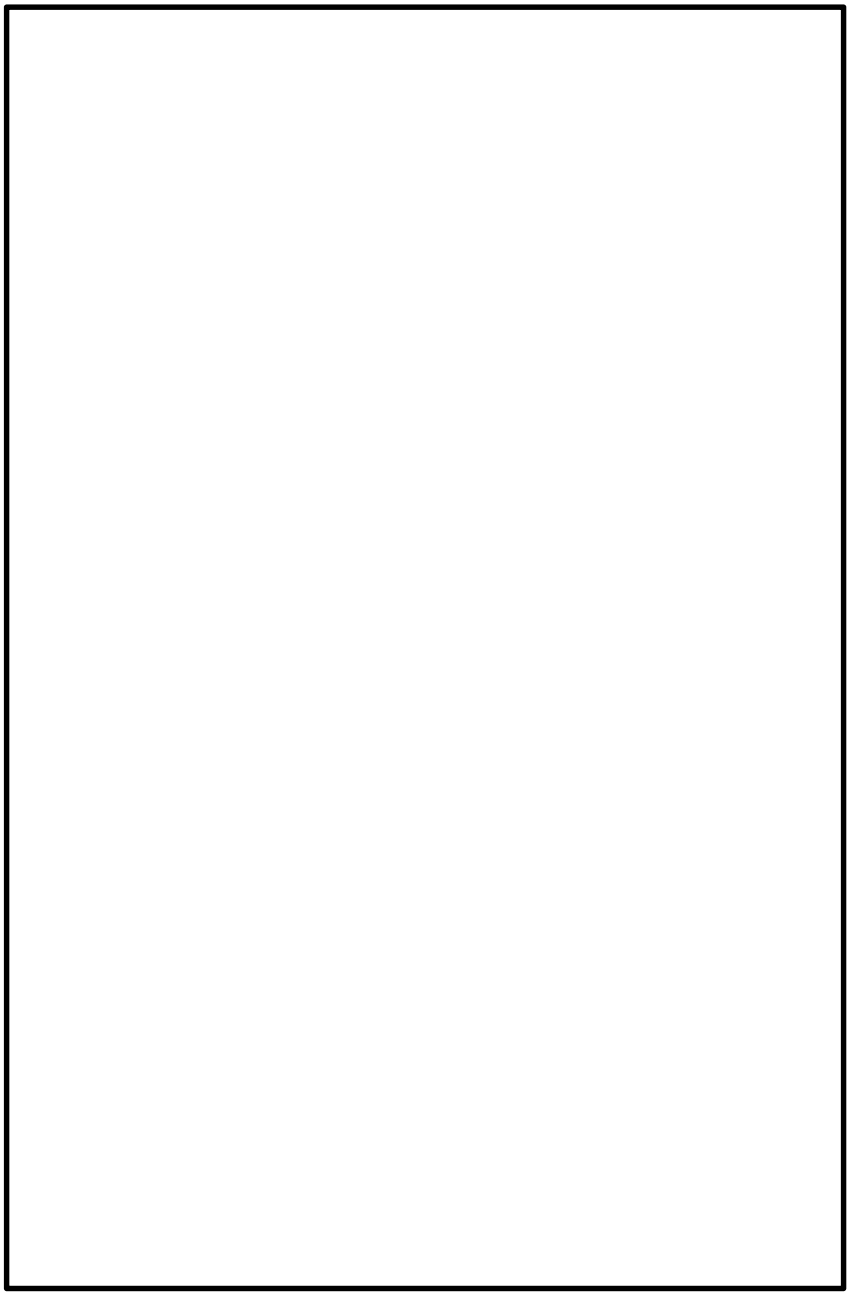


図 2-5 [redacted] の概略平面図（EL. 18.0 m）

2.3　評価方針

中央制御室遮蔽は，設計基準対象施設においては「Ｓクラスの施設」に，重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備」及び「常設重大事故緩和設備」に分類される。

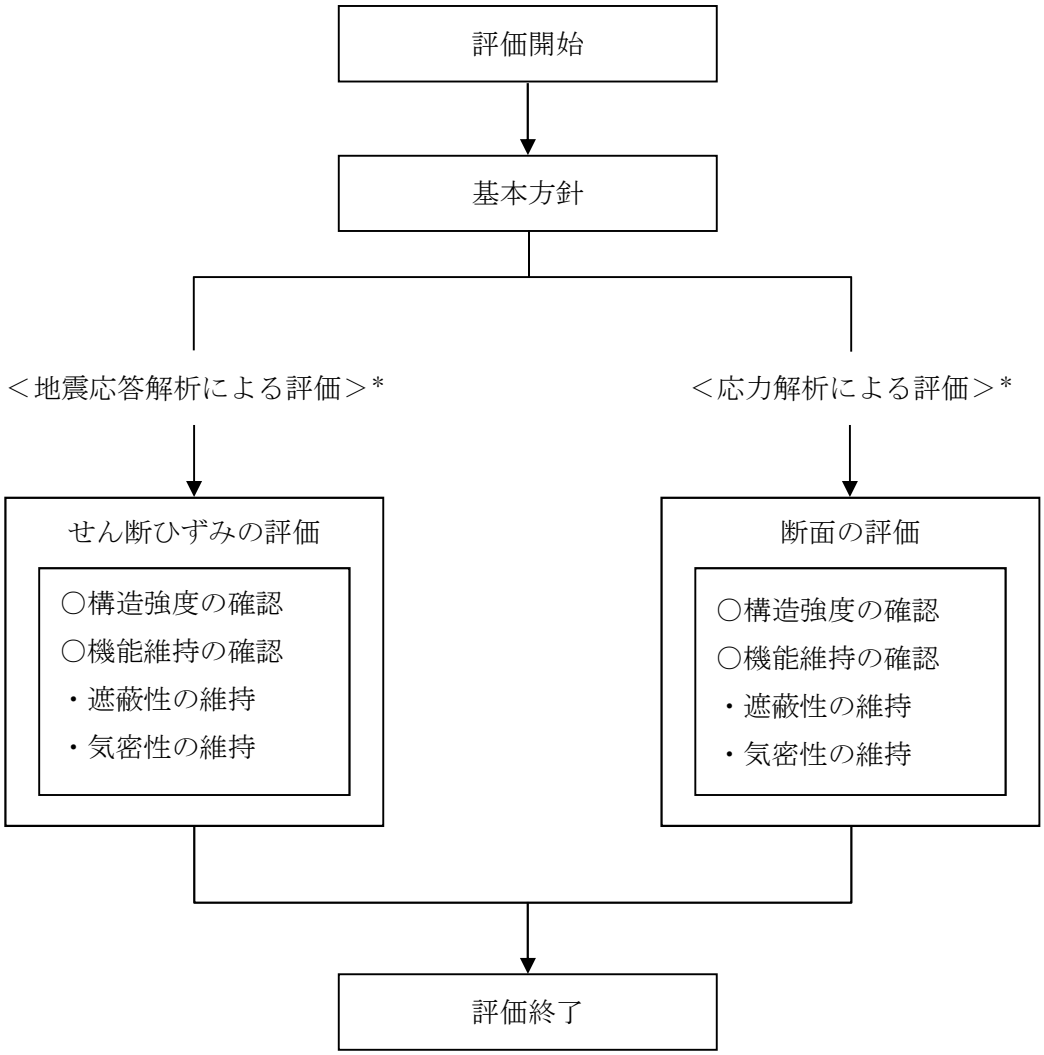
中央制御室遮蔽は，中央制御室を取り囲む壁，床スラブ及び天井スラブで構成されており，設計基準対象施設としての評価においては，弾性設計用地震動Ｓ$_d$による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対する評価（以下「Ｓ$_d$地震時に対する評価」という。）及び基準地震動Ｓ$_s$による地震力に対する評価（以下「Ｓ$_s$地震時に対する評価」という。）を行う。

中央制御室遮蔽の評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，地震応答解析による評価においてはせん断ひずみの評価を，応力解析による評価においては断面の評価を行うことで，地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。機能維持の確認において，建物・構築物の構造強度の許容限界であるせん断ひずみを用いて算定した空気漏えい量が，設置する換気設備の性能を下回ることで必要な気密性を維持する設計とする（別紙「中央制御室の気密性に関する計算書」参照)。それぞれの評価は，添付書類「Ⅴ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。評価に当たっては地盤物性のばらつきを考慮する。ただし，耐震壁については，常時荷重が設計時と同一であること，また，応答に対して支配的となる水平方向の弾性設計用地震動Ｓ$_d$による地震力及び静的地震力がいずれも『既工事計画認可申請書第１回　資料Ⅲ-1-4「原子炉建屋の地震応答計算書」（47 公第 12076 号　昭和 48 年 4 月 9 日認可)』の設計用地震力よりも小さいことから，新たなＳ$_d$地震時に対する評価は行わない。

なお，中央制御室遮蔽の地震時の構造強度及び機能維持の確認には，地震応答解析による評価において保有水平耐力の評価及び支持機能の確認が必要であるが，中央制御室遮蔽が原子炉建屋の一部であることを踏まえ，中央制御室遮蔽を含む原子炉建屋全体としての評価結果を添付書類「Ⅴ-2-2-2　原子炉建屋の耐震性についての計算書」に示す。

また，重大事故等対処施設としての評価においては，Ｓ$_s$地震時に対する評価を行う。ここで，中央制御室遮蔽では，運転時，設計基準事故時及び重大事故等時の状態において，圧力，温度等の条件について有意な差異がないことから，重大事故等対処施設としての評価は，設計基準対象施設としての評価と同一となる。

中央制御室遮蔽の評価フローを図 2-6 に示す。



注記　＊：添付書類「V-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-6　中央制御室遮蔽の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

中央制御室遮蔽の評価において，適用する規格・基準等を以下に示す。

- 原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１－1987（(社) 日本電気協会）
- 原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（(社) 日本電気協会）
- 原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（(社) 日本電気協会）
- 建築基準法・同施行令
- 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説―許容応力度設計法―（(社) 日本建築学会，1999）
- 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（(社) 日本建築学会，2005）（以下「ＲＣ－Ｎ規準」という。）
- 2015 年版　建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）（以下「技術基準解説書」という。）

3. 地震応答解析による評価方法

中央制御室遮蔽の構造強度については，添付書類「Ⅴ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」による結果に基づき，地盤物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

また，遮蔽性及び気密性の維持については，添付書類「Ⅴ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」による結果に基づき，地盤物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

地震応答解析による評価における中央制御室遮蔽の許容限界は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，表 3-1 及び表 3-2 のとおり設定する。

表 3-1　地震応答解析による評価における許容限界
（設計基準対象施設としての評価）

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部　位	機能維持のための考え方	許容限界
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} *2

注記　＊1：建屋全体としては，地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており，柱，梁，間仕切壁等が耐震壁の変形に追従することと，全体に剛性の高い構造となっており，複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの面内変形が抑えられるため，各層の耐震壁が最大せん断ひずみの許容限界を満足していれば，建物・構築物に要求される機能は維持される。

＊2：事故時に換気性能とあいまって居住性を維持できる気密性を有する設計とし，地震時においてもその機能を維持できる設計とする。

表 3-2　地震応答解析による評価における許容限界
（重大事故等対処施設としての評価）

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部　位	機能維持のための考え方	許容限界
―	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} *2

注記　＊1：建屋全体としては，地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており，柱，梁，間仕切壁等が耐震壁の変形に追従することと，全体に剛性の高い構造となっており，複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの面内変形が抑えられるため，各層の耐震壁が最大せん断ひずみの許容限界を満足していれば，建物・構築物に要求される機能は維持される。

＊2：事故時に換気性能とあいまって居住性を維持できる気密性を有する設計とし，地震時においてもその機能を維持できる設計とする。

4.　応力解析による評価方法

4.1　評価対象部位及び評価方針

中央制御室遮蔽の応力解析による評価対象部位は，中央制御室遮蔽を構成する天井スラブ及び床スラブとし，弾性応力解析により評価を行う。弾性応力解析にあたっては，添付書類「Ⅴ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」による結果を用いて，荷重の組合せを行う。

(1)　S_d地震時に対する評価

S_d地震時に対する評価は，地盤物性のばらつきを考慮した鉛直方向の地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果，発生する応力が，「ＲＣ－Ｎ規準」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

(2)　S_s地震時に対する評価

S_s地震時に対する評価は，地盤物性のばらつきを考慮した鉛直方向の地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果，発生する応力が，「ＲＣ－Ｎ規準」及び「技術基準解説書」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

評価については，各断面についてスラブのスパンが最も大きい部材を選定して示す。応力解析による評価フローを図 4-1 に，選定した部材を図 4-2 に示す。ここで，S1a および S1b については，梁方向に開口が連続することから 1 方向版として評価するため，いずれの部位についても同一の評価結果となる。

なお，水平方向の地震荷重に対する評価は，建屋全体が剛性の高い構造となっており，耐震壁間での相対変形が小さく，スラブの面内変形が抑えられることから，「3.　地震応答解析による評価方法」に含まれる。

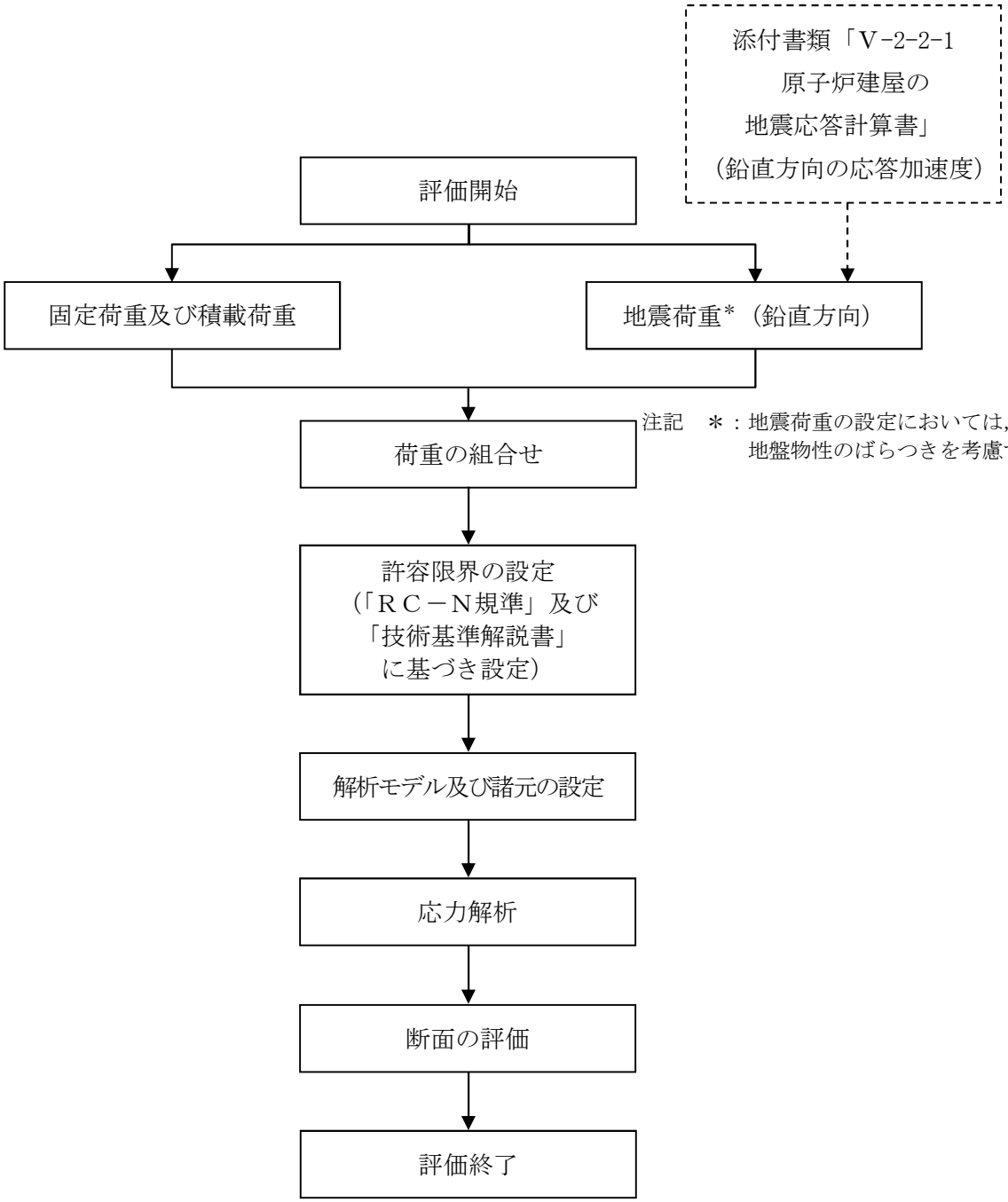


図 4-1　応力解析による評価フロー

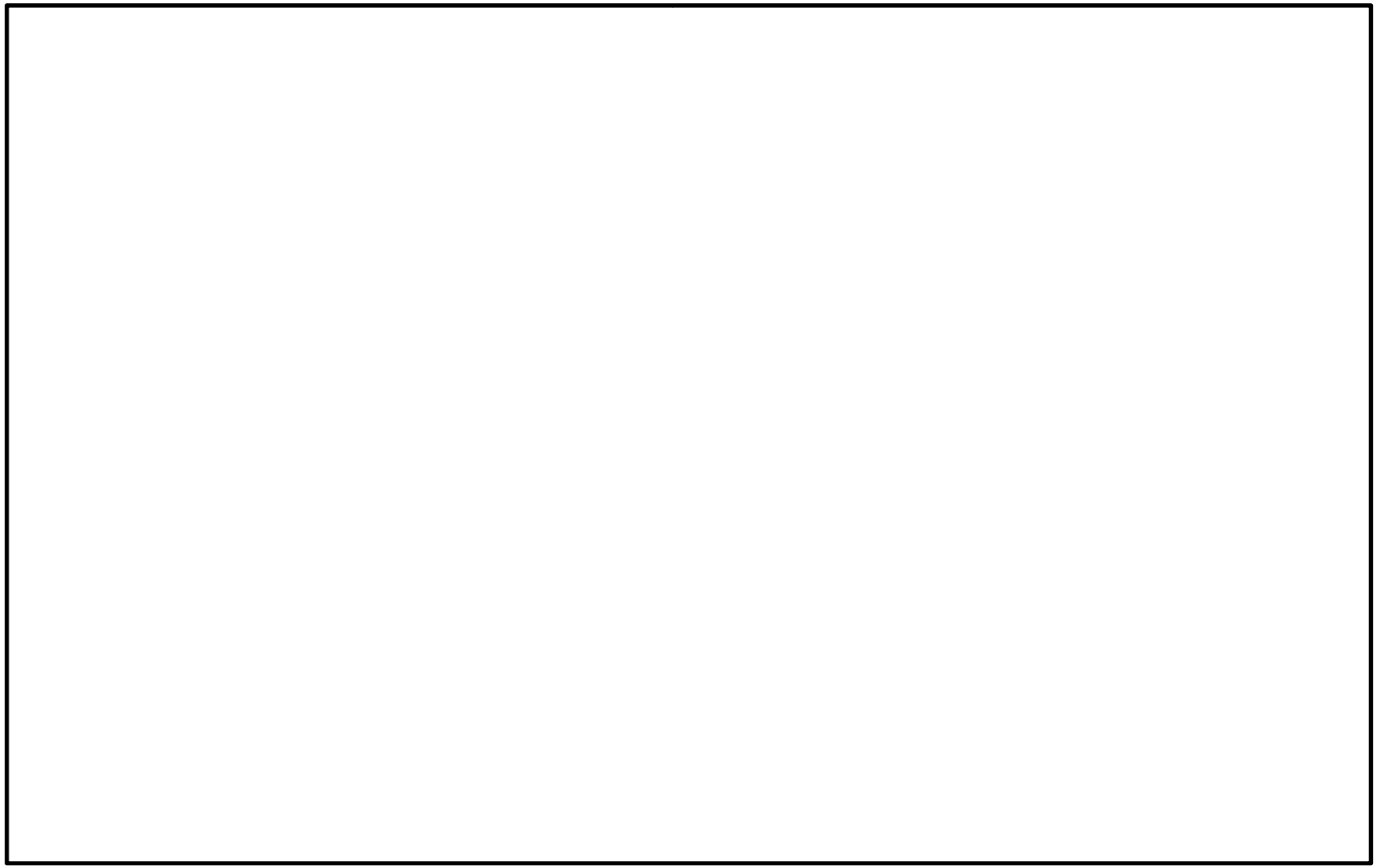


図 4-2　スラブの評価を記載する部材の位置

4.2　荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重組合せを用いる。

4.2.1　荷重

(1)　固定荷重（DL）及び積載荷重（LL）

応力解析において考慮する固定荷重及び積載荷重を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1　固定荷重

部位	固定荷重（kN/m^2）
天井スラブ	12.0
床スラブ	21.6

表 4-2　積載荷重

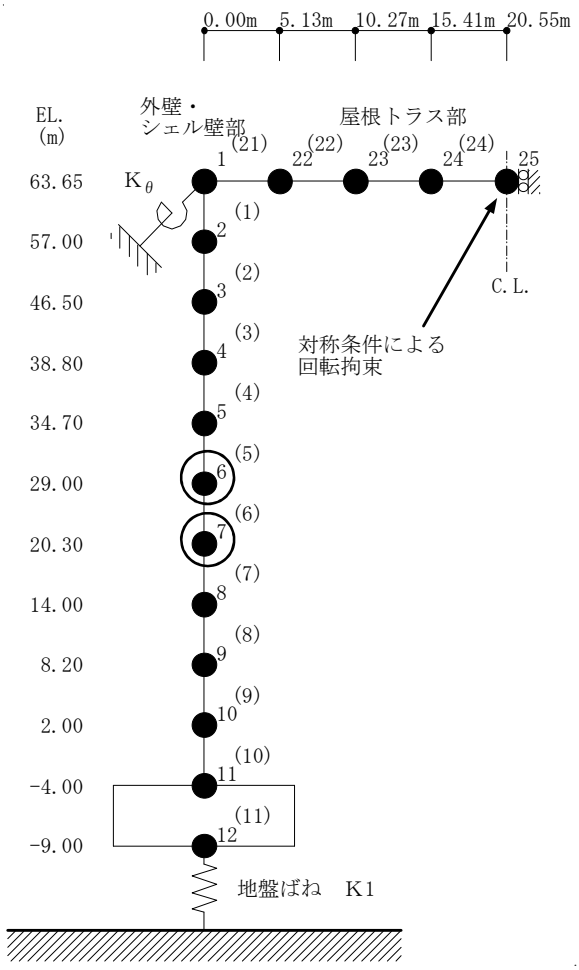
部位	積載荷重（kN/m^2）
天井スラブ	12.3
床スラブ	12.3

(2)　地震荷重（S_d，S_s）

鉛直地震力は，基準地震動S_s及び弾性設計用地震動S_dに対する地震応答解析より算定される動的地震力に地盤物性のばらつきを考慮して設定する。

天井スラブ及び床スラブが，長辺方向約 10.6 m，短辺方向 3.35 m～7.0 m スパンで厚さ 50 cm の鉄筋コンクリート造スラブであることから剛とみなす。

地震荷重は，図 4-3 に示す基準地震動S_s及び弾性設計用地震動S_dに対する質点系モデルの中央制御室天井直上階レベル（EL.29.0 m，質点番号 6）及び中央制御室床直上階レベル（EL.20.3 m，質点番号 7）の鉛直方向最大応答加速度より算定される鉛直震度とする。



注１　：数字は質点番号を示す。
注２　：（　）内は要素番号を示す。
注３　：　○　印の動的応答を用いる。

図 4-3　基準地震動Ｓ$_s$及び弾性設計用地震動Ｓ$_d$に対する質点系モデル（UD 方向）

4.2.2　荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-3 に示す。

表 4-3　荷重の組合せ

荷重状態	荷重の組合せ
S_d 地震時	DL＋LL＋Sd
S_s 地震時	DL＋LL＋Ss

DL　：固定荷重
LL　：積載荷重
Sd　：S_d 地震荷重
Ss　：S_s 地震荷重

4.3　許容限界

応力解析による評価における中央制御室遮蔽の許容限界は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の基本方針に基づき，表 4-4 及び表 4-5 のとおり設定する。

また，コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 4-6 及び表 4-7 に示す。

表 4-4　応力解析による評価における許容限界

（設計基準対象施設としての評価）

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部　位	機能維持のための考え方	許容限界
—	構造強度を有すること	弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力	天井スラブ 床スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「ＲＣ－Ｎ規準」に基づく短期許容応力度
		基準地震動 S_s			「ＲＣ－Ｎ規準」に基づく終局強度*1
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力	天井スラブ 床スラブ	部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「ＲＣ－Ｎ規準」に基づく短期許容応力度
		基準地震動 S_s			「ＲＣ－Ｎ規準」に基づく短期許容応力度*2
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力	天井スラブ 床スラブ	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「ＲＣ－Ｎ規準」に基づく短期許容応力度
		基準地震動 S_s			「ＲＣ－Ｎ規準」に基づく短期許容応力度*3

注記　＊1：「ＲＣ－Ｎ規準」の短期許容応力度の鋼材の基準強度Ｆを「技術基準解説書」に基づき 1.1 倍（面外せん断力に対する評価時の鋼材の基準強度Ｆは 1.0 倍）した耐力とする。

＊2：許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし，さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

＊3：地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし，地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

表 4-5　応力解析による評価における許容限界

（重大事故等対処施設としての評価）

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部　位	機能維持のための考え方	許容限界
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	天井スラブ 床スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「ＲＣ－Ｎ規準」に基づく終局強度*1
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S_s	天井スラブ 床スラブ	部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「ＲＣ－Ｎ規準」に基づく短期許容応力度*2
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S_s	天井スラブ 床スラブ	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「ＲＣ－Ｎ規準」に基づく短期許容応力度*3

注記　＊1：「ＲＣ－Ｎ規準」の短期許容応力度の鋼材の基準強度Ｆを「技術基準解説書」に基づき 1.1 倍（面外せん断力に対する評価時の鋼材の基準強度Ｆは 1.0 倍）した耐力とする。

＊2：許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし，さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

＊3：地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし，地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

表 4-6　コンクリートの許容応力度

Fc (N/mm^2)	圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)
22.1	14.7	1.06

表 4-7　鉄筋の許容応力度

引張及び圧縮 (N/mm^2)	せん断補強 (N/mm^2)
SD345*	SD345*
345	345

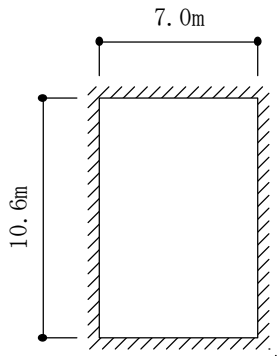
注記　＊：建設当時の鉄筋の種類は SD35 であるが現在の規格（SD345）に読み替えた許容応力度を示す。

4.4 解析モデル及び諸元

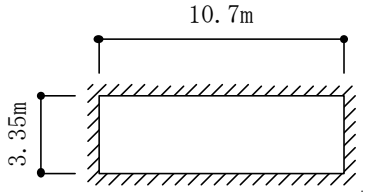
4.4.1 モデル化の基本方針

スラブの鉛直地震動による影響に対する検討において，柱，壁及び梁で囲まれた範囲についてモデル化する。

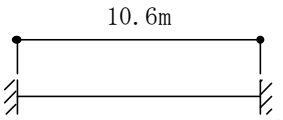
スラブの解析モデルは，天井スラブ及び床スラブ①については，四辺固定版として評価する。床スラブ②及び床スラブ③については，梁方向に連続した開口を有するため，単位幅について壁で支持された両端固定梁として評価する。スラブの解析モデルを図 4-4 に示す。



(a) 天井スラブ



(b) 床スラブ①



(c) 床スラブ②及び床スラブ③

図 4-4 解析モデル

4.4.2　解析諸元

使用材料（鉄筋コンクリート）の物性値を表 4-8 に示す。

表 4-8　鉄筋コンクリートの物性値

コンクリートの 設計基準強度 Fc（N/mm^2）	ヤング係数 E（N/mm^2）	ポアソン比 ν
22.1	2.21×10^4	0.2

4.5　評価方法

4.5.1　応力解析方法

(1)　荷重ケース

作用荷重のうち地震荷重は，固定荷重及び積載荷重と同じ下向きに作用する場合に生じる応力が最大となるため，地震荷重は鉛直下向きの場合のみ考慮する。

(2)　長期荷重の算出方法

長期荷重時の端部モーメント，中央モーメント及びせん断力の算出方法は下式の通り算出する。長期荷重時の端部モーメント，中央モーメント及びせん断力を表 4-9 に示す。

（四辺固定版）

・長期荷重時の短辺の端部モーメント（M_{X1}）

$$M_{X1}=-\frac{1}{12}w_X\cdot l_X{}^2$$

・長期荷重時の短辺の中央モーメント（M_{X2}）

$$M_{X2}=\frac{1}{18}w_X\cdot l_X{}^2$$

・長期荷重時の短辺のせん断力（Q_X）

$$Q_X=0.52w\cdot l_X$$

・長期荷重時の長辺の端部モーメント（M_{Y1}）

$$M_{Y1}=-\frac{1}{24}w\cdot l_X{}^2$$

・長期荷重時の長辺の中央モーメント（M_{Y2}）

$$M_{Y2}=\frac{1}{36}w\cdot l_X{}^2$$

・長期荷重時の長辺のせん断力（Q_Y）

$$Q_Y=0.46w\cdot l_X$$

ここで,

l_X　：短辺有効スパン（m）

l_Y　：長辺有効スパン（m）

w　：単位面積あたりの長期荷重（kN/m^2）

$$w_X = \frac{l_Y^{\,4}}{l_X^{\,4} + l_Y^{\,4}} w$$

（両端固定梁）

・長期荷重時の端部モーメント（M_E）

$$M_E = -\frac{1}{12} w \cdot l^2$$

・長期荷重時の中央モーメント（M_C）

$$M_C = \frac{1}{24} w \cdot l^2$$

・長期荷重時の端部せん断力（Q_E）

$$Q_E = 0.5 w \cdot l$$

ここで,

l　：有効スパン（m）

w　：単位面積あたりの長期荷重（kN/m^2）

表 4-9　長期荷重時の端部モーメント，中央モーメント及びせん断力

部　位	スラブ厚 (mm)	方　向	端部モーメント (kN･m/m)	中央モーメント (kN･m/m)	せん断力 (kN/m)
天井スラブ	500	短辺（EW）	83.4	55.6	88.5
		長辺（NS）	49.6	33.1	78.2
床スラブ①	500	短辺（NS）	31.4	20.9	59.1
		長辺（EW）	15.9	10.6	52.2
床スラブ②	500	長辺（NS）	317.4	158.7	179.7
床スラブ③	500	長辺（EW）	317.4	158.7	179.7

(3) 応力の算出方法

「(2) 長期荷重の算出方法」における長期荷重時の端部モーメント，中央モーメント及びせん断力を，中央制御室天井直上階レベル（EL.29.0 m，質点番号 6）及び中央制御室床直上階レベル（EL.20.3 m，質点番号 7）の鉛直方向最大応答加速度より算出した鉛直震度により係数倍することで算出する。鉛直方向最大応答加速度を表 4-10 に，算出した端部モーメント，中央モーメント及びせん断力を表 4-11 に示す。

表 4-10 地震応答解析による最大応答加速度

(a) 弾性設計用地震動S_d

部 位	質点番号	基 本*1 (cm/s^2)	地盤 ＋σ相当*2 (cm/s^2)	地盤 －σ相当*2 (cm/s^2)	最大値 (cm/s^2)
天 井	6	334	359	305	359
床	7	291	315	278	315

注記 ＊1：S_d－Ｄ１，S_d－１１，S_d－１２，S_d－１３，S_d－１４，S_d－２１，S_d－２２及びS_d－３１の最大値
＊2：S_d－Ｄ１，S_d－２１，S_d－２２及びS_d－３１の最大値

(b) 基準地震動S_s

部 位	質点番号	基 本*1 (cm/s^2)	地盤 ＋σ相当*2 (cm/s^2)	地盤 －σ相当*2 (cm/s^2)	最大値 (cm/s^2)
天 井	6	633	690	556	690
床	7	547	603	510	603

注記 ＊1：S_s－Ｄ１，S_s－１１，S_s－１２，S_s－１３，S_s－１４，S_s－２１，S_s－２２及びS_s－３１の最大値
＊2：S_s－Ｄ１，S_s－２１，S_s－２２及びS_s－３１の最大値

表 4-11　鉛直震度より算出した端部モーメント，中央モーメント及びせん断力

(a) 弾性設計用地震動Ｓ$_d$

部　位	検討用 鉛直震度	方　向	端部モーメント (kN･m/m)	中央モーメント (kN･m/m)	せん断力 (kN/m)
天井スラブ	1.37	短辺 (EW)	114.3	76.2	121.2
		長辺 (NS)	68.0	45.3	107.1
床スラブ①	1.33	短辺 (NS)	41.8	27.8	78.6
		長辺 (EW)	21.1	14.1	69.4
床スラブ②	1.33	長辺 (NS)	422.1	211.1	239.0
床スラブ③	1.33	長辺 (EW)	422.1	211.1	239.0

(b) 基準地震動Ｓ$_s$

部　位	検討用 鉛直震度	方　向	端部モーメント (kN･m/m)	中央モーメント (kN･m/m)	せん断力 (kN/m)
天井スラブ	1.71	短辺 (EW)	142.6	95.1	151.3
		長辺 (NS)	84.8	56.6	133.7
床スラブ①	1.62	短辺 (NS)	50.9	33.9	95.7
		長辺 (EW)	25.8	17.2	84.6
床スラブ②	1.62	長辺 (NS)	514.2	257.1	291.1
床スラブ③	1.62	長辺 (EW)	514.2	257.1	291.1

4.5.2　断面の評価方法

(1)　曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は，「ＲＣ－Ｎ規準」に基づき，評価対象部位に生じる曲げモーメントが，短期許容曲げモーメントを超えないことを確認する。

$M_A = a_t \cdot f_t \cdot j$

ここで，

M_A　：短期許容曲げモーメント（N･mm）

a_t　：引張鉄筋断面積（mm^2）

f_t　：引張鉄筋の短期許容引張応力度（N/mm^2）

j　：断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値（mm）

(2)　面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は，「ＲＣ－Ｎ規準」に基づき，評価対象部位に生じる面外せん断力が，次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$

ここで，

Q_A　：許容面外せん断力（N）

b　：断面の幅（mm）

j　：断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値（mm）

α　：許容せん断力の割り増し係数

（2 を超える場合は 2，1 未満の場合は 1 とする。）

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

M ：曲げモーメント（N･mm）

Q ：せん断力（N）

d ：断面の有効せい（mm）

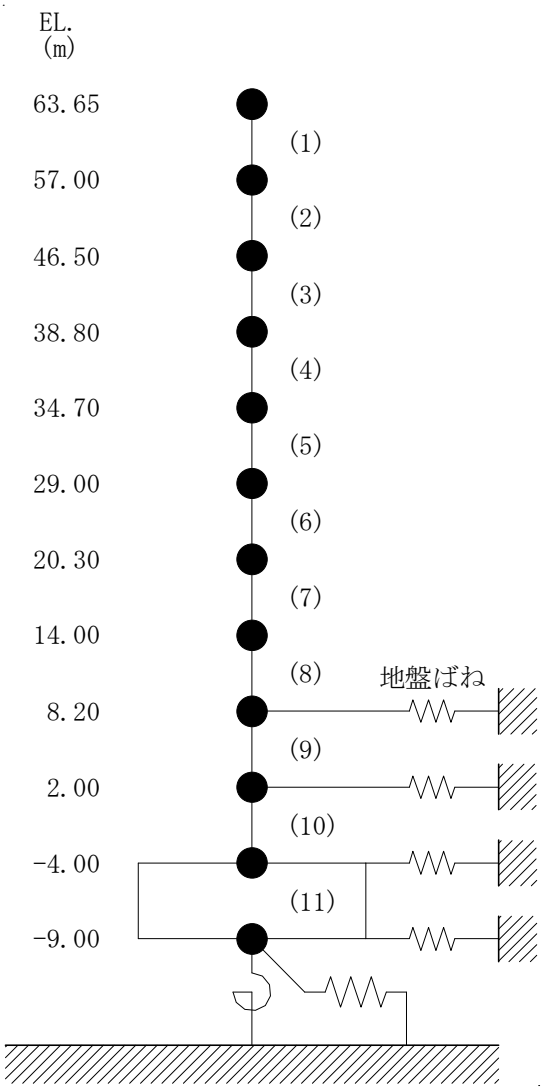
f_s　：コンクリートの短期許容せん断応力度で，表 4-6 に示す値（N/mm^2）

5. 評価結果

5.1 地震応答解析による評価結果

鉄筋コンクリート造耐震壁について，Ｓ$_s$地震時の各層の最大せん断ひずみが許容限界（2.0×10^{-3}）を超えないことを確認する。

地盤物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみは0.56×10^{-3}（要素番号（7），地盤＋σ相当，EW方向，Ｓ$_s$－３１）であり，許容限界（2.0×10^{-3}）を超えないことを確認した。質点系モデルを図5-1に，地盤物性のばらつきを考慮した要素番号（7），EW方向のせん断スケルトンカーブと最大応答値を図5-2に示す。



注　：（　）内は要素番号を示す。

図5-1　質点系モデル（水平方向）

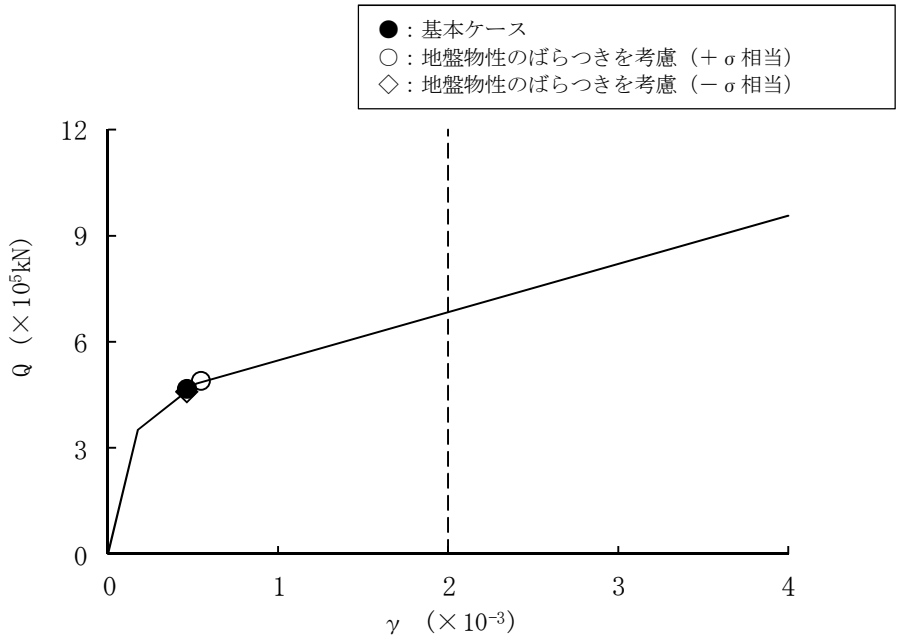


図 5-2　せん断スケルトンカーブと最大応答値（要素番号（7），EW 方向，Ｓ$_s$－３１）

5.2 応力解析による評価結果

スラブの配筋一覧を表 5-1 に示す。また，「4.5.2　断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を表 5-2～表 5-5 に示す。

S_d地震時及びS_s地震時において，発生値が許容値を超えないことを確認した。

表 5-1　スラブの配筋一覧

(a) 天井 (EL.23.0 m)

部材	方向	上端筋	断面積 (mm^2/m)	下端筋	断面積 (mm^2/m)
S2	NS	D19@200	1433	D19@200	1433
	EW	D19@200	1433	D19@200	1433

(b) 床 (EL.18.0 m)

部材	方向	上端筋	断面積 (mm^2/m)	下端筋	断面積 (mm^2/m)
S1	NS	D19@200	1433	D19@200	1433
	EW	D19@200	1433	D19@200	1433
S1a	NS	D32@140	5673	D32@140	5673
	EW	D19@200	1433	D19@200	1433
S1b	NS	D19@200	1433	D19@200	1433
	EW	D32@140	5673	D32@140	5673

表 5-2　評価結果（天井スラブ，弾性設計用地震動Ｓ$_d$）

方　向		EW 方向	NS 方向
厚さｔ（mm）×幅ｂ（mm）		500×1000	
有効せい　ｄ（mm）		400	
配　筋	上　端	D19@200 (1433 mm^2)	D19@200 (1433 mm^2)
	下　端	D19@200 (1433 mm^2)	D19@200 (1433 mm^2)
発生曲げモーメント　M（kN･m）		114.3	68.0
許容値　M_A（kN･m）		173	173
検定値　M/M_A		0.67	0.40
発生せん断力　Q（kN）		121.2	107.1
せん断スパン比による割増係数　α		1.19	1.55
許容値　Q_A（kN）		441	575
検定値　Q/Q_A		0.28	0.19
判　定		可	可

表 5-3（1／3）　評価結果（床スラブ①，弾性設計用地震動S_d）

方　向		EW 方向	NS 方向
厚さ t（mm）×幅 b（mm）		500×1000	
有効せい　d（mm）		400	
配　筋	上　端	D19@200 (1433 mm^2)	D19@200 (1433 mm^2)
	下　端	D19@200 (1433 mm^2)	D19@200 (1433 mm^2)
発生曲げモーメント　M（kN･m）		41.8	21.1
許容値　M_A（kN･m）		173	173
検定値　M/M_A		0.25	0.13
発生せん断力　Q（kN）		78.6	69.4
せん断スパン比による割増係数　α		1.72	2.00
許容値　Q_A（kN）		638	742
検定値　Q/Q_A		0.13	0.10
判　定		可	可

表 5-3（2／3）　評価結果（床スラブ②，弾性設計用地震動Ｓ$_d$）

方　向		NS 方向
厚さｔ（mm）×幅ｂ（mm）		500×1000
有効せい　ｄ（mm）		400
配　筋	上　端	D32@140 (5673 mm^2)
	下　端	D32@140 (5673 mm^2)
発生曲げモーメント　M（kN･m）		422.1
許容値　M_A（kN･m）		685
検定値　M/M_A		0.62
発生せん断力　Q（kN）		239.0
せん断スパン比による割増係数　α		1.00
許容値　Q_A（kN）		371
検定値　Q/Q_A		0.65
判　定		可

表 5-3（3／3）　評価結果（床スラブ③，弾性設計用地震動S_d）

方　向		EW 方向
厚さ t（mm）×幅 b（mm）		500×1000
有効せい　d（mm）		400
配　筋	上　端	D32@140 (5673 mm^2)
	下　端	D32@140 (5673 mm^2)
発生曲げモーメント　M（kN･m）		422.1
許容値　M_A（kN･m）		685
検定値　M/M_A		0.62
発生せん断力　Q（kN）		239.0
せん断スパン比による割増係数　α		1.00
許容値　Q_A（kN）		371
検定値　Q/Q_A		0.65
判　定		可

表 5-4　評価結果（天井スラブ，基準地震動Ｓ$_s$）

方　向		EW 方向	NS 方向
厚さｔ（mm）×幅ｂ（mm）		500×1000	
有効せい　ｄ（mm）		400	
配　筋	上　端	D19@200 (1433 mm^2)	D19@200 (1433 mm^2)
	下　端	D19@200 (1433 mm^2)	D19@200 (1433 mm^2)
発生曲げモーメント　M（kN･m）		142.6	84.8
許容値　M_A（kN･m）		173	173
検定値　M/M_A		0.83	0.50
発生せん断力　Q（kN）		151.3	133.7
せん断スパン比による割増係数　α		1.19	1.55
許容値　Q_A（kN）		441	575
検定値　Q/Q_A		0.35	0.24
判　定		可	可

表 5-5（1／3）　評価結果（床スラブ①，基準地震動Ｓ$_s$）

方　向		EW 方向	NS 方向
厚さｔ（mm）×幅ｂ（mm）		500×1000	
有効せい　ｄ（mm）		400	
配　筋	上　端	D19@200 (1433 mm^2)	D19@200 (1433 mm^2)
	下　端	D19@200 (1433 mm^2)	D19@200 (1433 mm^2)
発生曲げモーメント　M（kN･m）		50.9	25.8
許容値　M_A（kN･m）		173	173
検定値　M/M_A		0.30	0.15
発生せん断力　Q（kN）		95.7	84.6
せん断スパン比による割増係数　α		1.72	2.00
許容値　Q_A（kN）		638	742
検定値　Q/Q_A		0.15	0.12
判　定		可	可

表 5-5（2／3）　評価結果（床スラブ②，基準地震動Ｓ$_s$）

方　向		NS 方向
厚さｔ（mm）×幅ｂ（mm）		500×1000
有効せい　ｄ（mm）		400
配　筋	上　端	D32@140 (5673 mm^2)
	下　端	D32@140 (5673 mm^2)
発生曲げモーメント　M（kN･m）		514.2
許容値　M_A（kN･m）		685
検定値　M/M_A		0.76
発生せん断力　Q（kN）		291.1
せん断スパン比による割増係数　α		1.00
許容値　Q_A（kN）		371
検定値　Q/Q_A		0.79
判　定		可

表 5-5（3／3）　評価結果（床スラブ③，基準地震動Ｓ$_s$）

方　向		EW 方向
厚さ t（mm）×幅 b（mm）		500×1000
有効せい　d（mm）		400
配　筋	上　端	D32@140 (5673 mm^2)
	下　端	D32@140 (5673 mm^2)
発生曲げモーメント　M（kN･m）		514.2
許容値　M_A（kN･m）		685
検定値　M/M_A		0.76
発生せん断力　Q（kN）		291.1
せん断スパン比による割増係数　α		1.00
許容値　Q_A（kN）		371
検定値　Q/Q_A		0.79
判　定		可

別紙１　中央制御室の気密性に関する計算書

目次

1. 概要 ····· 別紙 1-1
2. 既往の知見等の整理 ····· 別紙 1-1
3. 中央制御室バウンダリにおける空気漏えい量に対する影響検討 ····· 別紙 1-3
3.1 検討方針 ····· 別紙 1-3
3.2 空気漏えい量の算定結果 ····· 別紙 1-5
3.3 総漏えい量と空気流入率の比較 ····· 別紙 1-6
3.4 検討結果 ····· 別紙 1-6
4. まとめ ····· 別紙 1-6

1. 概要

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（昭和53年9月制定）におけるAクラスの施設の気密性について，原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１－1987（（社）日本電気協会）（以下「ＪＥＡＧ４６０１－1987」という。）では，S_1地震動に対し弾性範囲であることを確認することで，機能が維持されるとしている。

添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」の機能維持の設計方針では，耐震壁のせん断ひずみが概ね弾性状態にとどまることを基本としたうえで，概ね弾性状態を超える場合は，地震応答解析による耐震壁のせん断ひずみから算定した空気漏えい量が，設置する換気設備の性能を下回ることで必要な気密性を維持する設計としている。その場合，気密性を要求される施設に対し，基準地震動S_sによる鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界を最大せん断ひずみ2.0×10^{-3}としている。

中央制御室遮蔽の地震応答解析による評価において，鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界として設定した最大せん断ひずみ2.0×10^{-3}の適用性について確認するために，耐震壁のせん断ひび割れと空気漏えい量の関係に係る既往の知見を整理するとともに，中央制御室空調装置の処理対象となるバウンダリ（以下「中央制御室バウンダリ」という。）における空気漏えい量に対する影響を評価する。

2. 既往の知見等の整理

（財）原子力発電技術機構は，「原子力発電施設耐震信頼性実証試験に関する報告書*[1]」において，ＪＥＡＧ４６０１－1987による許容限界の目安値（S_2地震時に対してせん断変形角2/1000 rad，静的地震力に対して$\tau = \tau_u/1.5$）において想定されるひび割れを残留ひび割れと仮定した場合の外気侵入量を算出し，気圧差維持のためのファン容量と比較することで，空気漏えい量に対する評価を実施している。その結果「残留ひび割れからの外気侵入量は，ファン容量に比較すると無視できるほど小さいことが明らかになった」としている。

また，（財）原子力発電技術機構は，「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書*[2]」において，耐震壁の残留ひび割れからの通気量の評価式が，十分に実機への適用性があることを確認している。更に，開口部の存在による通気量割増率の評価式も示されており，「開口部の残留ひび割れ幅の割増率がおおよそ推定できる」としている。

したがって，中央制御室バウンダリを構成する壁が鉄筋コンクリート造であり，壁厚も「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に示される壁厚と同程度であることから，同文献にて提案されている各評価式を用い，中央制御室バウンダリにおける空気漏えい量の算出を行う。以下に評価式を示す。

$Q = C\gamma^{2.57}\Delta P/T$ …(式 5.3.1-4)

ここで,

Q ：単位面積あたりの流量（L/min/m^2）

C ：定数

（中央値は 2.24×10^6, 95％非超過値は 1.18×10^7, 5％非超過値は 4.21×10^5）

γ ：最大せん断ひずみ

ΔP ：差圧（mmAq）

T ：壁厚（cm）

$$\Delta_Q = \left\{(\alpha^2-1)\left(\frac{Q'}{Q_0}-1\right)-1\right\}\beta+1 \quad \text{…(式 6.2.4-31)}$$

ここで,

Δ_Q ：通気量割増率

α ：通気量割増範囲（＝3）

$\frac{Q'}{Q_0}$ ：定数

（中央値とみなされる評価法では 1.81, 安全側とみなされる評価法では 7.41）

β ：壁の見付け面積に対する開口の総面積

注記 ＊1：財団法人 原子力発電技術機構「原子力発電施設耐震信頼性実証試験 原子炉建屋総合評価 建屋基礎地盤系評価 に関する報告書（その２）平成８年度」

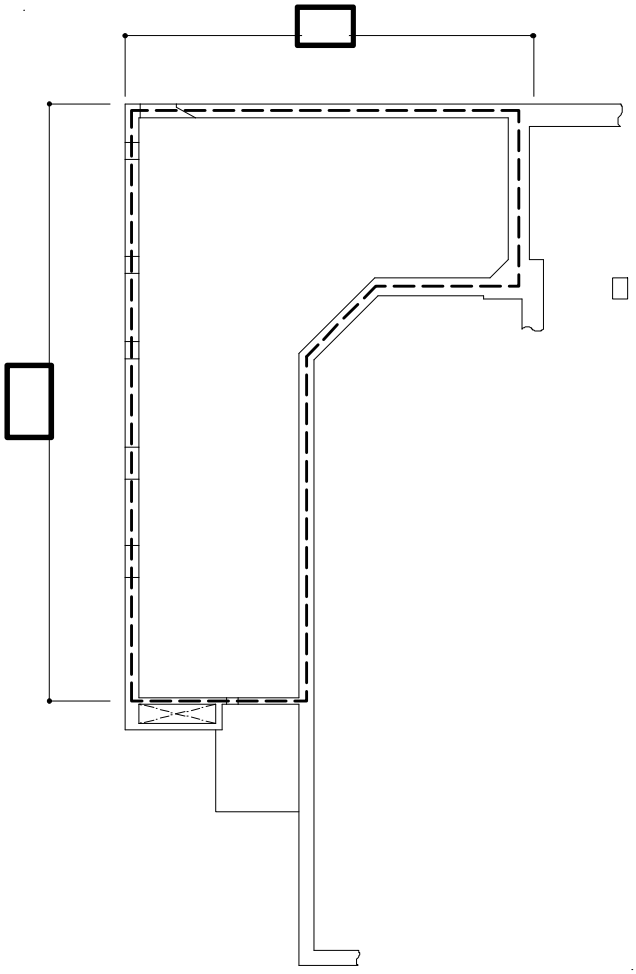
＊2：財団法人 原子力発電技術機構「耐震安全解析コード改良試験 原子炉建屋の弾塑性試験 試験結果の評価に関する報告書 平成５年度」

3. 中央制御室バウンダリにおける空気漏えい量に対する影響検討

3.1 検討方針

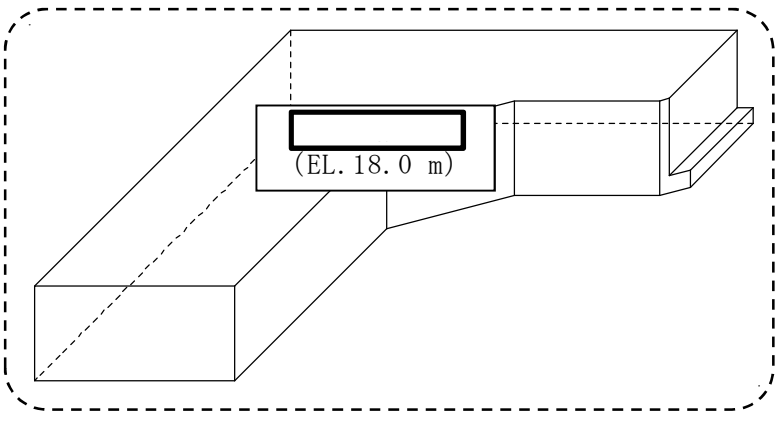
「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に基づき，式 5.3.1-4 及び式 6.2.4-31 により中央制御室バウンダリを構成する壁の最大せん断ひずみが許容限界（2.0×10^{-3}）に達したときの空気漏えい量を算定し，空気流入率を超えないことを確認する。

中央制御室バウンダリの概略図を図 3-1 に示す。中央制御室バウンダリ（EL.18.0 m～EL.23.0 m）を構成する壁の壁厚は約 40 cm から約 140 cm である。



：評価対象範囲

(a)　　の概略平面図（EL. 18.0 m）



：評価対象範囲

(b)　　の概要

図 3-1　　の概略図

3.2　空気漏えい量の算定結果

中央制御室バウンダリの空気漏えい量を算定した。本検討は，地震応答解析のせん断ひずみの許容限界として最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を用いることの適用性を確認することが目的であることから,評価式における定数について,安全側の値を用いた。算定結果を表 3-1 に示す。

表 3-1　算定結果（[redacted]）

高さ	定数		最大せん断ひずみ γ	差圧[*1] ΔP (mmAq)	壁厚 T (cm)	壁の面積[*2] A (m^2)	漏えい量 Q (L/min/m^2)	壁の見付け面積に対する開口の総面積 β	通気量割増率 Δ_Q	総漏えい量 $Q\times A\times\Delta_Q$ (L/min)
	C	$\frac{Q'}{Q_0}$								
[redacted] (EL.23.0 m ～ EL.18.0 m)	1.18×10^{7}	7.41	2.0×10^{-3}	7.5	40	57.2	0.26	0.088	5.43	81
					90	444.8	0.12	0.060	4.02	215
					100	100.8	0.11	0.000	1.00	12
					120	27.7	0.09	0.000	1.00	3
					140	57.2	0.08	0.000	1.00	5
									合計	316

注記　＊1：試運転時の試験結果を基に，保守的な値とする。

＊2：[redacted]を構成する壁の総面積を用いる。

3.3　総漏えい量と空気流入率の比較

中央制御室バウンダリの総漏えい量と空気流入率を表 3-2 に示す。中央制御室バウンダリについて総漏えい量から算出した空気流入率は，被ばく評価に用いる空気流入率の 1%程度であることを確認した。

表 3-2　総漏えい量と空気流入率の比較

総漏えい量から算出した空気流入率 （回/h）	被ばく評価用に用いる空気流入率 （回/h）
0.01*1	1.0*2

注記　＊1：総漏えい量を中央制御室の被ばく評価適用値を切り下げた中央制御室バウンダリ内体積である 2800 m^{3}*2 を用いて，空気流入率に換算

＊2：添付書類「Ⅴ-1-7-3　中央制御室の居住性に関する説明書」より抜粋

3.4　検討結果

中央制御室バウンダリについて総漏えい量から算出した換気回数は，被ばく評価に用いる換気回数より小さいことを確認した。

よって，中央制御室バウンダリは，耐震壁の許容限界を最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} とした場合において，換気設備とあいまって機能を維持できる気密性を有している。

4.　まとめ

中央制御室バウンダリは，耐震壁の許容限界として最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を適用した場合において，換気性能とあいまって機能を維持できる気密性を有していることを確認した。

以上より，中央制御室遮蔽の地震応答解析による評価において，換気設備とあいまって気密性を維持するために設定する許容限界として，最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を用いることの適用性を確認した。

別紙２　原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した検討

（中央制御室遮蔽）

目次

1. 概要 ..... 別紙 2-1
2. 検討方針 ..... 別紙 2-1
3. 検討結果 ..... 別紙 2-3
4. まとめ ..... 別紙 2-4

1. 概要

原子炉建屋の設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答増幅の影響についての検討を行う。

添付書類「Ⅴ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書　別紙　原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」に示した地震応答解析結果の応答比率を用いて，中央制御室遮蔽の地震応答解析及び応力解析による評価結果への影響を検討する。

2. 検討方針

中央制御室遮蔽を対象として，設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率と地震応答解析によるせん断ひずみの評価結果及び応力評価結果より影響検討を行う。

せん断ひずみの評価は，中央制御室の耐震壁レベルにあたるEL.18.0ｍ～EL.23.0ｍに位置する要素番号(6)及び要素番号(7)の応答比率を乗じた最大応答せん断ひずみが許容値を超えないことを確認する。

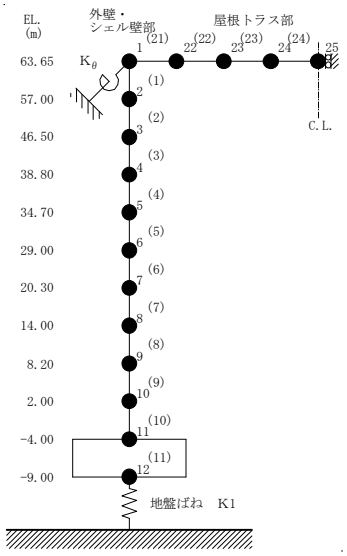
また，中央制御室遮蔽は，中央制御室遮蔽を構成する天井スラブ及び床スラブの鉛直震度として，中央制御室天井直上階レベル(EL.29.0ｍ，質点番号6)及び中央制御室床直上階レベル(EL.20.3ｍ，質点番号7）の鉛直方向最大応答加速度より算出した値を考慮することから，天井スラブは質点番号6，床スラブは質点番号7の最大応答加速度の応答比率を割増係数として設定し，応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

表1-1に応力評価に用いる質点番号6及び質点番号7の鉛直方向最大応答加速度の応答比率及び割増係数を示す。

表 1-1　重量増加を考慮した応力評価の応答比率及び割増係数：中央制御室遮蔽

	割増係数	備考
天井スラブ	1.00*	質点番号 6
床スラブ	1.00*	質点番号 7

注記　＊：添付書類「Ⅴ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書　別紙　原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」に示す質点番号 6 及び質点番号 7 の鉛直方向最大応答加速度の応答比率



UD 方向

3. 検討結果

地震応答解析による評価では，設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した割増係数を乗じた最大せん断ひずみは，添付書類「Ⅴ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書　別紙　原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」の 4.3 項に示す 0.62×10^{-3}（要素番号（7），EW 方向）であり，許容限界（2.0×10^{-3}）を超えないことを確認した。

応力評価結果については中央制御室遮蔽に乗じる割増係数が 1.00 であり，重量増加を考慮した場合においても，評価に有意な影響がないことを確認した。

4. まとめ

原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析に基づき影響検討を行い，重量増加を考慮した場合においても安全上問題とならないことを確認した。

Ⅴ-2-8-4-3　中央制御室待避室遮蔽の耐震性についての計算書

目次

1. 概要・・・

1. 概要

本資料は，中央制御室待避室の遮蔽壁が，地震荷重に対して短期許容応力度以下であることを確認するための計算方法及び結果について示すものである。

2. 設計方針

2.1 設計条件

遮蔽壁に作用する地震荷重は，後施工鉄筋を介して既設のコンクリート床スラブやコンクリート壁に伝達されることから，地震荷重に対する評価対象部位は，コンクリート壁，コンクリート床スラブ及び後施工鉄筋とする。

図 2-1 に中央制御室待避室の遮蔽壁設置状況の概要図を示す。

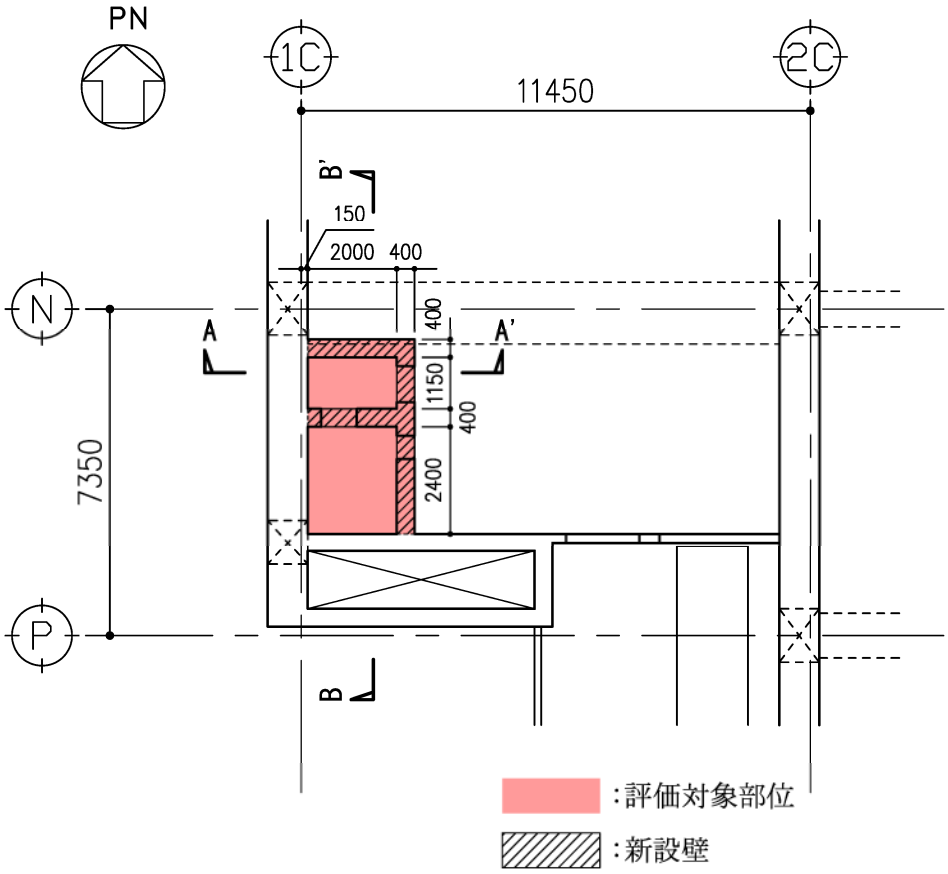
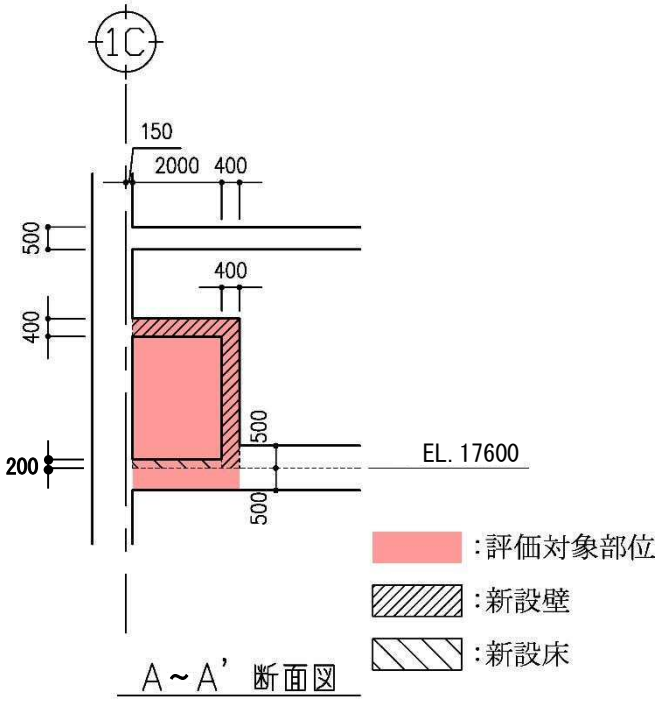


図 2-1（1/2）　中央制御室待避室　遮蔽壁設置概要図（単位：mm）



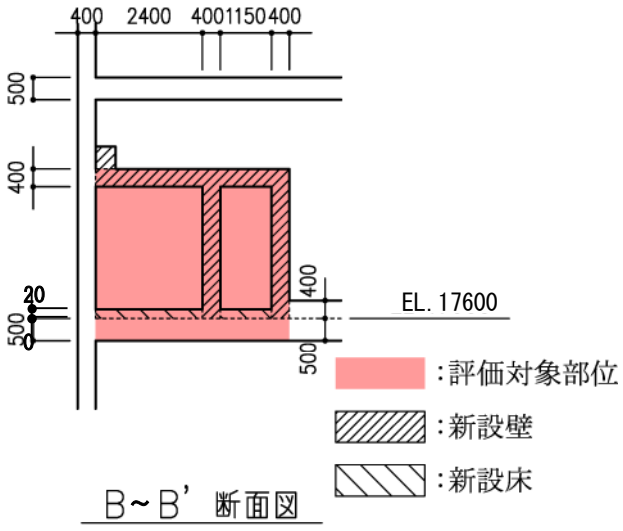


図 2-1 (2/2)　中央制御室待避室　遮蔽壁設置概要図（単位：mm）

3.　基本事項

3.1　適用法令等

検討は以下の関連諸法規，規準及び規格に準拠する。

(1)　建築基準法及び同施行令

(2)　原子力発電所耐震設計技術規程（ＪＥＡＣ４６０１－2008）（日本電気協会）

(3)　鉄筋コンクリート構造計算規準・同基準（日本建築学会　2010 年改定）

(4)　原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同基準（日本建築学会　2005 年改定）

(5)　各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会　2010 年改定）

(6)　2015 年版　建築物の構造関係技術基準解説書

3.2　使用材料及び材料の許容応力度

使用材料の許容応力度を表 3-1，表 3-2 にそれぞれ示す。

表 3-1　コンクリートの許容応力度　（単位：N/mm²）

種別	Fc	長期		短期	
		圧縮	せん断	圧縮	せん断
普通コンクリート	22.1	7.3	0.71	14.6	1.06

表 3-2　鉄筋の許容応力度　（単位：N/mm²）

種別	呼び名	長期		短期	
		引張り及び圧縮	せん断	引張り及び圧縮	せん断
SD295A	D10～D16	195	195	295	295
SD345	D19～D25	215	195	345	345
SD345	D29～D38	195	195	345	345

3.3　設計荷重

検討に当たっては，以下の荷重を考慮する。

a.　固定荷重（DL）

コンクリート厚さｔに応じ（24×t）kN/m^{2}とする。

b.　積載荷重（LL）

9.5 kN/m^{2}とする。

c.　配管荷重（PL）

3.0 kN/m^{2}とする。

d.　地震荷重（Ｓ$_s$）

基準地震動Ｓ$_s$による地震応答解析によって求めた該当階の最大せん断ひずみから求められるせん断応力度を，図 3-1 はせん断応力度－せん断ひずみ関係のグラフを，表 3-3 には地震応答解析より求められるせん断応力度・せん断ひずみ表を示す。

また，基準地震動Ｓ$_s$による地震応答解析によって求めた該当階の鉛直震度は Kv=0.84 である。

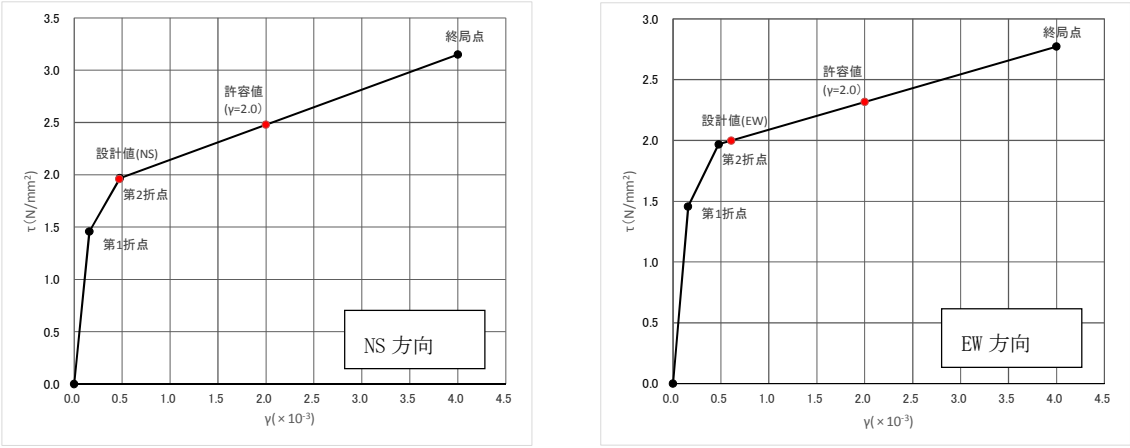


図 3-1　遮蔽壁のτ－γ関係

表 3-3　地震応答解析より求められるせん断応力度・せん断ひずみ

設置階	最大せん断ひずみ（×10^{-3}）		最大せん断応力度（N/mm^2）	
EL.（m）	NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
17.6	0.471	0.607	1.96	2.00

4.　床スラブの設計

4.1　モデル化の基本方針

スラブにおいて，壁及び梁で囲まれた範囲のうち鉛直地震動による影響に対する対象として，図 4-1 に示す範囲をモデル化する。

スラブの解析モデルは，3 辺固定スラブとして評価する。スラブの解析モデルを図 4-2 示す。

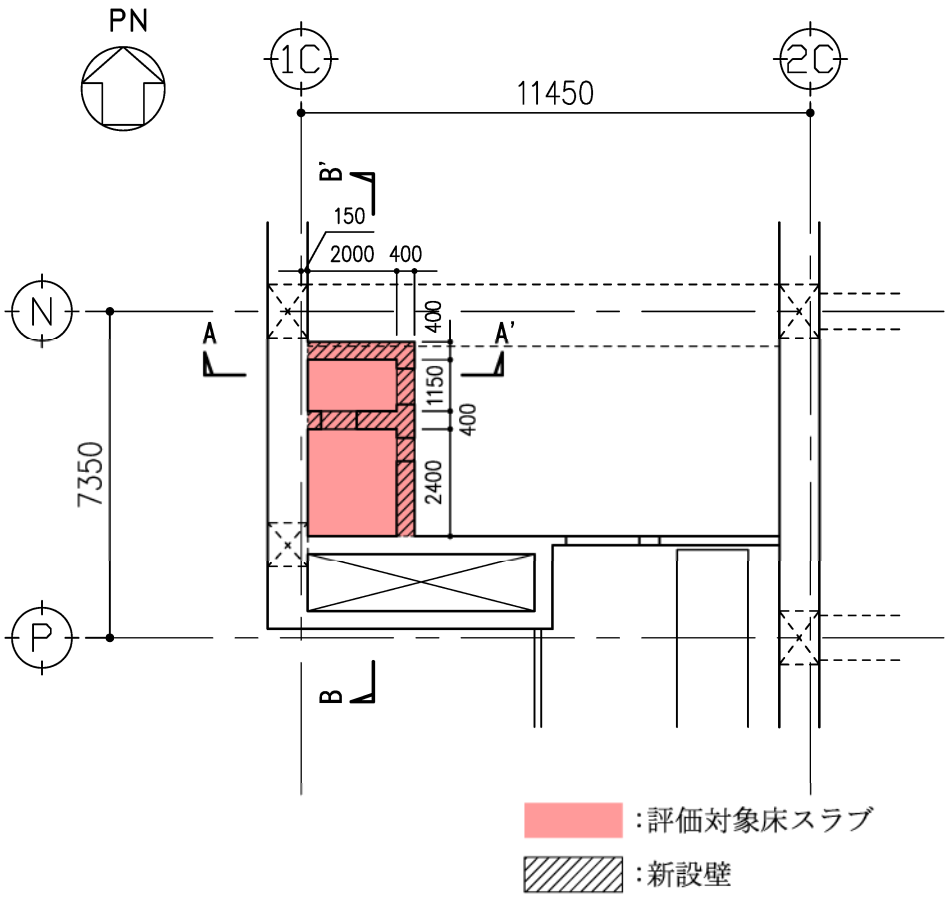


図 4-1　床スラブ評価対象範囲図（単位：mm）

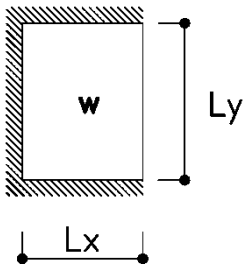


図 4-2　床スラブ解析モデル

4.2　評価結果

地震時における床スラブの評価結果を以下に示す。

地震時の評価として，鉛直地震荷重に対する床スラブ発生応力を算出し，短期許容応力以下であることを確認する。

地震時の評価結果を表 4-1 に示す。

表 4-1　地震時の床スラブ評価結果

評価対象部位	材料	発生応力		許容応力
床スラブ	SD345	短辺曲げ (kNm)	427.6	709.5
	SD345	長辺曲げ (kNm)	451.3	473.0
	Fc22.1	短辺せん断 (kN)	805.4	1537.3
	Fc22.1	長辺せん断 (kN)	701.8	1049.0

5.　遮蔽壁の設計

5.1　モデル化の基本方針

基準地震動Ｓ$_s$による地震応答解析によって求めた該当階のせん断力が，各方向の遮蔽壁に作用するものとする。各方向の考慮する遮蔽壁を図 5-1 に示す。

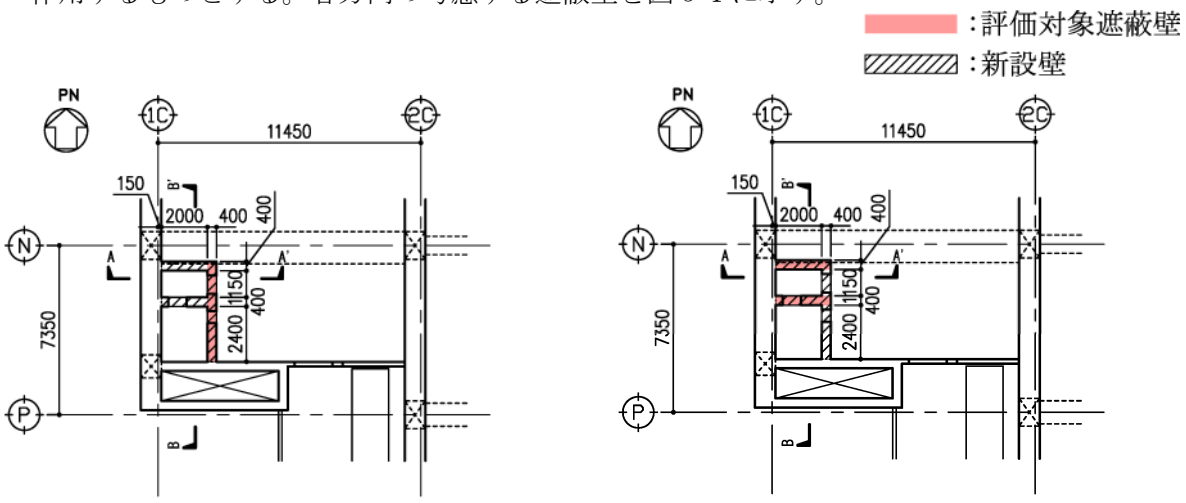


図 5-1　遮蔽壁の検討対象部位（単位：mm）

5.2　評価結果

地震時における遮蔽壁の評価結果を以下に示す。

地震時の評価として，水平及び鉛直地震荷重に対する遮蔽壁の発生応力を算出し，短期許容応力以下であることを確認する。

地震時の評価結果を表 5-1 に示す。

表 5-1　地震時の遮蔽壁評価結果

評価対象部位	方向	材料	せん断断面積(m^2)	発生応力		許容応力
遮蔽壁	NS	SD345	1.212	せん断(kN)	2375.6	3535.6
	EW	SD345	1.600	せん断(kN)	3200.0	3869.1

Ⅴ-2-8-4-4　緊急時対策所遮蔽の耐震性についての計算書

添付書類「Ⅴ-2-8-4-4　緊急時対策所遮蔽の耐震性についての計算書」は，添付書類「Ⅴ-2-2-11　緊急時対策所建屋の耐震性についての計算書」に倣うものとする。

Ⅴ-2-8-4-5　第二弁操作室遮蔽の耐震性についての計算書

目次

1. 概要・・・

1. 概要

本資料は，第二弁操作室の遮蔽壁が，地震荷重に対して短期許容応力度以下であることを確認するための計算方法及び結果について示すものである。

2. 設計方針

2.1 設計条件

遮蔽壁に作用する地震荷重は，後施工鉄筋を介して既設のコンクリート床スラブやコンクリート壁に伝達されることから，地震荷重に対する評価対象部位は，コンクリート壁，コンクリート床スラブ及び後施工鉄筋とする。

図 2-1 に第二弁操作室の遮蔽壁設置状況の概要図を示す。

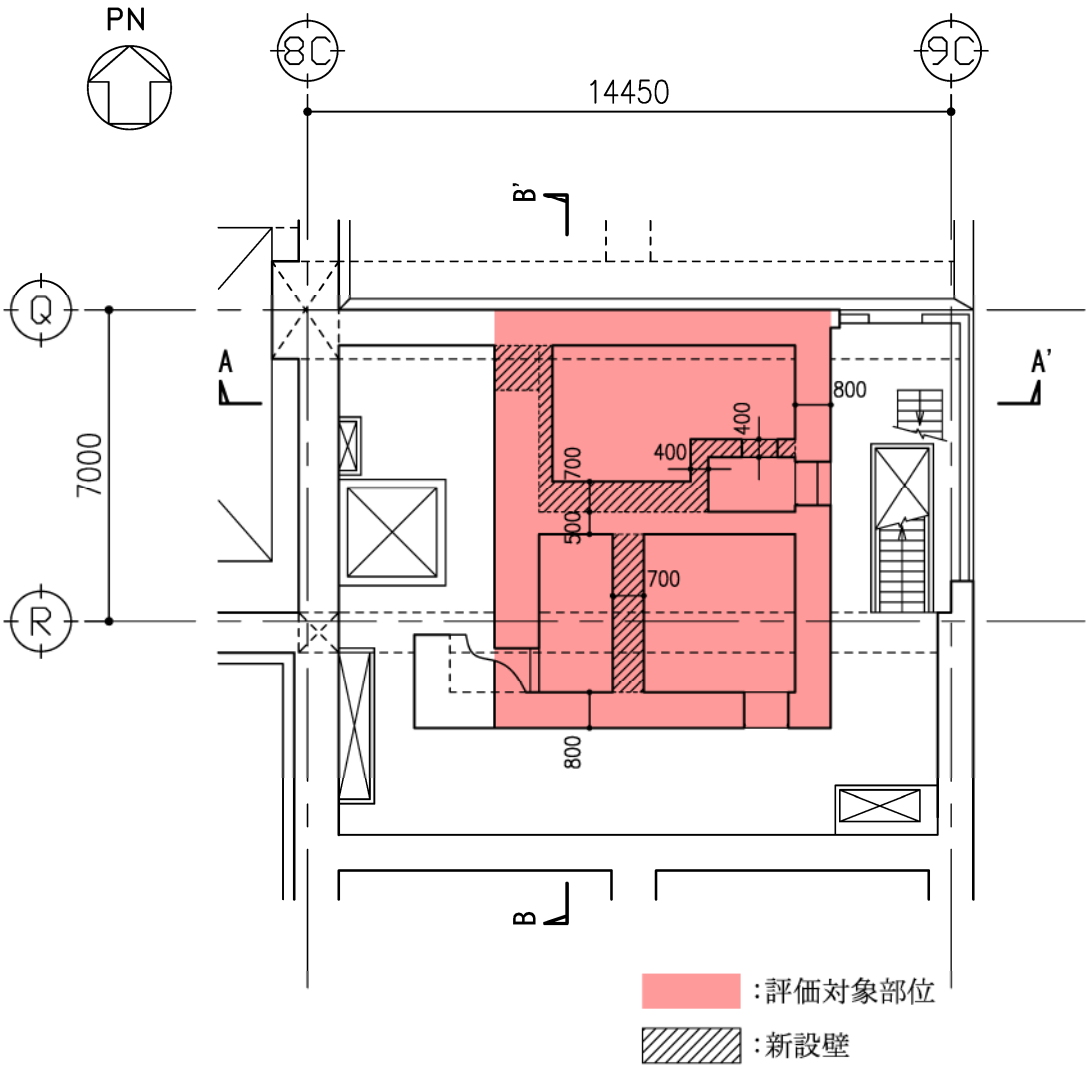


図 2-1（1/2）　第二弁操作室　遮蔽壁設置概要図（単位：mm）

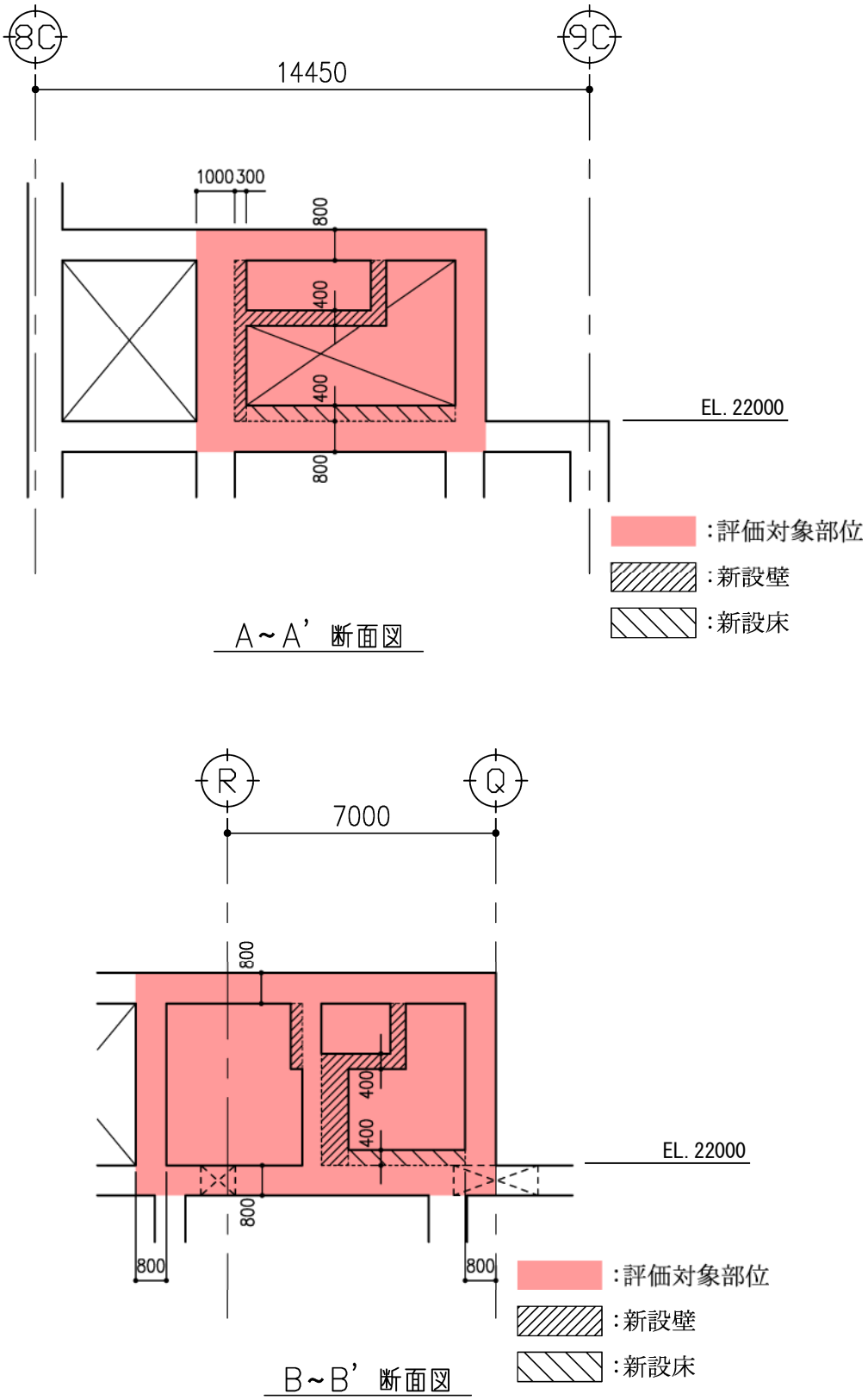


図 2-1（2/2）　第二弁操作室　遮蔽壁設置概要図（単位：mm）

3.　基本事項

3.1　適用法令等

検討は以下の関連諸法規，規準及び規格に準拠する。

(1)　建築基準法及び同施行令

(2)　原子力発電所耐震設計技術規程（ＪＥＡＣ４６０１－2008）（日本電気協会）

(3)　鉄筋コンクリート構造計算規準・同基準（日本建築学会　2010 年改定）

(4)　原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同基準（日本建築学会 2005 年改定）

(5)　各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会　2010 年改定）

(6)　2015 年版　建築物の構造関係技術基準解説書

3.2　使用材料及び材料の許容応力度

使用材料の許容応力度を表 3-1，表 3-2 にそれぞれ示す。

表 3-1　コンクリートの許容応力度　（単位：N/mm^2）

種別	Fc	長期		短期	
		圧縮	せん断	圧縮	せん断
普通コンクリート	22.1	7.3	0.71	14.6	1.06

表 3-2　鉄筋の許容応力度　（単位：N/mm^2）

種別	呼び名	長期		短期	
		引張り及び圧縮	せん断	引張り及び圧縮	せん断
SD295A	D10～D16	195	195	295	295
SD345	D19～D25	215	195	345	345
SD345	D29～D38	195	195	345	345

3.3　設計荷重

検討に当たっては，以下の荷重を考慮する。

a.　固定荷重（DL）

コンクリート厚さｔに応じ（24×t）kN/m^{2}とする。

b.　積載荷重（LL）

9.5 kN/m^{2}とする。

c.　配管荷重（PL）

3.0 kN/m^{2}とする。

d.　地震荷重（Ｓ$_s$）

基準地震動Ｓ$_s$による地震応答解析によって求めた該当階の最大せん断ひずみから求められるせん断応力度を図 3-1 はせん断応力度－せん断ひずみ関係のグラフを，表 3-3 には地震応答解析より求められるせん断応力度・せん断ひずみ表を示す。

また，基準地震動Ｓ$_s$による地震応答解析によって求めた該当階の鉛直震度は Kv=0.84 である。

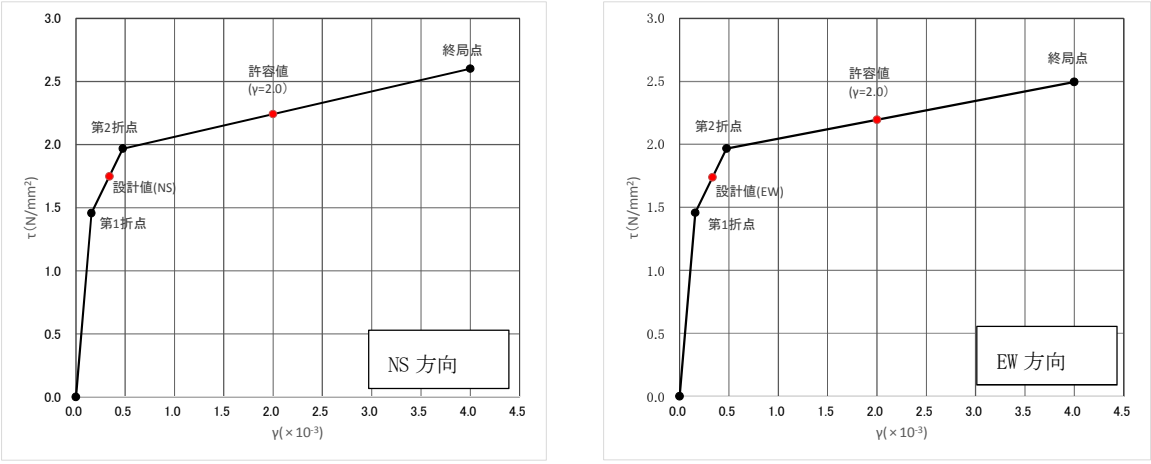


図 3-1　遮蔽壁のτ－γ関係

表 3-3　地震応答解析より求められるせん断応力度・せん断ひずみ

設置階	最大せん断ひずみ（×10^{-3}）		最大せん断応力度（N/mm^2）	
EL.（m）	NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
22.0	0.340	0.335	1.75	1.74

4. 床スラブの設計

4.1 モデル化の基本方針

スラブにおいて，壁及び梁で囲まれた範囲のうち鉛直地震動による影響に対する対象として，図 4-1 に示す範囲をモデル化する。

スラブの解析モデルは，4 辺固定スラブとして評価する。スラブの解析モデルを図 4-2 示す。

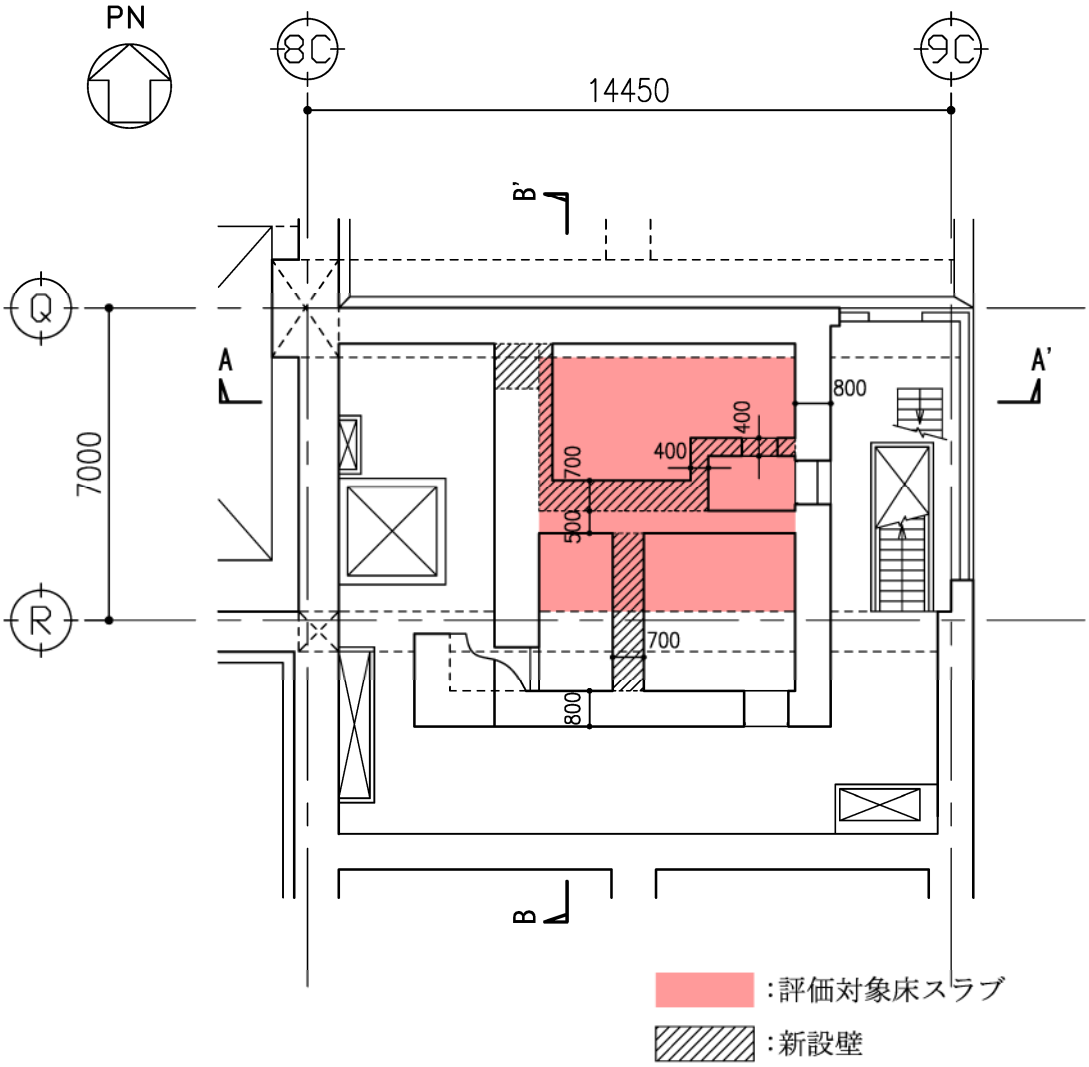


図 4-1　床スラブ評価対象範囲図（単位：mm）

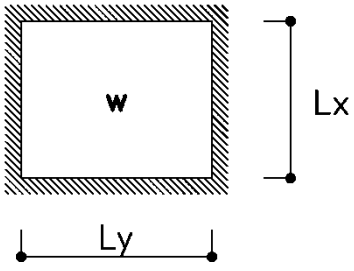


図 4-2　床スラブ解析モデル

4.2　評価結果

地震時における床スラブの評価結果を以下に示す。

地震時の評価として，鉛直地震荷重に対する床スラブ発生応力を算出し，短期許容応力以下であることを確認する。

地震時の評価結果を表 4-1 に示す。

表 4-1　地震時の床スラブ評価結果

評価対象部位	材料	発生応力		許容応力
床スラブ	SD345	短辺曲げ (kNm)	836.0	1692.8
	SD345	長辺曲げ (kNm)	656.0	1047.9
	Fc22.1	短辺せん断 (kN)	1595.6	2783.8
	Fc22.1	長辺せん断 (kN)	1402.4	1843.1

5.　遮蔽壁の設計

5.1　モデル化の基本方針

基準地震動Ｓ$_s$による地震応答解析によって求めた該当階のせん断力が，各方向の遮蔽壁に作用するものとする。各方向の考慮する遮蔽壁を図 5-1 に示す。

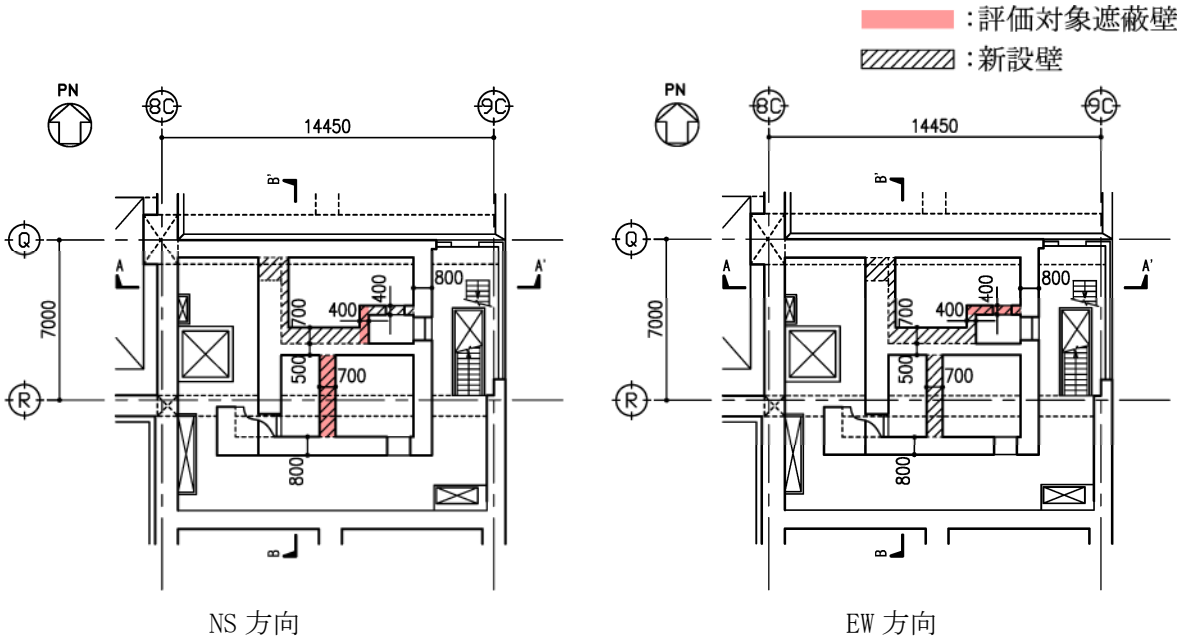


図 5-1　遮蔽壁の検討対象部位（単位：mm）

5.2　評価結果

地震時における遮蔽壁の評価結果を以下に示す。

地震時の評価として，水平及び鉛直地震荷重に対する遮蔽壁の発生応力を算出し，短期許容応力以下であることを確認する。

地震時の評価結果を表 5-1 に示す。

表 5-1　地震時の遮蔽壁評価結果

評価対象部位	方向	材料	せん断断面積(m^2)	発生応力		許容応力
遮蔽壁	NS	SD345	3.145	せん断(kN)	5503.8	6165.6
	EW	SD345	0.460	せん断(kN)	800.4	1734.4