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

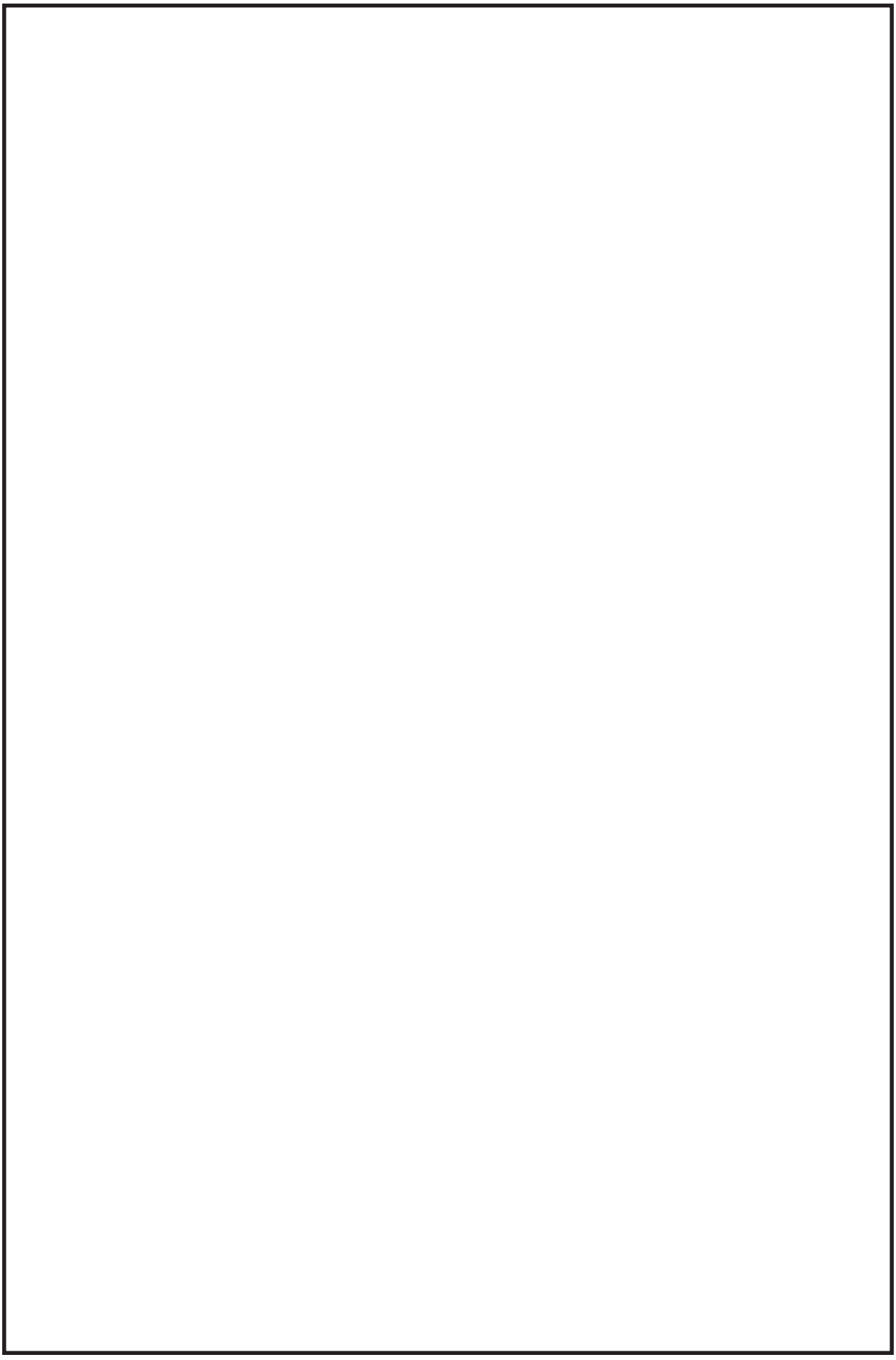
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

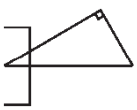
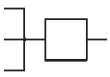
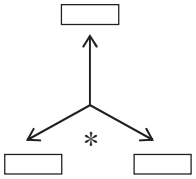
概略系統図記号凡例

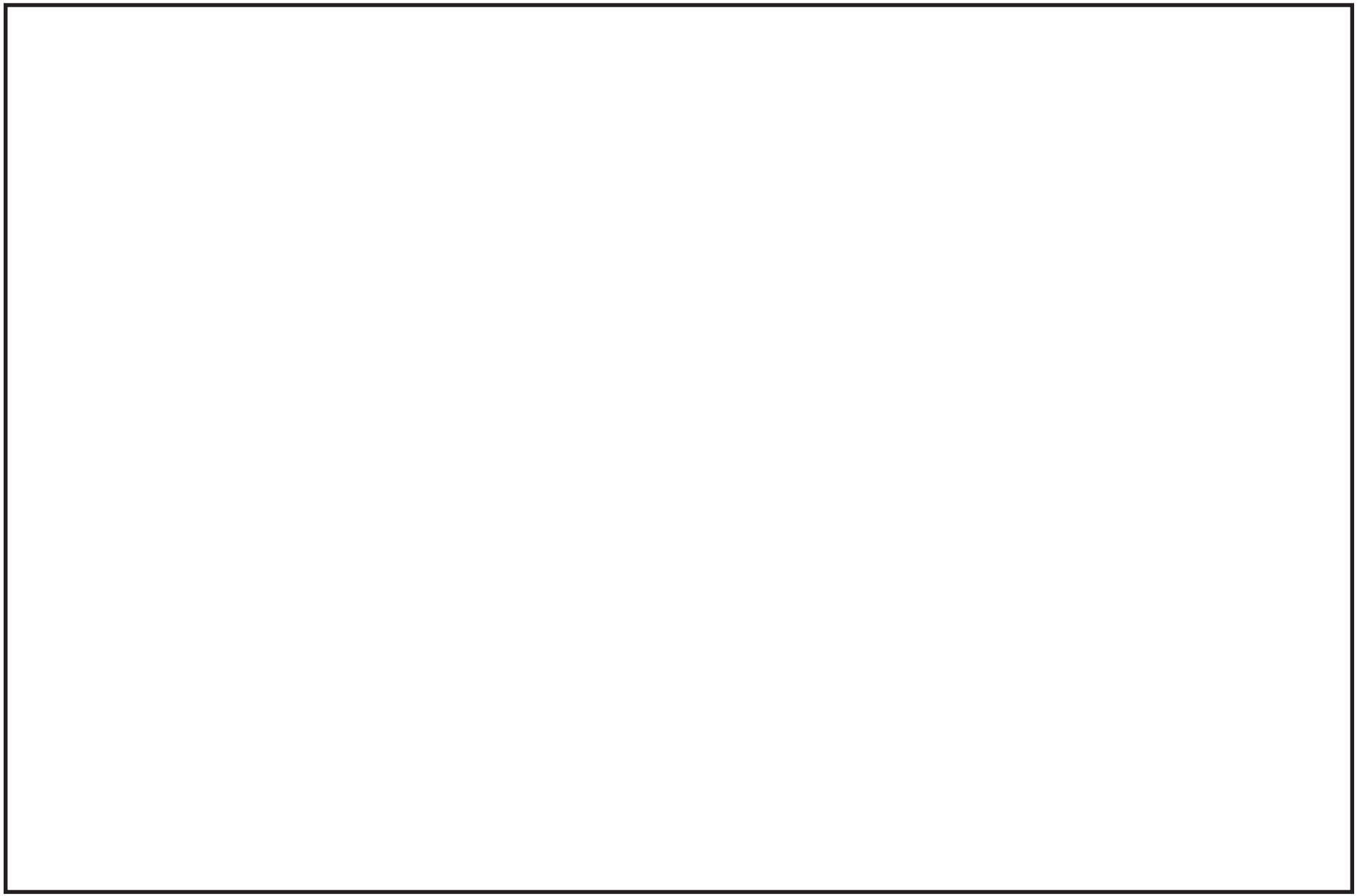
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラ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

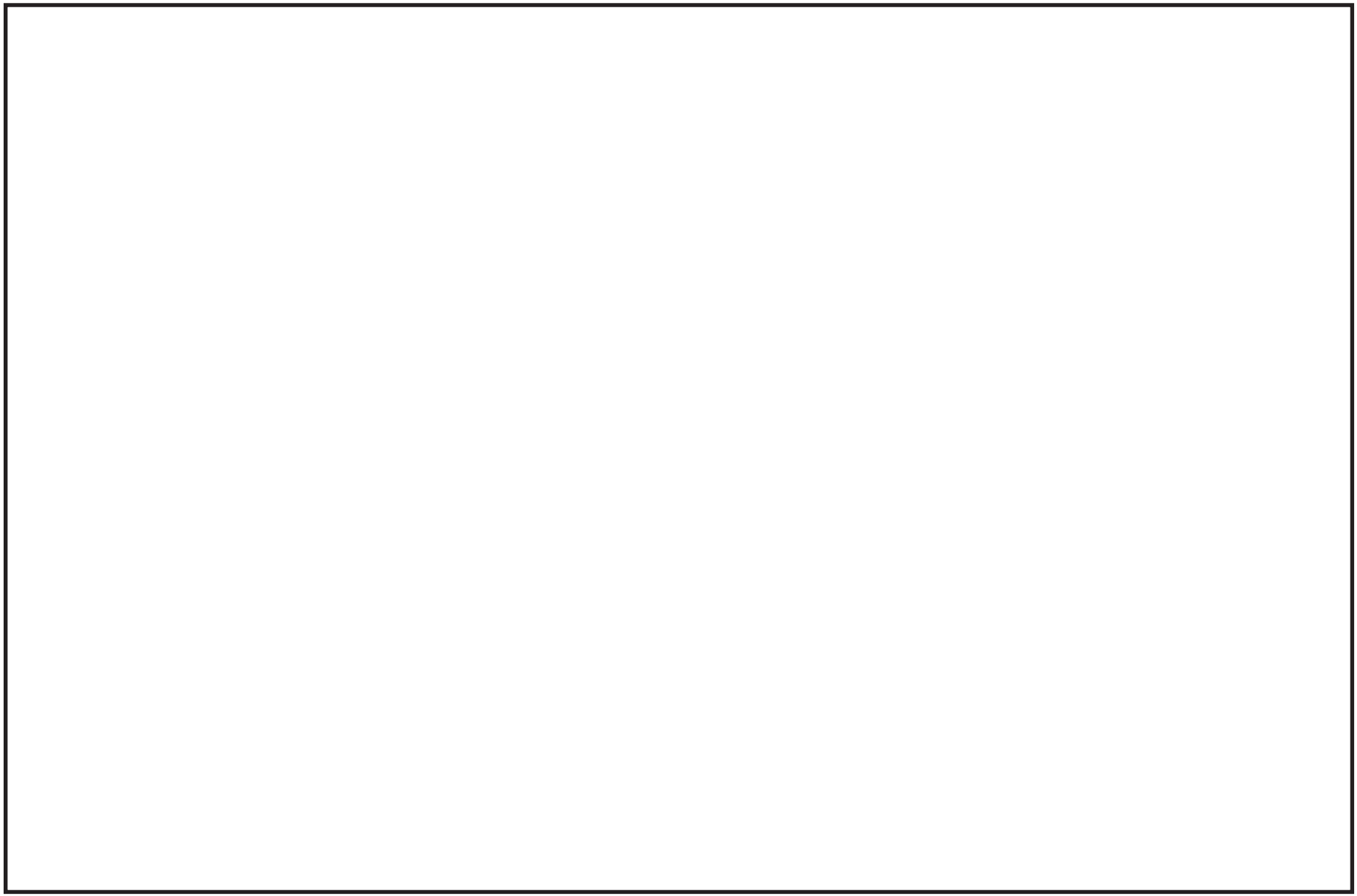


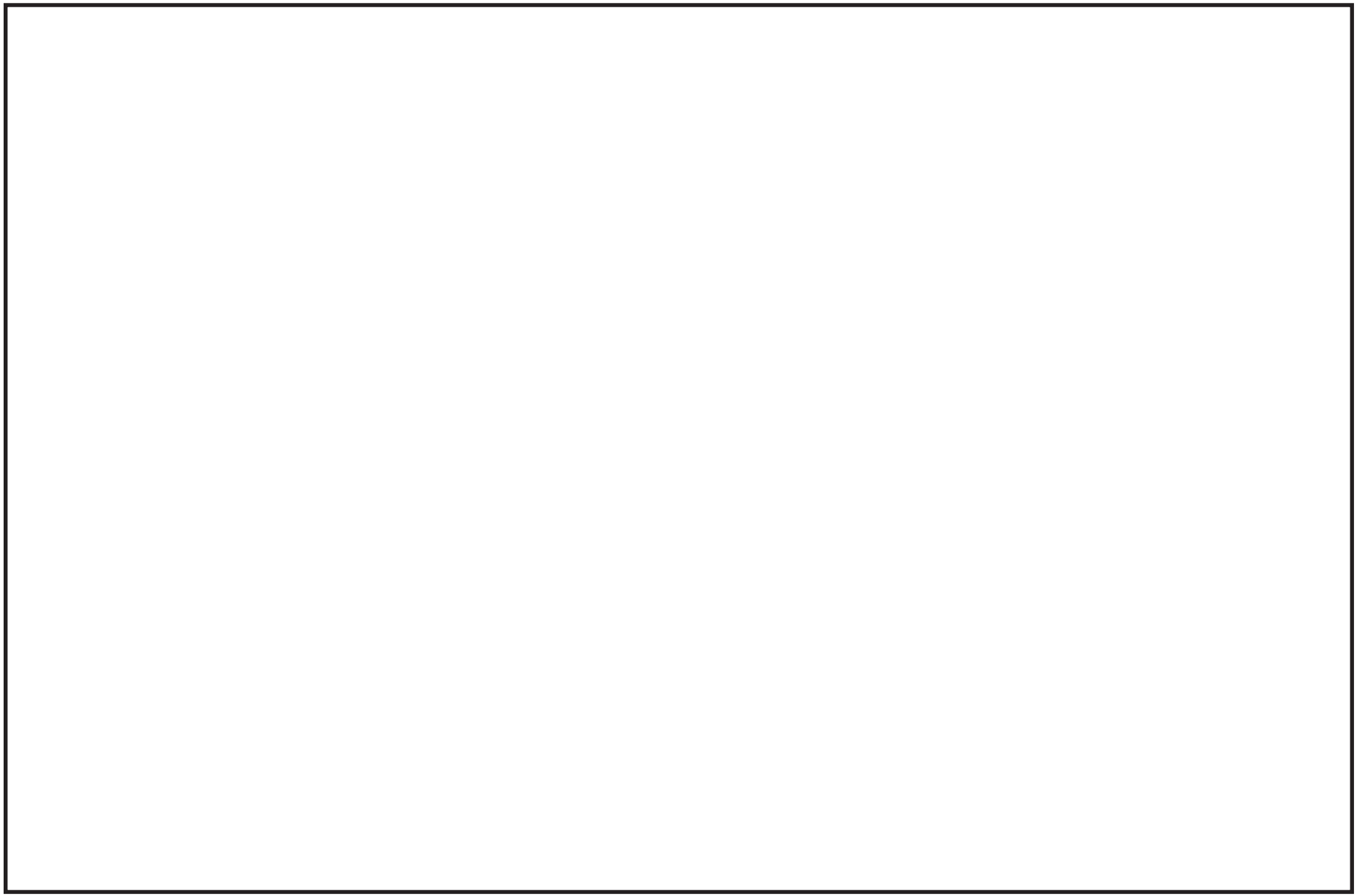
2.2　鳥瞰図

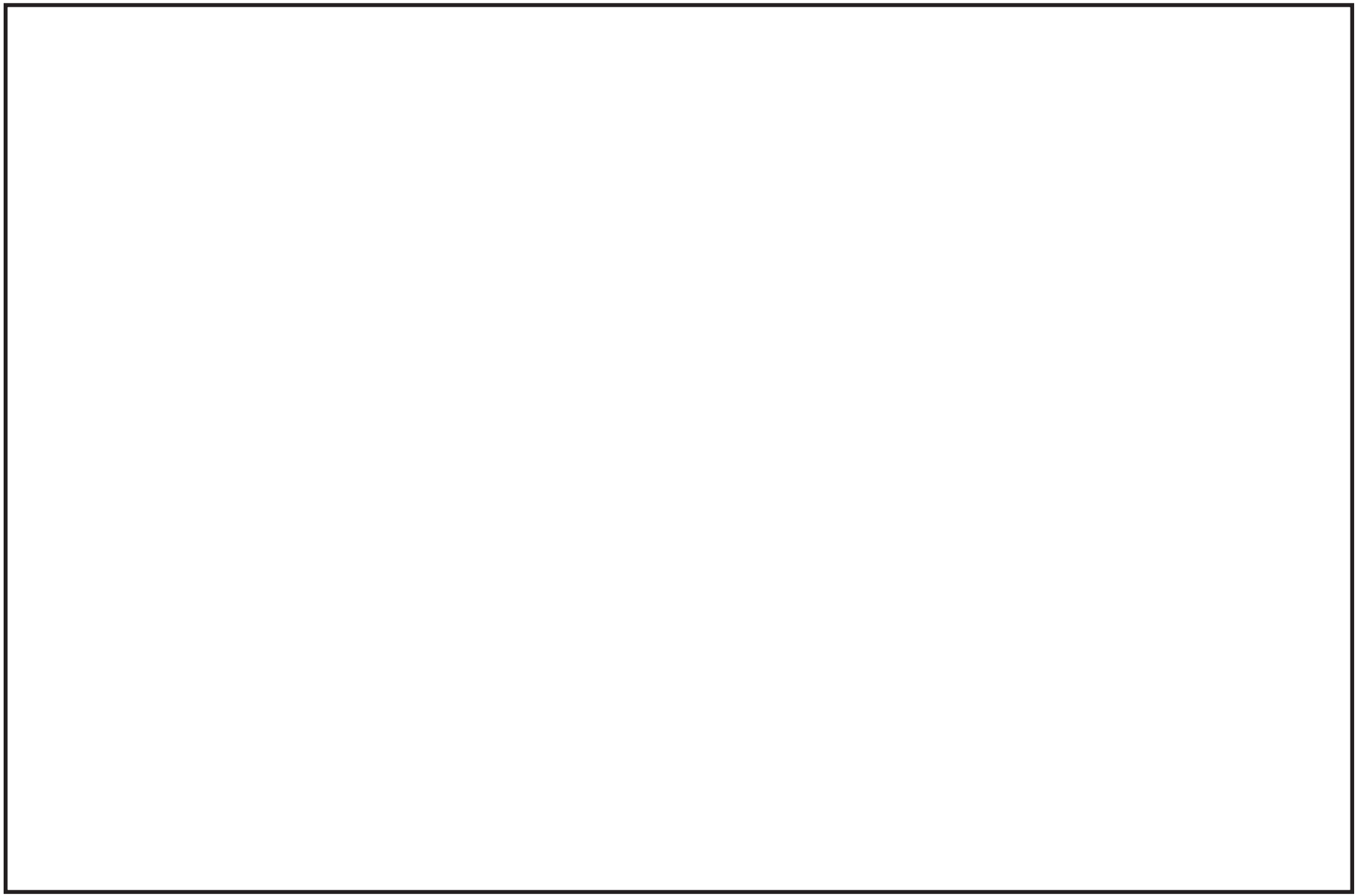
鳥瞰図記号凡例

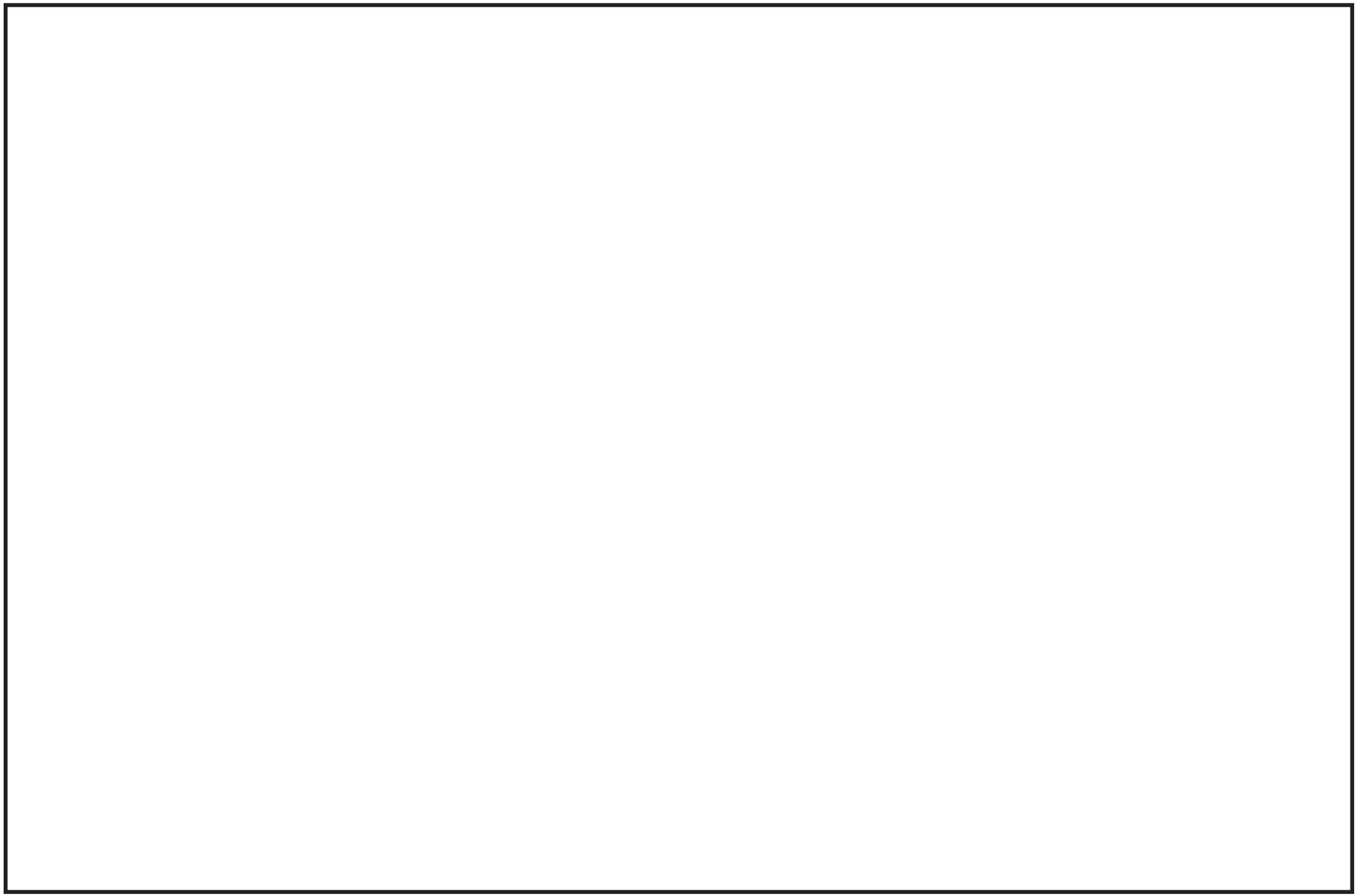
記　　号	内　　容
━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
○ ◎	節　　点 質　　点
	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	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。

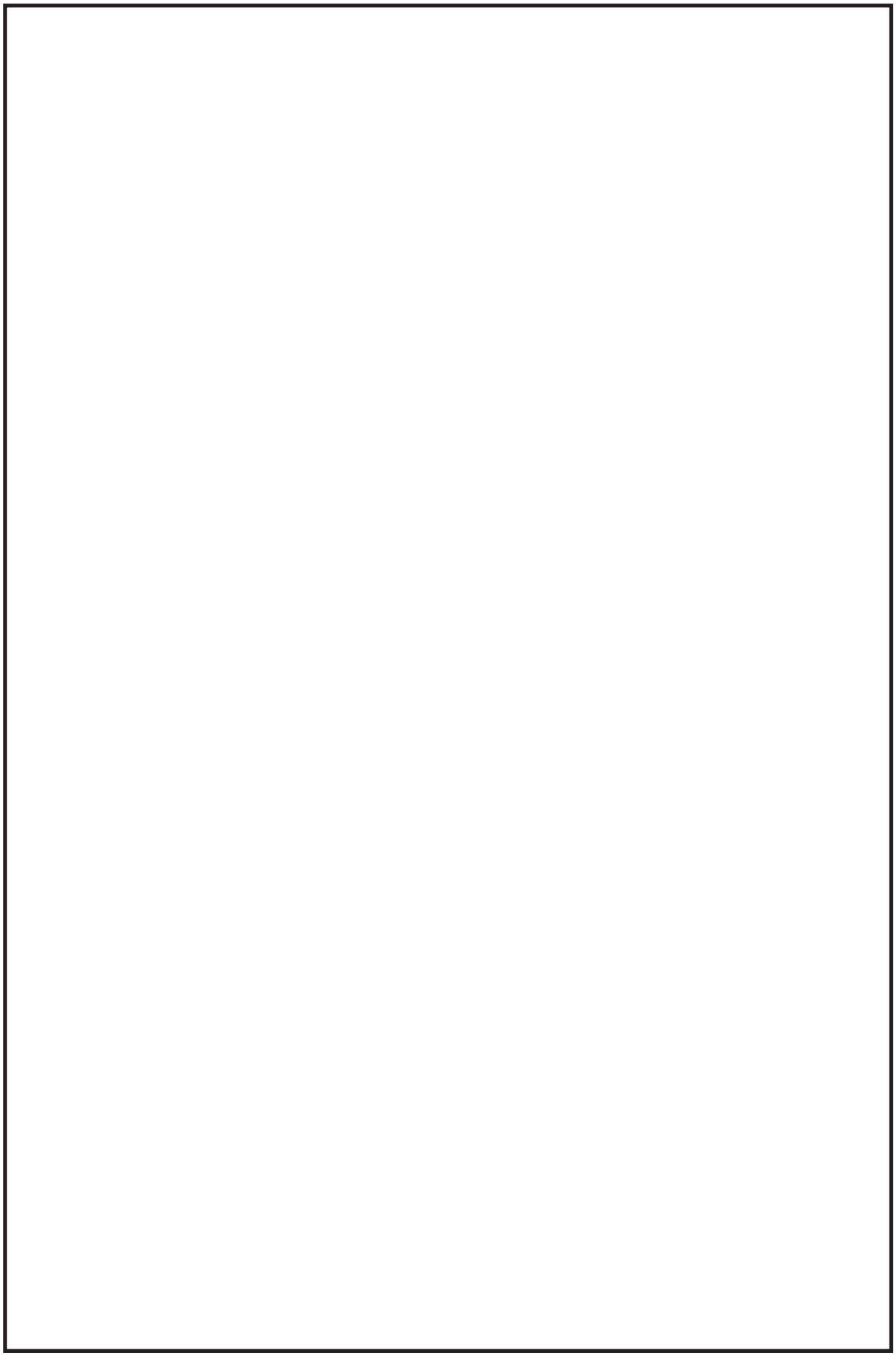


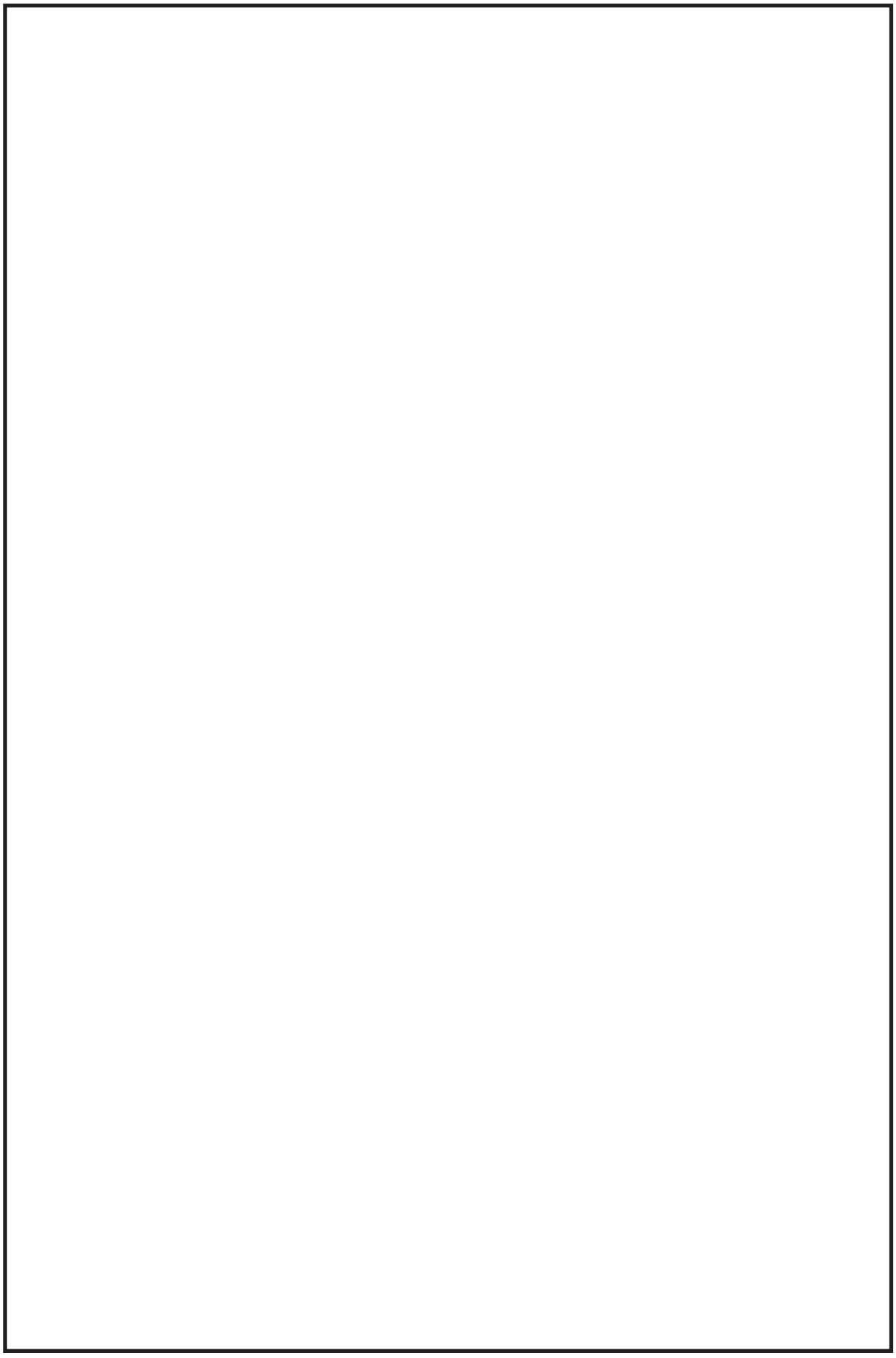


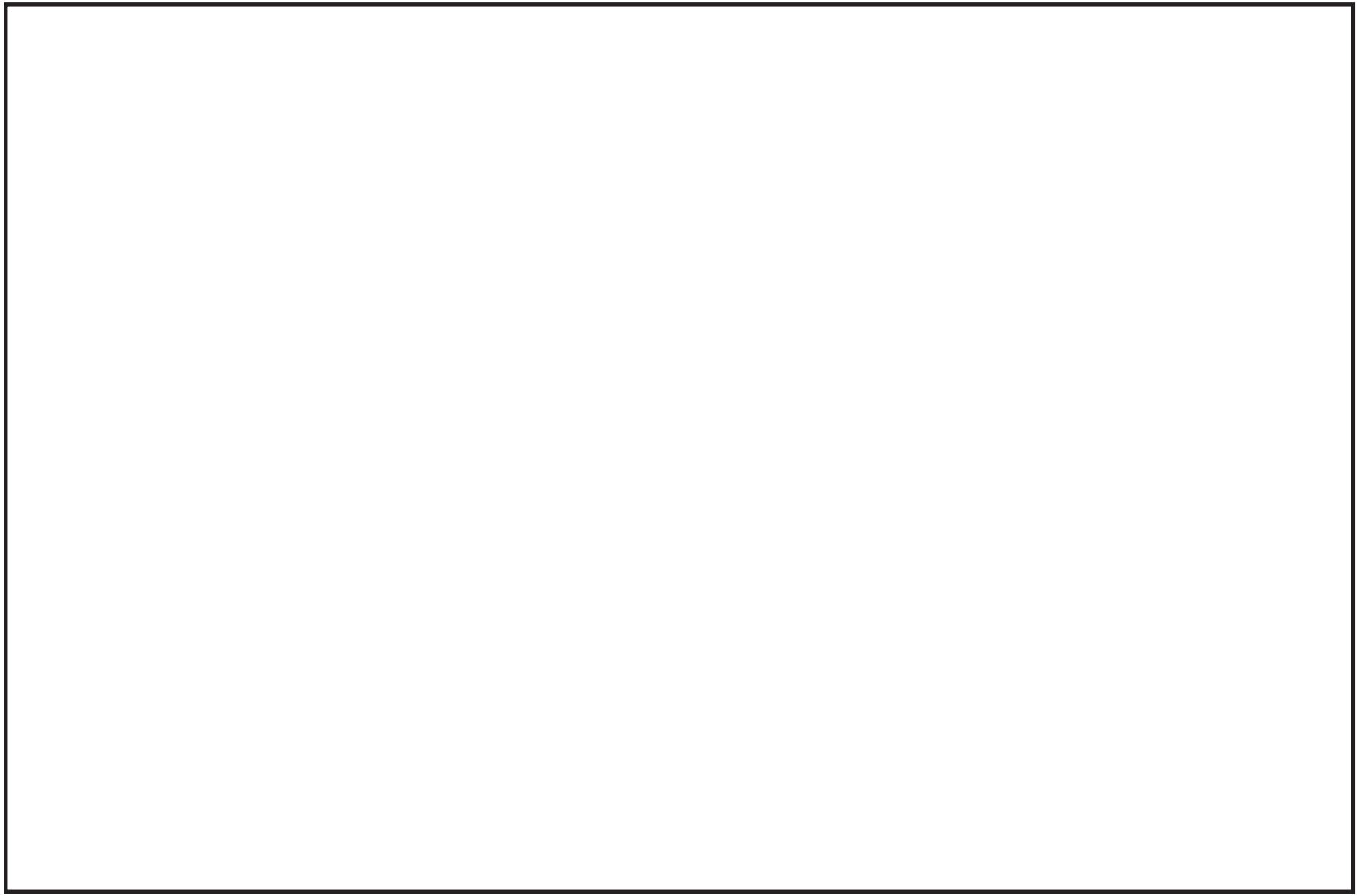












3. 計算条件

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	－	$V_L + S_s$	$V_A S$

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$V_A S$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　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) *			
		Ｓｍ	Ｓｙ	Ｓｕ	Ｓｈ
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

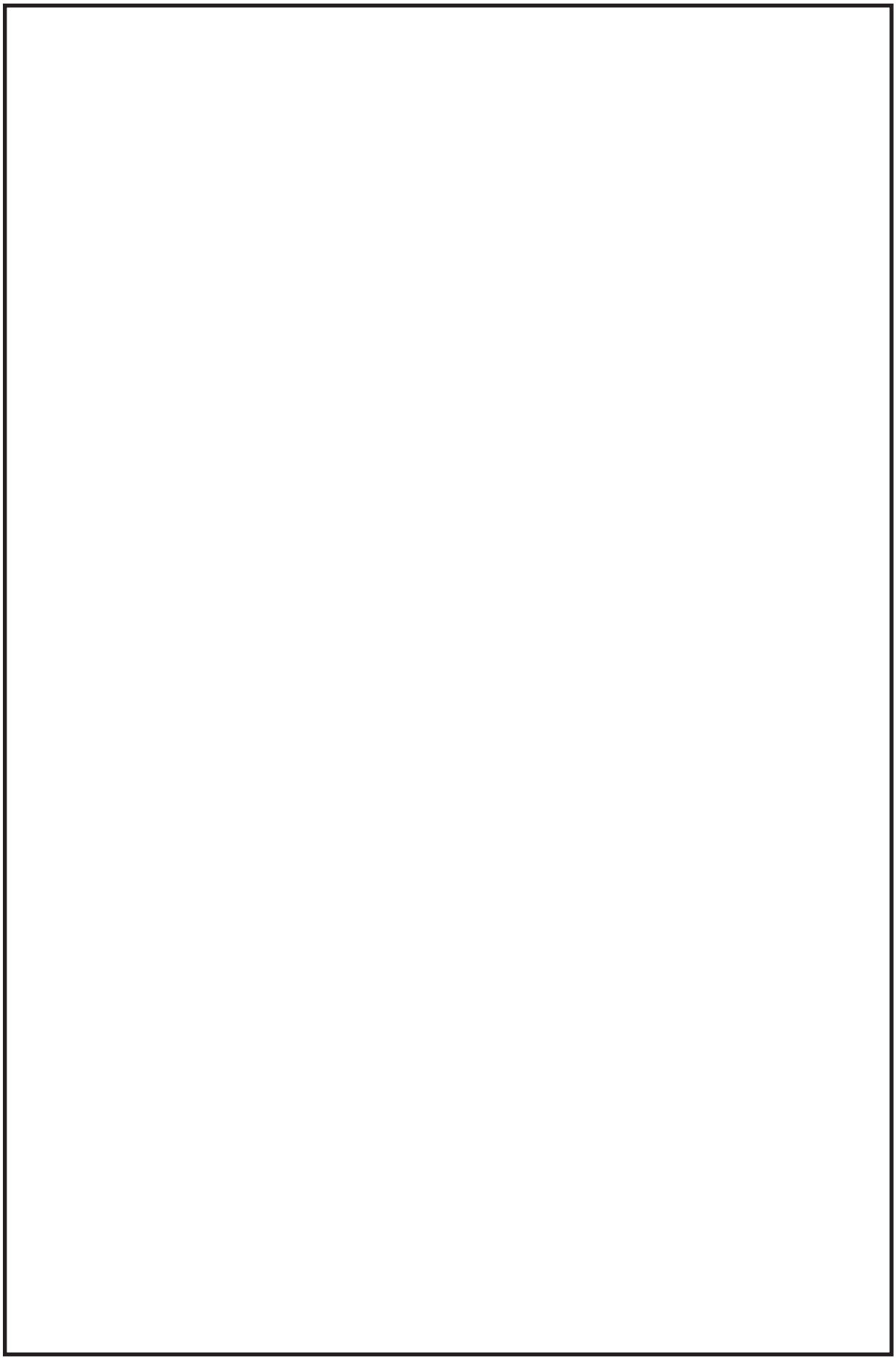
鳥　瞰　図　ANI-7

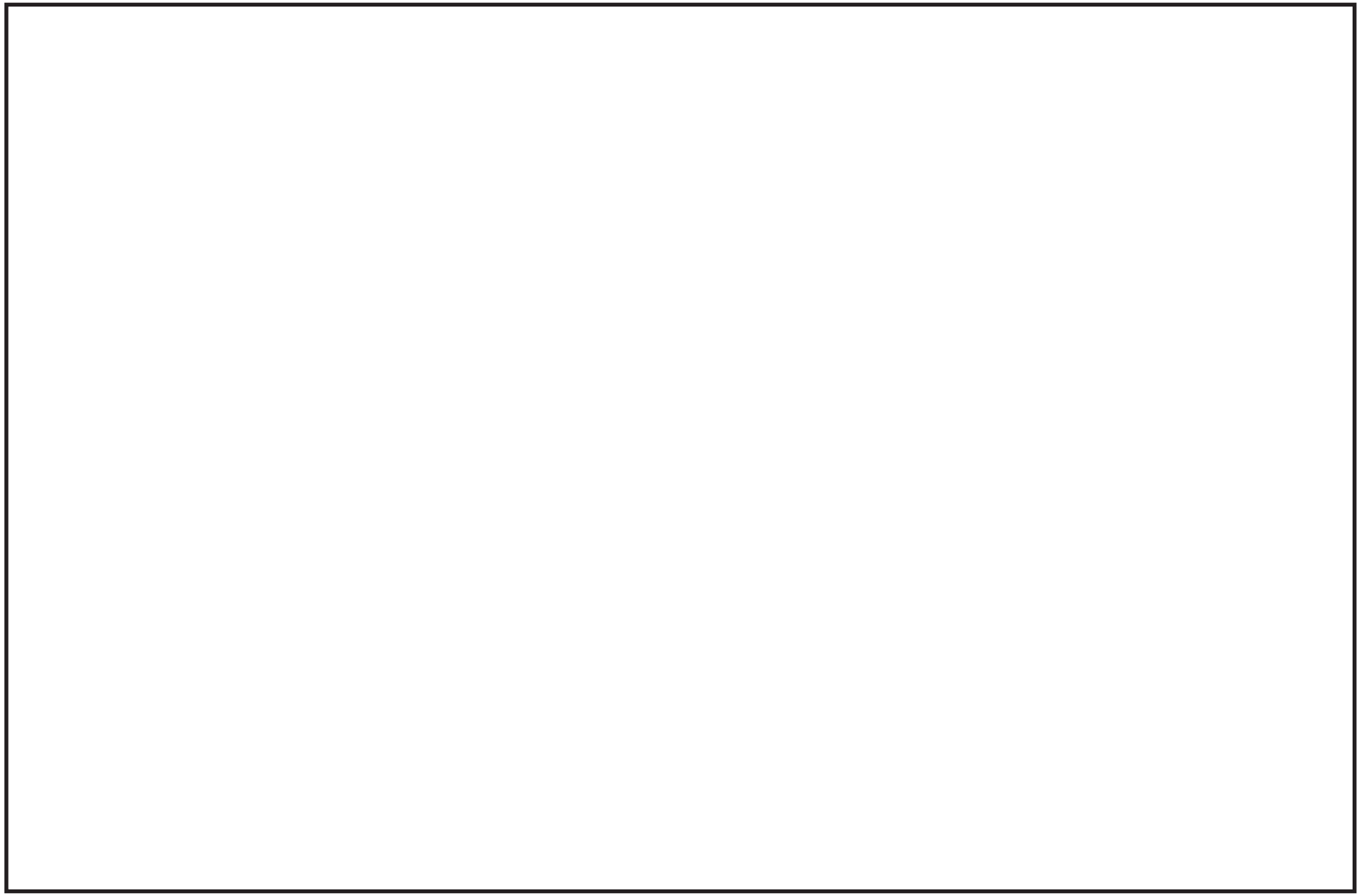
モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数*		
		X方向	Y方向	Z方向

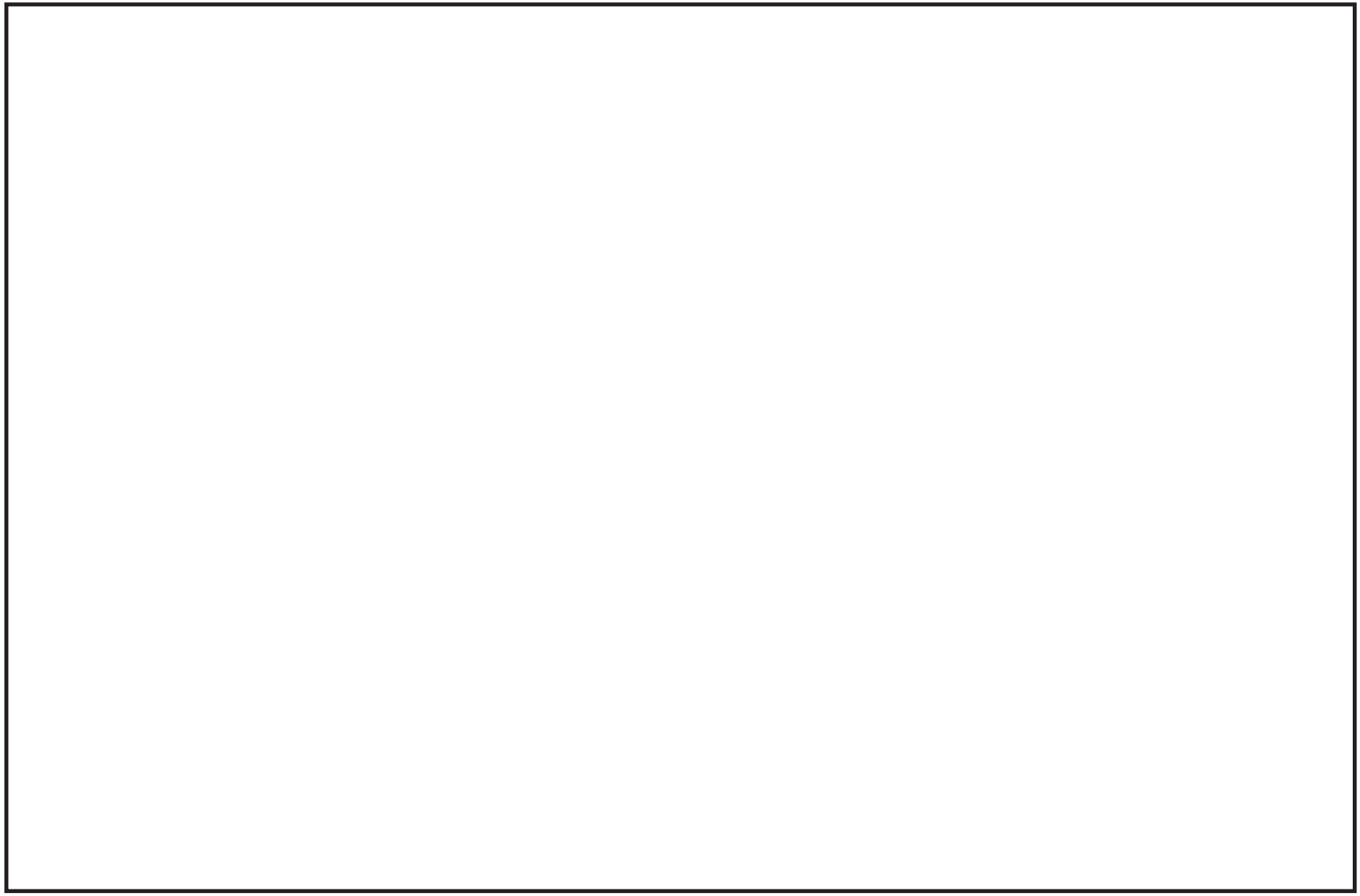
注記　＊：刺激係数はモード質量を正規化し，固有ベクトルと質量マトリクスの積から算出した値を示す。

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。







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 0.9Su	計算応力 Sn（S_s）	許容応力 2Sy	疲労累積係数 US_s
AC-SGTS	IV_AS	2092	S_{prm}（S_s）	[redacted]	335	[redacted]	－	－
	IV_AS	2092	Sn（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/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。

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。

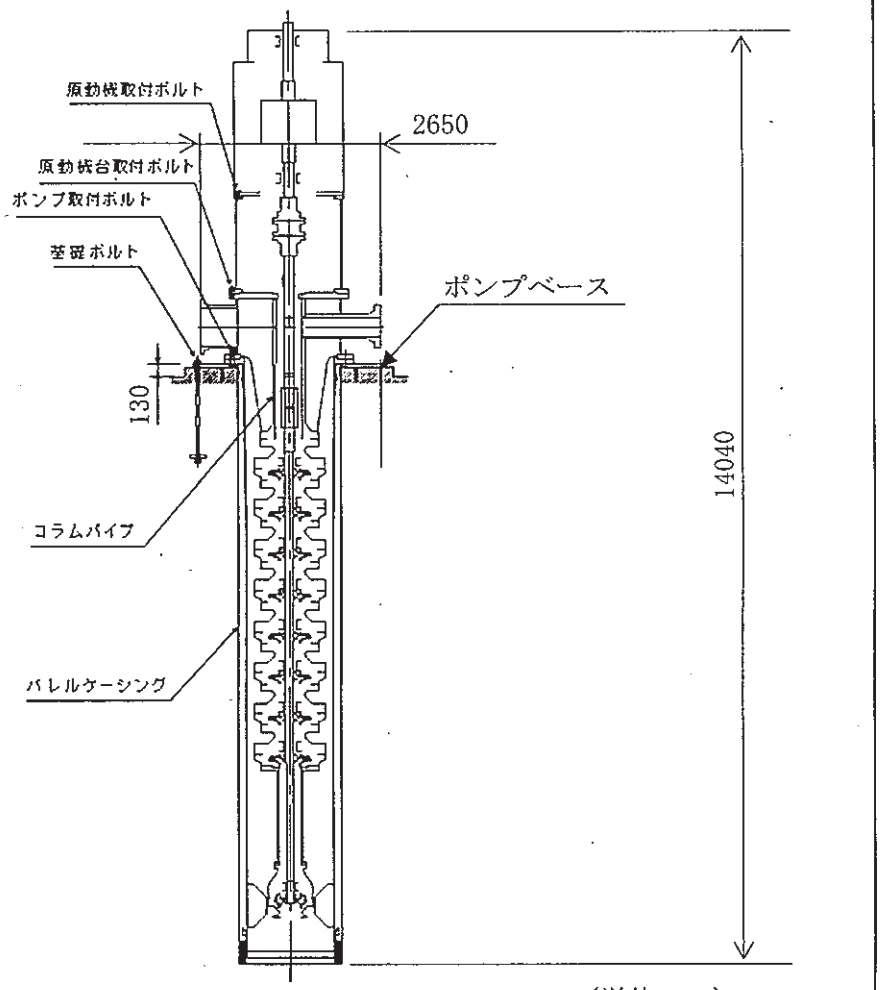
2. 一般事項

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	 （単位：mm）

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
III_AS	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。	
IV_AS	0.6・S_u	左欄の 1.5 倍の値		
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 3-4　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
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	－	－

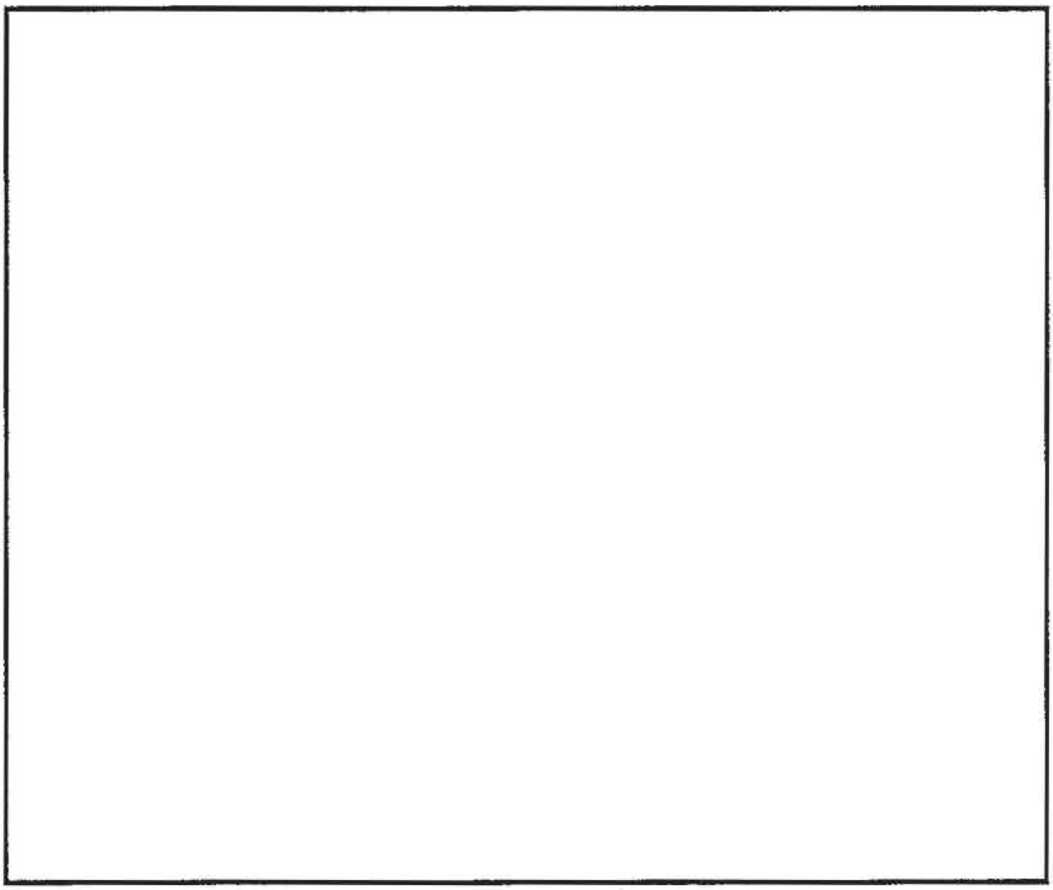


図 3－1　振動モード（1 次モード　水平方向　0.115 s）

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
原子炉建屋 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/s²)

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	原子炉建屋 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} (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]			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/s²)

		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

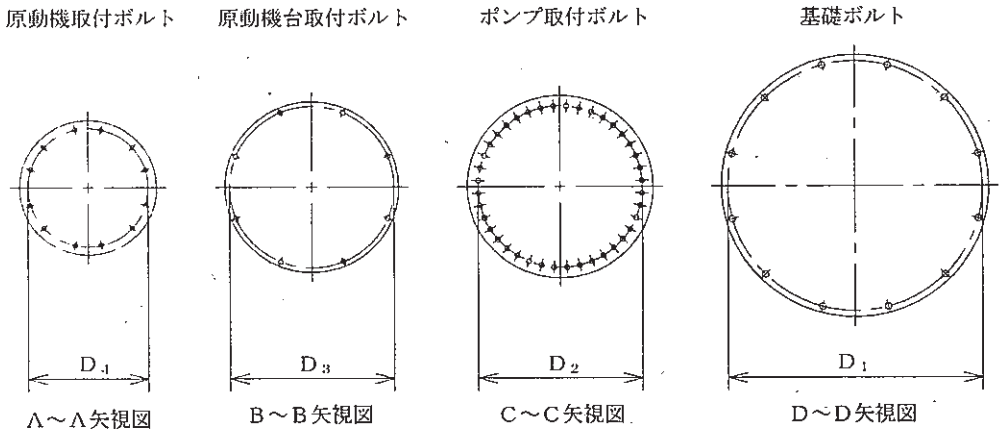
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	

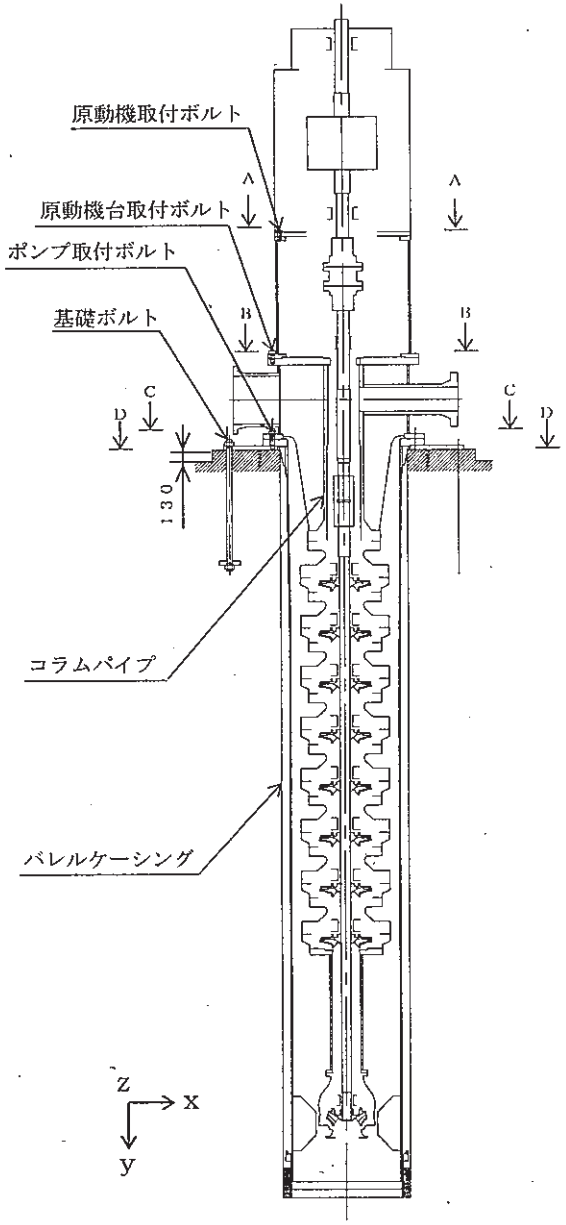
(続き)

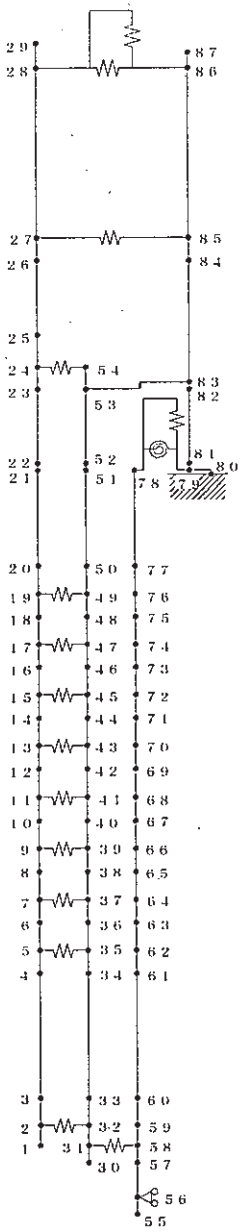
節点番号	質量 (kg)
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	
87	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm³)	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
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
コラムパイプ
バレルケーシング
A
B
C
D
130
z
x
y



【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	原子炉建屋 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	—	—	$\sigma_{b1}=8$	$f_{ts1}=185^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=12$	$f_{sb1}=142$
ポンプ取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=11$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=7$	$f_{sb2}=342$
原動機台取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b3}=41$	$f_{ts3}=163^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=21$	$f_{sb3}=125$
原動機取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b4}=15$	$f_{ts4}=185^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4}=9$	$f_{sb4}=142$

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	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/s²)

		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

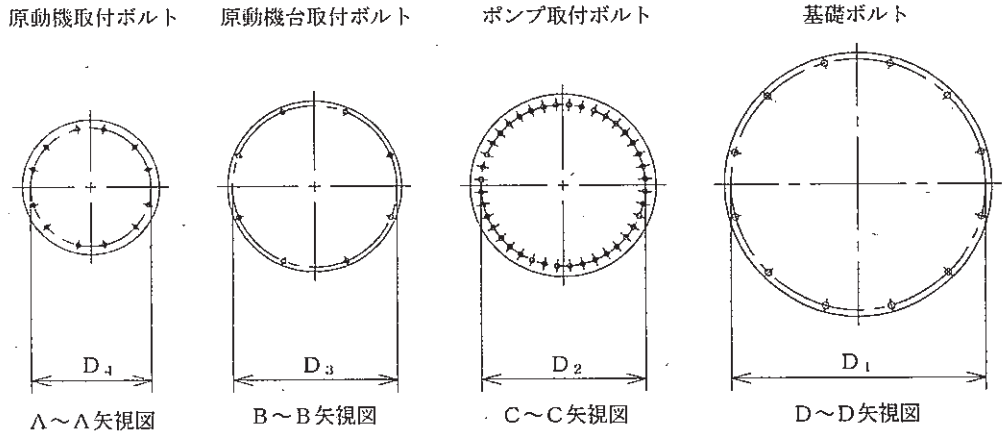
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	

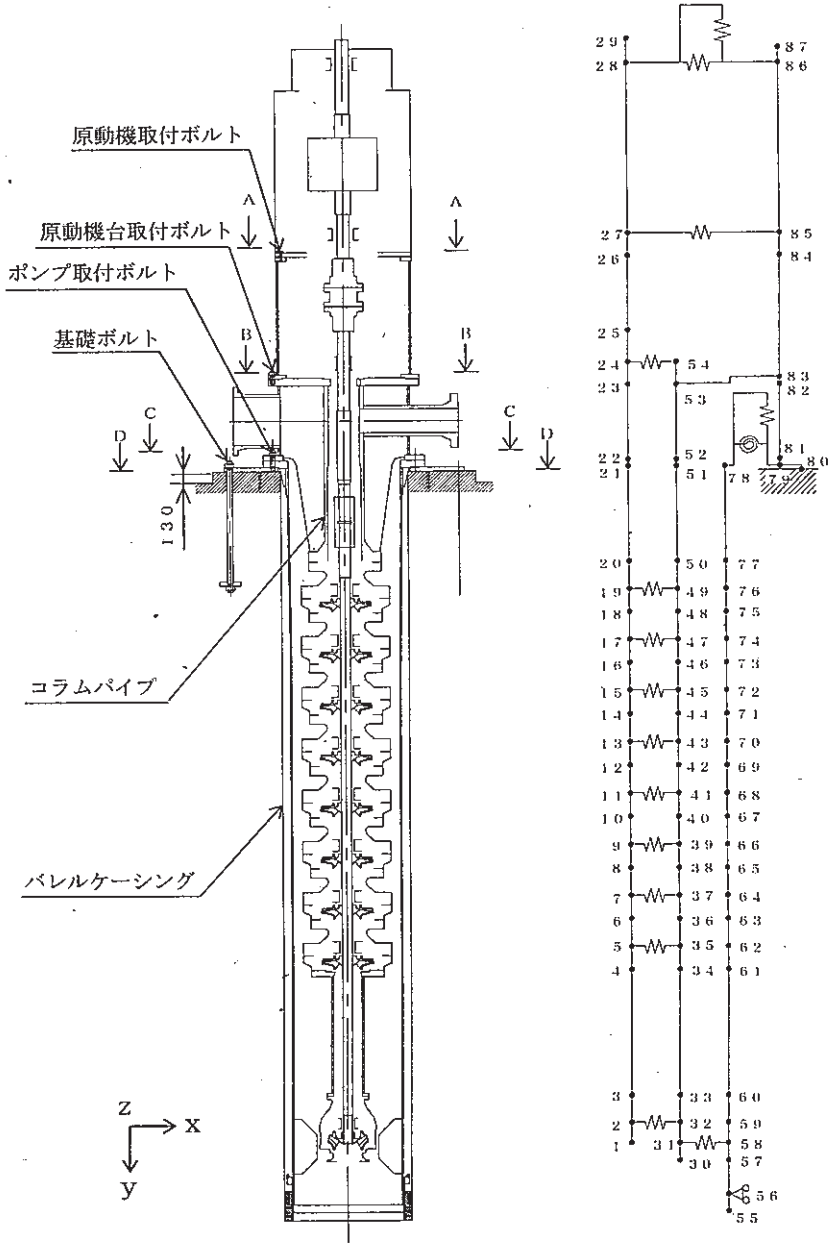
（続き）

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/mm³)	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
コラムパイプ
バレルケーシング
A
B
C
D
130
z
x
y

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 ····· 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

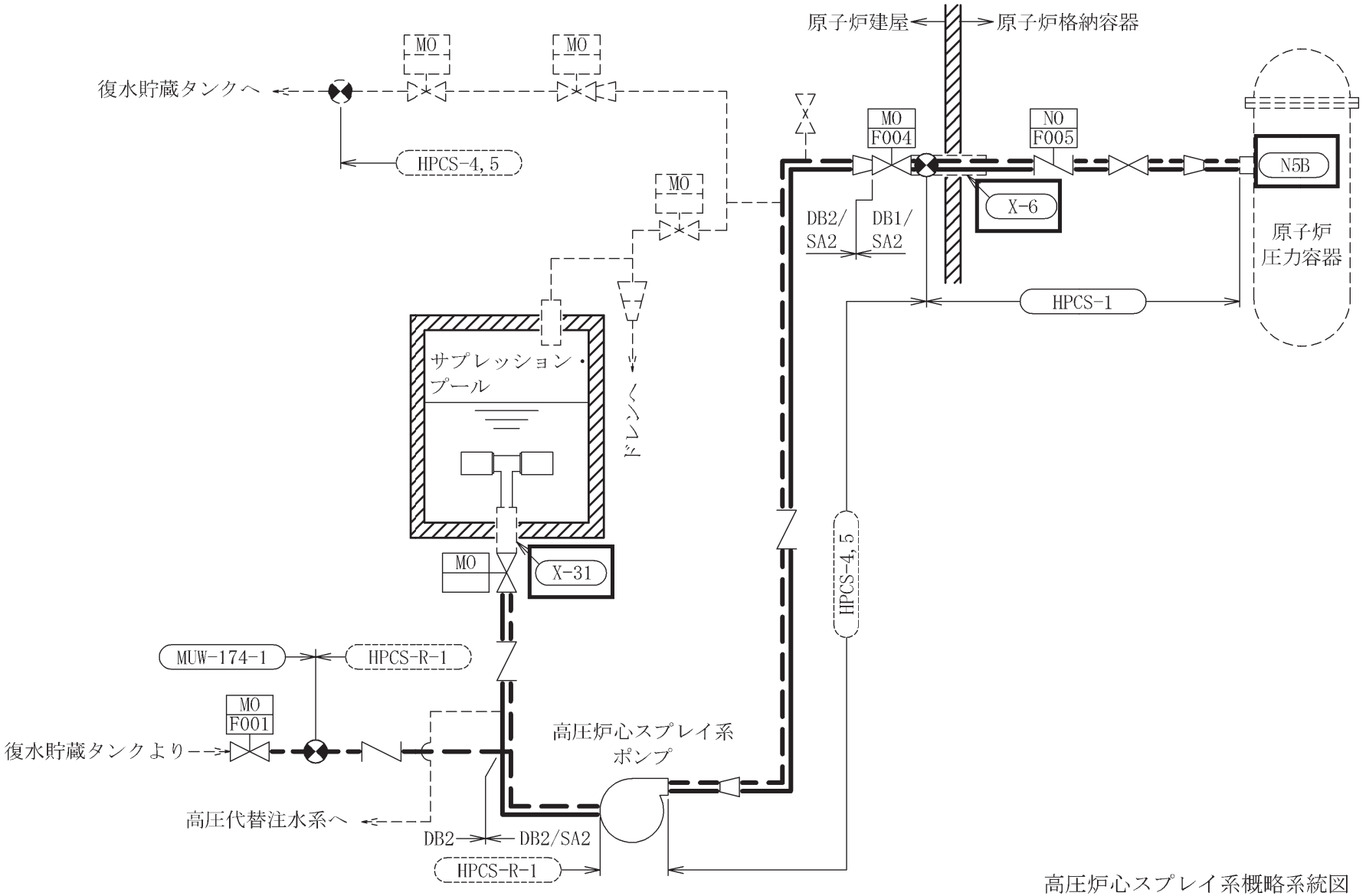
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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

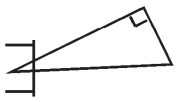
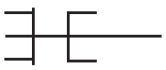
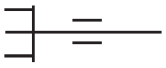
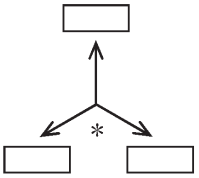
記　　号	内　　容
―――― （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
― ― ― （太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――― （細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1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

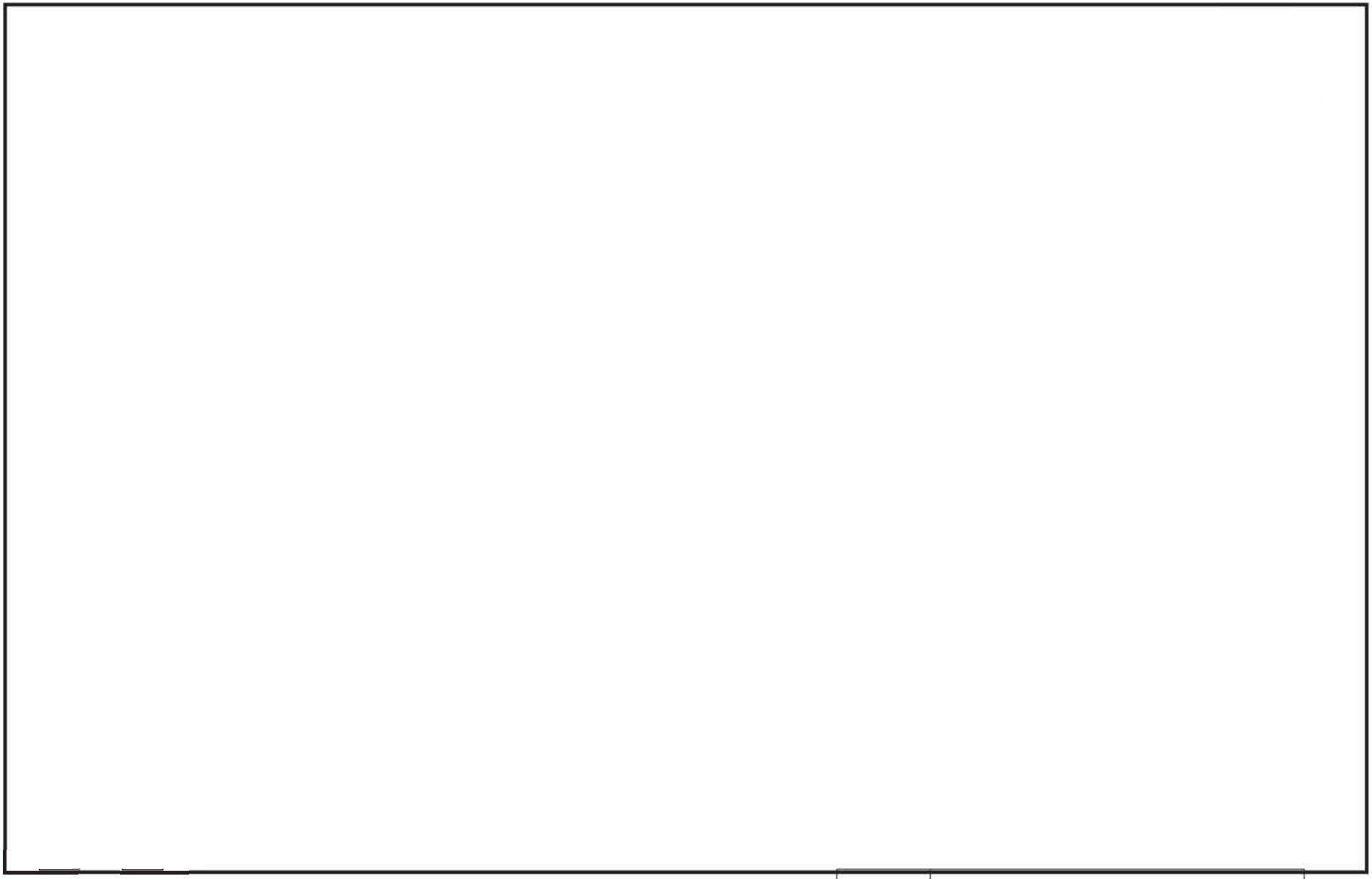


高圧炉心スプレイ系概略系統図

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)

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

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	
			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
	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
[redacted]	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	原子炉建屋		
	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

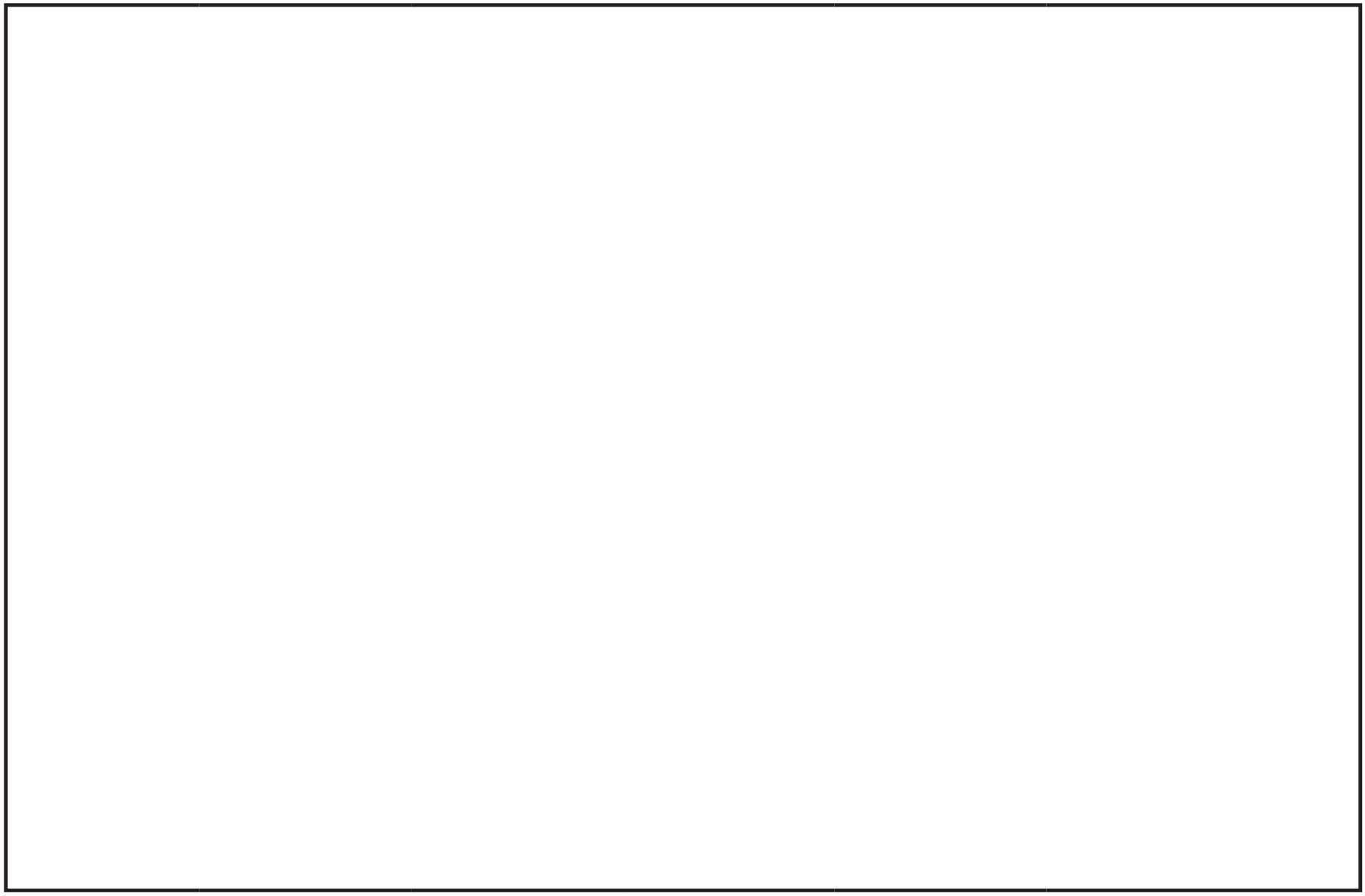
モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				

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

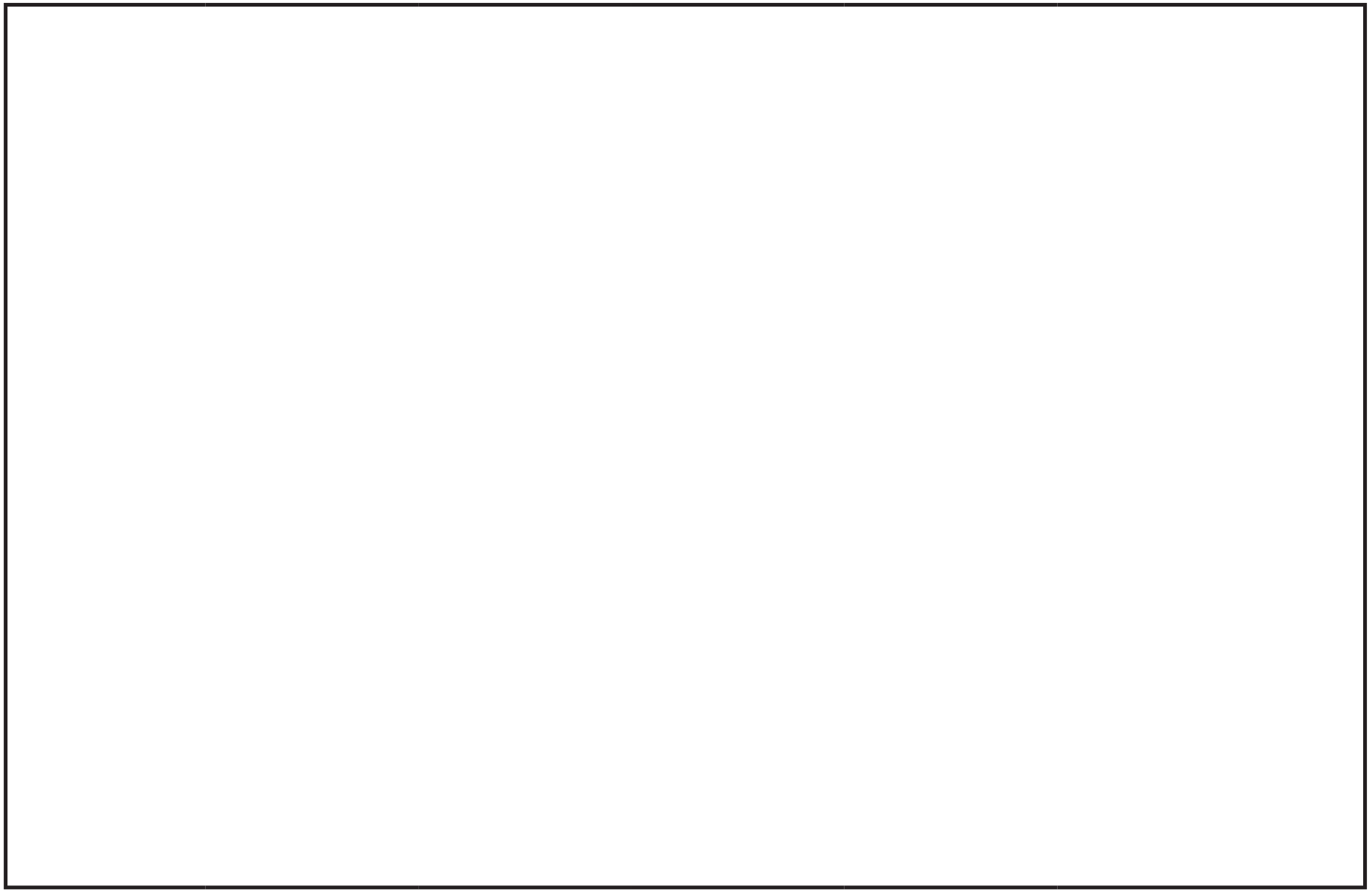
鳥　瞰　図　MUW-174-1

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。

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 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	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	3.56	－	21A	95	366	3.85	－	21A	0	－

注記　＊：III_ASの一次＋二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから，地震荷重が大きいIV_ASの一次＋二次応力裕度最小を代表とする。

IV_ASの計算応力は，V_ASと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 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	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	6.20	－	4	95	414	4.35	－	－	－	－
3	MUW-174-1	13	77	188	2.44	○	13	113	431	3.81	○	13	169	376	2.22	○	－	－	－

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-2-5-5-2-1　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。

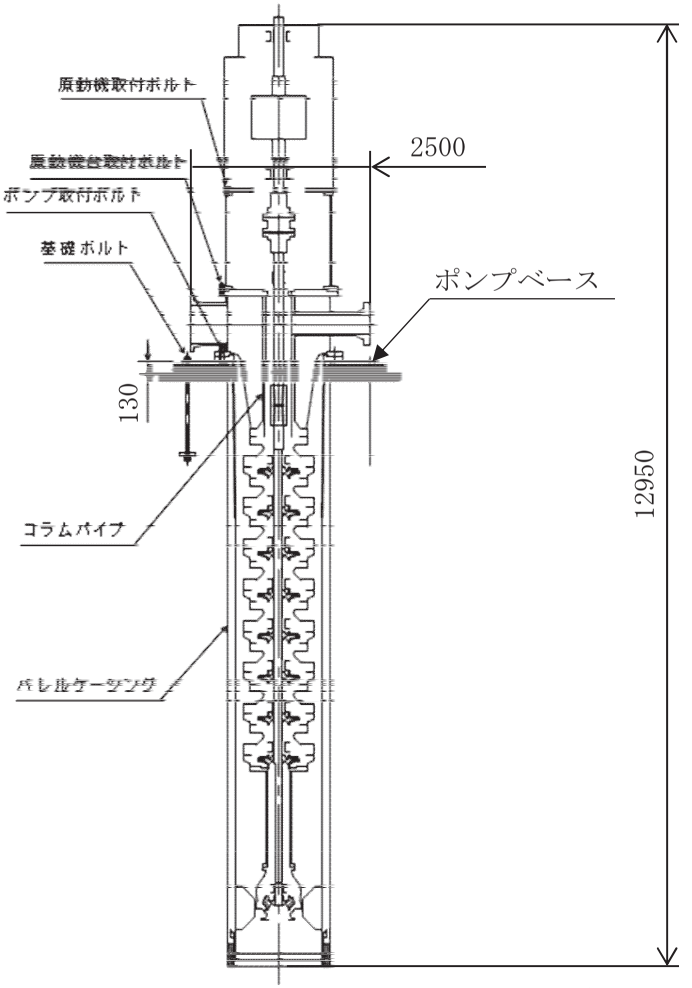
2. 一般事項

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_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	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	－	－

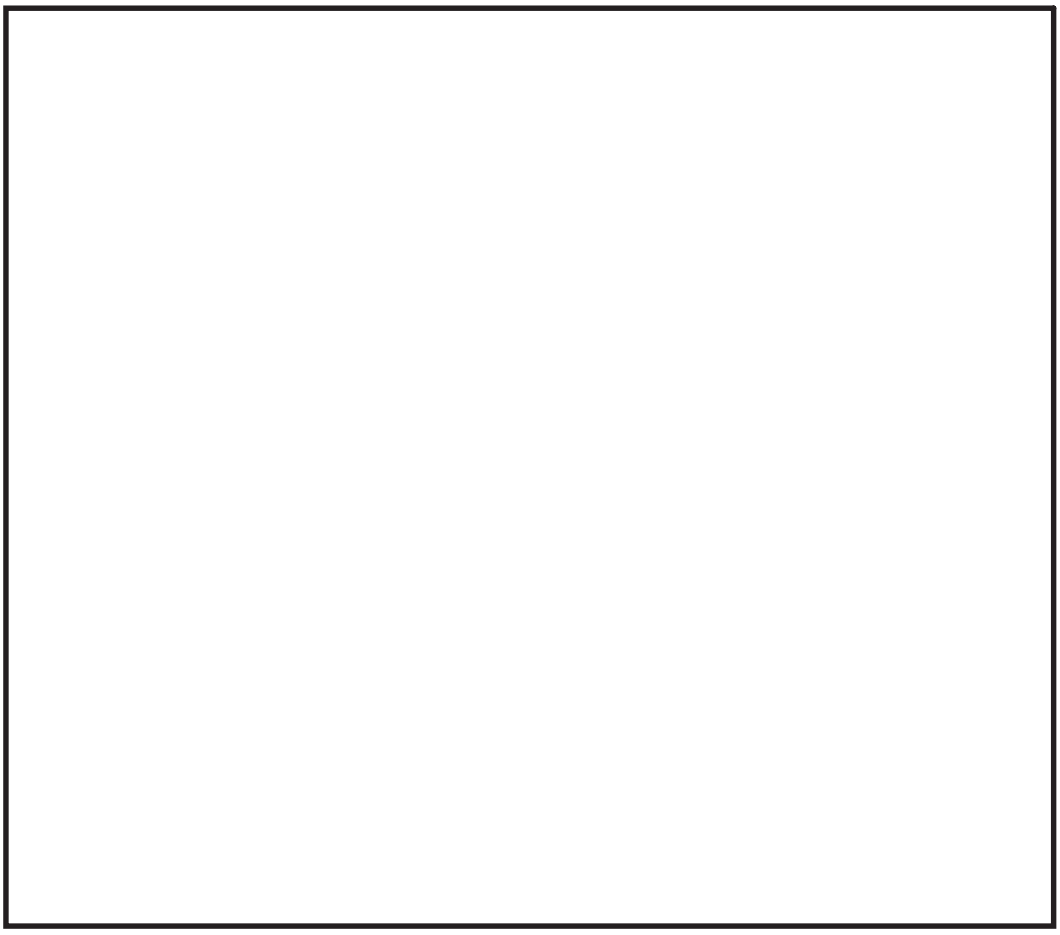


図 3－1　振動モード（１次モード　水平方向　0.086ｓ）

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
原子炉建屋 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	原子炉建屋 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

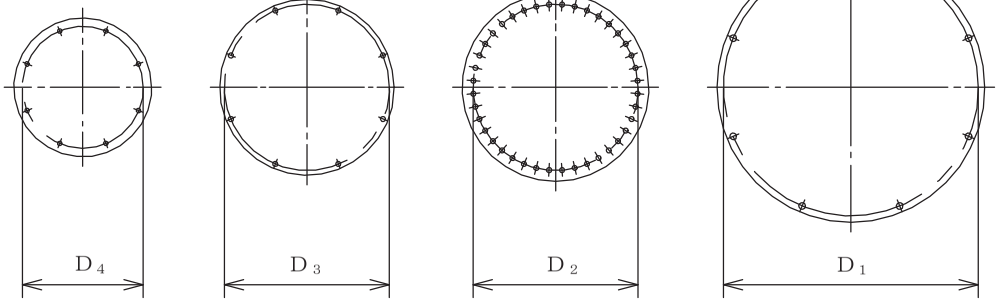
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	

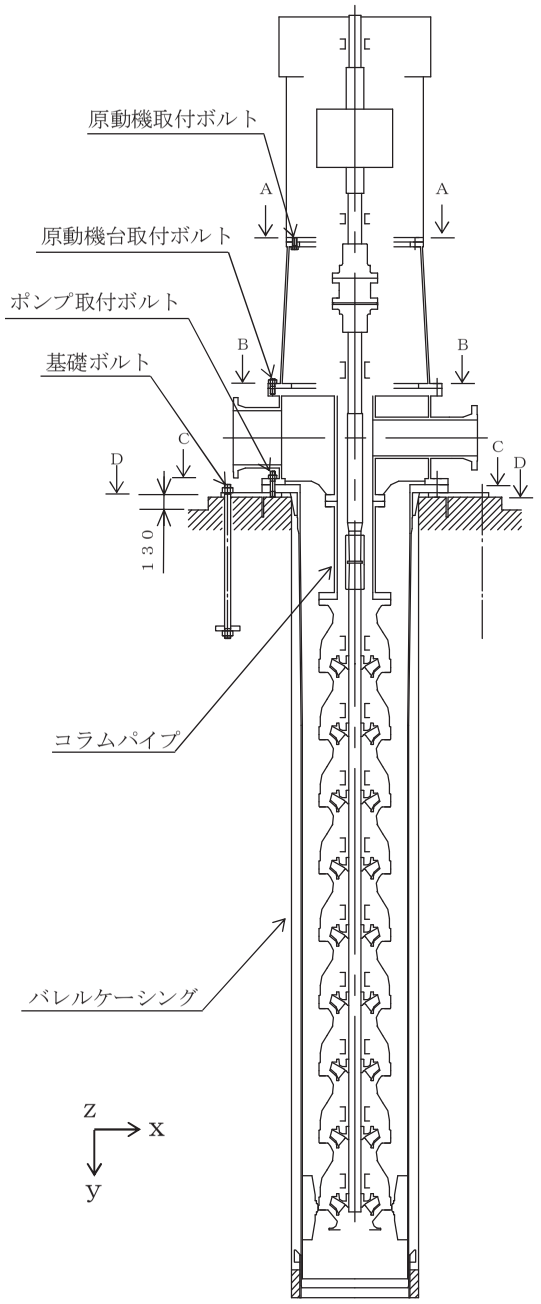
(続き)

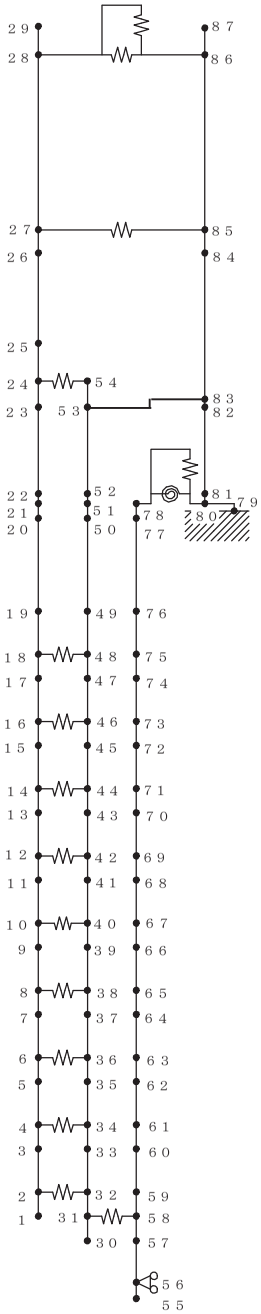
節点番号	質量 (kg)
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	
87	

(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
コラムパイプ
バレルケーシング
A
B
C
D
130
z
x
y



2. 重大事故対処施設

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	原子炉建屋 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} (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	−	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	－	－	σ_{b1}=12	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}= 9	f_{ts2}=444*
		せん断	－	－	τ_{b2}= 5	f_{sb2}=342
原動機台取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b3}=29	f_{ts3}=163*
		せん断	－	－	τ_{b3}=13	f_{sb3}=125
原動機取付ボルト		引張り	－	－	σ_{b4}=20	f_{ts4}=185*
		せん断	－	－	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

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/s²)

		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

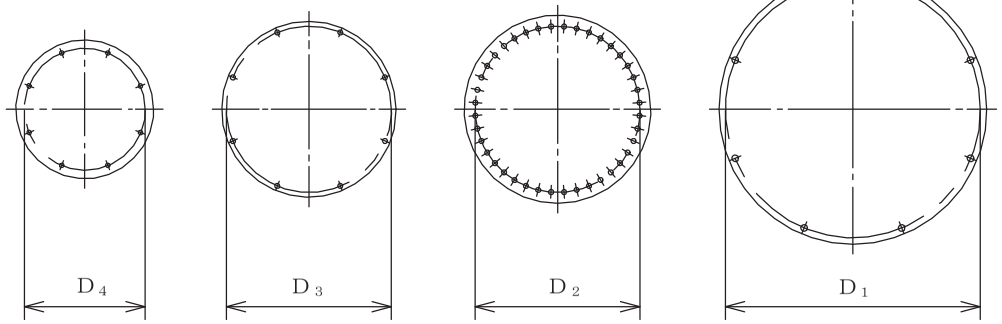
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	

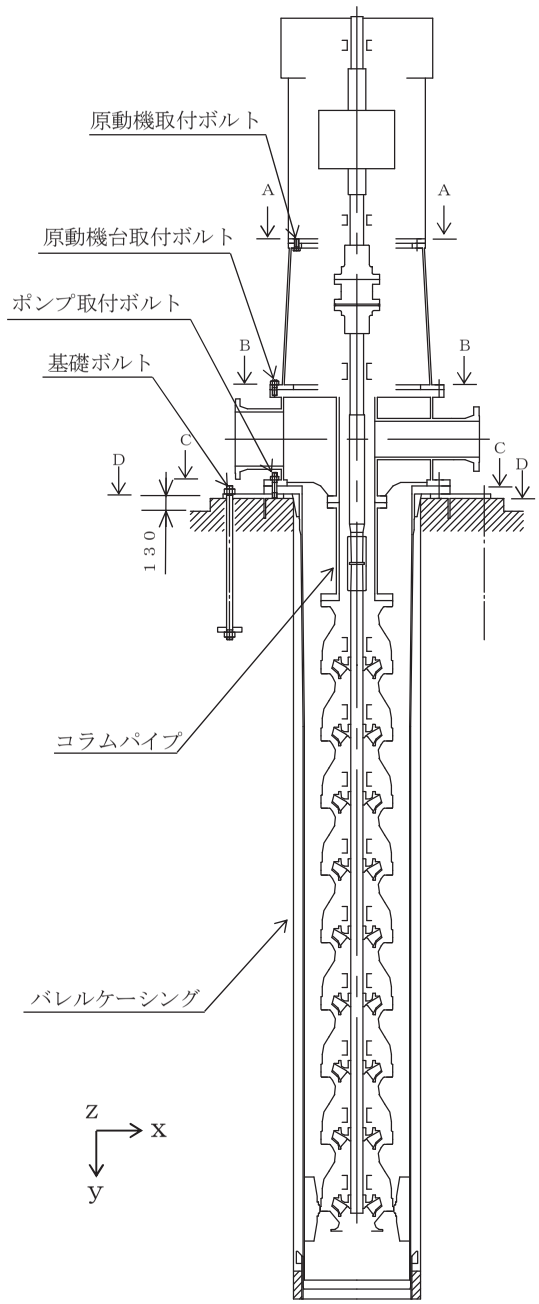
(続き)

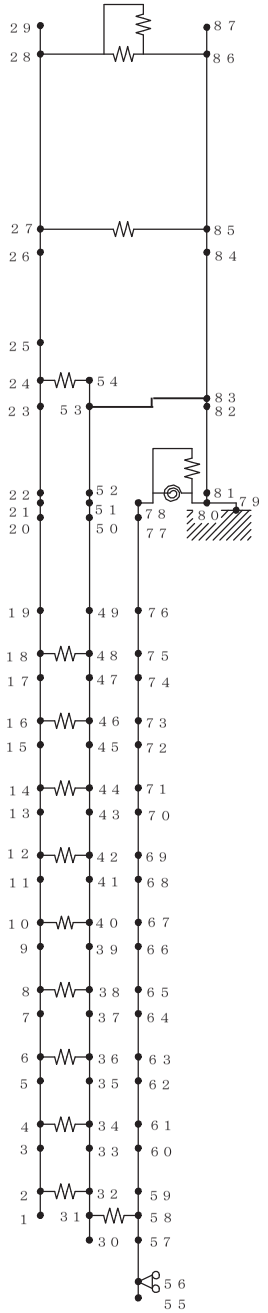
節点番号	質量 (kg)
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	
87	

(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


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



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 ····· 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

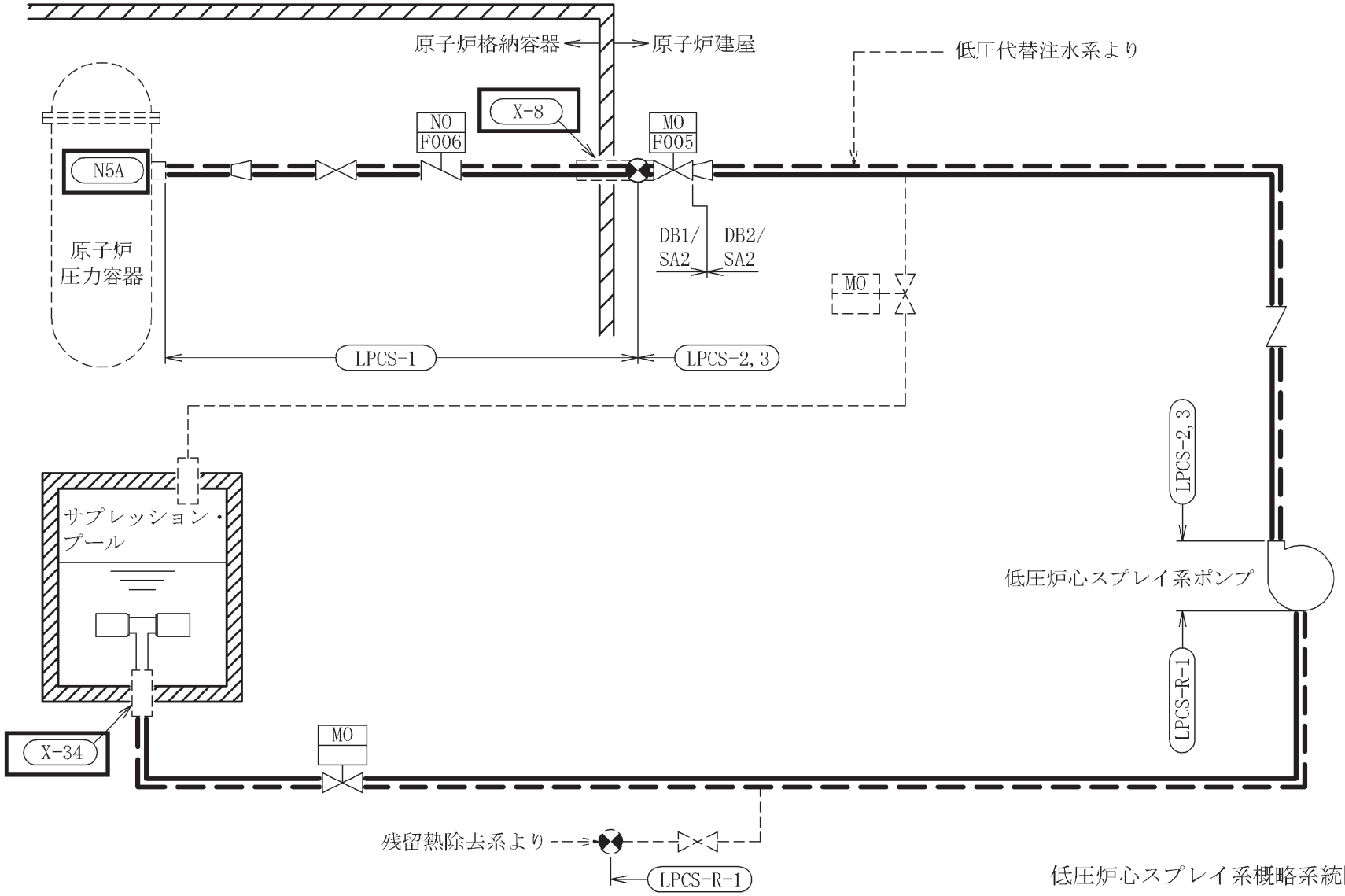
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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

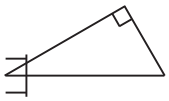
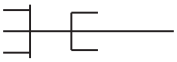
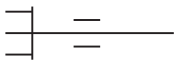
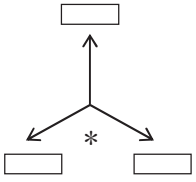
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラ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

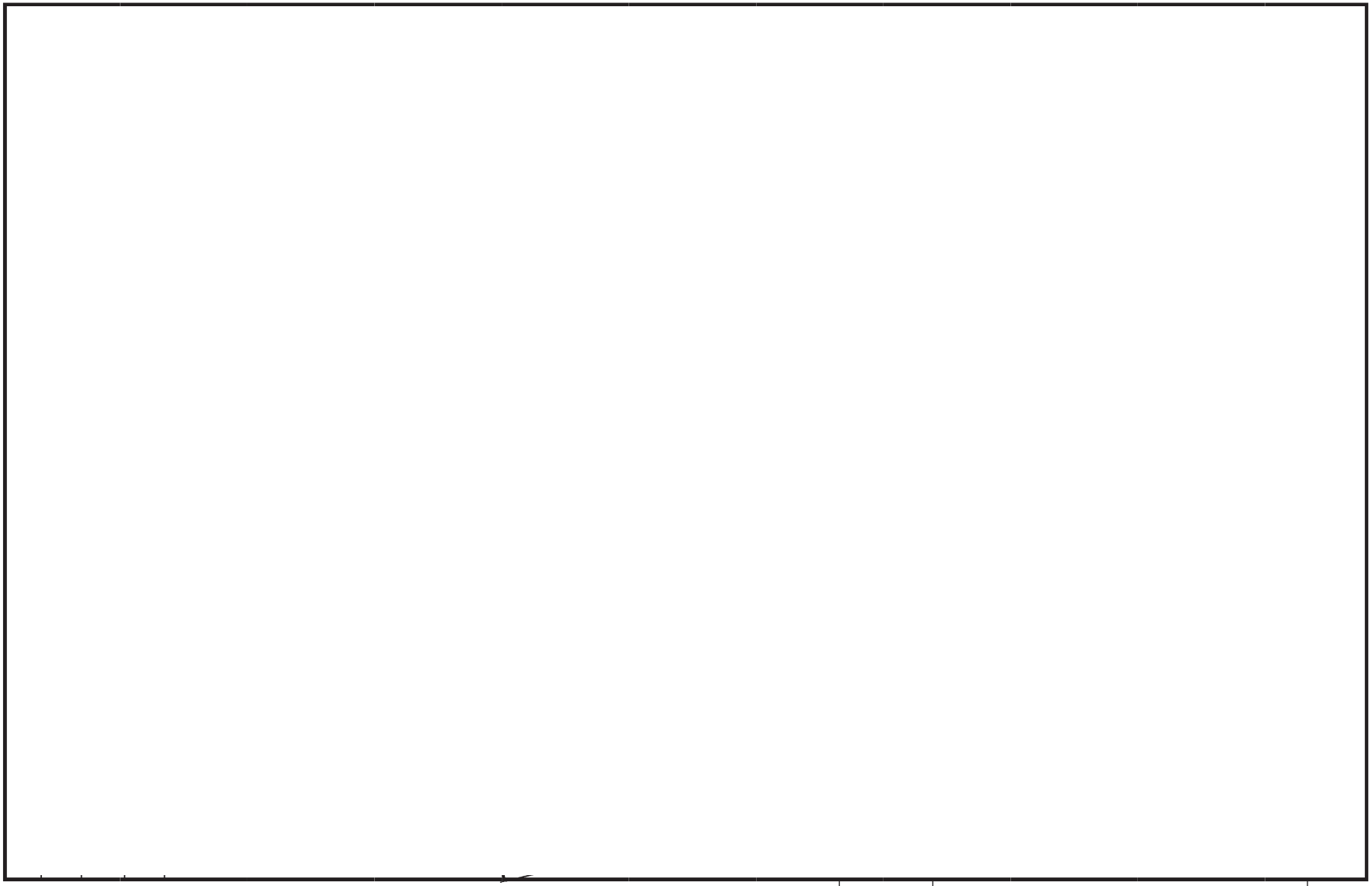


低圧炉心スプレイ系概略系統図

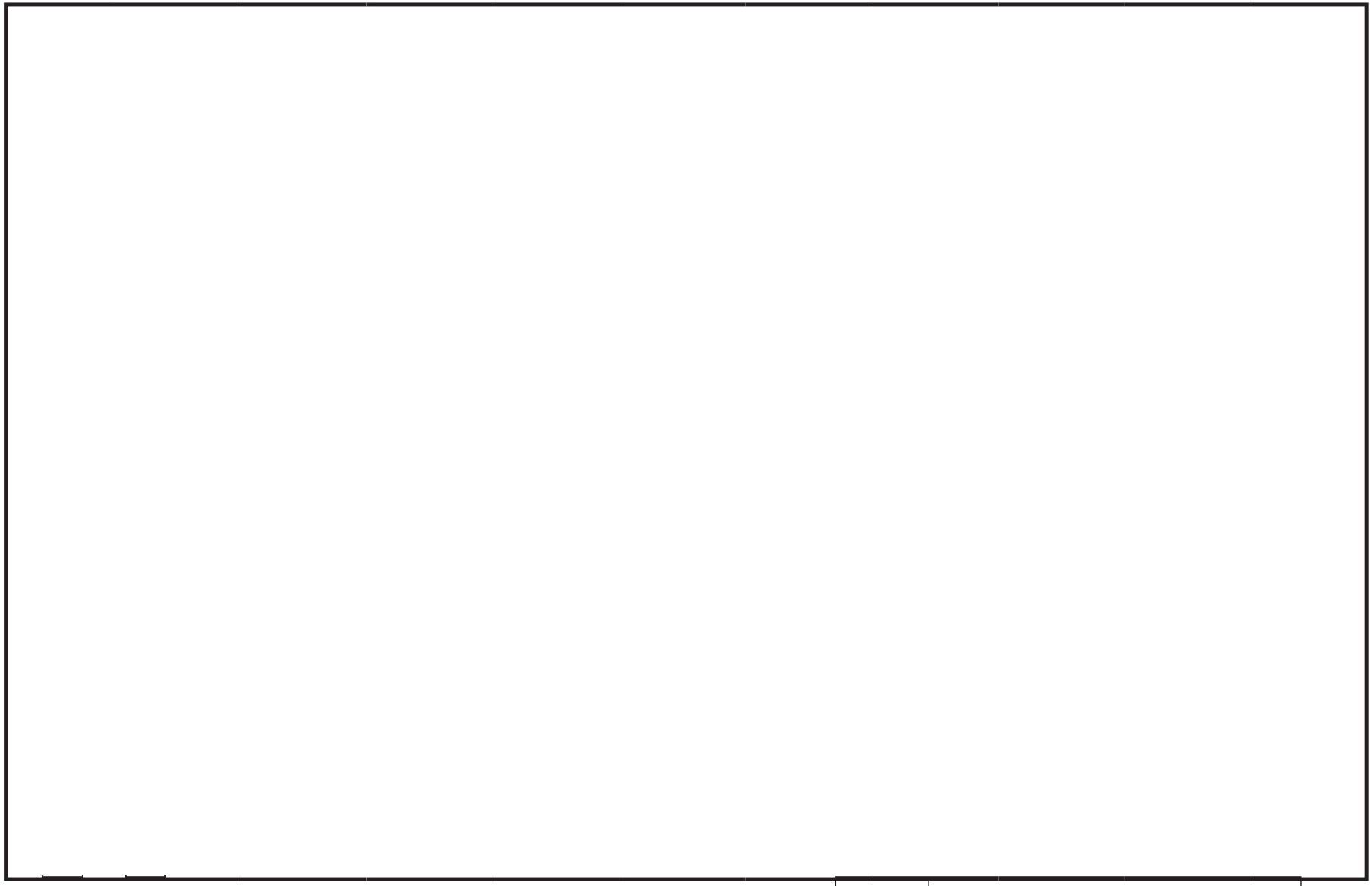
2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

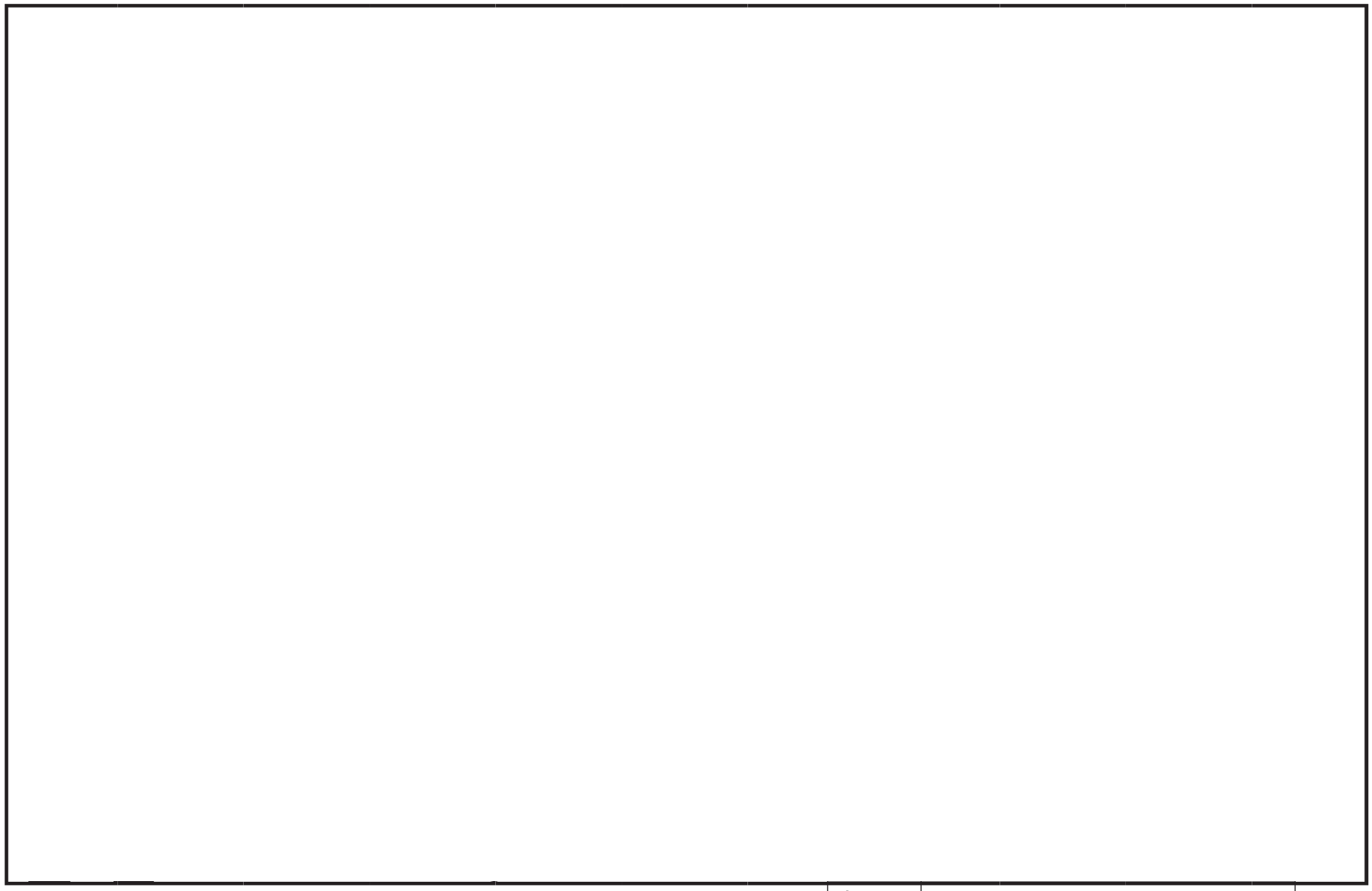
記　　号	内　　容
（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質　　点
	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震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



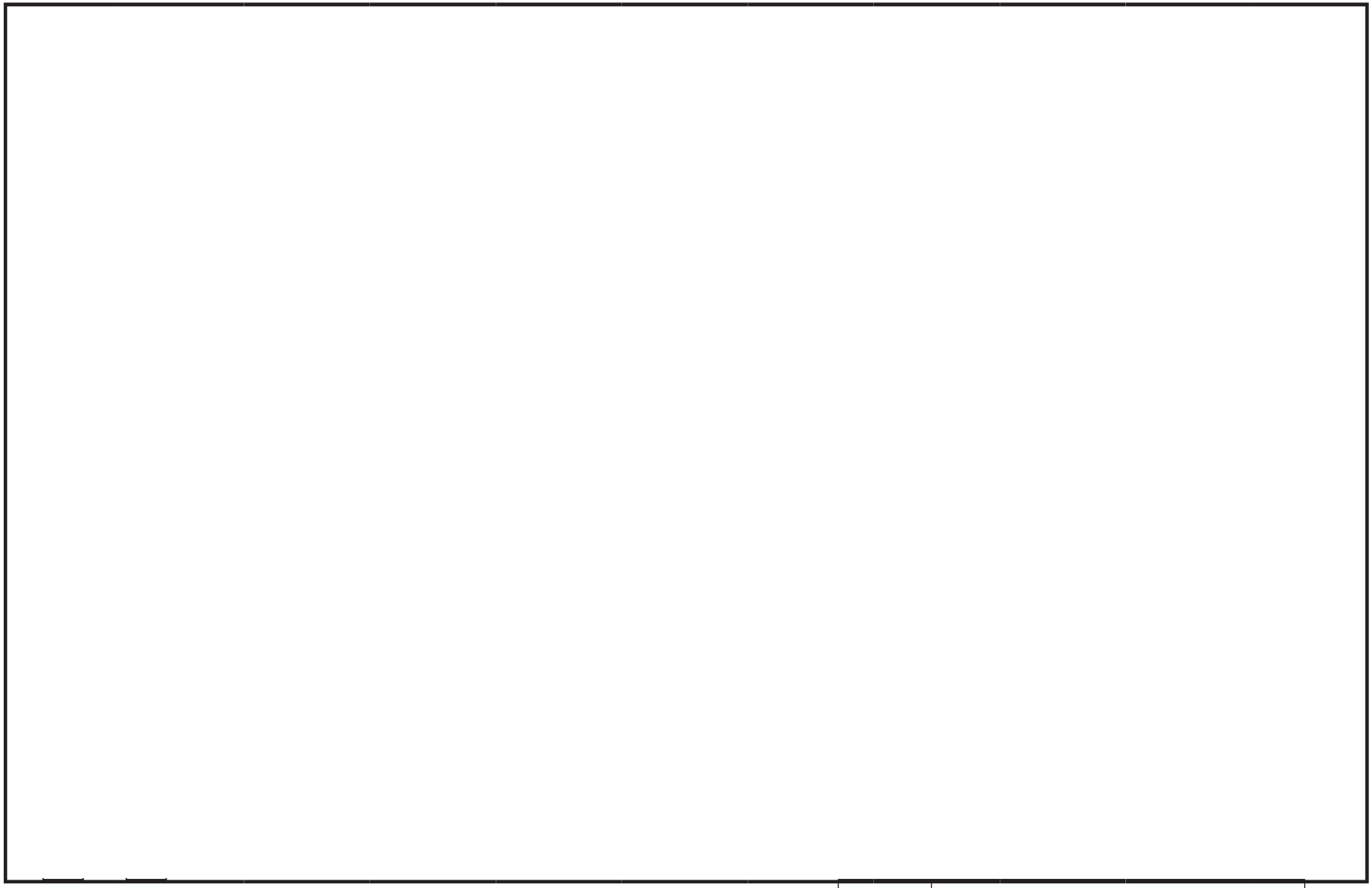
鳥瞰図	LPCS-1(DB)(1/2)



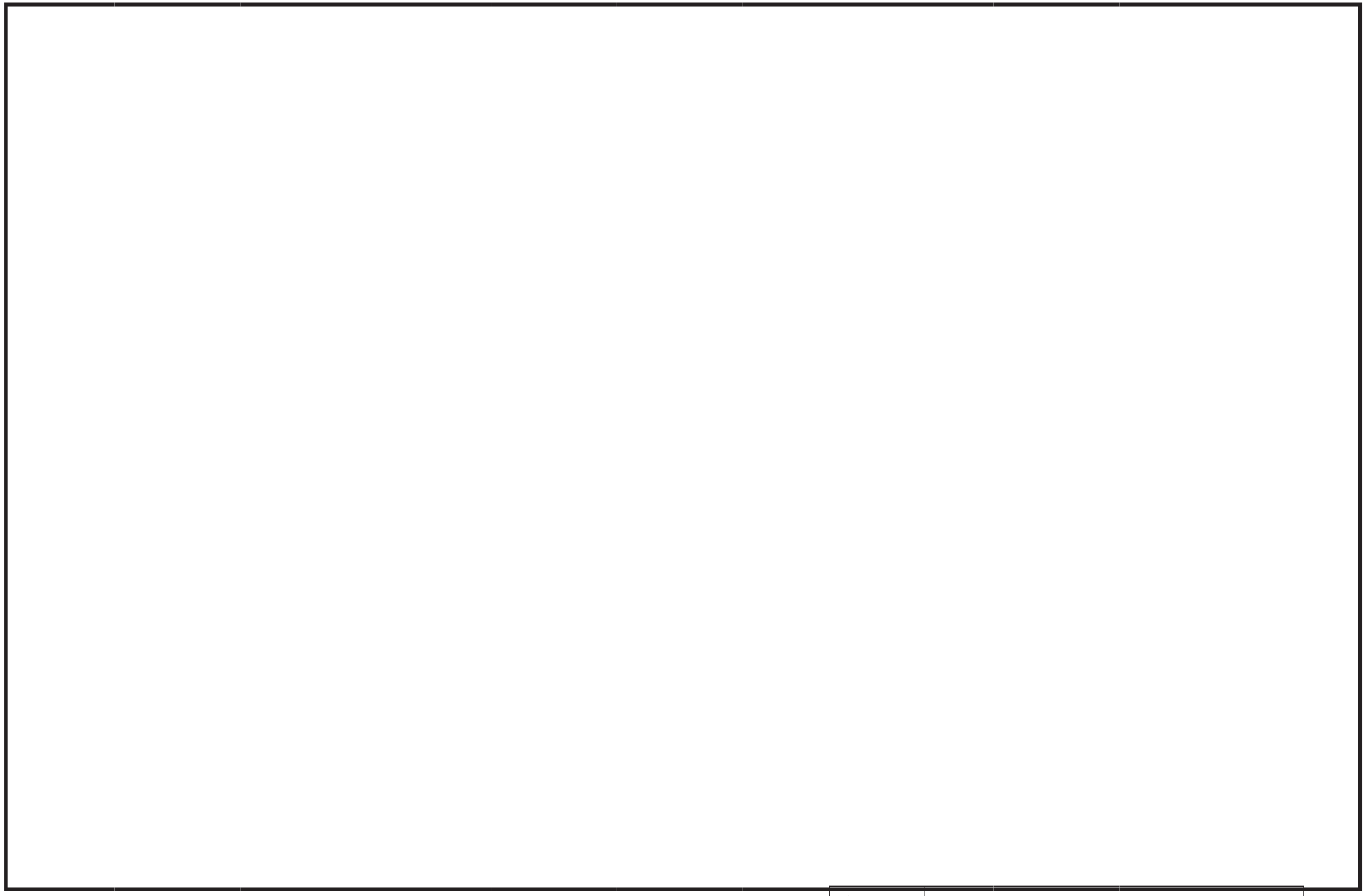
鳥瞰図	LPCS-1(DB)(2/2)



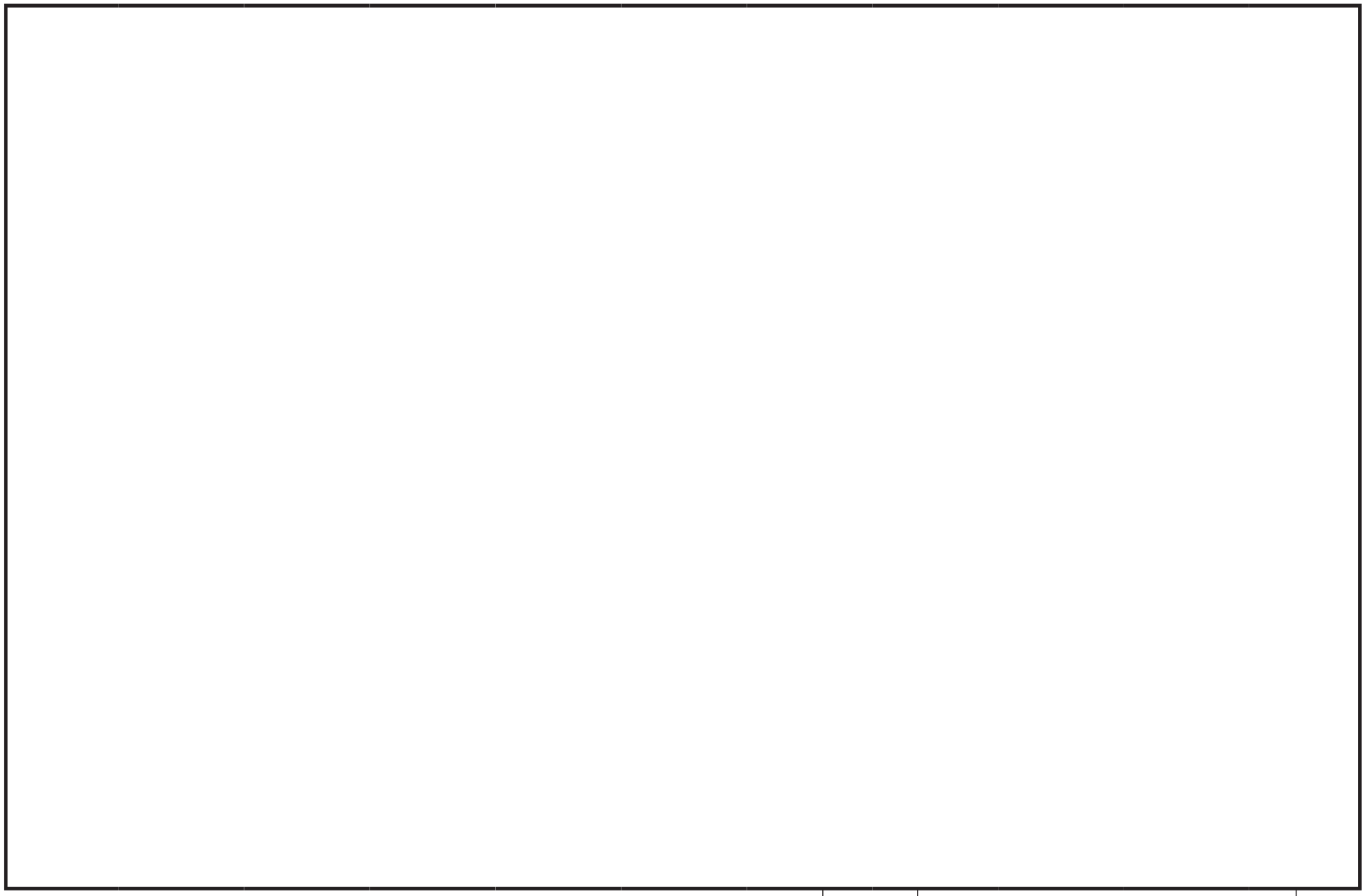
鳥瞰図	LPCS-1(SA)(1/2)



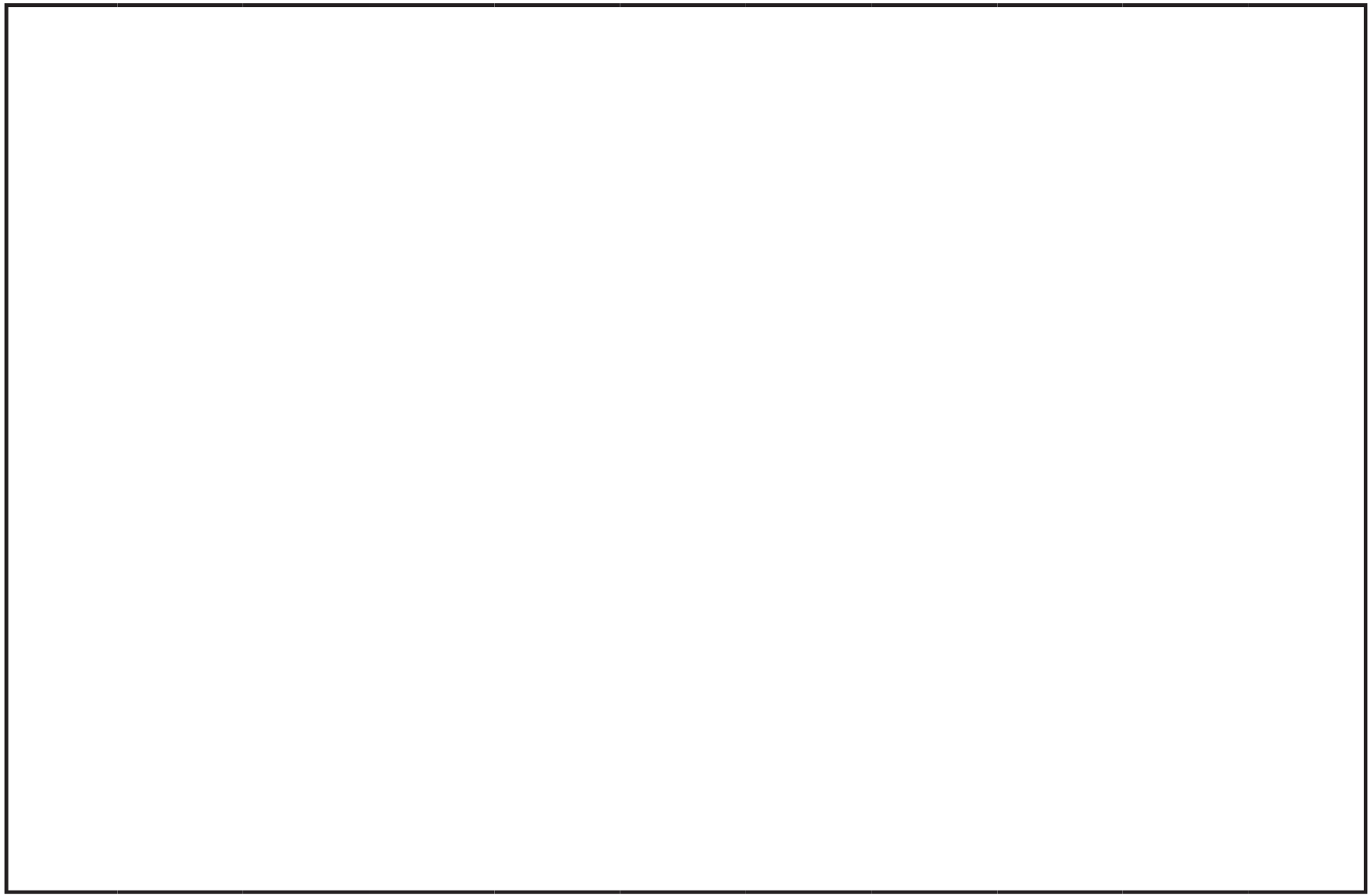
鳥瞰図	LPCS-1(SA)(2/2)



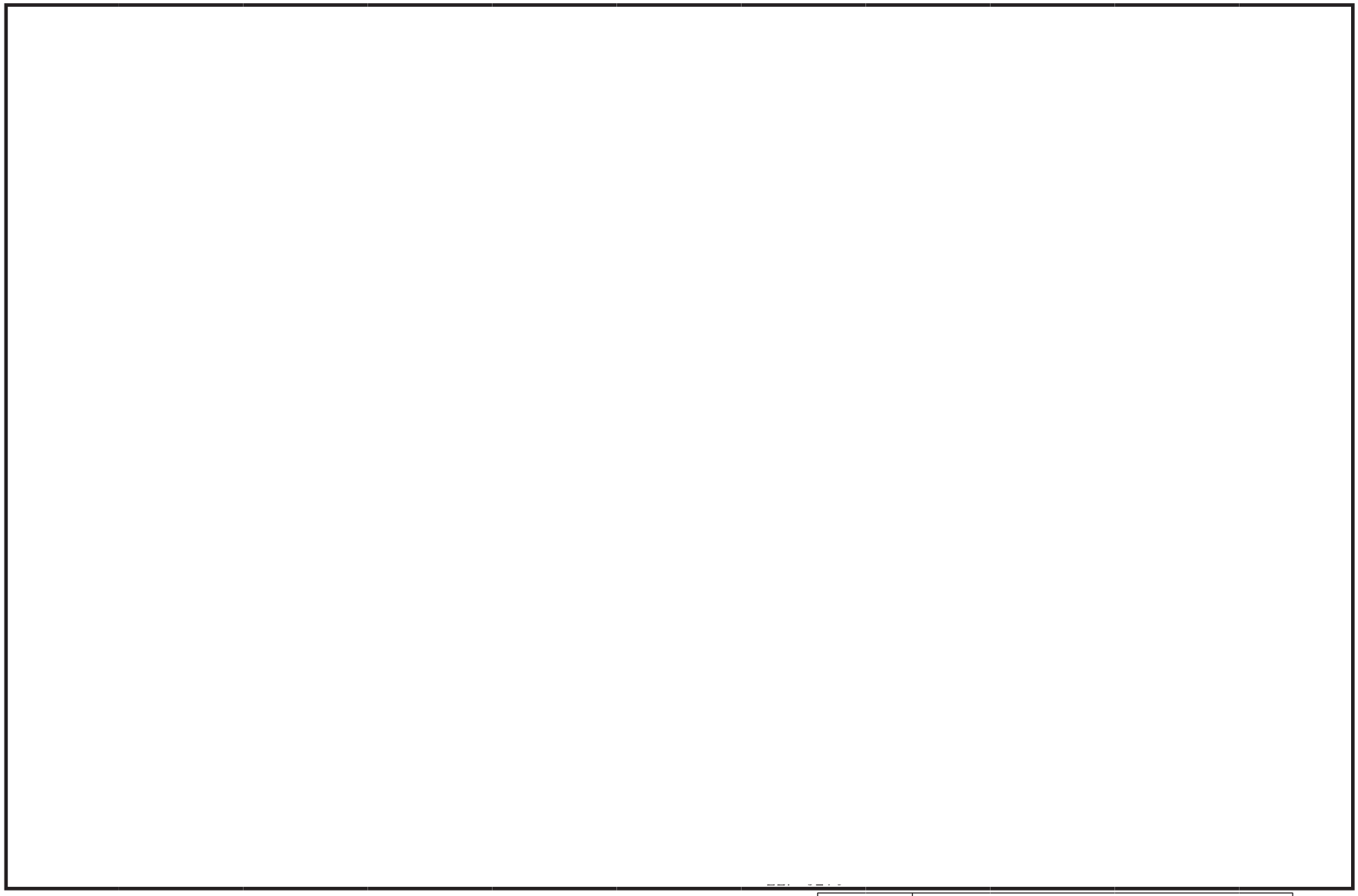
鳥瞰図	LPCS-2,3(DB)(1/3)



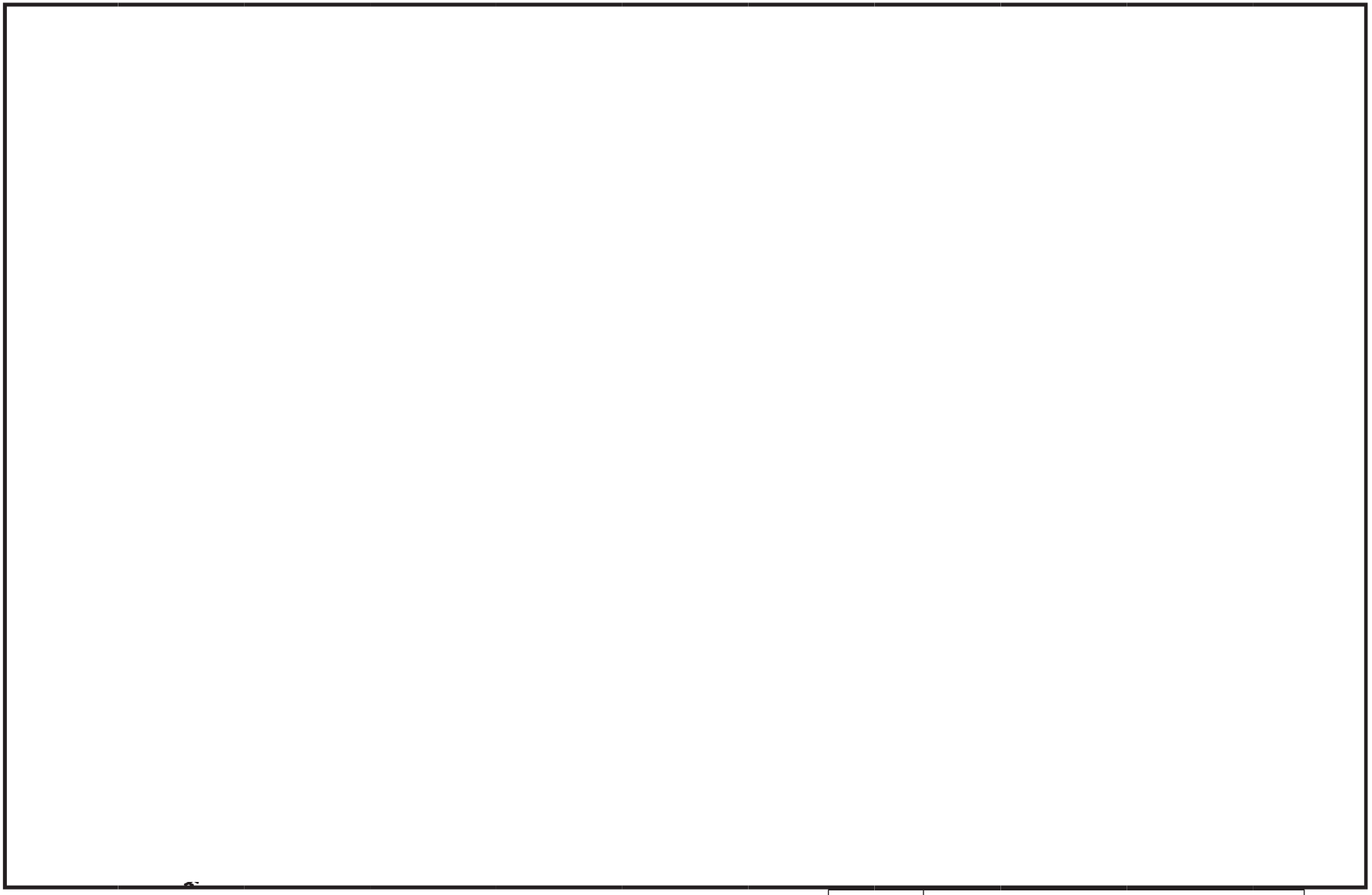
鳥瞰図	LPCS-2,3(DB)(2/3)



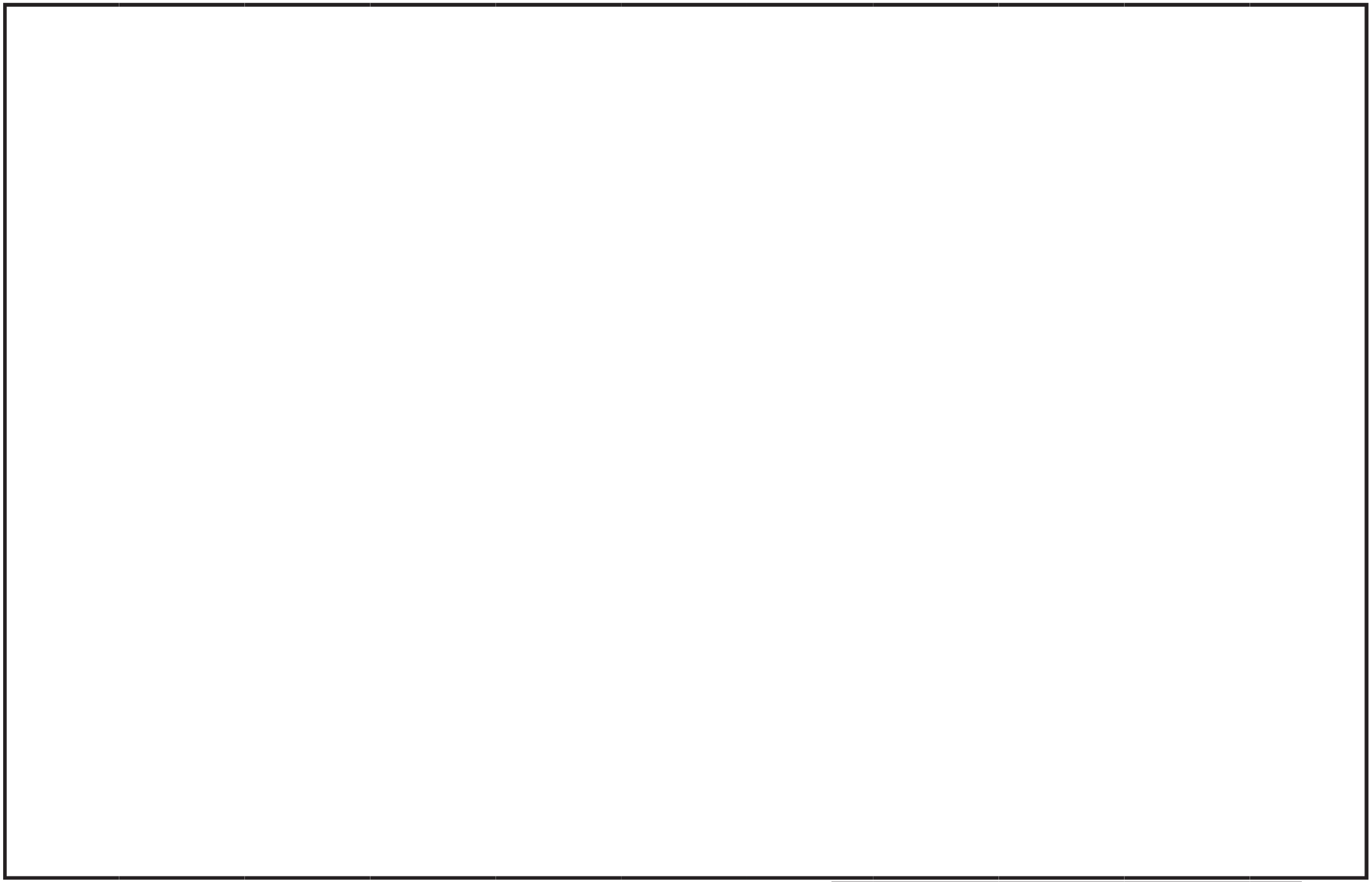
鳥瞰図	LPCS-2,3(DB)(3/3)



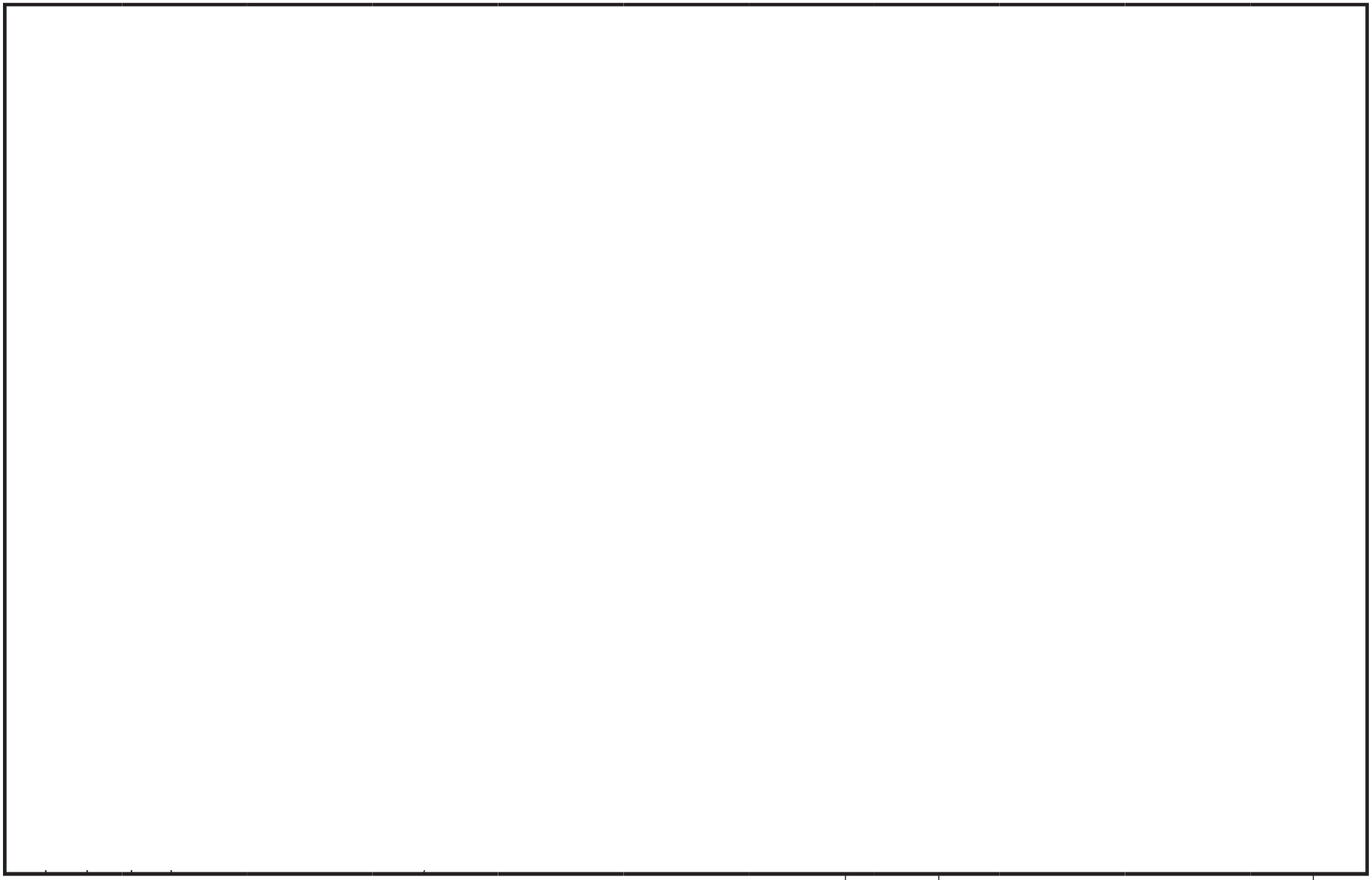
鳥瞰図	LPCS-2,3(SA)(1/3)



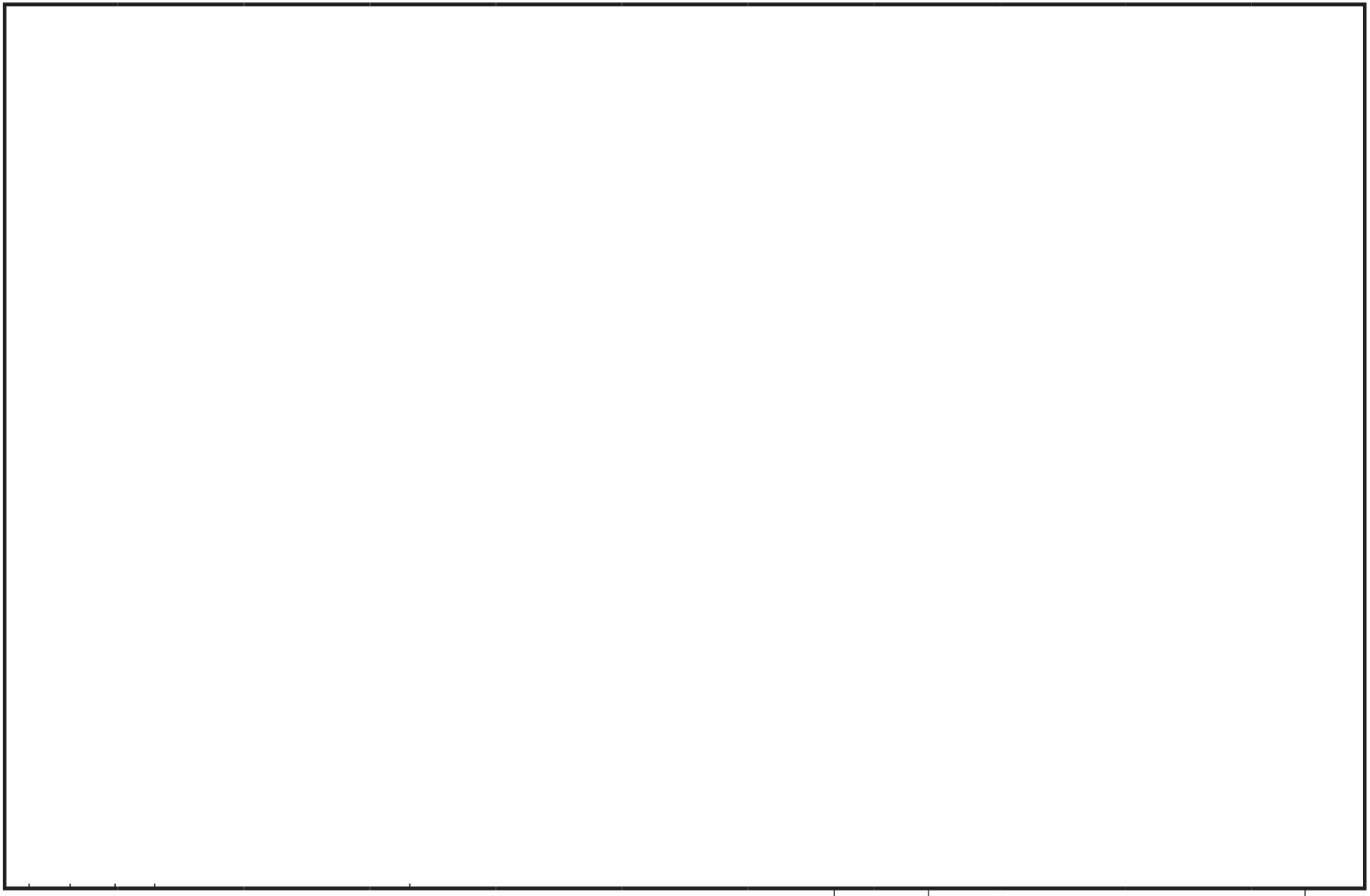
鳥瞰図	LPCS-2,3(SA)(2/3)



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

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_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 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	[redacted]	S	[redacted]
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
	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	原子炉建屋		
LPCS-R-1	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 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		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							

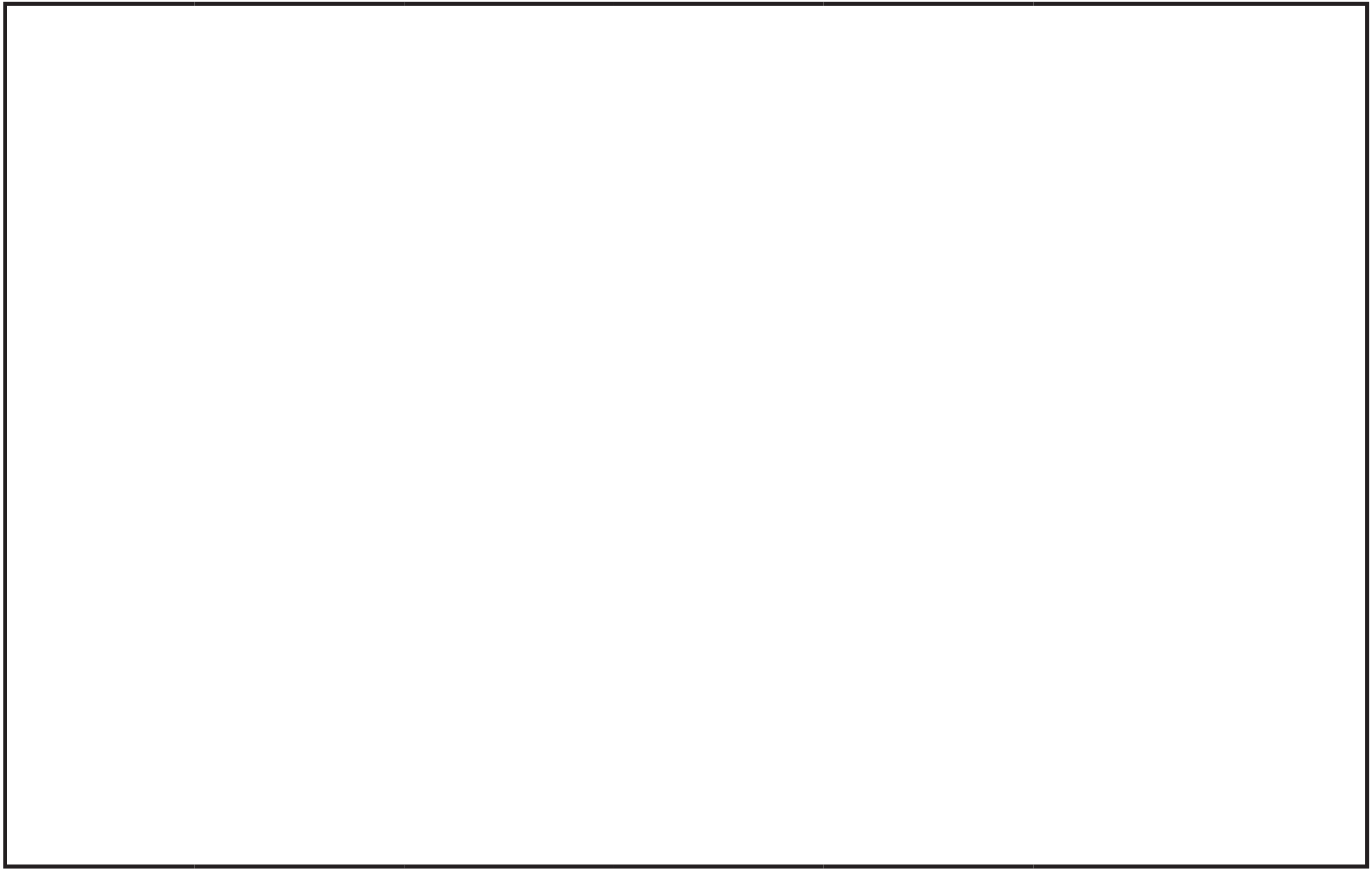
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　LPCS-R-1

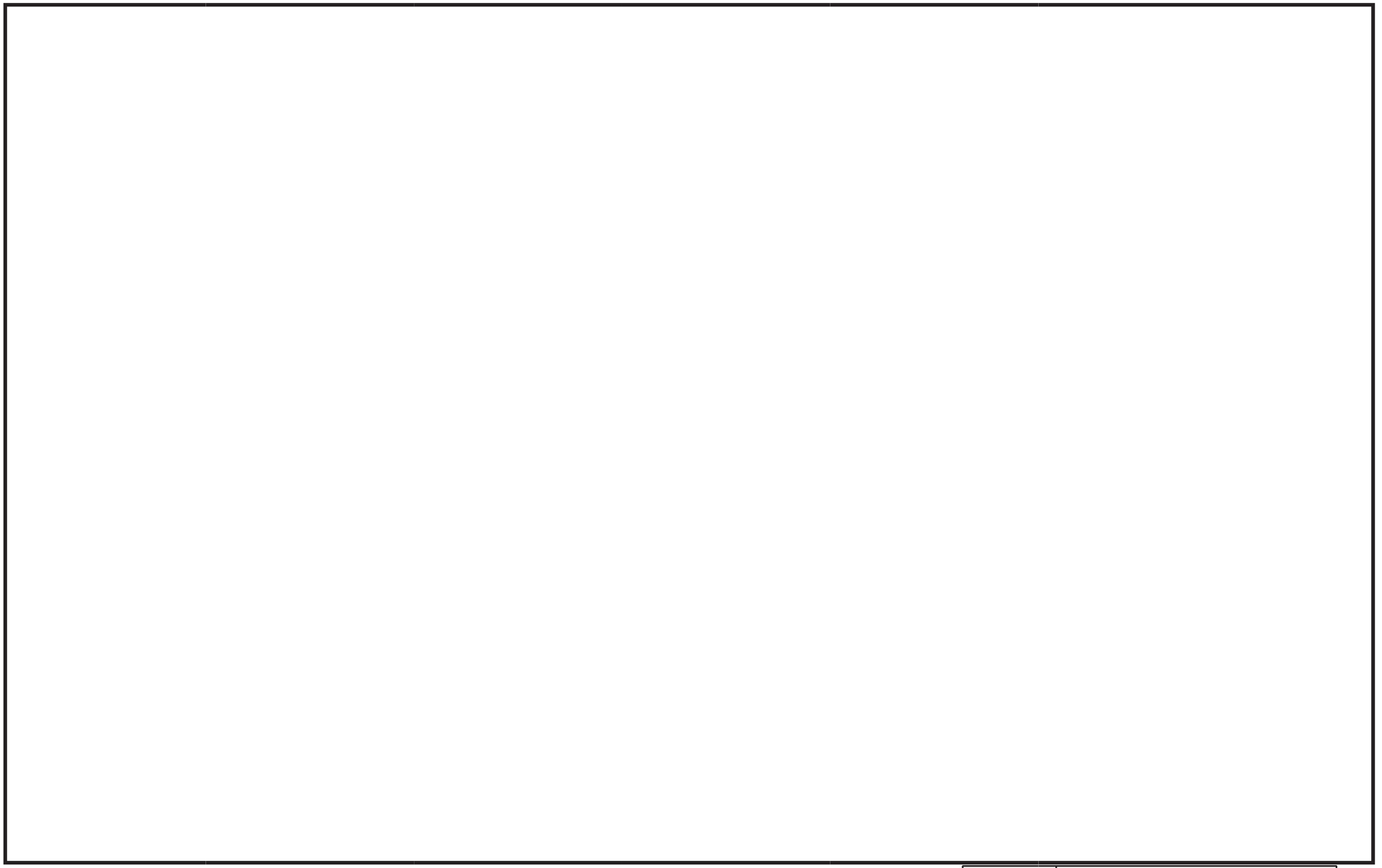
モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				

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）	—	—	193	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	3.64	－	13	194	414	2.13	○	－	－	－

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）

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。

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。

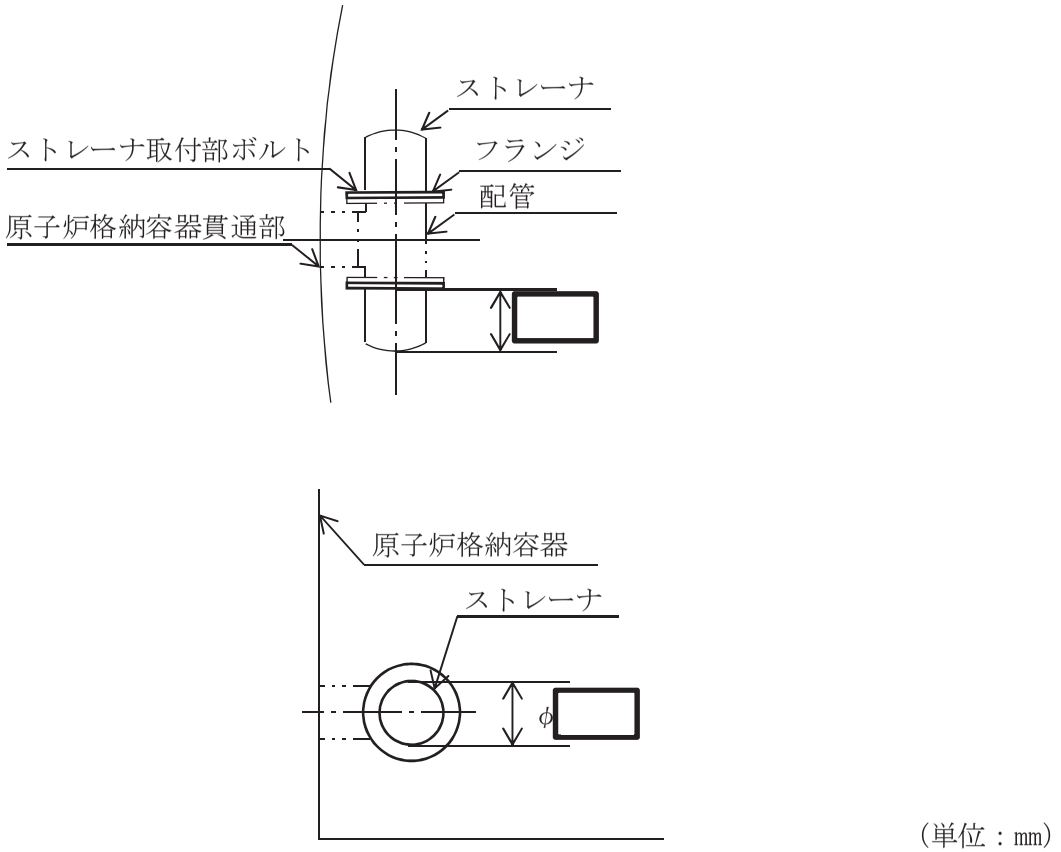
原子炉隔離時冷却系ストレーナは，重大事故等対処設備において常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

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	

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。

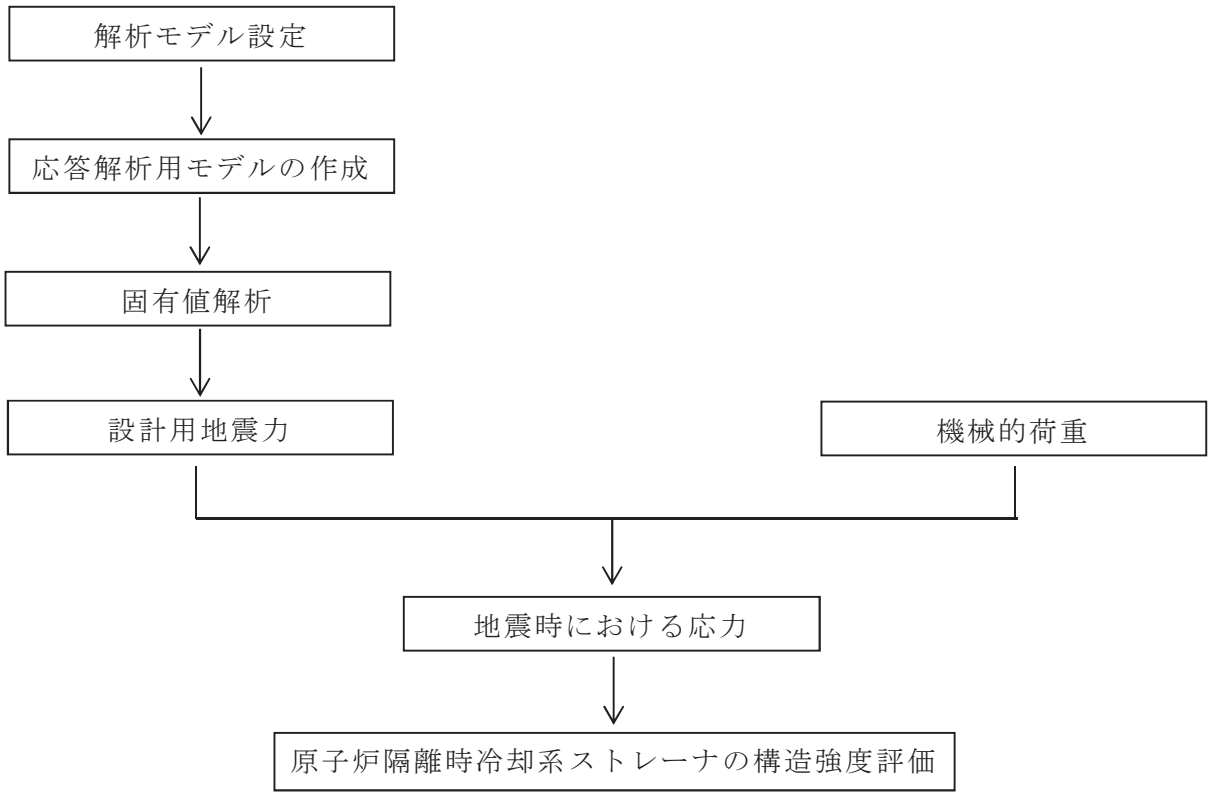


図 2-1　原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震評価フロー

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

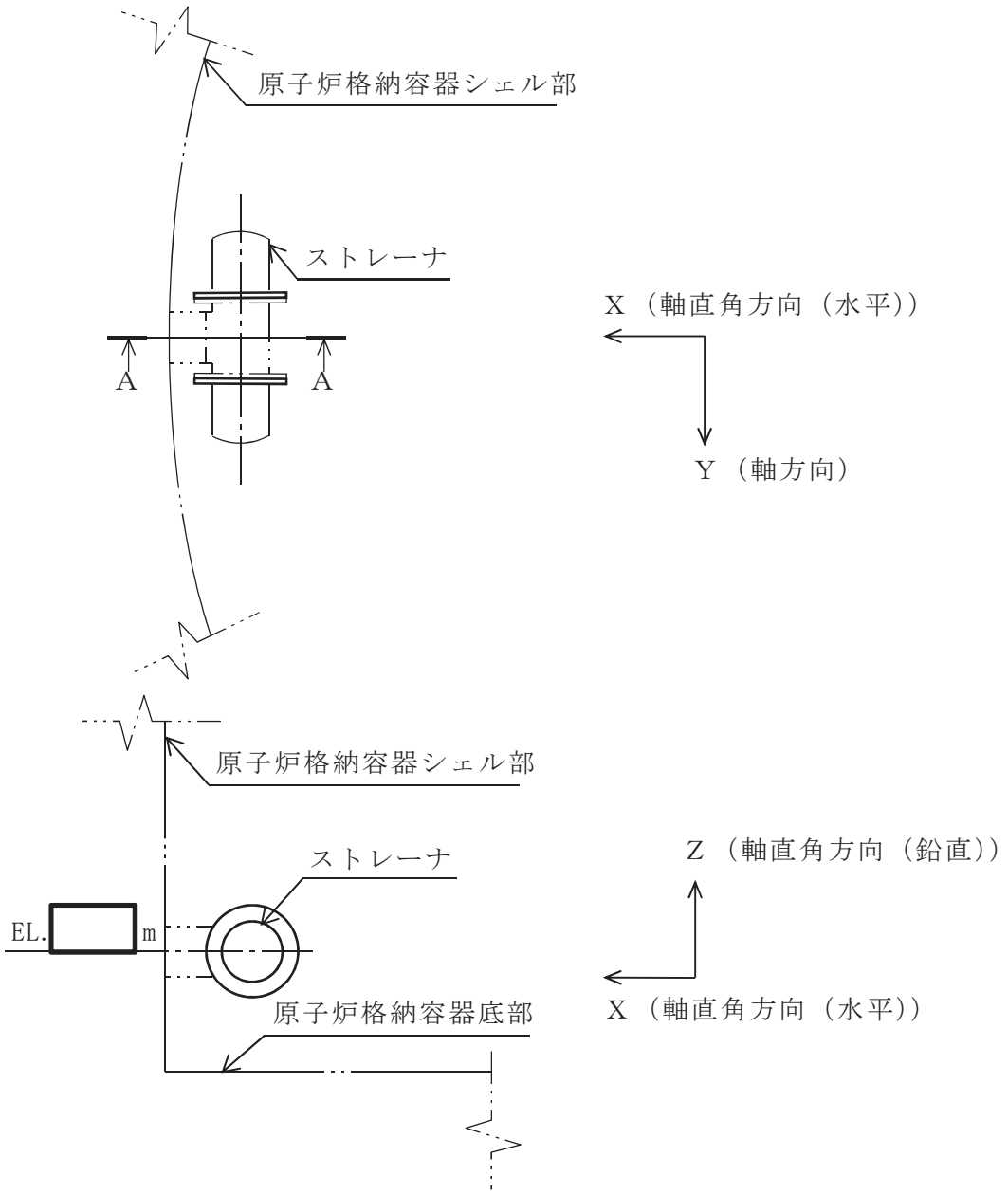
注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊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。

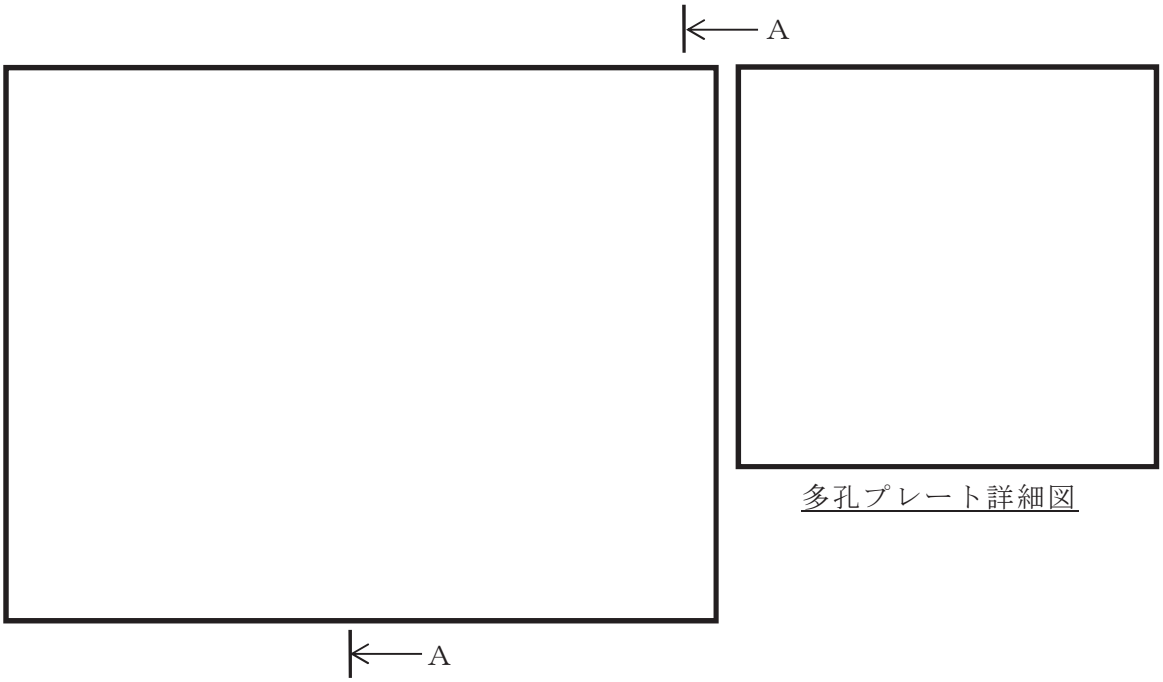
3. 評価部位

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。

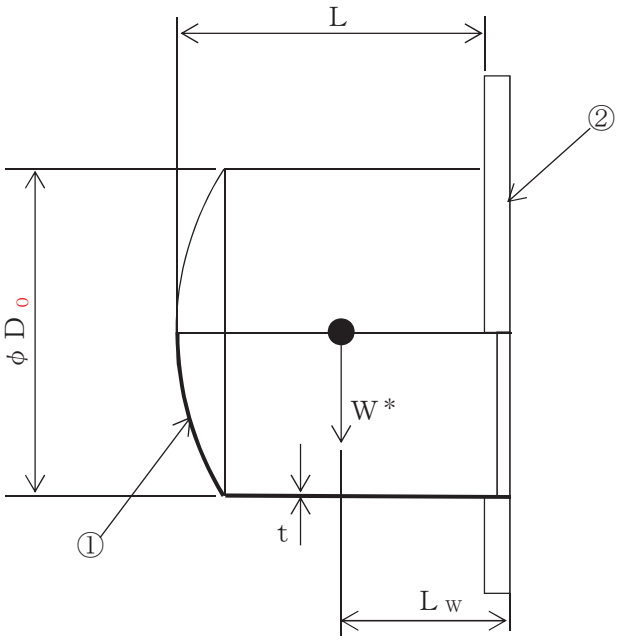


A～A断面図

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

o = P =	L =	L w =	t =	d =

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＝□ 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＝□ 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}＝□ 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。

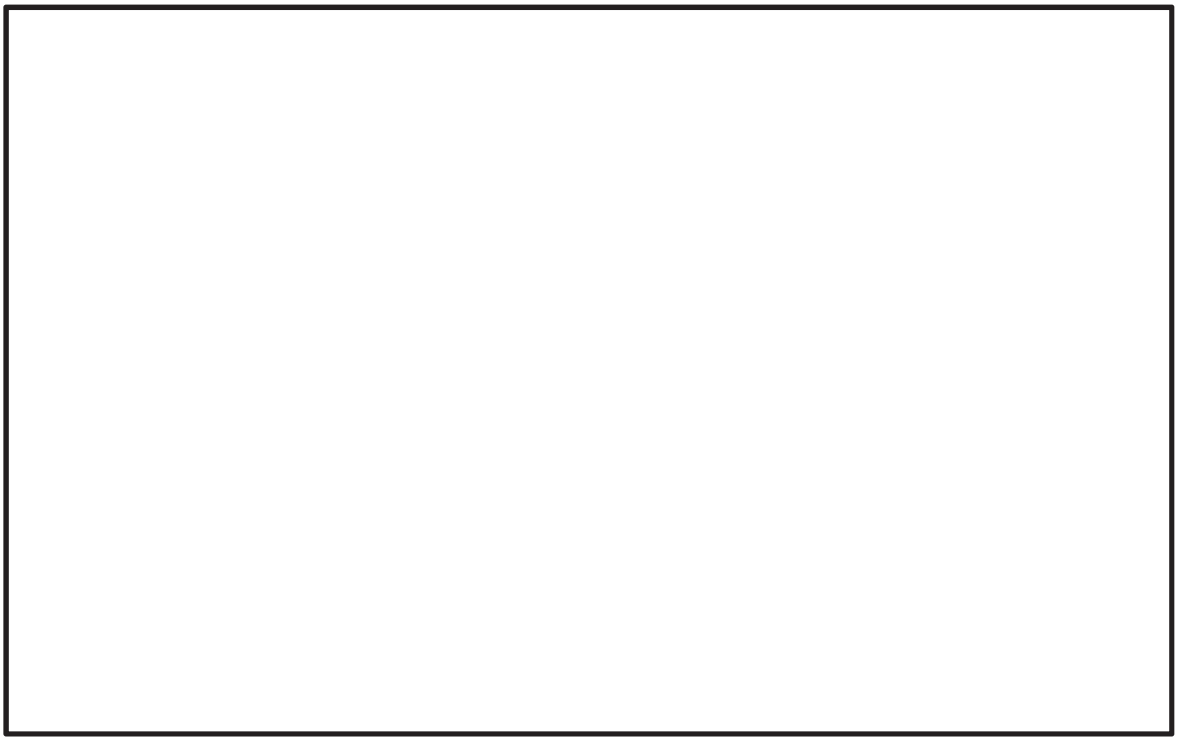


図 4-1　応答解析用モデル

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

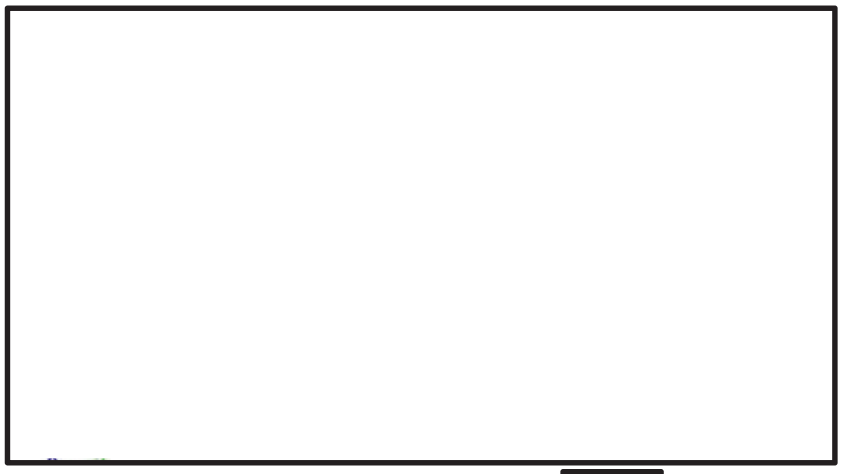


図 4-2　振動モード（1 次モード　　s）

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-10 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。

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

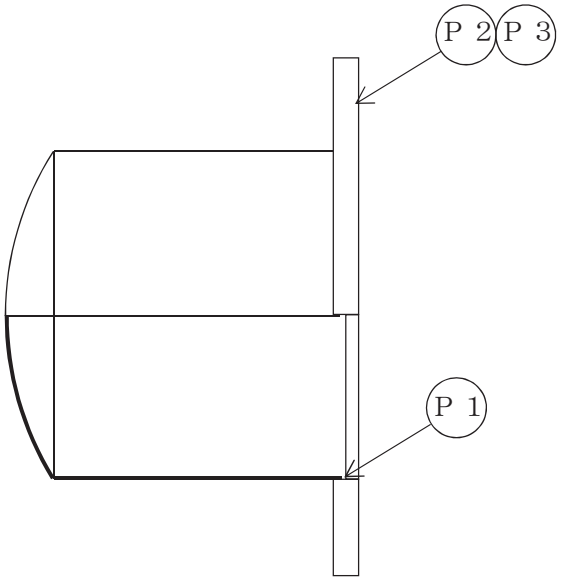


図 4-3　応力評価点

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＝□(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）＝□(mm)

d　：孔径＝□(mm)

t　：板厚＝□(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＝□(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。

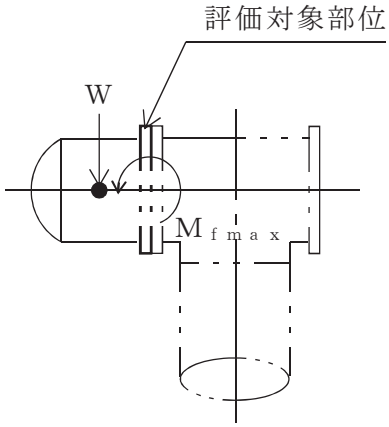


図 4-4　フランジに作用するモーメント

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＝	(mm)
b	：フランジ内半径＝	(mm)
t	：フランジ板厚＝	(mm)
β	：b／a（＝	から決まる計算上の係数＝

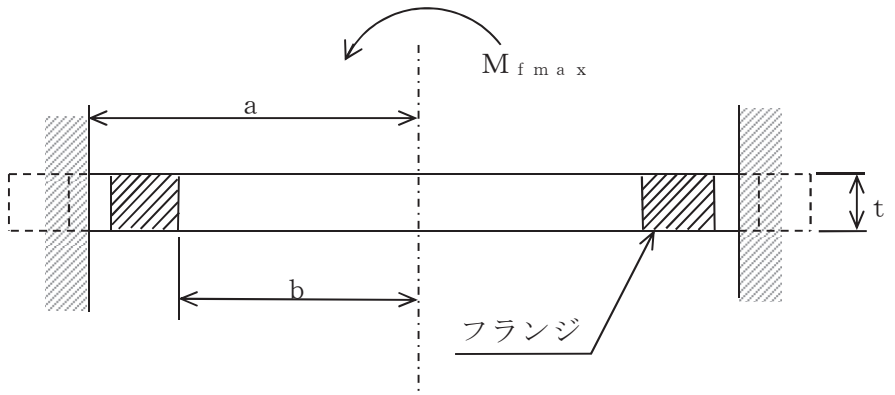


図 4-5　フランジ断面の計算モデル

(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。

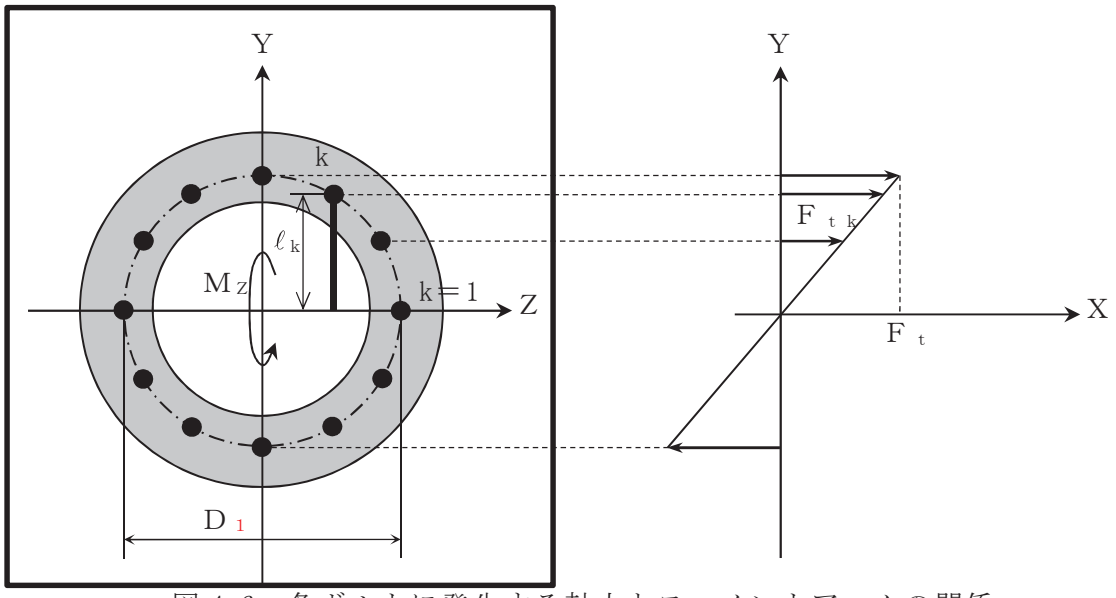


図 4-6　各ボルトに発生する軸力とモーメントアームの関係

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-2-5-5-4-1　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。

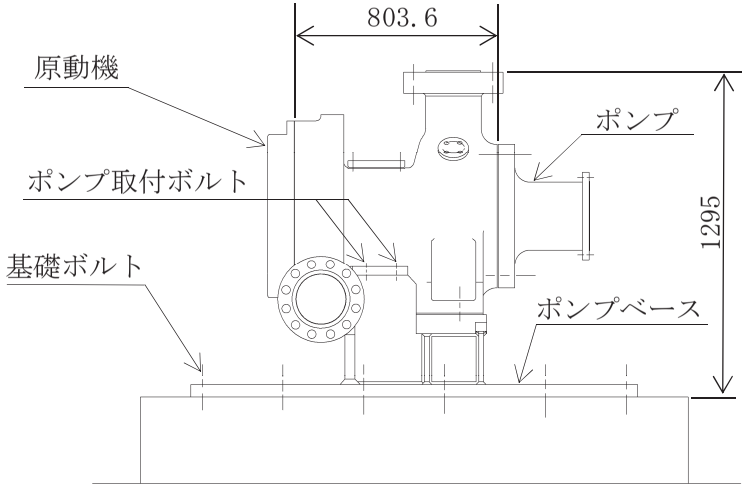
常設高圧代替注水系ポンプは，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

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。

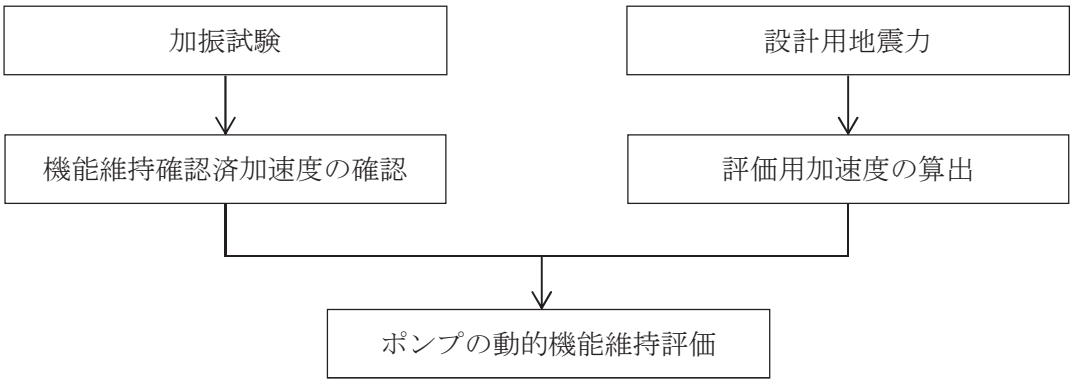


図 5-1　常設高圧代替注水系ポンプの機能維持評価フロー

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

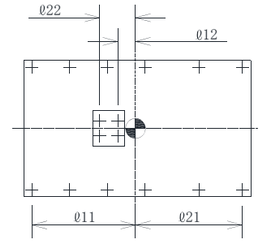
1.1 設計条件

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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

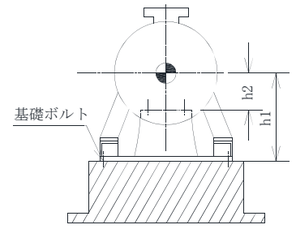
部　材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} *3 (mm)	ℓ_{2i} *3 (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi} *3
基礎ボルト (i＝1)						12	2
							6
ポンプ取付ボルト (i＝2)						4	2
							2

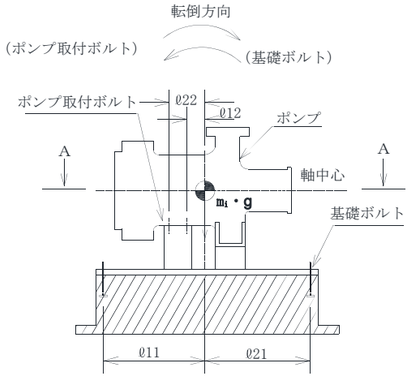


A～A矢視図

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)	699*2	803*2	—	562	—	軸	—	—
ポンプ取付ボルト (i＝2)	663*1	759*1	—	531	—	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=	N_p=

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

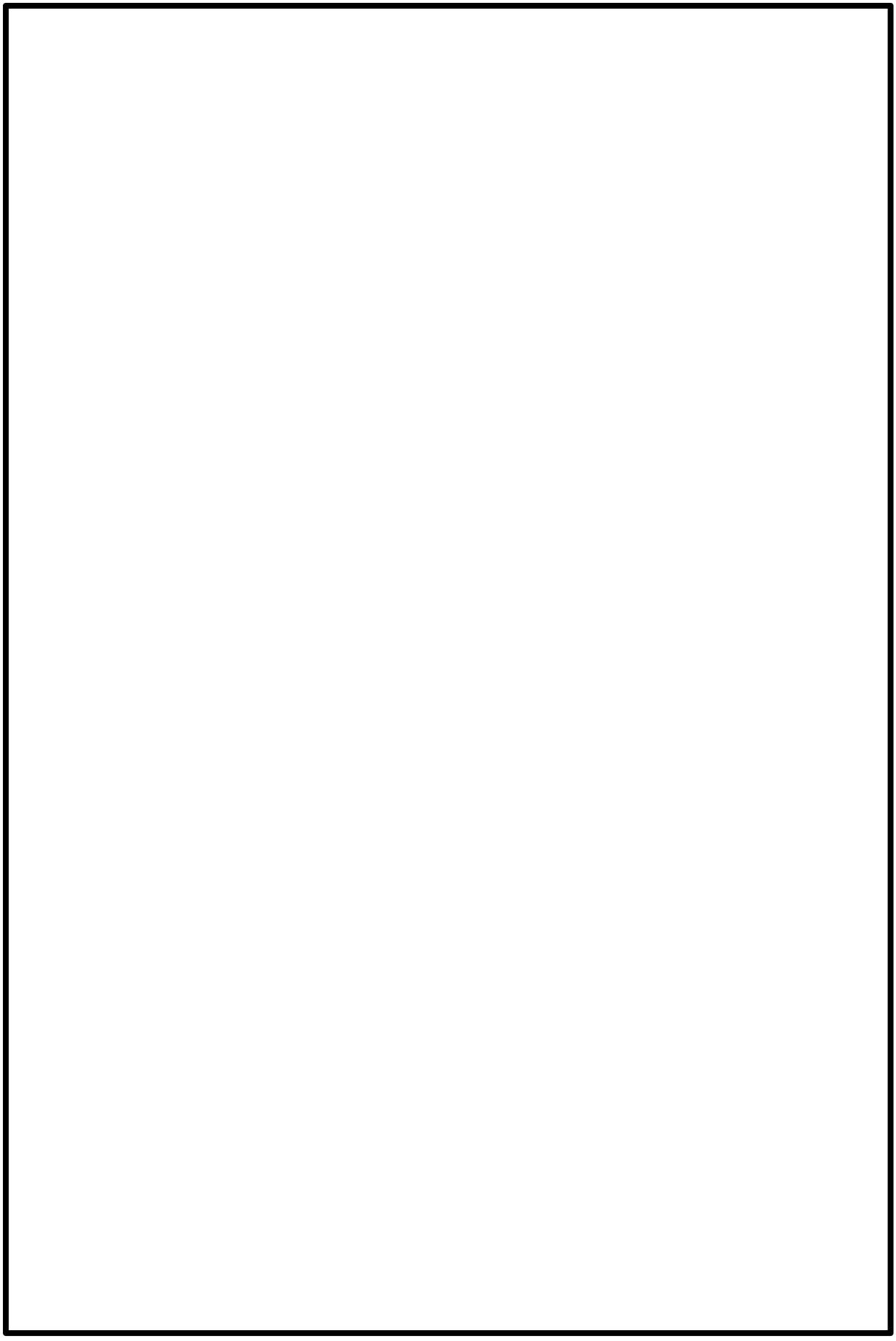
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

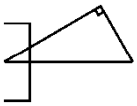
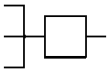
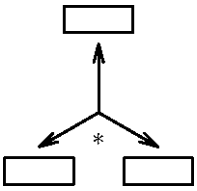
概略系統図記号凡例

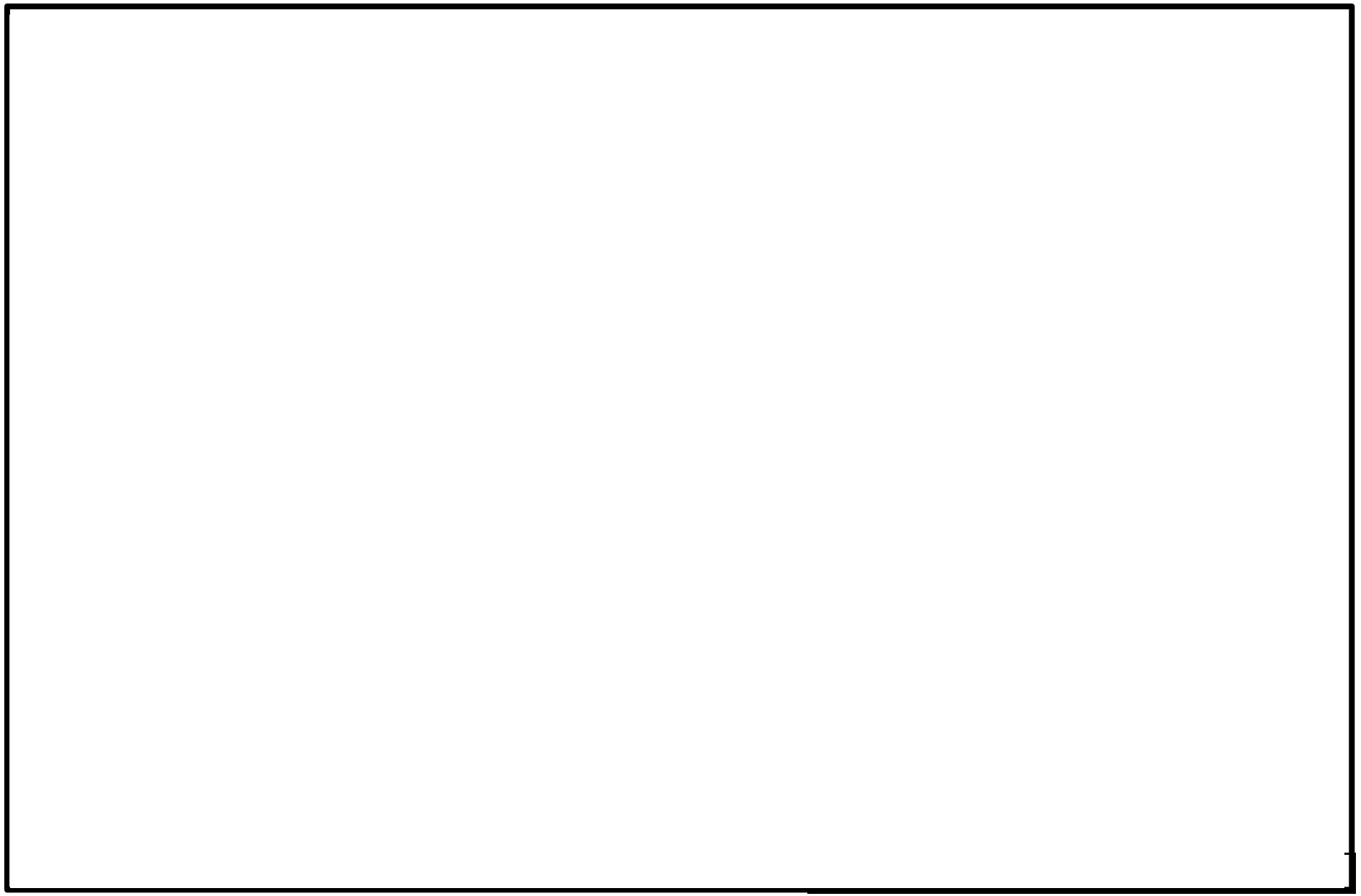
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみを記載する範囲）
⊗	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス１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

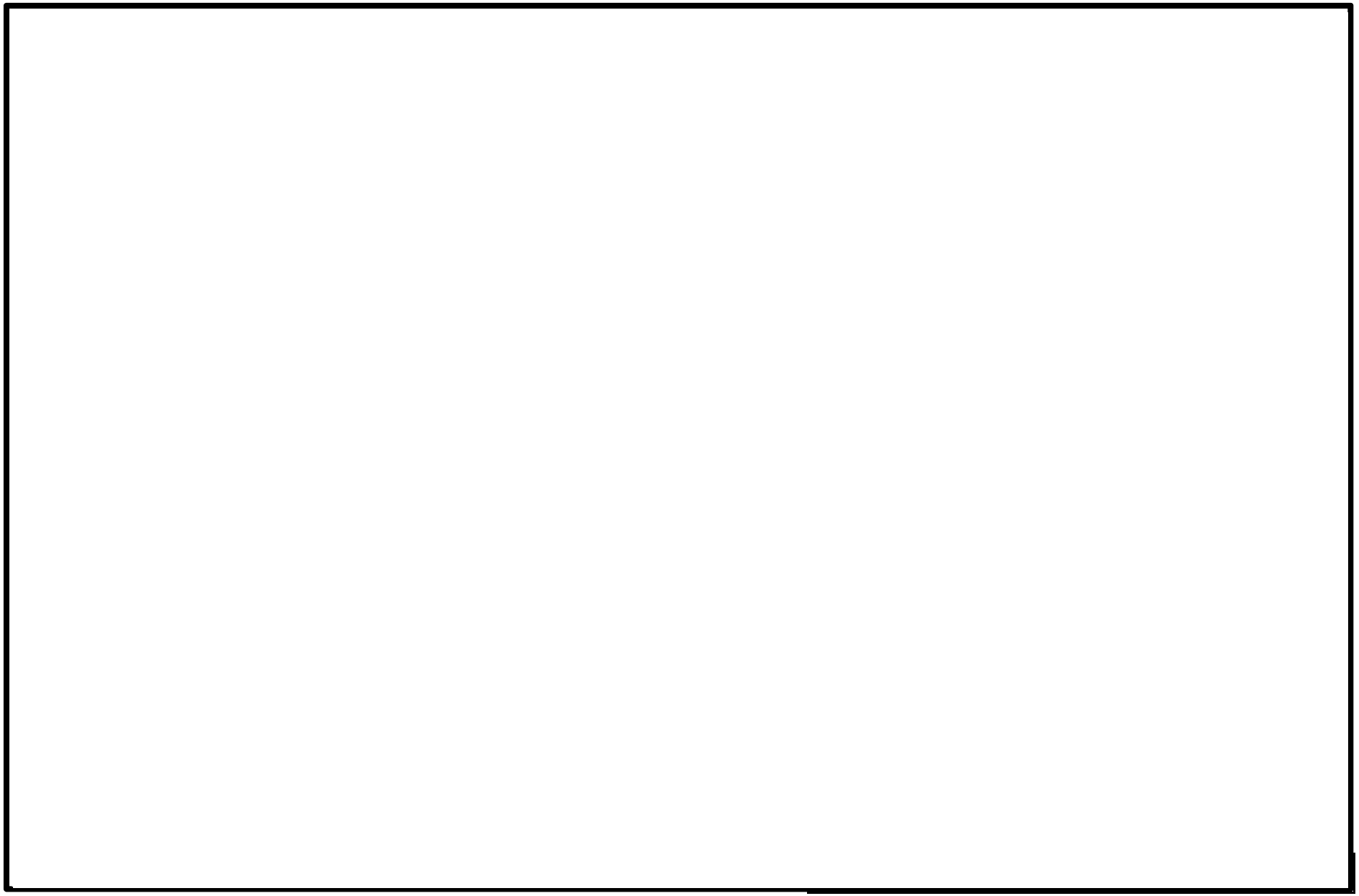


2.2　鳥瞰図

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。





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	

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

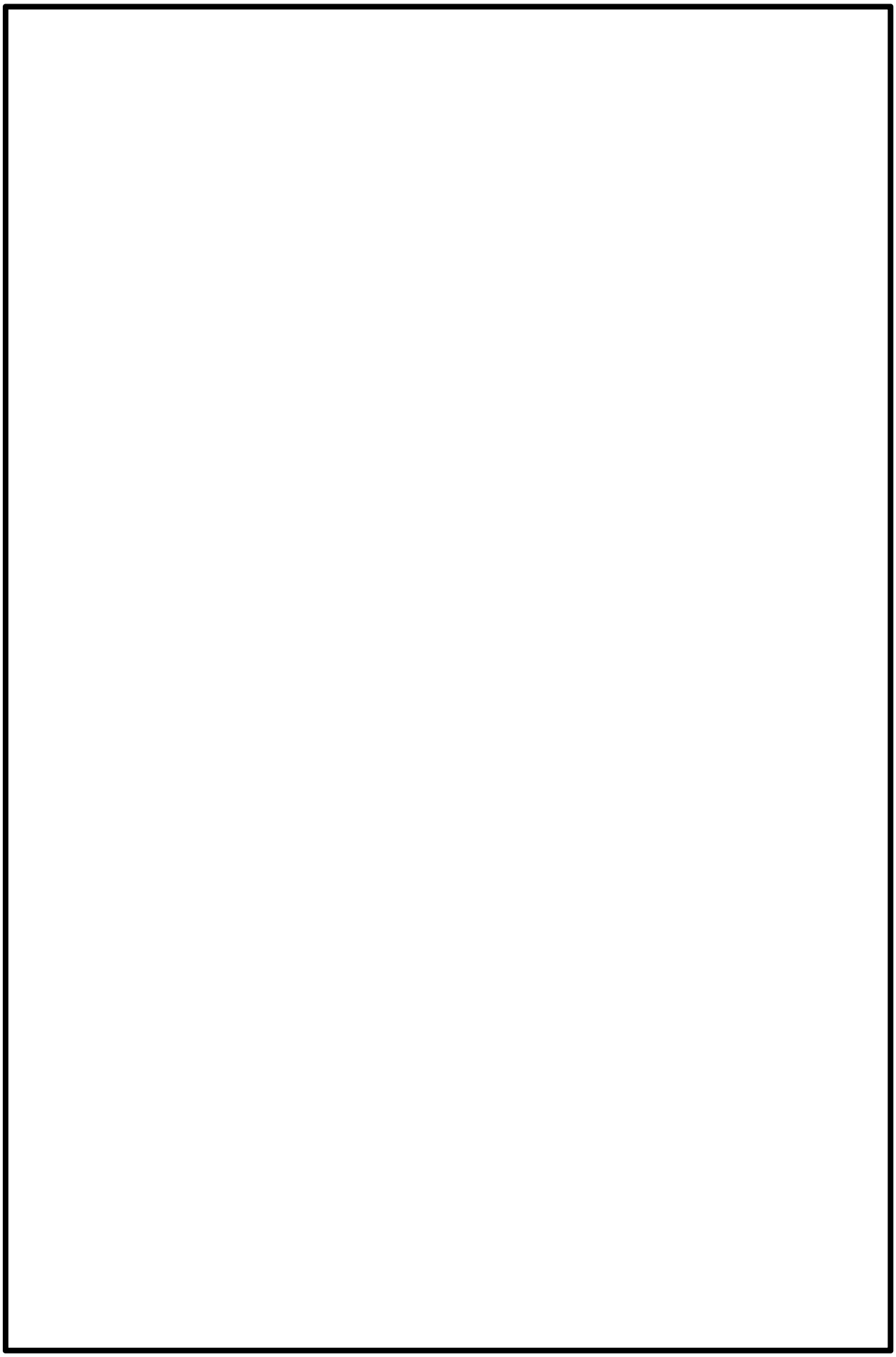
各モードに対応する刺激係数

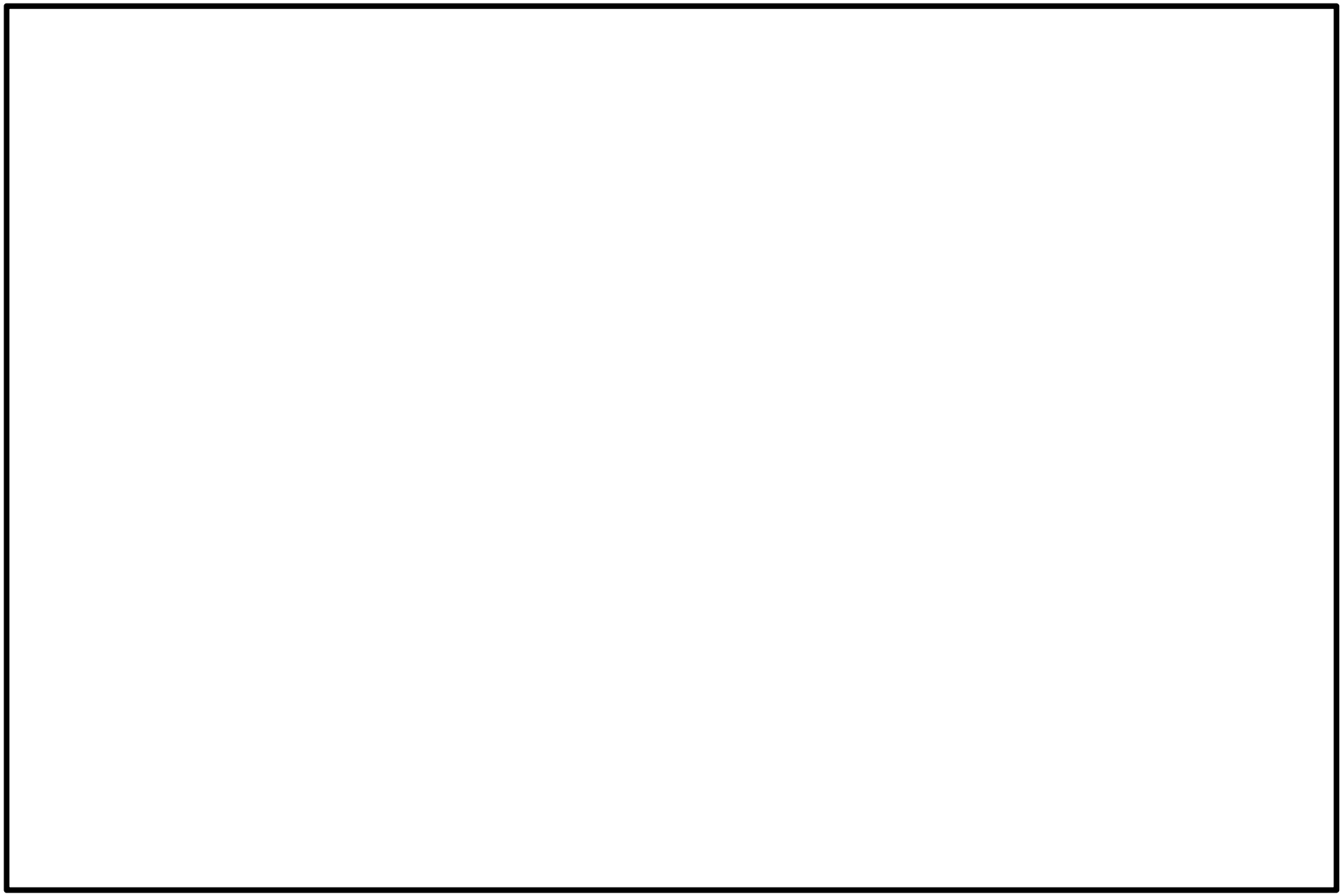
鳥瞰図番号　AHPI-3

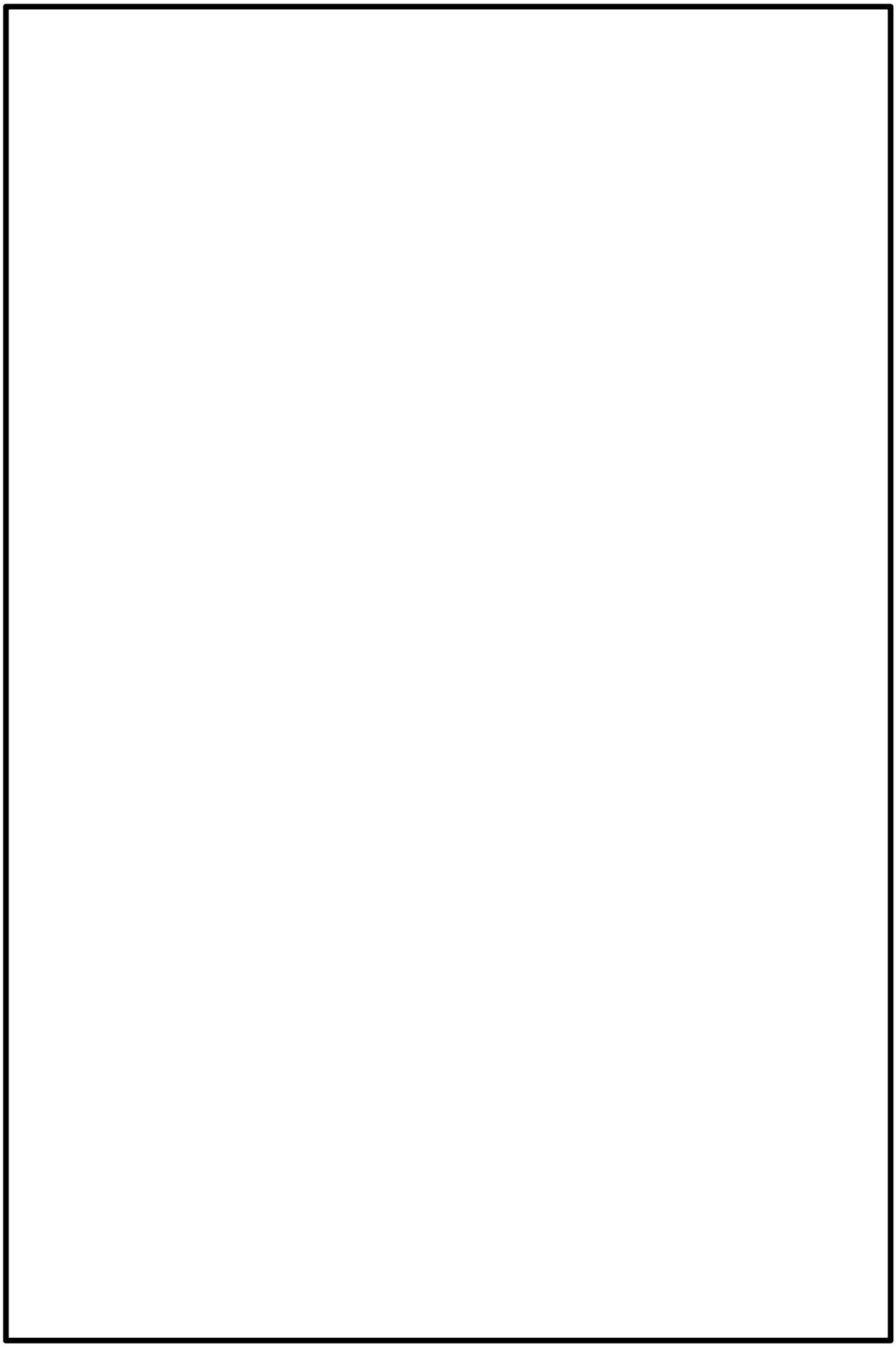
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向

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-2-5-5-5-1　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。

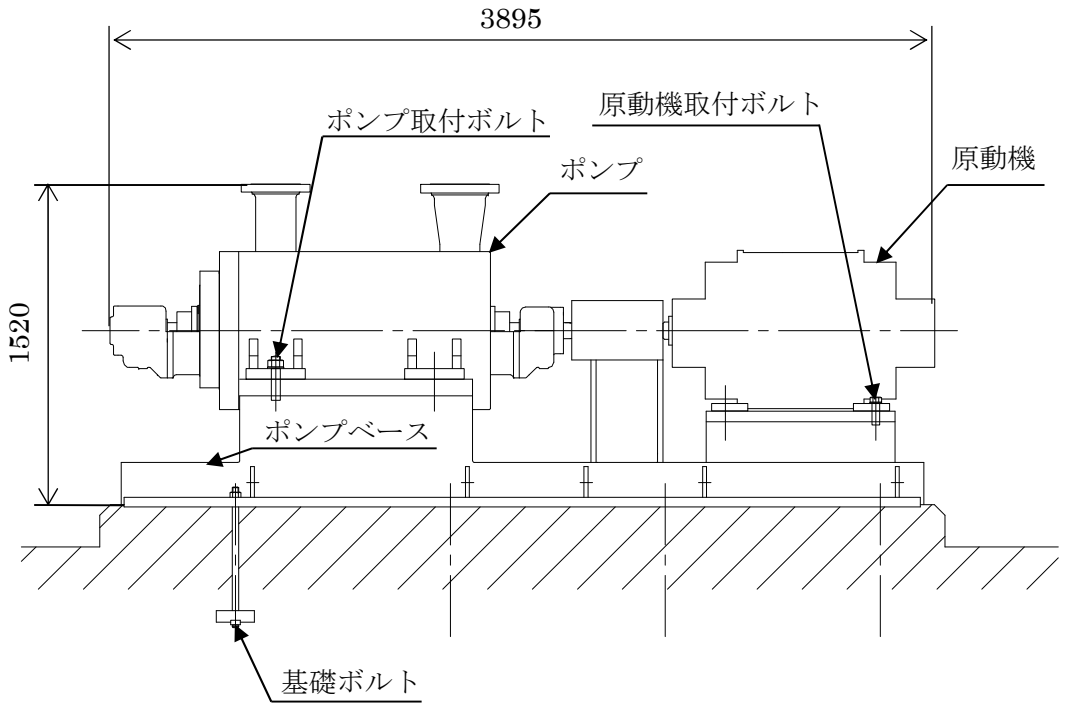
2. 一般事項

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3－4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	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
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$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 3－4　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)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（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	[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

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (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)	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= [redacted]	N= [redacted]

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。

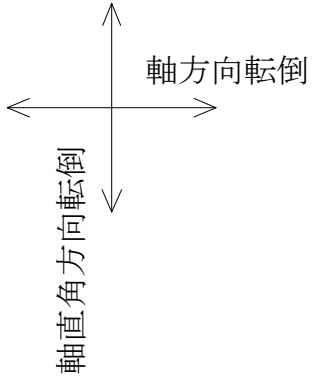
注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

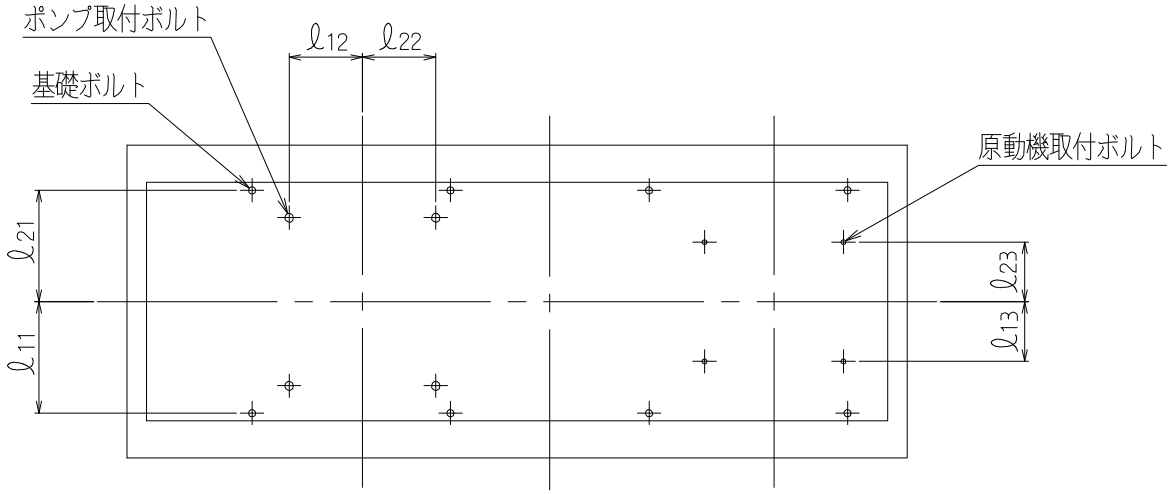
1.4.2 動的機能の評価結果

(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。

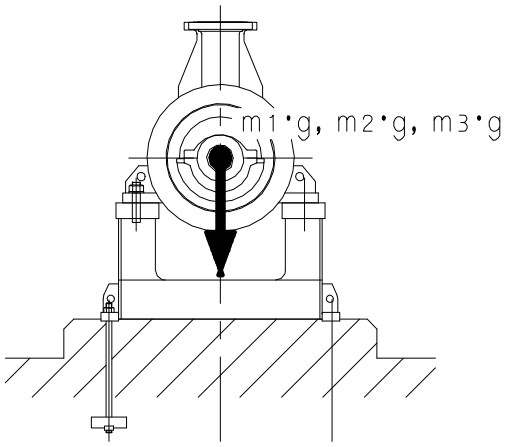


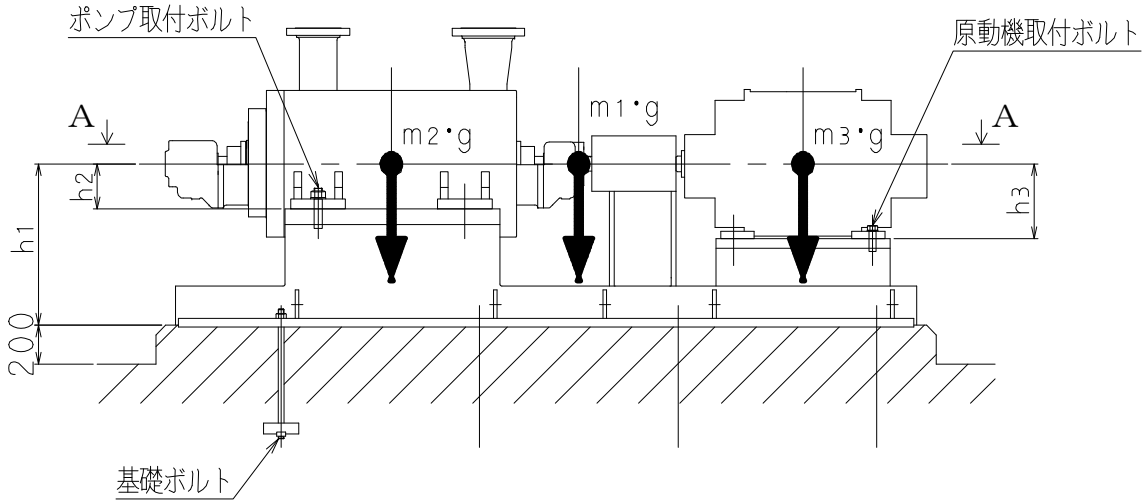


A～A矢視図

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

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

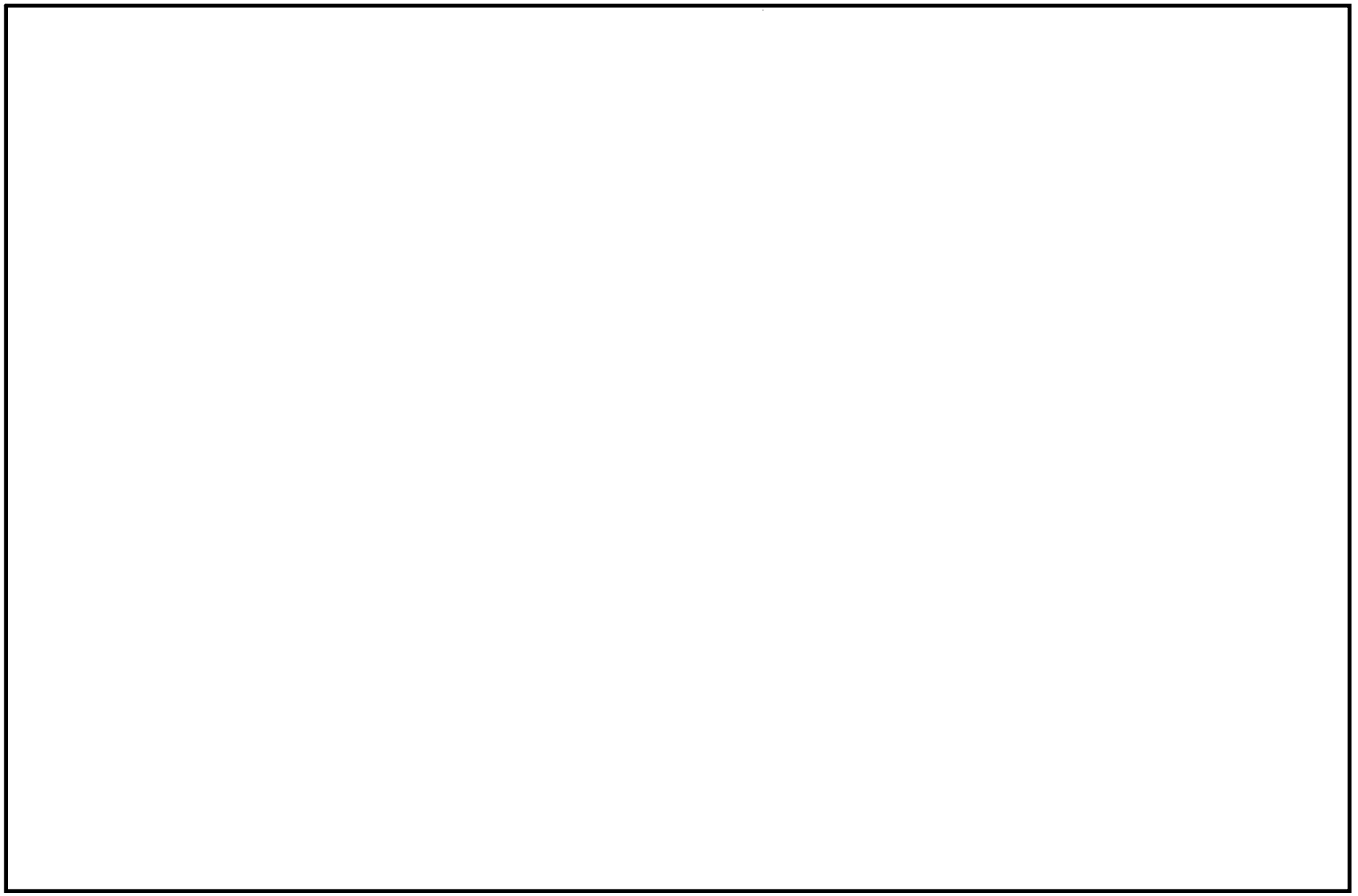
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，評価結果を記載する。

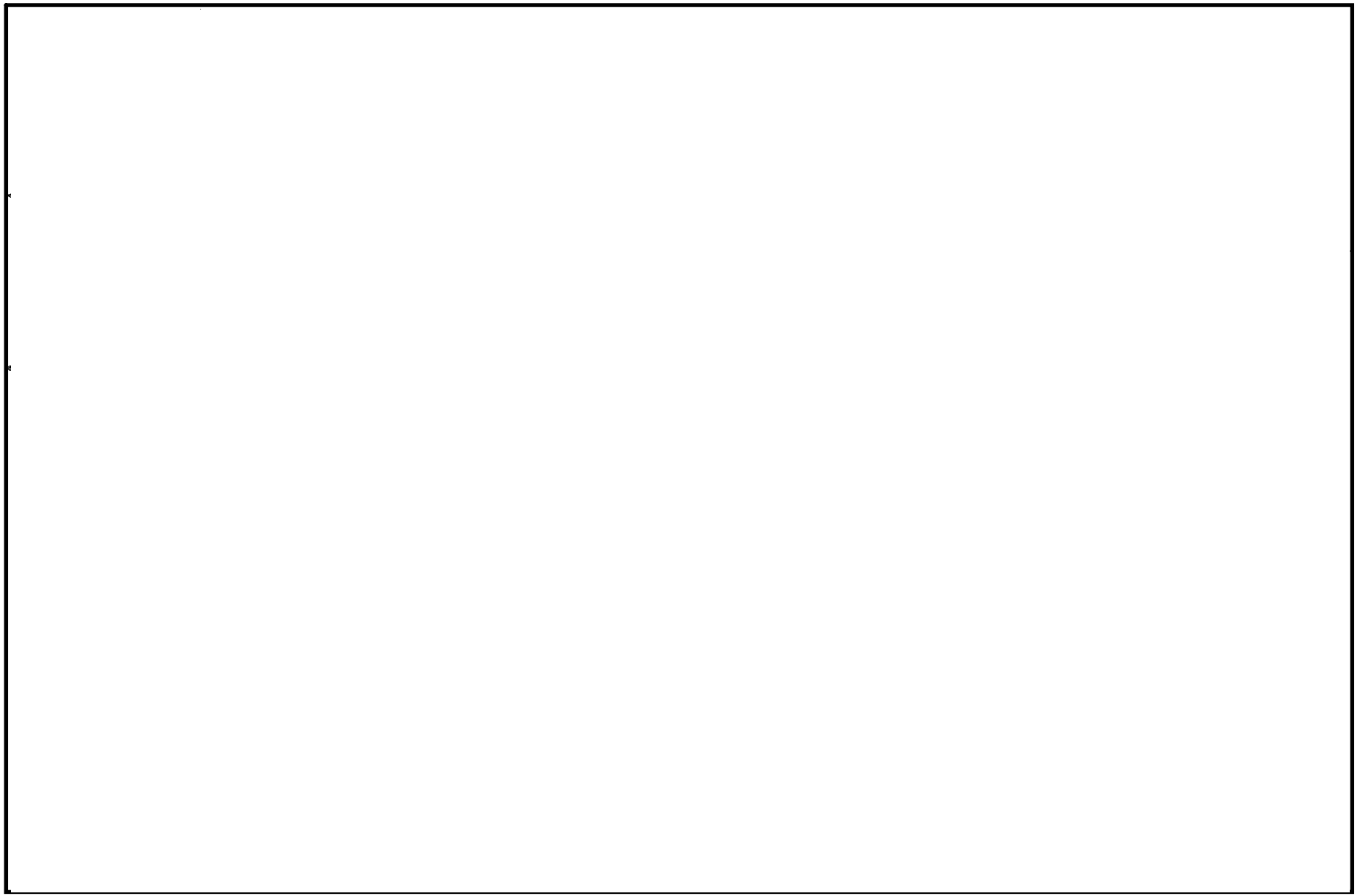
2.　概略系統図及び鳥瞰図

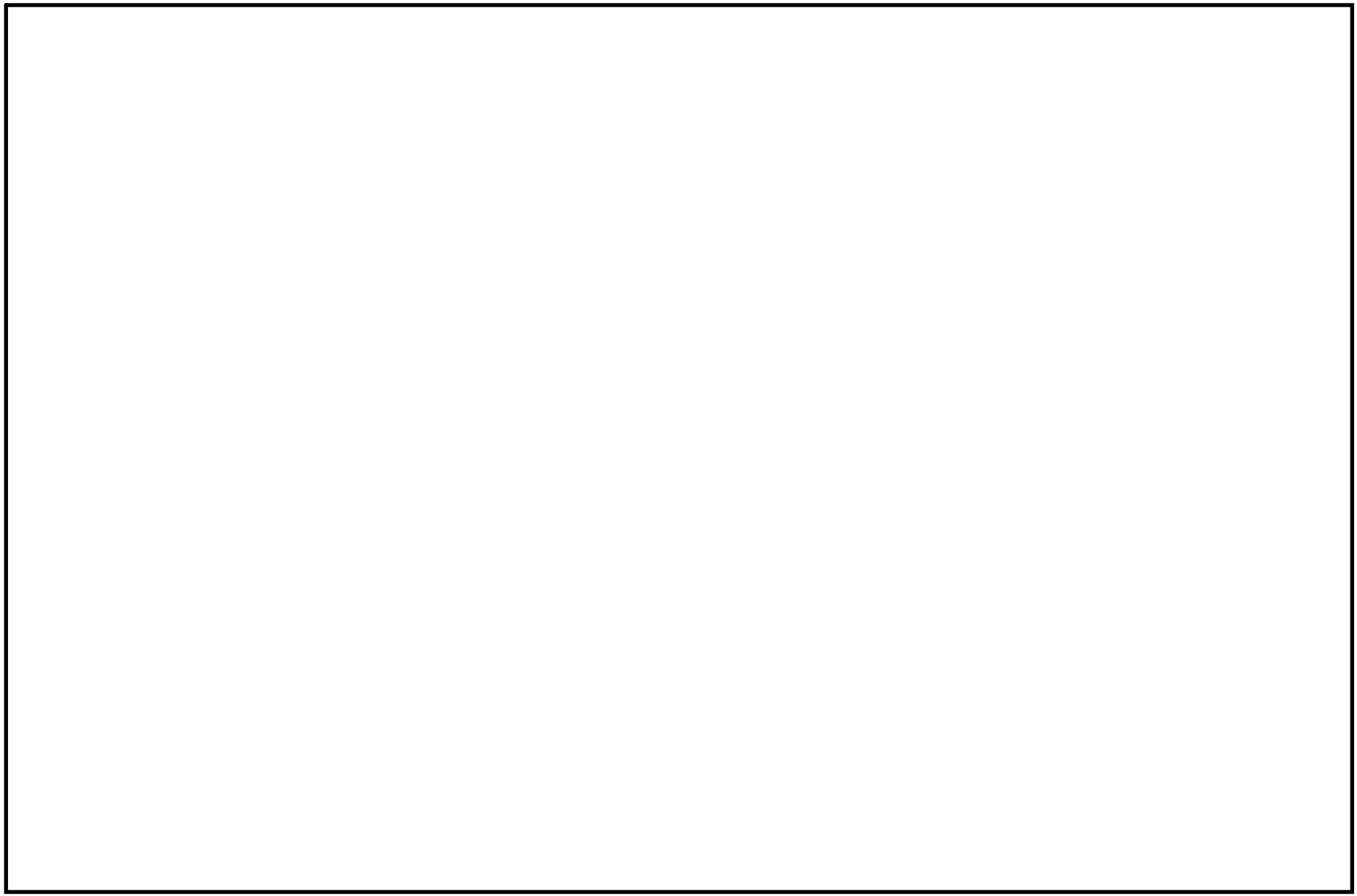
2.1　概略系統図

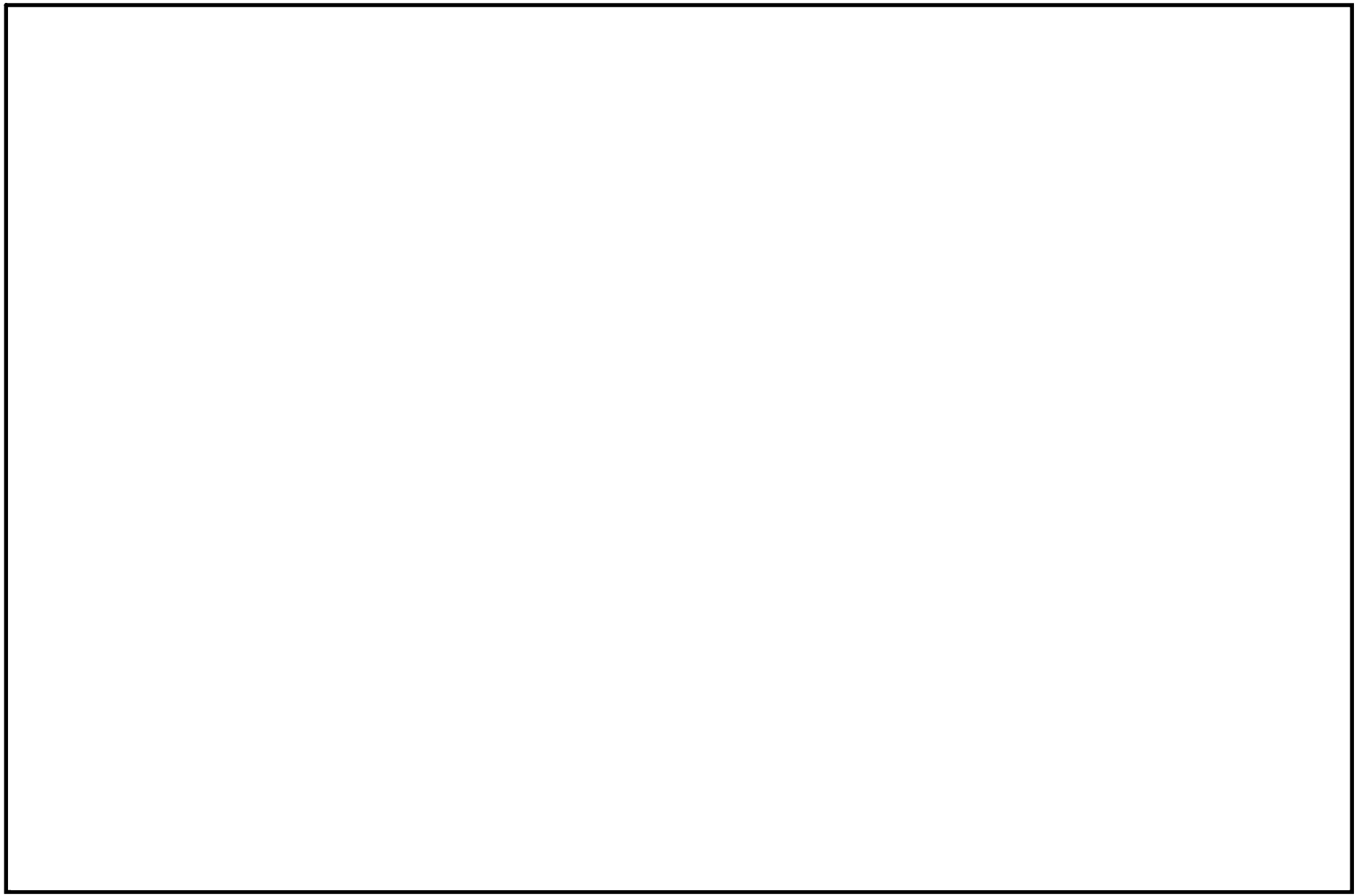
概略系統図記号凡例

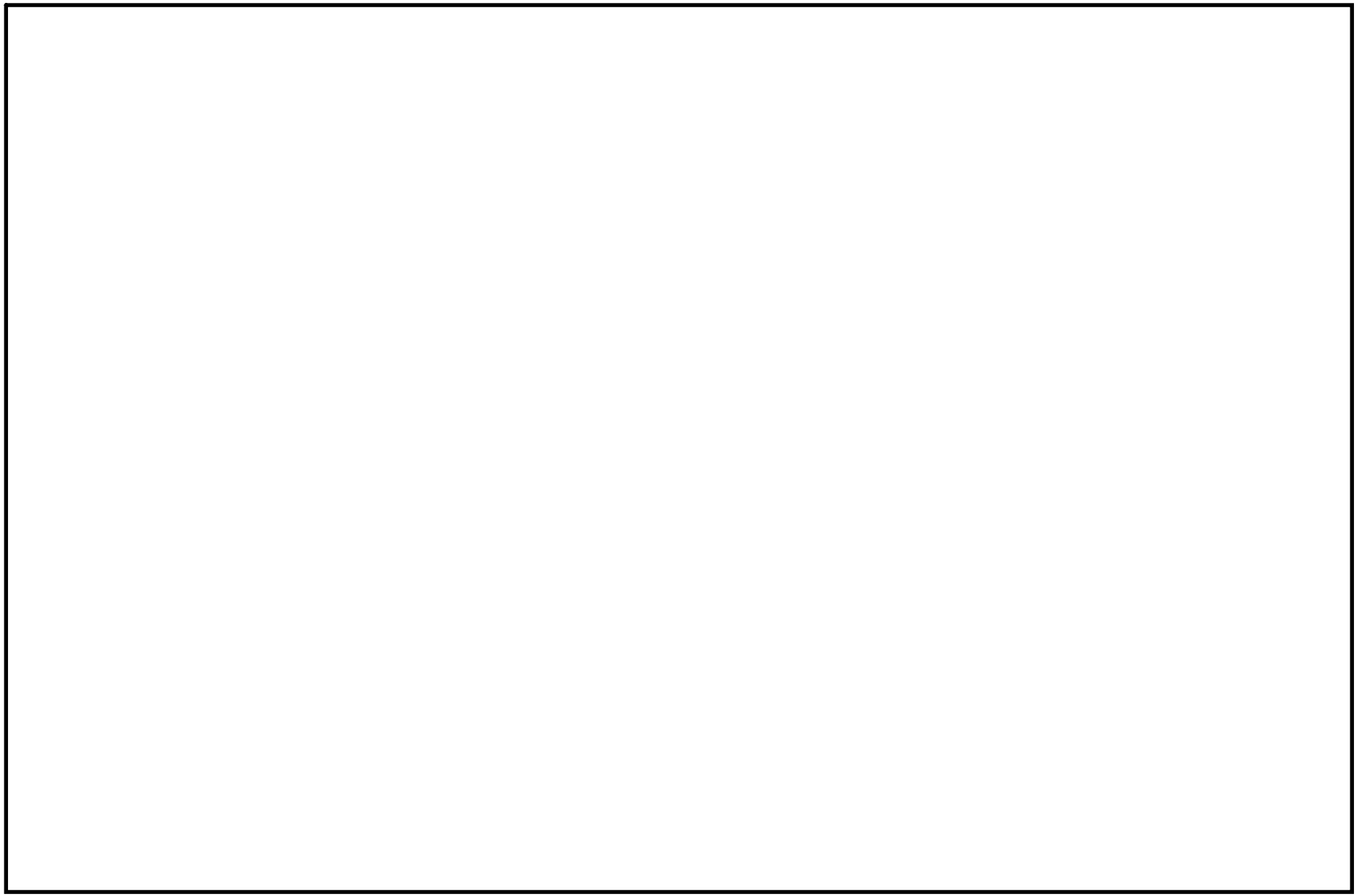
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラ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

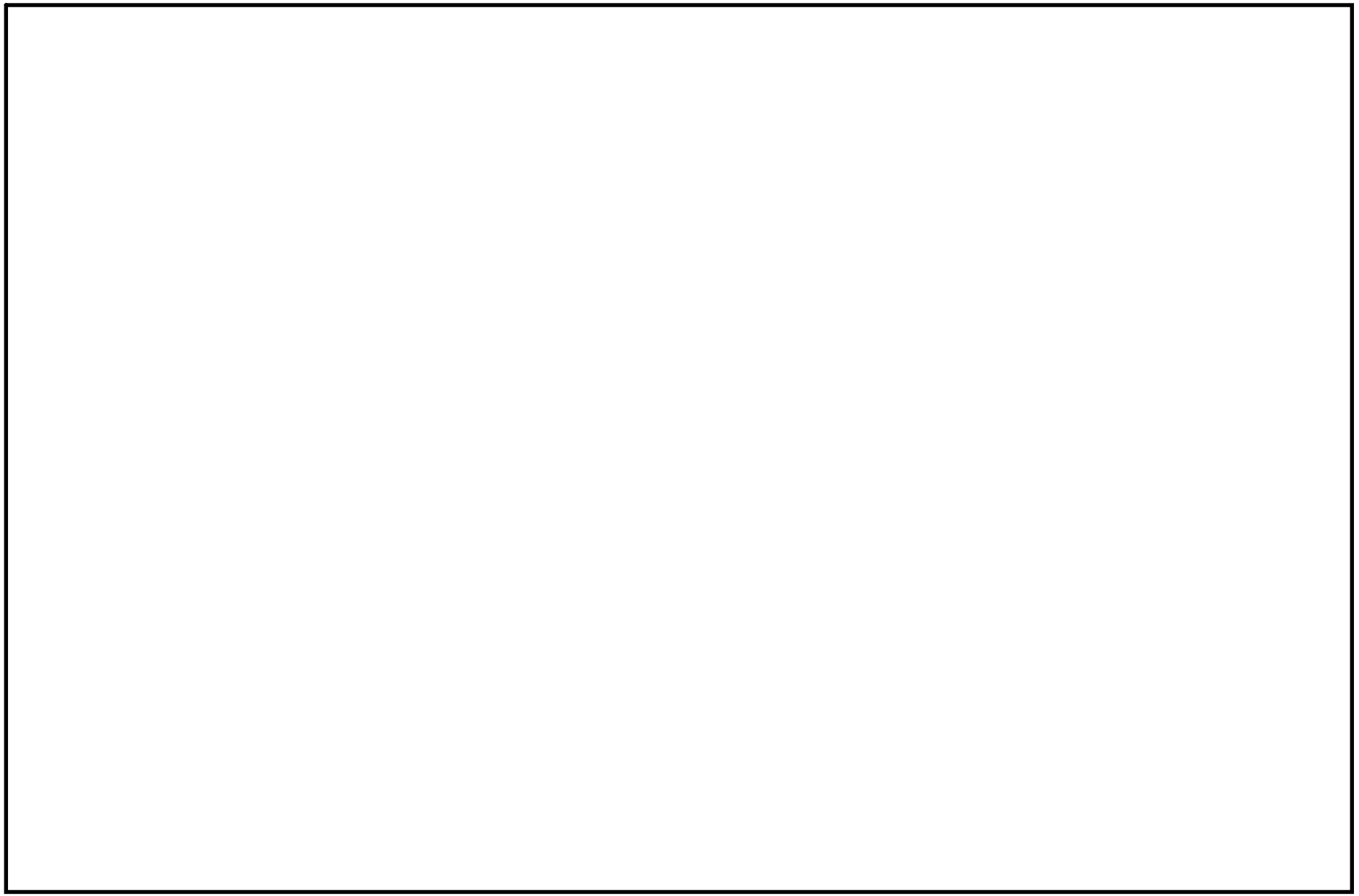






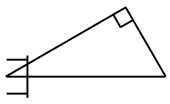
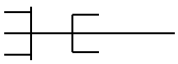
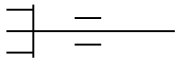
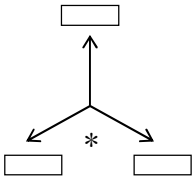


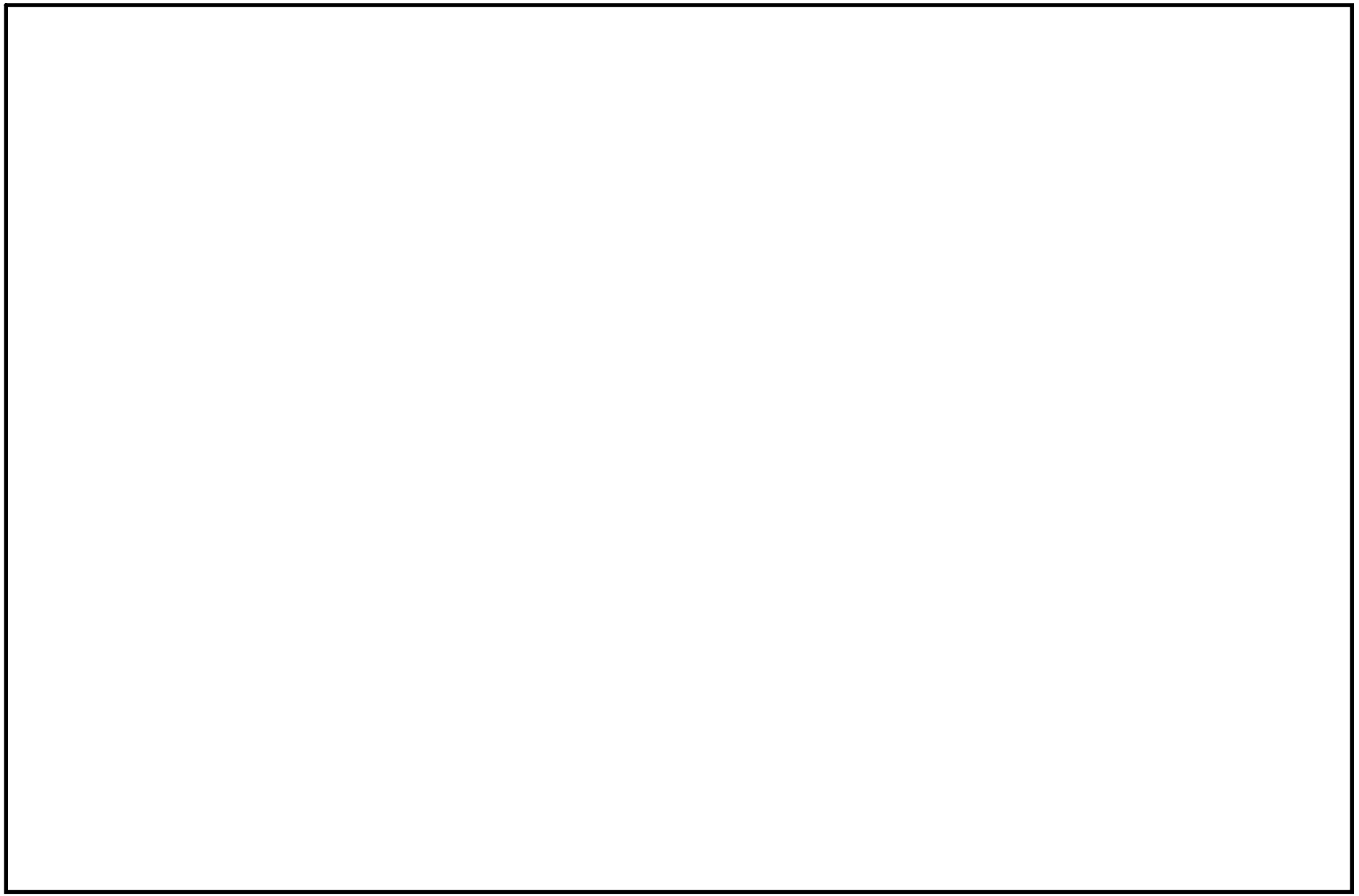




2.2　鳥瞰図

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。



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	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	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）*			
		Ｓｍ	Ｓｙ	Ｓｕ	Ｓｈ
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	原子炉建屋		
	常設低圧代替注水系 配管カルバート		

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

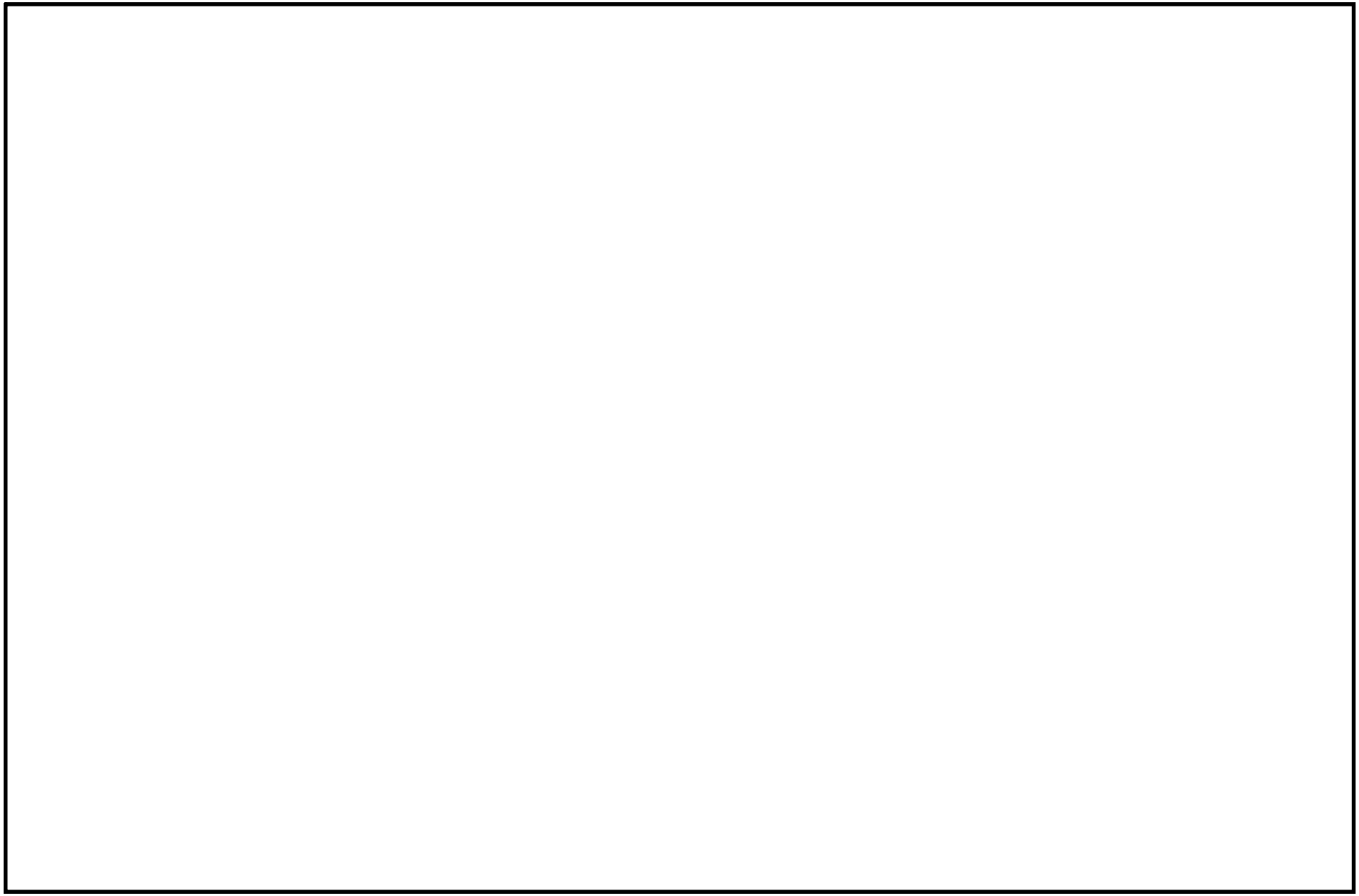
鳥　瞰　図　ALPI-013YD

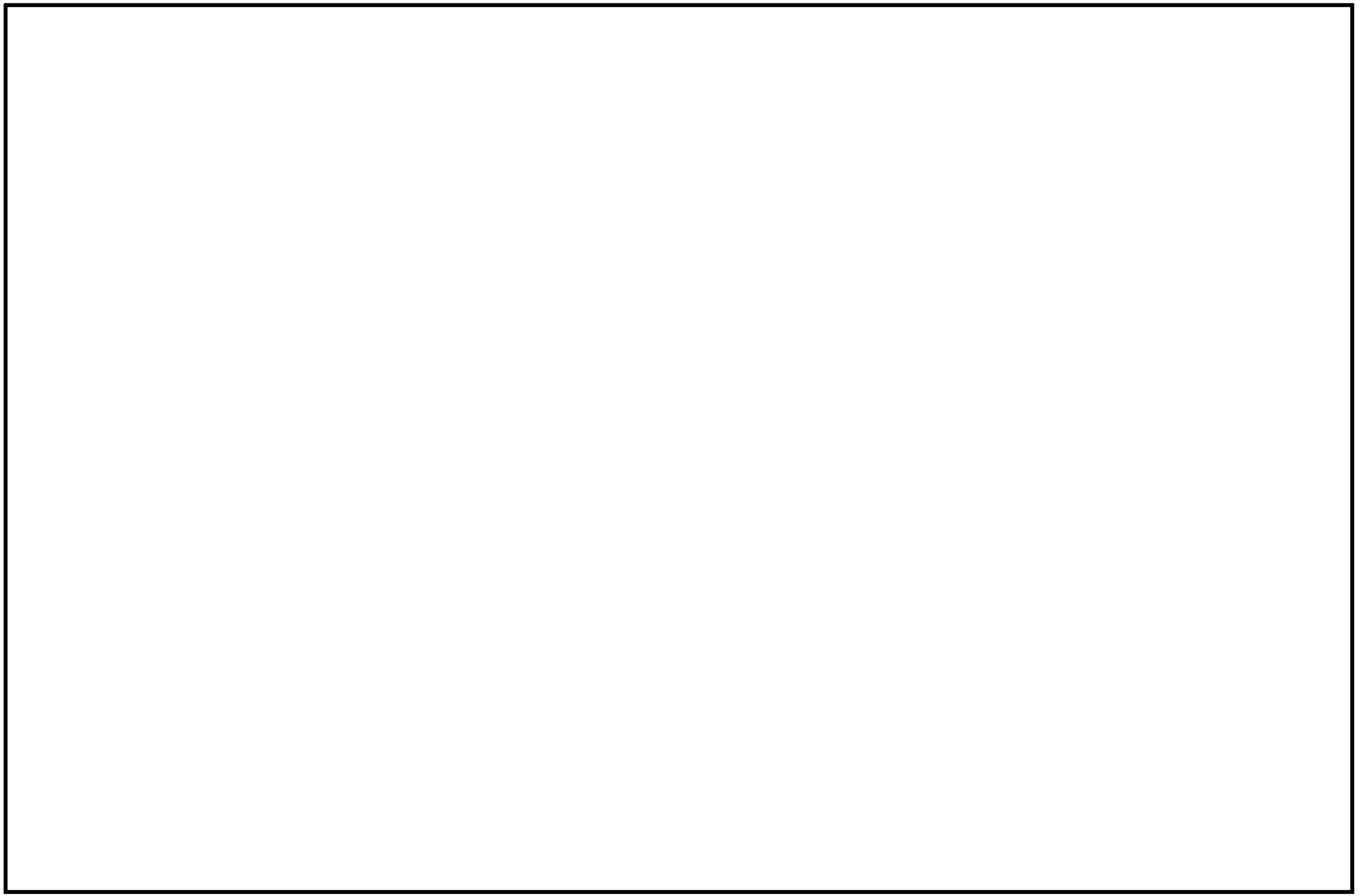
モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数*		
		X方向	Y方向	Z方向

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。





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 Sprm（S_s）	許容応力 0.9Su	計算応力 Sn（S_s）	許容応力 2Sy	疲労累積係数 US_s
ALPI-013YD	V_AS	A05	Sprm（S_s）	[redacted]	366	[redacted]	－	－
ALPI-013YD	V_AS	A05	Sn（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-2-5-5-6-1　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。

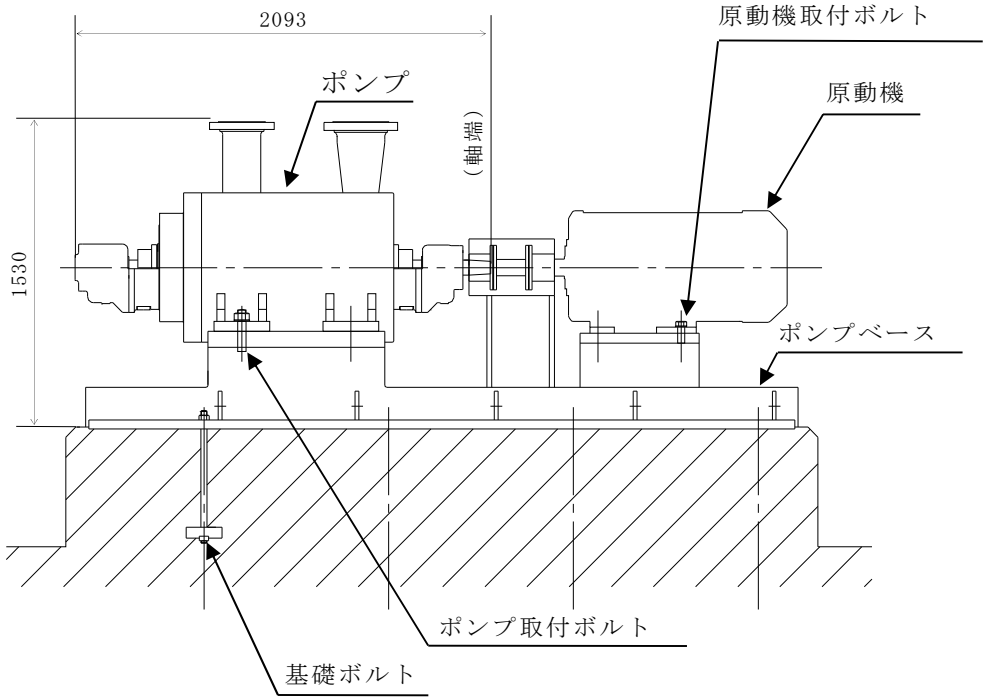
2. 一般事項

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	$\mathrm{IV_AS}$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$\mathrm{V_AS}$（$\mathrm{V_AS}$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：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	－	－		

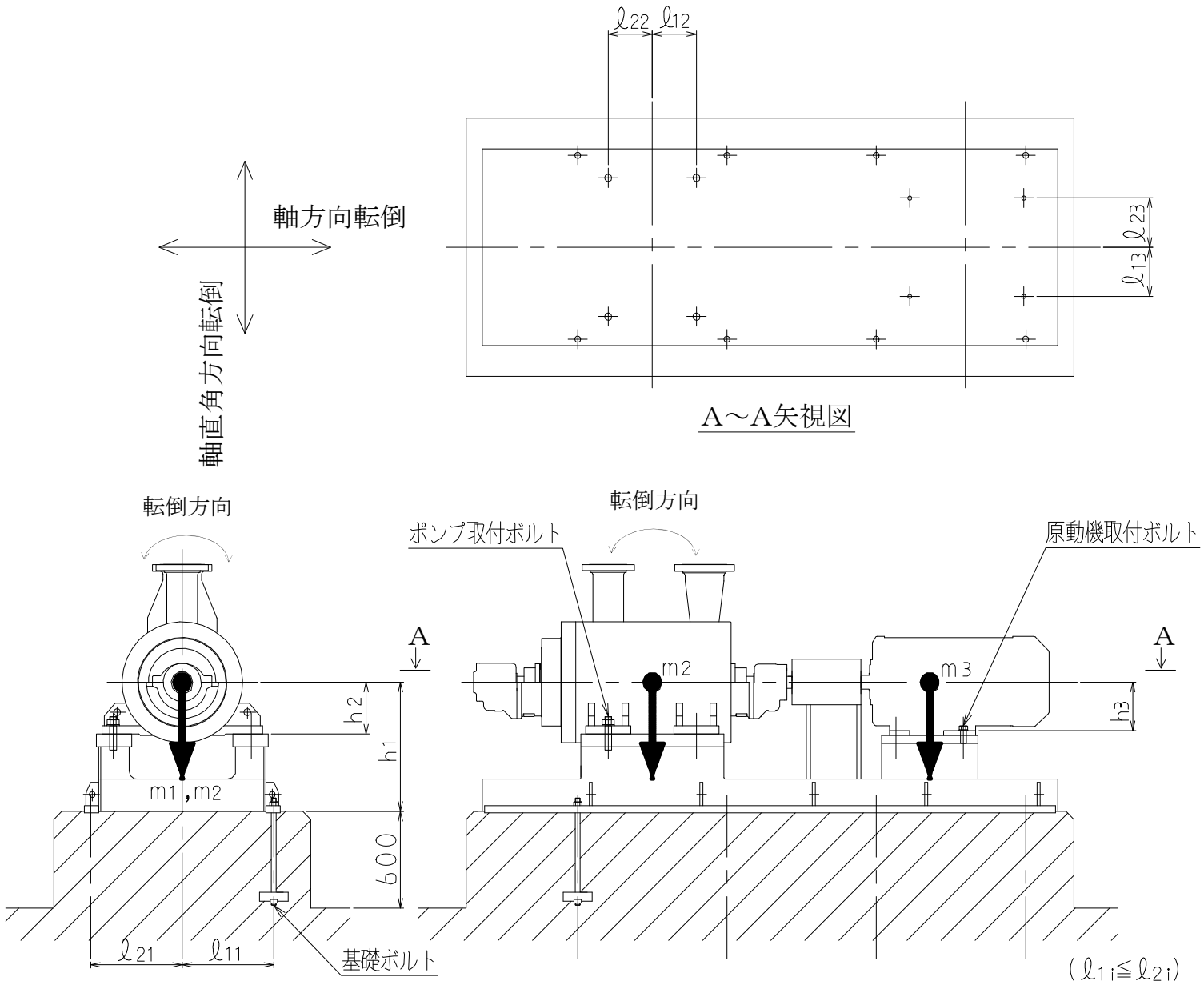
すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{tsi}＝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 (×9.8m/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

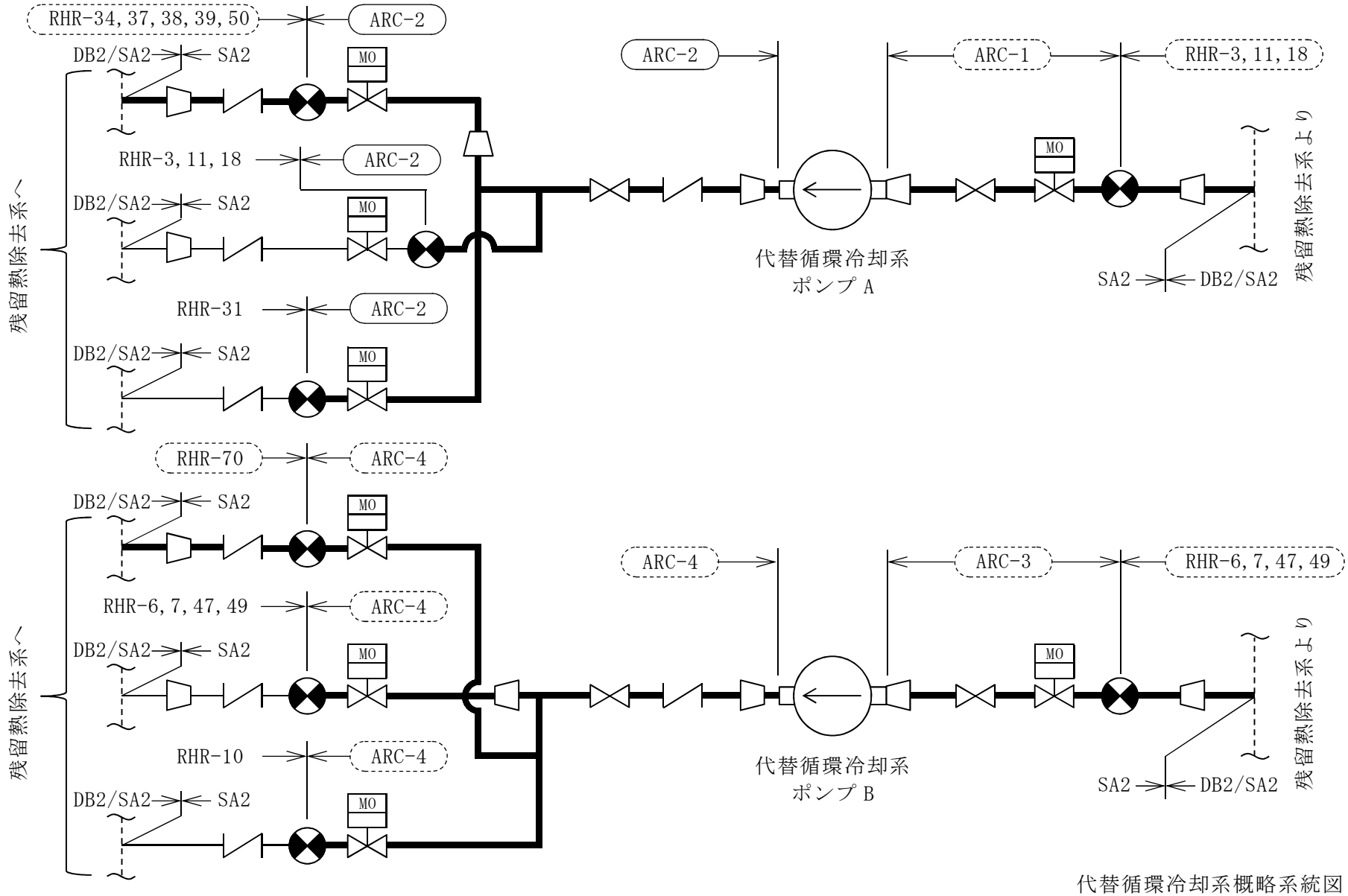
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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

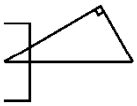
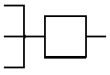
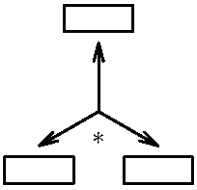
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○－○－○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○－○－○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス１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

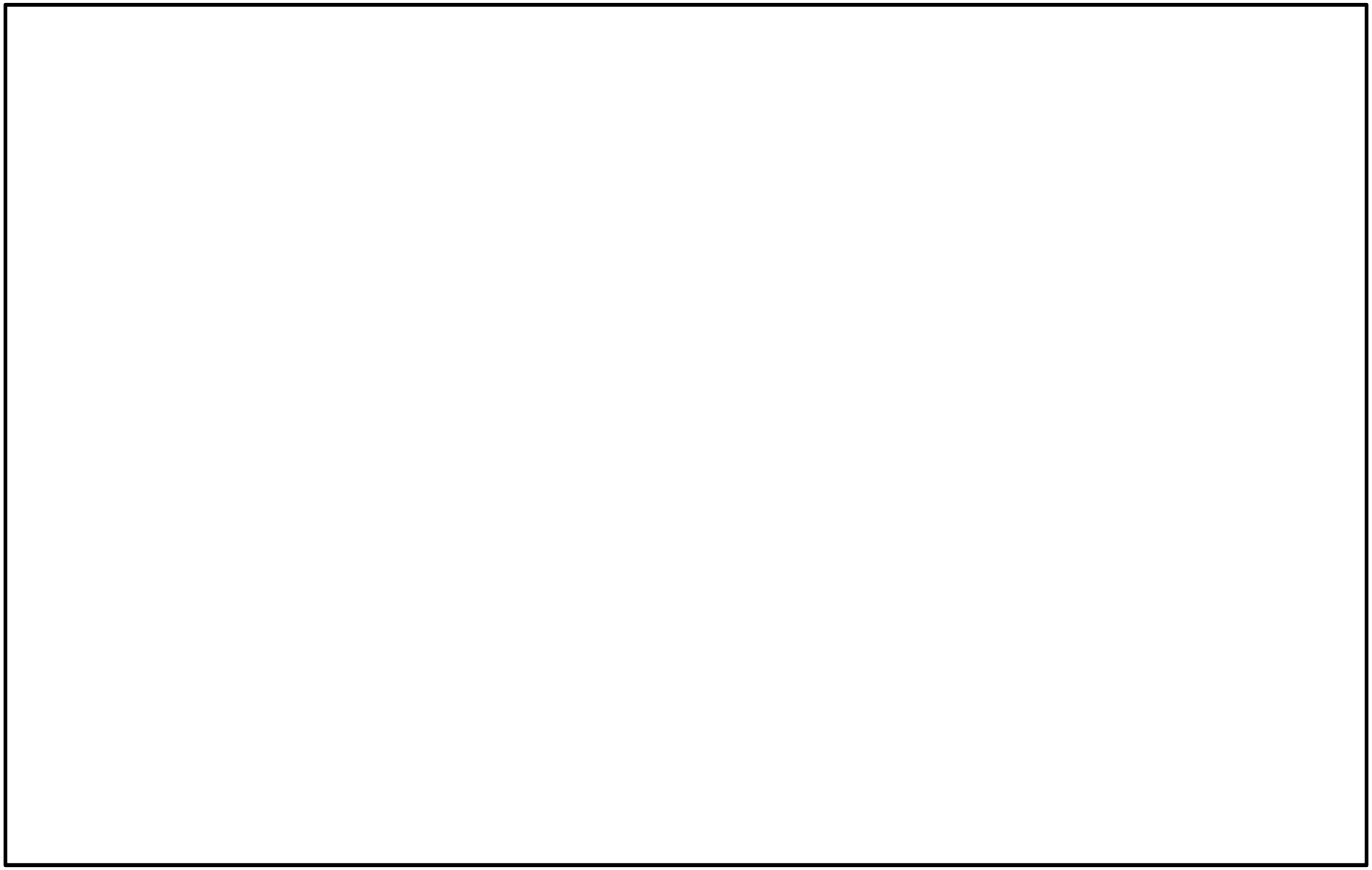


代替循環冷却系概略系統図

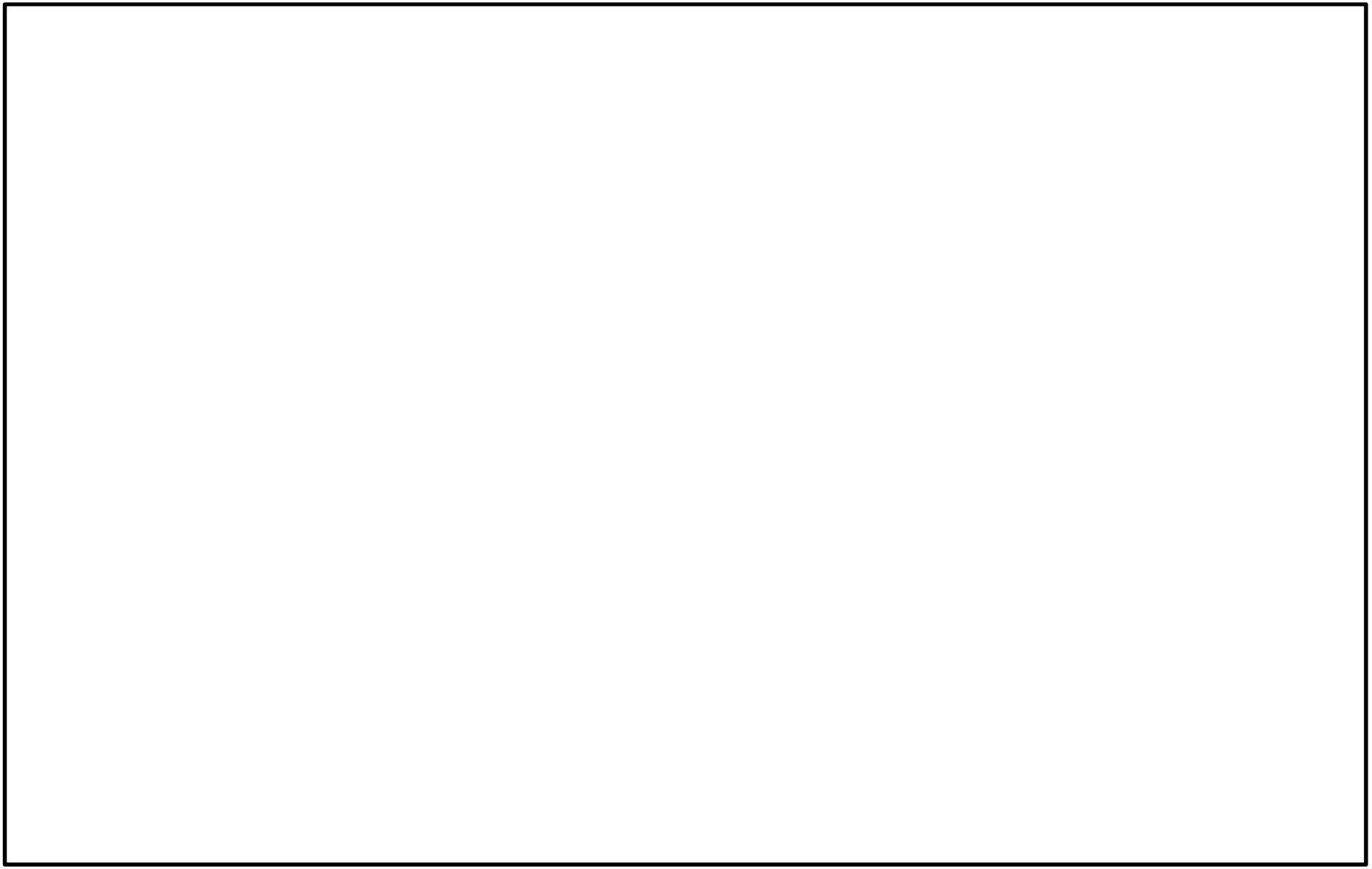
2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

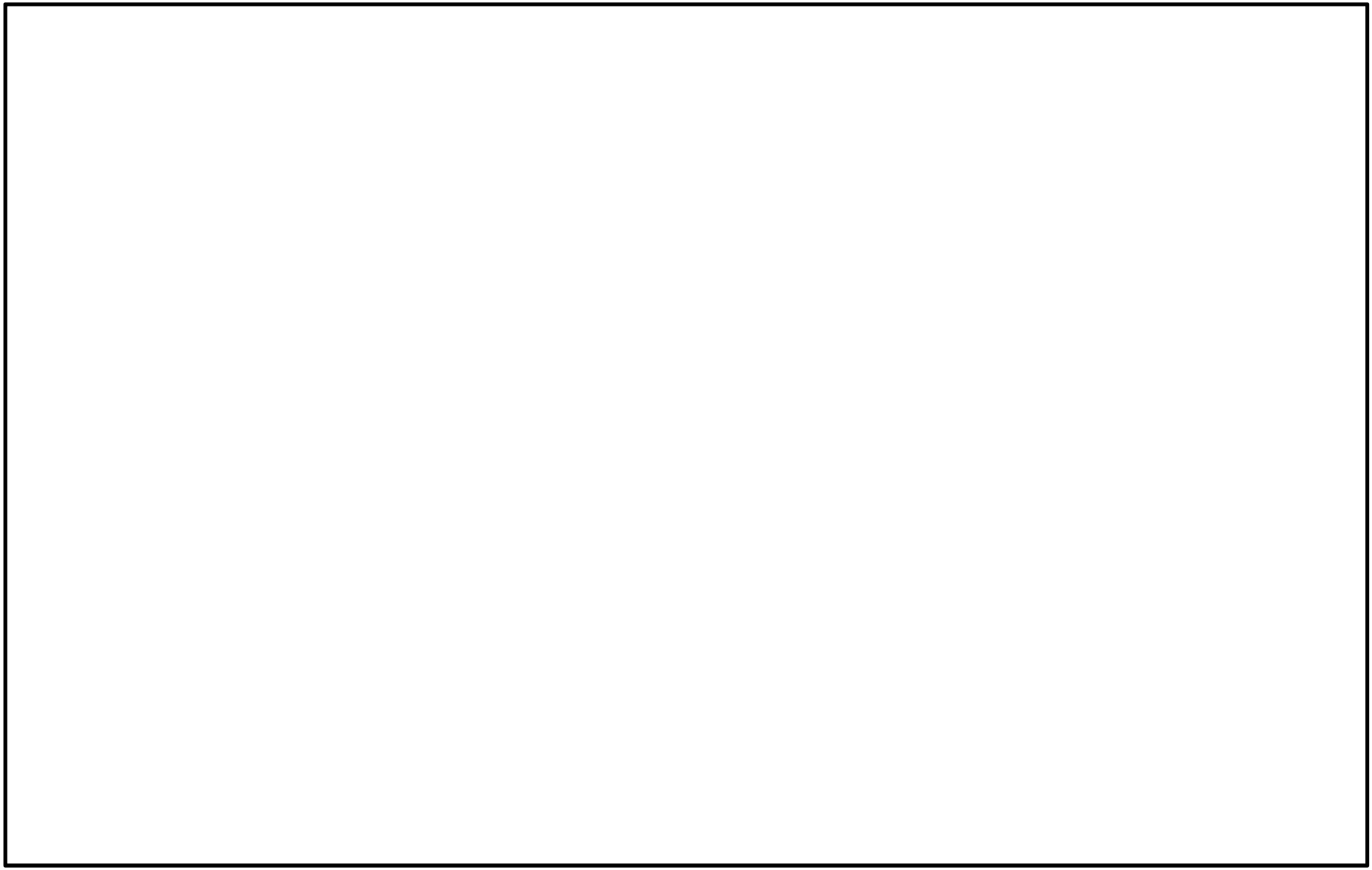
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
○	節　　点
◎	質　　点
	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	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	－	

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

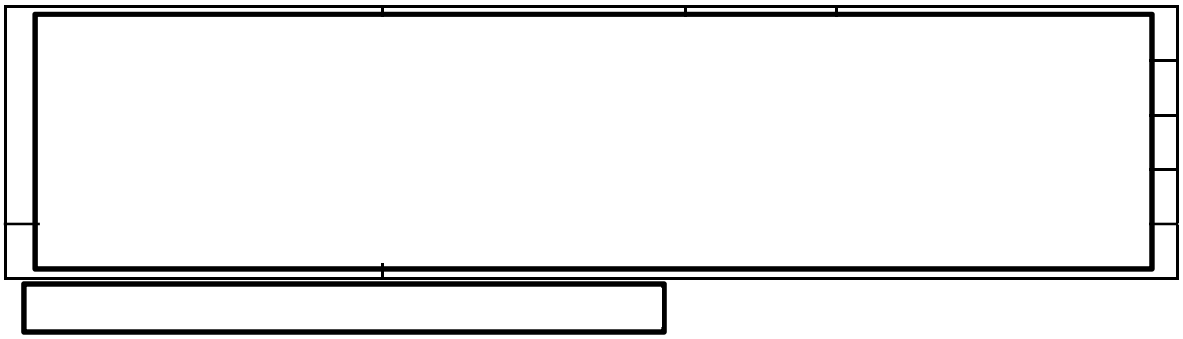
フランジ部の質量

鳥　瞰　図　ARC-2

質量	対応する評価点
[redacted]	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				

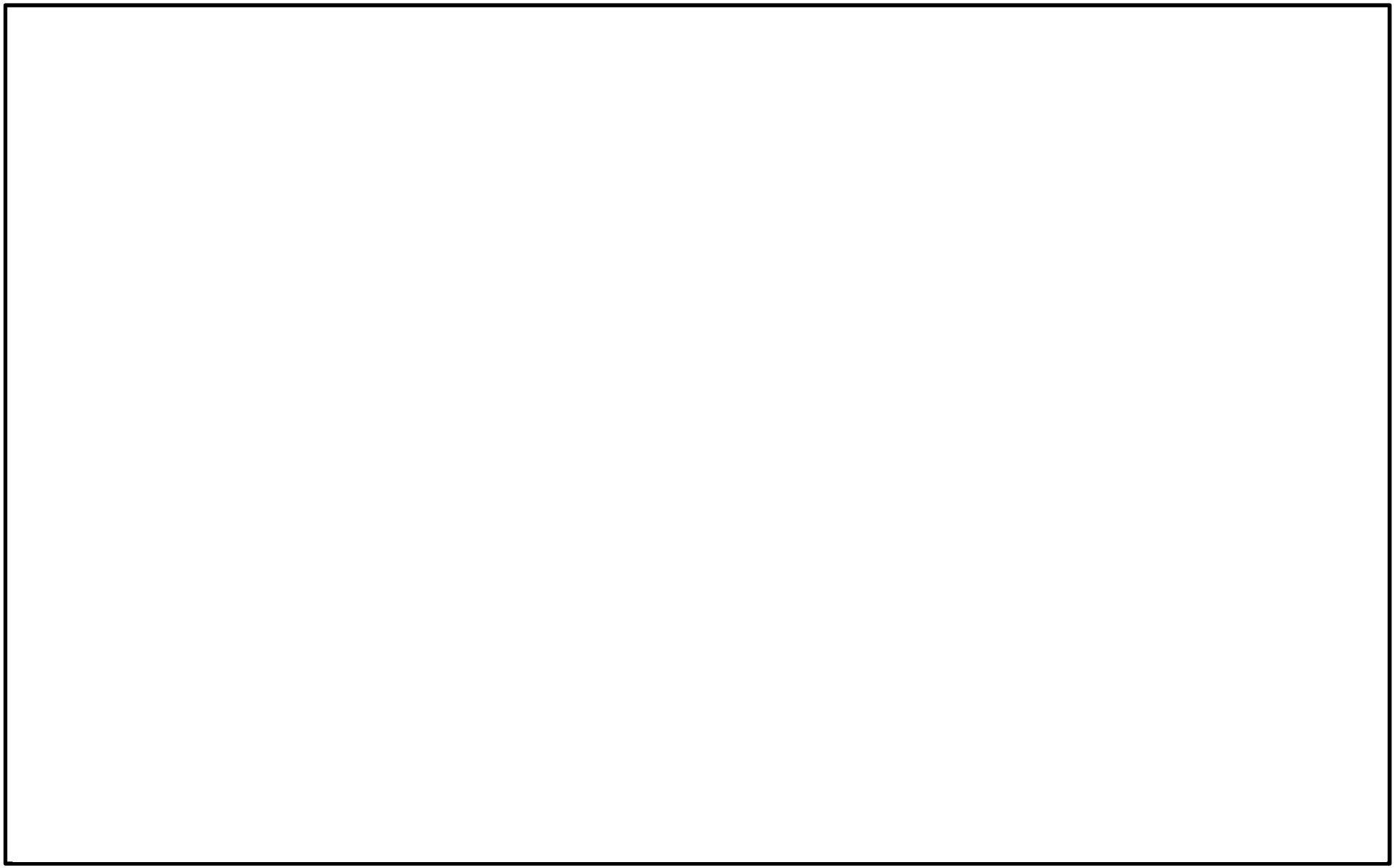
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　ARC-2

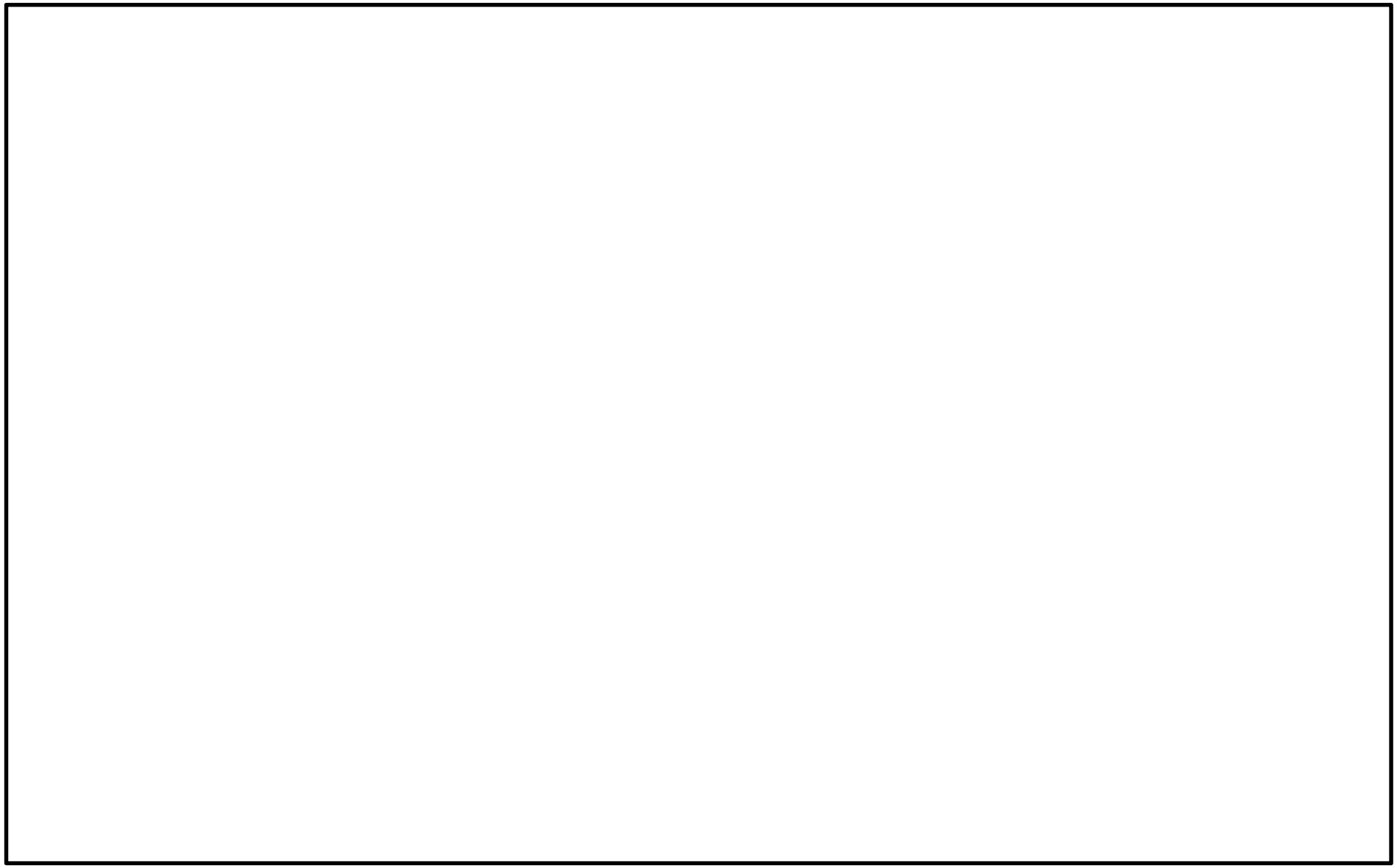
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向

代表的振動モード図

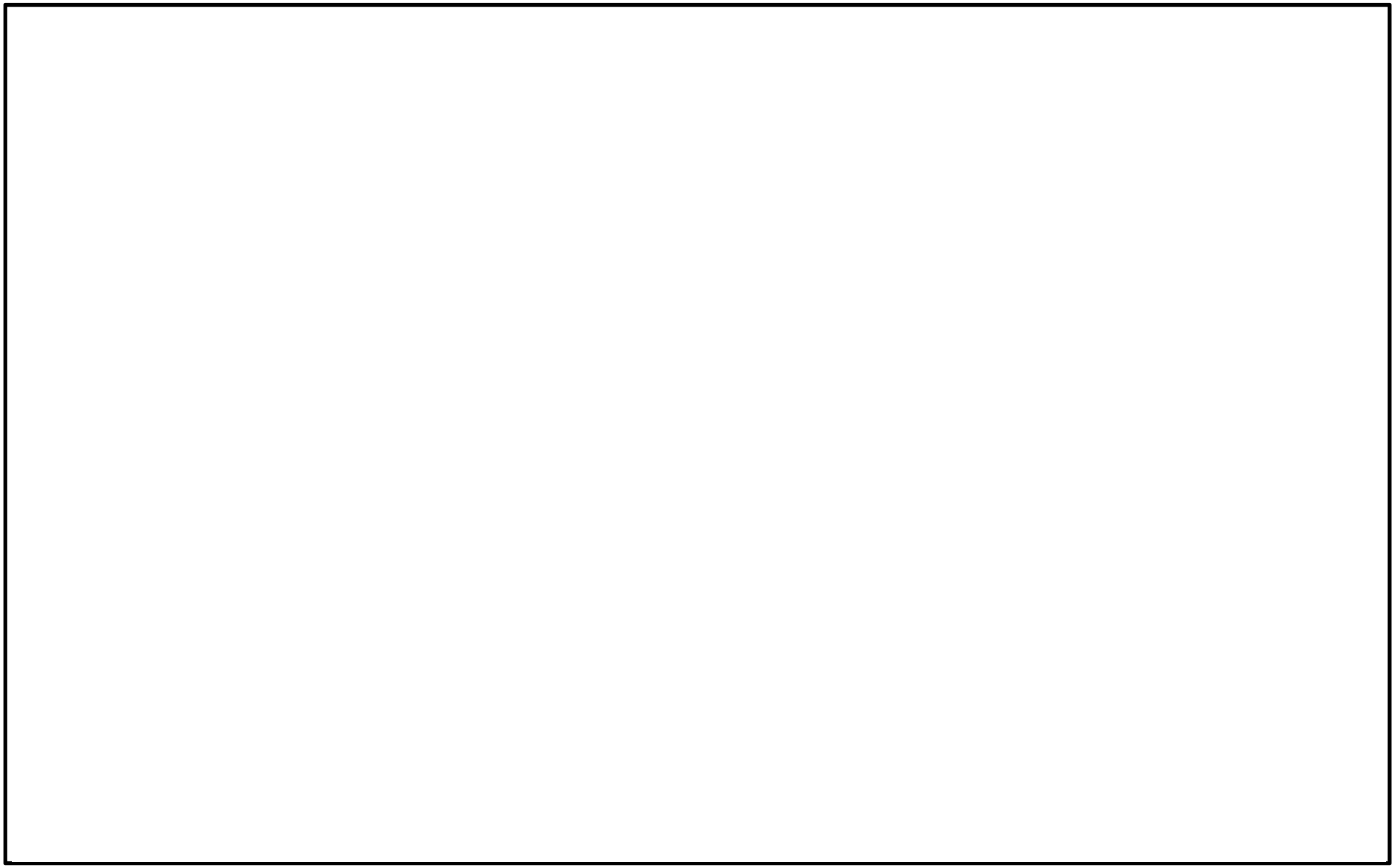
振動モード図は，3 次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



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/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-2-5-6-1-1　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。

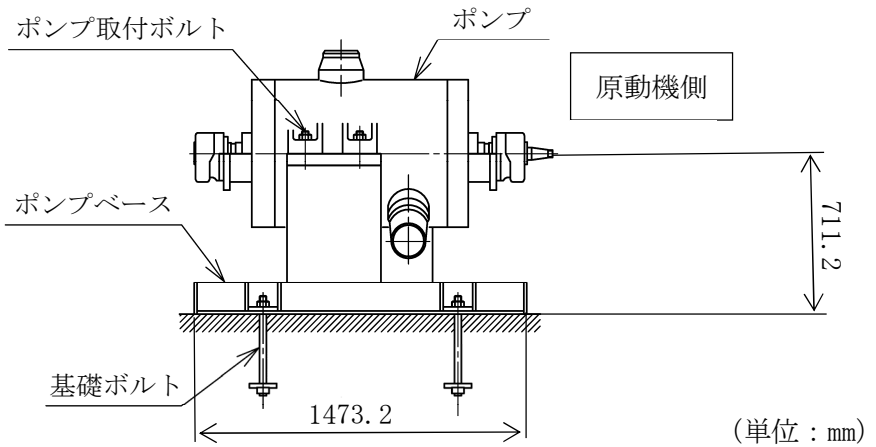
2. 一般事項

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

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
$Ⅲ_AS$	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）

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	原子炉建屋 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} (mm^2)	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／防止常設／緩和	原子炉建屋 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} (mm^2)	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)

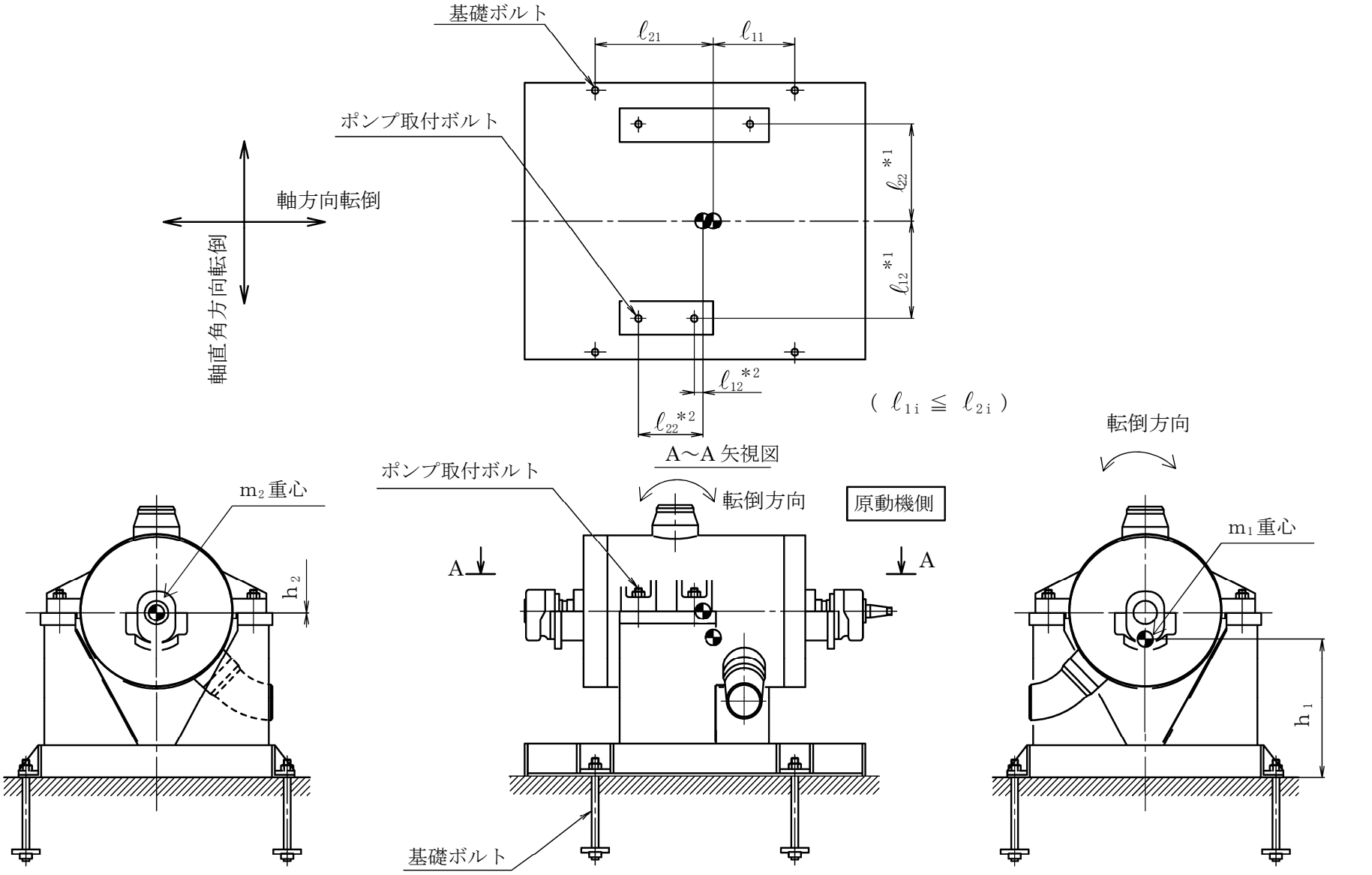
部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	－	－	$\sigma_{b1}=27$	$f_{ts1}=455$*
		せん断	－	－	$\tau_{b1}=16$	$f_{sb1}=350$
ポンプ取付ボルト		引張り	－	－	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=275$*
		せん断	－	－	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=211$

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。

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
2.　一般事項　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2
2.1　構造計画　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2
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。

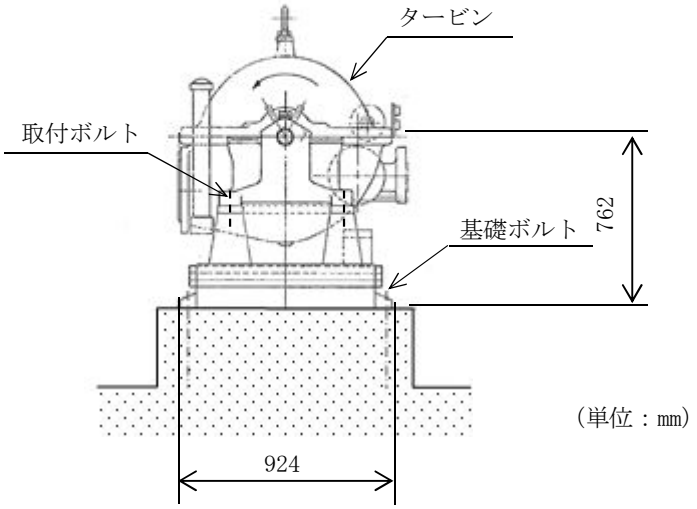
2. 一般事項

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	S30C (径≦40 mm)	周囲環境温度		320	507	—
タービン取付ボルト	SCM3* (径≦60 mm)	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	原子炉建屋 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	[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

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	
							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)								

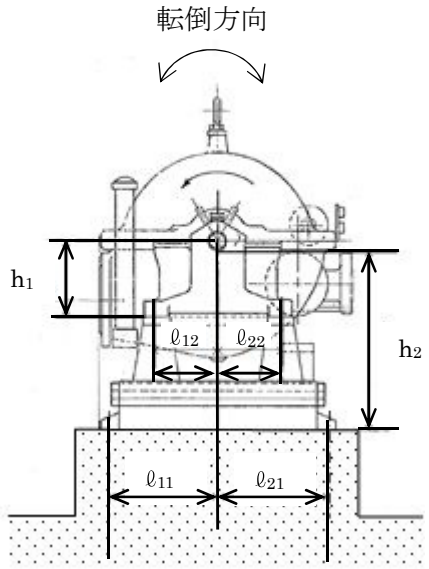
部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i (MPa)	転倒方向		M_p (N・mm)	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	320*2	507*2	320	354	軸直角	軸直角	1.148×10^6	1.148×10^6
タービン取付ボルト (i=2)	591*1	847*1	591	592	軸直角	軸直角	1.148×10^6	1.148×10^6

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
H_p [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。



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Sd又は静的震度		基準地震動Ss		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	原子炉建屋 EL. −4.0*1	−*2	−	−	C_H=0.87	Cv=0.90	Cp=0.46	302	

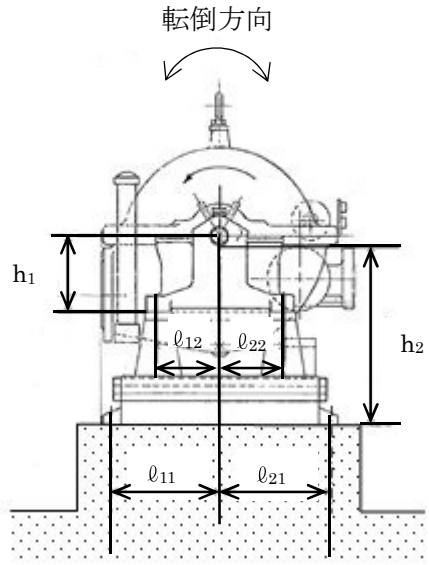
注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

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Sd又は静的震度	基準地震動Ss
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)	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=	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。

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	－	－	$\sigma_{b1}=22$	$f_{ts1}=266$*
		せん断	－	－	$\tau_{b1}=11$	$f_{sb1}=204$
タービン取付ボルト		引張り	－	－	$\sigma_{b2}=89$	$f_{ts2}=444$*
		せん断	－	－	$\tau_{b2}=57$	$f_{sb2}=342$

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

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 ····· 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

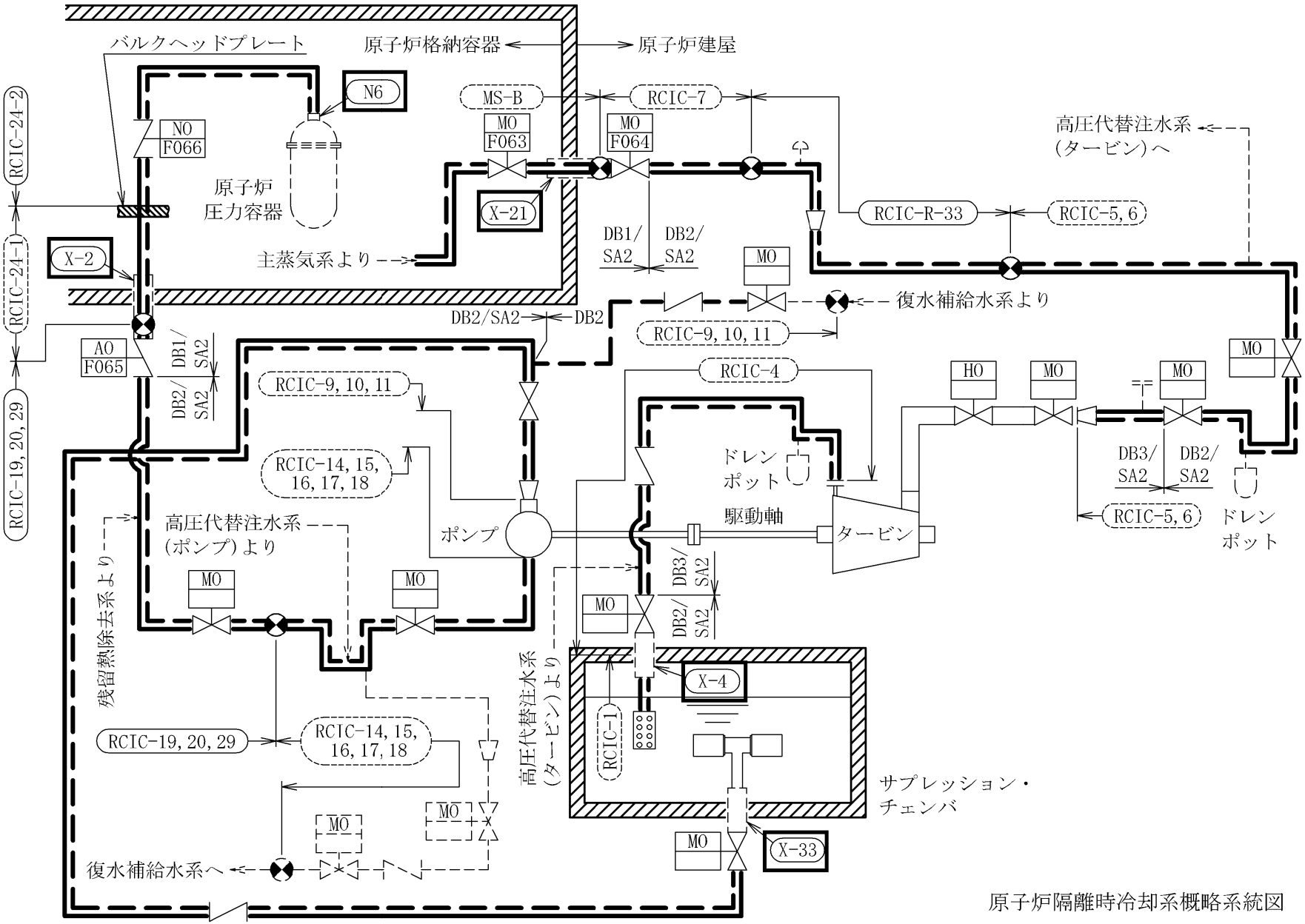
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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

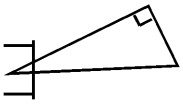
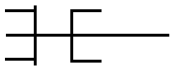
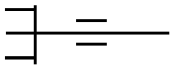
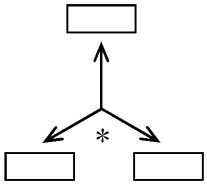
記　　号	内　　容
―――― （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
― ― ― （太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――― （細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，評価条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1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



原子炉隔離時冷却系概略系統図

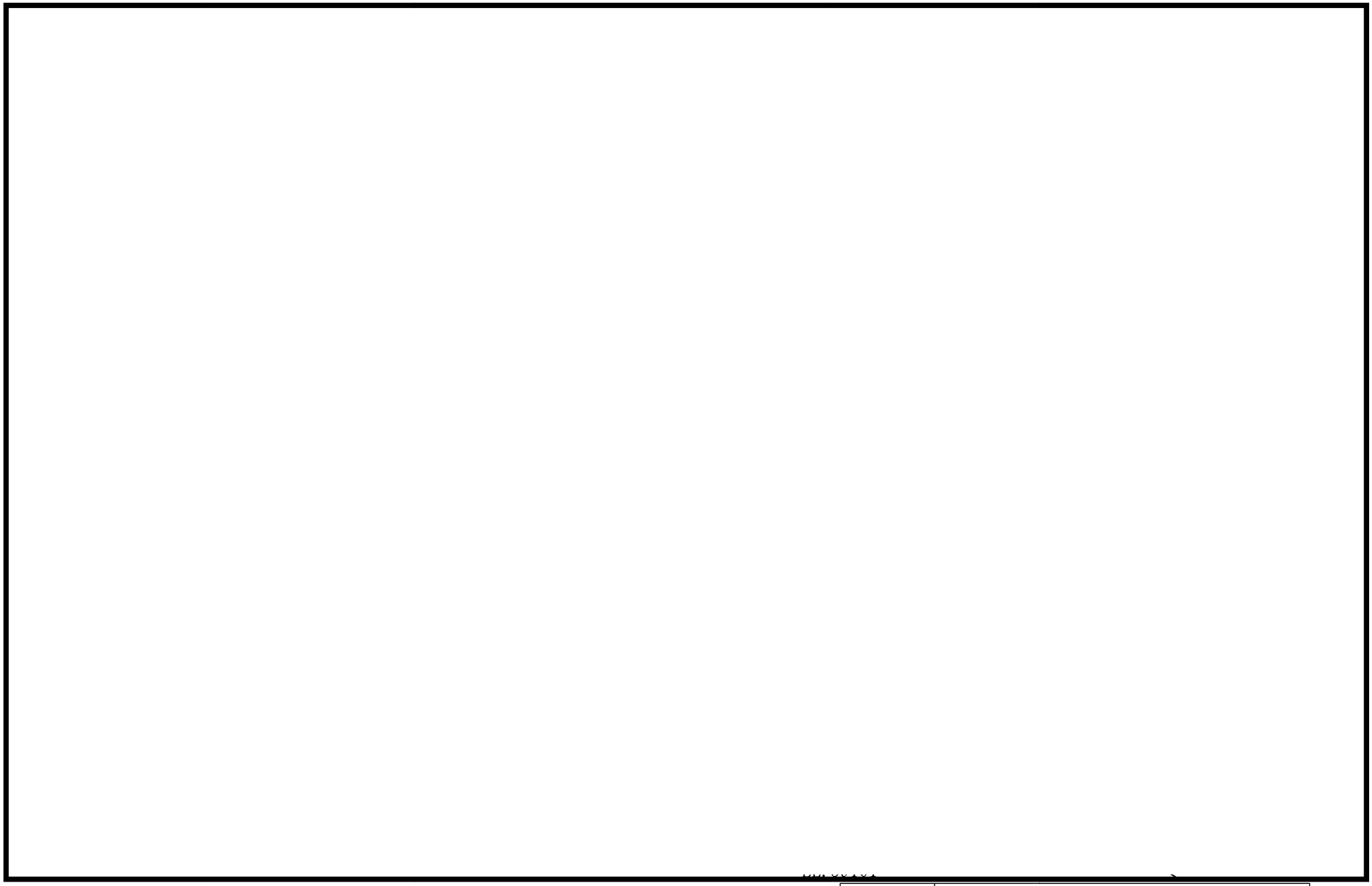
2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

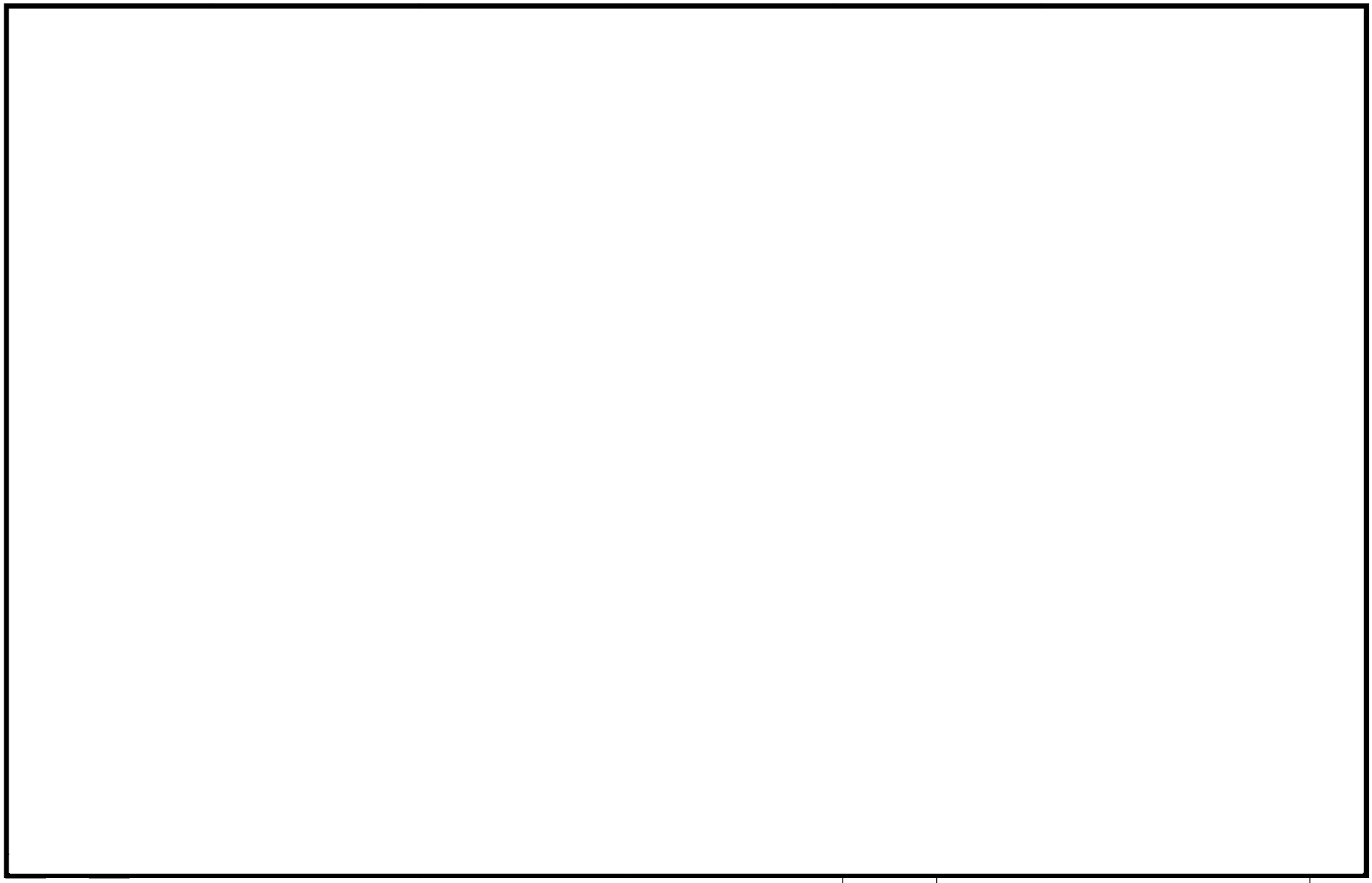
記　　号	内　　容
━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - -（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質　　点
⊗	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	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)

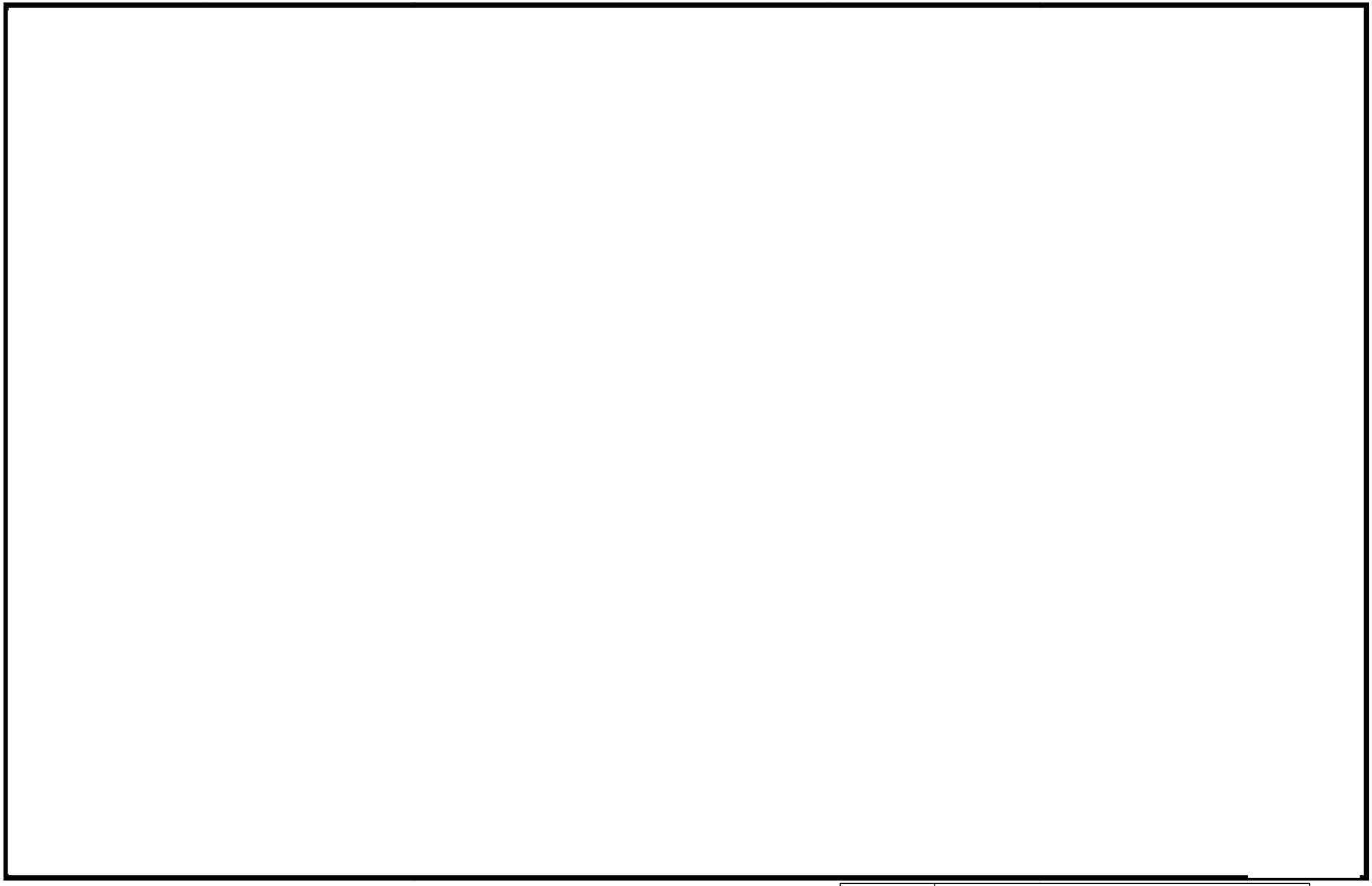
鳥瞰図	RCIC-24-2(DB)(2/2)



鳥瞰図	RCIC-24-2(SA)(1/2)



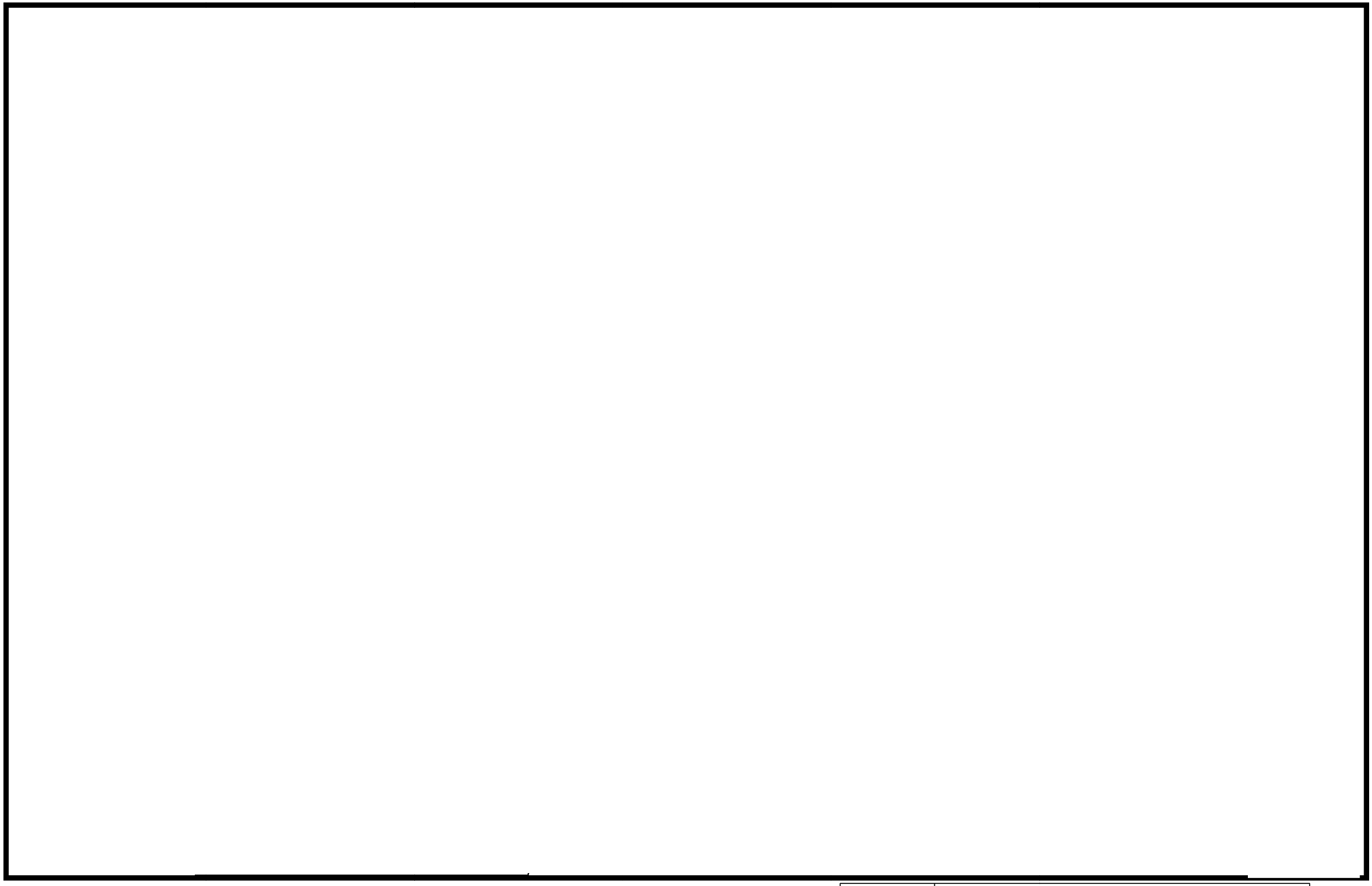
鳥瞰図	RCIC-24-2(SA)(2/2)



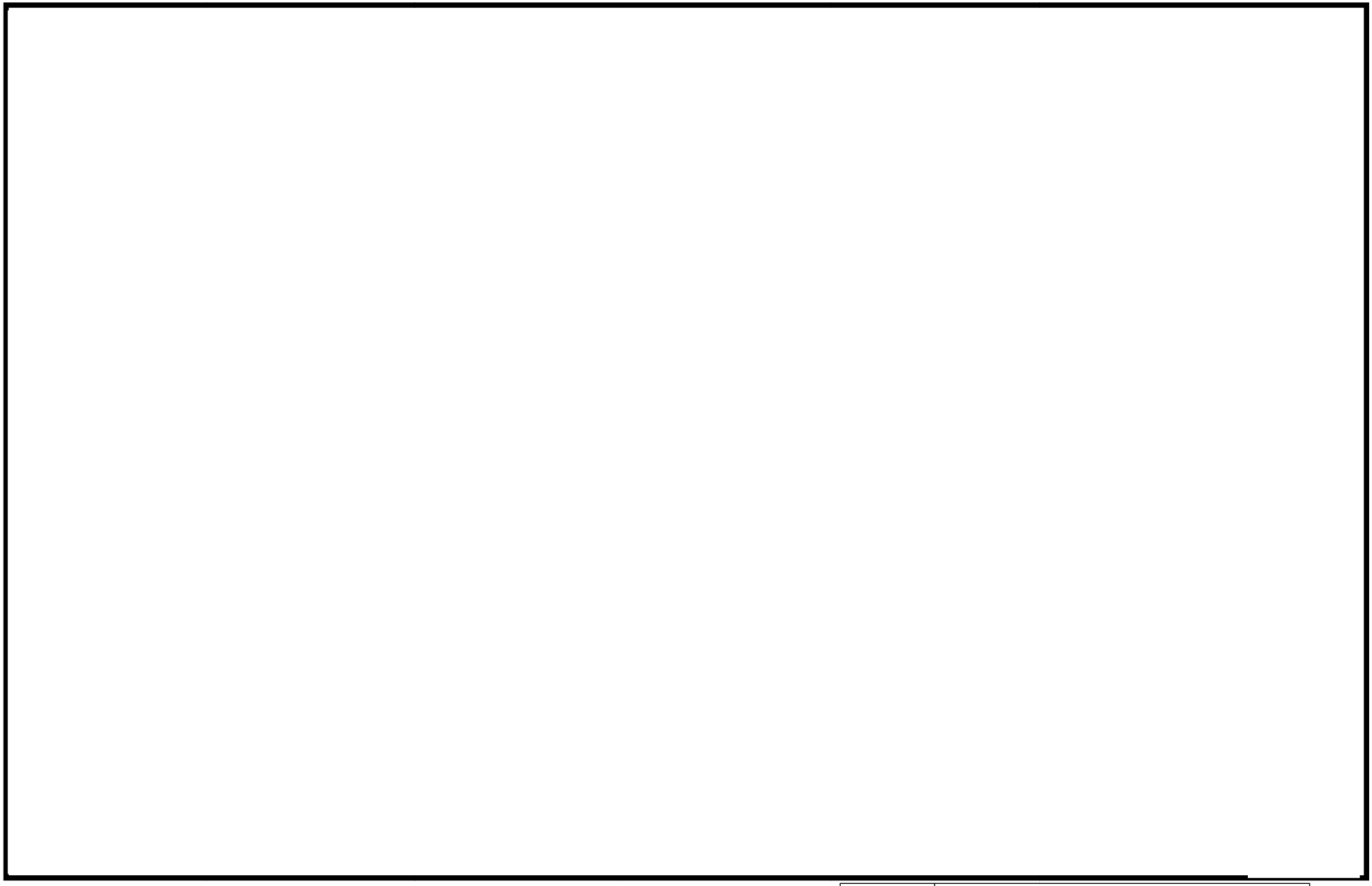
鳥瞰図	RCIC-19,20,29(DB)(1/4)

鳥瞰図	RCIC-19,20,29(DB)(2/4)

鳥瞰図	RCIC-19,20,29(DB)(3/4)



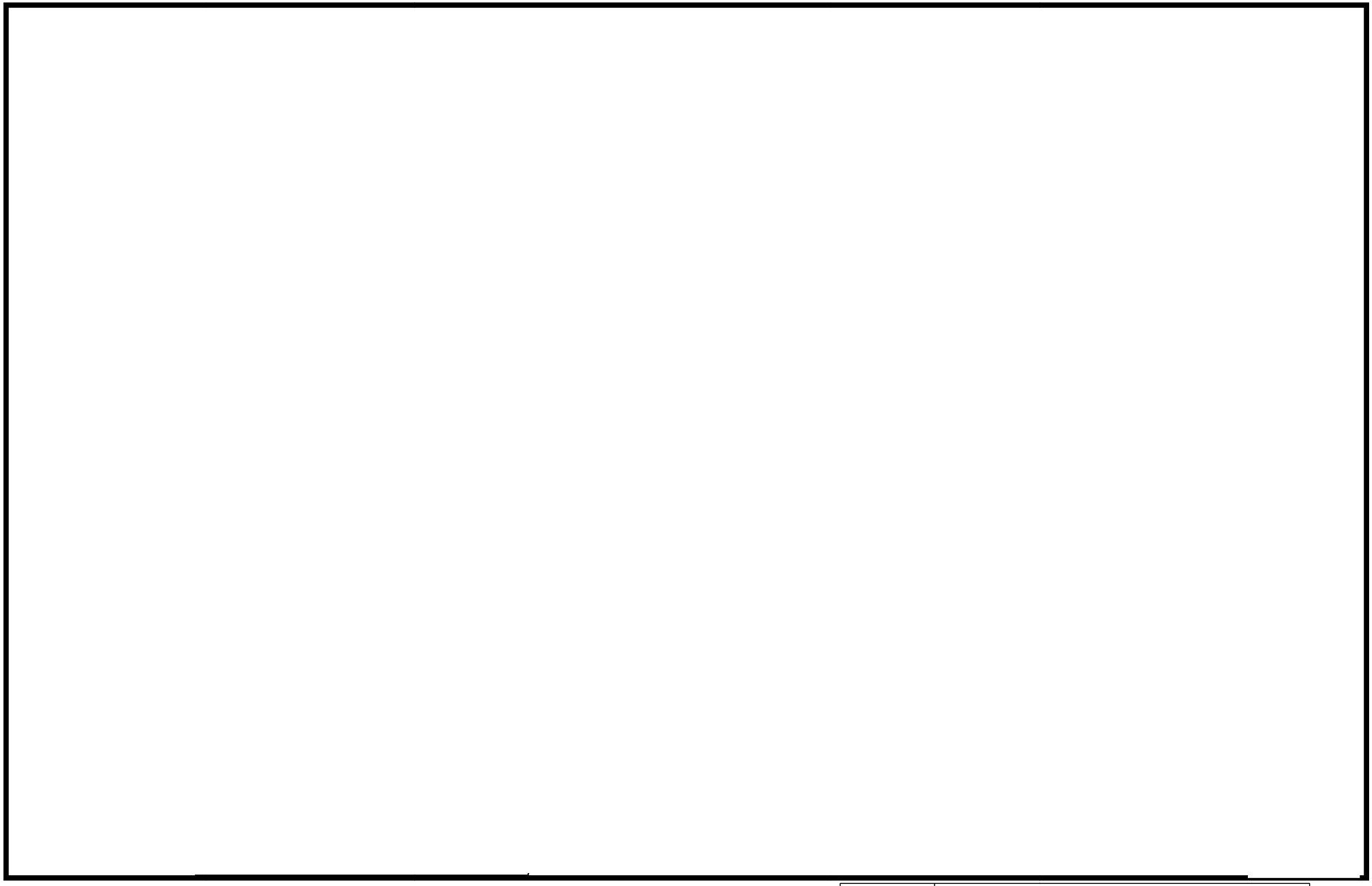
鳥瞰図	RCIC-19,20,29(DB)(4/4)



鳥瞰図	RCIC-19,20,29(SA)(1/4)

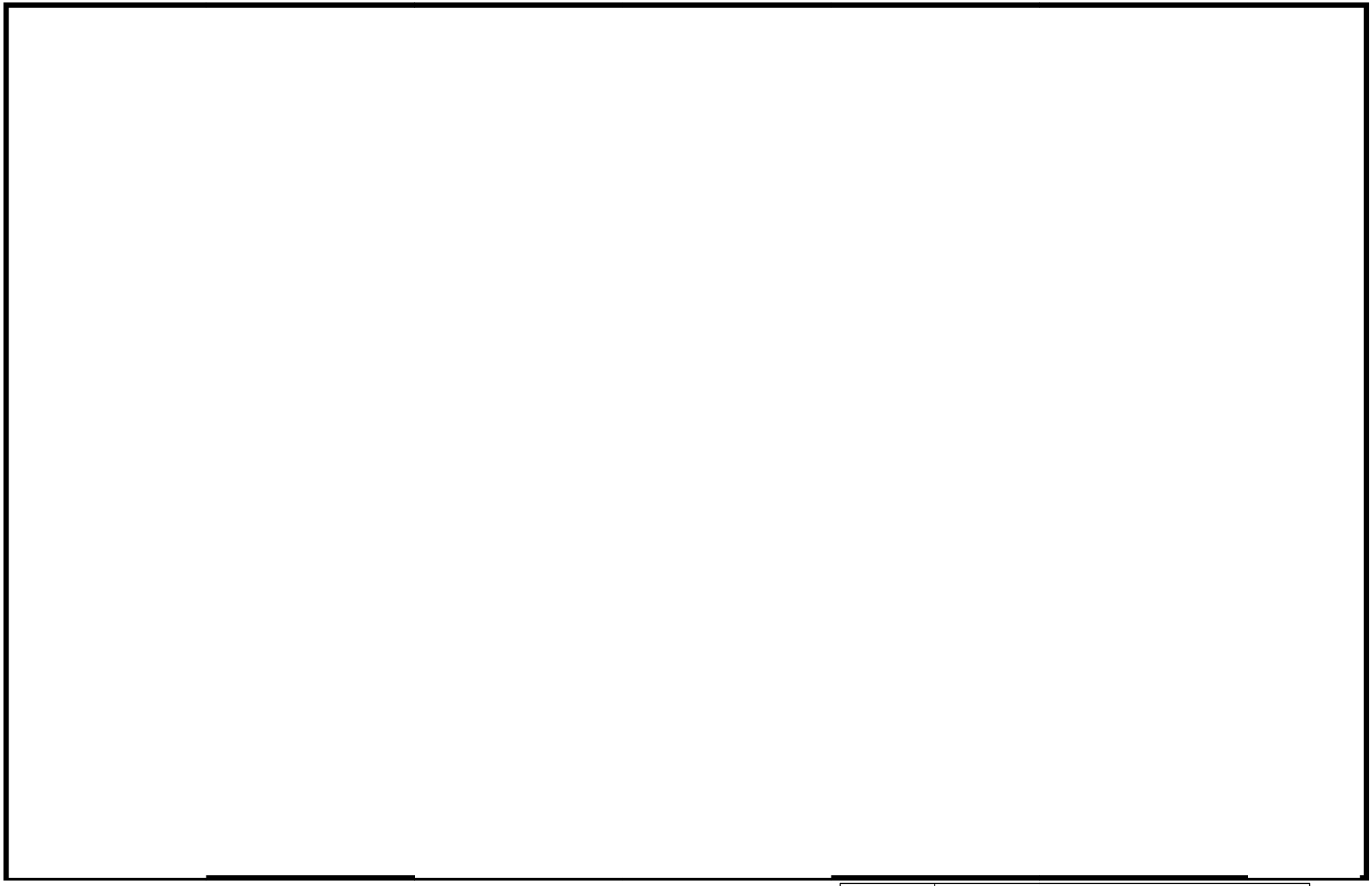
鳥瞰図	RCIC-19,20,29(SA)(2/4)

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

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_L（ＬＬ）＋S_s*7 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。
＊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	
2	3F～35	8.62	302	165.2	14.3		S	
3	36～42N	8.62	302	165.2	14.3		S	

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　RCIC-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			

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_AS	78A	SUP.PT	S_{prm}（S_d）	128	226	－	－	－	－	－
RCIC-19,20,29	III_AS	77	BUTT WELD	S_t（S_d）	－	－	30	62	－	－	－
RCIC-19,20,29	IV_AS	78A	SUP.PT	S_{prm}（S_s）	161	252	－	－	－	－	－
RCIC-19,20,29	IV_AS	77	BUTT WELD	S_t（S_s）	－	－	39	83	－	－	－
RCIC-24-2	IV_AS	40	ELBOW	S_n（S_s）	－	－	－	－	640	366	0.2791
RCIC-24-2	IV_AS	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（S$_s$）	1.9	4.9	6.0	6.0	－	－
E51-F063	止め弁	β（S$_s$）	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 $\mathrm{III_AS}$					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	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 ＊：$\mathrm{III_AS}$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	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	57	363	6.36	—	8002	112	430	3.83	—	—	—	—
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-14,15,16,17,18	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	○	—	—	—

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。

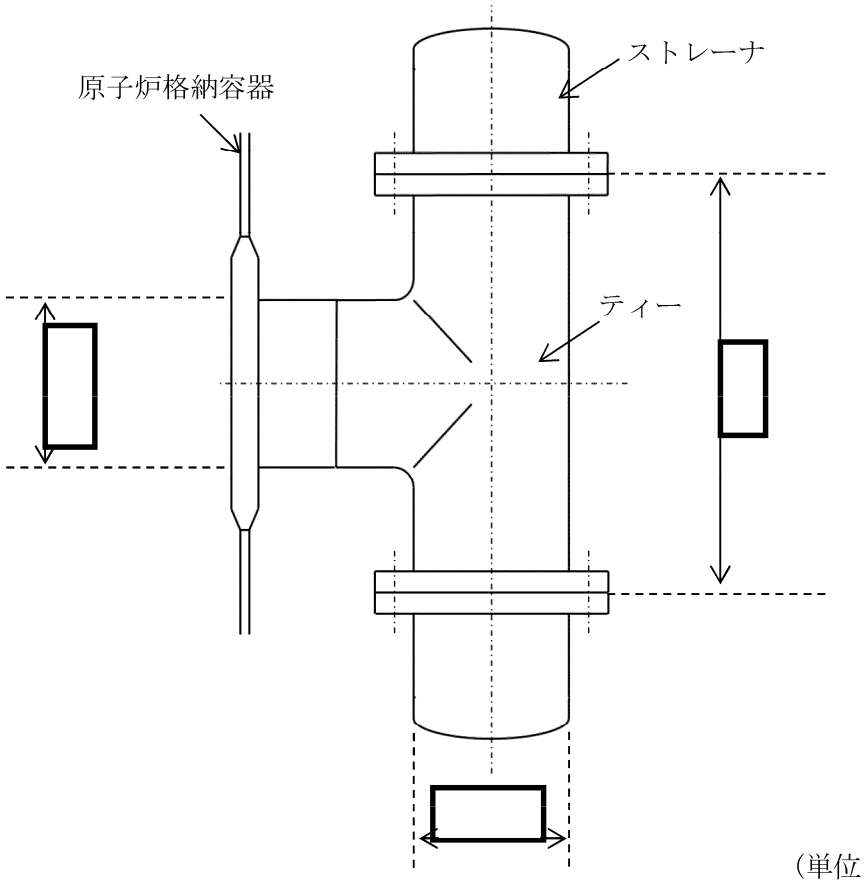
原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーは，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

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。

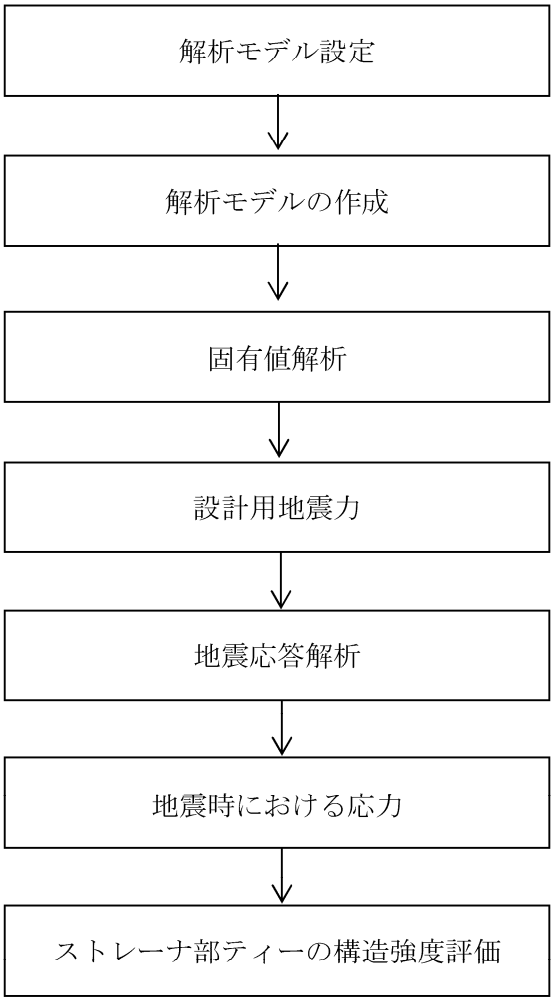


図 2-1　原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの耐震評価フロー

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。

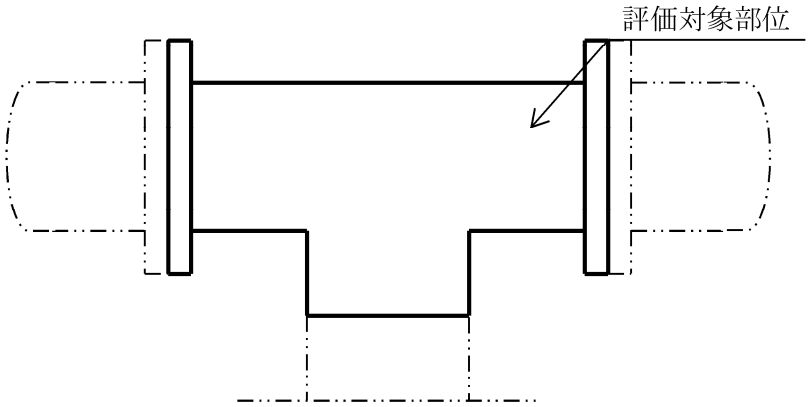


図 3-1　原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの形状

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。

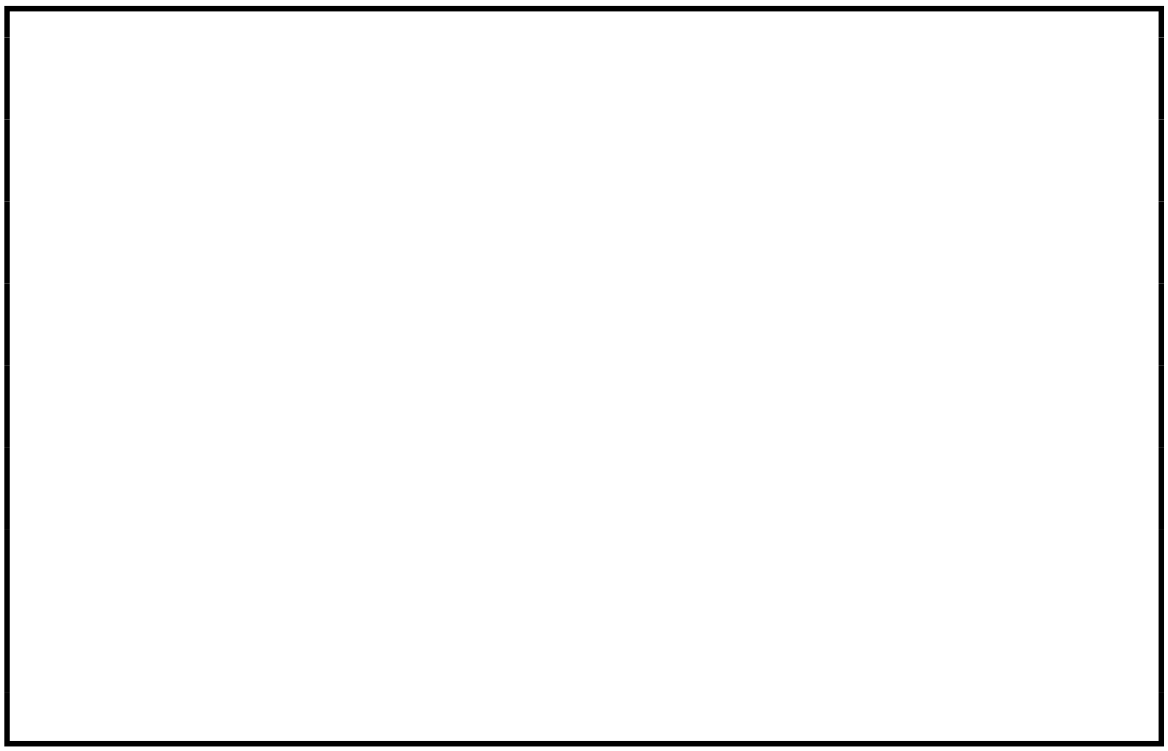


図 4-1　ストレーナ部ティーの解析モデル

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。

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。

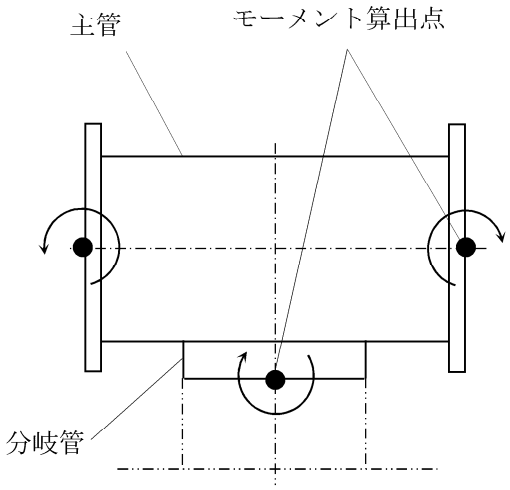


図 4-2　ティーのモーメント算出点

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-2-5-7-1-1　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。

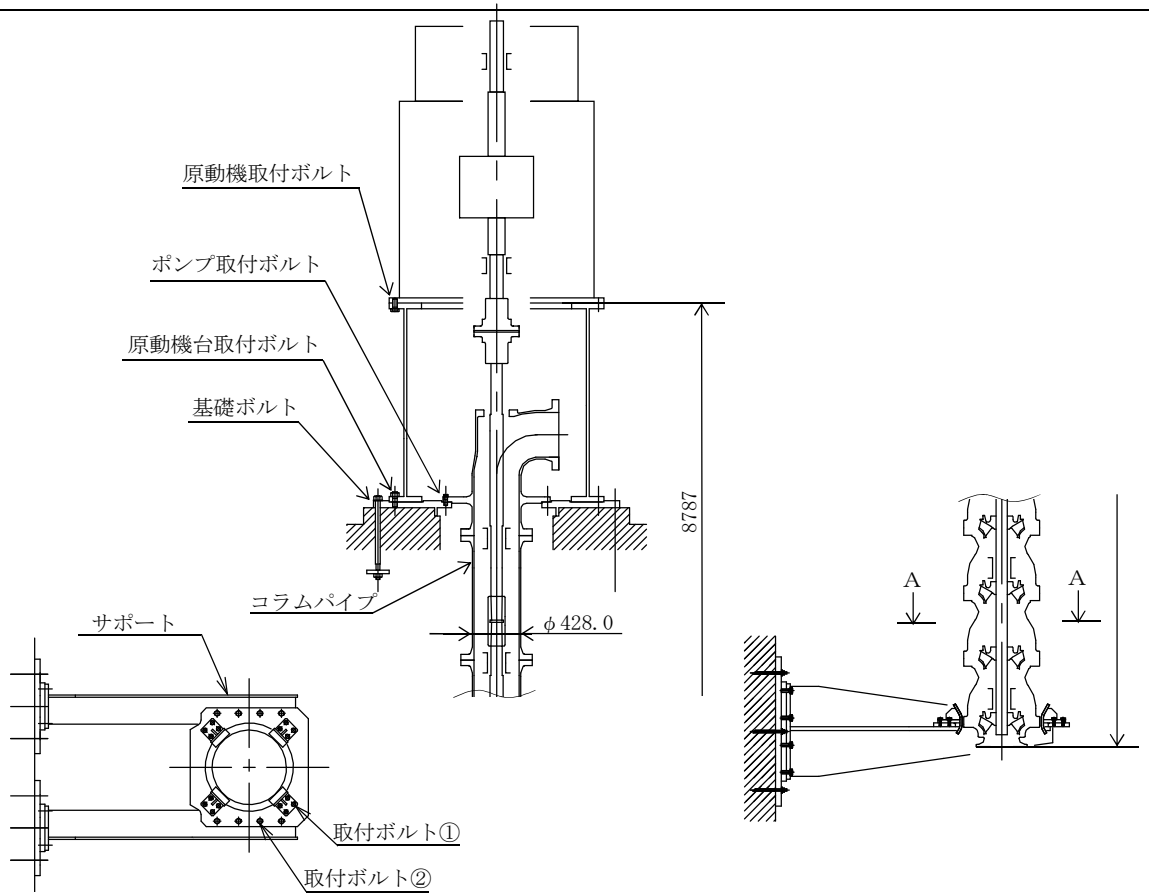
2. 一般事項

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	－	－

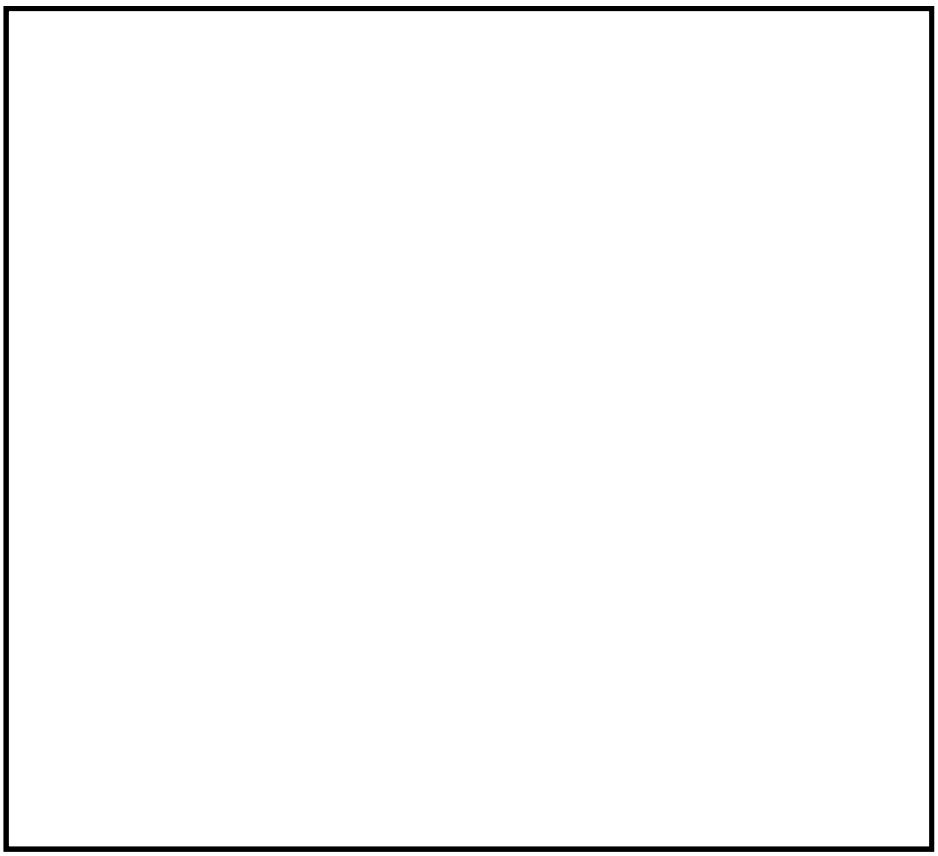


図 3-1　振動モード（１次モード　水平方向　0.067ｓ）

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	205
原動機台取付ボルト（i＝3）				8	8	5.730×10^6	198*2	504*2	205	205
原動機取付ボルト（i＝4）				8	8	5.730×10^6	198*2	504*2	205	205

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		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		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		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} (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	－	301
ポンプ取付ボルト (i＝2)				8	8	5.730×10^6	198*1	504*1	－	205
原動機台取付ボルト (i＝3)				8	8	5.730×10^6	198*2	504*2	－	205
原動機取付ボルト (i＝4)				8	8	5.730×10^6	198*2	504*2	－	205

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]

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)	－	[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	－	

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	[redacted]	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	[redacted]	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	[redacted]	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

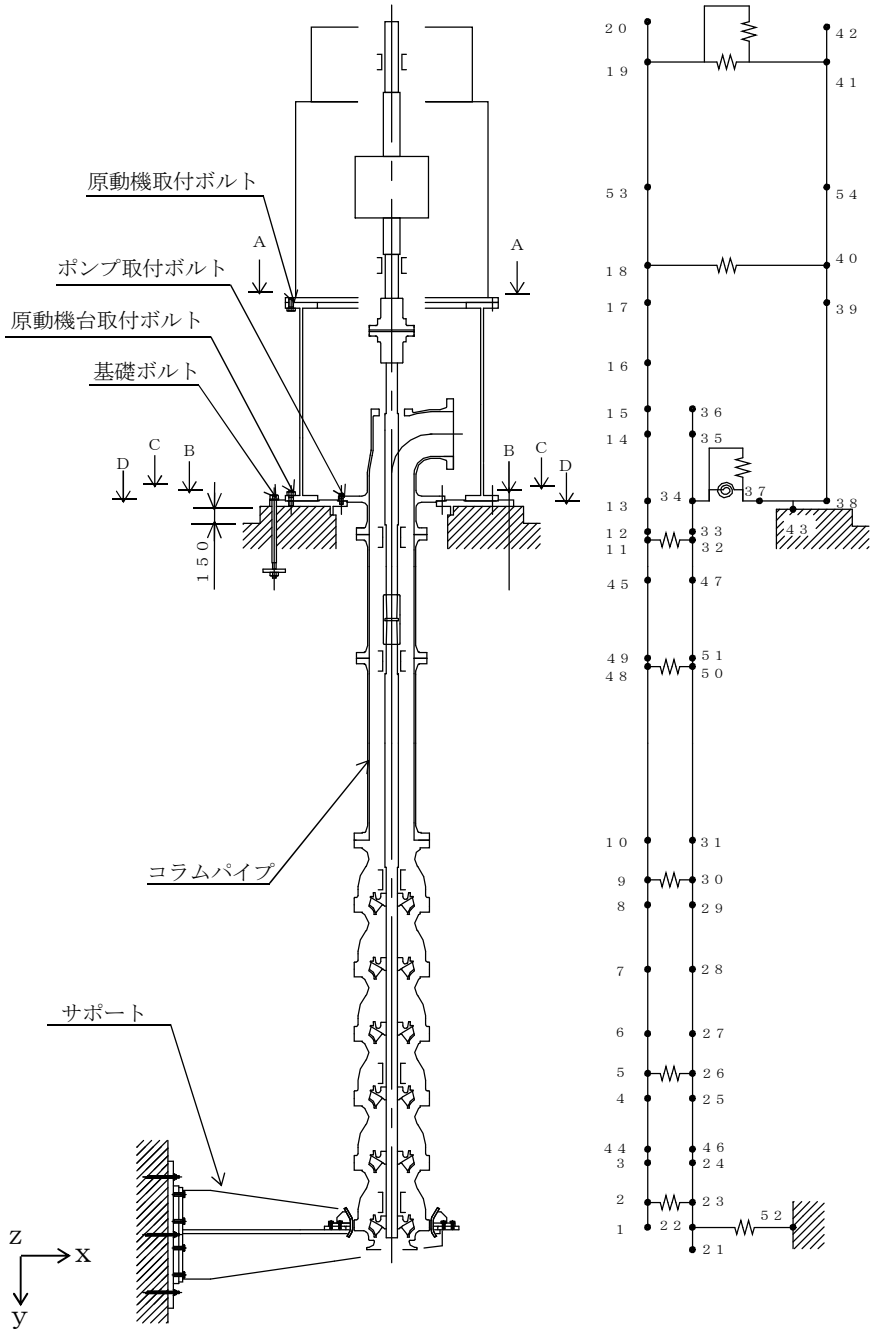
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	

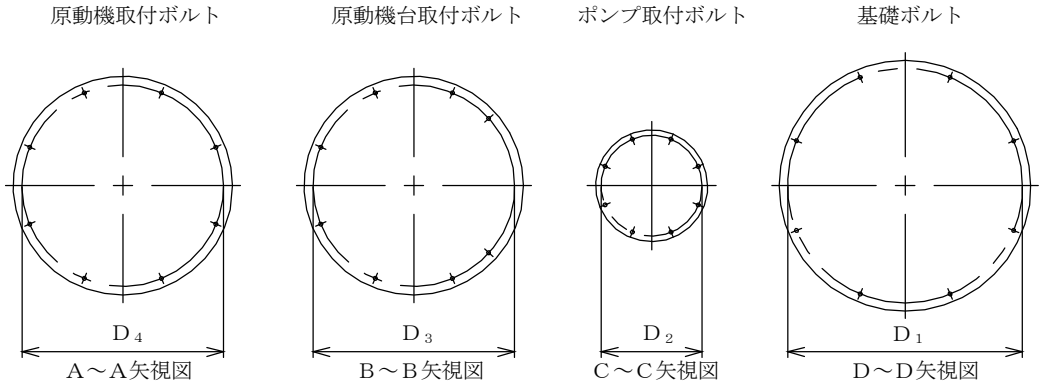
（続き）

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
33
32
43
47
51
50
31
30
29
28
27
26
25
46
24
23
52
22
21


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

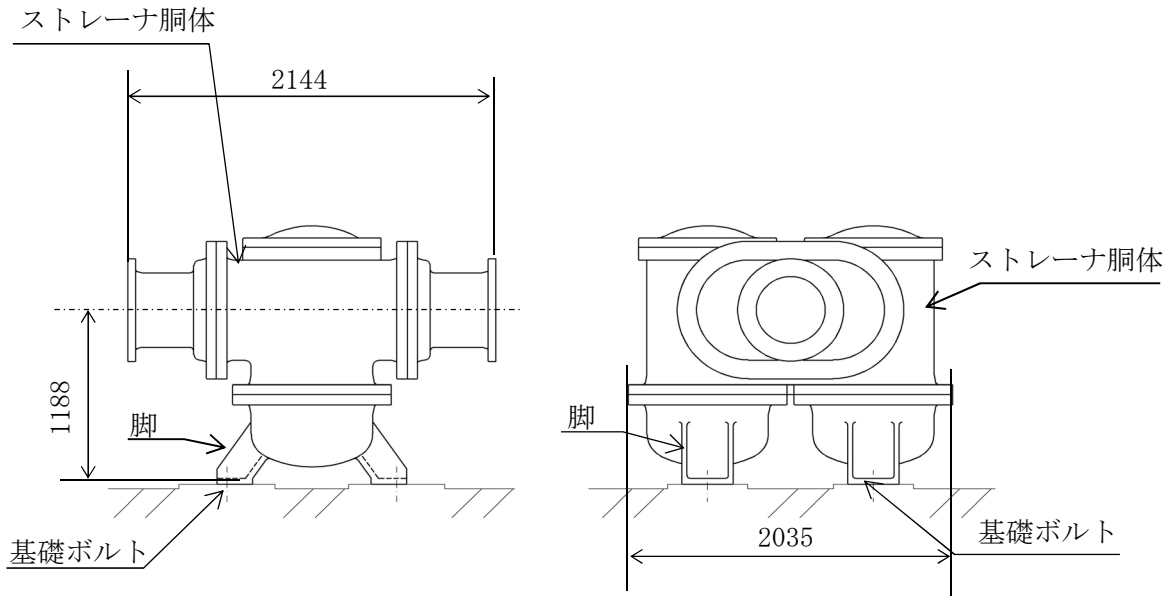
残留熱除去系海水系ストレーナは設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

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。

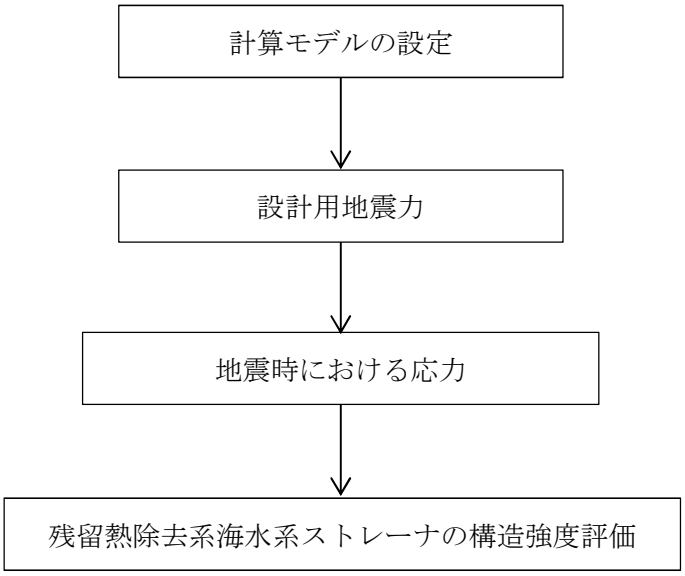


図 2-1　残留熱除去系海水系ストレーナの耐震評価フロー

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１：$\ell_1 \leqq \ell_2$

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

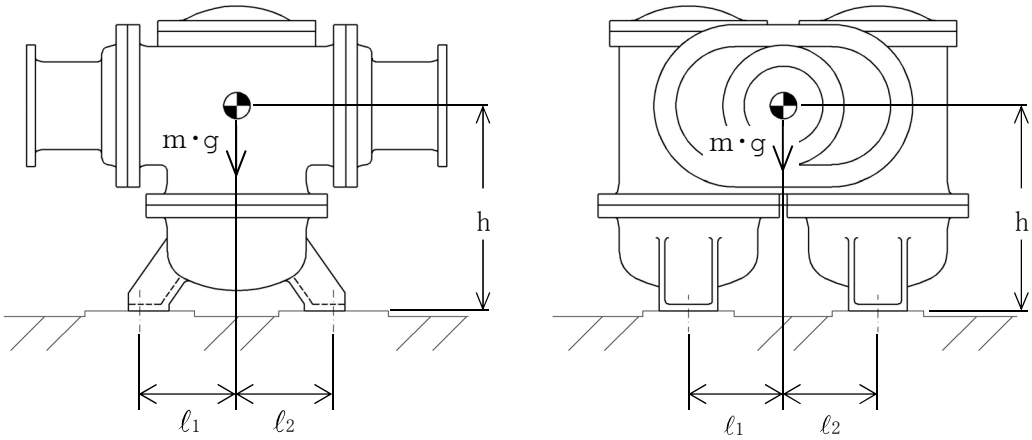
(1)　ストレーナ及び内容物の質量は重心に集中するものとする。

(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」は常設重要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＝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。

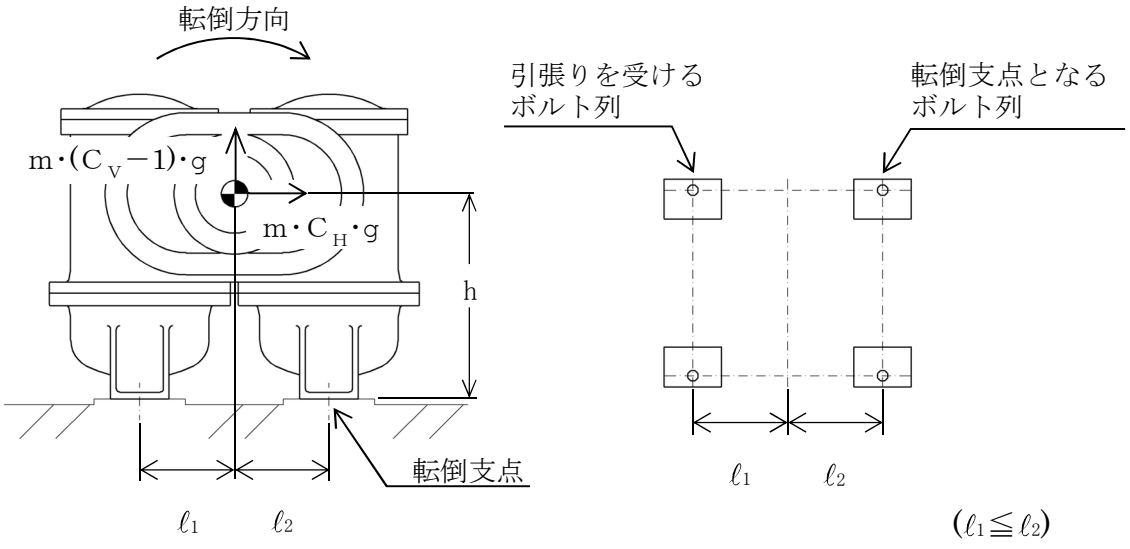


図5-2　計算モデル（短辺方向転倒）

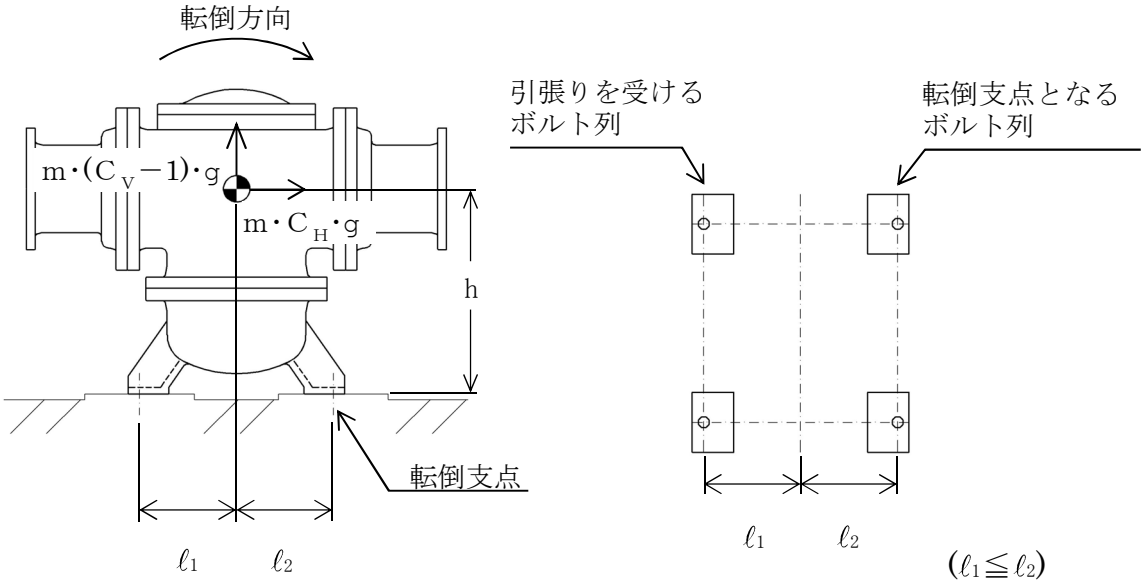


図 5-3　計算モデル（長辺方向転倒）

(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

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \quad \cdots\cdots \quad (5.2.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots \quad (5.2.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \cdots\cdots \quad (5.2.3)$$

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

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g \quad \cdots\cdots \quad (5.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots \quad (5.2.5)$$

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

5.2.4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。

$$f_{ts}=1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.2.6)$$

かつ，

$$f_{ts}\leqq f_{to} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.2.7)$$

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

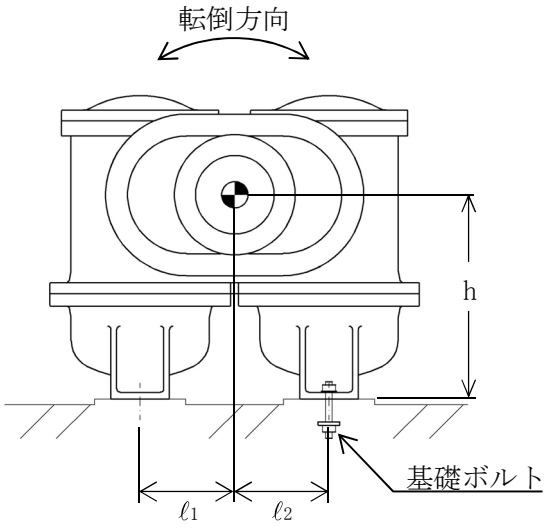
1.4　結　　論

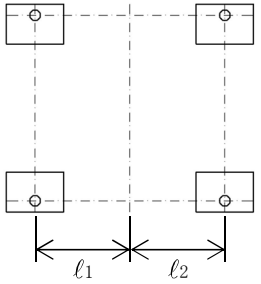
ボルトの応力　　（単位：MPa）

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]				706.9 (M30)	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

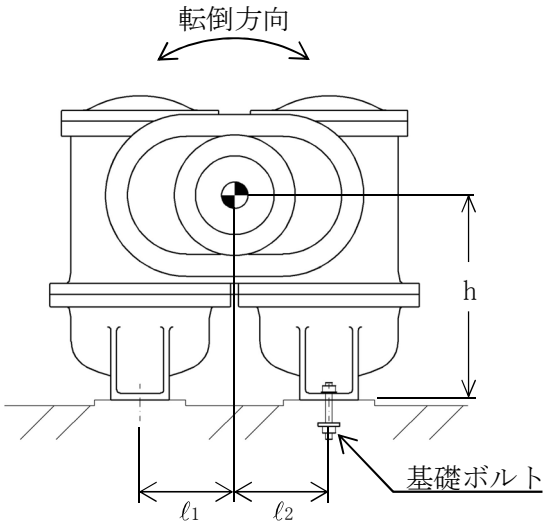
2.4　結　論

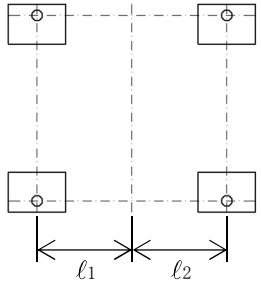
ボルトの応力　　（単位：MPa）

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 ····· 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，添付資料「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

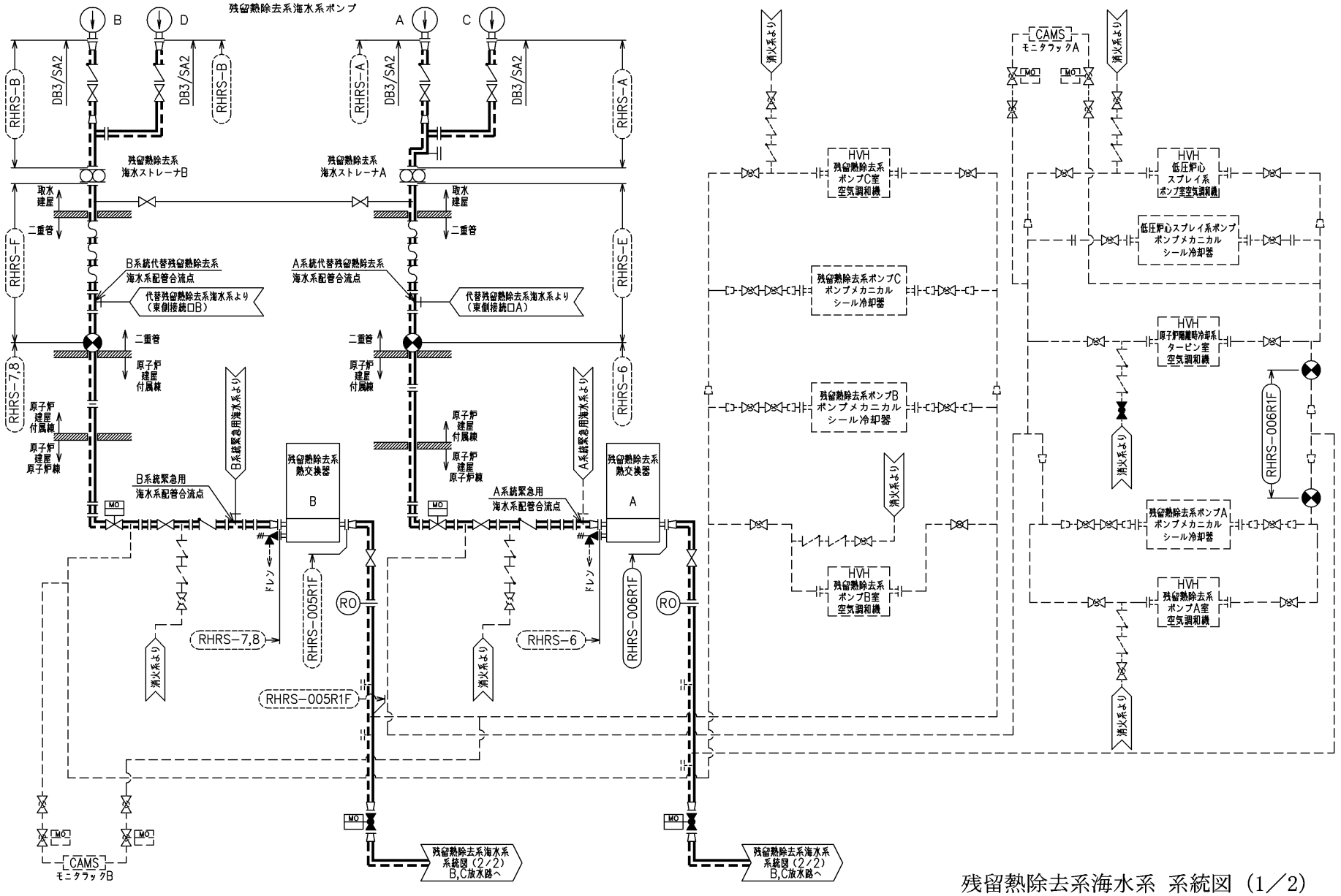
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

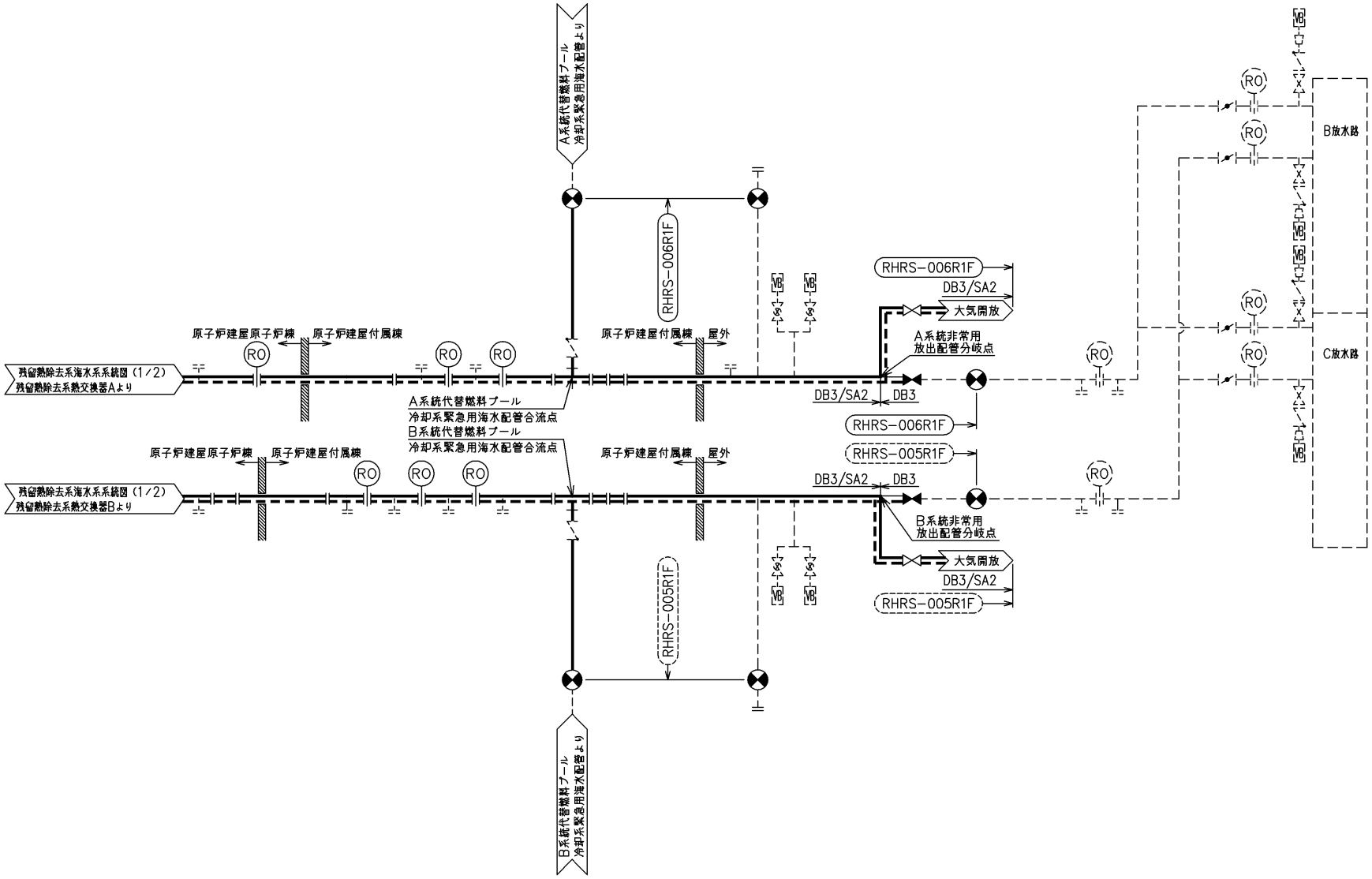
2.1　概略系統図

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



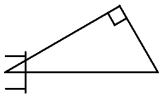
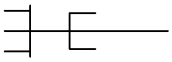
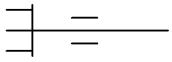
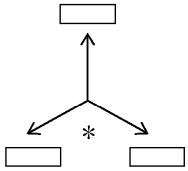
残留熱除去系海水系 系統図（1／2）



残留熱除去系海水系 系統図 (2／2)

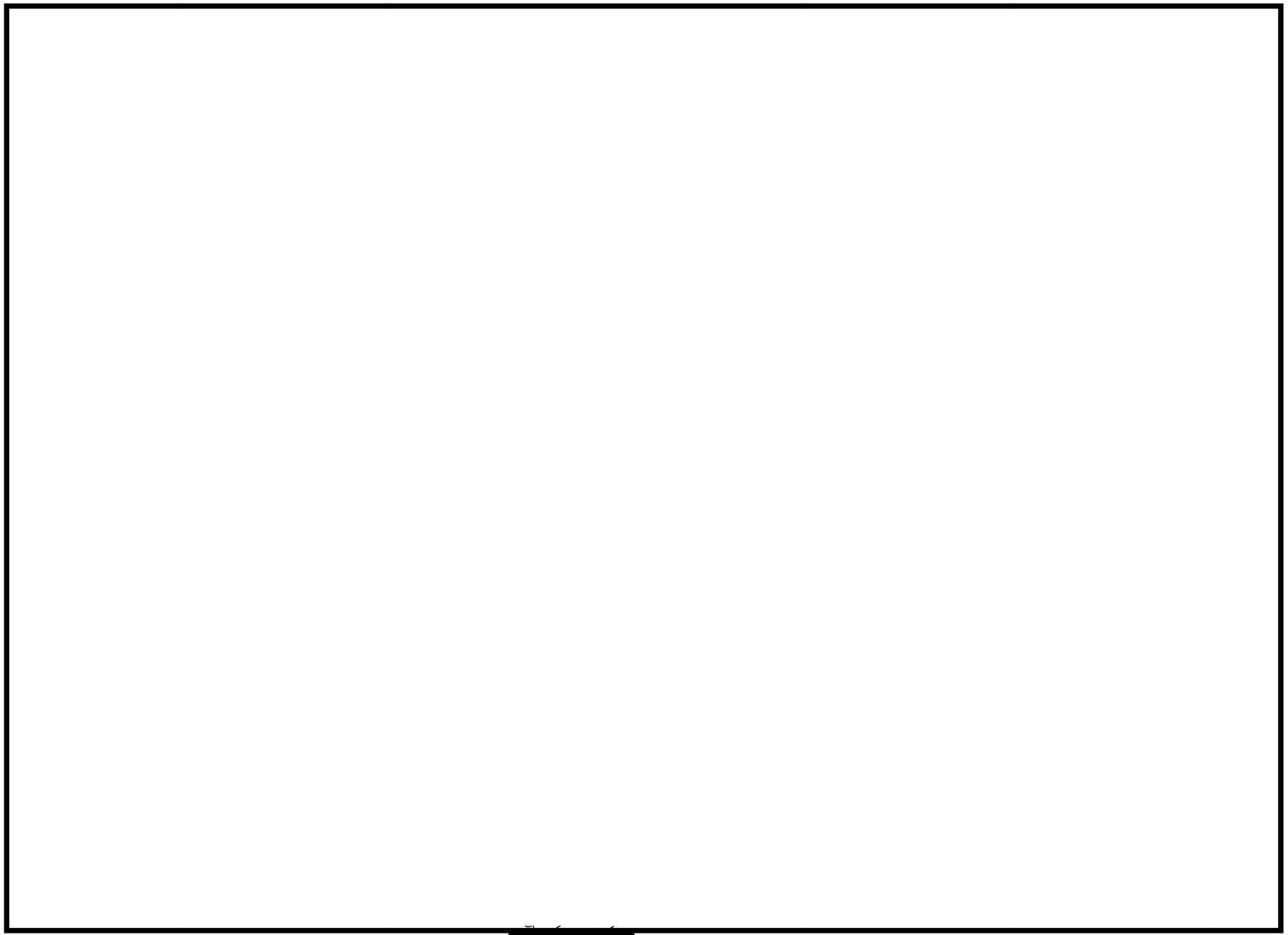
2.2 鳥瞰図

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

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	$\mathrm{I}_{\mathrm{L}}+\mathrm{S}_{\mathrm{d}}$	$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$
							$\mathrm{II}_{\mathrm{L}}+\mathrm{S}_{\mathrm{d}}$	
							$\mathrm{IV}_{\mathrm{L}}(\mathrm{L})+\mathrm{S}_{\mathrm{d}}$	
							$\mathrm{I}_{\mathrm{L}}+\mathrm{S}_{\mathrm{s}}$	$\mathrm{IV}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$
							$\mathrm{II}_{\mathrm{L}}+\mathrm{S}_{\mathrm{s}}$	
			ＳＡ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	$\mathrm{V}_{\mathrm{L}}+\mathrm{S}_{\mathrm{s}}$	$\mathrm{V}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$

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$\mathrm{V}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$は許容応力状態$\mathrm{IV}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$の許容限界を使用し，許容応力状態$\mathrm{IV}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$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　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	
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 (%)
RHRS-006R1F	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 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							

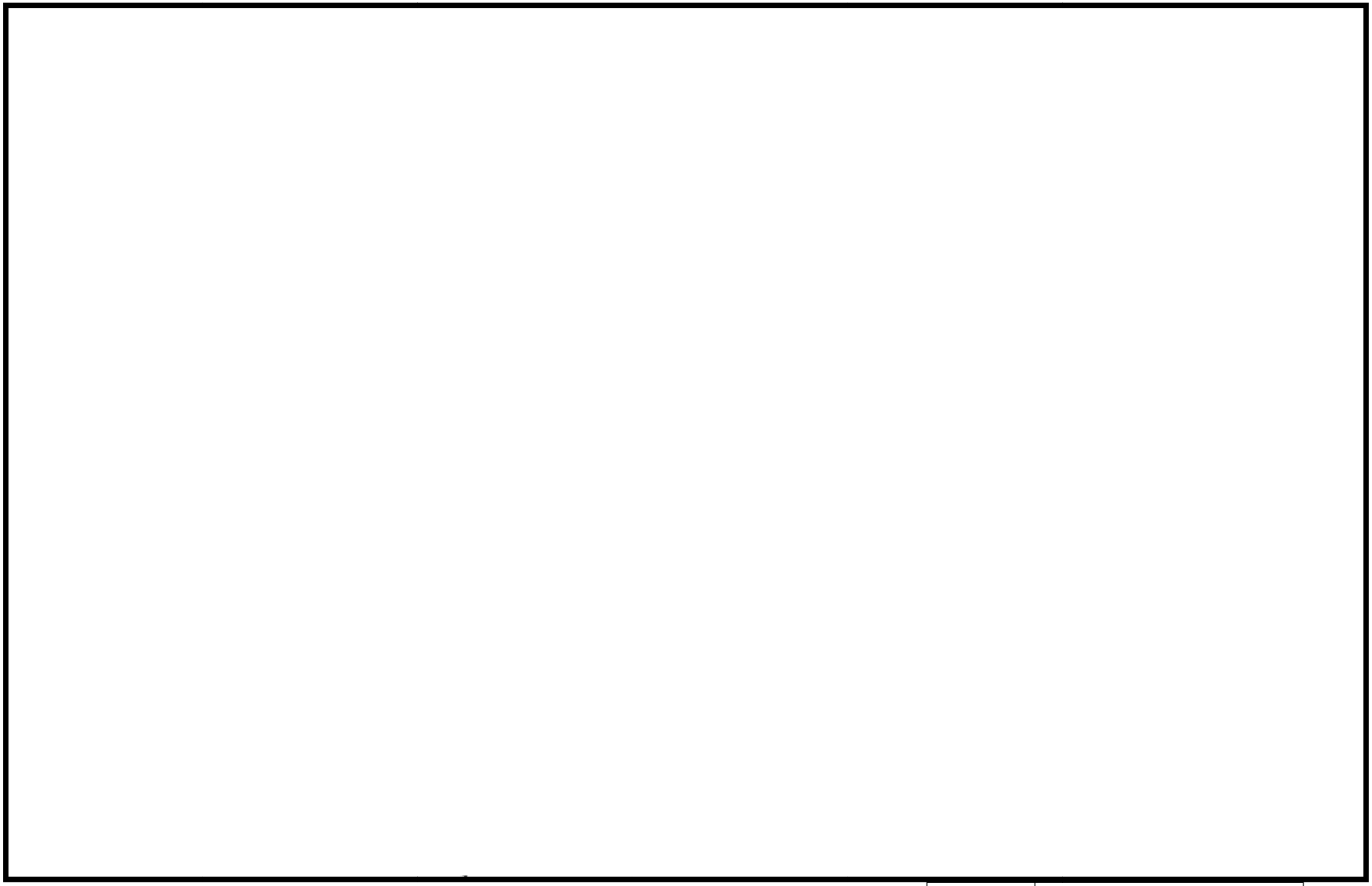
各モードに対応する刺激係数

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				

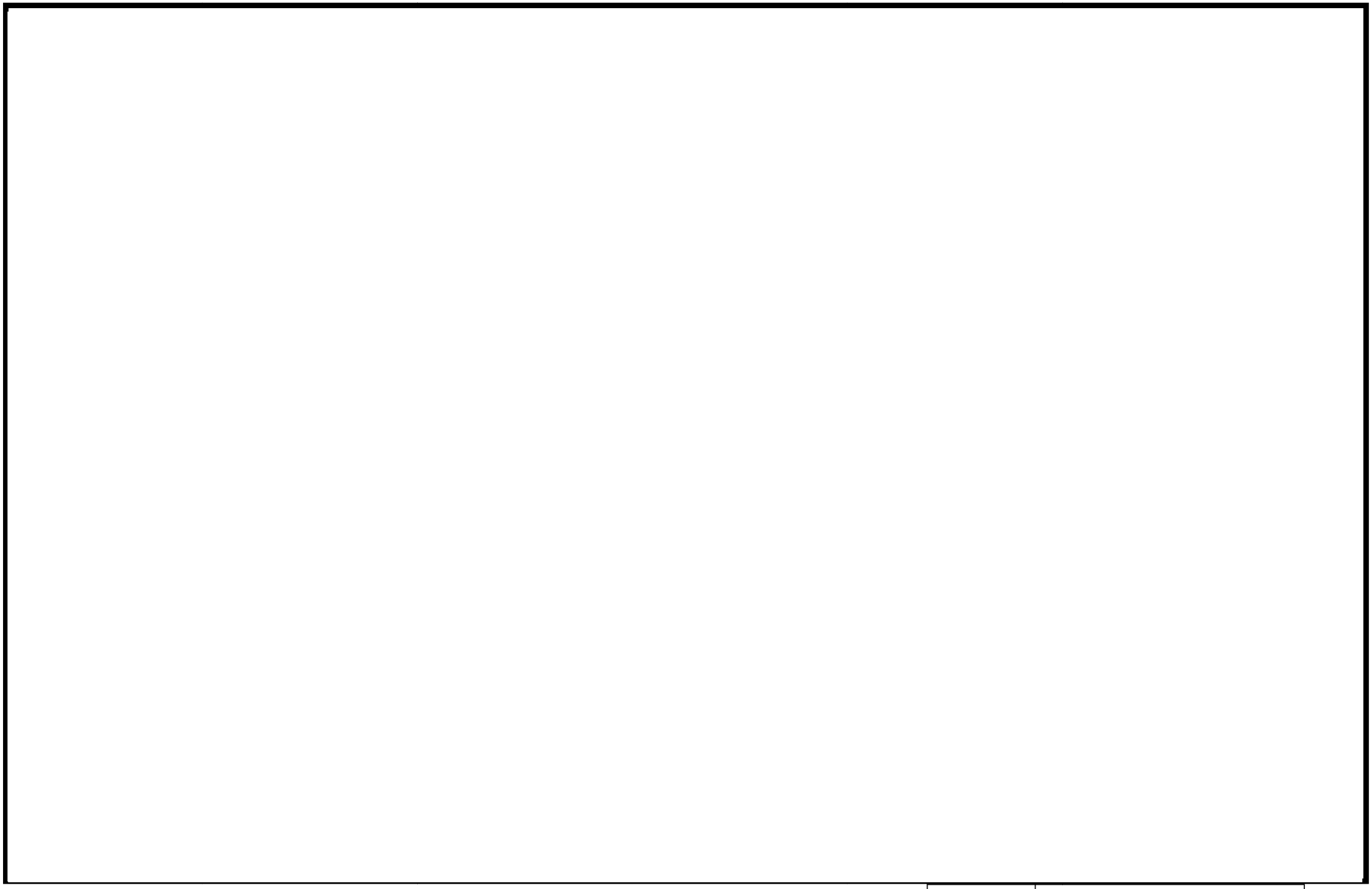
代表的振動モード図

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/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
3-12-F068A	グローブ弁	－	3.887	4.464	6.0	6.0	－	－
3-12-F068B	グローブ弁	－	4.432	3.163	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（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 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	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	○	－	－	－

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。

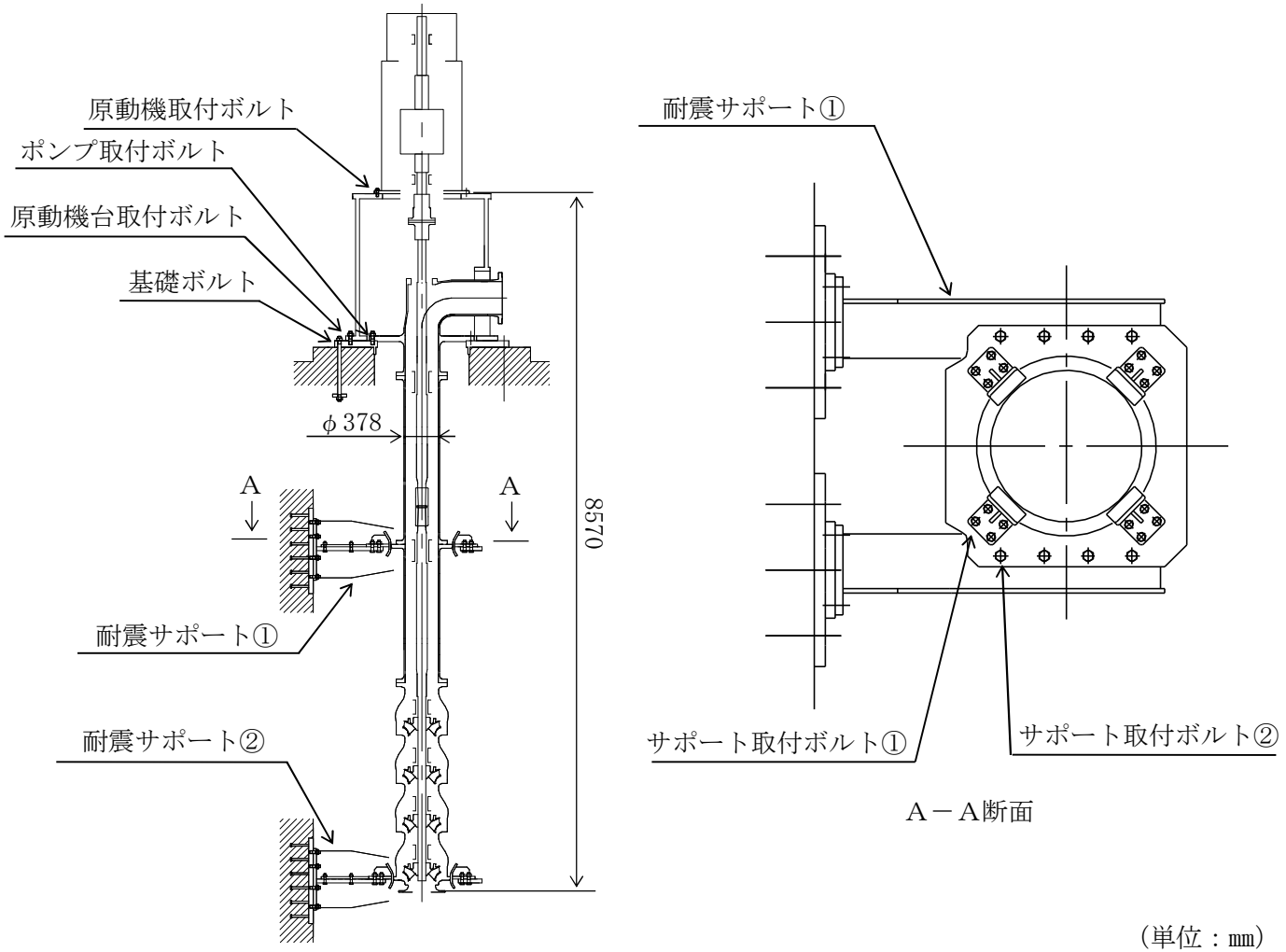
2. 一般事項

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 3-7 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。

表 3-7　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3-8に示す。

表 3-8　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。

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
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。

1.4.4　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	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

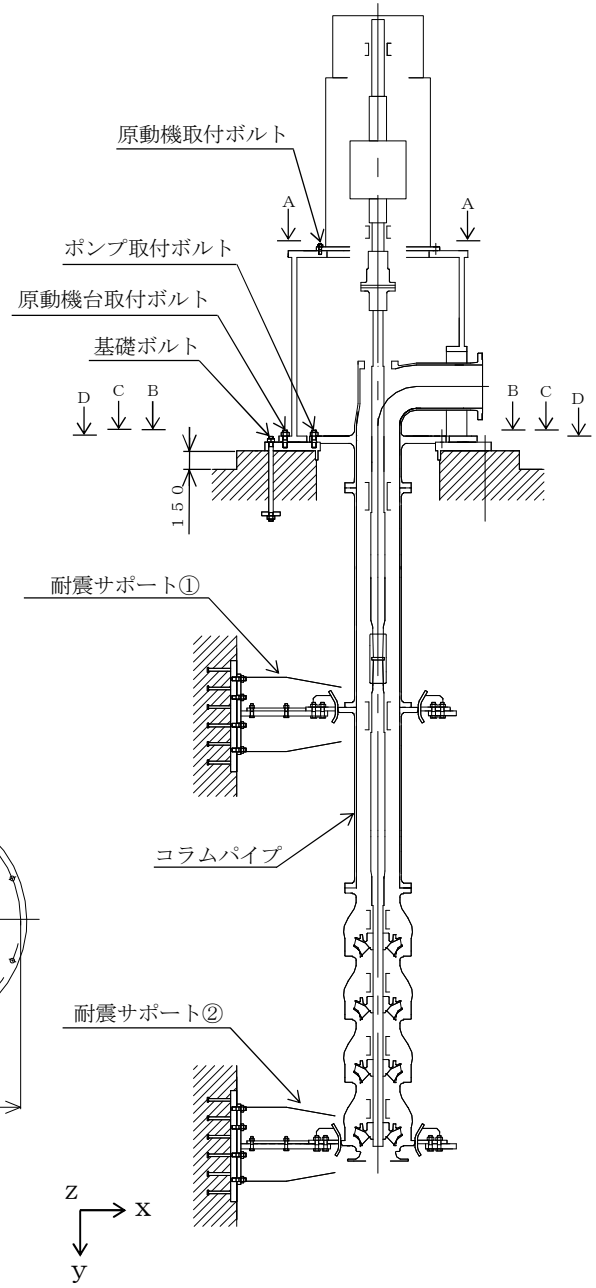
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	

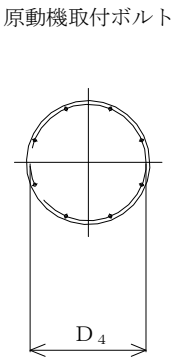
（続き）

節点番号	質量 (kg)
50	
51	
52	
53	

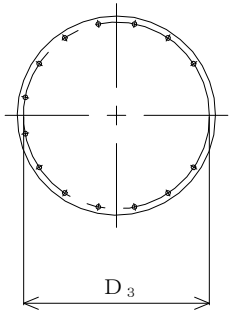
(5) 材料物性値

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

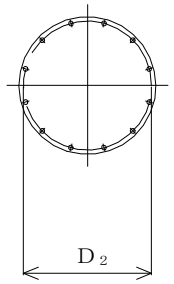




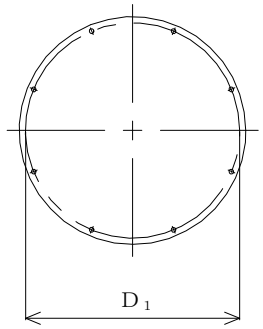
A～A矢視図



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。

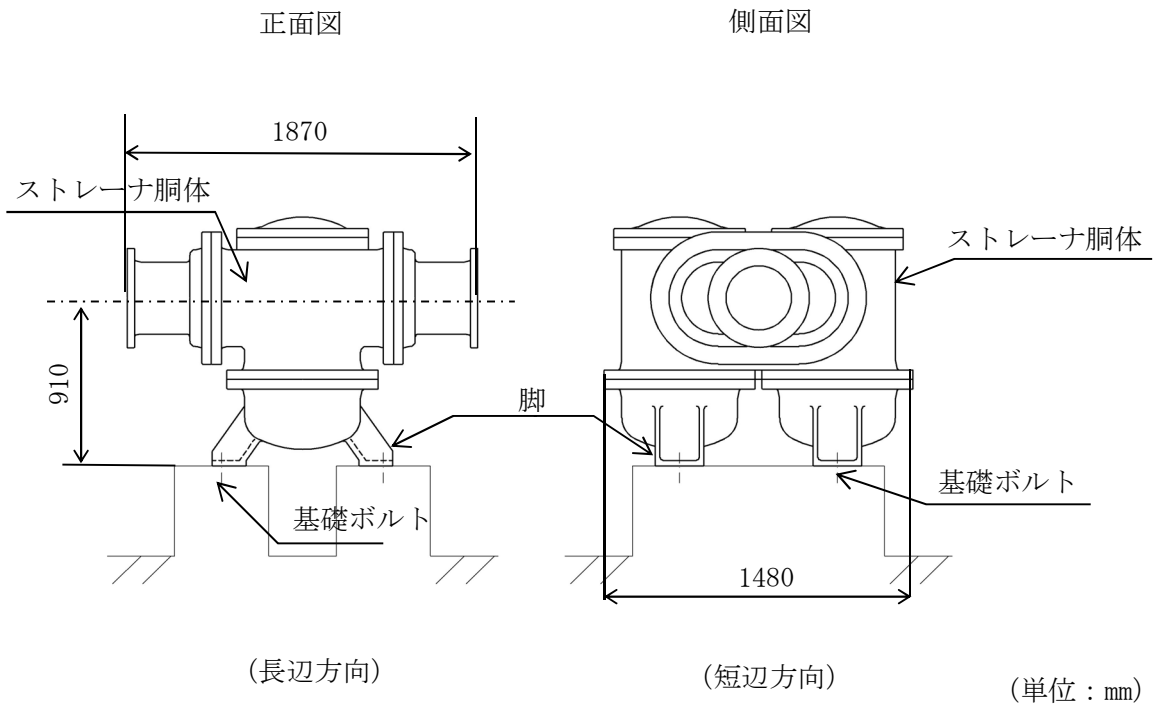
緊急用海水系ストレーナは，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

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	

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。

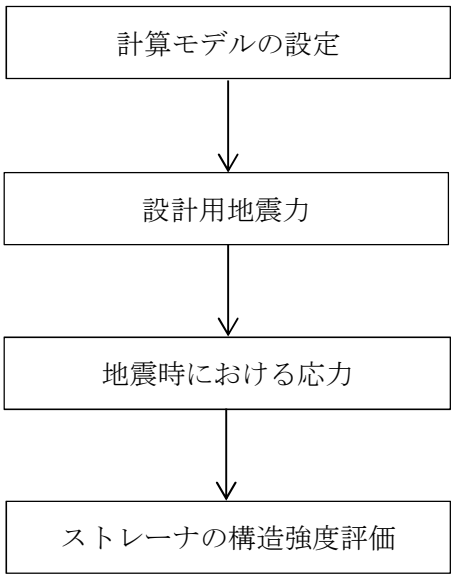


図 2-1　緊急用海水系ストレーナの耐震評価フロー

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。

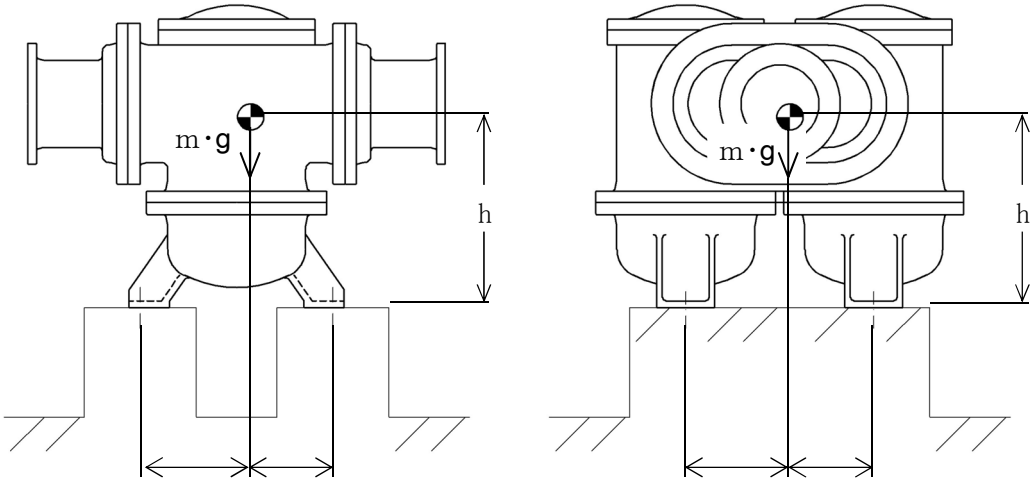


図 5－1　概要図

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Ｓｓ」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Ｓｄ 又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
		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。

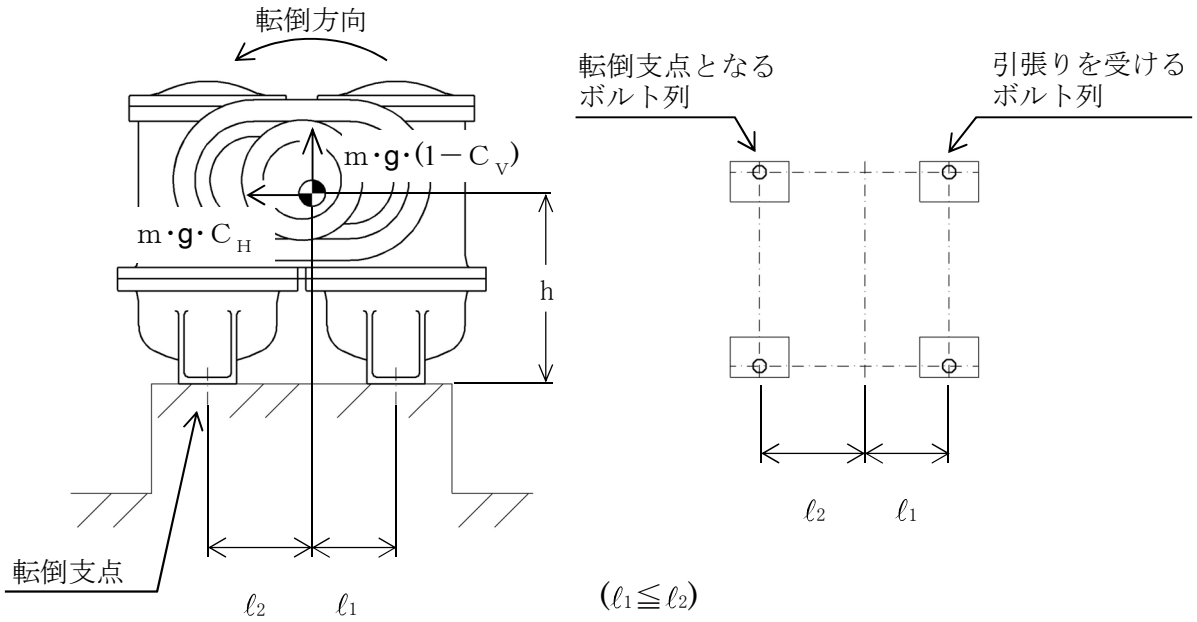


図5-2　計算モデル（軸直角方向転倒）

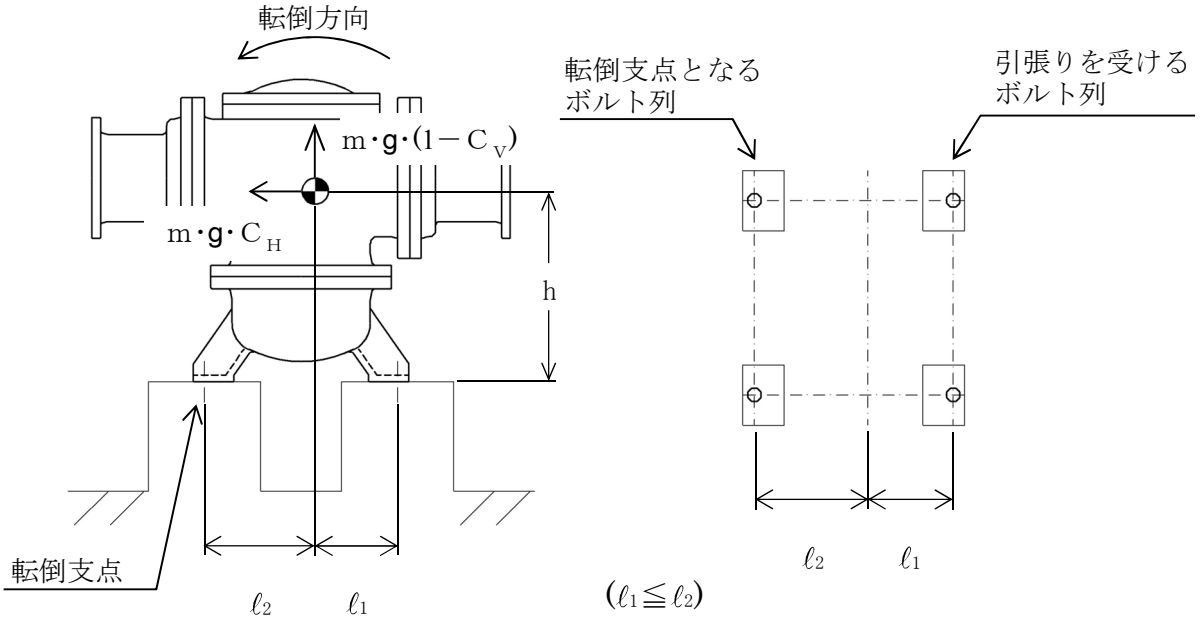


図5-3　計算モデル（軸方向転倒）

(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

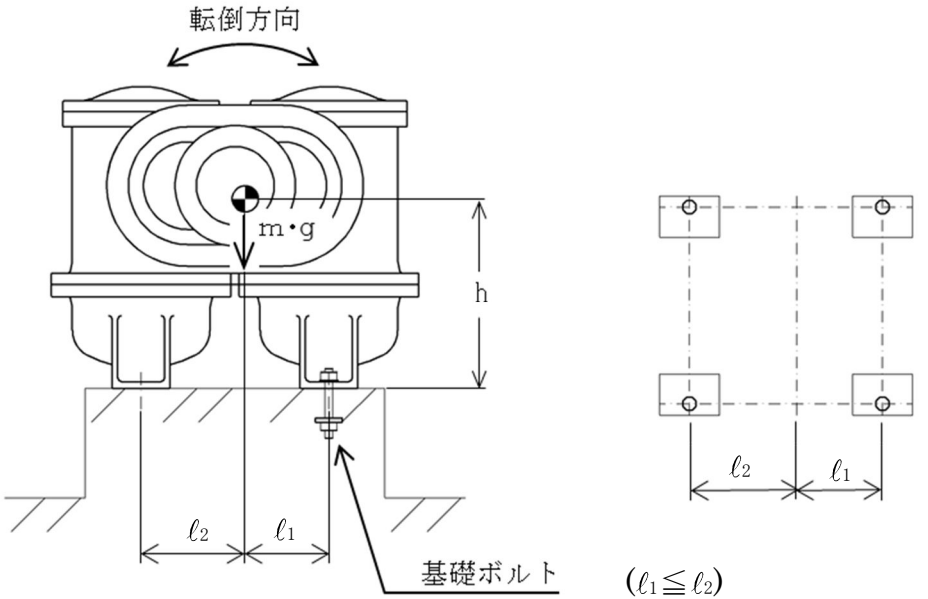
1.4 結　　論

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

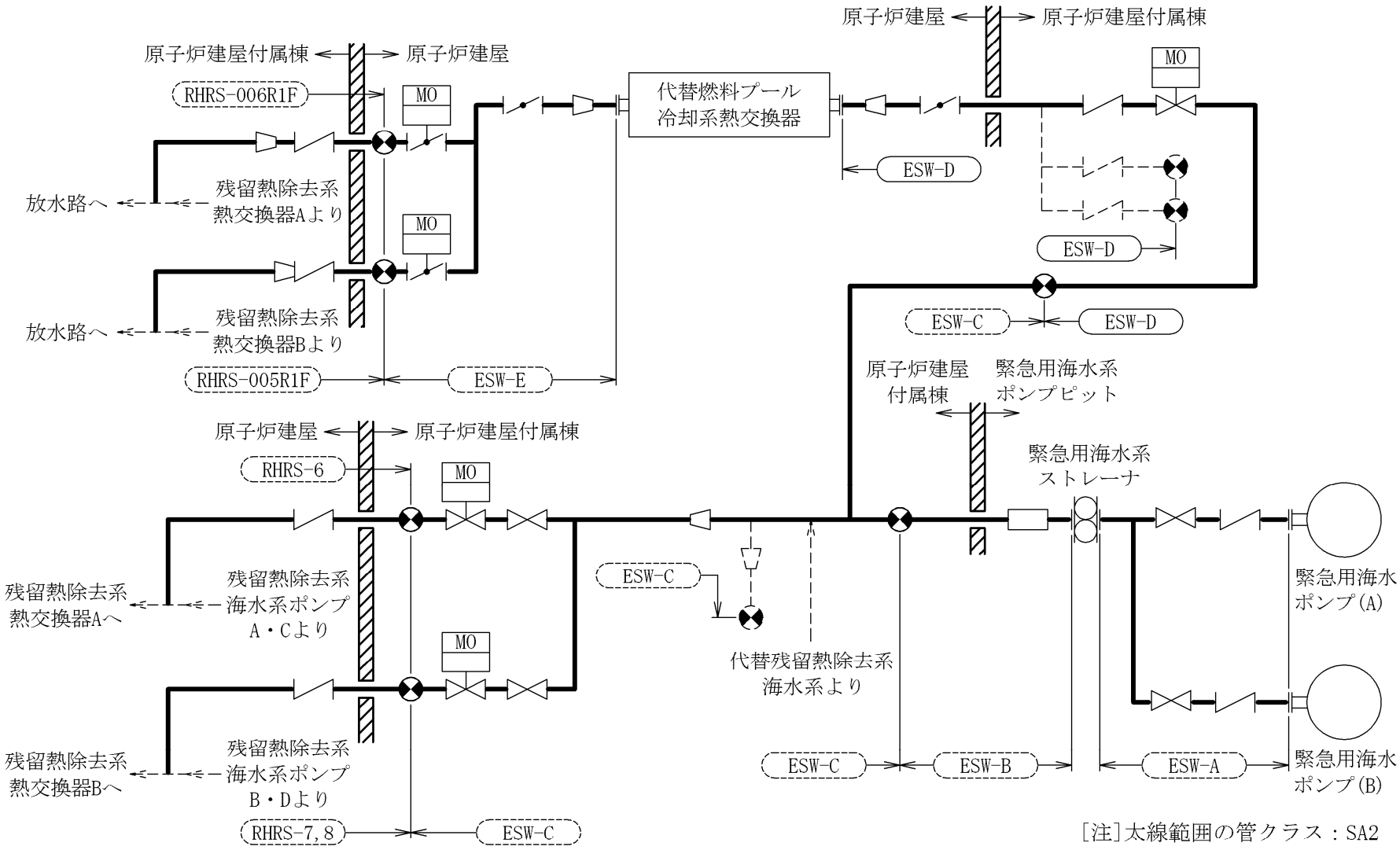
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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

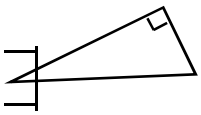
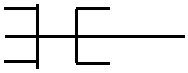
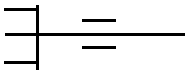
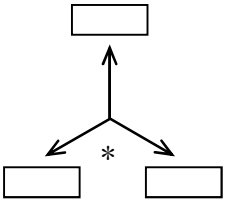


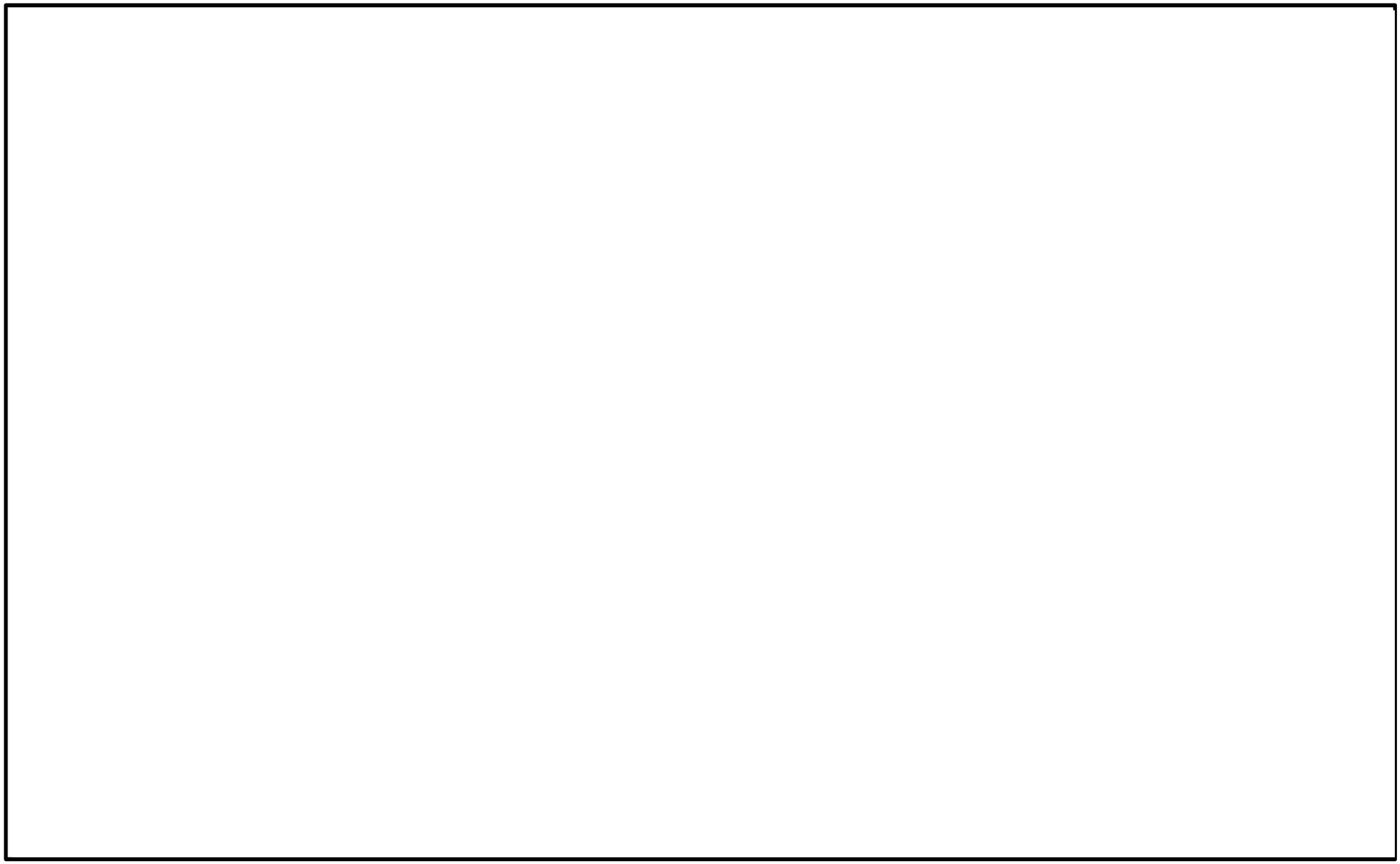
[注]太線範囲の管クラス：SA2

緊急用海水系概略系統図

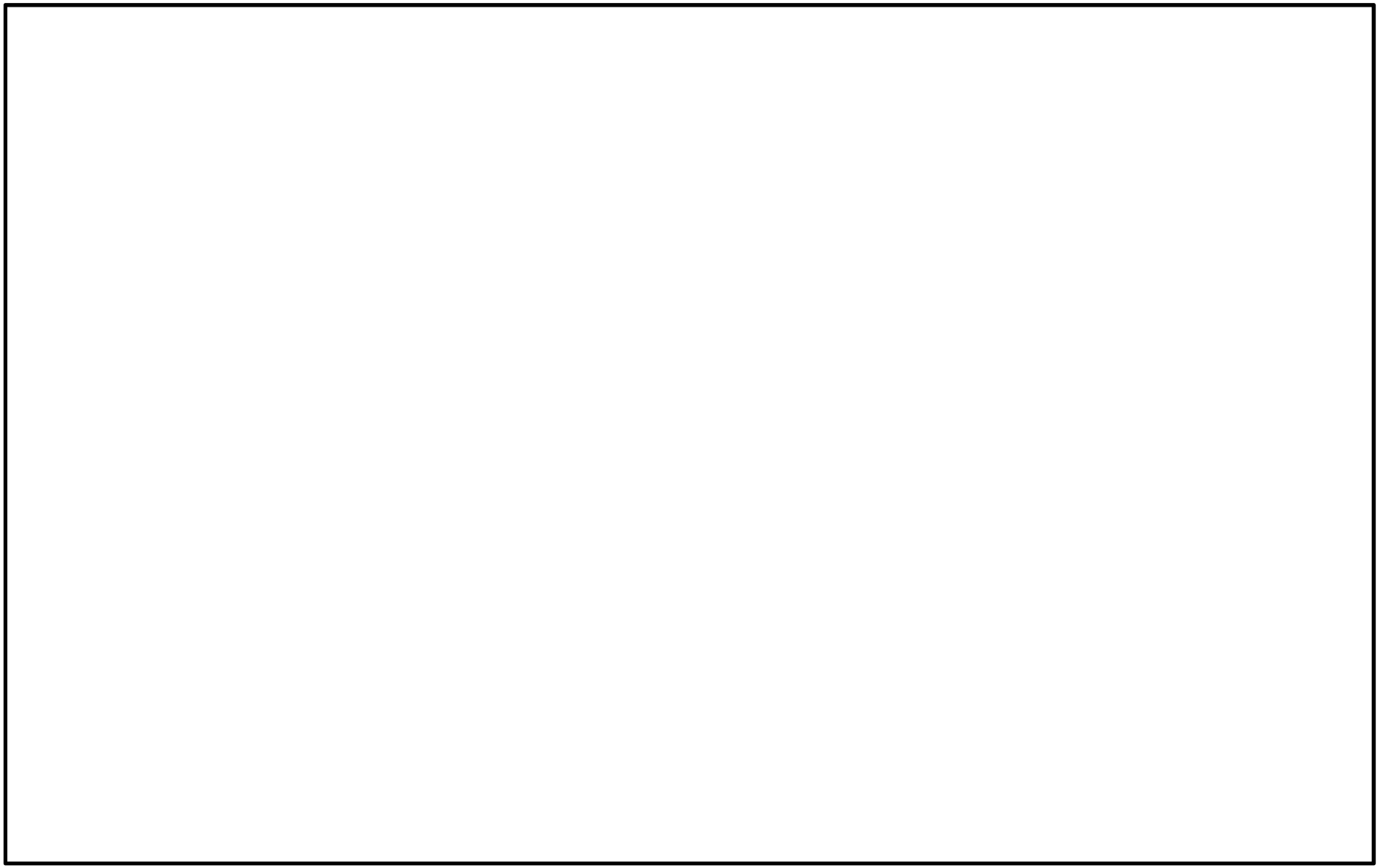
2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

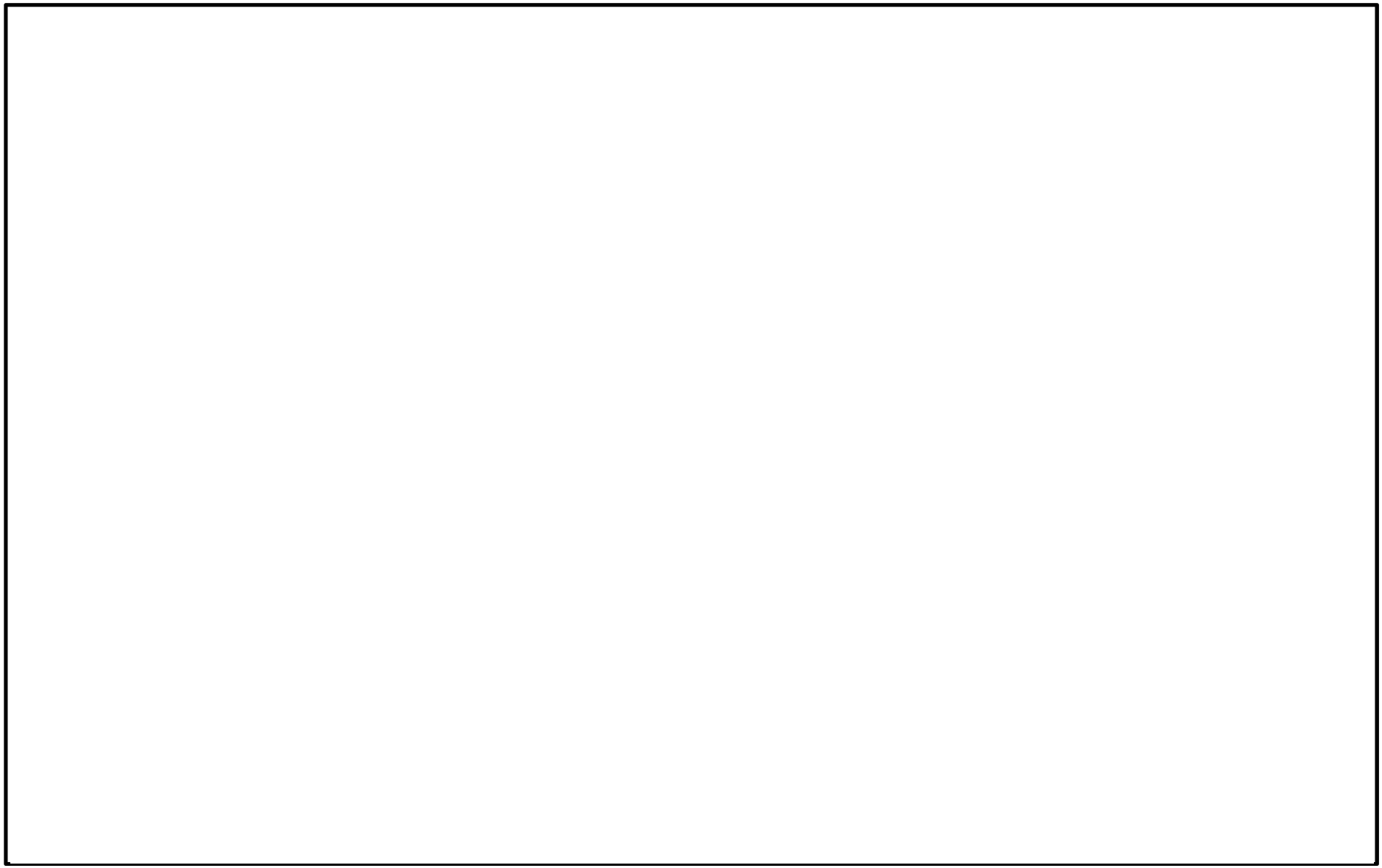
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
――――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質　　点
	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	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。



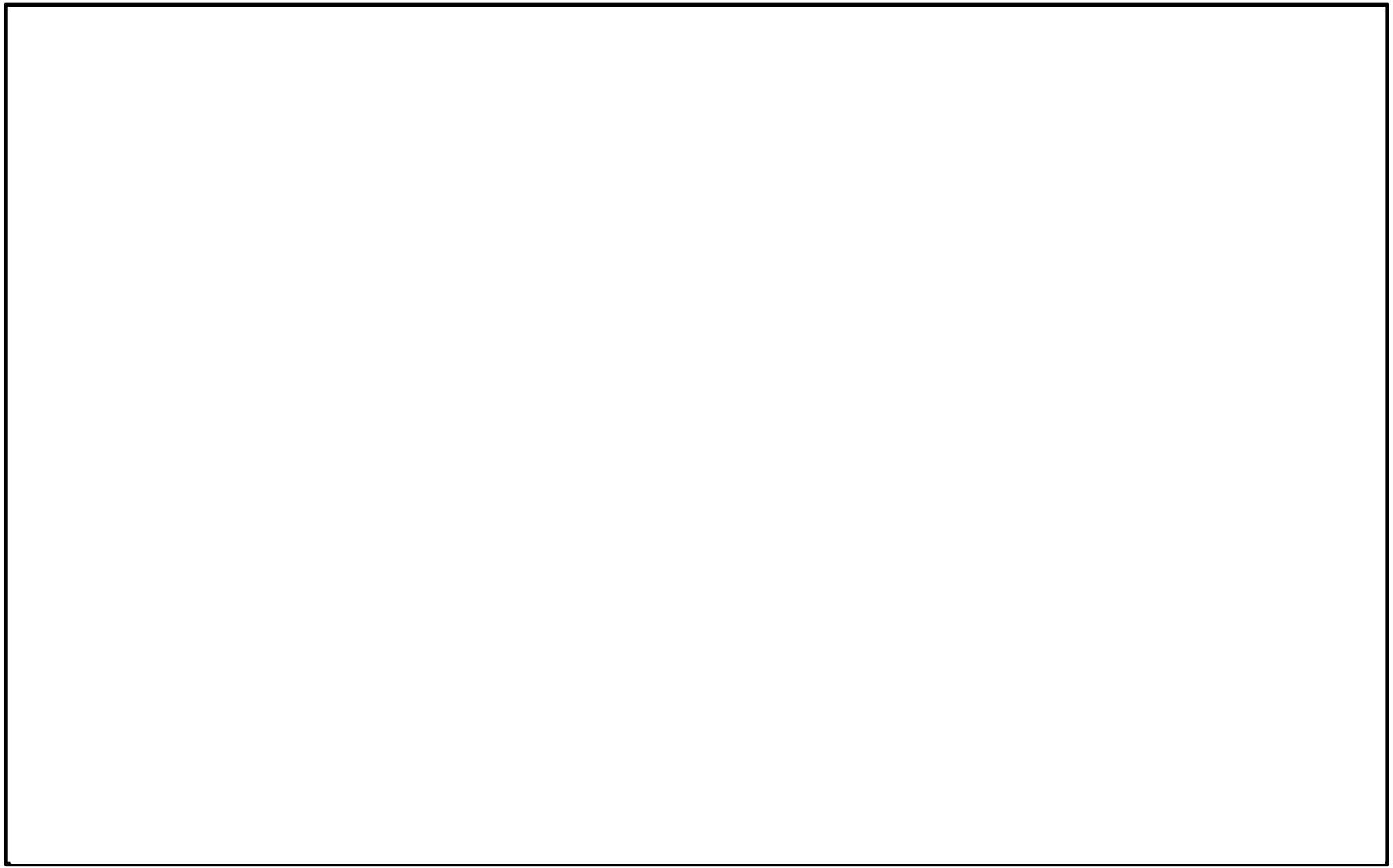
鳥瞰図	ESW-D（ＳＡ）(1／5)



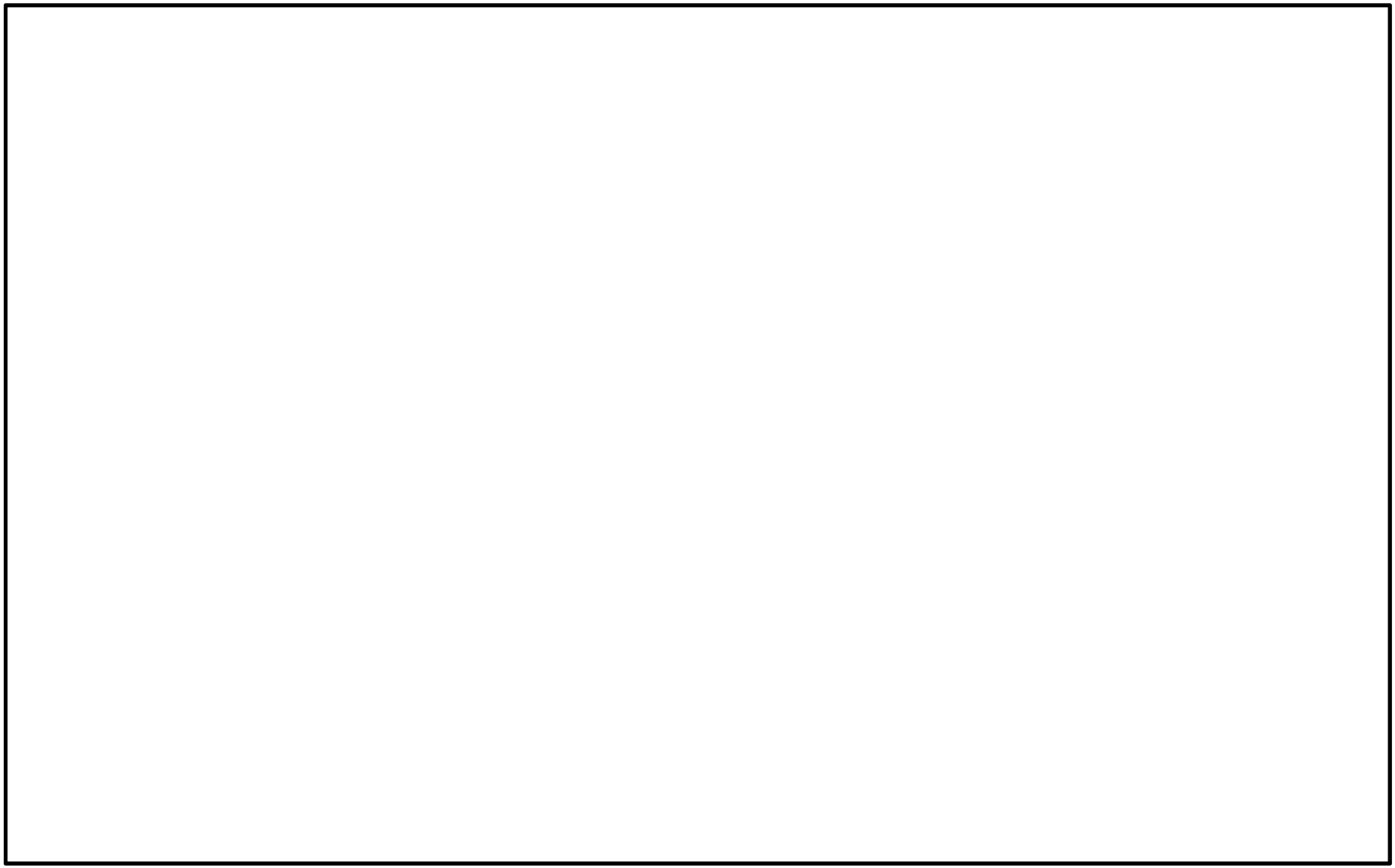
鳥瞰図	ESW-D（ＳＡ）(2／5)



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
[redacted]	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				

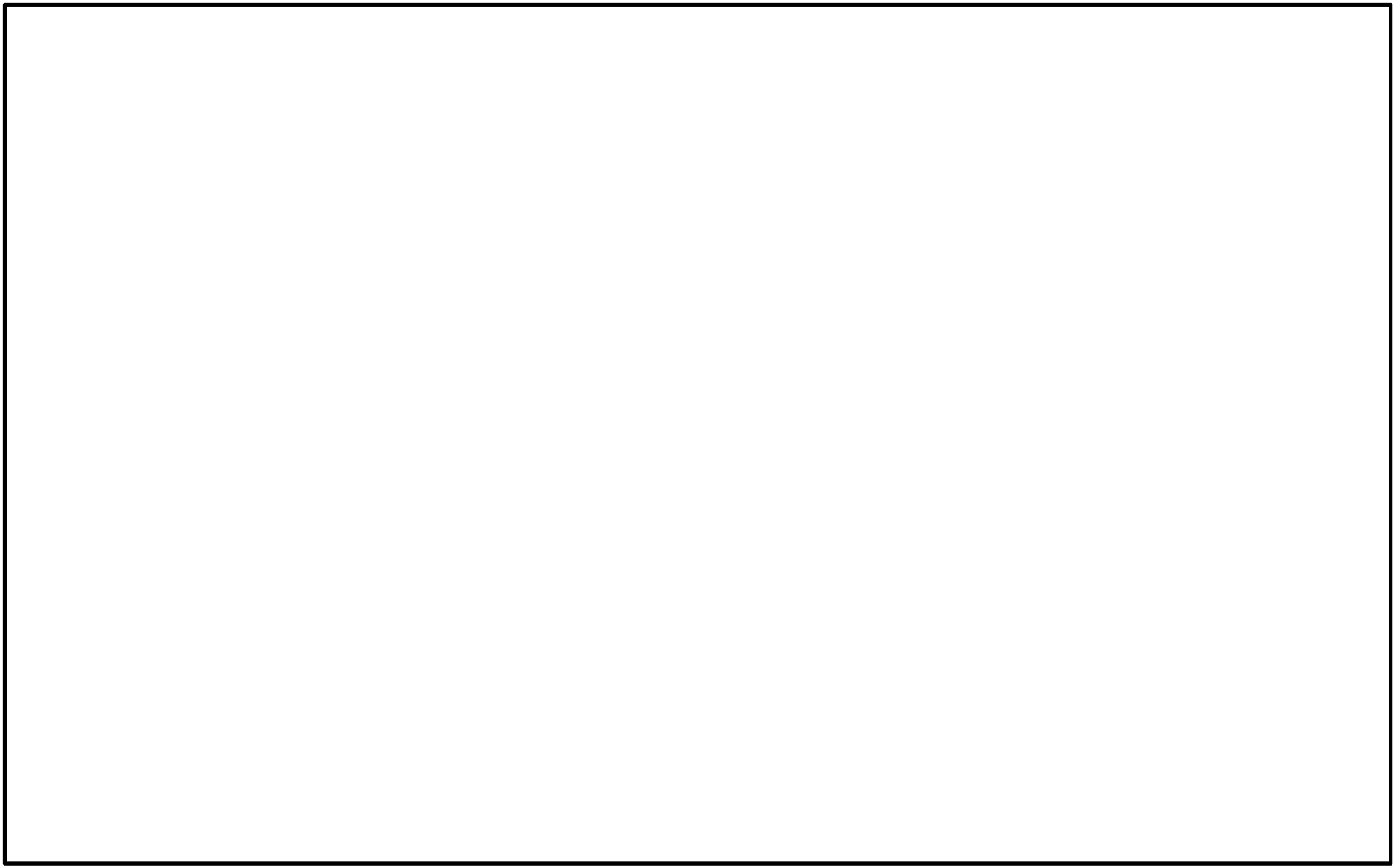
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　ESW-D

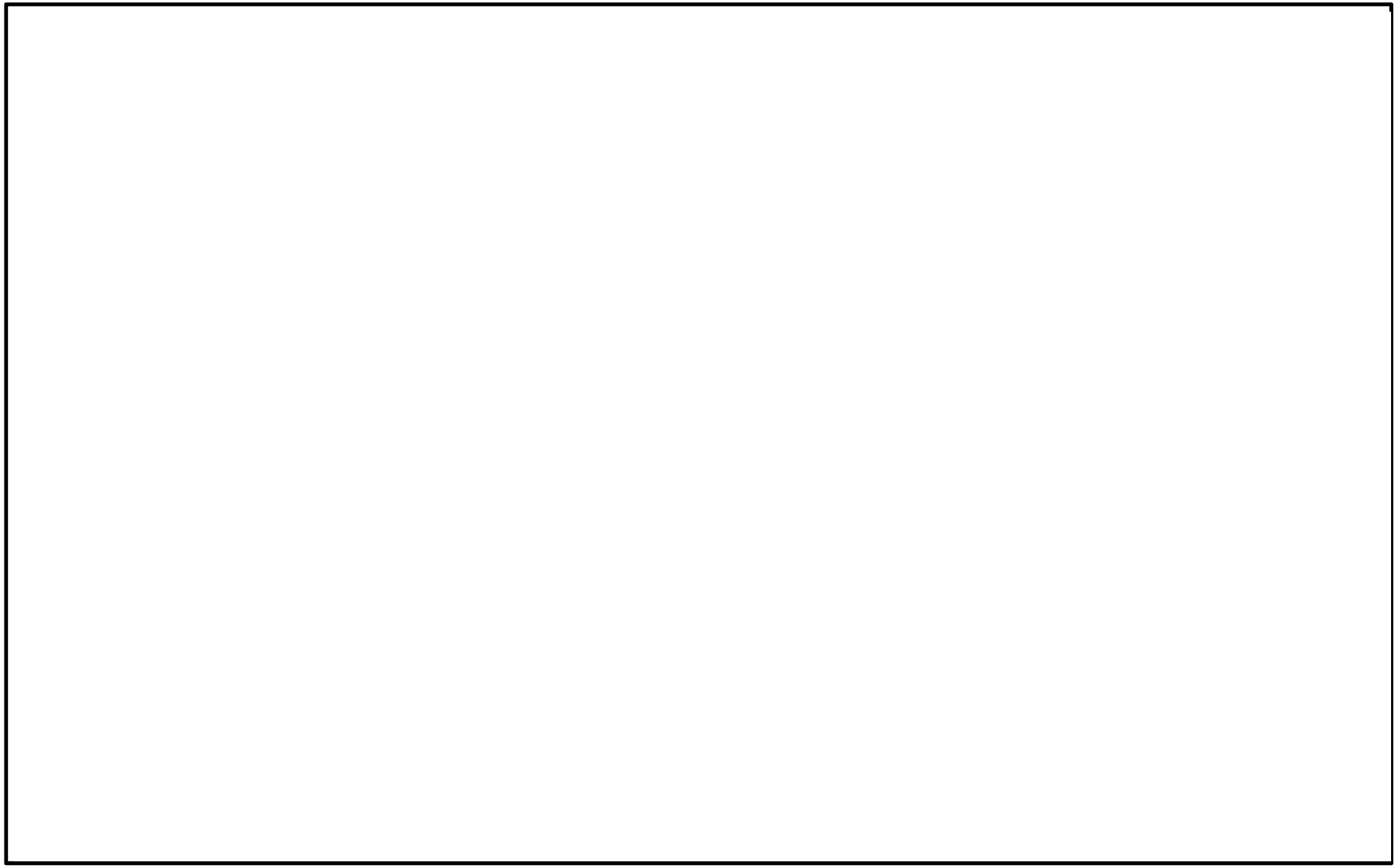
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
33次				

代表的振動モード図

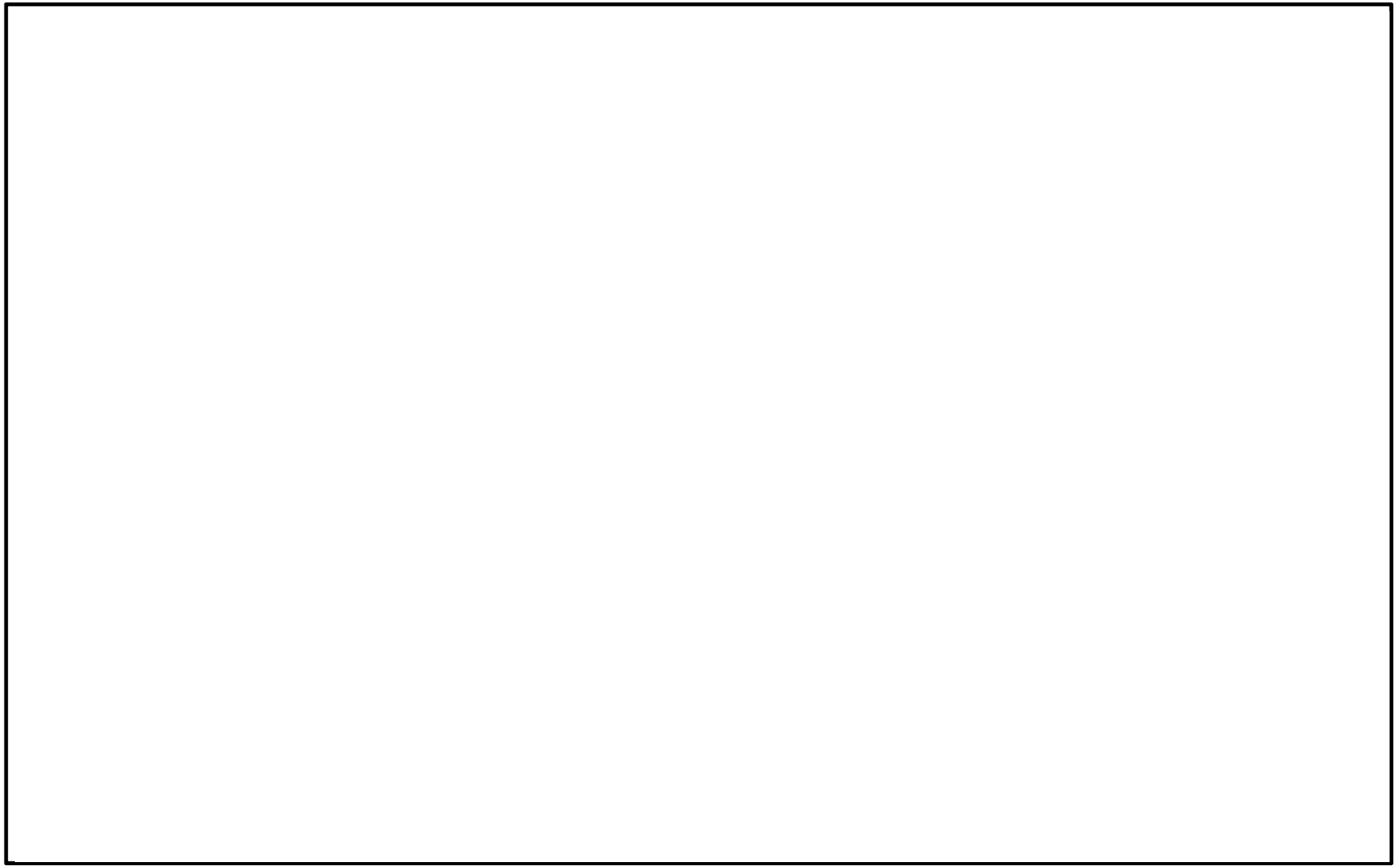
振動モード図は，3 次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



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-2-5-8-1-1　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 ····· 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-2-1-11　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

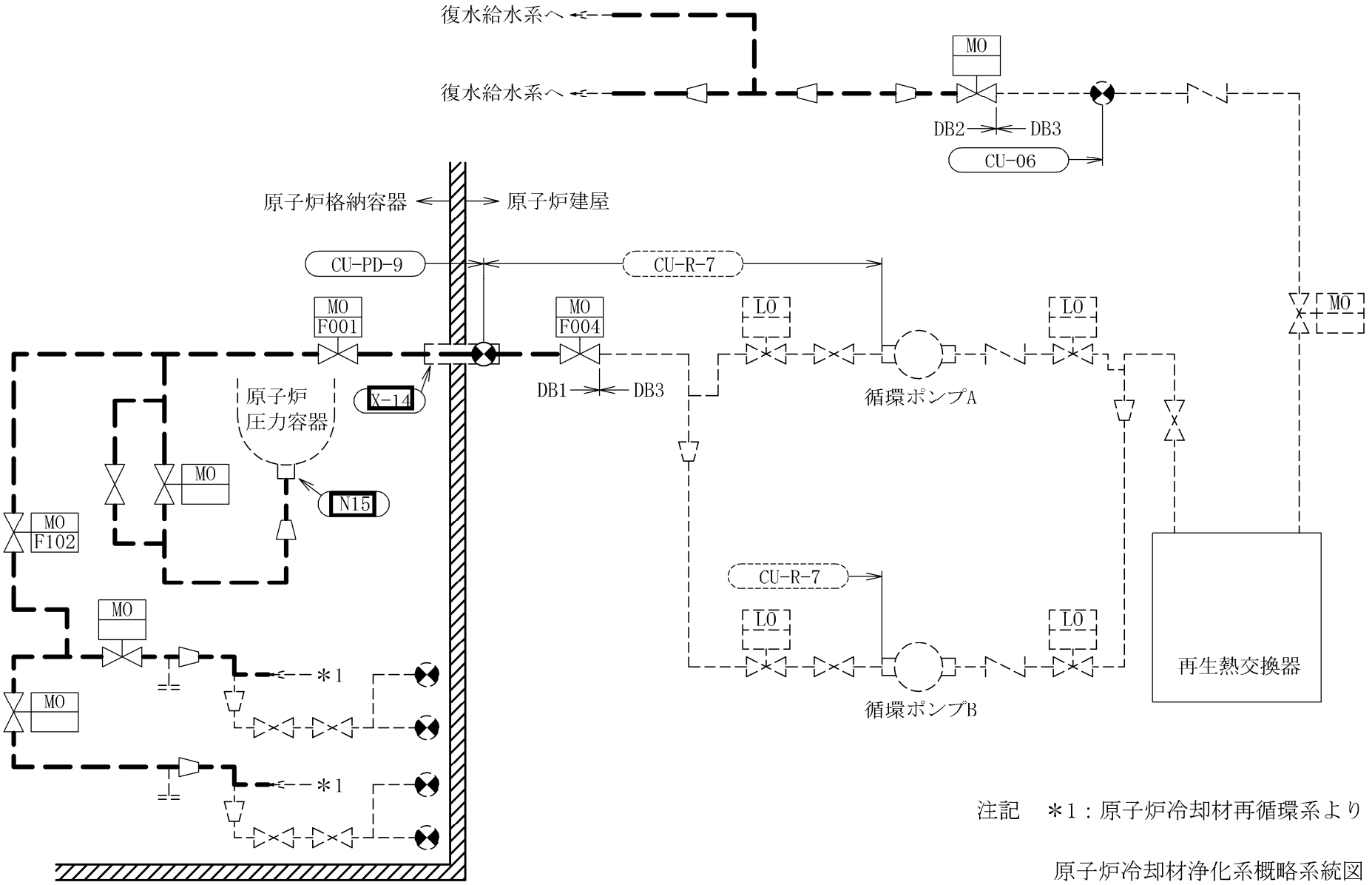
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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

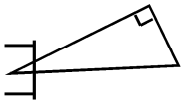
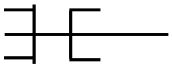
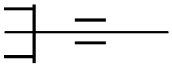
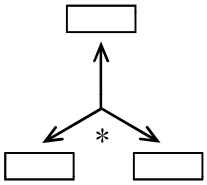


注記　＊1：原子炉冷却材再循環系より

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)

7

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)

10

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

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	$I_L + S_d$	$III_A S$
							$II_L + S_d$	
							$I_L + S_s$	$IV_A S$
							$II_L + S_s$	
							$IV_L(L) + S_d$ *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

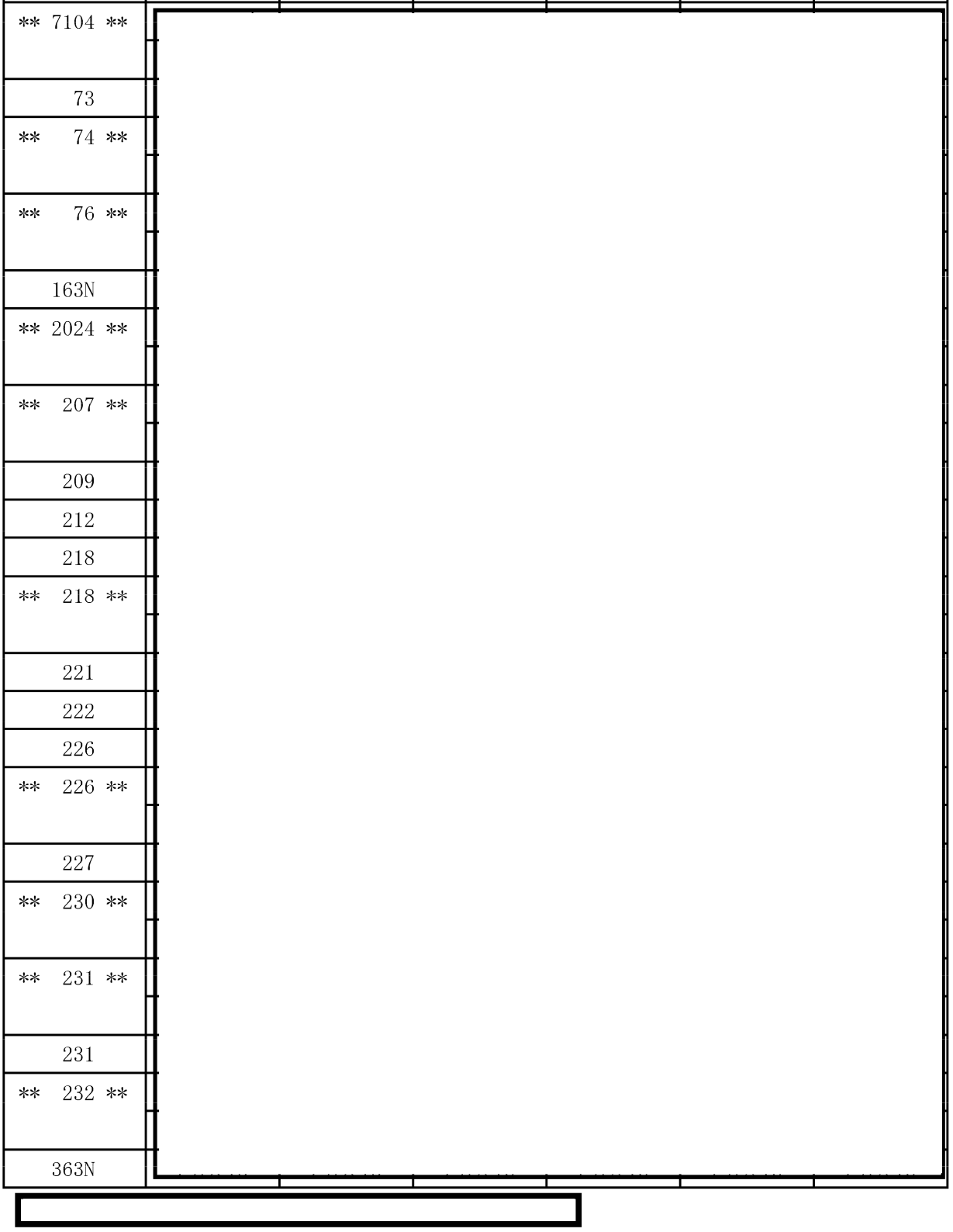
鳥　瞰　図　CU-PD-9

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
** 7104 **						
73						
**　74 **						
**　76 **						
163N						
** 2024 **						
**　207 **						
209						
212						
218						
**　218 **						
221						
222						
226						
**　226 **						
227						
**　230 **						
**　231 **						
231						
**　232 **						
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	—	—
[redacted]	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	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 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	III_AS	67	TEE	S_{prm}（S_d）	158	234	－	－	－	－	－
CU-PD-9	III_AS	75	ELBOW	S_t（S_d）	－	－	101*	64	－	－	－
CU-PD-9	IV_AS	67	TEE	S_{prm}（S_s）	215	260	－	－	－	－	－
CU-PD-9	IV_AS	75	ELBOW	S_t（S_s）	－	－	142*	86	－	－	－
CU-PD-9	IV_AS	83	TEE	S_n（S_s）	－	－	－	－	1013	354	0.5155
CU-PD-9	IV_AS	82	REDUCER	U＋US_s	－	－	－	－	－	－	0.5457

注記　＊：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 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	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　＊：III_ASの一次＋二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから，地震荷重が大きい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 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	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	－	－	－	－

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，重大事故等対処施設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，重大事故等対処施設のうち，設計基準対象施設であるものについては，重大事故等対処施設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施設の耐震計算は表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			重大事故等対処施設		
			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			重大事故等対処施設		
			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			重大事故等対処施設		
			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			重大事故等対処施設		
			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			重大事故等対処施設		
			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			重大事故等対処施設		
			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			重大事故等対処施設		
			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			重大事故等対処施設		
			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			重大事故等対処施設		
			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			重大事故等対処施設		
			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		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			重大事故等対処施設		
			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			重大事故等対処施設		
			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			重大事故等対処施設		
			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			重大事故等対処施設		
			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			重大事故等対処施設		
			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			重大事故等対処施設		
			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			重大事故等対処施設		
			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			重大事故等対処施設		
			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。

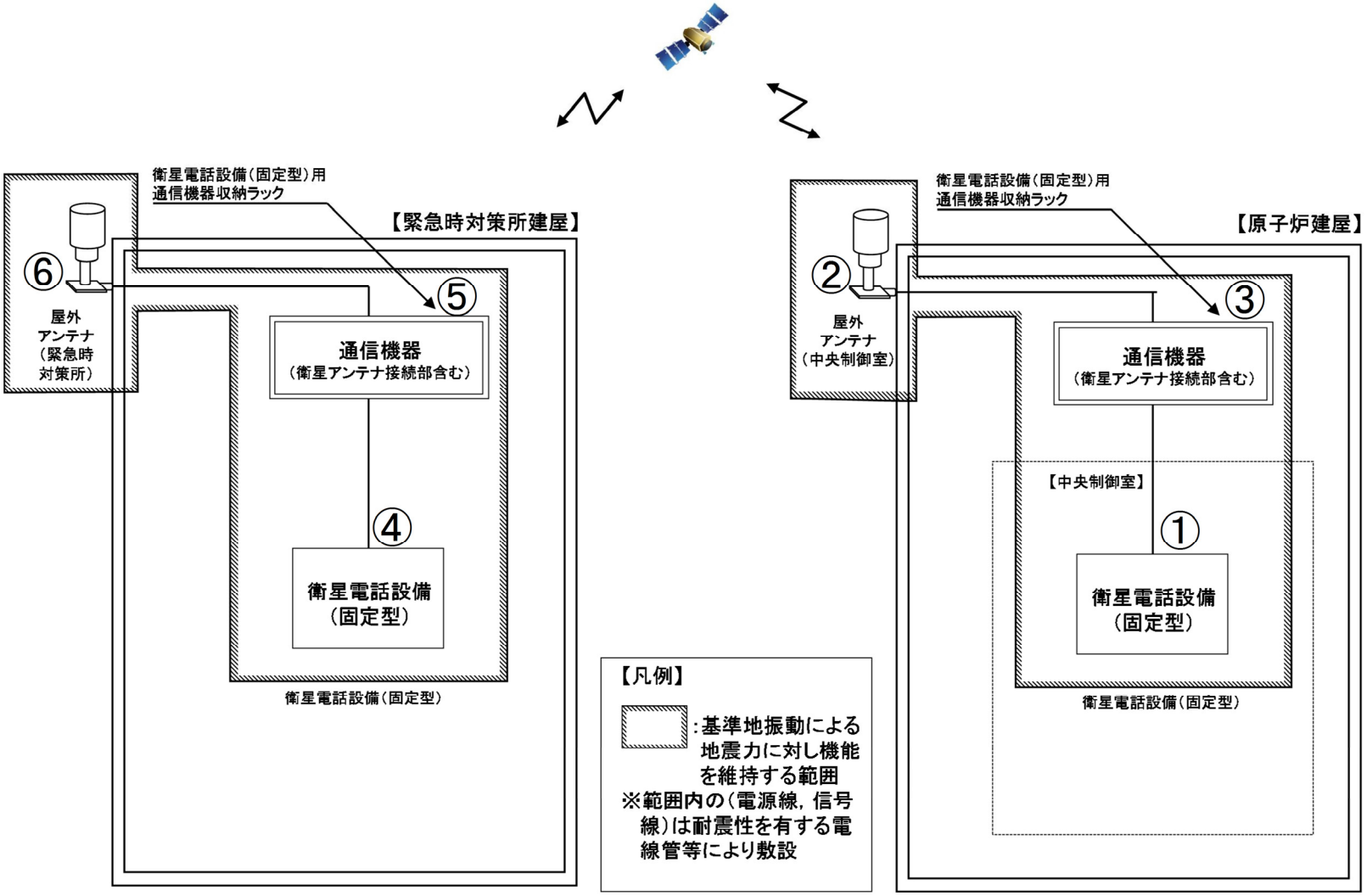
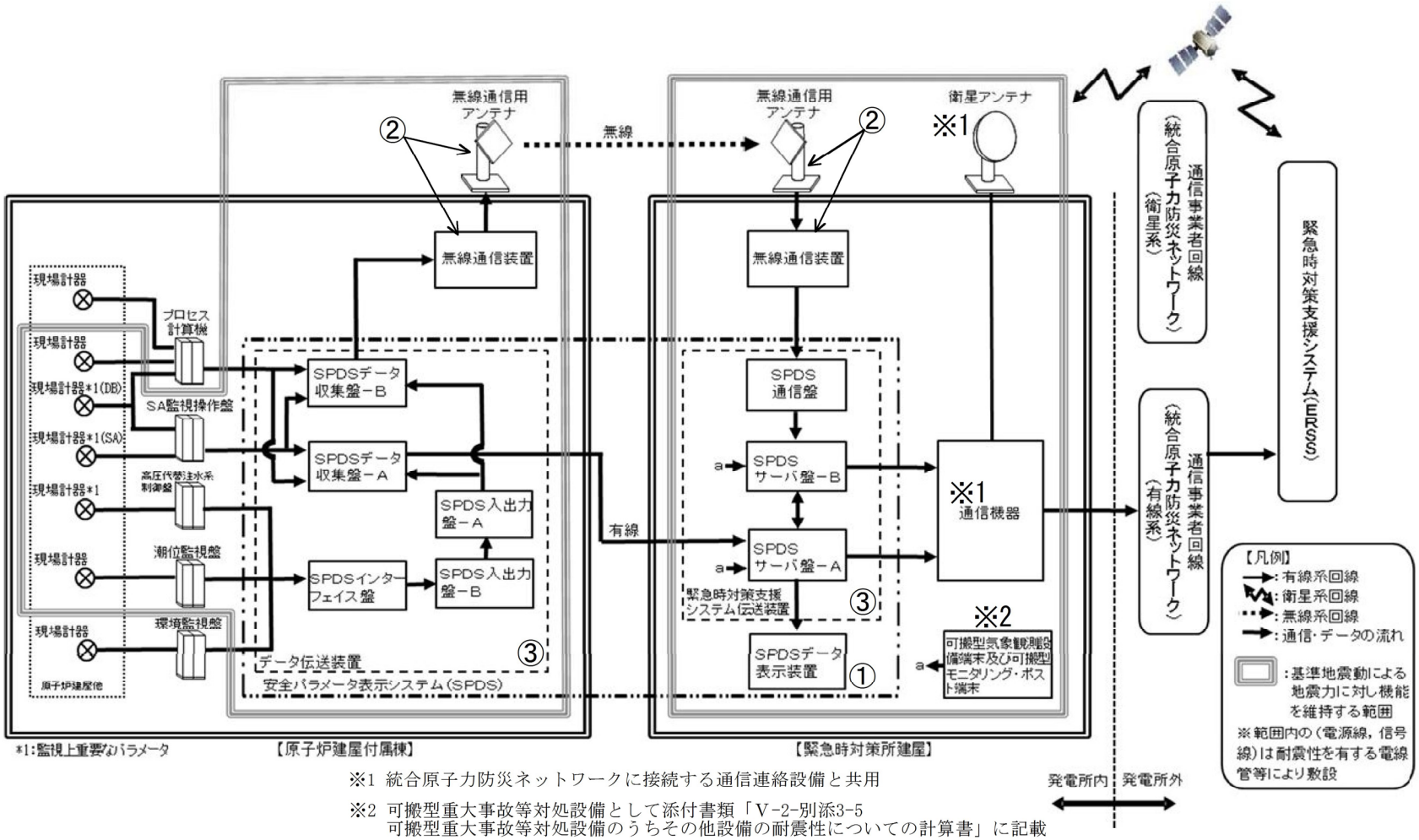


図 2-1 衛星電話設備（固定型） 概略構成図



※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

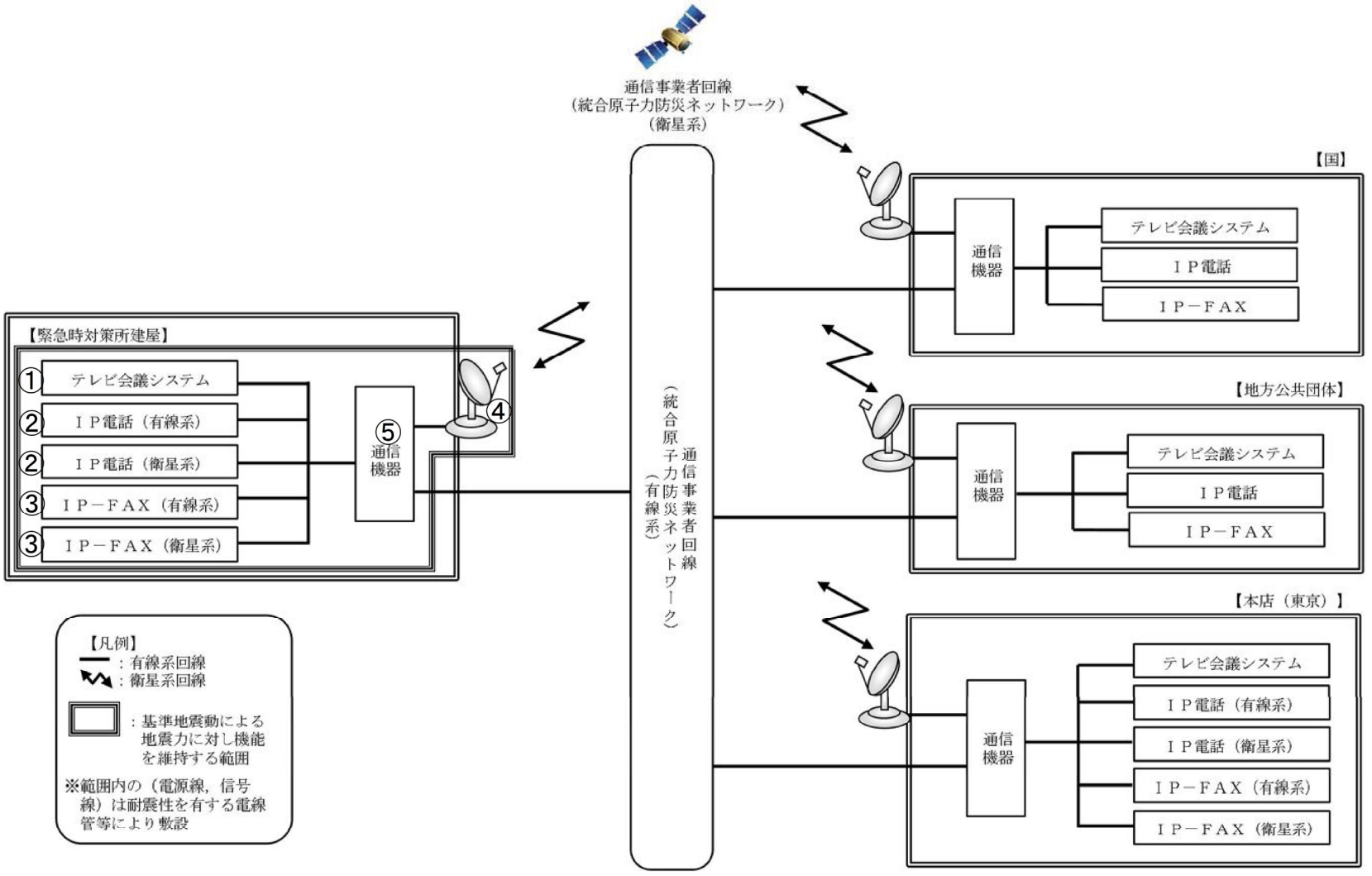


図 2-3 統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の概略構成図

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-2-6-2-1　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。

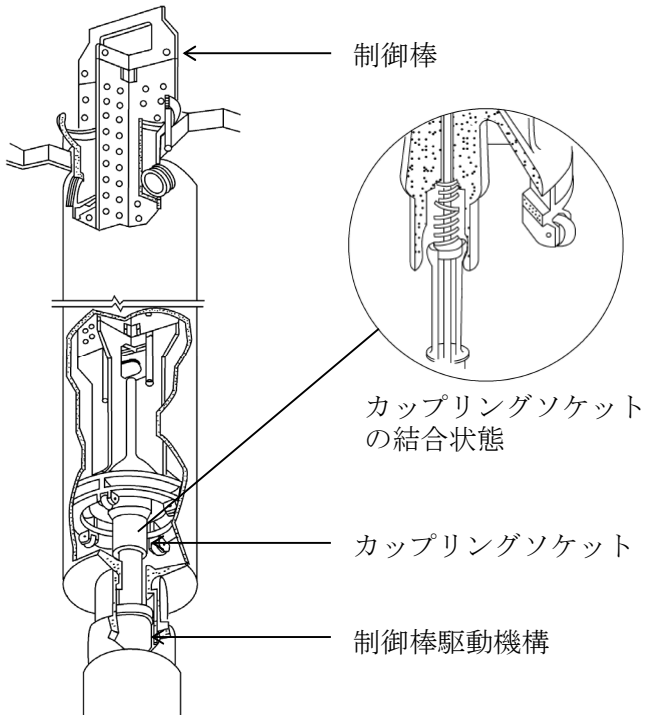
以上より，制御棒の寿命中において中性子吸収材によるシースの変形はないことから，制御棒の挿入性に影響を与えることはない。

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

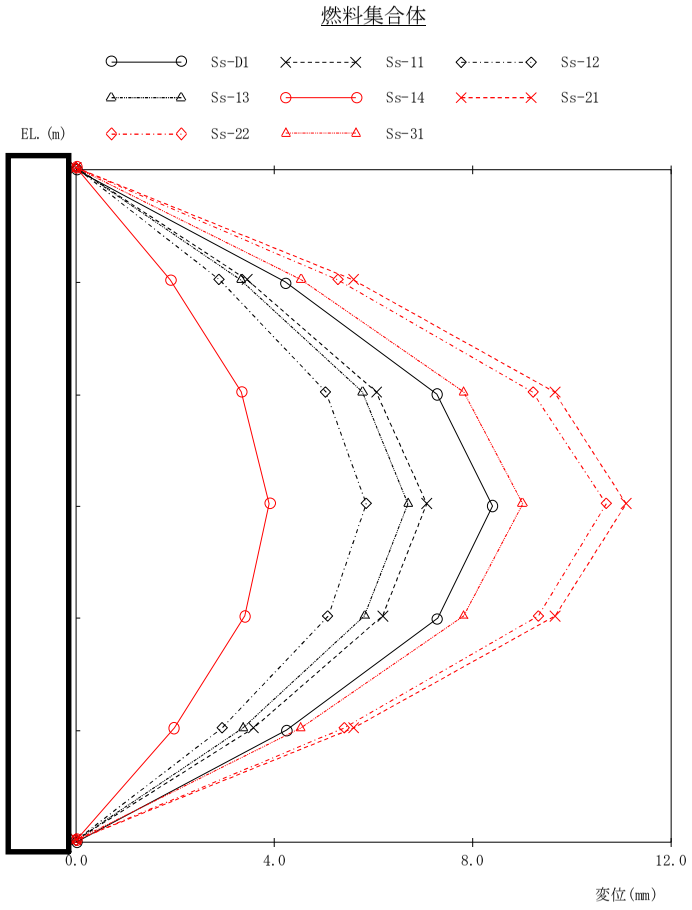
燃料集合体の地震応答解析は，添付書類「Ⅴ-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」にて圧力容器内部構造物の一部として実施している。

設計用地震波としては，基準地震動Ｓｓ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。

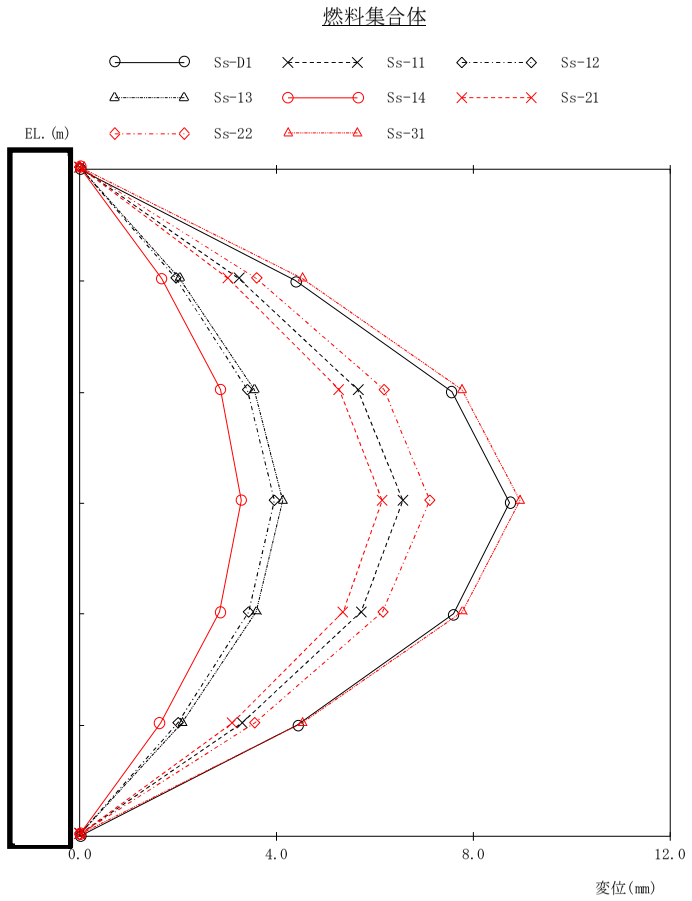
また，燃料集合体の計算された鉛直方向の加速度は，地震応答解析の結果，図 3－2 に示すとおり 0.83×9.8 m/s^2 であり，制御棒挿入性の評価に適用する鉛直方向の加速度は，地震応答解析結果を 1.5 倍した 1.24×9.8 m/s^2 とする。



(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

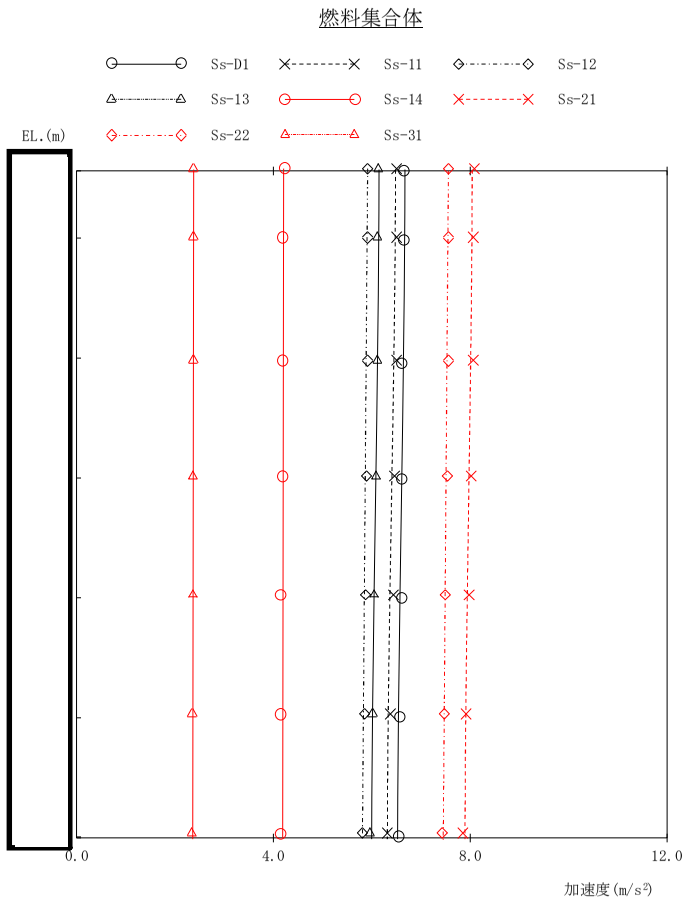
図 3－1(1)　燃料集合体最大応答相対変位（ＮＳ方向）



(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。

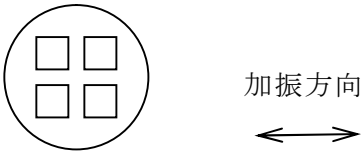
なお，制御棒挿入試験後において制御棒の外観に有意な変化はなかった。

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

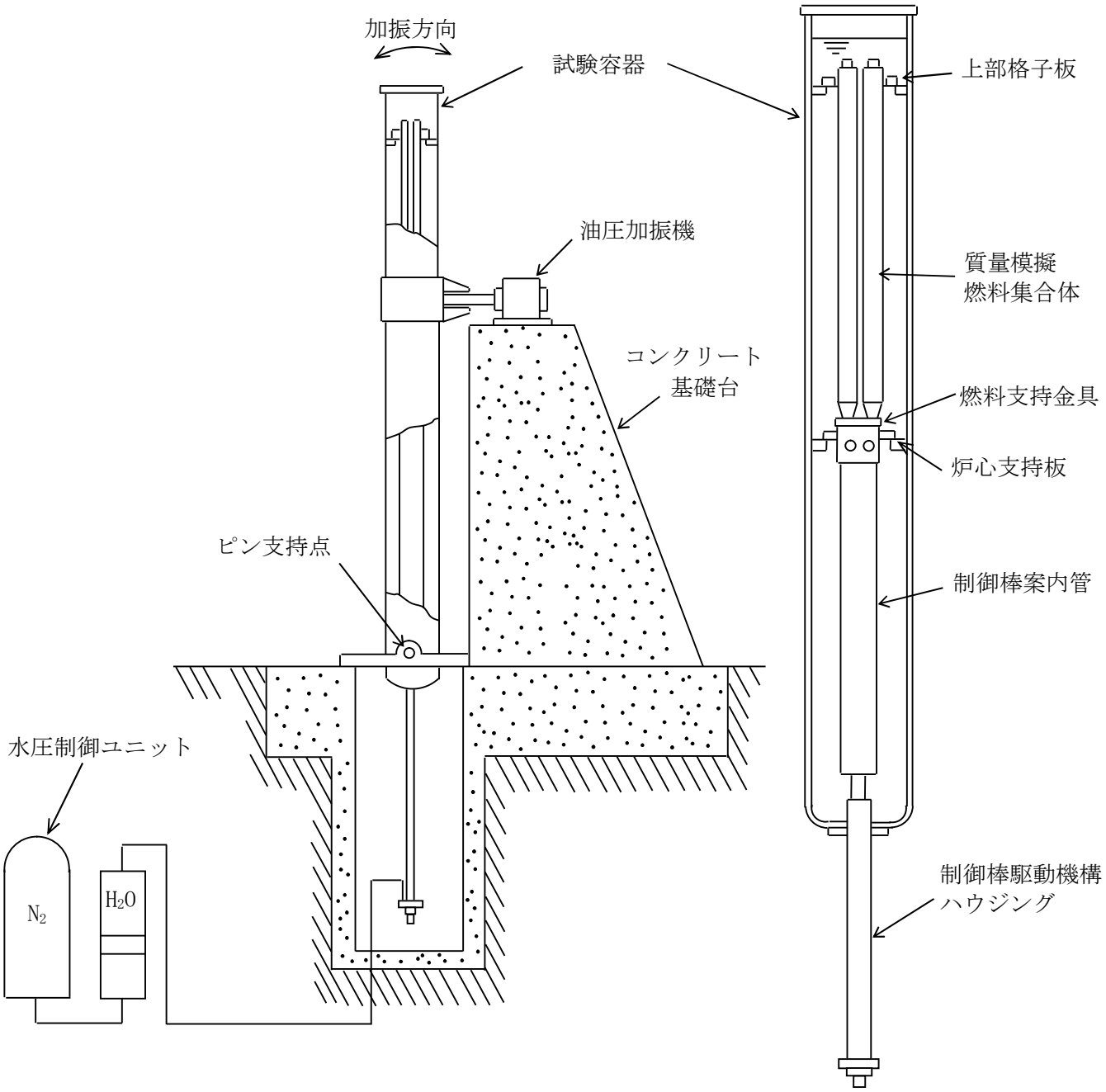

加振方向
試験容器
上部格子板
油圧加振機
質量模擬
燃料集合体
コンクリート
基礎台
燃料支持金具
炉心支持板
ピン支持点
制御棒案内管
水圧制御ユニット
N_2
H_2O
制御棒駆動機構
ハウジング

図 4－1　試験装置の概要

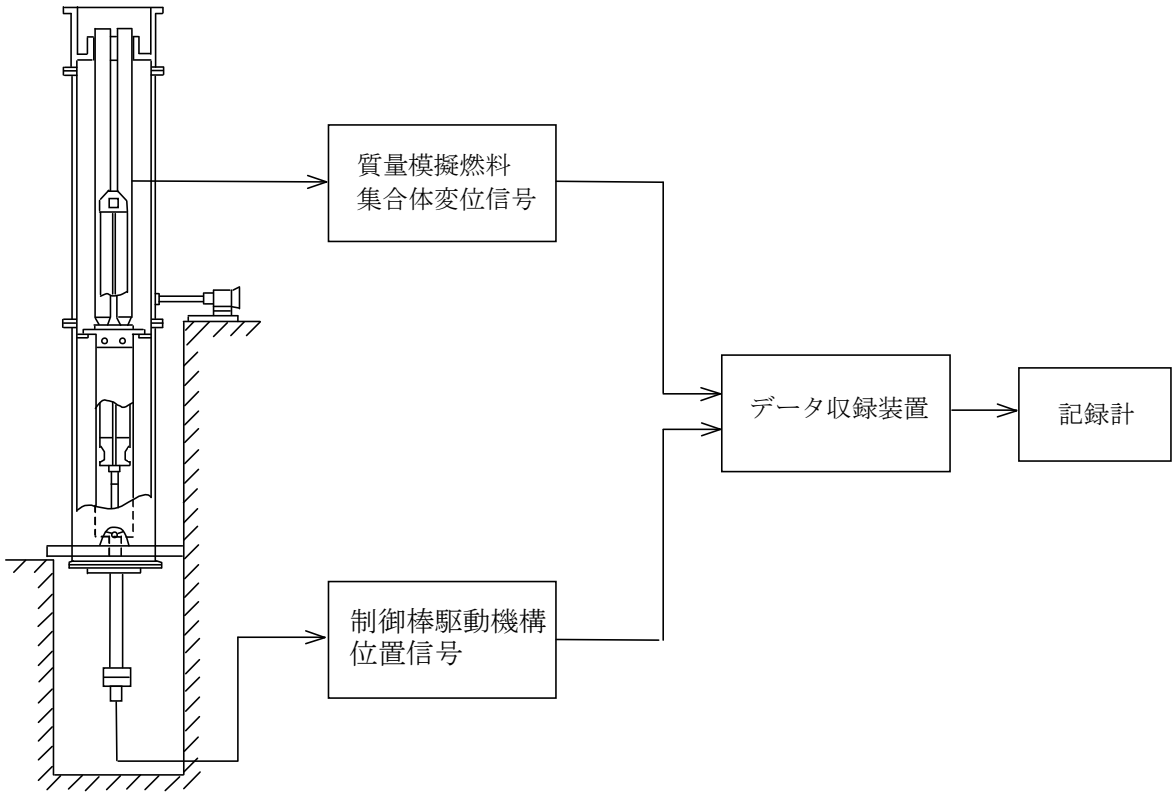


図 4－2　計測装置の概要

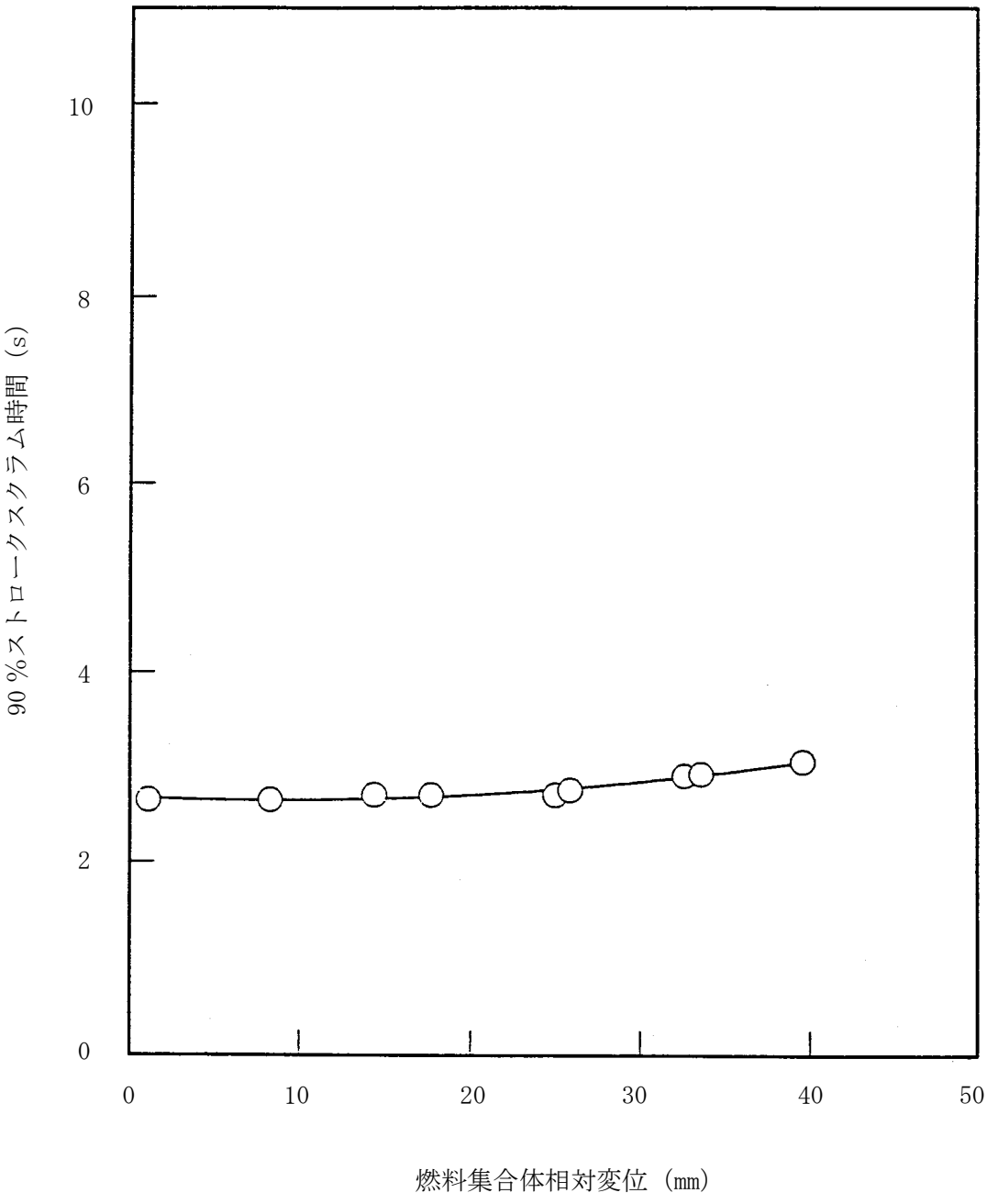


図 4－3　燃料集合体相対変位のスクラム時間に及ぼす影響

（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-2-6-3-1　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。

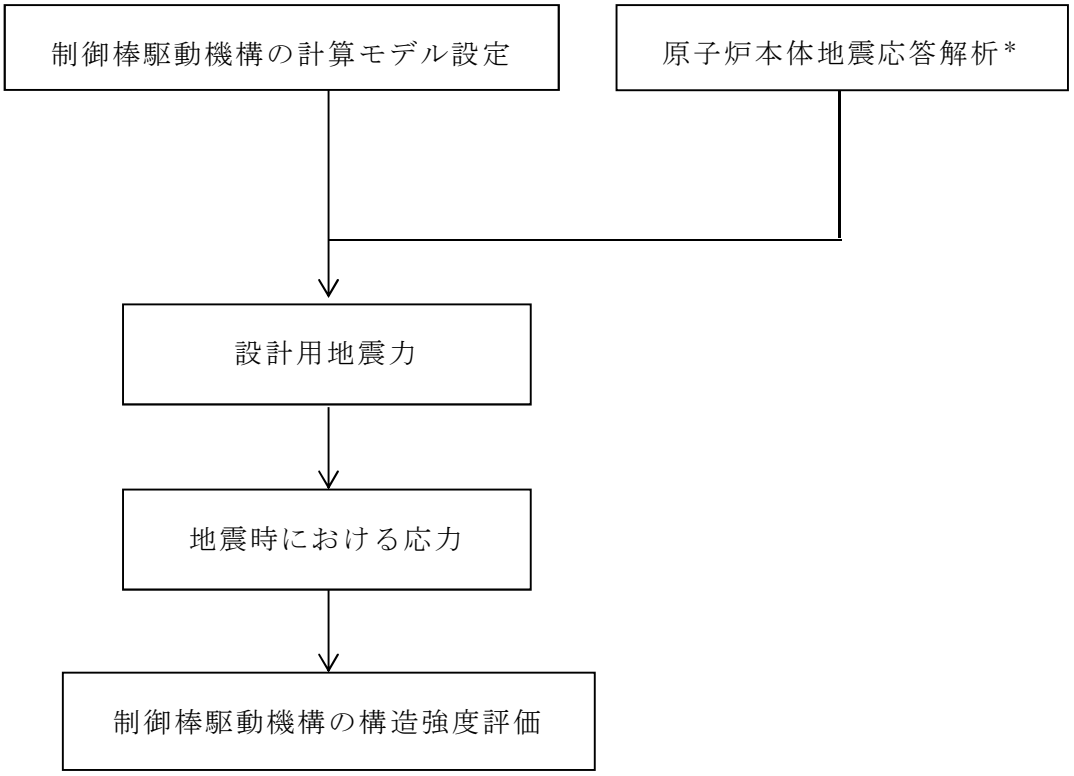
表 2-1　構造計画

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。

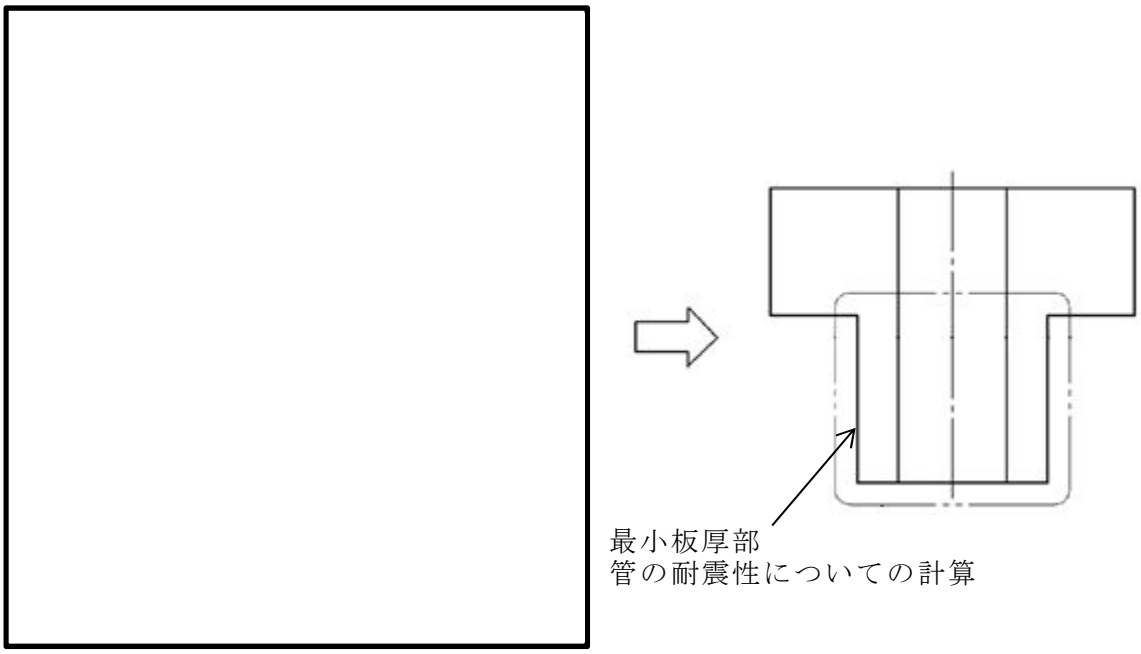


図 5-1　評価モデル

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
原子炉建屋 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
原子炉建屋 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。

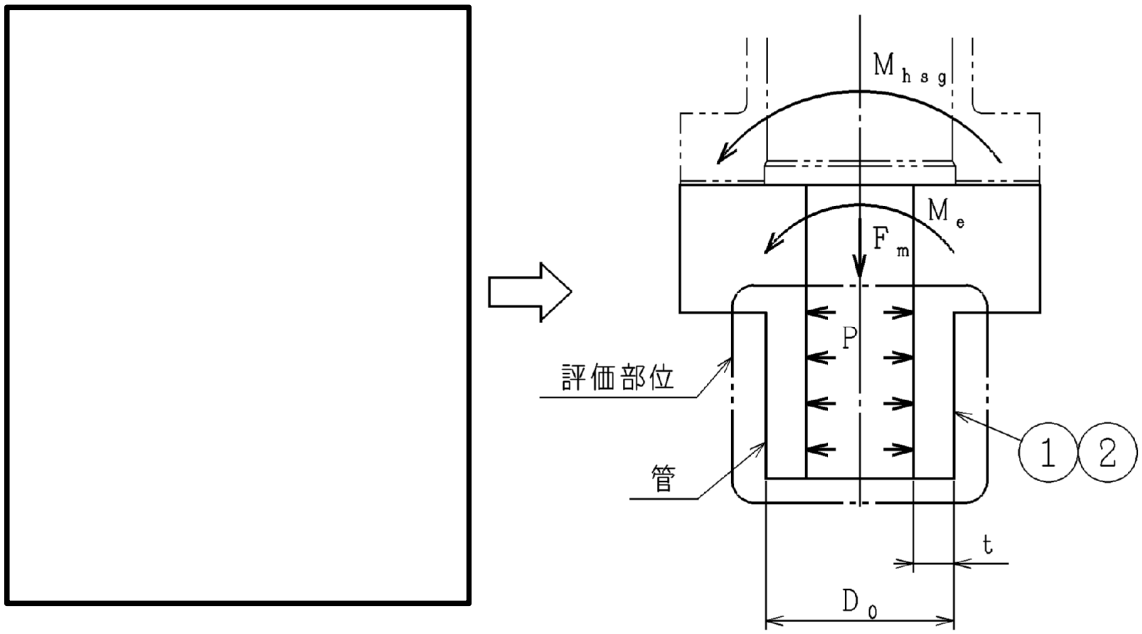


図 5-2　耐震評価モデル

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	原子炉建屋 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										
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							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 [ ] 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	原子炉建屋 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			－				－			
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							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 [ ] 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	－		－	

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	－		－		－	

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-2-6-3-2-1　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。

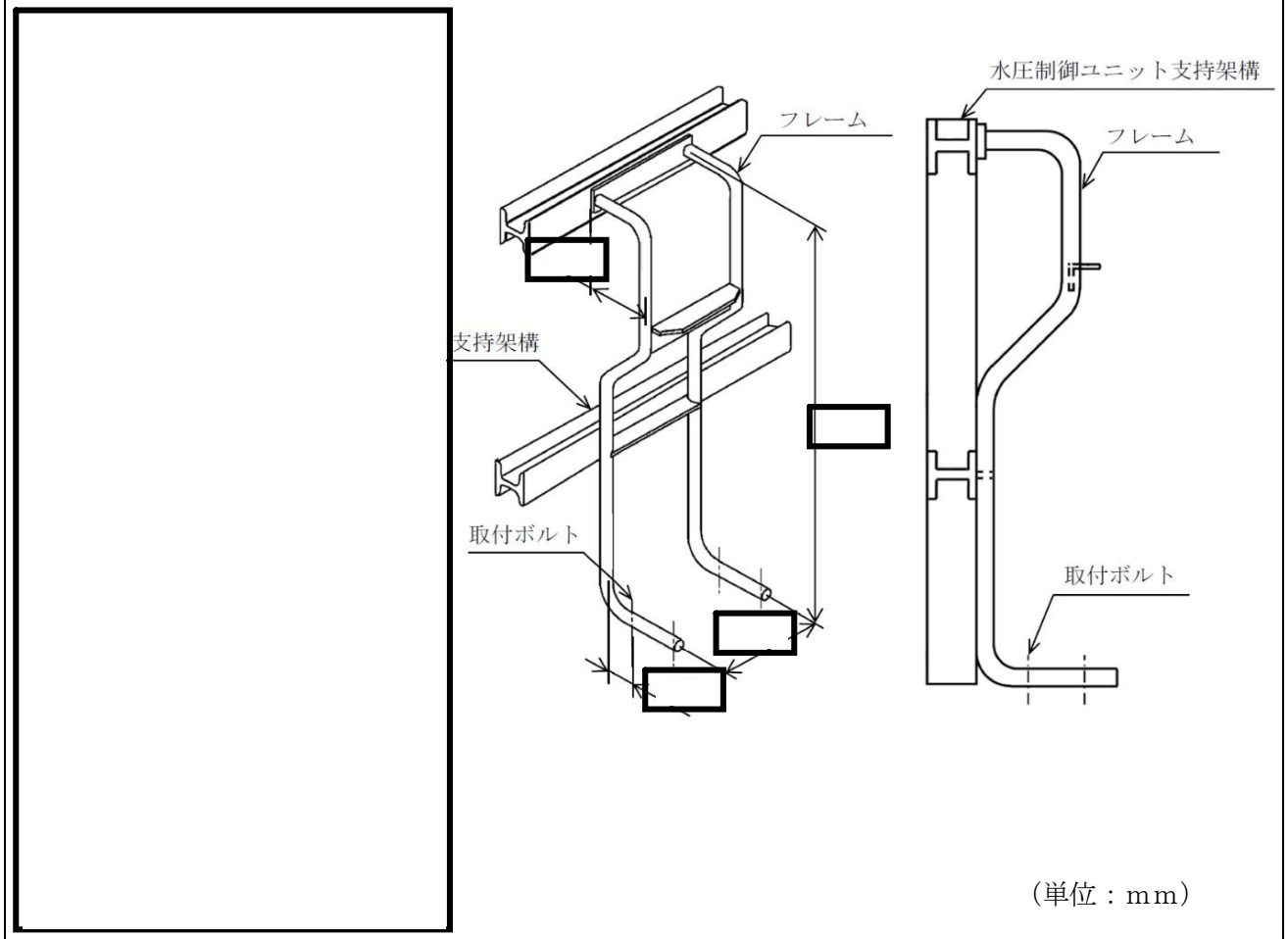
水圧制御ユニットは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

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。

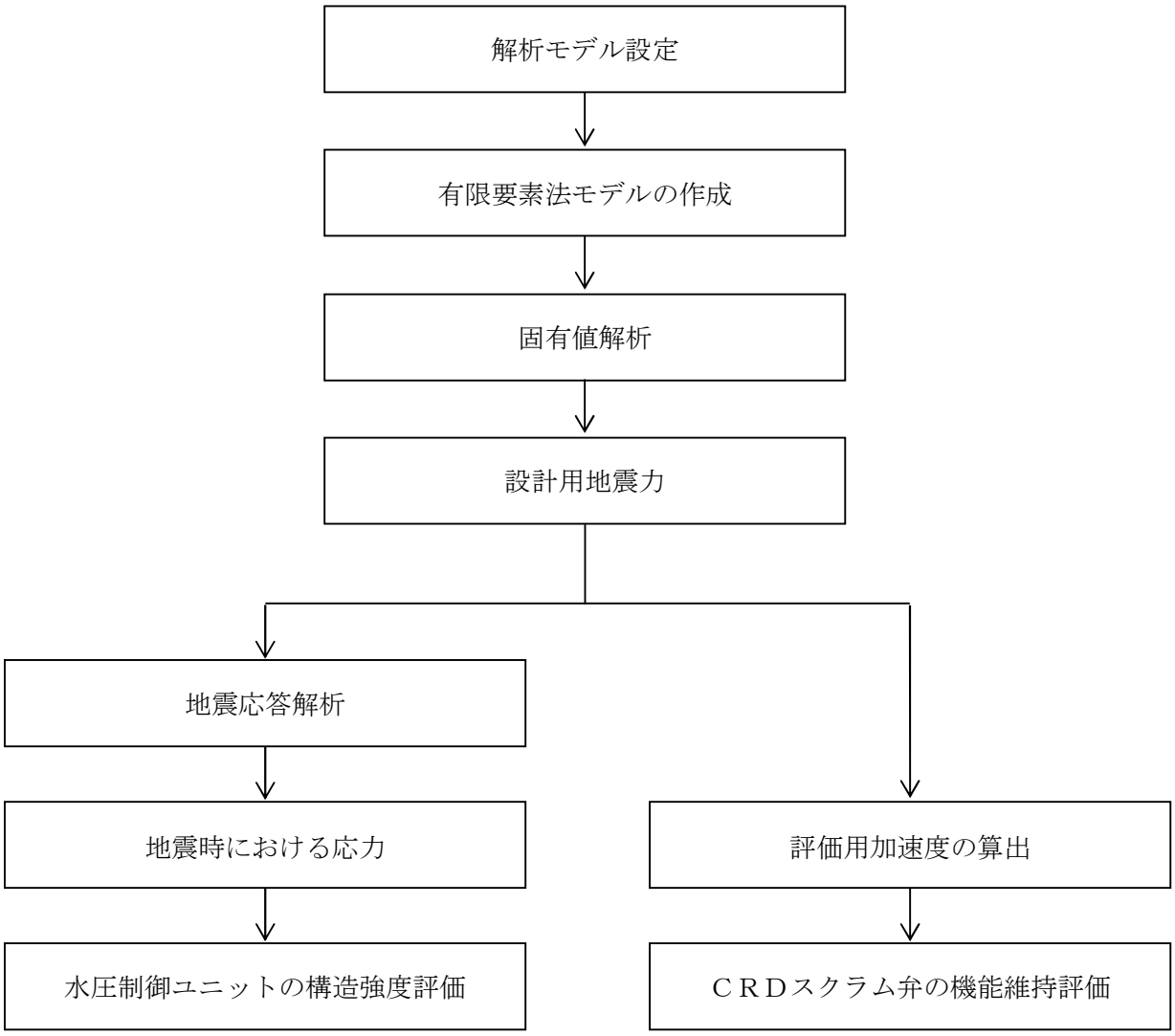


図 2-1　水圧制御ユニット及びＣＲＤスクラム弁の耐震評価フロー

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（f_bを1.5倍した値又はf_b^*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倍した値又はf_c^*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	

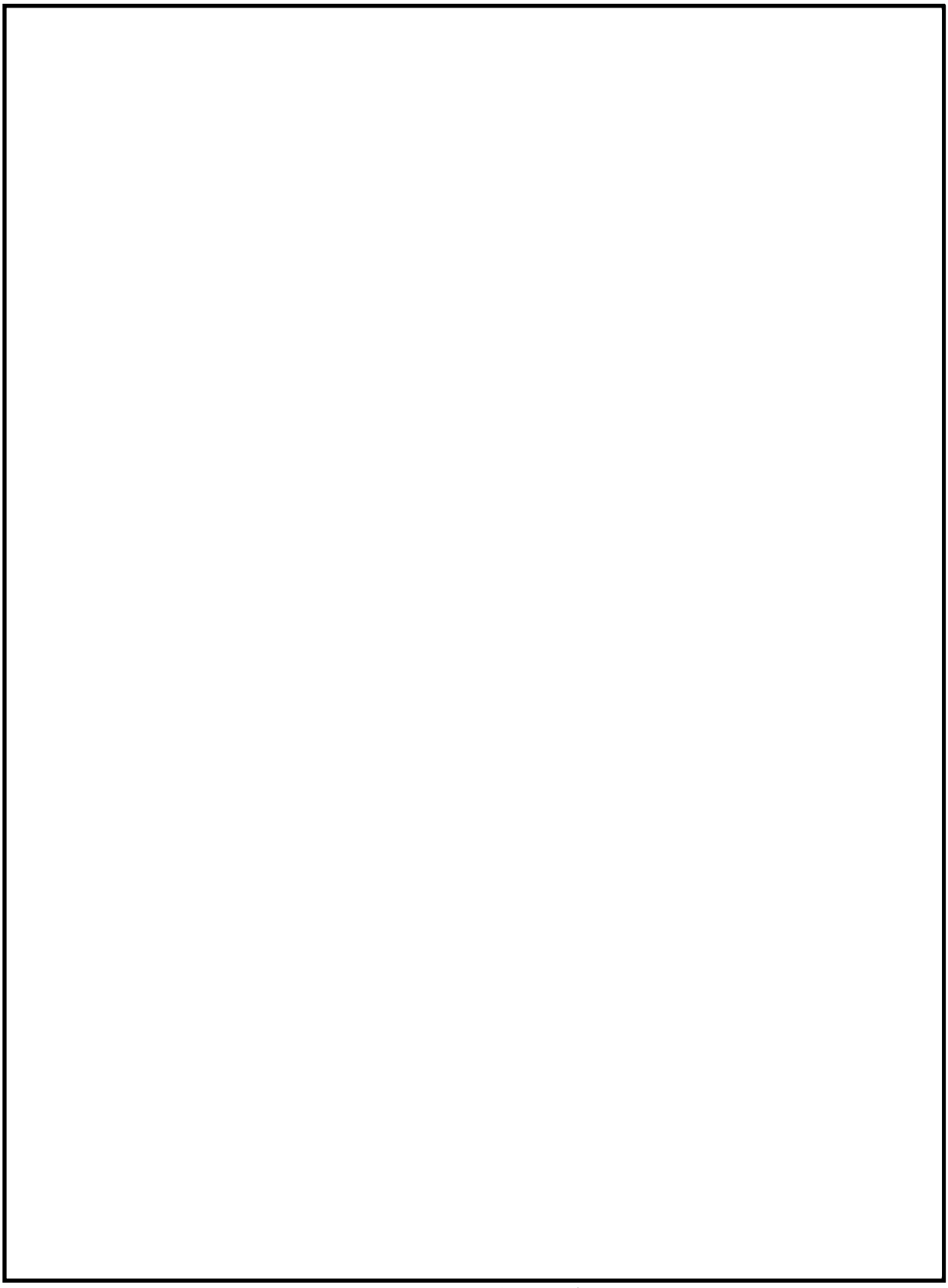
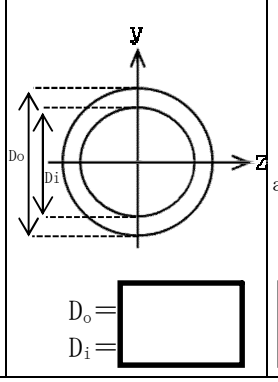
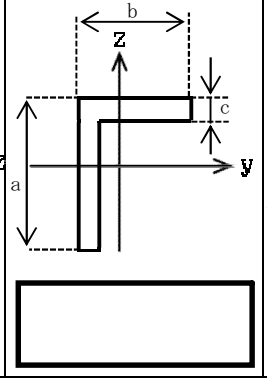
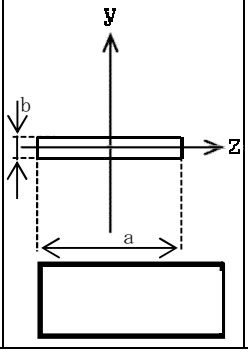
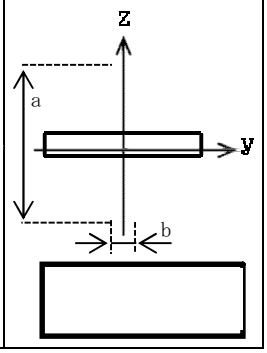


図 4-1　水圧制御ユニット解析モデル（単位：mm）

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
原子炉建屋 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
原子炉建屋 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。

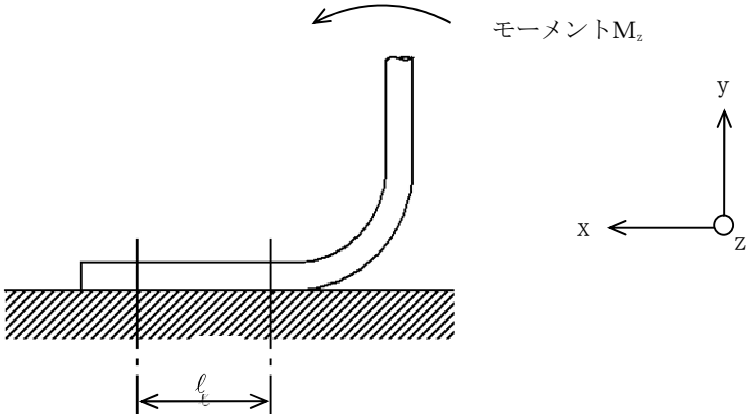


図 4-2　取付ボルトの取付図

(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

$$F_b=|F_y|+\frac{|M_z|}{\ell} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.1)$$

b.　引張応力

$$\sigma_{tb}=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.2)$$

(3)　せん断応力

a.　せん断力

$$Q_b=\sqrt{|F_x|^2+\left(|F_z|+\frac{|M_x|}{D_i}+\frac{|M_y|}{\ell}\right)^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.3)$$

b.　せん断応力

$$\tau_b=\frac{Q_b}{2\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.4)$$

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	原子炉建屋 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

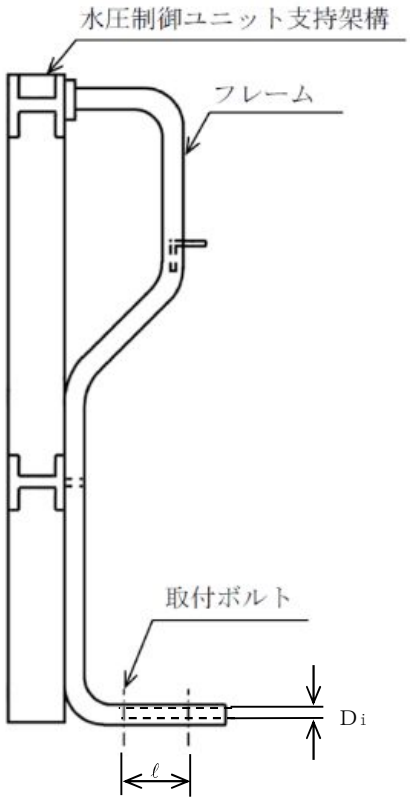
ℓ (mm)	A_b (mm^2)	D_i (mm)

材料	要素番号	E (MPa)	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	Λ	ν
STPG38	⑧						
	⑫						
SS41	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	[redacted]	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）	原子炉建屋 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

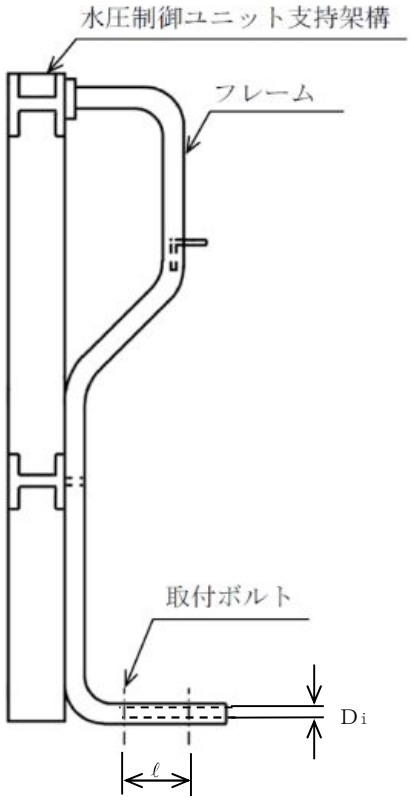
ℓ (mm)	A_b (mm^2)	D_i (mm)

材料	要素番号	E (MPa)	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	Λ	ν
STPG38	⑧						
	⑫						
SS41	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

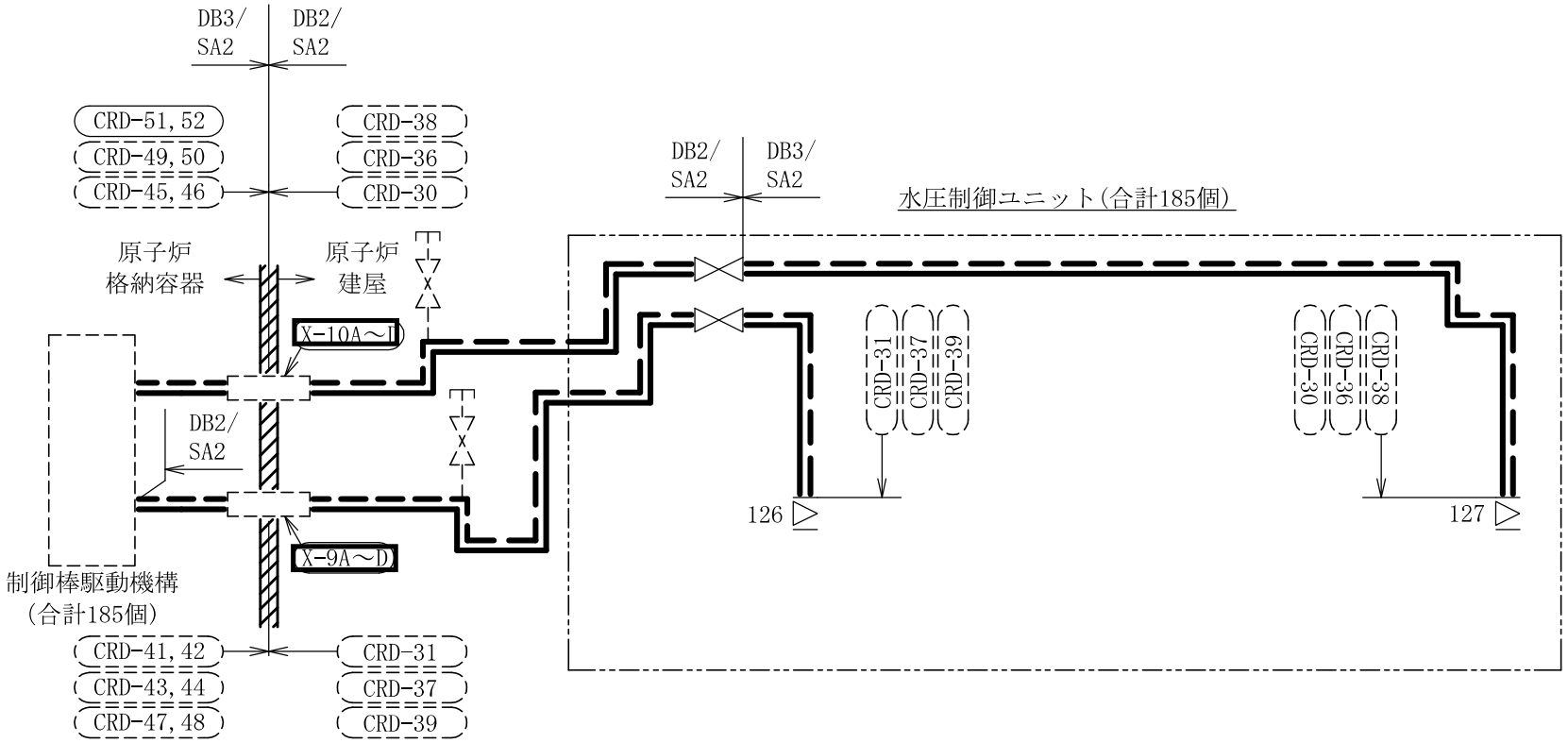
1.　概要 ····· 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 ····· 2
2.1　概略系統図 ····· 2
2.2　鳥瞰図 ····· 4
3.　計算条件 ····· 7
3.1　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 7
3.2　設計条件 ····· 8
3.3　材料及び許容応力 ····· 10
3.4　設計用地震力 ····· 11
4.　解析結果及び評価 ····· 12
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 12
4.2　評価結果 ····· 18
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 18
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 19
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 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

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

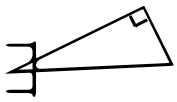
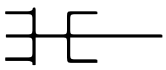
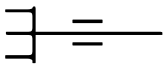
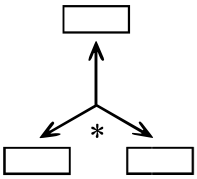
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - -（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1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

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	$I_L + S_d$	$III_A S$
							$II_L + S_d$	
							$I_L + S_s$	$IV_A S$
							$II_L + S_s$	
			SA	常設耐震／防止	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 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	SUS304TP	S	[redacted]
2	4801～61N	12.06	74	26.7	3.9	SUS304TP	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

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

4.1　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							

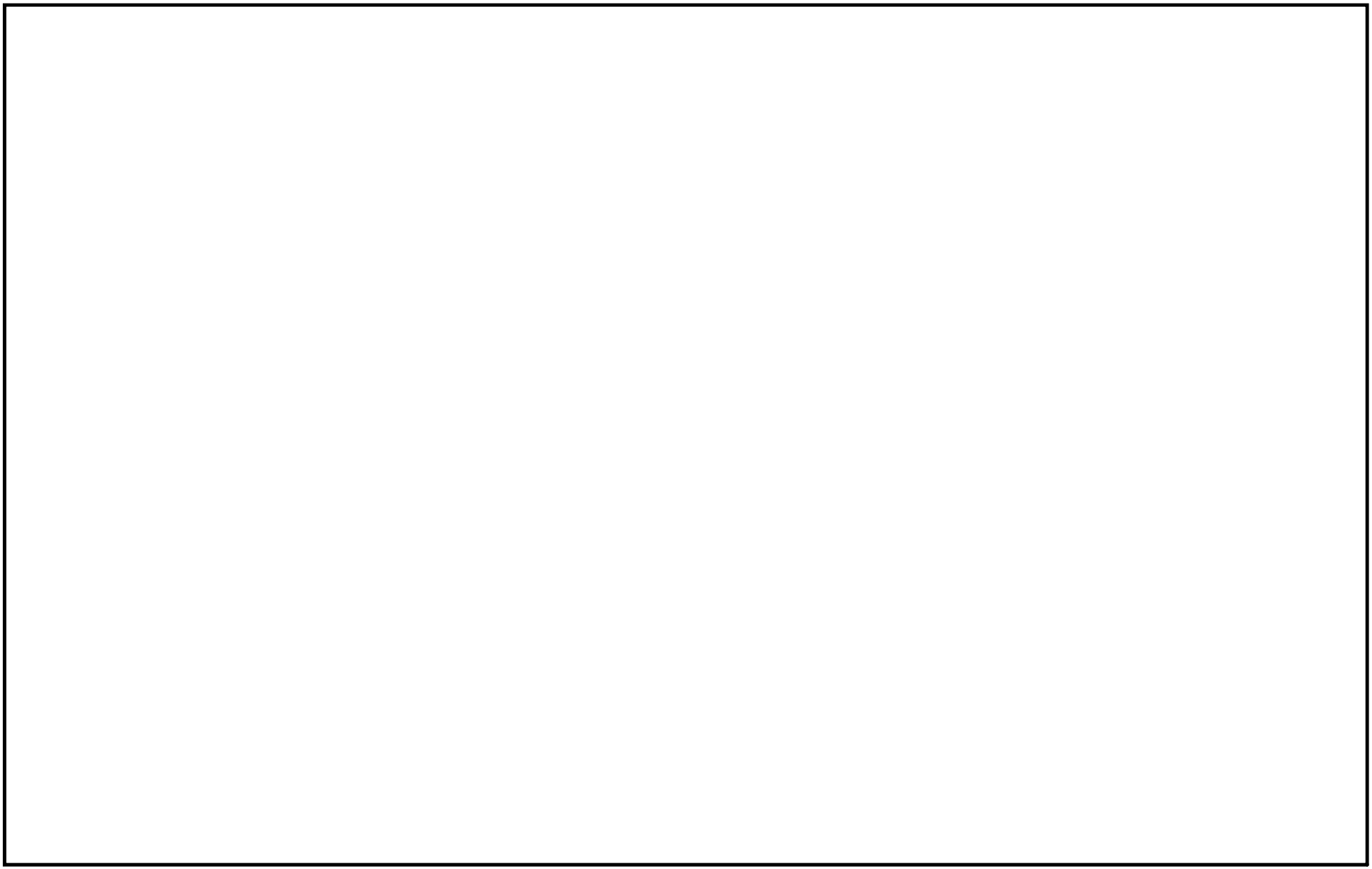
各モードに対応する刺激係数

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	○

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 ····· 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，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。

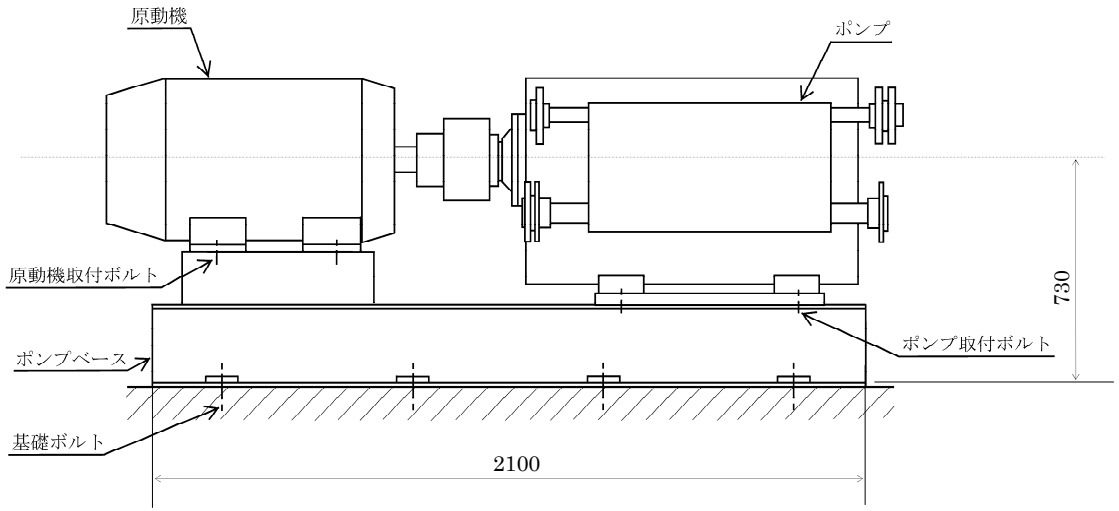
2. 一般事項

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。）

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
$Ⅲ_AS$	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）

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	原子炉建屋 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} (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)	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= [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）	－	[redacted]	－	[redacted]
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	[redacted]	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	原子炉建屋 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} (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)	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= [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

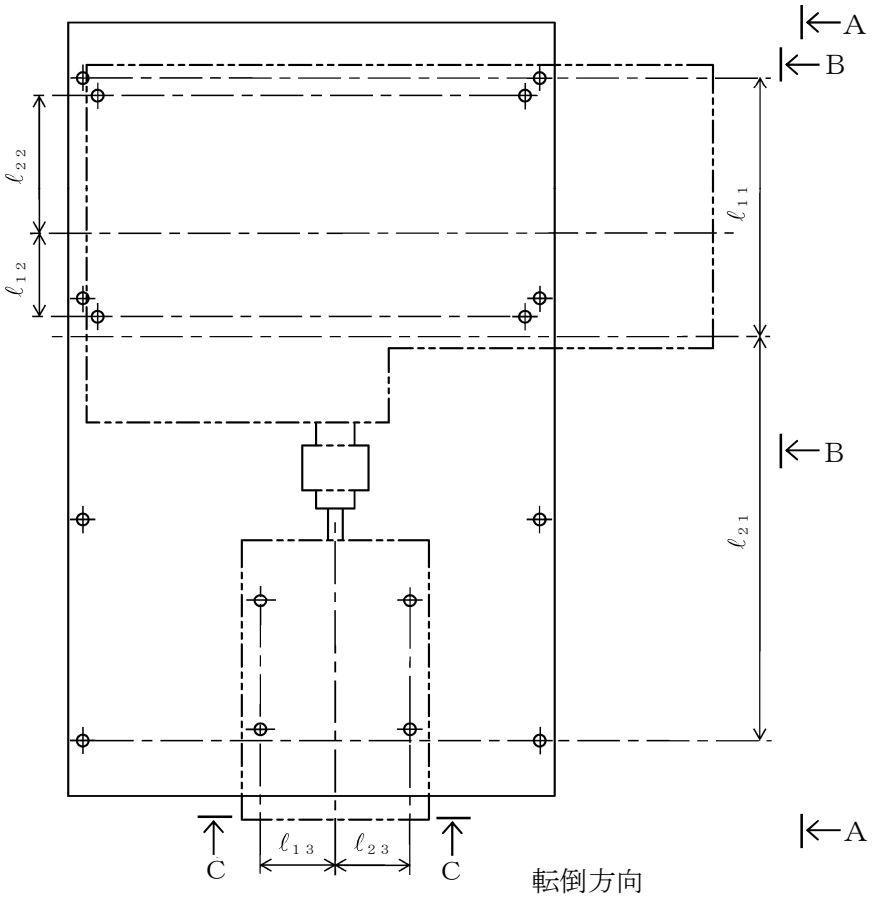
すべて許容応力以下である。

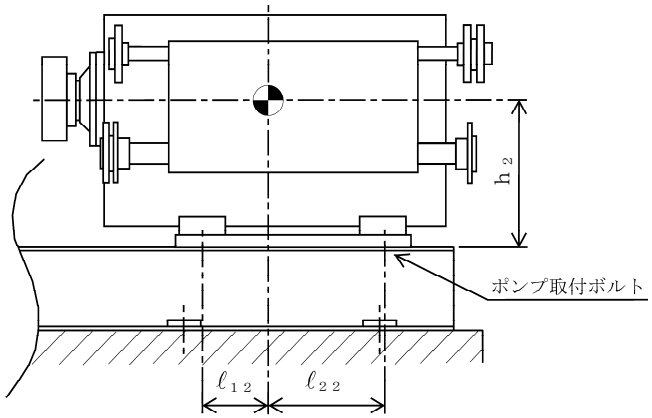
注記 *：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}, f_{toi}]より算出

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

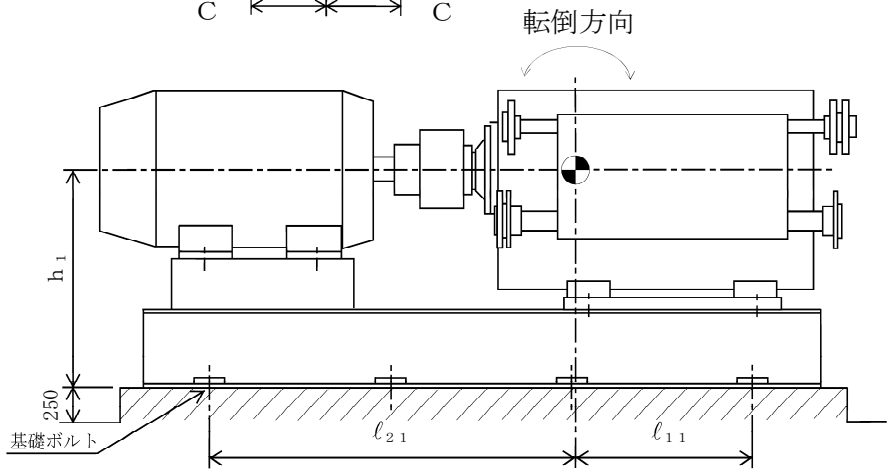
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。





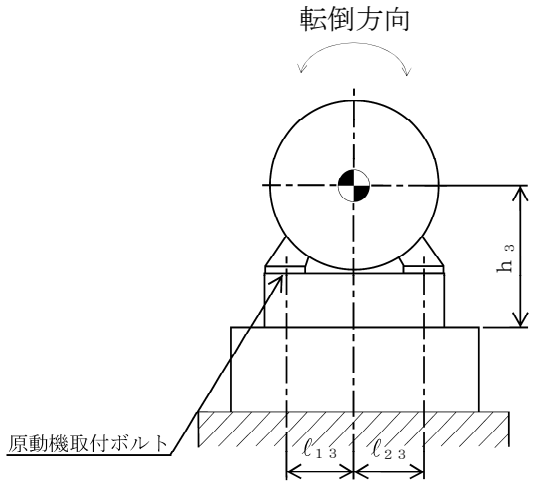
B～B矢視図

（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 ····· 7
4.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 7
4.2 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。

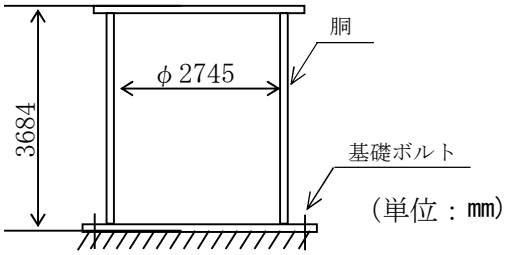
2. 一般事項

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	

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，重大事故等対処施設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）

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

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	原子炉建屋 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。

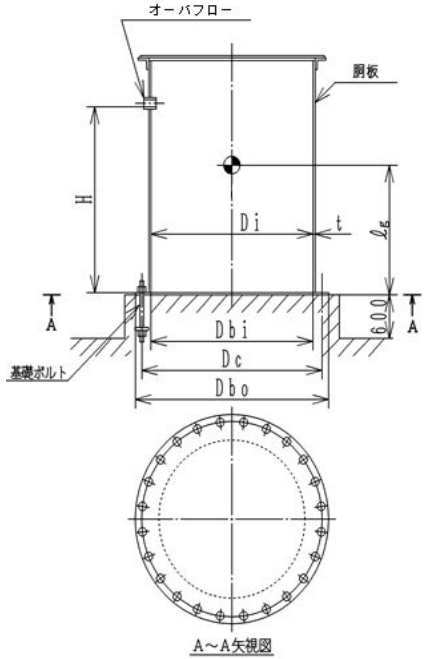
1.2 機 器 要 目

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	原子炉建屋 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。

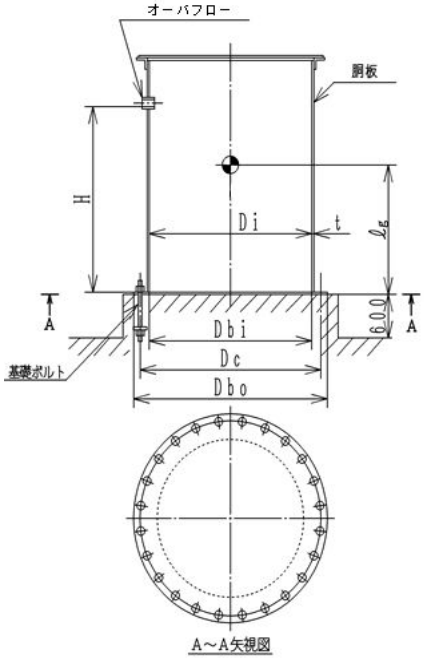
2.2 機 器 要 目

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



A～A矢視図

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	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	－	－	－	$\sigma_{2\phi}$＝ 15	σ_{2Xt}＝ 24	－
	圧縮側	－	－	－	$\sigma_{2\phi}$＝ -15	σ_{2Xc}＝ 24	－
組合せ応力（変動値）	引張り	－			σ_{2t}＝ 76		
	圧縮	－			σ_{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	－	σ_b＝ 52
せん断応力	－	τ_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	－	－	σ_0＝ 42	S_a＝ 287
		一次＋二次	－	－	σ_2＝ 76	S_a＝ 377
		圧縮と曲げの組合せ	－		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2}+\sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leqq 1$	
		（座屈の評価）	－		0.20 （無次元）	
基礎ボルト	[redacted]	引張り	－	－	σ_b＝ 52	f_{ts}＝ 455 *
		せん断	－	－	τ_b＝ 24	f_{sb}＝ 350

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

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 ····· 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

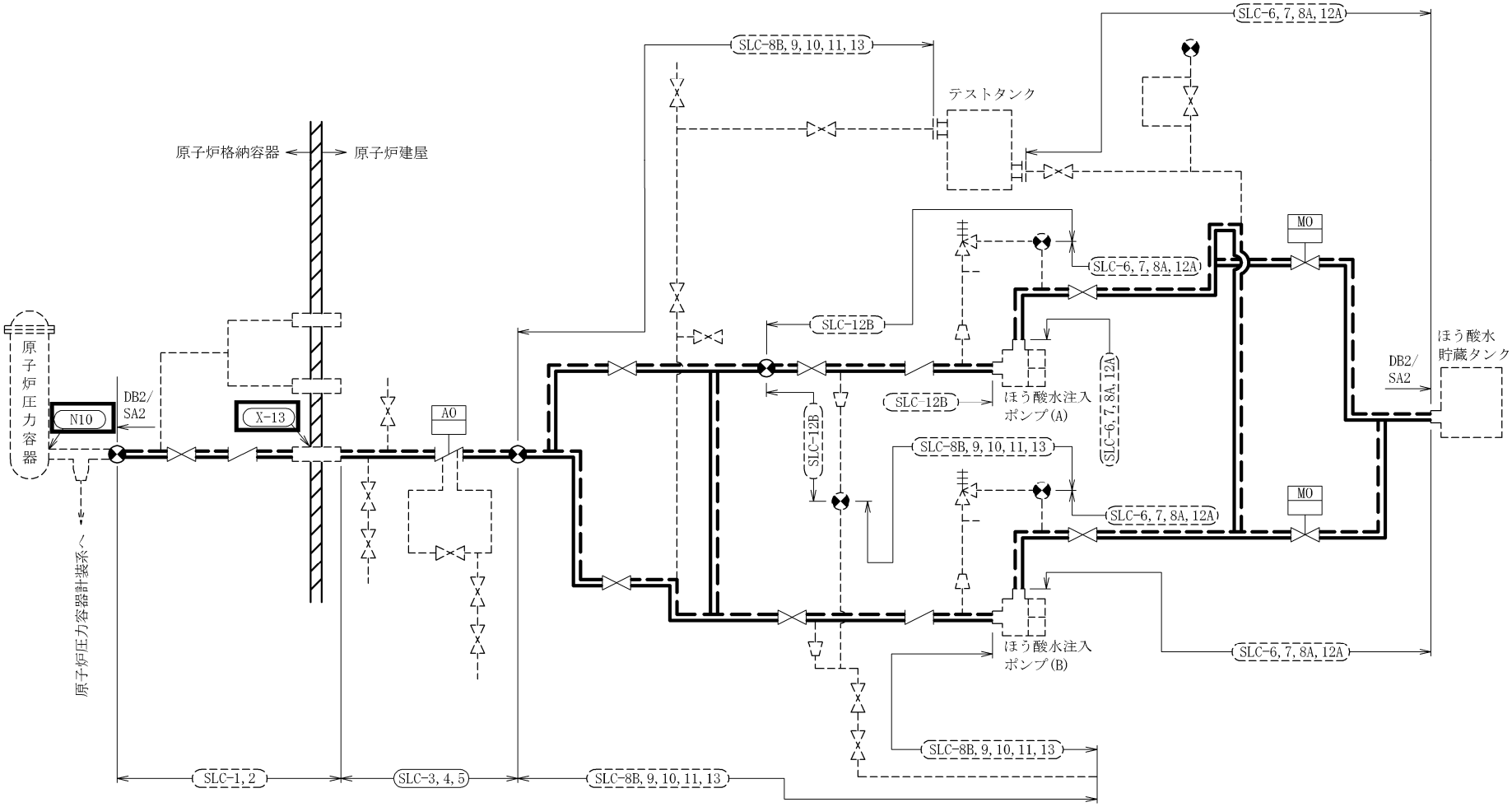
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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

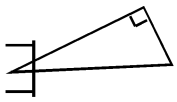
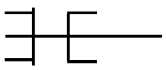
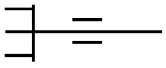
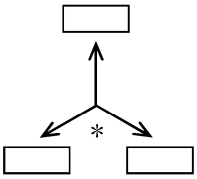
記　　号	内　　容
━━━━━ （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━ （太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――― （細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	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

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	$I_L + S_d$	$III_A S$
							$II_L + S_d$	
							$I_L + S_s$	$IV_A S$
							$II_L + S_s$	
			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	$V_A S$
							$V_L(LL) + S_s$ *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$V_A S$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：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	原子炉建屋	[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 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							

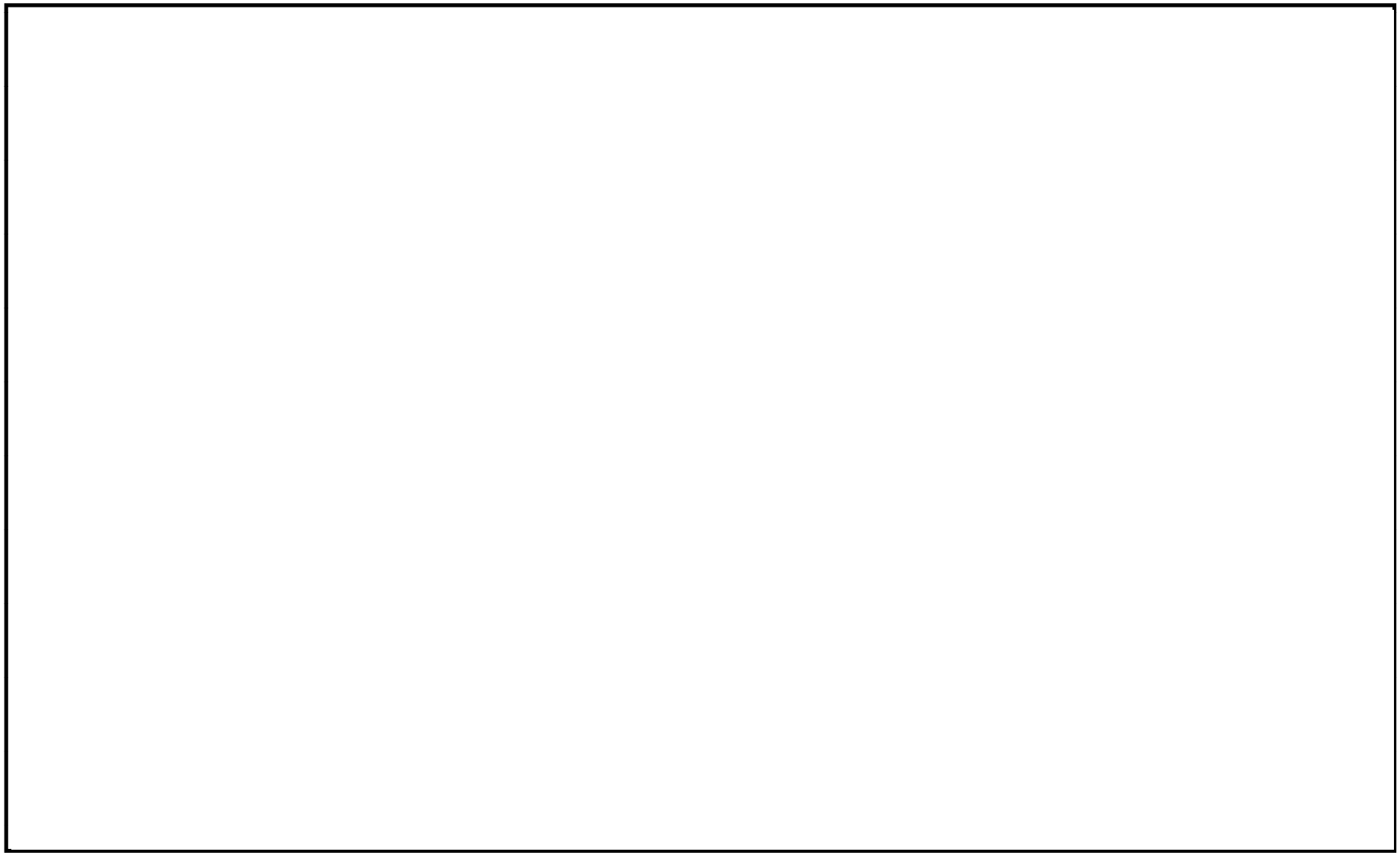
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

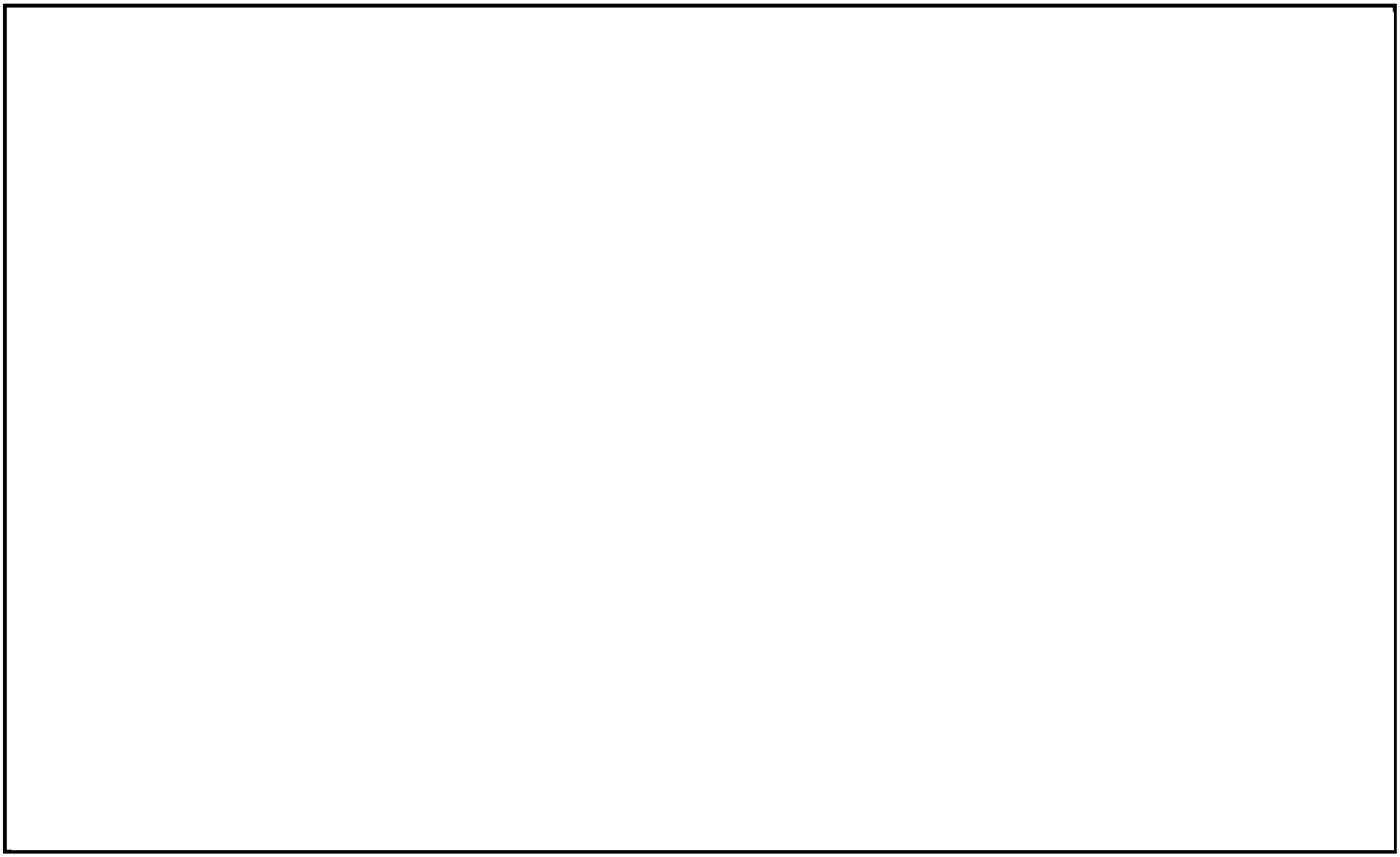
モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
11 次				
12 次				

代表的振動モード図

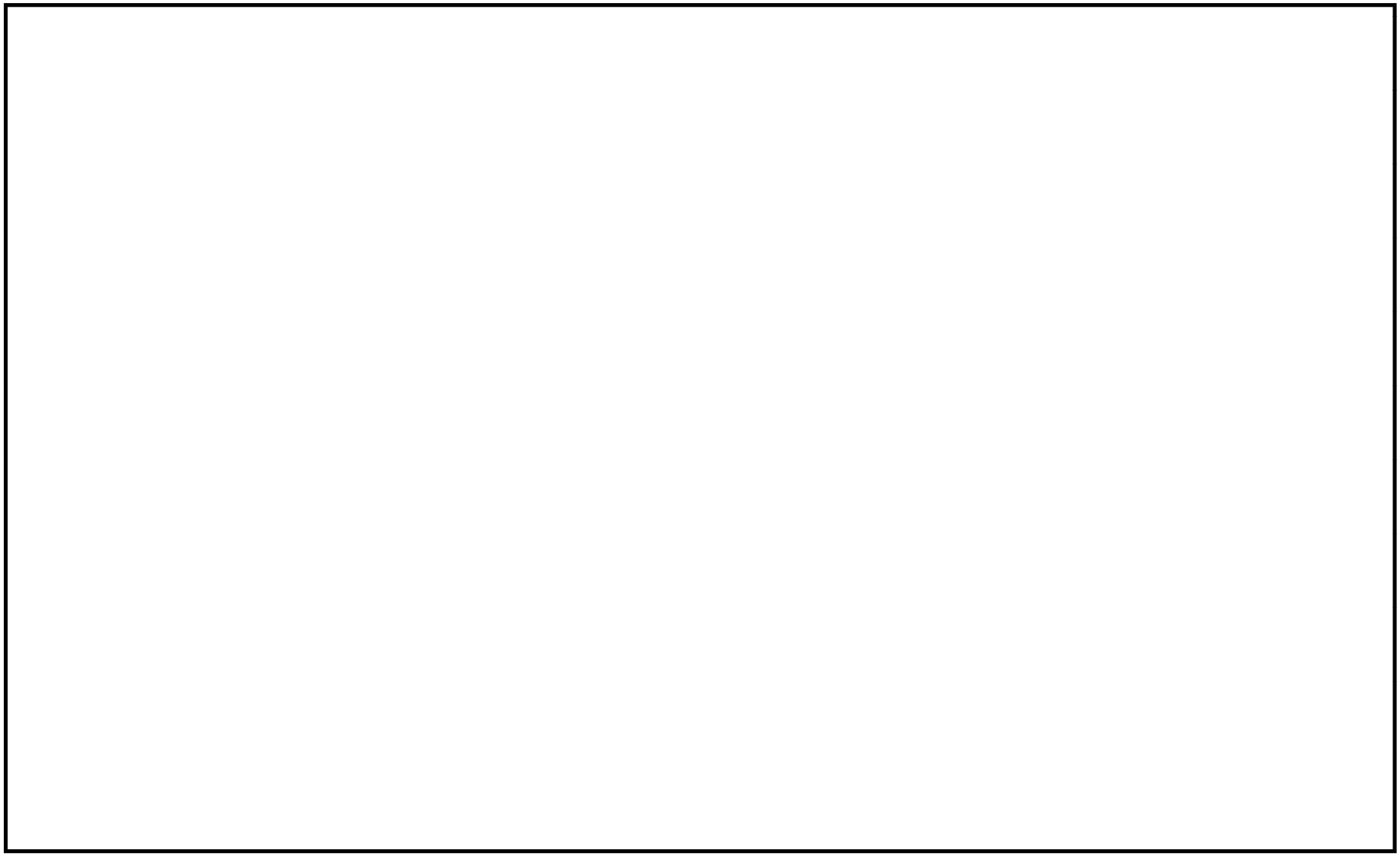
振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



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 (×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（クラス２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	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	－	－	－	－

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 構造計画 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
2.2.1 運転条件Ⅰ及びⅡ 6
2.2.2 運転条件Ⅲ 6
2.2.3 運転条件Ⅳ 7
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
3.2.1 地震応答解析の基本方針 9
3.2.2 解析モデル及び諸元 9
3.2.3 固有周期 9
3.2.4 設計用地震力 10
3.2.5 応答解析結果 10
3.2.6 地震荷重の算出結果 10
4. 応力解析 28
4.1 応力解析の手順 28
4.1.1 荷重条件 28
4.1.2 応力計算と応力の分類 28
4.2 応力計算 29
4.2.1 外圧による応力 29
4.2.2 外荷重による応力 30

4.3　応力の評価 ····· 32
4.3.1　主応力 ····· 32
4.3.2　応力強さ ····· 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

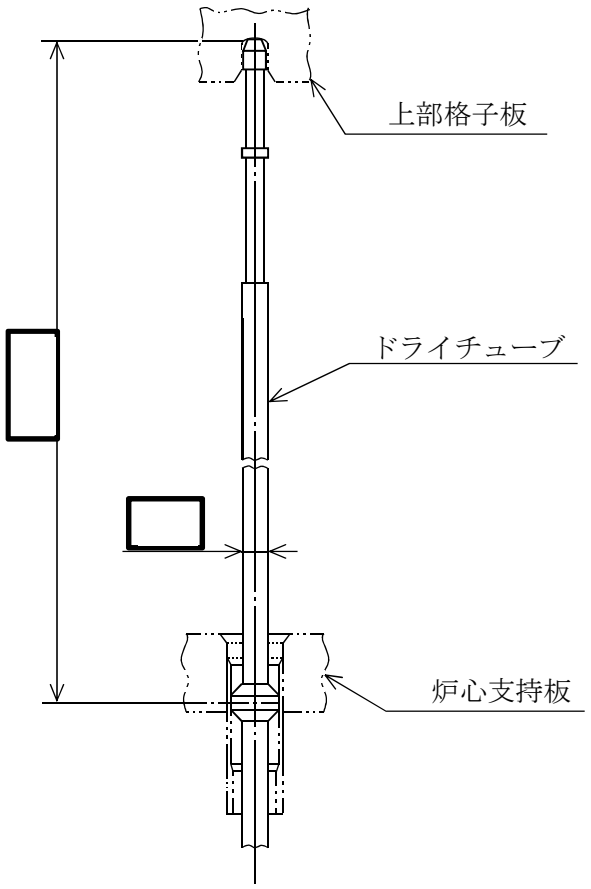
本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の基本方針に基づき，起動領域計装ドライチューブ（以下「ドライチューブ」という。）が設計用地震力に対し十分な構造強度を有していることを説明するものである。

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。）

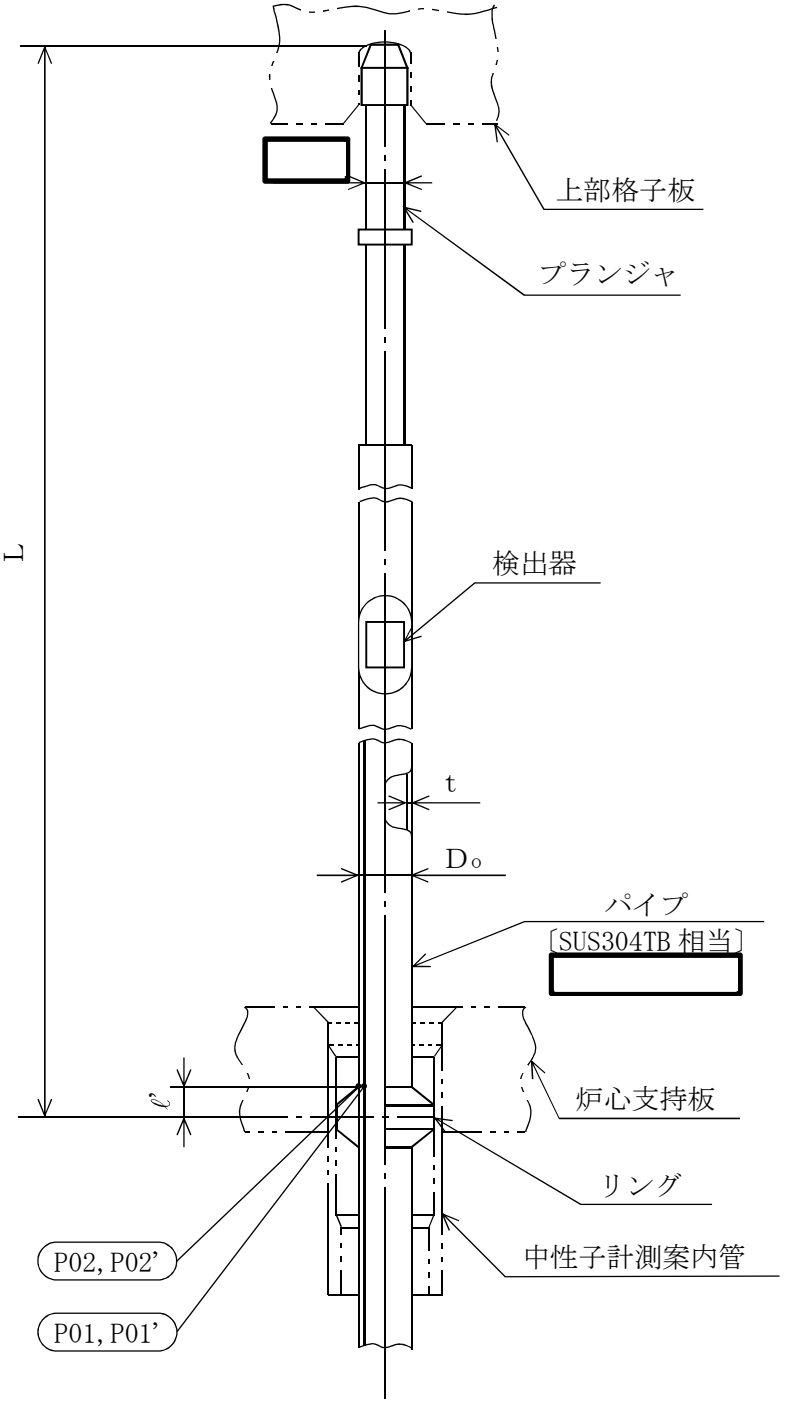
注：本計算書において，設計・建設規格の条項は「設計・建設規格　○○○-△△△△(◇)a.(a)」として示す。

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　　：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，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 [redacted]

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)　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

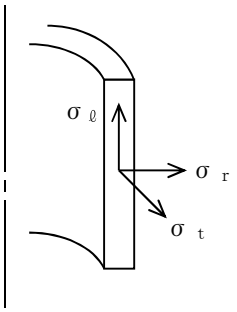
応力の記号とその方向は，下記のとおりとする。

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	給水加熱機能喪失 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

図2-1(1)　運転条件

注記　＊1：

＊2：

注1：

注2：

注3：

注4：

注5：

注6：

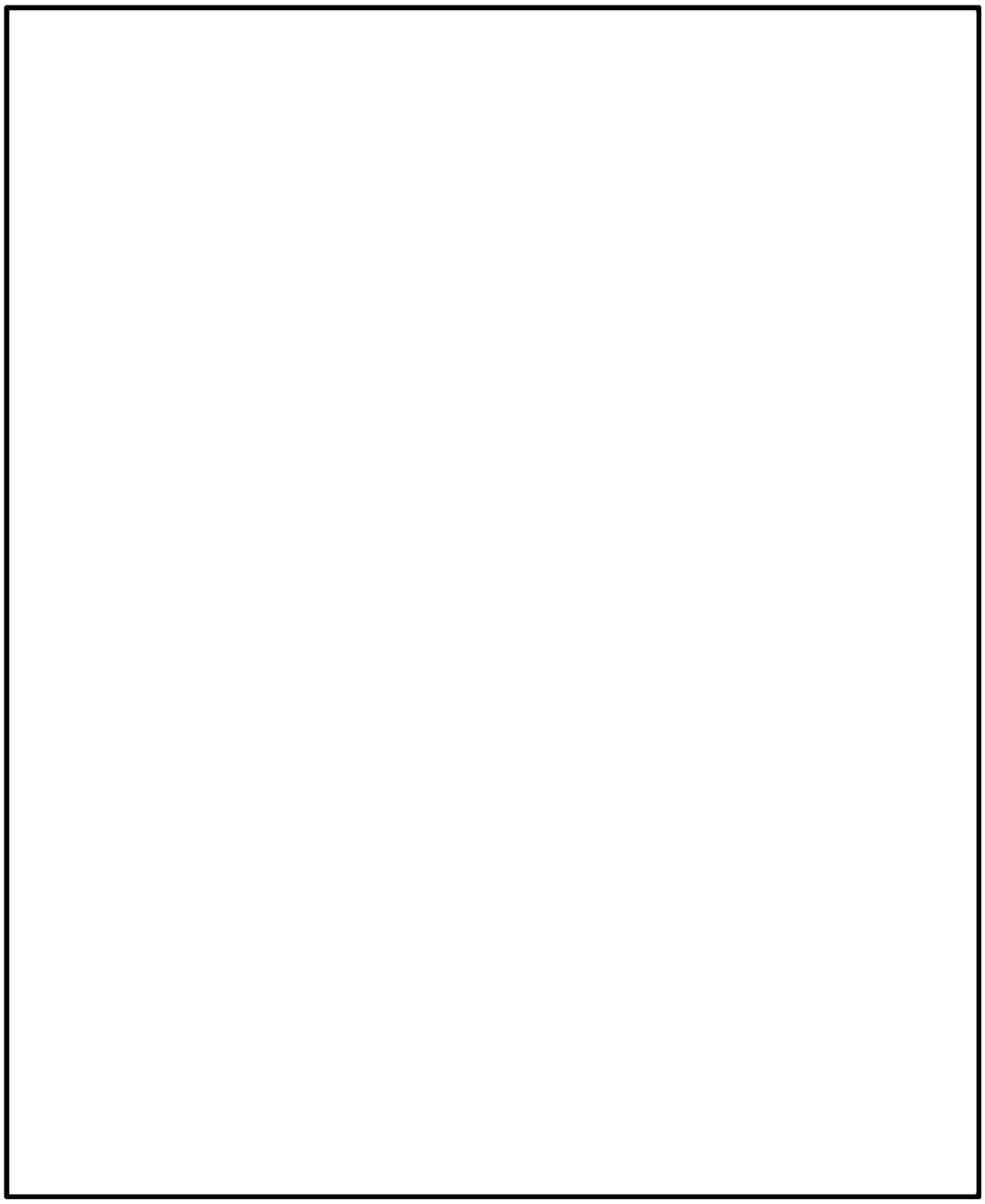


図 2-1(2)　運転条件
（原子炉圧力容器内領域図）

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
$\mathrm{III}_A S$	[redacted]
$\mathrm{IV}_A S$	[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

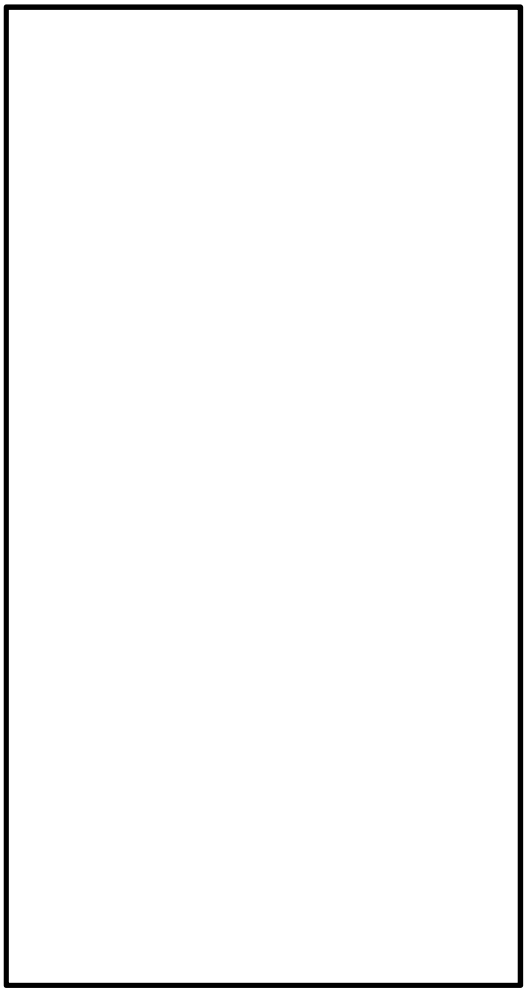
（単位：MPa）

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。



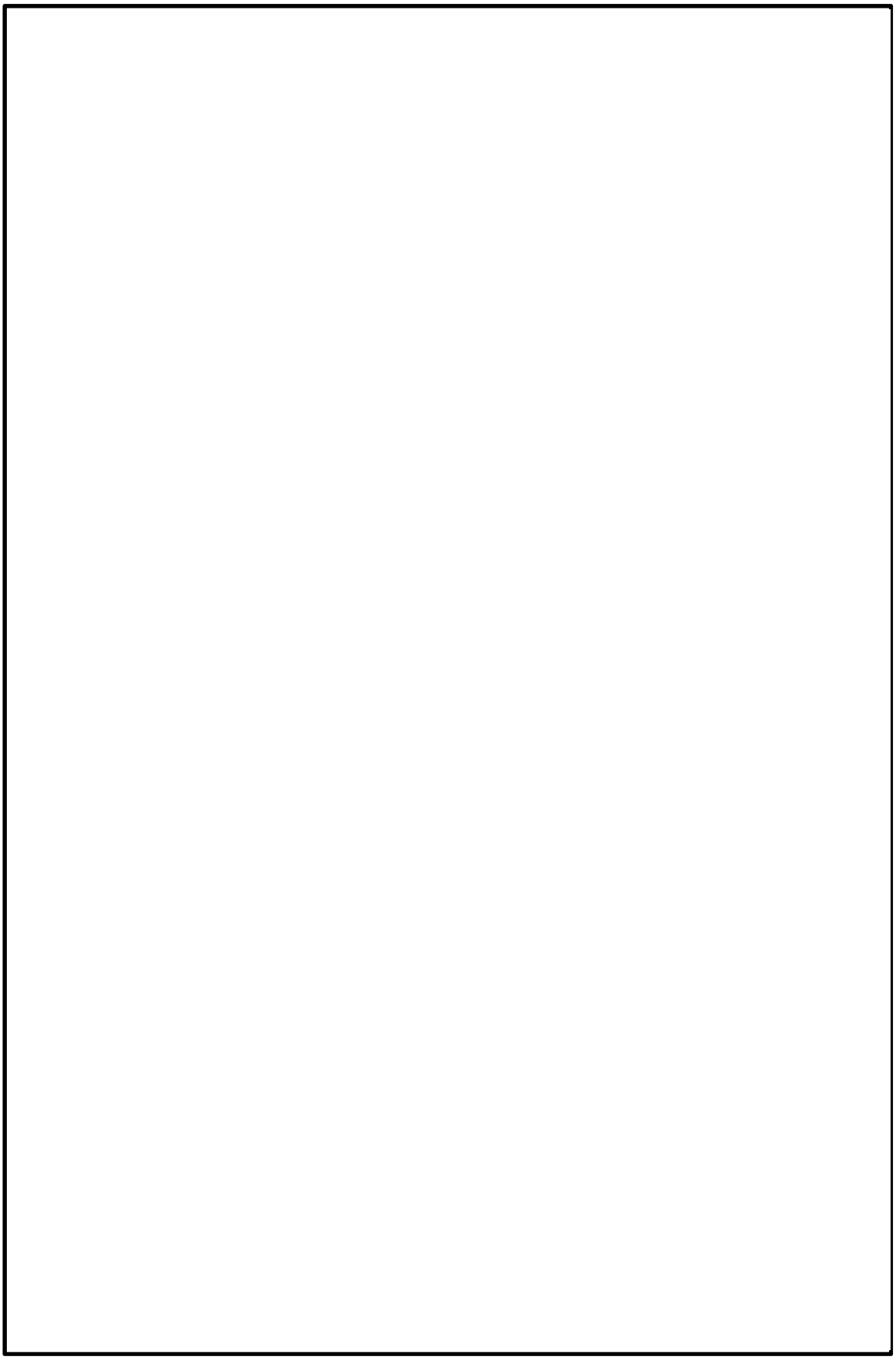


図 3-1　解析モデル

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				

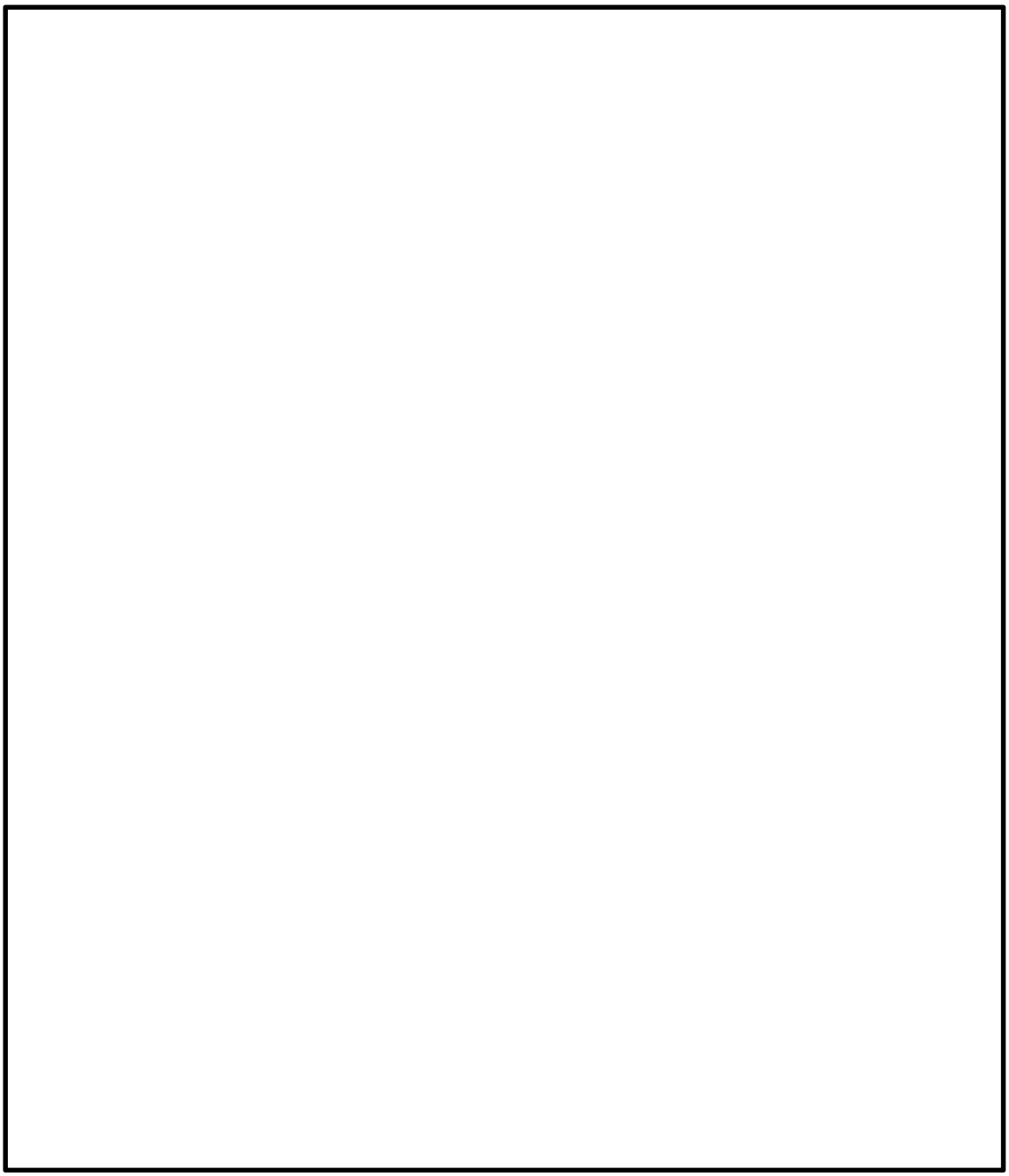


図 3-2　振動モード

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：

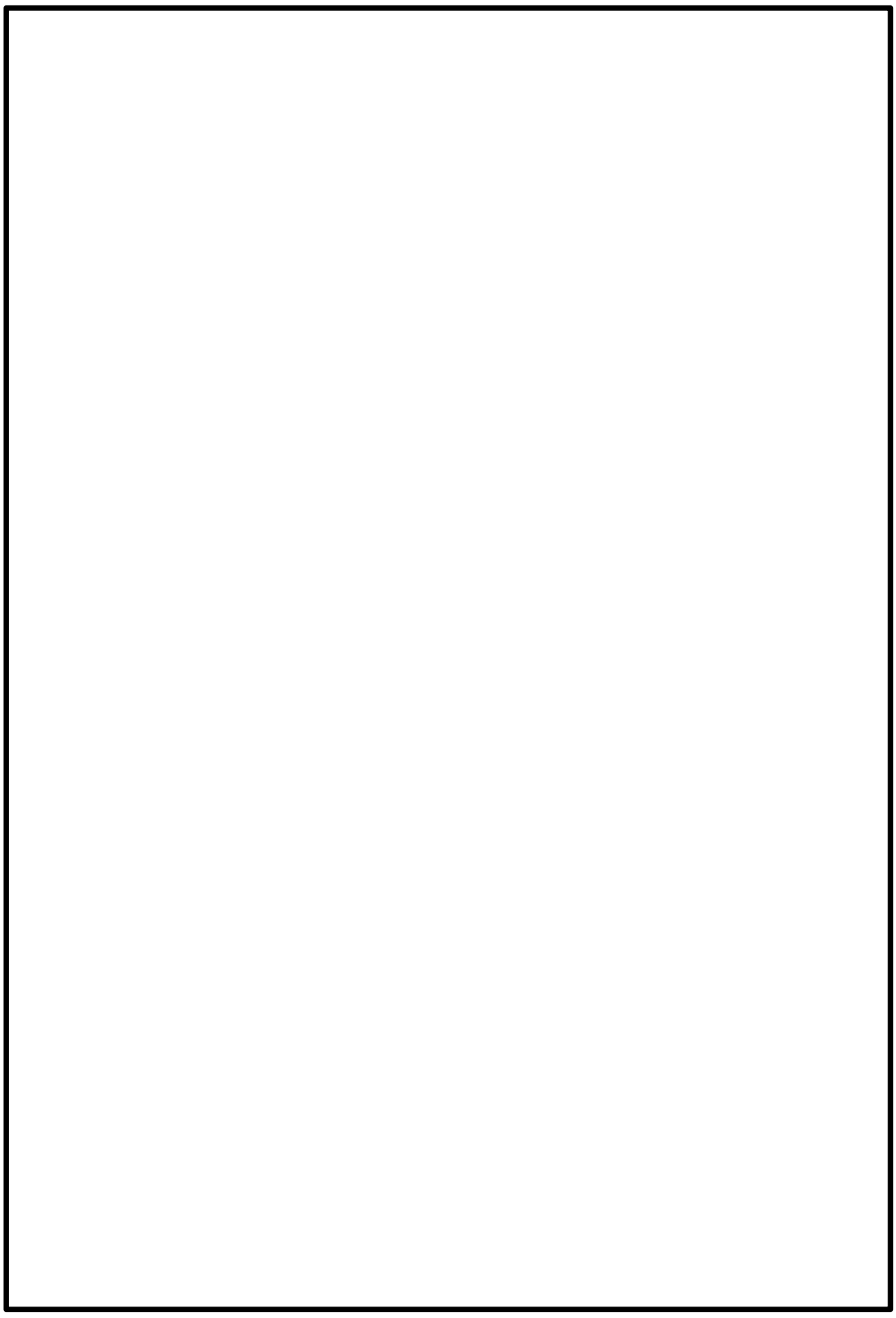


図 3-3(1)　動的応答加速度分布図
（弾性設計用地震動Ｓ$_d$）

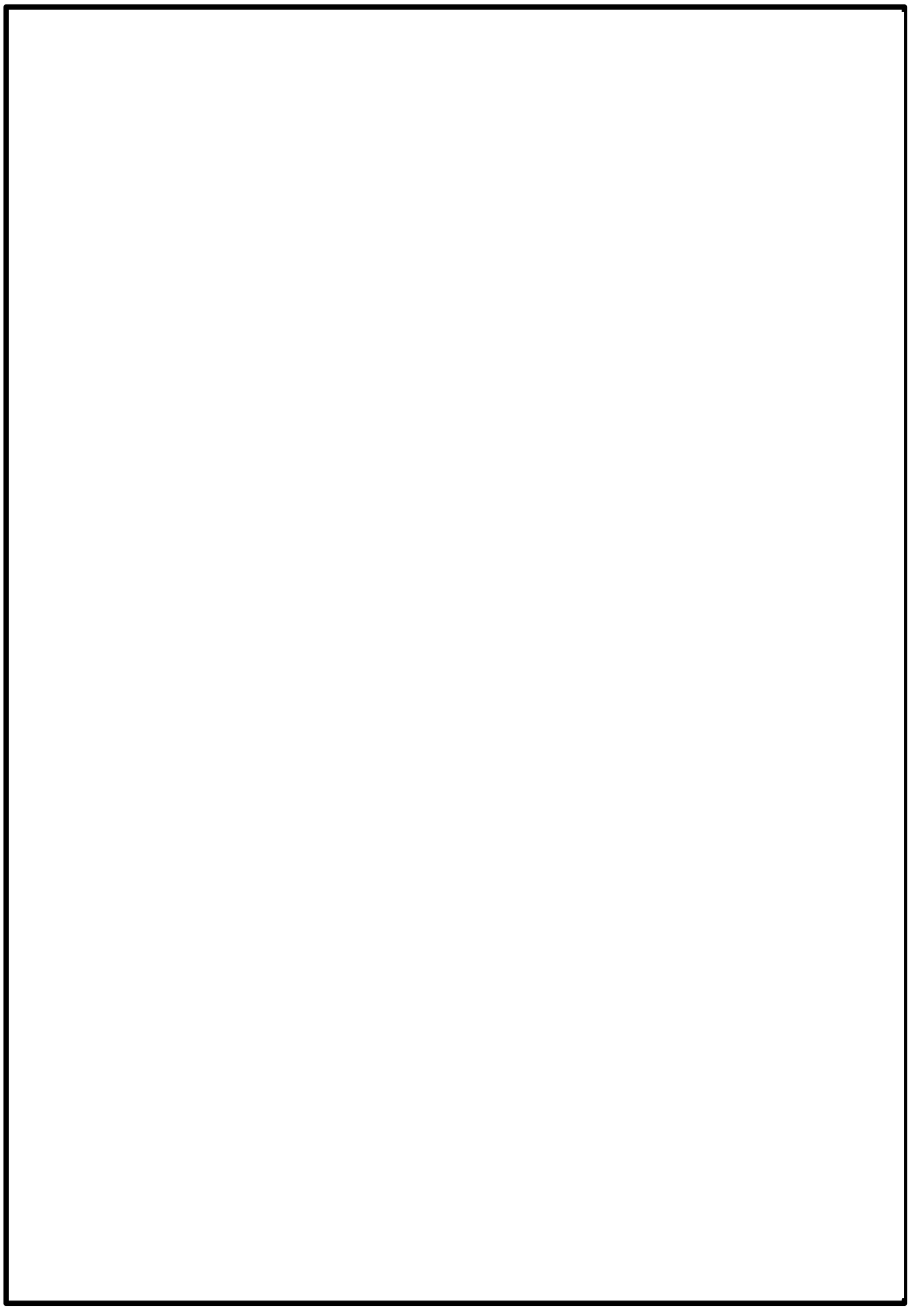


図 3-3(2)　動的応答加速度分布図
（基準地震動Ｓ$_s$）

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。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。，ｔは表 4-2 に示す。

b.　一次一般膜＋一次曲げ応力

外圧Ｐ。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）

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 構造計画 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
2.2.1 運転条件Ⅰ及びⅡ 6
2.2.2 運転条件Ⅲ 6
2.2.3 運転条件Ⅳ 7
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
3.2.1 地震応答解析の基本方針 9
3.2.2 解析モデル及び諸元 9
3.2.3 固有周期 9
3.2.4 設計用地震力 10
3.2.5 応答解析結果 10
3.2.6 地震荷重の算出結果 10
4. 応力解析 28
4.1 応力解析の手順 28
4.1.1 荷重条件 28
4.1.2 応力計算と応力の分類 28
4.2 応力計算 29
4.2.1 外圧による応力 29
4.2.2 外荷重による応力 30

4.3　応力の評価 …… 32
4.3.1　主応力 …… 32
4.3.2　応力強さ …… 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

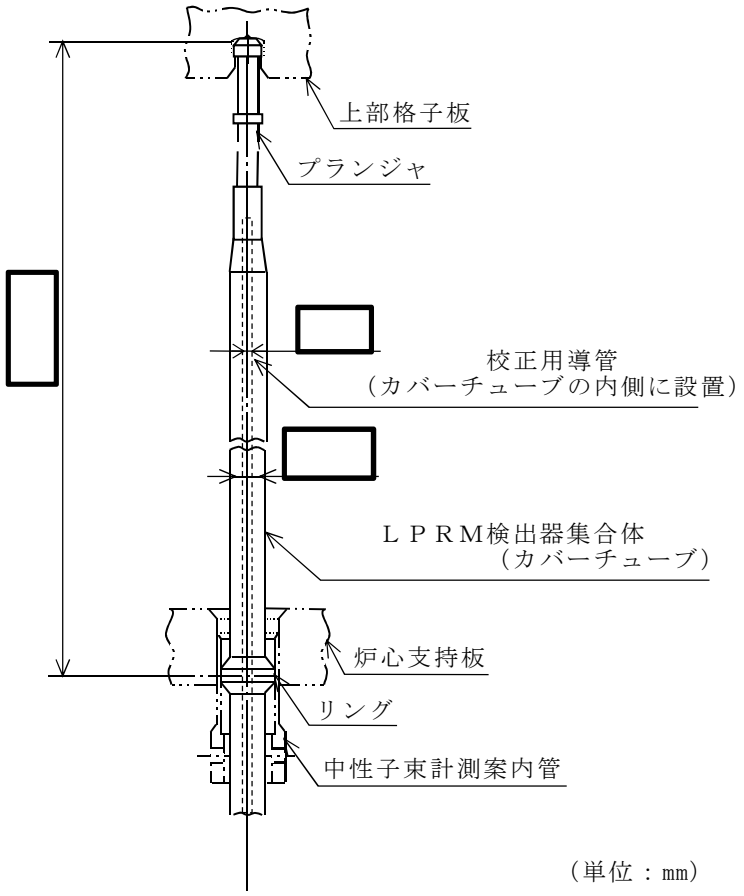
本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の基本方針に基づき，平均出力領域モニタの出力領域計装（以下「ＬＰＲＭ」という。）検出器集合体が設計用地震力に対し十分な構造強度を有していることを説明するものである。

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 構造計画

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
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。））　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。

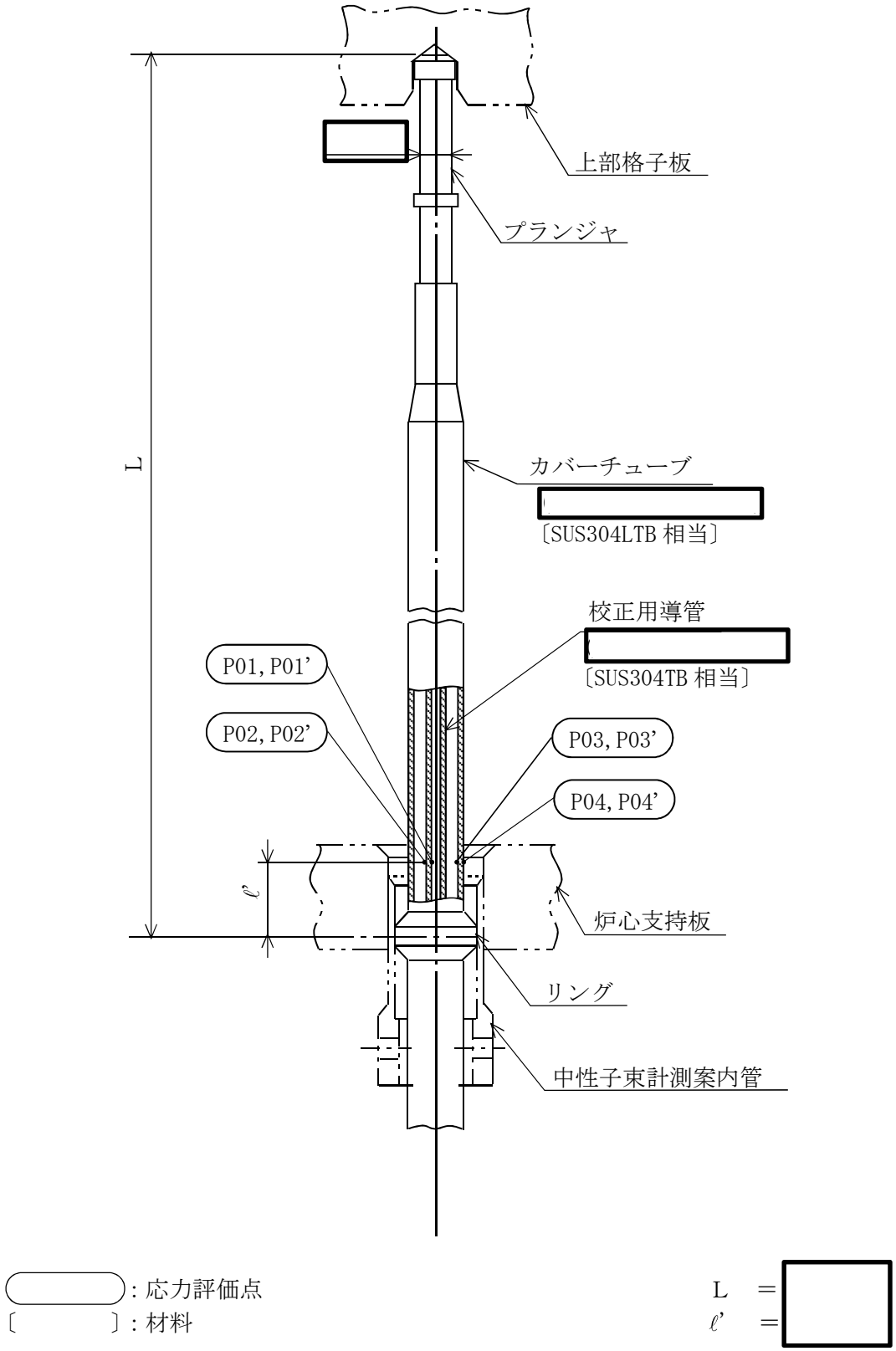


図 1－1　形状・寸法・材料・応力評価点（単位：mm）

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 [redacted] ℃）に対する許容限界を用いる。

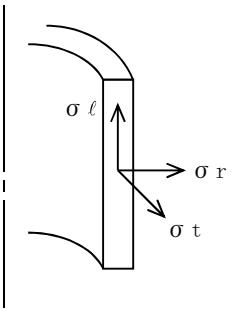
(3)　ＬＰＲＭ検出器集合体の各運転状態の応力強さの評価に用いる許容限界は，表 2-5 に示すとおりである。

(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	給水加熱機能喪失 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

図2-1(1)　運転条件

注記　＊1：

＊2：

注1：

注2：

注3：

注4：

注5：

注6：

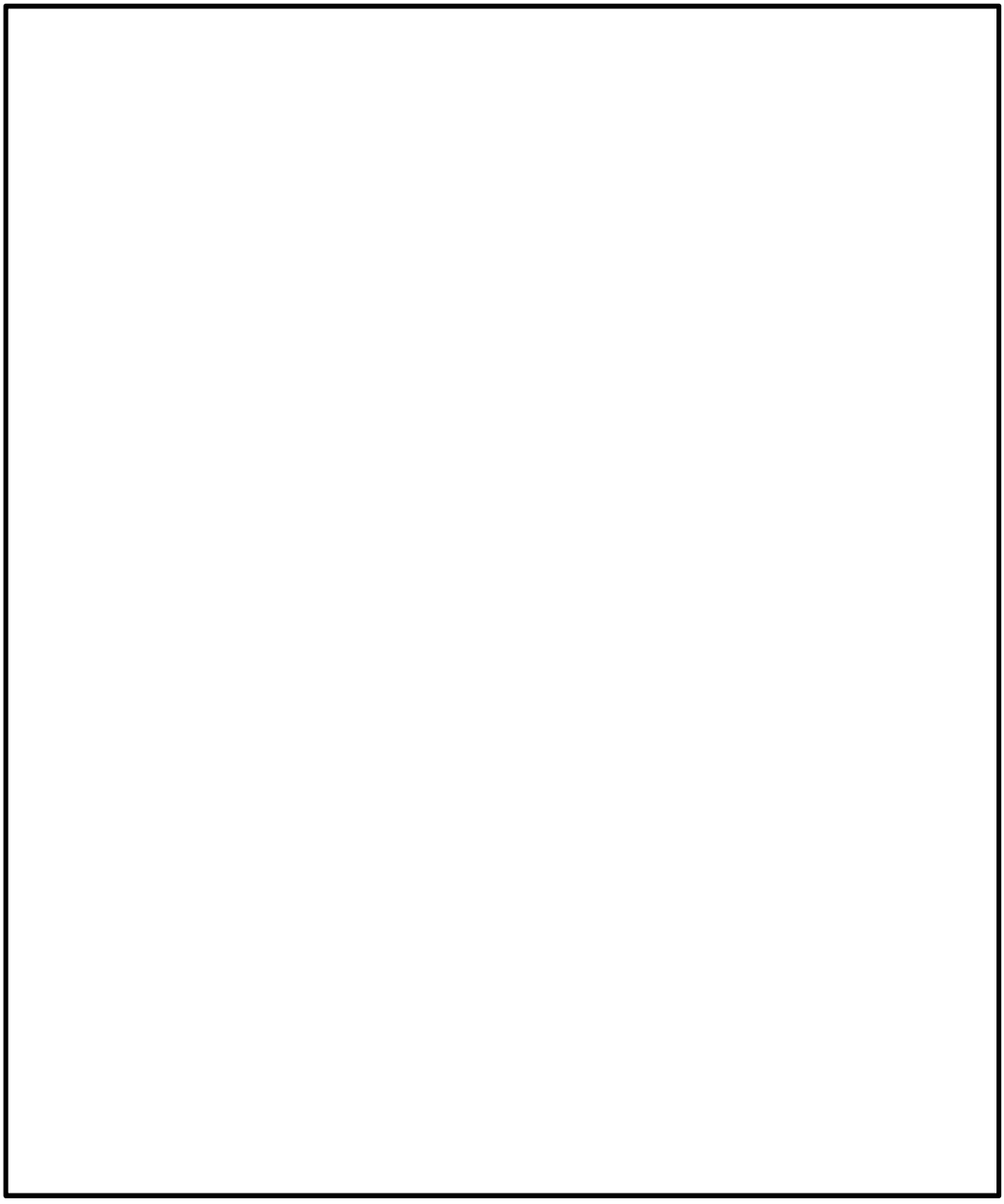


図 2-1(2)　運転条件
(原子炉圧力容器内領域図)

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
$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	
$\mathrm{IV}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	

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
$\mathrm{III}_A S$	$1.5 \cdot S_m$ *1	左欄の 1.5 倍の値*1
$\mathrm{IV}_A S$	$2/3 \cdot S_u$ *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	ⅢAS	ⅣAS
温度(℃)	[redacted]	
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(℃)	[redacted]	
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	[redacted]			

注記　＊：検査の種類を示す記号は次のとおりである。

[redacted]

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：

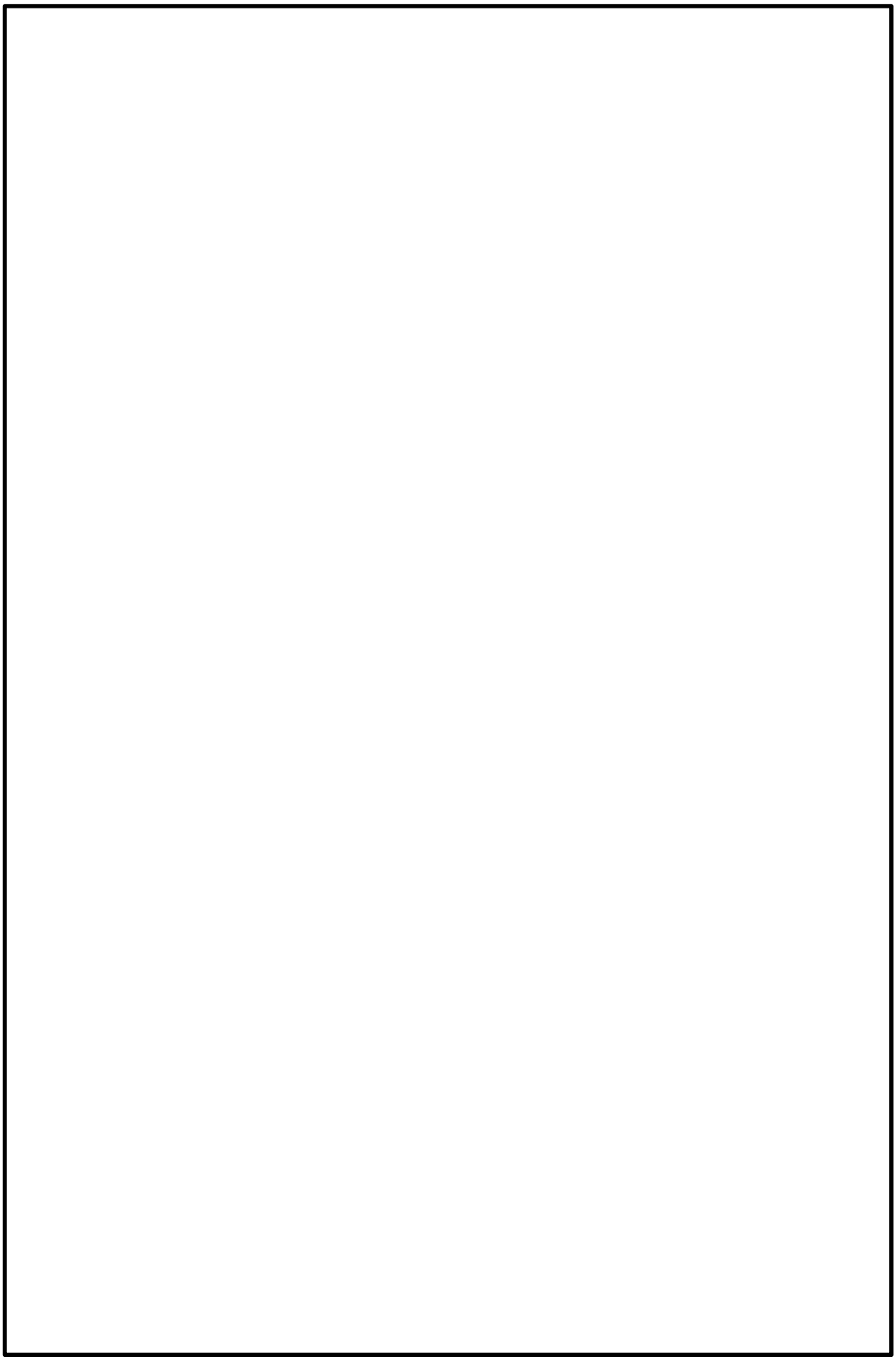


図 3-1　解析モデル

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				

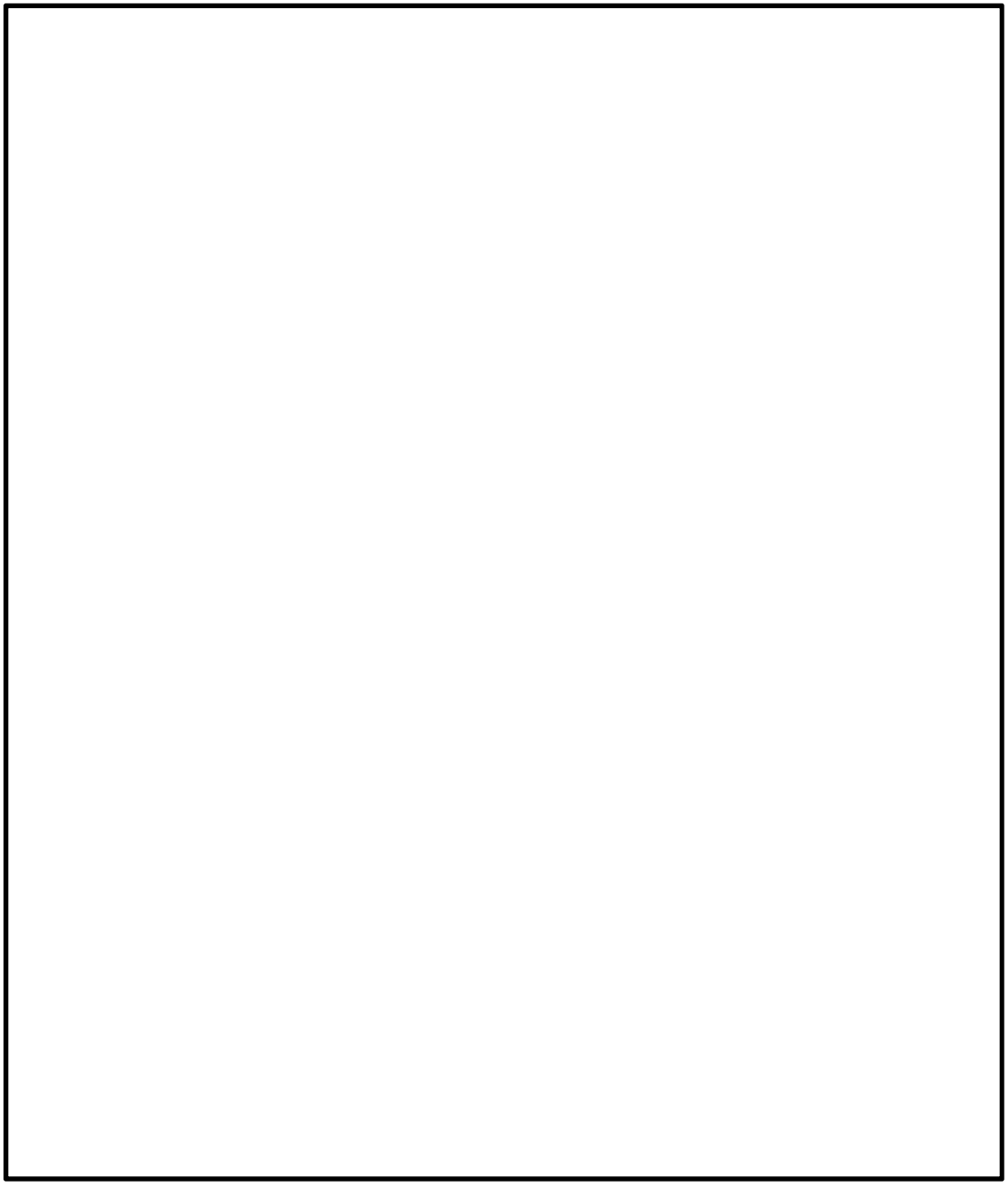


図 3-2　振動モード

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：

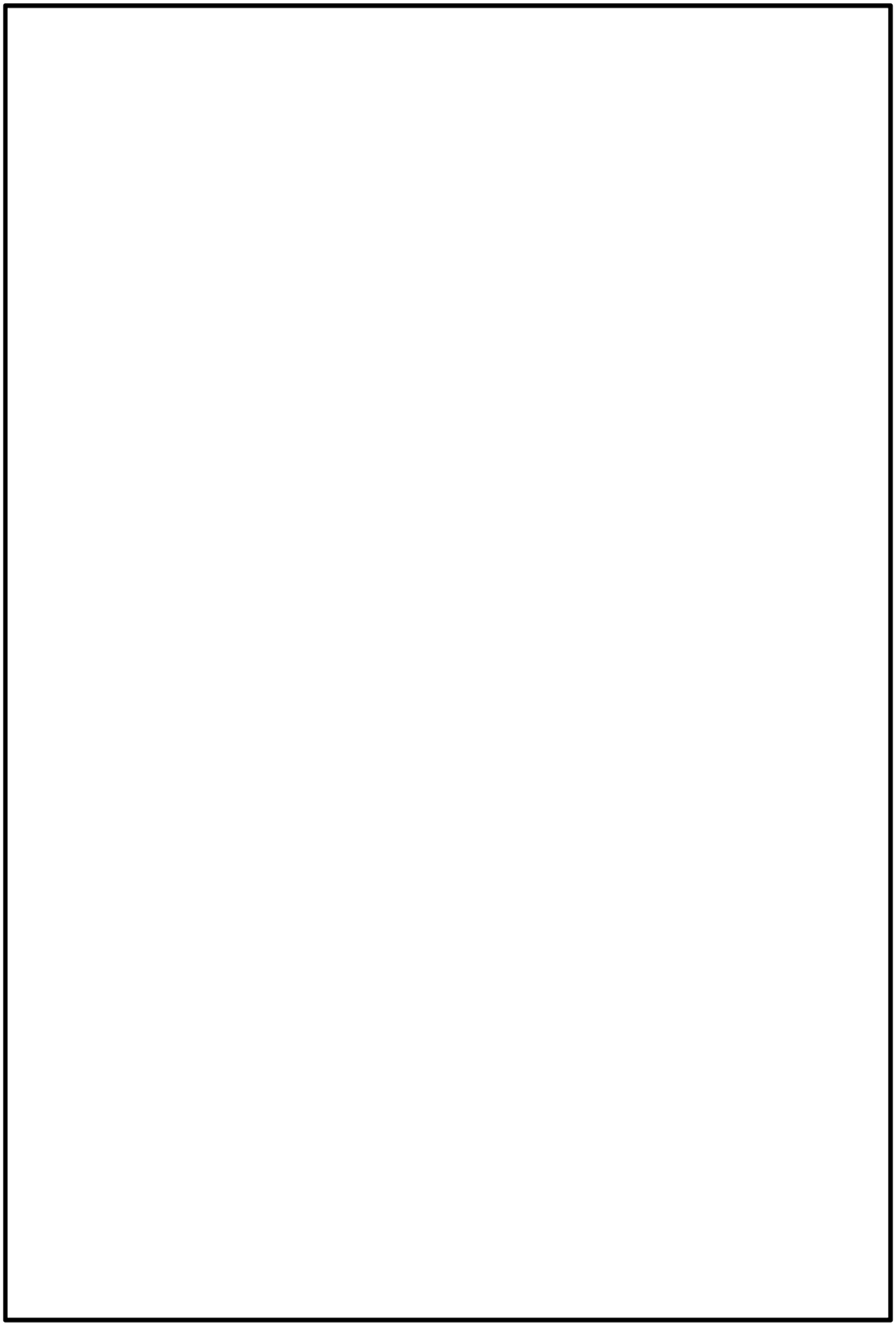


図 3-3(1)　動的応答加速度分布図
（弾性設計用地震動Ｓ$_d$）

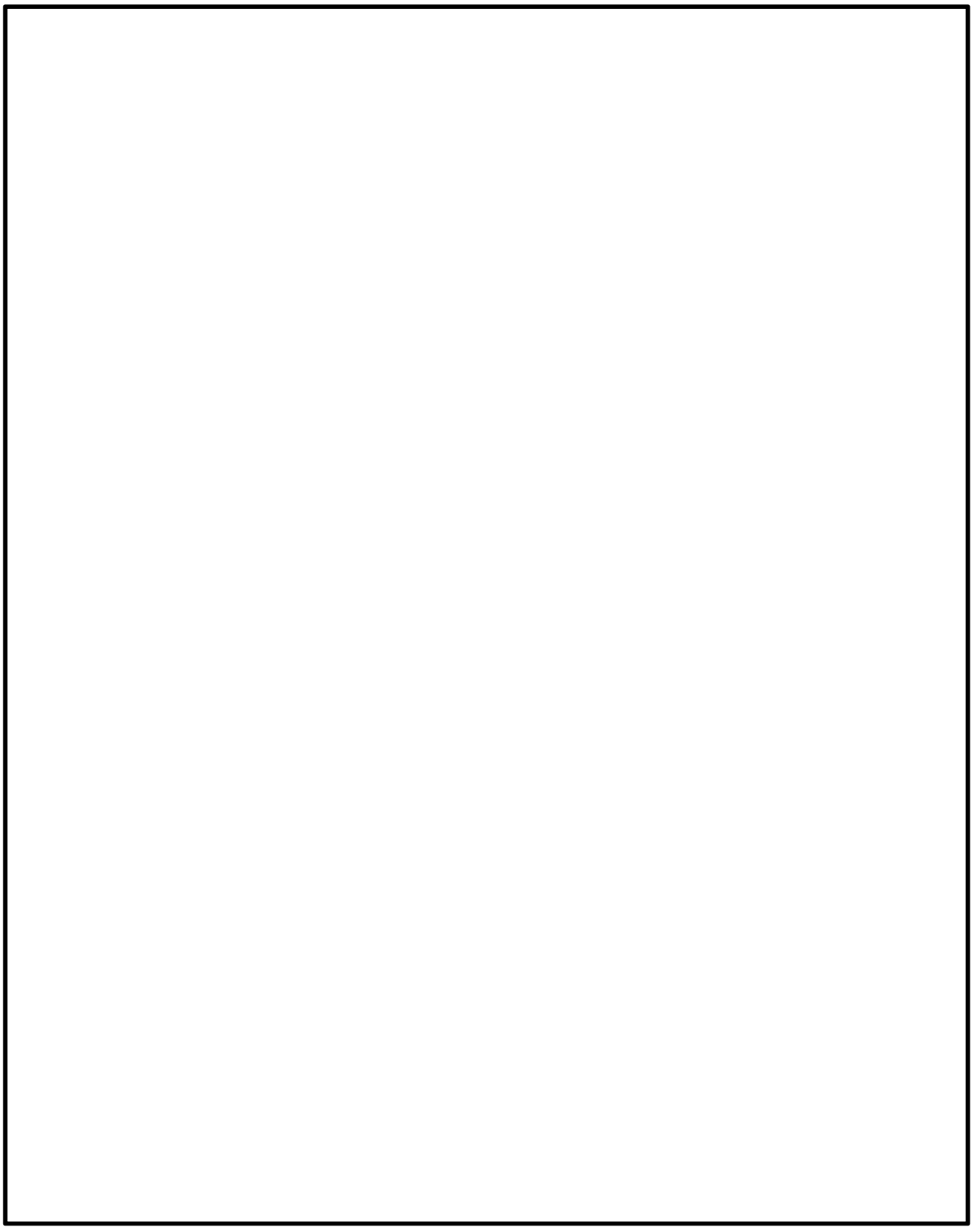


図 3-3(2)　動的応答加速度分布図
（基準地震動Ｓ$_s$）

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

$$\sigma_\ell=\pm\frac{M_E}{I}\cdot\frac{D_o}{2}$$

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
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

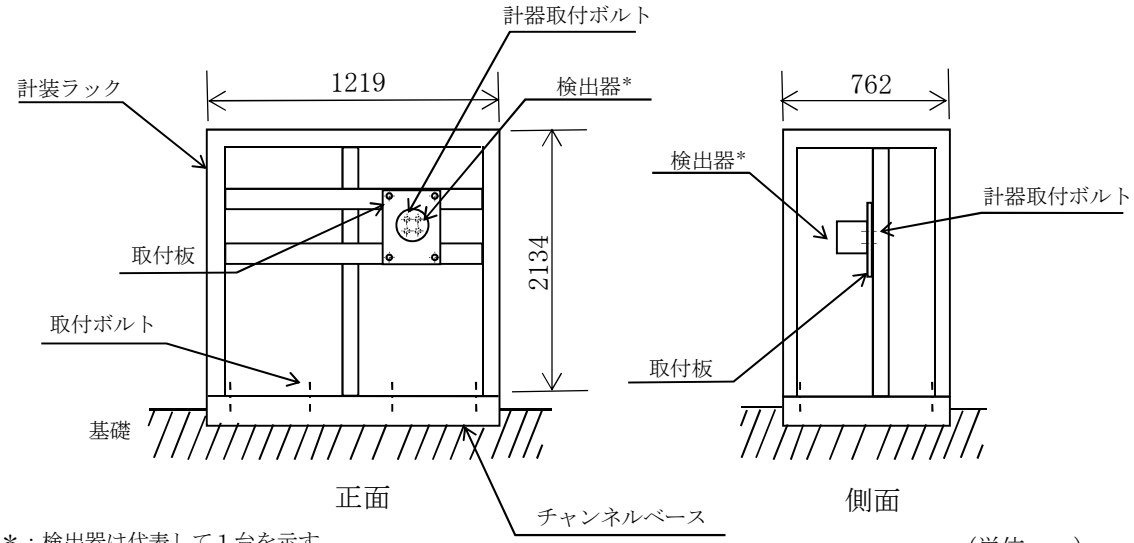
2. 一般事項

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秒以下であり剛であることを確認した。

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	—*	$D+P_D+M_D+S_d$*	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

注記　＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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・f_t	1.5・f_s
$Ⅳ_AS$	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	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)	[redacted]	引張り	σ_{b2}＝9	f_{ts2}＝176*	σ_{b2}＝18	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。

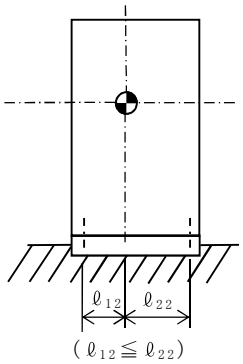
注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

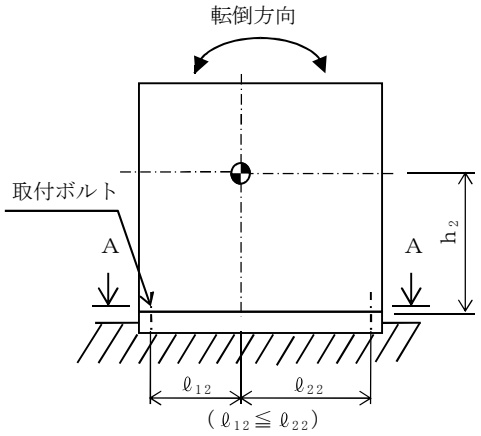
（×9.8 m/s²）

		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	[redacted]
	鉛直方向	0.83	

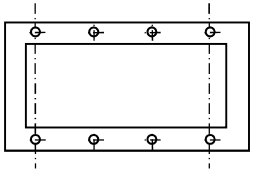
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



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。

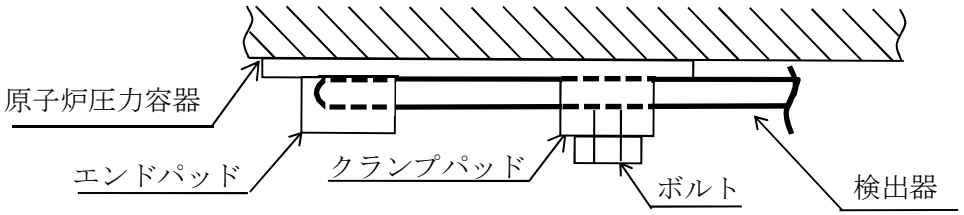
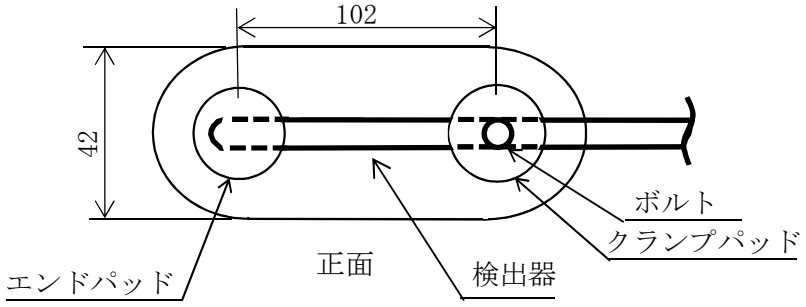
原子炉圧力容器温度は，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。

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。

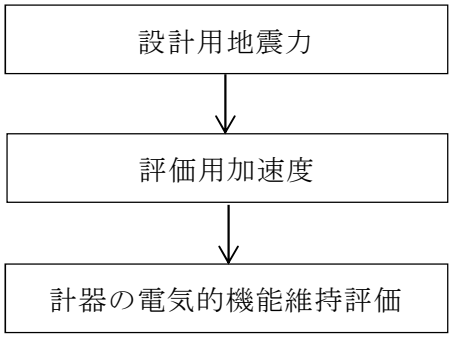


図 2-1　原子炉圧力容器温度の耐震評価フロー

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)	[redacted] 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)	[redacted] 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)	[redacted] 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)	[redacted] 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 (TE-B22-N030C)	水平方向	1.56	
	鉛直方向	1.16	
原子炉圧力容器温度 (TE-B22-N030G)	水平方向	1.35	
	鉛直方向	1.15	
原子炉圧力容器温度 (TE-B22-N030H)	水平方向	1.34	
	鉛直方向	1.10	
原子炉圧力容器温度 (TE-B22-N030S)	水平方向	1.35	
	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
3.2　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，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。

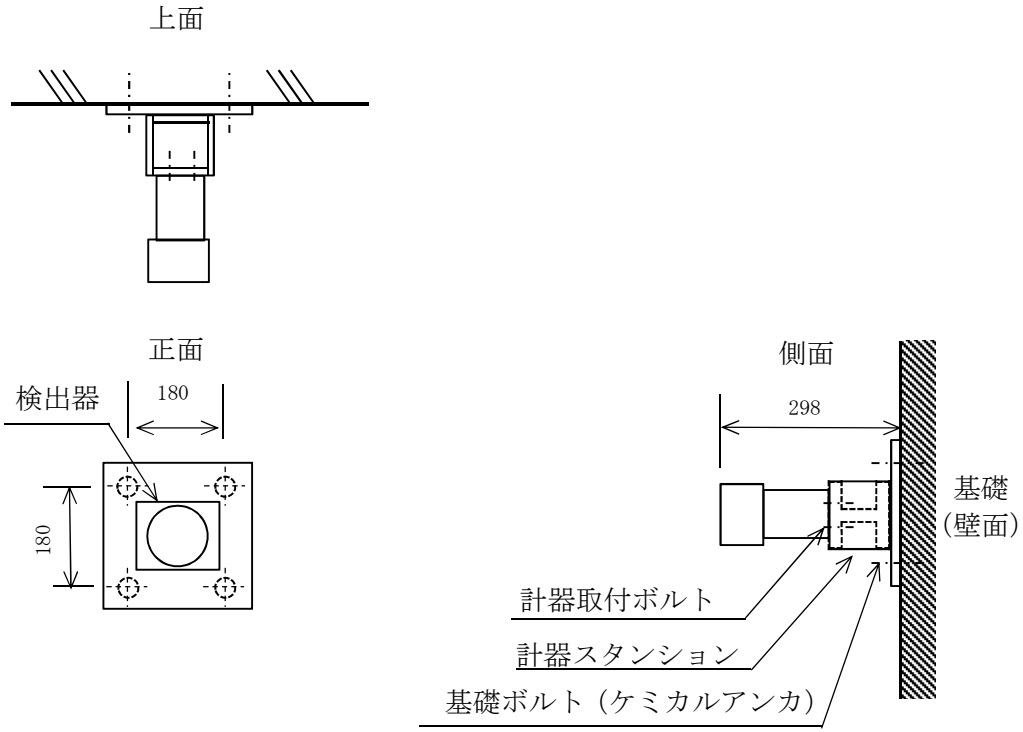
2. 一般事項

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

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。

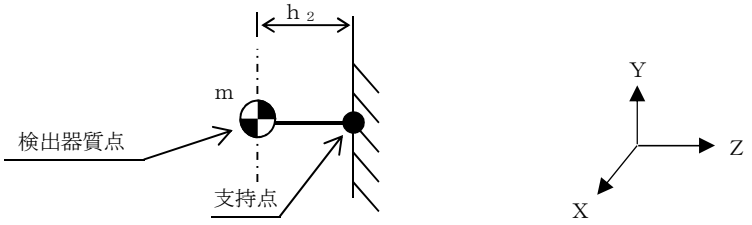
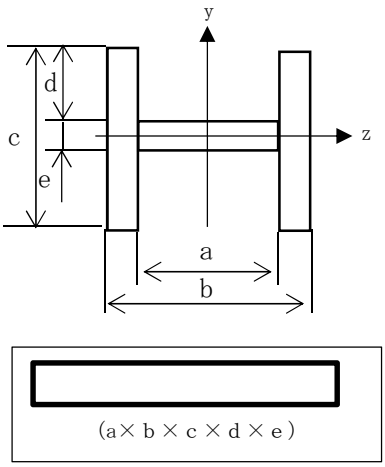


図 3-1　固有周期の計算モデル

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	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

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／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]	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	
	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	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	－	－	σ_b=4	f_{ts}=162*
		せん断	－	－	τ_b=1	f_{sb}=124

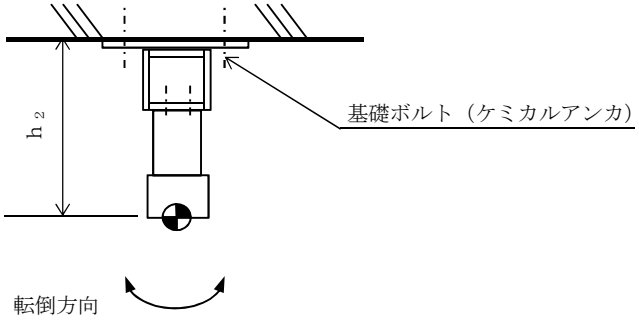
すべて許容応力以下である。

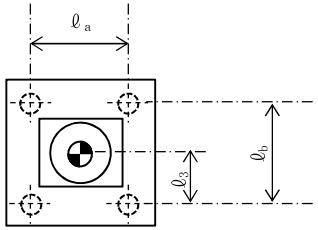
注記＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b, f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

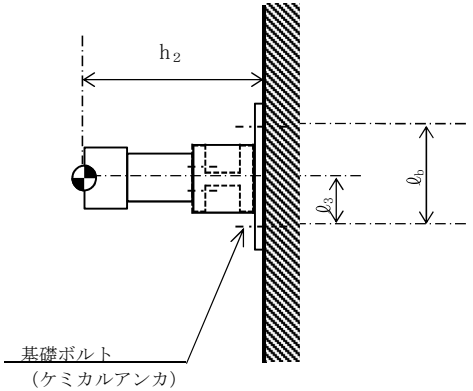
		評価用加速度	機能確認済加速度
高圧代替注水系系統流量	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

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。

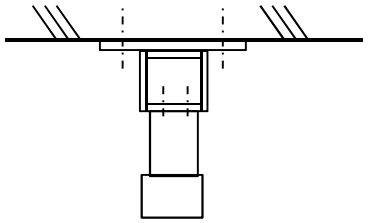
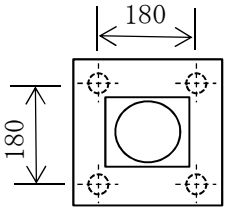
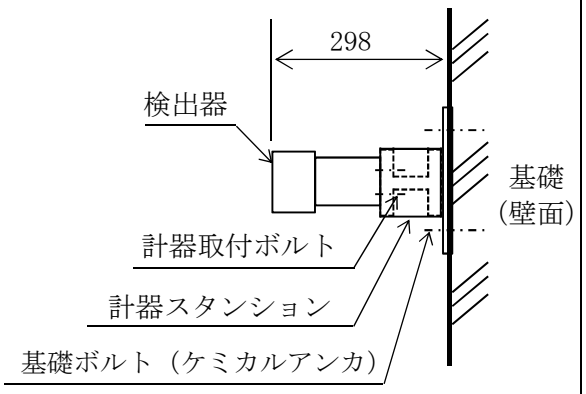
1.2 一般事項

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  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。

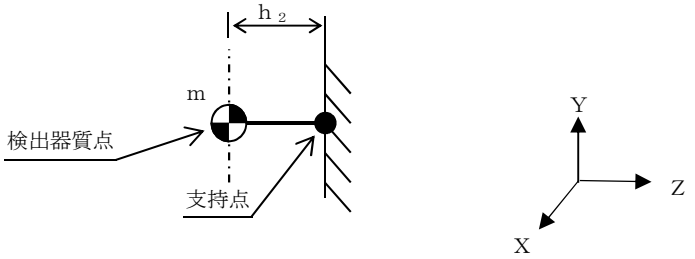
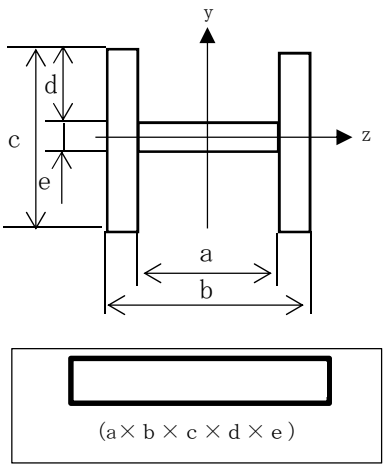


図 1-1 固有周期の計算モデル

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）			 （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		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	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=120$

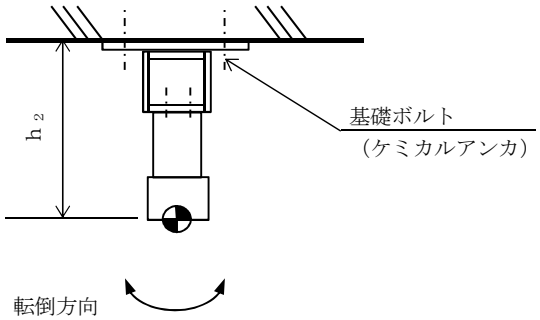
すべて許容応力以下である。

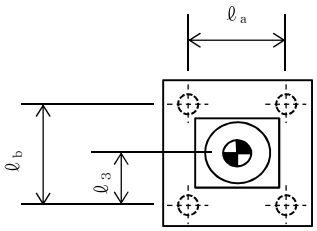
注記 ＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

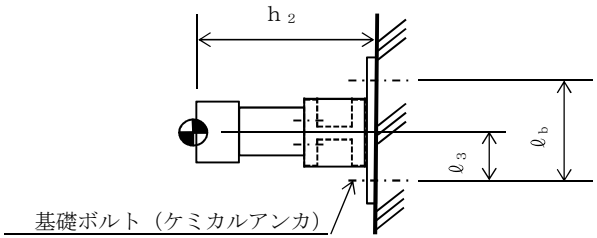
		評価用加速度	機能確認済加速度
低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

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。

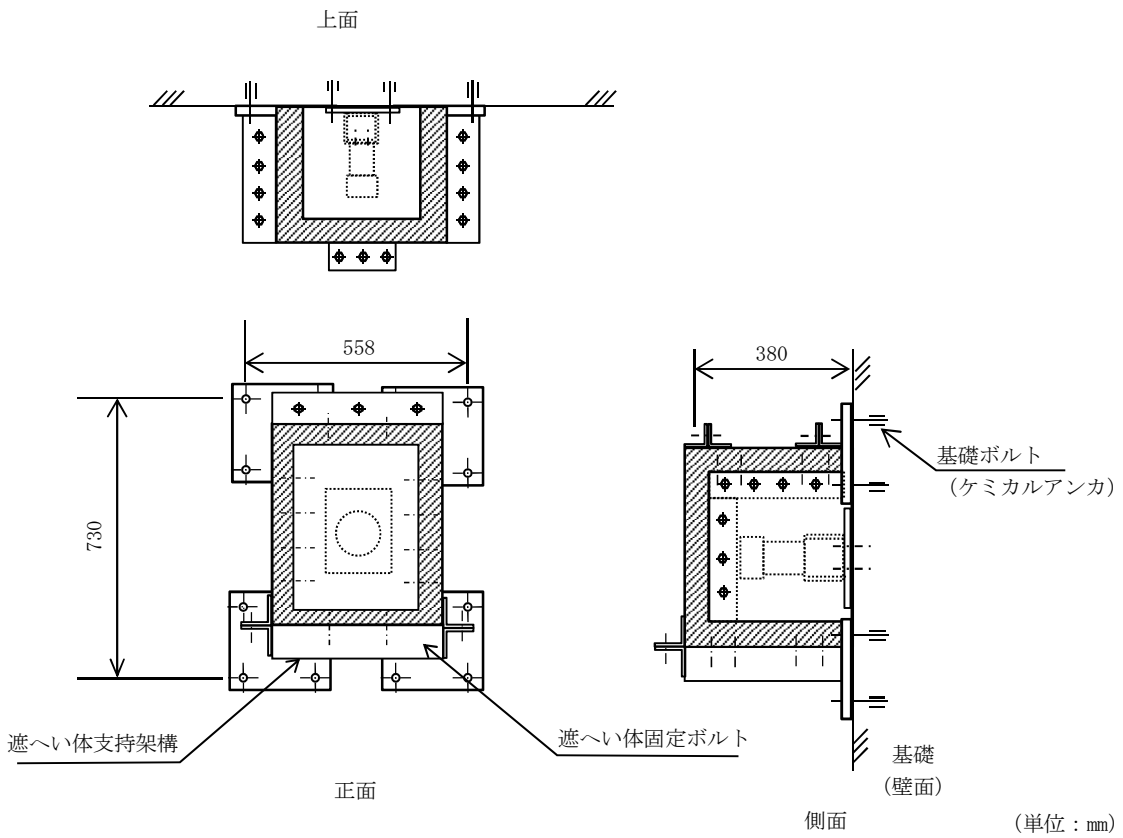
低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

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。

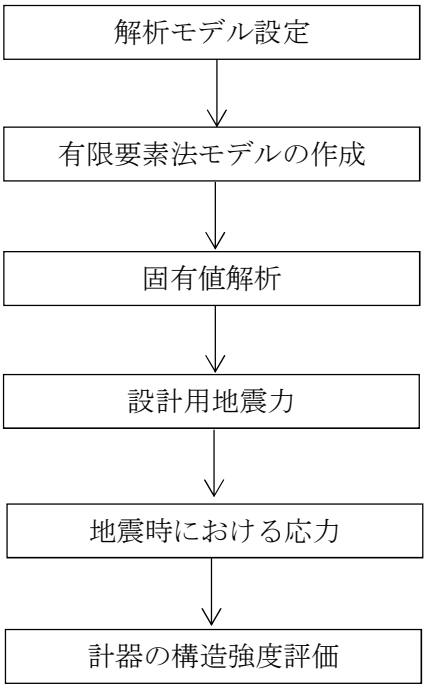


図 2-1　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体の耐震評価フロー

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_{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	－
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　Part 5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part 5　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。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。遮へい体は検出器を覆うように取り付けられ，原子炉建屋壁面に 2 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，④～⑩の部材で組まれたものとみなし，支持点 2 点で固定されるものとする。また，遮へい体支持架構は複数の鋼材で組まれ，原子炉建屋壁面に 2 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，①～③の部材で組まれたものとみなし，支持点2点で固定されるものとする。解析モデルにおいて，遮へい体の質量は8箇所に分散されるものとし，質点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 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。

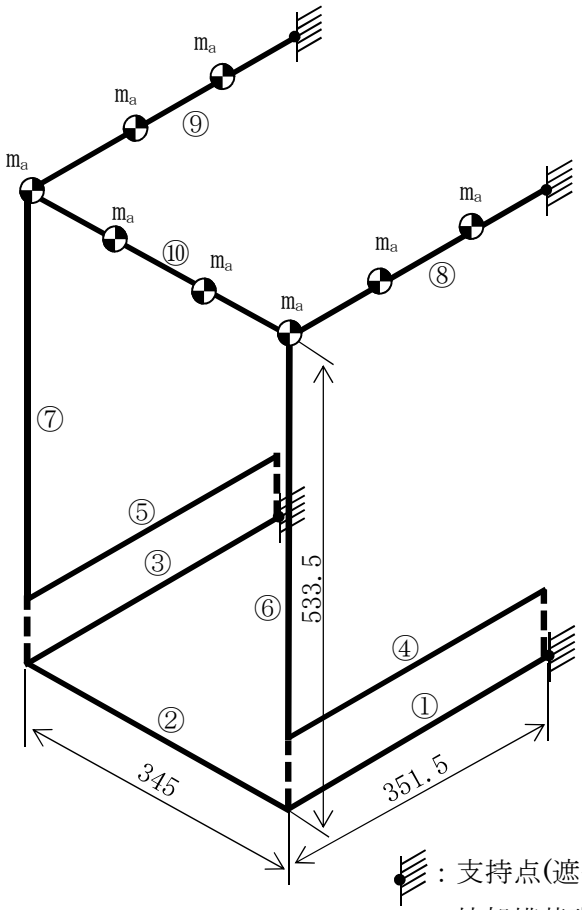


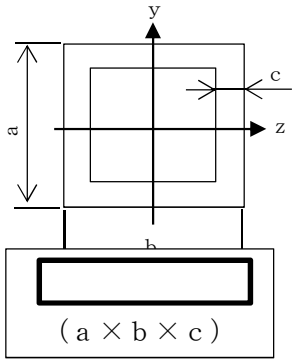
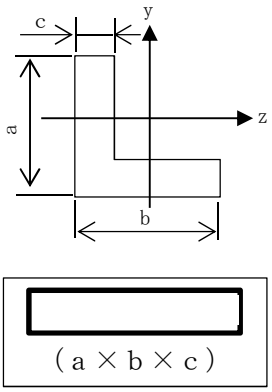
図 2-2　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）
遮へい体　解析モデル

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

2.4.2 項(1)～(6)のほか，次の条件で計算する。

(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。

2.5.2　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	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	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。

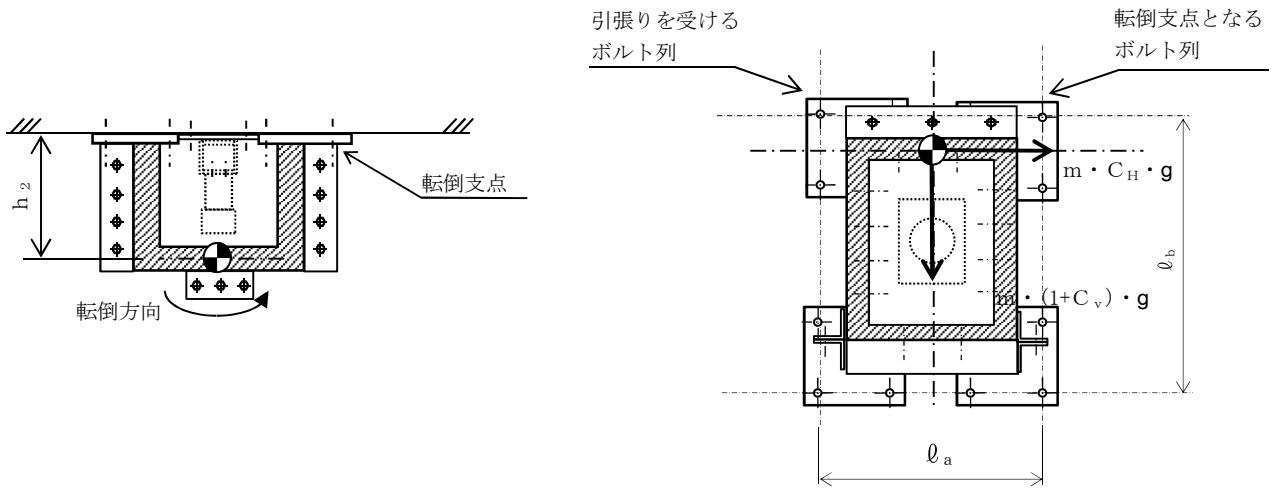


図2-3(1)　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体 計算モデル
（壁掛形　正面方向転倒の場合）

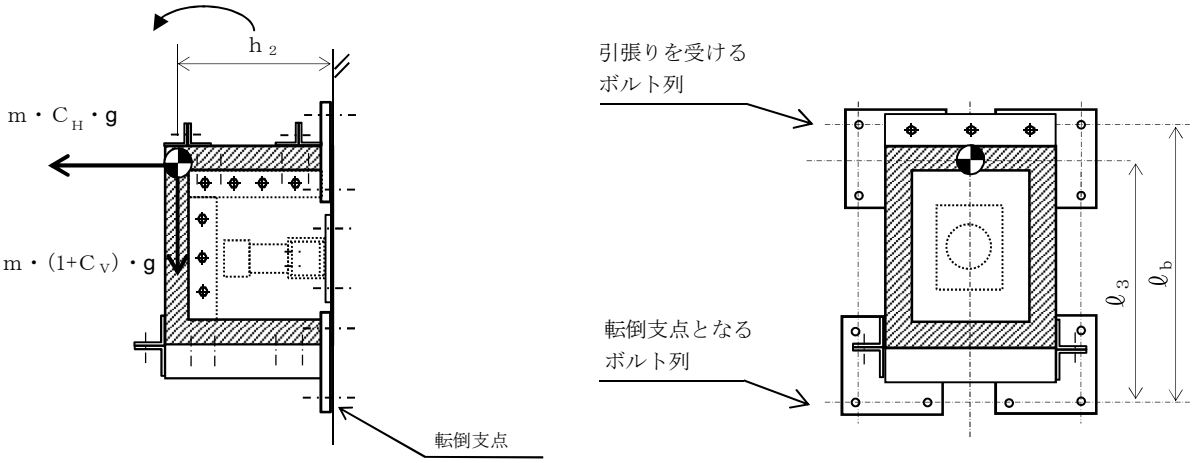


図2-3(2)　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）遮へい体 計算モデル
（壁掛形　側面方向転倒の場合）

(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）

$$Q_{b1}=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.6)$$

$$Q_{b2}=m\cdot g\cdot(1+C_V) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.8)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.9)$$

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。

$$f_{ts} = \mathrm{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \cdots\cdots (2.5.6.1.1)$$

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	－	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

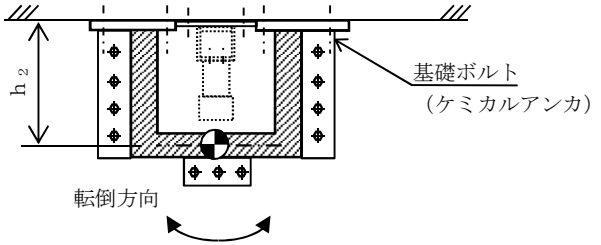
1.4.1 ボルトの応力

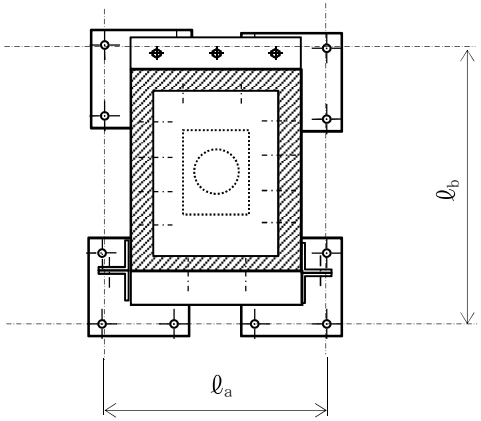
（単位：MPa）

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

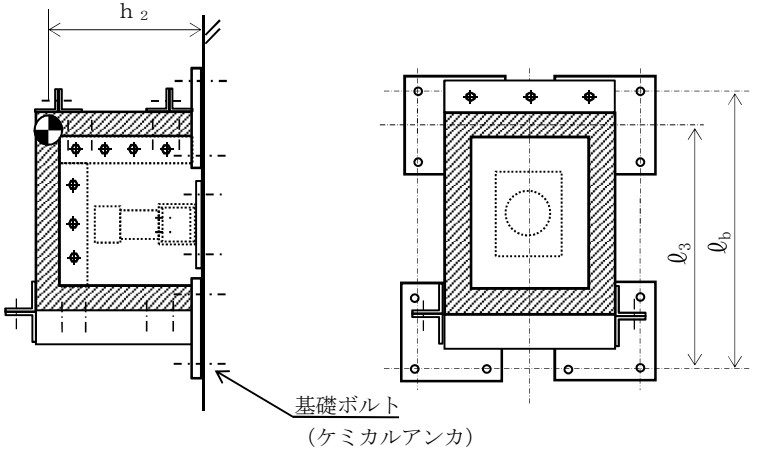
すべて許容応力以下である。

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-2-6-5-7　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。

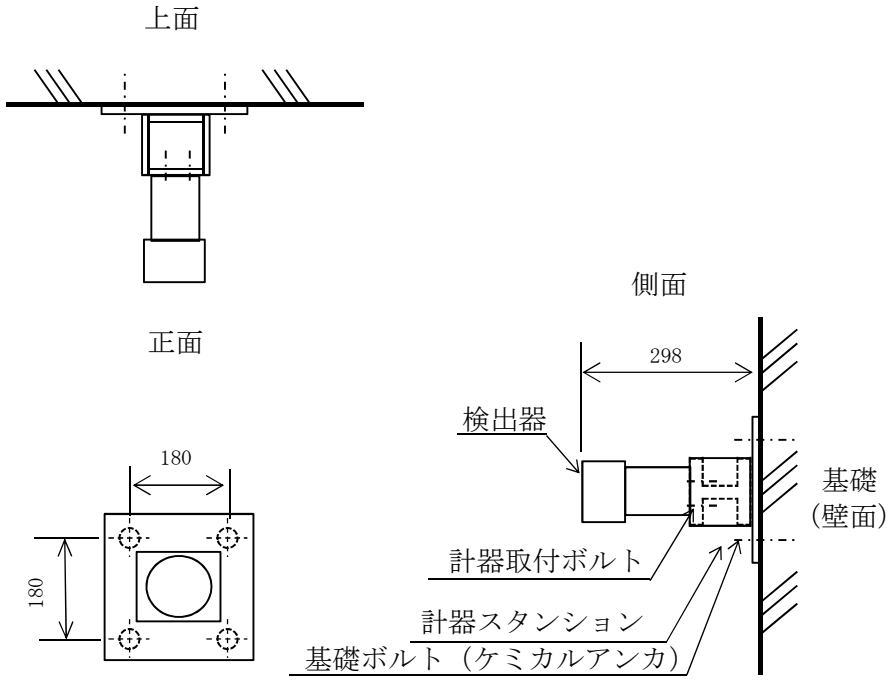
1.2 一般事項

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	 (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。

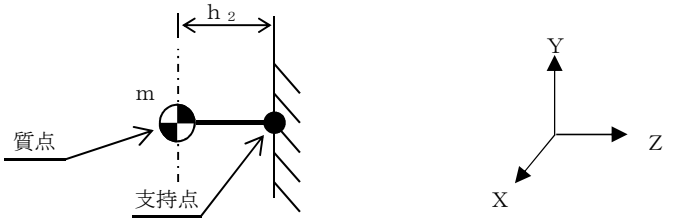
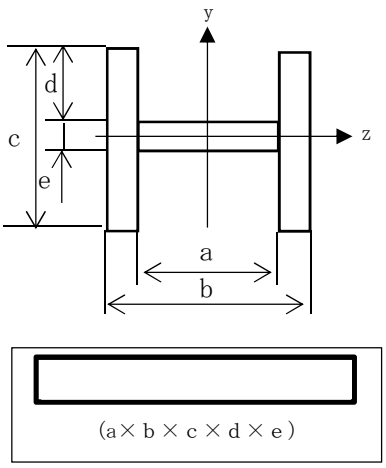


図 1-1　固有周期の計算モデル

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	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								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	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=120$

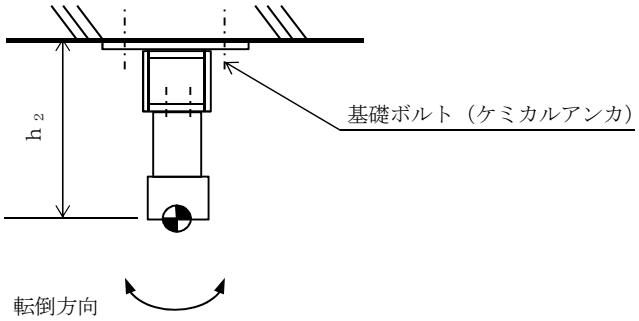
すべて許容応力以下である。

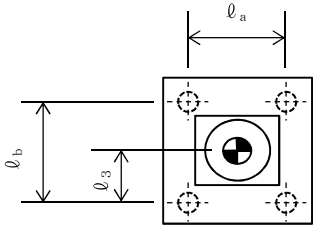
注記 ＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

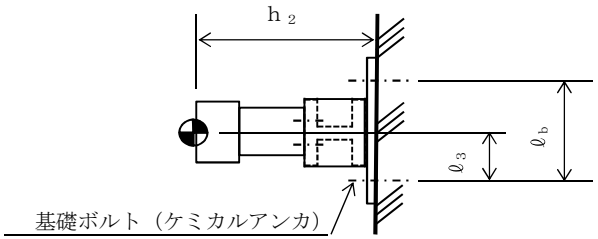
		評価用加速度	機能確認済加速度
低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

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。

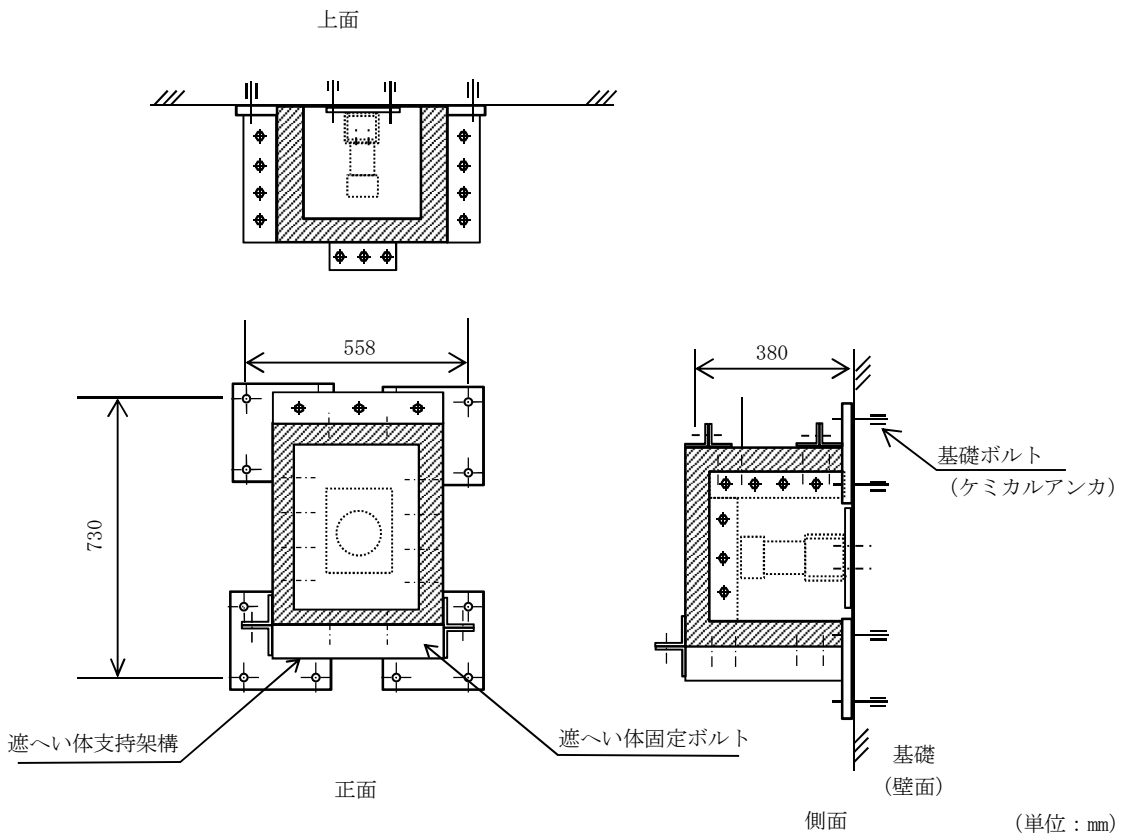
低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

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。

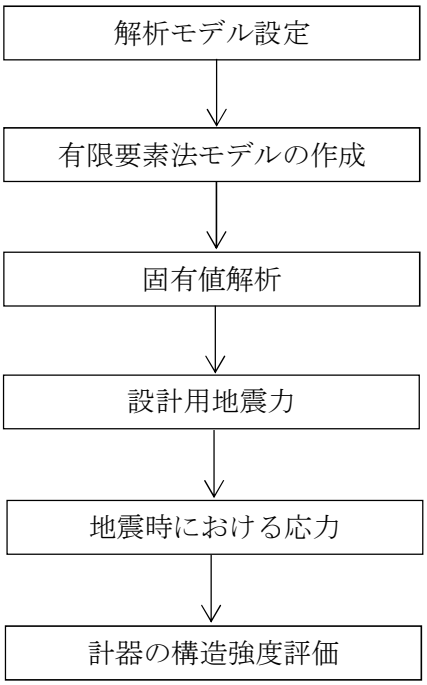


図 2-1　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）
遮へい体の耐震評価フロー

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_{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	－
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　Part 5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part 5　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。遮へい体は検出器を覆うように取り付けられ，原子炉建屋壁面に２箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，④～⑩の部材で組まれたものとみなし，支持点２点で固定されるものとする。また，遮へい体支持架構は複数の鋼材で組まれ，原子炉建屋壁面に２箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，①～③の部材で組まれたものとみなし，支持点２点で固定されるものとする。解析モデルにおいて，遮へい体の質量は８箇所に分散されるものとし，質点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 2-3，部材の機器要目を表 2-4 に示す。

(1)　図 2-2 中〇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。

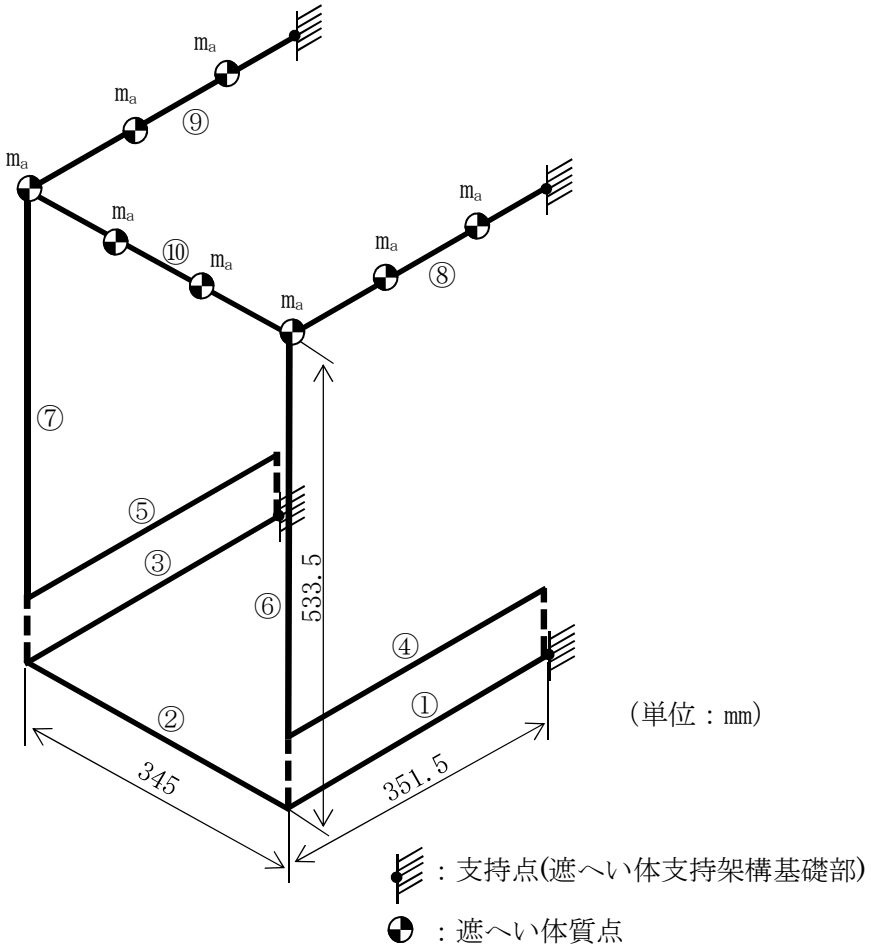


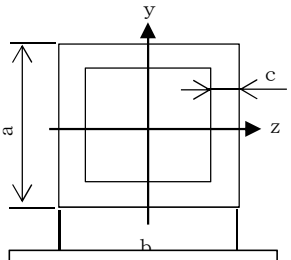
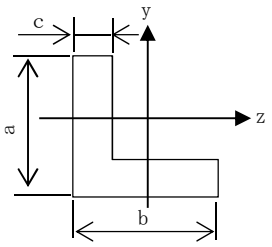
図 2-2　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）
遮へい体　解析モデル

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)	 100×100×6 （a ×b ×c）	 75×75×6 （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

2.4.2 項(1)～(6)のほか，次の条件で計算する。

(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。

2.5.2　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	$\mathrm{IV_AS}$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$\mathrm{V_AS}$ （$\mathrm{V_AS}$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。

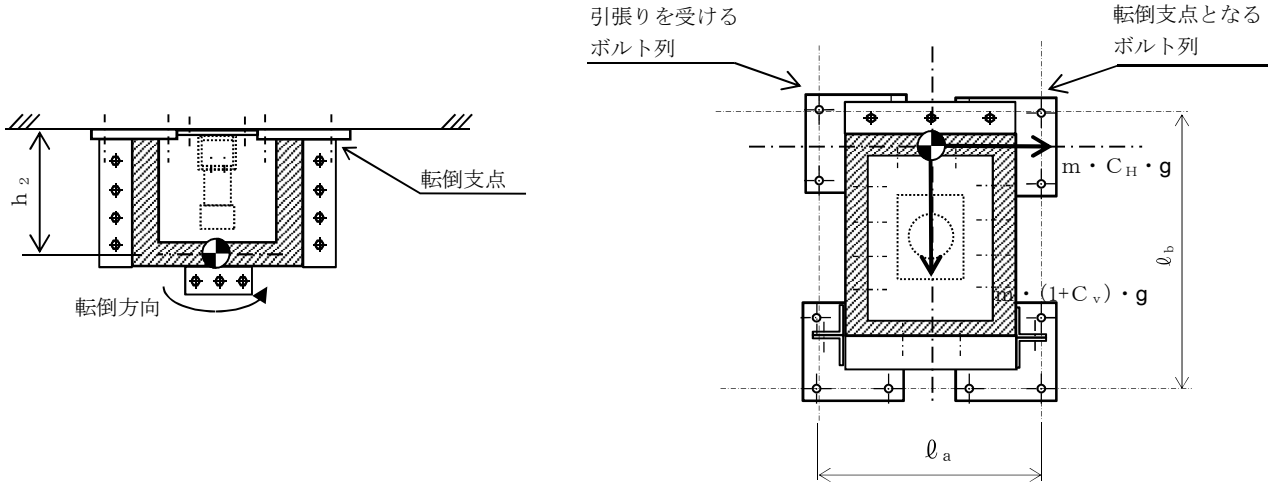


図 2-3(1)　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体
計算モデル(壁掛形　正面方向転倒の場合)

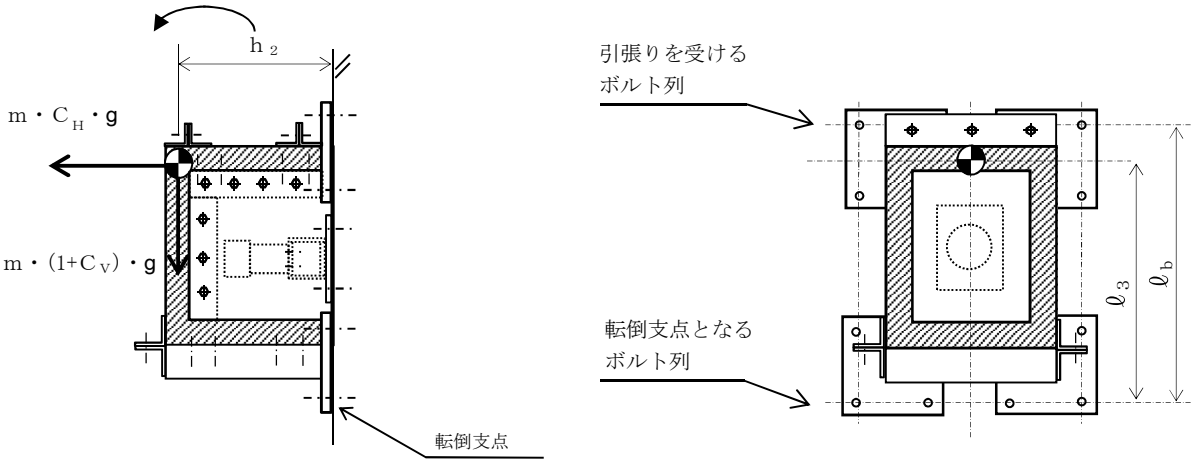


図 2-3(2)　低圧代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）遮へい体
計算モデル(壁掛形　側面方向転倒の場合)

(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）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.4)$$

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）

$$Q_b=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.6)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.7)$$

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【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。

$$f_{ts} = \mathrm{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (2.5.6.1.1)$$

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＝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 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	－	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

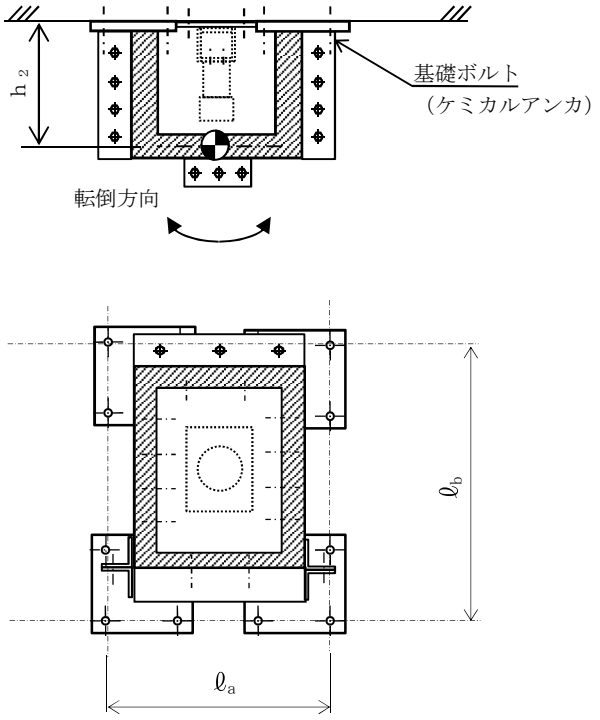
1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

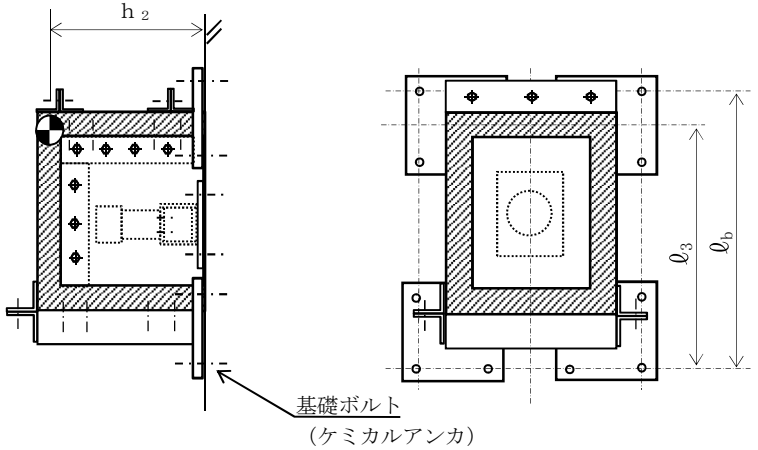
部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=23	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=9	f_{sb}=120

すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-5-8　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
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………………………………………………… 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　評価結果…………………………………………………………………… 32

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。

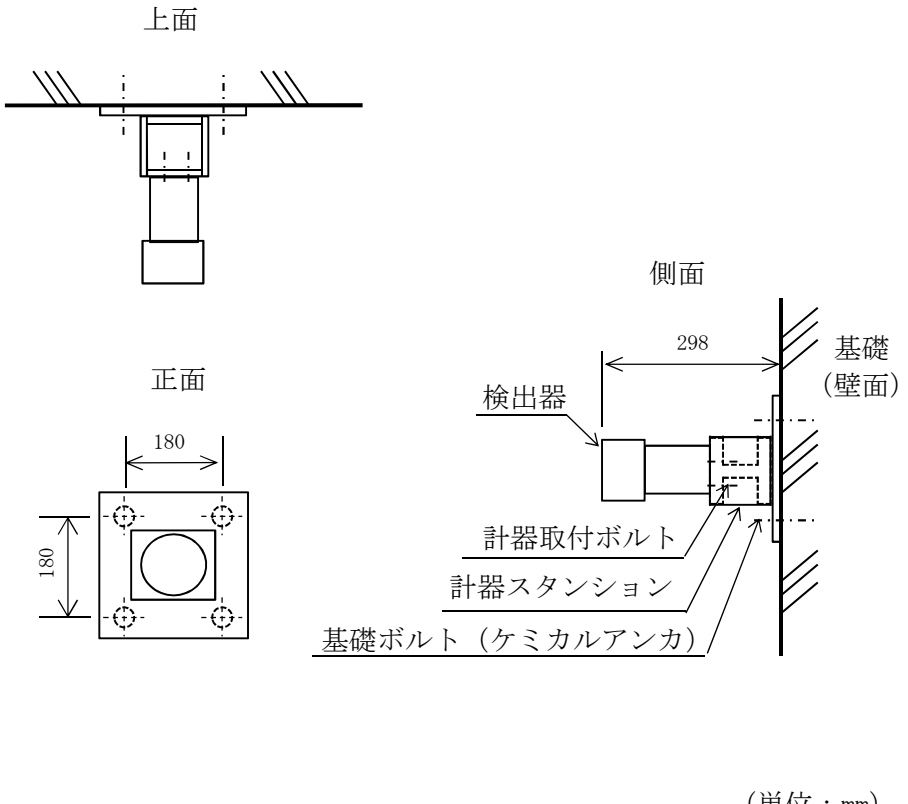
1.2 一般事項

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	 （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。

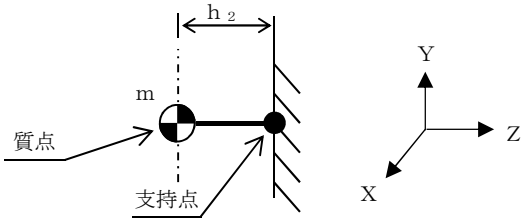
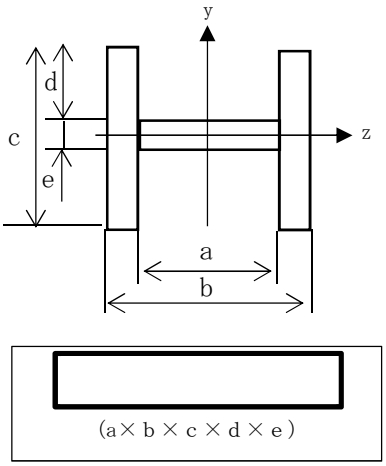


図 1-1　固有周期の計算モデル

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	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]	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（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	221	373	—	273	—	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	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=120$

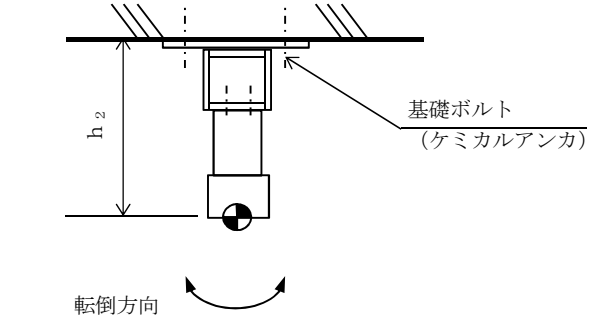
すべて許容応力以下である。

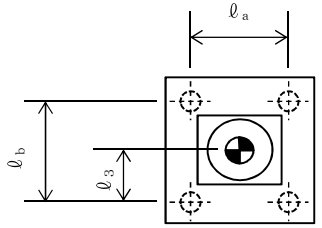
注記 ＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

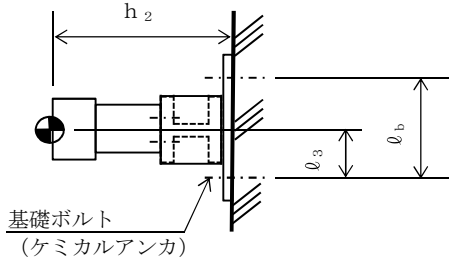
		評価用加速度	機能確認済加速度
低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

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。

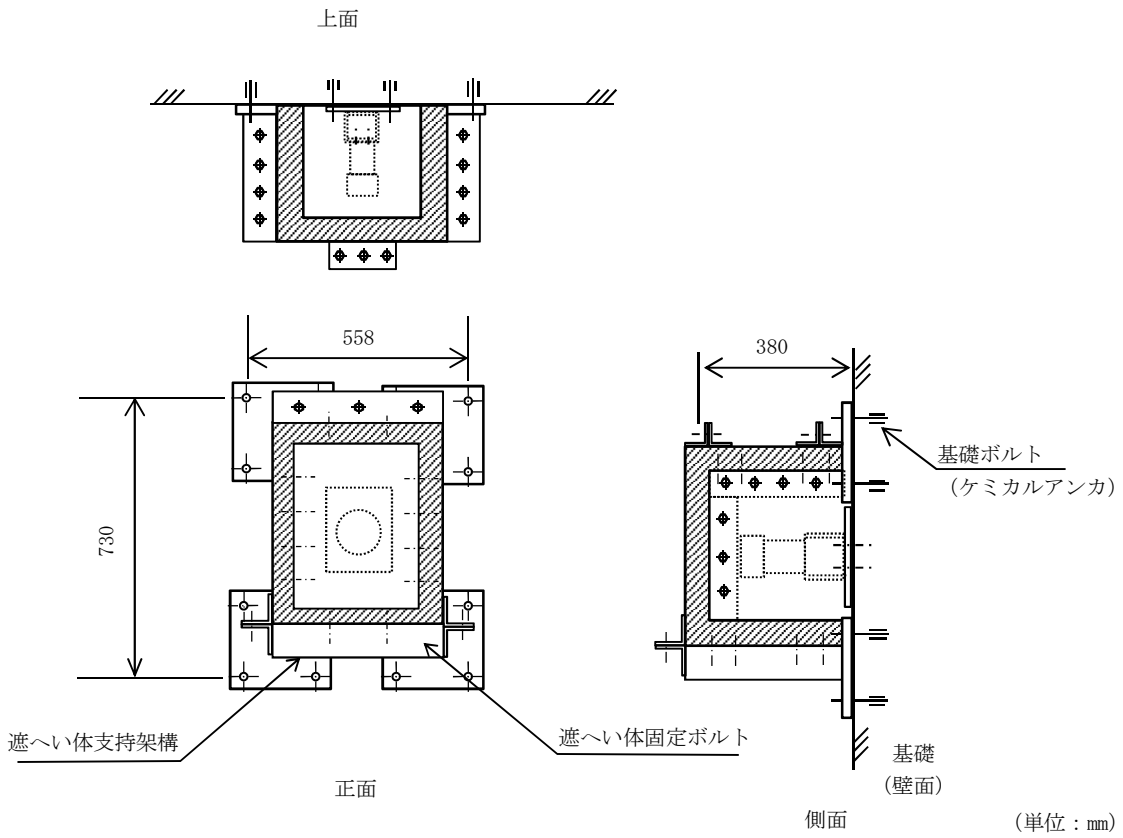
低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

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。

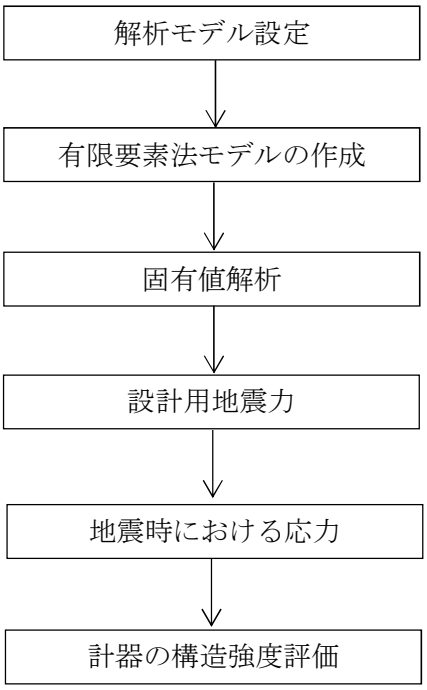


図 2-1　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）
遮へい体の耐震評価フロー

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}	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_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	－
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

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（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。遮へい体は検出器を覆うように取り付けられ，原子炉建屋壁面に 2 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，④～⑩の部材で組まれたものとみなし，支持点 2 点で固定されるものとする。また，遮へい体支持架構は複数の鋼材で組まれ，原子炉建屋壁面に 2 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，①～③の部材で組まれたものとみなし，支持点 2 点で固定されるものとする。解析モデルにおいて，遮へい体の質量は 8 箇所に分散されるものとし，質点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 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。

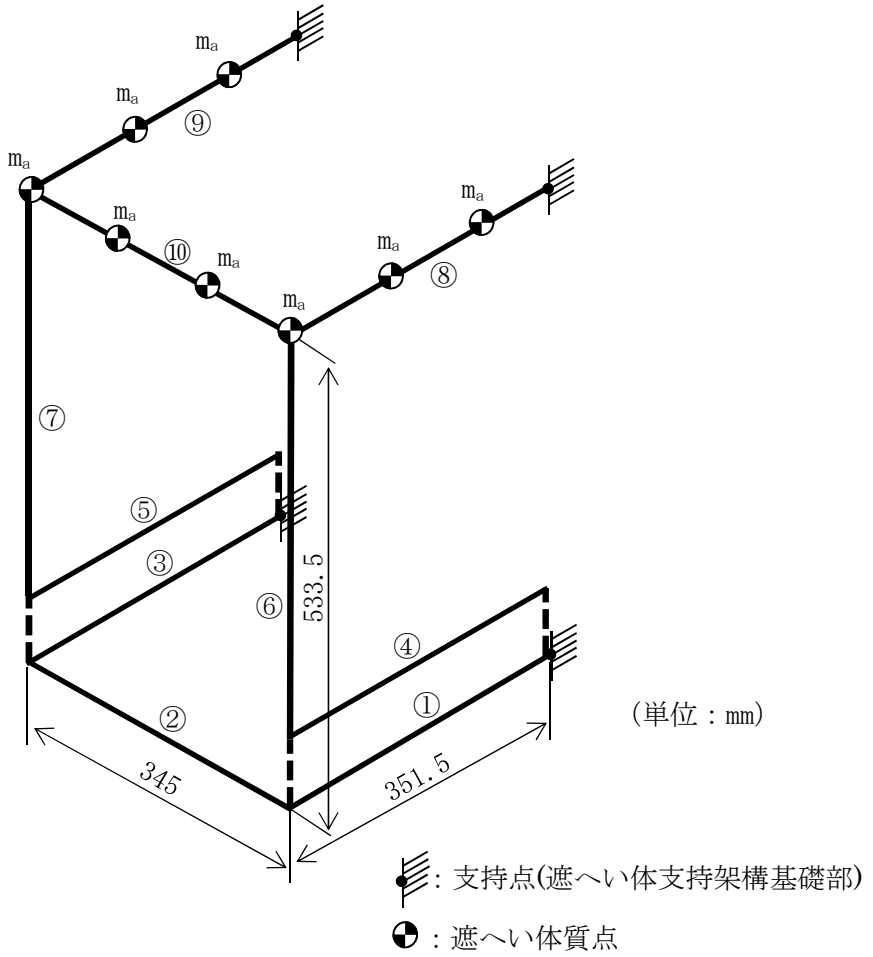


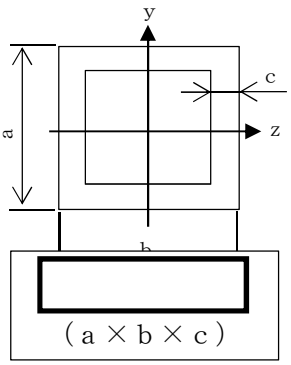
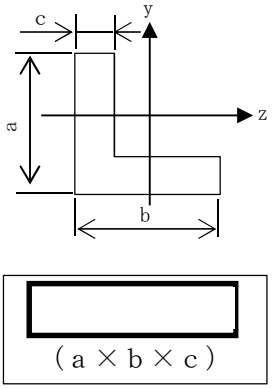
図 2-2　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）
遮へい体　解析モデル

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)		

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

2.4.2 項(1)～(6)のほか，次の条件で計算する。

(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。

2.5.2　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	$\mathrm{IV_AS}$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$\mathrm{V_AS}$（$\mathrm{V_AS}$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。

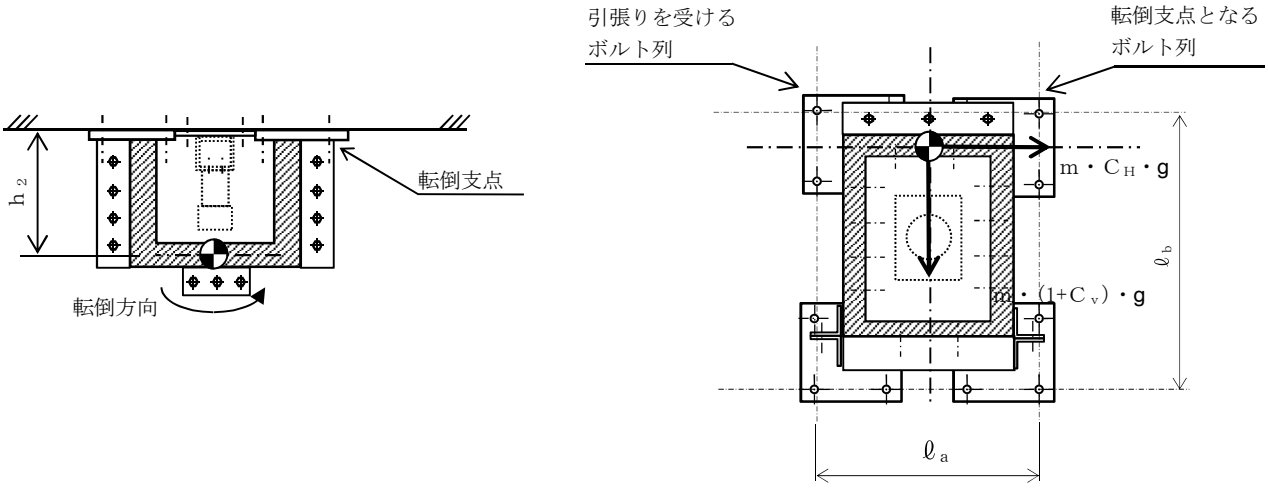


図 2-3(1)　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体
計算モデル(壁掛形　正面方向転倒の場合)

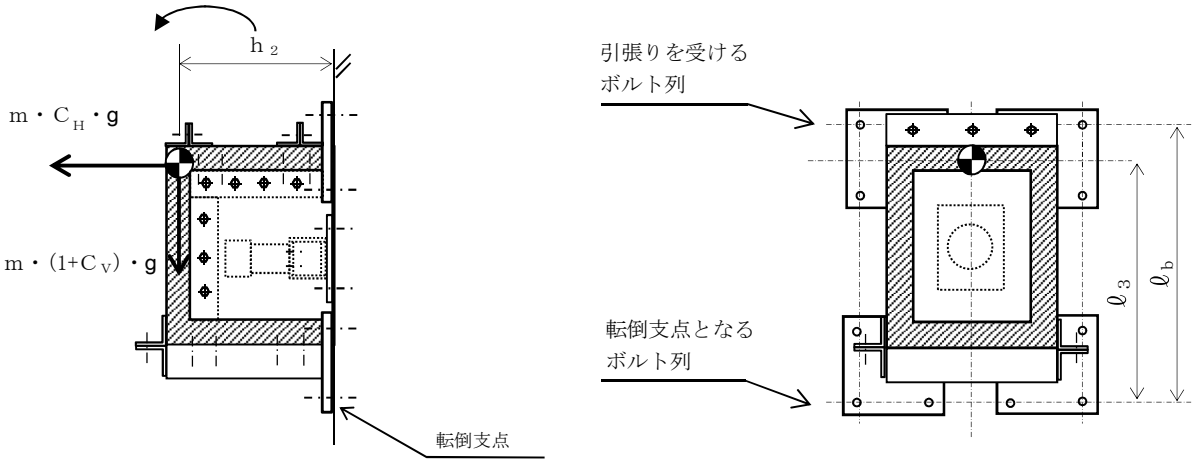


図 2-3(2)　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）遮へい体
計算モデル(壁掛形　側面方向転倒の場合)

(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）

$$Q_b=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.6)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.7)$$

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【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。

	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（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	
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. 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（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	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	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	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

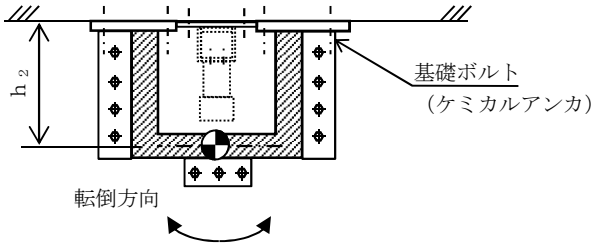
1.4.1 ボルトの応力

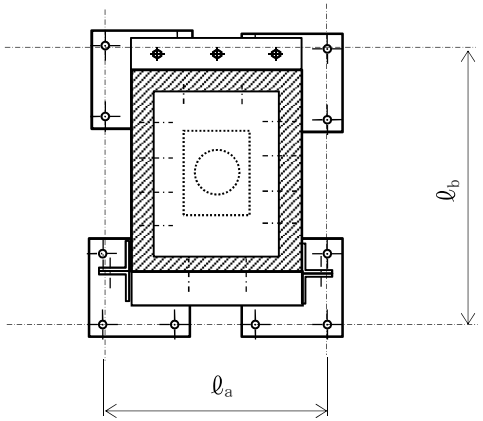
（単位：MPa）

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	－	－	σ_b=23	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=9	f_{sb}=120

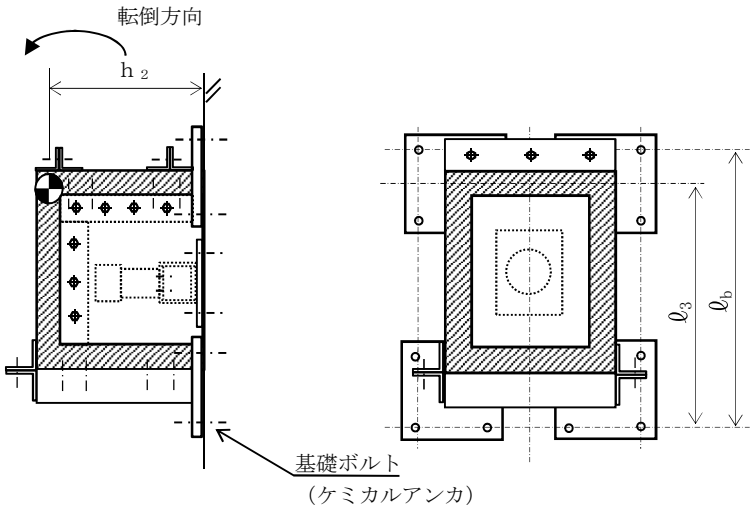
すべて許容応力以下である。

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-2-6-5-9　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
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（可搬ライン狭帯域用）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（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。

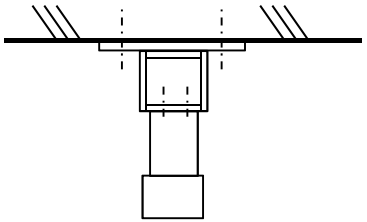
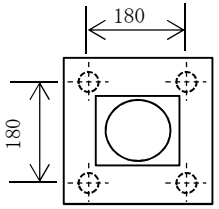
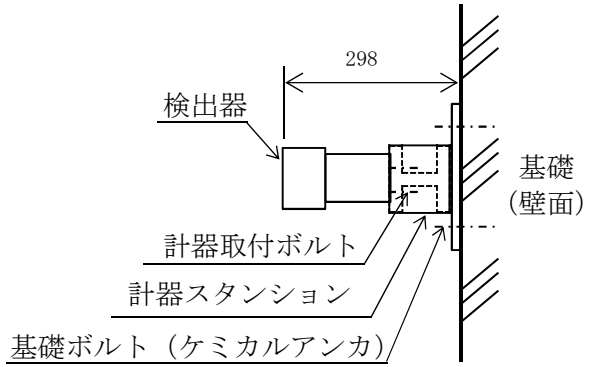
1.2 一般事項

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  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。

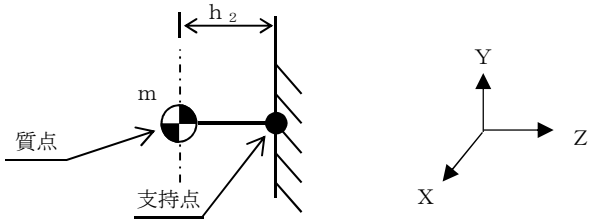
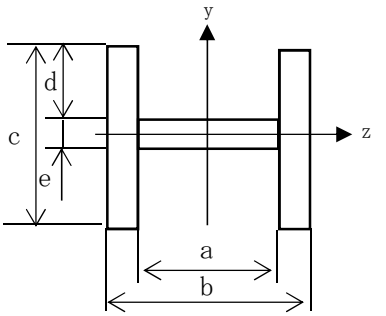


図 1-1　固有周期の計算モデル

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）			 110×122×90×42×6 （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
[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]	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（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	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 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								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	－	435.1	－	379.0

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	－	－	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=156^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=120$

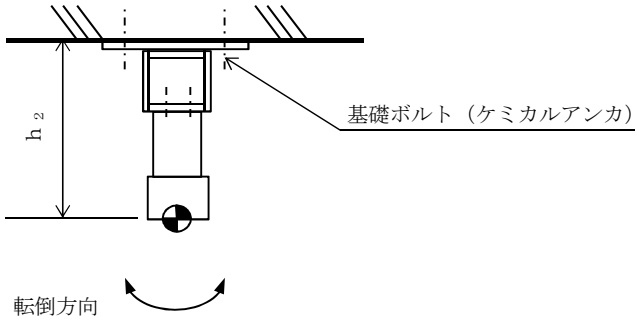
すべて許容応力以下である。

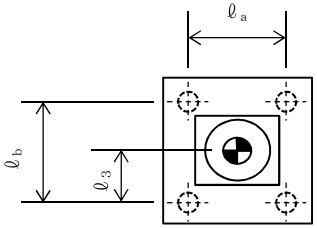
注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ \mathrm{m/s^2}$)

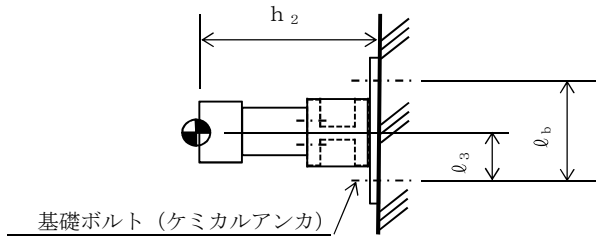
		評価用加速度	機能確認済加速度
低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）	水平方向	1.11	[redacted]
	鉛直方向	0.84	

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。





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（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。

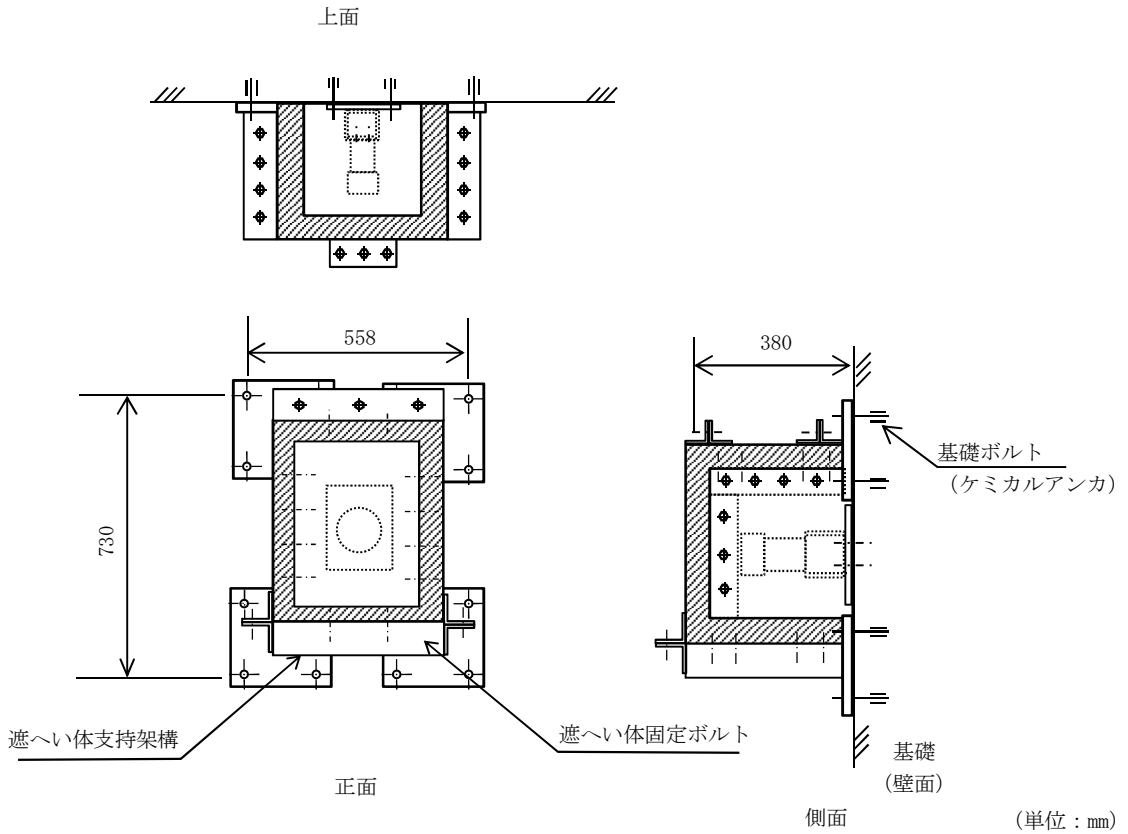
低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

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。

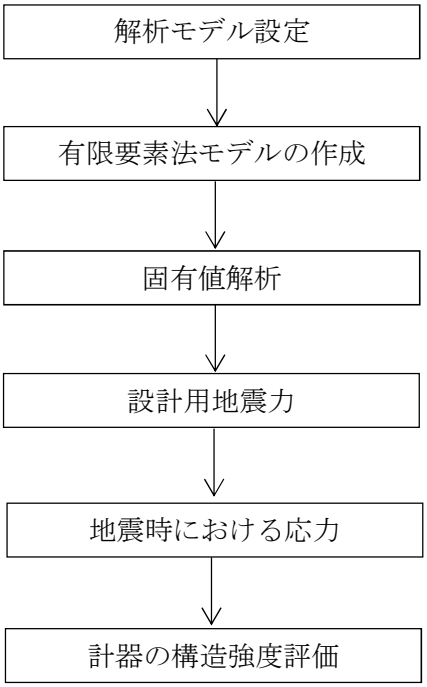


図 2-1　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）
遮へい体の耐震評価フロー

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_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力力（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	－
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　Part 5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part 5　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。遮へい体は検出器を覆うように取り付けられ，原子炉建屋壁面に 2 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，④～⑩の部材で組まれたものとみなし，支持点 2 点で固定されるものとする。また，遮へい体支持架構は複数の鋼材で組まれ，原子炉建屋壁面に 2 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，①～③の部材で組まれたものとみなし，支持点 2 点で固定されるものとする。解析モデルにおいて，遮へい体の質量は 8 箇所に分散されるものとし，質点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 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。

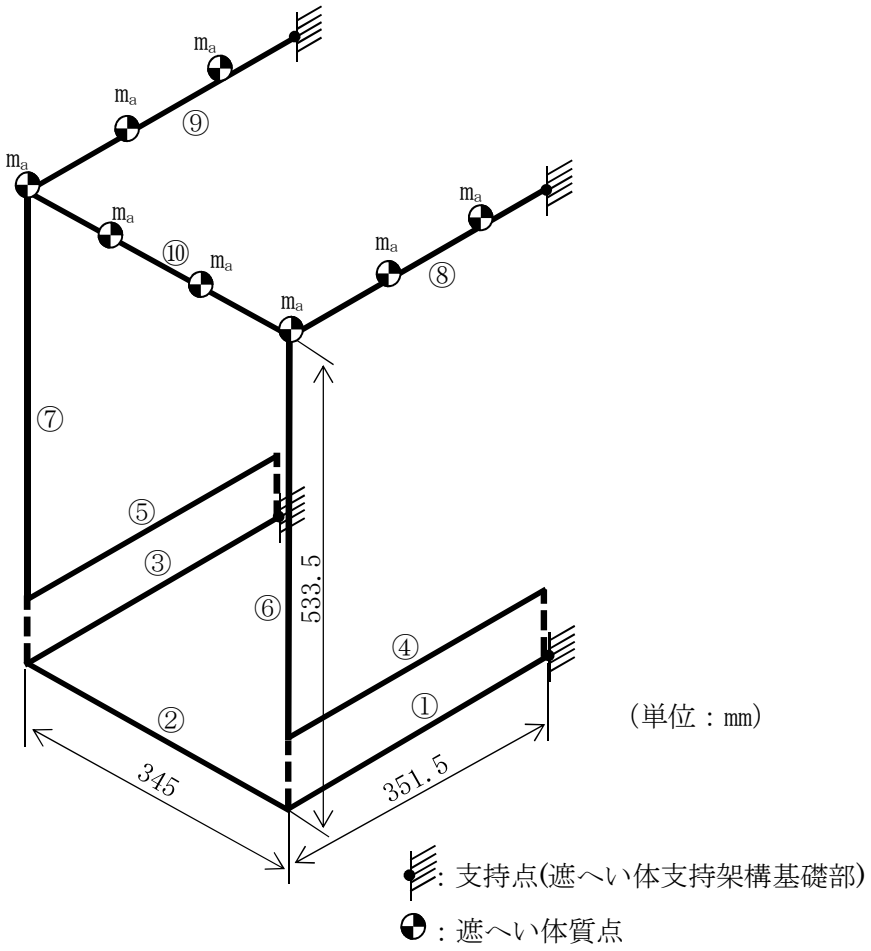


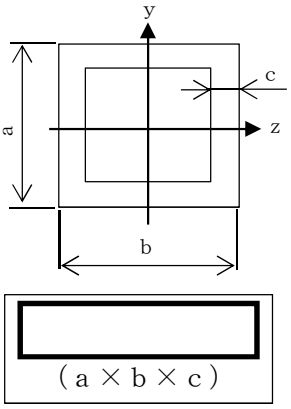
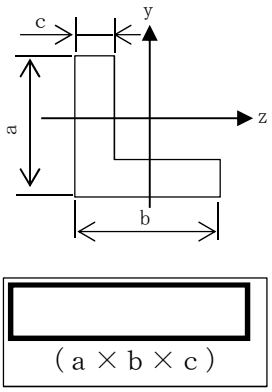
図 2-2　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）
遮へい体　解析モデル

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

2.4.2 項(1)～(6)のほか，次の条件で計算する。

(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。

2.5.2　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	$\mathrm{IV_AS}$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$\mathrm{V_AS}$ （$\mathrm{V_AS}$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. 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。

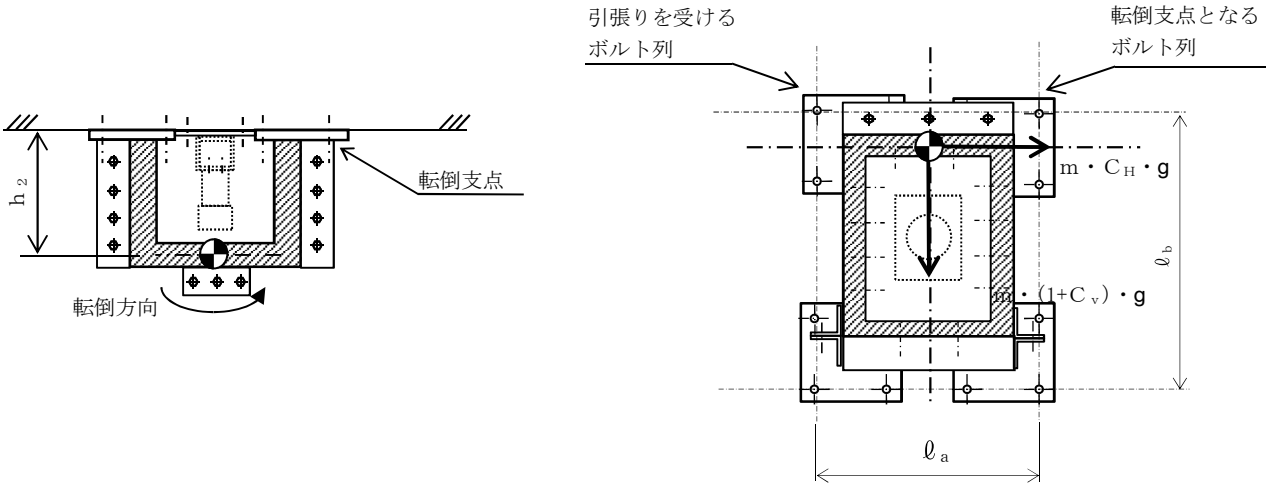


図2-3(1)　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体
計算モデル(壁掛形　正面方向転倒の場合)

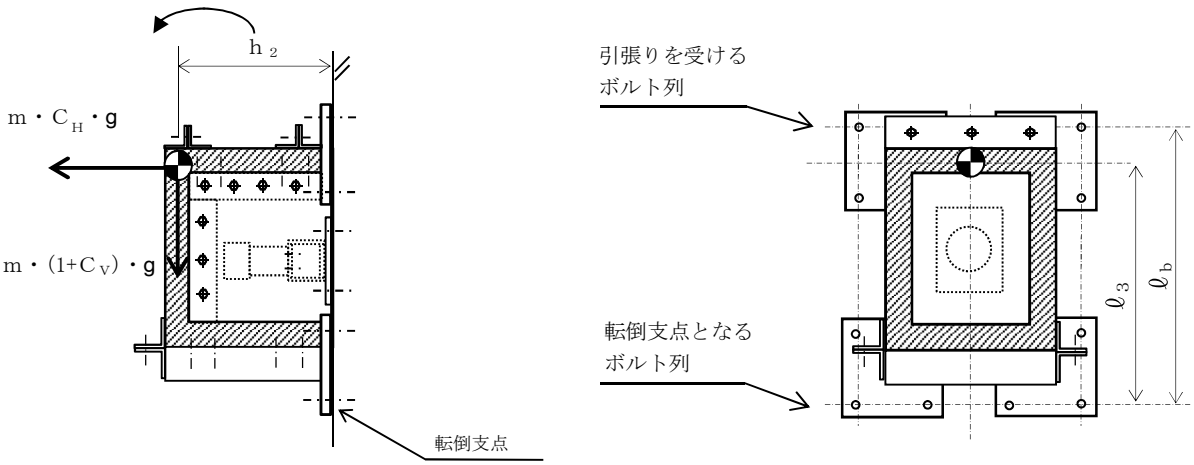


図2-3(2)　低圧代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）遮へい体 計算モデル
(壁掛形　側面方向転倒の場合)

(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）

$$Q_b=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.6)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.7)$$

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【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。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (2.5.6.1.1)$$

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（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	
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	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	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

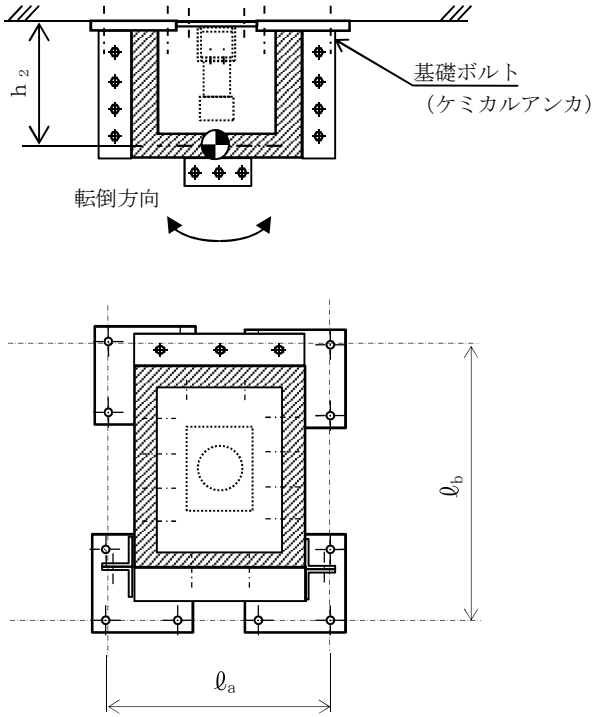
1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

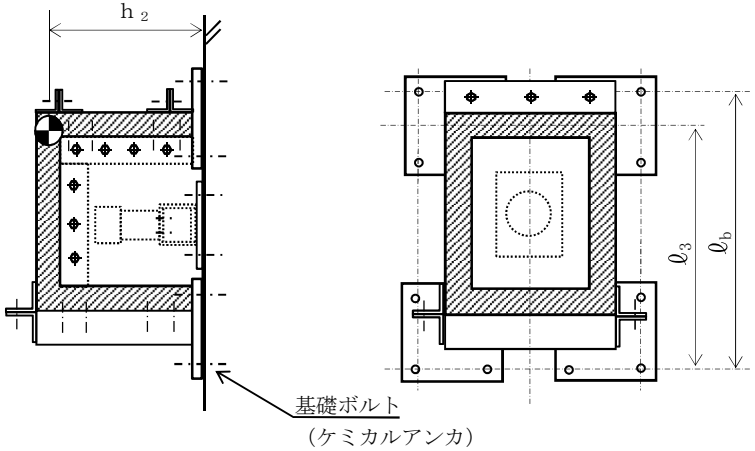
部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_S	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=23	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=9	f_{sb}=120

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-2-6-5-10　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 22
2.3 評価部位 23
2.4 固有周期 23
2.4.1 固有値解析方法 23
2.4.2 解析モデル及び諸元 24
2.4.3 固有値解析結果 26
2.5 構造強度評価 27
2.5.1 構造強度評価方法 27
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力 27
2.5.3 設計用地震力 30
2.5.4 計算方法 31
2.5.5 計算条件 33

2.5.6　応力の評価 33
2.6　評価結果 34
2.6.1　評価結果 34

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。

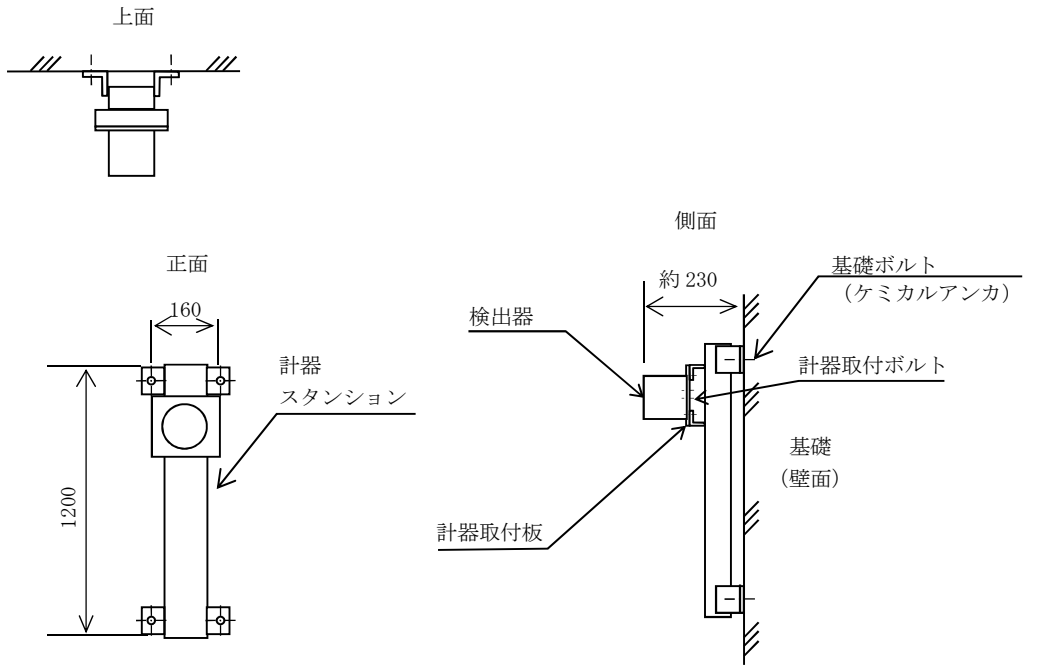
1.2 一般事項

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。

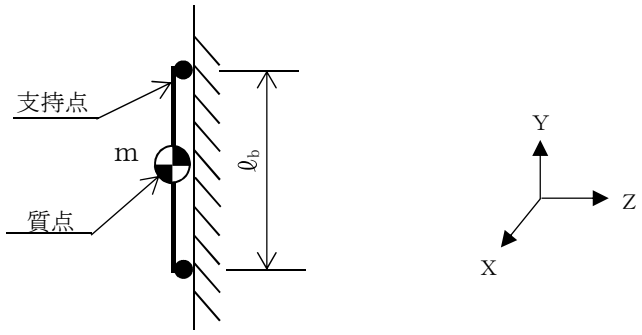
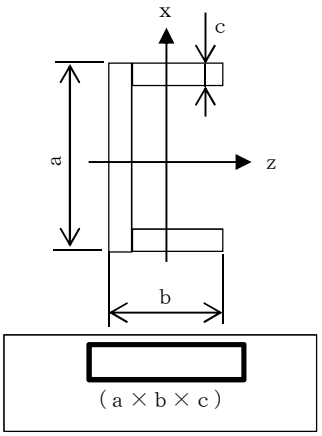


図 1-1 固有周期の計算モデル

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	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計	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		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	－	－	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。

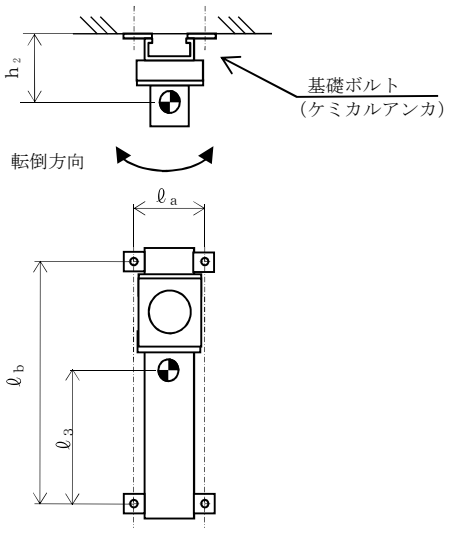
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

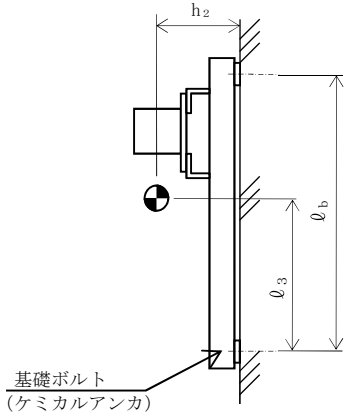
(×9.8 m/s^2)

		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	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		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	－	－	$\sigma_b=3$	$f_{ts}=156^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=2$	$f_{sb}=120$

すべて許容応力以下である。

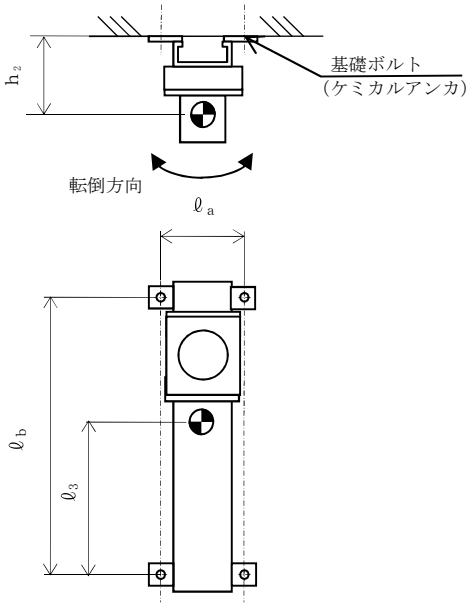
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

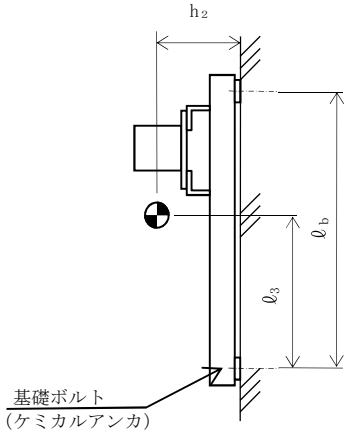
(×9.8 m/s^2)

		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計	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。

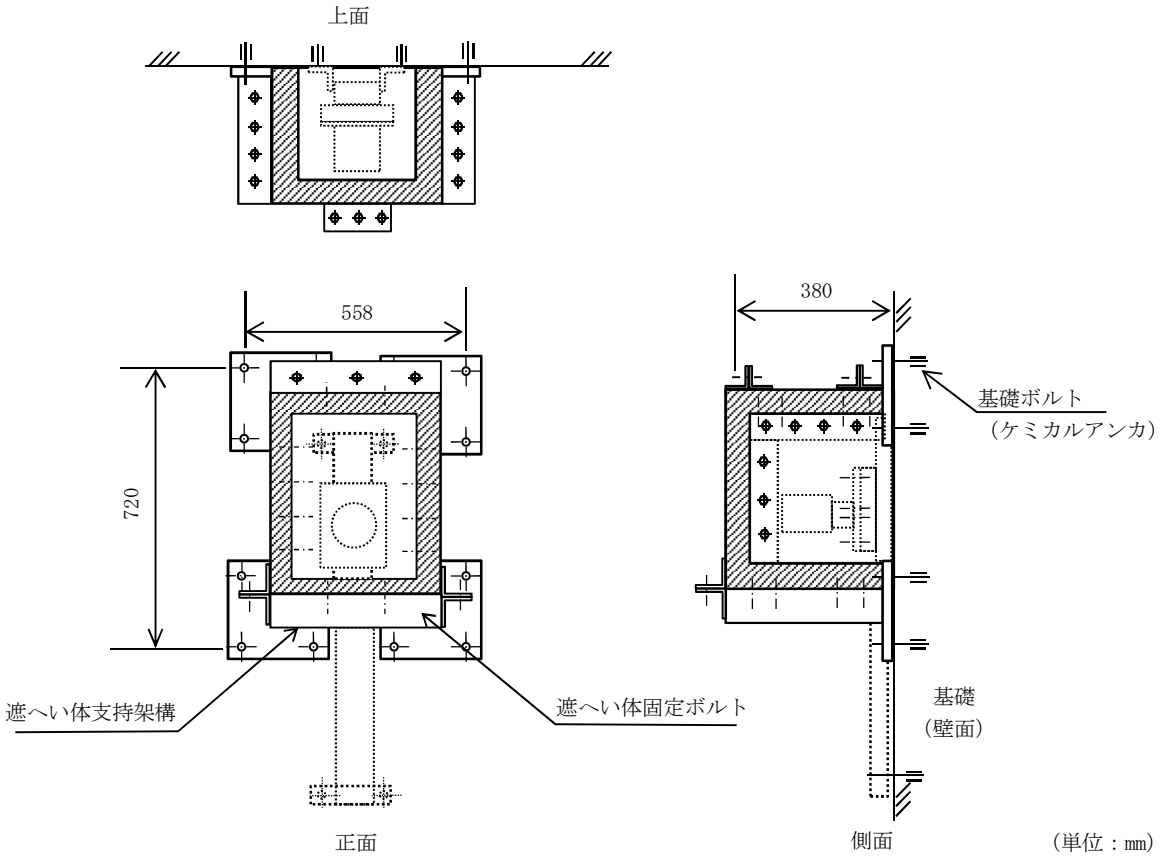
代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

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。

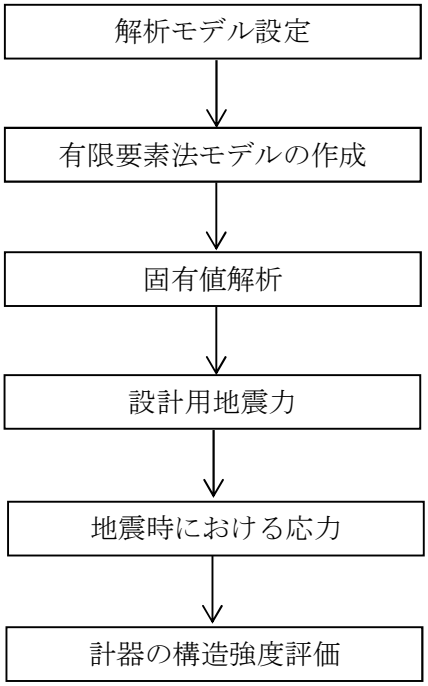


図2-1　代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体の耐震評価フロー

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_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	－
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

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

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。遮へい体は検出器を覆うように取り付けられ，原子炉建屋壁面に 2 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，④～⑩の部材で組まれたものとみなし，支持点 2 点で固定されるものとする。また，遮へい体支持架構は複数の鋼材で組まれ，原子炉建屋壁面に 2 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，①～③の部材で組まれたものとみなし，支持点 2 点で固定されるものとする。解析モデルにおいて，遮へい体の質量は 8 箇所に分散されるものとし，質点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 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。

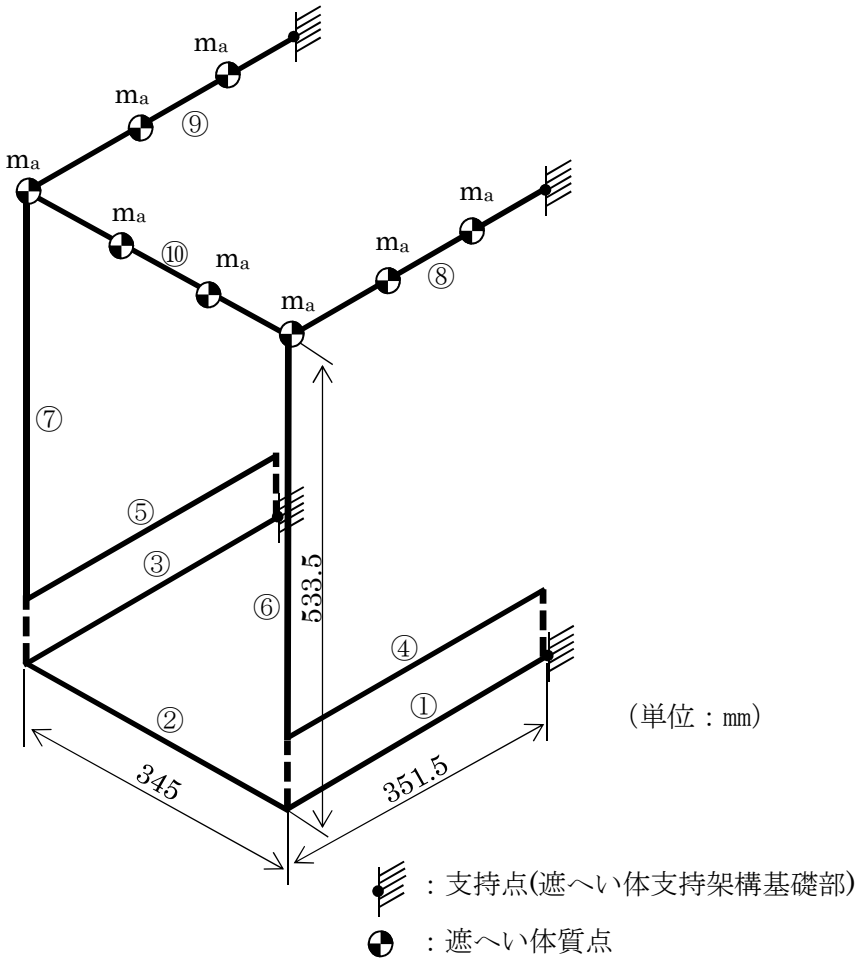


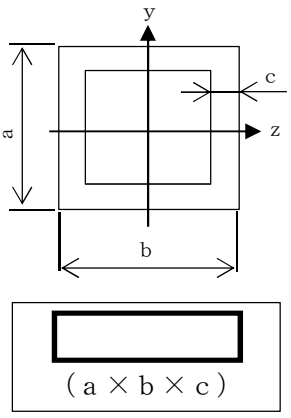
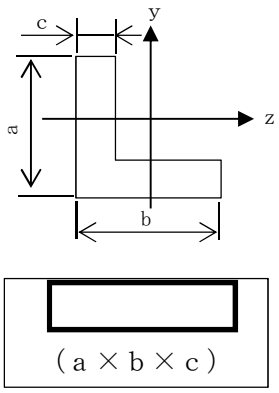
図 2-2　代替循環冷却系原子炉注水流量
（FT-SA17-N013A）遮へい体　解析モデル

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

2.4.2 項(1)～(6)のほか，次の条件で計算する。

(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。

2.5.2　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・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]	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。

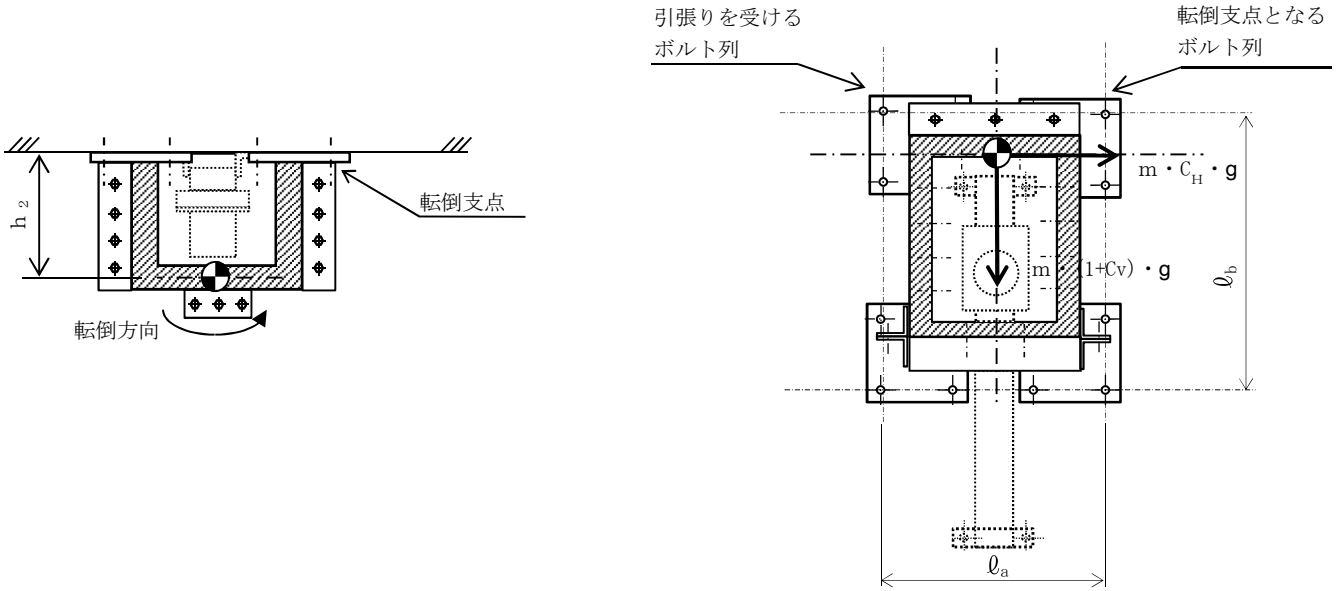


図 2-3(1)　代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体　計算モデル
（壁掛形　正面方向転倒の場合）

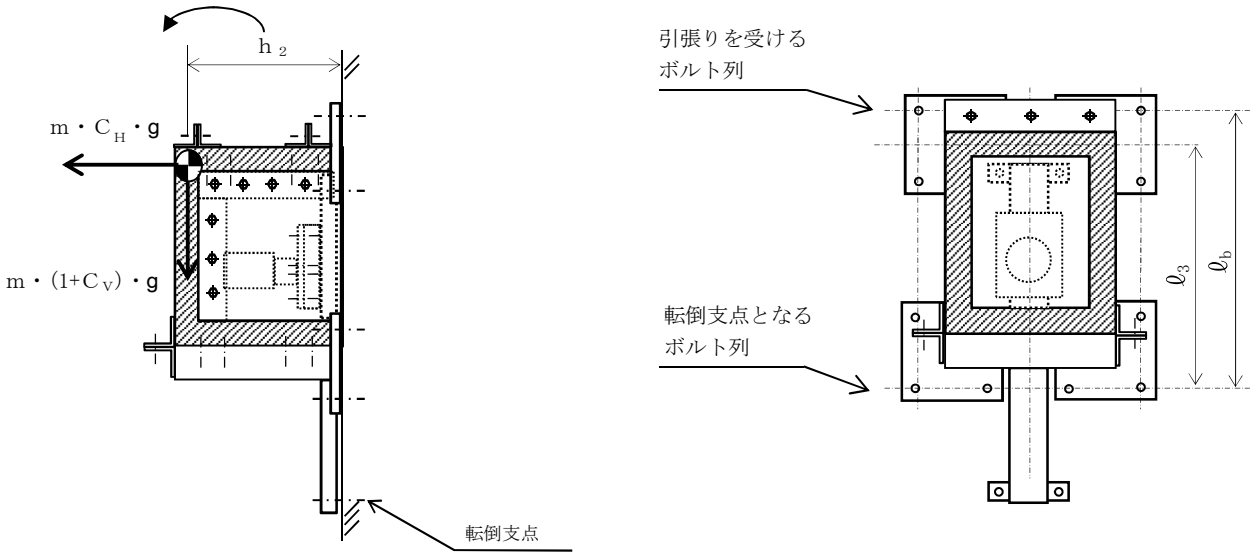


図 2-3(2)　代替循環冷却系原子炉注水流量（FT-SA17-N013A）遮へい体　計算モデル
（壁掛形　側面方向転倒の場合）

(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）

$$Q_{b1}=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.6)$$

$$Q_{b2}=m\cdot g\cdot(1+C_V) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.8)$$

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【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。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (2.5.6.1.1)$$

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　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		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

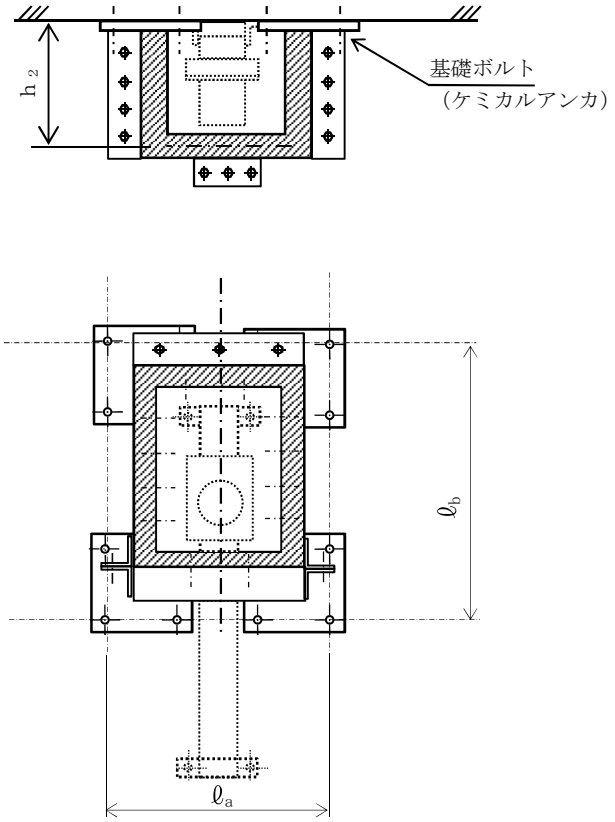
1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

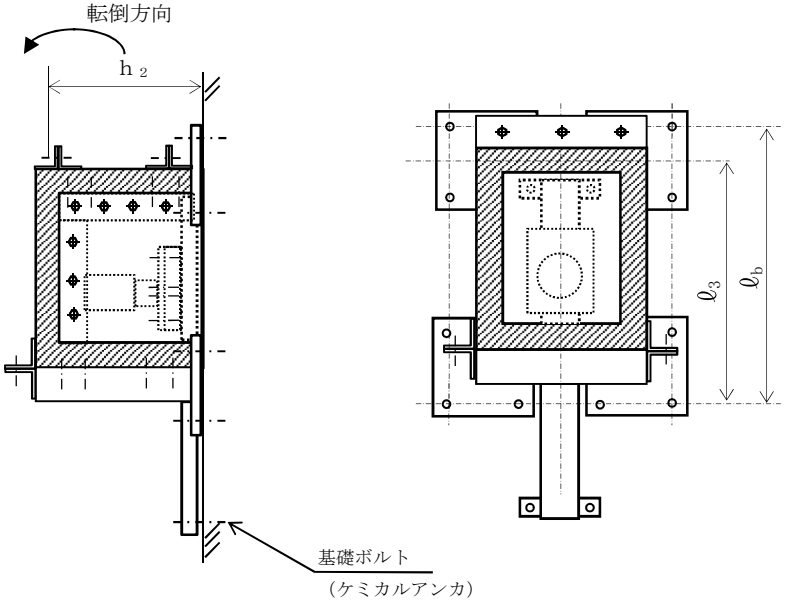
部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=38	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=14	f_{sb}=120*

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。

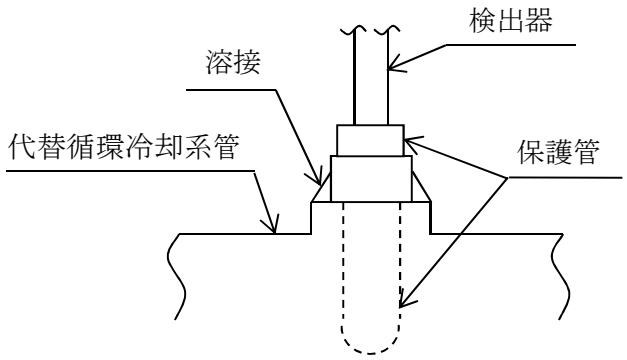
代替循環冷却系ポンプ入口温度は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。

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。

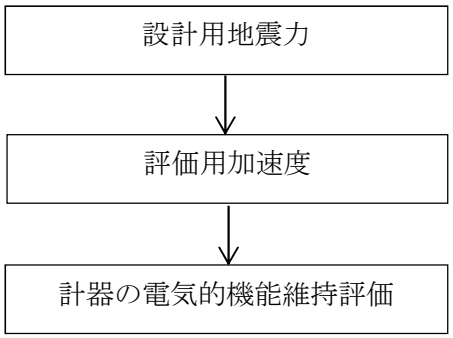


図 2-1　代替循環冷却系ポンプ入口温度の耐震評価フロー

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 4-1，2 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)	[redacted] EL. －1.07	水平	0.62
		鉛直	0.11
代替循環冷却系ポンプ入口温度 (TE-SA17-N001B)	[redacted] EL. －0.97	水平	0.11
		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	[redacted] 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。

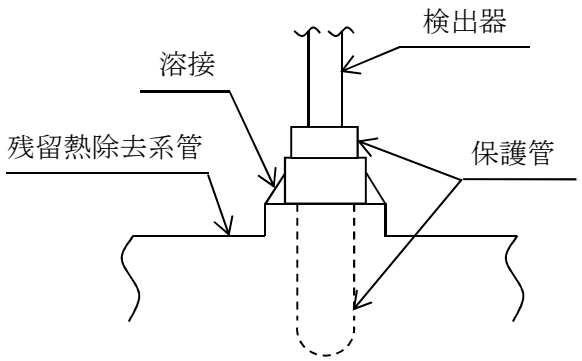
残留熱除去系熱交換器入口温度は，設計基準対象施設においてはＣクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。

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。

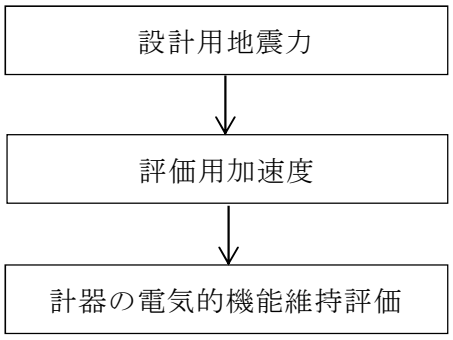


図 2-1　残留熱除去系熱交換器入口温度の耐震評価フロー

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 4-1，4-2 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
	EL. 9.99	水平	0.92
		鉛直	0.11
	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
	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（1.0ZPA）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。

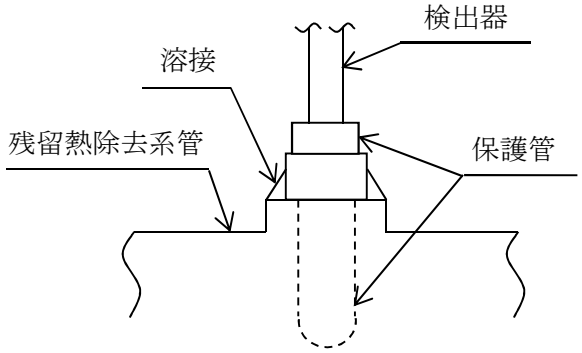
残留熱除去系熱交換器出口温度は，設計基準対象施設においてはＣクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。

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。

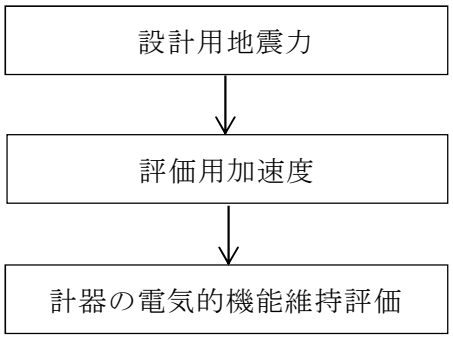


図 2-1　残留熱除去系熱交換器出口温度の耐震評価フロー

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/s^2）

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
	EL. 2.70	水平	1.02
		鉛直	0.62
	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/s^2）

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
	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（1.0ZPA）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
5.3 設計用地震力 …… 14
5.4 計算方法 …… 15
5.5 計算条件 …… 17
5.6 応力の評価 …… 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。

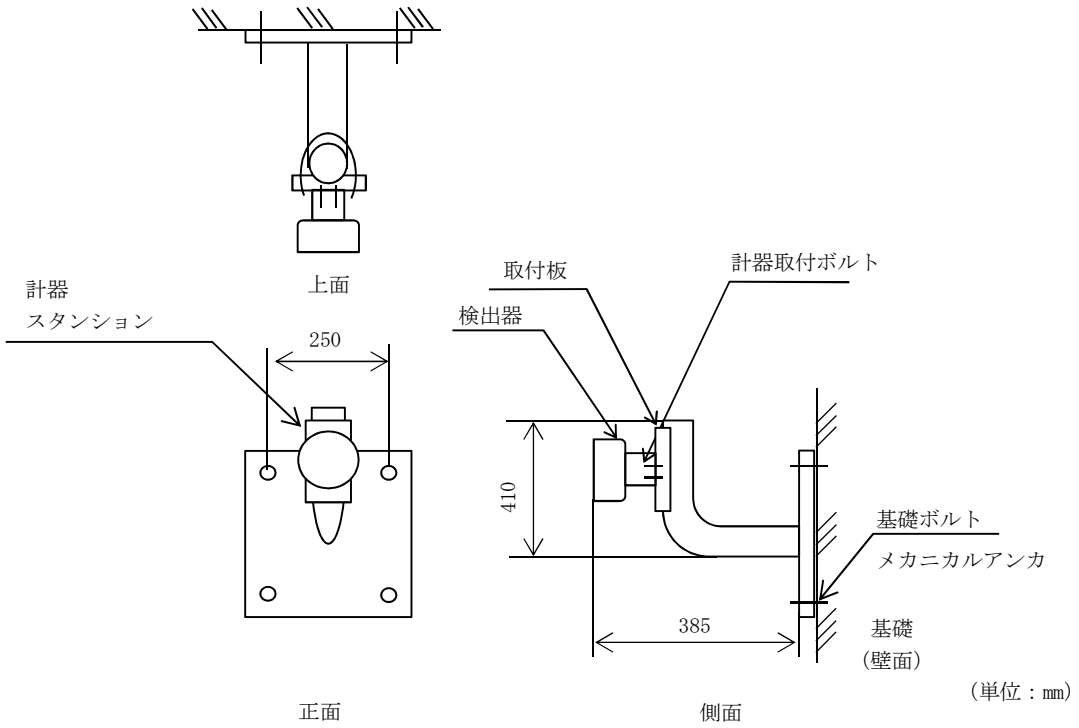
原子炉隔離時冷却系系統流量は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

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。

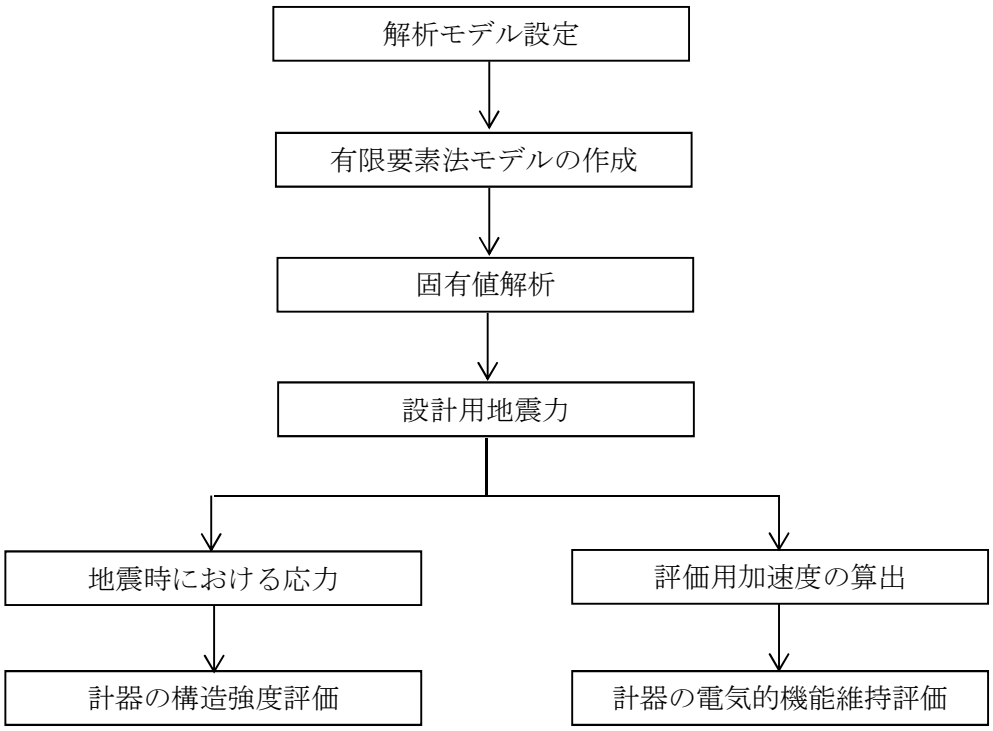


図 2-1　原子炉隔離時冷却系系統流量の耐震評価フロー

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倍した値または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倍した値または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。

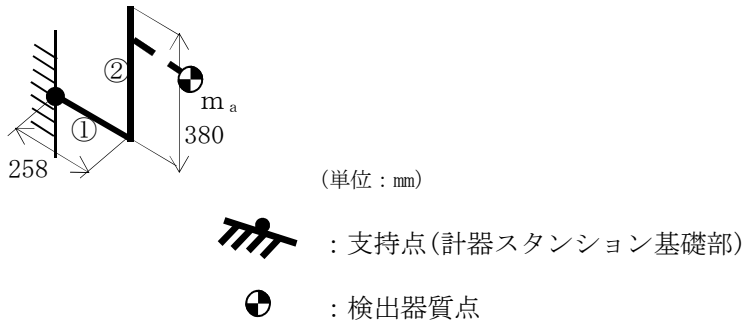
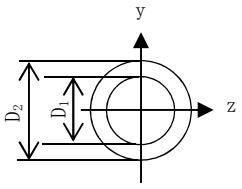


図 4-1　解析モデル

表4-1　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_a	kg	
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

4.2 項(1)～(6)のほか，次の条件で計算する。

(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。

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 (℃)		Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（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=0.52	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。

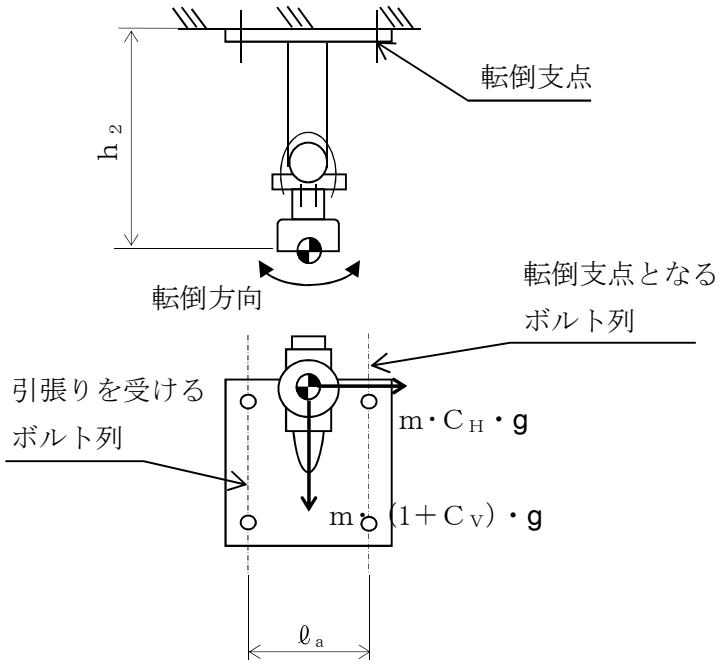


図5-1（1）　計算モデル

（壁掛形　水平方向転倒の場合）

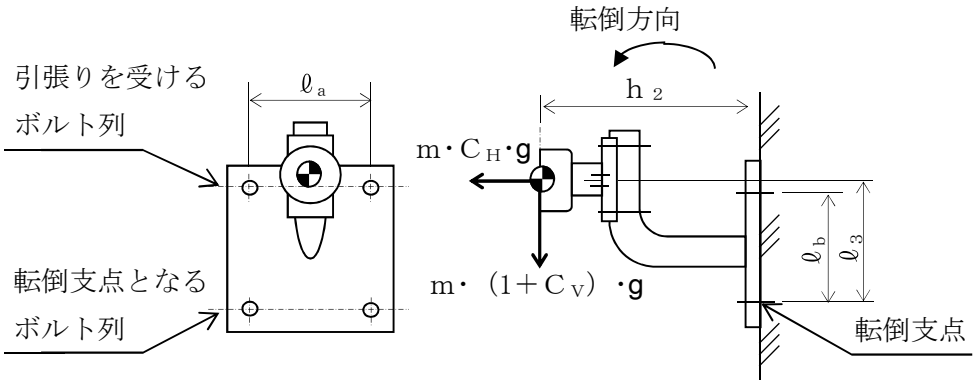


図5-1（2）　計算モデル

（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	
	S	EL. -4.00 (EL. 2.00*1)			C_H=0.52	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	269	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}＝161*
		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。

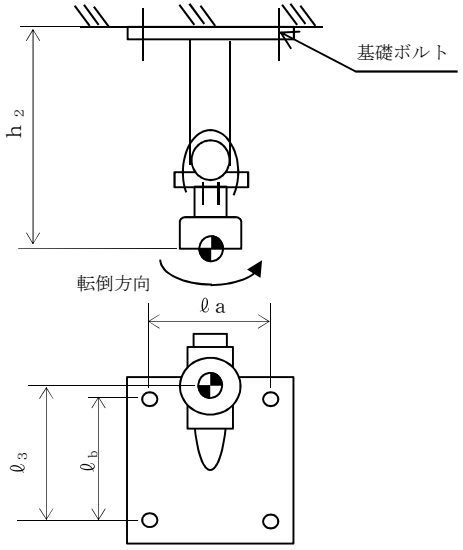
注記　＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b, f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

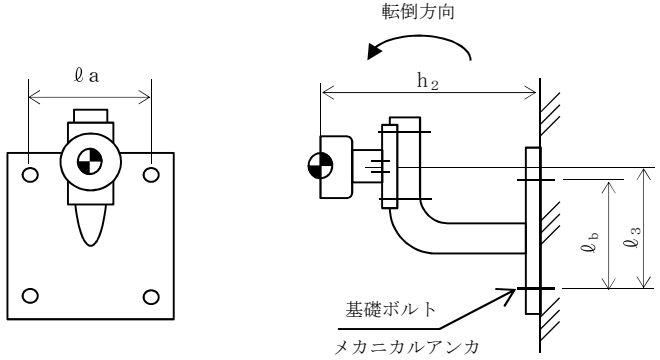
(×9.8 m/s^2)

		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	
	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	－	269	－	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＝6	f_{ts}＝161*
		せん断	－	－	τ_b＝2	f_{sb}＝124

すべて許容応力以下である。

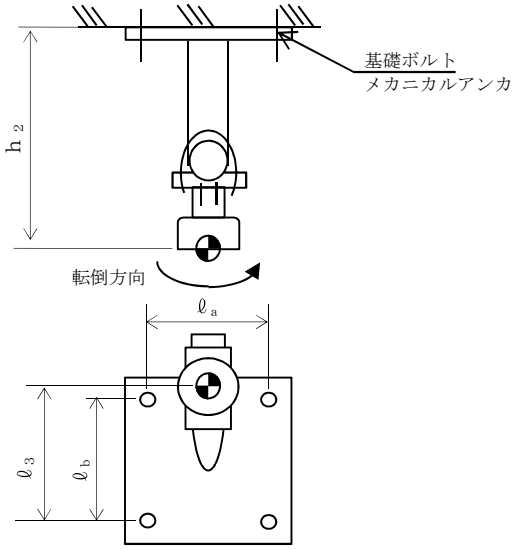
注記　＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b, f_{to}]より算出

2.4.2 電気的機能維持の評価結果

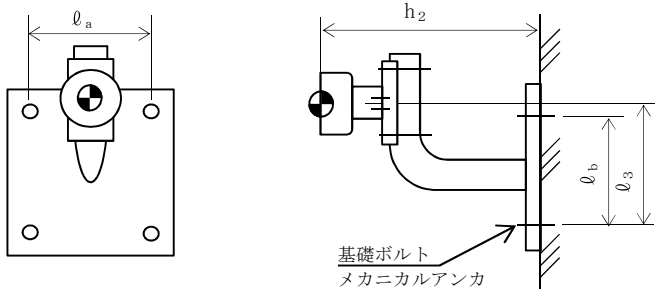
(×9.8 m/s^2)

		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
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。

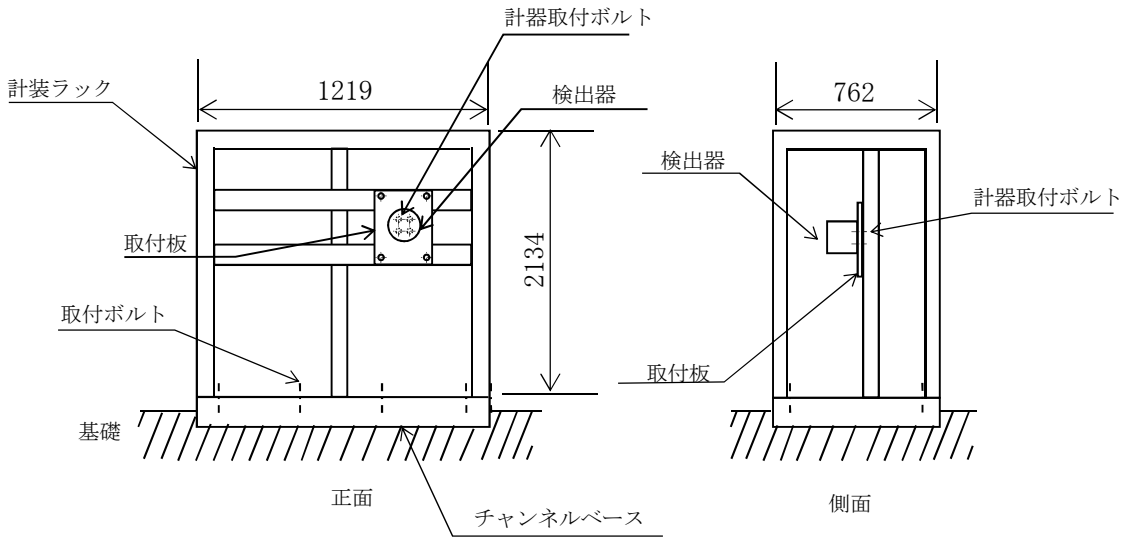
2. 一般事項

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	—*	$D+P_D+M_D+S_d$*	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状態を適用する。

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以外の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	
	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。

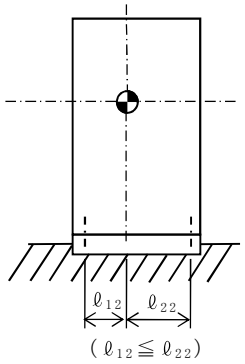
＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

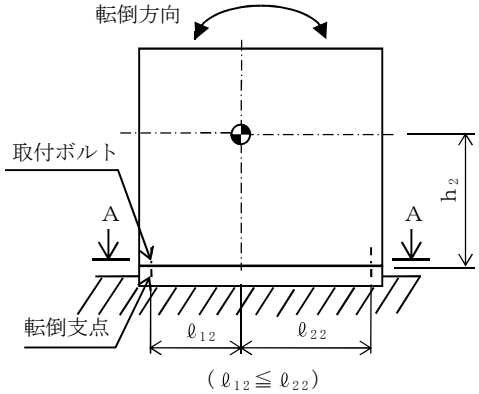
(×9.8 m/s^2)

		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	

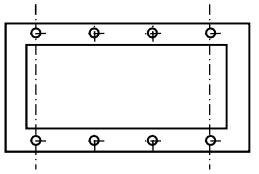
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



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	
	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。

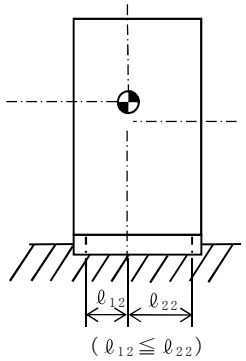
注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

2.4.2 電気的機能維持の評価結果

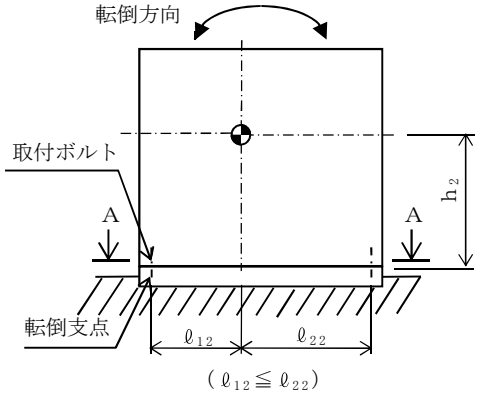
(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
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	

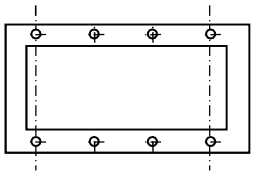
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



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
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。

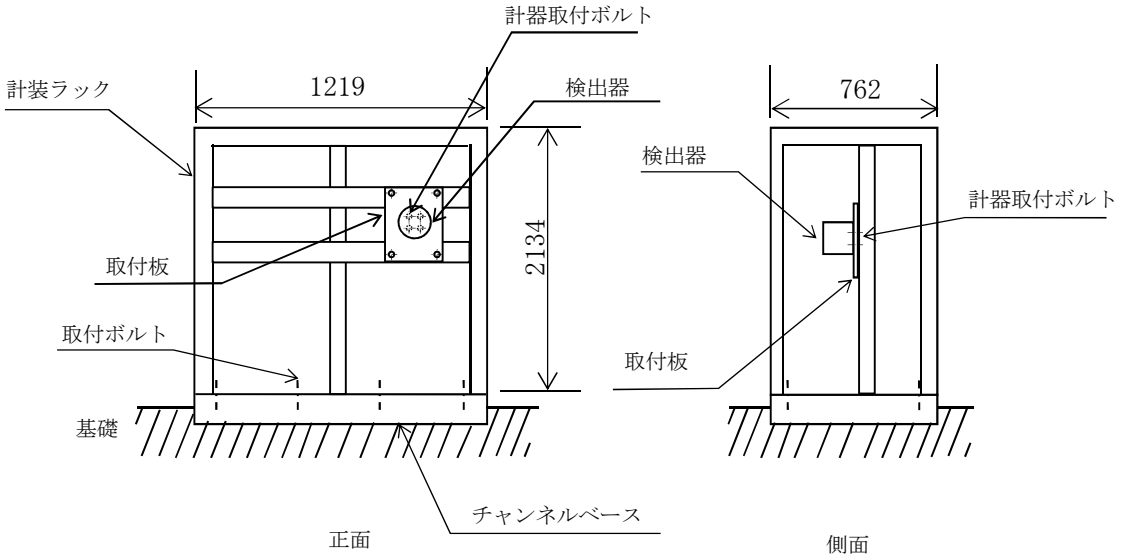
2. 一般事項

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	—*	$D+P_D+M_D+S_d$*	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状態を適用する。

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以外の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。

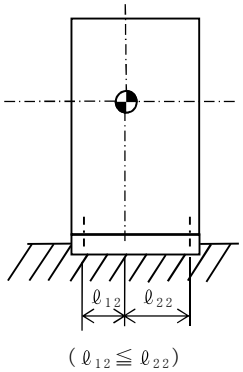
＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

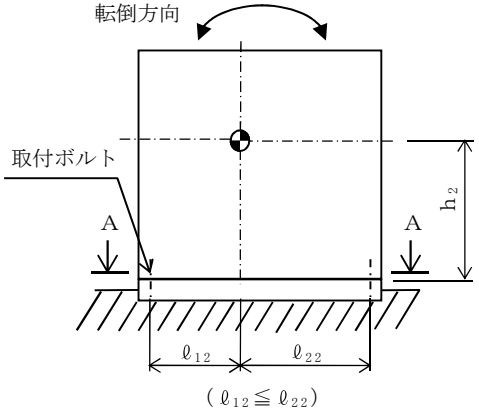
(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
低圧炉心スプレイ系 系統流量	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

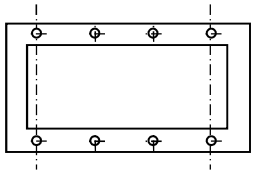
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



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	－	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

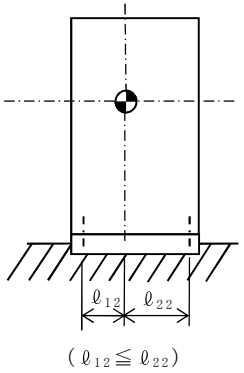
すべて許容応力以下である。

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

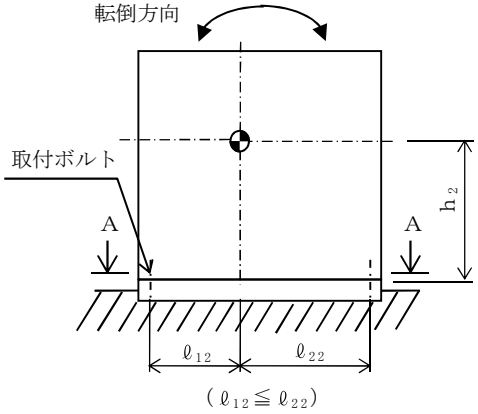
2.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
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	

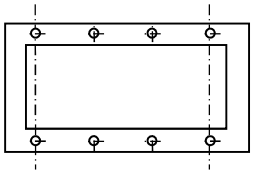
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



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
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

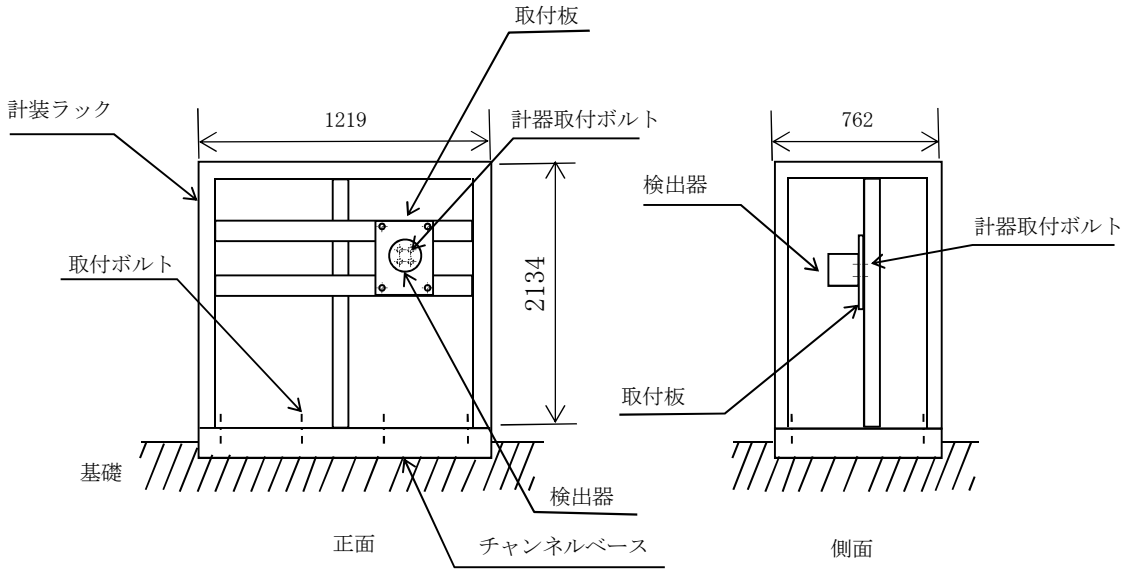
2. 一般事項

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

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	－*	$D+P_D+M_D+S_d$*	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　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／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／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。

＊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計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	
	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	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。

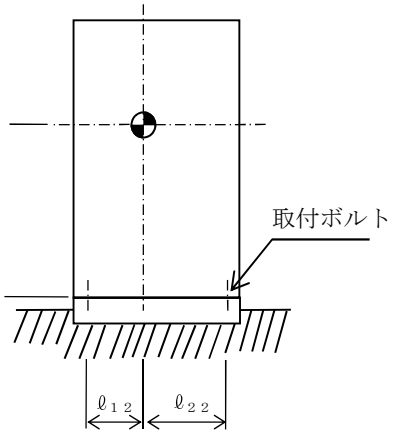
注記　*：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s^2)

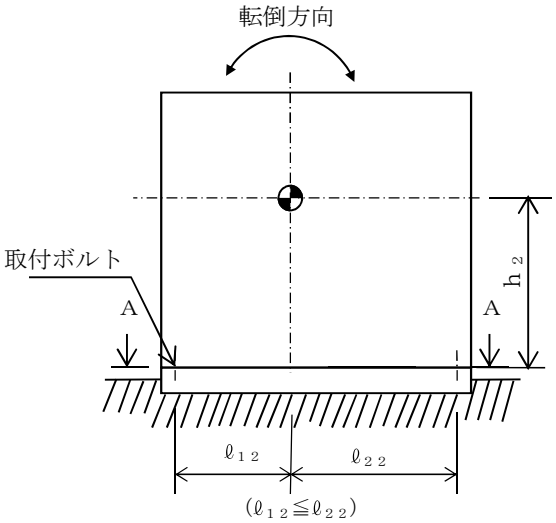
		評価用加速度	機能確認済加速度
残留熱除去系系統流量	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

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。



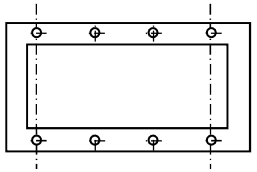
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$

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	
	常設／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。

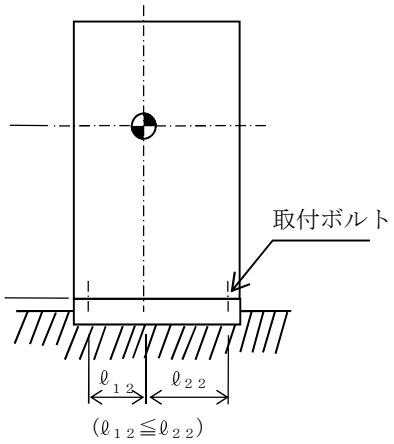
注記　＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

2.4.2 電気的機能維持の評価結果

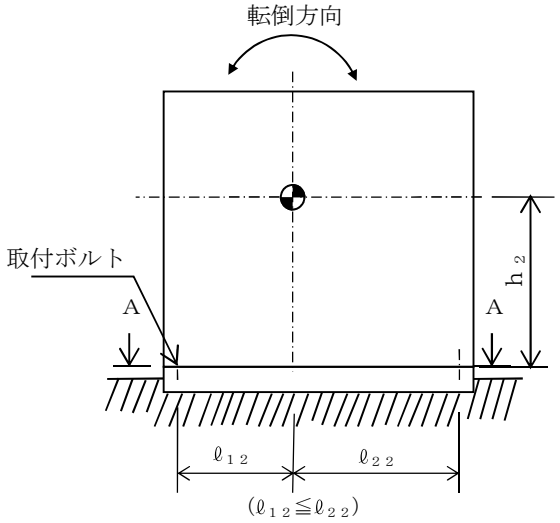
(×9.8 m/s^2)

		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	

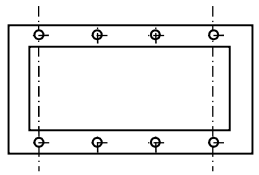
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



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
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
2.　原子炉圧力（PT-B22-N051A,B）…… 12
2.1　概要…… 12
2.2　一般事項…… 12
2.2.1　構造計画…… 12
2.3　固有周期…… 14
2.3.1　固有周期の算出方法…… 14
2.4　構造強度評価…… 14
2.4.1　構造強度評価方法…… 14
2.4.2　荷重の組合せ及び許容応力…… 14
2.5　機能維持評価…… 18
2.5.1　電気的機能維持評価方法…… 18
2.6　評価結果…… 19
2.6.1　設計基準対象施設としての評価結果…… 19
2.6.2　重大事故等対処設備としての評価結果…… 19

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

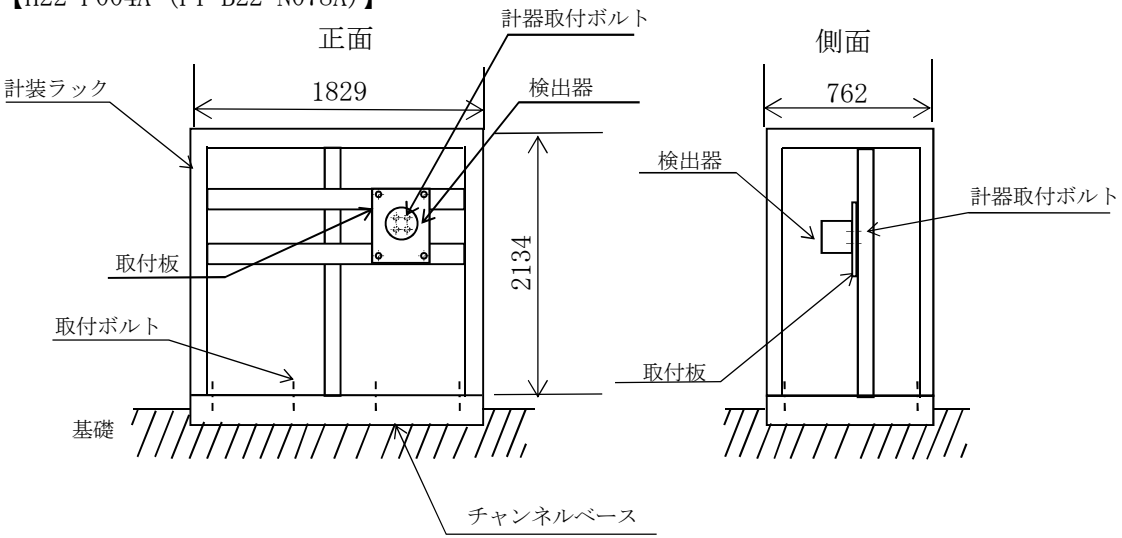
1.2　一般事項

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	—*	$D+P_D+M_D+S_d$*	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 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	
	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	$\sigma_{b2}=7$	$f_{ts2}=176$*	$\sigma_{b2}=17$	$f_{ts2}=210$*
		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。

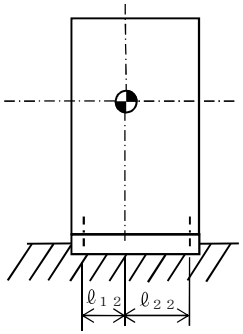
注記　＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s^2)

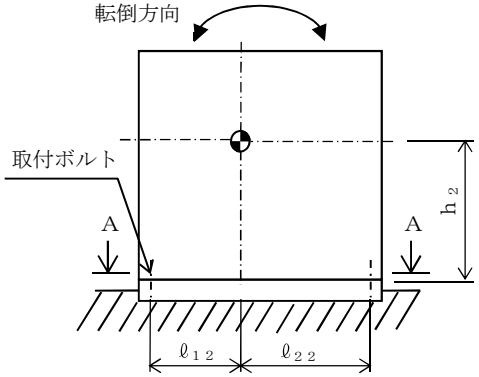
		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉圧力	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

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。



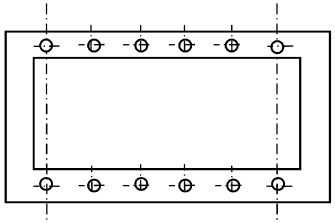
($\ell_{12} \leqq \ell_{22}$)

側面（短辺方向）



($\ell_{12} \leqq \ell_{22}$)

正面（長辺方向）



A～A矢視図

2.　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

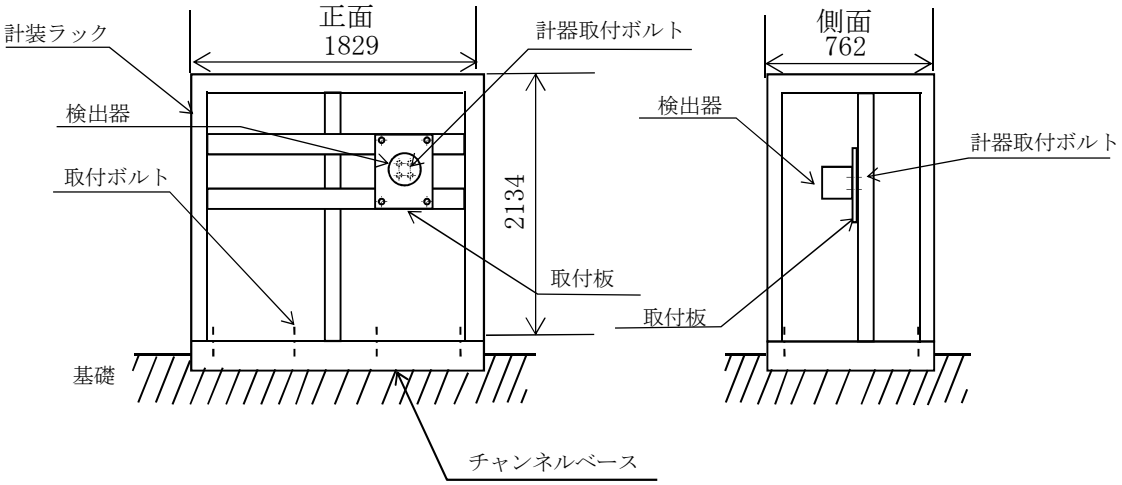
2.2　一般事項

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	—*	$D+P_D+M_D+S_d$*	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 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
$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	1.5・f_t	1.5・f_s
$\mathrm{IV}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$\mathrm{V}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$ （$\mathrm{V}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$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]	225	385	－

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	[redacted]
	鉛直	[redacted]

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

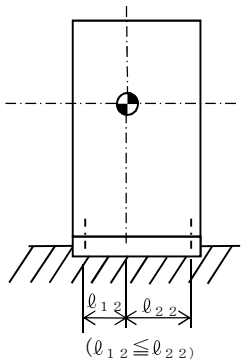
すべて許容応力以下である。

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

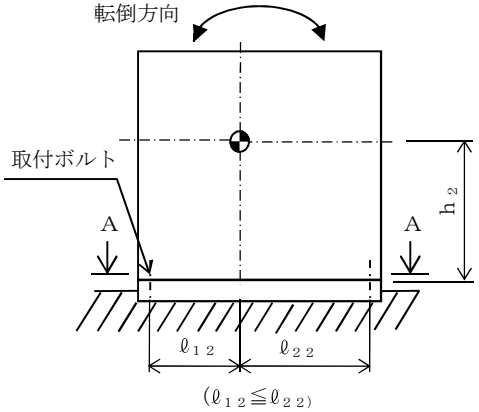
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		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	

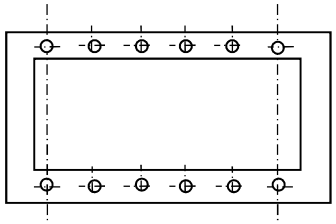
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



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)	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}＝16	f_{ts2}＝202*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝4	f_{sb2}＝155

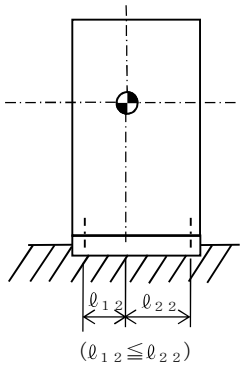
すべて許容応力以下である。

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

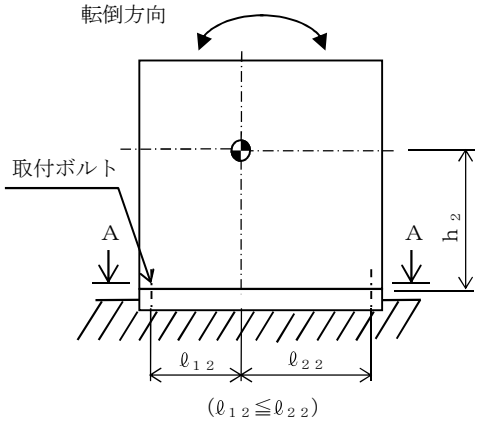
2.4.2 電気的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉圧力（PT-B22-N051A）	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

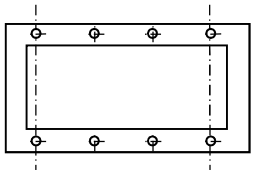
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



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。

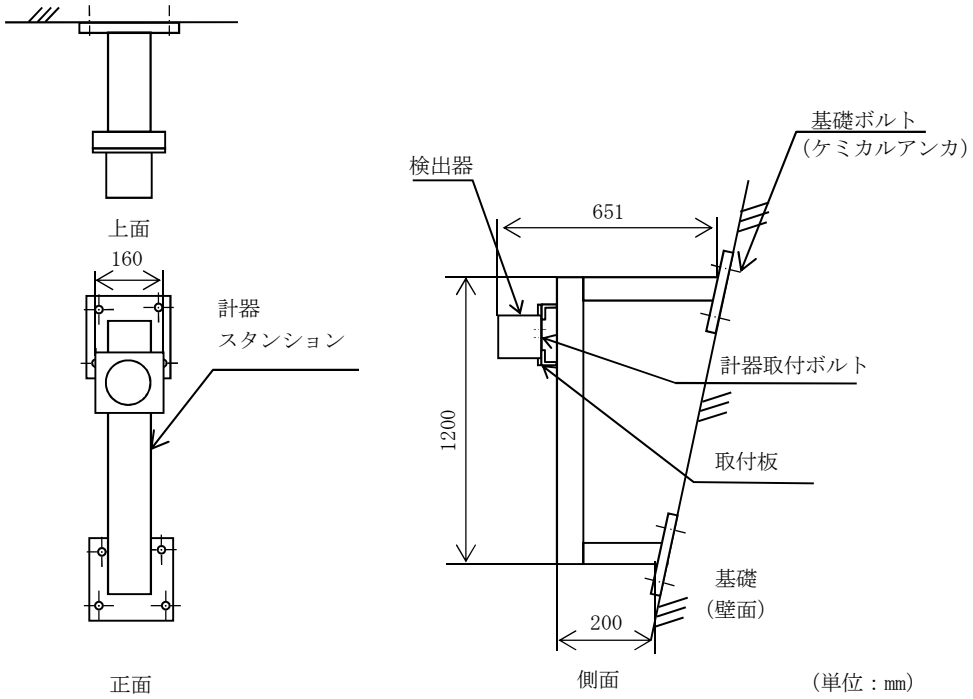
1.2 一般事項

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　4.3　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。

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。

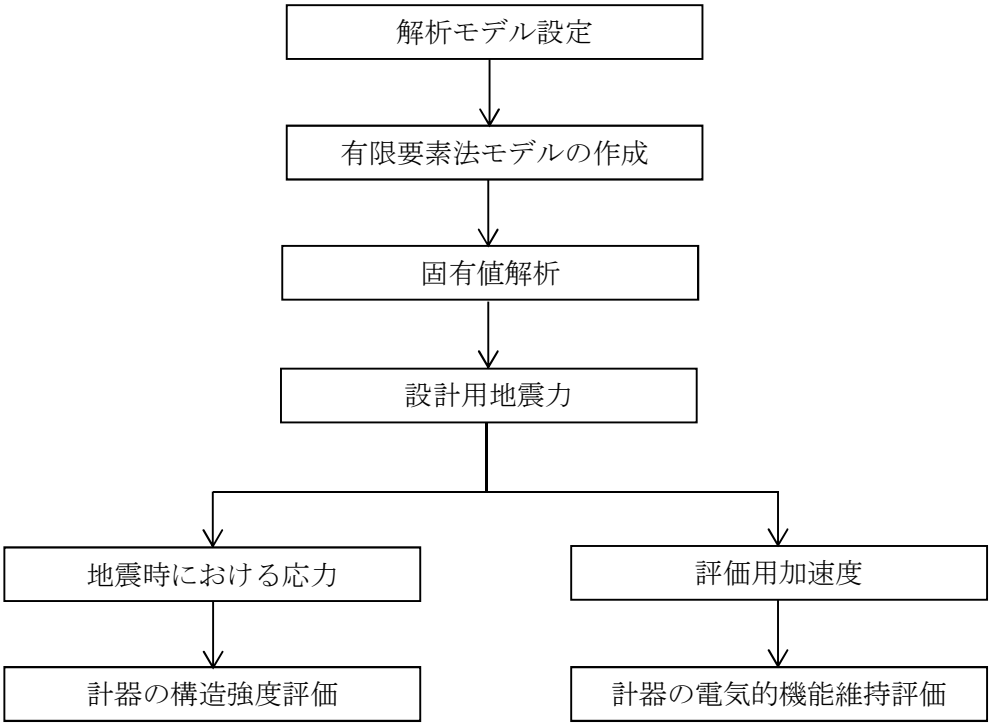


図 1-1　原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）の耐震評価フロー

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_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

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「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□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。

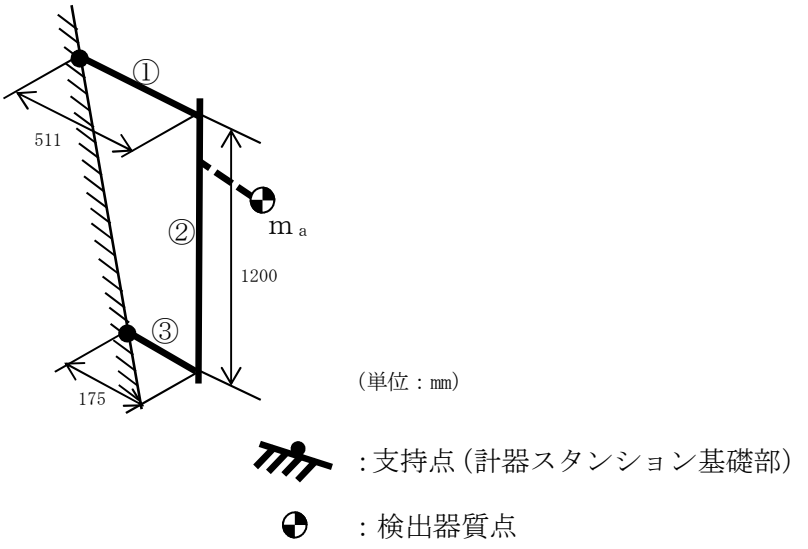
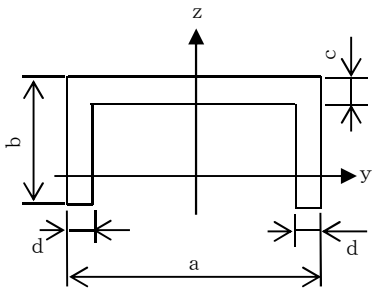


図 1-2 原子炉圧力（ＳＡ）(PT-B22-N071A，C）解析モデル

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

1.4.2 項(1)～(6)のほか，次の条件で計算する。

(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。

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。

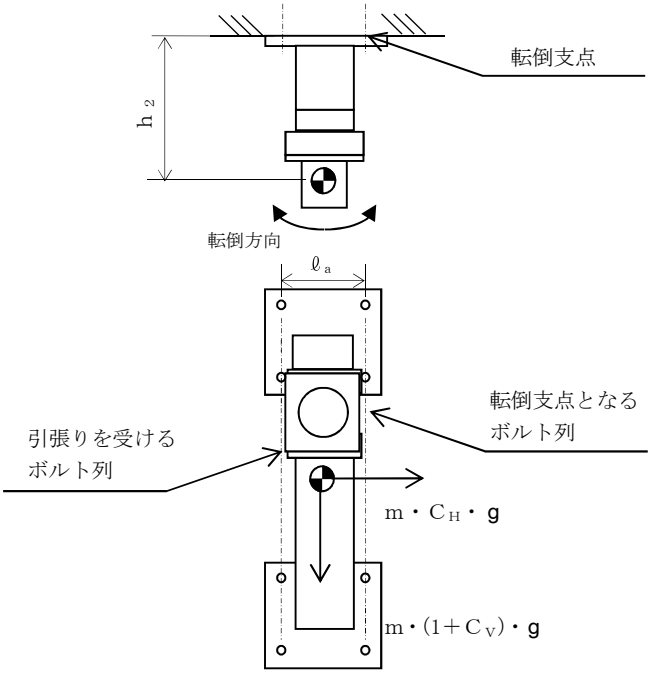


図1-3（1）　計算モデル
（壁掛形　水平方向転倒の場合）

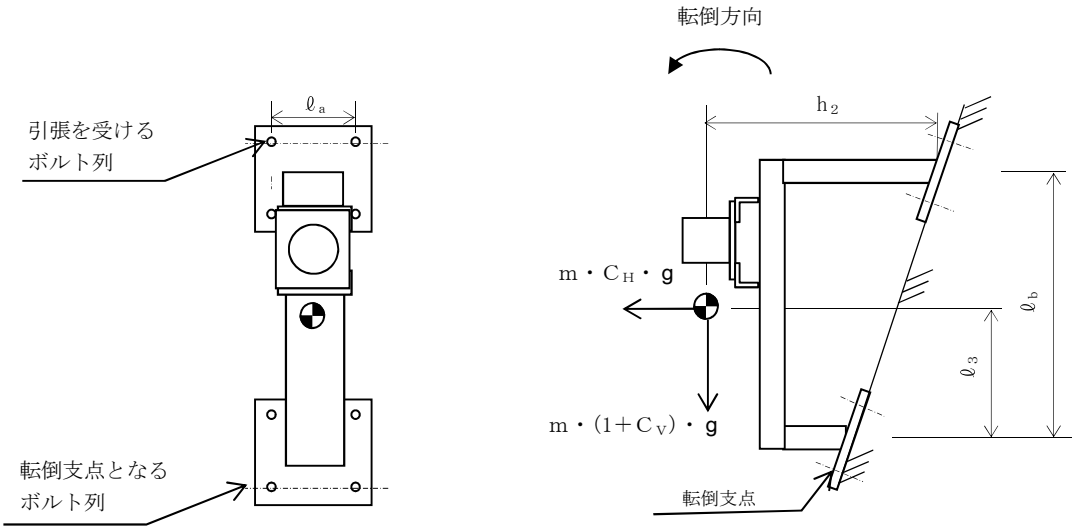


図1-3（2）　計算モデル
（壁掛形　鉛直方向転倒の場合）

(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	
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								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		F_{b1}		F_{b2}		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	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	[redacted]	引張り	－	－	σ_b=8	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=2	f_{sb}=120

すべて許容応力以下である。

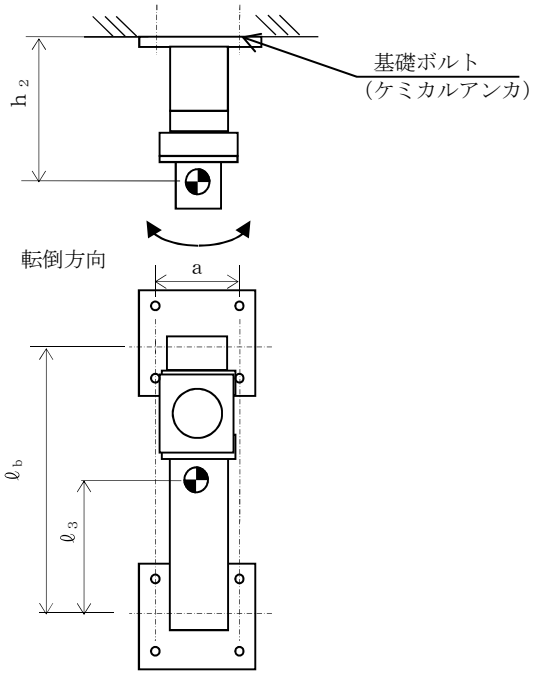
注記　＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

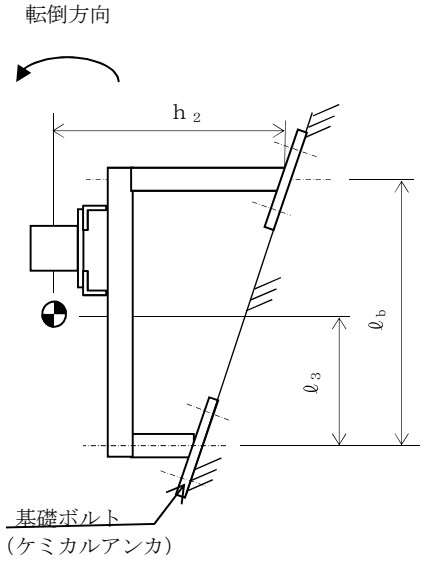
(×9.8 m/s^2)

		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	[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。



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。

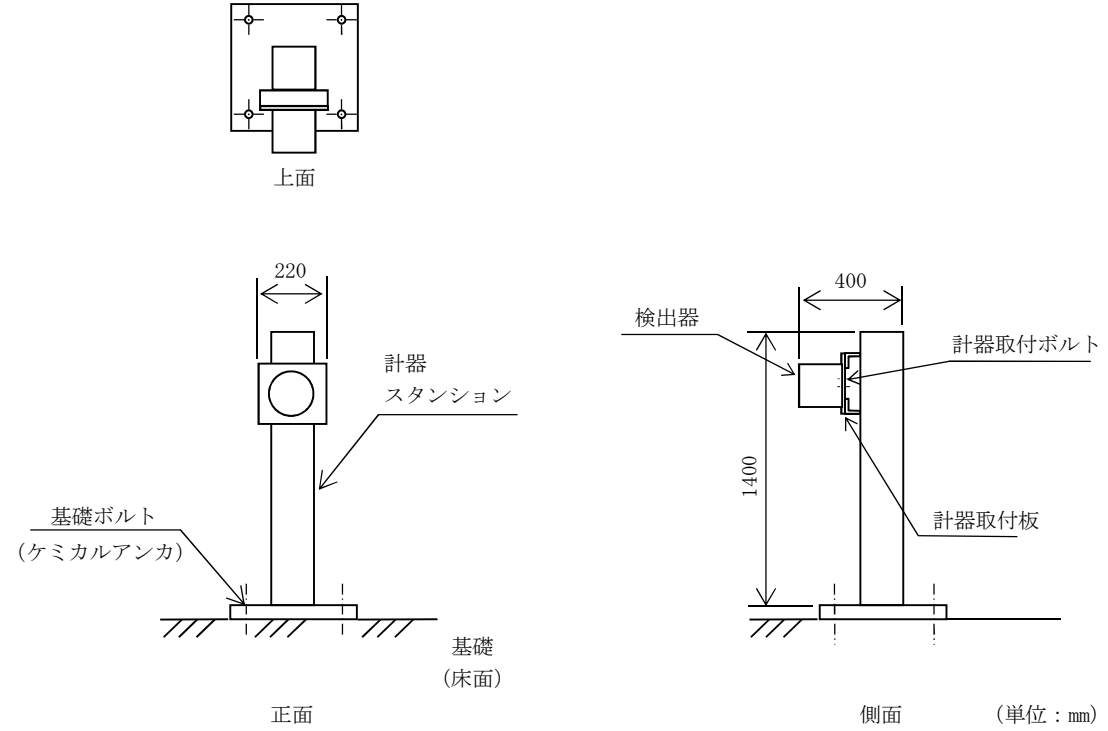
2.2 一般事項

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）

(1) Ｘ方向及びＺ方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^{\,3}}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \quad \cdots (2.3.1.1.1)$$

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。

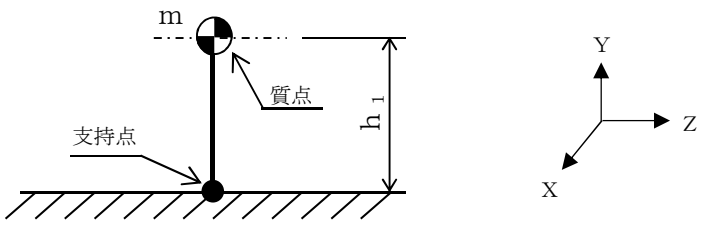
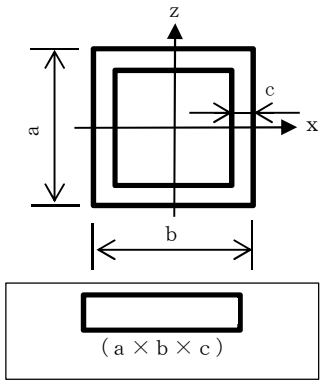


図 2-1 固有周期の計算モデル

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	
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Ｓd又は静的震度	基準地震動Ｓs
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	－	－	σ_b＝19	f_{ts}＝156*
		せん断	－	－	τ_b＝2	f_{sb}＝120

すべて許容応力以下である。

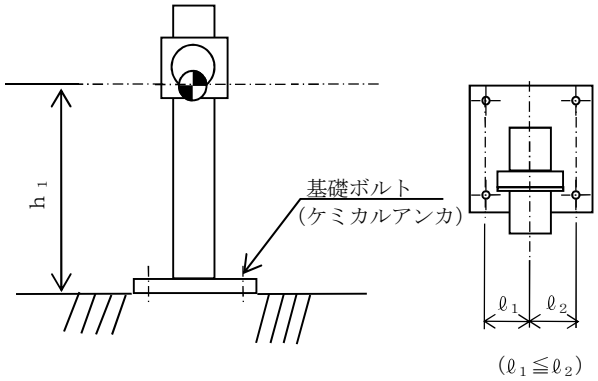
注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

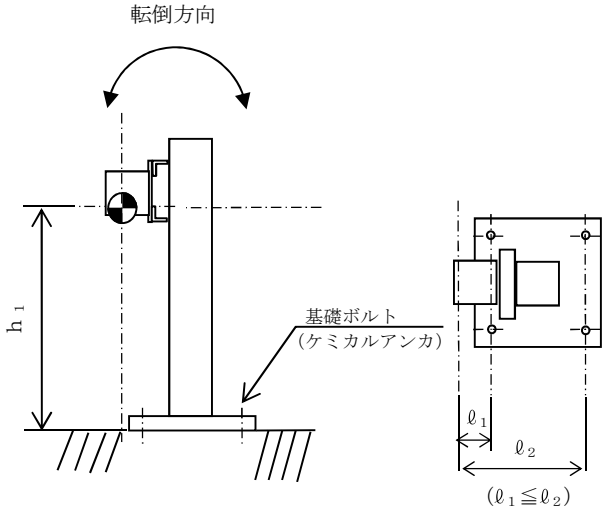
(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉圧力（ＳＡ） (PT-B22-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
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

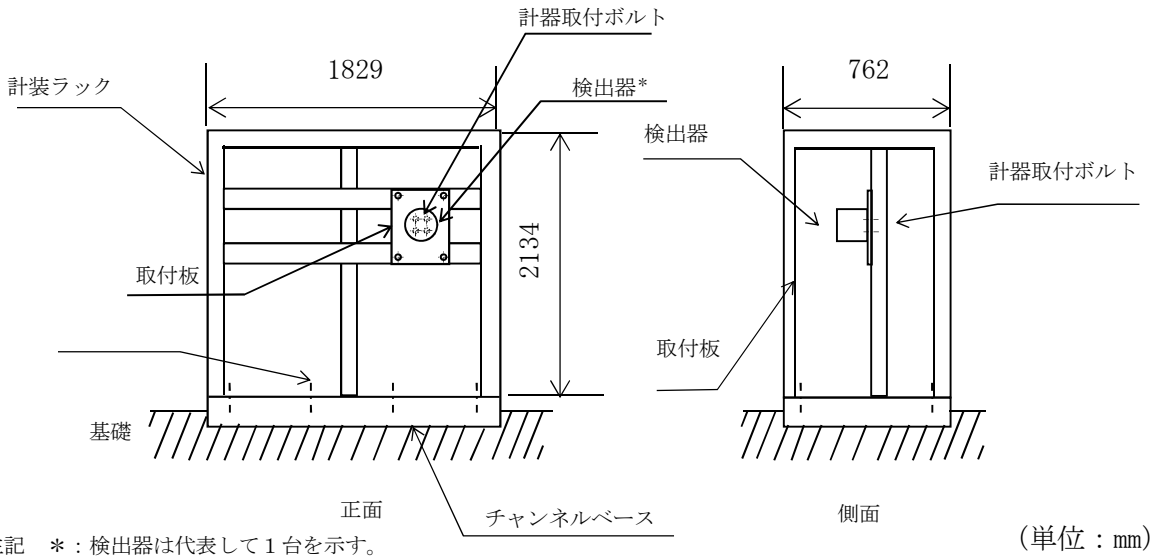
本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

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	－*	$D+P_D+M_D+S_d$*	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状態を適用する。

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）
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。

【原子炉水位の耐震性（H22-P004A(LT-B22-N073A，LT-B22-N073C，LT-B22-N080A，LT-B22-N081A)）】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	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

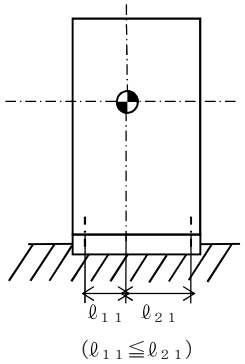
すべて許容応力以下である。

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

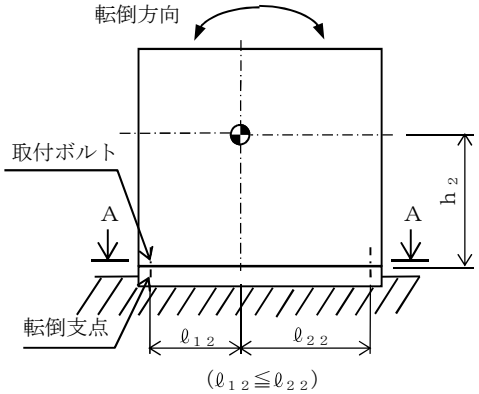
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		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	

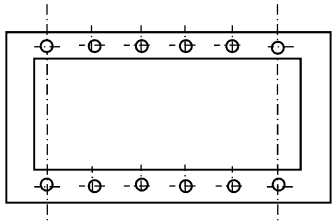
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



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　17
2.3.3　固有周期の計算結果　17
2.4　構造強度評価　18
2.4.1　構造強度評価方法　18
2.4.2　荷重の組合せ及び許容応力　18
2.5　機能維持評価　21
2.5.1　電気的機能維持評価方法　21
2.6　評価結果　22
2.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果　22

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

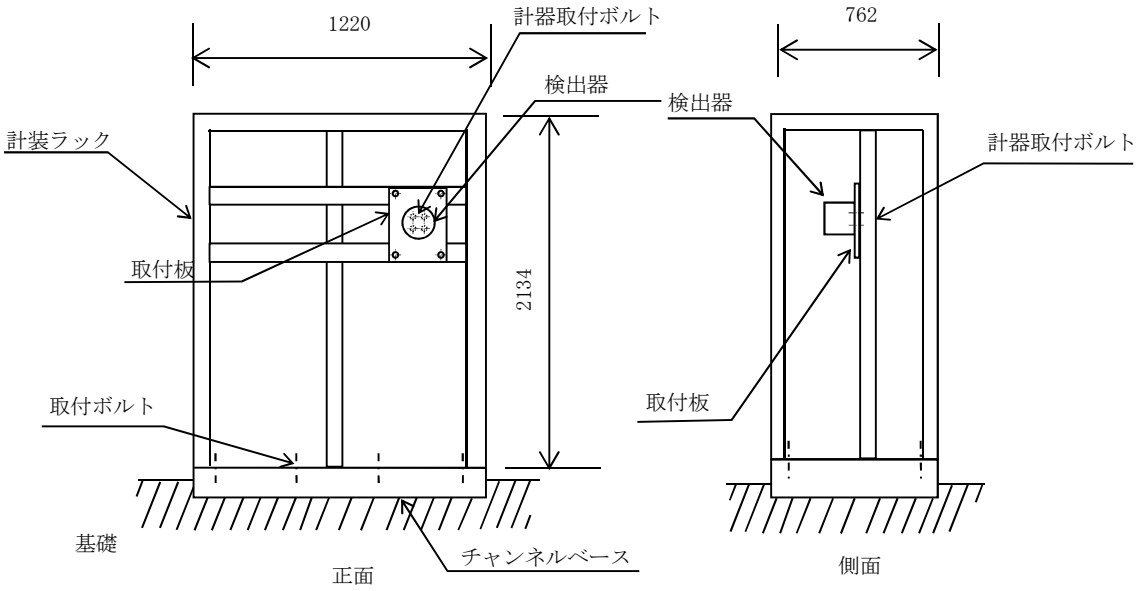
原子炉水位（広帯域）（計装ラック）は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

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	－*	$D+P_D+M_D+S_d$*	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状態を適用する。

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]	225	385	－

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

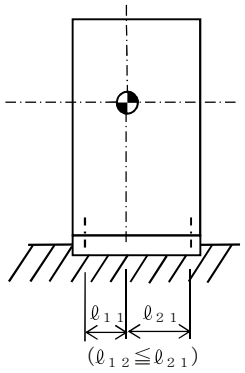
すべて許容応力以下である。

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

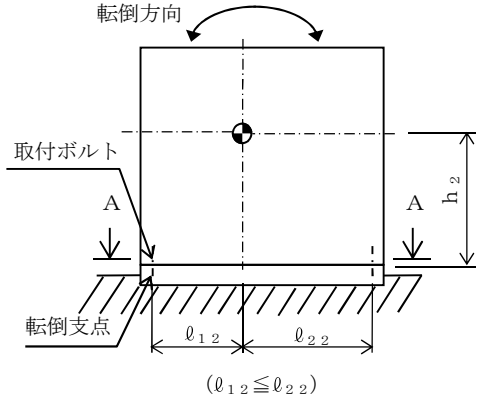
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s^2）

		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	

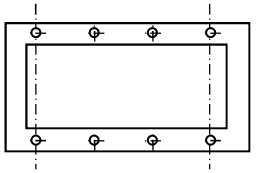
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



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）	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}＝20	f_{ts2}＝202*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝4	f_{sb2}＝155

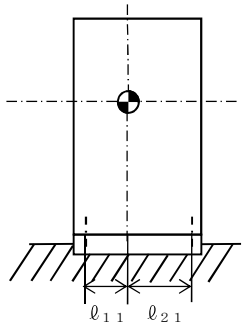
すべて許容応力以下である。

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

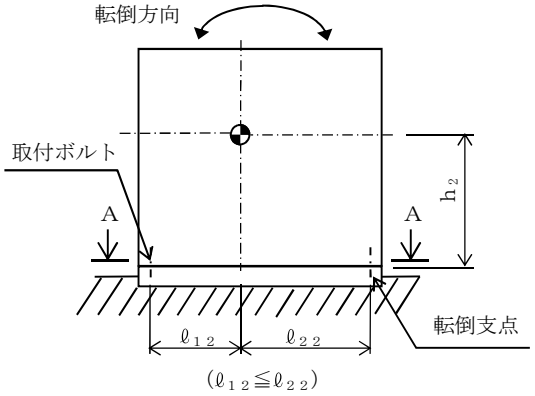
2.4.2 電気的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
原子炉水位（広帯域）	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

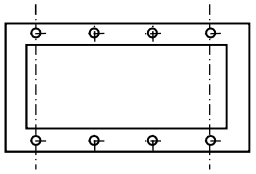
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



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。

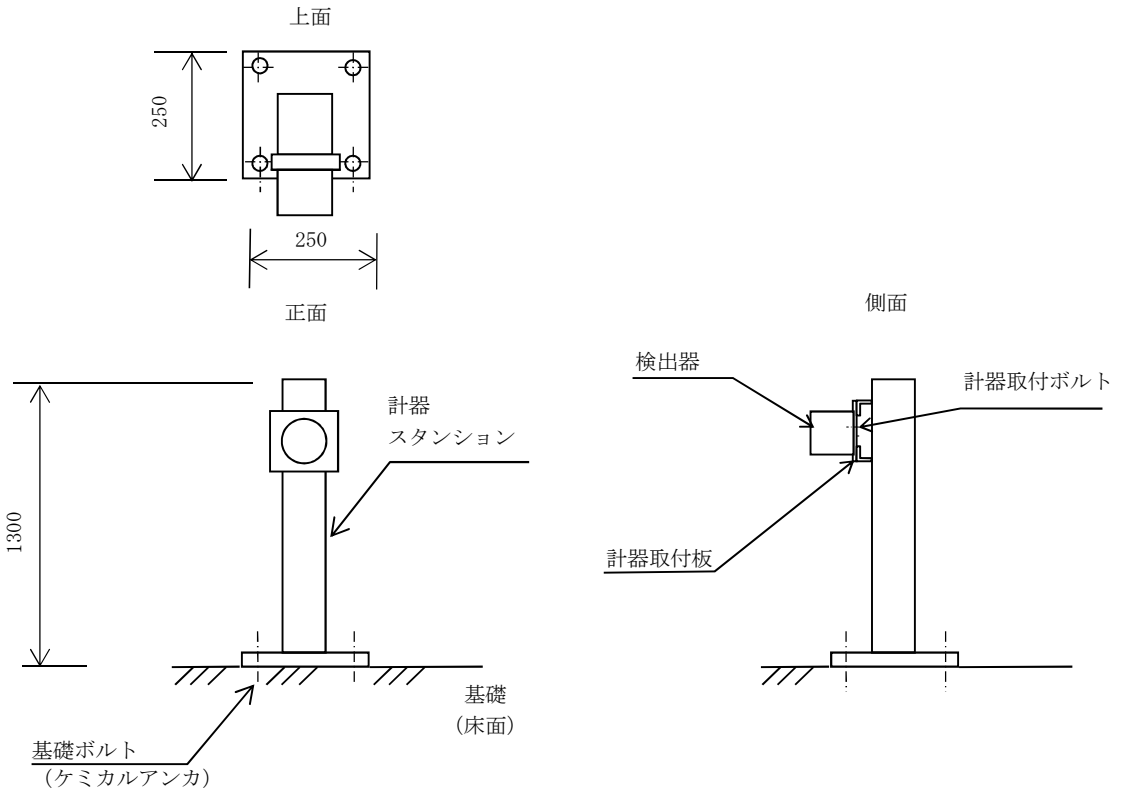
2.2　一般事項

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。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^{\,3}}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \quad \cdots (2.3.1.1.1)$$

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。

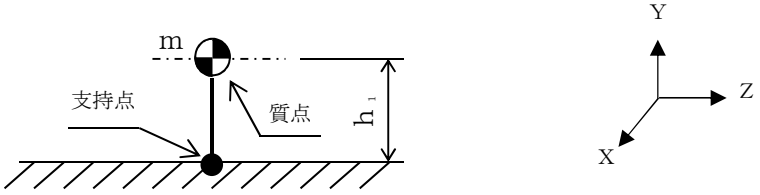
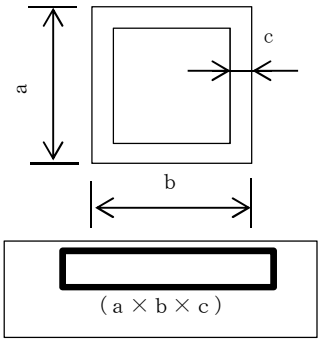


図 2-1　固有周期の計算モデル

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

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]	234	385	－

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 (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	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)

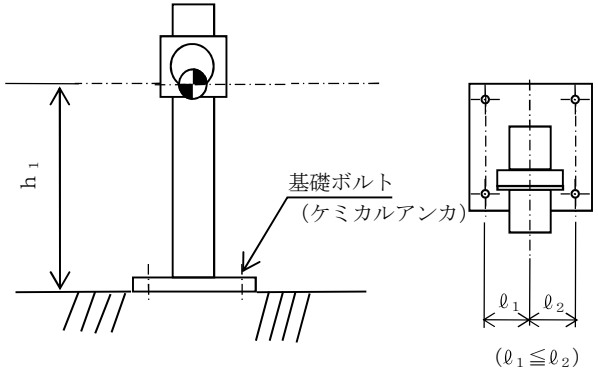
部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=16$	$f_{ts}=162^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=2$	$f_{sb}=124$

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

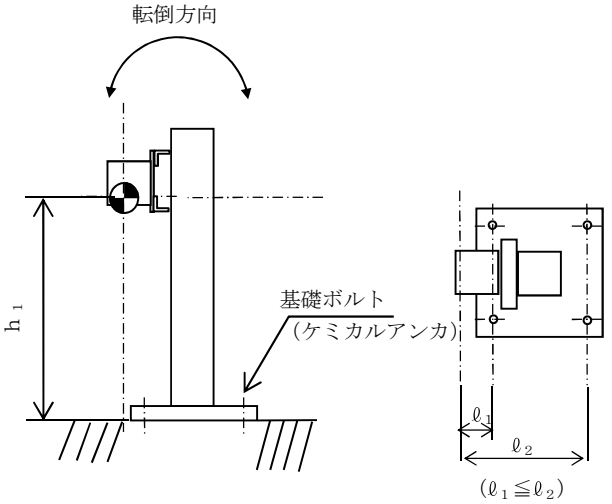
1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　($\times 9.8\ m/s^2$)

		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。

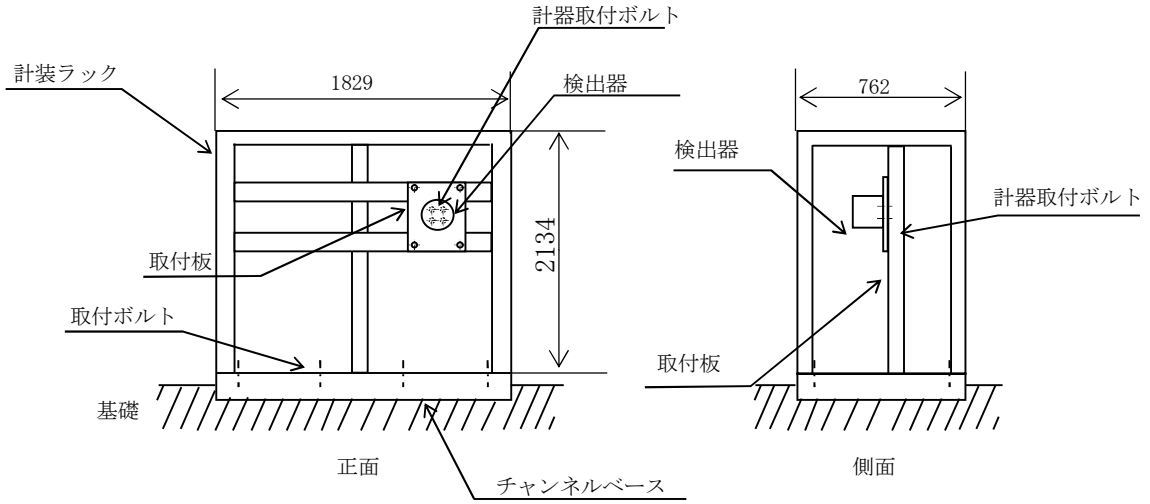
1.2 一般事項

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

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	―*	$D+P_D+M_D+S_d$*	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状態を適用する。

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
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 1-6　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]	225	385	－

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。

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。

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	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=161$

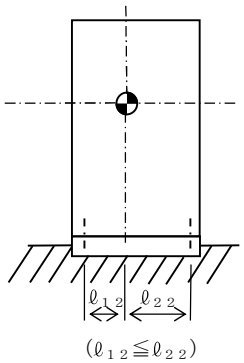
すべて許容応力以下である。

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

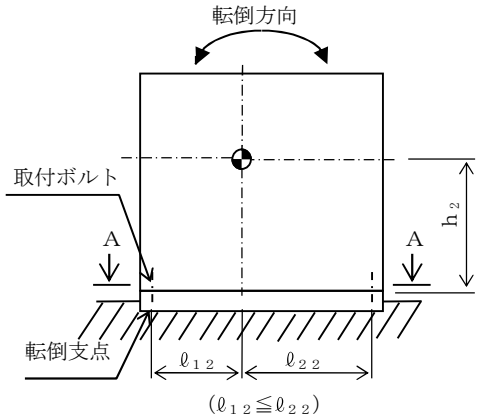
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

		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	

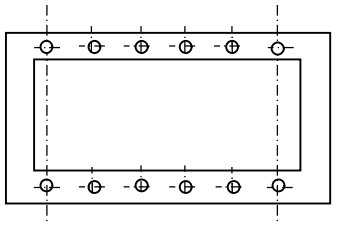
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



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）	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

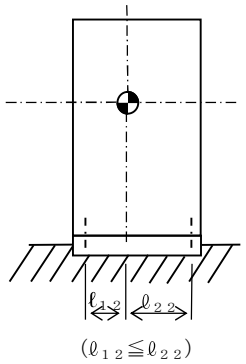
すべて許容応力以下である。

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

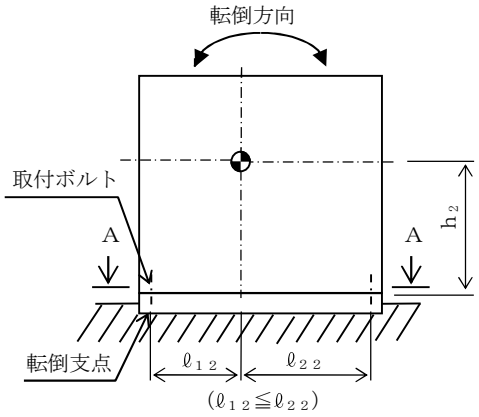
2.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		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	

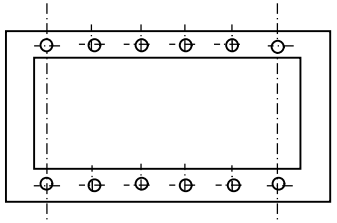
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



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。

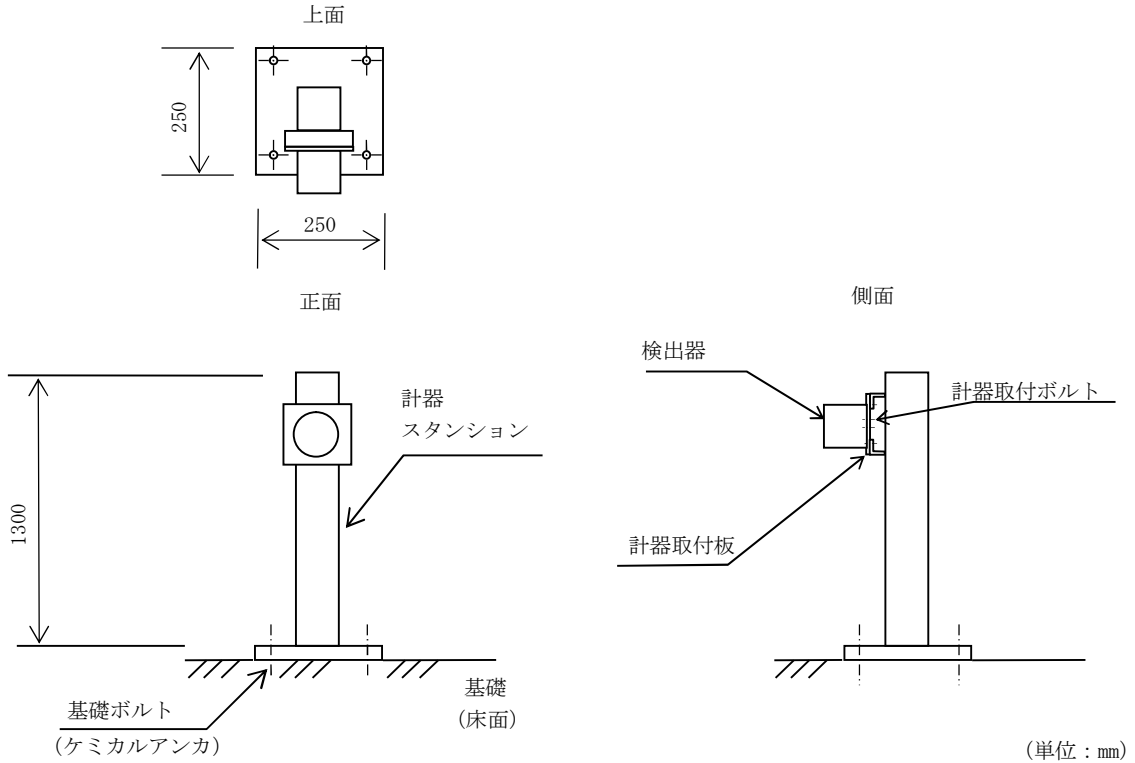
2.2　一般事項

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	

2.3　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。

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。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^{\,3}}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \quad \cdots (2.3.1.1.1)$$

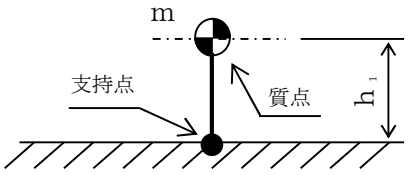
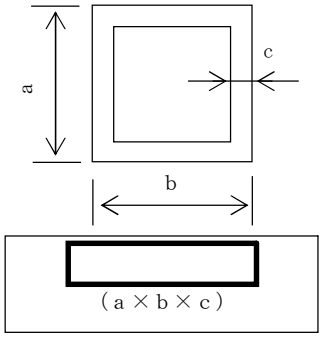


図 2-1　固有周期の計算モデル

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 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	－*	$D+P_D+M_D+S_d$*	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状態を適用する。

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]	225	385	－

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 2-9 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	
	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（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	
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	$\tau_b=1$	$f_{sb}=113$	$\tau_b=2$	$f_{sb}=129$

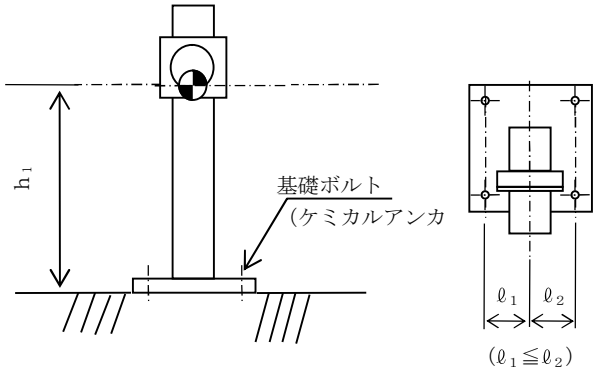
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

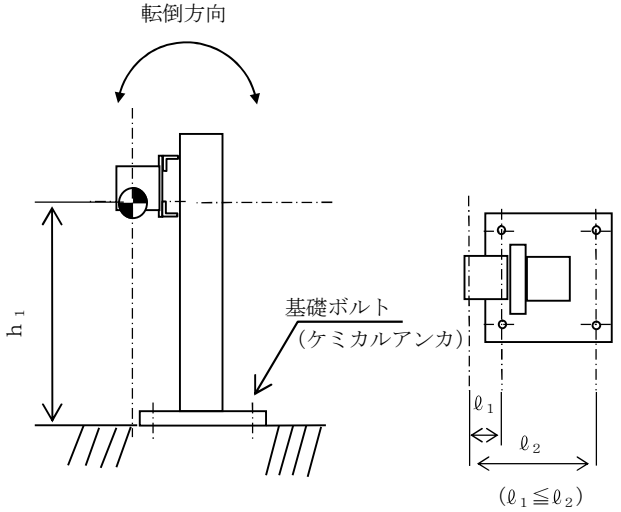
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

		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。



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	225	385	－	270	側面方向	側面方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は左右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	－	－	$\sigma_b=15$	$f_{ts}=162^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=2$	$f_{sb}=124^*$

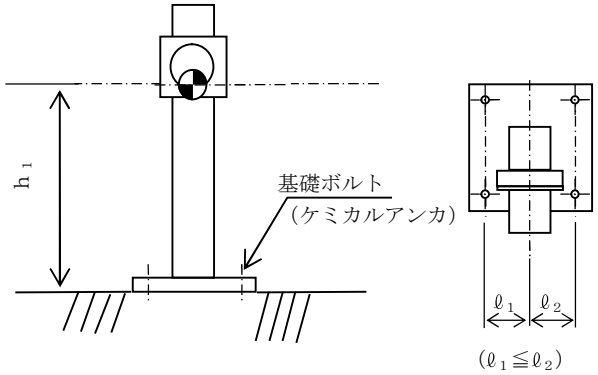
すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b, f_{to}]$より算出

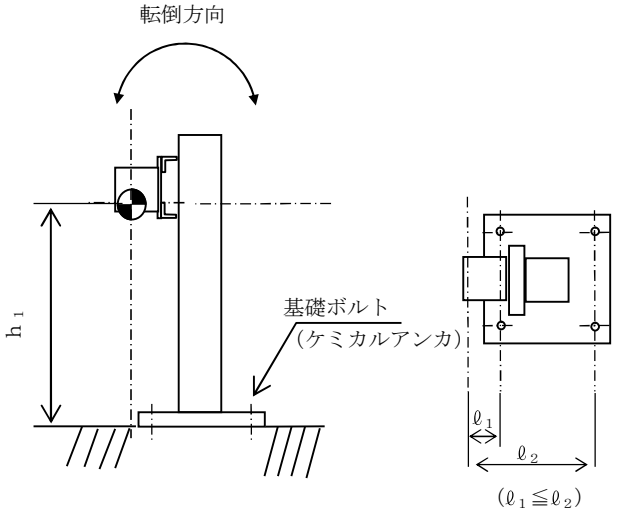
2.4.2 電気的機能維持の評価結果 （×9.8 m/s^2）

		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
5.3 設計用地震力 ····· 15
5.4 計算方法 ····· 16
5.5 計算条件 ····· 19
5.6 応力の評価 ····· 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。

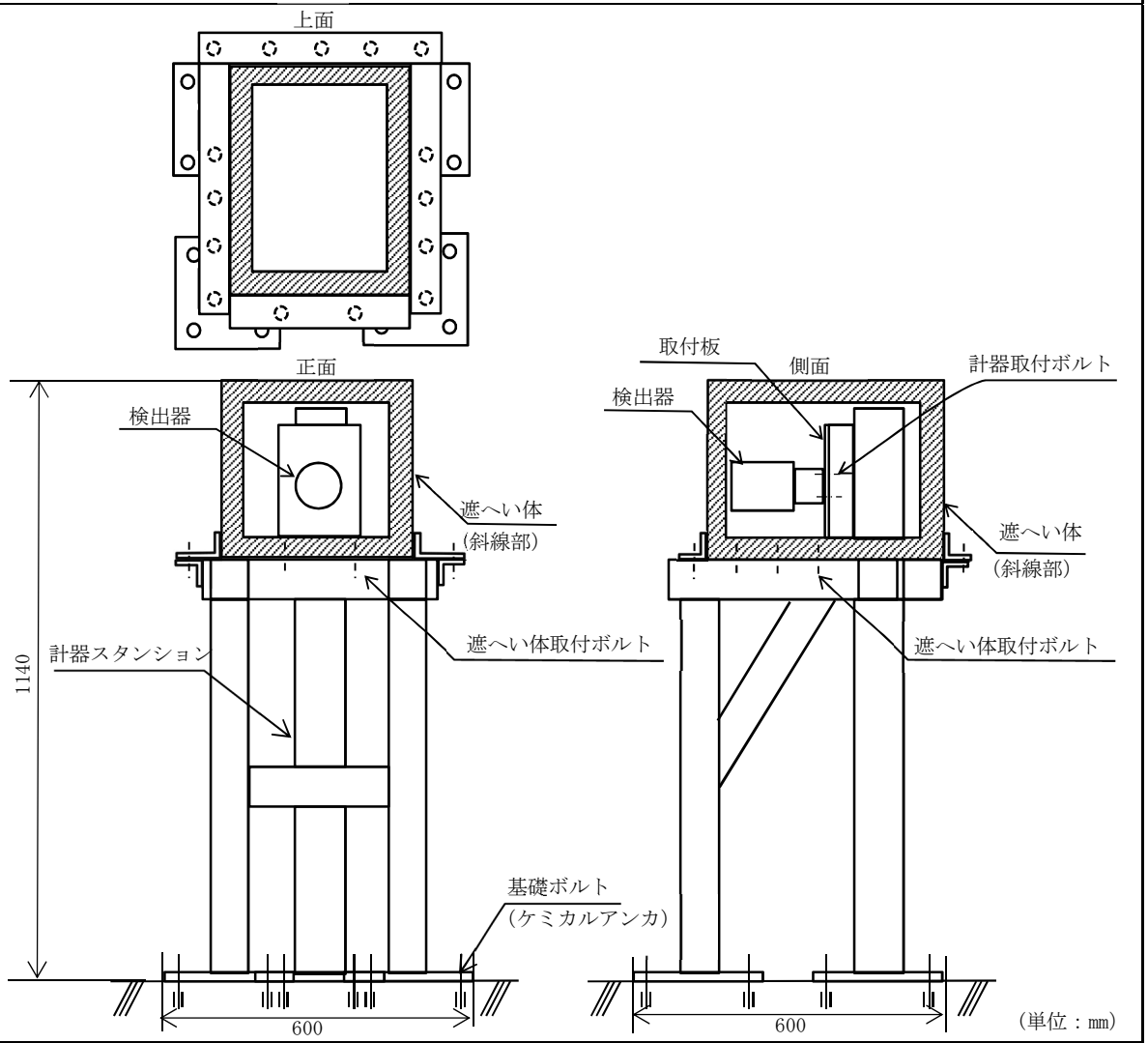
原子炉水位（ＳＡ広帯域）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

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固定ボルトにより，計器スタンションに固定される。	差圧式水検出器 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　4.3　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。

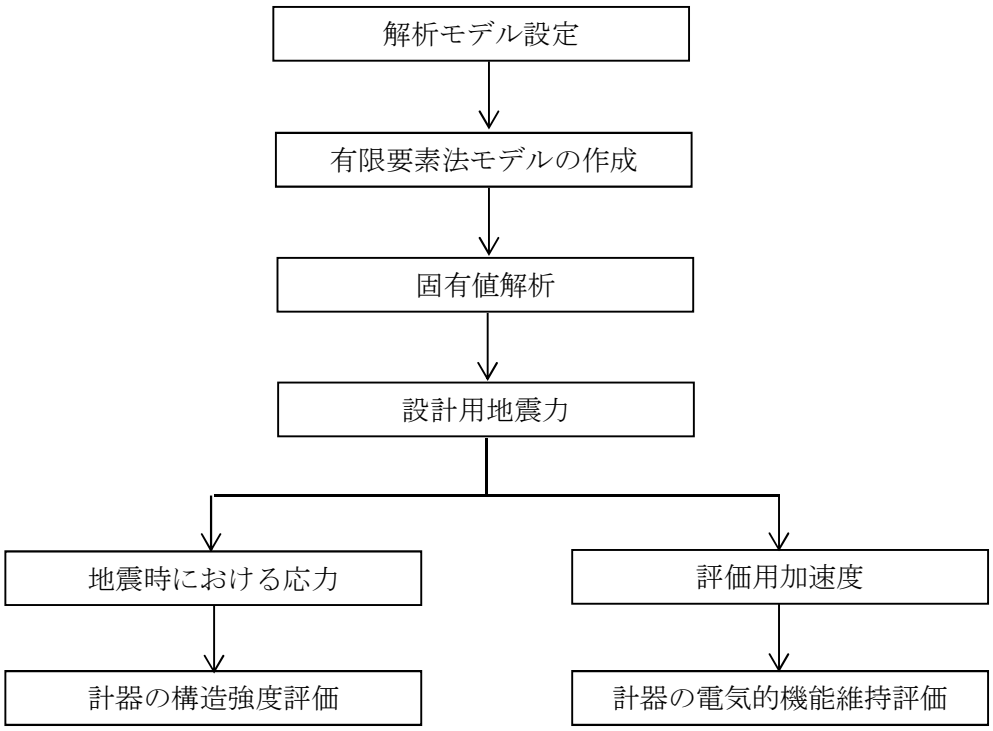


図 2-1　原子炉水位（ＳＡ広帯域）の耐震評価フロー

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（計器スタンション基礎部）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。

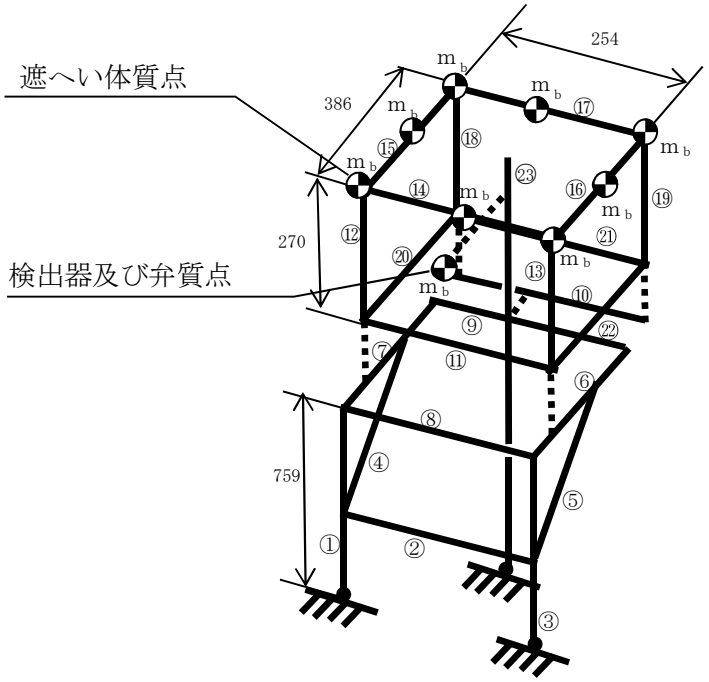


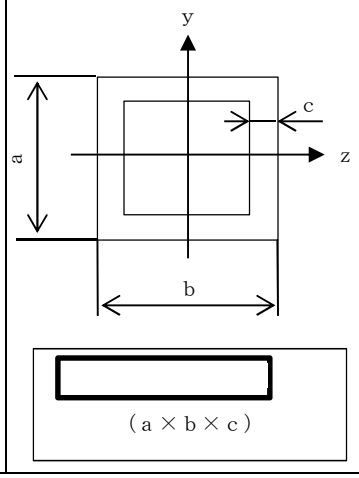
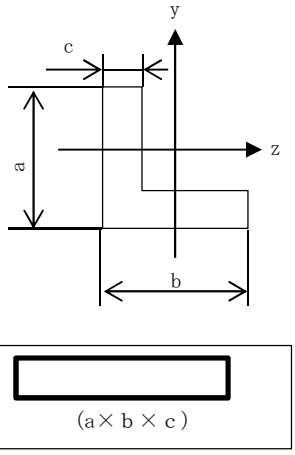
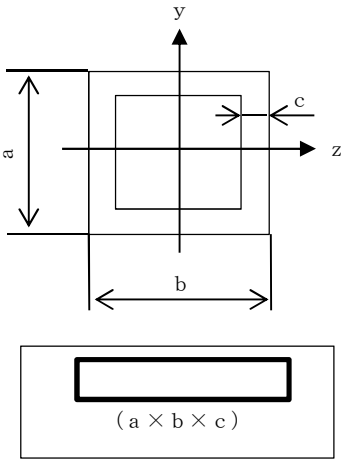
図 4-1　解析モデル

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）	 （a × b × c）	 （a × b × c）	 （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，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同時に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

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
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]	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。

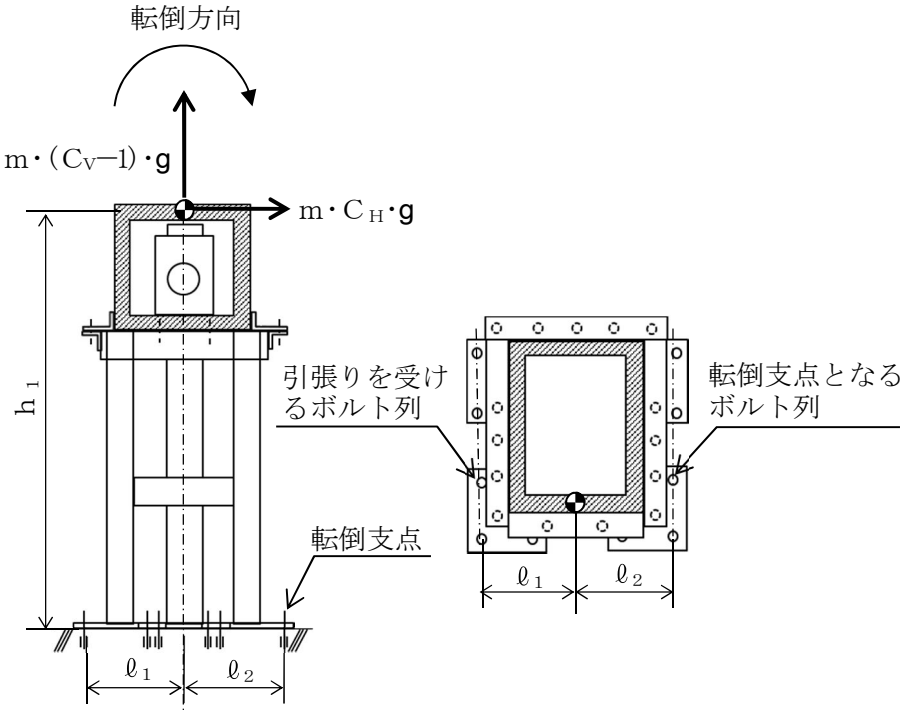
＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

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）

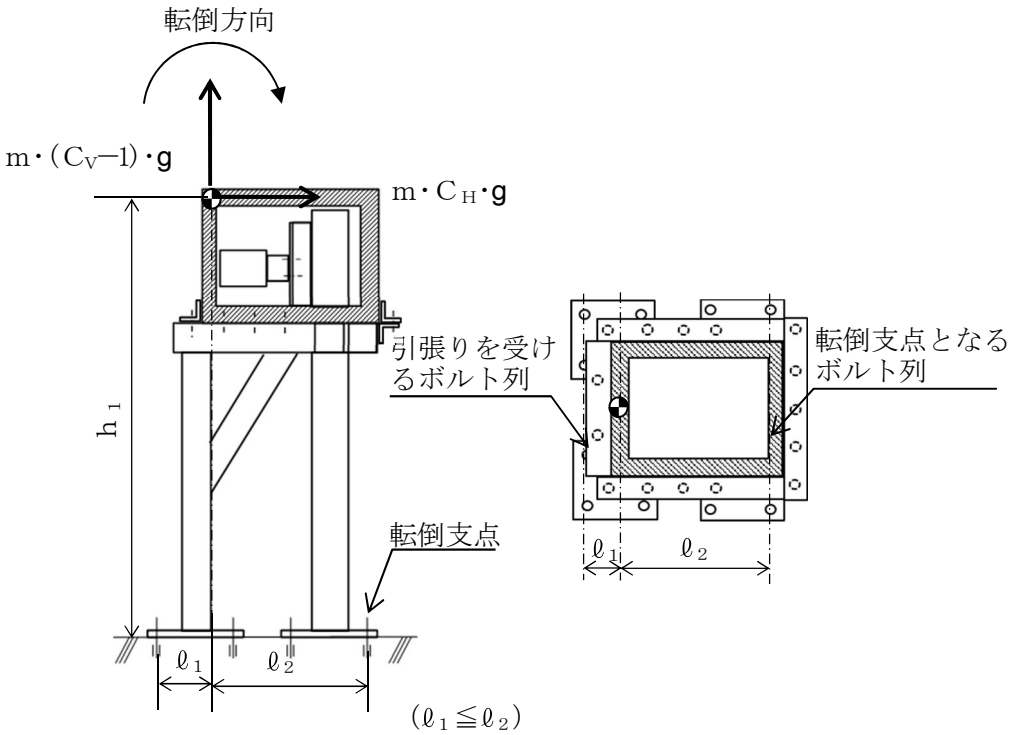


図5-1（2）　計算モデル

（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

$$F_b=\frac{m\cdot g\cdot C_H\cdot h_1-m\cdot g\cdot(1-C_V)\cdot \ell_2}{n_f\cdot(\ell_1+\ell_2)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.1)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.3)$$

(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。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \cdots\cdots (5.6.1.1)$$

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	－	－	σ_b＝36	f_{ts}＝156*
		せん断	－	－	τ_b＝5	f_{sb}＝120

すべて許容応力以下である。

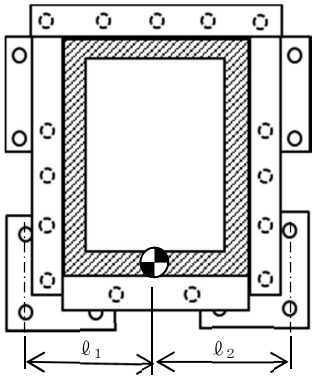
注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4.2　電気的機能維持の評価結果

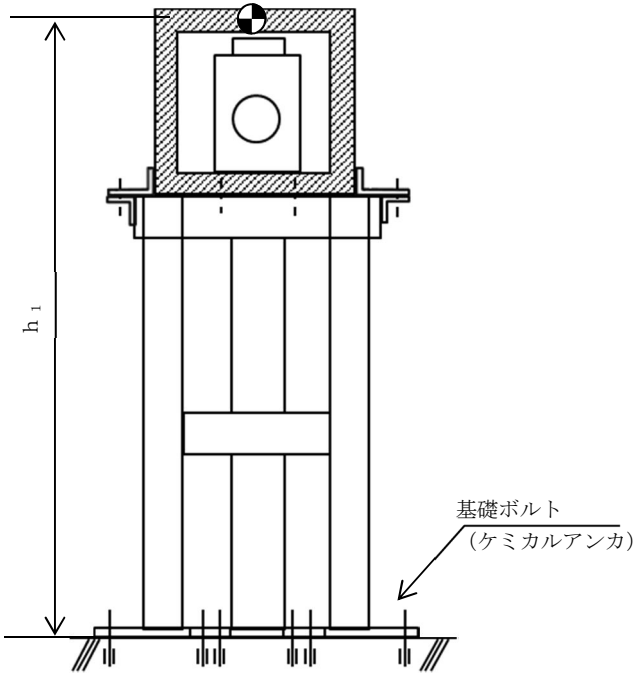
（×9.8 m/s^2）

		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	

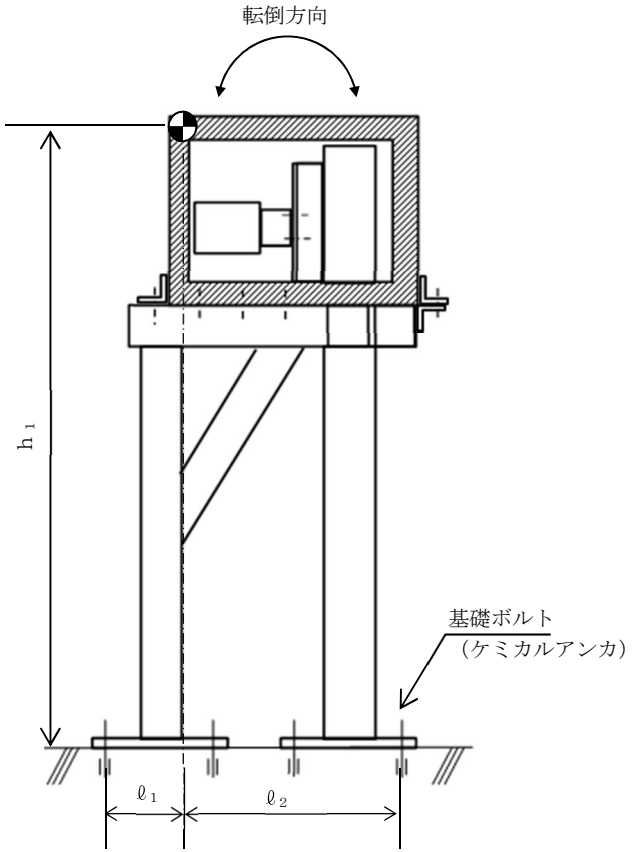
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



($\ell_1 \leqq \ell_2$)



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

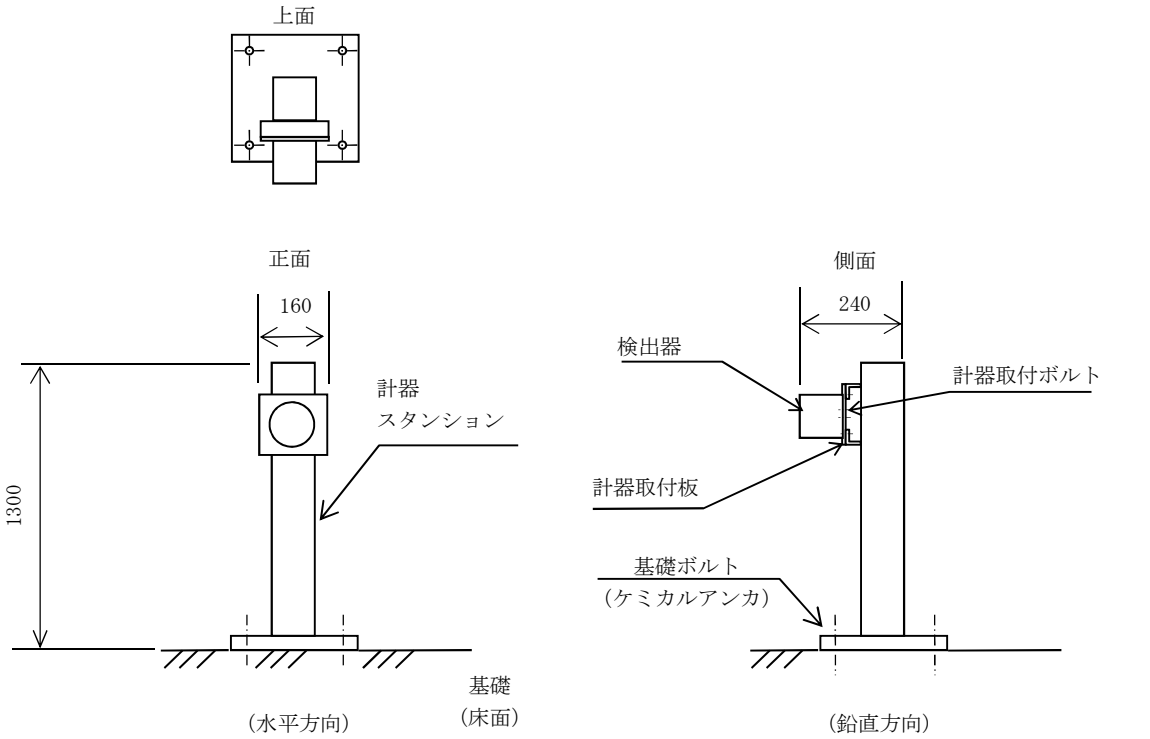
本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

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。

NT2 補② Ⅴ-2-6-5-24 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	 (単位：mm)

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。

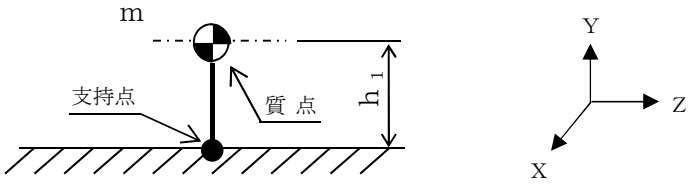
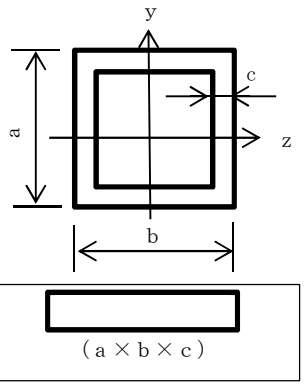


図 3-1　固有周期の計算モデル

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	－	－	σ_b＝15	f_{ts}＝162*
		せん断	－	－	τ_b＝2	f_{sb}＝124

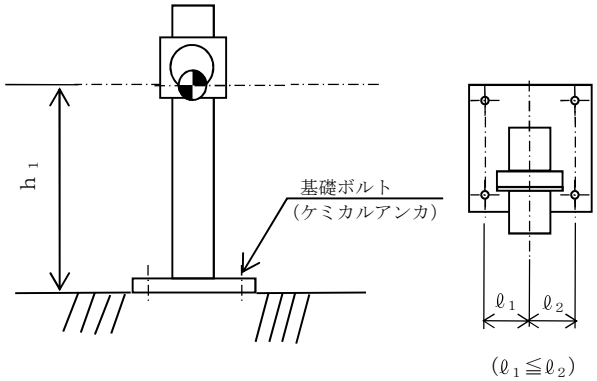
すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

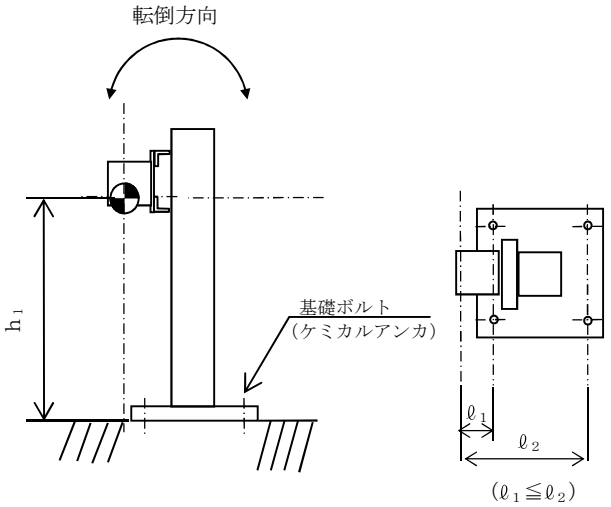
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
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
4.3　固有周期.....30
4.3.1　固有周期の算出方法.....30

4.3.2　固有周期の計算条件 31
4.3.3　固有周期の計算結果 31
4.4　構造強度評価 32
4.4.1　構造強度評価方法 32
4.4.2　荷重の組合せ及び許容応力 32
4.5　機能維持評価 35
4.5.1　電気的機能維持評価方法 35
4.6　評価結果 36
4.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果 36
5.　ドライウェル圧力（遮へい体（PT-26-79.60）） 40
5.1　概要 40
5.2　一般事項 40
5.2.1　構造計画 40
5.2.2　評価方針 42
5.2.3　適用基準 43
5.2.4　記号の説明 44
5.2.5　計算精度と数値の丸め方 46
5.3　評価部位 47
5.4　固有周期 47
5.4.3　固有値解析結果 50
5.5　構造強度評価 51
5.5.1　構造強度評価方法 51
5.5.2　荷重の組合せ及び許容応力 51
5.5.3　設計用地震力 54
5.5.4　計算方法 55
5.5.5　計算条件 57
5.5.6　応力の評価 58
5.6　評価結果 59
5.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果 59

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

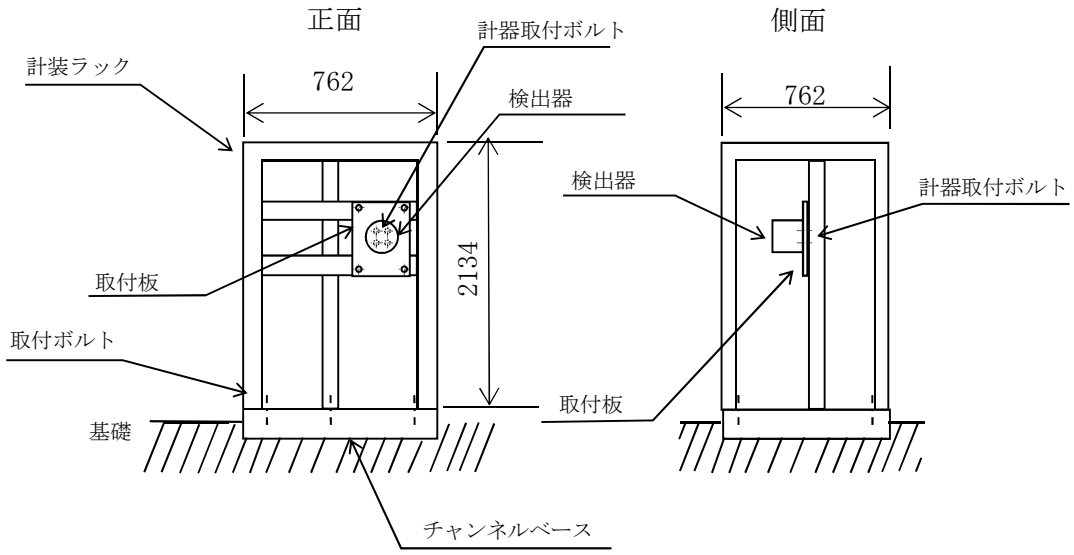
ドライウェル圧力（計装ラック）は,添付書類「Ⅴ-2-1-13-8　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

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	－*	$D+P_D+M_D+S_d$*	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

注記　＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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
$\mathrm{III}_A S$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
$\mathrm{IV}_A S$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*

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 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	nf_i*
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

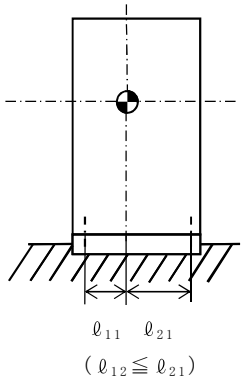
すべて許容応力以下である。

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

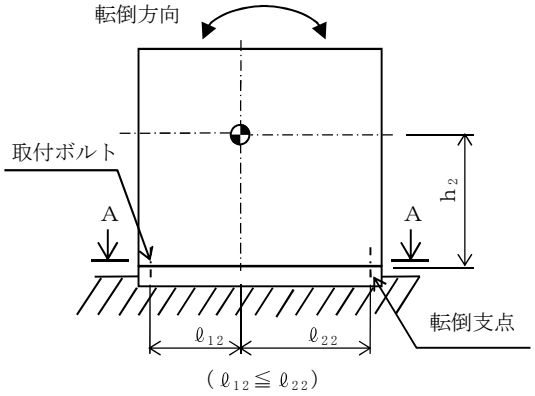
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8m/s^2)

		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	

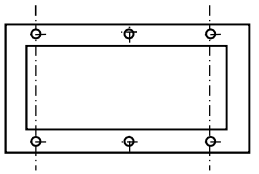
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



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。

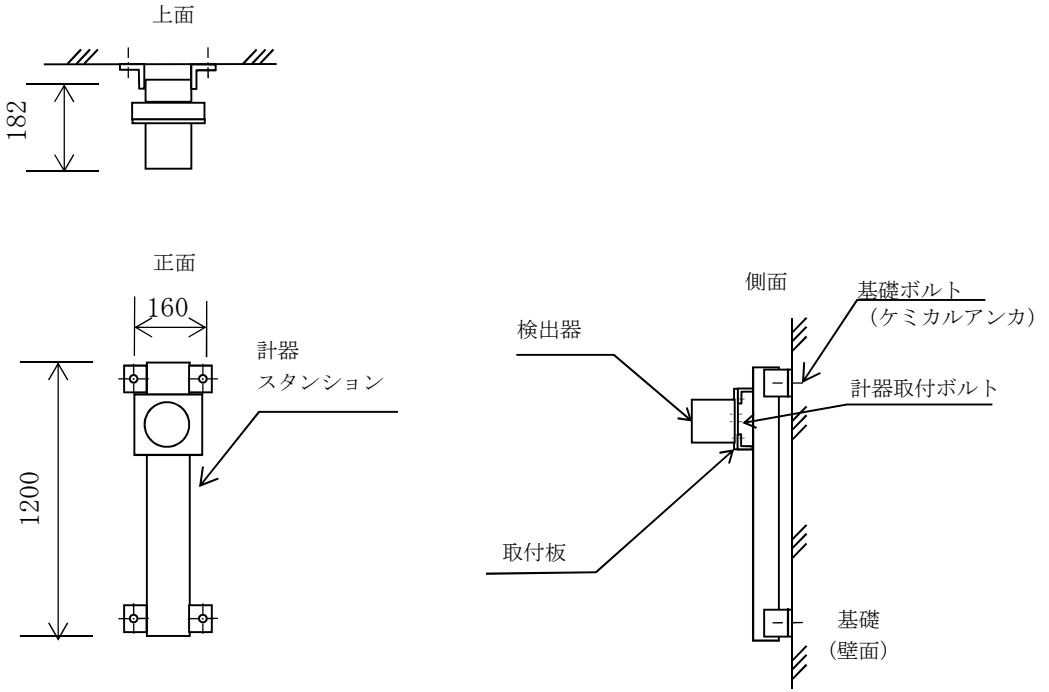
2.2 一般事項

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。

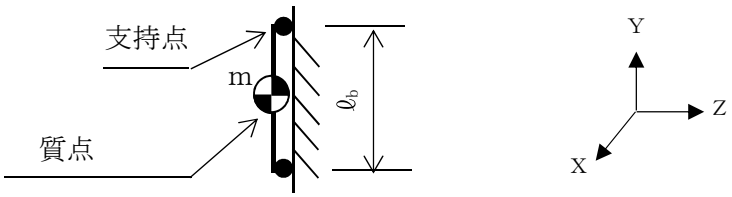


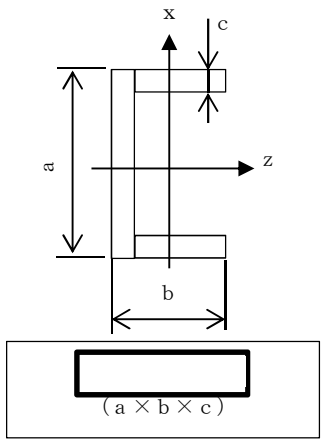
図 2-1　固有周期の計算モデル

NT2 補② V-2-6-5-25 R0

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	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)			

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。

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	－*	$D+P_D+M_D+S_d$*	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

注記　＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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（℃）		Ｓｙ（MPa）	Ｓｕ（MPa）	Ｓｙ（ＲＴ）（MPa）
基礎ボルト	[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

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	Sy (MPa)	Su (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		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	164.5	275.6	164.5	275.6	140.3	232.8	524.3	758.4

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	σ_b=2	f_{ts}=147*	σ_b=3	f_{ts}=168*
		せん断	τ_b=2	f_{sb}=113	τ_b=2	f_{sb}=129

すべて許容応力以下である。

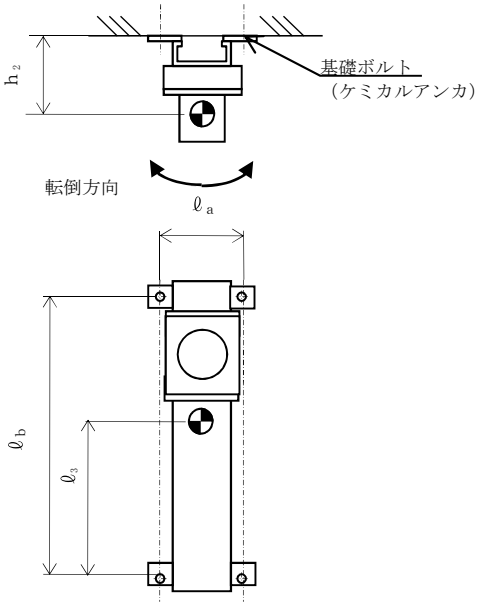
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能の評価結果

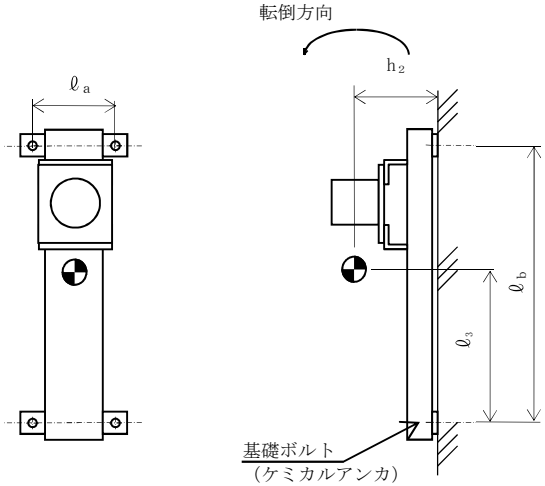
（×9.8m/s²）

		評価用加速度	機能確認済加速度
ドライウェル圧力計	水平方向	1.29	[redacted]
	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。

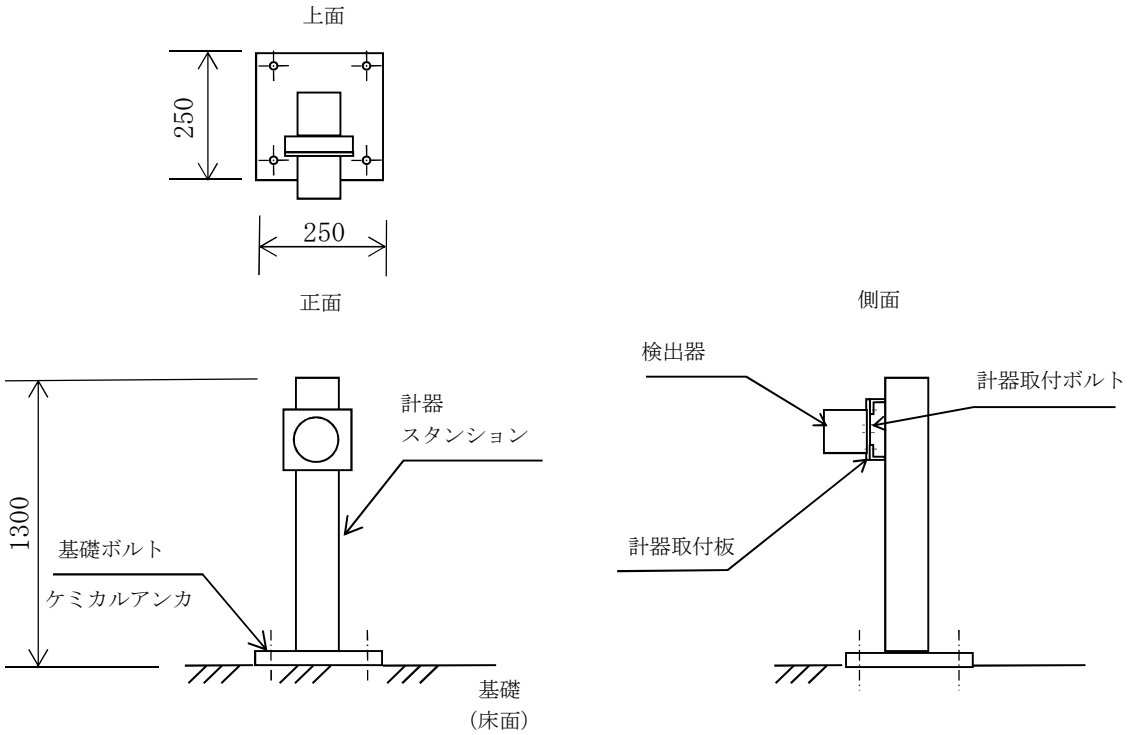
3.2 一般事項

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 2-1 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。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{As \cdot G} \right)} \quad \cdots (3.3.1.1.1)$$

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。

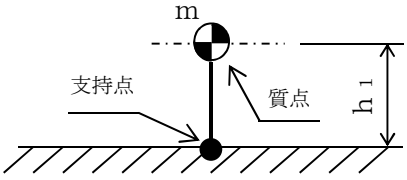
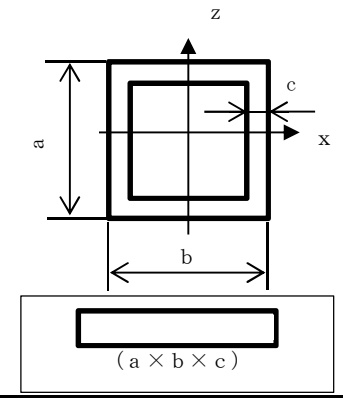


図 3-1　固有周期の計算モデル

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	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）			

3.3.3　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	－*	$D+P_D+M_D+S_d$*	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

注記　＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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（℃）		Ｓｙ（MPa）	Ｓｕ（MPa）	Ｓｙ（ＲＴ）（MPa）
基礎ボルト		周囲環境温度		235	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	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	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	σ_b=9	f_{ts}=183*	σ_b=16	f_{ts}=210*
		せん断	τ_b=1	f_{sb}=141	τ_b=2	f_{sb}=161

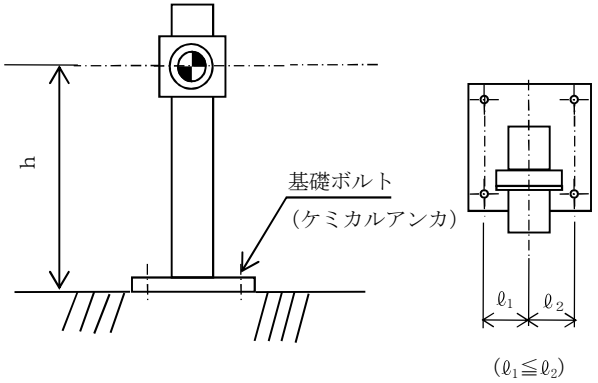
すべて許容応力以下である。

注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

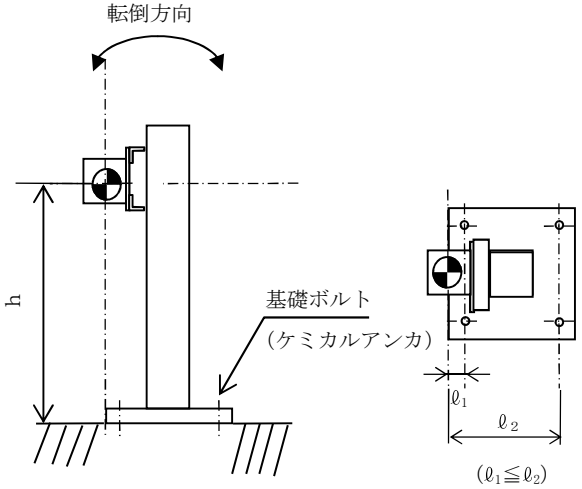
1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　（×9.8m/s^2）

		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。

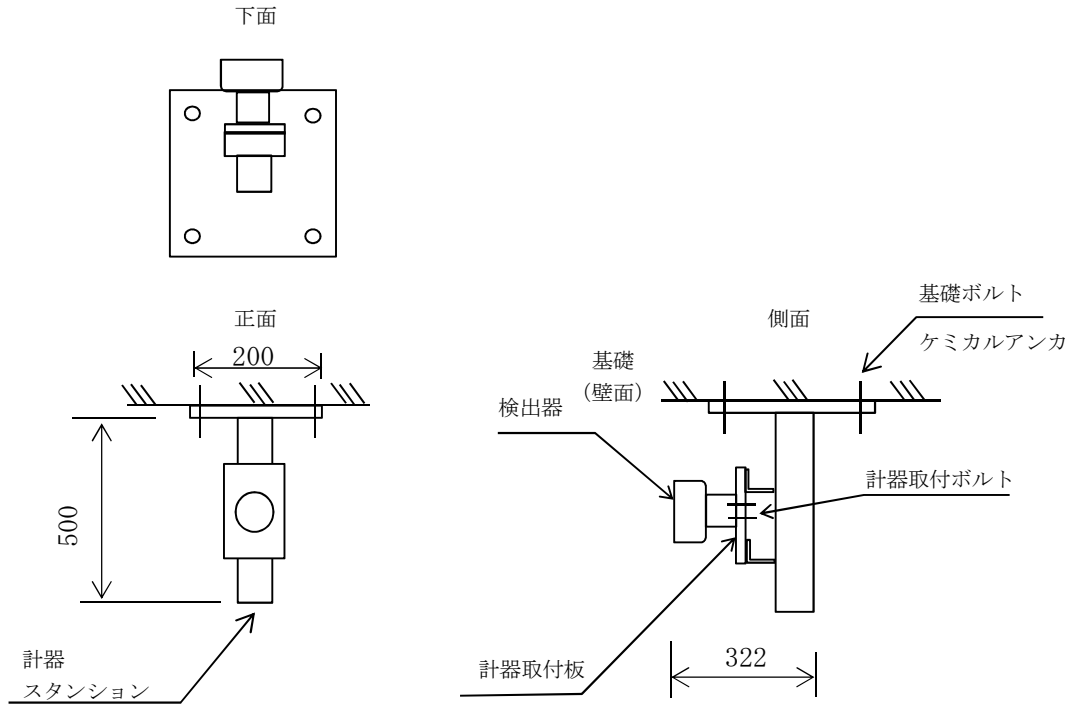
4.2 一般事項

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））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。

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）

4.3　固有周期

4.3.1　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-26-79.60））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 4-1 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 4-1 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。

4.3.1.1　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。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{As \cdot G} \right)} \quad \cdots (4.3.1.1.1)$$

4.3.1.2　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。

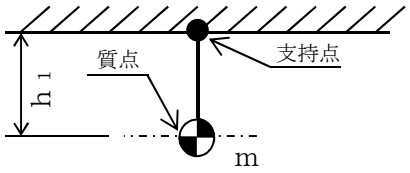


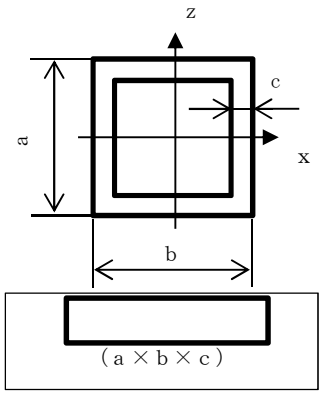
図 4-1　固有周期の計算モデル

NT2 補② V-2-6-5-25 R1

4.3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 4-2 に示す。

表 4-2　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）			

4.3.3　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 4-3 示す。

表 4-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4.4　構造強度評価

4.4.1　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-26-79.60））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。

4.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.4.2.1　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-26-79.60））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 4-4 に示す。

4.4.2.2　許容応力

ドライウェル圧力（計器スタンション（PT-26-79.60））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 4-5 のとおりとする。

4.4.3.3　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 4-6 に示す。

表 4-4　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	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 4-5　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
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 4-6　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 (℃)		Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	221	373	－

4.5　機能維持評価

4.5.1　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-26-79.60））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 4-7 に示す。

表 4-7　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	

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

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	nf
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	－	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	－	－	$\tau_b=2$	$f_{sb}=120$

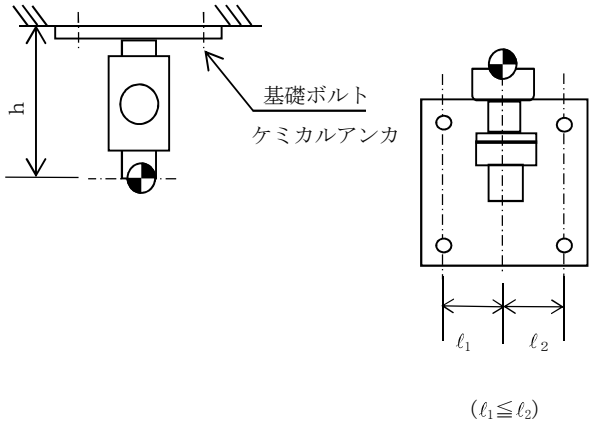
すべて許容応力以下である。

注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$ より算出

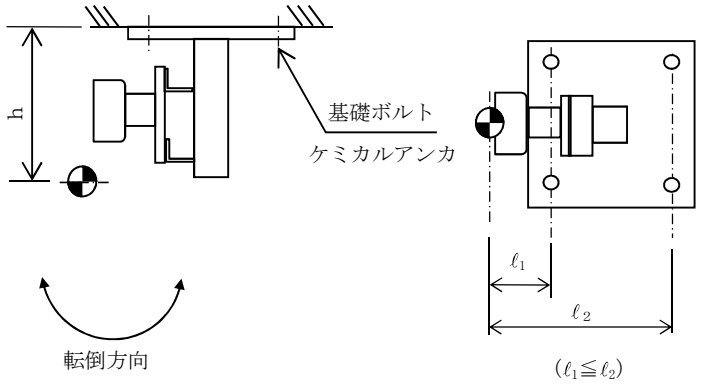
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

		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	1.00	

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）

5. ドライウェル圧力（遮へい体（PT-26-79.60））

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（遮へい体（PT-26-79.60））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（遮へい体（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を示す。

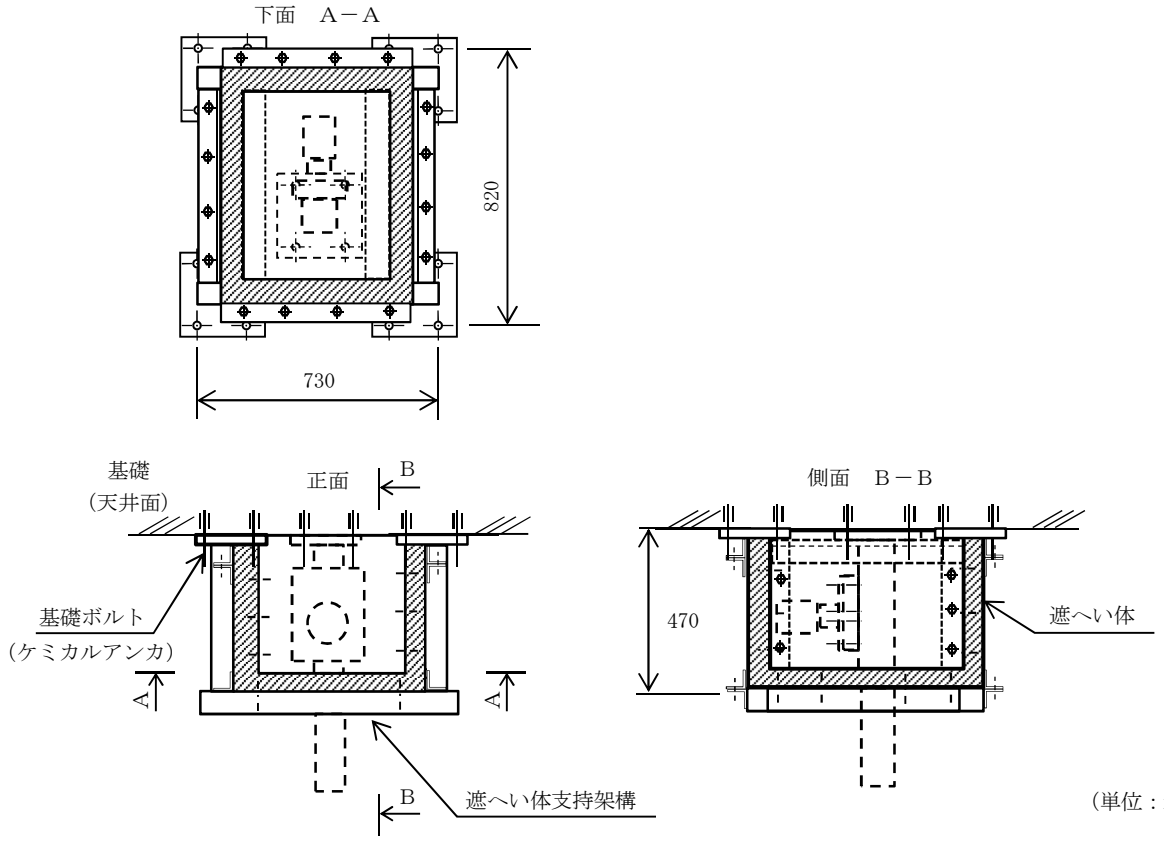
5.2 一般事項

5.2.1 構造計画

ドライウェル圧力（遮へい体（PT-26-79.60））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】



41

5.2.2　評価方針

ドライウェル圧力（遮へい体（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，「5.2.1　構造計画」にて示すドライウェル圧力（遮へい体（PT-26-79.60））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（遮へい体（PT-26-79.60））の耐震評価フローを図 5-1 に示す。

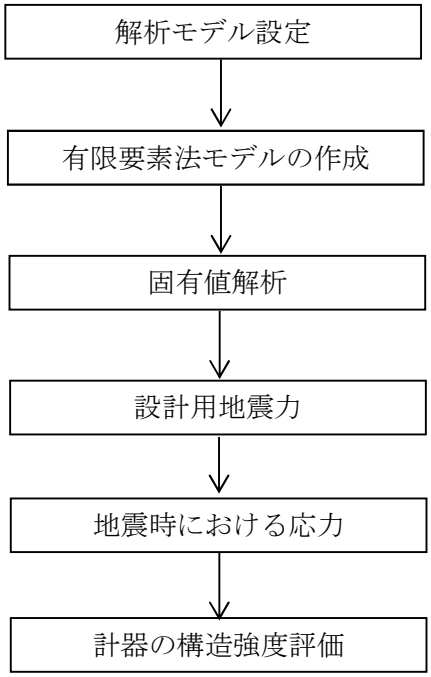


図 5-1　ドライウェル圧力（遮へい体（PT-26-79.60））の耐震評価フロー

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*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。

5.3　評価部位

ドライウェル圧力（遮へい体（PT-26-79.60））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部について実施する。ドライウェル圧力（遮へい体（PT-26-79.60））の耐震評価部位については，表 5-3 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（遮へい体（PT-26-79.60））の固有値解析方法を「5.2　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（遮へい体（PT-26-79.60））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。遮へい体は解析モデルにおいて，⑨～⑯の部材で組まれるものとする。また，遮へい体支持架構は複数の鋼材で組まれ，原子炉建屋天井に 4 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，①～⑧の部材で組まれたものとみなし，支持点（遮へい体支持架構基礎部）4 点で固定されるものとする。解析モデルにおいて，遮へい体の質量は 8 箇所に分散されるものとし，質点は保守的に遮へい体の取付位置の下部に設置する。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。

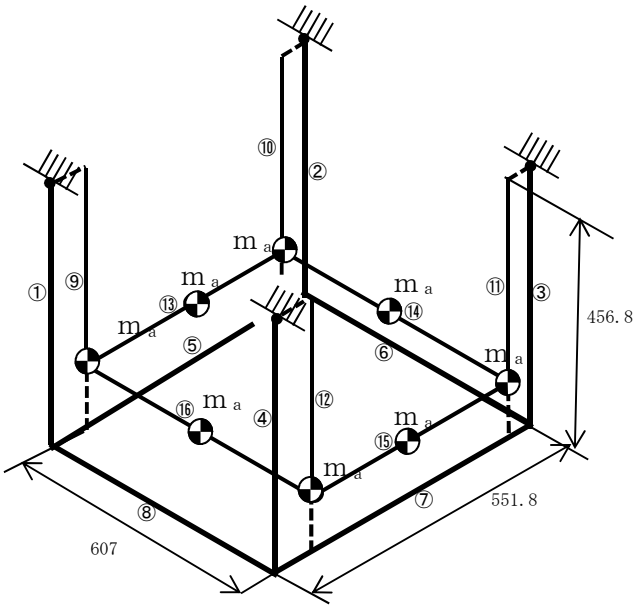
(2)　図 5-2 中の ◓ は遮へい体の質点を示し，質点m_aは 8 箇所に分散している。なお，質点m_aの質量は 1 個あたり □ kg で 8 箇所を合計すると □ kg である。

(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（遮へい体支持架構基礎部）

：遮へい体質点

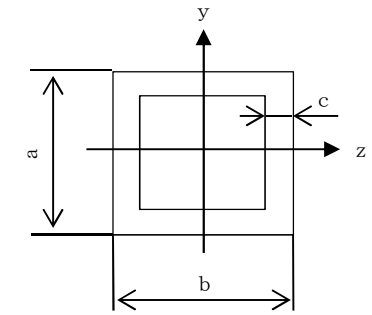
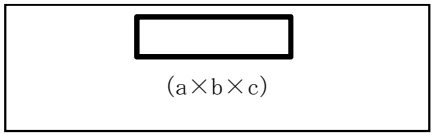
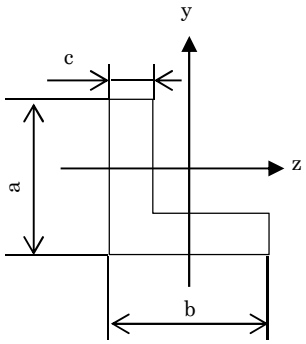
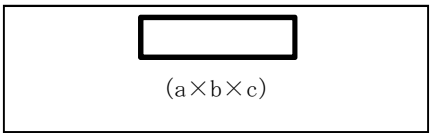
図 5-2　ドライウェル圧力（遮へい体（PT-26-79.60））解析モデル

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（遮へい体（PT-26-79.60））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

5.4.2 項(1)～(6)のほか，次の条件で計算する。

(1)　地震力は，ドライウェル圧力（遮へい体（PT-26-79.60））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。

5.5.2　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（遮へい体（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 5-6 に示す。

5.5.2.2　許容応力

ドライウェル圧力（遮へい体（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 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（遮へい体（PT-26-79.60））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（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
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
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 5-8　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。

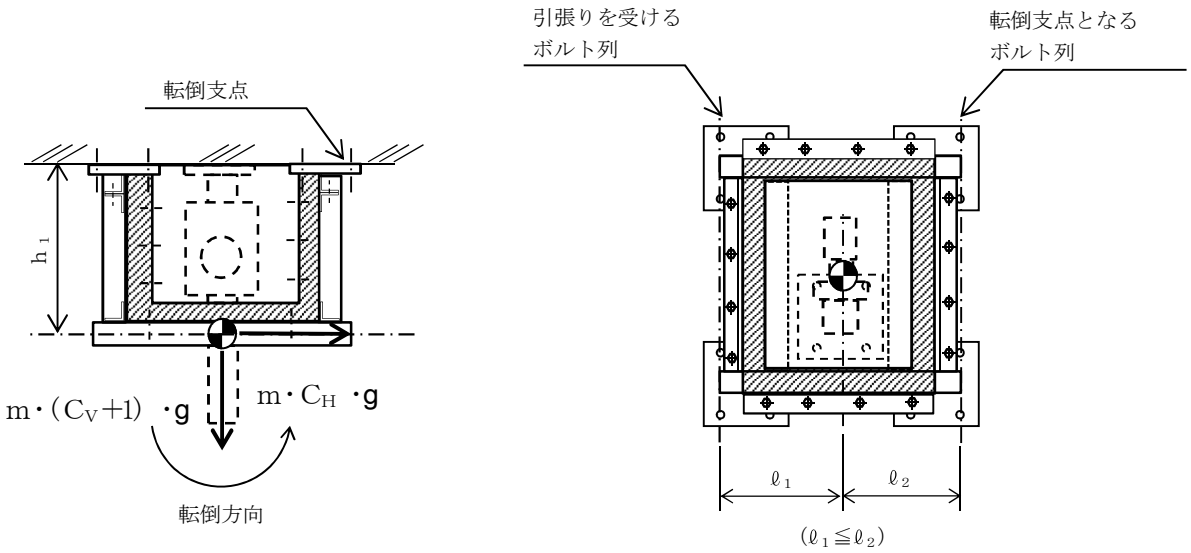


図5-3(1)　計算モデル
(直立形　正面方向転倒の場合)

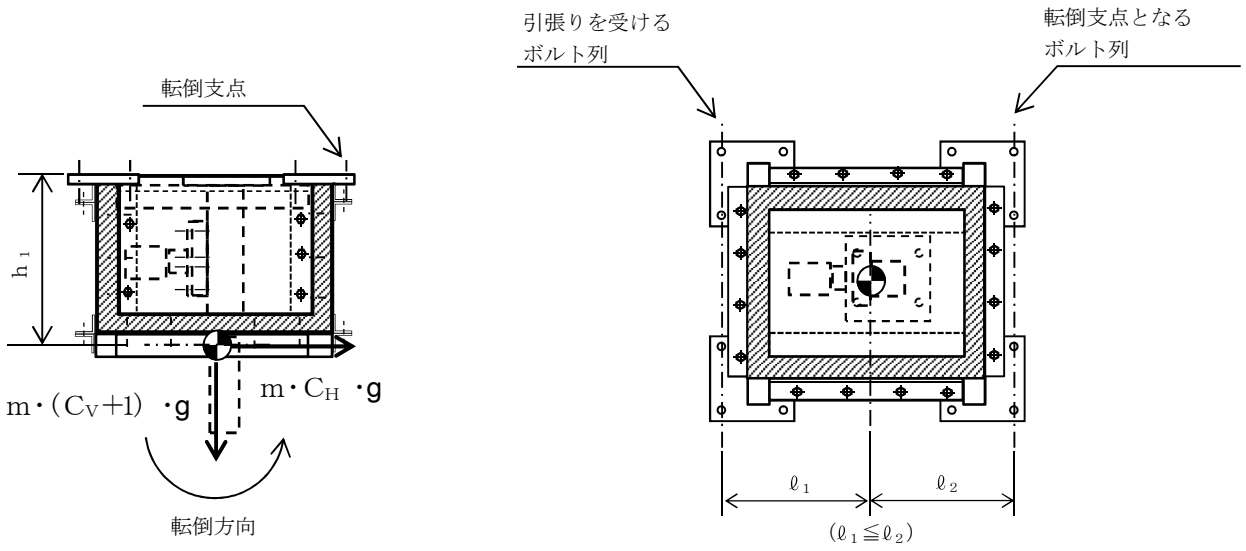


図5-3(2)　計算モデル
(直立形　側面方向転倒の場合)

(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（F_b）

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（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.5.4.1.1.2)$$

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）

$$Q_b = m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.5.4.1.1.4)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.5.4.1.1.5)$$

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（遮へい体（PT-26-79.60））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（遮へい体（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（遮へい体（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	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		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	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。

1.2 機器要目

1.2.1 ドライウェル圧力（遮へい体（PT-26-79.60））

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	Sy (MPa)	Su (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				

1.4　結論

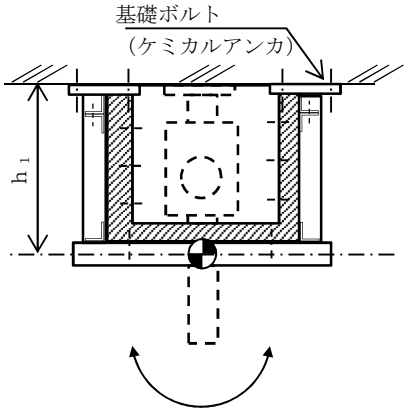
1.4.1　ボルトの応力

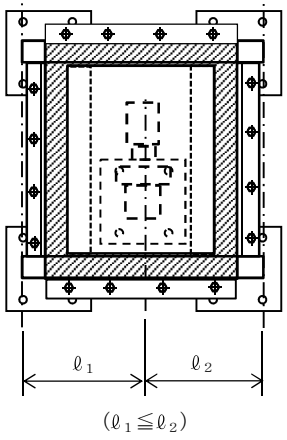
（単位：MPa）

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

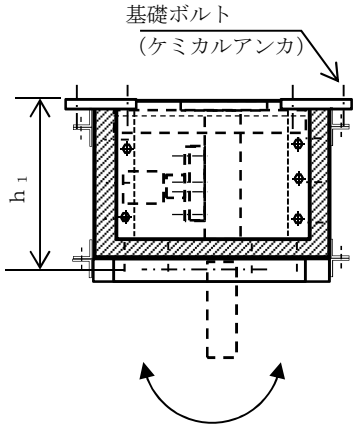
すべて許容応力以下である。

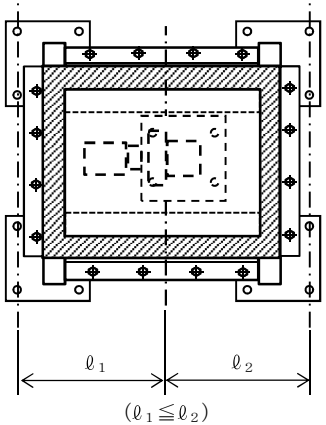
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出





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 27
2.3 評価部位 28
2.4 地震応答解析及び構造強度評価 28
2.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 28
2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力 28
2.4.3 解析モデル及び諸元 31

2.4.4　固有周期 33
2.4.5　設計用地震力 33
2.4.6　計算方法 34
2.4.7　計算条件 36
2.4.8　応力の評価 36
2.5　機能維持評価 37
2.5.1　電気的機能維持評価方法 37
2.6　評価結果 37
2.6.1　設計基準対象施設としての評価結果 37
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 64
4.3　評価部位 65
4.4　固有周期 65
4.4.1　固有値解析方法 65
4.4.2　解析モデル及び諸元 66
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 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
4.6　評価結果 76
4.6.1　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。

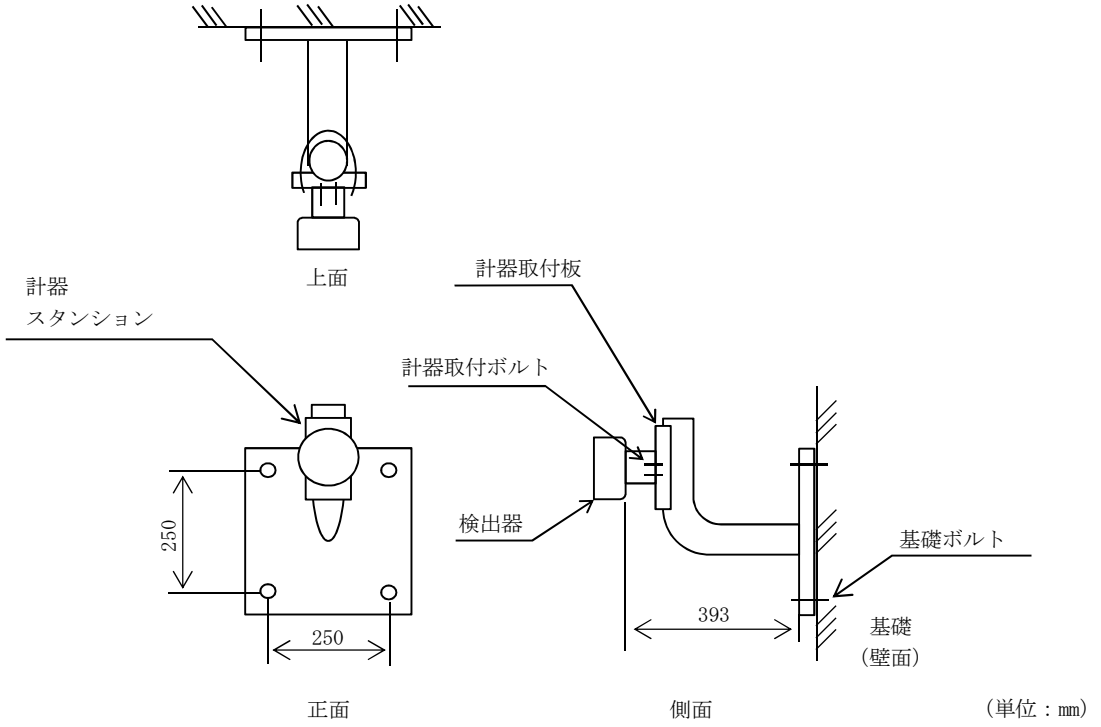
サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

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。

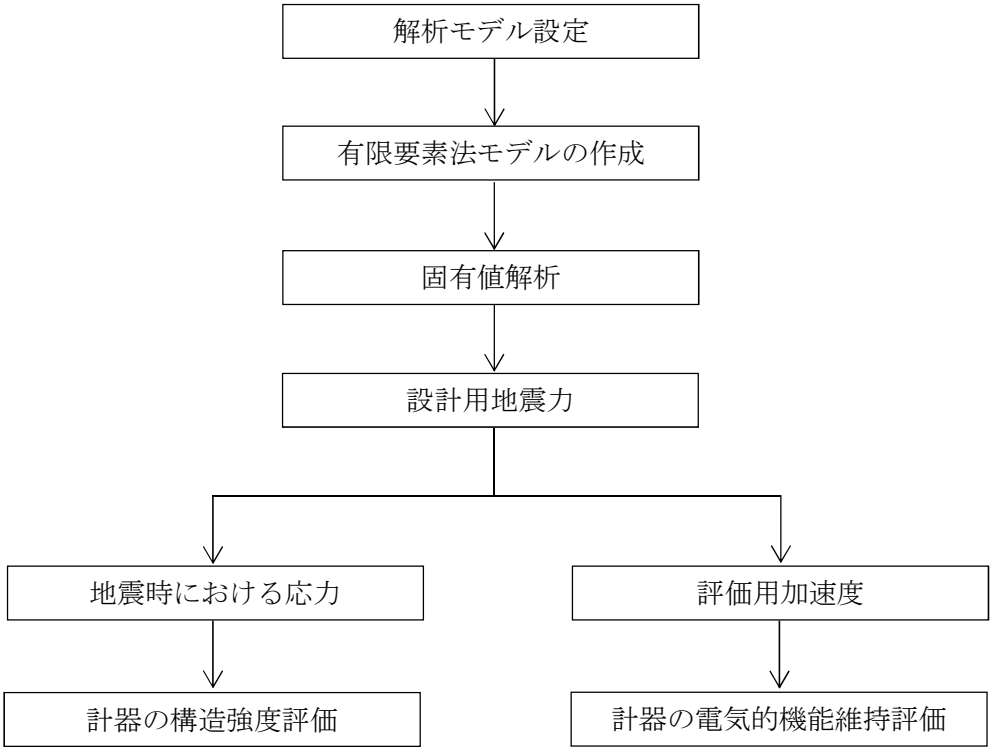


図 1-1　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）の耐震評価フロー

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_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
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　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（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。



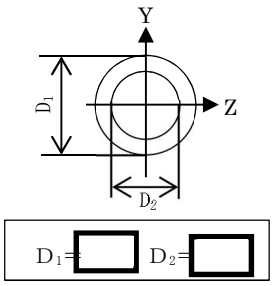
（単位：mm）

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			

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

1.4.2 項(1)～(6)のほか，次の条件で計算する。

(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。

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	－*	$D+P_D+M_D+S_d$*	ⅢAS
					$D+P_D+M_D+S_s$	ⅣAS

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 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。

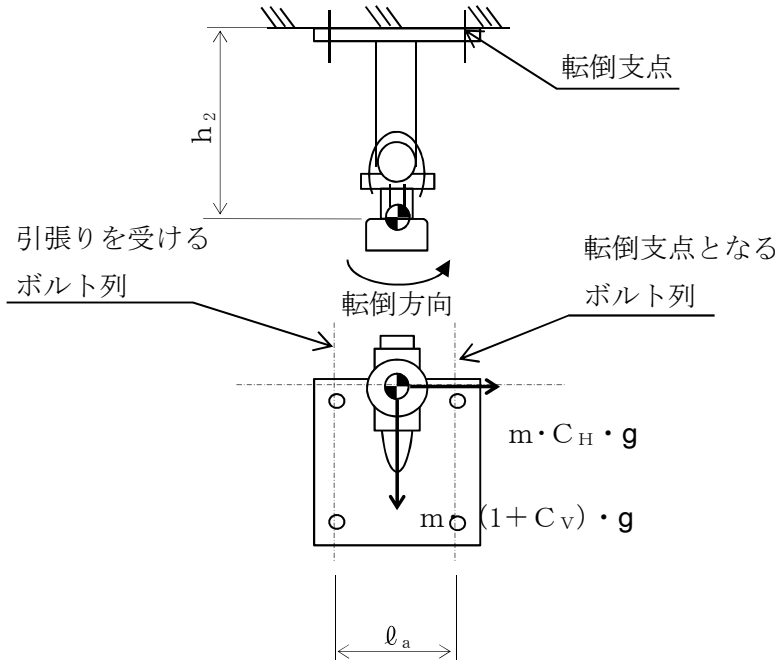


図1-3(1)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）計算モデル
（壁掛形　正面方向転倒の場合）

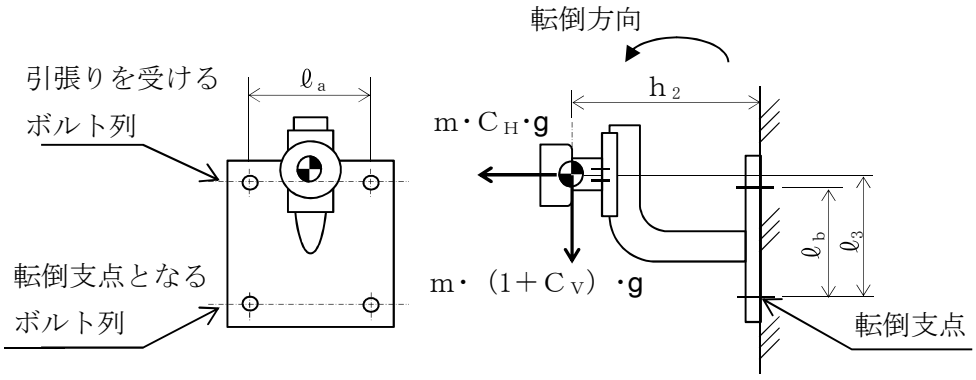


図1-3(2)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52A）計算モデル
（壁掛形　側面方向転倒の場合）

(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

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV}\cdot \ell_b}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.2)$$

$$F_b=Max\ (F_{b1},\ F_{b2}) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.3)$$

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）

$$Q_{b1}=\ m\cdot g\cdot C_H \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.6)$$

$$Q_{b2}=\ m\cdot g\cdot (1+C_V) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.4.1.8)$$

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。

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。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (1.5.6.1.1)$$

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。

	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_{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	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-26-79.52A)

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 基礎ボルトに作用する力

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 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	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。

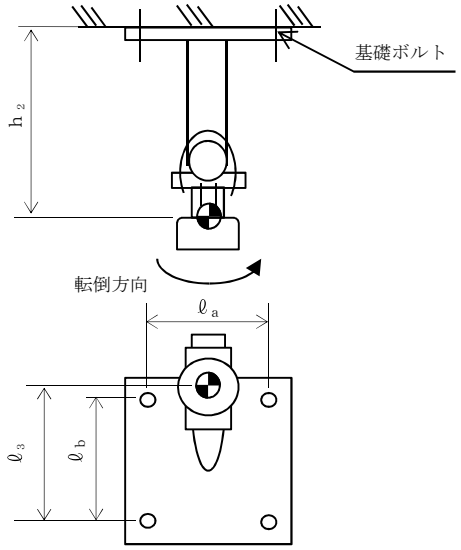
注記 ＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}−1.6・τ_b, f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

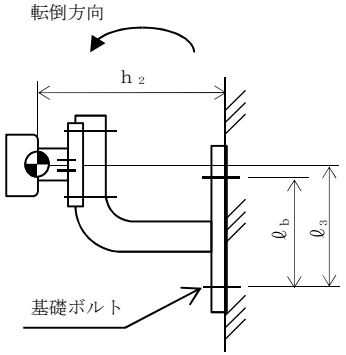
（×9.8 m/s^2）

		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。

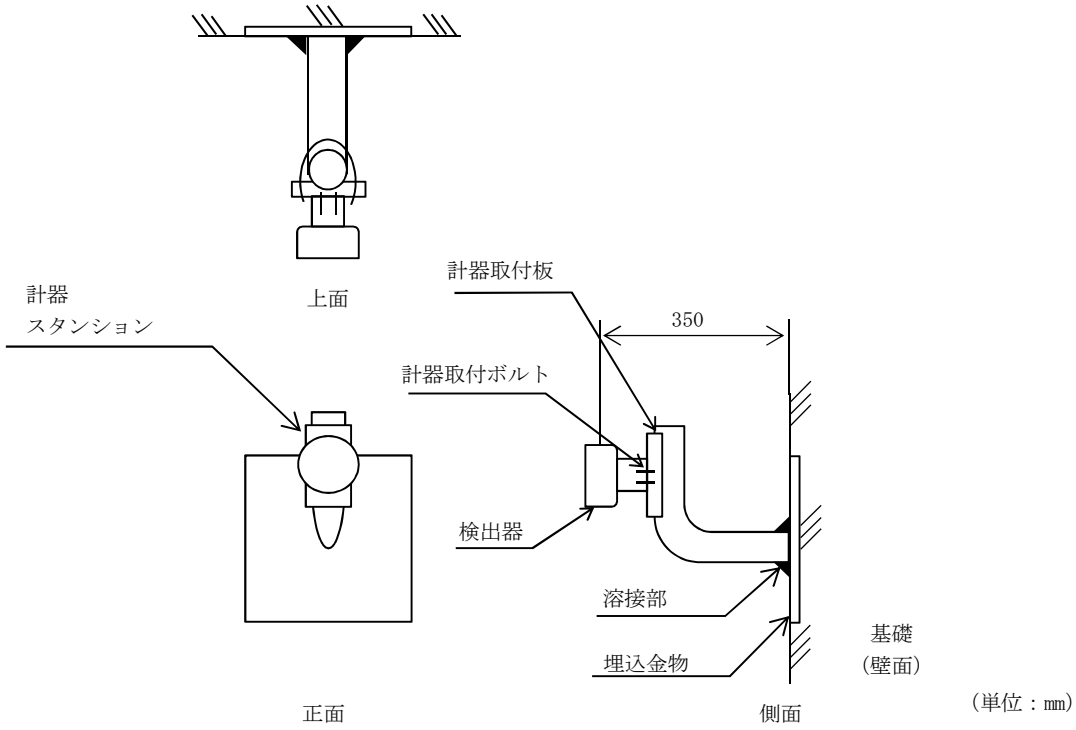
サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

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。

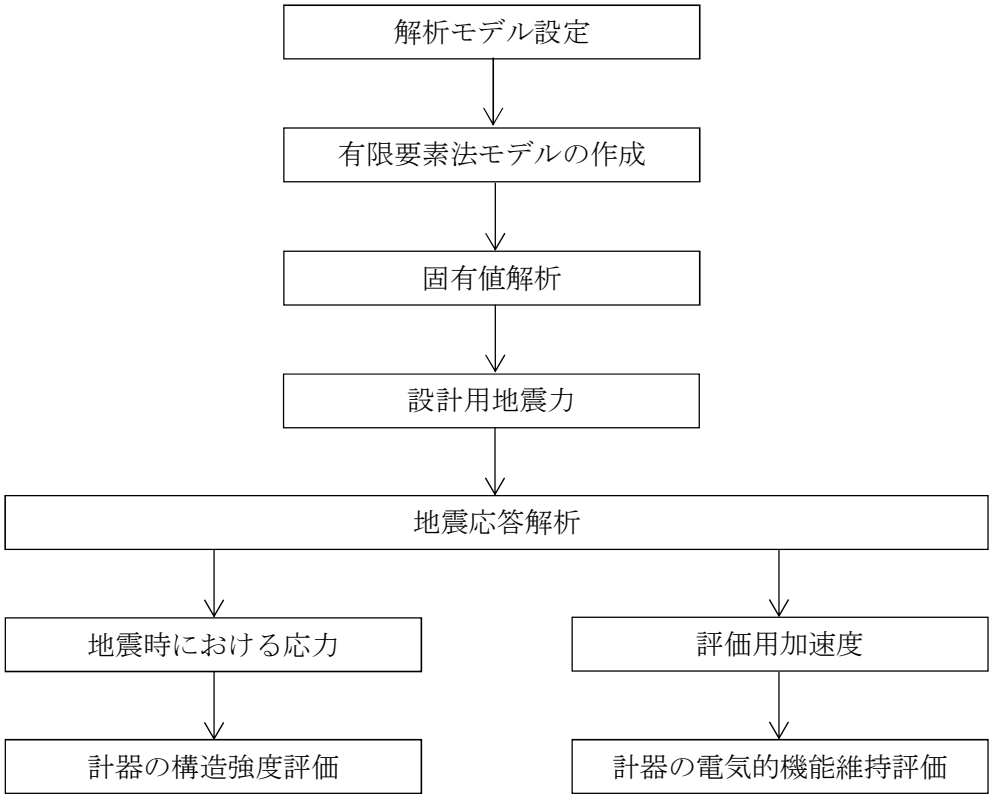


図 2-1　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）の耐震評価フロー

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軸周り）	N・m
M_Y	溶接部に作用するモーメント（Y軸周り）	N・m
M_Z	溶接部に作用するモーメント（Z軸周り）	N・m
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

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。

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	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 2-5　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
$\mathrm{III}_A S$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$
$\mathrm{IV}_A S$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*	$1.5 \cdot f_c$*	$1.5 \cdot f_b$*

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。

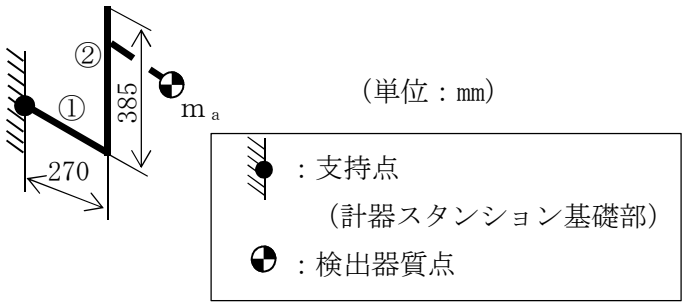
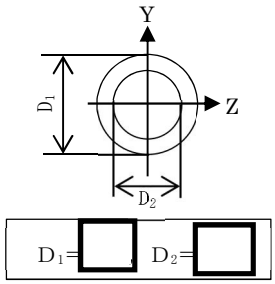


図2-2　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.52B）解析モデル

表 2-7　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m	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	

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。

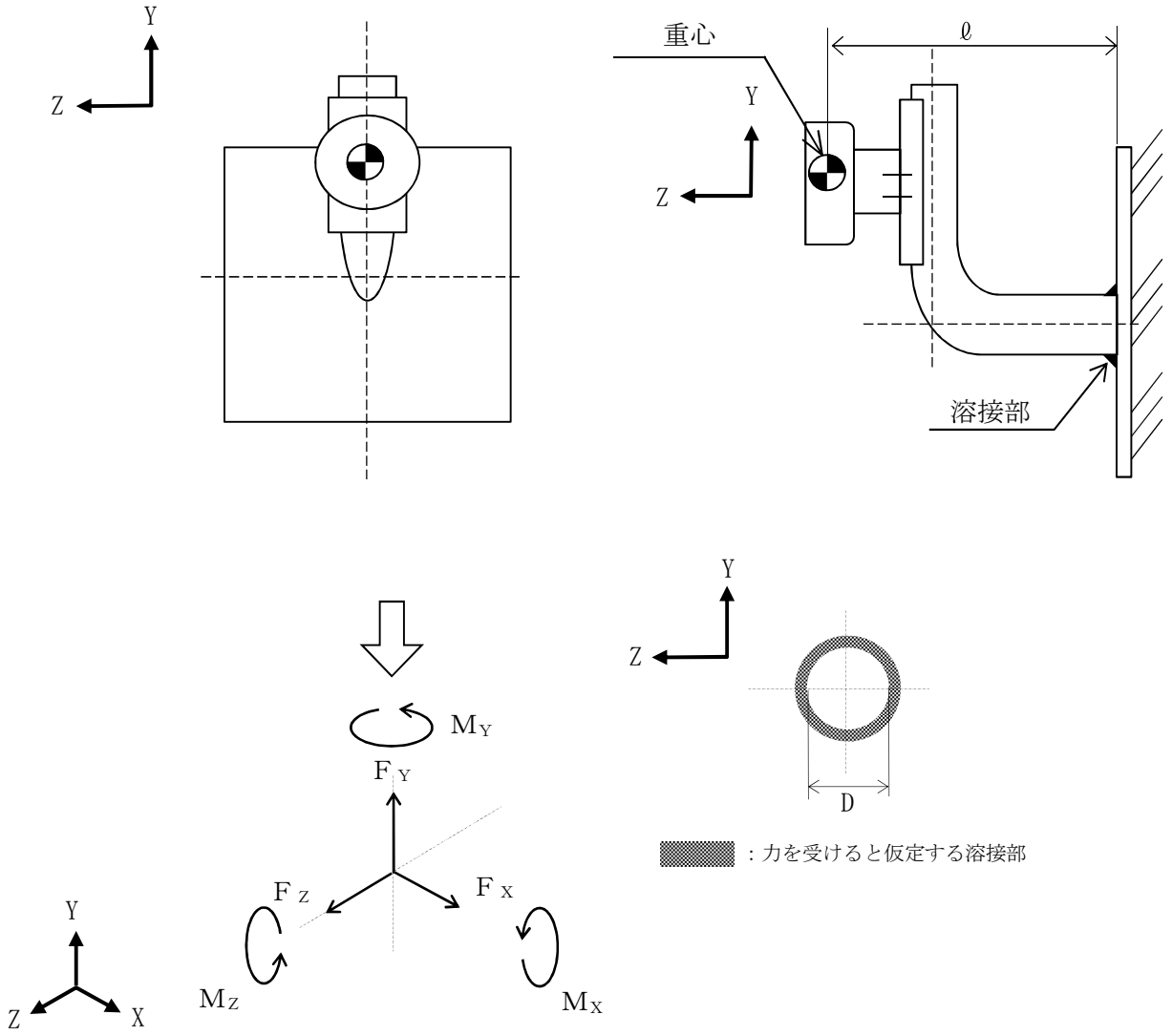


図 2-3　計算モデル（溶接部）

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・m)		
		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（σ_t）

$$\sigma_t = \frac{F_X}{A_w} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.4.6.1.1)$$

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（τ）

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{F_Y}{A_{wY}} + \frac{M_X}{Z_p}\right)^2 + \left(\frac{F_Z}{A_{wZ}} + \frac{M_X}{Z_p}\right)^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.4.6.1.4)$$

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（σ_b）

$$\sigma_b = \frac{M_Y}{Z_Y} + \frac{M_Z}{Z_Z} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.4.6.1.7)$$

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 (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											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)

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)

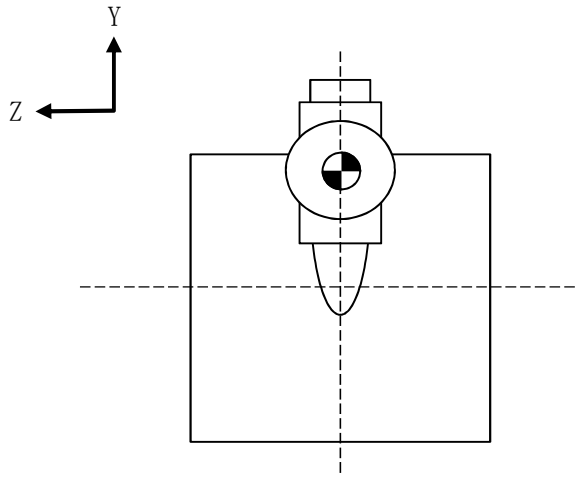
部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
溶接部		引張り	$\sigma_t=1$	$f_s=135$	$\sigma_t=1$	$f_s=161$
		せん断	$\tau=4$	$f_s=135$	$\tau=6$	$f_s=161$
		曲げ	$\sigma_b=22$	$f_s=135$	$\sigma_b=31$	$f_s=161$
		組合せ	$\sigma_w=22$	$f_s=135$	$\sigma_w=32$	$f_s=161$

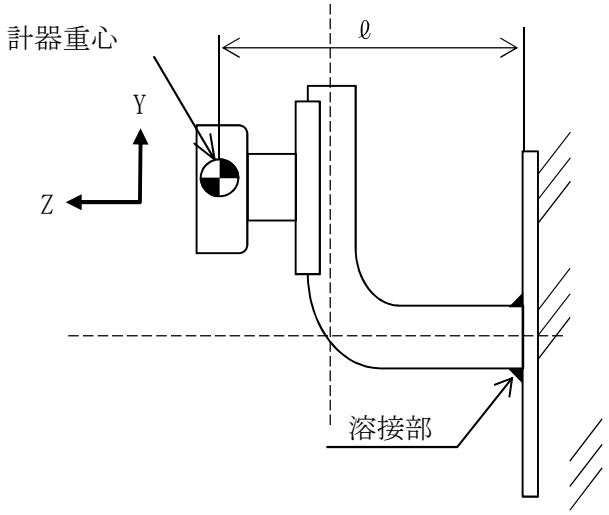
すべて許容応力以下である。

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

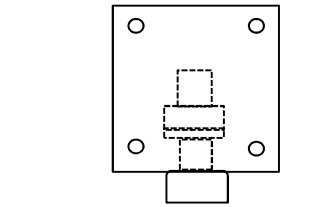
サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61)は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

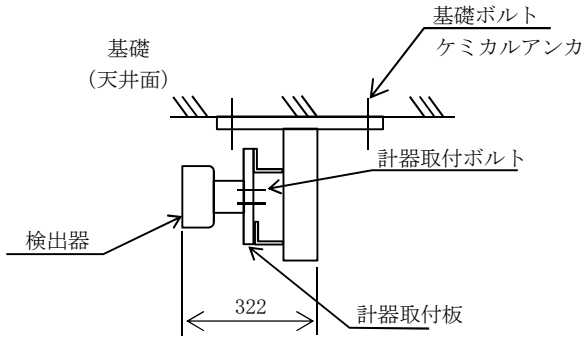
3.2.1　構造計画

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。

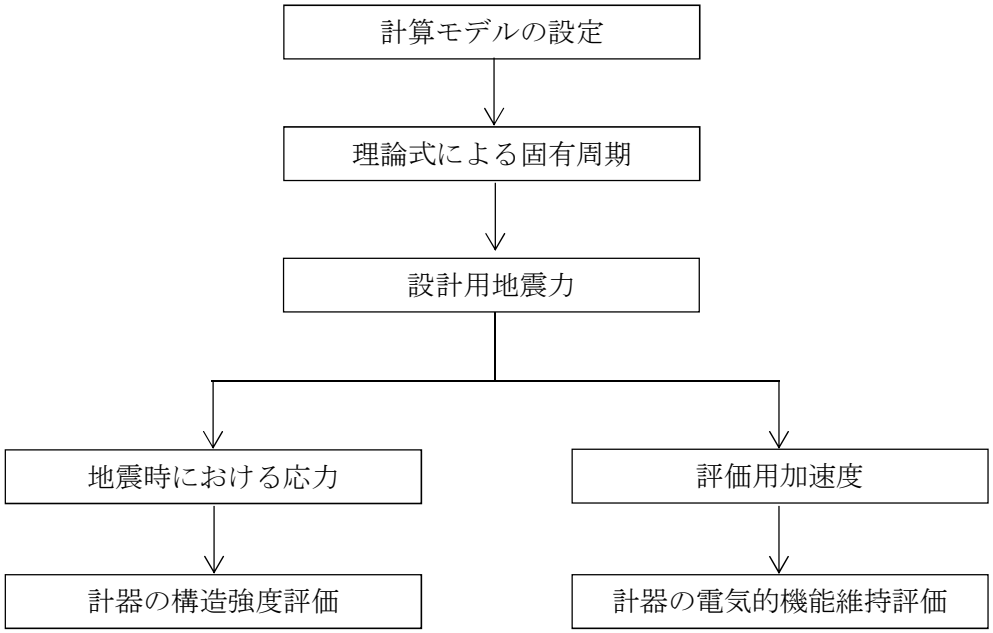


図 3-1　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）の耐震評価フロー

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_{bi}	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　＊：$\ell_1 \leqq \ell_2$

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*2	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・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。

3.4.1.1　水平方向

(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)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61）は，図 3-2 に示す上端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

(3)　固有周期は次式で求める。

3.4.1.2　鉛直方向

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。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h_1{}^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \quad \cdots (3.4.1.1.1)$$

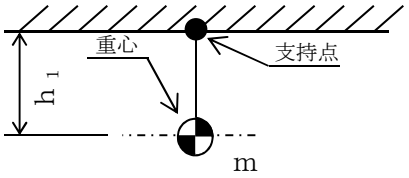
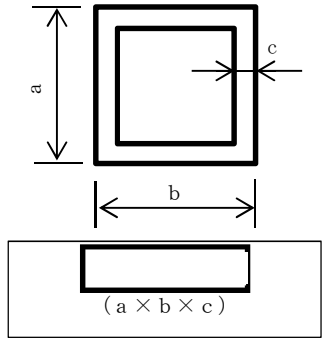


図 3-2　固有周期の計算モデル

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	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 3-4 に示す。

表 3-4　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

注記　＊：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

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 3-2，図 3-3 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。

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	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	—

3.4.3　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

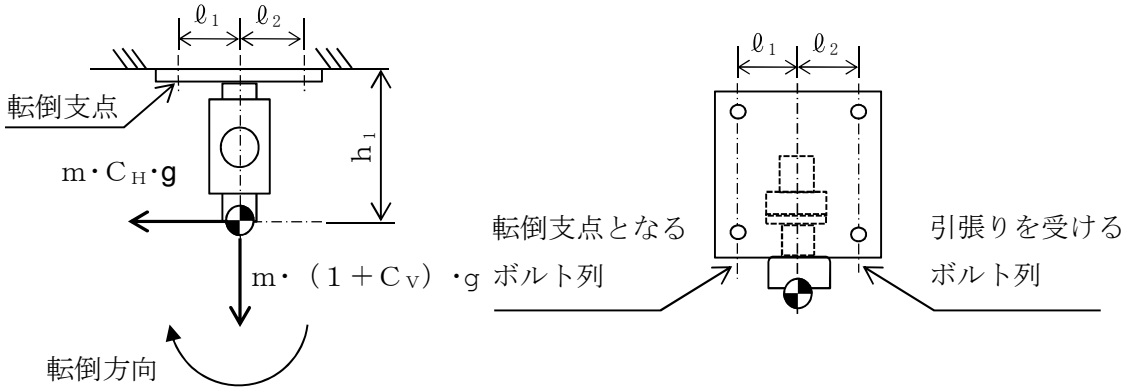
注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有周期は十分小さく，計算は省略する。

3.4.4　計算方法

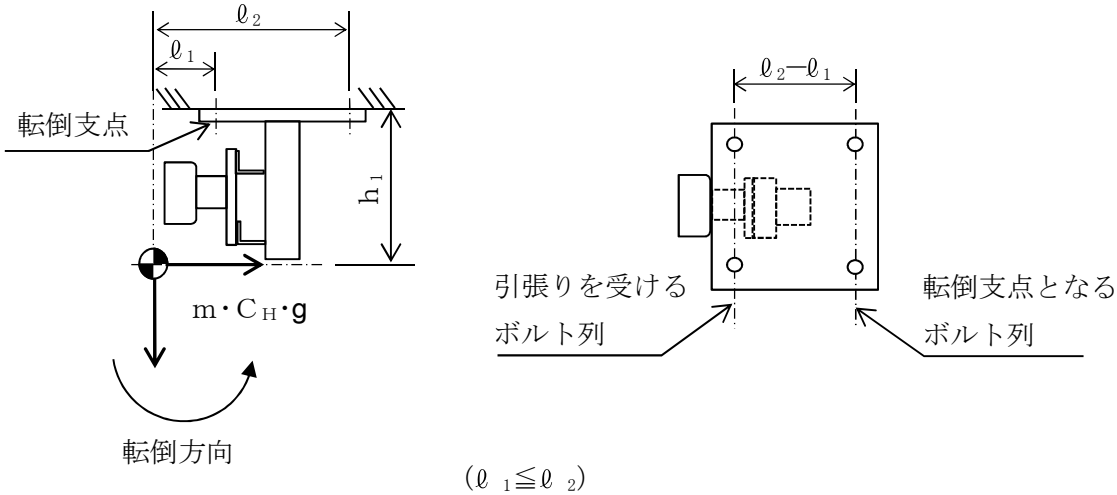
3.4.4.1　基礎ボルトの算出方法

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。



（ℓ 1≦ℓ 2）

図3-3(1)　PT-26-79.61 計算モデル
（直立形　正面方向転倒の場合）



（ℓ 1≦ℓ 2）

図3-3(2)　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

$$F_b=\frac{m\cdot g\cdot C_H\cdot h_1+m\cdot g\cdot(1+C_V)\cdot \ell_1}{n_f\cdot(\ell 1+\ell 2)} \quad \cdots\cdots\cdots (3.4.4.1.1)$$

計算モデル図3-3(2)の場合の引張力

$$F_b=\frac{m\cdot g\cdot C_H\cdot h_1+m\cdot g\cdot(1+C_V)\cdot \ell 2}{n_f\cdot(\ell 2-\ell 1)} \quad \cdots\cdots\cdots (3.4.4.1.2)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.4.4.1.3)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.4.4.1.4)$$

(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）

$$Q_b=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.4.4.1.5)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.4.4.1.6)$$

3.4.5　計算条件

3.4.5.1　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様目に示す。

3.4.6　応力の評価

3.4.6.1　ボルトの応力評価

3.4.4.1 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。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (3.4.6.1.1)$$

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}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

3.5　機能維持評価

3.5.1　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-26-79.61）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 3-7 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
サプレッション・チェンバ圧力 (PT-26-79.61)	水平	
	鉛直	

3.6　評価結果

3.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

サプレッション・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

動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 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	－	－	$\sigma_b=9$	$f_{ts}=156^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=120$

すべて許容応力以下である。

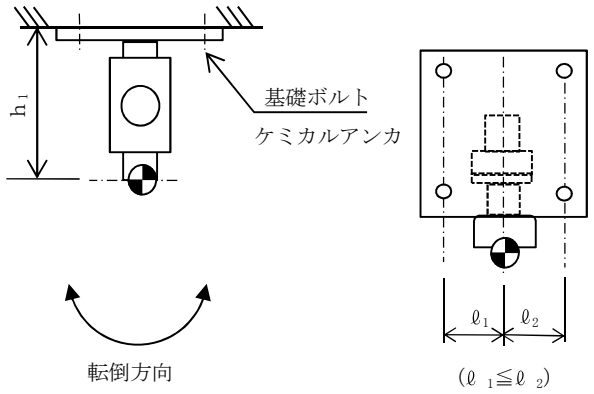
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

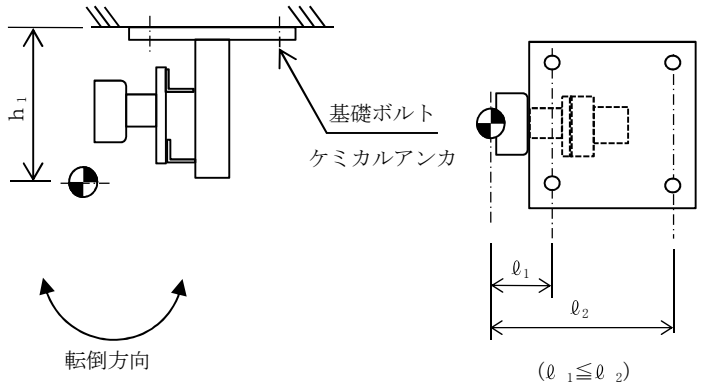
（×9.8m/s²）

		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。



正面（左右方向）



側面（前後方向）

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。

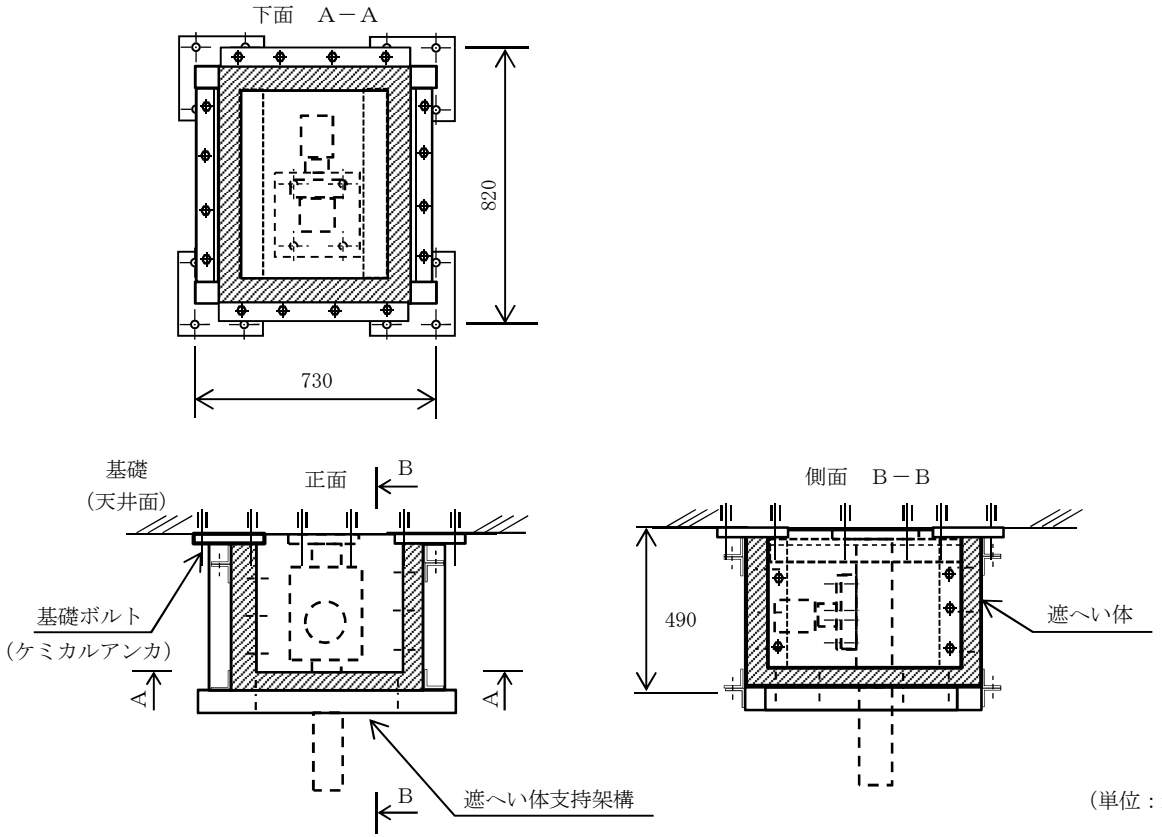
サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用遮へい体）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

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。

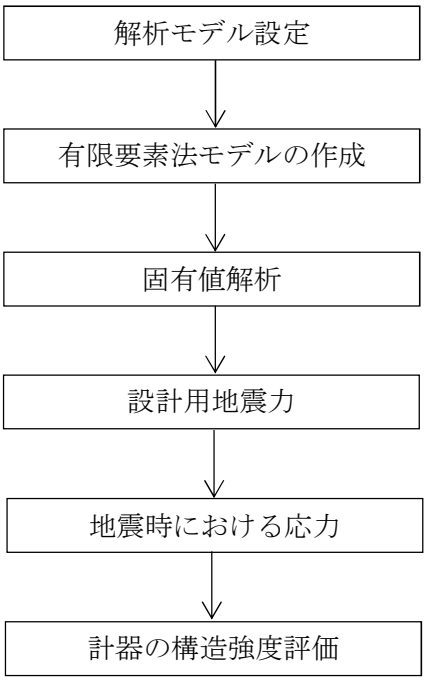


図 4-1　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用遮へい体）の耐震評価フロー

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	－

記 号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
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　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。遮へい体は解析モデルにおいて，⑨～⑯の部材で組まれるものとする。また，遮へい体支持架構は複数の鋼材で組まれ，原子炉建屋天井に 4 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，①～⑧の部材で組まれたものとみなし，支持点（遮へい体支持架構基礎部）4 点で固定されるものとする。解析モデルにおいて，遮へい体の質量は 8 箇所に分散されるものとし，質点は保守的に遮へい体の取付位置の下部に設置する。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。

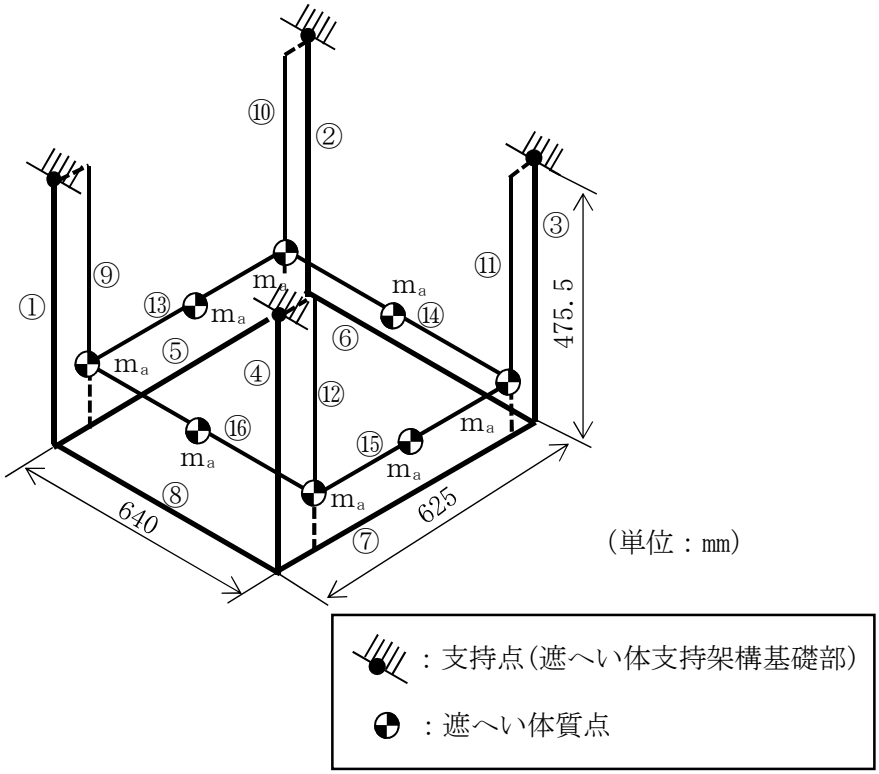


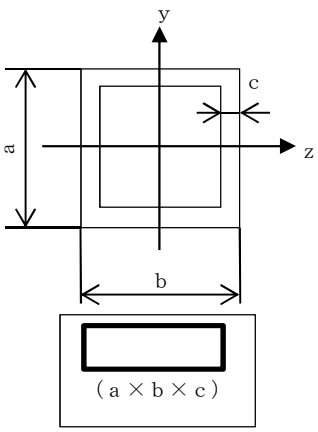
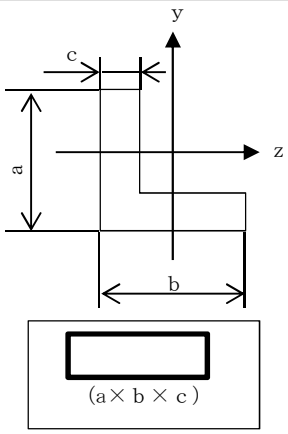
図 4-2　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61 用遮へい体）解析モデル

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		

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

4.4.2 項(1)～(6)のほか，次の条件で計算する。

(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。

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
$Ⅳ_AS$	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 4-8　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，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。

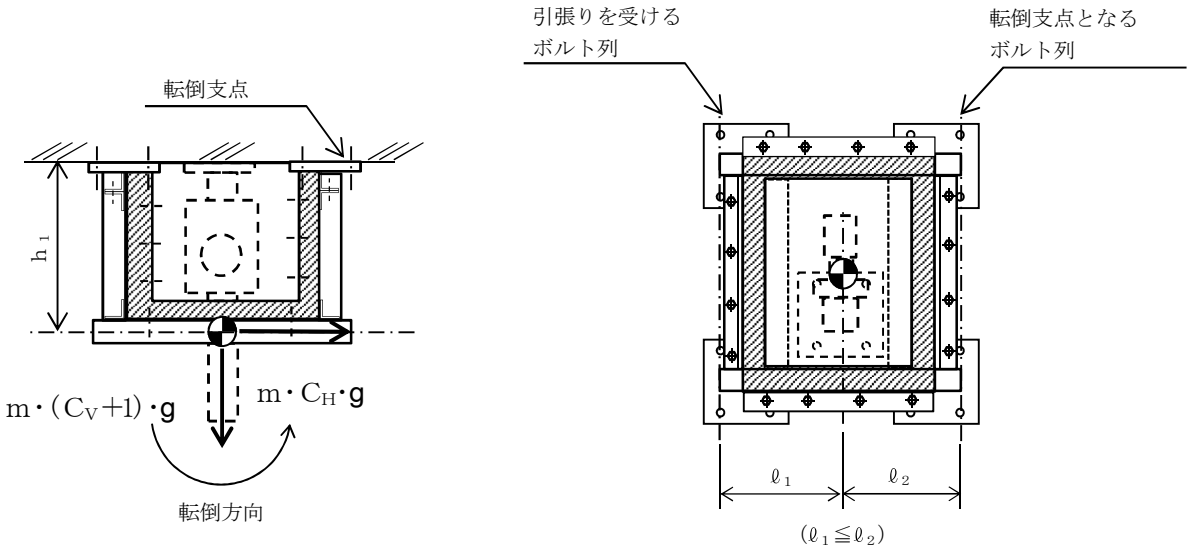


図4-3(1)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61用遮へい体）計算モデル
（直立形　正面方向転倒の場合）

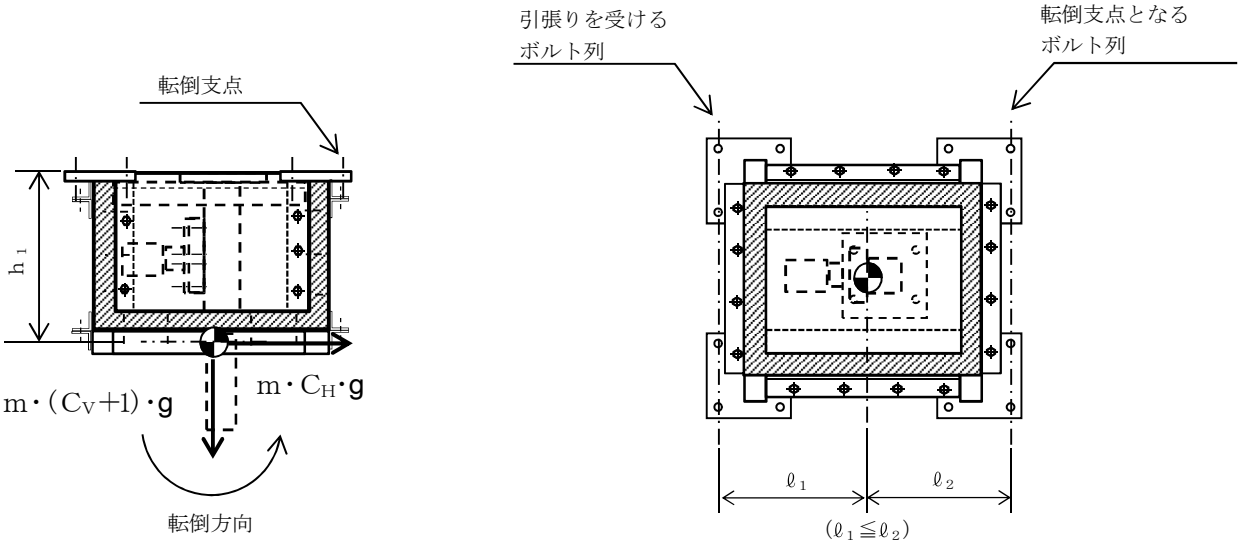


図4-3(2)　サプレッション・チェンバ圧力（PT-26-79.61用遮へい体）計算モデル
（直立形　側面方向転倒の場合）

(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

4.4.6.1 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。

【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. 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=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	－	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 基礎ボルトに作用する力

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				

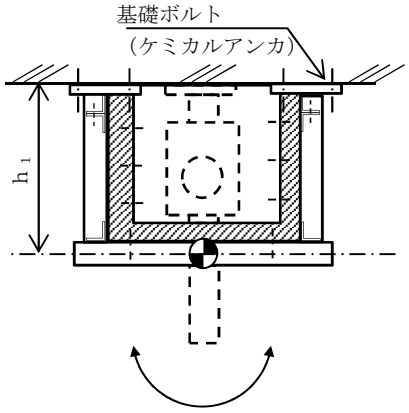
1.4　結論

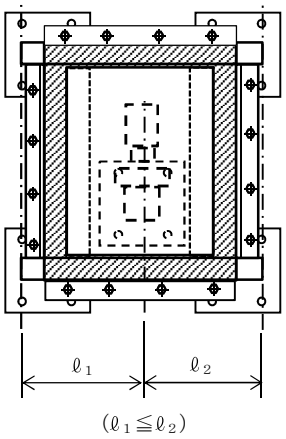
1.4.1　サプレッション・チェンバ圧力(PT-26-79.61 用遮へい体)の応力　　(単位：MPa)

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=47	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=10	f_{sb}=120

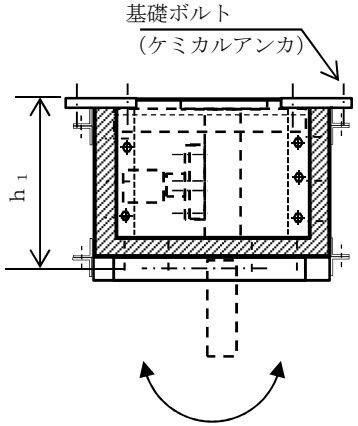
すべて許容応力以下である。

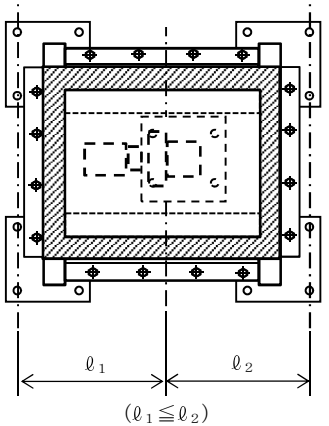
注記＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}－1.6・ τ_b, f_{to}]より算出





正面（左右方向）





側面（前後）

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（設計基準対象施設）

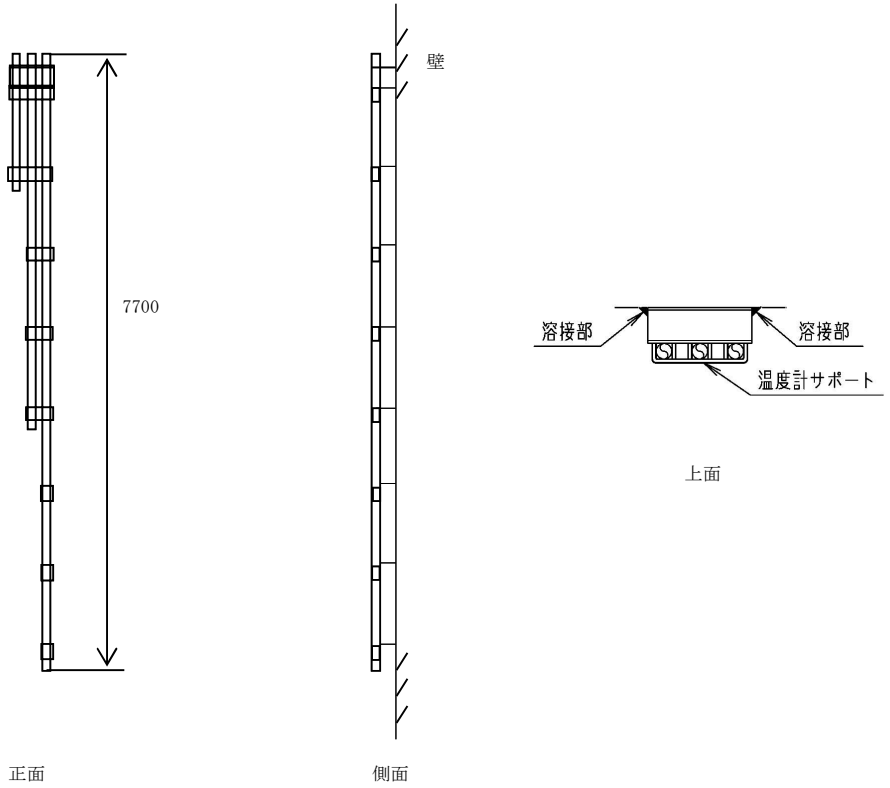
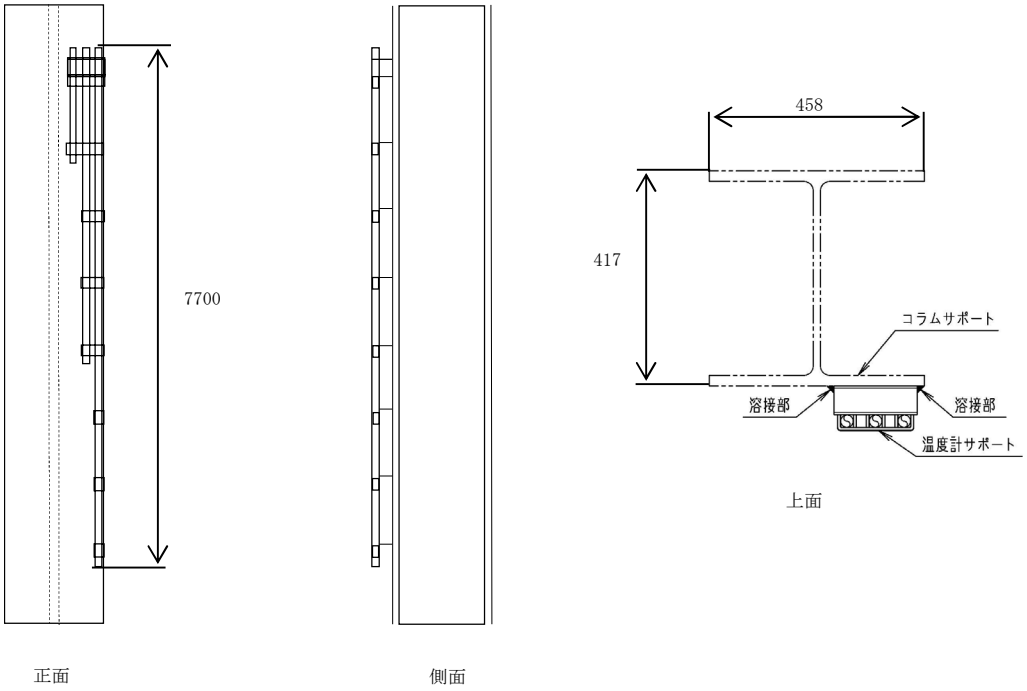
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
温度計は，温度計保護管内に設置し，温度計保護管は，温度計サポートを介して，溶接によりサプレッション・チェンバ内の壁に設置する。	測温抵抗体	【TE-T23-N001B, N001C, N002B, N002C, N003B, N003C, N007, N009, N011, N012, N013, N014】  正面　側面　上面 （単位：mm）

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，溶接により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】



正面　　側面　　上面

（単位：mm）

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。

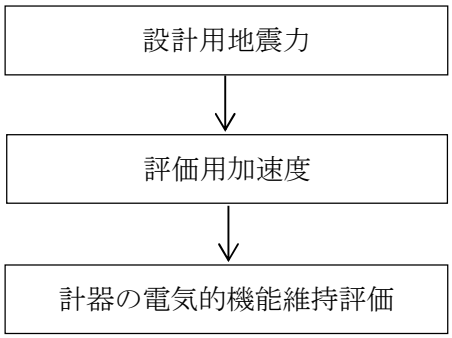


図 2-1　サプレッション・プール水温度の耐震評価フロー

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

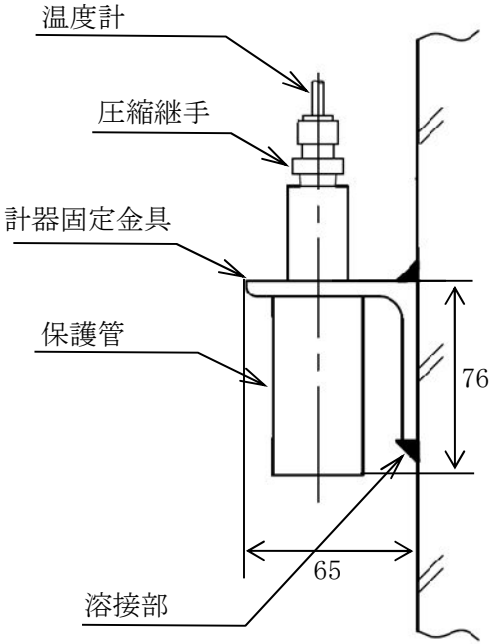
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
温度計は，計器固定金具に圧縮継手により固定する。 計器固定金具は，溶接により原子炉本体の基礎（以下「ペデスタル」という）に設置する。	熱電対	【TE-26-79.61A，B】  （単位：mm）

表 2-2　構造計画

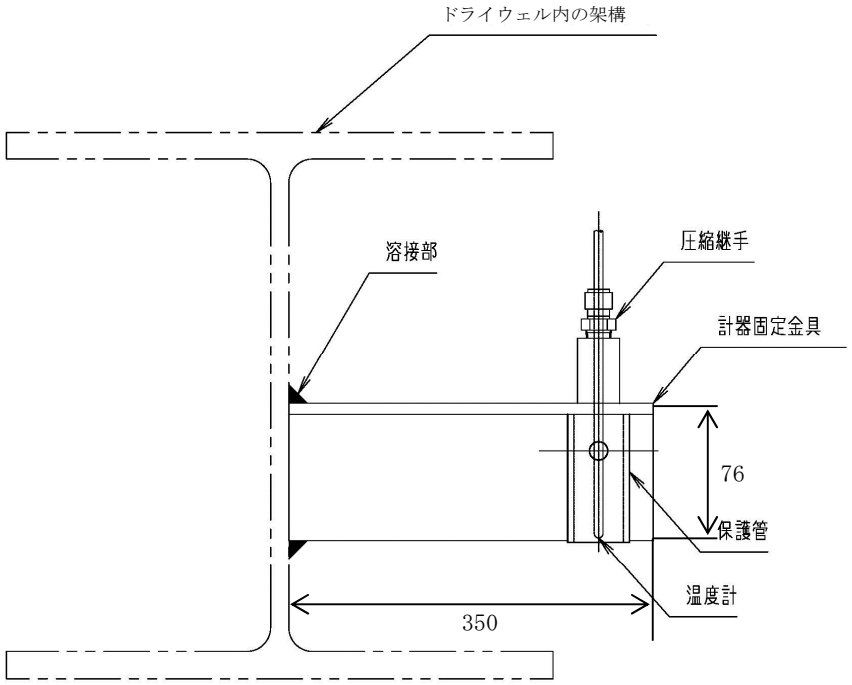
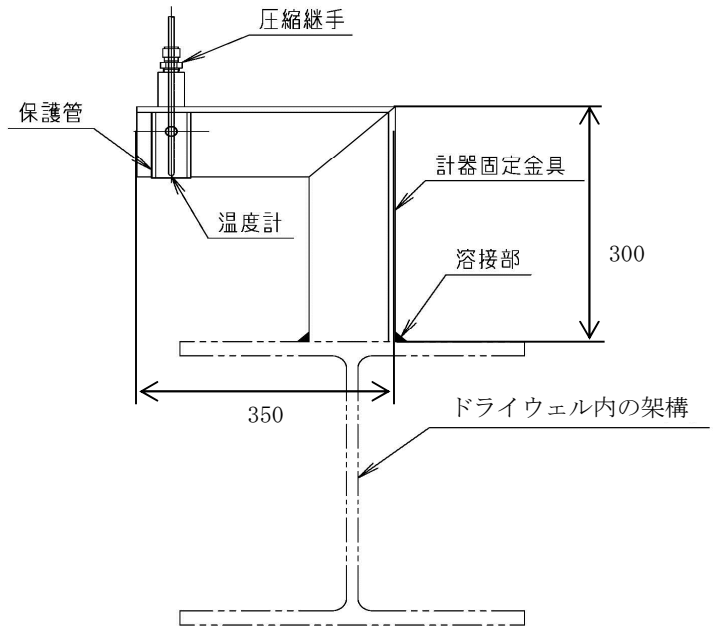
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
温度計は，計器固定金具に圧縮継手により固定する。 計器固定金具は，溶接によりドライウェル内の架構に設置する。	熱電対	【TE-26-79.63A，B，TE-26-79.64A，B】  （単位：mm）

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。

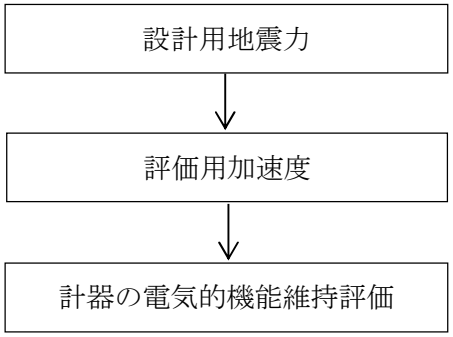


図 2-1　ドライウェル雰囲気温度の耐震評価フロー

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またはペデスタル壁面に設置することから，ドライウェルまた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また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。

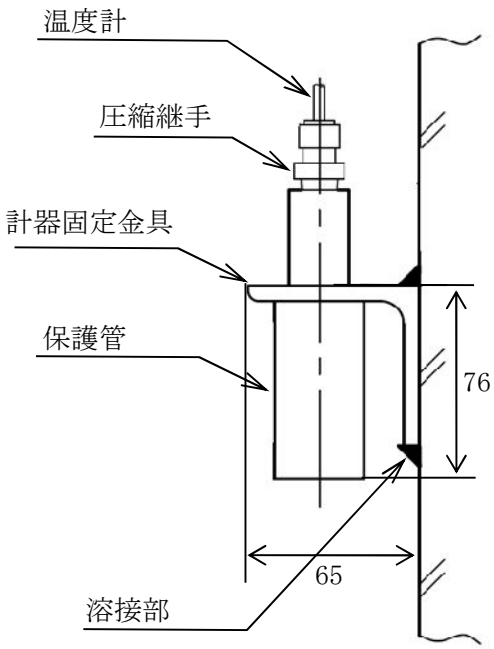
サプレッション・チェンバ雰囲気温度は，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。

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。

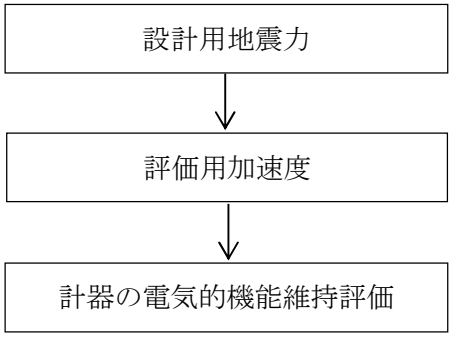


図 2-1　サプレッション・チェンバ雰囲気温度の耐震評価フロー

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・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
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。

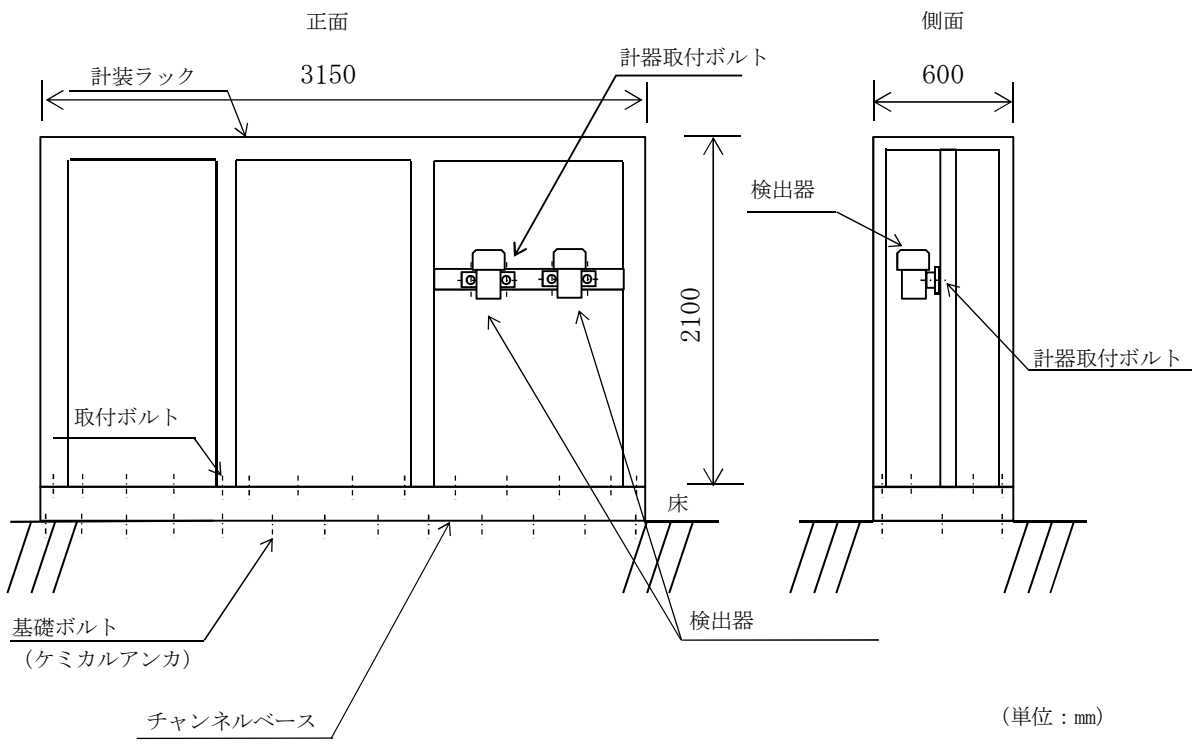
2. 一般事項

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	－*	$D+P_D+M_D+S_d$*	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

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 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
$\mathrm{III}_A S$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
$\mathrm{IV}_A S$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*

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 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	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

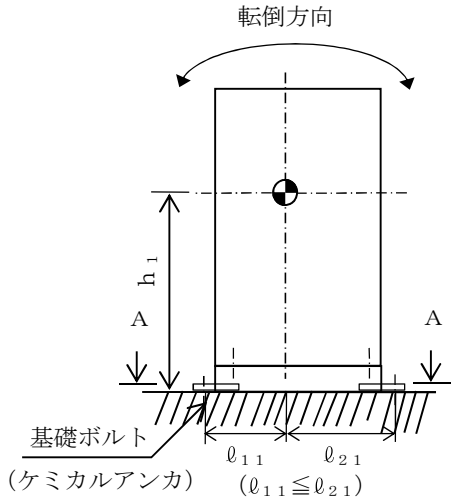
すべて許容応力以下である。

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

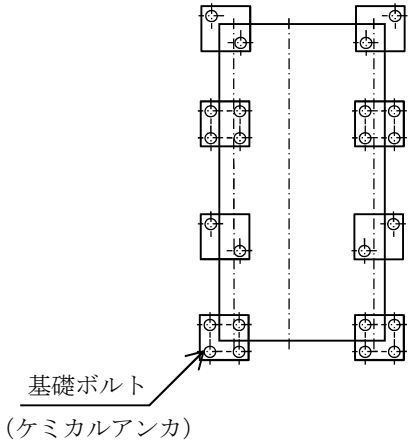
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s²)

		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	

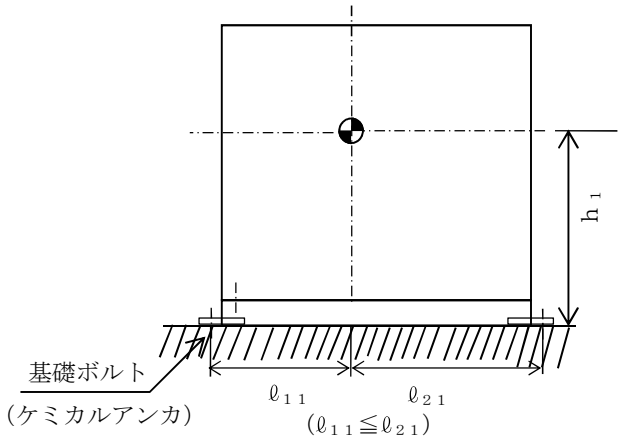
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



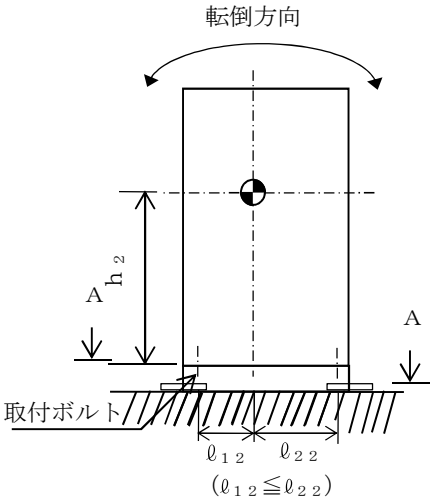
側面（短辺方向）



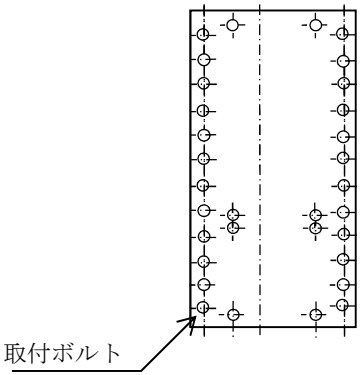
A～A矢視図



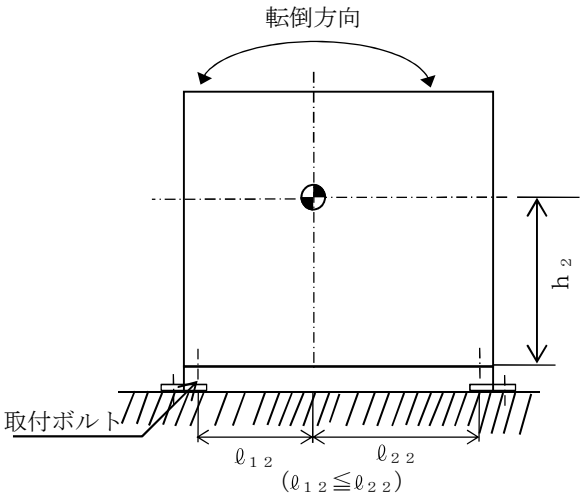
正面（長辺方向）



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	σ_{b1}＝19	f_{ts1}＝141*	σ_{b1}＝40	f_{ts1}＝168*
		せん断	τ_{b1}＝4	f_{sb1}＝108	τ_{b1}＝7	f_{sb1}＝129
取付ボルト (i＝2)		引張り	σ_{b2}＝10	f_{ts2}＝176*	σ_{b2}＝24	f_{ts2}＝210*
		せん断	τ_{b2}＝3	f_{sb2}＝135	τ_{b2}＝4	f_{sb2}＝161

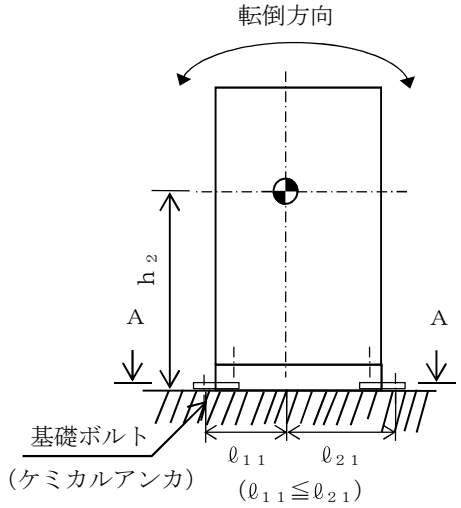
すべて許容応力以下である。

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

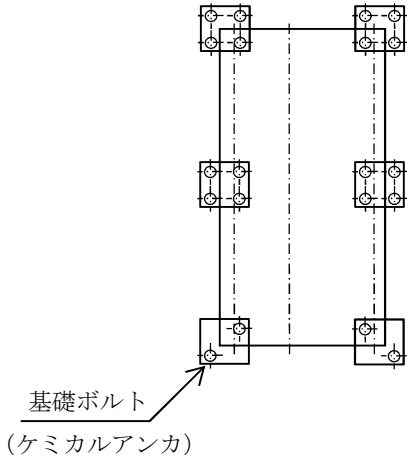
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s²)

		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	

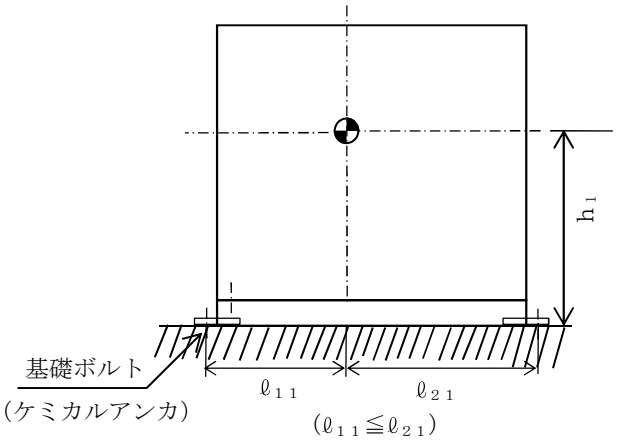
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



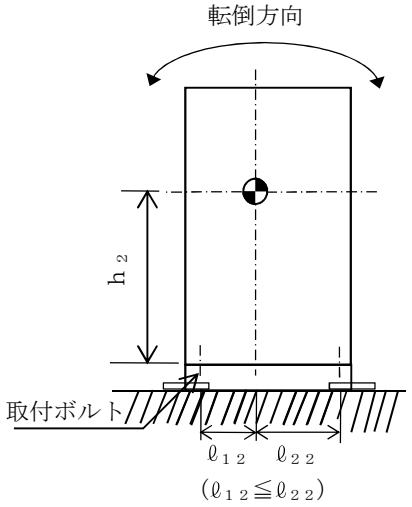
側面（短辺方向）



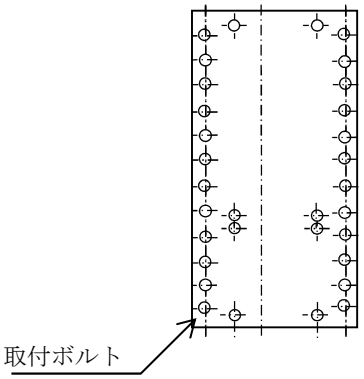
A～A矢視図



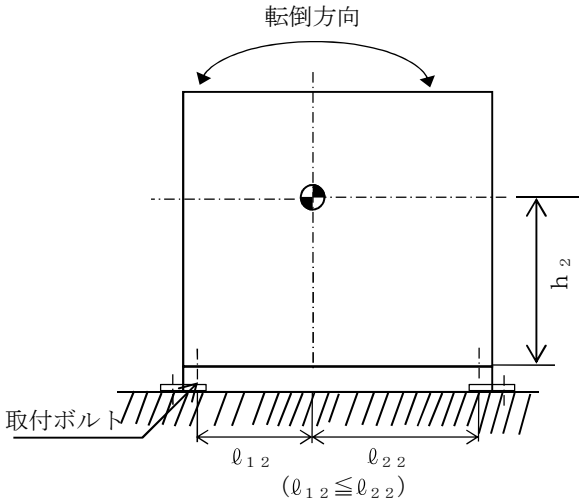
正面（長辺方向）



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
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。

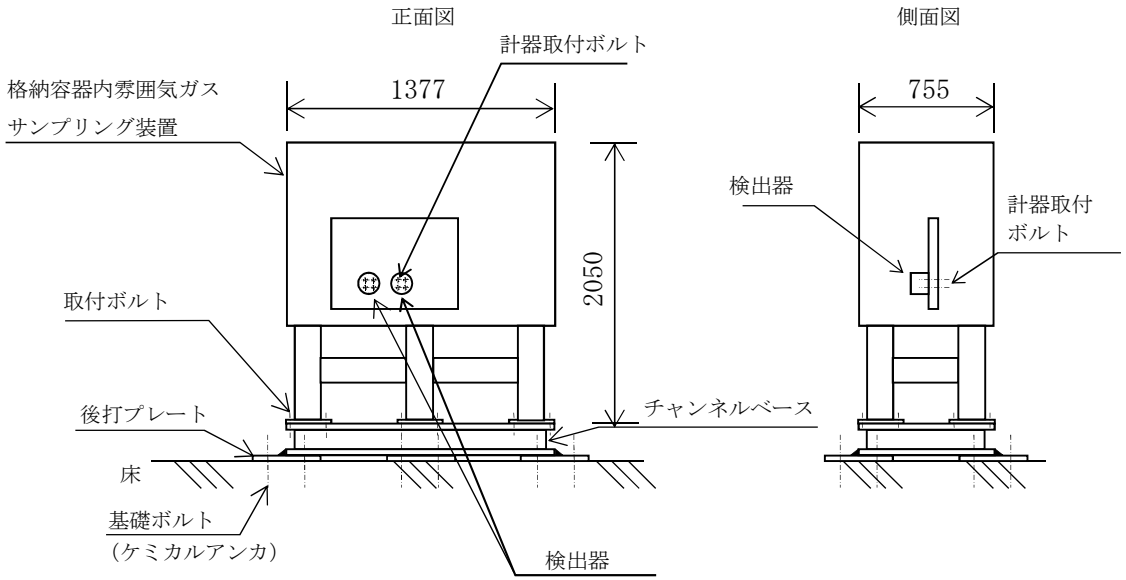
2. 一般事項

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／緩和 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		212	373	－
取付ボルト （i＝2）		周囲環境温度		221	373	－

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）	212	373	－	254	－	短辺方向
取付ボルト（ｉ＝2）	221	373	－	261	－	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	－	－	$\sigma_{b1}=17$	$f_{ts1}=152$*
		せん断	－	－	$\tau_{b1}=4$	$f_{sb1}=117$
取付ボルト (i=2)		引張り	－	－	$\sigma_{b2}=30$	$f_{ts2}=195$*
		せん断	－	－	$\tau_{b2}=6$	$f_{sb2}=150$

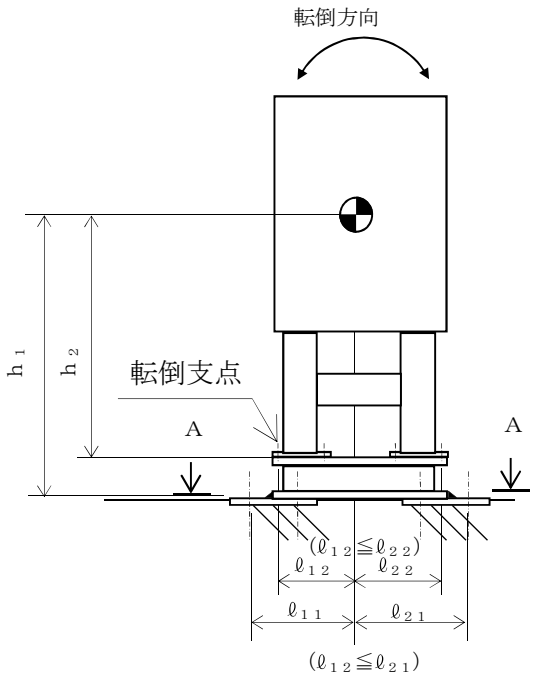
すべて許容応力以下である。

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

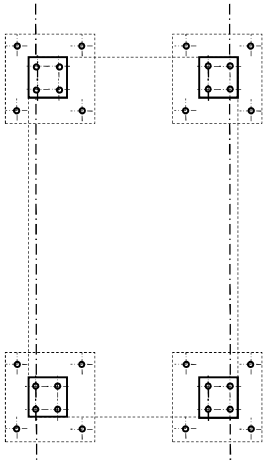
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
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	

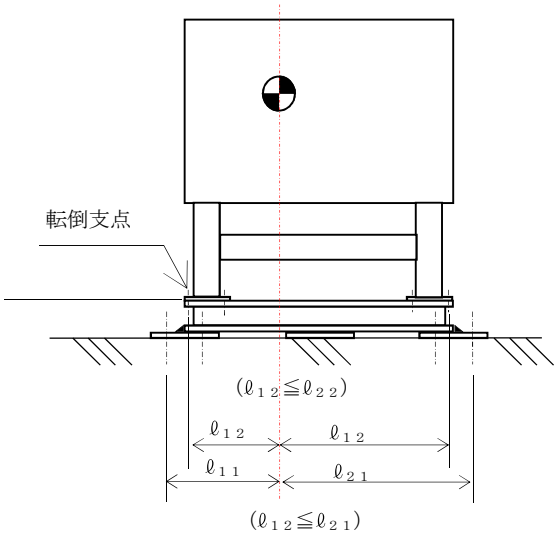
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



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	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 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）							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）	212	373	－	254	－	短辺方向
取付ボルト（ｉ＝2）	221	373	－	261	－	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}＝14	f_{ts1}＝152*
		せん断	－	－	τ_{b1}＝3	f_{sb1}＝117
取付ボルト（i＝2）		引張り	－	－	σ_{b2}＝25	f_{ts2}＝195*
		せん断	－	－	τ_{b2}＝5	f_{sb2}＝150

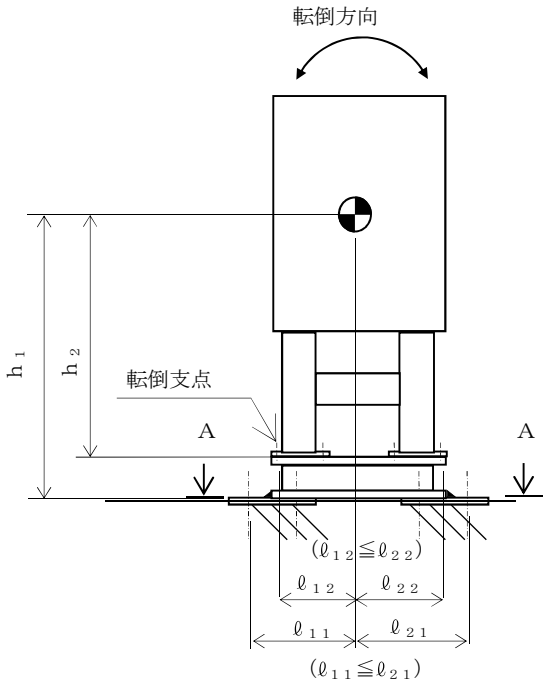
すべて許容応力以下である。

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

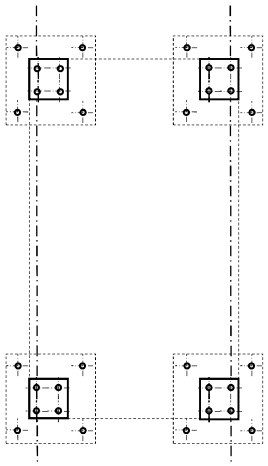
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		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	

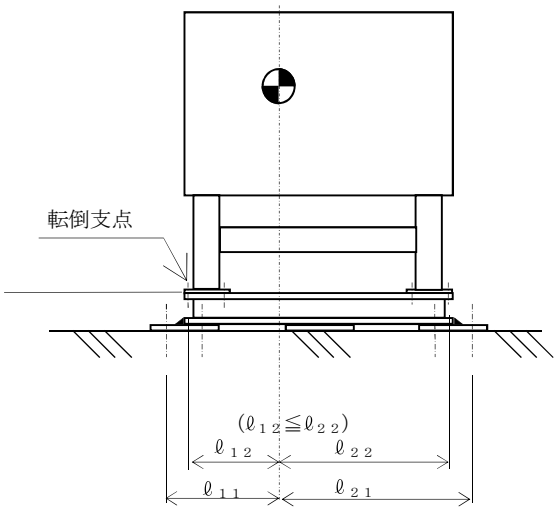
評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



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

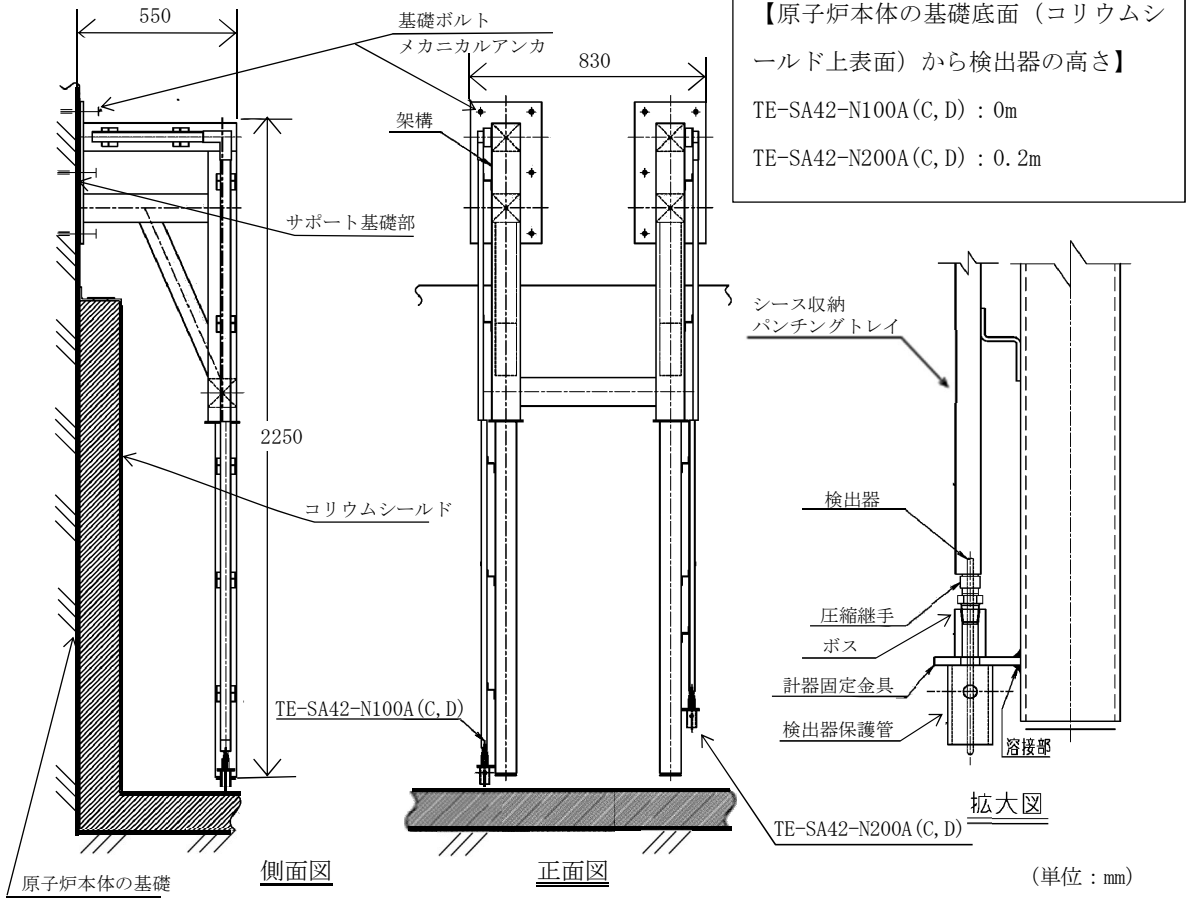
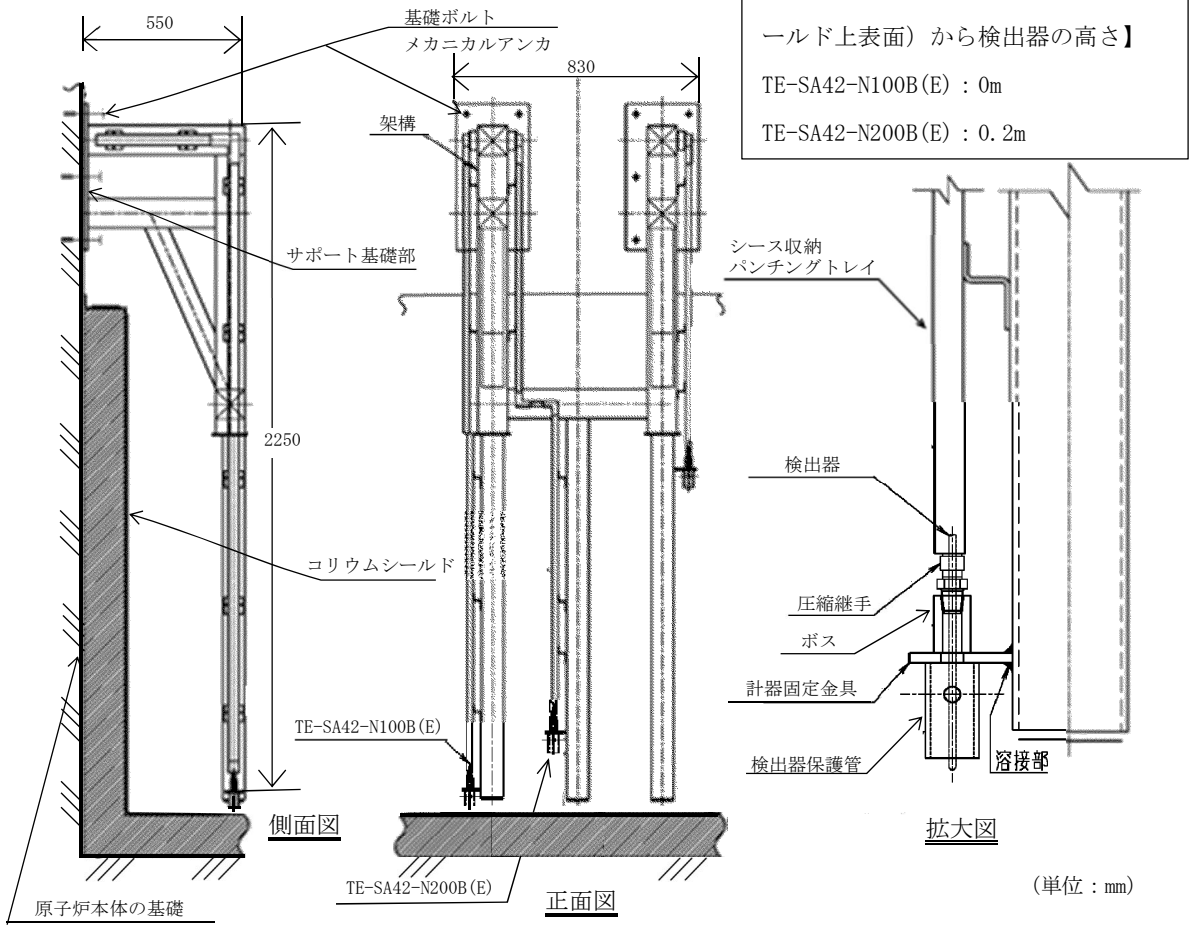
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器固定金具に圧縮継手により固定する。 計器固定金具は，溶接により架構に固定する。架構は基礎ボルトにより原子炉本体の基礎の壁面に設置する。	測温抵抗体	【TE-SA42-N100A,C,D，TE-SA42-N200A,C,D】 

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。

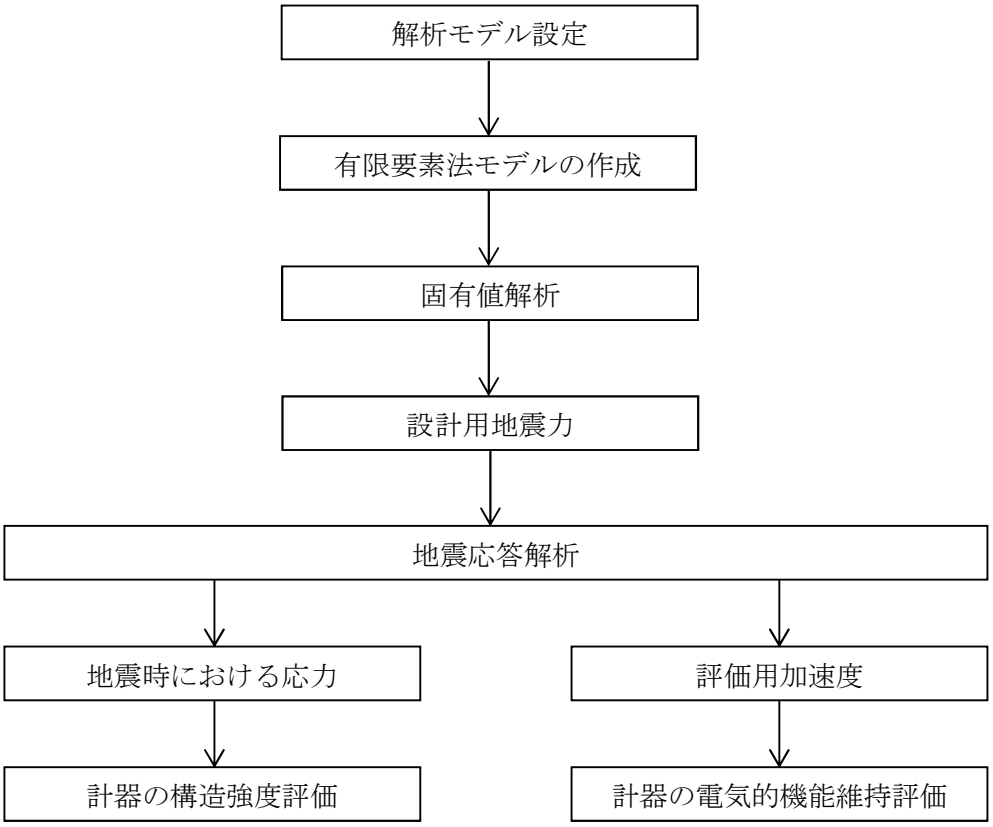


図 2-1　格納容器下部水温の耐震評価フロー

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軸周り）	N･m
M_Y	サポート基礎部に作用するモーメント（Y軸周り）	N･m
M_Z	サポート基礎部に作用するモーメント（Z軸周り）	N･m
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。

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。

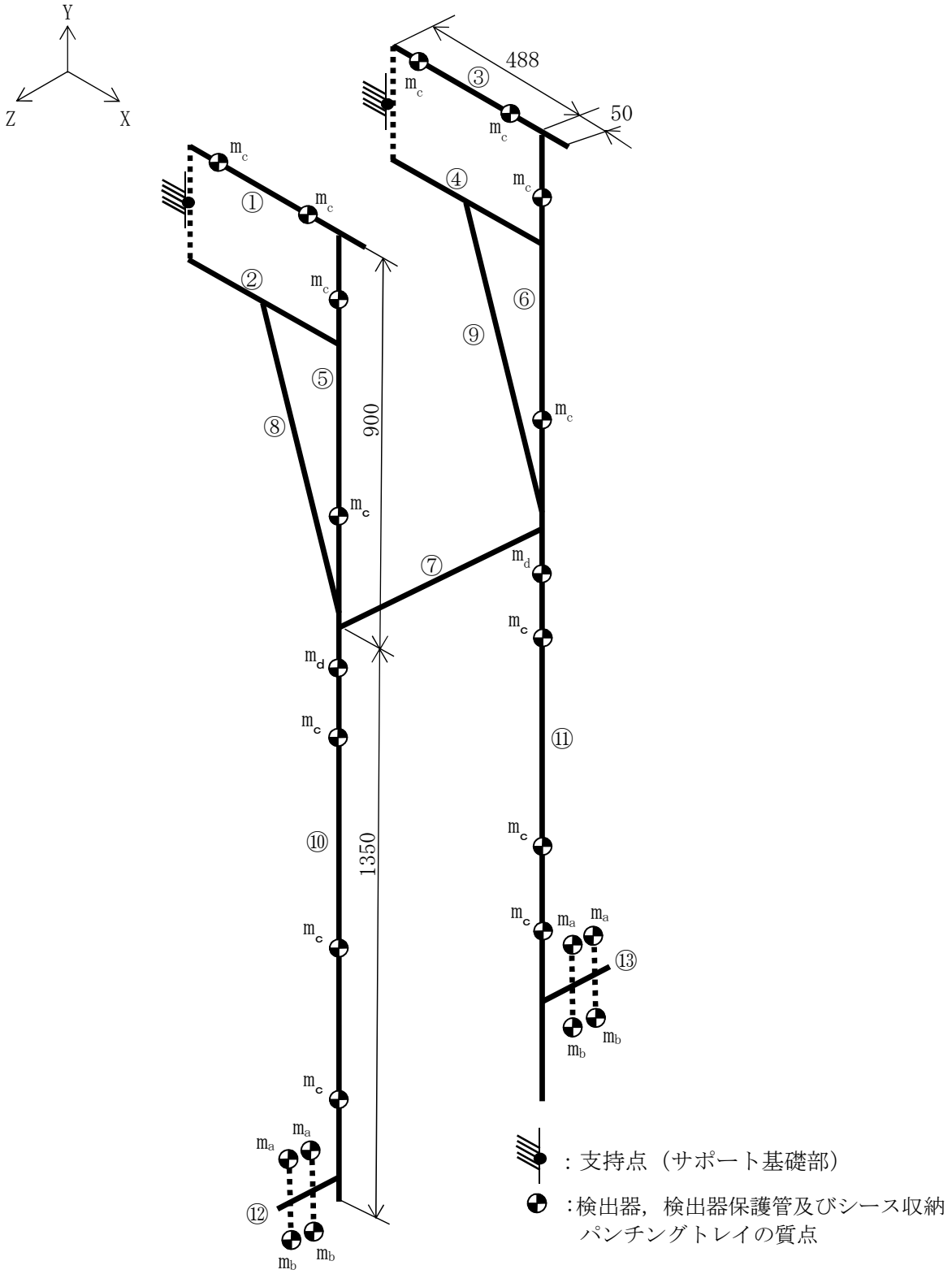


図 4-1　格納容器下部水温(TE-SA42-N100A,C,D)及び(TE-SA42-N200A,C,D)
解析モデル

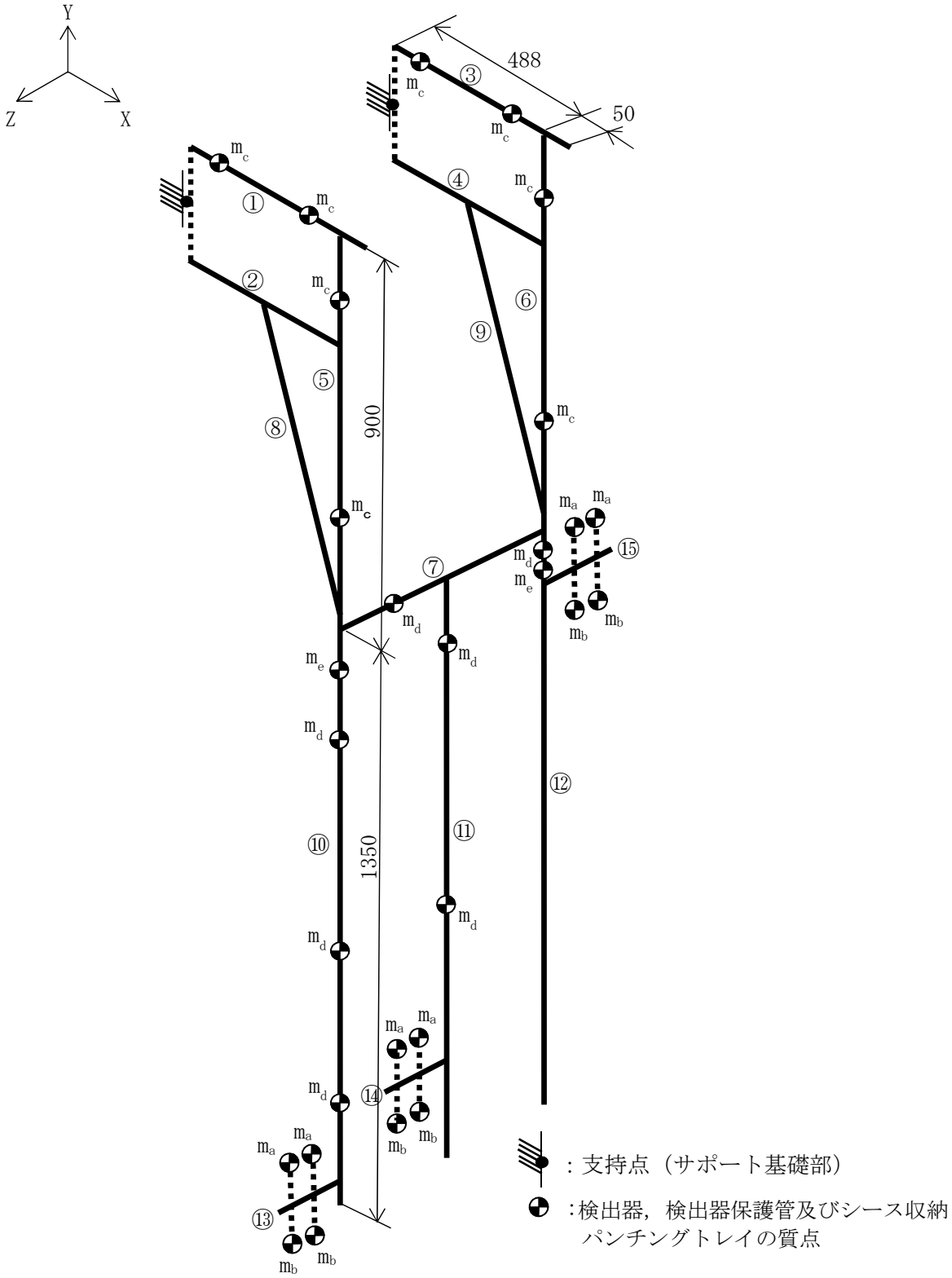


図 4-2　格納容器下部水温(TE-SA42-N100B,E)及び(TE-SA42-N200B,E)
解析モデル

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)

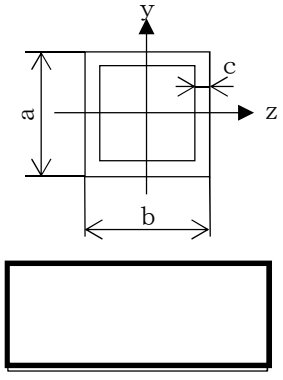
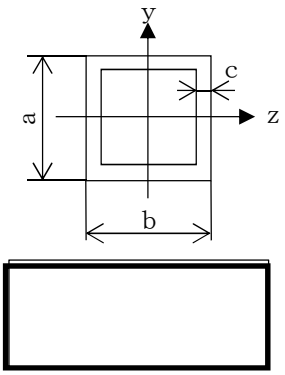
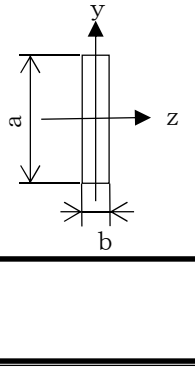
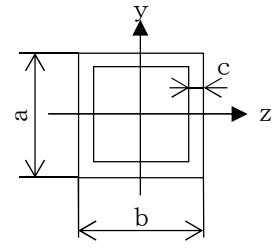
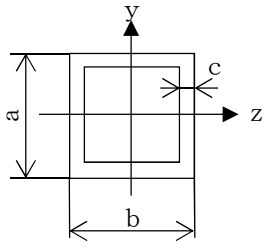
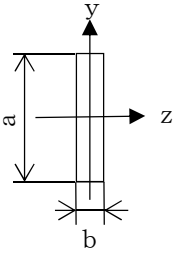
材料			
対象要素	①－⑦	⑧－⑪	⑫,⑬
A (mm^2)			
I_y (mm^4)			
I_z (mm^4)			
I_p (mm^4)			
Z_y (mm^3)			
Z_z (mm^3)			
Z_p (mm^3)			
断面形状 (mm)			

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。

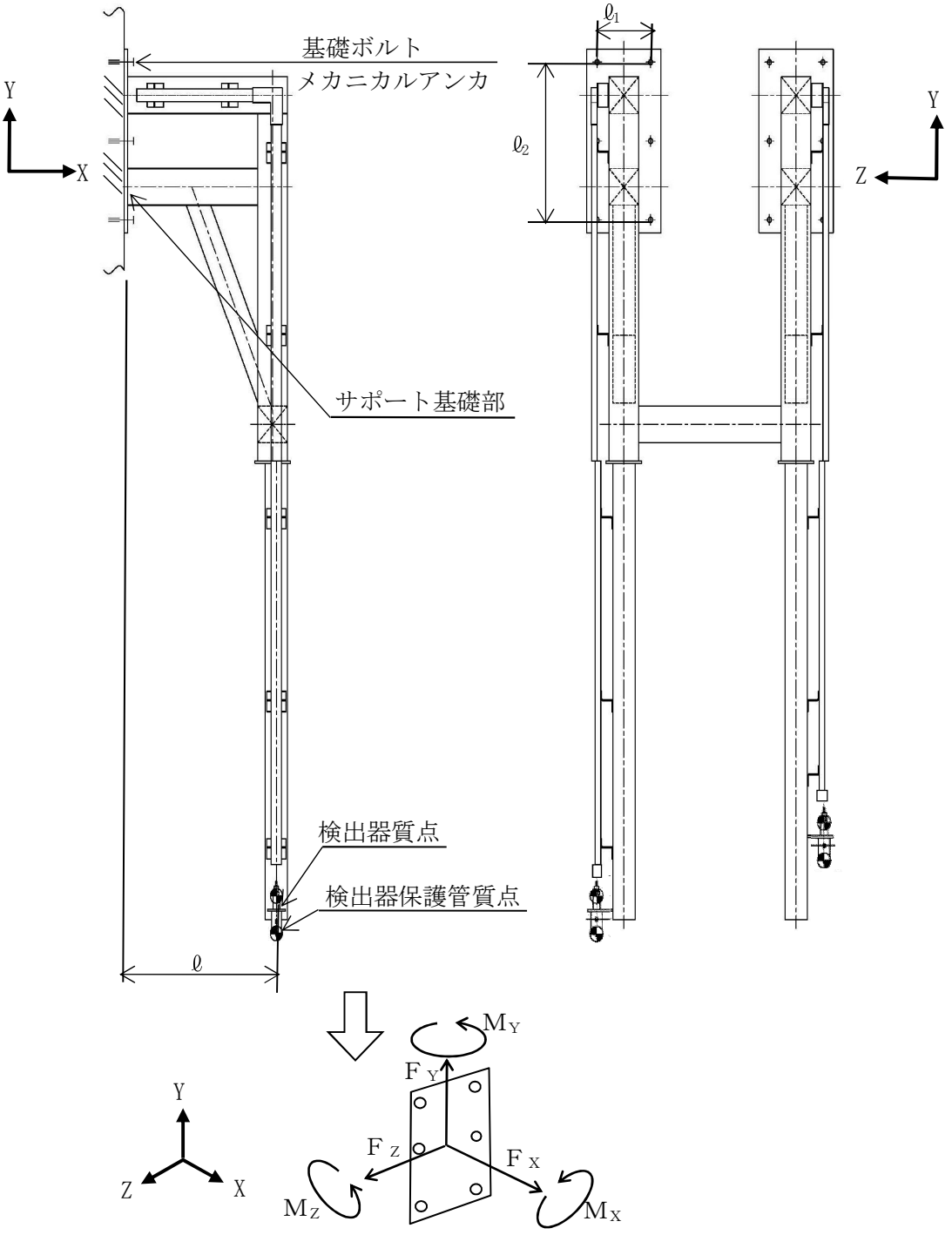


図 4-3　格納容器下部水温（TE-SA42-N100A,C,D）及び（TE-SA42-N200A,C,D）計算モデル（サポート基礎部）

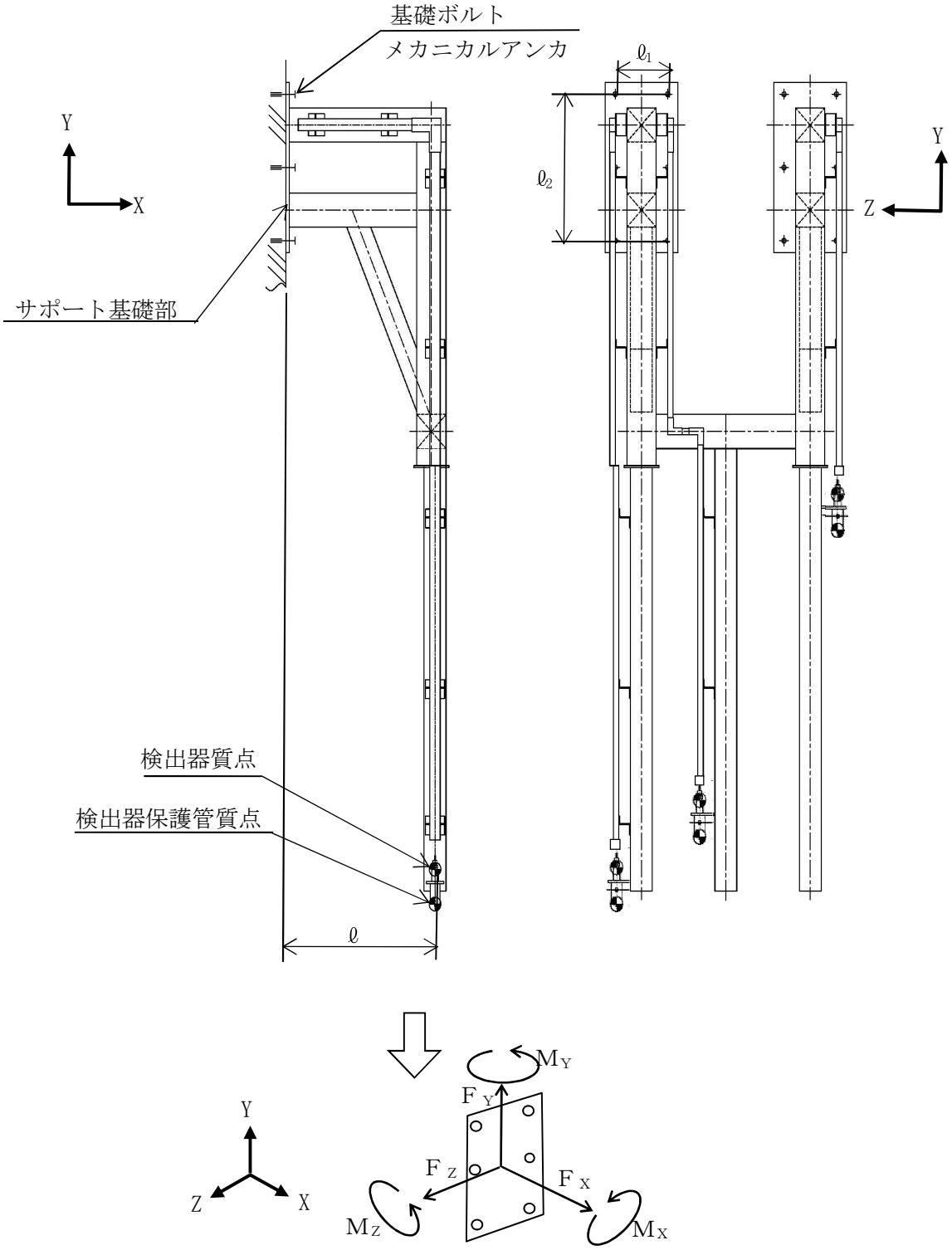


図 4-4　格納容器下部水温(TE-SA42-N100B,E)及び(TE-SA42-N200B,E)計算モデル
(サポート基礎部)

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･m)		
	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）

$$F_b = \frac{F_X}{n} + \frac{M_Y}{\ell_1 \cdot n_Y} + \frac{M_Z}{\ell_2 \cdot n_Z} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.1)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.3)$$

(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）

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_Y{}^2 + F_Z{}^2}}{n} + \frac{M_X}{n \cdot \ell_3} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.4)$$

ここで，ボルト間距離ℓ_3は次式により求める。

$$\ell_3 = \mathrm{Min}(\ell_1, \ell_2) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.5)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.6)$$

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。

$$f_{ts} = \mathrm{Min}\left[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.8.1.1)$$

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】

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･m)

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	—	—	$\tau_b=14$	$f_{sb}=89$

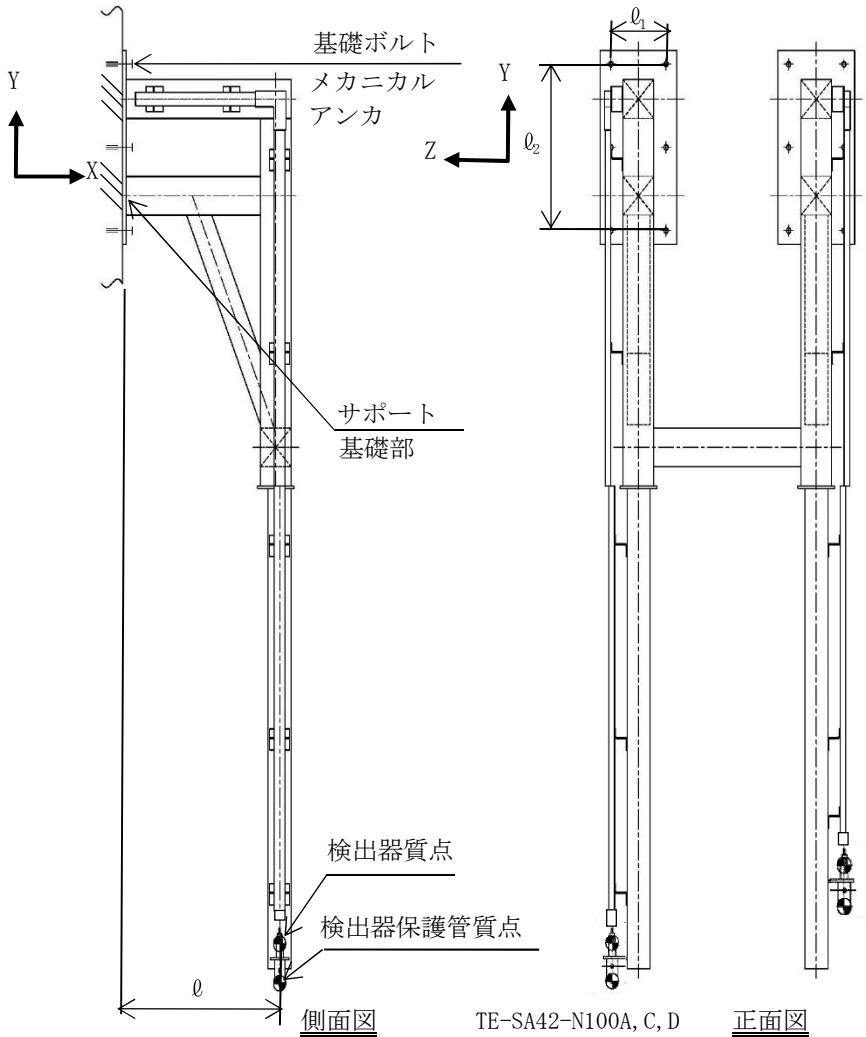
すべて許容応力以下である。

注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

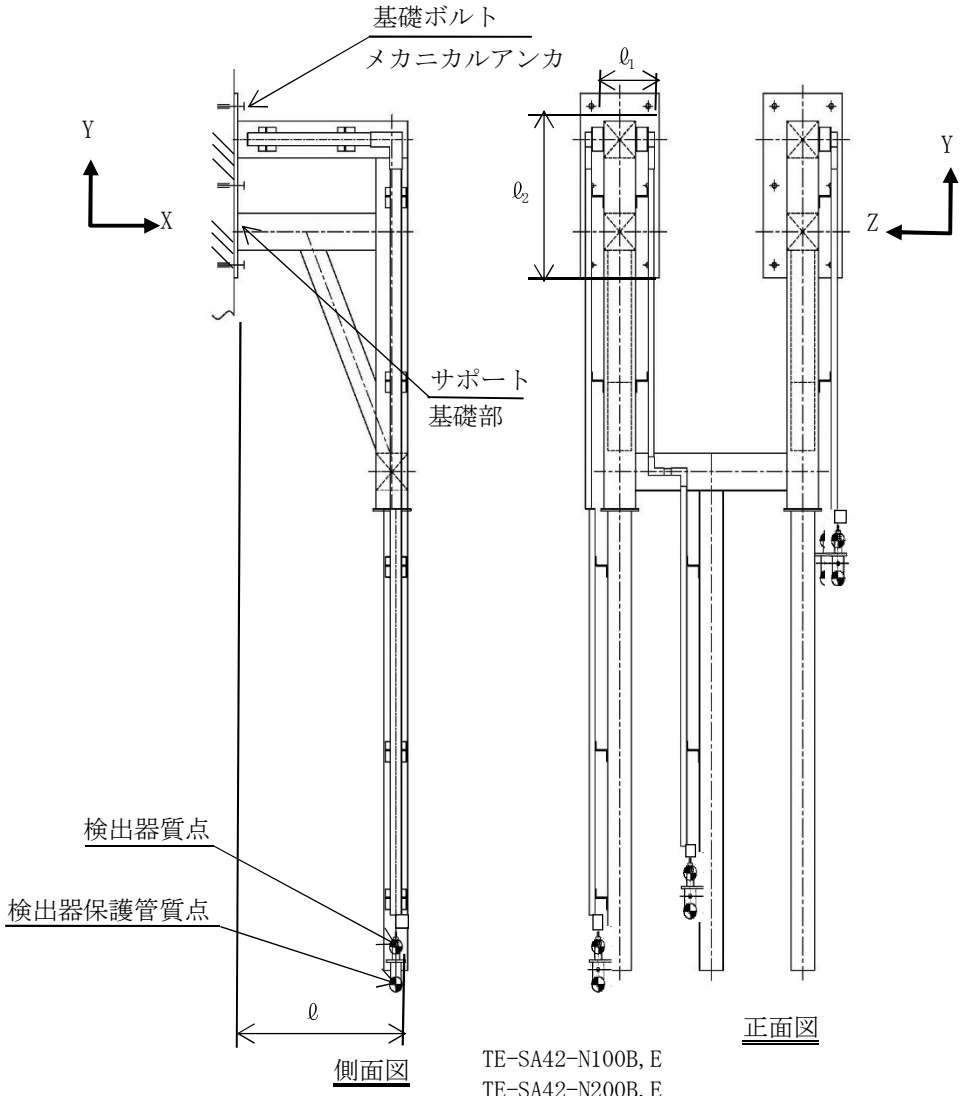
1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8 m/s²)

		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。



側面図　TE-SA42-N100A, C, D　TE-SA42-N200A, C, D　正面図



側面図　TE-SA42-N100B, E　TE-SA42-N200B, E　正面図

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
3.2 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……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，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。

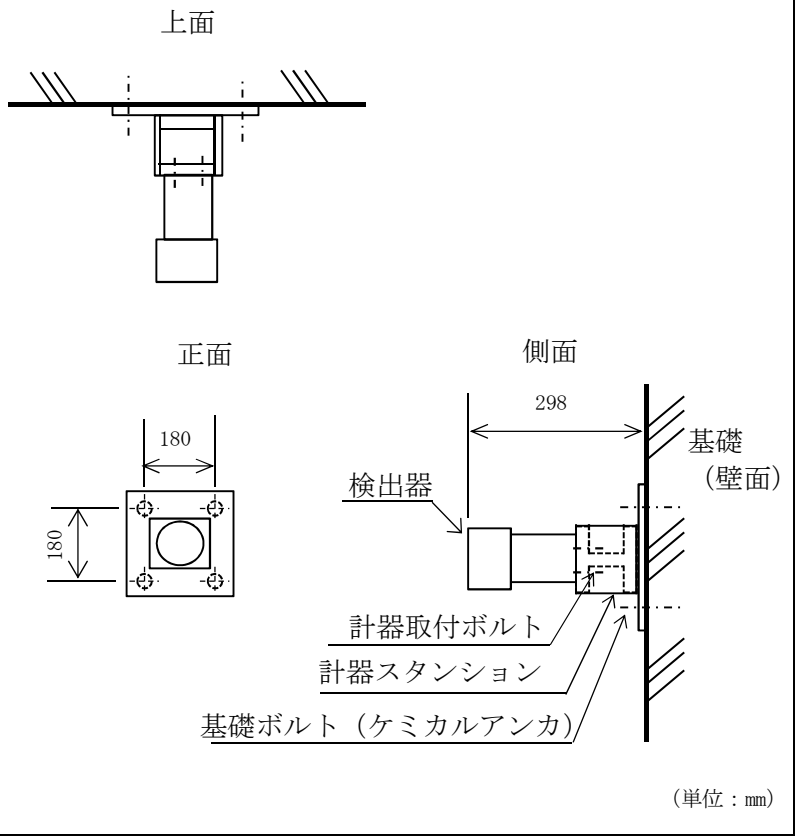
2. 一般事項

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

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。

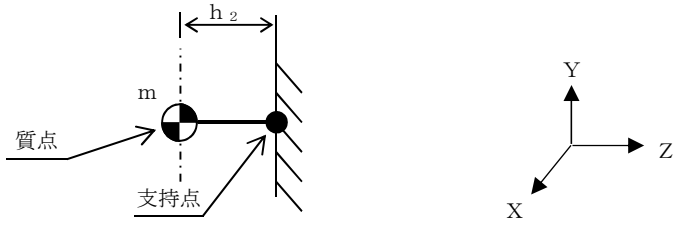
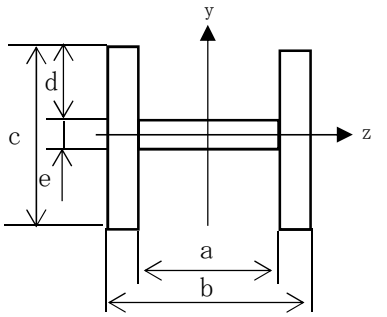


図 3-1　固有周期の計算モデル

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)			 （a×b×c×d×e）

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

代替淡水貯槽水位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	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	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	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・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]	245	400	－

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=0.56	C_V=1.86	

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	245	400	－	280	－	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		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 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	－	－	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=168^*$
		せん断	－	－	$\tau_b=2$	$f_{sb}=129$

すべて許容応力以下である。

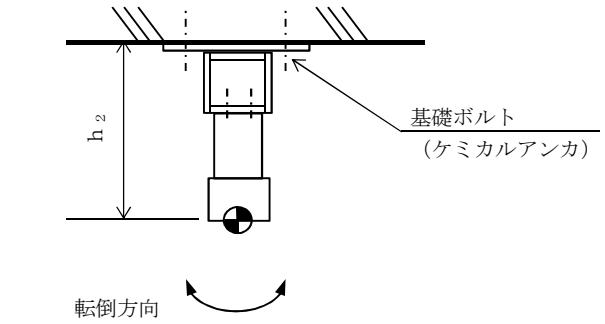
注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

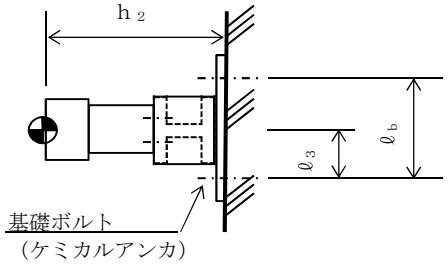
(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
代替淡水貯槽水位	水平方向	0.46	
	鉛直方向	1.55	

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
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　基本方針・・・7
 4.2　固有周期の算出方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・7
 4.3　固有周期の算出結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・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
  5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・8
  5.2.2　許容応力・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・8
  5.2.3　使用材料の許容応力評価条件・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・8
 5.3　設計用地震力・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・12
 5.4　計算方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・13
  5.4.1　応力の計算方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・13
   5.4.1.1　基礎ボルトの計算方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・13
   5.4.1.2　取付ボルトの計算方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・15
 5.5　計算条件・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・17
  5.5.1　基礎ボルトの応力計算条件・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・17
  5.5.2　取付ボルトの応力計算条件・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・18
 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　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，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。

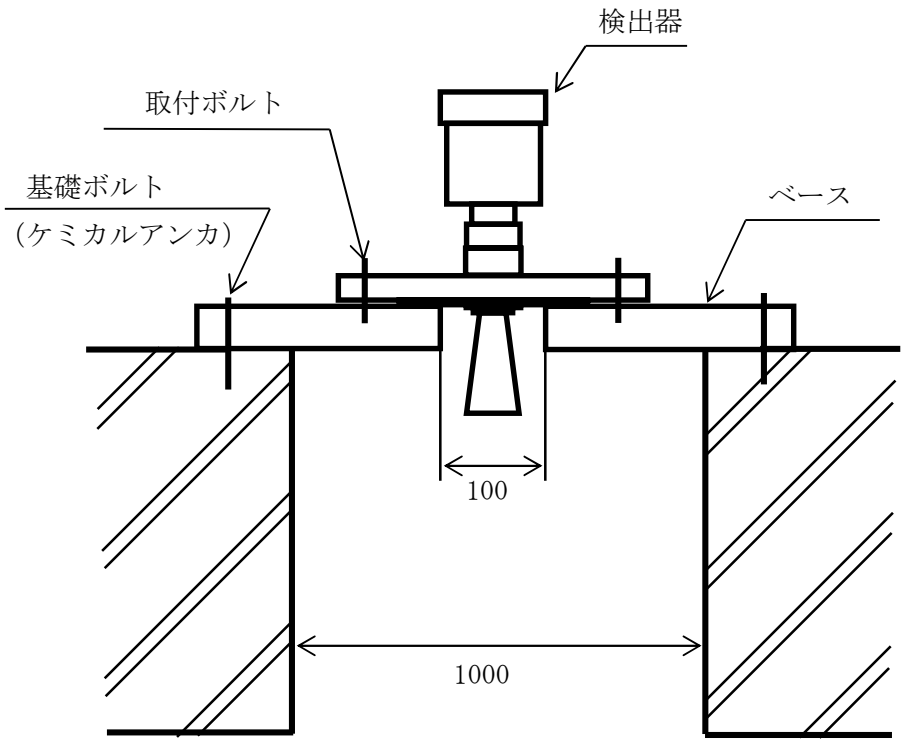
西側淡水貯水設備水位は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

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。

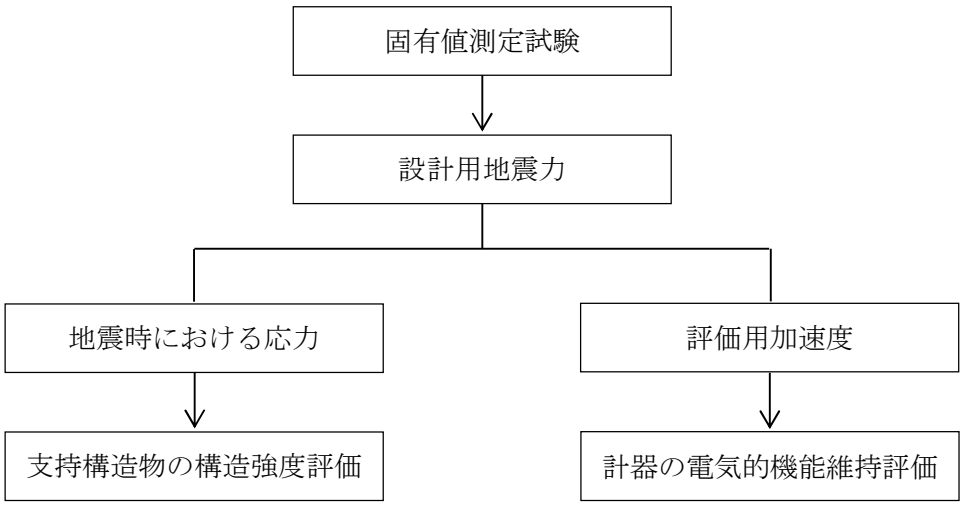


図 2-1　西側淡水貯水設備水位の耐震評価フロー

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
	重心と基礎ボルト間の水平方向距離	－
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*2	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
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$Ⅴ_AS$ ($Ⅴ_AS$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)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト (i＝1)		周囲環境温度		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*1			－	－	C_H=0.81	C_V=0.71

注記　＊1：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。

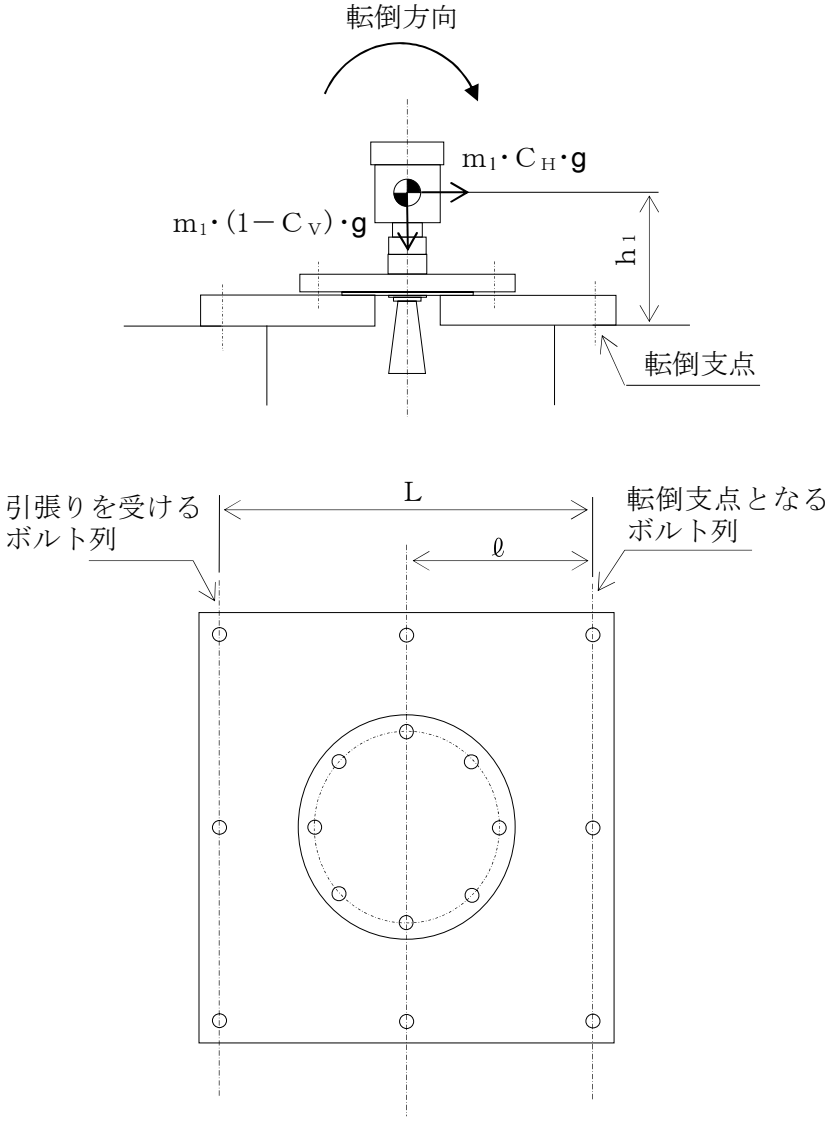


図 5-1　計算モデル

(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}）

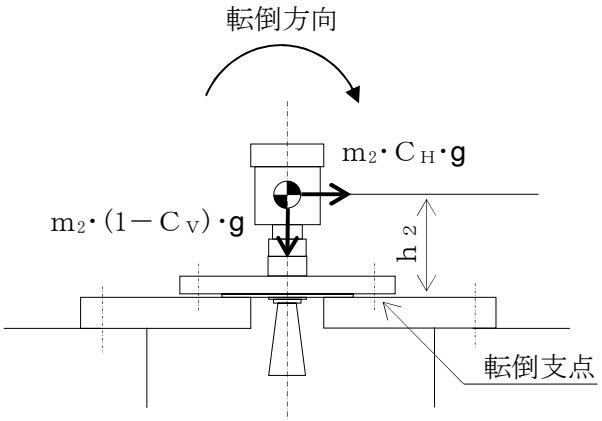
$$Q_{b1} = m_1 \cdot C_H \cdot g \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.4)$$

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。



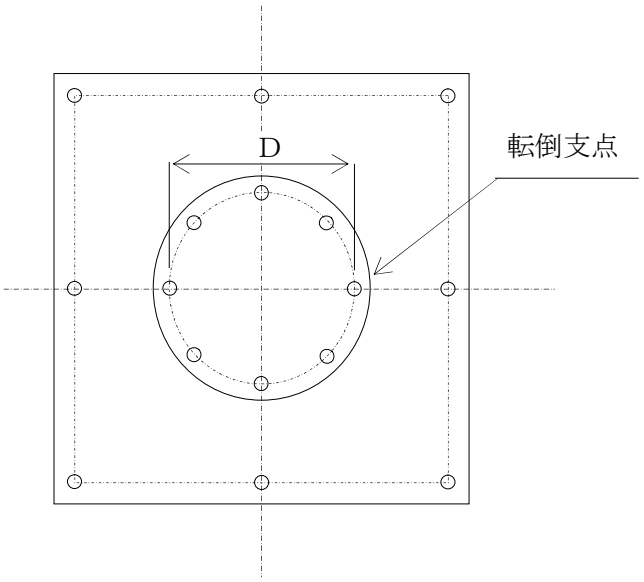


図 5-2　計算モデル

(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計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計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	
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S_d又は静的震度	基準地震動S_s
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		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。

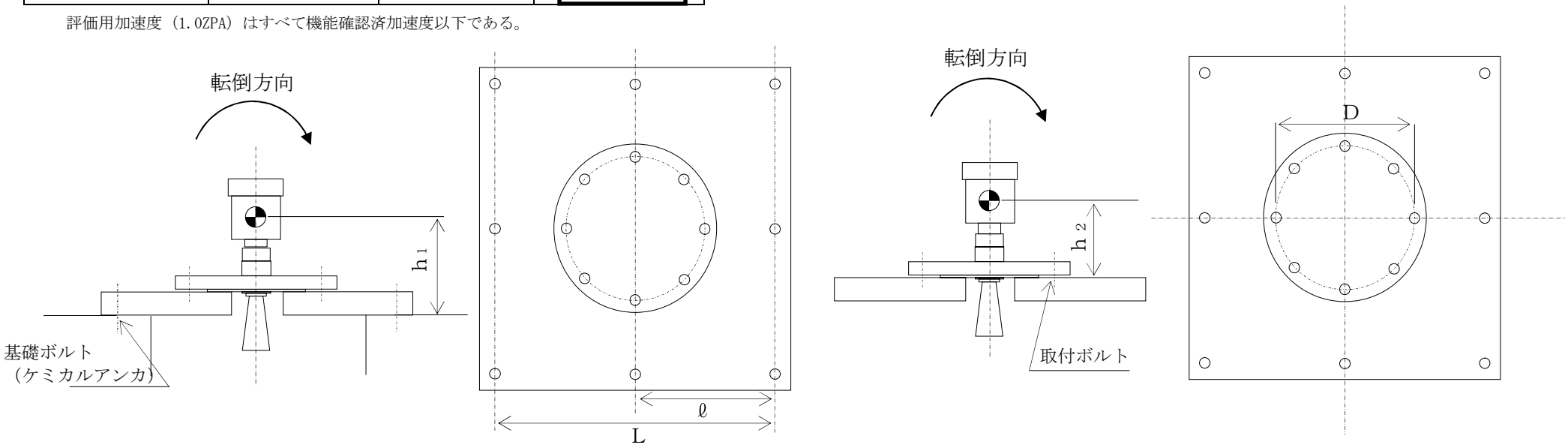
注記＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τｂｉ，f_{toi}]より算出

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
3.2 固有周期の計算条件 3
3.3 固有周期の計算結果 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 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。

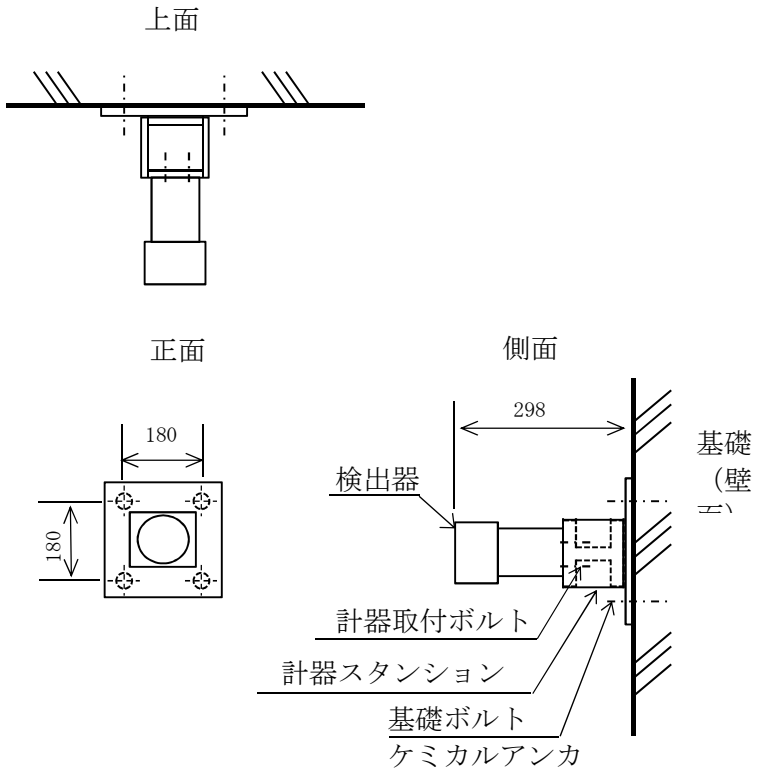
2. 一般事項

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

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，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。

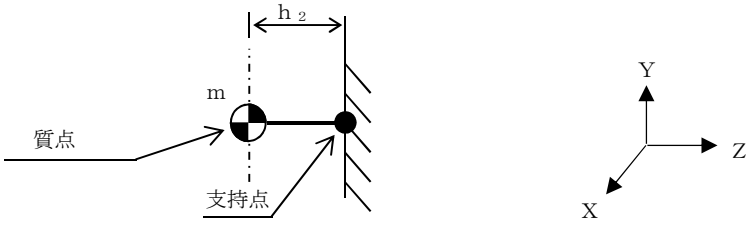


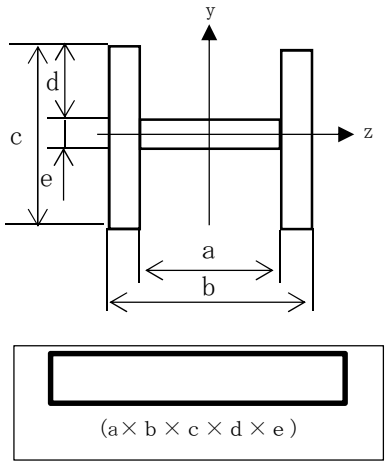
図 3-1　固有周期の計算モデル

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)			 （a×b×c×d×e）

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	EL. 2.00 (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 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_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	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	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=120$

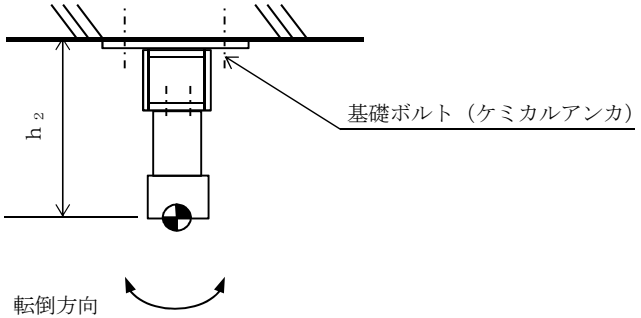
すべて許容応力以下である。

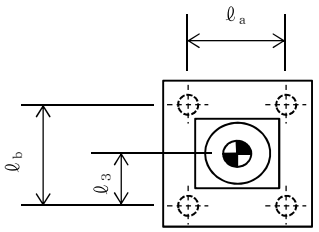
注記 ＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

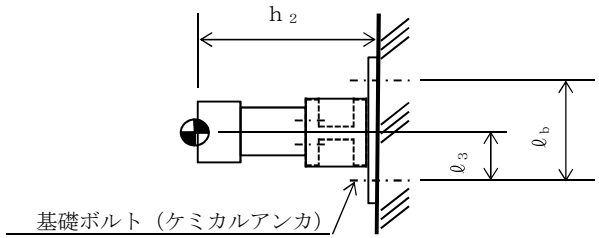
		評価用加速度	機能確認済加速度
低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）	水平方向	0.92	
	鉛直方向	0.80	

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
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スプレイ流量（可搬ライン用）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　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。

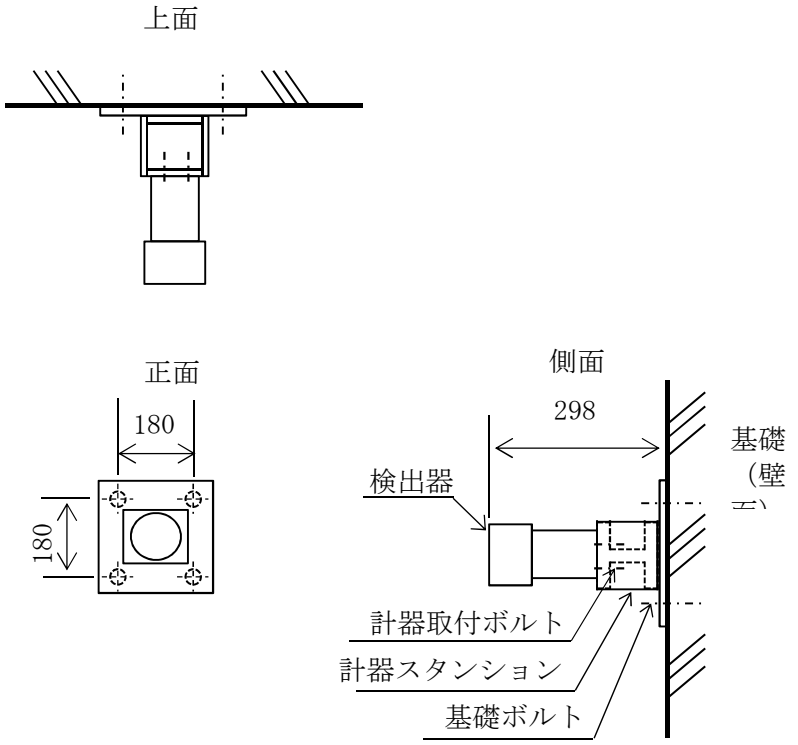
1.2 一般事項

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。

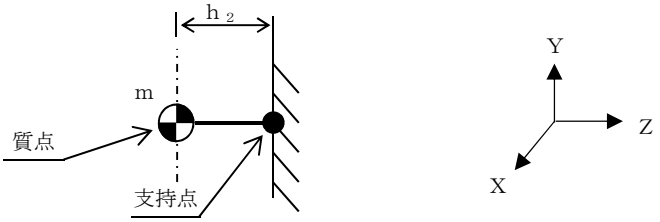
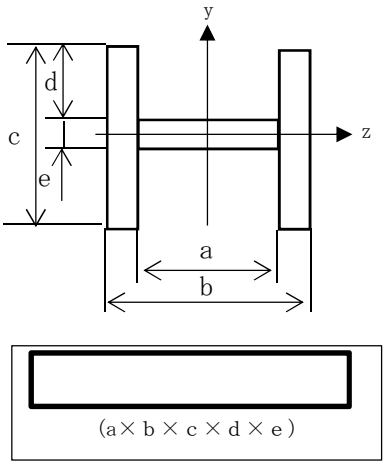


図 1-1 固有周期の計算モデル

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]	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	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	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=120$

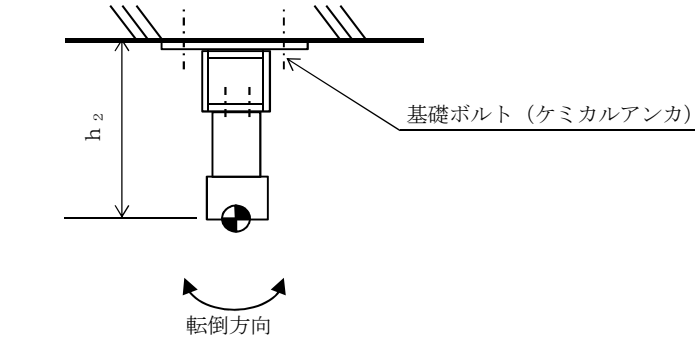
すべて許容応力以下である。

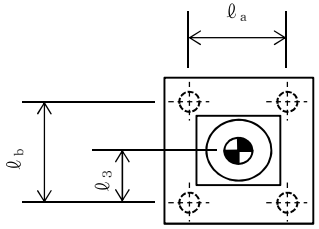
注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

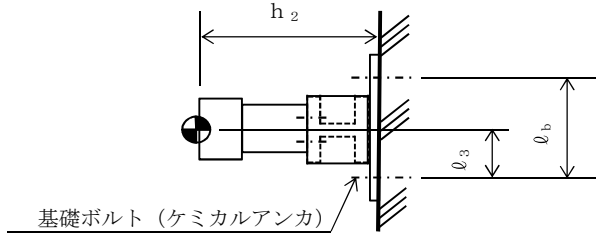
		評価用加速度	機能確認済加速度
低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

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。

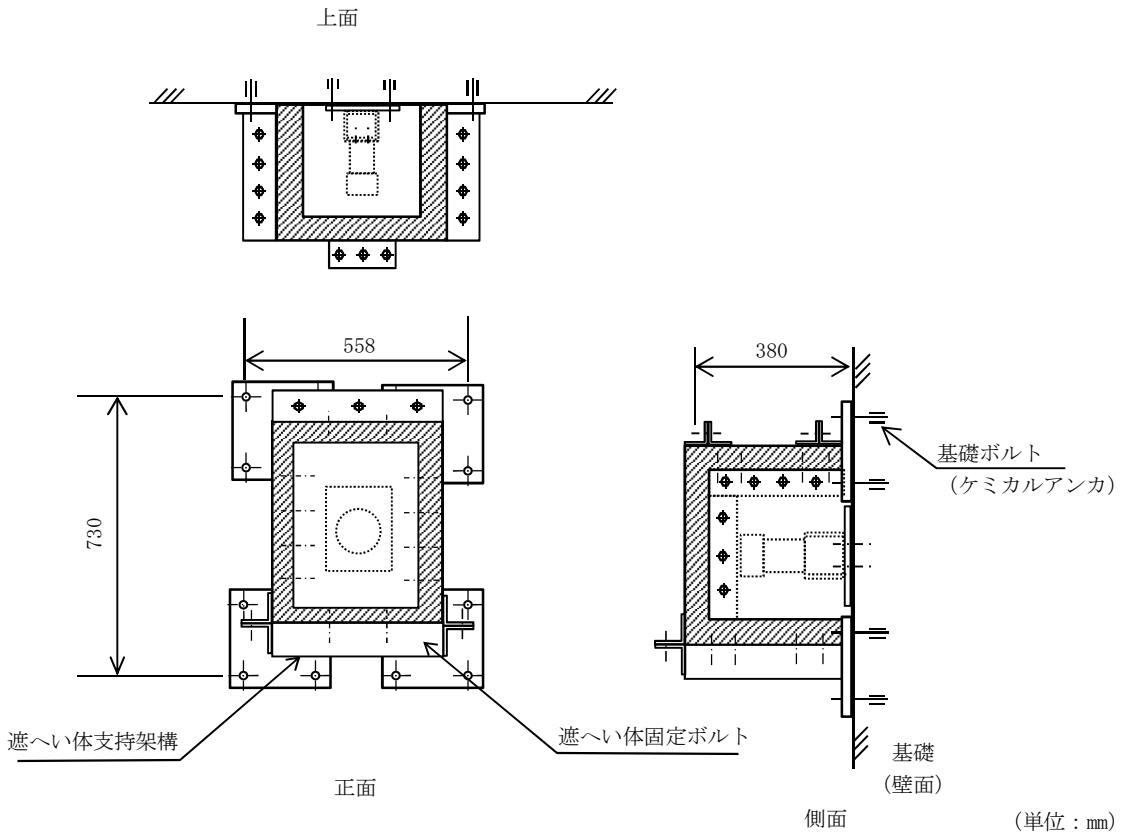
低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

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。

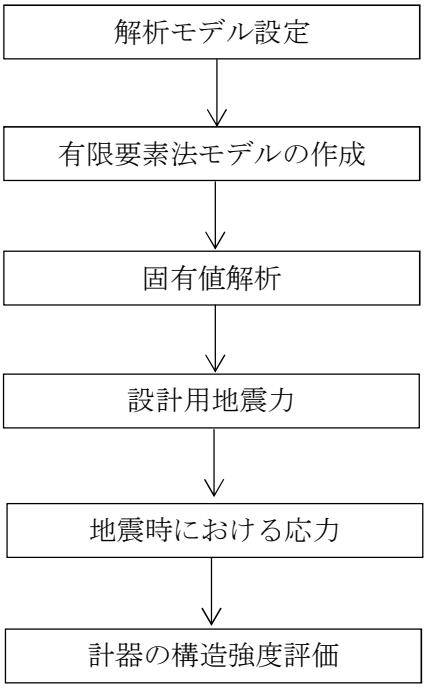


図2-1　低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）
遮へい体の耐震評価フロー

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　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_{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	－
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　Part 5　表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part 5　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。遮へい体は検出器を覆うように取り付けられ,原子炉建屋壁面に 2 箇所で固定されることから,解析モデルにおいて，④～⑩の部材で組まれたものとみなし，支持点 2 点で固定されるものとする。また，遮へい体支持架構は複数の鋼材で組まれ，原子炉建屋壁面に 2 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，①～③の部材で組まれたものとみなし，支持点 2 点で固定されるものとする。解析モデルにおいて，遮へい体の質量は 8 箇所に分散されるものとし，質点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 2-3，部材の機器要目を表 2-4 に示す。

(1)　図 2-2 中〇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 [redacted] kg で，8 箇所を合計すると [redacted] 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。

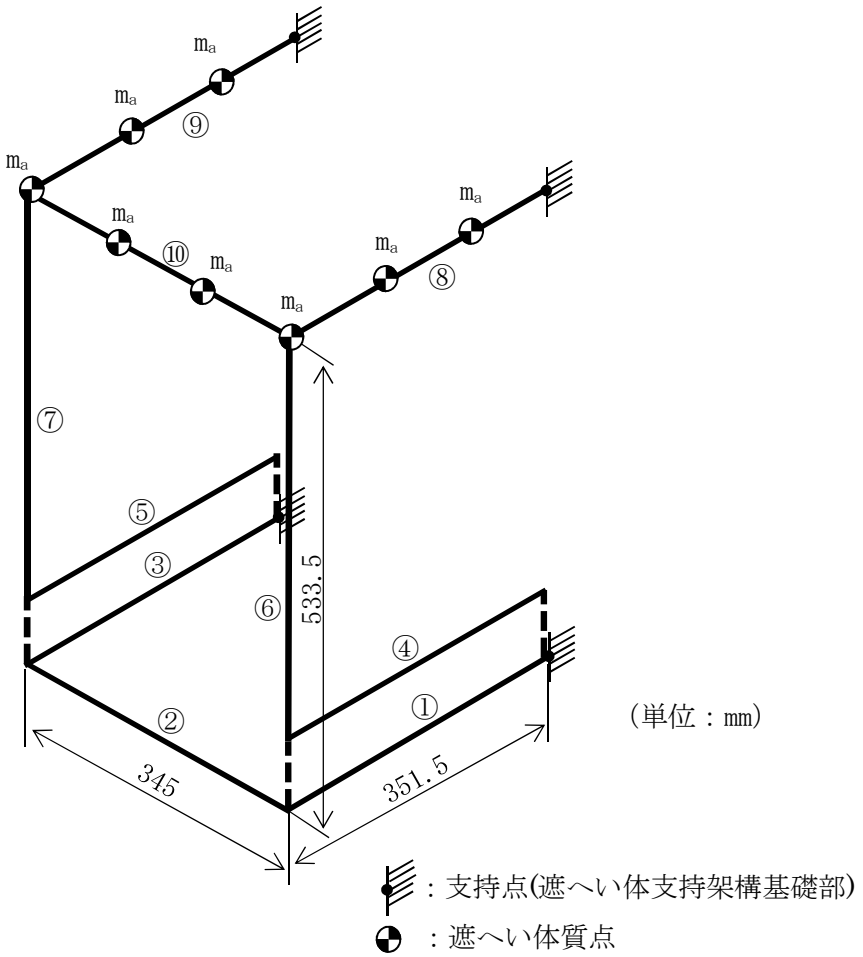


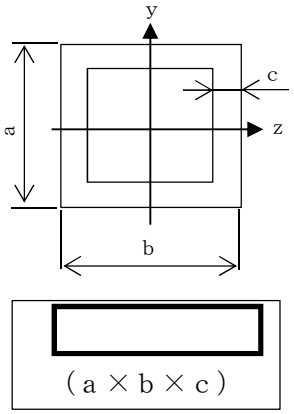
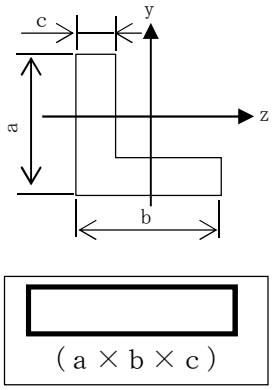
図 2-2　低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）
遮へい体　解析モデル

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

2.4.2 項(1)～(6)のほか，次の条件で計算する。

(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。

2.5.2　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
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*
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。

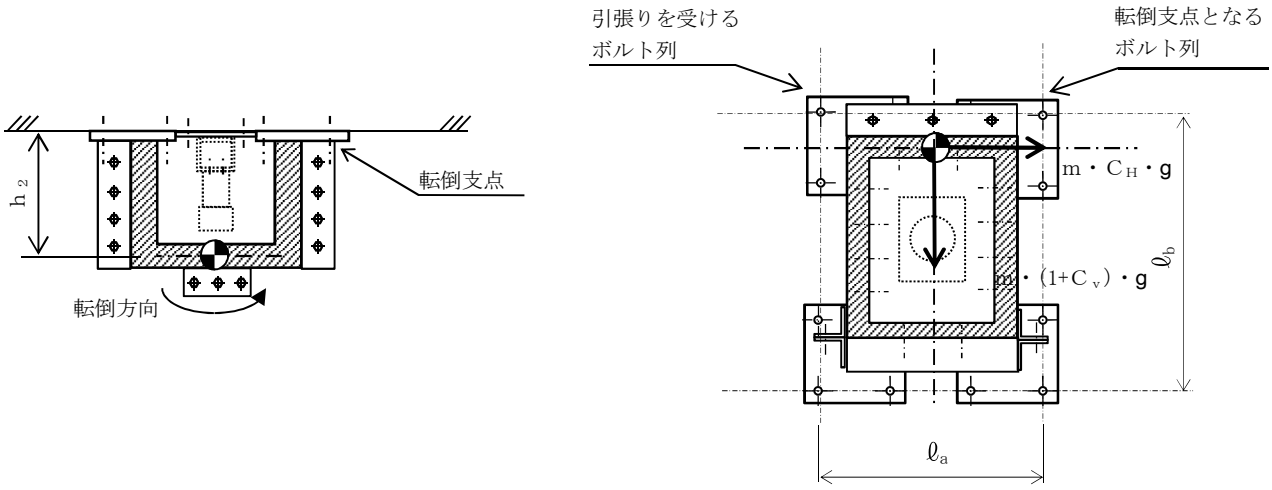


図 2-3(1)　低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体 計算モデル
（壁掛型　水平方向転倒の場合）

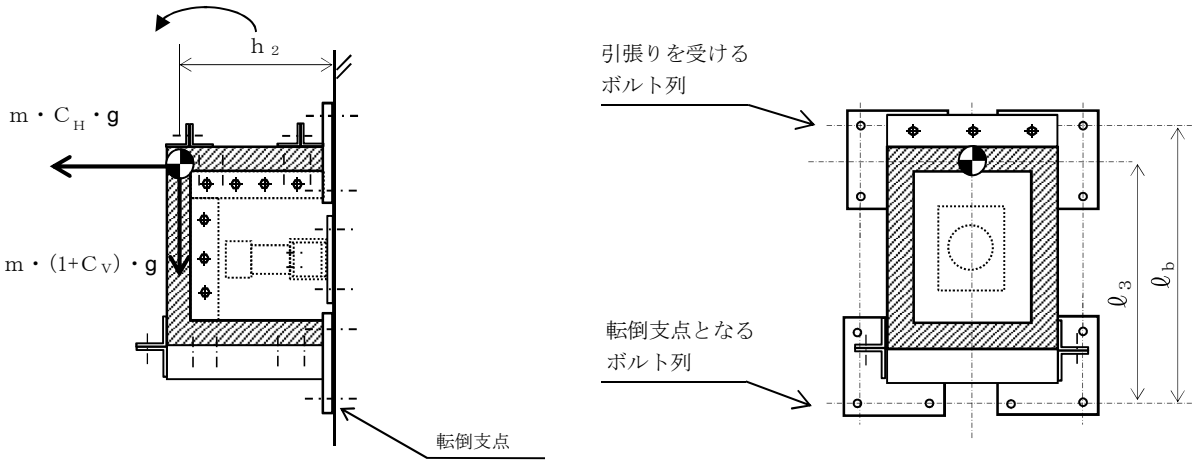


図 2-3(2)　低圧代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）遮へい体　計算モデル
（壁掛型　鉛直方向転倒の場合）

(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

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_f\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_f\cdot \ell_b}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.1)$$

計算モデル図2－3 (2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_f\cdot \ell_b}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}(F_{b1}, F_{b2}) \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.5)$$

(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）

$$Q_b=m\cdot g\cdot C_H \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.6)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.7)$$

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【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。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.6.1.1)$$

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	
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	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	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 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	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

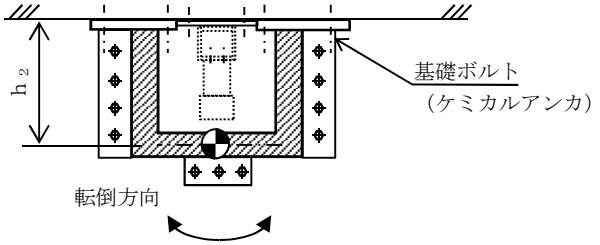
1.4.1　ボルトの応力

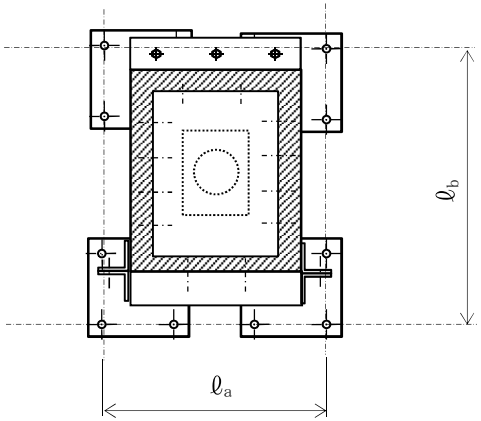
（単位：MPa）

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	－	－	σ_b=23	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=9	f_{sb}=120

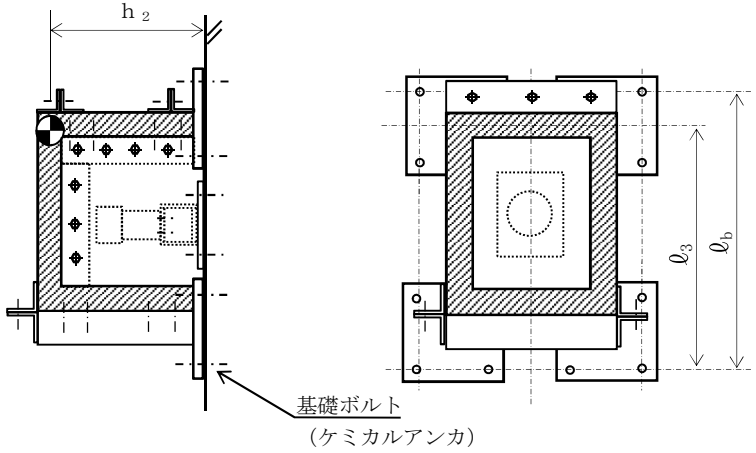
すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$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。

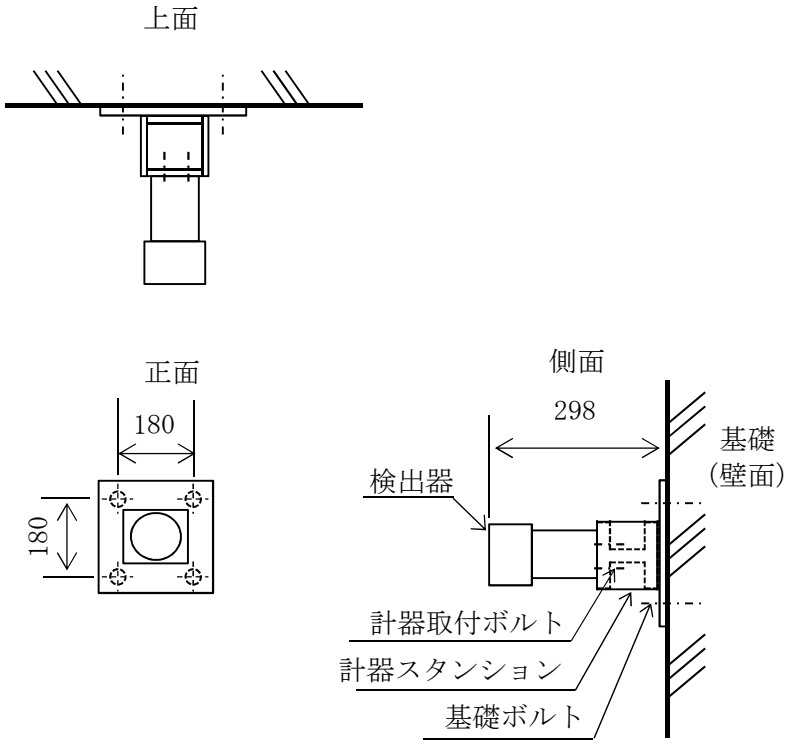
1.2 一般事項

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。

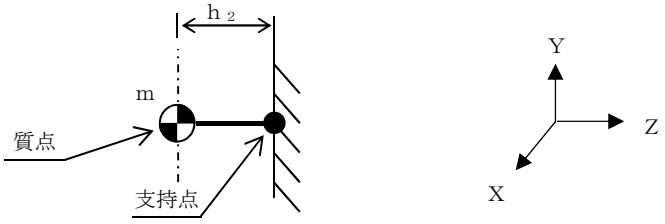
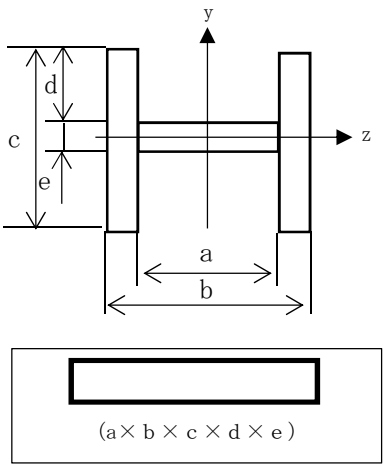


図 1-1　固有周期の計算モデル

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 格納容器スプレイ流量 （可搬ライン用）	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	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								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	－	－	$\tau_b=1$	$f_{sb}=120$

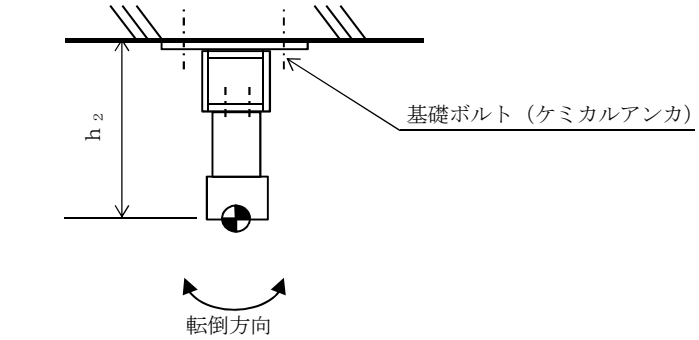
すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

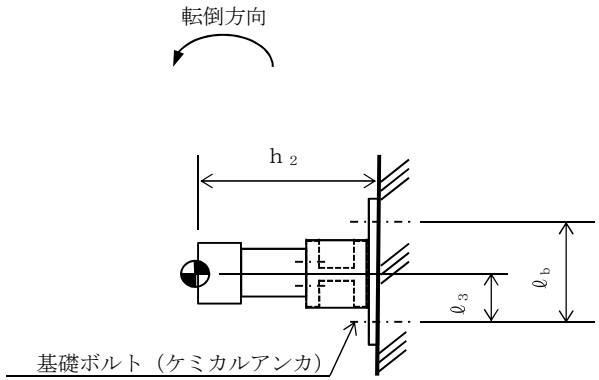
1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s^2)

		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。

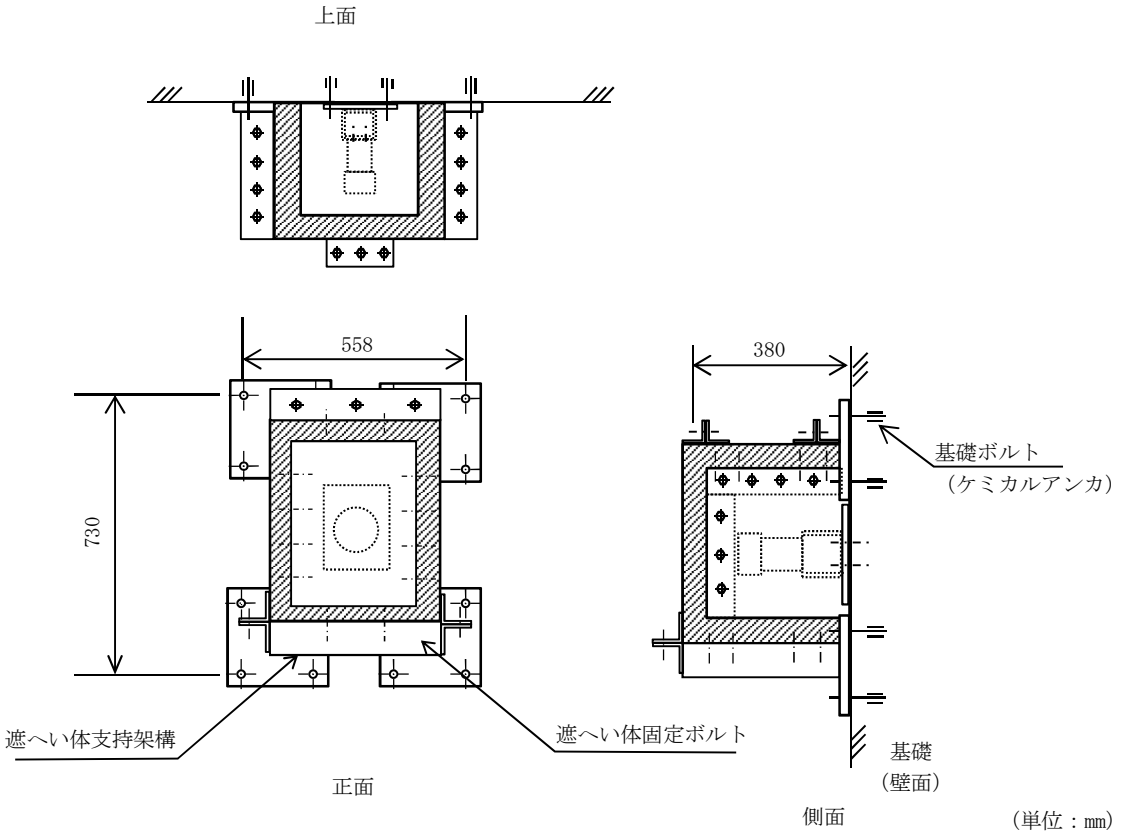
低圧代替注水系格納容器下部注水流量遮へい体は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

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。

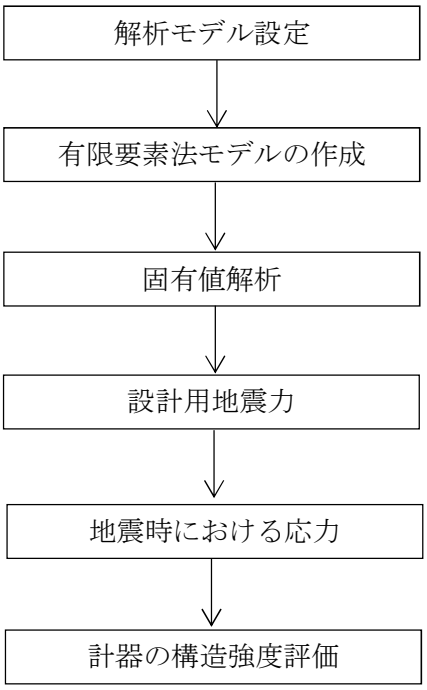


図 2-1　低圧代替注水系格納容器下部注水流量
遮へい体の耐震評価フロー

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_{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	－
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　Part 5　表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part 5　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。遮へい体は検出器を覆うように取り付けられ,原子炉建屋壁面に 2 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，④～⑩の部材で組まれたものとみなし，支持点 2 点で固定されるものとする。また，遮へい体支持架構は複数の鋼材で組まれ,原子炉建屋壁面に 2 箇所で固定されることから,解析モデルにおいて,①～③の部材で組まれたものとみなし，支持点 2 点で固定されるものとする。解析モデルにおいて，遮へい体の質量は 8 箇所に分散されるものとし，質点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 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。

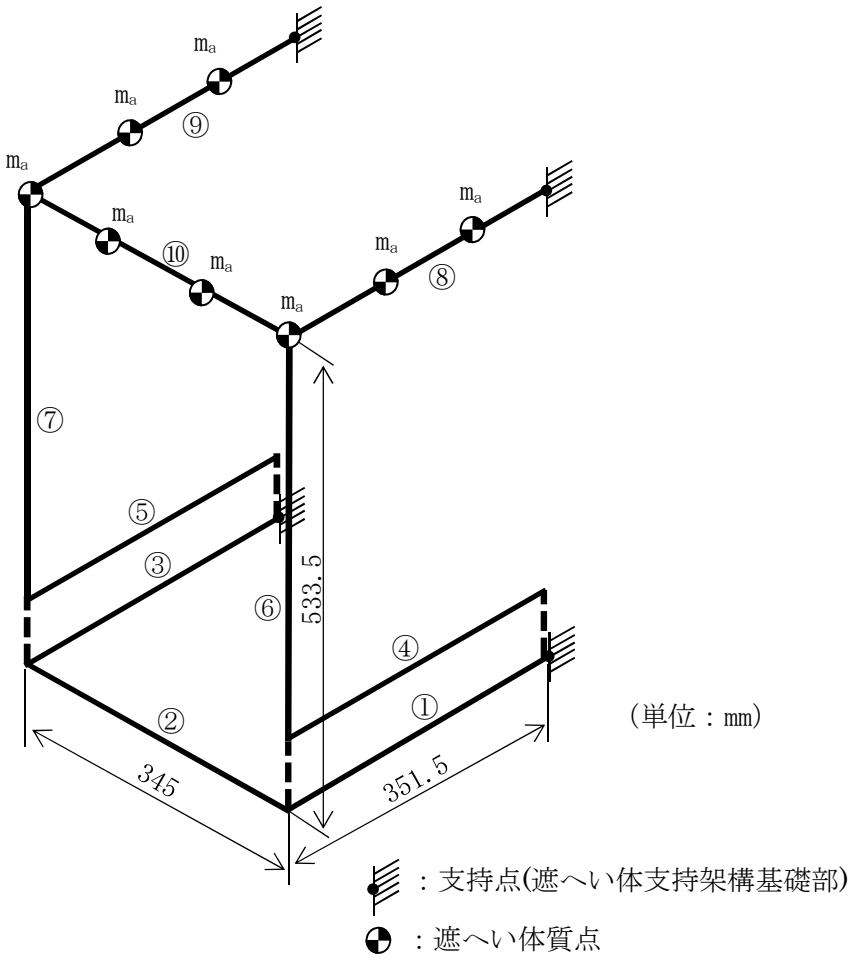


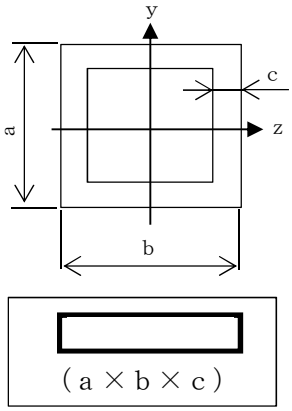
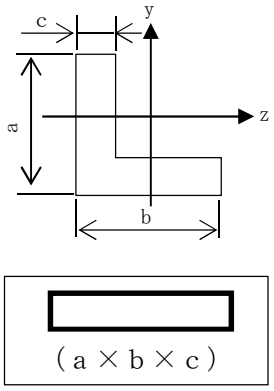
図 2-2　低圧代替注水系格納容器下部注水流量
遮へい体　解析モデル

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

2.4.2 項(1)～(6)のほか，次の条件で計算する。

(1)　地震力は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。

2.5.2　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。

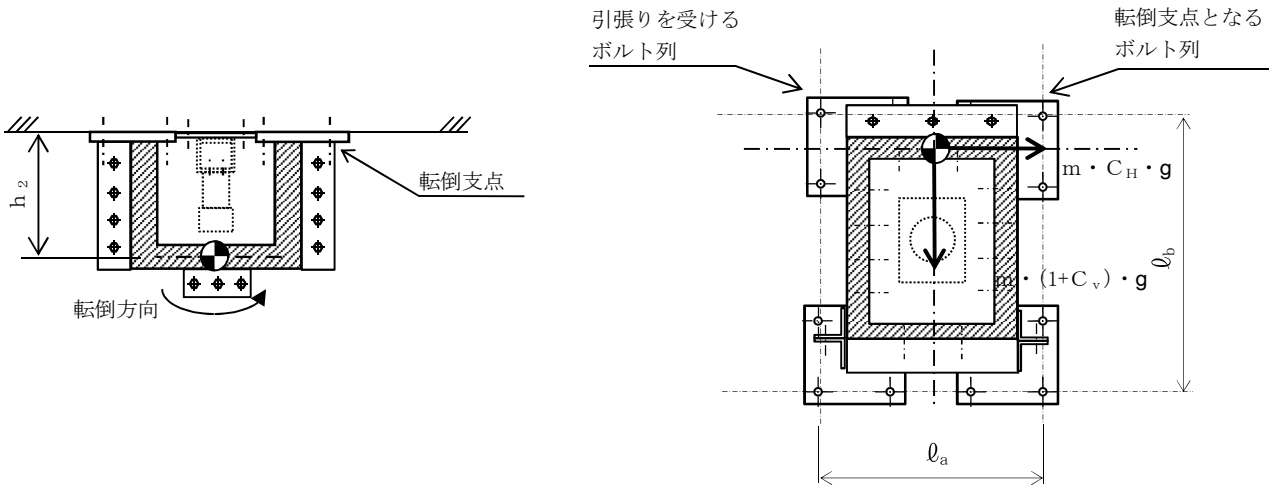


図 2-3(1)　計算モデル
(壁掛形　水平方向転倒の場合)

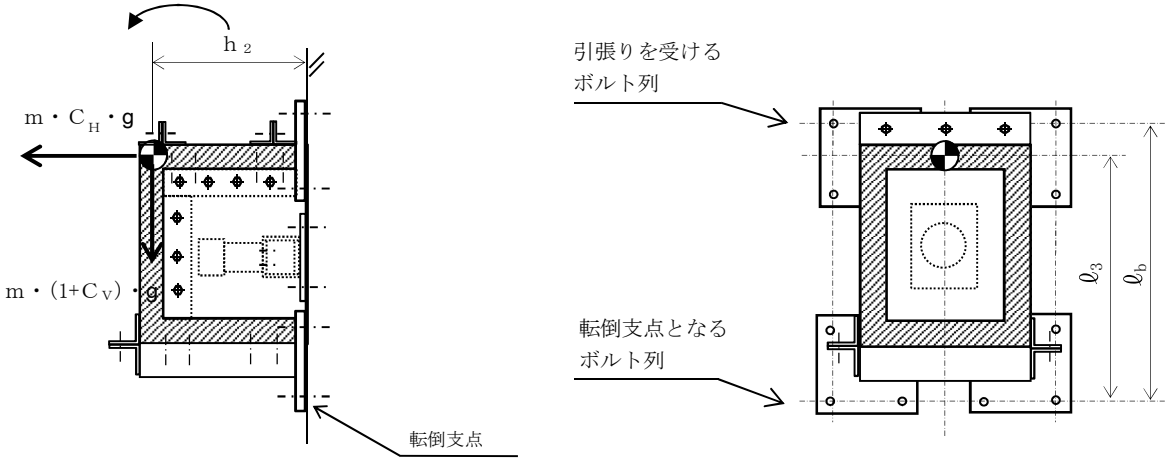


図 2-3(2)　計算モデル
(壁掛形　鉛直方向転倒の場合)

(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 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

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_f\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_f\cdot \ell_b}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.1)$$

計算モデル図2-3 (2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_f\cdot \ell_b}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}(F_{b1}, F_{b2}) \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.5)$$

(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）

$$Q_b=m\cdot g\cdot C_H \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.6)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.7)$$

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【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。

	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	Sy (MPa)	Su (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

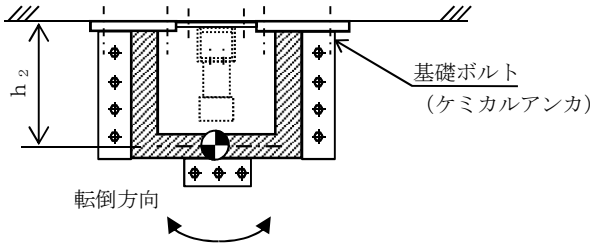
1.4.1　ボルトの応力

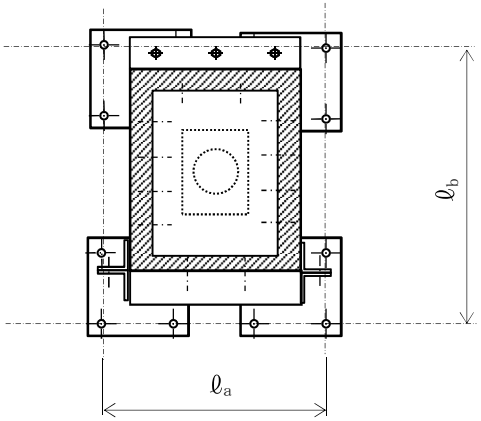
（単位：MPa）

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

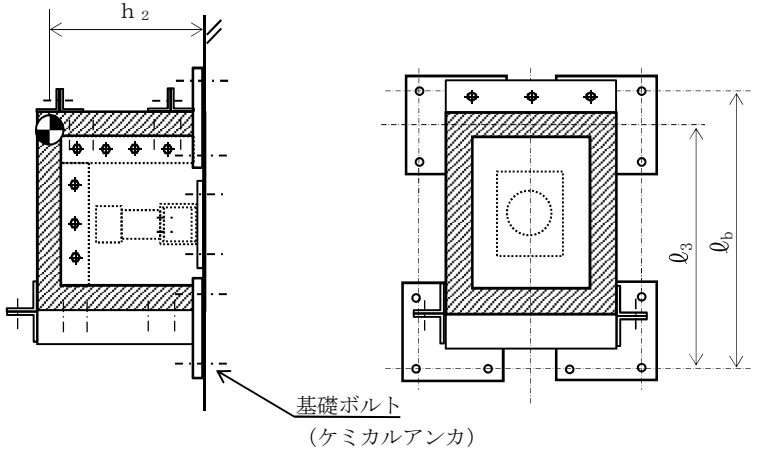
すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$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(FT-SA17-N018A)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　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。

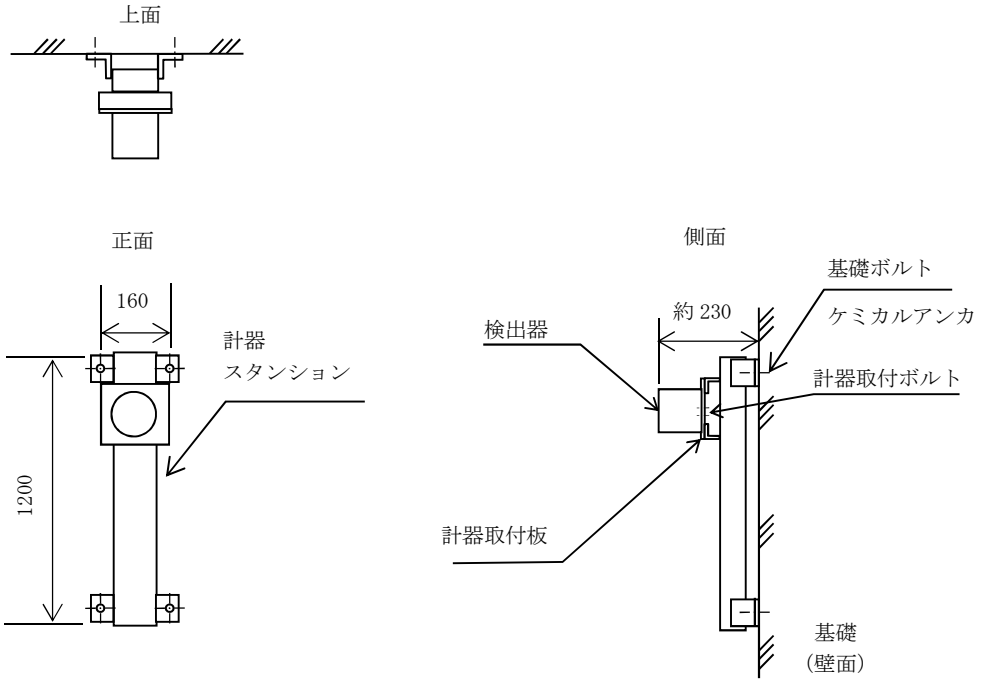
1.2 一般事項

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）

(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。

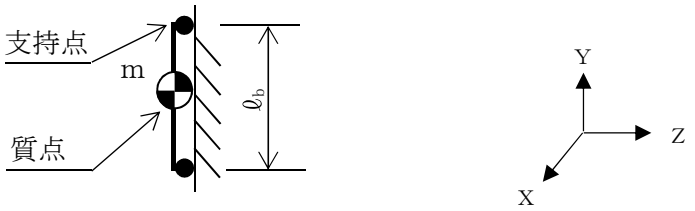
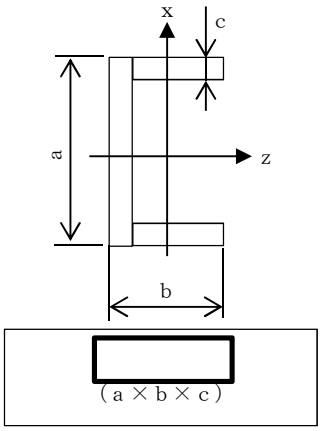


図 1-1　固有周期の計算モデル

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	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

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 (℃)		Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（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	Sy (MPa)	Su (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	SS400	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。

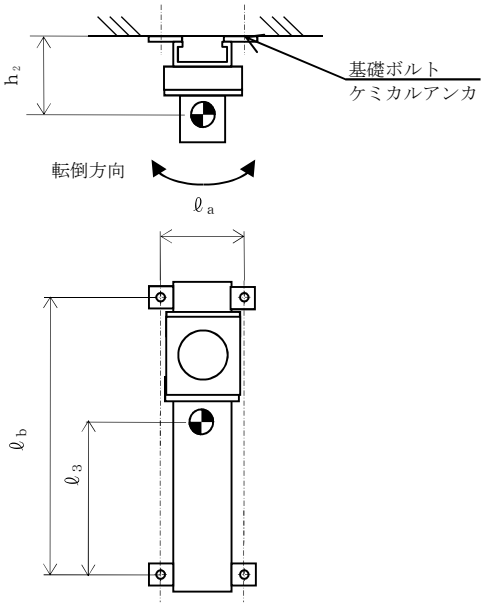
注記　＊：f_{tsi}=Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

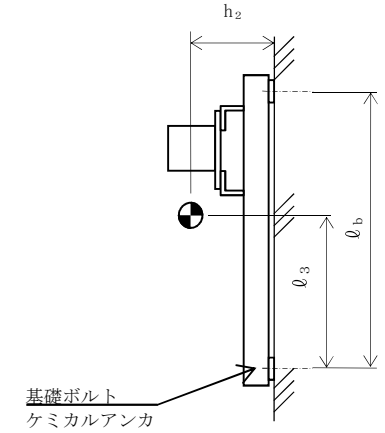
(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
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(FT-SA17-N018A)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。

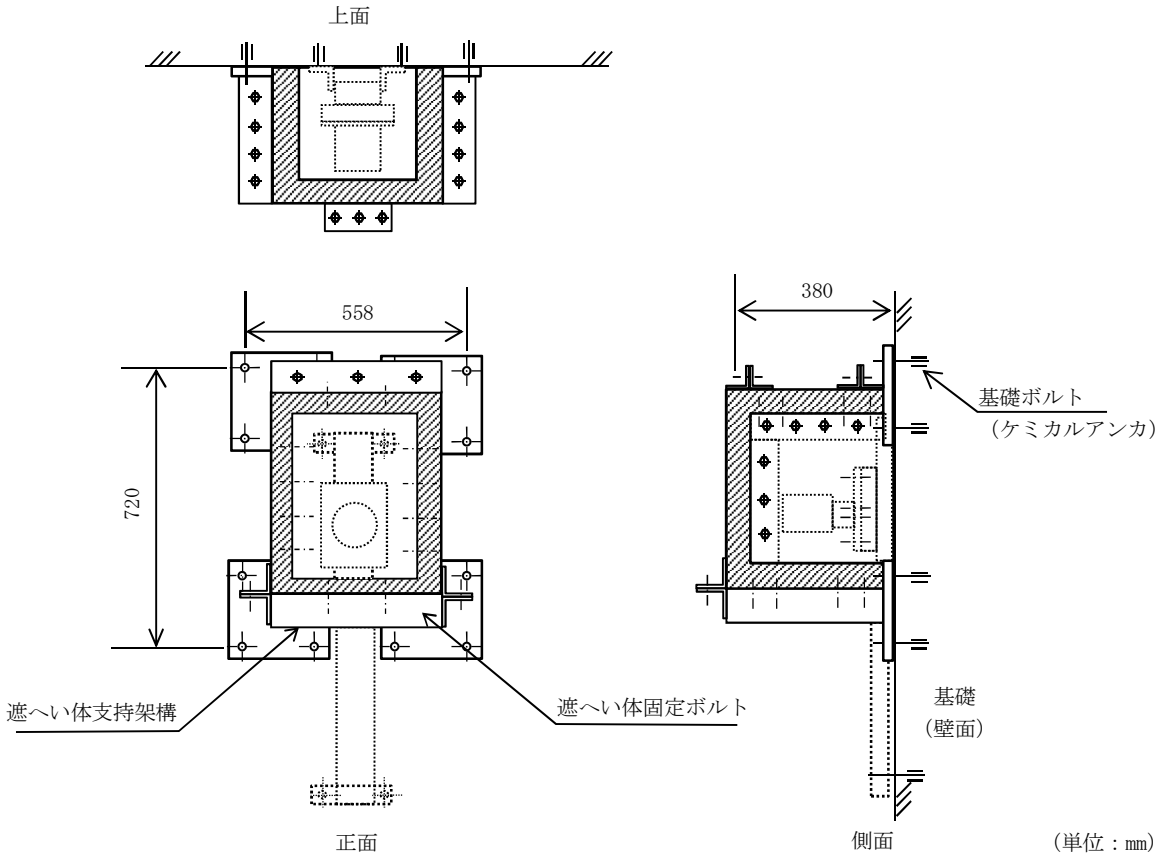
代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

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。

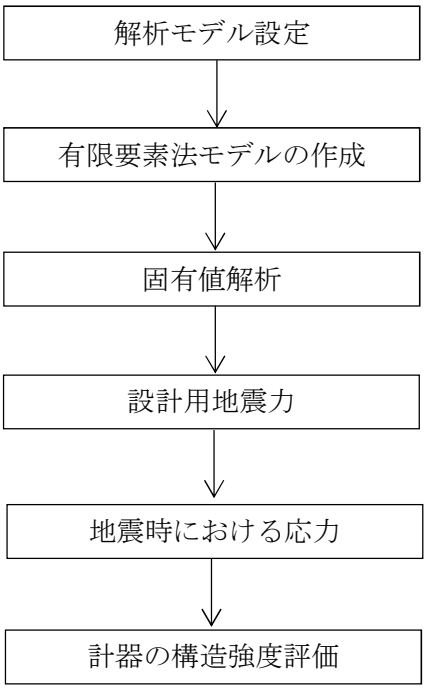


図 2-1　代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体の耐震評価フロー

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_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	－
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

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

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，「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。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。遮へい体は検出器を覆うように取り付けられ，原子炉建屋壁面に 2 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，④～⑩の部材で組まれたものとみなし，支持点 2 点で固定されるものとする。また，遮へい体支持架構は複数の鋼材で組まれ，原子炉建屋壁面に 2 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，①～③の部材で組まれたものとみなし，支持点 2 点で固定されるものとする。解析モデルにおいて，遮へい体の質量は 8 箇所に分散されるものとし，質点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 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 [redacted] kg で，8 箇所を合計すると [redacted] 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。

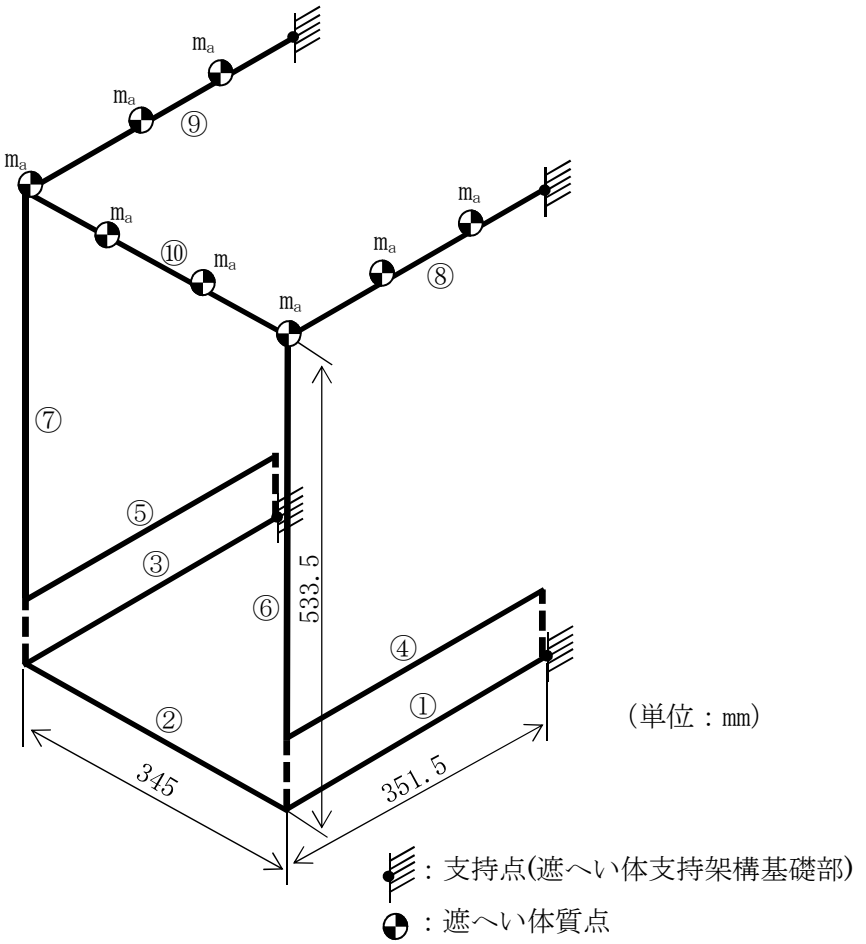


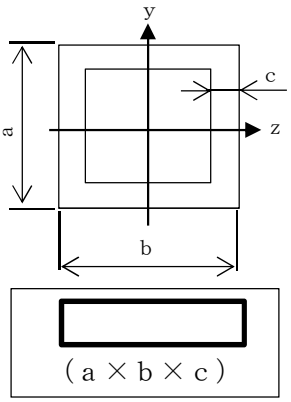
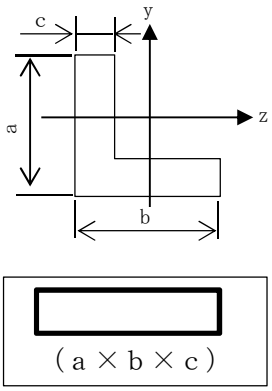
図 2-2　代替循環冷却系格納容器スプレイ流量
遮へい体　解析モデル

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

2.4.2 項(1)～(6)のほか，次の条件で計算する。

(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。

2.5.2　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

低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
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。

2.5.4　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。

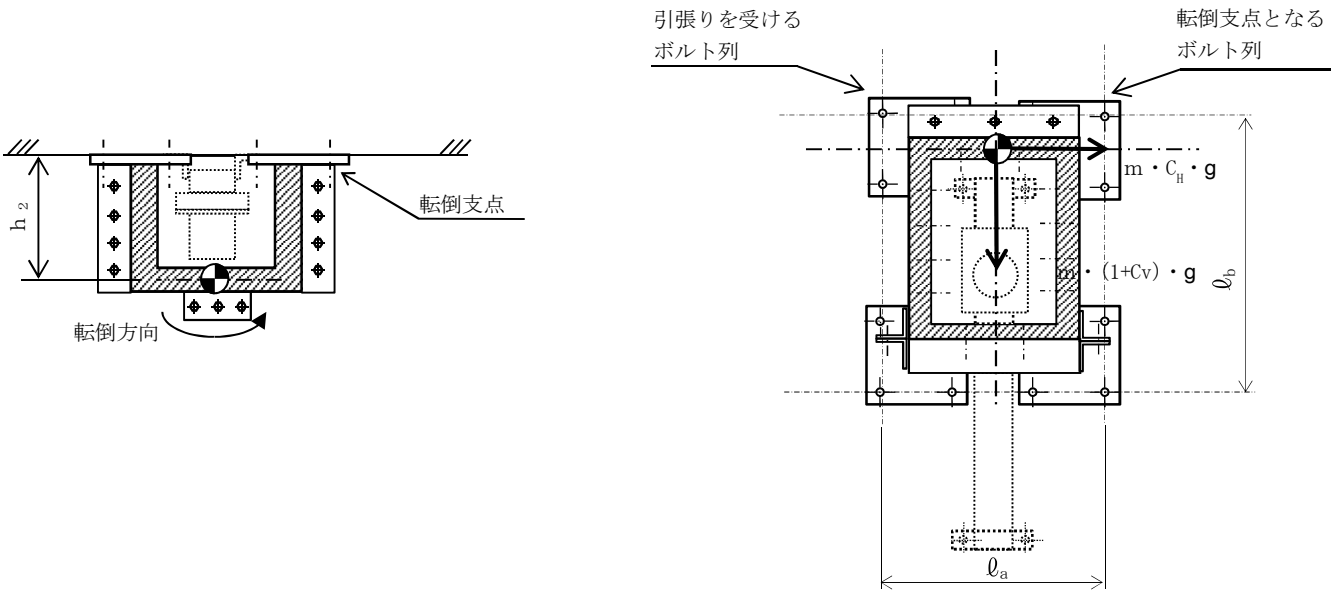


図2-3(1)　代替循環冷却系格納容器スプレイ流量遮へい体計算モデル
（壁掛形　正面方向転倒の場合）

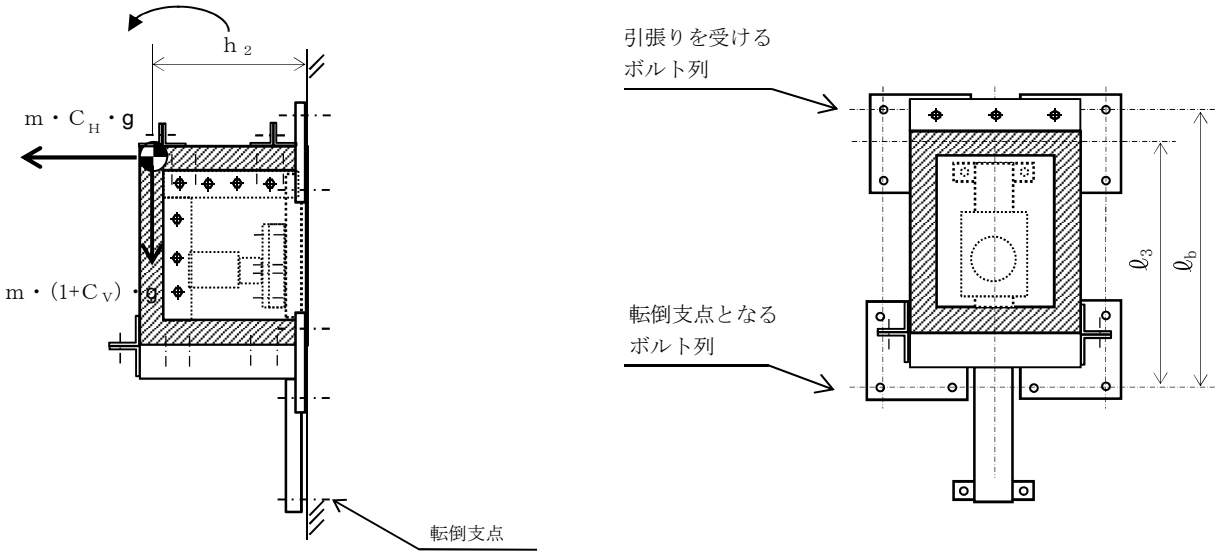


図2-3(2)　代替循環冷却系格納容器スプレイ流量計算モデル
（壁掛形　側面方向転倒の場合）

(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）

$$Q_b=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.6)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.7)$$

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　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(FT-SA17-N018A)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(FT-SA17-N018A)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	Sy (MPa)	Su (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 基礎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

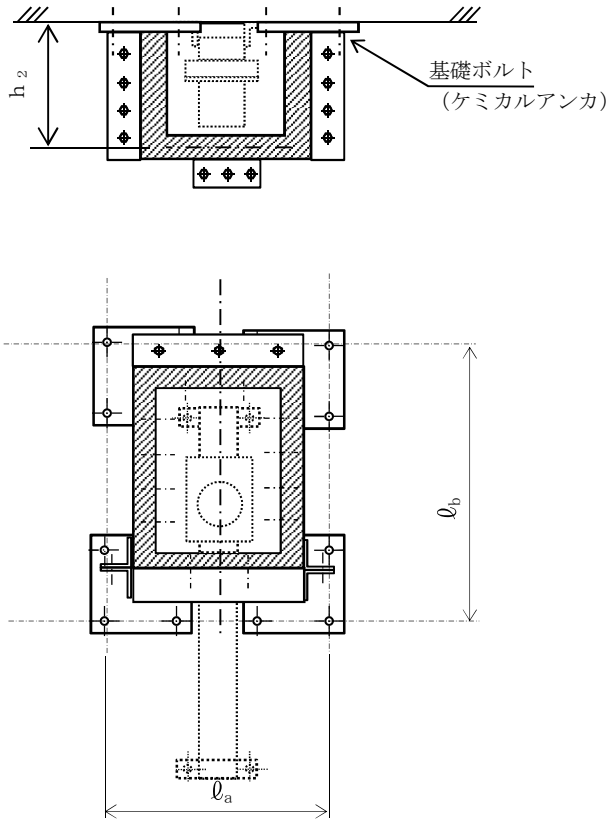
1.4.1 代替循環冷却系格納容器スプレイ流量(FT-SA17-N018A)遮へい体の応力

(単位：MPa)

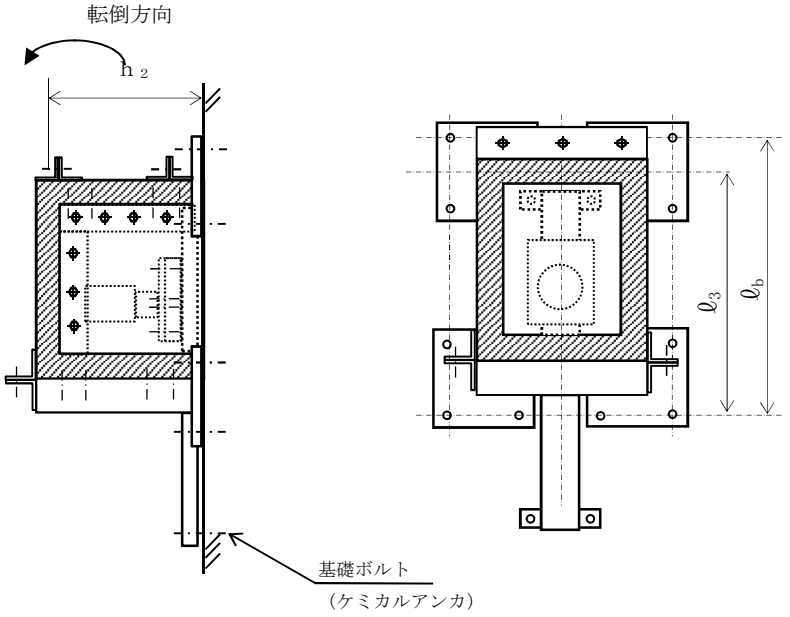
部　　材	材　料	応　力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_S	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b=23	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=9	f_{sb}=120

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　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。

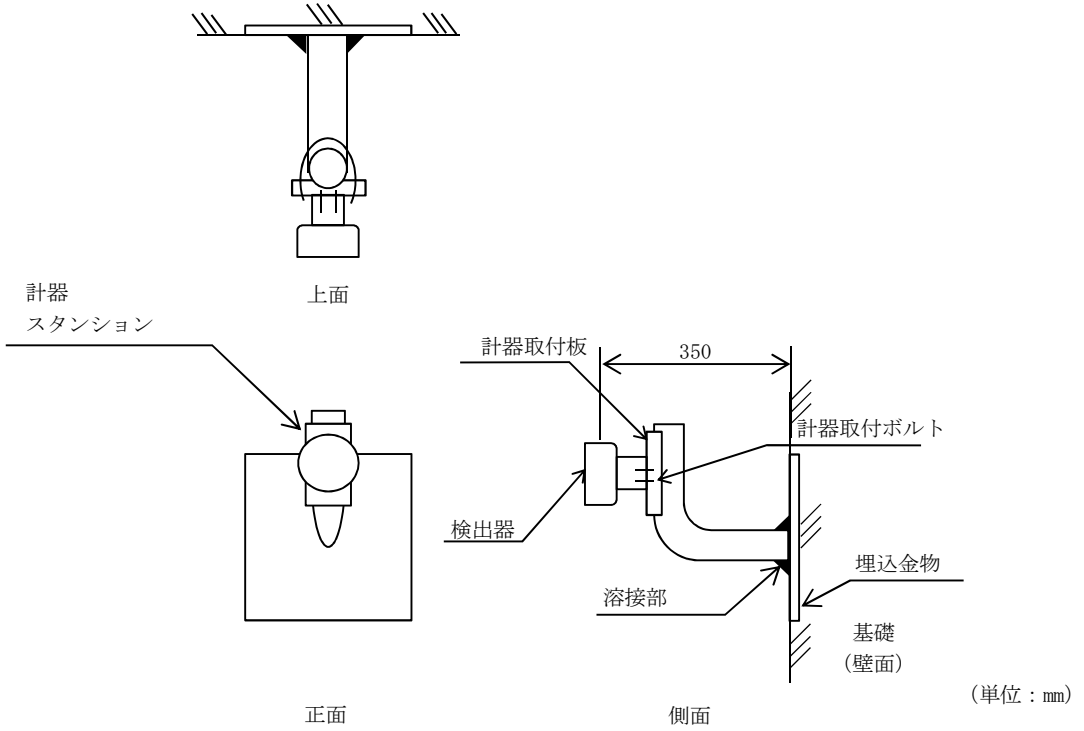
サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

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。

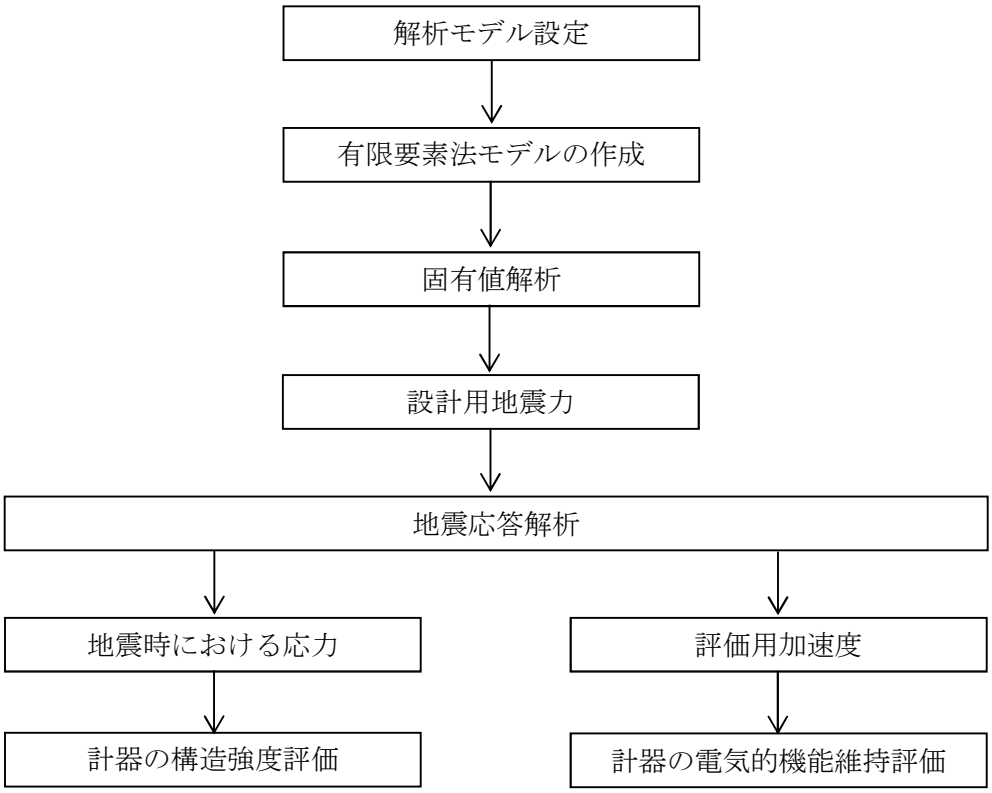


図 1-1　サプレッション・プール水位（LT-26-79.5A）の耐震評価フロー

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軸周り）	N･m
M_Y	溶接部に作用するモーメント（Ｙ軸周り）	N･m
M_Z	溶接部に作用するモーメント（Ｚ軸周り）	N･m
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^4
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*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・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	S	－*	$D+P_D+M_D+S_d$*	ⅢAS
					$D+P_D+M_D+S_s$	ⅣAS

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 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 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。

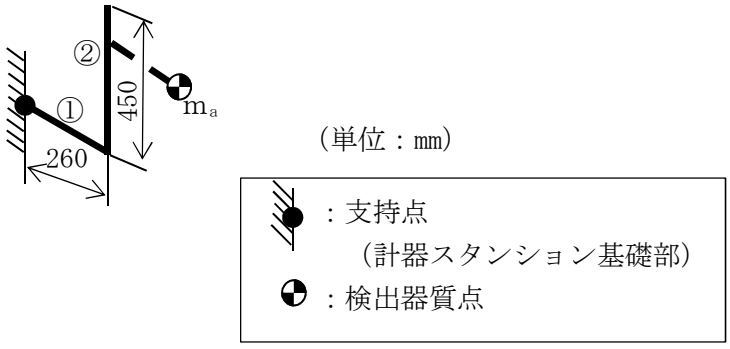
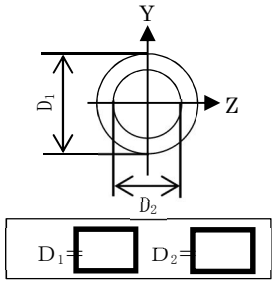


図 1-2　サプレッション・プール水位
（LT-26-79.5A）解析モデル

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	

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。

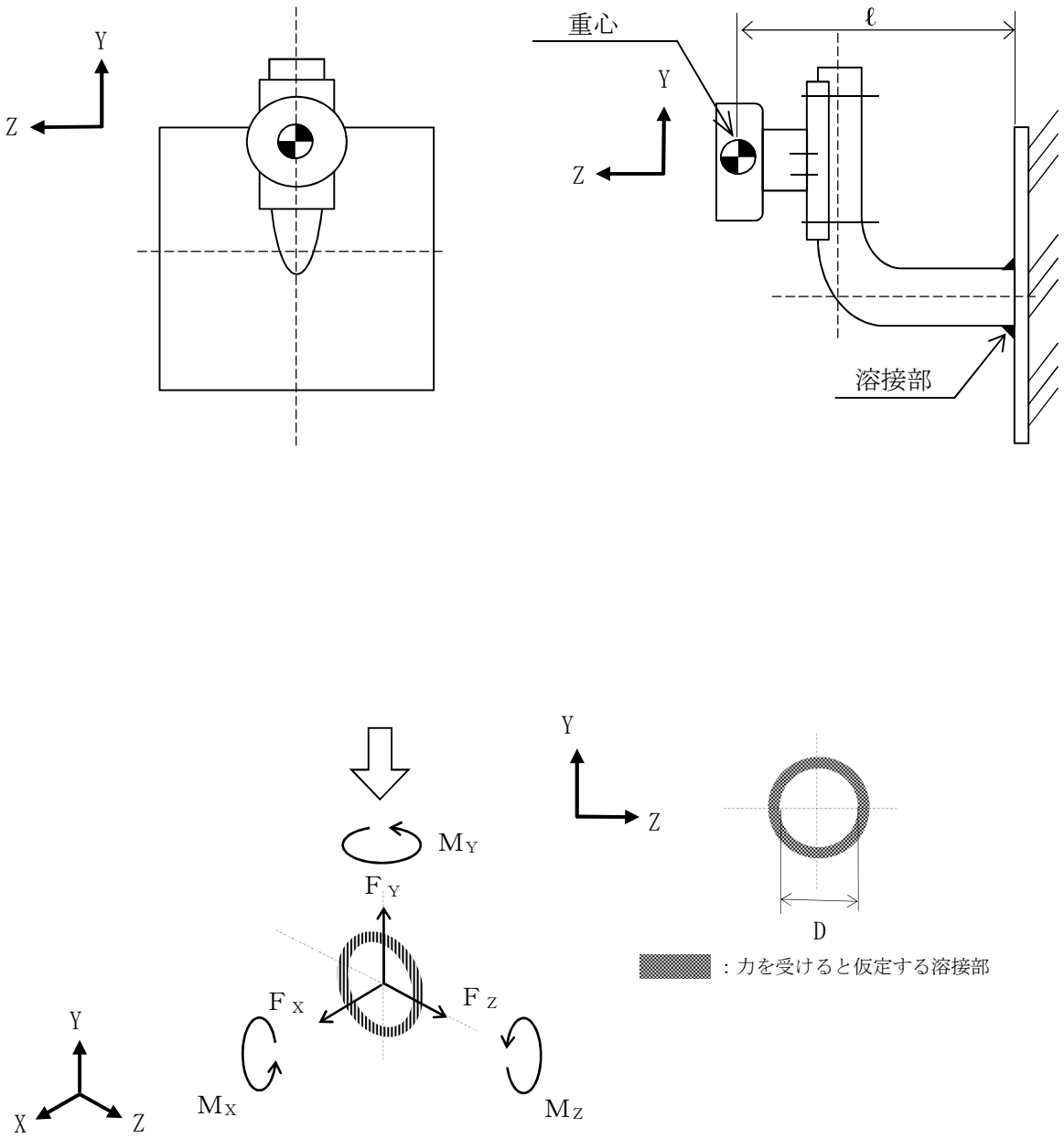


図 1-3　計算モデル（溶接部）

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･m)		
		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。

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + \tau^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.4.6.1.8)$$

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

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･m)

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)

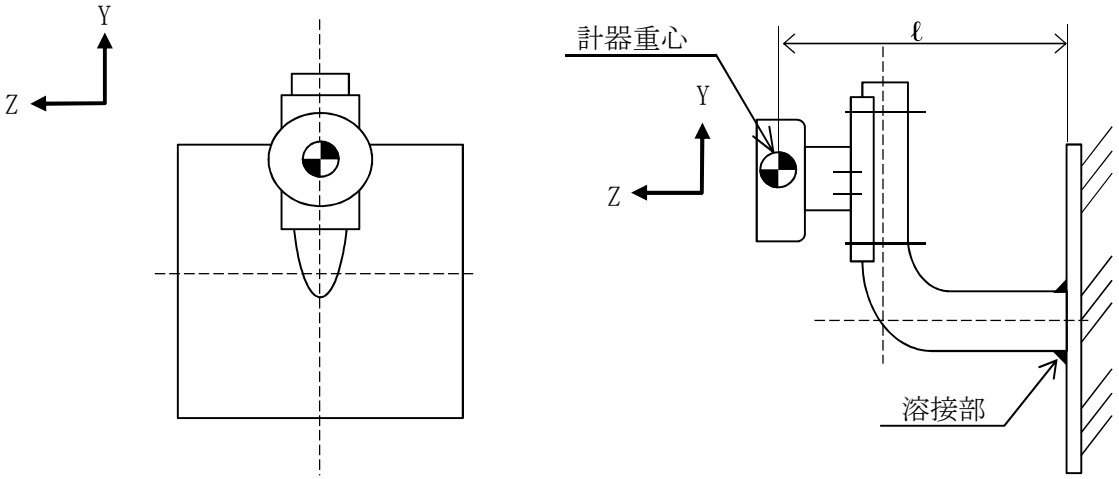
部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
溶接部		引張り	$\sigma_t=1$	$f_s=119$	$\sigma_t=1$	$f_s=143$
		せん断	$\tau=5$	$f_s=119$	$\tau=7$	$f_s=143$
		曲げ	$\sigma_b=24$	$f_s=119$	$\sigma_b=34$	$f_s=143$
		組合せ	$\sigma_w=24$	$f_s=119$	$\sigma_w=35$	$f_s=143$

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。

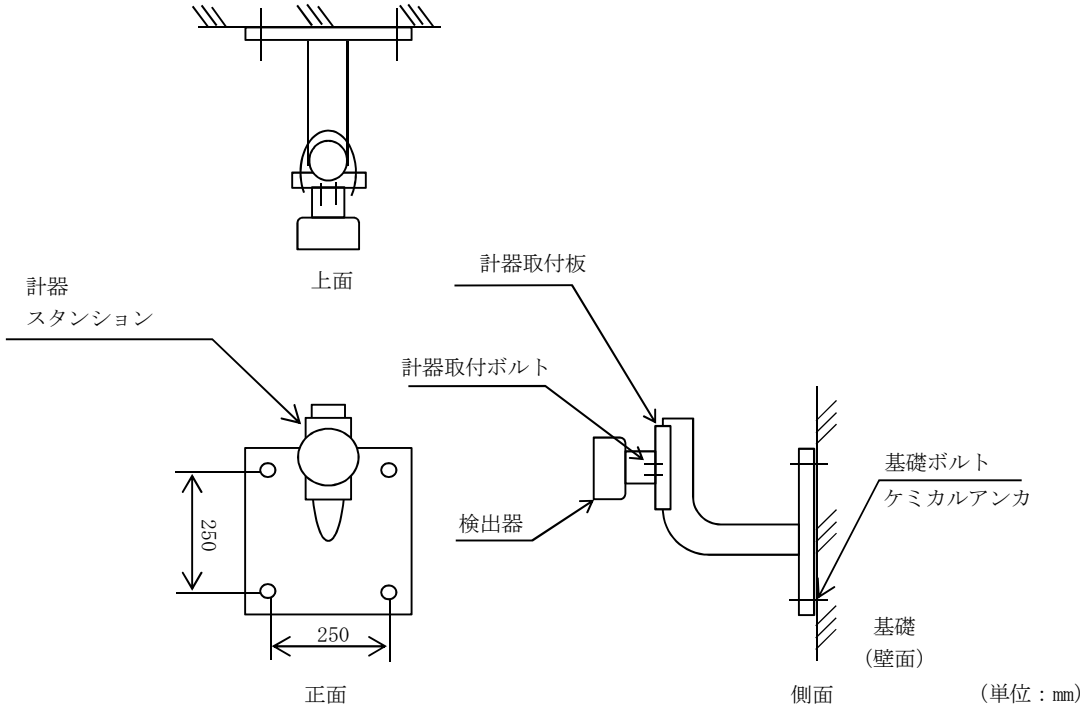
サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

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　4.3　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，「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。

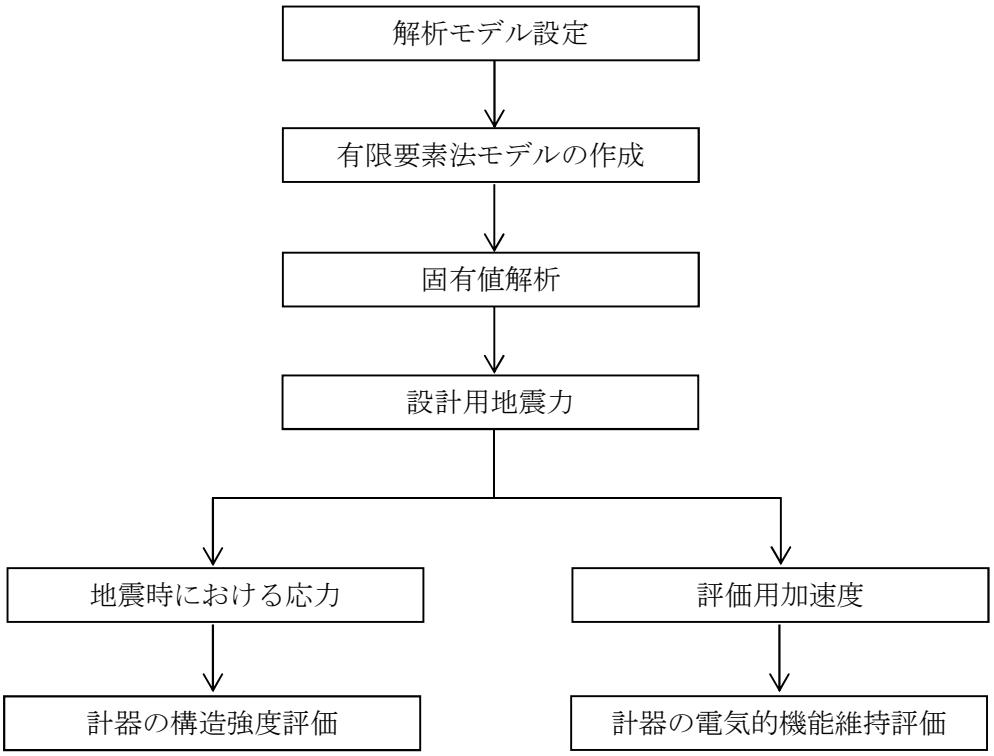


図 2-1　サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）の耐震評価フロー

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_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
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*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・プール水位（LT-26-79.5B）の耐震評価は，「2.5　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-26-79.5B）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 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（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，「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。

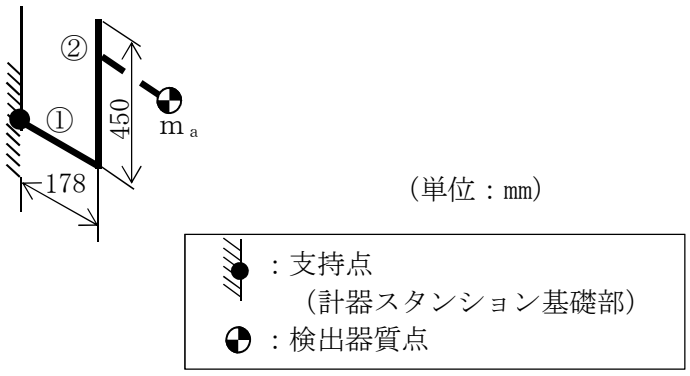
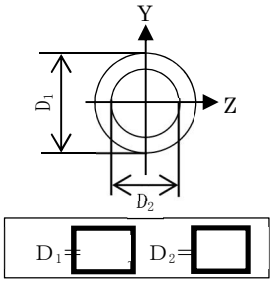


図 2-2　サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）解析モデル

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	 D1= D2=

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

2.4.2 項(1)～(6)のほか，次の条件で計算する。

(1)　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。

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	－*	$D+P_D+M_D+S_d$*	ⅢAS
					$D+P_D+M_D+S_s$	ⅣAS

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 2-7　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=0.69	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。

2.5.4　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。

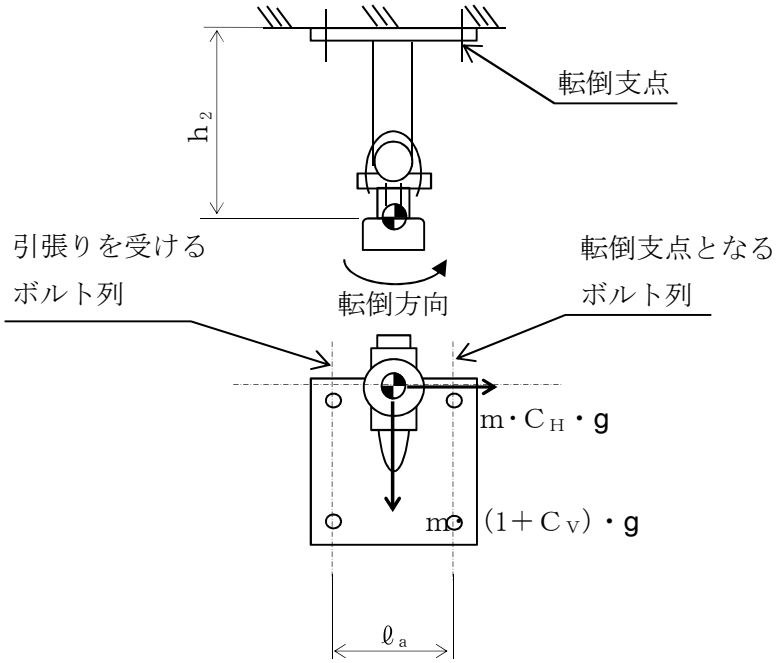


図2-3(1)　サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）計算モデル
（壁掛形　正面方向転倒の場合）

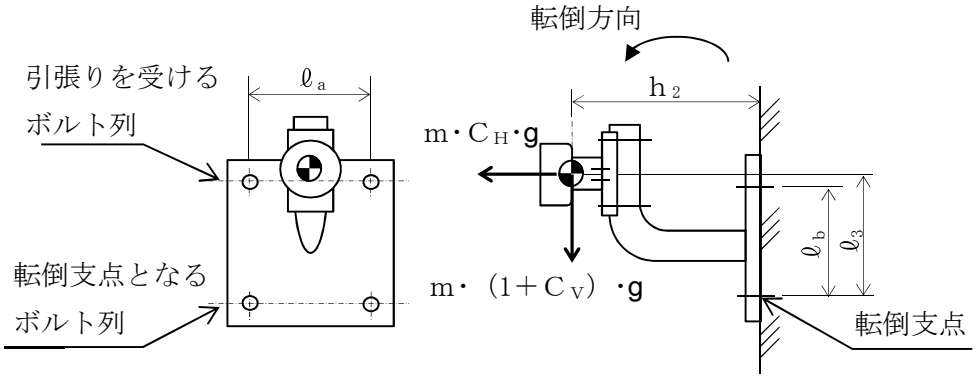


図2-3(2)　サプレッション・プール水位（LT-26-79.5B）計算モデル
（壁掛形　側面方向転倒の場合）

(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

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_f\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_f\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.1)$$

計算モデル図2-3(2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_f\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.2)$$

$$F_b=Max\ (F_{b1},\ F_{b2}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2.5.4.1.3)$$

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，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。

$$f_{ts} = \mathrm{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.5.6.1.1)$$

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　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	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=140^*$	$\sigma_b=5$	$f_{ts}=162^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=108$	$\tau_b=2$	$f_{sb}=124$

すべて許容応力以下である。

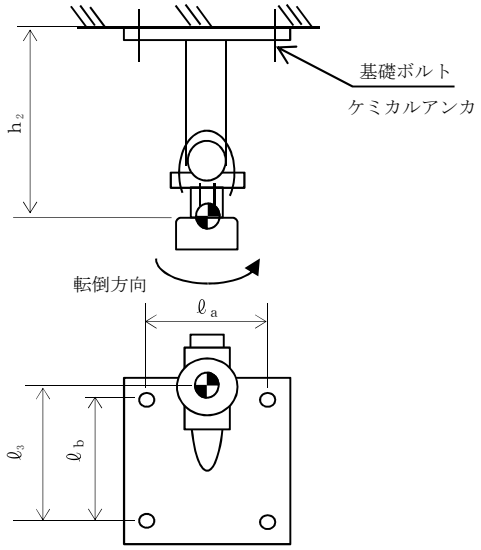
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

2.4.2 電気的機能維持の評価結果

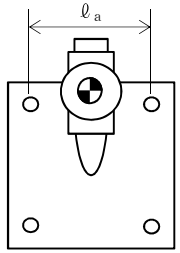
（×9.8 m/s²）

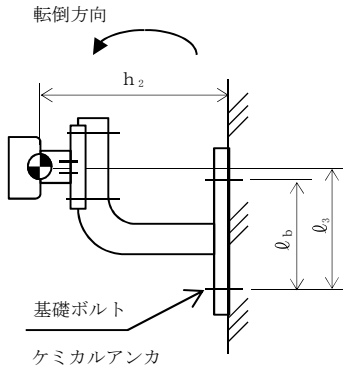
		評価用加速度	機能確認済加速度
サプレッション・プール水位	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

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。

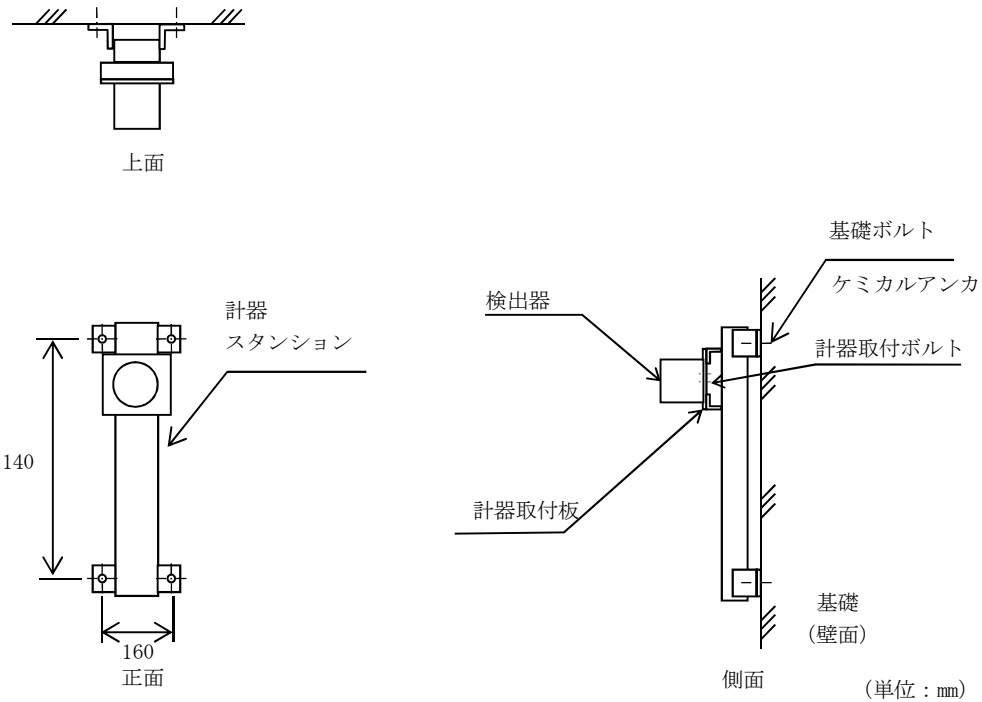
サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）は，重大事故等対処設備において常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

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　4.3　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・プール水位（LT-26-79.60）の耐震評価フローを図 3-1 に示す。

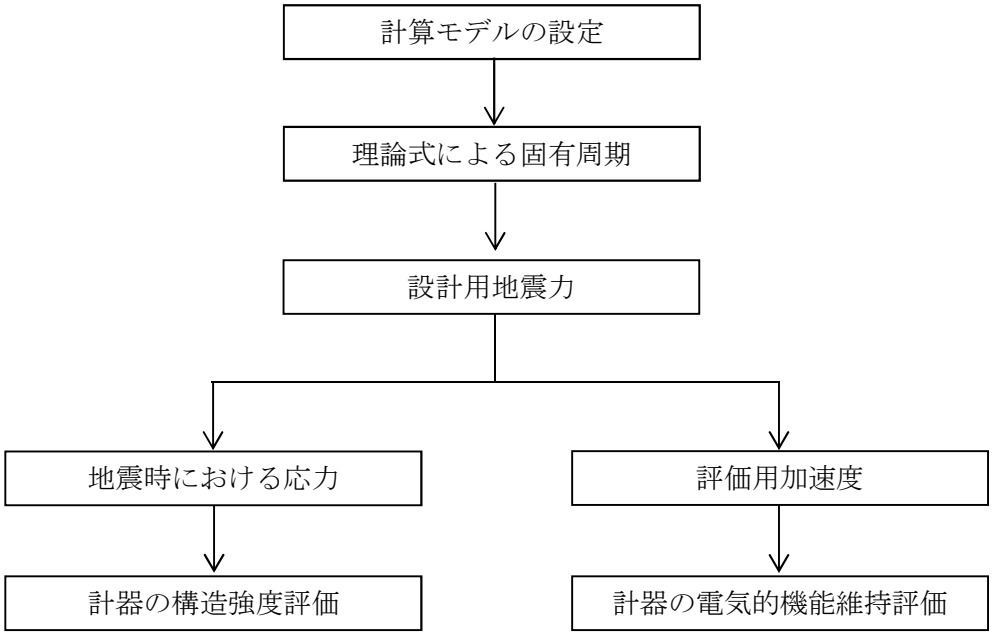


図 3-1　サプレッション・プール水位（LT-26-79.60）の耐震評価フロー

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_{bi}	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
G	せん断弾性係数	MPa
h_2	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_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*2	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 3-2 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。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{\ell_b{}^3}{48 \cdot E \cdot I} + \frac{\ell_b}{4 \cdot A_s \cdot G} \right)} \quad \cdots (3.4.1.1.1)$$

3.4.1.2　鉛直方向

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。

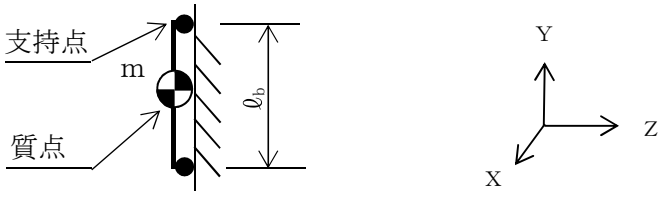
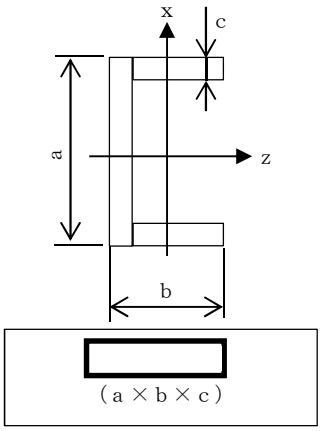


図 3-2　固有周期の計算モデル

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	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)			

3.4.3　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 3-2，図 3-3 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。

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	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。

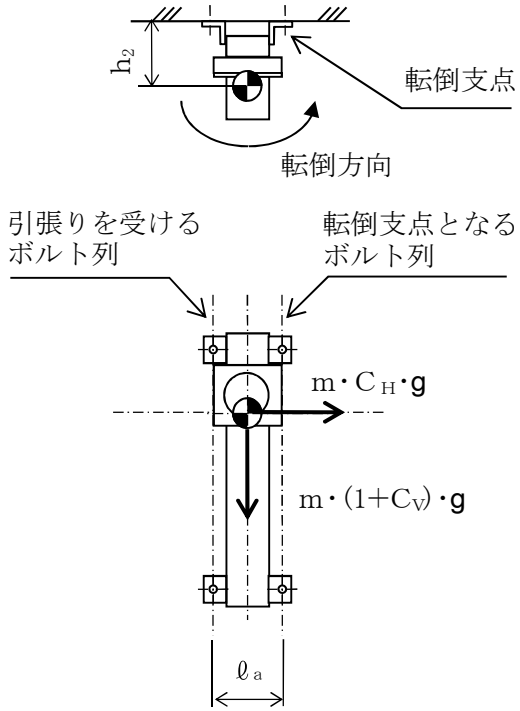


図3-5(1)　LT-26-79.60 計算モデル

（壁掛形　正面方向転倒の場合）

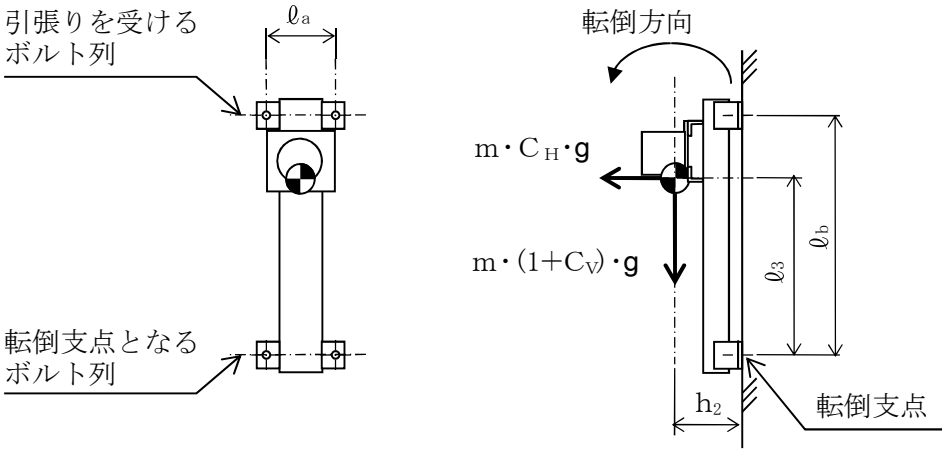


図3-5(2)　LT-26-79.60 計算モデル

（壁掛形　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3-5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3-5(1)の場合の引張力

$$F_{b1}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot h_2}{n_f{}_H\cdot \ell_a}+\frac{(1+C_V)\cdot h_2}{n_f{}_V\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.1)$$

計算モデル図3-5(2)の場合の引張力

$$F_{b2}=m\cdot g\cdot\left(\frac{C_H\cdot \ell_3+(1+C_V)\cdot h_2}{n_f{}_V\cdot \ell_b}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}(F_{b1},\ F_{b2}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.3)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.5)$$

(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）

$$Q_{b1}=m\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.6)$$

$$Q_{b2}=m\cdot g\cdot(1+C_V) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.8)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.5.4.1.9)$$

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。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots (3.4.6.1.1)$$

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・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

動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_f
基礎ボルト								2

部材	Sy (MPa)	Su (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＝3	f_{ts}＝164*
		せん断	－	－	τ_b＝2	f_{sb}＝126

すべて許容応力以下である。

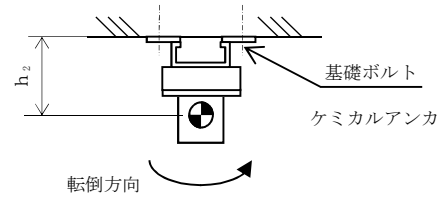
注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

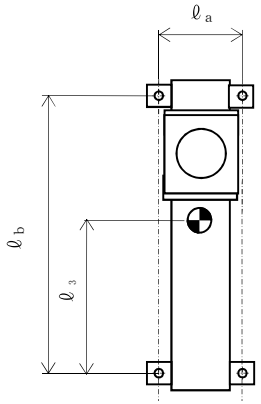
1.4.2 電気的機能維持の評価結果

（×9.8m/s²）

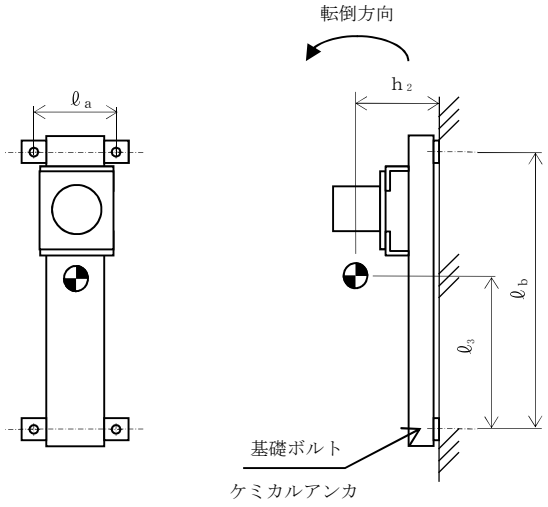
		評価用加速度	機能確認済加速度
サプレッション・プール水位	水平方向	0.80	
	鉛直方向	0.77	

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）

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。

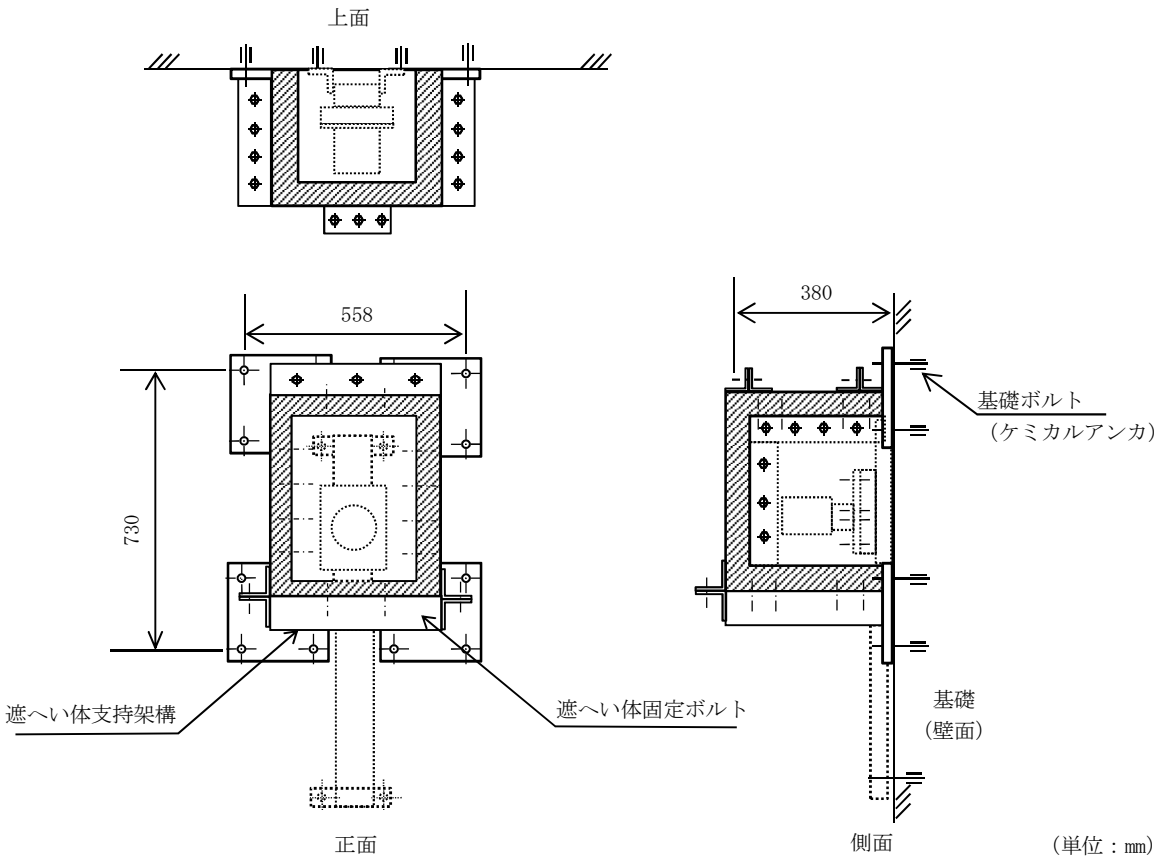
サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用遮へい体）は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

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。

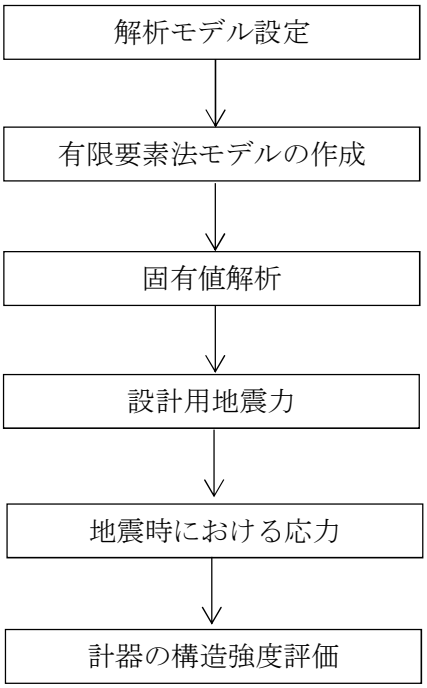


図 4-1　サプレッション・プール水位（LT-26-79.60 用遮へい体）の耐震評価フロー

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。））　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　Part 5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part 5　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	－

記号	記　　号　　の　　説　　明	単 位
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・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。遮へい体は検出器を覆うように取り付けられ，原子炉建屋壁面に２箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，④～⑩の部材で組まれたものとみなし，支持点 2 点で固定されるものとする。また，遮へい体支持架構は複数の鋼材で組まれ，原子炉建屋壁面に 2 箇所で固定されることから，解析モデルにおいて，①～③の部材で組まれたものとみなし，支持点２点で固定されるものとする。解析モデルにおいて，遮へい体の質量は 8 箇所に分散されるものとし，質点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 4-3，部材の機器要目を表 4-4 に示す。

(1)　図 4-2 中〇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。

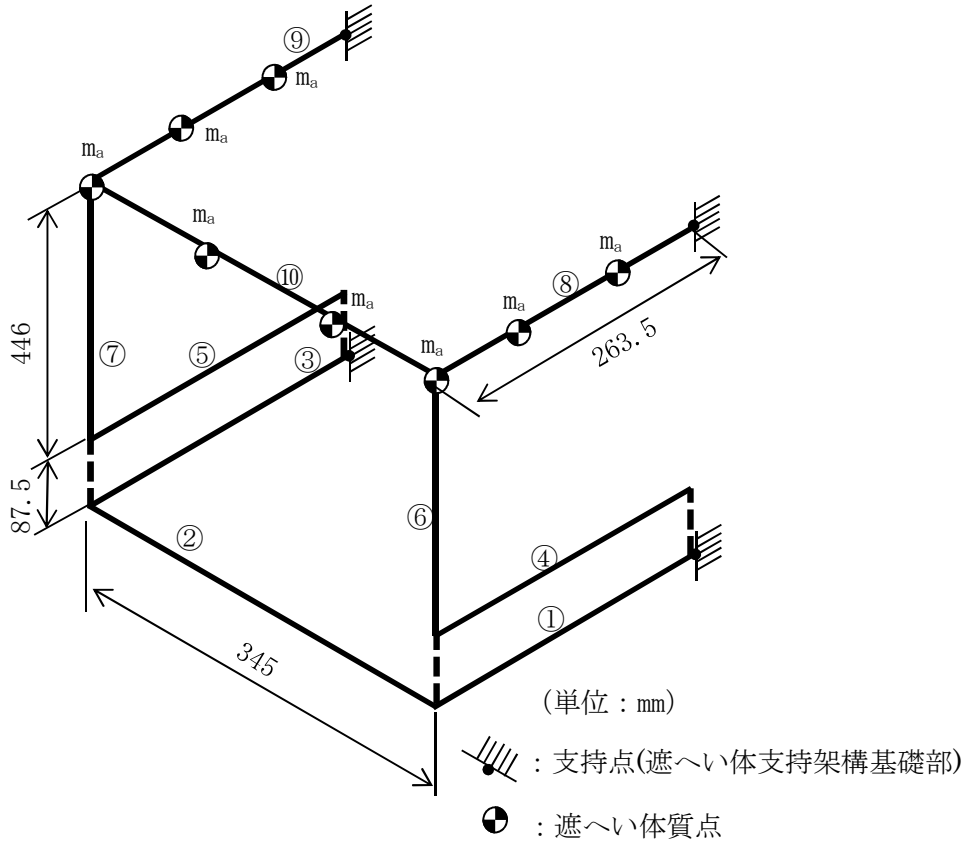


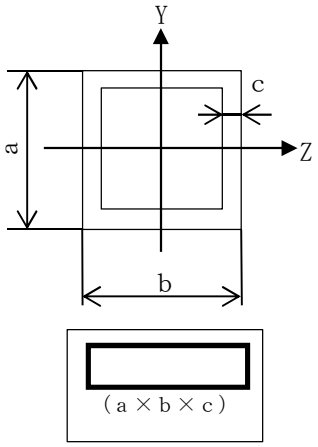
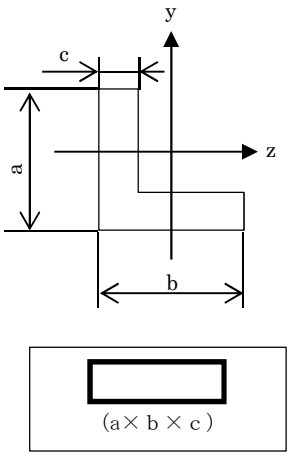
図 4-2　サプレッション・プール水位
(LT-26-79.60 用遮へい体) 解析モデル

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		

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

4.4.2 項(1)～(6)のほか，次の条件で計算する。

(1)　地震力はサプレッション・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。

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。

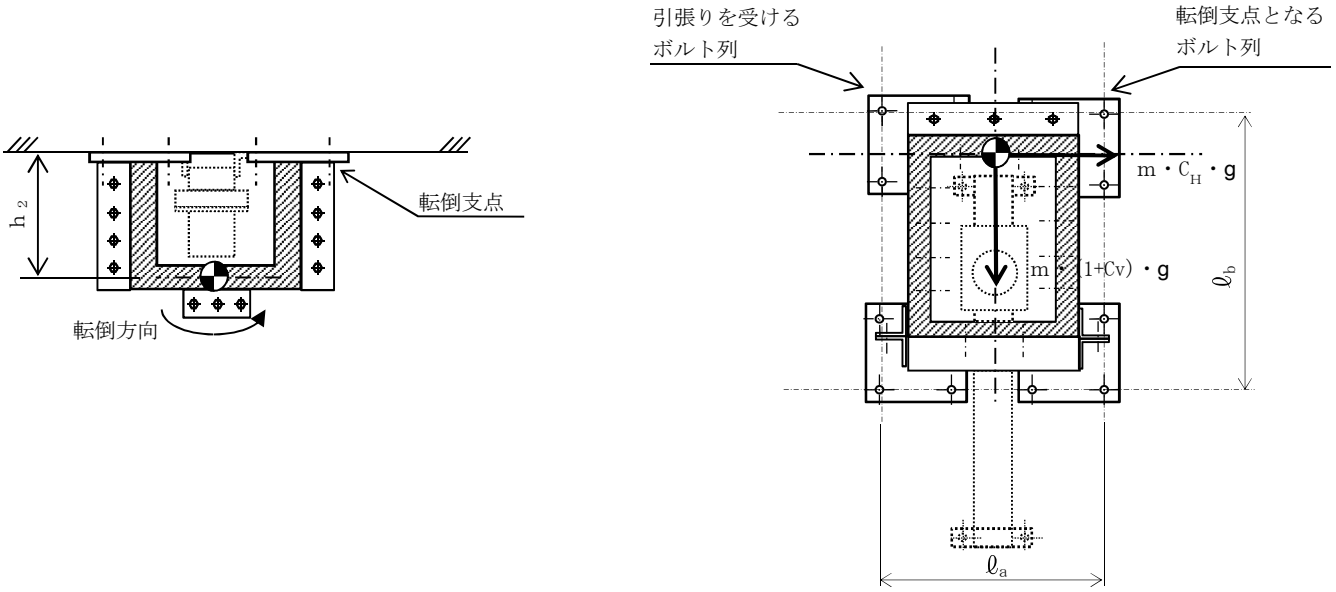


図4-3(1)　サプレッション・プール水位（LT-26-79.60用遮へい体)計算モデル
（壁掛形　正面方向転倒の場合）

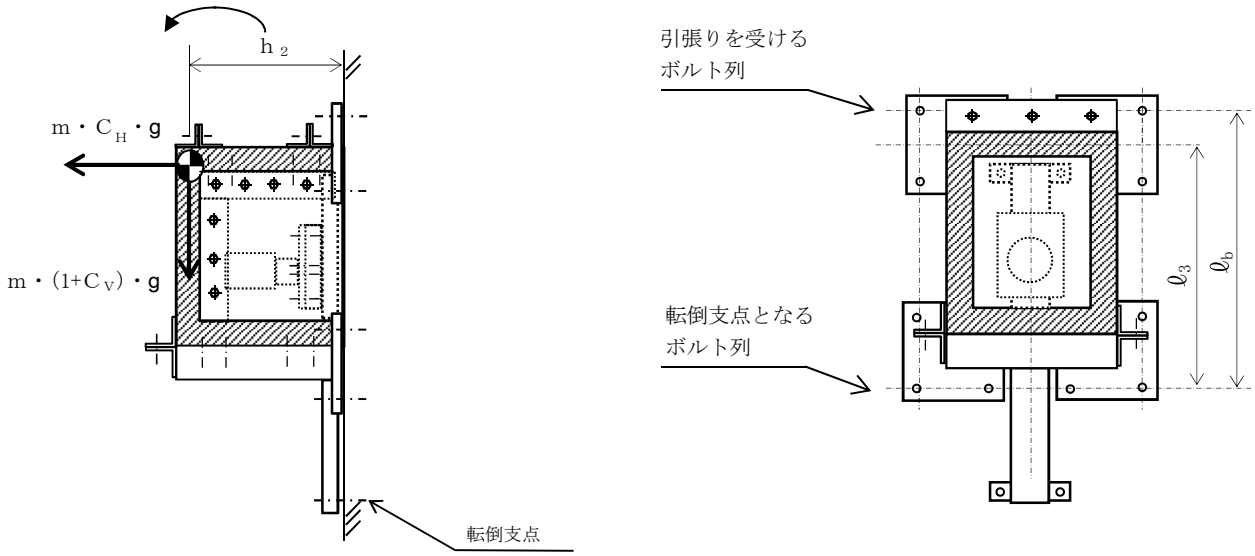


図4-3(2)　サプレッション・プール水位（LT-26-79.60用遮へい体)計算モデル
（壁掛形　側面方向転倒の場合）

(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）

$$F_b=\frac{m\cdot g\cdot C_H\cdot h_1+m\cdot g\cdot(1+C_V)\cdot \ell_1}{n_f\cdot(\ell_1+\ell_2)} \cdots\cdots\cdots (4.5.4.1.1)$$

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，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。

$$f_{ts} = \mathrm{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.5.6.1.1)$$

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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.6　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	Sy (MPa)	Su (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		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								

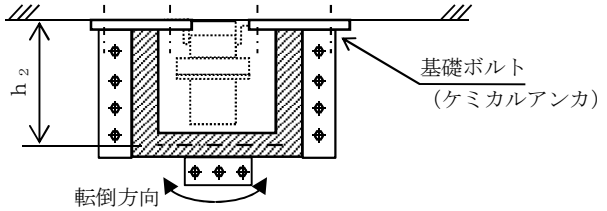
1.4 結論

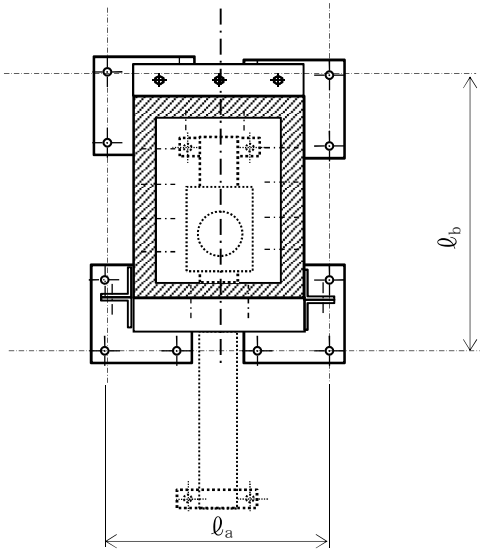
1.4.1 サプレッション・プール水位(LT-26-79.60 用遮へい体)の応力　　(単位：MPa)

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*

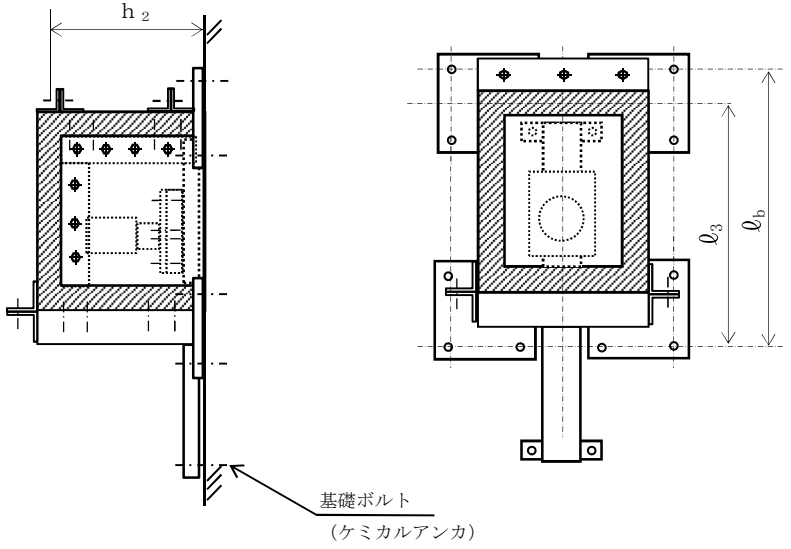
すべて許容応力以下である。

注記　＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出





正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

Ⅴ-2-6-5-42　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。

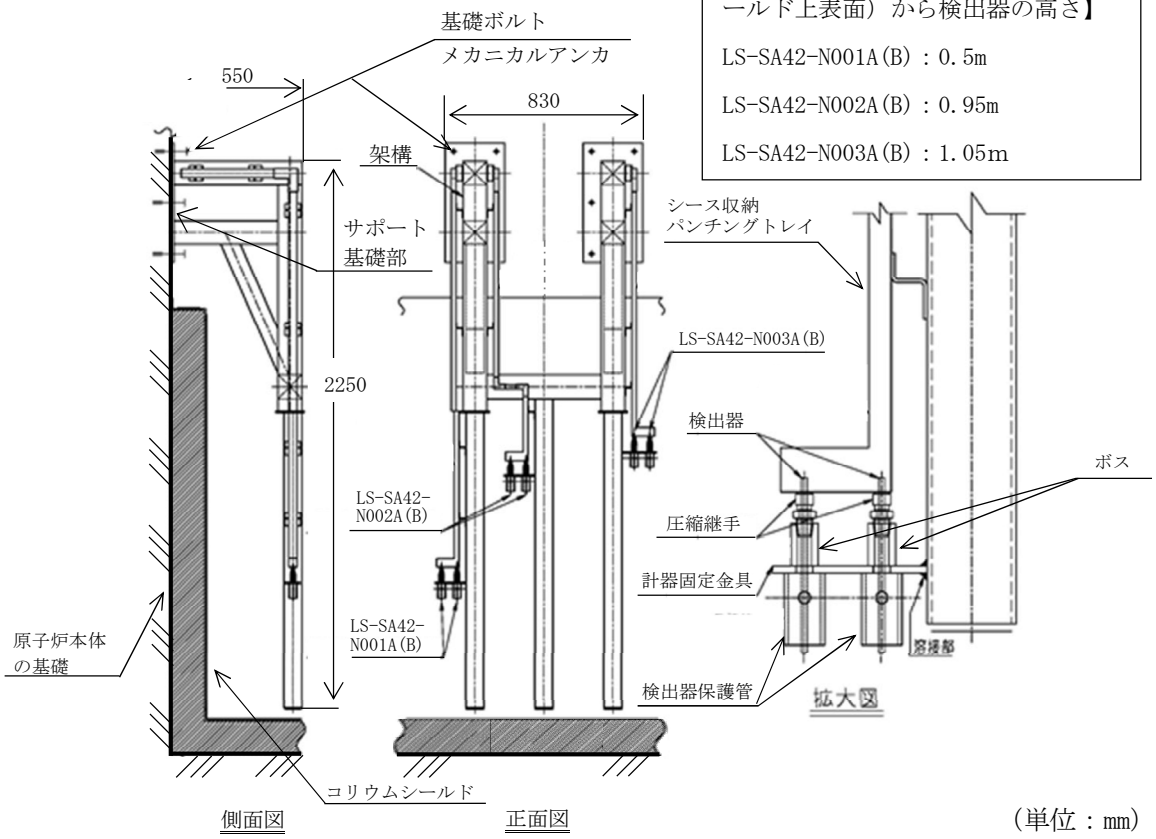
格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

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。

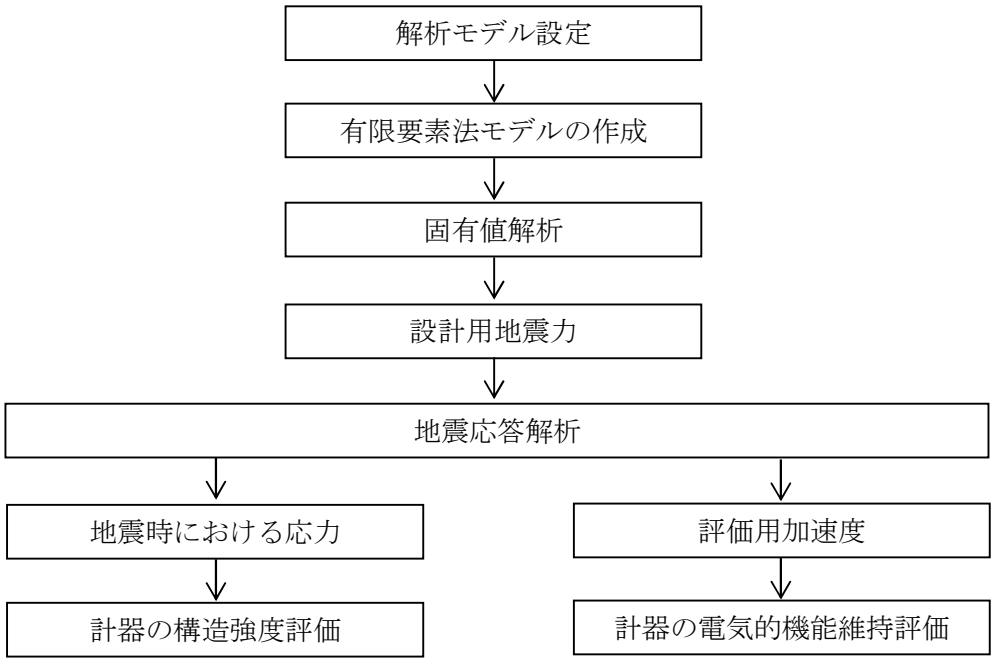


図 1-1　格納容器下部水位(LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B)の耐震評価フロー

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－198（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軸周り）	N･m
M_Y	サポート基礎部に作用するモーメント（Y軸周り）	N･m
M_Z	サポート基礎部に作用するモーメント（Z軸周り）	N･m
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 (℃)		Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（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。

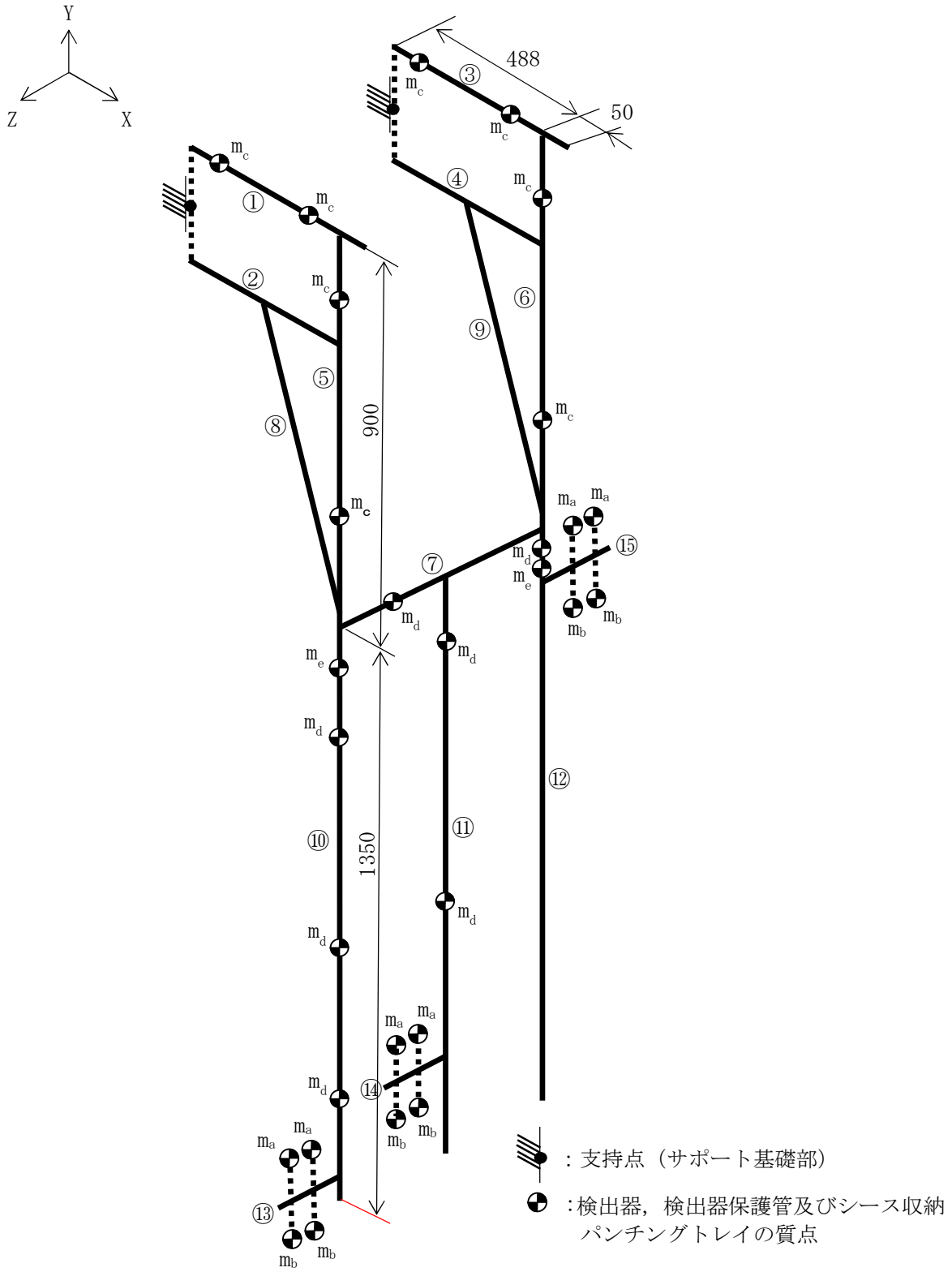
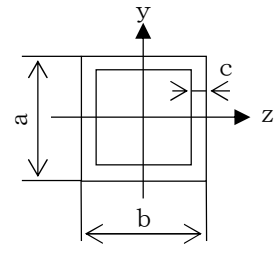
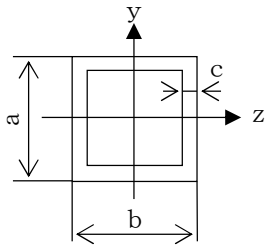
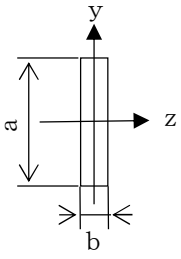


図 1-2　格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）解析モデル

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）	 100×100×6 （a × b × c）	 75×75×6 （a × b × c）	 60×6 （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. 12.16～12.71 (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。

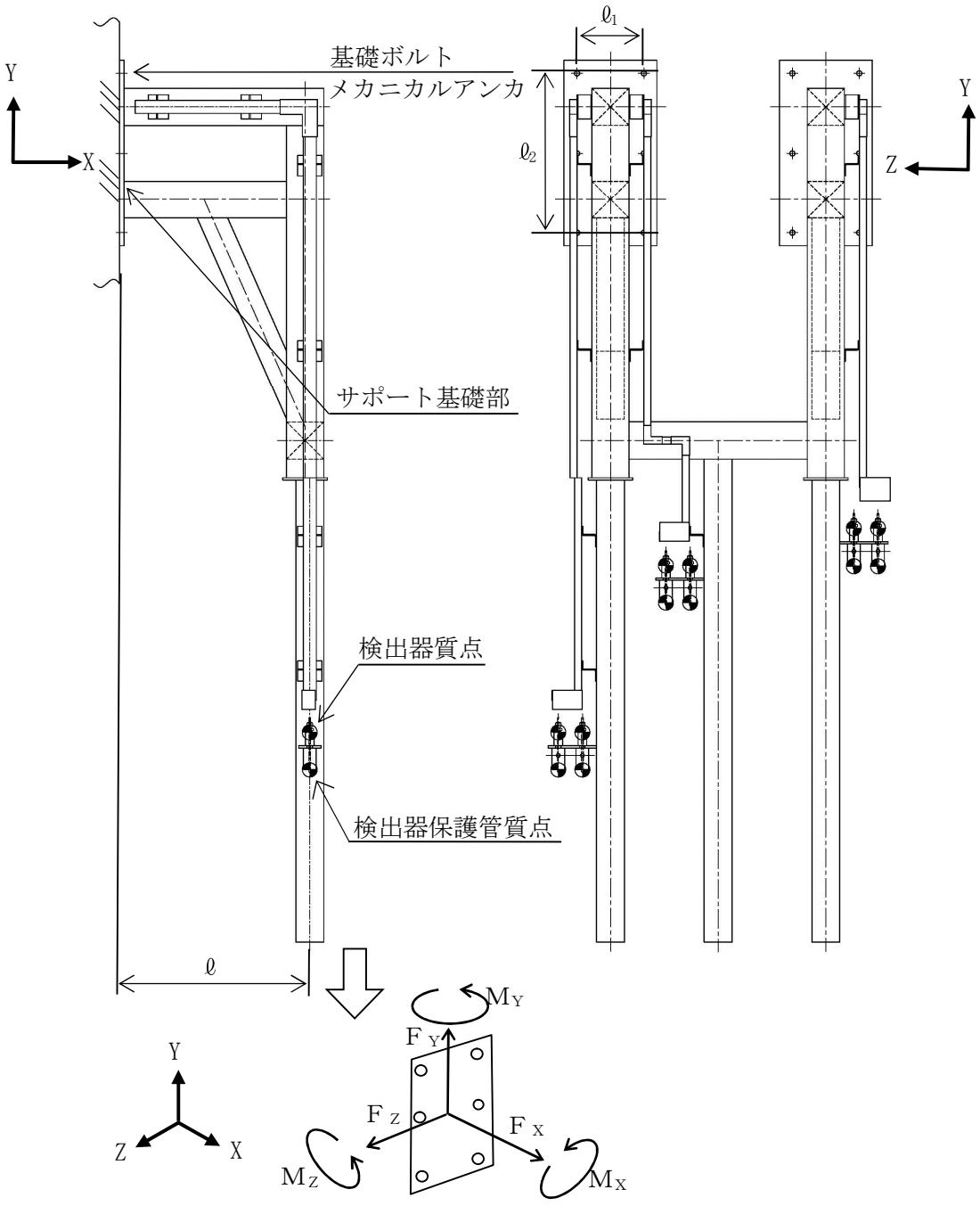


図 1-3　格納容器下部水位（LS-SA42-N001A～N003A，LS-SA42-N001B～N003B）計算モデル（サポート基礎部）

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・m)		
	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）

$$F_b = \frac{F_X}{n} + \frac{M_Y}{\ell_1 \cdot n_Y} + \frac{M_Z}{\ell_2 \cdot n_Z} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.4.6.1.1)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.4.6.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.4.6.1.3)$$

(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）

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_Y{}^2 + F_Z{}^2}}{n} + \frac{M_X}{n \cdot \ell_3} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.4.6.1.4)$$

ここで，ボルト間距離ℓ_3 は次式により求める。

$$\ell_3 = \mathrm{Min}(\ell_1, \ell_2) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.4.6.1.5)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.4.6.1.6)$$

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。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}\left[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1.4.8.1.1)$$

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。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・m)

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

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	—	—	$\tau_b=14$	$f_{sb}=89$

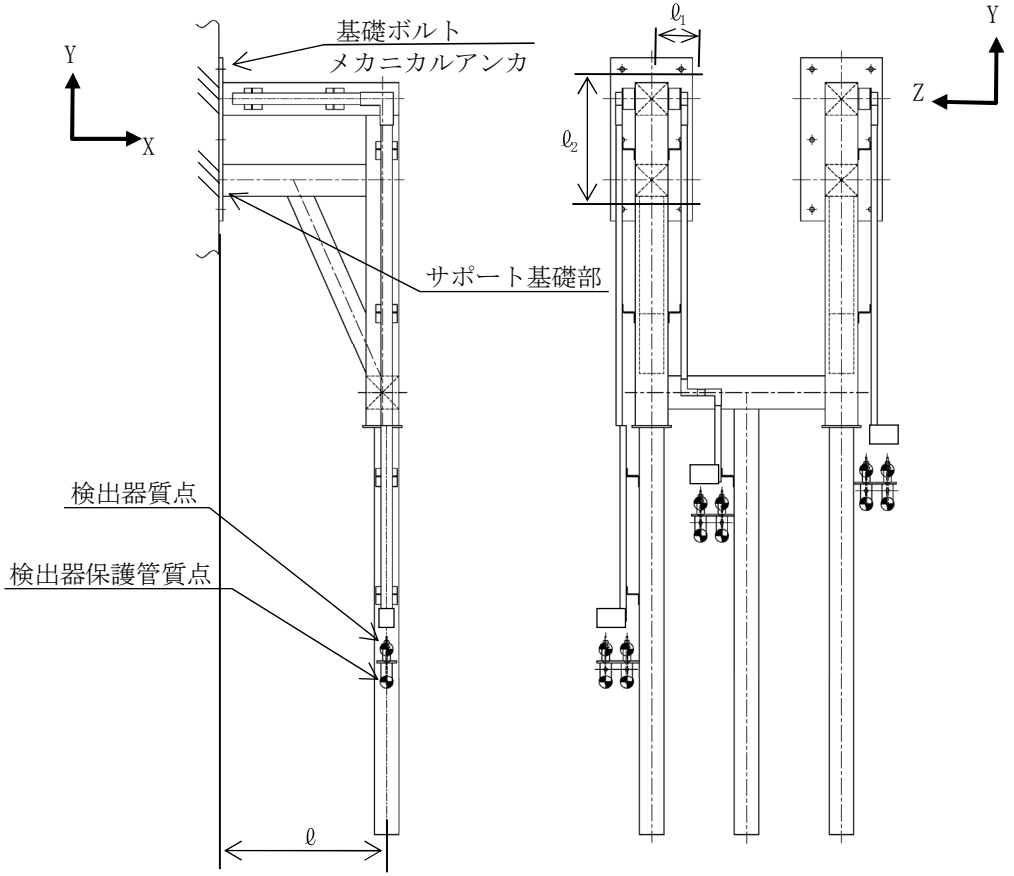
すべて許容応力以下である。

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。

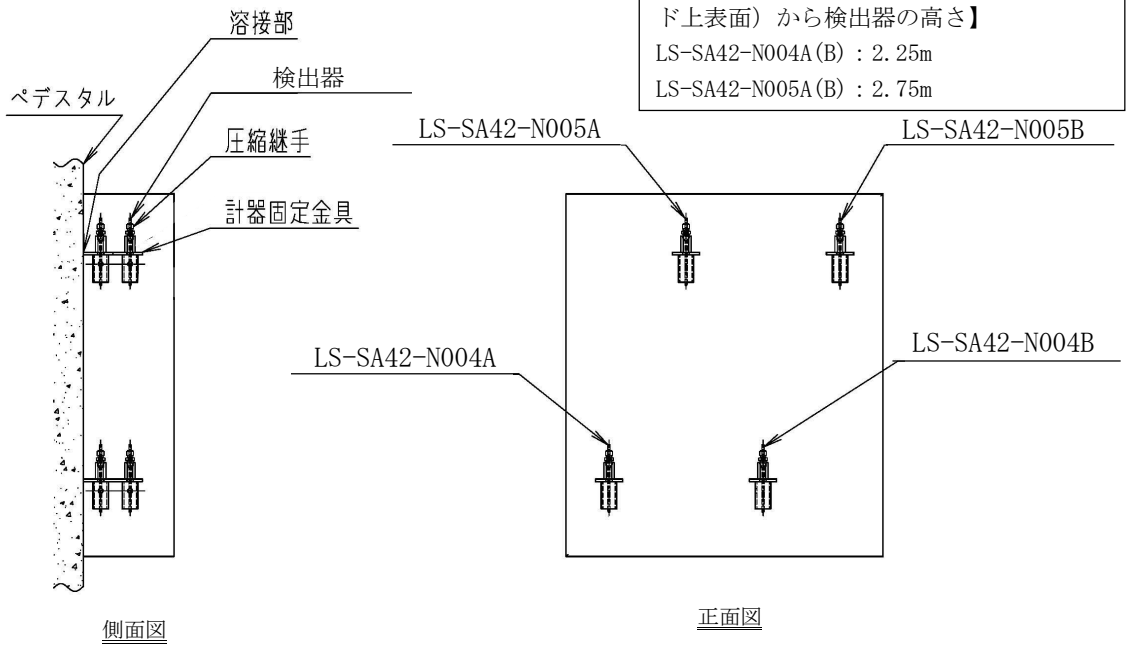
格納容器下部水位（LS-SA42-N004A,B，LS-SA42-N005A,B）は，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

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。

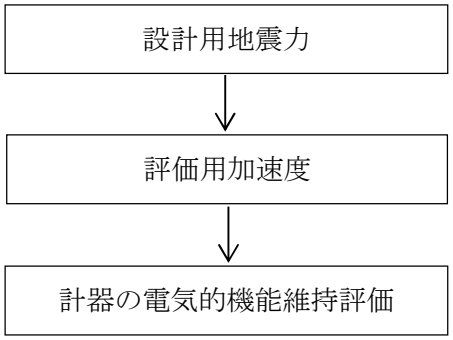


図 2-2　格納容器下部水位（LS-SA42-N004A,B，LS-SA42-N005A,B）の耐震評価フロー

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
4.3 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
4.7 計算条件 ····· 22
4.8 応力の評価 ····· 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

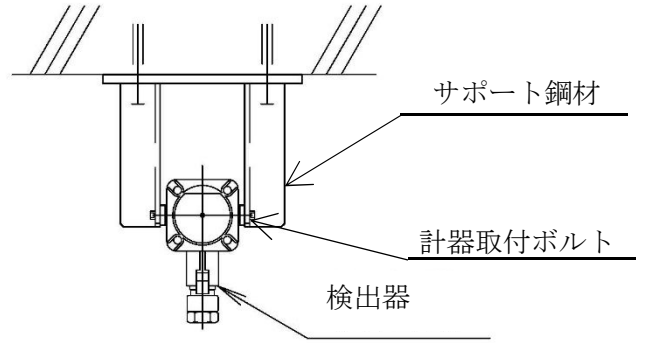
2. 一般事項

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】



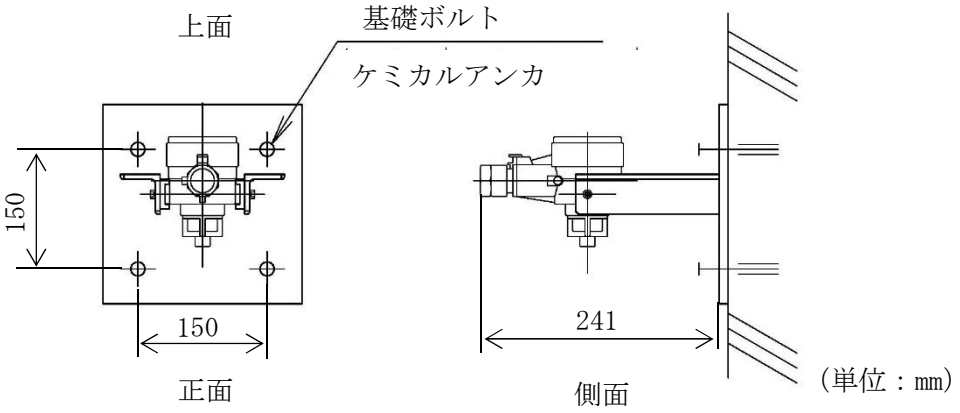
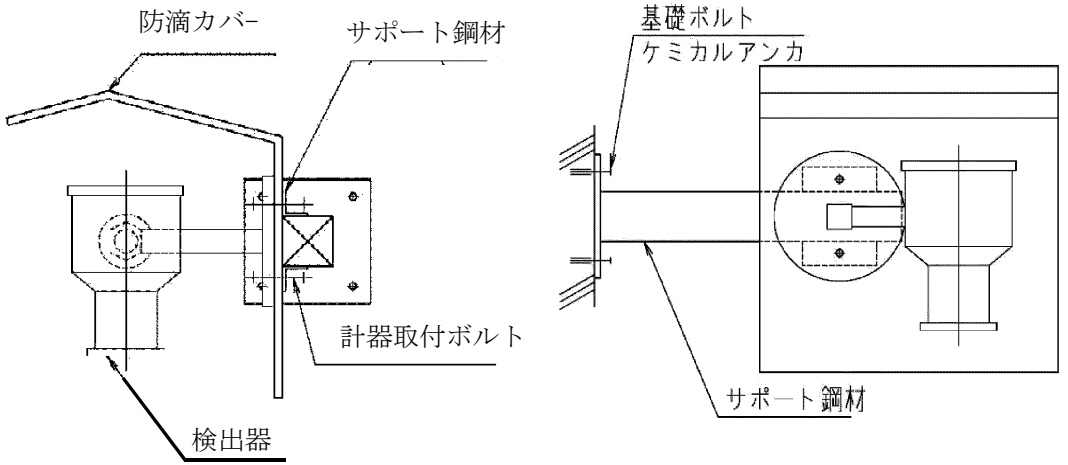


表 2-2　構造計画

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】  正面　　側面

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。

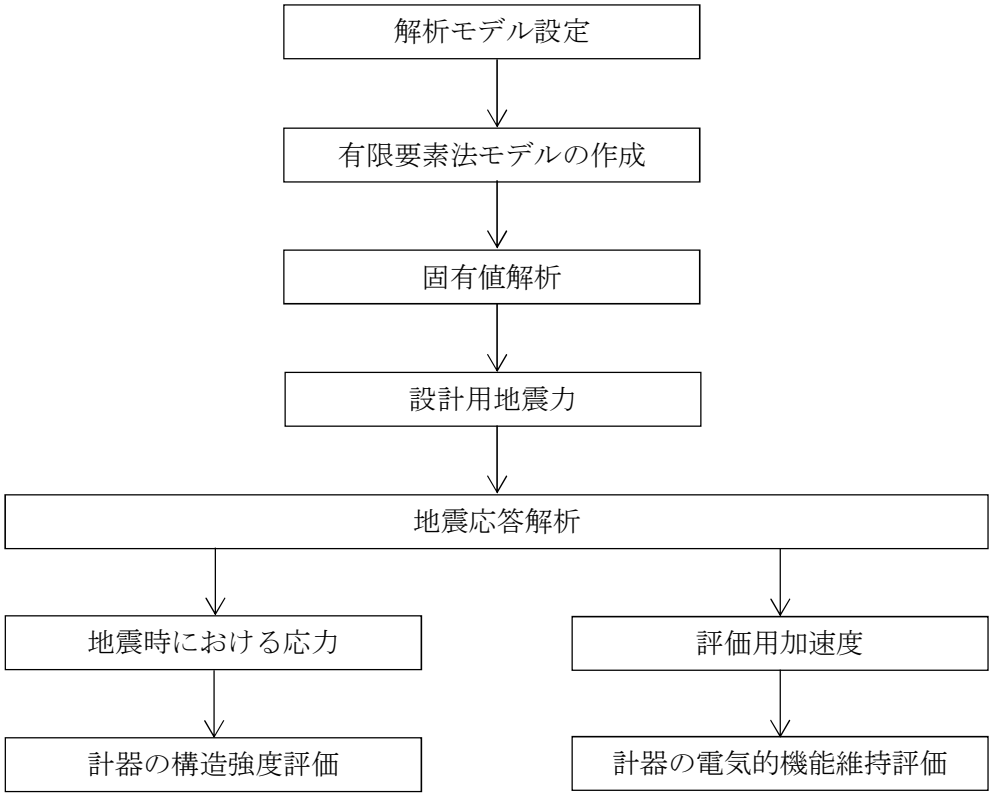


図 2-1　原子炉建屋水素濃度の耐震評価フロー

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軸周り）	N・m
M_Y	サポート基礎部に作用するモーメント（Y軸周り）	N・m
M_Z	サポート基礎部に作用するモーメント（Z軸周り）	N・m
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	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
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	－

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。

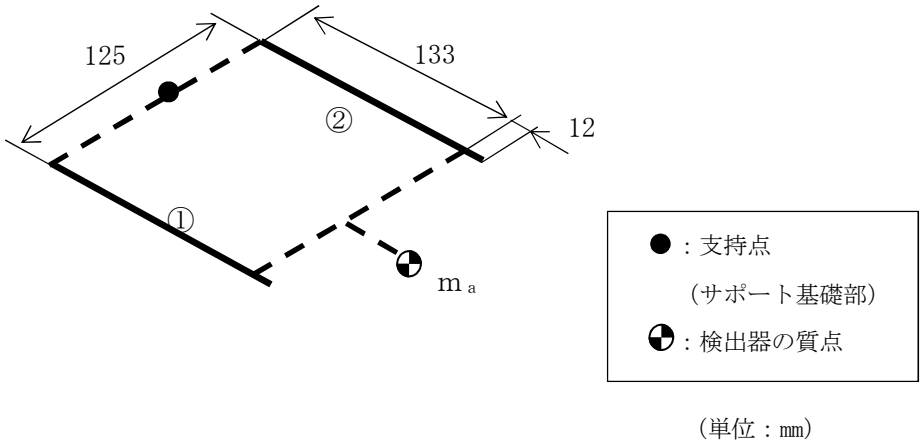


図 4-1　原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N002,N003）解析モデル

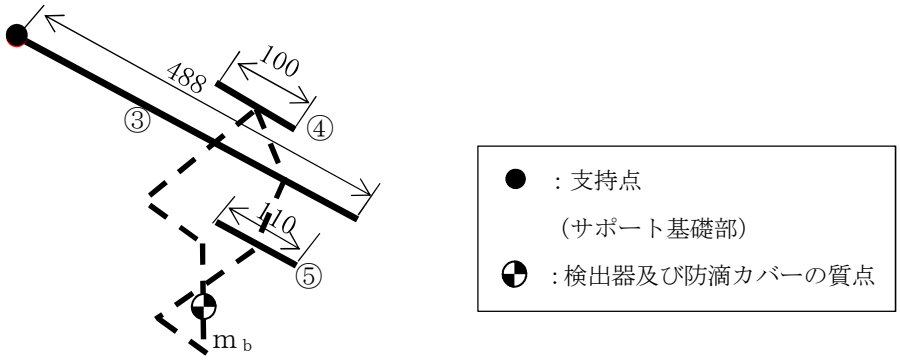


図 4-2　原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N004,N005）解析モデル

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

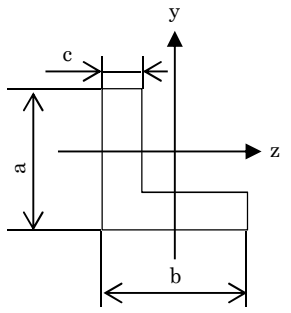
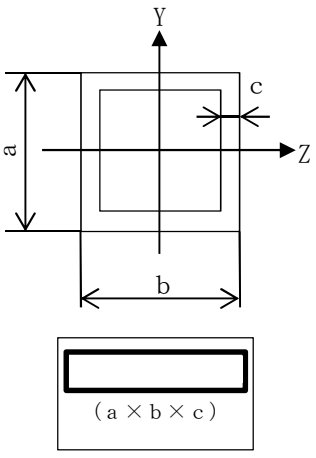
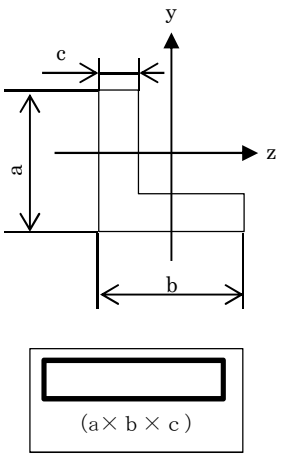
材料	
対象要素	①-②
A （mm^2）	
I_y （mm^4）	
I_z （mm^4）	
I_p （mm^4）	
Z_y （mm^3）	
Z_z （mm^3）	
Z_p （mm^3）	
断面形状 （mm）	 （a×b×c）

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。

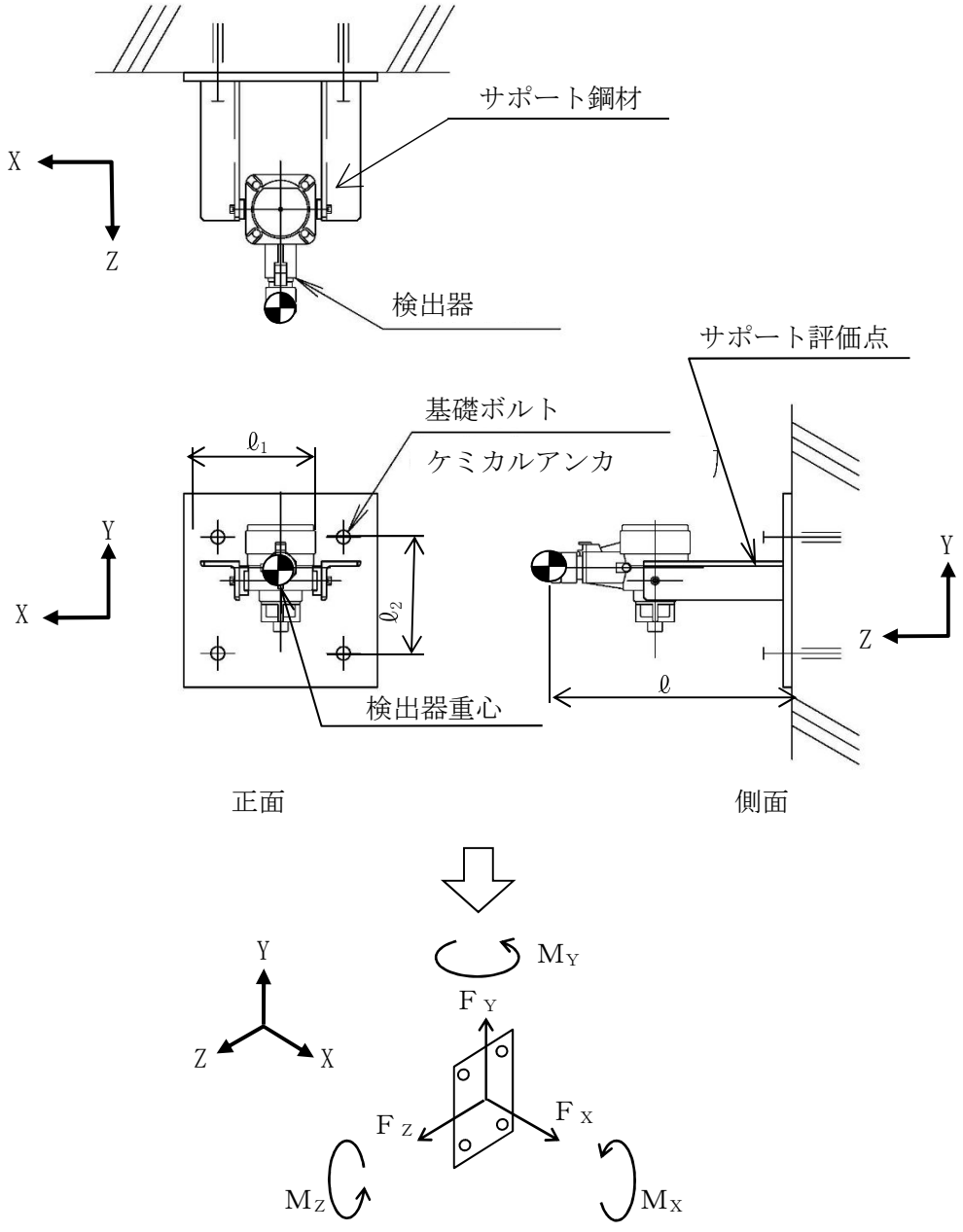


図 4-3　原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N002,N003）計算モデル
（サポート基礎部，基礎ボルト）

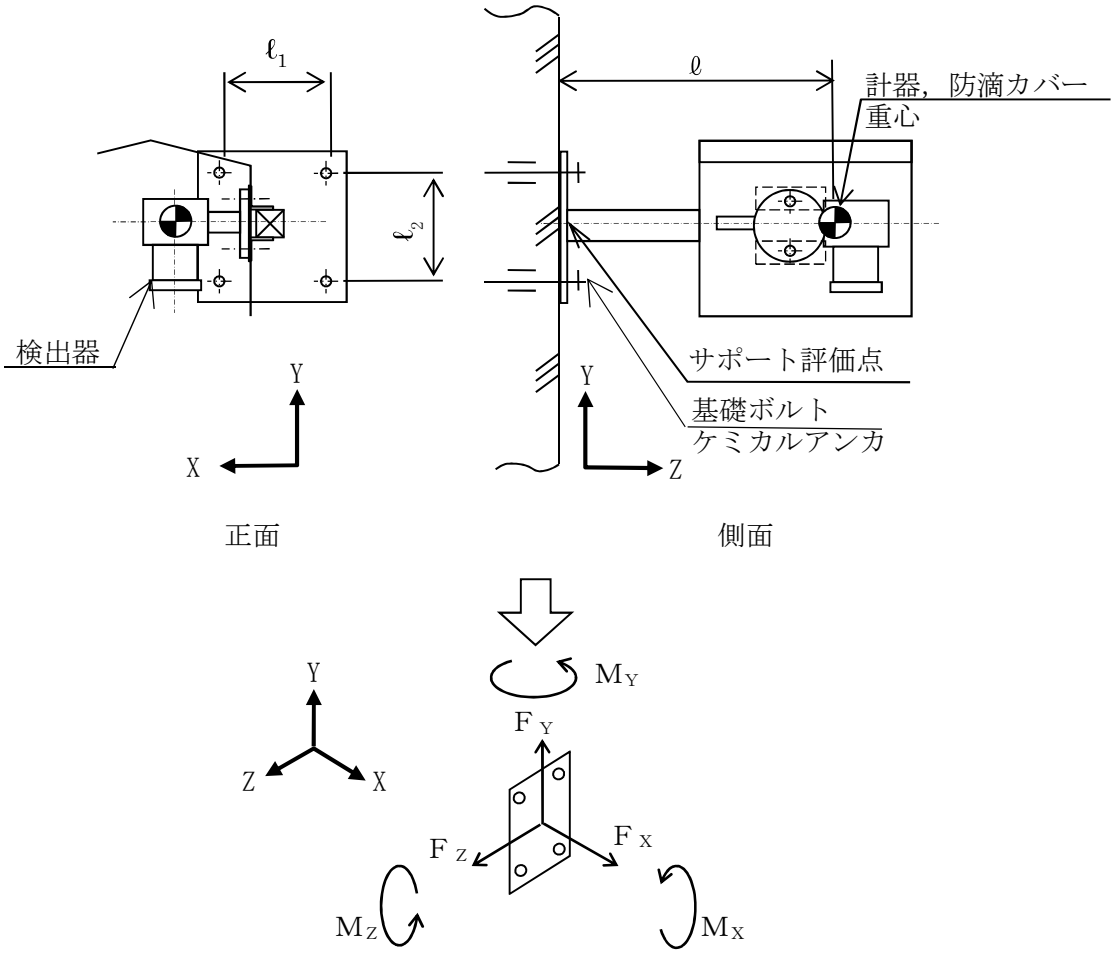


図 4-4　原子炉建屋水素濃度（H2E-SA16-N004,N005）計算モデル
（サポート基礎部，基礎ボルト）

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・m)		
	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。

$$\ell_3 = \mathrm{Min}(\ell_1, \ell_2) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.5)$$

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	
	常設／緩和	EL. 14.00 (EL. 20.30*1)			－	－	C_H=1.34	C_V=1.01	
	常設／緩和	EL. 46.50 (EL. 63.65*1)			－	－	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

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)							2	2	221	373	261
基礎ボルト (H2E-SA16-N004) (H2E-SA16-N005)							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・m)

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)	[redacted]			
サポート部 (H2E-SA16-N004) (H2E-SA16-N005)	[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 (H2E-SA16-N002) (H2E-SA16-N003)	[redacted]	引張り	－	－	σ_b=1	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=1	f_{sb}=120
基礎ボルト (H2E-SA16-N004) (H2E-SA16-N005)	[redacted]	引張り	－	－	σ_b=11	f_{ts}=156*
		せん断	－	－	τ_b=3	f_{sb}=120

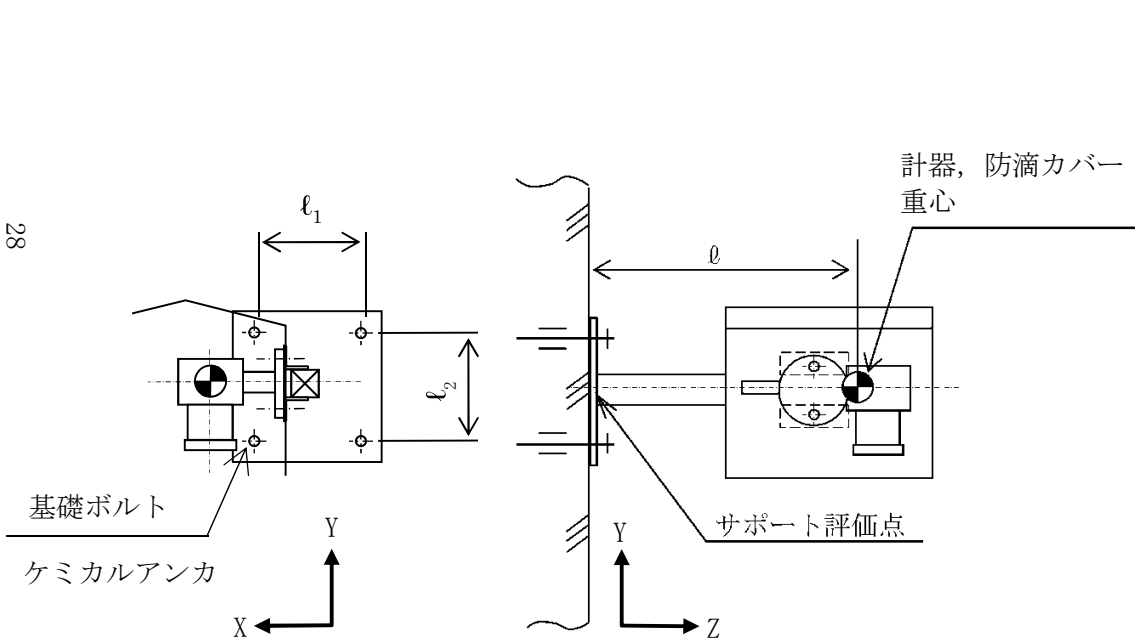
すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{ts}=Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

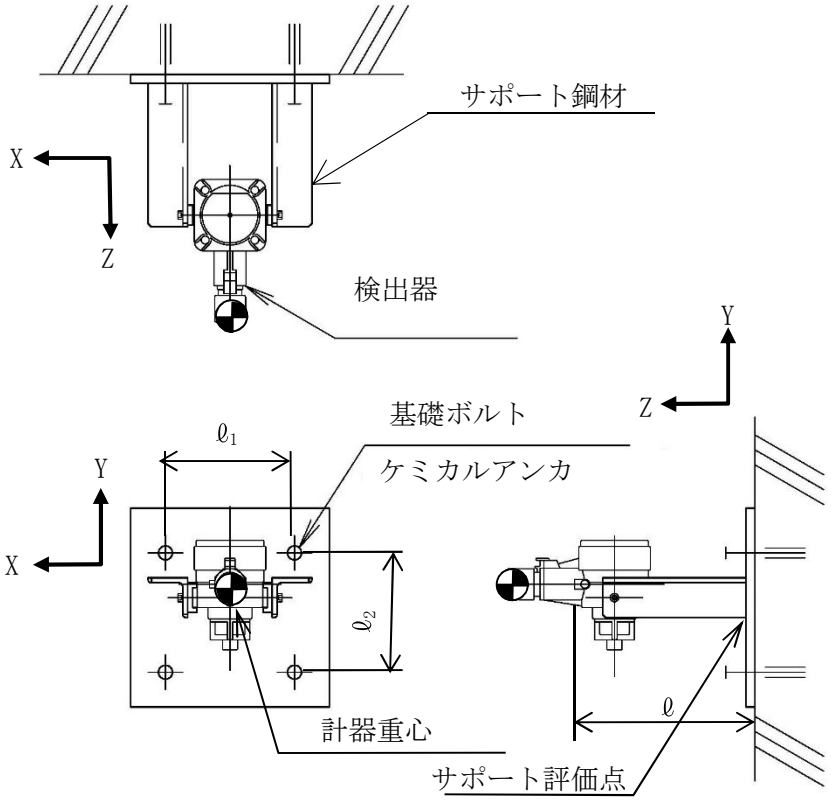
1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　（×9.8 m/s²）

		評価用加速度	機能確認済加速度
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）