

V-2-8-3-1-1 中央制御室換気系ダクトの耐震性についての計算書

目次

1. 概要.....	1
2. 一般事項.....	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	5
2.4 記号の説明	6
2.5 計算精度と数値の丸め方.....	7
3. 評価部位.....	7
4. 固有振動数.....	8
4.1 固有振動数の計算方法.....	8
5. 構造強度評価.....	9
5.1 構造強度評価方法.....	9
5.2 荷重の組合せ及び許容応力.....	10
5.3 設計用地震力	14
6. 評価結果.....	14
6.1 設計基準対象施設としての評価結果.....	14
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果.....	16
7. 支持構造物設計の基本方針.....	17
7.1 支持構造物の構造及び種類.....	17
7.2 支持構造物の耐震性確認.....	17

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」及び「V-2-1-12-2 ダクト及び支持構造物の耐震計算について」にて設定している設計方針に基づき、中央制御室換気系ダクトが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は、構造強度評価により行う。

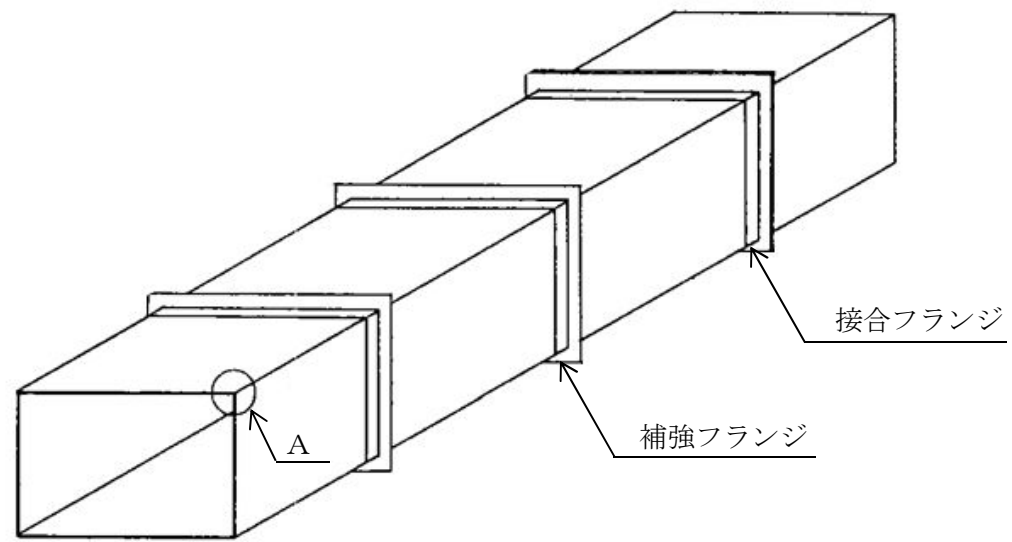
中央制御室換気系ダクトは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

中央制御室換気系ダクトの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
支持構造物を介して 躯体へ支持されている。	角形ダクト	 The diagram illustrates a rectangular duct system with multiple segments. Key components labeled include: 接合フランジ (Joint Flange) at the connection points, 補強フランジ (Reinforcement Flange) for added strength, and 接合（補強）フランジ（山形鋼） (Joint (Reinforcement) Flange (Channel Steel)) for the corner joints. A specific corner is marked with a circle and labeled 'A'. ダクトコーナー部（図中A） 溶接ダクト ハゼ折ダクト

2.2 評価方針

中央制御室換気系ダクト及びその支持構造物は適切な剛性を有するとともに、許容座屈曲げモーメントを満足する支持間隔とすることにより耐震性を確保する。

支持間隔の算定は、ダクトの固有振動数 (f_d) が十分剛 (20 Hz 以上) となるよう算定する手法とダクトの固有振動数に応じた地震力で算定する手法があり、このうち前者を手法 1、後者を手法 2 と呼び、この 2 つの手法を用いて支持間隔を決定する。以上 2 つの手法による支持点間隔設定手順を図 2-1 に示す。こうして定められた手法 1 の支持間隔以内で支持することにより耐震性を確保する。配置状況により手法 1 の支持点間隔に収まらない場合は、手法 2 の支持間隔以内で支持することにより耐震性を確保する。直管部、曲管部、重量物の取付部の支持間隔に対する方針を以下に示す

(1) 直管部

直管部は、図 2-1 で求まる支持間隔以下で支持するものとする。また、直管部が長い箇所には軸方向を拘束する支持構造物を設ける。

(2) 曲管部

曲管部は、直管部に比べ剛性、及び強度が低下するが、図 2-1 で求まる支持間隔は、曲管部の縮小率を包絡するように保守的な支持間隔としている。そのため、曲管部も、図 2-1 で求まる支持間隔以下で支持する。

(3) 重量物の取付部

ダクトに自動ダンパ、弁等の重量物を取り付く場合は、重量物自体又は近傍を支持するものとする。なお、近傍を支持する場合においては図 2-1 で求まる支持間隔と、当該重量物を考慮した支持間隔を用いて、支持点を設計する。

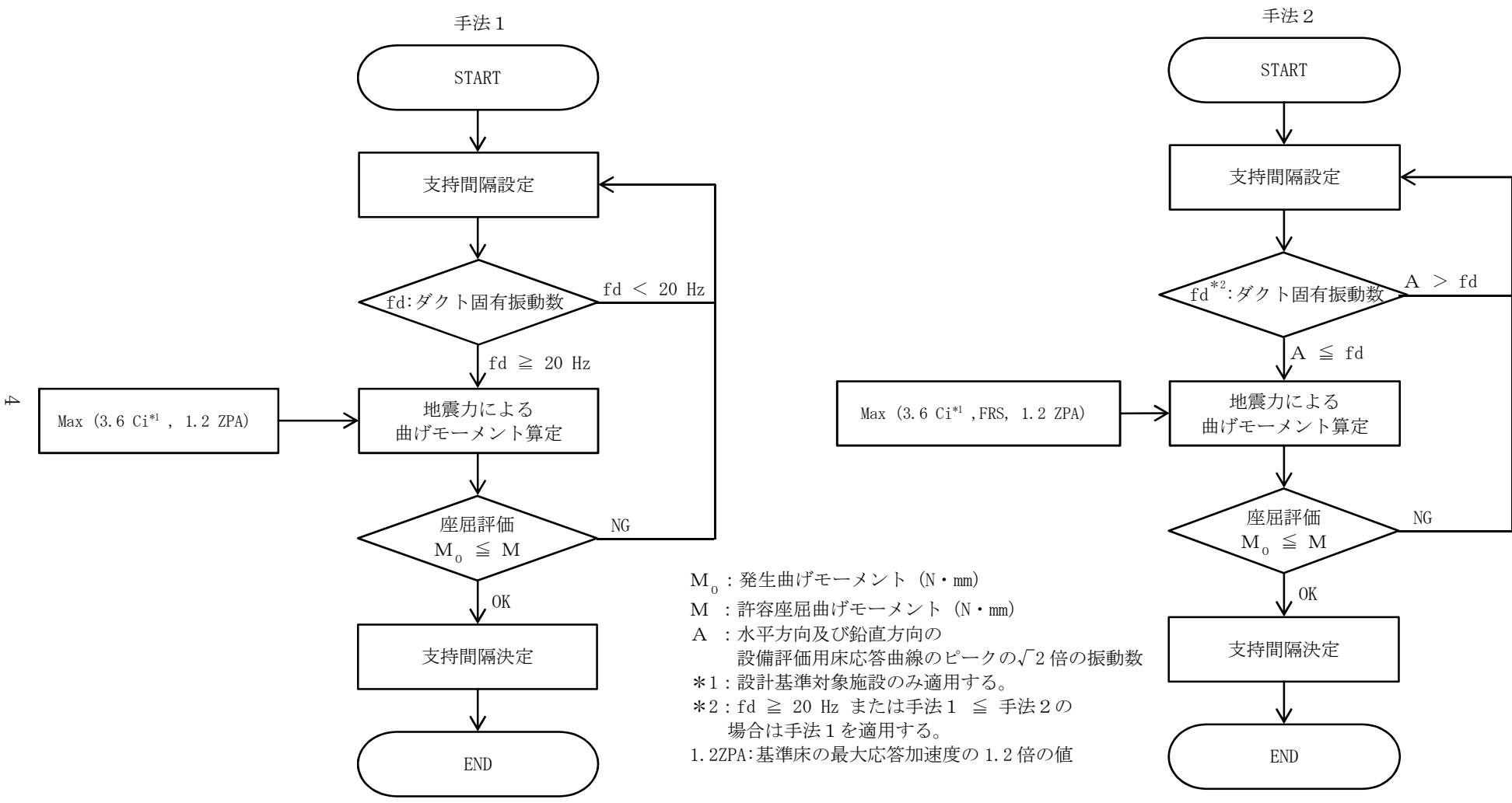


図 2-1 ダクト支持点間隔設定手順

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 (日本電機協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補－1984
(日本電機協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版 (日本電機協会)

2.4 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
f	固有振動数	Hz
π	円周率	—
ℓ	両端単純支持間隔	mm
E	縦弾性係数	N/mm ²
g	重力加速度	mm/s ²
I	断面二次モーメント	mm ⁴
W	ダクト単位長さ重量	N/mm
β	断面二次モーメントの安全係数 (幅厚比 $b/t \leq 600 \cdots \beta = 0.75$, $b/t > 600 \cdots \beta = 0.6$)	—
a	ダクト長辺寸法	mm
b	ダクト短辺寸法	mm
ae	ダクトフランジの有効幅	mm
be	ダクトウェブの有効幅	mm
t	ダクト板厚	mm
a/b	アスペクト比	—
M_0	発生曲げモーメント	N・mm
α	設計震度	—
M	許容座屈曲げモーメント	N・mm
S	座屈曲げモーメントの安全係数 (=0.7)	—
M_T	座屈限界曲げモーメント	N・mm
λ	座屈限界曲げモーメントの補正係数*	—
ν	ポアソン比 (=0.3)	—
σ_y	降伏点	N/mm ²
γ	座屈限界曲げモーメントの安全係数 (=0.6) *	—

注記 * : 出典 共同研究報告書「機器配管系の合理的な耐震設計手法の確立に関する研究より, 理論値と実験値の比率から定まる近似曲線を用いる。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

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

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

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

3. 評価部位

ダクトの耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき，ダクトについて評価を実施する。

4. 固有振動数

4.1 固有振動数の計算方法

(1) 計算モデル

ダクト系は, 図 4-1 に示す両端を支持構造物で支持された両端単純支持梁にモデル化する。

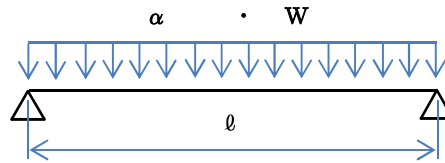


図 4-1 両端単純支持梁

(2) 固有振動数

両端単純支持された矩形ダクトの固有振動数は, 次式で与えられる。算出に用いる矩形ダクトの断面図を図 4-2 に示す。

$$f = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{W}} \dots\dots\dots (4.1)$$

ここで,

$$I = \left(\frac{t \cdot be^3}{6} + ae \cdot t \cdot \frac{be^2}{2} \right) \cdot \beta \dots\dots\dots (4.2)$$

(4.1) 及び(4.2)式の出典：共同研究報告書「機器配管系の合理的な耐震設計手法の確立に関する研究」

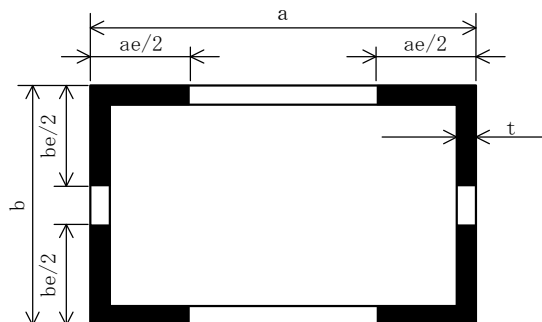


図 4-2 矩形ダクトの断面図

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

矩形ダクトの座屈評価を示す。地震時，両端単純支持された矩形ダクトに生じる曲げモーメントは次式で与えられる。

$$M_0 = \frac{\alpha \cdot W \cdot \ell^2}{8} \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

ここで，矩形ダクトの座屈による大変形を防ぐために矩形ダクトに生じる曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となるようにする。

$$M_0 \leq M \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

(4.3)，(4.4) 式より許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔は次式で与えられる。

$$\ell = \sqrt{\frac{8 \cdot M}{W \cdot \alpha}} \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

ここで，

$$M = S \cdot M_T \quad \dots\dots\dots (5.4)$$

$$M_T = \lambda \cdot \frac{\pi \cdot t \cdot I}{\sqrt{1 - \nu^2} \cdot b^2} \cdot \sqrt{E \cdot \sigma_y} \cdot \gamma \quad \dots\dots\dots (5.5)$$

$$I = \frac{t \cdot b^3}{6} + ae \cdot t \cdot \frac{b^2}{2} \quad \dots\dots\dots (5.6)$$

(5.2) から (5.6) 式の出典：共同研究報告書「機器配管系の合理的な耐震設計手法の確立に関する研究」

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ダクトの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容限界

ダクトの許容限界を表 5-3 及び表 5-4 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ダクトの許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-6 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	換気設備	中央制御室換気系 主配管	S	Non ^{*1}	$D + P_D + M_D + S_d^{*2}$	Ⅲ _A S ^{*2}
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *1：クラス 4 管の荷重の組合せ及び許容応力状態適用する。

*2：ダクトの耐震支持間隔の算出においては，許容値となる許容座屈曲げモーメントの算出にあたり，評価手法上，ダクト材の降伏点を使用するため，基準地震動 S_s 評価と弾性設計用地震動 S_d 評価に用いる係数，許容値に差異はない。また，発生曲げモーメントの算出に当たっては，弾性設計用地震動 S_d は基準地震動 S_s に包絡されるため，弾性設計用地震動 S_d に対する評価は省略する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	換気設備	中央制御室換気系 主配管	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 管	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s^{*2}$	V _A S ^{*2} (V _A S として Ⅳ _A S の許容限 界を用いる)

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

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

表 5-3 許容限界（クラス 4 管）

許容応力状態	許容限界
Ⅲ _A S	地震時の加速度に対し機能が保たれるようサポートのスパン長を最大許容ピッチ以下に確保すること。 (最大許容ピッチは式(5.3)から(5.6)に基づき座屈限界曲げモーメントより算出する。)
Ⅳ _A S	

表 5-4 許容限界（重大事故等クラス 2 管（クラス 4 管））

許容応力状態	許容限界
Ⅳ _A S	地震時の加速度に対し機能が保たれるようサポートのスパン長を最大許容ピッチ以下に確保すること。 (最大許容ピッチは式(5.3)から(5.6)に基づき座屈限界曲げモーメントより算出する。)
Ⅴ _A S	

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y * (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ダクト	SPG2	最高使用温度	40	—			—
ダクト	SGCC	最高使用温度	40	—			—
ダクト	SPHC	最高使用温度	40	—			—

注記 * :

表 5-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y * (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ダクト	SPG2	最高使用温度	40	—			—
ダクト	SGCC	最高使用温度	40	—			—
ダクト	SPHC	最高使用温度	40	—			—

注記 * :

5.3 設計用地震力

本計算書において評価に用いる静的震度及び基準地震動 S_s による地震力は添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。計算に考慮する設備評価用床応答曲線、及び添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を表 5-7 に示す。

なお、ダクトの耐震支持間隔の算出においては、許容値となる許容座屈曲げモーメントの算出にあたり、評価手法上、ダクト材の降伏点を使用するため、基準地震動 S_s 評価と弾性設計用地震動 S_d 評価に用いる許容値に差異はない。また、発生曲げモーメントの算出に当たっては、弾性設計用地震動 S_d は基準地震動 S_s に包絡されるため、弾性設計用地震動 S_d に対する評価は省略する。

表 5-7 計算に考慮する設備評価用床応答曲線

建物・構築物	標高(m)	減衰定数(%)
原子炉建屋		
原子炉建屋		
原子炉建屋		

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室換気系ダクトの耐震支持間隔は、「2.2 評価方針」に示す手法 1 または手法 2 から定めており、設計基準対象施設としての各手法による支持間隔を表 6-1 に示す。この支持間隔以内で支持することにより、耐震性を確保する。

表 6-1 中央制御室換気系ダクトの耐震支持間隔（設計基準対象施設としての評価結果）

（単位：mm）

ダクト 種別*1	ダ ク ト		板 厚	手法 1 より定まる 支持間隔 ($f_d \geq 20$ Hz)	手法 2 より定まる 支持間隔*2 ($f_d < 20$ Hz)
	長辺	短辺			
亜鉛鉄板 溶接矩形ダクト	460	460	1.2		
	500	350	1.2		
	560	460	1.2		
	560	560	1.2		
	600	450	1.2		
	610	510	1.2		
	710	410	1.2		
	760	360	1.2		
	760	760	1.2		
	810	410	1.2		
	890	600	1.2		
	900	450	1.2		
	900	670	1.2		
	920	460	1.2		
	960	360	1.2		
	1000	880	1.2		
	1015	125	1.2		
	1015	215	1.2		
	1015	490	1.2		
	1015	545	1.2		
	1015	615	1.2		
	1015	760	1.2		
	1015	810	1.2		
	1580	910	1.2		
	1800	1600	1.2		
	2600	1000	1.2		

注記 *1：全て保温有り。

*2：算定した支持間隔が 20 Hz 以上の場合は，“－”とする。

表 6-1 中央制御室換気系ダクトの耐震支持間隔（設計基準対象施設としての評価結果）

（つづき）

（単位：mm）

ダクト 種別 ^{*1}	ダ ク ト		板 厚	手法 1 より定まる 支持間隔 ($f_d \geq 20$ Hz)	手法 2 より定まる 支持間隔 ^{*2} ($f_d < 20$ Hz)
	長辺	短辺			
鋼板 溶接矩形ダクト	600	450	2.3		
	900	450	2.3		
	900	670	2.3		
	1000	880	2.3		
亜鉛鉄板 ハゼ折矩形ダクト	450	450	0.8		
	460	460	0.8		
	600	450	0.8		
	890	600	1.2		
	950	790	0.8		
	1015	810	0.8		
	2200	1000	1.2		

注記 *1：全て保温有り。

*2：算定した支持間隔が 20 Hz 以上の場合は，“－”とする。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

重大事故等対処設備としての各手法による支持間隔は，設計基準対象施設として支持間隔と同様であるため，記載を省略する。

7. 支持構造物設計の基本方針

7.1 支持構造物の構造及び種類

支持構造物は、形鋼を組み合わせた溶接構造を原則とし、その用途に応じて以下に大別する。

- (1) ダクト軸直角の2方向を拘束するもの
- (2) ダクト軸方向及び軸直角の3方向を拘束するもの

図7-1～図7-4に支持構造物の代表例を示す。

7.2 支持構造物の耐震性確認

各支持構造物を、建屋の据付位置（天井, 壁, 床）毎に分類し、そのうち据付位置毎に最大の荷重を負担する支持構造物を代表として、その耐震性の確認結果を表7-1に示す。

耐震性の確認には、解析コード「NSAFE」を使用する。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要・HISAP及びNSAFE」に示す。

表7-1 ダクト支持構造物の耐震性確認結果

構造物	据付位置	許容応力状態	設計温度	荷重(N)		発生応力(MPa)	許容応力(MPa)
				水平	鉛直		
支持架構	天井	IV _A S	40℃	7460	15820	118	280
	壁	IV _A S	40℃	8430	25610	141	280
	床	IV _A S	40℃	1610	3430	33	280

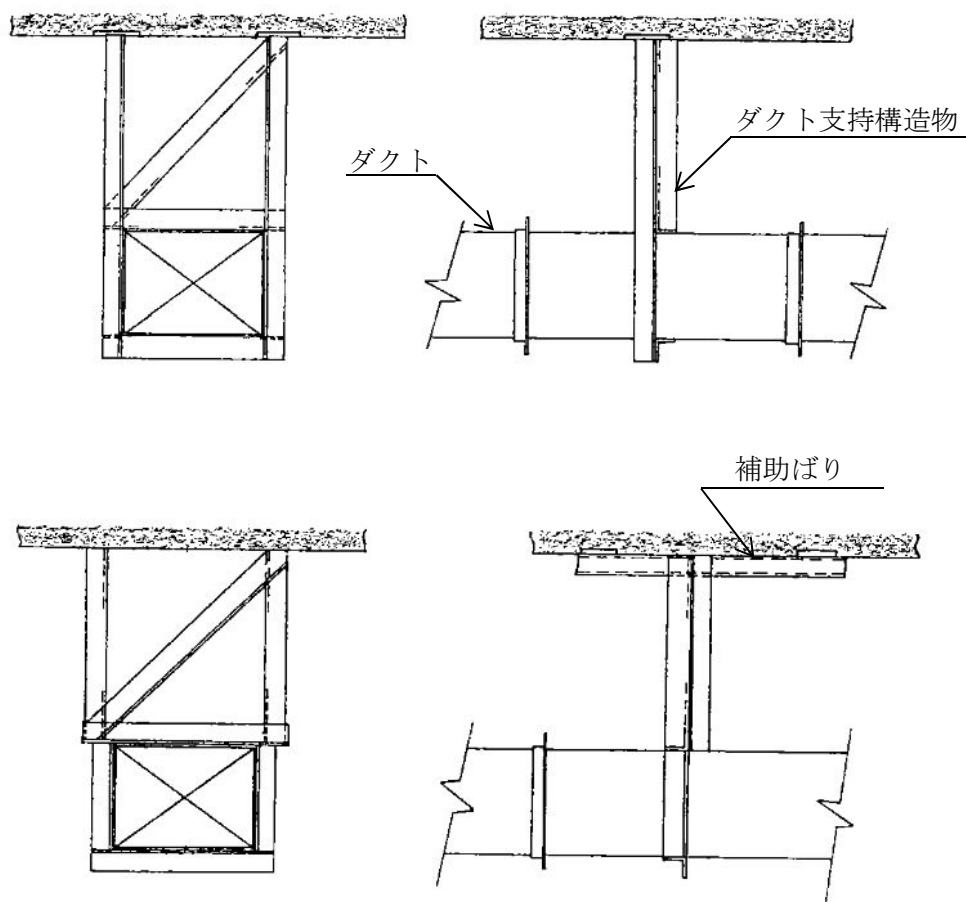


図 7-1 2 方向（軸直角方向）拘束の代表例

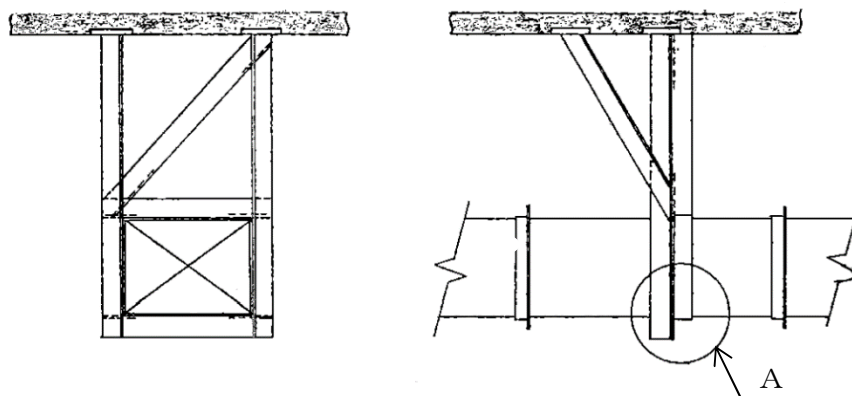
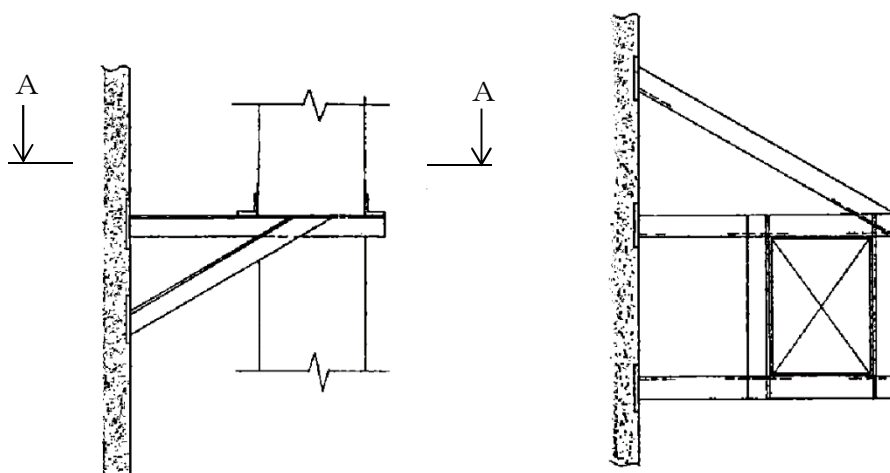


図 7-2 3 方向（軸方向及び軸直角方向）拘束の代表例

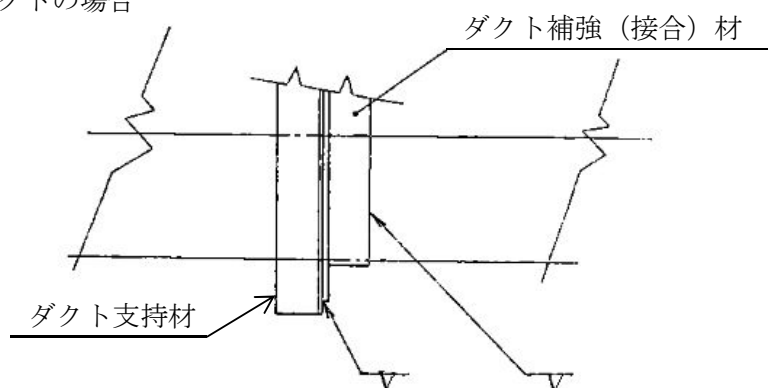


A～A 矢視図

図 7-3 垂直ダクトの支持の代表例

図 7-2 における A 部

溶接ダクトの場合



ハゼ折ダクトの場合

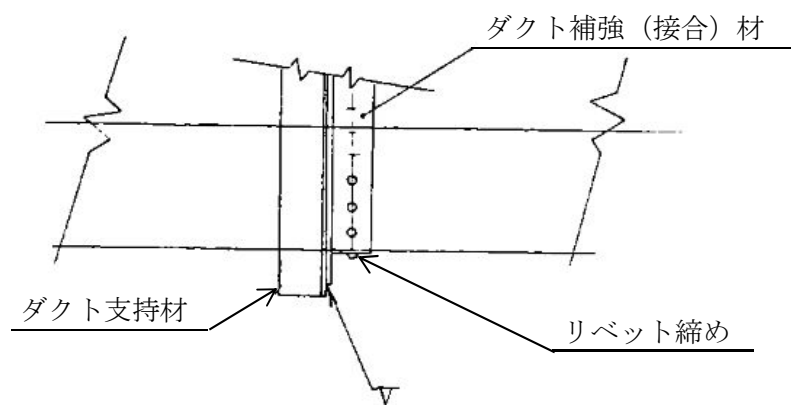


図 7-4 ダクトと支持構造物の接合

V-2-8-3-1-2 中央制御室換気系空気調和機ファン，中央制御室
換気系フィルタ系ファンの耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1

2. 一般事項 1

 2.1 構造計画 1

3. 構造強度評価 4

 3.1 構造強度評価方法 4

 3.2 荷重の組合せ及び許容応力 4

4. 機能維持評価 8

 4.1 動的機能維持評価方法 8

5. 評価結果 9

 5.1 設計基準対象施設としての評価結果 9

 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 9

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

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

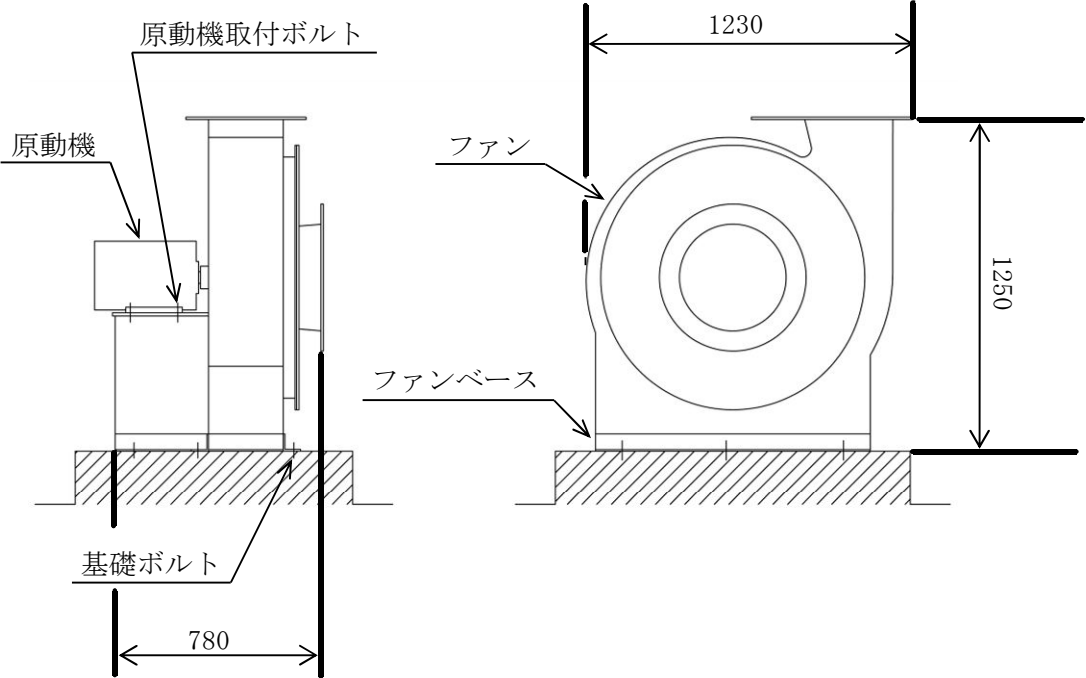
2.1 構造計画

中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画(1/2) (中央制御室換気系空気調和機ファン)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ファン及び原動機はベースに取付ボルトにより固定され、ベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	遠心直結型ファン	(単位：mm)

表 2-1 構造計画 (2/2) (中央制御室換気系フィルタ系ファン)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
原動機はベースに取り付ボルトにより固定され、ファン及びベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	遠心直動型ファン	 (単位：mm)

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンの構造は横軸ポンプと類似の構造であるため、構造強度評価は、添付書類「V-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンの許容応力は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理 施設	換気設備	中央制御室換気系 空気調和機ファン	S	— *1	$D + P_D + M_D + S_d^{**2}$	Ⅲ _A S
		中央制御室換気系 フィルタ系ファン			$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*2：S_sと組合せ、Ⅲ_A Sの評価を実施する。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理 施設	換気設備	中央制御室換気系 空気調和機ファン	常設耐震／防止 常設／緩和	— *2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
		中央制御室換気系 フィルタ系ファン			$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 3-3 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A 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 3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

機器名称	評価部材	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
中央制御室換気系 空気調和機ファン	基礎ボルト		周囲環境温度	198	504	205
	ファン取付ボルト		周囲環境温度	231	394	—
	原動機取付ボルト		周囲環境温度	231	394	—
中央制御室換気系 フィルタ系ファン	基礎ボルト		周囲環境温度	198	504	205
	原動機取付ボルト		周囲環境温度	231	394	—

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

機器名称	評価部材	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
中央制御室換気系 空気調和機ファン	基礎ボルト		周囲環境温度	198	504	205
	ファン取付ボルト		周囲環境温度	231	394	—
	原動機取付ボルト		周囲環境温度	231	394	—
中央制御室換気系 フィルタ系ファン	基礎ボルト		周囲環境温度	198	504	205
	原動機取付ボルト		周囲環境温度	231	394	—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンの地震時及び地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。

動的機能維持評価は、添付書類「V-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

機器名称	評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
中央制御室換気系 空気調和機ファン	ファン	遠心直結型 ファン	水平	2.3
			鉛直	1.0
	原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	4.7
			鉛直	1.0
中央制御室換気系 フィルタ系ファン	ファン	遠心直動型 ファン	水平	2.6
			鉛直	1.0
	原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	4.7
			鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

なお，弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており，基準地震動 S_s による発生値が，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

中央制御室換気系空気調和機ファン及び中央制御室換気系フィルタ系ファンの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【中央制御室換気系空気調和機ファンの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機 器 名 称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ファン振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
中央制御室換気系 空気調和機ファン	S	原子炉建屋 EL. 29.00*1	— *2	— *2	— *3	— *3	C _H =1.55	C _V =1.17	C _P =0.09	—	50

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
*3：Ⅲ_ASについては，基準地震動 S_sで評価する。

1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} * (mm)	ℓ _{2i} * (mm)	A _{bi} (mm)	n _i	n _{fi} *
基礎ボルト (i =1)						13	2 4
ファン取付ボルト (i =2)						7	2 1
原動機取付ボルト (i =3)						4	2 2

部 材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (R T) (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i =1)	198	504	205	205	246	—	軸直角	—	—
ファン取付ボルト (i =2)	231	394	—	231	276	—	軸直角	—	2.865×10 ⁵
原動機取付ボルト (i =3)	231	394	—	231	276	—	軸直角	—	2.865×10 ⁵

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
H _P =	N=

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

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ファン取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力*1	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_{b1}=37$	$f_{ts1}=153^{*2}$	$\sigma_{b1}=37$	$f_{ts1}=184^{*2}$
		せん断	$\tau_{b1}=10$	$f_{sb1}=118$	$\tau_{b1}=10$	$f_{sb1}=142$
引張り		$\sigma_{b2}=52$	$f_{ts2}=173^{*2}$	$\sigma_{b2}=52$	$f_{ts2}=207^{*2}$	
せん断		$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=133$	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=159$	
引張り		$\sigma_{b3}=13$	$f_{ts3}=173^{*2}$	$\sigma_{b3}=13$	$f_{ts3}=207^{*2}$	
せん断		$\tau_{b3}= 8$	$f_{sb3}=133$	$\tau_{b3}= 8$	$f_{sb3}=159$	

すべて許容応力以下である。

注記 *1：基準地震動 S_sによる算出値

*2： $f_{tsi}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{toi}-1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ 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
ファン	水平方向	1.29	2.3
	鉛直方向	0.98	1.0
原動機	水平方向	1.29	4.7
	鉛直方向	0.98	1.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

【中央制御室換気系空気調和機ファンの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機 器 名 称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		ファン振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
中央制御室換気系 空気調和機ファン	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建屋 EL. 29.00*1	—*2	—*2	—	—	C _H =1.55	C _V =1.17	C _P =0.09	—	

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

2.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} * (mm)	ℓ _{2i} * (mm)	A _{bi} (mm)	n _i	n _{fi} *
基礎ボルト (i=1)						13	2
							4
ファン取付ボルト (i=2)						7	2
							1
原動機取付ボルト (i=3)						4	2
							2

部 材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (R T) (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	198	504	205	205	246	—	軸直角	—	—
ファン取付ボルト (i=2)	231	394	—	231	276	—	軸直角	—	2.865×10 ⁵
原動機取付ボルト (i=3)	231	394	—	231	276	—	軸直角	—	2.865×10 ⁵

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
H _P =	N=

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

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ファン取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

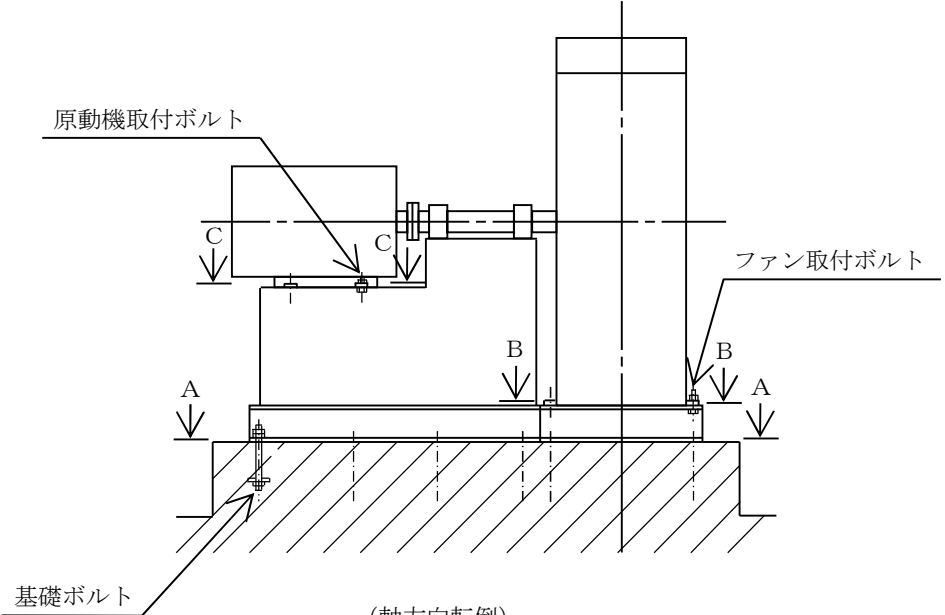
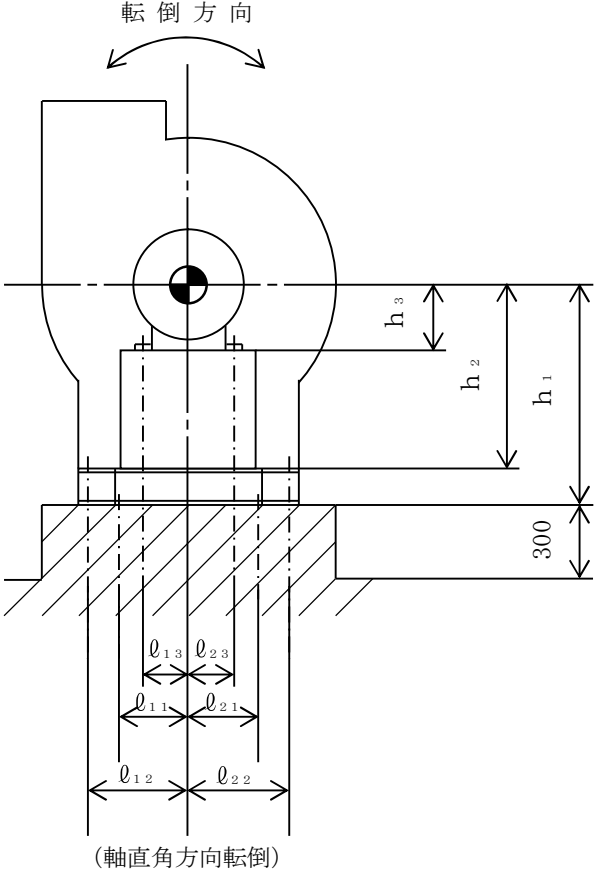
部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	σ_{b1} =37	f_{ts1} =184*
		せん断	—	—	τ_{b1} =10	f_{sb1} =142
引張り		—	—	σ_{b2} =52	f_{ts2} =207*	
せん断		—	—	τ_{b2} =10	f_{sb2} =159	
引張り		—	—	σ_{b3} =13	f_{ts3} =207*	
せん断		—	—	τ_{b3} = 8	f_{sb3} =159	

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

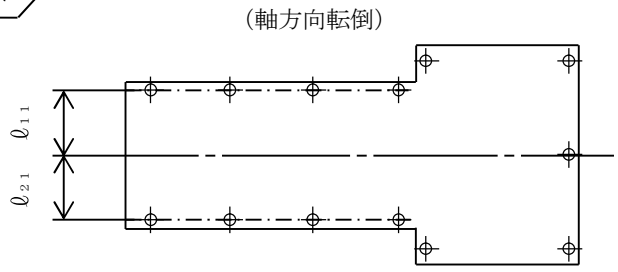
2.4.2 動的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.29	2.3
	鉛直方向	0.98	1.0
原動機	水平方向	1.29	4.7
	鉛直方向	0.98	1.0

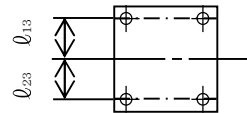
評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



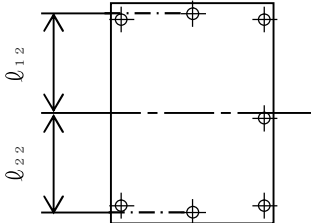
$(\ell_{11} \leq \ell_{21})$



A~A矢視図
(基礎ボルト)



C~C矢視図
(原動機取付ボルト)



B~B矢視図
(ファン取付ボルト)

【中央制御室換気系フィルタ系ファンの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機 器 名 称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		ファン振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
中央制御室換気系 フィルタ系ファン	S	原子炉建屋 EL. 29.00*1	— *2	— *2	— *3	— *3	$C_H=1.55$	$C_V=1.17$	$C_P=0.09$	—	

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
*3：ⅢA Sについては，基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}^* (mm)	ℓ_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm)	n_i	n_{fi}^*	
							弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i = 1$)						7	—	2
							—	1
原動機取付ボルト ($i = 3$)						4	—	2
							—	2

部 材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi} (RT)$ (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		$M_p (N \cdot mm)$	
						弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)	198	504	205	205	246	—	軸直角	—	—
原動機取付ボルト ($i=3$)	231	394	—	231	276	—	軸	—	—

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
$H_P =$	$N =$

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

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力*1	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_{b1}=64$	$f_{ts1}=153^{*2}$	$\sigma_{b1}=64$	$f_{ts1}=184^{*2}$
		せん断	$\tau_{b1}= 7$	$f_{sb1}=118$	$\tau_{b1}= 7$	$f_{sb1}=142$
引張り		$\sigma_{b3}=15$	$f_{ts3}=173^{*2}$	$\sigma_{b3}=15$	$f_{ts3}=207^{*2}$	
せん断		$\tau_{b3}= 8$	$f_{sb3}=133$	$\tau_{b3}= 8$	$f_{sb3}=159$	

すべて許容応力以下である。

注記 *1：基準地震動 S_s による算出値

*2： $f_{tsi}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{toi}-1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ 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
ファン	水平方向	1.29	2.6
	鉛直方向	0.98	1.0
原動機	水平方向	1.29	4.7
	鉛直方向	0.98	1.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

【中央制御室換気系フィルタ系ファンの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機 器 名 称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		ファン振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
中央制御室換気系 フィルタ系ファン	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建屋 EL. 29.00*1	—*2	—*2	—	—	$C_H=1.55$	$C_V=1.17$	$C_P=0.09$	—	

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

2.2 機器要目

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}^* (mm)	ℓ_{2i}^* (mm)	A_{bi} (mm)	n_i	n_{fi}^*	
							弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)						7	—	2
							—	1
原動機取付ボルト ($i=3$)						4	—	2
							—	2

部 材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi} (RT)$ (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		$M_P (N \cdot mm)$	
						弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)	198	504	205	205	246	—	軸直角	—	—
原動機取付ボルト ($i=3$)	231	394	—	231	276	—	軸	—	—

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
$H_P =$	$N =$

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

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

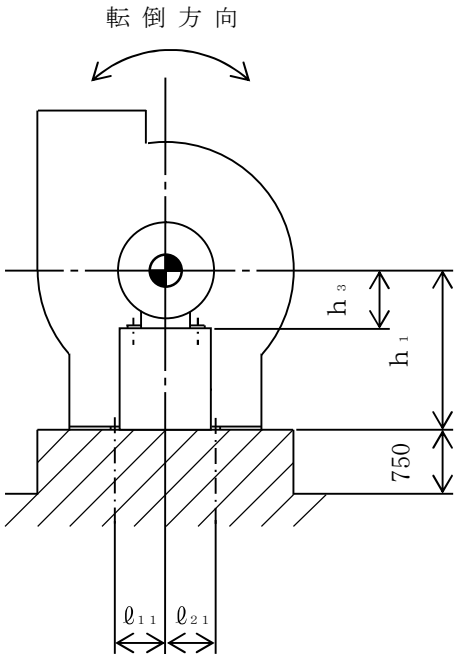
部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=64$	$f_{ts1}=184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=7$	$f_{sb1}=142$
原動機取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b3}=15$	$f_{ts3}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=8$	$f_{sb3}=159$

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

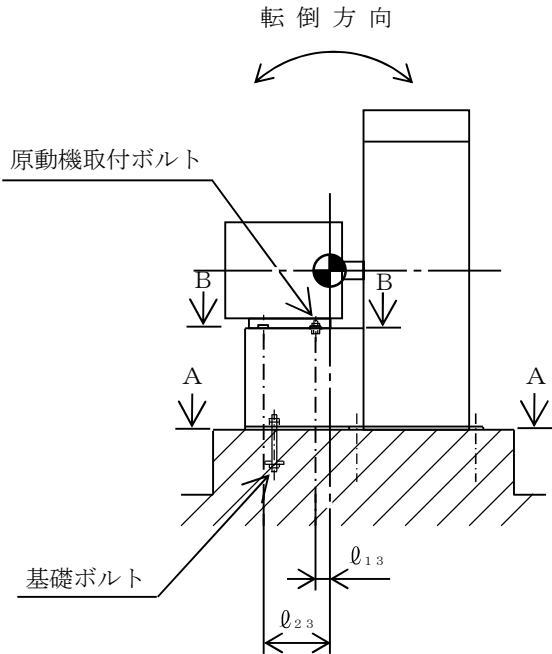
2.4.2 動的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.29	2.6
	鉛直方向	0.98	1.0
原動機	水平方向	1.29	4.7
	鉛直方向	0.98	1.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

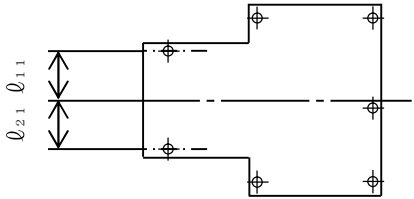


(軸直角方向転倒)

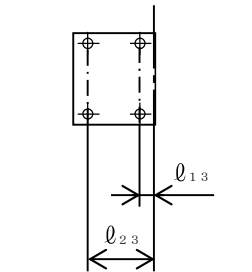


($\ell_{1i} \leq \ell_{2i}$)

(軸方向転倒)



A～A 矢視図
(基礎ボルト)



B～B 矢視図
(原動機取付ボルト)

V-2-8-3-1-3 中央制御室換気系フィルタユニットの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	6
4. 固有周期	7
4.1 固有周期の計算方法	7
4.2 固有周期の計算条件	8
4.3 固有周期の計算結果	8
5. 構造強度評価	9
5.1 構造強度評価方法	9
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
5.3 設計用地震力	13
5.4 計算方法	14
5.5 計算条件	17
5.6 応力の評価	17
6. 評価結果	18
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	18
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	18

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、中央制御室換気系フィルタユニットが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

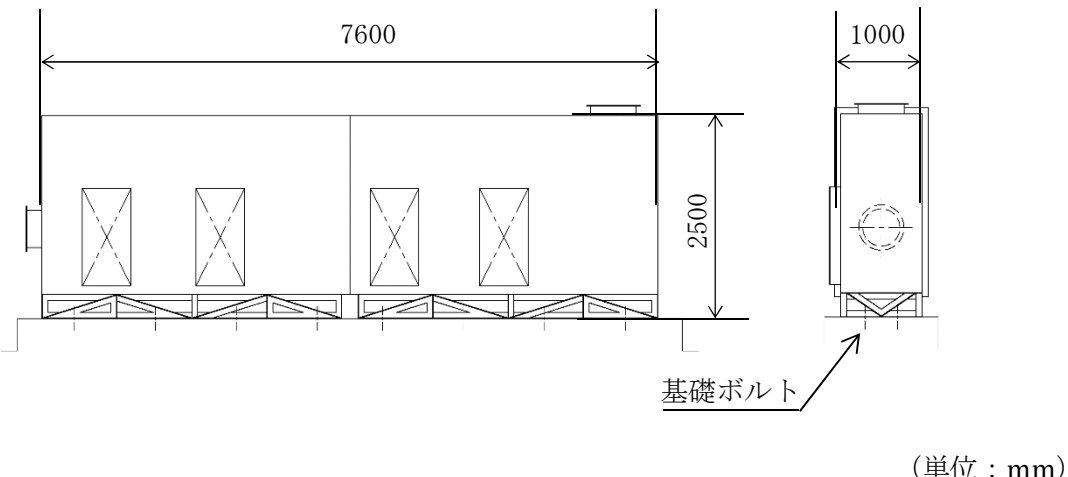
中央制御室換気系フィルタユニットは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

中央制御室換気系フィルタユニットの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
中央制御室換気系フィルタユニットは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	形鋼骨組及び鋼板外板による溶接構造。	 (単位：mm)

2.2 評価方針

中央制御室換気系フィルタユニットの応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す中央制御室換気系フィルタユニットの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

中央制御室換気系フィルタユニットの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

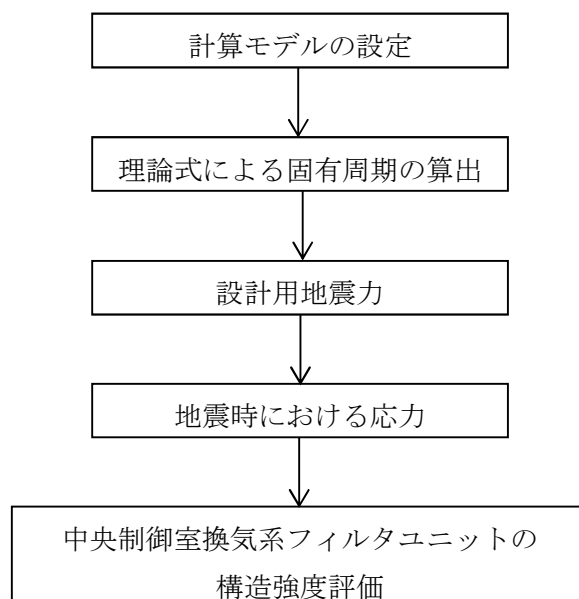


図 2-1 中央制御室換気系フィルタユニットの耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1－1987（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 J E A G 4 6 0 1・補－1984（日本電気協会）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1－1991 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。）） J S M E S N C 1－2005/2007（日本機械学会）

2.4 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
A_e	ケーシングの有効せん断断面積	mm^2
A	ケーシングの断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 (f_s を 1.5 倍した値又は f_s^* を 1.5 倍した値)	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力 (f_t を 1.5 倍した値又は f_t^* を 1.5 倍した値)	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	据付面又は基礎面から重心までの距離	mm
I	断面二次モーメント	mm^4
K_H	水平方向ばね定数	N/m
K_V	鉛直方向ばね定数	N/m
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	運転時質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記 * : $\ell_1 \leq \ell_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数 値 の 種 類	単 位	処 理 桁	処 理 方 法	表 示 桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*1}
せん断弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*1}
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ ^{*2}	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*1}
断面二次モーメント	mm ⁴	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*1}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*1}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

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

3. 評価部位

中央制御室換気系フィルタユニットの耐震評価は，「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。中央制御室換気系フィルタユニットの耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

中央制御室換気系フィルタユニットの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 変形は中央制御室換気系フィルタユニットをはりと考えたときの曲げ及びせん断変形を考慮する。
 - b. 中央制御室換気系フィルタユニットは基礎ボルトで基礎に固定されているので，装置下部を固定端とする。
- (2) 中央制御室換気系フィルタユニットは，図 4-1 に示す下端固定の 1 質点振動モデルとして考える。

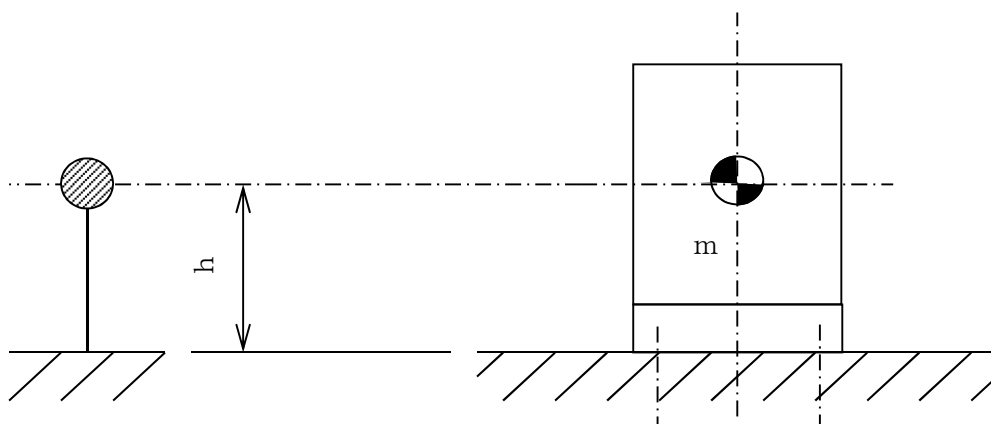


図 4-1 固有周期の計算モデル

(3) 固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数 K は次式で表される。

$$\text{水平方向} \quad K_H = \frac{1000}{\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h}{G \cdot A_e}} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

$$\text{鉛直方向} \quad K_V = \frac{1000}{\frac{h}{E \cdot A}} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

したがって，固有周期は次式で求められる。

$$\text{水平方向} \quad T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_H}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

$$\text{鉛直方向} \quad T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_V}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【中央制御室換気系フィルタユニットの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-2 に示す。計算結果より、0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 4-2 固有周期 (s)

水平方向	鉛直方向
0.041	0.004

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 中央制御室換気系フィルタユニットの質量は、重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は中央制御室換気系フィルタユニットに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 計算は、長辺方向及び短辺方向について行い、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

中央制御室換気系フィルタユニットの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-2に示す。

5.2.2 許容応力

中央制御室換気系フィルタユニットの許容応力は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表5-3のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

中央制御室換気系フィルタユニットの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-5に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理 施設	換気設備	中央制御室換気系 フィルタユニット	S	— *1	$D + P_D + M_D + S_d^{**2}$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*2： S_s と組合せ、Ⅲ_A Sの評価を実施する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理 施設	換気設備	中央制御室換気系 フィルタユニット	常設耐震／防止 常設／緩和	— *2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 5-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 *1*2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	1.5・f _t	1.5・f _s
Ⅳ _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *
V _A S (V _A SとしてⅣ _A 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 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 (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		211	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)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		211	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	鉛直方向	水平方向 設計震度	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. 29.0 ^{*1}			— ^{*2}	— ^{*2}	$C_H=1.55$	$C_V=1.17$

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：Ⅲ_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 EL. 29.0 [*]			—	—	$C_H=1.55$	$C_V=1.17$

注記 *：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

ボルトの応力は地震による震度によって生じる引張力とせん断力について計算する。

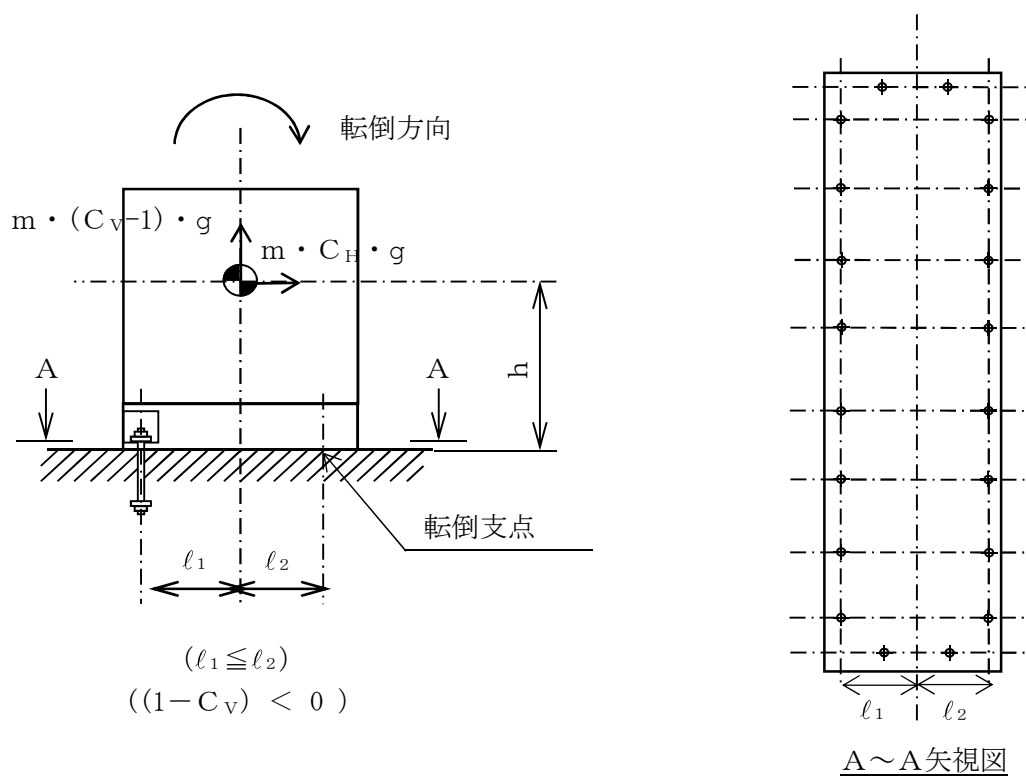


図 5-1 計算モデル（短辺方向転倒）

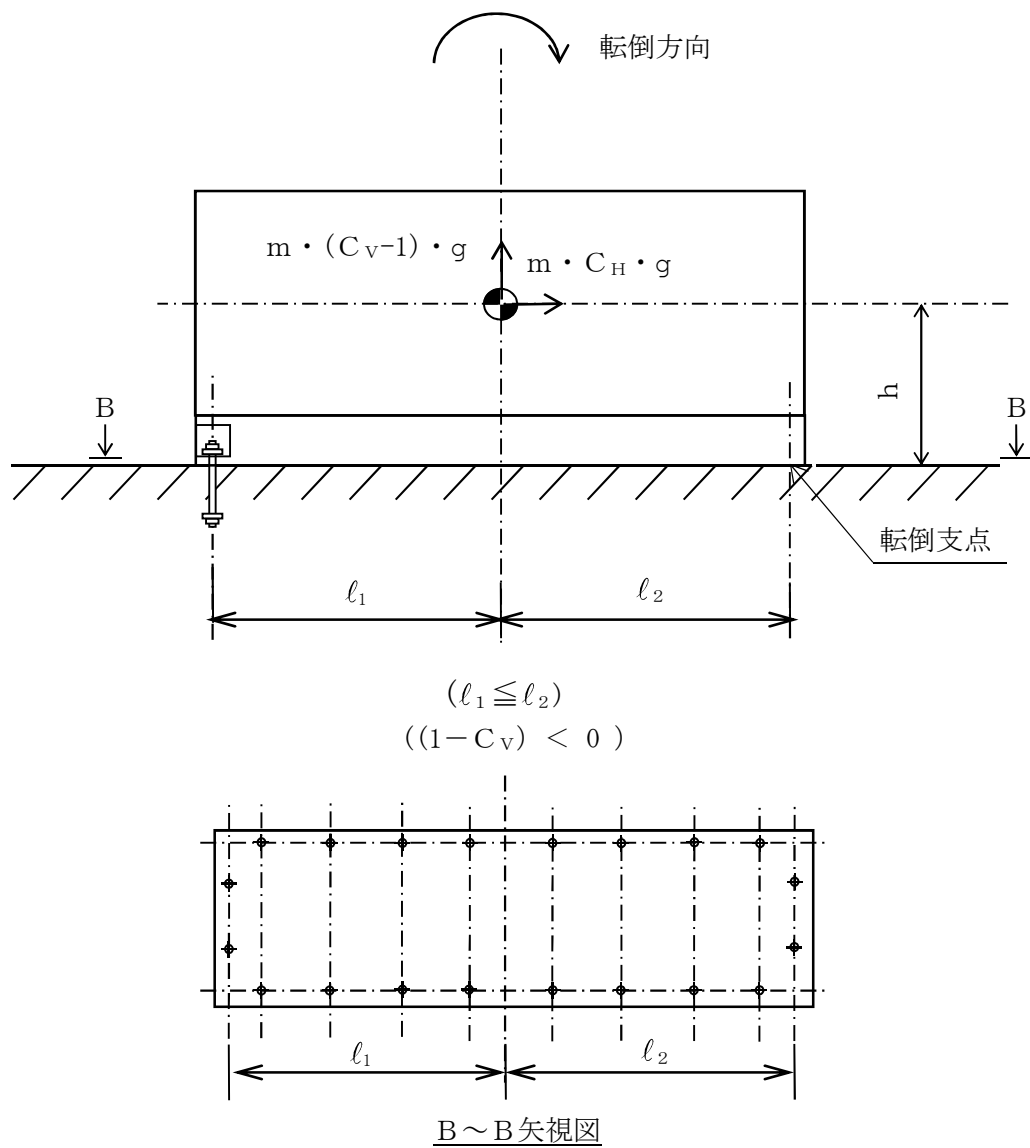


図 5-2 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は図 5-1, 図 5-2 でボルトを支点とする転倒を考え, これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$\text{(絶対値和)} \quad F_b = \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g - m \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2 \cdot g}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

ここで, ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

ただし, F_b が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないため, 引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

せん断力

$$Q_b = m \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【中央制御室換気系フィルタユニットの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4 項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

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

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との 組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室換気系フィルタユニットの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

なお、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

中央制御室換気系フィルタユニットの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【中央制御室換気系フィルタユニットの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機 器 名 称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		最高使用温度(℃)	周囲環境温度(℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
中央制御室換気系フィルタユニット	S	原子炉建屋EL. 29.0 ^{*1}			— ^{*2}	— ^{*2}	C _H =1.55	C _V =1.17	—	

注記 *1：基準床レベルを示す。
*2：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

E	G	I	A _e	A
(MPa)	(MPa)	(mm ⁴)	(mm ²)	(mm ²)

部 材	m	h	ℓ_1^*	ℓ_2^*	A _b	n	n _f [*]	S _y	S _u	F	F [*]	転倒方向	
	(kg)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)			(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト								211	394	211	253	—	短 辺

注記 *：基礎ボルトの機器要目における上段は短辺方向に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d 又は 静 的 震 度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は 静 的 震 度	基準地震動 S_s
基 礎 ボ ル ト	—	1.341×10^4	—	6.840×10^4

1.4 結論

ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は 静的震度		基準地震動 S_s	
			算 出 応 力*1	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
基 礎 ボ ル ト		引張り	$\sigma_b = 43$	$f_{ts} = 158^{*2}$	$\sigma_b = 43$	$f_{ts} = 190^{*2}$
		せん断	$\tau_b = 11$	$f_{sb} = 122$	$\tau_b = 11$	$f_{sb} = 146$

注記 *1：基準地震動 S_s による算出値*2： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

すべて許容応力以下である。

【中央制御室換気系フィルタユニットの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機 器 名 称	設備分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用 温度 (℃)	周囲環境 温度 (℃)
			水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
中央制御室換気系 フィルタユニット	常設耐震／ 防止 常設／緩和	原子炉建 屋 EL. 29.0*			—	—	C _H =1.55	C _V =1.17	—	

注記 *：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)	A (mm ²)

部 材	m	h	ℓ_1^*	ℓ_2^*	A _b	n	n _f [*]	S _y	S _u	F	F [*]	転倒方向	
	(kg)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)			(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト								211	394	211	253	—	短 辺

注記 *：基礎ボルトの機器要目における上段は短辺方向に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

ボルトに作用する力 (単位：N)

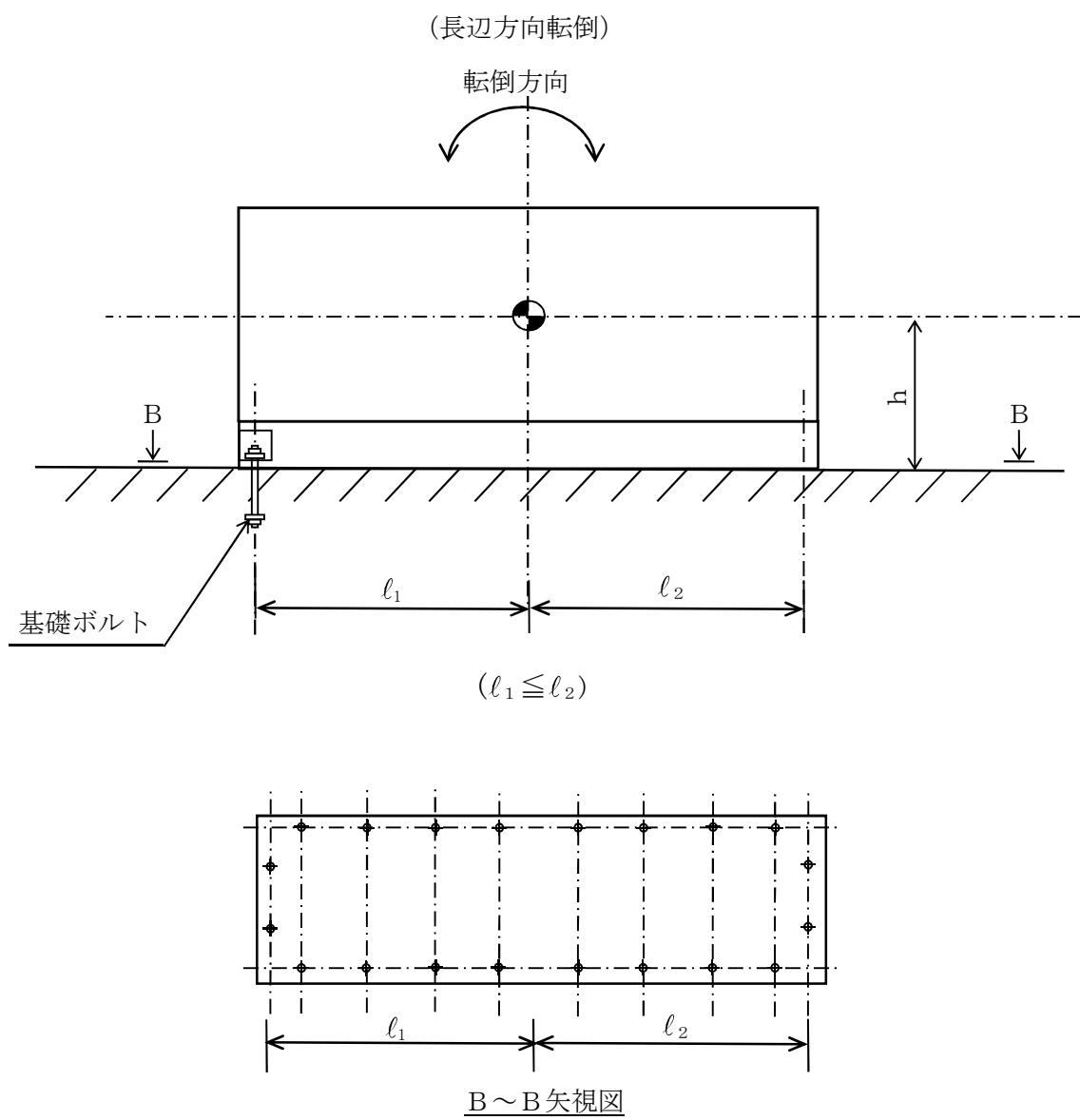
部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	1.341×10 ⁴	—	6.840×10 ⁴

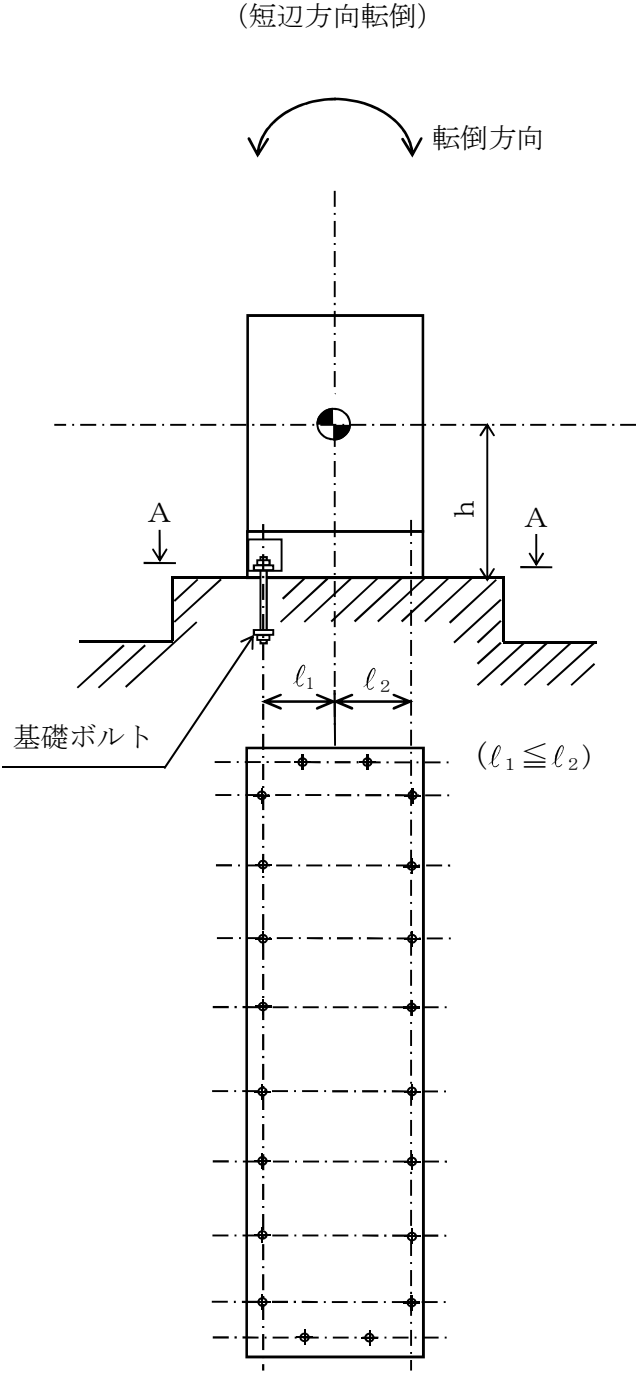
2.4 結論

ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b=43$	$f_{ts}=190^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=11$	$f_{sb}=146$

注記 *： $f_{ts}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{to}-1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出
すべて許容応力以下である。





A～A矢視図

V-2-8-3-2-1 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	9
3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
3.2 設計条件	10
3.3 材料及び許容応力	19
3.4 設計用地震力	20
4. 解析結果及び評価	21
4.1 固有周期及び設計震度	21
4.2 評価結果	27
4.2.1 管の応力評価結果	27
4.2.2 支持構造物評価結果	28
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	29
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	30

1. 概要

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

評価結果記載方法は以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全1モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

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

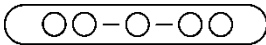
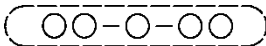
(3) 弁

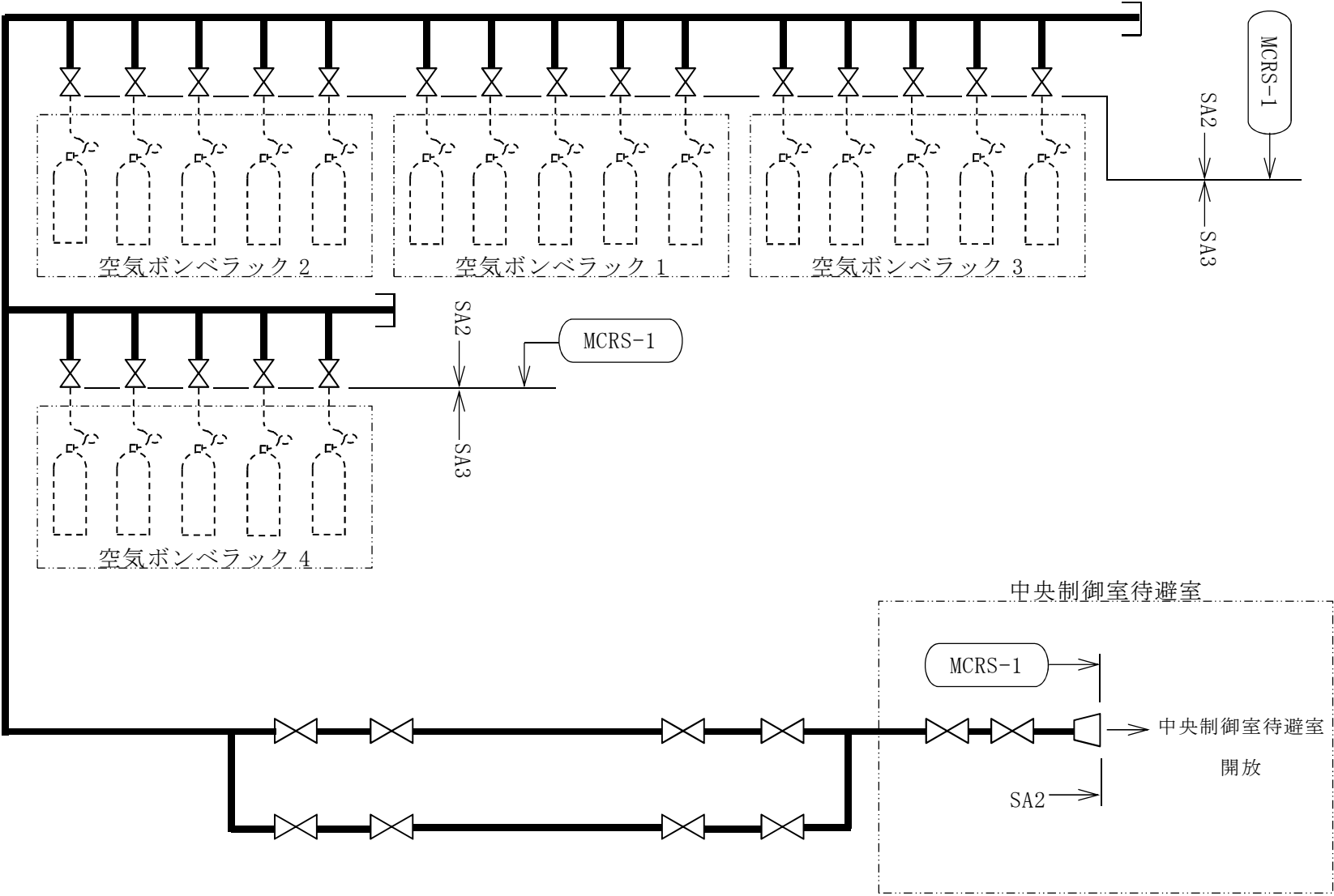
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

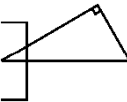
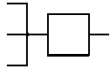
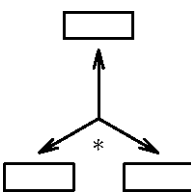
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算 書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のう ち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する 管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4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



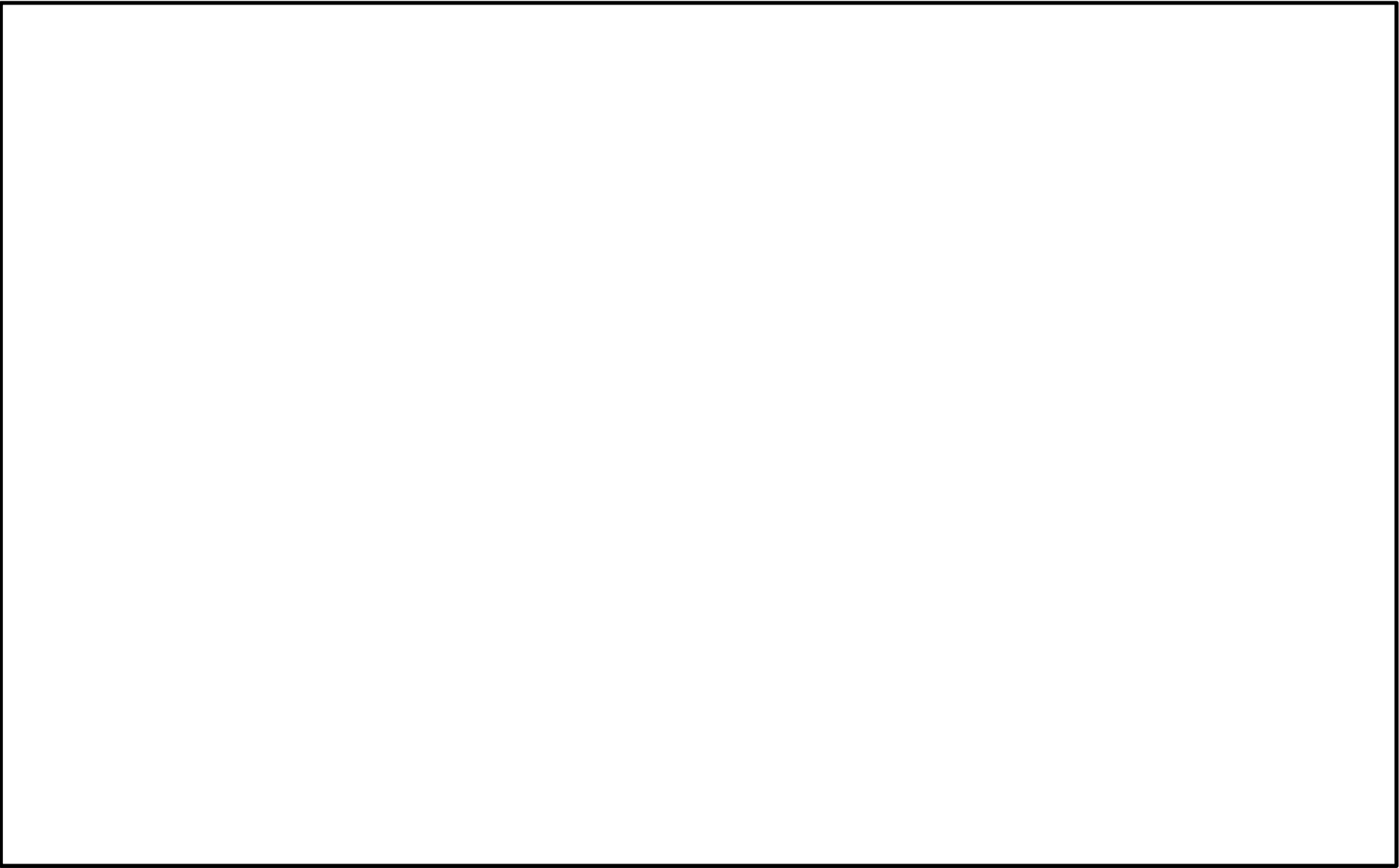
中央制御室待避室空気ポンベユニット配管概略系統図

2.2 鳥瞰図

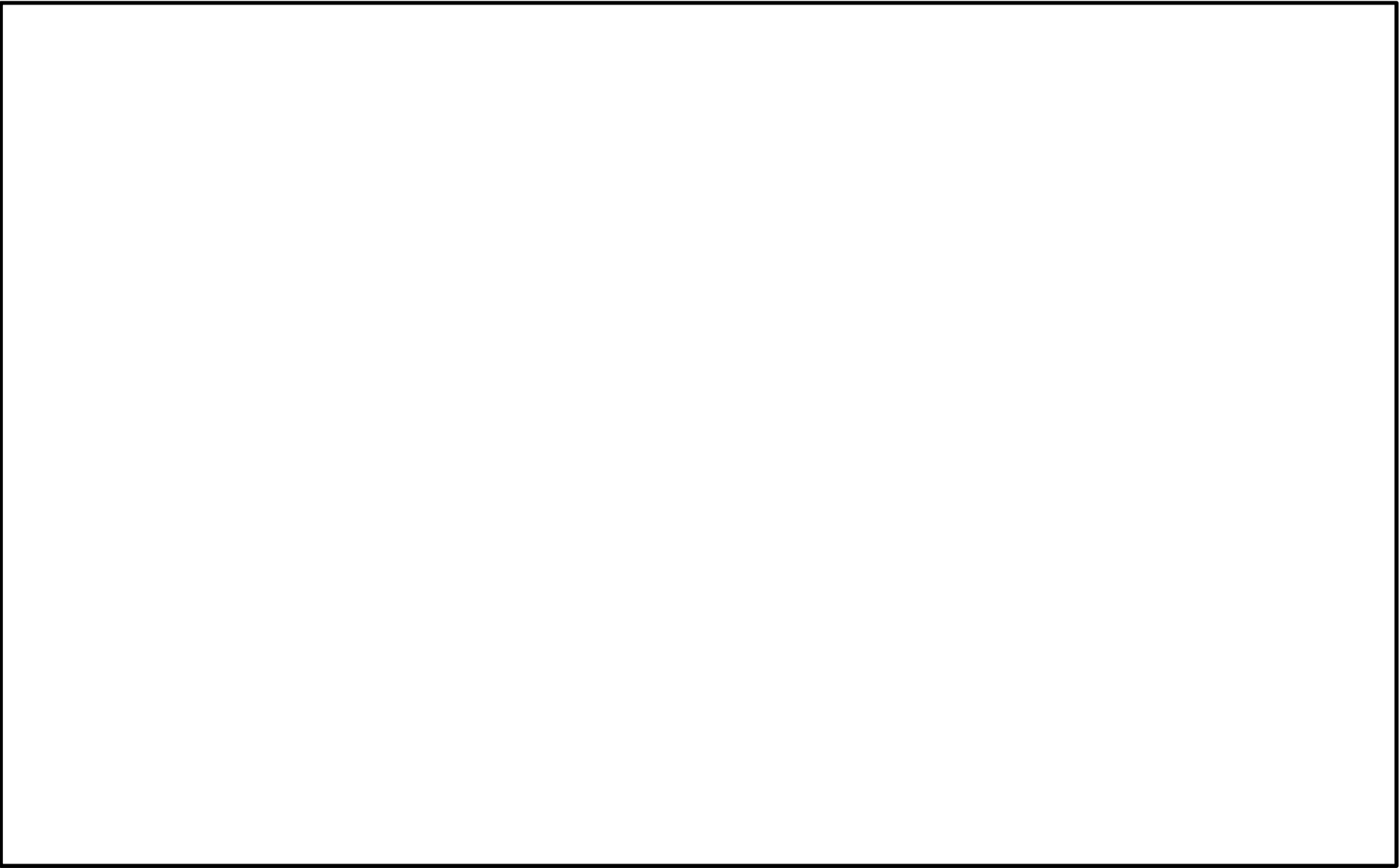
鳥瞰図記号凡例

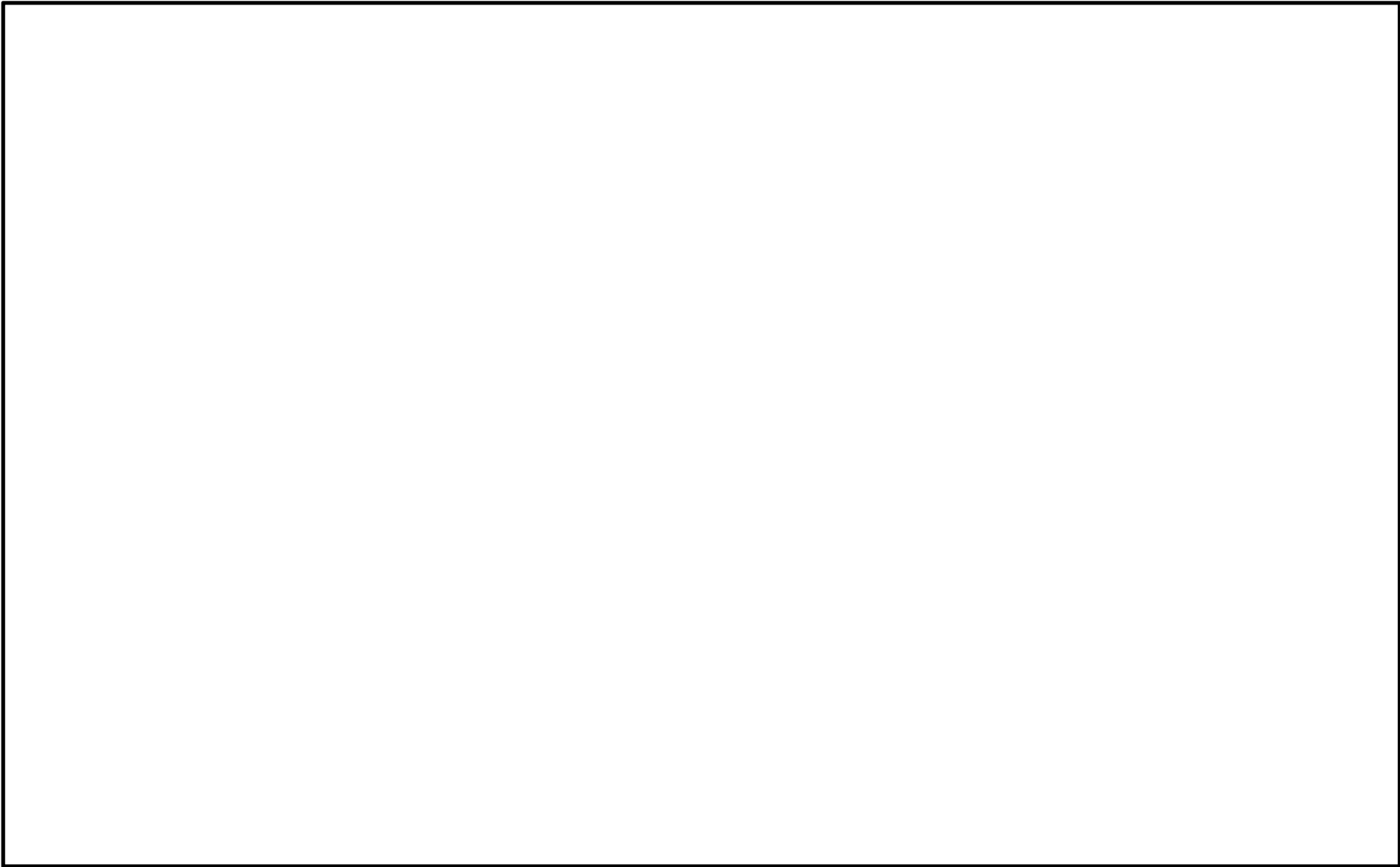
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	節 点
	質 点
	ア ン カ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッパについても同様とする。)
	スナッパ
	ハンガ
	拘束点の地震による相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

5

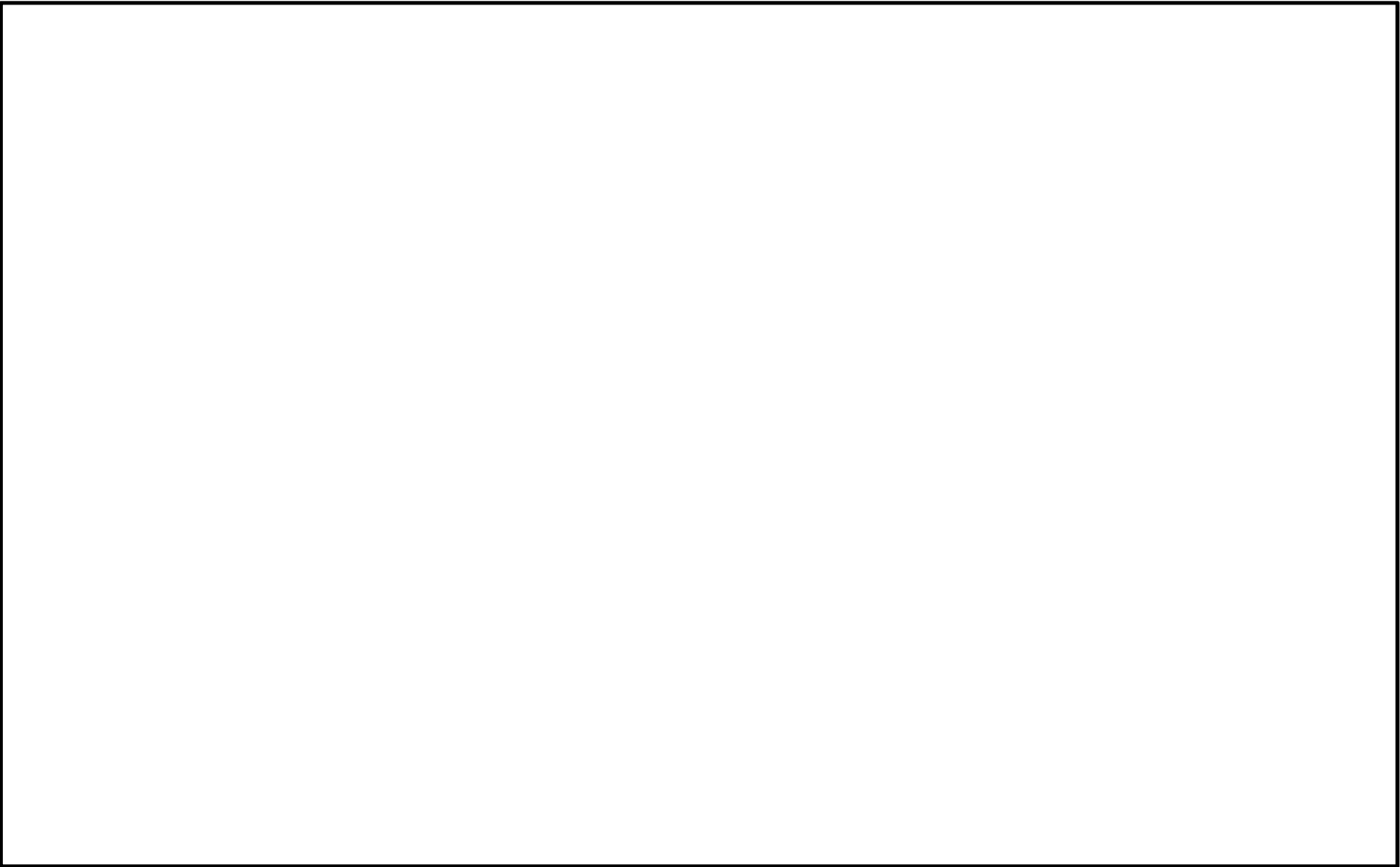


9





8



3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設 分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等 の区分	耐震設計上の 重要度分類	荷重の組合せ ^{*3,4}	許容応力 状態 ^{*5}
放射線管理施設	換気設備	中央制御室 待避室	S A	常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$

注記 *1: DBは設計基準対象施設, SAは重大事故等対処設備を示す。

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

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

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

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

3.2 設計条件

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

鳥 瞰 図 MCRS-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	501, 801, 601, 401, 602, 402 603, 403, 604, 802, 605, 404 606, 405, 607, 803, 1, 608 804, 609, 2, 805, 610, 406 611, 407, 612, 806, 613, 408 614, 409, 615, 410, 616, 807 3, 617, 808, 618, 4, 411 619, 412, 620, 413, 621, 414 622, 415, 623, 5, 6, 416 7, 809, 624, 8, 810, 625 811, 626, 812, 627, 417, 9 813, 628, 418, 301, 901, 302 814, 303, 902, 834, 311, 906 312, 835, 313, 907, 314, 836 315, 908, 316, 837, 317, 909 318, 838, 319, 910, 320, 839	14.70	40	27.2	3.9	SUS304TP	—	

設計条件

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

鳥 瞰 図 MCRS-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	321, 911, 322, 840, 323, 912 324, 841, 325, 913, 326, 842 327, 914, 328, 843, 329, 915 330, 651, 844, 331, 916, 332 652, 845, 333, 917, 334, 653 846, 335, 918, 336, 654, 847 337, 919, 338, 655, 848, 339 920, 340, 656, 424, 657, 425 658, 426, 659, 427, 660, 428 661, 849, 503, 663, 850, 341 921, 342, 664, 851, 343, 922 344, 665, 852, 345, 923, 346 666, 853, 347, 924, 348, 667 854, 349, 925, 350, 351, 926 352, 668, 22, 353, 927, 354 855, 355, 928	14.70	40	27.2	3.9	SUS304TP	—	

設計条件

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

鳥 瞰 図 MCRS-1

管 番 号	対 応 す る 評 価 点	最 高 使 用 圧 力 (MPa)	最 高 使 用 温 度 (℃)	外 径 (mm)	厚 さ (mm)	材 料	耐 震 設 計 上 の 重 要 度 分 類	縦 弾 性 係 数 (MPa)
2	902, 304, 419, 630, 420, 305 903, 306, 815, 307, 904, 308 421, 632, 816, 10, 422, 633 817, 634, 818, 635, 11, 819 12, 636, 820, 637, 821, 13 14, 638, 822, 639, 823, 640 15, 824, 641, 825, 642, 826 643, 827, 644, 828, 645, 16 829, 17, 646, 830, 18, 647 19, 20, 831, 648, 832, 21 649, 309, 905, 310, 833, 650 502, 928, 356, 429, 670, 430 357, 929, 358, 856, 359, 930 360, 23, 672, 673, 857, 361 931, 362, 674, 858, 363, 932	1.80	40	27.2	2.9	SUS304TP	—	

設計条件

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

鳥 瞰 図 MCRS-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
2	364, 365, 933, 366, 505, 677 859, 367, 934, 368, 201	1.80	40	27.2	2.9	SUS304TP	－	
3	202	1.80	40	60.5	3.9	SUS304TP	－	

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 MCRS-1

質量	対応する評価点
	501, 503
	502, 505, 312, 314, 316, 318, 320, 322, 324, 326, 328, 330, 332, 334 336, 338, 340, 342, 344, 346, 348, 350

弁部の質量

鳥 瞰 図 MCRS-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	901, 906, 907, 908, 909 910, 911, 912, 913, 914 915, 916, 917, 918, 919 920, 921, 922, 923, 924 925, 926, 927		902, 903, 928, 929
	904, 930, 931, 932, 933 934		905

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MCRS-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
801						
802						
803						
804						
805						
806						
807						
808						
809						
810						
811						
812						
813						
814						
902						
903						
815						
816						
817						
818						
819						
820						
821						
822						
823						
824						
825						
826						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MCRS-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
827						
828						
829						
830						
831						
832						
833						
834						
835						
836						
837						
838						
839						
840						
841						
842						
843						
844						
845						
846						
847						
848						
849						
850						
851						
852						
853						
854						
855						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MCRS-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
928						
929						
856						
857						
858						
859						

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (℃)	許容応力 (MPa)			
		S _m	S _y	S _u	S _h
SUS304TP	40	—	205	520	—

3.4 設計用地震力

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

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

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数(%)	
MCRS-1		EL. 29.000 m		
		EL. 20.300 m		
		EL. 14.000 m		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 MCRS-1

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

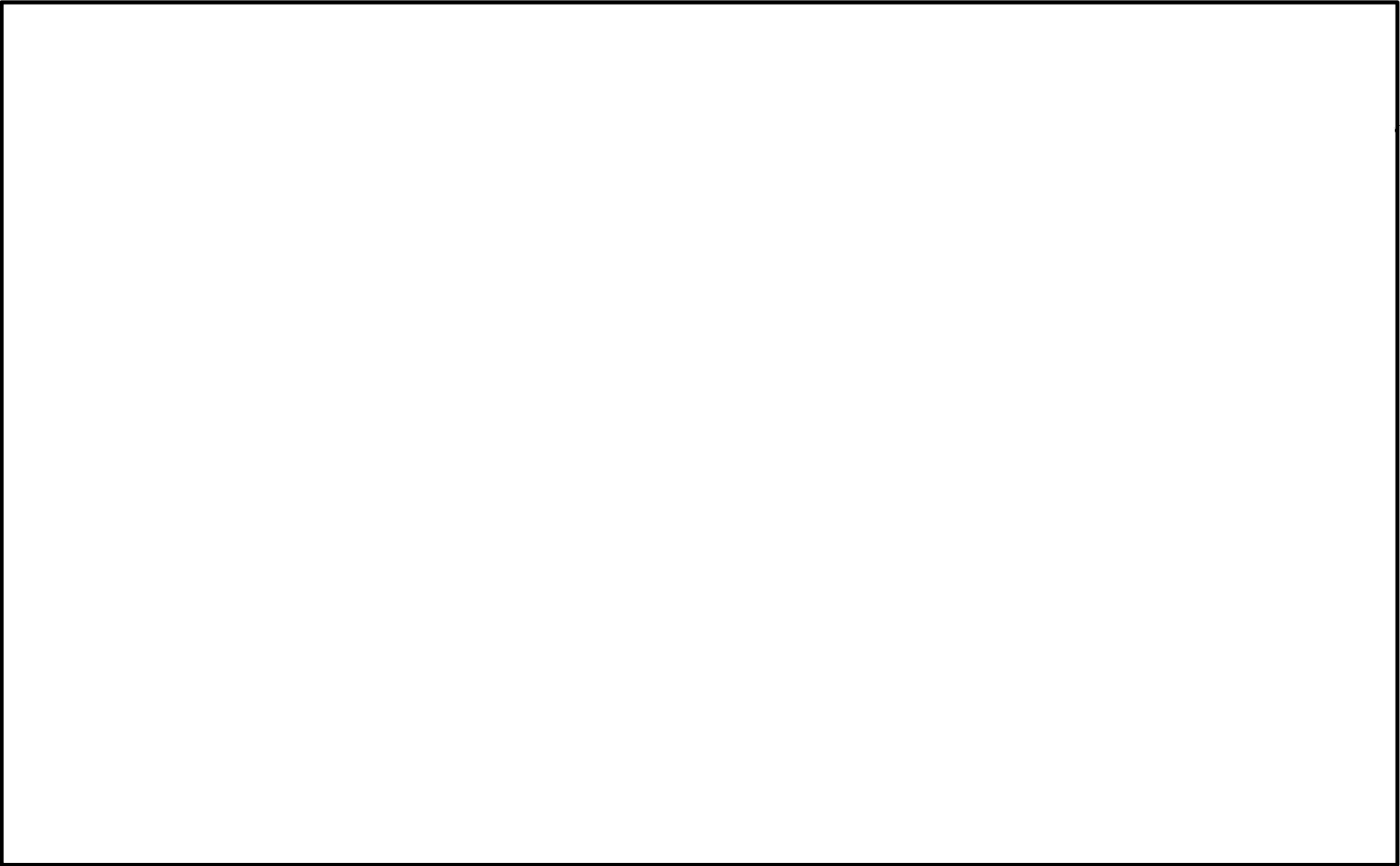
各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 MCRS-1

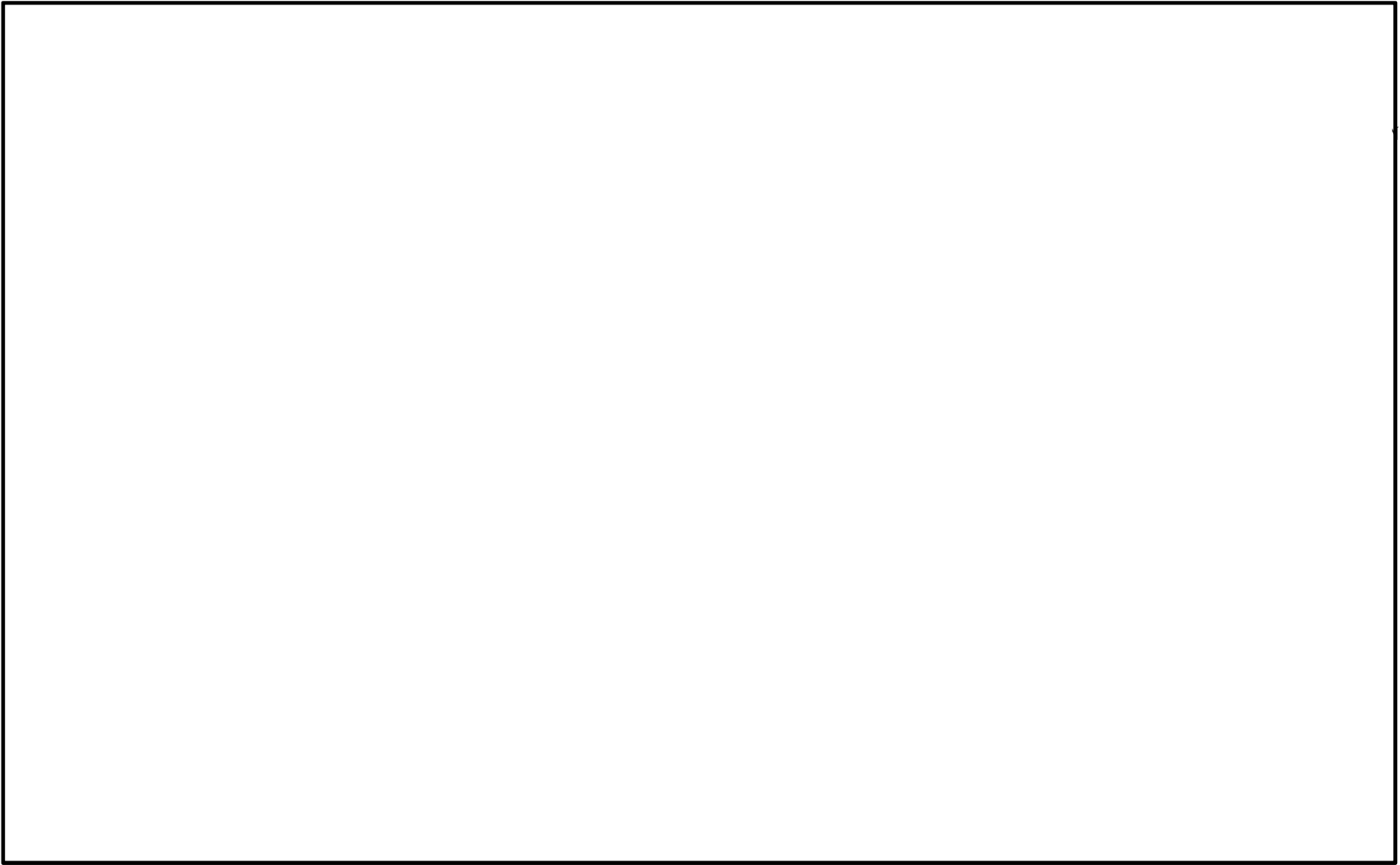
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
	</			

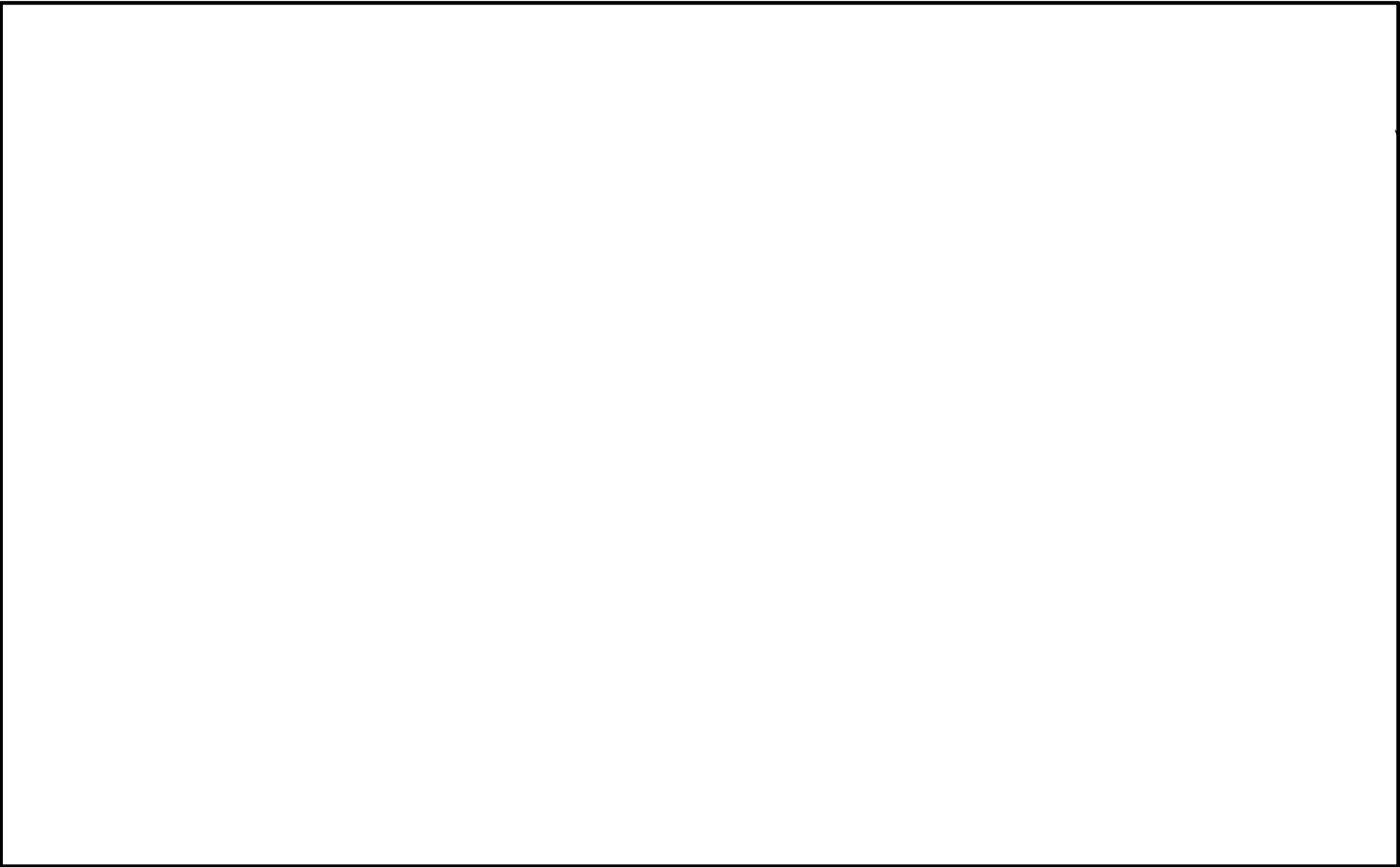
代表的振動モード図

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



25





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 $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 $0.9 S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
MCRS-1	$V_A S$	428	$S_{pr m}(S_s)$	244	468	—	—	—
MCRS-1	$V_A S$	428	$S_n(S_s)$	—	—	390	410	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (℃)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

支持構造物評価結果(応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-MCRS-1-036	レストレイント	U ボルト	SUS304	66	—	5.2	3.7	—	—	—	組合せ	90	258
AN-MCRS-1-002	アンカ	U バンド	SS400	66	0.090	0.22	0.122	0.028	0.004	0.004	組合せ	8	283

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

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

弁番号	形式	要求 機能	評価結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		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
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

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

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2範囲）

No	配管モデル	許容応力状態 V _A S												
		一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	MCRS-1	428	244	468	1.91	○	428	390	410	1.05	○	－	－	－

V-2-8-3-2-2 中央制御室待避室差圧の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の算出方法	3
3.2 固有周期の計算条件	4
3.3 固有周期の計算結果	4
4. 構造強度評価	5
4.1 構造強度評価方法	5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
5. 機能維持評価	8
5.1 機能維持評価方法	8
6. 評価結果	9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、中央制御室待避室差圧が設計用地震力に対して十分な構造強度及び機能を有していることを説明するものである。

中央制御室待避室差圧は、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び機能維持評価を示す。

2. 一般事項

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

2.1 構造計画

中央制御室待避室差圧の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は、検出器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、溶接により計器ステーションに固定される。 計器ステーションは、壁面に基礎ボルトで設置する。	弾性型差圧検出器	The diagram illustrates the structural plan for a differential pressure detector. It includes three views: a top view, a front view, and a side view. The top view shows the detector mounted on a base plate, secured by base bolts (ケミカルアンカ) and detector mounting bolts. The front view shows the detector mounted on a vertical station, with a height dimension of 1200mm. The side view shows the station mounted on a wall, secured by base bolts (ケミカルアンカ), with a horizontal distance of 260mm from the wall to the detector. Labels include: 上面 (Top view), 基礎ボルト (ケミカルアンカ) (Base bolts (Chemical anchors)), 検出器取付ボルト (Detector mounting bolts), 計器ステーション (Instrument station), 取付板 (Mounting plate), 検出器 (Detector), 検出器取付ボルト (Detector mounting bolts), 基礎 (壁面) (Foundation (Wall)), 正面 (Front view), and 側面 (Side view).

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

中央制御室待避室差圧の固有周期の計算方法を以下に示す。

- (1) 中央制御室待避室差圧は，図 3-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。
- (2) 計器スタンションは鋼材で上下 2 箇所を原子炉建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）2 点で固定されるものとする。
- (3) 検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は計器スタンションの中心に設定する。
- (4) 図 3-1 中の  は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，— は計器スタンションを示す。

3.1.1 水平方向（X 方向，Z 方向）

- (1) X 方向及び Z 方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{\ell_b^3}{48 \cdot E \cdot I} + \frac{\ell_b}{4 \cdot A_s \cdot G} \right)} \cdots (3.1.1.1)$$

3.1.2 鉛直方向（Y 方向）

- (1) Y 方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

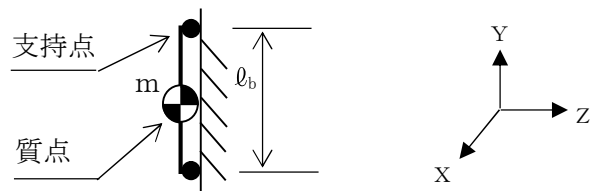
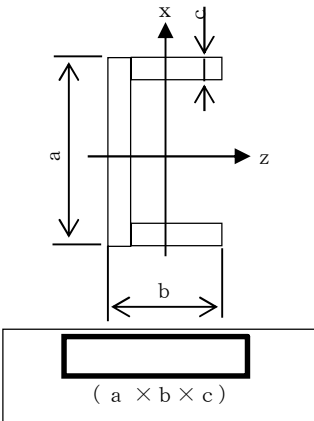


図 3-1 固有周期の計算モデル

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
上下ボルト間の距離（壁掛形）	ℓ_b	mm	
計器スタンションの材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状 (mm)			

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から、水平方向は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。また、鉛直方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。

表 3-2 固有周期 (s)

水平方向	鉛直方向

注記 * : 水平方向は固有周期が長い Z 方向の固有周期を示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

中央制御室待避室差圧の構造は壁掛形計器スタンションであるため、構造強度評価は、添付書類「V-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

中央制御室待避室差圧の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

中央制御室待避室差圧の許容応力は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

中央制御室待避室差圧の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理 施設	換気設備	中央制御室待避室差圧	常設／緩和	— ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_S$ ^{*3}	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ 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
$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$\square_A S$ ($\square_A S$ として $IV_A S$ 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 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 (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		245	400	—

5. 機能維持評価

5.1 機能維持評価方法

中央制御室待避室差圧の機能維持評価について、以下に示す。

機能維持評価は、添付書類「V-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

中央制御室待避室差圧の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
中央制御室待避室差圧	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

中央制御室待避室差圧の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【中央制御室待避室差圧の重大事故等対処設備としての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機 器 名 称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
	常設／緩和	EL. 18. 10 (EL. 20. 30*)			—	—	C _H =1. 34	C _V =1. 01	

注記 *：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 中央制御室待避室差圧

部 材	m (kg)	h ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ _a (mm)	ℓ _b (mm)	A _b (mm ²)	n	n _{LV}	n _{HI}
基礎ボルト								2	2

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	245	400	—	280	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _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	—	—	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=168^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=129$

すべて許容応力以下である。

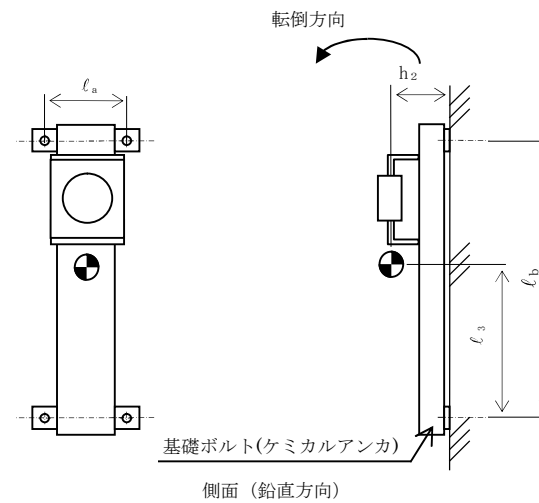
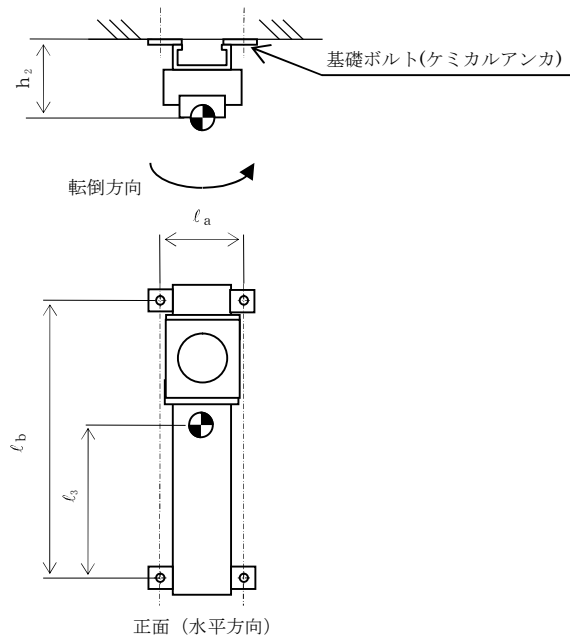
注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
中央制御室待避室 差圧	水平方向	1.34	
	鉛直方向	1.01	

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



V-2-8-3-3-1

緊急時対策所換気系ダクトの耐震性についての
計算書

目 次

1. 概要	1
2. 耐震設計の原則	1
3. ダクト及び支持構造物の設計手順	1
4. ダクト設計の基本方針	3
4.1 重要度別による設計方針	3
4.2 荷重の組合せ	3
4.3 設計用地震力	4
4.4 ダクト支持点の設計方法	4
4.4.1 手法1の支持間隔算定法	4
4.4.2 手法2の支持間隔算定法	4
4.5 耐震支持間隔	6
4.5.1 矩形ダクトの固有振動数	6
4.5.2 矩形ダクトの座屈評価	7
4.5.3 緊急時対策所換気系ダクトの耐震支持間隔	8
4.6 ダクトの構造	10
5. 支持構造物設計の基本方針	11
5.1 支持構造物の構造及び種類	11
5.2 支持方法	11
5.3 支持構造物の選定	13
5.4 支持構造物の耐震性確認	14
5.4.1 概要	14
5.4.2 支持構造物の耐震性確認	14

1. 概要

本方針は、緊急時対策所換気系ダクトに適用し、ダクト支持について耐震設計上十分安全であるように考慮すべき事項を定めたものである。

2. 耐震設計の原則

ダクト及びその支持構造物は、耐震設計上の重要度分類に応じた地震力に対して十分な強度を有するように設計する。

3. ダクト及び支持構造物の設計手順

ダクトの経路は、建屋の形状、機器の配置、配管、ケーブルトレイ等の経路を考慮し、耐震性を加味して決定する。

以上を考慮して決定されたダクト経路について支持方法を定めて、ダクトが十分な耐震強度を有するように支持点を決定する。

ダクト支持構造物の設計、製作、据付までの作業の流れを概念的に図 3-1 に示す。

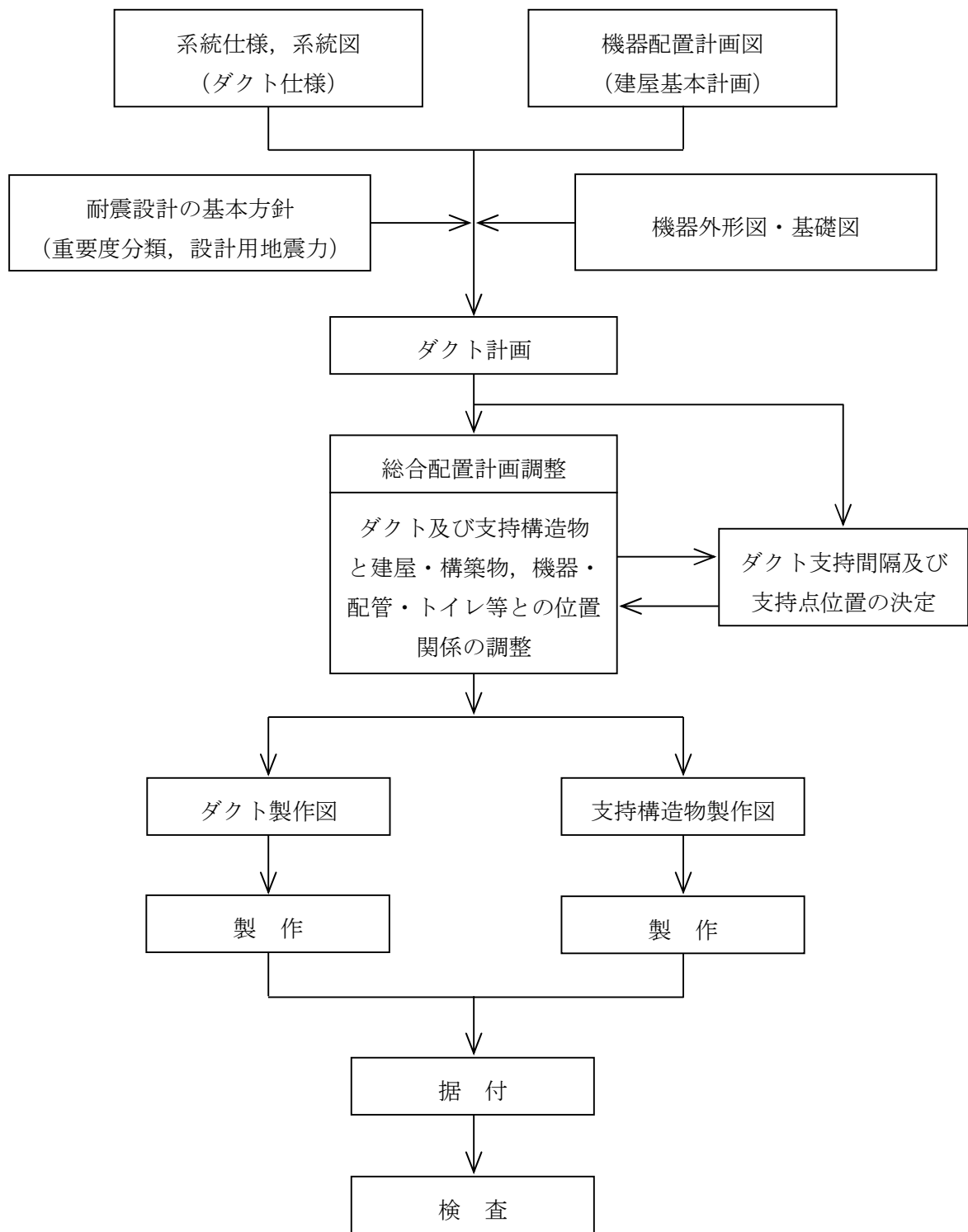


図 3-1 ダクト及び支持構造物の設計作業手順

4. ダクト設計の基本方針

4.1 重要度別による設計方針

ダクトは，耐震設計上の重要度分類に応じてクラス分類し，表 4-1 に示す設計方針とする。

表 4-1 重要度分類と設計方針

重要度分類	設計方針
重大事故等 * クラス 2 配管	地震時の加速度に対し機能が保たれるようサポートのスパン長さを最大許容ピッチ以下に確保すること。

注記*：重大事故等時の設備区分を示す。

4.2 荷重の組合せ

$$D + P_D + M_D + S_s \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

ここで，

D ：死荷重

P_D ：最高使用圧力による機械的荷重

(座屈評価のため，考慮しない)

M_D ：設計上定められた機械的荷重

(死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重はない)

S_s ：基準地震動 S_s

表 4-2 設計用地震力

建屋	EL (m)	基準地震動 S_s (1.2ZPA)	
		水平	鉛直
緊急時対策所		1.93	1.45
		1.71	1.42
		1.62	1.41
		1.54	1.36
		1.43	1.27

4.3 設計用地震力

ダクトについては、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に示す設計用地震力を用いて評価を行う。

4.4 ダクト支持点の設計方法

ダクト及びその支持構造物は適切な剛性を有するとともに、許容座屈曲げモーメントを満足する支持間隔とすることにより耐震性を確保する。

支持間隔の算定は、ダクトの固有振動数（ f_d ）が十分剛（20Hz 以上）となるよう算定する手法とダクトの固有振動数に応じた地震力で算定する手法が有り、このうち前者を手法 1、後者を手法 2 と呼ぶ。今回は手法 1 にて支持間隔算出を行う。

また、ダクトの支持点は施工性及びダクトの周囲条件等を考慮して位置を決定する。

以上 2 つの方法による支持点決定までの設計手順を図 4-1 に示す。

4.4.1 手法 1 の支持間隔算定法

ダクトの固有振動数が 20Hz 以上となる支持間隔と静的設計震度によりダクトに生じる曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となる支持間隔を算定し、いずれか小さい方を支持間隔とする。

4.4.2 手法 2 の支持間隔算定法

静的設計震度と設計用床応答スペクトルから地震力を算定し、ダクトに生じる曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となるように支持間隔を算定する。

ただし、支持間隔はダクトの固有振動数が建屋・構造物の一次固有振動数から大きい側に十分離れるように定めるものとし、固有振動数から定まる支持間隔と許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔のうち、いずれか小さい方とする。

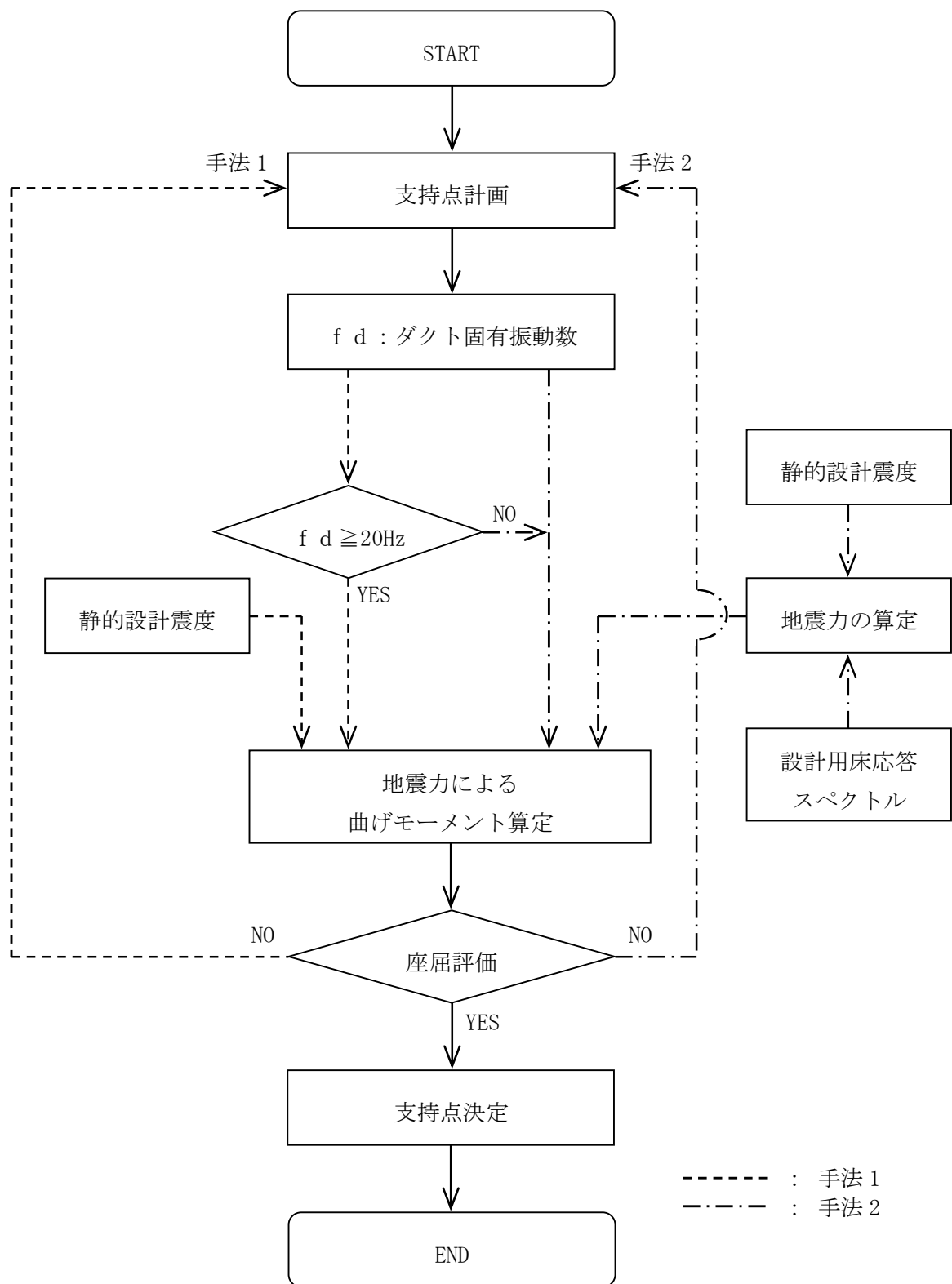


図 4-1 ダクト支持点設計手順

4.5 耐震支持間隔

ダクトの耐震支持間隔は，ダクトが薄板構造であることを考慮した剛性評価及び座屈強度に基づき定める。

なお，丸ダクトについては，弁接続用として使用されるものであり，前後の矩形ダクトと比べ十分な剛性を有していることから評価は矩形ダクトで代表する。

4.5.1 矩形ダクトの固有振動数

両端単純支持された矩形ダクトの固有振動数は，次式で与えられる。

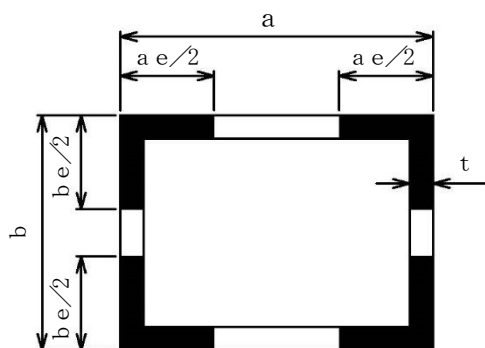
$$f = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{W}} \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

ここで，

$$I = \left(\frac{t \cdot b e^3}{6} + a e \cdot t \cdot \frac{b e^2}{2} \right) \cdot \beta \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

ここで，

f	: 固有振動数	(Hz)
π	: 円周率	(—)
ℓ	: 両端単純支持間隔	(mm)
E	: 縦弾性係数	(N/mm ²)
g	: 重力加速度 (9806.65mm/s ² = 9.80665m/s ²)	(mm/s ²)
I	: 断面二次モーメント	(mm ⁴)
W	: ダクト単位長さ重量	(N/mm)
β	: 断面二次モーメントの安全係数	(—)
(幅厚比 $b/t \leq 600 \cdots \beta = 0.75$, $b/t > 600 \cdots \beta = 0.6$)		



a	: ダクト長辺寸法	(mm)
b	: ダクト短辺寸法	(mm)
a e	: ダクトフランジの有効幅	(mm)
b e	: ダクトウェブの有効幅	(mm)
t	: ダクト板厚	(mm)
a / b	: アスペクト比	(—)

図 4-2 矩形ダクトの断面図

4.5.2 矩形ダクトの座屈評価

地震時、両端単純支持された矩形ダクトに生じる曲げモーメントは次式で与えられる。

$$M_0 = \frac{\alpha \cdot W \cdot \ell^2}{8} \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

ここで、

M_0 : 発生曲げモーメント (N・mm)

α : 設計震度 (—)

ここで、矩形ダクトの座屈による大変形を防ぐために矩形ダクトに生じる曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となるようにする。

$$M_0 \leq M \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

ここで、

M : 許容座屈曲げモーメント (N・mm)

(4.4)、(4.5)式より許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔は次式でえられる。

$$\ell = \sqrt{\frac{8 \cdot M}{W \cdot \alpha}} \quad \dots\dots\dots (4.6)$$

ここで、

$$M = S \cdot M_T \quad \dots\dots\dots (4.7)$$

$$M_T = \lambda \cdot \frac{\pi \cdot t \cdot I}{\sqrt{1 - \nu^2} \cdot b^2} \cdot \sqrt{E \cdot \sigma_y} \cdot \gamma \quad \dots\dots\dots (4.8)$$

$$I = \frac{t \cdot b^3}{6} + a \cdot e \cdot t \cdot \frac{b^2}{2} \quad \dots\dots\dots (4.9)$$

S : 座屈曲げモーメントの安全係数(=0.7) (—)

M_T : 座屈限界曲げモーメント (N・mm)

λ : 座屈限界曲げモーメントの補正係数 (—)

ν : ポアソン比(=0.3) (—)

σ_y : 降伏点 (N/mm²)

γ : 座屈限界曲げモーメントの安全係数(=0.6) (—)

4.5.3 緊急時対策所換気系ダクトの耐震支持間隔

緊急時対策所換気系ダクトの耐震支持間隔は、手法 1 から定めており、支持間隔が最も短くなるダクトを表 4-3 に示す。

表 4-3 矩形ダクトの耐震支持間隔

建屋	NO.	外径 (mm)	厚さ (mm)	単位長さ重量 (N/mm)	固有振動数が 20Hz となる支持間隔 (mm)	Ss 地震動より 定まる支持間隔 (mm)	耐震支持間隔 (mm)
緊急時対策所 建屋							
		以下余白					

4.6 ダクトの構造

矩形ダクトは、溶接ダクトとはぜ折ダクトがある。

- (1) 溶接ダクトは、二隅あるいは四隅を溶接継手とする。補強は、定ピッチで全周を形鋼で囲い、ダクトに断続溶接する。
 - (2) はぜ折ダクトの補強は、定ピッチで全周を形鋼で囲いダクトにリベット止めする。
- ダクト構造の代表例を図 4-3 に示す。

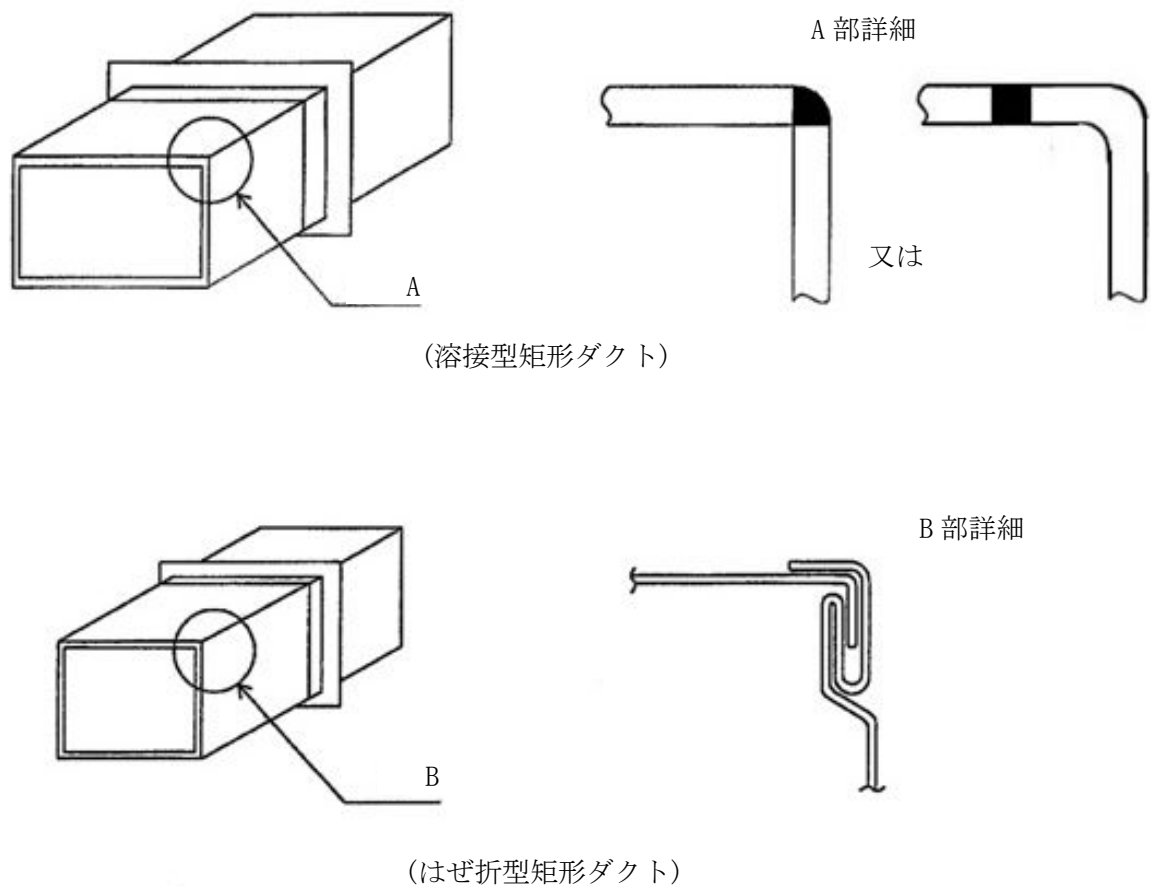


図 4-3 ダクトの構造

5. 支持構造物設計の基本方針

5.1 支持構造物の構造及び種類

支持構造物は、形鋼を組み合わせた溶接構造を原則とし、その用途に応じて以下に大別する。

- (1) ダクト軸直角の 2 方向を拘束するもの
- (2) ダクト軸方向及び軸直角の 3 方向を拘束するもの

図 5-1 に支持構造物の基本形状例を示す。

5.2 支持方法

(1) 直管部

ダクトの直管部は、4.5 節で求まる支持間隔以下で支持するものとする。また、直管部が長い箇所には軸方向を拘束する支持構造物を設けるものとする。

(2) 曲管部及び分岐部

曲管部及び分岐部は、これらの近傍を支持することを原則とする。

(3) 重量物の取付部

ダクトに自動ダンパ等の重量物を取り付く場合は、重量物近傍または重量物自体を支持するものとする。

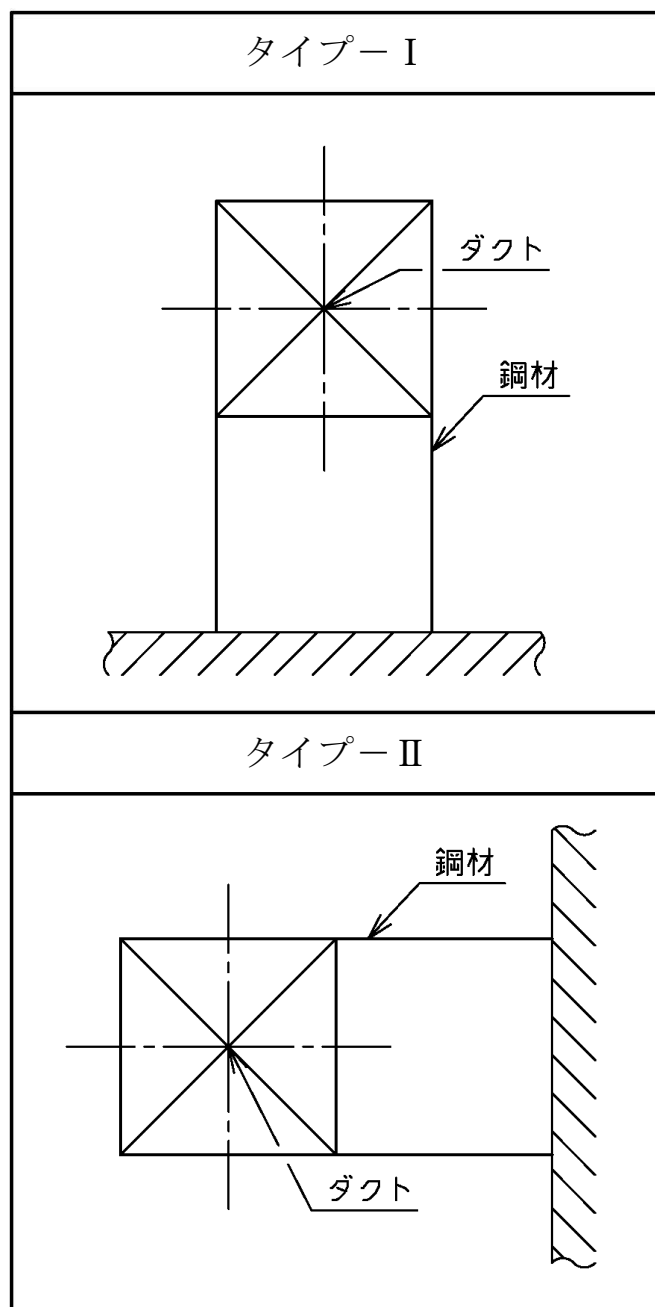


図 5-1 支持構造物の基本形状例

5.3 支持構造物の選定

支持構造物に用いる標準的な鋼材表を、表 5-1 に示す。本表に記載する鋼材の中から個々の条件に応じて単独又は組合せで使用するが、同等以上の強度を持つほかの鋼材も使用可能とする。

表 5-1 鋼材表

順位	形状* ¹	断面二次モーメント (cm ⁴) * ²		単位質量 (kg/m)
		I _x	I _y	
1	L-40×40×5			
2	L-50×50×4			
3	L-50×50×6			
4	L-65×65×6			
5	L-75×75×6			
6	L-90×90×6			
7	□-50×50×3.2			
8	□-75×75×3.2			
9	□-100×100×3.2			
10	□-100×100×4.5			
11	□-125×125×4.5			
12	□-150×150×4.5			
13	C-75×40×5×7			
14	C-100×50×5×7.5			
15	C-125×65×6×8			
16	C-150×75×6.5×10			

注記*1：表中の記号は、L：山形鋼，C：みぞ形鋼，□：角形鋼管を示す。

*2：表中の方向は、I_x：強軸，I_y：弱軸方向を示す。

5.4 支持構造物の耐震性確認

5.4.1 概要

各支持構造物について、ダクトに発生する荷重に対して十分な耐震性を有することを解析により確認した結果を示す。

5.4.2 支持構造物の耐震性確認

耐震性を有することの確認は、次の支持構造物に関して実施する。なお、支持構造物の形状が多岐にわたるため、ここでは代表例に対する耐震性確認を示す。

表 5-2 支持構造物の評価条件

支持構造物	評価する荷重	適用する 許容応力状態	評価温度	評価結果の表番
支持構造物	Ss 震度による 荷重	IV _A S	□℃	表 5-3 (1/2～2/2)

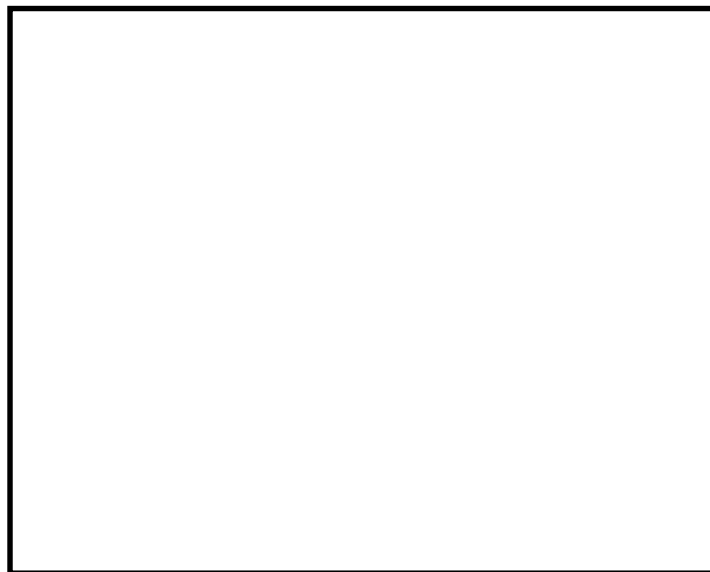
表 5-3 (1/2) 支持構造物強度評価結果



許容応力(MPa) : 141

支持構造物寸法 (mm)			震度 (-)		鋼材サイズ		評価部位	発生応力 (MPa)
L	A	H	水平	鉛直				
			1.93	1.45	主材	□-50×50×3.2	溶接部	105
					副材	L-50×50×6		

表 5-3 (2/2) 支持構造物強度評価結果



許容応力 (MPa) : 141

支持構造物寸法 (mm)			震度 (-)		鋼材サイズ		評価部位	発生応力 (MPa)
L	A	H	水平	鉛直				
			1.93	1.45	主材	□-50×50×3.2	溶接部	125
					副材	L-50×50×6		

V-2-8-3-3-2 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	6
3. 計算条件	20
3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	20
3.2 設計条件	21
3.3 材料及び許容応力	32
3.4 設計用地震力	33
4. 解析結果及び評価	34
4.1 固有周期及び設計震度	34
4.2 評価結果	40
4.2.1 管の応力評価結果	40
4.2.2 支持構造物評価結果	41
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	42
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	43

1. 概要

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

評価結果記載方法は以下に示す通りである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全9モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。

代表モデルの選定結果及び全モデルの選定結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

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

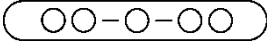
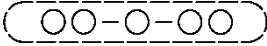
(3) 弁

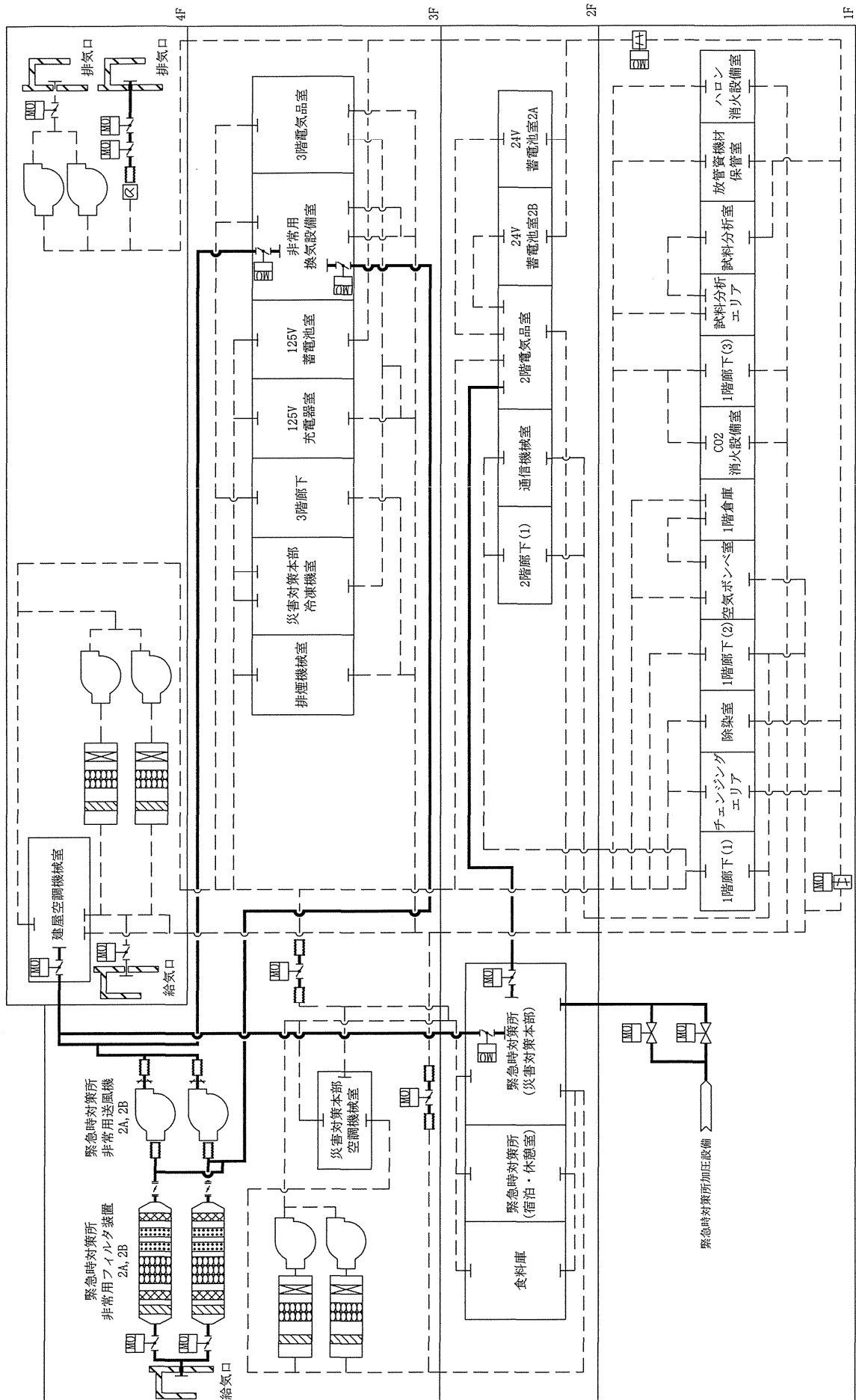
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

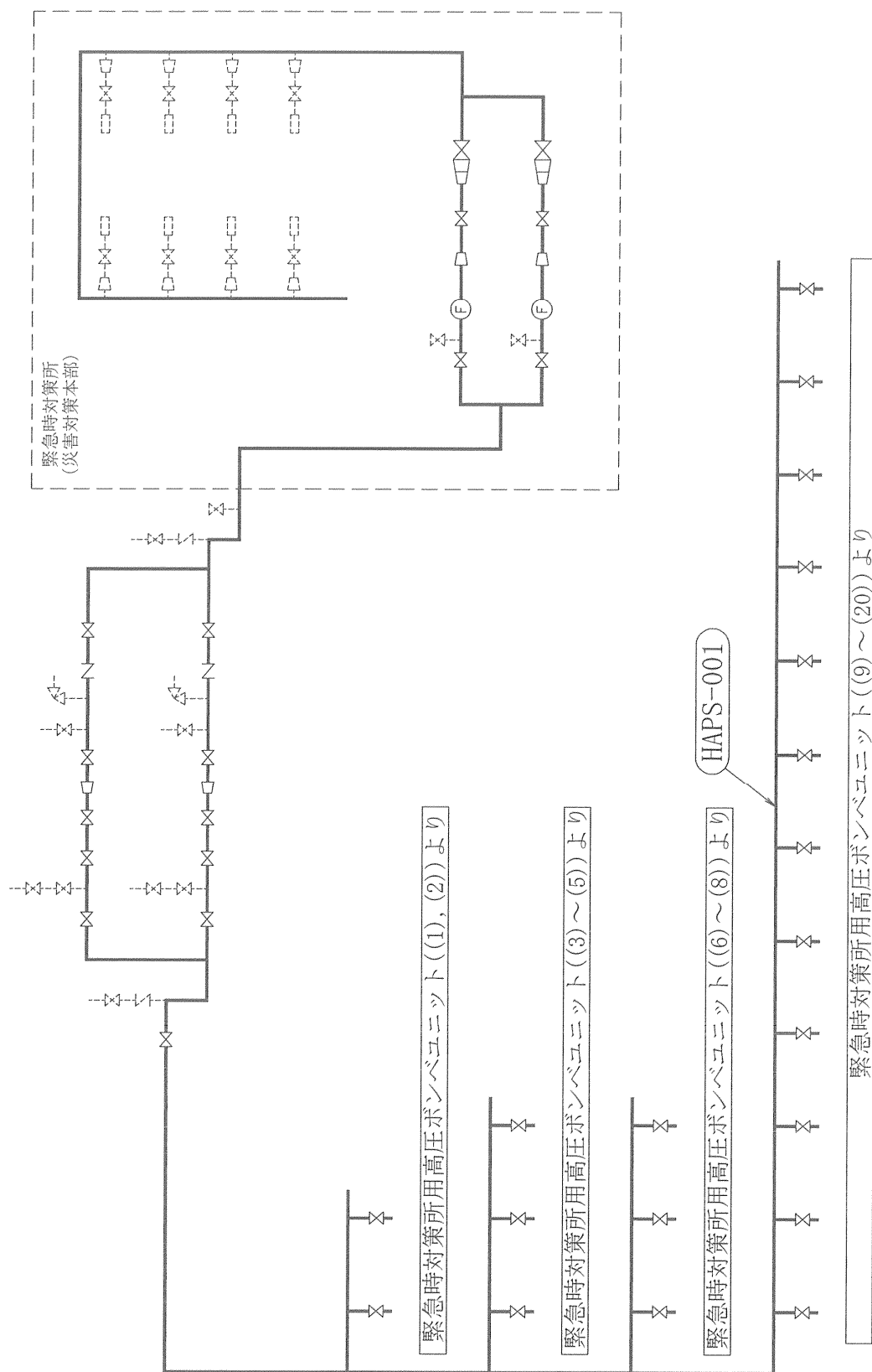
2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

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

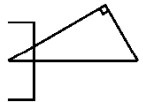
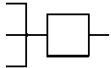
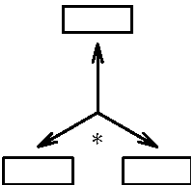


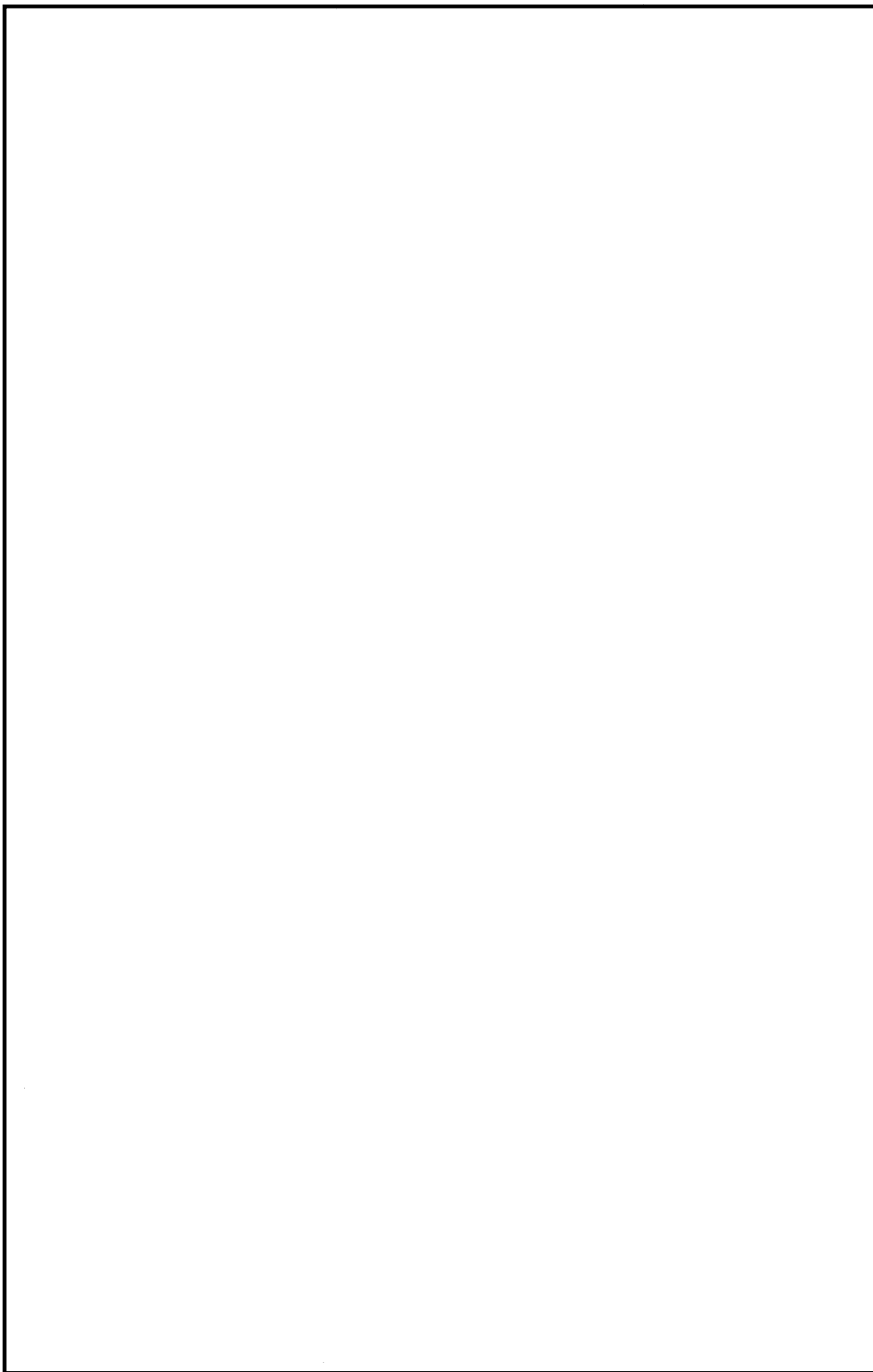
換氣系統圖(1/3)

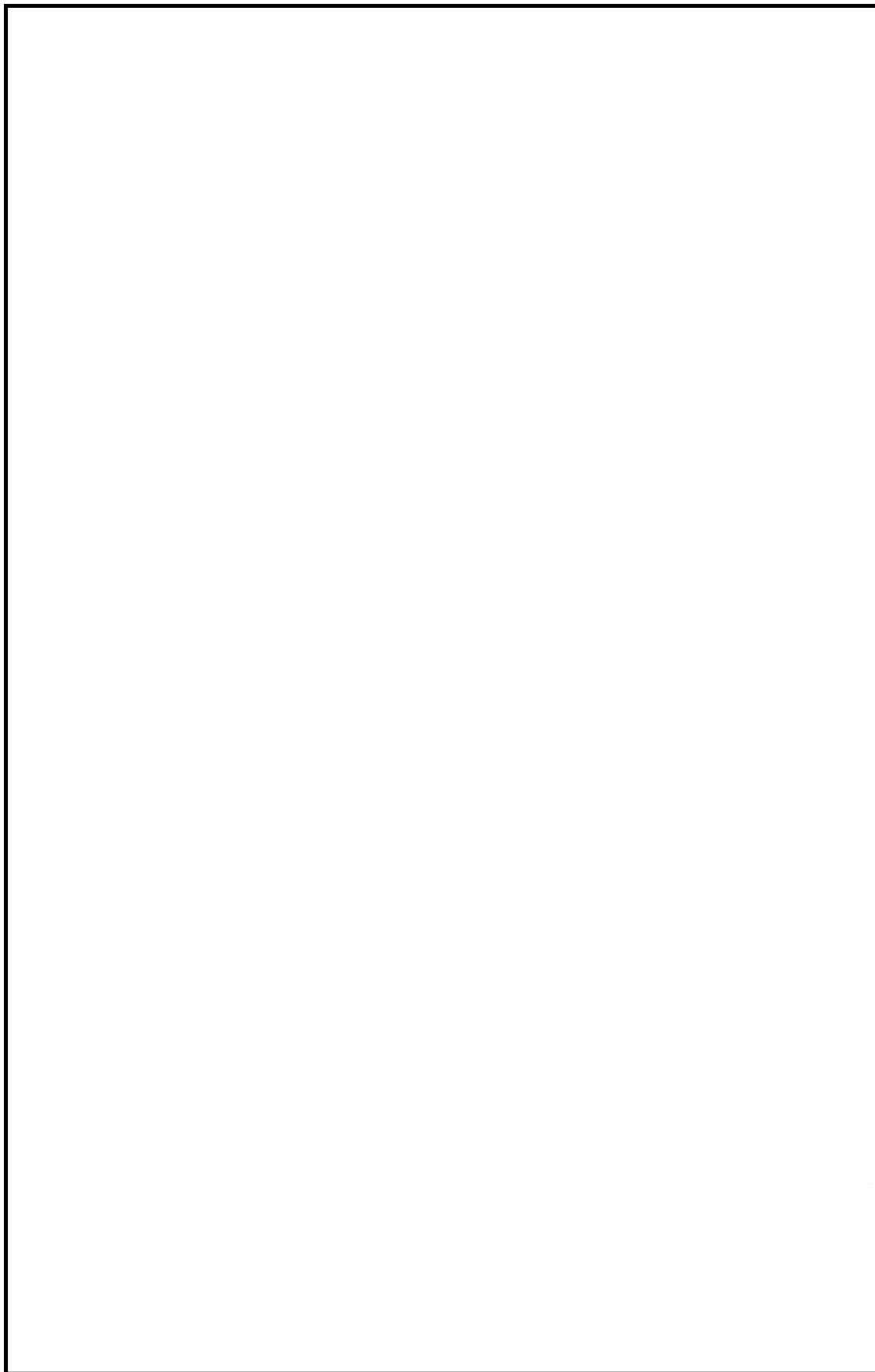


2.2 鳥瞰図

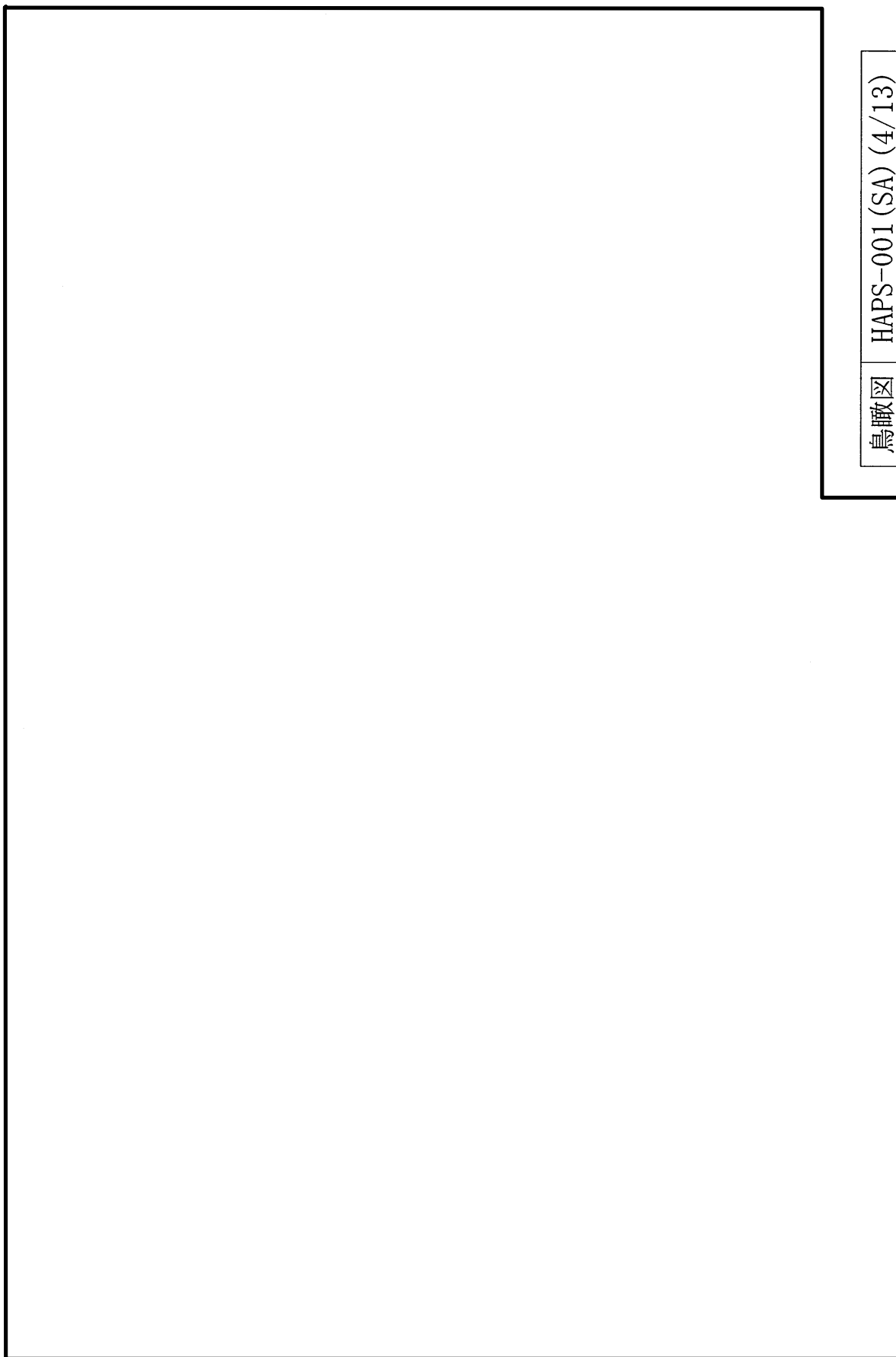
鳥瞰図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」)
 (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。)
	スナッパ
	ハンガ
	拘束点の地震による相対変位量 (mm) (＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。)
注： 鳥瞰図中の寸法の単位は mm である。	

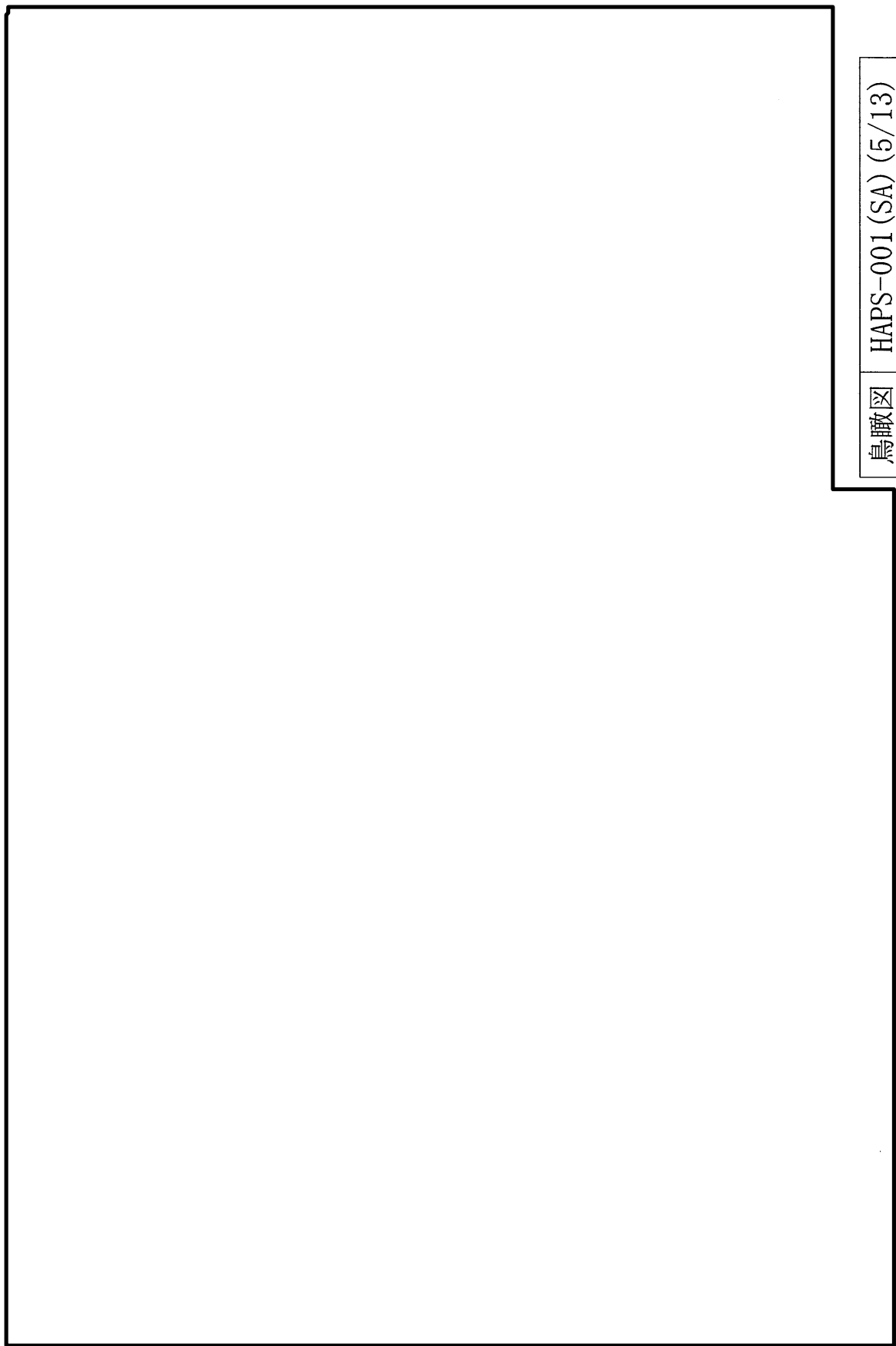






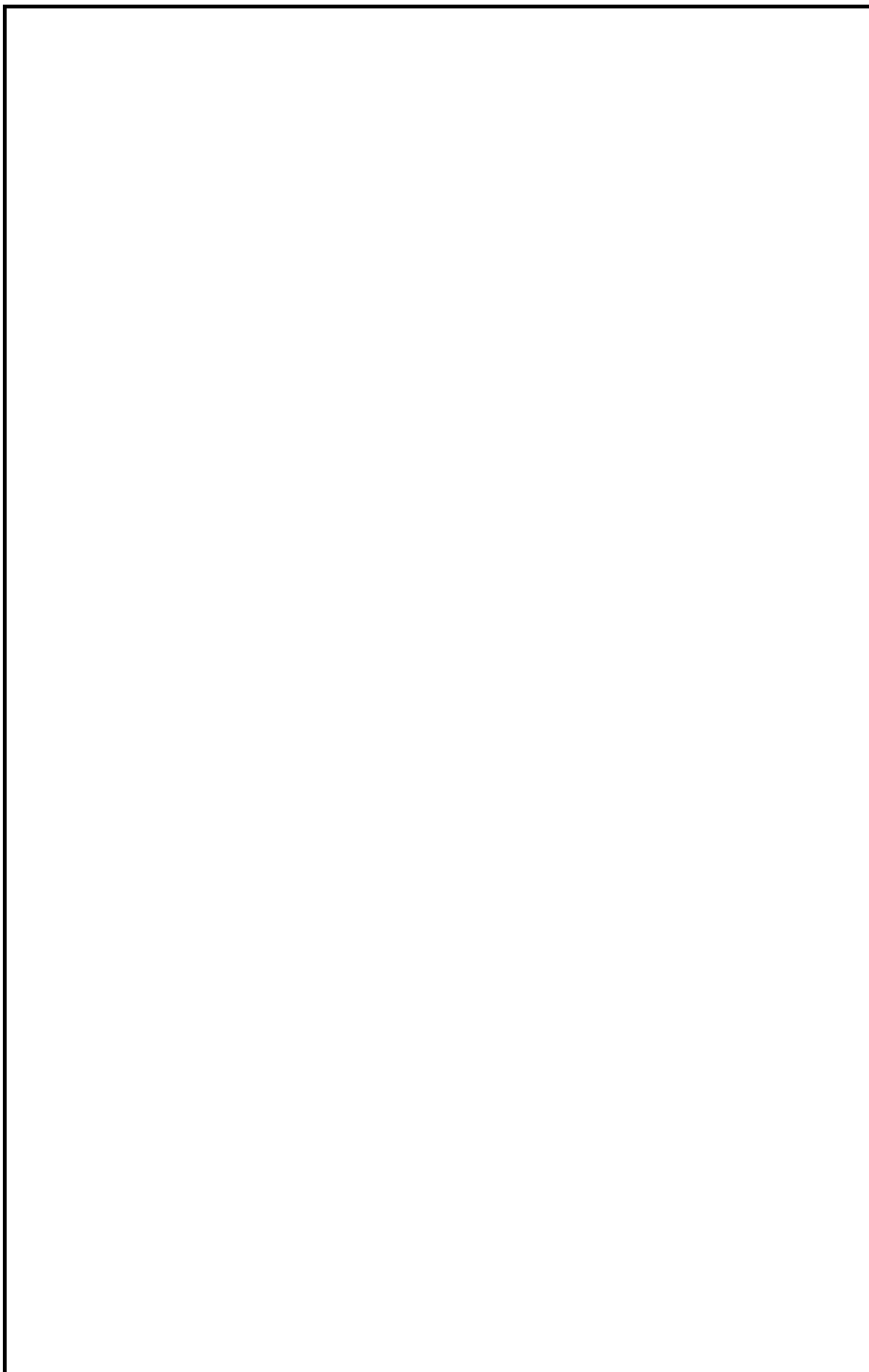


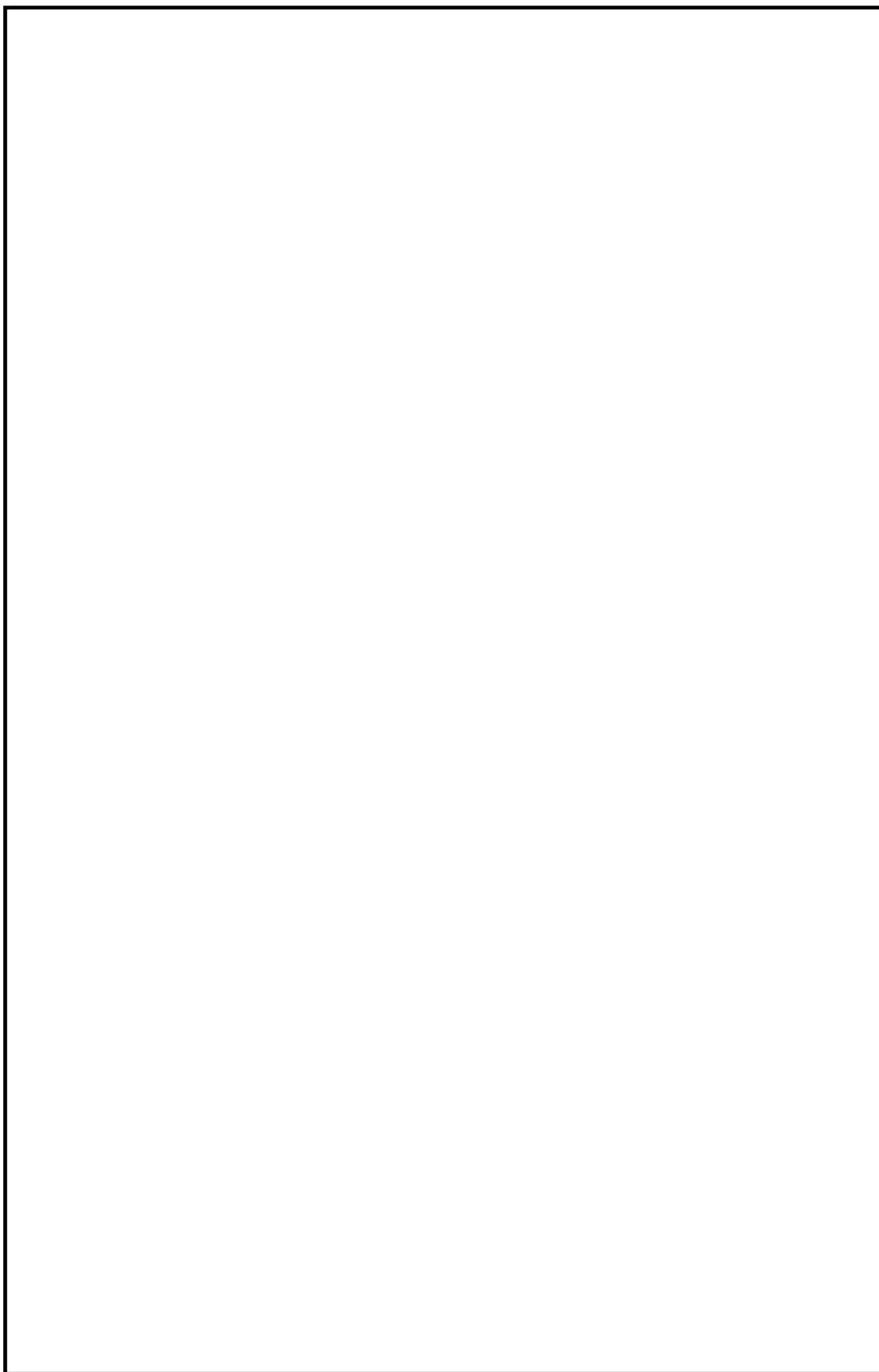
鳥瞰図	HAPS-001 (SA) (4/13)

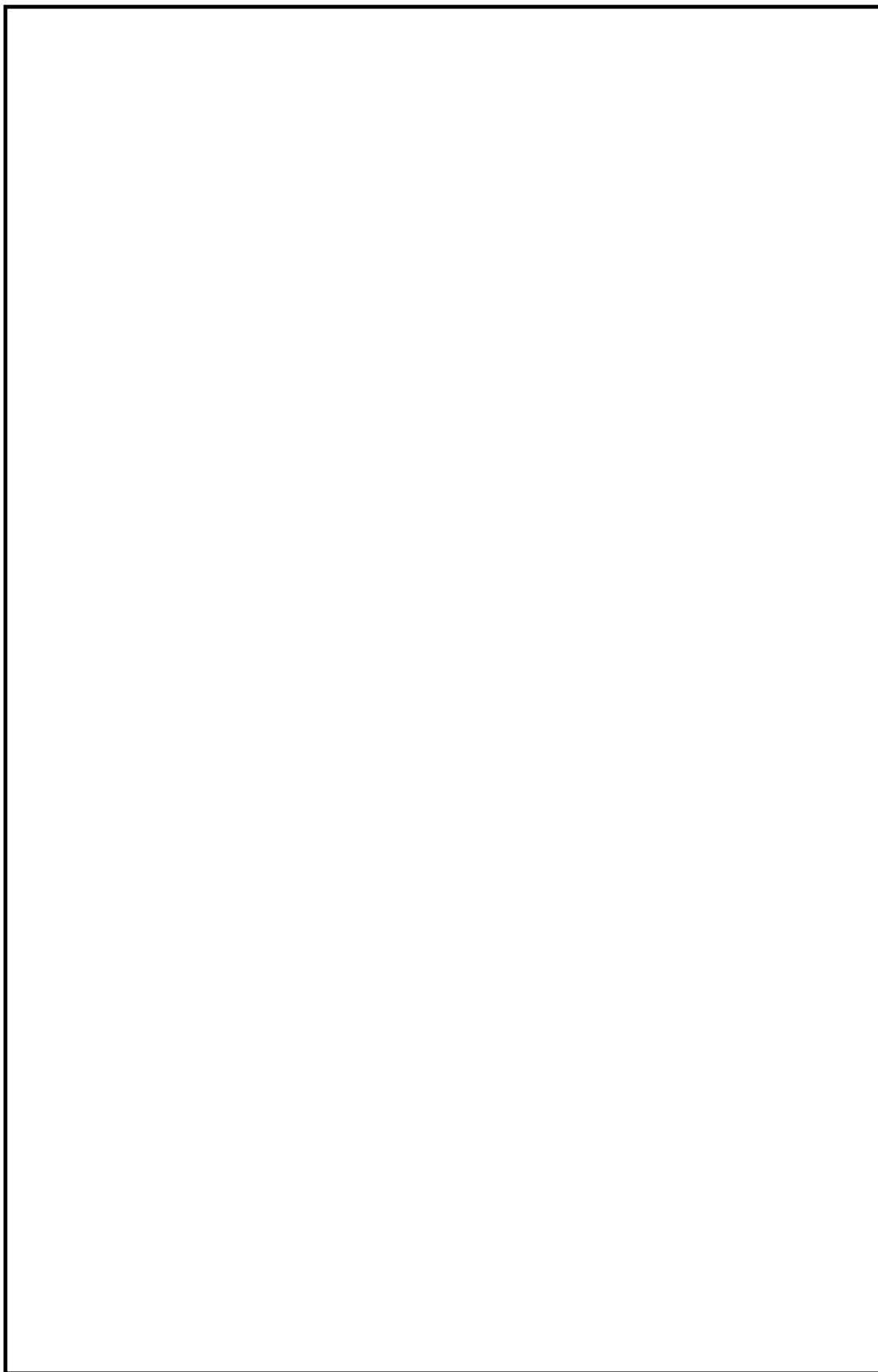


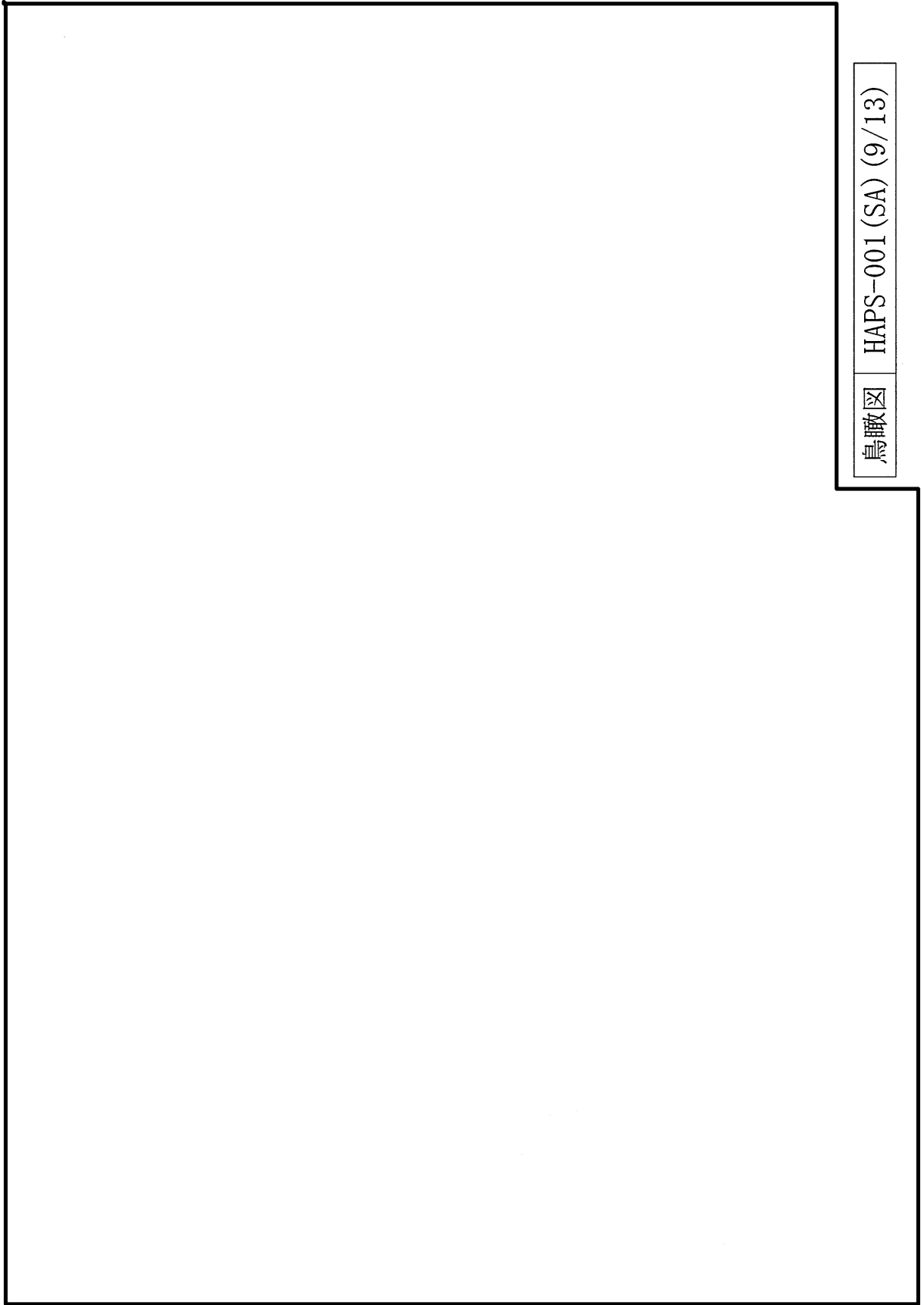
鳥瞰図

HAPS-001 (SA) (5/13)



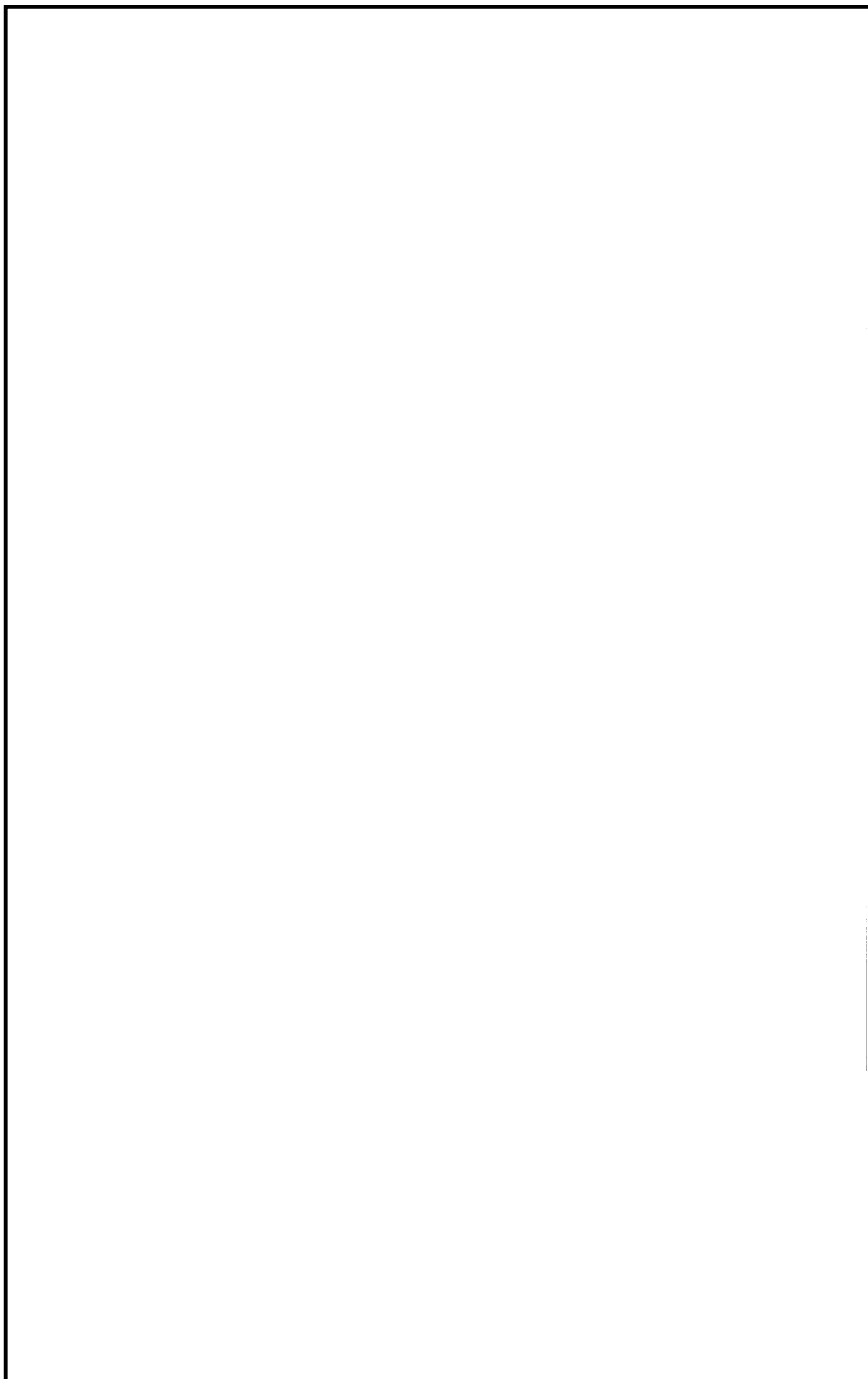


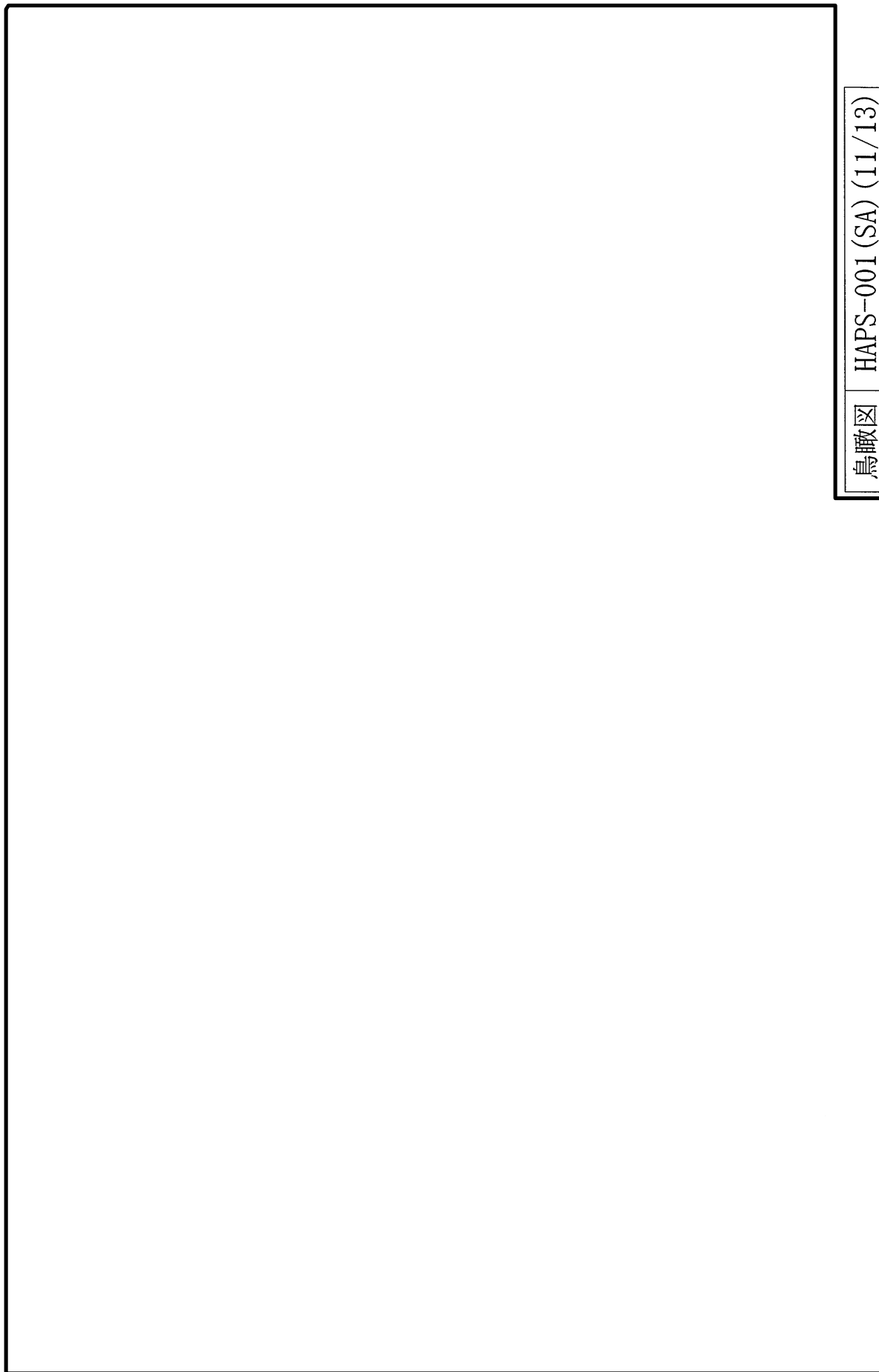




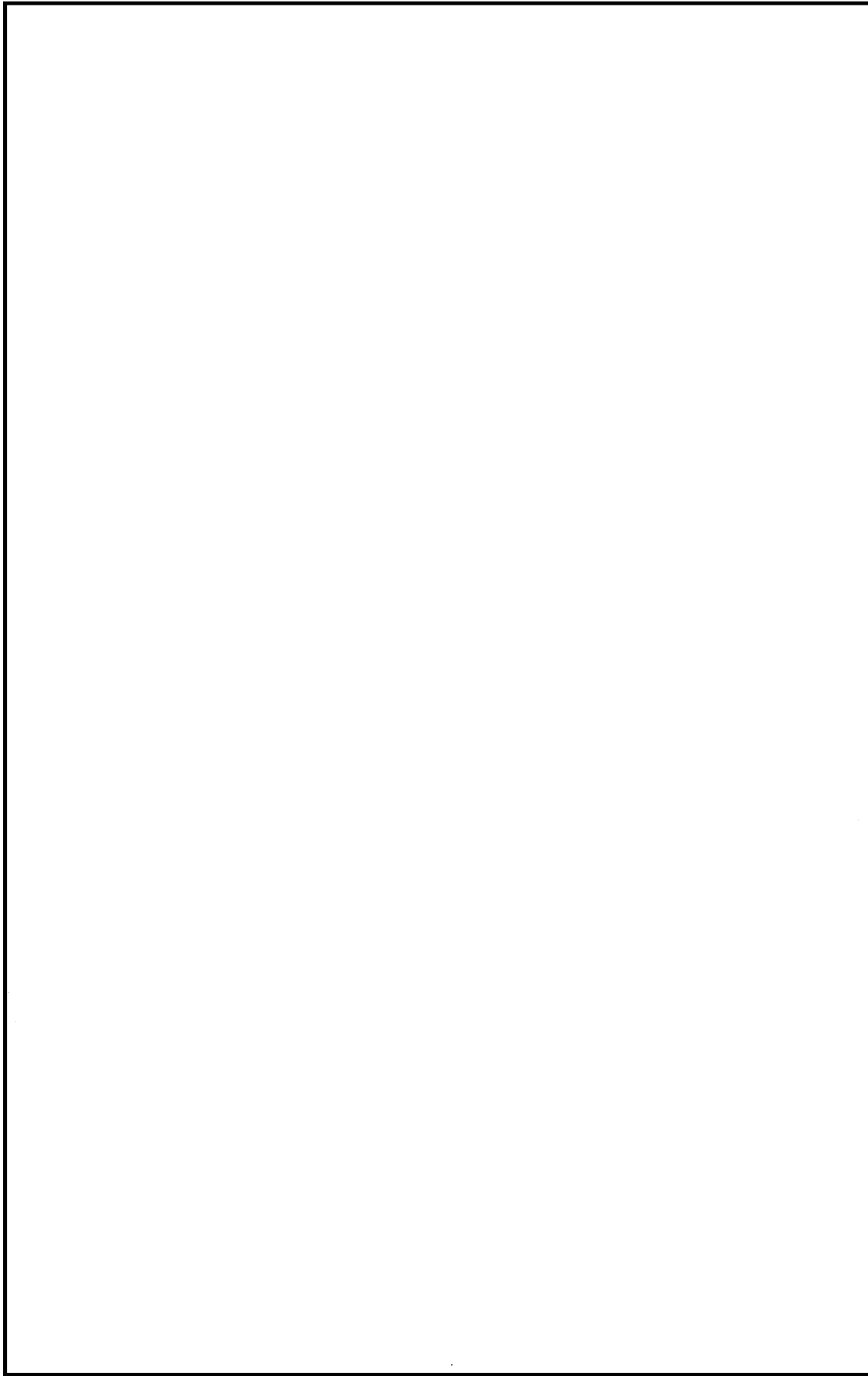
鳥瞰図

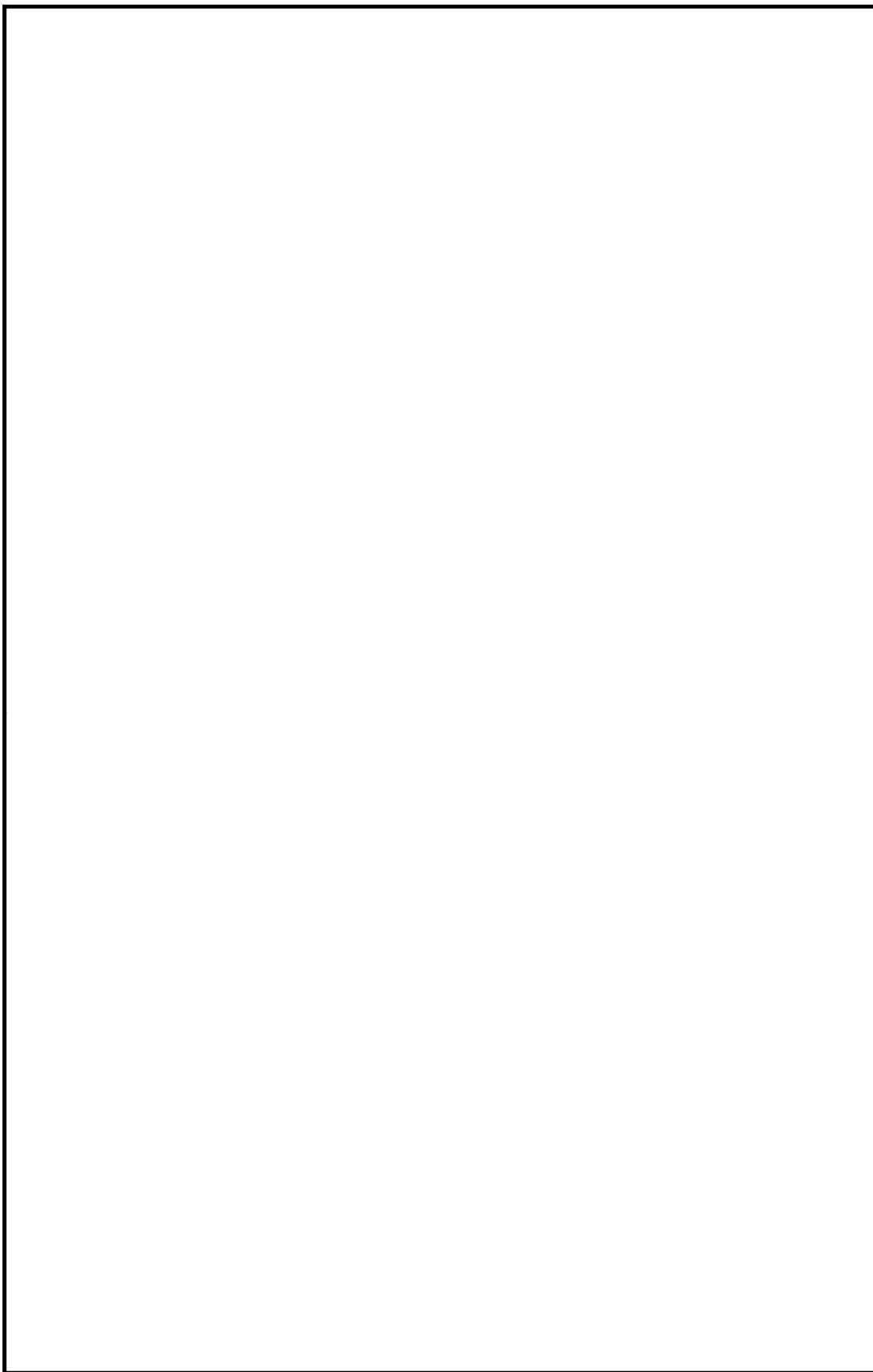
HAPS-001 (SA) (9/13)





鳥瞰図	HAPS-001 (SA) (11/13)





3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設 分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等 の区分	耐震設計上の 重要度分類	荷重の組合せ ^{*3}	許容応力 状態 ^{*4}
緊急時対策所	換気設備	換気系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L + S_d$	$V_A S$

注記 *1： D Bは設計基準対象施設，S A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，(L L)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 $V_A S$ は許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

3.2 設計条件

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

鳥 瞰 図 HAPS-001

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1 ～ 139 , 141 ～ 151	22.00	66	34.0	6.4	SUS304TP	—	
	153 ～ 160 , 162 ～ 164							
	166 ～ 168 , 324 ～ 327							
	329 ～ 336 , 338 ～ 340							
	342 ～ 344 , 405 ～ 417							
	418 ～ 437 , 438 ～ 457							
	458F～461 , 463 ～ 467							
	468F～471 , 473 ～ 477							
	478F～481 , 483 ～ 487							
	488F～491 , 493 ～ 497							
	498F～501 , 503 ～ 507							
	508F～511 , 513 ～ 517							
	518F～521 , 523 ～ 527							
	528F～531 , 533 ～ 537							
	538F～541 , 543 ～ 547							
	548F～551 , 553 ～ 557							

設計条件

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

鳥 瞰 図 HAPS-001

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	558F～561 , 563 ～567	22.00	66	34.0	6.4	SUS304TP	—	
	568F～571 , 573 ～577							
	578F～581 , 583 ～587							
	588F～591 , 593 ～597							
	598F～601 , 603 ～607							
	608F～611 , 613 ～617							
	618F～621 , 623 ～627							
	628F～631 , 633 ～637							
2	638F～641 , 643 ～647	22.00	66	60.5	8.7	SUS304TP	—	
	648F～651 , 653 ～657							

設計条件

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

鳥 瞰 図 HAPS-001

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
3	173 ～183 , 185 ～187	0.86	66	60.5	3.9	SUS304TP	—	
	189 ～227 , 229 ～235F							
	241F～244 , 349 ～359							
	361 ～363 , 365 ～369							
	370 ～373 , 375 ～381F							
4	387F～390	0.86	66	34.0	3.4	SUS304TP	—	
	244 ～246 , 248 ～251							
5	390 ～392 , 394 ～397	0.86	66	76.3	5.2	SUS304TP	—	
6	251 ～253 , 397 ～399	0.86	66	165.2	7.1	SUS304TP	—	
	253 , 254 , 256 ～323							
	399 , 400 , 402 ～404							

弁部の寸法

鳥 瞰 図 HAPS-001

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
139～141, 151～153			
327～329, 461～463			
471～473, 481～483			
491～493, 501～503			
511～513, 521～523			
531～533, 541～543			
551～553, 561～563			
571～573, 581～583			
591～593, 601～603			
611～613, 621～623			
631～633, 641～643			
651～653			
160～162			
161, 818			
818～820			
336～338			
337, 821			
821～823			
164～166, 340～342			
171～173, 347～349			
183～185, 359～361			
187～189, 227～229			
363～365, 373～375			
246～248, 392～394			
254～256, 400～402			

弁部の質量

鳥 瞰 図 HAPS-001

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	140, 152, 328, 462, 472, 482 492, 502, 512, 522, 532, 542 552, 562, 572, 582, 592, 602 612, 622, 632, 642, 652		188, 364
	160, 162, 336, 338		228, 374
	161, 337, 818, 821		238, 384
	165, 341		247, 393
	172, 348		255, 401
	184, 360		820, 823

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 HAPS-001

質量	対応する評価点
	235F, 241F, 381F, 387F
	458F, 468F, 478F, 488F, 498F, 508F, 518F, 528F, 538F, 548F 558F, 568F, 578F, 588F, 598F, 608F, 618F, 628F, 638F, 648F

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HAPS-001

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
2						
7						
9						
14						
16						
21						
23						
28						
30						
35						
37						
42						
44						
49						
51						
56						
58						
60						
63						
65						
67						
69						
74						
76						
81						
83						
88						
90						
95						
97						
100						
102						

NT2 補③ V-2-8-3-3-2 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HAPS-001

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
104						
109						
111						
116						
118						
121						
123						
125						
130						
132						
135						
137						
142						
150						
154						
159						
163						
170						
174						
182						
190						
200						
203						
207						
209						
211						
214						
218						
220						
226						
234						
249						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HAPS-001

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
257						
260						
266						
269						
273						
278						
282						
287						
292						
297						
302						
304						
307						
312						
317						
322						
326						
330						
335						
339						
346						
350						
358						
366						
368						
372						
380						
395						
403						
406						
411						
413						

NT2 補③ V-2-8-3-3-2 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HAPS-001

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
419						
424						
426						
431						
433						
439						
444						
446						
451						
453						
460						
465						
470						
475						
480						
485						
490						
495						
500						
505						
510						
515						
520						
525						
530						
535						
540						
545						
550						
555						
560						
565						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HAPS-001

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
570						
575						
580						
585						
590						
595						
600						
605						
610						
615						
620						
625						
630						
635						
640						
645						
650						
655						
819						
822						

NT2 補③ V-2-8-3-3-2 R0

3.3 材料及び許容応力

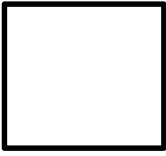
使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S _m	S _y	S _u	S _h
STS410	40	—	245	410	—
SUS304TP	66	—	188	479	—

3.4 設計用地震力

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

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

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
HAPC-001		EL. 37.000 m	
		EL. 30.300 m	
		EL. 23.300 m	

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HAPS-001

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

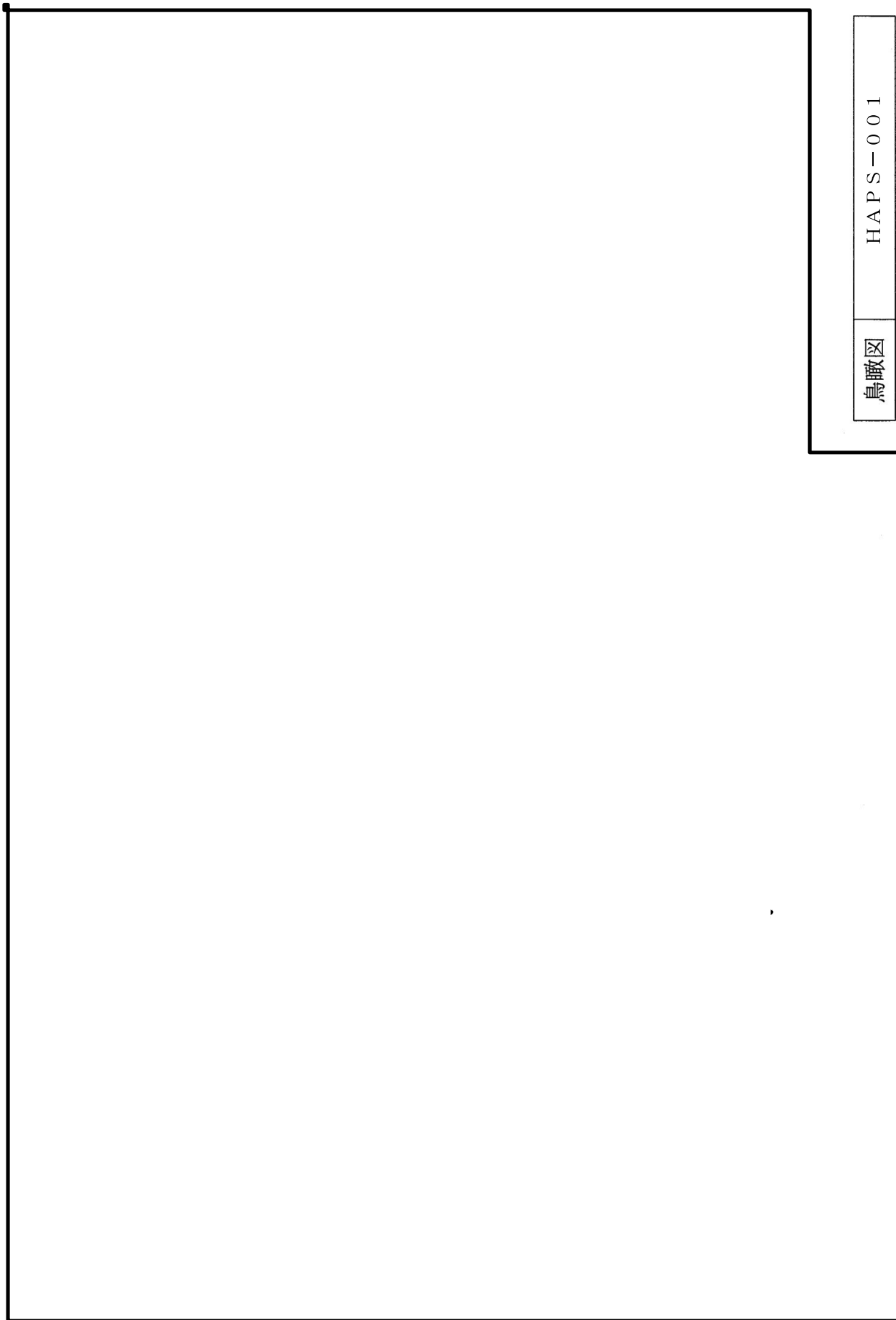
NT2 補③ V-2-8-3-3-2 R0

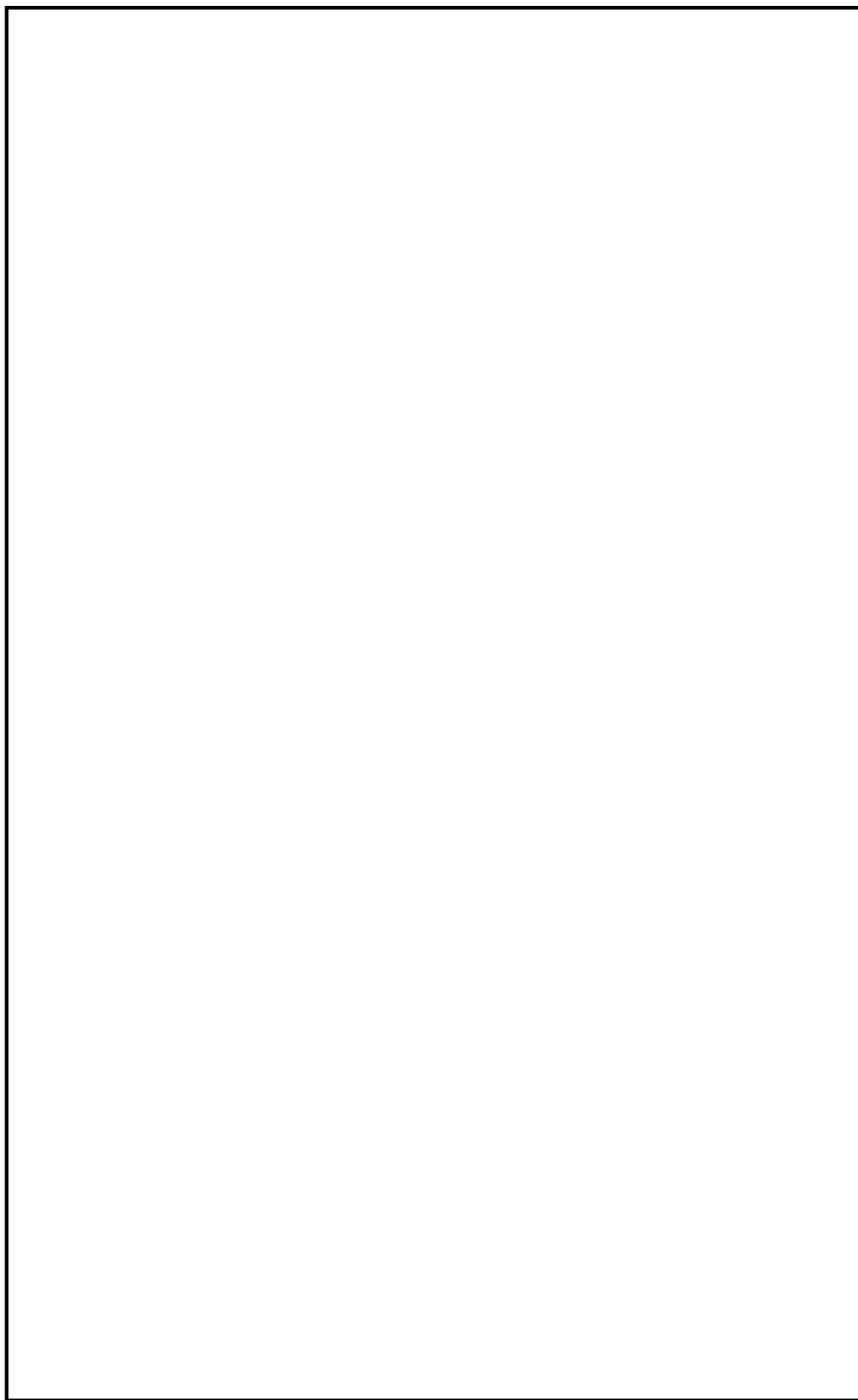
NT2 補③ V-2-8-3-3-2 R0

[illegible]

代表的振動モード図

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





鳥瞰図

HAPS-001

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 疲労累積係数 U S _s
				計算応力 S _{p r m} (S _s)	許容応力 0.9 S _u	計算応力 S _n (S _s)	許容応力 2 S _y	
HAPS-001	V _A S	336	S _{p r m} (S _s)	216	431	—	—	—
HAPS-001	V _A S	336	S _n (S _s)	—	—	341	376	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (℃)	支持点荷重					評価結果			
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
2FHV-014	アンカ	アンカ ラグ	SM400B	40	7.8	5.2	5.5	2.0	0.9	2.1	組合せ	24	470
4FHV-017	レストレイント	ラグ	SM400B	40	15.4	18.1	121.5	—	—	—	組合せ	80	490

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

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

弁番号	型式	要求機能	応答加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

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

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

No	配管モデル	許容応力状態 V _A S												
		一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	HVAC-001	45	51	369	7.23	—	45	114	490	4.29	—	—	—	—
2	HVAC-002	10	35	369	10.54	—	10	50	490	9.80	—	—	—	—
3	HVAC-003	11	68	369	5.42	—	22	150	490	3.26	—	—	—	—
4	HVAC-004	6	21	369	17.57	—	6	34	490	14.41	—	—	—	—
5	HVAC-005	1	14	369	26.35	—	1	18	490	27.22	—	—	—	—
6	HVAC-006	10	16	369	23.06	—	10	24	490	20.41	—	—	—	—
7	HVAC-007	6	56	369	6.58	—	7	103	490	4.75	—	—	—	—
8	HVAC-008	9	94	369	3.92	—	9	159	490	3.08	—	—	—	—
9	HAPS-001	336	216	431	1.99	○	336	341	376	1.10	○	—	—	—

V-2-8-3-3-3 緊急時対策所非常用送風機の耐震性
についての計算書

目次

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

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、緊急時対策所非常用送風機が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

緊急時対策所非常用送風機は、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

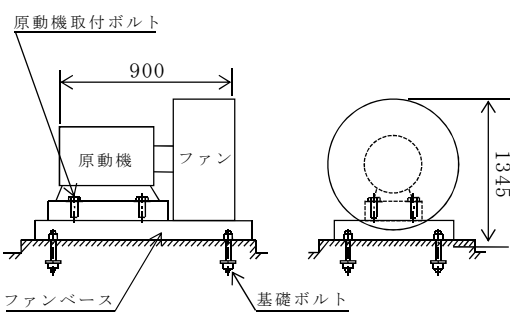
2. 一般事項

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

2.1 構造計画

緊急時対策所非常用送風機の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
原動機はファンベースに取付ボルトにより固定され、ファンベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	遠心直結型ファン	 (単位：mm)

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

緊急時対策所非常用送風機の構造は横軸ポンプと類似の構造であるため、構造強度評価は、添付書類「V-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急時対策所非常用送風機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

緊急時対策所非常用送風機の許容応力は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-2 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

緊急時対策所非常用送風機の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施 設 区 分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	換気設備	緊急時対策所 非常用送風機	常設／緩和	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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

表 3-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t	1.5・f _s
V _A S (V _A SとしてIV _A 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 3-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		198	504	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度		241	394	—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

緊急時対策所非常用送風機の地震時の動的機能維持評価について、以下に示す。

緊急時対策所非常用送風機は地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 $(\times 9.8 \text{ m/s}^2)$

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ファン	遠心直結型 ファン	水平	2.6
		鉛直	1.0
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

緊急時対策所非常用送風機の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【緊急時対策所非常用送風機の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機 器 名 称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ファン振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
緊急時対策所 非常用送風機	常設／緩和	緊急時対策所 EL. 37.0*1	—*2	—*2	—	—	C _H =1.64	C _V =1.00		—	

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

1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1 i} *1 (mm)	ℓ _{2 i} *1 (mm)	A _{b i} (mm)	n _i	n _{f i} *1
基礎ボルト (i =1)						6	2
							2
原動機取付ボルト (i =2)						4	2
							2

部 材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (R T) (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i =1)	198*2	504*2	—	—	205	—	軸	—	—
原動機取付ボルト (i =2)	241*2	394*2	—	—	241	—	軸直角	—	

予想最大振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
H _p =	N=

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

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
原動機取付ボルト (i=2)	—		—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	算出応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—		*
		せん断	—	—		
原動機取付ボルト (i=2)		引張り	—	—		*
		せん断	—	—		

すべて許容応力以下である。

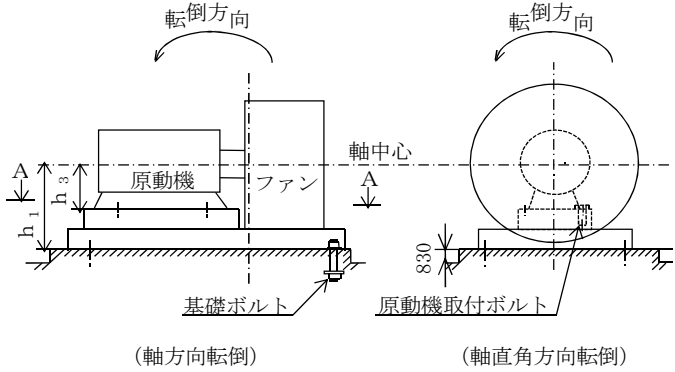
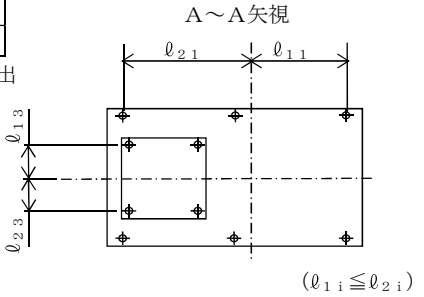
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 動的機能維持の評価

(×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.36	2.6
	鉛直方向	1.0	1.0
原動機	水平方向	1.36	4.7
	鉛直方向	1.0	1.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



V-2-8-3-3-4 緊急時対策所非常用フィルタ装置の耐震性
についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	6
4. 固有周期	7
4.1 固有周期の計算方法	7
4.2 固有周期の計算条件	7
4.3 固有周期の計算結果	7
5. 構造強度評価	8
5.1 構造強度評価方法	8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
5.3 設計用地震力	11
5.4 計算方法	12
5.5 計算条件	14
5.6 応力の評価	14
6. 評価結果	15
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	15

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、緊急時対策所非常用フィルタ装置が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

緊急時対策所非常用フィルタ装置は、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

緊急時対策所非常用フィルタ装置の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
緊急時対策所非常用フ ィルタ装置は取付ボル トにて架台に固定さ れ、架台は基礎ボルト にて基礎に据え付け る。	形鋼骨組及び鋼板外 板による溶接構造。	(単位：mm)

2.2 評価方針

緊急時対策所非常用フィルタ装置の応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す緊急時対策所非常用フィルタ装置の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

緊急時対策所非常用フィルタ装置の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

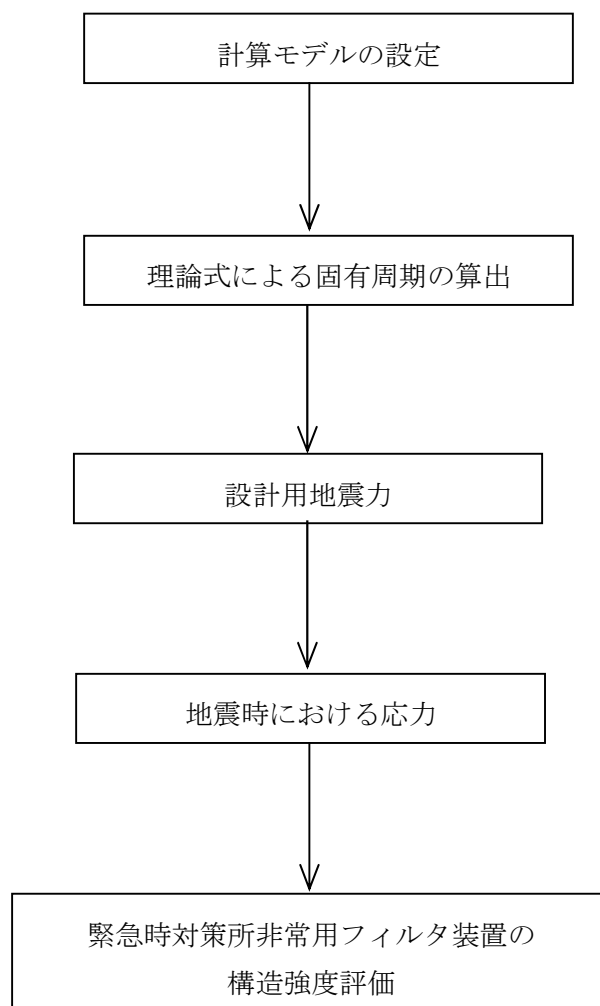


図 2-1 緊急時対策所非常用フィルタ装置の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984
(日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 －1987 (日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 －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。)) J S M E S
N C 1－2005/2007) (日本機械学会2007年9月) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	ケーシングの有効せん断断面積	mm^2
A	ケーシングの断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 (f_s^* を 1.5 倍した値)	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力 (f_t^* を 1.5 倍した値)	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	据付面又は基礎面から重心までの距離	mm
I	断面二次モーメント	mm^4
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	運転時質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記 * : $\ell_1 \leq \ell_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数 値 の 種 類	単 位	処 理 桁	処 理 方 法	表 示 桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁 ^{*1}
せん断弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁 ^{*1}
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ ^{*2}	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*1}
断面二次モーメント	mm ⁴	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*1}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*1}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

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

3. 評価部位

緊急時対策所非常用フィルタ装置の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて実施する。緊急時対策所非常用フィルタ装置の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

緊急時対策所非常用フィルタ装置の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 変形は緊急時対策所非常用フィルタ装置をはりと考えたときの曲げ及びせん断変形を考慮する。
- b. 緊急時対策所非常用フィルタ装置は基礎ボルトで基礎に固定されているので、装置下部を固定端とする。

(2) 緊急時対策所非常用フィルタ装置は、図 4-1 に示す下面固定の 1 質点振動モデルとして考える。

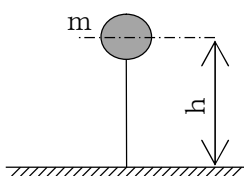


図 4-1 固有値解析の計算モデル

(3) 固有周期

緊急時対策所非常用フィルタ装置の固有周期の計算式を示す。

$$\text{水平方向} \quad T_H = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{m}{1000} \left(\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h}{A_s \cdot G} \right)} \quad \dots\dots\dots (3.3.1.1)$$

$$\text{鉛直方向} \quad T_V = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{m}{1000} \left(\frac{h}{E \cdot A_s} \right)} \quad \dots\dots\dots (3.3.1.1)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【緊急時他紙錯書非常用フィルタ装置の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-2 に示す。計算結果より、0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 4-2 固有周期

(単位：s)	
水平方向	鉛直方向
0.019	0.005

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 緊急時対策所非常用フィルタ装置の質量は、重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は緊急時対策所非常用フィルタ装置に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 計算は、長辺方向及び短辺方向について行い、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急時対策所非常用フィルタ装置の荷重組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

緊急時対策所非常用フィルタ装置の許容応力は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

緊急時対策所非常用フィルタ装置の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施 設 区 分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	換気設備	緊急時対策所 非常用フィルタ 装置	常設／緩和	— ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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

表 5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等） *1, *2	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV_{AS}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容 限界を用いる。)		

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

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

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

部材	材料	温度条件 (℃)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)
基礎ボルト ($i=1$)		周囲環境温度	198	504	—
取付ボルト ($i=2$)		周囲環境温度	764	906	—

5.3 設計用地震力

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

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

表 5-4 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
緊急時対策所 EL. 37.0*			—	—	$C_H=1.62$	$C_V=1.41$

注記 *：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

ボルトの応力は地震による震度によって生じる引張力とせん断力について計算する。

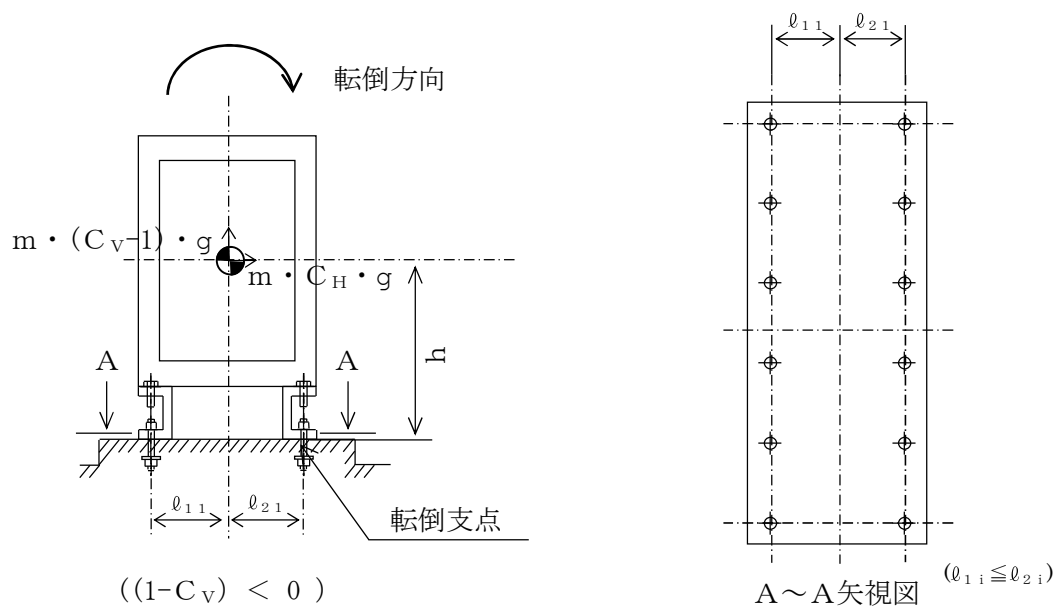


図 5-1 計算モデル（短辺方向転倒）

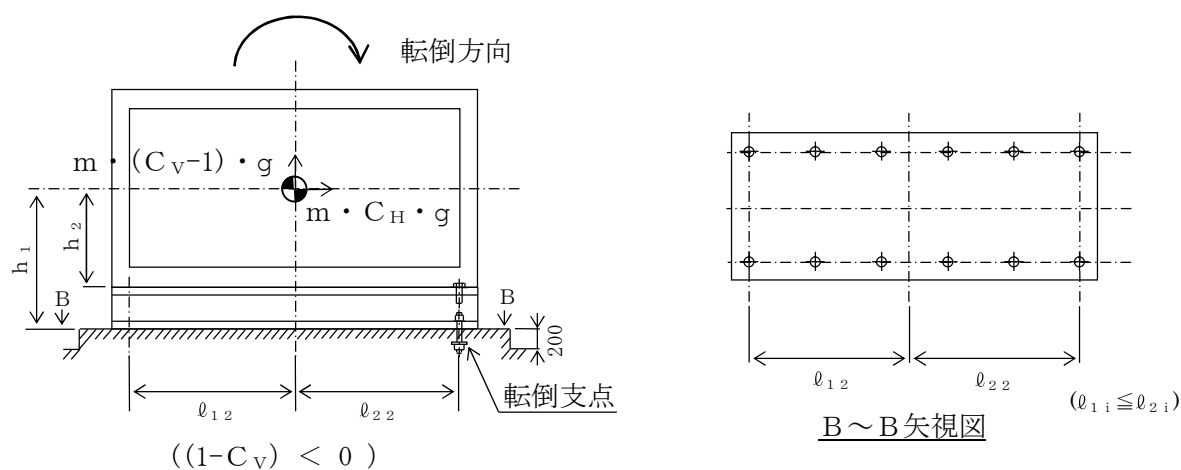


図 5-2 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は図 5-1, 図 5-2 でボルトを支点とする転倒を考え, これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$(\text{絶対値和}) \ F_b = \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g - m \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2 \cdot g}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \quad \dots\dots (5.4.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

ここで, ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

ただし, F_b が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないため, 引張応力の計算は行わない。

(2) セン断応力

せん断力

$$Q_b = m \cdot C_H \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【緊急時対策所非常用フィルタ装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との 組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

緊急時対策所非常用フィルタ装置の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容応力を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【緊急時対策所非常用フィルタ装置の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
緊急時対策所 非常用フィルタ装置	常設／緩和	緊急時対策所 EL. 37.0 ^{*1}			—	—	$C_H=1.62$	$C_V=1.41$	—	

注記 *1：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A_s (mm ²)	A (mm ²)

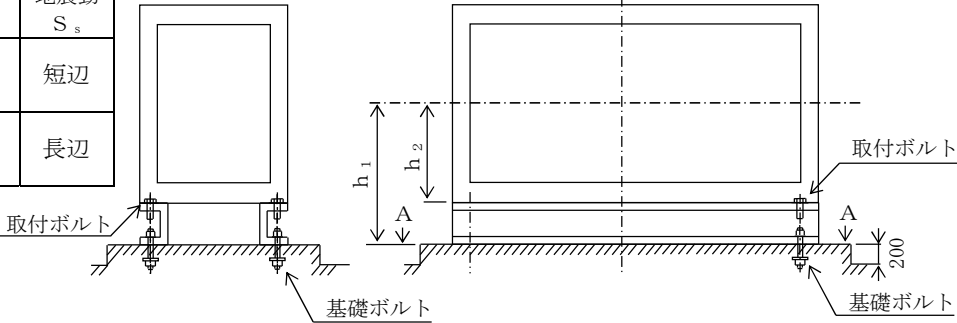
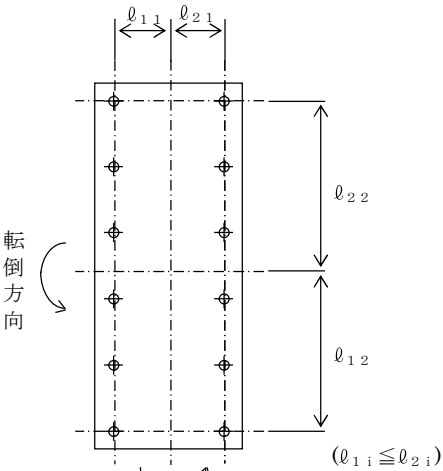
部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}^{*1} (mm)	ℓ_{2i}^{*1} (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}^{*1}	
							弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)							—	
取付ボルト (i=2)							—	

部 材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)		転倒方向	
			弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	基準 地震動 S_s	弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	基準 地震動 S_s
基礎ボルト (i=1)	198 ^{*2}	504 ^{*2}	—	205	—	短辺
取付ボルト (i=2)	764 ^{*2}	906 ^{*2}	—	634	—	長辺

注記 *1：基礎ボルトの機器要目における上段は短辺方向に対する評価時の要目を示し、下段は長
辺方向に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

A～A矢視図



1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)	—	1.467×10^4	—	1.779×10^5
取付ボルト ($i=2$)	—	1.234×10^4	—	1.573×10^5

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト ($i=1$)		引張り	—	—		*
		せん断	—	—		
取付ボルト ($i=2$)		引張り	—	—		*
		せん断	—	—		

注記 *： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出
すべて許容応力以下である。

V-2-8-3-3-5 緊急時対策所用差圧の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の算出方法	3
3.2 固有周期の計算条件	4
3.3 固有周期の計算結果	4
4. 構造強度評価	5
4.1 構造強度評価方法	5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
5. 機能維持評価	8
5.1 電氣的機能維持評価方法	8
6. 評価結果	8
6.1 重大事故等対処施設としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、緊急時対策所用差圧が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

緊急時対策所用差圧は、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

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

2.1 構造計画

緊急時対策所用差圧の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は，計器取付ボルトにより計器スタンションに取付けられた計器取付板に固定される。 計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	弾性型圧力検出器	The diagram illustrates the structural plan for a pressure detector assembly. It includes three views: a top view, a front view, and a side view. The top view shows a horizontal section with a width of 250 mm. The front view shows a vertical section with a height of 850 mm. The side view shows the assembly mounted on a wall (基礎 (壁面)) using foundation bolts (基礎ボルト (ケミカルアンカ)). The detector (検出器) is mounted on a detector station (計器スタンション) via a detector mounting plate (計器取付板). The mounting plate is secured with detector mounting bolts (計器取付ボルト). The detector station is mounted on the wall using foundation bolts (基礎ボルト (ケミカルアンカ)). The side view also shows a horizontal distance of 463 mm from the wall to the detector. The unit is specified as (単位：mm).

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

緊急時対策所用差圧計器スタンションの固有周期の計算方法を以下に示す。

- (1) 緊急時対策所用差圧計器スタンションは，図 3-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。
- (2) 計器スタンションは鋼材で上下 2 箇所を緊急時対策所建屋壁面に固定することから，計算モデルでは，計器スタンションを直線とみなし，支持点（計器スタンション基礎部）2 点で固定されるものとする。
- (3) 検出器及び計器スタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は検出器の位置に設定する。
- (4) 図 3-1 中の  は検出器及び計器スタンションの質点，● は計器スタンションの支持点，— は計器スタンションを示す。

3.1.1 水平方向（X 方向，Z 方向）

- (1) X 方向及び Z 方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{10^3} \cdot \left(\frac{\ell_b^3}{48 \cdot E_1 \cdot I_1} + \frac{\ell_b}{4 \cdot A_b \cdot G_1} \right)} \cdots (3.1.1.1)$$

3.1.2 鉛直方向（Y 方向）

- (1) Y 方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

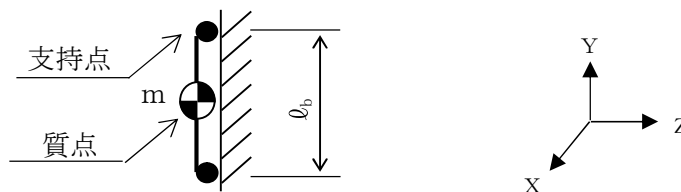
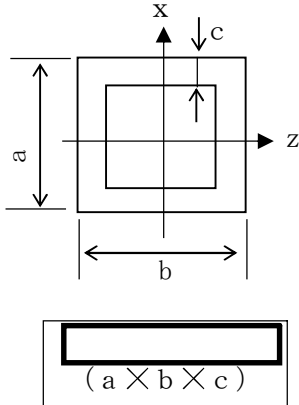


図 3-1 固有周期の計算モデル

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
上下ボルト間の距離（壁掛型）	ℓ_b	mm	
計器スタンションの材質	—	—	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
最小有効せん断断面積	A_b	mm ²	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状（mm）			

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から、水平方向は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。また、鉛直方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-2 示す。

表 3-2 固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

緊急時対策所用差圧の構造は壁掛形計器スタンションであるため、構造強度評価は、添付書類「V-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急時対策所用差圧の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

緊急時対策所用差圧の許容応力は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

緊急時対策所用差圧の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理 施設	換気設備	緊急時対策所用差圧	常設／緩和	— ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ （ $V_A S$ として $IV_A S$ 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
$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ 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 4-3 使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		245	400	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

緊急時対策所用差圧の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「V-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

緊急時対策所用差圧の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
緊急時対策所用差圧	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

緊急時対策所用差圧の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【緊急時対策所用差圧の耐震評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
緊急時対策所用 差圧	常設／緩和	緊急時対策所建屋 EL. 30.30 (EL. 37.00*)			—	—	$C_H=1.62$	$C_V=1.41$	

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 緊急時対策所用差圧

部 材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部 材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	245	400	—	280	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—		—	

1.4 結 論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b = 8$	$f_{ts} = 168^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 128$

すべて許容応力以下である。

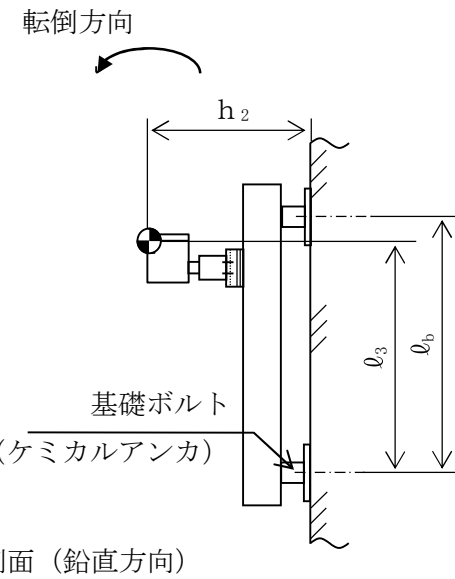
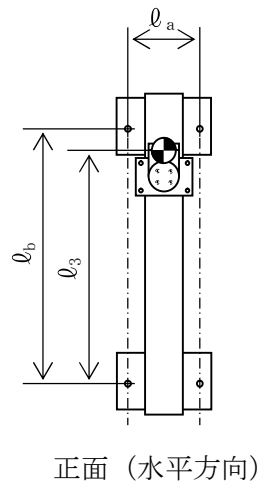
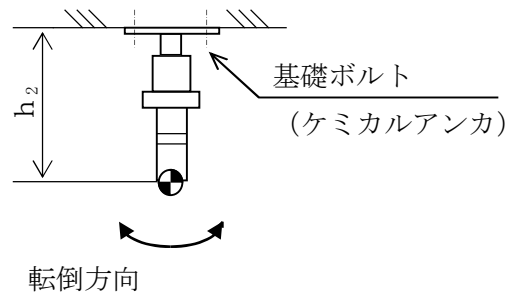
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.2 電氣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
緊急時対策所 用差圧	水平方向	1.35	
	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-2-8-3-4-1 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	12
3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
3.2 設計条件	13
3.3 材料及び許容応力	24
3.4 設計用地震力	25
4. 解析結果及び評価	26
4.1 固有周期及び設計震度	26
4.2 評価結果	32
4.2.1 管の応力評価結果	32
4.2.2 支持構造物評価結果	33
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	34
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	35

1. 概要

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

評価結果記載方法は以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全1モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

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

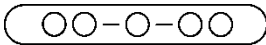
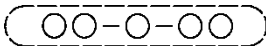
(3) 弁

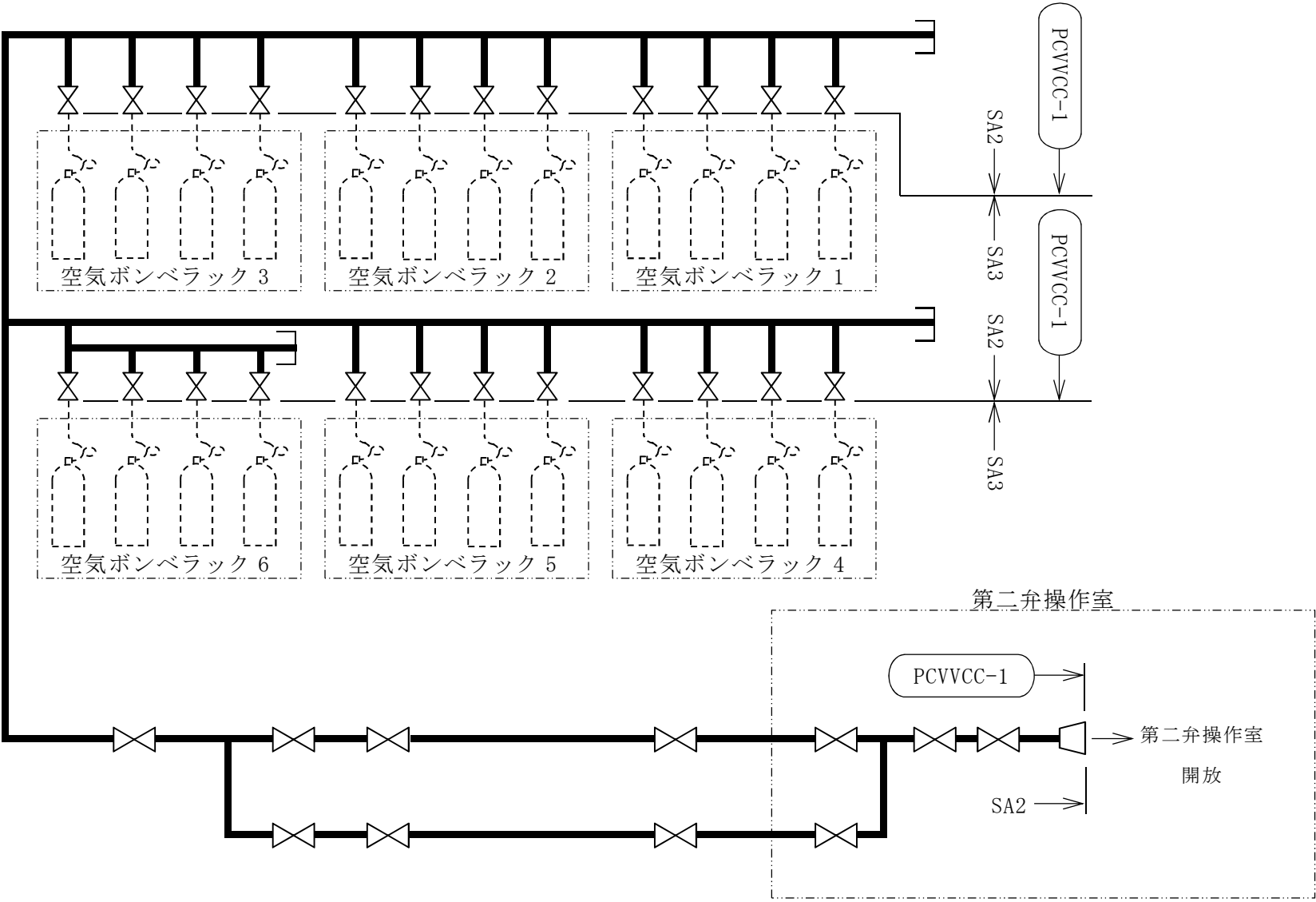
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

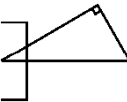
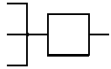
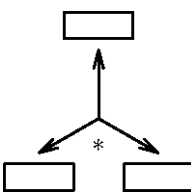
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算 書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のう ち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する 管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4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



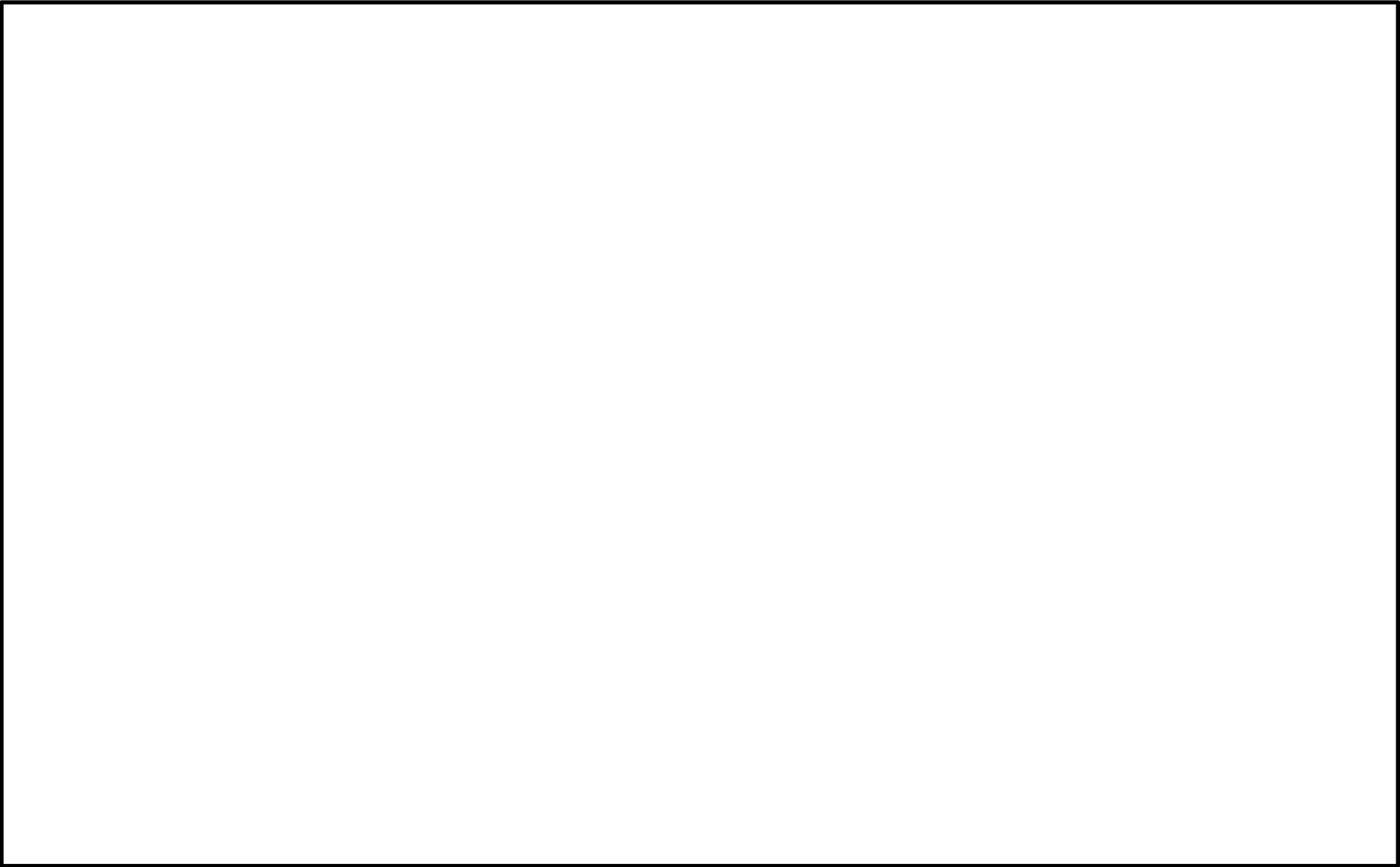
第二弁操作室空気ポンベユニット配管概略系統図

2.2 鳥瞰図

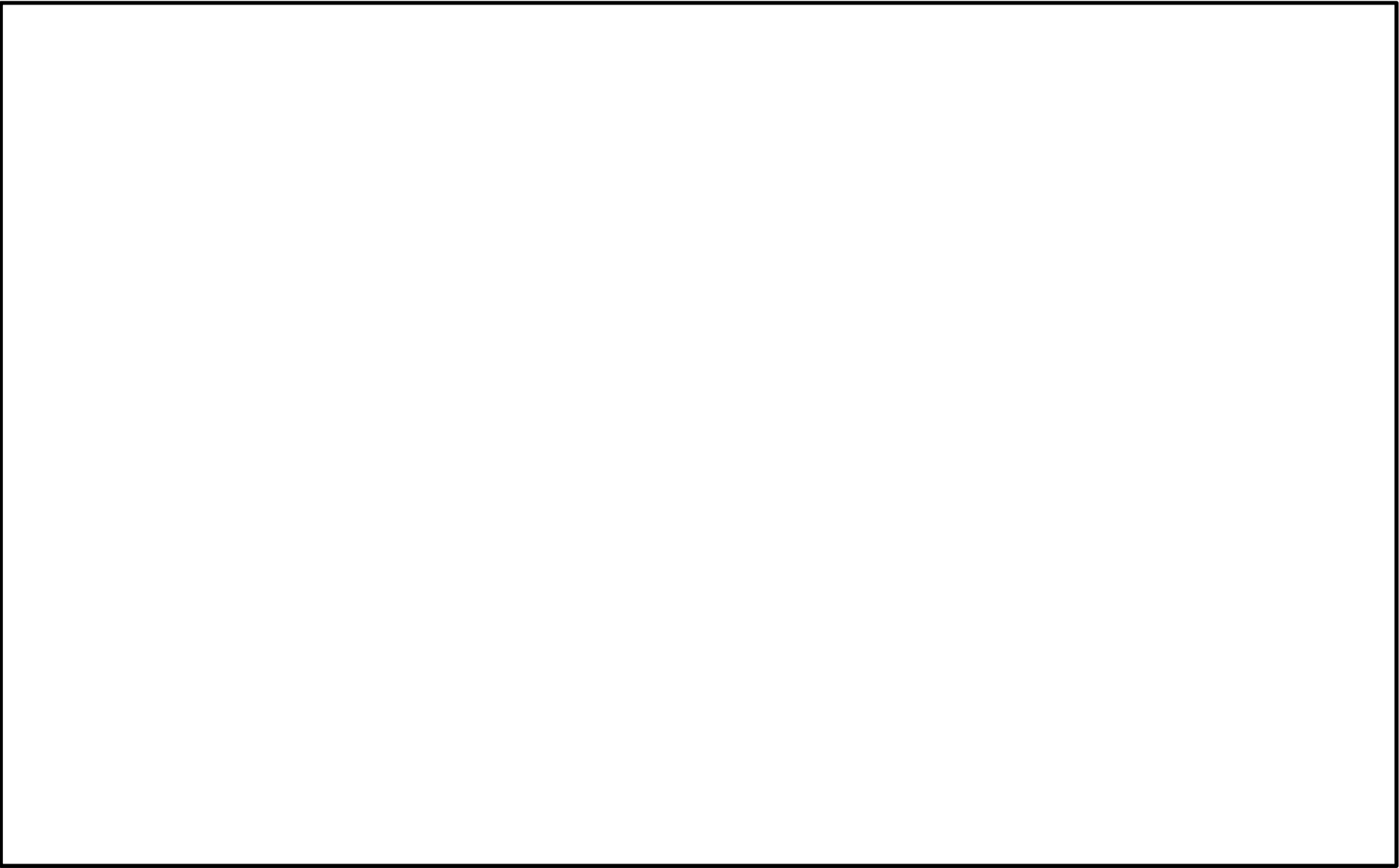
鳥瞰図記号凡例

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

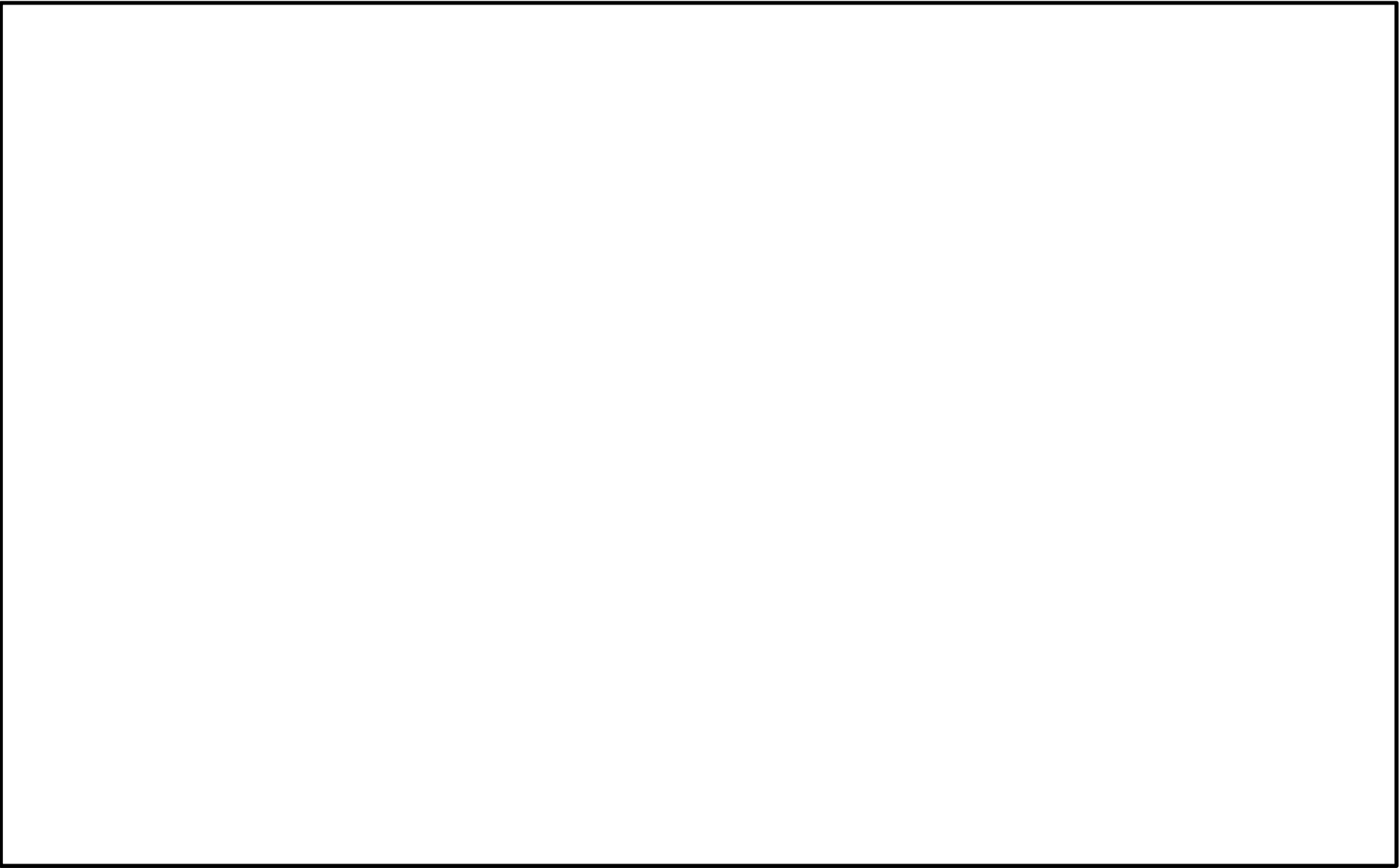
5



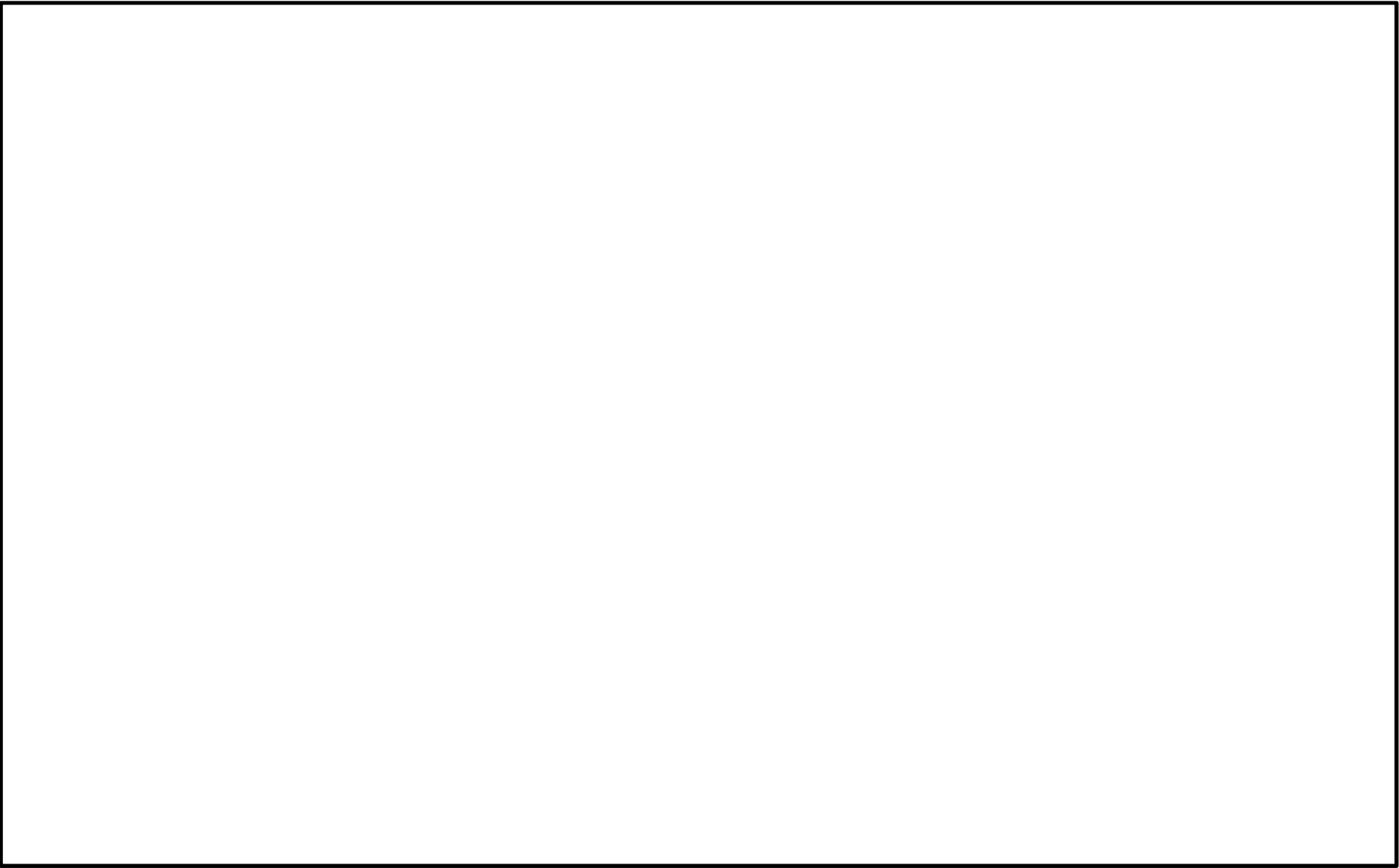
9



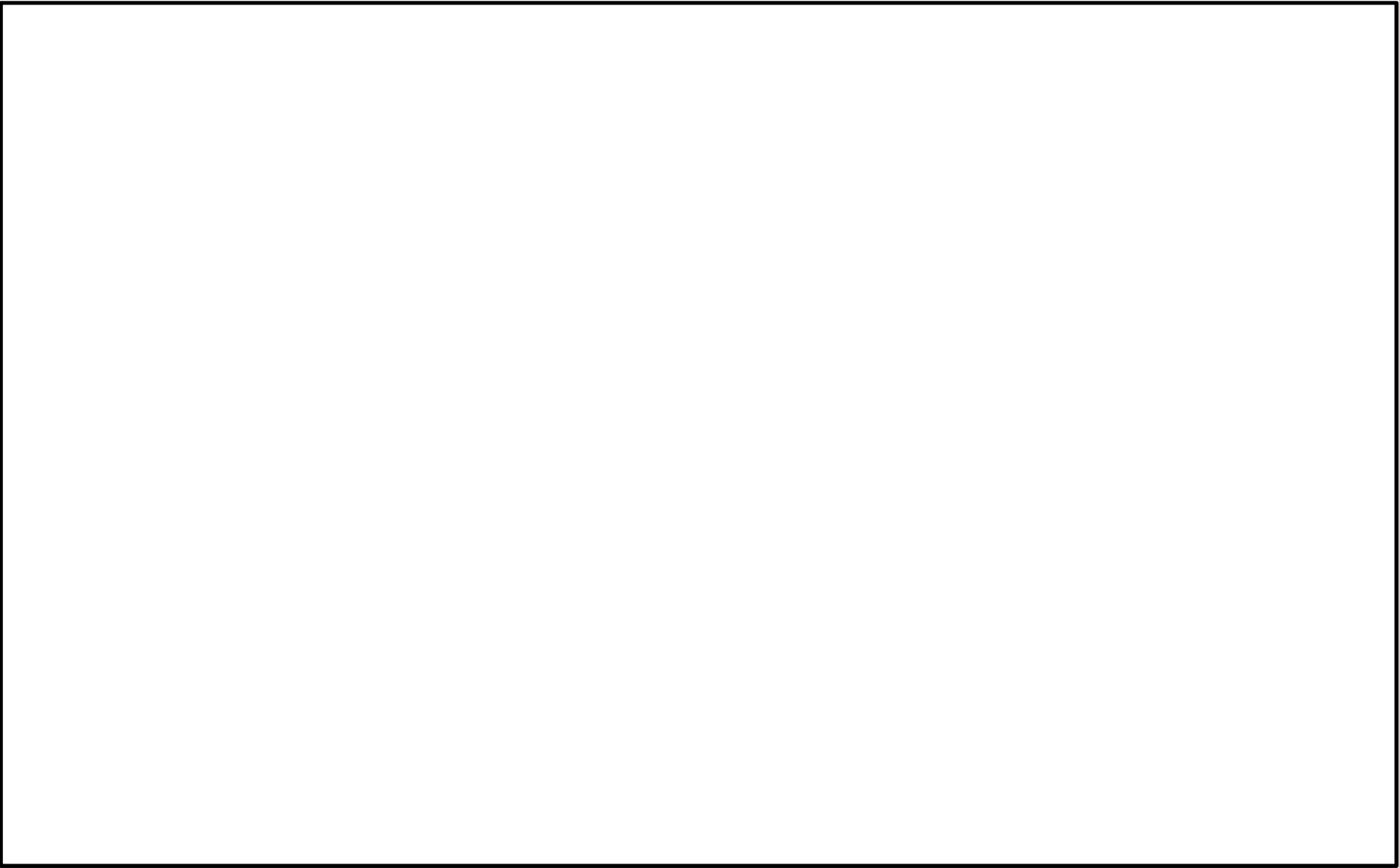
7



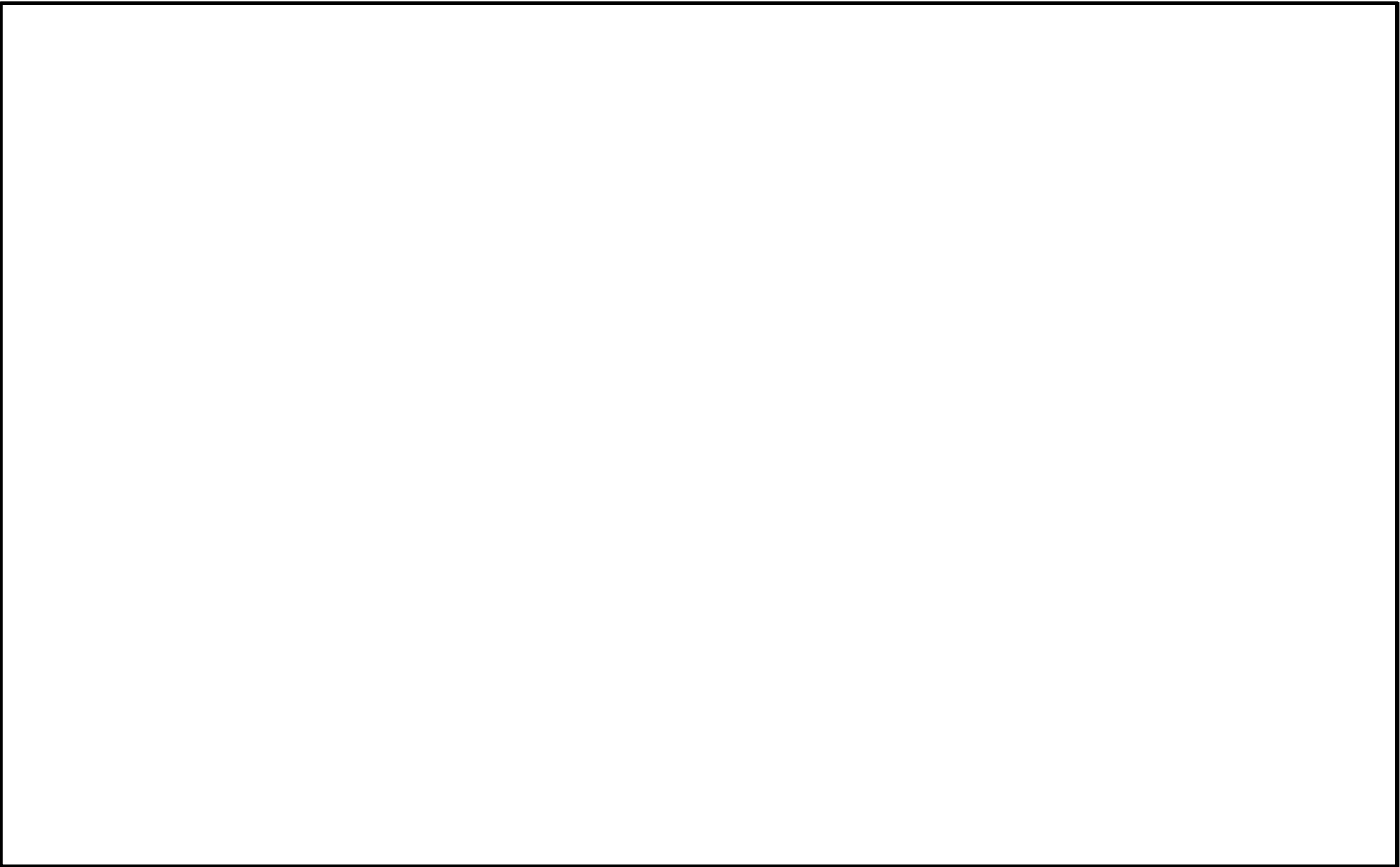
8

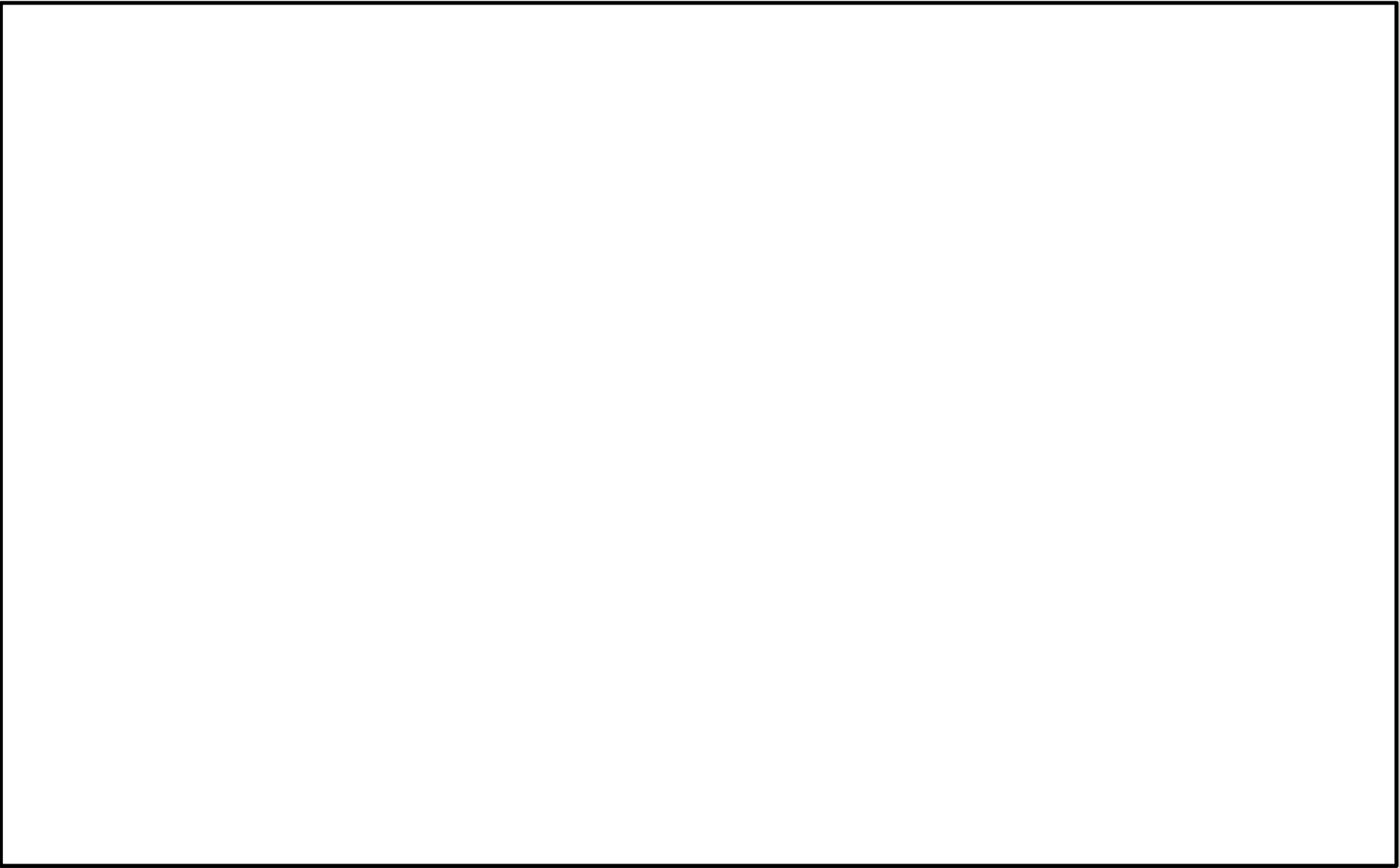


6



10





3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設 分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等 の区分	耐震設計上の 重要度分類	荷重の組合せ ^{*3,4}	許容応力 状態 ^{*5}
放射線管理施設	換気設備	第二弁操作室	S A	常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_s$	$V_A S$

注記 *1: D Bは設計基準対象施設, S A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, (L L)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

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

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

3.2 設計条件

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

鳥 瞰 図 PCVVCC-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	501, 801, 601, 401, 602, 402 603, 403, 604, 404, 605, 1 405, 606, 406, 607, 407, 608 408, 609, 802, 610, 409, 611 410, 612, 411, 613, 412, 614 2, 413, 615, 803, 3, 616 804, 617, 4, 805, 618, 5 806, 6, 8, 619, 9, 807 10, 12, 808, 620, 414, 13 301, 901, 302, 415, 303, 902 304, 14, 809, 305, 903, 648 834, 313, 907, 314, 649, 835 315, 908, 316, 650, 836, 317 909, 318, 651, 837, 319, 910 320, 652, 838, 321, 911, 322 653, 839, 323, 912, 324, 654	14.70	40	27.2	3.9	SUS304TP	—	

設計条件

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

鳥 瞰 図 PCVVCC-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	840, 325, 913, 326, 655, 841 327, 914, 328, 656, 842, 329 915, 330, 657, 843, 331, 916 332, 658, 844, 333, 917, 334 659, 845, 335, 918, 336, 38 39, 660, 846, 661, 421, 40 662, 41, 847, 42, 43, 44 422, 663, 423, 664, 424, 665 425, 666, 848, 667, 426, 668 427, 669, 428, 670, 429, 671 849, 503, 672, 430, 673, 431 674, 432, 675, 433, 676, 850 504, 678, 851, 337, 919, 338 679, 852, 339, 920, 340, 680 853, 341, 921, 342, 681, 854 343, 922, 344, 682, 855, 345	14.70	40	27.2	3.9	SUS304TP	—	

設計条件

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

鳥 瞰 図 PCVVCC-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	923, 346, 683, 856, 347, 924 348, 684, 857, 349, 925, 350 685, 858, 351, 926, 352, 686 859, 353, 927, 354, 687, 860 355, 928, 356, 688, 861, 357 929, 358, 689, 862, 359, 930 360, 361, 931, 362, 690, 863 45, 691, 46, 864, 692, 865 693, 866, 694, 867, 47, 48 363, 932, 364, 365, 933	14.70	40	27.2	3.9	SUS304TP	—	
2	903, 306, 416, 621, 417, 307 904, 308, 810, 622, 811, 15 623, 812, 624, 16, 17, 813 625, 814, 18, 626, 20, 815 627, 816, 21, 628, 23, 817 629, 818, 24, 630, 26, 819	1.80	40	27.2	2.9	SUS304TP	—	

設計条件

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

鳥 瞰 図 PCVVCC-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
2	631, 820, 27, 632, 821, 633 28, 30, 822, 634, 823, 635 824, 636, 825, 31, 637, 32 826, 638, 827, 639, 828, 33 34, 640, 35, 829, 36, 641 830, 37, 642, 309, 905, 310 831, 643, 418, 644, 419, 645 832, 311, 906, 312, 646, 833 647, 502, 933, 366, 434, 695 435, 367, 934, 368, 868, 49 696, 50, 869, 697, 870, 698 871, 51, 699, 53, 872, 700 873, 54, 711, 56, 874, 712 875, 57, 713, 876, 714, 58 60, 877, 715, 878, 716, 879 717, 61, 62, 880, 718, 881	1.80	40	27.2	2.9	SUS304TP	—	

設計条件

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

鳥 瞰 図 PCVVCC-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
2	719, 882, 63, 64, 720, 65 883, 66, 721, 884, 67, 722 369, 935, 370, 885, 68, 723 886, 371, 936, 372, 887, 373 937, 374, 375, 938, 376, 506 726, 888, 377, 939, 378, 889 211	1.80	40	27.2	2.9	SUS304TP	—	
3	212	1.80	40	60.5	3.9	SUS304TP	—	

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 PCVVCC-1

質量	対応する評価点
	501, 503, 504
	502, 314, 316, 318, 320, 322, 324, 326, 328, 330, 332, 334, 336, 338 340, 342, 344, 346, 348, 350, 352, 354, 356, 358, 360, 506

弁部の質量

鳥 瞰 図 PCVVCC-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	901, 902, 907, 908, 909 910, 911, 912, 913, 914 915, 916, 917, 918, 919 920, 921, 922, 923, 924 925, 926, 927, 928, 929 930, 931, 932		903, 904, 933, 934
	905, 935, 936, 937, 938 939		906

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 PCVVCC-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
801						
802						
803						
804						
805						
806						
807						
808						
809						
903						
904						
810						
811						
812						
813						
814						
815						
816						
817						
818						
819						
820						
821						
822						
823						
824						
825						
826						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 PCVVCC-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
827						
828						
829						
830						
831						
832						
833						
834						
835						
836						
837						
838						
839						
840						
841						
842						
843						
844						
845						
846						
847						
848						
849						
850						
851						
852						
853						
854						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 PCVVCC-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
855						
856						
857						
858						
859						
860						
861						
862						
863						
864						
865						
866						
867						
933						
934						
868						
869						
870						
871						
872						
873						
874						
875						
876						
877						
878						
879						
880						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 PCVVCC-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
881						
882						
883						
884						
885						
886						
887						
888						
889						

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (℃)	許容応力 (MPa)			
		S _m	S _y	S _u	S _h
SUS304TP	40	—	205	520	—

3.4 設計用地震力

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

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

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数(%)	
PCVVCC-1		EL. 29.000 m		
		EL. 20.300 m		
		EL. 14.000 m		

4. 解析結果及び評価
4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 PCVVCC-1

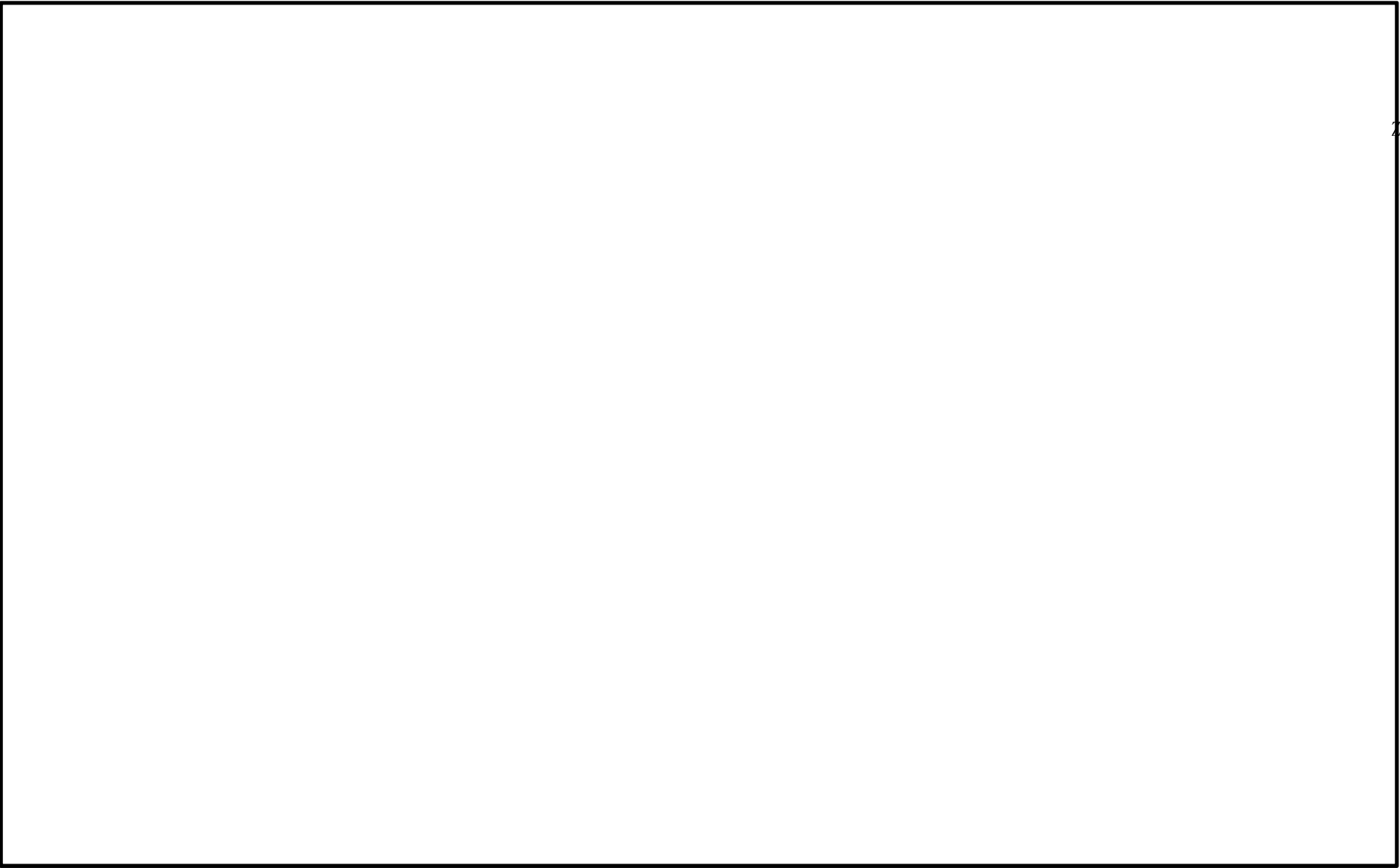
耐震設計上の重要度分類		—		
適用する地震動等		S _s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度
		X 方向	Z 方向	Y 方向
動的震度				

NT2 補② V-2-8-3-4-1 R1

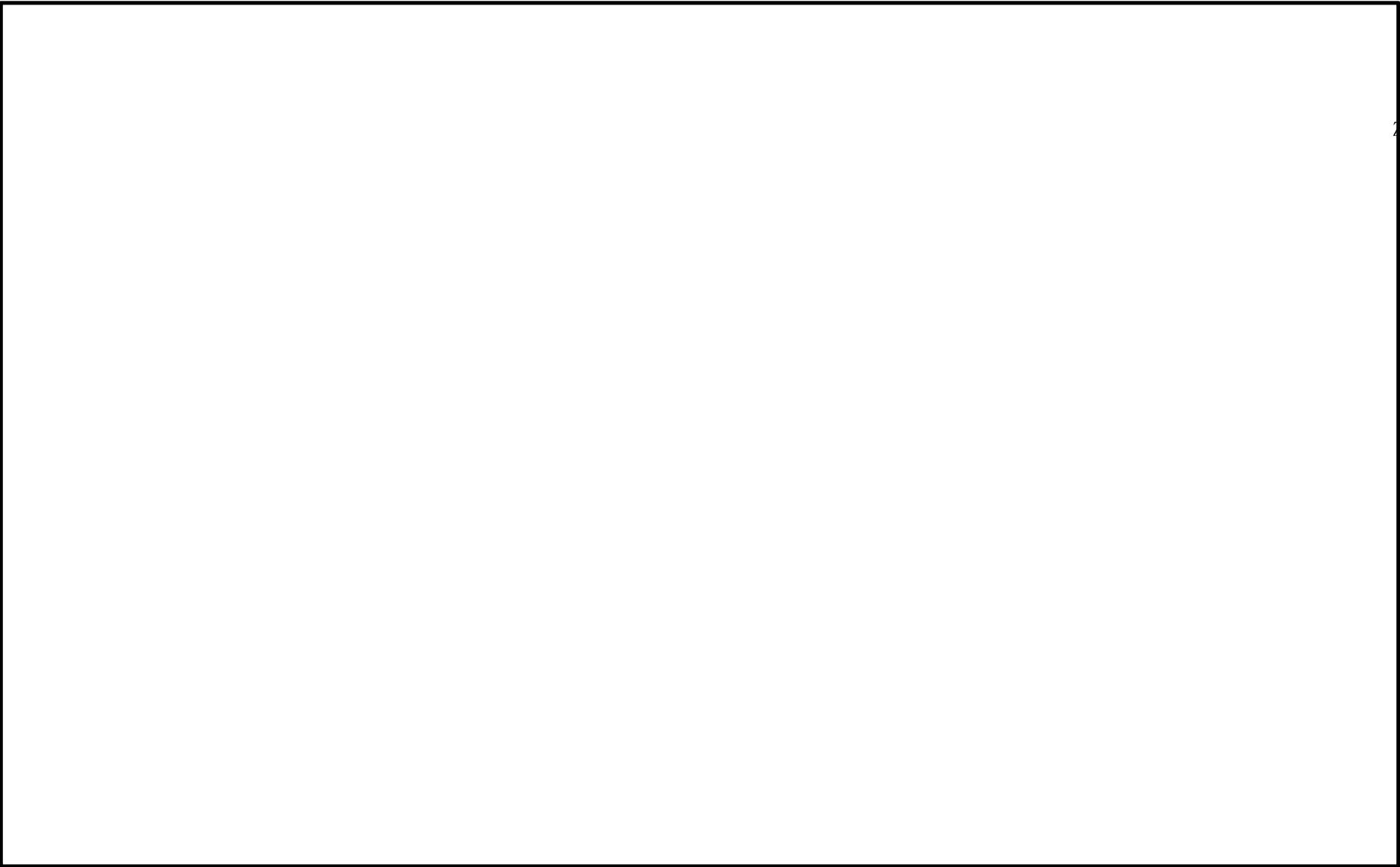
[illegible]

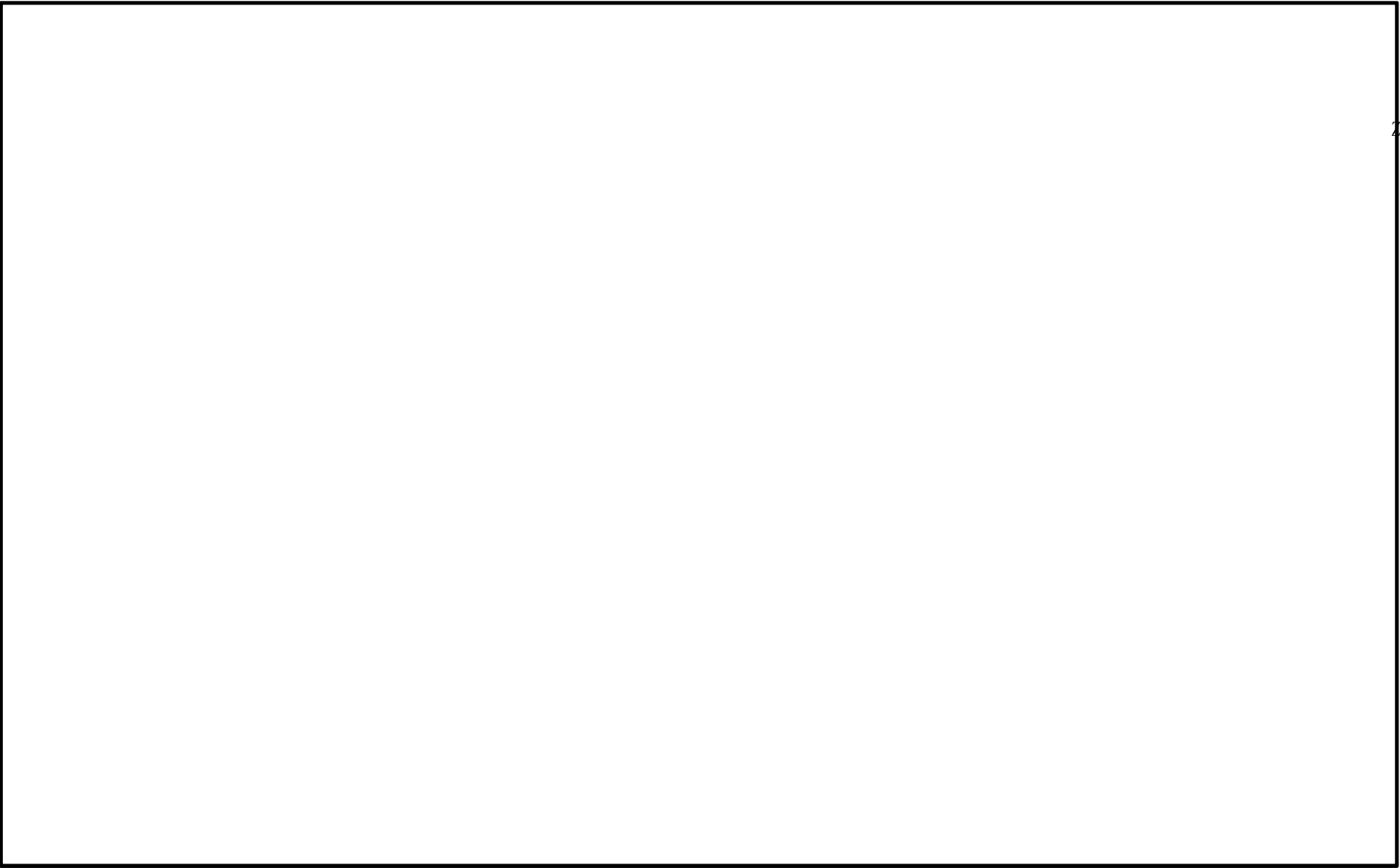
代表的振動モード図

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。



30





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 $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 $0.9 S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
PCVVCC-1	$V_A S$	401	$S_{pr m}(S_s)$	213	468	—	—	—
PCVVCC-1	$V_A S$	418	$S_n(S_s)$	—	—	361	410	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (℃)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

33

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (℃)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-PCVVCC-1-070	レストレイント	U ボルト	SUS304	66	3.8	5.5	—	—	—	—	組合せ	93	258
AN-PCVVCC-1-002	アンカ	U バンド	SS400	66	0.088	0.26	0.50	0.008	0.006	0.030	組合せ	10	283

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

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

弁番号	型式	要求 機能	応答加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

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

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

No	配管モデル	許容応力状態 V _A S												
		一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	PCVVCC-1	401	213	468	2.19	○	418	361	410	1.13	○	—	—	—

V-2-8-3-4-2 第二弁操作室差圧の耐震性についての計算書

目次

1. 概要 1

2. 一般事項 1

2.1 構造計画 1

3. 固有周期 3

3.1 固有周期の算出方法 3

3.2 固有周期の計算条件 4

3.3 固有周期の計算結果 4

4. 構造強度評価 5

4.1 構造強度評価方法 5

4.2 荷重の組合せ及び許容応力 5

5. 機能維持評価 8

5.1 機能維持評価方法 8

6. 評価結果 9

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 9

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、第二弁操作室差圧が設計用地震力に対して十分な構造強度及び機能を有していることを説明するものである。

第二弁操作室差圧は、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び機能維持評価を示す。

2. 一般事項

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

2.1 構造計画

第二弁操作室差圧の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は、検出器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、溶接により計器ステーションに固定される。 計器ステーションは、壁面に基礎ボルトで設置する。	弾性型差圧検出器	The diagram illustrates the structural plan for a differential pressure detector. It includes two views: a front view (正面) and a side view (側面). The front view shows a vertical assembly with a detector at the top, a mounting plate, and a station. The side view shows the assembly mounted on a wall (基礎 (壁面)) using base bolts (基礎ボルト (ケミカルアンカ)). The detector is fixed to the mounting plate with detector mounting bolts (検出器取付ボルト). The mounting plate is welded to the station. The station is fixed to the wall with base bolts. The distance between the mounting plate and the station is 260mm. The total height of the assembly is 1200mm. The top view shows the detector and mounting plate fixed to a surface with base bolts (基礎ボルト (ケミカルアンカ)).

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

第二弁操作室差圧の固有周期の計算方法を以下に示す。

- (1) 第二弁操作室差圧は、図 3-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。
- (2) 計器スタンションは鋼材で上下 2 箇所を原子炉建屋壁面に固定することから、計算モデルでは、計器スタンションを直線とみなし、支持点（計器スタンション基礎部）2 点で固定されるものとする。
- (3) 検出器及び計器スタンションの質量は、質点に集中するものとし、質点は計器スタンションの中心に設定する。
- (4) 図 3-1 中の  は検出器及び計器スタンションの質点、● は計器スタンションの支持点、— は計器スタンションを示す。

3.1.1 水平方向（X 方向， Z 方向）

- (1) X 方向及び Z 方向に対する固有周期を次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{\ell_b^3}{48 \cdot E \cdot I} + \frac{\ell_b}{4 \cdot A_s \cdot G} \right)} \cdots (3.1.1.1)$$

3.1.2 鉛直方向

- (1) Y 方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略する。

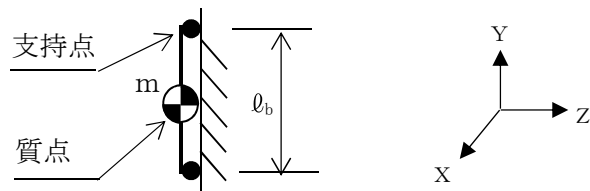
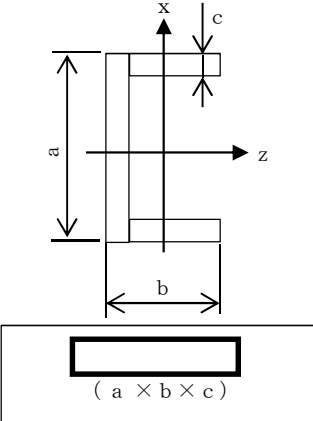


図 3-1 固有周期の計算モデル

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
検出器及び計器スタンションの質量	m	kg	
上下ボルト間の距離（壁掛形）	ℓ_b	mm	
計器スタンションの材質	-	-	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
最小有効せん断断面積	A _s	mm ²	
せん断弾性係数	G	MPa	
計器スタンションの断面形状 (mm)			

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果から、水平方向は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。また、鉛直方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。

表 3-2 固有周期 (s)

水平方向	鉛直方向

注記 * : 水平方向は固有周期が長い Z 方向の固有周期を示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

第二弁操作室差圧の構造は壁掛形計器スタンションであるため、構造強度評価は、添付書類「V-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

第二弁操作室差圧の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

第二弁操作室差圧の許容応力は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

第二弁操作室差圧の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処施設の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理 施設	換気設備	第二弁操作室差圧	常設／緩和	— ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_S$ ^{*3}	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ 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
$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$\square_A S$ ($\square_A S$ として $IV_A S$ 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 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	
基礎ボルト		周囲環境温度		245	400	—

5. 機能維持評価

5.1 機能維持評価方法

第二弁操作室差圧の機能維持評価について、以下に示す。

機能維持評価は、添付書類「V-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

第二弁操作室差圧の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
第二弁操作室差圧	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

第二弁操作室差圧の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【第二弁操作室差圧の重大事故等対処設備としての評価結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機 器 名 称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
第二弁操作室差圧	常設／緩和	 EL. 22. 00 (EL. 29. 00*)			—	—	C _H =1. 55	C _V =1. 17	

注記 *：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 第二弁操作室差圧(DPI-SA32-001)

部 材	m (kg)	h ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ _a (mm)	ℓ _b (mm)	A _b (mm ²)	n	n _{LV}	n _{HH}
基礎ボルト								2	2

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	245	400	—	280	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _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	—	—	$\sigma_b=5$	$f_{ts}=168^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=3$	$f_{sb}=129$

すべて許容応力以下である。

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

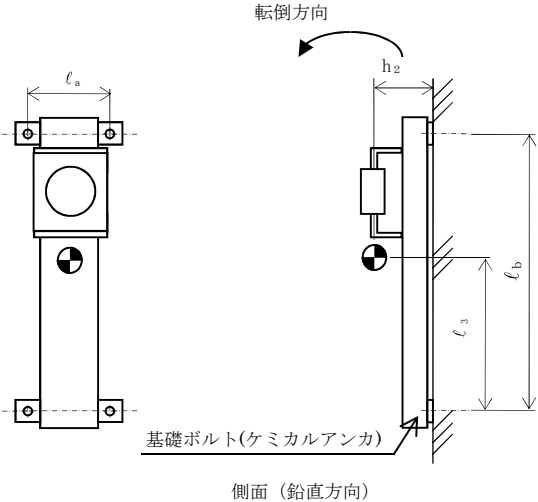
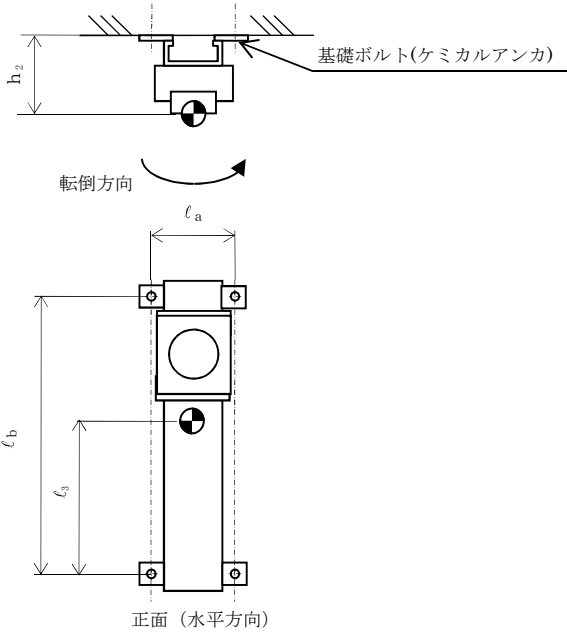
1.4.2 機能の評価結果

(単位：×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
第二弁操作室差圧	水平方向	1.55	
	鉛直方向	1.17	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

11



V-2-8-4-1 二次遮蔽の耐震性についての計算書

添付書類「V-2-8-4-1 二次遮蔽の耐震性についての計算書」は、
添付書類「V-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟の耐震性についての計算書」に倣うものとする。

V-2-8-4-2 中央制御室遮蔽の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	8
2.4 適用規格・基準等	10
3. 地震応答解析による評価方法	11
4. 応力解析による評価方法	13
4.1 評価対象部位及び評価方針	13
4.2 荷重及び荷重の組合せ	16
4.3 許容限界	19
4.4 解析モデル及び諸元	23
4.5 評価方法	24
5. 評価結果	29
5.1 地震応答解析による評価結果	29
5.2 応力解析による評価結果	31

別紙 1 中央制御室の気密性に関する計算書

別紙 2 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した検討（中央制御室遮蔽）

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第38条において設置することが要求されている中央制御室について、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、中央制御室遮蔽の地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、その評価は、地震応答解析による評価及び応力解析による評価により行う。

中央制御室遮蔽は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備」及び「常設重大事故緩和設備」に分類される。

以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

中央制御室遮蔽は、原子炉建屋の一部を構成している。中央制御室遮蔽を含む原子炉建屋の設置位置を図 2-1 に示す。



図 2-1 中央制御室遮蔽を含む原子炉建屋の設置位置

2.2 構造概要

原子炉建屋は、主体構造が鉄筋コンクリート造で、鉄骨造陸屋根をもつ地下2階、地上6階の建物である。中央部には、平面が南北方向45.5 m、東西方向42.5 mの原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）があり、その周囲には、平面が南北方向68.5 m、東西方向68.25 mの原子炉建屋附属棟（以下「附属棟」という。）を配置している。

中央制御室は附属棟のEL. 18.0 m～EL. 23.0 mに位置しており、平面規模は、南北方向39.5 m、東西方向27.0 mである。中央制御室遮蔽は、中央制御室を取り囲む壁、床スラブ及び天井スラブで構成されており、壁の厚さは90 cm～120 cm、床スラブ及び天井スラブの厚さは50 cmである。

中央制御室遮蔽の概略平面図及び概略断面図を図2-2～図2-5に示す。

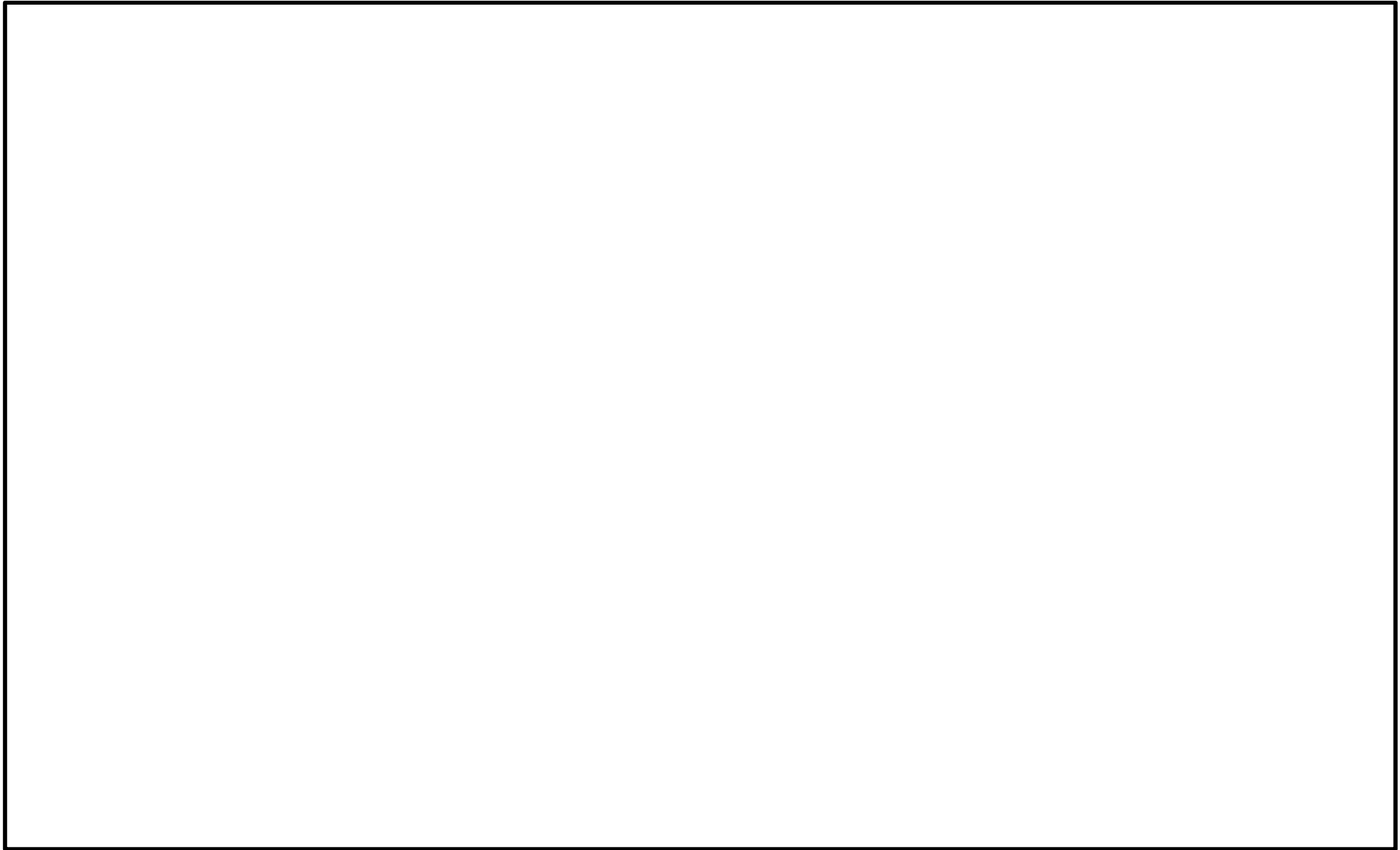


図 2-2 中央制御室遮蔽の概略平面図

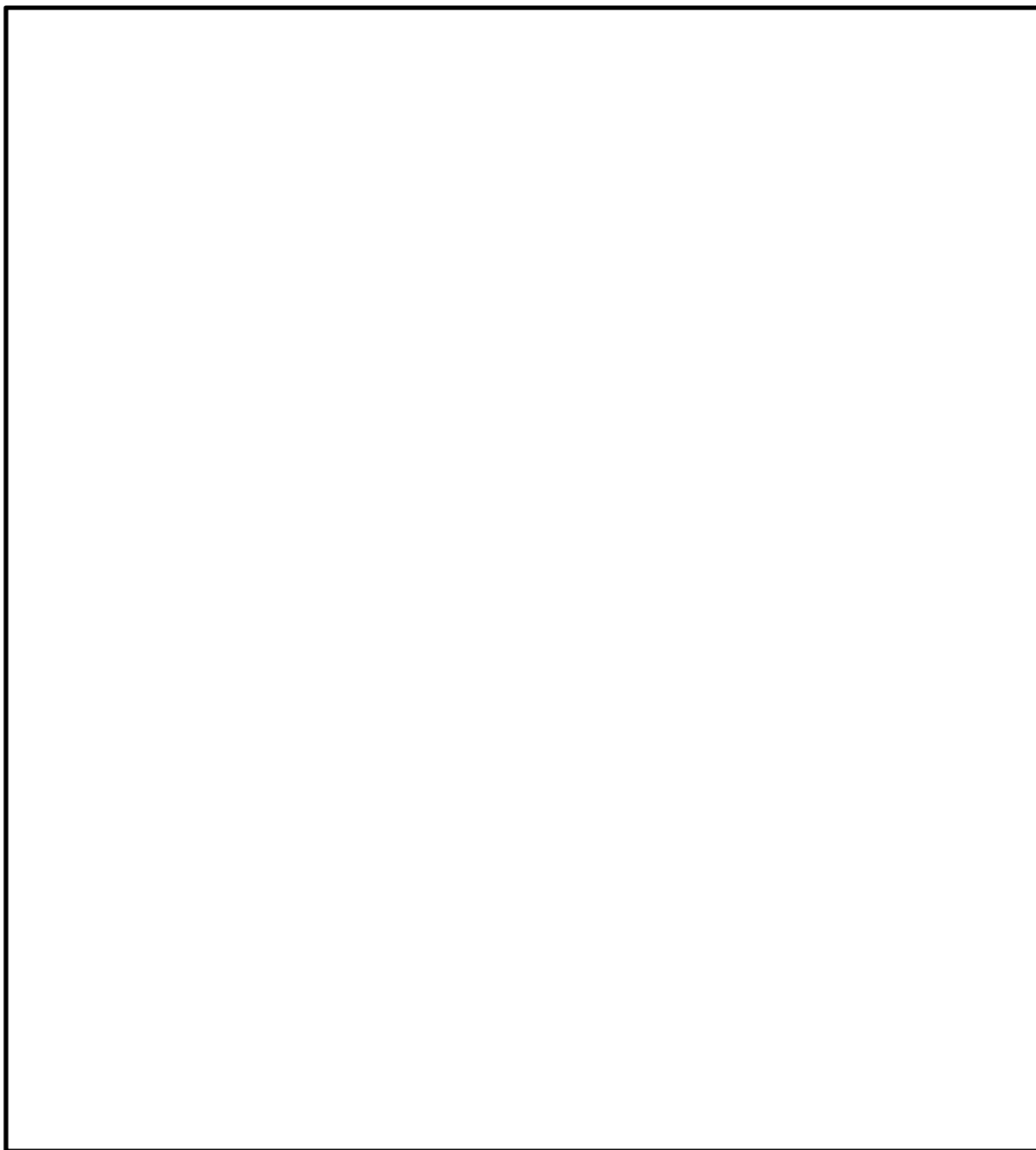


図 2-3 中央制御室遮蔽の概略断面図

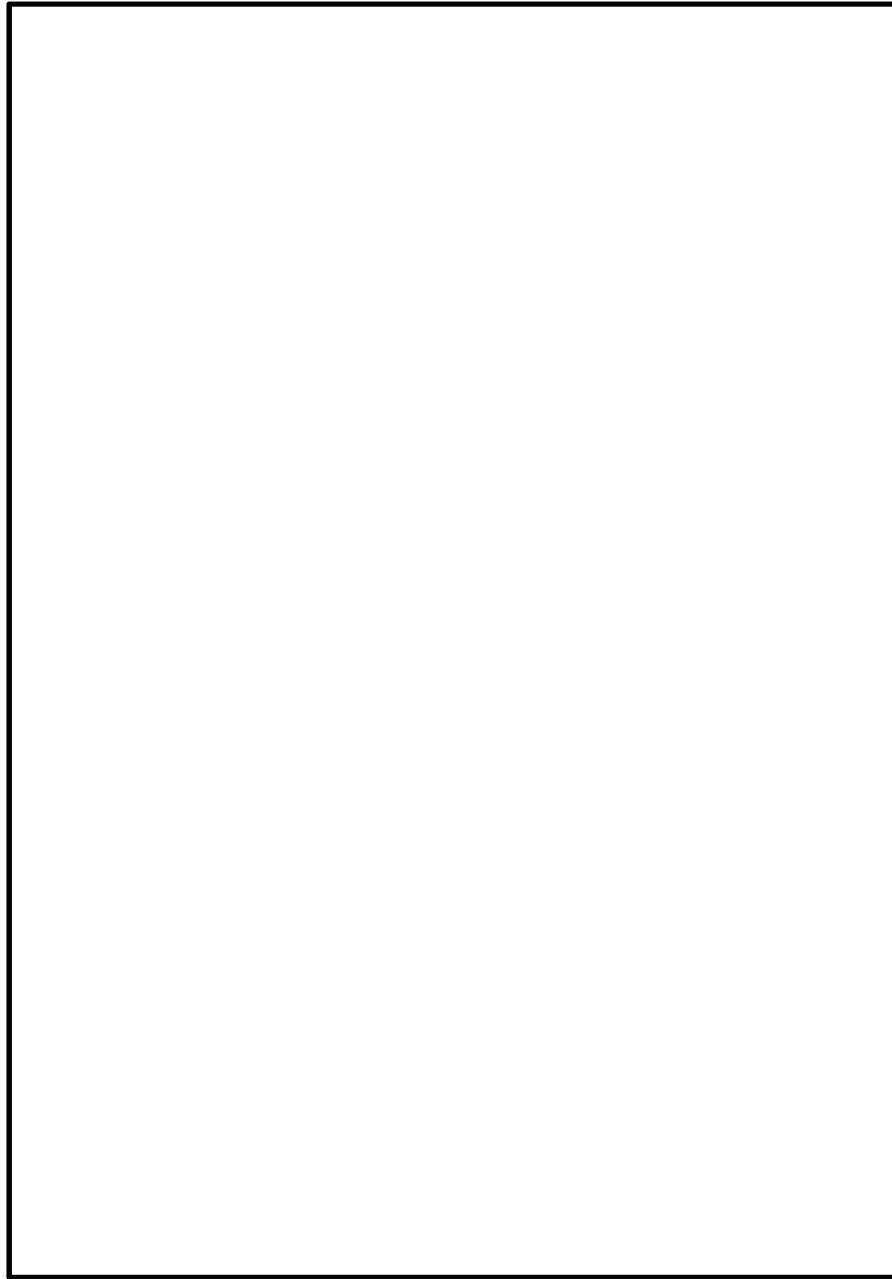


図 2-4 の概略平面図 (EL. 23.0 m)

NT2 補② V-2-8-4-2 R0

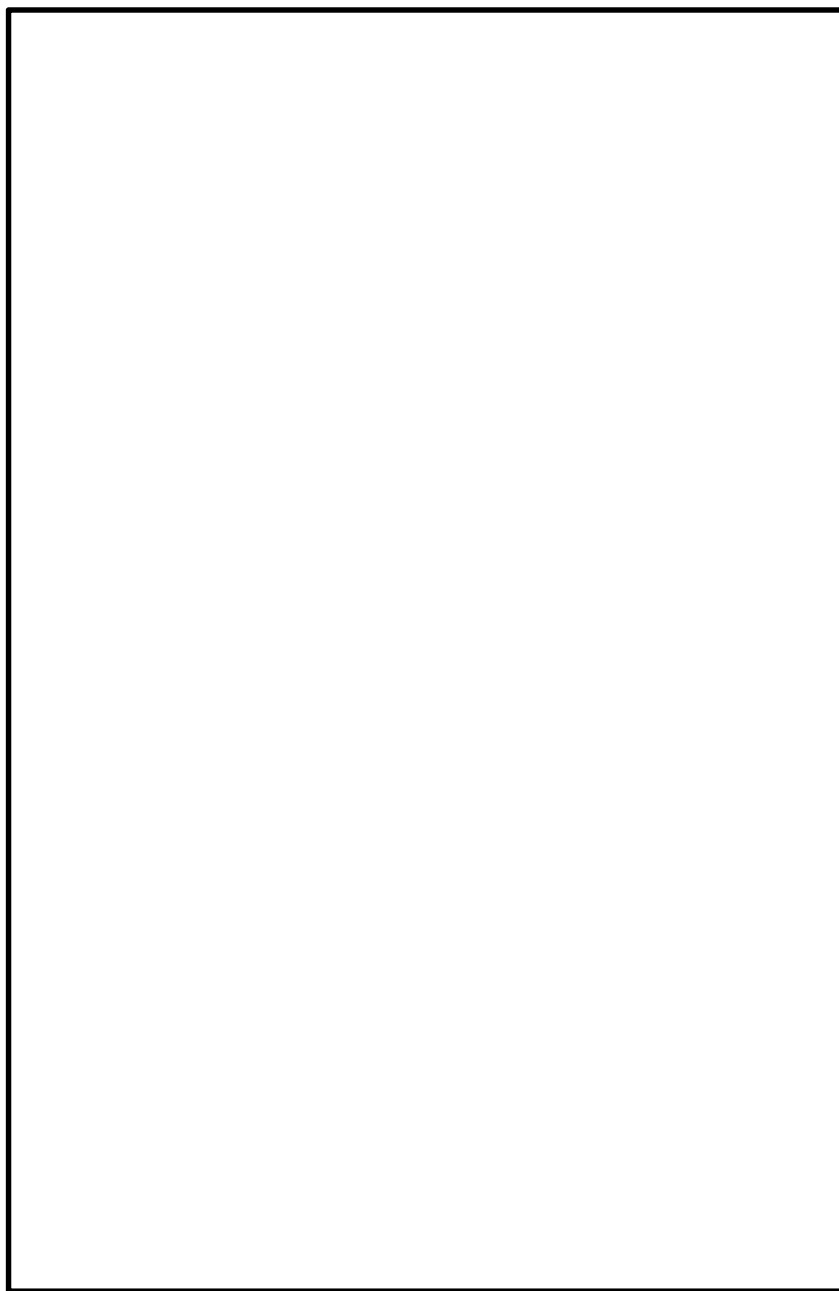


図 2-5 の概略平面図 (EL. 18.0 m)

2.3 評価方針

中央制御室遮蔽は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備」及び「常設重大事故緩和設備」に分類される。

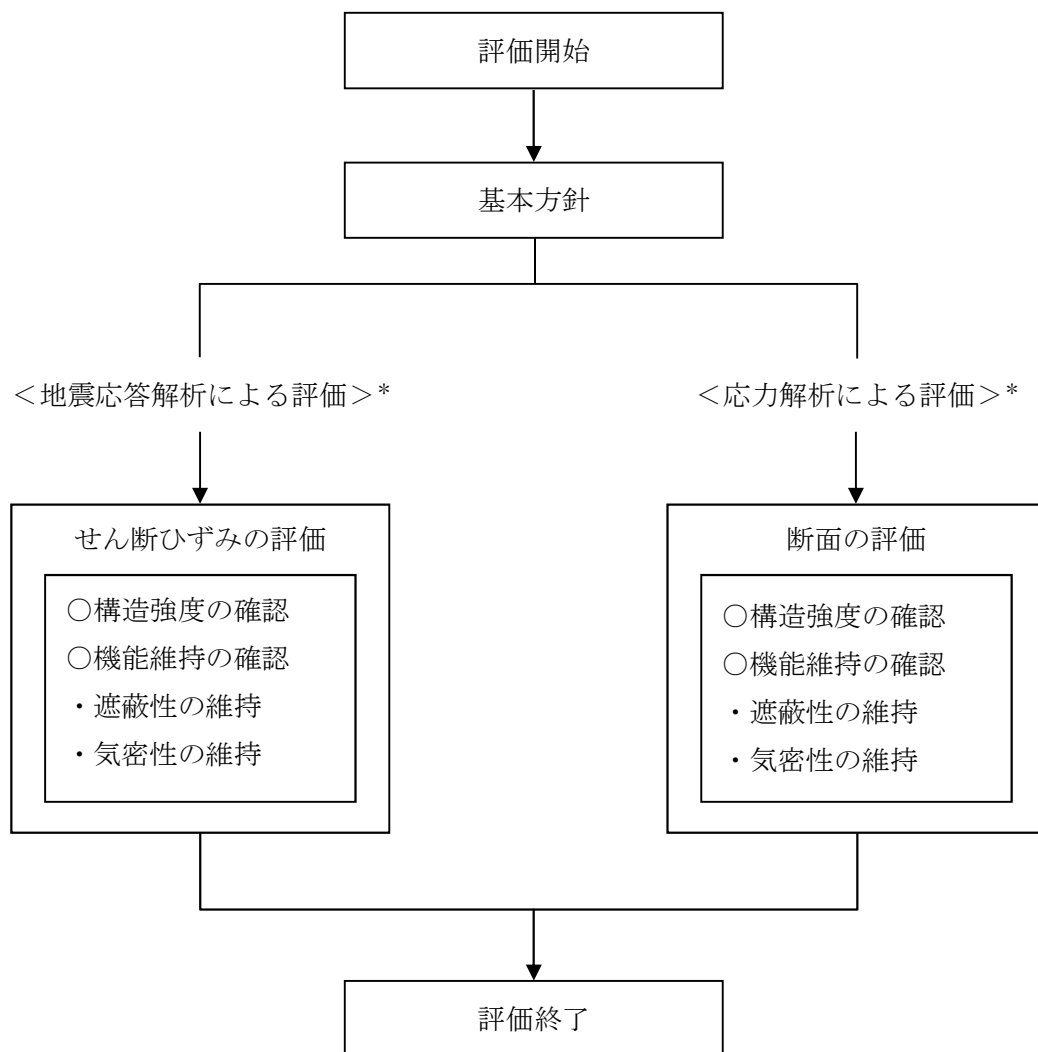
中央制御室遮蔽は、中央制御室を取り囲む壁、床スラブ及び天井スラブで構成されており、設計基準対象施設としての評価においては、弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対する評価（以下「 S_d 地震時に対する評価」という。）及び基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）を行う。

中央制御室遮蔽の評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析による評価においてはせん断ひずみの評価を、応力解析による評価においては断面の評価を行うことで、地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。機能維持の確認において、建物・構築物の構造強度の許容限界であるせん断ひずみを用いて算定した空気漏えい量が、設置する換気設備の性能を下回ること必要な気密性を維持する設計とする（別紙「中央制御室の気密性に関する計算書」参照）。それぞれの評価は、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。評価に当たっては地盤物性のばらつきを考慮する。ただし、耐震壁については、常時荷重が設計時と同一であること、また、応答に対して支配的となる水平方向の弾性設計用地震動 S_d による地震力及び静的地震力がいずれも『既工事計画認可申請書第1回 資料Ⅲ-1-4「原子炉建屋の地震応答計算書」（47 公第 12076 号 昭和 48 年 4 月 9 日認可）』の設計用地震力よりも小さいことから、新たな S_d 地震時に対する評価は行わない。

なお、中央制御室遮蔽の地震時の構造強度及び機能維持の確認には、地震応答解析による評価において保有水平耐力の評価及び支持機能の確認が必要であるが、中央制御室遮蔽が原子炉建屋の一部であることを踏まえ、中央制御室遮蔽を含む原子炉建屋全体としての評価結果を添付書類「V-2-2-2 原子炉建屋の耐震性についての計算書」に示す。

また、重大事故等対処施設としての評価においては、 S_s 地震時に対する評価を行う。ここで、中央制御室遮蔽では、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態において、圧力、温度等の条件について有意な差異がないことから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設としての評価と同一となる。

中央制御室遮蔽の評価フローを図 2-6 に示す。



注記 * : 添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-6 中央制御室遮蔽の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

中央制御室遮蔽の評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版((社) 日本電気協会)
- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計法—((社) 日本建築学会, 1999)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005) (以下「RC-N規準」という。)
- ・ 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所) (以下「技術基準解説書」という。)

3. 地震応答解析による評価方法

中央制御室遮蔽の構造強度については、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」による結果に基づき、地盤物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

また、遮蔽性及び気密性の維持については、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」による結果に基づき、地盤物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

地震応答解析による評価における中央制御室遮蔽の許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 3-1 及び表 3-2 のとおり設定する。

表 3-1 地震応答解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部 位	機能維持のための考え方	許容限界
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} *2

注記 *1：建屋全体としては、地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、梁、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従することと、全体に剛性の高い構造となっており、複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの面内変形が抑えられるため、各層の耐震壁が最大せん断ひずみの許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

*2：事故時に換気性能とあいまって居住性を維持できる気密性を有する設計とし、地震時においてもその機能を維持できる設計とする。

表 3-2 地震応答解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部 位	機能維持のための考え方	許容限界
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	耐震壁 ^{*1}	最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S_s	耐震壁 ^{*1}	最大せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S_s	耐震壁 ^{*1}	最大せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} ^{*2}

注記 *1：建屋全体としては、地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、梁、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従することと、全体に剛性の高い構造となっており、複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの面内変形が抑えられるため、各層の耐震壁が最大せん断ひずみの許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

*2：事故時に換気性能とあいまって居住性を維持できる気密性を有する設計とし、地震時においてもその機能を維持できる設計とする。

4. 応力解析による評価方法

4.1 評価対象部位及び評価方針

中央制御室遮蔽の応力解析による評価対象部位は、中央制御室遮蔽を構成する天井スラブ及び床スラブとし、弾性応力解析により評価を行う。弾性応力解析にあたっては、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」による結果を用いて、荷重の組合せを行う。

(1) S_d 地震時に対する評価

S_d 地震時に対する評価は、地盤物性のばらつきを考慮した鉛直方向の地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が、「RC-N規準」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

(2) S_s 地震時に対する評価

S_s 地震時に対する評価は、地盤物性のばらつきを考慮した鉛直方向の地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が、「RC-N規準」及び「技術基準解説書」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

評価については、各断面についてスラブのスパンが最も大きい部材を選定して示す。応力解析による評価フローを図 4-1 に、選定した部材を図 4-2 に示す。ここで、S1a および S1b については、梁方向に開口が連続することから 1 方向版として評価するため、いずれの部位についても同一の評価結果となる。

なお、水平方向の地震荷重に対する評価は、建屋全体が剛性の高い構造となっており、耐震壁間での相対変形が小さく、スラブの面内変形が抑えられることから、「3. 地震応答解析による評価方法」に含まれる。

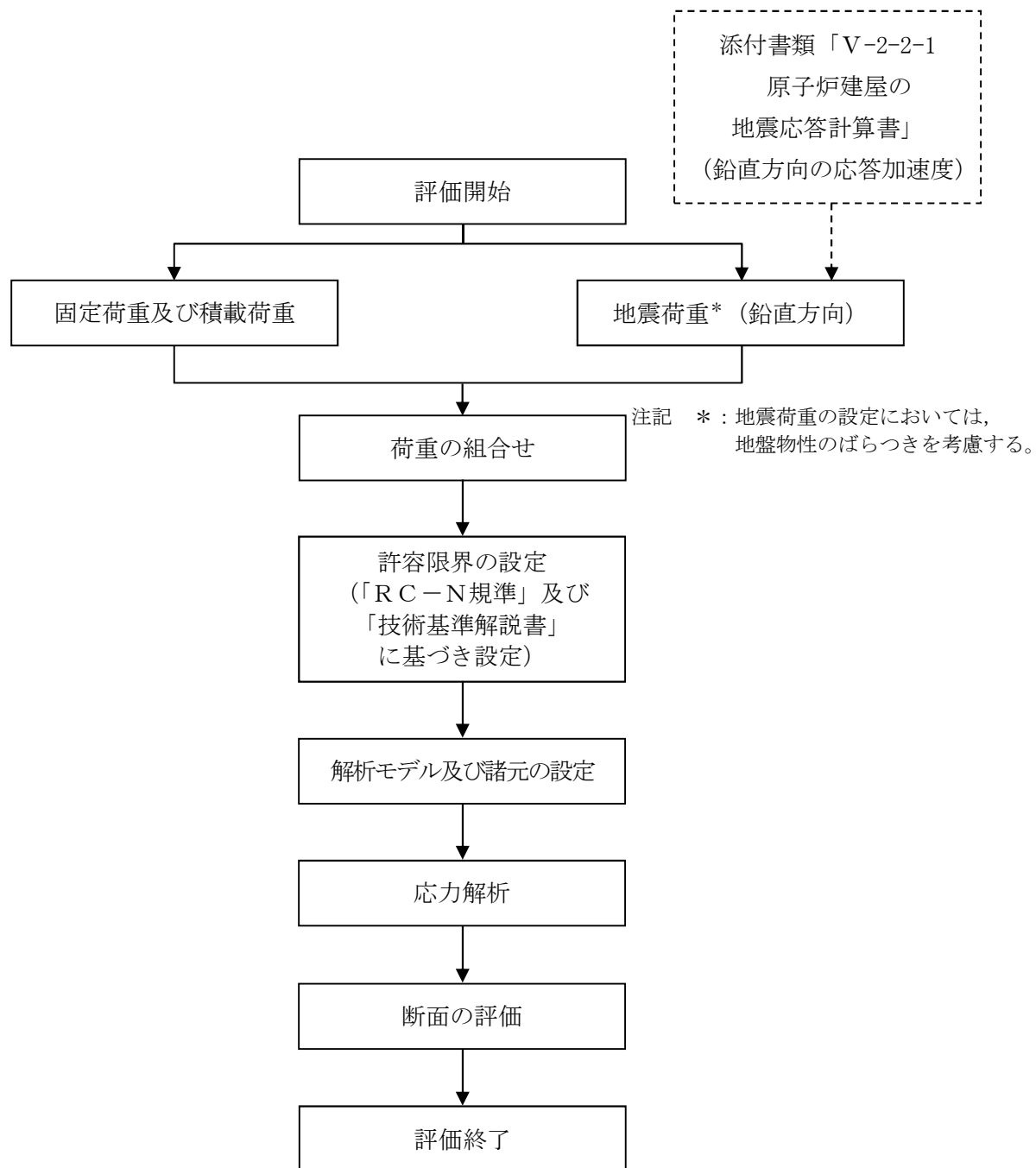


図 4-1 応力解析による評価フロー



図 4-2 スラブの評価を記載する部材の位置

4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重組合せを用いる。

4.2.1 荷重

(1) 固定荷重 (DL) 及び積載荷重 (LL)

応力解析において考慮する固定荷重及び積載荷重を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 固定荷重

部位	固定荷重 (kN/m ²)
天井スラブ	12.0
床スラブ	21.6

表 4-2 積載荷重

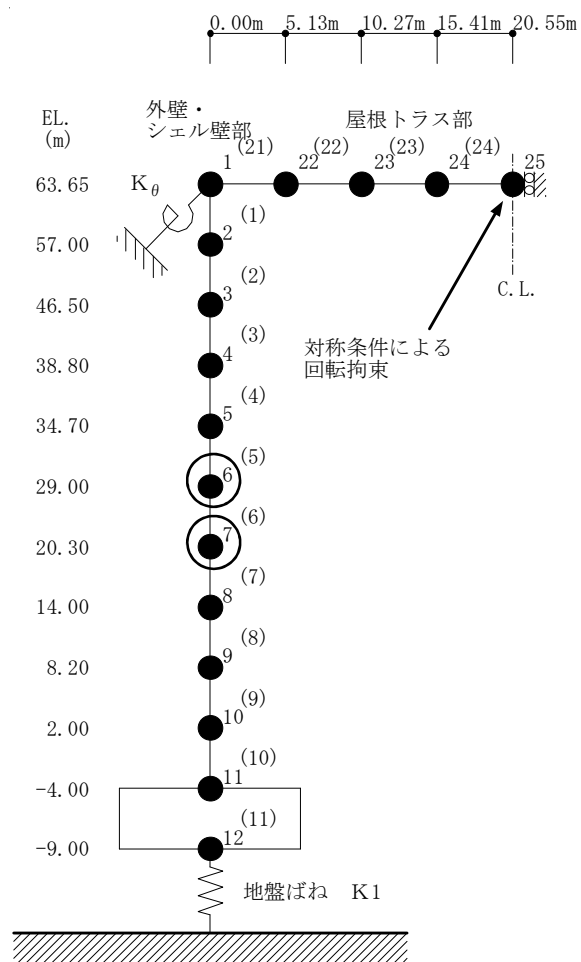
部位	積載荷重 (kN/m ²)
天井スラブ	12.3
床スラブ	12.3

(2) 地震荷重 (S_d , S_s)

鉛直地震力は、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析より算定される動的地震力に地盤物性のばらつきを考慮して設定する。

天井スラブ及び床スラブが、長辺方向約 10.6 m、短辺方向 3.35 m～7.0 m スパンで厚さ 50 cm の鉄筋コンクリート造スラブであることから剛とみなす。

地震荷重は、図 4-1 に示す基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する質点系モデルの中央制御室天井直上階レベル (EL. 29.0 m, 質点番号 6) 及び中央制御室床直上階レベル (EL. 20.3 m, 質点番号 7) の鉛直方向最大応答加速度より算定される鉛直震度とする。



- 注 1 : 数字は質点番号を示す。
 注 2 : () 内は要素番号を示す。
 注 3 : ○ 印の動的応答を用いる。

図 4-1 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する質点系モデル (UD 方向)

4.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-3 に示す。

表 4-3 荷重の組合せ

荷重状態	荷重の組合せ
S _d 地震時	DL+LL+S _d
S _s 地震時	DL+LL+S _s

DL : 固定荷重

LL : 積載荷重

S_d : S_d地震荷重

S_s : S_s地震荷重

4.3 許容限界

応力解析による評価における中央制御室遮蔽の許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の基本方針に基づき、表 4-4 及び表 4-5 のとおり設定する。

また、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 4-6 及び表 4-7 に示す。

表 4-4 応力解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部 位	機能維持のための考え方	許容限界
—	構造強度を有すること	弾性設計用 地震動 S_d 及び 静的地震力	天井スラブ 床スラブ	部材に生じる応力が 構造強度を確保する ための許容限界を超 えないことを確認	「RC-N規準」 に基づく 短期許容応力度
		基準地震動 S_s			「RC-N規準」 に基づく 終局強度* ¹
遮蔽性	遮蔽体の損傷 により遮蔽性 を損なわない こと	弾性設計用 地震動 S_d 及び 静的地震力	天井スラブ 床スラブ	部材に生じる応力が 遮蔽性を維持するた めの許容限界を超え ないことを確認	「RC-N規準」 に基づく 短期許容応力度
		基準地震動 S_s			「RC-N規準」 に基づく 短期許容応力度* ²
気密性	換気性能とあ いまって気密 機能を維持す ること	弾性設計用 地震動 S_d 及び 静的地震力	天井スラブ 床スラブ	部材に生じる応力が 気密性を維持するた めの許容限界を超え ないことを確認	「RC-N規準」 に基づく 短期許容応力度
		基準地震動 S_s			「RC-N規準」 に基づく 短期許容応力度* ³

注記 *1:「RC-N規準」の短期許容応力度の鋼材の基準強度 F を「技術基準解説書」に基づき 1.1 倍（面外せん断力に対する評価時の鋼材の基準強度 F は 1.0 倍）した耐力とする。

*2: 許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものと設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

*3: 地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし、地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

表 4-5 応力解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部 位	機能維持のための考え方	許容限界
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	天井スラブ 床スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく 終局強度* ¹
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S _s	天井スラブ 床スラブ	部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく 短期許容応力度* ²
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S _s	天井スラブ 床スラブ	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく 短期許容応力度* ³

注記 *1:「RC-N規準」の短期許容応力度の鋼材の基準強度 F を「技術基準解説書」に基づき 1.1 倍（面外せん断力に対する評価時の鋼材の基準強度 F は 1.0 倍）した耐力とする。

*2: 許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

*3: 地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし、地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

表 4-6 コンクリートの許容応力度

Fc (N/mm ²)	圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)
22. 1	14. 7	1. 06

表 4-7 鉄筋の許容応力度

引張及び圧縮 (N/mm ²)	せん断補強 (N/mm ²)
SD345*	SD345*
345	345

注記 * : 建設当時の鉄筋の種類は SD35 であるが現在の規格 (SD345) に読み替えた許容応力度を示す。

4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 モデル化の基本方針

スラブの鉛直地震動による影響に対する検討において，柱，壁及び梁で囲まれた範囲についてモデル化する。

スラブの解析モデルは，天井スラブ及び床スラブ①については，四辺固定版として評価する。床スラブ②及び床スラブ③については，梁方向に連続した開口を有するため，単位幅について壁で支持された両端固定梁として評価する。スラブの解析モデルを図 4-2 に示す。

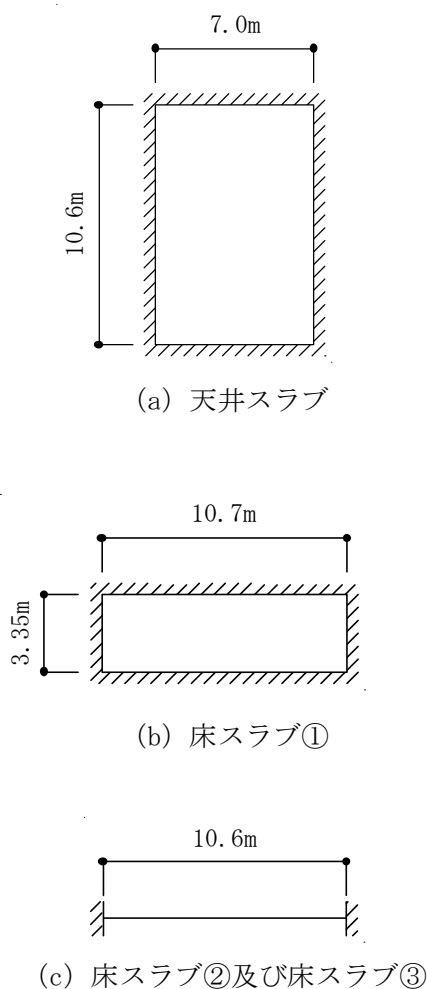


図 4-2 解析モデル

4.4.2 解析諸元

使用材料（鉄筋コンクリート）の物性値を表 4-8 に示す。

表 4-8 鉄筋コンクリートの物性値

コンクリートの 設計基準強度 F_c (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
22.1	2.21×10^4	0.2

4.5 評価方法

4.5.1 応力解析方法

(1) 荷重ケース

作用荷重のうち地震荷重は、固定荷重及び積載荷重と同じ下向きに作用する場合に生じる応力が最大となるため、地震荷重は鉛直下向きの場合のみ考慮する。

(2) 長期荷重の算出方法

長期荷重時の端部モーメント、中央モーメント及びせん断力の算出方法は下式の通り算出する。長期荷重時の端部モーメント、中央モーメント及びせん断力を表 4-9 に示す。

（四辺固定版）

- ・長期荷重時の短辺の端部モーメント (M_{x1})

$$M_{x1} = -\frac{1}{12} w_x \cdot l_x^2$$

- ・長期荷重時の短辺の中央モーメント (M_{x2})

$$M_{x2} = \frac{1}{18} w_x \cdot l_x^2$$

- ・長期荷重時の短辺のせん断力 (Q_x)

$$Q_x = 0.52 w \cdot l_x$$

- ・長期荷重時の長辺の端部モーメント (M_{y1})

$$M_{y1} = -\frac{1}{24} w \cdot l_x^2$$

- ・長期荷重時の長辺の中央モーメント (M_{y2})

$$M_{y2} = \frac{1}{36} w \cdot l_x^2$$

- ・長期荷重時の長辺のせん断力 (Q_y)

$$Q_y = 0.46 w \cdot l_x$$

ここで,

l_x : 短辺有効スパン (m)

l_y : 長辺有効スパン (m)

w : 単位面積あたりの長期荷重 (kN/m^2)

$$w_x = \frac{l_y^4}{l_x^4 + l_y^4} w$$

(両端固定梁)

- ・長期荷重時の端部モーメント (M_E)

$$M_E = -\frac{1}{12} w \cdot l^2$$

- ・長期荷重時の中央モーメント (M_C)

$$M_C = \frac{1}{24} w \cdot l^2$$

- ・長期荷重時の端部せん断力 (Q_E)

$$Q_E = 0.5 w \cdot l$$

ここで,

l : 有効スパン (m)

w : 単位面積あたりの長期荷重 (kN/m^2)

表 4-9 長期荷重時の端部モーメント, 中央モーメント及びせん断力

部 位	スラブ厚 (mm)	方 向	端部モーメント ($\text{kN}\cdot\text{m/m}$)	中央モーメント ($\text{kN}\cdot\text{m/m}$)	せん断力 (kN/m)
天井スラブ	500	短辺 (EW)	83.4	55.6	88.5
		長辺 (NS)	49.6	33.1	78.2
床スラブ①	500	短辺 (NS)	31.4	20.9	59.1
		長辺 (EW)	15.9	10.6	52.2
床スラブ②	500	長辺 (NS)	317.4	158.7	179.7
床スラブ③	500	長辺 (EW)	317.4	158.7	179.7

(3) 応力の算出方法

「(2) 長期荷重の算出方法」における長期荷重時の端部モーメント、中央モーメント及びせん断力を、中央制御室天井直上階レベル (EL. 29.0 m, 質点番号 6) 及び中央制御室床直上階レベル (EL. 20.3 m, 質点番号 7) の鉛直方向最大応答加速度より算出した鉛直震度により係数倍することで算出する。鉛直方向最大応答加速度を表 4-10 に、算出した端部モーメント、中央モーメント及びせん断力を表 4-11 に示す。

表 4-10 地震応答解析による最大応答加速度

(a) 弾性設計用地震動 S_d

部 位	質点番号	基 本 ^{*1} (cm/s^2)	地盤 + σ 相当 ^{*2} (cm/s^2)	地盤 - σ 相当 ^{*2} (cm/s^2)	最大値 (cm/s^2)
天 井	6	334	359	305	359
床	7	291	315	278	315

注記 *1: S_d-D1 , S_d-11 , S_d-12 , S_d-13 , S_d-14 , S_d-21 , S_d-22 及び S_d-31 の最大値
 *2: S_d-D1 , S_d-21 , S_d-22 及び S_d-31 の最大値

(b) 基準地震動 S_s

部 位	質点番号	基 本 ^{*1} (cm/s^2)	地盤 + σ 相当 ^{*2} (cm/s^2)	地盤 - σ 相当 ^{*2} (cm/s^2)	最大値 (cm/s^2)
天 井	6	633	690	556	690
床	7	547	603	510	603

注記 *1: S_d-D1 , S_d-11 , S_d-12 , S_d-13 , S_d-14 , S_d-21 , S_d-22 及び S_d-31 の最大値
 *2: S_d-D1 , S_d-21 , S_d-22 及び S_d-31 の最大値

表 4-11 鉛直震度より算出した端部モーメント，中央モーメント及びせん断力

(a) 弾性設計用地震動 S_d

部 位	検討用 鉛直震度	方 向	端部モーメント (kN・m/m)	中央モーメント (kN・m/m)	せん断力 (kN/m)
天井スラブ	1.37	短辺 (EW)	114.3	76.2	121.2
		長辺 (NS)	68.0	45.3	107.1
床スラブ①	1.33	短辺 (NS)	41.8	27.8	78.6
		長辺 (EW)	21.1	14.1	69.4
床スラブ②	1.33	長辺 (NS)	422.1	211.1	239.0
床スラブ③	1.33	長辺 (EW)	422.1	211.1	239.0

(b) 基準地震動 S_s

部 位	検討用 鉛直震度	方 向	端部モーメント (kN・m/m)	中央モーメント (kN・m/m)	せん断力 (kN/m)
天井スラブ	1.71	短辺 (EW)	142.6	95.1	151.3
		長辺 (NS)	84.8	56.6	133.7
床スラブ①	1.62	短辺 (NS)	50.9	33.9	95.7
		長辺 (EW)	25.8	17.2	84.6
床スラブ②	1.62	長辺 (NS)	514.2	257.1	291.1
床スラブ③	1.62	長辺 (EW)	514.2	257.1	291.1

4.5.2 断面の評価方法

(1) 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象部位に生じる曲げモーメントが、短期許容曲げモーメントを超えないことを確認する。

$$M_A = a_t \cdot f_t \cdot j$$

ここで、

- M_A : 短期許容曲げモーメント (N・mm)
- a_t : 引張鉄筋断面積 (mm²)
- f_t : 引張鉄筋の短期許容引張応力度 (N/mm²)
- j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

(2) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで、

- Q_A : 許容面外せん断力 (N)
- b : 断面の幅 (mm)
- j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)
- α : 許容せん断力の割り増し係数

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

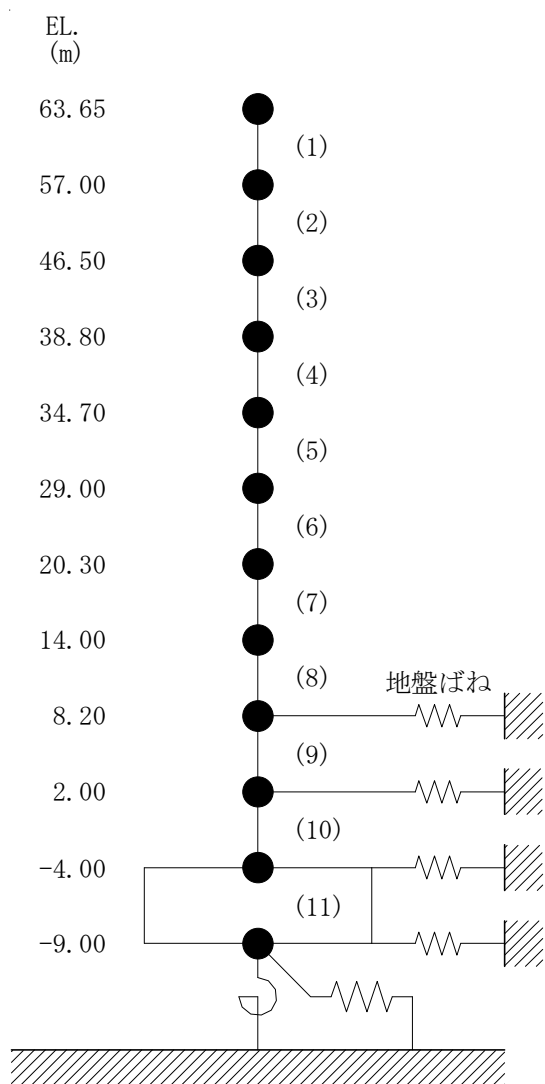
f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表 4-6 に示す値 (N/mm²)

5. 評価結果

5.1 地震応答解析による評価結果

鉄筋コンクリート造耐震壁について、 S_s 地震時の各層の最大せん断ひずみが許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認する。

地盤物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみは 0.56×10^{-3} (要素番号 (7), 地盤+ σ 相当, EW 方向, S_s-31) であり, 許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。質点系モデルを図 5-1 に, 地盤物性のばらつきを考慮した要素番号 (7), EW 方向のせん断スケルトンカーブと最大応答値を図 5-2 に示す。



注 : () 内は要素番号を示す。

図 5-1 質点系モデル (水平方向)

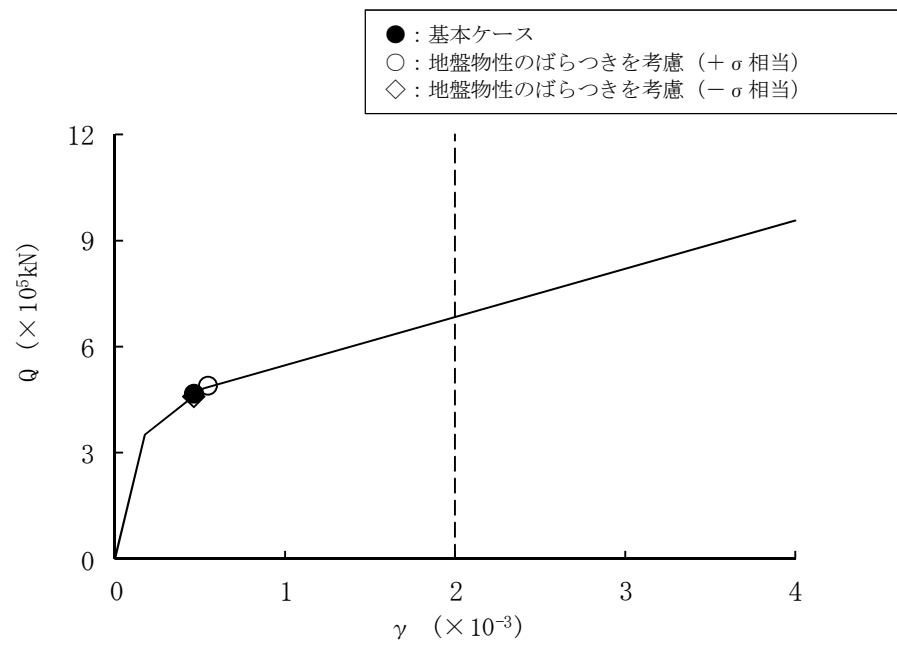


図 5-2 せん断スケルトンカーブと最大応答値 (要素番号 (7), EW 方向, $S_s - 3.1$)

5.2 応力解析による評価結果

スラブの配筋一覧を表 5-1 に示す。また、「4.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を表 5-2～表 5-5 に示す。

S_d地震時及びS_s地震時において、発生値が許容値を超えないことを確認した。

表 5-1 スラブの配筋

(a) 天井 (EL. 23.0 m)

部材	方向	上端筋	断面積 (mm ² /m)	下端筋	断面積 (mm ² /m)
S2	NS	D19@200	1433	D19@200	1433
	EW	D19@200	1433	D19@200	1433

(b) 床 (EL. 18.0 m)

部材	方向	上端筋	断面積 (mm ² /m)	下端筋	断面積 (mm ² /m)
S1	NS	D19@200	1433	D19@200	1433
	EW	D19@200	1433	D19@200	1433
S1a	NS	D32@140	5673	D32@140	5673
	EW	D19@200	1433	D19@200	1433
S1b	NS	D19@200	1433	D19@200	1433
	EW	D32@140	5673	D32@140	5673

表 5-2 評価結果（天井スラブ，弾性設計用地震動 S_d ）

方 向		EW 方向	NS 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		500 × 1000	
有効せい d (mm)		400	
配 筋	上 端	D19@200 (1433 mm ²)	D19@200 (1433 mm ²)
	下 端	D19@200 (1433 mm ²)	D19@200 (1433 mm ²)
発生曲げモーメント M (kN・m)		114.3	68.0
許容値 M_A (kN・m)		173	173
検定値 M/M_A		0.67	0.40
発生せん断力 Q (kN)		121.2	107.1
せん断スパン比による割増係数 α		1.19	1.55
許容値 Q_A (kN)		441	575
検定値 Q/Q_A		0.28	0.19
判 定		可	可

表 5-3 (1/3) 評価結果 (床スラブ①, 弾性設計用地震動 S_d)

方 向		EW 方向	NS 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		500 × 1000	
有効せい d (mm)		400	
配 筋	上 端	D19@200 (1433 mm ²)	D19@200 (1433 mm ²)
	下 端	D19@200 (1433 mm ²)	D19@200 (1433 mm ²)
発生曲げモーメント M (kN・m)		41.8	21.1
許容値 M_A (kN・m)		173	173
検定値 M/M_A		0.25	0.13
発生せん断力 Q (kN)		78.6	69.4
せん断スパン比による割増係数 α		1.72	2.00
許容値 Q_A (kN)		638	742
検定値 Q/Q_A		0.13	0.10
判 定		可	可

表 5-3 (2/3) 評価結果 (床スラブ②, 弾性設計用地震動 S_d)

方 向		NS 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		500 × 1000
有効せい d (mm)		400
配 筋	上 端	D32@140 (5673 mm ²)
	下 端	D32@140 (5673 mm ²)
発生曲げモーメント M (kN・m)		422.1
許容値 M_A (kN・m)		685
検定値 M/M_A		0.62
発生せん断力 Q (kN)		239.0
せん断スパン比による割増係数 α		1.00
許容値 Q_A (kN)		371
検定値 Q/Q_A		0.65
判 定		可

表 5-3 (3/3) 評価結果 (床スラブ③, 弾性設計用地震動 S_d)

方 向		EW 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		500 × 1000
有効せい d (mm)		400
配 筋	上 端	D32@140 (5673 mm ²)
	下 端	D32@140 (5673 mm ²)
発生曲げモーメント M (kN・m)		422.1
許容値 M_A (kN・m)		685
検定値 M/M_A		0.62
発生せん断力 Q (kN)		239.0
せん断スパン比による割増係数 α		1.00
許容値 Q_A (kN)		371
検定値 Q/Q_A		0.65
判 定		可

表 5-4 評価結果（天井スラブ，基準地震動 S_s ）

方 向		EW 方向	NS 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		500 × 1000	
有効せい d (mm)		400	
配 筋	上 端	D19@200 (1433 mm ²)	D19@200 (1433 mm ²)
	下 端	D19@200 (1433 mm ²)	D19@200 (1433 mm ²)
発生曲げモーメント M (kN・m)		142.6	84.8
許容値 M_A (kN・m)		173	173
検定値 M/M_A		0.83	0.50
発生せん断力 Q (kN)		151.3	133.7
せん断スパン比による割増係数 α		1.19	1.55
許容値 Q_A (kN)		441	575
検定値 Q/Q_A		0.35	0.24
判 定		可	可

表 5-5 (1/3) 評価結果 (床スラブ①, 基準地震動 S_s)

方 向		EW 方向	NS 方向
厚さ t (mm) $\times$ 幅 b (mm)		500 $\times$ 1000	
有効せい d (mm)		400	
配 筋	上 端	D19@200 (1433 mm ²)	D19@200 (1433 mm ²)
	下 端	D19@200 (1433 mm ²)	D19@200 (1433 mm ²)
発生曲げモーメント M (kN $\cdot$ m)		50.9	25.8
許容値 M_A (kN $\cdot$ m)		173	173
検定値 M/M_A		0.30	0.15
発生せん断力 Q (kN)		95.7	84.6
せん断スパン比による割増係数 α		1.72	2.00
許容値 Q_A (kN)		638	742
検定値 Q/Q_A		0.15	0.12
判 定		可	可

表 5-5 (2/3) 評価結果 (床スラブ②, 基準地震動 S_s)

方 向		NS 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		500 × 1000
有効せい d (mm)		400
配 筋	上 端	D32@140 (5673 mm ²)
	下 端	D32@140 (5673 mm ²)
発生曲げモーメント M (kN・m)		514. 2
許容値 M_A (kN・m)		685
検定値 M/M_A		0. 76
発生せん断力 Q (kN)		291. 1
せん断スパン比による割増係数 α		1. 00
許容値 Q_A (kN)		371
検定値 Q/Q_A		0. 79
判 定		可

表 5-5 (3/3) 評価結果 (床スラブ③, 基準地震動 S_s)

方 向		EW 方向
厚さ t (mm) $\times$ 幅 b (mm)		500 $\times$ 1000
有効せい d (mm)		400
配 筋	上 端	D32@140 (5673 mm ²)
	下 端	D32@140 (5673 mm ²)
発生曲げモーメント M (kN $\cdot$ m)		514. 2
許容値 M_A (kN $\cdot$ m)		685
検定値 M/M_A		0. 76
発生せん断力 Q (kN)		291. 1
せん断スパン比による割増係数 α		1. 00
許容値 Q_A (kN)		371
検定値 Q/Q_A		0. 79
判 定		可

別紙 1 中央制御室の気密性に関する計算書

目次

1. 概要	別紙 1-1
2. 既往の知見等の整理	別紙 1-1
3. 中央制御室バウンダリにおける空気漏えい量に対する影響検討	別紙 1-3
3.1 検討方針	別紙 1-3
3.2 空気漏えい量の算定結果	別紙 1-5
3.3 総漏えい量と空気流入率の比較	別紙 1-6
3.4 検討結果	別紙 1-6
4. まとめ	別紙 1-6

1. 概要

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（昭和53年9月制定）におけるAクラスの施設の気密性について、原子力発電所耐震設計技術指針J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1 -1987」という。）では、 S_1 地震動に対し弾性範囲であることを確認することで、機能が維持されるとしている。

添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」の機能維持の設計方針では、耐震壁のせん断ひずみが概ね弾性状態にとどまることを基本としたうえで、概ね弾性状態を超える場合は、地震応答解析による耐震壁のせん断ひずみから算定した空気漏えい量が、設置する換気設備の性能を下回ること必要な気密性を維持する設計としている。その場合、気密性を要求される施設に対し、基準地震動 S_s による鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界を最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} としている。

中央制御室遮蔽の地震応答解析による評価において、鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界として設定した最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} の適用性について確認するために、耐震壁のせん断ひび割れと空気漏えい量の関係に係る既往の知見を整理するとともに、中央制御室空調装置の処理対象となるバウンダリ（以下「中央制御室バウンダリ」という。）における空気漏えい量に対する影響を評価する。

2. 既往の知見等の整理

（財）原子力発電技術機構は、「原子力発電施設耐震信頼性実証試験に関する報告書*¹」において、J E A G 4 6 0 1 -1987による許容限界の目安値（ S_2 地震時に対してせん断変形角 $2/1000$ rad、静的地震力に対して $\tau = \tau_u/1.5$ ）において想定されるひび割れを残留ひび割れと仮定した場合の外気侵入量を算出し、気圧差維持のためのファン容量と比較することで、空気漏えい量に対する評価を実施している。その結果「残留ひび割れからの外気侵入量は、ファン容量に比較すると無視できるほど小さいことが明らかになった」としている。

また、（財）原子力発電技術機構は、「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書*²」において、耐震壁の残留ひび割れからの通気量の評価式が、十分に実機への適用性があることを確認している。更に、開口部の存在による通気量割増率の評価式も示されており、「開口部の残留ひび割れ幅の割増率がおおよそ推定できる」としている。

したがって、中央制御室バウンダリを構成する壁が鉄筋コンクリート造であり、壁厚も「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に示される壁厚と同程度であることから、同文献にて提案されている各評価式を用い、中央制御室バウンダリにおける空気漏えい量の算出を行う。以下に評価式を示す。

$$Q = C \gamma^{2.57} \Delta P / T \quad \cdots (\text{式 } 5.3.1-4)$$

ここで,

Q : 単位面積あたりの流量 (L/min/m²)

C : 定数

(中央値は 2.24×10^6 , 95%非超過値は 1.18×10^7 , 5%非超過値は 4.21×10^5)

γ : 最大せん断ひずみ

ΔP : 差圧 (mmAq)

T : 壁厚 (cm)

$$\Delta_Q = \left\{ (\alpha^2 - 1) \left(\frac{Q'}{Q_0} - 1 \right) - 1 \right\} \beta + 1 \quad \cdots (\text{式 } 6.2.4-31)$$

ここで,

Δ_Q : 通気量割増率

α : 通気量割増範囲 (=3)

$\frac{Q'}{Q_0}$: 定数

(中央値とみなされる評価法では 1.81, 安全側とみなされる評価法では 7.41)

β : 壁の見付け面積に対する開口の総面積

注記 *1: 財団法人 原子力発電技術機構「原子力発電施設耐震信頼性実証試験 原子炉建屋総合評価 建屋基礎地盤系評価 に関する報告書 (その2) 平成8年度」

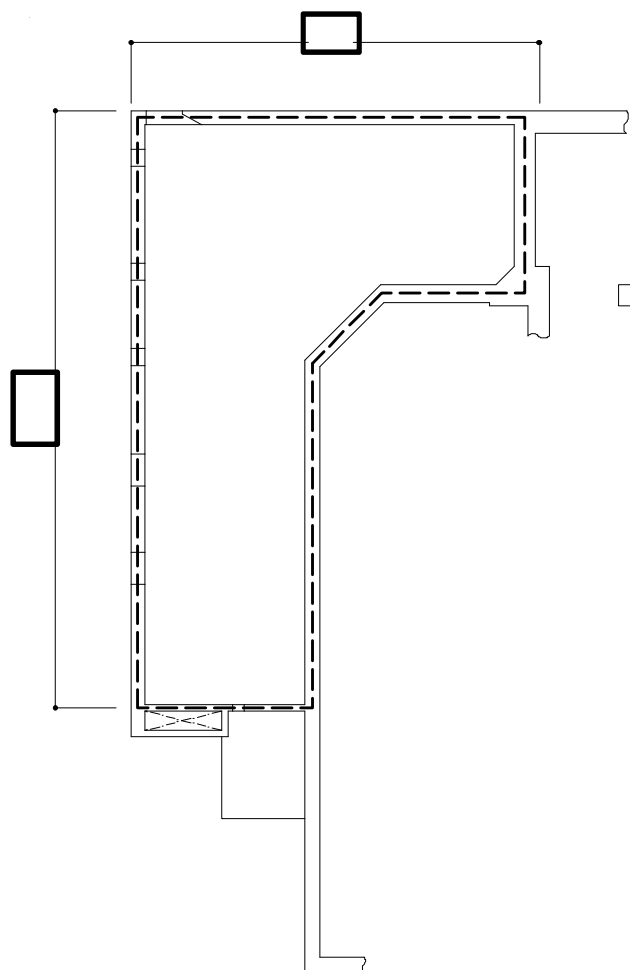
*2: 財団法人 原子力発電技術機構「耐震安全解析コード改良試験 原子炉建屋の弾塑性試験 試験結果の評価に関する報告書 平成5年度」

3. 中央制御室バウンダリにおける空気漏えい量に対する影響検討

3.1 検討方針

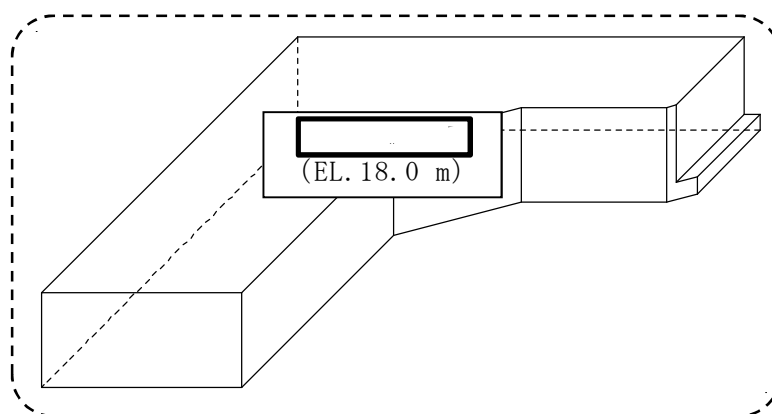
「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に基づき、式 5.3.1-4 及び式 6.2.4-31 により中央制御室バウンダリを構成する壁の最大せん断ひずみが許容限界 (2.0×10^{-3}) に達したときの空気漏えい量を算定し、空気流入率を超えないことを確認する。

中央制御室バウンダリの概略図を図 3-1 に示す。中央制御室バウンダリ (EL. 18.0 m ~ EL. 23.0 m) を構成する壁の壁厚は約 40 cm から約 140 cm である。



[] : 評価対象範囲

(a) [] の概略平面図 (EL. 18.0 m)



[] : 評価対象範囲

(b) [] の概要

図 3-1 [] の概略図

3.2 空気漏えい量の算定結果

中央制御室バウンダリの空気漏えい量を算定した。本検討は、地震応答解析のせん断ひずみの許容限界として最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を用いることの適用性を確認することが目的であることから、評価式における定数について、安全側の値を用いた。算定結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 算定結果 ()

高さ	定数		最 大 せん断 ひずみ γ	*1 差圧 ΔP (mmAq)	壁厚 T (cm)	*2 壁の 面積 A (m^2)	漏えい量 Q (L/min/ m^2)	壁の見 付け面 積に対 する開 口の総 面積 β	通気量 割増率 Δ_q	総漏えい量 $Q \times A \times \Delta_q$ (L/min)
	C	$\frac{Q'}{Q_0}$								
(EL. 23.0 m ～ EL. 18.0 m)	1.18×10 ⁷	7.41	2.0×10 ⁻³	7.5	40	57.2	0.26	0.088	5.43	81
90					444.8	0.12	0.060	4.02	215	
100					100.8	0.11	0.000	1.00	12	
120					27.7	0.09	0.000	1.00	3	
140					57.2	0.08	0.000	1.00	5	
									合計	316

注記 *1：試運転時の試験結果を基に、保守的な値とする。

*2： () を構成する壁の総面積を用いる。

3.3 総漏えい量と空気流入率の比較

中央制御室バウンダリの総漏えい量と空気流入率を表 3-2 に示す。中央制御室バウンダリについて総漏えい量から算出した空気流入率は、被ばく評価に用いる空気流入率の 1% 程度であることを確認した。

表 3-2 総漏えい量と空気流入率の比較

総漏えい量から算出した空気流入率 (回/h)	被ばく評価用に用いる空気流入率 (回/h)
0.01 ^{*1}	1.0 ^{*2}

注記 *1：総漏えい量を中央制御室の被ばく評価適用値を切り下げた中央制御室バウンダリ内体積である 2800 m³*² を用いて、空気流入率に換算

*2：添付書類「V-1-7-3 中央制御室の居住性に関する説明書」より抜粋

3.4 検討結果

中央制御室バウンダリについて総漏えい量から算出した換気回数は、被ばく評価に用いる換気回数より小さいことを確認した。

よって、中央制御室バウンダリは、耐震壁の許容限界を最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} とした場合において、換気設備とあいまって機能を維持できる気密性を有している。

4. まとめ

中央制御室バウンダリは、耐震壁の許容限界として最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を適用した場合において、換気性能とあいまって機能を維持できる気密性を有していることを確認した。

以上より、中央制御室遮蔽の地震応答解析による評価において、換気設備とあいまって気密性を維持するために設定する許容限界として、最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を用いることの適用性を確認した。

別紙2 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した検討 (中央制御室遮蔽)

目次

1. 概要.....	別紙 2-1
2. 検討方針.....	別紙 2-1
3. 検討結果.....	別紙 2-3
4. まとめ.....	別紙 2-4

1. 概要

原子炉建屋の設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答増幅の影響についての検討を行う。

添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書 別紙 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」に示した地震応答解析結果の応答比率を用いて、中央制御室遮蔽の地震応答解析及び応力解析による評価結果への影響を検討する。

2. 検討方針

中央制御室遮蔽を対象として、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率と地震応答解析によるせん断ひずみの評価結果及び応力評価結果より影響検討を行う。

せん断ひずみの評価は、中央制御室の耐震壁レベルにあたる EL. 18.0 m～EL. 23.0 m に位置する要素番号(6)及び要素番号(7)の応答比率を乗じた最大応答せん断ひずみが許容値を超えないことを確認する。

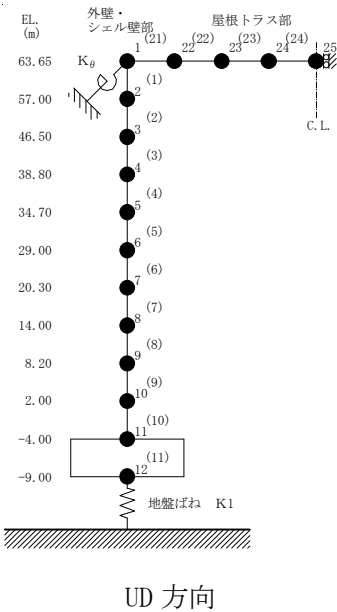
また、中央制御室遮蔽は、中央制御室遮蔽を構成する天井スラブ及び床スラブの鉛直震度として、中央制御室天井直上階レベル(EL. 29.0 m, 質点番号 6)及び中央制御室床直上階レベル(EL. 20.3 m, 質点番号 7)の鉛直方向最大応答加速度より算出した値を考慮することから、天井スラブは質点番号 6、床スラブは質点番号 7 の最大応答加速度の応答比率を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

表 1-1 に応力評価に用いる質点番号 6 及び質点番号 7 の鉛直方向最大応答加速度の応答比率及び割増係数を示す。

表 1-1 重量増加を考慮した応力評価の割増係数：中央制御室遮蔽

	割増係数	備考
天井スラブ	1.00*	質点番号 6
床スラブ	1.00*	質点番号 7

注記 *：添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書 別紙
原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地
震応答解析」に示す質点番号 6 及び質点番号 7 の鉛直方向
最大応答加速度の応答比率



3. 検討結果

地震応答解析による評価では、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した割増係数を乗じた最大せん断ひずみは、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書 別紙 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」の4.3項に示す 0.62×10^{-3} （要素番号（7），EW方向）であり，許容限界（ 2.0×10^{-3} ）を超えないことを確認した。

応力評価結果については中央制御室遮蔽に乗じる割増係数が1.00であり，重量増加を考慮した場合においても，評価に有意な影響がないことを確認した。

4. まとめ

原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析に基づき影響検討を行い、重量増加を考慮した場合においても安全上問題とならないことを確認した。

V-2-8-4-3 中央制御室待避室遮蔽の耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	設計方針	1
2.1	設計条件	1
3.	基本事項	3
3.1	適用法令等	3
3.2	使用材料及び材料の許容応力度	3
3.3	設計荷重	4
4.	床スラブの設計	5
4.1	モデル化の基本方針	5
4.2	評価結果	6
5.	遮蔽壁の設計	7
5.1	モデル化の基本方針	7
5.2	評価結果	7

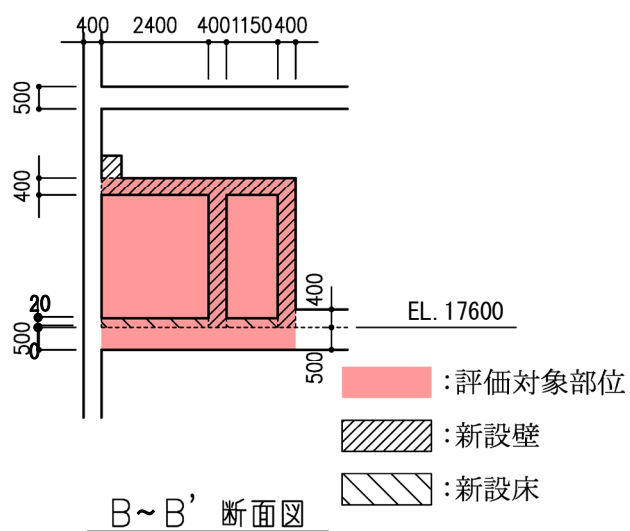
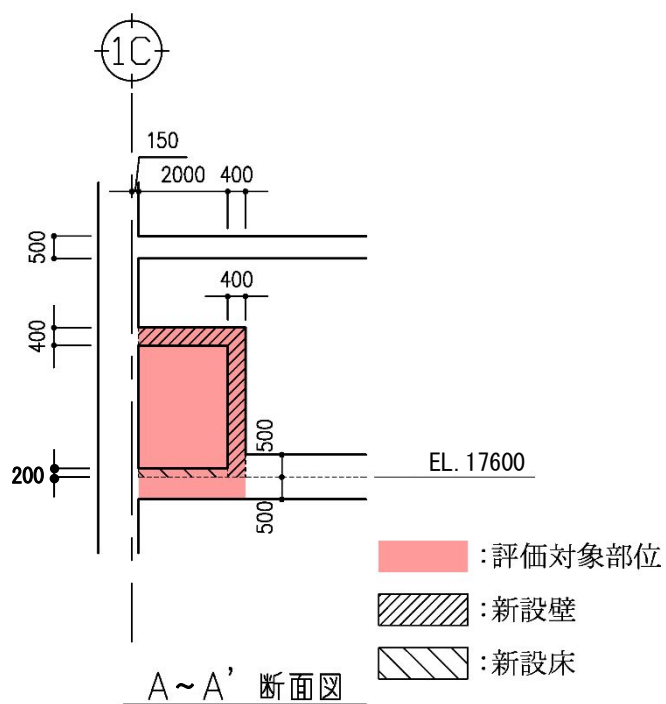


図 2-1 (2/2) 中央制御室待避室 遮蔽壁設置概要図 (単位: mm)

3. 基本事項

3.1 適用法令等

検討は以下の関連諸法規，規準及び規格に準拠する。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程（J E A C 4 6 0 1－2008）（日本電気協会）
- (3) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同基準（日本建築学会 2010 年改定）
- (4) 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同基準（日本建築学会 2005 年改定）
- (5) 各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会 2010 年改定）
- (6) 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書

3.2 使用材料及び材料の許容応力度

使用材料の許容応力度を表 3-1，表 3-2 にそれぞれ示す。

表 3-1 コンクリートの許容応力度 (単位：N/mm²)

種別	Fc	長期		短期	
		圧縮	せん断	圧縮	せん断
普通コンクリート	22.1	7.3	0.71	14.6	1.06

表 3-2 鉄筋の許容応力度 (単位：N/mm²)

種別	呼び名	長期		短期	
		引張り及び 圧縮	せん断	引張り及び 圧縮	せん断
SD295A	D10～D16	195	195	295	295
SD345	D19～D25	215	195	345	345
SD345	D29～D38	195	195	345	345

3.3 設計荷重

検討に当たっては、以下の荷重を考慮する。

a. 固定荷重 (DL)

コンクリート厚さ t に応じ $(24 \times t)$ kN/m^2 とする。

b. 積載荷重 (LL)

9.5 kN/m^2 とする。

c. 配管荷重 (PL)

3.0 kN/m^2 とする。

d. 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による地震応答解析によって求めた該当階の最大せん断ひずみから求められるせん断応力度を、図 3-1 はせん断応力度－せん断ひずみ関係のグラフを、表 3-3 には地震応答解析より求められるせん断応力度・せん断ひずみ表を示す。

また、基準地震動 S_s による地震応答解析によって求めた該当階の鉛直震度は $K_v=0.84$ である。

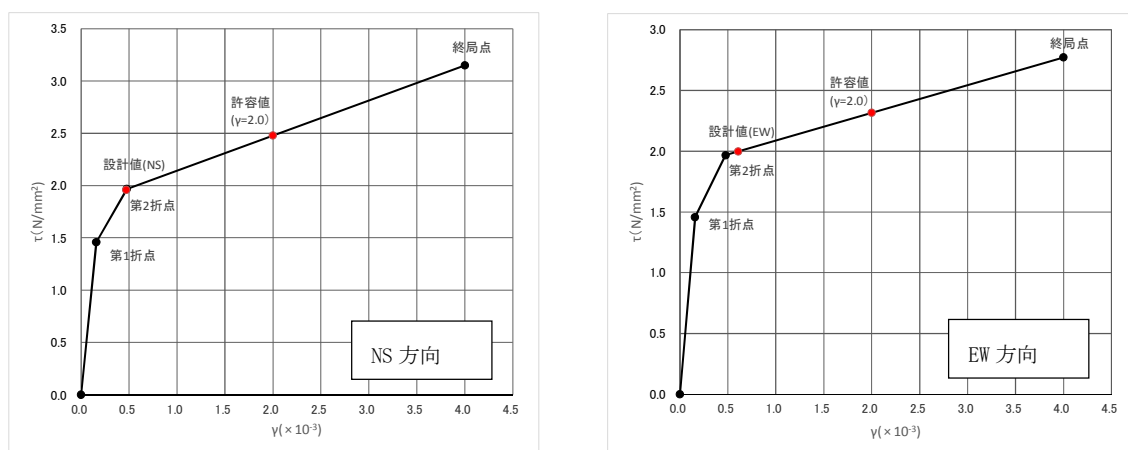


図 3-1 遮蔽壁の $\tau - \gamma$ 関係

表 3-3 地震応答解析より求められるせん断応力度・せん断ひずみ

設置階 EL. (m)	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)		最大せん断応力度 (N/mm^2)	
	NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
17.6	0.471	0.607	1.96	2.00

4. 床スラブの設計

4.1 モデル化の基本方針

スラブにおいて、壁及び梁で囲まれた範囲のうち鉛直地震動による影響に対する対象として、図 4-1 に示す範囲をモデル化する。

スラブの解析モデルは、3 辺固定スラブとして評価する。スラブの解析モデルを図 4-2 示す。

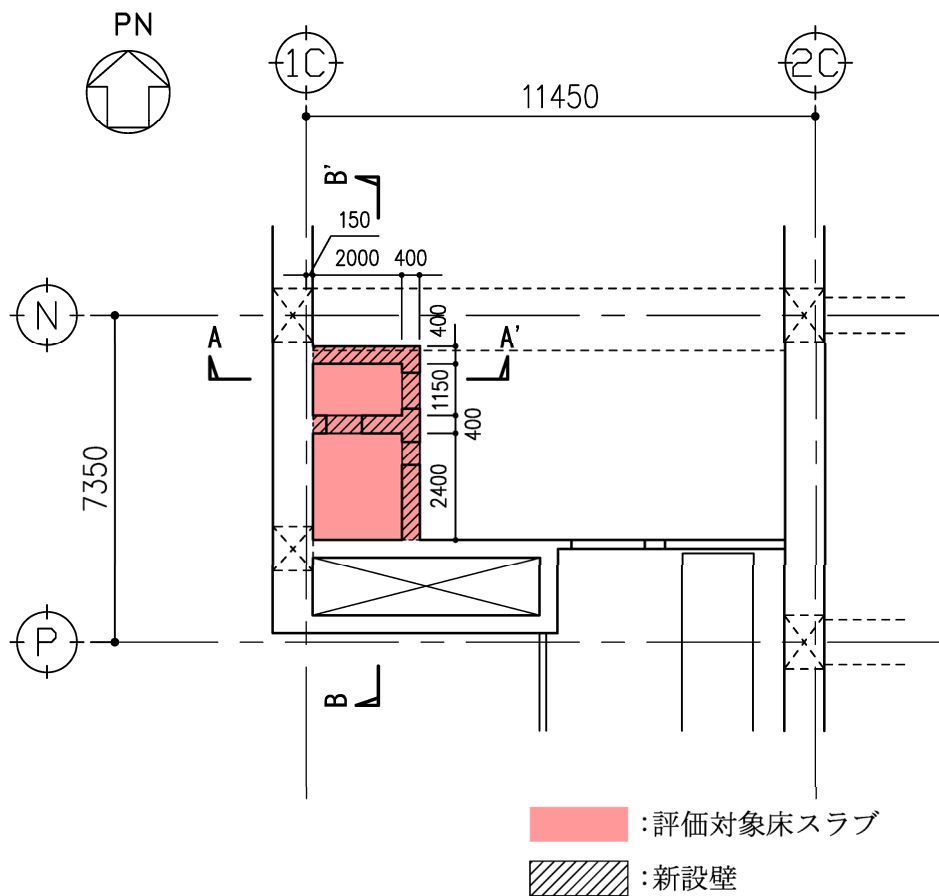


図 4-1 床スラブ評価対象範囲図（単位：mm）

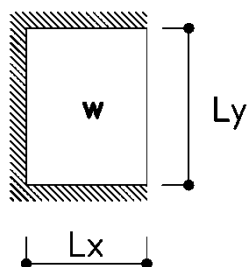


図 4-2 床スラブ解析モデル

4.2 評価結果

地震時における床スラブの評価結果を以下に示す。

地震時の評価として、鉛直地震荷重に対する床スラブ発生応力を算出し、短期許容応力以下であることを確認する。

地震時の評価結果を表 4-1 に示す。

表 4-1 地震時の床スラブ評価結果

評価対象部位	材料	発生応力		許容応力
床スラブ	SD345	短辺曲げ (kNm)	427.6	709.5
	SD345	長辺曲げ (kNm)	451.3	473.0
	Fc22.1	短辺せん断 (kN)	805.4	1537.3
	Fc22.1	長辺せん断 (kN)	701.8	1049.0

5. 遮蔽壁の設計

5.1 モデル化の基本方針

基準地震動 S_s による地震応答解析によって求めた該当階のせん断力が、各方向の遮蔽壁に作用するものとする。各方向の考慮する遮蔽壁を図 5-1 に示す。

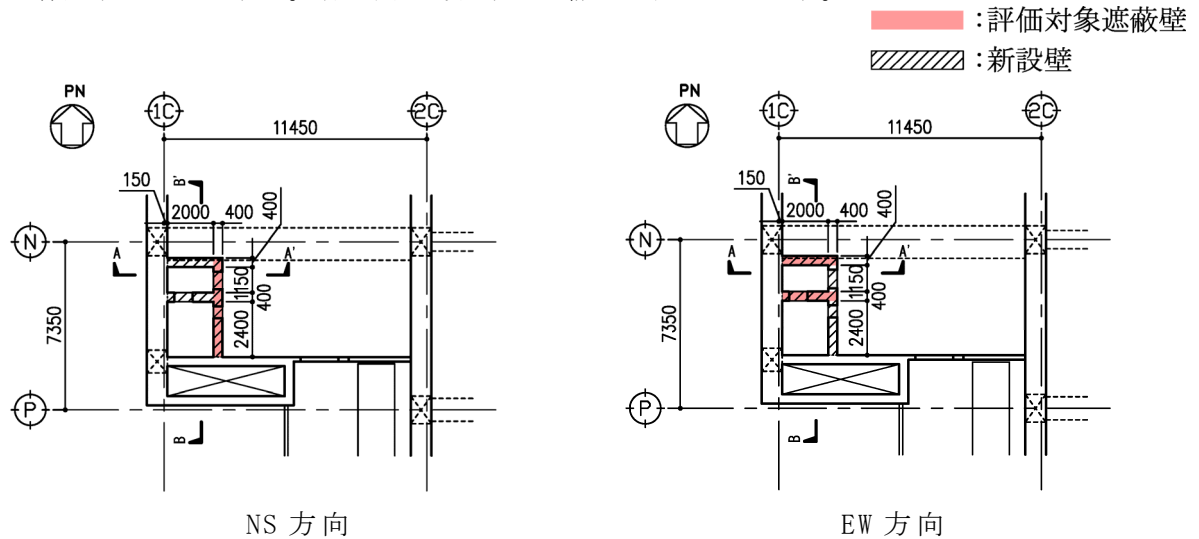


図 5-1 遮蔽壁の検討対象部位 (単位: mm)

5.2 評価結果

地震時における遮蔽壁の評価結果を以下に示す。

地震時の評価として、水平及び鉛直地震荷重に対する遮蔽壁の発生応力を算出し、短期許容応力以下であることを確認する。

地震時の評価結果を表 5-1 に示す。

表 5-1 地震時の遮蔽壁評価結果

評価対象部位	方向	材料	せん断 断面積 (m ²)	発生応力		許容応力
遮蔽壁	NS	SD345	1.212	せん断 (kN)	2375.6	3535.6
	EW	SD345	1.600	せん断 (kN)	3200.0	3869.1

V-2-8-4-4 緊急時対策所遮蔽の耐震性についての計算書

添付書類「V-2-8-4-4 緊急時対策所遮蔽の耐震性についての計算書」は、
添付書類「V-2-2-11 緊急時対策所建屋の耐震性についての計算書」に倣うものとする。

V-2-8-4-5 第二弁操作室遮蔽の耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	設計方針	1
2.1	設計条件	1
3.	基本事項	3
3.1	適用法令等	3
3.2	使用材料及び材料の許容応力度	3
3.3	設計荷重	4
4.	床スラブの設計	5
4.1	モデル化の基本方針	5
4.2	評価結果	6
5.	遮蔽壁の設計	7
5.1	モデル化の基本方針	7
5.2	評価結果	7

1. 概要

本資料は，第二弁操作室の遮蔽壁が，地震荷重に対して短期許容応力度以下であることを確認するための計算方法及び結果について示すものである。

2. 設計方針

2.1 設計条件

遮蔽壁に作用する地震荷重は，後施工鉄筋を介して既設のコンクリート床スラブやコンクリート壁に伝達されることから，地震荷重に対する評価対象部位は，コンクリート壁，コンクリート床スラブ及び後施工鉄筋とする。

図 2-1 に第二弁操作室の遮蔽壁設置状況の概要図を示す。

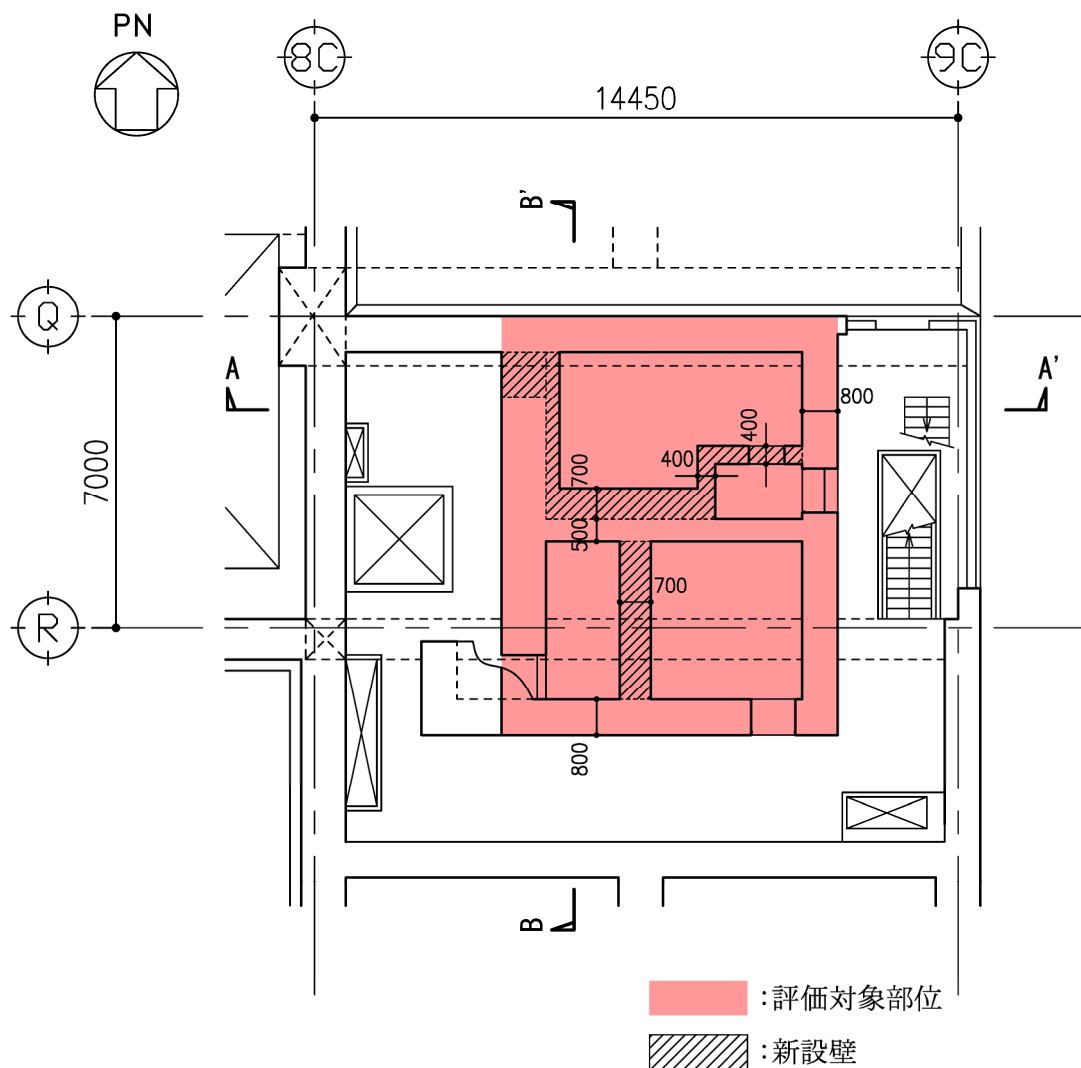
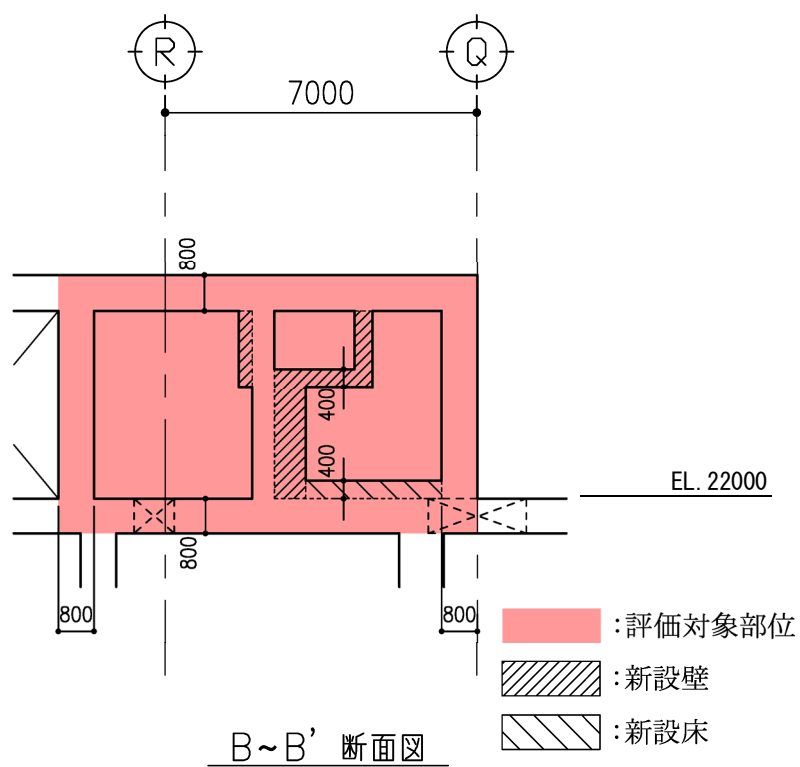


図 2-1 (1/2) 第二弁操作室 遮蔽壁設置概要図 (単位: mm)



2

3. 基本事項

3.1 適用法令等

検討は以下の関連諸法規，規準及び規格に準拠する。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程（J E A C 4 6 0 1－2008）（日本電気協会）
- (3) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同基準（日本建築学会 2010 年改定）
- (4) 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同基準（日本建築学会 2005 年改定）
- (5) 各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会 2010 年改定）
- (6) 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書

3.2 使用材料及び材料の許容応力度

使用材料の許容応力度を表 3-1，表 3-2 にそれぞれ示す。

表 3-1 コンクリートの許容応力度（単位：N/mm²）

種別	Fc	長期		短期	
		圧縮	せん断	圧縮	せん断
普通コンクリート	22.1	7.3	0.71	14.6	1.06

表 3-2 鉄筋の許容応力度（単位：N/mm²）

種別	呼び名	長期		短期	
		引張り及び 圧縮	せん断	引張り及び 圧縮	せん断
SD295A	D10～D16	195	195	295	295
SD345	D19～D25	215	195	345	345
SD345	D29～D38	195	195	345	345

3.3 設計荷重

検討に当たっては、以下の荷重を考慮する。

a. 固定荷重 (DL)

コンクリート厚さ t に応じ $(24 \times t)$ kN/m^2 とする。

b. 積載荷重 (LL)

9.5 kN/m^2 とする。

c. 配管荷重 (PL)

3.0 kN/m^2 とする。

d. 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による地震応答解析によって求めた該当階の最大せん断ひずみから求められるせん断応力度を図 3-1 はせん断応力度－せん断ひずみ関係のグラフを、表 3-3 には地震応答解析より求められるせん断応力度・せん断ひずみ表を示す。

また、基準地震動 S_s による地震応答解析によって求めた該当階の鉛直震度は $K_v=0.84$ である。

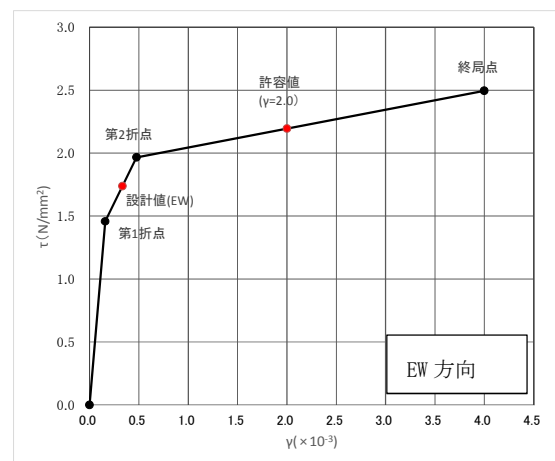
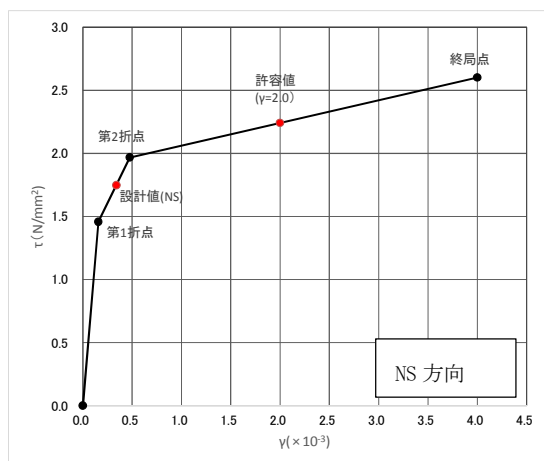


図 3-1 遮蔽壁の $\tau - \gamma$ 関係

表 3-3 地震応答解析より求められるせん断応力度・せん断ひずみ

設置階 EL. (m)	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)		最大せん断応力度 (N/mm^2)	
	NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
22.0	0.340	0.335	1.75	1.74

4. 床スラブの設計

4.1 モデル化の基本方針

スラブにおいて、壁及び梁で囲まれた範囲のうち鉛直地震動による影響に対する対象として、図 4-1 に示す範囲をモデル化する。

スラブの解析モデルは、4 辺固定スラブとして評価する。スラブの解析モデルを図 4-2 示す。

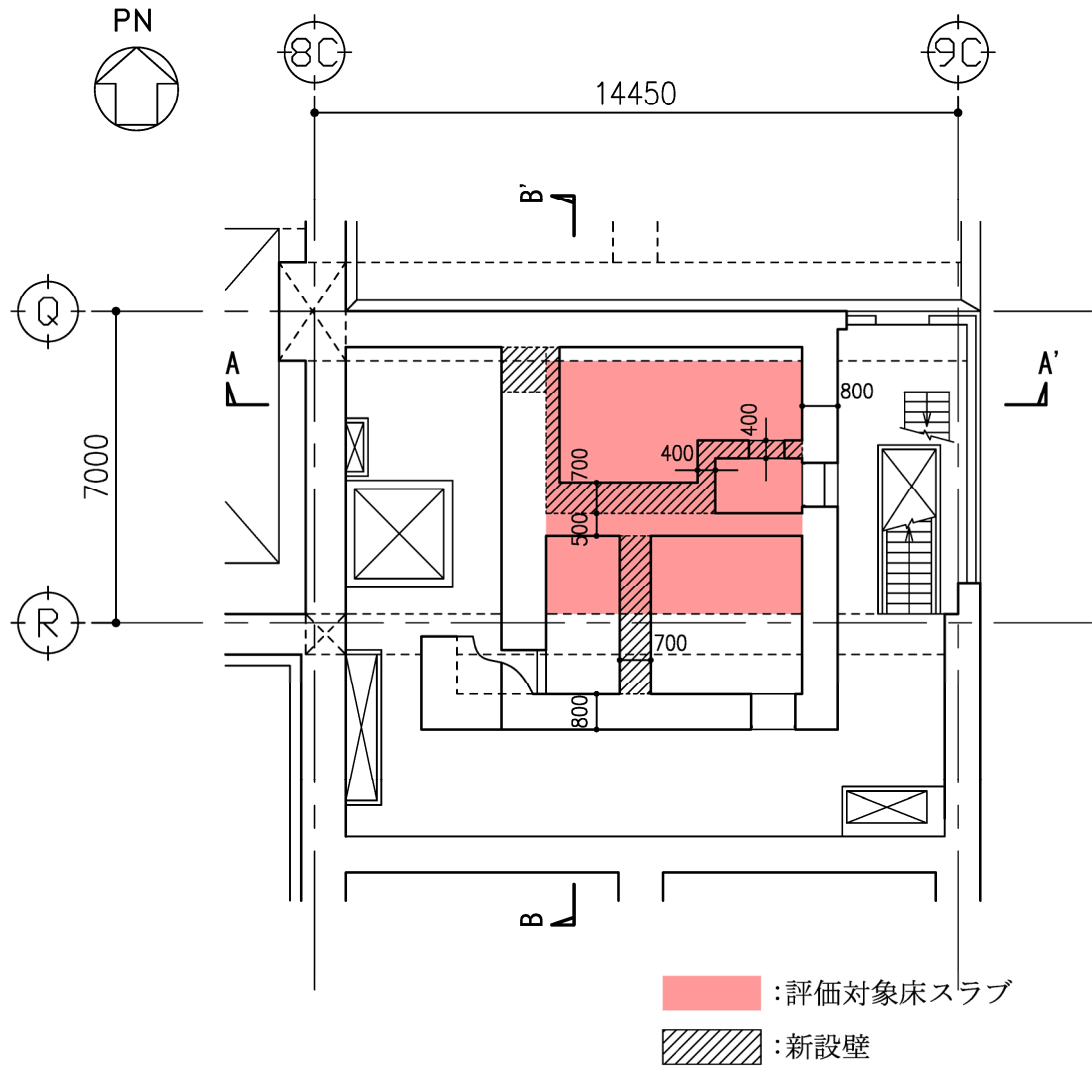


図 4-1 床スラブ評価対象範囲図（単位：mm）

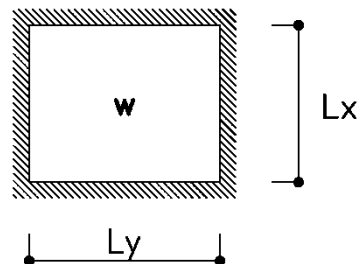


図 4-2 床スラブ解析モデル

4.2 評価結果

地震時における床スラブの評価結果を以下に示す。

地震時の評価として、鉛直地震荷重に対する床スラブ発生応力を算出し、短期許容応力以下であることを確認する。

地震時の評価結果を表 4-1 に示す。

表 4-1 地震時の床スラブ評価結果

評価対象部位	材料	発生応力		許容応力
床スラブ	SD345	短辺曲げ (kNm)	836.0	1692.8
	SD345	長辺曲げ (kNm)	656.0	1047.9
	Fc22.1	短辺せん断 (kN)	1595.6	2783.8
	Fc22.1	長辺せん断 (kN)	1402.4	1843.1

5. 遮蔽壁の設計

5.1 モデル化の基本方針

基準地震動 S_s による地震応答解析によって求めた該当階のせん断力が、各方向の遮蔽壁に作用するものとする。各方向の考慮する遮蔽壁を図 5-1 に示す。

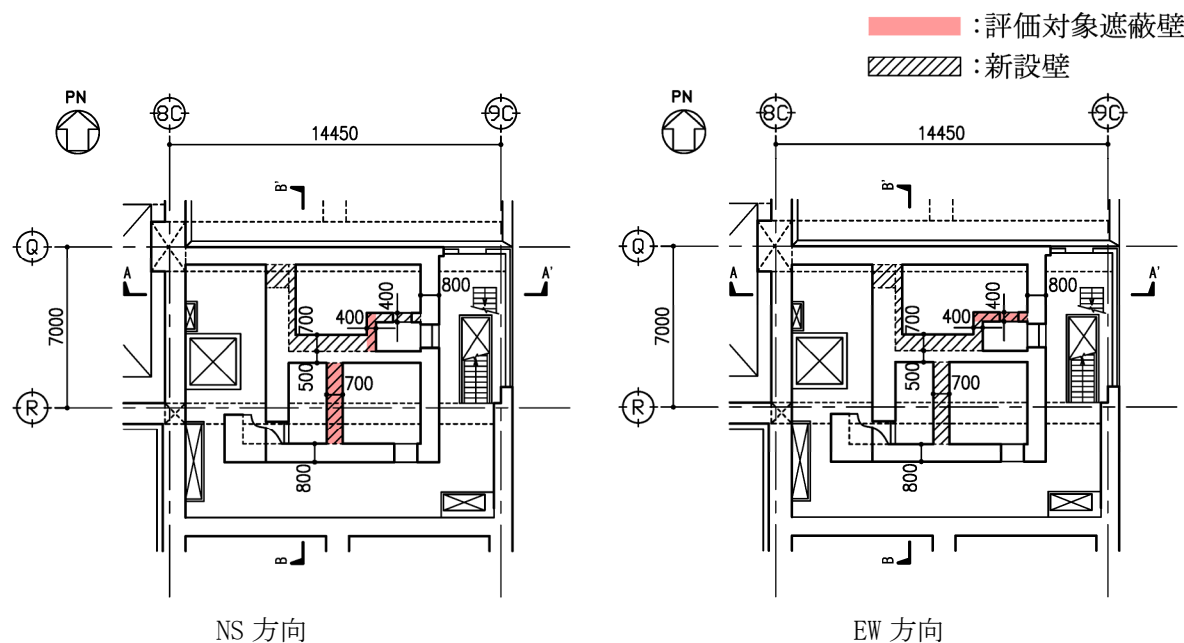


図 5-1 遮蔽壁の検討対象部位（単位：mm）

5.2 評価結果

地震時における遮蔽壁の評価結果を以下に示す。

地震時の評価として、水平及び鉛直地震荷重に対する遮蔽壁の発生応力を算出し、短期許容応力以下であることを確認する。

地震時の評価結果を表 5-1 に示す。

表 5-1 地震時の遮蔽壁評価結果

評価対象部位	方向	材料	せん断断面積 (m ²)	発生応力		許容応力
遮蔽壁	NS	SD345	3.145	せん断 (kN)	5503.8	6165.6
	EW	SD345	0.460	せん断 (kN)	800.4	1734.4

V-2-9-1 原子炉格納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、原子炉格納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

原子炉格納施設の設備に対して、設計基準対象施設の耐震クラス、重大事故等対処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。

原子炉格納施設のうち、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、添付書類「V-2-9-2-3 上部シアラグ及びスタビライザの耐震性についての計算書」を除き、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 (1/11)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
原子炉格納施設	原子炉格納容器	原子炉格納容器	S	有	V-2-9-2-1 V-2-9-2-2 V-2-9-2-3 V-2-9-2-4 V-2-9-2-5 V-2-9-2-11	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-9-2-1 V-2-9-2-2 V-2-9-2-3 V-2-9-2-4 V-2-9-2-5 V-2-9-2-11
		機器搬入用ハッチ	S	有	V-2-9-2-6	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-9-2-6
		所員用エアロック	S	有	V-2-9-2-7	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-9-2-7
		サプレッション・チエンバアクセスハッチ	S	有	V-2-9-2-8	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-9-2-8
		配管貫通部	S	有	V-2-9-2-9	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-9-2-9
		電気配線貫通部	S	有	V-2-9-2-10	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-9-2-10

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (2/11)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^{*1}	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
原子炉格納施設	原子炉建屋	原子炉建屋原子炉棟	S	無	V-2-9-3-1	常設／緩和	無	V-2-9-3-1
		原子炉建屋大物搬入口	S	—	V-2-9-3-2	常設／緩和	—	V-2-9-3-2
		原子炉建屋エアロック	S	—	V-2-9-3-3	常設／緩和	—	V-2-9-3-3
		原子炉建屋基礎盤	S	無	V-2-9-3-4	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-9-3-4
	圧力低減設備 その他の安全設備	ダイヤフラム・フロア	S	有	V-2-9-4-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-9-4-1
		ベント管	S	有	V-2-9-4-2	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-9-4-2
		主配管	S	無	V-2-9-4-3-1	—	—	—
		主配管	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-9-4-3-1
		主配管	S(原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-5-4-1-4 ^{*2}
		主配管	S(原子炉格納容器に記載)	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-9-2-9
		主配管	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-9-4-3-2-1

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (3/11)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
4	原子炉格納施設	主配管	S(原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-5-4-1-4* ²
		ほう酸水注入ポンプ	S(計測制御系統施設に記載)	—	—	常設／緩和	有	V-2-6-4-1-1* ³
		ほう酸水貯蔵タンク	S(計測制御系統施設に記載)	—	—	常設／緩和	有	V-2-6-4-1-2* ³
		主配管	S(計測制御系統施設に記載)	—	—	常設／緩和	有	V-2-6-4-1-3* ³
		主配管	S(原子炉格納容器に記載)	—	—	常設／緩和	有	V-2-9-2-9
		代替循環冷却系ポンプ	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-5-5-6-1* ²
		主配管	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-9-4-3-3-1
		主配管	S(原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	常設／緩和	有	V-2-5-4-1-4* ²
		主配管	S(原子炉格納容器に記載)	—	—	常設／緩和	有	V-2-9-2-9

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (4/11)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
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	—	V-2-5-5-5-1*2
		主配管	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-9-4-3-4-1
		主配管	S(原子炉格納容器に記載)	—	—	常設／緩和	有	V-2-9-2-9
		コリウムシールド	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-9-4-3-5-2
		格納容器床ドレンサンプ	B(放射性廃棄物の廃棄施設に記載)	—	—	常設／緩和	有	V-2-7-2-1-2*6
		主配管	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-9-4-3-5-1 V-2-9-4-3-5-2
		主配管	B(放射性廃棄物の廃棄施設に記載)	—	—	常設／緩和	有	V-2-7-2-1-1*6

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (5/11)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の 重要度分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類 ^{*1}	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	常設高圧代替注水系ポンプ	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-5-5-4-1 ^{*2}
		高圧炉心スプレイ系ストレーナ	S(原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	常設／緩和	有	V-2-5-5-1-1 ^{*2}
		主配管	S(原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	常設／緩和	有	V-2-5-3-1-2 ^{*2} V-2-5-5-1-3 ^{*2} V-2-5-6-1-3 ^{*2}
		主配管	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-5-5-4-2 ^{*2}
		主配管	S(原子炉格納容器に記載)	—	—	常設／緩和	有	V-2-9-2-9
		主配管	S(原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	常設／緩和	有	V-2-5-4-1-4 ^{*2} V-2-5-5-2-3 ^{*2}
		主配管	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-5-5-5-2 ^{*2}
		主配管	S(原子炉格納容器に記載)	—	—	常設／緩和	有	V-2-9-2-9

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (6/11)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の 重要度分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類 ^{*1}	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	残留熱除去系ポンプ	S(原子炉冷却 系統施設に記 載)	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-5-4-1-2 ^{*2}
		残留熱除去系熱交換器	S(原子炉冷却 系統施設に記 載)	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-5-4-1-1 ^{*2}
		残留熱除去系ストレナ	S(原子炉冷却 系統施設に記 載)	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-5-4-1-3 ^{*2}
		原子炉圧力容器	S(原子炉本体 に記載)	—	—	常設／緩和	無	V-2-3-4-1 ^{*4}
		炉心支持構造物	S(原子炉本体 に記載)	—	—	常設／緩和	無	V-2-3-3-2 ^{*4}
		低圧炉心スプレイス バージャ	S(原子炉本体 に記載)	—	—	常設／緩和	無	V-2-3-4-3-7 ^{*4}
		低圧炉心スプレイ配 管(原子炉圧力容器内 部)	S(原子炉本体 に記載)	—	—	常設／緩和	無	V-2-3-4-3-9 ^{*4}
		残留熱除去系配管(原 子炉圧力容器内部)	S(原子炉本体 に記載)	—	—	常設／緩和	無	V-2-3-4-3-8 ^{*4}

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (7/11)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の 重要度分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類 ^{*1}	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
原子 炉格納施設	圧力低減 設備その 他の安全 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／緩和	無	V-2-3-4-2-4 ^{*4}
		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／緩和	無	V-2-3-4-3-10 ^{*4}
		代替淡水貯槽	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-2-29 ^{*5}
		西側淡水貯水設備	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-2-23 ^{*5}

第 2-1 表 耐震評価条件整理一覧表 (8/11)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	主要弁	S	無	V-2-9-5-1-1	—	—	—
		主配管	S	無	V-2-9-5-1-1	常設／緩和	有	V-2-9-5-1-1
		非常用ガス再循環系排風機	S	無	V-2-9-5-1-2	常設／緩和	有	V-2-9-5-1-2
		非常用ガス再循環系フィルタトレイン	S	無	V-2-9-5-1-3	常設／緩和	有	V-2-9-5-1-3
		主要弁	S	無	V-2-9-5-2-1	—	—	—
		主配管	S	無	V-2-9-5-2-1	常設／緩和	有	V-2-9-5-2-1
		非常用ガス処理系排風機	S	無	V-2-9-5-2-2	常設／緩和	有	V-2-9-5-2-2

第 2-1 表 耐震評価条件整理一覧表 (9/11)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^{*1}	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉建屋原子炉棟	S(原子炉建屋に記載)	—	—	常設／緩和	無	V-2-9-3-1
		原子炉建屋大物搬入口	S(原子炉建屋に記載)	—	—	常設／緩和	—	V-2-9-3-2
		原子炉建屋エアロック	S(原子炉建屋に記載)	—	—	常設／緩和	—	V-2-9-3-3
		非常用ガス処理系排気筒	S(放射性廃棄物の廃棄施設に記載)	—	—	常設／緩和	有	V-2-7-2-5 ^{*6}

第 2-1 表 耐震評価条件整理一覧表 (10/11)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
II 原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	主配管	S	無	V-2-9-5-3-1	—	—	—
		可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	S	無	V-2-9-5-3-2	—	—	—
		可燃性ガス濃度制御系再結合装置	S	無	V-2-9-5-3-3	—	—	—
		低圧マニホールド	S	無	V-2-9-5-4-1	—	—	—
		主配管	S	無	V-2-9-5-4-2	—	—	—
		主蒸気隔離弁漏えい抑制系ブロワ	S	無	V-2-9-5-4-3	—	—	—
		静的触媒式水素再結合器	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-9-5-5-1
		主配管	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-9-5-6-1 V-2-9-6-1-1

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (11/11)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^{*1}	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	主要弁	S	無	V-2-9-6-1-1	—	—	—
		主配管	S	無	V-2-9-6-1-1	—	—	—
		フィルタ装置	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-9-7-1-2
		移送ポンプ	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	V-2-9-7-1-3
		主要弁	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-9-6-1-1 V-2-9-7-1-1
		主配管	—	—	—	常設／緩和	—	V-2-9-6-1-1 V-2-9-7-1-1

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: 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。

*3: 計測制御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-2-6 計測制御系統施設の耐震性についての計算書」に記載する。

*4: 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。

*5: 代替淡水貯槽及び西側淡水貯水設備の耐震評価は、添付書類「V-2-2 耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震性についての計算書」に記載する。

*6: 放射性廃棄物の廃棄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-2-7 放射性廃棄物の廃棄施設の耐震性についての計算書」に記載する。

V-2-9-2-1 原子炉格納容器の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 構造強度評価	13
4.1 構造強度評価方法	13
4.2 荷重の組合せ及び許容限界	13
4.3 設計用地震力	25
4.4 計算方法	26
4.5 計算条件	36
4.6 応力の評価	36
5. 評価結果	37
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	37
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	45

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、原子炉格納容器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。

原子炉格納容器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

原子炉格納容器の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
水平地震力はシアラグを介して原子炉建屋に伝達され、下端は原子炉建屋基礎盤に支持される。	原子炉格納容器は、円錐形の鋼製のドライウエル及び円筒環形の鋼製のサプレッション・チェンバから成る、胴部内径約 m、全高約 m、板厚 mm の圧力容器である。	m, and width is approximately m. Labels include: ドライウエル (Dry Well), シアラグ (Shear Lug), 原子炉建屋 (Reactor Building), サプレッション・チェンバ (Suppression Chamber), and 原子炉建屋基礎盤 (Reactor Building Base Plate). The unit is (m)."/>

2.2 評価方針

原子炉格納容器の応力評価は、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わせ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す原子炉格納容器の部位を踏まえた「3. 評価部位」にて設定する箇所において、地震により評価部位に作用する荷重で発生する応力等が許容限界に収まることを、「4. 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。評価結果を「5. 評価結果」に示す。

原子炉格納容器の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

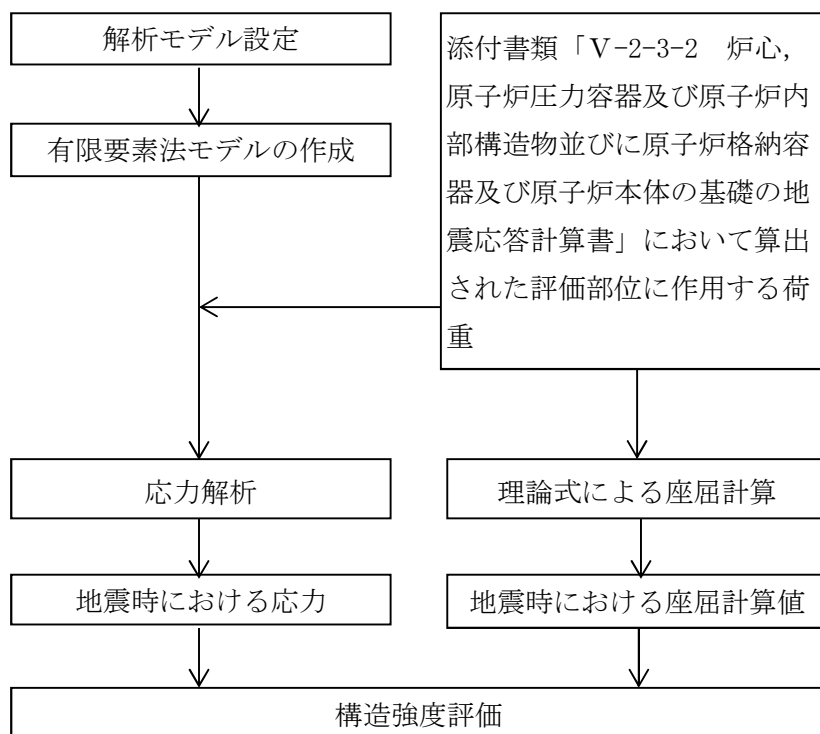


図 2-1 原子炉格納容器の耐震評価フロー

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 J E A G 4 6 0 1－1987（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 J E A G 4 6 0 1・補－1984（日本電気協会）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1－1991 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。））J S M E S N C 1－2005/2007（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	断面積	mm ²
E	縦弾性係数	MPa
F	基準応力（設計・建設規格 SSB-3121.1 において定める F の値）	MPa
f _b	曲げモーメントに対する座屈応力	MPa
f _c	軸圧縮荷重に対する座屈応力	MPa
g	重力加速度	mm/s ²
K _e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
M	曲げモーメント	N・mm
M _c	円周方向モーメント	N・mm
M _L	軸方向モーメント	N・mm
m ₀	質量	kg
N _a	地震時の許容繰返し回数	—
N _c	地震時の等価繰返し回数	—
P	ビームシートに加わる荷重，軸圧縮荷重	N
P _D	最高使用圧力（内圧）	kPa
P _{DO}	最高使用圧力（外圧）	kPa
P _{DBA}	冷却材喪失事故後の最大内圧	kPa
P _{SAL}	圧力（S A 後長期内圧）	kPa
P _{SALL}	圧力（S A 後長々期内圧）	kPa
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
P _n	半径方向分力	N
Q	二次応力	MPa
R	円筒の平均半径	mm
S	材料の許容引張応力	MPa
S _d	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震力	—
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	—
S _P	地震荷重のみにおける一次＋二次＋ピーク応力の応力差範囲	MPa
S _ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S _ℓ [']	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S _n	一次応力と二次応力を加えて求めた応力解析による応力強さのサイクルにおいて、その最大値と最小値との差	MPa
S _u	材料の設計引張強さ	MPa
S _y	材料の設計降伏点	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
T	温度	℃
T _D	最高使用温度	℃
T _{SAL}	温度（S A後長期温度）	℃
T _{SALL}	温度（S A後長々期温度）	℃
t	板厚	mm
Z	断面係数	mm ³
α	安全率	—
ν	ポアソン比	—

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
温度* ¹	℃	—	—	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 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁* ²
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
座屈計算値	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
疲労累積係数	—	小数点以下第 4 位	切上げ	小数点以下第 3 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

原子炉格納容器胴の形状及び主要寸法を図 3-1 及び図 3-2 に，原子炉格納容器のビームシート
の形状及び主要寸法を図 3-3～図 3-7 に，使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。

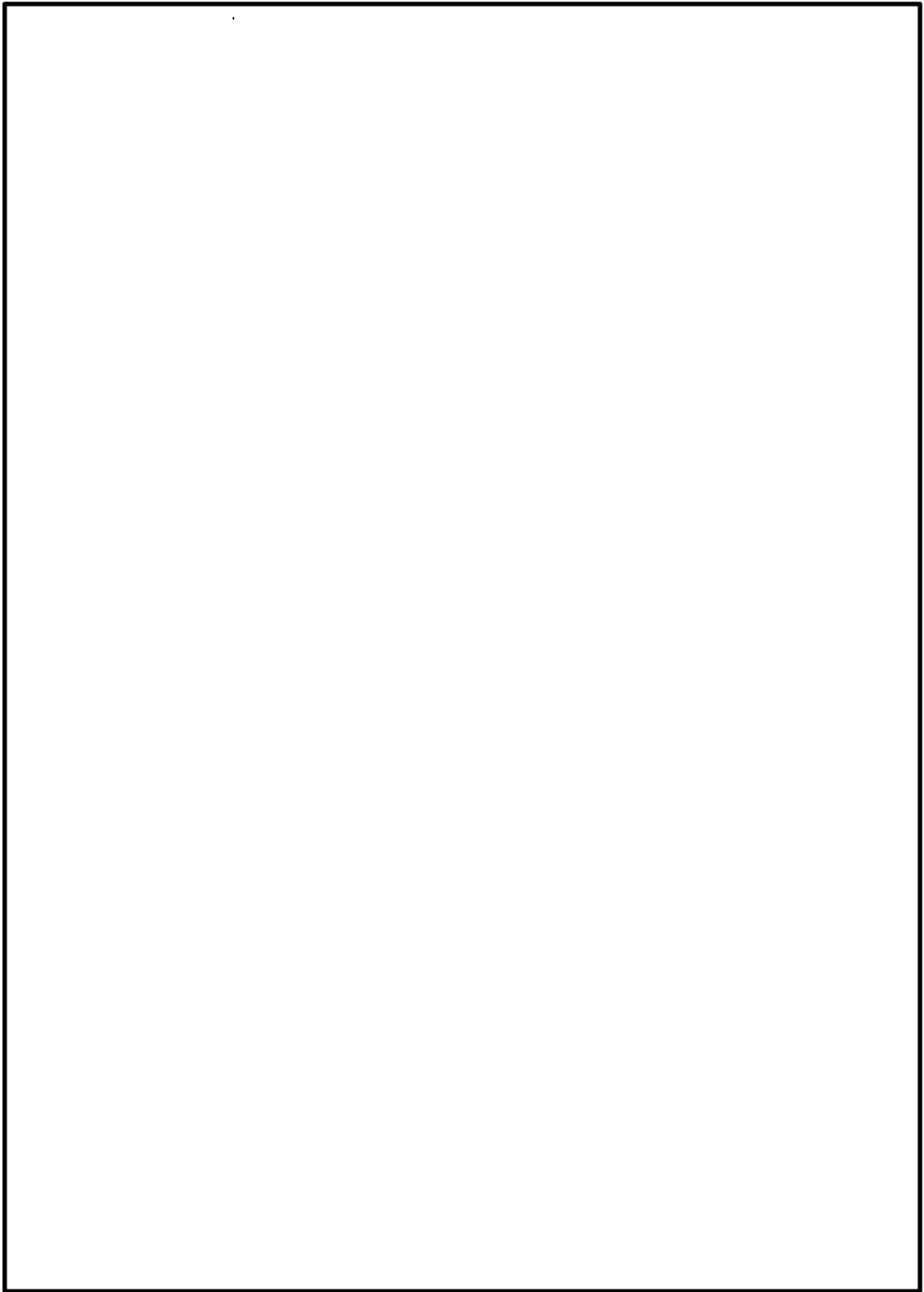


図 3-1 ドライウェル円錐部，サプレッション・チェンバ円筒部の形状及び主要寸法（単位：mm）

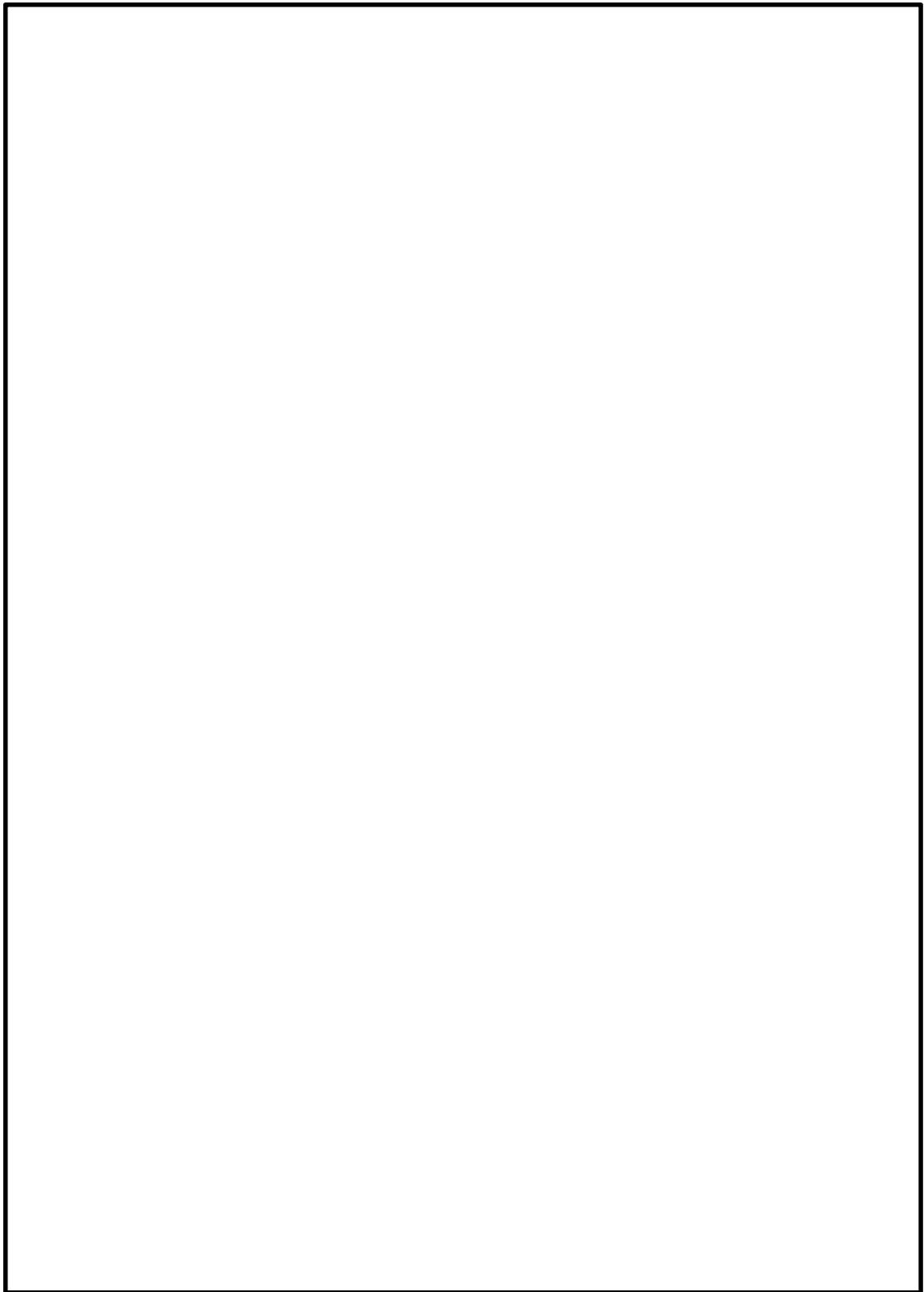


図 3-2 サプレッション・チェンバ円筒部，サンドクッション部の形状及び主要寸法（単位：mm）



図 3-3 上段ビームシートの寸法及び名称（単位：mm）

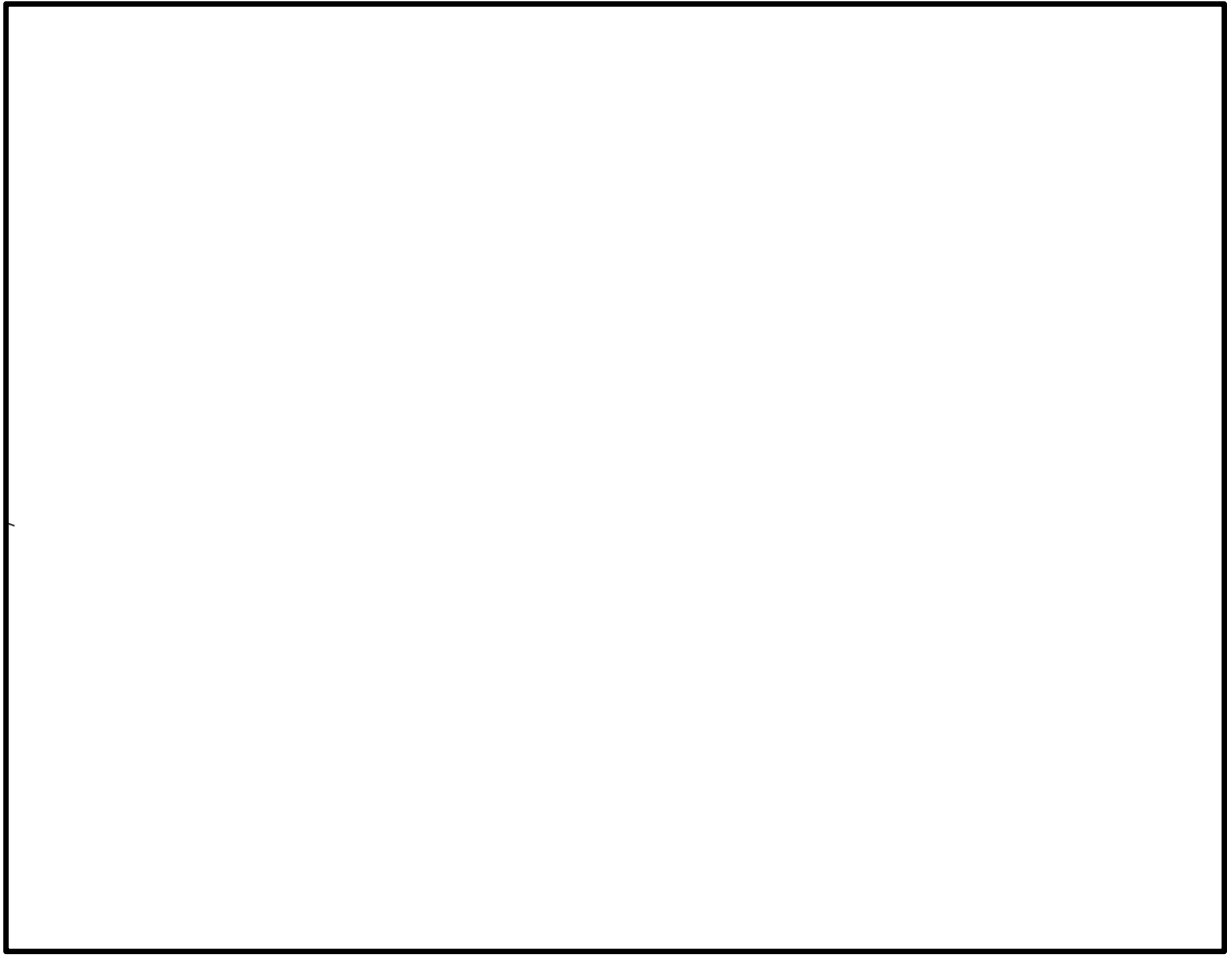


図 3-4 下段Aビームシート（補強板なし）の寸法及び名称（単位：mm）

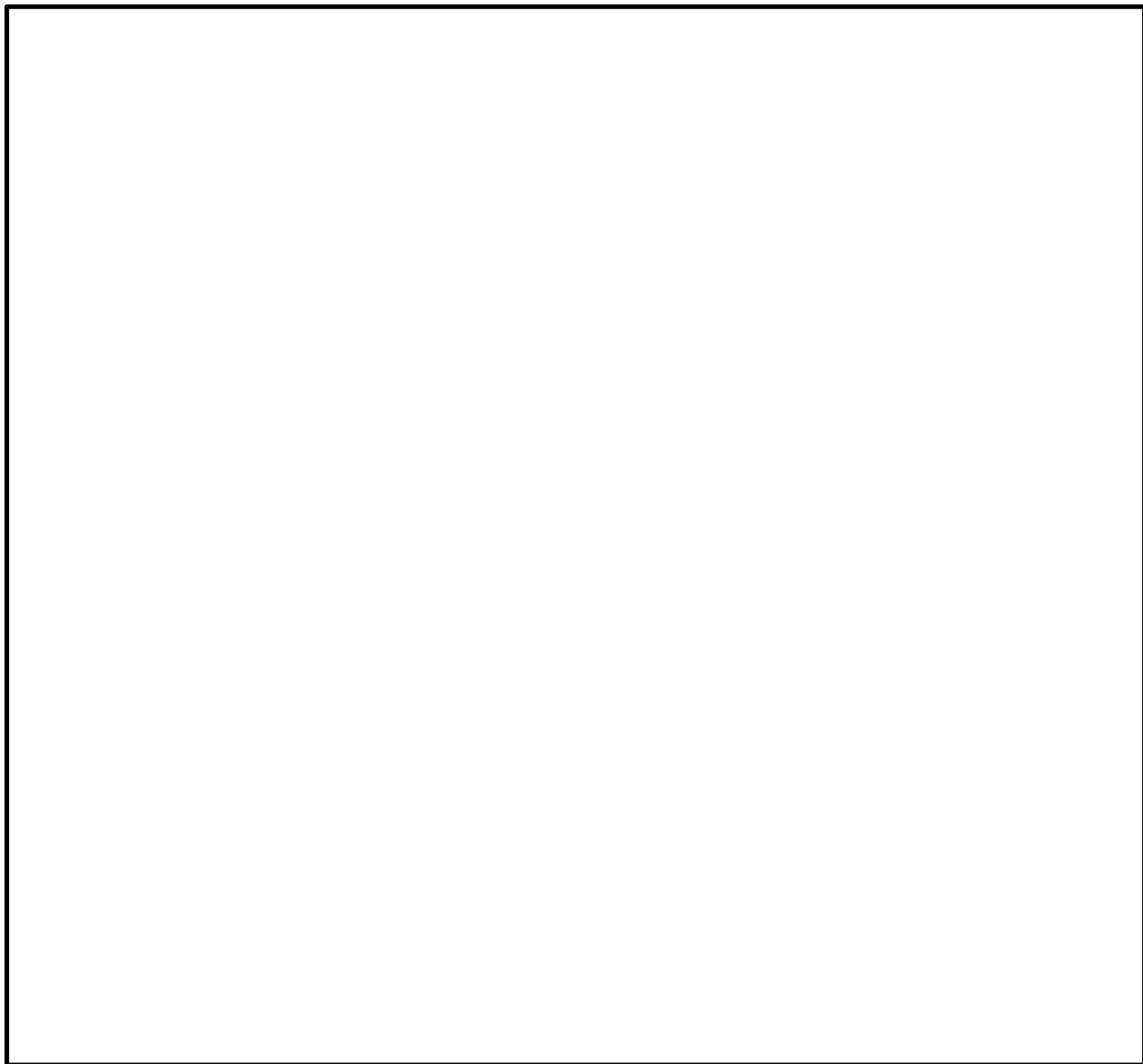


図 3-5 下段A ビームシート及び補強板（単位：mm）

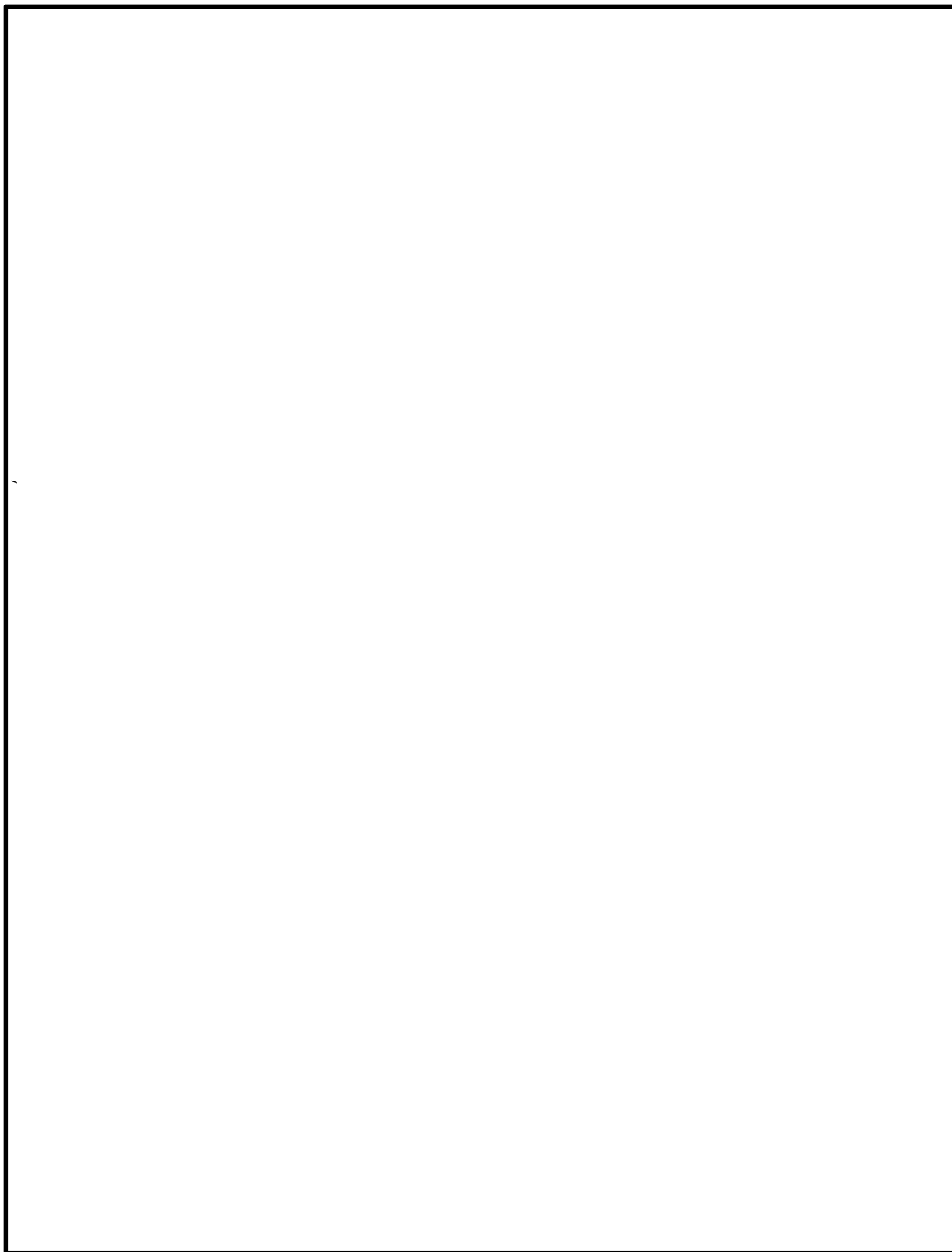


図 3-6 下段 B ビームシート及び補強板（単位：mm）

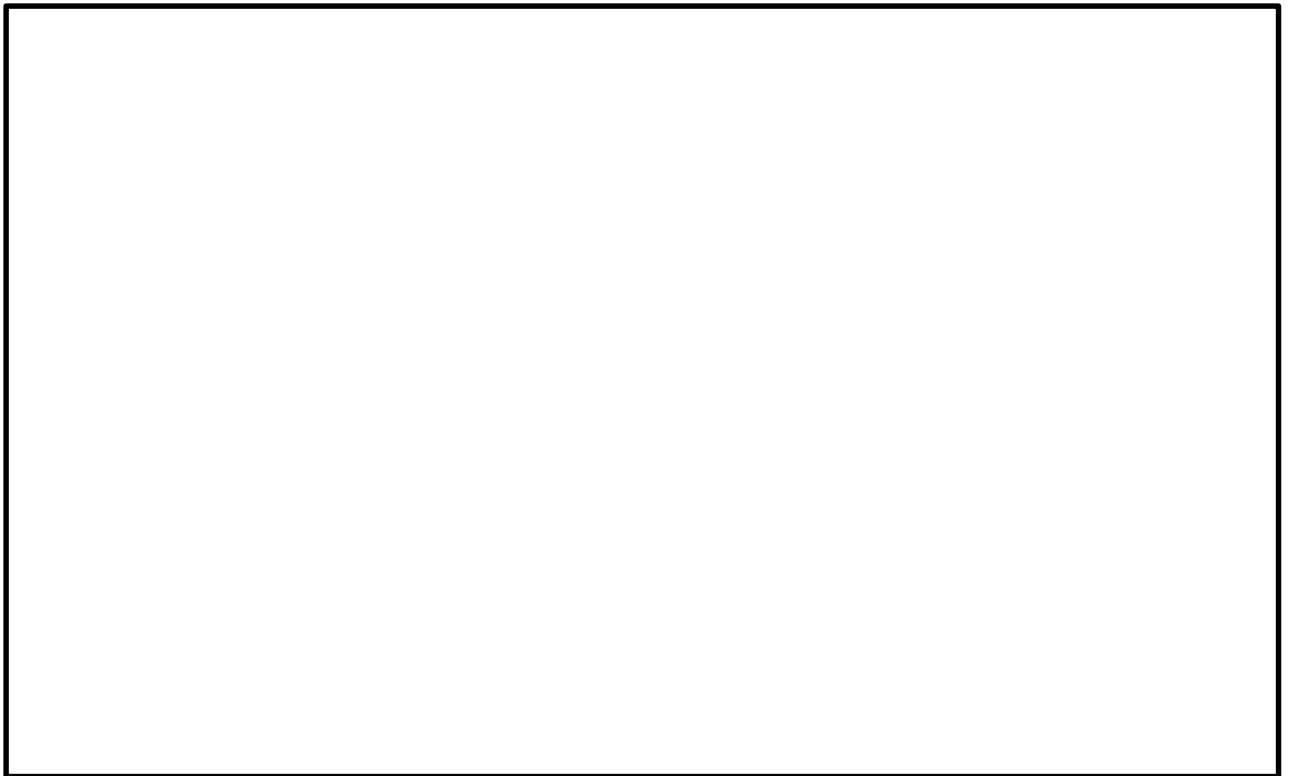


図 3-7 ビームシートの位置 (単位 : mm)

表 3-1 使用材料表

使用部位	使用材料		備考
ドライウェル円錐部	SGV49 相当		SGV480*
サプレッション・チェンバ 円筒部	SGV49 相当		SGV480*
ビームシート	SGV49 相当		SGV480*

注記 * : 新 JIS を示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 原子炉格納容器の水平地震荷重は、シアラグを介して原子炉建屋に伝達され、鉛直地震荷重はアンカー部を介して原子炉建屋基礎盤に支持される。原子炉格納容器の耐震評価として、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」において計算された荷重を用いて構造強度評価を行う。
- (2) 構造強度評価に用いる寸法は，公称値を使用する。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容限界

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉格納容器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。表で使用する記号は添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に従うものとする。

詳細な荷重の組合せは，添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い，対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお，考慮する荷重の組合せは，組合せる荷重の大きさを踏まえ，評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容限界

原子炉格納容器の許容限界を表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容限界

原子炉格納容器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。また，使用材料の許容応力のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-6 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-7 に示す。

表4-1 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 ^{*1}		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	原子炉格納容器胴	S	格納容器	$D + P + M + S_d^*$	(9, 10, 13)	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	(11, 12, 14)	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^{**2}$	(16)	Ⅳ _A S

注記 *1: () 内は添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表3-10 設計基準対象施設の荷重の組合せのNo. を示す。

*2: 原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

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 ^{*2}		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	原子炉格納容器胴	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2 容器	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(SA8)	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	^{*3} (SA6, SA7)	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)

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

*2: () 内は添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表3-11 重大事故等時の荷重の組合せのNo. を示す。

*3: 原子炉格納容器は、放射性物質放出の最終障壁となることから、重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表4-3 許容限界（クラスMC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					
	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	特別な応力限界	
					純せん 断応力	支圧応力
Ⅲ _A S	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 レス鋼及高ニッケル合金について は1.2・Sとする。	左欄の 1.5倍の値 *2	3・S *3 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。 *4, *5	0.6・S	S _y *6 (1.5・S _y)
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u ， 不連続な部分はS _y と0.6・S _u の 小さい方。	左欄の 1.5倍の値 *2			0.4・S _u	S _u *6 (1.5・S _u)
V _A S (V _A SとしてⅣ _A S の許容限界を用い る。)	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、構造上の連続な部分は2・ Sと0.6・S _u の小さい方、不連続 な部分は1.2・Sとする。					

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：設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値（ α ）を用いる。

*3：3・Sを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。S_mはSと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

- *4：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。ただし，PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。
- *5：運転状態Ⅰ，Ⅱにおいて疲労解析を要しない場合は，地震動のみによる疲労累積係数を1.0以下とする。
- *6：（ ）内は，支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

表4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
SGV480	周囲環境温度	171	131	229	423	—
	周囲環境温度	104.5	131	237	430	—

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）

材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
SGV480	周囲環境温度	150	131	232	424	—
	周囲環境温度	171	131	229	423	—

表4-6 許容応力（設計基準対象施設）

（単位：MPa）

材料	温度 (℃)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次＋二次応力
			P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	171	Ⅲ _A S	229*	344	393
		Ⅳ _A S	253*	380	393
	104.5	Ⅲ _A S	237	356	393
		Ⅳ _A S	258	387	393

注記 *：評価対象は、膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施し、許容応力以下であることが明らかとなため、一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

表4-7 許容応力（重大事故等対処設備）

（単位：MPa）

材料	温度 (℃)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次＋二次応力
			P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	150	V _A S	254	381	393
	171	V _A S	253	380	393

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

a. ドライウエル

内圧 P_D 310 kPa

外圧 P_{DO} 14 kPa

温度 T_D 171 °C

b. サプレッション・チェンバ

内圧 P_D 310 kPa

外圧 P_{DO} 14 kPa

温度 T_D 104.5 °C

(2) 冷却材喪失事故後の最大内圧 P_{DBA}

a. ドライウエル 255 kPa

b. サプレッション・チェンバ 196 kPa

(3) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SAL} 465 kPa * (S A後長期)

内圧 P_{SALL} 200 kPa (S A後長々期)

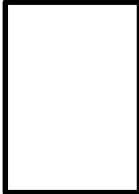
温度 T_{SAL} 171 °C (S A後長期)

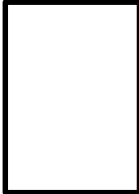
温度 T_{SALL} 150 °C (S A後長々期)

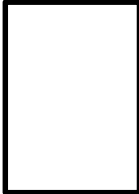
注記 * : 原子炉冷却材喪失事故時荷重と組み合わせる場合には, 事象に応じた内圧を設定する。

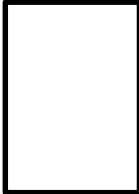
(4) 死荷重

死荷重はドライウエル及びサプレッション・チェンバ容器の自重及びシエルに取付くアタッチメントの重量を考慮したものである。死荷重の値が大きく変化する代表的応力評価点に対して荷重の大きさを示す。

応力評価点 P3  N

応力評価点 P4  N

応力評価点 P5  N

応力評価点 P6  N

(5) 活荷重

内部機器支持ビームから加わる荷重 (燃料交換時以外)

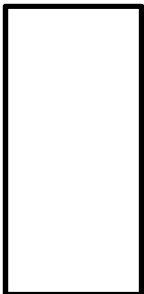
内部機器支持ビームから加わる荷重 (燃料交換時)

機器搬入用ハッチ床に加わる荷重

所員用エアロック床に加わる荷重

サプレッション・チェンバ内のキャットウォークに加わる荷重

溶接パッドの支持荷重



(6) 水荷重

ドライウェル下フランジ・シールプレートに加わる荷重（燃料交換時）

リングガーターにかかるサプレッション・チェンバ内保有水重量
スプレイヘッダ内保有水重量

	N
	N
	N

重大事故等対処設備の評価に用いる水荷重として、下記の冠水水位による水頭圧を考慮する。

冠水水位 mm

(7) 逃がし安全弁作動時荷重

最大正圧 kPa
最大負圧 kPa

(8) 原子炉冷却材喪失事故時荷重

最大正圧 kPa
最大負圧 kPa

(9) 地震荷重

原子炉格納容器に加わる地震荷重について、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」において計算された計算結果を用いる。

a. 原子炉格納容器胴の地震荷重

応力計算に用いる鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-8 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-9 に示す。また、弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力及び基準地震動 S_s による水平方向地震荷重のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-10 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-11 に示す。

表 4-8 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）

（単位：N）

応力評価点*	通常運転時			燃料交換時		
	鉛直荷重	地震荷重		鉛直荷重	地震荷重	
		S _d *	S _s		S _d *	S _s
P1						
P2						
P3						
P4						
P5						
P6						

注記 *：応力評価点の位置は図 3-1 及び図 3-2 参照。

表 4-9 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）

（単位：N）

応力評価点* ¹	重大事故等時		
	鉛直荷重	地震荷重	
		S_d	S_s
P1			
P2			
P3			
P4			
P5			
P6			

注記 *1：応力評価点の位置は図 3-1 及び図 3-2 参照。

*2：座屈評価に用いる荷重。

表 4-10 水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

応力評価点*	S _d *による地震荷重		S _s による地震荷重	
	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
P1				
P2				
P3				
P4				
P5				
P6				

注記 *：応力評価点の位置は図 3-1 及び図 3-2 参照。

表 4-11 水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

応力評価点* ¹	S _d による地震荷重		S _s による地震荷重	
	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
P1				
P2				
P3				
P4				
P5				
P6				

注記 *¹：応力評価点の位置は図 3-1 及び図 3-2 参照。

*²：座屈評価に用いる荷重。

b. ビームシートの地震荷重

内部機器支持ビームからビームシートに加わる最大荷重のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-12 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-13 に示す。なお、下段ビームシートにおいて地震荷重の加わる 135°，315° の位置を下段 B としその他を下段 A とする。また、各取付位置における設計荷重のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-14 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-15 に示す。

表 4-12 最大荷重（設計基準対象施設）

取付位置	最大荷重 P (N)		荷重の組合せ
	S_d^*	S_s	
上段			総荷重＋活荷重
下段 A			総荷重
下段 B			総荷重＋地震荷重
下段 B 補強板 取付部			下段 A に加わる最大荷重＋ 下段 B に加わる最大荷重＋ 2×地震荷重

表 4-13 最大荷重（重大事故等対処設備）

取付位置	最大荷重 P (N)		荷重の組合せ
	S_d	S_s	
上段			総荷重＋活荷重
下段 A			総荷重
下段 B			総荷重＋地震荷重
下段 B 補強板 取付部			下段 A に加わる最大荷重＋ 下段 B に加わる最大荷重＋ 2×地震荷重

表 4-14 各取付位置における設計荷重（設計基準対象施設）

取付位置	S_d^*			S_s		
	半径方向 分力 P_r (N)	軸方向 モーメント M_L (N・mm)	円周方向 モーメント M_c (N・mm)	半径方向 分力 P_r (N)	軸方向 モーメント M_L (N・mm)	円周方向 モーメント M_c (N・mm)
上段						
下段 A						
下段 B						
下段 B 補強板 取付部						

表 4-15 各取付位置における設計荷重（重大事故等対処設備）

取付位置	S_d			S_s		
	半径方向 分力 P_n (N)	軸方向 モーメント M_L (N・mm)	円周方向 モーメント M_c (N・mm)	半径方向 分力 P_n (N)	軸方向 モーメント M_L (N・mm)	円周方向 モーメント M_c (N・mm)
上段						
下段A						
下段B						
下段B補強板 取付部						

c. ビームシートと原子炉格納容器の結合部の地震荷重

原子炉格納容器に加わる鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-16 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-17 に示す。また，水平方向地震荷重のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-18 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-19 に示す。

表 4-16 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）

(単位：N)

取付位置	通常運転時			燃料交換時		
	鉛直荷重	地震荷重		鉛直荷重	地震荷重	
		S _d *	S _s		S _d *	S _s
上段						
下段						

表 4-17 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）

(単位：N)

取付位置	重大事故等時	
	鉛直荷重	地震荷重
		S_d
上段		
下段		

表 4-18 水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

取付位置	S _d *による地震荷重		S _s による地震荷重	
	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
上段				
下段				

表 4-19 水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

取付位置	S _d による地震荷重		S _s による地震荷重	
	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
上段				
下段				

4.3 設計用地震力

「4.2.4 (9) 地震荷重」に示す添付書類「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」で算出された荷重を用いる。

4.4 計算方法

4.4.1 応力評価点

原子炉格納容器胴の応力評価点は、原子炉格納容器胴を構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-20 及び図 3-1～図 3-6 に示す。

表 4-20 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	円筒部と円錐部の接合部
P2	円錐部の角度変化部
P3	円錐部の板厚変化部
P4	円錐部と円筒部の接合部
P5	円筒部（中央部）
P6	底部のフランジプレートとの接合部
P7	上段ビームシートとの結合部
P8	下段Aビームシート（補強板なし）との結合部
P9	下段Aビームシート（補強板あり）との結合部
P10	下段Bビームシートとの結合部

4.4.2 応力計算方法

荷重により原子炉格納容器に生じる応力の算出には、シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。また座屈評価は最も厳しくなる応力評価点 P6 に対して行うこととし、

「4.4.2.2 原子炉格納容器胴（応力評価点 P6）の座屈評価」に記す方法を適用する。

4.4.2.1 原子炉格納容器胴（応力評価点 P1～P6）及びビームシートと原子炉格納容器胴の結合部（応力評価点 P7～P10）に生じる応力の算出

(1) 原子炉格納容器胴に作用する荷重による応力

原子炉格納容器胴に作用する各荷重による応力は、図 4-1 に示す原子炉格納容器胴の解析モデルを用いて算出する。機器の諸元を表 4-21 に示す。地震荷重による応力は、「4.2.4 (9) a. 原子炉格納容器胴の地震荷重」に基づく地震荷重を入力して算出する。

(2) ビームシートに作用する荷重による応力

ビームシートに作用する死荷重、地震荷重による応力は、ビームシートの解析モデルを用いて算出する。上段ビームシートの解析モデルを図 4-2 に、下段Aビームシート（補強板なし）の解析モデルを図 4-3 に、下段Aビームシート（補強板あり）の解析モデルを図 4-4 に、下段Bビームシート（補強板あり）の解析モデルを図 4-5 に示し、機器の諸元を表 4-21 に示す。地震荷重による応力は、「4.2.4 (9) b. ビームシートの地震荷重」に基づく地震荷重を入力して算出する。

(3) ビームシートとの結合部における原子炉格納容器胴に作用する荷重による応力

ビームシートとの結合部における原子炉格納容器胴に作用する圧力、死荷重及び地震荷重による応力は、図 4-1 に示す原子炉格納容器胴の解析モデルを用いて算出する。機器の諸元を表 4-21 に示す。地震荷重による応力は、「4.2.4 (9) c. ビームシートと原子炉格納容器の結合部の地震荷重」に基づく地震荷重を入力して算出する。

(4) 応力の足し合わせ

表 4-20 及び図 3-1～図 3-6 で示した応力評価点のうち原子炉格納容器胴（応力評価点 P1～P6）については、(1)で求めた応力を用いることとし、ビームシートと原子炉格納容器胴の結合部（応力評価点 P7～P10）については、(2)で求めたビームシートに作用する荷重による応力と、(3)で求めた原子炉格納容器胴に作用する荷重による応力を適切に足し合わせることで算出する。

(5) 解析コード

解析コードはMSC NASTRANを用いる。なお、評価に用いる解析コードMSC NASTRAN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。

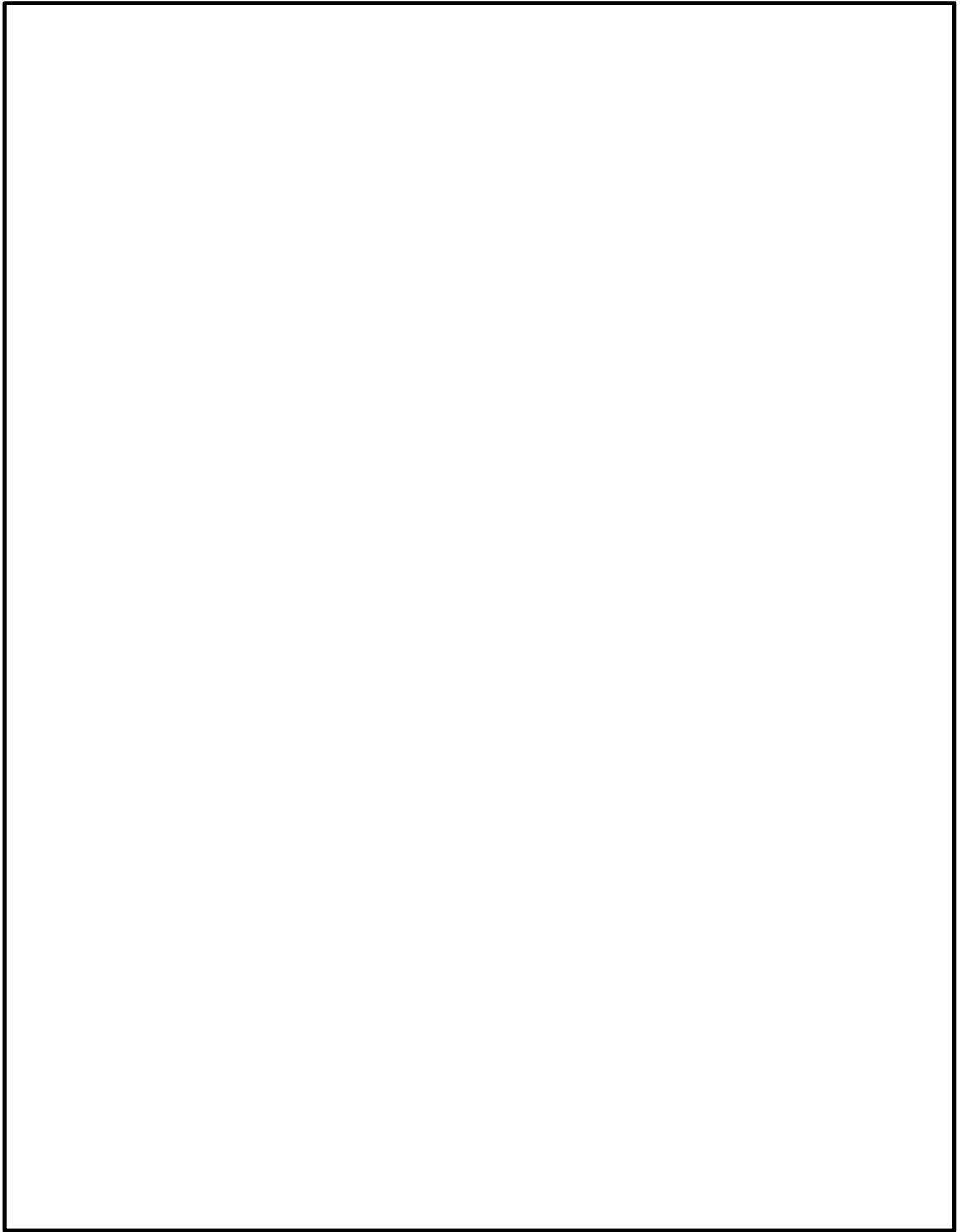


図 4-1(1) 原子炉格納容器胴の解析モデル (180 度モデル, 軸力, モーメント)

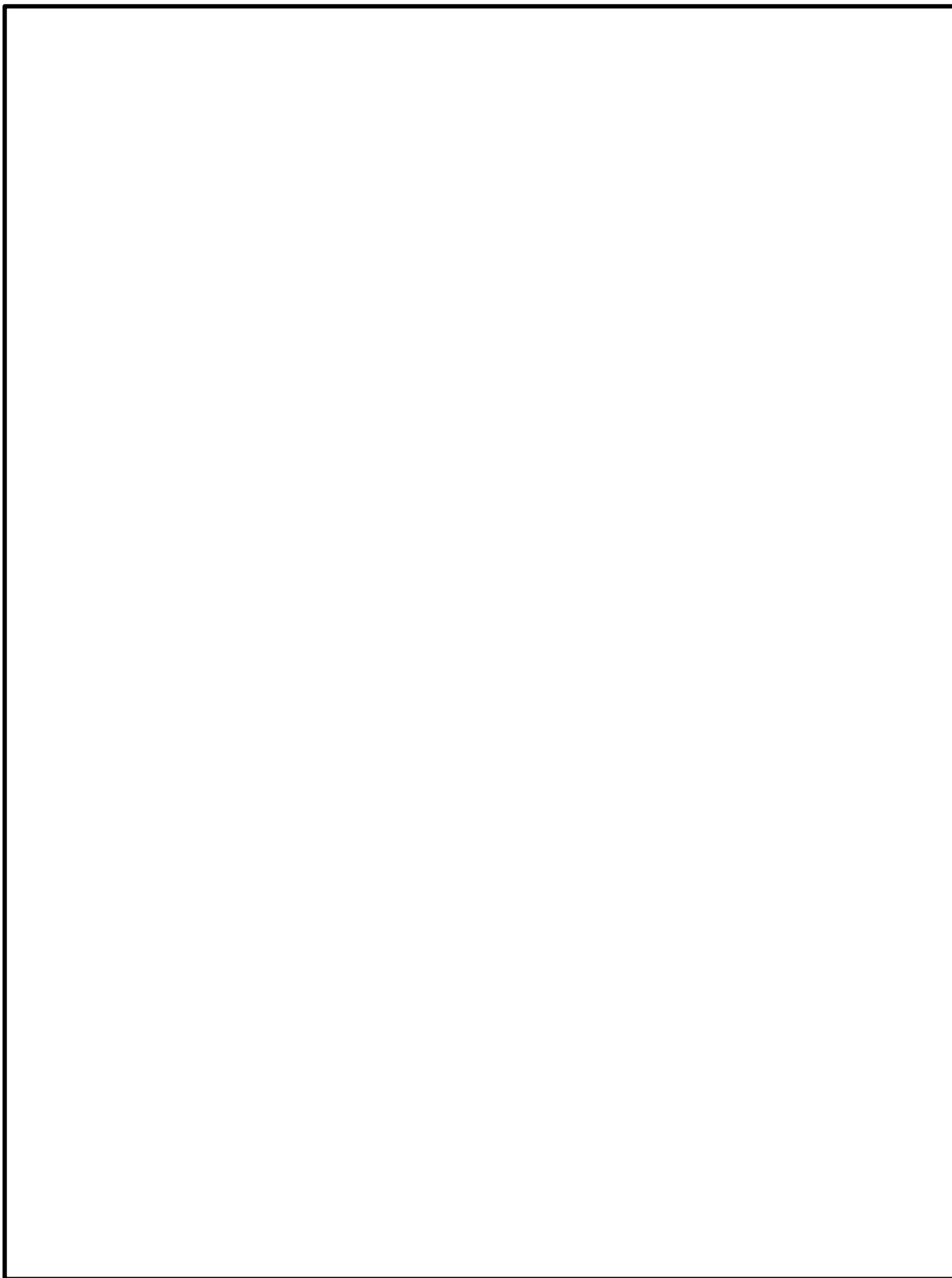


図 4-1 (2) 原子炉格納容器胴の解析モデル
(90 度モデル, 圧力, 水頭圧, 逃がし安全弁作動時荷重)



図 4-2 上段ビームシートの解析モデル

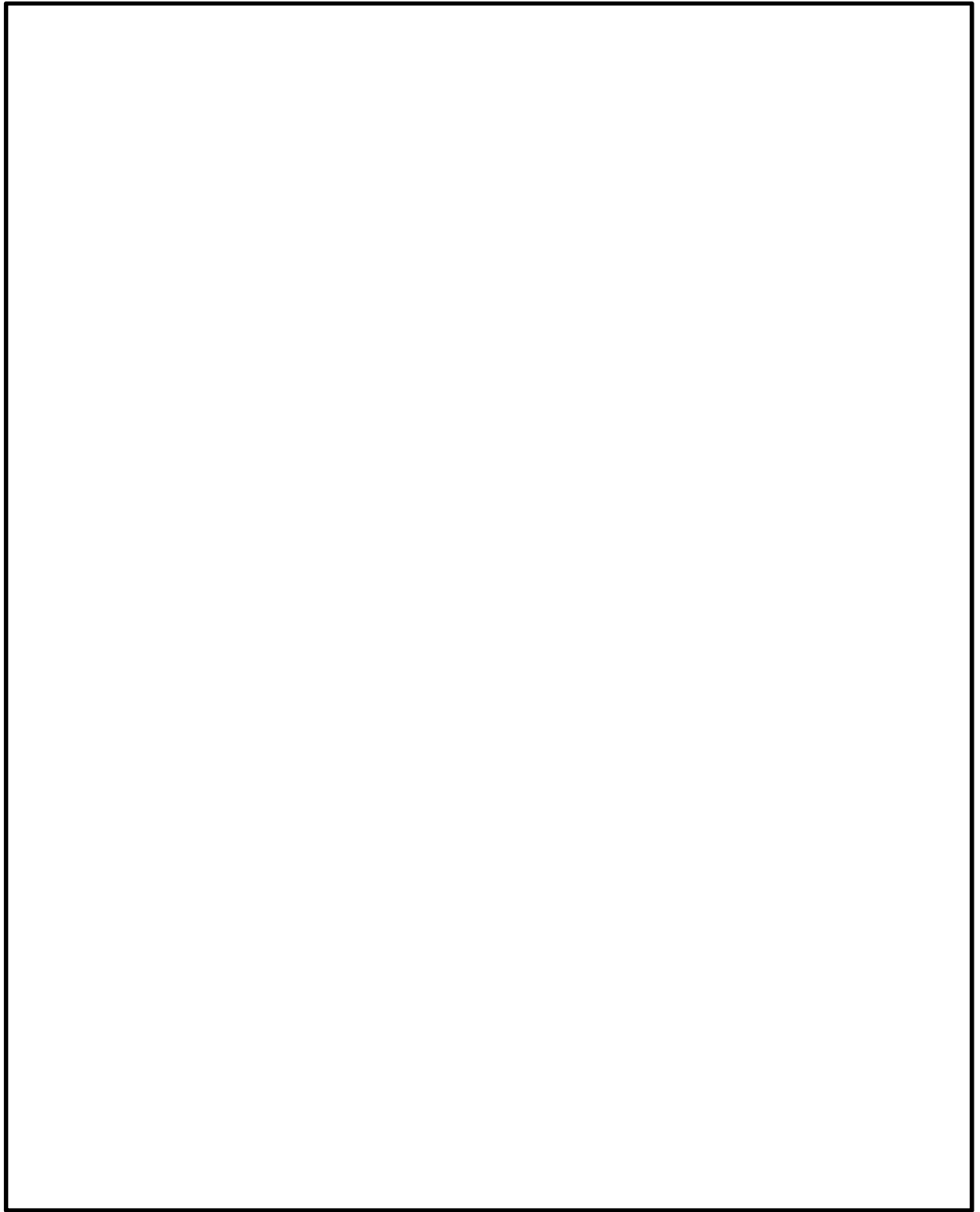


図 4-3 下段Aビームシート（補強板なし）の解析モデル

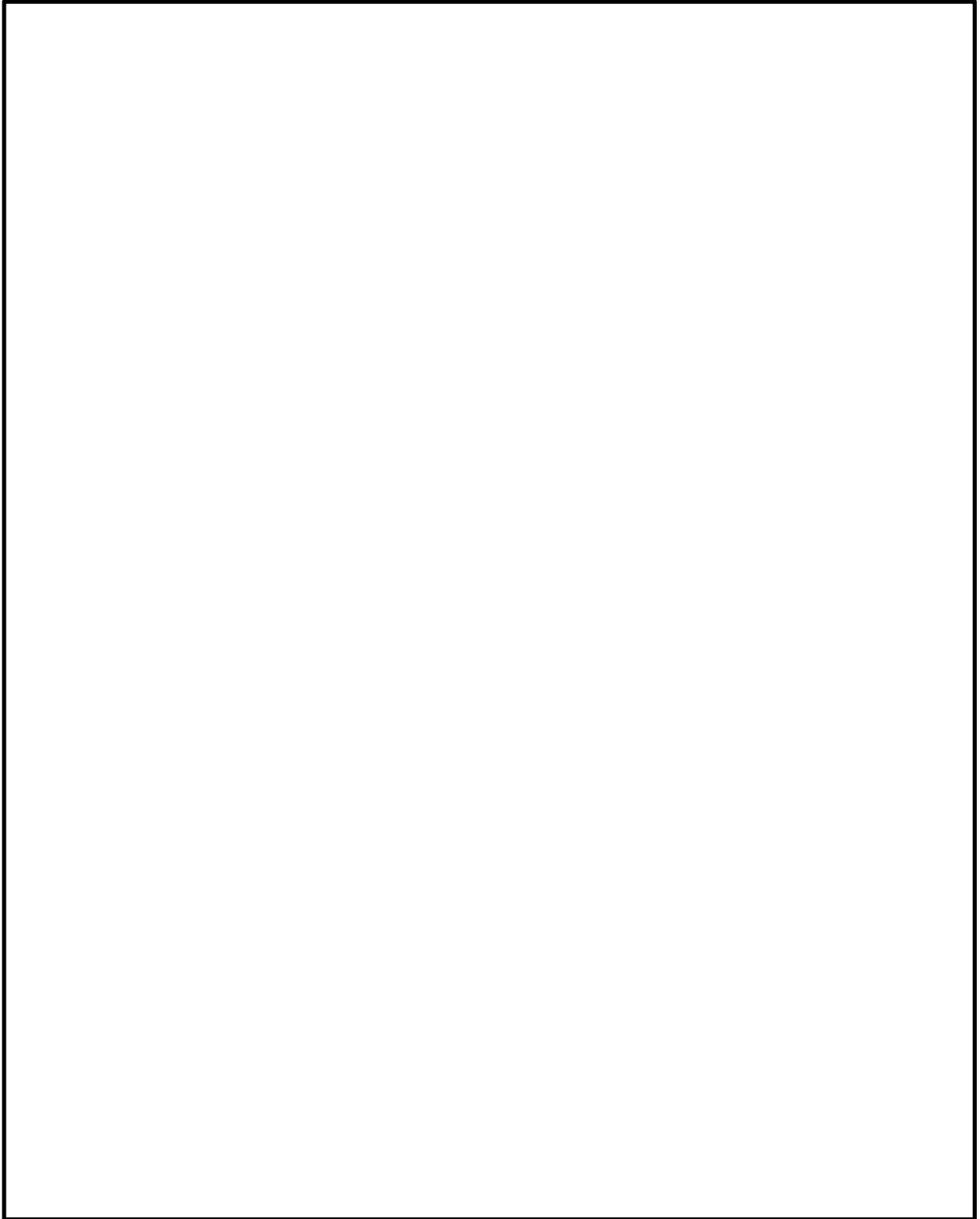


図 4-4 下段Aビームシート（補強板あり）の解析モデル

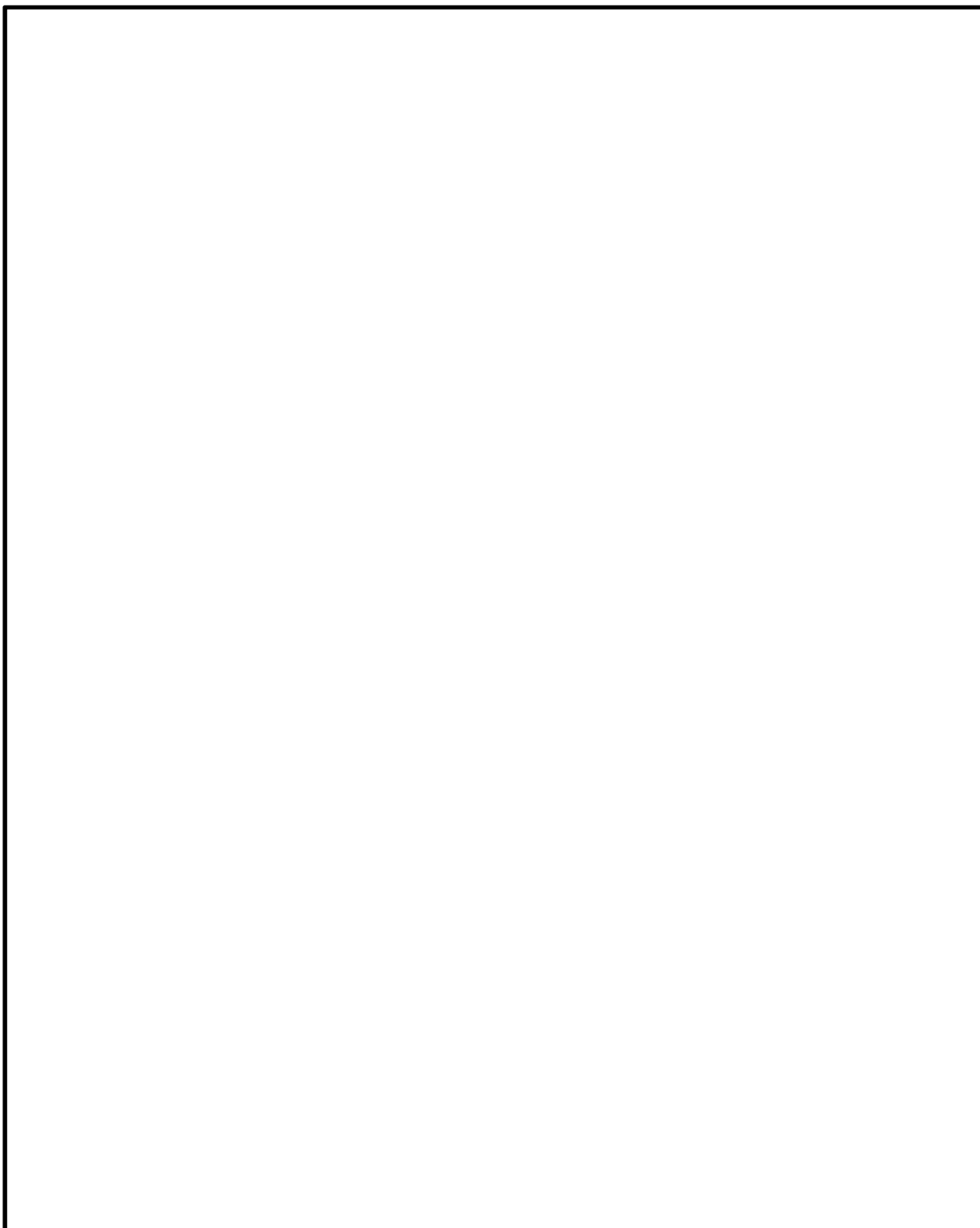


図 4-5 下段B ビームシート（補強板あり）の解析モデル

表 4-21 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
質量	m o	kg	— *1
温度条件*2	T	℃	66(ドライウエル 通常運転温度) 171(ドライウエル 最高使用温度) 32(サプレッション・チェンバ 通常運転温度) 104(サプレッション・チェンバ 最高使用温度)
縦弾性係数*2	E	MPa	200000(ドライウエル 通常運転温度) 193000(ドライウエル 最高使用温度) 202000(サプレッション・チェンバ 通常運転温度) 198000(サプレッション・チェンバ 最高使用温度)
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	図4-1～図4-5に記載のとおり
節点数	—	個	

注記 *1：単位荷重による解析のため，質量の入力は不要。

*2：冷却材喪失事故後の最大内圧による解析は最高使用温度にて，その他の荷重による解析は通常運転温度にて行った。

4.4.2.2 原子炉格納容器胴（応力評価点 P6）の座屈評価

(1) 評価荷重

応力評価点 P6 の座屈評価に用いる地震荷重を以下に示す。

a. 設計基準対象施設としての評価荷重（ S_s ）

$$\begin{array}{ll} \text{軸圧縮荷重} & P = \boxed{} \text{ N} \\ \text{曲げモーメント} & M = \boxed{} \text{ N}\cdot\text{mm} \end{array}$$

b. 重大事故等対処設備としての評価荷重（ S_s ）

$$\begin{array}{ll} \text{軸圧縮荷重} & P = \boxed{} \text{ N} \\ \text{曲げモーメント} & M = \boxed{} \text{ N}\cdot\text{mm} \end{array}$$

(2) 評価式

応力評価点 P6 に対する地震時における評価は、以下の評価式を用いて行う。

$$\frac{\alpha \cdot (P/A)}{f_c} + \frac{\alpha \cdot (M/Z)}{f_b} \leq 1.0$$

ここで、

$$\begin{array}{ll} A : & \boxed{} \text{ mm}^2 \\ Z : & \boxed{} \text{ mm}^3 \end{array}$$

f_c : 軸圧縮荷重に対する座屈応力で、次の計算式により計算した値 (MPa)

$$f_c = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left\{ 1 - \frac{1}{6800g} (F - \Phi_c \{\eta_2\}) (\eta - \eta_1) \right\} & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ \Phi_c \{\eta\} & (\eta_2 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

ここで、

$$\Phi_c \{\eta\} = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.90 k \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \sqrt{\eta} \right) \right\} \right]$$

f_b : 曲げモーメントに対する座屈応力で、次の計算式により計算した値 (MPa)

$$f_b = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left\{ 1 - \frac{1}{8400g} (F - \Phi_b \{\eta_3\}) (\eta - \eta_1) \right\} & (\eta_1 < \eta < \eta_3) \\ \Phi_b \{\eta\} & (\eta_3 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

ここで、

$$\Phi_b \{\eta\} = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.73 k \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \sqrt{\eta} \right) \right\} \right]$$

α : 安全率で次に規定する値。許容応力状態Ⅲ_AS 及びⅣ_AS に対して、

$$\alpha = \begin{cases} 1.0 & (\eta \leq \eta_1) \\ 1.0 + \frac{F}{13600g} (\eta - \eta_1) & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ 1.5 & (\eta_2 \leq \eta) \end{cases}$$

E : 1.98×10^5 MPa 設計基準対象施設

1.93×10^5 MPa 重大事故等対処設備

t :  mm
R :  mm

η : R / t

η_1 : $1200 \text{ g} / F$

η_2 : $8000 \text{ g} / F$

η_3 : $9600 \text{ g} / F$

F : 237 MPa 設計基準対象施設

229 MPa 重大事故等対処設備

4.5 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は、「4.2 荷重の組合せ及び許容限界」及び「4.3 設計用地震力」に示す。

4.6 応力の評価

「4.4 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とともに、座屈評価で求めた値が 1.0 以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉格納容器胴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。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅲ_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、 $D + P + M + S_d^*$ の評価を記載している。

(2) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅳ_ASに対する応力評価結果を表 5-2 に示す。

表 4-1 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_s$ 及び $D + P_L + M_L + S_d^*$ の評価を記載している。

(3) 疲労評価

許容応力状態Ⅳ_ASに対する疲労評価結果を表 5-2 及び表 5-3 に示す。

なお、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」において疲労解析は不要であることを確認しており、地震動のみによる疲労累積係数が 1.0 以下であることを確認している。

表 5-1(1) 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器胴	P1	円筒部と円錐部の接合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	47	344	○	
			一次＋二次応力強さ	88	393	○	
	P2	円錐部の角度変化部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	54	344	○	
			一次＋二次応力強さ	96	393	○	
	P3	円錐部の板厚変化部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	31	344	○	
			一次＋二次応力強さ	42	393	○	
	P4	円錐部と円筒部の接合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	70	356	○	
			一次＋二次応力強さ	140	393	○	
	P5	円筒部 (中央部)	一次一般膜応力強さ	37	237	○	
			一次膜＋一次曲げ応力強さ	37	356	○	
			一次＋二次応力強さ	52	393	○	
	P6	底部のフランジプレート との接合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	42	356	○	
			一次＋二次応力強さ	102	393	○	
			座屈	0.59*	1.0	○	単位なし

注記 * : 保守的に D + P + M + S_s の評価結果を記載する。

表 5-1(2) 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器胴	P7	上段ビームシートとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	61	344	○	
			一次＋二次応力強さ	216	393	○	
	P8	下段Aビームシート（補強板なし）との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	50	344	○	
			一次＋二次応力強さ	218	393	○	
	P9	下段Aビームシート（補強板あり）との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	47	344	○	
			一次＋二次応力強さ	130	393	○	
	P10	下段Bビームシートとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	61	344	○	
			一次＋二次応力強さ	370	393	○	

表 5-2(1) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価結果 (D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器胴	P1	円筒部と円錐部の接合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	131	380	○	
			一次＋二次応力強さ	60	393	○	
	P2	円錐部の角度変化部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	43	380	○	
			一次＋二次応力強さ	76	393	○	
	P3	円錐部の板厚変化部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	86	380	○	
			一次＋二次応力強さ	42	393	○	
	P4	円錐部と円筒部の接合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	107	387	○	
			一次＋二次応力強さ	138	393	○	
	P5	円筒部（中央部）	一次一般膜応力強さ	82	258	○	
			一次膜＋一次曲げ応力強さ	82	387	○	
			一次＋二次応力強さ	50	393	○	
	P6	底部のフランジプレートとの接合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	65	387	○	
			一次＋二次応力強さ	100	393	○	
			座屈	0.59*	1.0	○	単位なし

注記 * : 保守的に D + P + M + S_s の評価結果を記載する。

表 5-2(2) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器胴	P7	上段ビームシートとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	116	380	○	
			一次＋二次応力強さ	214	393	○	
	P8	下段Aビームシート（補強板なし）との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	112	380	○	
			一次＋二次応力強さ	216	393	○	
	P9	下段Aビームシート（補強板あり）との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	106	380	○	
			一次＋二次応力強さ	128	393	○	
	P10	下段Bビームシートとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	128	380	○	
			一次＋二次応力強さ	370	393	○	

表 5-2(3) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器胴	P1	円筒部と円錐部の接合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	64	380	○	
			一次＋二次応力強さ	144	393	○	
	P2	円錐部の角度変化部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	73	380	○	
			一次＋二次応力強さ	156	393	○	
	P3	円錐部の板厚変化部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	53	380	○	
			一次＋二次応力強さ	90	393	○	
	P4	円錐部と円筒部の接合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	112	387	○	
			一次＋二次応力強さ	284	393	○	
	P5	円筒部 (中央部)	一次一般膜応力強さ	60	258	○	
			一次膜＋一次曲げ応力強さ	60	387	○	
			一次＋二次応力強さ	98	393	○	
	P6	底部のフランジプレート との接合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	66	387	○	
			一次＋二次応力強さ	186	393	○	
			座屈	0.59	1.0	○	単位なし

表 5-2(4) 許容応力状態ⅣAS に対する評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器胴	P7	上段ビームシートとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	89	380	○	
			一次＋二次応力強さ	286	393	○	
	P8	下段Aビームシート（補強板なし）との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	79	380	○	
			一次＋二次応力強さ	324	393	○	
	P9	下段Aビームシート（補強板あり）との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	75	380	○	
			一次＋二次応力強さ	210	393	○	
	P10	下段Bビームシートとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	99	380	○	
			一次＋二次応力強さ	544	393	×*	
			疲労評価	0.821	1.0	○	単位なし

注記 * : P10 の一次＋二次応力評価結果は許容値を満足しないが，設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い，この結果より耐震性を有することを確認した。

表 5-3 許容応力状態Ⅳ_ASに対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _ℓ '* (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a	備考
P10	544							0.821	

注記 * : S_ℓに (E_o/E) を乗じた値である。

E_o=2.07×10⁵ MPa E=1.93×10⁵ MPa

E_o : 縦弾性係数

E : 運転温度の縦弾性係数

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉格納容器胴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。発生値は許容値を満足しており，耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価

許容応力状態 $V_A S$ に対する応力評価結果を表 5-4 に示す。

表 4-2 に示す荷重の組合せのうち， $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S$ 及び $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ の評価を記載している。

(2) 疲労評価

許容応力状態 $V_A S$ に対する疲労評価結果を表 5-4 及び表 5-5 に示す。

なお，添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」において疲労解析は不要であることを確認しており，地震動のみによる疲労累積係数が 1.0 以下であることを確認している。

表 5-4(1) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	$V_A S$		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器胴	P1	円筒部と円錐部の接合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	232	380	○	
			一次＋二次応力強さ	60	393	○	
	P2	円錐部の角度変化部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	71	380	○	
			一次＋二次応力強さ	76	393	○	
	P3	円錐部の板厚変化部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	156	380	○	
			一次＋二次応力強さ	42	393	○	
	P4	円錐部と円筒部の接合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	157	380	○	
			一次＋二次応力強さ	138	393	○	
	P5	円筒部（中央部）	一次一般膜応力強さ	227	253	○	
			一次膜＋一次曲げ応力強さ	227	380	○	
			一次＋二次応力強さ	80	393	○	
	P6	底部のフランジプレートとの接合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	94	380	○	
			一次＋二次応力強さ	168	393	○	
			座屈	0.98*	1.0	○	単位なし

注記 * : 保守的に $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S$ の評価結果を記載する。

表 5-4(2) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	$V_A S$		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器胴	P7	上段ビームシートとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	183	380	○	
			一次＋二次応力強さ	214	393	○	
	P8	下段Aビームシート（補強板なし）との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	189	380	○	
			一次＋二次応力強さ	216	393	○	
	P9	下段Aビームシート（補強板あり）との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	182	380	○	
			一次＋二次応力強さ	128	393	○	
	P10	下段Bビームシートとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	205	380	○	
			一次＋二次応力強さ	370	393	○	

表 5-4(3) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	$V_A S$		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器胴	P1	円筒部と円錐部の接合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	116	381	○	
			一次＋二次応力強さ	92	393	○	
	P2	円錐部の角度変化部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	52	381	○	
			一次＋二次応力強さ	120	393	○	
	P3	円錐部の板厚変化部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	82	381	○	
			一次＋二次応力強さ	88	393	○	
	P4	円錐部と円筒部の接合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	125	381	○	
			一次＋二次応力強さ	278	393	○	
	P5	円筒部（中央部）	一次一般膜応力強さ	143	254	○	
			一次膜＋一次曲げ応力強さ	143	381	○	
			一次＋二次応力強さ	146	393	○	
	P6	底部のフランジプレートとの接合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	86	381	○	
			一次＋二次応力強さ	304	393	○	
			座屈	0.98	1.0	○	単位なし

表 5-4(4) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	$V_A S$		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器胴	P7	上段ビームシートとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	116	381	○	
			一次＋二次応力強さ	284	393	○	
	P8	下段Aビームシート（補強板なし）との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	109	381	○	
			一次＋二次応力強さ	322	393	○	
	P9	下段Aビームシート（補強板あり）との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	107	381	○	
			一次＋二次応力強さ	208	393	○	
	P10	下段Bビームシートとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	132	381	○	
			一次＋二次応力強さ	544	393	×*	
			疲労評価	0.800	1.0	○	単位なし

注記 * : P10 の一次＋二次応力評価結果は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

表 5-5 許容応力状態 $V_A S$ に対する疲労評価結果

評価部位	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ (MPa)	$S_\ell'^*$ (MPa)	N_a (回)	N_c (回)	疲労累積係数 N_c / N_a	備考
P10	544							0.800	

注記 * : S_ℓ に (E_o / E) を乗じた値である。

$E_o = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa}$ $E = 1.95 \times 10^5 \text{ MPa}$

E_o : 縦弾性係数

E : 運転温度の縦弾性係数

V-2-9-2-2 原子炉格納容器底部コンクリートマットの
耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	7
2.4	適用規格・基準等	10
3.	地震応答解析による評価方法	11
4.	応力解析による評価方法	13
4.1	評価対象部位及び評価方針	13
4.2	荷重及び荷重の組合せ	15
4.3	許容限界	30
4.4	解析モデル及び諸元	33
4.5	評価方法	35
5.	評価結果	48
5.1	地震応答解析による評価結果	48
5.2	応力解析による評価結果	51
別紙 1	鉄筋コンクリート構造物の重大事故等時の高温による影響（原子炉格納容器底部コンクリートマット）	
別紙 2	原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した検討（原子炉格納容器底部コンクリートマット）	

1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、原子炉格納容器底部（以下「原子炉格納容器底部コンクリートマット」という。）の地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、その評価は、地震応答解析による評価及び応力解析による評価に基づき行う。

原子炉格納容器底部コンクリートマットは、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」及び「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」並びに「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の間接支持構造物」に分類される。

以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

原子炉格納容器底部コンクリートマットは、原子炉建屋の一部を構成している。原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

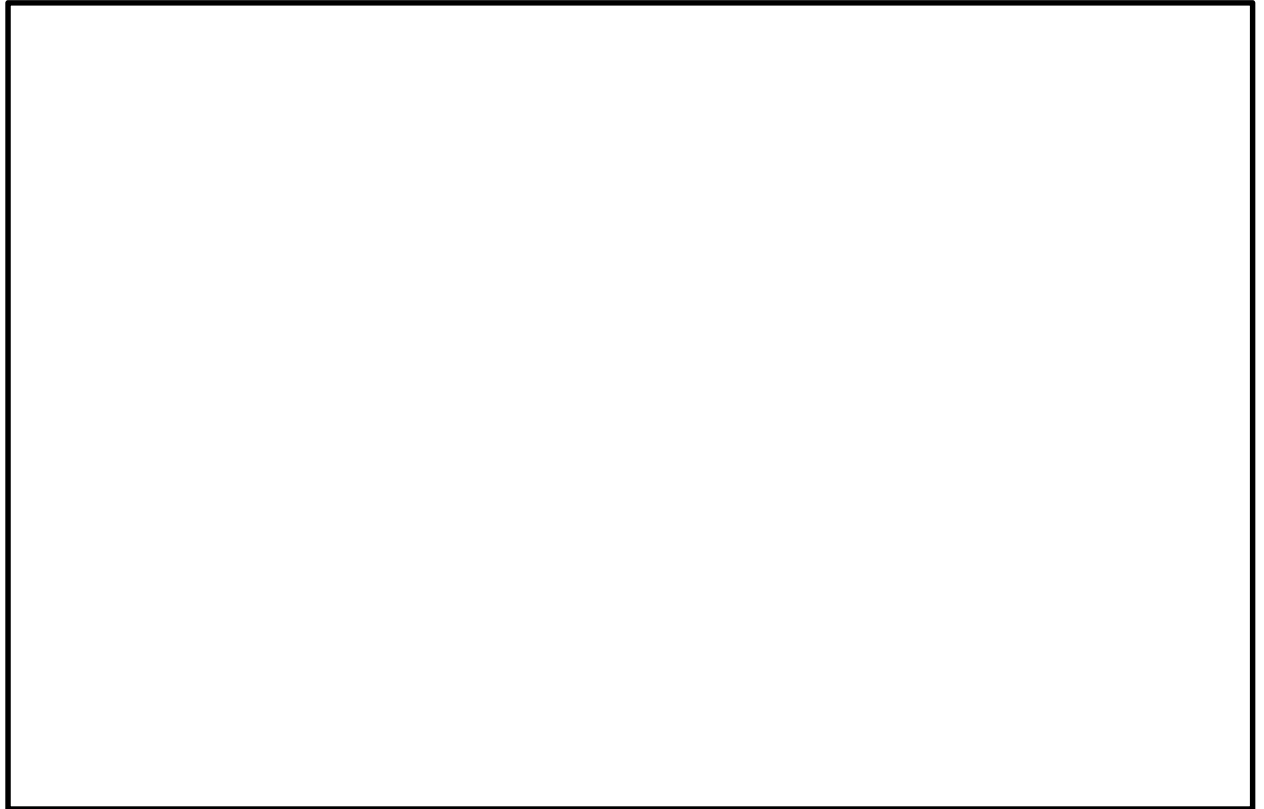


図 2-1 原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋の設置位置

2.2 構造概要

原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋基礎盤は、鉄筋コンクリート造で、底面位置における平面規模は、南北方向 68.5 m、東西方向 68.25 m、厚さ 5.0 m である。また、この基礎盤は、原子炉本体の基礎（以下「RPV 基礎」という。）、原子炉格納容器（以下「PCV」という。）、その周囲の壁（以下「シェル壁（S/W）」という。）、原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）の外壁（以下「内部ボックス壁（I/W）」という。）及び原子炉建屋付属棟（以下「付属棟」という。）の外壁（以下「外部ボックス壁（O/W）」という。）を支持している。

原子炉格納容器底部コンクリートマットは、原子炉格納容器底部の圧力バウンダリを構成する厚さ 5.0 m の鉄筋コンクリート造の構造体であり、その上面には耐漏洩性を持たせるために鋼製ライナが設けられている。また、この底部コンクリートマットは、原子炉棟基礎及び付属棟基礎と一体となっている。

原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋基礎盤の概略平面図及び概略断面図を図 2-2 及び図 2-3 に示す。

NT2 補② V-2-9-2-2 R0

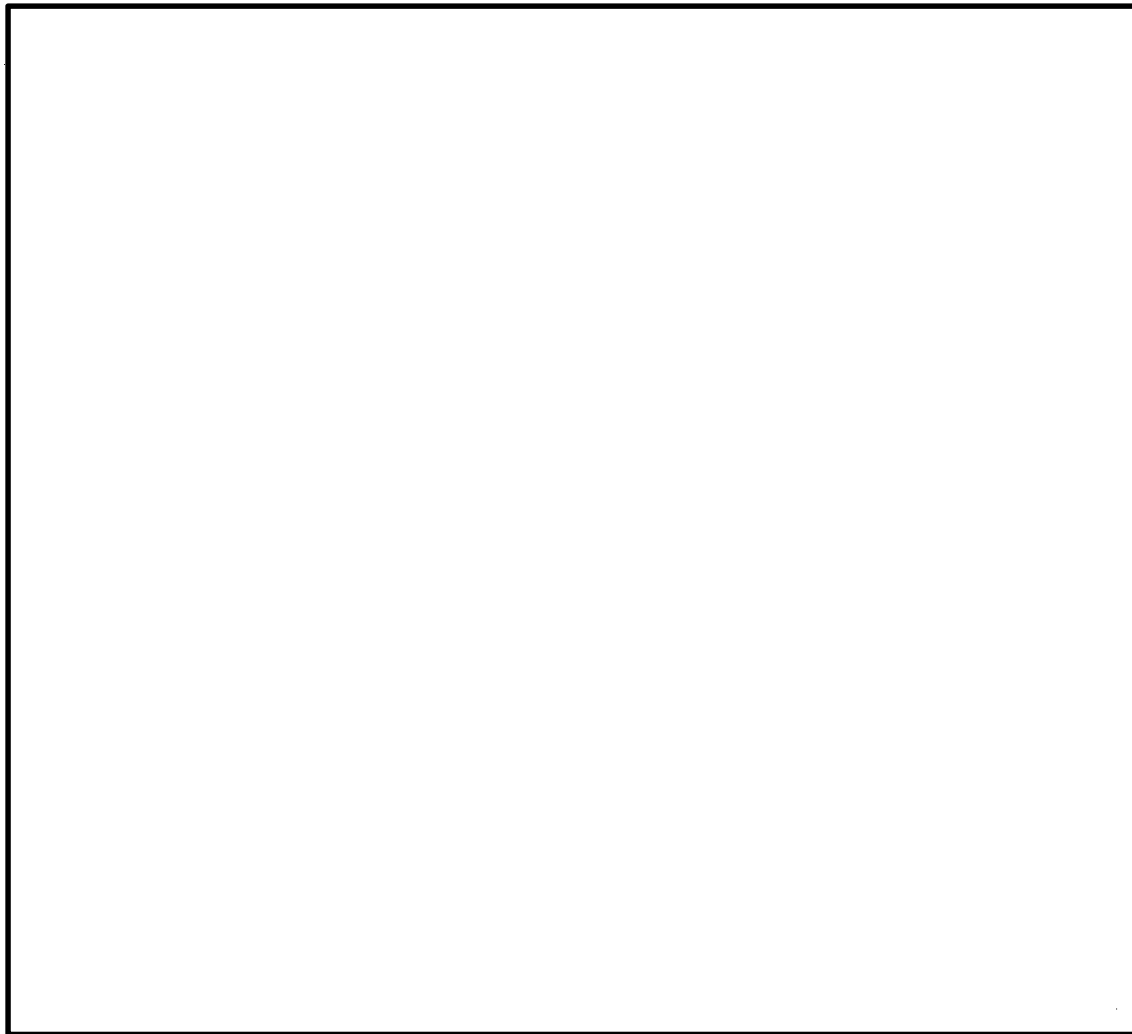


図 2-2



概略平面図 (EL. -4.0 m)

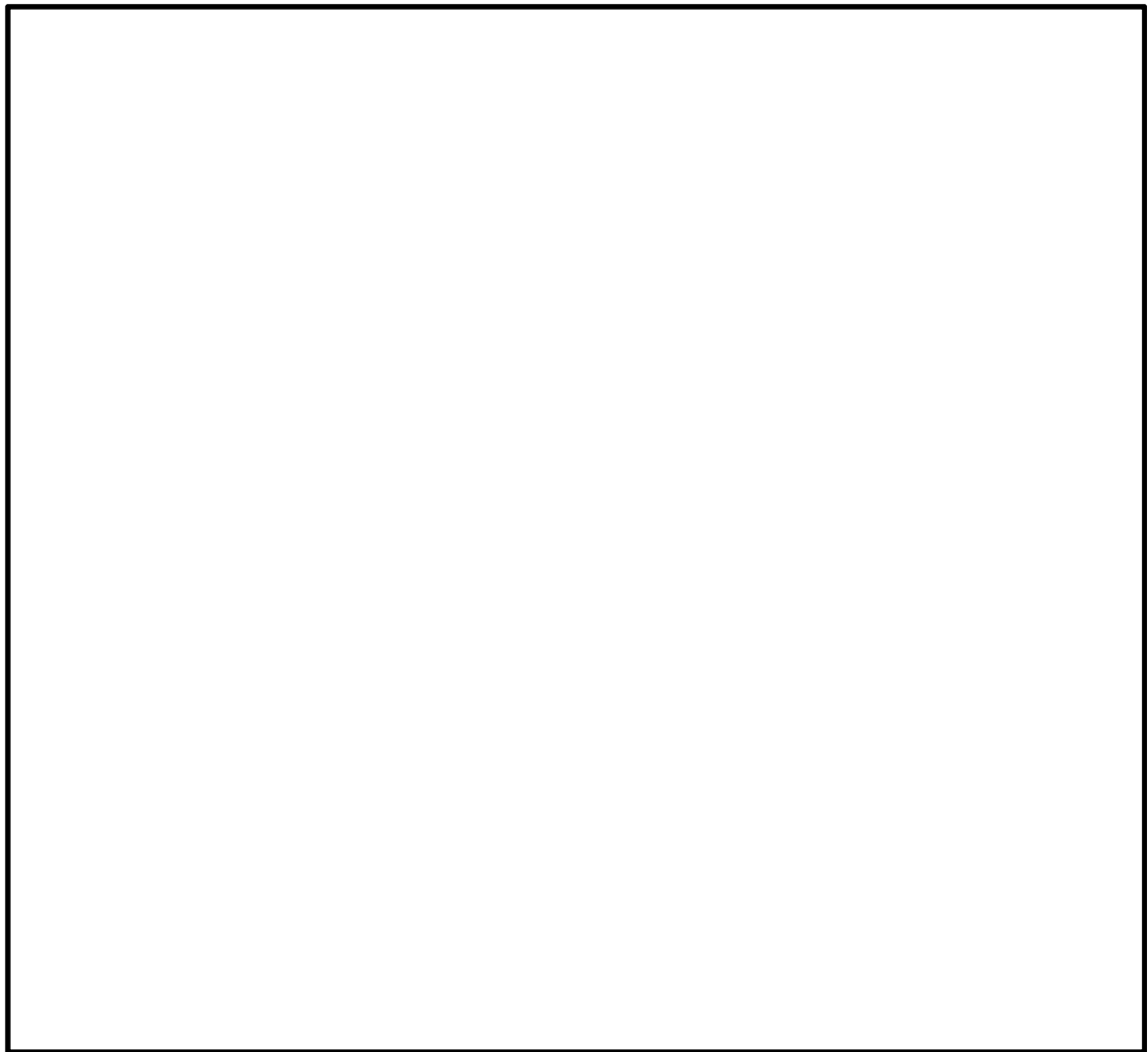


図 2-3 (1/2) 原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋基礎盤の
概略断面図 (A-A 断面 EW 方向)



図 2-3 (2/2) 原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋基礎盤の
概略断面図 (B-B 断面 NS 方向)

2.3 評価方針

原子炉格納容器底部コンクリートマットは、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」及び「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」並びに「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の間接支持構造物」に分類される。

原子炉格納容器底部コンクリートマットの設計基準対象施設としての評価においては、弾性設計用地震動 S_d による地震力または静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対する評価及び基準地震動 S_s による地震力に対する評価を行うこととし、それぞれの評価は、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。原子炉格納容器底部コンクリートマットにおいて考慮すべき荷重は、通常荷重、運転時荷重、事故時荷重及び地震荷重等種類が多く、性質を異にしている。また、これらの荷重はその発生確率、他の荷重発生との同時性等が各々異なっている。

従って、以下の4つの荷重状態に分類し、これらのうち荷重状態Ⅲ及びⅣの地震時に関する荷重の組合せについて評価を行う。

- (1) 荷重状態Ⅰ：通常運転時の状態
- (2) 荷重状態Ⅱ：逃がし安全弁作動時、試験時または積雪時の状態
- (3) 荷重状態Ⅲ：荷重状態Ⅰ、荷重状態Ⅱ及び荷重状態Ⅳ以外の状態
- (4) 荷重状態Ⅳ：格納容器の安全設計上想定される異常な状態が生じている状態

原子炉格納容器底部コンクリートマットの評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析による評価においては接地圧の評価を、応力解析による評価においては断面の評価を行うことで、原子炉格納容器底部コンクリートマットの地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。なお、接地圧は、原子炉格納容器底部コンクリートマット並びに原子炉棟基礎及び付属棟基礎を一体として扱い、原子炉建屋基礎盤全体として評価する。機能維持の確認においては、支持機能を確認する。評価にあたっては、 S_d 地震時及び S_s 地震時に対する評価で、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」による地盤物性のばらつきを考慮する。なお、気密性の確認については、添付書類「V-2-9-2-11 サプレッション・チェンバ底部ライナ部の耐震性についての計算書」にて実施するが、ライナプレートの変形が原子炉格納容器底部コンクリートマットの変形に追従する形で制限されていることから、原子炉格納容器底部コンクリートマットの構造強度を確認することで間接的に気密性を担保する。

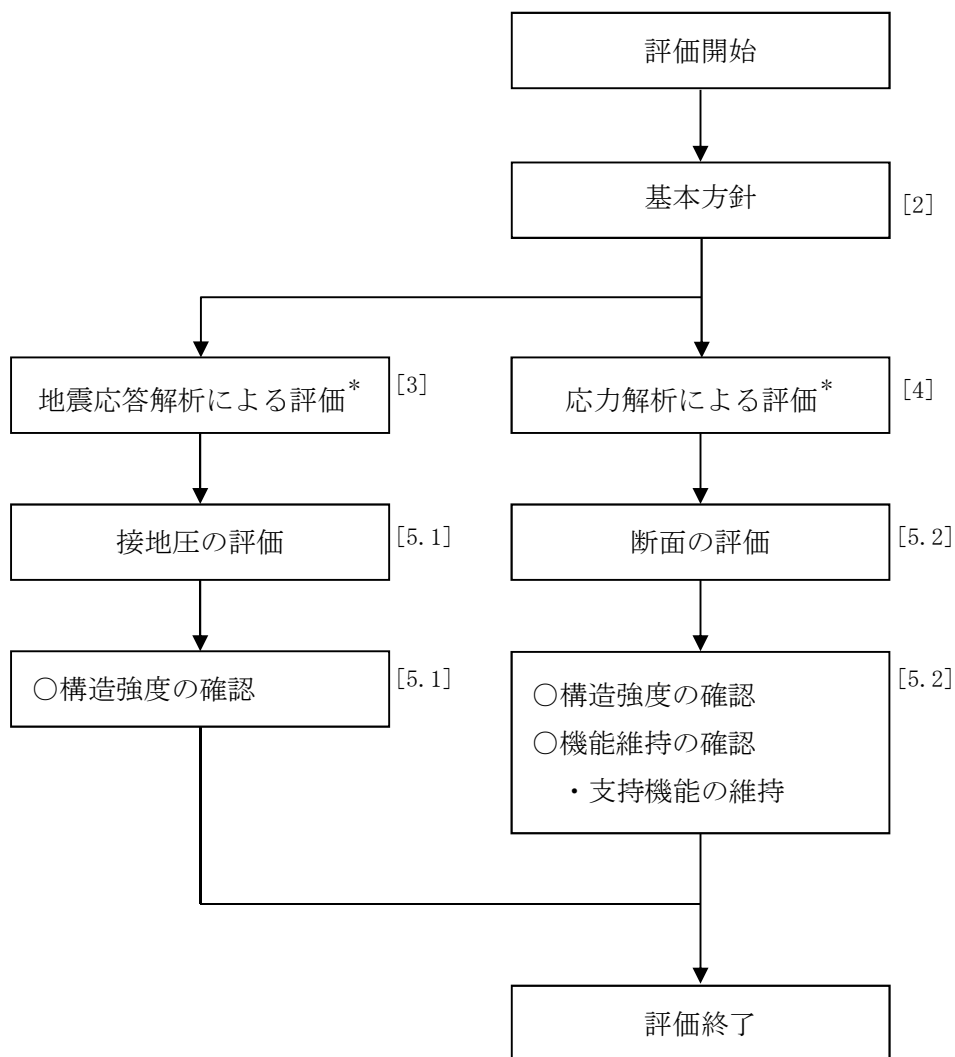
また、重大事故等対処施設としての評価においては、上記の荷重状態ⅠからⅣに以下の荷重状態Ⅴを加えた5つの荷重状態に分類し、これらのうち荷重状態Ⅲ～Ⅴにおける地震時の評価に関する荷重の組合せに対する評価を行う。

- (5) 荷重状態Ⅴ：発電用原子炉施設が重大事故に至るおそれがある事故、または重大事故の状態、重大事故等対処施設の機能が必要とされる状態

ここで、原子炉格納容器底部コンクリートマットにおける荷重状態Ⅲ～Ⅴでは、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態において、温度の条件が異なる。コンクリートの温度が上昇した場合においても、コンクリートの圧縮強度の低下は認められず、剛性低下は認められるがその影響は小さいと考えられる（別紙「鉄筋コンクリート構造物の重大事故等時の高温による影響（原子炉格納容器底部コンクリートマット）」参照）こと、また、「発電用原子力設備規

格「コンクリート製原子炉格納容器規格」では部材内の温度差及び拘束力により発生する熱応力は自己拘束的な応力であり十分な塑性変形能力がある場合は終局耐力に影響しないこととされていることから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設と同一となる。

原子炉格納容器底部コンクリートマットの評価フローを図 2-4 に示す。



注：[]内は、本資料における章番号を示す。

注記 *：添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-4 原子炉格納容器底部コンクリートマットの評価フロー

2.4 適用規格・基準等

原子炉格納容器底部コンクリートマットの評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1－1987 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力度編 J E A G 4 6 0 1・補－1984 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1－1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ((社) 日本機械学会, 2003) (以下「CCV規格」という。)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計法— ((社) 日本建築学会, 1999)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005) (以下「RC-N規準」という。)
- ・ 建築基礎構造設計指針 ((社) 日本建築学会, 2001) (以下「基礎指針」という。)

3. 地震応答解析による評価方法

地震応答解析による評価において、原子炉格納容器底部コンクリートマットの構造強度については、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき、地盤物性のばらつきを考慮した最大接地圧が許容限界を超えないことを確認する。

地震応答解析による評価における原子炉格納容器底部コンクリートマットの許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 3-1 及び

表 3-2 のとおり設定する。

なお、地震応答解析による評価においては、温度荷重、圧力荷重及び水圧荷重による影響が軽微であることから、 S_s 地震時（荷重状態Ⅳ・地震時）及び S_d 地震時（荷重状態Ⅲ・地震時）の評価を実施することとする。

表 3-1 地震応答解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	基礎地盤	最大接地圧が構造強度を確保するための許容限界を十分下回ることを確認	極限支持力度*1 2480 kN/m ²
		弾性設計用 地震動 S_d 及び 静的地震力	基礎地盤	最大接地圧が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	短期許容支持力度*2 1650 kN/m ²

注記 *1 : 極限支持力度は、「基礎指針」に基づき次式により算出する。

$$q_u = i_c \cdot \alpha \cdot c \cdot N_c + i_\gamma \cdot \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot \eta \cdot N_\gamma + i_q \cdot \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q$$

ここで、 q_u : 直接基礎の単位面積あたりの極限鉛直支持力度 (kN/m²)

N_c , N_γ , N_q : 支持力係数

c : 支持地盤の粘着力 (kN/m²)

γ_1 : 支持地盤の水中単位体積重量 (kN/m³)

γ_2 : 根入れ部分の土の水中単位体積重量 (kN/m³)

α , β : 基礎の形状係数

η : 基礎の寸法効果による補正係数

i_c , i_γ , i_q : 荷重の傾斜に対する補正係数

B : 基礎幅 (m)

D_f : 根入れ深さ (m)

＊２：短期許容支持力度は、「基礎指針」及び原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1－1987（(社)日本電気協会）より，表 3-1 に示す極限支持力度の 2/3 以下として設定する。

表 3-2 地震応答解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	基礎地盤	最大接地圧が構造強度を確保するための許容限界を十分下回ることを確認	極限支持力度 2480 kN/m ²

注：極限支持力度は，表 3-1 と同様に「基礎指針」に基づき算出する。

4. 応力解析による評価方法

4.1 評価対象部位及び評価方針

原子炉格納容器底部コンクリートマットの応力解析による評価対象部位は底部*とし、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析により評価を行う。3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析に当たっては、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」及び既工事計画認可申請書 第1回申請 添付書類「Ⅲ-3-3-14 原子炉格納容器底部コンクリートマット強度計算書」より荷重の組合せを行う。

荷重状態Ⅲ～Ⅴに対しては、以下の(1)～(3)の方針に基づき断面の評価を行う。また、応力解析による評価フローを図4-1に示す。

注記 *「CCV規格」CEV-1220（部位に関する用語）より、「底部」とは、鉄筋コンクリート製の平板で構成されている原子炉格納容器の下部をいう。

(1) 荷重状態Ⅲに対する評価

荷重状態Ⅲに対する評価は、原子炉格納容器底部コンクリートマットについて、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が、「CCV規格」に基づいて設定した許容限界を超えないことを確認する。

また、断面の評価については、地盤物性のばらつきを考慮した断面力に対して行うこととする。

(2) 荷重状態Ⅳに対する評価

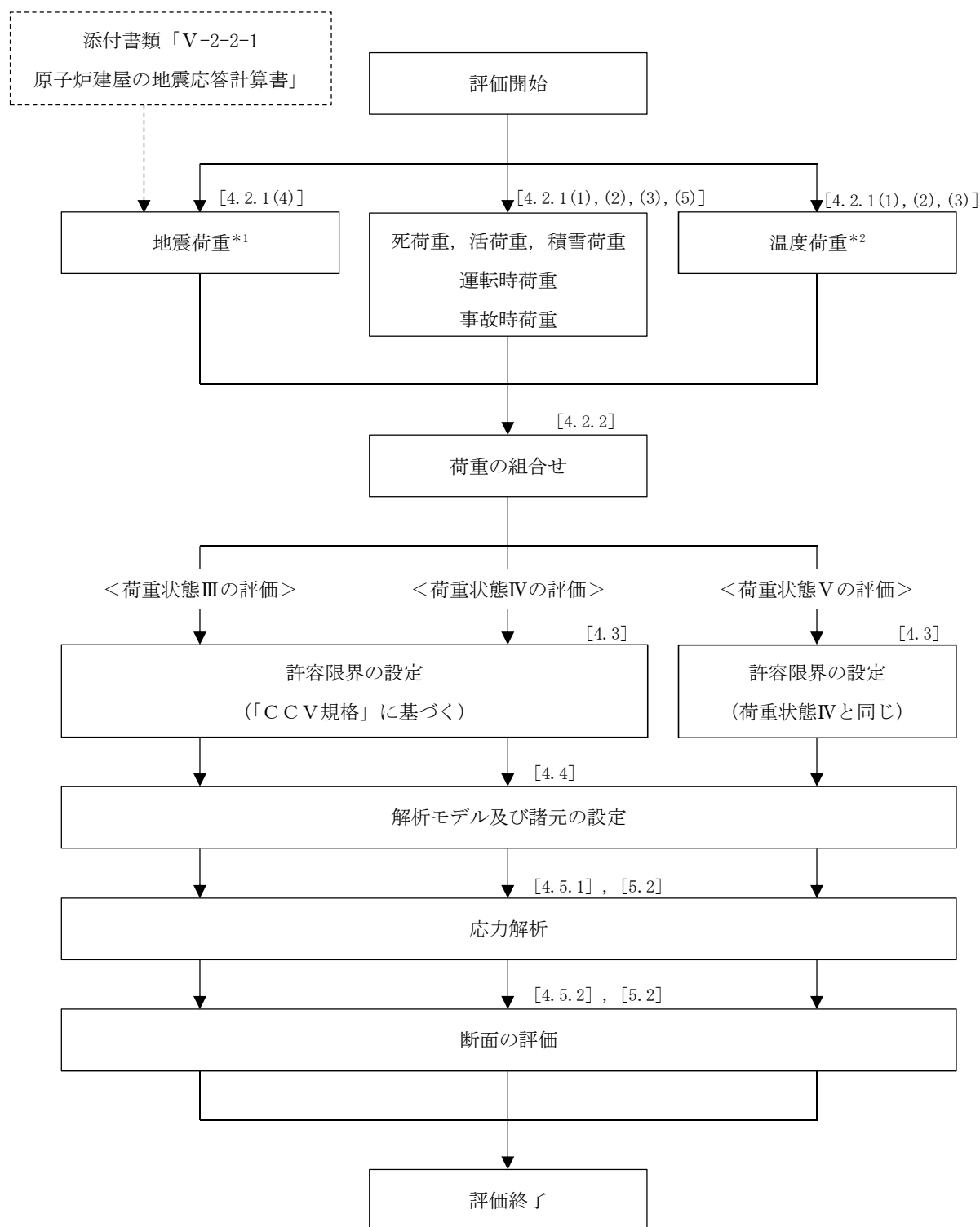
荷重状態Ⅳに対する評価は、原子炉格納容器底部コンクリートマットについて、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力またはひずみが、「CCV規格」に基づいて設定した許容限界を超えないことを確認する。

また、断面の評価については、地盤物性のばらつきを考慮した断面力に対して行うこととする。

(3) 荷重状態Ⅴに対する評価

荷重状態Ⅴに対する評価は、原子炉格納容器底部コンクリートマットについて、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力またはひずみが、荷重状態Ⅳと同じものとして設定した許容限界を超えないことを確認する。

また、断面の評価については、地盤物性のばらつきを考慮した断面力に対して行うこととする。



注 : []内は、本資料における章番号を示す。

注記 *1 : ばらつきについては、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき設定する。

*2 : 温度荷重については、荷重状態Ⅲの地震荷重と組み合わせる。

図 4-1 応力解析による評価フロー

4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。

4.2.1 荷重

(1) 通常荷重（死荷重（D）、活荷重（L）、常時土圧荷重（E₀））

原子炉格納容器底部コンクリートマットに作用する通常荷重として次のものを考慮する。

a. 死荷重（D）、活荷重（L）

死荷重及び活荷重は、既工事計画認可申請書 第1回申請 添付書類「Ⅲ-3-3-14 原子炉格納容器底部コンクリートマット強度計算書」に基づき表 4-1 のとおり設定する。

表 4-1 死荷重及び活荷重（D, L）

部位	通常荷重 (kN)
O/W	397800 ^{*1}
I/W	392300 ^{*1}
S/W	309900 ^{*1}
PCV	
RPV 基礎	
サプレッションプール水静水圧	
基礎盤上	171904 ^{*3}
基礎盤自重	561020 ^{*4}

注記 *1：既工事計画認可申請書 第1回申請 添付書類「Ⅲ-3-3-14 原子炉格納容器底部コンクリートマット強度計算書」に基づき設定。

*2：添付書類「V-2-9-2-11 サプレッション・チェンバ底部ライナ部の耐震性についての計算書」の最高水位より設定。

*3：添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」の地震応答解析モデルに基づき設定。

*4：単位体積重量 $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$ として設定。

b. 常時土圧荷重 (E₀)

原子炉建屋基礎盤に作用する常時土圧荷重は、J E A G 4 6 0 1－1991 追補版に基づき、下式を用いて算出した常時土圧により、地下外壁を介して作用する荷重及び基礎盤側面に直接作用する荷重である。地下外壁を介して作用する荷重は、各階床で支持された連続梁モデルとして評価する。

表 4-2 (1/2) に常時土圧を、表 4-2 (2/2) に常時土圧荷重 (E₀) を示す。

$$p_0 = K_0 \gamma z$$

ここで、

p₀ : 深さ z(m)における単位面積当たりの静止土圧 (kN/m²)

K₀ : 静止土圧係数 (0.5)

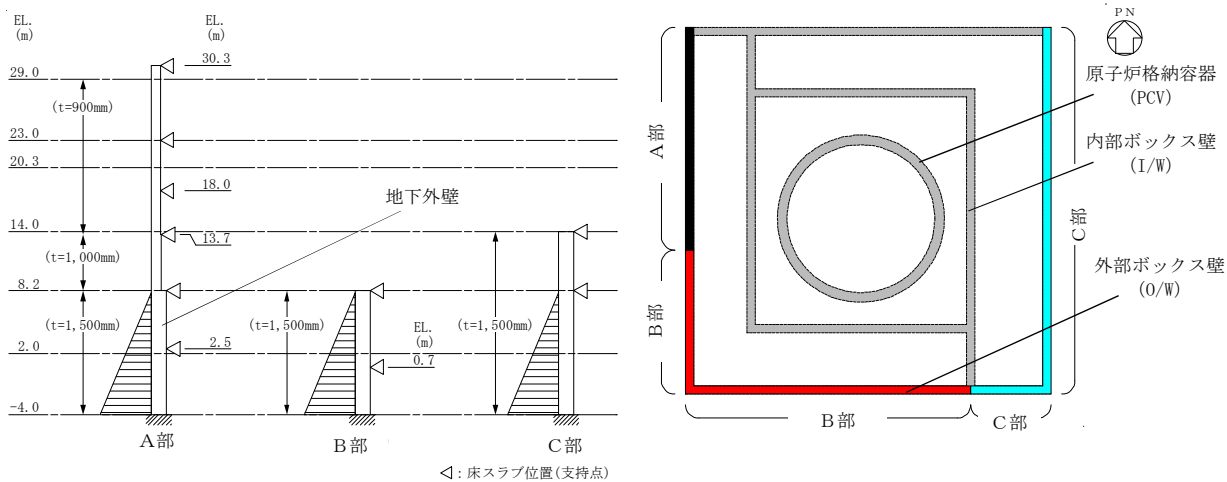
γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)

表 4-2 (1/2) 常時土圧

EL. (m)	γ (kN/m ³)	設計用常時土圧 (kN/m ³)
8.0	20.6	0.0
−4.0	20.6	123.6
−9.0	20.6	175.0

表 4-2 (2/2) 常時土圧荷重 (E₀)

	NS 方向		EW 方向	
	水平力 (kN/m)	曲げモーメント (kN・m/m)	水平力 (kN/m)	曲げモーメント (kN・m/m)
A 部	—	—	1104	1273
B 部	984	761	984	761
C 部	1298	2397	1298	2397



の配置概念図]

(2) 運転時荷重 (P_1 , T_1 , H_1)

原子炉格納容器底部コンクリートマットにおいて、運転時の状態で作用する荷重として次のものを考慮する。

a. 運転時圧力 (P_1)

運転時において、原子炉格納容器底部コンクリートマットの上面と下面の圧力差によって生じる荷重で、添付書類「V-2-9-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」より、次の値とする。

$$P_1 = -14 \text{ kPa}$$

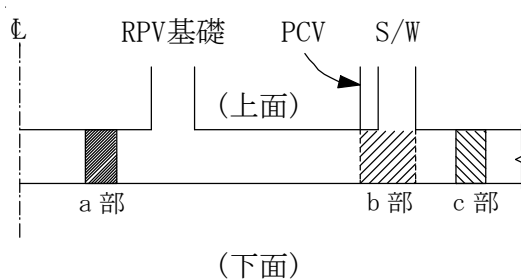
b. 運転時温度荷重 (T_1)

運転時において、原子炉建屋基礎盤に生じる温度変化による荷重及び原子炉建屋基礎盤の上面と下面との温度差によって生じる荷重で、既工事計画認可申請書 第 1 回申請添付書類「Ⅲ-3-3-14 原子炉格納容器底部コンクリートマット強度計算書」に基づき上面と下面の温度を表 4-3 のとおり設定する。

表 4-3 運転時温度荷重 (T_1)

(単位: °C)

	記 号		季 節	a 部		b 部		c 部	
				上面	下面	上面	下面	上面	下面
運転時	T ₁	T _{1S}	夏	32. 22	15. 00	40. 00	15. 00	40. 00	15. 00
		T _{1W}	冬	32. 22	15. 00	10. 00	15. 00	10. 00	15. 00



c. 逃がし安全弁作動時荷重 (H_1)

逃がし安全弁作動時において、原子炉格納容器内に考慮する水力学的動荷重は、添付書類「V-2-9-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」より、次の値とする。

$H_1 =$

(3) 事故時荷重

a. 設計基準事故時の荷重 (P_2 , T_2)

事故発生後、長時間継続する状態における荷重で、次のものとする。事故時の圧力及び温度設定については、東海第二発電所原子炉設置変更許可 添付書類十 3.事故解析 3.5.1 原子炉冷却材喪失における評価結果(平成 25 年 12 月 26 日付け「総室第 99 号」)により、事故時の圧力及び温度変化に基づき、保守的に事故時荷重を設定する。

(a) 事故時圧力 (P_2)

事故時において、原子炉格納容器底部コンクリートマットの上面と下面との圧力差によって生じる荷重で、荷重の発生状況を考慮し、事故発生直後及び 30 日後を考慮し、次のとおりとする。

- ・事故発生直後： $P_{21} =$
- ・事故発生 30 日後： $P_{25} =$

(b) 事故時温度荷重 (T_2)

事故時において、原子炉建屋基礎盤に生じる温度変化による荷重及び原子炉建屋基礎盤の上面と下面との温度差によって生じる荷重で、事故発生 30 日後を考慮し、上面と下面の温度を表 4-4 に示す。

なお、断面内の温度分布は等価な応力を与える直線分布に換算して扱う。

表 4-4 事故時温度荷重 (T_2)

(単位：℃)

事故発生後の経過時間	記 号		季節	a 部		b 部		c 部	
				上面	下面	上面	下面	上面	下面
720 時間 (30 日)	T_{25}	T_{25S}	夏	52.71	13.07	46.36	14.04	40.00	15.00
		T_{25W}	冬	52.71	13.07	31.36	14.04	10.00	15.00

注 : a 部, b 部及び c 部の位置は, 表 4-3 の説明図を参照のこと。

b. 重大事故時の荷重で長期的に作用する荷重 (P_{SAL} , HS_{SAL} , H_{SA})

重大事故時の状態で長期的（以下「SA (L) 時」という。）に作用する荷重として次のものを考慮する。

なお、重大事故時の圧力及び温度設定については、東海第二発電所原子炉設置変更許可 添付書類十 3. 事故解析 3.5.1 原子炉冷却材喪失における評価結果（平成 25 年 12 月 26 日付け「総室第 99 号」）により、事故時の圧力及び温度変化に基づき、保守的に事故時荷重を設定する。

(a) SA (L) 時圧力 (P_{SAL})

SA (L) 時において、原子炉格納容器底部コンクリートマットの上面と下面の圧力差によって生じる荷重は、添付書類「V-2-9-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」より、次の値とする。

- ・チャギング荷重と組み合わせる場合 : $P_{SAL} = 310 \text{ kPa}^*$
- ・チャギング荷重と組み合わせない場合 : $P_{SAL} = 465 \text{ kPa}$

注記 * : 原子炉冷却材喪失事故時荷重と組み合わせる場合には、事象に応じた内圧を設定。

(b) SA (L) 時水压荷重 (HS_{SAL})

SA (L) 時において、熔融炉心冷却のための注水時におけるサプレッションプール水の静水压で、死荷重として考慮している静水压との差分として考慮し、添付書類「V-2-9-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」の冠水水位により、次の値とする。

$$HS_{SAL} = \boxed{}$$

(c) チャギング荷重 (SA 時) (H_{SA})

SA (L) 時において、原子炉格納容器内に考慮するチャギング荷重は、添付書類「V-2-9-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」より、設計基準対象施設としての原子炉冷却材喪失事故時荷重 (85.2kPa, -62.2kPa) に対して、SA 時の水位上昇を考慮し、保守的に次の値とする。

$$H_{SA} = \boxed{}$$

c. 重大事故時の荷重で SA (L) 時より更に長期的に作用する荷重 (P_{SALL} , HS_{SALL})

重大事故時の状態で SA (L) 時よりも更に長期的（以下「SA (LL) 時」という。）に作用する荷重として次のものを考慮する。

なお、重大事故時の圧力及び温度設定については、東海第二発電所原子炉設置変更許可 添付書類十 3. 事故解析 3.5.1 原子炉冷却材喪失における評価結果（平成 25 年 12 月 26 日付け「総室第 99 号」）により、事故時の圧力及び温度変化に基づき、保守的に事故時荷重を設定する。

(a) SA (LL) 時圧力 (P_{SALL})

SA (LL) 時において、原子炉格納容器底部コンクリートマットの上面と下面の圧力差によって生じる荷重で、添付書類「V-2-9-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」より、次の値とする。

$$P_{SALL} = 200 \text{ kPa}$$

(b) SA (LL) 時水圧荷重 (HS_{SALL})

SA (LL) 時において、熔融炉心冷却のための注水時におけるサプレッションプール水の静水圧で、死荷重として考慮している静水圧との差分として考慮し、添付書類「V-2-9-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」の冠水水位により、次の値とする。

$$HS_{SALL} = \boxed{}$$

(4) 地震荷重 (K_d , K_s , E_d , E_s)

a. S_d 地震荷重 (K_d)

水平地震力は、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び静的地震力より設定し、既工事計画認可申請書 第1回申請 添付書類「Ⅲ-3-3-14 原子炉格納容器底部コンクリートマット強度計算書」に基づき、各部位に分配する。

鉛直地震力は、当該部分が支える重量に係数を乗じて算定する。鉛直地震力の算定に用いる係数は、軸力を当該部分が支える重量で除して求めた係数（以下「層軸力係数」という。）を考慮する。層軸力係数は、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析より算定される動的な層軸力係数及び震度 0.3 を基準とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮した高さ方向に一定の鉛直震度より算定される静的な層軸力係数より設定する。

水平方向の S_d 地震荷重を表 4-5 及び表 4-6 に、鉛直方向の S_d 地震荷重を表 4-7 に示す。

b. S_s 地震荷重 (K_s)

水平地震力は、基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的地震力より設定し、既工事計画認可申請書 第1回申請 添付書類「Ⅲ-3-3-14 原子炉格納容器底部コンクリートマット強度計算書」に基づき、各部位に分配する。

鉛直地震力は、当該部分が支える重量に、基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的な層軸力係数を乗じて設定する。

なお、 S_s 地震荷重は、応答スペクトルに基づく地震動 ($S_s - D1$) による地震荷重「 $S_{s*} - 1$ 」、断層モデルに基づく地震動 ($S_s - 21$, $S_s - 22$) による地震荷重「 $S_{s*} - 2$ 」及び震源を特定せず策定する地震動 ($S_s - 31$) による地震荷重「 $S_{s*} - 3$ 」の3つの地震力を設定する。

水平方向の S_s 地震荷重を表 4-8 及び表 4-9 に、鉛直方向の S_s 地震荷重を表 4-10 に示す。

c. 地震時増分土圧荷重 (E_d , E_s)

原子炉建屋基礎盤に作用する地震時増分土圧荷重は、地震時増分土圧により地下外壁を介して作用する荷重および基礎盤側面に直接作用する荷重で、表 4-11 のとおり設定する。

表 4-5 地震荷重 (K_d) (せん断力)

(a) NS 方向

部 位	せん断力 (kN)	
	S_d	静的地震力
O/W (東側)	111500	127600
O/W (西側)	109500	125300
I/W (東側)	70200	80300
I/W (西側)	69650	79660
S/W	79280	90690
PCV	22200	22400
RPV 基礎	18600	19000
基礎盤	71070	97050

(b) EW 方向

部 位	せん断力 (kN)	
	S_d	静的地震力
O/W (北側)	120300	136100
O/W (南側)	115700	130800
I/W (北側)	70180	79360
I/W (南側)	66900	75660
S/W	81520	92190
PCV	23200	23200
RPV 基礎	19300	19600
基礎盤	56900	85090

表 4-6 地震荷重 (K_d) (曲げモーメント)

(a) NS 方向

部 位	曲げモーメント (kN・m)	
	S_d	静的地震力
O/W (東側)	2164000	2255000
O/W (西側)	2589000	2711000
I/W (東側)	3578000	3734000
I/W (西側)	3613000	3775000
S/W	2732000	2848000
PCV	416000	395000
RPV 基礎	308000	315000
基礎盤	2200000	1767000

(b) EW 方向

部 位	曲げモーメント (kN・m)	
	S_d	静的地震力
O/W (北側)	3259000	3366000
O/W (南側)	1441000	1484000
I/W (北側)	3560000	3677000
I/W (南側)	3742000	3878000
S/W	2953000	3048000
PCV	436000	411000
RPV 基礎	317000	320000
基礎盤	1992000	1616000

表 4-7 地震荷重 (K_d) (軸力)

部 位	軸力 (kN)	
	S _d	静的地震力
O／W	127296	95472
I／W	125536	94152
S／W	99168	74376
PCV	5830	2120
RPV 基礎	33100	13600
基礎盤	147070	184186

表 4-8 地震荷重 (K_s) (せん断力)

(a) NS 方向

部 位	せん断力 (kN)		
	S_s^*-1	S_s^*-2	S_s^*-3
O/W (東側)	167500	163700	219400
O/W (西側)	164500	160800	215500
I/W (東側)	105500	103100	138200
I/W (西側)	104700	102300	137100
S/W	119100	116400	156100
PCV	32900	28400	38300
RPV 基礎	26600	26100	32400
基礎盤	217200	149200	143000

(b) EW 方向

部 位	せん断力 (kN)		
	S_s^*-1	S_s^*-2	S_s^*-3
O/W (北側)	178700	134400	230300
O/W (南側)	171800	129200	221400
I/W (北側)	104300	78410	134400
I/W (南側)	99360	74750	128100
S/W	121100	91080	156100
PCV	34000	22400	39800
RPV 基礎	27400	19100	33300
基礎盤	200340	144660	126600

表 4-9 地震荷重 (K_s) (曲げモーメント)

(a) NS 方向

部 位	曲げモーメント (kN・m)		
	S_s^*-1	S_s^*-2	S_s^*-3
O/W (東側)	3245000	3381000	3812000
O/W (西側)	3877000	4037000	4561000
I/W (東側)	5362000	5586000	6303000
I/W (西側)	5415000	5643000	6362000
S/W	4095000	4267000	4811000
PCV	593000	569000	813000
RPV 基礎	432000	403000	561000
基礎盤	3581000	2614000	5077000

(b) EW 方向

部 位	曲げモーメント (kN・m)		
	S_s^*-1	S_s^*-2	S_s^*-3
O/W (北側)	4856000	3989000	5692000
O/W (南側)	2151000	1771000	2511000
I/W (北側)	5314000	4378000	6207000
I/W (南側)	5578000	4586000	6531000
S/W	4405000	3623000	5150000
PCV	615000	443000	849000
RPV 基礎	432000	318000	570000
基礎盤	3449000	2292000	4790000

表 4-10 地震荷重 (K_s) (軸力)

部 位	軸力 (kN)		
	S_s^*-1	S_s^*-2	S_s^*-3
O/W	196911	242260	90698
I/W	194189	238911	89444
S/W	153401	188729	70657
PCV	7650	10400	2950
RPV 基礎	56100	62900	20200
基礎盤	258750	306800	100050

表 4-11 地震時増分土圧荷重

(a) S_d 地震時 (E_d)

	NS 方向		EW 方向	
	水平力 (kN/m)	曲げモーメント (kN・m/m)	水平力 (kN/m)	曲げモーメント (kN・m/m)
type A	—	—	1063	1497
type B	825	522	825	522
type C	1508	4060	1508	4060

注 : A部, B部及びC部の位置は, 表 4-2 の説明図を参照のこと。

(b) S_s 地震時 (E_s)

	NS 方向		EW 方向	
	水平力 (kN/m)	曲げモーメント (kN・m/m)	水平力 (kN/m)	曲げモーメント (kN・m/m)
type A	—	—	1772	2495
type B	1427	1037	1375	870
type C	2634	7290	2513	6767

注 : A部, B部及びC部の位置は, 表 4-2 の説明図を参照のこと。

(5) 積雪荷重 (S)

積雪荷重 (S) は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の地震力と積雪荷重の組合せ及び添付書類「V-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟の耐震性についての計算書」に基づき表 4-12 のように設定する。

なお、本資料における「4.3 許容限界」以降で積雪荷重は、活荷重に含めて評価する。

表 4-12 積雪荷重 (S)

荷重及び外力について想定する状態	積雪荷重
地震時荷重 ($S_{\text{地震時}}$)	210 N/m ²

4.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-13 に示す。

表 4-13 荷重の組合せ

荷重 状態	荷重時	荷重の組合せ	
		応力状態 1* ¹	応力状態 2* ²
Ⅲ	地 震 時 (1)	$D+L+E_0+P_1+H_1+K_d+E_d$	$D+L+E_0+P_1+H_1+K_d+E_d+T_1$
	(異常+地震) 時 (1)	$D+L+E_0+P_{25}+K_d+E_d$	$D+L+E_0+P_{25}+K_d+E_d+T_{25}$
Ⅳ	地 震 時 (2)	$D+L+E_0+P_1+H_1+K_s+E_s$	—
	(異常+地震) 時 (2)	$D+L+E_0+P_{21}+K_d+E_d$	—
Ⅴ	(異常+地震) 時 (3)	$D+L+E_0+P_{SAL}+HS_{SAL}+K_d+E_d$	—
	(異常+地震) 時 (4)	$D+L+E_0+P_{SAL}+HS_{SAL}+H_{SA}+K_d+E_d$	—
	(異常+地震) 時 (5)	$D+L+E_0+P_{SALL}+HS_{SALL}+K_s+E_s$	—

注記 *1：応力状態 1 は、「CCV 規格」CVE-3210（用語の定義）より，各荷重状態において温度荷重により生じる応力を除いた応力が生じている状態をいう。

*2：応力状態 2 は、「CCV 規格」CVE-3210（用語の定義）より，各荷重状態において応力が生じている状態をいう。

- D : 死荷重
- L : 活荷重（地震時の積雪荷重 $S_{地震時}$ を含む）
- E_0 : 常時土圧荷重
- E_d, E_s : 地震時増分土圧荷重
- K_d, K_s : 地震荷重
- T_1 : 運転時温度荷重
- T_{25} : 事故時温度荷重（30 日後）
- P_1 : 運転時圧力
- P_{21} : 事故時圧力（直後）
- P_{25} : 事故時圧力（30 日後）
- P_{SAL} : SA（L）時圧力
- P_{SALL} : SA（LL）時圧力
- H_1 : 逃がし安全弁作動時荷重
- H_{SA} : チャギング荷重（SA 時）
- HS_{SAL} : SA（L）時水圧荷重
- HS_{SALL} : SA（LL）時水圧荷重

4.3 許容限界

応力解析による評価における原子炉格納容器底部コンクリートマットの許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の方針に基づき、表 4-14 及び表 4-15 のとおり設定する。

また、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 4-16 及び表 4-17 に、コンクリート及び鉄筋の許容ひずみを表 4-18 に示す。

表 4-14 応力解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	荷重状態	部 位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	構造強度を有すること	荷重状態Ⅳ	底部	部材に生じる応力及びひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「CCV規格」に基づく荷重状態Ⅳの許容値
		荷重状態Ⅲ	底部	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「CCV規格」に基づく荷重状態Ⅲの許容値
支持機能*	機器・配管系などの設備を支持する機能を損なわないこと	荷重状態Ⅳ	底部	部材に生じる応力及びひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	「CCV規格」に基づく荷重状態Ⅳの許容値

注記 * : 「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

表 4-15 応力解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	荷重状態	部 位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	構造強度を有すること	荷重状態Ⅴ	底部	部材に生じる応力及びひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	荷重状態Ⅴの許容値 ^{*2}
		荷重状態Ⅳ (異常＋地震) 時	底部	部材に生じる応力及びひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「CCV規格」に基づく荷重状態Ⅳの許容値
		荷重状態Ⅲ (異常＋地震) 時	底部	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「CCV規格」に基づく荷重状態Ⅲの許容値
支持機能 ^{*1}	機器・配管系などの設備を支持する機能を損なわないこと	荷重状態Ⅴ	底部	部材に生じる応力及びひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	荷重状態Ⅴの許容値 ^{*2}
		荷重状態Ⅳ (異常＋地震) 時	底部	部材に生じる応力及びひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	「CCV規格」に基づく荷重状態Ⅳの許容値

注記 *1:「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

*2: 荷重状態Ⅴの許容値として、荷重状態Ⅳの許容値と同じ許容値を適用する。

表 4-16 コンクリートの許容応力度

荷重 状態	設計基準強度 F_c (N/mm^2)	応力状態 1		応力状態 2	
		圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)	圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)
Ⅲ	22.1	14.7	1.06	16.5	1.06
Ⅳ	22.1	—	1.06	—	—
Ⅴ	22.1	—	1.06	—	—

表 4-17 鉄筋の許容応力度

荷重 状態	引張及び圧縮 (N/mm^2)	面外せん断補強 (N/mm^2)
	SD345*	SD345*
Ⅲ	345	345

注記 * : 既工事計画の鉄筋の種類は SD35 であるが, 現在の規格 (SD345) に読み替えた許容応力度を示す。

表 4-18 コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ

荷重 状態	コンクリート (圧縮ひずみ)	鉄筋 (圧縮ひずみ及び引張ひずみ)
Ⅳ	0.003	0.005
Ⅴ	0.003	0.005

4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 モデル化の基本方針

(1) 基本方針

応力解析は、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施する。解析には、解析コード「MSC NASTRAN ver. 2016.1.1」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」に示す。

基礎盤については、EL. -9.0 m～EL. -4.0 mをモデル化する。上部構造については、EL. -4.0 m～EL. 14.0 mをモデル化し、剛性を考慮する。解析モデルを図 4-2 に示す。

(2) 使用要素

解析モデルに使用するFEM要素は、基礎盤についてはシェル要素とする。また、基礎盤より立ち上がっている耐震壁については、はり要素として剛性を考慮する。解析モデルの節点数は1948、要素数は2180である。

(3) 境界条件

3次元FEMモデルの基礎盤底面に、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に示す地盤ばねを離散化して、水平方向及び鉛直方向のばねを設ける。3次元FEMモデルの水平方向のばねについては、地震応答解析モデルのスウェイばねを、鉛直方向のばねについては、地震応答解析モデルのロッキングばねを基に設定を行う。

なお、基礎底面の地盤ばねについては、引張力が発生したときに浮き上がりを考慮する。

4.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-19 に示す。

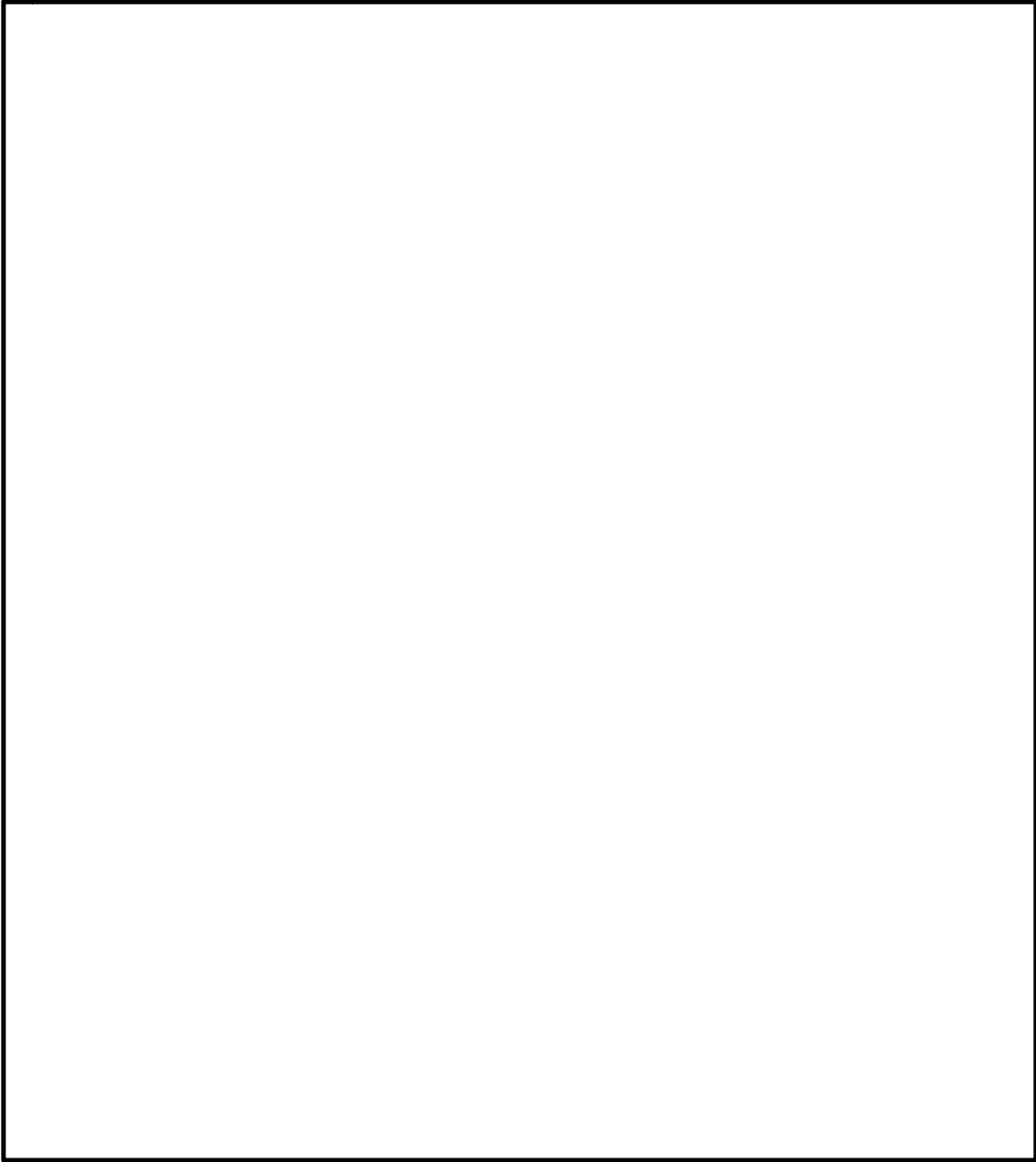


図 4-2 解析モデル

表 4-19 使用材料の物性値

部 位	コンクリートの 設計基準強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
基礎盤	22.1	2.21×10^4	0.2

4.5 評価方法

4.5.1 応力解析方法

原子炉格納容器底部コンクリートマットについて、荷重状態ⅢからⅤに対して3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施する。

(1) 荷重ケース

各荷重状態で考慮する S_d 地震時、(異常+ S_d 地震)時、 S_s 地震時及び(異常+ S_s 地震)時の応力は、次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

DL	: 死荷重+活荷重
E_0	: 常時土圧荷重
E_{dNS}	: NS 方向 S_d 地震時増分土圧荷重
E_{dEW}	: EW 方向 S_d 地震時増分土圧荷重
E_{sNS}	: NS 方向 S_s 地震時増分土圧
E_{sEW}	: EW 方向 S_s 地震時増分土圧
K_{d1SN}^*	: S→N 方向 S_d 地震荷重 (動的地震力)
K_{d1WE}^*	: W→E 方向 S_d 地震荷重 (動的地震力)
K_{d1DU}^*	: 鉛直方向 S_d 地震荷重 (動的地震力)
K_{d2SN}^*	: S→N 方向 S_d 地震荷重 (静的地震力)
K_{d2WE}^*	: W→E 方向 S_d 地震荷重 (静的地震力)
K_{d2DU}^*	: 鉛直方向 S_d 地震荷重 (静的地震力)
K_{sSN}^*	: S→N 方向 S_s 地震荷重
K_{sWE}^*	: W→E 方向 S_s 地震荷重
K_{sDU}^*	: 鉛直方向 S_s 地震荷重
T_1	: 運転時温度荷重
T_{25}	: 事故時温度荷重 (30 日後)
P_1	: 運転時圧力
P_{21}	: 事故時圧力 (直後)
P_{25}	: 事故時圧力 (30 日後)
P_{SAL}	: SA (L) 時圧力
P_{SALL}	: SA (LL) 時圧力
H_1	: 逃がし安全弁作動時荷重
H_{SA}	: チャギング荷重 (SA 時)
HS_{SAL}	: SA (L) 時水压荷重
HS_{SALL}	: SA (LL) 時水压荷重

注記 * : 計算上の座標軸を基準として、EW 方向は W→E 方向の加力、NS 方向は S→N 方向の加力、鉛直方向は上向きの加力を記載している。

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-20 に示す。

水平地震力と鉛直地震力の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1－2008 ((社) 日本電気協会, 2008)」を参考に, 組合せ係数法 (組合せ係数は 1.0 と 0.4) を用いるものとする。

表 4-20 (1/7) 荷重の組合せケース

荷重 状態	荷重時 名 称	ケース No.	荷重の組合せ
Ⅲ	地震時 (1)	1-1	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_1]$
		1-2	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW} + [T_1]$
		1-3	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_1]$
		1-4	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW} + [T_1]$
		1-5	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_1]$
		1-6	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW} + [T_1]$
		1-7	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_1]$
		1-8	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW} + [T_1]$
		1-9	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_1]$
		1-10	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW} + [T_1]$
		1-11	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_1]$
		1-12	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW} + [T_1]$
		1-13	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_1]$
		1-14	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW} + [T_1]$
		1-15	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_1]$
		1-16	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW} + [T_1]$
		1-17	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_1]$
		1-18	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW} + [T_1]$
		1-19	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_1]$
		1-20	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW} + [T_1]$
		1-21	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_1]$
		1-22	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW} + [T_1]$
		1-23	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_1]$
		1-24	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW} + [T_1]$

注記 * : []は応力状態 2 に対する荷重を表す。

表 4-20 (2/7) 荷重の組合せケース

荷重 状態	荷重時 名 称	ケー ス No.	荷重の組合せ
Ⅲ	(異常+地震) 時 (1)	2-1	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-2	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-3	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-4	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-5	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-6	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-7	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-8	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-9	$DL + E_0 + P_{25} + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-10	$DL + E_0 + P_{25} + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-11	$DL + E_0 + P_{25} - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-12	$DL + E_0 + P_{25} - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-13	$DL + E_0 + P_{25} + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-14	$DL + E_0 + P_{25} + 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-15	$DL + E_0 + P_{25} - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-16	$DL + E_0 + P_{25} - 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-17	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-18	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-19	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-20	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-21	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-22	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-23	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-24	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW} + [T_{25}]$

注記 * : []は応力状態 2 に対する荷重を表す。

表 4-20 (3/7) 荷重の組合せケース

荷重 状態	荷重時 名 称	ケー ス No.	荷重の組合せ
IV	地震時 (2)	3-1	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
		3-2	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
		3-3	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
		3-4	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
		3-5	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
		3-6	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
		3-7	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
		3-8	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
		3-9	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
		3-10	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
		3-11	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
		3-12	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
		3-13	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
		3-14	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
		3-15	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
		3-16	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$

表 4-20 (4/7) 荷重の組合せケース

荷重 状態	荷重時 名 称	ケー ス No.	荷重の組合せ
IV	(異常+地震) 時 (2)	4-1	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-2	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		4-3	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-4	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		4-5	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-6	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		4-7	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-8	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		4-9	$DL + E_0 + P_{21} + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		4-10	$DL + E_0 + P_{21} + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		4-11	$DL + E_0 + P_{21} - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		4-12	$DL + E_0 + P_{21} - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		4-13	$DL + E_0 + P_{21} + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		4-14	$DL + E_0 + P_{21} + 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		4-15	$DL + E_0 + P_{21} - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		4-16	$DL + E_0 + P_{21} - 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		4-17	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-18	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW}$
		4-19	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-20	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW}$
		4-21	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-22	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW}$
		4-23	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-24	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW}$

表 4-20 (5/7) 荷重の組合せケース

荷重 状態	荷重時 名 称	ケー ス No.	荷重の組合せ
V	(異常+地震) 時 (3)	5-1	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		5-2	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		5-3	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		5-4	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		5-5	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		5-6	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		5-7	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		5-8	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		5-9	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		5-10	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		5-11	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		5-12	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		5-13	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		5-14	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		5-15	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		5-16	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$

表 4-20 (6/7) 荷重の組合せケース

荷重 状態	荷重時 名 称	ケー ス No.	荷重の組合せ
V	(異常+地震) 時 (4)	6-1	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		6-2	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		6-3	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		6-4	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		6-5	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		6-6	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		6-7	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		6-8	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		6-9	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		6-10	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		6-11	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		6-12	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		6-13	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		6-14	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		6-15	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		6-16	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$

表 4-20 (7/7) 荷重の組合せケース

荷重 状態	荷重時 名 称	ケー ス No.	荷重の組合せ
V	(異常+地震) 時 (5)	7-1	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
		7-2	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
		7-3	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
		7-4	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
		7-5	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
		7-6	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
		7-7	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
		7-8	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
		7-9	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
		7-10	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
		7-11	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
		7-12	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
		7-13	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
		7-14	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
		7-15	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
		7-16	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$

(3) 荷重の入力方法

a. 通常荷重，運転時荷重及び事故時荷重

解析モデルの各節点における支配面積に応じた節点力として入力する。

b. 地震荷重

上部構造物である RPV 基礎，PCV 及び各耐震壁からの地震時反力を考慮する。

水平地震力は，上部構造物からのせん断力及び曲げモーメントとし，せん断力は水平力に置換し，解析モデルの各節点における支配面積に応じた節点力として入力し，曲げモーメントは鉛直力に置換し，モデル上の各節点における支配面積に応じた節点力として入力する。

鉛直地震力は，上部構造物からの軸力とし，鉛直力に置換し，モデル上の各節点における支配面積に応じた節点力として入力する。

また，基礎盤内に作用する荷重については，地震時の上部構造物からの入力荷重と基礎盤底面に発生する荷重の差を F E Mモデルの各要素の面積に応じて分配し，節点力として入力する。

4.5.2 断面の評価方法

(1) 荷重状態Ⅲ

原子炉格納容器底部コンクリートマットの底部について、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度及びコンクリートの圧縮応力度並びに面外せん断力を算定し、「CCV規格」に基づき設定した各許容値を超えないことを確認する。

a. 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

各断面は、軸力及び曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート造長方形仮想柱として算定する。

荷重状態Ⅲにおいて、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度及びコンクリートの圧縮応力度を算定する際は、「CCV規格」のCVE-3521.1に基づき、表 4-16 及び表 4-17 に示す許容応力度を超えないことを確認する。

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「CCV規格」のCVE-3522に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、次式を基に算定した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

α : 許容せん断力の割増係数

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表 4-16 に示す値 (N/mm²)

(2) 荷重状態Ⅳ及びⅤ

原子炉格納容器底部コンクリートマットの底部について、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力を算定し、「CCV規格」に基づき設定した各許容値を超えないことを確認する。

a. 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

各断面は、軸力及び曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート造長方形仮想柱として算定する。

荷重状態Ⅳ及びⅤにおいて、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみを算定する際は、「CCV規格」の CVE-3521.2 に基づき、表 4-18 に示す許容ひずみを超えないことを確認する。ここで、鉄筋のひずみ算定において、発生応力度が鉄筋の降伏応力度を超える場合は、エネルギー一定則に基づきひずみを算定する。

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみを算定する際のコンクリート及び鉄筋の応力度－ひずみ関係図を図 4-3 に示す。

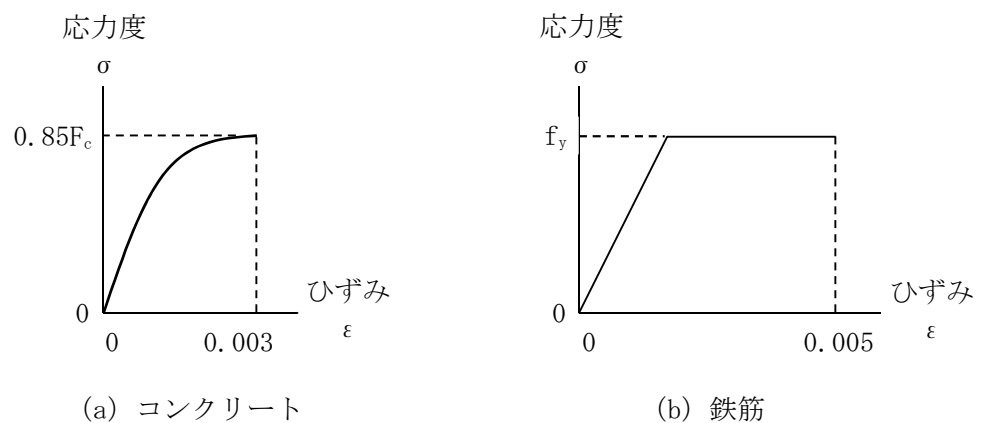


図 4-3 コンクリート及び鉄筋の応力度－ひずみ関係図

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「C C V規格」のCVE-3522に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、次式を基に計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの7/8倍の値 (mm)

α : 許容せん断力の割増係数

(2を超える場合は2, 1未満の場合は1とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表 4-16 に示す値 (N/mm²)

3次元FEMモデルを用いた応力の算定において、FEM要素に応力集中等が見られる場合については、「RC-N規準」に基づき、応力の再配分等を考慮してある一定の領域の応力を平均化したうえで断面の評価を行う。

5. 評価結果

5.1 地震応答解析による評価結果

地震時の最大接地圧が、地盤の許容限界を超えないことを確認する。

(1) S_s 地震時の確認結果

地盤物性のばらつきを考慮した地震時の最大接地圧が 1087 kN/m^2 ($S_s - 31$, EW 方向) 以下であることから、地盤の極限支持力度 (2480 kN/m^2) を超えないことを確認した。

S_s 地震時の最大接地圧を表 5-1～表 5-3 に示す。

(2) S_d 地震時の確認結果

地盤物性のばらつきを考慮した地震時の最大接地圧が 764 kN/m^2 ($S_d - 31$, EW 方向) 以下であることから、地盤の短期許容支持力度 (1650 kN/m^2) を超えないことを確認した。

S_d 地震時の最大接地圧を表 5-4～表 5-6 に示す。

表 5-1 S_s地震時の最大接地圧（基本ケース）

地震動	最大接地圧 (kN/m ²)	
	NS 方向	EW 方向
S _s -D 1	944	951
S _s -1 1	634	669
S _s -1 2	672	688
S _s -1 3	675	694
S _s -1 4	628	628
S _s -2 1	932	714
S _s -2 2	930	845
S _s -3 1	1034	1039

表 5-2 S_s地震時の最大接地圧（地盤物性+ σ 考慮モデル）

地震動	最大接地圧 (kN/m ²)	
	NS 方向	EW 方向
S _s -D 1	987	993
S _s -2 1	964	744
S _s -2 2	1000	906
S _s -3 1	1059	1065

表 5-3 S_s地震時の最大接地圧（地盤物性- σ 考慮モデル）

地震動	最大接地圧 (kN/m ²)	
	NS 方向	EW 方向
S _s -D 1	910	915
S _s -2 1	879	685
S _s -2 2	867	788
S _s -3 1	1083	1087

表 5-4 S_d地震時の最大接地圧（基本ケース）

地震動	最大接地圧 (kN/m ²)	
	NS 方向	EW 方向
S _d -D 1	714	717
S _d -1 1	525	544
S _d -1 2	553	560
S _d -1 3	553	563
S _d -1 4	523	527
S _d -2 1	682	573
S _d -2 2	692	644
S _d -3 1	745	748

表 5-5 S_d地震時の最大接地圧（地盤物性+σ考慮モデル）

地震動	最大接地圧 (kN/m ²)	
	NS 方向	EW 方向
S _d -D 1	734	737
S _d -2 1	705	586
S _d -2 2	724	669
S _d -3 1	761	764

表 5-6 S_d地震時の最大接地圧（地盤物性-σ考慮モデル）

地震動	最大接地圧 (kN/m ²)	
	NS 方向	EW 方向
S _d -D 1	690	693
S _d -2 1	665	561
S _d -2 2	666	623
S _d -3 1	728	731

5.2 応力解析による評価結果

「4.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。また、3次元FEMモデルの要素図及び配筋領域図を図5-1及び図5-2に、原子炉格納容器底部コンクリートマットの配筋一覧を表5-7に示す。

(1) 荷重状態Ⅲ

断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度及びコンクリートの圧縮応力度並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図5-3及び図5-4に、評価結果を表5-8及び表5-9に示す。

荷重状態Ⅲにおいて、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度及びコンクリートの圧縮応力度並びに面外せん断力を算定し、各許容値を超えないことを確認した。

(2) 荷重状態Ⅳ及びⅤ

断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図5-5～図5-9に、評価結果を表5-10～表5-14に示す。

荷重状態Ⅳ及びⅤにおいて、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力を算定し、各許容値を超えないことを確認した。

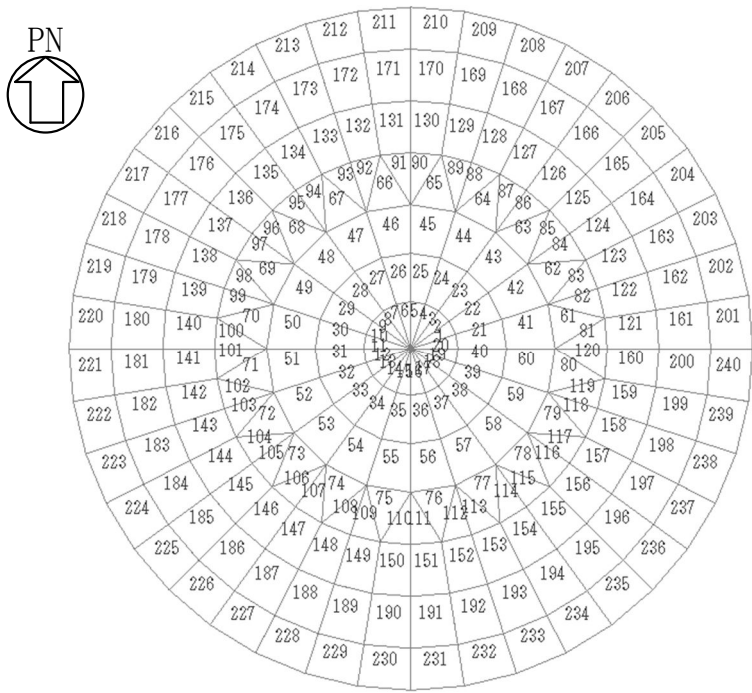


図 5-1 要素図

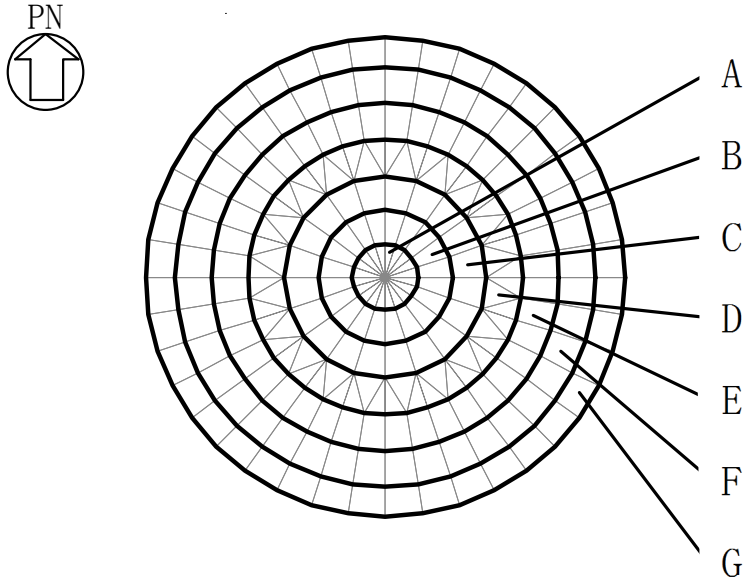


図 5-2 配筋領域図

表 5-7 配筋一覧

(a) 格子配筋

領域	方向	上端筋	下端筋
A	EW	3-D38@128	3-D38@128
	NS	3-D38@128	3-D38@128

(b) $r - \theta$ 方向配筋

領域	方向	上端筋	下端筋
B	半径	17-D38/45° (3 段)	17-D38/45° (3 段)
	円周	3-D38@200	3-D38@200
C	半径	34-D38/45° (3 段)	34-D38/45° (3 段)
	円周	3-D38@200	3-D38@200
D	半径	34-D38/45° (3 段)	34-D38/45° (3 段)
	円周	3-D38@180	3-D38@180
E	半径	34-D38/45° (3 段)	34-D38/45° (3 段)
	円周	3-D38@175	3-D38@175
F	半径	68-D38/45° (3 段)	68-D38/45° (3 段)
	円周	3-D38@200	3-D38@200
G	半径	68-D38/45° (4 段)	68-D38/45° (4 段)
	円周	4-D38@200	4-D38@200

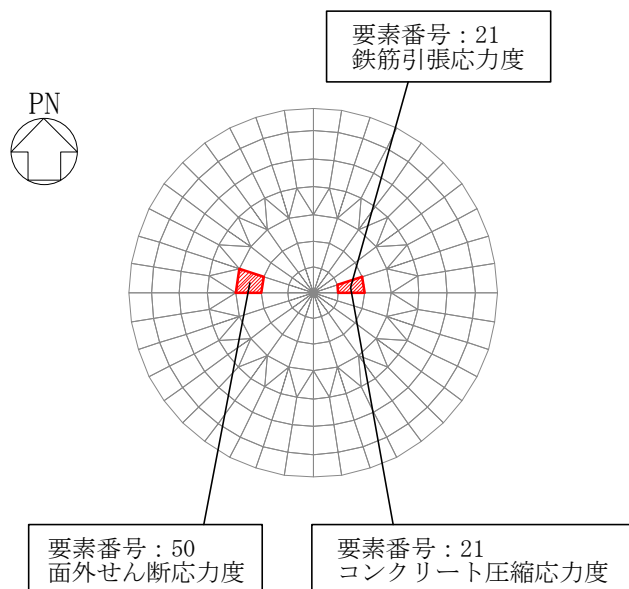


図 5-3 結果を記載する要素の位置 荷重状態Ⅲ・地震時 (1)

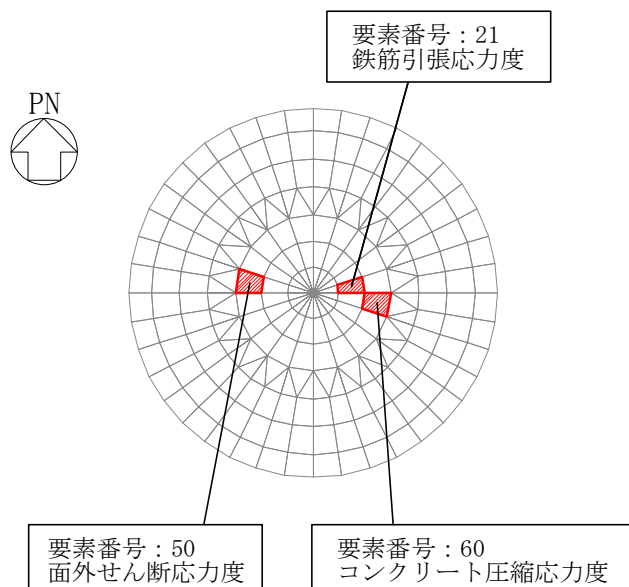


図 5-4 結果を記載する要素の位置 荷重状態Ⅲ・(異常+地震) 時 (1)

表 5-8 評価結果 荷重状態Ⅲ・地震時 (1)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	半径	21	1-22	3.59	16.5
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	21	1-22	137	345
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	50	1-24	0.898	2.12

表 5-9 評価結果 荷重状態Ⅲ・(異常＋地震) 時 (1)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	半径	60	2-22	4.71	16.5
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	21	2-22	200	345
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	50	2-24	1.12	2.12

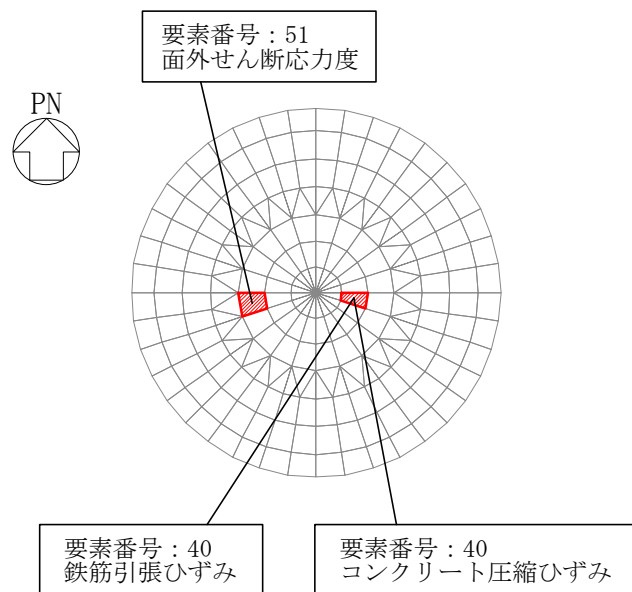


図 5-5 結果を記載する要素の位置 荷重状態Ⅳ・地震時 (2)

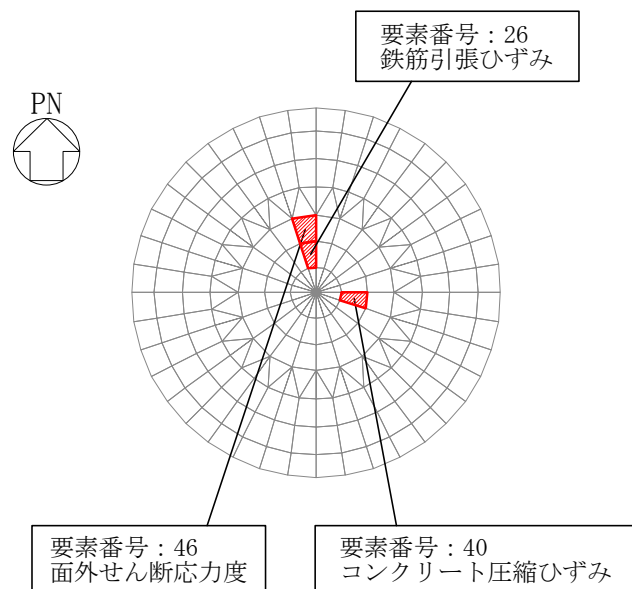


図 5-6 結果を記載する要素の位置 荷重状態Ⅳ・(異常+地震) 時 (2)

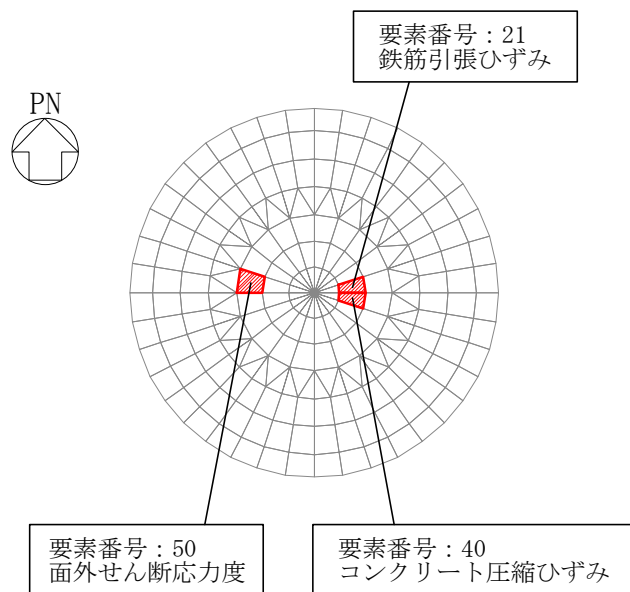


図 5-7 結果を記載する要素の位置 荷重状態 V・(異常+地震) 時 (3)

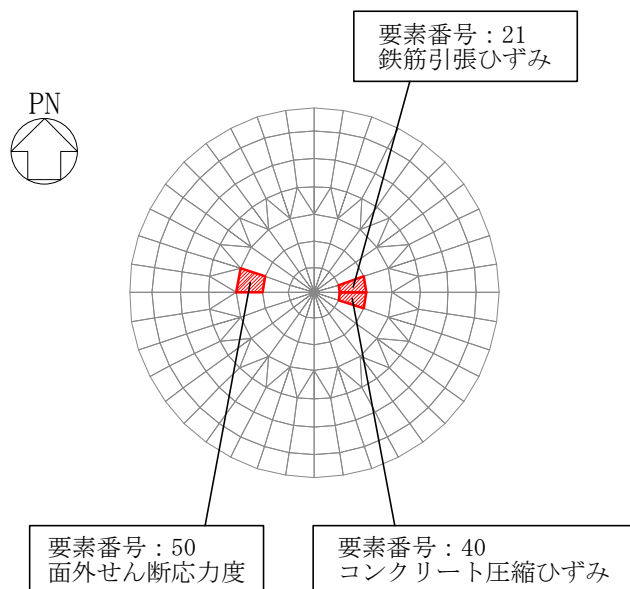


図 5-8 結果を記載する要素の位置 荷重状態 V・(異常+地震) 時 (4)

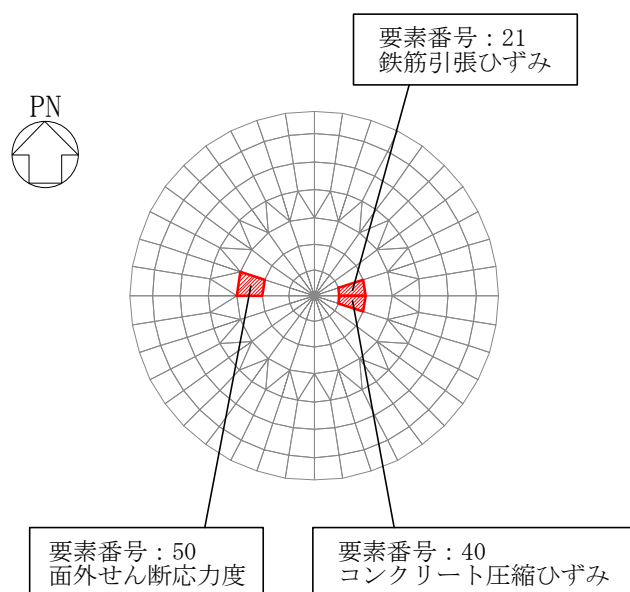


図 5-9 結果を記載する要素の位置 荷重状態 V ・ (異常 + 地震) 時 (5)

表 5-10 評価結果 荷重状態Ⅳ・地震時 (2)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	3-6	0.333	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	40	3-4	0.642	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	51	3-4	1.40	2.12

表 5-11 評価結果 荷重状態Ⅳ・(異常＋地震) 時 (2)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	4-6	0.288	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	26	4-5	0.589	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	46	4-5	1.17	2.12

表 5-12 評価結果 荷重状態Ⅴ・(異常＋地震) 時 (3)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	5-6	0.375	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	21	5-6	0.895	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	50	5-8	1.36	2.12

表 5-13 評価結果 荷重状態Ⅴ・(異常+地震)時 (4)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	6-6	0.341	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	21	6-6	0.840	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	50	6-8	1.23	2.12

表 5-14 評価結果 荷重状態Ⅴ・(異常+地震)時 (5)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	7-6	0.426	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	21	7-6	0.814	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	50	7-8	1.62	2.12

別紙 鉄筋コンクリート構造物の重大事故等時の高温による影響

(原子炉格納容器底部コンクリートマット)

目次

1. 概要	別紙 1-1
2. コンクリート及び鉄筋の温度の影響に関する調査	別紙 1-1
2.1 鉄筋コンクリートの高温時の特性	別紙 1-1
2.2 既往の文献による高温時のコンクリートの特性	別紙 1-2
3. 施設を構成する部材の構造特性	別紙 1-4
4. まとめ	別紙 1-4

1. 概要

原子炉格納施設は、炉心が損傷するような重大事故等時において、設計圧力、設計温度を超えることが想定される。原子炉格納施設のうち原子炉格納容器内の温度は、重大事故等時には高温状態が一定期間継続すると推定される。

よって、原子炉格納容器底部コンクリートマットについて、既往の文献・規格等に基づき、高温時の健全性を確認する。

2. コンクリート及び鉄筋の温度の影響に関する調査

2.1 鉄筋コンクリートの高温時の特性

鉄筋コンクリートは、コンクリートと鉄筋で構成され、「構造材料の耐火性ガイドブック（（社）日本建築学会，2009）」によると、一般に、コンクリート・鉄筋は、温度の上昇と共に強度・剛性は劣化し、ひずみが大きくなる傾向にあるとされている。

コンクリートについては、セメント水和物及びその吸着水、水和物で構成される細孔内に存在する毛管水、毛管より大きな空隙に存在する自由水から成る多孔体である。一般的にコンクリートの温度が70℃程度では、コンクリートの基本特性に大きな影響を及ぼすような自由水の逸散は生じず、100℃以下では圧縮強度の低下は小さいとされる。また、コンクリートの温度が大気圧において100℃を超すと自由水が脱水し始め、その温度作用時間が長期間になると結晶水も脱水し始める。コンクリート温度が190℃付近では結晶水が解放され始め、さらに高温になると脱水現象が著しくなるため、コンクリートの特性に影響が出始めるとされる。

鉄筋については、「構造材料の耐火性ガイドブック（（社）日本建築学会，2009）」によると、強度及び剛性は、概ね200℃から300℃までは常温時の特性を保持するとされている。

2.2 既往の文献による高温時のコンクリートの特性

原子炉格納容器底部コンクリートマットは、内表面が構成ライナで覆われていること、重大事故等時には、冷却水による水蒸気で満たされていることから、高温によるコンクリートからの水分逸散のないシール状態にある。それを踏まえ、シール状態で高温加熱を受けたコンクリートの文献収集を行った。高温を受けたコンクリートの圧縮強度に関する文献を表 2-1 に示す。

文献 No. 1 及び No. 2 では、加熱温度 175 °C のコンクリートへの影響について検討されている。文献 No. 1 では、シール状態において強度は熱水反応により一様な変化は示さないとされており、加熱期間 91 日までは、概ね加熱前と強度は同等と考えられる。アンシール状態では加熱期間 28 日までの低下率は 10 % 以内に収まるとされている。文献 No. 2 では、シール状態においては、加熱期間 91 日まで強度の低下は認められない。

また、文献 No. 3～No. 7 は、加熱温度 110 °C のコンクリートへの影響について検討されている。No. 4 は加熱期間 50 日について検討されており、強度低下は認められないとされている。また、No. 3 は加熱期間 3.5 年間、No. 5～No. 7 は加熱期間 2 年間について検討され、いずれも強度の低下傾向は認められないとされている。

それぞれの加熱温度における剛性に着目すると、加熱温度 175 °C において、アンシールの条件下では、加熱期間 1 日でも急激に低下する場合があるとされており、水分の逸散と高い相関があると考えられる。一方、シール状態では大きな低下はなく、加熱温度 110 °C では加熱後ごく初期に剛性の変化は収束するとされている。

以上より、175 °C 程度までの高温環境によるコンクリート強度への影響は小さい。また、コンクリートの剛性については、高温環境による水分逸散の影響が大きく、シール状態においても剛性の低下の傾向は認められるが、加熱後ごく初期に収束するため影響はない。

表 2-1 高温を受けたコンクリートの圧縮強度に関する文献一覧

No.	文献名 (出典)	著者	試験条件		
			温度	加熱期間	水分
1	高温 (175℃) を受けたコンクリートの強度性状 (セメント・コンクリート No. 449, July 1984)	川口 徹, 高橋久雄	175℃	1～91 日	シール アンシール
2	高温履歴を受けるコンクリートの物性に関する実験的研究 (日本建築学会構造系論文集 第 457 号, 1994 年 3 月)	長尾覚博, 中根 淳	40～175, 300, 600℃	1～91 日 (～175℃) 7 日 (300, 600℃)	シール アンシール
3	熱影響場におけるコンクリートの劣化に関する研究 (第 48 回セメント技術大会講演集, 1994)	長尾覚博, 鈴木智巳, 田渕正昭	①65, 90, 110℃の一定加熱 ②20～110℃のサイクル熱	1 日～3.5 年間	シール アンシール
4	長期高温加熱がコンクリートの力学特性に及ぼす影響の検討 (日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 2010 年 9 月)	木場将雄, 山本知弘, 久野通也, 島本 龍, 一瀬賢一, 佐藤 立	①20℃の一定加熱 ②110℃のサイクル加熱	①50 日 ②1～50 サイクル (1 サイクル: 1 日) (注) 110℃の期間: 9h	シール アンシール
5	長期間加熱を受けたコンクリートの物性変化に関する実験的研究 (その 1 実験計画と結果概要) (日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 1999 年 9 月)	藺田 敏, 長尾覚博, 北野剛人, 守屋正裕, 池内俊之, 大池 武	①20, 110, 180, 325℃の一 定加熱 ②～110℃, ～180℃ ～325℃のサイクル加熱	①1 日～24 か月 ②1～180 サイクル (1 サイクル: 72 時間) (注) 高温保持時間: 24 時間	シール アンシール
6	長期間加熱を受けたコンクリートの物性変化に関する実験的研究 (その 2 普通コンクリートの力学特性試験結果) (日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 1999 年 9 月)	池内俊之, 長尾覚博, 北野剛人, 守屋正裕, 藺田 敏, 大池 武			
7	長期間加熱を受けたコンクリートの物性変化に関する実験的研究 (その 3 耐熱コンクリートの力学特性試験結果) (日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 1999 年 9 月)	大池 武, 池内俊之, 北野剛人, 長尾覚博, 藺田 敏, 守屋正裕			

3. 施設を構成する部材の構造特性

「発電用原子炉設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（（社）日本機械学会，2003）」では，部材内の温度差及び拘束により発生する熱応力は，自己拘束的な応力であることから，十分な塑性変形能力がある場合，終局耐力に影響しないこととされている。

また，原子炉格納容器底部コンクリートマットについて，コンクリート内表面が高温となっても，十分な厚さのコンクリートがあり，その底面の地中温度は不易層の温度（15℃）であるため，全体が高温になることはない。原子炉格納容器底部コンクリートマットの内表面が高温となると，その下端には水平方向に引張が発生するが，地盤による拘束もあるため，その応力レベルは部材剛性に影響を与えるものではない。

更に，基礎地盤の支持性能について，重大事故等時の状態と設計基準状態とで，材料特性の相違は小さく，地震応答解析による接地圧への影響は大きくないと考えられ，かつ設計基準の状態における基準地震動 S_s に対する最大接地圧は，許容限界に対して十分な余裕を有していることから，構造特性についても設計基準状態との相違は小さい。

4. まとめ

鉄筋コンクリート構造物の高温時の健全性について，既往の文献・規格基準に基づき評価を行い，原子炉格納容器の重大事故等時における高温状態に対しても，鉄筋コンクリート構造物の強度及び剛性への影響は小さいことを確認した。

別紙2 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した検討
(原子炉格納容器底部コンクリートマット)

目次

1. 概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 別紙 2-1
2. 検討方針・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 別紙 2-1
3. 検討結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 別紙 2-3
4. まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 別紙 2-7

1. 概要

原子炉建屋の設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答増幅の影響についての検討を行う。

添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書 別紙 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」に示した地震応答解析結果の応答比率を用いて、原子炉格納容器底部コンクリートマットの応力解析による評価結果への影響を検討する。

2. 検討方針

原子炉格納容器底部コンクリートマットを対象として、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量が増加を考慮した応答比率と応力評価結果より影響検討を行う。

原子炉格納容器底部コンクリートマットは、1次遮蔽壁（以下「シェル壁（S/W）」という。）、原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）の外壁（以下「内部ボックス壁（I/W）」という。）及び原子炉建屋附属棟（以下、「附属棟」という。）の外壁（以下「外部ボックス壁（O/W）」という。）からの基礎への地震時せん断力及び軸力を地震荷重として考慮することから、原子炉建屋基礎盤上層（要素番号(10)、EL. -4.0 m～EL. 2.0 m）の最大応答せん断力及び軸力の各方向の応答比率の最大値を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

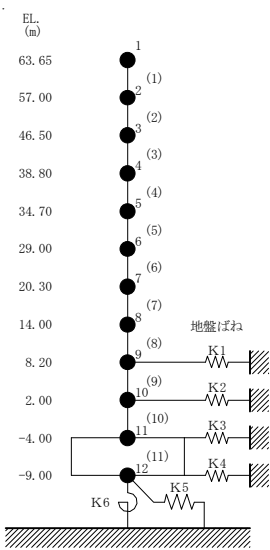
表 2-1 に要素番号(10)の最大応答せん断力及び軸力の各方向の応答比率及び割増係数を示す。

表 2-1 重量増加を考慮した割増係数：原子炉格納容器底部コンクリートマット

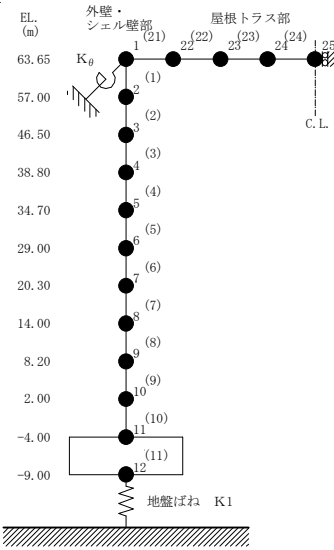
	NS 方向	EW 方向	UD 方向
要素番号(10)	1.02 ^{*1}	1.02 ^{*1}	1.02 ^{*1}
割増係数	1.02 ^{*2}		

注記 *1：添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書 別紙 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」に示す要素番号(10)の最大応答せん断力及び軸力の応答比率

*2：各方向の応答比率の最大値



NS 方向及び EW 方向



UD 方向

3. 検討結果

各荷重状態における評価結果を表 3-1～表 3-7 に示す。

重量増加を考慮した割増係数を乗じた結果においても、各許容値を超えないことを確認した。

表 3-1 重量増加を考慮した評価結果：荷重状態Ⅲ・地震時（1）

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増 係数 ②	①×②	許容値
軸力 ＋ 曲げ モーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	半径	21	1-22	3.59	1.02	3.67	16.5
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	21	1-22	137	1.02	140	345
面外 せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	50	1-24	0.898	1.02	0.916	2.12

表 3-2 重量増加を考慮した評価結果：荷重状態Ⅲ・（異常＋地震）時（1）

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増 係数 ②	①×②	許容値
軸力 ＋ 曲げ モーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	半径	60	2-22	4.71	1.02	4.81	16.5
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	21	2-22	200	1.02	204	345
面外 せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	50	2-24	1.12	1.02	1.15	2.12

表 3-3 重量増加を考慮した評価結果：荷重状態Ⅳ・地震時（2）

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増 係数 ②	①×②	許容値
軸力 ＋ 曲げ モーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	3-6	0.333	1.02	0.340	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	40	3-4	0.642	1.02	0.655	5.00
面外 せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	51	3-4	1.40	1.02	1.43	2.12

表 3-4 重量増加を考慮した評価結果：荷重状態Ⅳ・（異常＋地震）時（2）

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増 係数 ②	①×②	許容値
軸力 ＋ 曲げ モーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	4-6	0.288	1.02	0.294	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	26	4-5	0.589	1.02	0.601	5.00
面外 せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	46	4-5	1.17	1.02	1.20	2.12

表 3-5 重量増加を考慮した評価結果：荷重状態Ⅴ・（異常＋地震）時（3）

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増 係数 ②	①×②	許容値
軸力 ＋ 曲げ モーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	5-6	0.375	1.02	0.383	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	21	5-6	0.895	1.02	0.913	5.00
面外 せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	50	5-8	1.36	1.02	1.39	2.12

表 3-6 重量増加を考慮した評価結果：荷重状態Ⅴ・（異常＋地震）時（4）

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増 係数 ②	①×②	許容値
軸力 ＋ 曲げ モーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	6-6	0.341	1.02	0.348	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	21	6-6	0.840	1.02	0.857	5.00
面外 せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	50	6-8	1.23	1.02	1.26	2.12

表 3-7 重量増加を考慮した評価結果：荷重状態 V・(異常＋地震) 時 (5)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増 係数 ②	①×②	許容値
軸力 ＋ 曲げ モーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	7-6	0.426	1.02	0.435	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	21	7-6	0.814	1.02	0.831	5.00
面外 せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	50	7-8	1.62	1.02	1.66	2.12

4. まとめ

原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析に基づき影響検討を行い、重量増加を考慮した場合においても安全上問題とならないことを確認した。

V-2-9-2-3 上部シアラグ及びスタビライザの耐震性について
の計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 構造強度評価	9
4.1 構造強度評価方法	9
4.2 荷重の組合せ及び許容限界	9
4.3 設計用地震力	17
4.4 計算方法	18
4.5 計算条件	34
4.6 応力の評価	34
5. 評価結果	35
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	35

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」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、上部シアラグ及びスタビライザ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。

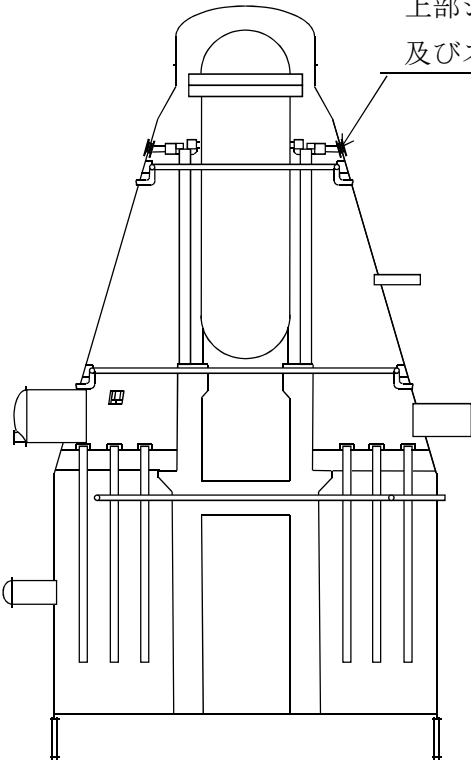
上部シアラグ及びスタビライザは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

上部シアラグ及びスタビライザの構造計画を表 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	
メイルシアラグは原子炉格納容器胴に溶接され，フィメイ ルシアラグは原子炉建屋にア ンカーボルトで固定される。 上部シアラグ及びスタビライ ザは原子炉格納容器スタビラ イザにフランジで接続され る。	ドライウエルの水平方向地震 荷重を上部シアラグ及びスタ ビライザにより，原子炉建屋 に伝達させる鋼製の構造物で ある。	 上部シアラグ 及びスタビライザ

2.2 評価方針

上部シアラグ及びスタビライザの応力評価は、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、荷重の組合せ及び許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す上部シアラグ及びスタビライザの部位を踏まえた「3. 評価部位」にて設定する箇所において、地震により評価部位に作用する荷重で発生する応力等が許容限界に収まることを、「4. 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。評価結果を「5. 評価結果」に示す。

上部シアラグ及びスタビライザの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

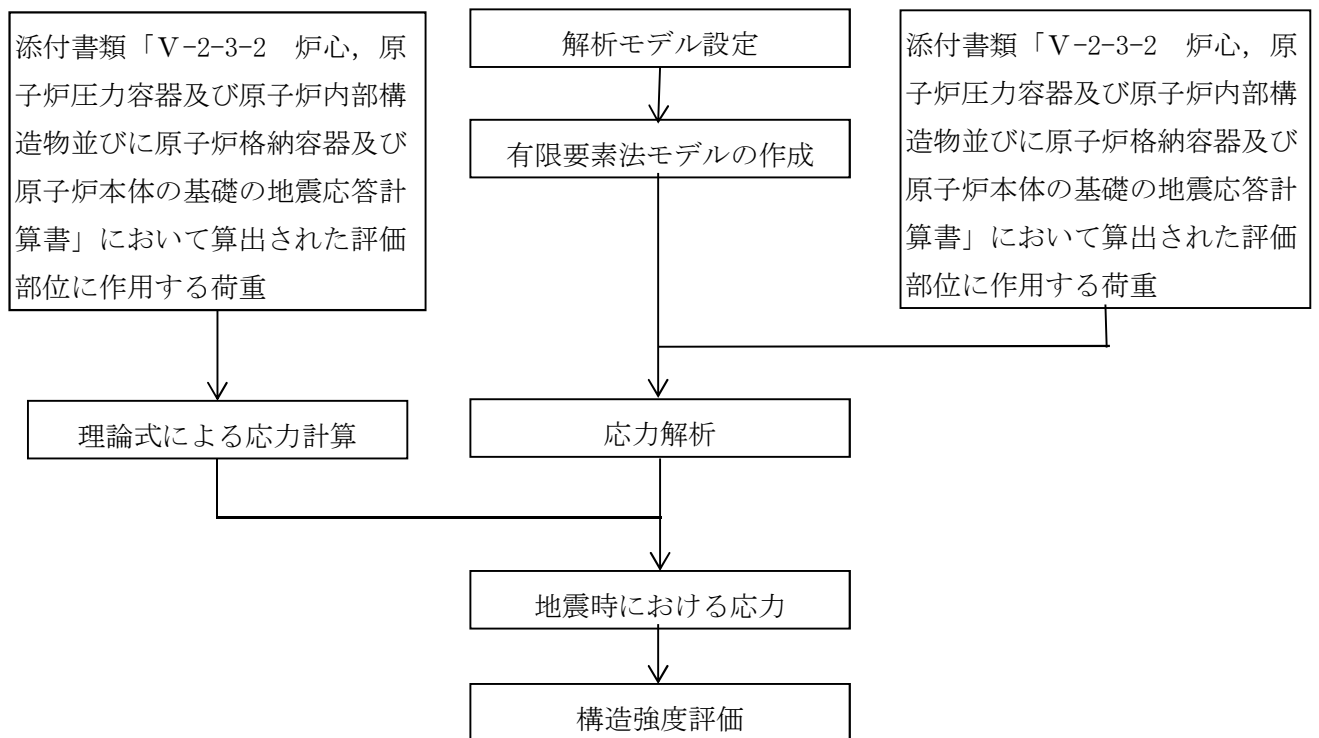


図 2-1 上部シアラグ及びスタビライザの耐震評価フロー

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 J E A G 4 6 0 1 -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 J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984 (日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -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。)) J S M E S N C 1 -2005/2007 (日本機械学会) (以下「設計・建設規格」という。)
- (5) 鋼構造設計規準 (日本建築学会 2005 改定)

2.4 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A	断面積	mm^2
A_b	ボルト 1 本分の最小断面積	mm^2
A_c	圧縮側ベースプレート面積	mm^2
b	長さ	mm
d	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
E_c	コンクリートの縦弾性係数	MPa
E_s	ボルトの縦弾性係数	MPa
e	長さ	mm
F	原子炉格納容器スタビライザ 1 本に作用する荷重, 基準応力	N, MPa
F_s	せん断力	N
f_b	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	コンクリートの許容支圧応力	N/mm^2
f_s	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	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
h	長さ	mm
K_e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
k	係数	—
ℓ	長さ	mm
M	曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_0	質量	kg
N_a	地震時の許容繰返し回数	—
N_b	アンカーボルト数	—
N_c	地震時の等価繰返し回数	—
N_P	シアプレート数	—
n	E_s/E_c	—
P_D	最高使用圧力 (内圧)	kPa
P_{D0}	最高使用圧力 (外圧)	kPa
P_{DBA}	冷却材喪失事故後の最大内圧	kPa
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
R	半径	mm

記 号	記 号 の 説 明	単 位
S	材料の許容引張応力	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	—
S_u	材料の設計引張強さ	MPa
S_P	地震荷重のみにおける一次＋二次＋ピーク応力の応力差範囲	MPa
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_ℓ'	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S_n	一次応力と二次応力を加えて求めた応力解析による応力強さのサイクルにおいて、その最大値と最小値との差	MPa
S_y	材料の設計降伏点	MPa
T	板厚，温度	mm, °C
T_D	最高使用温度	°C
W	荷重	N
X	対称軸	—
Z	断面係数	mm ³
α	角度	°
β	角度	°
θ	角度	°
σ	組合せ応力	MPa
σ_t	引張応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
σ_c	ボルトの下のコンクリートの圧縮応力	MPa
σ_{cmax}	コンクリートの最大圧縮応力	MPa
σ_s	ボルトの引張応力	MPa
σ_{cp}	コンクリートの支圧応力	N/mm ²
τ	せん断応力	MPa
ν	ポアソン比	—

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
面積	mm ²	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*1}
断面係数	mm ³	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*1}
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*1}
モーメント	N・mm	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*1}
鋼材の算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
コンクリートの算出応力	N/mm ²	小数点以下第 2 位	切上げ	小数点以下第 1 位
疲労累積係数	なし	小数点以下第 4 位	切上げ	小数点以下第 3 位
鋼材の許容応力 ^{*2}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
コンクリートの許容応力	N/mm ²	小数点以下第 2 位	切捨て	小数点以下第 1 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

原子炉格納容器の上部シアラグ及びスタビライザの形状及び主要寸法を図 3-1 及び図 3-2 に、使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。

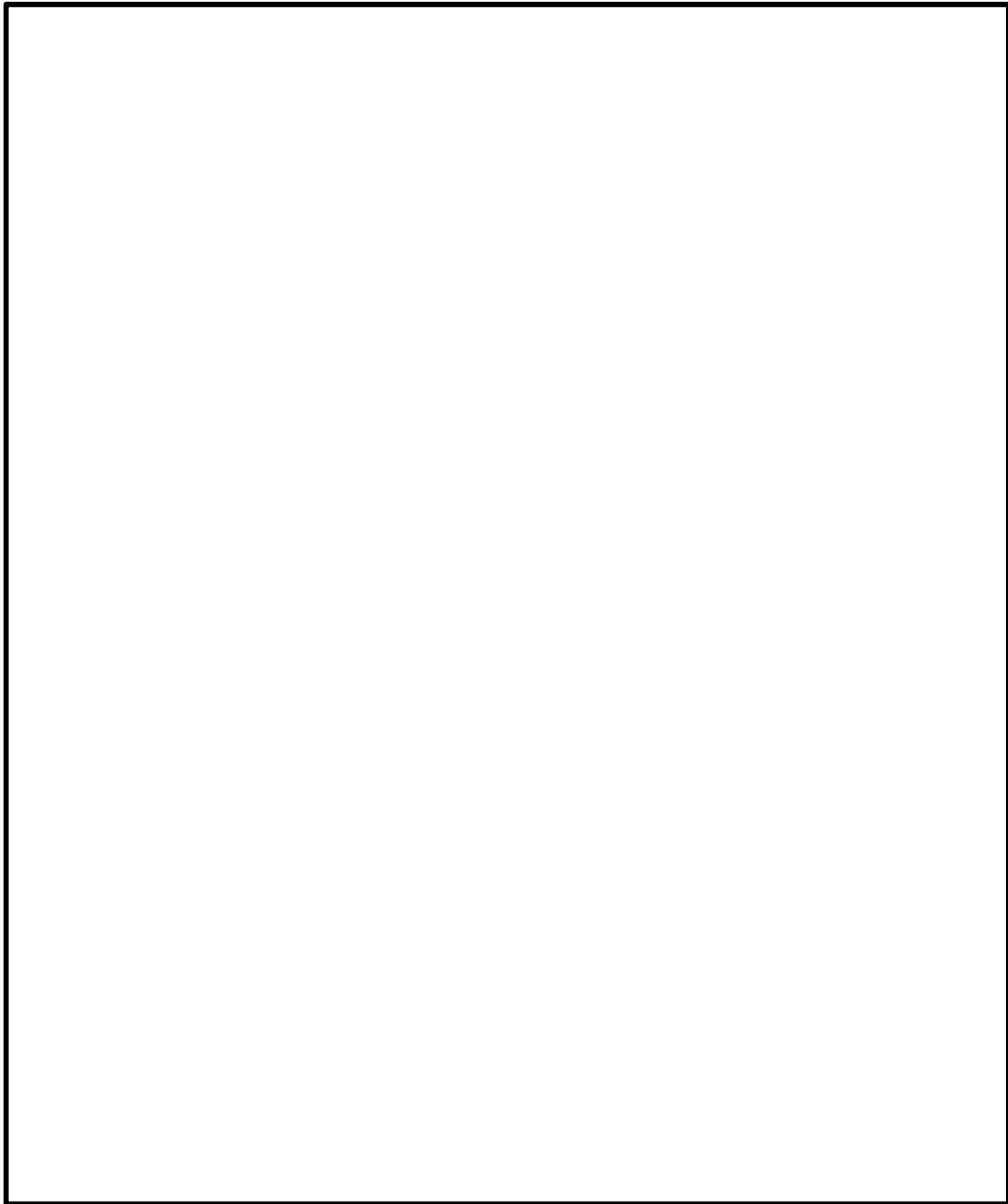


図 3-1 上部シアラグ及びスタビライザの形状及び主要寸法

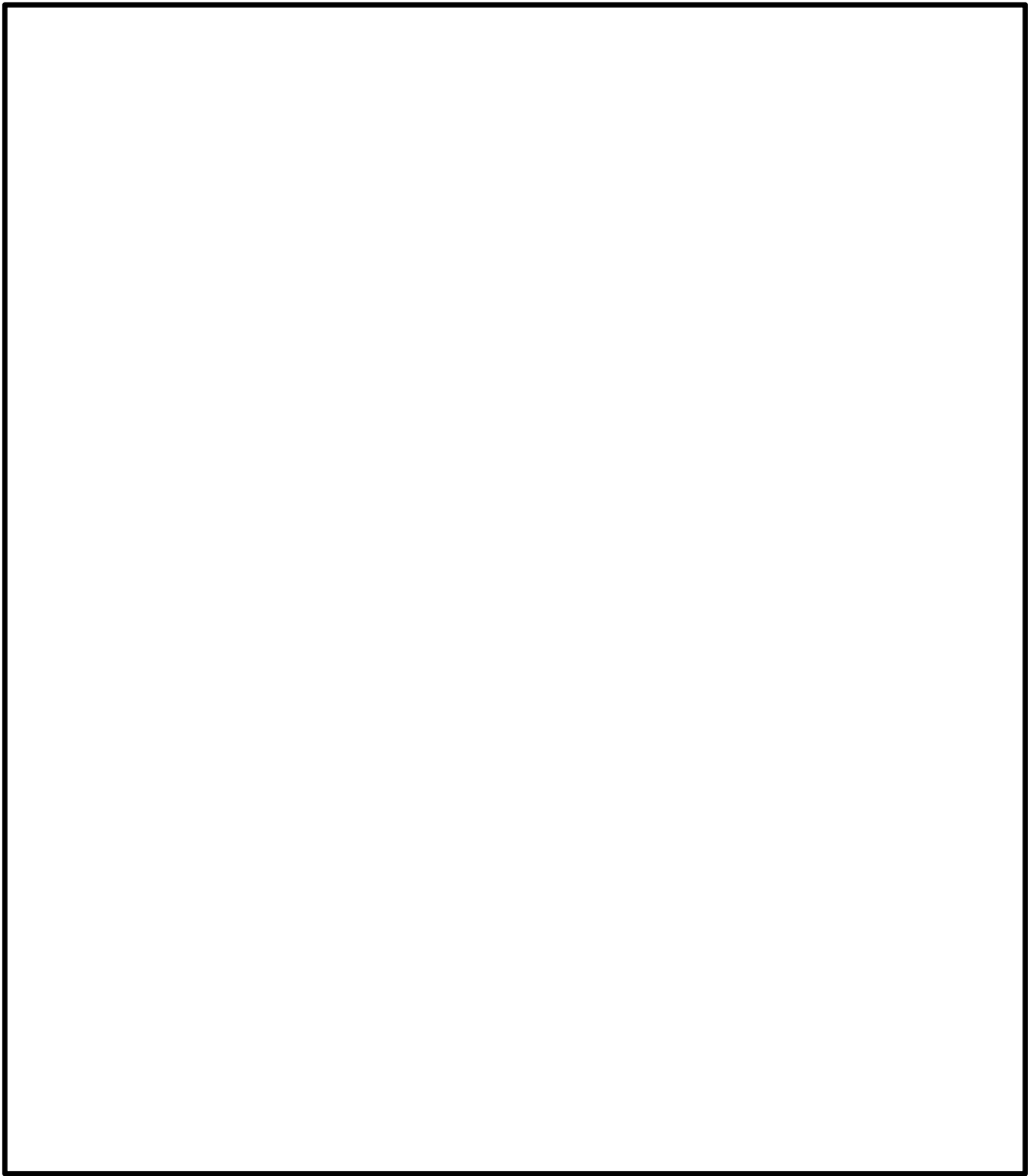


図 3-2 上部シアラグ及びスタビライザの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

使用部位		使用材料	備考
ドライウェル円錐部シェル		SGV49 相当	SGV480*
メイルシアラグ		SGV480 相当	
フィメイルシアラグ		SGV480 相当	
スタビライザ	ウェブ	SGV480 相当	
	フランジ	SGV480 相当	
アンカーボルト		SCM435	
コンクリート部		鉄筋コンクリート	

注記 *：新 J I S を示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 上部シアラグ及びスタビライザは、原子炉格納容器スタビライザを介して伝達される原子炉遮蔽の水平地震荷重と、原子炉格納容器の水平地震荷重を原子炉建屋に伝達させる鋼製の構造物である。上部シアラグ及びスタビライザの耐震評価として、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」において計算された荷重を用いて、構造強度評価を行う。
- (2) 構造評価に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容限界

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

上部シアラグ及びスタビライザの荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4-1 にコンクリートの荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4-2 示す。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。

上部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部における詳細な荷重の組合せは、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容限界

上部シアラグ及びスタビライザの許容限界のうち、上部シアラグ及びスタビライザについて表 4-3 に、上部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部について表 4-4 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

上部シアラグ及びスタビライザ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 4-5 から表 4-7 に示す。また、許容応力のうち上部シアラグ及びスタビライザの評価に用いるものを表 4-8 及び表 4-9 に、上部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部の評価に用いるものを表 4-10 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（上部シアラグ及びスタビライザ）

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* ¹		許容応力状態
—		上部シアラグ	S	—* ²	$D + P_D + M_D + S_d^*$	—	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	—	Ⅳ _A S
原子炉本体	原子炉 圧力容器 付属構造物	原子炉 格納容器 スタビライザ	S	—* ²	$D + P_D + M_D + S_d^*$	—	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	—	Ⅳ _A S
原子炉格納施設	原子炉 格納容器	上部シアラグと 原子炉格納容器 胴との結合部	S	格納 容器	$D + P + M + S_d^*$	(9, 10)	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	(11, 12)	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^*$	(16)	Ⅳ _A S

注記 *1: () 内は添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 3-10 設計基準対象施設の荷重の組合せの No. を示す。

*2: 耐震 S クラス設備の直接支持構造物として、その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容限界を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（コンクリートの許容支圧応力度）

(N/mm ²)			
耐震クラス	荷重の組合せ	許容応力状態	許容支圧応力度*
S	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S	$f_c' = f_c \sqrt{A_c/A_1}$
	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S	かつ $f_c' \leq 2f_c$ 及び $f_c' \leq F_c$

表4-3 許容限界（その他の支持構造物）

(設計基準対象施設)

許容応力 状 態	許容限界*1,*2,*3 (ボルト等以外)										許容限界*2,*4 (ボルト等)		形式試験に よる場合
	一次応力					一次＋二次応力					一次応力		許容荷重
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈*5	引張	せん断	
Ⅲ _A S	1.5・f _t	1.5・f _s	1.5・f _c	1.5・f _b	1.5・f _p	3・f _t	3・f _s ^{*6}	3・f _b ^{*7}	1.5・f _p ^{*8}	1.5・f _b , 1.5・f _s ^{*7,*8}	1.5・f _t	1.5・f _s	$T_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{y\ d}}{S_{y\ t}}$
Ⅳ _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]	1.5・f _c [*]	1.5・f _b [*]	1.5・f _p [*]	$\left[\begin{array}{l} S_d \text{ 又は } S_s \text{ 地震動のみに} \\ \text{よる応力振幅について評価} \\ \text{する。} \end{array} \right]$			1.5・f _p ^{*8}	1.5・f _s 又は 1.5・f _c	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]	$T_L \cdot 0.6 \cdot \frac{S_{y\ d}}{S_{y\ t}}$

注記*1：「鋼構造設計規準 SI 単位版」（2002 年日本建築学会）等の幅厚比の制限を満足させる。

*2：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*3：耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては，耐圧部と同じ許容応力とする。

*4：コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって，トルク管理，材料の照合等を行わないものについては，材料の品質，据付状態等のゆらぎ等を考慮して，Ⅲ_A S の許容応力を一次引張応力に対しては f_t ，一次せん断応力に対しては f_s として，またⅣ_A S → Ⅲ_A S として応力評価を行う。

*5：薄肉円筒形状のものの座屈の評価にあつては，クラス MC 容器の座屈に対する評価式による。

*6：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 \cdot f_s$ とする。*7：設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_b とする。

*8：自重，熱膨張等により常時作用する荷重に，地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

表4-4 許容限界（クラスMC容器）

許容応力状態	許容限界 ^{*1}					
	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	特別な応力限界	
					純せん 断応力	支圧応力
Ⅲ _A S	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 レス鋼及高ニッケル合金について は1.2・Sとする。	左欄の 1.5倍の値 ^{*2}	3・S ^{*3} 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。 ^{*4, *5}	0.6・S	S _y ^{*6} (1.5・S _y)
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u ， 不連続な部分は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、構造上の連続な部分は2・ Sと0.6S _u の小さい方、不連続な 部分は1.2・Sとする。	左欄の 1.5倍の値 ^{*2}			0.4・S _u	S _u ^{*6} (1.5・S _u)

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：設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の非又は1.5のいずれか小さい方の値（α）を用いる。

*3：3・Sを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。S_mはSと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

*4：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*5：運転状態Ⅰ，Ⅱにおいて疲労解析を要しない場合は，地震動のみによる疲労累積係数を1.0以下とする。

*6：（ ）内は，支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

表4-5 使用材料（ドライウェル円錐部シェル，メイルシアラグ，フィメイルシアラグ，ウェブ，フランジ）の許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)
ドライウェル円錐部シェル メイルシアラグ フィメイルシアラグ ウェブ フランジ	SGV480	周囲環境 温度	171	131	229	423	—

表4-6 使用材料（アンカーボルト）の許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)
アンカーボルト	SCM435	周囲環境 温度	171	—	642	847	—

表4-7 使用材料（コンクリート）の許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)		F _c (N/mm ²)
コンクリート部	コンクリート	周囲環境 温度	171	22.0

表4-8 上部シアラグ及びスタビライザの許容応力

(単位：MPa)

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	基準応力 F	許容応力（一次応力）			
				引張り f_t	曲げ f_b	せん断 f_s	組合せ f_t
SGV480	171	Ⅲ _A S	229	229	229 (264)*	132	229
		Ⅳ _A S	275	275	275 (317)*	158	275
SCM435	171	Ⅲ _A S	592	444	—	342	—
		Ⅳ _A S	592	444	—	342	—

注記 *：() 内の値は、面外に曲げを受ける板の許容応力を示す。

表4-9 コンクリートの許容応力

(単位：N/mm²)

材料	温度 (°C)	許容応力状態	許容支圧応力度
コンクリート	171	Ⅲ _A S	22.0
		Ⅳ _A S	22.0

表4-10 上部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部の許容応力

(単位：MPa)

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次＋二次応力
			P _m *	P _L + P _b	P _L + P _b + Q
SGV480	171	Ⅲ _A S	229	344	393
		Ⅳ _A S	253	380	393

注記 *：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。

4.2.4 設計荷重

- (1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

内圧 P_D 310 kPa

外圧 P_{D0} 14 kPa

温度 T_D 171 °C

- (2) 冷却材喪失事故後の最大内圧 P_{DBA} 255 kPa

(3) 地震荷重

上部シアラグ及びスタビライザに加わる地震荷重について、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」において計算された計算結果を用いる。

a. 原子炉圧力容器本体及び原子炉遮蔽からの地震荷重

上部シアラグ及びスタビライザと水平荷重の作用方向の関係を図 4-1 に示し，原子炉圧力容器本体及び原子炉遮蔽からの弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力及び基準地震動 S_s による水平方向地震荷重を表 4-11 に示す。

ここに，

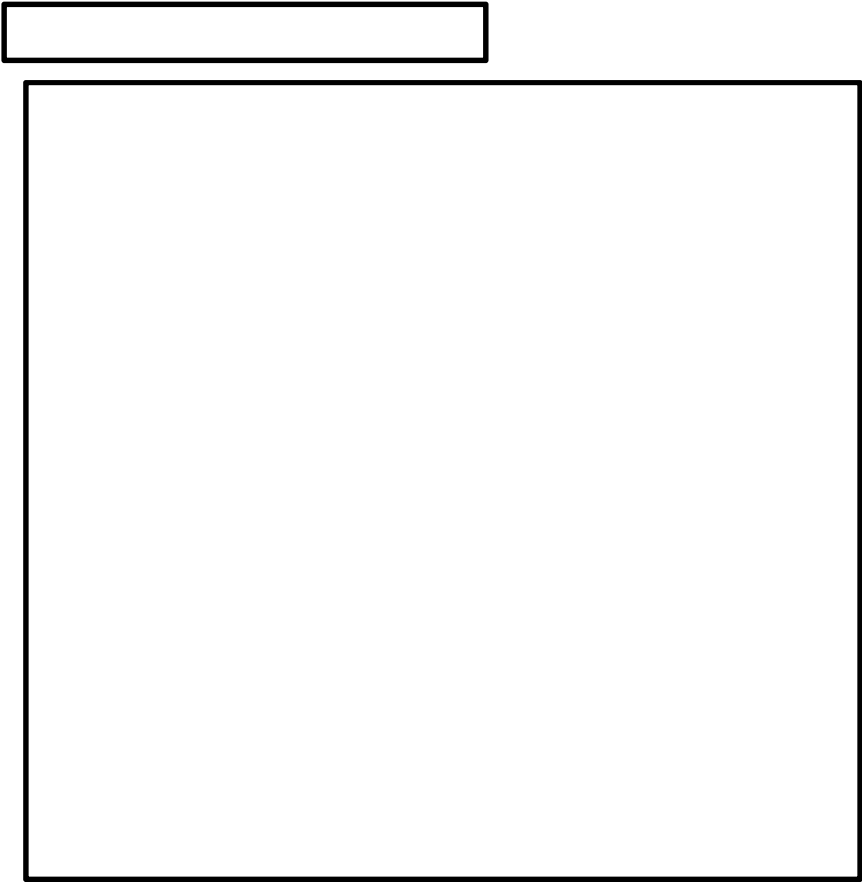


図 4-1 荷重の分配

表 4-11 原子炉圧力容器本体及び原子炉遮蔽からの水平方向地震荷重

(単位：N)

地震荷重	S_d^*	S_s
水平方向地震荷重 W_{HI}		
$W_{ISI} = \frac{1}{4} W_{HI}$		
$F_{ISI} = \frac{W_{ISI}}{2 \times \sin \theta}$		

- b. 原子炉格納容器及び原子炉建屋からの地震荷重
- 原子炉格納容器及び原子炉建屋からの「弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力」及び「基準地震動 S_s 」による水平方向地震荷重を表 4-12 に示す。

表 4-12 水平方向地震荷重

(単位：N)

地震荷重	S_d^*	S_s
水平方向地震荷重 W_{HO}		
$W_{1SO} = \frac{1}{4} W_{HO}$		
$F_{1SO} = \frac{W_{1SO}}{2 \times \sin \theta}$		

(4) 設計荷重

応力計算は上部シアラグ及びスタビライザに分けて行なう。荷重は水平地震荷重を考える。格納容器内部にある部材は原子炉圧力容器本体及び原子炉遮蔽から水平地震荷重，外側にある部材は原子炉建屋からの水平地震荷重がそれぞれの部材の重心に加わるものとする。安全側の計算として，内側，外側の荷重が同時に加わるものとするならば，1組当りの上部シアラグ及びスタビライザに加わる設計荷重は「4.2.4(3) 地震荷重」より表 4-13 に示すように与えられる。

表 4-13 上部シアラグ及びスタビライザに加わる設計荷重

部材	荷重条件	$D + P_D + M_D + S_d^*$	$D + P_D + M_D + S_s$
シアラグ			
スタビライザ			

4.3 設計用地震力

「4.2.4(3) 地震荷重」に示す添付書類「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」で算出された荷重を用いる。

4.4 計算方法

4.4.1 応力評価点

上部シアラグ及びスタビライザの応力評価点は、上部シアラグ及びスタビライザを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定して設定する。選定した応力評価点を表 4-14 及び図 4-2 に示す。

表 4-14 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	メイルシアラグ
P 2	フィメイルシアラグ
P 3	アンカーボルト
P 4	ベースプレート
P 5	シアプレート
P 6	上部スタビライザウェブ
P 7	フランジとウェブの結合部
P 8	上部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部
P 9	コンクリート部

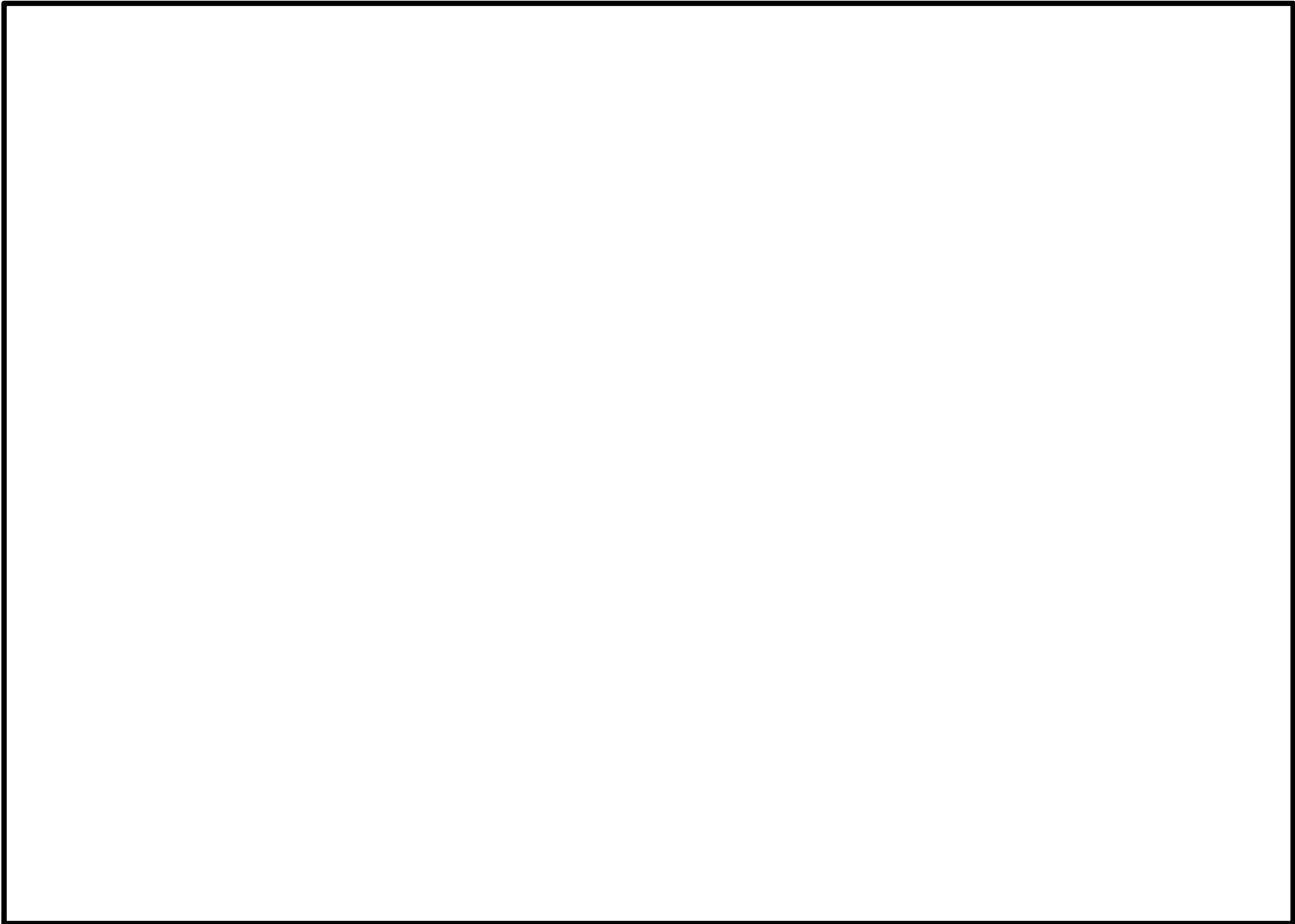


図 4-2 応力評価点

4.4.2 応力計算方法

各荷重により上部シアラグ及びスタビライザに生じる応力は、応力評価点 P 1～P 7 及び P 9 は理論解で計算し算出する。応力評価点 P 8 の応力の算出には、三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。

4.4.2.1 上部シアラグ（応力評価点 P 1～P 5 及び P 9）

(1) メイルシアラグ（応力評価点 P 1）

a. 寸法

メイルシアラグの寸法を図 4-3 に示す。



図 4-3 メイルシアラグ

- b. せん断力及び曲げモーメント
 メールシアラグのせん断力及び曲げモーメントの荷重計算を表 4-15 に示す。

表 4-15 メールシアラグの荷重計算

荷重の 組合せ	荷重 ①部せん断力 F_s (N)	①部曲げモーメント M (N・mm)
$D + P_D + M_D + S_d^*$	$F_s = W = \boxed{}$	$M = F_s \cdot \ell_7$ $= \boxed{}$ $\ell_7 = \boxed{}$
$D + P_D + M_D + S_s$	$F_s = W \boxed{}$	$M = F_s \cdot \ell_7$ $= \boxed{}$ $\ell_7 = \boxed{}$

- c. ①部の応力
 (a) 断面の形状
 ①部の断面の形状及び寸法は図 4-4 に示すような溶接部の断面である。

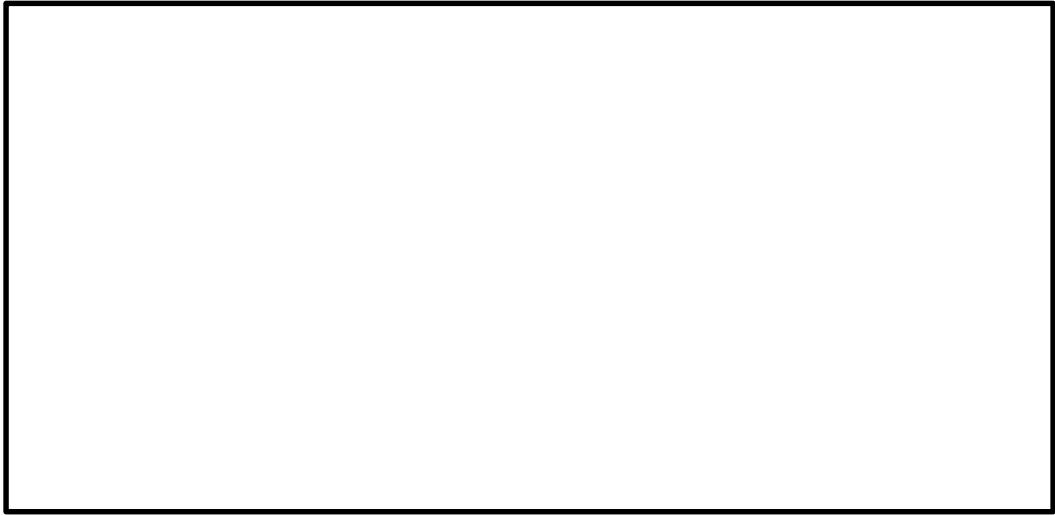


図 4-4 ①部の溶接部の断面

(b) せん断応力

$$\tau = \frac{F_s}{A_w}$$

ここに,

A_w : 断面積 =

(c) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここに,

Z : X-X軸に関する断面係数 =

(d) 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2}$$

(2) フィメイルシアラグ (応力評価点 P 2)

a. 寸法

フィメイルシアラグの寸法を図 4-5 に示す。



図 4-5 フィメイルシアラグ

b. せん断力及び曲げモーメント

フィメイルシアラグのせん断力及び曲げモーメントの荷重計算を表 4-16 に示す。

表 4-16 フィメイルシアラグの荷重計算

荷重の 組合せ	荷重 ③部せん断力 F_s (N)	③部曲げモーメント M (N・mm)
$D + P_D + M_D + S_d^*$	$F_s = W$	$M = F_s \cdot \ell_9$ = $\ell_9 =$
$D + P_D + M_D + S_s$	$F_s = W$	$M = F_s \cdot \ell_9$ = $\ell_9 =$

c. ③部の応力

(a) 断面の形状

③部の断面の形状及び寸法を図 4-6 に示す。

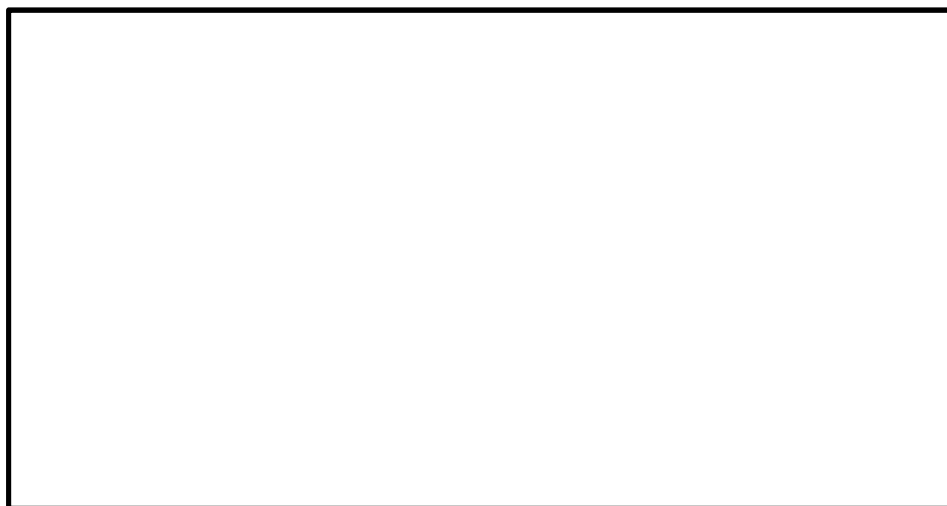


図 4-6 ③部の溶接部の断面

(b) せん断応力

$$\tau = \frac{F_s}{A_w}$$

ここに,

A_w : 断面積

(c) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここに,

Z : X-X軸に関する断面係数=

(d) 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2}$$

(3) ベースプレート及びアンカーボルト（応力評価点 P 3 及び P 4）

a. 寸法

ベースプレート及びアンカーボルトの形状及び寸法を図 4-7 に示す。

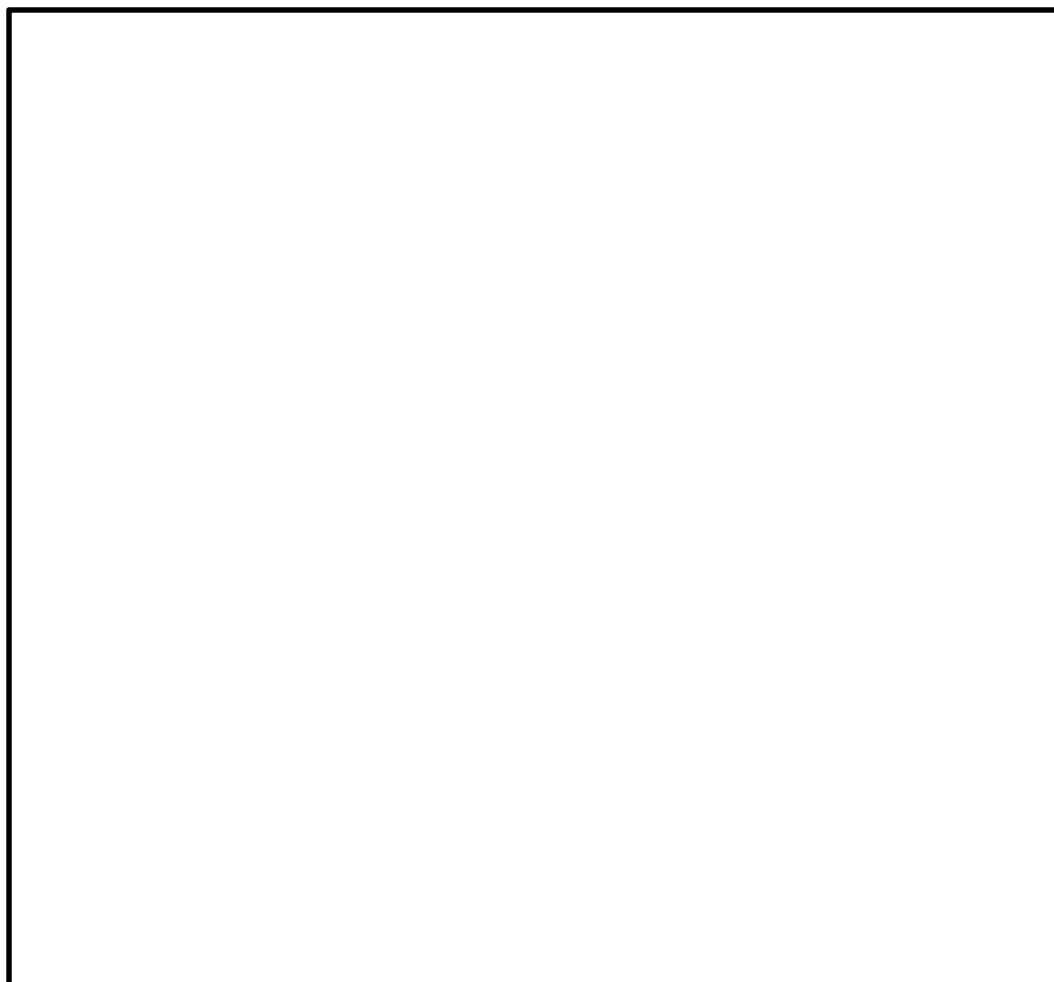


図 4-7 ベースプレート及びアンカーボルト

b. せん断力及び曲げモーメント

「4.4.2.1(2)b. せん断力及び曲げモーメント」表 4-16 より求めたベースプレート及びアンカーボルトに加わる荷重を表 4-17 に示す。

表 4-17 ベースプレート及びアンカーボルトに加わる荷重

荷重の 組合せ	せん断力 F_s (N)	曲げモーメント M (N・mm)
$D + P_D + M_D + S_d^*$		
$D + P_D + M_D + S_s$		

c. アンカーボルトの応力

(a) 計算上の仮定

- イ. アンカーボルトを鉄筋とするベースプレートの形状の断面をもつ鉄筋コンクリート柱として計算する。
- ロ. シアプレート付アンカーとしての働きはもたないものとする。

(b) 計算方法

文献「S.P.Timoshenko : Strength of Materials Part.1, D Van Nostrand Co. Inc. (1955)」の Chapter VII (48) と同様な方法で計算を行なう。

(c) コンクリートの支圧応力及びアンカーボルトの引張応力

図 4-8 の計算モデルより力の釣合いとモーメントとの釣り合いからボルト引張応力 σ_s 及びボルトの下のコンクリート圧縮応力 σ_c を求める。

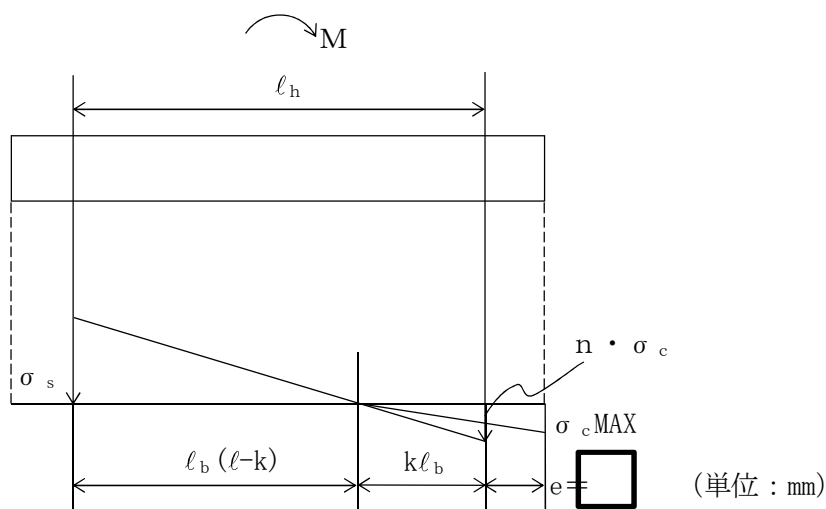


図 4-8 計算モデル図

・力の釣合い

$$6 \cdot A_b \cdot \sigma_s - 6 \cdot A_b \cdot (n \cdot \sigma_c) - \frac{1}{2} \cdot A_c \cdot \sigma_{cmax} = 0$$

・モーメントの釣合い

$$M - 6 \cdot A_b \cdot \sigma_s \cdot (1 - k) \cdot \ell_b - 6 \cdot A_b \cdot n \cdot \sigma_c \cdot k \cdot \ell_b - \frac{1}{2} \cdot \sigma_{cmax} \cdot A_c \cdot \frac{2}{3} \cdot (k \cdot \ell_b + 70) = 0$$

ここに,

M : 最大曲げモーメント

$$\sigma_{cmax} : \text{コンクリートの最大圧縮応力} = \frac{(k \cdot \ell_b + e)}{k \cdot \ell_b}$$

k : 係数 = $1 / (1 + \sigma_s / n \cdot \sigma_c)$

E_s : ボルトの縦弾性係数

E_c : コンクリートの縦弾性係数

n : E_s / E_c =

A_b : ボルト 1 本分最小断面積 = $\frac{\pi}{4} \cdot d'^2 =$

A_c : 圧縮側ベースプレート面積 = $(k \cdot \ell_b + e) \cdot \ell_{12}$

(d) アンカーボルトのせん断応力

イ. せん断力

$$F_s = \frac{N_b \cdot d}{N_b \cdot d + N_P \cdot \ell_{17}} \cdot F$$

ここに,

N_b : アンカーボルト数 =

N_P : シアプレート数 =

ロ. せん断応力

$$\tau = \frac{F_s}{N_b \cdot A_b}$$

d. ベースプレートの曲げ応力

ベースプレートにはモーメントによる反力がシアプレートによって区分された長方形板に加わるものとする。ベースプレート応力モデルを図 4-9 に示す。

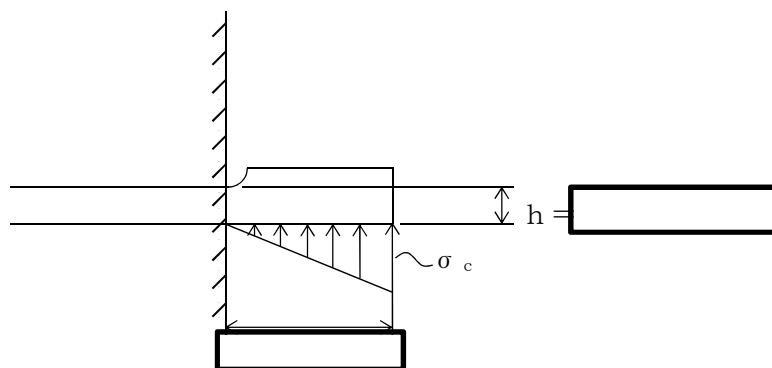


図 4-9 ベースプレート応力計算モデル

(a) 固定点の曲げモーメント

$$M = \frac{1}{3} \cdot \sigma_c \cdot l^2$$

(b) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここに,

Z : 断面係数 =

(4) シアプレート（応力評価点 P 5 及び P 9）

ベースプレートに加わるせん断力はアンカーボルトとシアプレートに分配されるものとする。

また、ベースプレートとシアプレートの溶接部の脚長はシアプレートの厚さ（ ℓ_{13} ）より大きいので以下の計算はシアプレートの厚さの断面をもつ梁として行う。

a. 寸法

シアプレートの寸法を図 4-10 に示す。



図 4-10 シアプレート

b. シアプレートの応力

(a) せん断力及び曲げモーメント

イ. せん断力

$$F_s = F' / N_P$$

ここに,

$$F' = \frac{N_P \cdot \ell_{17}}{N_b \cdot d + N_P \cdot \ell_{17}} \cdot F$$

ロ. 曲げモーメント

$$M = \frac{F_s \cdot \ell_{16}}{2}$$

(b) シアプレートの応力

イ. せん断応力

$$\tau = \frac{F_s}{A}$$

ここに,

$$A = \boxed{}$$

ロ. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここに,

$$Z = \boxed{}$$

ハ. 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2}$$

c. コンクリートの応力

(a) 支圧応力

$$\sigma_{cp} = \frac{F_s}{\ell_{16} \times \ell_{17}}$$

4.4.2.2 上部スタビライザ（応力評価点 P 6 及び P 7）

(1) ウェブ（応力評価点 P 6）

a. 寸法

ウェブの寸法を図 4-11 に示す。

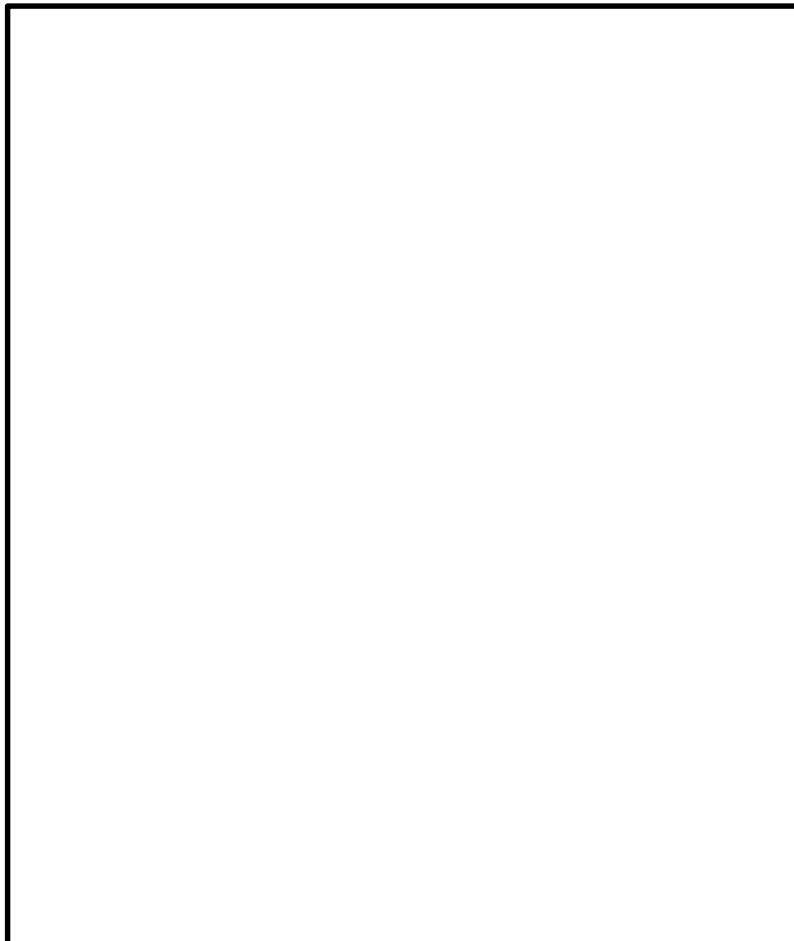


図 4-11 ウェブ

b. せん断力及び曲げモーメント

ウェブのせん断力及び曲げモーメントの荷重計算を表 4-18 に示す。

表 4-18 ウェブの荷重計算

荷重の 組合せ	せん断力 F_s (N)	曲げモーメント M (N・mm)
$D + P_D + M_D + S_d^*$	$F_s = 2F_1 \sin \theta$ =	$M = 2F_1 \cos \theta \cdot \ell_{18}$ = $\ell_{18} =$
$D + P_D + M_D + S_s$	$F_s = 2F_1 \sin \theta$ =	$M = 2F_1 \cos \theta \cdot \ell_{18}$ = $\ell_{18} =$

c. 断面の形状

断面の形状は溶接部の幅がウェブの板厚に比べて大きくなるので最小厚さはウェブの板厚の とする。ウェブに取付けられたパイプのドライウェル壁に取付けられた断面積は と仮定した。

d. ウェブの応力

(a) せん断力

$$\tau = \frac{F_s}{A}$$

ここに,

A : 断面積 =

(b) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここに,

Z : 断面係数 =

(c) 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2}$$

(2) フランジとウェブの結合部（応力評価点 P 7）

a. 寸法

フランジとウェブの結合部の寸法を図 4-12 に示す。

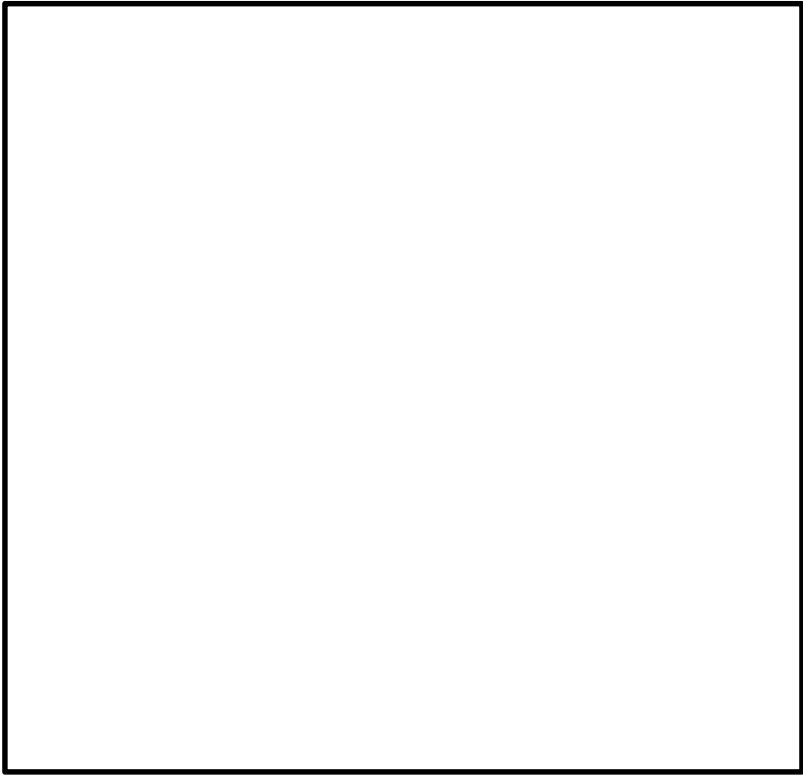


図 4-12 フランジとウェブの結合部（単位：mm）

b. 引張力

「4. 4. 2. 2(1)b. セン断力及び曲げモーメント」表 4-18 より求めたフランジとウェブの結合部に加わる荷重を表 4-19 に示す。

表 4-19 フランジとウェブの結合部に加わる荷重

荷重 荷重の 組合せ	引張力 F_1 (N)
$D + P_D + M_D + S_d^*$	$F_1 =$
$D + P_D + M_D + S_s$	$F_1 =$

c. フランジとウェブの結合部の応力

(a) 引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_1}{A}$$

ここに,

A : 断面積 =

4.4.2.3 上部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部（応力評価点 P 8）

荷重により上部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部に生じる応力の算出には、シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。

(1) 応力計算方法

a. 上部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部に作用する荷重による応力

上部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部に作用する各荷重による応力は、図 4-13 に示す解析モデルを用いて算出する。機器の諸元を表 4-20 に示す。

b. 解析コード

解析コードはMSC NASTRANを用いる。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。

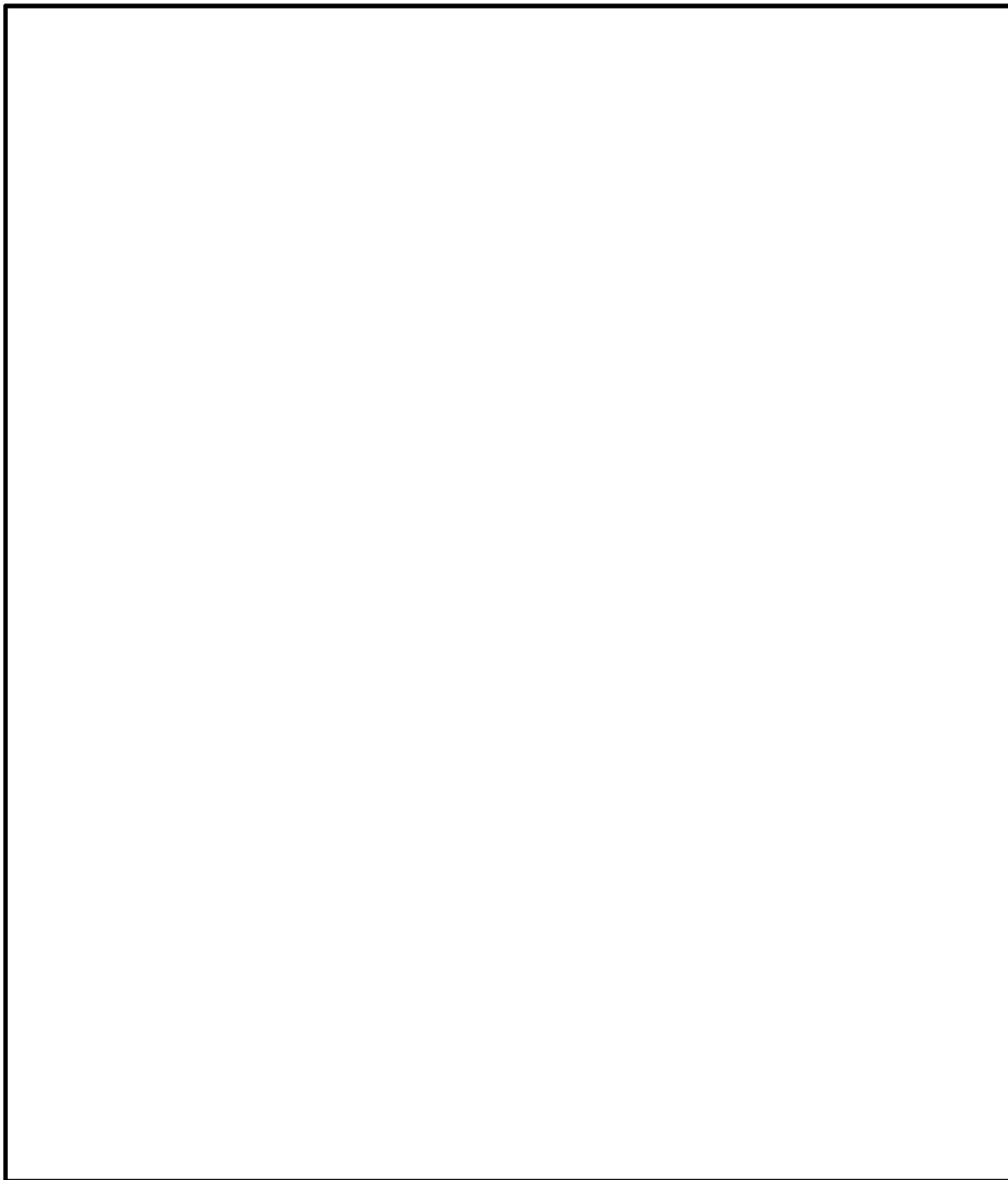


図 4-13 解析モデル

表 4-20 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
質量	m _o	kg	—*
温度条件	T	℃	66(ドライウエル) 32(サプレッション・チェンバ)
縦弾性係数	E	MPa	200000(ドライウエル) 202000(サプレッション・チェンバ)
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	図4-13に記載のとおり
節点数	—	個	

注記 *：単位荷重による解析のため，質量の入力は不要。

4.5 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は，「4.2 荷重の組合せ及び許容限界」及び「4.3 設計用地震力」に示す。

4.6 応力の評価

「4.4 計算方法」で求めた応力は表 4-8，表 4-9 及び表 4-10 に記載される値以下であること。ただし，一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は，設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

上部シアラグ及びスタビライザ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。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅲ_ASに対する応力評価結果を表 5-1 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_D + M_D + S_d^*$ 及び $D + P + M + S_d^*$ の評価について記載している。

(2) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅳ_ASに対する応力評価結果を表 5-3 に示す。

表 4-1 及び表 4-2 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_D + M_D + S_s$ 及び $D + P + M + S_s$ 並びに $D + P_L + M_L + S_d^*$ の評価について記載している。

(3) 疲労評価

疲労評価結果を表 5-2 及び表 5-4 に示す。

なお、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」において疲労解析は不要であることを確認しており、地震動のみによる疲労累積係数が 1.0 以下であることを確認している。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_d* 及び D + P + M + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
上部シアラグ 及び スタビライザ	P 1	メイルシアラグ	曲げ応力	22	229	○	
			せん断応力	54	132	○	
			組合せ応力	96	229	○	
	P 2	フィメイルシアラグ	曲げ応力	52	229	○	
			せん断応力	60	132	○	
			組合せ応力	117	229	○	
	P 3	アンカーボルト	引張応力	62	444	○	
			せん断応力	52	342	○	
	P 4	ベースプレート	曲げ応力	8	264	○	
	P 5	シアプレート	曲げ応力	205	264	○	
			せん断応力	23	132	○	
			組合せ応力	209	229	○	
	P 6	ウェブ	曲げ応力	154	229	○	
			せん断応力	60	132	○	
			組合せ応力	186	229	○	
	P 7	フランジとウェブの結合部	引張応力	124	229	○	
	P 8	上部シアラグと 格納容器胴との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	96	344	○	
			一次＋二次応力強さ	750	393	×*	
			疲労評価	0.651	1.0	○	
	P 9	コンクリート部	支圧応力	7.6	22.0	○	

注記 * : P 8 の一次＋二次応力強さ評価結果は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

表 5-2 許容応力状態Ⅲ_AS に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _ℓ '* (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a	備考
P 8	750	2.00	1208	1208	1296	123	80	0.651	

注記 * : S_ℓに (E_o/E) を乗じた値である

E_o=2.07×10⁵ MPa E=1.93×10⁵ MPa

E_o : 縦弾性係数

E : 運転温度の縦弾性係数

表 5-3(1) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_s 及び D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
上部シアラグ 及び スタビライザ	P 1	メイルシアラグ	曲げ応力	27	275	○	
			せん断応力	68	158	○	
			組合せ応力	121	275	○	
	P 2	フィメイルシアラグ	曲げ応力	65	275	○	
			せん断応力	75	158	○	
			組合せ応力	146	275	○	
	P 3	アンカーボルト	引張応力	78	444	○	
			せん断応力	65	342	○	
	P 4	ベースプレート	曲げ応力	10	317	○	
	P 5	シアプレート	曲げ応力	254	317	○	
			せん断応力	29	158	○	
			組合せ応力	259	275	○	
	P 6	ウェブ	曲げ応力	193	275	○	
			せん断応力	75	158	○	
			組合せ応力	233	275	○	
	P 7	フランジとウェブの結合部	引張応力	155	275	○	
	P 8	上部シアラグと 格納容器胴との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	144	380	○	
			一次＋二次応力強さ	982	393	× *	
			疲労評価	0.834	1.0	○	
	P 9	コンクリート部	支圧応力	9.4	22.0	○	

注記 * : P 8 の一次＋二次応力強さ評価結果は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

表 5-3(2) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価結果 (D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
上部シアラグ 及び スタビライザ	P 8	上部シアラグと 格納容器胴との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	114	380	○	
			一次＋二次応力強さ	748	393	× *	
			疲労評価	0.646	1.0	○	

注記 * : P 8 の一次＋二次応力強さ評価結果は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

表 5-4(1) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する疲労評価結果 (D + P + M + S_s)

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _ℓ ^{’*} (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c ／N _a	備考
P 8	982	2. 26	1582	1788	1918	48	40	0. 834	

注記 * : S_ℓに (E_o／E) を乗じた値である
E_o=2. 07×10⁵ MPa E =1. 93×10⁵ MPa
E_o : 縦弾性係数
E : 運転温度の縦弾性係数

表 5-4(2) 許容応力状態Ⅳ_A S に対する疲労評価結果 (D + P_L + M_L + S_d*)

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _ℓ '* (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a	備考
P 8	748	2.00	1205	1205	1293	124	80	0.646	

注記 * : S_ℓに (E_o/E) を乗じた値である

$$E_o = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa} \quad E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$

E_o : 縦弾性係数

E : 運転温度の縦弾性係数

V-2-9-2-4 下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの
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 3

2.4 記号の説明 4

2.5 計算精度と数値の丸め方 6

3. 評価部位 7

4. 構造強度評価 10

4.1 構造強度評価方法 10

4.2 荷重の組合せ及び許容限界 10

4.3 設計用地震力 18

4.4 計算方法 19

4.5 計算条件 33

4.6 応力の評価 33

5. 評価結果 34

5.1 設計基準対象施設としての評価結果 34

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、下部シアラグ及びダイヤフラムブラケ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。

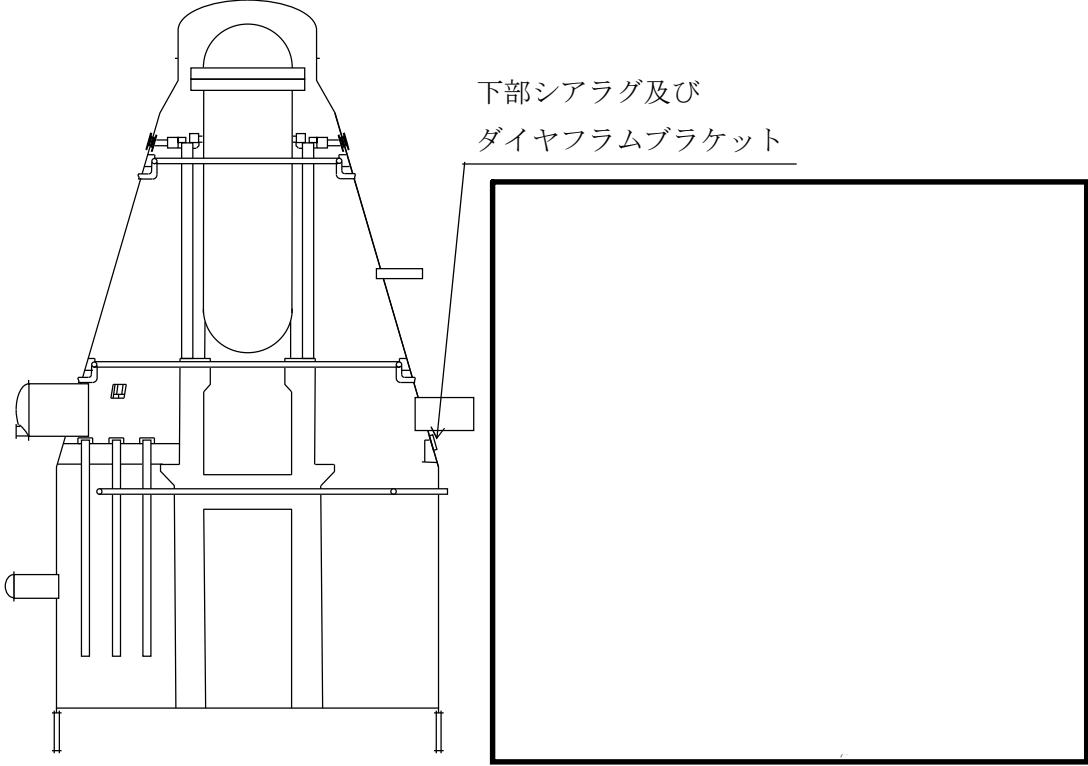
下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

下部シアラグ及びダイヤフラムブラケ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	
メイルシアラグは原子炉格納容器胴に溶接され, フィメイルシアラグは原子炉建屋にアンカーボルトで固定される。	シアラグ及びダイヤフラムブラケットは, ダイヤフラムフロア及びドライウェルの水平地震力を原子炉建屋に伝達させる鋼製の構造物である。	 下部シアラグ及び ダイヤフラムブラケット

2.2 評価方針

下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重、荷重の組合せ及び許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの部位を踏まえた「3. 評価部位」にて設定する箇所において、地震により評価部位に作用する荷重で発生する応力等が許容限界内に収まることを、「4. 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。評価結果を「5. 評価結果」に示す。

下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

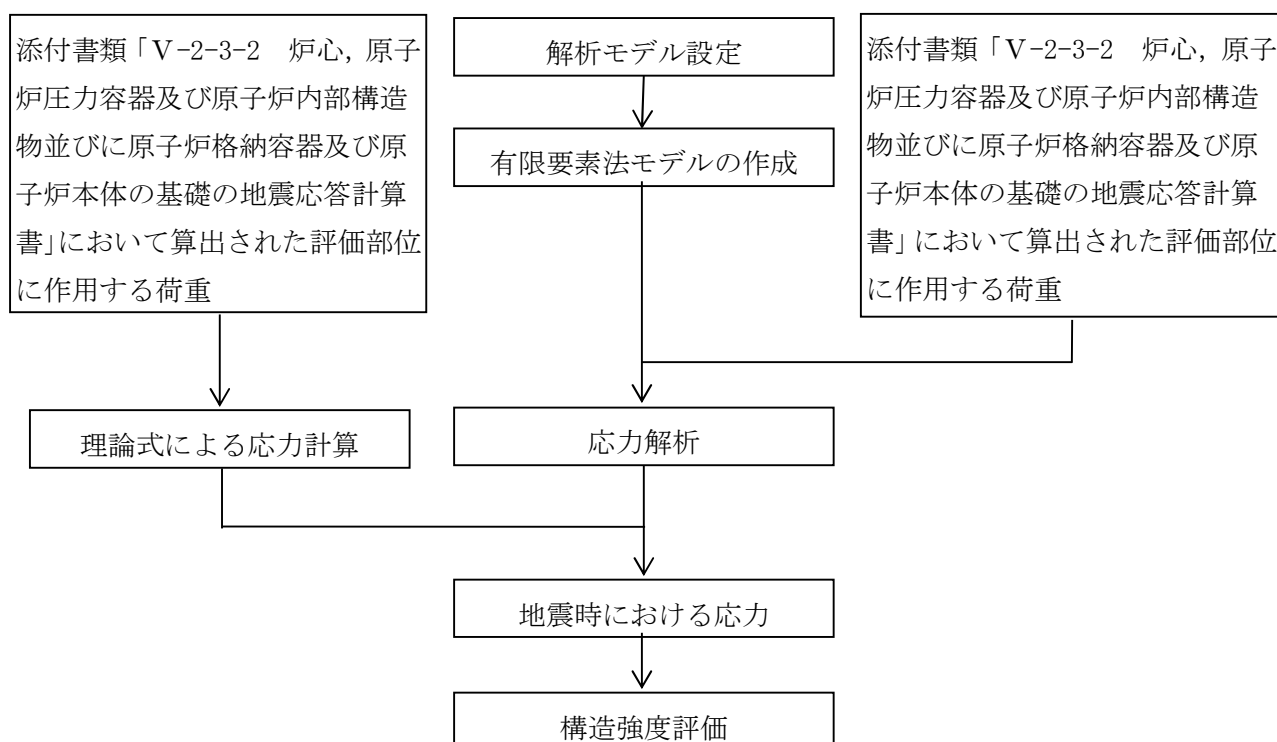


図 2-1 下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -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 J E A G 4 6 0 1 ・補一 1984 (日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -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。)) J S M E S N C 1 -2005/2007 (日本機械学会) (以下「設計・建設規格」という。)
- (5) 鋼構造設計規準 (日本建築学会 2005 改定)

2.4 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A	断面積	mm ²
A _b	ボルト 1 本分の最小断面積	mm ²
A _c	圧縮側ベースプレート面積	mm ²
A _w	断面積	mm ²
b	長さ	mm
d	ボルトの直径	mm
d'	ボルトの谷径	mm
E	縦弾性係数	MPa
E _s	ボルトの縦弾性係数	MPa
E _c	コンクリートの縦弾性係数	MPa
e	長さ	mm
F	せん断力, 基準応力	N, MPa
F _s	せん断力	N
F'	せん断力	N
f _b	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	コンクリートの許容支圧応力	N/mm ²
f _s	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	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
h	長さ	mm
k	係数	—
ℓ	長さ	mm
M	曲げモーメント	N・mm
M _c	曲げモーメント	N・mm
m ₀	質量	kg
N _b	アンカーボルト数	—
N _p	シアプレート数	—
n	E _s /E _c	—
P _D	最高使用圧力 (内圧)	kPa
P _{DO}	最高使用圧力 (外圧)	kPa
P _{DBA}	冷却材喪失事故後の最大内圧	kPa
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
R	半径	mm

記 号	記 号 の 説 明	単 位
S	材料の許容引張応力	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	—
S_u	材料の設計引張強さ	MPa
S_y	材料の設計降伏点	MPa
T	板厚, 温度	mm, °C
T_D	最高使用温度	°C
W	荷重	N
W_{HD}	ダイヤフラムフロアからの水平方向地震荷重	N
W_{HS}	原子炉格納容器及び原子炉建屋からの水平方向地震荷重	N
W_j	ジェット反力	N
X	対称軸	—
Z	断面係数	mm ³
α	角度	°
β	角度	°
ν	ポアソン比	—
σ	組合せ応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
σ_c	コンクリート圧縮応力	MPa
σ_{cmax}	コンクリートの最大圧縮応力	MPa
σ_{cp}	コンクリートの支圧応力	N/mm ²
σ_s	ボルト引張応力	MPa
τ	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
面積	mm ²	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*1}
断面係数	mm ³	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*1}
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*1}
モーメント	N・mm	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*1}
鋼材の算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
コンクリートの算出応力	N/mm ²	小数点以下第 2 位	切上げ	小数点以下第 1 位
鋼材の許容応力 ^{*2}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
コンクリートの許容応力	N/mm ²	小数点以下第 2 位	切捨て	小数点以下第 1 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

原子炉格納容器の下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの形状及び主要寸法を図 3-1, 図 3-2 及び図 3-3 に, 使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。

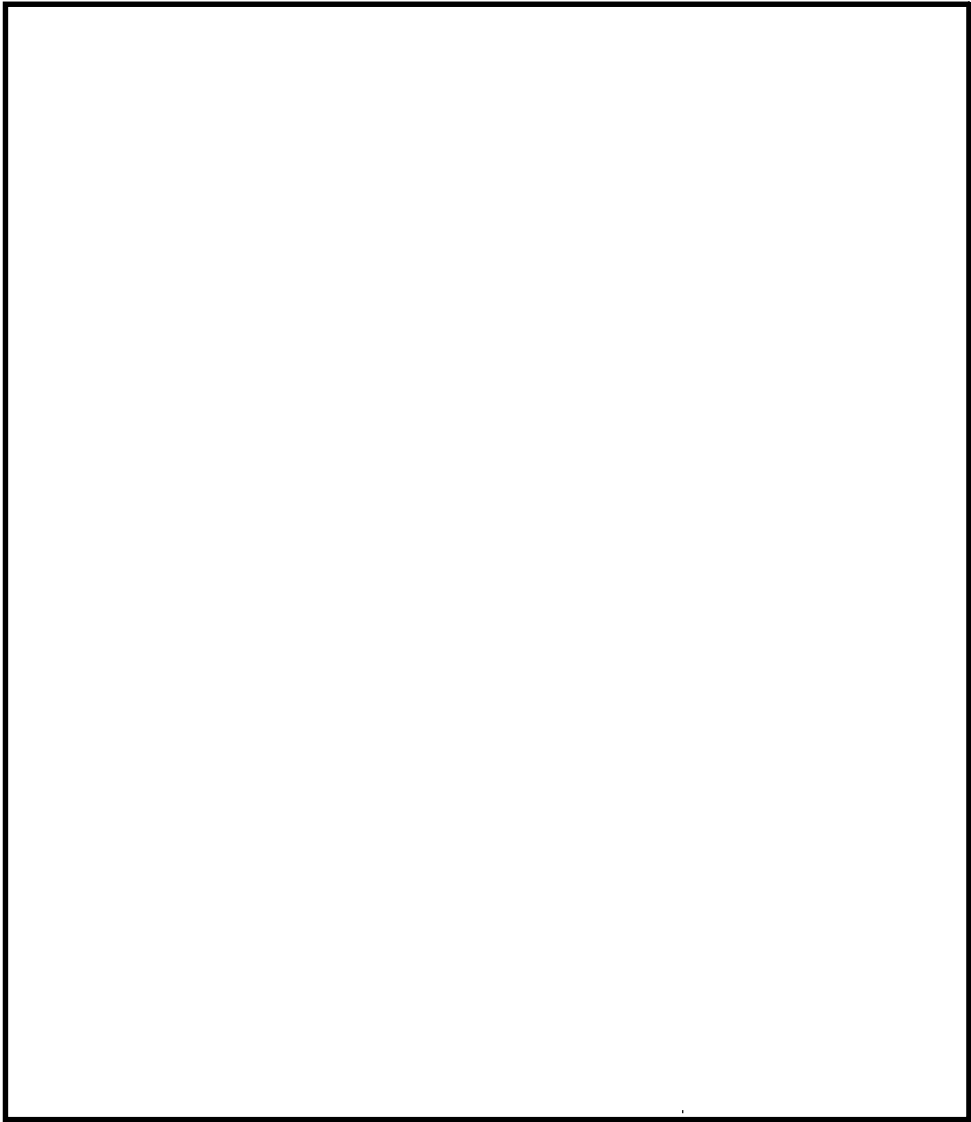


図 3-1 下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの形状及び主要寸法

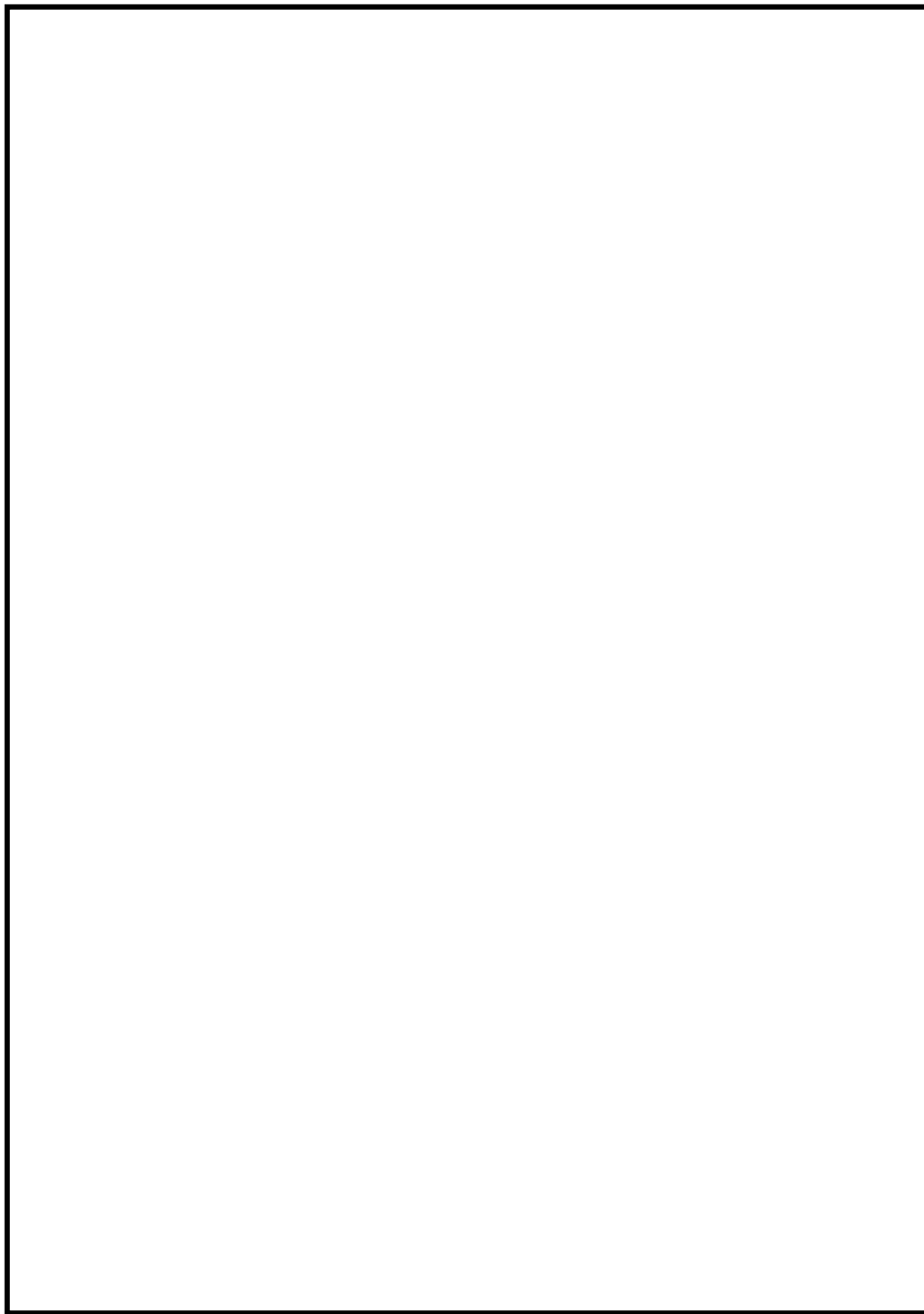


図 3-2 下部シアラグの形状及び主要寸法

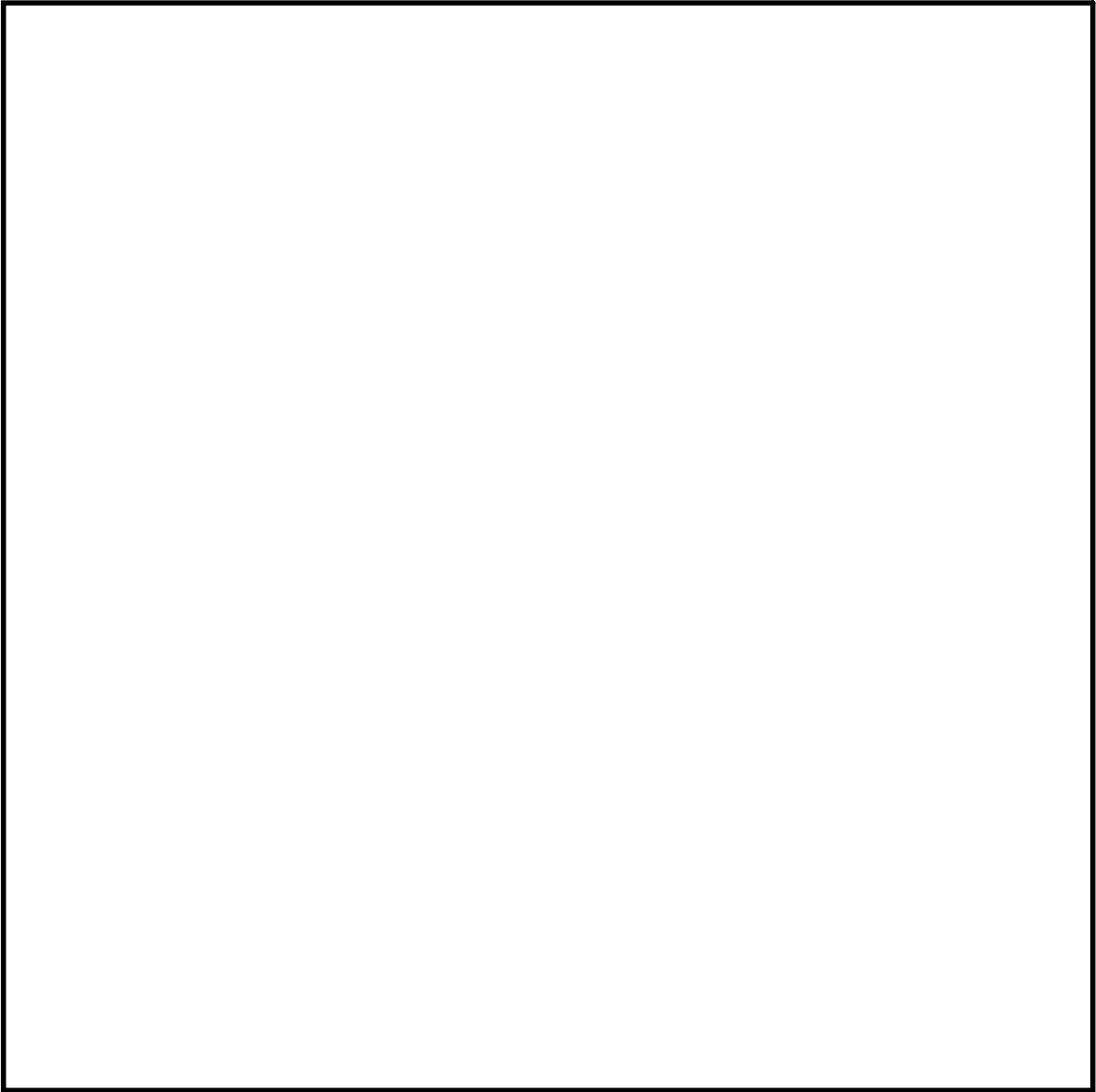


図 3-3 ダイヤフラムブラケットの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
ドライウェル円錐部シェル	SGV49 相当	SGV480*
メイルシアラグ	SGV480 相当	
フィメールシアラグ	SGV480 相当	
ダイヤフラムブラケット	SGV480 相当	
アンカボルト	SCM435	
コンクリート部	鉄筋コンクリート	

注記 *：新 J I S を示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットは、ダイヤフラムフロアを介して伝達される原子炉本体基礎の水平地震荷重と、原子炉格納容器の水平地震荷重を原子炉建屋に伝達させる構造物である。下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの耐震評価として、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本体の基礎の地震応答計算書」において計算された荷重を用いて，構造強度評価を行う。
- (2) 構造評価に用いる寸法は，公称値を使用する。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容限界

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4-1 に，コンクリート部の荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4-2 に示す。表で使用する記号は添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に従うものとする。

下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部における詳細な荷重の組合せは，添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い，対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお，考慮する荷重の組合せは，組み合わせる荷重の大きさを踏まえ，評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容限界

下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの許容限界のうち，下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの評価について表 4-3 に，下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部の評価について表 4-4 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

下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 から表 4-7 に示す。また，許容応力のうち，下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの評価に用いるものを表 4-8 及び表 4-9 に，下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部の評価に用いるものを表 4-10 に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（下部シアラグ及びダイヤフラムブラケット）

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* ¹		許容応力状態
—		下部シアラグ及びダイヤフラムブラケット	S	—* ²	$D + P_D + M_D + S_d^*$	—	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	—	Ⅳ _A S
原子炉格納施設	原子炉格納容器	下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部	S	格納容器	$D + P + M + S_d^*$	(9, 10)	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	(11, 12)	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^*$	(16)	Ⅳ _A S

注記 *1: () 内は添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 3-10 設計基準対象施設の荷重の組合せの No. を示す。

*2: 耐震 S クラス設備の直接支持構造物として、その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容限界を適用する。

表4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（コンクリートの許容支圧応力度）

(N/mm ²)			
耐震クラス	荷重の組合せ	許容応力状態	許容支圧応力度*
S	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S	$f'_c = f_c \sqrt{A_c/A_l}$ かつ $f'_c \leq 2f_c$ 及び $f'_c \leq F_c$
	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S	

表4-3 許容限界（その他の支持構造物）

（設計基準対象施設）

許容応力 状 態	許容限界 *1, *2, *3 (ボルト等以外)										許容限界 *2, *4 (ボルト等)		形式試験に よる場合
	一次応力					一次＋二次応力					一次応力		許容荷重
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈 *5	引張	せん断	
Ⅲ _A S	1.5・f _t	1.5・f _s	1.5・f _c	1.5・f _b	1.5・f _p	3・f _t	3・f _s *6	3・f _b *7	1.5・f _p *8	1.5・f _b , *7, *8	1.5・f _t	1.5・f _s	$T_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{y \text{ d}}}{S_{y \text{ t}}}$
Ⅳ _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *	1.5・f _c *	1.5・f _b *	1.5・f _p *	$\left[\begin{array}{l} S_d \text{ 又は } S_s \text{ 地震動のみに} \\ \text{よる応力振幅について評価} \\ \text{する。} \end{array} \right]$			1.5・f _p *8	1.5・f _s 又は 1.5・f _c	1.5・f _t *	1.5・f _s *	$T_L \cdot 0.6 \cdot \frac{S_{y \text{ d}}}{S_{y \text{ t}}}$

注記*1：「鋼構造設計規準 SI 単位版」（2002 年日本建築学会）等の幅厚比の制限を満足させる。

*2：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*3：耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては，耐圧部と同じ許容応力とする。

*4：コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって，トルク管理，材料の照合等を行わないものについては，材料の品質，据付状態等のゆらぎ等を考慮して，Ⅲ_AS の許容応力を一次引張応力に対しては f_t ，一次せん断応力に対しては f_s として，またⅣ_AS → Ⅲ_AS として応力評価を行う。

*5：薄肉円筒形状のもの座屈の評価にあっては，クラスMC 容器の座屈に対する評価式による。

*6：すみ肉溶接部にあっては最大応力に対して $1.5 \cdot f_s$ とする。*7：設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_b とする。

*8：自重，熱膨張等により常時作用する荷重に，地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

表4-4 許容限界（クラスMC容器）

許容応力状態	許容限界 ^{*1}					
	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	特別な応力限界	
					純せん 断応力	支圧応力
Ⅲ _A S	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 レス鋼及高ニッケル合金について は1.2・Sとする。	左欄の 1.5倍の値 ^{*2}	3・S ^{*3} 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。 ^{*4, *5}	0.6・S	S _y ^{*6} (1.5・S _y)
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u ， 不連続な部分は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、構造上の連続な部分は2・S と0.6S _u の小さい方，不連続な部 分は1.2・Sとする。	左欄の 1.5倍の値 ^{*2}			0.4・S _u	S _u ^{*6} (1.5・S _u)

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：設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は，純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の非又は1.5のいずれか小さい方の値（α）を用いる。

*3：3・Sを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合，設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。S_mはSと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

*4：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*5：運転状態Ⅰ，Ⅱにおいて疲労解析を要しない場合は，地震動のみによる疲労累積係数を1.0以下とする。

*6：（ ）内は，支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

表4-5 使用材料（ドライウェル円錐部シェル，メイルシアラグ，フィメイルシアラグ，ダイヤフラムブラケット）の許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)
ドライウェル円錐部シェル メイルシアラグ フィメイルシアラグ ダイヤフラムブラケット	SGV480	周囲環境 温度	171	131	229	423	—

表4-6 使用材料（アンカーボルト）の許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)
アンカボルト	SCM435	周囲環境 温度	171	—	642	847	—

表4-7 使用材料（コンクリート）の許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)		F _c (N/mm ²)
コンクリート部	コンクリート	周囲環境 温度	171	22.0

表4-8 下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの許容応力

(単位：MPa)

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	基準応力 F	許容応力（一次応力）			
				引張り f_t	曲げ f_b	せん断 f_s	組合せ f_t
SGV480	171	Ⅲ _A S	229	—	229	132	229
		Ⅳ _A S	275	—	275	158	275
SCM435	171	Ⅲ _A S	592	444	—	342	—
		Ⅳ _A S	592	444	—	342	—

表4-9 コンクリートの許容応力

(単位：N/mm²)

材料	温度 (°C)	許容応力状態	許容支圧応力度
コンクリート	171	Ⅲ _A S	22.0
		Ⅳ _A S	22.0

表4-10 下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部の許容応力

(単位：MPa)

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次＋二次応力
			P _m ＊	P _L ＋P _b	P _L ＋P _b ＋Q
SGV480	171	Ⅲ _A S	229	344	393
		Ⅳ _A S	253	380	393

注記 ＊：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。

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

内圧 P_D	310 kPa
外圧 P_{D0}	14 kPa
温度 T_D	171 °C

(2) 冷却材喪失事故後の最大内圧 P_{DBA} 255 kPa

(3) ジェット反力

下部シアラグ全体に作用するジェット反力 W_j N

下部シアラグ及びダイヤフラムフロアと水平荷重の作用方向の関係を図 4-1 に示す。水平荷重が加わる場合の各位置における荷重の分配は次式で示される。

$$W_{1j} = \frac{\text{$$



図 4-1 荷重の分配

(4) 地震荷重

下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットに加わる地震荷重について、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」において計算された計算結果を用いる。

a. 原子炉格納容器及び原子炉建屋からの地震荷重

原子炉格納容器及び原子炉建屋からの「弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力」及び「基準地震動 S_s 」による地震荷重を表 4-11 に示す。

表 4-11 原子炉格納容器及び原子炉建屋からの水平方向地震荷重
(単位：N)

地震荷重	S_d^*	S_s
水平方向地震荷重 W_{HS}		
$W_{1S} = \square \cdot W_{HS}$		

b. ダイヤフラムフロアからの地震荷重

ダイヤフラムフロアからの「弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力」及び「基準地震動 S_s 」による地震荷重を表 4-12 に示す。

表 4-12 ダイヤフラムフロアからの水平方向地震荷重
(単位：N)

地震荷重	S_d^*	S_s
水平方向地震荷重 W_{HD}		
$W_{1D} = \square \cdot W_{HD}$		

(5) 設計荷重

荷重は水平方向地震荷重とジェット反力を考える。原子炉格納容器内部にある部材はダイヤフラムフロアから水平方向地震荷重，ジェット反力，外側にある部材は原子炉建屋からの水平方向地震荷重がそれぞれの部材の重心に加わるものとする。安全側の計算として，内側，外側の荷重が同時に加わるものとするならば1組当りのシアラグ及びダイヤフラムブラケットに加わる設計荷重は「4.2.4(3) ジェット反力」，「4.2.4 (4) 地震荷重」より表 4-13 に示すように与えられる。

表 4-13 シアラグ及びダイヤフラムブラケットに加わる設計荷重

部材	荷重条件	
	$D + P_D + M_D + S_d^*$	$D + P_D + M_D + S_s$
シアラグ		
ダイヤフラムブラケット		
合計		

4.3 設計用地震力

「4.2.4(4) 地震荷重」に示す添付書類「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」で算出された荷重を用いる。

4.4 計算方法

4.4.1 応力評価点

下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの応力評価点は、下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定して設定する。選定した応力評価点を表 4-14 及び図 4-2 に示す。

表 4-14 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	メイルシアラグ
P 2	フィメイルシアラグ
P 3	アンカボルト
P 4	ベースプレート
P 5	シアプレート
P 6	ダイヤフラムブラケット
P 7	下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部
P 8	コンクリート部



図 4-2 応力評価点

4.4.2 応力計算方法

各荷重により下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットに生じる応力は、応力評価点 P 1 ～ P 6 及び P 8 は理論解で計算し算出する。応力評価点 P 7 の応力の算出には、三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。

4.4.2.1 下部シアラグ（応力評価点 P 1 ～ P 5 及び P 8）

(1) メイルシアラグ（応力評価点 P 1）

a. 寸法

メイルシアラグの寸法を図 4-3 に示す。



図 4-3 メイルシアラグ

b. せん断力及び曲げモーメント

メイルシアラグのせん断力及び曲げモーメントの荷重計算を表 4-15 に示す。

表 4-15 メイルシアラグの荷重計算

荷重 の 組合せ	荷重 ①部せん断力 F (N)	①部曲げモーメント M_c (N・mm)
$D + P_D + M_D + S_d^*$	$F = W =$	$M_c = F \cdot \ell_7$ = $\ell_7 =$
$D + P_D + M_D + S_s$	$F = W =$	$M_c = F \cdot \ell_7$ = $\ell_7 =$

c. ①部の応力

(a) 断面の形状

①部の断面の形状及び寸法は図 4-4 に示すような溶接部の断面である。



図 4-4 ①部の溶接部の断面

(b) せん断応力

$$\tau = \frac{F}{A_w}$$

ここに,

A_w : 断面積 =

(c) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_c}{Z}$$

ここに,

Z : X-X軸に関する断面係数 =

(d) 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2}$$

(2) フィメイルシアラグ（応力評価点 P 2）

a. 寸法

フィメイルシアラグの寸法を図 4-5 に示す。

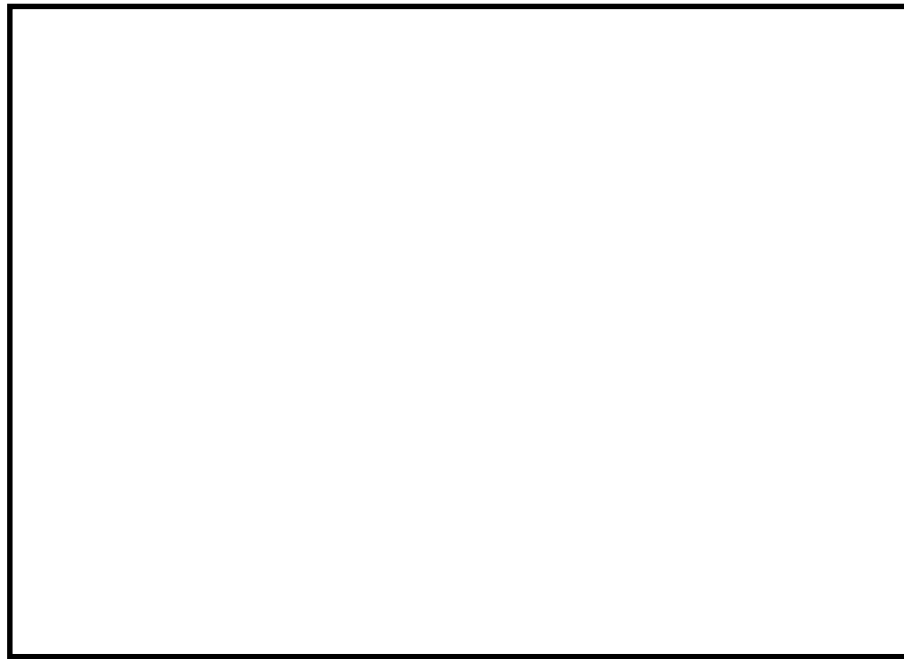


図 4-5 フィメイルシアラグ

b. せん断力及び曲げモーメント

フィメイルシアラグのせん断力及び曲げモーメントの荷重計算を表 4-16 に示す。

表 4-16 フィメイルシアラグの荷重計算

荷重の 組合せ \ 荷重	③部せん断力 F (N)	③部曲げモーメント M (N・mm)
$D + P_D + M_D + S_d^*$	$F = W =$	$M = F \cdot \ell_9$ = $\ell_9 =$
$D + P_D + M_D + S_s$	$F = W =$	$M = F \cdot \ell_9$ = $\ell_9 =$

c. ㊦部の応力

(a) 断面の形状

㊦部の断面の形状及び寸法を図 4-6 に示す。



図 4-6 ㊦部の溶接部の断面

(b) せん断応力

$$\tau = \frac{F}{A_w}$$

ここに,

A_w : 断面積 =

(c) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここに,

Z : X-X軸に関する断面係数 =

(d) 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \tau^2}$$

(3) ベースプレート及びアンカボルト（応力評価点 P 3 及び P 4）

a. 寸法

ベースプレート及びアンカボルトの形状及び寸法を図 4-7 に示す。



図 4-7 ベースプレート及びアンカボルト

b. せん断力及び曲げモーメント

「4. 4. 2. 1 (2) b. せん断力及び曲げモーメント」表 4-16 より求めたベースプレート及びアンカボルトに加わる荷重を表 4-17 に示す。

表 4-17 ベースプレート及びアンカボルトに加わる荷重

荷重 荷重の 組合せ	せん断力 F (N)	曲げモーメント M (N・mm/mm)
$D + P_D + M_D + S_d^*$		
$D + P_D + M_D + S_s$		

c. アンカボルトの応力

(a) 計算上の仮定

イ. アンカボルトを鉄筋とするベースプレートの形状の断面をもつ鉄筋コンクリート柱として計算する。

ロ. シアプレートはアンカとしての働きはもたないものとする。

(b) 計算方法

文献「S.P.Timoshenko : Strength of Materials Part. 1, D Van Nostrand Co. Inc. (1955)」の Chapter VII (48) と同様な方法で計算を行なう。

(c) コンクリートの支圧応力及びアンカボルトの引張応力

図 4-8 に示す計算モデルより力の釣合いとモーメントとの釣り合いからボルト引張応力 σ_s 及びボルトの下のコンクリート圧縮応力 σ_c を求める。

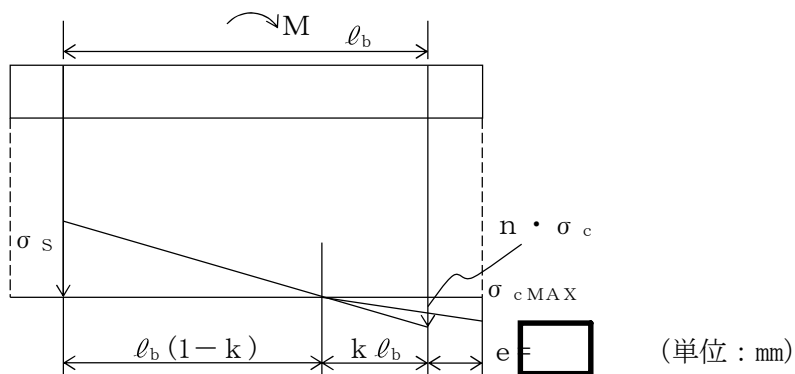


図 4-8 計算モデル

・力の釣合い

$$6 \cdot A_b \cdot \sigma_s - 6 \cdot A_b \cdot (n \cdot \sigma_c) - \frac{1}{2} \cdot A_c \cdot \sigma_{c \max} = 0$$

・モーメントの釣合い

$$M - 6 \cdot A_b \cdot \sigma_s \cdot (1 - k) \cdot \ell_b - 6 \cdot A_b \cdot n \cdot \sigma_c \cdot k \cdot \ell_b - \frac{1}{2} \sigma_{c \max} \cdot A_c \cdot \frac{2}{3} \cdot (k \cdot \ell_b + 62.5) = 0$$

ここに,

M : 最大曲げモーメント

$$\sigma_{c \max} : \text{コンクリートの最大圧縮応力} = \frac{(k \cdot \ell_b + e) \cdot \sigma_c}{k \cdot \ell_b}$$

k : 係数 = $1 / (1 + \sigma_s / n \cdot \sigma_c)$

E_s : ボルトの縦弾性係数

E_c : コンクリートの縦弾性係数

n : $E_s / E_c =$

A_b : ボルト 1 本の最小断面積 =

A_c : 圧縮側ベースプレート面積 = $(k \cdot \ell_b + e) \cdot \ell_{12}$

(d) アンカボルトのせん断応力

イ. せん断力

$$F_s = \frac{N_b \cdot d}{N_b \cdot d + N_P \cdot \ell_{17}} \cdot F$$

ここに,

N_b : アンカボルト数

N_P : シアプレート数

ロ. せん断応力

$$\tau = \frac{F_s}{N_b \cdot A_b}$$

d. ベースプレートの曲げ応力

ベースプレートにはモーメントによる反力がシアプレートによって区分された長方形板に加わるものとする。ベースプレート応力モデルを図 4-9 に示す。

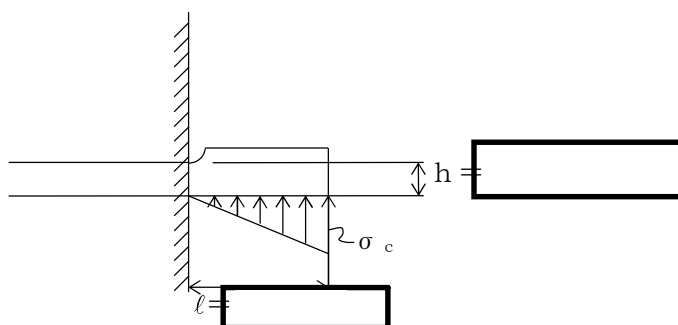


図 4-9 ベースプレート応力計算モデル

(a) 固定点の曲げモーメント

$$M = \frac{1}{3} \cdot \sigma_c \cdot l^2$$

(b) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここに,

Z : 断面係数 =

(4) シアプレート (応力評価点 P 5 及び P 8)

ベースプレートに加わるせん断力はアンカボルトとシアプレートに分配されるものとする。

また, ベースプレートとシアプレートの溶接部の脚長はシアプレートの厚さ (ℓ_{13}) より大きいので以下の計算はシアプレートの厚さの断面をもつ梁として行う。

a. 寸法

シアプレートの寸法を図 4-10 に示す。

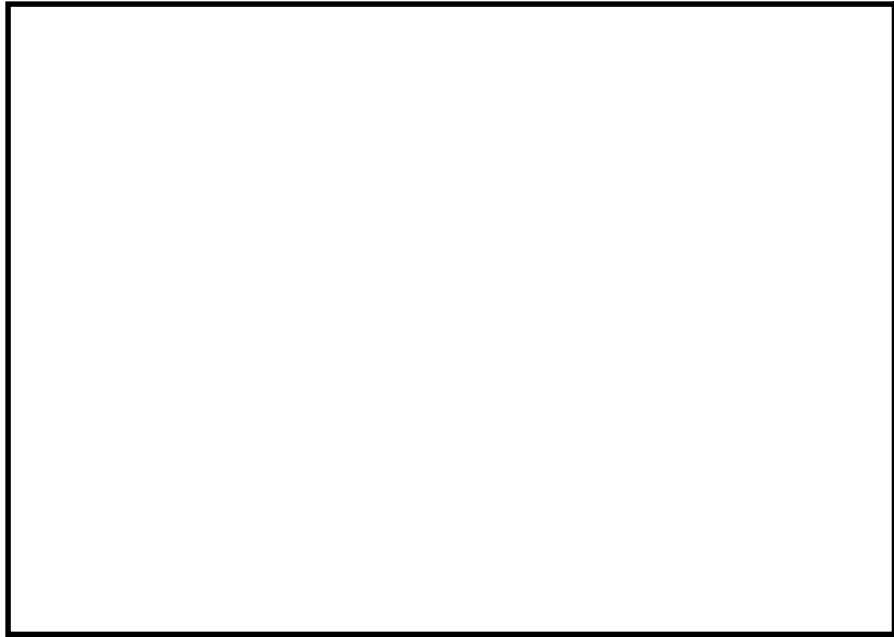


図 4-10 シアプレート

b. シアプレートの応力

(a) せん断力及び曲げモーメント

イ. せん断力

$$F_s = F' / N_P$$

ここに,

$$F' = \frac{N_P \cdot \ell_{17}}{N_b \cdot d + N_P \cdot \ell_{17}} \cdot W_1$$

ロ. 曲げモーメント

$$M = \frac{F_s \cdot \ell_{16}}{2}$$

(b) シアプレートの応力

イ. せん断応力

$$\tau = \frac{F_s}{A}$$

ここに,

$$A = \boxed{}$$

ロ. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここに,

$$Z = \boxed{}$$

ハ. 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2}$$

c. コンクリートの応力

(a) 支圧応力

$$\sigma_{cp} = \frac{F_s}{\ell_{16} \times \ell_{17}}$$

4.4.2.2 ダイヤフラムブラケット（応力評価点 P 6）

(1) 寸法

ダイヤフラムブラケットの寸法及び応力評価位置を図 4-11 に示す。

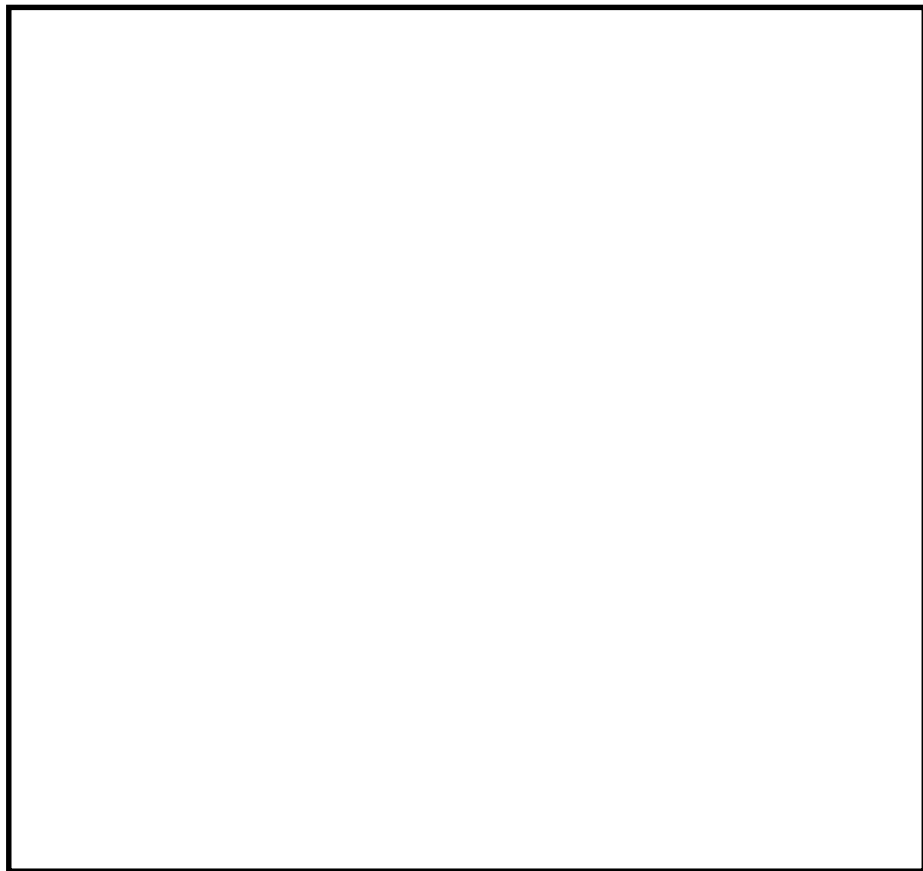


図 4-11 ダイヤフラムブラケット

- (2) せん断力
- ダイヤフラムブラケットのせん断力の荷重計算を表 4-18 に示す。

表 4-18 ダイヤフラムブラケットの荷重計算

荷重の 組合せ	荷重	◎部せん断力 F (N)
$D + P_D + M_D + S_d^*$		$F = W_2$
$D + P_D + M_D + S_s$		$F = W_2$

- (3) ◎部の応力
- a. 形状及び寸法
- ◎部の形状及び寸法を図 4-12 に示す。

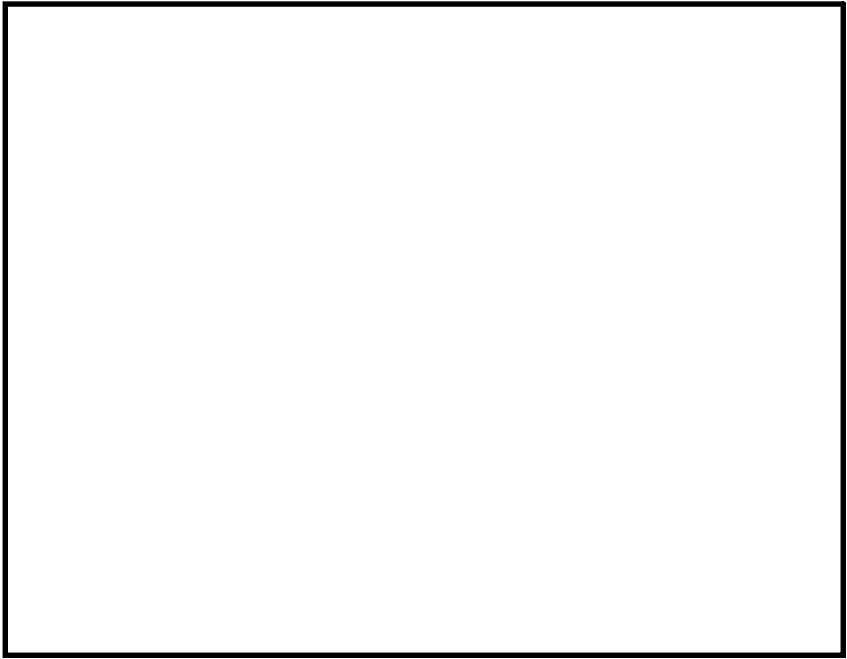


図 4-12 ◎部の溶接部の形状

- b. せん断応力
- $$\tau = \frac{F}{A_w}$$
- ここに
- $A_w =$

4.4.2.3 下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部（応力評価点 P 7）

荷重により上部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部に生じる応力の算出には、シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。

(1) 応力計算方法

a. 下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部に作用する荷重による応力

下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部に作用する荷重による応力は、図 4-13 の解析モデルを用いて算出する。機器の諸元を表 4-19 に示す。

b. 解析コード

解析コードはMSC NASTRANを用いる。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。

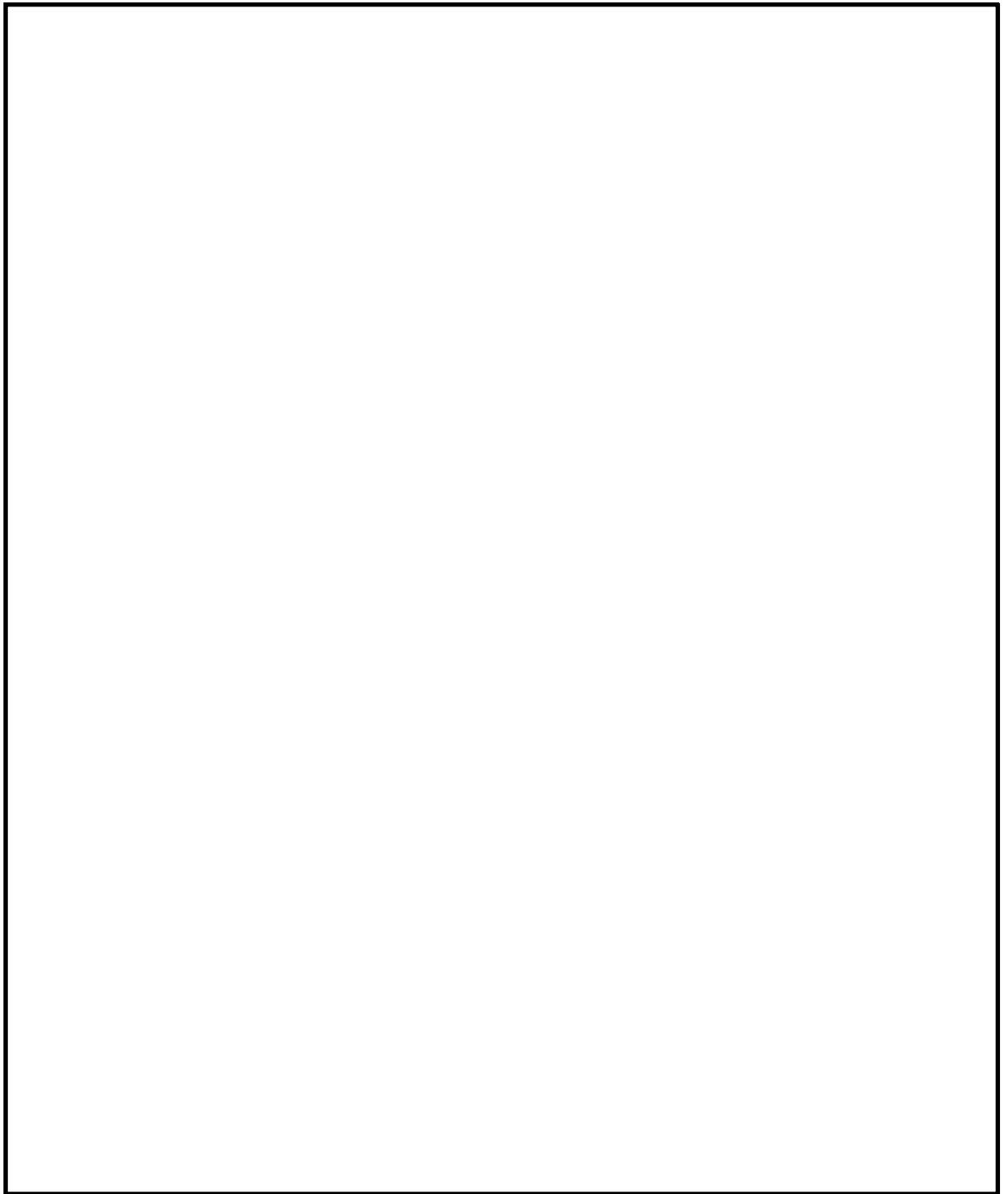


図 4-13 解析モデル

表 4-19 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
質量	m ₀	kg	—*
温度条件	T	℃	66(ドライウエル) 32(サプレッション・チェンバ)
縦弾性係数	E	MPa	200000(ドライウエル) 202000(サプレッション・チェンバ)
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	図4-13に記載の とおり
節点数	—	個	

注記 *：単位荷重による解析のため、質量の入力は不要。

4.5 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は、「4.2 荷重の組合せ及び許容限界」及び「4.3 設計用地震力」に示す。

4.6 応力の評価

「4.4 計算方法」で求めた応力は表 4-8、表 4-9 及び表 4-10 に記載される値以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

下部シアラグ及びダイヤフラムブラケ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。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅲ_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、 $D + P_D + M_D + S_d^*$ 及び $D + P + M + S_d^*$ の評価について記載している。

(2) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅳ_ASに対する応力評価結果を表 5-2 に示す。

表 4-1 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_D + M_D + S_s$ 及び $D + P + M + S_s$ 並びに $D + P_L + M_L + S_d^*$ の評価について記載している。

(3) 疲労評価

添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」において疲労解析は不要であることを確認している。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_d* 及び D + P + M + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
下部シアラグ 及び ダイヤフラム ブラケット	P 1	メイルシアラグ	曲げ応力	11	229	○	
			せん断応力	35	132	○	
			組合せ応力	62	229	○	
	P 2	フィメイル シアラグ	曲げ応力	31	229	○	
			せん断応力	36	132	○	
			組合せ応力	70	229	○	
	P 3	アンカボルト	引張応力	30	444	○	
			せん断応力	63	342	○	
	P 4	ベースプレート	曲げ応力	20	264	○	
	P 5	シアプレート	曲げ応力	119	264	○	
			せん断応力	14	132	○	
			組合せ応力	122	229	○	
	P 6	ダイヤフラムブラケット	せん断応力	18	132	○	
	P 7	下部シアラグと 原子炉格納容器胴との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	54	344	○	
			一次＋二次応力強さ	206	393	○	
	P 8	コンクリート部	支圧応力	8.0	22.0	○	

表 5-2(1) 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_s 及び D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
下部シアラグ 及び ダイヤフラム ブラケット	P 1	メイルシアラグ	曲げ応力	17	275	○	
			せん断応力	55	158	○	
			組合せ応力	97	275	○	
	P 2	フィメイル シアラグ	曲げ応力	48	275	○	
			せん断応力	55	158	○	
			組合せ応力	107	275	○	
	P 3	アンカボルト	引張応力	46	444	○	
			せん断応力	97	342	○	
	P 4	ベースプレート	曲げ応力	30	317	○	
	P 5	シアプレート	曲げ応力	215	317	○	
			せん断応力	24	158	○	
			組合せ応力	219	275	○	
	P 6	ダイヤフラムブラケット	せん断応力	23	158	○	
	P 7	下部シアラグと 原子炉格納容器胴との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	86	380	○	
			一次＋二次応力強さ	334	393	○	
	P 8	コンクリート部	支圧応力	4. 4	22. 0	○	

表 5-2(2) 許容応力状態 $IV_A S$ に対する評価結果 ($D + P_L + M_L + S_d^*$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	$IV_A S$		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
下部シアラグ 及び ダイヤフラム ブラケット	P 7	下部シアラグと 原子炉格納容器胴との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	77	380	○	
			一次＋二次応力強さ	206	393	○	

V-2-9-2-5 原子炉格納容器胴アンカ部の耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用基準	3
2.4	記号の説明	4
2.5	計算精度と数値の丸め方	6
3.	評価部位	7
4.	構造強度評価	8
4.1	構造強度評価方法	8
4.2	荷重の組合せ及び許容限界	8
4.3	設計用地震力	16
4.4	計算方法	16
4.5	計算条件	23
4.6	応力の評価	23
5.	評価結果	24
5.1	設計基準対象施設としての評価結果	24
5.2	重大事故等対処設備としての評価結果	28

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、胴アンカ部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。

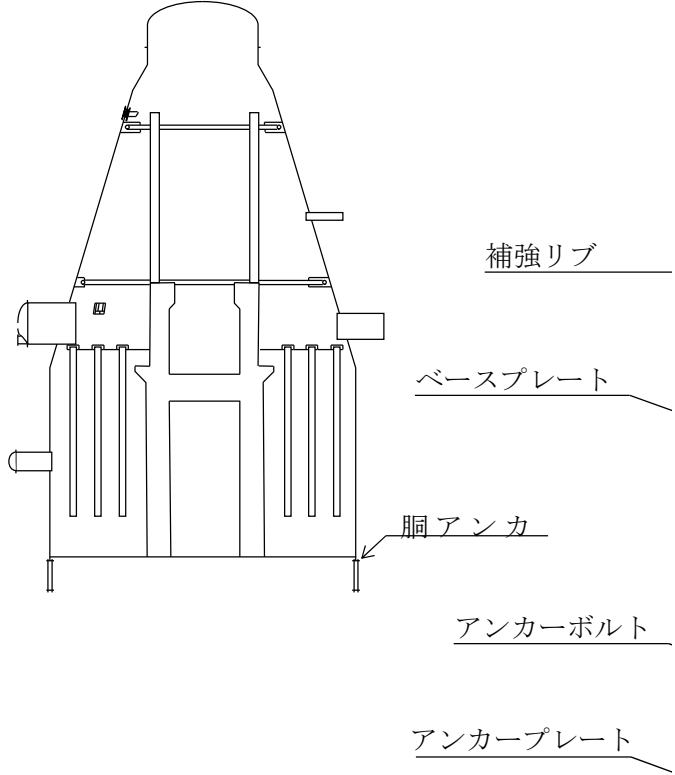
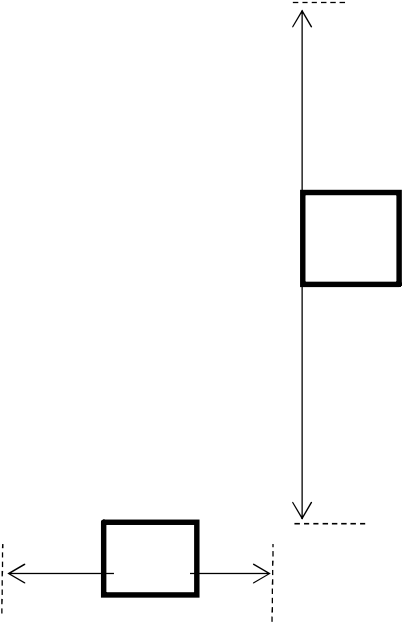
胴アンカ部は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

胴アンカ部の構造計画を表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	
炉心を中心に直径約 m の円筒形の基礎で, 原子炉格納容器底部コンクリートマットと一体となっている。	胴アンカ部は, 原子炉格納容器底部コンクリートマットにアンカボルトで一体化され, 鉛直方向地震荷重は, このアンカボルトを介して原子炉格納容器底部コンクリートマットに伝達させる。	 補強リブ ベースプレート 胴アンカ アンカーボルト アンカープレート 注記 * : ベースプレート下部は コンクリートに埋め込まれている。  胴アンカ部拡大図 (単位 : mm)

2.2 評価方針

胴アンカ部の応力評価は、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み合わせ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す胴アンカ部の部位を踏まえた「3. 評価部位」にて設定する箇所において、地震により評価部位に作用する荷重で発生する応力等が許容限界に収まることを、「4. 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。

胴アンカ部の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

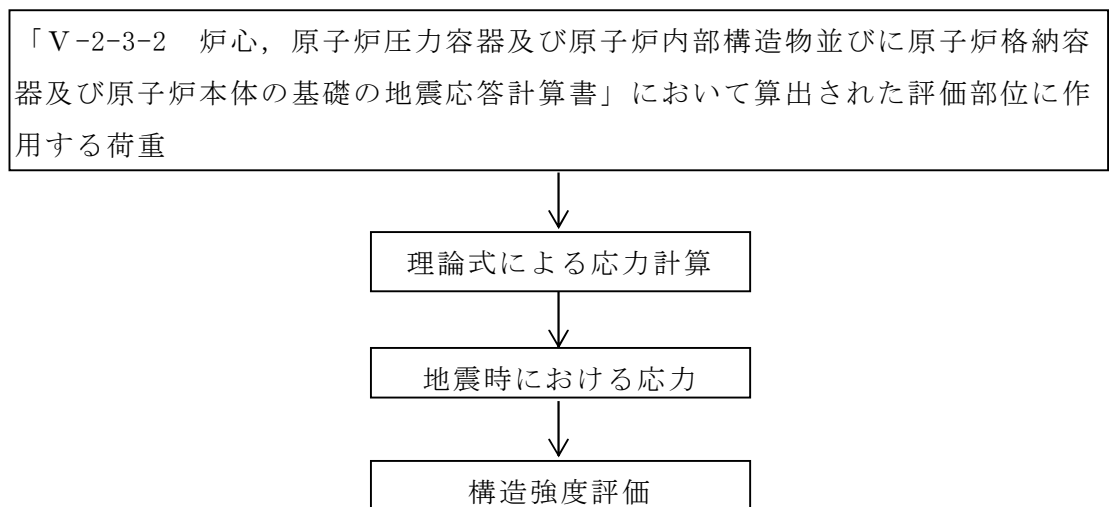


図 2-1 胴アンカ部の耐震評価フロー

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 J E A G 4 6 0 1 - 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 J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984 (日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 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。)) J S M E S N C 1 - 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	ベースプレートの曲げ応力算出に用いる平板の固定された辺の長さ	mm
A_1	等価円筒の面積	mm ²
A_2	補強リブ及びサプレッション・チェンバ本体の溶接部の断面積	mm ²
A_3	補強リブ及びサプレッション・チェンバ本体の断面積	mm ²
A_{B1}	ボルトの最大直径有効断面積	mm ²
A_{B2}	ボルトの谷径有効断面積	mm ²
A_p	アンカプレートと接するコンクリートの面積	mm ²
b	ベースプレートの曲げ応力算出に用いる平板の支持された辺の長さ	mm
b'	サプレッション・チェンバ本体の厚さ	mm
b''	補強リブの厚さ	mm
C_t	$e > r$ の場合のアンカボルトの引張り応力を求めるための係数	—
C_c	$e > r$ の場合のコンクリートの圧縮応力を求めるための係数	—
d	円周上 2 列のボルトサークルの平均径	mm
d_{B1}	アンカボルトの最大直径	mm
d_{B2}	アンカボルトの谷径	mm
d_p	アンカプレートの穴部の径	mm
D_{B1}	胴アンカ直径（外側ボルトの中心間）（図 3-1 参照）	mm
D_{B2}	胴アンカ直径（内側ボルトの中心間）（図 3-1 参照）	mm
e	アンカボルトに垂直荷重及びモーメントを受ける場合、断面に働く外力の合力の作用点が断面の中心から偏心する距離	mm
E	ボルトの縦弾性係数	MPa
E_c	コンクリートの縦弾性係数	MPa
F	せん断力	N
f_b	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	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	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	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
j	W_t と W_c の作用点間の距離と d との比	—
ℓ_{Bi}	ボルト各部の寸法 ($i=1, 2, 3$) (図 3-1 参照)	mm
ℓ_{BPO}	外側ボルト間の距離 (図 3-1 参照)	mm
ℓ_{BPI}	内側ボルト間の距離 (図 3-1 参照)	mm
ℓ_i	胴アンカ各部の寸法 ($i=1, 2, 3, \dots$) (図 3-1 参照)	mm
ℓ_R	補強リブ間の距離（円周方向） (図 3-1 参照)	mm
M	アンカプレートの発生するモーメント	N・mm
M_o	アンカボルトに作用するモーメント	N・mm
n	E_s/E_c	—
n_R	補強リブの数	—
n_{WC}	最大圧縮応力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
N_b	アンカボルトの本数	本
P	t_1 / t_2	—
q	ベースプレートの曲げ応力算出に用いる等価分布荷重	N
r	円周上 2 列のボルトサークルの平均径の 1/2 ($d/2$)	mm
t	ベースプレートの曲げ応力算出に用いる平板の厚さ	mm
t_1	アンカボルトの等価円筒の板厚	mm
t_2	圧縮側のコンクリートの板厚	mm
w_c	ベースプレートと接するコンクリートの圧縮応力	N/mm ²
W_c	圧縮側で受ける全圧縮力	N
w_t	最大引張応力	MPa
W_t	引張側で受ける全引張力	N
W_v	アンカボルトに作用する垂直荷重	N
Z_1	等価円筒の断面二次モーメント	mm ⁴
Z_2	スカートを中心線と中立軸の間の距離を Z_d とする係数	—
Z_d	$e > r$ の場合のスカートを中心線と中立軸の間の距離	mm
Z_{D-D}	アンカプレートの断面二次モーメント	mm ⁴
α	$e > r$ の場合の等価円筒での引張りと圧縮力が釣合う位置での円周における角度	rad
β	R. J. ROARK "FORMULAS FOR STRESS AND STRAIN" 4TH EDITION の 227 ページ TABLE45 に示される 1 辺固定, 1 辺自由, 2 辺支持の平板に等分布荷重が加わるものと仮定して計算した値	—
δ_B	アンカボルトの伸び量	mm
σ	補強リブ及びサプレッション・チェンバ本体の溶接部の合成応力	MPa
σ_{b1}	アンカプレートの曲げ応力	MPa
σ_{b2}	ベースプレートの曲げ応力	MPa
σ_c	補強リブ及びサプレッション・チェンバ本体の圧縮応力	MPa
σ_{cc}	アンカプレートと接するコンクリートの圧縮応力	N/mm ²
σ_t	サプレッション・チェンバ本体及び補強リブの溶接部の引張応力	MPa
τ	サプレッション・チェンバ本体及び補強リブの溶接部のせん断応力	MPa
τ_c	アンカプレートによるコンクリートのせん断力	N/mm 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
温度* ¹	℃	—	—	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 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁* ²
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁* ²
胴アンカ 算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
コンクリート 算出応力	N/mm ²	小数点以下第 2 位	切上げ	小数点以下第 1 位
胴アンカ 許容応力* ³	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
コンクリート 許容応力* ³	N/mm ²	小数点以下第 2 位	切捨て	小数点以下第 1 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

胴アンカ部の形状及び主要寸法を図3-1に, 使用材料及び使用部位を表3-1に示す。

NT2 補③ V-2-9-2-5 R0

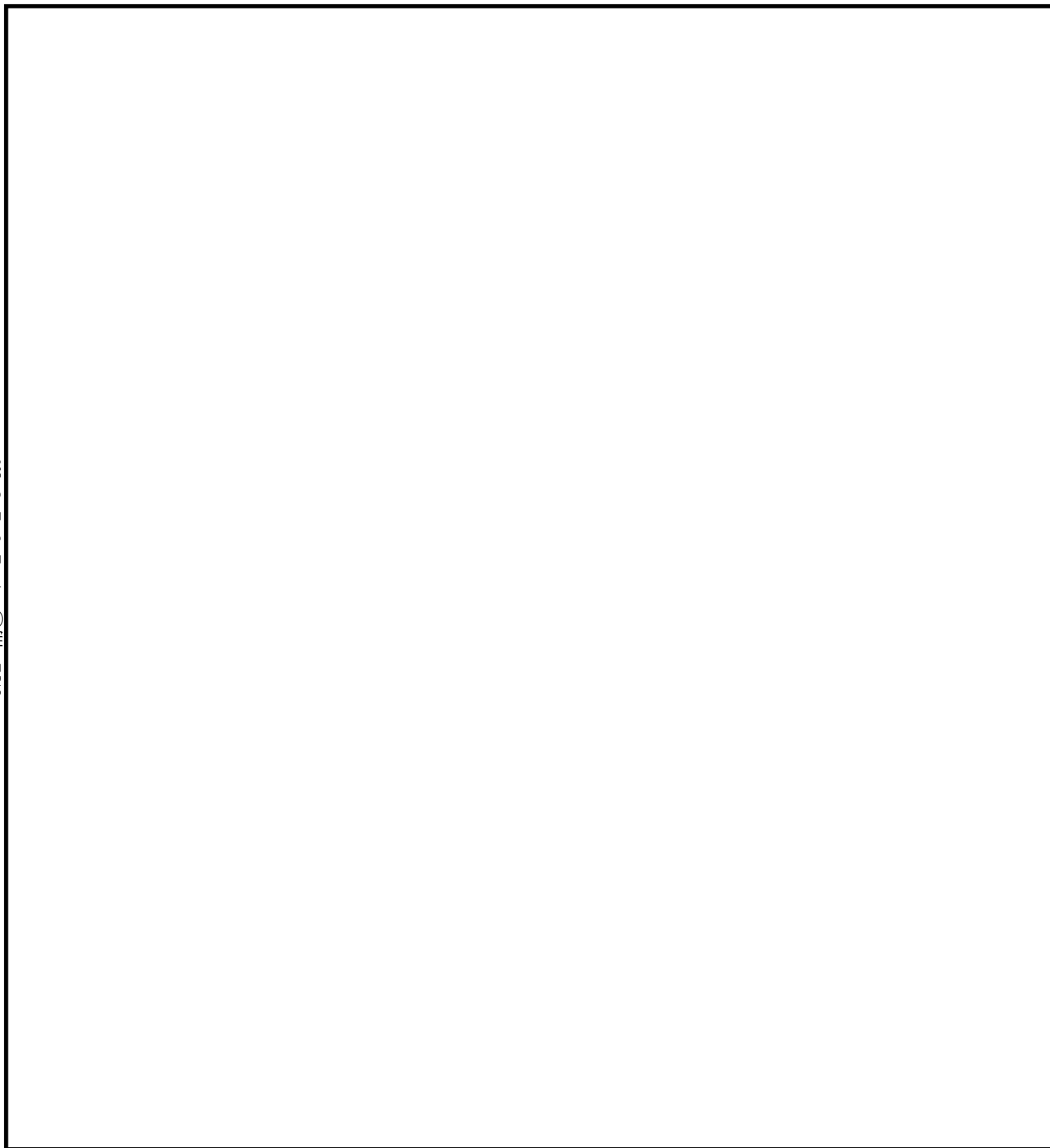


図 3-1 胴アンカ部の形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

使用部位	使用材料		備考
アンカボルト	GBL(5 種)相当		GBL1～GBL5*
ベースプレート	SGV49 相当		SGV480*
補強リブ	SGV49 相当		SGV480*
アンカプレート	SGV49 相当		SGV480*

注記 *：新 JIS を示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 胴アンカ部は、原子炉格納容器底部コンクリートマットにアンカボルトで一体化され、鉛直方向地震荷重は、このアンカボルトを介して原子炉格納容器底部コンクリートマットに伝達させる。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本体の基礎の地震応答計算書」において計算された荷重等を用いて、構造強度評価を行う。
- (2) 構造評価に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容限界

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

胴アンカ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。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。荷重の組合せは、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。

4.2.2 許容限界

胴アンカの許容限界を表 4-3 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

胴アンカ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 及び表 4-5 に、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。また、使用材料の許容応力を表 4-8 から表 4-11 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*1		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	胴アンカ部	S	格納容器支持構造物	$D + P + M + S_d^*$	(9, 10, 15)	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	(11, 12)	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^*$	(16)	Ⅳ _A S

注記 *1: () 内は添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表3-10 設計基準対処施設の荷重の組合せのNo.を示す。

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*2		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	胴アンカ部	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2支持構造物	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(SA8)	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	(SA6)	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)

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

*2: () 内は添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表3-11 重大事故等時の荷重の組合せのNo.を示す。

表4-3 許容限界（クラスMC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, *3 (ボルト等以外)										許容限界 *2, *4 (ボルト等)		形式試験に よる割合
	一次応力					一次＋二次応力					一次応力		許容荷重
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈 *5	引張	せん断	
Ⅲ _A S	1.5・f _t	1.5・f _s	1.5・f _c	1.5・f _b	1.5・f _p	3・f _t	3・f _s	3・f _c	1.5・f _b	1.5・f _p	1.5・f _t	1.5・f _s	$T_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{yd}}{S_{yt}}$
Ⅳ _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]	1.5・f _c [*]	1.5・f _b [*]	1.5・f _p [*]	3・f _t	3・f _s ^{*6}	3・f _c ^{*7}	1.5・f _b [*]	1.5・f _p ^{*8}	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]	$T_L \cdot 0.6 \cdot \frac{S_{yd}}{S_{yt}}$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A Sと してⅣ _A S の許容限界 を用いる。)	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]	1.5・f _c [*]	1.5・f _b [*]	1.5・f _p [*]	3・f _t	3・f _s ^{*6}	3・f _c ^{*7}	1.5・f _b [*]	^{*8} 1.5・f _b 1.5・f _s 又は 1.5・f _t	^{*7, *8} 1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]	

注記 *1:「鋼構造設計規準 SI単位版」(2002年日本建築学会)等の幅厚比の制限を満足させる。

*2:応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*3:耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては、耐圧部と同じ許容応力とする。

*4:コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって、トルク管理、材料の照合等を行わないものについては、材料の品質、据付状態等のゆらぎ等を考慮して、Ⅳ_AS→Ⅲ_AS（一次引張応力に対しては $1.5 \cdot f_t$ 、一次せん断応力に対しては $1.5 \cdot f_s$ ）として応力評価を行う。

*5:薄肉円筒形状のものの座屈の評価にあつては、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*6:すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 \cdot f_s$ とする。

*7:設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_b とする。

*8:自重、熱膨張等により常時作用する荷重に、地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

表4-4 使用材料（アンカボルト）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 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
アンカボルト	GBL1～GBL5	周囲環境 温度	104.5	—	678	862	—

表4-5 使用材料（ベースプレート、補強リブ、アンカプレート）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 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ベースプレート 補強リブ アンカプレート	SGV480	周囲環境 温度	104.5	—	237	430	—

表4-6 使用材料（アンカボルト）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 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
アンカボルト	GBL1～GBL5	周囲環境 温度	150	—	659	862	—
		周囲環境 温度	171	—	648	862	—

表4-7 使用材料（ベースプレート，補強リブ，アンカプレート）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 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ベースプレート 補強リブ アンカプレート	SGV480	周囲環境 温度	150	—	232	424	—
		周囲環境 温度	171	—	229	423	—

表 4-8 胴アンカ部の許容応力（設計基準対象施設）

（単位：MPa）

材料	温度 (℃)	許容応力 状態	基準 応力 F	許容応力（一次応力）				
				引張り f_t	曲げ f_b	せん断 f_s	圧縮 f_c	組合せ f_t
SGV480	104.5	Ⅲ _A S	237	237	273	136	223	237
		Ⅳ _A S	284	284	328	164	264	284
GBL1～GBL5	104.5	Ⅲ _A S	603	452	—	—	—	—
		Ⅳ _A S	603	452	—	—	—	—

表 4-9 コンクリートの許容応力（設計基準対象施設）

（単位：N/mm²）

材料	許容応力 状態	基準強度 F _c	圧縮応力 f _c	せん断応力 f _s
コンクリート	Ⅲ _A S	22.0	14.6	1.0
	Ⅳ _A S	22.0	18.7	1.0

表 4-10 胴アンカ部の許容応力（重大事故等対処設備）

（単位：MPa）

材料	温度 (℃)	許容応力 状態	基準 応力 F	許容応力（一次応力）				
				引張り f_t	曲げ f_b	せん断 f_s	圧縮 f_c	組合せ f_t
SGV480	150	V _A S	278	278	321	160	—	278
	171	V _A S	275	275	317	158	—	275
GBL1～GBL5	150	V _A S	603	452	—	—	—	—
	171	V _A S	603	452	—	—	—	—

表 4-11 コンクリートの許容応力（重大事故等対処設備）

（単位：N/mm²）

材料	許容応力 状態	基準強度 F _c	圧縮応力 f _c	せん断応力 f _s
コンクリート	V _A S	22.0	18.7	1.0

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

内圧 P_D	310 kPa
温度 T_D	104.5 °C

(2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SAL}	465 kPa (SA 後長期)
内圧 P_{SALL}	196 kPa (SA 後長々期)
温度 T_{SAL}	171 °C (SA 後長期)
温度 T_{SALL}	150 °C (SA 後長々期)

(3) 自重 (胴部)

$1.18 \times 10^7 \text{ N}$

(4) 水荷重

サプレッション・チェンバ内保有水のうち、リングガード上にある水の重量は、原子炉格納容器側に加わるものと仮定する。

燃料交換時	$2.48 \times 10^6 \text{ N}$
通常運転時	$8.24 \times 10^5 \text{ N}$
事故時	$9.41 \times 10^5 \text{ N}$

(5) 活荷重

燃料交換時	$5.15 \times 10^6 \text{ N}$
燃料交換時以外	$4.27 \times 10^6 \text{ N}$

(6) 地震荷重

原子炉格納容器に加わる地震荷重について、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」において計算された計算結果を用いる。応力計算に用いる鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-12 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-13 に示す。弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s による水平方向地震荷重のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-14 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-15 に示す。

表 4-12 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）

(単位：N)

通常運転時			燃料交換時		
鉛直荷重	地震荷重		鉛直荷重	地震荷重	
	S_d^*	S_s		S_d^*	S_s
2.09×10^7	1.38×10^7	2.45×10^7	2.31×10^7	1.53×10^7	2.71×10^7

表 4-13 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）

(単位：N)

重大事故等時		
鉛直荷重	地震荷重	
	S_d	S_s
9.08×10^7	6.00×10^7	1.07×10^8

表 4-14 水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

弾性設計用地震動 S_d 又は静的 地震力による地震荷重		基準地震動 S_s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.32×10^7	4.36×10^{11}	3.98×10^7	8.49×10^{11}

表 4-15 水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S_d による地震荷重		基準地震動 S_s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.32×10^7	4.36×10^{11}	3.98×10^7	8.49×10^{11}

4.3 設計用地震力

4.2.4(6)地震荷重に示す添付書類「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」で算出された荷重を用いる。

4.4 計算方法

4.4.1 応力評価点

胴アンカの応力評価点は，胴アンカを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し，発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-16 及び図 4-1 に示す。

表 4-16 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	アンカボルト
P 2	コンクリート
P 3	アンカプレート
P 4	補強リブ
P 5	ベースプレート



図 4-1 応力評価点

4.4.2 応力計算方法

4.4.2.1 アンカボルト及びコンクリート（応力評価点 P 1 及び P 2）

(1) 設計荷重

アンカボルトに加わる軸力及びモーメントを表 4-17 及び表 4-18 に示す。

表 4-17 アンカボルトの荷重（設計基準対象施設）

荷重 荷重の組合せ	軸力* (N)		モーメント (N・mm)
	通常運転時	燃料交換時	
$D + P + M + S_d^*$	7.10×10^6	7.80×10^6	4.36×10^{11}
$D + P + M + S_s$	-3.60×10^6	-4.00×10^6	8.49×10^{11}
$D + P_L + M_L + S_d$	-1.56×10^8	—	4.36×10^{11}

注記 *：下方向を正とする。

表 4-18 アンカボルトの荷重（重大事故等対処設備）

荷重 荷重の組合せ	軸力 (N)	モーメント (N・mm)
$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	-1.22×10^8	8.49×10^{11}
$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	-2.15×10^8	4.36×10^{11}

(2) アンカボルト及びコンクリートの応力

アンカボルトの応力は次に示す仮定にもとづいて計算する。

- ① アンカボルトの等価円筒及び荷重分布は図 4-2 に示す円周上 2 列のボルトサークルの平均径とする。また、そのボルトサークル上にボルトの全本数がある。
- ② 応力は最大引張応力 (w_t) から最大圧縮応力 ($n w_c$) まで直線的に変化する。
- ③ アンカボルトに加わる荷重は平均径のサークル上のボルトの全断面積に等しい厚さの等価円筒に加わるものとする。

アンカボルトに垂直荷重及びモーメントを受ける場合、断面に働く外力の合力の作用点が断面の中心から偏心する距離 e は次式によって得られる。

$$e = \frac{M_o}{W_V}$$

a. アンカボルトの等価円筒の板厚

$$t_1 = \frac{N_b \times \frac{\pi}{4} \times d_{B2}^2}{\pi \times \frac{D_{B1} + D_{B2}}{2}} = 9.51 \text{ mm}$$

b. 圧縮側のコンクリートの板厚

$$t_2 = \ell_{11} = 500 \text{ mm}$$

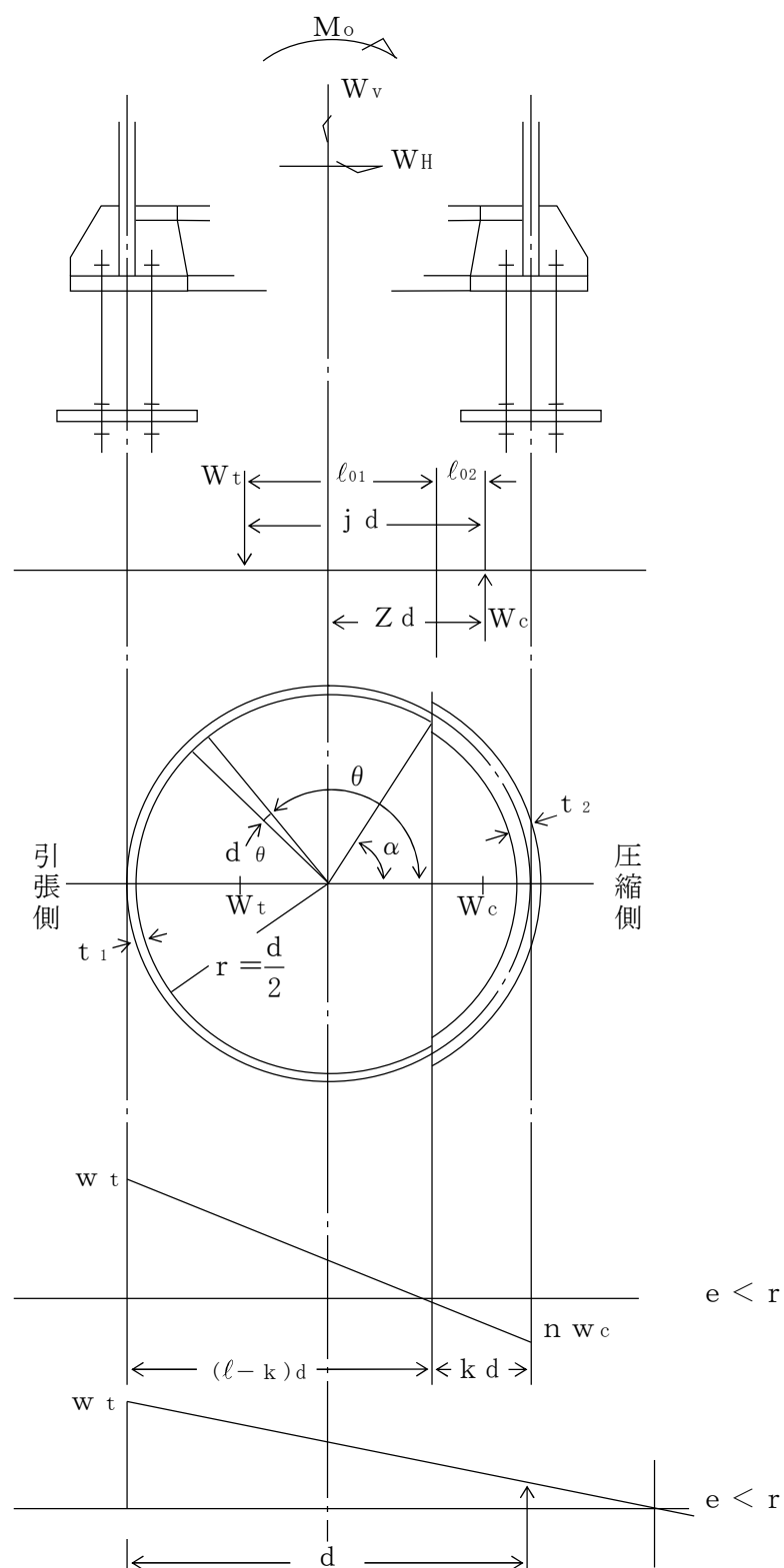


図 4-2 アンカボルトの等価円筒及び荷重分布

c. $e < r$ の場合（全面引張）

アンカボルトの引張応力の最大値は次式により得られる。

$$w_t = \frac{W_v}{A_1} + \frac{M_o}{Z_1}$$

ここで,

$$A_1 = \pi \cdot d \cdot t_1$$

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(d + t_1)^4 - (d - t_1)^4}{d + t_1}$$

d. $e > r$ の場合

(a) 引張側で受ける全引張力

$$W_t = \frac{M_o - W_v \cdot Z_2 \cdot d}{j \cdot d}$$

ここで,

j : W_t と W_c の作用点間の距離と d との比

$$= \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cdot \cos^2 \alpha + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha)}{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha} \right\} \\ + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{\alpha \cos^2 \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \frac{1}{2} \cdot \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} \right\}$$

Z_2 : スカートの中心線と中立軸の間の距離を Z_d とする係数

$$= \frac{1}{2} \cdot \left\{ \cos \alpha + \frac{\alpha \cos^2 \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \frac{1}{2} \cdot \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} \right\}$$

α : 以下の式から求める。

$$e/r = \frac{(1 - P - n \cdot P) \cdot (\alpha - \sin \alpha \cdot \cos \alpha) + \pi \cdot n \cdot P}{2 \cdot \{(1 - P - n \cdot P) \cdot (\sin \alpha - \alpha \cos \alpha) - \pi \cdot n \cdot P \cdot \cos \alpha\}}$$

ここで,

$$P = \frac{t_1}{t_2}$$

$$n = \frac{E}{E_c} = 10$$

(b) 圧縮側で受ける全圧縮力

$$W_c = W_t + W_v$$

(c) アンカボルトの引張応力

$$w_t = \frac{W_t}{t_1 \cdot r \cdot C_t}$$

ここで,

$$C_t = \frac{2}{1 + \cos \alpha} \cdot \{(\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha\}$$

(d) コンクリートの圧縮応力

$$w_c = \frac{W_c}{t_2 \cdot r \cdot C_c}$$

ここで,

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha}$$

(3) アンカボルトの伸び量

$$\delta_B = \frac{w_t}{E} \cdot \left\{ \frac{A_{B1}}{A_{B2}} \cdot (\ell_{B2} + \ell_{B3}) + \ell_{B1} \right\}$$

ここで,

$$A_{B1} : \text{ボルトの最大直径有効断面積} = \pi / 4 \cdot d_{B1}^2 = 1.963 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$A_{B2} : \text{ボルトの谷径有効断面積} = \pi / 4 \cdot d_{B2}^2 = 1.424 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$E : \text{ボルトの縦弾性係数} = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$$

4.4.2.3 補強リブ及びベースプレート（応力評価点 P 4 及び P 5）

(1) 設計荷重

補強リブ及びベースプレートに加わるせん断力を表 4-19 及び表 4-20 に示す。

表 4-19 補強リブ及びベースプレートの荷重（設計基準対象施設）

荷重 荷重の組合せ	せん断力 (N)
$D + P + M + S_d^*$	2.32×10^7
$D + P + M + S_s$	3.98×10^7
$D + P_L + M_L + S_d$	2.32×10^7

表 4-20 補強リブ及びベースプレートの荷重（重大事故等対処設備）

荷重 荷重の組合せ	せん断力 (N)
$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	3.98×10^7
$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	2.32×10^7

(2) サプレッション・チェンバ本体及び補強リブの溶接部の応力

a. 引張応力

$$\sigma_t = \frac{w_t \cdot t_1 \cdot \ell_R}{A_2}$$

ここで、

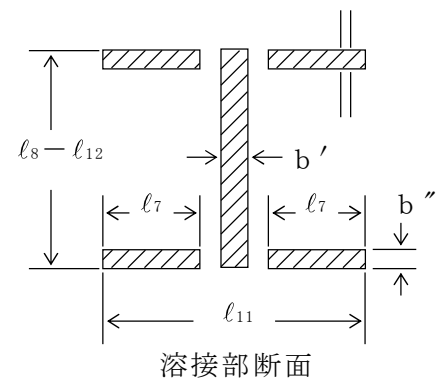
$$b' = \ell_6 = 38 \text{ mm}$$

$$b'' = \ell_{12} = 22 \text{ mm}$$

$$\ell_7 = 191 \text{ mm}$$

A_2 ：溶接部の断面積

$$= 2 \cdot b'' \cdot \ell_7 + b' \cdot (\ell_R - \ell_{12}) = 3.037 \times 10^4 \text{ mm}^2$$



溶接部断面

b. せん断応力

$$\tau = \frac{F}{n_R \cdot A_2}$$

ここで、

n_R ：補強リブの数 = 136

F ：せん断力

c. 合成応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

(3) 補強リブ及びサプレッション・チェンバ本体の圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{w_c \cdot t_2 \cdot \ell_R}{A_3}$$

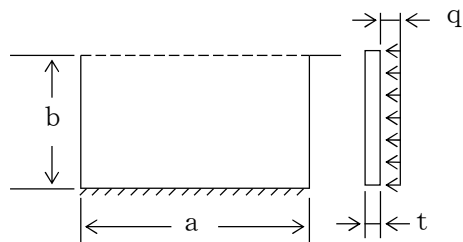
ここで,

A_3 : 補強リブ及びサプレッション・チェンバ本体の断面積

$$= \ell_6 \cdot \ell_R + \ell_8 \cdot \ell_{12} = 2.632 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

(4) ベースプレートの曲げ応力

$$\sigma_{b2} = \frac{\beta \cdot b^2}{t^2} \cdot q$$



ここで,

β : R. J. ROARK "FORMULAS FOR STRESS AND STRAIN" 4TH EDITION の 227 ページ
TABLE45 に示される 1 辺固定, 1 辺自由, 2 辺支持の平板に等分布荷重が加わるものと仮定して計算した値

$$\beta = 2.304$$

$$a: \ell_R = 600.0 \text{ mm}$$

$$b: \ell_9 = \ell_{10} = 231 \text{ mm}$$

$$t: \ell_3 = 60 \text{ mm}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{600.0}{231} = 2.597$$

q : 引張側

$$= \frac{w_t \cdot t_1 \cdot \ell_R}{2 \cdot a \cdot b}$$

q : 圧縮側

$$= \frac{w_c \cdot t_2 \cdot \ell_R}{2 \cdot a \cdot b}$$

4.5 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限界及び 4.3 項 設計用地震力に示す。

4.6 応力の評価

4.4 項 計算方法で求めた応力は表 4-8 から表 4-11 に記載される値以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

胴アンカ部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。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価

許容応力状態Ⅲ_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、 $D + P + M + S_d^*$ の評価について記載している。

(2) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価

許容応力状態Ⅳ_AS に対する応力評価結果を表 5-2 に示す。

表 4-1 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_s$ 及び $D + P_L + M_L + S_d$ の評価について、それぞれ発生値が高い方の評価を記載している。

(3) 疲労評価

添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」において疲労解析は不要であることを確認している。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する応力評価結果 (D + P + M + S_d*)

評価対象設備	評価部位	応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
			発生値	許容値		
			MPa	MPa		
胴アンカ部	アンカボルト	引張応力	59	452	○	
	アンカプレート	曲げ応力	22	273	○	
	ベースプレート	曲げ応力 (引張側)	42	273	○	
		曲げ応力 (圧縮側)	111	273	○	
	補強リブ	引張応力	11	237	○	
		圧縮応力	35	223	○	
		せん断応力	6	136	○	
		組合せ応力	16	237	○	
	コンクリート	圧縮応力	1.4	14.6	○	単位 N/mm ²
		せん断応力	0.2	1.0	○	単位 N/mm ²

表 5-2(1) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する応力評価結果 (D + P_L + M_L + S_d*) (その 1)

評価対象設備	評価部位	応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
			発生値	許容値		
			MPa	MPa		
胴アンカ部	アンカボルト	引張応力	288	452	○	
	アンカプレート	曲げ応力	106	328	○	
	ベースプレート	曲げ応力 (引張側)	203	328	○	
		曲げ応力 (圧縮側)	—	—	—	
	補強リブ	引張応力	55	284	○	
		圧縮応力	—	—	—	
		せん断応力	6	164	○	
		組合せ応力	56	284	○	
	コンクリート	圧縮応力	6.8	18.7	○	単位 N/mm ²
		せん断応力	0.6	1.0	○	単位 N/mm ²

表 5-2(2) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する応力評価結果 (D + P + M + S_s) (その 2)

評価対象設備	評価部位	応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
			発生値	許容値		
			MPa	MPa		
胴アンカ部	アンカボルト	引張応力	141	452	○	
	アンカプレート	曲げ応力	54	328	○	
	ベースプレート	曲げ応力 (引張側)	100	328	○	
		曲げ応力 (圧縮側)	185	328	○	
	補強リブ	引張応力	27	284	○	
		圧縮応力	57	264	○	
		せん断応力	10	164	○	
		組合せ応力	32	284	○	
	コンクリート	圧縮応力	3.3	18.7	○	単位 N/mm ²
		せん断応力	0.3	1.0	○	単位 N/mm ²

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

胴アンカ部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。発生値は許容値を満足しており、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 5-3 に示す。

表 4-2 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ 及び $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ の評価について、それぞれ発生値が高い方の評価を記載している。

(2) 疲労評価

添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」において疲労解析は不要であることを確認している。

表 5-3(1) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^*$) (その 1)

評価対象設備	評価部位	応力分類	$V_A S$		判定	備考
			発生値	許容値		
			MPa	MPa		
胴アンカ部	アンカボルト	引張応力	364	452	○	
	アンカプレート	曲げ応力	134	317	○	
	ベースプレート	曲げ応力 (引張側)	256	317	○	
		曲げ応力 (圧縮側)	—	—	—	
	補強リブ	引張応力	69	275	○	
		圧縮応力	—	—	—	
		せん断応力	6	160	○	
		組合せ応力	70	275	○	
	コンクリート	圧縮応力	8.6	18.7	○	単位 N/mm ²
		せん断応力	0.7	1.0	○	単位 N/mm ²

表 5-3(2) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S$) (その 2)

評価対象設備	評価部位	応力分類	$V_A S$		判定	備考
			発生値	評価基準値		
			MPa	MPa		
胴アンカ部	アンカボルト	引張応力	327	452	○	
	アンカプレート	曲げ応力	212	317	○	
	ベースプレート	曲げ応力 (引張側)	230	317	○	
		曲げ応力 (圧縮側)	—	—	—	
	補強リブ	引張応力	62	275	○	
		圧縮応力	—	—	—	
		せん断応力	10	160	○	
		組合せ応力	65	275	○	
	コンクリート	圧縮応力	7.7	18.7	○	単位 N/mm ²
		せん断応力	0.7	1.0	○	単位 N/mm ²

V-2-9-2-6 機器搬入用ハッチ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	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限界	8
4.3 解析モデル及び諸元	16
4.4 固有周期	18
4.5 設計用地震力	20
4.6 計算方法	21
4.7 計算条件	23
4.8 応力の評価	23
5. 評価結果	24
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	24
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	30

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」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、機器搬入用ハッチ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。

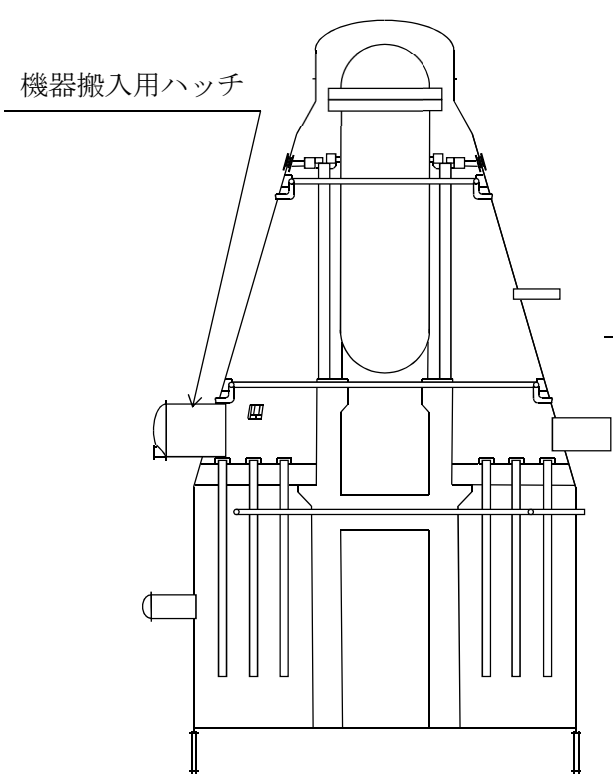
機器搬入用ハッチは設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

機器搬入用ハッチの構造計画を表 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	
・機器搬入用ハッチは原子炉格納容器のドライウエル円錐部に溶接で支持される	内径 mm, 板厚 mm, 長さ mm の円筒胴及び板厚 mm の鏡板で構成される鋼製構造物である。	機器搬入用ハッチ  機器搬入用ハッチ取付部 フランジ 円筒胴 鏡板 ヒンジ部 ドライウエル円錐部 機器搬入用ハッチ 拡大図 (単位：mm)

2.2 評価方針

機器搬入用ハッチの応力評価は、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み合わせ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す機器搬入用ハッチの部位を踏まえた「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応力等が許容限界に収まることを、「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。

機器搬出入用ハッチの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

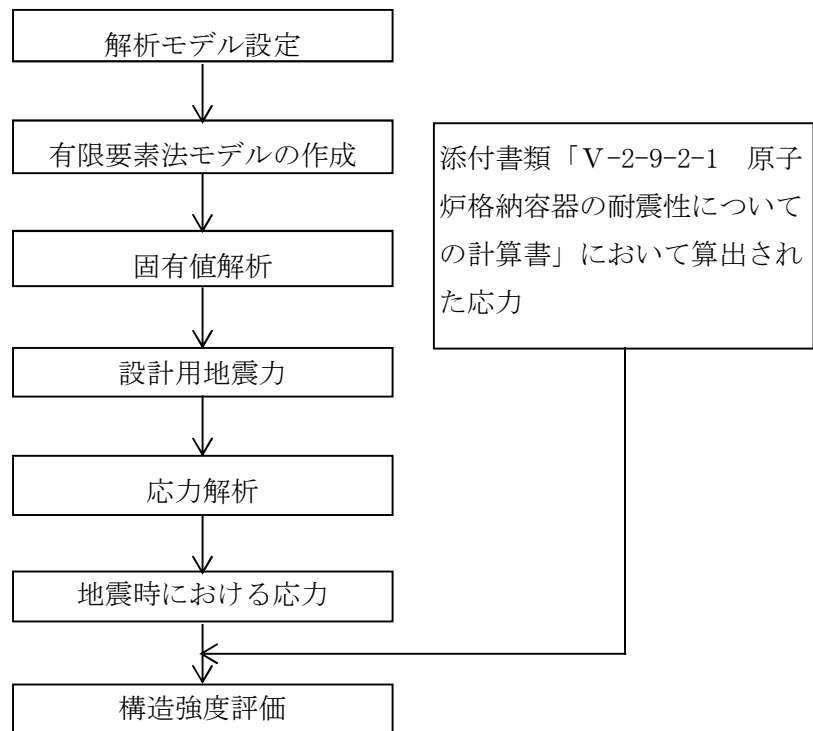


図 2-1 機器搬入用ハッチの耐震評価フロー

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 J E A G 4 6 0 1 - 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 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984 (日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 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。)) J S M E S N C 1－2005/2007 (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
d_i	各部位の直径 ($i=1, 2$)	mm
E	縦弾性係数	MPa
K_e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
ℓ_i	各部位の長さ ($i=1, 2, 3\cdots$)	mm
N_a	地震時の許容繰返し回数	—
N_c	地震時の実際の繰返し回数	—
m_0	質量	kg
P_D	最高使用圧力 (内圧)	kPa
P_{DO}	最高使用圧力 (外圧)	kPa
P_{DBA}	冷却材喪失事故後の最大内圧	kPa
P_{SAL}	圧力 (S A後長期内圧)	kPa
P_{SALL}	圧力 (S A後長々期内圧)	kPa
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
R_{in}	各部位の半径, 長さ ($n=0, 1, 2$)	mm
R_h	鏡板の半径, 長さ	mm
S	材料の許容引張応力	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	—
S_P	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_ℓ'	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S_n	地震動による応力振幅	MPa
S_u	材料の設計引張強さ	MPa
S_y	材料の設計降伏点	MPa
T	温度	℃
T_D	最高使用温度	℃
T_{SAL}	温度 (S A後長期温度)	℃
T_{SALL}	温度 (S A後長々期温度)	℃
t_i	各部位の板厚 ($i=1, 2, 3\cdots$)	mm
ν	ポアソン比	—
θ	角度	°

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
力	N	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁 ^{*1}
モーメント	N・mm	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3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

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

機器搬入用ハッチの形状及び主要寸法を図 3-1 に，使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。

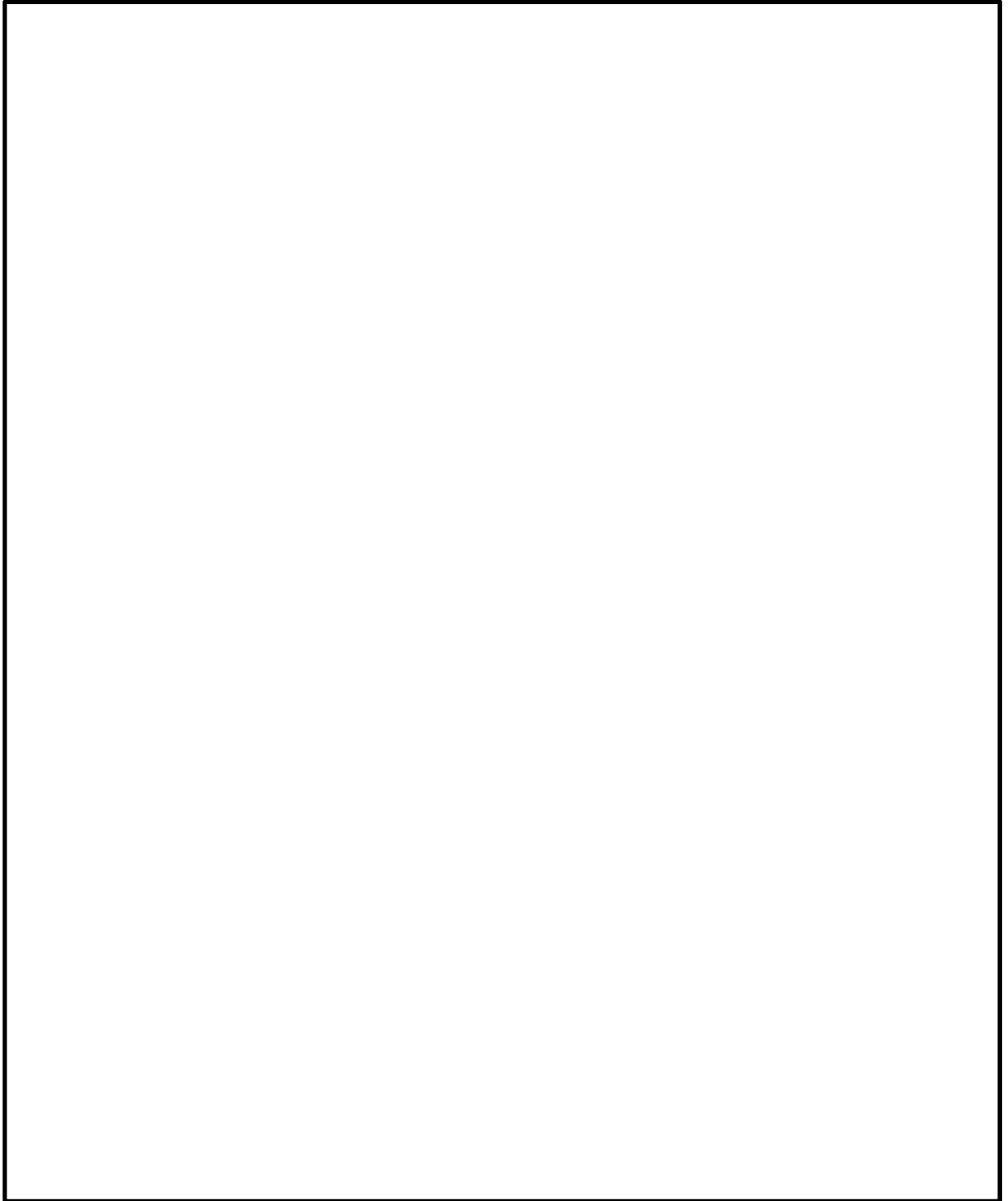


図 3-1 機器搬入用ハッチの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

使用部位	使用材料		備考
ドライウェル円錐部シェル	SGV49 相当		SGV480*
補強板	SGV49 相当		SGV480*

注記 *：新 J I S を示す。

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) 機器搬入用ハッチは、原子炉格納容器のドライウェル円錐部に支持される構造物である。
機器搬入用ハッチに作用する地震力は、機器搬入用ハッチのドライウェル円錐部への取り付け方向を考慮し、機器搬入用ハッチ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、固有周期に応じた応答加速度に基づき算出する。機器搬入用ハッチの耐震評価として、上記の応答解析に基づき算出した地震力を用いて、構造強度評価を行う。
- (2) 構造評価に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容限界

4.2.1 荷重の組合せ及び許容限界

機器搬出入用ハッチ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。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。

詳細な荷重の組合せは、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容限界

機器搬入用ハッチの許容限界を表 4-3 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

機器搬入用ハッチ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。また、使用材料の許容応力を表 4-6 及び表 4-7 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*1		許容応力 状態
原子炉 格納 施設	原子炉 格納 容器	機器 搬入用 ハッチ	S	格納 容器	$D + P + M + S_d^*$	(9, 10)	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	(11, 12)	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^{**2}$	(16)	Ⅳ _A S

注記 *1：（ ）内は添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表3-10 設計基準対処施設の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

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*2		許容応力 状態
原子炉 格納 施設	原子炉 格納 容器	機器 搬入用 ハッチ	常設耐震／ 防止 常設／緩和	重大 事故等 クラス 2 容器	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(SA8)	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*3}$	(SA6)	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

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

*2：（ ）内は添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表3-11 重大事故等時の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：原子炉格納容器は、放射性物質放出の最終障壁となることから、重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表4-3 許容限界（クラスMC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					
	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	特別な応力限界	
					純せん 断応力	支圧応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。 ただし、オーステナイト系ス テンレス鋼及高ニッケル合金 については1.2・Sとする。	左欄の 1.5倍の値*2	3・S*3 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。	*4*5 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。	0.6・S	S _y *6 (1.5・S _y)
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は0.6・ S _u ，不連続な部分は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，構造上の連続 な部分は2・Sと0.6S _u の小さ い方，不連続な部分は1.2・S とする。	左欄の 1.5倍の値*2			0.4・S _u	S _u *6 (1.5・S _u)
V _A S (V _A SとしてⅣ _A S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：設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は，純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値（ α ）を用いる。

*3：3・Sを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合，設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。S_mはSと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

- *4：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。
- *5：運転状態Ⅰ，Ⅱにおいて疲労解析を要しない場合は，地震動のみによる疲労累積係数を1.0以下とする。
- *6：（ ）内は，支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

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 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ドライウエル円錐部シェル 補強板	SGV480	周囲環境 温度	171	131	229	423	－

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 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ドライウエル円錐部シェル 補強板	SGV480	周囲環境 温度	150	131	232	424	－
		周囲環境 温度	171	131	229	423	－

表4-6 許容応力（設計基準対象施設）

（単位：MPa）

材料	温度 (℃)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次＋二次応力
			P_m^*	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	171	Ⅲ _A S	229	344	393
		Ⅳ _A S	253	380	393

注記 *：評価対象は、膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施し、許容応力以下であることが明らかなため、一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

表4-7 許容応力（重大事故等対処設備）

（単位：MPa）

材料	温度 (℃)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次＋二次応力
			P_m^*	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	150	V _A S	254	381	393
	171	V _A S	253	380	393

注記 *：評価対象は、膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施し、許容応力以下であることが明らかなため、一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

内圧 P_D	310 kPa
外圧 P_{DO}	14 kPa
温度 T_D	171 °C

(2) 冷却材喪失事故後の最大内圧 P_{DBA} 255 kPa

(3) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SAL}	465 kPa (S A後長期)
内圧 P_{SALL}	200 kPa (S A後長々期)
温度 T_{SAL}	171 °C (S A後長期)
温度 T_{SALL}	150 °C (S A後長々期)

(4) 死荷重

- a. 機器搬入用ハッチの自重 N (補強板重量含む)
- b. ドライウエルの自重

機器搬入用ハッチより上部の原子炉格納容器の自重及び付加物の重量を死荷重とする。

(5) 活荷重

- a. 床に加わる荷重 N
- b. ドライウエルの荷重

機器搬入用ハッチより上部の活荷重を考慮する。

(6) 原子炉格納容器の地震荷重

原子炉格納容器に加わる地震荷重について、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」において計算された計算結果を用いる。原子炉格納容器に加わる鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-8 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-9 に示す。「弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力」及び「基準地震動 S_s 」による水平方向地震荷重のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-10 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-11 に示す。

表 4-8 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）

(単位：N)

通常運転時			燃料交換時		
鉛直荷重*1	地震荷重		鉛直荷重*2	地震荷重	
	S _d [*]	S _s		S _d [*]	S _s

注記 *1：鉛直方向にかかる死荷重

*2：鉛直方向にかかる死荷重と活荷重を合わせた荷重

表 4-9 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）

(単位：N)

重大事故等時		
鉛直荷重 [*]	地震荷重	
	S_d	S_s

注記 *：鉛直方向にかかる死荷重

表 4-10 水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

弾性設計用地震動 S_d 又は 静的地震力による地震荷重		基準地震動 S_s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)

表 4-11 水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S_d による地震荷重		基準地震動 S_s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)

4.3 解析モデル及び諸元

機器搬入用ハッチの解析モデルを図 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 4-12 に示す。

- (1) 機器搬入用ハッチをシェルモデルにてモデル化する。また、機器搬入用ハッチが取り付けられる原子炉格納容器胴板もシェル要素でモデル化する。
- (2) 機器搬入用ハッチの質量は、シェルモデルに付加する。
- (3) 拘束条件は、原子炉格納容器本体の上端及び下端の全周を完全拘束とする。
- (4) 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、固有値及び応力を求める。なお、評価に用いる解析コードMSC NASTRAN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。

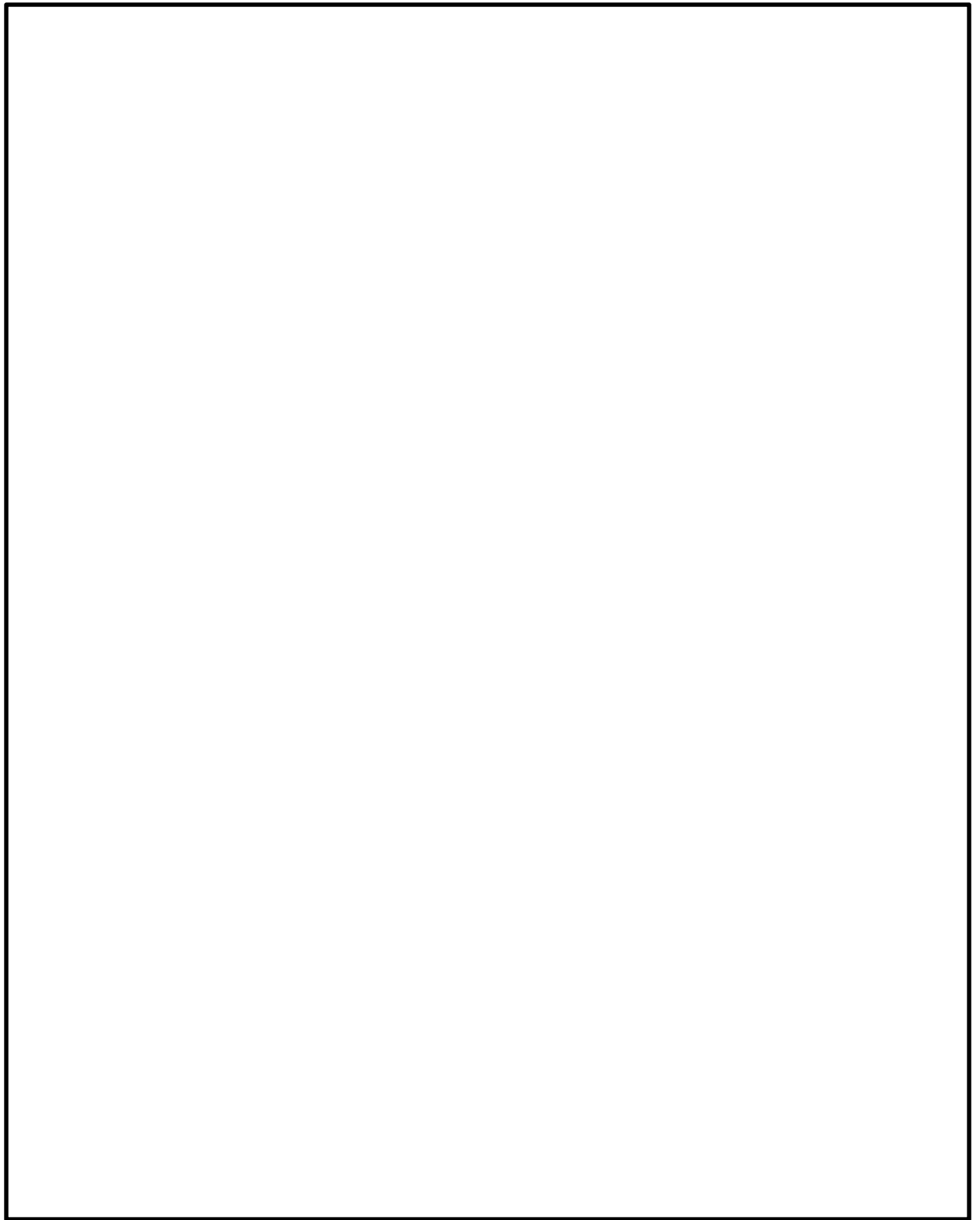


図 4-1 機器搬入用ハッチ解析モデル

表 4-12 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
質量	m ₀	kg	
温度条件	T	℃	66 (ドライウエル) 32 (サプレッション・チェンバ)
縦弾性係数	E	MPa	200000 (ドライウエル) 202000 (サプレッション・チェンバ)
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	
節点数	—	個	

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-13 に振動モード図を図 4-2 に示す。

表 4-13 固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			X	Y	Z
1 次		水平方向(周方向)			
2 次		水平方向(径方向)			
3 次		鉛直方向			
4 次		水平方向(周方向)			

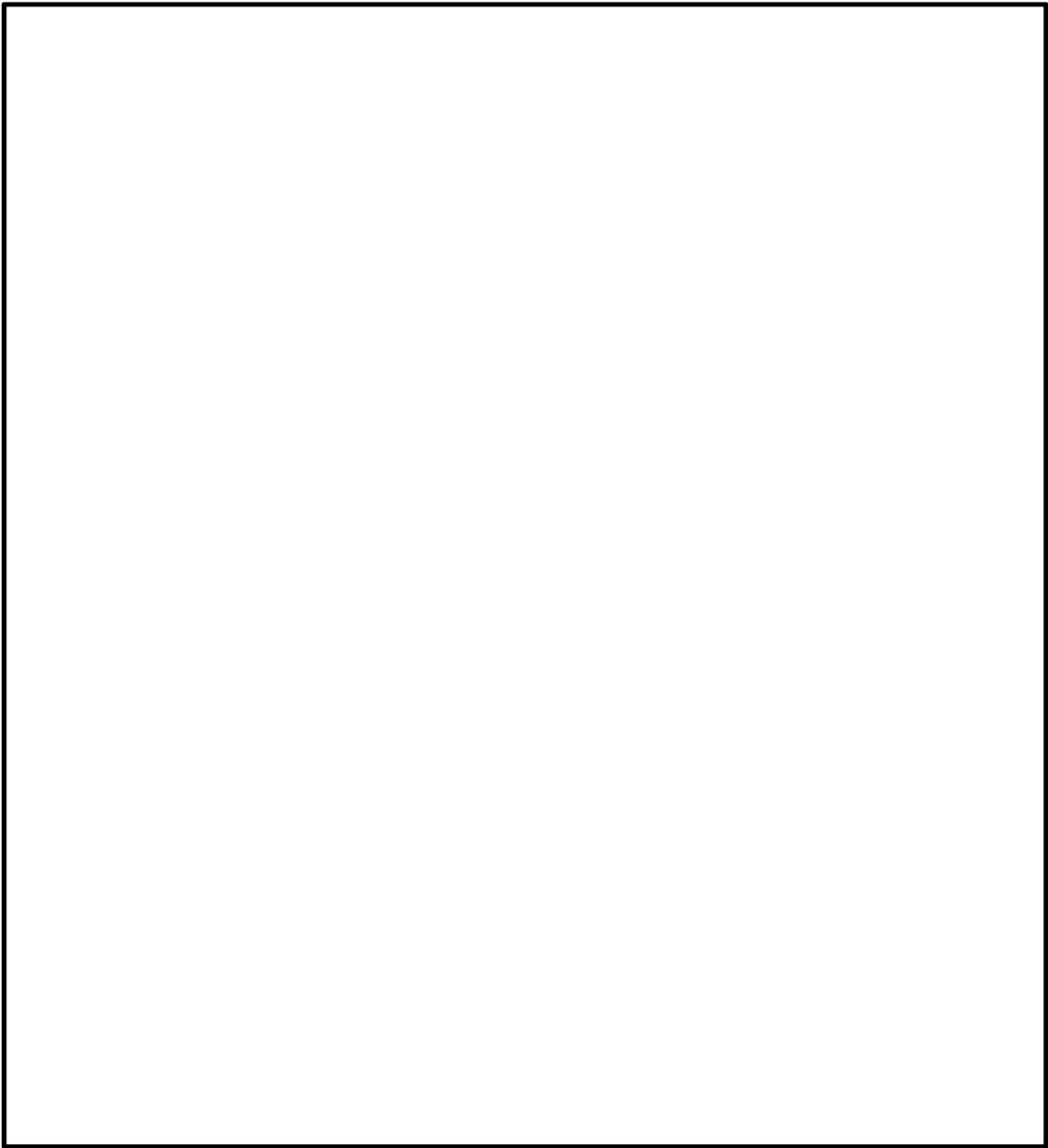


図 4-2 振動モード図

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-14 及び表 4-15 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力」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。

表 4-14 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ	固有周期 (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 方向	鉛直 方向
格納容器 EL.  h^{*1} EL. h^{*2}			$C_H=0.65$ (2.74) ^{*3}	$C_V=0.49$ (1.97) ^{*3}	$C_H=1.05$ (4.62) ^{*4}	$C_V=0.93$ (3.71) ^{*4}	1.0 ^{*5}	1.0 ^{*5}

注記 *1：水平方向設計震度に用いる設置高さを示す。

*2：鉛直方向設計震度に用いる設置高さを示す。

*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

*5：溶接構造物に適用される減衰定数の値

表 4-15 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	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d		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 方向	鉛直 方向
格納容器 EL.  h^{*1} EL. h^{*2}			$C_H=0.65$ (2.74) ^{*3}	$C_V=0.49$ (1.97) ^{*3}	$C_H=1.05$ (4.62) ^{*4}	$C_V=0.93$ (3.71) ^{*4}	1.0 ^{*5}	1.0 ^{*5}

注記 *1：水平方向設計震度に用いる設置高さを示す。

*2：鉛直方向設計震度に用いる設置高さを示す。

*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

*5：溶接構造物に適用される減衰定数の値

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

機器搬入用ハッチの応力評価点は、機器搬入用ハッチを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-16 及び図 4-3 に示す。

表 4-16 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	円筒胴と補強板との結合部 (P 1 - 1 ~ P 1 - 3)
P 2	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部 (P 2 - 1 ~ P 2 - 3)

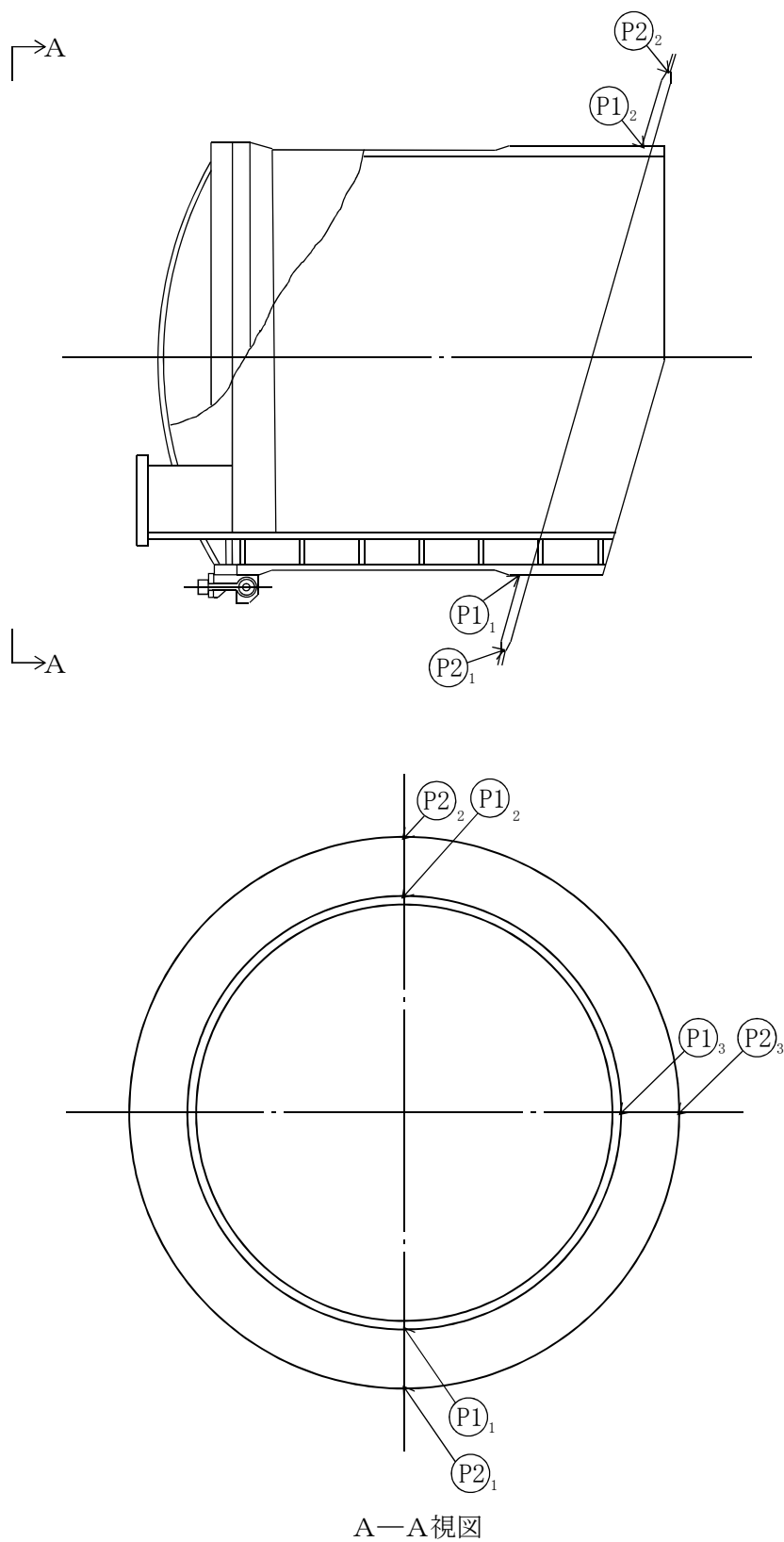


図 4-3 機器搬入用ハッチの応力評価点

4.6.2 応力計算方法

機器搬入用ハッチの表 4-16 及び図 4-3 で示した応力評価点での応力は、図 4-1 の解析モデルを用いて算出した応力と原子炉格納容器本体に作用する荷重による応力を適切に足し合わせることで算出する。

応力計算方法について、以下に示す。

4.6.2.1 円筒胴と補強板との結合部及びドライウェル円錐胴と補強板との結合部（応力評価点 P 1 及び P 2）

(1) 機器搬入用ハッチに作用する荷重による応力

機器搬入用ハッチに作用する死荷重、地震荷重による応力は、図 4-1 に示す機器搬入用ハッチの解析モデルを用いて算出する。地震荷重による応力は、機器搬入用ハッチの質量を等分布に付加し、「4.5 設計用地震力」に基づく地震荷重を入力して算出する。

(2) 原子炉格納容器本体に作用する荷重による応力

原子炉格納容器に作用する圧力、死荷重及び地震荷重による応力は、添付書類「V-2-9-2-1 原子炉格納容器の耐震性についての計算書」で解析した応力を用いる。地震荷重による応力は、「4.2.4 (6) 原子炉格納容器の地震荷重」に基づく地震荷重を入力して算出する。

(3) 応力の足し合わせ

表 4-16 及び図 4-3 で示した応力評価点での応力は、(1)で求めた機器搬入用ハッチに作用する荷重による応力と、(2)で求めた原子炉格納容器本体に作用する荷重による応力を適切に足し合わせることで算出する。

(4) 解析コード

解析コードはMSC NASTRANを用いる。なお、評価に用いる解析コードMSC NASTRANの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」に示す。

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は、「4.2 荷重の組合せ及び許容限界」及び「4.5 設計用地震力」に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 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を示す。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

機器搬入用ハッチ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。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅲ_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、 $D + P + M + S_d^*$ の評価について記載している。

(2) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅳ_ASに対する応力評価結果を表 5-3 を表 5-4 に示す。

表 4-1 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_s$ 及び $D + P_L + M_L + S_d^*$ の評価について記載している。

(3) 疲労評価

疲労評価結果を表 5-2 及び表 5-4 に示す。

なお、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」において疲労解析は不要であることを確認しており、地震動のみによる疲労累積係数が 1.0 以下であることを確認している。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
機器搬入用 ハッチ	P 1 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	53	344	○	
			一次+二次応力強さ	198	393	○	
	P 1 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	51	344	○	
			一次+二次応力強さ	128	393	○	
	P 1 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	72	344	○	
			一次+二次応力強さ	272	393	○	
	P 2 - 1	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	71	344	○	
			一次+二次応力強さ	184	393	○	
	P 2 - 2	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	49	344	○	
			一次+二次応力強さ	98	393	○	
	P 2 - 3	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	62	344	○	
			一次+二次応力強さ	424	393	×*	
			疲労評価	0.032	1.0	○	単位なし

注記 * : P 2 - 3 の一次+二次応力評価結果は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

表 5-2 許容応力状態Ⅲ_A S に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _ℓ ^{’*} (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c ／N _a	備考
P 2－3	424							0.064	

注記 * : S_ℓに (E_o／E) を乗じた値である。
E_o=2.07×10⁵ MPa E=1.93×10⁵ MPa
E_o : 縦弾性係数
E : 運転温度の縦弾性係数

表 5-3(1) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
機器搬入用 ハッチ	P 1 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	113	380	○	
			一次+二次応力強さ	120	393	○	
	P 1 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	115	380	○	
			一次+二次応力強さ	88	393	○	
	P 1 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	105	380	○	
			一次+二次応力強さ	144	393	○	
	P 2 - 1	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	108	380	○	
			一次+二次応力強さ	112	393	○	
	P 2 - 2	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	113	380	○	
			一次+二次応力強さ	66	393	○	
	P 2 - 3	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	112	380	○	
			一次+二次応力強さ	232	393	○	

表 5-3(2) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
機器搬入用 ハッチ	P 1 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	85	380	○	
			一次+二次応力強さ	362	393	○	
	P 1 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	87	380	○	
			一次+二次応力強さ	232	393	○	
	P 1 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	118	380	○	
			一次+二次応力強さ	462	393	×*	
			疲労評価	0.392	1.0	○	単位なし
	P 2 - 1	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	116	380	○	
			一次+二次応力強さ	336	393	○	
	P 2 - 2	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	84	380	○	
			一次+二次応力強さ	178	393	○	
	P 2 - 3	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	102	380	○	
			一次+二次応力強さ	718	393	×*	
			疲労評価	0.570	1.0	○	単位なし

注記 * : P 1 - 3 及び P 2 - 3 の一次+二次応力評価結果は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

表 5-4 許容応力状態Ⅳ_A S に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _ℓ ^{’*} (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c ／N _a	備考
P 1－3	462							0.392	
P 2－3	718							0.570	

注記 * : S_ℓに (E_o／E) を乗じた値である。
E_o=2.07×10⁵ MPa E=1.93×10⁵ MPa
E_o : 縦弾性係数
E : 運転温度の縦弾性係数

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

機器搬入用ハッチ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。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価

許容応力状態 $V_A S$ に対する応力評価結果を表 5-5 に示す。

表 4-2 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ 及び $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ の評価について記載している。

(2) 疲労評価

添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」において疲労解析は不要であることを確認している。

表 5-5(1) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	$IV_A S$		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
機器搬入用 ハッチ	P 1 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	194	380	○	
			一次＋二次応力強さ	120	393	○	
	P 1 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	196	380	○	
			一次＋二次応力強さ	88	393	○	
	P 1 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	185	380	○	
			一次＋二次応力強さ	144	393	○	
	P 2 - 1	ドライウエル円錐胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	189	380	○	
			一次＋二次応力強さ	112	393	○	
	P 2 - 2	ドライウエル円錐胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	194	380	○	
			一次＋二次応力強さ	66	393	○	
	P 2 - 3	ドライウエル円錐胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	193	380	○	
			一次＋二次応力強さ	232	393	○	

表 5-5(2) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	$IV_A S$		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
機器搬入用 ハッチ	P 1 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	109	380	○	
			一次+二次応力強さ	228	393	○	
	P 1 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	110	380	○	
			一次+二次応力強さ	162	393	○	
	P 1 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	111	380	○	
			一次+二次応力強さ	254	393	○	
	P 2 - 1	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	107	380	○	
			一次+二次応力強さ	214	393	○	
	P 2 - 2	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	102	380	○	
			一次+二次応力強さ	128	393	○	
	P 2 - 3	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	101	380	○	
			一次+二次応力強さ	390	393	○	

V-2-9-2-7 所員用エアロッ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
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限界	8
4.3 解析モデル及び諸元	16
4.4 固有周期	18
4.5 設計用地震力	20
4.6 計算方法	21
4.7 計算条件	23
4.8 応力の評価	23
5. 評価結果	24
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	24
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	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」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、所員用エアロッ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。

所員用エアロ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を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

所員用エアロックの構造計画を表 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	
・所員用エアロックは原子炉格納容器のドライウェル円錐部に溶接で支持される。	・内径 mm, 板厚 mm, 長さ mm の円筒胴及び板厚 mm の扉板で構成される鋼製構造物である。	

2.2 評価方針

所員用エアロックの応力評価は、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」にて示す所員用エアロックの部位を踏まえた「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応力等が許容限界に収まることを、「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。

所員用エアロックの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

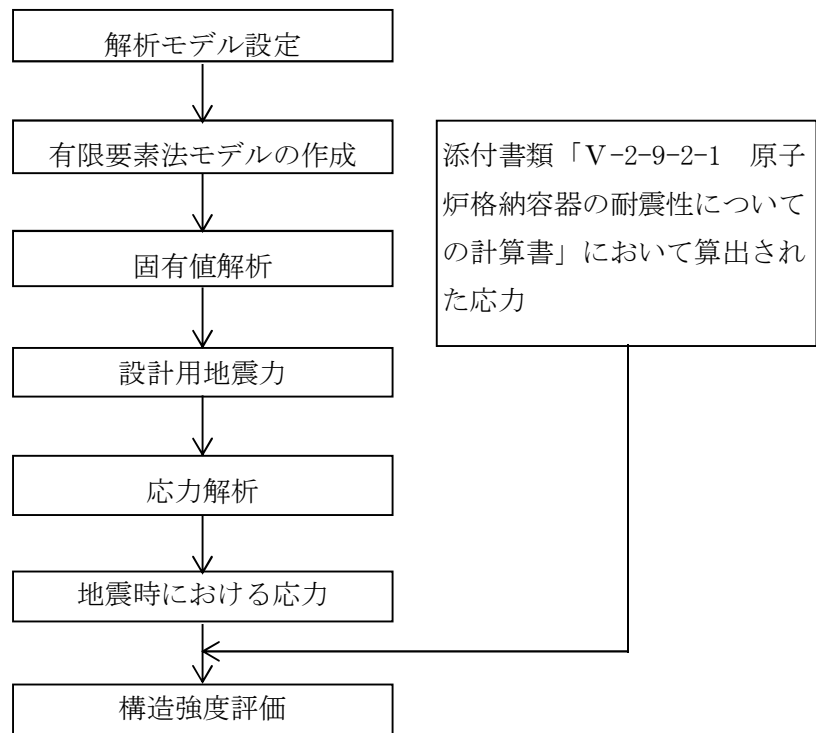


図 2-1 所員用エアロックの耐震評価フロー

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 J E A G 4 6 0 1 - 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 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984 (日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 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。)) J S M E S N C 1－2005/2007 (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
d_i	各部位の直径 ($i=1, 2$)	mm
E	縦弾性係数	MPa
K_e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
l_i	長さ ($i=1, 2, 3\cdots$)	mm
N_a	地震時の許容繰返し回数	—
N_c	地震時の実際の繰返し回数	—
m_o	質量	kg
P_D	最高使用圧力 (内圧)	kPa
P_{DO}	最高使用圧力 (外圧)	kPa
P_{DBA}	冷却材喪失事故後の最大内圧	kPa
P_{SAL}	圧力 (S A後長期内圧)	kPa
P_{SALL}	圧力 (S A後長々期内圧)	kPa
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
R_{in}	半径 ($n=0, 1, 2$)	mm
S	材料の許容引張応力	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	—
S_P	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_ℓ'	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S_n	地震動による応力振幅	MPa
S_u	材料の設計引張強さ	MPa
S_y	材料の設計降伏点	MPa
T	温度	℃
T_D	最高使用温度	℃
T_{SAL}	温度 (S A後長期温度)	℃
T_{SALL}	温度 (S A後長々期温度)	℃
t_i	各部位の板厚 ($i=1, 2, 3\cdots$)	mm
ν	ポアソン比	—
θ	角度	°

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
力	N	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁 ^{*1}
モーメント	N・mm	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3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

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

所員用エアロックの形状及び主要寸法を図 3-1 に，使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。

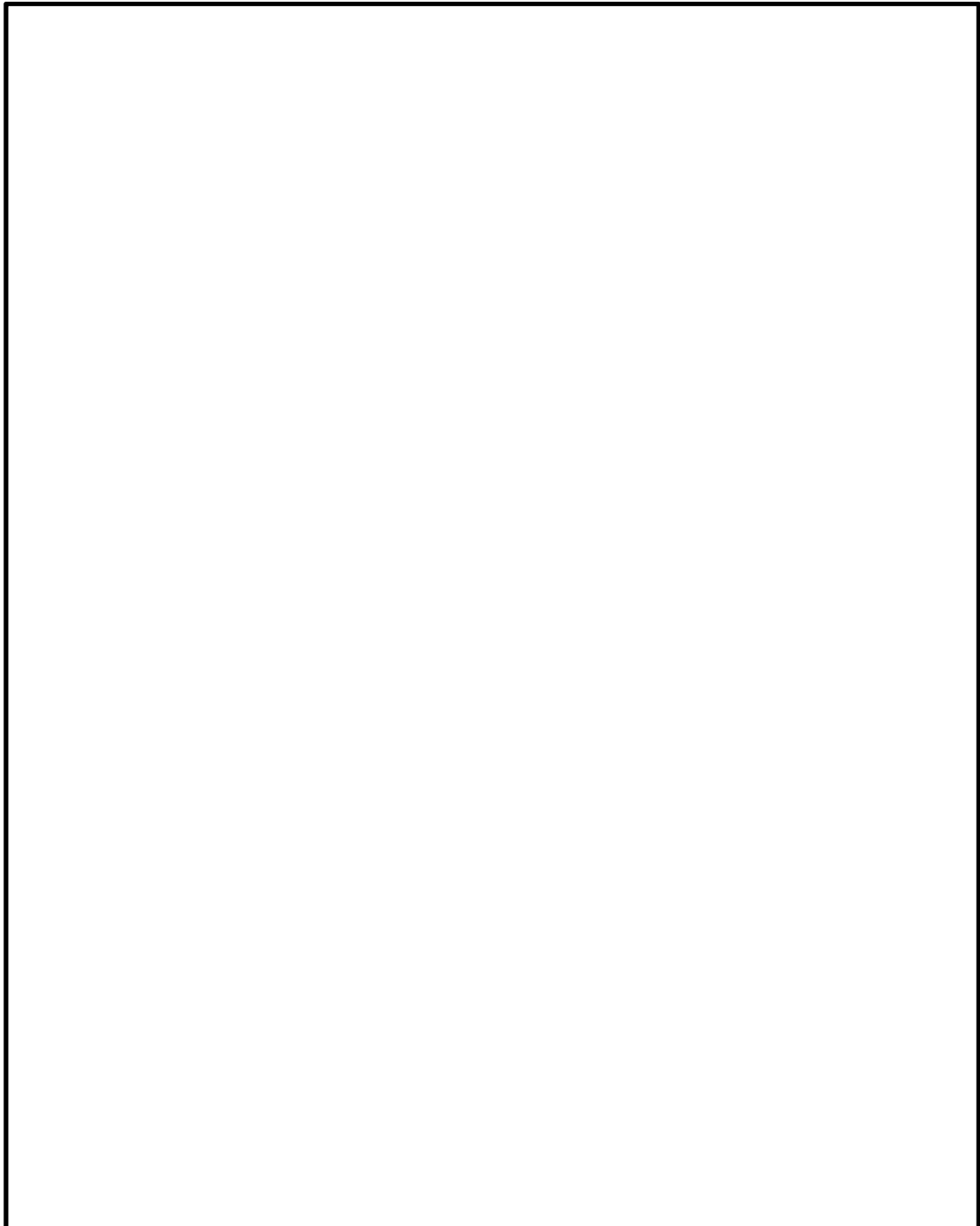


図 3-1 所員用エアロックの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

使用部位	使用材料		備考
ドライウェル円錐部シェル	SGV49 相当		SGV480*
補強板	SGV49 相当		SGV480*

注記 *：新 JIS を示す。

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) 所員用エアロックは、原子炉格納容器のドライウェル円錐部に支持される構造物である。所員用エアロックに作用する地震力は、所員用エアロックのドライウェル円錐部への取り付け方向を考慮し、所員用エアロック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、固有周期に応じた応答加速度に基づき算出する。所員用エアロックの耐震評価として、上記の応答解析に基づき算出した地震力を用いて、構造強度評価を行う。
- (2) 構造評価に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容限界

4.2.1 荷重の組合せ及び許容限界

所員用エアロ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 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。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。

詳細な荷重の組合せは、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容限界

所員用エアロックの許容限界を表 4-3 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

所員用エアロック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。また、使用材料の許容応力を表 4-6 及び表 4-7 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 ^{*1}		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	所員用エアロック	S	格納容器	$D + P + M + S_d^*$	(9, 10)	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	(11, 12)	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^{**2}$	(16)	Ⅳ _A S

注記 *1: () 内は添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表3-10 設計基準対処施設の荷重の組合せのNo. を示す。

*2: 原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

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 ^{*2}		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	所員用エアロック	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2容器	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(SA8)	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	(SA6)	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)

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

*2: () 内は添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表3-11 重大事故等時の荷重の組合せのNo. を示す。

*3: 原子炉格納容器は、放射性物質放出の最終障壁となることから、重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表4-3 許容限界（クラスMC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					
	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	特別な応力限界	
					純せん 断応力	支圧応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。 ただし、オーステナイト系ス テンレス鋼及高ニッケル合金 については1.2・Sとする。	左欄の 1.5倍の値*2	3・S*3 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。	*4*5 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。	0.6・S	S _y *6 (1.5・S _y)
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u ，不連続な部分は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、構造上の連続 な部分は2・Sと0.6S _u の小さ い方，不連続な部分は1.2・S とする。	左欄の 1.5倍の値*2			0.4・S _u	S _u *6 (1.5・S _u)
V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A S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：設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は，純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値（α）を用いる。

*3：3・Sを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合，設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。S_mはSと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

＊4：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。

＊5：運転状態Ⅰ，Ⅱにおいて疲労解析を要しない場合は，地震動のみによる疲労累積係数を1.0以下とする。

＊6：（ ）内は，支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

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 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ドライウエル円錐部シェル 補強板	SGV480	周囲環境 温度	171	131	229	423	—

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 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ドライウエル円錐部シェル 補強板	SGV480	周囲環境 温度	150	131	232	424	—
		周囲環境 温度	171	131	229	423	—

表4-6 許容応力（設計基準対象施設）

（単位：MPa）

材料	温度 (℃)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次＋二次応力
			P_m^*	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	171	Ⅲ _A S	229	344	393
		Ⅳ _A S	253	380	393

注記＊：評価対象は、膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施し、許容応力以下であることが
明らかなため、一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

表4-7 許容応力（重大事故等対処設備）

（単位：MPa）

材料	温度 (℃)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次＋二次応力
			P_m^*	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	150	V _A S	254	381	393
	171	V _A S	253	380	393

注記＊：評価対象は、膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施し、許容応力以下であることが
明らかなため、一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

内圧 P_D	310 kPa
外圧 P_{DO}	14 kPa
温度 T_D	171 °C

(2) 冷却材喪失事故後の最大内圧 P_{DBA} 255 kPa

(3) 重大事故等対処施設としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SAL}	465 kPa (S A後長期)
内圧 P_{SALL}	200 kPa (S A後長々期)
温度 T_{SAL}	171 °C (S A後長期)
温度 T_{SALL}	150 °C (S A後長々期)

(4) 死荷重

- a. 所員用エアロックの自重 N
- b. ドライウエルの自重

所員用エアロックより上部の原子炉格納容器の自重及び付加物の重量を死荷重とする。

(5) 活荷重

- a. 床に加わる荷重 N/m²
- b. ドライウエルの荷重

所員用エアロックより上部の活荷重を考慮する。

(6) 原子炉格納容器の地震荷重

原子炉格納容器に加わる地震荷重について、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」において計算された計算結果を用いる。原子炉格納容器に加わる鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-8 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-9 に示す。「弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力」及び「基準地震動 S_s 」による水平方向地震荷重のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-10 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-11 に示す。

表 4-8 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）

(単位：N)

通常運転時			燃料交換時		
鉛直荷重*1	地震荷重		鉛直荷重*2	地震荷重	
	S _d * kN	S _s kN		S _d * kN	S _s kN

注記 *1：鉛直方向にかかる死荷重

*2：鉛直方向にかかる死荷重と活荷重を合わせた荷重

表 4-9 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）

(単位：N)

重大事故等時		
鉛直荷重 [*]	地震荷重	
	S_d	S_s

注記 *：鉛直方向にかかる死荷重

表 4-10 水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

弾性設計用地震動 S_d 又は 静的地震力による地震荷重		基準地震動 S_s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)

表 4-11 水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S_d による地震荷重		基準地震動 S_s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)

4.3 解析モデル及び諸元

所員用エアロックの解析モデルを図 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 4-12 に示す。

- (1) 所員用エアロックをシェルモデルにてモデル化する。また、所員用エアロックが取り付けられる原子炉格納容器胴板もシェル要素でモデル化する。
- (2) 所員用エアロックの質量はシェルモデルに付加する。
- (3) 拘束条件は原子炉格納容器本体の上端及び下端の全周を完全拘束とする。
- (4) 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、固有値及び応力を求める。なお、評価に用いる解析コード MSC NASTRAN 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。

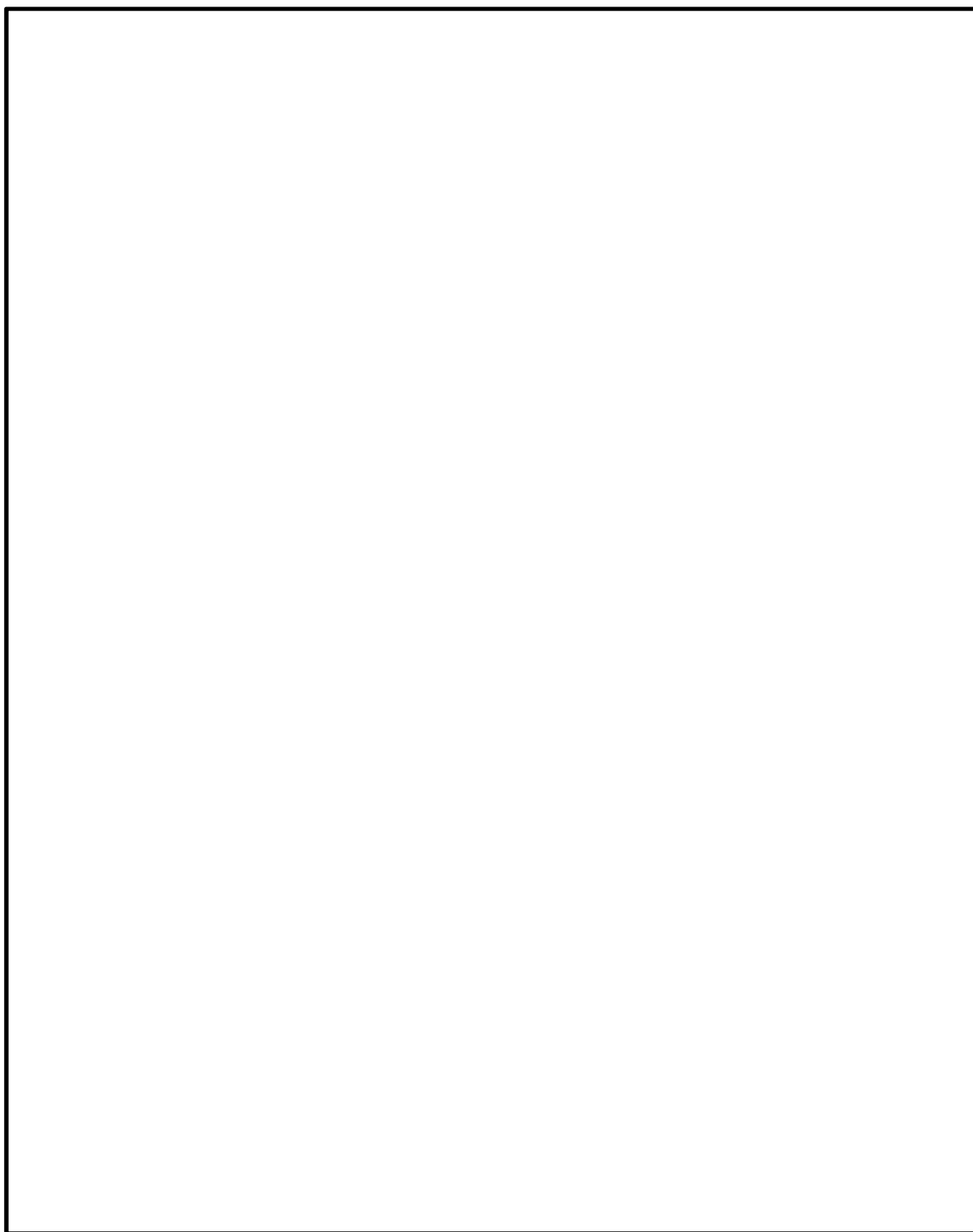


図 4-1 所員用エアロック解析モデル

表 4-12 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
質量	m o	kg	
温度条件	T	℃	66(ドライウエル) 32(サプレッション・チェンバ)
縦弾性係数	E	MPa	200000(ドライウエル) 202000(サプレッション・チェンバ)
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	
節点数	—	個	

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-13 に振動モード図を図 4-2 に示す。

表 4-13 固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			X	Y	Z
1 次		水平方向（周方向）			
2 次		水平方向（径方向）			
3 次		鉛直方向			
4 次		水平方向（周方向）			

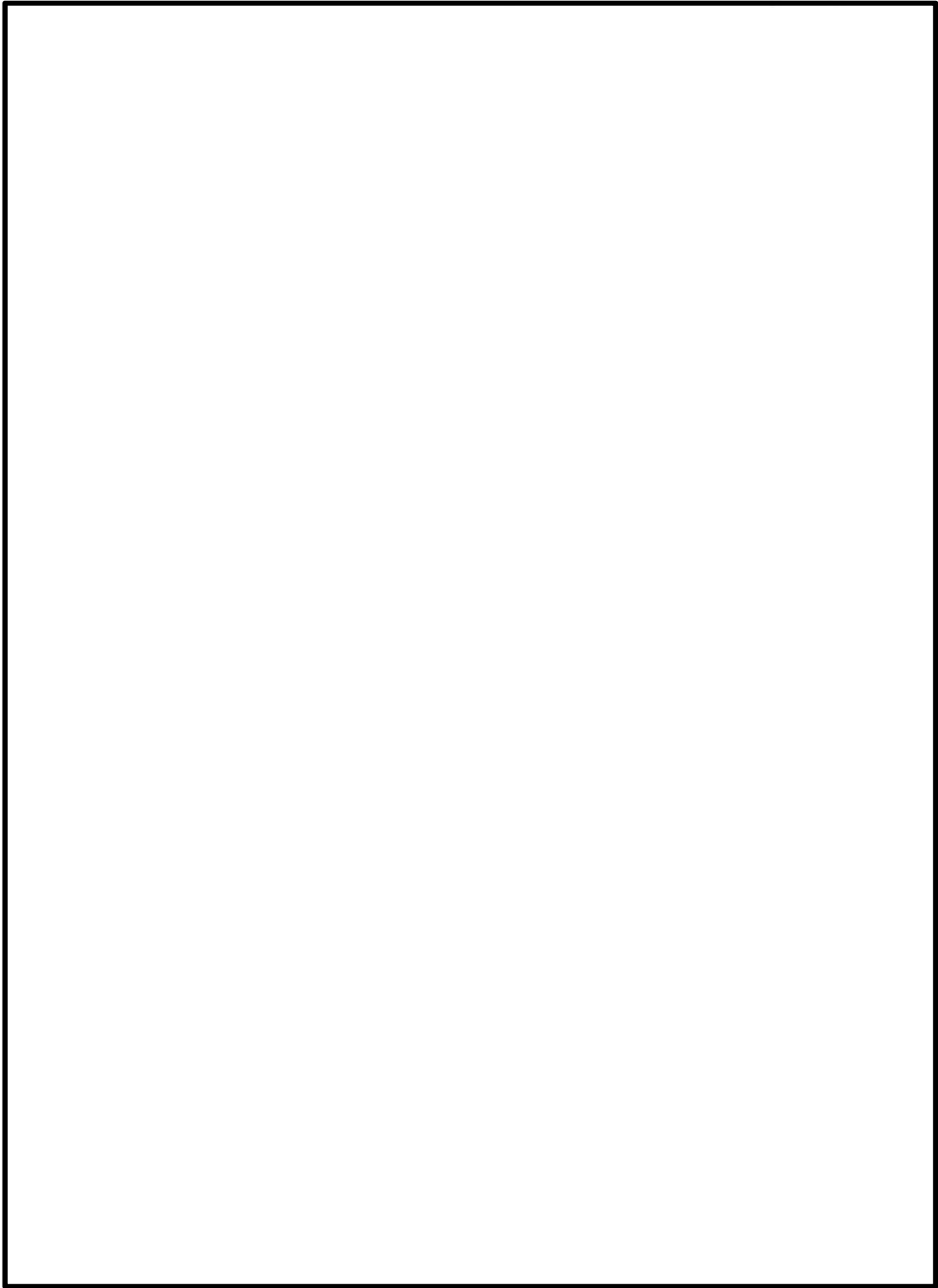


図 4-2 振動モード

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-14 及び表 4-15 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力」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。

表 4-14 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ	固有周期 (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 方向	鉛直 方向
格納容器 EL.  m*1 EL.  m*2			$C_H=0.65$ (3.18) *3	$C_V=0.49$ (1.18) *3	$C_H=1.05$ (5.09) *4	$C_V=0.93$ (2.27) *4	1.0*5	1.0*5

注記 *1：水平方向設計震度に用いる設置高さを示す。

*2：鉛直方向設計震度に用いる設置高さを示す。

*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

*5：溶接構造物に適用される減衰定数の値

表 4-15 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	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d		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 方向	鉛直 方向
格納容器 EL.  m*1 EL.  m*2			$C_H=0.65$ (3.18) *3	$C_V=0.49$ (1.18) *3	$C_H=1.05$ (5.09) *4	$C_V=0.93$ (2.27) *4	1.0*5	1.0*5

注記 *1：水平方向設計震度に用いる設置高さを示す。

*2：鉛直方向設計震度に用いる設置高さを示す。

*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

*5：溶接構造物に適用される減衰定数の値

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

所員用エアロックの応力評価点は、所員用エアロックを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-16 及び図 4-3 に示す。

表 4-16 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	円筒胴と補強板との結合部 (P 1 - 1 ~ P 1 - 3)
P 2	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部 (P 2 - 1 ~ P 2 - 3)

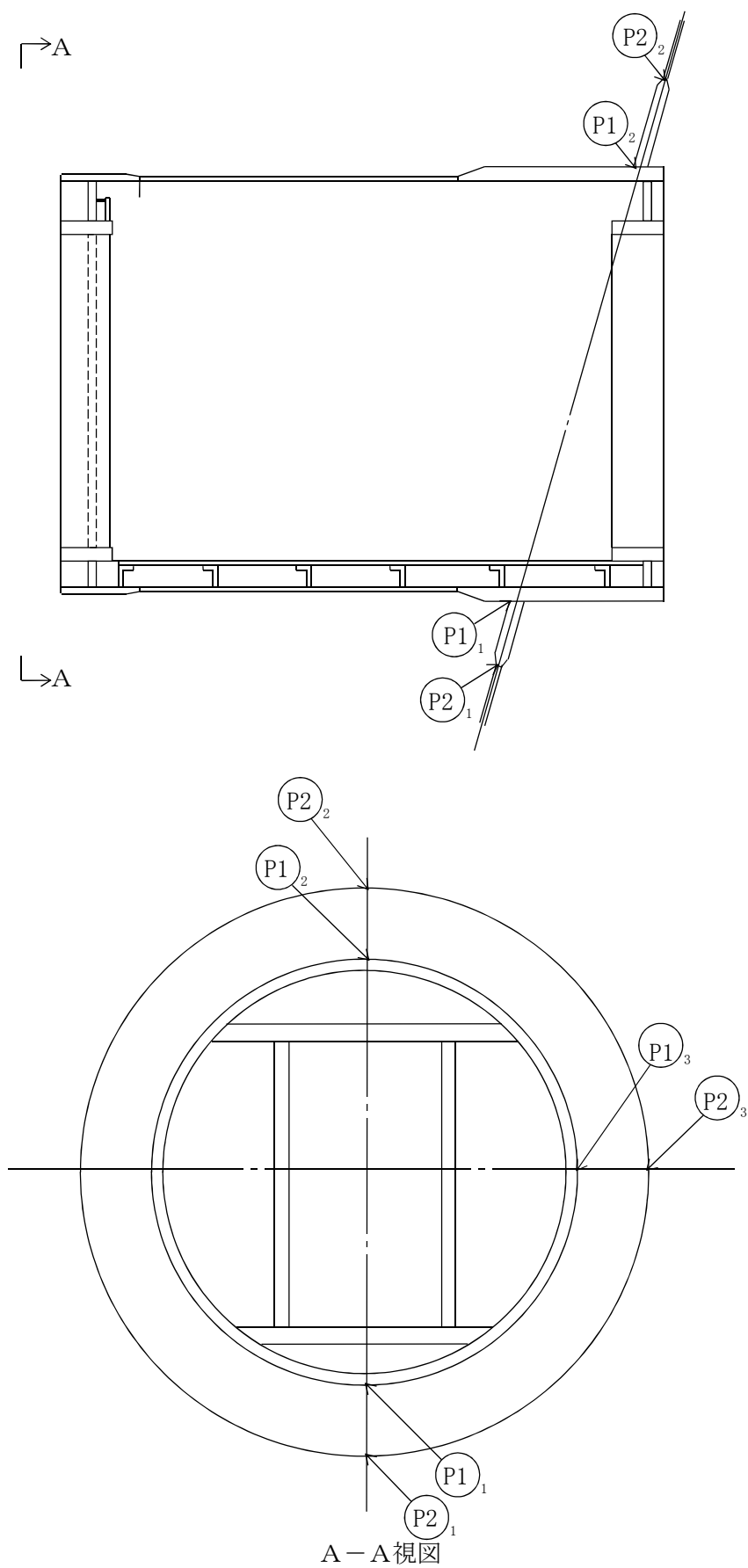


図 4-3 所員用エアロックの応力評価点

4.6.2 応力計算方法

所員用エアロックの表 4-16 及び図 4-3 で示した応力評価点での応力は、図 4-1 の解析モデルを用いて算出した応力と原子炉格納容器本体に作用する荷重による応力を適切に足し合わせるにより算出する。

応力計算方法について、以下に示す。

4.6.2.1 円筒胴と補強板との結合部及びドライウェル円錐胴と補強板との結合部 (応力評価点 P 1 及び P 2)

(1) 所員用エアロックに作用する荷重による応力

所員用エアロックに作用する死荷重、地震荷重による応力は、図 4-1 に示す所員用エアロックの解析モデルを用いて算出する。地震荷重による応力は、所員用エアロックの質量を等分布に付加し、「4.5 設計用地震力」に基づく地震荷重を入力して算出する。

(2) 原子炉格納容器本体に作用する荷重による応力

原子炉格納容器に作用する圧力、死荷重及び地震荷重による応力は、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」で解析した応力を用いる。地震荷重による応力は、「4.2.4 (6) 原子炉格納容器の地震荷重」に基づく地震荷重を入力して算出する。

(3) 応力の足し合わせ

表 4-16 及び図 4-3 で示した応力評価点での応力は、(1) で求めた所員用エアロックに作用する荷重による応力と、(2) で求めた原子炉格納容器本体に作用する荷重による応力を適切に足し合わせることで算出する。

(4) 解析コード

解析コードはMSC NASTRANを用いる。なお、評価に用いる解析コードMSC NASTRANの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」に示す。

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は、「4.2 荷重の組合せ及び許容限界」及び「4.5 設計用地震力」に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 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。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

所員用エアロ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。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅲ_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、 $D + P + M + S_d^*$ の評価について記載している。

(2) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅳ_ASに対する応力評価結果を表 5-2 に示す。

表 4-1 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_s$ 及び $D + P_L + M_L + S_d^*$ の評価について記載している。

(3) 疲労評価

疲労評価結果を表 5-3 に示す。

なお、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」において疲労解析は不要であることを確認しており、地震動のみによる疲労累積係数が 1.0 以下であることを確認している。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価結果 (D + P + M + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
所員用エアロック	P 1 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	48	344	○	
			一次+二次応力強さ	132	393	○	
	P 1 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	42	344	○	
			一次+二次応力強さ	70	393	○	
	P 1 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	58	344	○	
			一次+二次応力強さ	192	393	○	
	P 2 - 1	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	61	344	○	
			一次+二次応力強さ	132	393	○	
	P 2 - 2	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	55	344	○	
			一次+二次応力強さ	110	393	○	
	P 2 - 3	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	54	344	○	
			一次+二次応力強さ	286	393	○	

表 5-2(1) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価結果 (D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
所員用エアロック	P 1 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	115	380	○	
			一次+二次応力強さ	120	393	○	
	P 1 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	115	380	○	
			一次+二次応力強さ	36	393	○	
	P 1 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	107	380	○	
			一次+二次応力強さ	170	393	○	
	P 2 - 1	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	110	380	○	
			一次+二次応力強さ	120	393	○	
	P 2 - 2	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	111	380	○	
			一次+二次応力強さ	100	393	○	
	P 2 - 3	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	116	380	○	
			一次+二次応力強さ	254	393	○	

表 5-2(2) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
所員用エアロック	P 1 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	75	380	○	
			一次+二次応力強さ	236	393	○	
	P 1 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	70	380	○	
			一次+二次応力強さ	128	393	○	
	P 1 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	92	380	○	
			一次+二次応力強さ	310	393	○	
	P 2 - 1	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	97	380	○	
			一次+二次応力強さ	232	393	○	
	P 2 - 2	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	92	380	○	
			一次+二次応力強さ	192	393	○	
	P 2 - 3	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	87	380	○	
			一次+二次応力強さ	456	393	×*	
			疲労評価	0.056	1.0	○	単位なし

注記 * : P 2 - 3 の一次+二次応力評価結果は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

表 5-3 許容応力状態Ⅳ_AS に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _ℓ ^{’*} (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c ／N _a	備考
P 2－3	456							0.056	

注記 *：S_ℓに（E_o／E）を乗じた値である。

$E_o=2.07\times10^5\text{ MPa}$ $E=1.93\times10^5\text{ MPa}$

E_o ：縦弾性係数

E ：運転温度の縦弾性係数

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

所員用エアロック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。発生値は許容値を満足しており，耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価

許容応力状態 $V_A S$ に対する応力評価結果を表 5-4 に示す。

表 4-2 に示す荷重の組合せのうち， $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ 及び $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ の評価について記載している。

(2) 疲労評価

疲労評価結果を表 5-5 に示す。

なお，添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」において疲労解析は不要であることを確認しており，地震動のみによる疲労累積係数が 1.0 以下であることを確認している。

表 5-4(1) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	$V_A S$		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
所員用エアロック	P 1 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	196	380	○	
			一次＋二次応力強さ	120	393	○	
	P 1 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	196	380	○	
			一次＋二次応力強さ	68	393	○	
	P 1 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	187	380	○	
			一次＋二次応力強さ	170	393	○	
	P 2 - 1	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	191	380	○	
			一次＋二次応力強さ	120	393	○	
	P 2 - 2	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	192	380	○	
			一次＋二次応力強さ	100	393	○	
	P 2 - 3	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	196	380	○	
			一次＋二次応力強さ	254	393	○	

表 5-4(2) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	$V_A S$		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
所員用エアロック	P 1 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	108	380	○	
			一次＋二次応力強さ	218	393	○	
	P 1 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	103	380	○	
			一次＋二次応力強さ	122	393	○	
	P 1 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	114	380	○	
			一次＋二次応力強さ	282	393	○	
	P 2 - 1	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	108	380	○	
			一次＋二次応力強さ	214	393	○	
	P 2 - 2	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	122	380	○	
			一次＋二次応力強さ	180	393	○	
	P 2 - 3	ドライウェル円錐胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	109	380	○	
			一次＋二次応力強さ	406	393	×*	
			疲労評価	0.026	1.0	○	単位なし

注記 * : P 2 - 3 の一次＋二次応力評価結果は許容値を満足しないが、設計・建設規格 (J S M E S N C 1 - 2005) PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

表 5-5 許容応力状態 $V_A S$ に対する疲労評価結果

評価部位	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ (MPa)	$S_\ell'^*$ (MPa)	N_a (回)	N_c (回)	疲労累積係数 N_c / N_a	備考
P 2 - 3	406							0.026	

注記 * : S_ℓ に (E_o / E) を乗じた値である。

$E_o = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa}$ $E = 1.95 \times 10^5 \text{ MPa}$

E_o : 縦弾性係数

E : 運転温度の縦弾性係数

V-2-9-2-8 サプレッション・チェンバアクセスハッチの
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方法	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限界	8
4.3 解析モデル及び諸元	16
4.4 固有周期	18
4.5 設計用地震力	21
4.6 計算方法	22
4.7 計算条件	24
4.8 応力の評価	24
5. 評価結果	25
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	25
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	30

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」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・チェンバアクセスハッチ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。

サプレッション・チェンバアクセスハッチ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

サプレッション・チェンバアクセスハッチの構造計画を表 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	
・サプレッション・チェンバ アクセスハッチは原子炉格納 容器のサプレッション・チェ ンバ円筒部に溶接で支持され る。	・内径 mm, 板厚 mm, 長さ mm の円筒胴及 び板厚 mm の鏡板で構成さ れる鋼製構造物である。	

2.2 評価方針

サプレッション・チェンバアクセスハッチの応力評価は、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み合わせ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すサプレッション・チェンバアクセスハッチの部位を踏まえた「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応力等が許容限界に収まることを、「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。

サプレッション・チェンバアクセスハッチの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

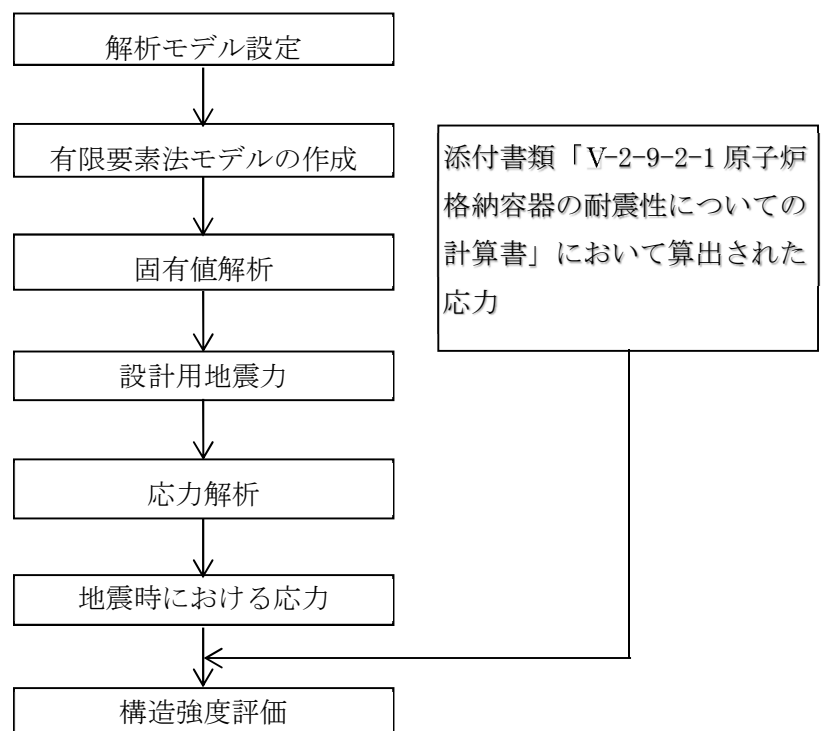


図 2-1 サプレッション・チェンバアクセスハッチの耐震評価フロー

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 J E A G 4 6 0 1 - 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 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984 (日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 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。)) J S M E S N C 1－2005/2007 (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
d_i	各部位の直径 ($i = 1, 2$)	mm
E	縦弾性係数	MPa
K_e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
ℓ_i	各部位の長さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
N_a	地震時の許容繰返し回数	—
N_c	地震時の実際の繰返し回数	—
m_o	質量	kg
P_D	最高使用圧力 (内圧)	kPa
P_{DO}	最高使用圧力 (外圧)	kPa
P_{DBA}	冷却材喪失事故後の最大内圧	kPa
P_{SAL}	圧力 (S A 後長期内圧)	kPa
P_{SALL}	圧力 (S A 後長々期内圧)	kPa
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
R	半径, 長さ	mm
S	材料の許容引張応力	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	—
S_P	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_ℓ'	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S_n	地震動による応力振幅	MPa
S_u	材料の設計引張強さ	MPa
S_y	材料の設計降伏点	MPa
T	温度	℃
T_D	最高使用温度	℃
T_{SAL}	温度 (S A 後長期温度)	℃
T_{SALL}	温度 (S A 後長々期温度)	℃
t	板厚	mm
ν	ポアソン比	—

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
力	N	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁 ^{*1}
モーメント	N・mm	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3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

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

サプレッション・チェンバアクセスハッチの形状及び主要寸法を図 3-1 に，使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。

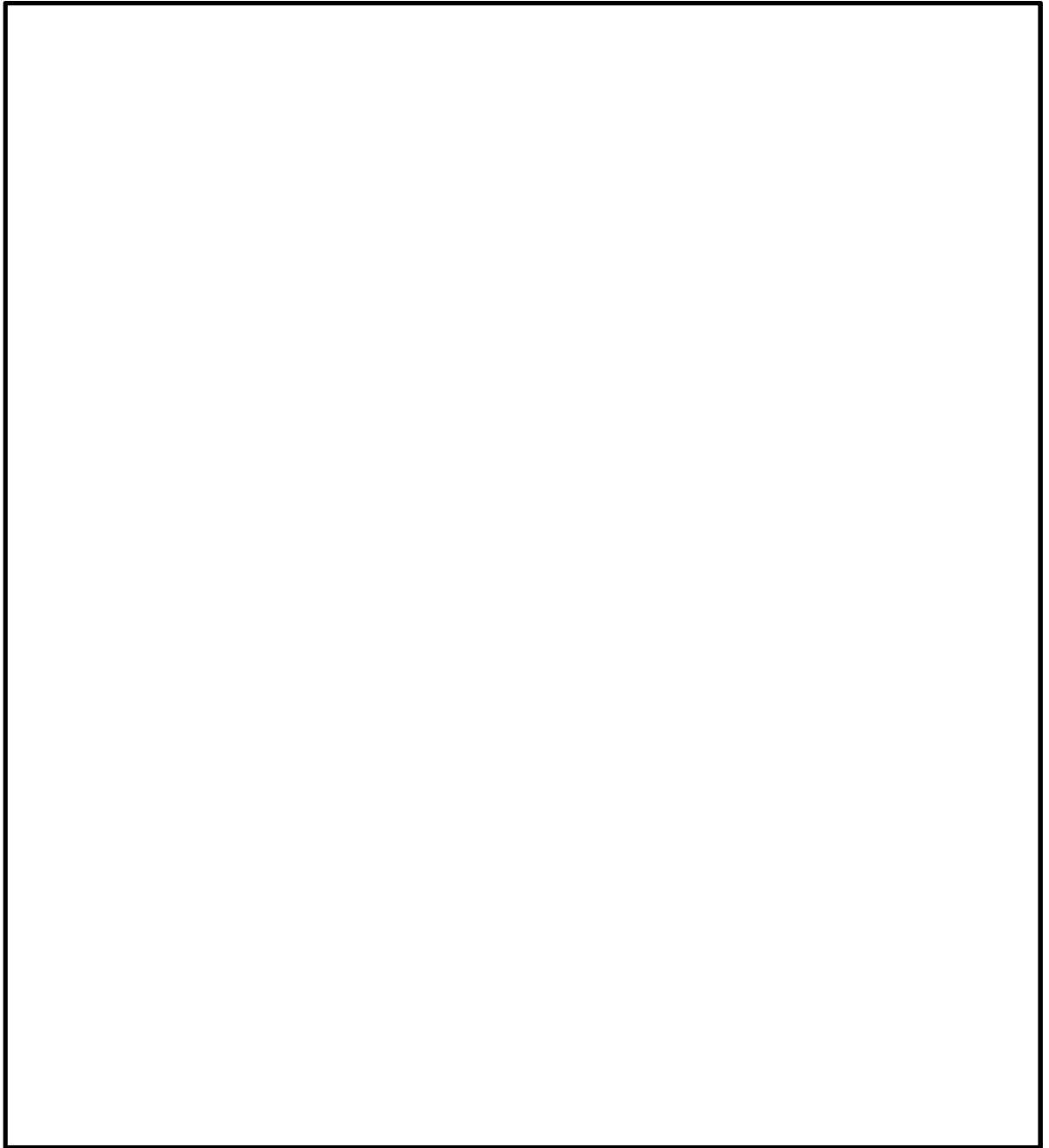


図 3-1 サプレッション・チェンバアクセスハッチの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

使用部位	使用材料		備考
サプレッション・チェンバ 円筒部シェル	SGV49 相当		SGV480*
補強板	SGV49 相当		SGV480*

注記 *：新 JIS を示す。

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) サプレッション・チェンバアクセスハッチは、原子炉格納容器のサプレッション・チェンバ円筒胴に支持される構造物である。サプレッション・チェンバアクセスハッチに作用する地震力は、サプレッション・チェンバアクセスハッチのサプレッション・チェンバ円筒胴への取り付け方向を考慮し、サプレッション・チェンバアクセスハッチ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、固有周期に応じた応答加速度に基づき算出する。サプレッション・チェンバアクセスハッチの耐震評価として、上記の応答解析に基づき算出した地震力を用いて、構造強度評価を行う。
- (2) 構造評価に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容限界

4.2.1 荷重の組合せ及び許容限界

サプレッション・チェンバアクセスハッチ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。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。

詳細な荷重の組合せは、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容限界

サプレッション・チェンバアクセスハッチの許容限界を表 4-3 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

サプレッション・チェンバアクセスハッチ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。また、使用材料の許容応力を表 4-6 及び表 4-7 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*1		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	サプレッション・チェンバアクセスハッチ	S	格納容器	$D + P + M + S_d^*$	(9, 10)	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	(11, 12)	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^{**2}$	(16)	Ⅳ _A S

注記 *1：（ ）内は添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表3-10 設計基準対処施設の荷重の組合せのNo. を示す。

*2：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

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*2		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	サプレッション・チェンバアクセスハッチ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2 容器	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(SA8)	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*3}$	(SA6)	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)

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

*2：（ ）内は添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表3-11 重大事故等時の荷重の組合せのNo. を示す。

*3：原子炉格納容器は、放射性物質放出の最終障壁となることから、重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表4-3 許容限界（クラスMC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					
	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	特別な応力限界	
					純せん 断応力	支圧応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。 ただし、オーステナイト系ス テンレス鋼及高ニッケル合金 については1.2・Sとする。	左欄の 1.5倍の値*2	3・S*3 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。	*4*5 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。	0.6・S	S _y *6 (1.5・S _y)
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u ，不連続な部分は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、構造上の連続 な部分は2・Sと0.6S _u の小さ い方，不連続な部分は1.2・S とする。	左欄の 1.5倍の値*2			0.4・S _u	S _u *6 (1.5・S _u)
V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A S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：設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は，純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値（α）を用いる。

*3：3・Sを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合，設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。S_mはSと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

＊4：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。

＊5：運転状態Ⅰ，Ⅱにおいて疲労解析を要しない場合は，地震動のみによる疲労累積係数を1.0以下とする。

＊6：（ ）内は，支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

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 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
サプレッション・チェンバ 円筒部シェル	SGV480	周囲環境 温度	104.5	131	237	430	—

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 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
サプレッション・チェンバ 円筒部シェル	SGV480	周囲環境 温度	150	131	232	424	—
		周囲環境 温度	171	131	229	423	—

表4-6 許容応力（設計基準対象施設）

（単位：MPa）

材料	温度 (℃)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次＋二次応力
			P_m^*	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	104.5	Ⅲ _A S	237	356	393
		Ⅳ _A S	258	387	393

注記 *：評価対象は、膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施し、許容応力以下であることが明らかなため、一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

表4-7 許容応力（重大事故等対処設備）

（単位：MPa）

材料	温度 (℃)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次＋二次応力
			P_m^*	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	150	V _A S	254	381	393
	171	V _A S	253	380	393

注記 *：評価対象は、膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施し、許容応力以下であることが明らかなため、一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

内圧 P_D 310 kPa

外圧 P_{DO} 14 kPa

温度 T_D 104.5 °C

(2) 冷却材喪失事故後の最大内圧 P_{DBA} 196 kPa

(3) 重大事故等対処施設としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SAL} 465 kPa (S A後長期)

内圧 P_{SALL} 200 kPa (S A後長々期)

温度 T_{SAL} 171 °C (S A後長期)

温度 T_{SALL} 150 °C (S A後長々期)

(4) 死荷重

a. サプレッション・チェンバアクセスハッチの自重 N (補強板重量含む)

b. ドライウエルの自重

サプレッション・チェンバアクセスハッチより上部の原子炉格納容器の自重及び付加物の重量を死荷重とする。

(5) 活荷重

a. 床に加わる荷重 N/m²

b. ドライウエルの荷重

サプレッション・チェンバアクセスハッチより上部の活荷重を考慮する。

(6) 水荷重

サプレッション・チェンバアクセスハッチ内保有水重量 N

重大事故等対処設備の評価に用いる水荷重として、下記の冠水水位による水頭圧を考慮する。

冠水水位 EL. mm

(7) 原子炉格納容器の地震荷重

原子炉格納容器に加わる地震荷重について、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」において計算された計算結果を用いる。原子炉格納容器に加わる鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-8 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-9 に示す。「弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力」及び「基準地震動 S_s 」による水平方向地震荷重のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-10 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-11 に示す。

表 4-8 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）

(単位：N)

通常運転時			燃料交換時		
鉛直荷重 ^{*1}	地震荷重		鉛直荷重 ^{*2}	地震荷重	
	S_d *	S_s		S_d *	S_s

注記 *1：鉛直方向にかかる死荷重

*2：鉛直方向にかかる死荷重と活荷重を合わせた荷重

表 4-9 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）

(単位：N)

重大事故等時		
鉛直荷重*	地震荷重	
	S_d	S_s

注記 *：鉛直方向にかかる死荷重

表 4-10 水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

弾性設計用地震動 S_d 又は 静的地震力による地震荷重		基準地震動 S_s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)

表 4-11 水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S_d による地震荷重		基準地震動 S_s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)

4.3 解析モデル及び諸元

サプレッション・チェンバアクセスハッチの解析モデルを図 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 4-12 に示す。

- (1) サプレッション・チェンバアクセスハッチをシェルモデルにてモデル化する。また、サプレッション・チェンバアクセスハッチが取り付けられる原子炉格納容器胴板もシェル要素でモデル化する。
- (2) サプレッション・チェンバアクセスハッチの質量はシェルモデルに付加する。
- (3) 拘束条件は原子炉格納容器本体の上端及び下端の全周を完全拘束とする。
- (4) 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、固有値及び応力を求める。なお、評価に用いる解析コード MSC NASTRAN 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。

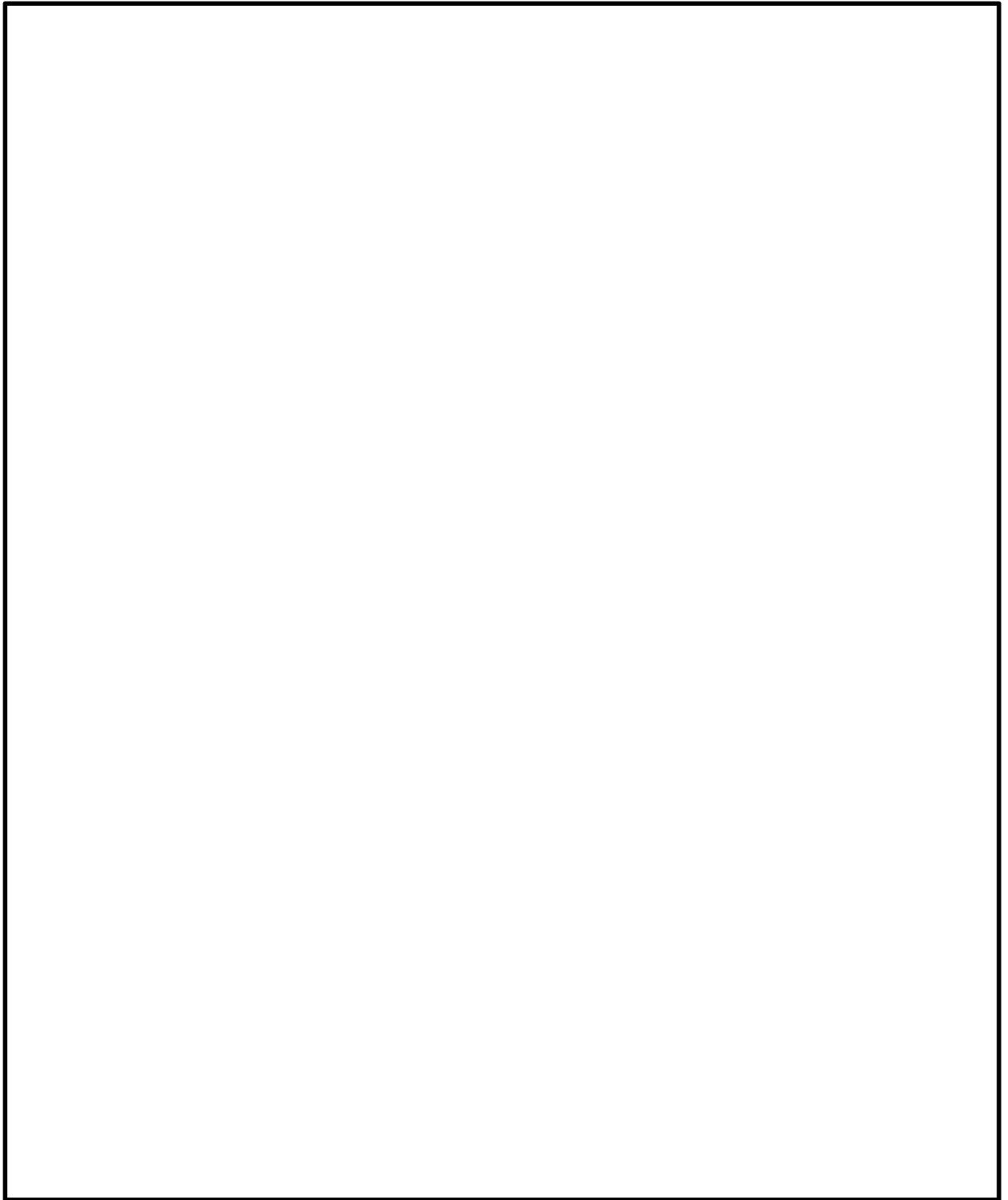


図 4-1 サプレッション・チェンバアクセスハッチ解析モデル

表 4-12 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
質量	m_0	kg	
温度条件	T	°C	66(ドライウエル) 32(サプレッション・チェンバ)
縦弾性係数	E	MPa	200000(ドライウエル) 202000(サプレッション・チェンバ)
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	
節点数	—	個	

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-13 及び表 4-14 に、振動モード図を図 4-2 及び図 4-3 に示す。

表 4-13 固有周期（設計基準対象施設）

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			X	Y	Z
1 次		水平方向（周方向）			
2 次		鉛直方向			
3 次		水平方向（径方向）			
4 次	0.05 未満*	—	—	—	—

注記 *：ハッチ質量を保守的に集中質量でモデル化しており，4 次以降のモードは算出されない。

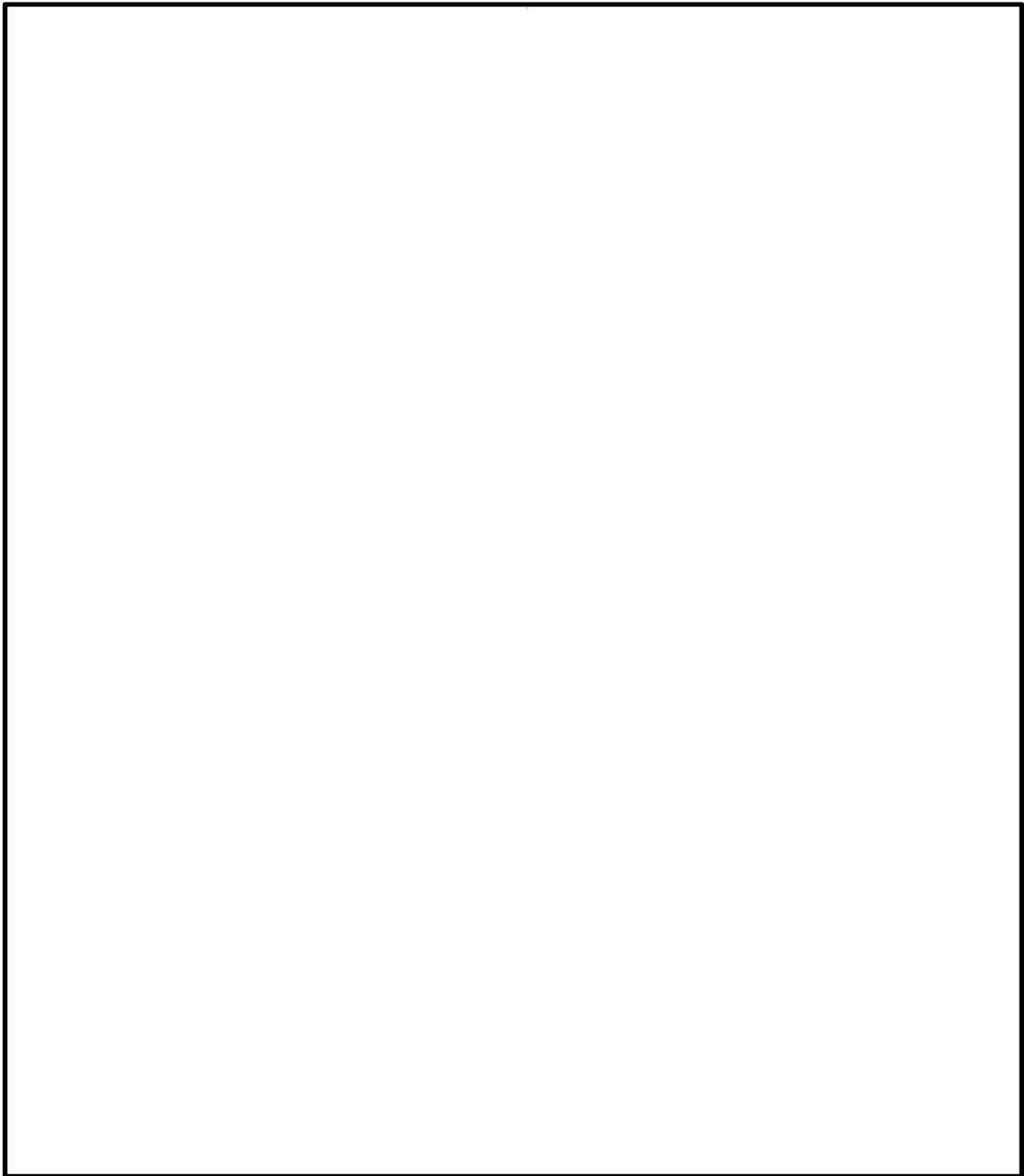


図 4-2 振動モード図

表 4-14 固有周期（重要事故等対処設備）

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			X	Y	Z
1 次		水平方向（周方向）			
2 次		水平方向（径方向）			
3 次		鉛直方向			
4 次		水平方向（周方向）			



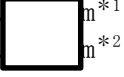
図 4-3 振動モード図

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-15 及び表 4-16 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力」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。

表 4-15 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ	固有周期 (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 方向	鉛直 方向
格納容器 EL.  m*1 EL.  m*2			$C_H=0.53$ (1.44) *3	$C_V=0.42$ (3.96) *3	$C_H=0.85$ (3.34) *4	$C_V=0.80$ (7.42) *4	1.0*5	1.0*5

注記 *1：水平方向設計震度に用いる設置高さを示す。

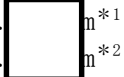
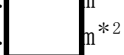
*2：鉛直方向設計震度に用いる設置高さを示す。

*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

*5：溶接構造物に適用される減衰定数の値

表 4-16 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	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d		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 方向	鉛直 方向
格納容器 EL.  m*1 EL.  m*2			$C_H=0.53$ (2.39) *3	$C_V=0.31$ (2.29) *3	$C_H=0.64$ (4.09) *4	$C_V=0.59$ (4.43) *4	1.0*5	1.0*5

注記 *1：水平方向設計震度に用いる設置高さを示す。

*2：鉛直方向設計震度に用いる設置高さを示す。

*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

*5：溶接構造物に適用される減衰定数の値

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

サプレッション・チェンバアクセスハッチの応力評価点は、サプレッション・チェンバアクセスハッチを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-17 及び図 4-3 に示す。

表 4-17 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	円筒胴と補強板との結合部 (P 1 - 1 ~ P 1 - 3)
P 2	サプレッション・チェンバ円筒胴と補強板との結合部 (P 2 - 1 ~ P 2 - 3)

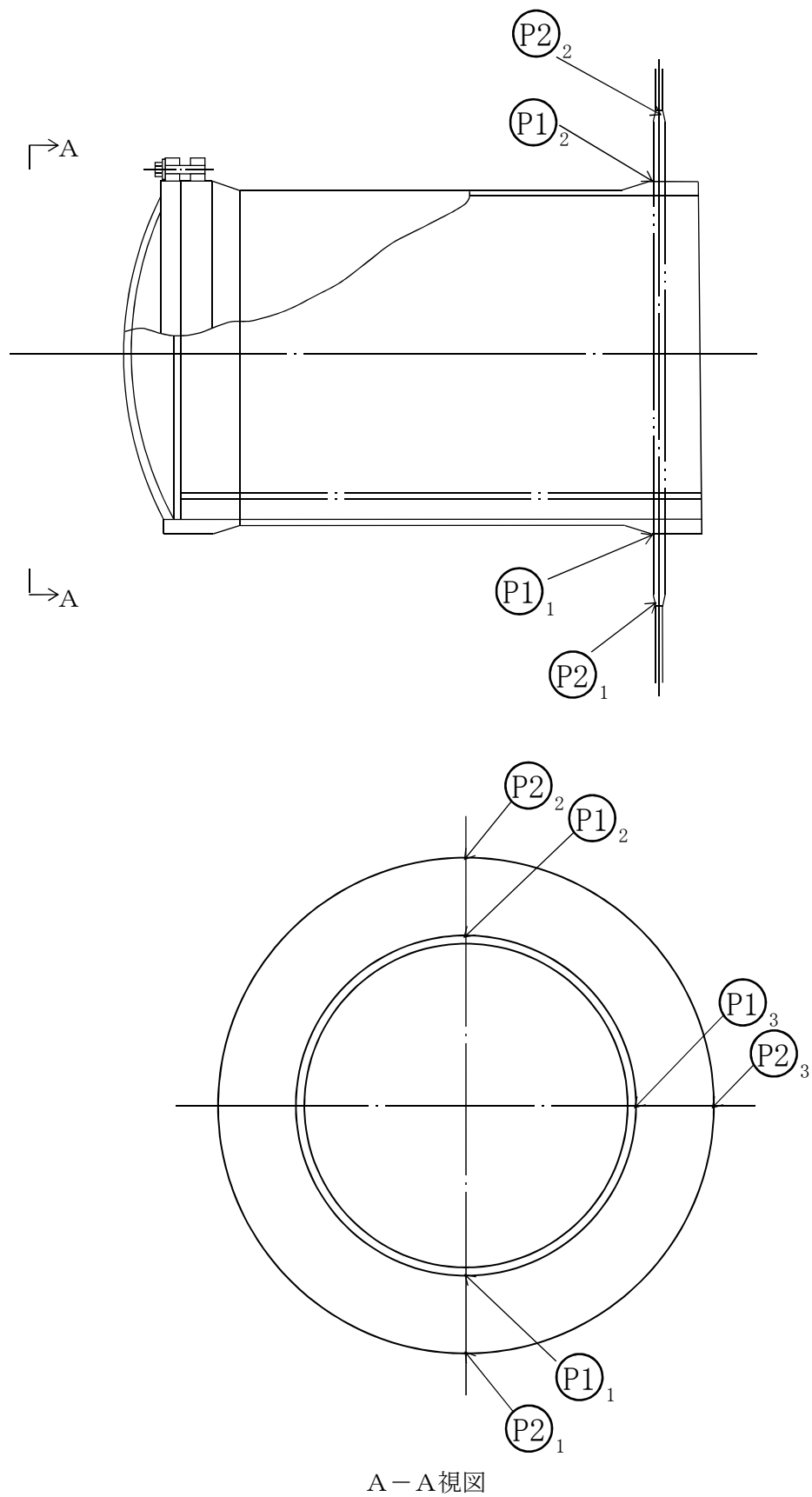


図 4-3 サプレッション・チェンバアクセスハッチの応力評価位置

4.6.2 応力計算方法

サプレッション・チェンバアクセスハッチの表 4-17 及び図 4-3 で示した応力評価点での応力は、図 4-1 の解析モデルを用いて算出した応力と原子炉格納容器本体に作用する荷重による応力を適切に足し合わせるにより算出する。

応力計算方法について、以下に示す。

4.6.2.1 円筒胴と補強板との結合部及びドライウエル円錐胴と補強板との結合部（応力評価点 P 1 及び P 2）

(1) サプレッション・チェンバアクセスハッチに作用する荷重による応力

サプレッション・チェンバアクセスハッチに作用する死荷重、地震荷重による応力は、図 4-1 に示すサプレッション・チェンバアクセスハッチの解析モデルを用いて算出する。地震荷重による応力は、サプレッション・チェンバアクセスハッチの質量を等分布に付加し、「4.5 設計用地震力」に基づく地震荷重を入力して算出する。

(2) 原子炉格納容器本体に作用する荷重による応力

原子炉格納容器に作用する圧力、死荷重及び地震荷重による応力は、添付書類「V-2-9-2-1 原子炉格納容器の耐震性についての計算書」で解析した応力を用いる。地震荷重による応力は、「4.2.4(7) 原子炉格納容器の地震荷重」に基づく地震荷重を入力して算出する。

(3) 応力の足し合わせ

表 4-17 及び図 4-3 で示した応力評価点での応力は、(1)で求めたサプレッション・チェンバアクセスハッチに作用する荷重による応力と、(2)で求めた原子炉格納容器本体に作用する荷重による応力を適切に足し合わせることで算出する。

(4) 解析コード

解析コードはMSC NASTRANを用いる。なお、評価に用いる解析コードMSC NASTRANの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」に示す。

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は、「4.2 荷重の組合せ及び許容限界」及び「4.5 設計用地震力」に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 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。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。

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・チェンバアクセスハッチ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。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅲ_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、 $D + P + M + S_d^*$ の評価について記載している。

(2) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅳ_ASに対する応力評価結果を表 5-2 に示す。

表 4-2 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_s$ 及び $D + P_L + M_L + S_d^*$ の評価について記載している。

(3) 疲労評価

疲労評価結果を表 5-3 に示す。

なお、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」において疲労解析は不要であることを確認しており、地震動のみによる疲労累積係数が 1.0 以下であることを確認している。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
サプレッション・チェンバアクセスハッチ	P 1 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	62	356	○	
			一次＋二次応力強さ	274	393	○	
	P 1 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	71	356	○	
			一次＋二次応力強さ	204	393	○	
	P 1 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	69	356	○	
			一次＋二次応力強さ	208	393	○	
	P 2 - 1	サプレッション・チェンバ円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	79	356	○	
			一次＋二次応力強さ	240	393	○	
	P 2 - 2	サプレッション・チェンバ円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	54	356	○	
			一次＋二次応力強さ	156	393	○	
	P 2 - 3	サプレッション・チェンバ円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	104	356	○	
			一次＋二次応力強さ	302	393	○	

表 5-2(1) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
サプレッション・チェンバアクセスハッチ	P 1 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	103	387	○	
			一次＋二次応力強さ	224	393	○	
	P 1 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	112	387	○	
			一次＋二次応力強さ	170	393	○	
	P 1 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	99	387	○	
			一次＋二次応力強さ	172	393	○	
	P 2 - 1	サプレッション・チェンバ円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	108	387	○	
			一次＋二次応力強さ	198	393	○	
	P 2 - 2	サプレッション・チェンバ円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	111	387	○	
			一次＋二次応力強さ	126	393	○	
	P 2 - 3	サプレッション・チェンバ円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	113	387	○	
			一次＋二次応力強さ	248	393	○	

表 5-2(2) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
サプレッション・チェンバークセスハッチ	P 1 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	108	387	○	
			一次＋二次応力強さ	512	393	×*	
			疲労評価	0.374	1.0	○	単位なし
	P 1 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	123	387	○	
			一次＋二次応力強さ	386	393	○	
	P 1 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	120	387	○	
			一次＋二次応力強さ	412	393	×*	
			疲労評価	0.150	1.0	○	単位なし
	P 2 - 1	サプレッション・チェンバ円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	138	387	○	
			一次＋二次応力強さ	456	393	×*	
			疲労評価	0.051	1.0	○	単位なし
	P 2 - 2	サプレッション・チェンバ円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	99	387	○	
			一次＋二次応力強さ	290	393	○	
	P 2 - 3	サプレッション・チェンバ円筒胴と補強板との結合部	一次膜＋曲げ応力強さ	176	387	○	
			一次＋二次応力強さ	610	393	×*	
			疲労評価	0.283	1.0	○	単位なし

注記 * : P 1 - 1, P 1 - 3 及び P 2 - 1, P 2 - 3 の一次＋二次応力評価結果は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, この結果より耐震性を有することを確認した。

表 5-3 許容応力状態Ⅳ_A S に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _ℓ ' (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c ／N _a	備考
P 1－1	512							0.374	
P 1－3	412							0.150	
P 2－1	456							0.051	
P 2－3	610							0.283	

注記 * : S_ℓに (E_o／E) を乗じた値である
E_o=2.07×10⁵ MPa E=1.98×10⁵ MPa
E_o : 縦弾性係数
E : 運転温度の縦弾性係数

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・チェンバアクセスハッチ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。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価

許容応力状態 $V_A S$ に対する応力評価結果を表 5-4 に示す。

表 4-2 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ 及び $D + P_{SALL} + M_{SAL} + S_d$ の評価について記載している。

(2) 疲労評価

疲労評価結果を表 5-5 に示す。

なお、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」において疲労解析は不要であることを確認しており、地震動のみによる疲労累積係数が 1.0 以下であることを確認している。

表 5-4(1) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	$IV_A S$		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
サプレッション・チェンバアクセスハッチ	P 1 - 1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	221	380	○	
			一次+二次応力強さ	222	393	○	
	P 1 - 2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	263	380	○	
			一次+二次応力強さ	206	393	○	
	P 1 - 3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	234	380	○	
			一次+二次応力強さ	256	393	○	
	P 2 - 1	サプレッション・チェンバ円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	216	380	○	
			一次+二次応力強さ	210	393	○	
	P 2 - 2	サプレッション・チェンバ円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	259	380	○	
			一次+二次応力強さ	168	393	○	
	P 2 - 3	サプレッション・チェンバ円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	247	380	○	
			一次+二次応力強さ	388	393	○	

表 5-4(2) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	$IVAS$		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
サプレッション・チェンバークセスハッチ	P 1-1	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	186	380	○	
			一次+二次応力強さ	404	393	×*	
			疲労評価	0.142	1.0	○	単位なし
	P 1-2	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	236	380	○	
			一次+二次応力強さ	362	393	○	
	P 1-3	円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	220	380	○	
			一次+二次応力強さ	436	393	×*	
			疲労評価	0.199	1.0	○	単位なし
	P 2-1	サプレッション・チェンバ円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	207	380	○	
			一次+二次応力強さ	378	393	○	
	P 2-2	サプレッション・チェンバ円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	208	380	○	
			一次+二次応力強さ	286	393	○	
	P 2-3	サプレッション・チェンバ円筒胴と補強板との結合部	一次膜+曲げ応力強さ	226	380	○	
			一次+二次応力強さ	668	393	×*	
			疲労評価	0.428	1.0	○	単位なし

注記 * : P 1-1, P 1-3 及び P 2-3 の一次+二次応力評価結果は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

表 5-5 許容応力状態V_ASに対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _ℓ ^{'*} (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c ／N _a	備考
P 1－1	404							0.142	
P 1－3	436							0.199	
P 2－3	668							0.428	

注記 *：S_ℓに（E_o／E）を乗じた値である
E_o=2.07×10⁵ MPa E=1.95×10⁵ MPa
E_o：縦弾性係数
E：運転温度の縦弾性係数

V-2-9-2-9 原子炉格納容器配管貫通部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. 構造強度評価	8
4.1 構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容限界	8
4.3 設計用地震力	17
4.4 計算方法	17
4.5 計算条件	22
4.6 応力の評価	22
5. 評価結果	22
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	22
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	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」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、原子炉格納容器配管貫通部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。

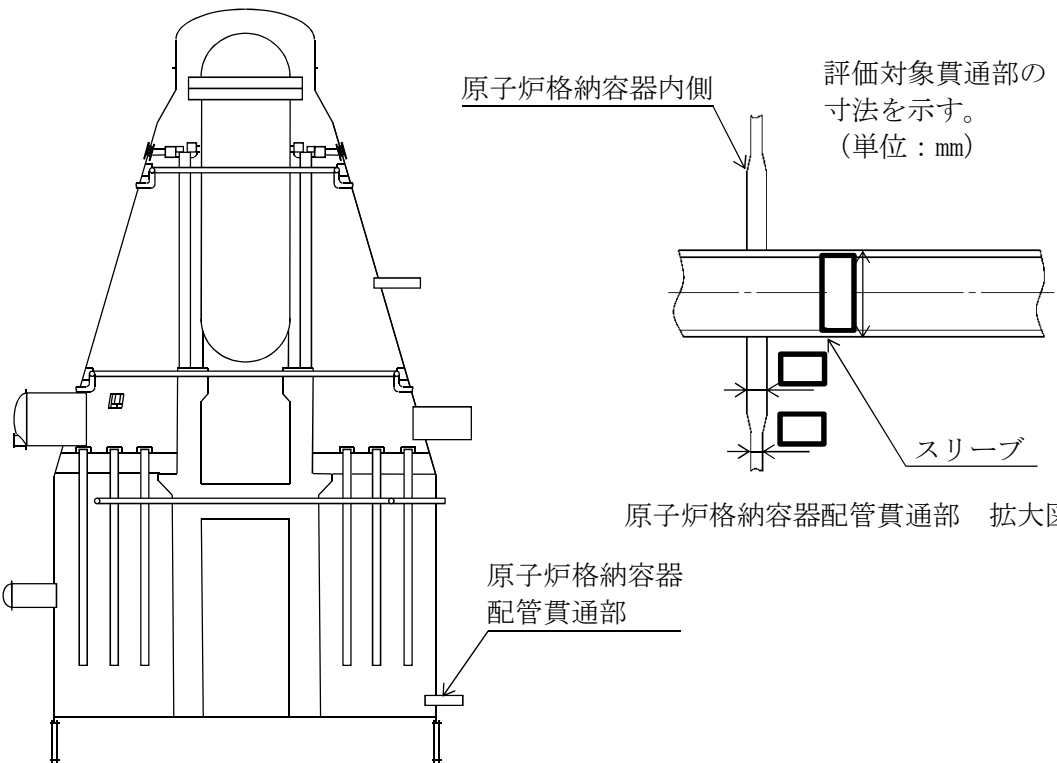
原子炉格納容器配管貫通部は設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉格納容器配管貫通部の構造計画を表 2-1 に示す。

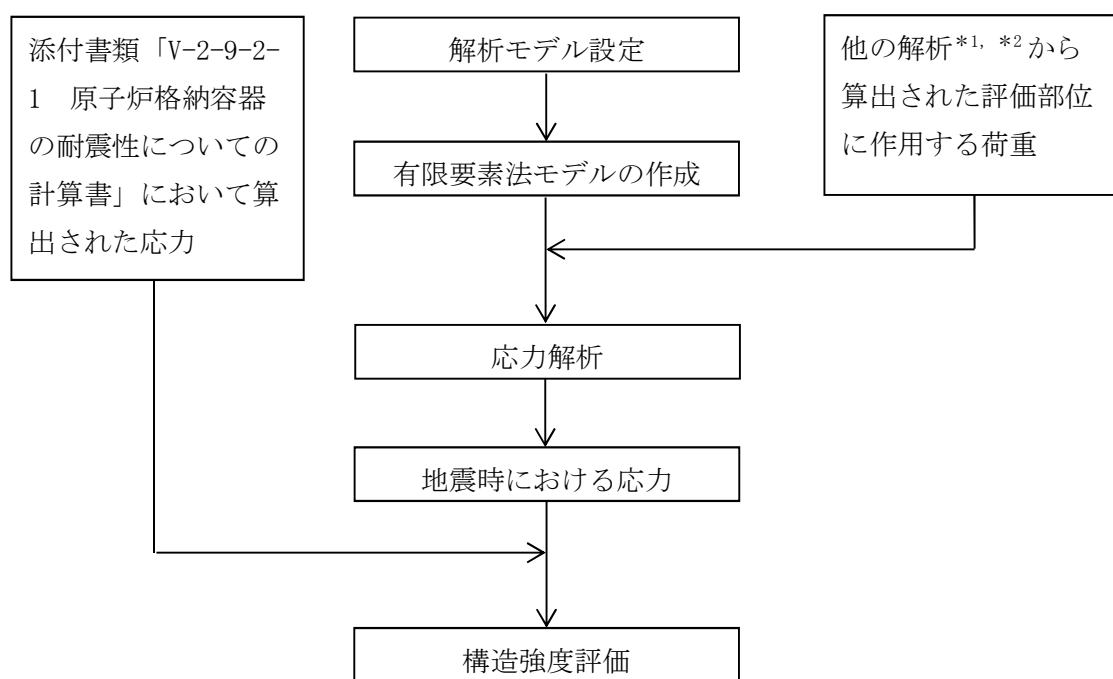
表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉格納容器配管貫通部は原子炉格納容器により支持される。	原子炉格納容器に円筒形スリーブが取り付けられた鋼製構造物である。	

2.2 評価方針

原子炉格納容器配管貫通部の応力評価は、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み合わせ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す原子炉格納容器配管貫通部の部位を踏まえた「3. 評価部位」にて設定する箇所において、地震により評価部位に作用する荷重で発生する応力等が許容限界に収まることを、「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。評価結果を「5. 評価結果」に示す。

原子炉格納容器配管貫通部の耐震評価フローを図 2-1 に示す。



注記 *1：添付書類「V-2-5-5-1 高圧炉心スプレイ系の耐震性についての計算書」のうち「V-2-5-5-1-3 管の耐震性についての計算書」

*2：添付書類「V-2-5-5-2 低圧炉心スプレイ系の耐震性についての計算書」のうち「V-2-5-5-2-3 管の耐震性についての計算書」

図 2-1 原子炉格納容器配管貫通部の耐震評価フロー

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 J E A G 4 6 0 1 -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 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
(日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -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。)) J S M E
S N C 1-2005/2007 (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
d_o	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
M_C	水平方向モーメント	N・mm
M_L	垂直方向モーメント	N・mm
m_o	質量	kg
P	軸方向荷重	N
P_D	最高使用圧力（内圧）	kPa
P_{DO}	最高使用圧力（外圧）	kPa
P_{DBA}	冷却材喪失事故後の最大内圧	kPa
P_{SAL}	圧力（S A後長期内圧）	kPa
P_{SALL}	圧力（S A後長々期内圧）	kPa
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
R	原子炉格納容器胴の内半径	mm
S	材料の許容引張応力	MPa
S_d	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力	—
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	—
S_u	材料の設計引張強さ	MPa
S_y	材料の設計降伏点	MPa
T	原子炉格納容器胴側板厚，温度	mm, °C
T_D	最高使用温度	°C
T_{SAL}	温度（S A後長期温度）	°C
T_{SALL}	温度（S A後長々期温度）	°C
t_{no}	スリーブ板厚	mm
ν	ポアソン比	—

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
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*1}
モーメント	N・mm	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 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

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

原子炉格納容器配管貫通部の取付け状況、形状及び主要寸法を図 3-1 及び表 3-1 に、使用材料及び使用部位を表 3-2 に示す。

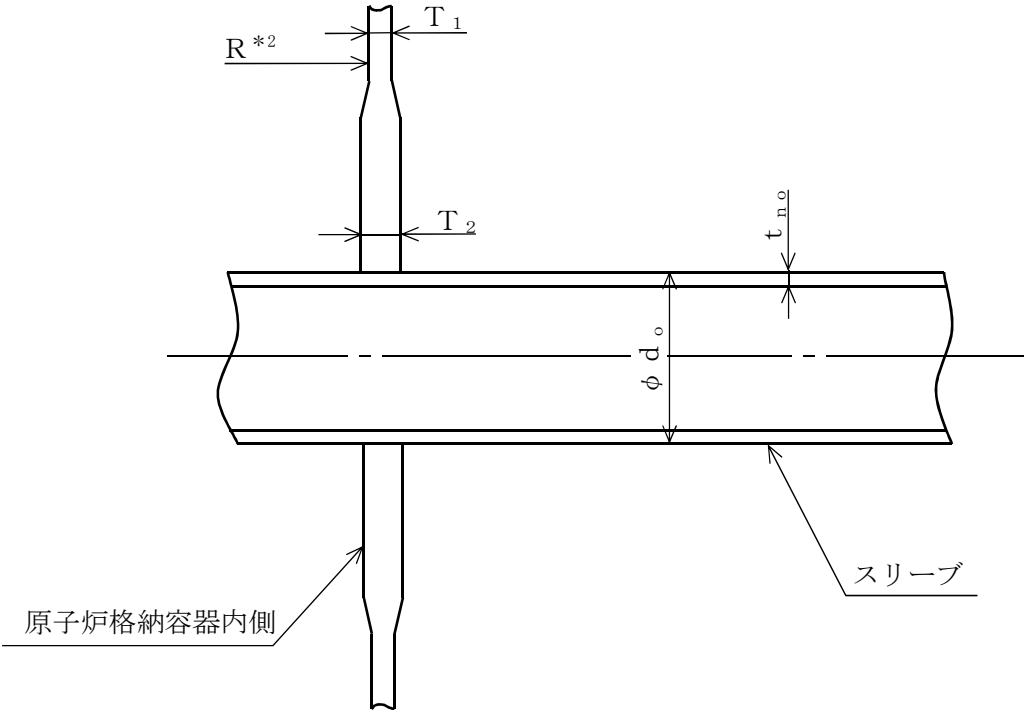


図3-1 原子炉格納容器配管貫通部の形状

表3-1 原子炉格納容器配管貫通部の主要寸法

(単位：mm)					
貫通部番号*1	T ₁	T ₂	d _o	t _{no}	R ^{*2}

注記 *1：ベローズ無し貫通部のうち、系統配管からの反力が支配的であり、スリーブ口径が大きい貫通部を代表として選定した。

*2：原子炉格納容器中心から原子炉格納容器内側までの距離

表 3-2 使用材料表

使用部位	使用材料		備考
原子炉格納容器胴	SGV49 相当		SGV480*
補強板	SGV49 相当		SGV480*

注記 *：新 JIS を示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 原子炉格納容器配管貫通部は、原子炉格納容器を貫通する系統配管を支持する構造物である。原子炉格納容器配管貫通部の耐震評価として、系統配管の地震応答解析で計算された荷重を用いて、構造強度評価を行う。
- (2) 構造評価に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容限界

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉格納容器配管貫通部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 及び表 4-2 に示す。

詳細な荷重の組合せは、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組合せる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容限界

原子炉格納容器配管貫通部の許容限界を表 4-3 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

原子炉格納容器配管貫通部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。また、使用材料の許容応力を表 4-6 及び表 4-7 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* ¹		許容応力 状態
原子炉 格納 施設	原子炉 格納 容器	原子炉 格納 容器 配管 貫通部	S	格納容器	$D + P + M + S_d^*$	(9, 10, 13)	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	(11, 12, 14)	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^{**2}$	(16)	Ⅳ _A S

注記 *1：（ ）内は添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表3-10 設計基準対象施設の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

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* ²		許容応力 状態
原子炉 格納 施設	原子炉 格納 容器	原子炉 格納 容器 配管 貫通部	常設耐震 ／防止 常設 ／緩和	重大 事故等 クラス 2 容器	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(SA8)	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	(SA6)	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

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

*2：（ ）内は添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表3-11 重大事故等時の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：原子炉格納容器は、放射性物質放出の最終障壁となることから、重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表4-3 許容限界（クラスMC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					
	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	特別な応力限界	
					純せん 断応力	支圧応力
Ⅲ _A S	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 レス鋼及高ニッケル合金について は1.2・Sとする。	左欄の 1.5倍の値*2	3・S*3 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。	*4、*5 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。	0.6・S	S _y *6 (1.5・S _y)
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u ， 不連続な部分は，S _y と0.6・S _u の小さい方。	左欄の 1.5倍の値*2		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。	0.4・S _u	S _u *6 (1.5・S _u)
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用 いる。)	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，構造上の連続な部分は2・ Sと0.6・S _u の小さい方，不連続 な部分は1.2・Sとする。					

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：設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は，純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は，1.5のいずれか小さい方の値（ α ）を用いる。
- *3：3・Sを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合，設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。S_mはSと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。
- *4：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。ただし，PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「S_d又はS_s地震動による応力の全振幅」と読み替える。
- *5：運転状態Ⅰ，Ⅱにおいて疲労解析を要しない場合は，地震動のみによる疲労累積係数を1.0以下とする。
- *6：（ ）内は，支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
SGV480	周囲環境 温度	104.5	131	237	430	—

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）

材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
SGV480	周囲環境 温度	150	131	232	424	—
	周囲環境 温度	171	131	229	423	—

表4-6 許容応力（設計基準対象施設）

（単位：MPa）

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次＋二次応力
			P_m^{*1}	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	104.5	Ⅲ _A S	237	356	393
		Ⅳ _A S	237 ^{*2}	356 ^{*2}	393
			258 ^{*3}	387 ^{*3}	393

注記 *1：評価対象は，膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施し，許容応力以下であることが明らかなため，一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

*2：構造不連続部に対する許容応力を示す。

*3：構造連続部に対する許容応力を示す。

表4-7 許容応力（重大事故等対処設備）

（単位：MPa）

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次＋二次応力
			P_m^{*1}	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	171	V _A S	229 ^{*2}	344 ^{*2}	393
			253 ^{*3}	380 ^{*3}	393
	150	V _A S	232 ^{*2}	348 ^{*2}	393
			254 ^{*3}	381 ^{*3}	393

注記 *1：評価対象は，膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施し，許容応力以下であることが明らかなため，一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

*2：構造不連続部に対する許容応力を示す。

*3：構造連続部に対する許容応力を示す。

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

内圧 P_D 310 kPa
 外圧 P_{DO} 14 kPa
 温度 T_D 104.5 °C

(2) 冷却材喪失事故後の最大内圧 P_{DBA} 196 kPa

(3) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SAL} 465 kPa (S A後長期)
 内圧 P_{SALL} 200 kPa (S A後長々期)
 温度 T_{SAL} 171 °C (S A後長期)
 温度 T_{SALL} 150 °C (S A後長々期)

(4) 配管荷重

a. 原子炉格納容器配管貫通部の地震荷重

貫通部に作用する配管反力による設計荷重を表 4-8 に示す。地震荷重の作用方向を図 4-1 に示す。

表 4-8 配管反力による設計荷重

貫通部番号	荷重の種類	軸力 (N)	モーメント (N・mm)				
		P	M _C	M _L			
	死荷重						
	逃がし安全弁 作動時荷重						
	地震荷重				S _d		
					S _s		
	死荷重						
	逃がし安全弁 作動時荷重						
	地震荷重	S _d					
		S _s					

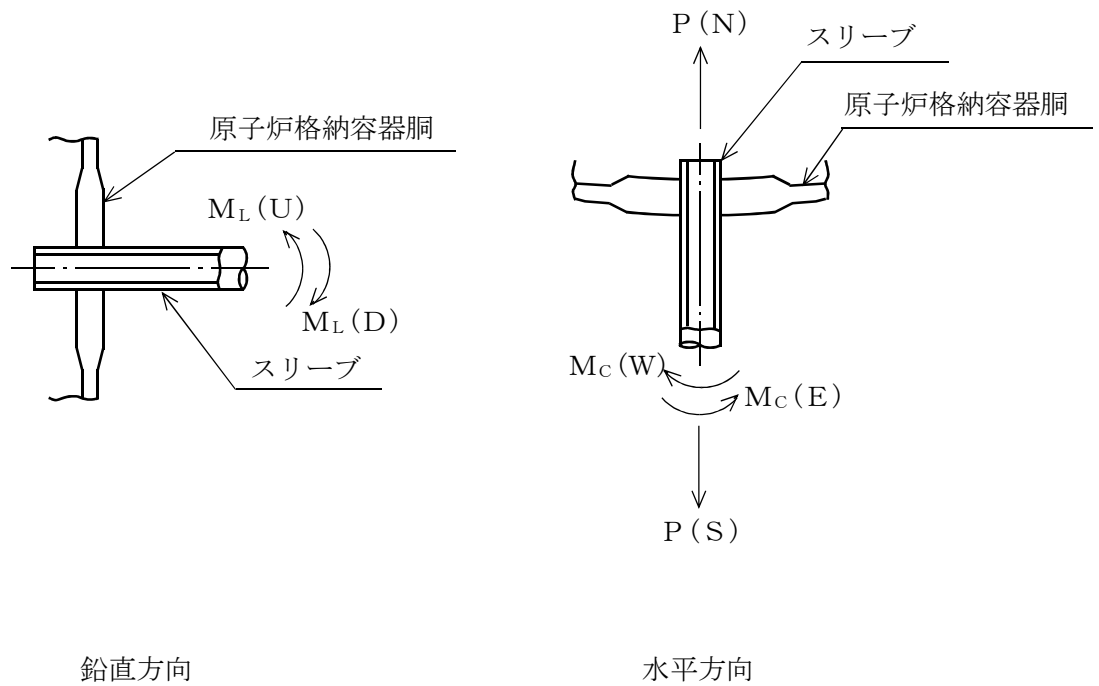


図 4-1 地震荷重の作用方向

b. 原子炉格納容器の地震荷重

原子炉格納容器に加わる地震荷重について、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」において計算された計算結果を用いる。原子炉格納容器に加わる鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-9 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-10 に示す。弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力，及び基準地震動 S_s による水平方向地震荷重のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-11 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-12 に示す。

表 4-9 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）

(単位：N)

通常運転時			燃料交換時		
鉛直荷重* ¹	地震荷重		鉛直荷重* ²	地震荷重	
	S _d * ¹	S _s		S _d * ²	S _s

注記 *1：鉛直方向にかかる死荷重

*2：鉛直方向にかかる死荷重と活荷重を合わせた荷重

表 4-10 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）

(単位：N)

重大事故等時		
鉛直荷重 ^{*1}	地震荷重	
	S_d	S_s

注記 *1：鉛直方向にかかる死荷重

表 4-11 水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

弾性設計用地震動 S_d 又は 静的地震力による地震荷重		基準地震動 S_s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)

表 4-12 水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S_d による地震荷重		基準地震動 S_s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)

4.3 設計用地震力

「4.2.4 (4) a. 原子炉格納容器配管貫通部の地震荷重」に示される配管反力及び添付書類「V-2-3-2 炉心，原子炉压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」で算出された原子炉格納容器の地震荷重を用いる。

4.4 計算方法

4.4.1 応力評価点

原子炉格納容器配管貫通部の応力評価点は，配管貫通部を構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し，発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-13 及び図 4-2 に示す。

表 4-13 応力評価点

貫通部番号	応力評価点番号	応力評価点
	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部 (P 1 - A ~ P 1 - C)
	P 2	原子炉格納容器胴と補強板との結合部 (P 2 - A ~ P 2 - C)
	P 3	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部 (P 3 - A ~ P 3 - C)
	P 4	原子炉格納容器胴と補強板との結合部 (P 4 - A ~ P 4 - C)

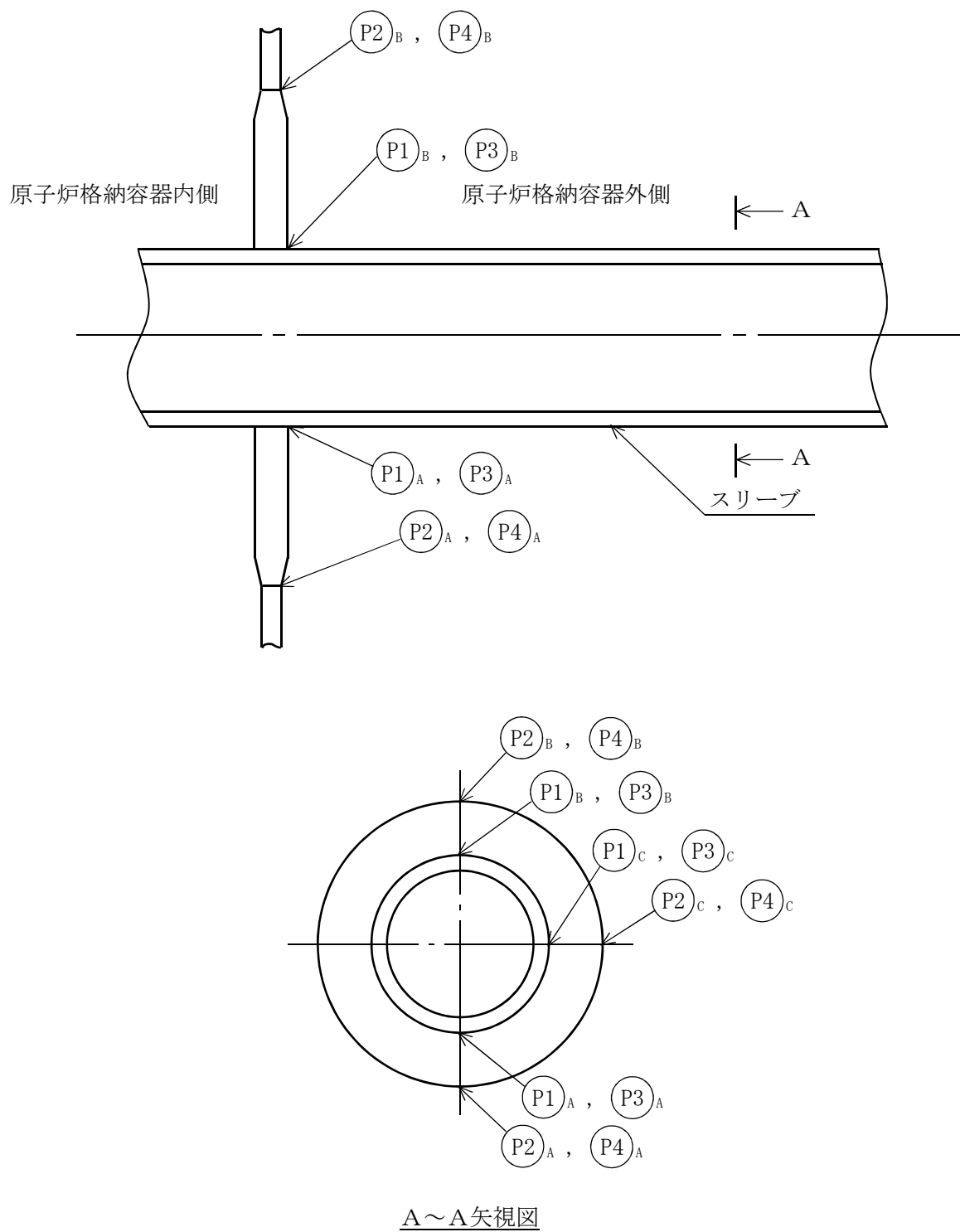


図 4-2 原子炉格納容器配管貫通部の応力評価点

4.4.2 応力計算方法

荷重により原子炉格納容器配管貫通部に生じる応力の算出には、三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。

応力計算方法について、以下に示す。

(1) 原子炉格納容器配管貫通部に作用する荷重による応力

原子炉格納容器配管貫通部に作用する死荷重、逃がし安全弁作動時荷重、地震荷重による応力は、図 4-3 及び図 4-4 に示す貫通部番号 及び の解析モデルを用いて算出する。解析モデルの諸元を表 4-14 に示す。地震荷重による応力は、「4.2.4 (4) a. 原子炉格納容器配管貫通部の地震荷重」に基づく地震荷重を入力して算出する。

(2) 原子炉格納容器に作用する荷重による応力

原子炉格納容器に作用する圧力、死荷重及び地震荷重による応力は、添付書類「V-2-9-2-1 原子炉格納容器の耐震性についての計算書」で解析した応力を用いる。地震荷重による応力は、「4.2.4 (4) b. 原子炉格納容器の地震荷重」に基づく地震荷重を入力して算出する。

(3) 応力の足し合わせ

表 4-13 及び図 4-2 で示した応力評価点での応力は、(1)で求めた原子炉格納容器配管貫通部に作用する荷重による応力と、(2)で求めた原子炉格納容器に作用する荷重による応力を適切に足し合わせることで算出する。

(4) 解析コード

解析コードはMSC NASTRANを用いる。なお、評価に用いる解析コードMSC NASTRAN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。

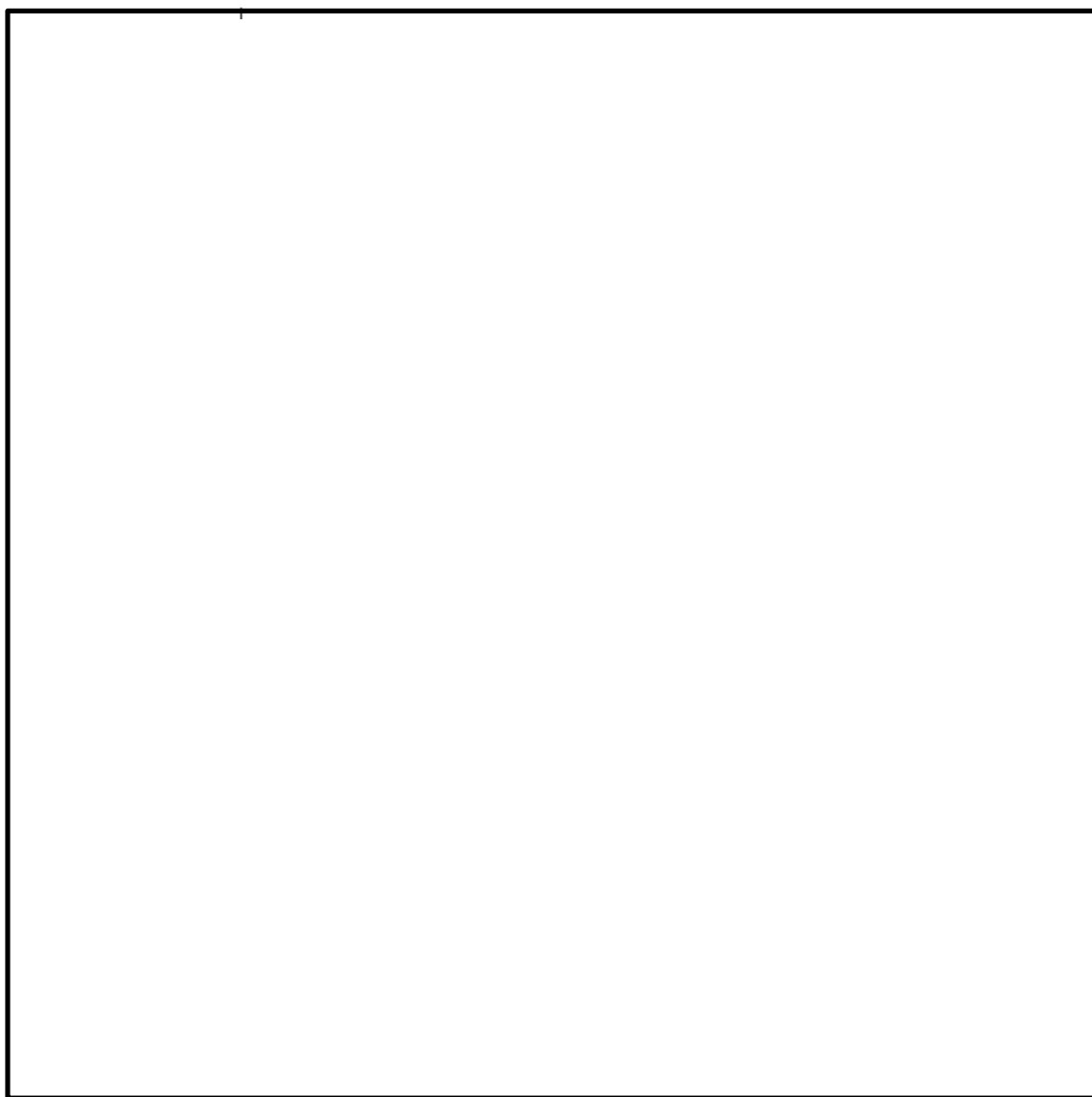


図 4-3 貫通部番号 の解析モデル

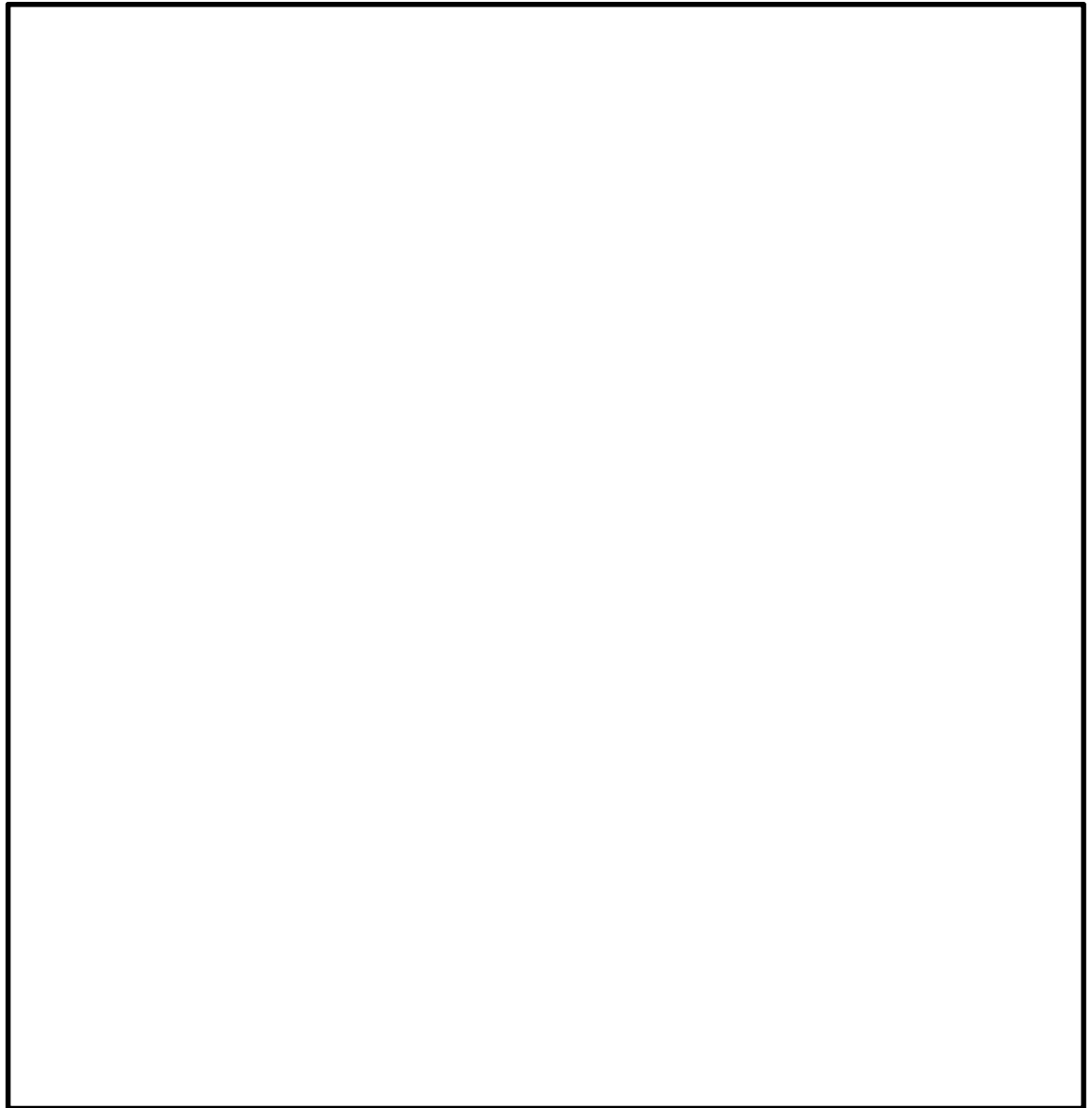


図 4-4 貫通部番号  の解析モデル

表 4-14 解析モデル諸元表

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
質量	m_0	kg	— *1
温度条件	T	℃	104.5 *2
縦弾性係数	E	MPa	198000 *2
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	図4-3～図4-4に 記載のとおり
節点数	—	個	

注記 *1：単位荷重による解析のため，質量の入力は不要。

*2：動的応答を考慮しない為，温度及び剛性（縦弾性係数）は解析結果に影響しない。

4.5 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 荷重の組合せ及び許容限界」に示す。

4.6 応力の評価

「4.4 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。ただし，一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は，設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉格納容器配管貫通部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。発生値は許容値を満足しており，耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価

許容応力状態Ⅲ_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， $D + P + M + S_d^*$ の評価を記載している。

(2) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価

許容応力状態Ⅳ_AS に対する応力評価結果を表 5-2 に示す。

表 4-1 に示す荷重の組合せのうち， $D + P_L + M_L + S_d^*$ 及び $D + P + M + S_s$ の評価を記載している。

(3) 疲労評価

添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」において疲労解析は不要であることを確認している。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器 配管貫通部 	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	137	356	○	
			一次＋二次応力強さ	132	393	○	
	P 2	原子炉格納容器胴と補強板との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	129	356	○	
			一次＋二次応力強さ	132	393	○	
原子炉格納容器 配管貫通部 	P 3	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	136	356	○	
			一次＋二次応力強さ	128	393	○	
	P 4	原子炉格納容器胴と補強板との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	128	356	○	
			一次＋二次応力強さ	130	393	○	

表 5-2(1) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価結果 (D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器 配管貫通部 	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	89	356	○	
			一次＋二次応力強さ	130	393	○	
	P 2	原子炉格納容器胴と補強板との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	87	387	○	
			一次＋二次応力強さ	130	393	○	
原子炉格納容器 配管貫通部 	P 3	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	88	356	○	
			一次＋二次応力強さ	126	393	○	
	P 4	原子炉格納容器胴と補強板との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	86	387	○	
			一次＋二次応力強さ	128	393	○	

表 5-2(2) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器 配管貫通部 	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	177	356	○	
			一次＋二次応力強さ	234	393	○	
	P 2	原子炉格納容器胴と補強板との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	166	387	○	
			一次＋二次応力強さ	230	393	○	
原子炉格納容器 配管貫通部 	P 3	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	175	356	○	
			一次＋二次応力強さ	230	393	○	
	P 4	原子炉格納容器胴と補強板との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	166	387	○	
			一次＋二次応力強さ	228	393	○	

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉格納容器配管貫通部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。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価

許容応力状態 $V_A S$ に対する応力評価結果を表 5-3 に示す。

表 4-2 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ 及び $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ の評価を記載している。

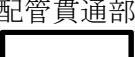
(2) 疲労評価

添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」において疲労解析は不要であることを確認している。

表 5-3(1) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	$V_A S$		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器 配管貫通部 	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	261	344	○	
			一次＋二次応力強さ	194	393	○	
	P 2	原子炉格納容器胴と補強板との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	258	380	○	
			一次＋二次応力強さ	196	393	○	
原子炉格納容器 配管貫通部 	P 3	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	260	344	○	
			一次＋二次応力強さ	190	393	○	
	P 4	原子炉格納容器胴と補強板との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	257	380	○	
			一次＋二次応力強さ	194	393	○	

表 5-3(2) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	$V_A S$		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
原子炉格納容器 配管貫通部 	P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	267	348	○	
			一次＋二次応力強さ	348	393	○	
	P 2	原子炉格納容器胴と補強板との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	258	381	○	
			一次＋二次応力強さ	348	393	○	
原子炉格納容器 配管貫通部 	P 3	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	265	348	○	
			一次＋二次応力強さ	346	393	○	
	P 4	原子炉格納容器胴と補強板との結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	258	381	○	
			一次＋二次応力強さ	346	393	○	

V-2-9-2-10 電気配線貫通部の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 地震応答解析及び構造強度評価	7
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	7
4.2 荷重の組合せ及び許容限界	7
4.3 解析モデル及び諸元	15
4.4 固有周期	17
4.5 設計用地震力	18
4.6 計算方法	20
4.7 計算条件	23
4.8 応力の評価	23
5. 評価結果	23
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	23
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	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」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、電気配線貫通部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。

電気配線貫通部は、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

電気配線貫通部の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
電気配線貫通部は，原子炉格納容器により支持される。	原子炉格納容器に円筒形スリーブ，アダプタ及びヘッダが取り付けられた鋼製構造物である。	

2.2 評価方針

電気配線貫通部の応力評価は、「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」にて示す電気配線貫通部の部位を踏まえ「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「5. 評価結果」に示す。

電気配線貫通部の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

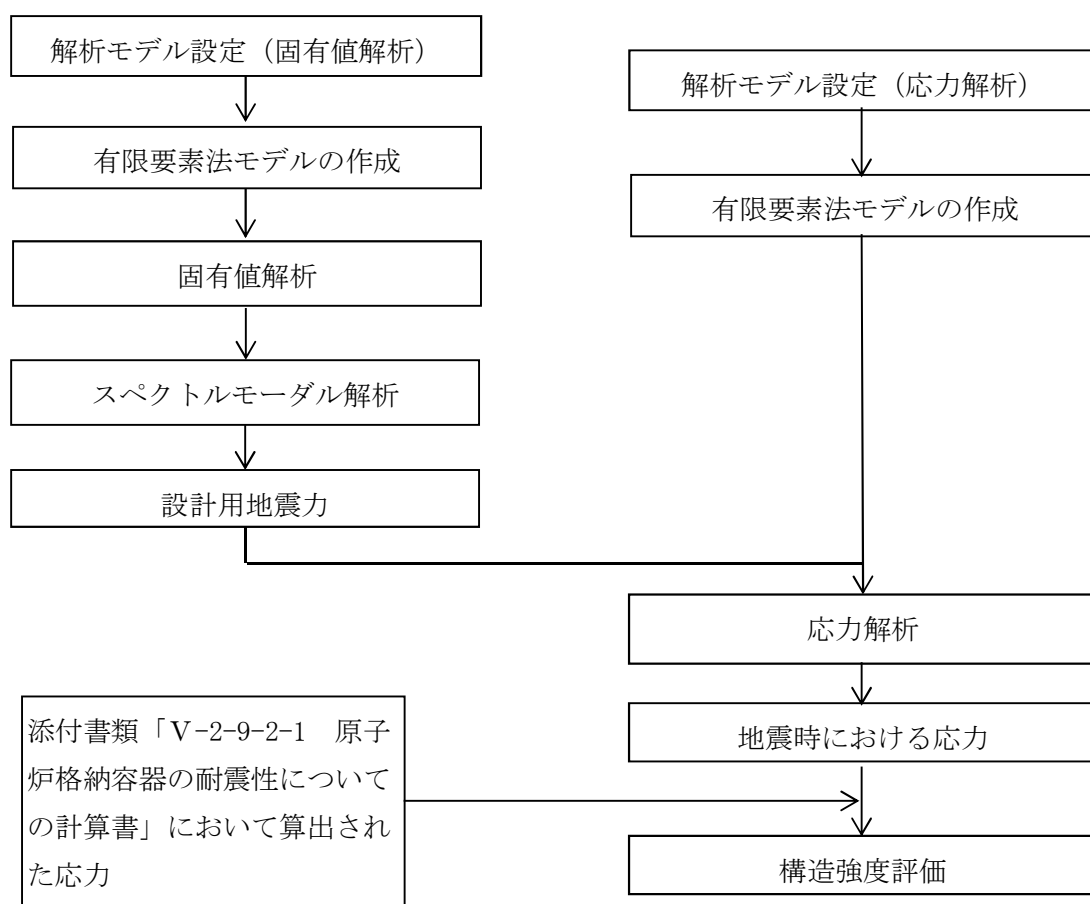


図 2-1 電気配線貫通部の耐震評価フロー

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 J E A G 4 6 0 1 -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 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984（日本電気協会）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -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。） J S M E S N C 1-2005/2007（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	断面積	mm ²
d	直径	mm
E	運転温度の縦弾性係数	MPa
E _o	縦弾性係数	MPa
I	断面二次モーメント	mm ⁴
K _e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
L _i	各部位の長さ (i = 1, 2, 3…)	mm
m _o	質量	kg
N _a	地震の許容繰返し回数	—
N _c	地震の繰返し回数	—
P _D	最高使用圧力 (内圧)	kPa
P _{DO}	最高使用圧力 (外圧)	kPa
P _{SAL}	圧力 (S A後長期内圧)	kPa
P _{SALL}	圧力 (S A後長々期内圧)	kPa
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
P _n	半径方向分力	N
Q	二次応力	MPa
S	材料の許容引張応力	MPa
S _d	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震力	—
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	—
S _P	地震荷重のみにおける一次＋二次＋ピーク応力の応力差範囲	MPa
S _ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S _ℓ [']	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S _n	一次応力と二次応力を加えて求めた応力解析による応力強さのサイクルにおいて、その最大値と最小値との差	MPa
S _u	材料の設計引張強さ	MPa
S _y	材料の設計降伏点	MPa
T	温度	℃
T _D	最高使用温度	℃
T _{SAL}	温度 (S A後長期温度)	℃
T _{SALL}	温度 (S A後長々期温度)	℃
t _i	各部位の板厚 (i = 1, 2, 3…)	mm

ν	ポアソン比	—

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
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*1}
モーメント	N・mm	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 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

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

電気配線貫通部の形状を図 3-1 に、主要寸法を表 3-1 に示す。また、使用材料及び使用部位を表 3-2 に示す。

なお、電気配線貫通部のうち、スリーブ長さが最も長く、原子炉格納容器への取り付け標高が最も高く、耐震評価上厳しくなる を解析モデルとして評価する。

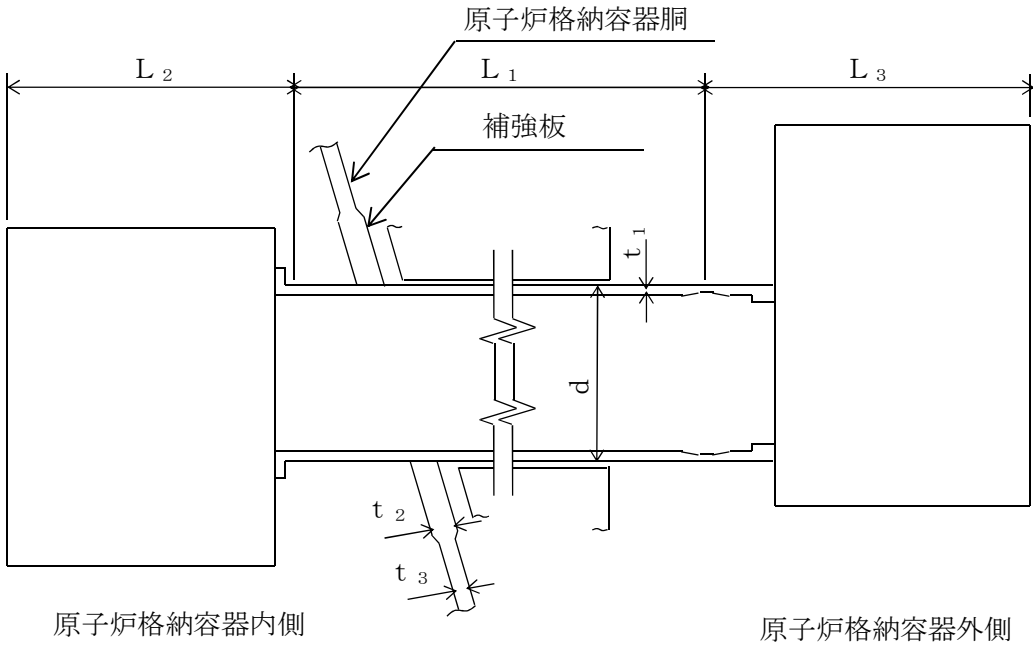


図 3-1 電気配線貫通部の形状

表 3-1 電気配線貫通部の主要寸法

(単位：mm)

貫通部番号	結合位置 (EL.)	d	t ₁	t ₂	t ₃	L ₁	L ₂	L ₃
 								

表 3-2 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
原子炉格納容器胴	SGV49 相当 	SGV480*
補強板	SGV49 相当 	SGV480*

注記 *：新 JIS を示す。

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) 電気配線貫通部は、原子炉格納容器を貫通する電気配線等を支持する構造物である。電気配線貫通部に作用する地震力は、電気配線貫通部の原子炉格納容器への取り付け方向を考慮し、電気配線貫通部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、固有周期に応じた応答加速度に基づき算出する。電気配線貫通部の耐震評価として、上記の応答解析に基づき算出した地震力を用いて、構造強度評価を行う。
- (2) 構造評価に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容限界

4.2.1 荷重の組合せ及び許容限界

電気配線貫通部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、重大事故対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。詳細な荷重の組合せは、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。

なお、考慮する荷重の組合せは、組合せる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容限界

電気配線貫通部の許容限界を表 4-3 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

電気配線貫通部の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。

また、使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-6 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-7 に示す。

表4-1 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* ¹		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	電気配線貫通部	S	格納容器	$D + P + M + S_d^*$	(9, 10)	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	(11, 12)	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^{**2}$	(16)	Ⅳ _A S

注記 *1: () 内は添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表3-10 設計基準対象施設の荷重の組合せのNo. を示す。

*2: 原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

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* ²		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	電気配線貫通部	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2容器	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(SA8)	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*3}$	(SA6)	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)

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

*2: () 内は添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 3-11 重大事故等時の荷重の組合せの No. を示す。

*3: 原子炉格納容器は、放射性物質放出の最終障壁となることから、重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表4-3 許容限界（クラスMC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}					
	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	特別な応力限界	
					純せん断応力	支圧応力
Ⅲ _A S	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高ニッケル合金については1.2・Sとする。	左欄の 1.5倍の値 ^{*2}	3・S ^{*3} 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。 *4, *5	0.6・S	S _y ^{*6} (1.5・S _y)
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u ，不連続な部分は，S _y と0.6・S _u の小さい方。	左欄の 1.5倍の値 ^{*2}			0.4・S _u	S _u ^{*6} (1.5・S _u)
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)	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，構造上の連続な部分は2・Sと0.6・S _u の小さい方，不連続な部分は1.2・Sとする。					

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：設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は，純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は，1.5のいずれか小さい方の値（ α ）を用いる。
- *3：3・Sを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合，設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。S_mはSと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。
- *4：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。
ただし，PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「S_d又はS_s地震動による応力の全振幅」と読み替える。
- *5：運転状態Ⅰ，Ⅱにおいて疲労解析を要しない場合は，地震動のみによる疲労累積係数を1.0以下とする。
- *6：（ ）内は，支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
SGV480	周囲環 境温度	171	131	229	423	－

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）

材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
SGV480	周囲環 境温度	150	131	232	424	－
	周囲環 境温度	171	131	229	423	－

表 4-6 許容応力（設計基準対象施設）

（単位：MPa）

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次＋二次応力
			P_m^{*1}	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	171	Ⅲ _A S	229	344	393
		Ⅳ _A S	229 ^{*2}	344 ^{*2}	393
			253 ^{*3}	380 ^{*3}	393

注記 *1：評価対象は，膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施し，許容応力以下であることが明らかなため，一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

*2：構造不連続部に対する許容応力を示す。

*3：構造連続部に対する許容応力を示す。

表4-7 許容応力（重大事故等対処設備）

（単位：MPa）

材料	温度 (°C)	許容応力 状態	許容応力		
			一次応力		一次＋二次応力
			P_m^{*1}	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$
SGV480	171	Ⅴ _A S	229 ^{*2}	344 ^{*2}	393
			253 ^{*3}	380 ^{*3}	393
	150	Ⅴ _A S	232 ^{*2}	348 ^{*2}	393
			254 ^{*3}	381 ^{*3}	393

注記 *1：評価対象は，膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施し，許容応力以下であることが明らかなため，一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

*2：構造不連続部に対する許容応力を示す。

*3：構造連続部に対する許容応力を示す。

4.2.4 設計荷重

- (1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

内圧 P_D 310 kPa

外圧 P_{DO} 14 kPa

温度 T_D 171 °C

- (2) 冷却材喪失事故後の最大内圧 P_{DBA} 255 kPa

- (3) 重大事故等対処施設としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SAL} 465 kPa (S A 後長期)

内圧 P_{SALL} 200 kPa (S A 後長々期)

温度 T_{SAL} 171 °C (S A 後長期)

温度 T_{SALL} 150 °C (S A 後長々期)

- (4) 死荷重

- a. 電気配線貫通部の自重



- (5) 原子炉格納容器の地震荷重

原子炉格納容器に加わる地震荷重について、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」において計算された計算結果を用いる。

原子炉格納容器に加わる鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-8 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-9 に示す。「弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力」及び「基準地震動 S_s 」による水平方向地震荷重のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-10 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-11 に示す。

表 4-8 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）

（単位：N）

通常運転時			燃料交換時		
鉛直荷重* ¹	地震荷重		鉛直荷重* ²	地震荷重	
	S _d * ¹	S _S		S _d * ¹	S _S

注記 *1：鉛直方向にかかる死荷重

*2：鉛直方向にかかる死荷重と活荷重を合わせた荷重

表 4-9 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）

（単位：N）

重大事故等時		
鉛直荷重 [*]	地震荷重	
	S_d	S_s

注記 *：鉛直方向にかかる死荷重

表 4-10 水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

弾性設計用地震動 S_d^* 又は 静的地震力 による地震荷重		基準地震動 S_s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)

表 4-11 水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S_d による地震荷重		基準地震動 S_s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)

4.3 解析モデル及び諸元

電気配線貫通部の解析モデルを図 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 4-12 に示す。

- (1) 電気配線貫通部の応力評価にあたっては、多質点系はりモデル及び三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。なお、電気配線貫通部の応力計算に用いた三次元シェルモデル（以下「応力解析用モデル」という。）については、4.6.2 項 応力計算方法で説明することとし、ここでは貫通部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) 応答解析用モデルは、接続箱中心位置に接続箱質量を設定し、スリーブは等分布質量を設定する。格納容器との結合はシェルバネを考慮する。応答解析用モデルについて図 4-1、図 4-2 に、機器の諸元について表 4-12 に示す。
- (3) 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、スペクトルモーダル解析により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

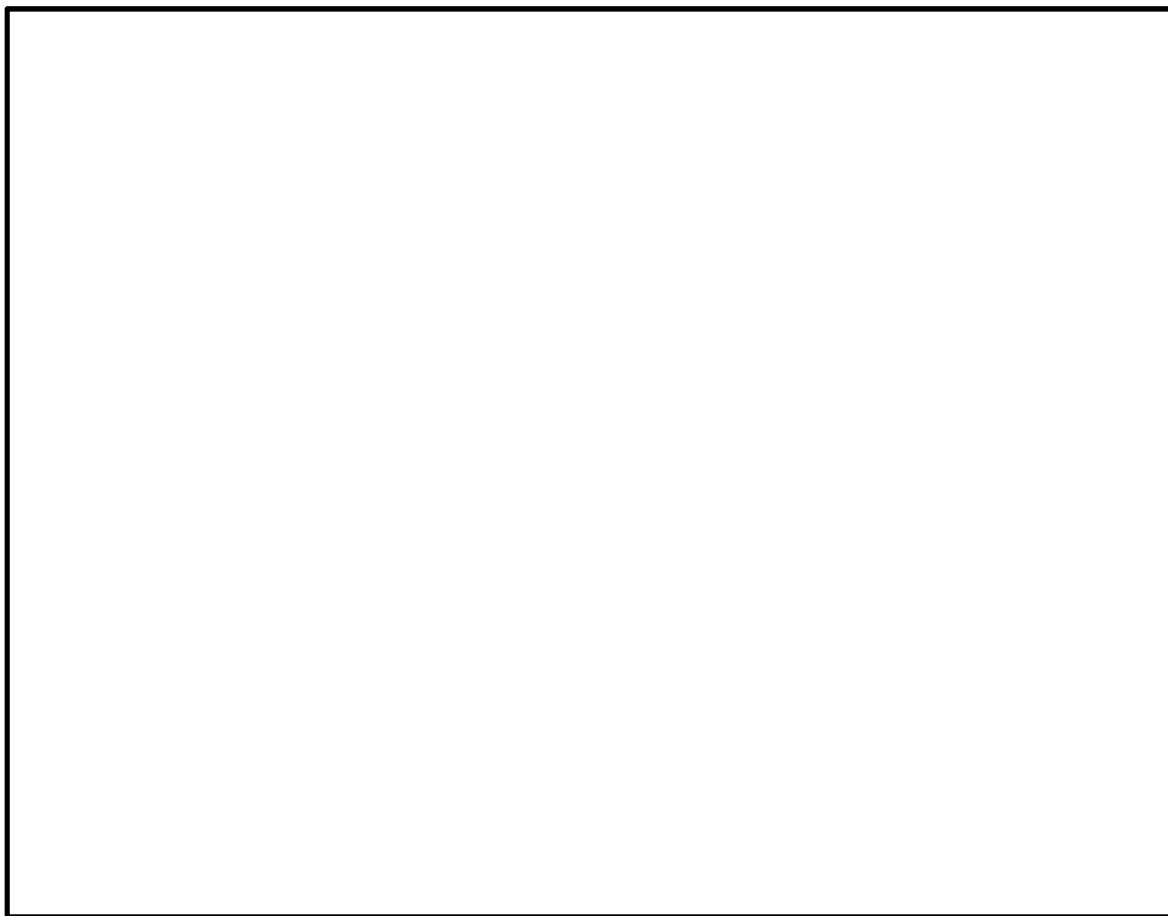


図 4-2 応答解析用モデル

表 4-12 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	GSTPL
質量	m _o	kg	
断面積	A	mm ²	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
温度条件 (雰囲気温度)	T	℃	66
縦弾性係数	E	MPa	200000
ポアソン比	ν	—	0.3
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 4-13，図 4-3 に示す。

表 4-13 固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			X	Y	Z
1 次		水平方向(周方向)			
2 次		鉛直方向			
3 次		水平方向 (径方向)			
4 次		水平方向(周方向)	—	—	—

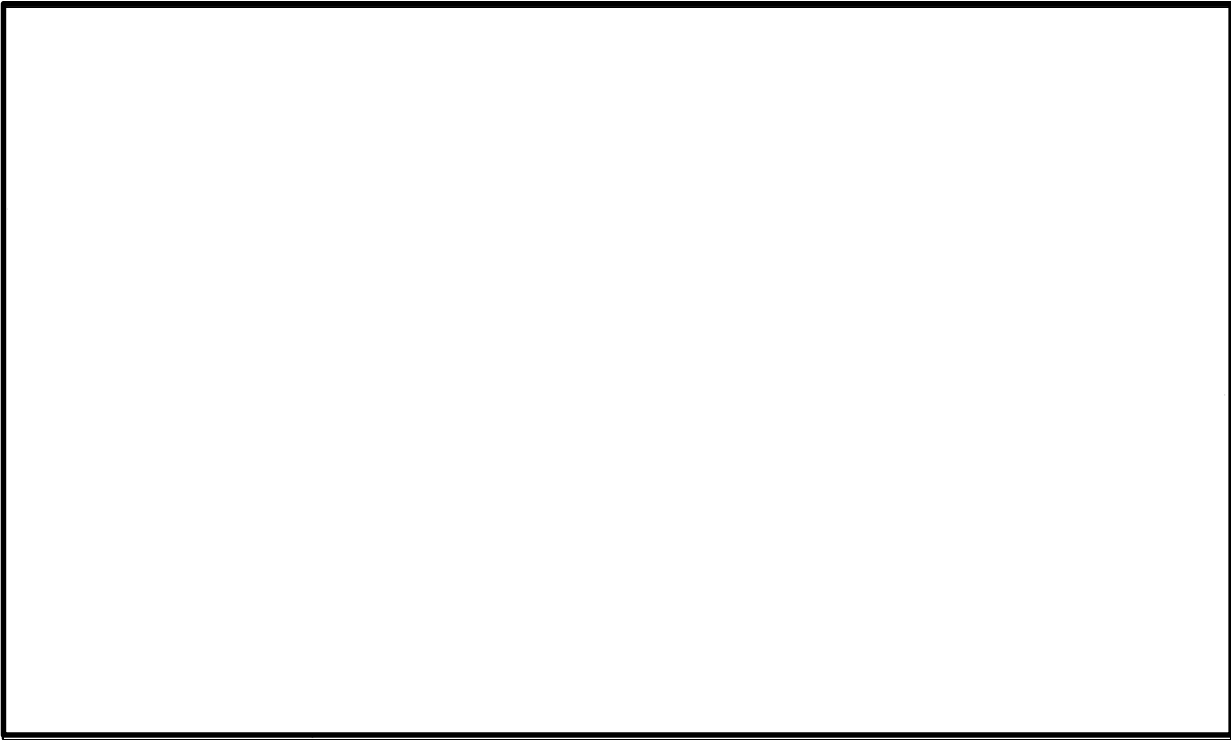


図 4-3 振動モード

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-14 及び表 4-15 に示す。また、電気配線貫通部に発生する地震荷重を表 4-16 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 4-14 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ*1	固有周期 (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 方向	鉛直 方向
格納容器 EL. m EL. m			$C_H=0.74$ (0.86) *2	$C_V=0.64$ (4.14) *2	$C_H=1.54$ (1.64) *3	$C_V=1.21$ (7.74) *3	1.0*4	1.0*4

注記 *1: EL. m 及び EL. m の設計震度を包絡した値を用いる。

*2: 弾性設計用地震動 S_d に基づく設備評価用床応答曲線の内、EL. m 及び EL. m の設備評価用床応答曲線を包絡させたものより得られる値

*3: 基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線の内、EL. m 及び EL. m の設備評価用床応答曲線を包絡させたものより得られる値

*4: 溶接構造物に適用される減衰定数の値

表 4-15 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*1	固有周期 (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 方向	鉛直 方向
格納容器 EL. m EL. m			$C_H=0.74$ (0.86) *2	$C_V=0.64$ (4.14) *2	$C_H=1.54$ (1.64) *3	$C_V=1.21$ (7.74) *3	1.0*4	1.0*4

注記 *1: EL. m 及び EL. m の設計震度を包絡した値を用いる。

*2: 弾性設計用地震動 S_d に基づく設備評価用床応答曲線の内、EL. m 及び EL. m の設備評価用床応答曲線を包絡させたものより得られる値

- *3：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線の内、EL m 及び EL m の設備評価用床応答曲線を包絡させたものより得られる値
- *4：溶接構造物に適用される減衰定数の値

表 4-16 電気配線貫通部に発生する地震荷重

地震動	地震荷重		
	P (N)	M_C (N・mm)	M_L (N・mm)
S_d			
S_s			

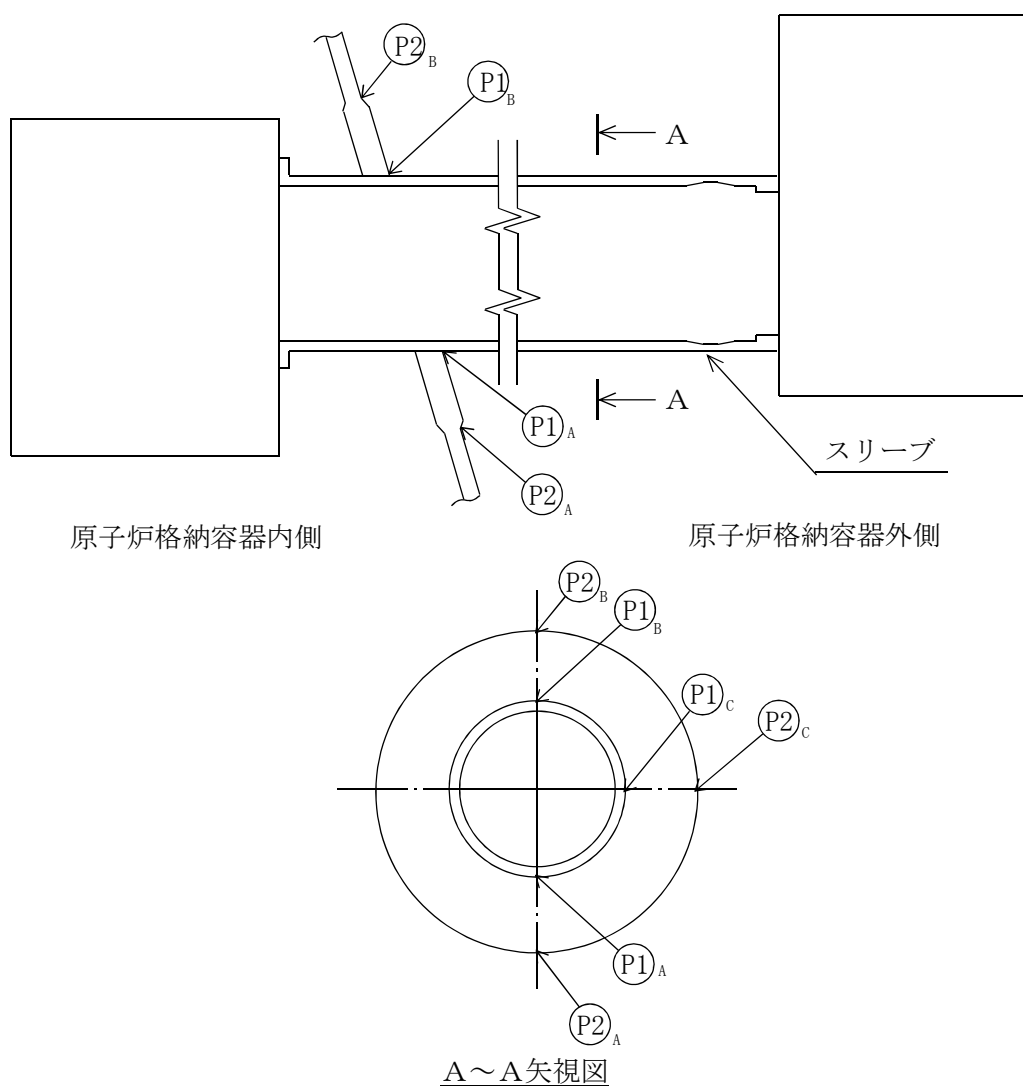
4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

電気配線貫通部の応力評価点は、電気配線貫通部を構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-17 及び図 4-4 に示す。

表 4-17 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部 (P 1 - A ~ P 1 - C)
P 2	補強板結合部 (P 2 - A ~ P 2 - C)



注：各応力評価点 (P 1 ~ P 2) は、許容応力に対する発生応力が、全ての許容応力状態を通じて最も厳しくなる点を代表で記載している。なお、図中の矢印は応力評価部位を示す。

図 4-4 応力評価点

4.6.2 応力計算方法

原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部及び電気配線貫通部と補強板との結合部（応力評価点 P 1 ～ P 2）の応力計算方法について以下に示す。

(1) 電気配線貫通部に作用する荷重による応力

電気配線貫通部に作用する死荷重，地震荷重による応力は，図 4-5 に示す電気配線貫通部の解析モデルを用いて静解析により算出する。解析モデルの諸元を表 4-18 に示す。

(2) 原子炉格納容器本体に作用する荷重による応力

原子炉格納容器本体に作用する圧力，死荷重及び電気配線貫通部に発生する地震荷重による応力は，添付書類「V-2-9-2-1 原子炉格納容器の耐震性についての計算書」で解析した応力を用いる。地震荷重による応力は，表 4-8、表 4-9、表 4-10 及び表 4-11 の地震荷重を入力して算出する。

(3) 応力の足し合わせ

表 4-17 及び図 4-4 で示した応力評価点での応力は，(1) で求めた電気配線貫通部に作用する荷重による応力と，(2) で求めた原子炉格納容器本体に作用する荷重による応力を適切に足し合わせることで算出する。

(4) 解析コード

解析コードはMSC NASTRANを用いる。なお，評価に用いる解析コードMSC NASTRAN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。

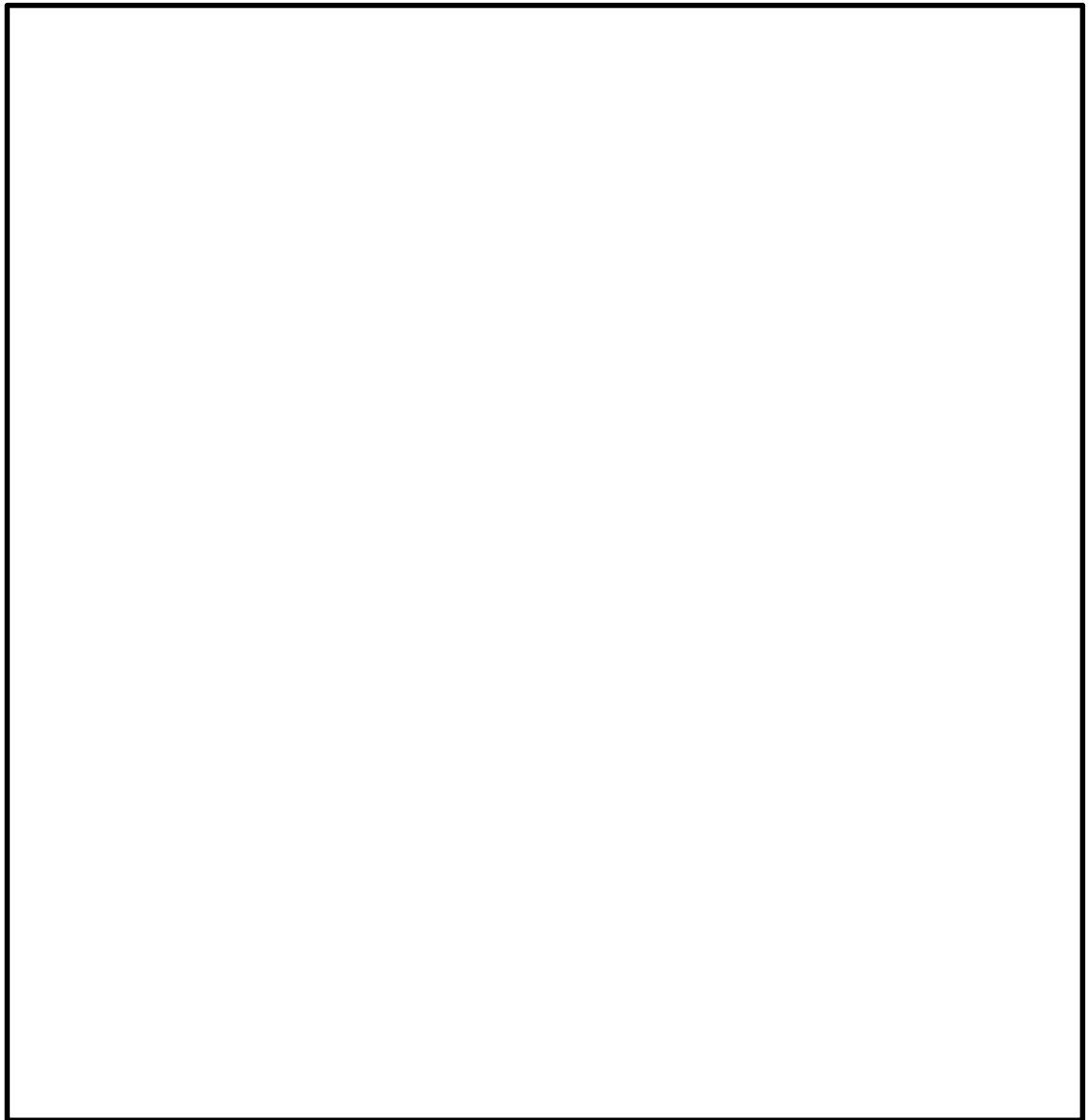


図 4-5 電気配線貫通部の解析モデル



表 4-18 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
質量	m_0	kg	— *1
温度条件 (雰囲気温度)	T	℃	66
縦弾性係数	E	MPa	200000 *2
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	
節点数	—	個	

注記 *1：単位荷重による解析のため、質量は定義不要。

*2：動的応答を考慮しない為、剛性（縦弾性係数）は解析結果に影響しない。

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 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。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

電気配線貫通部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。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価

許容応力状態Ⅲ_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 + M + S_d*の評価を記載している。

(2) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価

許容応力状態Ⅳ_AS に対する応力評価結果を表 5-2 に示す。

表 4-1 に示す荷重の組合せのうち、D + P_L + M_L + S_d*及び D + P + M + S_sの評価を記載している。

(3) 疲労評価

許容応力状態Ⅳ_A S に対する疲労評価結果を表 5-2 及び表 5-3 に示す。

なお、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」において疲労解析は不要であることを確認しており、地震動のみによる疲労累積係数が 1.0 以下であることを確認している。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
電気配線貫通部 	P 1 - A	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	60	344	○	
			一次＋二次応力強さ	274	393	○	
	P 1 - B	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	66	344	○	
			一次＋二次応力強さ	276	393	○	
	P 1 - C	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	57	344	○	
			一次＋二次応力強さ	180	393	○	
	P 2 - A	補強板結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	60	344	○	
			一次＋二次応力強さ	234	393	○	
	P 2 - B	補強板結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	59	344	○	
			一次＋二次応力強さ	236	393	○	
	P 2 - C	補強板結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	55	344	○	
			一次＋二次応力強さ	170	393	○	

表 5-2 (1) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
電気配線貫通部 	P 1 - A	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	106	344	○	
			一次＋二次応力強さ	274	393	○	
	P 1 - B	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	115	344	○	
			一次＋二次応力強さ	276	393	○	
	P 1 - C	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	95	344	○	
			一次＋二次応力強さ	180	393	○	
	P 2 - A	補強板結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	104	380	○	
			一次＋二次応力強さ	234	393	○	
	P 2 - B	補強板結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	112	380	○	
			一次＋二次応力強さ	236	393	○	
	P 2 - C	補強板結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	98	380	○	
			一次＋二次応力強さ	170	393	○	

表 5-2 (2) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_S)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
電気配線貫通部 	P 1 - A	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	112	344	○	
			一次＋二次応力強さ	516	393	×*	
			疲労評価	0.346	1.0	○	単位なし
	P 1 - B	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	117	344	○	
			一次＋二次応力強さ	524	393	×*	
			疲労評価	0.378	1.0	○	単位なし
	P 1 - C	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	96	344	○	
			一次＋二次応力強さ	336	393	○	
	P 2 - A	補強板結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	101	380	○	
			一次＋二次応力強さ	440	393	×*	
			疲労評価	0.065	1.0	○	単位なし
	P 2 - B	補強板結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	105	380	○	
			一次＋二次応力強さ	446	393	×*	
			疲労評価	0.069	1.0	○	単位なし
	P 2 - C	補強板結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	94	380	○	
			一次＋二次応力強さ	320	393	○	

注記 * : P 1 - A, P 1 - B 及び P 2 - A, P 2 - B の一次＋二次応力評価結果は評価基準値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, この結果より耐震性を有することを確認した。

表 5-3 許容応力状態Ⅳ_AS に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _ℓ '* (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a	備考
P 1 - A	516							0.346	
P 1 - B	524							0.378	
P 2 - A	440							0.065	
P 2 - B	446							0.069	

注記 * : S_ℓに (E_o/E) を乗じた値である。

$$E_o = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa} \quad E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$

E_o : 縦弾性係数

E : 運転温度の縦弾性係数

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

電気配線貫通部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。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価

許容応力状態 $V_A S$ に対する応力評価結果を表 5-4 に示す。

表 4-2 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ 又は $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ の評価を記載している。

(2) 疲労評価

許容応力状態 $V_A S$ に対する疲労評価結果を表 5-4 及び表 5-5 に示す。

なお、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」において疲労解析は不要であることを確認しており、地震動のみによる疲労累積係数が 1.0 以下であることを確認している。

表 5-4 (1) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	$V_A S$		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
電気配線貫通部 	P 1 - A	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	176	344	○	
			一次＋二次応力強さ	274	393	○	
	P 1 - B	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	185	344	○	
			一次＋二次応力強さ	276	393	○	
	P 1 - C	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	162	344	○	
			一次＋二次応力強さ	180	393	○	
	P 2 - A	補強板結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	174	380	○	
			一次＋二次応力強さ	234	393	○	
	P 2 - B	補強板結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	182	380	○	
			一次＋二次応力強さ	236	393	○	
	P 2 - C	補強板結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	166	380	○	
			一次＋二次応力強さ	170	393	○	

表 5-4 (2) 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	$V_A S$		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
電気配線貫通部 	P 1 - A	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	142	348	○	
			一次＋二次応力強さ	512	393	×*	
			疲労評価	0.327	1.0	○	単位なし
	P 1 - B	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	147	348	○	
			一次＋二次応力強さ	520	393	×*	
			疲労評価	0.350	1.0	○	単位なし
	P 1 - C	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	125	348	○	
			一次＋二次応力強さ	332	393	○	
	P 2 - A	補強板結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	131	381	○	
			一次＋二次応力強さ	436	393	×*	
			疲労評価	0.059	1.0	○	単位なし
	P 2 - B	補強板結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	135	381	○	
			一次＋二次応力強さ	442	393	×*	
			疲労評価	0.063	1.0	○	単位なし
	P 2 - C	補強板結合部	一次膜＋一次曲げ応力強さ	121	381	○	
			一次＋二次応力強さ	318	393	○	

注記 * : P 1 - A, P 1 - B 及び P 2 - A, P 2 - B の一次＋二次応力評価結果は評価基準値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, この結果より耐震性を有することを確認した。

表 5-5 許容応力状態V_ASに対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _ℓ ^{'*} (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c ／N _a	備考
P 1－A	512							0.327	
P 1－B	520							0.350	
P 2－A	436							0.059	
P 2－B	442							0.063	

注記 * : S_ℓに (E_o／E) を乗じた値である。
E_o=2.07×10⁵ MPa E=1.95×10⁵ MPa
E_o : 縦弾性係数
E : 運転温度の縦弾性係数

V-2-9-2-11 サプレッション・チェンバ底部ライナ部の
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. 構造強度評価	9
4.1 構造強度評価方法	9
4.2 荷重の組合せ及び許容限界	9
4.3 ひずみ計算	15
5. 評価結果	21
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	21
5.2 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、サプレッション・チェンバ底部ライナ部（以下「底部ライナ部」という。）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。

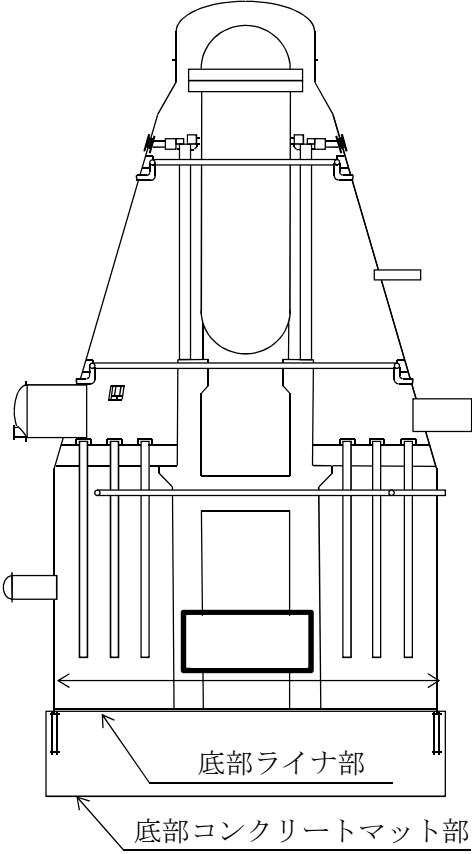
底部ライナ部は設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

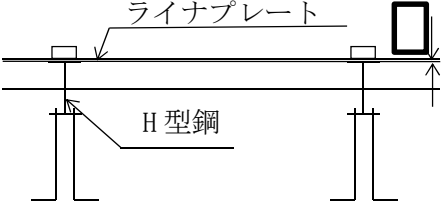
2.1 構造計画

底部ライナ部の構造計画を表 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	 底部ライナ部 底部コンクリートマット部	
底部ライナ部は, 原子炉格納容器底部コンクリートマット (以下「底部コンクリートマット」という。) 上に設置されたH型鋼を介して取り付けられる。	板厚 mm の円形鋼板で構成された鋼製構造物である。		

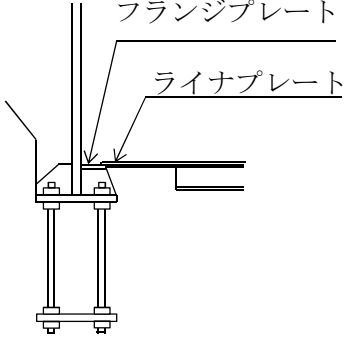
H 型鋼部拡大図



ライナプレート

H 型鋼

底部コンクリートマット部拡大図



フランジプレート

ライナプレート

(単位 : mm)

2.2 評価方針

底部ライナ部のひずみ評価は、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」にて示す底部ライナ部の部位を踏まえた「3. 評価部位」にて設定する箇所において、添付書類「V-2-9-2-2 原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書」及び「V-2-9-2-5 原子炉格納容器胴アンカ部の耐震性についての計算書」より得られる底部ライナ部のひずみが許容限界内に収まることを、「4. 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。

底部ライナ部の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

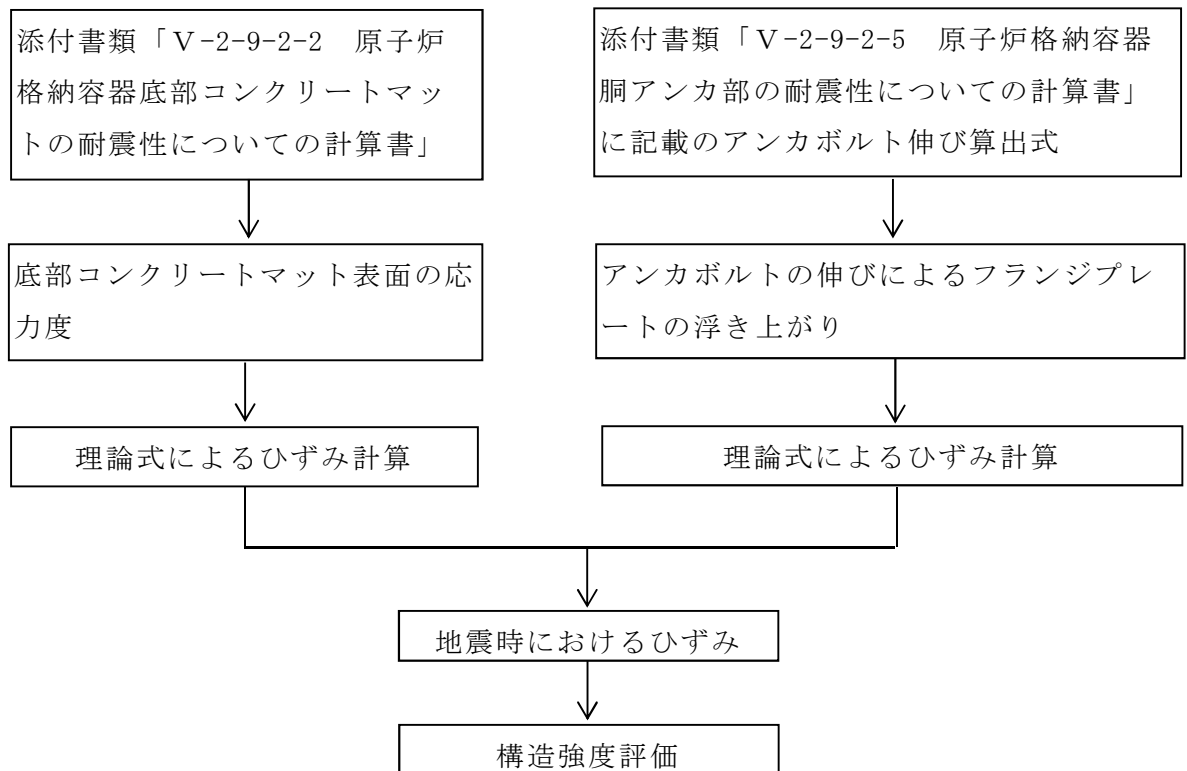


図 2-1 底部ライナ部の耐震評価フロー

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 J E A G 4 6 0 1 -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 J E A G 4 6 0 1 ・補 -1984 (日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 (日本電気協会)
- (4) 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格(2003年版) J S M E S N E 1 -2003 (日本機械学会) (以下「CCV規格」という。)

2.4 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A_{B1}	ボルトの最大直径有効断面積	mm^2
A_{B2}	ボルトの谷径有効断面積	mm^2
d_{B1}	アンカボルトの最大直径	mm
d_{B2}	アンカボルトの谷径	mm
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度	m/s^2
I	断面二次モーメント	mm^4/mm
ℓ	ライナプレートの浮き上がる長さ	mm
ℓ_{Bi}	ボルト各部の寸法 ($i=1, 2, 3$)	mm
P_D	最高使用圧力	kPa
P_{SAL}	圧力 (S A 後長期内圧)	kPa
P_{SALL}	圧力 (S A 後長々期内圧)	kPa
s	変形後のはりの長さ	mm
S_d	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力	—
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_D	最高使用温度	$^{\circ}\text{C}$
T_{SAL}	温度 (S A 後長期温度)	$^{\circ}\text{C}$
T_{SALL}	温度 (S A 後長々期温度)	$^{\circ}\text{C}$
t	板厚	mm
w	圧力	MPa
w_1	水頭圧	MPa
w_2	内圧	MPa
w_t	アンカボルトの引張応力	MPa
y	たわみ	mm
Z	断面係数	mm^3/mm
δ	アンカボルトの伸び量	mm
ε_1	底部コンクリートマットのひずみ	—
ε_2	膜ひずみ	—
ε_3	曲げひずみ	—
ν	ポアソン比	—
ρ	水の密度	kg/mm^3
σ_1	ひずみ方向応力度	MPa
σ_2	ひずみ直交方向応力度	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
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*
断面係数	mm ³ /mm	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁*
断面二次 モーメント	mm ⁴ /mm	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁*
ひずみ	—	小数点以下第 6 位	切上げ	小数点以下第 5 位

注記 *：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

3. 評価部位

底部ライナ部の形状及び主要寸法を図 3-1、図 3-2 及び図 3-3 に、使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。

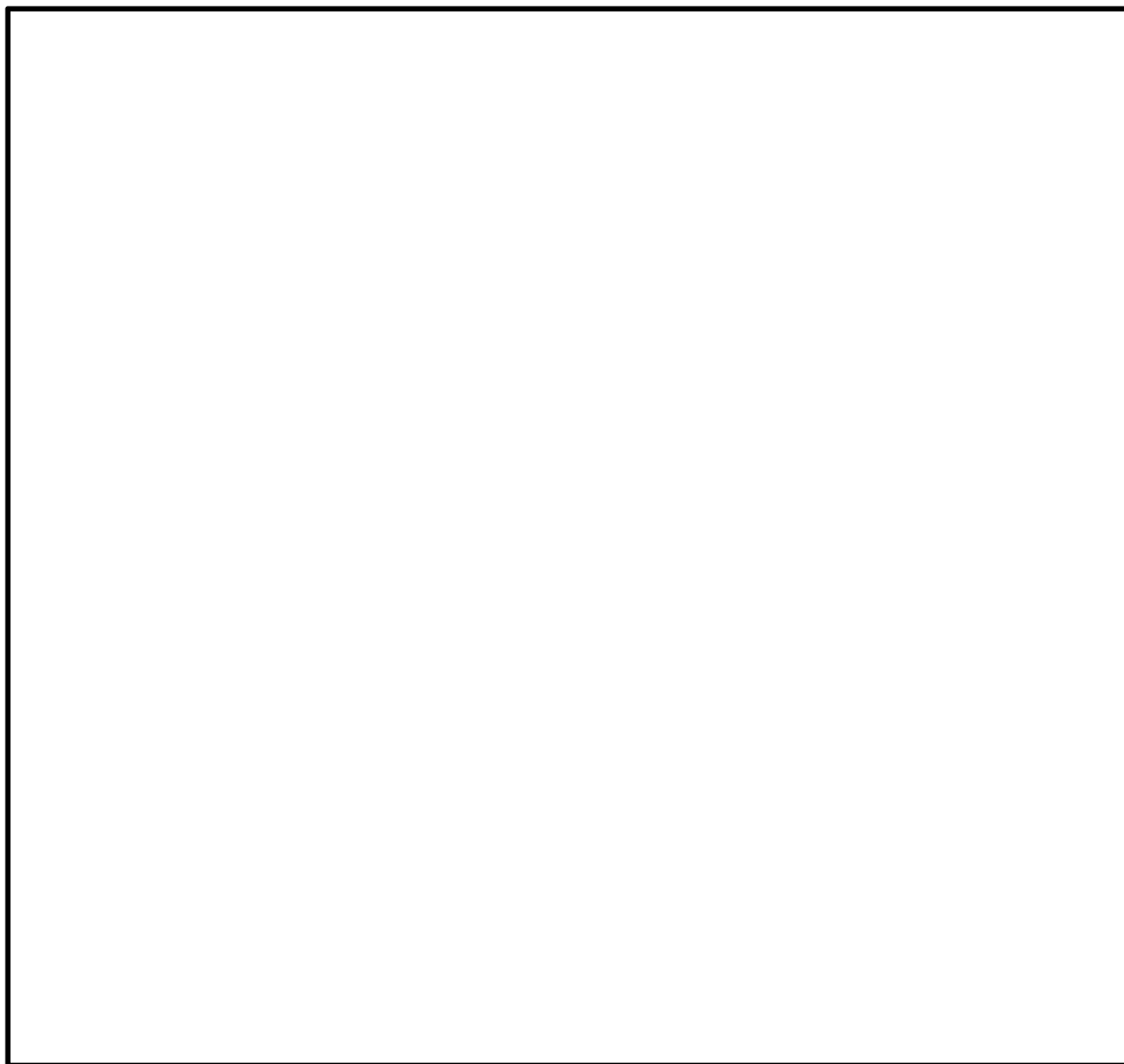


図 3-1 底部ライナ部全体形状及び主要寸法（単位：mm）



図 3-2 中央部の断面形状及び主要寸法（単位：mm）

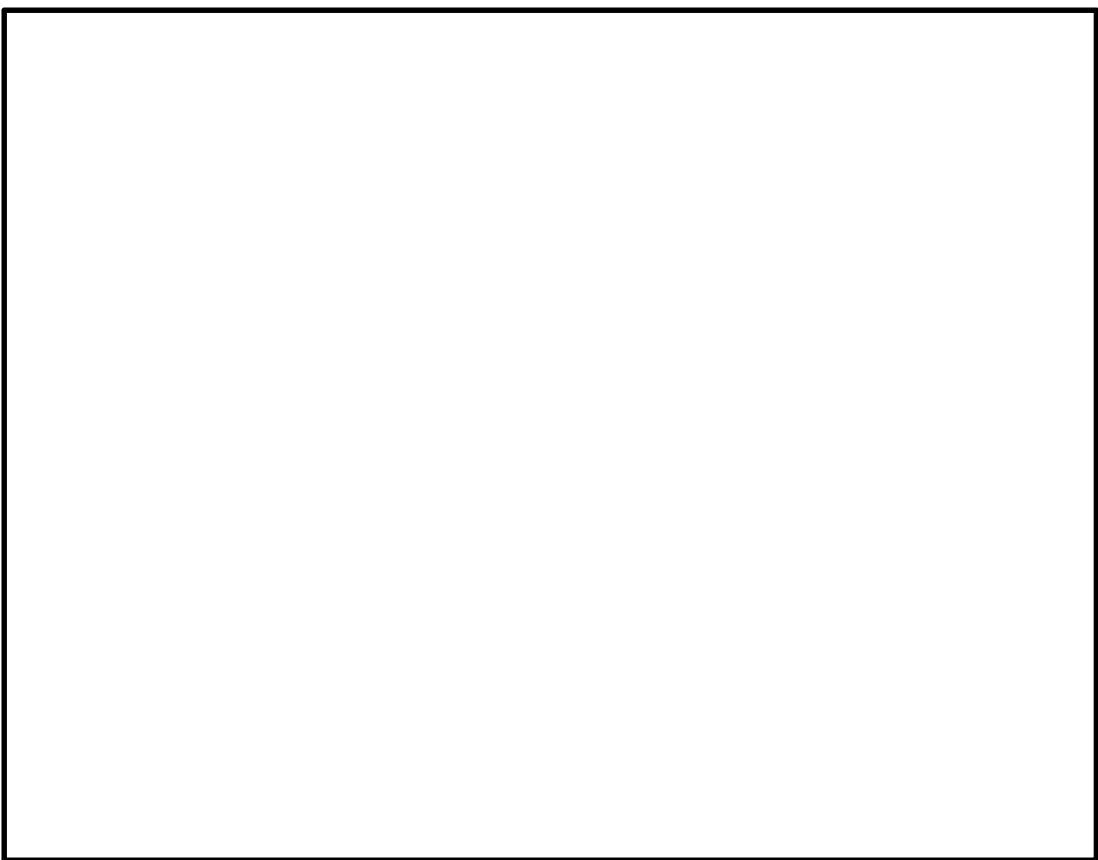


図 3-3 周辺部の断面形状及び主要寸法（単位：mm）

表 3-1 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
ライナプレート	SGV49 相当 	SGV480*

注記 *：新 J I S を示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 底部ライナ部は、底部コンクリートマット上に設置され、底部ライナ部に作用する地震荷重は、底部コンクリートマットが強度を負担する。
- (2) 底部コンクリートマットに作用する荷重により生じるひずみが、ライナプレートに生じるものとする。添付書類「V-2-9-2-2 原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書」において計算された底部コンクリートマットの応力度を用いて、構造強度評価を行う。
- (3) 添付書類「V-2-9-2-5 原子炉格納容器胴アンカ部の耐震性についての計算書」において示す算出式により計算されたアンカボルトの伸び量によるフランジプレートの浮き上がりに基づくひずみを考慮する。
- (4) 構造評価に用いる寸法は、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限界

4.2.1 荷重の組合せ及び荷重状態

底部ライナ部の荷重の組合せ及び荷重状態のうち、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。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。詳細な荷重の組合せは、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組合せる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容限界

底部ライナ部の許容限界を表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容限界

底部ライナ部の許容限界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 荷重の組合せ及び荷重状態（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 ^{*1}		荷重状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	底部ライナ部	S	格納容器	$D + P + M + S_d^*$	(13)	Ⅲ
					$D + P + M + S_s$	(14)	Ⅳ
					$D + P_L + M_L + S_d^*$	(15)	Ⅲ
					$D + P_L + M_L + S_d^{**2}$	(16)	Ⅳ

注記 *1: () 内は添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表3-10 設計基準対象施設の荷重の組合せのNo.を示す。

*2: 原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表4-2 荷重の組合せ及び荷重状態（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 ^{*2}		荷重状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	底部ライナ部	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2容器	$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(SA8)	V ^{*4}
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*3}$	(SA6, SA7)	V ^{*4}

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: () 内は添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表3-11 重大事故等時の荷重の組合せのNo.を示す。

*3: 原子炉格納容器は、放射性物質放出の最終障壁となることから、重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

*4: 重大事故等時の許容限界として、荷重状態Ⅳの許容限界を用いる。

表4-3 許容限界（クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器）

荷重状態	許容限界 (ライナプレート)			
	膜ひずみ		膜ひずみ＋ 曲げひずみ	
	引張	圧縮	引張	圧縮
Ⅲ	0.003	0.005	0.010	0.014
Ⅳ				
V*				

注記 *：重大事故等時の許容限界として、荷重状態Ⅳの許容限界を用いる。

表 4-4 許容限界（設計基準対象施設）

材料	荷重状態	許容限界			
		膜ひずみ		膜ひずみ＋ 曲げひずみ	
		引張	圧縮	引張	圧縮
SGV480	Ⅲ	0.003	0.005	0.010	0.014
	Ⅳ	0.003	0.005	0.010	0.014

表 4-5 許容限界（重大事故等対処設備）

材料	荷重状態	許容限界			
		膜ひずみ		膜ひずみ＋ 曲げひずみ	
		引張	圧縮	引張	圧縮
SGV480	V*	0.003	0.005	0.010	0.014

注記 *：重大事故等時の許容限界として、荷重状態Ⅳの許容限界を用いる。

4.2.4 設計荷重

- (1) 設計基準対象施設としての最高使用圧力及び最高使用温度

内圧 P_D 310 kPa
 温度 T_D 104.5 °C

- (2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

内圧 P_{SAL} 465 kPa (S A後長期)
 内圧 P_{SALL} 200 kPa (S A後長々期)
 温度 T_{SAL} 171 °C (S A後長期)
 温度 T_{SALL} 150 °C (S A後長々期)

- (3) 水荷重

水荷重は以下に示す水位によるものとする。

最高水位 EL. mm
 重大事故等時冠水水位 EL. mm

- (4) 逃がし安全弁作動時荷重

最大正圧 kPa
 最大負圧 kPa

- (5) 原子炉冷却材喪失事故時荷重

最大正圧 kPa
 最大負圧 kPa

- (6) アンカボルトの伸び

アンカボルトの伸びは添付書類「V-2-9-2-5 原子炉格納容器胴アンカ部の耐震性についての計算書」より以下の式で得られる。

アンカボルトの伸び

$$\delta = \frac{w_t}{E} \cdot \left\{ \frac{A_{B1}}{A_{B2}} \cdot (\ell_{B2} + \ell_{B3}) + \ell_{B1} \right\}$$

ここで、

A_{B1} : ボルトの最大直径有効断面積 = $\pi/4 \cdot d_{B1}^2 =$ mm²

A_{B2} : ボルトの谷径有効断面積 = $\pi/4 \cdot d_{B2}^2 =$ mm²

E : ボルトの縦弾性係数 = MPa

ℓ_{B1} : ボルト寸法 = mm

ℓ_{B2} : ボルト寸法 = mm

ℓ_{B3} : ボルト寸法 = mm

w_t : アンカボルトの引張応力

アンカボルトの伸びを表 4-6 及び表 4-7 に示す。

表 4-6 アンカボルトの伸び（設計基準対象施設）

荷重の組合せ	荷重状態	アンカボルトの伸び(mm)	
		通常運転時	燃料交換時
$D + P + M + S_d^*$	Ⅲ	0.79	0.78
$D + P + M + S_s$	Ⅳ	1.88	1.90
$D + P_L + M_L + S_d^*$	Ⅲ	3.87	—
	Ⅳ	3.87	—

表 4-7 アンカボルトの伸び（重大事故等対処設備）

荷重 荷重の組合せ	荷重状態	アンカボルトの伸び(mm)
$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	V*	4.89
$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	V*	4.40

注記 *：重大事故等時の許容限界として、荷重状態Ⅳの許容限界を用いる。

(7) 底部コンクリートマットのひずみ

底部コンクリートマットのひずみは添付書類「V-2-9-2-2 原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書」より得られる底部コンクリートマット表面の応力度から以下の式で計算される。

底部コンクリートマットのひずみ

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E}(\sigma_1 - \nu \cdot \sigma_2)$$

ここで、

- σ_1 : ひずみ方向応力度
- σ_2 : ひずみ直交方向応力度
- E : 縦弾性係数
- ν : ポアソン比=0.2

底部コンクリートマットのひずみを表 4-8 及び表 4-9 に示す。

なお、上記式から得られるひずみは引張ひずみ及び圧縮ひずみの両方を考慮する。

表 4-8 底部コンクリートマットのひずみ（設計基準対象施設）

荷重の組合せ	荷重 状態	コンクリート応力度 (MPa)		縦弾性係数 (MPa)	ひずみ*
		ひずみ方向	直交方向		
$D + P + M + S_d^*$	Ⅲ	-5.97	-0.98	2.21×10^4	± 0.00027
$D + P + M + S_s$	Ⅳ	-9.14	-2.54	2.21×10^4	± 0.00040
$D + P_L + M_L + S_d^*$	Ⅲ	-6.02	-0.33	2.21×10^4	± 0.00027
	Ⅳ	-5.27	-1.60	2.21×10^4	± 0.00023

注記 *：正の符号は引張ひずみ，負の符号は圧縮ひずみを示す。

表 4-9 底部コンクリートマットのひずみ（重大事故等対処設備）

荷重の組合せ	荷重 状態	コンクリート応力度 (MPa)		縦弾性係数 (MPa)	ひずみ* ¹
		ひずみ方向	直交方向		
$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	V* ²	-5.65	-1.66	2.21×10^4	± 0.00025
$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	V* ²	-8.97	-2.54	2.21×10^4	± 0.00039

注記 *¹：正の符号は引張ひずみ，負の符号は圧縮ひずみを示す。

*²：重大事故等時の許容限界として，荷重状態Ⅳの許容限界を用いる。

4.3 ひずみ計算

4.3.1 ひずみ評価点

底部ライナ部のひずみ評価点は、底部コンクリートマットの最大ひずみがライナプレートに生じるものとして中央部を選定する。また、アンカボルトの伸びによるフランジプレートの浮き上がりに基づくひずみを考慮し周辺部のライナプレートを選定する。

ひずみ評価点を表 4-10 及び図 4-1 に示す。

表 4-10 ひずみ評価点

ひずみ評価点番号	ひずみ評価点
P 1	中央部のライナプレート
P 2	周辺部のライナプレート

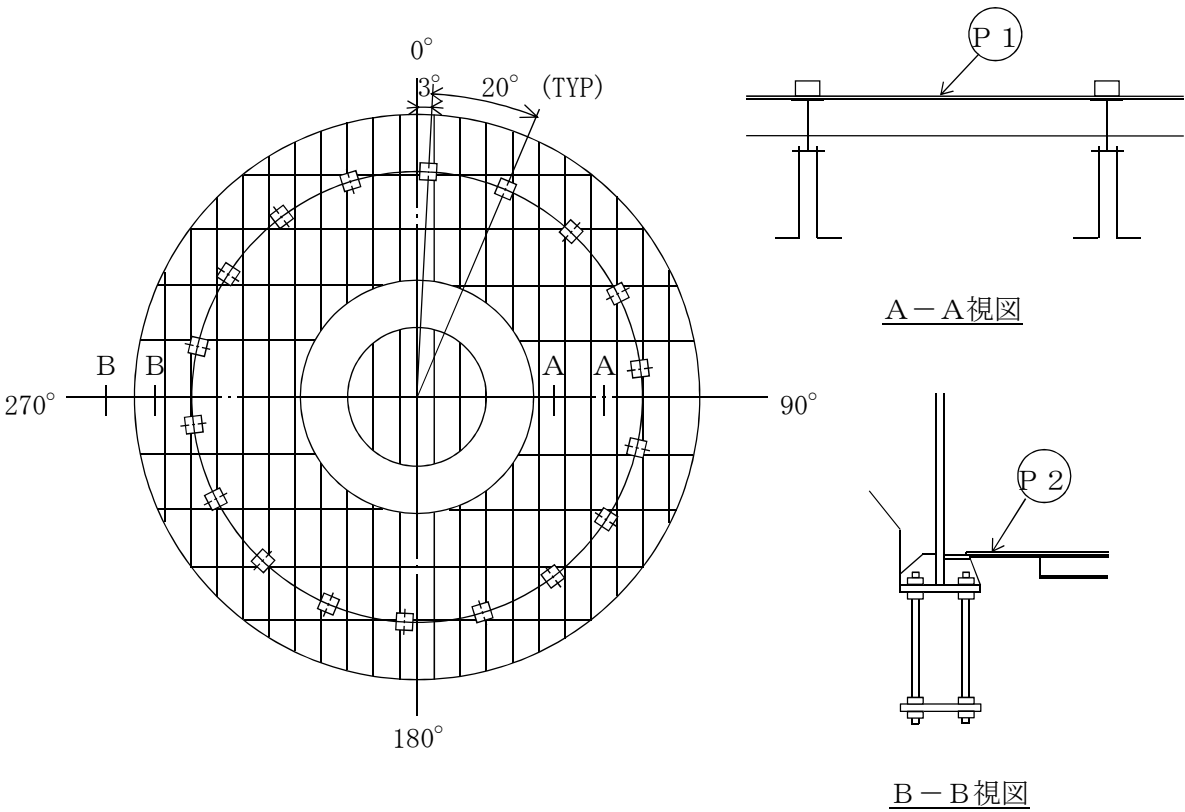


図 4-1 底部ライナ部のひずみ評価点

4.3.2 ひずみ計算方法

4.3.2.1 中央部のライナプレート（ひずみ評価点 P 1）

底部コンクリートマットに生じる最大ひずみがライナプレートに生じるものとして評価を行う。

なお、ライナプレートは逃がし安全弁作動時荷重を受けるが、逃がし安全弁作動時の負圧 kPa に対し、サプレッション・チェンバ内の水頭圧は kPa であり、その差 kPa (=) が正圧としてライナプレートに加わるため、負圧によるひずみは生じない。

同様に、原子炉冷却材喪失事故時荷重を受けるが、原子炉冷却材喪失事故時の負圧 kPa に対し、サプレッション・チェンバ内の水頭圧は kPa であり、その差 kPa (=) が正圧としてライナプレートに加わるため、負圧によるひずみは生じない。

4.3.2.2 周辺部のライナプレート（ひずみ評価点 P 2）

周辺部のライナプレートには、中央部のライナプレートのひずみに加え、フランジプレートの浮き上がりに基づくひずみも合わせて考慮し、評価を行う。

(1) フランジプレートの浮き上がり及び圧力によるひずみ

フランジプレート部分は非常に剛であることから、フランジプレートの浮き上がり量はアンカボルトの伸びの量に等しいものとする。

また、フランジプレートが浮き上がると、ライナプレートの一部も同様に浮き上がるため、フランジプレートの浮き上がり及び圧力によるライナプレートのひずみは、図 4-2 に示す計算モデルにて計算する。

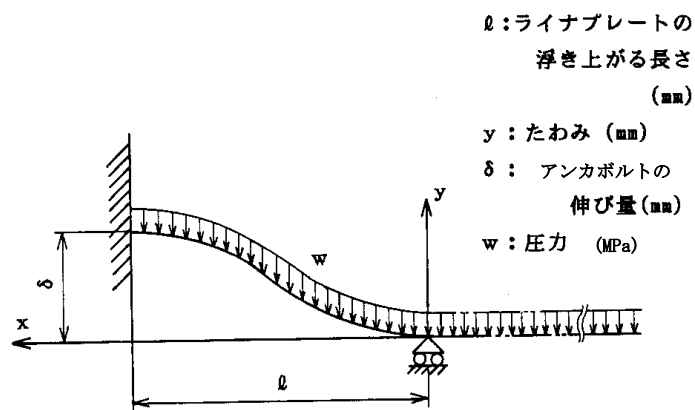


図 4-2 計算モデル

図 4-2 において、たわみ y は次式で表わされる。フランジプレートの浮き上がりにより、端部のライナプレートはコンクリートから離れる。このとき、水頭圧及び内圧を受ける。

$$y = \delta - \frac{w}{72 \cdot E \cdot I} (\ell^4 - 4 \cdot \ell \cdot x^3 + 3 \cdot x^4)$$

ここで、

$$w = w_1 + w_2$$

$$w_1 : \text{水頭圧} = \rho \cdot g \cdot h$$

$$\rho : \text{水の密度} = 1.0 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$$

$$g : \text{重力加速度} = 9.80665 \text{ m/s}^2$$

$$w_2 : \text{内圧}$$

$$E : \text{縦弾性係数}$$

$$I : \text{断面二次モーメント}$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot t^3 = \frac{1}{12} \times \boxed{} \boxed{} \text{ mm}^4/\text{mm}$$

- a. ライナプレートの浮き上がり長さ ℓ

ライナプレートの浮き上がる長さ ℓ は、たわみの式より求められる。

たわみとアンカボルトの伸び量が等しく、 $x=0$ の点で $y=0$ となることから、 $x=0$, $y=0$ を代入して、

$$y = \delta - \frac{w}{72 \cdot E \cdot I} (\ell^4 - 4 \cdot \ell \cdot x^3 + 3 \cdot x^4)$$

$$\delta = \frac{w \cdot \ell^4}{72 \cdot E \cdot I}$$

$$\therefore \ell = \sqrt[4]{\frac{72 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{w}}$$

ここで、

ℓ : ライナプレートの浮き上がる長さ (mm)

- b. 浮き上がり及び圧力による膜ひずみ ε_2

変形後のはりの長さ s は a. 項で求めたスパン ℓ の範囲で求められ、次式で表わされる。

$$\begin{aligned} s &= \int_0^\ell \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2} dx \\ &\doteq \int_0^\ell \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right\} dx \end{aligned}$$

したがって、膜ひずみ ε_2 は次のように計算される。

$$\begin{aligned} \varepsilon_2 &= \frac{s - \ell}{\ell} = \frac{1}{2 \cdot \ell} \int_0^\ell \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 dx \\ &= \frac{1}{7560} \left(\frac{w}{E \cdot I} \right)^2 \ell^6 \end{aligned}$$

このひずみは引張ひずみである。

- c. 浮き上がり及び圧力による曲げひずみ ε_3

変形後のはりに生じる曲げひずみは次式で表される。

$$\varepsilon_3 = \frac{w \cdot \ell^2}{18 \cdot E \cdot Z}$$

ここで、

Z : 断面係数

$$Z = \frac{1}{6} \cdot t^2 = \frac{\boxed{}}{6} = \boxed{} \text{ mm}^3/\text{mm}$$

以上より、各荷重条件における内圧によるひずみは、表 4-6 及び表 4-7 に示す最も厳しい荷重条件 $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ について計算すると、

$$\ell = \sqrt[4]{\frac{72 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{w}}$$

$$= \sqrt[4]{\frac{72 \times 193000 \times \boxed{} \times 4.89}{0.614}}$$

$$= \boxed{} \text{ mm}$$

ここで、表 4-2 より

$$\delta = 4.89 \text{ mm}$$

$$w = 614 \text{ kPa} = 0.614 \text{ MPa}$$

$$E = 193000 \text{ MPa}$$

ゆえに、

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{7560} \left(\frac{w}{E \cdot I} \right)^2 \ell^6$$

$$= \frac{1}{7560} \times \left(\frac{0.614}{193000 \times \boxed{}} \right)^2 \times \boxed{}$$

$$= 0.00017$$

$$\varepsilon_3 = \frac{w \cdot \ell^2}{18 \cdot E \cdot Z}$$

$$= \frac{0.614 \times \boxed{}}{18 \times 193000 \times \boxed{}}$$

$$= 0.00102$$

(2) 逃がし安全弁作動時のひずみ

逃がし安全弁作動時のひずみは (1) と同様に計算される。また、ひずみは表 4-6 に示す最も厳しい荷重条件 D + P + M + S_s において計算する。

$$\ell = \sqrt[4]{\frac{72 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{w}}$$

$$= \sqrt[4]{\frac{72 \times 202000 \times \boxed{} \times 1.90}{0.157}}$$

$$= \boxed{} \text{ mm}$$

ここで、表 4-6 より

$$\delta = 1.90 \text{ mm}$$

w : 逃がし安全弁作動時の圧力

$$w = 70.8 + 86.3 = 157 \text{ kPa} = 0.157 \text{ MPa}$$

$$E = 202000 \text{ MPa}$$

ゆえに、

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{7560} \left(\frac{w}{E \cdot I} \right)^2 \ell^6$$

$$= \frac{1}{7560} \times \left(\frac{0.157}{202000 \times \boxed{}} \right)^2 \times \boxed{}$$

$$= 0.00002$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_3 &= \frac{w \cdot \ell^2}{18 \cdot E \cdot Z} \\
 &= \frac{0.157 \times \boxed{}}{18 \times 202000 \times \boxed{}} \\
 &= 0.00032
 \end{aligned}$$

(3) 冷却材喪失事故時のひずみ

冷却材喪失事故時のひずみは(1)と同様に計算される。また、ひずみは表 4-7 に示す最も厳しい荷重条件 $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ において計算する。

$$\begin{aligned}
 \ell &= \sqrt[4]{\frac{72 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{w}} \\
 &= \sqrt[4]{\frac{72 \times 193000 \times \boxed{} \times 4.89}{0.699}} \\
 &= \boxed{} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

ここで、表 4-7 より

$$\delta = 4.89 \text{ mm}$$

w : 冷却材喪失事故時の圧力

$$w = 699 \text{ kPa} = 0.699 \text{ MPa}$$

$$E = 193000 \text{ MPa}$$

ゆえに、

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_2 &= \frac{1}{7560} \left(\frac{w}{E \cdot I} \right)^2 \ell^6 \\
 &= \frac{1}{7560} \times \left(\frac{0.699}{193000 \times \boxed{}} \right)^2 \times \boxed{} \\
 &= 0.00019
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_3 &= \frac{w \cdot \ell^2}{18 \cdot E \cdot Z} \\
 &= \frac{0.699 \times \boxed{}}{18 \times 193000 \times \boxed{}} \\
 &= 0.00109
 \end{aligned}$$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

底部ライナ部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。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 荷重状態Ⅲに対する評価

荷重状態Ⅲに対する評価結果を表 5-1 に示す。

表 4-1 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_d^*$ 及び $D + P_L + M_L + S_d^*$ の評価について記載している。

(2) 荷重状態Ⅳに対する評価

荷重状態Ⅳに対する評価結果を表 5-2 に示す。

表 4-1 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P + M + S_s$ 及び $D + P_L + M_L + S_d^*$ の評価について記載している。

(3) 疲労評価

CCV規格 CVE-3614 のライナプレートの疲労解析の規定により疲労解析は不要であることを確認している。

表 5-1 (1) 荷重状態Ⅲに対する評価結果 (D + P + M + S_d*)

評価対象 設備	評価部位		ひずみの種類		Ⅲ		判定	備考
					発生値	許容値		
底部ライナ部	P 1	中央部	膜ひずみ	引張	0.00027	0.003	○	
				圧縮	0.00027	0.005	○	
			膜ひずみ＋ 曲げひずみ	引張	0.00027	0.010	○	
				圧縮	0.00027	0.014	○	
	P 2	周辺部	膜ひずみ	引張	0.00028	0.003	○	
				圧縮	0.00027	0.005	○	
			膜ひずみ＋ 曲げひずみ	引張	0.00049	0.010	○	
				圧縮	0.00048	0.014	○	

表 5-1 (2) 荷重状態Ⅲに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象 設備	評価部位		ひずみの種類		Ⅲ		判定	備考
					発生値	許容値		
底部ライナ部	P 1	中央部	膜ひずみ	引張	0.00027	0.003	○	
				圧縮	0.00027	0.005	○	
			膜ひずみ＋ 曲げひずみ	引張	0.00027	0.010	○	
				圧縮	0.00027	0.014	○	
	P 2	周辺部	膜ひずみ	引張	0.00031	0.003	○	
				圧縮	0.00027	0.005	○	
			膜ひずみ＋ 曲げひずみ	引張	0.00061	0.010	○	
				圧縮	0.00057	0.014	○	

表 5-2(1) 荷重状態Ⅳに対する評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象 設備	評価部位		ひずみの種類		Ⅳ		判定	備考
					発生値	許容値		
底部ライナ部	P 1	中央部	膜ひずみ	引張	0.00040	0.003	○	
				圧縮	0.00040	0.005	○	
			膜ひずみ＋ 曲げひずみ	引張	0.00040	0.010	○	
				圧縮	0.00040	0.014	○	
	P 2	周辺部	膜ひずみ	引張	0.00042	0.003	○	
				圧縮	0.00040	0.005	○	
			膜ひずみ＋ 曲げひずみ	引張	0.00074	0.010	○	
				圧縮	0.00072	0.014	○	

表 5-2(2) 荷重状態Ⅳに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象 設備	評価部位		ひずみの種類		Ⅳ		判定	備考
					発生値	許容値		
底部ライナ部	P 1	中央部	膜ひずみ	引張	0.00023	0.003	○	
				圧縮	0.00023	0.005	○	
			膜ひずみ＋ 曲げひずみ	引張	0.00023	0.010	○	
				圧縮	0.00023	0.014	○	
	P 2	周辺部	膜ひずみ	引張	0.00033	0.003	○	
				圧縮	0.00023	0.005	○	
			膜ひずみ＋ 曲げひずみ	引張	0.00104	0.010	○	
				圧縮	0.00094	0.014	○	

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

底部ライナ部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。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 荷重状態 V に対する評価

荷重状態 V に対する評価結果を表 5-3 に示す。

表 4-2 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_S$ 及び $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_d$ の評価について記載している。

(2) 疲労評価

CCV 規格 CVE-3614 のライナプレートの疲労解析の規定により疲労解析は不要であることを確認している。

表 5-3(1) 荷重状態 V に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象 設備	評価部位		ひずみの種類		V *		判定	備考
					発生値	許容値		
底部ライナ部	P 1	中央部	膜ひずみ	引張	0.00025	0.003	○	
				圧縮	0.00025	0.005	○	
			膜ひずみ＋ 曲げひずみ	引張	0.00025	0.010	○	
				圧縮	0.00025	0.014	○	
	P 2	周辺部	膜ひずみ	引張	0.00044	0.003	○	
				圧縮	0.00025	0.005	○	
			膜ひずみ＋ 曲げひずみ	引張	0.00153	0.010	○	
				圧縮	0.00134	0.014	○	

注記 * : 重大事故等時の許容限界として、荷重状態Ⅳの許容限界を用いる。

表 5-3(2) 荷重状態 V に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$)

評価対象 設備	評価部位		ひずみの種類		V *		判定	備考
					発生値	許容値		
底部ライナ部	P 1	中央部	膜ひずみ	引張	0.00039	0.003	○	
				圧縮	0.00039	0.005	○	
			膜ひずみ＋ 曲げひずみ	引張	0.00039	0.010	○	
				圧縮	0.00039	0.014	○	
	P 2	周辺部	膜ひずみ	引張	0.00050	0.003	○	
				圧縮	0.00039	0.005	○	
			膜ひずみ＋ 曲げひずみ	引張	0.00123	0.010	○	
				圧縮	0.00112	0.014	○	

注記 * : 重大事故等時の許容限界として、荷重状態Ⅳの許容限界を用いる。

V-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟の耐震性についての計算書

目次

1. 概要.....	1
2. 基本方針.....	2
2.1 位置.....	2
2.2 構造概要.....	3
2.3 評価方針.....	17
2.4 適用規格・基準等	19
3. 地震応答解析による評価方法	20
4. 応力解析による評価方法	22
4.1 評価対象部位及び評価方針	22
4.2 荷重及び荷重の組合せ	26
4.3 許容限界.....	101
4.4 解析モデル及び諸元	105
4.5 評価方法.....	108
5. 評価結果.....	118
5.1 地震応答解析による評価結果	118
5.2 応力解析による評価結果	119

別紙 1 原子炉建屋原子炉棟の気密性に関する計算書

別紙 2 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した検討（原子炉建屋原子炉棟）

1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、原子炉建屋のうち二次格納施設となる原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）の地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、その評価は、地震応答解析による評価及び応力解析による評価により行う。

原子炉棟は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設重大事故緩和設備」に分類される。また、原子炉棟を構成する壁及びスラブの一部は、原子炉建屋の二次遮蔽に該当し、その二次遮蔽は、重大事故等対処施設において、「常設重大事故緩和設備」に分類される。

以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

原子炉棟は原子炉建屋の一部を構成している。原子炉棟を含む原子炉建屋の設置位置を図2-1に示す。

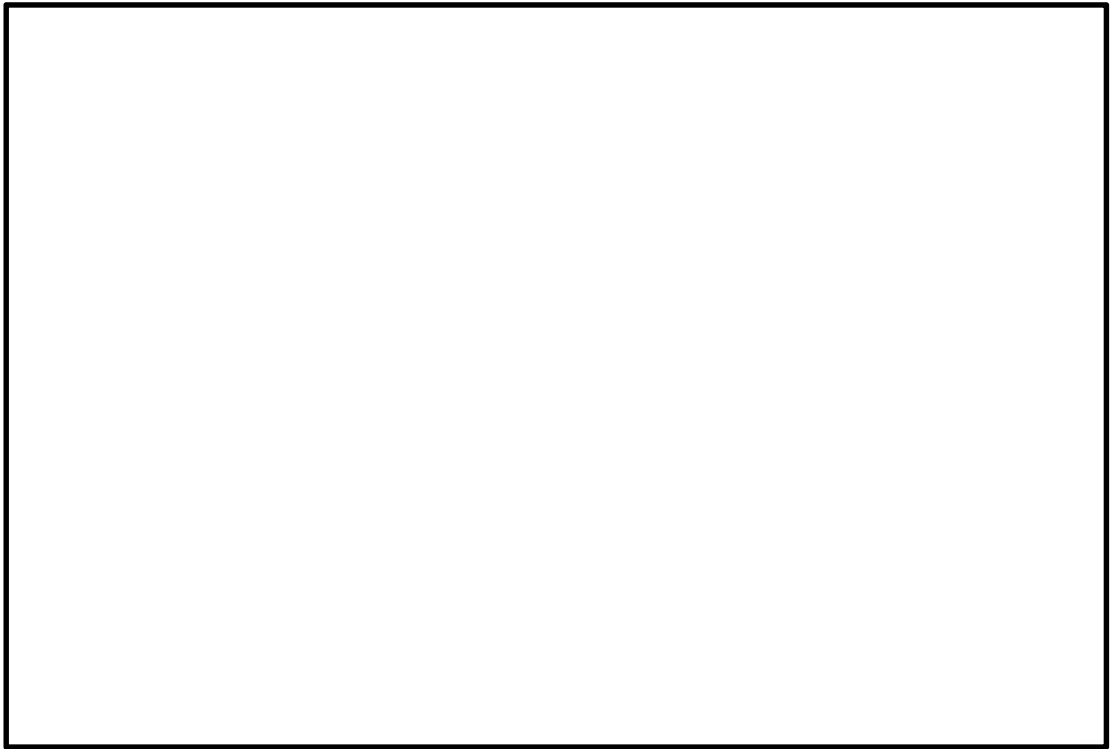


図 2-1 原子炉棟を含む原子炉建屋の設置位置

2.2 構造概要

原子炉建屋は、主体構造が鉄筋コンクリート造で、鉄骨造陸屋根をもつ地下2階、地上6階の建物である。中央部には、平面が南北方向45.5 m、東西方向42.5 mの原子炉棟があり、その周囲には、平面が南北方向68.5 m、東西方向68.25 mの原子炉建屋附属棟（以下「附属棟」という。）を配置している。

原子炉棟は、基礎スラブから屋根面まで連続した、壁厚1.5 m～0.3 mの耐震壁（以下「内部ボックス壁（I/W）」という。）、厚さ約10 cmの鉄筋コンクリート造のスラブ（以下「屋根スラブ」という。）及び鉄骨架構（以下「屋根トラス」という。）で構成される。

なお、原子炉棟の内部ボックス壁（I/W）及び屋根スラブは二次格納施設を構成している。

内部ボックス壁（I/W）は二次遮蔽となっている。

原子炉棟を含む原子炉建屋の概略平面図を図2-2に、概略断面図を図2-3に、二次遮蔽の範囲を図2-4に、屋根伏図を図2-5に示す。

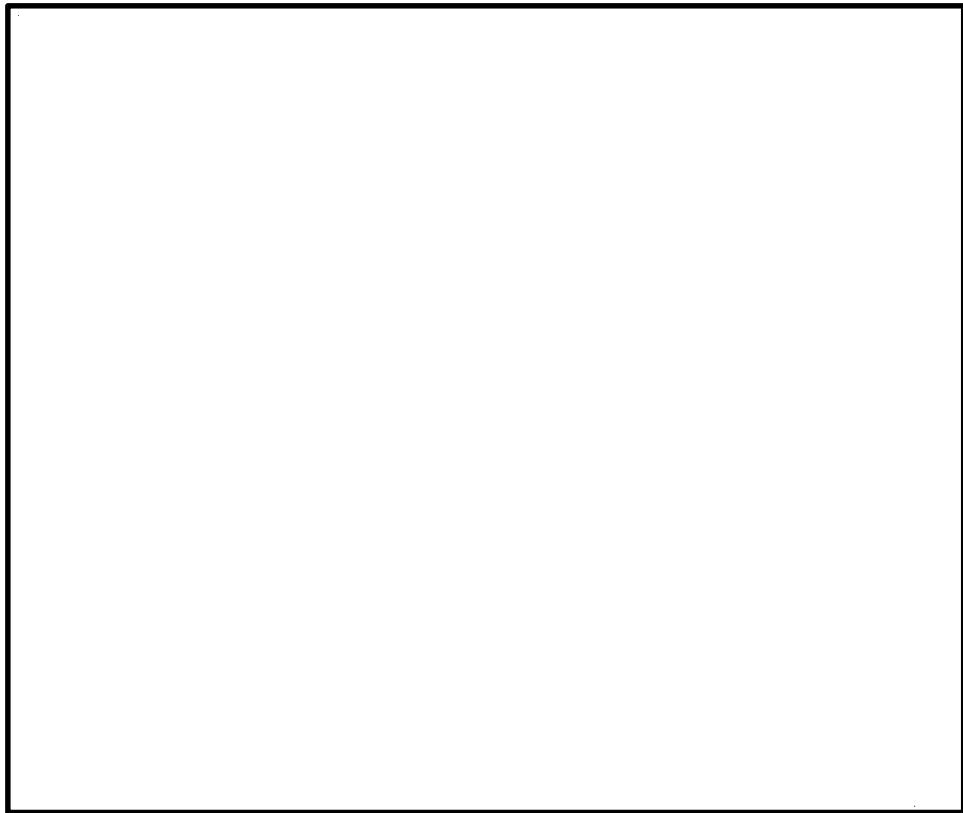


図 2-2 (1/10) の概略平面図 (EL. -4.0 m)

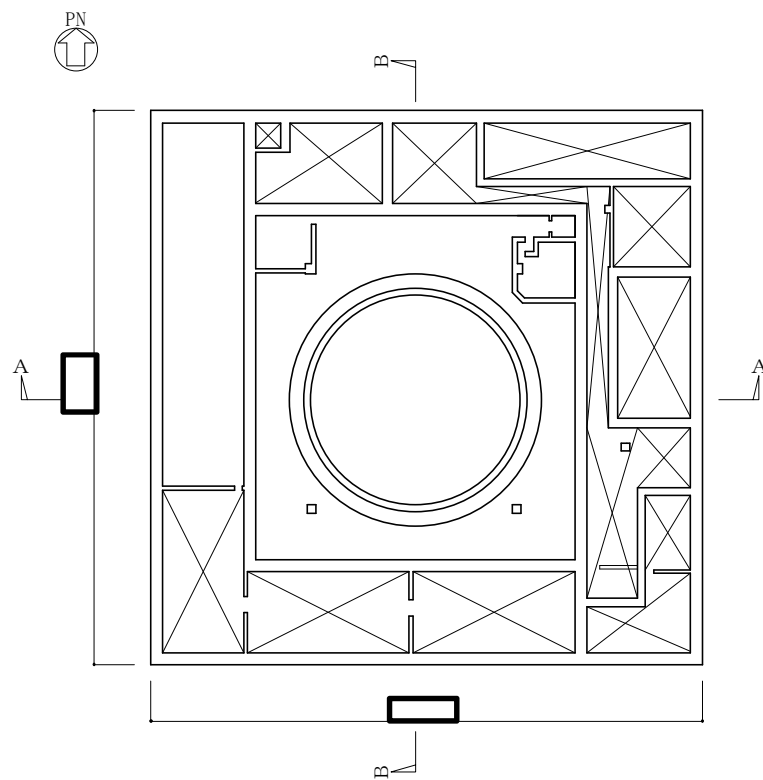


図 2-2 (2/10) の概略平面図 (EL. 2.0 m)

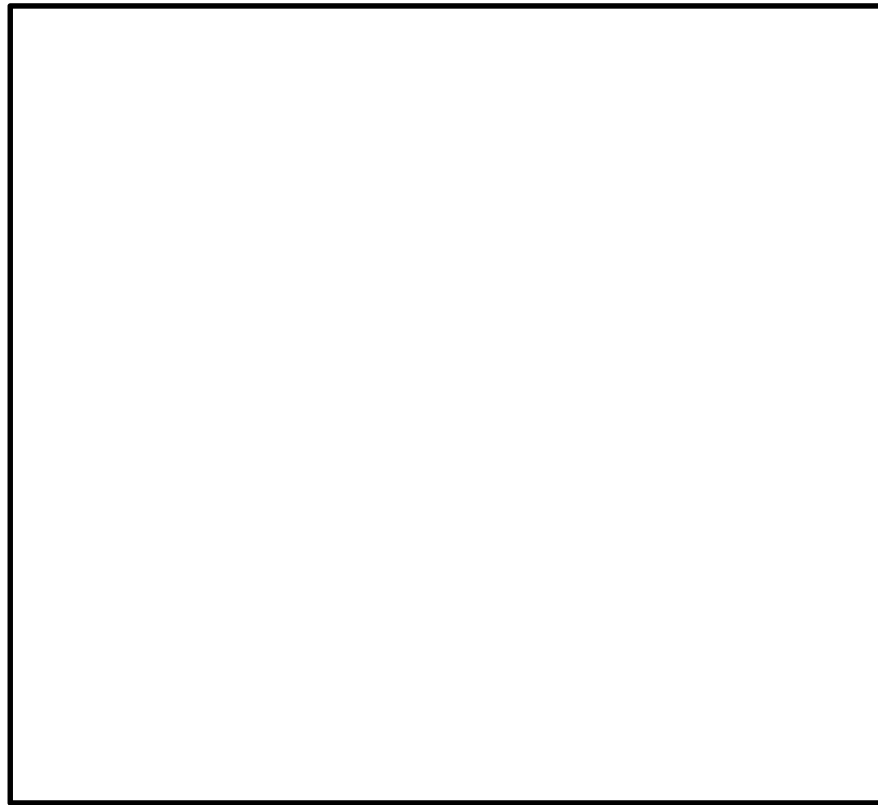


図 2-2 (3/10) の概略平面図 (EL. 8.2 m)

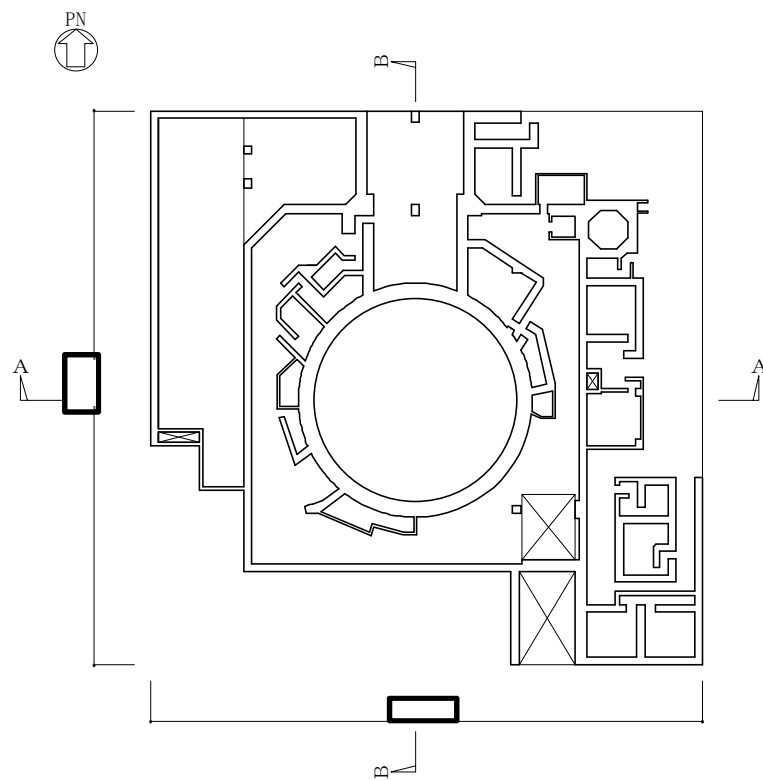


図 2-2 (4/10) の概略平面図 (EL. 14.0 m)

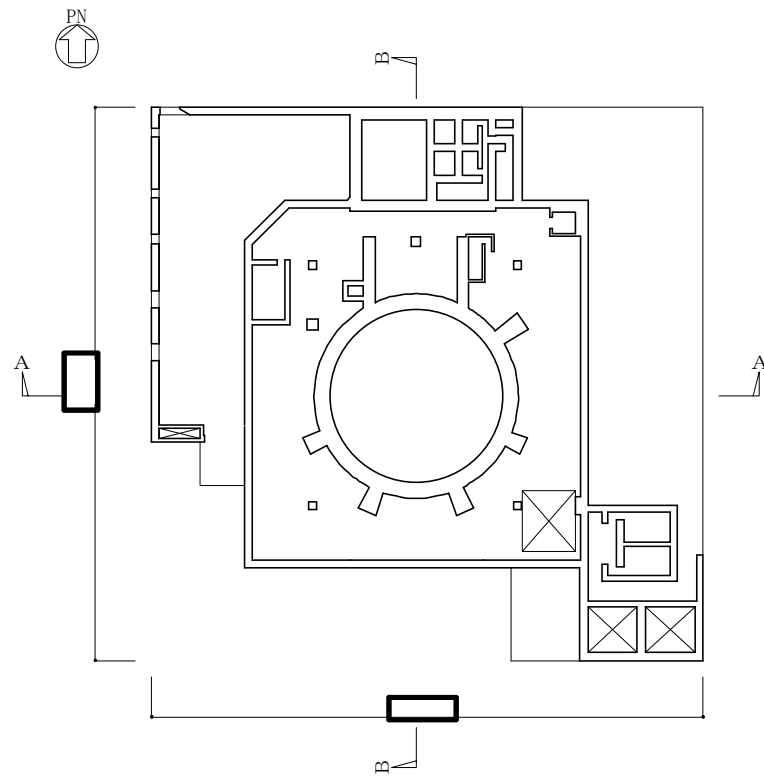


図 2-2 (5/10) の概略平面図 (EL. 20.3 m)

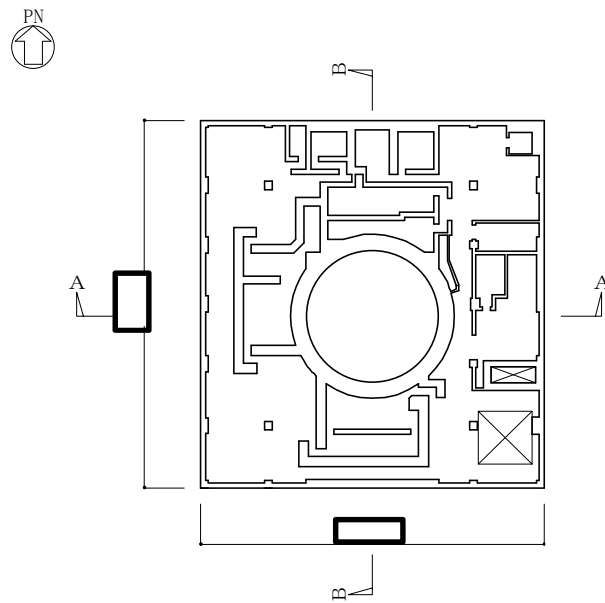


図 2-2 (6/10) の概略平面図 (EL. 29.0 m)

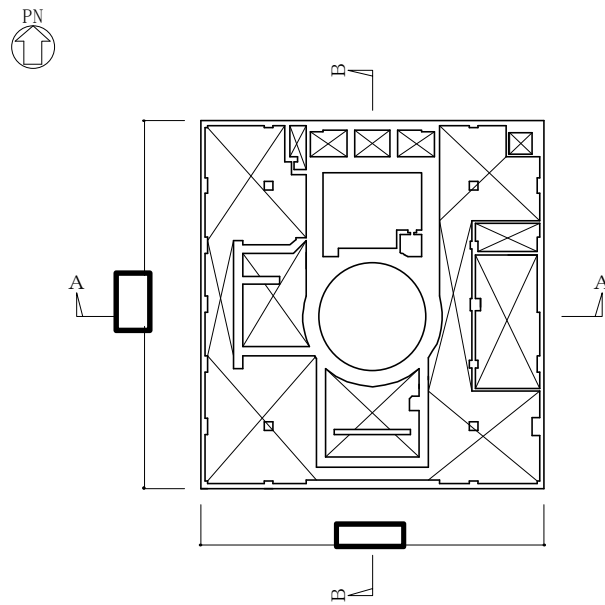


図 2-2 (7/10) の概略平面図 (EL. 34.7 m)

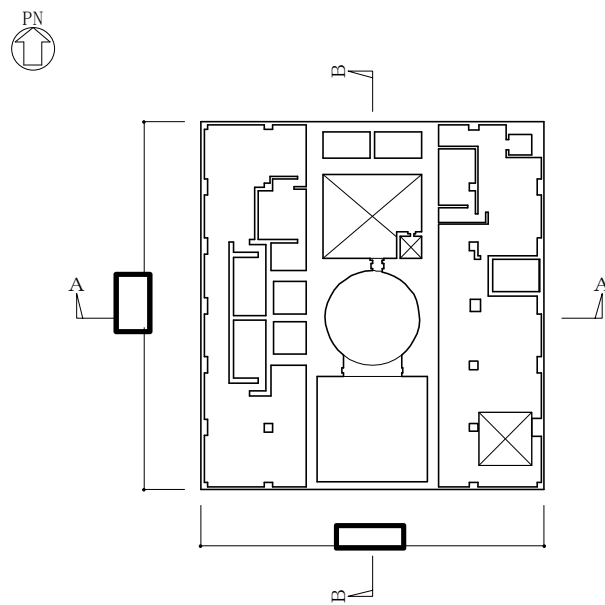


図 2-2 (8/10) の概略平面図 (EL. 38.8 m)

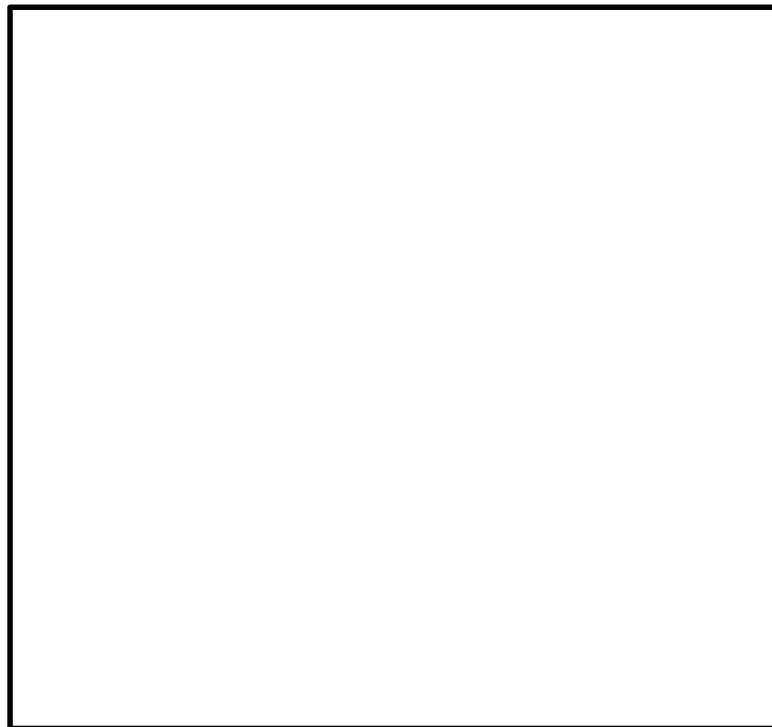


図 2-2 (9/10) の概略平面図 (EL. 46.5 m)

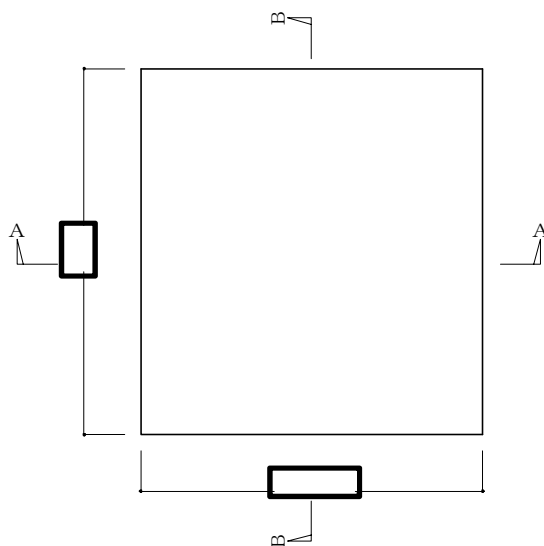


図 2-2 (10/10) の概略平面図 (EL. 64.08 m)

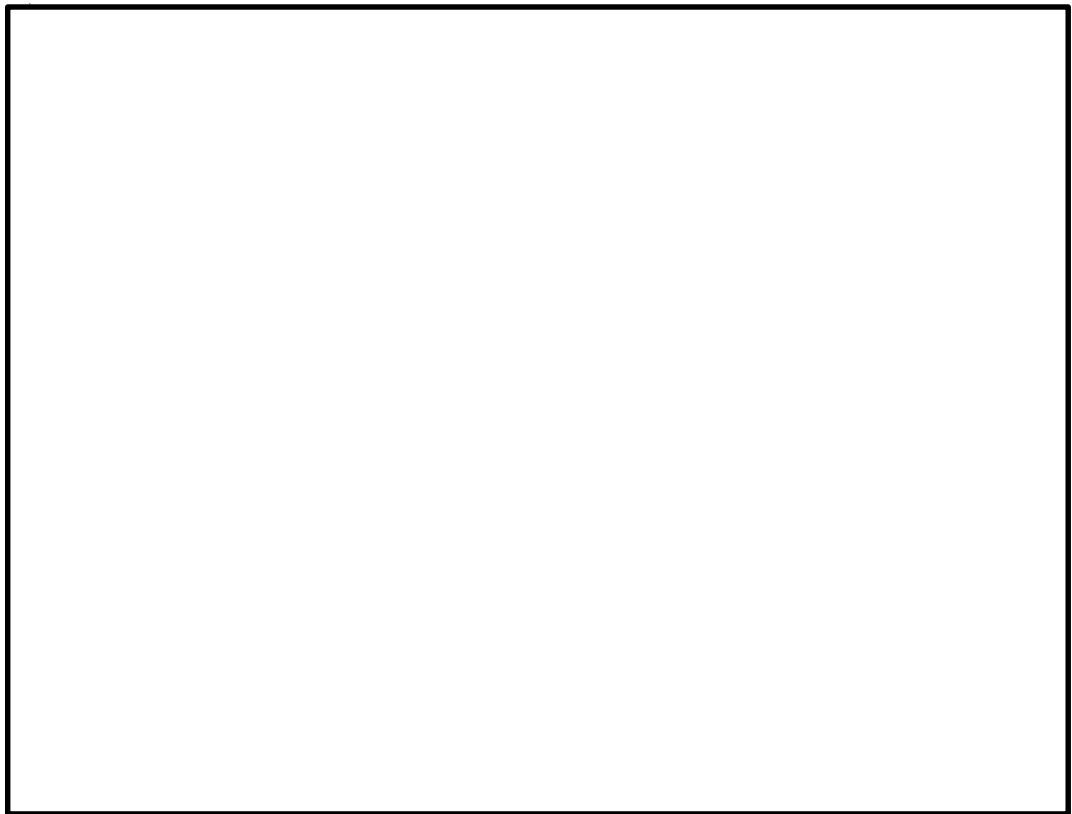


図 2-3 (1/2) 原子炉棟を含む原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面 EW 方向)



図 2-3 (2/2) 原子炉棟を含む原子炉建屋の概略断面図 (B-B 断面 NS 方向)

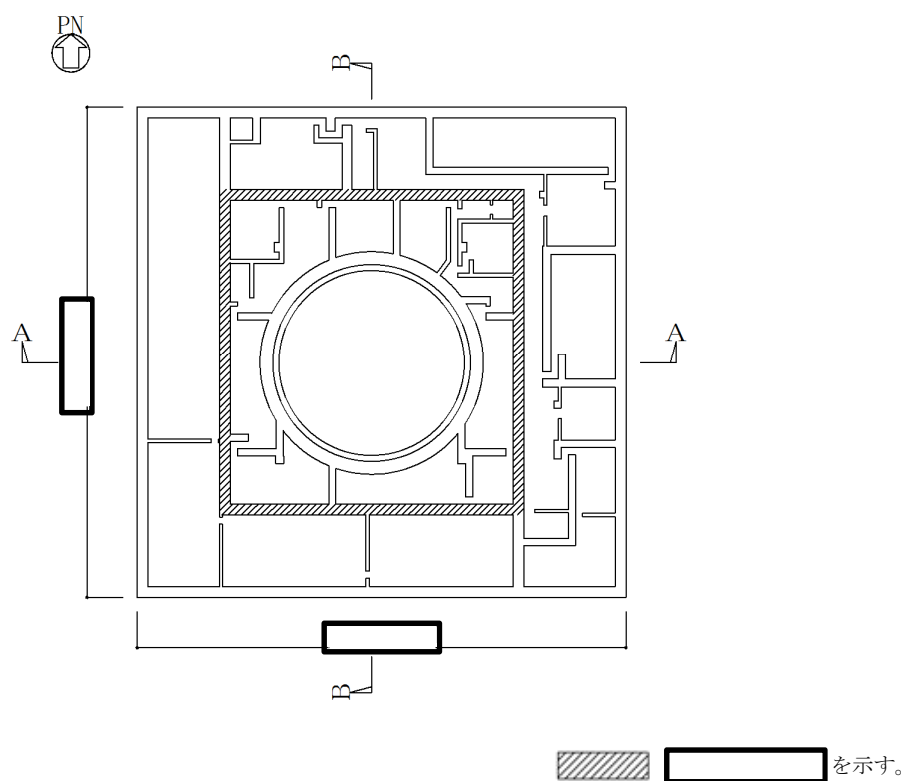


図 2-4 (1/12) の範囲 (平面図 EL. -4.0 m)

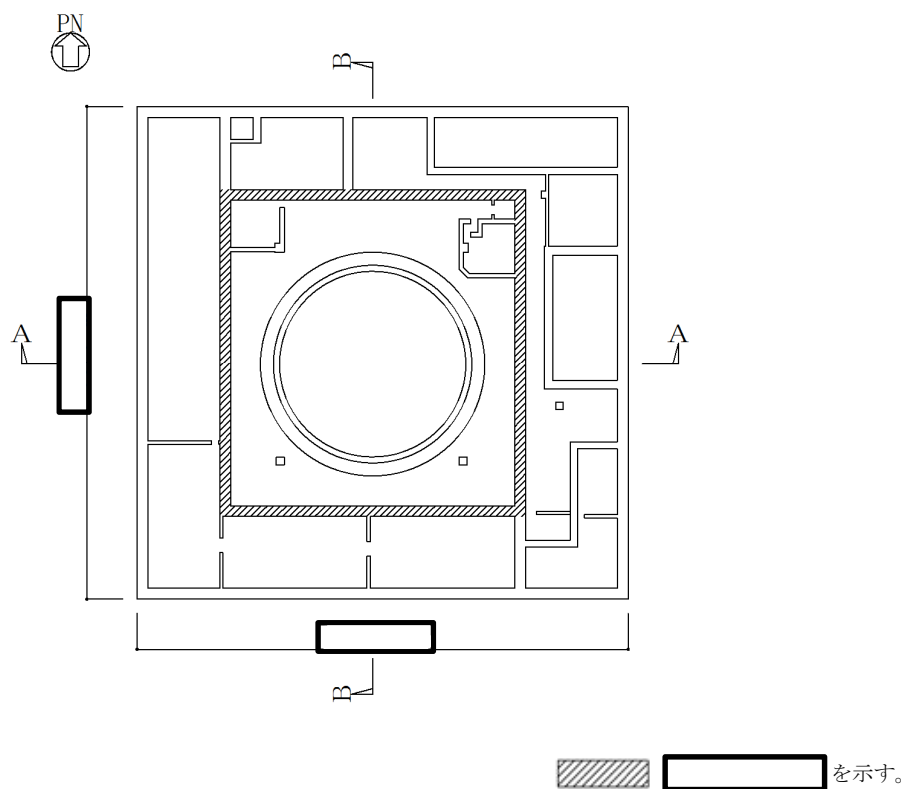
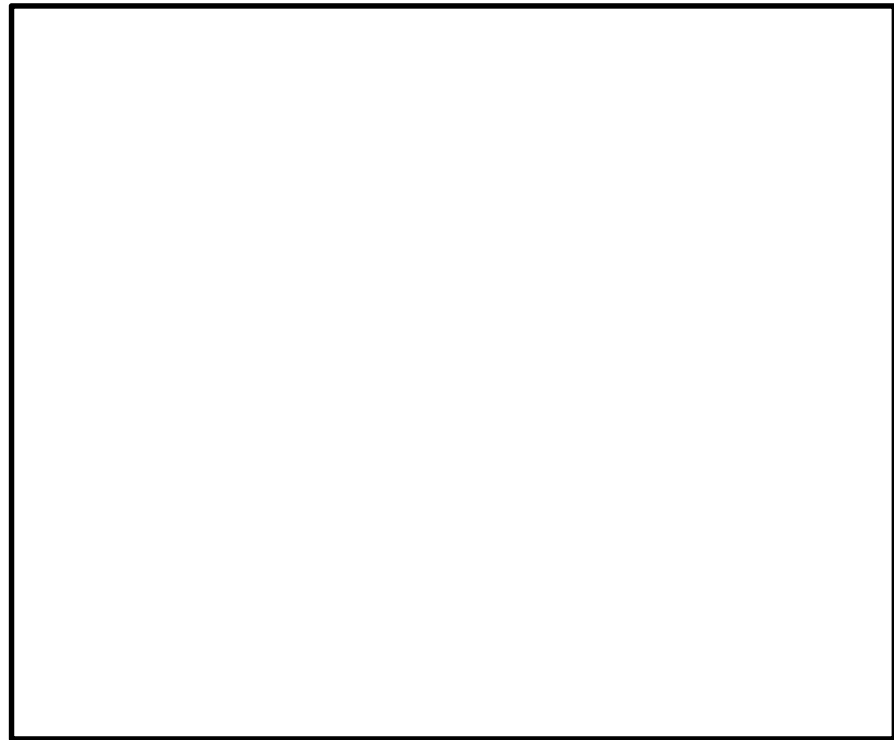
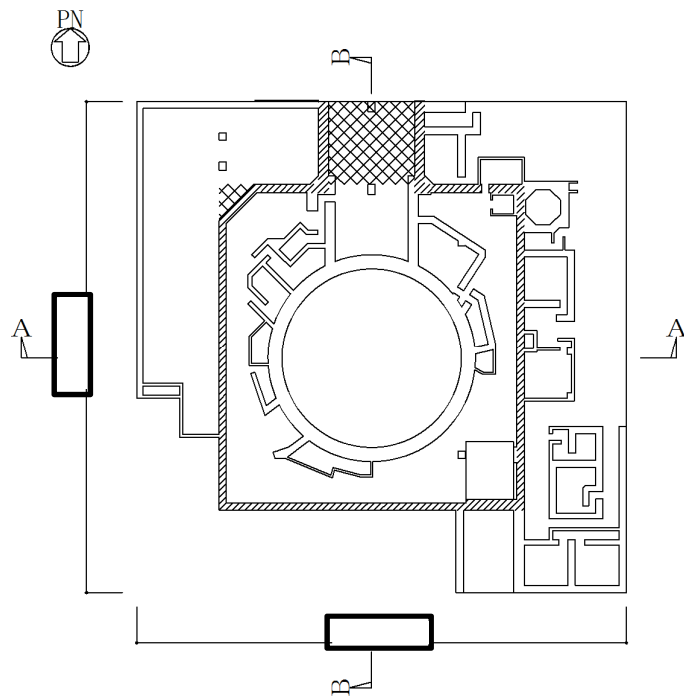


図 2-4 (2/12) の範囲 (平面図 EL. 2.0 m)



  を示す。

図 2-4 (3/12)  の遮蔽範囲 (平面図 EL. 8.2 m)



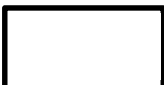
 を示す。
 を示す。

図 2-4 (4/12)  の範囲 (平面図 EL. 14.0 m)

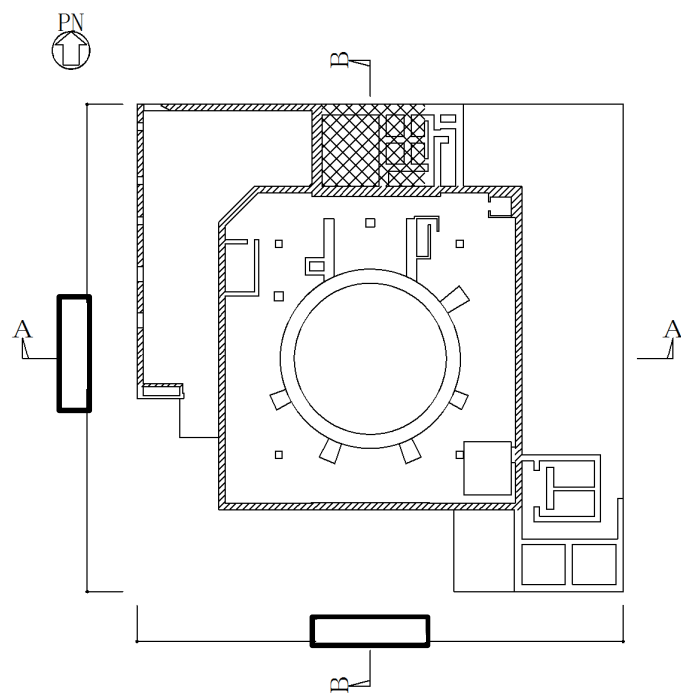


図 2-4 (5/12)

の範囲 (平面図 EL. 20.3 m)

を示す。
を示す。

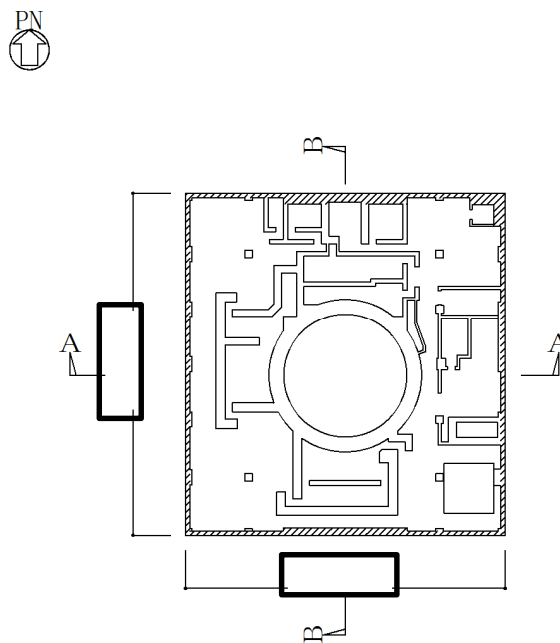
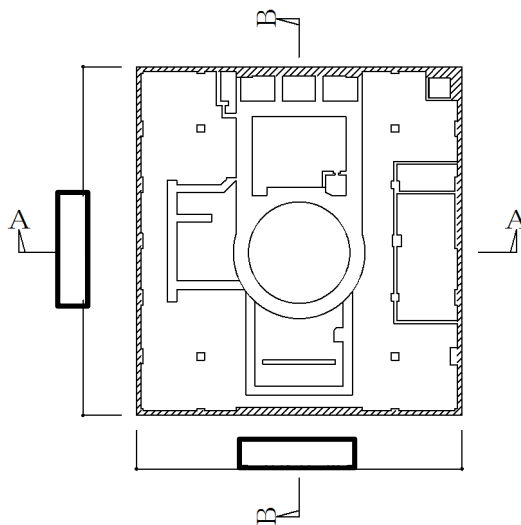


図 2-4 (6/12)

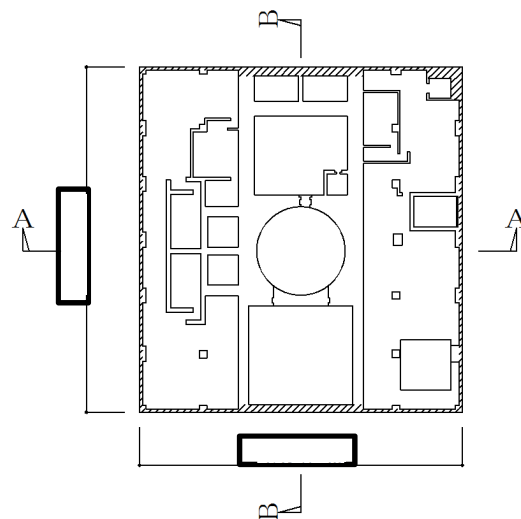
の範囲 (平面図 EL. 29.0 m)

を示す。



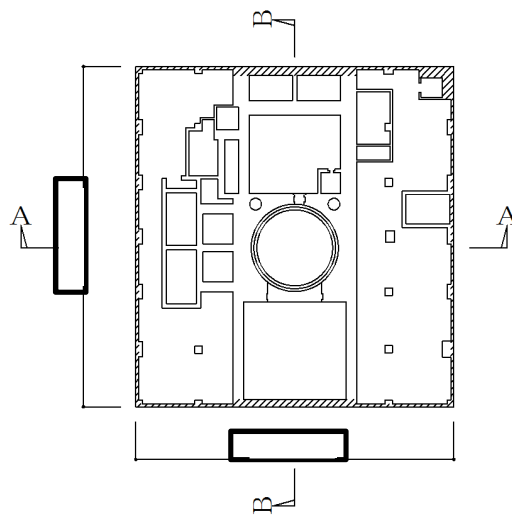
を指示す。

図 2-4 (7/12) の範囲 (平面図 EL. 34.7 m)



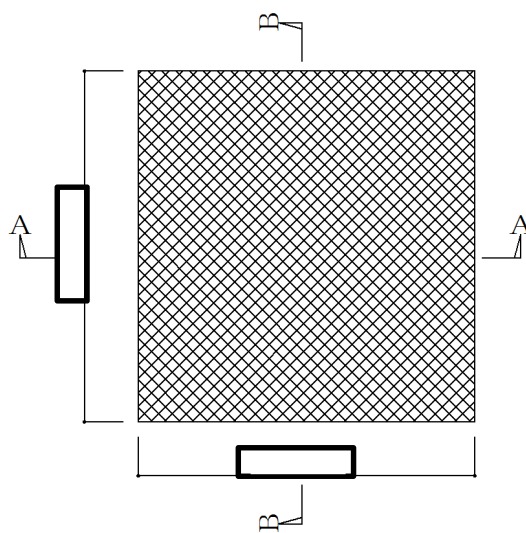
を指示す。

図 2-4 (8/12) の範囲 (平面図 EL. 38.8 m)



  を示す。

図 2-4 (9/12)  の範囲 (平面図 EL. 46.5 m)



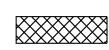
  を示す。

図 2-4 (10/12)  の範囲 (平面図 EL. 64.08 m)

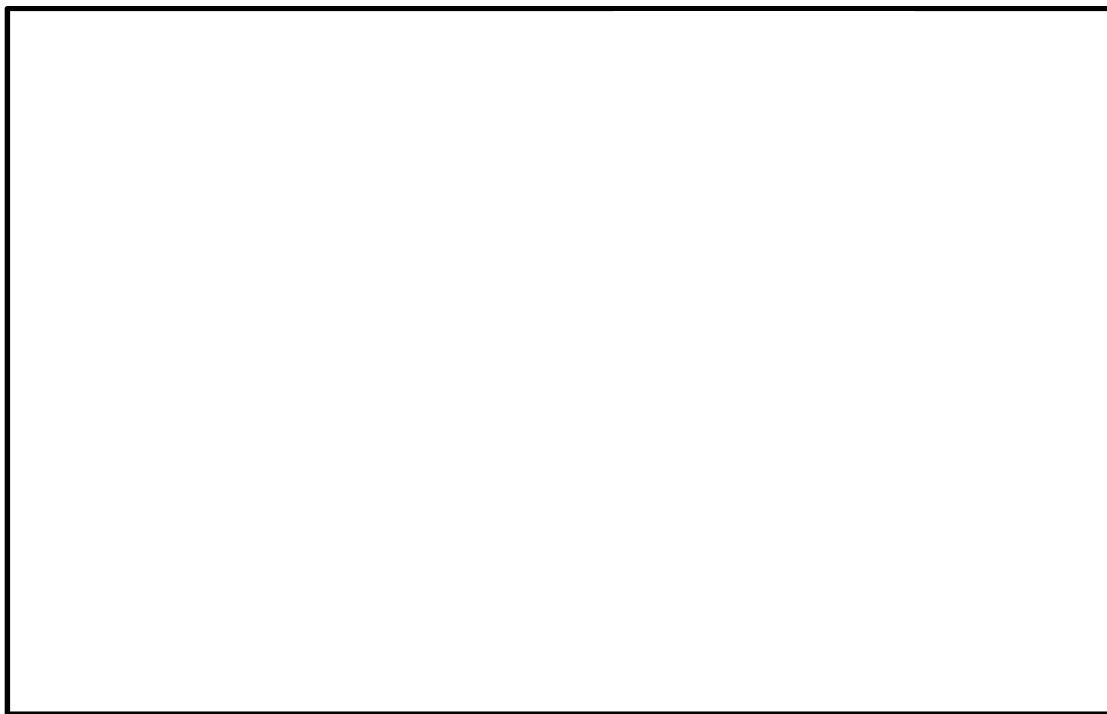


図 2-4 (11/12) 二次遮蔽の範囲 (A-A 断面 EW 方向)

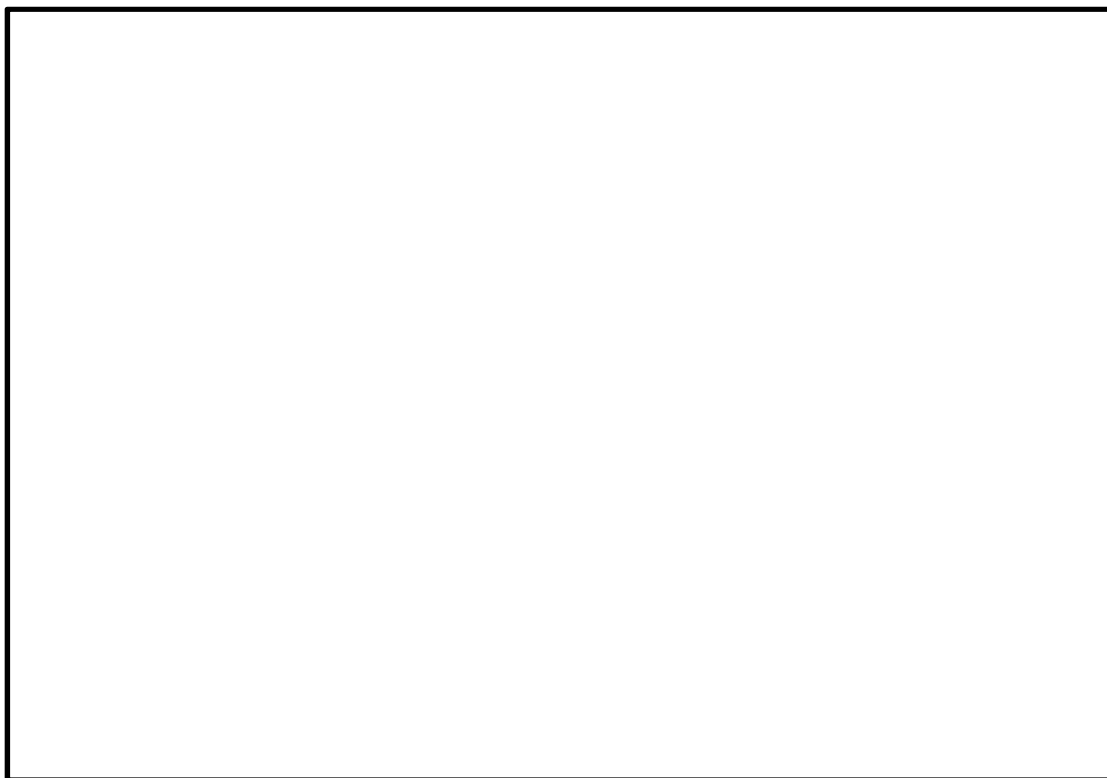


図 2-4 (12/12) 二次遮蔽の範囲 (B-B 断面 NS 方向)

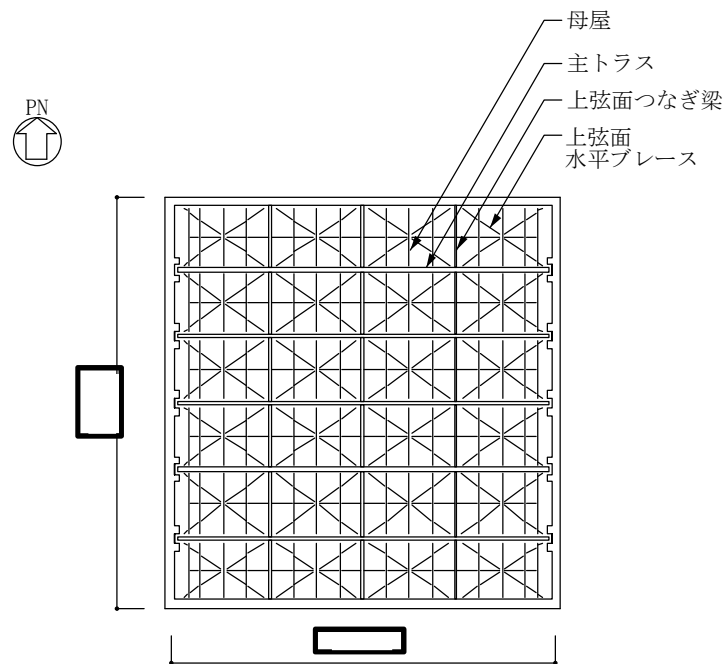


図 2-5 の屋根伏図 (EL. 64.08 m)

2.3 評価方針

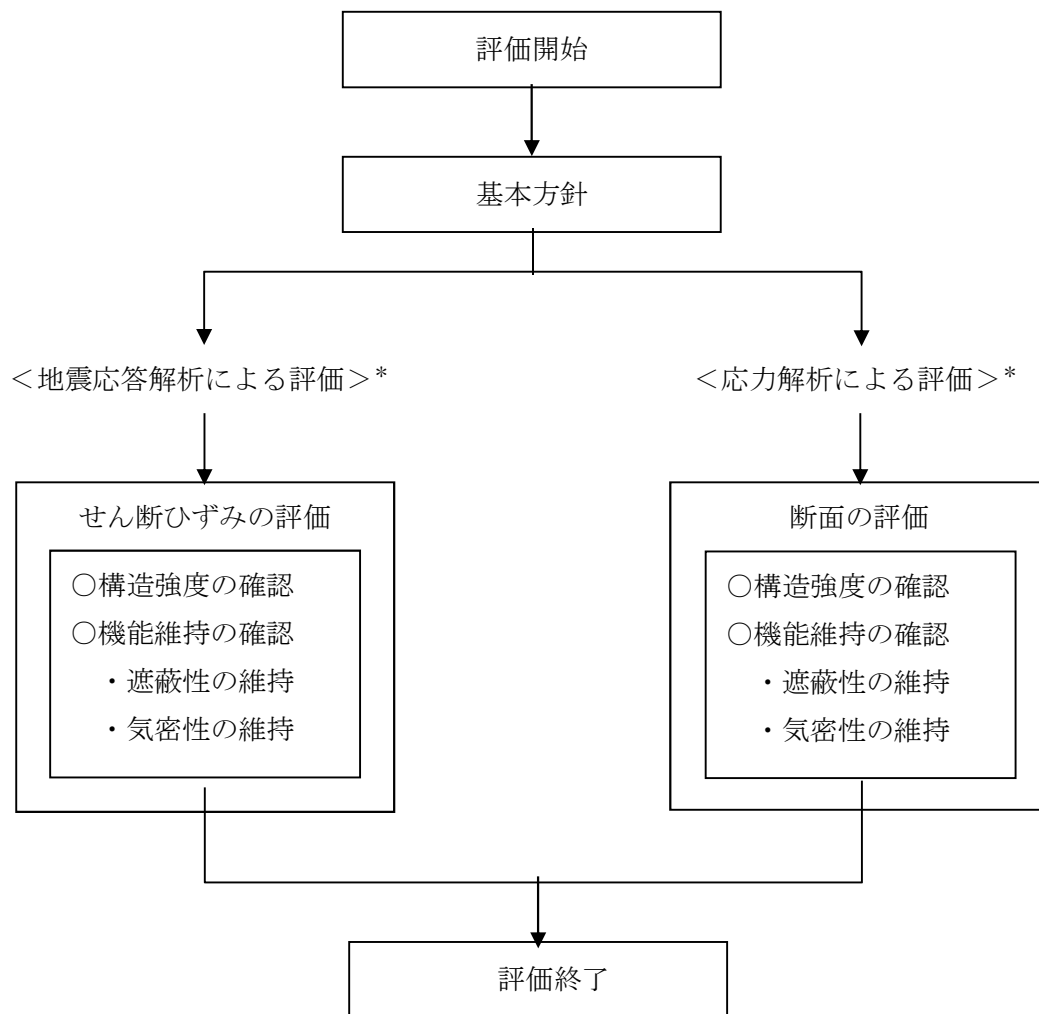
原子炉棟は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設重大事故緩和設備」に分類される。また、原子炉棟を構成する壁及びスラブの一部は、原子炉建屋の二次遮蔽に該当し、その二次遮蔽は、重大事故等対処施設において、「常設重大事故緩和設備」に分類される。

原子炉棟の設計基準対象施設としての地震時の評価は、弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対する評価（以下「 S_d 地震時に対する評価」という。）、基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）及び保有水平耐力の評価を行うこととし、それぞれの評価は、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。ただし、耐震壁については、常時荷重が設計時と同一であること、また、応答に対して支配的となる水平方向の弾性設計用地震動 S_d による地震力及び静的地震力がいずれも『既工事計画認可申請書第1回 資料Ⅲ-1-4「原子炉建屋の地震応答計算書」（47公第12076号 昭和48年4月9日認可）』の設計用地震力よりも小さいことから、 S_d 地震時に対する評価は行わない。

原子炉棟の評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析による評価においてはせん断ひずみの評価を、応力解析による評価においては断面の評価を行うことで、原子炉棟の地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価に当たっては、地盤物性のばらつきを考慮する。なお、保有水平耐力の評価については、原子炉棟が原子炉建屋の一部であることを踏まえ、原子炉棟を含む原子炉建屋全体としての評価結果を添付書類「V-2-2 原子炉建屋の耐震性についての計算書」に示すこととする。

また、重大事故等対処施設としての評価においては、 S_s 地震時に対する評価及び保有水平耐力に対する評価を行う。ここで、原子炉棟では、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態において、圧力、温度等の条件について有意な差異がないことから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設と同一となる。

原子炉棟の評価フローを図2-6に示す。



注記 *：添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-6 原子炉棟の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

原子炉棟の評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1－1987 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補－1984 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1－1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－ ((社) 日本建築学会，1999)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会，2005) (以下「RC－N規準」という。)
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－ ((社) 日本建築学会，2005) (以下「S規準」という。)
- ・ 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所) (以下「技術基準解説書」という。)

3. 地震応答解析による評価方法

地震応答解析による評価において、原子炉棟の構造強度については、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき、地盤物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

また、遮蔽性及び気密性の維持については、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」による結果に基づき、地盤物性のばらつきを考慮した耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

地震応答解析による評価における原子炉棟の許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の方針に基づき、表 3-1 及び表 3-2 のとおり設定する。

表 3-1 地震応答解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部 位	機能維持のための考え方	許容限界
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} *2

注記 *1：建屋全体としては、地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、梁、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従することと、全体に剛性の高い構造となっており、複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの面内変形が抑えられるため、各層の耐震壁が最大せん断ひずみの許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

*2：事故時に原子炉格納容器から漏洩した空気を非常用ガス処理系で処理できるように気密性を有する設計とし、地震時においてもその機能を維持できる設計とする。耐震壁の気密性に対する許容限界の適用性は、「原子炉建屋原子炉棟の気密性に関する計算書」に示す。

表 3-2 地震応答解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部 位	機能維持のための考え方	許容限界
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが遮蔽性を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} *2

注記 *1：建屋全体としては、地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、梁、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従することと、全体に剛性の高い構造となっており、複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの面内変形が抑えられるため、各層の耐震壁が最大せん断ひずみの許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

*2：事故時に原子炉格納容器から漏洩した空気を非常用ガス処理系で処理できるように気密性を有する設計とし、地震時においてもその機能を維持できる設計とする。耐震壁の気密性に対する許容限界の適用性は、「原子炉建屋原子炉棟の気密性に関する計算書」に示す。

4. 応力解析による評価方法

4.1 評価対象部位及び評価方針

原子炉棟の応力解析による評価対象部位は、屋根スラブ及び屋根トラスとする。屋根トラスについては、屋根スラブを支持するつなぎ梁の上弦材、母屋及び主トラスを評価対象部位とする。屋根スラブについては、つなぎ梁の上弦材若しくは母屋で支持されたスパンでモデル化した梁により評価を行う。屋根トラスのうち、つなぎ梁の上弦材及び母屋については、主トラスで支持されたスパンでモデル化した梁により評価を行い、主トラスについては燃料取替床（EL. 46.50 m）より上部を取り出した、3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析により評価を行う。3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析に当たっては、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」より得られた結果を用いて、荷重の組合せを行う。応力解析による評価フローを図4-1に示す。なお、つなぎ梁の上弦材及び母屋の評価については、母屋の断面がつなぎ梁の上弦材よりも小さいことから、支配面積の大きい母屋の部材を選定して示す。選定した部材の位置を図4-2及び図4-3に示す。

4.1.1 S_d 地震時に対する評価

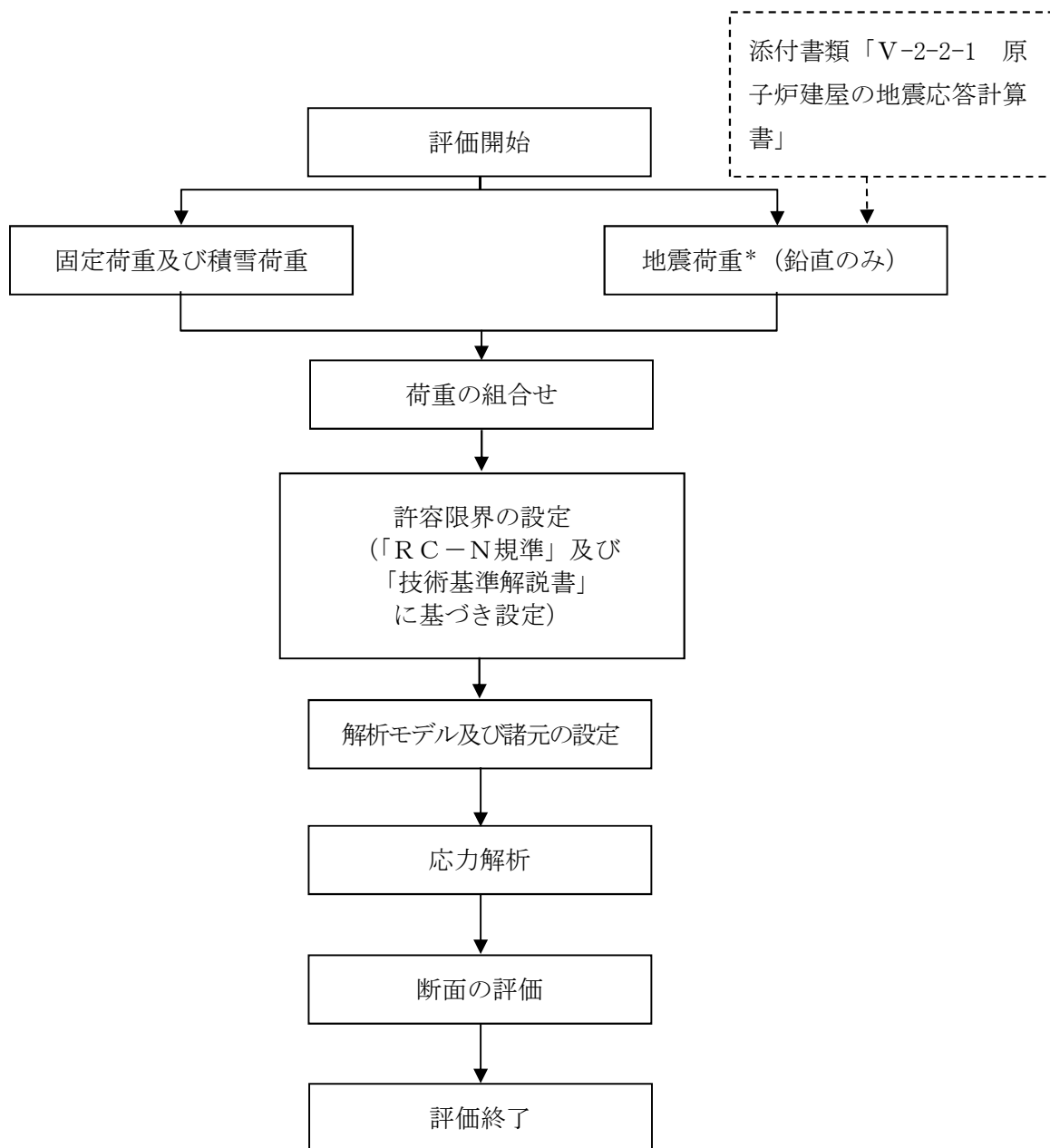
S_d 地震時に対する評価は、屋根スラブ及び屋根トラスについて、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が、「RC-N規準」及び「S規準」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

また、断面の評価については、地盤物性のばらつきを考慮した断面力に対して行うこととする。

4.1.2 S_s 地震時に対する評価

S_s 地震時に対する評価は、屋根スラブ及び屋根トラスについて、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が、「RC-N規準」、「S規準」及び「技術基準解説書」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

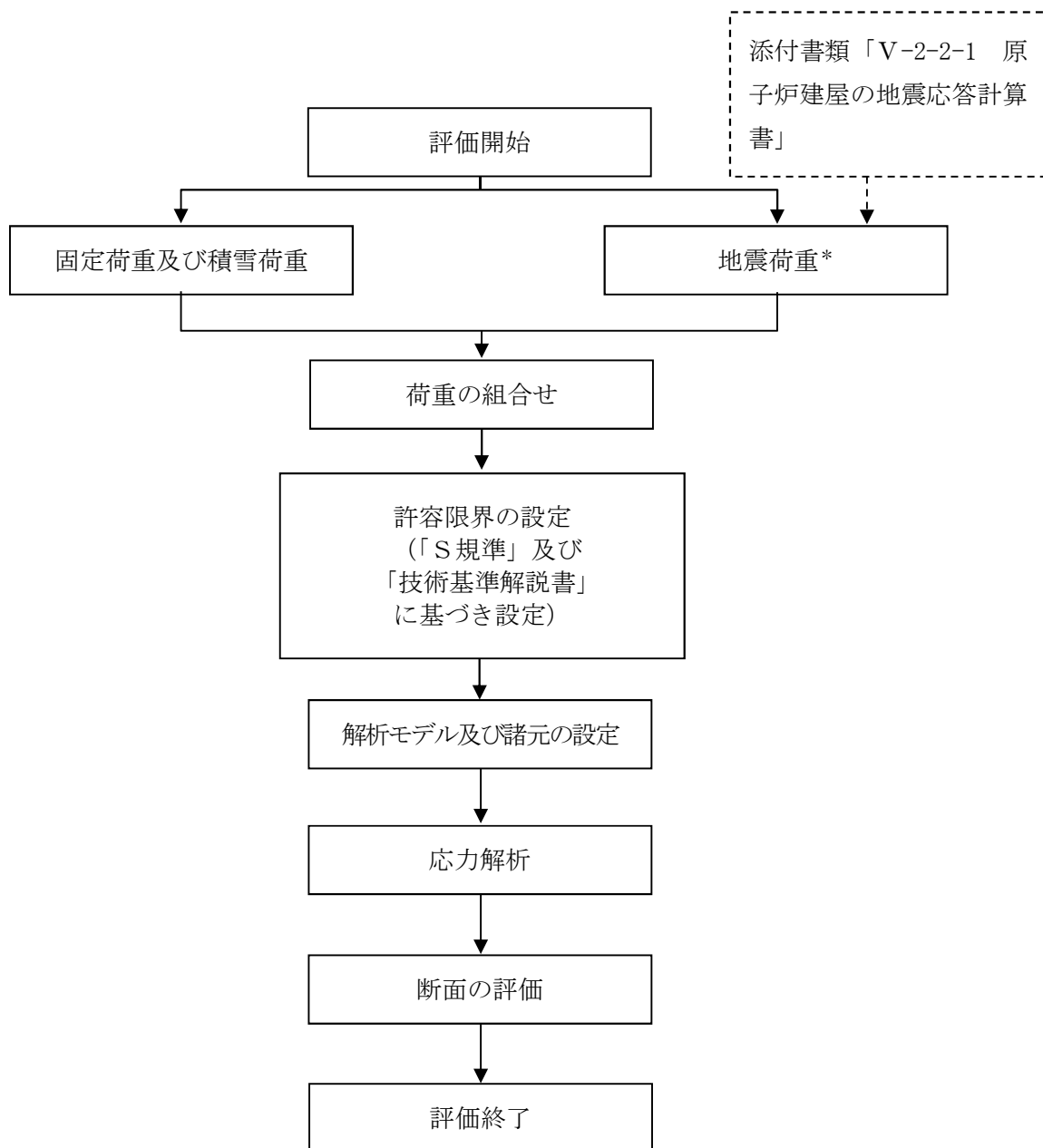
また、断面の評価については、地盤物性のばらつきを考慮した断面力に対して行うこととする。



注記 *：地盤物性のばらつきを考慮する。

(a) 屋根スラブ

図 4-1 (1/2) 応力解析による評価フロー



注記 *：地盤物性のばらつきを考慮する。

(b) 屋根トラス

図 4-1 (2/2) 応力解析による評価フロー

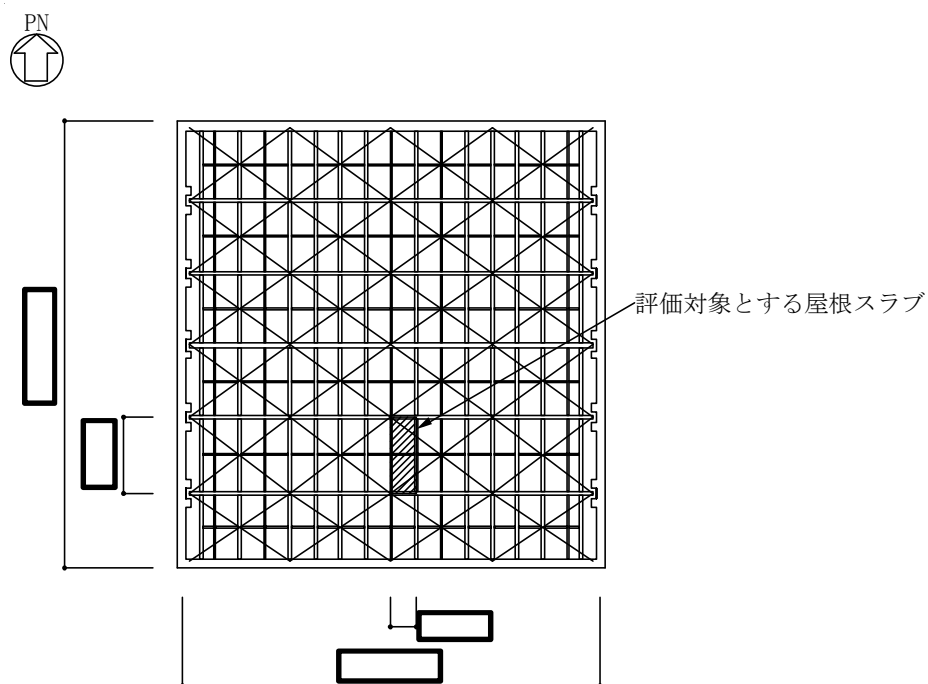


図 4-2 屋根スラブの評価を記載する部材の位置 (EL. 64.08 m)

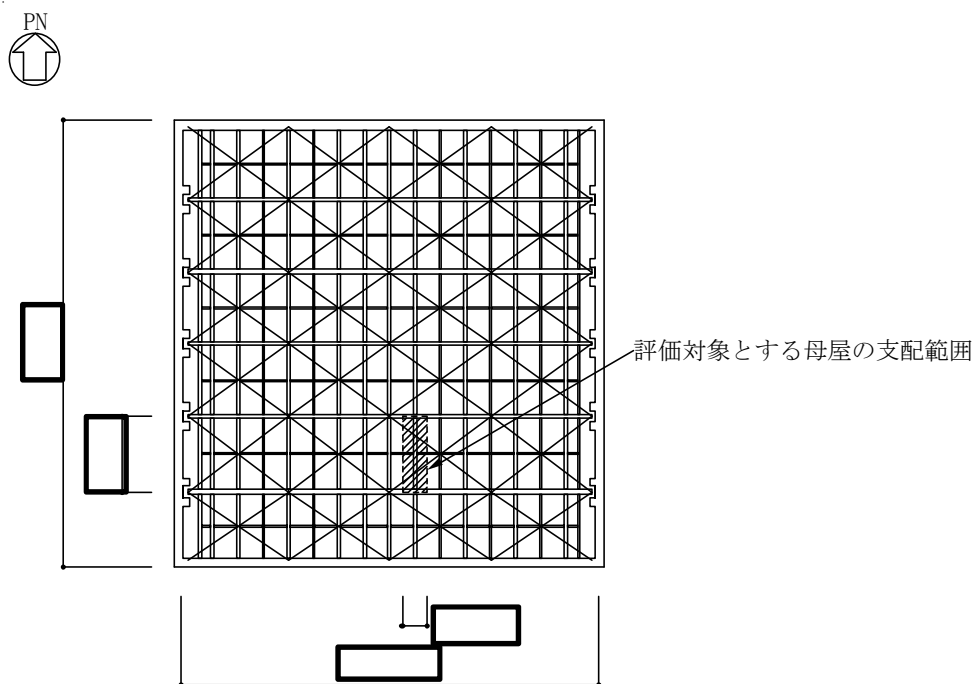


図 4-3 つなぎばりの上弦材及び母屋の評価を記載する部材の位置 (EL. 64.08 m)

4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは，添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重組合せを用いる。

4.2.1 屋根スラブ及び母屋

(1) 荷重

a. 固定荷重 (G)

屋根スラブ及び母屋に作用する固定荷重を表 4-1，屋根スラブの断面図を図 4-4 に示す。

表 4-1 (1/2) 固定荷重 (屋根スラブ)

部 位	仕 上 げ	固 定 荷 重
屋根スラブ	防水シート	3 kgf/m ²
	アスファルト防水層	37 kgf/m ²
	コンクリート (t=100 mm)	240 kgf/m ²
	デッキプレート部コンクリート	45 kgf/m ²
	デッキプレート	18 kgf/m ²
	合 計	343 kgf/m ² →3400 N/m ²

表 4-1 (2/2) 固定荷重 (母屋)

部 位	自 重
母屋 (H-390×300×10×16)	1050 N/m

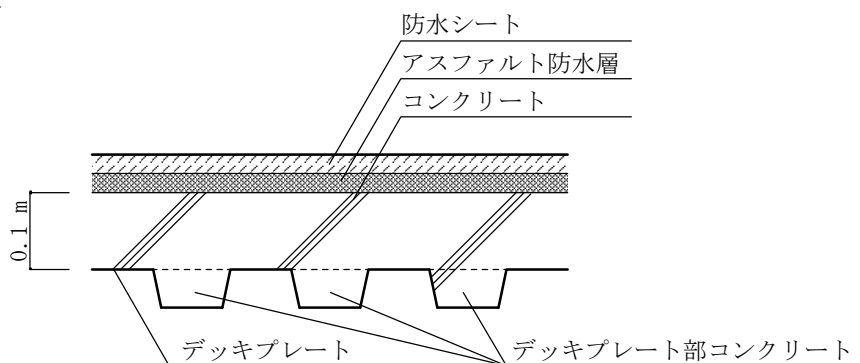


図 4-4 屋根スラブの断面図

b. 積雪荷重 (SNL)

積雪荷重は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の地震力と積雪荷重の組合せに基づき、表 4-2 のとおり設定する。

表 4-2 積雪荷重 (SNL)

外力の状態	積雪荷重
地震時	210 N/m ²

c. 地震荷重 (Sd, Ss)

鉛直地震力は、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析より算定される動的地震力に地盤物性のばらつきを考慮して設定する。

屋根スラブが、長辺方向 7.7 m、短辺方向 2.57 m スパンで厚さ約 10 cm の鉄筋コンクリート造スラブであることから剛とみなす。

地震荷重は、図 4-5 に示す基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する質点系モデルの屋根トラス部 (EL. 63.65 m、質点番号 22～質点番号 25) の鉛直方向最大応答加速度より鉛直震度を算定する。

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-3 に示す。

表 4-3 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S_d 地震時	$G + SNL + S_d$
S_s 地震時	$G + SNL + S_s$

G : 固定荷重

SNL : 積雪荷重 (地震時)

S_d : S_d 地震荷重

S_s : S_s 地震荷重

4.2.2 屋根トラス

(1) 荷重

a. 固定荷重 (G)

屋根トラスの応力解析において考慮する固定荷重は、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルの重量に基づき設定する。固定荷重を表 4-4 に示す。

表 4-4 固定荷重 (屋根トラス)

部 位	部 材	固定荷重
屋根面 (EL. 64.08 m)	屋根スラブ トラス鋼材	343 kgf/m ² 204 kgf/m ²
	合 計	547 kgf/m ² →5370 N/m ²
EL. 64.08 m	外周梁	33790 N/m
EL. 57.00 m	外周梁	78700 N/m
	天井クレーン	2750 kN

b. 積雪荷重 (SNL)

積雪荷重は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の地震力と積雪荷重の組合せに基づき、表 4-5 のとおり設定する。

表 4-5 積雪荷重 (SNL)

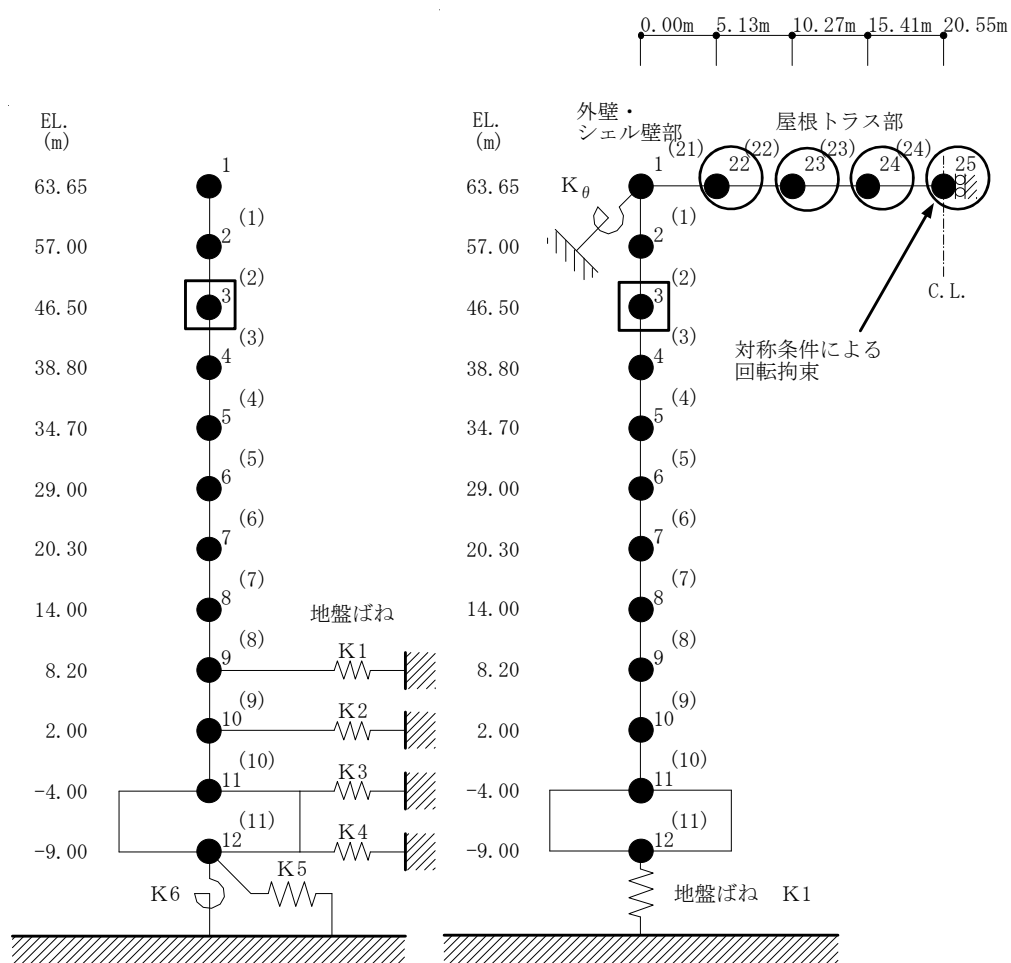
外力の状態	積雪荷重
地震時	210 N/m ²

c. 地震荷重 (S_d, S_s)

水平地震力及び鉛直地震力は、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析より算定される動的地震力より設定する。

地震荷重は、図 4-5 に示す質点系モデルのうち、3 次元 FEM モデルの脚部にあたる燃料取替床レベル (EL. 46.5 m, 質点番号 3) における S_s 地震時及び S_d 地震時の水平方向及び鉛直方向の動的応答 (時刻歴応答加速度) とする。なお、水平方向の地震荷重には、並進成分と回転成分を考慮する。また、地震荷重については、地盤物性のばらつきを考慮するものとする。

基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する燃料取替床レベル (EL. 46.5 m, 質点番号 3) の基本ケース及び地盤物性のばらつきを考慮したケースの加速度応答スペクトル及び加速度時刻歴波形を図 4-6～図 4-65 に示す。



- 注1 : 数字は質点番号を示す。
 注2 : () 内は要素番号を示す。
 注3 : 屋根スラブは○印の動的応答を用いる。
 注4 : 屋根トラスは□印の動的応答を用いる。

(a) 水平方向

(b) 鉛直方向

図 4-5 地震応答解析モデル

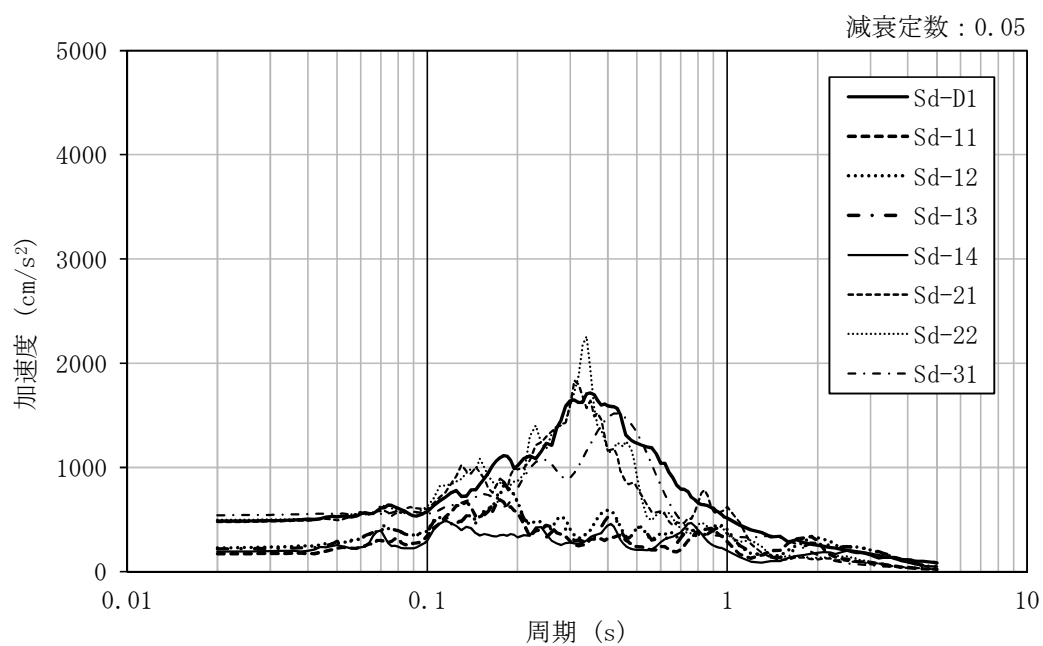


図 4-6 加速度応答スペクトル（弾性設計用地震動 S_d ，NS 方向並進成分，基本ケース）

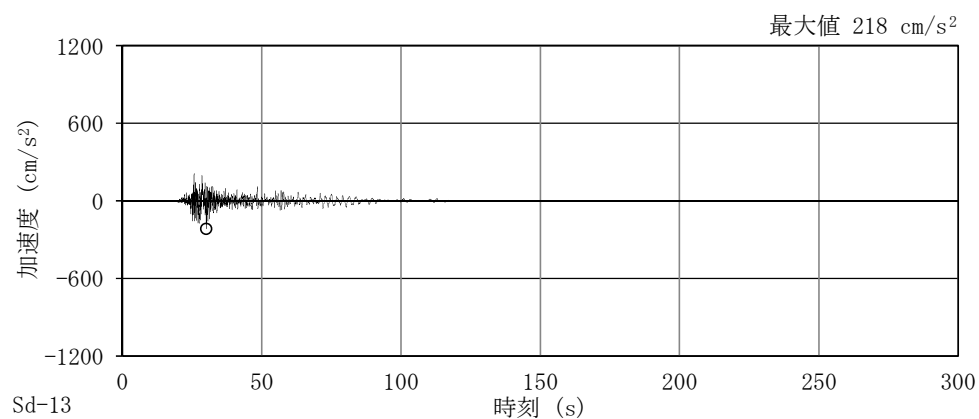
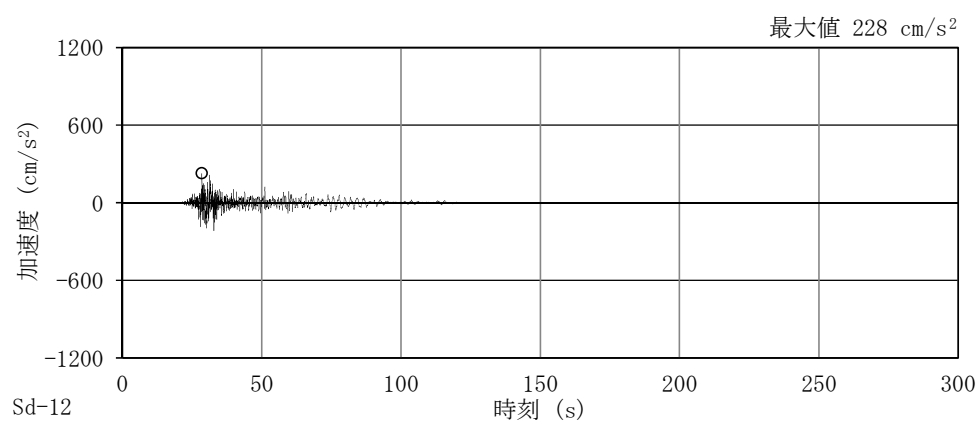
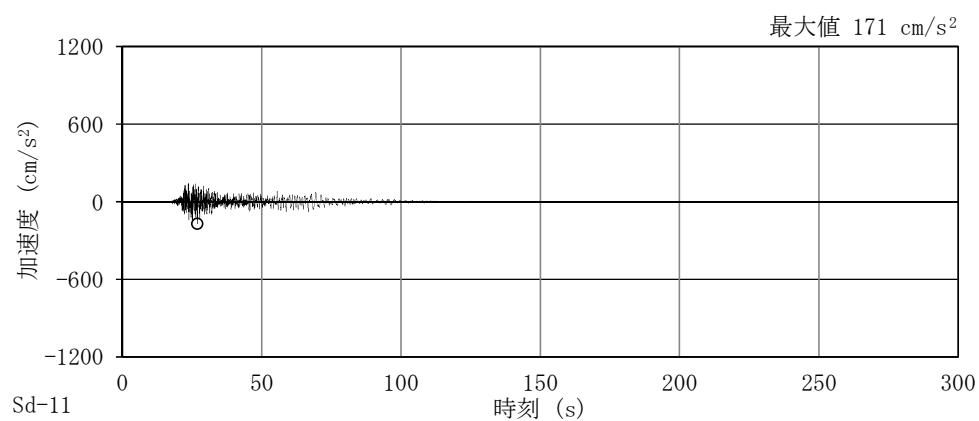
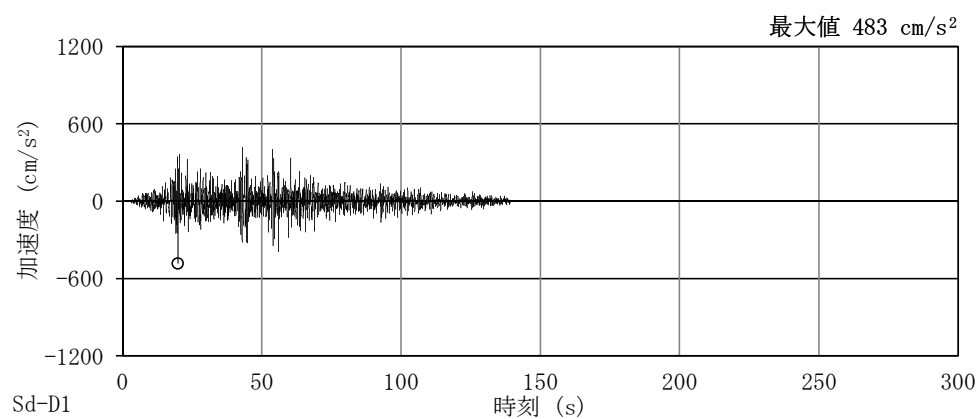


図 4-7 (1/2) 加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S_d , NS 方向並進成分, 基本ケース)

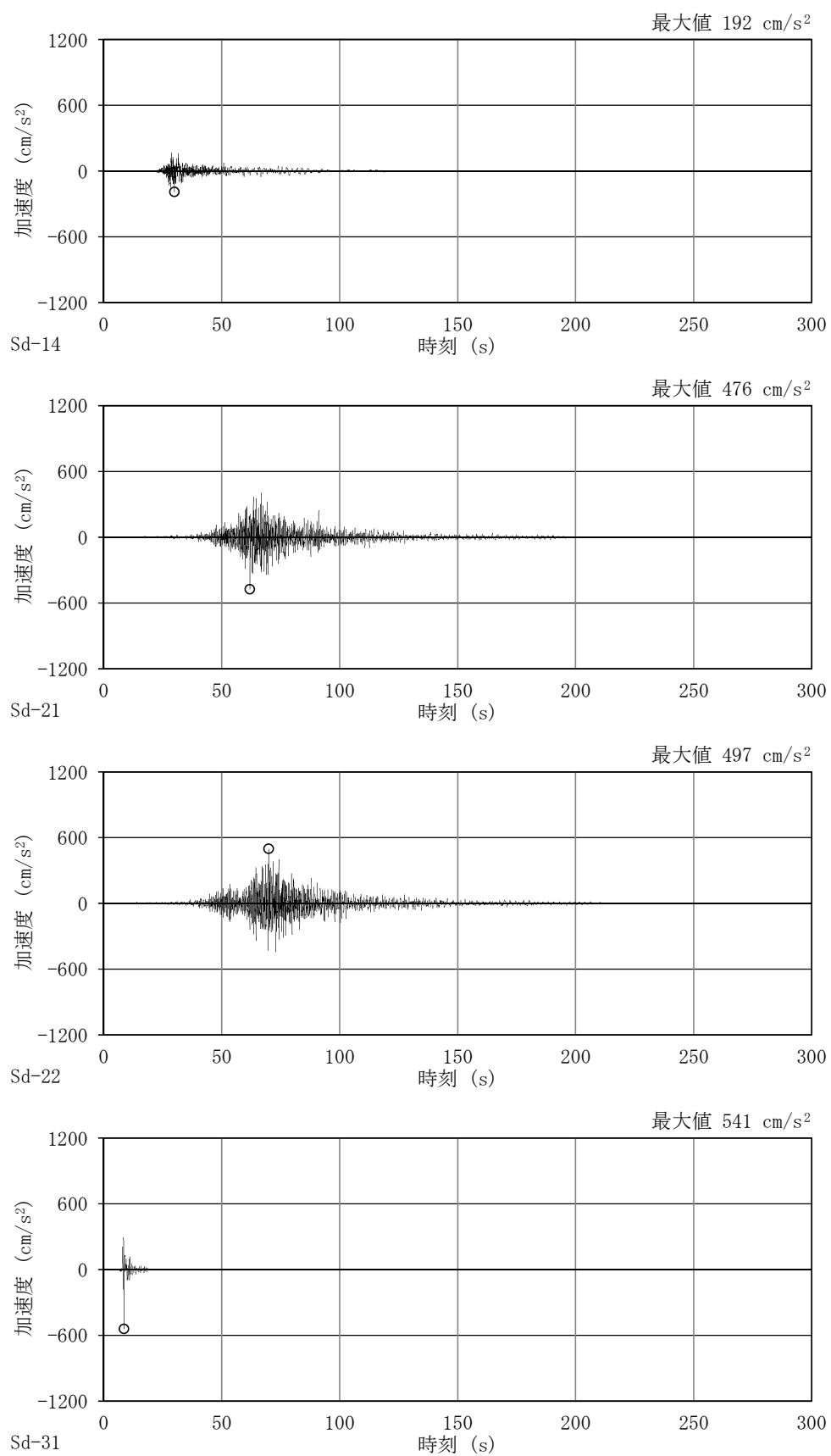


図 4-7 (2/2) 加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S_d , NS 方向並進成分, 基本ケース)

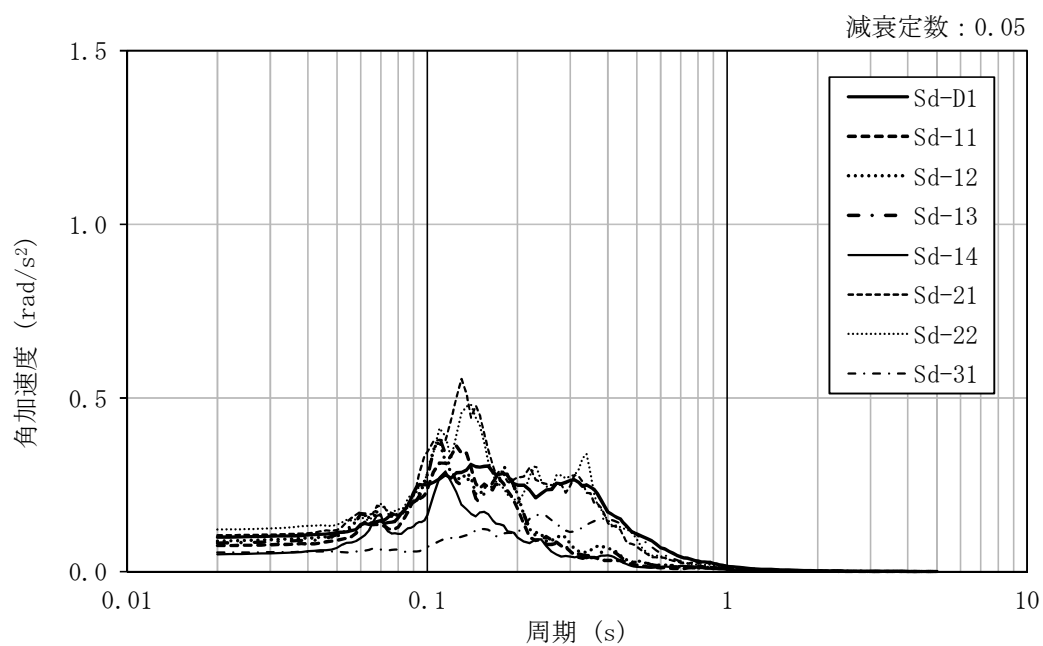


図 4-8 加速度応答スペクトル（弾性設計用地震動 S_d ，NS 方向回転成分，基本ケース）

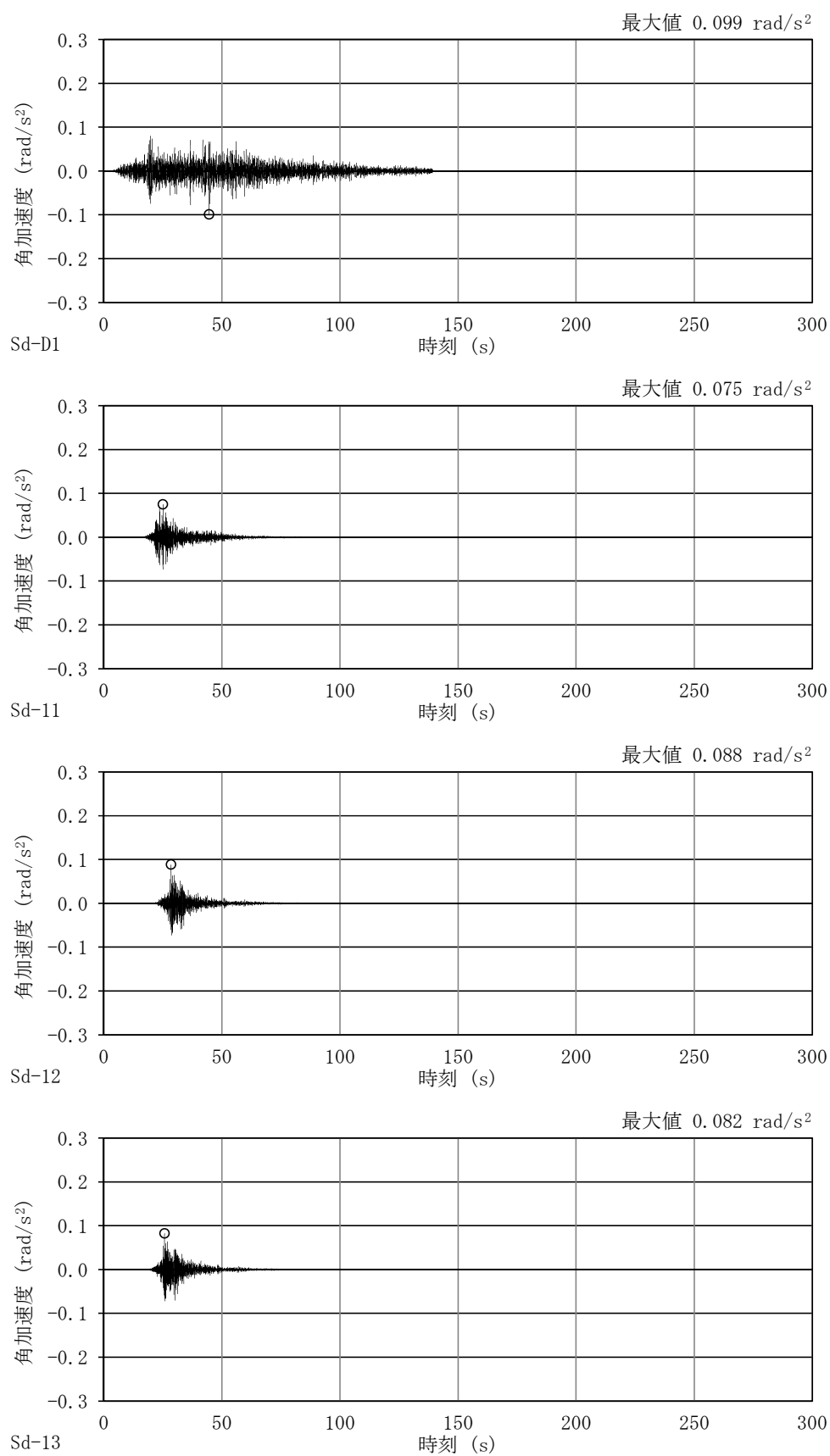


図 4-9 (1/2) 加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S_d , NS 方向回転成分, 基本ケース)

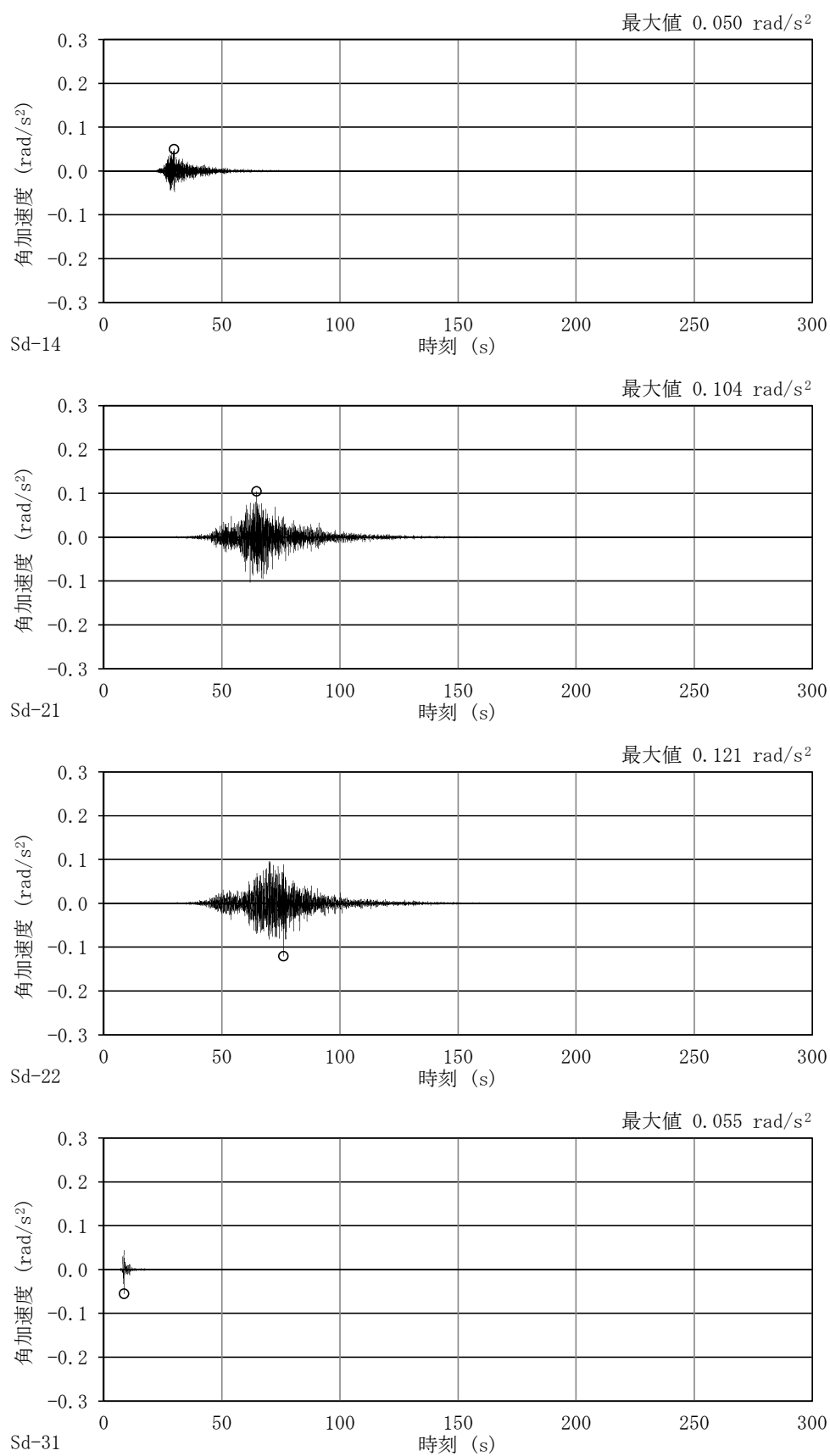


図 4-9 (2/2) 加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S_d, NS 方向回転成分, 基本ケース)

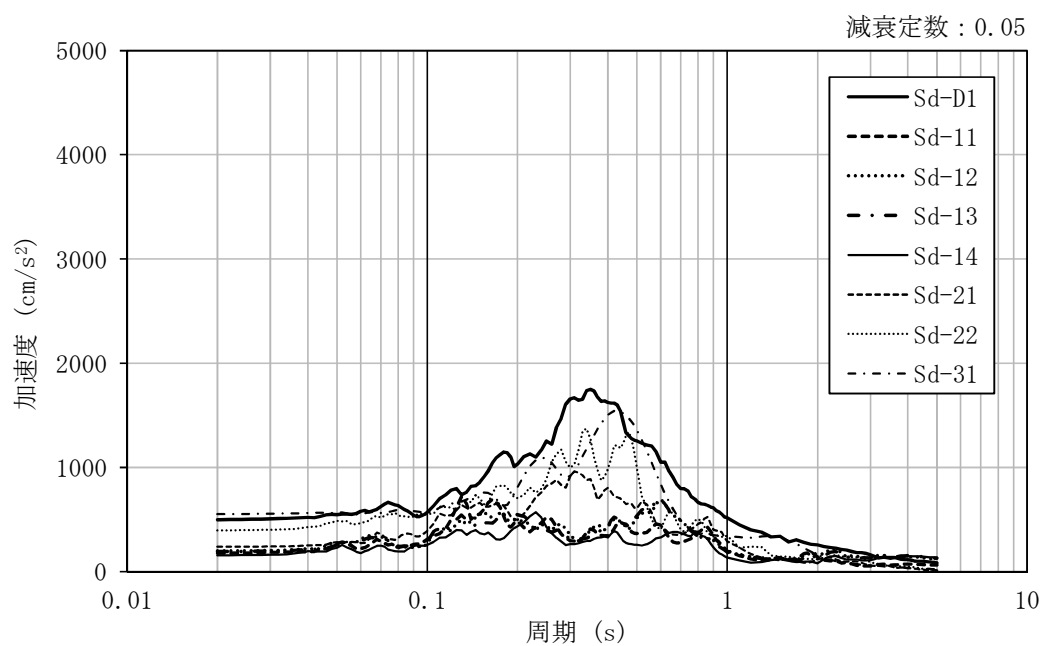


図 4-10 加速度応答スペクトル（弾性設計用地震動 S_d , EW 方向並進成分, 基本ケース）

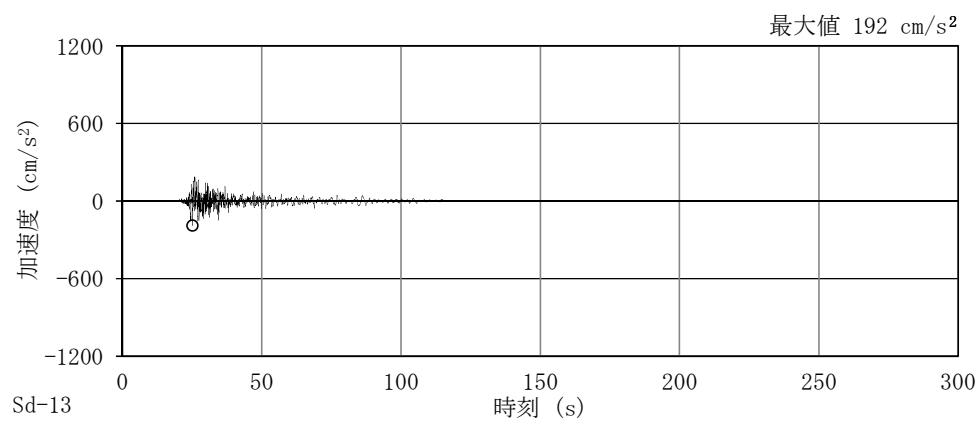
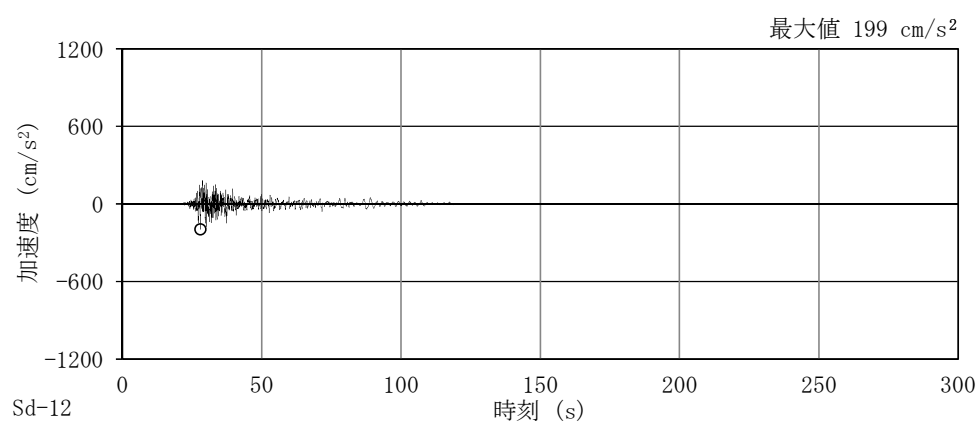
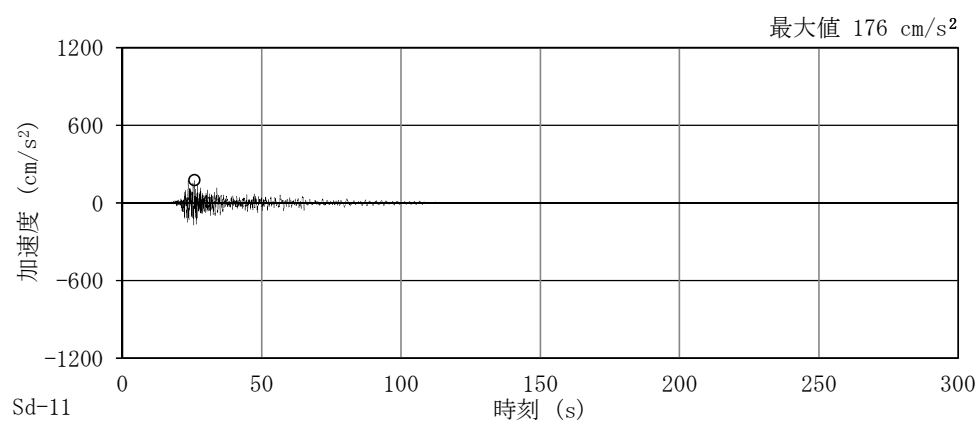
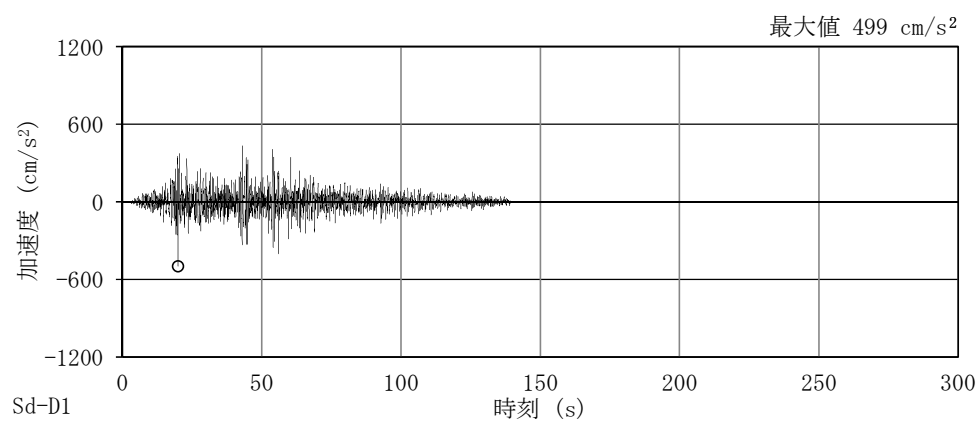


図 4-11 (1/2) 加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S_d , EW 方向並進成分, 基本ケース)

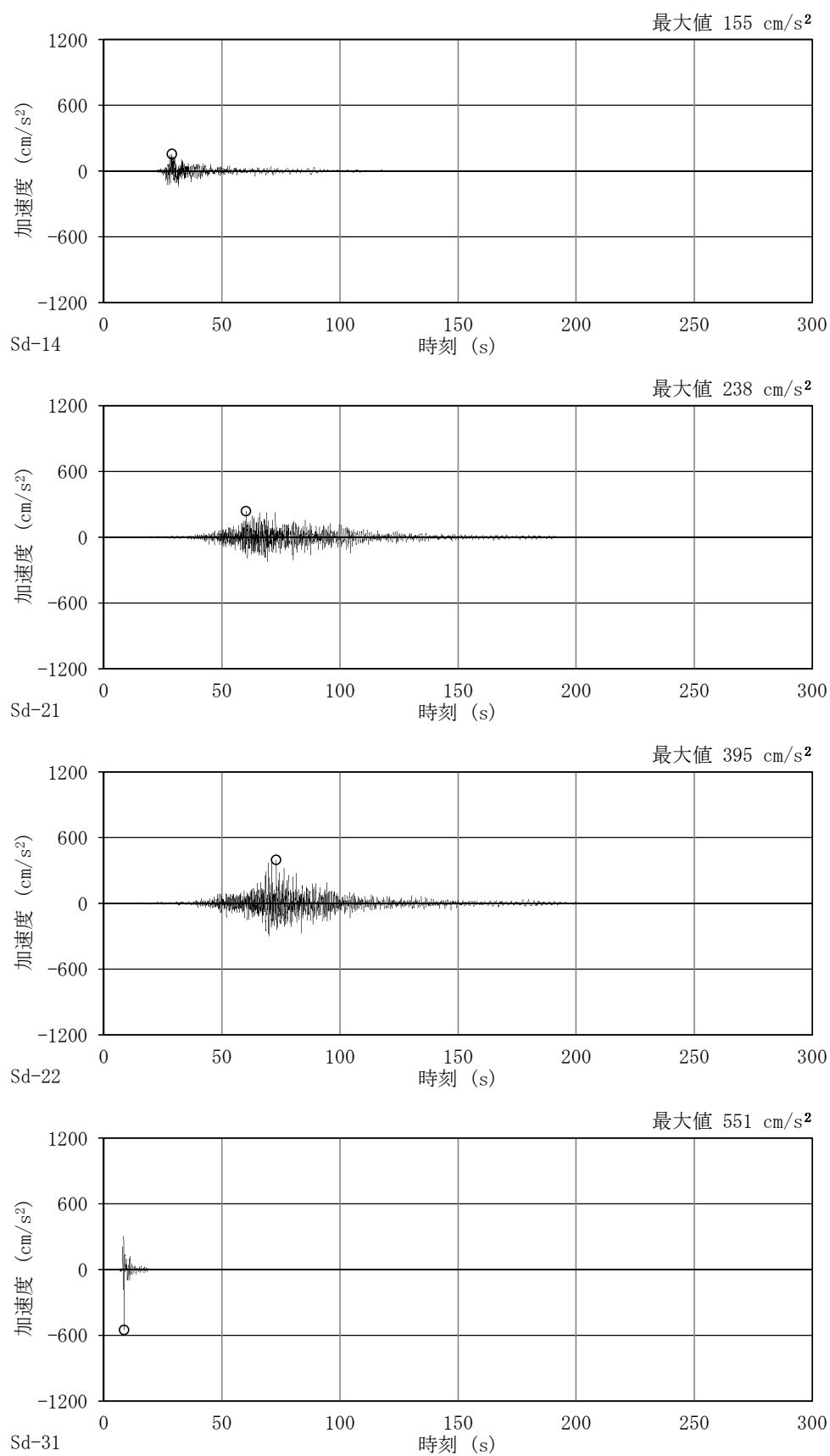


図 4-11 (2/2) 加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S_d , EW 方向並進成分, 基本ケース)

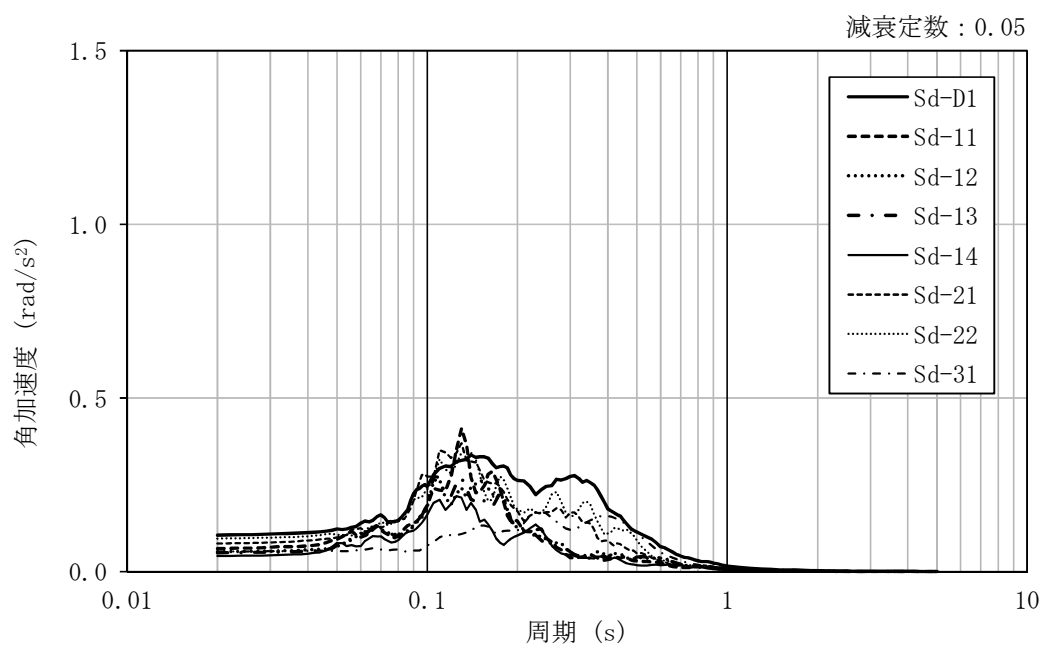


図 4-12 加速度応答スペクトル（弾性設計用地震動 S_d ，EW 方向回転成分，基本ケース）

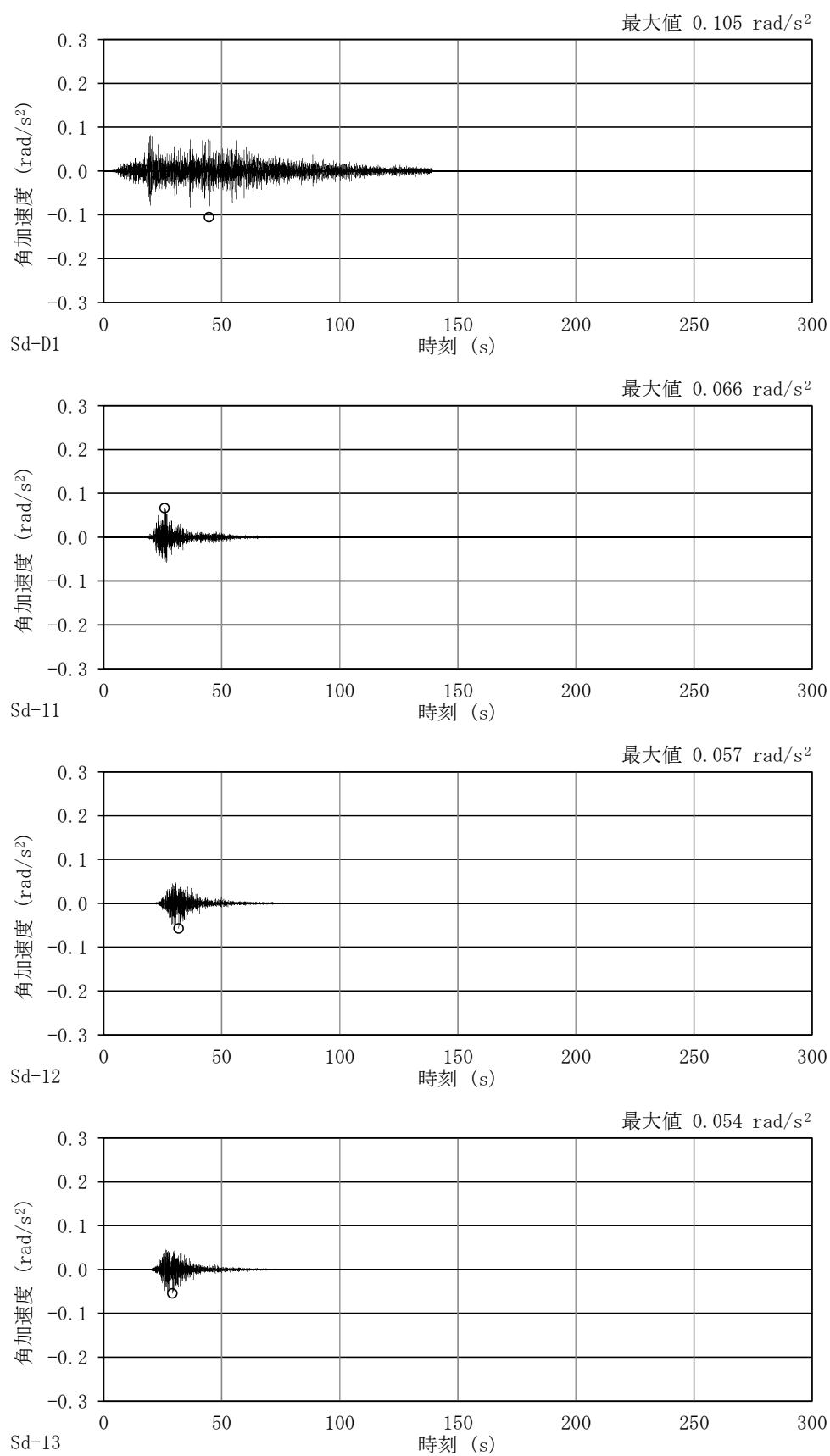


図 4-13 (1/2) 加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S_d, EW 方向回転成分, 基本ケース)

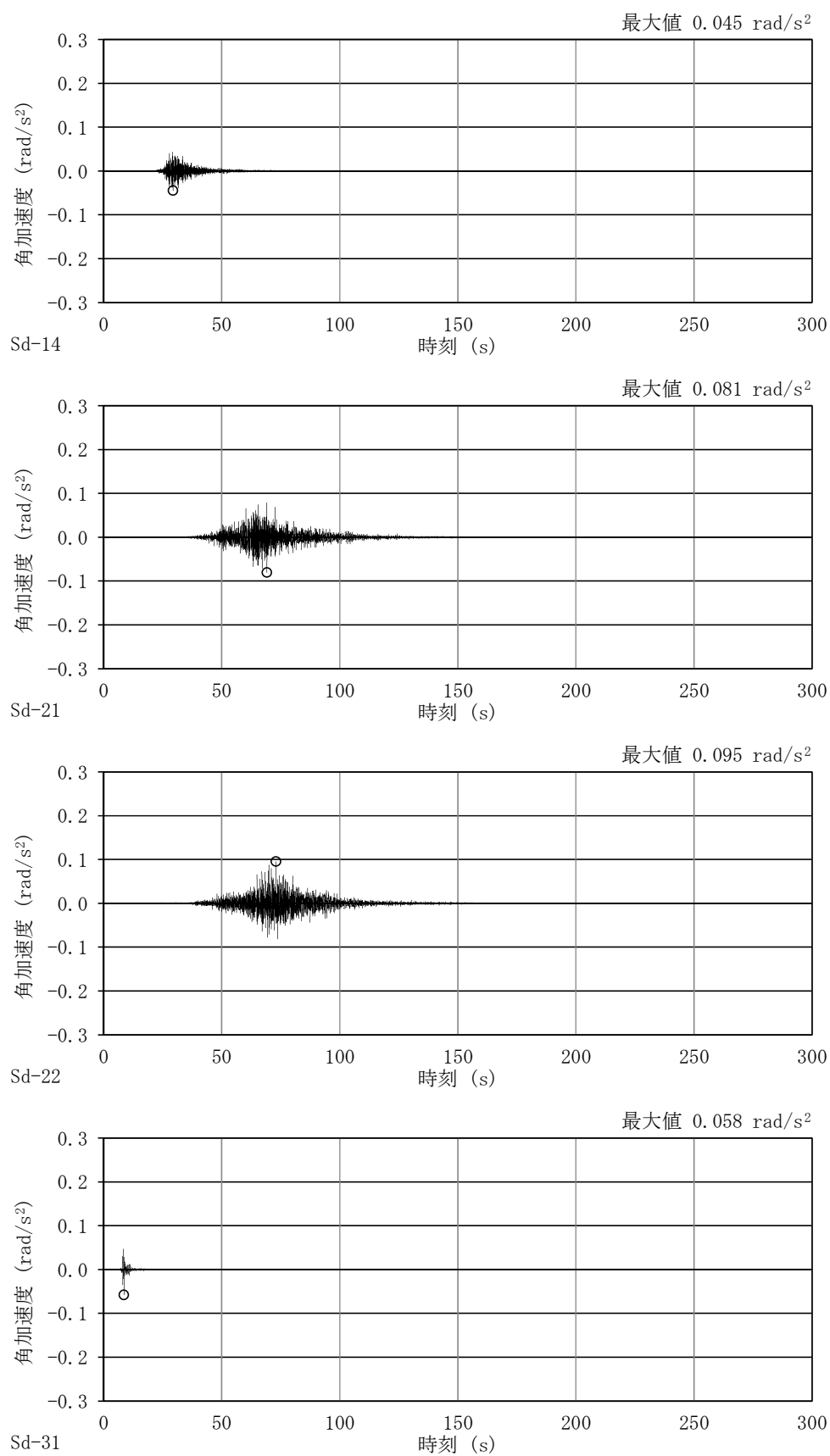


図 4-13 (2/2) 加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S_d, EW 方向回転成分, 基本ケース)

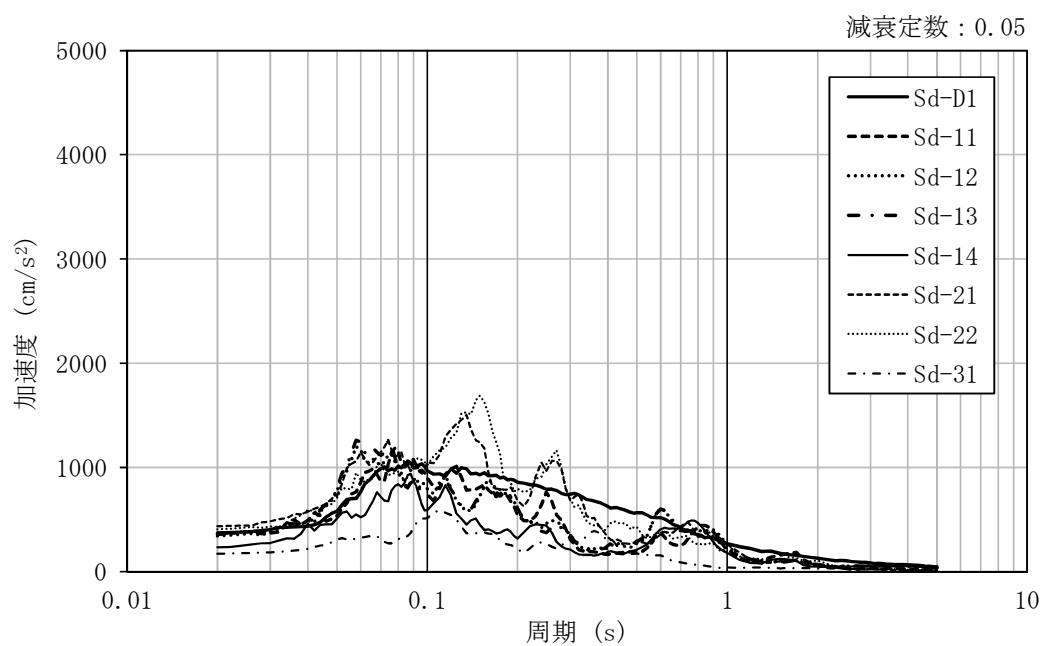


図 4-14 加速度応答スペクトル（弾性設計用地震動 S_d ，UD 方向，基本ケース）

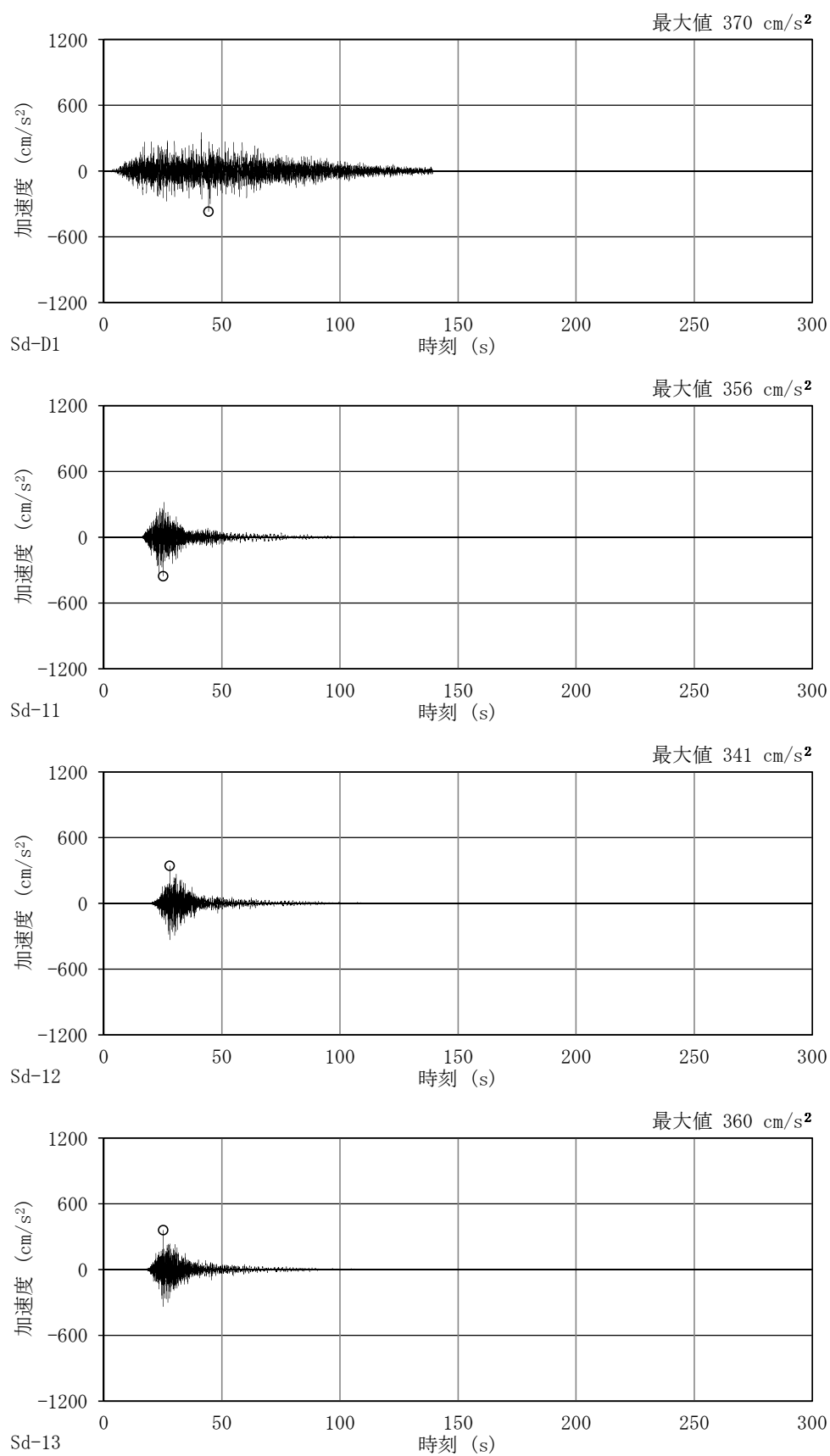


図 4-15 (1/2) 加速度時刻歴波形 (弾性設計用地震動 S_d , UD 方向, 基本ケース)

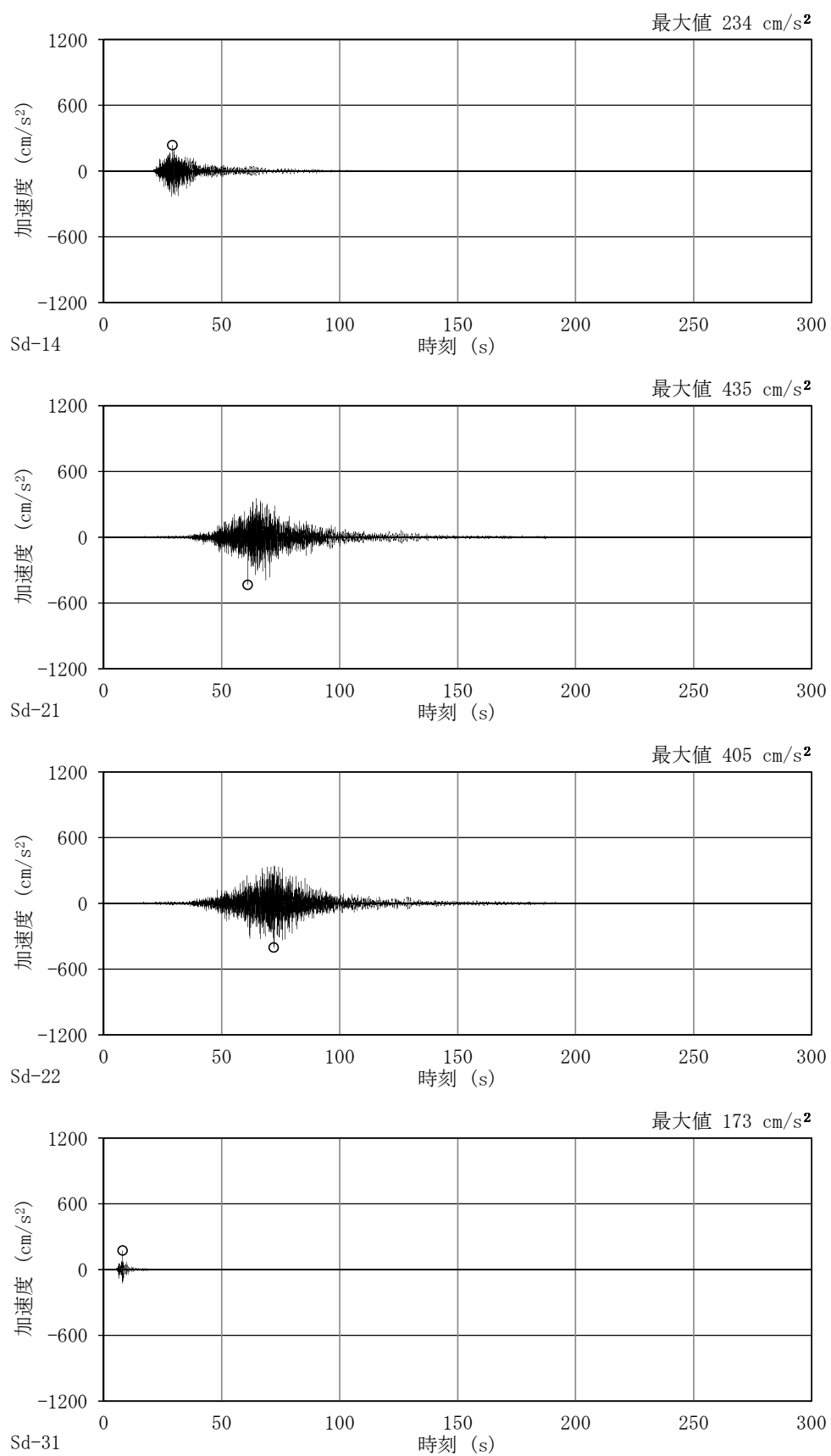


図 4-15 (2/2) 加速度時刻歴波形 (弾性設計用地震動 S_d , UD 方向, 基本ケース)

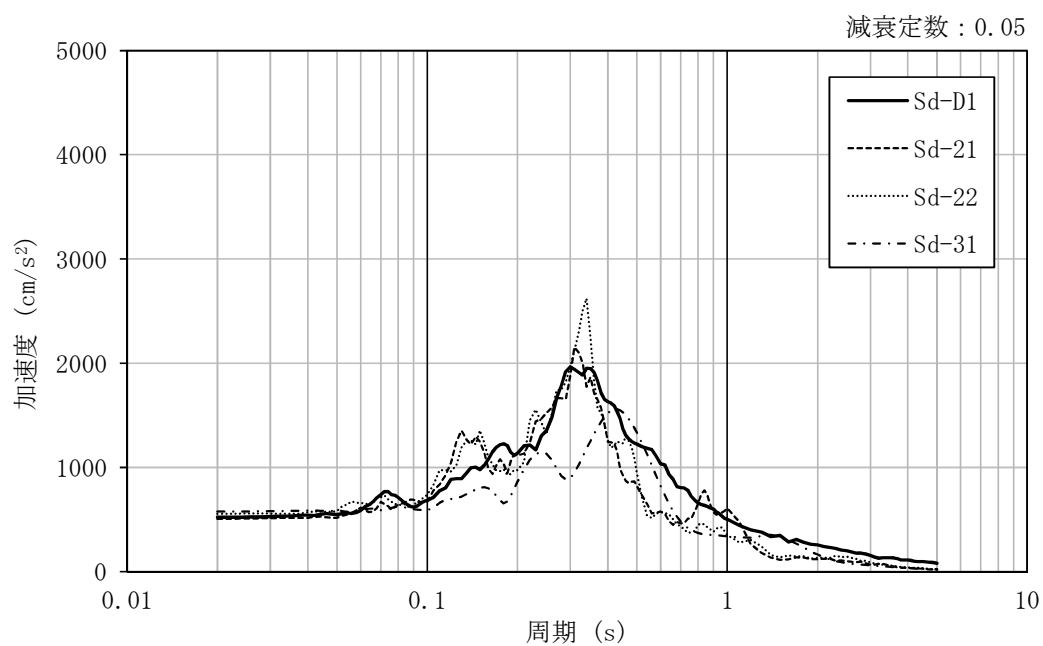


図 4-16 加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S_d , NS 方向並進成分, 地盤物性のばらつきを考慮 (+ σ 相当))

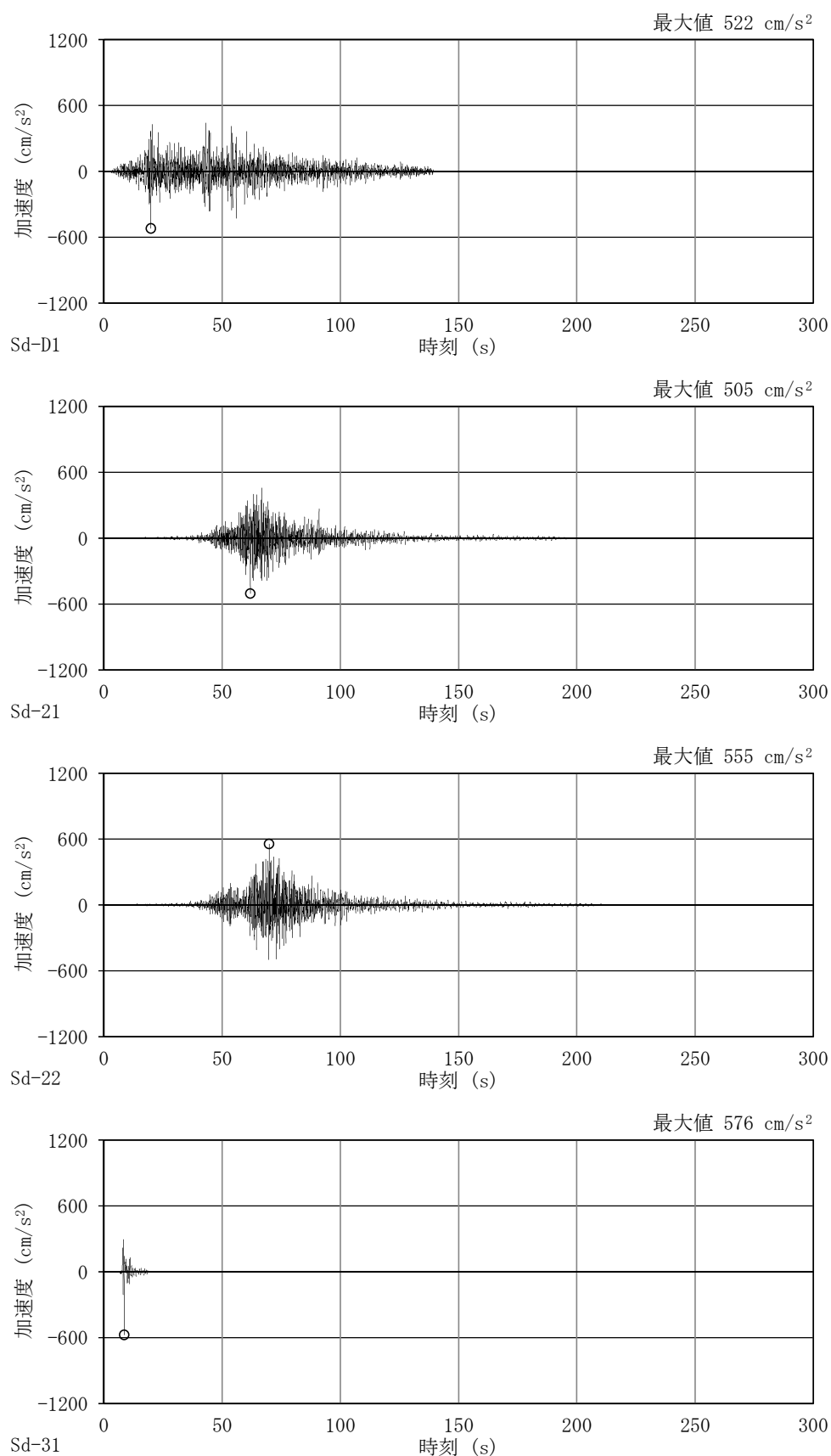


図 4-17 加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S_d , NS 方向並進成分, 地盤物性のばらつきを考慮 (+ σ 相当))

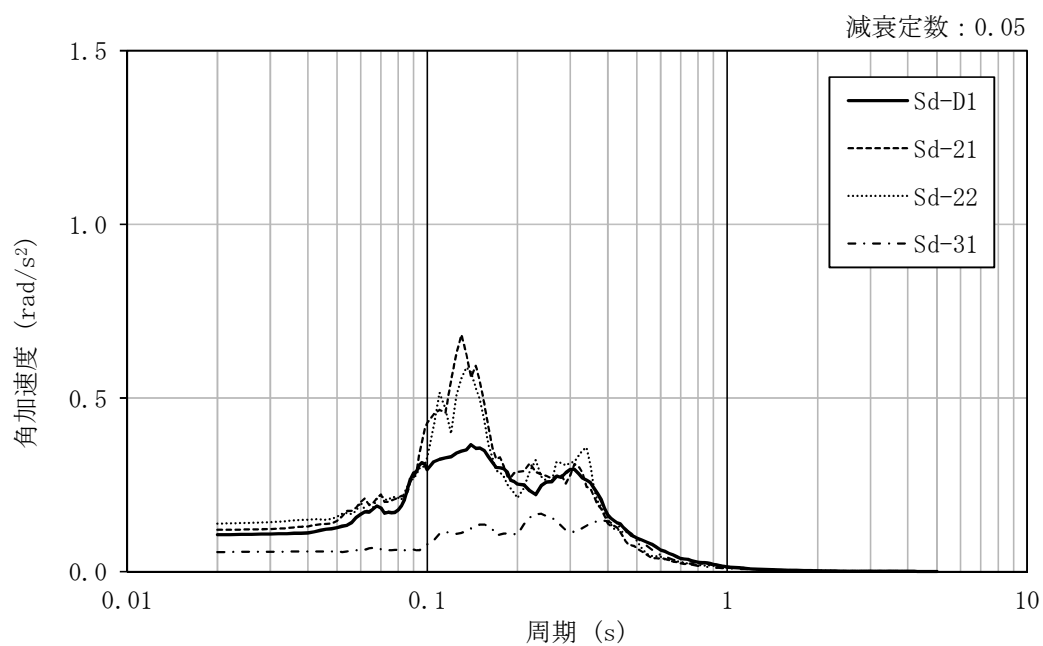


図 4-18 加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S_d , NS 方向回転成分, 地盤物性のばらつきを考慮 (+ σ 相当))

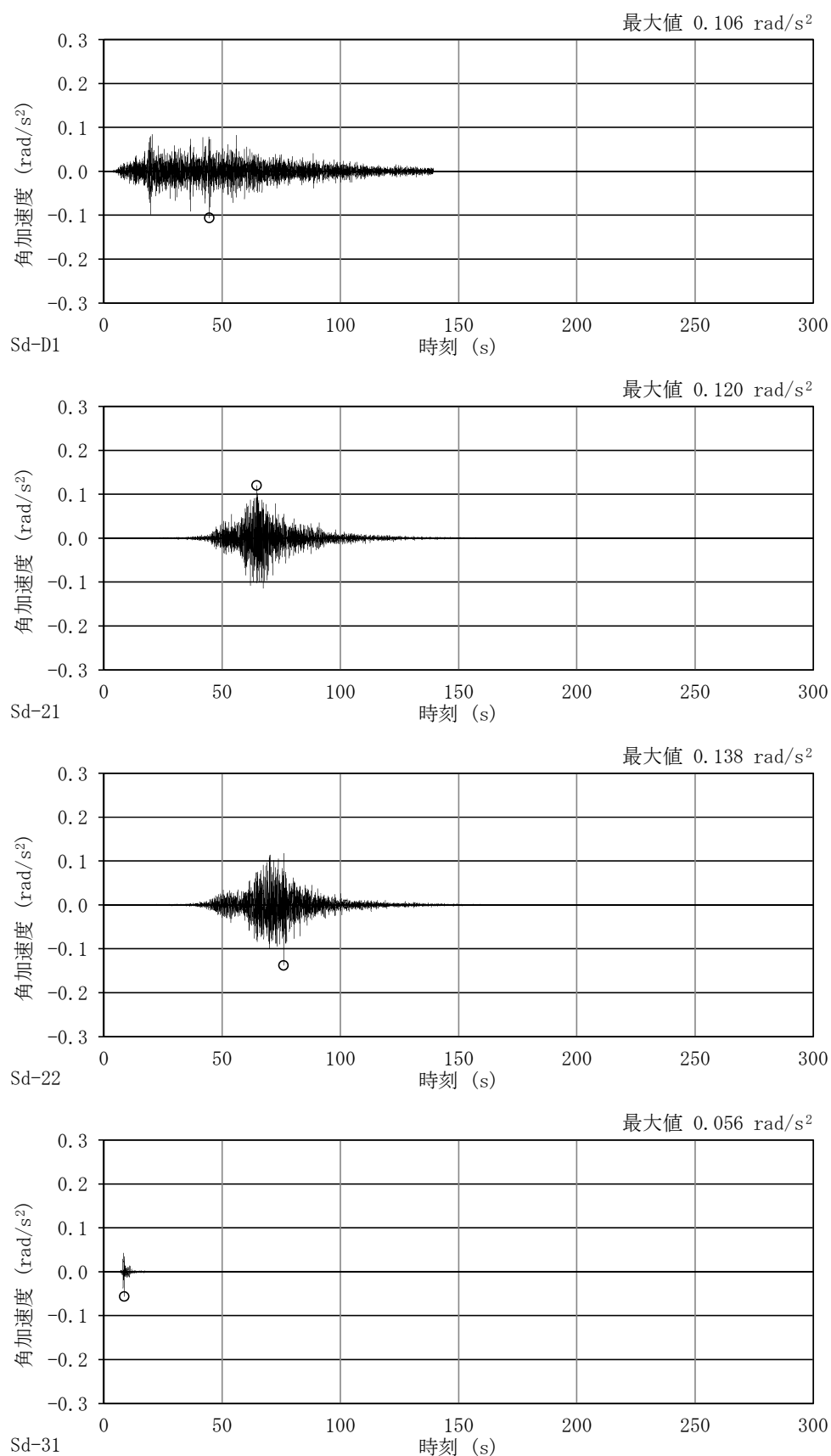


図 4-19 加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S_d, NS 方向回転成分, 地盤物性のばらつきを考慮 (+σ 相当))

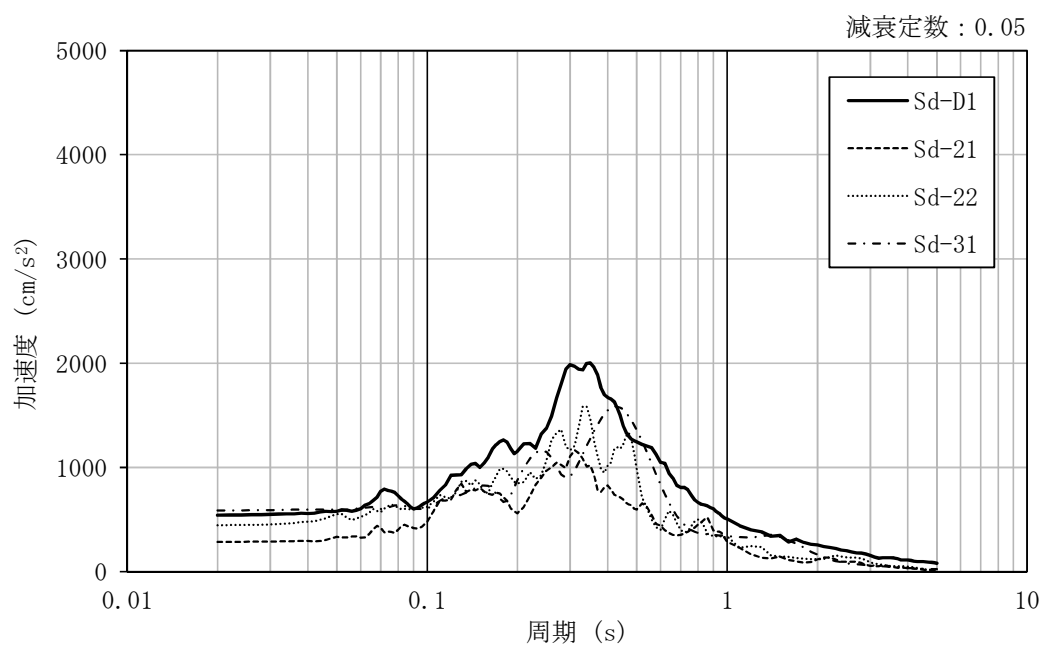


図 4-20 加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S_d , EW 方向並進成分, 地盤物性のばらつきを考慮 (+ σ 相当))

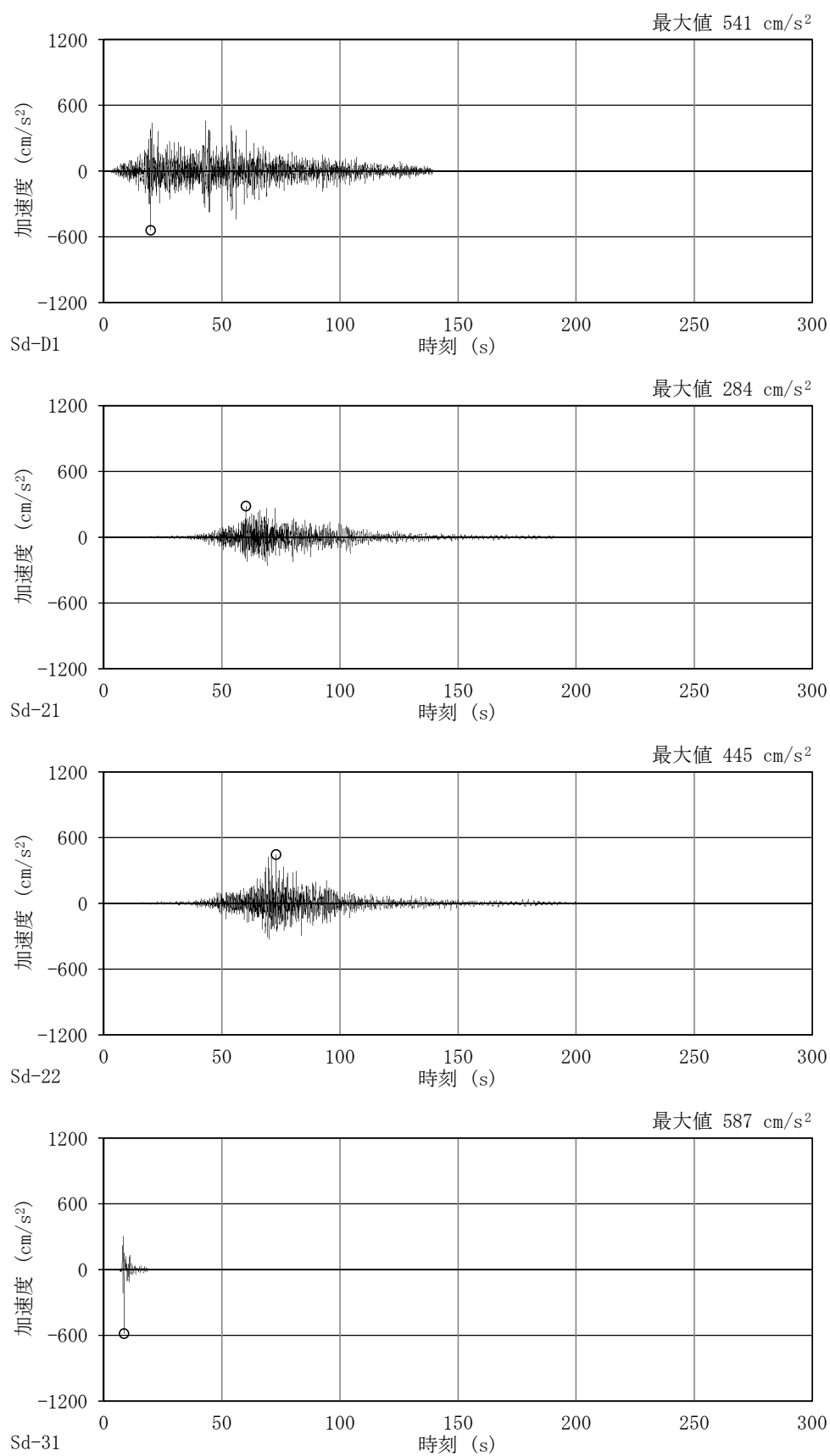


図 4-21 加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S_d, EW 方向並進成分, 地盤物性のばらつきを考慮 (+σ 相当))

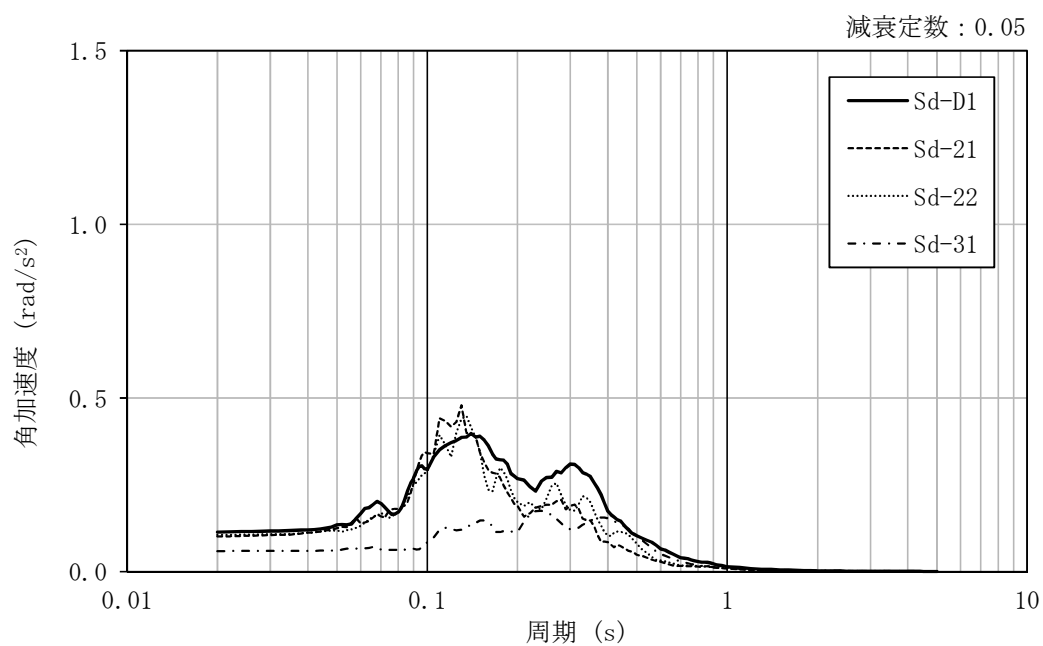


図 4-22 加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S_d , EW 方向回転成分, 地盤物性のばらつきを考慮 (+ σ 相当))

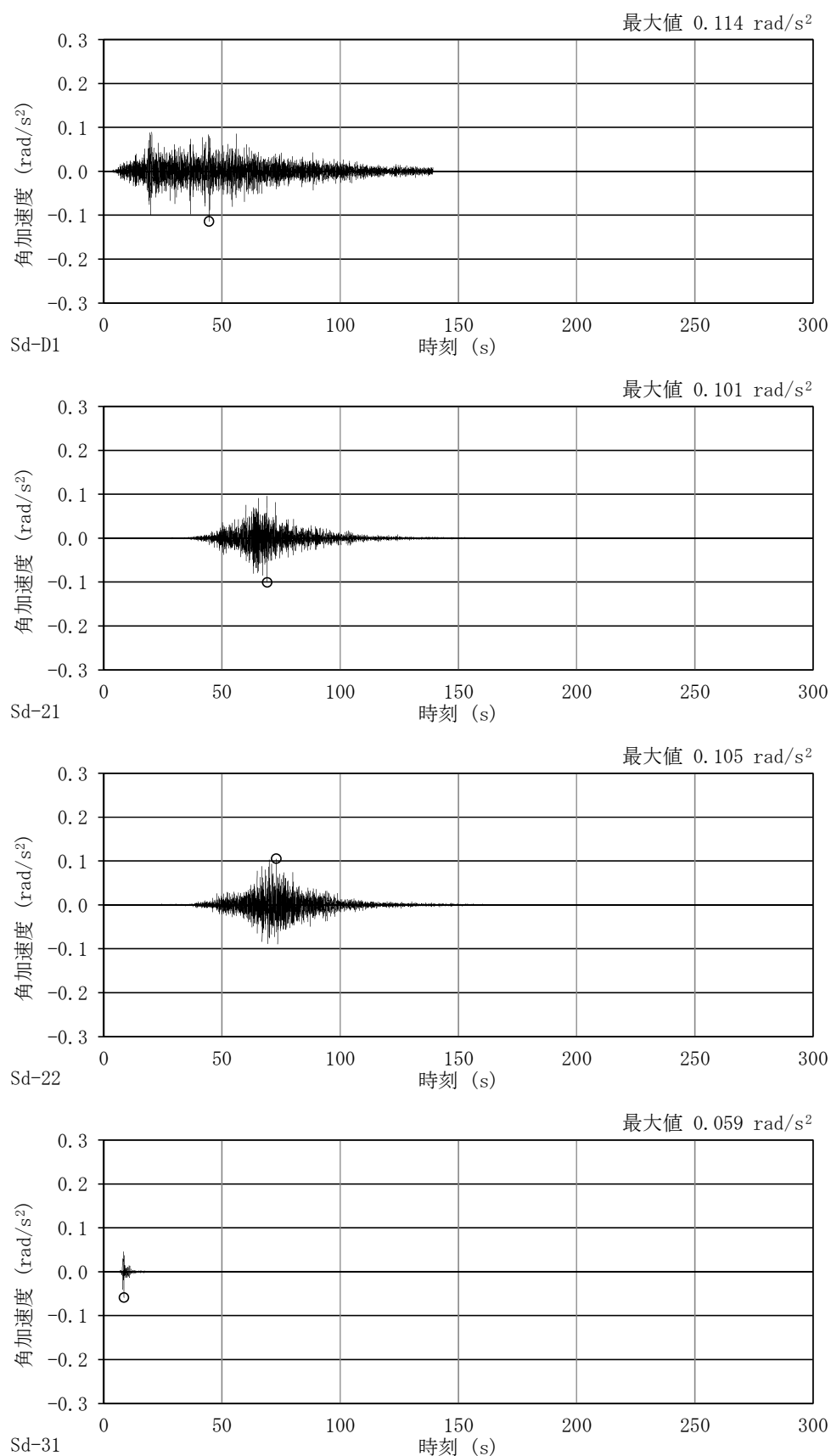


図 4-23 加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S_d , EW 方向回転成分, 地盤物性のばらつきを考慮 (+ σ 相当))

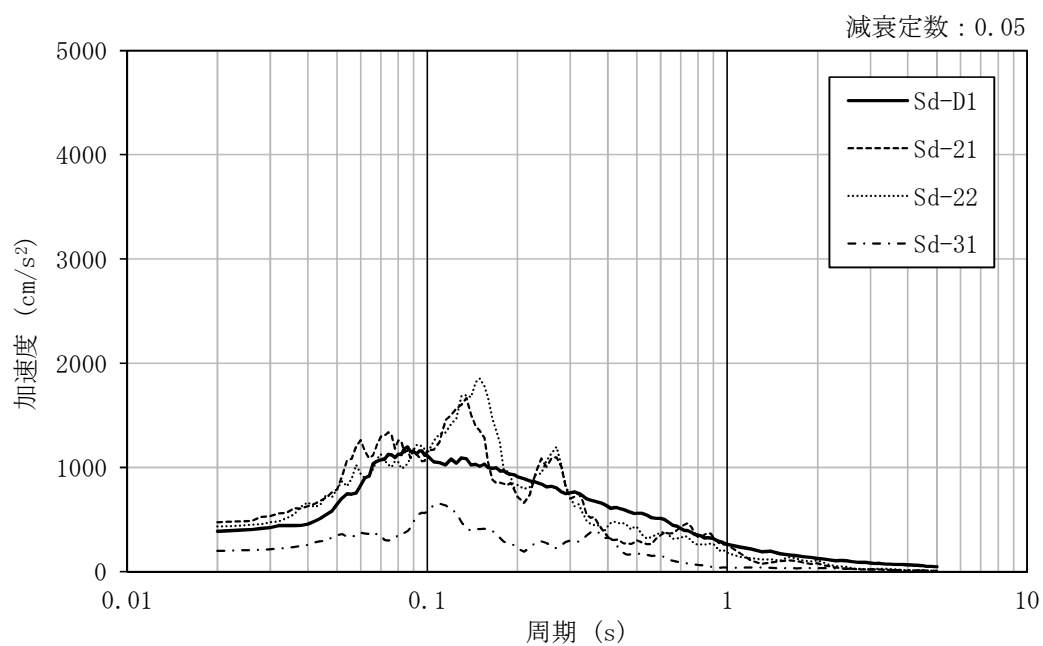


図 4-24 加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S_d , UD 方向, 地盤物性のばらつきを考慮 (+ σ 相当))

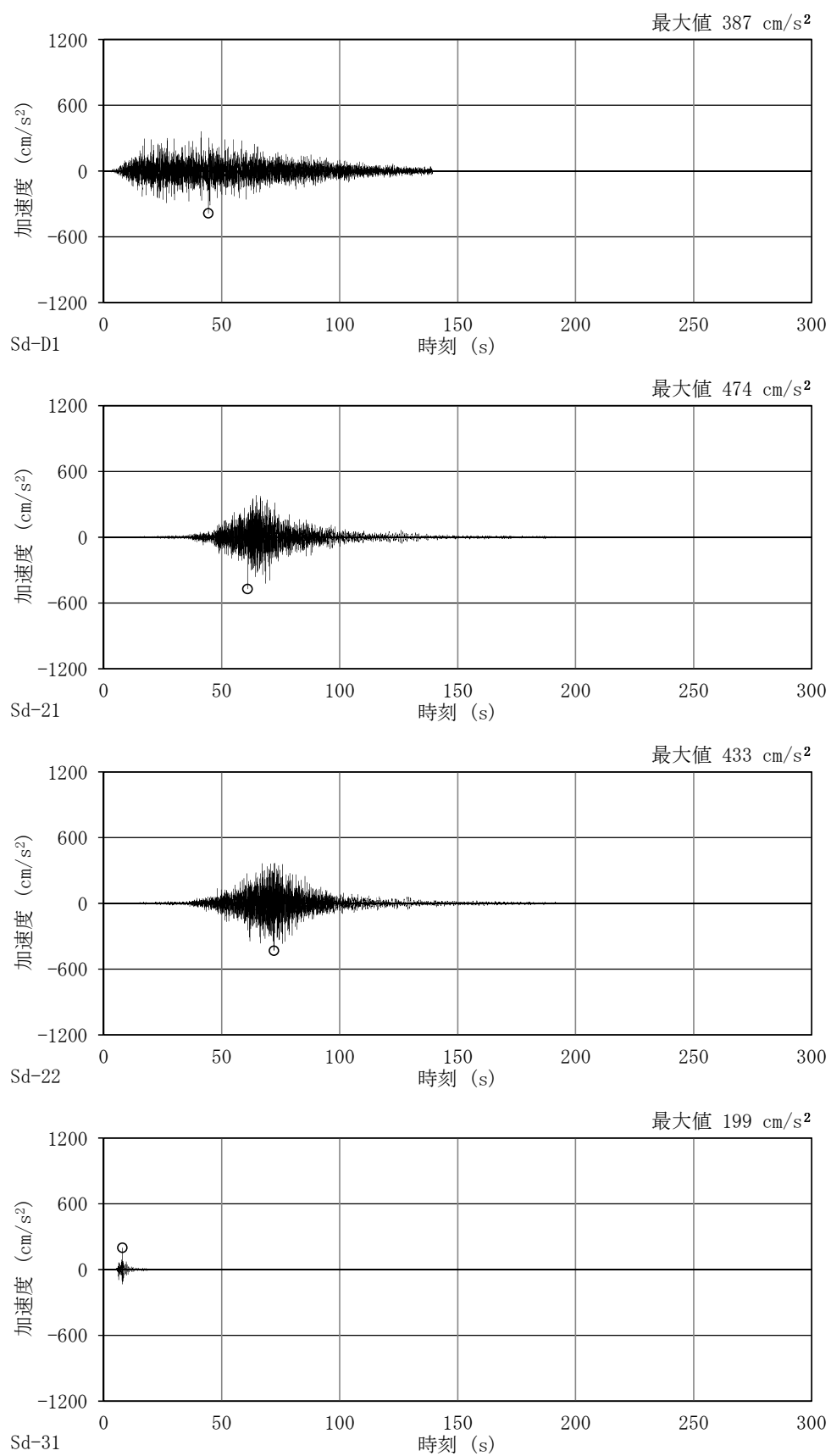


図 4-25 加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S_d , UD 方向, 地盤物性のばらつきを考慮 (+ σ 相当))

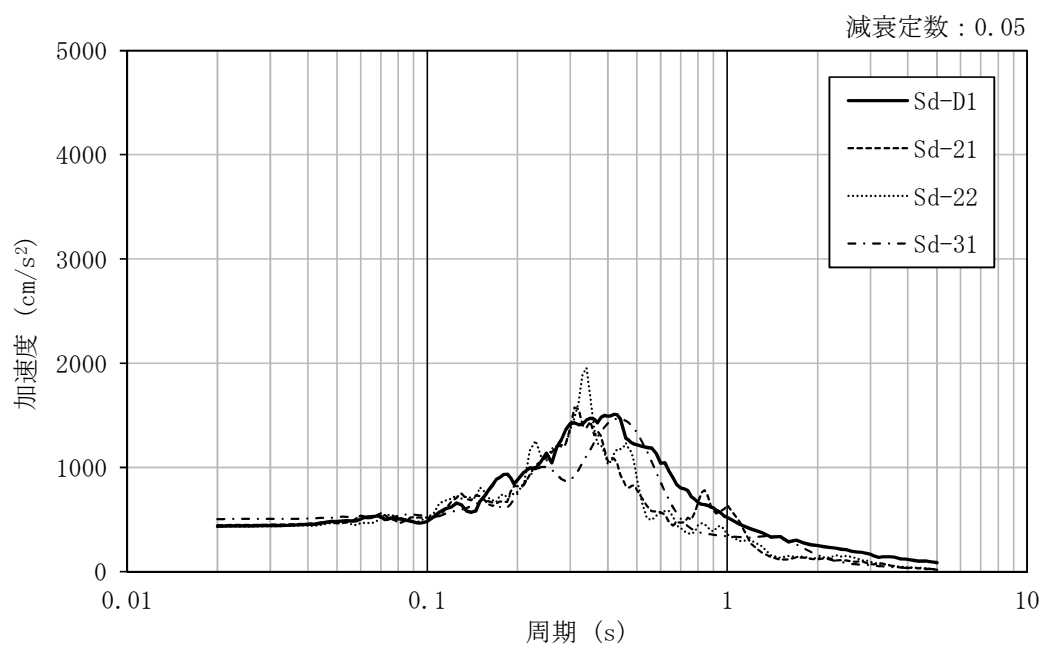


図 4-26 加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S_d , NS 方向並進成分, 地盤物性のばらつきを考慮 ($-\sigma$ 相当))

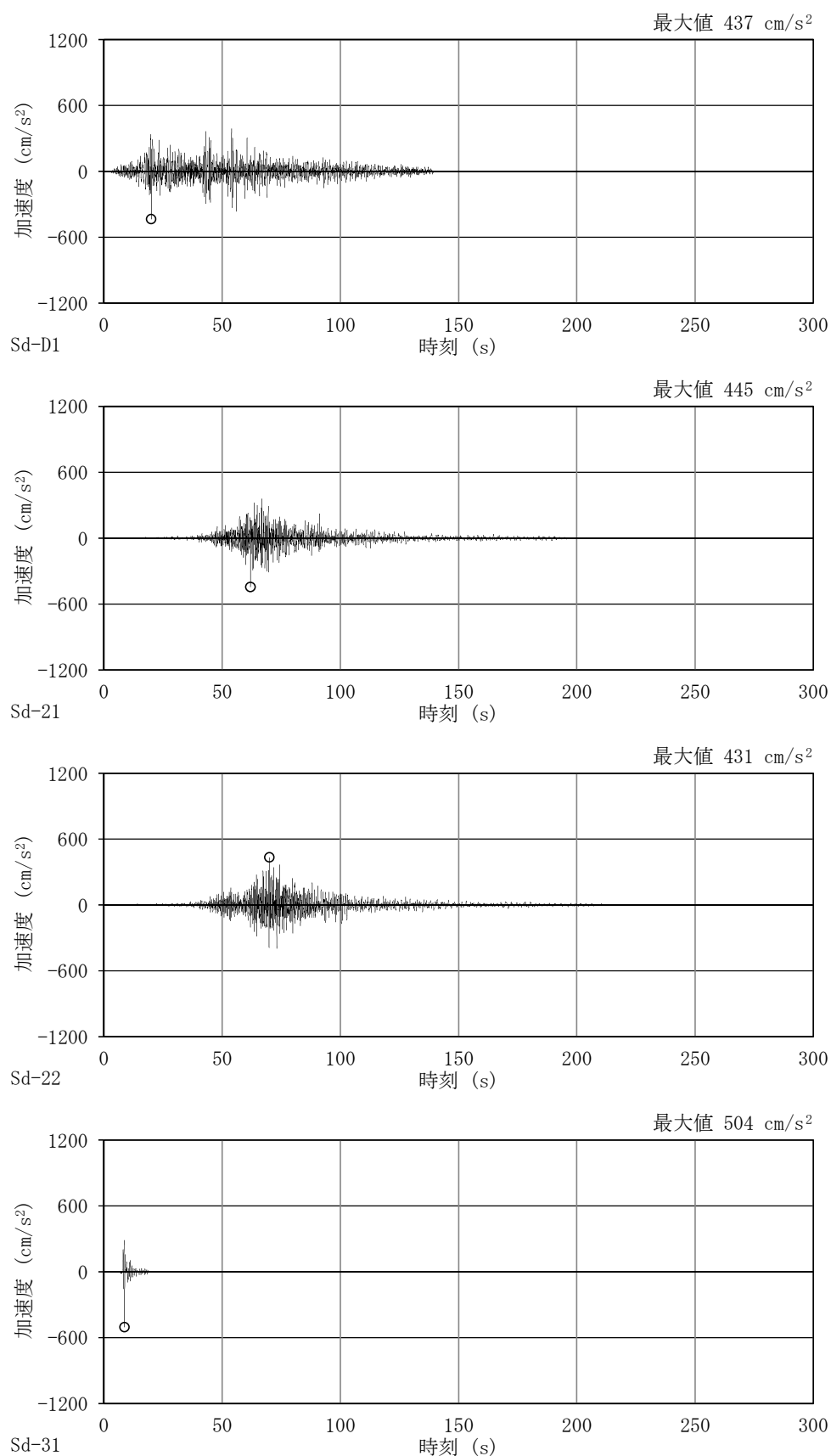


図 4-27 加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S_d, NS 方向並進成分, 地盤物性のばらつきを考慮 (−σ 相当))

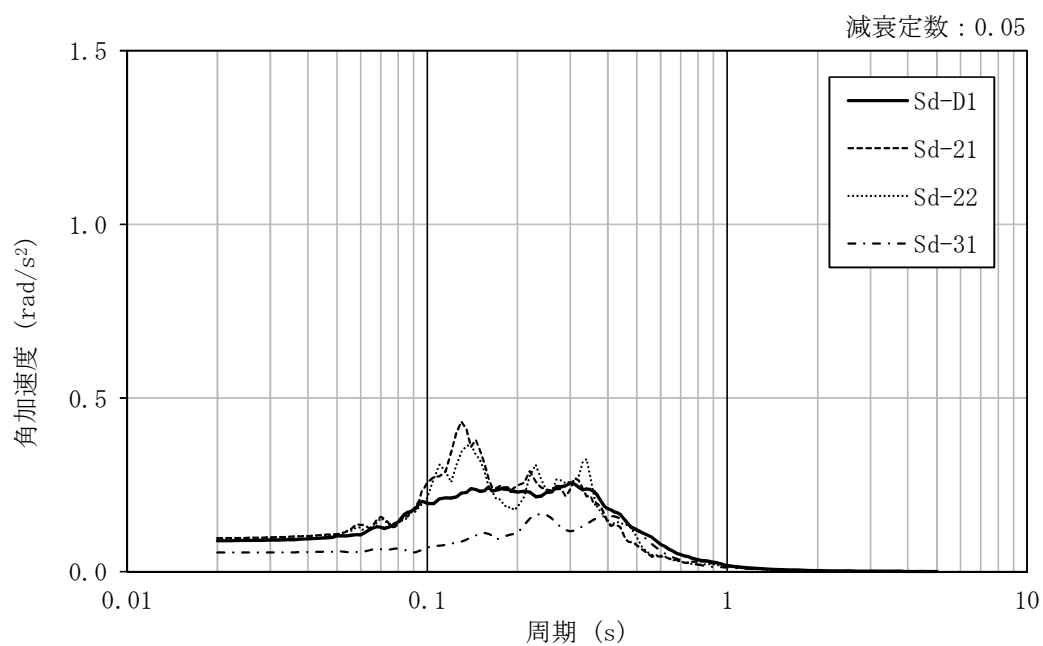


図 4-28 加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S_d , NS 方向回転成分, 地盤物性のばらつきを考慮 ($-\sigma$ 相当))

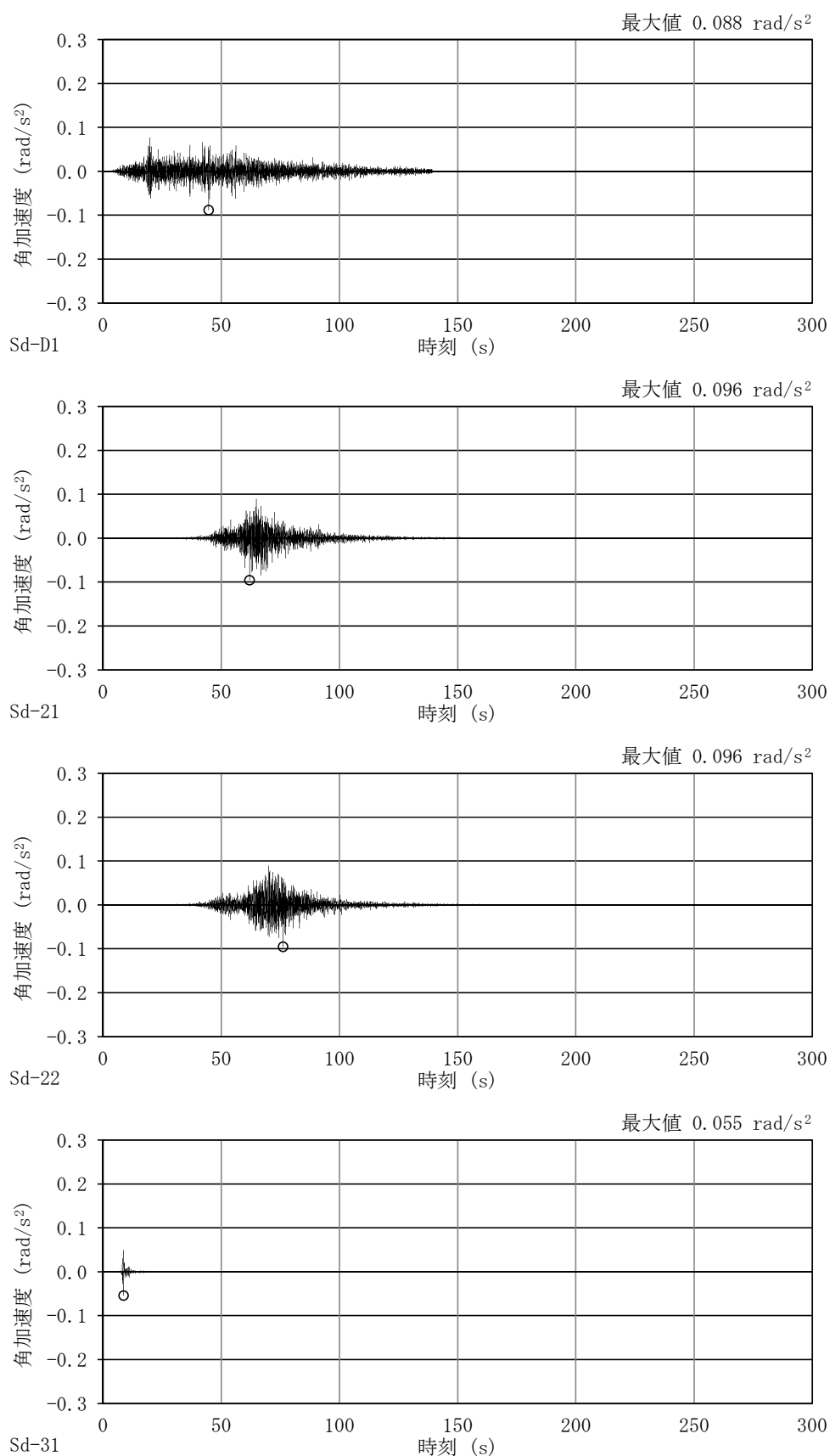


図 4-29 加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S_d, NS 方向回転成分, 地盤物性のばらつきを考慮 (−σ 相当))

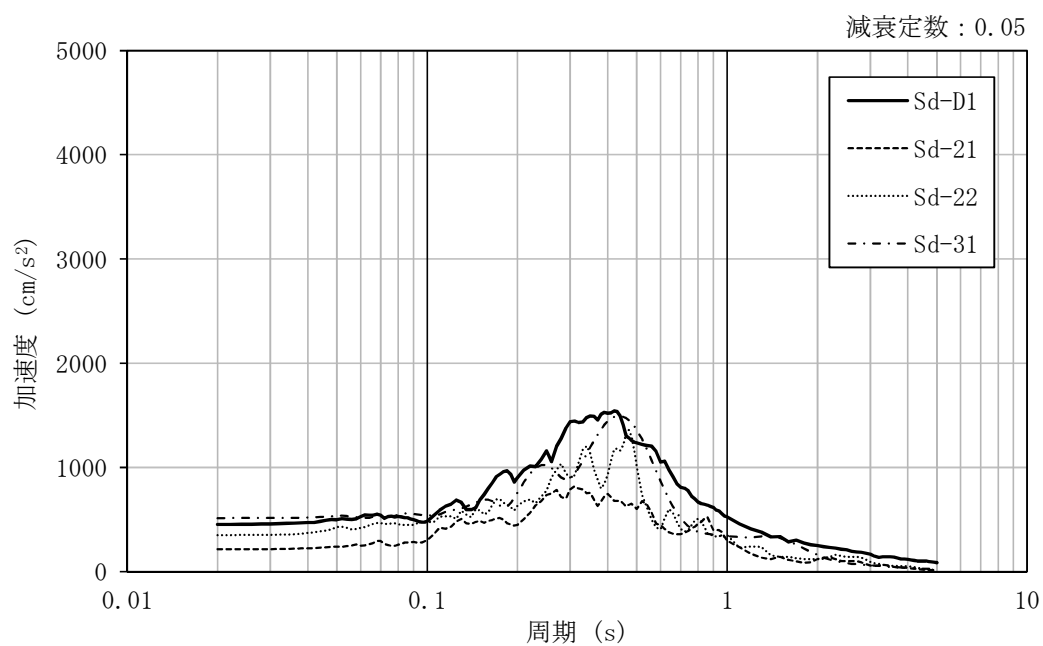


図 4-30 加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S_d , EW 方向並進成分, 地盤物性のばらつきを考慮 ($-\sigma$ 相当))

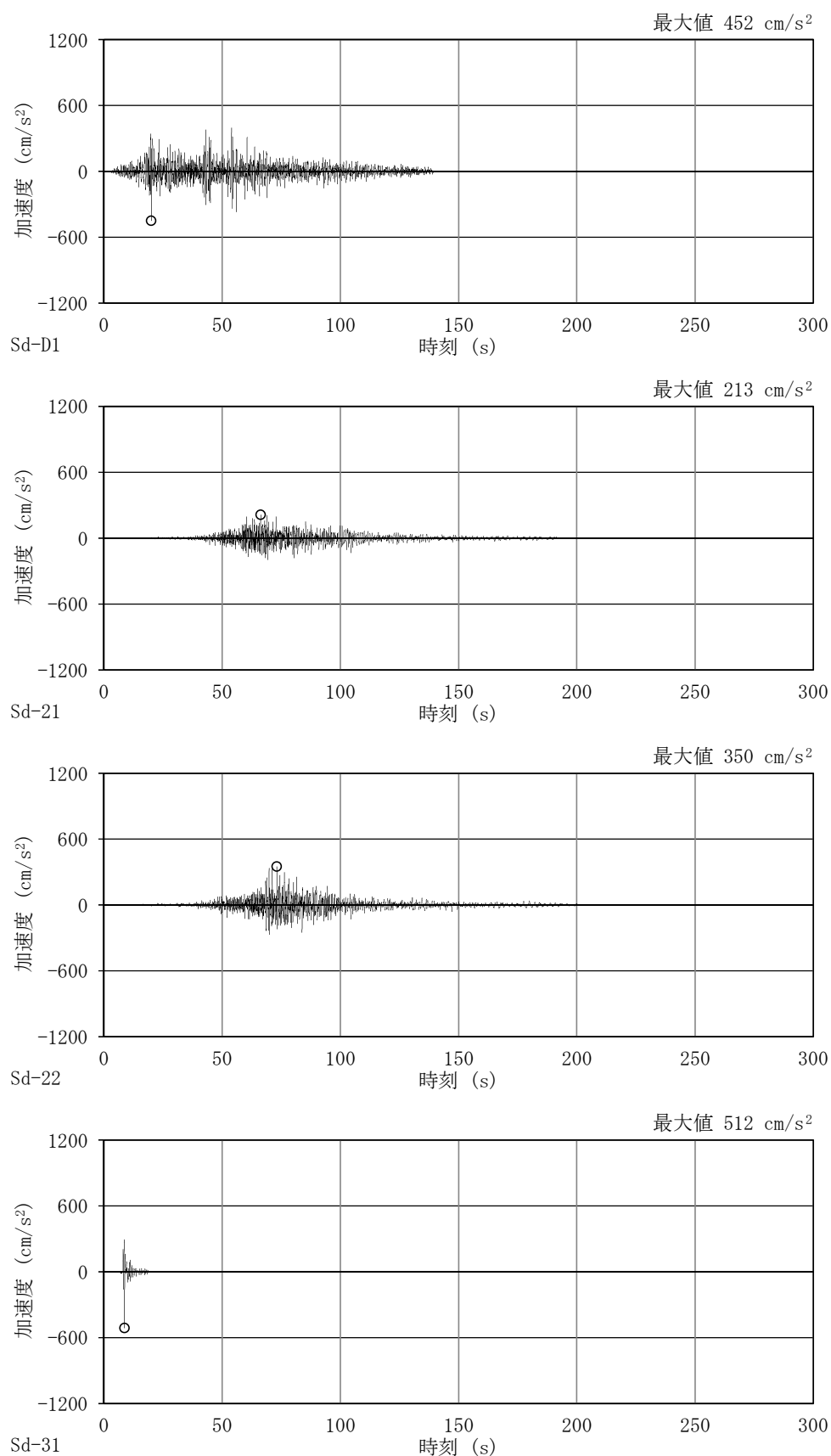


図 4-31 加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S_d , EW 方向並進成分, 地盤物性のばらつきを考慮 ($-\sigma$ 相当))

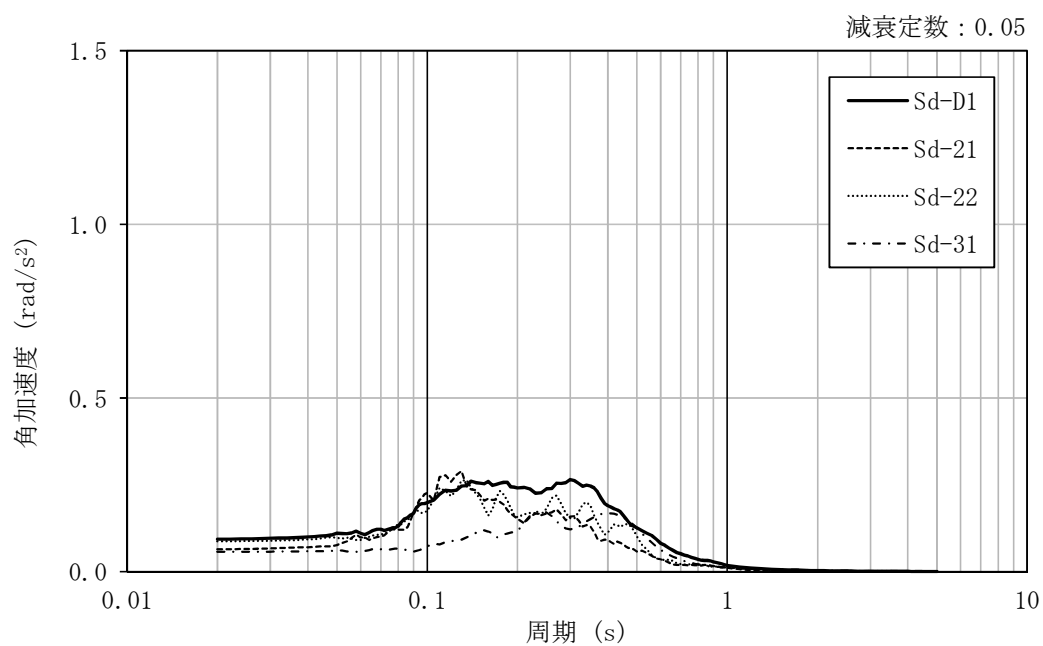


図 4-32 加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S_d , EW 方向回転成分, 地盤物性のばらつきを考慮 ($-\sigma$ 相当))

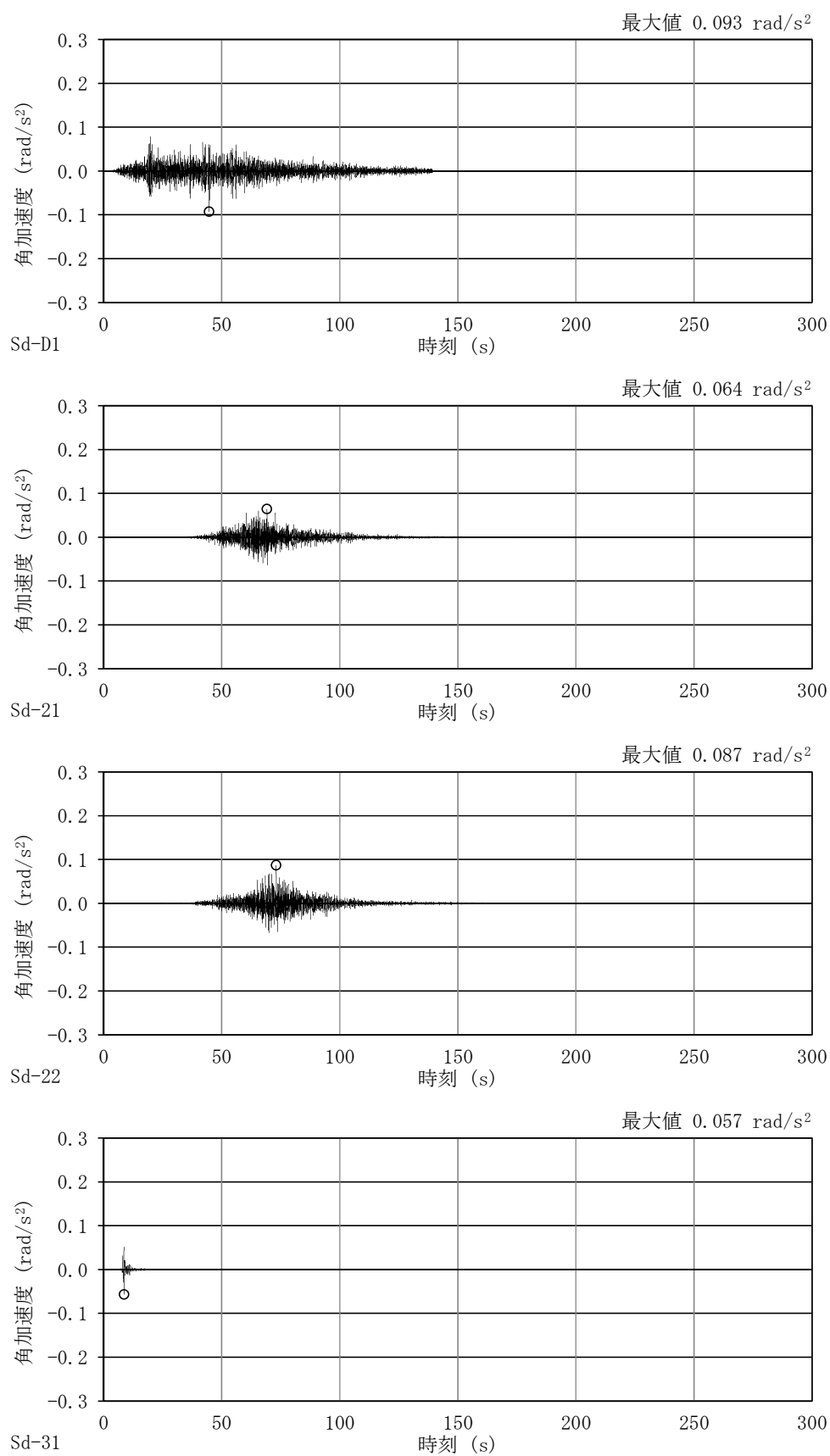


図 4-33 加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S_d, EW 方向回転成分, 地盤物性のばらつきを考慮 (−σ 相当))

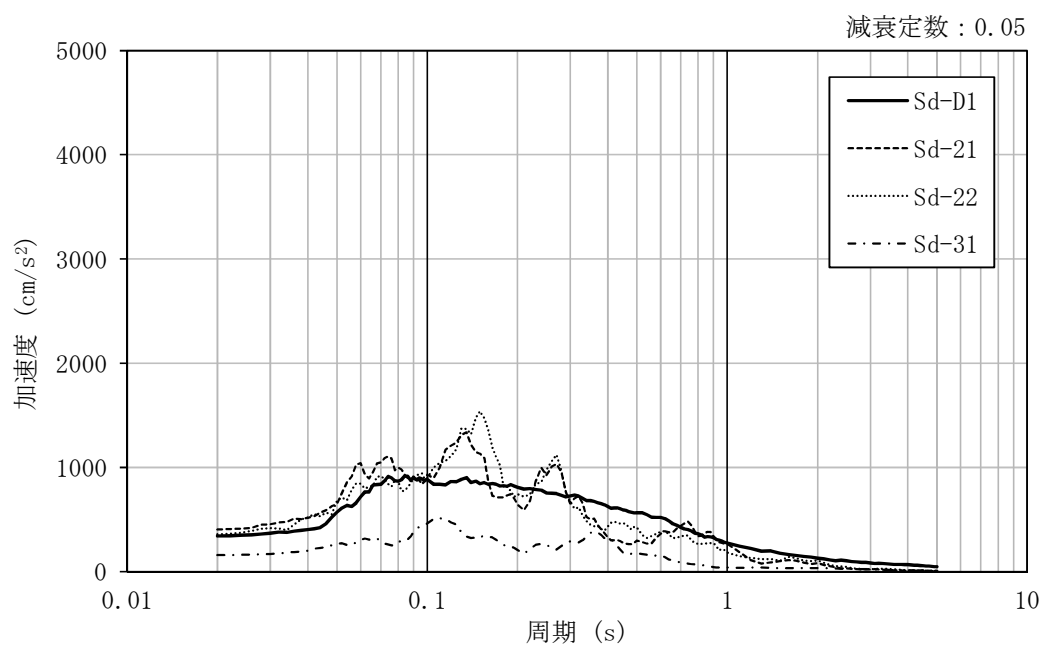


図 4-34 加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S_d , UD 方向, 地盤物性のばらつきを考慮 ($-\sigma$ 相当))

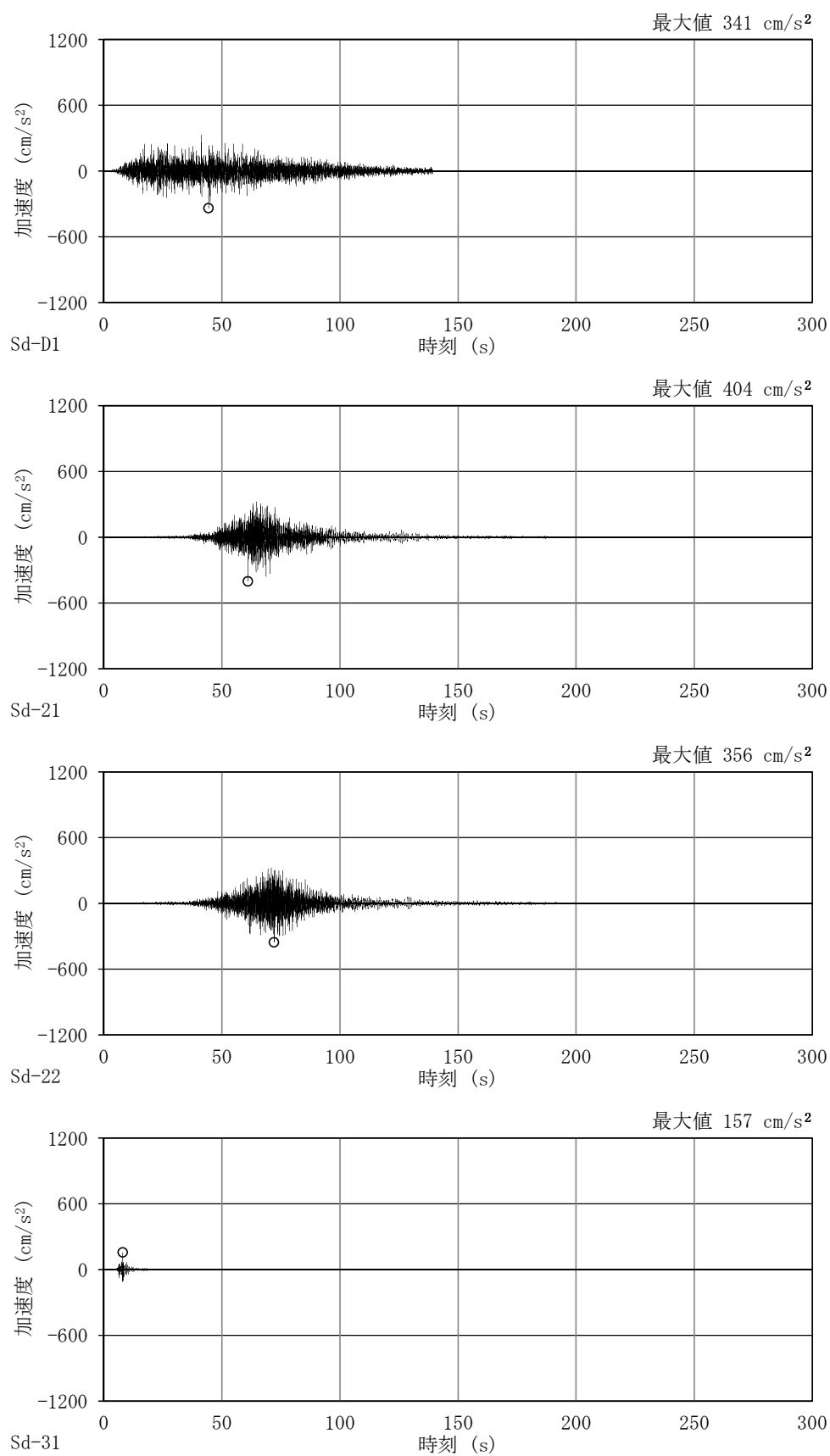


図 4-35 加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S_d , UD 方向, 地盤物性のばらつきを考慮 ($-\sigma$ 相当))

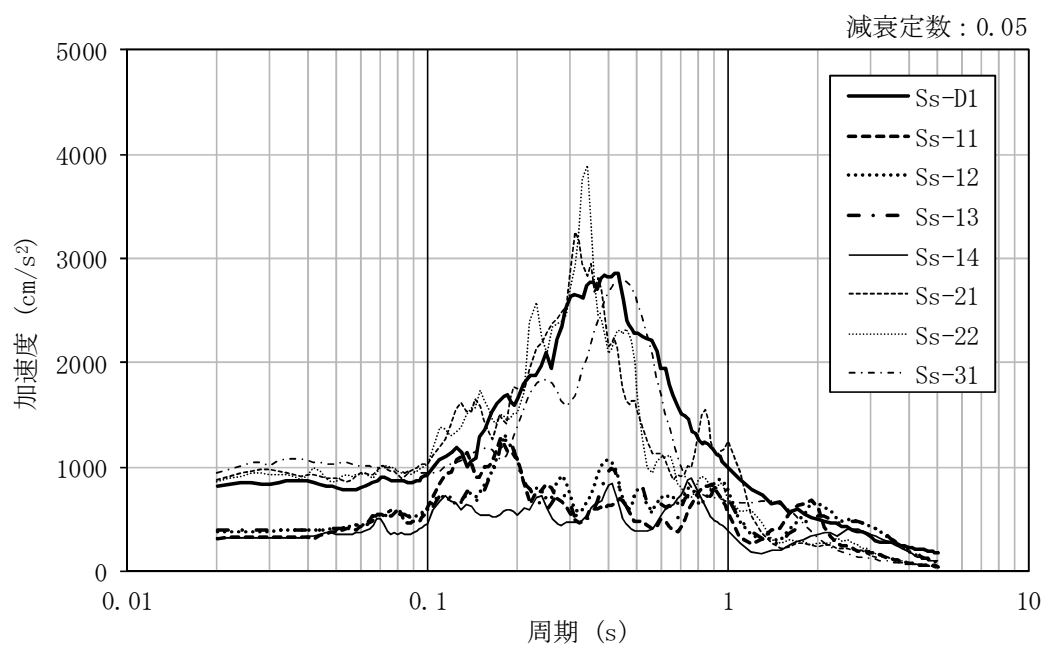


図 4-36 加速度応答スペクトル（基準地震動 S_s ，NS 方向並進成分，基本ケース）

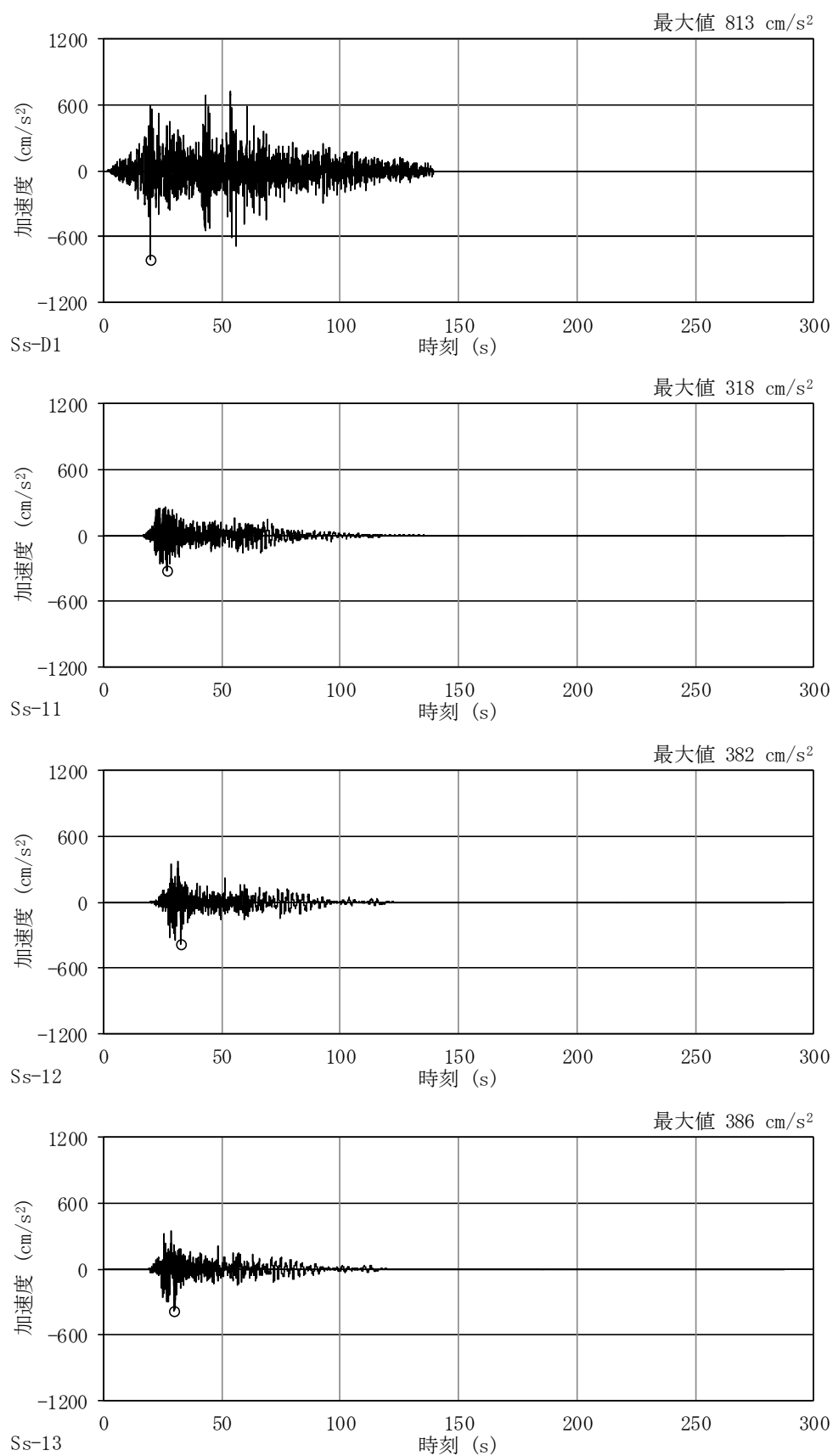


図 4-37 (1/2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s , NS 方向並進成分, 基本ケース)

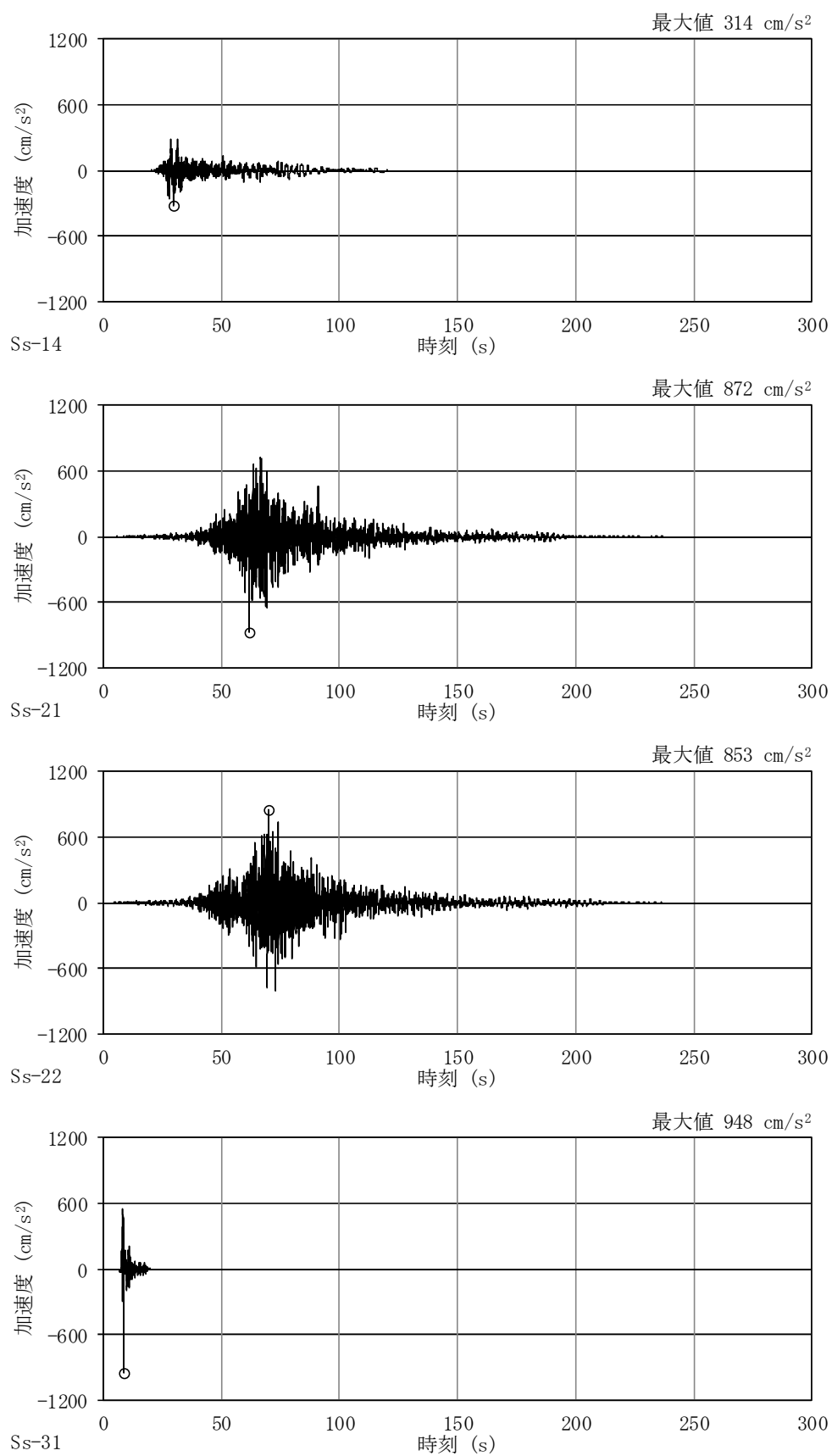


図 4-37 (2/2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, NS 方向並進成分, 基本ケース)

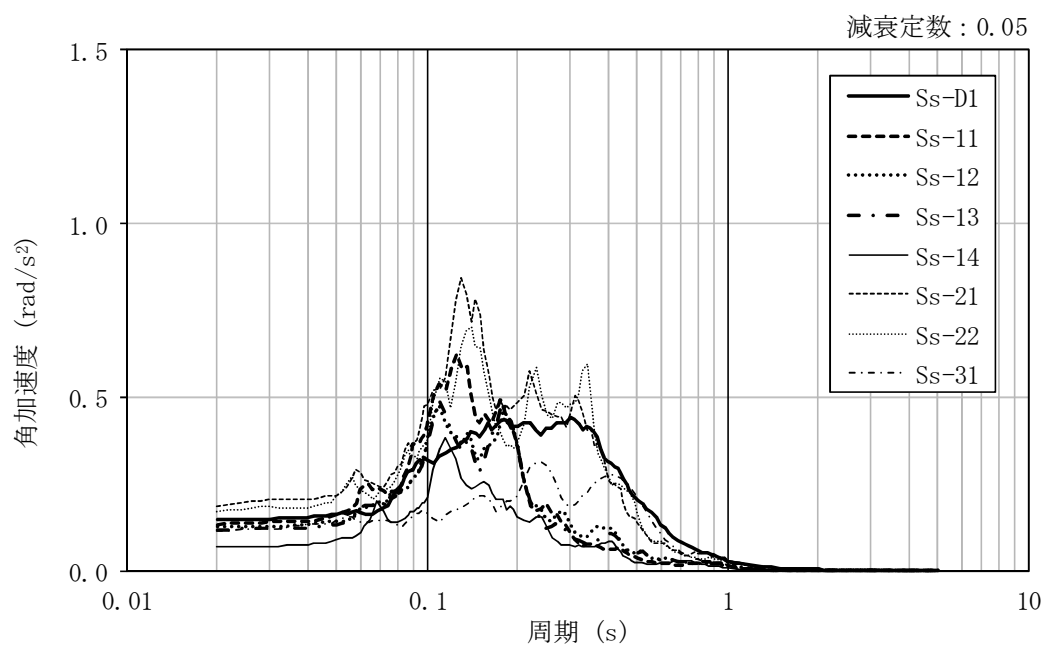


図 4-38 加速度応答スペクトル（基準地震動 S_s ，NS 方向回転成分，基本ケース）

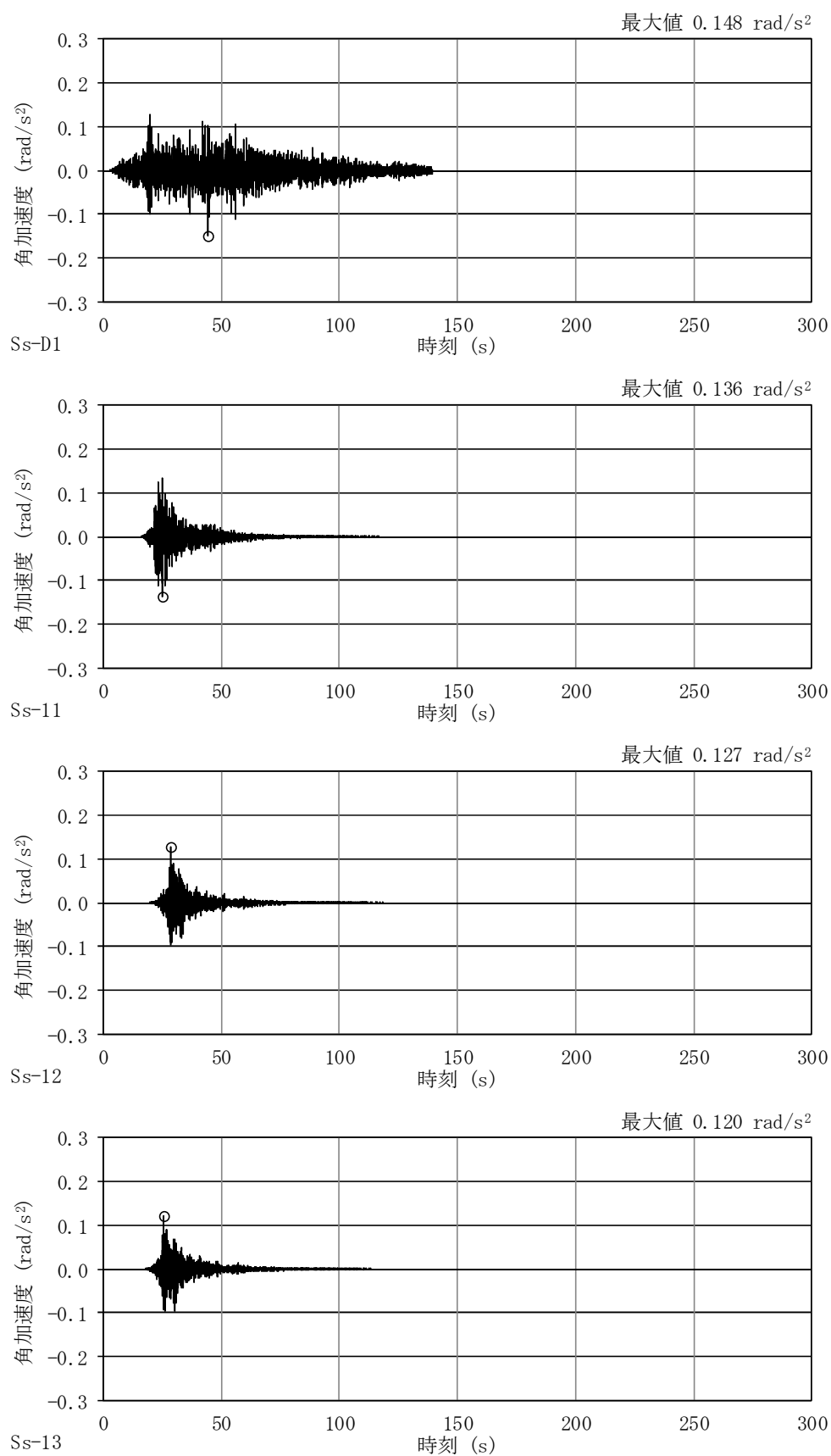


図 4-39 (1/2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, NS 方向回転成分, 基本ケース)

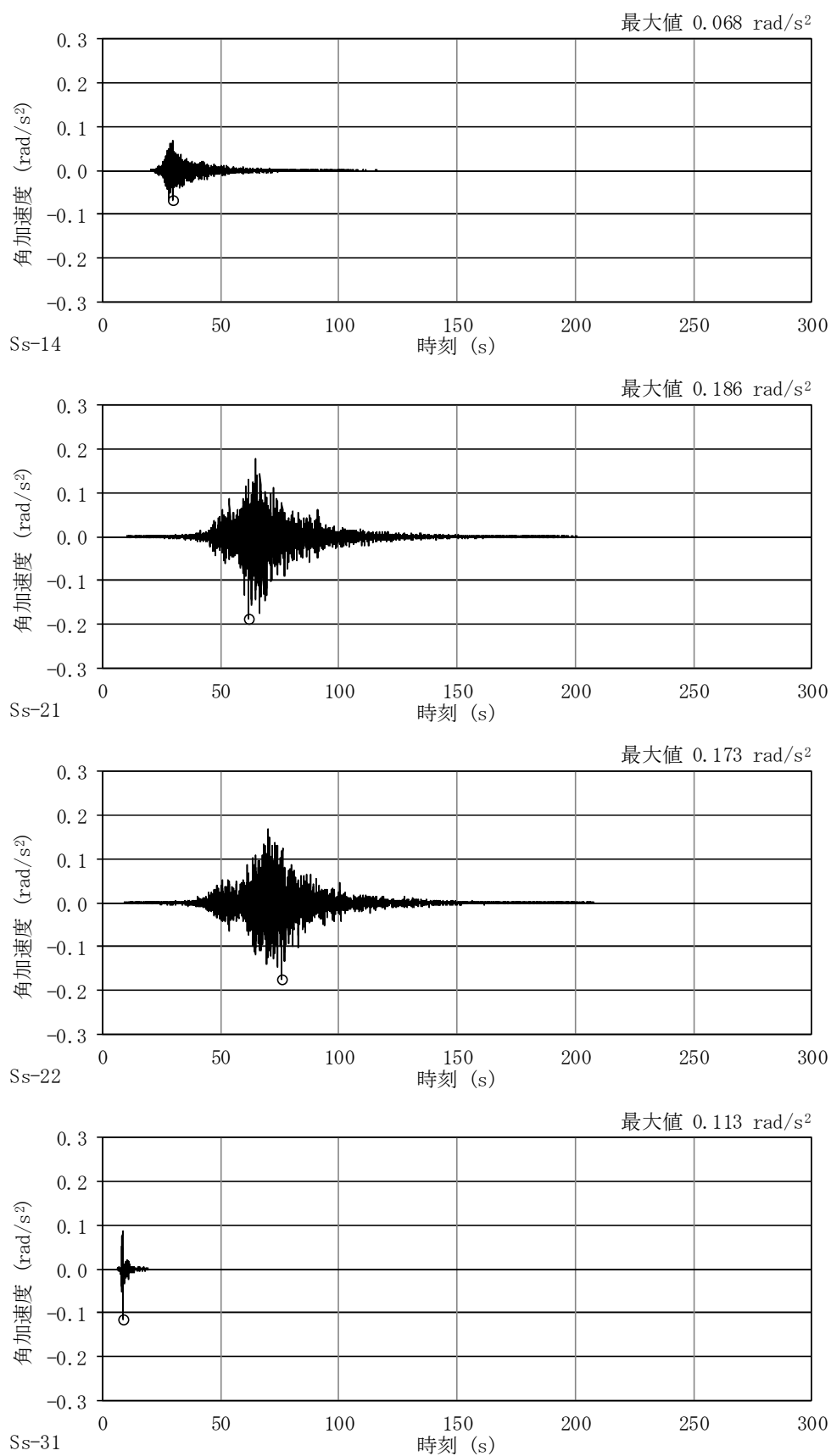


図 4-39 (2/2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s , NS 方向回転成分, 基本ケース)

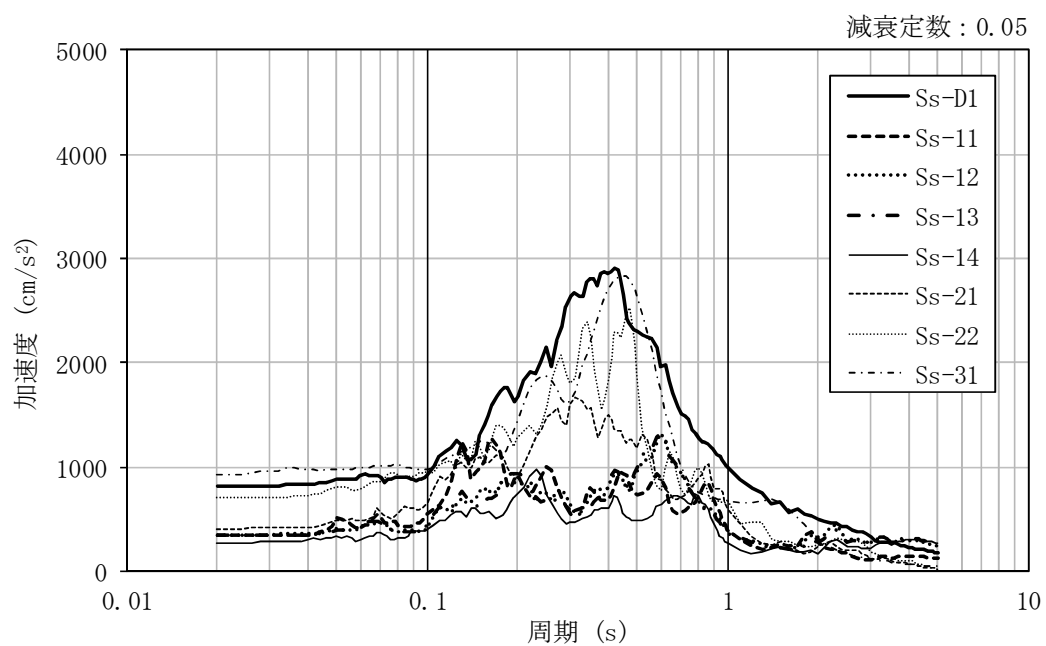


図 4-40 加速度応答スペクトル（基準地震動 S_s ，EW 方向並進成分，基本ケース）

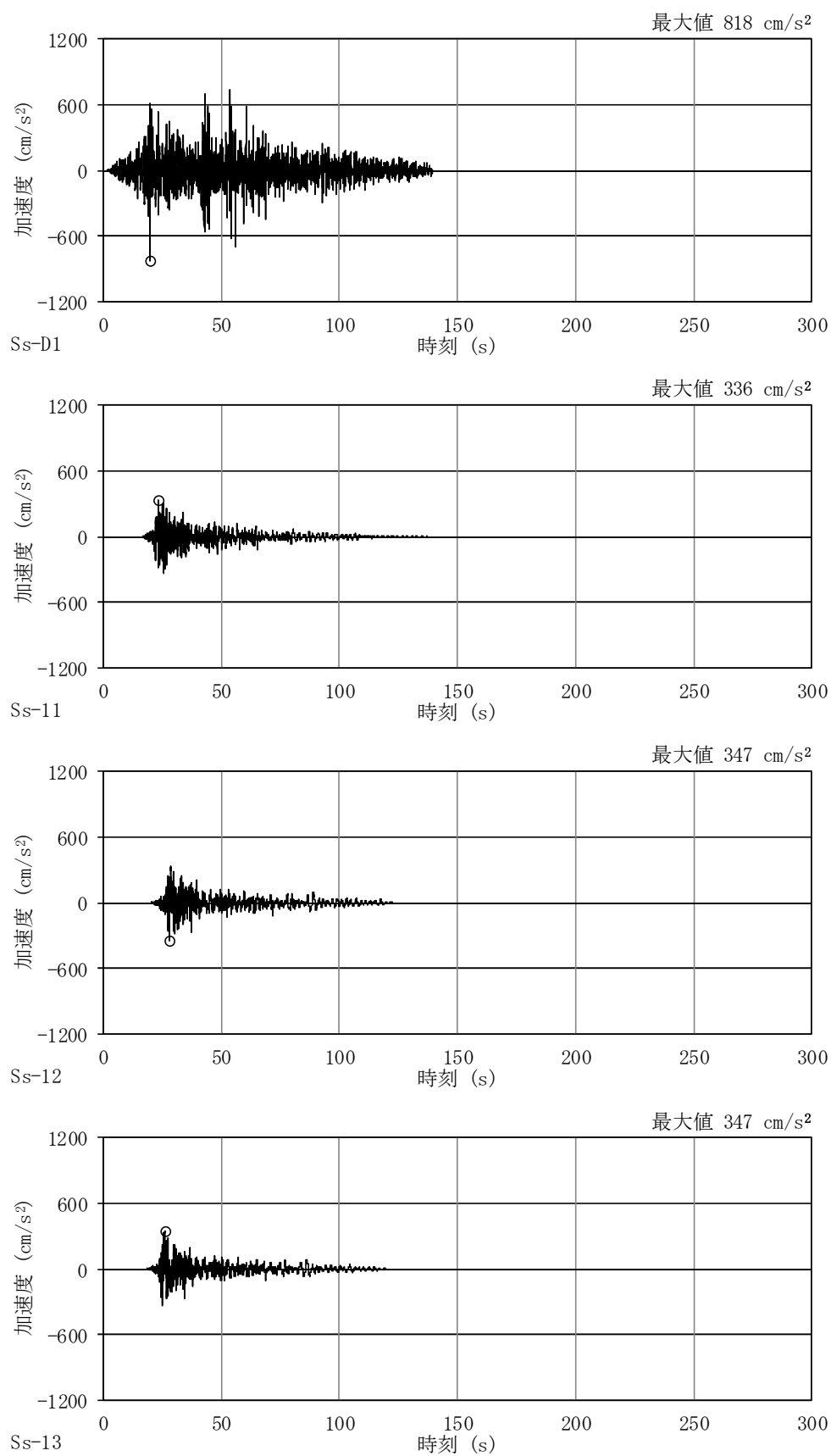


図 4-41 (1/2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s , EW 方向並進成分, 基本ケース)

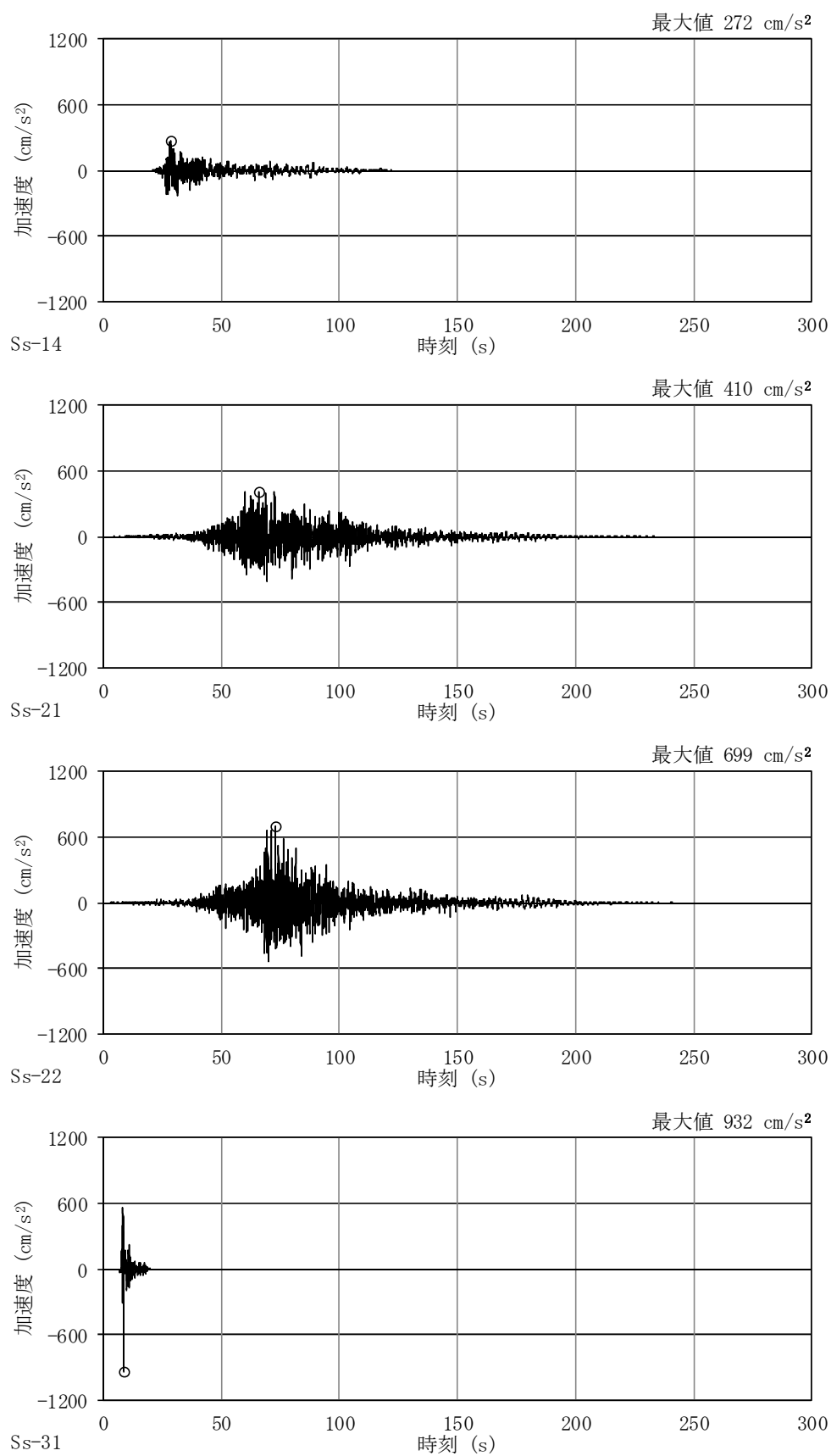


図 4-41 (2/2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s , EW 方向並進成分, 基本ケース)

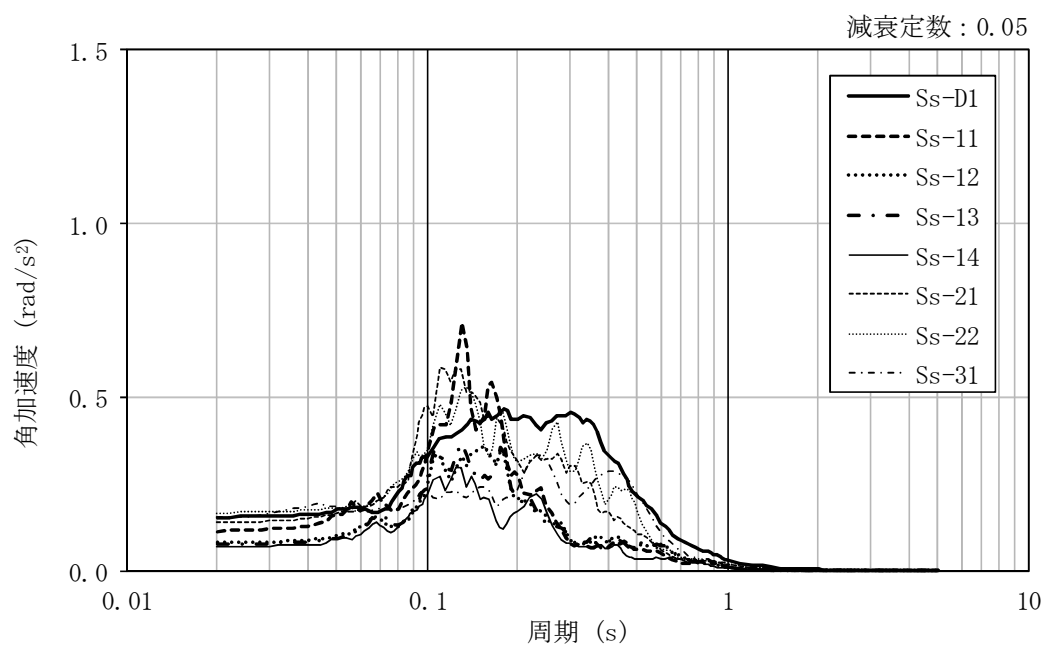


図 4-42 加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s , EW 方向回転成分, 基本ケース)

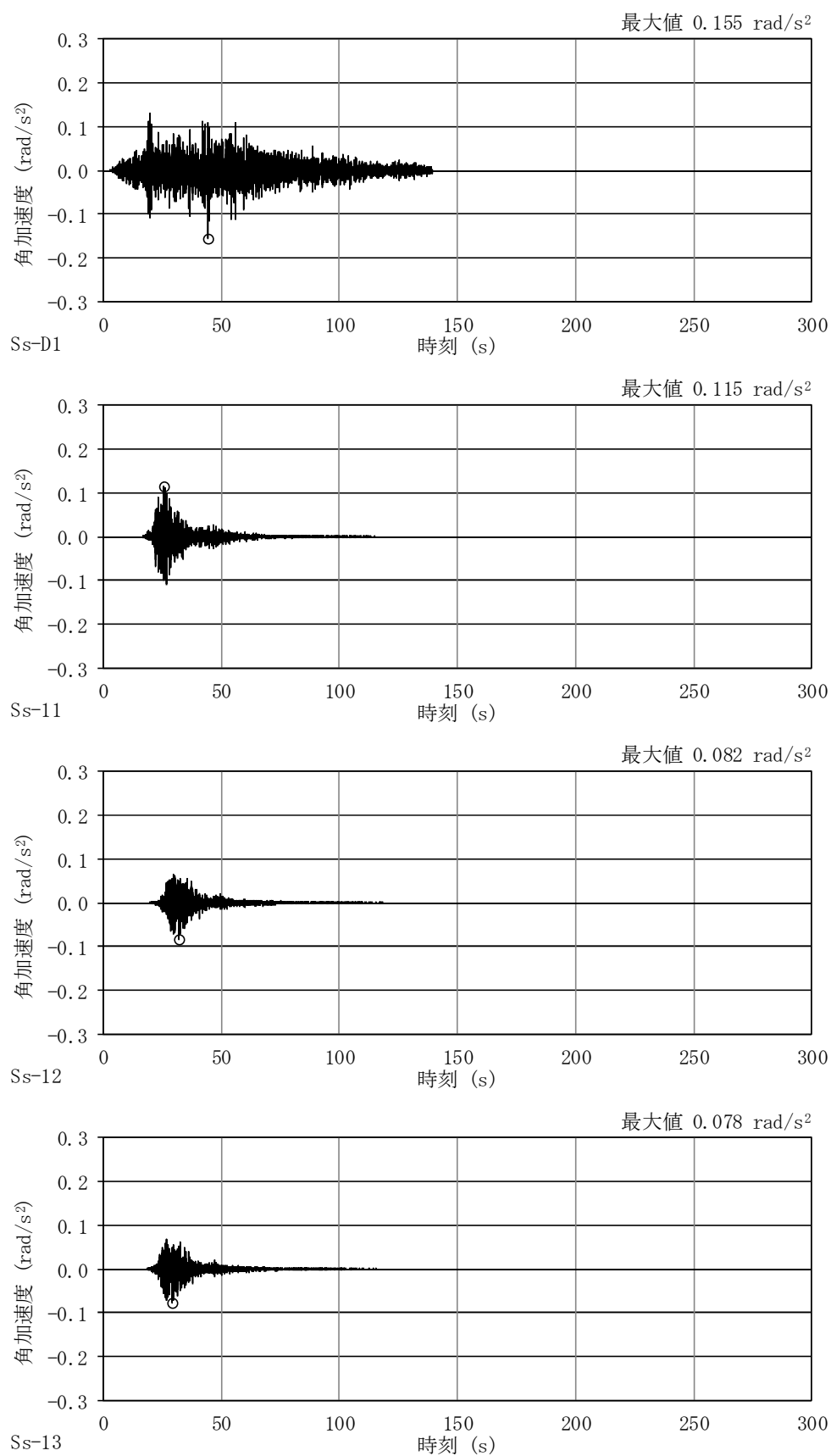


図 4-43 (1/2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, EW 方向回転成分, 基本ケース)

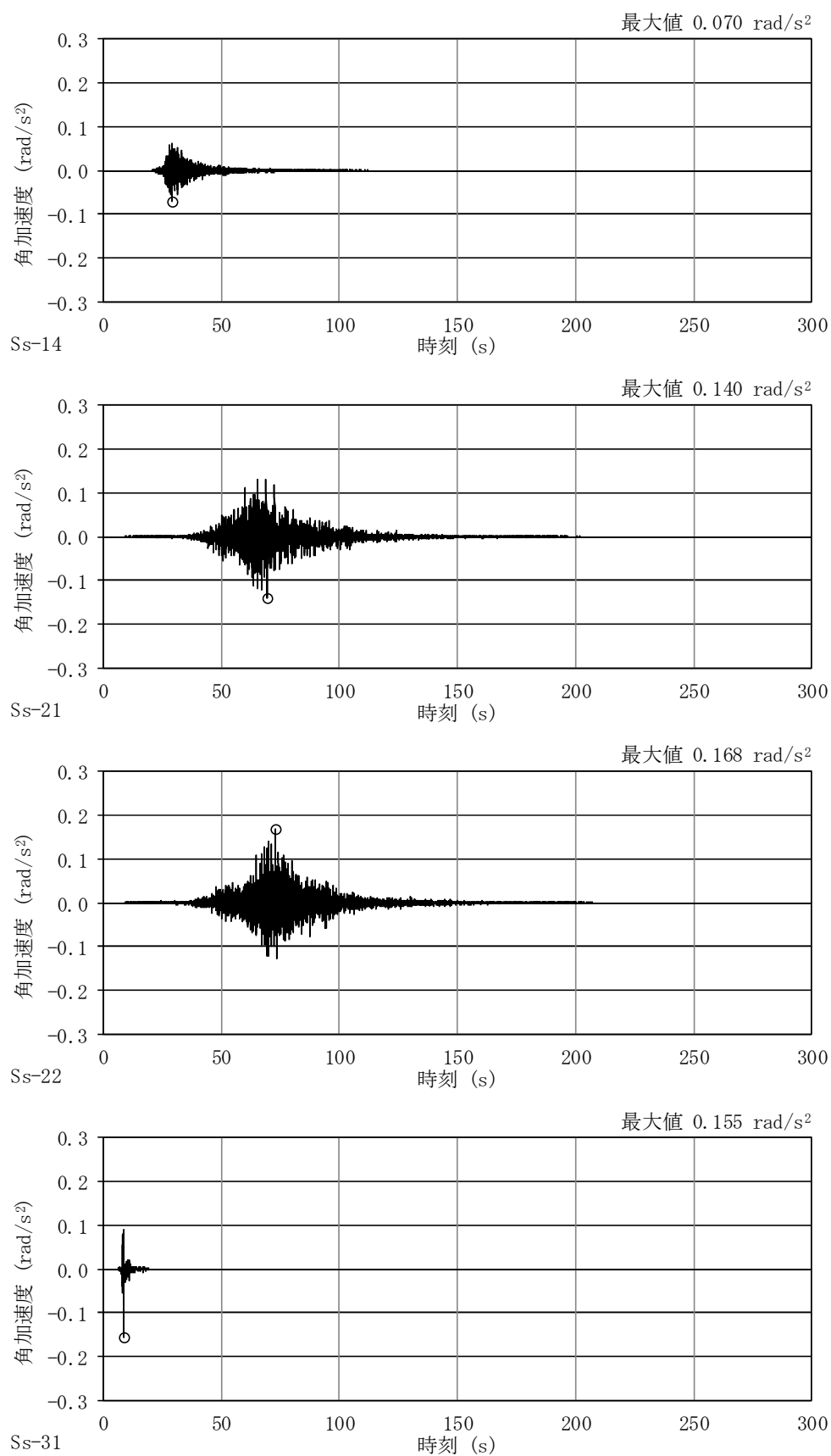


図 4-43 (2/2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s , EW 方向回転成分, 基本ケース)

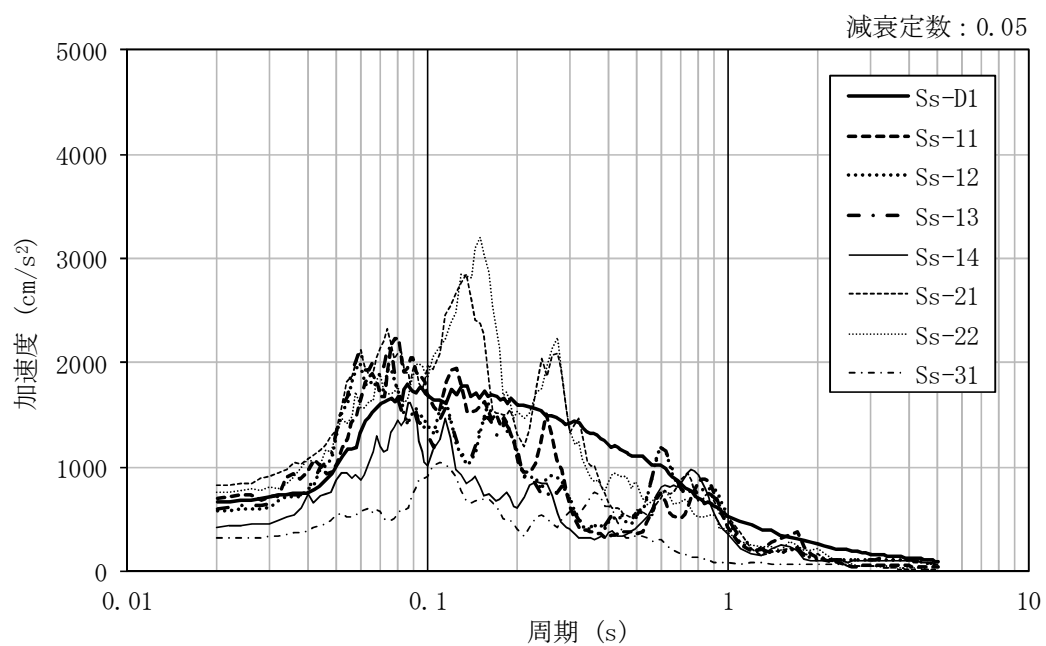


図 4-44 加速度応答スペクトル（基準地震動 S_s ，UD 方向，基本ケース）

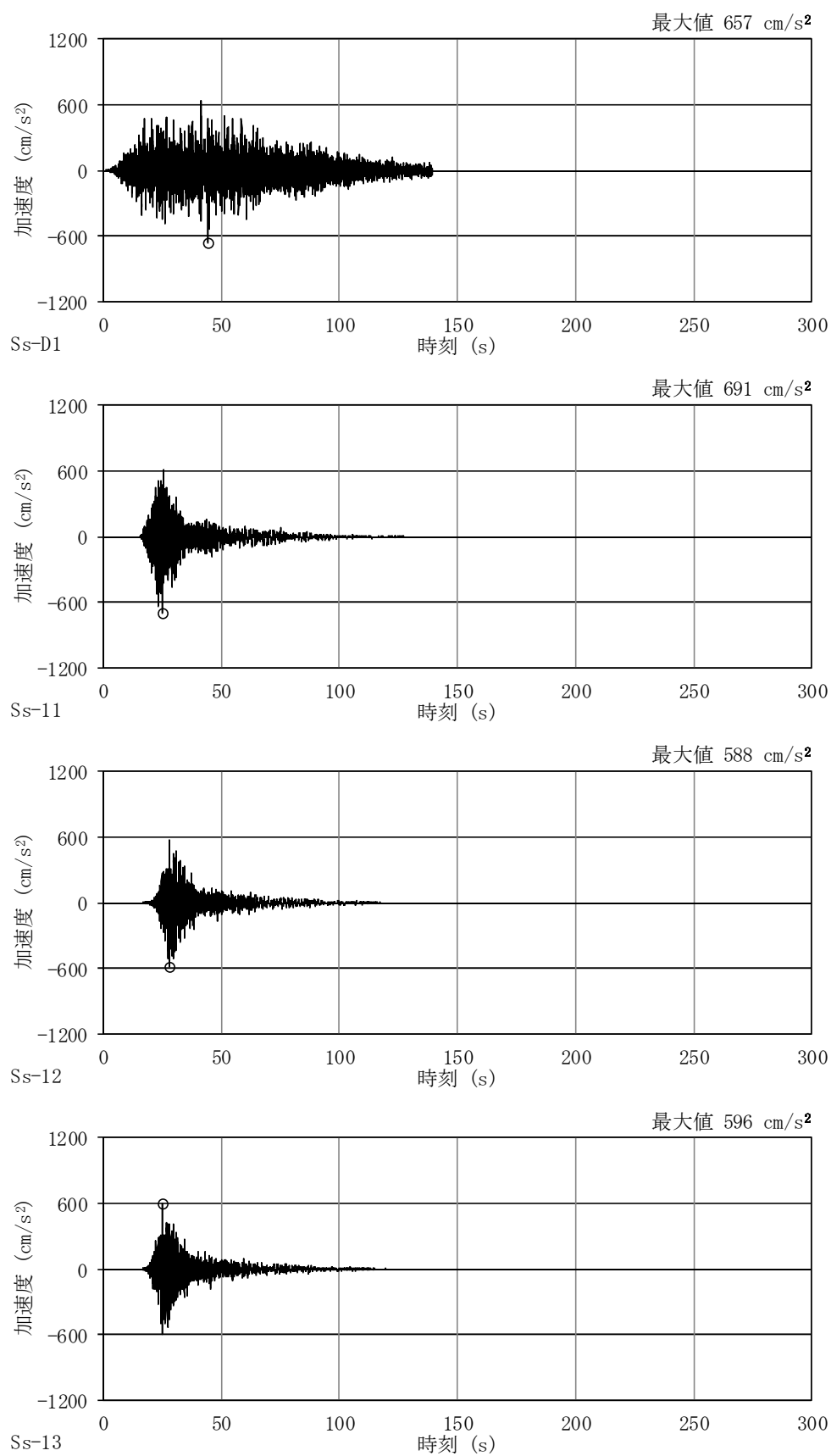


図 4-45 (1/2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s , UD 方向, 基本ケース)

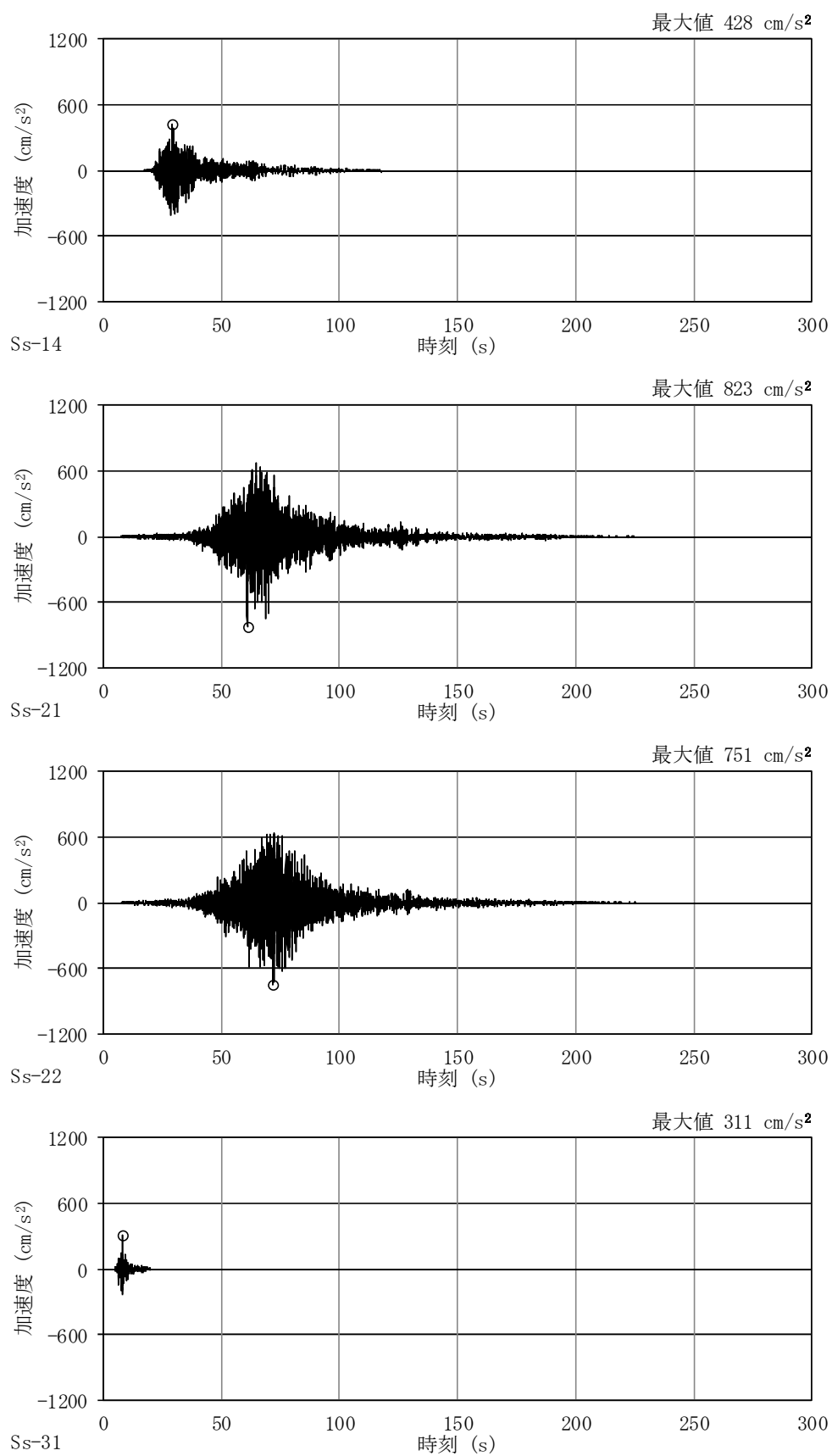


図 4-45 (2/2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s , UD 方向, 基本ケース)

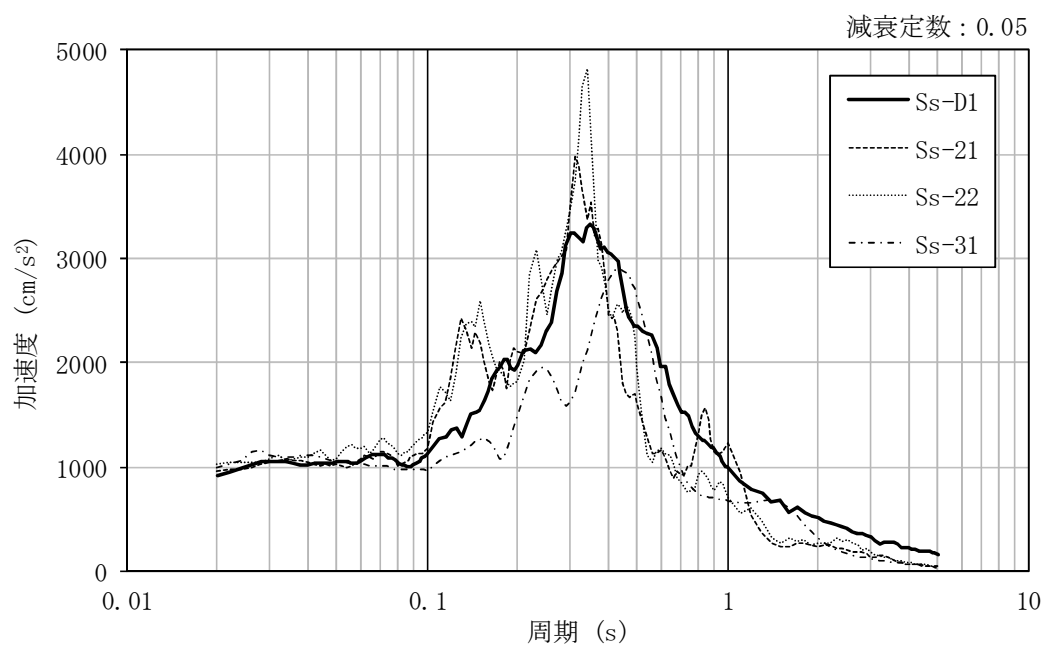


図 4-46 加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , NS 方向並進成分, 地盤物性のばらつきを考慮 (+ σ 相当))

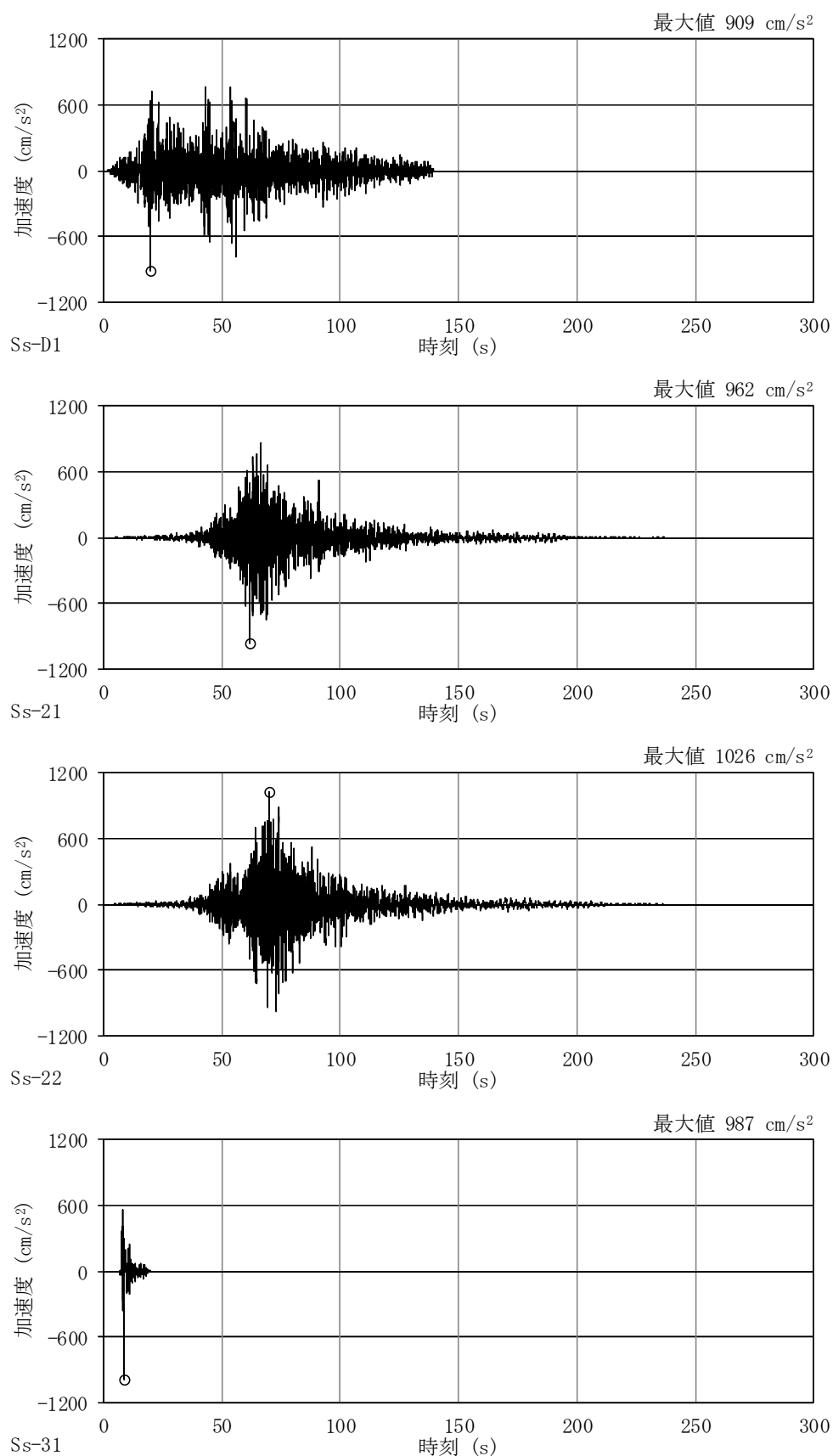


図 4-47 加速度時刻歴波形

(基準地震動 S_s , NS 方向並進成分, 地盤物性のばらつきを考慮 (+ σ 相当))

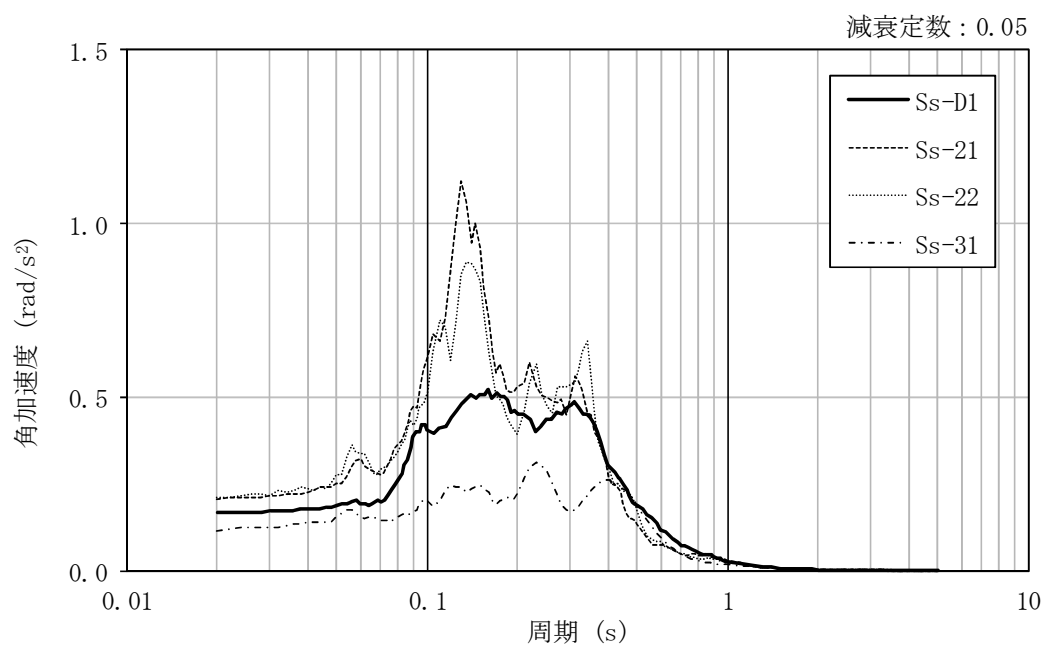


図 4-48 加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , NS 方向回転成分, 地盤物性のばらつきを考慮 (+ σ 相当))

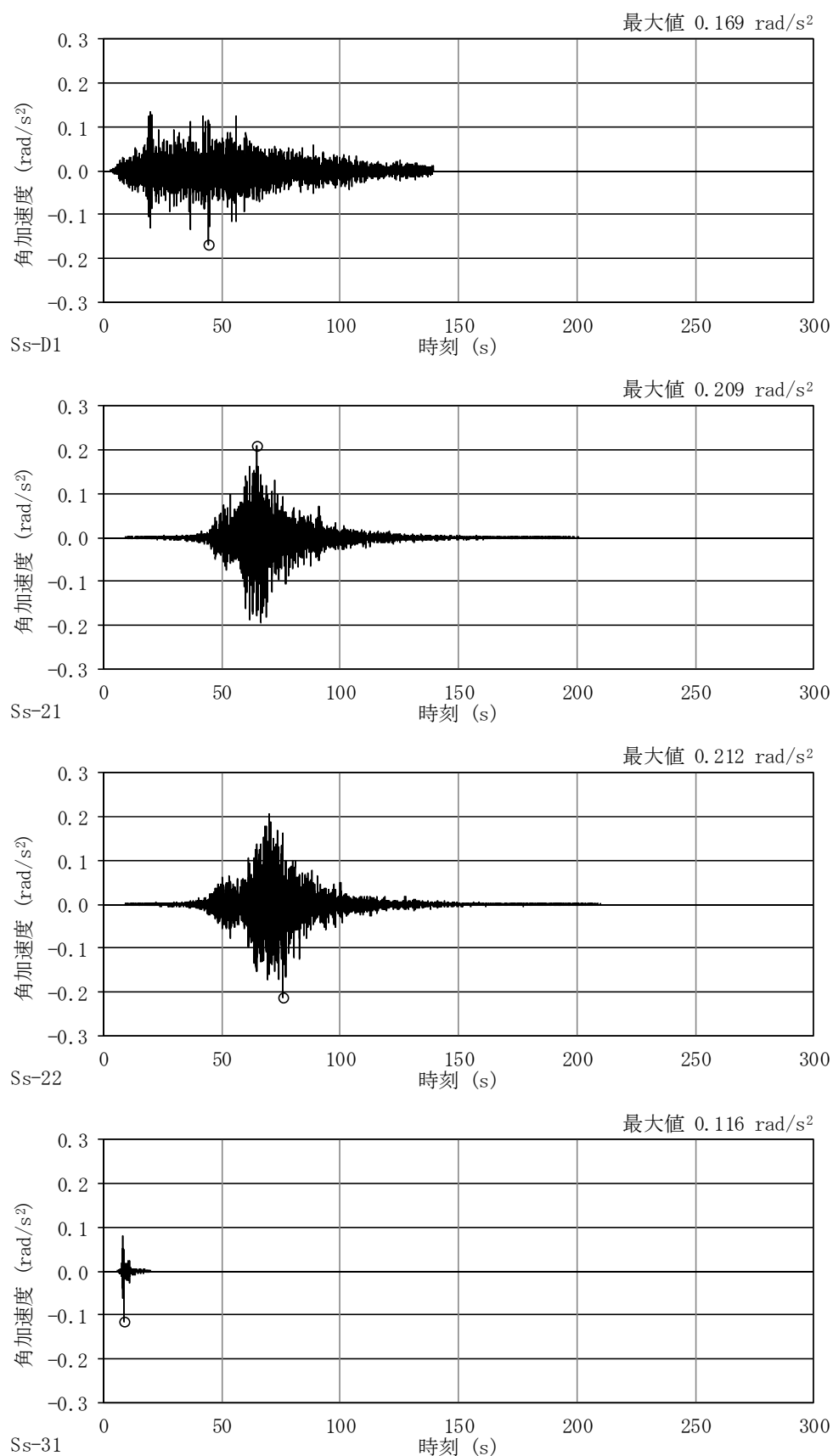


図 4-49 加速度時刻歴波形

(基準地震動 S_s , NS 方向回転成分, 地盤物性のばらつきを考慮 (+ σ 相当))

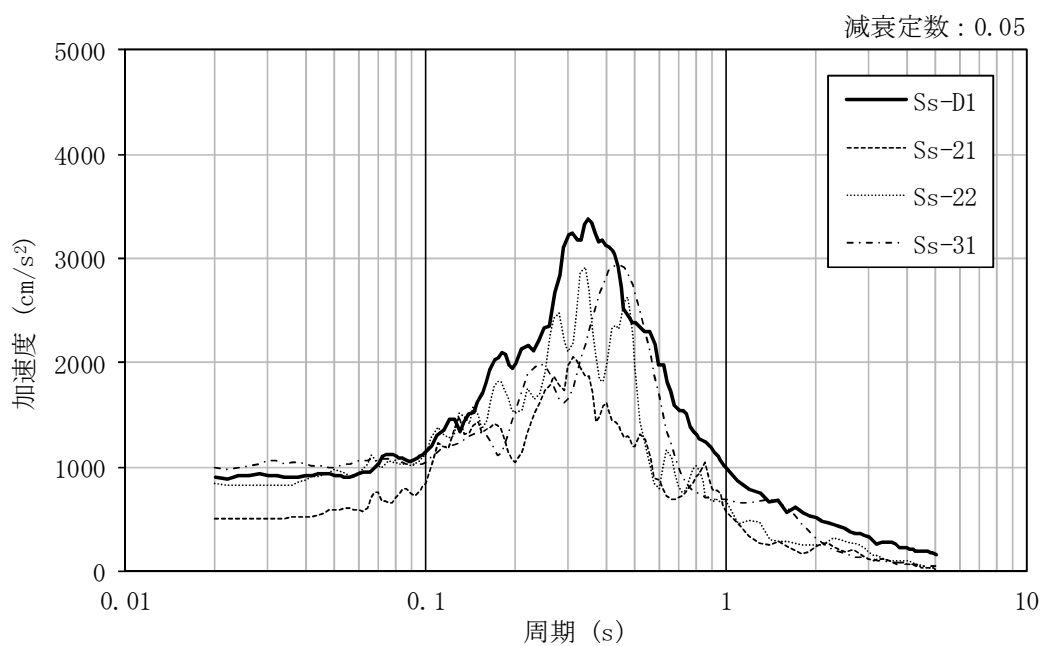


図 4-50 加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , EW 方向並進成分, 地盤物性のばらつきを考慮 (+ σ 相当))

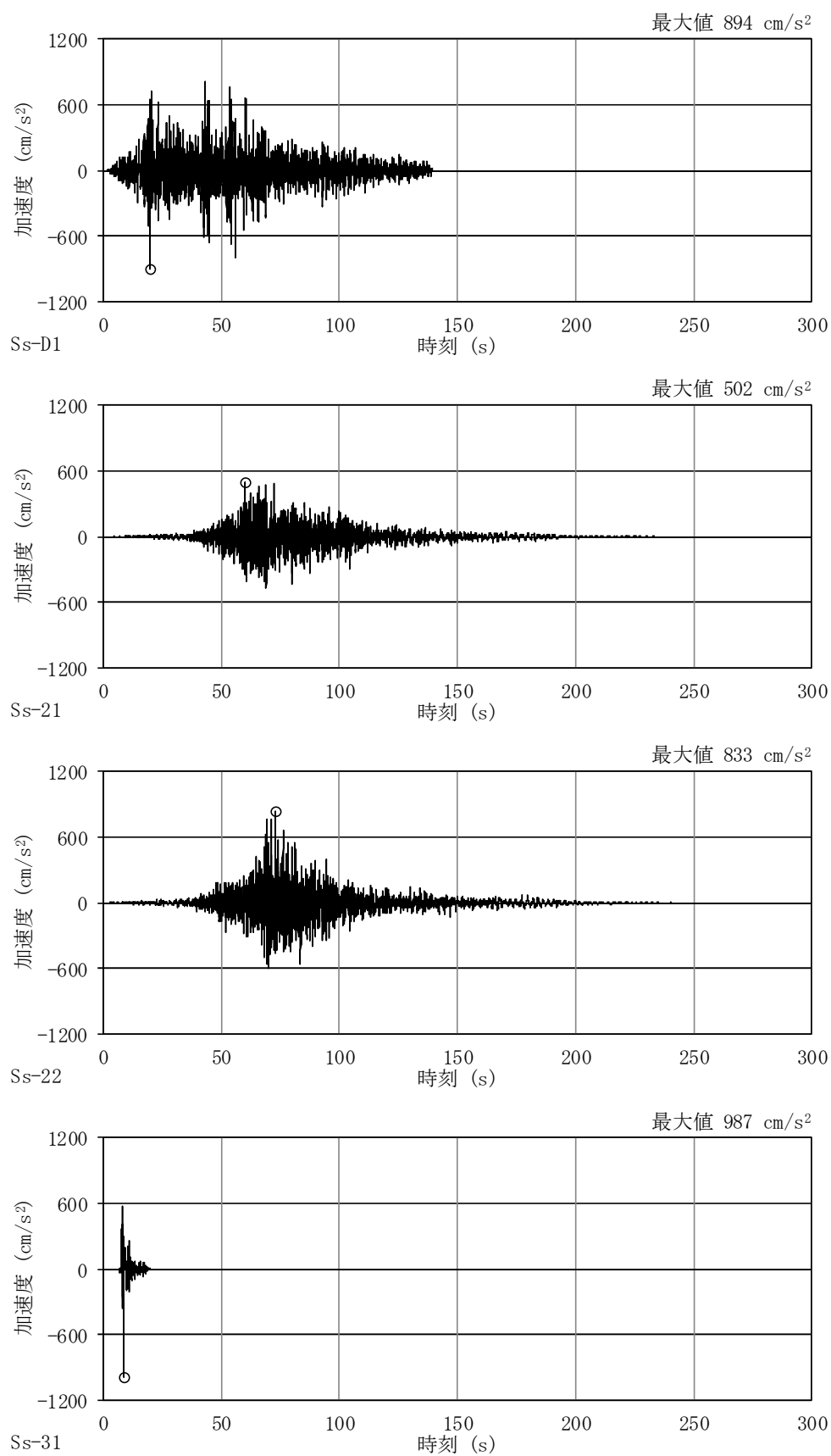


図 4-51 加速度時刻歴波形

(基準地震動 S_s , EW 方向並進成分, 地盤物性のばらつきを考慮 (+ σ 相当))

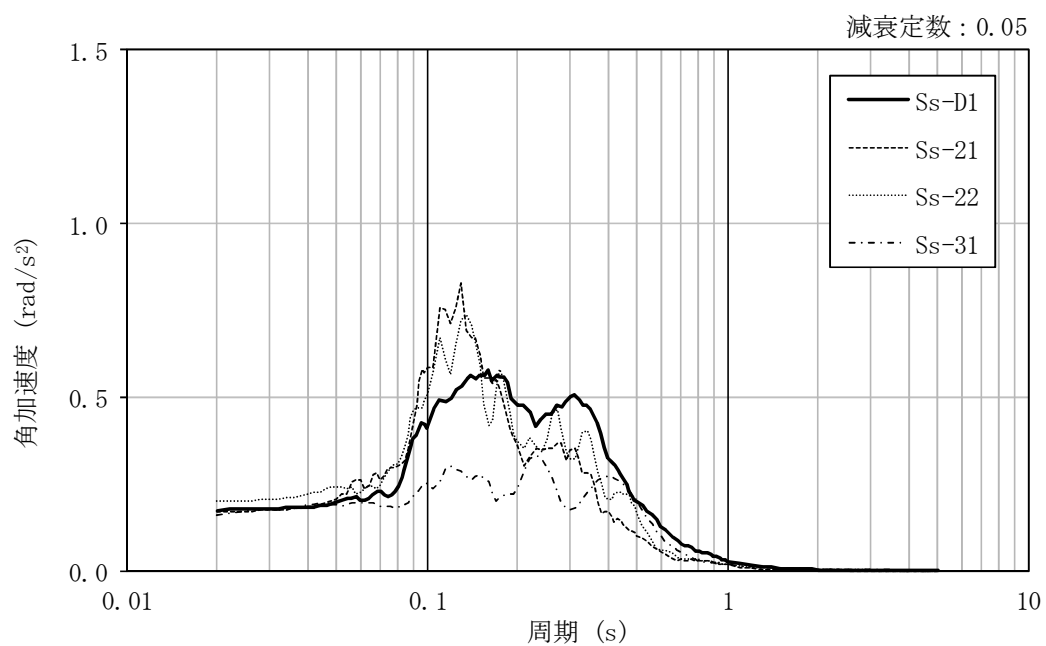


図 4-52 加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , EW 方向回転成分, 地盤物性のばらつきを考慮 (+ σ 相当))

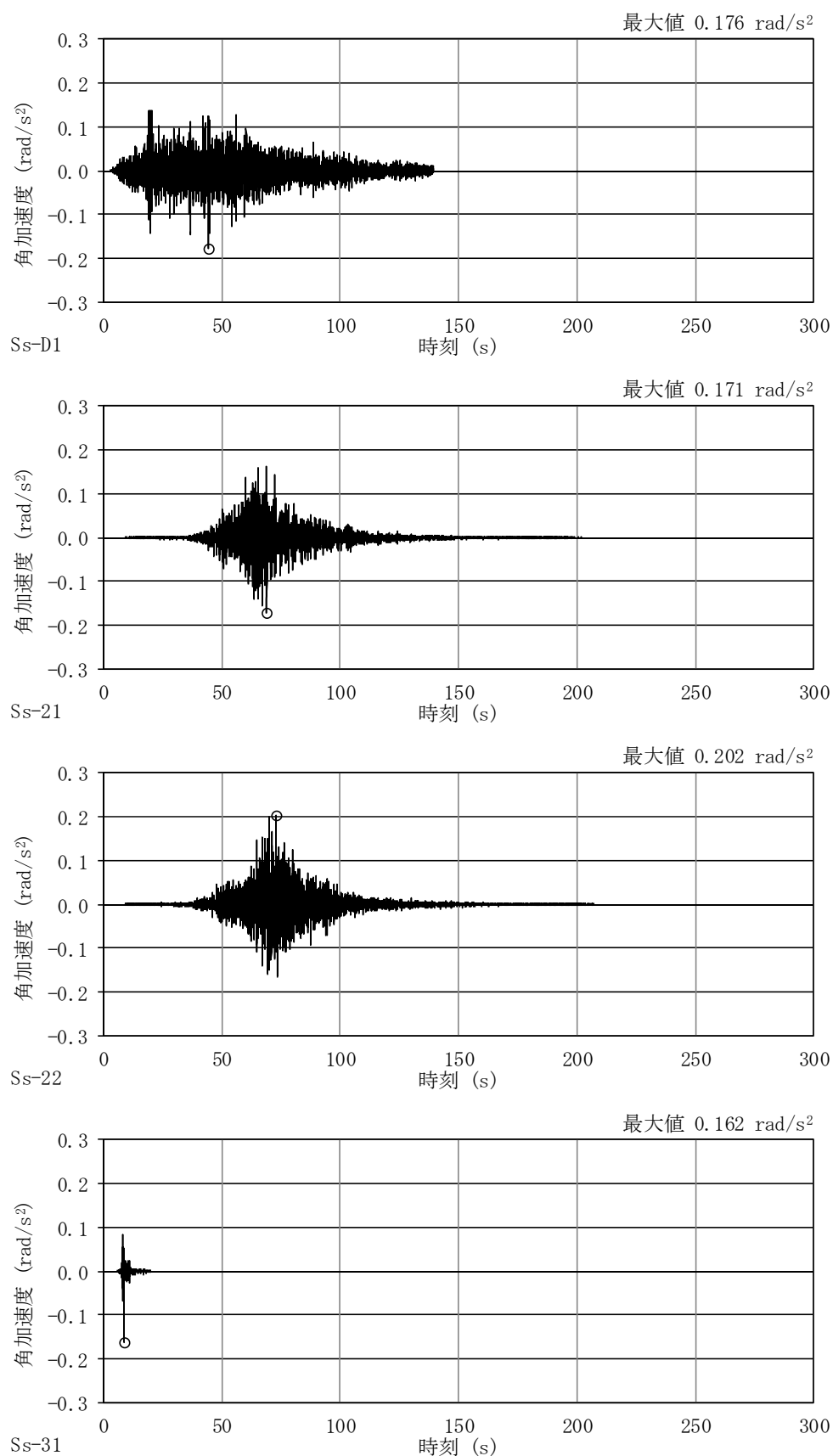


図 4-53 加速度時刻歴波形

(基準地震動 S_s , EW 方向回転成分, 地盤物性のばらつきを考慮 (+ σ 相当))

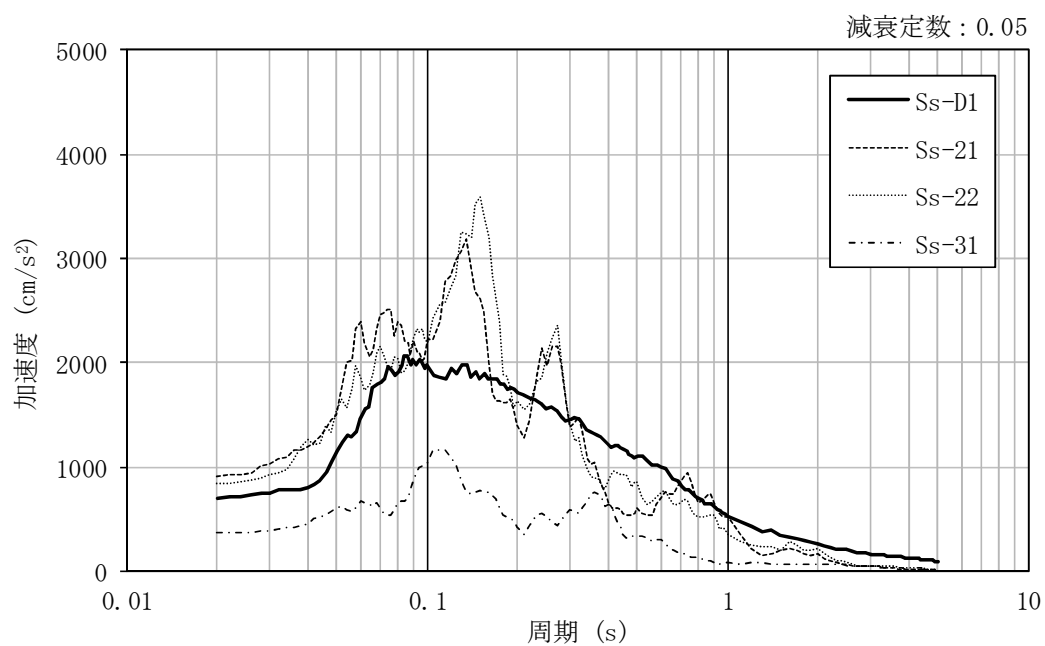


図 4-54 加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , UD 方向, 地盤物性のばらつきを考慮 (+ σ 相当))

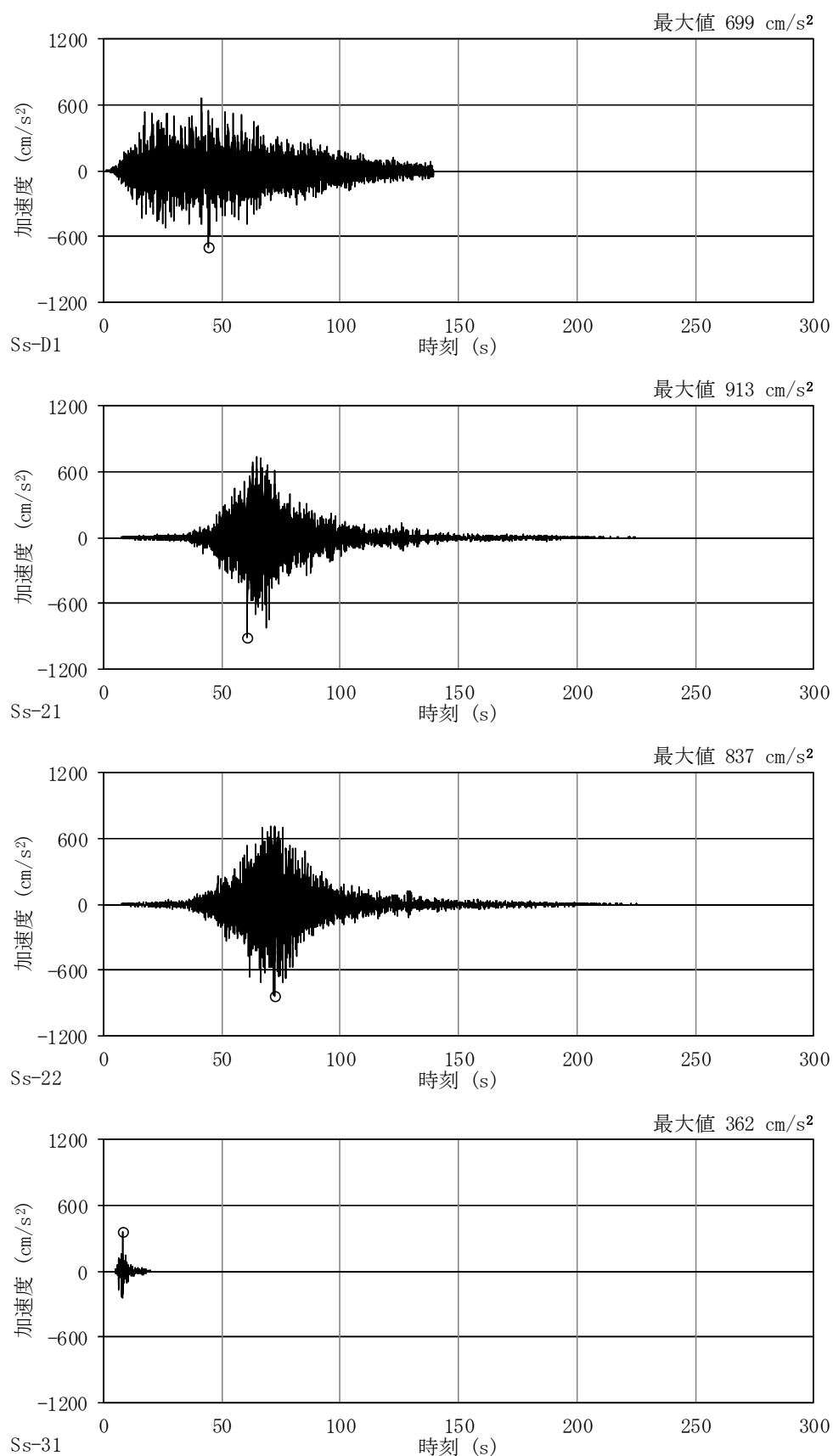


図 4-55 加速度時刻歴波形
(基準地震動 S_s , UD 方向, 地盤物性のばらつきを考慮 (+ σ 相当))

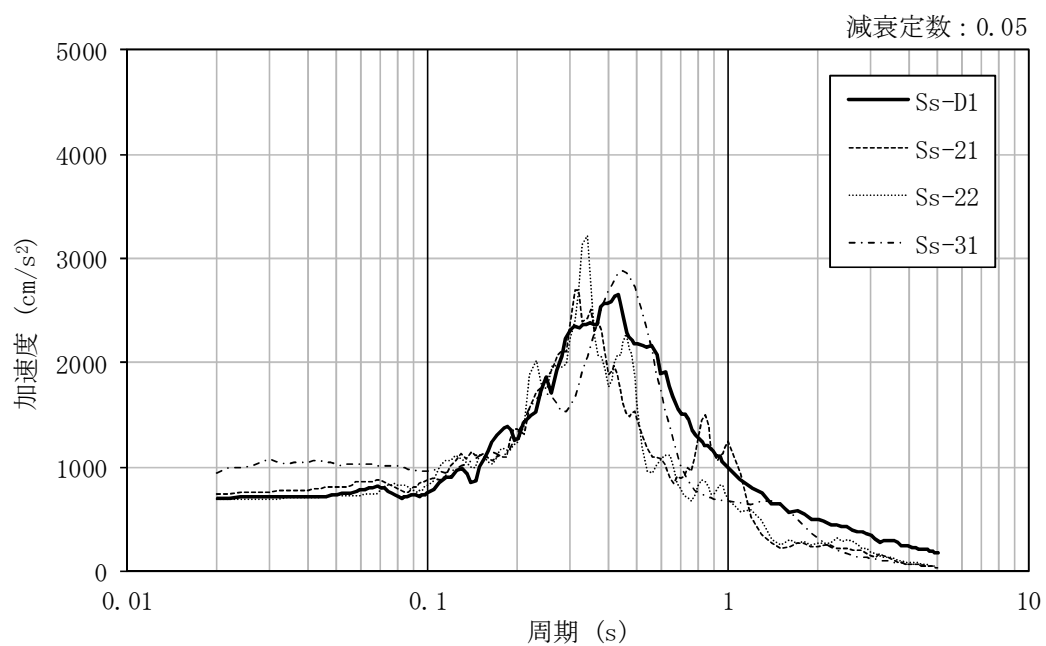


図 4-56 加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , NS 方向並進成分, 地盤物性のばらつきを考慮 ($-\sigma$ 相当))

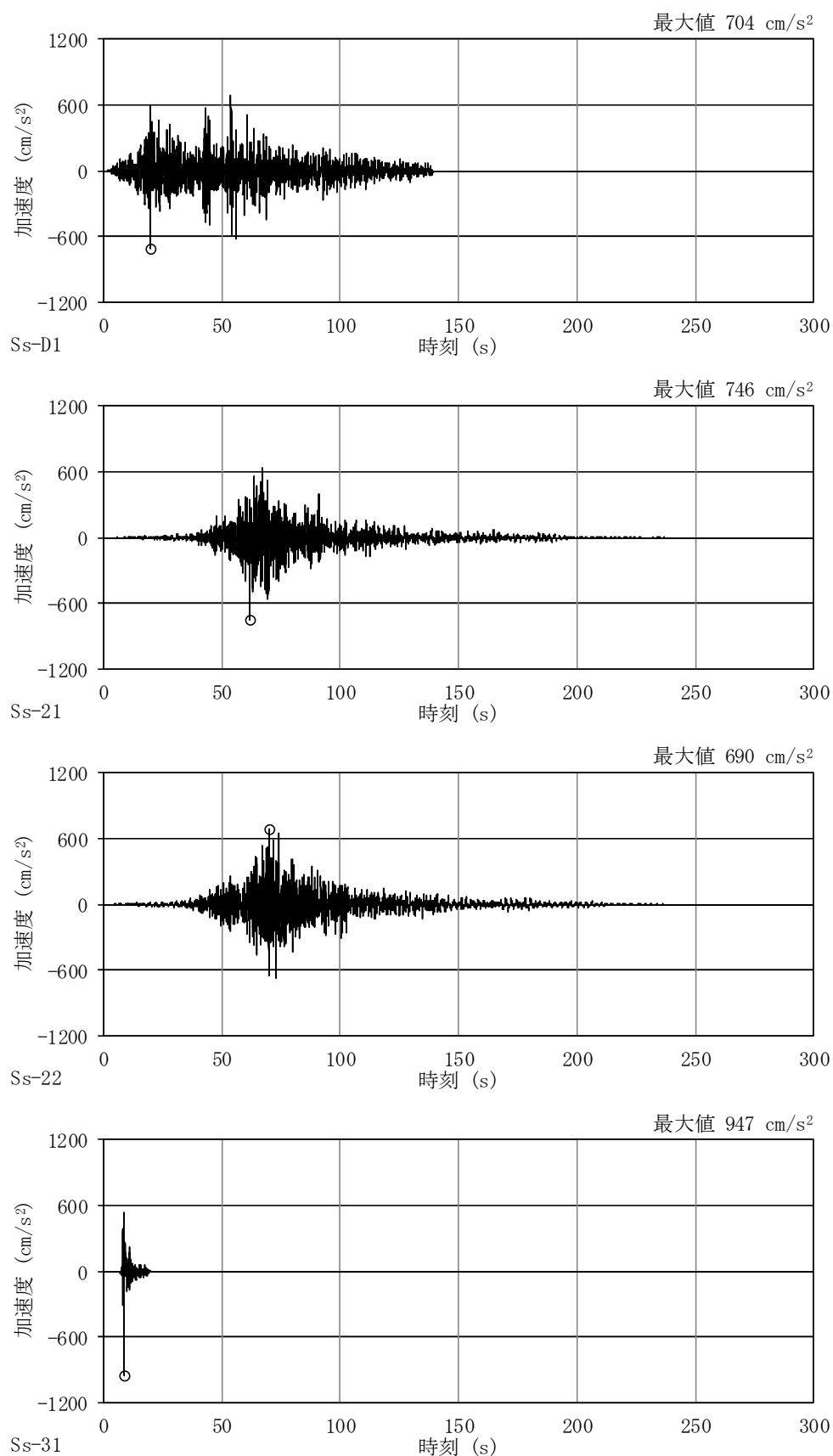


図 4-57 加速度時刻歴波形

(基準地震動 S_s , NS 方向並進成分, 地盤物性のばらつきを考慮 ($-\sigma$ 相当))

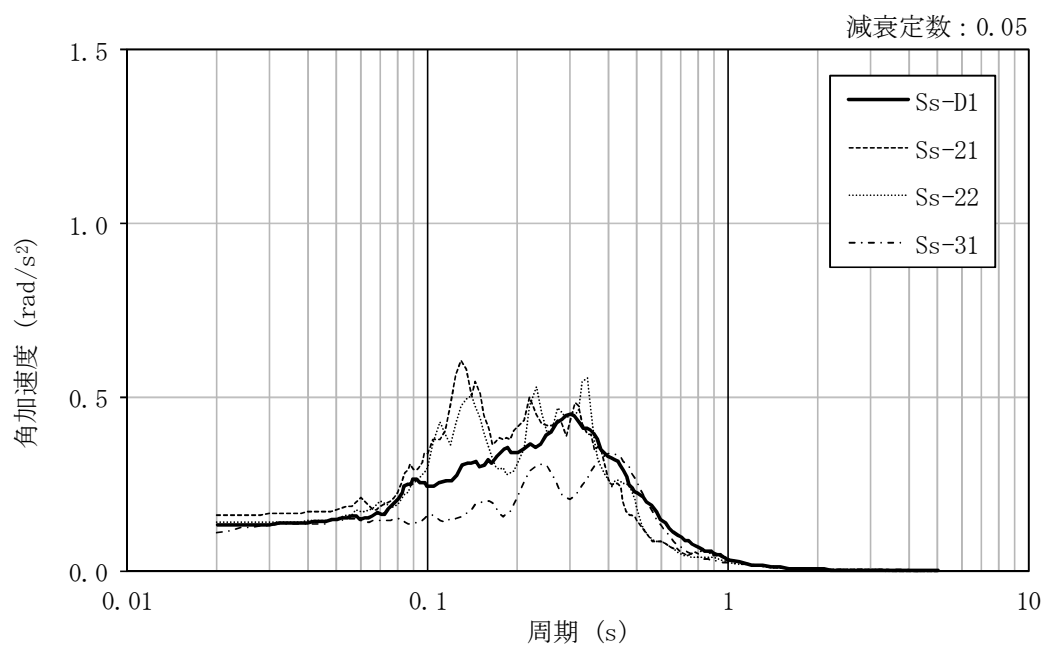


図 4-58 加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , NS 方向回転成分, 地盤物性のばらつきを考慮 ($-\sigma$ 相当))

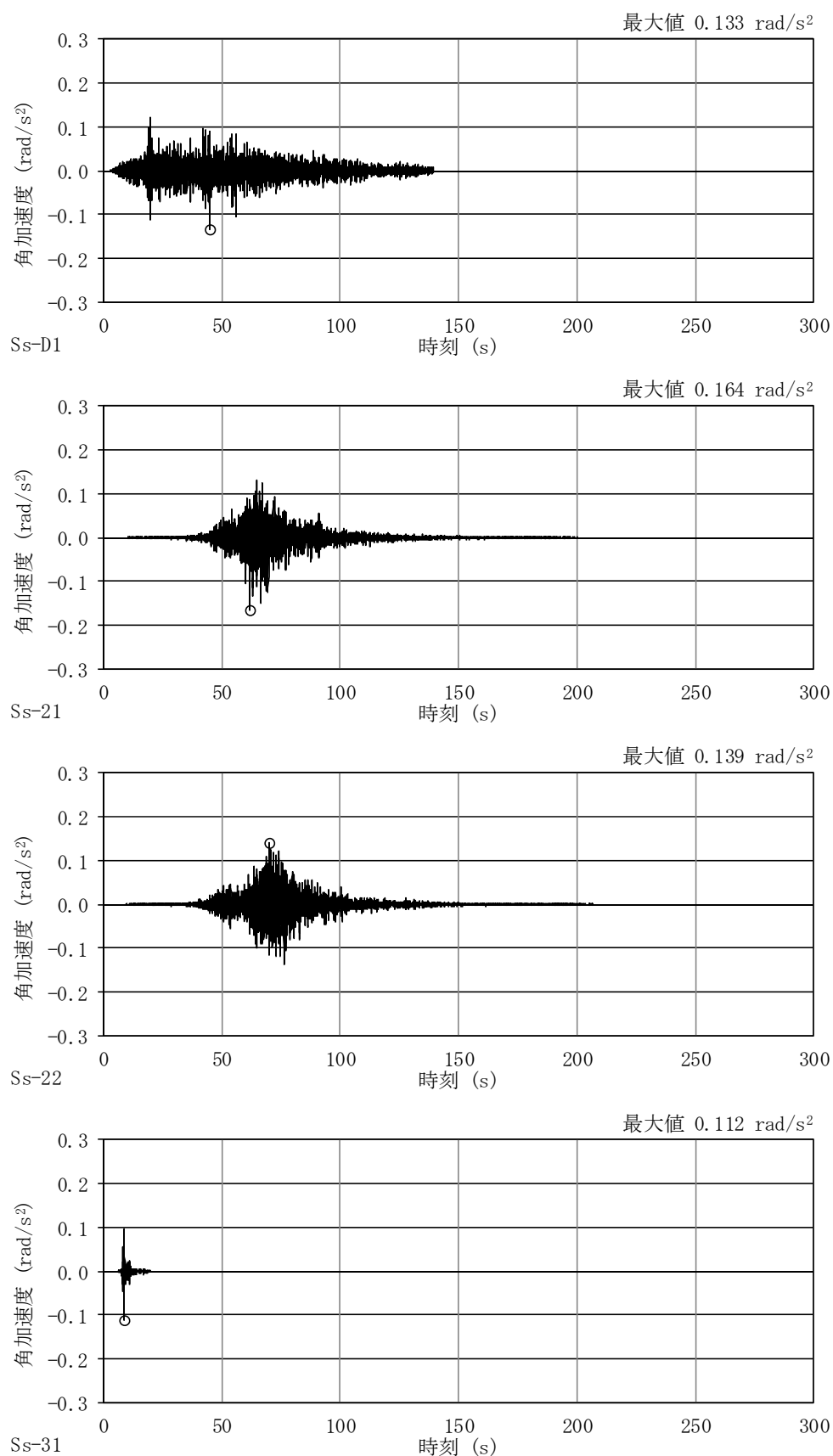


図 4-59 加速度時刻歴波形

(基準地震動 S_s , NS 方向回転成分, 地盤物性のばらつきを考慮 ($-\sigma$ 相当))

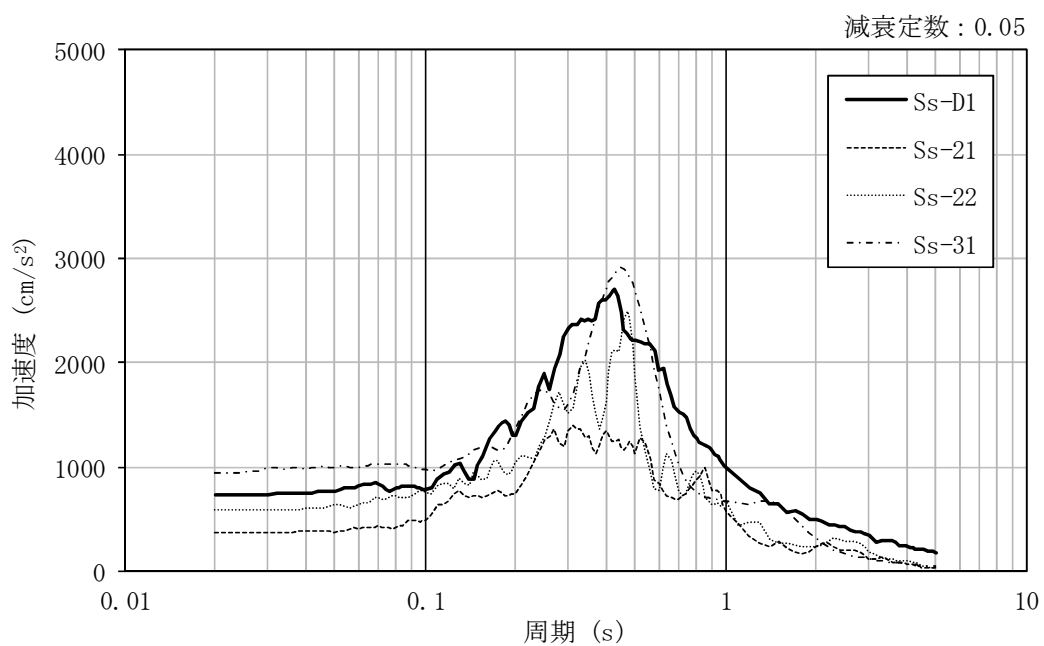


図 4-60 加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , EW 方向並進成分, 地盤物性のばらつきを考慮 ($-\sigma$ 相当))

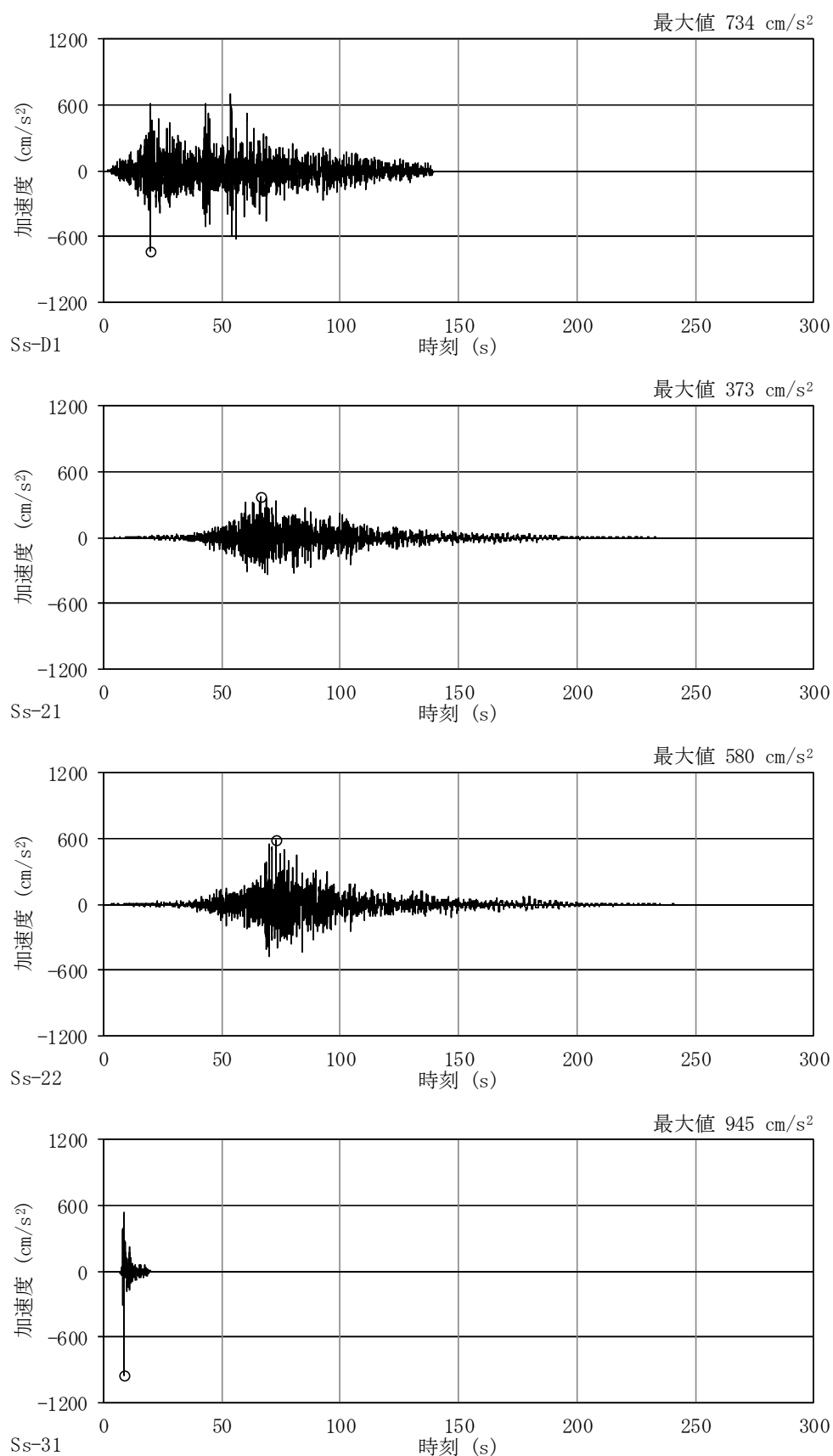


図 4-61 加速度時刻歴波形

(基準地震動 S_s , EW 方向並進成分, 地盤物性のばらつきを考慮 ($-\sigma$ 相当))

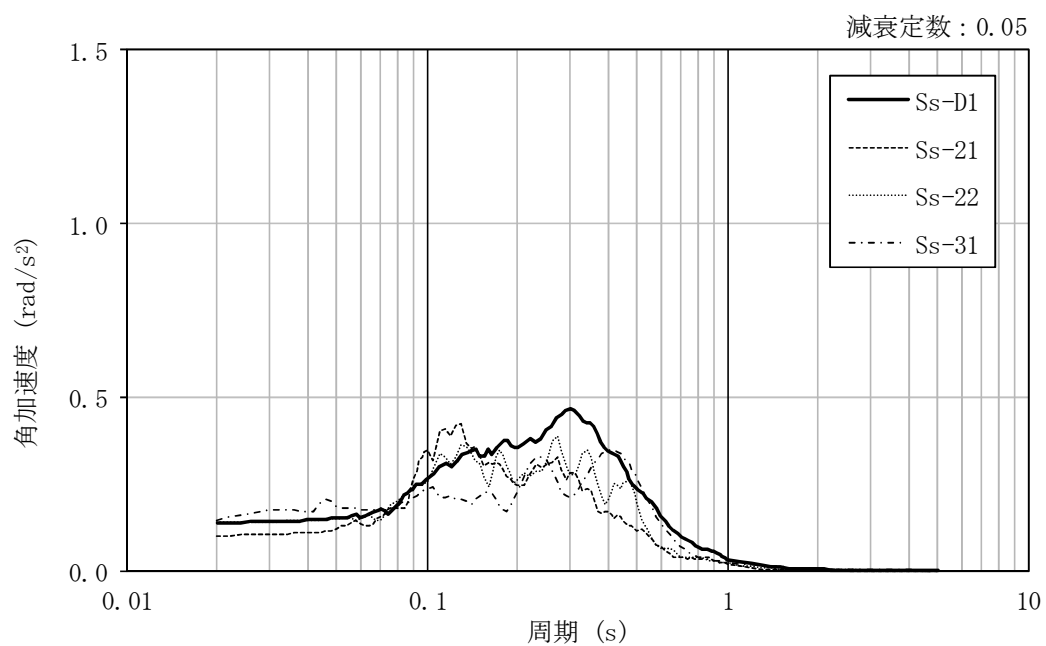


図 4-62 加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , EW 方向回転成分, 地盤物性のばらつきを考慮 ($-\sigma$ 相当))

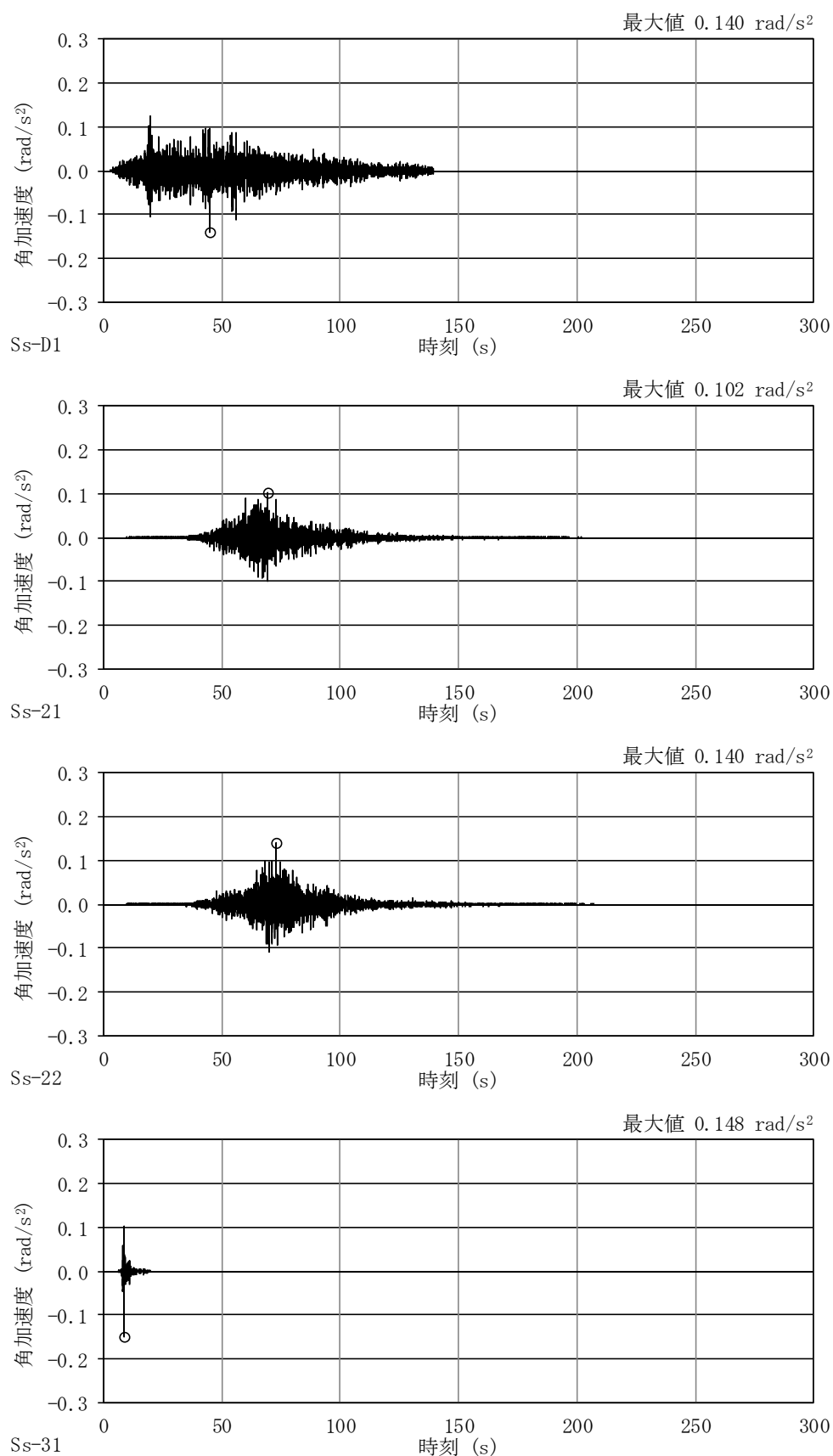


図 4-63 加速度時刻歴波形

(基準地震動 S_s , EW 方向回転成分, 地盤物性のばらつきを考慮 ($-\sigma$ 相当))

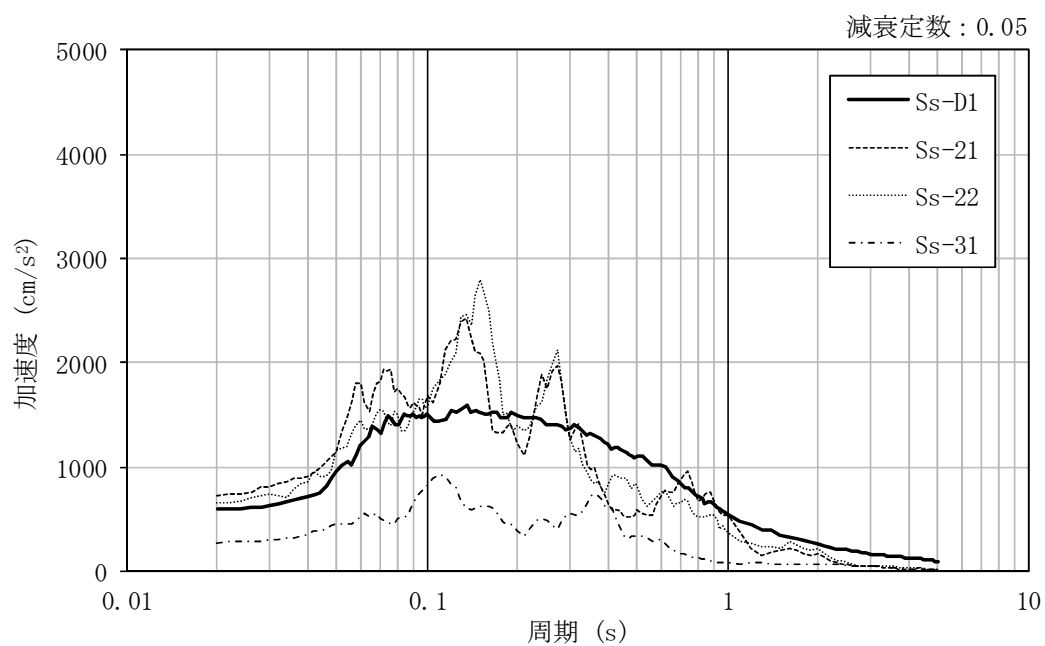


図 4-64 加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , UD 方向, 地盤物性のばらつきを考慮 ($-\sigma$ 相当))

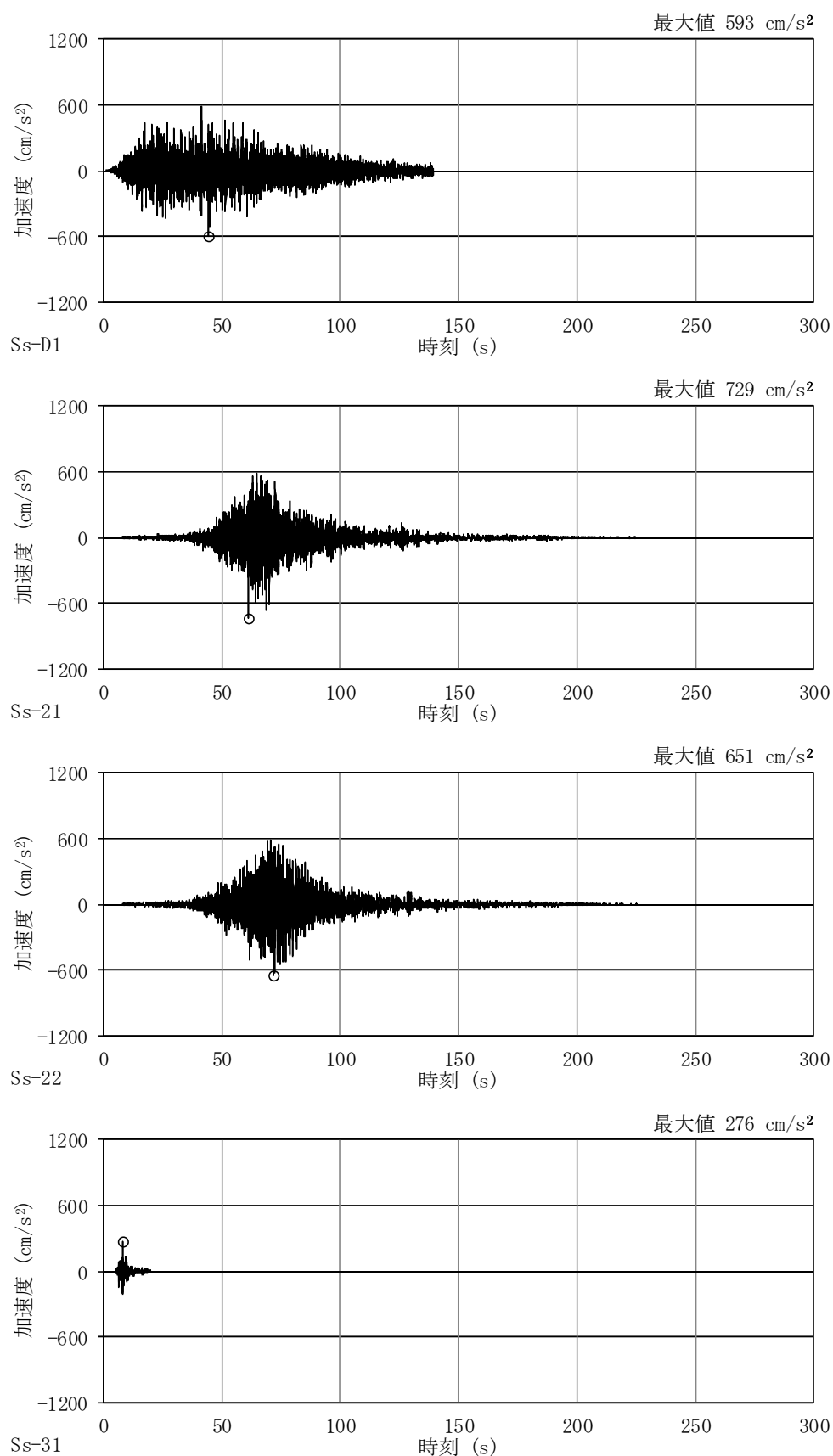


図 4-65 加速度時刻歴波形
(基準地震動 S_s , UD 方向, 地盤物性のばらつきを考慮 ($-\sigma$ 相当))

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-6 に示す。

表 4-6 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _d 地震時	G + SNL + S _d
S _s 地震時	G + SNL + S _s

G : 固定荷重

SNL : 積雪荷重 (地震時)

S_d : S_d地震荷重

S_s : S_s地震荷重

4.3 許容限界

応力解析による評価における原子炉棟の許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の方針に基づき、表 4-7 及び表 4-8 のとおり設定する。

また、鋼材、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 4-9～表 4-11 に、鋼材及びボルトの引張強さを表 4-12 に示す。

表 4-7 応力解析による評価における許容限界

(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部 位	機能維持のための考え方	許容限界
—	構造強度を有すること	弾性設計用 地震動 S_d	屋根スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度
			屋根トラス		「S規準」に基づく短期許容応力度
		基準地震動 S_s	屋根スラブ		「RC-N規準」に基づく終局強度*1
			屋根トラス		「S規準」に基づく弾性限強度 *2, *3
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	弾性設計用 地震動 S_d	屋根スラブ	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度
		基準地震動 S_s	屋根スラブ		「RC-N規準」に基づく短期許容応力度*4

注記 *1:「RC-N規準」の短期許容応力度の鋼材の基準強度 F を「技術基準解説書」に基づき 1.1 倍（面外せん断力に対する評価時の鋼材の基準強度 F は 1.0 倍）した耐力とする。

*2:「技術基準解説書」に基づき、 F 値に 1.1 倍の割増しを考慮し、圧縮及び曲げについては座屈強度を用いる。

*3:母屋については、母屋及び屋根スラブの落下防止の観点から、仕口部（ボルト、スプライスプレート及びウェブ）が先行して破断しないことを確認する。

*4:地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし、地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

表 4-8 応力解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部 位	機能維持のための考え方	許容限界
—	構造強度を有すること	弾性設計用 地震動 S_d	屋根スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度
			屋根トラス		「S規準」に基づく短期許容応力度
		基準地震動 S_s	屋根スラブ		「RC-N規準」に基づく終局強度*1
			屋根トラス		「S規準」に基づく弾性限強度*2, *3
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性が損なわないこと	弾性設計用 地震動 S_d	屋根スラブ	部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度
		基準地震動 S_s	屋根スラブ		「RC-N規準」に基づく短期許容応力度*4
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	弾性設計用 地震動 S_d	屋根スラブ	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度
		基準地震動 S_s	屋根スラブ		「RC-N規準」に基づく短期許容応力度*5

注記 *1:「RC-N規準」の短期許容応力度の鋼材の基準強度 F を「技術基準解説書」に基づき 1.1 倍（面外せん断力に対する評価時の鋼材の基準強度 F は 1.0 倍）した耐力とする。

*2:「技術基準解説書」に基づき、 F 値に 1.1 倍の割増しを考慮し、圧縮及び曲げについては座屈強度を用いる。

*3:母屋については、母屋及び屋根スラブの落下防止の観点から、仕口部（ボルト、スプライスプレート及びウェブ）が先行して破断しないことを確認する。

- *4：許容限界は終局強度に対し妥当な安全余裕を有したものと設定することとし，更なる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。
- *5：地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし，地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

表 4-9 鋼材の許容応力度

種 類		F 値 (N/mm ²)	短 期 (N/mm ²)		
			引 張	圧縮及び曲げ	せん断
SS400 ^{*1}	t ≤ 40 (mm)	235	235	235 ^{*3}	135
SM400A ^{*2}					

注記 *1：建設当時の鋼材の種類は SS41 であるが現在の規格（SS400）に読み替えた許容応力度を示す。

*2：建設当時の鋼材の種類は SM41A であるが現在の規格（SM400A）に読み替えた許容応力度を示す。

*3：上限値であり，座屈長さ等を勘案して設定する。

表 4-10 コンクリートの許容応力度

F _c (N/mm ²)	圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)
22.1	14.7	1.06

表 4-11 鉄筋の許容応力度

SD345 [*]	
引張及び圧縮 (N/mm ²)	せん断補強 (N/mm ²)
345	345

注記 *：建設当時の鉄筋の種類は SD35 であるが現在の規格（SD345）に読み替えた許容応力度を示す。

表 4-12 鋼材及びボルトの引張強さ

種類	引張強さ (N/mm ²)
SS400 [*]	400
F10T	1000

注記 *：建設当時の鋼材の種類は SS41 であるが現在の規格（SS400）に読み替えた引張強さを示す。

4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 屋根スラブ及び母屋

(1) モデル化の基本方針

屋根スラブは母屋で支持された 1 方向スラブとして単位幅を，母屋は主トラスで支持されたスパンの支配幅を取り出した範囲についてモデル化する。

屋根スラブの解析モデルは両端固定梁として，母屋の解析モデルは単純梁として評価する。スラブの解析モデルを図 4-66 に，母屋の解析モデルを図 4-67 に示す。

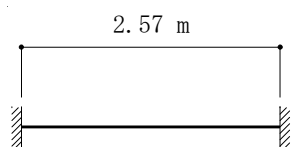


図 4-66 解析モデル（屋根スラブ）

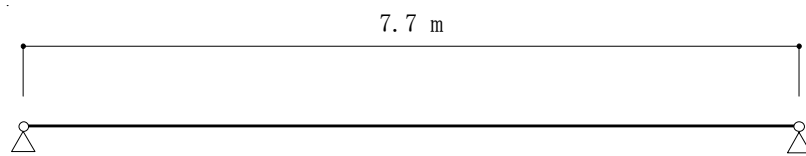


図 4-67 解析モデル（母屋）

(2) 解析諸元

鉄筋コンクリートの物性値を表 4-13 に，鋼材の物性値を表 4-14 に示す。

表 4-13 鉄筋コンクリートの物性値

コンクリートの 設計基準強度 F_c (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
22.1	2.21×10^4	0.2

表 4-14 鋼材の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)
鉄 骨：SS400*	2.05×10^5	7.90×10^4

注記 *：建設当時の鋼材の種類は SS41 であるが現在の規格（SS400）に読み替えた。

4.4.2 屋根トラス

(1) モデル化の基本方針

a. 基本方針

屋根トラスの各部応力は、3次元FEMモデルを用いて弾塑性応力解析を実施することにより評価する。解析には、解析コード「DYN A 2 E Ver. 8.0.4」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-2 計算機プログラム（解析コード）の概要・DYN A 2 E」に示す。

解析モデルは、原子炉棟の燃料取替床（EL. 46.5 m）より上部について、壁、柱、梁及び屋根トラスをモデル化した解析モデルを用いる。なお、屋根スラブについては剛性を考慮しないことからモデル化していない。

解析モデルを図4-68に、屋根トラスの部材リストを表4-15に示す。

b. 使用要素

解析モデルに使用する要素は、シェル要素、梁要素及びトラス要素とする。解析モデルの節点数は274、要素数は849である。

(2) 境界条件

応力解析モデルは燃料取替床レベル（EL. 46.5 m）を固定とする。

(3) 解析諸元

使用材料（鉄筋コンクリート及び鉄骨）の物性値を表4-16に示す。

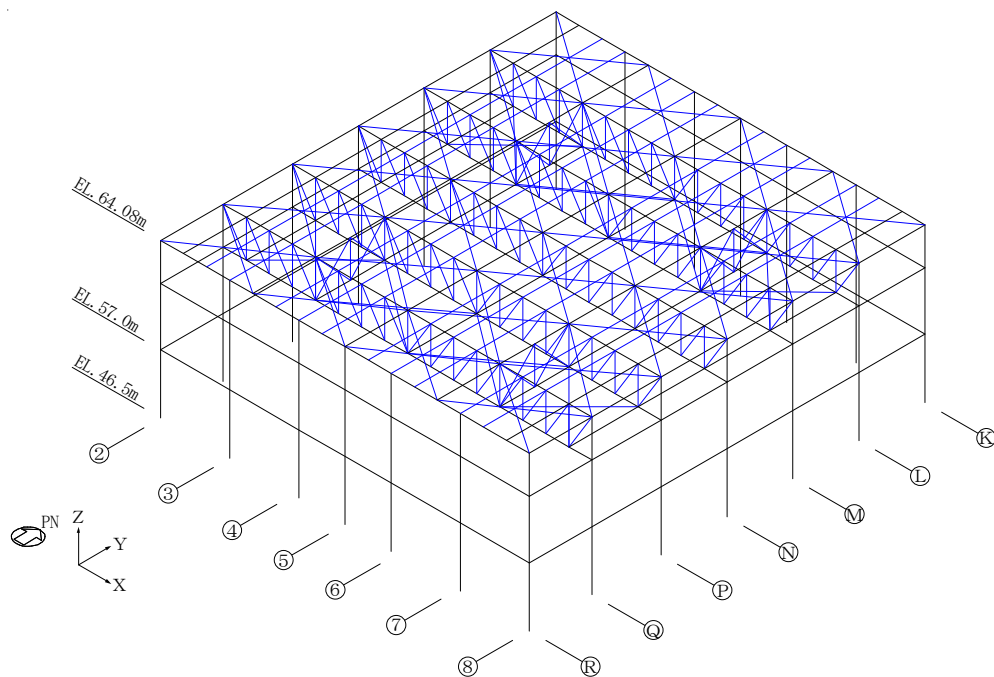


図4-68 解析モデル（屋根トラス）

表 4-15 部材リスト

部 位	部 材	断面積 A (cm^2)	断面 2 次 モーメント I (cm^4)
上弦材・下弦材	H-400×400×13×21	218.7	66600
斜材	2Ls-200×200×15+2FBs-9×150	142.5	—
斜材・束材	2Ls-200×200×15	115.5	—
斜材・束材	2Ls-150×150×15	85.48	—
斜材・束材	2Ls-150×100×12	57.12	—
つなぎ梁・束材	2Ls-100×100×10	38.00	—
母屋	H-390×300×10×16	136.0	38700
上弦面つなぎ梁	H-582×300×12×17	174.5	103000
下弦面つなぎ梁	H-250×250×9×14	92.18	10800
上弦面水平 ブレース	2CTs-200×400×13×21	218.6	—
下弦面水平 ブレース	CT-300×200×11×17	67.21	—
つなぎ梁 鉛直ブレース	2Ls-90×90×10	34.00	—

表 4-16 材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm^2)	せん断弾性係数 G (N/mm^2)	減衰定数 h (%)
鉄筋コンクリート : Fc22.1	2.21×10^4	9.21×10^3	5
鉄 骨 : SS400* ¹ SM400A* ²	2.05×10^5	7.9×10^4	2

注記 *1 : 建設当時の鋼材の種類は SS41 であるが現在の規格 (SS400) に読み替えた。

*2 : 建設当時の鋼材の種類は SM41A であるが現在の規格 (SM400A) に読み替えた。

4.5 評価方法

4.5.1 応力解析方法

(1) 屋根スラブ及び母屋

屋根スラブ及び母屋について、両端支持梁に対する一般材料力学公式により応力を算定する。

a. 荷重ケース

S_d 地震時及び S_s 地震時の応力は次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

G : 固定荷重

SNL : 積雪荷重（地震時）

S_{dD}^* : 鉛直方向 S_d 地震荷重

S_{sD}^* : 鉛直方向 S_s 地震荷重

注記 * : 計算上の座標軸を基本として、鉛直方向は上向き加力を記載している。

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-17 に示す。

作用荷重のうち地震荷重は、固定荷重及び積載荷重と同じ下向きに作用する場合に生じる応力が最大となるため、地震荷重は鉛直下向きの場合のみ考慮する。

表 4-17 荷重の組合せケース（屋根スラブ及び母屋）

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S_d 地震時	1	$G + SNL - 1.0S_{dD}$
S_s 地震時	2	$G + SNL - 1.0S_{sD}$

c. 長期荷重時の応力算出方法

長期荷重時の端部モーメント、中央モーメント及びせん断力は下式の通り算出する。

長期荷重時の端部モーメント、中央モーメント及びせん断力を表 4-18 に示す。

(両端固定梁)

- ・長期荷重時の端部モーメント (M_E)

$$M_E = -\frac{1}{12}w \cdot l^2$$

- ・長期荷重時の中央モーメント (M_C)

$$M_C = \frac{1}{24}w \cdot l^2$$

- ・長期荷重時の端部せん断力 (Q_E)

$$Q_E = 0.5w \cdot l$$

(単純梁)

- ・長期荷重時の中央モーメント (M_C)

$$M_C = \frac{1}{8}w \cdot l^2$$

- ・長期荷重時の端部せん断力 (Q_E)

$$Q_E = 0.5w \cdot l$$

ここで,

l : 有効スパン (m)

w : 単位長さあたりの長期荷重 (kN/m)

表 4-18 長期荷重時の端部モーメント, 中央モーメント及びせん断力

部 位	端部モーメント (kN・m)	中央モーメント (kN・m)	せん断力 (kN)
屋根スラブ	1.99	0.99	4.64
母 屋	—	76.5	39.8

d. 応力の算出方法

「c. 長期荷重時の応力算出方法」における長期荷重時の端部モーメント, 中央モーメント及びせん断力を, 屋根トラス部 (EL. 63.65 m, 質点番号 22~質点番号 25) の鉛直方向最大応答加速度より算出した鉛直震度により係数倍することで応力を算出する。鉛直方向最大応答加速度を表 4-19 に, 算出した端部モーメント, 中央モーメント及びせん断力を表 4-20 に示す。

表 4-19 地震応答解析による最大応答加速度

(a) 弾性設計用地震動 S_d

部位	質点番号	基本ケース* ¹ (cm/s ²)	地盤物性の ばらつきを考慮 (+ σ 相当) * ² (cm/s ²)	地盤物性の ばらつきを考慮 (- σ 相当) * ² (cm/s ²)	最大値 (cm/s ²)
屋根	22	761	852	683	1353
	23	871	931	800	
	24	978	1001	962	
	25	1305	1353	1254	

注記 *1: S_d-D1 , S_d-11 , S_d-12 , S_d-13 , S_d-14 , S_d-21 , S_d-22 及び S_d-31 の最大値

*2: S_d-D1 , S_d-21 , S_d-22 及び S_d-31 の最大値

(b) 基準地震動 S_s

部位	質点番号	基本ケース* ¹ (cm/s ²)	地盤物性の ばらつきを考慮 (+ σ 相当) * ² (cm/s ²)	地盤物性の ばらつきを考慮 (- σ 相当) * ² (cm/s ²)	最大値 (cm/s ²)
屋根	22	1396	1637	1203	2551
	23	1594	1717	1464	
	24	1868	1923	1810	
	25	2450	2551	2332	

注記 *1: S_d-D1 , S_d-11 , S_d-12 , S_d-13 , S_d-14 , S_d-21 , S_d-22 及び S_d-31 の最大値

*2: S_d-D1 , S_d-21 , S_d-22 及び S_d-31 の最大値

表 4-20 鉛直震度より算出した端部モーメント、中央モーメント及びせん断力

(a) 弾性設計用地震動 S_d

部位	検討用 鉛直震度	端部モーメント (kN・m)	中央モーメント (kN・m)	せん断力 (kN)
屋根スラブ	2.38	4.74	2.36	11.0
母屋	2.38	—	182	94.7

(b) 基準地震動 S_s

部位	検討用 鉛直震度	端部モーメント (kN・m)	中央モーメント (kN・m)	せん断力 (kN)
屋根スラブ	3.61	7.18	3.57	16.8
母屋	3.61	—	276	144

(2) 屋根トラス

屋根トラスについて、3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析を実施する。

a. 荷重ケース

S_d 地震時及び S_s 地震時の応力は、次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

G : 固定荷重
 SNL : 積雪荷重 (地震時)
 Sd_{WE}^* : W→E 方向 S_d 地震荷重
 Sd_{SN}^* : S→N 方向 S_d 地震荷重
 Sd_{DU}^* : 鉛直方向 S_d 地震荷重
 Ss_{WE}^* : W→E 方向 S_s 地震荷重
 Ss_{SN}^* : S→N 方向 S_s 地震荷重
 Ss_{DU}^* : 鉛直方向 S_s 地震荷重

注記 * : 計算上の座標軸を基本として、EW 方向は W→E 方向加力、NS 方向は S→N 方向加力、鉛直方向は上向き加力を記載している。

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-21 に示す。

水平地震力と鉛直地震力は、加速度時刻歴波形を同時入力することにより組み合わせる。ここで、地震荷重に極性をもたない S_d-D1 , S_d-31 , S_s-D1 及び S_s-31 については、水平 1 方向と鉛直方向の正負を組み合わせた 4 ケースについて解析を行い、地震荷重が位相を含めて設定されている S_d-11 , S_d-12 , S_d-13 , S_d-14 , S_d-21 , S_d-22 , S_s-11 , S_s-12 , S_s-13 , S_s-14 , S_s-21 及び S_s-22 については、水平 2 方向及び鉛直地震力を組み合わせたケースについて解析を行う。

表 4-21 荷重の組合せケース（屋根トラス）

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S _d 地震時	1-1 ^{*1}	$G + SNL + S_{dWE} + S_{dDU}$
	1-2 ^{*1}	$G + SNL + S_{dWE} - S_{dDU}$
	1-3 ^{*1}	$G + SNL - S_{dWE} + S_{dDU}$
	1-4 ^{*1}	$G + SNL - S_{dWE} - S_{dDU}$
	1-5 ^{*1}	$G + SNL + S_{dSN} + S_{dDU}$
	1-6 ^{*1}	$G + SNL + S_{dSN} - S_{dDU}$
	1-7 ^{*1}	$G + SNL - S_{dSN} + S_{dDU}$
	1-8 ^{*1}	$G + SNL - S_{dSN} - S_{dDU}$
	2-1 ^{*2}	$G + SNL + S_{dWE} + S_{dSN} + S_{dDU}$
S _s 地震時	3-1 ^{*3}	$G + SNL + S_{sWE} + S_{sDU}$
	3-2 ^{*3}	$G + SNL + S_{sWE} - S_{sDU}$
	3-3 ^{*3}	$G + SNL - S_{sWE} + S_{sDU}$
	3-4 ^{*3}	$G + SNL - S_{sWE} - S_{sDU}$
	3-5 ^{*3}	$G + SNL + S_{sSN} + S_{sDU}$
	3-6 ^{*3}	$G + SNL + S_{sSN} - S_{sDU}$
	3-7 ^{*3}	$G + SNL - S_{sSN} + S_{sDU}$
	3-8 ^{*3}	$G + SNL - S_{sSN} - S_{sDU}$
	4-1 ^{*4}	$G + SNL + S_{sWE} + S_{sSN} + S_{sDU}$

注記 *1: S_d-D 1 及び S_d-3 1 による地震荷重に適用する。

*2: S_d-1 1, S_d-1 2, S_d-1 3, S_d-1 4, S_d-2 1
及び S_d-2 2 による地震荷重に適用する。

*3: S_s-D 1 及び S_s-3 1 による地震荷重に適用する。

*4: S_s-1 1, S_s-1 2, S_s-1 3, S_s-1 4, S_s-2 1
及び S_s-2 2 による地震荷重に適用する。

c. 荷重の入力方法

(a) 固定荷重及び積雪荷重

屋根面の固定荷重及び積雪荷重は面荷重として、外周梁の固定荷重は線荷重として、天井クレーンの重量は対応する節点に集中荷重として入力する。

(b) 地震荷重

地震荷重は、図 4-6～図 4-65 に示した加速度時刻歴波形を 3 次元 F E Mモデルの脚部に入力する。

4.5.2 断面の評価方法

(1) 屋根スラブ

a. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象部位に生じる曲げモーメントが、短期許容曲げモーメントを超えないことを確認する。

$$M_A = a_t \cdot f_t \cdot j$$

ここで、

M_A : 短期許容曲げモーメント (N・mm)

a_t : 引張鉄筋断面積 (mm²)

f_t : 引張鉄筋の短期許容引張応力度で表 4-11 に示す値 (N/mm²)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

α : 許容せん断力の割増し係数

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で表 4-10 に示す値 (N/mm²)

(2) 母屋

曲げモーメント及びせん断力による応力度を算定し、各許容値を超えないことを確認する。また、仕口部が先行して破断しないことを確認する。

a. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、「S 規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる応力度が、 S_d 地震時に対しては表 4-9 に示した鋼材の短期許容応力度、 S_s 地震時に対しては鋼材の短期許容応力度に 1.1 倍の割増しを考慮した弾性限応力度をそれぞれ超えないことを確認する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

σ_b : 曲げ応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 部材の断面係数 (mm³)

b. せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「S 規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じるせん断応力度が表 4-9 に示した鋼材の許容応力度とした弾性限応力度を超えないことを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A_s}$$

ここで、

τ : せん断応力度 (N/mm²)

Q : せん断力 (N)

A_s : 部材のせん断断面積 (mm²)

c. 仕口部の評価方法

仕口部の評価は、「技術基準解説書」に基づき、評価対象部位の短期許容せん断力が次式をもとに計算したボルト、スプライスプレート及びウェブプレートの破断耐力を超えないことを確認する。

(部材の短期許容せん断力)

$$Q_A = A_s \cdot f_s$$

ここで,

A_s : 部材のせん断断面積 (mm²)

f_s : 鋼材の短期許容せん断応力度で, 表 4-9 に示す値 (N/mm²)

(仕口部の破断強度)

$$Q_u = \min({}_b Q_u, {}_s Q_u, {}_w Q_u)$$

ただし,

$${}_b Q_u = 0.75 {}_b A \cdot {}_b \sigma_u$$

$${}_s Q_u = {}_s A_e \cdot {}_s \sigma_u / \sqrt{3}$$

$${}_w Q_u = {}_w A_e \cdot {}_w \sigma_u / \sqrt{3}$$

ここで,

${}_b A$: ボルトのせん断断面積 (mm²)

${}_b \sigma_u$: ボルトの引張強さで, 表 4-11 に示す値 (N/mm²)

${}_s A_e$: スプライスプレートの有効断面積 (mm²)

${}_s \sigma_u$: スプライスプレート鋼材の引張強さで, 表 4-11 に示す値 (N/mm²)

${}_w A_e$: ウェブプレートの有効断面積 (mm²)

${}_w \sigma_u$: ウェブプレート鋼材の引張強さで, 表 4-11 に示す値 (N/mm²)

(3) 主トラス

断面の評価は、「S 規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる応力度が、 S_d 地震時に対しては表 4-9 に示した鋼材の短期許容応力度、 S_s 地震時に対しては鋼材の短期許容応力度に 1.1 倍の割増しを考慮した弾性限応力度をそれぞれ超えないことを確認する。

(圧縮)

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ただし、

$$\sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

N_c : 圧縮軸力 (N)

A : 部材の軸断面積 (mm^2)

M : 曲げモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm}$)

Z : 部材の断面係数 (mm^3)

f_c : 鋼材の短期許容圧縮応力度又は弾性限圧縮応力度 (N/mm^2)

f_b : 鋼材の短期許容曲げ応力度又は弾性限曲げ応力度 (N/mm^2)

(引張)

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leq 1.0$$

ただし、

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

N_t : 引張軸力 (N)

A : 部材の軸断面積 (mm^2)

M : 曲げモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm}$)

Z : 部材の断面係数 (mm^3)

f_t : 鋼材の短期許容引張応力度又は弾性限引張応力度 (N/mm^2)

5. 評価結果

5.1 地震応答解析による評価結果

原子炉棟について、 S_s 地震時の各層の最大せん断ひずみが許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認する。

地盤物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみは 0.60×10^{-3} (要素番号 (5), 地盤 $+\sigma$ 相当, NS 方向, S_s-31) であり、許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。地盤物性のばらつきを考慮した各方向の $Q-\gamma$ 関係と最大応答値を図 5-1 に示す。

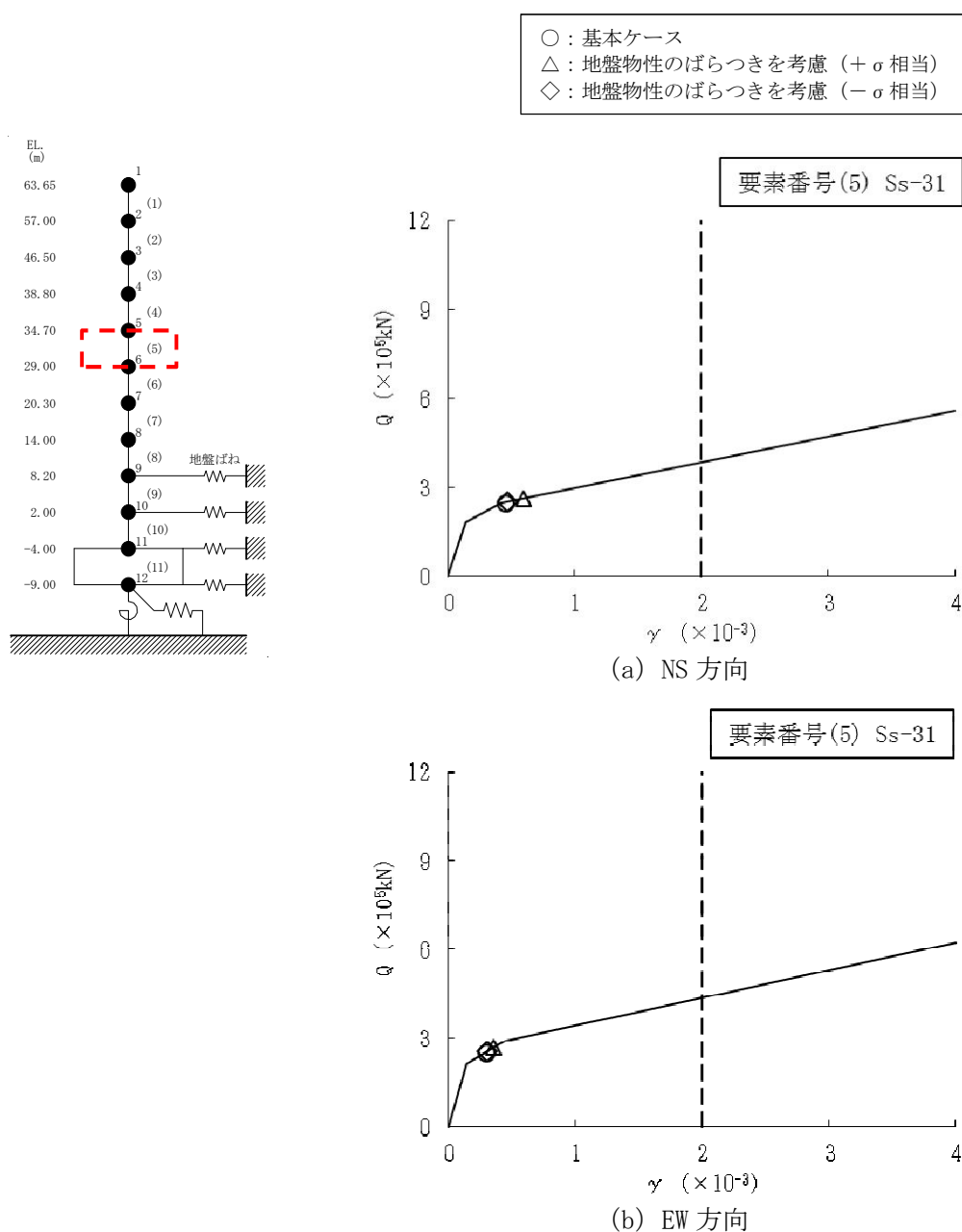


図 5-1 $Q-\gamma$ 関係と基準地震動 S_s に対する部材の最大応答値

5.2 応力解析による評価結果

5.2.1 屋根スラブ

(1) 屋根スラブ

「4.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

S_d 地震時及び S_s 地震時において、曲げモーメントによる鉄筋応力度及び面外せん断応力度が許容値を超えないことを確認した。

表 5-1 評価結果（屋根スラブ，弾性設計用地震動 S_d ）

厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		100 × 1000
有効せい d (mm)		50
配 筋	上 端	D13@180 (703.9 mm ²)
	下 端	D13@180 (703.9 mm ²)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m)	4.74
	鉄筋引張応力度－ σ_t (N/mm ²)	154
	許容値 f_t (N/mm ²)	345
	検定値－ σ_t/f_t	0.45
せん 断 力	発生せん断力 Q (kN)	11.0
	せん断スパン比による割増係数 α	1.00
	許容値 Q_A (kN)	46.3
	検定値 Q/Q_A	0.24
判 定		可

表 5-2 評価結果（屋根スラブ，基準地震動 S_s ）

厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		100 × 1000
有効せい d (mm)		50
配 筋	上 端	D13@180 (703.9 mm ²)
	下 端	D13@180 (703.9 mm ²)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m)	7.18
	鉄筋引張応力度－ σ_t (N/mm ²)	233
	許容値 f_t (N/mm ²)	345
	検定値－ σ_t/f_t	0.68
せん 断 力	発生せん断力 Q (kN)	16.8
	せん断スパン比による割増係数 α	1.00
	許容値 Q_A (kN)	46.3
	検定値 Q/Q_A	0.37
判 定		可

5.2.2 屋根トラス

(1) 母屋

「4.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を表 5-3 に、仕口部の評価結果を表 5-4 に示す。また、仕口部概要図を図 5-2 に示す。

S_d 地震時及び S_s 地震時において、発生応力度が許容値を超えないことを確認した。また、仕口部が先行して破断しないことを確認した。

表 5-3 (1/2) 評価結果 (母屋, 弾性設計用地震動 S_d)

部 材		H-390×300×10×16
断面係数 Z (cm ³)		1980
せん断断面積 A_s (mm ²)		3580
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m)	182
	曲げ応力度 σ_b (N/mm ²)	92.0
	許容値 (N/mm ²)	235
	検定値	0.40
せん 断 力	発生せん断力 Q (kN)	94.7
	せん断応力度 τ (N/mm ²)	26.5
	許容値 (N/mm ²)	135
	検定値	0.20
判 定		可

表 5-3 (2/2) 評価結果 (母屋, 基準地震動 S_s)

部 材		H-390×300×10×16
断面係数 Z (cm^3)		1980
せん断断面積 A_s (mm^2)		3580
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M ($\text{kN}\cdot\text{m}$)	276
	曲げ応力度 σ_b (N/mm^2)	140
	許容値 (N/mm^2)	258
	検定値	0.55
せん 断 力	発生せん断力 Q (kN)	144
	せん断応力度 τ (N/mm^2)	40.3
	許容値 (N/mm^2)	135
	検定値	0.30
判 定		可

表 5-4 評価結果（母屋仕口部）

部 材		H-390×300×10×16
短期許容せん断力 Q_A (kN)		483
仕口部破断耐力	ボルト bQ_u (kN)	2280
	スプライズプレート sQ_u (kN)	910
	ウェブプレート wQ_u (kN)	605
判 定		可

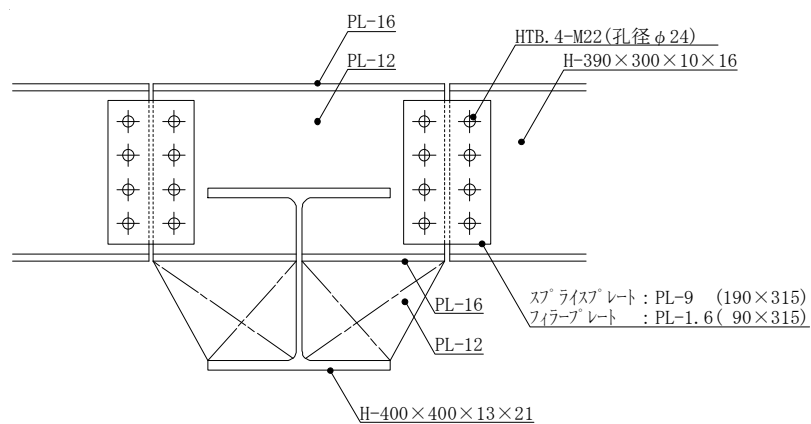


図 5-2 仕口部概要図

(2) 主トラス

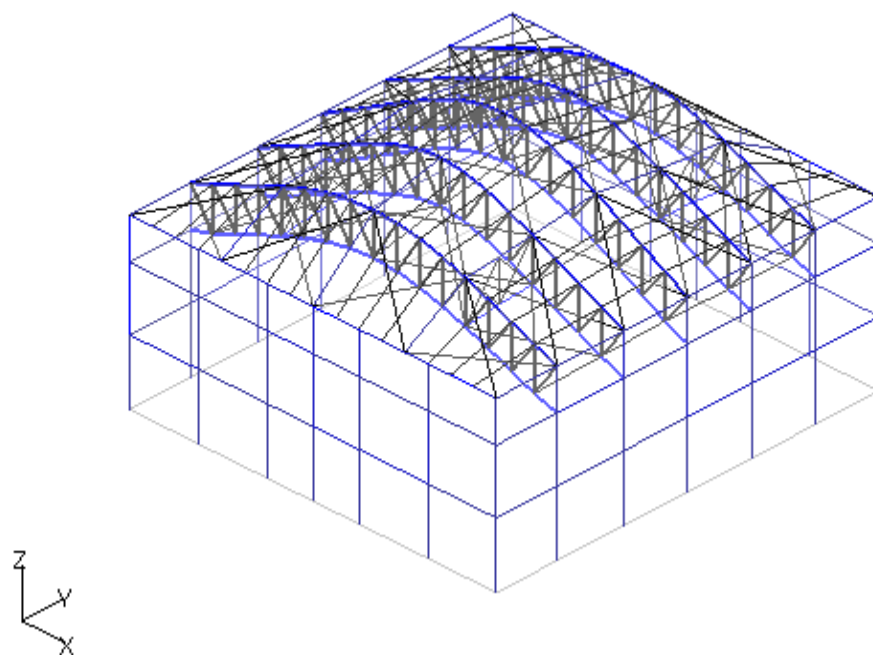
a. 固有値解析結果

3次元FEMモデルの固有値解析結果を表5-5に、主要な固有モード図を図5-3に示す。

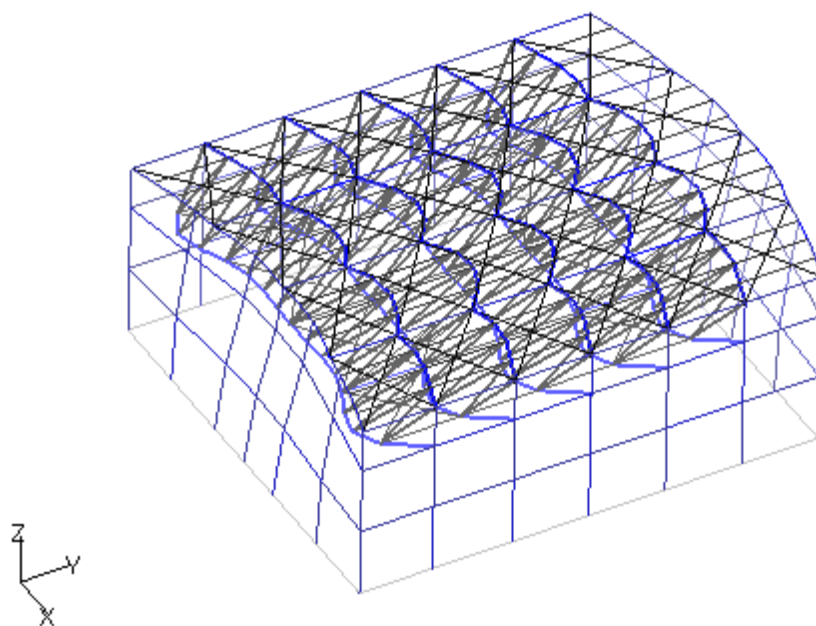
UD方向の1次モードは全体1次に現れており、固有振動数は3.00 Hzである。NS方向の1次モードは全体4次に現れており、固有振動数は5.77 Hzである。EW方向の1次モードは全体6次に現れており、固有振動数は6.66 Hzである。

表5-5 固有値解析結果

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	備 考
1	0.333	3.00	UD 方向 1 次
2	0.293	3.41	
3	0.210	4.77	
4	0.173	5.77	NS 方向 1 次
5	0.170	5.88	
6	0.150	6.66	EW 方向 1 次

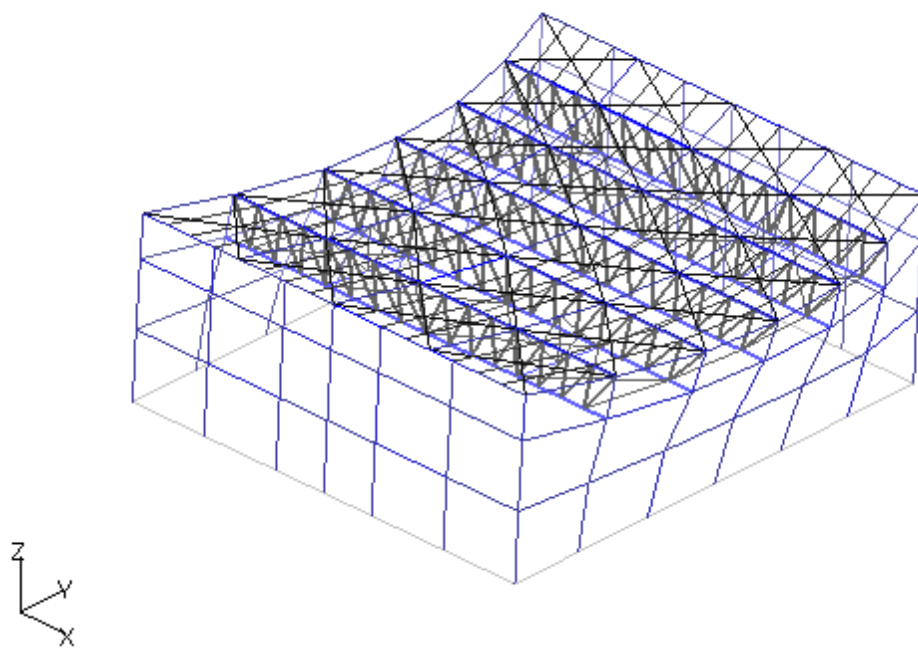


(a) 1 次 (3.00 Hz) (UD 方向 1 次)



(b) 4 次 (5.77 Hz) (NS 方向 1 次)

図 5-3 (1/2) 固有モード図



(c) 6 次 (6.66 Hz) (EW 方向 1 次)

図 5-3 (2/2) 固有モード図

b. 断面算定結果

「4.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果は、許容値に対する発生値の比率が最大となる要素を選定し示す。評価結果を表 5-6 及び表 5-7 に、評価位置を図 5-4 及び図 5-5 に示す。

S_d 地震時及び S_s 地震時において、発生応力度が許容値を超えないことを確認した。

表 5-6 評価結果（主トラス，弾性設計用地震動 S_d ）

部 材		応力度 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	検定値	位 置	判 定
上弦材 (H-400×400×13×21)	(圧縮)	71.4	233	0.44	TU ₉ (M 通り)	可
	(曲げ)	30.6	235			
下弦材 (H-400×400×13×21)	(引張)	128	235	0.71	TL ₉ (M 通り)	可
	(曲げ)	37.7	235			
斜材 (2Ls-200×200×15)	(引張)	166	235	0.71	O ₁₅ (M 通り)	可
束材 (2Ls-150×150×15)	(圧縮)	141	162	0.88	V ₁₃ (M 通り)	可

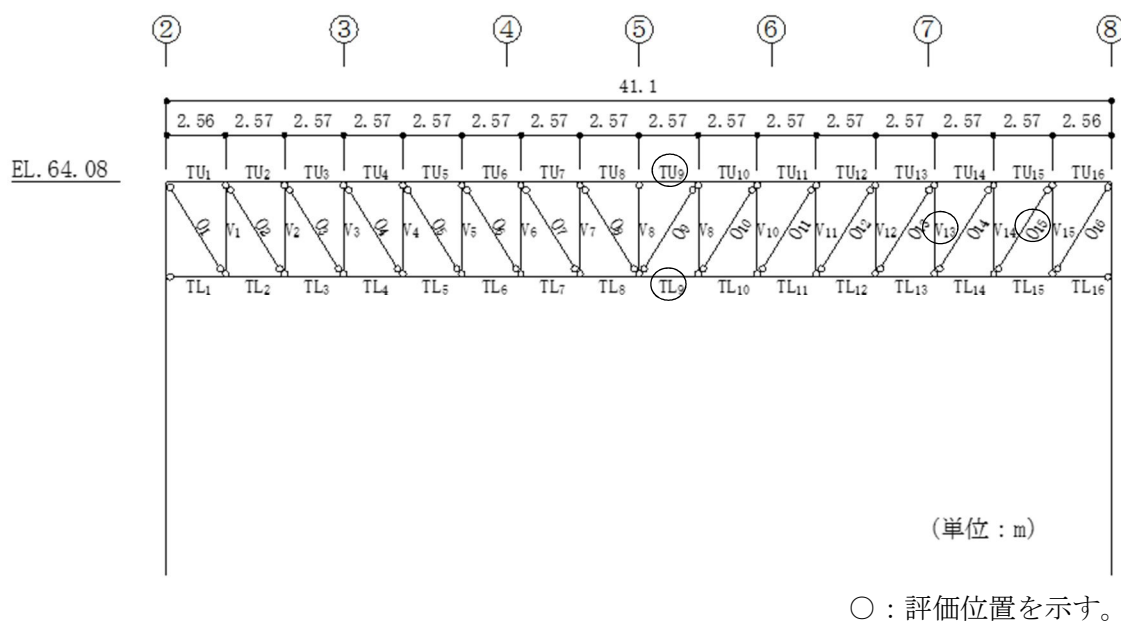
図 5-4 評価結果の位置（主トラス，弾性設計用地震動 S_d ）

表 5-7 評価結果（主トラス，基準地震動 S_s ）

部 材		応力度 (N/mm^2)	許容値 (N/mm^2)	検定値	位 置	判 定
上弦材 ($\text{H-400} \times 400 \times 13 \times 21$)	(圧縮)	110	257	0.61	TU_9 (M 通り)	可
	(曲げ)	46.7	258			
下弦材 ($\text{H-400} \times 400 \times 13 \times 21$)	(引張)	187	258	0.95	TL_9 (M 通り)	可
	(曲げ)	57.2	258			
斜材 ($2\text{Ls-150} \times 100 \times 12$)	(引張)	237	258	0.92	O_{12} (N 通り)	可
束材 ($2\text{Ls-150} \times 150 \times 15$)	(圧縮)	200	208	0.97	V_{13} (M 通り)	可

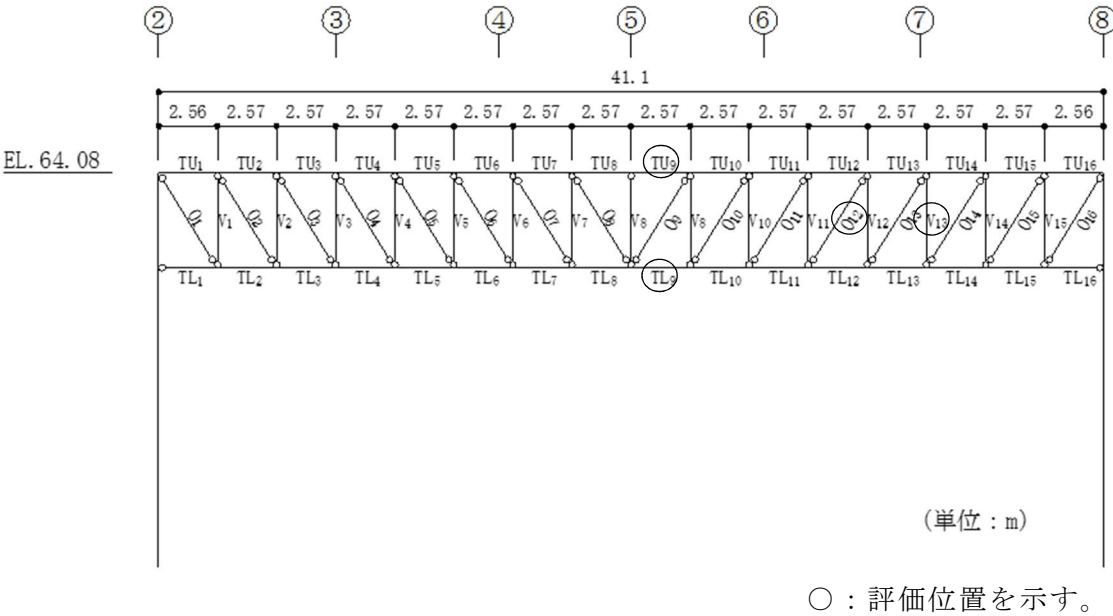


図 5-5 評価結果の位置（主トラス，基準地震動 S_s ）

別紙 1 原子炉建屋原子炉棟の気密性に関する計算書

目次

1. 概要.....	別紙 1-1
2. 既往の知見等の整理.....	別紙 1-1
3. 原子炉建屋原子炉棟における空気漏えい量に対する影響検討.....	別紙 1-3
3.1 検討方針.....	別紙 1-3
3.2 空気漏えい量の算定結果.....	別紙 1-6
3.3 総漏えい量と非常用ガス処理系放出流量の比較.....	別紙 1-7
3.4 検討結果.....	別紙 1-7
4. まとめ.....	別紙 1-7

1. 概要

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」(昭和53年9月制定)におけるAクラスの施設の気密性について、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社)日本電気協会)(以下「J E A G 4 6 0 1 -1987」という。)では、 S_1 地震動に対し弾性範囲であることを確認することで、機能が維持されるとしている。

添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」の機能維持の設計方針では、耐震壁のせん断ひずみが概ね弾性状態にとどまることを基本としたうえで、概ね弾性状態を超える場合は、地震応答解析による耐震壁のせん断ひずみから算定した空気漏えい量が、設置する換気設備の性能を下回することで必要な気密性を維持する設計としている。その場合、気密性を要求される施設に対し、基準地震動 S_s による鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界を最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} としている。

二次格納施設の気密バウンダリを構成する原子炉建屋原子炉棟(以下「原子炉棟」という。)の地震応答解析による評価において、耐震壁の許容限界として設定した最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} の適用性について確認するために、耐震壁のせん断ひび割れと空気漏えい量の関係に係る既往の知見を整理するとともに、原子炉棟における空気漏えい量に対する影響を評価する。

2. 既往の知見等の整理

(財)原子力発電技術機構は、「原子力発電施設耐震信頼性実証試験に関する報告書^{*1}」において、J E A G 4 6 0 1 -1987による許容限界の目安値(S_2 地震時に対してせん断変形角 $2/1000 \text{ rad}$ 、静的地震力に対して $\tau = \tau_u/1.5$)において想定されるひび割れを残留ひび割れと仮定した場合の外気侵入量を算出し、気圧差維持のためのファン容量と比較することで、空気漏えい量に対する評価を実施している。その結果「残留ひび割れからの外気侵入量は、ファン容量に比較すると無視できるほど小さいことが明らかになった」としている。

また、(財)原子力発電技術機構は、「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書^{*2}」において、耐震壁の残留ひび割れからの通気量の評価式が、十分に実機への適用性があることを確認している。更に、開口部の存在による通気量割増率の評価式も示されており、「開口部の残留ひび割れ幅の割増率がおおよそ推定できる」としている。

したがって、二次格納施設の気密バウンダリとなる原子炉棟の壁が鉄筋コンクリート造であり、壁厚も「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に示される壁厚と同程度であることから、同文献にて提案されている各評価式を用い、原子炉棟における空気漏えい量の算出を行う。以下に評価式を示す。

$$Q = C \gamma^{2.57} \Delta P / T \quad \dots (\text{式 } 5.3.1-4)$$

ここで,

Q : 単位面積あたりの流量 (L/min/m²)

C : 定数

(中央値は 2.24×10^6 , 95%非超過値は 1.18×10^7 , 5%非超過値は 4.21×10^5)

γ : 最大せん断ひずみ

ΔP : 差圧 (mmAq)

T : 壁厚 (cm)

$$\Delta_q = \left\{ (\alpha^2 - 1) \left(\frac{Q'}{Q_0} - 1 \right) - 1 \right\}^{\beta + 1} \quad \dots (\text{式 } 6.2.4-31)$$

ここで,

Δ_q : 通気量割増率

α : 通気量割増範囲 (=3)

$\frac{Q'}{Q_0}$: 定数

(中央値とみなされる評価法では 1.81, 安全側とみなされる評価法では 7.41)

β : 壁の見付け面積に対する開口の総面積

注記 *1: 財団法人 原子力発電技術機構「原子力発電施設耐震信頼性実証試験 原子炉建屋
総合評価 建屋基礎地盤系評価 に関する報告書 (その2) 平成8年度」

*2: 財団法人 原子力発電技術機構「耐震安全解析コード改良試験 原子炉建屋の弾塑性試験 試験結果の評価に関する報告書 平成5年度」

3. 原子炉建屋原子炉棟における空気漏えい量に対する影響検討

3.1 検討方針

「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に基づき、式 5.3.1-4 及び式 6.2.4-31 により気密バウンダリを構成する壁の最大せん断ひずみが許容限界 (2.0×10^{-3}) に達したときの空気漏えい量を算定し、非常用ガス処理系放出流量以下となっていることを確認する。

原子炉棟の概略図を図 3-1 に示す。原子炉棟 (EL. -4.0 m～EL. 64.08 m) を構成する壁の壁厚は約 30 cm から約 150 cm である。

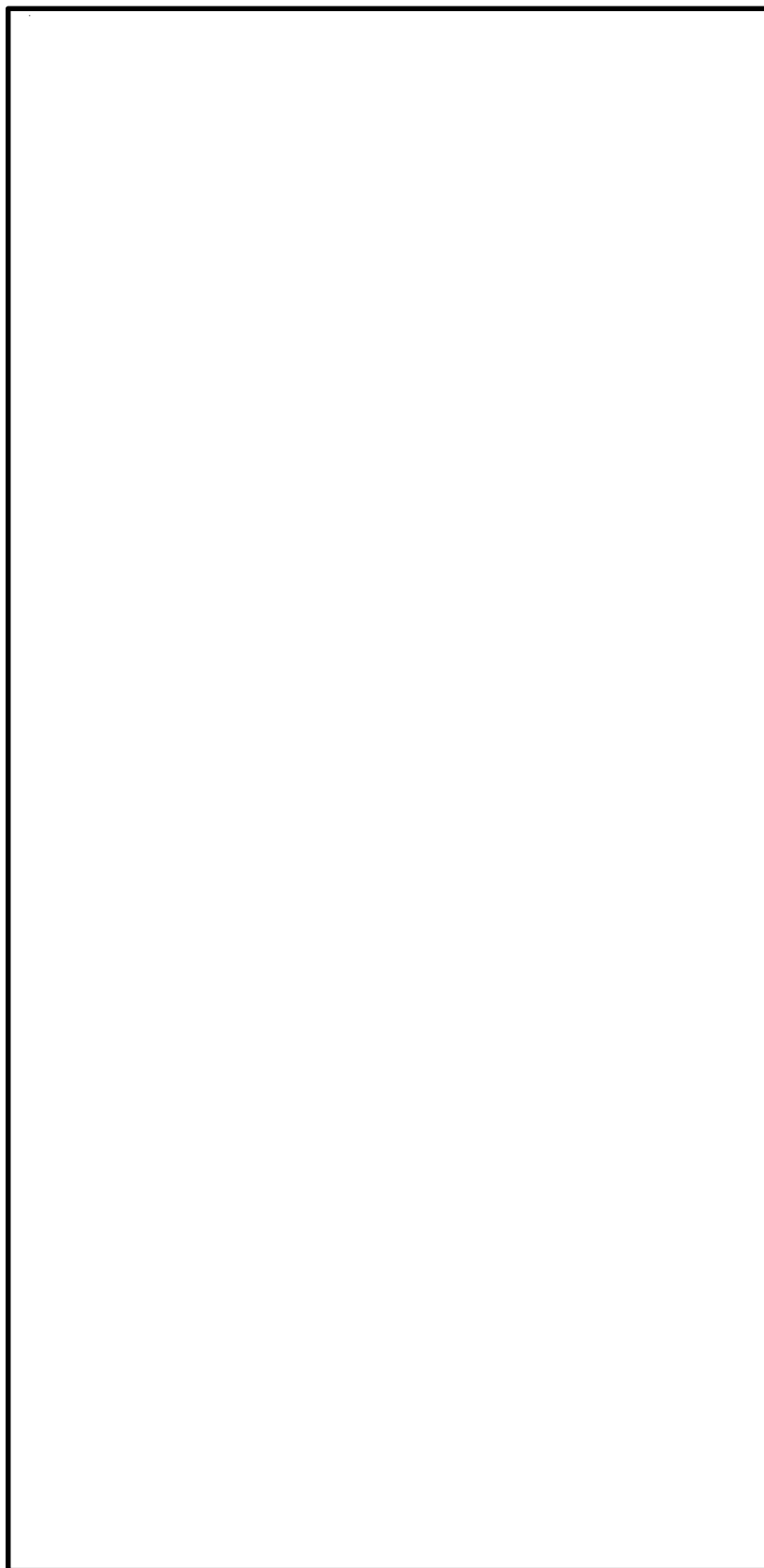


図 3-1 原子炉棟の概略図 (1/2)

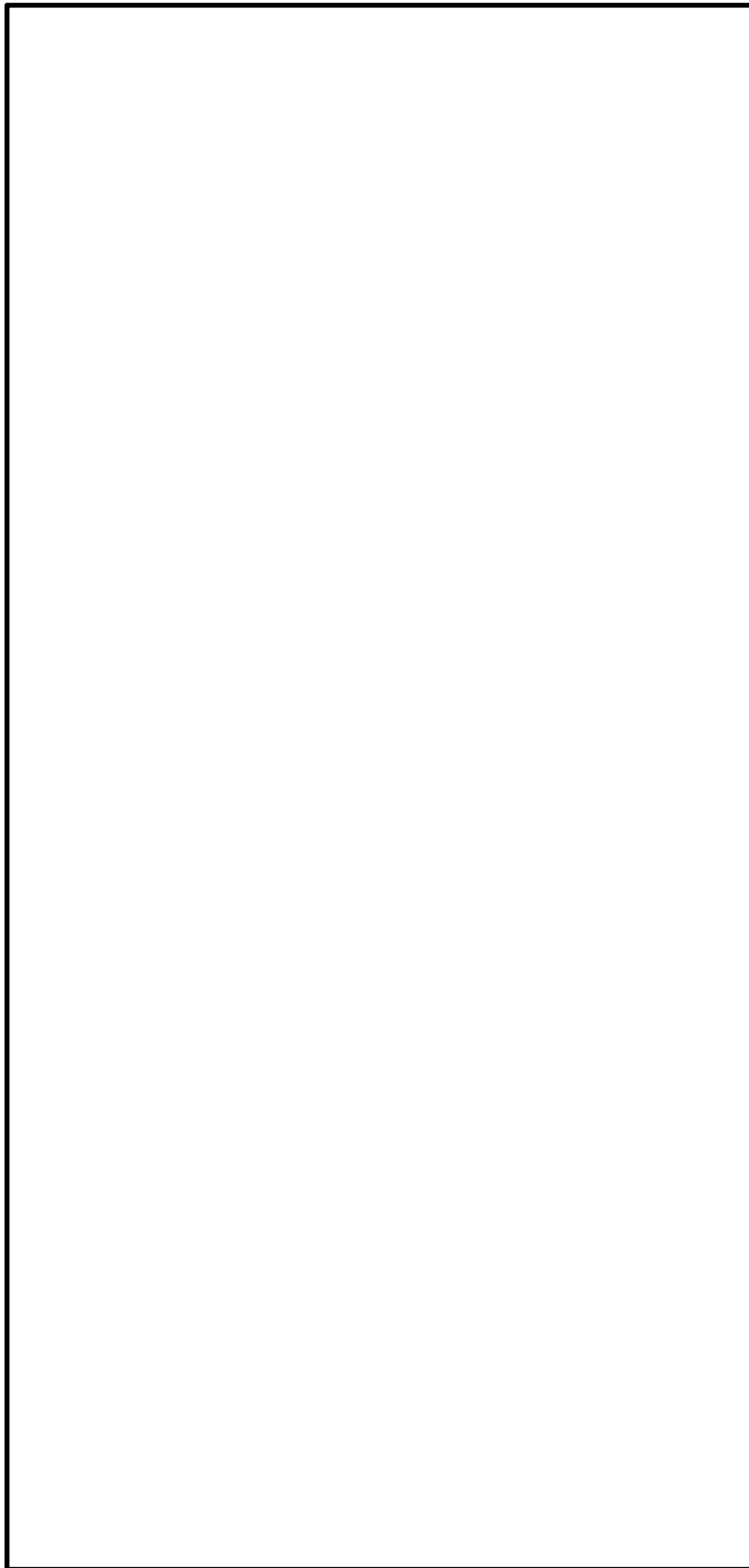


図 3-1 原子炉棟の概略図 (2/2)

3.2 空気漏えい量の算定結果

原子炉棟の壁厚ごとに空気漏えい量を算定した。本検討は、地震応答解析のせん断ひずみの許容限界として最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を用いることの適用性を確認することが目的であることから、評価式における定数について、安全側の値を用いた。算定結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 算定結果（原子炉棟）

壁厚 T (cm)	定数		最大* ¹ せん断 ひずみ γ	差圧* ² ΔP (mmAq)	壁の* ³ 面積 A (m ²)	漏えい量 Q (L/min/m ²)	壁の見 付け面 積対 する開 口の総 面積 β	通気量 割増率 Δ_Q	総漏えい量 $Q \times A \times \Delta_Q$ (L/min)
	C	$\frac{Q'}{Q_0}$							
30	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	3150	0.30	0.039	2.97	2807
40	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	1101	0.22	0.058	3.92	950
60	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	1401	0.15	0.000	1.00	211
90	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	1202	0.10	0.011	1.56	188
100	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	1305	0.09	0.007	1.36	160
120	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	387	0.08	0.001	1.06	33
140	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	393	0.07	0.000	1.00	28
150	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	3168	0.06	0.014	1.71	326
合計									4703

注記 *1：保守的に各壁の最大せん断ひずみが同時に許容限界となることを想定し、評価する。

*2：設計気密度の差圧条件とする。

*3：気密バウンダリを構成する壁の総面積を用いる。

3.3 総漏えい量と非常用ガス処理系放出流量の比較

原子炉棟の総漏えい量と非常用ガス処理系放出流量を表 3-2 に示す。

表 3-2 総漏えい量と非常用ガス処理系放出流量の比較

総漏えい量 (m^3/min)	非常用ガス処理系放出流量 (m^3/min)
5	<u>59.5</u> *

注記 *：非常用ガス処理系排風機容量とする。

3.4 検討結果

原子炉棟について総漏えい量は非常用ガス処理系放出流量以下となっていることを確認した。

よって、原子炉棟は、耐震壁の許容限界を最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} とした場合において、換気設備とあいまって機能を維持できる気密性を有している。

4. まとめ

原子炉棟は、耐震壁の許容限界として最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を適用した場合において、原子炉格納容器から漏えいした空気を非常用ガス処理系で処理できる気密性を有していることを確認した。

以上より、原子炉建屋の地震応答解析による評価において、換気設備とあいまって気密性を維持するために設定する許容限界として、最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を用いることの適用性を確認した。

別紙2 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した検討
(原子炉建屋原子炉棟)

目次

1. 概要.....	別紙 2-1
2. 検討方針.....	別紙 2-1
3. 検討結果.....	別紙 2-3
4. まとめ.....	別紙 2-7

1. 概要

原子炉建屋の設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答増幅の影響についての検討を行う。

添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書 別紙 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」に示した応答比率を用いて、原子炉建屋原子炉棟の地震応答解析及び応力解析による評価結果への影響を検討する。

2. 検討方針

原子炉建屋原子炉棟を対象として、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率と地震応答解析によるせん断ひずみの評価結果及び応力評価結果より影響検討を行う。

地震応答解析による評価では、原子炉建屋原子炉棟の耐震壁について、S₀地震時の各層の最大せん断ひずみに、最大せん断ひずみの応答比率を乗じた最大応答せん断ひずみが許容限界(2.0×10^{-3})を超えないことを確認する。

また、応力解析による評価では、屋根スラブ及び屋根トラスを対象として、NS 方向及び EW 方向は、質点番号 1 の最大応答加速度の応答比率を、UD 方向は、屋根トラス部の最大応答加速度の応答比率を用いる。

なお、屋根スラブは UD 方向の地震荷重を用いて検討していることから UD 方向の最大応答加速度の応答比率を割増係数として設定し、屋根トラスについては 3 方向成分の加速度を用いて検討していることから、各方向の最大応答加速度の応答比率の最大値を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

表 2-1 に質点番号 1 の最大応答加速度の応答比率及び質点番号 1、質点番号 22～25 の最大応答加速度の応答比率並びに割増係数を示す。

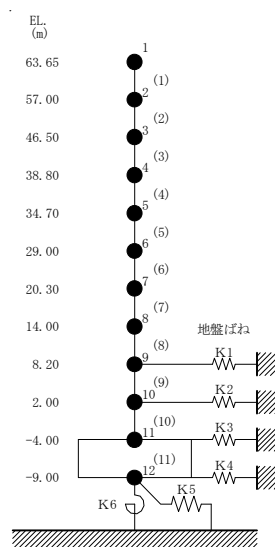
表 2-1 重量増加を考慮した割増係数：屋根スラブ及び屋根トラス

	NS 方向	EW 方向	UD 方向
質点番号 1	1.00 ^{*1}	1.01 ^{*1}	-
質点番号 1, 質点番号 22~25 の 最大値	-	-	1.01 ^{*2}
割増係数 (屋根スラブ, 母屋)	1.01 ^{*3}		
割増係数 (主トラス)	1.01 ^{*3}		

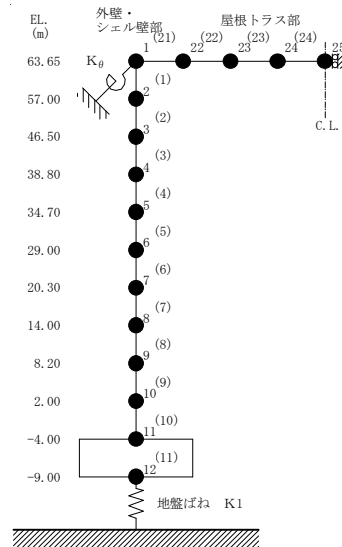
注記 *1：添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書 別紙 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」に示す質点番号 1 の最大応答加速度の応答比率

*2：添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書 別紙 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」に示す質点番号 1, 質点番号 22~25 の最大応答加速度の応答比率の最大値

*3：各部位の応答比率の最大値



NS 方向及び EW 方向



UD 方向

3. 検討結果

地震応答解析による評価では、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した割増係数を乗じた地盤物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみは、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書 別紙 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」の4.3項に示す 0.68×10^{-3} （要素番号(5)，NS 方向）となり，許容限界（ 2.0×10^{-3} ）を超えないことを確認した。

応力評価結果については、各荷重時における評価結果を表3-1～表3-6に示す。

設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した割増係数を乗じた結果においても、各許容値を超えないことを確認した。

表 3-1 重量増加を考慮した評価結果：屋根スラブ， S_d 地震時

厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		100×1000
有効せい d (mm)		50
曲げモーメント	検定値①	0.45
	割増係数②	1.01
	①×②	0.46
せん断力	検定値①	0.24
	割増係数②	1.01
	①×②	0.25
判 定		可

表 3-2 重量増加を考慮した評価結果：屋根スラブ， S_s 地震時

厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		100×1000
有効せい d (mm)		50
曲げモーメント	検定値①	0.68
	割増係数②	1.01
	①×②	0.69
せん断力	検定値①	0.37
	割増係数②	1.01
	①×②	0.38
判 定		可

表 3-3 重量増加を考慮した評価結果：母屋， S_d 地震時

部 材		H-390×300×10×16
曲げモーメント	検定値①	0.40
	割増係数②	1.01
	①×②	0.41
せん断力	検定値①	0.20
	割増係数②	1.01
	①×②	0.21
判 定		可

表 3-4 重量増加を考慮した評価結果：母屋， S_s 地震時

部 材		H-390×300×10×16
曲げモーメント	検定値①	0.55
	割増係数②	1.01
	①×②	0.56
せん断力	検定値①	0.30
	割増係数②	1.01
	①×②	0.31
判 定		可

表 3-5 重量増加を考慮した：主トラス， S_d 地震時

部 材		応力度 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	検定値①	割増 係数②	①×②
上弦材 (H-400×400×13×21)	(圧縮)	71.4	233	0.44	1.01	0.45
	(曲げ)	30.6	235			
下弦材 (H-400×400×13×21)	(引張)	128	235	0.71	1.01	0.72
	(曲げ)	37.7	235			
斜材 (2Ls-200×200×15)	(引張)	166	235	0.71	1.01	0.72
束材 (2Ls-150×150×15)	(圧縮)	141	162	0.88	1.01	0.89

表 3-6 重量増加を考慮した：主トラス， S_s 地震時

部 材		応力度 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	検定値①	割増 係数②	①×②
上弦材 (H-400×400×13×21)	(圧縮)	110	257	0.61	1.01	0.62
	(曲げ)	46.7	258			
下弦材 (H-400×400×13×21)	(引張)	187	258	0.95	1.01	0.96
	(曲げ)	57.2	258			
斜材 (2Ls-150×100×12)	(引張)	237	258	0.92	1.01	0.93
束材 (2Ls-150×150×15)	(圧縮)	200	208	0.97	1.01	0.98

4. まとめ

原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析に基づき影響検討を行い、重量増加を考慮した場合においても安全上問題とならないことを確認した。

V-2-9-3-2 原子炉建屋大物搬入口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	8
3. 評価部位	8
4. 固有周期	9
4.1 固有値解析方法	9
4.2 解析モデル及び諸元	10
4.3 固有値解析結果	10
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.3 設計用地震力	17
5.4 計算方法	18
5.5 計算条件	27
5.6 応力の評価	27
6. 評価結果	28
6.1 設計基準対象設備としての評価結果	28
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	28

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、原子炉建屋原子炉棟の区画を形成する原子炉建屋大物搬入口（内側扉）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。

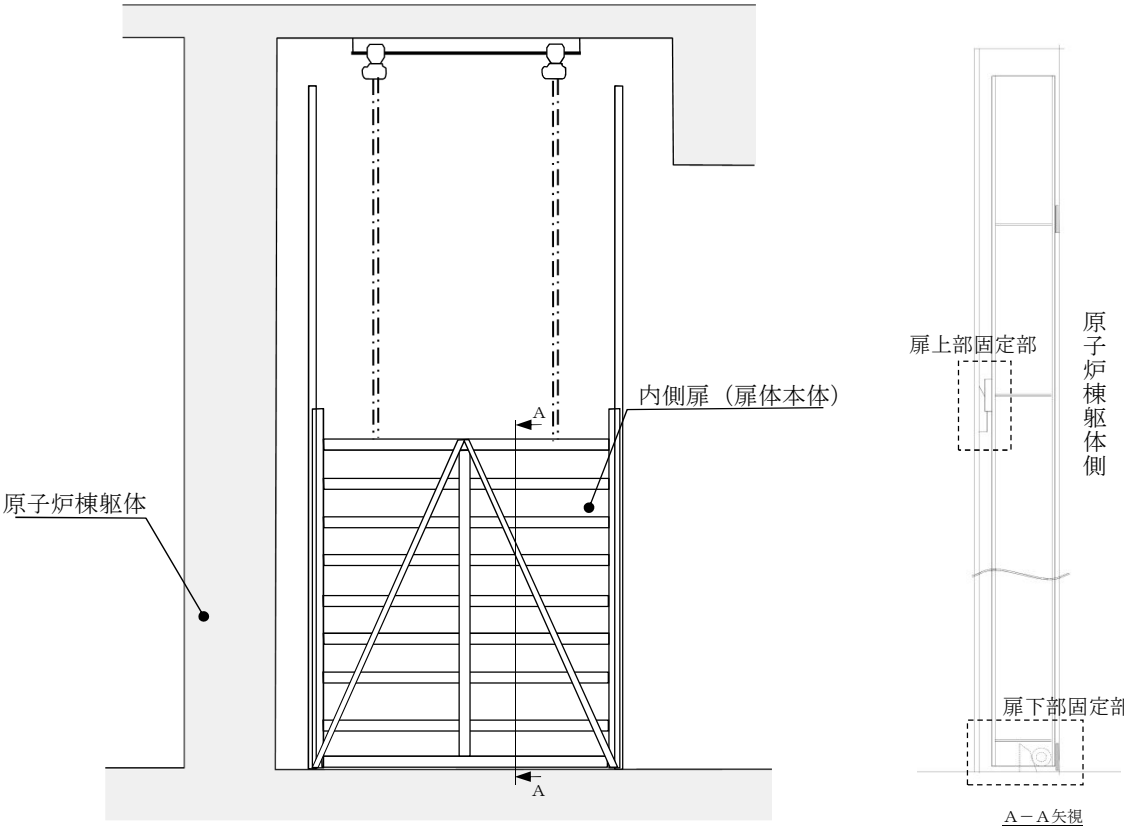
原子炉建屋大物搬入口（内側扉）は、原子炉建屋原子炉棟の一部施設として扱うため、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉建屋大物搬入口（内側扉）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉建屋大物搬入口（内側扉）は原子炉建屋原子炉棟の躯体に設置されている。 扉体本体は、扉上部固定部及び扉下部固定部により原子炉棟躯体に固定されている。	扉体本体（鋼板枠構造）	

2.2 評価方針

原子炉建屋大物搬入口（内側扉）の応力評価は、「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大物搬入口の内側扉の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力が「5. 構造強度評価」にて算出する応力等が許容限界内に収まることを確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

原子炉建屋大物搬入口（内側扉）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

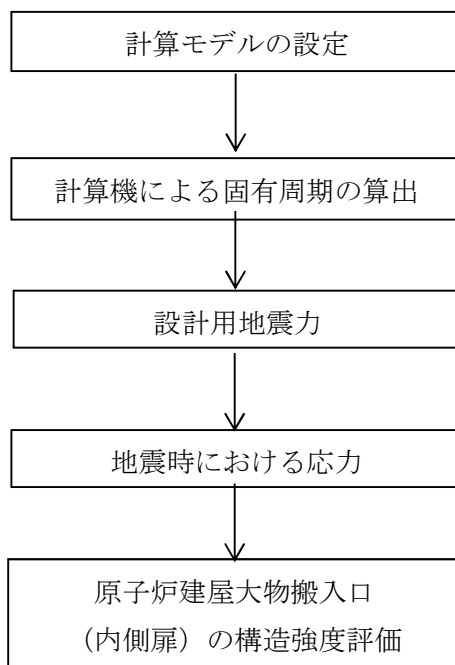


図 2-1 原子炉建屋大物搬入口（内側扉）の耐震評価フロー

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 J E A G 4 6 0 1－1987（社）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 J E A G 4 6 0 1・補－1984（社）日本電気協会
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1－1991追補版（社）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。））
J S M E S N C 1－2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A_6	押し込みローラ部ローラピン断面積	mm^2
A_7	テーパブロック評価位置の断面積	mm^2
A_9	ガイドレール付テーパシュ取付ボルトの断面積	mm^2
A_{10}	扉付テーパシュ取付ボルトの断面積	mm^2
B_5	ローラ幅	mm
B_7	テーパブロック評価位置の奥行	mm
C_H	水平震度	—
C_V	鉛直震度	—
D_5	ローラ直径	mm
E	ヤング率	N/m^2
F_5	水平方向と鉛直方向の慣性力の合力	N
F_{H5}	接触箇所1箇所辺りが負担する水平面外方向の慣性力	N
F_{H9}	接触箇所1箇所辺りが負担する水平面内方向の慣性力	N
F_{V5}	接触箇所1箇所辺りが負担する鉛直方向の慣性力	N
f_b	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_p	許容支圧応力 (f_p を1.5倍した値又は f_p^* を1.5倍した値)	MPa
f_s	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	許容相当応力 (f_t を1.5倍した値又は f_t^* を1.5倍した値)	MPa
H_7	テーパブロック高さ	mm
L_1	対象区画のフェースプレート短辺方向長さ	mm
L_2	対象区画のフェースプレート長辺方向長さ	mm
L_3	扉フレーム梁の荷重分担幅	mm
L_4	扉フレーム梁長さ	mm
L_5	中央合せめ梁の荷重分担幅	mm
L_6	中央合せめ梁の長さ	mm
L_7	両端合せめ梁の荷重分担幅	mm
L_8	両端合せめ梁の長さ	mm
L_X	フェースプレート全体の幅	mm
L_Y	フェースプレート全体の高さ	mm
M_1	対象区画のフェースプレート端部の発生曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_2	扉フレーム梁端部の発生曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$

記 号	記 号 の 説 明	単 位
M_3	中央合せめ梁端部の発生曲げモーメント	$N \cdot mm$
M_4	両端合せめ梁端部の発生曲げモーメント	$N \cdot mm$
M_6	押し込みローラ部ローラピン評価位置の発生曲げモーメント	$N \cdot mm$
M_7	テーパブロックに発生する曲げモーメント	$N \cdot mm$
N_5	水平面外 及び鉛直方向の扉体とレール周辺部材の接触箇所	—
n_9	ガイドレール付テーパシュ1箇所のボルト本数	本
n_{10}	扉付テーパシュ1箇所のボルト本数	本
p_1	扉体の地震時増分荷重をフェースプレート全面で均一受けると考えた場合の分布荷重	MPa
p_5	ベアリングに作用する分布荷重	—
Q_{H10}	扉付テーパシュ取付ボルト1本が負担する水平面内方向の慣性力	N
Q_{V10}	扉付テーパシュ取付ボルト1本が負担する鉛直方向の慣性力	N
R_6	押し込みローラ部ローラピン径	mm
R_9	ガイドレール付テーパシュ取付ボルトの呼径 (M12)	mm
R_{10}	扉付テーパシュ取付ボルトの呼径 (M16)	mm
S_d	弾性設計用地震動により定まる地震力	N
S_s	基準地震動により定まる地震力	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_1	フェースプレート板厚	mm
W	扉体重量	N
W_7	テーパブロック評価位置の幅	mm
w_2	扉フレーム梁が分担する線分布荷重	N/mm
w_3	中央合せめ梁が分担する線分布荷重	N/mm
w_4	両端合せめ梁が分担する線分布荷重	N/mm
Z_1	フェースプレート断面係数	mm^3
Z_2	扉フレーム梁断面係数	mm^3
Z_3	中央合せめ梁断面係数	mm^3
Z_4	両端合せめ梁断面係数	mm^3
Z_6	押し込みローラ部ローラピン断面係数	mm^3
Z_7	テーパブロック評価位置の断面係数	mm^3
σ_6	押し込みローラ部ローラピンの発生相当応力	MPa
σ_7	テーパブロックの発生相当応力	MPa
σ_{b1}	フェースプレートの曲げモーメントによる引張応力	MPa
σ_{b2}	扉フレーム梁の曲げモーメントによる引張応力	MPa
σ_{b3}	中央合せめ梁の曲げモーメントによる引張応力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
σ_{b4}	両端合せめ梁の曲げモーメントによる引張応力	MPa
σ_{b6}	押し込みローラ部ローラピンの曲げモーメントによる引張応力	MPa
σ_{b7}	テーパブロックの曲げモーメントによる引張応力	MPa
σ_{p5}	ローラの圧縮(支圧)応力	MPa
τ_6	押し込みローラ部ローラピンの発生せん断応力	MPa
τ_7	テーパブロックの発生せん断応力	MPa
τ_9	ガイドレール付テーパシュ取付ボルトの発生せん断応力	MPa
τ_{10}	扉付テーパシュ取付ボルトの発生せん断応力	MPa
ν	ポアソン比	—
ρ	密度	t/mm ³

2.5 計算精度と数値の丸め方

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	切り上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	k g	—	—	整数位
長さ	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
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
算出応力	MP a	小数点以下第1位	切り上げ	整数位
許容応力	MP a	小数点以下第1位	切り捨て	整数位

注 * 1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

* 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

原子炉建屋大物搬入口（内側扉）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扉体本体、扉上部固定部及び扉下部固定部について実施する。原子炉建屋大物搬入口（内側扉）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

原子炉建屋大物搬入口（内側扉）の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 解析モデルは、各部材を表 4-1 に示す要素を用いてモデル化する。また、固有値解析に用いた解析モデルを図 4-1 に示す。
- (2) モデル化は基本部材の軸心位置で行うものとする。
- (3) 解析コードは「MSC N a s t r a n」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 N a s t r a n」に示す。

表 4-1 使用要素

部 位	使用要素	使用材料	使用部材 [mm]
フェースプレート	シェル要素		
扉フレーム梁	シェル要素		
中央合せめ梁	シェル要素		
両端合せめ梁	シェル要素		
ブレース	梁要素		

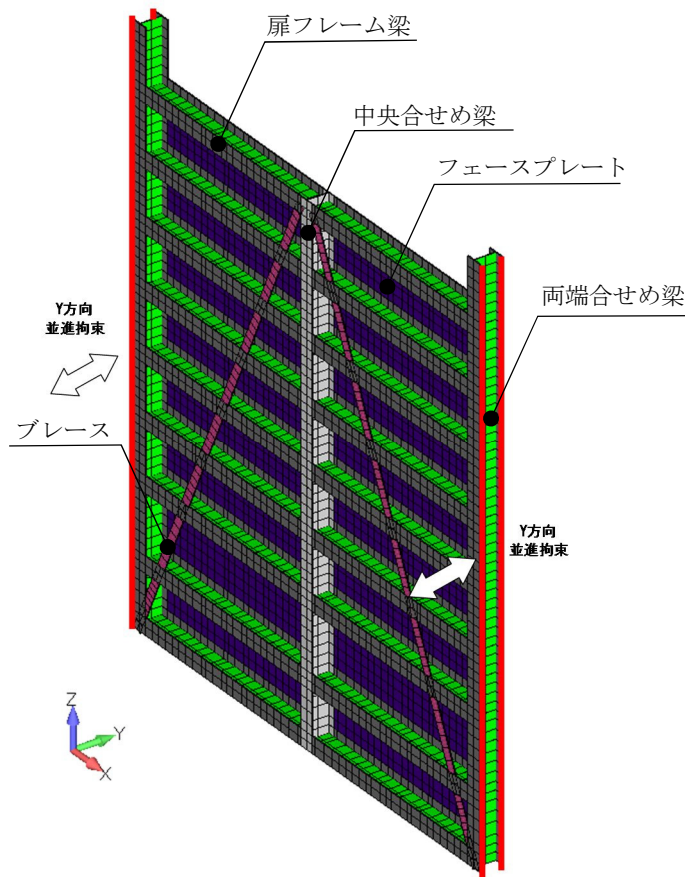


図 4-1 固有値算出解析モデル図

4.2 解析モデル及び諸元

原子炉建屋大物搬入口（内側扉）の固有値算出に用いた解析モデルの諸元を表 4-2 に示す。

表4-2 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
密度	ρ	t/mm ³	
固定荷重	W	N	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-3 に示す。固有値解析結果より面外方向に対して剛であることを確認した。

表 4-3 固有値解析結果

次数	卓越方向	固有周期 (秒)
1 次	面外方向 1 次	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 原子炉建屋大物搬入口（内側扉）の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は原子炉建屋大物搬入口（内側扉）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) 原子炉建屋大物搬入口（内側扉）の地震荷重の作用イメージを図 5-1 に示す。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

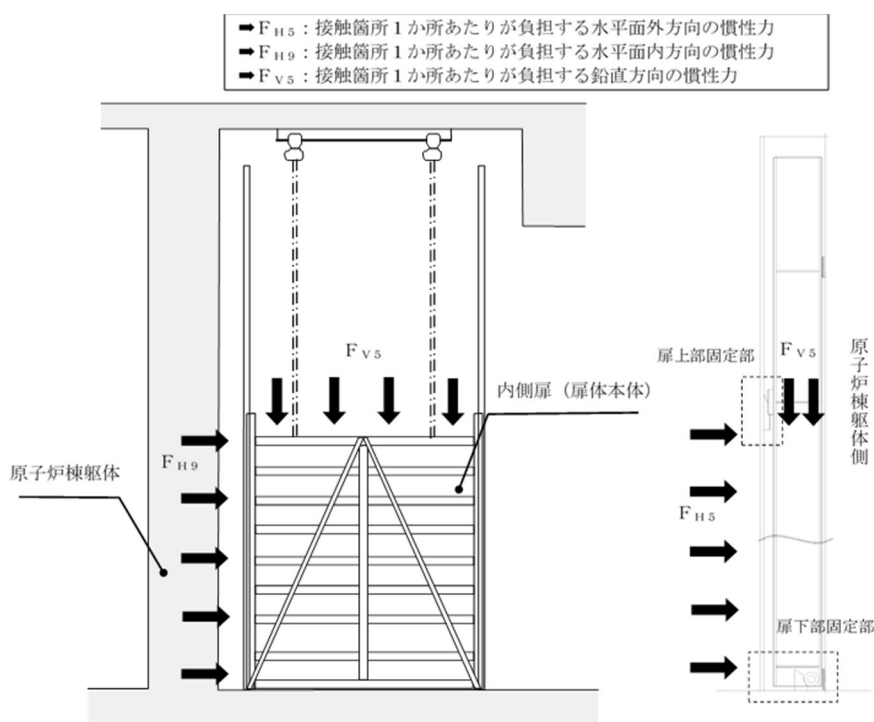


図5-1 原子炉建屋大物搬入口（内側扉）の地震荷重の作用イメージ図

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

原子炉建屋大物搬入口（内側扉）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に用いるものを表5-2に示す。

5.2.2 許容応力

原子炉建屋大物搬入口（内側扉）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

原子炉建屋大物搬入口（内側扉）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限界（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
原子炉格納施設	原子炉建屋 原子炉棟	原子炉建屋大物搬入口 (内側扉)	S	— * 1	$D + P_D + M_D + S_d^*$	$III_A S$
					$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$

注 * : 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5-2 荷重の組合せ及び許容限界（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	許容限界
原子炉格納施設	原子炉建屋 原子炉棟	原子炉建屋大物搬入口 (内側扉)	常設耐震／防止 常設／緩和	— * 2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

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

* 2 : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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

表5-3 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）

許容限界	許容限界* ¹ (ボルト等以外)			許容限界* ¹ (ボルト等)
	一次応力			一次応力
	曲げ	支圧	相当	せん断
Ⅲ _A S	1.5 f _b	1.5 f _p	1.5 f _t	1.5 f _s
Ⅳ _A S	1.5 f _b [*]	1.5 f _p [*]	1.5 f _t [*]	1.5 f _s [*]
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの 許容限界を用い る。)				

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

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 (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y （R T） (MPa)
扉体本体	フェースプレート		周囲環境温度		—	241	394	—
	扉フレーム梁		周囲環境温度		—	241	394	—
	中央合せめ梁		周囲環境温度		—	241	394	—
	両端合せめ梁		周囲環境温度		—	241	394	—
扉下部	押し込みローラ		周囲環境温度		—	241	394	—
	押し込みローラピン		周囲環境温度		—	241	394	—
	テーパブロック		周囲環境温度		—	241	394	—
扉上部	ガイドレール付き テーパシュ取付ボルト		周囲環境温度		—	241	394	—
	扉付き テーパシュ取付ボルト		周囲環境温度		—	241	394	—

注　＊：新 J I S における SS400 相当

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 (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y （R T） (MPa)
扉体本体	フェースプレート		周囲環境温度		—	221	373	—
	扉フレーム梁		周囲環境温度		—	221	373	—
	中央合せめ梁		周囲環境温度		—	221	373	—
	両端合せめ梁		周囲環境温度		—	221	373	—
扉下部	押し込みローラ		周囲環境温度		—	221	373	—
	押し込みローラピン		周囲環境温度		—	221	373	—
	テーパブロック		周囲環境温度		—	221	373	—
扉上部	ガイドレール付き テーパシュ取付ボルト		周囲環境温度		—	221	373	—
	扉付き テーパシュ取付ボルト		周囲環境温度		—	221	373	—

注　＊：新 J I S における SS400 相当

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表5-6及び表5-7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策定方針」に基づき設定する。

表5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
EL21.0m*1		—	$C_H=0.47$	$C_V=0.36$	$C_H=0.89$	$C_V=0.67$

注 *1：基準床レベルを示す。

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
EL21.0m*1		—	—	—	$C_H=0.70$	$C_V=0.54$

注 *1：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 扉体本体の計算方法

5.4.1.1 フェースプレートの計算方法

フェースプレートは、対象区画に均一な分布荷重が作用する周辺固定スラブと考え、発生応力を算出する。

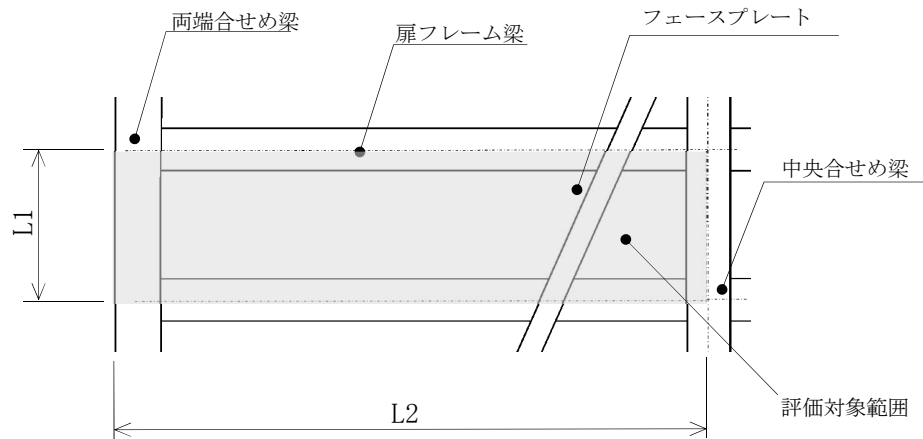


図 5-1 フェースプレート計算方法概要

フェースプレート範囲に作用する水平面外方向の扉体本体慣性力による分布荷重は、下式で算出する。

$$p_1 = \frac{W \cdot C_H}{L_X \cdot L_Y}$$

短辺方向固定端部に生じる単位幅辺りの最大曲げモーメントは、下式で算出する。

$$M_1 = \frac{p_1 \cdot L_1^2}{12}$$

フェースプレートの曲げ応力は、下式で算出する。

$$\sigma_{b1} = \frac{M_1}{Z_1}$$

使用する単位幅辺りの断面性能は、下式で算出する。

$$Z_1 = \frac{t_1^2}{6}$$

5.4.1.2 扉フレーム梁の計算方法

扉フレーム梁は、梁 1 本辺りの分担荷重が単純梁に作用すると考え、発生応力を算出する。

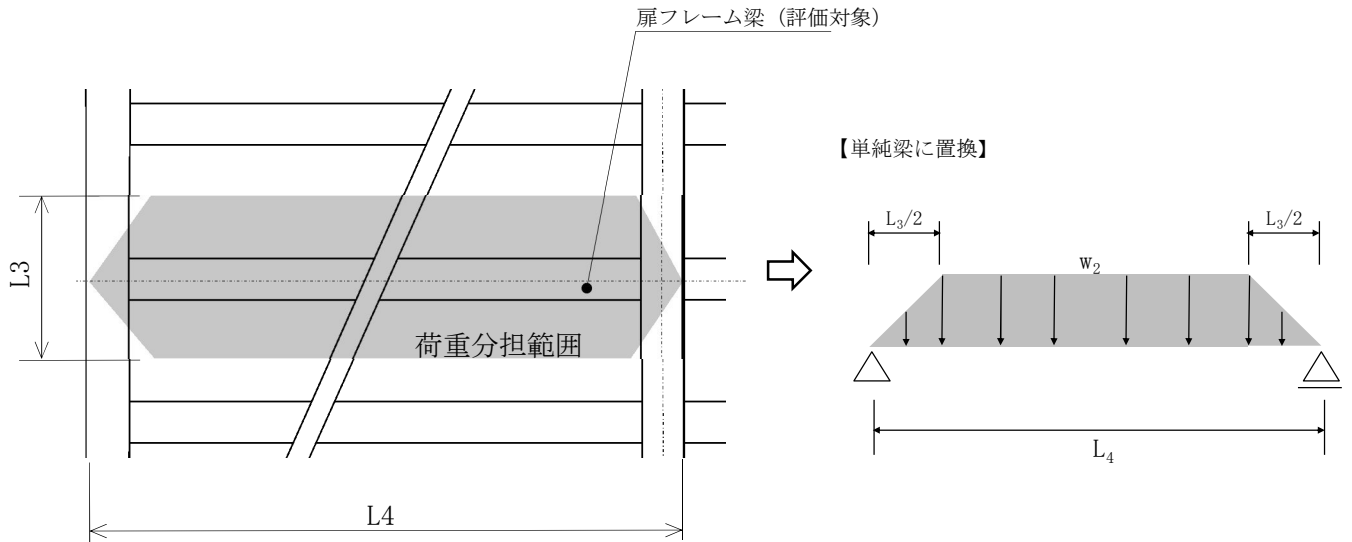


図 5-2 扉フレーム梁の計算方法概要

扉フレーム梁に作用する分布荷重は、下式で算出する。

$$w_2 = p_1 \cdot L_3$$

扉フレーム梁に生じる最大曲げモーメントは、下式で算出する。

$$M_2 = \frac{\{3L_4^2 - 4(L_3/2)^2\}}{24} \cdot w_2$$

扉フレーム梁の曲げ応力は、下式で算出する。

$$\sigma_{b2} = \frac{M_2}{Z_2}$$

使用する断面係数は、【JIS G 3192 : 2014】を参照する。

5.4.1.3 中央合せめ梁の計算方法

中央合せめ梁は，梁 1 本辺りの分担荷重が単純梁に作用すると考え，発生応力を算出する。

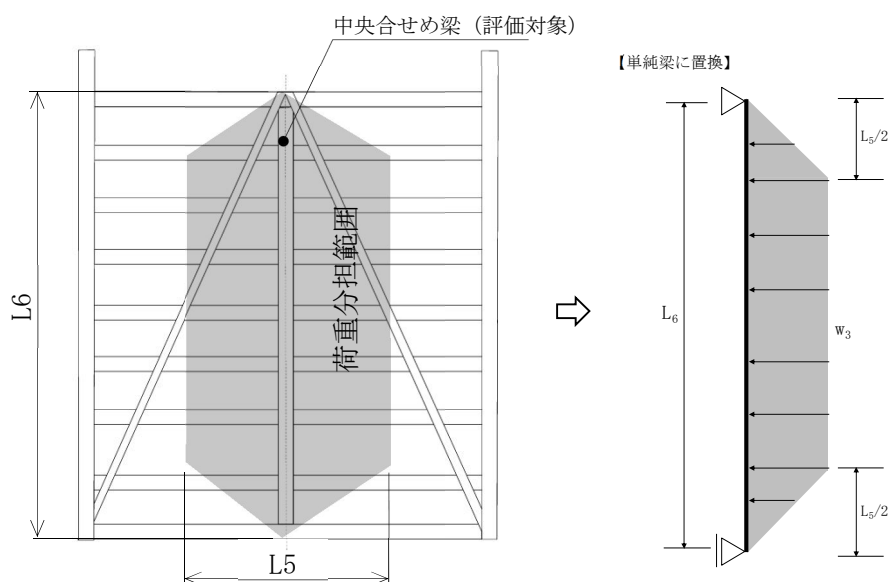


図 5-3 中央合せめ梁の計算方法概要

中央合せめ梁に作用する分布荷重は，下式で算出する。

$$w_3 = p_1 \cdot L_5$$

中央合せめ梁に生じる最大曲げモーメントは，下式で算出する。

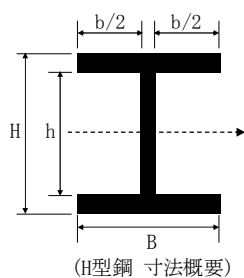
$$M_3 = \frac{\{3L_6^2 - 4(L_5/2)^2\}}{24} \cdot w_3$$

中央合せめ梁の曲げ応力は，下式で算出する。

$$\sigma_{b3} = \frac{M_3}{Z_3}$$

ただし，使用断面は C - 250×90×9×13 を 2 つ背中合わせとした断面形状とし，断面係数は，下式で算出する。

$$Z_3 = \frac{BH^3 - bh^3}{6H}$$



5.4.1.4 両端合せめ梁の計算方法

両端合せめ梁は、梁 1 本辺りの分担荷重が単純梁に作用すると考え、発生応力を算出する。

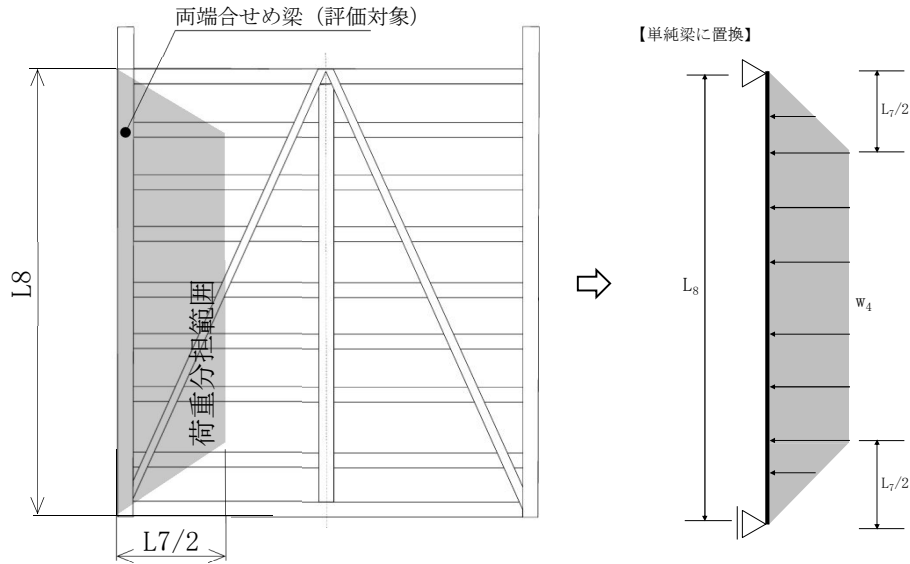


図 5-4 両端合せめ梁の計算方法概要

両端合せめ梁に作用する分布荷重は、下式で算出する。

$$w_4 = p_1 \cdot \frac{L_7}{2}$$

両端合せめ梁に生じる最大曲げモーメントは、下式で算出する。

$$M_4 = \frac{\{3L_8^2 - 4(L_7/2)^2\}}{24} \cdot w_4$$

両端合せめ梁の曲げ応力は、下式で算出する。

$$\sigma_{b4} = \frac{M_4}{Z_4}$$

使用する断面係数は、【JIS G 3192 : 2014】を参照する。

5.4.2 扉下部の計算方法

5.4.2.1 扉下部押し込みローラ部の計算方法

押し込みローラは、水平面外方向と鉛直方向の慣性力が作用すると考え、テーパブロックとの接触により生じる支圧応力を算出する。

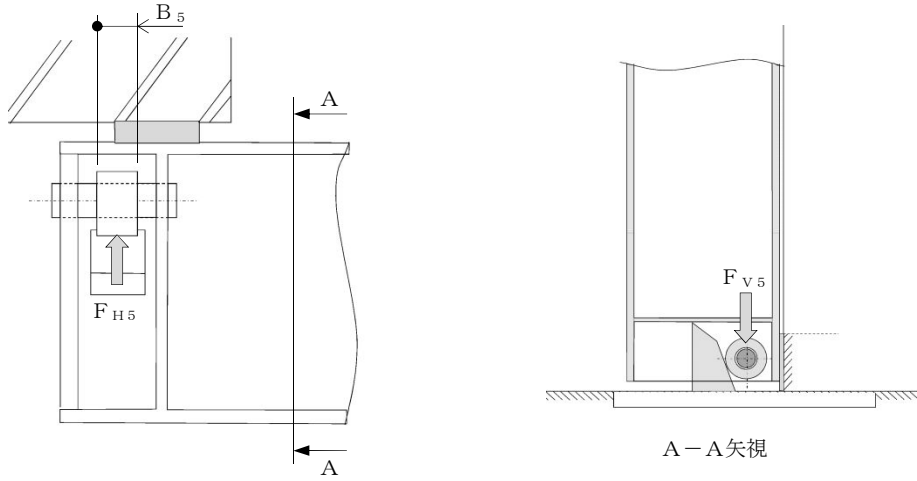


図 5-5 押し込みローラ部の計算方法概要

接触箇所 1 箇所辺りが負担する水平面外方向の慣性力は、下式で算出する。

$$F_{H5} = C_H \cdot W \cdot \frac{1}{N_5}$$

接触箇所 1 箇所辺りが負担する鉛直方向の慣性力は、下式で算出する。

$$F_{V5} = (1 + C_V) \cdot W \cdot \frac{1}{N_5}$$

接触箇所 1 箇所辺りが負担する F_{H5} 、 F_{V5} の合力は、下式で算出する。

$$F_5 = \sqrt{F_{H5}^2 + F_{V5}^2}$$

Hertz 理論に基づくローラの圧縮(支圧)応力は、下式で算出する。

$$\sigma_{P5} = 0.798 \sqrt{\frac{p_5}{2D_5 \cdot \frac{1-\nu^2}{E}}}$$

ただし、ローラに作用する分布荷重は、下式で算出する。

$$p_5 = \frac{F_5}{B_5}$$

5.4.2.2 扉下部押し込みローラ部ローラピンの計算方法

ローラピンは、水平面外方向と鉛直方向の慣性力が作用すると考え、相当応力を算出する。

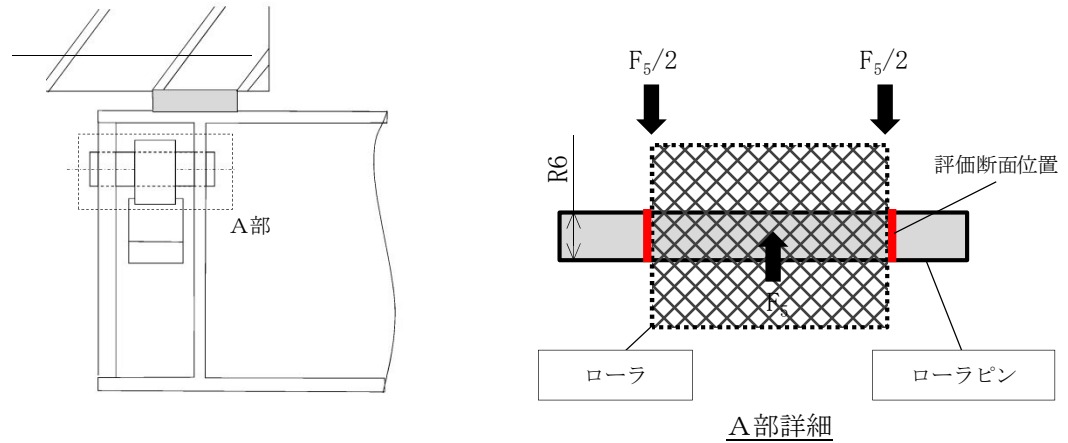


図 5-6 押し込みローラ部ローラピンの計算方法概要

ローラピンの断面性能に関する諸元は、下式で算出する。

$$A_6 = \left(\frac{R_6}{2}\right)^2 \cdot \pi$$

$$Z_6 = \frac{\pi \cdot R_6^3}{32}$$

ローラピンの断面評価位置に生じる曲げモーメントは、下式で算出する。

$$M_6 = \frac{F_5 \cdot B_5}{8}$$

ローラピンの断面評価位置の発生せん断応力は、下式で算出する。

$$\tau_6 = \frac{F_5}{2A_6}$$

ローラピンの断面評価位置の発生曲げ応力は、下式で算出する。

$$\sigma_{b6} = \frac{M_6}{Z_6}$$

ローラピンの断面評価位置の相当応力は、下式で算出する。

$$\sigma_6 = \sqrt{\sigma_{b6}^2 + 3\tau_6^2}$$

5.4.2.3 扉下部テーパブロックの計算方法

テーパブロックは、水平面外方向の慣性力が作用すると考え、相当応力を算出する。

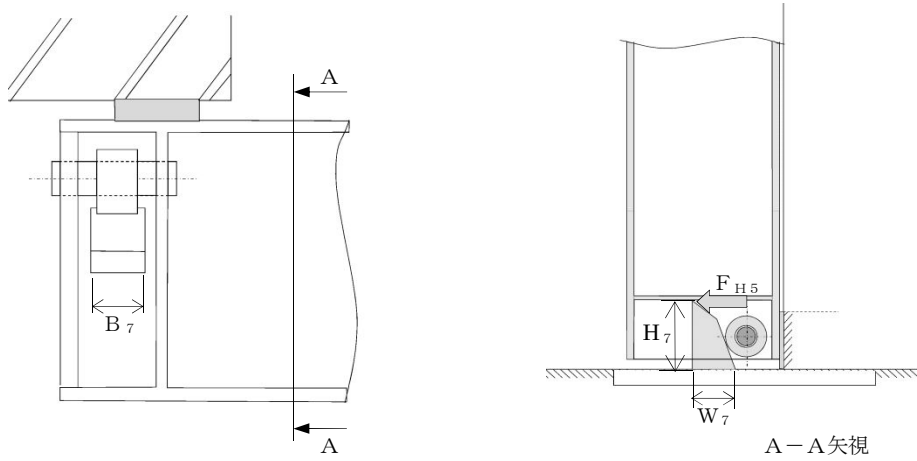


図 5-7 テーパブロック固定の計算方法概要

テーパブロックの断面性能に関する諸元は、下式で算出する。

$$A_7 = W_7 \cdot B_7$$

$$Z_7 = \frac{W_7 \cdot B_7^2}{6}$$

テーパブロックの断面評価位置に生じる曲げモーメントは、下式で算出する。

$$M_7 = F_{H5} \cdot H_7$$

テーパブロックの断面評価位置の発生せん断応力は、下式で算出する。

$$\tau_7 = \frac{F_{H5}}{A_7}$$

テーパブロックの断面評価位置の発生曲げ応力は、下式で算出する。

$$\sigma_{b7} = \frac{M_7}{Z_7}$$

テーパブロックの断面評価位置の相当応力は、下式で算出する。

$$\sigma_7 = \sqrt{\sigma_{b7}^2 + 3\tau_7^2}$$

5.4.3 扉上部の計算方法

5.4.3.1 扉上部ガイドレール付きテーパシユ取付ボルトの計算方法

ガイドレール付テーパシユ(取付ボルト)は、鉛直方向の慣性力が作用すると考え、せん断応力を算出する。

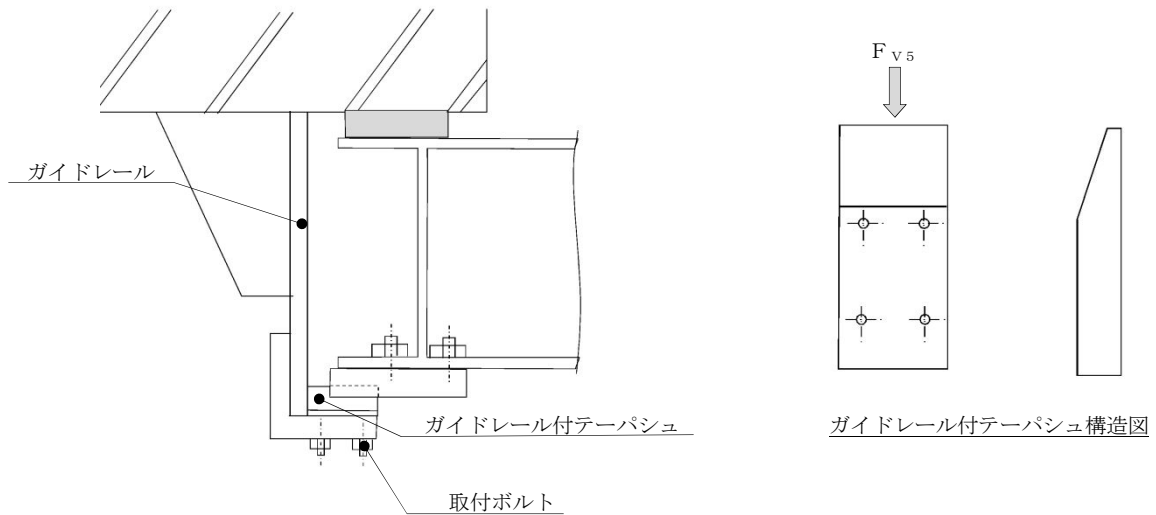


図 5-8 ガイドレール付テーパシユ取付ボルトの計算方法概要

ガイドレール付テーパシユ取付ボルト 1 本辺りの発生せん断応力は、下式で算出する。

$$\tau_9 = \frac{F_{V5}}{A_9 \cdot n_9}$$

ただし、使用する断面性能は下式で算出する。

$$A_9 = \left(\frac{R_9}{2} \right)^2 \cdot \pi$$

5.4.3.2 扉上部扉付きテーパシユ（取付ボルト）の計算方法

扉付テーパシユ（取付ボルト）は，水平面内方向と鉛直方向の慣性力が作用すると考え，せん断応力を算出する。

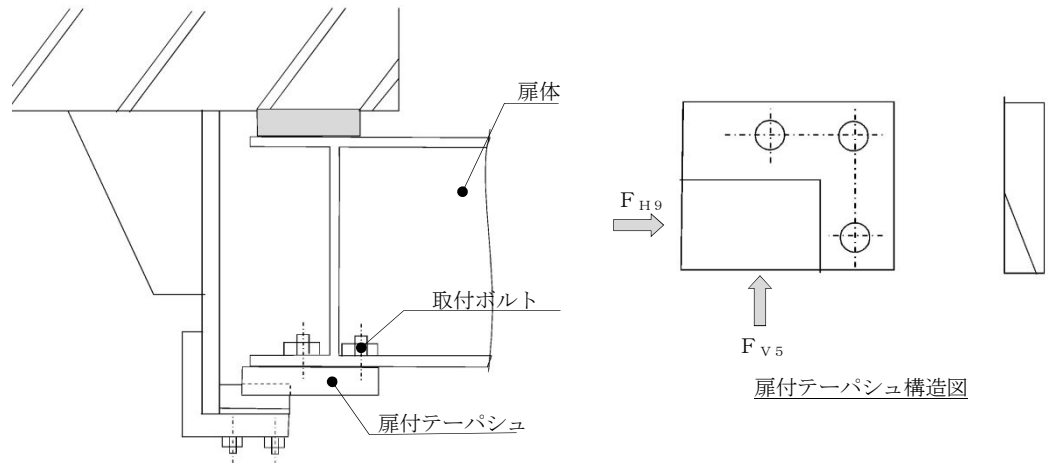


図 5-9 扉付テーパシユ（取付ボルト）の計算方法概要

水平面内方向の慣性力により作用する扉付テーパシユ（取付ボルト）1 本辺りのせん断力は，下式で算出する。

$$Q_{H10} = \frac{F_{H9}}{n_{10}}$$

鉛直方向の慣性力により作用する扉付テーパシユ（取付ボルト）1 本辺りのせん断力は，下式で算出する。

$$Q_{V10} = \frac{F_{V5}}{n_{10}}$$

扉付テーパシユ（取付ボルト）1 本辺りの発生せん断応力は，下式で算出する。

$$\tau_{10} = \sqrt{\left(\frac{Q_{H10}}{A_{10}}\right)^2 + \left(\frac{Q_{V10}}{A_{10}}\right)^2}$$

ただし，使用する断面性能は，下式で算出する。

$$A_{10} = \left(\frac{R_{10}}{2}\right)^2 \cdot \pi$$

5.5 計算条件

応力評価に用いる計算条件は，【原子炉建屋大物搬入口（内側扉）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

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【原子炉建屋大物搬入口（内側扉）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。

5.6.1 ボルト等以外の部材の応力の評価

5.4 項で求めたせん断応力 τ ，支圧応力 f_p 及び曲げ応力 σ_b は，下表より求めた許容相当応力 f_t ，許容支圧応力 f_p 及び許容曲げ応力 f_b 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
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容支圧応力 f_p	$1.9 \cdot F$	$1.9 \cdot F^*$
許容相当応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.6.2 ボルトの部材の応力の評価

5.4 項で求めたせん断応力 τ は，下表より求めた許容せん断応力 f_s 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	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉建屋大物搬入口（内側扉）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。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

原子炉建屋大物搬入口（内側扉）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。構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉建屋大物搬入口（内側扉）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. 21.0m* 1		—	C _H =0.47	C _V =0.36	C _H =0.89	C _V =0.67	

注 * 1 : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

A_6 (mm ²)	A_7 (mm ²)	A_9 (mm ²)	A_{10} (mm ²)	B_5 (mm)	B_7 (mm)	D_5 (mm)	E (N/m ²)	H_7 (mm)

L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	L_4 (mm)	L_5 (mm)	L_6 (mm)	L_7 (mm)	L_8 (mm)	L_X (mm)	L_Y (mm)

N_5 (－)	n_9 (本)	n_{10} (本)	p_1 (MPa)	p_5 (－)	R_6 (mm)	R_9 (mm)	R_{10} (mm)	t_1 (mm)	W (N)	W_7 (mm)

w_2 (N/mm)	w_3 (N/mm)	w_4 (N/mm)	Z_1 (mm ³)	Z_2 (mm ³)	Z_3 (mm ³)	Z_4 (mm ³)	Z_6 (mm ³)	Z_7 (mm ³)	ν (－)	ρ (t/mm ³)

1.3 計算数値

各評価部材に作用する力（弾性設計用地震動 S_d ）

F_5 (N)	F_{H5} (N)	F_{V5} (N)	F_{H9} (N)

M_1 (N・mm)	M_2 (N・mm)	M_3 (N・mm)	M_4 (N・mm)	M_6 (N・mm)	M_7 (N・mm)	Q_{H10} (N)	Q_{V10} (N)

各評価部材に作用する力（基準地震動 S_s ）

F_5 (N)	F_{H5} (N)	F_{V5} (N)	F_{H9} (N)

M_1 (N・mm)	M_2 (N・mm)	M_3 (N・mm)	M_4 (N・mm)	M_6 (N・mm)	M_7 (N・mm)	Q_{H10} (N)	Q_{V10} (N)

1.4 結論

各評価部材の応力（設計基準対象施設）

	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
扉体本体	フェースプレート		曲げ	7	244	13	292
	扉フレーム梁		曲げ	1	125	2	148
	中央合せめ梁		曲げ	11	125	20	135
	両端合せめ梁		曲げ	7	211	14	253
扉下部	押し込みローラ部ベアリング		支圧	570	602	653	723
	押し込みローラ部ローラピン		相当	45	211	58	253
	扉下部テーパブロック		相当	15	211	29	253
扉上部	ガイドレール付きテーパシュ取付 ボルト		せん断	35	122	43	146
	扉上部扉付きテーパシュ取付ボル ト		せん断	32	122	47	146

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
	常設耐震／防止, 常設／緩和	EL. 21.0m* 1		—	—	—	C _H =0.89	C _V =0.67	

注 * 1 : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

A_6 (mm ²)	A_7 (mm ²)	A_9 (mm ²)	A_{10} (mm ²)	B_5 (mm)	B_7 (mm)	D_5 (mm)	E (N/m ²)	H_7 (mm)

L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	L_4 (mm)	L_5 (mm)	L_6 (mm)	L_7 (mm)	L_8 (mm)	L_X (mm)	L_Y (mm)

N_5 (－)	n_9 (本)	n_{10} (本)	p_1 (MPa)	p_5 (－)	R_6 (mm)	R_9 (mm)	R_{10} (mm)	t_1 (mm)	W (N)	W_7 (mm)

w_2 (N/mm)	w_3 (N/mm)	w_4 (N/mm)	Z_1 (mm ³)	Z_2 (mm ³)	Z_3 (mm ³)	Z_4 (mm ³)	Z_6 (mm ³)	Z_7 (mm ³)	ν (－)	ρ (t/mm ³)

2.3 計算数値

各評価部材に作用する力

F_5 (N)	F_{H5} (N)	F_{V5} (N)	F_{H9} (N)

M_1 (N・mm)	M_2 (N・mm)	M_3 (N・mm)	M_4 (N・mm)	M_6 (N・mm)	M_7 (N・mm)	Q_{H10} (N)	Q_{V10} (N)

2.4 結論

各評価部材の応力（重大事故等対処設備）

	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
扉体本体	フェースプレート		曲げ	—	—	13	268
	扉フレーム梁		曲げ	—	—	2	143
	中央合せめ梁		曲げ	—	—	20	131
	両端合せめ梁		曲げ	—	—	14	232
扉下部	押し込みローラ部ベアリング		支圧	—	—	648	663
	押し込みローラ部ローラピン		相当	—	—	58	232
	テーパブロック		相当	—	—	29	232
扉上部	ガイドレール付きテーパシュ取付ボルト		せん断	—	—	43	134
	扉付きテーパシュ取付ボルト		せん断	—	—	47	134

すべて許容応力以下である。

V-2-9-3-3 原子炉建屋エアロッ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
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	6
4. 固有周期	7
4.1 固有周期の計算方法	7
4.2 固有周期の計算条件	7
4.3 固有周期の計算結果	7
5. 構造強度評価	8
5.1 構造強度評価方法	8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	15
5.5 計算条件	23
5.6 応力の評価	23
6. 評価結果	24
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	24
6.2 重大事故等対象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、原子炉建屋エアロッ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。

原子炉建屋エアロックは、原子炉建屋原子炉棟の一部施設として扱うため、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

原子炉建屋エアロックの構造計画を表 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	
原子炉建屋エアロックは片開き扉であり、原子炉建屋原子炉棟の躯体に設置されている。原子炉建屋原子炉棟に対して内側、外側の2基が設置されており、両者は同構造である。	締付装置（カンヌキ）により扉体が扉枠に固定される構造とする。	

2.2 評価方針

原子炉建屋エアロックの応力評価は、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エアロックの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

原子炉建屋エアロックの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

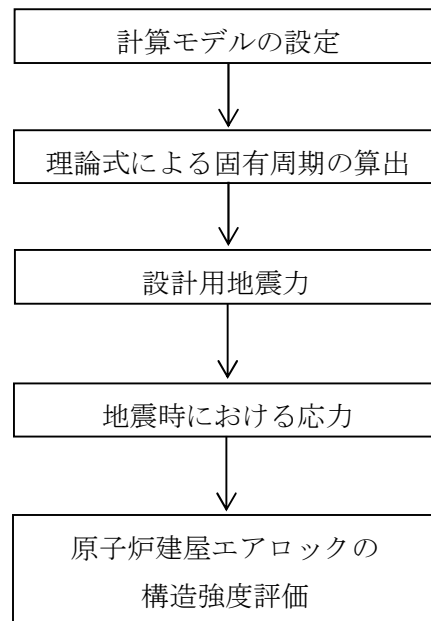


図 2-1 原子炉建屋エアロックの耐震評価フロー

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 J E A G 4 6 0 1 -1987 (社) 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 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 (社) 日本電気協会
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991追補版 (社) 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。))
J S M E S N C 1 -2005/2007) (日本機械学会 2007年9月) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_1	ヒンジアームの断面積	mm^2
A_2	ヒンジピンの断面積	mm^2
A_{b3}	ヒンジボルトの断面積	mm^2
A_4	カンヌキの断面積	mm^2
A_5	カンヌキ受けピンの断面積	mm^2
A_{b6}	カンヌキ受けボルトの断面積	mm^2
D	死荷重	N
E	ヤング率	N/m^2
F_H	水平地震力	N
F_V	鉛直地震力	N
f	原子炉建屋エアロックの1次固有振動数	Hz
f_b	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_s	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	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スタッド及び基礎ボルトの許容引張応力	MPa
I	断面2次モーメント	m^4
C_H	水平震度	—
C_V	鉛直震度	—
L_1	ヒンジアームの作用点間距離	mm
L_2	ヒンジピンの軸支持間距離	mm
L_4	カンヌキの作用点間距離	mm
L_5	カンヌキ受けピンの作用点間距離	mm
L_j	ヒンジ中心間距離	m
L_r	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (幅方向)	m
L_t	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (厚方向)	m
ℓ	はり長さ	m
M_1	ヒンジアームの曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_2	ヒンジピンの曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_4	カンヌキの曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_5	カンヌキ受けピンの曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_D	機械的荷重 (DB)	N
M_{SAD}	機械的荷重 (SA)	N
m	質量分布	kg/m
n	カンヌキの本数	本

記号	記号の説明	単位
n_{b3}	ヒンジボルトの本数	本
n_{b6}	カンヌキ受けボルトの本数	本
P_D	最高使用圧力による荷重 (DB)	N
P_{sAD}	設計圧力による荷重 (SA)	N
Q_1	ヒンジアームのせん断力	N
Q_2	ヒンジピンのせん断力	N
Q_3	ヒンジボルトのせん断力	N
Q_4	カンヌキのせん断力	N
Q_5	カンヌキ受けピンのせん断力	N
R_r	扉体幅方向自重反力	kN
R_t	扉体厚方向自重反力	kN
S_d	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力	N
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	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_3	ヒンジボルトの引張力	N
T_6	カンヌキ受けボルトの引張力	N
W_X	扉体自重	kN
Z_1	ヒンジアームの断面係数	mm ³
Z_2	ヒンジピンの断面係数	mm ³
Z_4	カンヌキの断面係数	mm ³
Z_5	カンヌキ受けピンの断面係数	mm ³
σ_{b1}	ヒンジアームの曲げ応力	MPa
σ_{b2}	ヒンジピンの曲げ応力	MPa
σ_{b4}	カンヌキの曲げ応力	MPa
σ_{b5}	カンヌキ受けピンの曲げ応力	MPa
σ_{t3}	ヒンジボルトの引張応力	MPa
σ_{t6}	カンヌキ受けボルトの引張応力	MPa
σ_{X1}	ヒンジアームの組合せ応力	MPa
σ_{X2}	ヒンジピンの組合せ応力	MPa
σ_{X4}	カンヌキの組合せ応力	MPa
τ_1	ヒンジアームのせん断応力	MPa
τ_2	ヒンジピンのせん断応力	MPa
τ_3	ヒンジボルトのせん断応力	MPa
τ_4	カンヌキのせん断応力	MPa
τ_5	カンヌキ受けピンのせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

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	切り上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切り上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第1位	切り捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*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

原子炉建屋エアロックの耐震評価は、「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ヒンジ、ヒンジアーム、ヒンジピン、ヒンジボルト、カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトについて実施する。原子炉建屋エアロックの耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

原子炉建屋エアロックの固有周期の計算方法を以下に示す。

4.1.1 水平方向

- (1) 原子炉建屋エアロックの質量は、扉体部の重心に集中するものとする。
- (2) 固有周期は、図4-1に示す固有値計算モデルにより、扉体面外方向について算出する。
- (3) 固有周期は次式で求める。

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi\ell^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

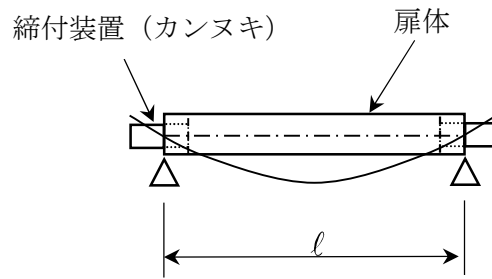


図4-1 固有値計算モデル

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。

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表4-1に示す。

表4-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
はり長さ	ℓ	m	
ヤング率	E	N/m ²	
断面2次モーメント	I	m ⁴	
質量分布	m	kg/m	

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表4-2に示す。

表4-2 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。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 原子炉建屋エアロックの質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は原子炉建屋エアロック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) 原子炉建屋エアロックの地震荷重の作用イメージを図 5-1 に示す。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

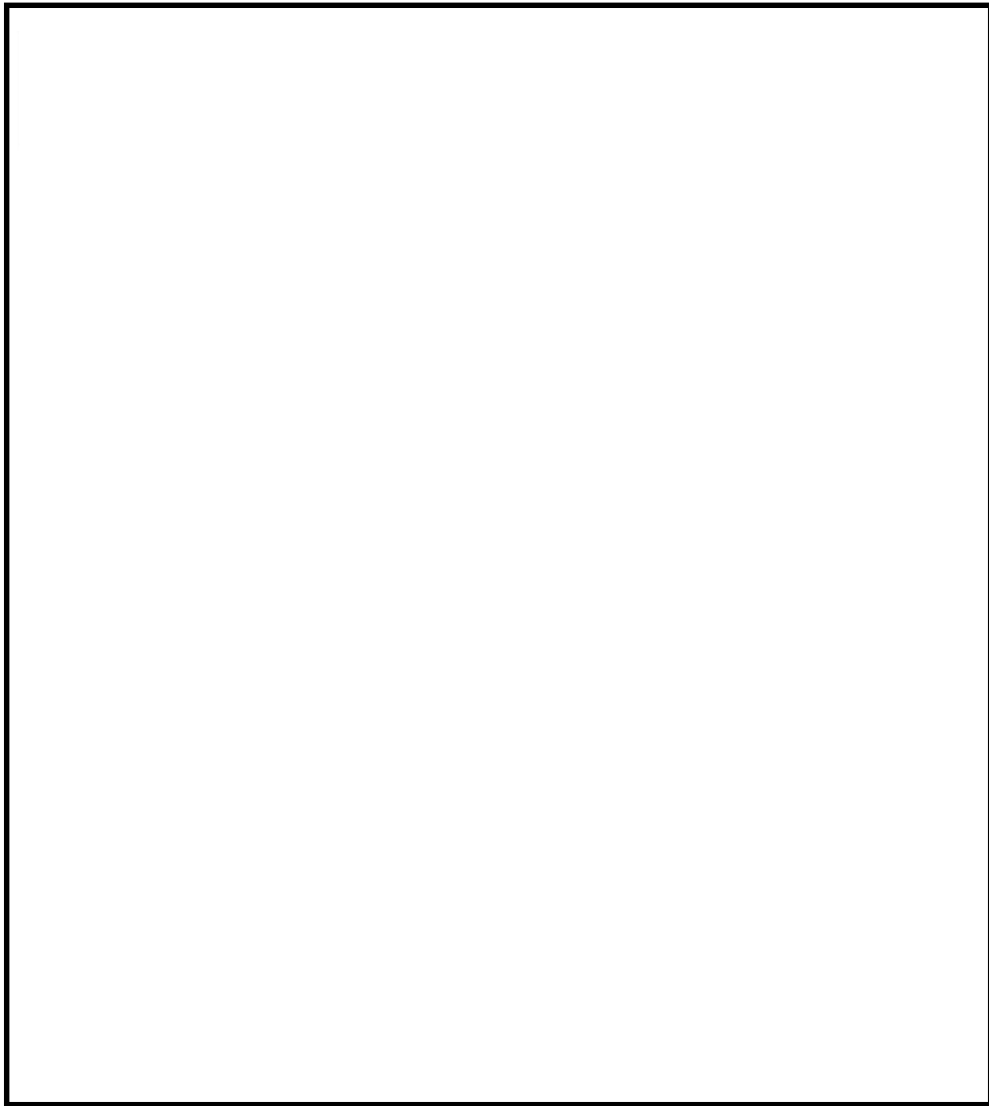


図5-1 原子炉建屋エアロックの地震荷重の作用イメージ

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

原子炉建屋エアロ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5-1に、重大事故等対象設備に用いるものを表5-2に示す。

5.2.2 許容応力

原子炉建屋エアロックの許容応力は、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

原子炉建屋エアロ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限界（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
原子炉格納施設	原子炉建屋 原子炉棟	原子炉建屋 エアロック	S	— * 1	$D + P_D + M_D + S_d^{**2}$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*2： S_s と組合せ、Ⅲ_A Sの評価を実施する。

表5-2 荷重の組合せ及び許容限界（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	許容限界
原子炉格納施設	原子炉建屋 原子炉棟	原子炉建屋 エアロック	常設耐震／防止, 常設／緩和	— * 2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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

表5-3 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）

許容限界	許容限界* ¹ (ボルト等以外)			許容限界* ¹ (ボルト等以外)	
	一次応力			一次応力	
	引張り	せん断	曲げ	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$	$1.5 f_b$	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 f_t^*$	$1.5 f_s^*$	$1.5 f_b^*$	$1.5 f_t^*$	$1.5 f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A 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。

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 (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ヒンジアーム		周囲環境温度		—	211	394	—
ヒンジピン		周囲環境温度		—	482	673	—
ヒンジボルト		周囲環境温度		—	764	906	—
カンヌキ		周囲環境温度		—	198	504	205
カンヌキ受けピン		周囲環境温度		—	482	673	—
カンヌキ受けボルト		周囲環境温度		—	764	906	—

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 (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y （R T） (MPa)
ヒンジアーム		周囲環境温度		—	194	373	—
ヒンジピン		周囲環境温度		—	451	632	—
ヒンジボルト		周囲環境温度		—	685	847	—
カンヌキ		周囲環境温度		—	171	441	205
カンヌキ受けピン		周囲環境温度		—	451	632	—
カンヌキ受けボルト		周囲環境温度		—	685	847	—

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表5-6及び表5-7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策定方針」に基づき設定する。

表5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
EL14.0m ^{*1}		— ^{*2}	— ^{*3}	— ^{*3}	$C_H=1.13$	$C_V=0.99$

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。

*3：Ⅲ_ASについては，基準地震動 S_s で評価する。

表5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
EL14.0m ^{*1}		— ^{*2}	—	—	$C_H=1.13$	$C_V=0.99$

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。

5.4 計算方法

5.4.1 ヒンジ部の応力計算方法

ヒンジ部は、ヒンジアーム、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定する水平地震力及び扉体自重反力（鉛直地震力を含む）から、各部材に発生する荷重を算定する。図 5-2 にヒンジ部に生じる荷重を示す。

$$F_H = W_X \cdot C_H$$

$$F_V = W_X \cdot C_V$$

$$R_r = (W_X + F_V) \cdot \frac{L_r}{L_j}$$

$$R_t = (W_X + F_V) \cdot \frac{L_t}{L_j}$$

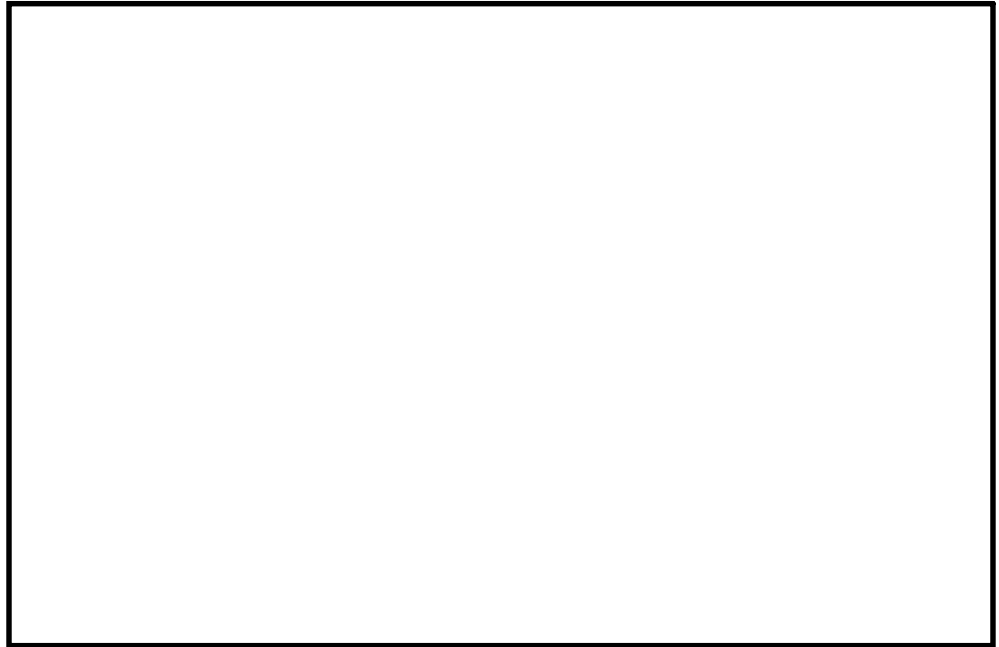


図 5-2 ヒンジ部に生じる荷重

5.4.1.1 ヒンジアームの計算方法

ヒンジアームの応力は地震による震度によって生じる曲げ応力，せん断応力及び組合せ応力について計算する。図 5-3 にヒンジアームに生じる荷重を示す。



図5-3 ヒンジアームに生じる荷重

(1) 曲げ応力

ヒンジアームに生じる曲げモーメントから曲げ応力を次式により計算する。

曲げモーメント

$$M_1 = (W_x + F_v) \cdot L_1$$

曲げ応力

$$\sigma_{b1} = \frac{M_1}{Z_1}$$

(2) せん断応力

ヒンジアームに生じるせん断力からせん断応力を次式により計算する。

せん断力

$$Q_1 = W_x + F_v$$

せん断応力

$$\tau_1 = \frac{Q_1}{A_1}$$

(3) 組合せ応力

ヒンジアームに生じる曲げ応力及びせん断応力から組合せ応力を次式により計算する。

組合せ応力

$$\sigma_{x1} = \sqrt{\left(\frac{M_1}{Z_1}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_1}{A_1}\right)^2}$$

5.4.1.2 ヒンジピンの計算方法

ヒンジピンの応力は地震による震度によって生じる曲げ応力、せん断応力及び組合せ応力について計算する。図 5-4 にヒンジピンに生じる荷重を示す。



図5-4 ヒンジピンに生じる荷重

(1) 曲げ応力

ヒンジピンに生じる曲げモーメントから曲げ応力を次式により計算する。

曲げモーメント

$$M_2 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + R_t^2} \cdot L_2$$

曲げ応力

$$\sigma_{b2} = \frac{M_2}{Z_2}$$

(2) せん断応力

ヒンジピンに生じるせん断力からせん断応力を次式により計算する。

せん断力

$$Q_2 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + (W_X + F_V)^2}$$

せん断応力

$$\tau_2 = \frac{Q_2}{A_2}$$

(3) 組合せ応力

ヒンジピンに生じる曲げ応力及びせん断応力から組合せ応力を次式により計算する。

組合せ応力

$$\sigma_{x2} = \sqrt{\left(\frac{M_2}{Z_2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_2}{A_2}\right)^2}$$

5.4.1.3 ヒンジボルトの計算方法

ヒンジボルトの応力は地震による震度によって生じる引張応力及びせん断応力について計算する。図 5-5 にヒンジボルトに生じる荷重を示す。

ヒンジボルトに生じる荷重は、扉90° 開放時には引張力として作用し、扉180° 開放時にはせん断力として作用することから次式により算定する。



図 5-5 ヒンジボルトに生じる荷重

(1) ヒンジボルトの引張応力及びせん断応力

ヒンジボルトに生じる引張力及びせん断力から引張応力及びせん断応力を次式により計算する。

引張力及びせん断力

$$T_3=Q_3=\sqrt{\left(R_r+\frac{F_H}{2}\right)^2+(W_X+F_V)^2}$$

引張応力

$$\sigma_{t3}=\frac{T_3}{n_{b3}\cdot A_{b3}}$$

せん断応力

$$\tau_3=\frac{Q_3}{n_{b3}\cdot A_{b3}}$$

5.4.2 カンヌキ部の応力計算方法

カンヌキ部は、カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトで構成されており、次式により算定する水平地震力から、各部材に発生する荷重を算定する。図5-6にカンヌキ部に生じる荷重を示す。

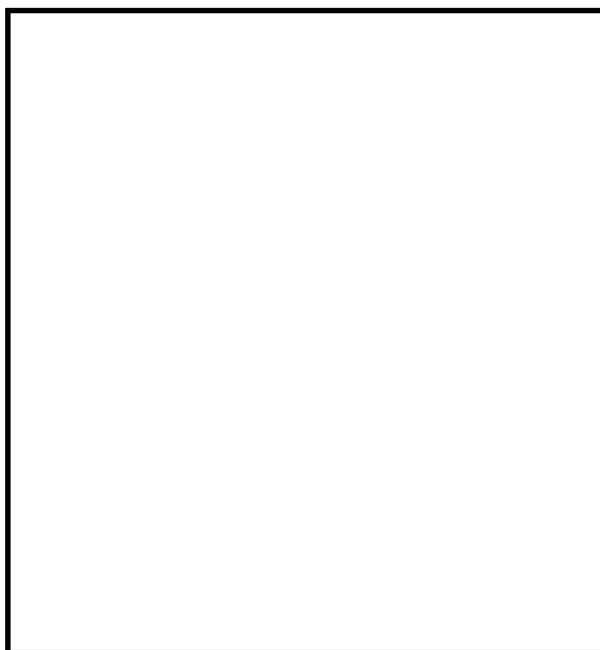


図5-6 カンヌキ部に生じる荷重

5.4.2.1 カンヌキの計算方法

カンヌキの応力は地震による震度によって生じる曲げ応力，せん断応力及び組合せ応力について計算する。図 5-7 にカンヌキに生じる荷重を示す。



図5-7 カンヌキに生じる荷重

(1) 曲げ応力

カンヌキに生じる曲げモーメントから曲げ応力を次式により計算する。

曲げモーメント

$$M_4 = \frac{F_H}{2 \cdot n} \cdot L_4$$

ただし， $F_H = W_X \cdot C_H$ とする。

曲げ応力

$$\sigma_{b4} = \frac{M_4}{Z_4}$$

(2) せん断応力

ヒンジアームに生じるせん断力からせん断応力を次式により計算する。

せん断力

$$Q_4 = \frac{F_H}{2 \cdot n}$$

せん断応力

$$\tau_4 = \frac{Q_4}{A_4}$$

(3) 組合せ応力

カンヌキに生じる曲げ応力及びせん断応力から組合せ応力を次式により計算する。

組合せ応力

$$\sigma_{x4} = \sqrt{\left(\frac{M_4}{Z_4}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_4}{A_4}\right)^2}$$

5.4.2.2 カンヌキ受けピンの計算方法

カンヌキ受けピンの応力は地震による震度によって生じる曲げ応力及びせん断応力について計算する。図5-8にカンヌキ受けピンに生じる荷重を示す。

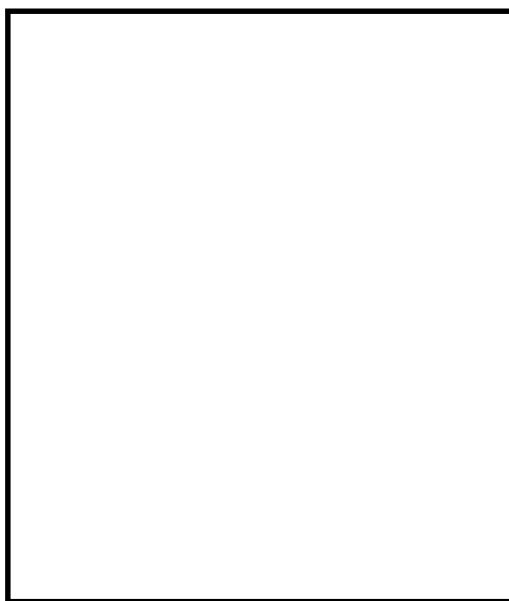


図5-8 カンヌキ受けピンに生じる荷重

(1) 曲げ応力

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力を次式により計算する。

曲げモーメント

$$M_5 = \frac{1}{4} \cdot \frac{F_H}{2 \cdot n} \cdot L_5$$

曲げ応力

$$\sigma_{b5} = \frac{M_5}{Z_5}$$

(2) せん断応力

カンヌキ受けピンに生じるせん断応力を次式により計算する。

せん断力

$$Q_5 = \frac{F_H}{2 \cdot n}$$

せん断応力

$$\tau_5 = \frac{Q_5}{2 \cdot A_5}$$

5.4.2.3 カンヌキ受けボルトの計算方法

カンヌキ受けボルトの応力は地震による震度によって生じる引張応力について計算する。図5-9にカンヌキ受けボルトに生じる荷重を示す。



図5-9 カンヌキ受けボルトに生じる荷重

(1) 引張応力

カンヌキ受けボルトに生じる引張応力を次式により計算する。

引張力

$$T_6 = \frac{F_H}{2 \cdot n}$$

引張応力

$$\sigma_{t6} = \frac{T_6}{n_{b6} \cdot A_{b6}}$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉建屋エアロック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 ボルト等以外の部材の応力の評価

5.4 項で求めた引張応力 σ_t 、せん断応力 τ 及び曲げ応力 σ_b は、下表より求めた許容引張応力 f_t 、許容せん断応力 f_s 及び許容曲げ応力 f_b 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	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.6.1 ボルトの部材の応力の評価

5.4 項で求めた引張応力 σ_t 及びせん断応力 τ は、下表より求めた許容引張応力 f_{ts} 及び許容せん断応力 f_s 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau, f_{to}]$$

せん断応力 τ はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 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_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉建屋エアロ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を有していることを確認した。

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

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉建屋エアロ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を有していることを確認した。

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉建屋エアロ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	
	S	EL. 14.0m*1		— *2	— *3	— *3	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。
*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	L_i	Z_i	n_{bi}	A_i	S_y	S_u	$S_y(RT)$	F^*
ヒンジアーム (i=1)					211	394	-	211
ヒンジピン (i=2)					482	673	-	482
ヒンジボルト (i=3)					764	906	-	764
カンヌキ (i=4)					198	504	205	205
カンヌキ受けピン (i=5)					482	673	-	482
カンヌキ受けボルト (i=6)					764	906	-	764

ヒンジアーム，ヒンジピン，ヒンジボルト，カンヌキ，カンヌキ受けピン，カンヌキ受けボルト

W_x (kN)	n (本)	$n_{b\ 3}$ (本)	$n_{b\ 6}$ (本)	E N/m^2	C_H	C_V
					1.13	0.99

A_1 (mm^2)	A_2 (mm^2)	$A_{b\ 3}$ (mm^2)	A_4 (mm^2)	A_5 (mm^2)	$A_{b\ 6}$ (mm^2)

L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_4 (mm)	L_5 (mm)	L_j (m)	L_r (m)	L_t (m)

Z_1 (mm^3)	Z_2 (mm^3)	Z_4 (mm^3)	Z_5 (mm^3)

1.3 計算数値
各評価部材に作用する力

部材	M _i (N・mm)		T _i (N)		Q _i (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
ヒンジアーム (i=1)						
ヒンジピン (i=2)						
ヒンジボルト (i=3)						
カンヌキ (i=4)						
カンヌキ受けピン (i=5)						
カンヌキ受けボルト (i=6)						

1.4 結論

1.4.1 各評価部材の応力（設計基準対象施設）

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
ヒンジアーム (i=1)		曲げ	26	211	26	253
		せん断	3	121	3	146
		組合せ	26	211	26	253
ヒンジピン (i=2)		曲げ	187	482	187	578
		せん断	18	278	18	333
		組合せ	189	482	189	578
ヒンジボルト (i=3)		引張	51	573*	51	687*
		せん断	51	441	51	529
カンヌキ (i=4)		曲げ	4	205	4	246
		せん断	1	118	1	142
カンヌキ受けピン (i=5)		曲げ	23	482	23	578
		せん断	2	278	2	333
カンヌキ受けボルト (i=6)		引張	4	573	4	687

すべて許容応力以下である。

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

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, 常設／緩和	 EL. 14. 0m* ¹		— * ²	—	—	$C_H=1. 13$	$C_V=0. 99$	

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。

2.2 機器要目

部材	L_i	Z_i	n_{bi}	A_i	S_y	S_u	$S_y(RT)$	F^*
ヒンジアーム (i=1)					194	373	–	211
ヒンジピン (i=2)					451	632	–	482
ヒンジボルト (i=3)					685	847	–	764
カンヌキ (i=4)					171	441	205	205
カンヌキ受けピン (i=5)					451	632	–	482
カンヌキ受けボルト (i=6)					685	847	–	764

ヒンジアーム，ヒンジピン，ヒンジボルト，カンヌキ，カンヌキ受けピン，カンヌキ受けボルト

W_x (kN)	n (本)	$n_{b\ 3}$ (本)	$n_{b\ 6}$ (本)	E N/m ²	C_H	C_V
					1.13	0.99

A_1 (mm ²)	A_2 (mm ²)	$A_{b\ 3}$ (mm ²)	A_4 (mm ²)	A_5 (mm ²)	$A_{b\ 6}$ (mm ²)

L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_4 (mm)	L_5 (mm)	L_j (m)	L_r (m)	L_t (m)

Z_1 (mm ³)	Z_2 (mm ³)	Z_4 (mm ³)	Z_5 (mm ³)

2.3 計算数値
各評価部材に作用する力

部材	M _i (N・mm)		T _i (N)		Q _i (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
ヒンジアーム (i=1)						
ヒンジピン (i=2)						
ヒンジボルト (i=3)						
カンヌキ (i=4)						
カンヌキ受けピン (i=5)						
カンヌキ受けボルト (i=6)						

2.4 結論

2.4.1 各評価部材の応力（重大事故等対処設備）

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
ヒンジアーム (i=1)		曲げ	26	194	26	232
		せん断	3	112	3	134
		組合せ	26	194	26	232
ヒンジピン (i=2)		曲げ	187	442	187	530
		せん断	18	255	18	306
		組合せ	189	442	189	530
ヒンジボルト (i=3)		引張	51	444*	51	533*
		せん断	51	342	51	410
カンヌキ (i=4)		曲げ	4	205	4	246
		せん断	1	118	1	142
カンヌキ受けピン (i=5)		曲げ	23	442	23	530
		せん断	2	255	2	306
カンヌキ受けボルト (i=6)	引張	4	444	4	533	

すべて許容応力以下である。

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