

VI-2-6-7-11 フィルタ装置水位（広帯域）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
4. 構造強度評価	3
4.1 構造強度評価方法	3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
4.2.2 許容応力	3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	3
4.3 計算条件	3
5. 機能維持評価	6
5.1 電氣的機能維持評価方法	6
6. 評価結果	6
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	6

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、フィルタ装置水位（広帯域）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

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

なお、フィルタ装置水位（広帯域）が設置される計器スタンションは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の壁掛形計器スタンションと類似の構造であるため、添付書類「VI-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」に基づき評価を実施する。

構造強度評価については、計器スタンションの基礎ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また、電気的機能維持評価については、評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電気的機能維持評価に用いる評価用加速度は、設置床高さが同じで計器スタンションが剛構造の場合は同じ加速度となることから、構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
T63-LT010A（代表） T63-LT010B T63-LT010C	VI-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	表 2-1 構造計画

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置水位（広帯域）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器スタンションに固定される。</p> <p>計器スタンションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式水位検出器 (壁に設置された計器スタンションに検出器を計器取付ボルトにより固定する構造)</p>	<p>【フィルタ装置水位 (広帯域) (T63-LT010A)】</p> <p>正面</p> <p>側面</p> <p>(単位 : mm)</p>

3. 固有周期

フィルタ装置水位（広帯域）が設置される計器スタンションの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計器スタンションに対する振動試験（打振試験）の測定結果から、固有周期は0.05秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期の確認結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	鉛直方向
0.05 以下	0.05 以下

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

フィルタ装置水位（広帯域）の構造強度評価は、添付書類「VI-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行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置水位（広帯域）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-1に示す。

4.2.2 許容応力

フィルタ装置水位（広帯域）の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表4-2のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

フィルタ装置水位（広帯域）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-3に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【フィルタ装置水位（広帯域）(T63-LT010A)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。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	フィルタ装置水位（広帯域）	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「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 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	66	206	385	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

フィルタ装置水位（広帯域）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「VI-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。

計器スタンションに設置される検出器の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置水位（広帯域） (T63-LT010A)	水平方向	
	鉛直方向	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置水位（広帯域）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電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。

【フィルタ装置水位（広帯域）（T63-LT010A）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
フィルタ装置水位 (広帯域) (T63-LT010A)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 O. P. 6. 00 (O. P. 15. 00*)	0. 05 以下	0. 05 以下	—	—	C _H =1. 97	C _V =1. 37	66

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m (kg)	h ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ _a (mm)	ℓ _b (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _{fV}	n _{fH}
基礎ボルト		590						4	2	2

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向*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	206	385	—	247	—	水平方向

注記*1：水平，鉛直方向のうち，評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

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

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 14$	$f_{ts} = 148^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 3$	$f_{sb} = 114$

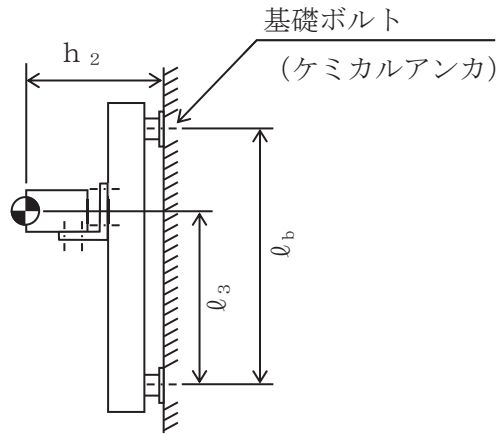
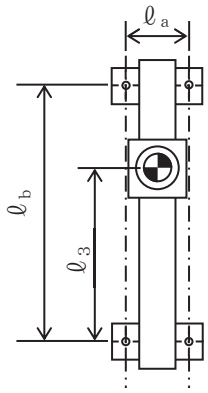
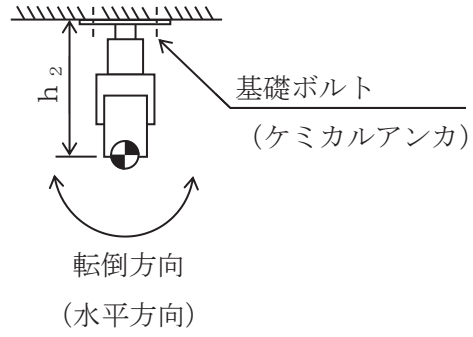
∞ 注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出。
 すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
フィルタ装置水位 (広帯域) (T63-LT010A)	水平方向	1.65	
	鉛直方向	1.15	

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
 機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-6-7-12 フィルタ装置入口圧力（広帯域）の耐震性についての
計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
4. 構造強度評価	3
4.1 構造強度評価方法	3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
4.2.2 許容応力	3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	3
4.3 計算条件	3
5. 機能維持評価	6
5.1 電氣的機能維持評価方法	6
6. 評価結果	6
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	6

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、フィルタ装置入口圧力（広帯域）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。

フィルタ装置入口圧力（広帯域）は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、フィルタ装置入口圧力（広帯域）が設置される計器スタンションは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の壁掛形計器スタンションと類似の構造であるため、添付書類「VI-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」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置入口圧力（広帯域）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器スタンションに固定される。</p> <p>計器スタンションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>弾性圧力検出器 (壁に設置された計器スタンションに検出器を計器取付ボルトにより固定する構造)</p>	<p>【フィルタ装置入口圧力 (広帯域)】</p> <p>(単位 : mm)</p>

3. 固有周期

フィルタ装置入口圧力（広帯域）が設置される計器スタンションの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計器スタンションに対する振動試験（打振試験）の測定結果から、固有周期は0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	鉛直方向
0.05 以下	0.05 以下

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

フィルタ装置入口圧力（広帯域）の構造強度評価は、添付書類「VI-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行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置入口圧力（広帯域）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

フィルタ装置入口圧力（広帯域）の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

フィルタ装置入口圧力（広帯域）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【フィルタ装置入口圧力（広帯域）(T63-PT003)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。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	フィルタ装置入口圧力 (広帯域)	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	40	215	400	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

フィルタ装置入口圧力（広帯域）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「VI-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。

計器スタンションに設置される検出器の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置入口圧力（広帯域） (T63-PT003)	水平方向	
	鉛直方向	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置入口圧力（広帯域）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電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。

【フィルタ装置入口圧力（広帯域）（T63-PT003）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
フィルタ装置入口圧力 (広帯域) (T63-PT003)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 15.00 (O.P. 22.50*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =2.12	C _V =1.56	40

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m (kg)	h ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ _a (mm)	ℓ _b (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _{fV}	n _{fH}
基礎ボルト		460						4	2	2

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向*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	215	400	—	258	—	水平方向

注記*1：水平、鉛直方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

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

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 14$	$f_{ts} = 154^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 4$	$f_{sb} = 119$

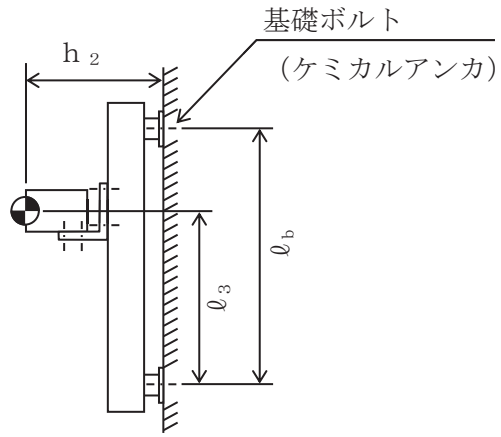
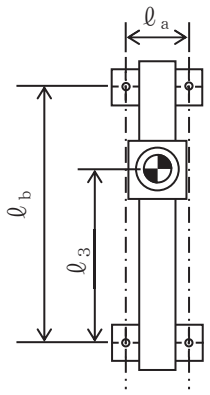
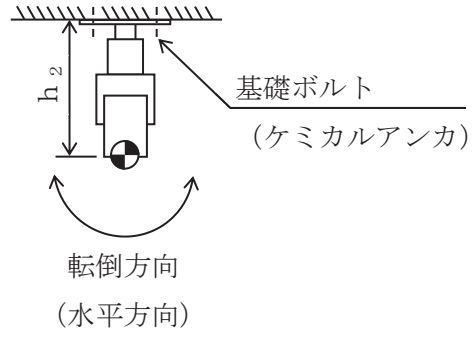
∞ 注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出。
すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
フィルタ装置入口 圧力 (広帯域) (T63-PT003)	水平方向	1.77	
	鉛直方向	1.30	

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-6-7-13 フィルタ装置出口圧力（広帯域）の耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用規格・基準等	3
2.4	記号の説明	4
2.5	計算精度と数値の丸め方	5
3.	評価部位	5
4.	固有周期	5
5.	構造強度評価	6
5.1	構造強度評価方法	6
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	6
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	6
5.2.2	許容応力	6
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	6
5.3	設計用地震力	9
5.4	計算方法	10
5.4.1	応力の計算方法	10
5.5	計算条件	12
5.5.1	溶接部の応力計算条件	12
5.6	応力の評価	12
5.6.1	溶接部の応力評価	12
6.	機能維持評価	13
6.1	電氣的機能維持評価方法	13
7.	評価結果	13
7.1	重大事故等対処設備としての評価結果	13

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、フィルタ装置出口圧力（広帯域）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

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

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置出口圧力（広帯域）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器スターションに固定される。</p> <p>計器スターションは、基礎に埋め込まれた埋込金物に溶接で設置する。</p>	<p>弾性圧力検出器 (壁に設置された計器スターションに検出器を計器取付ボルトにより固定する構造)</p>	<p>【フィルタ装置出口圧力（広帯域）】</p> <p>上面</p> <p>正面</p> <p>側面</p> <p>計器スターション</p> <p>検出器</p> <p>計器取付ボルト</p> <p>取付板</p> <p>溶接部</p> <p>埋込金物</p> <p>取付板取付ボルト</p> <p>基礎(壁面)</p> <p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

フィルタ装置出口圧力（広帯域）の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すフィルタ装置出口圧力（広帯域）の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で確認した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、フィルタ装置出口圧力（広帯域）の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

フィルタ装置出口圧力（広帯域）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

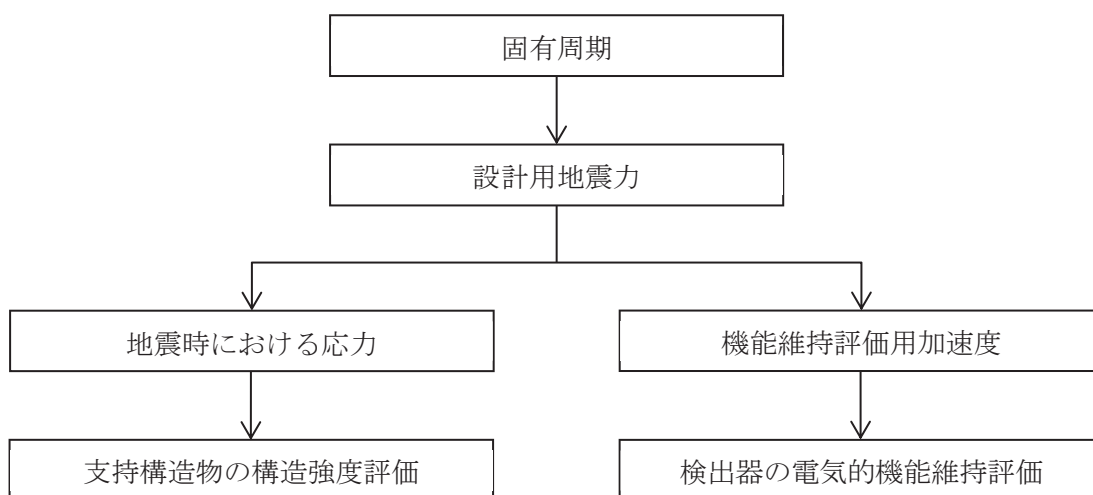


図 2-1 フィルタ装置出口圧力（広帯域）の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（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	溶接部の有効のど厚	mm
A_w	溶接部の有効断面積	mm ²
A_{w1}	溶接部の F_{w1} に対する有効断面積	mm ²
A_{w2}	溶接部の F_{w2} に対する有効断面積	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 に定める値	MPa
F_w	溶接部に作用する引張力	N
F_{w1}	鉛直方向地震及び壁掛形計器スタンションの取付面に対し左右方向の水平方向地震により溶接部に作用する引張力	N
F_{w2}	鉛直方向地震及び壁掛形計器スタンションの取付面に対し前後方向の水平方向地震により溶接部に作用する引張力	N
Q_w	溶接部に作用するせん断力	N
Q_{w1}	水平方向地震により溶接部に作用するせん断力	N
Q_{w2}	鉛直方向地震により溶接部に作用するせん断力	N
f_s	溶接部の許容せん断応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h	取付面から重心までの距離	mm
l_1	側面 (左右) 溶接部間の距離	mm
l_2	下側溶接部中心と上側溶接部端部までの距離	mm
l_3	重心と下側溶接部中心間の距離	mm
m	検出器及び計器スタンションの質量	kg
n	溶接箇所数	—
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待する溶接箇所数 (鉛直方向転倒)	—
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待する溶接箇所数 (水平方向転倒)	—
s	溶接脚長	mm
t	溶接の有効長さ (Y方向)	mm
u	溶接の有効長さ (Z方向)	mm
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に定める材料の40°Cにおける値	MPa
σ_t	溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_w	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
τ	溶接部に生じるせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ¹
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位* ³

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第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

フィルタ装置出口圧力（広帯域）の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる溶接部について評価を実施する。フィルタ装置出口圧力（広帯域）の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

フィルタ装置出口圧力（広帯域）が設置される計器スタンションの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計器スタンションに対する振動試験（打振試験）の測定結果から、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期の確認結果を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	鉛直方向
0.05 以下	0.05 以下

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) フィルタ装置出口圧力（広帯域）の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力はフィルタ装置出口圧力（広帯域）に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) フィルタ装置出口圧力（広帯域）は溶接で壁面に固定される。
- (4) 転倒方向は、図 5-1, 図 5-2 計算モデルにおける水平方向及び鉛直方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) フィルタ装置出口圧力（広帯域）の重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置出口圧力（広帯域）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

フィルタ装置出口圧力（広帯域）の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

フィルタ装置出口圧力（広帯域）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	フィルタ装置出口圧力 (広帯域)	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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

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

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

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		溶接部		周囲環境温度	66	216

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

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

表 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
原子炉建屋 O.P. 15.00 (O.P. 22.50*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	$C_H=2.12$	$C_V=1.56$

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

(1) 溶接部の計算方法

溶接部の応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

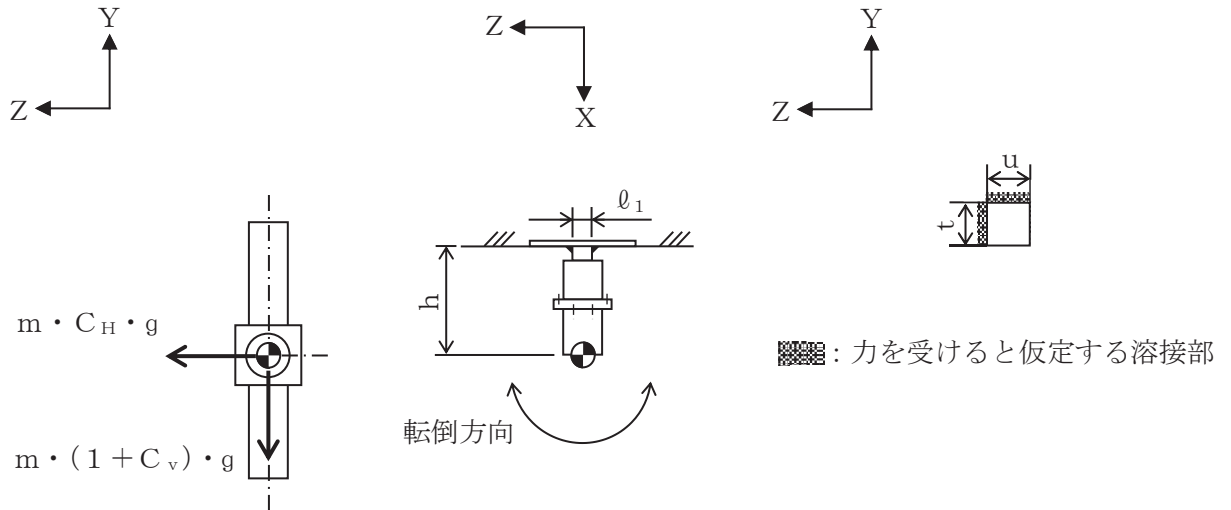


図 5-1 計算モデル（水平方向転倒）

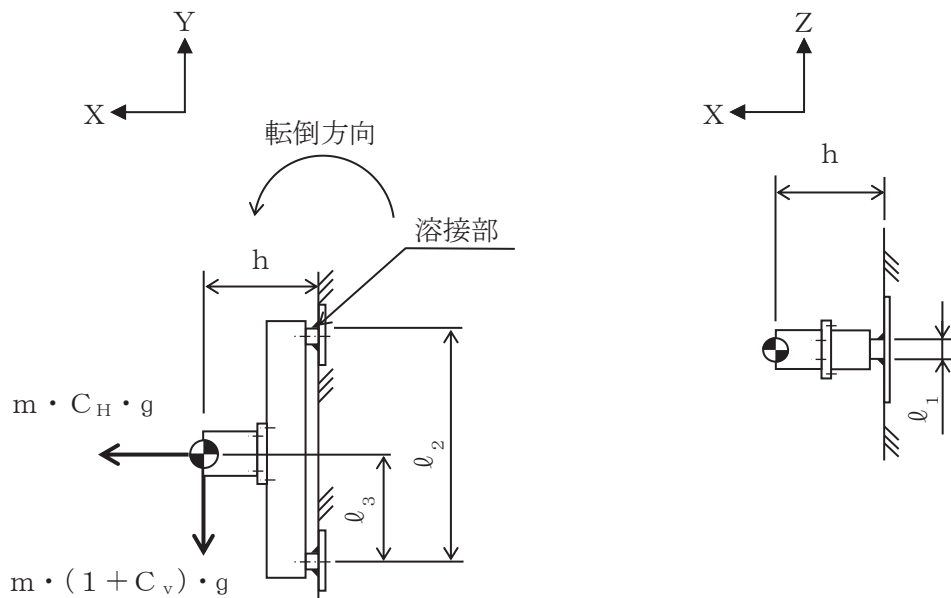


図 5-2 計算モデル（鉛直方向転倒）

a. 引張応力

溶接部に対する引張応力は、全溶接断面積で受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図 5-1 の場合の引張力

$$F_{w1} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot h}{n_{fH} \cdot \ell_1} + \frac{(1 + C_V) \cdot h}{n_{fV} \cdot \ell_2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

計算モデル図 5-2 の場合の引張力

$$F_{w2} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot \ell_3 + (1 + C_V) \cdot h}{n_{fV} \cdot \ell_2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

$$F_w = \text{Max} (F_{w1}, F_{w2}) \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_w}{A_w} \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

ここで、溶接部の有効断面積 A_w は次式により求める。

$$A_w = a \cdot (t + u) \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

ただし、溶接部の有効のど厚 a は、

$$a = 0.7 \cdot s \dots\dots\dots (5.4.1.6)$$

b. せん断応力

溶接部に対するせん断応力は、各方向の有効せん断面積で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{w1} = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.4.1.7)$$

$$Q_{w2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \dots\dots\dots (5.4.1.8)$$

$$Q_w = \sqrt{(Q_{w1})^2 + (Q_{w2})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.9)$$

せん断応力

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{Q_{w1}}{n \cdot A_{w1}}\right)^2 + \left(\frac{Q_{w2}}{n \cdot A_{w2}}\right)^2} \dots\dots\dots (5.4.1.10)$$

ここで、 A_{w1} 、 A_{w2} はせん断力を受ける各方向の有効断面積を示す。

A_{w1} 、 A_{w2} は、次式により求める。

$$A_{w1} = a \cdot u \dots\dots\dots (5.4.1.11)$$

$$A_{w2} = a \cdot t \dots\dots\dots (5.4.1.12)$$

c. 組合せ応力

溶接部に対する組合せ応力は、各応力を足し合わせたものとして計算する。

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_t)^2 + \tau^2} \dots\dots\dots (5.4.1.13)$$

5.5 計算条件

5.5.1 溶接部の応力計算条件

溶接部の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【フィルタ装置出口圧力（広帯域）(T63-PT006)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 溶接部の応力評価

5.4.1項で求めた溶接部に発生する応力は、許容応力 f_s 以下であること。ただし、 f_s は下表による。

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

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

フィルタ装置出口圧力（広帯域）の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

計器スタンションに設置される検出器の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置出口圧力（広帯域） (T63-PT006)	水平方向	
	鉛直方向	

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置出口圧力（広帯域）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電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。

【フィルタ装置出口圧力（広帯域）（T63-PT006）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
フィルタ装置出口圧力 (広帯域) (T63-PT006)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 15.00 (O.P. 22.50*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =2.12	C _V =1.56	66

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m (kg)	h (mm)	s (mm)	a (mm)	t (mm)	u (mm)	n	n _{fV}	n _{fH}	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	A _w (mm ²)	A _{w1} (mm ²)	A _{w2} (mm ²)
溶接部		460					2	1	2						

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向*1	
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
溶接部	216	385	—	260	—	水平方向

注記*1：水平、鉛直方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 溶接部に作用する力

(単位：N)

部 材	F_w		Q_w	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
溶接部	—		—	

1.4 結論

1.4.1 溶接部の応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
溶接部		引張り	—	—	$\sigma_t = 13$	$f_s = 150$
		せん断	—	—	$\tau = 5$	$f_s = 150$
		組合せ	—	—	$\sigma_w = 14$	$f_s = 150$

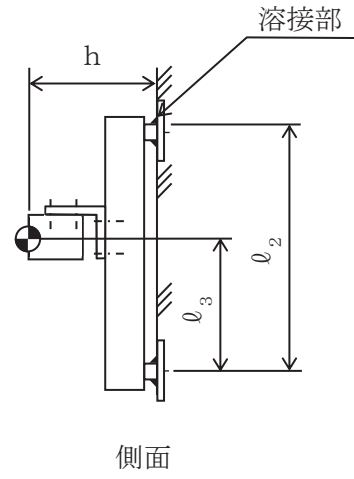
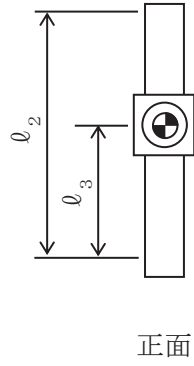
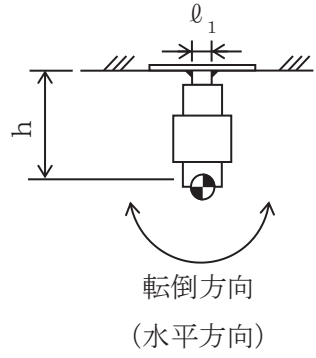
すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8m/s^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
フィルタ装置出口圧力 (広帯域) (T63-PT006)	水平方向	1.77	
	鉛直方向	1.30	

注記*：基準地震動 S s により定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-6-7-14 フィルタ装置水温度の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
3. 評価部位	3
4. 機能維持評価	4
4.1 機能維持評価用加速度	4
4.2 機能確認済加速度	4
5. 評価結果	4
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	4

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、フィルタ装置水温度が設計用地震力に対して十分な電氣的機能を有していることを説明するものである。

フィルタ装置水温度は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置水温度の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、フィルタ装置に溶接された保護管に固定する。</p>	<p>熱電対 (検出器は、フィルタ装置に溶接された保護管に固定される構造)</p>	<p>【フィルタ装置水温度】</p> <p>フィルタ装置 溶接部 検出器 保護管</p> <p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

フィルタ装置水温度の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「4. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

フィルタ装置水温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

なお、フィルタ装置水温度は、小型で軽量であることから十分に剛であるとみなせるため、固有周期の計算は省略し、設置位置の最大応答加速度を適用する。

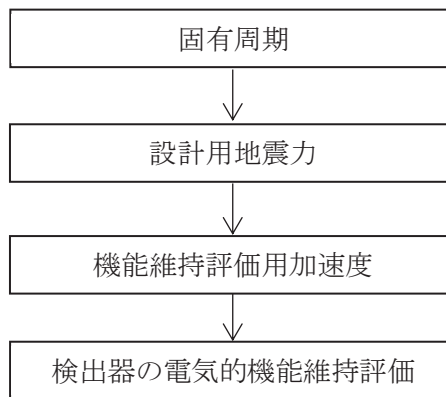


図 2-1 フィルタ装置水温度の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (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)
- (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)

3. 評価部位

フィルタ装置水温度は、フィルタ装置に直接取り付けられた保護管に挿入され固定されることから、フィルタ装置が支持している。フィルタ装置の構造強度評価は、添付書類「VI-2-9-4-6-1-2 フィルタ装置の耐震性についての計算書」にて実施しているため、本計算書では、フィルタ装置の地震応答解析結果を用いたフィルタ装置水温度の電氣的機能維持評価について示す。

4. 機能維持評価

フィルタ装置水温度の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

4.1 機能維持評価用加速度

フィルタ装置水温度はフィルタ装置に直接取り付けられた保護管に挿入されることから、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度の値とする。機能維持評価用加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能維持評価用加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	機能維持評価用加速度
フィルタ装置水温度 (T63-TE011A, B, C)	原子炉建屋 O. P. 15.00 (O. P. 22.50*)	水平方向	1.77
		鉛直方向	1.30

注記*：基準床レベルを示す。

4.2 機能確認済加速度

フィルタ装置水温度の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2 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
フィルタ装置水温度 (T63-TE011A, B, C)	水平方向	
	鉛直方向	

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置水温度の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、設計用地震力に対して電氣的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置水温度 (T63-TE011A, B, C) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
フィルタ装置水温度 (T63-TE011A, B, C)	水平方向	1.77	
	鉛直方向	1.30	

注記* : 基準地震動 S_s により定まる応答加速度 (1.0ZPA) の値とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

VI-2-6-7-15 フィルタ装置出口水素濃度の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の算出方法	3
4. 構造強度評価	3
4.1 構造強度評価方法	3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
4.2.2 許容応力	3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	3
4.3 計算条件	3
5. 機能維持評価	6
5.1 電氣的機能維持評価方法	6
6. 評価結果	7
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	7

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、フィルタ装置出口水素濃度が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

フィルタ装置出口水素濃度は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、フィルタ装置出口水素濃度が設置される計装ラックは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形計装ラックと類似の構造*であるため、添付書類「VI-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

構造強度評価については、計装ラックの取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また、電氣的機能維持評価については、機能維持評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電氣的機能維持評価に用いる機能維持評価用加速度は、設置床高さが同じで計装ラックが剛構造の場合は同じ加速度となることから、構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。評価対象を表 1-1 に示す。

注記*：フィルタ装置出口水素濃度が設置される計装ラックは、壁面からサポートが設置されるが、チャンネルベースへの取付ボルトのみに応力を受けるものとして評価する。

表 1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
T63-H ₂ E208（代表） T63-H ₂ E209	VI-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針	表 2-1 構造計画

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置出口水素濃度の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより計装ラックに取付けられた取付板に固定される。</p> <p>計装ラックは、チャンネルベースに取付ボルトで固定され、チャンネルベースは、床に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>熱伝導率式水素検出器 (床に設置された計装ラックに検出器を計器取付ボルトにより固定する構造)</p>	<p>【フィルタ装置出口水素濃度 H22-P384 (T63-H₂E208)】</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>正面</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>側面</p> </div> </div> <p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p> <p>注記* : 検出器は代表して 1 台を示す。</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

振動試験装置により固有振動数（共振振動数）を測定する。測定の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	鉛直方向

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

フィルタ装置出口水素濃度の構造強度評価は，添付書類「VI-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置出口水素濃度の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

フィルタ装置出口水素濃度の許容応力は，添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

フィルタ装置出口水素濃度の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【フィルタ装置出口水素濃度 (T63-H₂E208) 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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	フィルタ装置出口 水素濃度	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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 (°C)		S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	S _{yi} (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト (i =1)	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	66	225	385	—
取付ボルト (i =2)	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	66	225	385	—

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

フィルタ装置出口水素濃度の電気的機能維持評価について、以下に示す。

電気的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

計装ラックに設置される検出器の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電気的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置出口 水素濃度 (T63-H ₂ E208)	水平方向	
	鉛直方向	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置出口水素濃度の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電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。

【フィルタ装置出口水素濃度 (T63-H₂E208) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
フィルタ装置出口 水素濃度 (T63-H ₂ E208)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 OP. 22.50 (OP. 33.20*)			—	—	C _H =2.65	C _V =1.77	66

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} * ¹ (mm)	ℓ _{2i} * ¹ (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} * ¹	
基礎ボルト (i=1)		1950						18	9
									2
取付ボルト (i=2)		1850						18	9
									2

部 材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向* ²	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	225	385	—	270	—	長辺方向
取付ボルト (i=2)	225	385	—	270	—	長辺方向

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

*2：短辺、長辺方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=161$	$f_{ts1}=162^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=15$	$f_{sb1}=124$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=150$	$f_{ts2}=202^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=14$	$f_{sb2}=155$

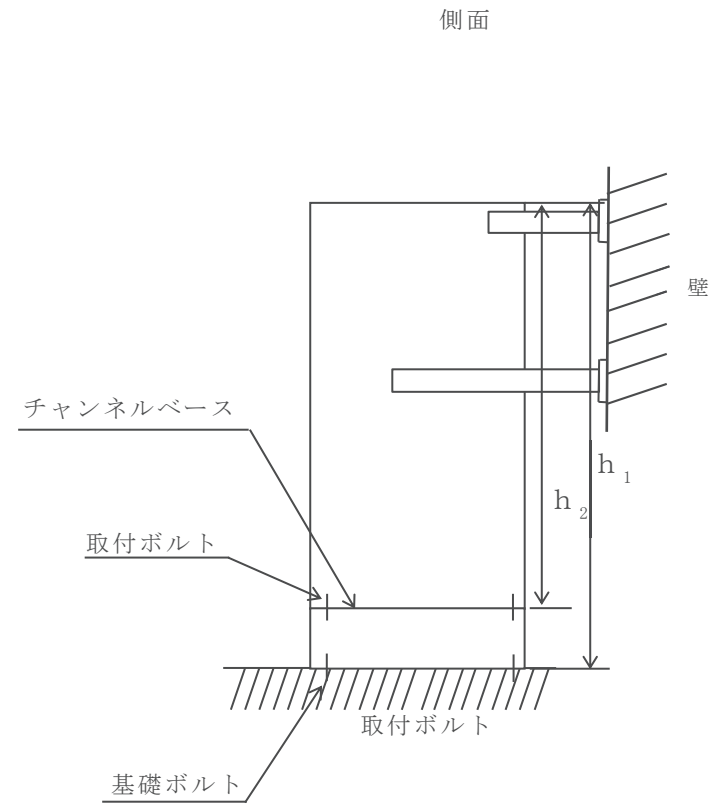
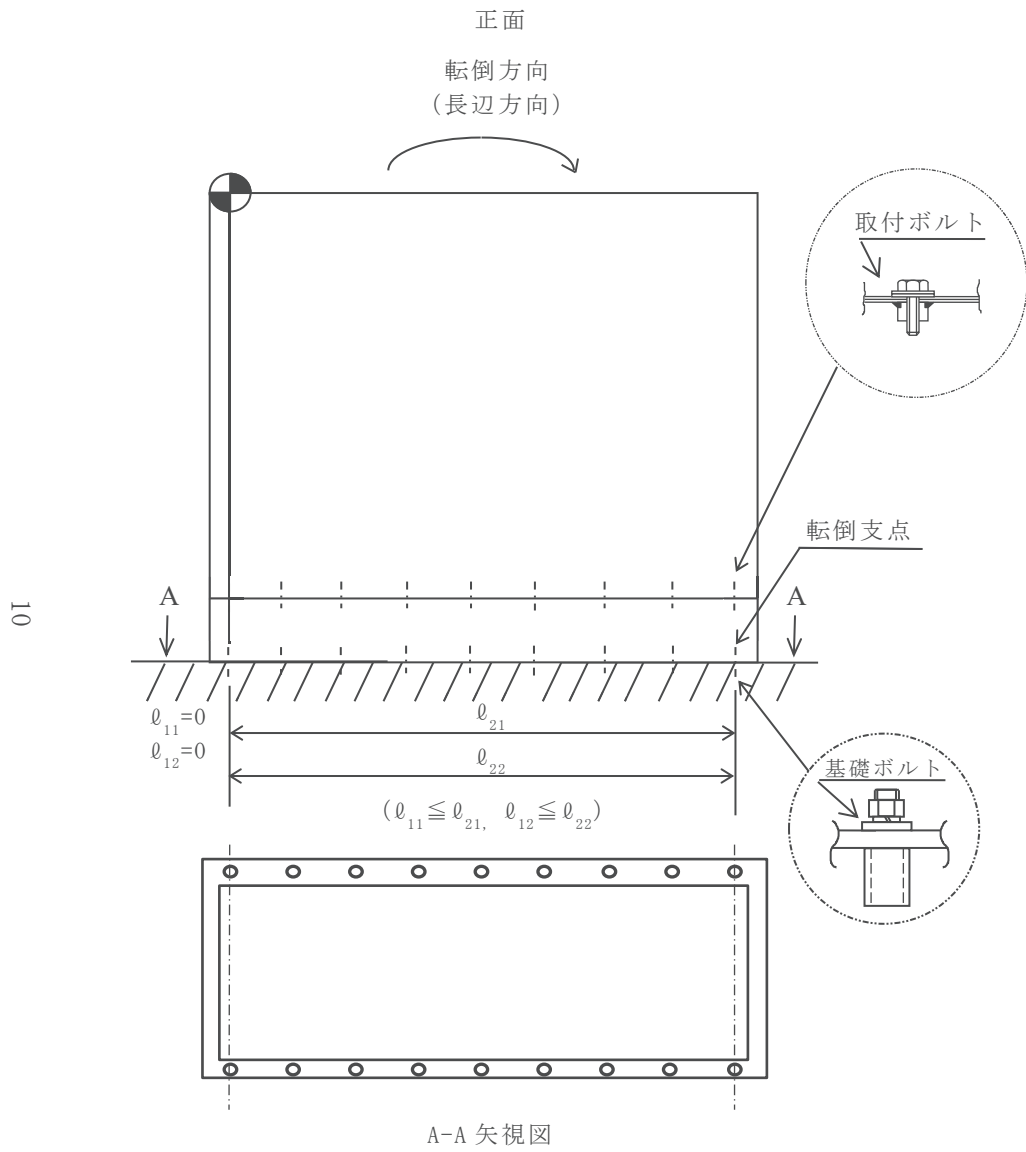
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出。
すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
フィルタ装置出口 水素濃度 (T63-H ₂ E208)	水平方向	2.21	
	鉛直方向	1.47	

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-6-7-16 原子炉補機冷却水系系統流量の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
4. 構造強度評価	3
4.1 構造強度評価方法	3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
4.2.2 許容応力	3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	3
4.3 計算条件	3
5. 機能維持評価	6
5.1 電氣的機能維持評価方法	6
6. 評価結果	6
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	6
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	6

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-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、原子炉補機冷却水系系統流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

原子炉補機冷却水系系統流量は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、原子炉補機冷却水系系統流量が設置される計装ラックは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の壁掛形計装ラックと類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

構造強度評価については、計装ラックの取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また、電氣的機能維持評価については、機能維持評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電氣的機能維持評価に用いる機能維持評価用加速度は、設置床高さが同じで計装ラックが剛構造の場合は同じ加速度となることから、構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。

評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
P42-FT006A P42-FT006B（代表）	VI-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針	表 2-1 構造計画

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉補機冷却水系系統流量の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計装ラックに固定される。</p> <p>計器ラックは、チャンネルベースに取付ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器 (壁に設置された計装ラックに検出器を計器取付ボルトにより固定する構造)</p>	<p>【原子炉補機冷却水系系統流量 (H22-P603 (P42-FT006B))】</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>上面</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>側面</p> </div> </div> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p> <p>注記*：検出器は代表して1台を示す。</p>

3. 固有周期

原子炉補機冷却水系系統流量が設置される計装ラックの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計装ラックに対する振動試験（打振試験）の測定結果から、固有周期は0.05秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期の確認結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	鉛直方向
0.05 以下	0.05 以下

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

原子炉補機冷却水系系統流量の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉補機冷却水系系統流量の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

4.2.2 許容応力

原子炉補機冷却水系系統流量の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表4-3のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉補機冷却水系系統流量の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-5に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機冷却水系系統流量（H22-P603（P42-FT006B））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。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉補機冷却水系系統流量	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _{AS}
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _{AS}

注記*1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	原子炉補機冷却水系系統流量	常設／防止 (DB 拡張)	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _{AS} (V _{AS} として Ⅳ _{AS} の許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止」は常設重大事故防止設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
III _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 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 _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
取付ボルト (i = 2)	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	40	215	400	—

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
取付ボルト (i = 2)	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	40	215	400	—

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

原子炉補機冷却水系系統流量の電気的機能維持評価について、以下に示す。

電気的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

計装ラックに設置される検出器の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電気的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉補機冷却水系系統流量 (P42-FT006B)	水平方向	
	鉛直方向	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉補機冷却水系系統流量の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉補機冷却水系系統流量の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

【原子炉補機冷却水系系統流量（H22-P603（P42-FT006B））の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
原子炉補機冷却水系 系統流量 (P42-FT006B)	S	原子炉建屋 O.P. -8.10 (O.P. -0.80*)	0.05 以下	0.05 以下	C _H =0.63	C _V =0.51	C _H =1.34	C _V =0.88	40

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} (mm)	ℓ _{2i} (mm)	ℓ _{3i} (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fvi}	n _{fhi}	
取付ボルト (i=2)		400							8	2	4

部 材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向*1	
					弾性設計用 地震動 S _d 又 は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト (i=2)	215	400	215	258	鉛直方向	鉛直方向

注記*1：水平、鉛直方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	$\sigma_{b2}=10$	$f_{ts2}=161^*$	$\sigma_{b2}=17$	$f_{ts2}=193^*$
		せん断	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=124$	$\tau_{b2}=5$	$f_{sb2}=148$

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

すべて許容応力以下である。

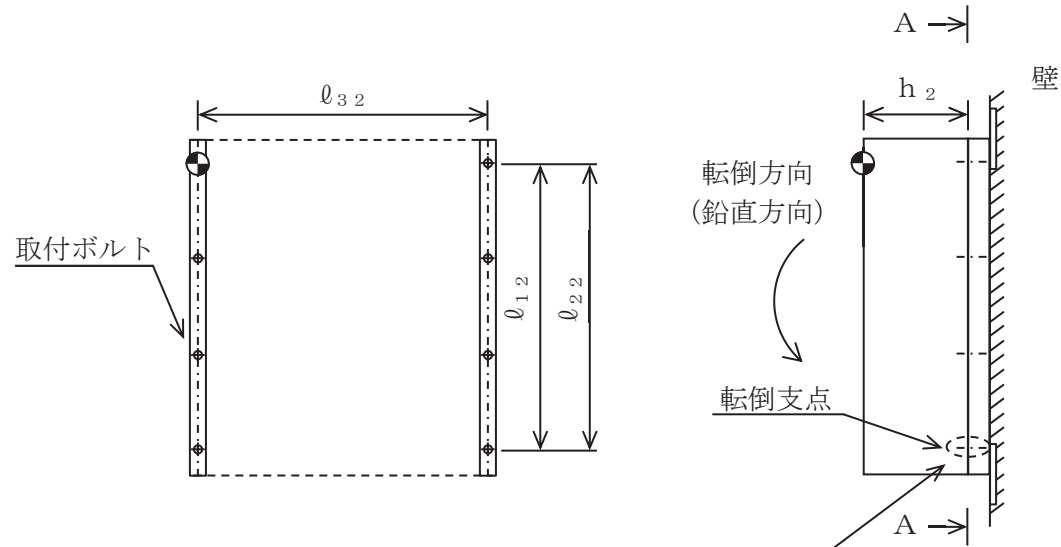
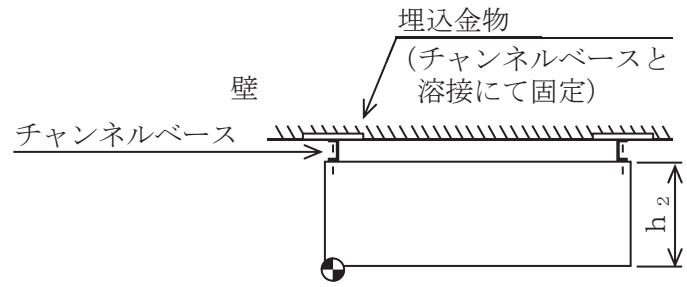
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
原子炉補機冷却水系 系統流量 (P42-FT006B)	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.73	

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

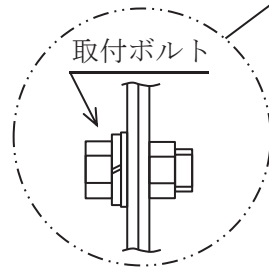
機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。



A~A矢视图

正面

側面



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 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
原子炉補機冷却水系 系統流量 (P42-FT006B)	常設/防止 (DB 拡張)	原子炉建屋 O.P. -8.10 (O.P. -0.80*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =1.34	C _V =0.88	40

注記*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	l _{1i} (mm)	l _{2i} (mm)	l _{3i} (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fvi}	n _{fHi}	
取付ボルト (i=2)		400							8	2	4

部 材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向*1	
					弾性設計用 地震動 S _d 又 は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト (i=2)	215	400	—	258	—	鉛直方向

注記*1：水平、鉛直方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
取付ボルト ($i=2$)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト ($i=2$)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=17$	$f_{ts2}=193^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=5$	$f_{sb2}=148$

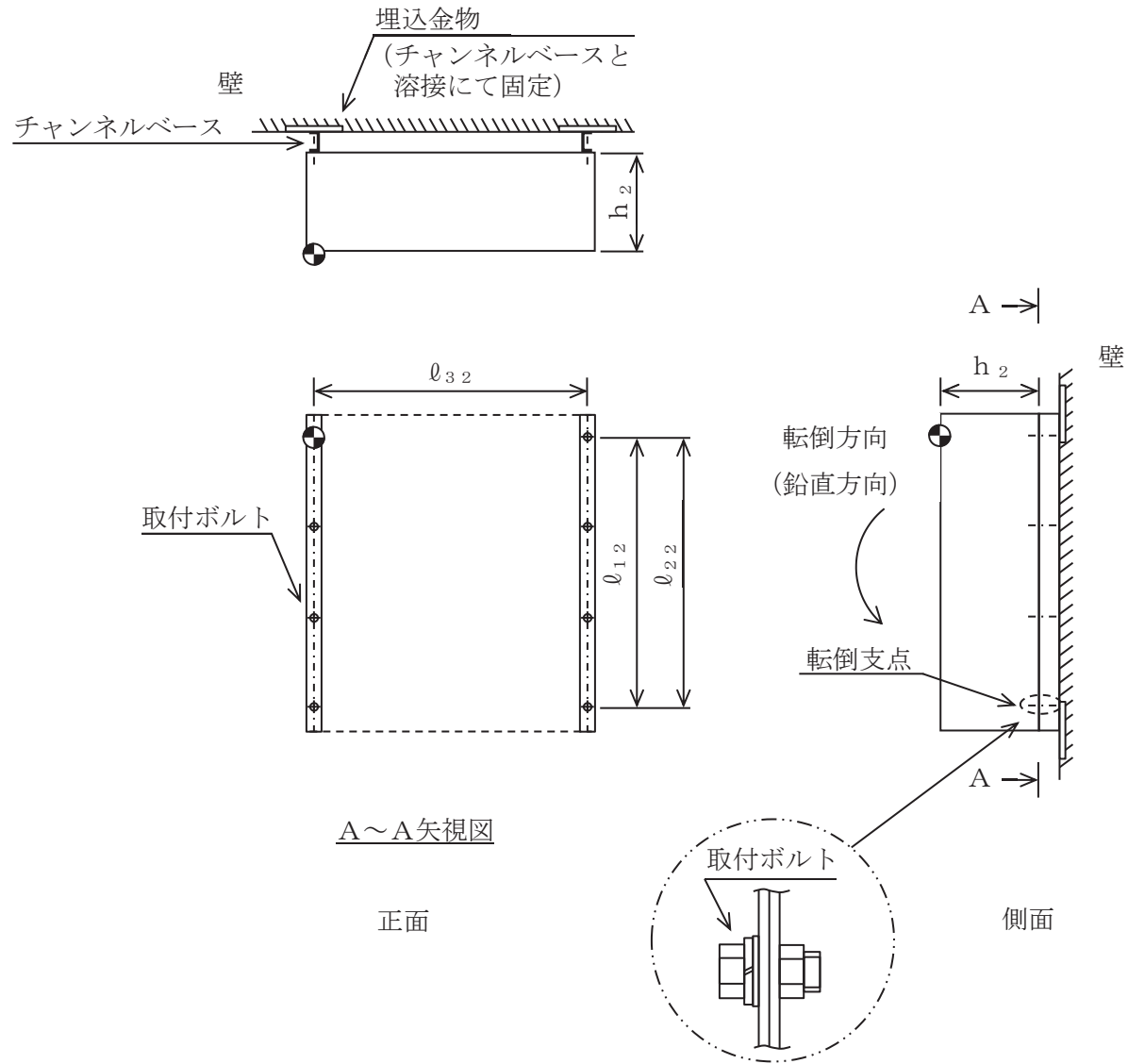
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出。
すべて許容応力以下である。

2.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
原子炉補機冷却水系 系統流量 (P42-FT006B)	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.73	

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-6-7-17 残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量の耐震性についての
計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用規格・基準等	3
2.4	記号の説明	4
2.5	計算精度と数値の丸め方	5
3.	評価部位	5
4.	固有周期	5
5.	構造強度評価	6
5.1	構造強度評価方法	6
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	6
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	6
5.2.2	許容応力	6
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	6
5.3	設計用地震力	9
5.4	計算方法	10
5.4.1	応力の計算方法	10
5.5	計算条件	12
5.5.1	溶接部の応力計算条件	12
5.6	応力の評価	12
5.6.1	溶接部の応力評価	12
6.	機能維持評価	13
6.1	電氣的機能維持評価方法	13
7.	評価結果	13
7.1	重大事故等対処設備としての評価結果	13

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量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。

残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量は、設計基準対象施設においてはCクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）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。

なお、構造強度評価については、計器スタンションの溶接部に作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また、電氣的機能維持評価については、機能維持評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電氣的機能維持評価に用いる機能維持評価用加速度は、設置床高さが同じで計器スタンションが剛構造の場合は同じ加速度となることから、構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。

評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
P42-FT016A（代表） P42-FT016B	5. 構造強度評価	表 2-1 構造計画

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器スターションに固定される。</p> <p>計器スターションは、基礎に埋め込まれた埋込金物に溶接で設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器 (壁に設置された計器スターションに検出器を計器取付ボルトにより固定する構造)</p>	<p>【残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量 (P42-FT016A)】</p> <p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で確認した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

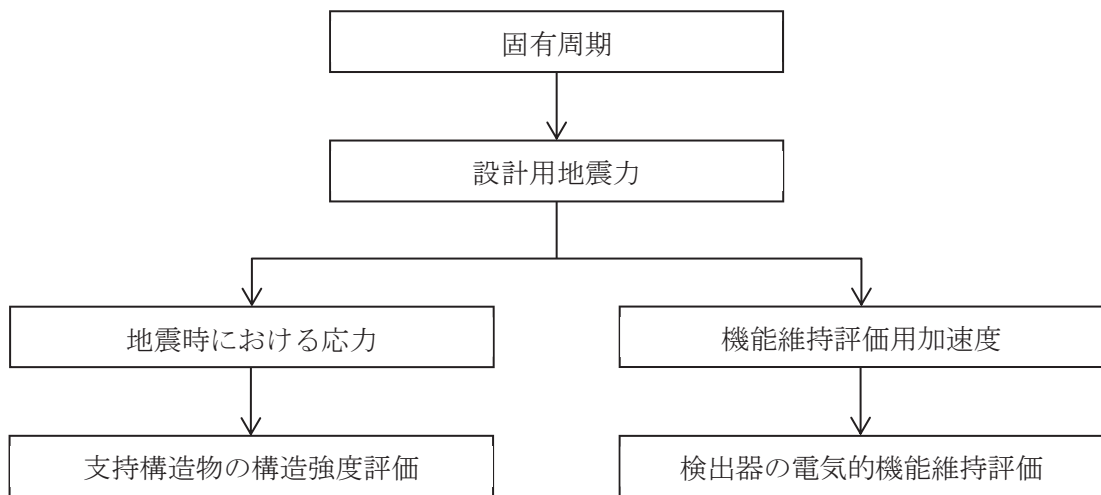


図 2-1 残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (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)
- (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)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (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	溶接部の有効のど厚	mm
A_w	溶接部の有効断面積	mm ²
A_{w1}	溶接部の F_{w1} に対する有効断面積	mm ²
A_{w2}	溶接部の F_{w2} に対する有効断面積	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 に定める値	MPa
F_w	溶接部に作用する引張力	N
F_{w1}	鉛直方向地震及び壁掛形計器スタンションの取付面に対し左右方向の水平方向地震により溶接部に作用する引張力	N
F_{w2}	鉛直方向地震及び壁掛形計器スタンションの取付面に対し前後方向の水平方向地震により溶接部に作用する引張力	N
Q_w	溶接部に作用するせん断力	N
Q_{w1}	水平方向地震により溶接部に作用するせん断力	N
Q_{w2}	鉛直方向地震により溶接部に作用するせん断力	N
f_s	溶接部の許容せん断応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h	取付面から重心までの距離	mm
l_1	側面 (左右) 溶接部間の距離	mm
l_2	下側溶接部中心と上側溶接部端部までの距離	mm
l_3	重心と下側溶接部中心間の距離	mm
m	検出器及び計器スタンションの質量	kg
n	溶接箇所数	—
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待する溶接箇所数 (鉛直方向転倒)	—
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待する溶接箇所数 (水平方向転倒)	—
s	溶接脚長	mm
t	溶接の有効長さ (Y方向)	mm
u	溶接の有効長さ (Z方向)	mm
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に定める材料の40°Cにおける値	MPa
σ_t	溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_w	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
τ	溶接部に生じるせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位* ³

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第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる溶接部について評価を実施する。残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量が設置される計器スタンションの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計器スタンションに対する振動試験（打振試験）の測定結果から、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期の確認結果を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	鉛直方向
0.05 以下	0.05 以下

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量は溶接で壁面に固定される。
- (4) 転倒方向は、図 5-1, 図 5-2 計算モデルにおける水平方向及び鉛直方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量の重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	残留熱除去系熱交換器冷却水 入口流量（P42-FT016A）	常設／防止 （DB 拡張）	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} （ V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。）

注記*1：「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）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*1, *2 (ボルト等以外)			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	曲げ
IV_{AS}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$
V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。)				

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

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

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		溶接部		周囲環境温度	66	216

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

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

表 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
原子炉建屋 O.P. 6.00 (O.P. 15.00*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	$C_H=1.97$	$C_V=1.37$

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

(1) 溶接部の計算方法

溶接部の応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

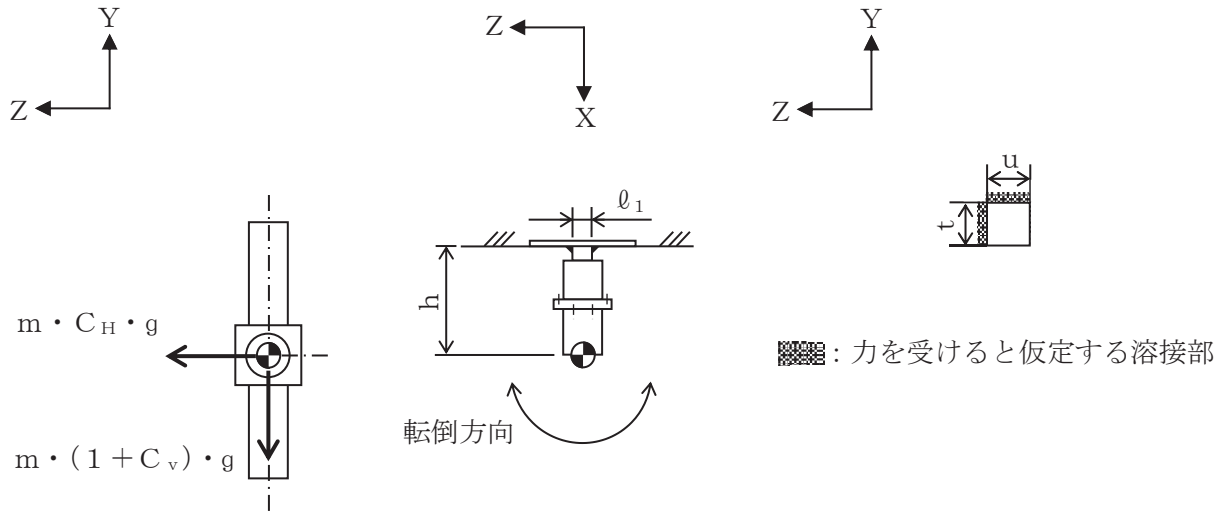


図 5-1 計算モデル（水平方向転倒）

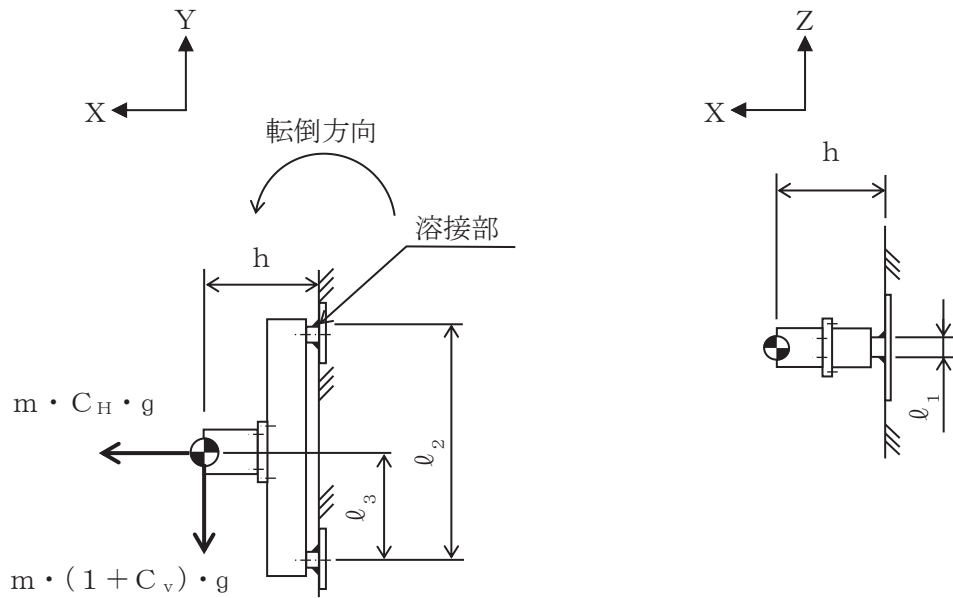


図 5-2 計算モデル（鉛直方向転倒）

a. 引張応力

溶接部に対する引張応力は、全溶接断面積で受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図 5-1 の場合の引張力

$$F_{w1} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot h}{n_{fH} \cdot \ell_1} + \frac{(1 + C_V) \cdot h}{n_{fV} \cdot \ell_2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

計算モデル図 5-2 の場合の引張力

$$F_{w2} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot \ell_3 + (1 + C_V) \cdot h}{n_{fV} \cdot \ell_2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

$$F_w = \text{Max} (F_{w1}, F_{w2}) \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_w}{A_w} \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

ここで、溶接部の有効断面積 A_w は次式により求める。

$$A_w = a \cdot (t + u) \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

ただし、溶接部の有効のど厚 a は、

$$a = 0.7 \cdot s \dots\dots\dots (5.4.1.6)$$

b. せん断応力

溶接部に対するせん断応力は、各方向の有効せん断面積で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{w1} = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.4.1.7)$$

$$Q_{w2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \dots\dots\dots (5.4.1.8)$$

$$Q_w = \sqrt{(Q_{w1})^2 + (Q_{w2})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.9)$$

せん断応力

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{Q_{w1}}{n \cdot A_{w1}}\right)^2 + \left(\frac{Q_{w2}}{n \cdot A_{w2}}\right)^2} \dots\dots\dots (5.4.1.10)$$

ここで、 A_{w1} 、 A_{w2} はせん断力を受ける各方向の有効断面積を示す。

A_{w1} 、 A_{w2} は、次式により求める。

$$A_{w1} = a \cdot u \dots\dots\dots (5.4.1.11)$$

$$A_{w2} = a \cdot t \dots\dots\dots (5.4.1.12)$$

c. 組合せ応力

溶接部に対する組合せ応力は、各応力を足し合わせたものとして計算する。

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_t)^2 + \tau^2} \dots\dots\dots (5.4.1.13)$$

5.5 計算条件

5.5.1 溶接部の応力計算条件

溶接部の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量 (P42-FT016A) 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 溶接部の応力評価

5.4.1項で求めた溶接部に発生する応力は、許容応力 f_s 以下であること。ただし、 f_s は下表による。

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

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

計器スタンションに設置される検出器の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量 (P42-FT016A)	水平方向	
	鉛直方向	

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電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。

【残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量 (P42-FT016A) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備
1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
残留熱除去系熱交換器 冷却水入口流量 (P42-FT016A)	常設/防止 (DB 拡張)	原子炉建屋 O.P. 6.00 (O.P. 15.00*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =1.97	C _V =1.37	66

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m (kg)	h (mm)	s (mm)	a (mm)	t (mm)	u (mm)	n	n _{fV}	n _{fH}	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	A _w (mm ²)	A _{w1} (mm ²)	A _{w2} (mm ²)
溶接部		447.5					2	1	2						

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向*1	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
溶接部	216	385	—	260	—	水平方向

注記*1 : 水平、鉛直方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3 計算数値

1.3.1 溶接部に作用する力

(単位：N)

部 材	F _w		Q _w	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
溶接部	—		—	

1.4 結論

1.4.1 溶接部の応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
溶接部		引張り	—	—	$\sigma_t = 15$	$f_s = 150$
		せん断	—	—	$\tau = 5$	$f_s = 150$
		組合せ	—	—	$\sigma_w = 15$	$f_s = 150$

すべて許容応力以下である。

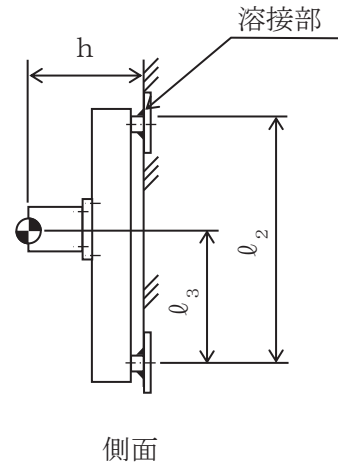
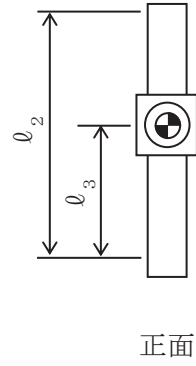
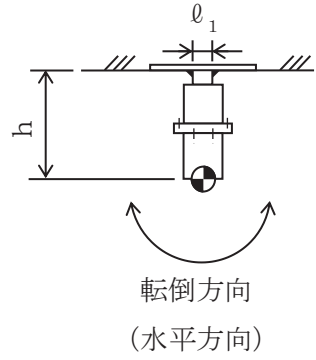
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
残留熱除去系熱交換器 冷却水入口流量 (P42-FT016A)	水平方向	1.65	
	鉛直方向	1.15	

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-6-7-18 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置の耐震性についての計算書

目次

1.	静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE001, 002)	1
1.1	概要	1
1.2	一般事項	1
1.2.1	構造計画	1
1.2.2	評価方針	3
1.2.3	適用規格・基準等	3
1.2.4	記号の説明	4
1.2.5	計算精度と数値の丸め方	5
1.3	評価部位	5
1.4	地震応答解析及び構造強度評価	6
1.4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	6
1.4.2	荷重の組合せ及び許容応力	6
1.4.3	解析モデル及び諸元	9
1.4.4	固有周期	9
1.4.5	設計用地震力	11
1.4.6	計算方法	12
1.4.7	計算条件	15
1.4.8	応力の評価	15
1.5	機能維持評価	16
1.5.1	電氣的機能維持評価方法	16
1.6	評価結果	16
1.6.1	重大事故等対処設備としての評価結果	16
2.	静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004)	22
2.1	概要	22
2.2	一般事項	22
2.2.1	構造計画	22
2.2.2	評価方針	24
2.2.3	適用規格・基準等	24
2.2.4	記号の説明	25
2.2.5	計算精度と数値の丸め方	26
2.3	評価部位	26
2.4	地震応答解析及び構造強度評価	27
2.4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	27
2.4.2	荷重の組合せ及び許容応力	27

2.4.3	解析モデル及び諸元	30
2.4.4	固有周期	31
2.4.5	設計用地震力	33
2.4.6	計算方法	34
2.4.7	計算条件	37
2.4.8	応力の評価	37
2.5	機能維持評価	38
2.5.1	電氣的機能維持評価方法	38
2.6	評価結果	38
2.6.1	重大事故等対処設備としての評価結果	38
3.	静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE005, 006, 007, 008)	45
3.1	概要	45
3.2	一般事項	45
3.2.1	構造計画	45
3.2.2	評価方針	47
3.2.3	適用規格・基準等	47
3.2.4	記号の説明	48
3.2.5	計算精度と数値の丸め方	49
3.3	評価部位	49
3.4	地震応答解析及び構造強度評価	50
3.4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	50
3.4.2	荷重の組合せ及び許容応力	50
3.4.3	解析モデル及び諸元	53
3.4.4	固有周期	55
3.4.5	設計用地震力	57
3.4.6	計算方法	58
3.4.7	計算条件	61
3.4.8	応力の評価	61
3.5	機能維持評価	62
3.5.1	電氣的機能維持評価方法	62
3.6	評価結果	62
3.6.1	重大事故等対処設備としての評価結果	62

1. 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE001, 002)

1.1 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE001, 002) 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。

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE001, 002) 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。

なお、構造強度評価については、サポート鋼材の基礎ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また、電氣的機能維持評価については、機能維持評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電氣的機能維持評価に用いる機能維持評価用加速度は、設置床高さが同じでサポート鋼材が剛構造の場合は同じ加速度となることから、構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
T71-TE001	1.4 地震応答解析及び構造強度評価	表 1-2 構造計画
T71-TE002 (代表)	1.5 機能維持評価	

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE002) の構造計画を表 1-2 に示す。

表 1-2 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、サポート鋼材に固定し、サポート鋼材は、基礎ボルトにより壁面に設置する。</p>	<p>熱電対 (検出器は、基礎に設置されたサポート鋼材に固定される構造)</p>	<p>【静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE002)】</p>

1.2.2 評価方針

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE002）の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「1.2.1 構造計画」にて示す静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE002）の部位を踏まえ「1.3 評価部位」にて設定する箇所において、「1.4.3 解析モデル及び諸元」及び「1.4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「1.4 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE002）の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「1.5 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「1.6 評価結果」に示す。

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE002）の耐震評価フローを図 1-1 に示す。

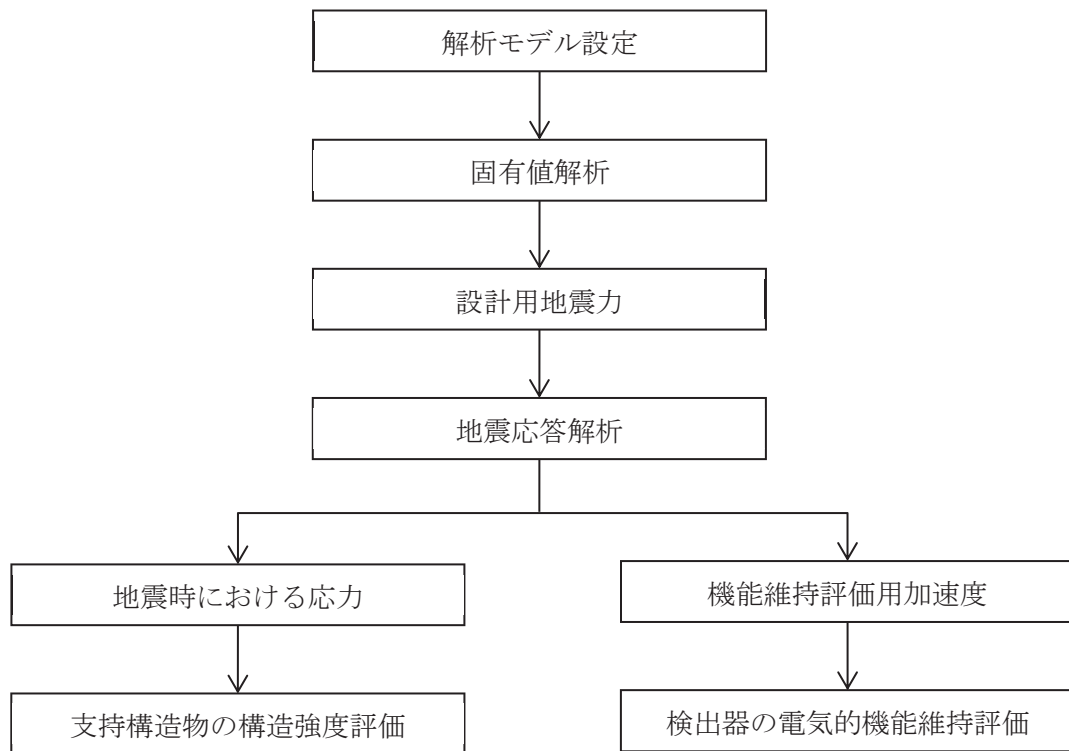


図 1-1 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE002）の耐震評価フロー

1.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下「設計・

建設規格」という。)

1.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
F_X	サポート鋼材基礎部に作用する力 (X方向)	N
F_Y	サポート鋼材基礎部に作用する力 (Y方向)	N
F_Z	サポート鋼材基礎部に作用する力 (Z方向)	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
l_1	基礎ボルトの応力計算に用いる距離 (水平方向)	mm
l_2	基礎ボルトの応力計算に用いる距離 (鉛直方向)	mm
l_3	基礎ボルトの応力計算に用いる距離 (水平方向と鉛直方向の小さい方)	mm
M_X	サポート鋼材基礎部に作用するモーメント (X軸周り)	N・mm
M_Y	サポート鋼材基礎部に作用するモーメント (Y軸周り)	N・mm
M_Z	サポート鋼材基礎部に作用するモーメント (Z軸周り)	N・mm
m_a	検出器の質量	kg
m_b	サポート鋼材の質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
n_Y	M_Y の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
n_Z	M_Z の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

1.2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 1-3 に示すとおりである。

表 1-3 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	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}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

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第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

1.3 評価部位

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE002) の耐震評価は、「1.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部について実施する。静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE002) の耐震評価部位については、表 1-2 の概略構造図に示す。

1.4 地震応答解析及び構造強度評価

1.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE002) は、基礎ボルトにより原子炉建屋壁面に固定されており、固定端とする。
- (2) 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE002) の質量は、検出器及びサポート鋼材を考慮する。
- (3) 地震力は、静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE002) に対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、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「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE002) の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4 に示す。

1.4.2.2 許容応力

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE002) の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 のとおりとする。

1.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE002) の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-6 に示す。

表 1-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の計 測制御系統 施設	静的触媒式水素再結合装置 動作監視装置	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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

表 1-5 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 1-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	66	206	385	—

1.4.3 解析モデル及び諸元

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE002) の解析モデルを3次元はりモデルとして図 1-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE002) の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE002) は三次元はりモデルを用いる。
- (2) 解析モデルにおいて、検出器の質量は、質点に集中するものとし、質点は検出器の取付位置に設置する。
- (3) 拘束条件として、支持点 (サポート鋼材基礎部) の X Y Z 方向及び回転方向を固定する。
 なお、サポート鋼材は、原子炉建屋壁面に固定されることから、①～④の部材で組まれた支持構造物とみなし、支持点 (サポート鋼材基礎部) 1 点で固定される。
- (4) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値を求める。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム (解析コード) の概要」に示す。

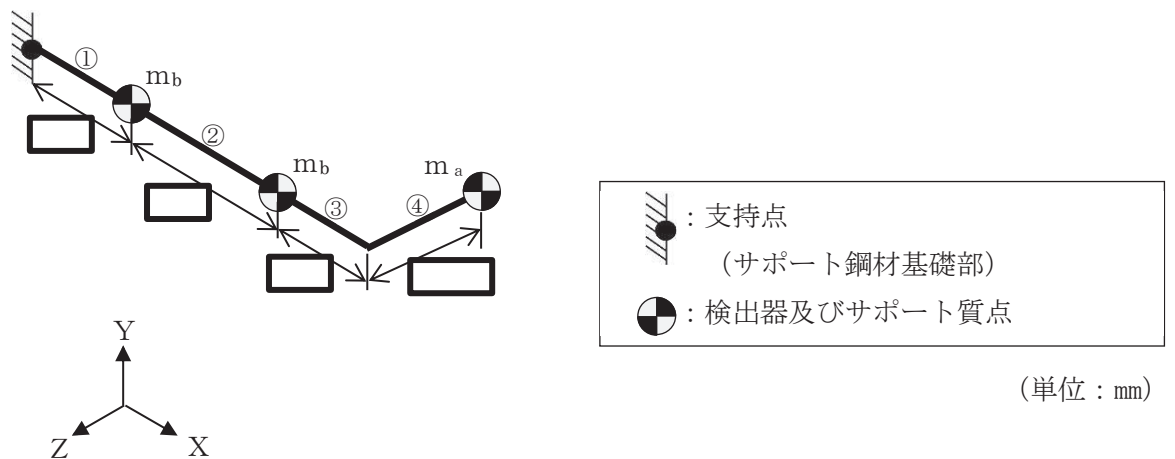


図 1-2 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE002) 解析モデル

1.4.4 固有周期

固有値解析結果を表 1-7 に、振動モード図を図 1-3 及び図 1-4 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 1-7 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			Z 方向	X 方向	
1 次	鉛直方向		—	—	—
2 次	水平方向		—	—	—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

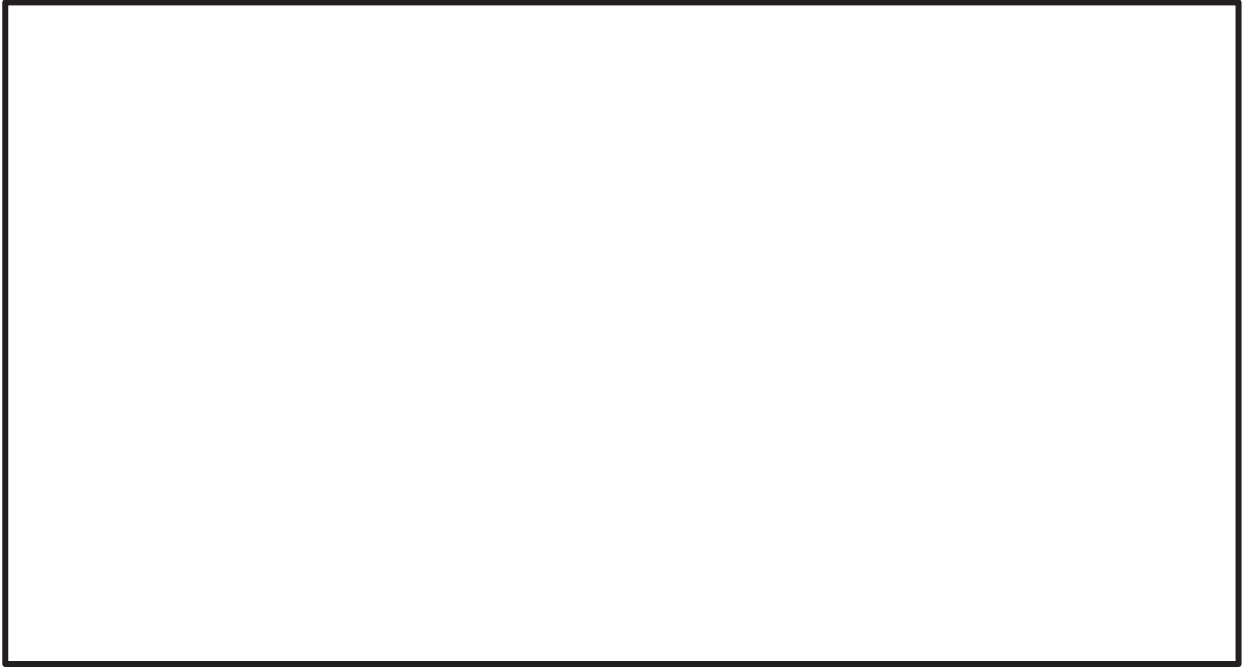


図 1-3 振動モード図 (1 次モード 鉛直方向 s)

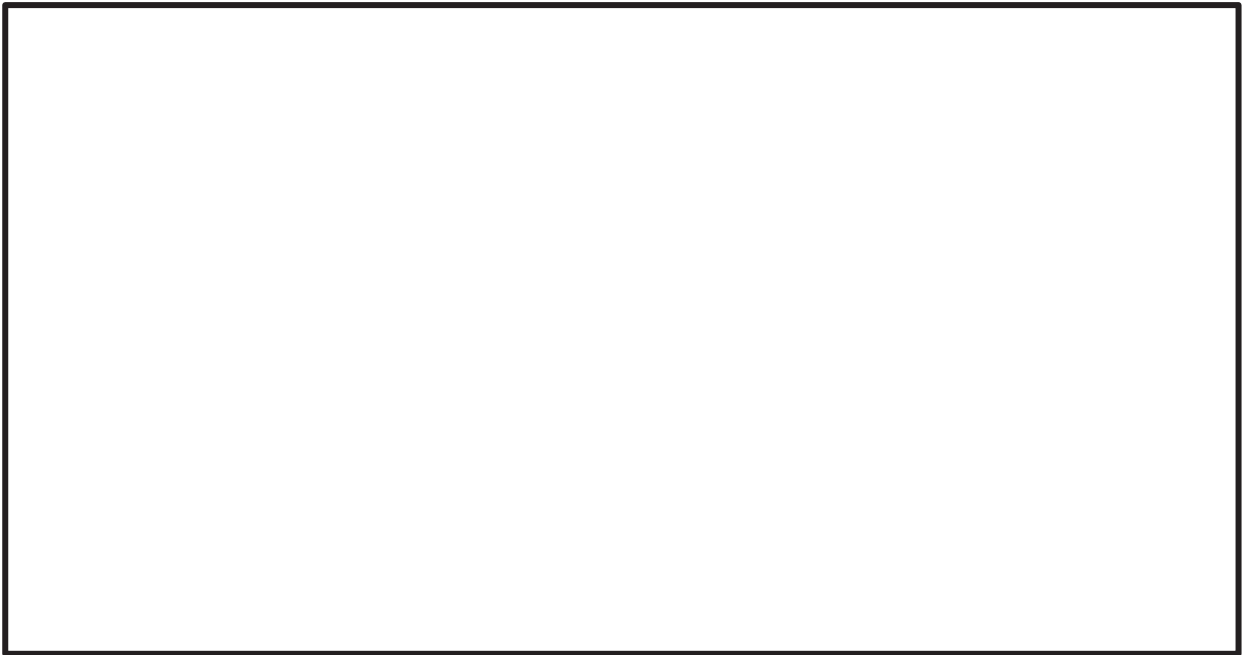


図 1-4 振動モード図 (2 次モード 水平方向 s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.4.5 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 1-8 に示す。

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

表 1-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 O.P. 33. 20* ¹ (O.P. 36. 058)			—	—	$C_H=2.93$	$C_V=1.82$

注記*1：基準床レベルを示す。

1.4.6 計算方法

1.4.6.1 応力の計算方法

1.4.6.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

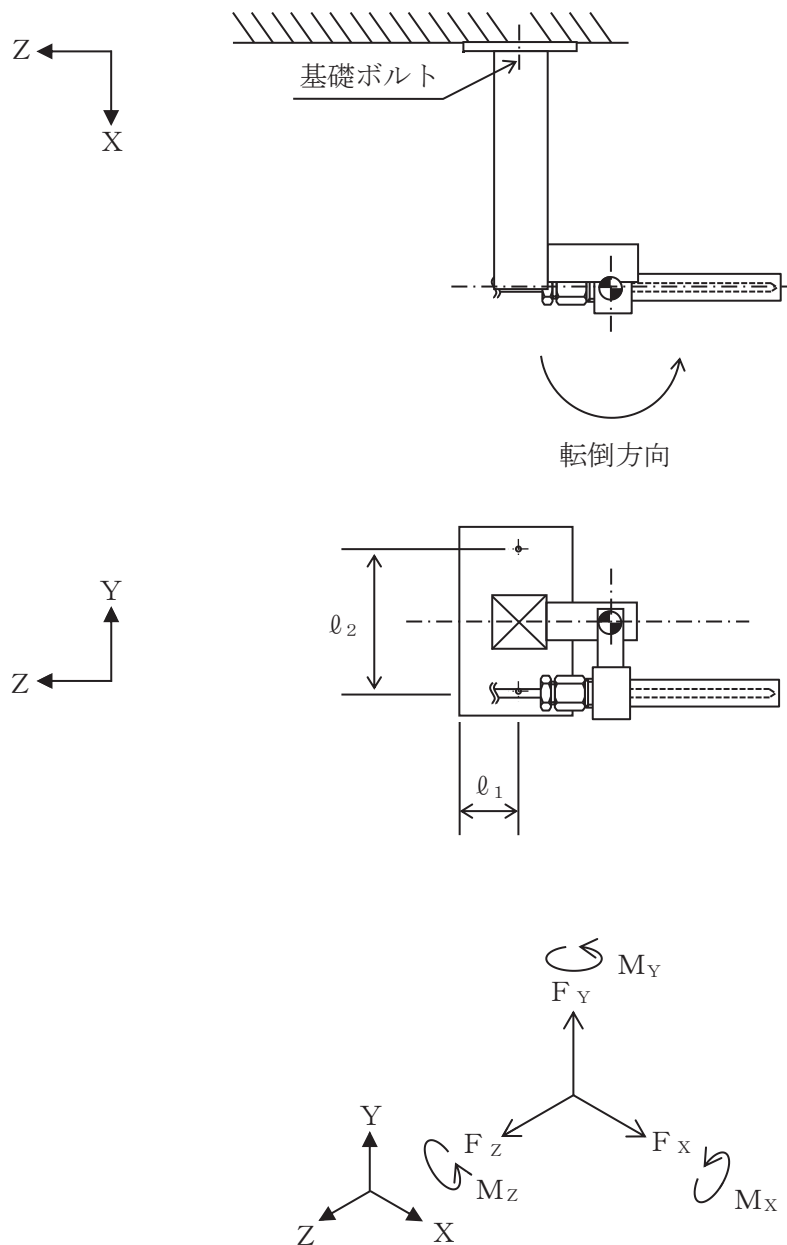


図 1-5 計算モデル (水平方向転倒)

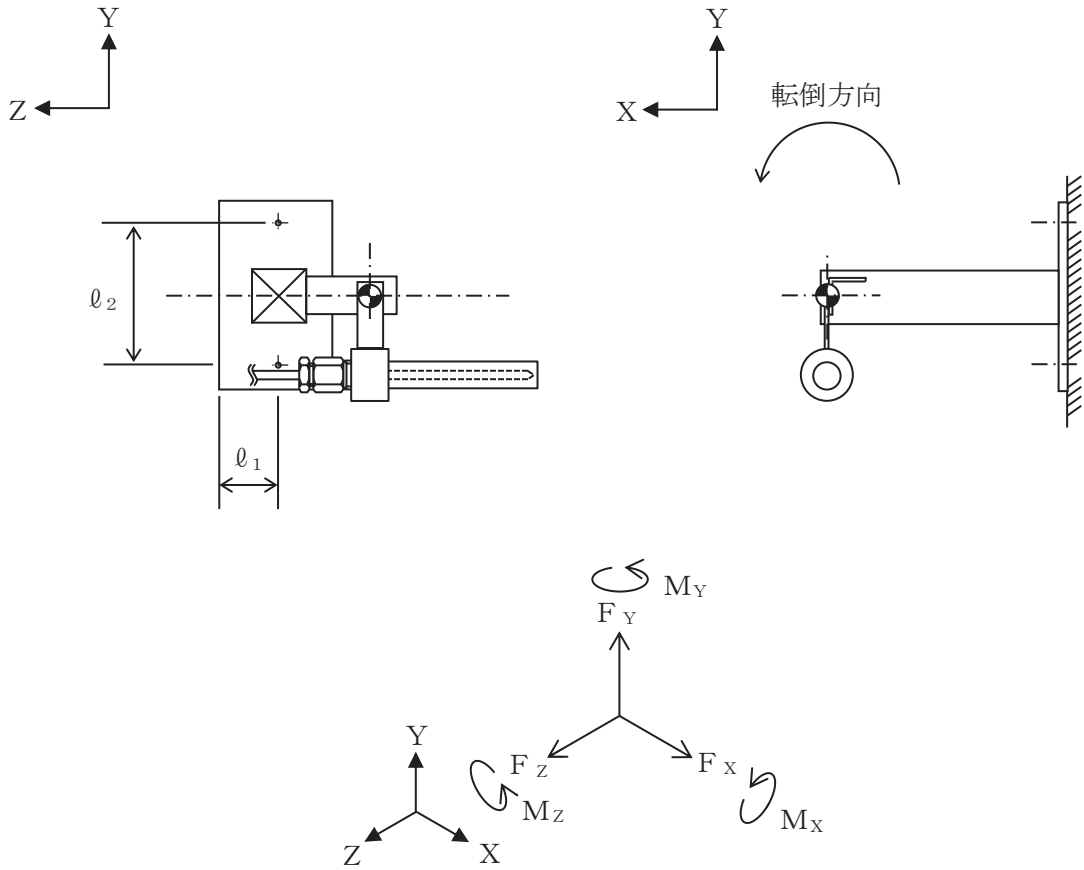


図 1-6 計算モデル (鉛直方向転倒)

地震応答解析によって得られたサポート鋼材基礎部の評価点の最大反力とモーメントを表 1-9 に示す。

表 1-9 サポート鋼材発生反力, モーメント

対象計器	反力 (N)			モーメント (N・mm)		
	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
静的触媒式水素再結合装置 動作監視装置 (T71-TE002)						

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(1) 引張応力

基礎ボルト（1本当たり）に対する引張応力は、下式により計算する。

引張力

$$F_b = \frac{F_x}{n} + \frac{M_y}{\ell_1 \cdot n_y} + \frac{M_z}{\ell_2 \cdot n_z} \dots\dots\dots (1.4.6.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (1.4.6.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (1.4.6.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト（1本当たり）に対するせん断応力は、下式により計算する。

せん断力

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{n} + \frac{M_x}{\ell_3 \cdot n} \dots\dots\dots (1.4.6.1.1.4)$$

ここで、ボルトの応力計算に用いる距離 ℓ_3 は次式により求める。

$$\ell_3 = \text{Min}(\ell_1, \ell_2) \dots\dots\dots (1.4.6.1.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (1.4.6.1.1.6)$$

1.4.7 計算条件

1.4.7.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE002) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

1.4.8 応力の評価

1.4.8.1 基礎ボルトの応力評価

1.4.6.1.1 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{t_s} 以下であること。ただし、 f_{t_o} は下表による。

$$f_{t_s} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{t_o} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t_o}] \quad \dots\dots\dots (1.4.8.1.1)$$

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

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{t_o}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{s_b}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

1.5 機能維持評価

1.5.1 電氣的機能維持評価方法

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE002) の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE002) の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-10 に示す。

表 1-10 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
静的触媒式水素再結合装置 動作監視装置 (T71-TE002)	水平方向	
	鉛直方向	

1.6 評価結果

1.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE002) 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。

【静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE002) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
静的触媒式水素再結合 装置動作監視装置 (T71-TE002)	常設/緩和	原子炉建屋 0. P. 33. 20* ¹ (0. P. 36. 058)			—	—	C _H =2.93	C _V =1.82	66

注記*1: 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	φ ₁ (mm)	φ ₂ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _Y	n _Z
基礎ボルト					2	2	1

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向* 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	206	385	—	247	—	水平方向

注記*1: 水平, 鉛直方向のうち, 評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 サポート鋼材基礎部に作用する力

(単位：N)

部 材	F_x		F_y		F_z	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
サポート鋼材基礎部	—		—		—	

1.3.2 サポート鋼材基礎部に作用するモーメント

(単位：N・mm)

部 材	M_x		M_y		M_z	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
サポート鋼材基礎部	—		—		—	

1.3.3 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	—		—	

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 11$	$f_{ts} = 148^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 114$

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。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

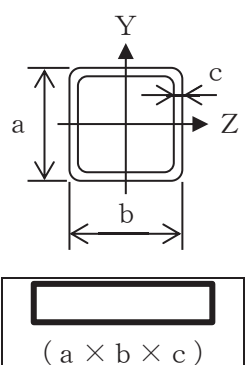
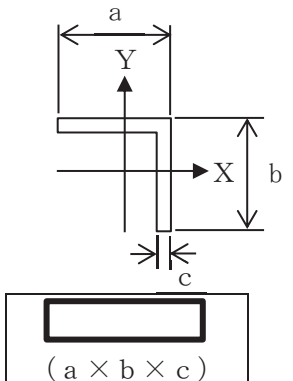
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

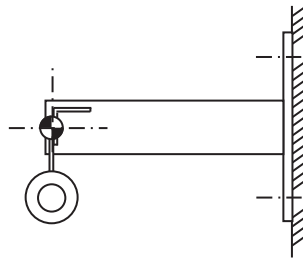
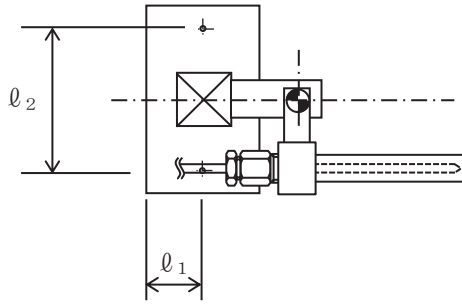
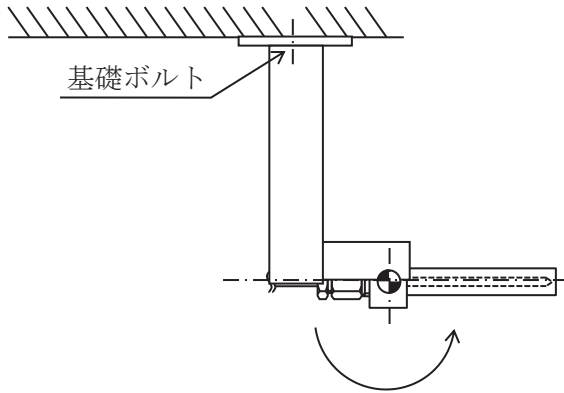
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
静的触媒式水素再結合 装置動作監視装置 (T71-TE002)	水平方向	2.45	
	鉛直方向	1.51	

注記*：基準地震動 S s により定まる応答加速度とする。
 機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

19

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_a, m_b	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	66
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

材料		
対象要素	①-②-③	④
A (mm ²)		
I _X (mm ⁴)		
I _Y (mm ⁴)		
I _Z (mm ⁴)		
I _P (mm ⁴)		
I _P (mm ⁴)		
断面形状 (mm)		



2. 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004)

2.1 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004) が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004) は、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004) 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	
<p>検出器は、サポート鋼材に固定し、サポート鋼材は、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>熱電対 (検出器は、基礎に設置されたサポート鋼材に固定される構造)</p>	<p>【静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004)】</p> <p>サポート鋼材 (角型鋼管)</p> <p>345.5</p> <p>上面</p> <p>検出器 (T71-TE004)</p> <p>検出器 (T71-TE003)</p> <p>1220</p> <p>正面</p> <p>550</p> <p>サポート鋼材 (L字鋼)</p> <p>基礎ボルト (メカニカルアンカ)</p> <p>基礎 (床面)</p> <p>側面</p> <p>(単位 : mm)</p>

2.2.2 評価方針

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004) の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2.1 構造計画」にて示す静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004) の部位を踏まえ「2.3 評価部位」にて設定する箇所において、「2.4.3 解析モデル及び諸元」及び「2.4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「2.4 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004) の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「2.5 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.6 評価結果」に示す。

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004) の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

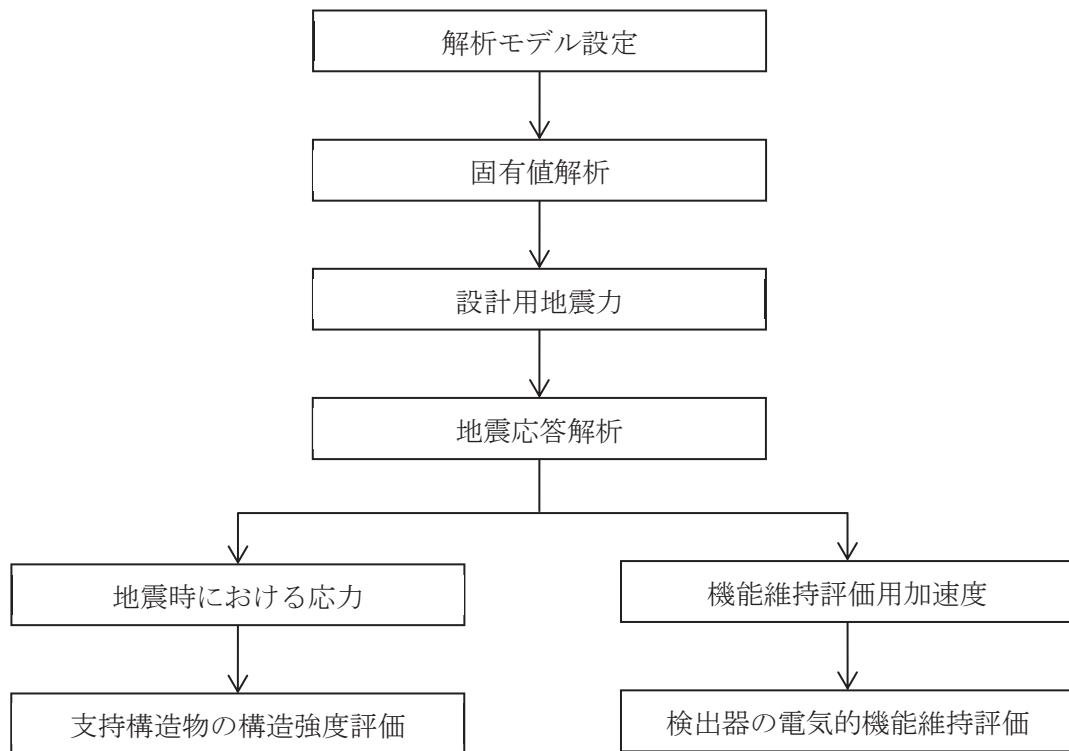


図 2-1 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004) の耐震評価フロー

2.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (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)
- (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)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (以下「設計・

建設規格」という。)

2.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
F_X	サポート鋼材基礎部に作用する力 (X方向)	N
F_Y	サポート鋼材基礎部に作用する力 (Y方向)	N
F_Z	サポート鋼材基礎部に作用する力 (Z方向)	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
l_1	基礎ボルトの応力計算に用いる距離 (水平方向)	mm
l_2	基礎ボルトの応力計算に用いる距離 (前後方向)	mm
l_3	基礎ボルトの応力計算に用いる距離 (水平方向と前後方向の小さい方)	mm
M_X	サポート鋼材基礎部に作用するモーメント (X軸周り)	N・mm
M_Y	サポート鋼材基礎部に作用するモーメント (Y軸周り)	N・mm
M_Z	サポート鋼材基礎部に作用するモーメント (Z軸周り)	N・mm
m_a	検出器の質量	kg
m_b	サポート鋼材の質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
n_X	M_X の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
n_Z	M_Z の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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	°C	—	—	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}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

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第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

2.3 評価部位

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004) の耐震評価は、「2.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部について実施する。静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004) の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4 地震応答解析及び構造強度評価

2.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE003, 004）は、基礎ボルトにより原子炉建屋床面に固定されており、固定端とする。
- (2) 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE003, 004）の質量は、検出器及びサポート鋼材を考慮する。
- (3) 地震力は、静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE003, 004）に対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、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「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE003, 004）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-3 に示す。

2.4.2.2 許容応力

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE003, 004）の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 2-4 のとおりとする。

2.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE003, 004）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-5 に示す。

表 2-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の計 測制御系統 施設	静的触媒式水素再結合装置 動作監視装置	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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

表 2-4 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 2-5 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	66	206	385	—

2.4.3 解析モデル及び諸元

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004) の解析モデルを 3次元はりモデルとして図 2-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004) の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004) は三次元はりモデルを用いる。
- (2) 解析モデルにおいて、検出器の質量は、質点に集中するものとし、質点は検出器の取付位置に設置する。
- (3) 拘束条件として、支持点 (サポート鋼材基礎部) の X Y Z 方向及び回転方向を固定する。
 なお、サポート鋼材は、原子炉建屋床面に固定されることから、①～⑩の部材で組まれた支持構造物とみなし、支持点 (サポート鋼材基礎部) 1 点で固定される。
- (4) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値を求める。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム (解析コード) の概要」に示す。

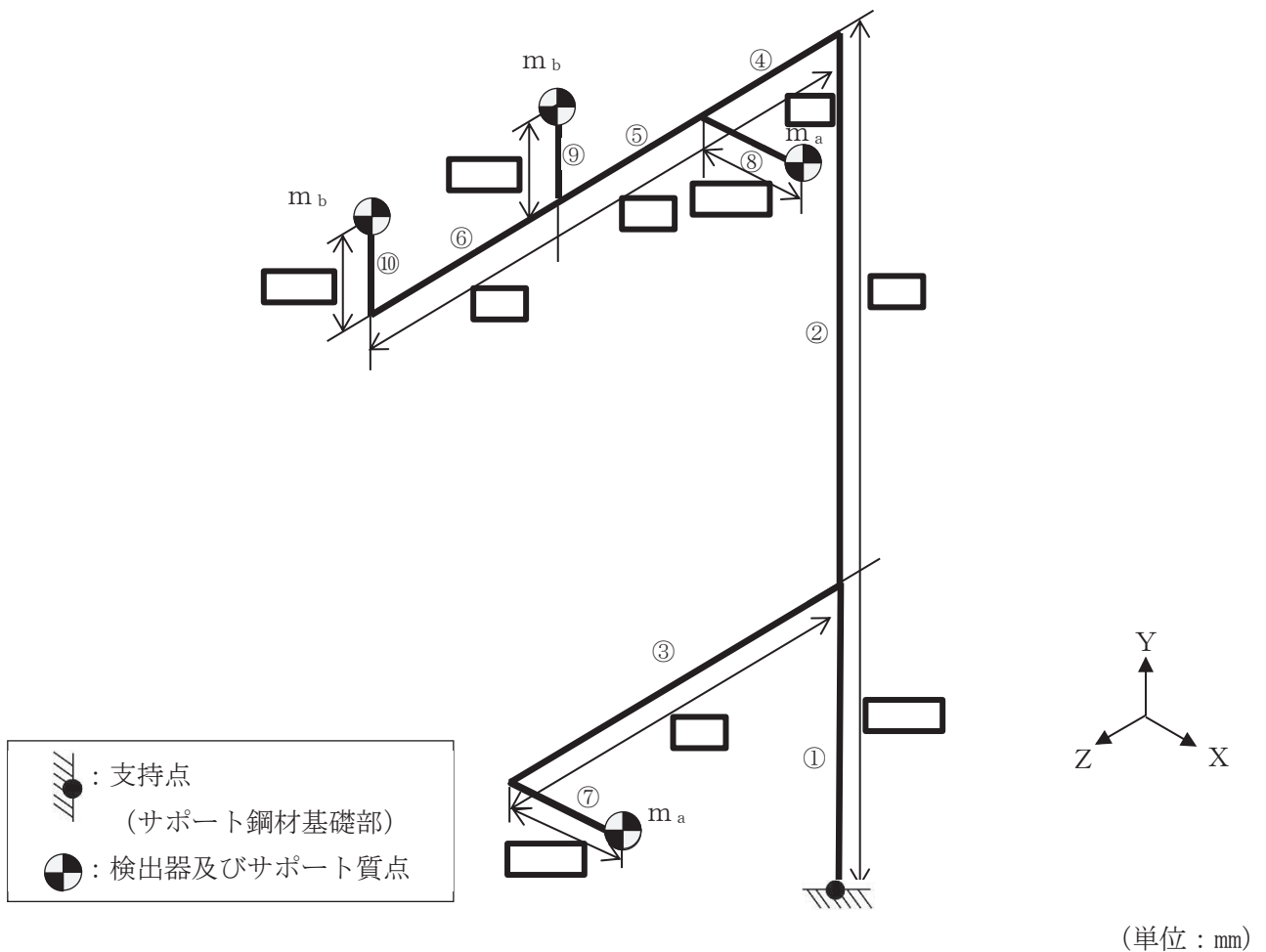


図 2-2 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004) 解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.4.4 固有周期

固有値解析結果を表 2-6 に、振動モード図を図 2-3 及び図 2-4 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 2-6 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			Z 方向	X 方向	
1 次	水平方向	□	—	—	—
4 次	鉛直方向		—	—	—

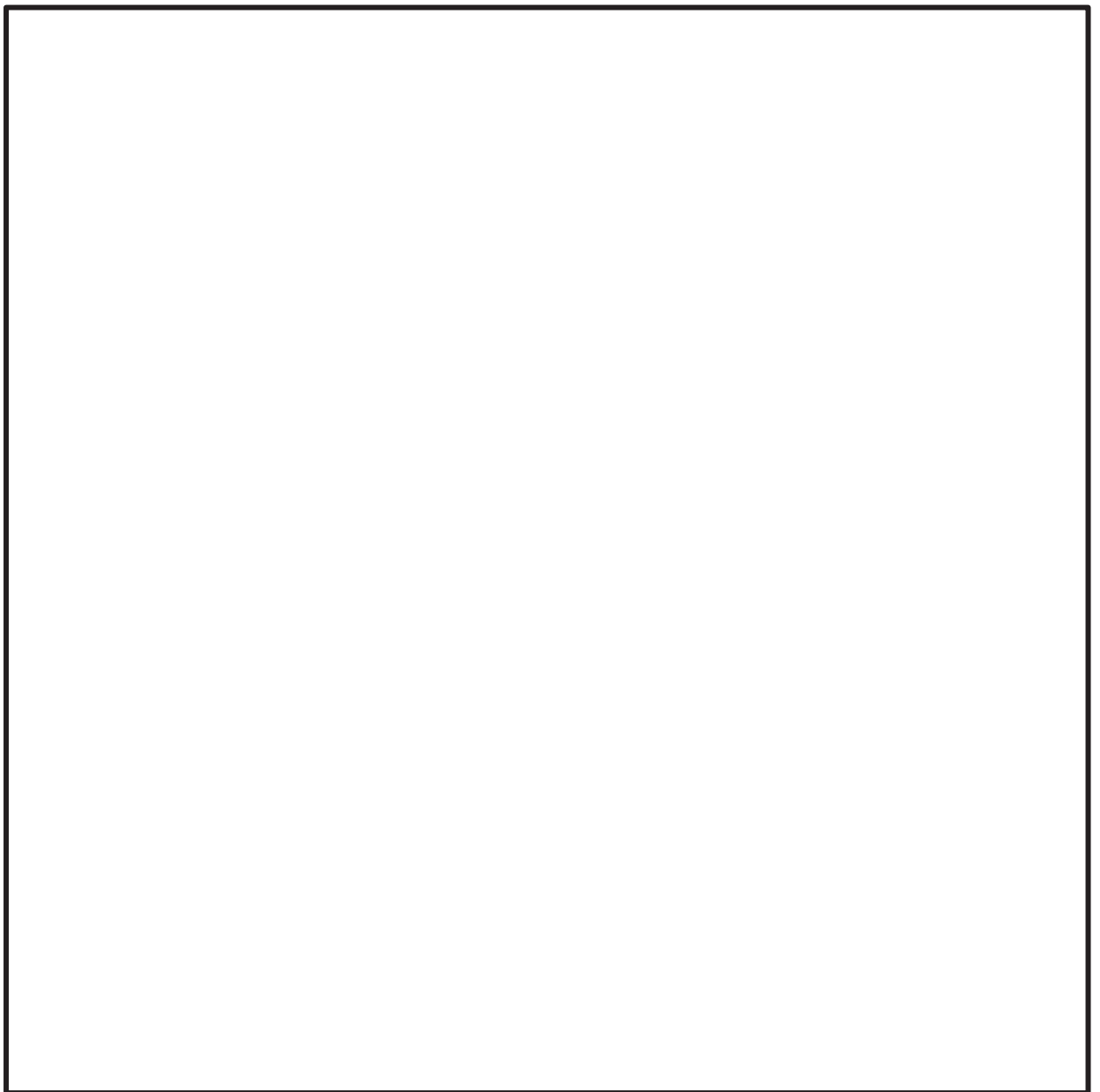


図 2-3 振動モード図 (1 次モード 水平方向 □ s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

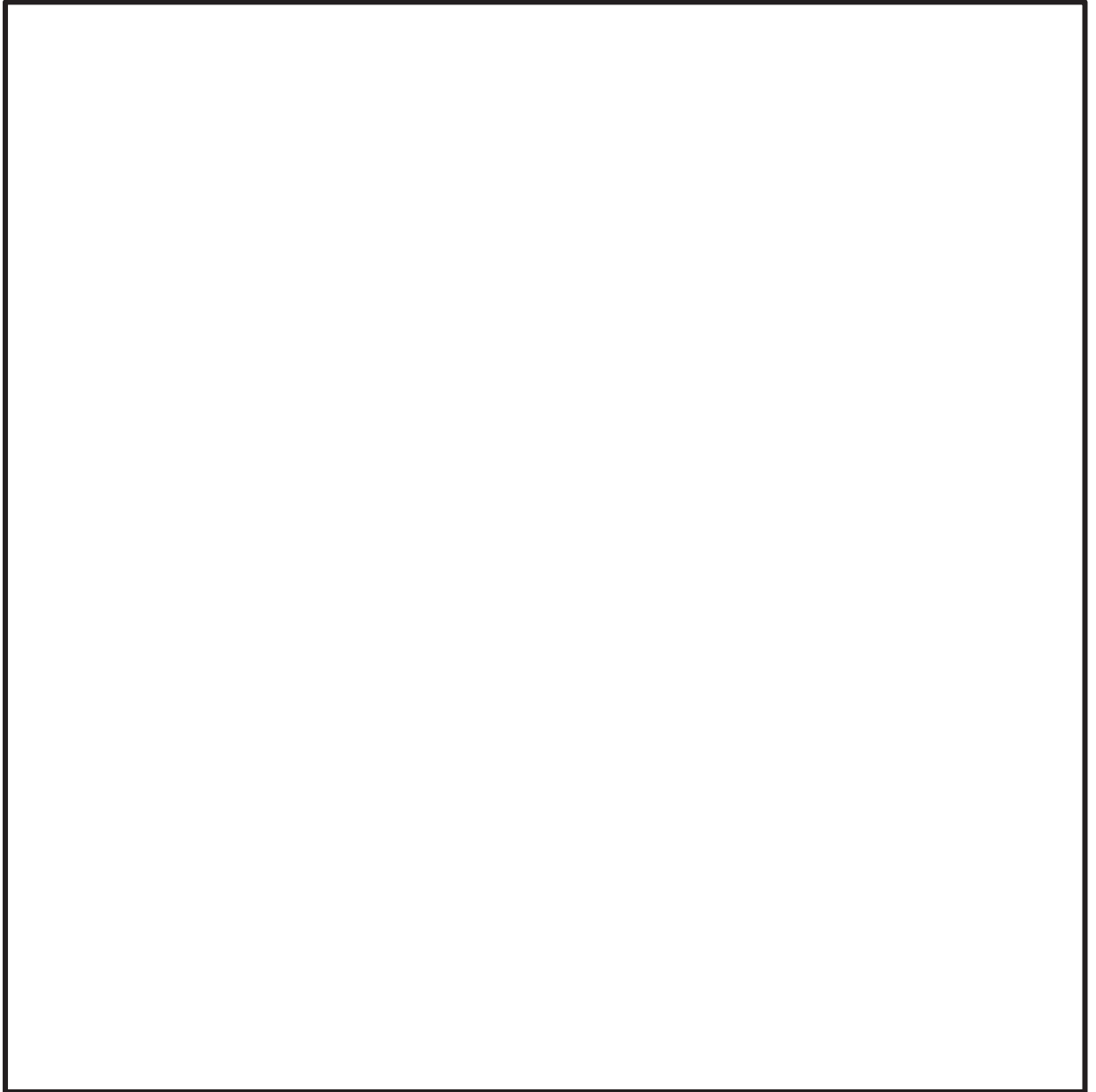


図 2-4 振動モード図 (4 次モード 鉛直方向 s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.4.5 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-7 に示す。

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

表 2-7 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 O.P. 33. 20* ¹			—	—	$C_H=2.65$	$C_V=1.77$

注記*1：基準床レベルを示す。

2.4.6 計算方法

2.4.6.1 応力の計算方法

2.4.6.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

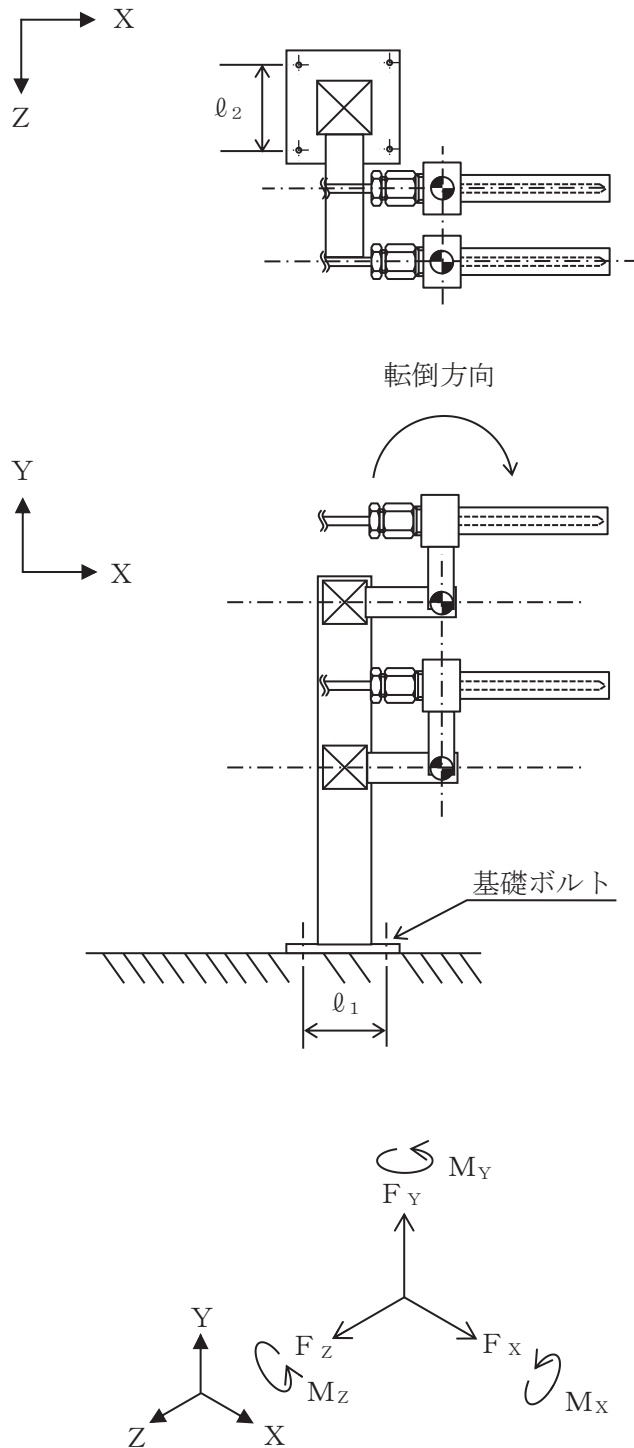


図 2-5 計算モデル (水平方向転倒)

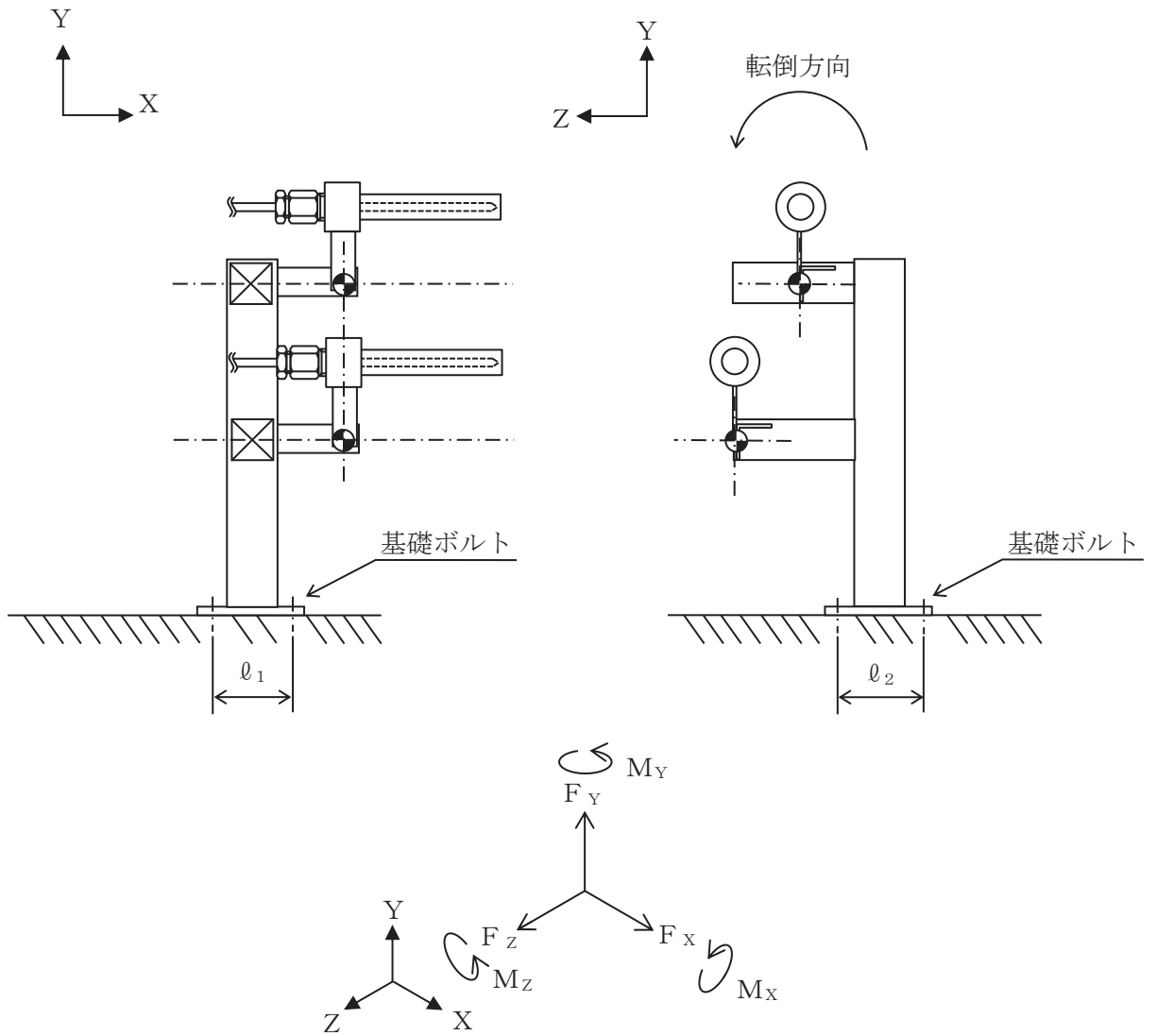


図 2-6 計算モデル（前後方向転倒）

地震応答解析によって得られたサポート鋼材基礎部の評価点の最大反力とモーメントを表 2-8 に示す。

表 2-8 サポート鋼材発生反力，モーメント

対象計器	反力 (N)			モーメント (N・mm)		
	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004)	[Redacted]					

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(1) 引張応力

基礎ボルト（1本当たり）に対する引張応力は、下式により計算する。

引張力

$$F_b = \frac{F_Y}{n} + \frac{M_X}{\ell_1 \cdot n_X} + \frac{M_Z}{\ell_2 \cdot n_Z} \dots\dots\dots (2.4.6.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (2.4.6.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (2.4.6.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト（1本当たり）に対するせん断応力は、下式により計算する。

せん断力

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_X^2 + F_Z^2}}{n} + \frac{M_Y}{\ell_3 \cdot n} \dots\dots\dots (2.4.6.1.1.4)$$

ここで、ボルトの応力計算に用いる距離 ℓ_3 は次式により求める。

$$\ell_3 = \text{Min}(\ell_1, \ell_2) \dots\dots\dots (2.4.6.1.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (2.4.6.1.1.6)$$

2.4.7 計算条件

2.4.7.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.4.8 応力の評価

2.4.8.1 基礎ボルトの応力評価

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

$$f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (2.4.8.1.1)$$

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

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.5 機能維持評価

2.5.1 電気的機能維持評価方法

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE003, 004）の電気的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE003, 004）の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-9 に示す。

表 2-9 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
静的触媒式水素再結合装置 動作監視装置 (T71-TE003, 004)	水平方向	
	鉛直方向	

2.6 評価結果

2.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE003, 004）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE003, 004) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
静的触媒式水素再結合 装置動作監視装置 (T71-TE003, 004)	常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 33.20*1			—	—	C _H =2.65	C _V =1.77	66

注記*1: 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	φ ₁ (mm)	φ ₂ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _x	n _z
基礎ボルト					4	2	2

部材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向*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	206	385	—	247	—	水平方向

注記*1: 水平, 鉛直方向のうち, 評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 サポート鋼材基礎部に作用する力

(単位：N)

部 材	F_x		F_y		F_z	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
サポート鋼材基礎部	—		—		—	

1.3.2 サポート鋼材基礎部に作用するモーメント

(単位：N・mm)

部 材	M_x		M_y		M_z	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
サポート鋼材基礎部	—		—		—	

1.3.3 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	—		—	

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 14$	$f_{ts} = 148^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 3$	$f_{sb} = 114$

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。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

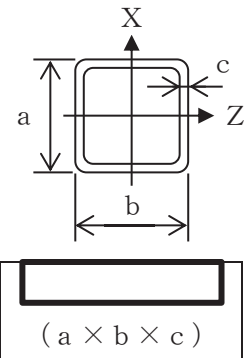
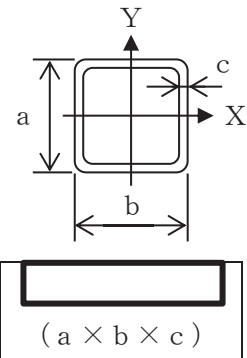
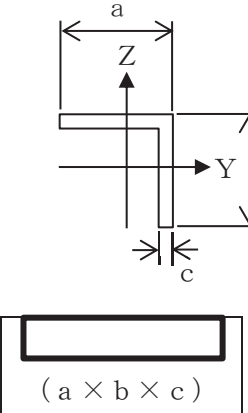
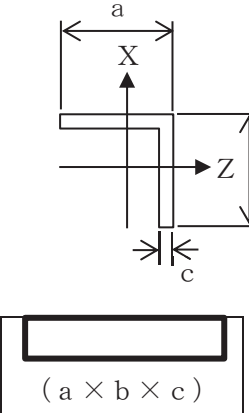
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

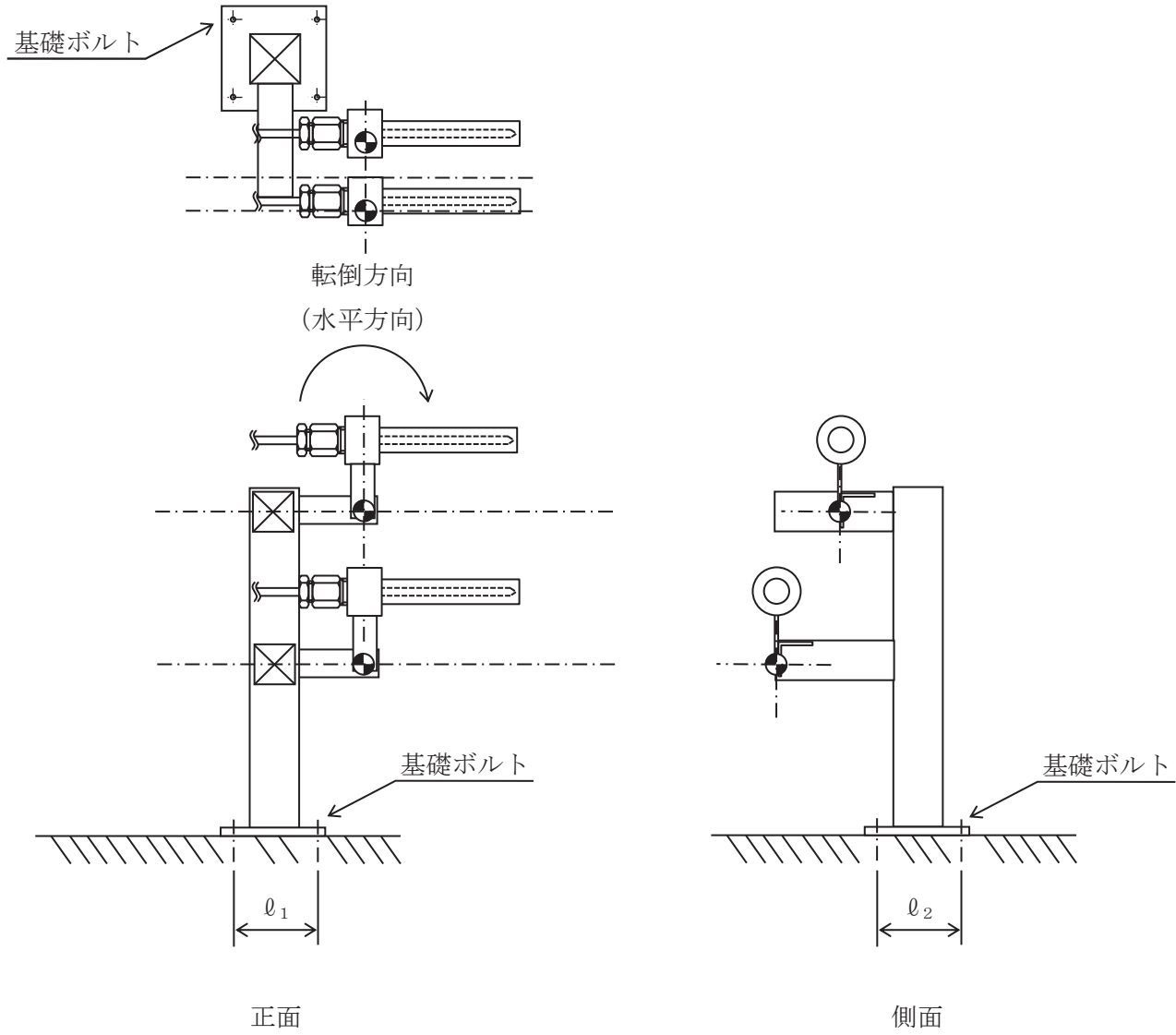
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
静的触媒式水素再結合 装置動作監視装置 (T71-TE003, 004)	水平方向	2.21	
	鉛直方向	1.47	

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
 機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

14

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_a, m_b	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	66
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

材料				
対象要素	①-②	③-⑥	⑦-⑧	⑨-⑩
A (mm ²)				
I _X (mm ⁴)				
I _Y (mm ⁴)				
I _Z (mm ⁴)				
I _P (mm ⁴)				
断面形状 (mm)				



3. 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE005, 006, 007, 008)

3.1 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE005, 006, 007, 008) 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。

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE005, 006, 007, 008) 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。

なお、構造強度評価については、サポート鋼材の基礎ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件 (許容値/発生値の小さい方) となるものを代表として評価する。また、電氣的機能維持評価については、機能維持評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電氣的機能維持評価に用いる機能維持評価用加速度は、設置床高さが同じでサポート鋼材が剛構造の場合は同じ加速度となることから、構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。評価対象を表 3-1 に示す。

表 3-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
T71-TE005 T71-TE006 T71-TE007 (代表) T71-TE008 (代表)	3.4 地震応答解析及び構造強度評価 3.5 機能維持評価	表 3-2 構造計画

3.2 一般事項

3.2.1 構造計画

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE007, 008) の構造計画を表 3-2 に示す。

表 3-2 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、サポート鋼材に固定し、サポート鋼材は、基礎ボルトにより壁面に設置する。</p>	<p>熱電対 (検出器は、基礎に設置されたサポート鋼材に固定される構造)</p>	<p>【静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE007, 008)】</p> <p>検出器 (T71-TE007)</p> <p>検出器 (T71-TE008)</p> <p>基礎ボルト (メカニカルアンカ)</p> <p>サポート鋼材 (L字鋼)</p> <p>サポート鋼材 (角型鋼管)</p> <p>上面</p> <p>正面</p> <p>側面</p> <p>基礎 (壁面)</p> <p>(単位:mm)</p>

3.2.2 評価方針

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE007, 008) の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3.2.1 構造計画」にて示す静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE007, 008) の部位を踏まえ「3.3 評価部位」にて設定する箇所において、「3.4.3 解析モデル及び諸元」及び「3.4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「3.4 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE007, 008) の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「3.5 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「3.6 評価結果」に示す。

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE007, 008) の耐震評価フローを図 3-1 に示す。

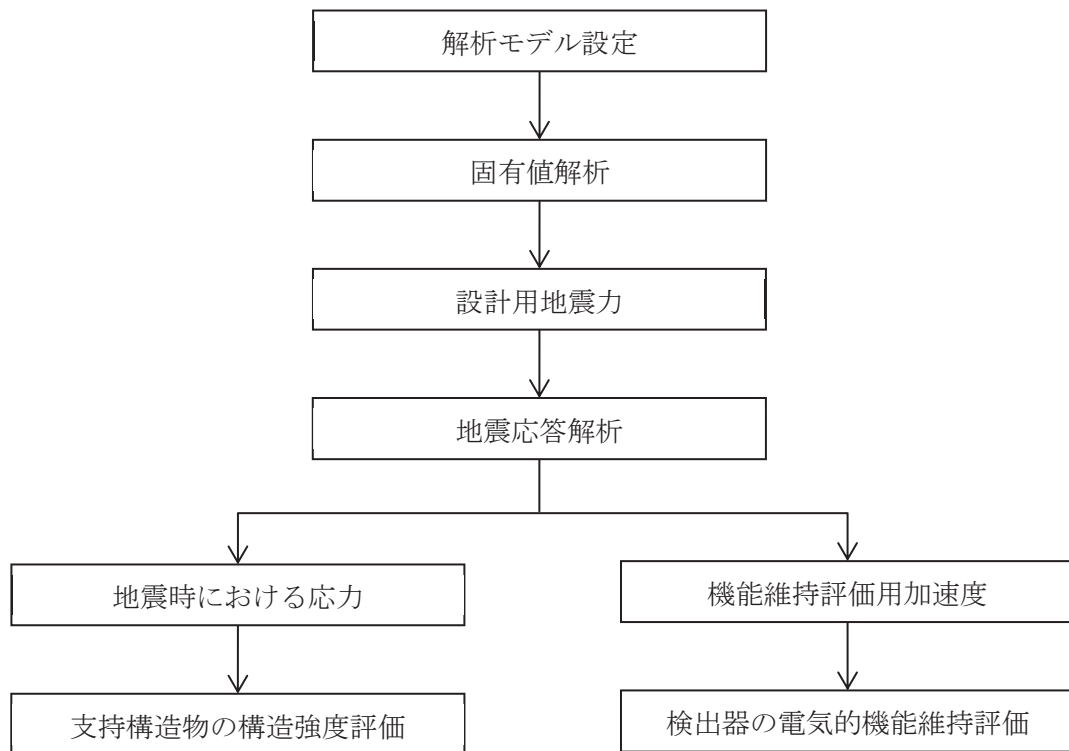


図 3-1 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE007, 008) の耐震評価フロー

3.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (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)
- (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)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (以下「設計・

建設規格」という。)

3.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_X	サポート鋼材基礎部に作用する力（X方向）	N
F_Y	サポート鋼材基礎部に作用する力（Y方向）	N
F_Z	サポート鋼材基礎部に作用する力（Z方向）	N
$f_{s b}$	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{t o}$	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
$f_{t s}$	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
l_1	基礎ボルトの応力計算に用いる距離（水平方向）	mm
l_2	基礎ボルトの応力計算に用いる距離（鉛直方向）	mm
l_3	基礎ボルトの応力計算に用いる距離（水平方向と鉛直方向の小さい方）	mm
M_X	サポート鋼材基礎部に作用するモーメント（X軸周り）	N・mm
M_Y	サポート鋼材基礎部に作用するモーメント（Y軸周り）	N・mm
M_Z	サポート鋼材基礎部に作用するモーメント（Z軸周り）	N・mm
m_a	検出器の質量	kg
m_b, m_c, m_d	サポート鋼材の質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
n_X	M_X の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
n_Y	M_Y の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S_y (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
s		
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

3.2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 3-3 に示すとおりである。

表 3-3 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	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}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

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第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3.3 評価部位

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE007, 008) の耐震評価は、「3.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部について実施する。静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE007, 008) の耐震評価部位については、表 3-2 の概略構造図に示す。

3.4 地震応答解析及び構造強度評価

3.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE007，TE008）は，基礎ボルトにより原子炉建屋壁面に固定されており，固定端とする。
- (2) 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE007，TE008）の質量は，検出器及びサポート鋼材を考慮する。
- (3) 地震力は，静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE007，008）に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。
- (5) 解析コードは，「NX NASTRAN」を使用し，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「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE007，008）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 3-4 に示す。

3.4.2.2 許容応力

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE007，008）の許容応力は，添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-5 のとおりとする。

3.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE007，008）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 3-6 に示す。

表 3-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の計 測制御系統 施設	静的触媒式水素再結合装置 動作監視装置	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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

表 3-5 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 3-6 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	66	206	385	—

3.4.3 解析モデル及び諸元

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE007, 008) の解析モデルを 3 次元はりモデルとして図 3-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE007, 008) の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE007, 008) は三次元はりモデルを用いる。
- (2) 解析モデルにおいて、検出器の質量は、質点に集中するものとし、質点は検出器の取付位置に設置する。
- (3) 拘束条件として、支持点 (サポート基礎部) の X Y Z 方向及び回転方向を固定する。なお、サポート鋼材は、原子炉建屋壁面に固定されることから、①～⑰の部材で組まれた支持構造物とみなし、支持点 (サポート鋼材基礎部) 1 点で固定される。
- (4) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値を求める。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム (解析コード) の概要」に示す。

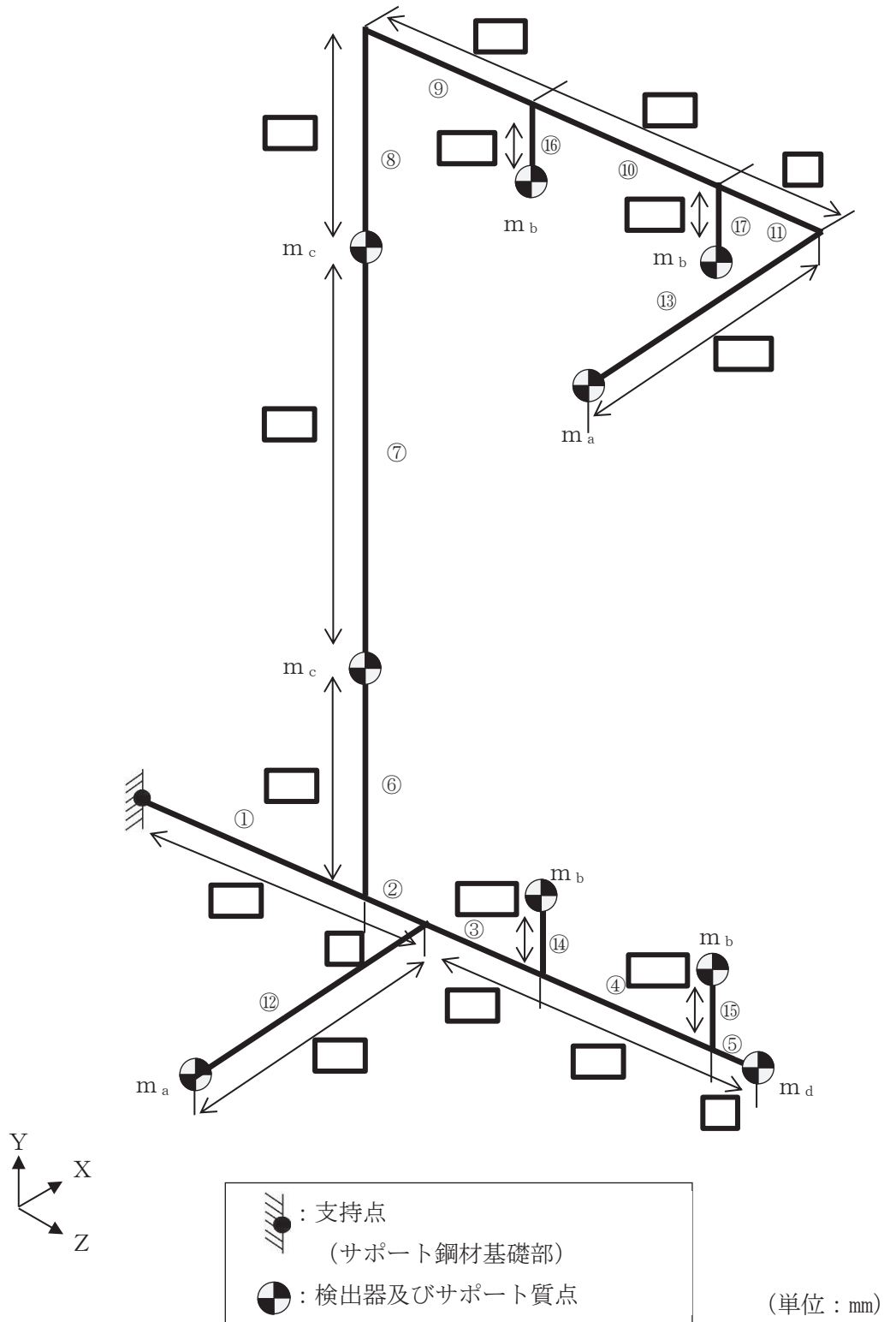


図 3-2 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE007, 008) 解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4.4 固有周期

固有値解析結果を表 3-7 に、振動モード図を図 3-3 及び図 3-4 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 3-7 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			Z 方向	X 方向	
1 次	水平方向	□	—	—	—
4 次	鉛直方向		—	—	—

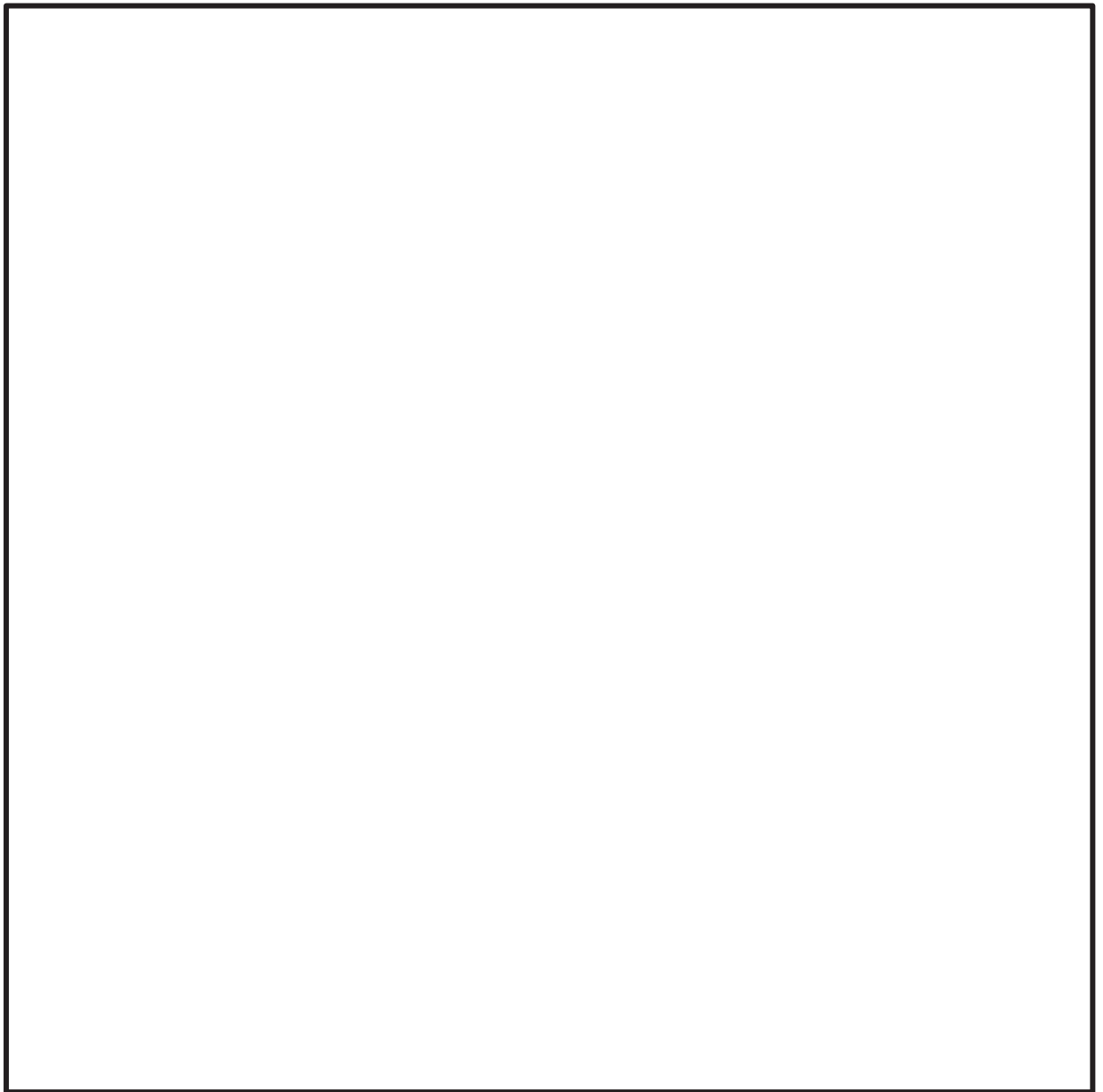


図 3-3 振動モード図 (1 次モード 水平方向 □ s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

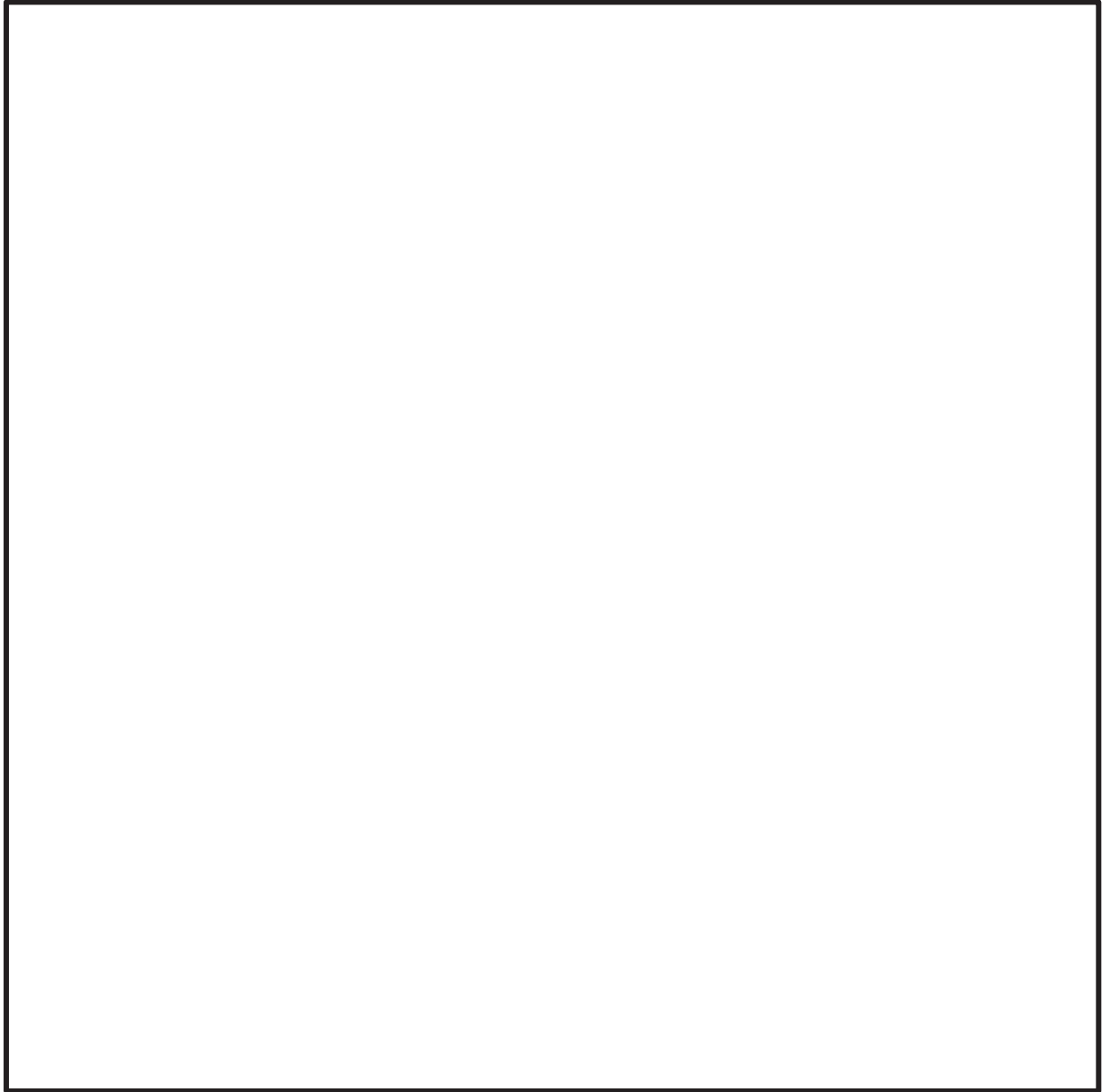


図 3-4 振動モード図 (4次モード 鉛直方向 s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4.5 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 3-8 に示す。

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

表 3-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 O. P. 33. 20* ¹ (O. P. 41. 692)			—	—	$C_H=3.64$	$C_V=1.91$

注記*1：基準床レベルを示す。

3.4.6 計算方法

3.4.6.1 応力の計算方法

3.4.6.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

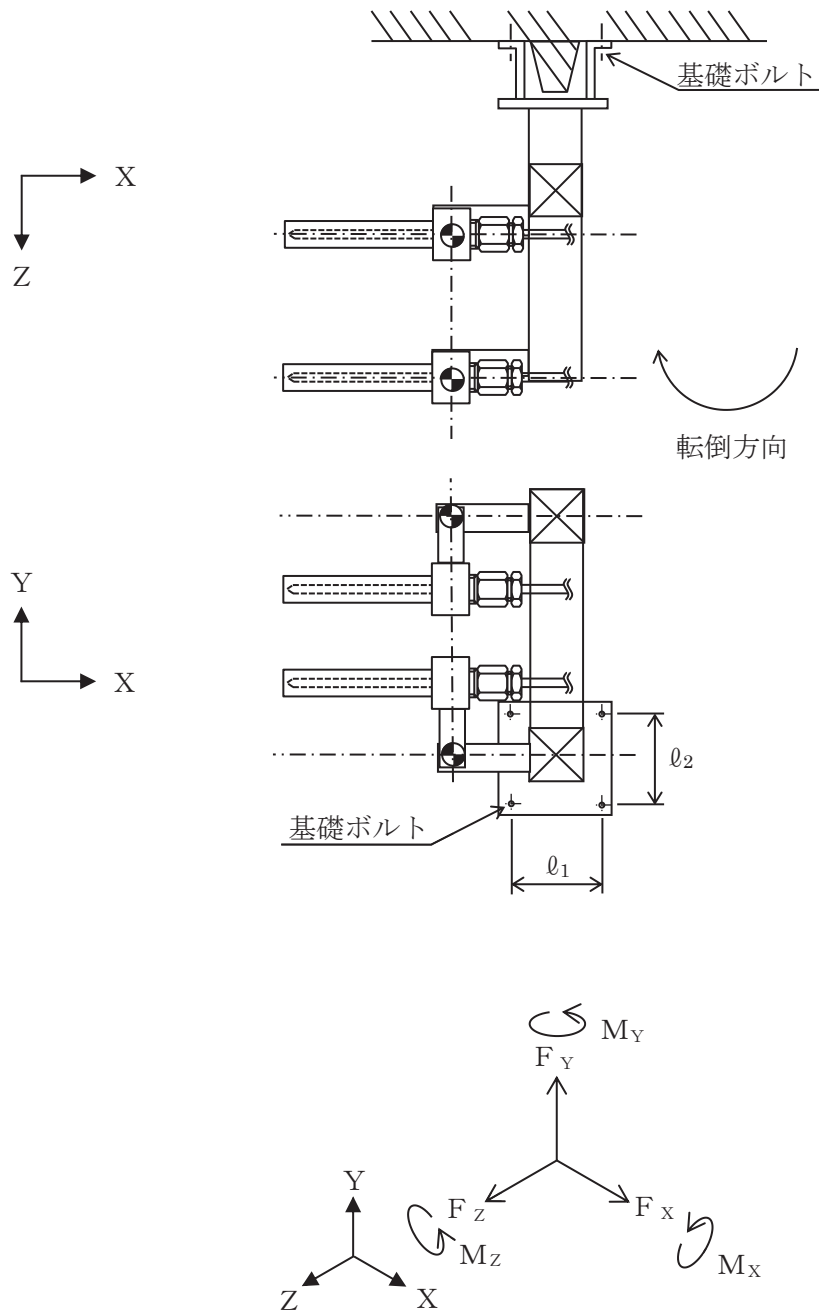


図 3-5 計算モデル (水平方向転倒)

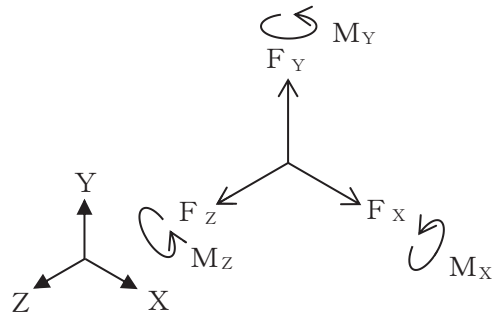
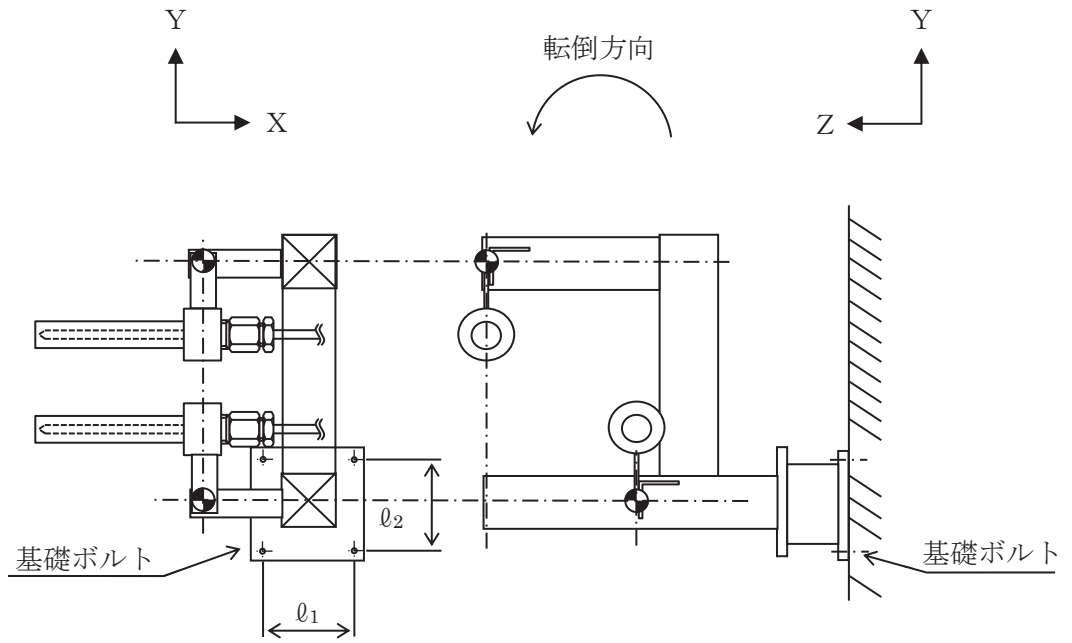


図 3-6 計算モデル（鉛直方向転倒）

地震応答解析によって得られたサポート鋼材基礎部の評価点の最大反力とモーメントを表 3-9 に示す。

表 3-9 サポート鋼材発生反力，モーメント

対象計器	反力 (N)			モーメント (N・mm)		
	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE007, 008)						

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(1) 引張応力

基礎ボルト（1本当たり）に対する引張応力は、下式により計算する。

引張力

$$F_b = \frac{F_z}{n} + \frac{M_y}{\ell_1 \cdot n_y} + \frac{M_x}{\ell_2 \cdot n_x} \dots\dots\dots (3.4.6.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (3.4.6.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (3.4.6.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト（1本当たり）に対するせん断応力は、下式により計算する。

せん断力

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_x^2}}{n} + \frac{M_z}{\ell_3 \cdot n} \dots\dots\dots (3.4.6.1.1.4)$$

ここで、ボルトの応力計算に用いる距離 ℓ_3 は次式により求める。

$$\ell_3 = \text{Min}(\ell_1, \ell_2) \dots\dots\dots (3.4.6.1.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (3.4.6.1.1.6)$$

3.4.7 計算条件

3.4.7.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE007, 008) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

3.4.8 応力の評価

3.4.8.1 基礎ボルトの応力評価

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

$$f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (3.4.8.1.1)$$

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

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

3.5 機能維持評価

3.5.1 電気的機能維持評価方法

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE007，008）の電気的機能維持評価について以下に示す。

なお，機能維持評価用加速度は添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき，基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE007，008）の機能確認済加速度は，添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 3-10 に示す。

表 3-10 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
静的触媒式水素再結合装置 動作監視装置 (T71-TE007, 008)	水平方向	
	鉛直方向	

3.6 評価結果

3.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

静的触媒式水素再結合装置動作監視装置（T71-TE007，008）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 (T71-TE007, 008) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
静的触媒式水素再結合 装置動作監視装置 (T71-TE007, 008)	常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 33.20* ¹ (O.P. 41.692)			—	—	C _H =3.64	C _V =1.91	66

注記*1: 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	φ ₁ (mm)	φ ₂ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _x	n _y
基礎ボルト					4	2	2

部材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向* 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	206	385	—	247	—	鉛直方向

注記*1: 水平, 鉛直方向のうち, 評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 サポート鋼材基礎部に作用する力

(単位：N)

部 材	F_x		F_y		F_z	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
サポート鋼材基礎部	—		—		—	

1.3.2 サポート鋼材基礎部に作用するモーメント

(単位：N・mm)

部 材	M_x		M_y		M_z	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
サポート鋼材基礎部	—		—		—	

1.3.3 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	—		—	

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 24$	$f_{ts} = 148^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 3$	$f_{sb} = 114$

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。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

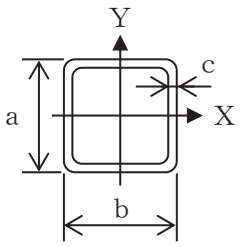
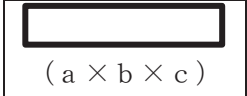
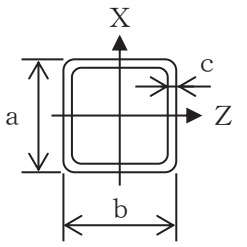
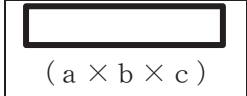
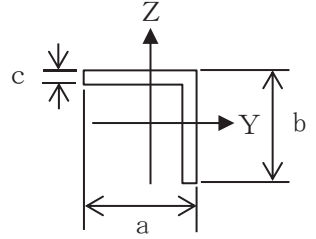
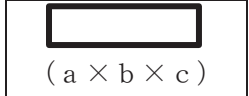
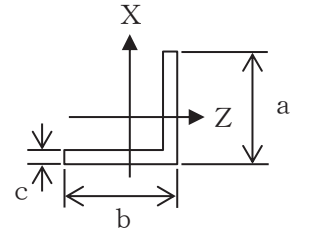

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

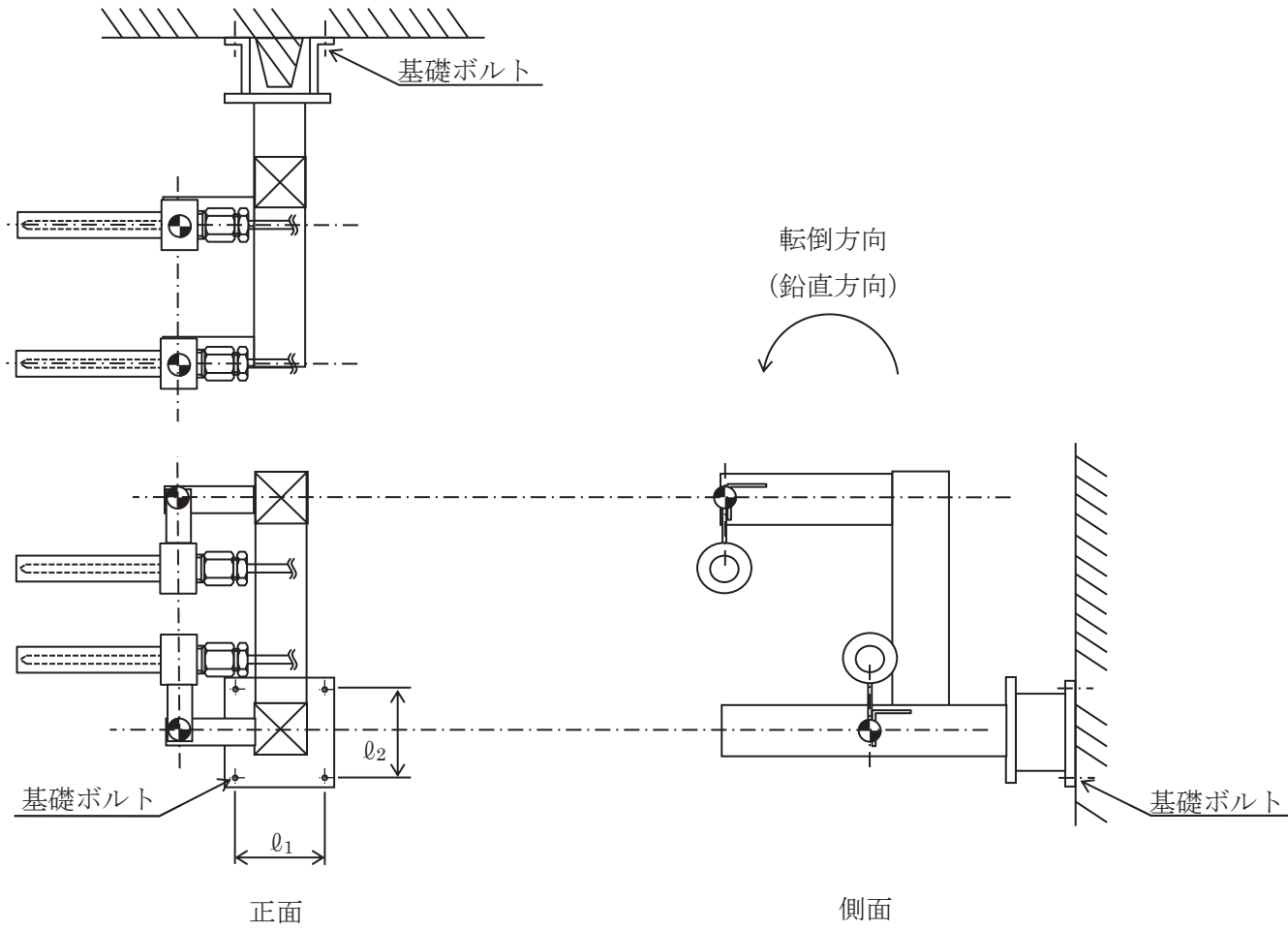
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
静的触媒式水素再結合 装置動作監視装置 (T71-TE007, 008)	水平方向	3.03	
	鉛直方向	1.60	

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
 機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

65

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_a	kg	
	m_b	kg	
	m_c	kg	
	m_d	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	66
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

材料				
対象要素	①-⑤, ⑨-⑪	⑥-⑧	⑫-⑬	⑭-⑰
A (mm ²)				
I _X (mm ⁴)				
I _Y (mm ⁴)				
I _Z (mm ⁴)				
I _P (mm ⁴)				
断面形状 (mm)	 	 	 	 



VI-2-7 放射性廃棄物の廃棄施設の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-7-1 放射性廃棄物の廃棄施設の耐震性についての計算結果
- VI-2-7-2 気体廃棄物処理系の耐震性についての計算書
- VI-2-7-3 液体廃棄物処理系の耐震性についての計算書

VI-2-7-1 放射性廃棄物の廃棄施設の耐震性についての計算結果

目次

1. 概要.....	1
2. 耐震評価条件整理.....	1

1. 概要

本説明書は、放射性廃棄物の廃棄施設の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

放射性廃棄物の廃棄施設に対して、設計基準対象施設の耐震重要度分類、重大事故等対処設備の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績との差異の有無を整理した。また、重大事故等対処設備のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処設備の評価条件と設計基準対象施設の評価条件との差異の有無を整理した。結果を表1に示す。

放射性廃棄物の廃棄施設の耐震計算は表1に示す計算書に記載することとする。

表 1 耐震計算結果一覧表

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備				
		耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対象施 設との評価条件 の差異	耐震計算の 記載箇所		
放射性廃棄物の廃棄施設	気体、 液体又は固体廃棄物処理設備	排気筒	S*	有	VI-2-7-2-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	VI-2-7-2-1	
		放射性ドレン移送系	主要弁	S	有	VI-2-7-3-1-1	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-7-3-1-1	—	—	—
	サブプレッショ ン水貯蔵系	主配管	S	—	VI-2-7-3-2-1	—	—	—	

注記*：第 2 号機筒身が S クラスに該当

VI-2-7-2 気体廃棄物処理系の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書

VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書

- (Ⅰ) 排気筒の地震応答計算書
- (Ⅱ) 排気筒の耐震計算書

(I) 排気筒の地震応答計算書

目次

1. 概要.....	(I)-1
2. 基本方針.....	(I)-2
2.1 位置.....	(I)-2
2.2 構造概要.....	(I)-3
2.3 解析方針.....	(I)-8
3. 解析方法.....	(I)-10
3.1 解析モデル.....	(I)-10
3.1.1 概要.....	(I)-10
3.1.2 部材の接合条件.....	(I)-16
3.1.3 筒身及び鉄塔部材.....	(I)-17
3.1.4 制震オイルダンパ.....	(I)-23
3.2 入力地震動.....	(I)-24
3.3 解析方法.....	(I)-67
3.3.1 動的解析.....	(I)-67
3.3.2 静的地震力.....	(I)-69
3.4 解析条件.....	(I)-71
3.4.1 排気筒基礎の応答の不確かさ等.....	(I)-71
4. 解析結果.....	(I)-74
4.1 動的解析.....	(I)-74
4.1.1 固有値解析結果.....	(I)-74
4.1.2 地震応答解析結果.....	(I)-77
4.2 静的解析.....	(I)-135

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づく排気筒の地震応答解析について説明するものである。

地震応答解析により算出した各種応答値及び静的地震力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示す建物・構築物及び機器・配管系の設計用地震力として用いる。

また、各種応答値については排気筒の構造強度の確認にも用いる。

2. 基本方針

2.1 位置

排気筒の設置位置を図 2-1 に示す。

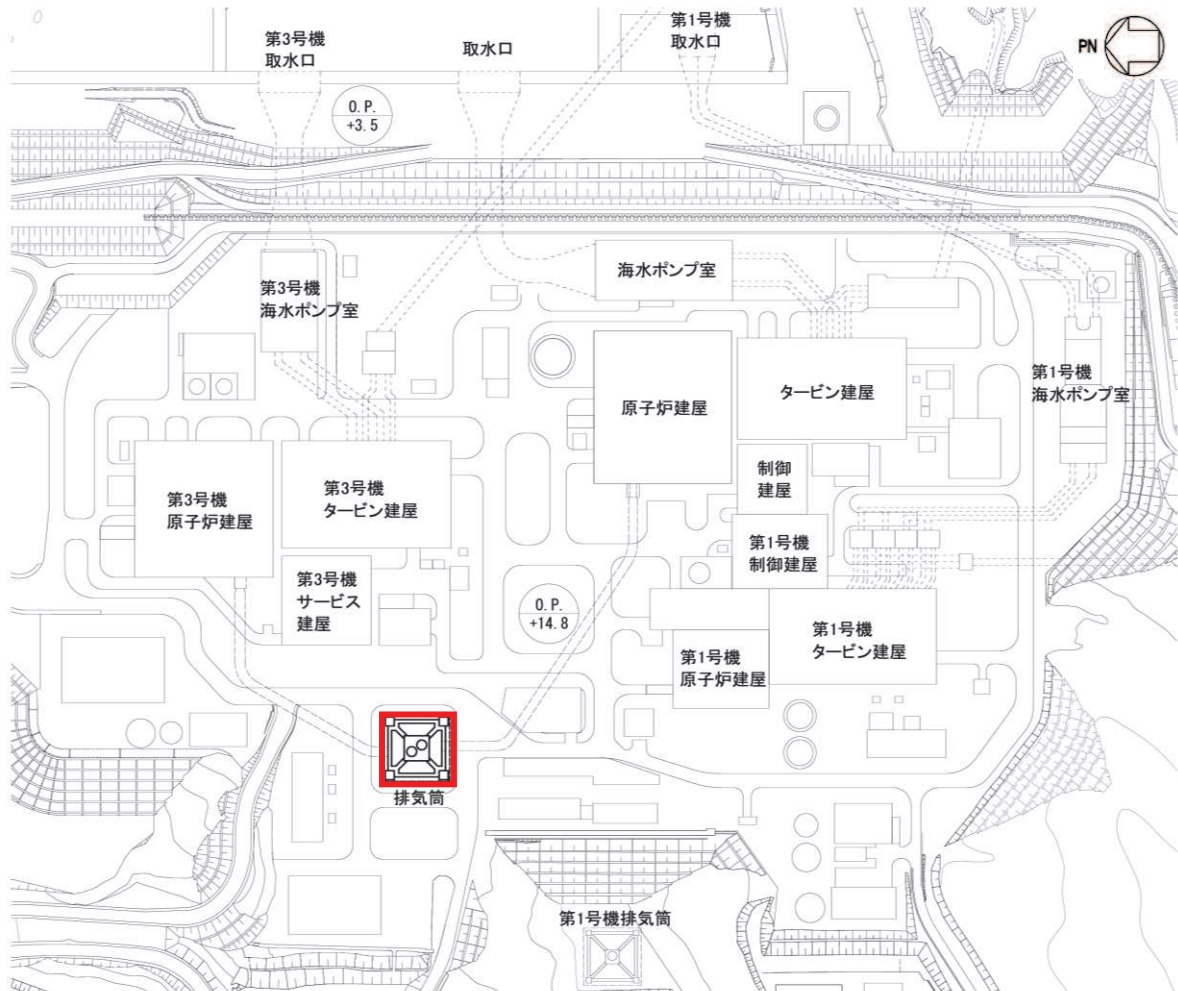


図 2-1 排気筒の設置位置

2.2 構造概要

排気筒は、地上からの高さ 160.0m、基部内径 3.7m、頂部内径 3.0m の鋼板製筒身 2 本を鋼管四角形鉄塔（制震装置付）で支えた四角鉄塔支持形鋼管構造であり、第 2 号機排気筒と第 3 号機排気筒で支持構造物を共有する集合方式である。

筒身と鉄塔は O.P. *+41.8m, O.P. +74.8m, O.P. +161.8m の 3 つの高さで接続されており、更に O.P. +134.8m は制震オイルダンパで接続されている。

排気筒基礎は全幅 38.0m、全高 19.3m の四角形の鉄筋コンクリート造フーチング基礎である。

以下に構造概要を示す。

構造概要

- | | |
|---------|--|
| ・ 構造形式 | 四角鉄塔支持形鋼管構造（制震装置付） |
| ・ 排気筒高さ | 160.0m（O.P. +174.8m） |
| ・ 鉄塔高さ | 147.0m（O.P. +161.8m） |
| ・ 筒身内径 | 頂部 3.0m |
| | 基部 3.7m |
| ・ 鉄塔幅 | 頂部 11.0m |
| | 根開き 30.0m |
| ・ 支持点位置 | O.P. +41.8m, O.P. +74.8m, O.P. +134.8m, O.P. +161.8m |
| ・ 基礎 | 鉄筋コンクリート造フーチング基礎 |

注記* : O.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面(T.P.) -0.74m である。

排気筒の概要図及び概略平面図を図 2-2 及び図 2-3 に、排気筒基礎の平面図を図 2-4、断面図を図 2-5 及び図 2-6 に示す。

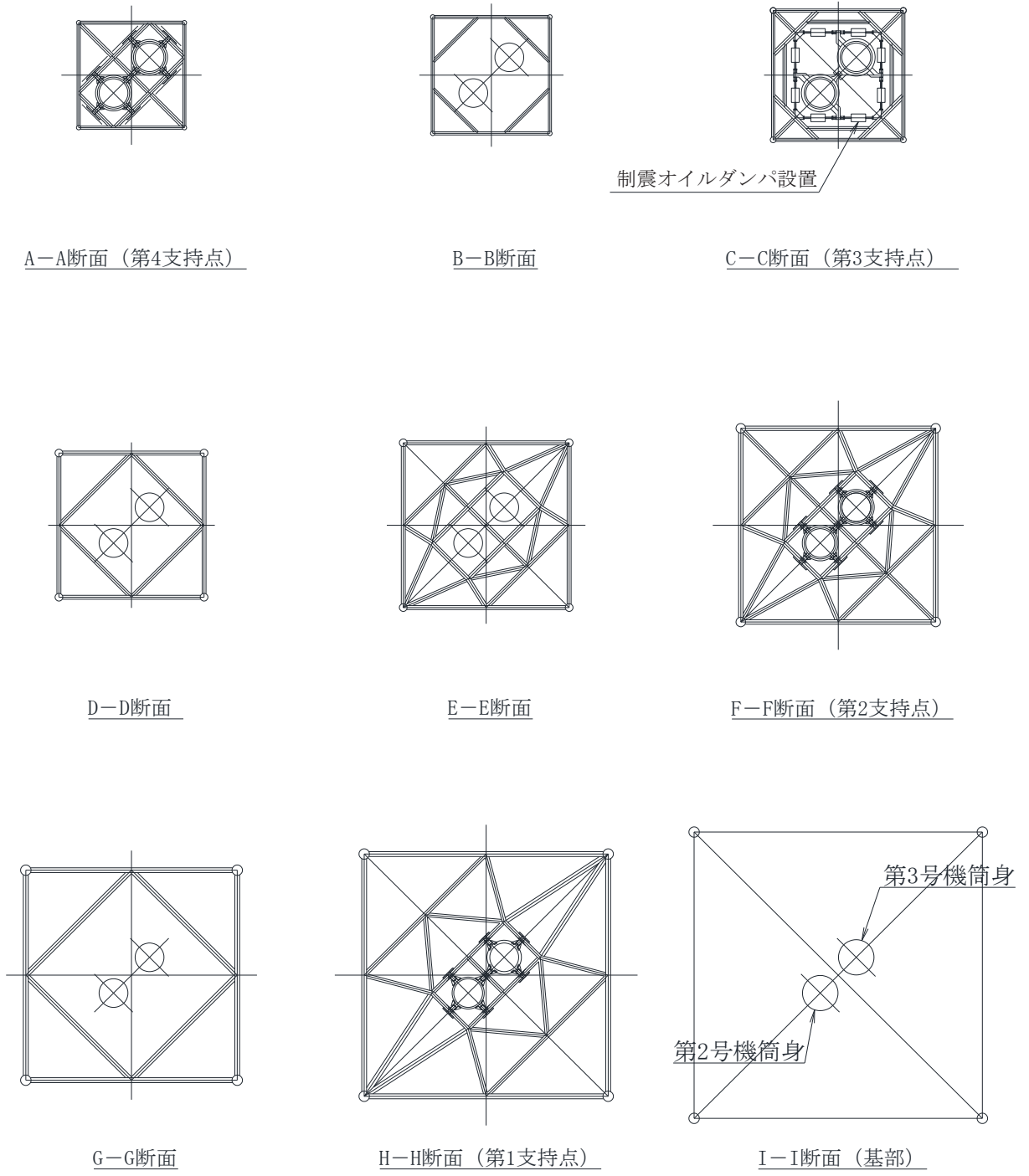


図 2-3 排気筒の概略平面図

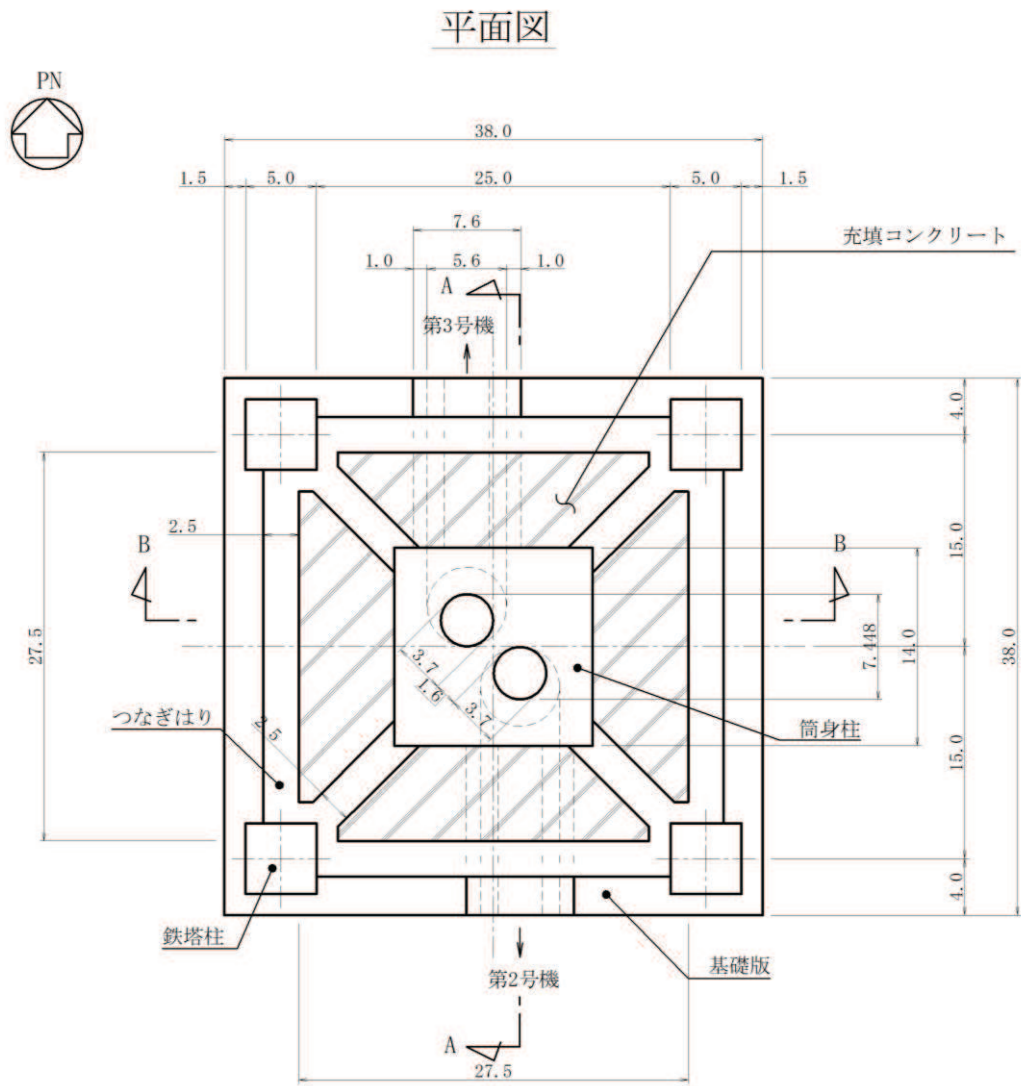


図 2-4 排気筒基礎平面図 (単位 : m)

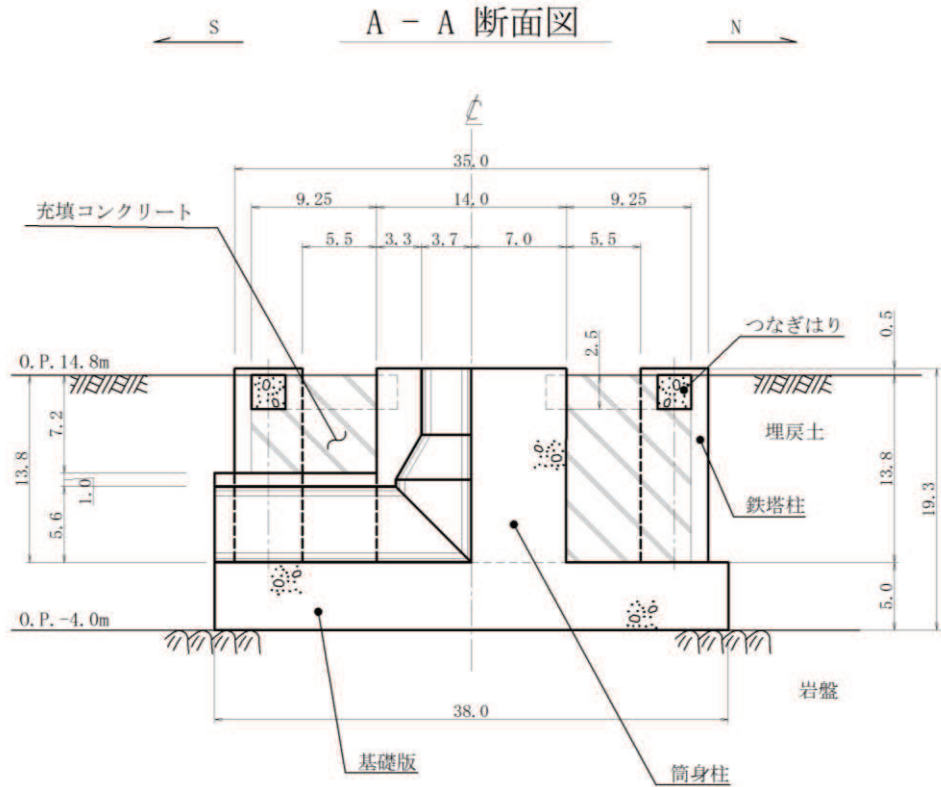


図 2-5 排気筒基礎断面図 (A-A 断面, NS 断面) (単位 : m)

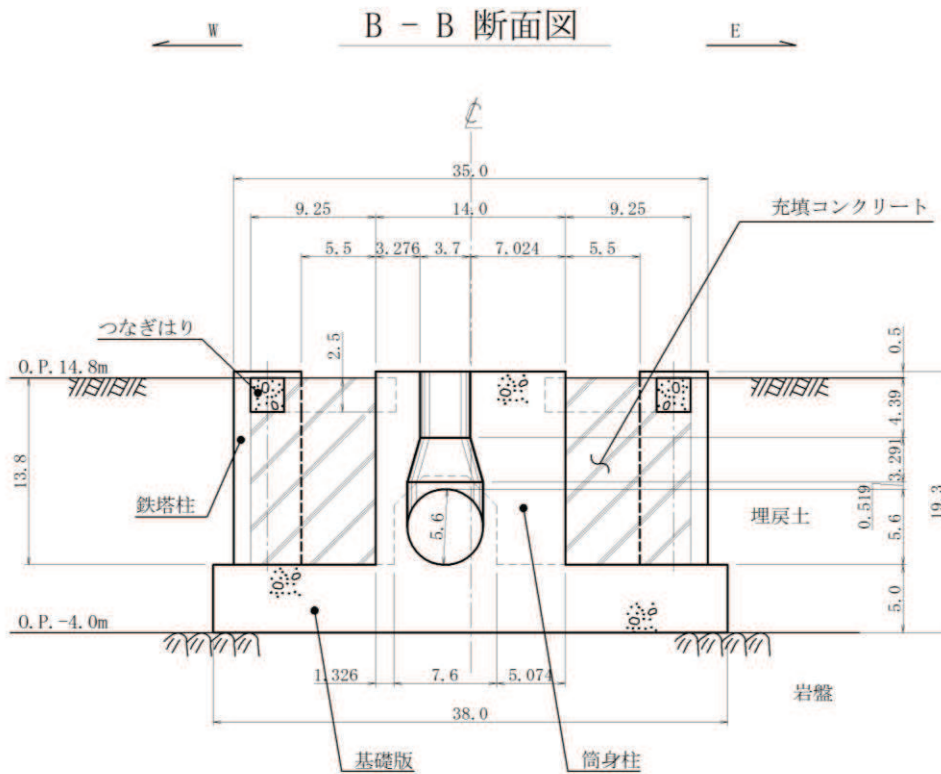


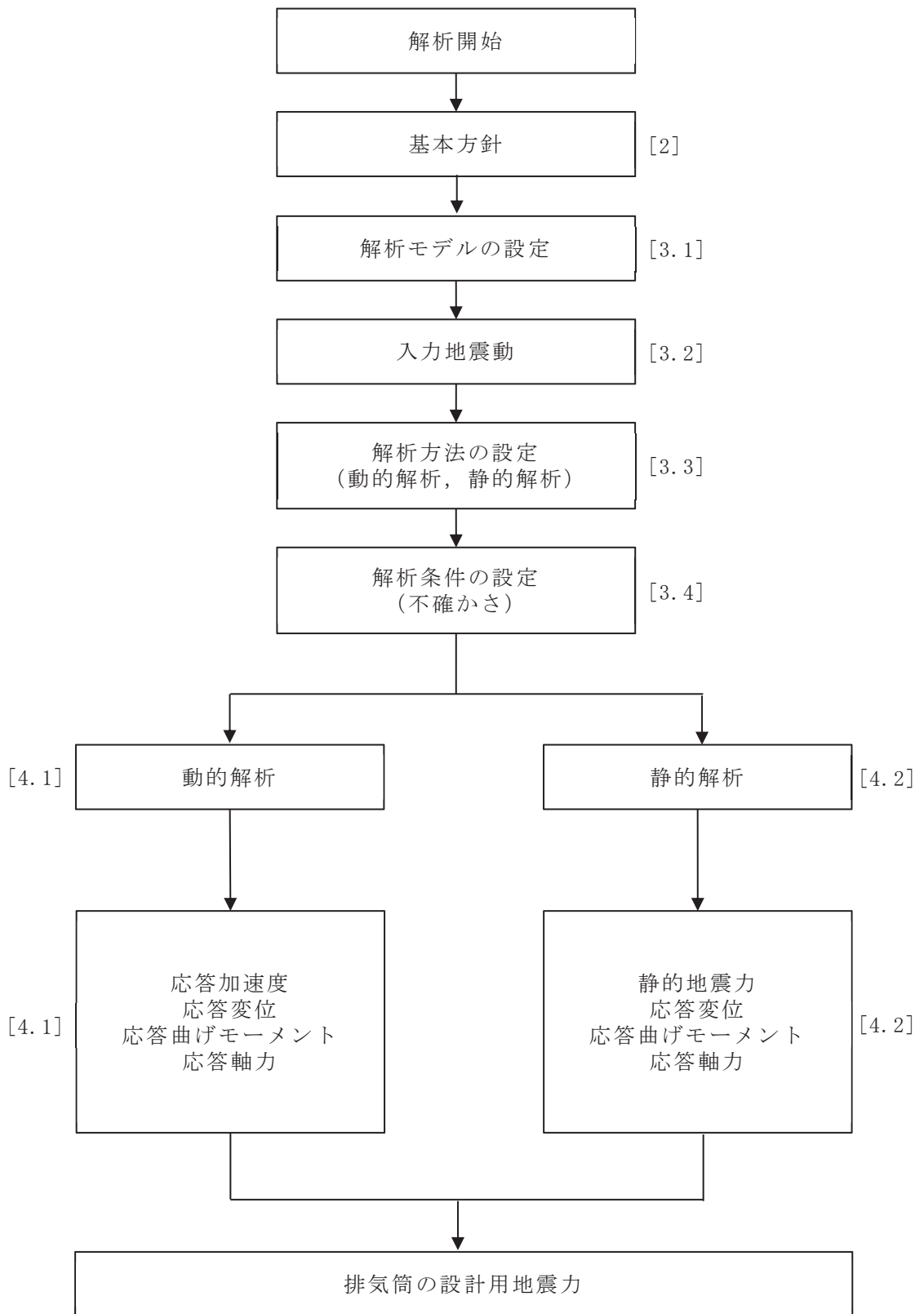
図 2-6 排気筒基礎断面図 (B-B 断面, EW 断面) (単位 : m)

2.3 解析方針

排気筒の地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

図 2-7 に排気筒の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「3.1 解析モデル」において設定した地震応答解析モデルを用いて実施することとし、「3.3 解析方法」及び「3.4 解析条件」に基づき、「4.1 動的解析」においては、地盤物性、材料物性および制震オイルダンパのばらつきを適切に考慮し、加速度、変位、曲げモーメント、軸力を含む各種応答値を算出する。また、「4.2 静的解析」において、固定荷重及び静的地震力による部材応力を算出する。



注：[]内は、本資料における章番号を示す。

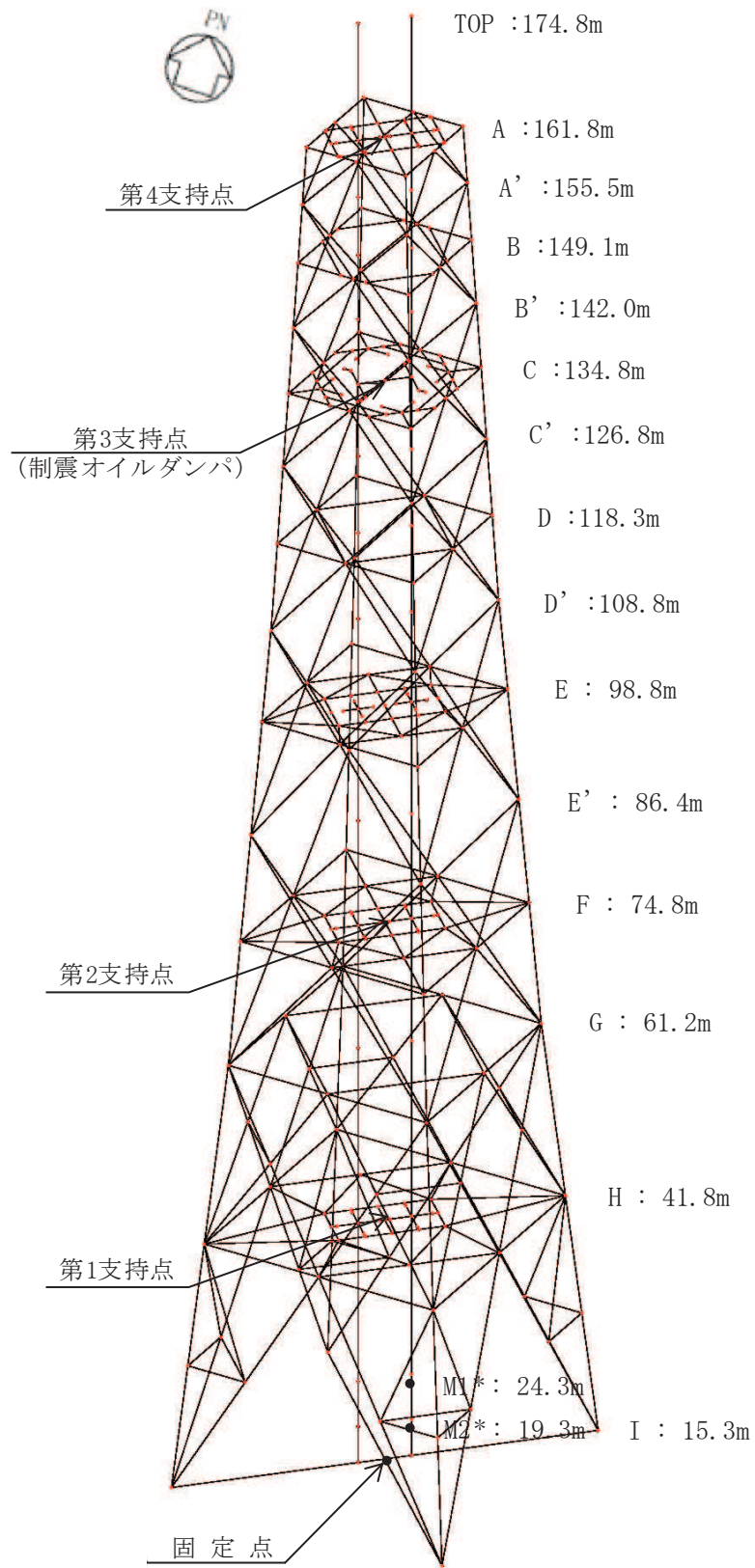
図 2-7 排気筒の地震応答解析フロー

3. 解析方法

3.1 解析モデル

3.1.1 概要

地震応答解析モデルは、排気筒基礎上端レベル（O.P. 15.3m）より上部を対象とした質点モデルとし、筒身及び鉄塔部材は梁要素でモデル化する。筒身及び鉄塔の基部各点と排気筒平面中心位置との間を剛部材で連結した、基部固定モデルとする。また、排気筒の O.P. 134.8m には 8 台の制震装置（制震オイルダンパ）が設置されている。排気筒の地震応答解析モデルを図 3-1 に、主要レベルのモデルを図 3-2 に示す。地震応答解析は時刻歴応答解析により行う。

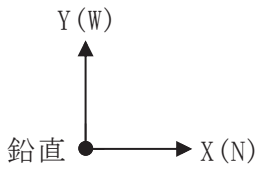


注記* : M1 は筒身の内径 3.0m, M2 は筒身の内径 3.7m の位置を示す。

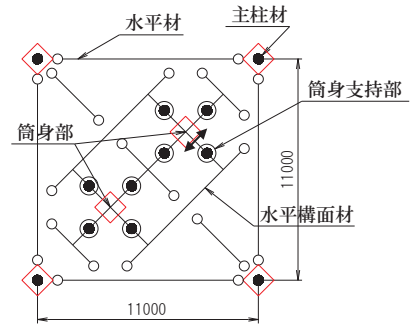
図 3-1 排気筒の地震応答解析モデル

凡例

- : 剛接合
- : ピン接合
- ◇ : 質点
- ◎ : 筒身支持部
 - ・ 使用要素 : ばね要素
 - ・ 境界条件
 - 鉛直方向 : フリー
 - 水平方向 : 1 方向拘束
(拘束方向は図中の
↔ 印の向きとする)

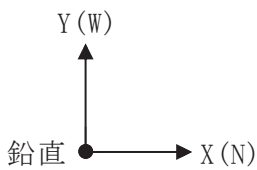


(a) A-A 断面 (O.P. 161.8m)



凡例

- : 剛接合
- : ピン接合
- ◇ : 質点



(b) B-B 断面 (O.P. 149.1m)

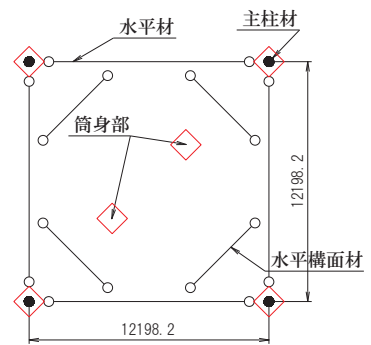
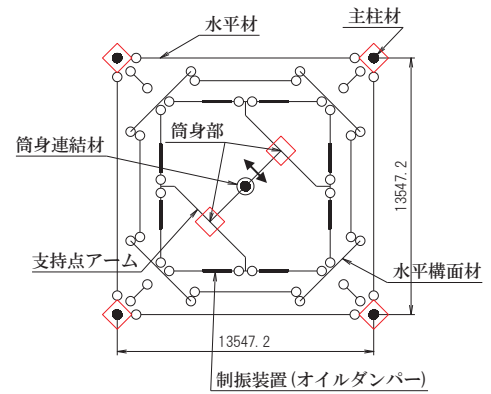


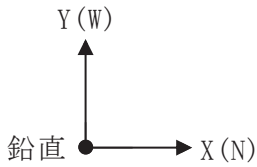
図 3-2(1) 主要レベルのモデル (単位 : mm)

凡例

- : 剛接合
- : ピン接合
- ◇ : 質点
- ◎ : 筒身連結材
 - ・ 使用要素 : ばね要素
 - ・ 境界条件
 - 鉛直方向 : フリー
 - 水平方向 : 1 方向拘束
(拘束方向は図中の
↔ 印の向きとする)

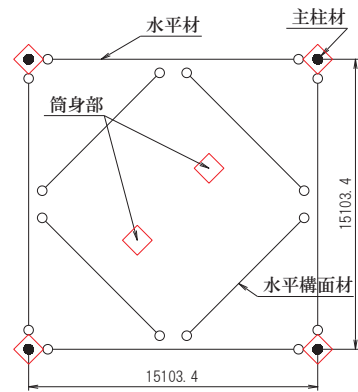
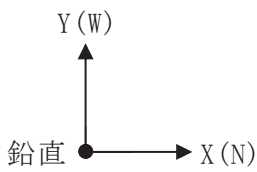


(c) C-C 断面 (O.P. 134.8m)



凡例

- : 剛接合
- : ピン接合
- ◇ : 質点

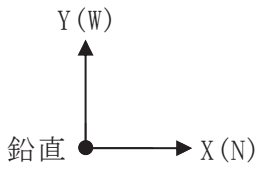


(d) D-D 断面 (O.P. 118.3m)

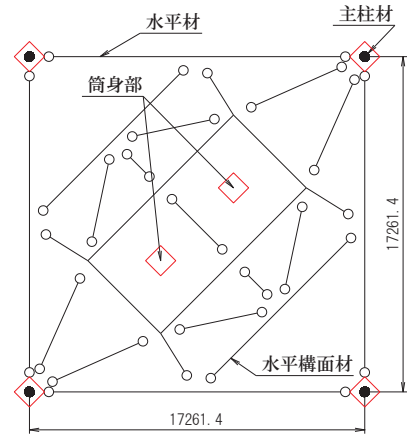
図 3-2(2) 主要レベルのモデル (単位 : mm)

凡例

- : 剛接合
- : ピン接合
- ◇ : 質点

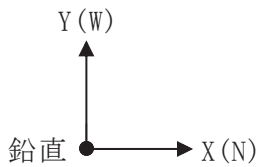


(e) E-E 断面 (O.P. 98.8m)



凡例

- : 剛接合
 - : ピン接合
 - ◇ : 質点
 - ⊙ : 筒身支持部
- ・ 使用要素 : ばね要素
 ・ 境界条件
 鉛直方向 : フリー
 水平方向 : 1 方向拘束
 (拘束方向は図中の
 ↔ 印の向きとする)



(f) F-F 断面 (O.P. 74.8m)

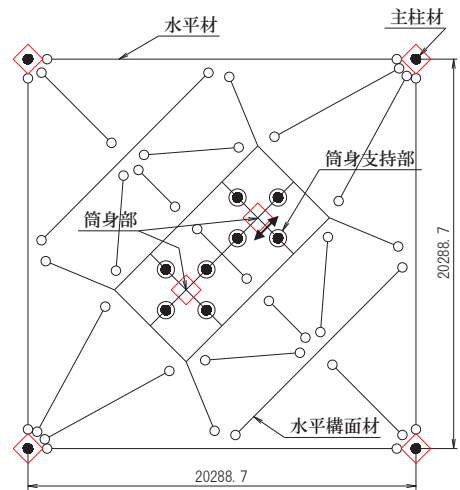
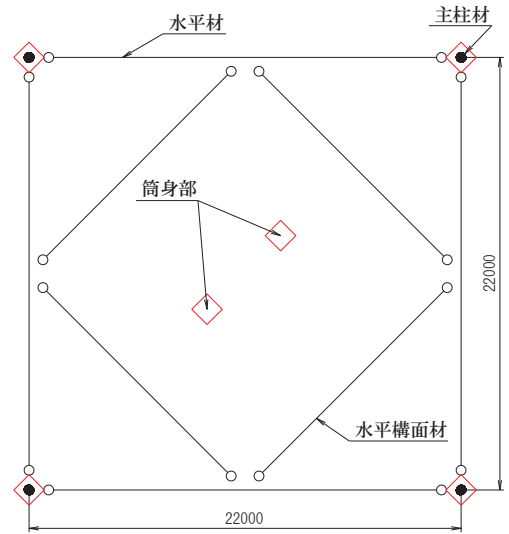
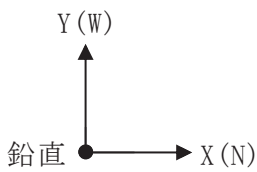


図 3-2(3) 主要レベルのモデル (単位 : mm)

凡例

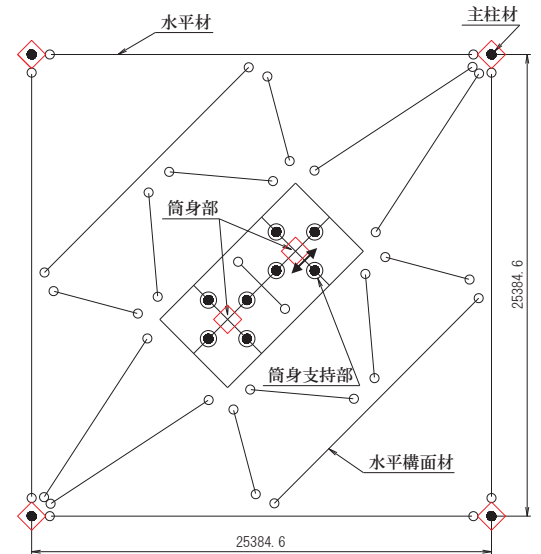
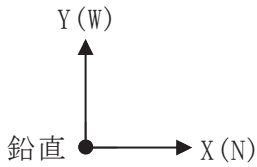
- : 剛接合
- : ピン接合
- ◇ : 質点



(g) G-G 断面 (O.P. 61.23m)

凡例

- : 剛接合
 - : ピン接合
 - ◇ : 質点
 - ◎ : 筒身支持部
 - ・ 使用要素 : ばね要素
 - ・ 境界条件
- 鉛直方向 : フリー
 水平方向 : 1 方向拘束
 (拘束方向は図中の
 ↔ 印の向きとする)



(h) H-H 断面 (O.P. 41.8m)

図 3-2(4) 主要レベルのモデル (単位 : mm)

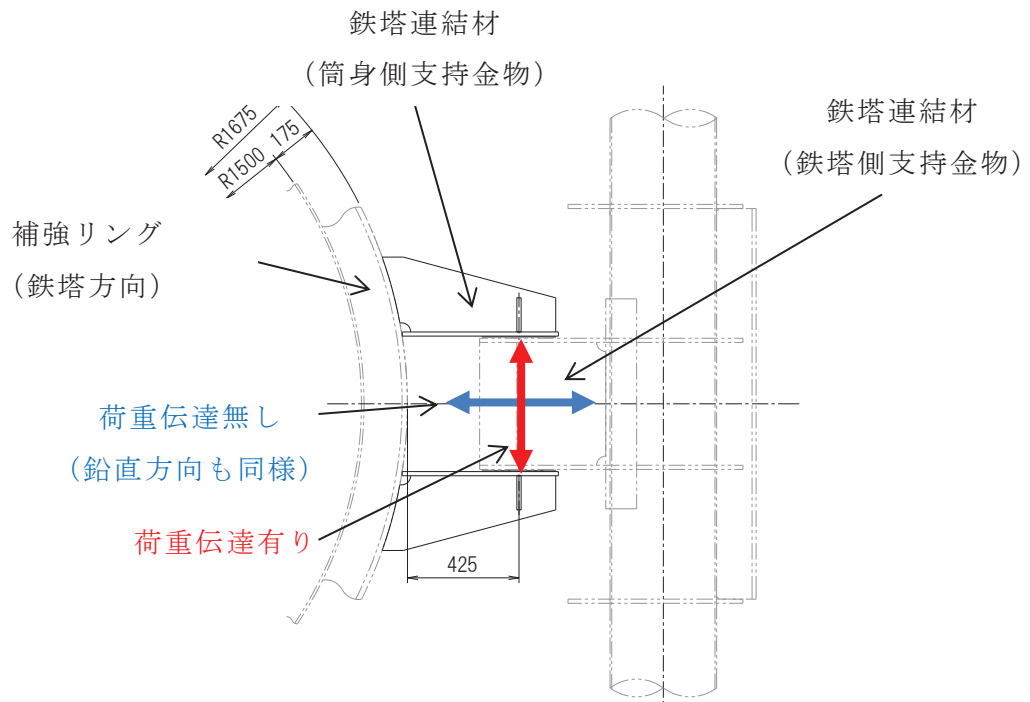
3.1.2 部材の接合条件

部材間の接合条件は表 3-1 とする。

表 3-1 部材間の接合条件

部材間	接合状況	解析条件
主柱材－主柱材	リブ溶接継手	剛接合
主柱材－斜材	十字継手	ピン接合
主柱材－水平材	十字継手	ピン接合
筒身－鉄塔の支持点*	鉄塔連結材 (図 3-3)	水平方向固定, 鉛直方向フリー

注記*：制震オイルダンパ設置支持点を除く。



注：筒身と鉄塔はそれぞれ独立した部材

図 3-3 第 1 支持点, 第 2 支持点及び第 4 支持点部拡大図
(代表として第 1 支持点を記載)

3.1.3 筒身及び鉄塔部材

使用材料の材料定数を表 3-2 に，各層に集約した重量を表 3-3 に示す。各層の重量は筒身と鉄塔支柱材の質点に振り分け，各層の重量には，筒身及び鉄塔の自重の他に，制震オイルダンパ，歩廊等の付属設備の重量を考慮する。

筒身，支柱材，斜材及び水平材の部材諸元一覧を表 3-4～表 3-7 に示す。解析入力値には，腐食代を考慮しない断面性能を用いる。

表 3-2 使用材料の材料定数

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数 h (%)	備考
鋼材：SS400 STK400 STK490	2.05×10 ⁵	0.3	2	鉄塔部
鋼材：SMA400AP	2.05×10 ⁵	0.3	1	筒身部

表 3-3 排気筒の重量

標高 O. P. (m)	位置*	重量 (kN)	
		筒身	鉄塔
174.8	TOP	123.0	-
161.8	A	182.6	140.2
155.5	A'	120.2	113.2
149.1	B	127.7	176.9
142.0	B'	135.3	175.9
134.8	C	293.8	624.4
126.8	C'	156.1	279.8
118.3	D	170.2	383.3
108.8	D'	184.6	405.5
98.8	E	181.8	678.0
86.4	E'	227.1	618.1
74.8	F	248.3	973.7
61.2	G	312.2	1196.3
41.8	H	434.6	2047.7
15.3	I	250.9	1150.8
合計		3148.4	8963.8

注記* : 位置については図 3-1 に示す。

表 3-4 筒身の部材諸元一覧

標高 O.P. (m)	区間*1	筒身		断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	せん断 断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面 2 次 モーメント ($\times 10^4 \text{mm}^4$)	備考
		外径 (mm)	板厚 (mm)				
174.8-24.3	TOP-M1	3020	10	945.6	472.8	10700000	一般部
24.3-19.3	M1-M2	3370	10	1056	527.8	14900000	テーパ部*2
19.3-15.3	M2-I	3720	10	1166	582.8	20100000	拡幅部

注記*1：区間については図 3-1 に示す。

*2：テーパ部の断面性能は区間の上端と下端の外径の平均値より算出した。

表 3-5 主柱材の部材諸元一覧

標高 O.P. (m)	区間*	母材鋼管		断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	せん断 断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面 2 次 モーメント ($\times 10^4 \text{mm}^4$)	備考
		外径 (mm)	板厚 (mm)				
161.8-155.5	A - A'	457.2	7.9	111.5	55.76	28100	
155.5-149.1	A' - B	457.2	7.9	177.4	88.71	46100	補強材 (t=9)
149.1-142.0	B - B'	457.2	7.9	177.0	88.50	45700	補強材 (t=6, t=6)
142.0-134.8	B' - C	609.6	9.5	325.3	162.6	151000	補強材 (t=12, t=6)
134.8-126.8	C - C'	609.6	9.5	380.1	190.0	179000	補強材 (t=16, t=9)
126.8-118.3	C' - D	711.2	12.7	473.0	236.5	299000	補強材 (t=6, t=22)
118.3-108.8	D - D'	711.2	12.7	490.8	245.4	312000	補強材 (t=6, t=25)
108.8- 98.8	D' - E	812.8	16	620.8	310.4	506000	補強材 (t=9, t=16)
98.8- 86.4	E - E'	812.8	16	640.8	320.4	523000	補強材 (t=9, t=19)
86.4- 74.8	E' - F	1000	18	698.0	349.0	851000	補強材 (t=9)
74.8- 61.2	F - G	1000	18	698.0	349.0	851000	補強材 (t=9)
61.2- 41.8	G - H	1100	18	768.6	384.3	1140000	補強材 (t=9)
41.8- 28.6	H - H'	1100	20	888.2	444.1	1310000	補強材 (t=12)
28.6- 15.3	H' - I	1100	20	1082	541.0	1620000	補強材 (t=12, t=22)

注記* : 区間については図 3-1 に示す。

表 3-6 斜材の部材諸元一覧

標高 O.P. (m)	区間*	母材鋼管		断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	せん断 断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面 2 次 モーメント ($\times 10^4 \text{mm}^4$)	備考
		外径 (mm)	板厚 (mm)				
161.8-155.5	A - A'	355.6	6.4	70.21	35.11	10700	
155.5-149.1	A' - B	355.6	6.4	70.21	35.11	10700	
149.1-142.0	B - B'	406.4	6.4	80.43	40.21	16100	
142.0-134.8	B' - C	406.4	6.4	80.43	40.21	16100	
134.8-126.8	C - C'	457.2	6.4	90.64	45.32	23000	
126.8-118.3	C' - D	457.2	6.4	90.64	45.32	23000	
118.3-108.8	D - D'	508.0	6.4	100.9	50.43	31700	
108.8- 98.8	D' - E	508.0	6.4	100.9	50.43	31700	
98.8- 86.4	E - E'	609.6	6.4	121.3	60.64	55200	
86.4- 74.8	E' - F	609.6	6.4	121.3	60.64	55200	
74.8- 61.2	F - G	711.2	9.5	209.4	104.7	129000	
61.2- 41.8	G - H	558.8	9.5	217.2	108.6	83100	補強材(t=6)
41.8- 15.3	H - I	609.6	16.0	298.4	149.2	132000	

注記* : 区間については図 3-1 に示す。

表 3-7 水平材の部材諸元一覧

標高 O.P. (m)	位置*	母材鋼管		断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	せん断 断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面 2 次 モーメント ($\times 10^4 \text{mm}^4$)	備考
		外径 (mm)	板厚 (mm)				
161.8	A	318.5	6.4	109.1	54.53	13900	補強材 (t=9)
149.1	B	318.5	6.4	62.75	31.38	7640	
134.8	C	318.5	6.4	135.4	67.69	17600	補強材 (t=6, t=16)
118.3	D	318.5	6.4	62.75	31.38	7640	
98.8	E	406.4	6.4	80.43	40.21	16100	
74.8	F	457.2	6.4	90.64	45.32	23000	
61.2	G	457.2	6.4	90.64	45.32	23000	
41.8	H	508.0	6.4	100.9	50.43	31700	

注記* : 位置については図 3-1 に示す。

3.1.4 制震オイルダンパ

O. P. 134.8m の支持点では筒身と鉄塔を制震オイルダンパで接続する。制震オイルダンパの配置図を図 3-4 に、諸元を表 3-8 に示す。個々の制震オイルダンパは、減衰係数と剛性を有するダッシュポットとばねが直列に結合するモデルで構成され、制震オイルダンパには水平方向の相対速度に比例した減衰力が発生する。筒身から張り出した支持点アームの先端に制震オイルダンパを接続する。筒身間は筒身から張り出した筒身連結材で接続する。筒身連結材同士の結合条件は、軸方向と鉛直方向をフリー、軸直交方向を固定とする。支持点アームと筒身連結材は剛の梁要素でモデル化する。

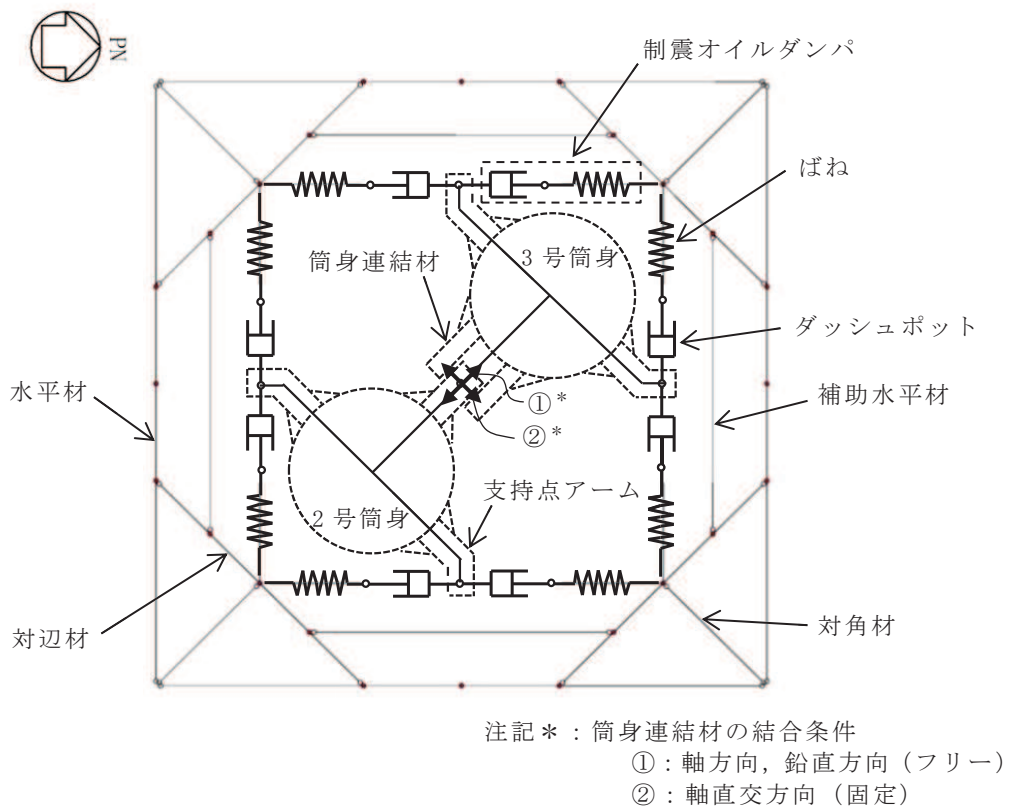


図 3-4 制震オイルダンパ配置図

表 3-8 制震オイルダンパの諸元

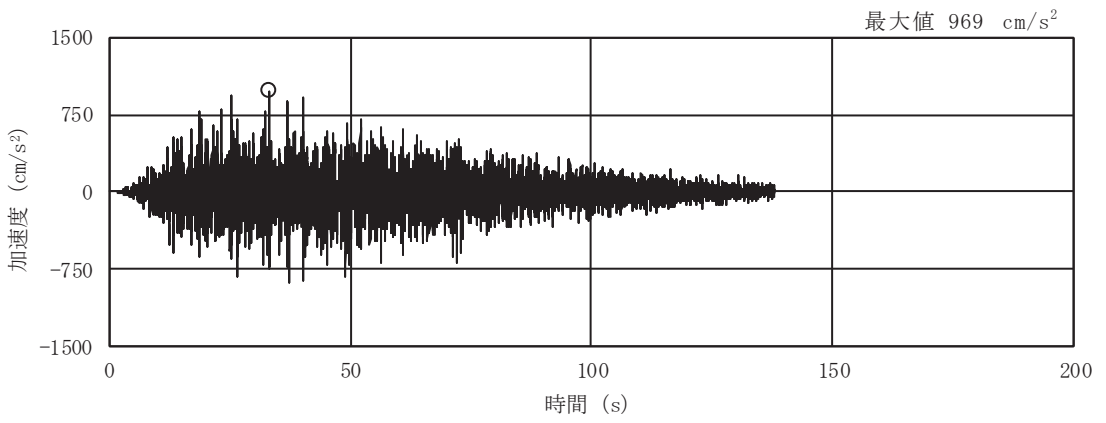
標高 O. P. (m)	位置*	減衰係数 (kN・s/m)	剛性 (kN/mm)	許容速度 (m/s)	許容変位 (mm)
134.8	C	350	45	1.20	±400

注記* : 位置については図 3-1 に示す。

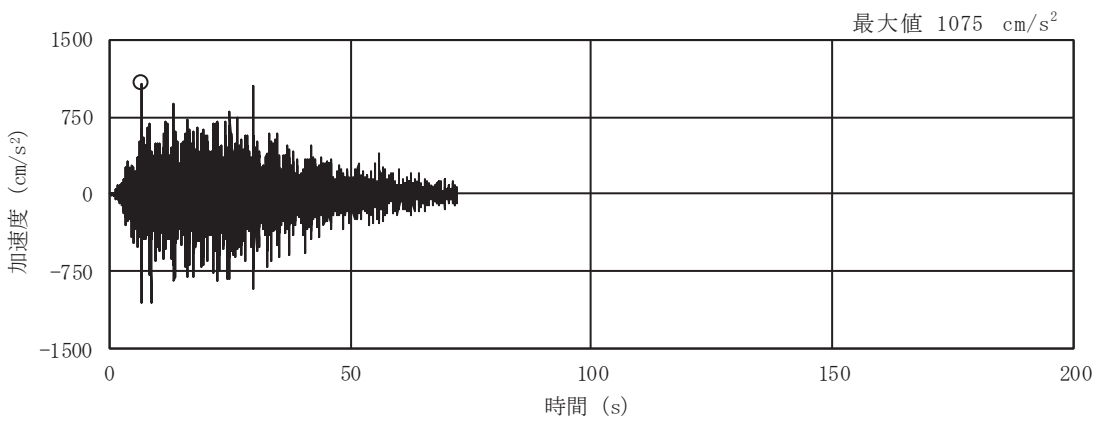
3.2 入力地震動

排気筒の地震応答解析に用いる入力地震動は、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d による「VI-2-2-25 排気筒基礎の地震応答計算書」から得られる基礎上端レベル (O.P. 15.3m) の NS 断面, EW 断面の応答加速度 (並進, 鉛直, 回転成分) を用いる。

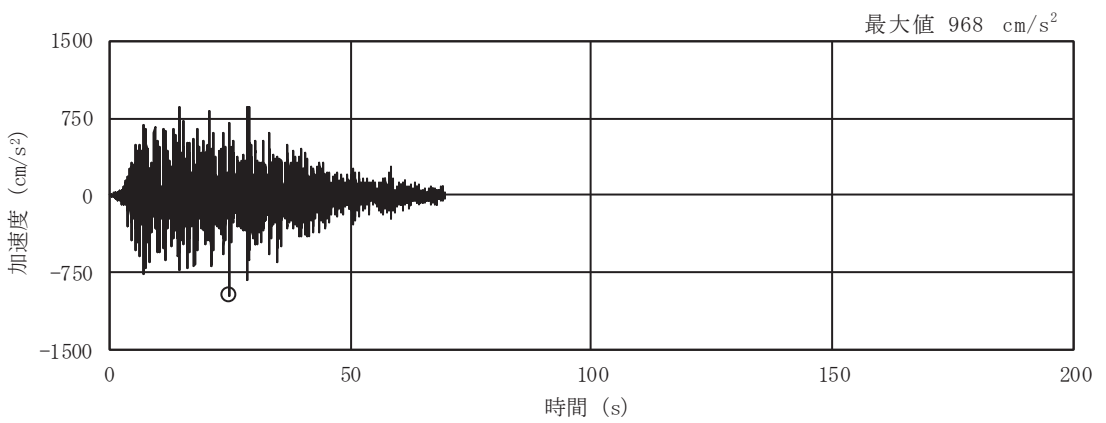
代表として、入力地震動のうち、基準地震動 S_s の基本ケース及び弾性設計用地震動 S_d の基本ケースの加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-5～図 3-6 に示す。



(a) S s - D 1

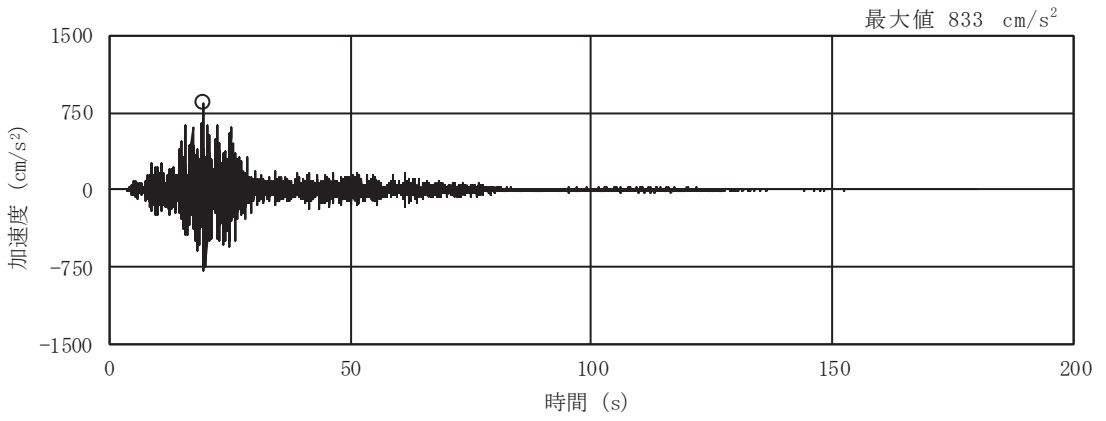


(b) S s - D 2

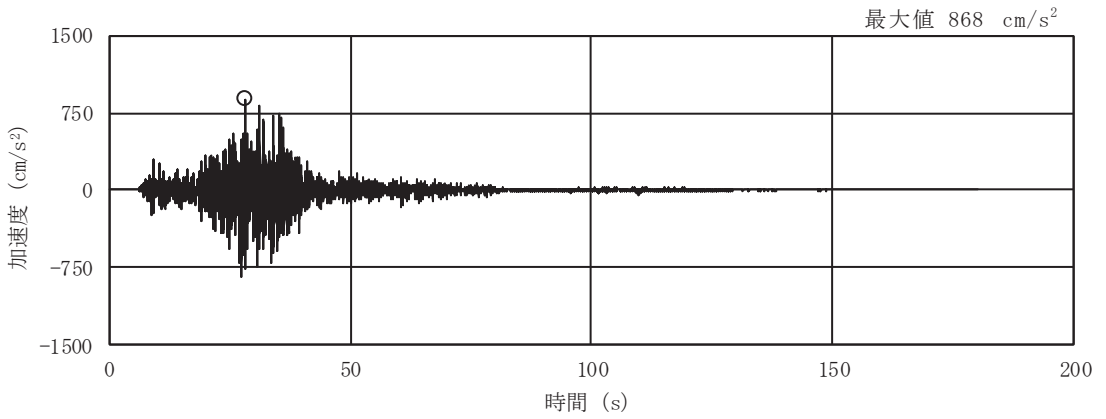


(c) S s - D 3

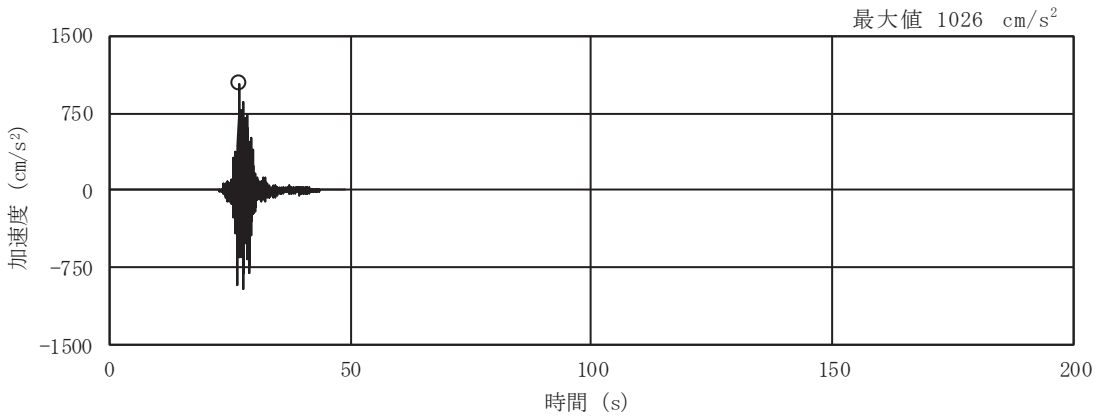
図 3-5(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , NS 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

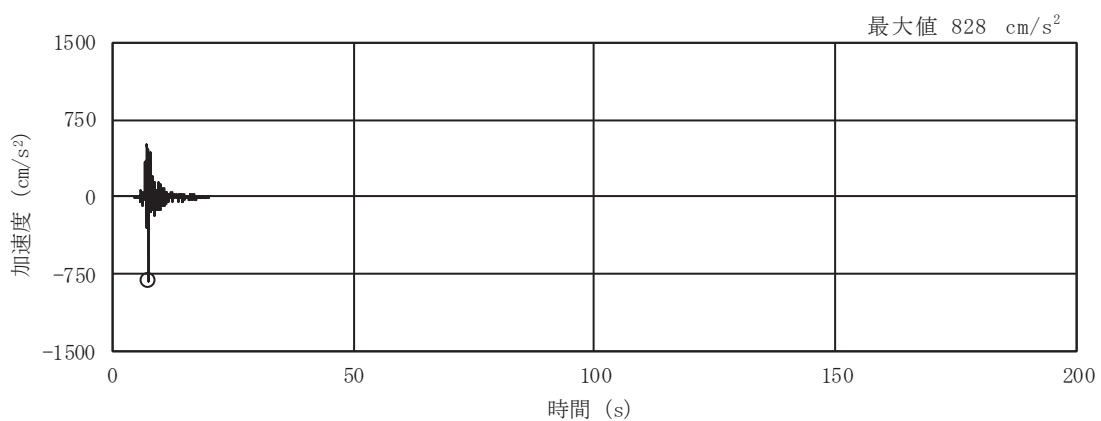


(e) S s - F 2



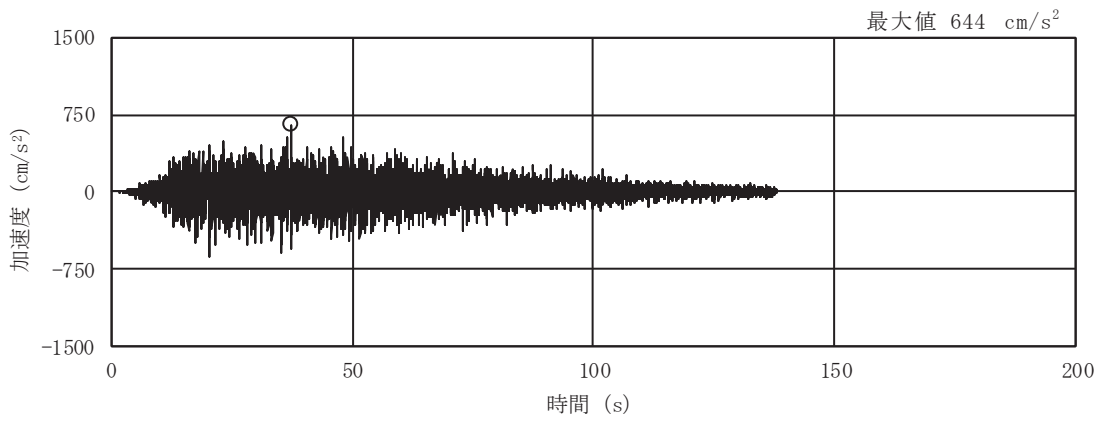
(f) S s - F 3

図 3-5(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , NS 断面 並進成分) (2/3)

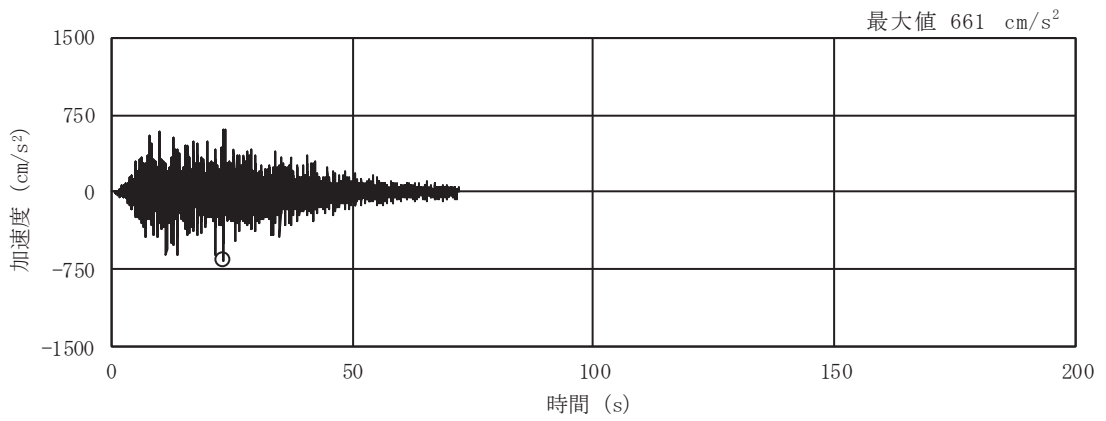


(g) S_s - N 1

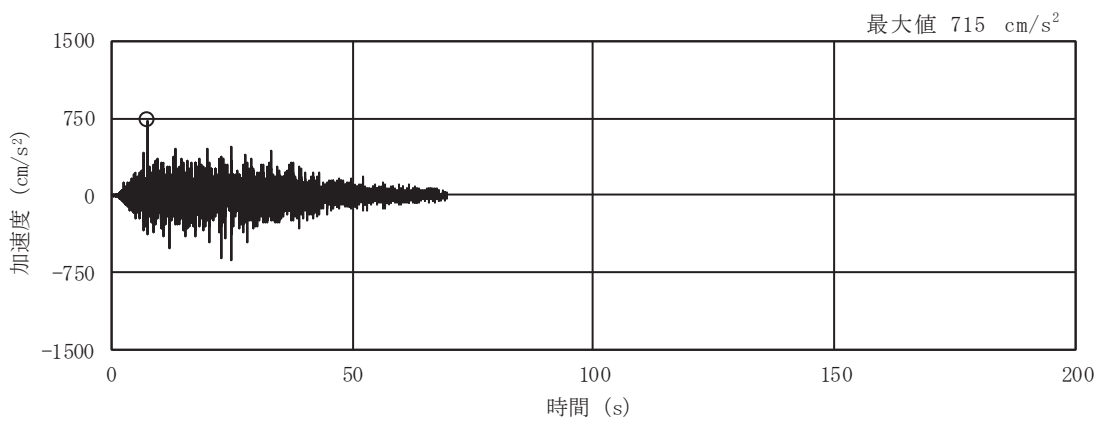
図 3-5(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S_s, NS 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

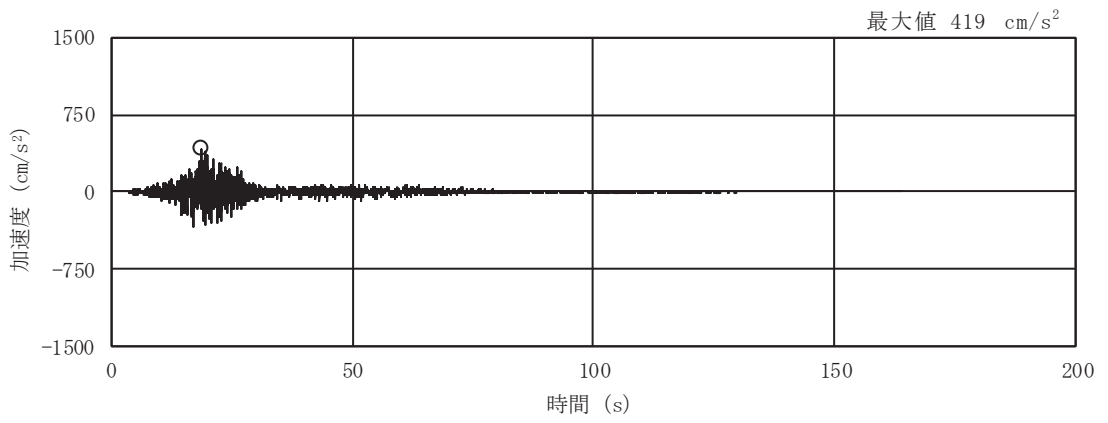


(b) S s - D 2

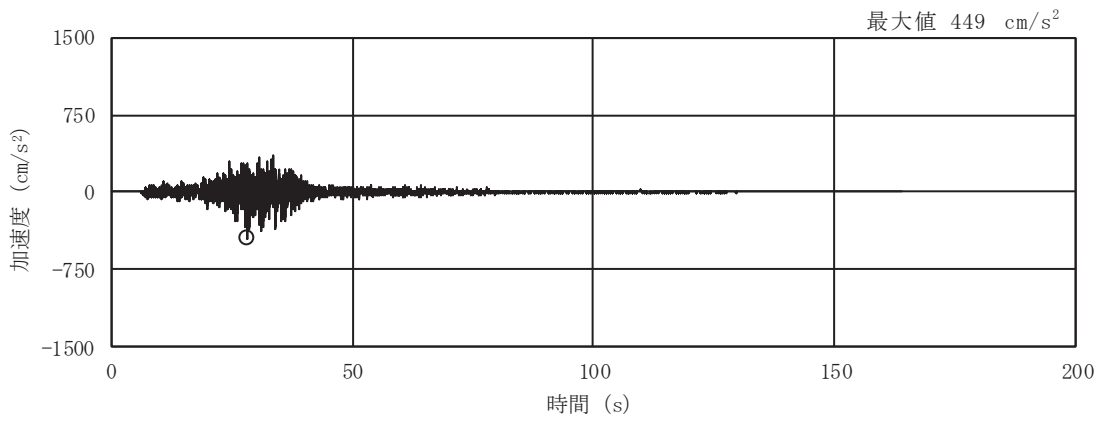


(c) S s - D 3

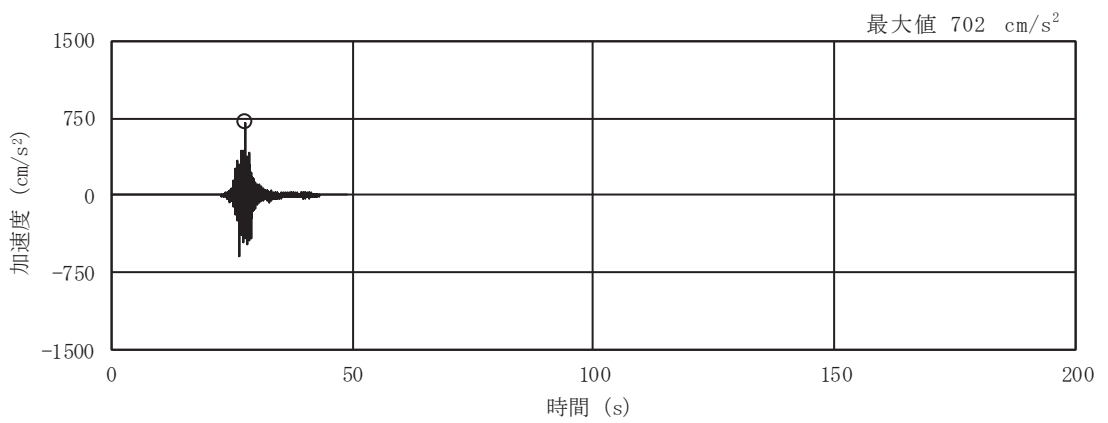
図 3-5(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , NS 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

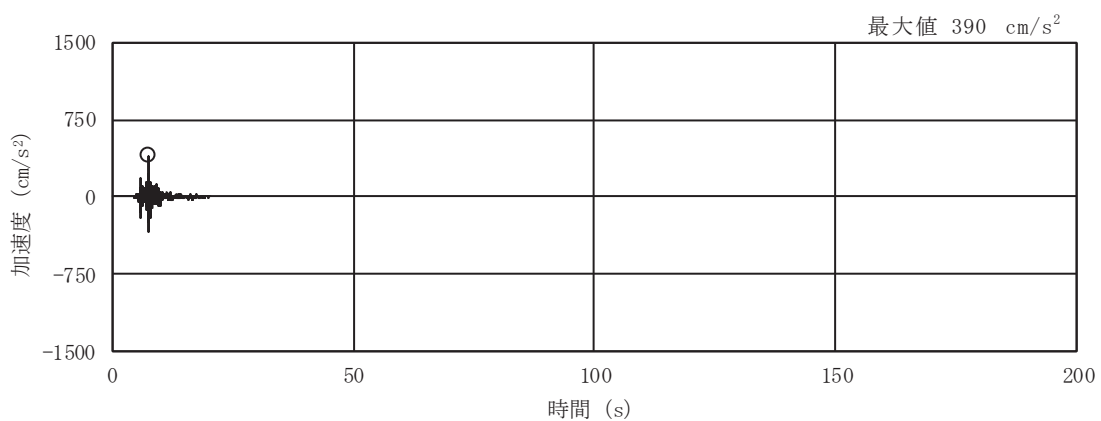


(e) S s - F 2



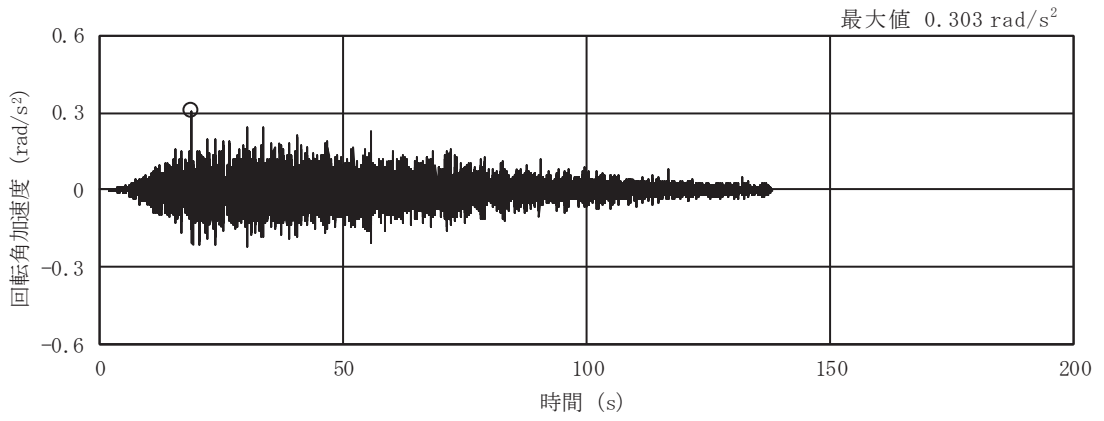
(f) S s - F 3

図 3-5(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , NS 断面 鉛直成分) (2/3)

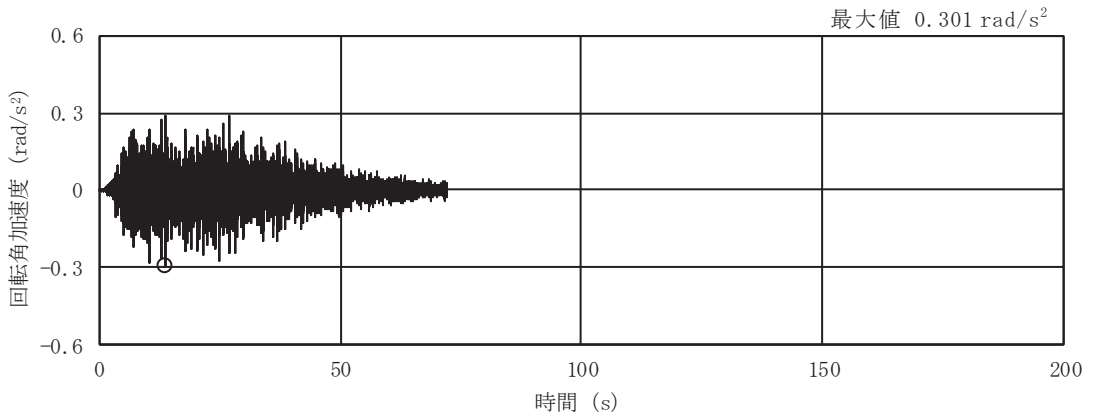


(g) S_s - N 1

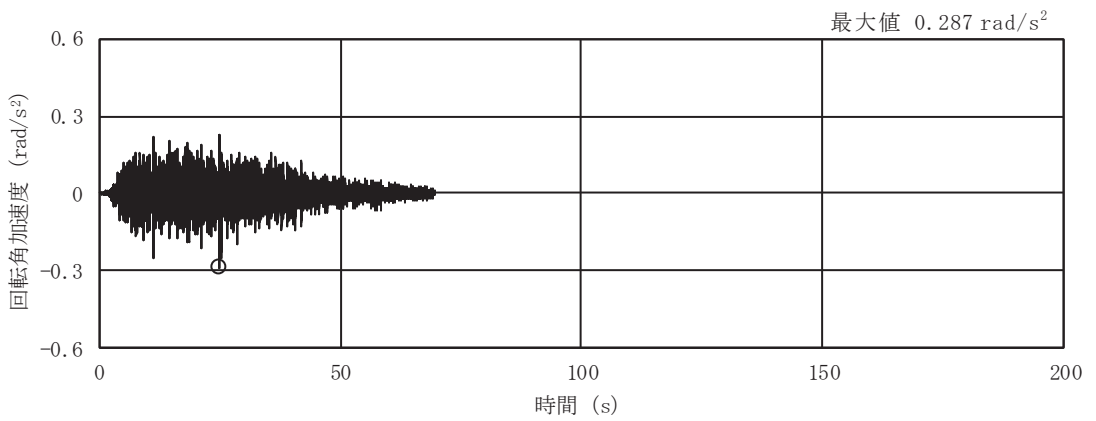
図 3-5(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S_s, NS 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1

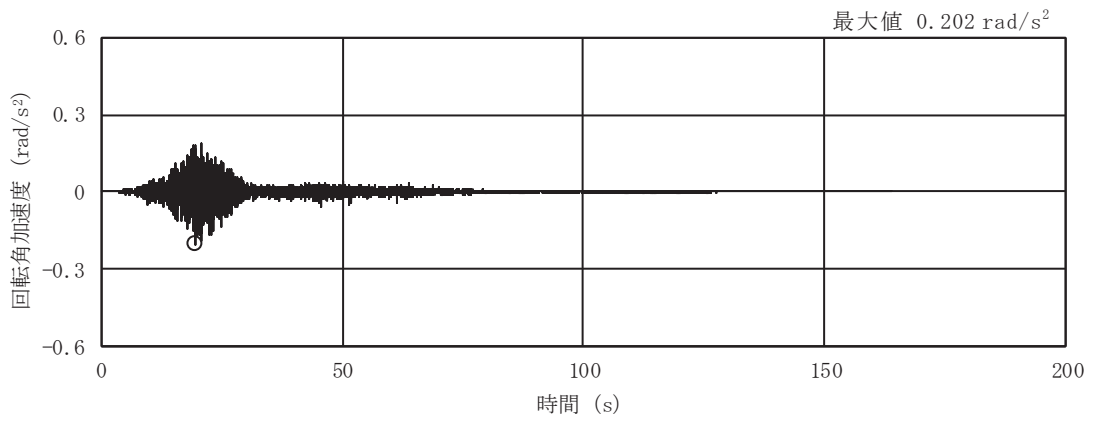


(b) S s - D 2

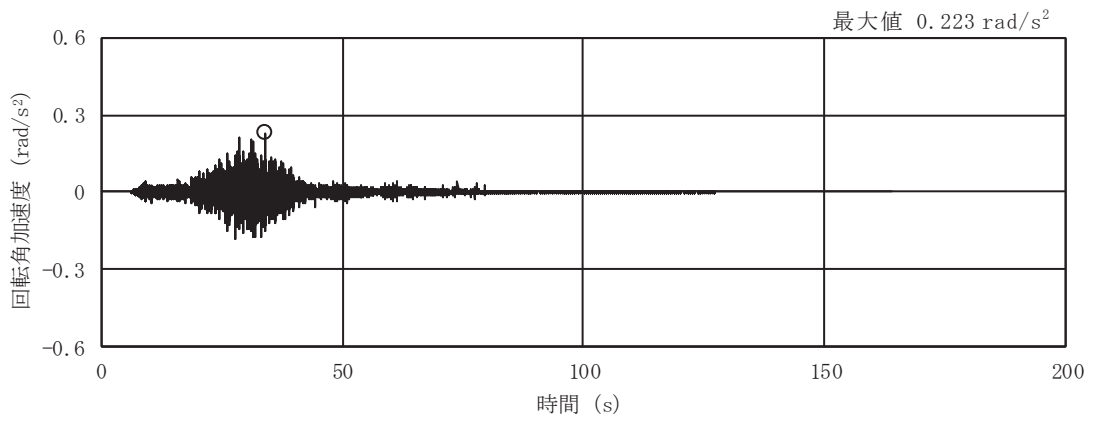


(c) S s - D 3

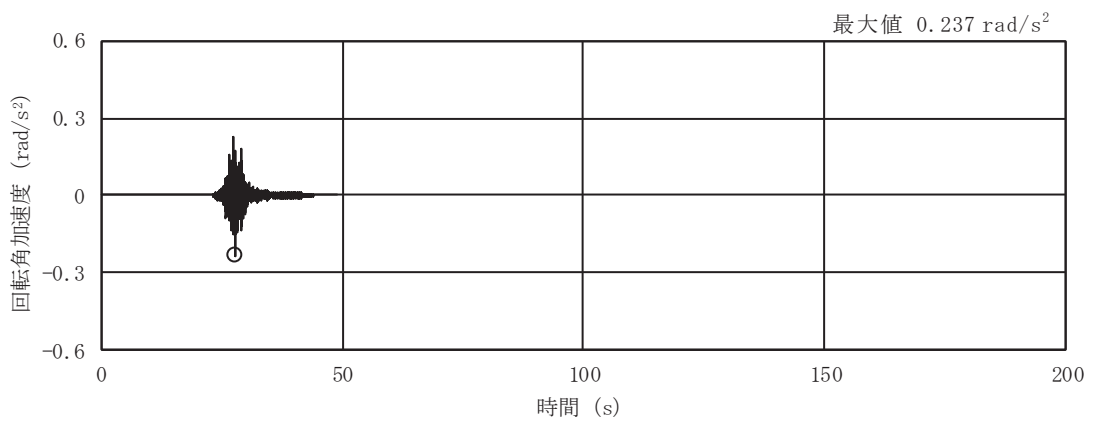
図 3-5(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , NS 断面 回転成分) (1/3)



(d) S_s - F 1

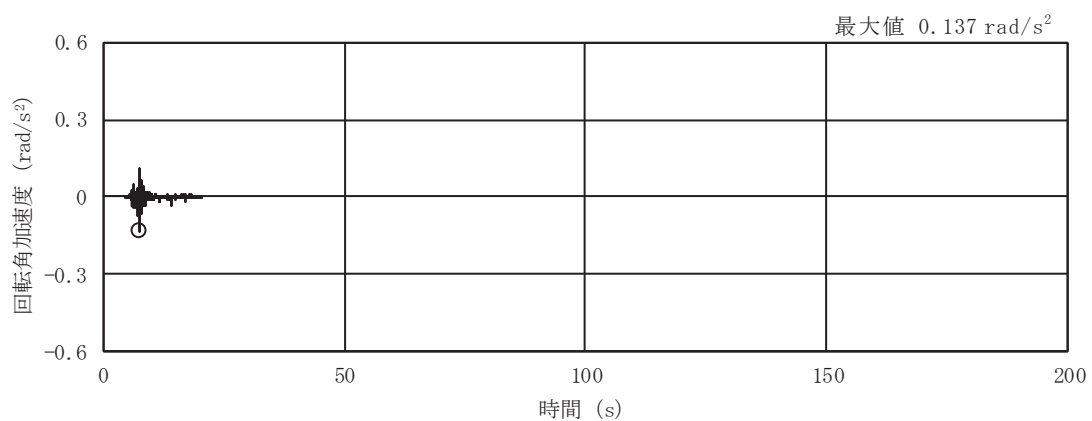


(e) S_s - F 2



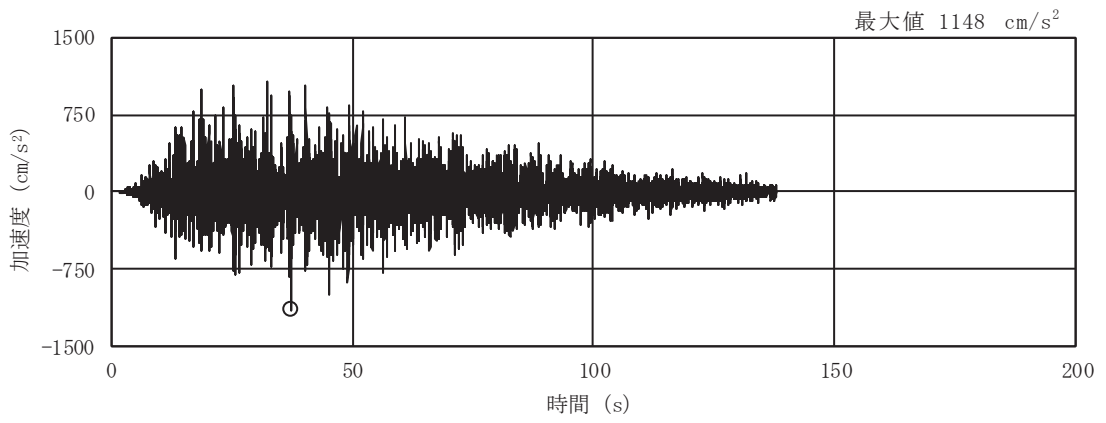
(f) S_s - F 3

図 3-5(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S_s, NS 断面 回転成分) (2/3)

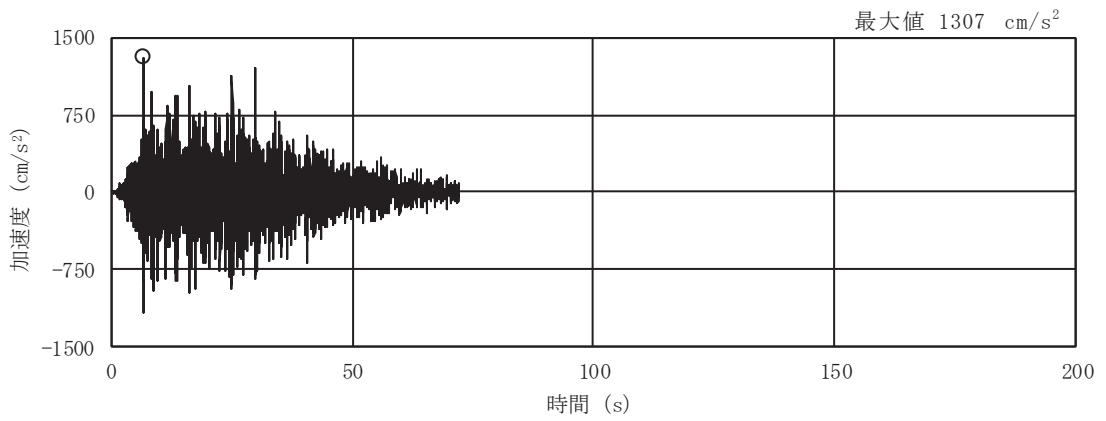


(g) S s - N 1

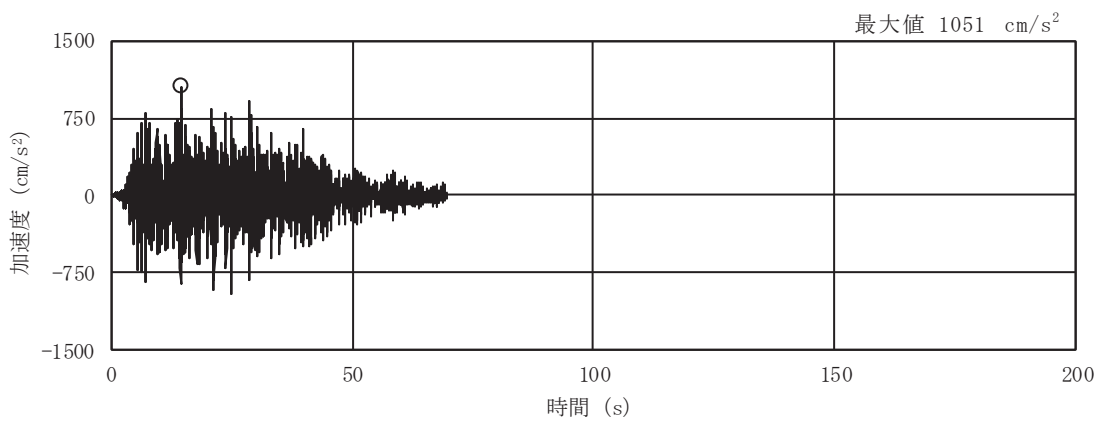
図 3-5(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , NS 断面 回転成分) (3/3)



(a) S s - D 1

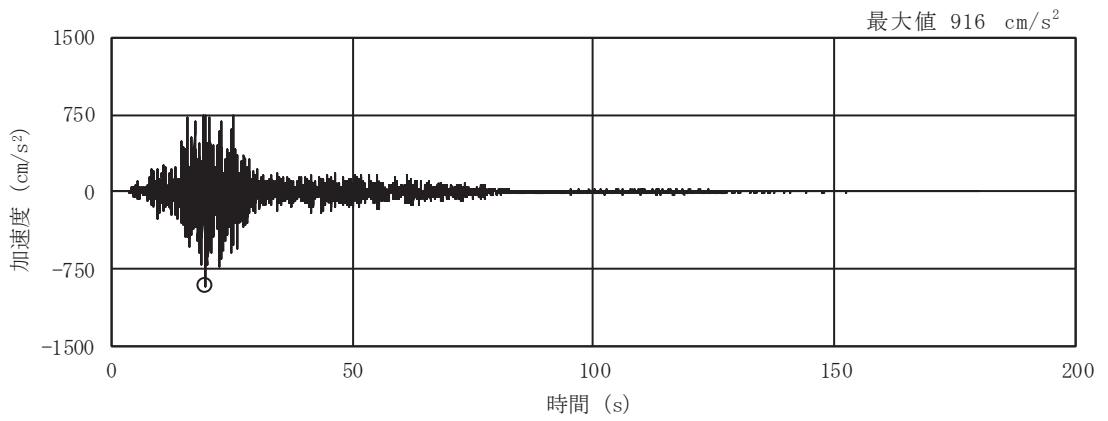


(b) S s - D 2

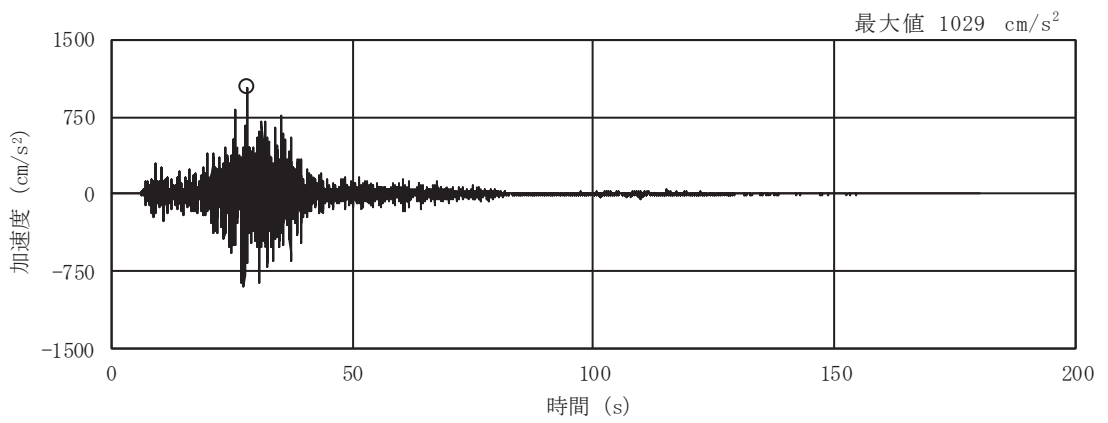


(c) S s - D 3

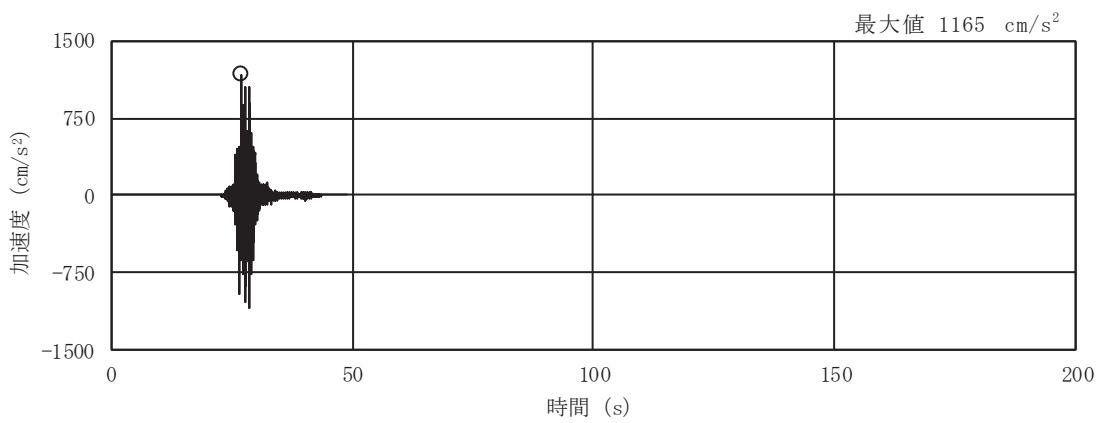
図 3-5(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , EW 断面 並進成分) (1/3)



(d) S s - F 1

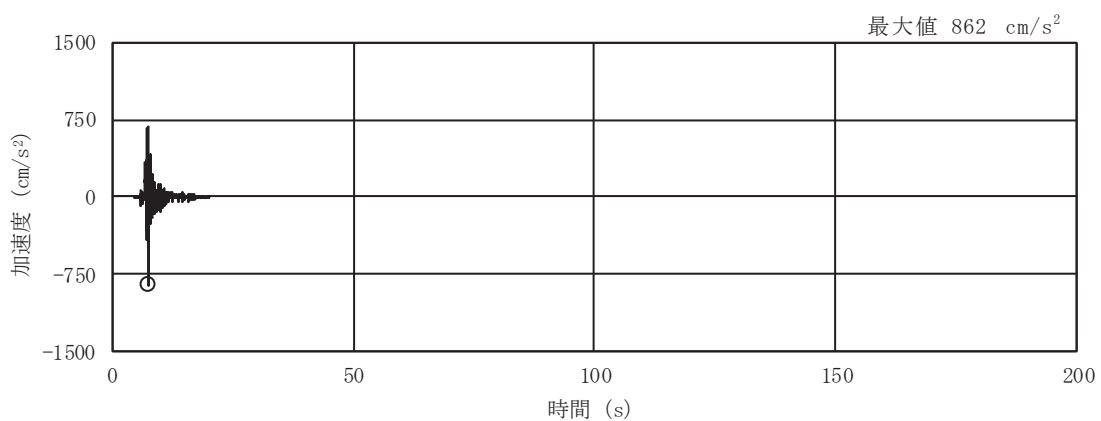


(e) S s - F 2



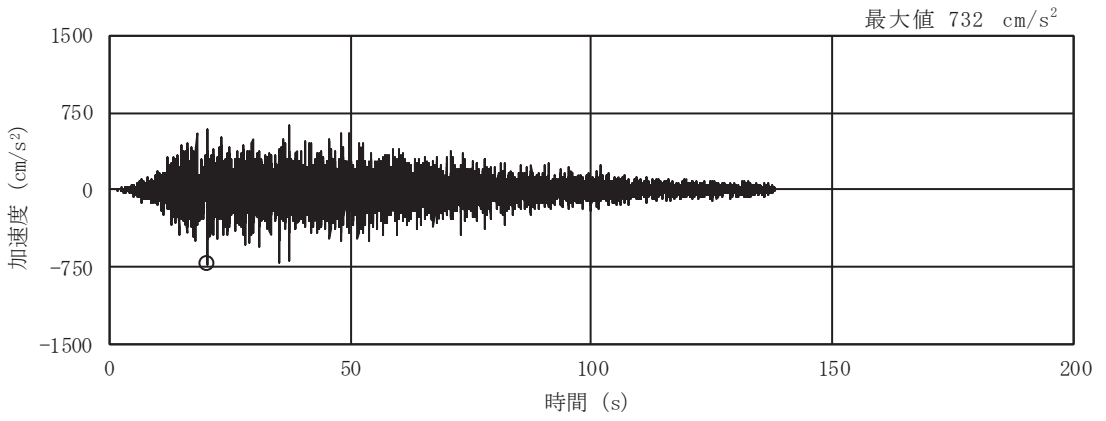
(f) S s - F 3

図 3-5(11) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , EW 断面 並進成分) (2/3)

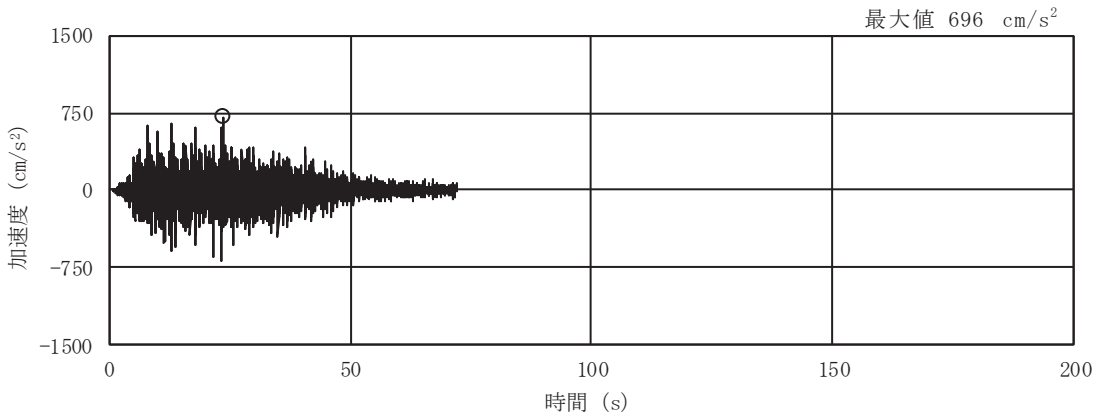


(g) S s - N 1

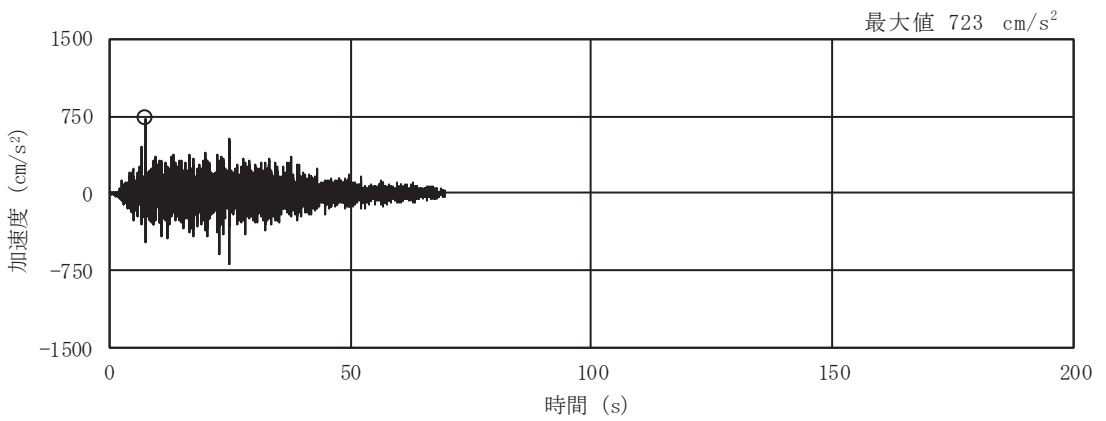
図 3-5(12) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , EW 断面 並進成分) (3/3)



(a) S s - D 1

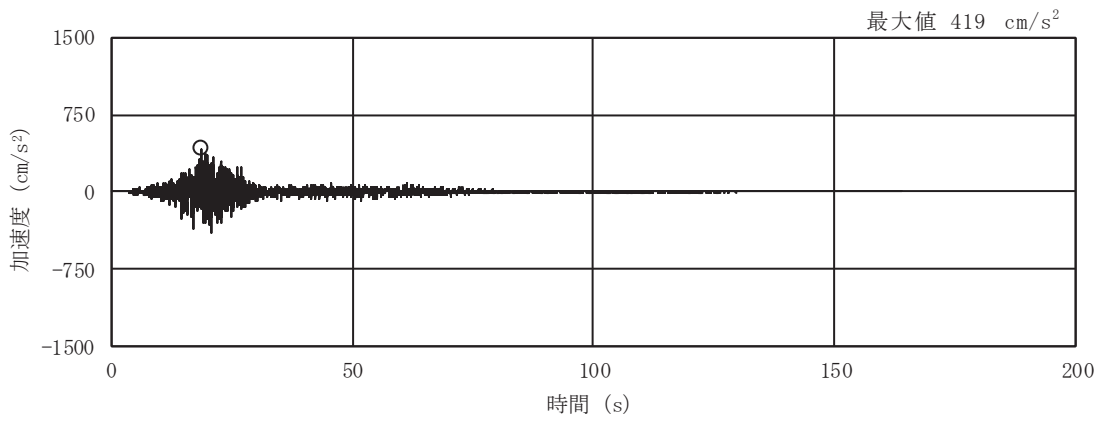


(b) S s - D 2

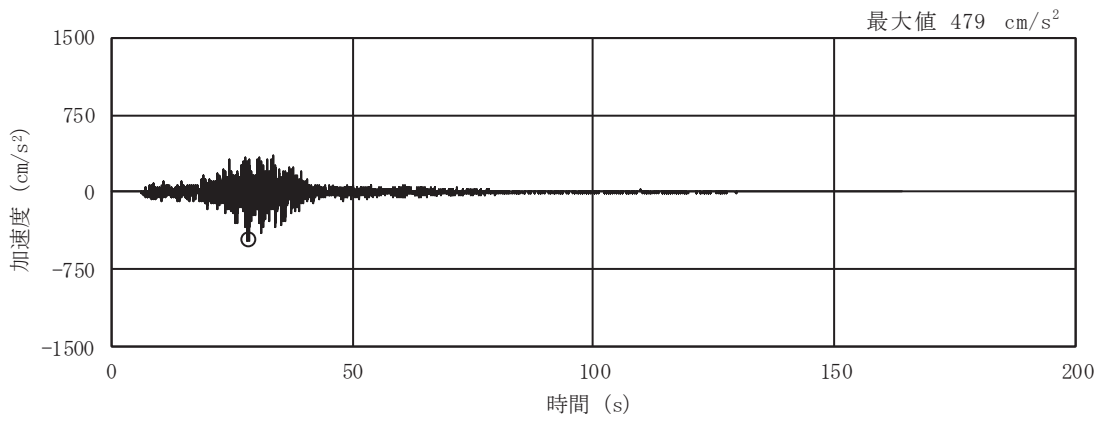


(c) S s - D 3

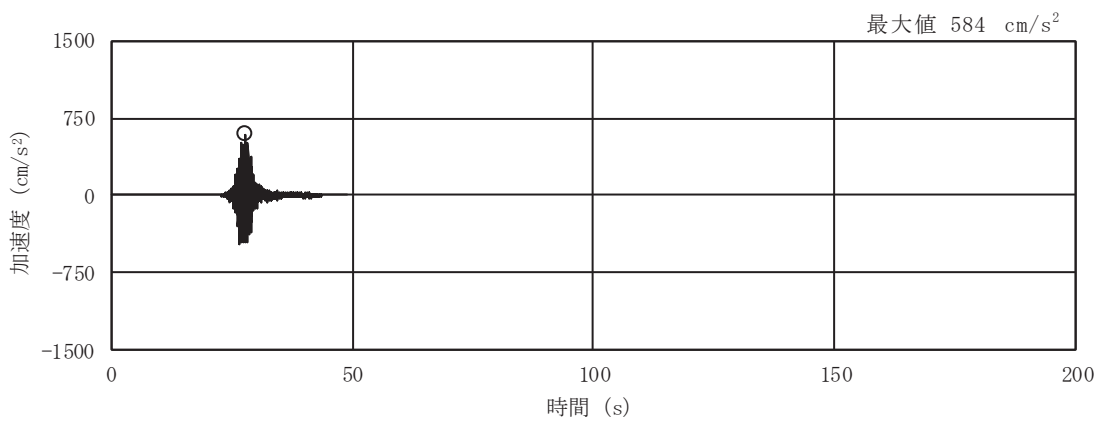
図 3-5(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , EW 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S_s - F 1

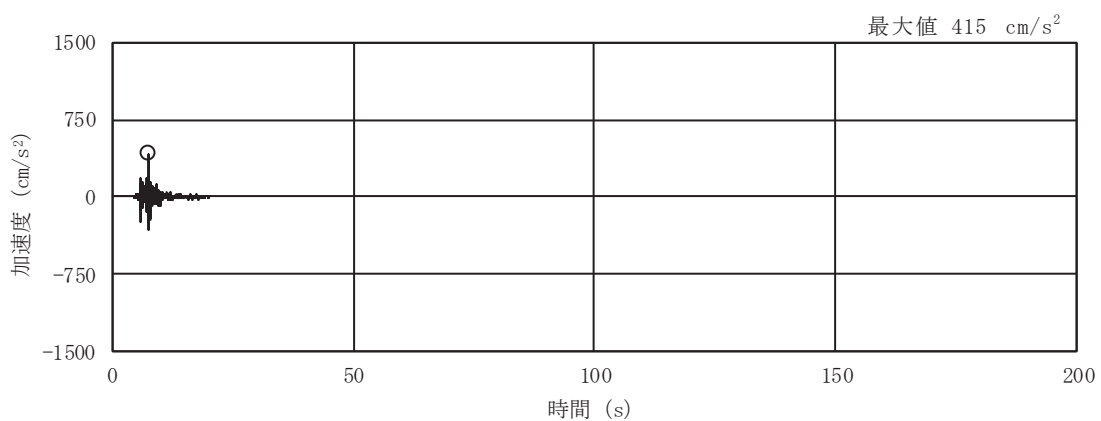


(e) S_s - F 2



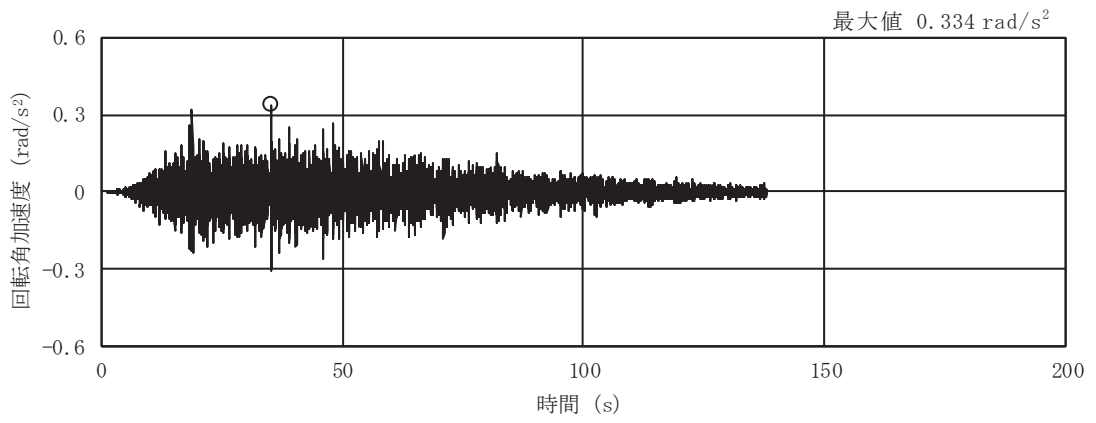
(f) S_s - F 3

図 3-5(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S_s, EW 断面 鉛直成分) (2/3)

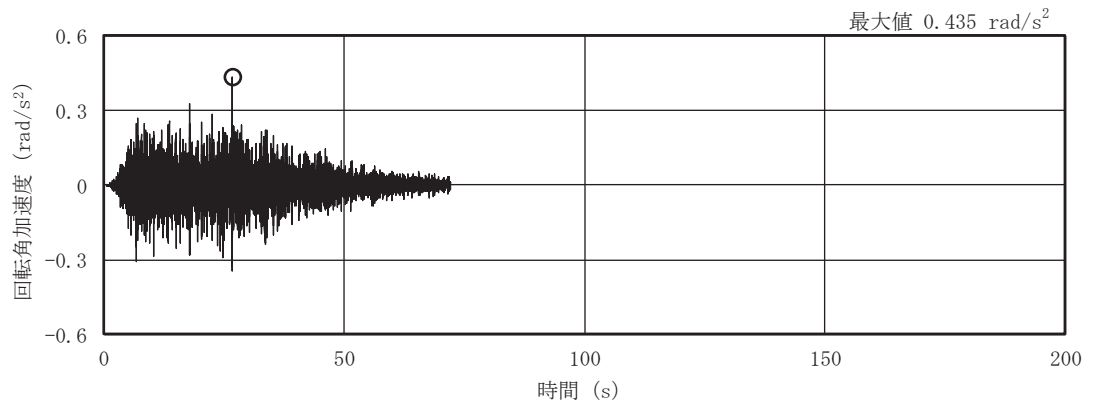


(g) S_s - N 1

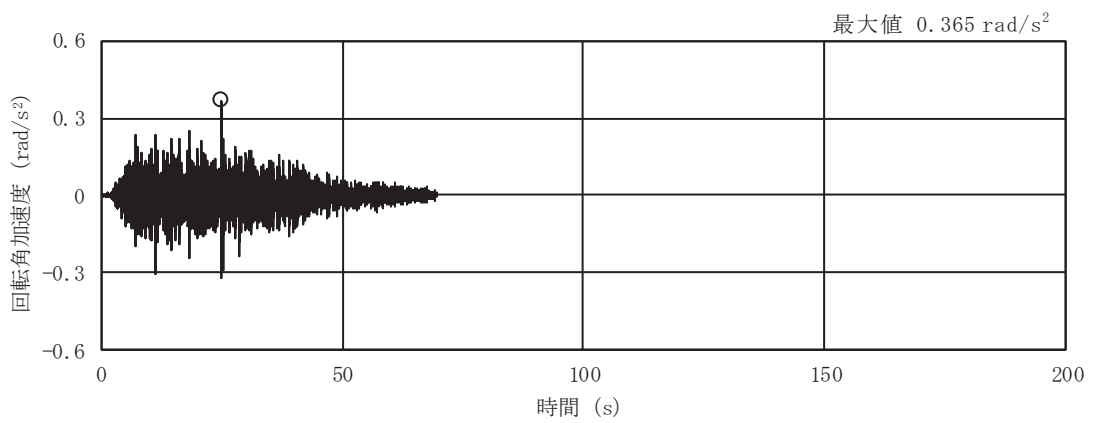
図 3-5(15) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S_s, EW 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S s - D 1

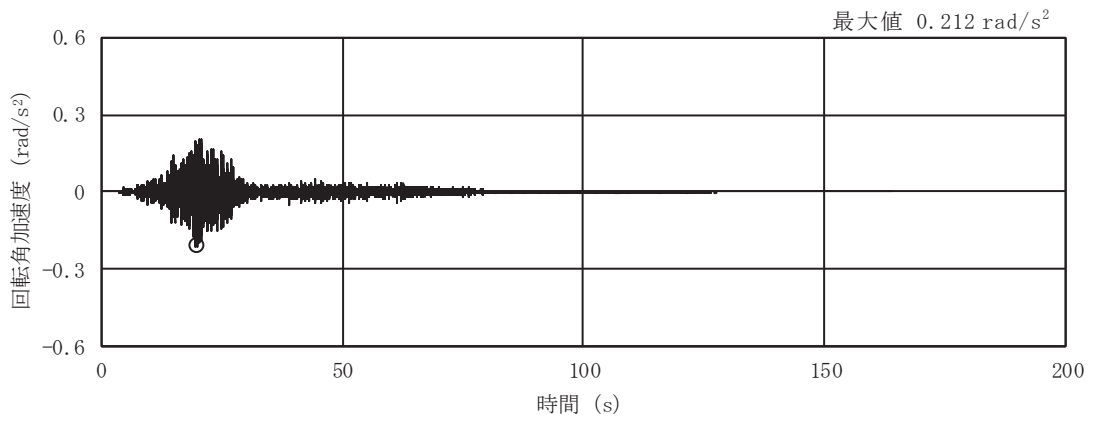


(b) S s - D 2

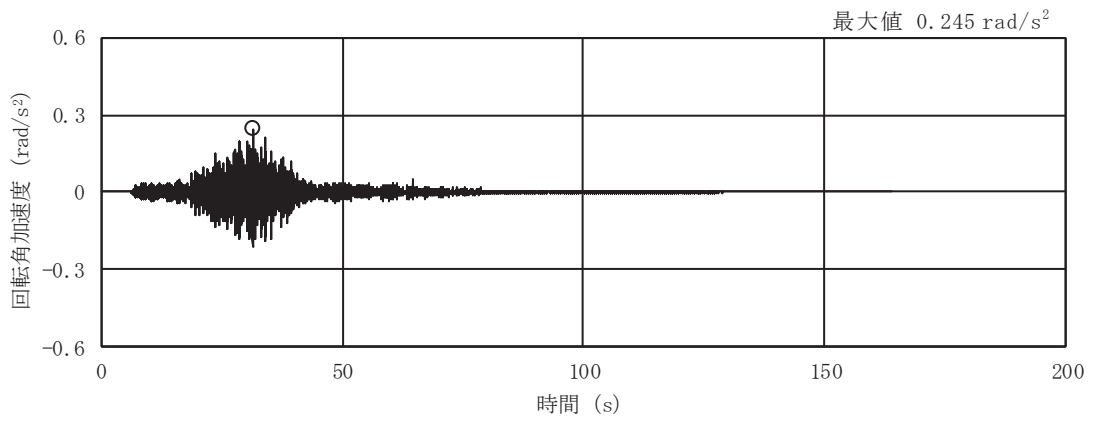


(c) S s - D 3

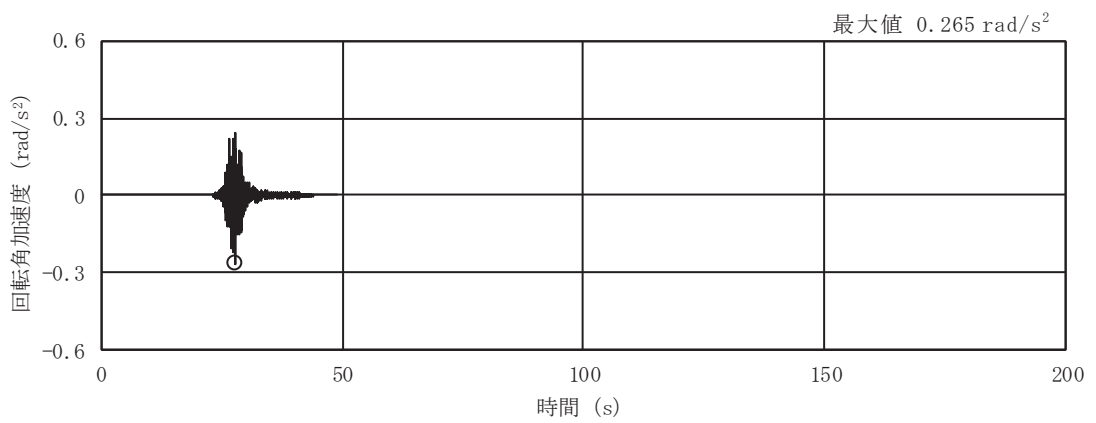
図 3-5(16) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , EW 断面 回転成分) (1/3)



(d) S_s - F 1

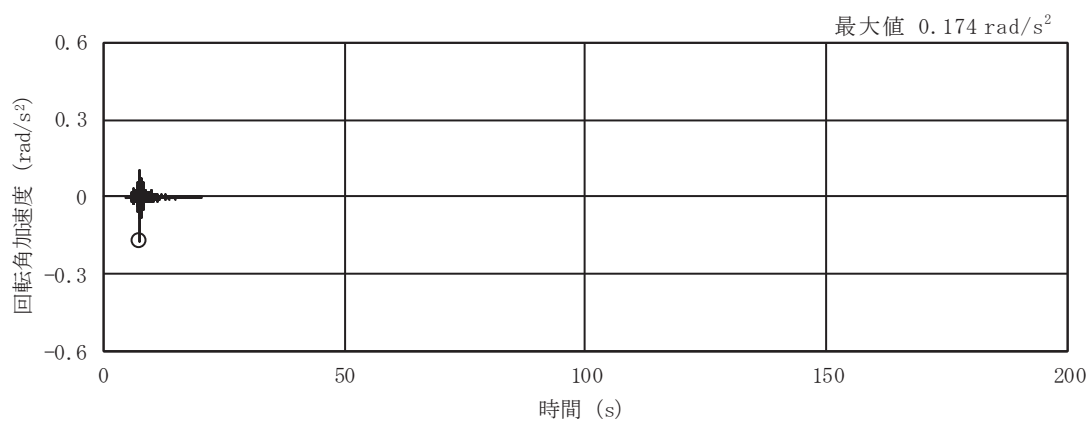


(e) S_s - F 2



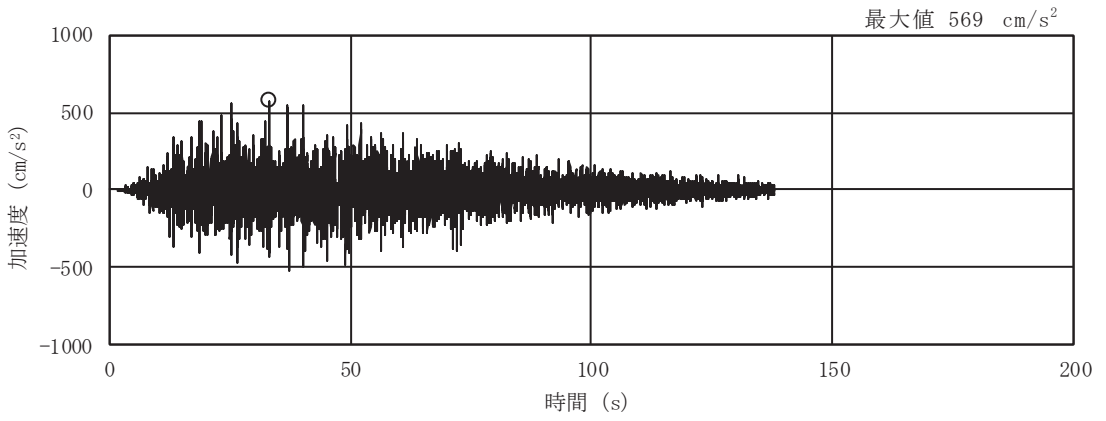
(f) S_s - F 3

図 3-5(17) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S_s, EW 断面 回転成分) (2/3)

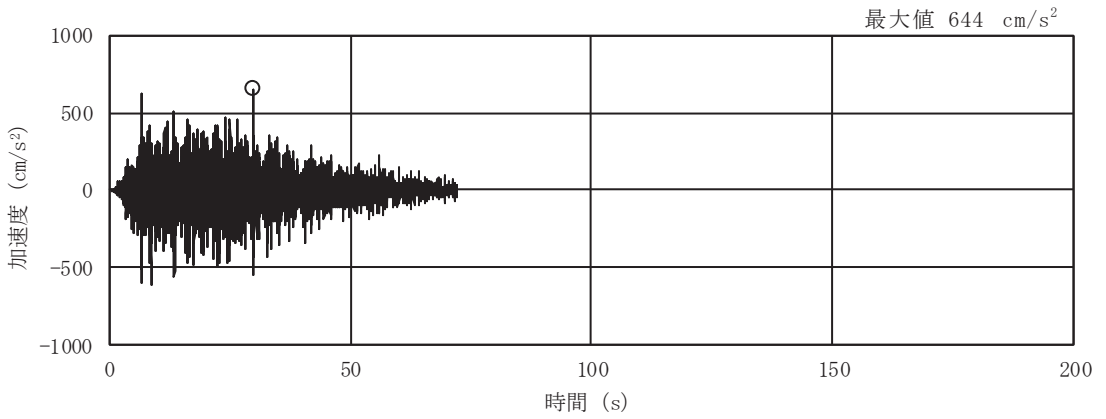


(g) S s - N 1

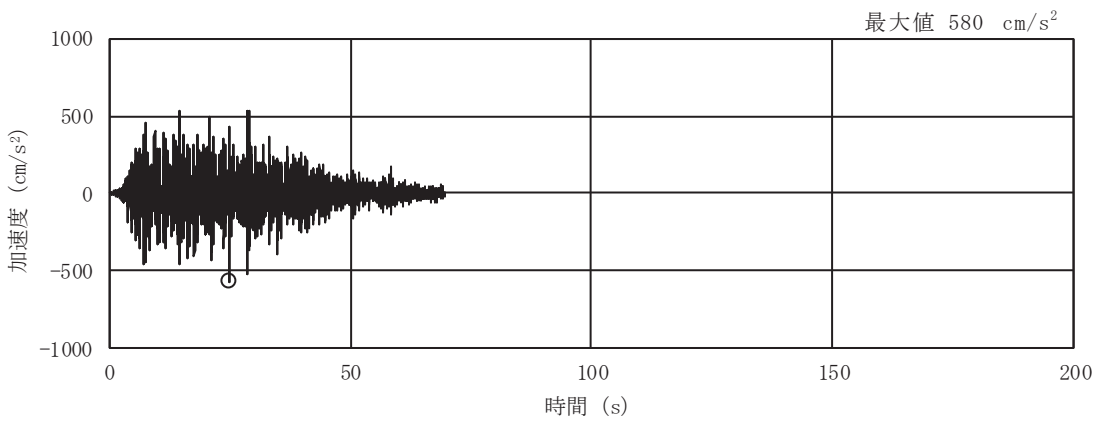
図 3-5(18) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , EW 断面 回転成分) (3/3)



(a) S d - D 1

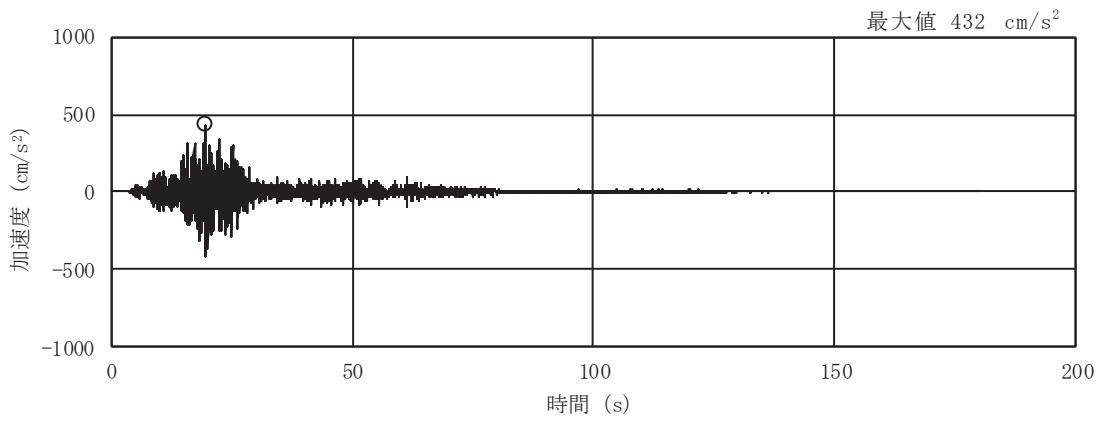


(b) S d - D 2

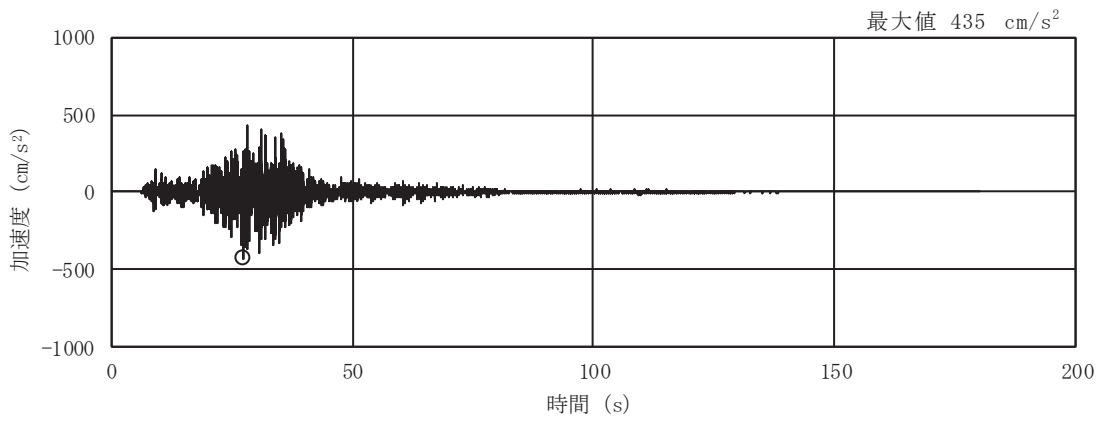


(c) S d - D 3

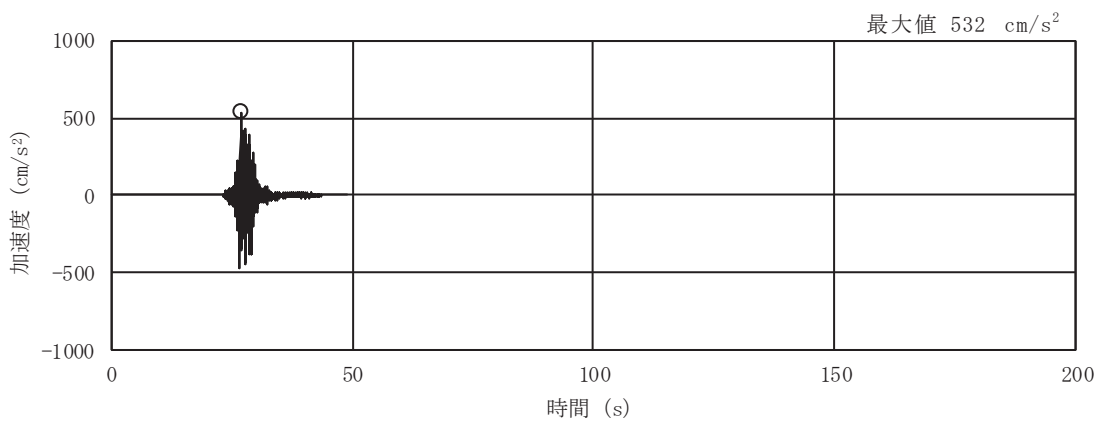
図 3-6(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S d, NS 断面 並進成分) (1/3)



(d) S d - F 1

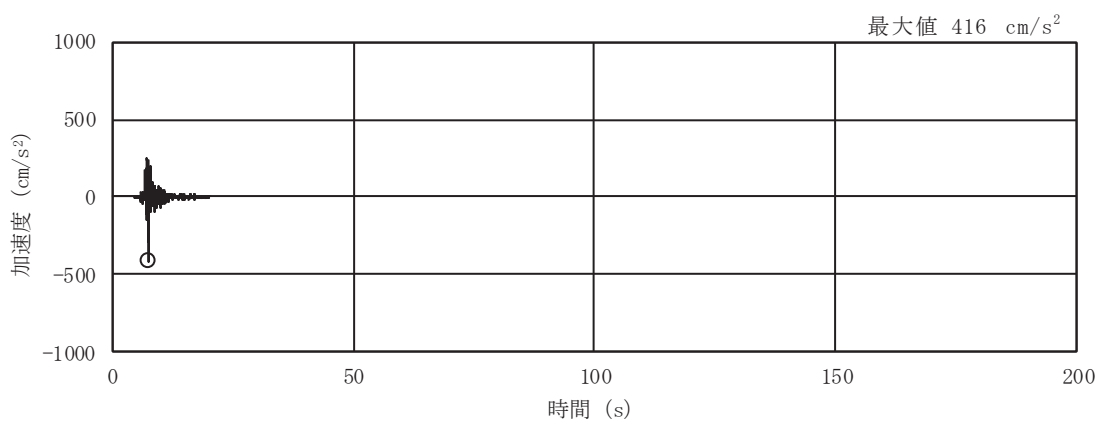


(e) S d - F 2



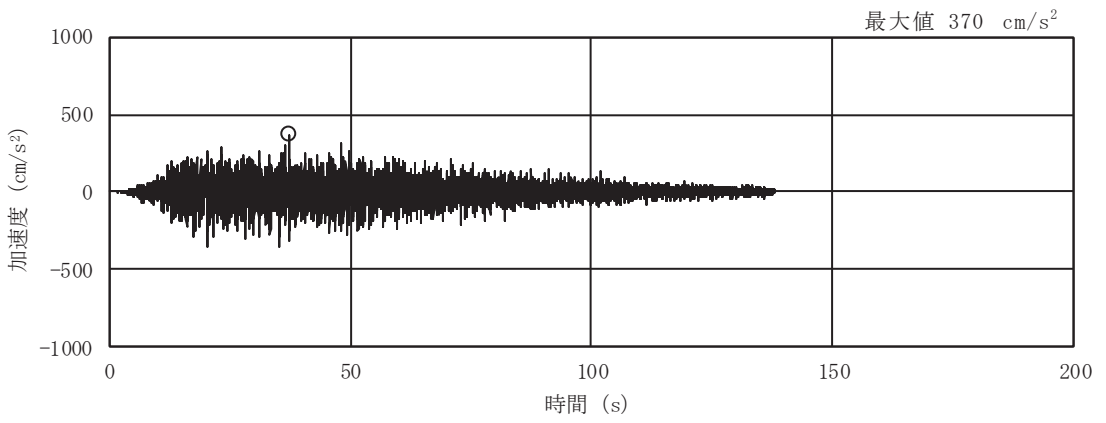
(f) S d - F 3

図 3-6(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S d, NS 断面 並進成分) (2/3)

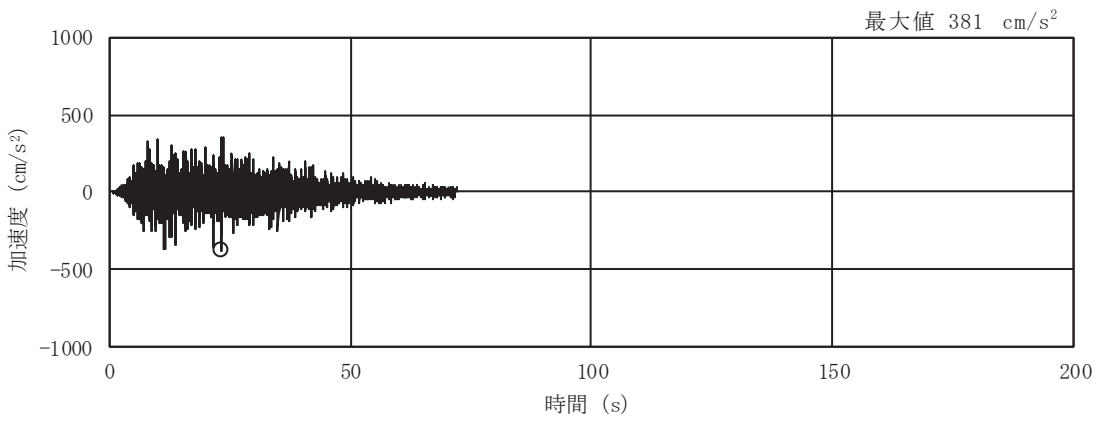


(g) S d - N 1

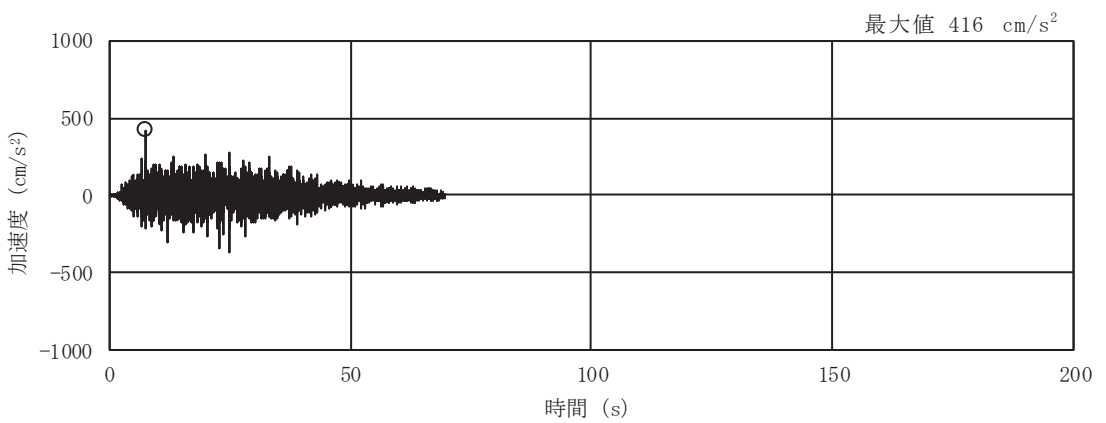
図 3-6(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (弾性設計用地震動 S d, NS 断面 並進成分) (3/3)



(a) S d - D 1

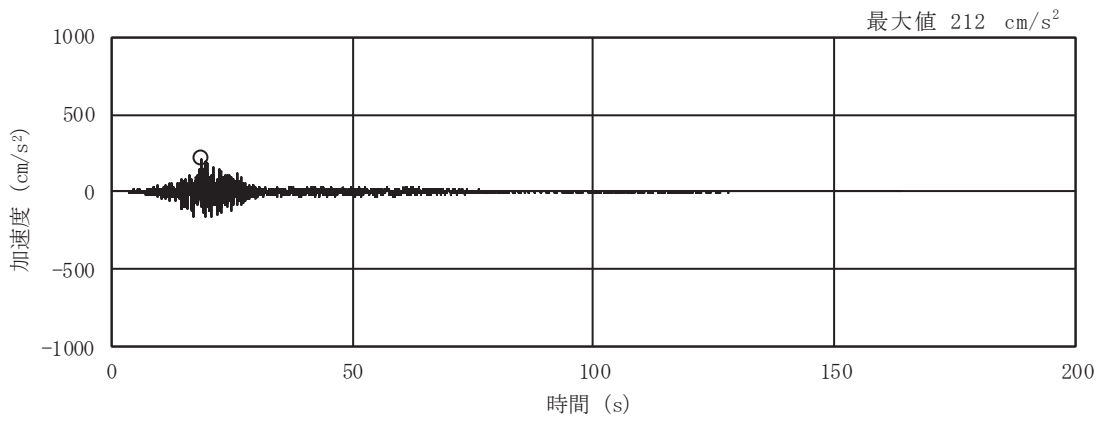


(b) S d - D 2

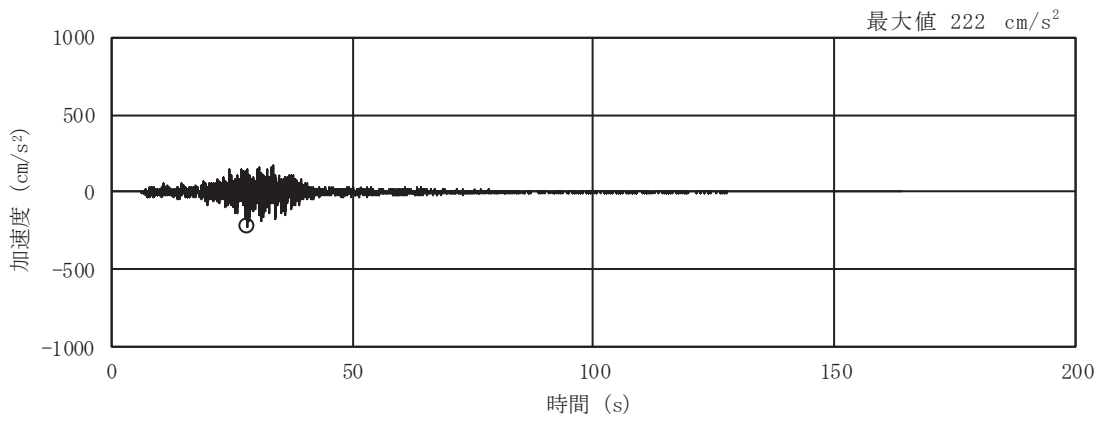


(c) S d - D 3

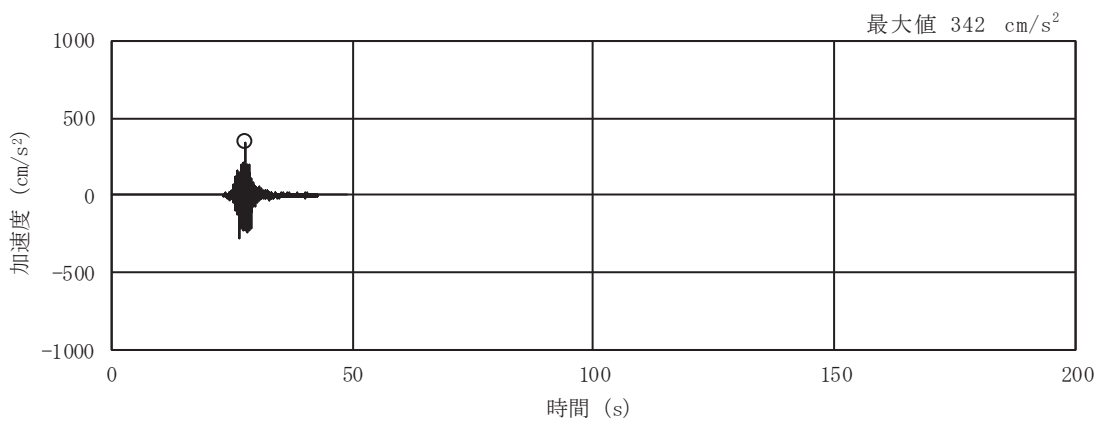
図 3-6(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S d, NS 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S d - F 1

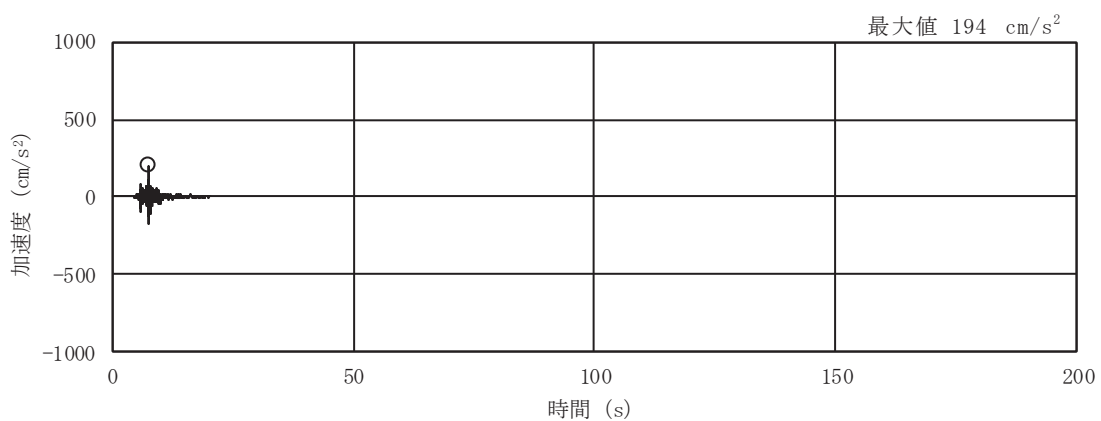


(e) S d - F 2



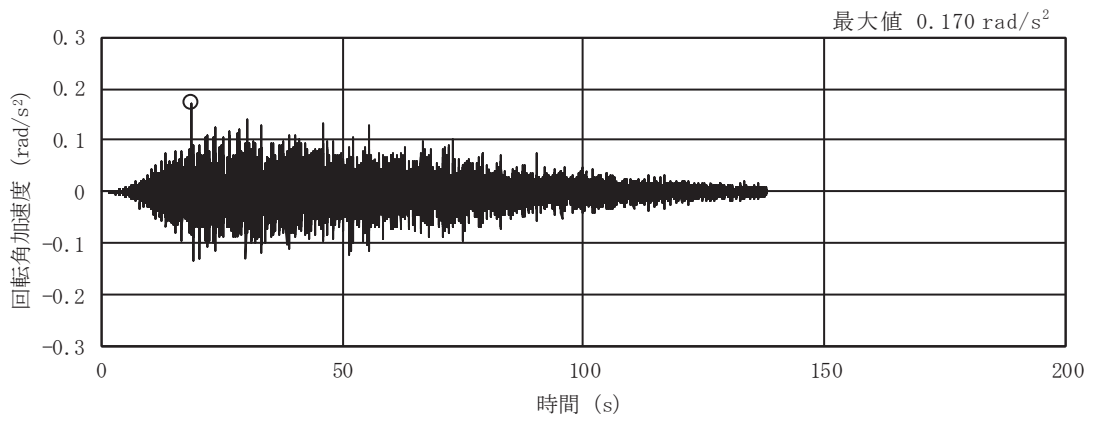
(f) S d - F 3

図 3-6(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S d, NS 断面 鉛直成分) (2/3)

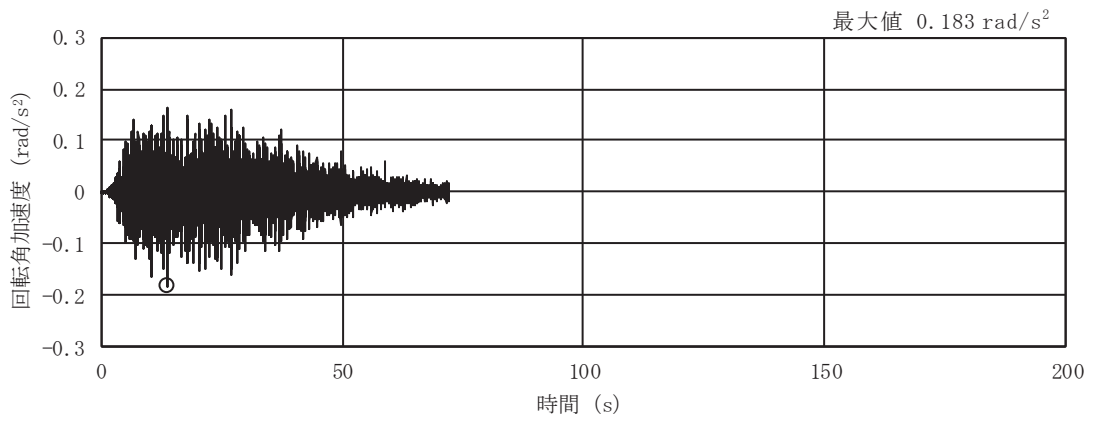


(g) S d - N 1

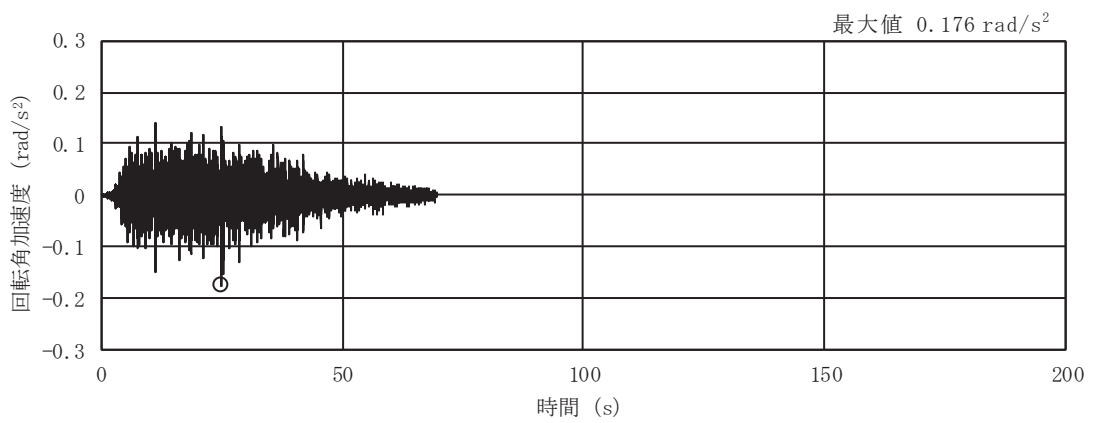
図 3-6(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (弾性設計用地震動 S d, NS 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S d - D 1

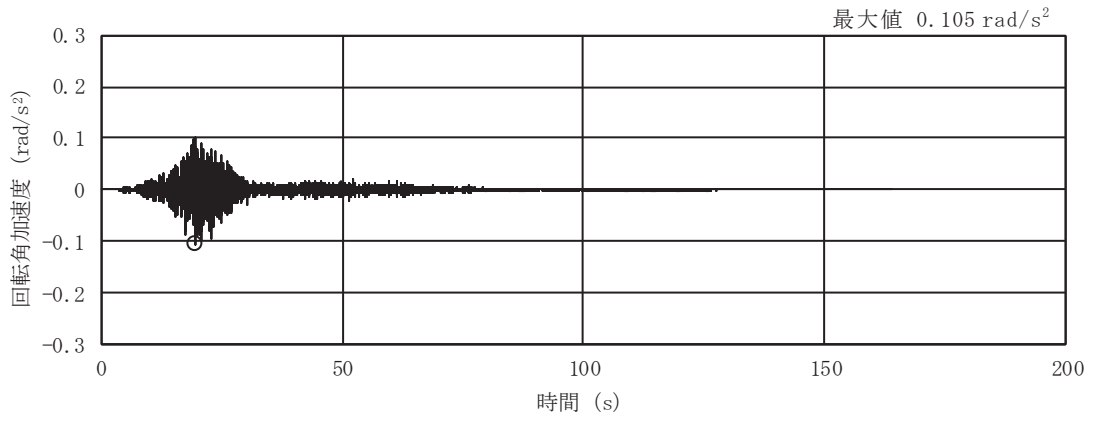


(b) S d - D 2

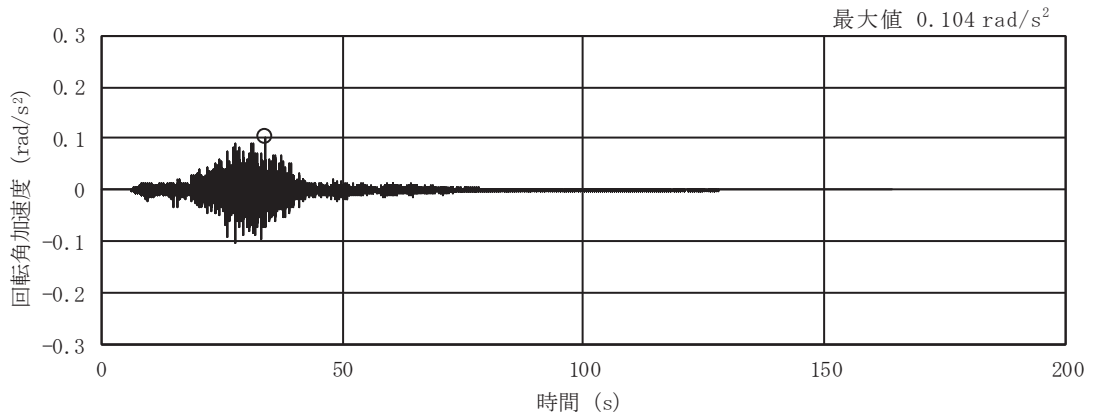


(c) S d - D 3

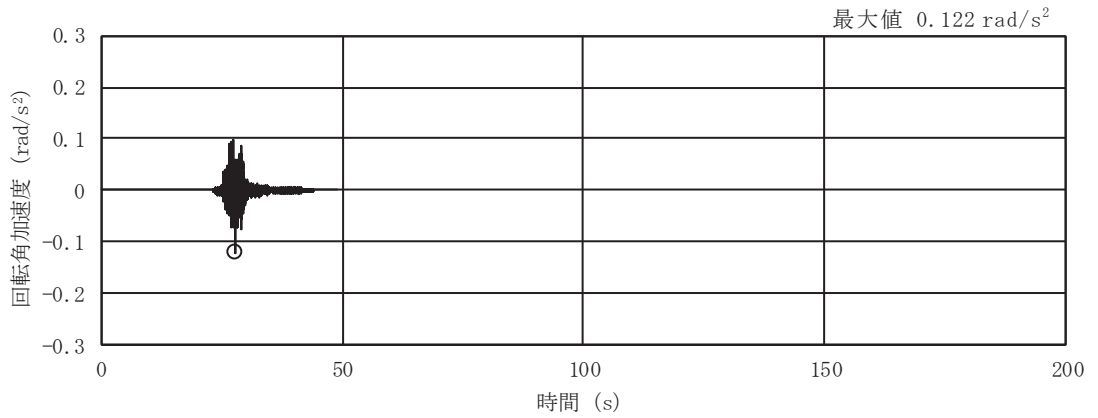
図 3-6(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S d, NS 断面 回転成分) (1/3)



(d) S d - F 1

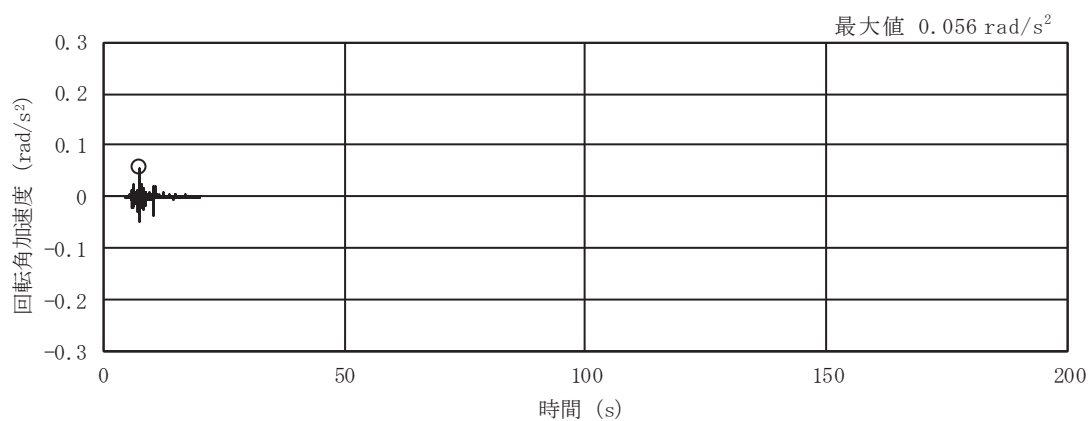


(e) S d - F 2



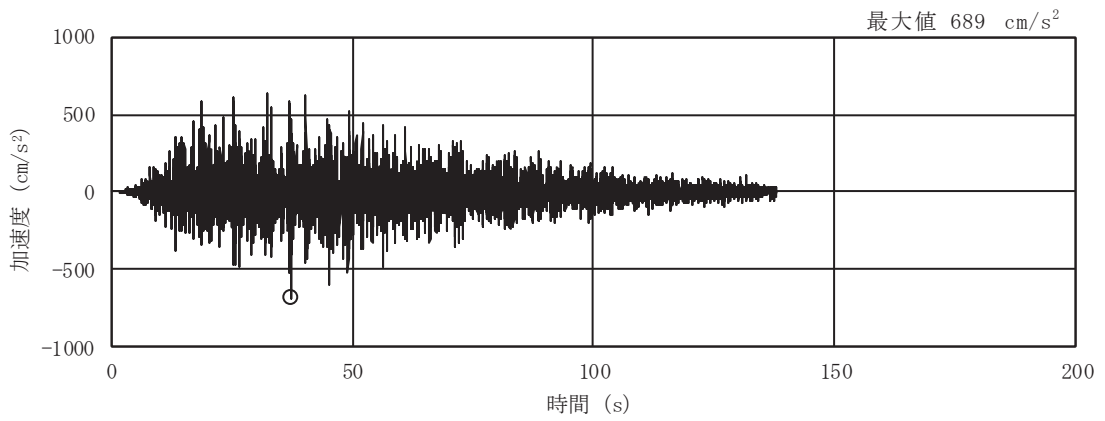
(f) S d - F 3

図 3-6(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S d, NS 断面 回転成分) (2/3)

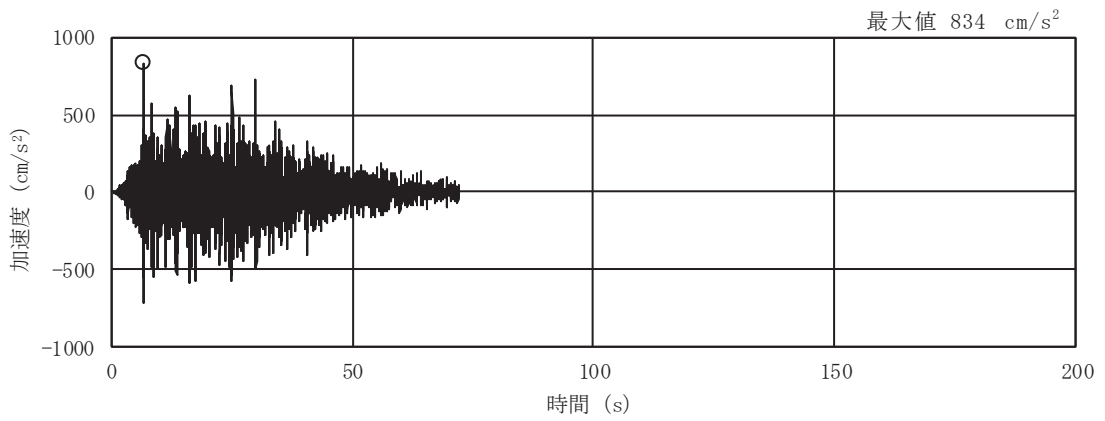


(g) S d - N 1

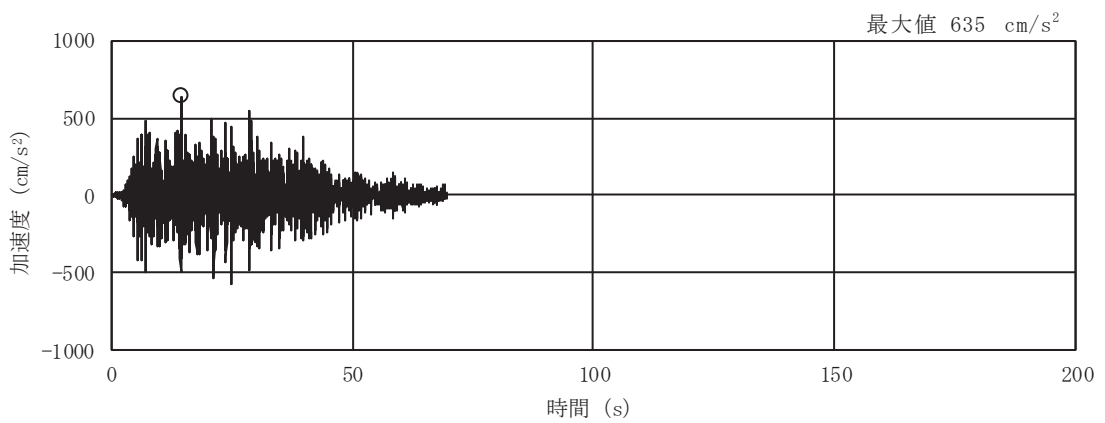
図 3-6(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (弾性設計用地震動 S d, NS 断面 回転成分) (3/3)



(a) S d - D 1

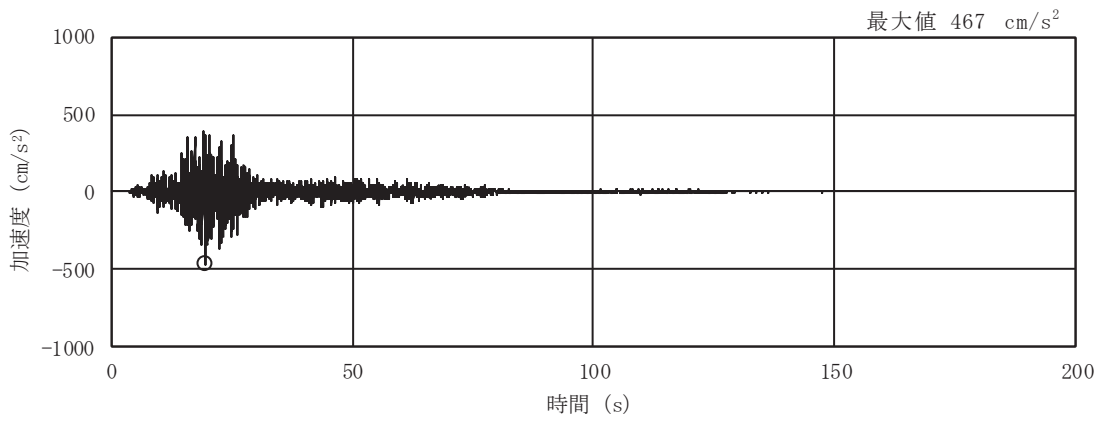


(b) S d - D 2

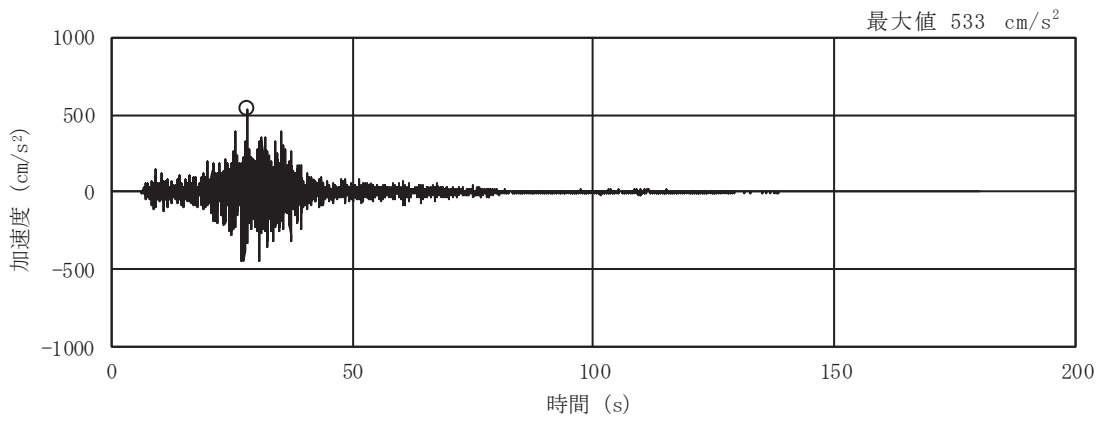


(c) S d - D 3

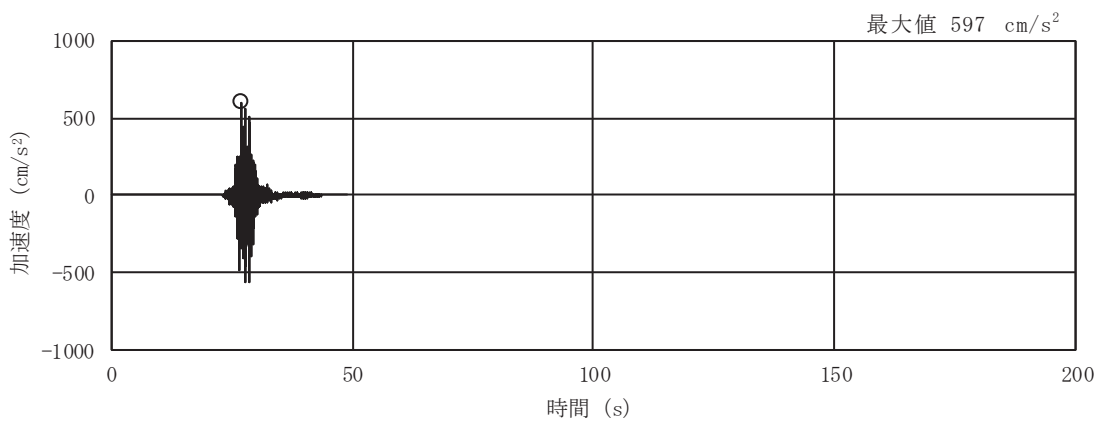
図 3-6(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S d, EW 断面 並進成分) (1/3)



(d) S d - F 1

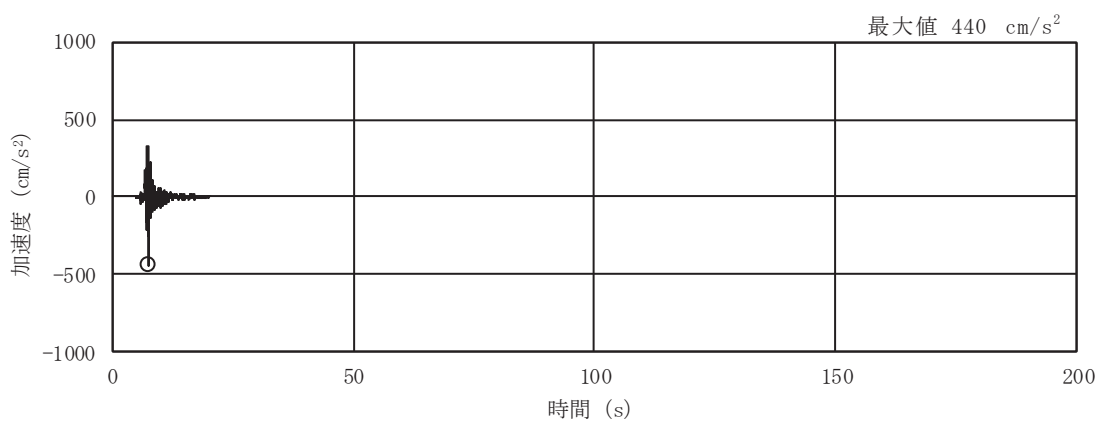


(e) S d - F 2



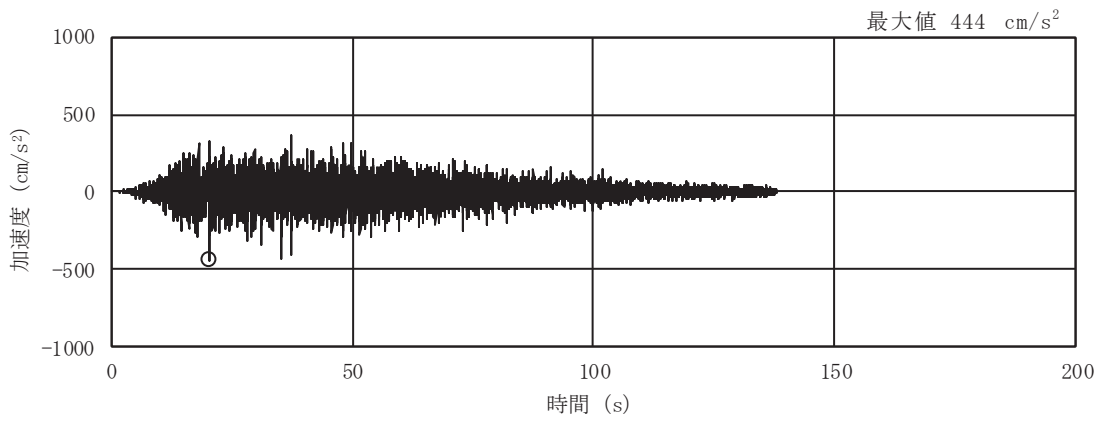
(f) S d - F 3

図 3-6(11) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S d, EW 断面 並進成分) (2/3)

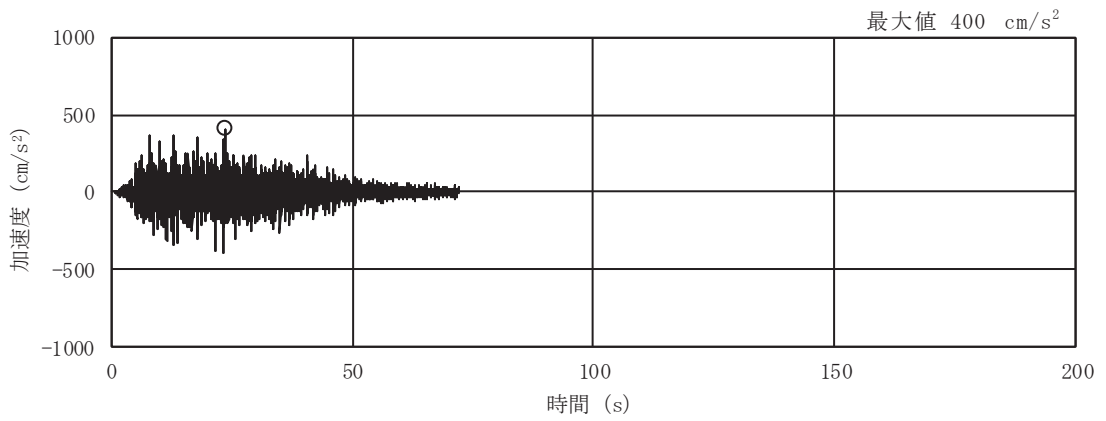


(g) S d - N 1

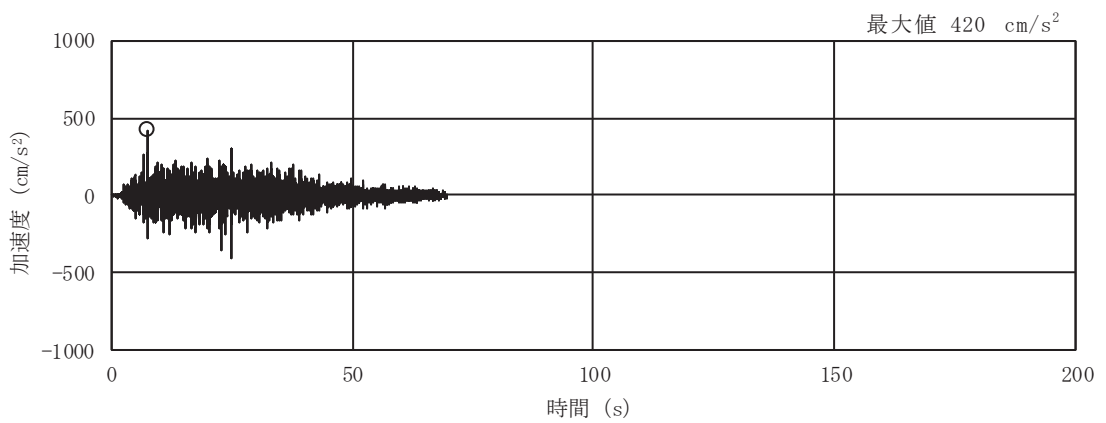
図 3-6(12) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (弾性設計用地震動 S d, EW 断面 並進成分) (3/3)



(a) S d - D 1

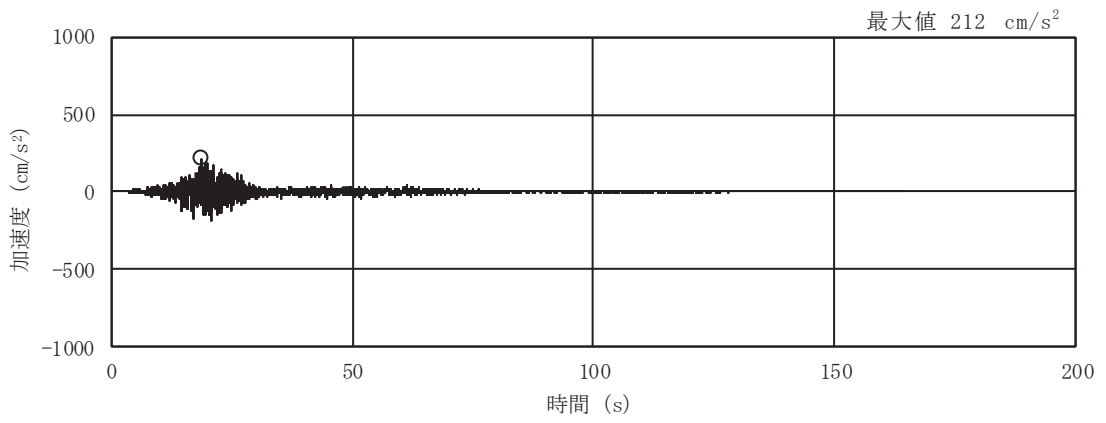


(b) S d - D 2

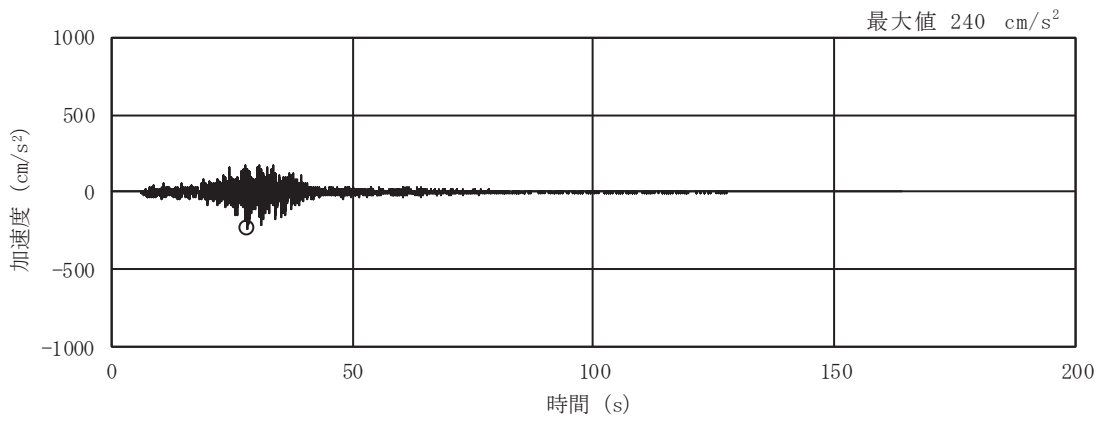


(c) S d - D 3

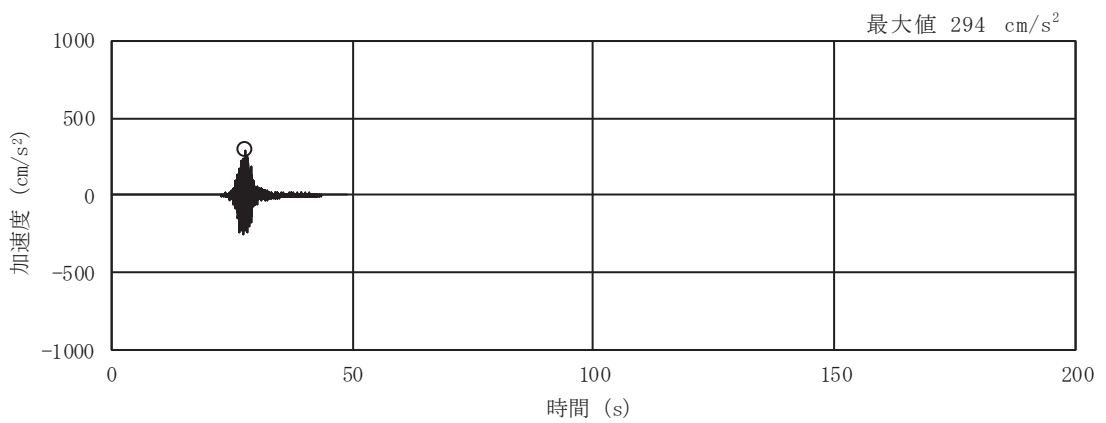
図 3-6(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S d, EW 断面 鉛直成分) (1/3)



(d) S d - F 1

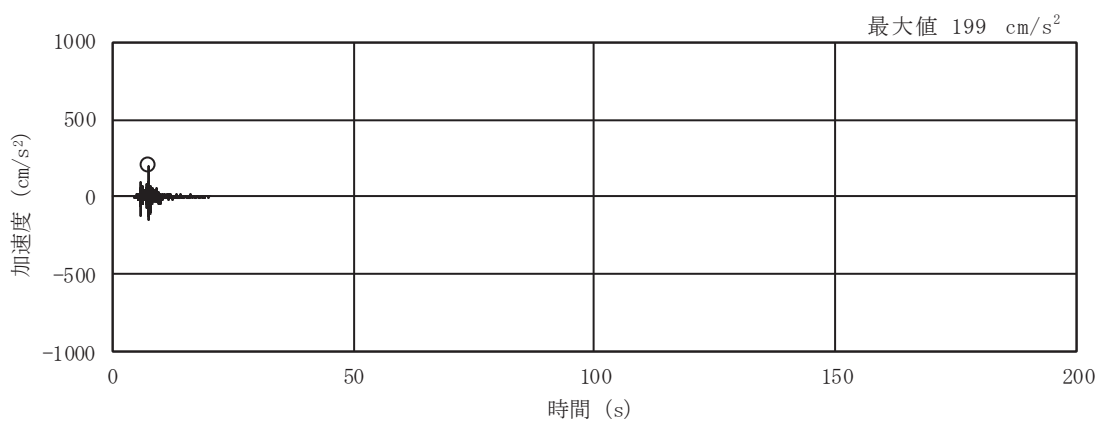


(e) S d - F 2



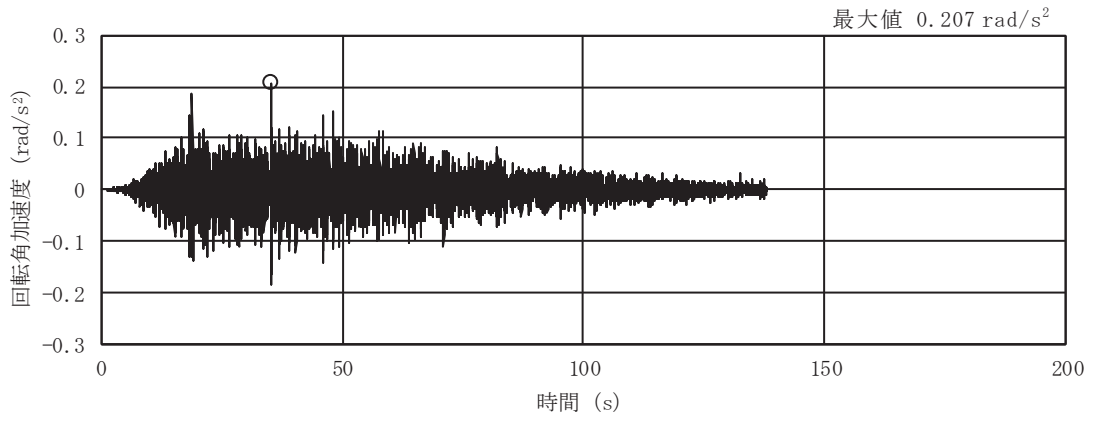
(f) S d - F 3

図 3-6(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S d, EW 断面 鉛直成分) (2/3)

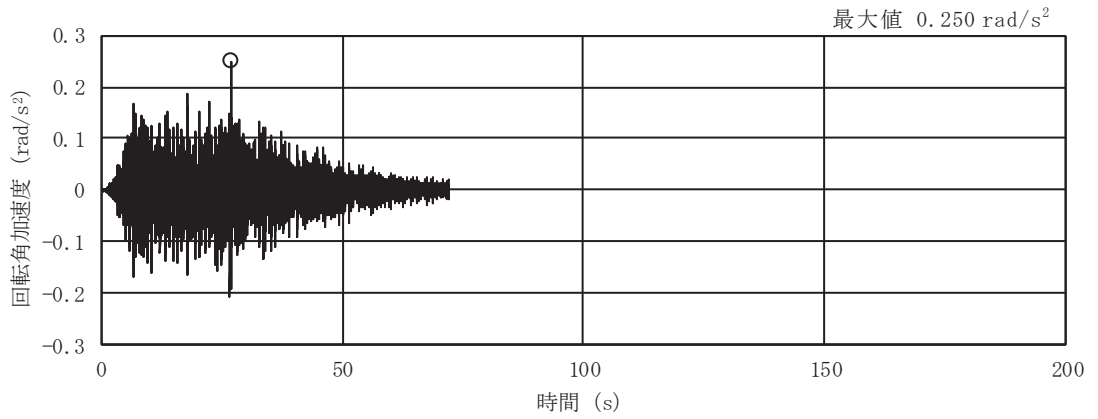


(g) S d - N 1

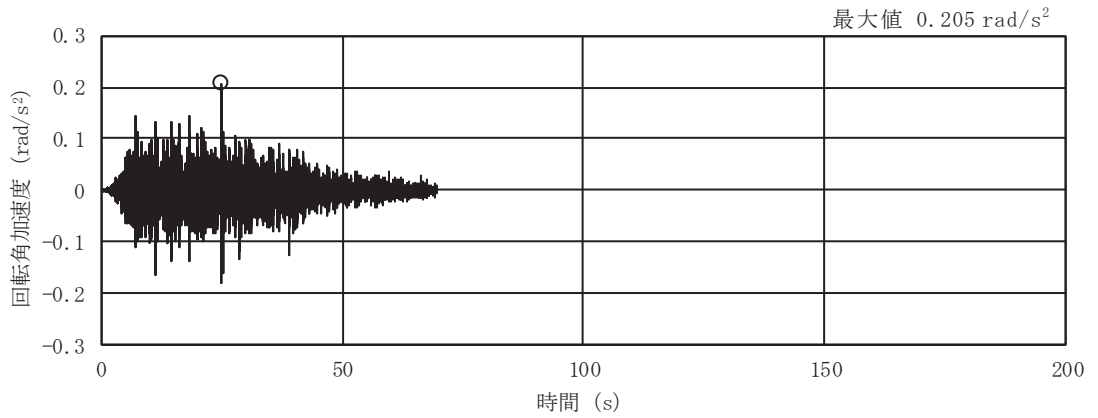
図 3-6(15) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (弾性設計用地震動 S d, EW 断面 鉛直成分) (3/3)



(a) S d - D 1

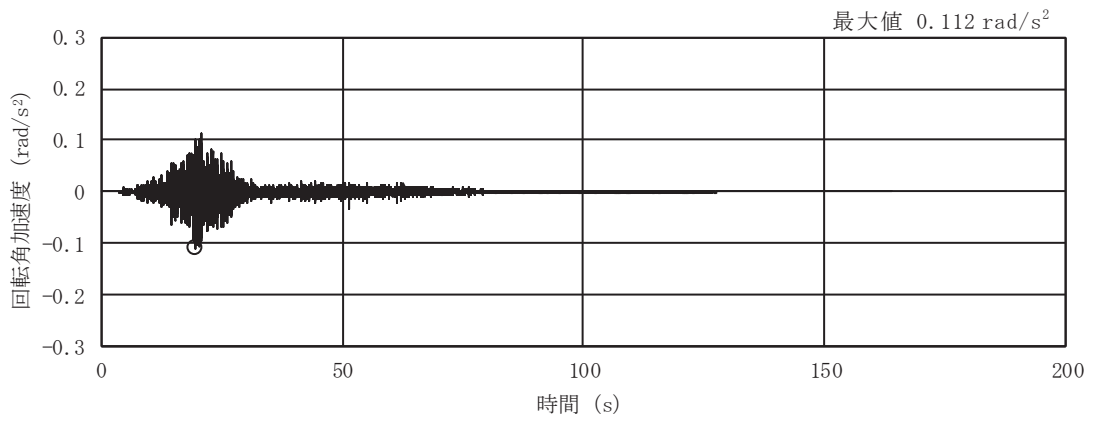


(b) S d - D 2

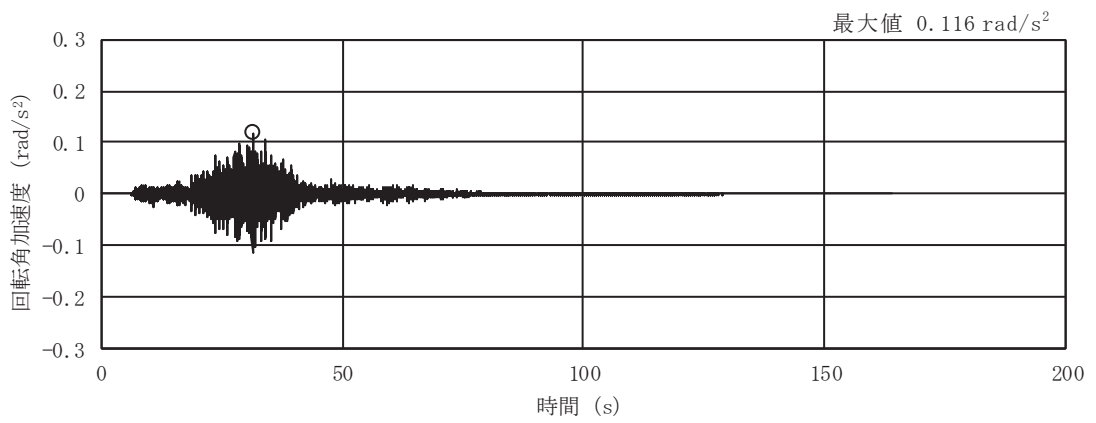


(c) S d - D 3

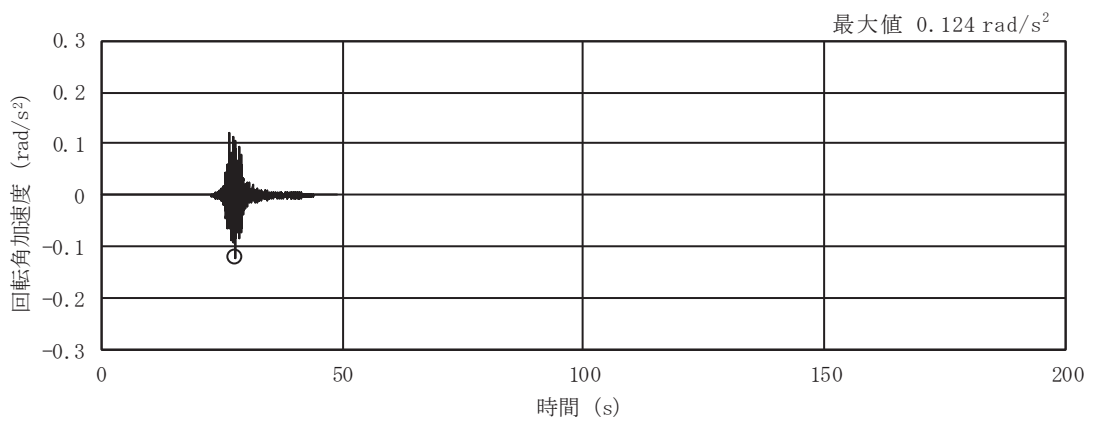
図 3-6(16) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S d, EW 断面 回転成分) (1/3)



(d) S d - F 1

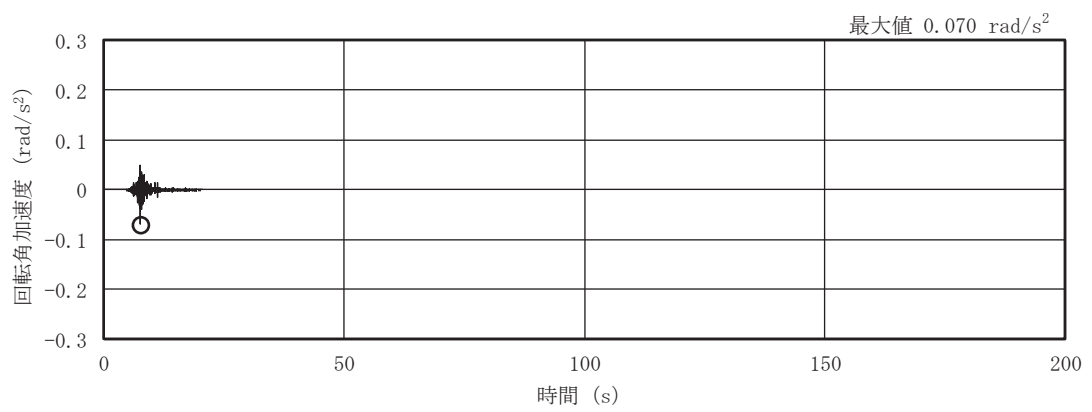


(e) S d - F 2



(f) S d - F 3

図 3-6(17) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(弾性設計用地震動 S d, EW 断面 回転成分) (2/3)



(g) S d - N 1

図 3-6(18) 入力地震動の加速度時刻歴波形
 (弾性設計用地震動 S d, EW 断面 回転成分) (3/3)

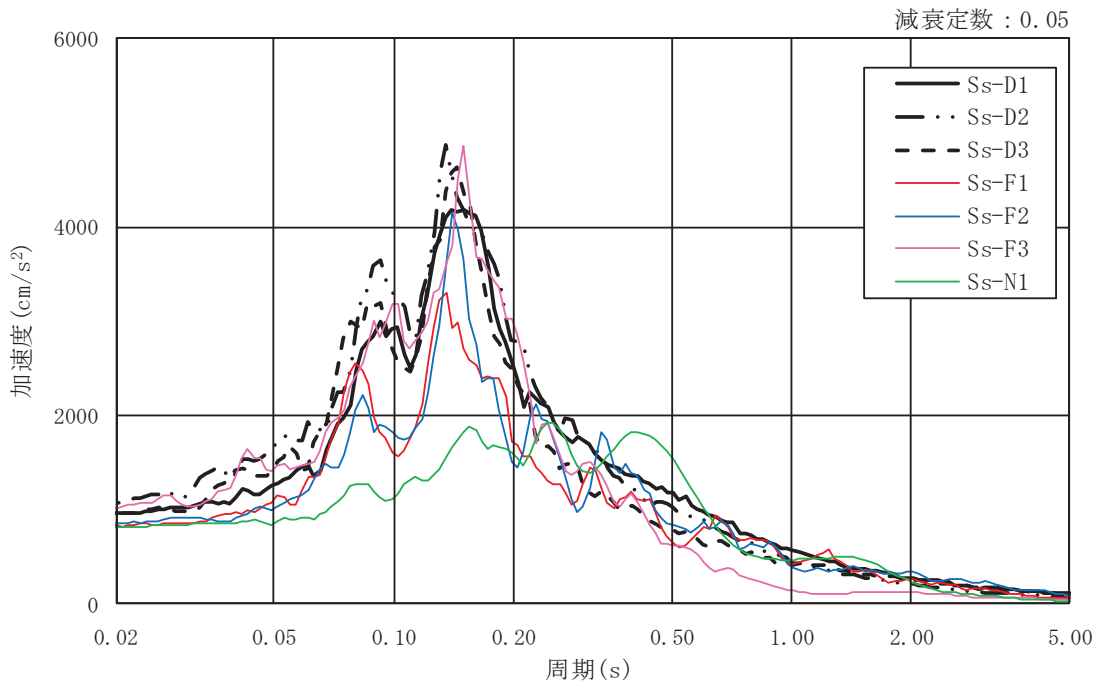


図 3-7(1) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , NS 断面 並進成分)

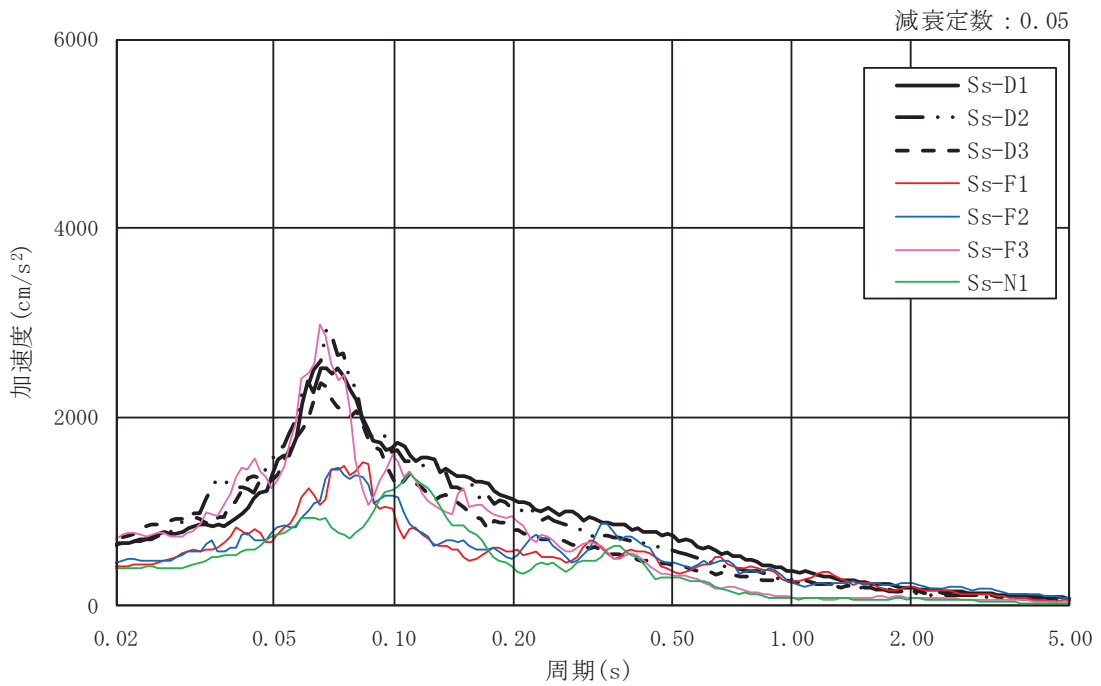


図 3-7(2) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , NS 断面 鉛直成分)

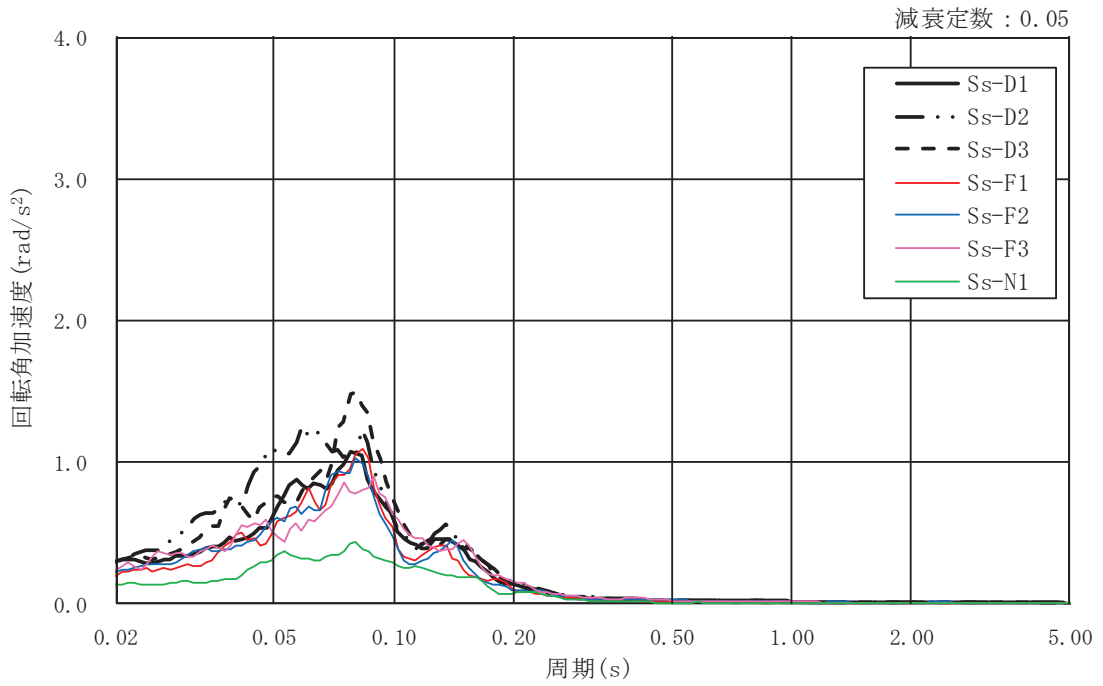


図 3-7(3) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s, NS 断面 回転成分)

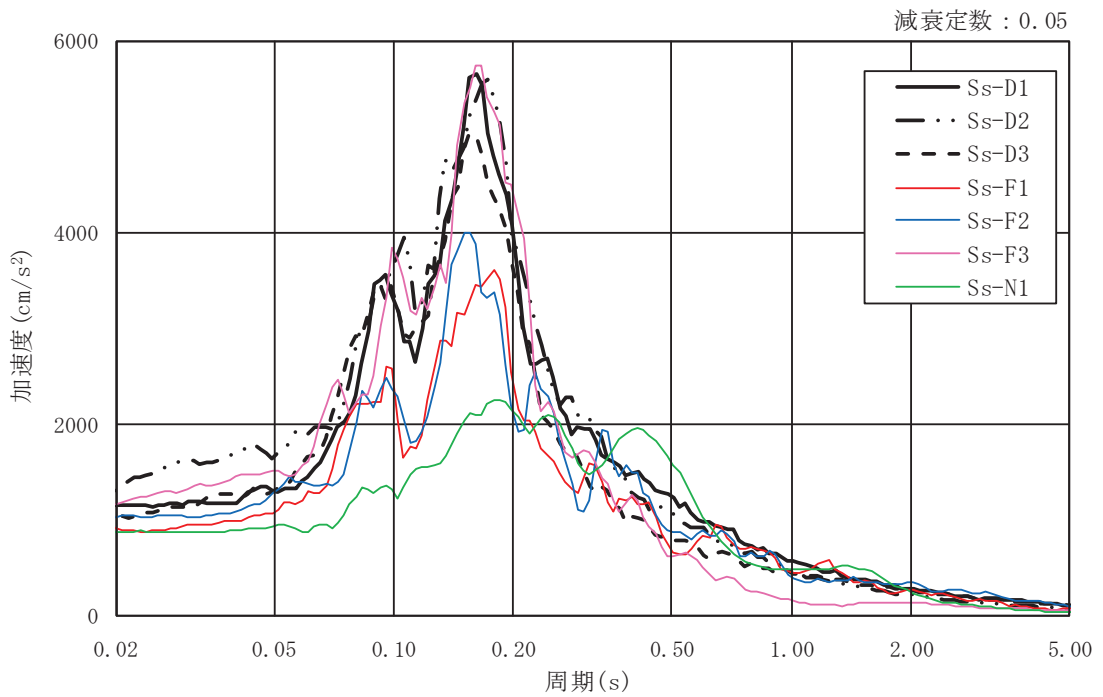


図 3-7(4) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s, EW 断面 並進成分)

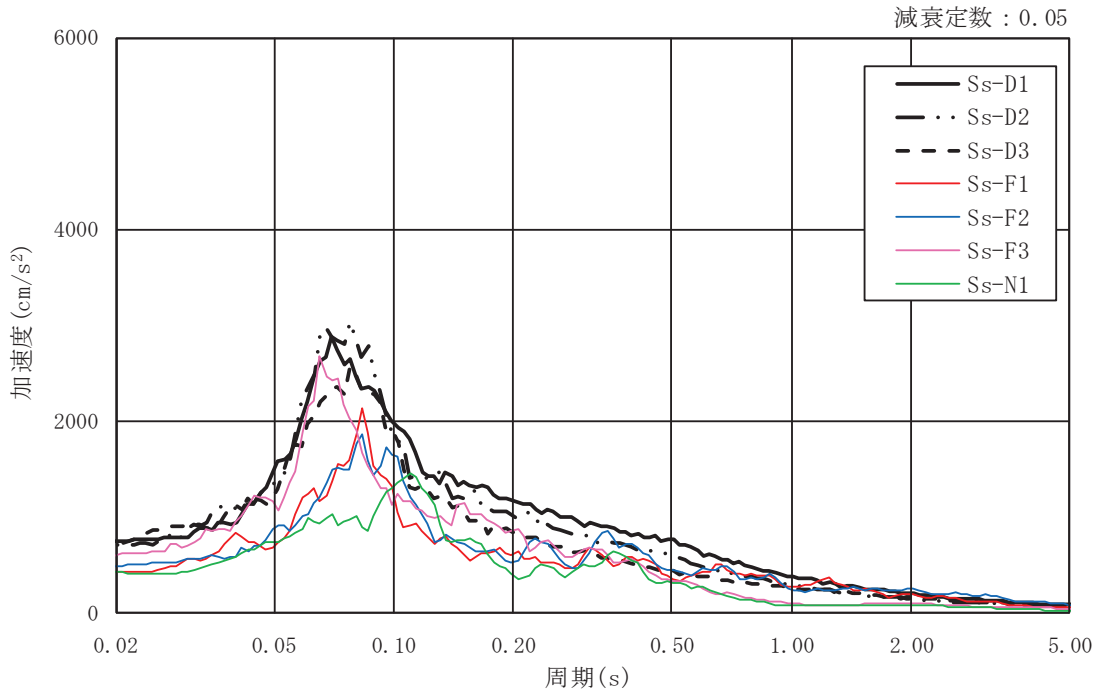


図 3-7(5) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , EW 断面 鉛直成分)

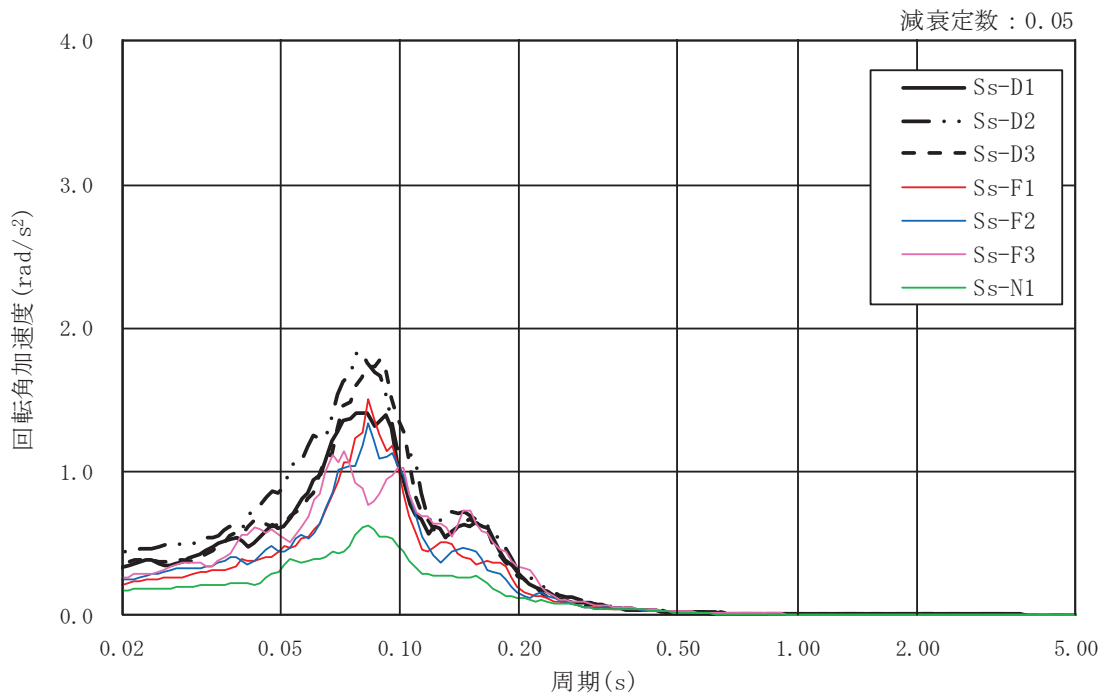


図 3-7(6) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , EW 断面 回転成分)

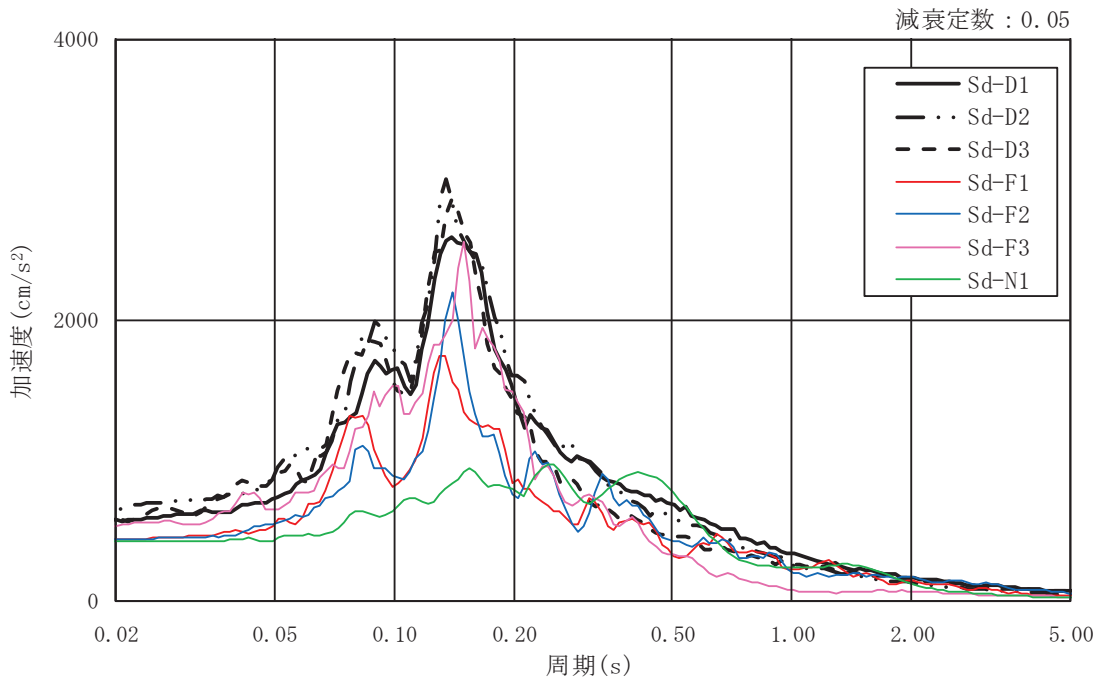


図 3-8(1) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S d , NS 断面 並進成分)

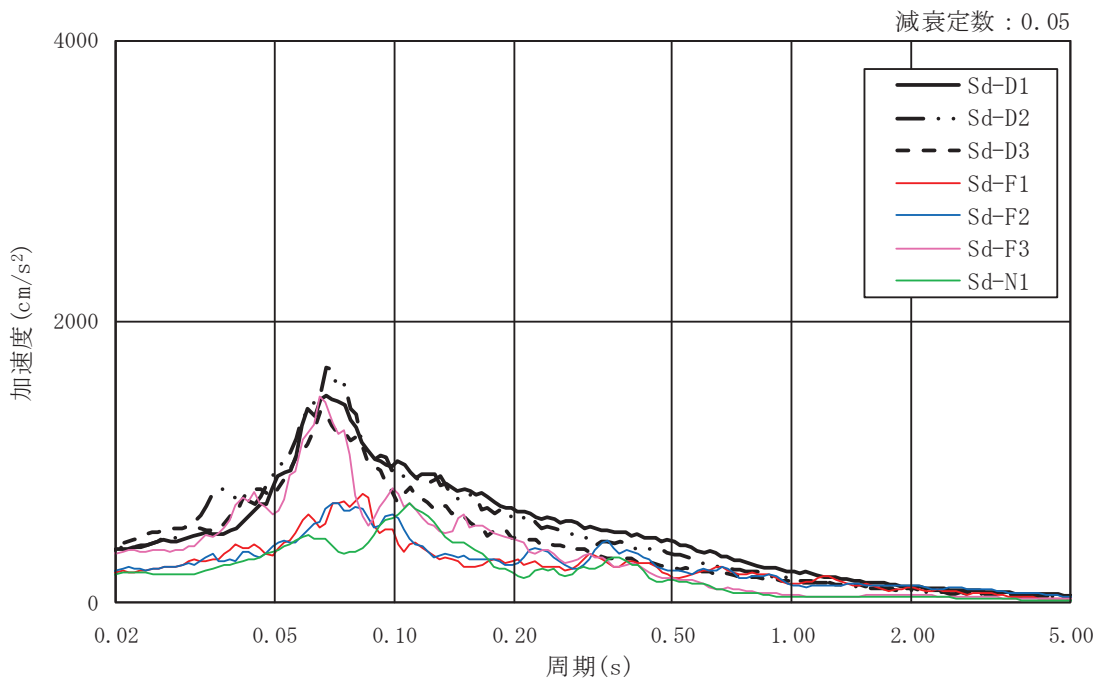


図 3-8(2) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S d , NS 断面 鉛直成分)

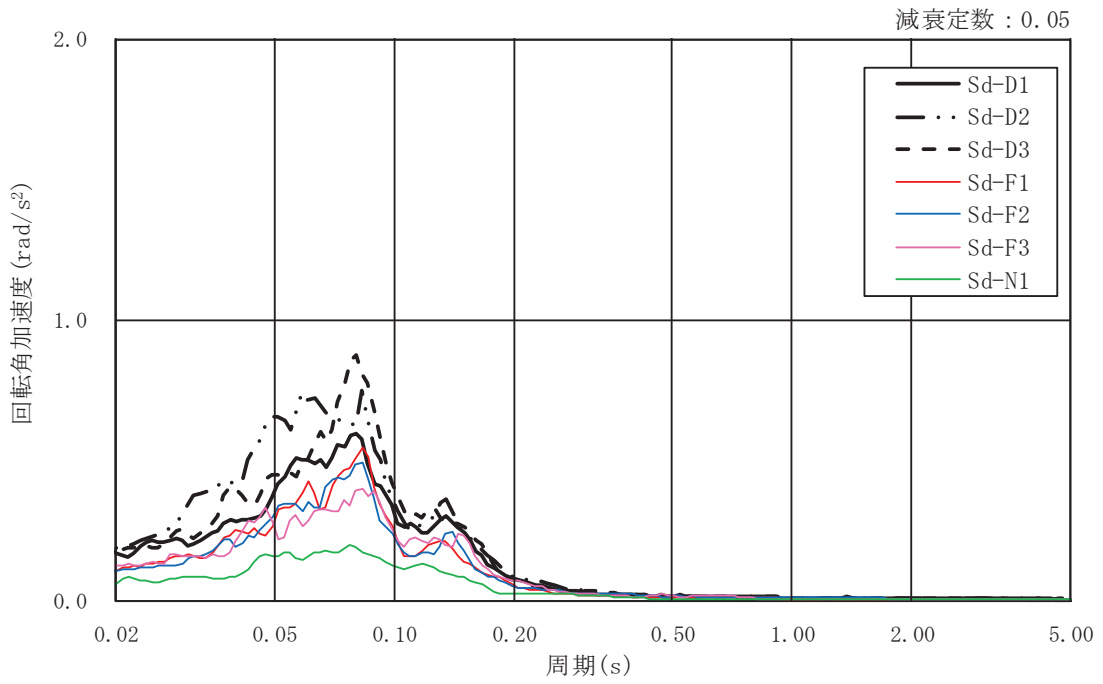


図 3-8(3) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S d , NS 断面 回転成分)

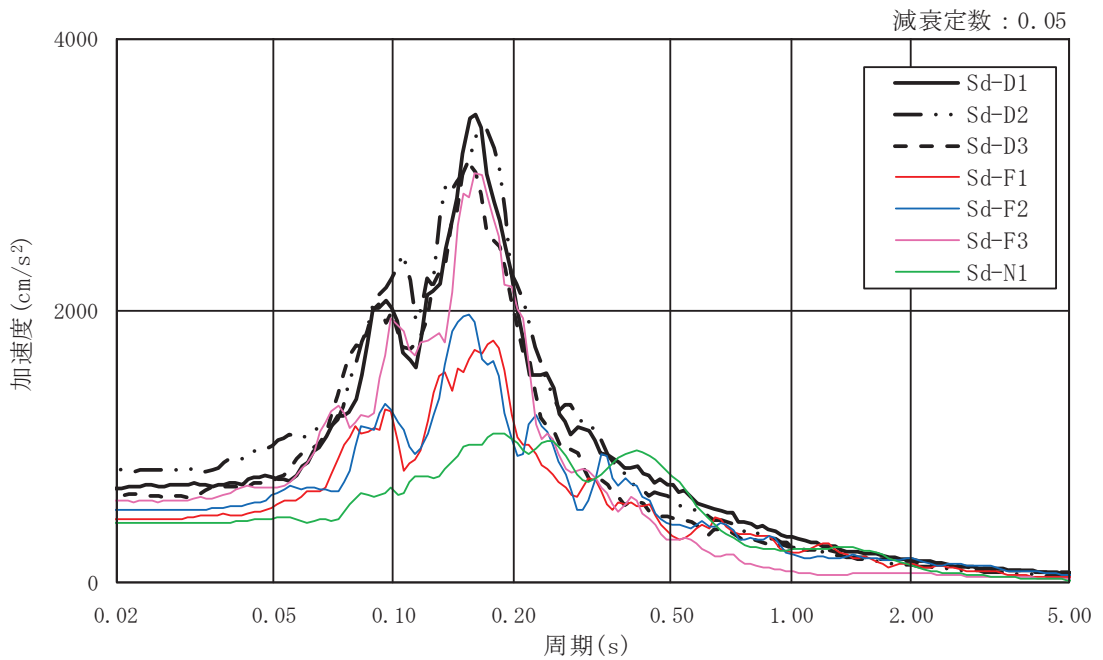


図 3-8(4) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S d , EW 断面 並進成分)

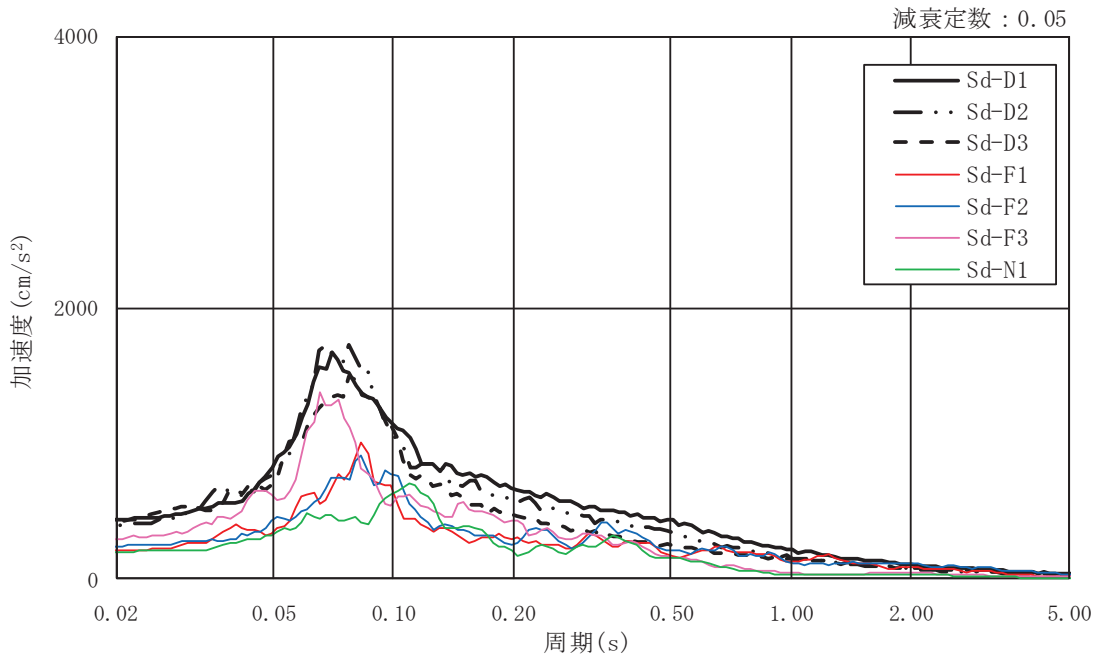


図 3-8(5) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S d , EW 断面 鉛直成分)

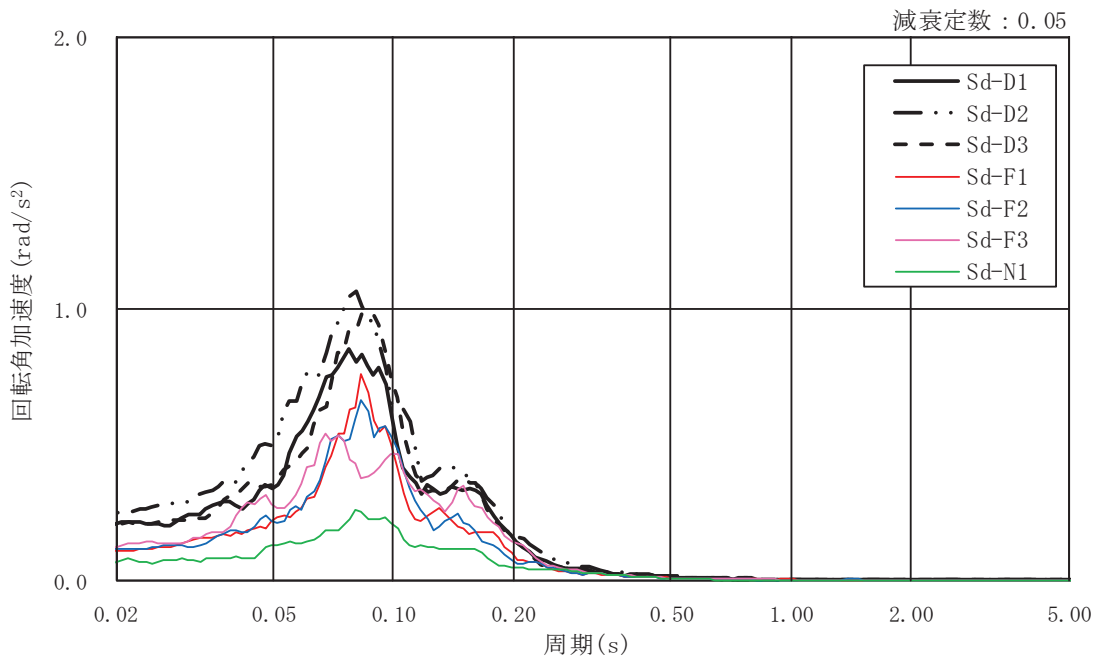


図 3-8(6) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S d , EW 断面 回転成分)

3.3 解析方法

解析コードは「DYNA2E Ver8.1.0」を用いる。解析モデルは解析上の固定点を排気筒基部レベルの中心位置にとった基部固定モデルとする。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「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地震応答解析は、直接積分法による時刻歴応答解析とする。減衰は、筒身 1.0%と鉄塔 2.0%の部位別の減衰定数を用いたひずみエネルギー比例型減衰で評価する。

3.3.1 動的解析

建物・構築物の動的解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の解析方法に基づき、時刻歴応答解析により実施する。

時刻歴応答解析は、排気筒の基部に排気筒基礎上面の応答加速度を入力し、部材応力を算出する。

応答加速度の組合せは、NS 断面又は EW 断面の並進、鉛直、回転成分を組み合わせており、2 方向（3 成分）（水平 1 方向（並進・回転）及び鉛直方向）の同時入力とする。

地震応答解析は図 3-9 に示す I～IV 方向の加振を行う。I 方向加振では排気筒基礎の地震応答解析（EW 断面）より算定された応答加速度を用い、III 方向加振では排気筒基礎の地震応答解析（NS 断面）より算定された応答加速度を用いる。II 方向及び IV 方向加振では、同方向の排気筒基礎の地震応答解析がないことから、NS 断面又は EW 断面の地震応答解析より算定された応答加速度を用いることで、部材応力を算出する。

入力地震動と加振方向の組合せを表 3-9 に示す。

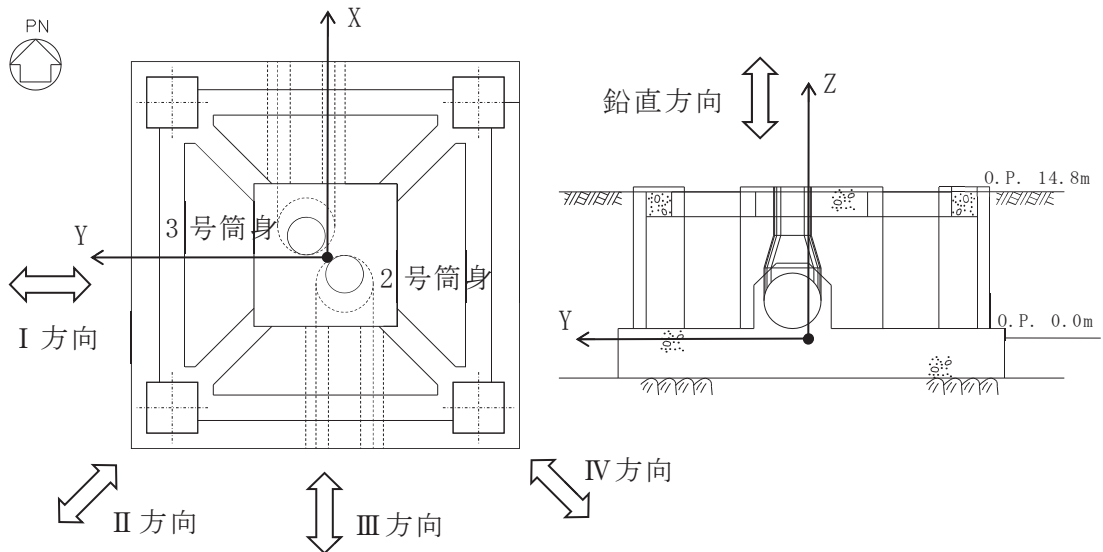


図 3-9 加振方向の説明

表 3-9 入力地震動と加振方向の組合せ

	入力地震動					
	EW 断面			NS 断面		
加振方向	並進	回転	鉛直	並進	回転	鉛直
I 方向	○	○	○	—	—	—
II 方向	○	○	○	—	—	—
	—	—	—	○	○	○
III 方向	—	—	—	○	○	○
IV 方向	○	○	○	—	—	—
	—	—	—	○	○	○

3.3.2 静的地震力

(1) 水平地震力

水平地震力算定用の基準面は排気筒基礎上端レベル (0. P. 15. 3m) とし、基準面より上の部分 (地上部分) の地震力は、地震層せん断力係数を用いて、次式により算出する。

$$Q_i = n \cdot Z \cdot C_i \cdot W_i$$

$$C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

ここで、

- Q_i : 第 i 層に生じる水平地震力
- n : 施設の重要度分類に応じた係数 (3.0)
- Z : 地震地域係数 (1.0)
- C_i : 第 i 層の地震層せん断力係数
- W_i : 第 i 層が支える重量
- R_t : 振動特性係数 (0.8)
- A_i : 第 i 層の地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数
- C_0 : 標準せん断力係数 (0.2)

なお、 A_i はモーダル解析により以下のとおり算出する。

$$A_i = A_i' / A_1'$$

$$A_i' = \sqrt{\sum_{j=1}^k \left(\sum_{m=i}^n w_m \cdot \beta_j \cdot U_{mj} \cdot R_t (T_j) \right)^2} / \sum_{m=i}^n w_m$$

ここで、

- n : 建物・構築物の層数
- w_m : 第 m 層の重量
- $\beta_j \cdot U_{mj}$: 第 m 層の j 次刺激関数
- T_j : 固有値解析により得られる建物・構築物の j 次固有周期
- $R_t (T_j)$: 周期 T_j に対応する加速度応答スペクトルの値
(建築基準法施行令第 88 条第 1 項に与えられている振動特性係数 R_t の T_j に対する値とし、図 3-10 に示す評価式となる。地盤種別は第 1 種地盤とする。)
- k : 考慮すべき最高次数

3.4 解析条件

3.4.1 排気筒基礎の応答の不確かさ等

解析においては、排気筒基礎の地震応答解析における基本ケースの応答値を用いた解析を基本ケースとし、排気筒基礎の応答の不確かさ等を考慮する。排気筒基礎の応答の不確かさ等を考慮した地震応答解析は、排気筒応答への影響の大きい地震動に対して実施することとし、基本ケースの地震応答解析の照査値が最大となる地震動を基準地震動 S_s から選定する。弾性設計用地震動 S_d については、基準地震動 S_s において影響が大きい排気筒基礎の応答の不確かさ等に対し、影響検討を行う。

排気筒の材料物性の不確かさとして、制震オイルダンパは、性能変動として減衰係数の不確かさを考慮する。排気筒基礎の応答の不確かさについては、添付書類「VI-2-2-25 排気筒基礎の地震応答計算書」による不確かさを考慮するが、コンクリートのヤング係数の不確かさについては、影響が少ないことから地盤のせん断弾性係数の不確かさを考慮する。

排気筒基礎の応答の不確かさ等を考慮する際のⅡ方向及びⅣ方向の入力地震動は、基本ケースにおけるⅡ方向、Ⅳ方向加振で入力した NS 断面、EW 断面の排気筒基礎の地震応答解析による応答加速度のうち、評価結果が厳しい EW 断面の排気筒基礎の地震応答解析による応答加速度を用いる。

排気筒基礎の応答の不確かさ等を考慮する地震応答解析ケースを表 3-10 及び表 3-11 に示す。

表 3-10 不確かさを考慮する物性

解析ケース		地震動 (位相)	地盤物性 旧表土, 盛土, D 級岩盤 C_L 級岩盤, C_M 級岩盤, C_H 級岩盤, B 級岩盤 (G :せん断弾性係数)	材料物性 (制震オイルダンパ) (C :減衰係数)	材料物性 (コンクリート) (E_0 :ヤング係数)
ケース①	基本ケース	++	平均値	設計値	設計基準強度
ケース②	地盤物性のばらつき ($+1\sigma$) を考慮した 解析ケース	++	平均値 $+1\sigma$	設計値	設計基準強度
ケース③	地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した 解析ケース	++	平均値 -1σ	設計値	設計基準強度
ケース④	制震オイルダンパの ばらつき ($0.8C$) を 考慮した解析ケース	++	平均値	設計値 $\times 0.8$	設計基準強度
ケース⑤	制震オイルダンパの ばらつき ($1.2C$) を 考慮した解析ケース	++	平均値	設計値 $\times 1.2$	設計基準強度
ケース⑥	水平動反転を考慮した 解析ケース	-+	平均値	設計値	設計基準強度

表 3-11 解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	ケース⑤	ケース⑥
地震動	S s - D 1	++* ¹	○	△* ²	△* ²	△* ²	△* ²
	S d - D 1	-+* ¹					△* ²
	S s - D 2	++* ¹	○	△* ²	△* ²	△* ²	△* ²
	S d - D 2	-+* ¹					△* ²
	S s - D 3	++* ¹	○	△* ²	△* ²	△* ²	△* ²
	S d - D 3	-+* ¹					△* ²
	S s - F 1	++* ¹	○	△* ²	△* ²	△* ²	△* ²
	S d - F 1	-+* ¹					△* ²
	S s - F 2	++* ¹	○	△* ²	△* ²	△* ²	△* ²
	S d - F 2	-+* ¹					△* ²
	S s - F 3	++* ¹	○	△* ²	△* ²	△* ²	△* ²
	S d - F 3	-+* ¹					△* ²
	S s - N 1	++* ¹	○	△* ²	△* ²	△* ²	△* ²
	S d - N 1	-+* ¹					△* ²

注記*1: 耐震評価にあたっては、「土木学会 2005年 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル」に従い、水平方向の位相反転を考慮する。地震動の位相について、++の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

*2: △については、正位相による解析ケース①において、排気筒の筒身、支柱材それぞれの断面算定結果が最も厳しい地震動を用いる。なお、S dの評価は、S sの評価結果が最も厳しくなる地震動について、地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮する。

4. 解析結果

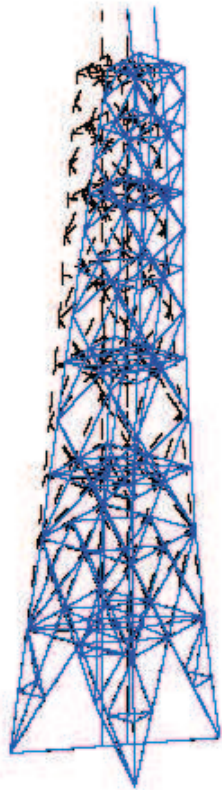
4.1 動的解析

4.1.1 固有値解析結果

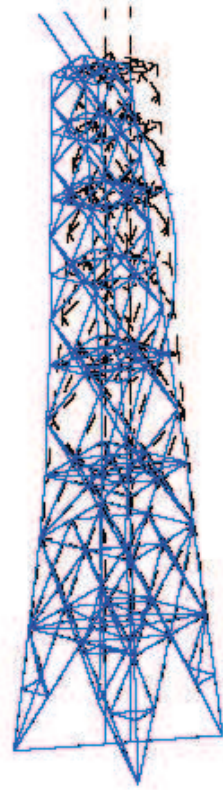
地震応答解析モデルの固有値解析結果を表 4-1 に示す。主要なモードを図 4-1 に示す。

表 4-1 固有値解析結果

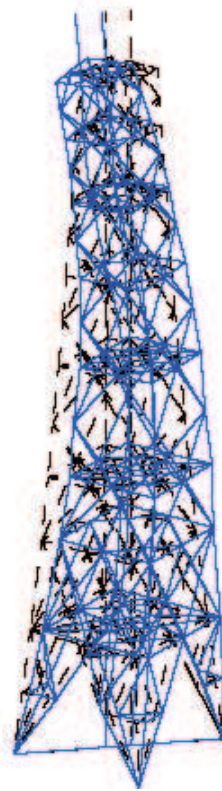
モード No.	振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数			備考
			X 方向	Y 方向	Z 方向	
1	0.851	1.175	0.818	0.818	0.000	全体 1 次
2	1.387	0.721	0.344	0.344	0.000	筒身 2 次, 鉄塔 1 次
3	2.451	0.408	-0.531	-0.531	0.000	全体 2 次
4	3.821	0.262	-0.229	-0.229	0.000	筒身 3 次
5	4.082	0.245	0.448	0.448	0.000	全体 3 次



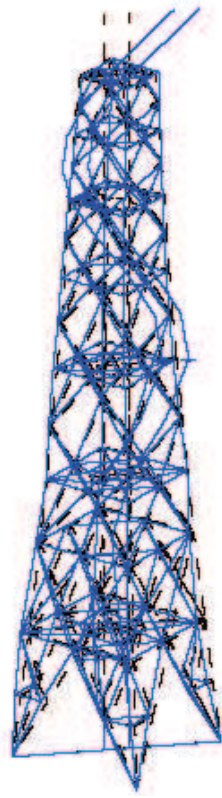
(a) モード No. 1



(b) モード No. 2

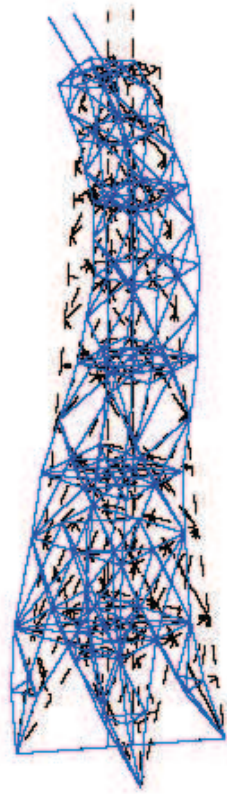


(c) モード No. 3



(d) モード No. 4

図 4-1(1) 固有モード図



(e) モード No. 5

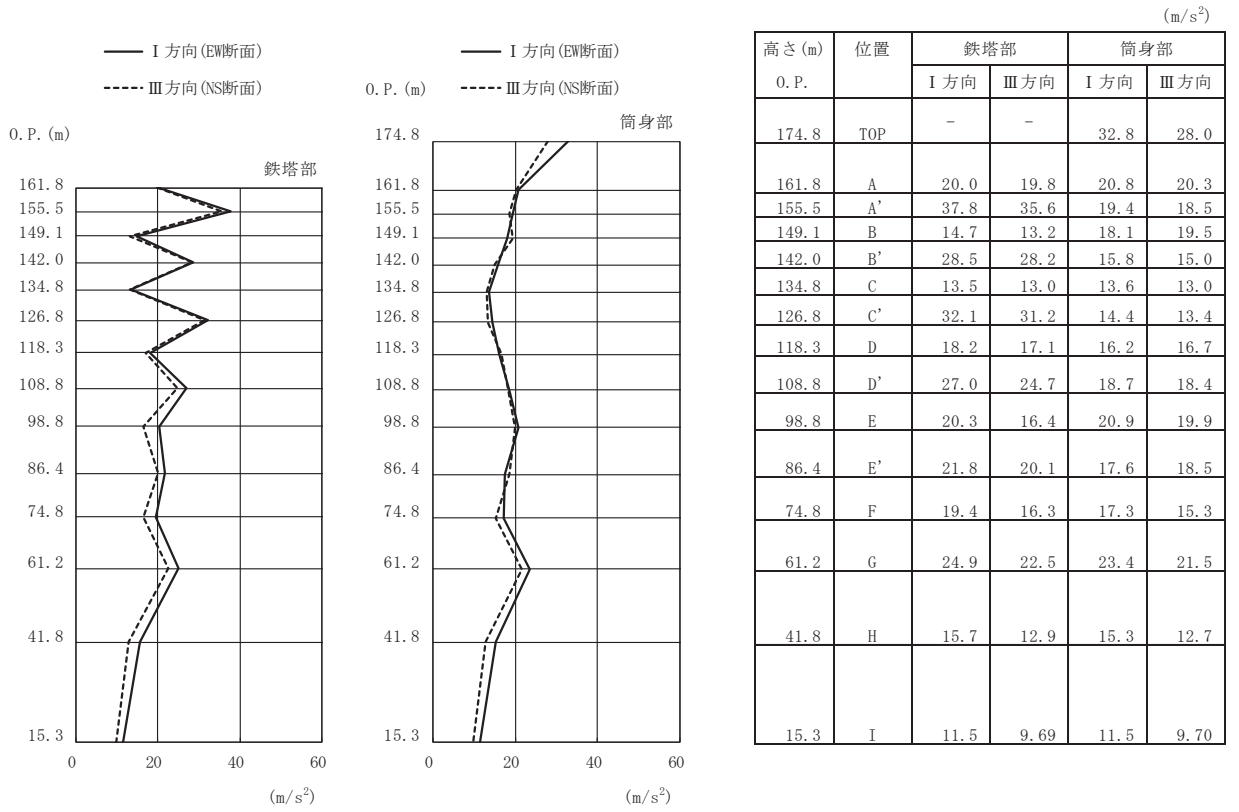
図 4-1(2) 固有モード図

4.1.2 地震応答解析結果

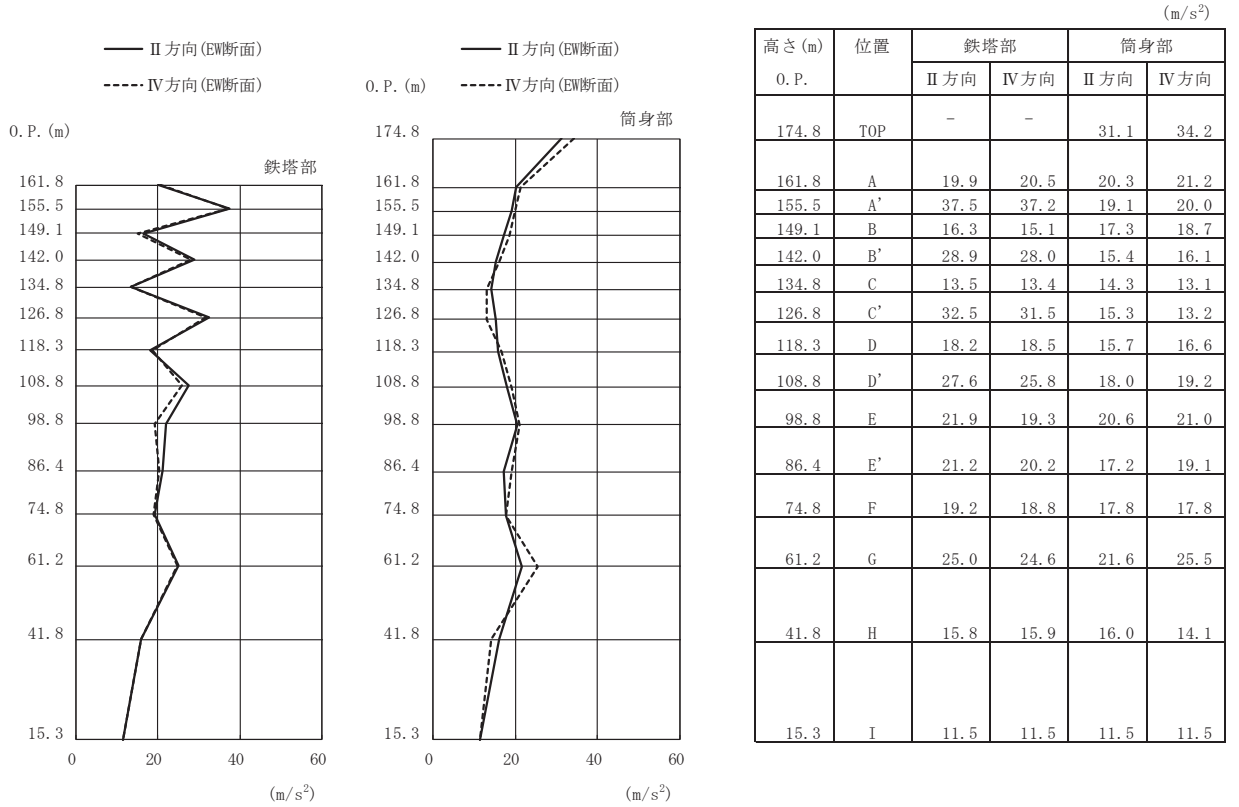
基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する各質点位置での加速度，変位，軸力，曲げモーメントの最大応答値及び高さ方向の応答分布を図 4-2～図 4-9 に示す。最大応答分布図は，各層の部材に発生する最大応答値を示している。

排気筒に入力する地震動について，Ⅰ方向加振では排気筒基礎の地震応答解析（EW 断面）より算定された応答加速度を用い，Ⅲ方向加振では排気筒基礎の地震応答解析（NS 断面）より算定された応答加速度を用いている。Ⅱ方向及びⅣ方向加振では，同方向の排気筒基礎の地震応答解析がないことから，NS 断面又は EW 断面の地震応答解析より算定された応答加速度を用いることで，部材応力を算出している。基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する応答について，排気筒の直交方向加振では，Ⅰ方向加振（EW 断面の応答加速度を入力）とⅢ方向加振（NS 断面の応答加速度を入力）の解析結果を示す。排気筒の斜め方向加振（Ⅱ方向加振及びⅣ方向加振）については，入力地震動における応答加速度が大きい，EW 断面の応答加速度を入力した解析結果を代表として示す。

また，基準地震動 S_s に対する制震装置（制震オイルダンパ）の最大応答値を表 4-2 に示す。

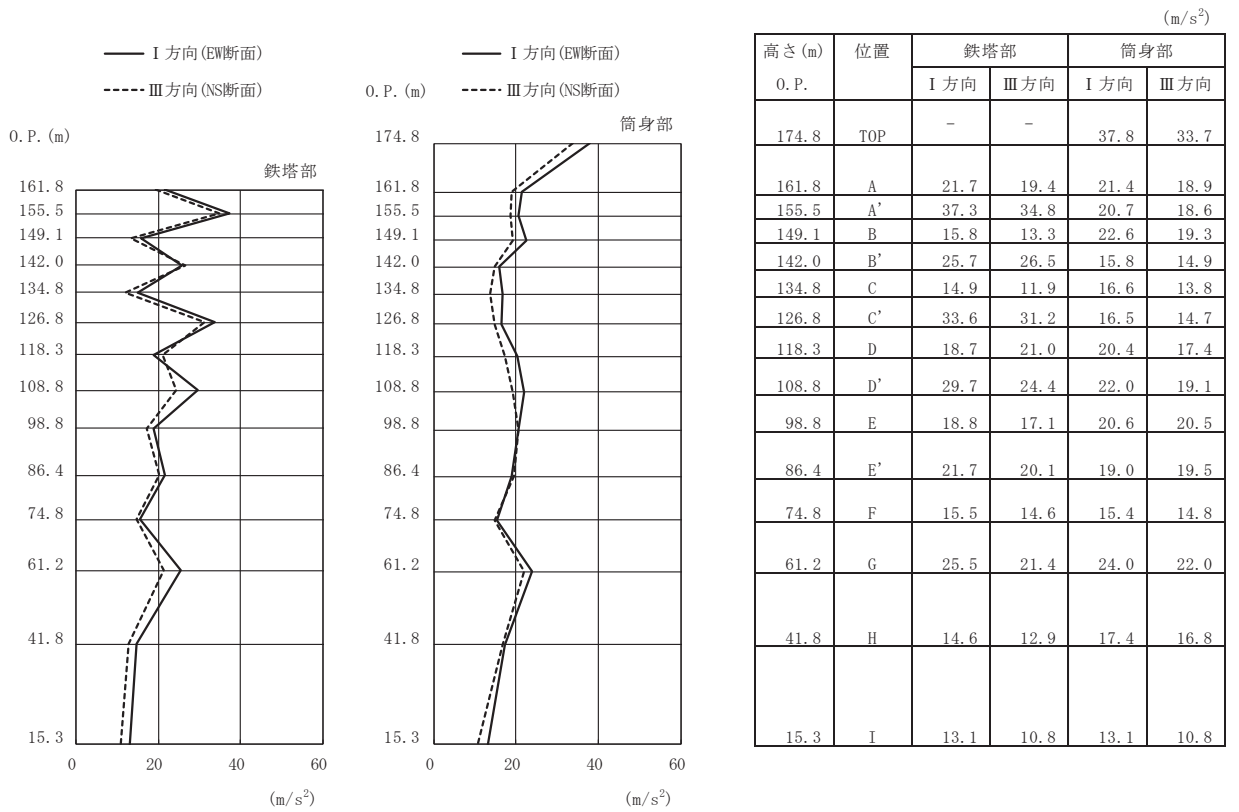


(a) S s - D 1 (直交方向)

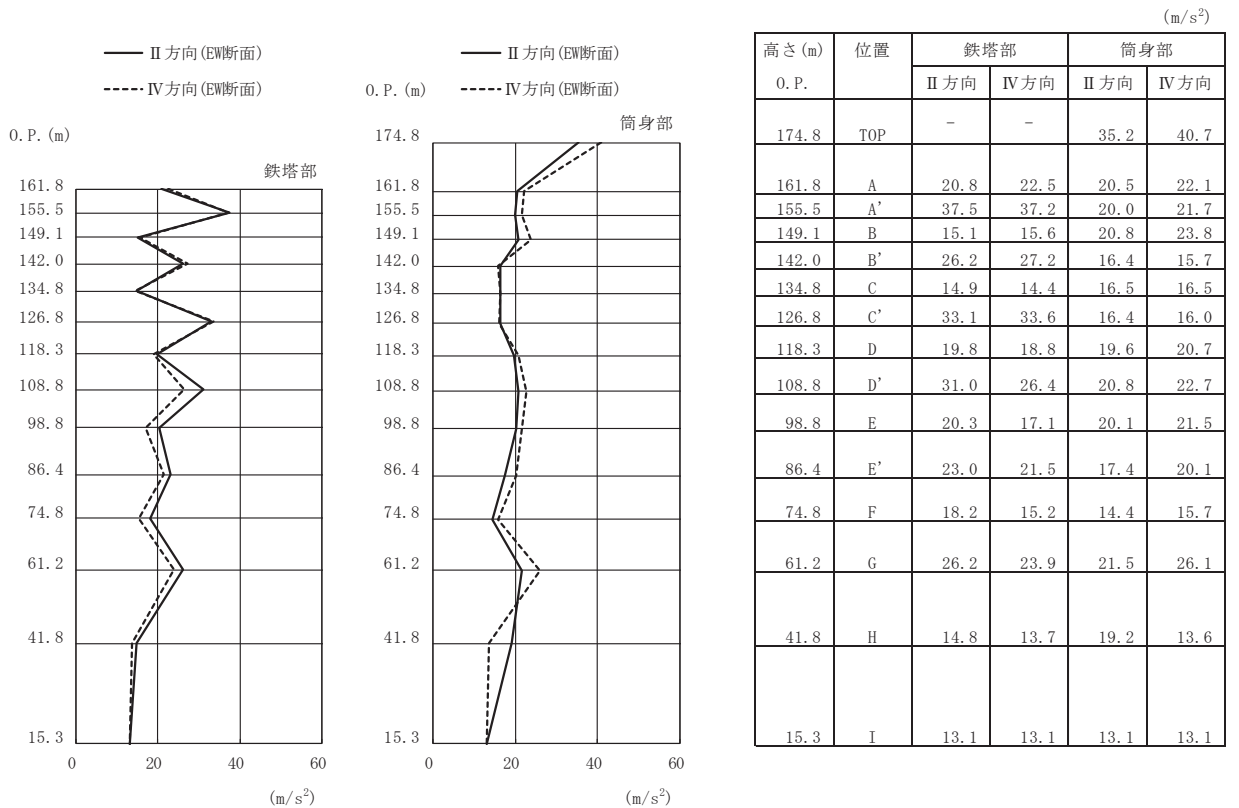


(b) S s - D 1 (斜め方向)

図 4-2(1) 最大応答加速度 (基準地震動 S s)

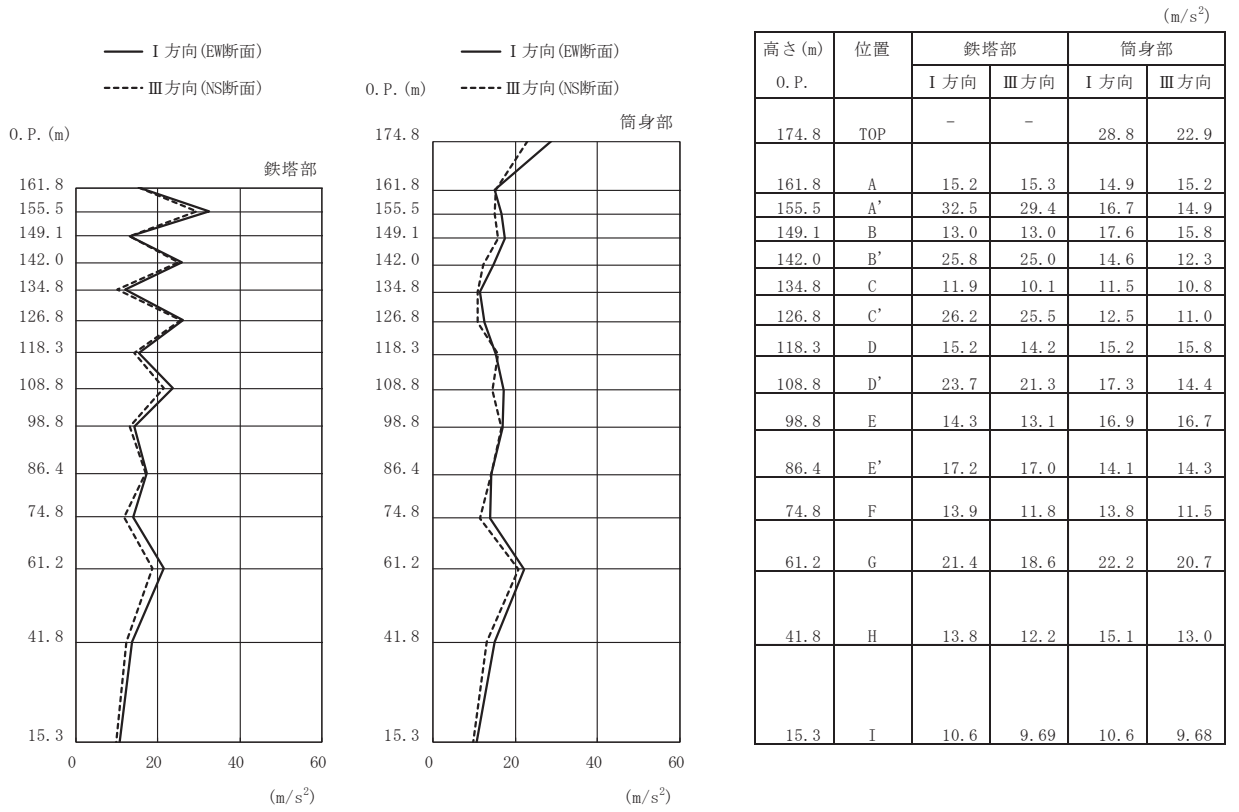


(c) S s - D 2 (直交方向)

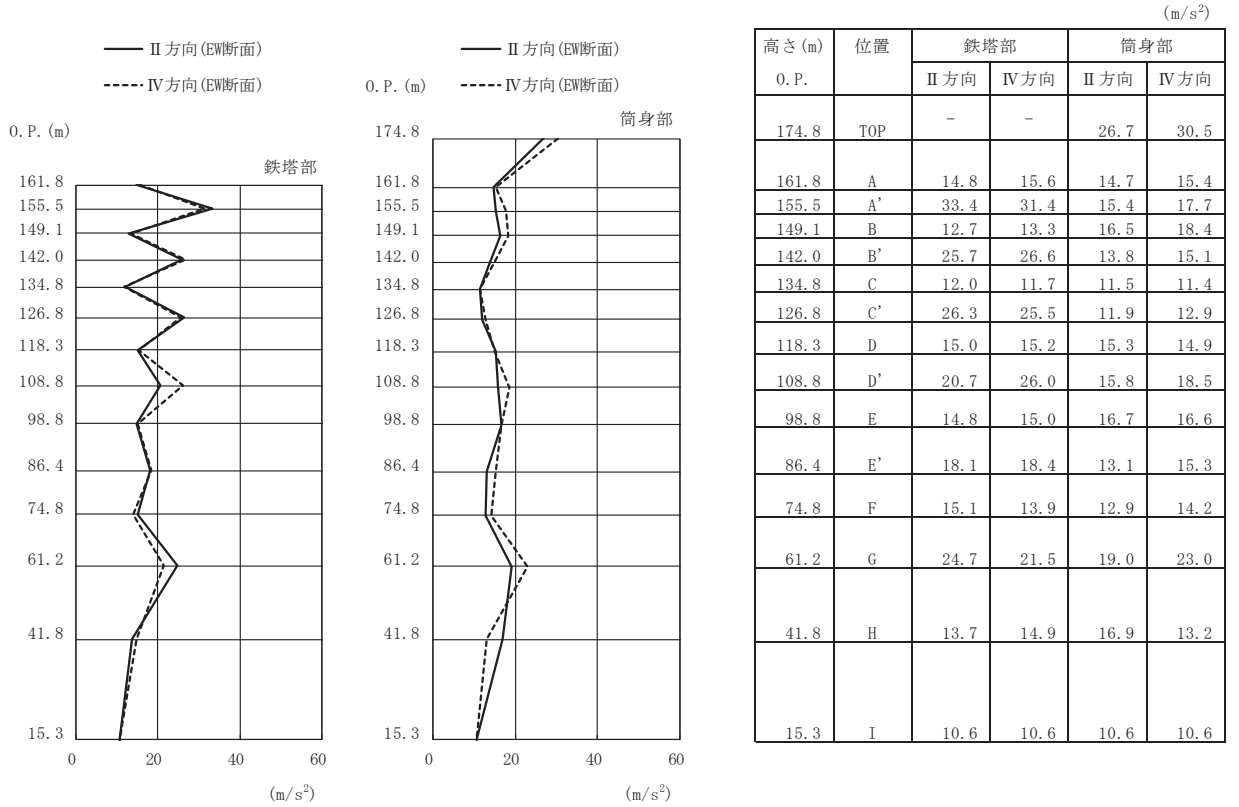


(d) S s - D 2 (斜め方向)

図 4-2(2) 最大応答加速度 (基準地震動 S s)

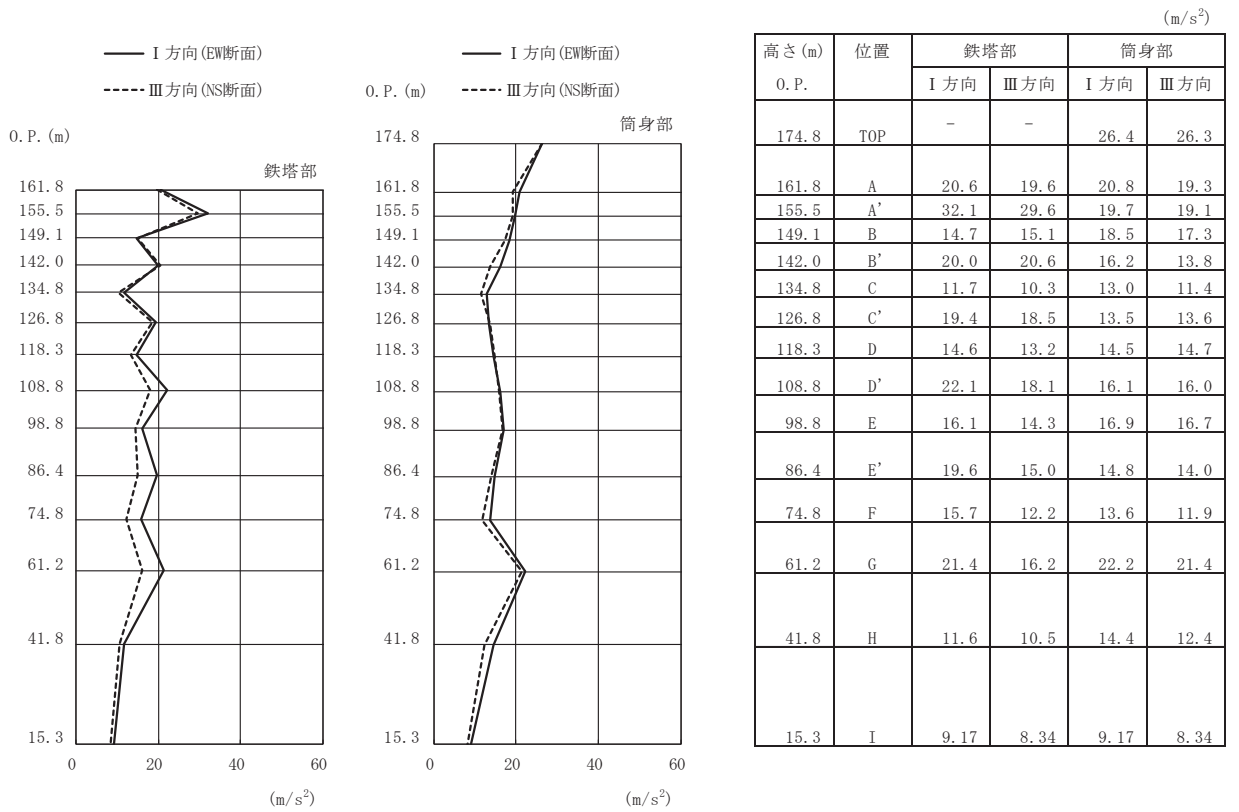


(e) S s - D 3 (直交方向)

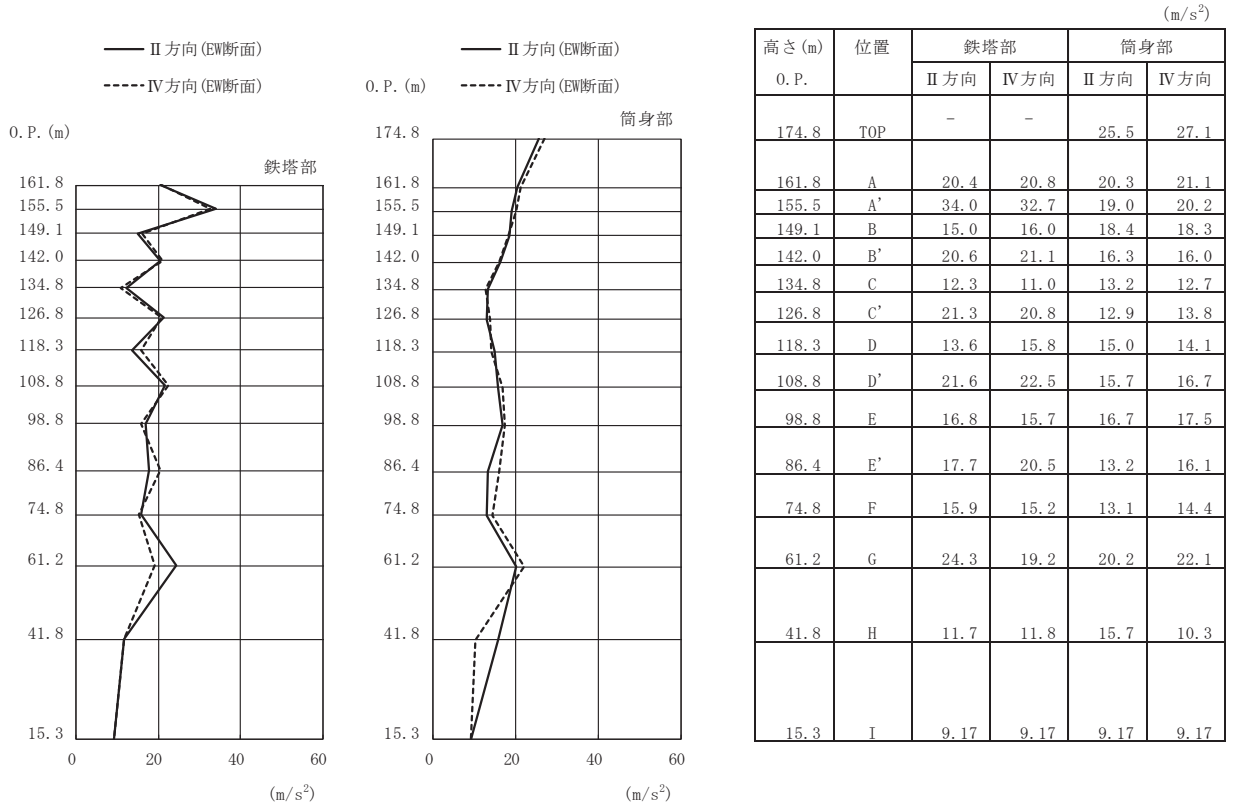


(f) S s - D 3 (斜め方向)

図 4-2(3) 最大応答加速度 (基準地震動 S s)

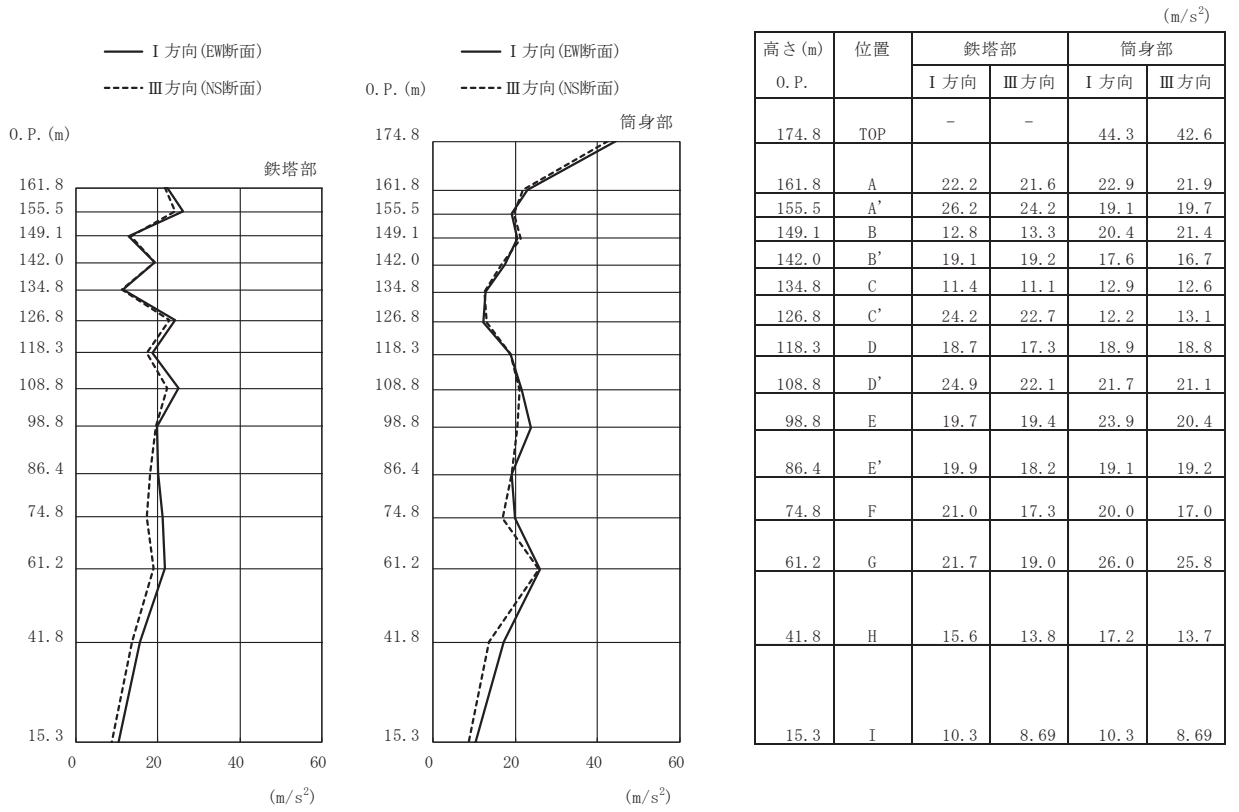


(g) S s - F 1 (直交方向)

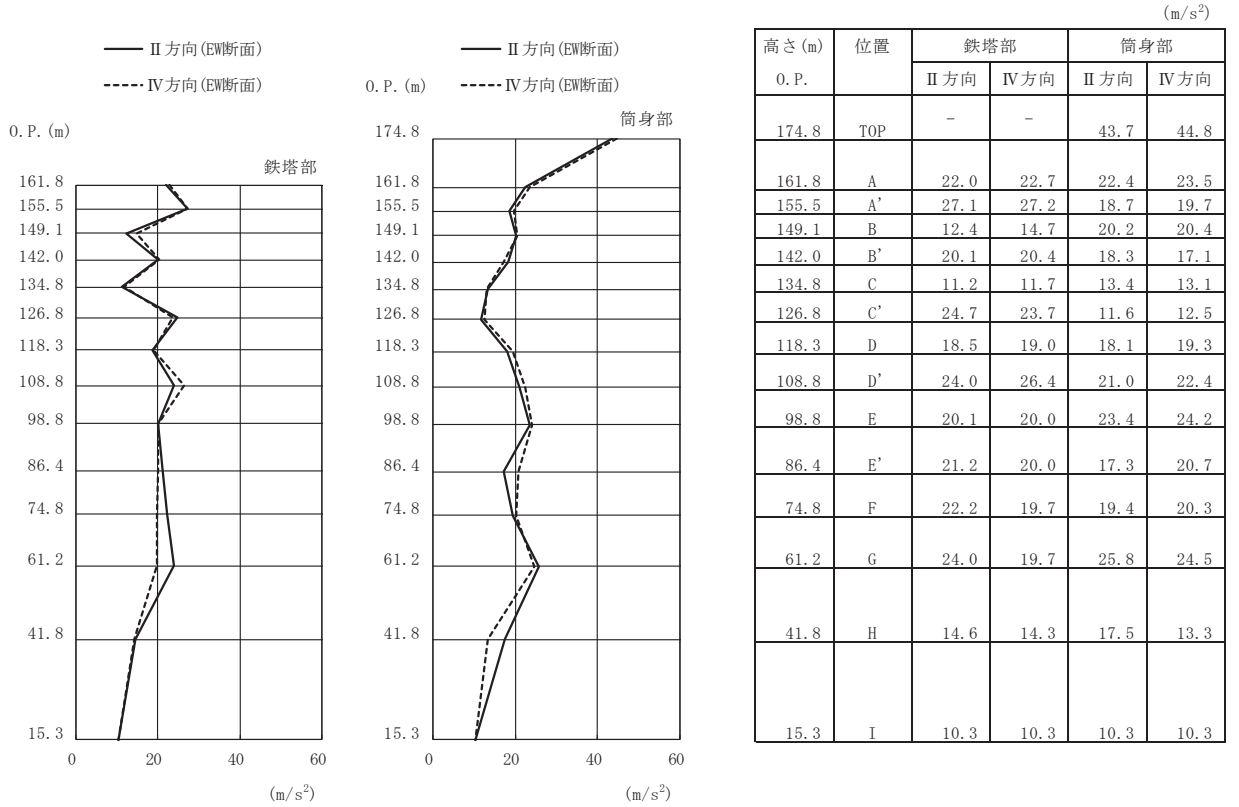


(h) S s - F 1 (斜め方向)

図 4-2(4) 最大応答加速度 (基準地震動 S s)

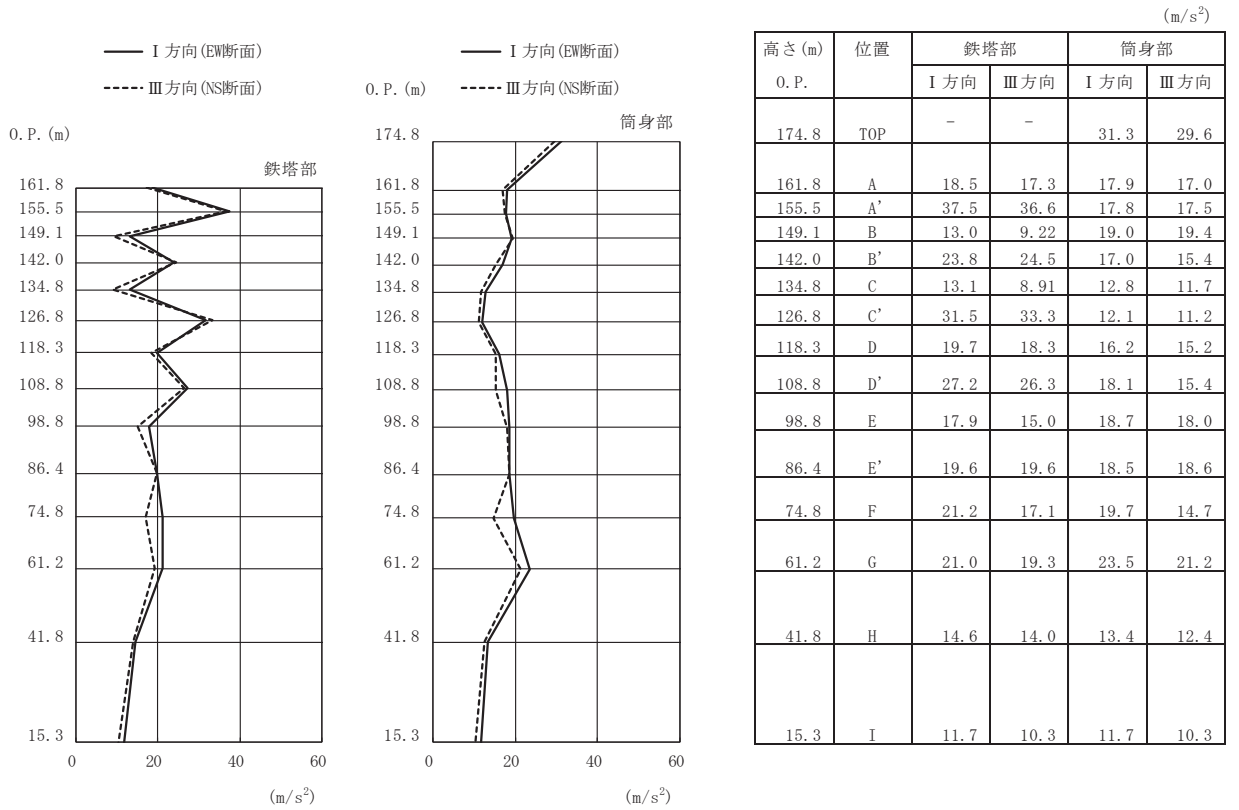


(i) S s - F 2 (直交方向)

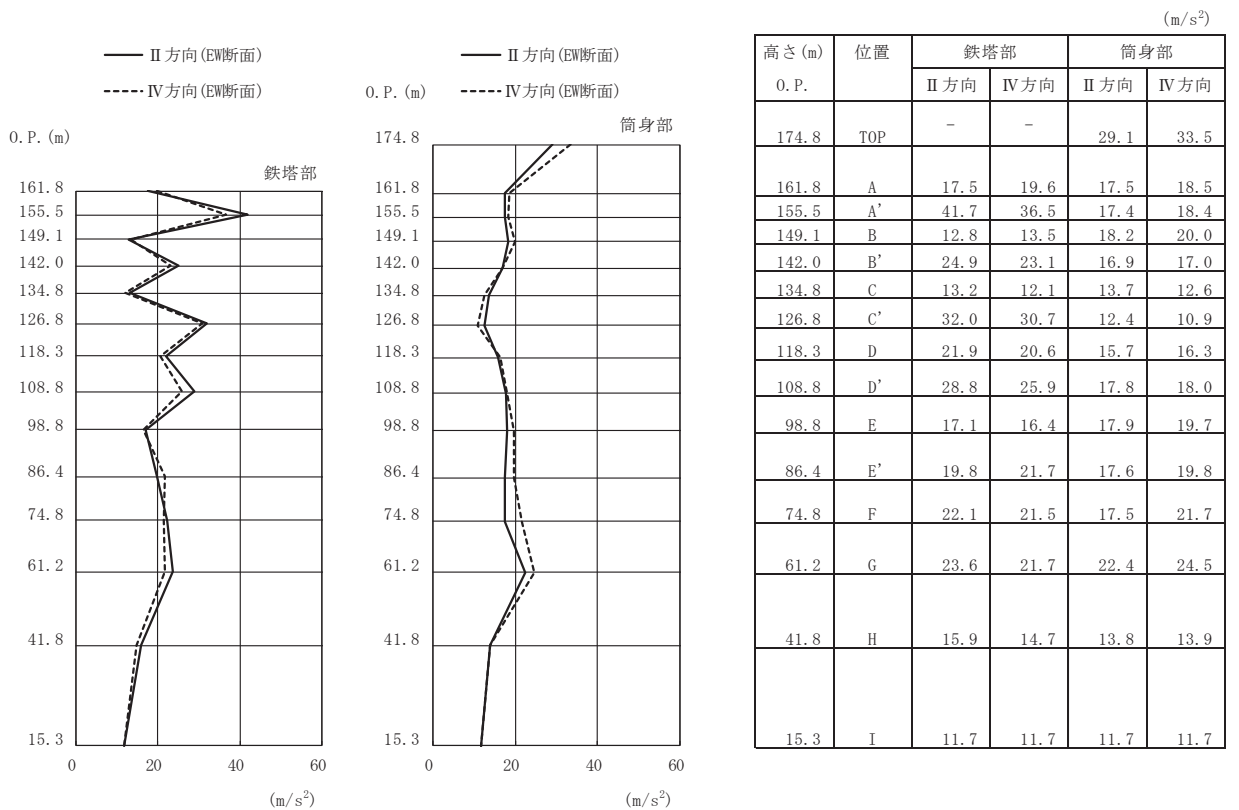


(j) S s - F 2 (斜め方向)

図 4-2(5) 最大応答加速度 (基準地震動 S s)

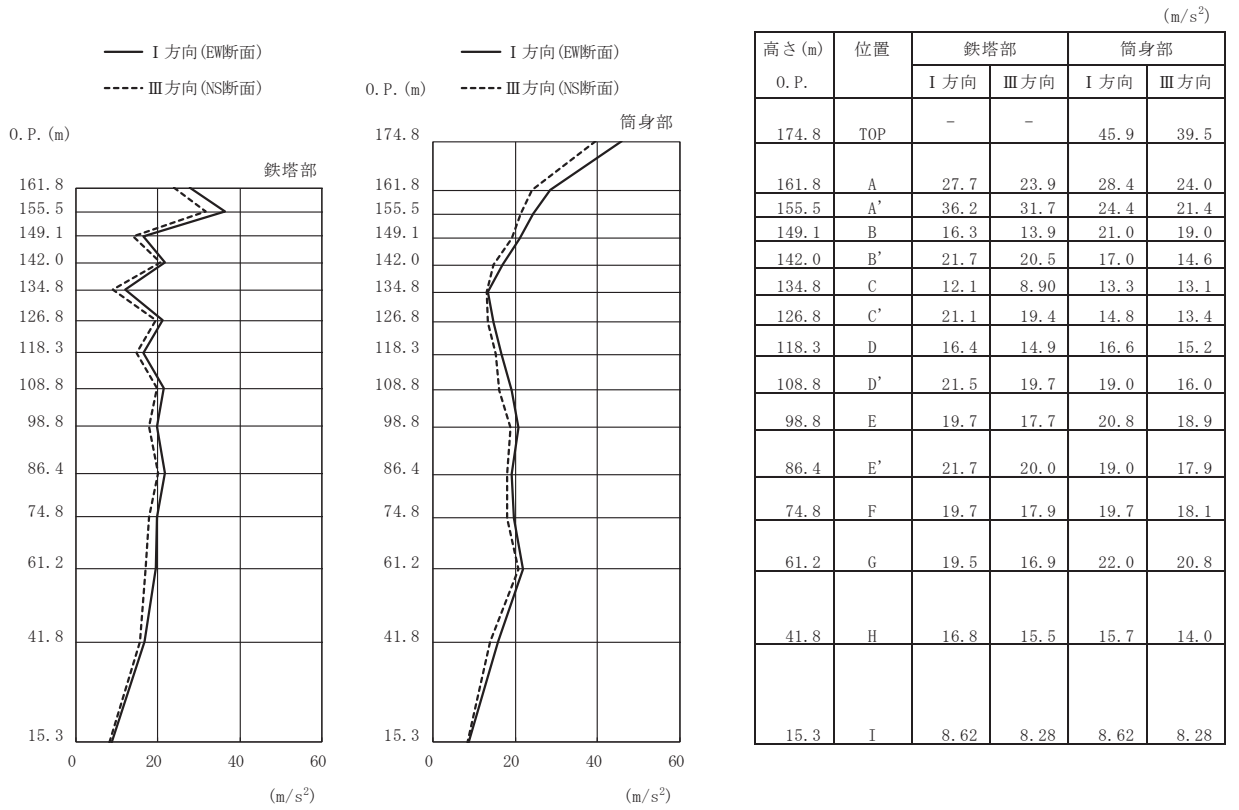


(k) S s - F 3 (直交方向)

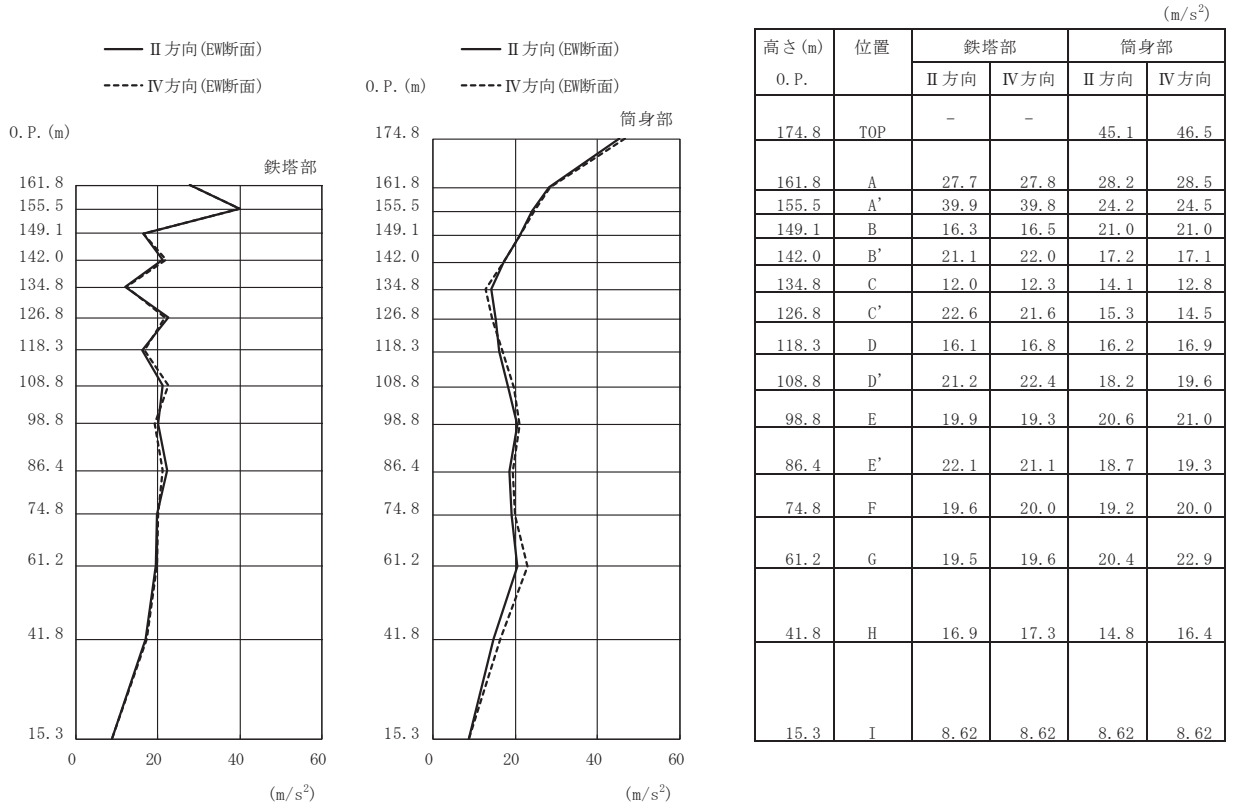


(l) S s - F 3 (斜め方向)

図 4-2(6) 最大応答加速度 (基準地震動 S s)

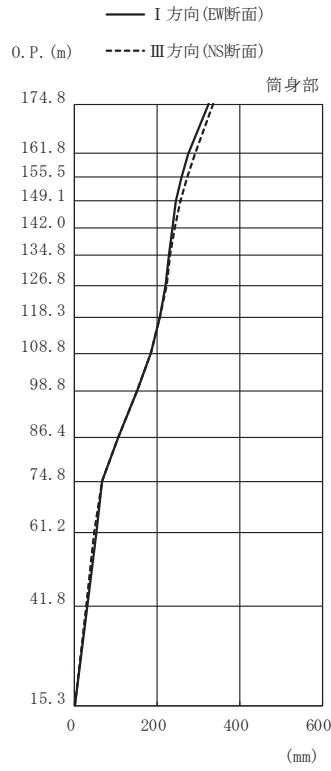
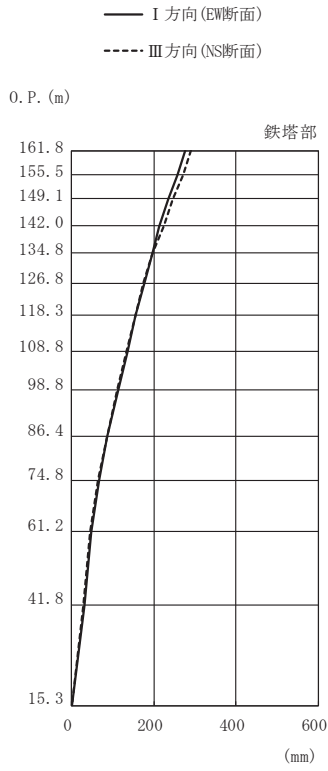


(m) S s - N 1 (直交方向)



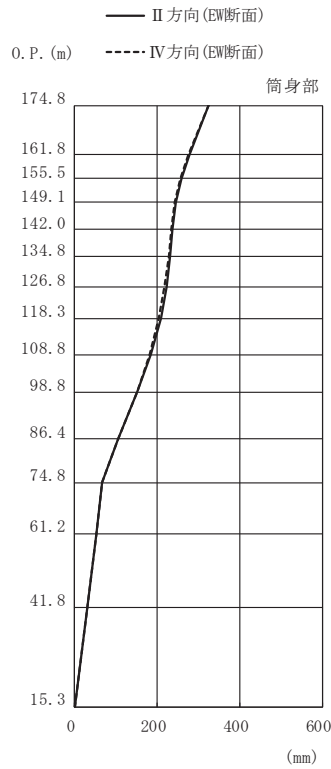
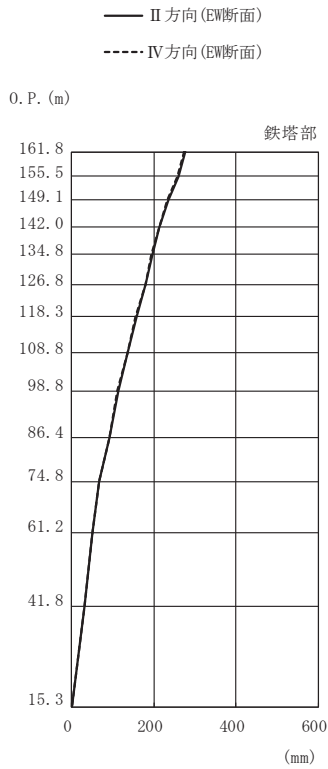
(n) S s - N 1 (斜め方向)

図 4-2(7) 最大応答加速度 (基準地震動 S s)



		(mm)			
高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
O.P.					
174.8	TOP	-	-	326	337
161.8	A	276	290	276	291
155.5	A'	256	270	258	273
149.1	B	234	245	244	257
142.0	B'	212	223	236	243
134.8	C	196	197	230	232
126.8	C'	177	175	221	222
118.3	D	156	154	207	207
108.8	D'	135	133	184	184
98.8	E	113	111	151	151
86.4	E'	87.3	85.9	105	104
74.8	F	65.9	64.5	67.6	66.2
61.2	G	47.2	45.8	53.3	47.9
41.8	H	31.9	27.8	31.5	27.0
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

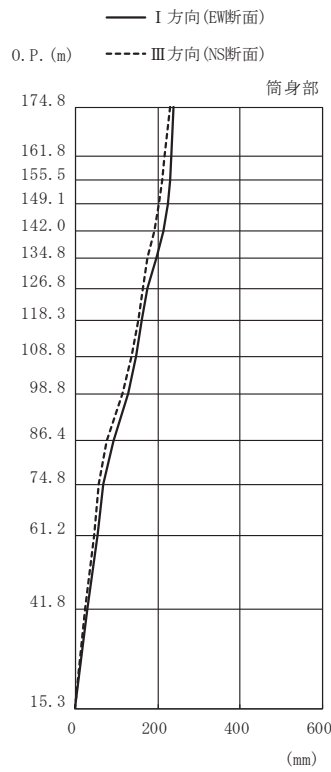
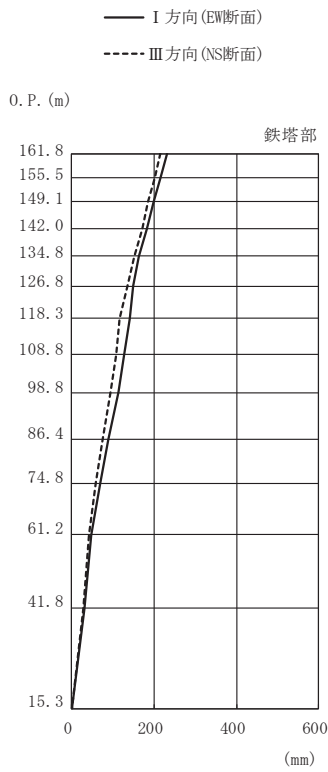
(a) S s - D 1 (直交方向)



		(mm)			
高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
O.P.					
174.8	TOP	-	-	325	326
161.8	A	277	274	277	275
155.5	A'	259	257	259	256
149.1	B	235	232	245	243
142.0	B'	214	212	238	234
134.8	C	197	195	231	228
126.8	C'	181	179	223	219
118.3	D	157	156	209	205
108.8	D'	136	135	186	183
98.8	E	114	111	152	151
86.4	E'	91.9	91.0	104	105
74.8	F	66.8	66.0	67.4	67.7
61.2	G	49.0	49.6	53.1	53.6
41.8	H	32.1	31.6	30.8	32.0
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

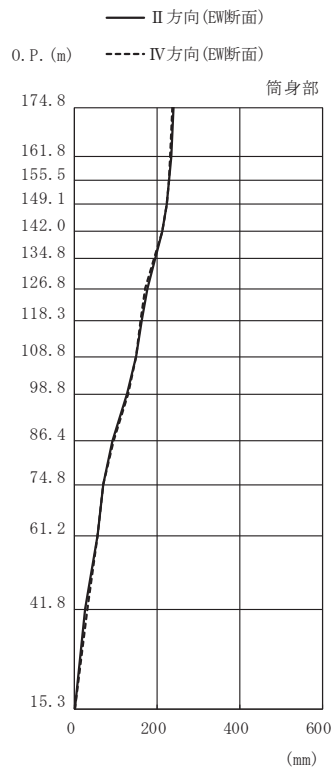
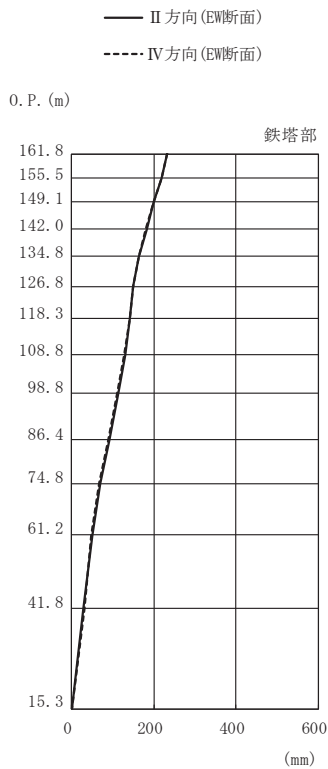
(b) S s - D 1 (斜め方向)

図 4-3(1) 最大応答変位 (基準地震動 S s)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
O.P.					
174.8	TOP	-	-	239	229
161.8	A	231	215	232	215
155.5	A'	216	201	229	210
149.1	B	198	185	223	203
142.0	B'	182	170	212	191
134.8	C	163	152	196	176
126.8	C'	149	134	174	163
118.3	D	140	117	162	153
108.8	D'	128	107	148	137
98.8	E	112	92.9	127	115
86.4	E'	88.5	73.8	93.0	76.3
74.8	F	67.9	56.5	68.6	57.1
61.2	G	47.0	40.2	54.3	44.5
41.8	H	29.1	26.4	28.2	24.5
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

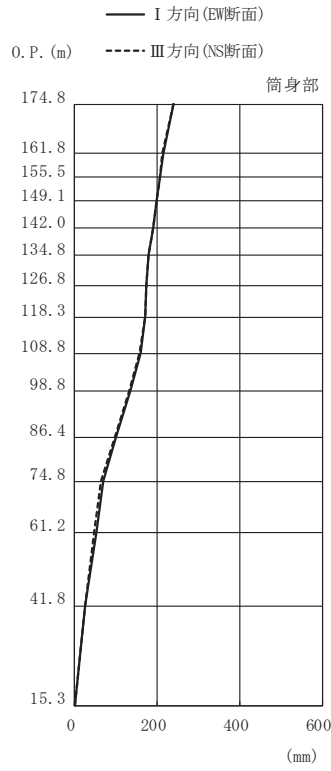
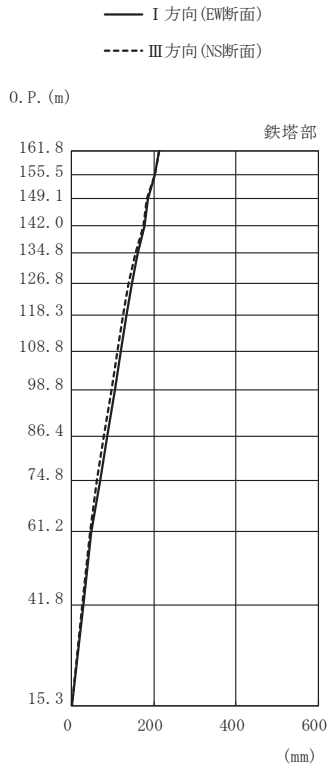
(c) S s - D 2 (直交方向)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
O.P.					
174.8	TOP	-	-	240	237
161.8	A	232	231	233	231
155.5	A'	219	218	229	228
149.1	B	199	198	224	222
142.0	B'	182	181	213	211
134.8	C	163	163	197	194
126.8	C'	149	150	176	172
118.3	D	140	140	164	160
108.8	D'	129	128	148	149
98.8	E	113	111	126	129
86.4	E'	90.4	89.6	92.5	93.4
74.8	F	68.5	67.6	68.5	68.6
61.2	G	50.8	47.9	54.3	54.5
41.8	H	28.8	29.5	26.4	29.7
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

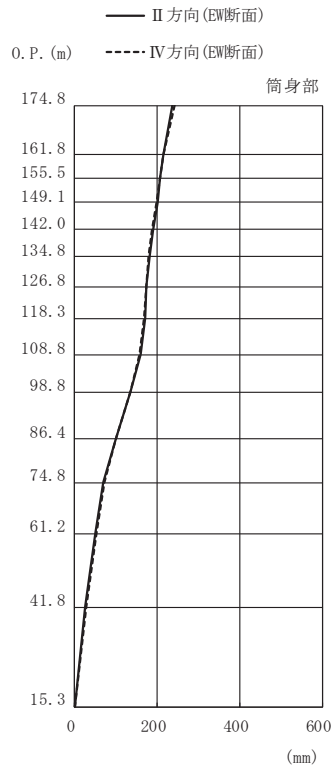
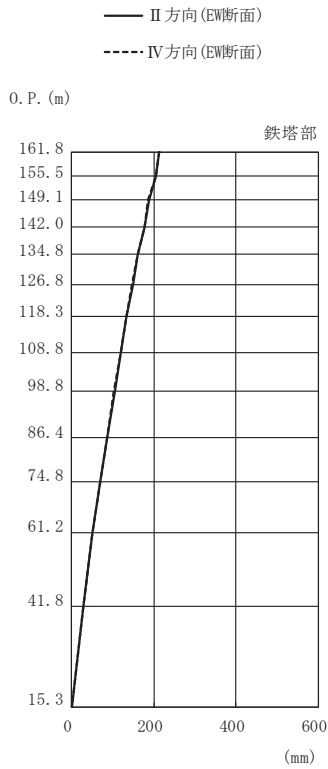
(d) S s - D 2 (斜め方向)

図 4-3(2) 最大応答変位 (基準地震動 S s)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	240	240
161.8	A	213	212	214	213
155.5	A'	203	201	206	206
149.1	B	186	184	199	199
142.0	B'	176	174	189	189
134.8	C	161	155	180	178
126.8	C'	148	139	173	175
118.3	D	134	125	170	171
108.8	D'	119	111	159	156
98.8	E	104	95.8	136	132
86.4	E'	85.1	77.9	100	95.5
74.8	F	68.1	61.1	70.0	63.1
61.2	G	48.1	44.3	52.7	47.0
41.8	H	27.7	26.6	26.0	24.2
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

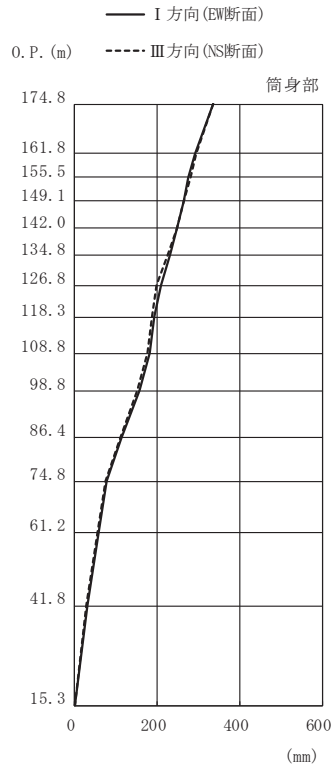
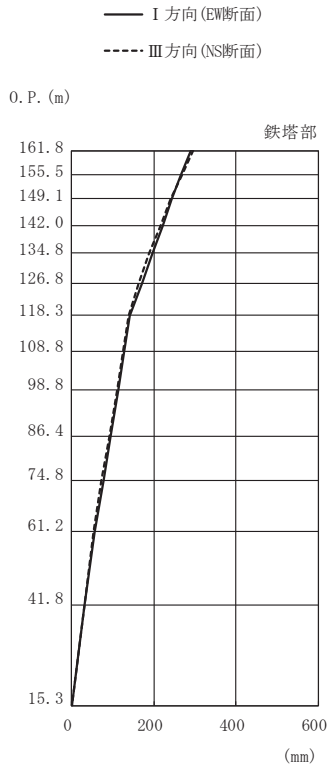
(e) S s - D 3 (直交方向)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	238	242
161.8	A	213	213	214	214
155.5	A'	206	205	207	206
149.1	B	187	186	200	198
142.0	B'	176	176	191	187
134.8	C	161	160	182	178
126.8	C'	149	148	174	173
118.3	D	134	133	171	169
108.8	D'	120	120	159	158
98.8	E	105	103	136	136
86.4	E'	87.3	86.7	99.3	100
74.8	F	68.1	68.8	69.3	70.9
61.2	G	50.7	50.1	51.4	53.9
41.8	H	28.5	27.8	24.8	27.0
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

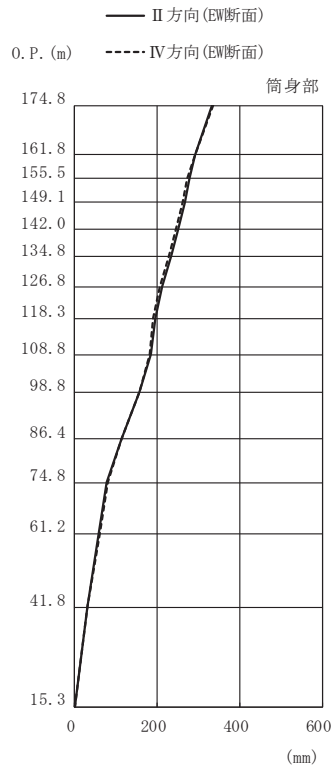
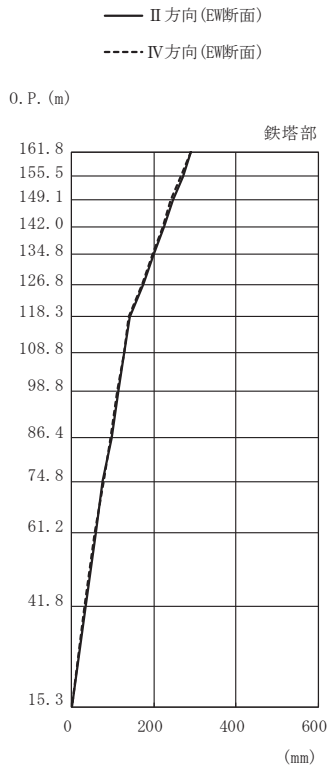
(f) S s - D 3 (斜め方向)

図 4-3(3) 最大応答変位 (基準地震動 S s)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	335	336
161.8	A	290	295	291	296
155.5	A'	266	269	275	281
149.1	B	243	242	264	265
142.0	B'	221	215	249	247
134.8	C	197	188	231	225
126.8	C'	171	162	209	199
118.3	D	140	138	194	188
108.8	D'	127	125	183	177
98.8	E	113	110	156	152
86.4	E'	94.1	91.1	112	110
74.8	F	76.5	72.9	78.3	75.0
61.2	G	55.3	52.5	58.5	56.0
41.8	H	32.1	30.3	30.5	28.8
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

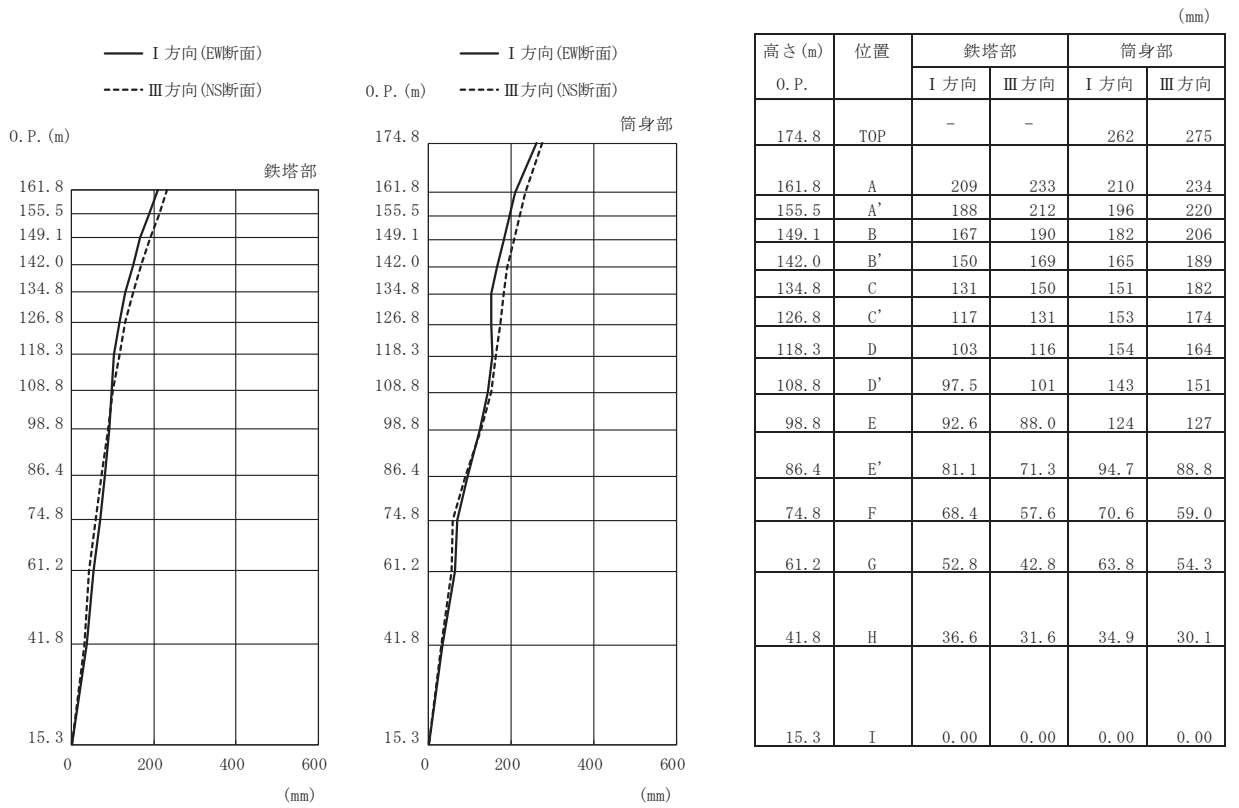
(g) S s - F 1 (直交方向)



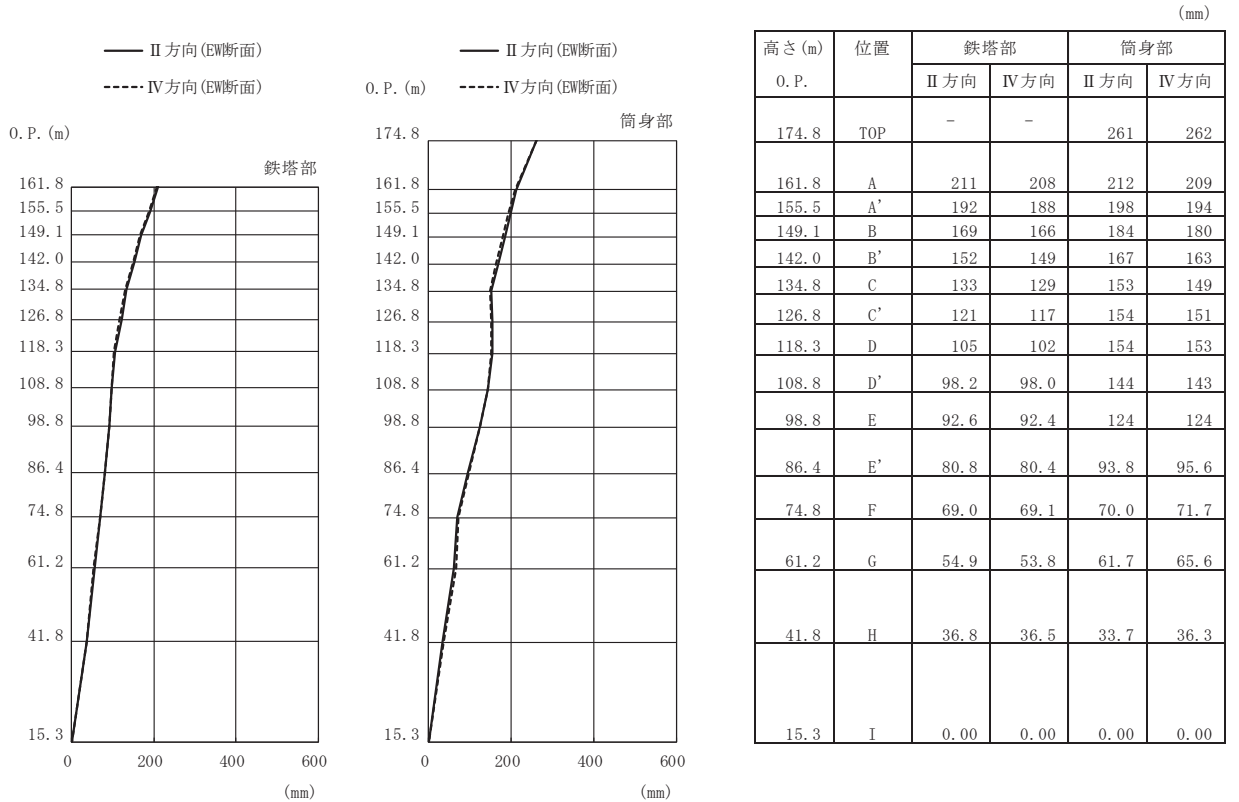
高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	334	335
161.8	A	291	290	292	291
155.5	A'	270	266	277	273
149.1	B	245	241	267	261
142.0	B'	223	220	252	246
134.8	C	199	196	235	228
126.8	C'	175	172	212	206
118.3	D	142	139	196	191
108.8	D'	128	127	184	181
98.8	E	114	112	157	156
86.4	E'	95.9	94.7	112	112
74.8	F	76.2	77.3	77.1	79.5
61.2	G	58.9	56.8	57.6	60.6
41.8	H	32.6	32.0	29.7	31.1
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

(h) S s - F 1 (斜め方向)

図 4-3(4) 最大応答変位 (基準地震動 S s)

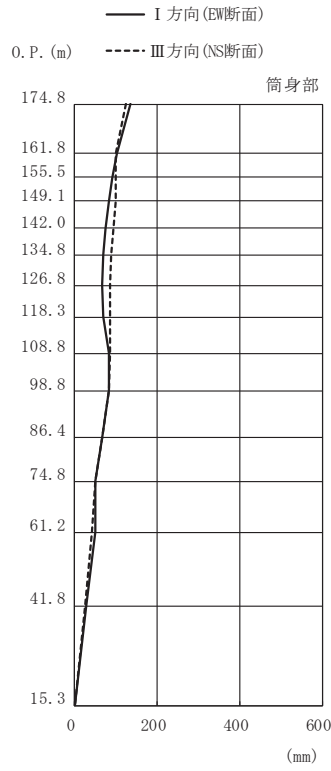
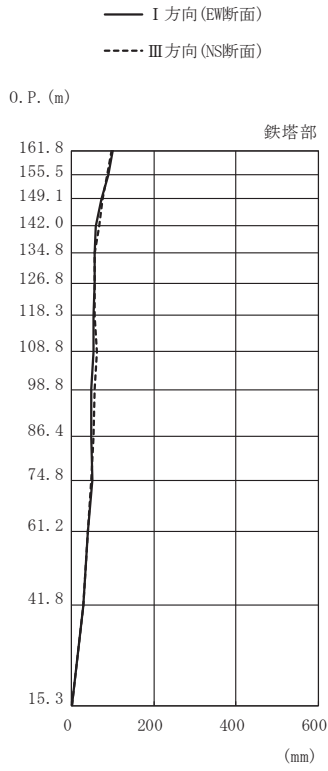


(i) S s - F 2 (直交方向)



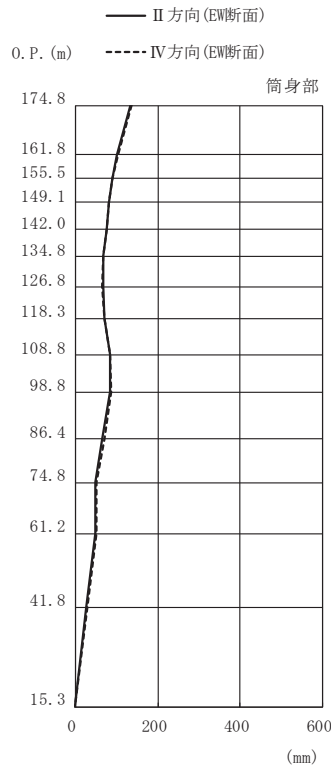
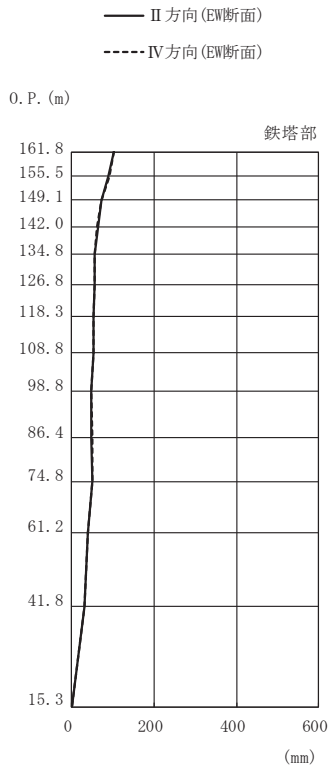
(j) S s - F 2 (斜め方向)

図 4-3(5) 最大応答変位 (基準地震動 S s)



(mm)					
高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
O.P.					
174.8	TOP	-	-	136	124
161.8	A	101	97.9	102	98.5
155.5	A'	88.3	87.3	90.5	100
149.1	B	70.9	75.2	82.5	98.5
142.0	B'	59.6	67.7	75.4	94.6
134.8	C	55.1	56.9	68.2	87.4
126.8	C'	55.0	56.5	65.7	84.6
118.3	D	53.7	56.1	70.5	86.7
108.8	D'	51.6	60.5	84.0	84.6
98.8	E	47.3	56.4	84.3	84.0
86.4	E'	47.6	52.9	67.1	67.5
74.8	F	49.1	47.7	50.8	49.5
61.2	G	38.1	39.5	49.6	42.9
41.8	H	29.1	29.0	26.9	26.5
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

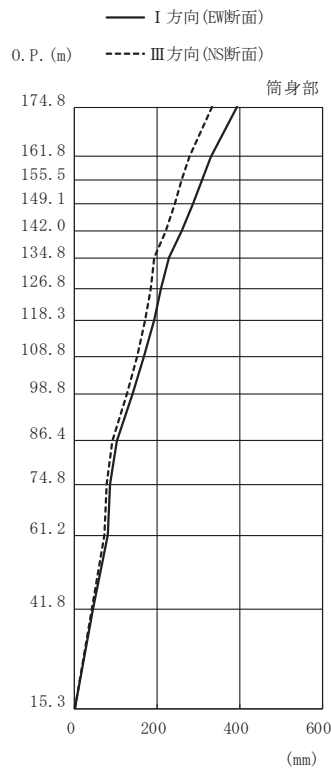
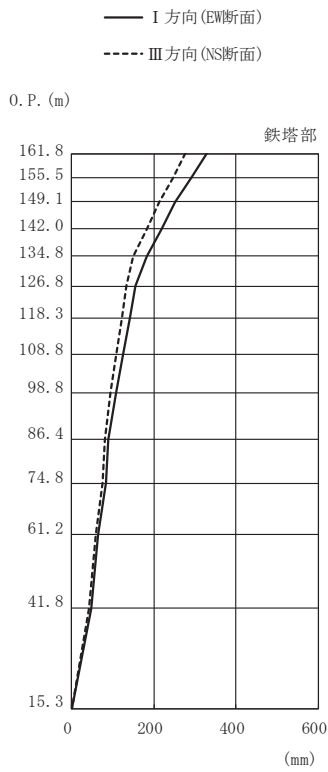
(k) S s - F 3 (直交方向)



(mm)					
高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
O.P.					
174.8	TOP	-	-	134	137
161.8	A	101	101	101	102
155.5	A'	89.3	89.7	90.4	90.5
149.1	B	71.0	70.8	82.4	82.4
142.0	B'	62.1	61.4	75.2	75.5
134.8	C	54.9	55.8	68.2	68.2
126.8	C'	55.1	55.8	67.4	63.9
118.3	D	53.5	53.7	70.5	70.4
108.8	D'	51.8	51.3	83.2	84.8
98.8	E	47.2	47.0	82.7	85.8
86.4	E'	48.1	48.3	65.4	68.9
74.8	F	48.5	50.2	49.2	52.2
61.2	G	39.9	39.6	48.3	50.8
41.8	H	29.6	29.1	25.9	28.6
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

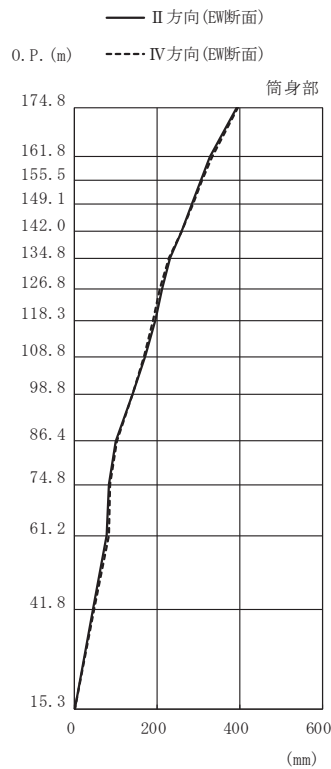
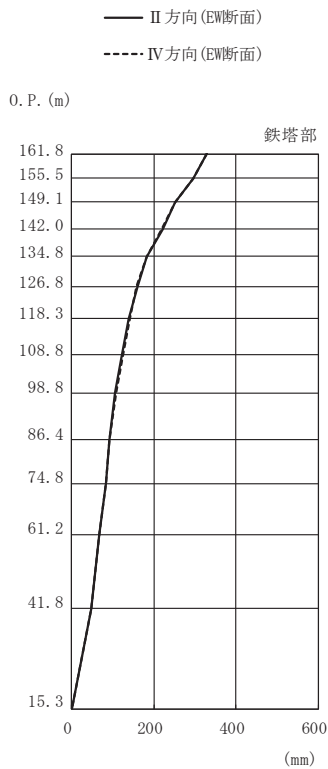
(l) S s - F 3 (斜め方向)

図 4-3(6) 最大応答変位 (基準地震動 S s)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	395	334
161.8	A	328	277	331	279
155.5	A'	291	246	308	260
149.1	B	252	213	286	242
142.0	B'	218	182	260	220
134.8	C	183	150	230	194
126.8	C'	155	134	210	184
118.3	D	140	122	193	171
108.8	D'	124	109	169	151
98.8	E	107	95.1	141	126
86.4	E'	89.3	79.4	101	90.6
74.8	F	83.4	74.5	85.6	76.4
61.2	G	65.1	58.6	79.6	72.3
41.8	H	47.0	42.5	45.4	41.1
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

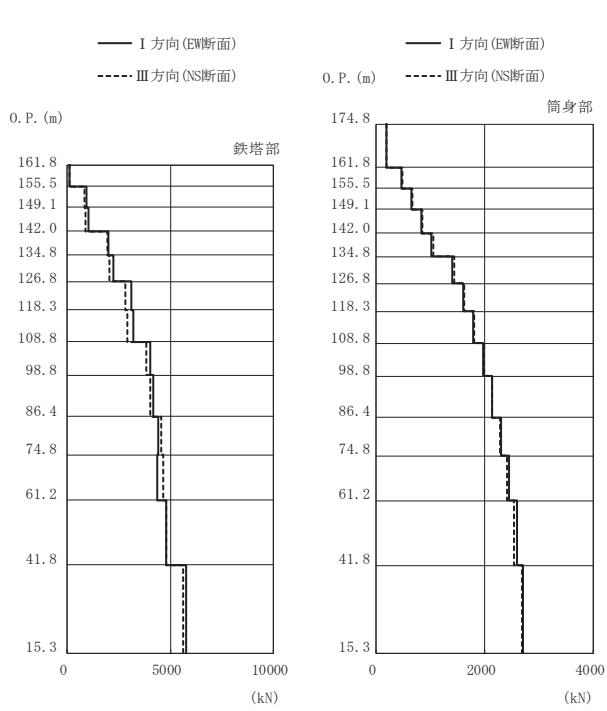
(m) S s - N 1 (直交方向)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	393	397
161.8	A	328	329	329	332
155.5	A'	295	297	307	308
149.1	B	252	253	285	287
142.0	B'	220	219	260	260
134.8	C	184	183	231	229
126.8	C'	161	159	213	208
118.3	D	138	141	196	190
108.8	D'	123	125	171	167
98.8	E	106	108	141	141
86.4	E'	91.1	90.8	99.1	102
74.8	F	82.9	84.4	84.2	86.9
61.2	G	66.7	66.8	77.3	81.8
41.8	H	47.2	46.8	43.5	47.2
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

(n) S s - N 1 (斜め方向)

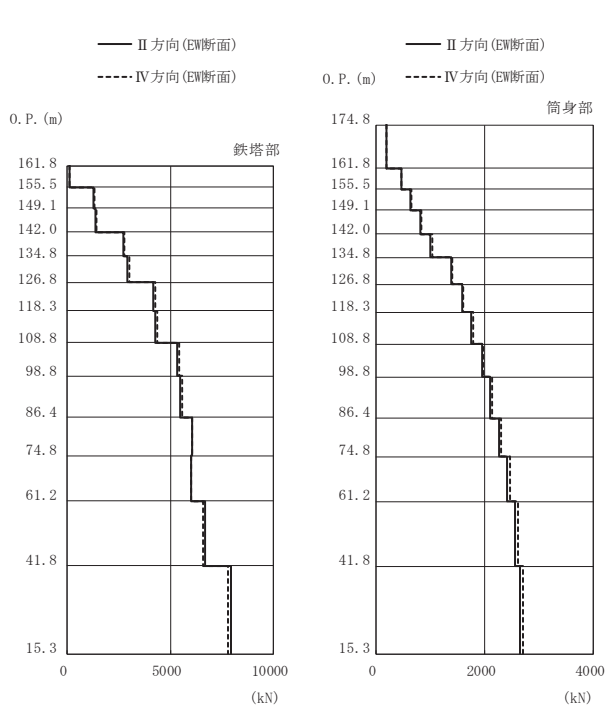
図 4-3(7) 最大応答変位 (基準地震動 S s)



高さ (m) O.P.	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	192	198
155.5	A'	A - A'	132	138	471	485
149.1	B	A' - B	962	848	650	669
142.0	B'	B - B'	1030	894	834	857
134.8	C	B' - C	2020	1960	1020	1050
126.8	C'	C - C'	2230	2050	1410	1440
118.3	D	C' - D	3100	2830	1600	1630
108.8	D'	D - D'	3200	2940	1790	1810
98.8	E	D' - E	4030	3840	1970	1990
86.4	E'	E - E'	4150	4010	2130	2140
74.8	F	E' - F	4400	4550	2300	2290
61.2	G	F - G	4340	4630	2450	2420
41.8	H	G - H	4820	4800	2590	2540
15.3	I	H - I	5750	5610	2700	2690

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(a) S s - D 1 (直交方向)

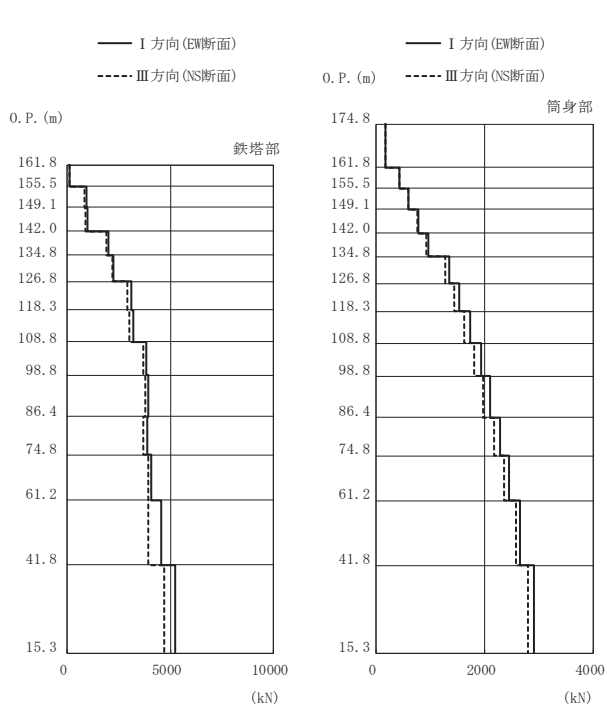


高さ (m) O.P.	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	190	193
155.5	A'	A - A'	139	136	465	473
149.1	B	A' - B	1290	1340	641	653
142.0	B'	B - B'	1360	1410	823	838
134.8	C	B' - C	2710	2790	1010	1030
126.8	C'	C - C'	2910	3000	1390	1410
118.3	D	C' - D	4190	4280	1580	1600
108.8	D'	D - D'	4290	4380	1760	1790
98.8	E	D' - E	5350	5440	1950	1980
86.4	E'	E - E'	5470	5560	2100	2140
74.8	F	E' - F	6060	6030	2270	2310
61.2	G	F - G	6010	6010	2420	2460
41.8	H	G - H	6690	6580	2560	2610
15.3	I	H - I	7910	7770	2660	2710

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(b) S s - D 1 (斜め方向)

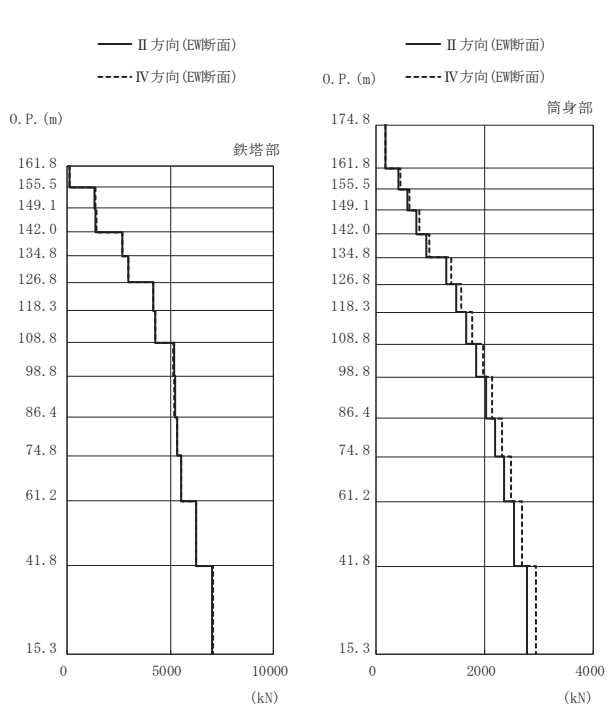
図 4-4(1) 最大応答軸力 (基準地震動 S s)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	179	175
155.5	A'	A - A'	126	124	439	429
149.1	B	A' - B	959	824	607	593
142.0	B'	B - B'	1010	871	780	760
134.8	C	B' - C	1990	1890	959	929
126.8	C'	C - C'	2260	2170	1350	1280
118.3	D	C' - D	3090	2910	1540	1440
108.8	D'	D - D'	3200	3020	1740	1620
98.8	E	D' - E	3840	3690	1940	1810
86.4	E'	E - E'	3910	3780	2110	1980
74.8	F	E' - F	3880	3710	2290	2170
61.2	G	F - G	4070	3950	2450	2350
41.8	H	G - H	4540	3950	2650	2580
15.3	I	H - I	5220	4680	2900	2800

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - D 2 (直交方向)

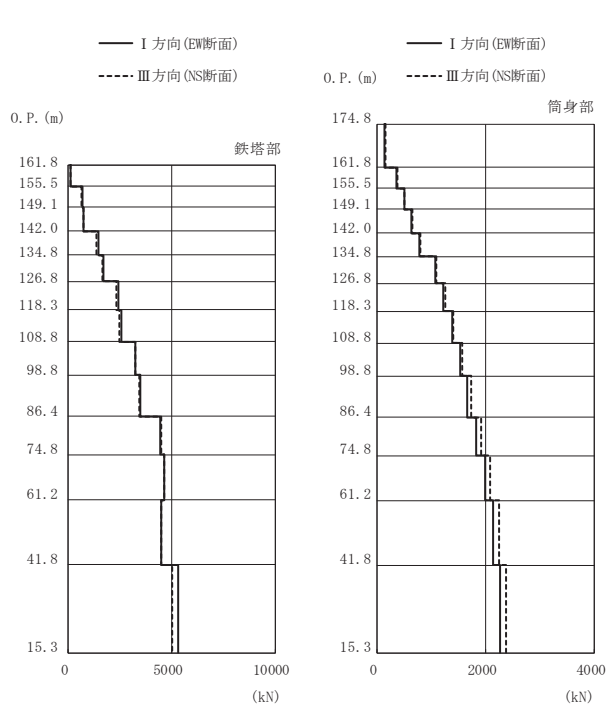


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	172	181
155.5	A'	A - A'	128	126	422	446
149.1	B	A' - B	1320	1360	584	616
142.0	B'	B - B'	1380	1420	751	793
134.8	C	B' - C	2670	2660	921	978
126.8	C'	C - C'	2950	2960	1290	1380
118.3	D	C' - D	4150	4160	1470	1570
108.8	D'	D - D'	4250	4280	1660	1770
98.8	E	D' - E	5160	5130	1850	1970
86.4	E'	E - E'	5230	5200	2020	2140
74.8	F	E' - F	5350	5350	2190	2320
61.2	G	F - G	5540	5530	2360	2490
41.8	H	G - H	6240	6230	2550	2690
15.3	I	H - I	7020	7070	2780	2950

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - D 2 (斜め方向)

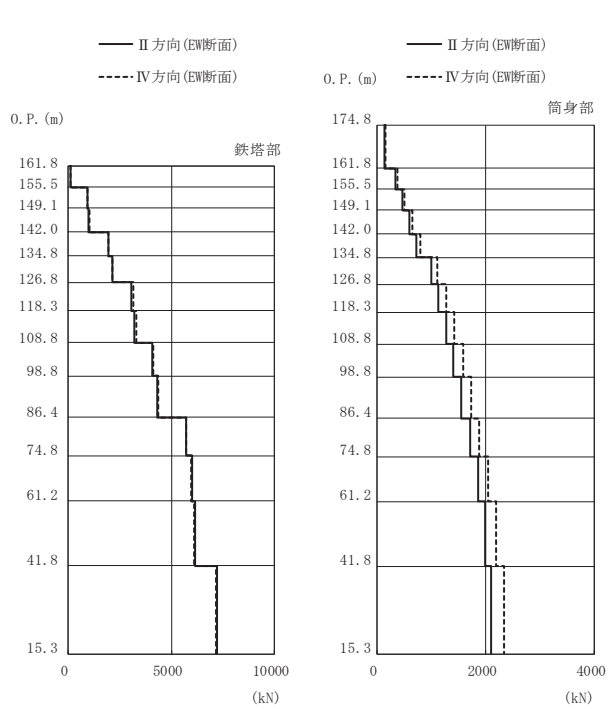
図 4-4(2) 最大応答軸力 (基準地震動 S s)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	148	151
155.5	A'	A - A'	99.3	110	362	370
149.1	B	A' - B	694	634	500	511
142.0	B'	B - B'	752	714	641	655
134.8	C	B' - C	1450	1370	785	800
126.8	C'	C - C'	1690	1630	1080	1100
118.3	D	C' - D	2410	2320	1230	1260
108.8	D'	D - D'	2540	2460	1380	1410
98.8	E	D' - E	3230	3230	1530	1570
86.4	E'	E - E'	3460	3450	1670	1730
74.8	F	E' - F	4430	4470	1830	1910
61.2	G	F - G	4650	4660	1990	2080
41.8	H	G - H	4470	4470	2140	2240
15.3	I	H - I	5290	5030	2260	2370

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(e) S s - D 3 (直交方向)

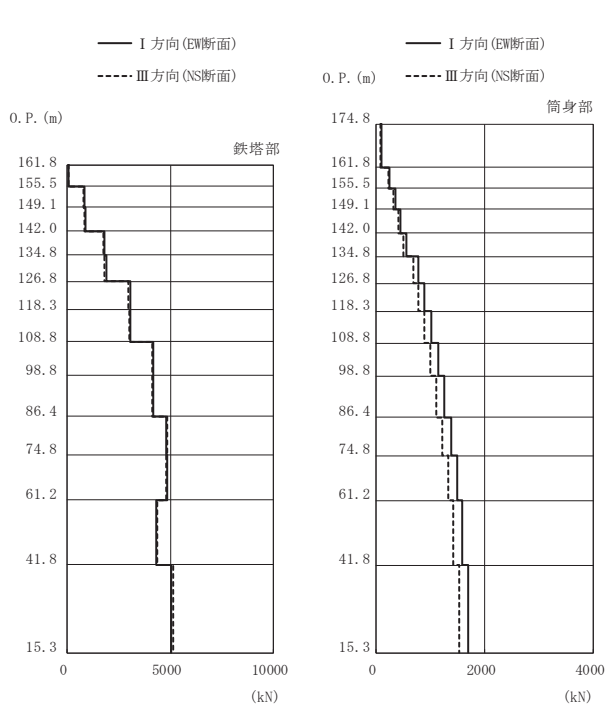


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	137	153
155.5	A'	A - A'	105	104	336	373
149.1	B	A' - B	931	960	463	515
142.0	B'	B - B'	992	1030	593	661
134.8	C	B' - C	1950	1970	725	809
126.8	C'	C - C'	2130	2160	996	1120
118.3	D	C' - D	3070	3150	1130	1270
108.8	D'	D - D'	3210	3290	1270	1430
98.8	E	D' - E	4080	4120	1410	1580
86.4	E'	E - E'	4320	4380	1550	1730
74.8	F	E' - F	5720	5720	1710	1880
61.2	G	F - G	5980	5940	1860	2040
41.8	H	G - H	6130	6100	2000	2200
15.3	I	H - I	7210	7160	2110	2340

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(f) S s - D 3 (斜め方向)

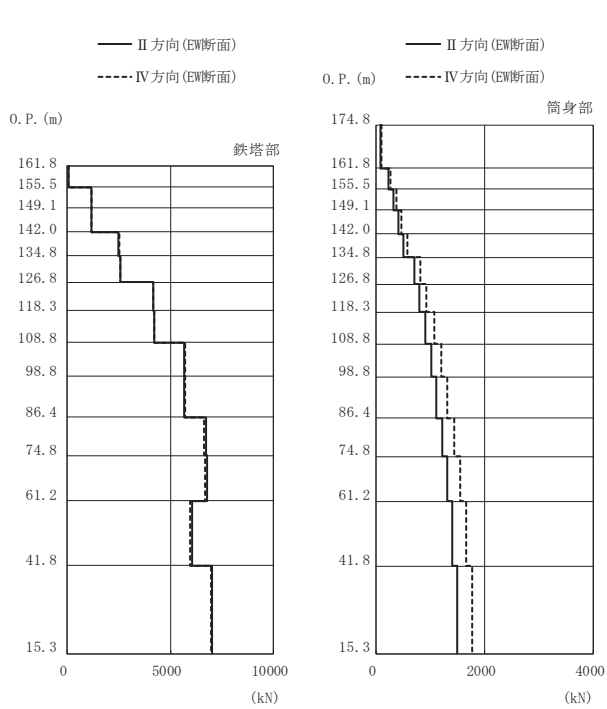
図 4-4(3) 最大応答軸力 (基準地震動 S s)



高さ (m) O. P.	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	105	94.7
155.5	A'	A - A'	67.5	66.6	257	232
149.1	B	A' - B	857	784	355	319
142.0	B'	B - B'	880	822	454	408
134.8	C	B' - C	1830	1750	555	499
126.8	C'	C - C'	1900	1790	775	691
118.3	D	C' - D	3050	2970	894	788
108.8	D'	D - D'	3080	2990	1020	895
98.8	E	D' - E	4160	4100	1150	1010
86.4	E'	E - E'	4160	4110	1260	1120
74.8	F	E' - F	4810	4870	1380	1230
61.2	G	F - G	4850	4800	1490	1330
41.8	H	G - H	4320	4360	1590	1420
15.3	I	H - I	5050	5150	1700	1540

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(g) S s - F 1 (直交方向)

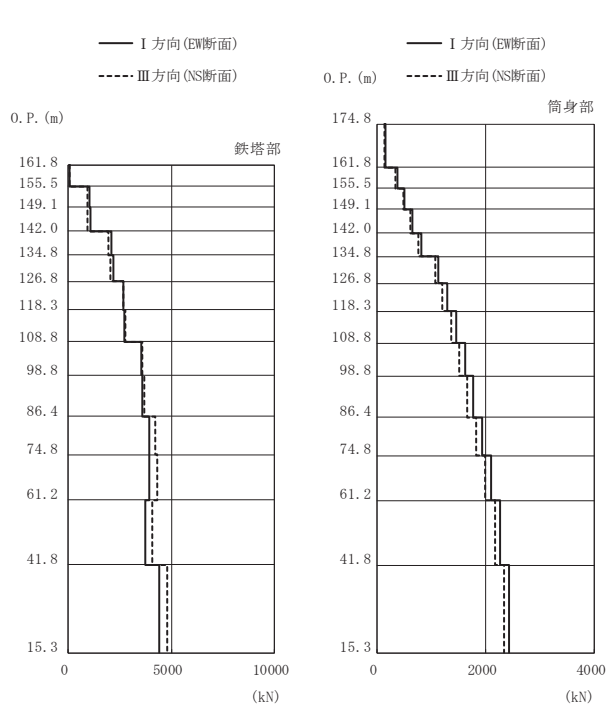


高さ (m) O. P.	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	93.6	111
155.5	A'	A - A'	72.1	71.1	231	270
149.1	B	A' - B	1160	1190	320	373
142.0	B'	B - B'	1170	1200	413	477
134.8	C	B' - C	2500	2540	508	583
126.8	C'	C - C'	2560	2600	707	810
118.3	D	C' - D	4180	4190	807	934
108.8	D'	D - D'	4200	4220	910	1070
98.8	E	D' - E	5690	5720	1020	1200
86.4	E'	E - E'	5670	5710	1120	1320
74.8	F	E' - F	6720	6630	1230	1440
61.2	G	F - G	6770	6660	1320	1560
41.8	H	G - H	6050	5960	1410	1660
15.3	I	H - I	7020	6950	1500	1780

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(h) S s - F 1 (斜め方向)

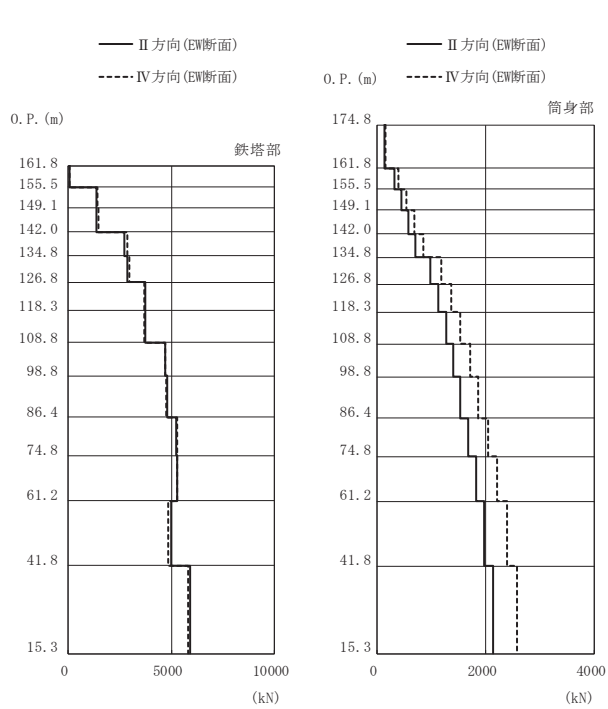
図 4-4(4) 最大応答軸力 (基準地震動 S s)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
O. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	151	143
155.5	A'	A - A'	76.3	75.2	370	350
149.1	B	A' - B	1030	931	513	484
142.0	B'	B - B'	1060	957	661	623
134.8	C	B' - C	2090	1940	812	765
126.8	C'	C - C'	2200	2050	1130	1070
118.3	D	C' - D	2680	2690	1290	1210
108.8	D'	D - D'	2700	2760	1460	1370
98.8	E	D' - E	3520	3610	1620	1520
86.4	E'	E - E'	3600	3690	1770	1660
74.8	F	E' - F	3910	4200	1930	1830
61.2	G	F - G	3940	4320	2100	2000
41.8	H	G - H	3740	4070	2270	2180
15.3	I	H - I	4430	4780	2440	2340

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(i) S_s-F 2 (直交方向)

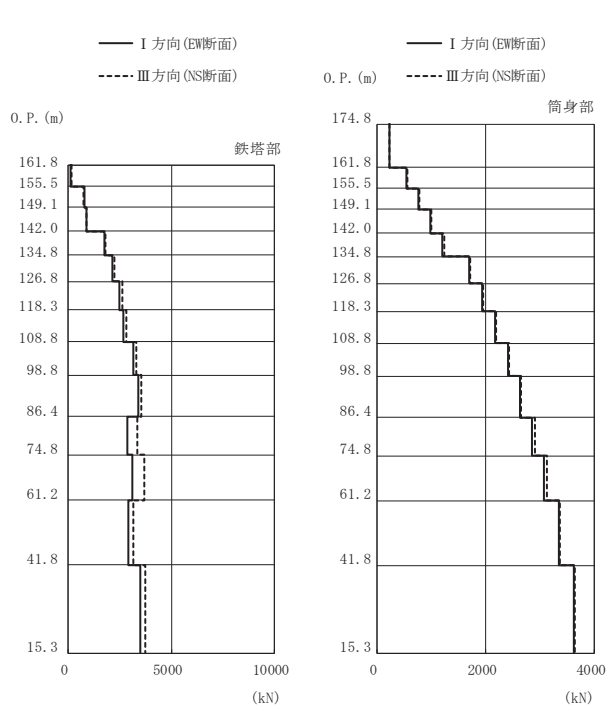


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
O. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	132	159
155.5	A'	A - A'	80.0	78.8	324	390
149.1	B	A' - B	1350	1440	448	540
142.0	B'	B - B'	1380	1480	577	695
134.8	C	B' - C	2740	2860	709	855
126.8	C'	C - C'	2860	2980	984	1190
118.3	D	C' - D	3720	3680	1130	1360
108.8	D'	D - D'	3740	3680	1270	1530
98.8	E	D' - E	4720	4680	1410	1710
86.4	E'	E - E'	4790	4750	1540	1870
74.8	F	E' - F	5230	5260	1680	2040
61.2	G	F - G	5270	5280	1820	2210
41.8	H	G - H	5010	4850	1970	2390
15.3	I	H - I	5930	5830	2130	2570

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(j) S_s-F 2 (斜め方向)

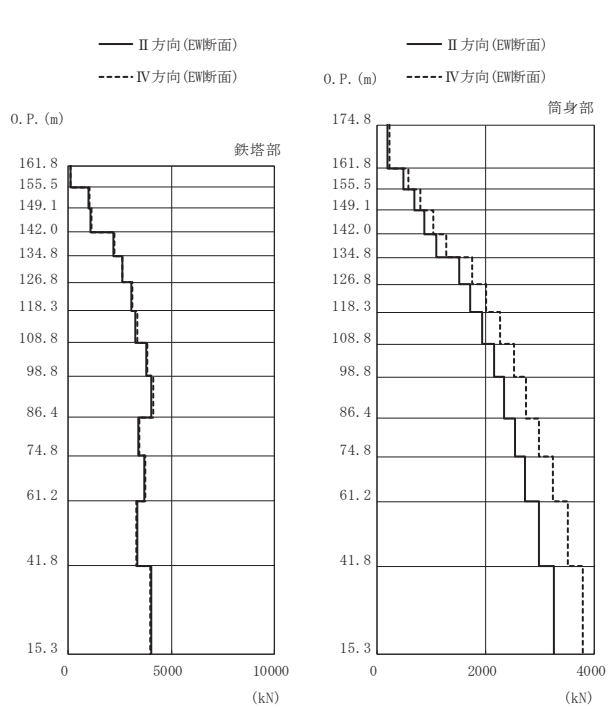
図 4-4(5) 最大応答軸力 (基準地震動 S_s)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	224	229
155.5	A'	A - A'	123	143	551	563
149.1	B	A' - B	775	748	763	779
142.0	B'	B - B'	884	876	983	1010
134.8	C	B' - C	1750	1800	1210	1240
126.8	C'	C - C'	2150	2260	1690	1710
118.3	D	C' - D	2490	2620	1930	1950
108.8	D'	D - D'	2660	2830	2170	2200
98.8	E	D' - E	3150	3310	2420	2440
86.4	E'	E - E'	3400	3560	2630	2650
74.8	F	E' - F	2880	3350	2860	2900
61.2	G	F - G	3130	3670	3080	3120
41.8	H	G - H	2940	3170	3350	3370
15.3	I	H - I	3480	3720	3620	3640

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(k) S_s-F 3 (直交方向)

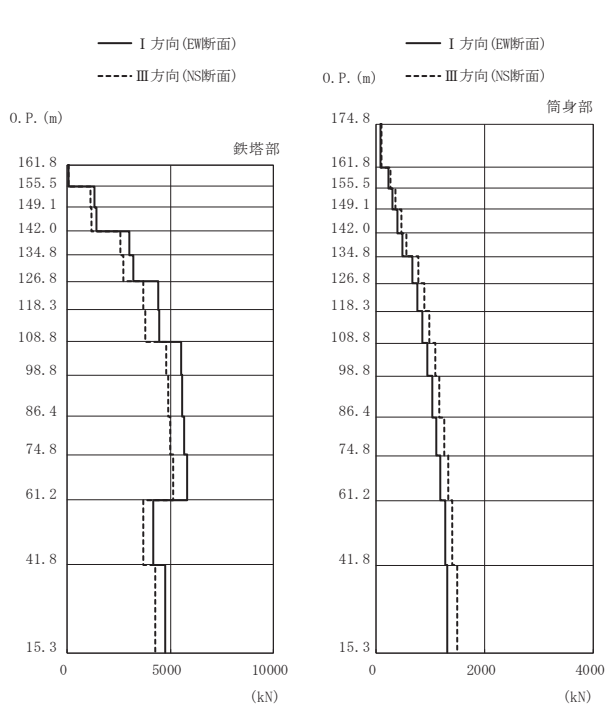


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	201	234
155.5	A'	A - A'	125	126	494	575
149.1	B	A' - B	999	1040	684	796
142.0	B'	B - B'	1100	1150	880	1030
134.8	C	B' - C	2210	2250	1090	1270
126.8	C'	C - C'	2610	2650	1510	1760
118.3	D	C' - D	3070	3110	1720	2010
108.8	D'	D - D'	3270	3330	1940	2270
98.8	E	D' - E	3790	3830	2150	2520
86.4	E'	E - E'	4050	4120	2340	2750
74.8	F	E' - F	3400	3460	2540	2990
61.2	G	F - G	3680	3740	2730	3230
41.8	H	G - H	3370	3300	2990	3510
15.3	I	H - I	4040	3960	3250	3780

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(l) S_s-F 3 (斜め方向)

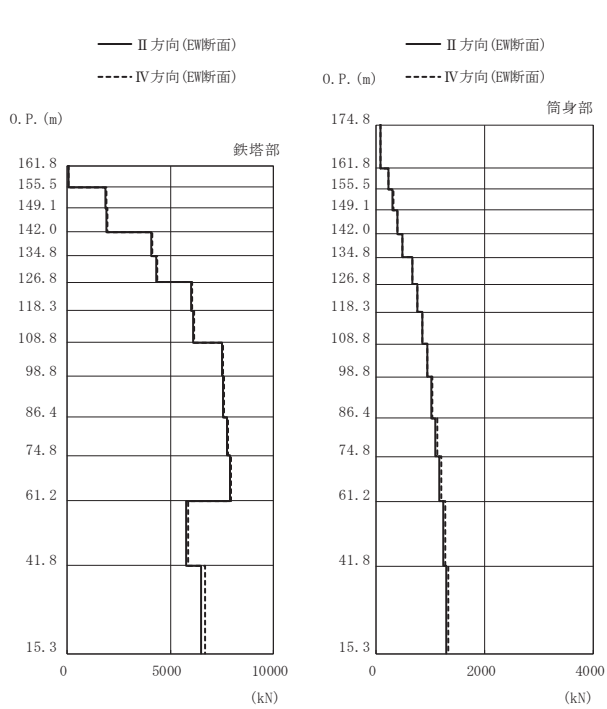
図 4-4(6) 最大応答軸力 (基準地震動 S_s)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	92.3	106
155.5	A'	A - A'	72.6	77.2	227	261
149.1	B	A' - B	1340	1150	314	360
142.0	B'	B - B'	1400	1200	403	462
134.8	C	B' - C	3010	2570	493	566
126.8	C'	C - C'	3220	2740	678	778
118.3	D	C' - D	4390	3700	769	883
108.8	D'	D - D'	4460	3770	860	986
98.8	E	D' - E	5510	4780	946	1090
86.4	E'	E - E'	5580	4900	1030	1170
74.8	F	E' - F	5670	4970	1110	1260
61.2	G	F - G	5790	5150	1190	1330
41.8	H	G - H	4180	3690	1270	1410
15.3	I	H - I	4740	4260	1320	1500

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(m) S s - N 1 (直交方向)

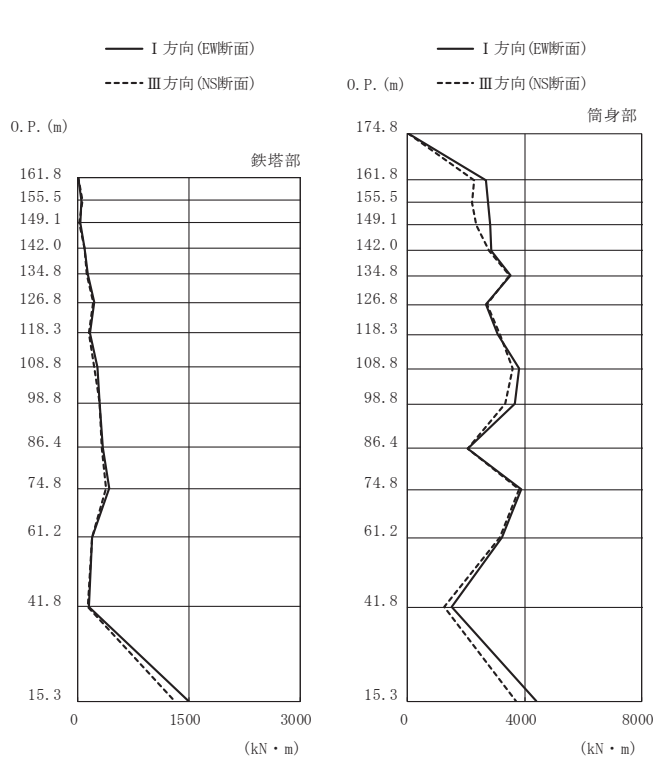


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	91.6	92.6
155.5	A'	A - A'	75.7	76.2	225	228
149.1	B	A' - B	1840	1880	311	315
142.0	B'	B - B'	1900	1950	400	404
134.8	C	B' - C	4070	4130	489	494
126.8	C'	C - C'	4300	4360	674	680
118.3	D	C' - D	6010	6070	765	771
108.8	D'	D - D'	6090	6150	855	862
98.8	E	D' - E	7480	7540	942	948
86.4	E'	E - E'	7550	7610	1020	1040
74.8	F	E' - F	7750	7800	1100	1130
61.2	G	F - G	7890	7910	1170	1210
41.8	H	G - H	5780	5870	1240	1280
15.3	I	H - I	6510	6660	1300	1340

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(n) S s - N 1 (斜め方向)

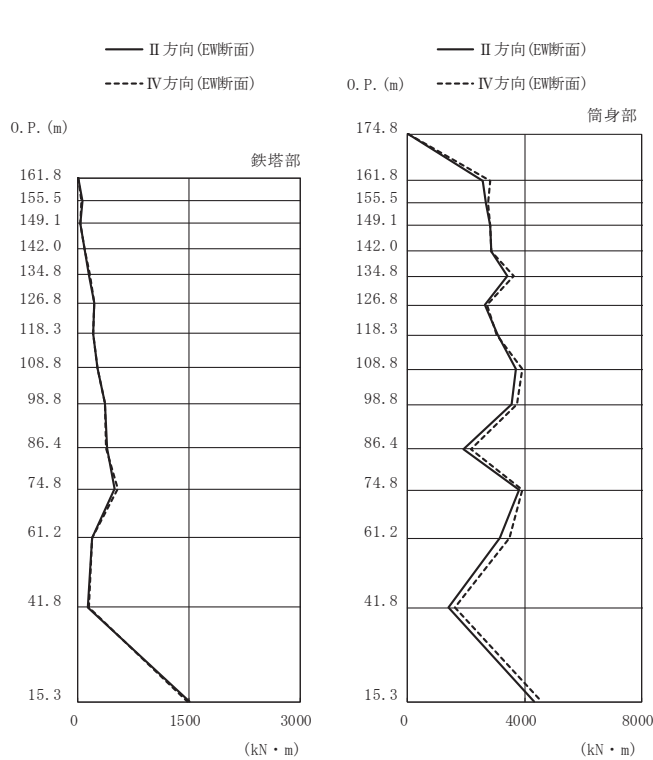
図 4-4(7) 最大応答軸力 (基準地震動 S s)



(a) S s - D 1 (直交方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.7	2.3	2690	2280
155.5	A'	53.1	56.1	2740	2200
149.1	B	29.7	25.0	2830	2340
142.0	B'	93.1	93.0	2860	2780
134.8	C	132	118	3510	3470
126.8	C'	221	211	2660	2700
118.3	D	157	152	3070	3150
108.8	D'	261	222	3820	3600
98.8	E	292	287	3670	3350
86.4	E'	343	325	2050	2060
74.8	F	417	385	3890	3810
61.2	G	192	186	3230	3160
41.8	H	147	133	1490	1260
15.3	I	1500	1310	4400	3700

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

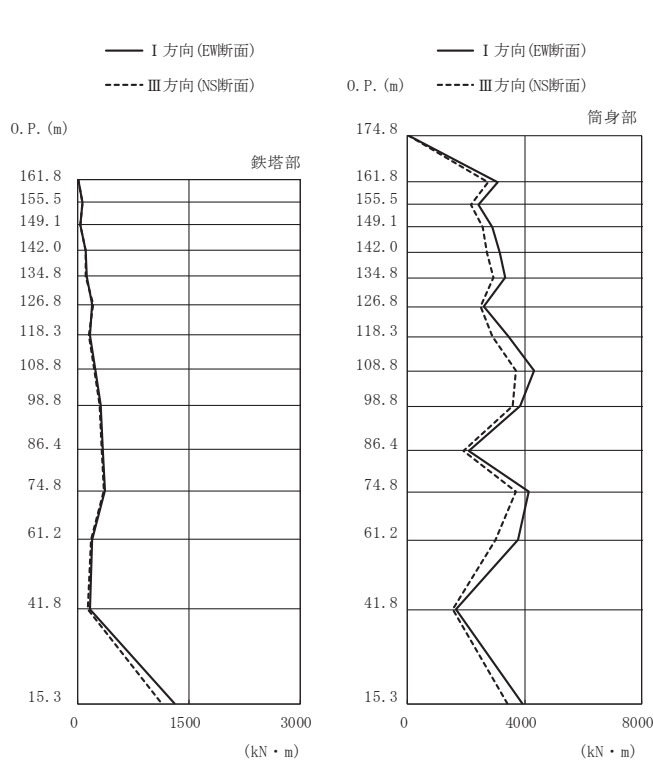


(b) S s - D 1 (斜め方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.5	3.0	2560	2810
155.5	A'	55.4	54.6	2690	2760
149.1	B	35.8	37.3	2820	2820
142.0	B'	96.0	94.2	2850	2850
134.8	C	148	157	3400	3620
126.8	C'	222	224	2630	2700
118.3	D	201	201	3080	3060
108.8	D'	259	267	3700	3940
98.8	E	360	361	3570	3750
86.4	E'	390	386	1900	2150
74.8	F	492	546	3820	3930
61.2	G	195	197	3150	3490
41.8	H	141	142	1400	1620
15.3	I	1510	1480	4340	4580

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

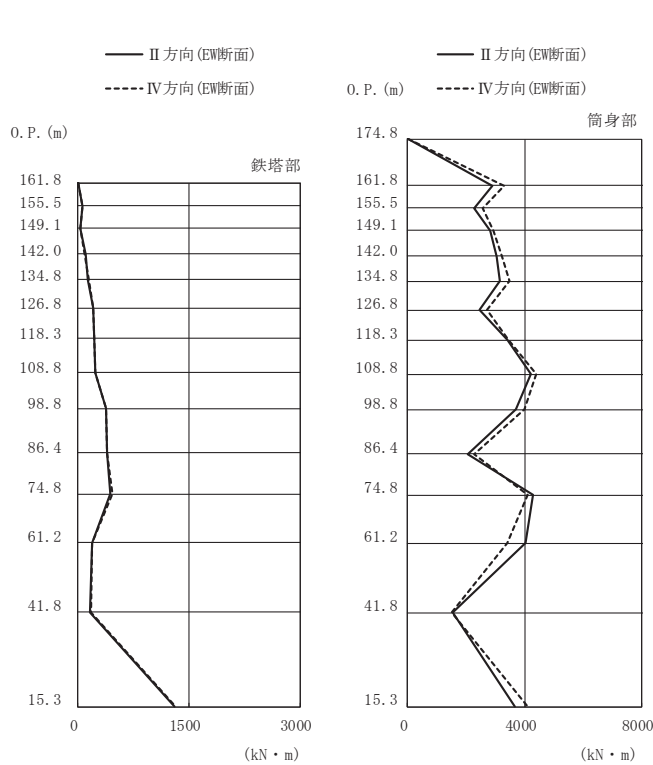
図 4-5(1) 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.5	2.0	3070	2760
155.5	A'	59.7	58.3	2410	2150
149.1	B	29.1	25.9	2900	2580
142.0	B'	102	98.6	3140	2710
134.8	C	119	112	3320	2920
126.8	C'	199	212	2600	2500
118.3	D	168	146	3450	2880
108.8	D'	239	221	4320	3700
98.8	E	311	287	3840	3610
86.4	E'	337	318	2100	1920
74.8	F	362	354	4160	3720
61.2	G	193	182	3790	2990
41.8	H	166	133	1640	1550
15.3	I	1300	1140	3940	3410

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S s - D 2 (直交方向)

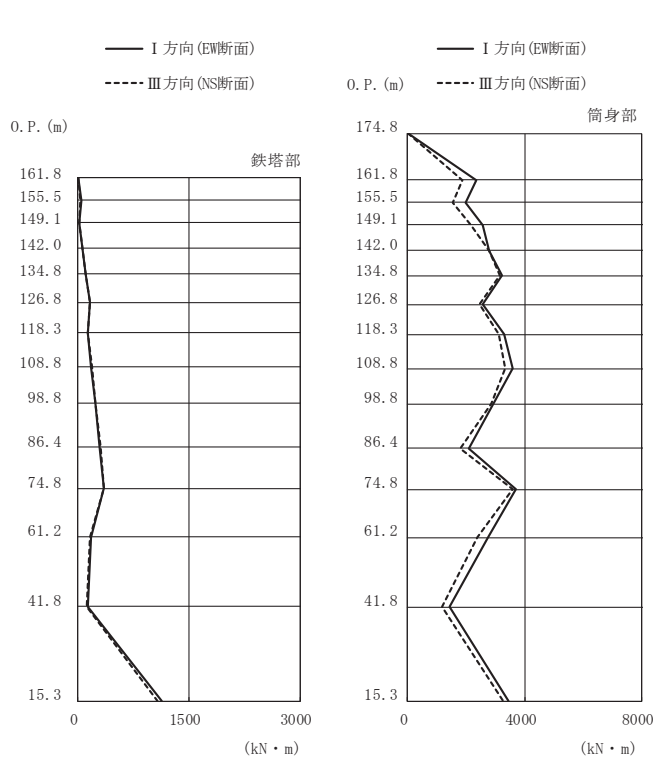


高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.1	2.4	2890	3310
155.5	A'	59.2	58.6	2280	2570
149.1	B	36.3	39.3	2820	2950
142.0	B'	102	98.0	3030	3230
134.8	C	138	144	3160	3470
126.8	C'	209	208	2470	2700
118.3	D	223	222	3420	3450
108.8	D'	238	236	4210	4410
98.8	E	385	373	3690	3980
86.4	E'	390	388	2040	2270
74.8	F	444	468	4280	4090
61.2	G	189	194	4040	3410
41.8	H	169	175	1560	1510
15.3	I	1310	1320	3680	4100

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S s - D 2 (斜め方向)

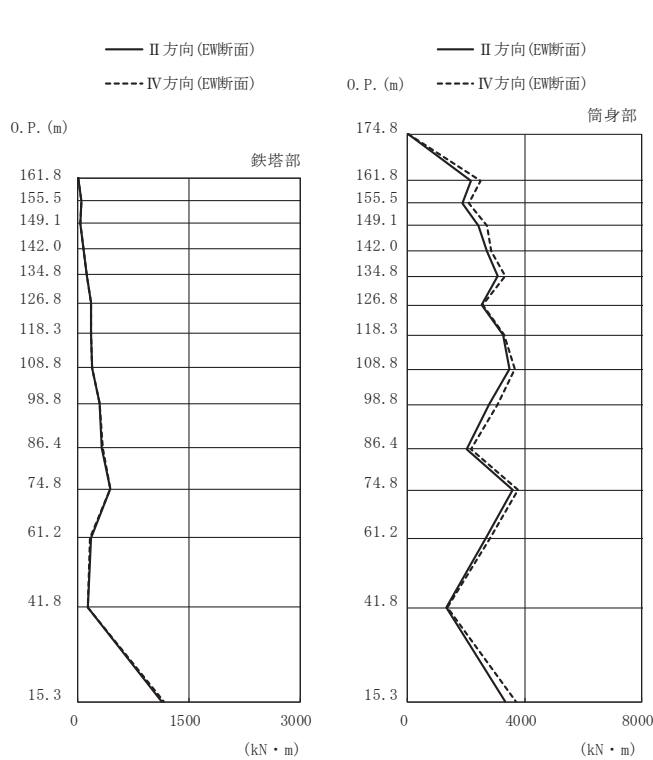
図 4-5(2) 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s)



(e) S s - D 3 (直交方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.0	1.6	2350	1870
155.5	A'	41.5	38.7	1980	1530
149.1	B	23.6	20.9	2570	2170
142.0	B'	68.2	65.6	2790	2800
134.8	C	103	101	3210	3160
126.8	C'	160	158	2570	2450
118.3	D	137	132	3290	3130
108.8	D'	180	188	3590	3350
98.8	E	240	240	2940	2850
86.4	E'	299	304	2090	1810
74.8	F	358	355	3700	3610
61.2	G	173	163	2750	2390
41.8	H	138	121	1420	1160
15.3	I	1140	1080	3430	3250

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

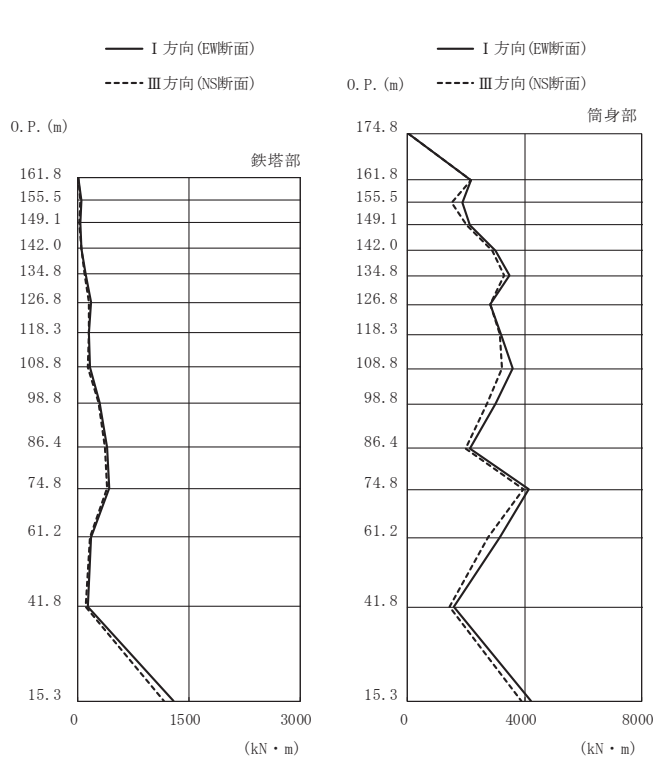


(f) S s - D 3 (斜め方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.4	2.1	2180	2500
155.5	A'	44.7	41.8	1860	2080
149.1	B	25.8	27.8	2420	2700
142.0	B'	70.2	70.6	2700	2860
134.8	C	116	123	3070	3340
126.8	C'	175	175	2530	2580
118.3	D	171	171	3280	3290
108.8	D'	191	195	3480	3670
98.8	E	289	292	2790	3070
86.4	E'	324	330	2000	2150
74.8	F	435	440	3610	3790
61.2	G	176	163	2680	2820
41.8	H	138	131	1320	1360
15.3	I	1140	1160	3330	3690

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

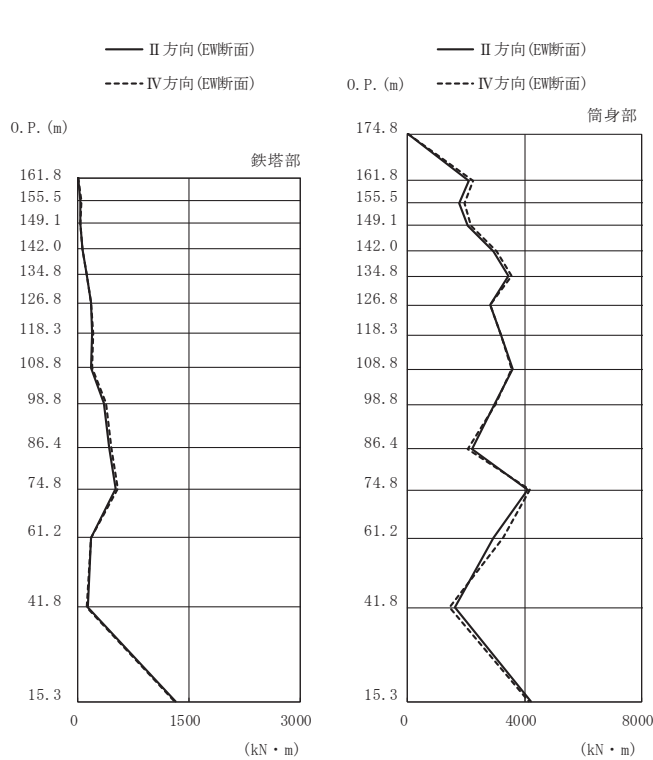
図 4-5(3) 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.2	1.9	2160	2160
155.5	A'	40.4	35.9	1860	1520
149.1	B	26.0	24.6	2110	2030
142.0	B'	52.7	44.6	3010	2890
134.8	C	103	87.1	3490	3310
126.8	C'	171	153	2820	2840
118.3	D	155	143	3190	3160
108.8	D'	165	141	3590	3230
98.8	E	296	281	2990	2720
86.4	E'	390	367	2140	1970
74.8	F	418	401	4140	3960
61.2	G	179	157	3140	2750
41.8	H	127	106	1580	1450
15.3	I	1290	1160	4210	3900

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(g) S s - F 1 (直交方向)

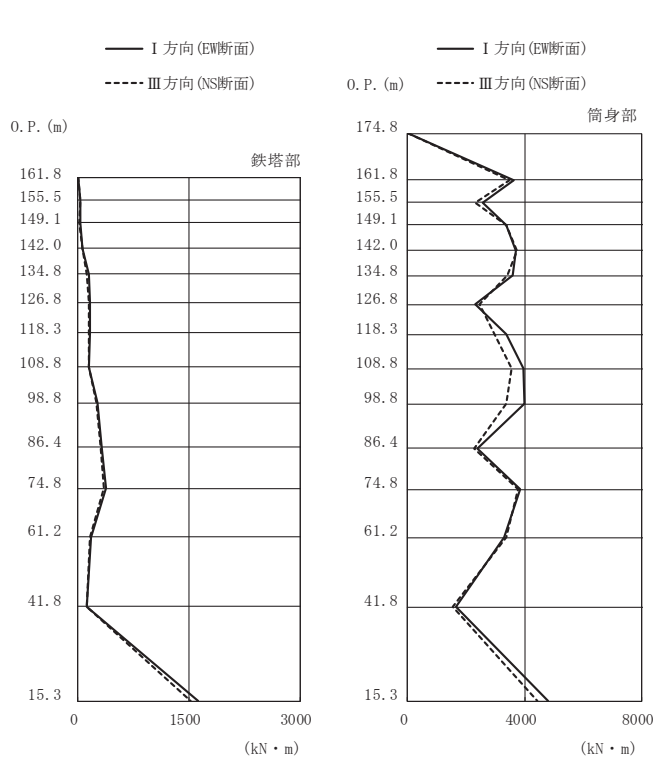


高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.9	2.4	2090	2230
155.5	A'	38.9	40.9	1770	1940
149.1	B	30.4	32.0	2060	2150
142.0	B'	57.1	55.7	2950	3060
134.8	C	121	119	3440	3540
126.8	C'	177	177	2830	2820
118.3	D	191	200	3180	3200
108.8	D'	179	186	3610	3560
98.8	E	352	377	2960	3010
86.4	E'	425	447	2190	2070
74.8	F	516	533	4110	4180
61.2	G	180	172	2930	3250
41.8	H	132	116	1610	1450
15.3	I	1320	1300	4200	4160

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(h) S s - F 1 (斜め方向)

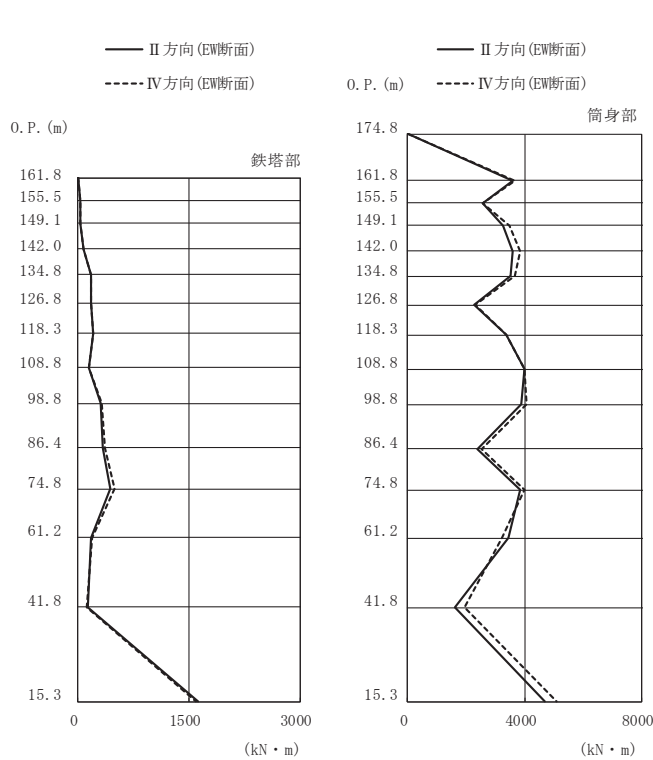
図 4-5(4) 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.3	2.1	3630	3480
155.5	A'	36.6	32.2	2550	2310
149.1	B	29.6	25.5	3370	3360
142.0	B'	61.0	54.8	3710	3730
134.8	C	143	124	3600	3420
126.8	C'	157	147	2300	2440
118.3	D	156	146	3380	2960
108.8	D'	145	145	3950	3560
98.8	E	262	257	3990	3390
86.4	E'	316	312	2390	2260
74.8	F	383	358	3850	3760
61.2	G	172	166	3310	3370
41.8	H	121	115	1670	1550
15.3	I	1620	1520	4820	4450

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(i) S_s-F 2 (直交方向)

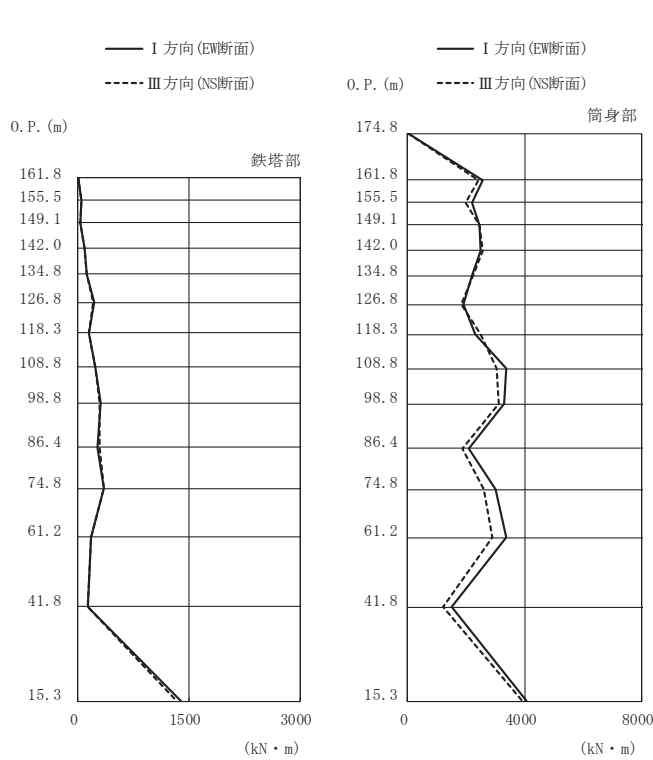


高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.0	2.4	3580	3660
155.5	A'	37.7	37.5	2550	2580
149.1	B	37.7	39.5	3270	3470
142.0	B'	71.8	73.2	3580	3840
134.8	C	171	184	3520	3660
126.8	C'	173	175	2270	2310
118.3	D	202	200	3360	3380
108.8	D'	153	154	3990	3980
98.8	E	310	327	3900	4060
86.4	E'	342	372	2370	2540
74.8	F	442	495	3840	3990
61.2	G	172	188	3430	3240
41.8	H	131	115	1610	1930
15.3	I	1630	1600	4710	5080

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(j) S_s-F 2 (斜め方向)

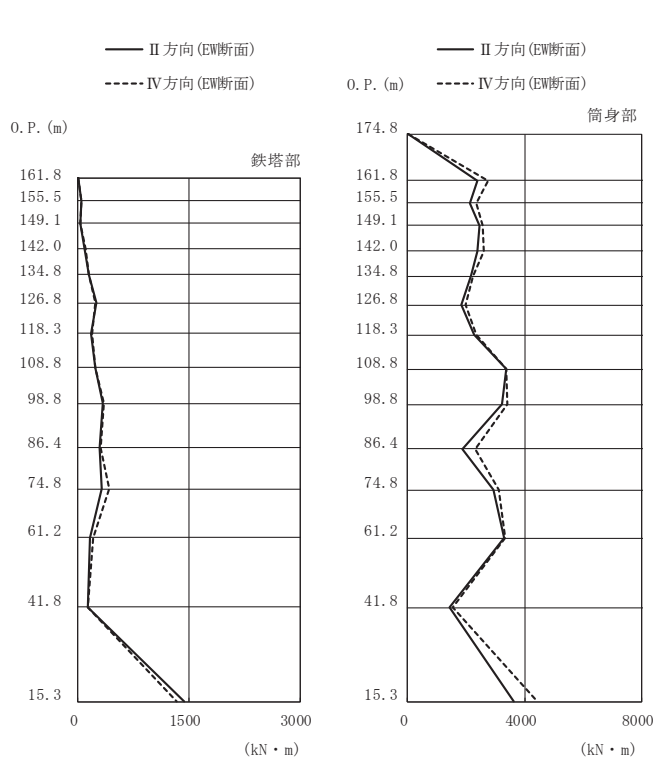
図 4-5(5) 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S_s)



(k) S s - F 3 (直交方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.0	1.7	2560	2430
155.5	A'	48.9	52.4	2200	1970
149.1	B	31.7	31.9	2470	2470
142.0	B'	93.2	94.0	2500	2550
134.8	C	125	118	2200	2230
126.8	C'	225	213	1920	1830
118.3	D	152	143	2310	2510
108.8	D'	231	242	3380	3040
98.8	E	311	293	3300	3130
86.4	E'	268	292	2100	1860
74.8	F	348	356	3020	2620
61.2	G	178	178	3370	2890
41.8	H	139	134	1490	1230
15.3	I	1390	1330	4060	3920

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

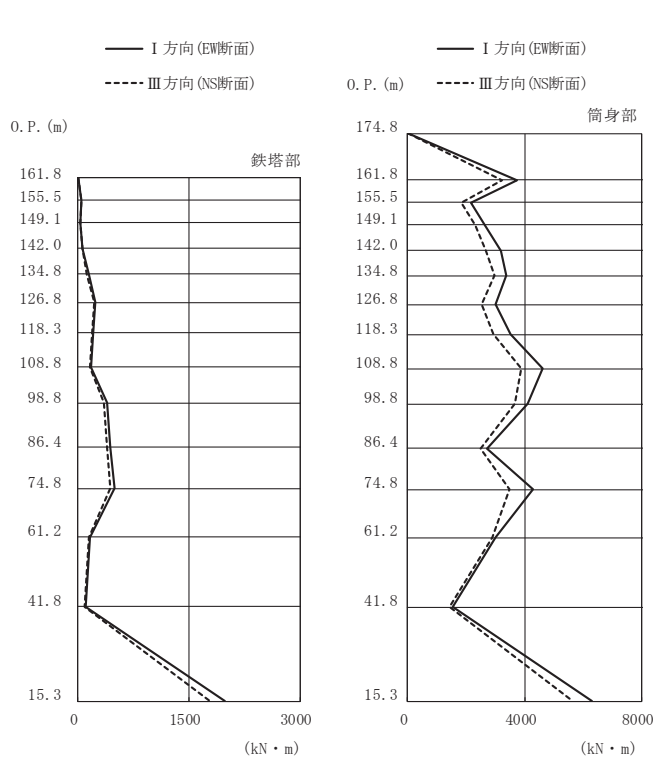


(l) S s - F 3 (斜め方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.4	2.0	2380	2760
155.5	A'	52.4	51.5	2120	2350
149.1	B	36.8	37.4	2440	2570
142.0	B'	94.8	99.9	2380	2620
134.8	C	148	152	2180	2240
126.8	C'	243	241	1840	1970
118.3	D	181	194	2280	2350
108.8	D'	233	241	3370	3380
98.8	E	343	355	3220	3410
86.4	E'	295	315	1880	2310
74.8	F	326	428	2920	3100
61.2	G	164	206	3290	3320
41.8	H	134	138	1430	1530
15.3	I	1430	1330	3620	4440

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

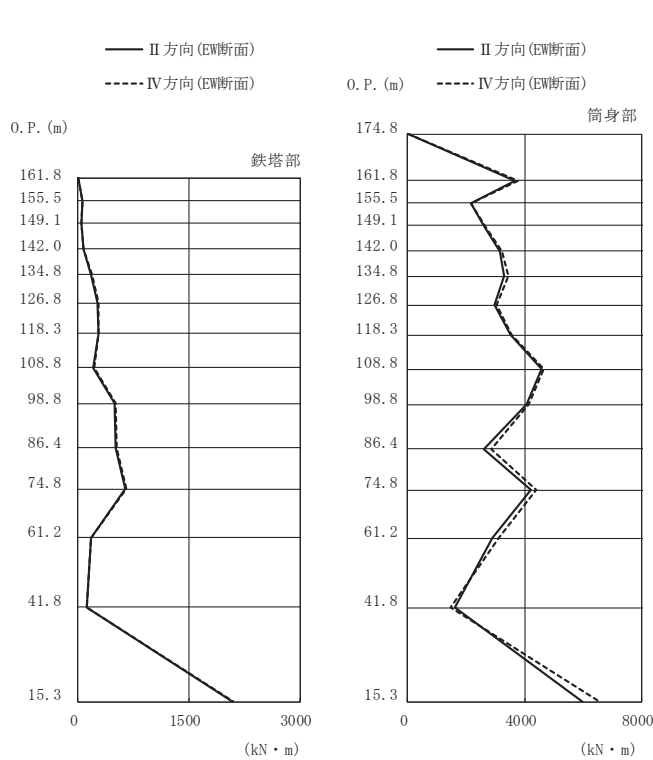
図 4-5(6) 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s)



(m) S s - N 1 (直交方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	3.1	2.6	3740	3210
155.5	A'	52.2	45.6	2170	1840
149.1	B	38.3	34.7	2640	2320
142.0	B'	66.4	67.6	3180	2670
134.8	C	148	125	3380	2960
126.8	C'	242	218	3010	2530
118.3	D	208	187	3530	2920
108.8	D'	182	167	4630	3900
98.8	E	399	358	4110	3670
86.4	E'	438	392	2730	2500
74.8	F	491	443	4290	3470
61.2	G	167	151	3020	2890
41.8	H	109	93.6	1560	1450
15.3	I	1990	1790	6290	5660

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

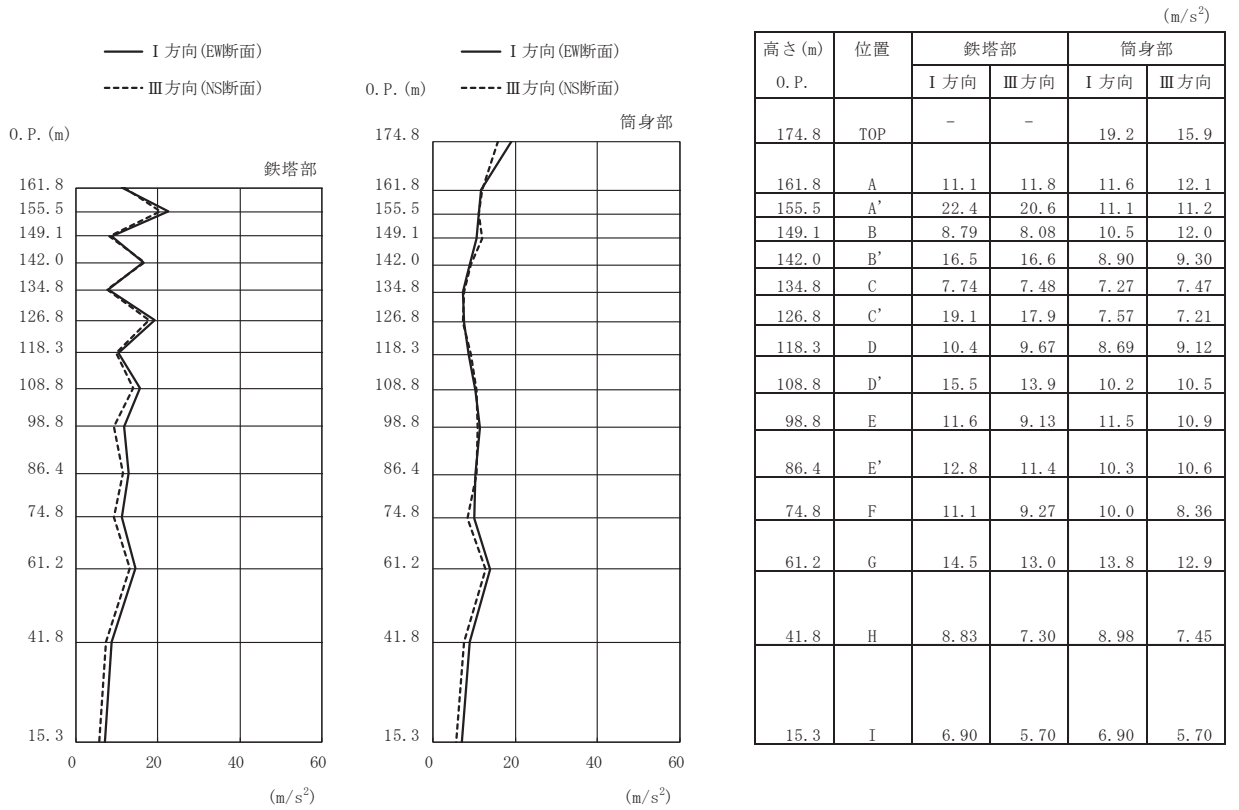


(n) S s - N 1 (斜め方向)

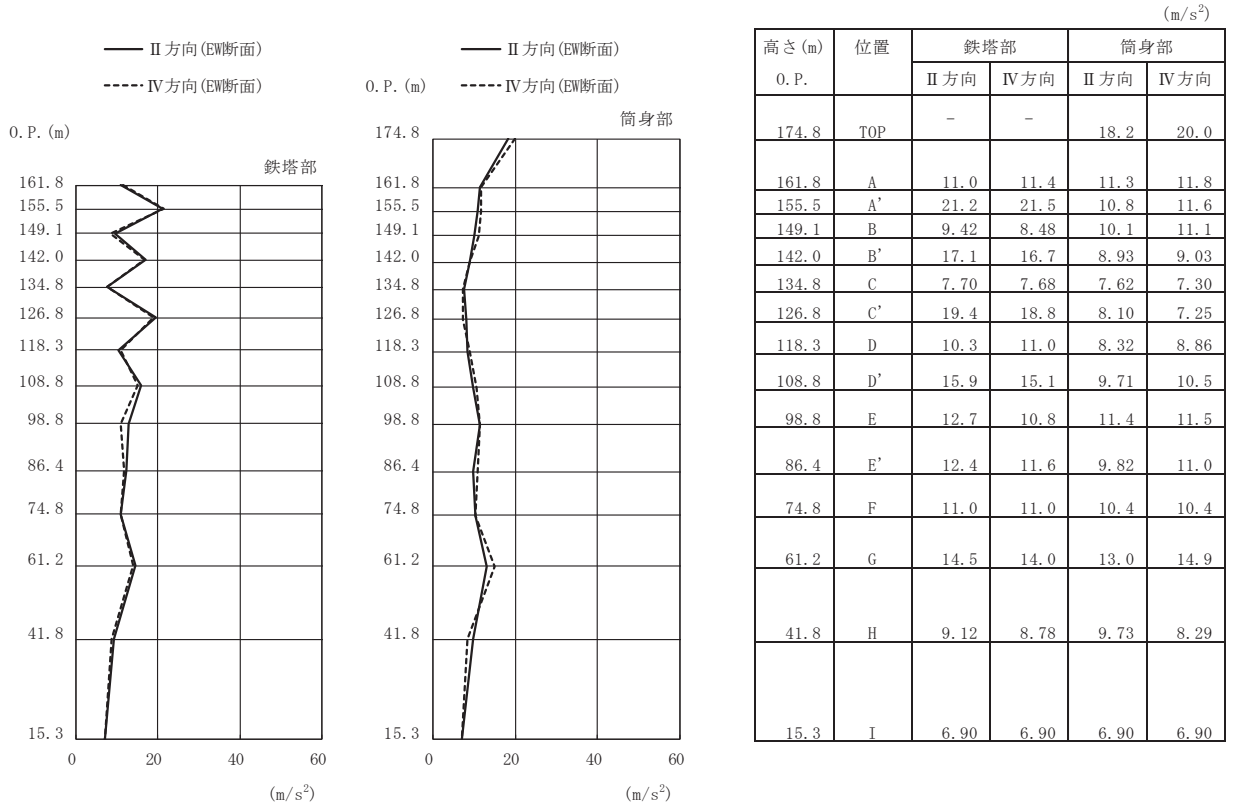
高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	4.3	3.3	3680	3790
155.5	A'	54.9	55.6	2180	2150
149.1	B	47.4	49.6	2620	2650
142.0	B'	73.7	74.9	3140	3210
134.8	C	183	189	3300	3440
126.8	C'	269	277	2960	3040
118.3	D	281	285	3510	3560
108.8	D'	210	214	4580	4670
98.8	E	500	513	4080	4140
86.4	E'	504	530	2610	2860
74.8	F	634	659	4230	4390
61.2	G	179	184	2900	3130
41.8	H	120	114	1600	1470
15.3	I	2090	2100	5970	6580

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

図 4-5(7) 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s)

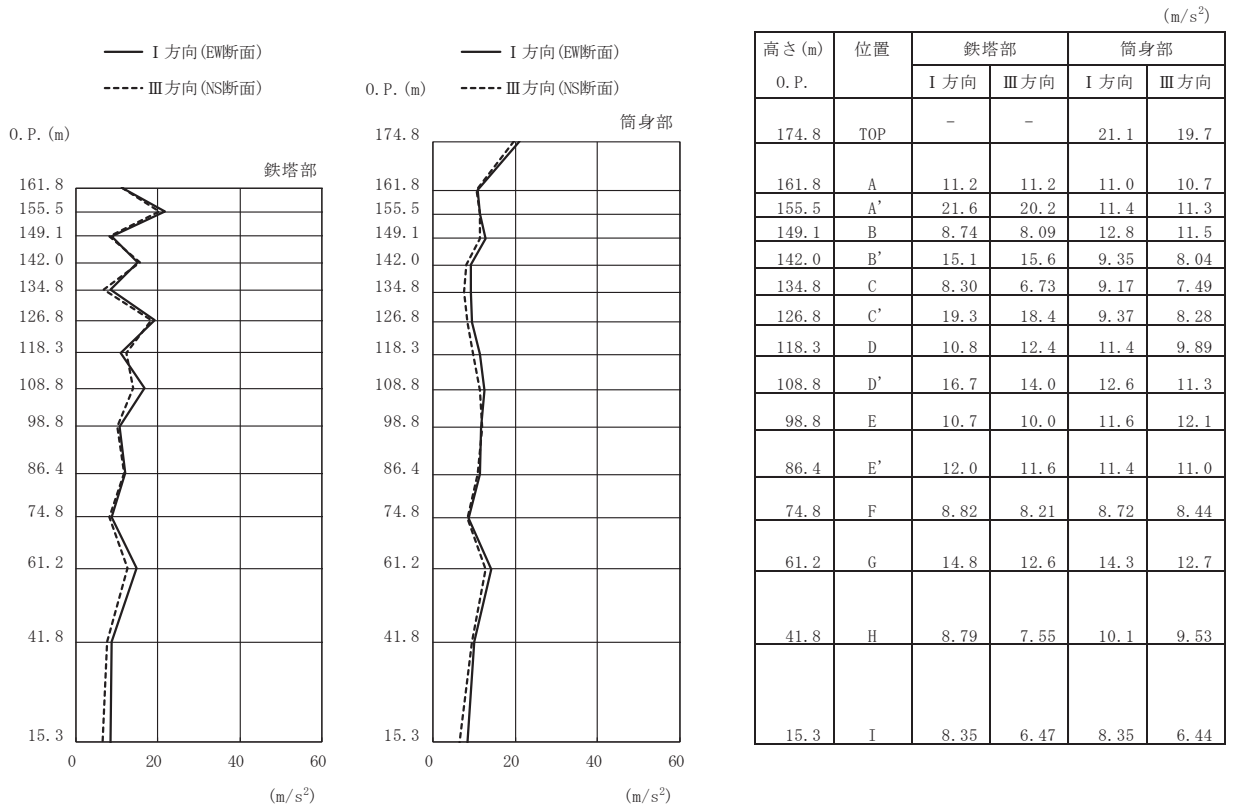


(a) S d - D 1 (直交方向)

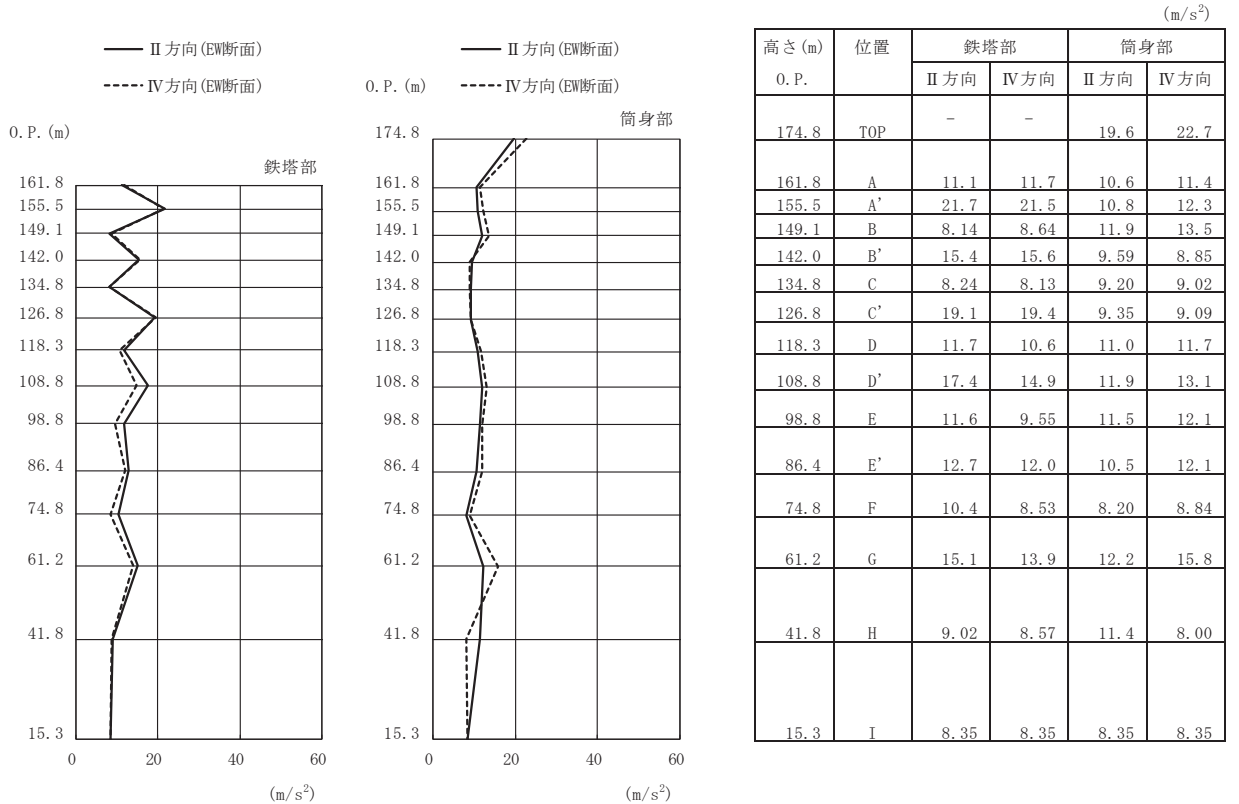


(b) S d - D 1 (斜め方向)

図 4-6(1) 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d)

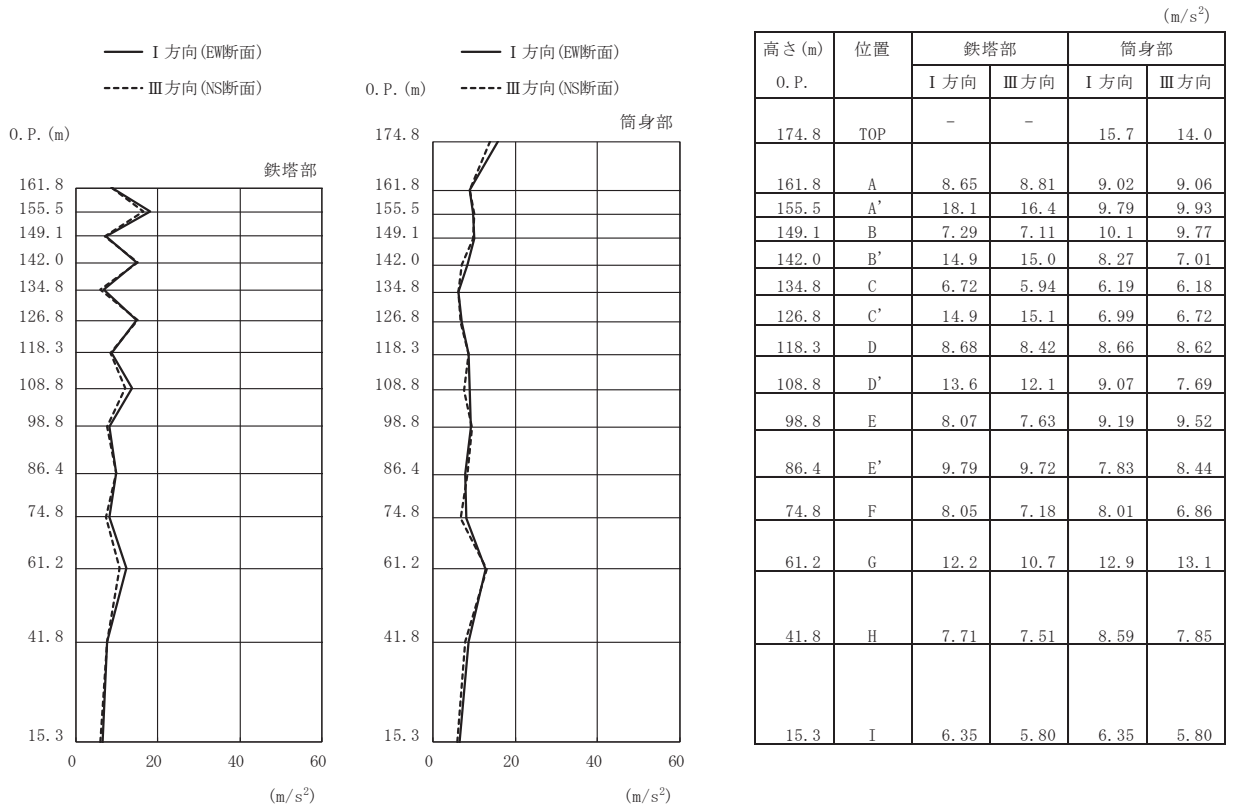


(c) S d - D 2 (直交方向)

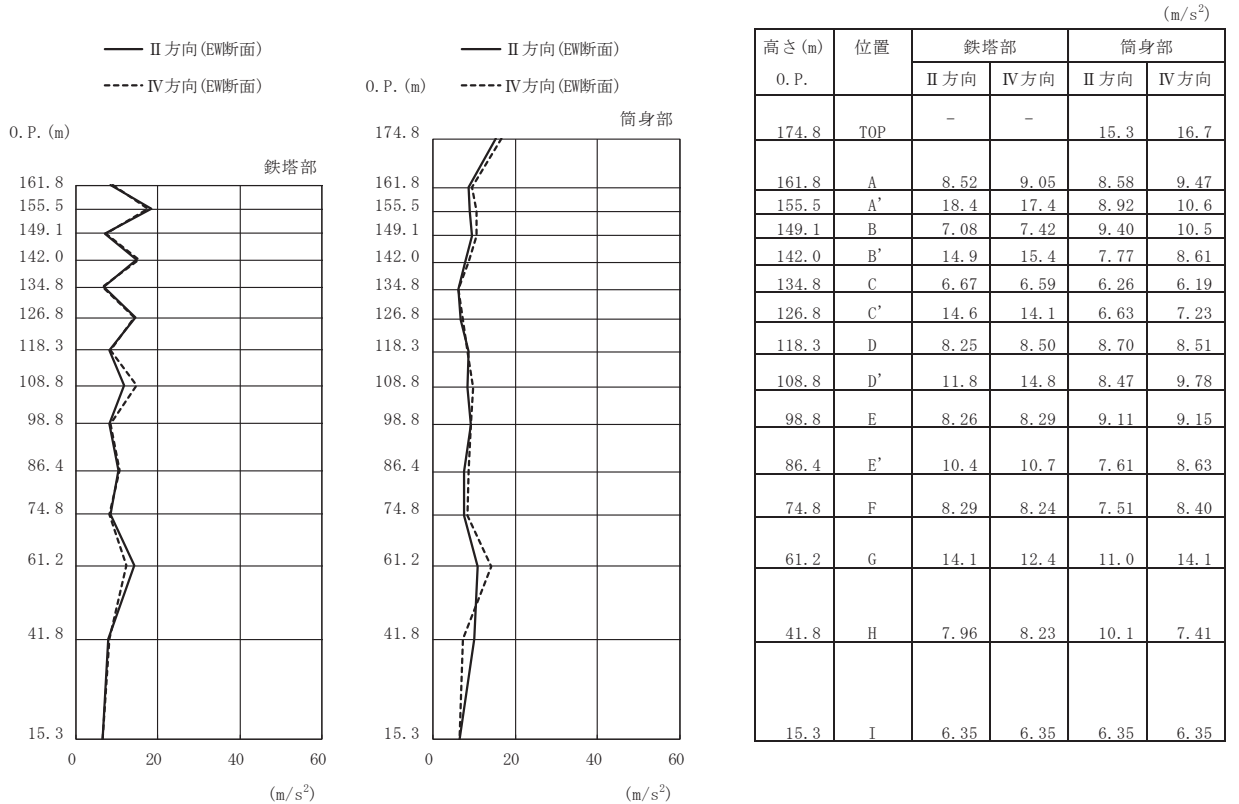


(d) S d - D 2 (斜め方向)

図 4-6(2) 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d)

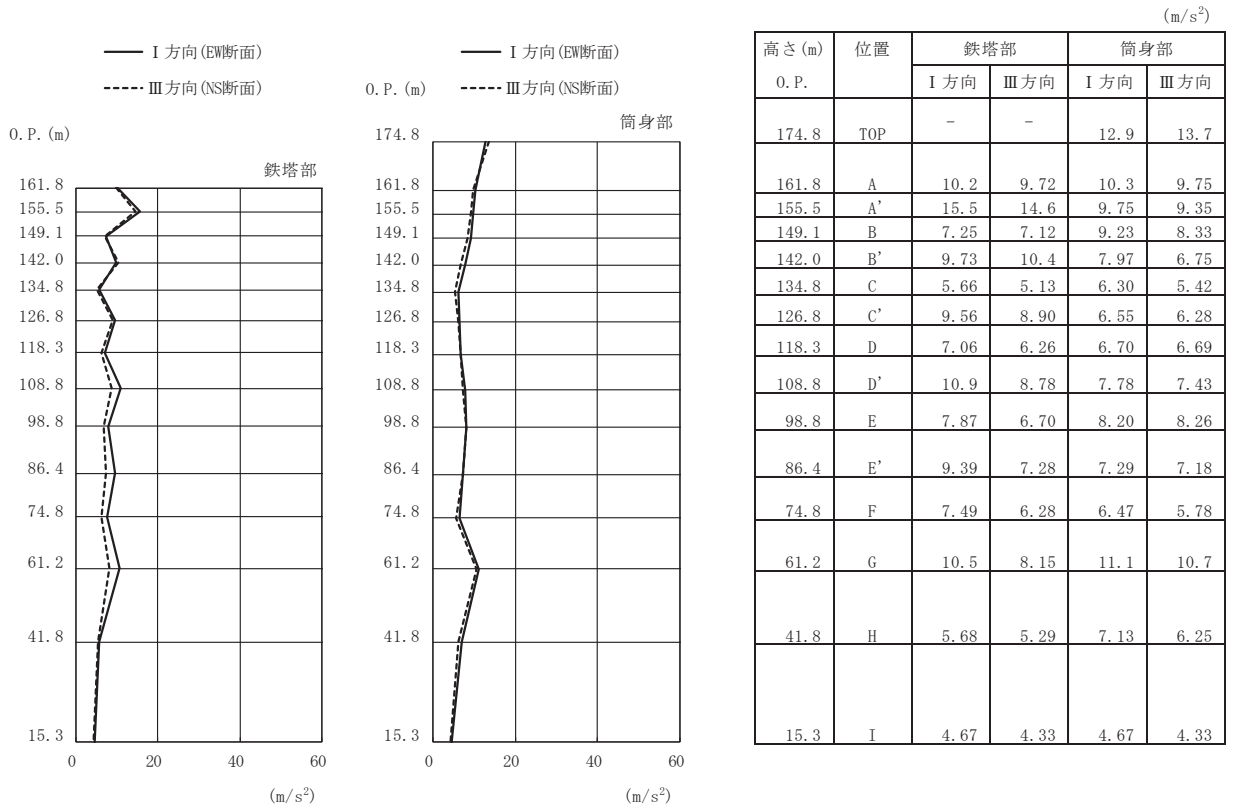


(e) S d - D 3 (直交方向)

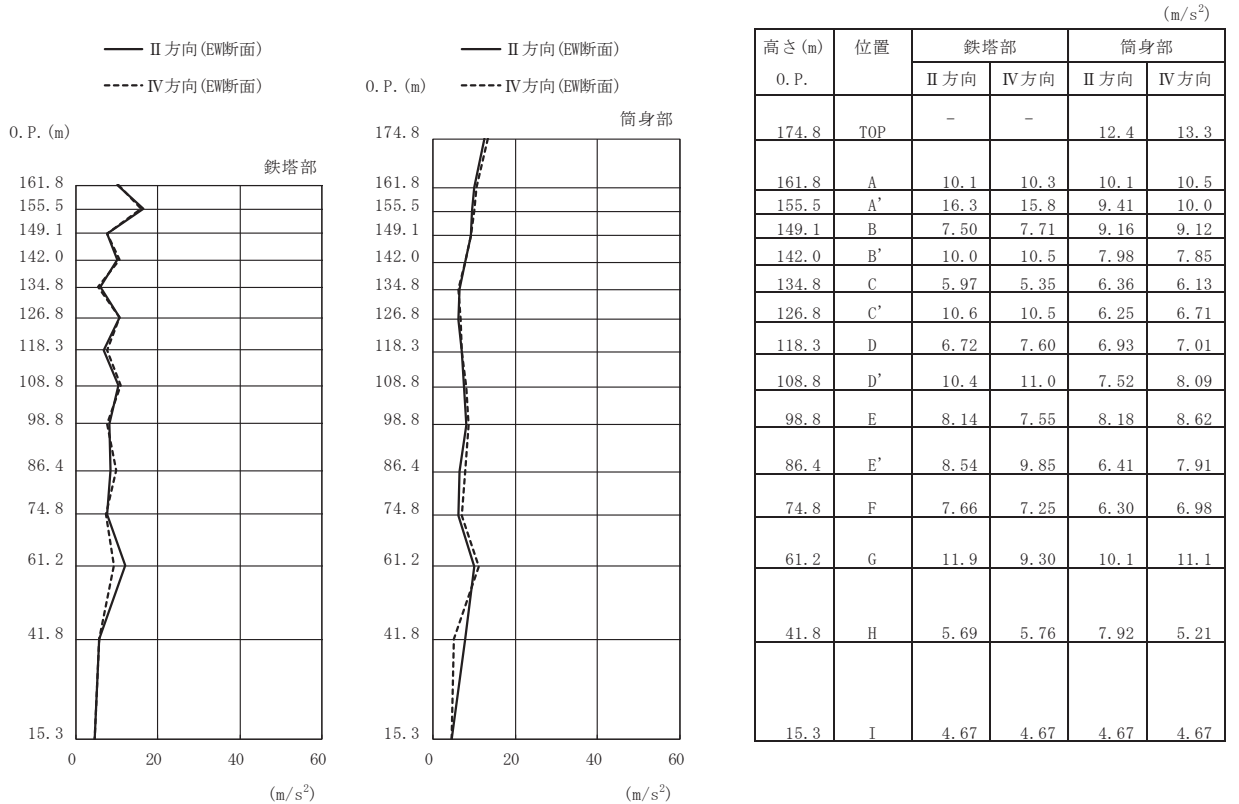


(f) S d - D 3 (斜め方向)

図 4-6(3) 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d)

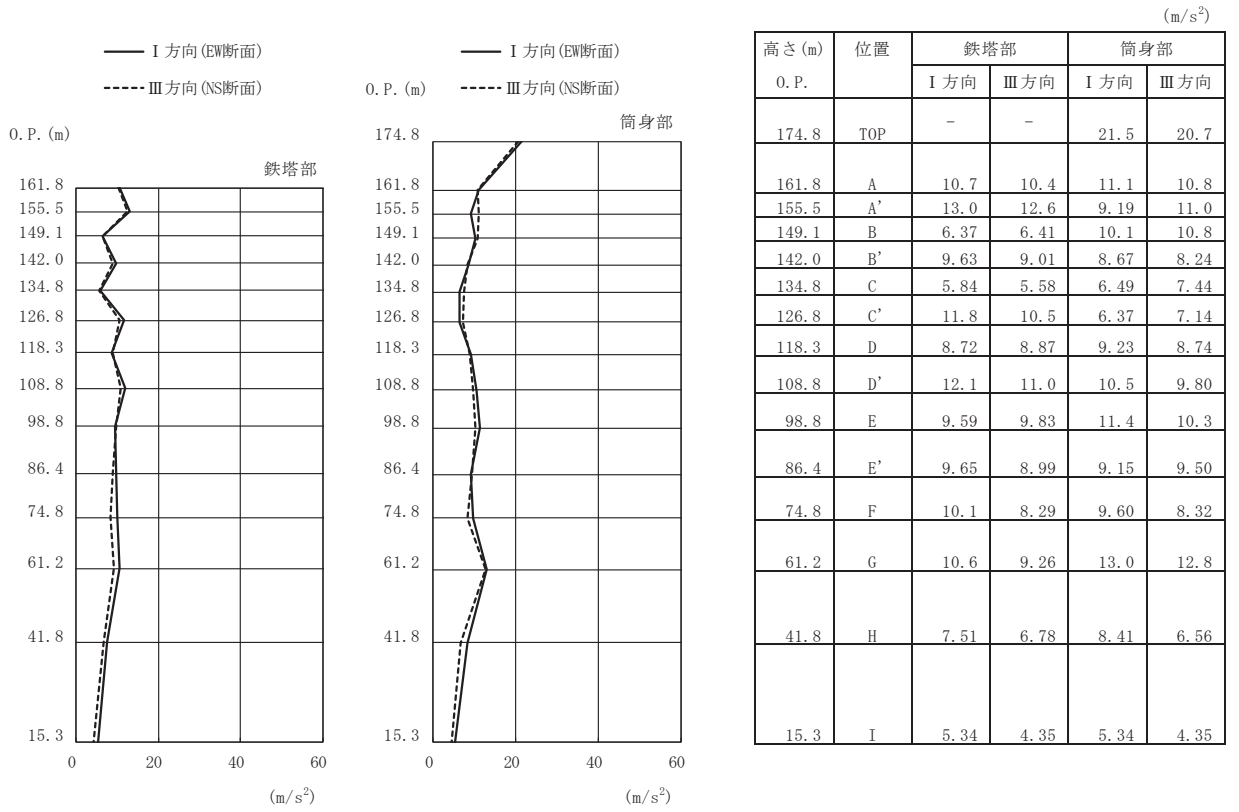


(g) S d - F 1 (直交方向)

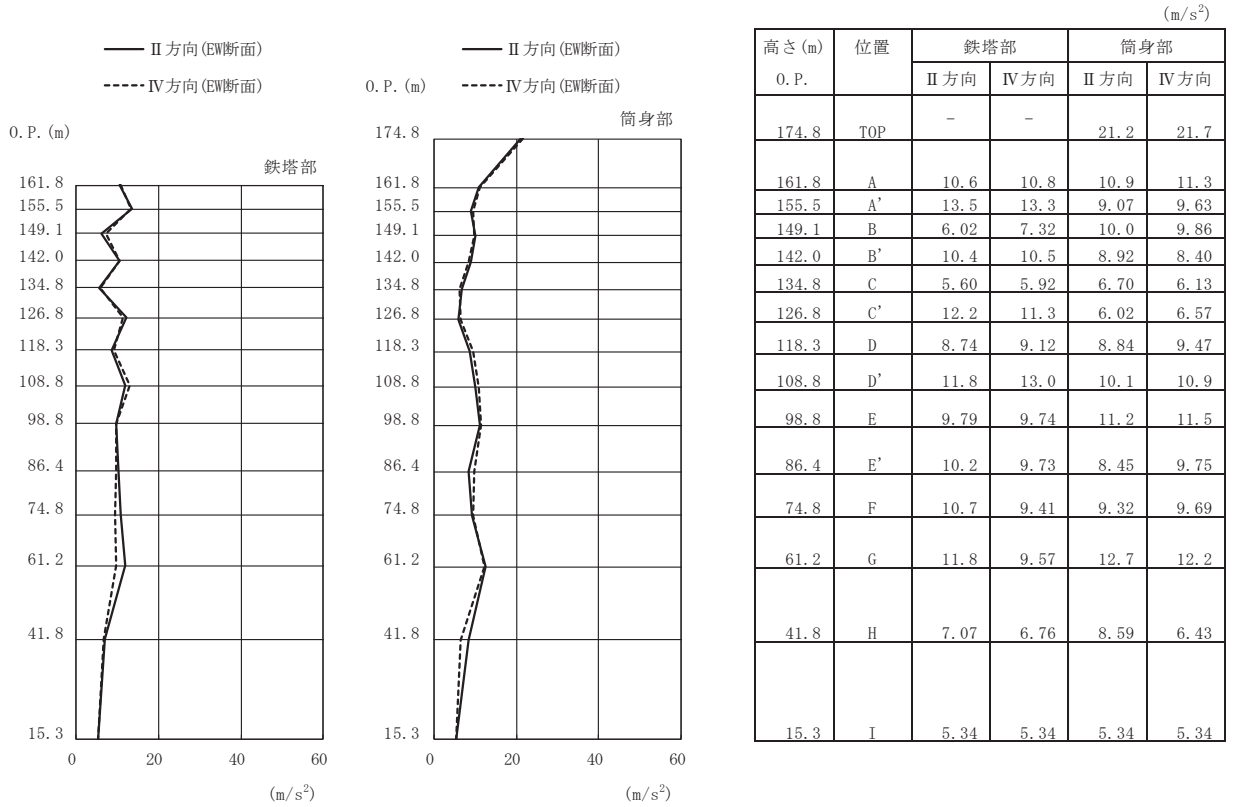


(h) S d - F 1 (斜め方向)

図 4-6(4) 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d)

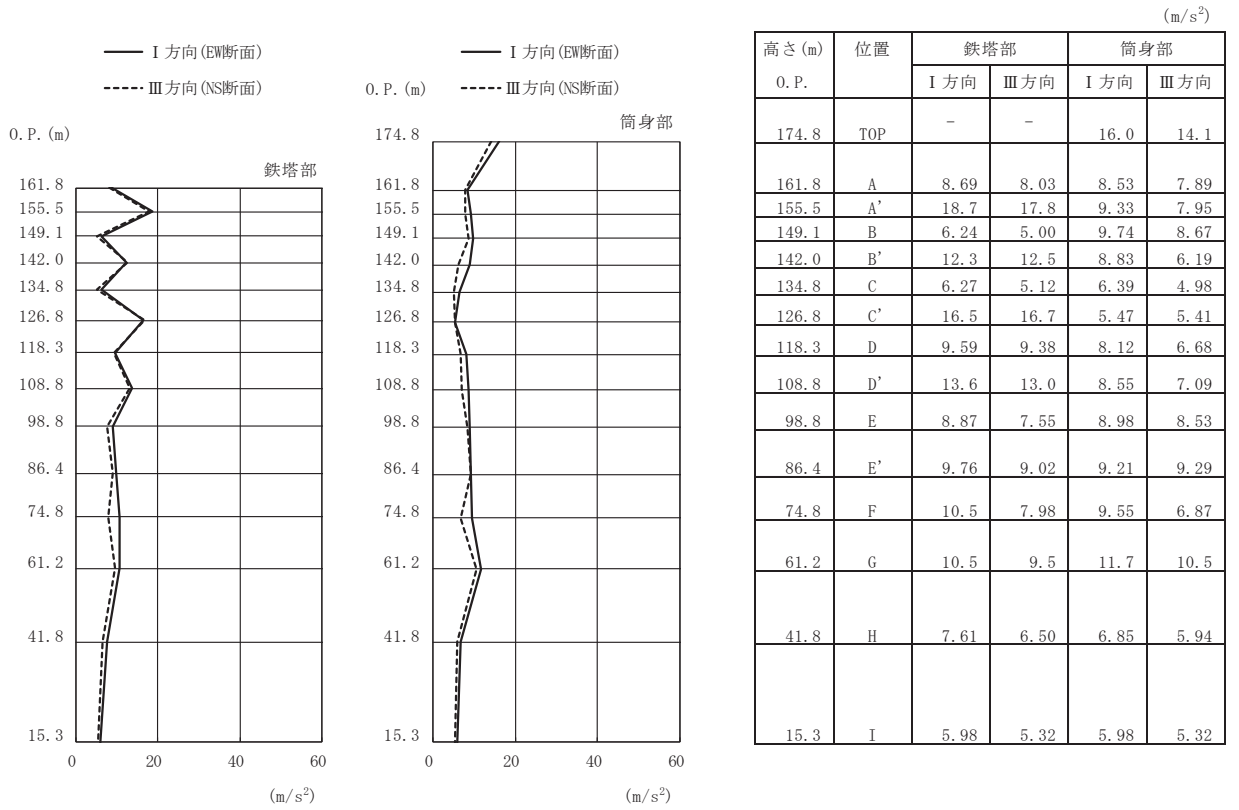


(i) S d - F 2 (直交方向)

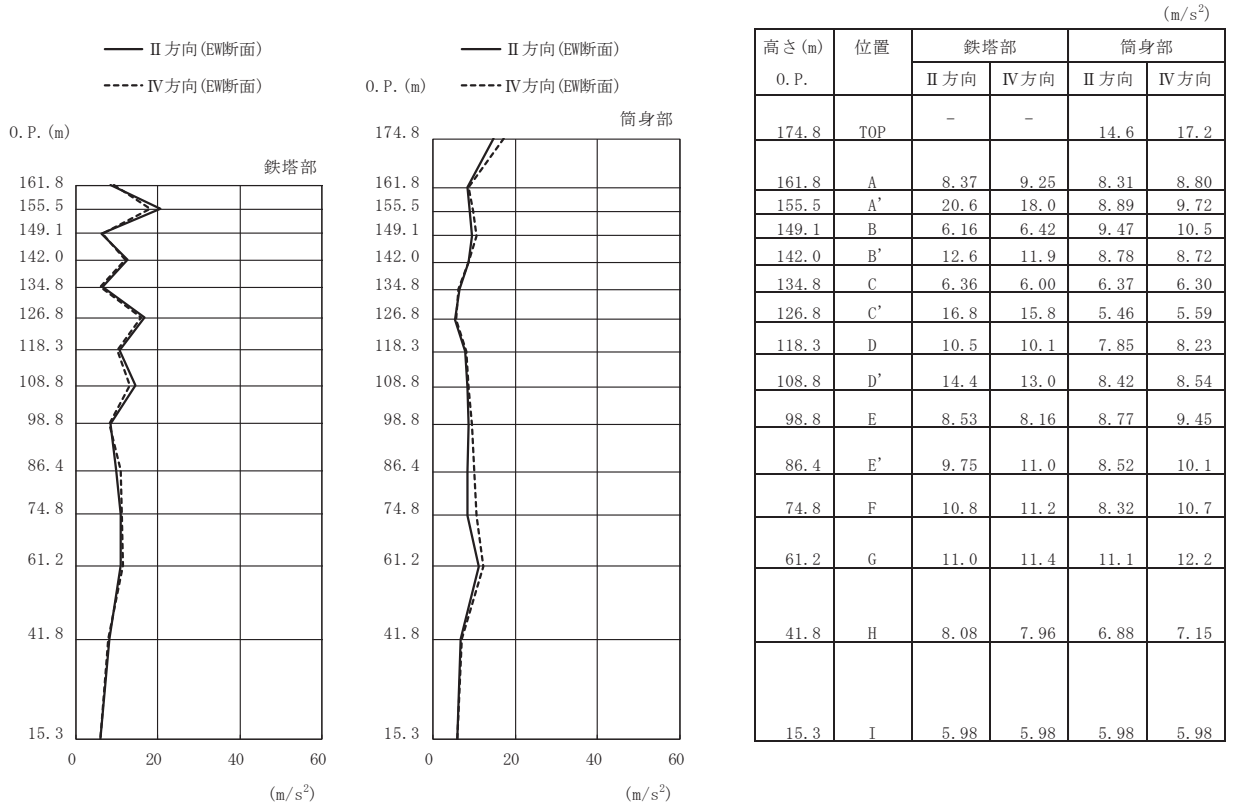


(j) S d - F 2 (斜め方向)

図 4-6(5) 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d)

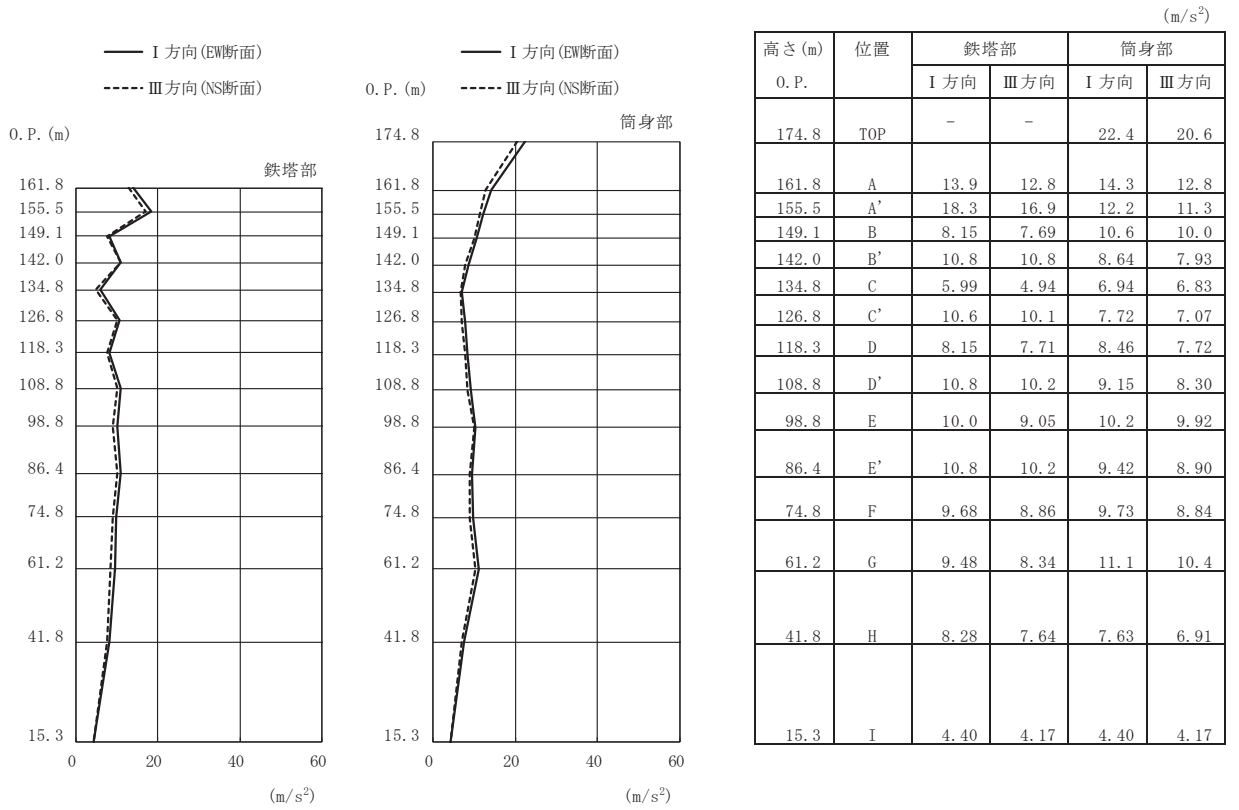


(k) S d - F 3 (直交方向)

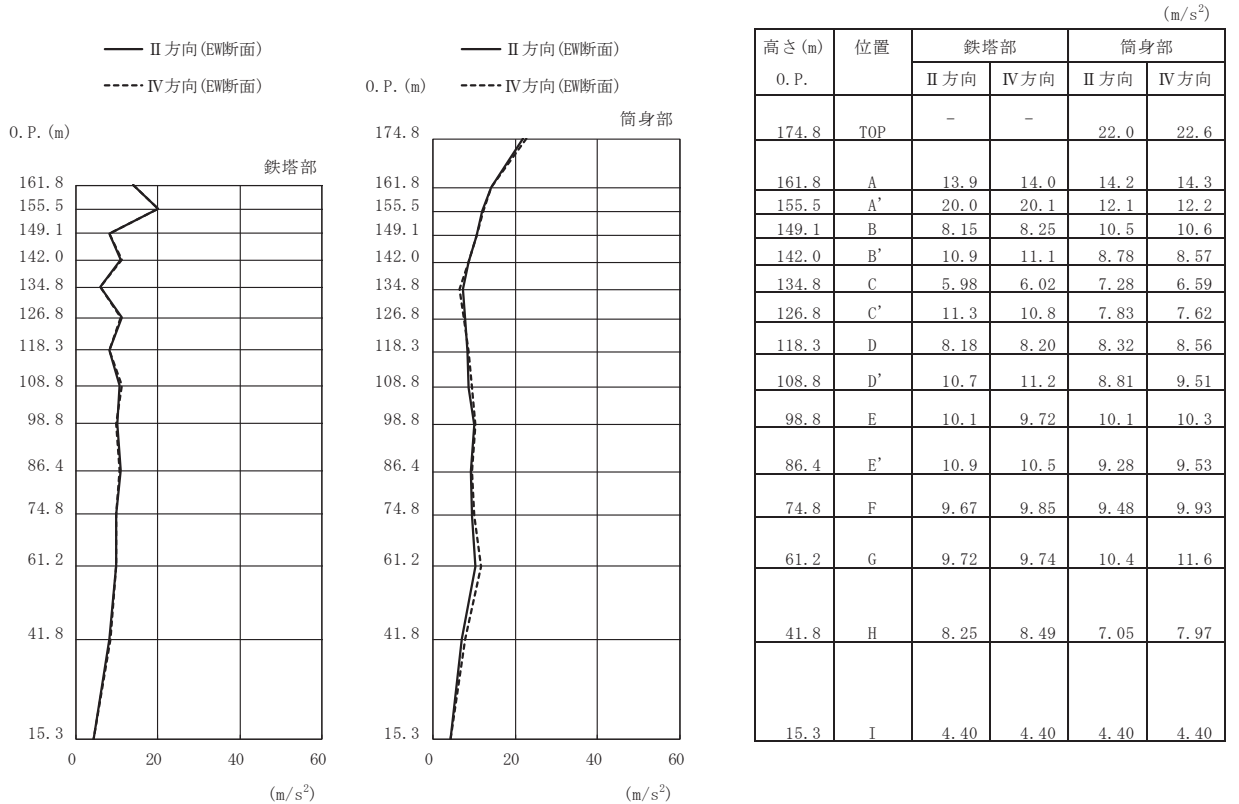


(l) S d - F 3 (斜め方向)

図 4-6(6) 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d)

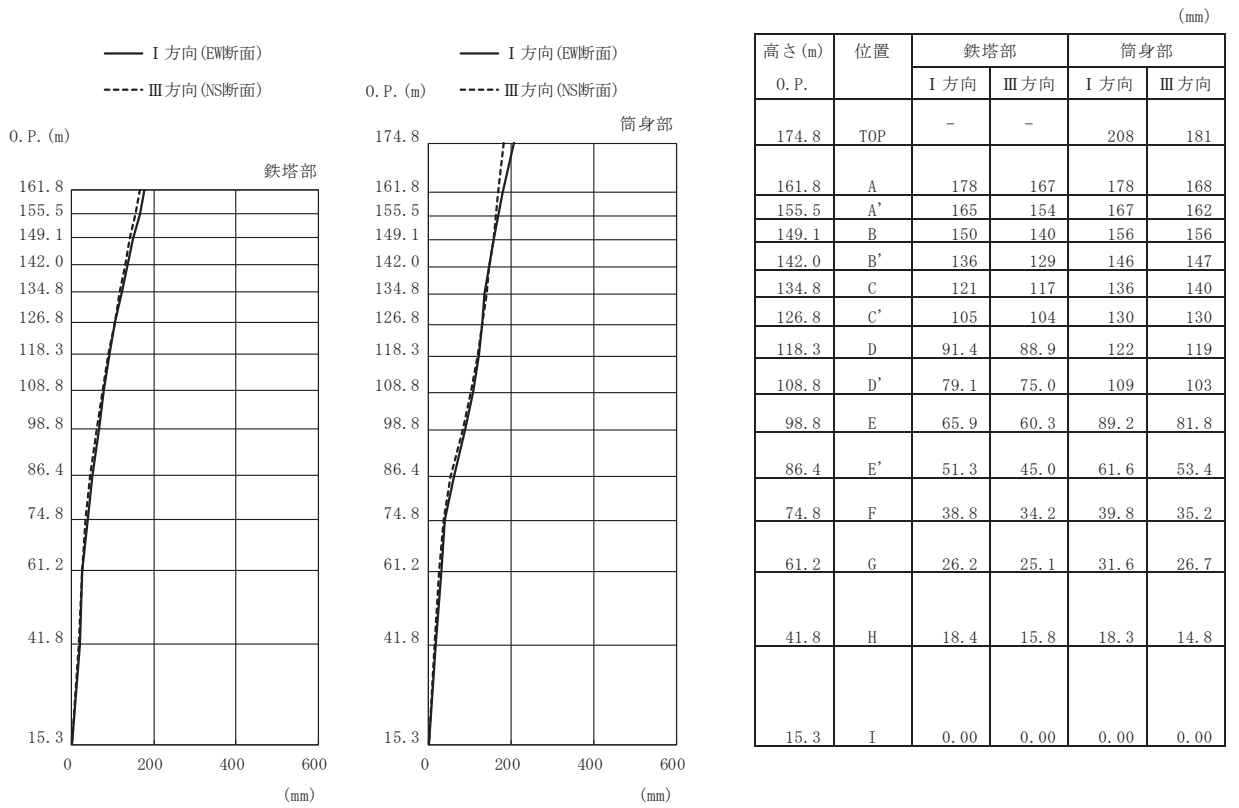


(m) S d - N 1 (直交方向)

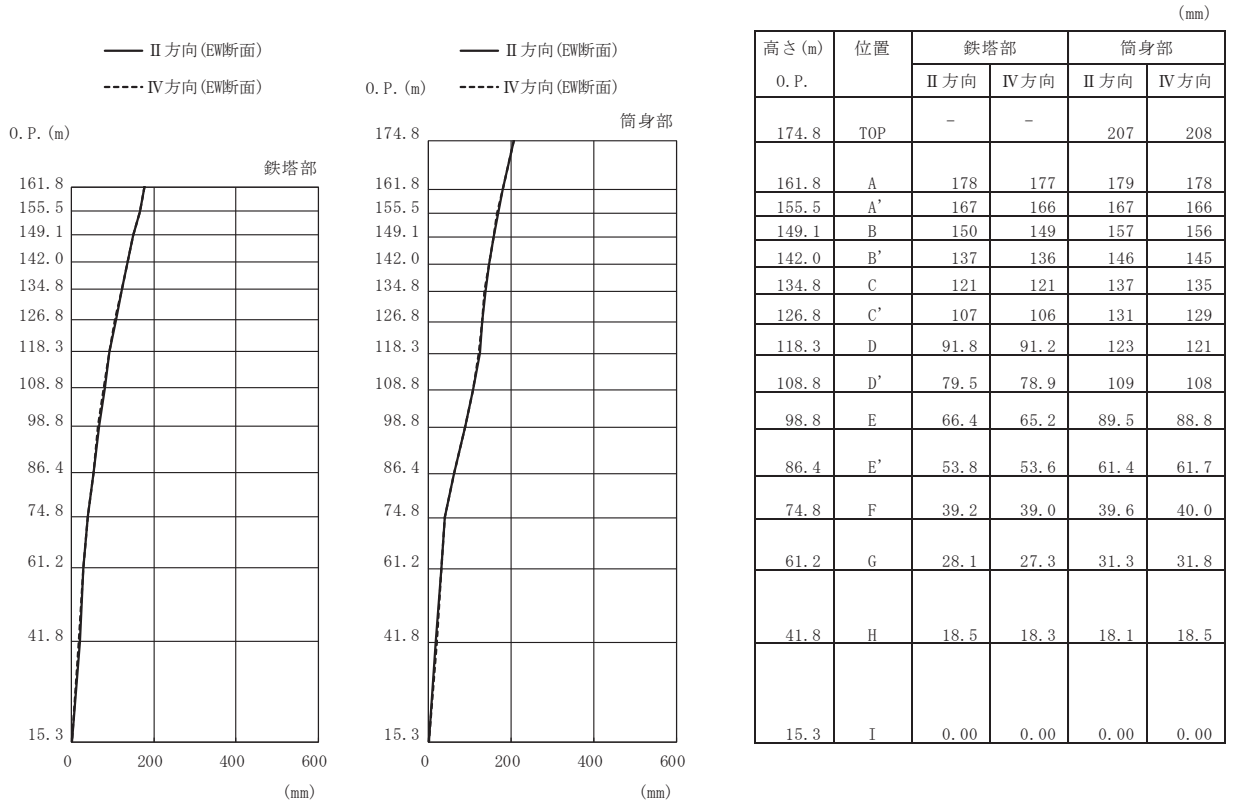


(n) S d - N 1 (斜め方向)

図 4-6(7) 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d)

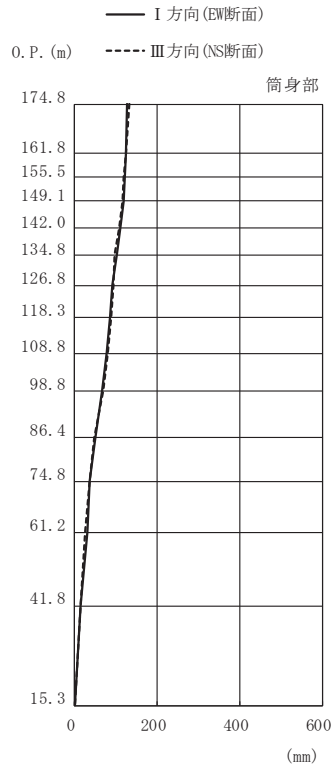
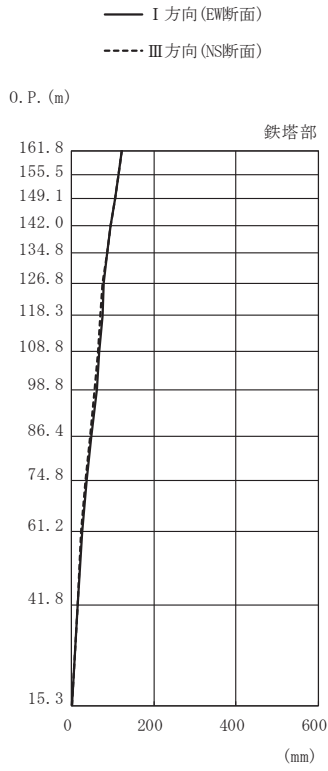


(a) S d - D 1 (直交方向)



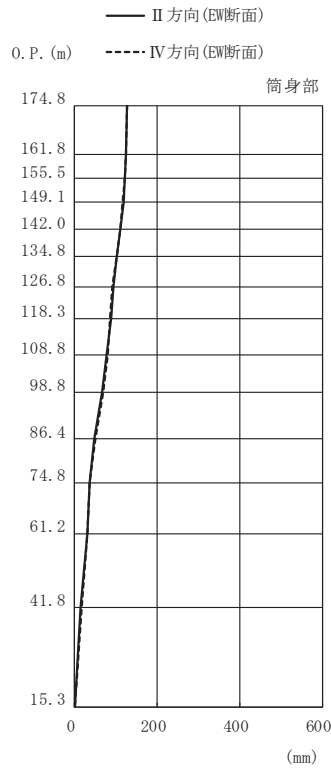
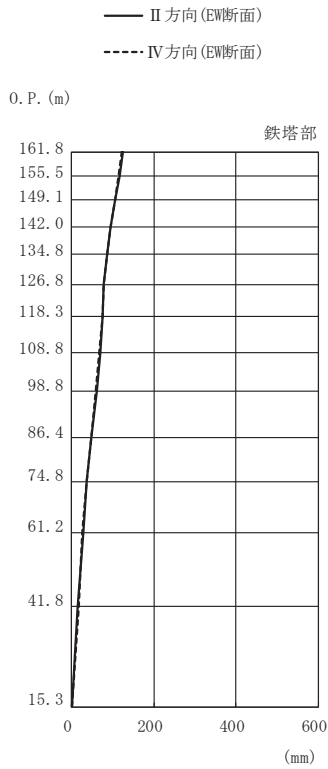
(b) S d - D 1 (斜め方向)

図 4-7(1) 最大応答変位 (弾性設計用地震動 S d)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
O.P.					
174.8	TOP	-	-	128	133
161.8	A	123	122	123	123
155.5	A'	115	114	121	119
149.1	B	105	104	118	115
142.0	B'	95.5	95.3	111	107
134.8	C	85.2	85.2	102	97.9
126.8	C'	78.4	75.4	92.3	92.7
118.3	D	74.0	70.6	87.1	88.4
108.8	D'	67.9	64.3	78.8	81.0
98.8	E	59.8	56.0	67.3	68.4
86.4	E'	47.7	44.7	48.9	47.2
74.8	F	36.7	34.5	36.9	35.0
61.2	G	25.5	23.7	29.6	26.2
41.8	H	15.6	14.7	15.3	13.8
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

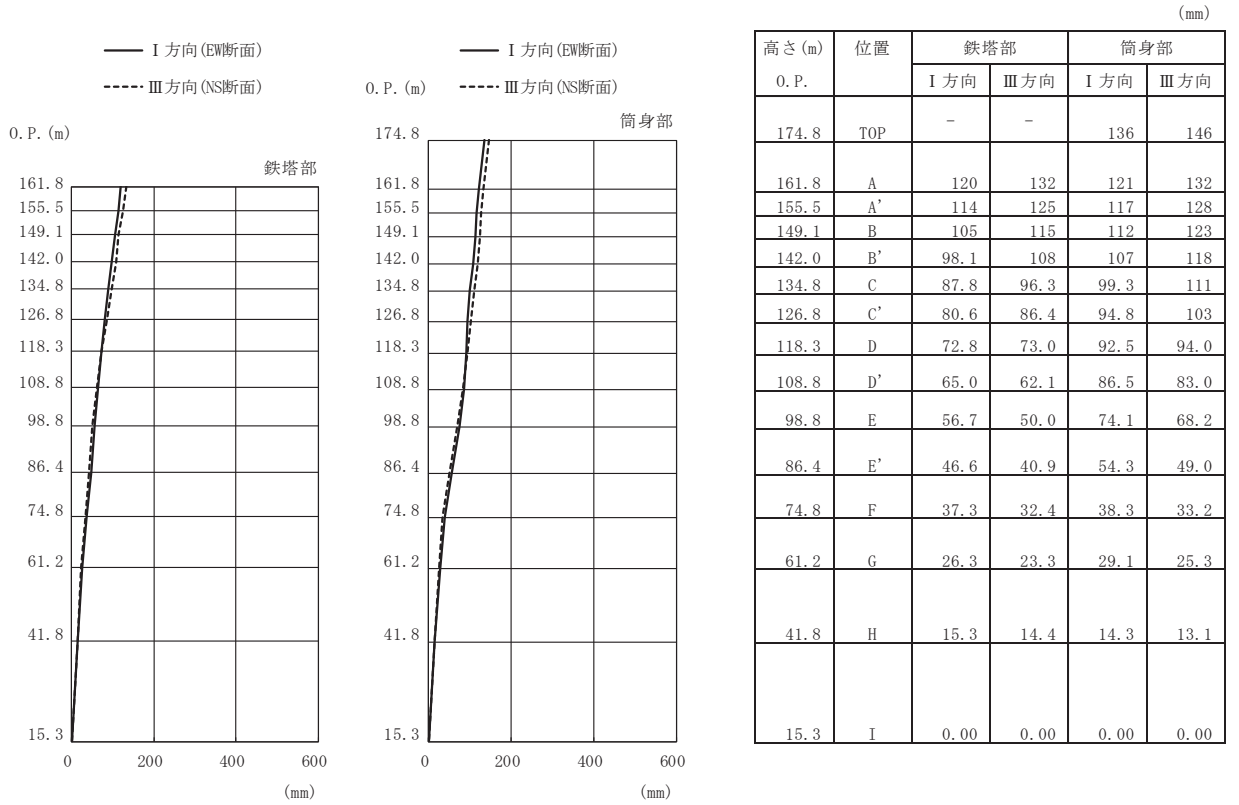
(c) S d - D 2 (直交方向)



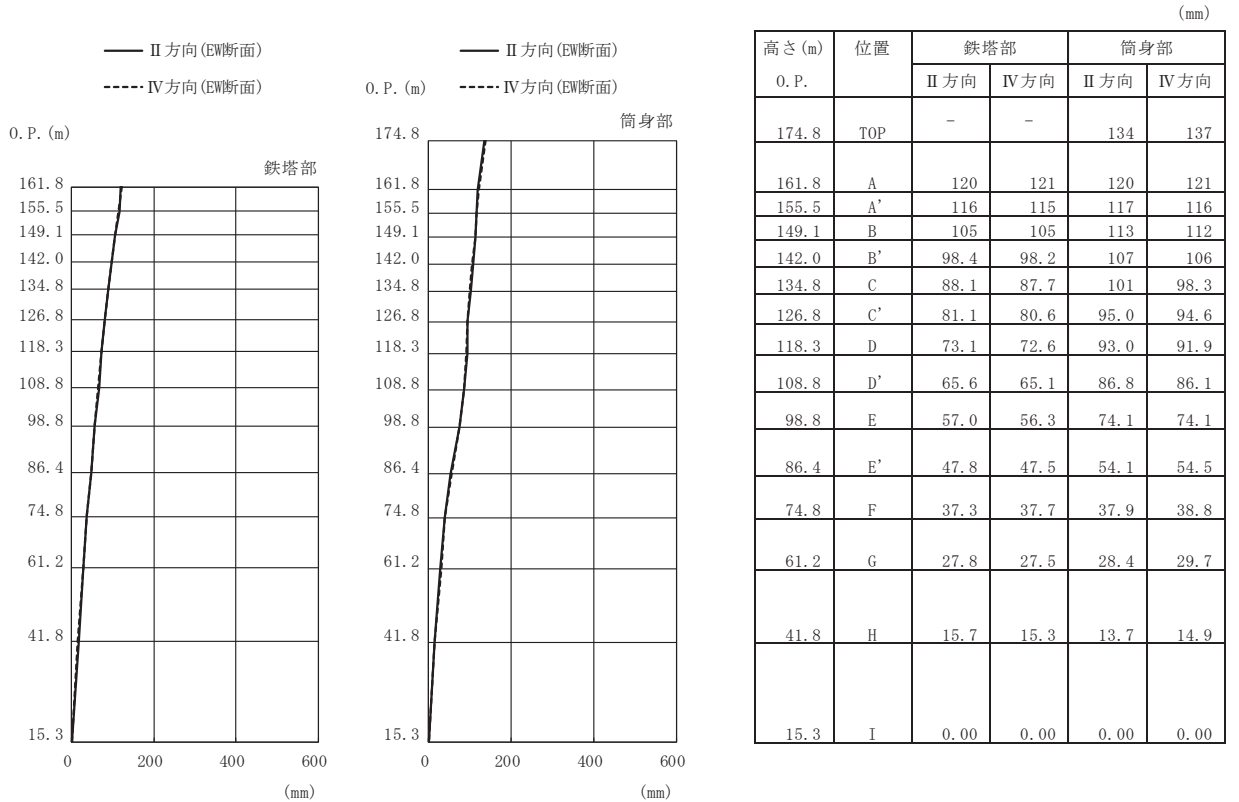
高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
O.P.					
174.8	TOP	-	-	128	127
161.8	A	124	123	124	123
155.5	A'	116	115	122	121
149.1	B	105	105	118	117
142.0	B'	95.4	95.3	111	110
134.8	C	85.3	85.3	102	101
126.8	C'	78.5	78.7	93.5	91.0
118.3	D	74.0	73.8	88.0	86.2
108.8	D'	68.5	67.9	78.5	79.2
98.8	E	60.3	59.1	66.4	68.2
86.4	E'	48.5	48.1	48.7	49.1
74.8	F	36.9	36.4	36.9	36.9
61.2	G	27.6	25.9	29.5	29.8
41.8	H	15.4	15.9	14.3	16.0
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

(d) S d - D 2 (斜め方向)

図 4-7(2) 最大応答変位 (弾性設計用地震動 S d)

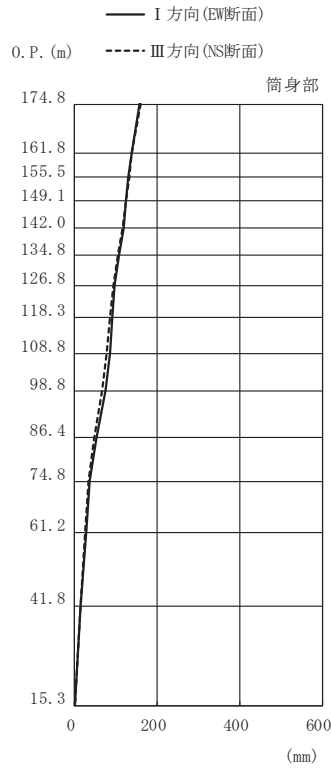
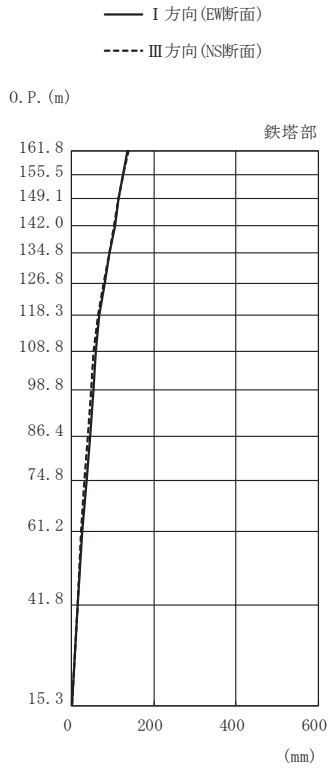


(e) S d - D 3 (直交方向)



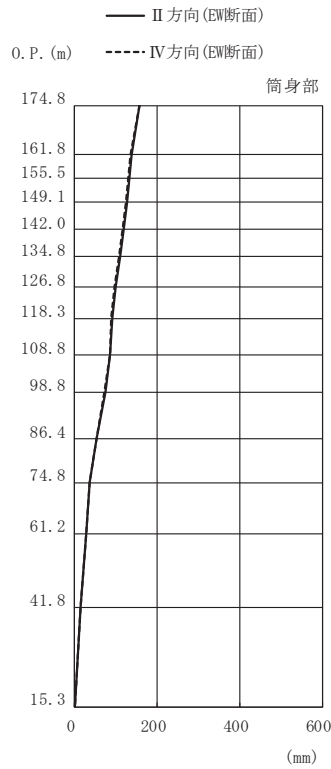
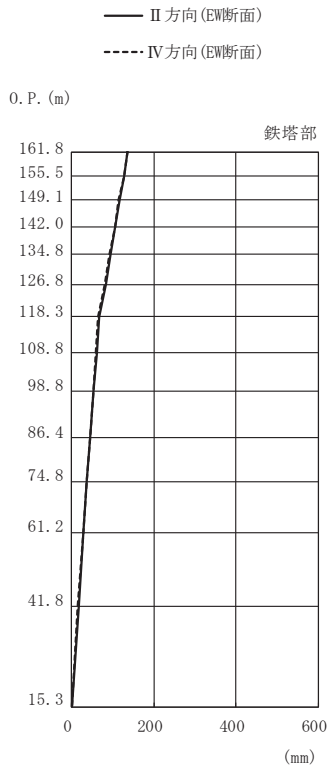
(f) S d - D 3 (斜め方向)

図 4-7(3) 最大応答変位 (弾性設計用地震動 S d)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
O. P.					
174.8	TOP	-	-	156	160
161.8	A	136	139	137	139
155.5	A'	126	126	131	132
149.1	B	115	113	125	124
142.0	B'	105	102	118	115
134.8	C	92.9	90.8	109	104
126.8	C'	80.2	78.9	97.3	94.8
118.3	D	65.5	65.2	90.3	84.5
108.8	D'	59.4	53.3	85.7	77.0
98.8	E	52.9	46.5	73.6	66.3
86.4	E'	44.4	38.8	52.9	47.6
74.8	F	36.3	31.8	37.2	32.7
61.2	G	26.4	23.5	28.4	26.0
41.8	H	15.5	14.3	14.8	13.7
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

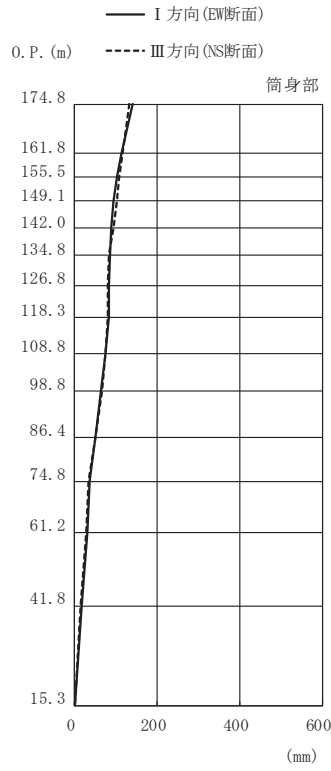
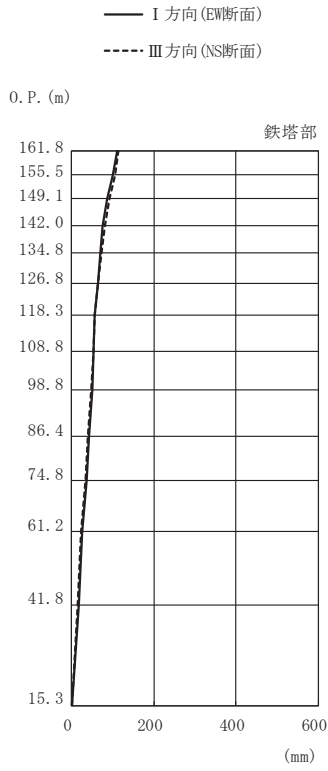
(g) S d - F 1 (直交方向)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
O. P.					
174.8	TOP	-	-	156	156
161.8	A	137	136	137	136
155.5	A'	128	127	132	130
149.1	B	116	115	127	124
142.0	B'	106	104	119	117
134.8	C	93.8	92.3	111	107
126.8	C'	82.5	81.2	98.9	95.7
118.3	D	66.1	65.0	91.4	89.2
108.8	D'	60.1	59.5	86.3	85.0
98.8	E	53.4	52.5	73.8	73.4
86.4	E'	45.3	44.7	52.8	52.9
74.8	F	36.2	36.7	36.6	37.7
61.2	G	28.1	27.0	27.8	29.0
41.8	H	15.8	15.4	14.4	15.0
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

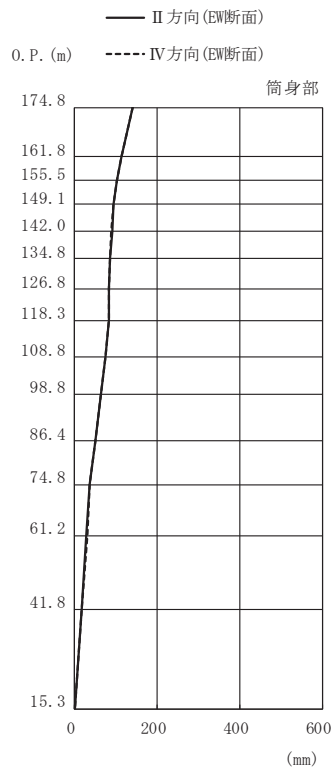
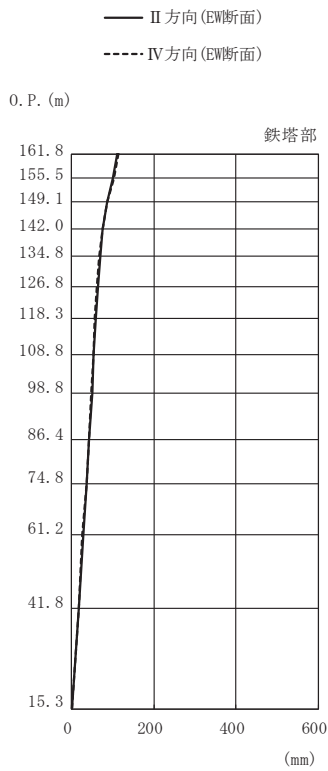
(h) S d - F 1 (斜め方向)

図 4-7(4) 最大応答変位 (弾性設計用地震動 S d)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
O.P.					
174.8	TOP	-	-	142	133
161.8	A	112	114	113	115
155.5	A'	100	104	103	108
149.1	B	86.6	92.1	93.6	102
142.0	B'	74.5	81.4	89.2	93.2
134.8	C	68.5	71.1	86.2	84.0
126.8	C'	62.9	62.8	83.4	80.5
118.3	D	56.7	56.6	82.3	80.3
108.8	D'	52.1	52.0	75.7	74.6
98.8	E	48.9	46.2	64.8	66.0
86.4	E'	42.3	39.2	49.6	49.8
74.8	F	35.2	32.2	36.1	32.9
61.2	G	25.8	23.3	30.5	27.8
41.8	H	17.3	15.5	16.6	14.8
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

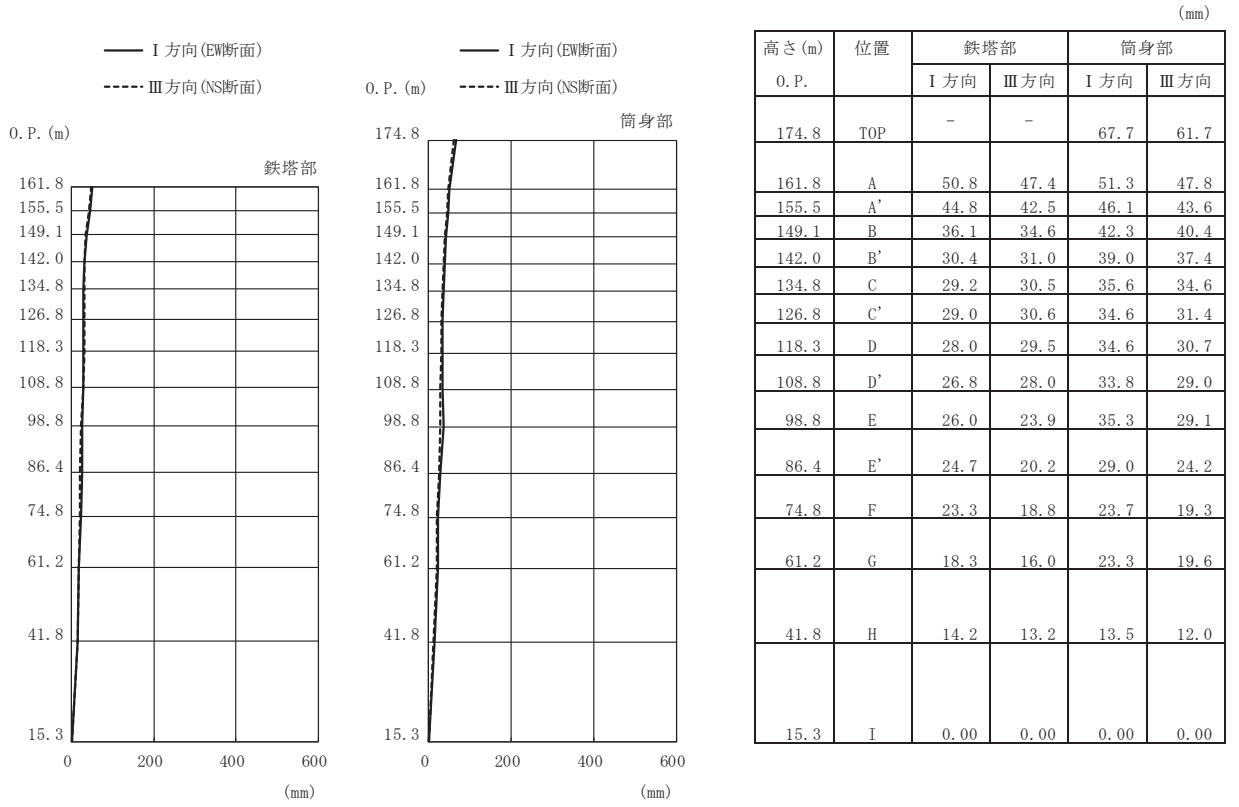
(i) S d - F 2 (直交方向)



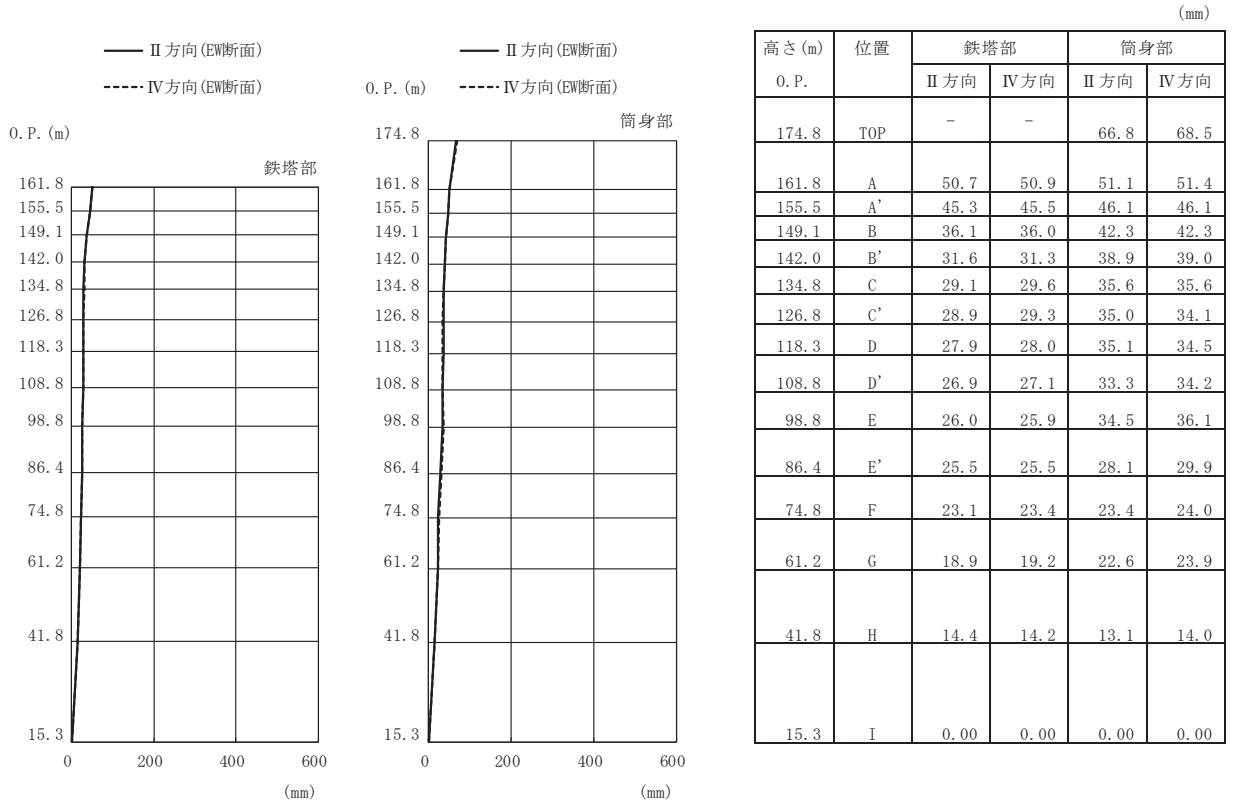
高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
O.P.					
174.8	TOP	-	-	141	142
161.8	A	112	113	113	113
155.5	A'	101	102	103	103
149.1	B	86.3	86.9	93.4	93.7
142.0	B'	75.2	75.4	90.3	88.1
134.8	C	69.4	67.7	87.1	85.2
126.8	C'	63.5	62.1	84.2	82.5
118.3	D	57.4	56.1	82.9	81.7
108.8	D'	52.4	52.1	76.0	75.4
98.8	E	48.9	48.7	65.0	64.8
86.4	E'	42.2	42.1	49.1	50.0
74.8	F	35.5	35.3	36.1	36.1
61.2	G	27.0	26.6	29.4	31.3
41.8	H	17.3	17.2	16.0	17.2
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

(j) S d - F 2 (斜め方向)

図 4-7(5) 最大応答変位 (弾性設計用地震動 S d)

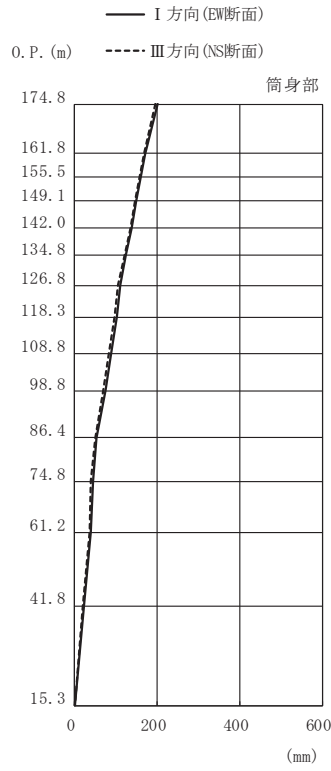
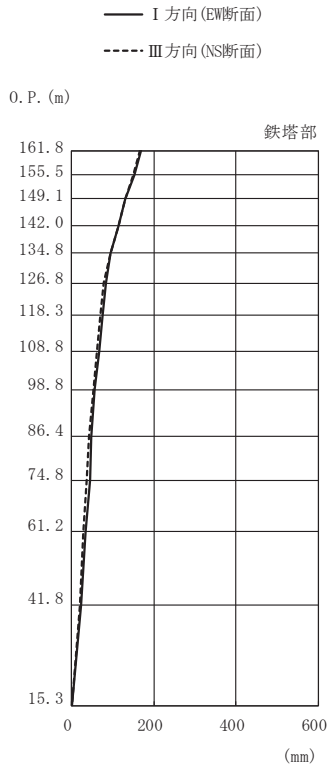


(k) S d - F 3 (直交方向)



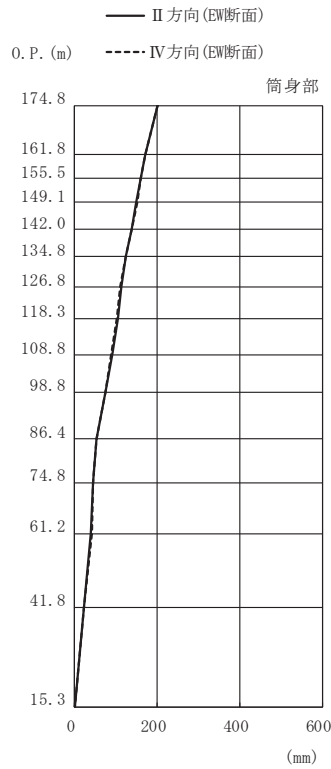
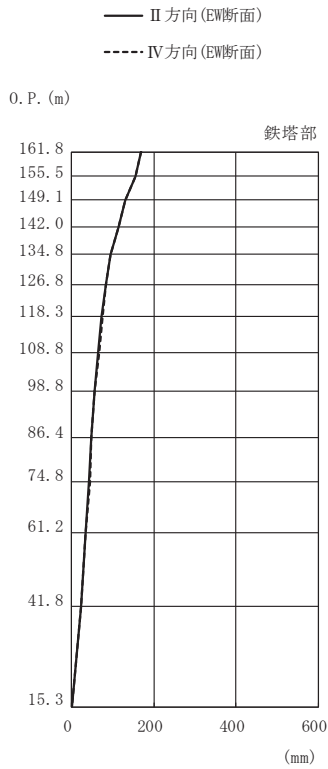
(l) S d - F 3 (斜め方向)

図 4-7(6) 最大応答変位 (弾性設計用地震動 S d)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	201	197
161.8	A	170	166	171	167
155.5	A'	151	149	160	157
149.1	B	131	130	150	147
142.0	B'	113	113	139	135
134.8	C	94.5	93.6	124	121
126.8	C'	82.1	77.7	111	105
118.3	D	74.2	69.5	102	96.2
108.8	D'	65.5	61.4	89.6	84.1
98.8	E	56.4	52.8	74.3	69.1
86.4	E'	47.7	42.1	53.2	49.3
74.8	F	43.4	37.5	44.5	38.5
61.2	G	33.4	29.2	40.4	35.8
41.8	H	23.6	20.9	22.7	20.3
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

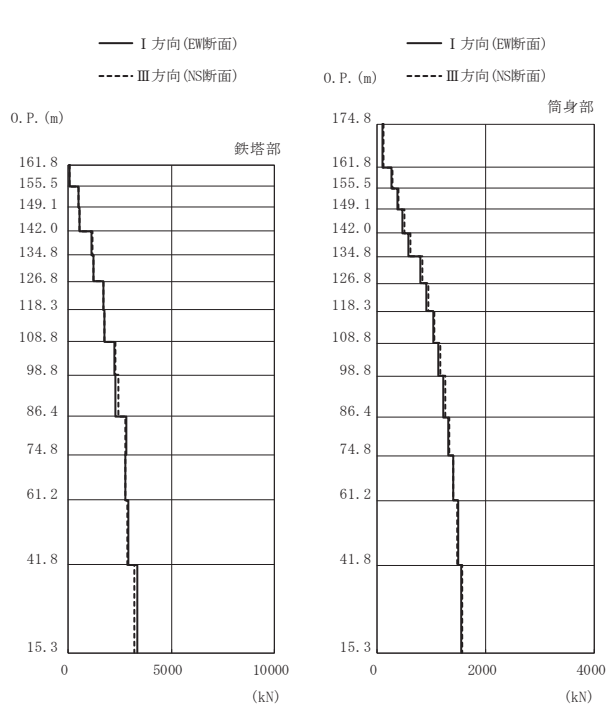
(m) S d - N 1 (直交方向)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	200	202
161.8	A	170	170	170	172
155.5	A'	154	154	160	161
149.1	B	131	131	150	151
142.0	B'	113	113	139	138
134.8	C	94.9	94.2	125	124
126.8	C'	82.7	82.9	112	110
118.3	D	73.5	74.9	104	101
108.8	D'	65.0	66.2	90.4	88.6
98.8	E	55.8	57.0	74.5	74.2
86.4	E'	48.2	48.1	52.6	53.7
74.8	F	43.2	43.9	43.8	45.1
61.2	G	34.4	34.4	39.3	41.5
41.8	H	23.7	23.5	21.8	23.6
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

(n) S d - N 1 (斜め方向)

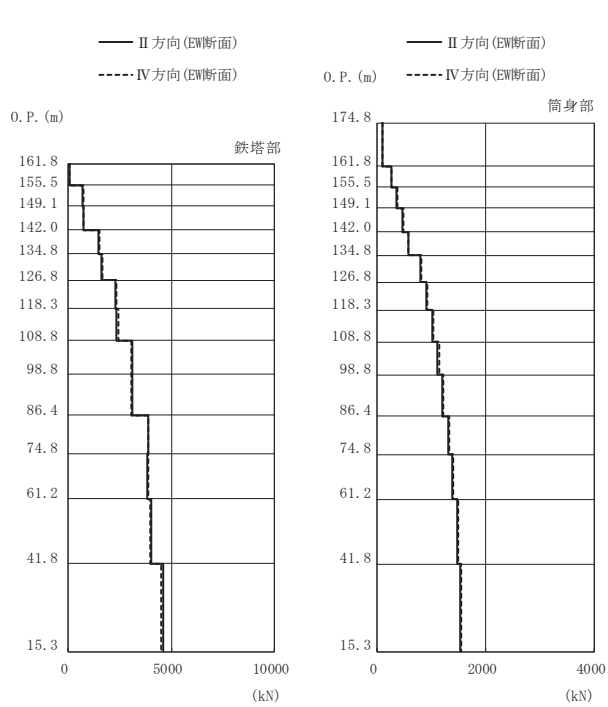
図 4-7(7) 最大応答変位 (弾性設計用地震動 S d)



高さ (m) O. P.	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	110	117
155.5	A'	A - A'	78.3	81.4	270	286
149.1	B	A' - B	526	508	372	394
142.0	B'	B - B'	564	531	478	504
134.8	C	B' - C	1110	1170	585	615
126.8	C'	C - C'	1230	1230	806	840
118.3	D	C' - D	1710	1690	915	949
108.8	D'	D - D'	1760	1760	1030	1060
98.8	E	D' - E	2250	2310	1130	1160
86.4	E'	E - E'	2300	2410	1230	1250
74.8	F	E' - F	2800	2790	1320	1340
61.2	G	F - G	2780	2760	1410	1410
41.8	H	G - H	2900	2880	1490	1480
15.3	I	H - I	3340	3210	1550	1570

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(a) S d - D 1 (直交方向)

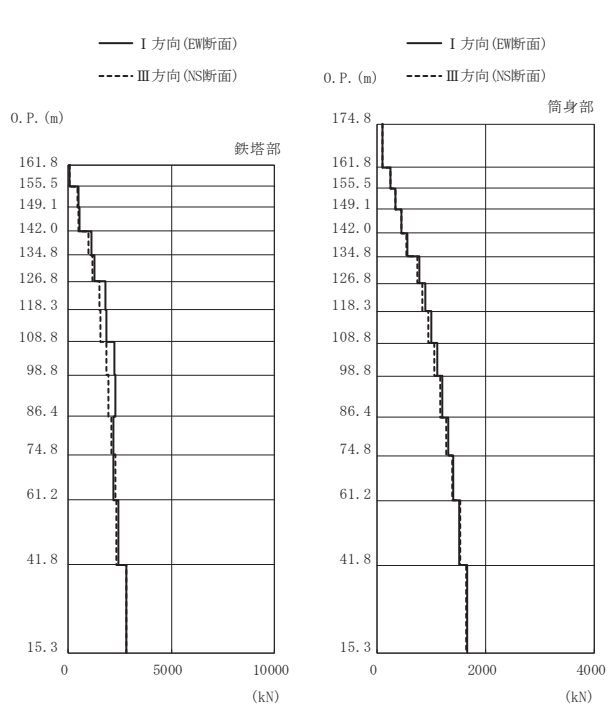


高さ (m) O. P.	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	109	111
155.5	A'	A - A'	82.1	80.4	266	271
149.1	B	A' - B	704	728	368	374
142.0	B'	B - B'	744	768	473	480
134.8	C	B' - C	1480	1530	579	588
126.8	C'	C - C'	1600	1650	798	810
118.3	D	C' - D	2300	2350	906	920
108.8	D'	D - D'	2360	2410	1020	1030
98.8	E	D' - E	3090	3060	1120	1140
86.4	E'	E - E'	3090	3080	1210	1230
74.8	F	E' - F	3880	3870	1310	1330
61.2	G	F - G	3850	3860	1390	1410
41.8	H	G - H	4020	3980	1470	1500
15.3	I	H - I	4600	4530	1530	1560

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(b) S d - D 1 (斜め方向)

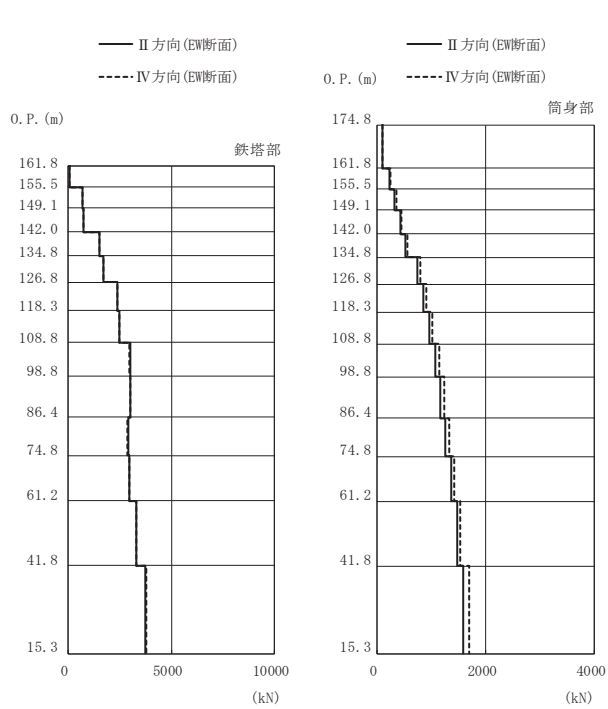
図 4-8(1) 最大応答軸力 (弾性設計用地震動 S d)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	102	102
155.5	A'	A - A'	73.2	70.4	251	251
149.1	B	A' - B	505	474	348	346
142.0	B'	B - B'	557	487	450	444
134.8	C	B' - C	1150	1010	555	542
126.8	C'	C - C'	1300	1160	777	744
118.3	D	C' - D	1790	1510	889	841
108.8	D'	D - D'	1850	1570	1010	945
98.8	E	D' - E	2230	1870	1120	1060
86.4	E'	E - E'	2270	1950	1210	1160
74.8	F	E' - F	2180	2110	1320	1270
61.2	G	F - G	2190	2270	1410	1390
41.8	H	G - H	2410	2320	1520	1530
15.3	I	H - I	2830	2800	1660	1650

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(c) S d - D 2 (直交方向)

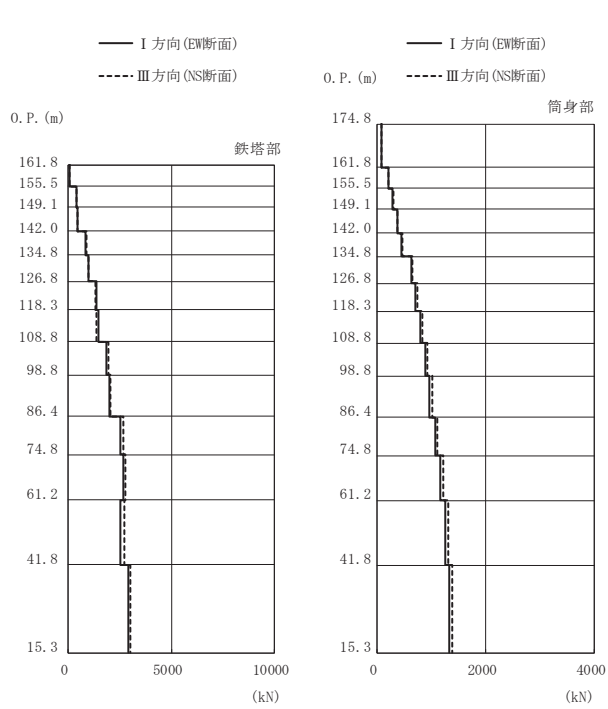


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	97.4	104
155.5	A'	A - A'	74.1	72.8	240	256
149.1	B	A' - B	692	708	332	355
142.0	B'	B - B'	748	746	428	459
134.8	C	B' - C	1540	1530	529	566
126.8	C'	C - C'	1700	1700	741	792
118.3	D	C' - D	2400	2400	848	905
108.8	D'	D - D'	2460	2470	957	1020
98.8	E	D' - E	2990	2970	1070	1140
86.4	E'	E - E'	3030	3020	1160	1240
74.8	F	E' - F	2920	2880	1260	1340
61.2	G	F - G	2960	2960	1360	1430
41.8	H	G - H	3310	3300	1470	1540
15.3	I	H - I	3760	3800	1590	1690

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(d) S d - D 2 (斜め方向)

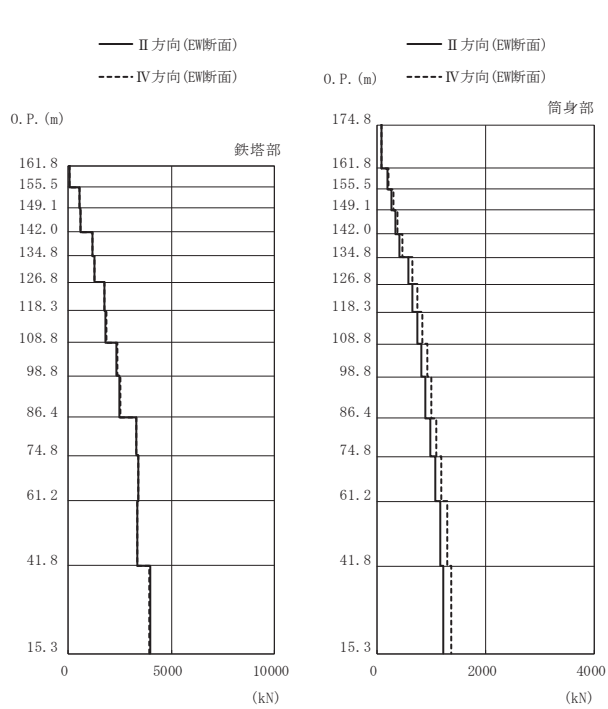
図 4-8(2) 最大応答軸力 (弾性設計用地震動 S d)



高さ (m) O. P.	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	86.1	88.9
155.5	A'	A - A'	53.6	59.3	212	218
149.1	B	A' - B	414	419	292	301
142.0	B'	B - B'	447	460	375	386
134.8	C	B' - C	857	896	458	473
126.8	C'	C - C'	968	995	631	649
118.3	D	C' - D	1370	1340	716	740
108.8	D'	D - D'	1450	1370	803	832
98.8	E	D' - E	1860	1930	889	923
86.4	E'	E - E'	1990	2060	965	1020
74.8	F	E' - F	2540	2680	1070	1120
61.2	G	F - G	2670	2790	1160	1220
41.8	H	G - H	2510	2740	1250	1310
15.3	I	H - I	2910	3000	1330	1380

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(e) S d - D 3 (直交方向)

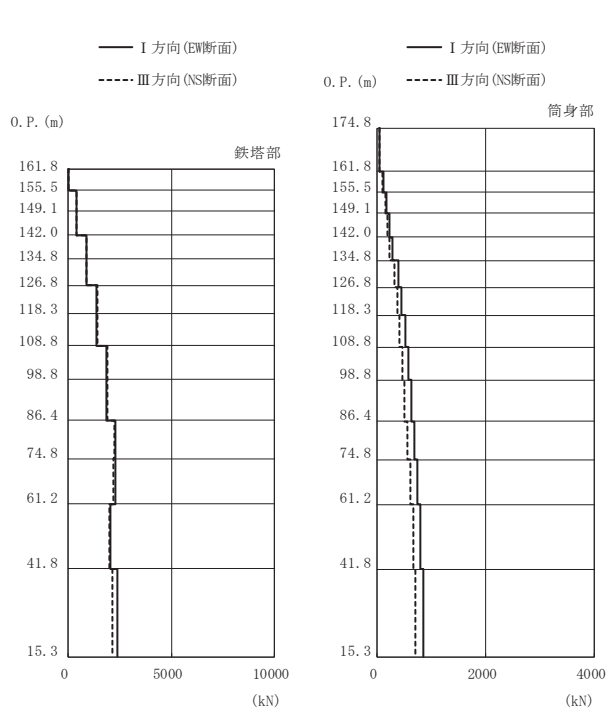


高さ (m) O. P.	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	79.5	88.8
155.5	A'	A - A'	57.0	56.2	195	218
149.1	B	A' - B	554	573	269	301
142.0	B'	B - B'	589	609	345	387
134.8	C	B' - C	1160	1170	422	473
126.8	C'	C - C'	1260	1280	580	652
118.3	D	C' - D	1740	1780	658	741
108.8	D'	D - D'	1820	1870	737	831
98.8	E	D' - E	2330	2370	814	920
86.4	E'	E - E'	2480	2510	895	999
74.8	F	E' - F	3280	3280	989	1100
61.2	G	F - G	3420	3400	1080	1190
41.8	H	G - H	3360	3350	1170	1290
15.3	I	H - I	3970	3940	1230	1360

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(f) S d - D 3 (斜め方向)

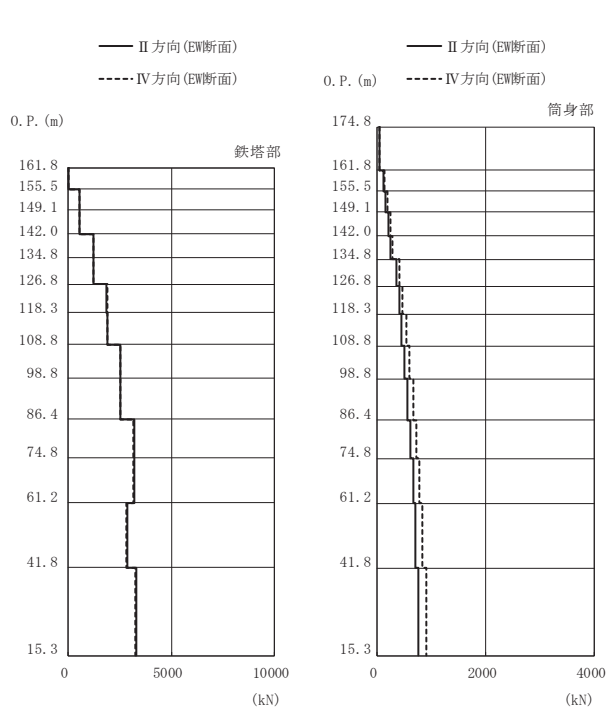
図 4-8(3) 最大応答軸力 (弾性設計用地震動 S d)



高さ (m) O. P.	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	53.0	45.0
155.5	A'	A - A'	33.6	33.1	130	110
149.1	B	A' - B	413	402	180	152
142.0	B'	B - B'	428	421	230	194
134.8	C	B' - C	881	872	282	236
126.8	C'	C - C'	900	871	395	327
118.3	D	C' - D	1370	1430	454	373
108.8	D'	D - D'	1390	1440	517	421
98.8	E	D' - E	1870	1920	580	469
86.4	E'	E - E'	1860	1920	637	513
74.8	F	E' - F	2290	2260	697	564
61.2	G	F - G	2310	2210	752	610
41.8	H	G - H	2050	2000	803	663
15.3	I	H - I	2370	2150	861	717

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(g) S d - F 1 (直交方向)

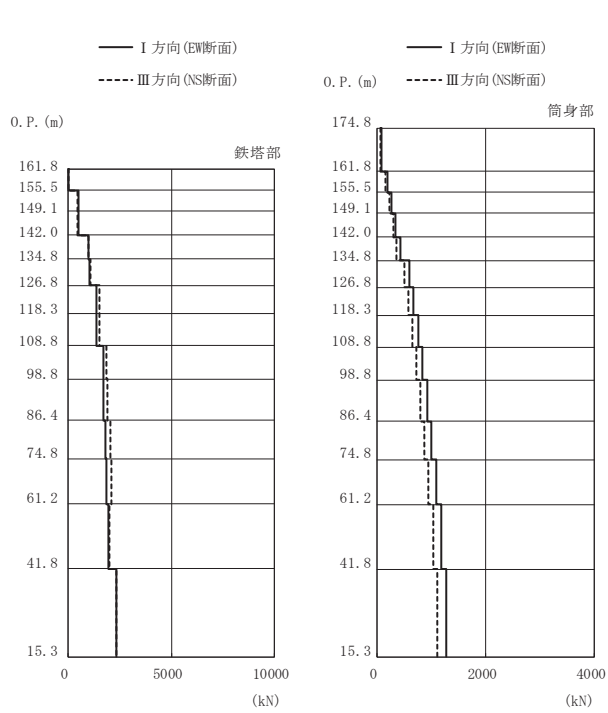


高さ (m) O. P.	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	47.0	55.7
155.5	A'	A - A'	35.9	35.4	116	137
149.1	B	A' - B	561	571	161	189
142.0	B'	B - B'	563	576	208	242
134.8	C	B' - C	1210	1230	256	296
126.8	C'	C - C'	1240	1250	357	413
118.3	D	C' - D	1870	1880	409	475
108.8	D'	D - D'	1880	1900	461	540
98.8	E	D' - E	2540	2550	516	606
86.4	E'	E - E'	2540	2550	566	666
74.8	F	E' - F	3200	3160	620	730
61.2	G	F - G	3220	3170	668	787
41.8	H	G - H	2860	2830	712	841
15.3	I	H - I	3290	3260	762	902

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(h) S d - F 1 (斜め方向)

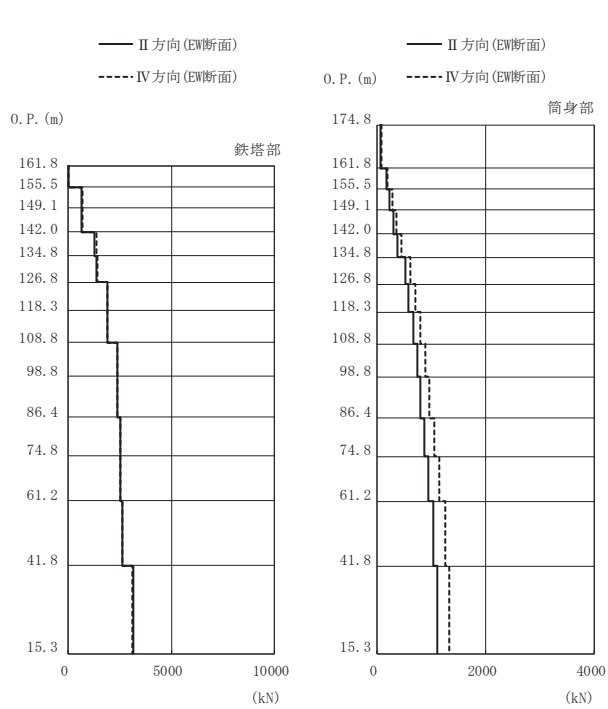
図 4-8(4) 最大応答軸力 (弾性設計用地震動 S d)



高さ (m) O. P.	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	78.7	67.9
155.5	A'	A - A'	38.5	39.8	194	168
149.1	B	A' - B	491	440	269	232
142.0	B'	B - B'	502	457	346	299
134.8	C	B' - C	989	980	425	367
126.8	C'	C - C'	1050	1080	591	510
118.3	D	C' - D	1370	1510	674	581
108.8	D'	D - D'	1380	1540	758	654
98.8	E	D' - E	1710	1870	843	727
86.4	E'	E - E'	1710	1920	920	794
74.8	F	E' - F	1830	2060	1010	869
61.2	G	F - G	1850	2100	1090	945
41.8	H	G - H	1960	2000	1180	1030
15.3	I	H - I	2350	2340	1270	1120

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(i) S d - F 2 (直交方向)

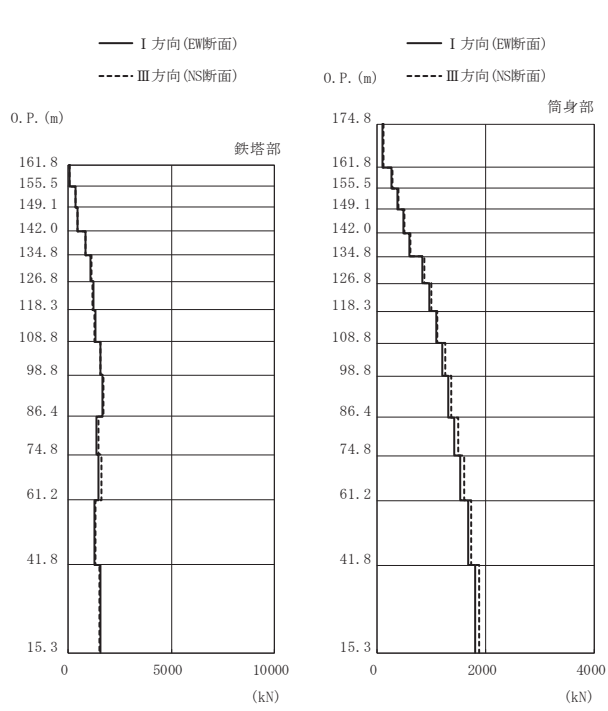


高さ (m) O. P.	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	69.0	82.7
155.5	A'	A - A'	40.7	40.0	170	204
149.1	B	A' - B	648	690	235	282
142.0	B'	B - B'	665	706	303	364
134.8	C	B' - C	1300	1360	372	447
126.8	C'	C - C'	1360	1420	517	621
118.3	D	C' - D	1910	1900	589	708
108.8	D'	D - D'	1910	1880	663	798
98.8	E	D' - E	2390	2370	737	887
86.4	E'	E - E'	2390	2370	804	968
74.8	F	E' - F	2530	2550	878	1060
61.2	G	F - G	2510	2540	950	1150
41.8	H	G - H	2640	2610	1030	1250
15.3	I	H - I	3140	3090	1110	1340

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(j) S d - F 2 (斜め方向)

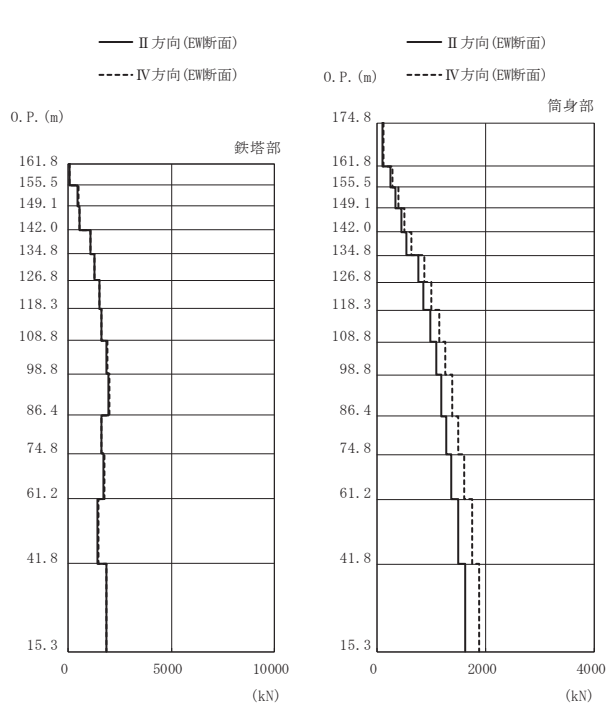
図 4-8(5) 最大応答軸力 (弾性設計用地震動 S d)



高さ (m) O. P.	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	112	116
155.5	A'	A - A'	63.5	75.8	276	285
149.1	B	A' - B	364	371	383	394
142.0	B'	B - B'	433	459	493	508
134.8	C	B' - C	859	864	606	626
126.8	C'	C - C'	1060	1110	843	871
118.3	D	C' - D	1230	1190	962	994
108.8	D'	D - D'	1320	1300	1090	1120
98.8	E	D' - E	1550	1550	1210	1250
86.4	E'	E - E'	1650	1700	1320	1360
74.8	F	E' - F	1380	1450	1430	1490
61.2	G	F - G	1470	1600	1540	1610
41.8	H	G - H	1290	1330	1680	1730
15.3	I	H - I	1580	1520	1810	1880

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(k) S d - F 3 (直交方向)

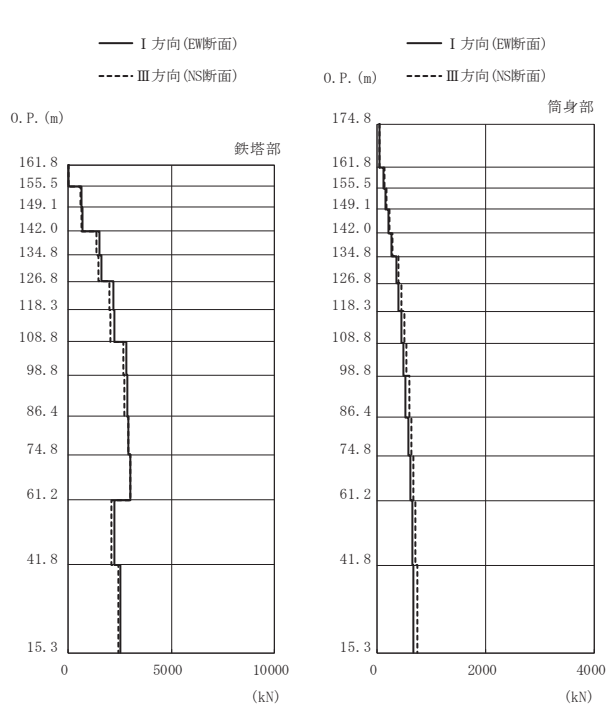


高さ (m) O. P.	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	101	117
155.5	A'	A - A'	65.0	65.3	249	288
149.1	B	A' - B	476	494	344	399
142.0	B'	B - B'	549	549	443	514
134.8	C	B' - C	1080	1100	545	632
126.8	C'	C - C'	1270	1300	756	879
118.3	D	C' - D	1520	1540	864	1010
108.8	D'	D - D'	1600	1620	975	1140
98.8	E	D' - E	1860	1880	1090	1260
86.4	E'	E - E'	1960	1990	1180	1380
74.8	F	E' - F	1600	1600	1280	1500
61.2	G	F - G	1710	1740	1370	1600
41.8	H	G - H	1430	1450	1500	1750
15.3	I	H - I	1850	1850	1630	1890

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(1) S d - F 3 (斜め方向)

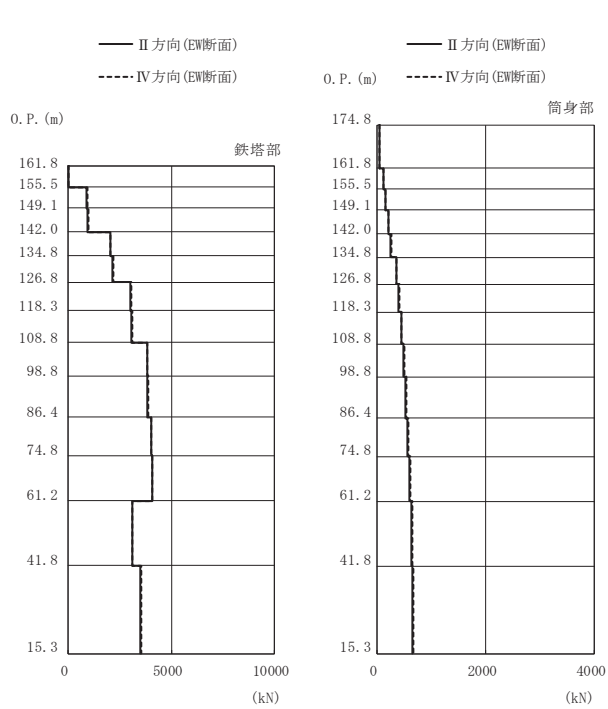
図 4-8(6) 最大応答軸力 (弾性設計用地震動 S d)



高さ (m) O. P.	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	48.9	53.7
155.5	A'	A - A'	37.2	40.0	121	132
149.1	B	A' - B	668	605	166	182
142.0	B'	B - B'	696	626	213	234
134.8	C	B' - C	1510	1360	261	287
126.8	C'	C - C'	1610	1450	358	394
118.3	D	C' - D	2210	2020	406	447
108.8	D'	D - D'	2250	2060	453	499
98.8	E	D' - E	2810	2680	497	548
86.4	E'	E - E'	2850	2740	534	590
74.8	F	E' - F	2930	2900	572	631
61.2	G	F - G	2990	2990	612	667
41.8	H	G - H	2230	2120	648	706
15.3	I	H - I	2540	2410	672	748

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(m) S d - N 1 (直交方向)

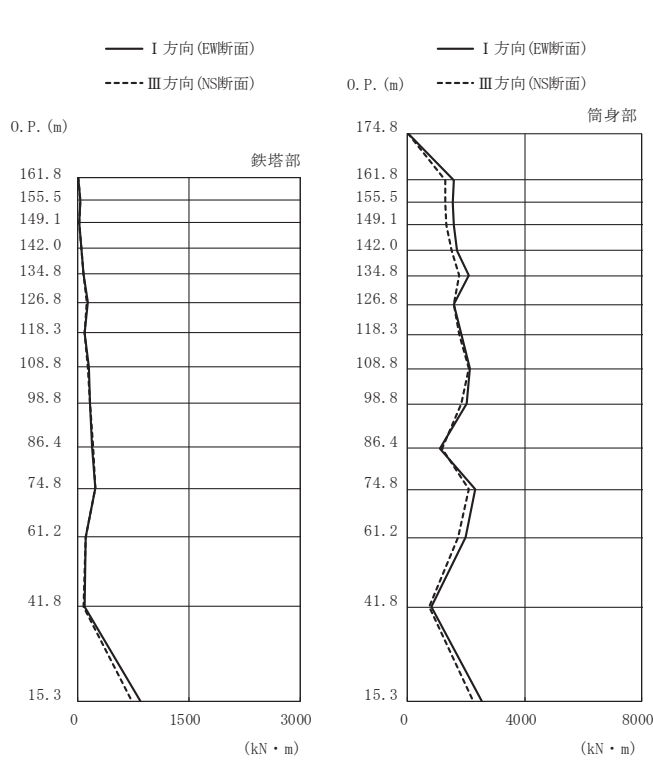


高さ (m) O. P.	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	48.1	49.2
155.5	A'	A - A'	39.1	39.3	119	121
149.1	B	A' - B	914	938	164	167
142.0	B'	B - B'	945	969	210	215
134.8	C	B' - C	2040	2070	257	263
126.8	C'	C - C'	2150	2190	353	361
118.3	D	C' - D	3030	3060	400	409
108.8	D'	D - D'	3070	3100	445	456
98.8	E	D' - E	3810	3840	489	500
86.4	E'	E - E'	3850	3880	526	538
74.8	F	E' - F	4010	4030	564	581
61.2	G	F - G	4070	4090	596	621
41.8	H	G - H	3090	3130	627	657
15.3	I	H - I	3490	3560	652	681

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(n) S d - N 1 (斜め方向)

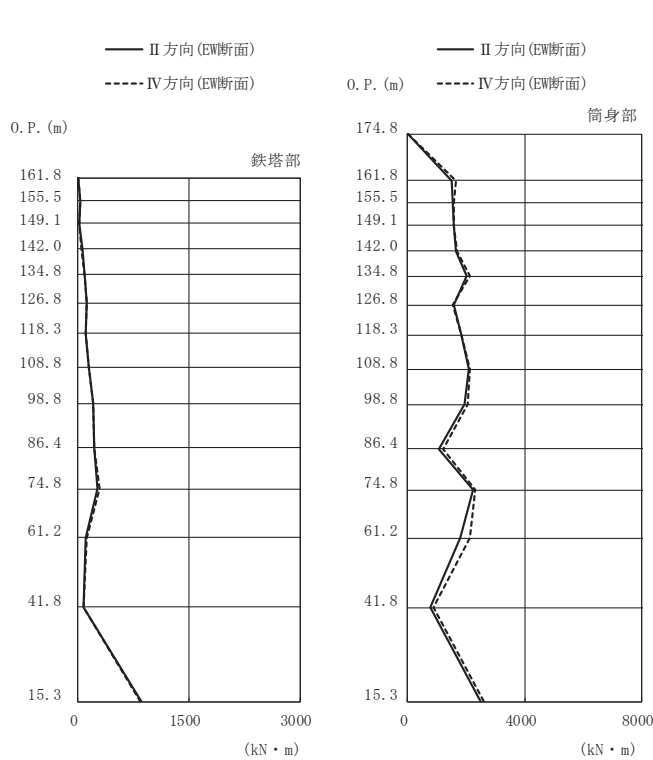
図 4-8(7) 最大応答軸力 (弾性設計用地震動 S d)



(a) S d - D 1 (直交方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	1.5	1.4	1580	1300
155.5	A'	30.5	32.5	1560	1270
149.1	B	16.4	14.5	1580	1310
142.0	B'	53.6	53.9	1680	1500
134.8	C	75.8	70.7	2080	1770
126.8	C'	127	117	1570	1590
118.3	D	87.0	87.8	1830	1750
108.8	D'	148	127	2120	2100
98.8	E	162	170	2010	1850
86.4	E'	194	200	1120	1160
74.8	F	230	230	2300	2080
61.2	G	110	104	1970	1740
41.8	H	85.4	79.5	812	719
15.3	I	846	729	2540	2240

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

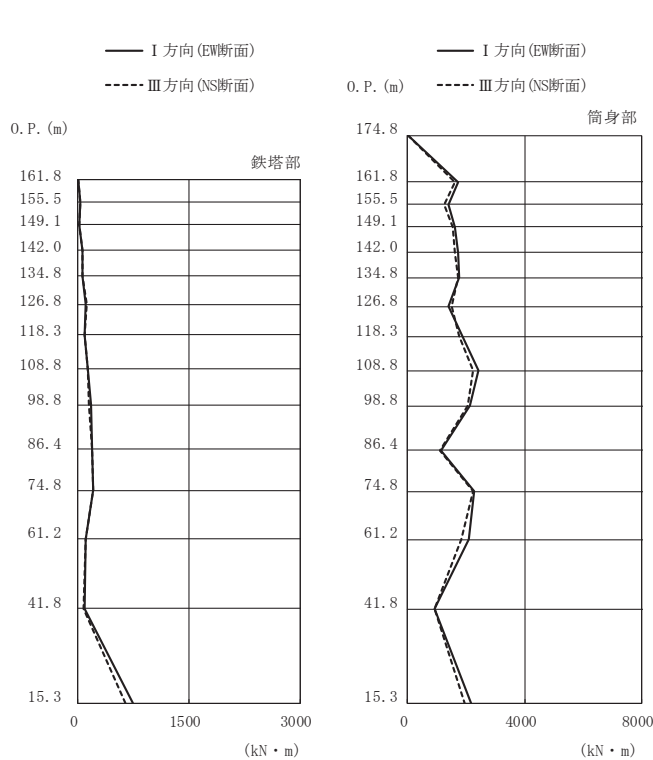


(b) S d - D 1 (斜め方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	1.9	1.7	1500	1640
155.5	A'	31.8	31.4	1540	1570
149.1	B	19.8	20.6	1580	1570
142.0	B'	55.1	54.1	1670	1680
134.8	C	85.2	90.1	2010	2140
126.8	C'	126	124	1570	1560
118.3	D	110	110	1830	1820
108.8	D'	146	150	2090	2140
98.8	E	200	201	1960	2050
86.4	E'	216	215	1050	1200
74.8	F	269	299	2250	2320
61.2	G	112	114	1800	2110
41.8	H	81.5	82.7	775	876
15.3	I	855	838	2510	2610

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

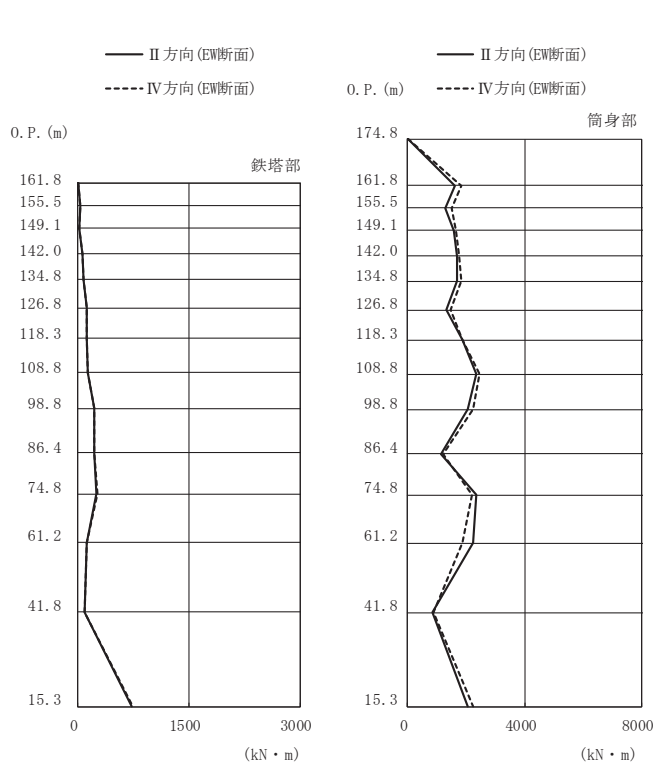
図 4-9(1) 最大応答曲げモーメント (弾性設計用地震動 S d)



(c) S d - D 2 (直交方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	1.4	1.2	1720	1610
155.5	A'	34.0	34.7	1400	1250
149.1	B	15.7	14.8	1630	1540
142.0	B'	58.1	58.3	1740	1630
134.8	C	67.3	64.3	1780	1710
126.8	C'	111	124	1410	1490
118.3	D	89.4	84.0	1880	1750
108.8	D'	139	135	2420	2220
98.8	E	179	153	2140	2070
86.4	E'	193	185	1130	1120
74.8	F	207	201	2290	2240
61.2	G	110	110	2080	1840
41.8	H	92.3	77.9	903	909
15.3	I	735	644	2170	1960

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

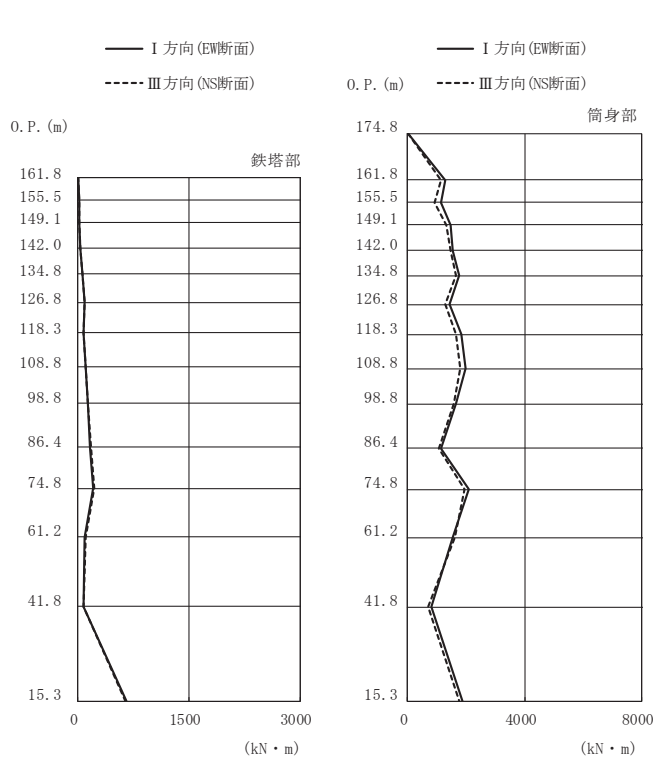


(d) S d - D 2 (斜め方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	1.6	1.3	1600	1850
155.5	A'	34.0	33.6	1290	1500
149.1	B	19.4	21.1	1590	1650
142.0	B'	58.0	56.9	1690	1780
134.8	C	75.7	80.1	1690	1850
126.8	C'	115	113	1340	1470
118.3	D	118	118	1860	1880
108.8	D'	137	138	2350	2470
98.8	E	222	215	2050	2220
86.4	E'	226	225	1140	1200
74.8	F	247	265	2360	2210
61.2	G	114	115	2220	1860
41.8	H	92.8	96.4	860	868
15.3	I	724	746	2040	2240

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

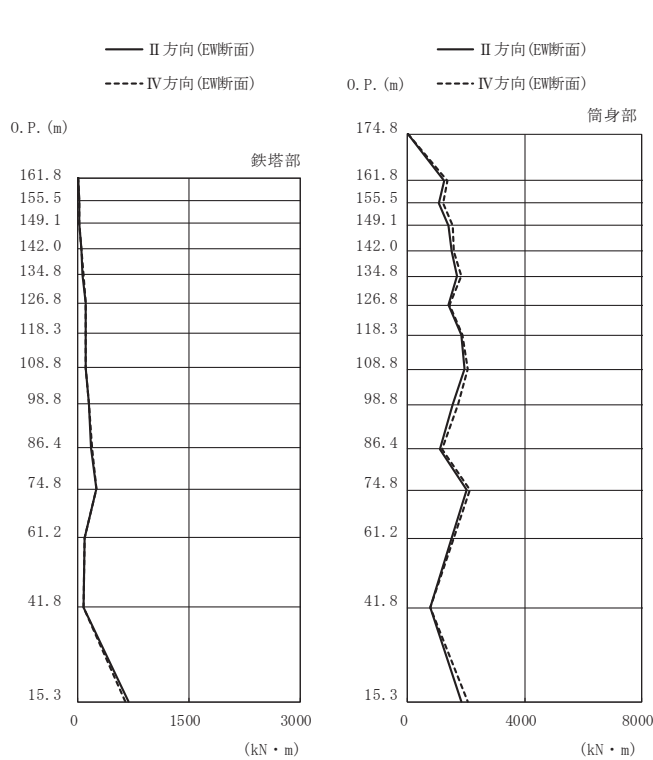
図 4-9(2) 最大応答曲げモーメント (弾性設計用地震動 S d)



(e) S d - D 3 (直交方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	1.2	1.1	1280	1140
155.5	A'	23.3	23.0	1140	902
149.1	B	13.5	12.4	1460	1340
142.0	B'	39.3	37.3	1550	1470
134.8	C	56.8	59.2	1770	1640
126.8	C'	93.3	93.7	1420	1280
118.3	D	79.1	82.6	1850	1640
108.8	D'	104	106	1990	1800
98.8	E	129	135	1640	1580
86.4	E'	170	183	1150	1080
74.8	F	204	214	2090	1930
61.2	G	95.2	98.2	1530	1620
41.8	H	76.9	72.7	800	694
15.3	I	659	642	1870	1770

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

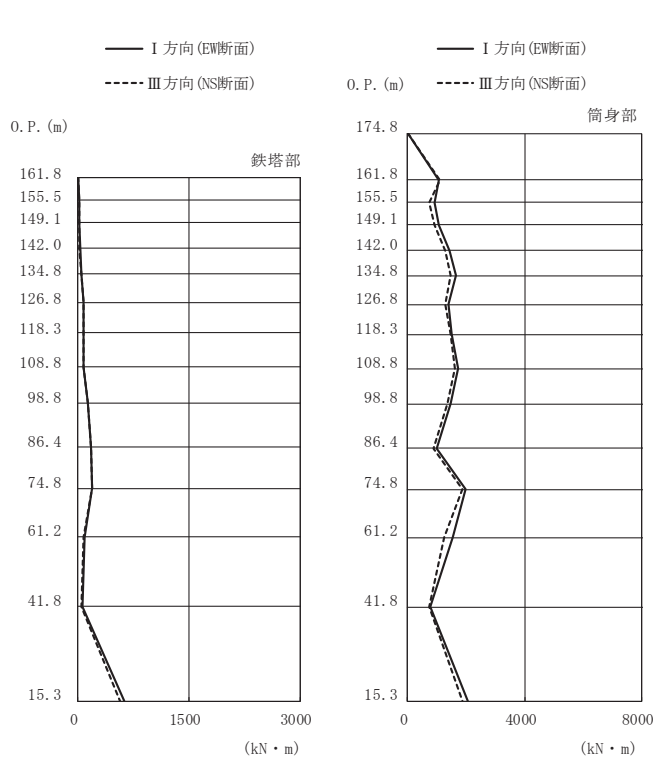


(f) S d - D 3 (斜め方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	1.5	1.3	1240	1360
155.5	A'	24.7	23.1	1080	1200
149.1	B	15.2	16.2	1380	1530
142.0	B'	40.5	40.8	1500	1590
134.8	C	66.4	69.9	1690	1840
126.8	C'	99.4	103	1400	1430
118.3	D	101	101	1840	1860
108.8	D'	109	111	1940	2040
98.8	E	151	153	1560	1720
86.4	E'	184	187	1100	1190
74.8	F	249	250	2020	2140
61.2	G	96.3	97.3	1500	1590
41.8	H	77.3	73.3	762	763
15.3	I	677	637	1820	2040

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

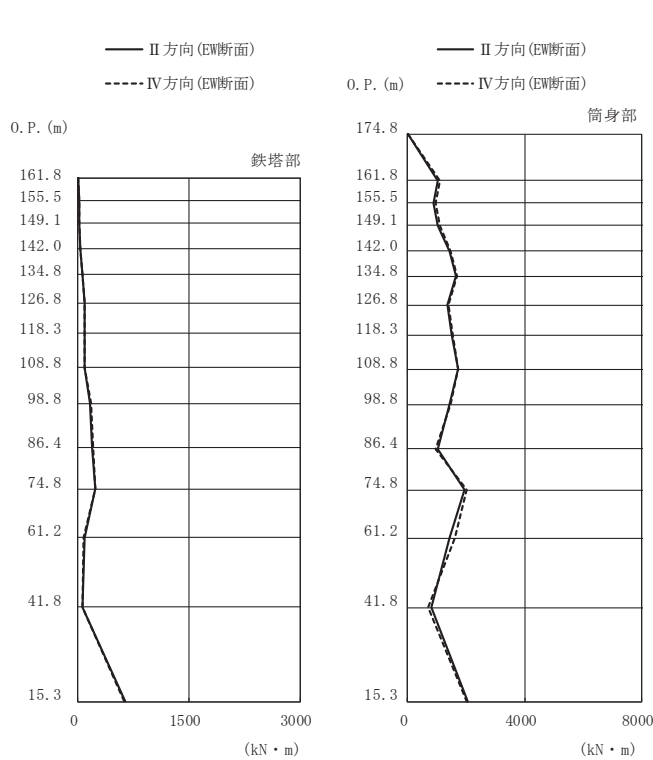
図 4-9(3) 最大応答曲げモーメント (弾性設計用地震動 S d)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	1.1	1.0	1060	1120
155.5	A'	19.5	17.8	927	723
149.1	B	12.7	12.8	1070	928
142.0	B'	26.0	22.4	1450	1290
134.8	C	49.8	44.1	1660	1470
126.8	C'	83.0	76.5	1380	1270
118.3	D	73.8	71.4	1500	1480
108.8	D'	77.9	69.5	1730	1630
98.8	E	136	133	1470	1350
86.4	E'	178	175	1000	877
74.8	F	186	189	1970	1870
61.2	G	86.4	74.9	1560	1240
41.8	H	61.6	50.9	777	731
15.3	I	621	571	2050	1880

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(g) S d - F 1 (直交方向)

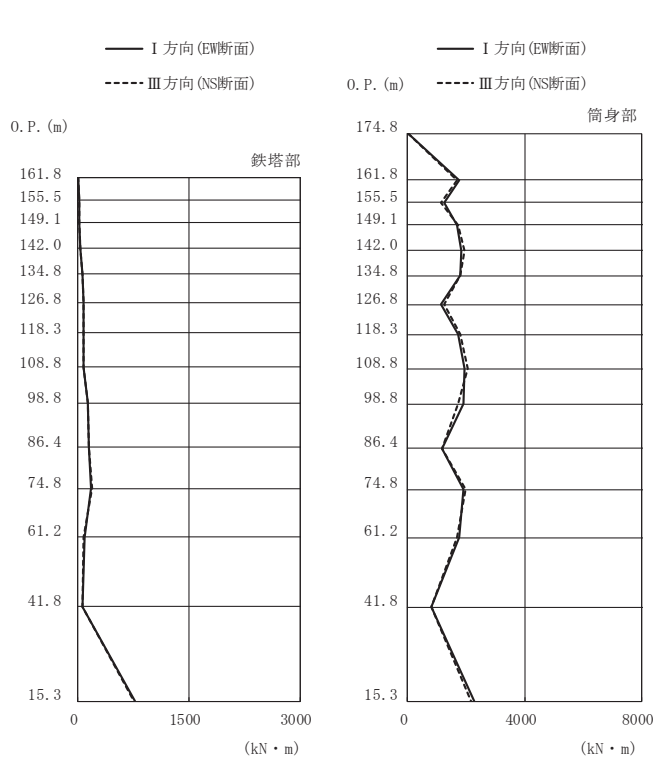


高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	1.4	1.2	1020	1100
155.5	A'	18.8	19.7	883	964
149.1	B	14.9	15.6	1020	1100
142.0	B'	28.2	27.5	1420	1470
134.8	C	58.8	57.5	1640	1690
126.8	C'	85.8	85.9	1370	1380
118.3	D	90.5	94.6	1520	1530
108.8	D'	85.7	87.3	1730	1710
98.8	E	160	172	1450	1480
86.4	E'	190	200	1030	958
74.8	F	238	234	1950	2000
61.2	G	87.3	82.1	1450	1610
41.8	H	62.9	57.9	799	702
15.3	I	638	625	2050	2010

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(h) S d - F 1 (斜め方向)

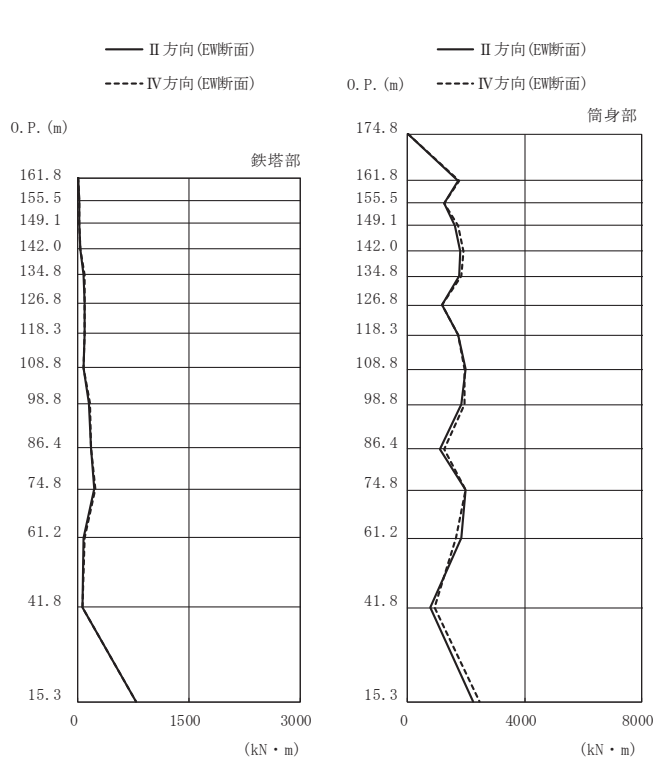
図 4-9(4) 最大応答曲げモーメント (弾性設計用地震動 S d)



高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	1.1	1.0	1760	1680
155.5	A'	18.2	15.5	1240	1150
149.1	B	14.3	12.2	1690	1740
142.0	B'	30.3	27.2	1850	1960
134.8	C	67.3	59.7	1810	1810
126.8	C'	77.2	76.7	1140	1260
118.3	D	73.8	76.6	1730	1810
108.8	D'	75.1	70.2	1960	2050
98.8	E	128	134	1900	1730
86.4	E'	154	150	1170	1180
74.8	F	184	186	1910	1970
61.2	G	84.4	79.2	1760	1700
41.8	H	59.8	55.6	807	807
15.3	I	775	755	2270	2160

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(i) S d - F 2 (直交方向)

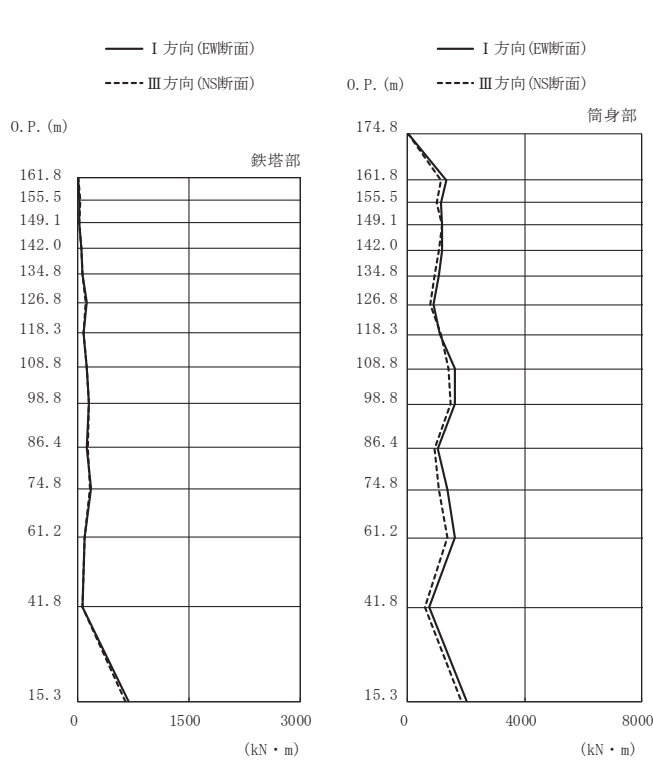


高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	1.5	1.2	1740	1770
155.5	A'	18.9	18.8	1250	1260
149.1	B	18.0	19.0	1630	1740
142.0	B'	35.5	36.2	1790	1900
134.8	C	80.2	86.5	1780	1840
126.8	C'	86.2	86.4	1160	1160
118.3	D	95.5	95.5	1730	1730
108.8	D'	77.5	78.9	1970	1950
98.8	E	150	158	1850	1930
86.4	E'	173	180	1090	1240
74.8	F	225	240	1970	1970
61.2	G	82.6	92.6	1820	1640
41.8	H	63.8	56.4	778	925
15.3	I	784	781	2240	2440

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(j) S d - F 2 (斜め方向)

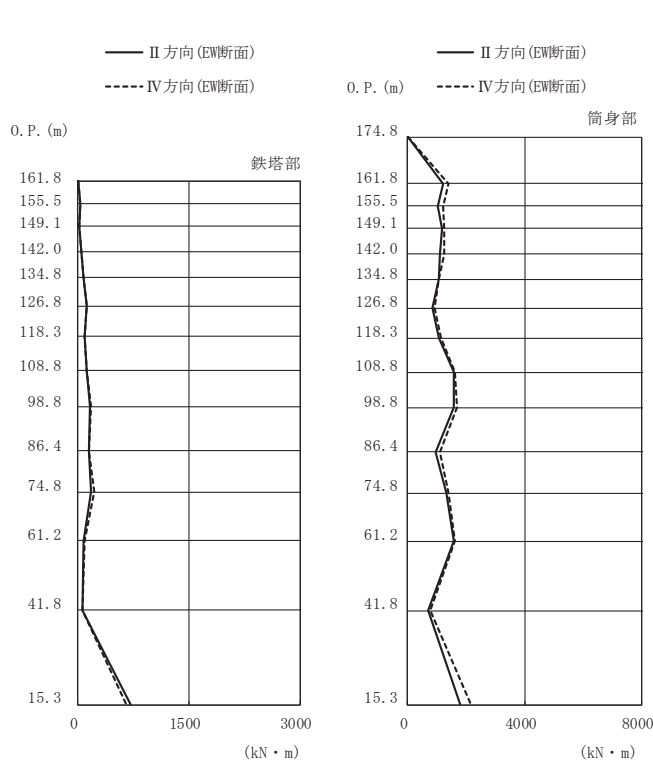
図 4-9(5) 最大応答曲げモーメント (弾性設計用地震動 S d)



(k) S d - F 3 (直交方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	1.0	0.8	1310	1150
155.5	A'	24.2	26.0	1150	989
149.1	B	15.3	16.4	1190	1170
142.0	B'	47.3	49.4	1170	1060
134.8	C	61.4	56.8	1060	911
126.8	C'	114	110	881	761
118.3	D	75.2	71.9	1100	1150
108.8	D'	116	124	1600	1400
98.8	E	153	154	1630	1470
86.4	E'	126	136	1020	929
74.8	F	179	169	1360	1080
61.2	G	84.4	85.8	1620	1370
41.8	H	68.2	62.0	740	604
15.3	I	689	646	2000	1840

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

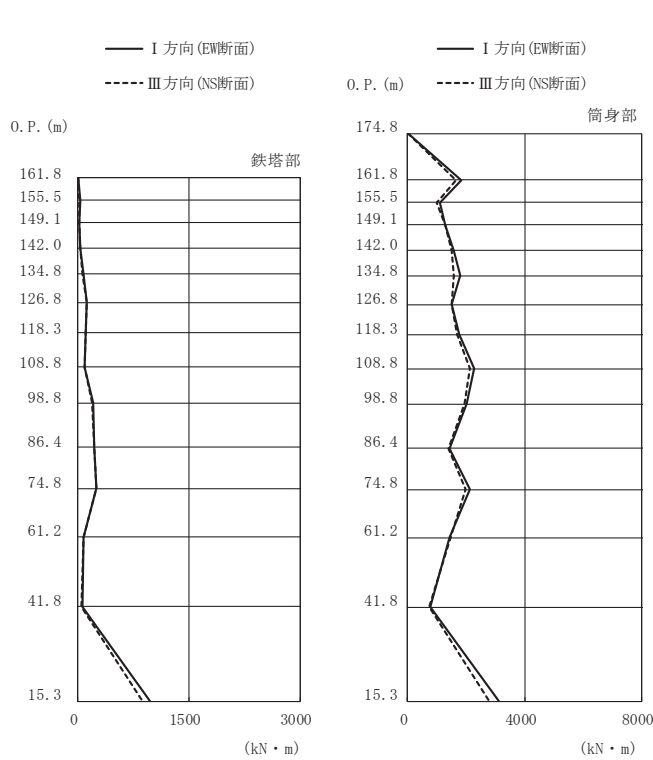


(l) S d - F 3 (斜め方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	1.2	1.0	1200	1400
155.5	A'	26.2	25.8	1040	1230
149.1	B	18.0	18.1	1180	1250
142.0	B'	47.5	50.1	1110	1240
134.8	C	72.7	75.0	1050	1060
126.8	C'	124	122	838	904
118.3	D	89.2	96.0	1070	1130
108.8	D'	115	120	1590	1600
98.8	E	166	174	1590	1700
86.4	E'	142	150	967	1120
74.8	F	176	216	1310	1390
61.2	G	82.5	97.4	1590	1620
41.8	H	66.6	68.6	695	764
15.3	I	711	660	1800	2170

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

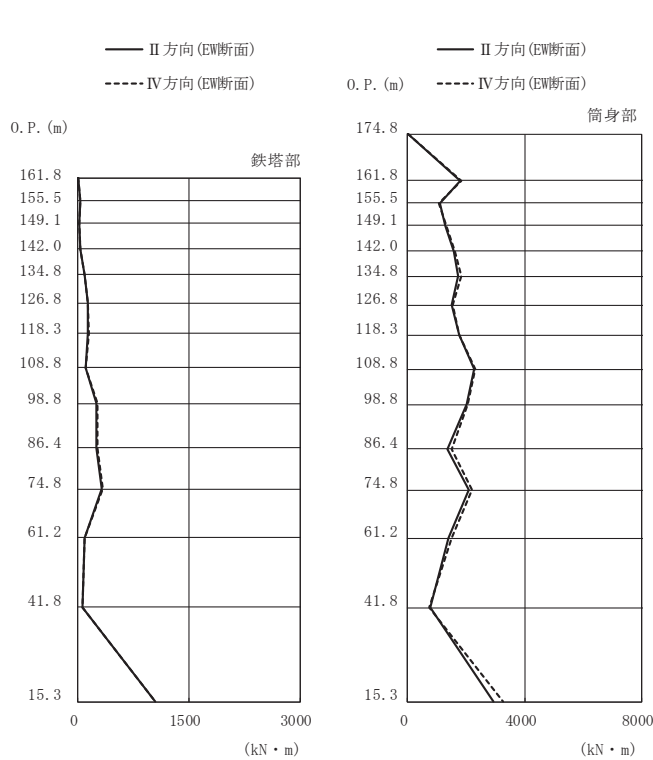
図 4-9(6) 最大応答曲げモーメント (弾性設計用地震動 S d)



(m) S d - N 1 (直交方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	1.6	1.4	1830	1670
155.5	A'	26.1	23.6	1090	993
149.1	B	19.1	17.9	1300	1290
142.0	B'	33.7	33.5	1590	1510
134.8	C	73.0	62.9	1790	1590
126.8	C'	120	115	1520	1500
118.3	D	103	99.3	1760	1700
108.8	D'	92.1	86.3	2280	2120
98.8	E	202	194	2030	1930
86.4	E'	222	218	1420	1380
74.8	F	249	244	2130	1990
61.2	G	83.4	79.9	1450	1470
41.8	H	55.1	49.0	755	740
15.3	I	973	877	3120	2780

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。



(n) S d - N 1 (斜め方向)

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.2	1.7	1800	1850
155.5	A'	27.5	27.8	1100	1080
149.1	B	23.6	24.7	1290	1310
142.0	B'	37.3	37.9	1570	1600
134.8	C	90.4	93.2	1720	1850
126.8	C'	134	138	1490	1540
118.3	D	139	142	1750	1780
108.8	D'	106	109	2260	2300
98.8	E	253	259	2010	2040
86.4	E'	256	268	1350	1490
74.8	F	320	332	2100	2190
61.2	G	87.1	89.5	1410	1510
41.8	H	59.7	55.7	763	720
15.3	I	1040	1040	2950	3260

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

図 4-9(7) 最大応答曲げモーメント (弾性設計用地震動 S d)

表 4-2 制震装置（制震オイルダンパ）の最大応答値（基準地震動 S_s ）

	最大応答速度 (m/s)	最大応答変位 (mm)
$S_s - D 1$	0.89	77
$S_s - D 2$	0.90	71
$S_s - D 3$	0.55	74
$S_s - F 1$	0.57	77
$S_s - F 2$	0.76	64
$S_s - F 3$	0.71	38
$S_s - N 1$	0.86	62

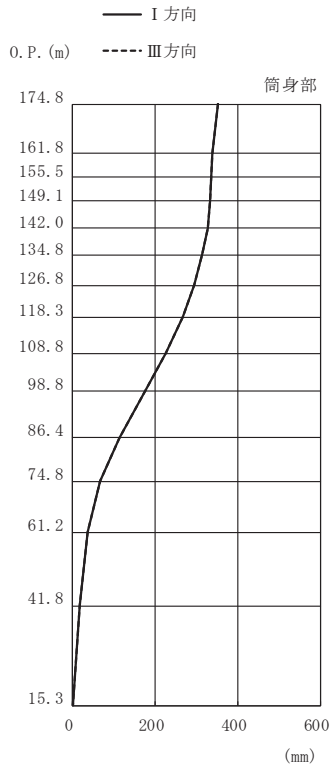
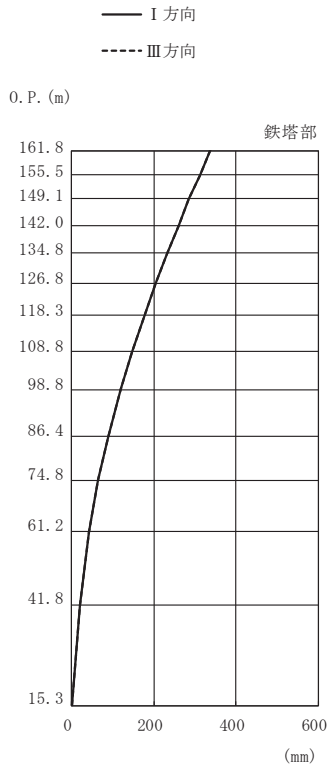
4.2 静的解析

静的地震力に対する排気筒の直交方向のⅠ方向とⅢ方向の解析結果を、また、排気筒の斜め方向のⅡ方向とⅣ方向の解析結果を示す。

「3.3 解析方法」による解析方法で算出した算定結果を表4-3に、最大値及び高さ方向の分布を図4-10～図4-12に示す。

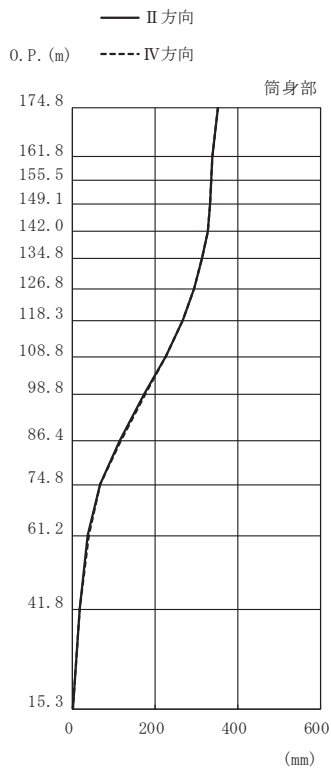
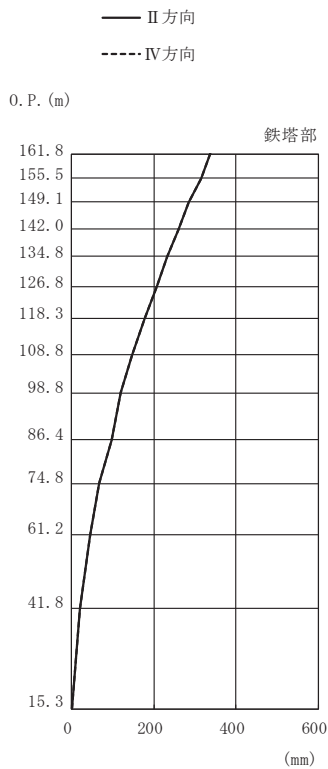
表4-3 静的地震力の算定結果

位置	標高 O.P. (m)	高さ方向の 分布係数 A_i	地震層せん断 力係数 C_i	層せん断力 分布 Q_i (kN)
TOP	174.8	4.109	0.658	242.9
A	161.8	3.175	0.508	679.4
A'	155.5	2.922	0.468	953.6
B	149.1	2.637	0.422	1245.5
B'	142.0	2.406	0.385	1495.8
C	134.8	1.919	0.308	2045.0
C'	126.8	1.779	0.285	2265.0
D	118.3	1.602	0.257	2469.3
D'	108.8	1.458	0.234	2662.5
E	98.8	1.324	0.212	2959.0
E'	86.4	1.260	0.202	3331.7
F	74.8	1.227	0.197	3971.4
G	61.2	1.202	0.193	4764.2
H	41.8	1.131	0.181	5815.9
I	15.3	1.000	0.160	



(a) 直交方向

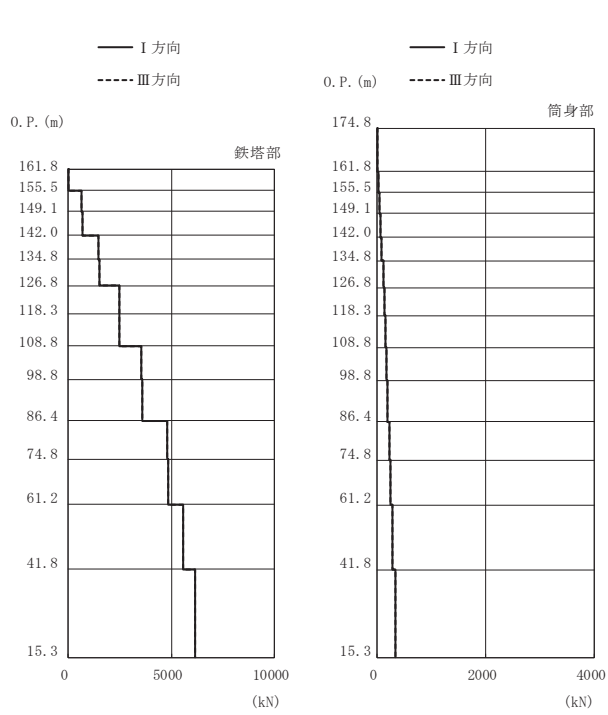
高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	352	352
161.8	A	338	338	339	339
155.5	A'	312	312	336	336
149.1	B	286	286	333	333
142.0	B'	259	259	327	327
134.8	C	232	232	315	315
126.8	C'	205	205	295	295
118.3	D	176	176	266	266
108.8	D'	147	147	225	225
98.8	E	119	119	176	176
86.4	E'	90.0	90.0	114	114
74.8	F	65.3	65.3	67.0	67.0
61.2	G	42.9	42.9	37.6	37.6
41.8	H	19.8	19.8	17.0	17.0
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00



(b) 斜め方向

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.					
174.8	TOP	-	-	352	352
161.8	A	338	338	339	339
155.5	A'	314	314	336	336
149.1	B	286	286	333	333
142.0	B'	259	259	327	327
134.8	C	232	232	315	315
126.8	C'	208	208	295	295
118.3	D	176	176	266	266
108.8	D'	148	148	225	225
98.8	E	119	119	175	176
86.4	E'	96.1	96.0	114	115
74.8	F	65.5	66.1	66.4	67.6
61.2	G	45.6	45.4	36.6	38.6
41.8	H	20.0	19.6	16.0	18.0
15.3	I	0.00	0.00	0.00	0.00

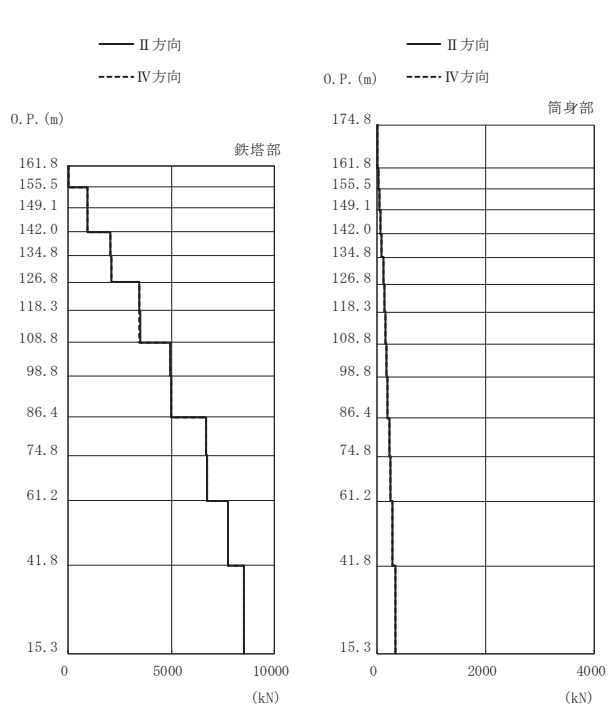
図 4-10 最大変位 (静的地震力)



高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	14.8	14.8
155.5	A'	A - A'	9.5	9.5	36.7	36.7
149.1	B	A' - B	667	667	51.0	51.0
142.0	B'	B - B'	677	677	66.4	66.4
134.8	C	B' - C	1460	1460	82.6	82.6
126.8	C'	C - C'	1500	1500	118	118
118.3	D	C' - D	2470	2470	137	137
108.8	D'	D - D'	2490	2490	158	158
98.8	E	D' - E	3540	3540	180	180
86.4	E'	E - E'	3580	3580	202	202
74.8	F	E' - F	4790	4790	229	229
61.2	G	F - G	4840	4840	259	259
41.8	H	G - H	5550	5550	296	296
15.3	I	H - I	6130	6130	348	348

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(a) 直交方向

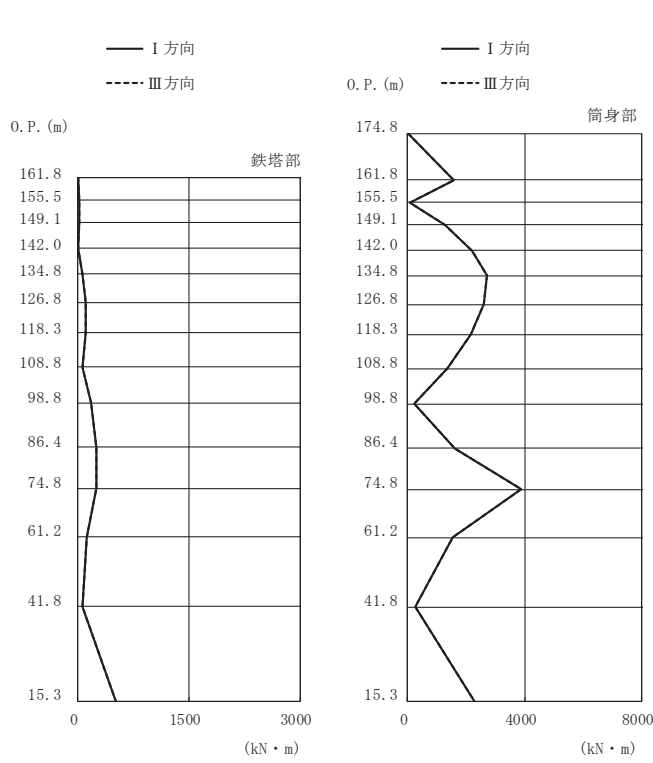


高さ (m)	位置	区間	鉄塔部		筒身部	
			II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
0. P.						
174.8	TOP	-	-	-	-	-
161.8	A	TOP - A	-	-	14.8	14.8
155.5	A'	A - A'	9.9	10.0	36.7	36.7
149.1	B	A' - B	937	937	51.0	51.0
142.0	B'	B - B'	947	946	66.4	66.4
134.8	C	B' - C	2050	2050	82.6	82.6
126.8	C'	C - C'	2090	2090	118	118
118.3	D	C' - D	3460	3460	137	137
108.8	D'	D - D'	3480	3470	158	158
98.8	E	D' - E	4950	4950	180	180
86.4	E'	E - E'	4990	4990	202	202
74.8	F	E' - F	6680	6690	229	229
61.2	G	F - G	6730	6740	259	259
41.8	H	G - H	7740	7740	296	296
15.3	I	H - I	8520	8520	348	348

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

(b) 斜め方向

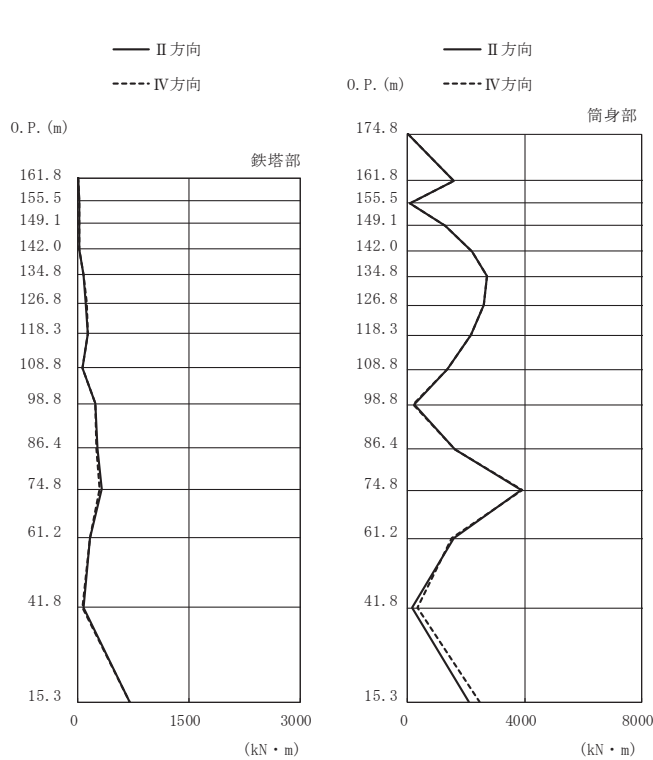
図 4-11 最大軸力 (静的地震力)



(a) 直交方向

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		I 方向	III 方向	I 方向	III 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	1.6	1.6	1580	1580
155.5	A'	16.0	16.0	62.1	62.1
149.1	B	15.5	15.5	1280	1280
142.0	B'	10.3	10.3	2190	2190
134.8	C	58.4	58.4	2730	2730
126.8	C'	105	105	2620	2620
118.3	D	98.4	98.4	2160	2160
108.8	D'	61.7	61.7	1360	1360
98.8	E	176	176	205	205
86.4	E'	257	257	1610	1610
74.8	F	246	246	3890	3890
61.2	G	116	116	1540	1540
41.8	H	61.3	61.3	265	265
15.3	I	506	506	2280	2280

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。



(b) 斜め方向

高さ (m)	位置	鉄塔部		筒身部	
		II 方向	IV 方向	II 方向	IV 方向
174.8	TOP	-	-	0.0	0.0
161.8	A	2.2	1.7	1580	1580
155.5	A'	16.8	16.1	63.3	61.0
149.1	B	20.2	20.2	1280	1280
142.0	B'	12.3	12.1	2200	2190
134.8	C	72.2	72.3	2730	2720
126.8	C'	112	113	2620	2610
118.3	D	133	134	2170	2160
108.8	D'	67.2	68.9	1370	1350
98.8	E	230	233	216	194
86.4	E'	266	255	1600	1630
74.8	F	320	291	3880	3910
61.2	G	157	159	1570	1510
41.8	H	72.9	67.1	151	343
15.3	I	696	696	2080	2450

鉄塔部は主柱材の応答値を示す。

図 4-12 最大曲げモーメント (静的地震力)

(Ⅱ) 排気筒の耐震計算書

目次

1. 基本方針.....	(Ⅱ)-1
1.1 評価方針.....	(Ⅱ)-1
1.2 適用規格・基準等.....	(Ⅱ)-10
2. 評価方法.....	(Ⅱ)-11
2.1 荷重及び部材応力の組合せ.....	(Ⅱ)-11
2.1.1 荷重.....	(Ⅱ)-11
2.1.2 部材応力の組合せ.....	(Ⅱ)-17
2.2 許容限界.....	(Ⅱ)-18
2.3 使用材料及び材料の許容応力度.....	(Ⅱ)-19
2.4 断面の評価方法.....	(Ⅱ)-21
2.4.1 筒身.....	(Ⅱ)-21
2.4.2 鉄塔.....	(Ⅱ)-23
3. 評価結果.....	(Ⅱ)-24
3.1 耐震評価結果.....	(Ⅱ)-24
4. 制震装置（制震オイルダンパ）及び支持点部の評価.....	(Ⅱ)-39
4.1 制震装置（制震オイルダンパ）の評価.....	(Ⅱ)-39
4.2 制震装置（制震オイルダンパ）支持点部の評価.....	(Ⅱ)-40
5. 筒身脚部及び鉄塔脚部の断面評価.....	(Ⅱ)-54
5.1 評価方法.....	(Ⅱ)-54
5.2 アンカーボルトに対する検討.....	(Ⅱ)-56
5.2.1 アンカーボルトの引張応力度に対する検討.....	(Ⅱ)-56
5.2.2 アンカーボルトのせん断応力度に対する検討.....	(Ⅱ)-57
5.2.3 引張力とせん断力を同時に受けるアンカーボルトの引張応力度に対する検討	(Ⅱ)-57
5.2.4 コンクリートのコーン状破壊に対する検討.....	(Ⅱ)-58
5.3 ベースプレートに対する検討.....	(Ⅱ)-59
5.3.1 コンクリートの圧縮応力度に対する検討.....	(Ⅱ)-59
5.3.2 ベースプレートの面外曲げに対する検討.....	(Ⅱ)-59
5.4 フランジプレートに対する検討.....	(Ⅱ)-60
5.4.1 フランジプレートの面外曲げに対する検討.....	(Ⅱ)-60
5.5 リブプレートに対する検討.....	(Ⅱ)-61
5.5.1 リブプレートの圧縮応力度に対する検討.....	(Ⅱ)-61
5.5.2 リブプレートのせん断応力度に対する検討.....	(Ⅱ)-62
5.6 評価結果.....	(Ⅱ)-63

1. 基本方針

1.1 評価方針

排気筒は、第2号機、第3号機の筒身と第2,3号機共用の鉄塔で構成される。排気筒は、図1-1～図1-6に示すように、筒身、補強リング、支持点アーム、制震オイルダンパ、筒身連結材、鉄塔連結材、筒身脚部、鉄塔脚部により構成されている。

排気筒を構成する部材について、添付書類「VI-2-1-4 耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分の基本方針」に基づき、波及影響を考慮すべき施設を除いた、以下の区分に分類を行う。

- (1) 主要設備とは、当該機能に直接的に関連する設備をいう。
- (2) 補助設備とは、当該機能に間接的に関連し、主要設備の補助的役割を持つ設備をいう。
- (3) 直接支持構造物とは、主要設備、補助設備に直接取り付けられる支持構造物又はこれらの設備の荷重を直接的に受ける支持構造物をいう。
- (4) 間接支持構造物とは、直接支持構造物から伝達される荷重を受ける構造物（建物・構築物、土木構造物）をいう。

初めに、筒身、筒身脚部及び排気筒基礎（筒身部）について整理する。

排気筒は、添付書類「VI-2-1-4 耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分の基本方針」の機能別分類において、放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散抑制するための施設に整理しており、この機能に直接的に関連する筒身は主要設備に分類される。

筒身脚部は、筒身の荷重を直接的に受ける支持構造物であり、「J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984（重要度分類・許容応力編）」にアンカボルト、アンカプレート及び埋込金物は直接支持構造物に整理されることが記載されていることから、直接支持構造物に分類される。

排気筒基礎は、直接支持構造物に分類される筒身脚部から伝達される荷重を受ける構造物であることから間接支持構造物に分類される。

次に、補強リング（鉄塔方向）、支持点アーム、制震オイルダンパ、鉄塔連結材（第1支持点、第2支持点、第4支持点）及び鉄塔について整理する。

補強リング（鉄塔方向）は、筒身の荷重を直接的に受ける支持構造物であることから、直接支持構造物に分類される。また、補強リングと溶接により接合している支持点アーム及び鉄塔連結材（筒身側支持金物）についても、補強リング（鉄塔方向）を介して筒身の荷重を直接的に受けることから、直接支持構造物に分類される。

制震オイルダンパと支持点アーム間はボールジョイントで接続されていることから、筒身からの荷重はボールジョイントを取合点として、制震オイルダンパ及び鉄塔は直接支持構造物から伝達される荷重を受ける構造物となることから、間接支持構造物に分類される。また、鉄塔連結材（第1支持点、第2支持点、第4支持点）は、筒身側

の支持金物と鉄塔側の支持金物間で水平荷重のみ伝達する構造となっていることから、支持金物を取合点として、鉄塔側の支持金物及び鉄塔は直接支持構造物から伝達される荷重を受ける構造物となることから、間接支持構造物に分類される。

さらに、補強リング（第3号機筒身方向）、筒身連結材、第3号機筒身について整理する。

第3号機筒身は、第3号機の工認申請において主要設備に分類されることから、同一の耐震重要度相当とし、直接支持構造物に分類する。そのため、第3号機筒身脚部、補強リング（第3号機筒身方向）及び筒身連結材についても、直接支持構造物に分類する。

上記を踏まえ、表1-1に排気筒の耐震重要度分類を示す。

筒身は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設の主要設備」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、直接支持構造物に分類される筒身脚部及び第3号機筒身等も同様に分類される。

鉄塔は、設計基準対象施設においては「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の間接支持構造物」に分類され、間接支持構造物に分類される制震オイルダンパ及び排気筒基礎等も同様に分類される。

排気筒の設計基準対象施設及び重大事故等対処施設としての評価においては、風荷重及び基準地震動 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。

また、主要設備及び直接支持構造物の評価においては、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。）を行う。

S_s 地震時に対する評価及び S_d 地震時に対する評価は、「(I) 排気筒の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとし、排気筒基礎の応答の不確かさ等を考慮する。

排気筒の評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析及び応力解析により算出した部材応力の組合せに対して、材料強度より算出した弾性限強度及び短期許容応力度による評価を行うことで、筒身及び鉄塔に対する地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。

なお、筒身と鉄塔の相互作用が生じる支持点については、排気筒全体の動的挙動に大きな影響を及ぼす制震オイルダンパと、制震オイルダンパと荷重の伝達を行う支持点アーム及び補強リング（第3支持点）を代表に耐震評価を行う。

図1-7に排気筒の評価フローを示す。

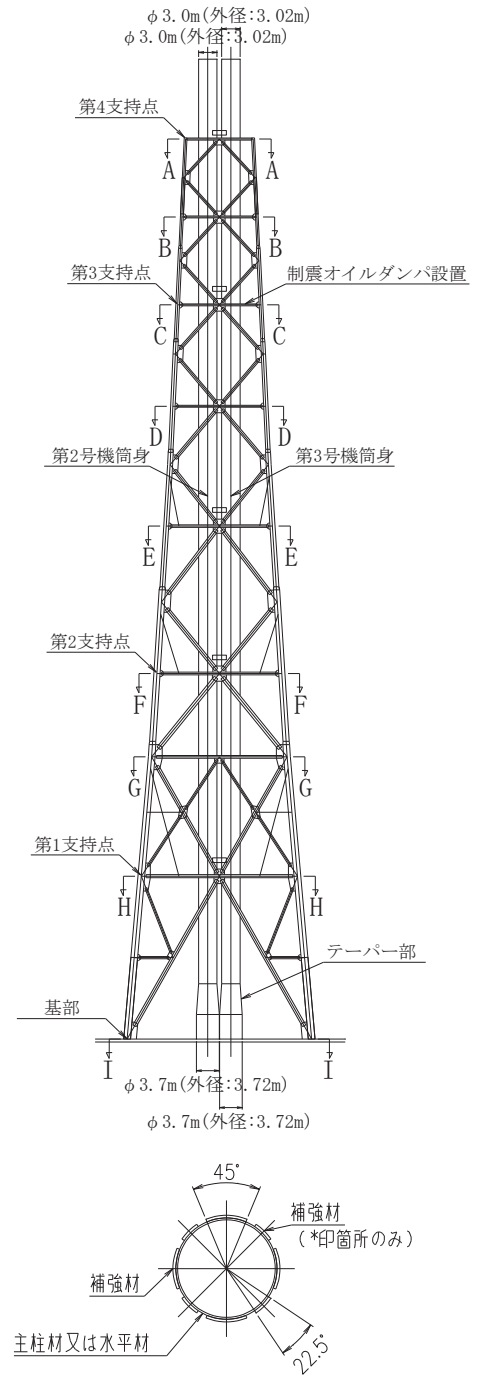
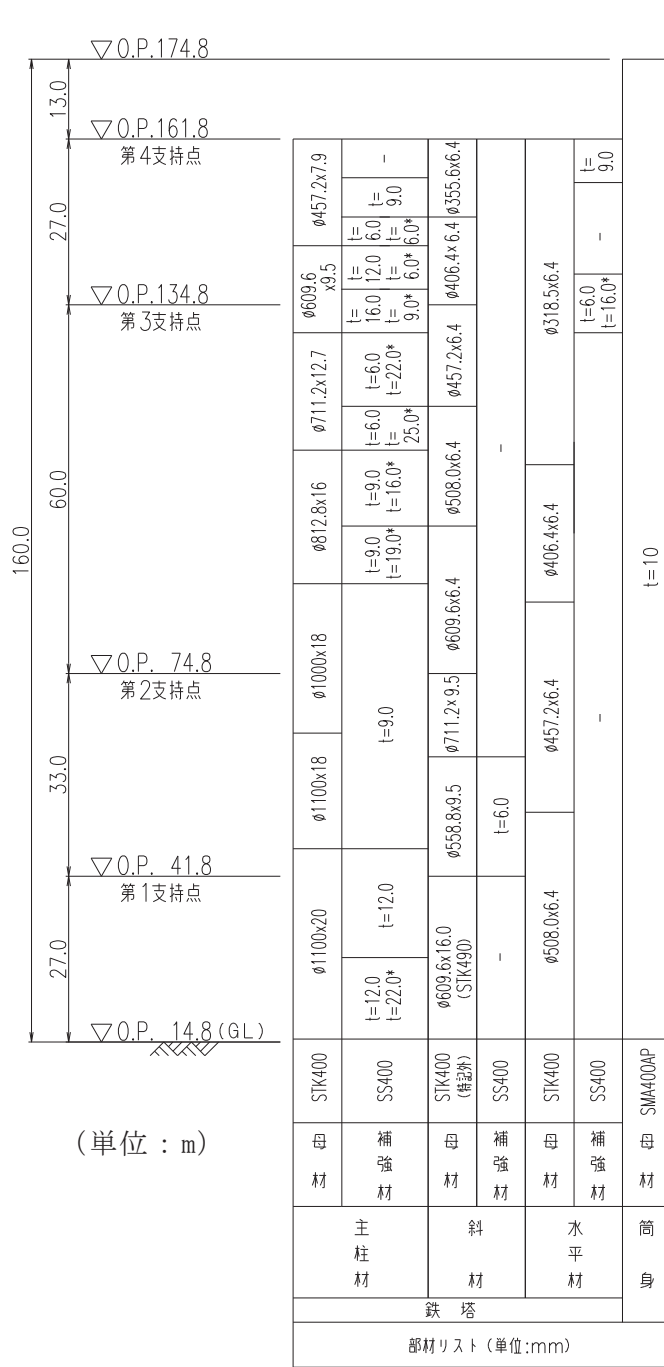


図 1-1 排気筒の概要図

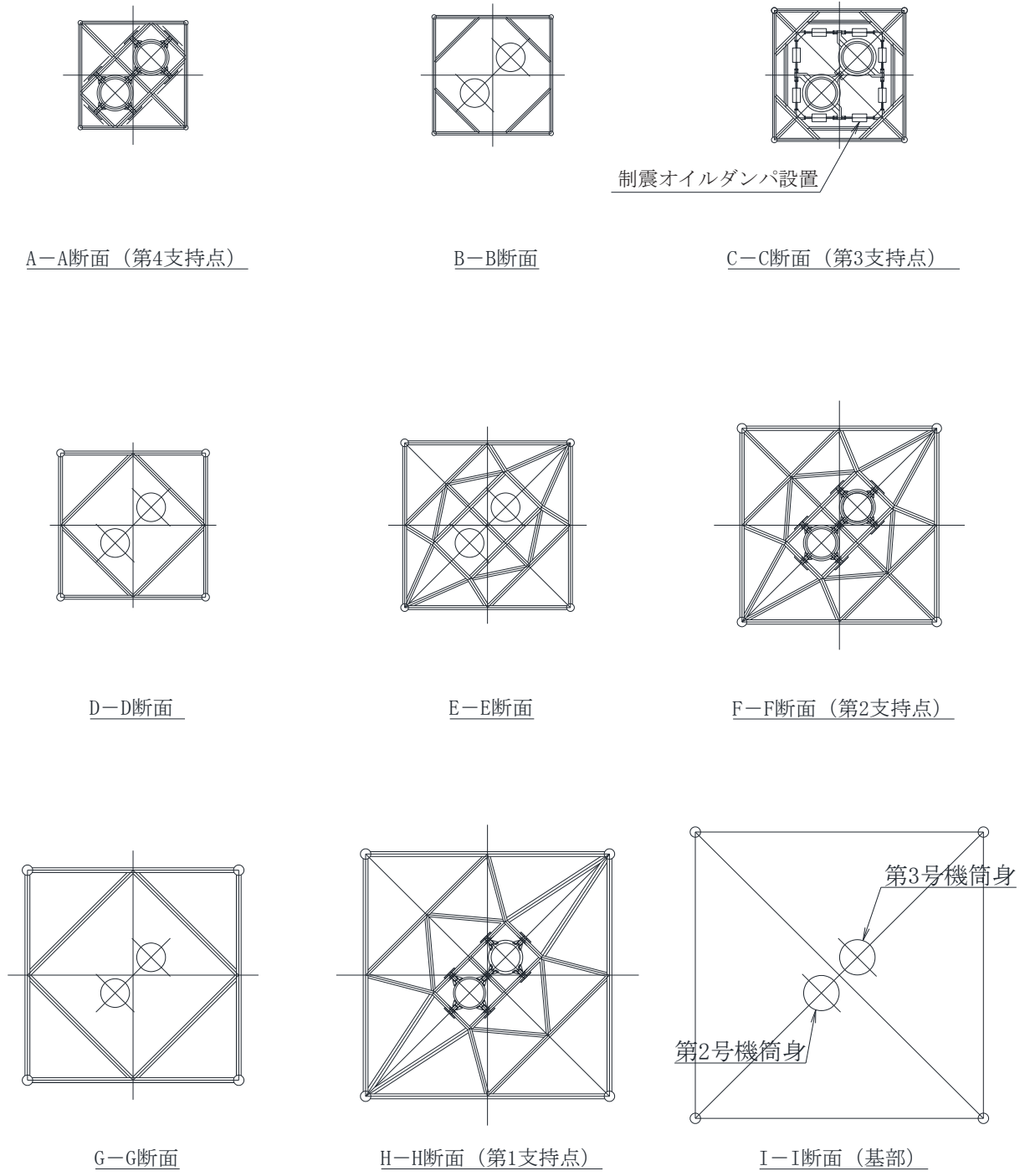


図 1-2 排気筒の概略平面図

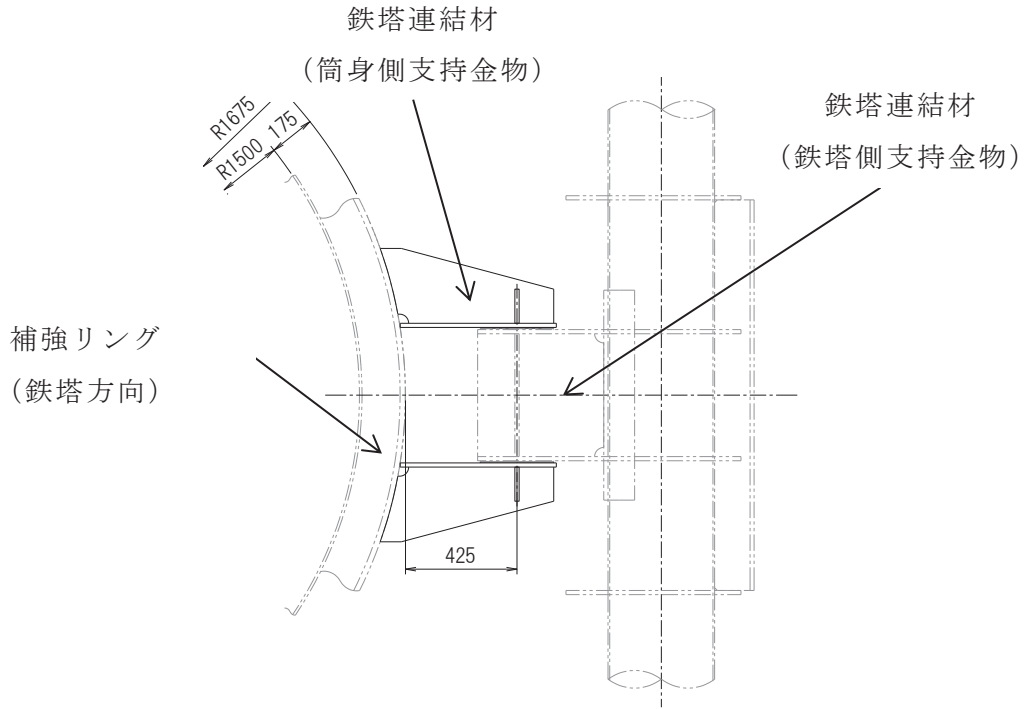


図 1-3 第 1 支持点, 第 2 支持点及び第 4 支持点部拡大図 (単位 : mm)
(代表として第 1 支持点を記載)

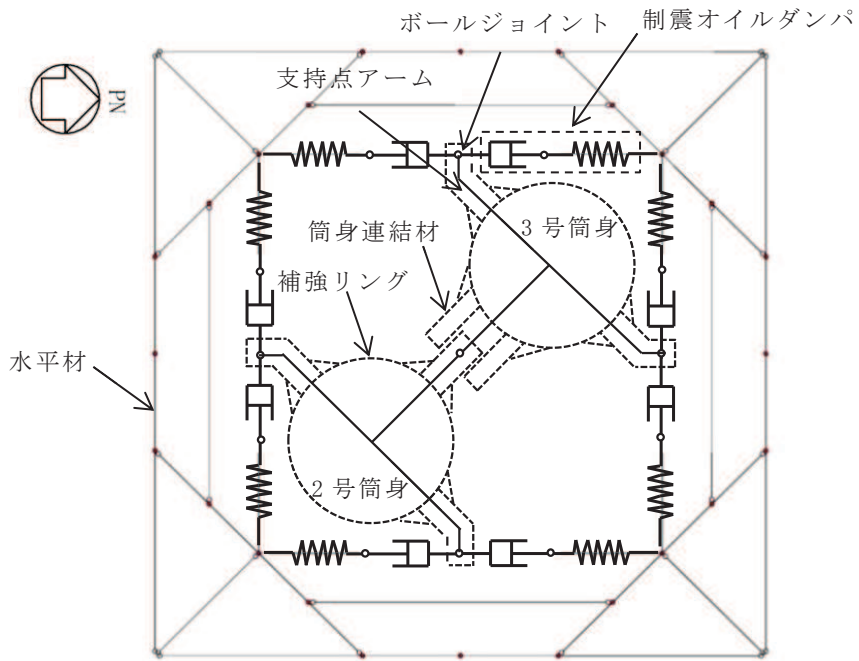


図 1-4 第 3 支持点部平面図

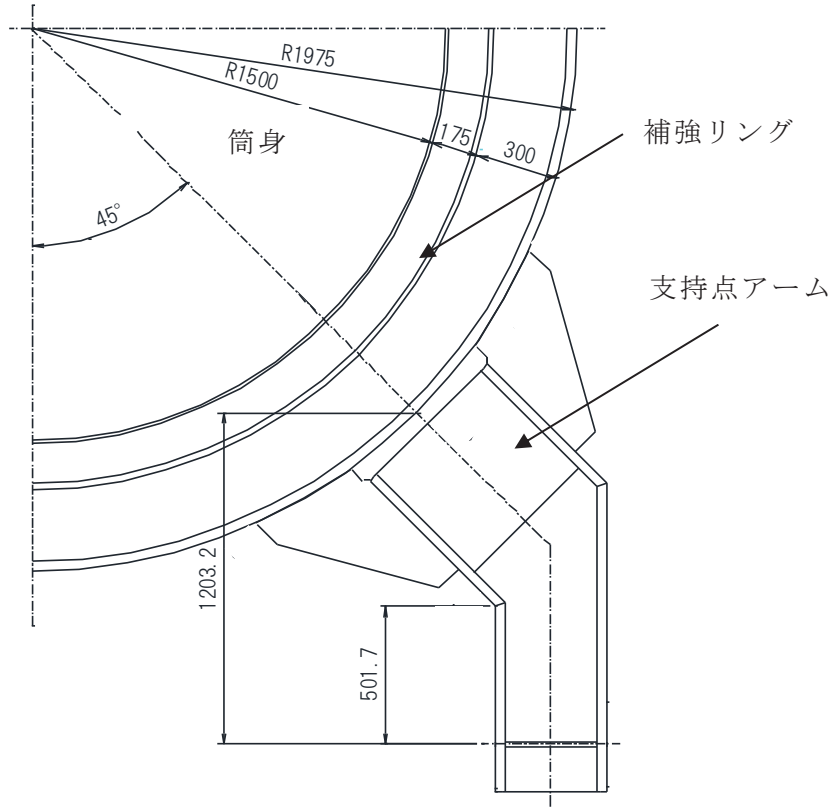
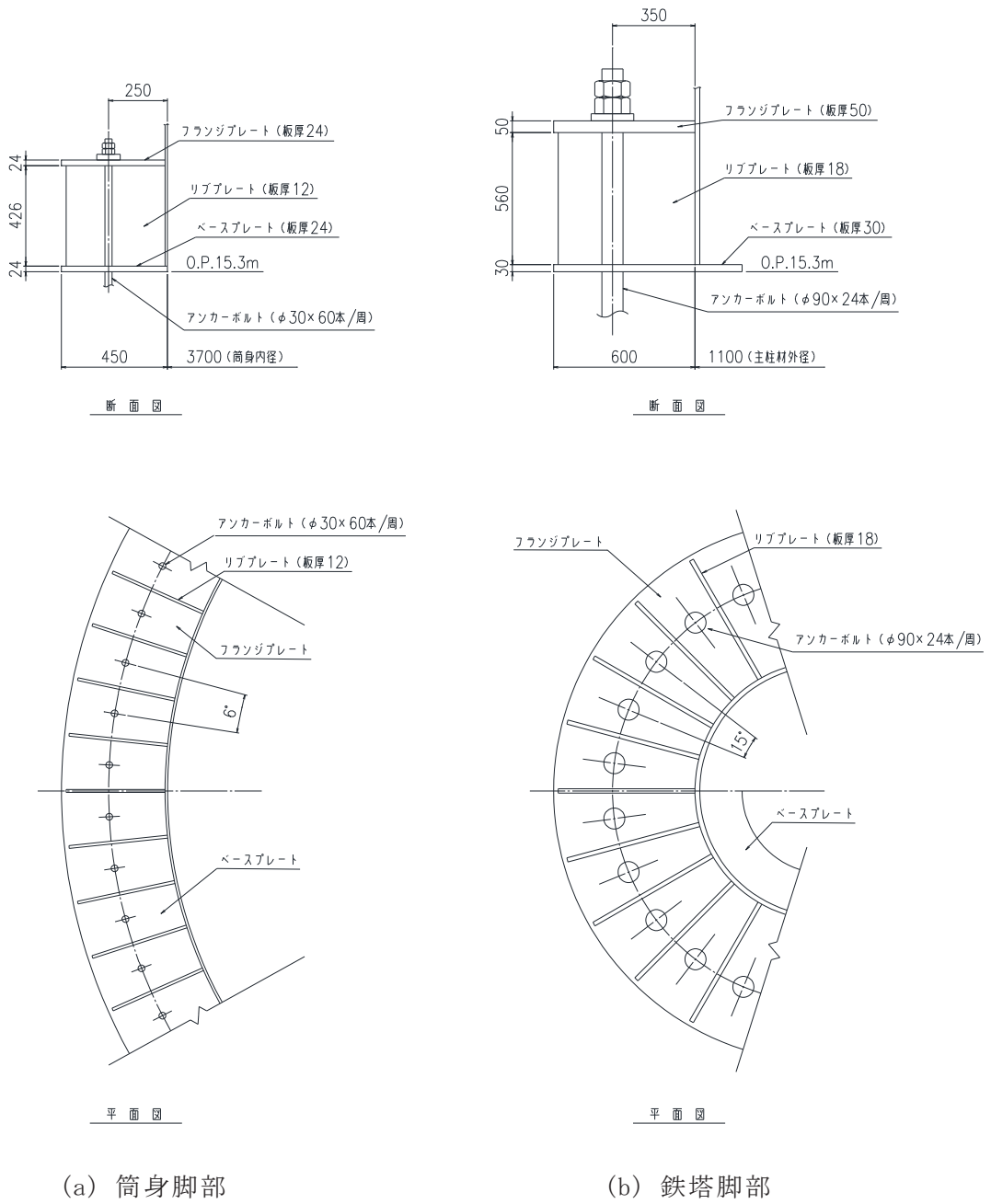


図 1-5 第 3 支持点部拡大図 (単位 : mm)



(a) 筒身脚部

(b) 鉄塔脚部

注：板厚は使用板厚を示す。

図 1-6 脚部の拡大図 (単位：mm)

表 1-1 排気筒の耐震重要度分類

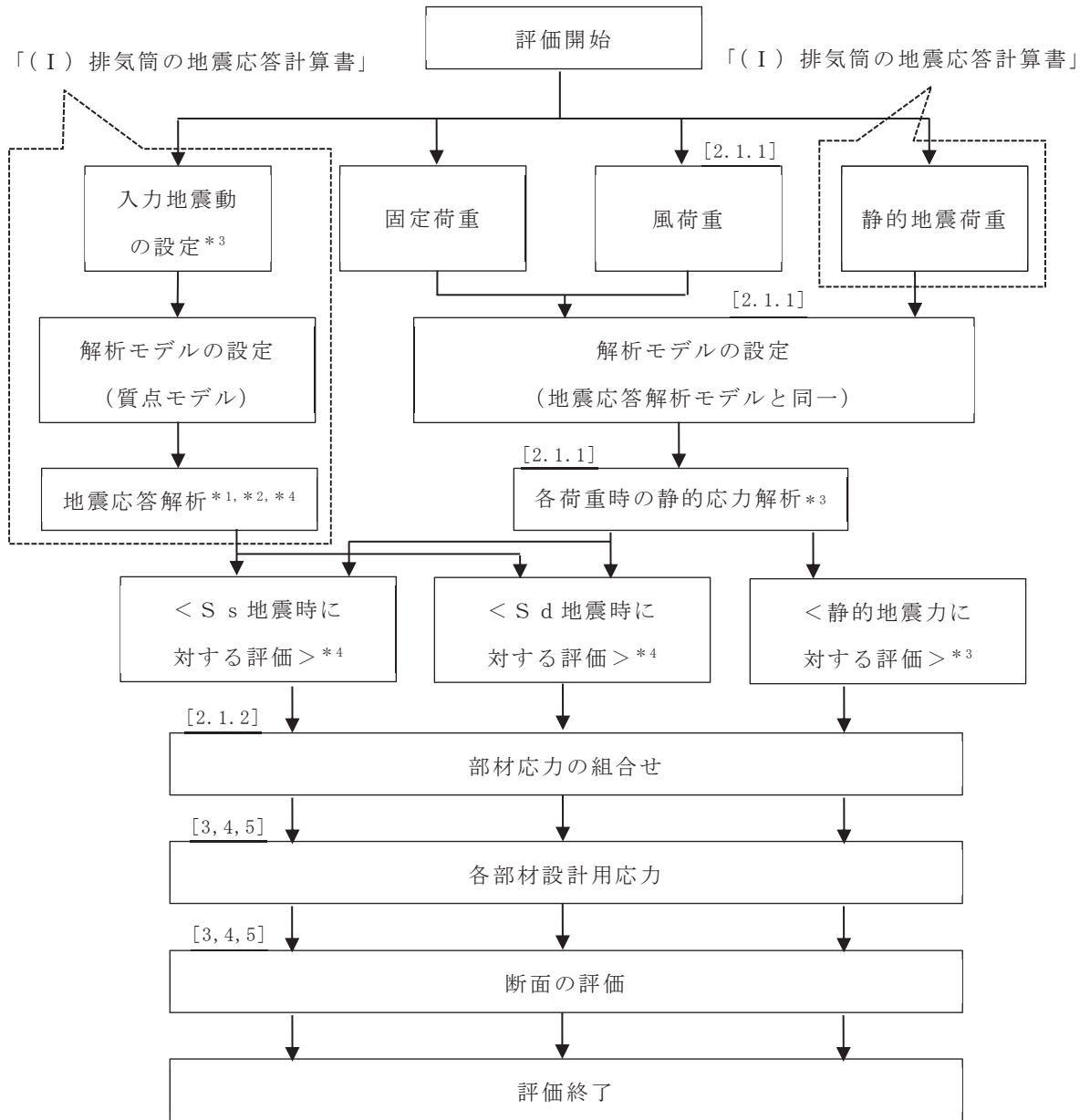
設備区分	耐震重要度 分類	評価内容	設備名称	備考
主要設備	Sクラス	S _s 地震力* ¹ S _d 地震力* ²	第2号機筒身	
直接支持 構造物	Sクラス	S _s 地震力* ¹ S _d 地震力* ²	第3号機筒身	第3号機の工認申請において 主要設備に分類される
			補強リング* ^{3,4}	第2号機及び第3号機筒身の 地震時荷重及び風荷重を直接 的に受ける
			支持点アーム* ³	補強リングと溶接により接合 していることから、補強リン グを介して第2号機及び第3 号機筒身の荷重を直接的に受 ける
			筒身連結材* ³	
			鉄塔連結材 (筒身側 支持金物)* ⁴	
筒身脚部	第2号機及び第3号機筒身の 筒身の常時荷重、地震時荷重 及び風荷重を直接的に受ける			
間接支持 構造物	-	S _s 地震力* ¹	鉄塔 (支柱材, 斜材, 水平材)	直接支持構造物からの地震時 荷重及び風荷重を鉄塔連結材 (鉄塔側支持金物) 及び制震 オイルダンパを介して伝達さ れる
			鉄塔連結材 (鉄塔側 支持金物)* ⁴	直接支持構造物からの地震時 荷重及び風荷重を伝達される
			制震 オイルダンパ* ³	直接支持構造物からの地震時 荷重及び風荷重を伝達される
			鉄塔脚部	間接支持構造物からの常時荷 重、地震時荷重及び風荷重を 伝達される
			排気筒基礎	直接支持構造物及び間接支持 構造物からの常時荷重、地震 時荷重及び風荷重を伝達され る

注記*1: S_s地震力は基準地震動 S_s による評価

2: S_d地震力は弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力による評価

3: 第3支持点における支持部材

4: 第1, 第2及び第4支持点における支持部材



注：[]内は、本資料における章番号を示す。

注記*1：鉛直荷重を考慮した応答値

*2：排気筒基礎の応答の不確かさ等を考慮する

*3：静的応力解析により算出する固定荷重，風荷重及び，基礎の地震応答解析により算出される入力地震動については，制震オイルダンパの減衰を考慮しない

*4：排気筒の地震応力解析により算出する S s 地震時及び S d 地震時に対する応答は，制震オイルダンパの減衰を考慮する

図 1-7 排気筒の評価フロー

1.2 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- ・ 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）
- ・ 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）
- ・ 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。）
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-（以下「鋼構造設計規準」という。）
- ・ 日本建築学会 2010 年 容器構造設計指針・同解説（以下「容器構造設計指針」という。）
- ・ 日本建築学会 2007 年 煙突構造設計指針
- ・ 日本建築センター 1982 年 煙突構造設計施工指針
- ・ 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 日本建築学会 1999 年 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-（以下「RC規準」という。）

2. 評価方法

2.1 荷重及び部材応力の組合せ

2.1.1 荷重

(1) 固定荷重 (G)

「(I) 排気筒の地震応答計算書」に基づき、固定荷重を考慮する。部材応力は「(I) 排気筒の地震応答計算書」の地震応答解析モデルと同一のモデルに固定荷重を入力し、静的応力解析から算出する。解析コードは「DYNA2E Ver8.1.0」を用いる。

(2) 積載荷重 (P)

積載物はないため、積載荷重は考慮しない。

(3) 積雪荷重 (P_s)

歩廊の床材はグレーチングのため雪が積もらない構造となっている。よって、積雪荷重は考慮しない。

(4) 風荷重 (P_k)

風荷重は、「建築基準法施行令」に定められた速度圧に風力係数と受風面積を乗じて得られる風荷重を考慮する。部材応力は「(I) 排気筒の地震応答計算書」の地震応答解析モデルと同一のモデルに風荷重を入力し、静的応力解析から算出する。解析コードは「DYNA2E Ver8.1.0」を用いる。

$$P_k = q \cdot C_f \cdot A$$

ここで

P_k : 風荷重 (N)

q : 速度圧 (N/m²) = $0.6 \cdot E \cdot V_0^2$

V_0 : 当該地の基準風速 ($V_0 = 30\text{m/s}$)

E : 国土交通大臣が定める方法により算出した数値 (= $E_r^2 \cdot G_f$)

f)

E_r : 平均風速の高さ方向の分布を表す係数

$$E_r = 1.7(H/Z_G)^\alpha \quad (H > Z_b)$$

H : 地盤面からの高さ (m) ($H = 160.0\text{m}$)

Z_b, Z_G, α : 地表面粗度区分に応じて定められる数値

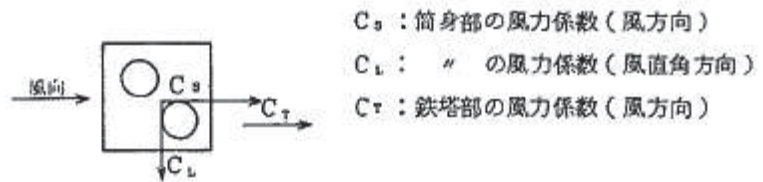
(当該地の地表面粗度区分 II : $Z_b = 5\text{m}, Z_G = 350\text{m}, \alpha = 0.15$)

G_f : ガスト影響係数 ($G_f = 1.0$)

- C_f : 「煙突構造設計施工指針」(図 2-1) による風力係数
 筒身 風方向 0.5, 風直交方向 0.7 (I 方向)
 風方向 0.75 (II 方向)
 鉄塔部 2.4 (I 方向), 2.2 (II 方向)
- A : 「煙突構造設計施工指針」による受風面積 (m^2)

煙突形式	略図	風向	筒身部		鉄塔部	備考
			C_s	C_L	C_T	
一筒三角鉄塔形		I	0.7	—	1.6	
		II	0.7	—	1.6	
一筒四角鉄塔形		I	0.7	—	1.9	
		II	0.7	—	2.4	
二筒四角鉄塔形		I	0.5	0.7	2.4	
		II	0.75	—	2.2	
三筒三角鉄塔形		I	0.7	—	1.9	
		II	0.7	—	1.9	
四筒四角鉄筒形		I	0.55	—	2.0	
		II	0.55	—	2.3	

ここに、①風向と風力係数との関係は次の通りである。



(二筒四角鉄塔形 風向 I の場合)

図 2-1 鉄塔支持形煙突の風力係数
 (「煙突構造設計施工指針」による。)

風荷重の作用方向の説明図を図 2-2 に示す。風荷重の算定結果を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

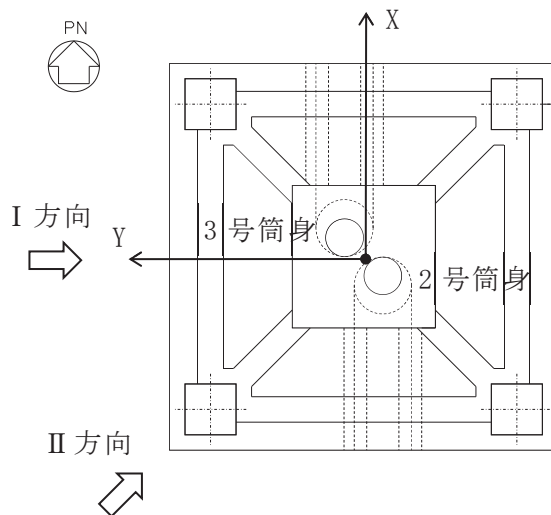


図 2-2 風荷重作用方向の説明

表 2-1 風荷重の算定結果 (筒身部)

標高 O.P. (m)	位置*	風荷重 P_k (kN)		
		I 方向		II 方向
		風方向	風直交方向	風方向
174.8	TOP	26.4	37.0	39.6
161.8	A	36.9	51.6	55.3
155.5	A'	24.3	34.0	36.4
149.1	B	25.8	36.1	38.7
142.0	B'	27.3	38.2	41.0
134.8	C	29.0	40.6	43.5
126.8	C'	31.5	44.1	47.2
118.3	D	34.4	48.1	51.5
108.8	D'	37.2	52.1	55.8
98.8	E	42.8	59.8	64.1
86.4	E'	45.8	64.1	68.7
74.8	F	48.1	67.3	72.1
61.2	G	63.0	88.1	94.4
41.8	H	87.6	122.7	131.4
15.3	I	56.2	78.7	84.3

注記* : 位置は「(I) 排気筒の地震応答計算書」の図 3-1 に示す。

表 2-2 風荷重の算定結果 (鉄塔部)

標高 O.P. (m)	位置*	風荷重 P_k (kN)	
		I 方向	II 方向
174.8	TOP	-	-
161.8	A	47.4	43.4
155.5	A'	36.6	33.6
149.1	B	54.4	49.9
142.0	B'	53.6	49.1
134.8	C	114.6	105.0
126.8	C'	71.3	65.4
118.3	D	92.0	84.3
108.8	D'	101.6	93.2
98.8	E	170.2	156.1
86.4	E'	135.7	124.4
74.8	F	189.2	173.5
61.2	G	260.2	238.5
41.8	H	420.5	385.4
15.3	I	162.1	148.6

注記* : 位置は「(I) 排気筒の地震応答計算書」の図 3-1 に示す。

(5) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s の入力地震動による部材応力は「(Ⅰ) 排気筒の地震応答計算書」の地震応答解析結果による。

(6) 地震荷重 (S_d)

弾性設計用地震動 S_d の入力地震動による地震荷重又は排気筒に適用される静的地震力による地震荷重による部材応力は「(Ⅰ) 排気筒の地震応答計算書」の地震応答解析結果による。

2.1.2 部材応力の組合せ

部材応力の組合せを表 2-3 に示す。部材応力の組合せにより算出する評価用部材断面力は、各層の部材に発生する最大軸力及び最大曲げモーメントを用いる。

表 2-3 部材応力の組合せ

外力の状態	ケース名	部材応力の組合せ
S _s 地震力	I 方向	$G + P_k (I) + S_s (I)$
	II 方向	$G + P_k (II) + S_s (II)$
	III 方向	$G + P_k (III) + S_s (III)$
	IV 方向	$G + P_k (IV) + S_s (IV)$
S _d 地震力 又は静的地 震力	I 方向	$G + P_k (I) + S_d (I)$
	II 方向	$G + P_k (II) + S_d (II)$
	III 方向	$G + P_k (III) + S_d (III)$
	IV 方向	$G + P_k (IV) + S_d (IV)$

注：記号の説明

- G : 固定荷重による部材応力
- $P_k (I)$: I 方向からの風荷重の作用により発生する部材応力^{*1}
- $P_k (II)$: II 方向からの風荷重の作用により発生する部材応力^{*1}
- $P_k (III)$: III 方向からの風荷重の作用により発生する部材応力^{*1}
- $P_k (IV)$: IV 方向からの風荷重の作用により発生する部材応力^{*1}
- $S_s (I)$: 基準地震動 S_s^{*2} の I 方向加振により発生する部材応力
- $S_s (II)$: 基準地震動 S_s^{*2} の II 方向加振により発生する部材応力
- $S_s (III)$: 基準地震動 S_s^{*2} の III 方向加振により発生する部材応力
- $S_s (IV)$: 基準地震動 S_s^{*2} の IV 方向加振により発生する部材応力
- $S_d (I)$: 弾性設計用地震動 S_d^{*2} の I 方向加振により発生する部材応力
- $S_d (II)$: 弾性設計用地震動 S_d^{*2} の II 方向加振により発生する部材応力
- $S_d (III)$: 弾性設計用地震動 S_d^{*2} の III 方向加振により発生する部材応力
- $S_d (IV)$: 弾性設計用地震動 S_d^{*2} の IV 方向加振により発生する部材応力

注記*1: 排気筒の支持形式は二筒四角鉄塔形になることから、筒身の I 方向及び III 方向に風荷重を入力した場合、表 2-1 に示す通り、風荷重の入力方向に直交する方向に風荷重が発生する。そのため、風荷重の作用により発生する部材応力については、静的応力解析により求められた風方向及び風直交方向の部材応力の二乗和平方根を用いる。

*2: 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d は、水平 1 方向（並進・回転）及び鉛直方向を同時入力する。

2.2 許容限界

耐震評価における筒身及び鉄塔の許容限界は、添付書類「VI-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 2-4 及び表 2-5 のとおり設定する。

表 2-4 耐震評価における許容限界（設計基準対象施設としての評価）

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界（評価基準値）
構造強度を有すること	基準地震動 S _s	表 1-1 における 主要設備, 直接支持構造物, 間接支持構造物	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	終局耐力に対し て適切な安全裕 度を有する許容 限界* ¹
	弾性設計用 地震動 S _d 及び 静的地震力	表 1-1 における 主要設備, 直接支持構造物	部材に生じる応力が 弾性状態に留まる範 囲で耐えることを確 認	部材に生じる応 力が短期許容応 力度に基づく許 容値* ²

注記*1：許容限界は終局耐力に対して適切な裕度を有する弾性限強度を用いる。鋼材の基準強度 F を「建設省告示第 2464 号」に準拠して 1.1F と読み替え、筒身の許容限界は「容器構造設計指針」によって求めた地震時許容応力度、鉄塔の許容限界は「平 13 国交告第 1024 号」による材料強度とする。

*2：筒身の許容限界は「容器構造設計指針」によって求めた短期許容応力度とする。

表 2-5 耐震評価における許容限界（重大事故等対処施設としての評価）

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界（評価基準値）
構造強度を有すること	基準地震動 S _s	表 1-1 における 主要設備, 直接支持構造物, 間接支持構造物	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	終局耐力に対し て適切な安全裕 度を有する許容 限界*

注記*：許容限界は終局耐力に対して適切な裕度を有する弾性限強度を用いる。鋼材の基準強度 F を「建設省告示第 2464 号」に準拠して 1.1F と読み替え、筒身の許容限界は「容器構造設計指針」によって求めた地震時許容応力度、鉄塔の許容限界は「平 13 国交告第 1024 号」による材料強度とする。

2.3 使用材料及び材料の許容応力度

筒身の鋼材については、J I S G 3 1 1 4「溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材」に規定される SMA400AP を使用する。

鉄塔の鋼材は、J I S G 3 1 0 1「一般構造用圧延鋼材」に規定される SS400、J I S G 3 4 4 4「一般構造用炭素鋼鋼管」に規定される STK400、STK490 のいずれかを使用する。

筒身脚部，鉄塔脚部，支持点アーム，補強リング（以下「脚部等」という。）の鋼材は、J I S G 3 1 0 1「一般構造用圧延鋼材」に規定される SS400、J I S G 3 1 0 6「溶接構造用圧延鋼材」に規定される SM400A のいずれかを使用する。なお、鉄塔脚部のアンカーボルトは、直径が 40mm を超える鋼材を使用する。

使用材料の材料定数を表 2-6 に、制震オイルダンパの許容値を表 2-7 に示す。

また、基礎で使用するコンクリートの設計基準強度 F_c は 20.5 N/mm^2 とし、コンクリートの許容応力度を表 2-8 に示す。

表 2-6 使用材料の材料定数

板厚	材料	基準強度 $F \text{ (N/mm}^2\text{)}$	備考
$t \leq 40\text{mm}$	SS400, SM400A, SMA400AP, STK400	235	筒身, 主柱材, 斜材, 水平材, 脚部等
$t \leq 40\text{mm}$	STK490	325	斜材
$40\text{mm} < t$	SS400, SM400A	215	脚部等, アンカーボルト

表 2-7 制震オイルダンパの許容値

標高 O.P. (m)	位置	許容速度 (m/s)	許容変位 (mm)
134.8	C	1.20	± 400

表 2-8 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm²)

外力の状態	設計基準強度 $F_c = 20.5$	
	長 期	短 期
	圧縮	圧縮
S s 地震時	6.8	13.6

2.4 断面の評価方法

「2.1 荷重及び部材応力の組合せ」により組み合わせた設計用部材応力に対して筒身と鉄塔の各部材の断面検定を次の通り行う。

2.4.1 筒身

筒身部材について、板厚 2mm(外側 1mm, 内側 1mm)の腐食代を考慮し、次式の応力度比によって断面検定を行う。

$$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{c r}} \leq 1$$

ここに

σ_c : 圧縮応力度 $\sigma_c = N / A$ (N/mm²)

N : 軸力 (N)

A : 筒身の断面積 (mm²)

σ_b : 曲げ応力度 $\sigma_b = M / Z$ (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 筒身の断面係数 (mm³)

$c f_{c r}$: 局部座屈を考慮した圧縮応力度に対する許容値 (N/mm²)

$b f_{c r}$: 局部座屈を考慮した曲げ応力度に対する許容値 (N/mm²)

$c f_{c r}$ 及び $b f_{c r}$ は「容器構造設計指針」による材料強度の評価式に「建設省告示第 2464 号」に基づき F 値×1.1 を適用して算定する。S d 地震時の評価では、 $c f_{c r}$ 及び $b f_{c r}$ は「容器構造設計指針」によって求めた短期許容応力度とする。

(1) 局部座屈を考慮した圧縮応力度に対する許容値 $f_{c r}$

地震時応力に対する許容圧縮応力度は、以下の式により求める。

$$\overline{f_{c r}} = F \quad \left(\frac{r}{t} \leq 0.377 \left(\frac{E}{F} \right)^{0.72} \right)$$

$$\overline{f_{c r}} = 0.6 F + 0.4 F \left[\frac{2.567 \frac{r}{t} \left(\frac{F}{E} \right)^{0.72}}{2.190} \right]$$

$$\left(0.377 \left(\frac{E}{F} \right)^{0.72} \leq \frac{r}{t} \leq 2.567 \left(\frac{E}{F} \right)^{0.72} \right)$$

$$\overline{f_{c r}} = 0.6 E \left[1 - 0.901 \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \sqrt{\frac{r}{t}} \right) \right\} \right] / \frac{r}{t} \quad \left(2.567 \left(\frac{E}{F} \right)^{0.72} \leq \frac{r}{t} \right)$$

$\overline{f_{c r}}$: 内圧が存在しない場合の $f_{c r}$ (N/mm²)

F : 許容応力度の基準値 (N/mm²)

E : ヤング率 (N/mm²)

r : 内半径 (mm)

t : 壁厚 (mm)

(2) 局部座屈を考慮した曲げ応力度に対する許容値 $f_{b r}$

地震時応力に対する許容曲げ応力度は、以下の式により求める。

$$\overline{f_{b r}} = F \quad \left(\frac{r}{t} \leq 0.274 \left(\frac{E}{F} \right)^{0.78} \right)$$

$$\overline{f_{b r}} = 0.6 F + 0.4 F \left[\frac{2.106 \frac{r}{t} \left(\frac{F}{E} \right)^{0.78}}{1.832} \right]$$

$$\left(0.274 \left(\frac{E}{F} \right)^{0.78} \leq \frac{r}{t} \leq 2.106 \left(\frac{E}{F} \right)^{0.78} \right)$$

$$\overline{f_{b r}} = 0.6 E \left[1 - 0.731 \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \sqrt{\frac{r}{t}} \right) \right\} \right] / \frac{r}{t} \quad \left(2.106 \left(\frac{E}{F} \right)^{0.78} \leq \frac{r}{t} \right)$$

$\overline{f_{b r}}$: 内圧が存在しない場合の $f_{b r}$ (N/mm²)

F : 許容応力度の基準値 (N/mm²)

E : ヤング率 (N/mm²)

r : 半径 (mm)

t : 壁厚 (mm)

2.4.2 鉄塔

主柱材，斜材，水平材について，板厚 1mm(外側のみ)の腐食代を考慮し，次式の応力度比によって断面検定を行う。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$$

ここに

σ_c : 圧縮応力度 $\sigma_c = N / A$ (N/mm²)

N : 軸力 (N)

A : 鉄塔の断面積 (mm²)

σ_b : 曲げ応力度 $\sigma_b = M / Z$ (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 鉄塔の断面係数 (mm³)

f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (N/mm²)

f_b : 曲げ応力度に対する許容値 (N/mm²)

f_c 及び f_b は「平 13 国交告第 1024 号」による材料強度の評価式に「建設省告示第 2464 号」に基づき F 値×1.1 を適用して算定する。

3. 評価結果

3.1 耐震評価結果

「2.4 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。断面の評価結果を記載する検討ケースは、軸力及び曲げモーメントによる断面検定において、応力度比が最大となるケースとする。

基準地震動 S_s 並びに弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力において、軸力及び曲げモーメントによる発生応力度の評価値が各許容値を超えないことを確認した。

基準地震動 S_s に対する断面算定結果を表 3-1～表 3-5 に、弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力に対する断面算定結果を表 3-6 及び表 3-7 に示す。

表 3-1(1) S s 地震時における第 2 号機筒身の断面算定表 (SMA400AP)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材断面力			使用部材			$c f_{cr}$ (N/mm ²)	$b f_{cr}$ (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}}$
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース) (加振方向)	寸法 (mm)	A* (×10 ² mm ²)	Z* (×10 ³ mm ³)					
161.8	A	375.2	4121.6	S s-N 1 (ケース⑤) (IV方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	5.0	72.7	0.37
155.5	A'	865.6	3090.6	S s-D 1 (ケース①) (IV方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	11.5	54.6	0.31
149.1	B	971.7	4279.4	S s-F 2 (ケース①) (IV方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	12.9	75.5	0.42
142.0	B'	1109.4	5136.6	S s-F 2 (ケース①) (Ⅲ方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	14.7	90.6	0.50
134.8	C	1859.8	5210.5	S s-D 1 (ケース①) (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	24.6	91.9	0.55
126.8	C'	2108.7	4656.8	S s-D 2 (ケース④) (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	27.9	82.2	0.52
118.3	D	2391.4	5328.7	S s-D 2 (ケース⑤) (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	31.7	94.0	0.60
108.8	D'	2678.5	5896.2	S s-D 2 (ケース⑤) (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	35.5	104.0	0.66
98.8	E	2939.7	4791.5	S s-D 2 (ケース⑤) (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	38.9	84.6	0.59

表 3-1(2) S s 地震時における第 2 号機筒身の断面算定表 (SMA400AP)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材断面力			使用部材			$c f_{cr}$ (N/mm ²)	$b f_{cr}$ (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}}$
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース) (加振方向)	寸法 (mm)	A* (×10 ² mm ²)	Z* (×10 ³ mm ³)					
86.4	E'	3807.8	2799.9	S s - F 3 (ケース①) (I 方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	50.4	49.4	0.48
74.8	F	3516.6	6781.6	S s - D 2 (ケース⑤) (I 方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	46.5	119.7	0.79
61.2	G	3860.7	4990.4	S s - D 2 (ケース③) (II 方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	51.1	88.1	0.66
41.8	H	5065.7	1824.9	S s - F 3 (ケース①) (I 方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	67.0	32.2	0.48
24.3	M1	5065.7	2905.8	S s - F 3 (ケース①) (I 方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	67.0	51.3	0.57
19.3	M2	5065.7	4171.8	S s - F 3 (ケース①) (I 方向)	φ 3720×10	932.4	86200	186.7	202.2	54.4	48.4	0.54
15.3	I	2730.4	7859.8	S s - N 1 (ケース④) (IV 方向)	φ 3720×10	932.4	86200	186.7	202.2	29.3	91.2	0.61

注記* : 使用板厚より腐食代 (外側 1mm, 内側 1mm) を控除して算出

表 3-2(1) S s 地震時における第 3 号機筒身の断面算定表 (SMA400AP)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材断面力			使用部材			$c f_{c r}$ (N/mm ²)	$b f_{c r}$ (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{c r}}$
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース) (加振方向)	寸法 (mm)	A* (×10 ² mm ²)	Z* (×10 ³ mm ³)					
161.8	A	375.9	4106.0	S s-N 1 (ケース⑤) (I 方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	5.0	72.5	0.37
155.5	A'	862.2	3123.5	S s-D 1 (ケース①) (I 方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	11.4	55.1	0.32
149.1	B	936.9	4313.3	S s-F 2 (ケース①) (I 方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	12.4	76.1	0.42
142.0	B'	1156.3	5115.5	S s-F 2 (ケース①) (I 方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	15.3	90.3	0.50
134.8	C	1893.8	5208.2	S s-D 1 (ケース①) (I 方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	25.1	91.9	0.55
126.8	C'	1969.4	4645.6	S s-D 2 (ケース④) (I 方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	26.1	82.0	0.51
118.3	D	2237.1	5338.7	S s-D 2 (ケース⑤) (I 方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	29.6	94.2	0.59
108.8	D'	2713.2	5791.7	S s-D 2 (ケース⑤) (IV 方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	35.9	102.2	0.65
98.8	E	2976.5	4805.7	S s-D 2 (ケース⑤) (IV 方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	39.4	84.8	0.59

表 3-2(2) S s 地震時における第 3 号機筒身の断面算定表 (SMA400AP)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材断面力			使用部材			$c f_{cr}$ (N/mm ²)	$b f_{cr}$ (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}}$
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース) (加振方向)	寸法 (mm)	A* (×10 ² mm ²)	Z* (×10 ³ mm ³)					
86.4	E'	3940.2	2953.7	S s - F 3 (ケース①) (IV方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	52.1	52.1	0.50
74.8	F	3341.0	6745.8	S s - D 2 (ケース⑤) (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	44.2	119.0	0.77
61.2	G	3860.7	4990.4	S s - D 2 (ケース③) (II方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	51.1	88.1	0.66
41.8	H	5221.3	1814.9	S s - F 3 (ケース①) (IV方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	69.1	32.1	0.49
24.3	M1	5221.3	3088.9	S s - F 3 (ケース①) (IV方向)	φ 3020×10	756.4	56700	203.7	215.8	69.1	54.5	0.60
19.3	M2	5221.3	4485.2	S s - F 3 (ケース①) (IV方向)	φ 3720×10	932.4	86200	186.7	202.2	56.0	52.1	0.56
15.3	I	5221.3	5602.2	S s - F 3 (ケース①) (IV方向)	φ 3720×10	932.4	86200	186.7	202.2	56.0	65.0	0.63

注記* : 使用板厚より腐食代 (外側 1mm, 内側 1mm) を控除して算出

表 3-3(1) S s 地震時における主柱材の断面算定表 (STK400)

高さ O.P. (m)	区間	評価用部材断面力			使用部材				ℓ_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース) (加振方向)	寸法 (mm)	A* (×10 ² mm ²)	Z* (×10 ³ mm ³)	i (mm)							
161.8- 155.5	A - A'	158.2	67.8	S s-D 2 (ケース③) (Ⅲ方向)	φ 457.2 ×7.9	97.17	1070	158	6316	40.0	245.7	258.5	16.3	63.4	0.32
155.5- 149.1	A' - B	2227.8	58.1	S s-N 1 (ケース③) (Ⅳ方向)	φ 457.2 ×7.9	155.6	1700	160	6413	40.1	245.7	258.5	143.2	34.2	0.72
149.1- 142.0	B - B'	2334.2	79.6	S s-N 1 (ケース③) (Ⅳ方向)	φ 457.2 ×7.9	151.6	1660	160	7117	44.5	242.7	258.5	154.0	48.0	0.83
142.0- 134.8	B' - C	4889.4	224.4	S s-N 1 (ケース③) (Ⅳ方向)	φ 609.6 ×9.5	291.3	4260	215	7214	33.6	249.5	258.5	167.9	52.7	0.88
134.8- 126.8	C - C'	5279.3	277.8	S s-N 1 (ケース④) (Ⅳ方向)	φ 609.6 ×9.5	345.9	5060	216	8018	37.2	247.4	258.5	152.7	55.0	0.83
126.8- 118.3	C' - D	7432.1	341.6	S s-N 1 (ケース④) (Ⅳ方向)	φ 711.2 ×12.7	433.3	7240	250	8514	34.1	249.2	258.5	171.6	47.2	0.88
118.3- 108.8	D - D'	7610.1	340.8	S s-N 1 (ケース④) (Ⅳ方向)	φ 711.2 ×12.7	451.2	7520	251	9526	38.0	247.0	258.5	168.7	45.4	0.86
108.8- 98.8	D' - E	9540.8	611.3	S s-N 1 (ケース④) (Ⅳ方向)	φ 812.8 ×16.0	575.6	11000	284	10040	35.4	248.5	258.5	165.8	55.6	0.89
98.8- 86.4	E - E'	9777.9	660.3	S s-N 1 (ケース④) (Ⅳ方向)	φ 812.8 ×16.0	595.6	11400	285	12441	43.7	243.3	258.5	164.2	58.0	0.90

表 3-3(2) S s 地震時における支柱材の断面算定表 (STK400)

高さ 0. P. (m)	区間	評価用部材断面力			使用部材				ℓ_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース) (加振方向)	寸法 (mm)	A* (×10 ² mm ²)	Z* (×10 ³ mm ³)	i (mm)							
86.4- 74.8	E' - F	10781.0	775.6	S s -N 1 (ケース⑤) (IV方向)	φ 1000 × 18.0	650.5	15500	348	11654	33.5	249.5	258.5	165.8	50.1	0.86
74.8- 61.2	F - G	11129.9	773.0	S s -N 1 (ケース⑤) (IV方向)	φ 1000 × 18.0	650.5	15500	348	13621	39.2	246.2	258.5	171.1	49.9	0.89
61.2- 41.8	G - H	10383.4	195.0	S s -D 1 (ケース①) (II方向)	φ 1100 × 18.0	716.5	18900	384	19580	51.0	237.8	258.5	145.0	10.4	0.65
41.8- 28.6	H - H'	12371.2	845.6	S s -D 1 (ケース①) (II方向)	φ 1100 × 20.0	836.0	21900	384	13350	34.8	248.8	258.5	148.0	38.7	0.75
28.6- 15.3	H' - I	11088.0	2042.0	S s -N 1 (ケース①) (II方向)	φ 1100 × 20.0	1020	26600	386	13350	34.6	248.9	258.5	108.8	76.8	0.74

注記* : 補強材の断面性能を含み, 使用板厚より腐食代 (外側 1mm) を控除して算出

記号の説明

i : 断面二次半径

ℓ_k : 座屈長さ

λ : 細長比 (ℓ_k / i)

表 3-4(1) S s 地震時における斜材の断面算定表 (STK400)

高さ O.P. (m)	区間	評価用部材断面力			使用部材				ℓ_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース) (加振方向)	寸法 (mm)	A* (×10 ² mm ²)	Z* (×10 ³ mm ³)	i (mm)							
161.8- 155.5	A - A'	967.5	0.0	S s -N 1 (ケース④) (I 方向)	φ 355.6 ×6.4	59.07	506	123	8568	69.7	219.8	258.5	163.8	0.0	0.75
155.5- 149.1	A' - B	1015.7	0.0	S s -N 1 (ケース④) (I 方向)	φ 355.6 ×6.4	59.07	506	123	8640	70.3	219.1	258.5	172.0	0.0	0.79
149.1- 142.0	B - B'	1135.4	0.0	S s -N 1 (ケース④) (I 方向)	φ 406.4 ×6.4	67.68	666	141	9589	68.1	221.6	258.5	167.8	0.0	0.76
142.0- 134.8	B' - C	1097.6	0.0	S s -N 1 (ケース④) (I 方向)	φ 406.4 ×6.4	67.68	666	141	9660	68.6	221.0	258.5	162.2	0.0	0.74
134.8- 126.8	C - C'	1188.3	0.0	S s -N 1 (ケース④) (I 方向)	φ 457.2 ×6.4	76.30	848	159	10737	67.6	222.1	258.5	155.8	0.0	0.71
126.8- 118.3	C' - D	1084.7	0.0	S s -F 1 (ケース①) (I 方向)	φ 457.2 ×6.4	76.30	848	159	11112	69.9	219.6	258.5	142.2	0.0	0.65
118.3- 108.8	D - D'	1248.3	0.0	S s -F 1 (ケース①) (I 方向)	φ 508.0 ×6.4	84.92	1050	176	12431	70.7	218.7	258.5	147.0	0.0	0.68
108.8- 98.8	D' - E	1155.7	0.0	S s -F 1 (ケース①) (I 方向)	φ 508.0 ×6.4	84.92	1050	176	12822	72.9	216.2	258.5	136.1	0.0	0.63
98.8- 86.4	E - E'	1533.1	0.0	S s -D 2 (ケース⑤) (I 方向)	φ 609.6 ×6.4	102.1	1520	212	15581	73.5	215.5	258.5	150.2	0.0	0.70

表 3-4(2) S s 地震時における斜材の断面算定表 (STK400)

高さ 0.P. (m)	区間	評価用部材断面力			使用部材				ℓ_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース) (加振方向)	寸法 (mm)	A* ¹ (×10 ² mm ²)	Z* ¹ (×10 ³ mm ³)	i (mm)							
86.4- 74.8	E' - F	1597.5	0.0	S s -N 1 (ケース③) (I 方向)	φ 609.6 ×6.4	102.1	1520	212	14963	70.6	218.8	258.5	156.5	0.0	0.72
74.8- 61.2	F - G	2995.4	0.0	S s -N 1 (ケース③) (I 方向)	φ 711.2 ×9.5	187.1	3230	247	17487	70.8	218.6	258.5	160.1	0.0	0.74
61.2- 41.8	G - H	3101.9	19.4	S s -N 1 (ケース③) (I 方向)	φ 558.8 ×9.5	190.6	2550	195	11997	61.6	228.3	258.5	162.8	7.7	0.75
41.8- 15.3	H - I	5517.0	52.1	S s -N 1 (ケース③) (I 方向)	φ 609.6 ×16.0* ²	279.2	4030	209	15269	73.1	276.4	357.5	197.7	13.0	0.76

注記*1: 補強材の断面性能を含み、使用板厚より腐食代 (外側 1mm) を控除して算出

*2: 材質は STK490 を使用している

記号の説明

i : 断面二次半径

ℓ_k : 座屈長さ

λ : 細長比 (ℓ_k / i)

表 3-5(1) S s 地震時における水平材の断面算定表 (STK400)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材断面力			使用部材				ℓ_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース) (加振方向)	寸法 (mm)	A* (×10 ² mm ²)	Z* (×10 ³ mm ³)	i (mm)							
161.8	A	995.3	42.3	S s-N 1 (ケース③) (I 方向)	φ 318.5 × 6.4	93.80	708	112	7252	64.8	225.0	258.5	106.2	59.8	0.71
149.1	B	81.8	9.6	S s-D 2 (ケース③) (Ⅲ 方向)	φ 318.5 × 6.4	52.77	403	110	6099	55.5	233.9	258.5	15.6	23.9	0.16
134.8	C	458.4	125.7	S s-D 2 (ケース⑤) (I 方向)	φ 318.5 × 6.4	117.4	871	113	6774	60.0	229.8	258.5	39.1	144.4	0.73
118.3	D	191.0	4.4	S s-D 2 (ケース④) (Ⅲ 方向)	φ 318.5 × 6.4	52.77	403	110	7552	68.7	220.9	258.5	36.2	11.0	0.21
98.8	E	340.9	4.3	S s-D 2 (ケース③) (I 方向)	φ 406.4 × 6.4	67.68	666	141	8631	61.3	228.6	258.5	50.4	6.5	0.25
74.8	F	807.9	3.7	S s-N 1 (ケース③) (I 方向)	φ 457.2 × 6.4	76.30	848	159	10144	63.8	226.1	258.5	105.9	4.4	0.49

表 3-5(2) S s 地震時における水平材の断面算定表 (STK400)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材断面力			使用部材				ℓ_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース) (加振方向)	寸法 (mm)	A* (×10 ² mm ²)	Z* (×10 ³ mm ³)	i (mm)							
61.2	G	1081.4	8.9	S s - F 1 (ケース①) (Ⅱ方向)	φ 457.2 × 6.4	76.30	848	159	11000	69.2	220.4	258.5	141.8	10.5	0.69
41.8	H	1279.1	4.1	S s - N 1 (ケース③) (Ⅰ方向)	φ 508.0 × 6.4	84.92	1050	176	12692	72.2	217.0	258.5	150.7	4.0	0.71

注記* : 補強材の断面性能を含み、使用板厚より腐食代 (外側 1mm) を控除して算出

記号の説明

i : 断面二次半径

ℓ_k : 座屈長さ

λ : 細長比 (ℓ_k / i)

表 3-6(1) S d 地震時における第 2 号機筒身の断面算定表 (SMA400AP)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材断面力			使用部材			$c f_{c r}$ (N/mm ²)	$b f_{c r}$ (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{c r}}$
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース) (加振方向)	寸法 (mm)	A* (×10 ² mm ²)	Z* (×10 ³ mm ³)					
161.8	A	378.4	2285.7	S d-D 2 (ケース③) (IV方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	5.1	40.4	0.26
155.5	A'	576.3	1932.1	S d-D 1 (ケース①) (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	7.7	34.1	0.24
149.1	B	726.7	2611.9	S d-D 2 (ケース②) (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	9.7	46.1	0.32
142.0	B'	870.7	3239.9	S d-D 2 (ケース③) (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	11.6	57.2	0.39
134.8	C	609.3	4428.6	静的地震力 (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	8.1	78.2	0.48
126.8	C'	706.0	4451.4	静的地震力 (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	9.4	78.6	0.49
118.3	D	1655.7	3709.0	S d-D 2 (ケース⑤) (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	21.9	65.5	0.50
108.8	D'	1859.2	3904.4	S d-D 2 (ケース⑤) (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	24.6	68.9	0.53
98.8	E	2047.3	2961.2	S d-D 2 (ケース⑤) (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	27.1	52.3	0.45

表 3-6(2) S d 地震時における第 2 号機筒身の断面算定表 (SMA400AP)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材断面力			使用部材			$c f_{cr}$ (N/mm ²)	$b f_{cr}$ (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}}$
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース) (加振方向)	寸法 (mm)	A* (×10 ² mm ²)	Z* (×10 ³ mm ³)					
86.4	E'	2220.3	1954.4	S d-D 2 (ケース②) (I 方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	29.4	34.5	0.37
74.8	F	1333.5	6306.6	静的地震力 (I 方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	17.7	111.3	0.72
61.2	G	2736.4	3209.3	S d-D 2 (ケース③) (II 方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	36.2	56.7	0.53
41.8	H	3044.1	1323.5	S d-D 2 (ケース②) (I 方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	40.3	23.4	0.37
24.3	M1	2999.8	2215.1	S d-D 1 (ケース①) (IV 方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	39.7	39.1	0.46
19.3	M2	2999.8	3055.1	S d-D 1 (ケース①) (IV 方向)	φ 3720×10	932.4	86200	145.3	165.3	32.2	35.5	0.44
15.3	I	2999.8	3784.6	S d-D 1 (ケース①) (IV 方向)	φ 3720×10	932.4	86200	145.3	165.3	32.2	44.0	0.49

注記* : 使用板厚より腐食代 (外側 1mm, 内側 1mm) を控除して算出

表 3-7(1) S d 地震時における第 3 号機筒身の断面算定表 (SMA400AP)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材断面力			使用部材			$c f_{c r}$ (N/mm ²)	$b f_{c r}$ (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{c r}}$
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース) (加振方向)	寸法 (mm)	A* (×10 ² mm ²)	Z* (×10 ³ mm ³)					
161.8	A	402.8	2316.1	S d-D 2 (ケース③) (IV方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	5.4	40.9	0.26
155.5	A'	584.9	1944.3	S d-D 1 (ケース①) (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	7.8	34.3	0.24
149.1	B	681.3	2619.1	S d-D 2 (ケース③) (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	9.1	46.2	0.31
142.0	B'	427.1	3595.8	静的地震力 (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	5.7	63.5	0.39
134.8	C	609.3	4428.6	静的地震力 (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	8.1	78.2	0.48
126.8	C'	706.0	4451.4	静的地震力 (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	9.4	78.6	0.49
118.3	D	1566.0	3715.6	S d-D 2 (ケース⑤) (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	20.8	65.6	0.49
108.8	D'	1762.2	3888.3	S d-D 2 (ケース⑤) (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	23.3	68.6	0.52
98.8	E	2068.6	2918.0	S d-D 2 (ケース⑤) (IV方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	27.4	51.5	0.45

表 3-7(2) S d 地震時における第 3 号機筒身の断面算定表 (SMA400AP)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材断面力			使用部材			$c f_{c r}$ (N/mm ²)	$b f_{c r}$ (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{c r}}$
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース) (加振方向)	寸法 (mm)	A* (×10 ² mm ²)	Z* (×10 ³ mm ³)					
86.4	E'	2236.1	2024.1	S d-D 2 (ケース②) (IV方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	29.6	35.7	0.38
74.8	F	1333.5	6306.6	静的地震力 (I方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	17.7	111.3	0.72
61.2	G	2736.4	3209.3	S d-D 2 (ケース③) (II方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	36.2	56.7	0.53
41.8	H	3180.9	1268.6	S d-D 2 (ケース③) (III方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	42.1	22.4	0.38
24.3	M1	3165.3	2115.3	S d-D 2 (ケース③) (IV方向)	φ 3020×10	756.4	56700	166.9	182.5	41.9	37.4	0.46
19.3	M2	3165.3	2919.5	S d-D 2 (ケース③) (IV方向)	φ 3720×10	932.4	86200	145.3	165.3	34.0	33.9	0.44
15.3	I	3165.3	3564.1	S d-D 2 (ケース③) (IV方向)	φ 3720×10	932.4	86200	145.3	165.3	34.0	41.4	0.49

注記* : 使用板厚より腐食代 (外側 1mm, 内側 1mm) を控除して算出

4. 制震装置（制震オイルダンパ）及び支持点部の評価

4.1 制震装置（制震オイルダンパ）の評価

表 4-1 に評価結果を示す。制震装置（制震オイルダンパ）は、「(I) 排気筒の地震応答計算書」において算出される最大応答値を用いて評価する。

最大応答速度について、風による応答は、風速 30m/s が一定に作用する静的風荷重を想定していることから応答速度は考慮せず、地震応答解析により得られた最大応答速度のみで評価する。

最大応答変位については、地震応答解析によって得られた最大応答変位の絶対値と風荷重による最大応答変位の絶対値を組み合わせて評価する。なお、風荷重による応答変位は、「2.1.1(4) 風荷重 (P_k)」に基づき、静的応力解析により算出された制震オイルダンパの両端における相対変位を用いる。

表 4-1 により、制震装置（制震オイルダンパ）の各評価値は、許容値以下であることを確認した。

表 4-1 制震オイルダンパの最大応答値及び許容値（基準地震動 S_s ）

	最大応答速度 (m/s)	最大応答変位* (mm)
$S_s - D 1$	0.89	123
$S_s - D 2$	0.90	117
$S_s - D 3$	0.55	120
$S_s - F 1$	0.57	123
$S_s - F 2$	0.76	110
$S_s - F 3$	0.71	84
$S_s - N 1$	0.86	108
許容値	1.20	400

注記*：上表の値には風荷重の応答を含む。

4.2 制震装置（制震オイルダンパ）支持点部の評価

制震装置（制震オイルダンパ）支持部平面図及び支持点荷重を図 4-1 に示す。

制震装置（制震オイルダンパ）と筒身は、支持点アームの先端で接続しており、制震装置（制震オイルダンパ）の反力は支持点アームの先端に伝達し、筒身周囲に設けた補強リングによって抵抗されることから、支持点アームと補強リングの評価を行う。また、第 3 支持点では第 2 号機筒身及び第 3 号機筒身間を筒身連結材による荷重の伝達があることから、筒身連結材の評価も行う。

制震装置（制震オイルダンパ）支持部及び筒身連結材の評価は、基準地震動 S_s による地震荷重及び弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力に対して行う。支持点アーム及び筒身連結材に加わる地震荷重は、すべての基準地震動 S_s 又は、弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力による排気筒基礎の不確かさを考慮した地震応答解析により求まる制震装置(制震オイルダンパ)の反力及び筒身の反力を包絡した値を設定する。

支持点アーム、補強リング及び筒身連結材の構成断面を図 4-2 に示す。制震オイルダンパ取付部及び筒身連結部より作用する支持点反力から、支持点部の構成断面に発生する部材力を算定する。発生部材力に対して評価断面において応力度計算を行い、発生応力度が許容応力度以下であることを確認する。鋼材の許容応力度は、「鋼構造設計規準」に規定される短期応力に対する許容応力度の評価式に「建設省告示第 2464 号」に基づき F 値 $\times 1.1$ を適用して算定する。応力度計算において、各プレートには外面 1mm の腐食代を考慮する。

基準地震動 S_s に対する支持点アーム及び補強リングの断面評価結果を表 4-2 及び表 4-3 に、弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力に対する支持点アーム、補強リングの断面評価結果を表 4-4～表 4-5 に示す。表 4-2～表 4-5 により、支持点アーム及び補強リングの評価値は、各許容値以下であることを確認した。

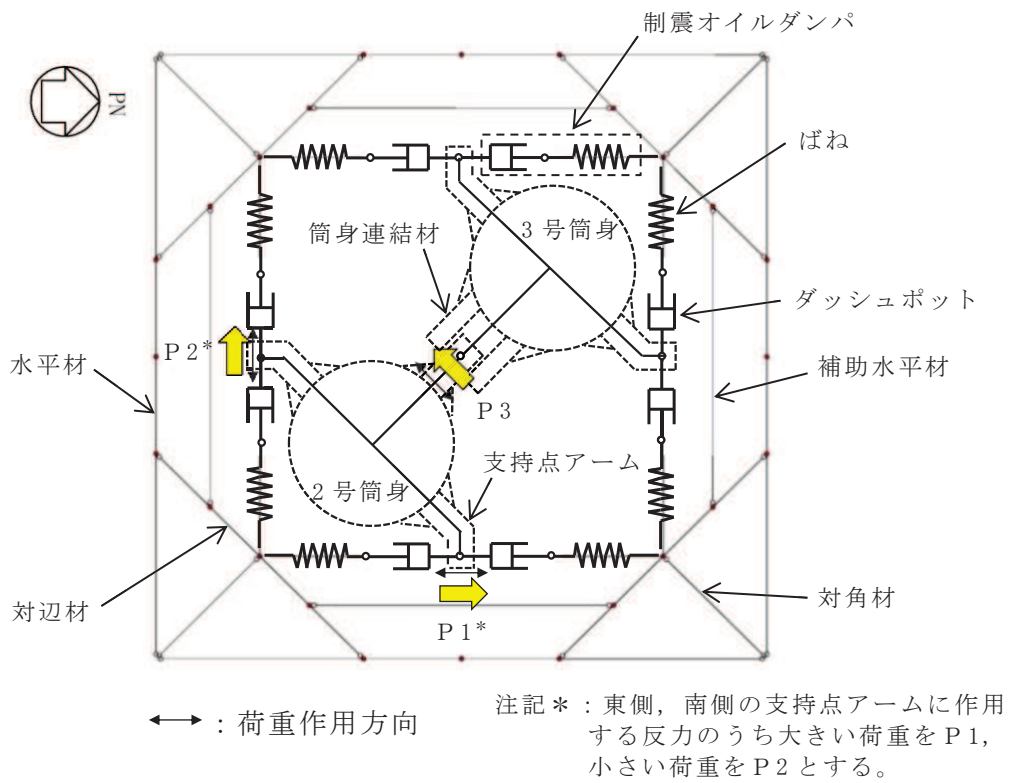


図 4-1(1) 制震オイルダンパ支持点平面図及び支持点荷重 (全体図)

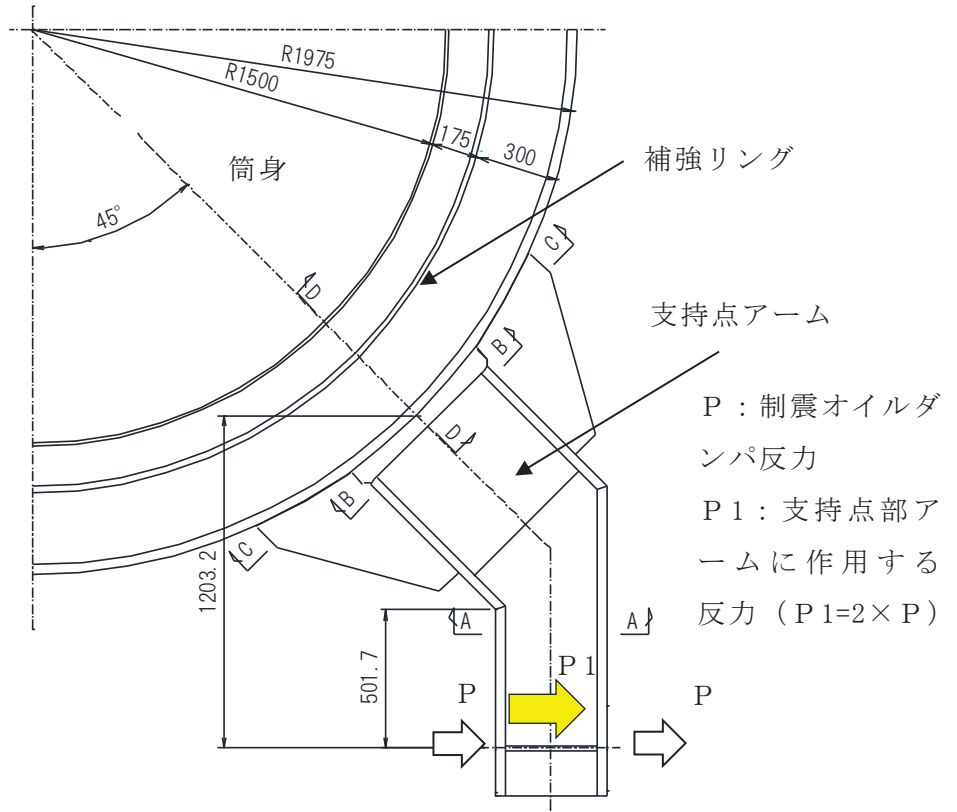


図 4-1(2) 制震オイルダンパ支持点平面図及び支持点荷重 (支持点アーム拡大図)
(単位 : mm)

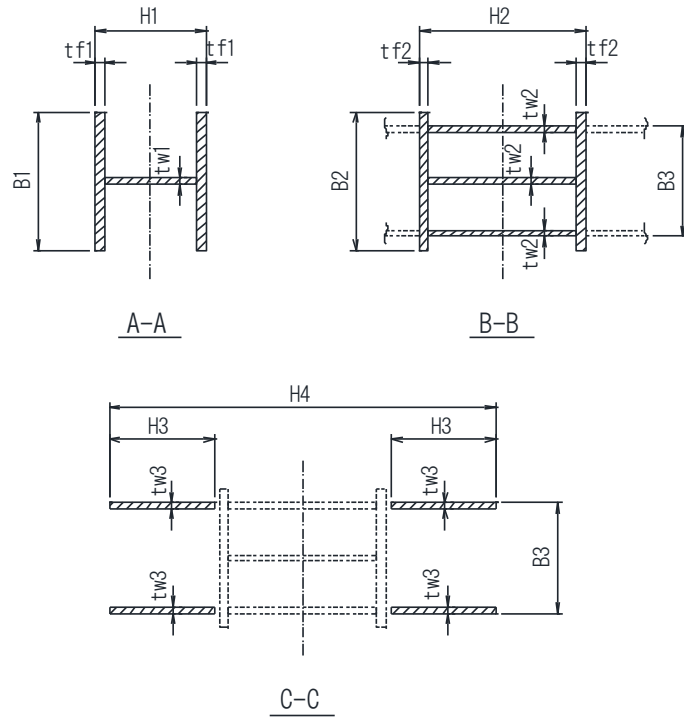


図 4-2(1) 支持点アームの構成断面 (単位 : mm)

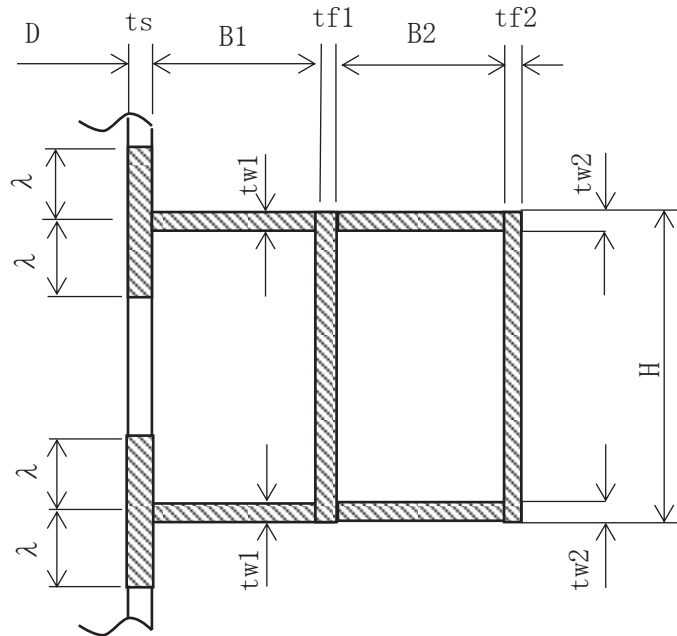


図 4-2(2) 補強リングの構成断面 (D-D 断面)

表 4-2(1) S s 地震時における支持点アームの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
制震オイルダンパ反力		P	kN	360
設計反力		P 1	kN	720
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
断面変化部 (A-A 断面)	フランジ幅	B 1	mm	500
	ウェブ高さ	H 1	mm	400
	フランジ板厚(使用板厚)	t f 1	mm	32
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w 1	mm	22
	曲げモーメント	M _A	kN・m	362
	せん断力	Q _A	kN	720
	断面係数	Z _A [*]	cm ³	5420
	せん断断面積	A _{S A} [*]	cm ²	67.60
	曲げ応力度	σ _{b A}	N/mm ²	66.8
	せん断応力度	τ _A	N/mm ²	106.6
	合成応力度	σ _A	N/mm ²	196.4
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	258.5
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	149.2
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	258.5
	曲げ応力度比	σ _{b A} / f _b	-	0.26
せん断応力度比	τ _A / f _s	-	0.72	
合成応力度比	σ _A / f _t	-	0.76	

注記*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{b A} = M_A / Z_A$$

$$\tau_A = Q_A / A_{S A}$$

$$\sigma_A = (\sigma_{b A}^2 + 3\tau_A^2)^{1/2}$$

表 4-2(2) S s 地震時における支持点アームの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
制震オイルダンパ反力		P	kN	360
設計反力		P 1	kN	720
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
筒身取付部 (B-B 断面)	フランジ幅	B 2	mm	500
	ウェブ高さ	H 2	mm	600
	フランジ板厚(使用板厚)	t f 2	mm	32
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w 2	mm	22
	軸力	N _B	kN	510
	曲げモーメント	M _B	kN・m	867
	せん断力	Q _B	kN	510
	断面積	A _B *	cm ²	622.8
	断面係数	Z _B *	cm ³	10700
	せん断断面積	A _{S B} *	cm ²	322.8
	圧縮応力度	σ _{c B}	N/mm ²	8.2
	曲げ応力度	σ _{b B}	N/mm ²	81.1
	せん断応力度	τ _B	N/mm ²	15.8
	合成応力度	σ _B	N/mm ²	93.4
	許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	258.5
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	258.5
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	149.2
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	258.5
	圧縮と曲げの組合せ応力度比	$\frac{\sigma_{c B}}{f_c} + \frac{\sigma_{b B}}{f_b}$	-	0.36
せん断応力度比	$\frac{\tau_B}{f_s}$	-	0.11	
合成応力度比	$\frac{\sigma_B}{f_t}$	-	0.37	

注記*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{c B} = N_B / A_B$$

$$\sigma_{b B} = M_B / Z_B$$

$$\tau_B = Q_B / A_{S B}$$

$$\sigma_B = \left((\sigma_{c B} + \sigma_{b B})^2 + 3\tau_B^2 \right)^{1/2}$$

表 4-2(3) S s 地震時における支持点アームの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
制震オイルダンパ反力		P	kN	360
設計反力		P 1	kN	720
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
筒身取付部 (C-C 断面)	ウェブ幅	H 3	mm	380
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w 3	mm	22
	ウェブ間隔(上下)	B 3	mm	400
	ウェブ間隔(水平)	H 4	mm	1400
	軸力	N _c	kN	510
	曲げモーメント	M _c	kN・m	867
	せん断力	Q _c	kN	510
	断面積	A _c *	cm ²	304.0
	断面係数	Z _c *	cm ³	11800
	せん断断面積	A _{s c} *	cm ²	304.0
	圧縮応力度	σ _{c c}	N/mm ²	16.8
	曲げ応力度	σ _{b c}	N/mm ²	73.5
	せん断応力度	τ _c	N/mm ²	16.8
	合成応力度	σ _c	N/mm ²	94.9
	許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	258.5
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	258.5
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	149.2
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	258.5
	圧縮と曲げの組合せ応 力度比	$\sigma_{c c} / f_c$ + $\sigma_{b c} / f_b$	-	0.36
せん断応力度比	τ _c / f _s	-	0.12	
合成応力度比	σ _c / f _t	-	0.37	

注記*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{c c} = N_c / A_c$$

$$\sigma_{b c} = M_c / Z_c$$

$$\tau_c = Q_c / A_{s c}$$

$$\sigma_c = ((\sigma_{c c} + \sigma_{b c})^2 + 3\tau_c^2)^{1/2}$$

表 4-3 S s 地震時における補強リングの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力	支持点アーム側	P 1	kN	720
	(P 1 > P 2 とする)	P 2	kN	540
	筒身連結材側	P 3	kN	100
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
断面寸法 (使用板厚を示す)	筒身内径	D	mm	3000
	筒身母材の有効幅	λ	mm	125.2
	筒身板厚	t s	mm	10
	フランジ板厚(内側)	t f 1	mm	20
	フランジ板厚(外側)	t f 2	mm	40
	ウェブ板厚(内側)	t w 1	mm	16
	ウェブ板厚(外側)	t w 2	mm	40
	リング高さ	H	mm	400
	リング幅(内側)	B 1	mm	145
	リング幅(外側)	B 2	mm	260
軸力		N	kN	474
曲げモーメント		M	kN・m	758
せん断力		Q	kN	496
断面積		A *	cm ²	519.3
断面係数		Z *	cm ³	4140
せん断断面積		A s *	cm ²	247.3
圧縮応力度		σ_c	N/mm ²	9.2
曲げ応力度		σ_b	N/mm ²	183.1
せん断応力度		τ	N/mm ²	20.1
合成応力度		σ	N/mm ²	195.5
許容圧縮応力度		f c	N/mm ²	258.5
許容曲げ応力度		f b	N/mm ²	258.5
許容せん断応力度		f s	N/mm ²	149.2
許容引張応力度		f t	N/mm ²	258.5
圧縮と曲げの組合せ応力度比		σ_c / f_c $+ \sigma_b / f_b$	-	0.75
せん断応力度比		τ / f_s	-	0.14
合成応力度比		σ / f_t	-	0.76

注記* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。なお、筒身母材の有効幅（ λ ）は、「鋼構造設計規準」の1縁支持他縁自由の板要素の幅厚比より算出する。

$$\sigma_c = N / A$$

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = ((\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

$$\lambda = 0.53 \sqrt{E / F} \cdot t_s$$

表 4-4(1) S d 地震時における支持点アームの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
制震オイルダンパ反力		P	kN	210
設計反力		P 1	kN	420
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
断面変化部 (A-A 断面)	フランジ幅	B 1	mm	500
	ウェブ高さ	H 1	mm	400
	フランジ板厚(使用板厚)	t f 1	mm	32
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w 1	mm	22
	曲げモーメント	M _A	kN・m	211
	せん断力	Q _A	kN	420
	断面係数	Z _A [*]	cm ³	5420
	せん断断面積	A _{SA} [*]	cm ²	67.60
	曲げ応力度	σ _{bA}	N/mm ²	39.0
	せん断応力度	τ _A	N/mm ²	62.2
	合成応力度	σ _A	N/mm ²	114.6
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	235
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	135.6
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	235
	曲げ応力度比	σ _{bA} / f _b	-	0.17
せん断応力度比	τ _A / f _s	-	0.46	
合成応力度比	σ _A / f _t	-	0.49	

注記*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{bA} = M_A / Z_A$$

$$\tau_A = Q_A / A_{SA}$$

$$\sigma_A = (\sigma_{bA}^2 + 3\tau_A^2)^{1/2}$$

表 4-4(2) S d 地震時における支持点アームの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
制震オイルダンパ反力		P	kN	210
設計反力		P 1	kN	420
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
筒身取付部 (B-B 断面)	フランジ幅	B 2	mm	500
	ウェブ高さ	H 2	mm	600
	フランジ板厚(使用板厚)	t f 2	mm	32
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w 2	mm	22
	軸力	N _B	kN	297
	曲げモーメント	M _B	kN・m	506
	せん断力	Q _B	kN	297
	断面積	A _B *	cm ²	622.8
	断面係数	Z _B *	cm ³	10700
	せん断断面積	A _{S B} *	cm ²	322.8
	圧縮応力度	σ _{c B}	N/mm ²	4.8
	曲げ応力度	σ _{b B}	N/mm ²	47.3
	せん断応力度	τ _B	N/mm ²	9.3
	合成応力度	σ _B	N/mm ²	54.6
	許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	235
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	235
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	135.6
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	235
	圧縮と曲げの組合せ応力度比	$\frac{\sigma_{c B}}{f_c} + \frac{\sigma_{b B}}{f_b}$	-	0.24
せん断応力度比	$\frac{\tau_B}{f_s}$	-	0.07	
合成応力度比	$\frac{\sigma_B}{f_t}$	-	0.24	

注記*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{c B} = N_B / A_B$$

$$\sigma_{b B} = M_B / Z_B$$

$$\tau_B = Q_B / A_{S B}$$

$$\sigma_B = \left((\sigma_{c B} + \sigma_{b B})^2 + 3\tau_B^2 \right)^{1/2}$$

表 4-4(3) S d 地震時における支持点アームの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
制震オイルダンパ反力		P	kN	210
設計反力		P 1	kN	420
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
筒身取付部 (C-C 断面)	ウェブ幅	H 3	mm	380
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w 3	mm	22
	ウェブ間隔(上下)	B 3	mm	400
	ウェブ間隔(水平)	H 4	mm	1400
	軸力	N _c	kN	297
	曲げモーメント	M _c	kN・m	506
	せん断力	Q _c	kN	297
	断面積	A _c *	cm ²	304.0
	断面係数	Z _c *	cm ³	11800
	せん断断面積	A _{s c} *	cm ²	304.0
	圧縮応力度	σ _{c c}	N/mm ²	9.8
	曲げ応力度	σ _{b c}	N/mm ²	42.9
	せん断応力度	τ _c	N/mm ²	9.8
	合成応力度	σ _c	N/mm ²	55.4
	許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	235
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	235
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	135.6
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	235
	圧縮と曲げの組合せ応力度比	$\sigma_{c c} / f_c + \sigma_{b c} / f_b$	-	0.24
せん断応力度比	τ _c / f _s	-	0.08	
合成応力度比	σ _c / f _t	-	0.24	

注記*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{c c} = N_c / A_c$$

$$\sigma_{b c} = M_c / Z_c$$

$$\tau_c = Q_c / A_{s c}$$

$$\sigma_c = ((\sigma_{c c} + \sigma_{b c})^2 + 3\tau_c^2)^{1/2}$$

表 4-5 S d 地震時における補強リングの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力	支持点アーム側	P 1	kN	420
	(P 1 > P 2 とする)	P 2	kN	320
	筒身連結材側	P 3	kN	100
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
断面寸法 (使用板厚を示す)	筒身内径	D	mm	3000
	筒身母材の有効幅	λ	mm	125.2
	筒身板厚	t s	mm	10
	フランジ板厚(内側)	t f 1	mm	20
	フランジ板厚(外側)	t f 2	mm	40
	ウェブ板厚(内側)	t w 1	mm	16
	ウェブ板厚(外側)	t w 2	mm	40
	リング高さ	H	mm	400
	リング幅(内側)	B 1	mm	145
	リング幅(外側)	B 2	mm	260
軸力		N	kN	279
曲げモーメント		M	kN・m	444
せん断力		Q	kN	291
断面積		A *	cm ²	519.3
断面係数		Z *	cm ³	4140
せん断断面積		A s *	cm ²	247.3
圧縮応力度		σ_c	N/mm ²	5.4
曲げ応力度		σ_b	N/mm ²	107.3
せん断応力度		τ	N/mm ²	11.8
合成応力度		σ	N/mm ²	114.6
許容圧縮応力度		f c	N/mm ²	235
許容曲げ応力度		f b	N/mm ²	235
許容せん断応力度		f s	N/mm ²	135.6
許容引張応力度		f t	N/mm ²	235
圧縮と曲げの組合せ応力度比		σ_c / f_c $+ \sigma_b / f_b$	-	0.49
せん断応力度比		τ / f_s	-	0.09
合成応力度比		σ / f_t	-	0.49

注記* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。なお、筒身母材の有効幅（ λ ）は、「鋼構造設計規準」の1縁支持他縁自由の板要素の幅厚比より算出する。

$$\sigma_c = N / A$$

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

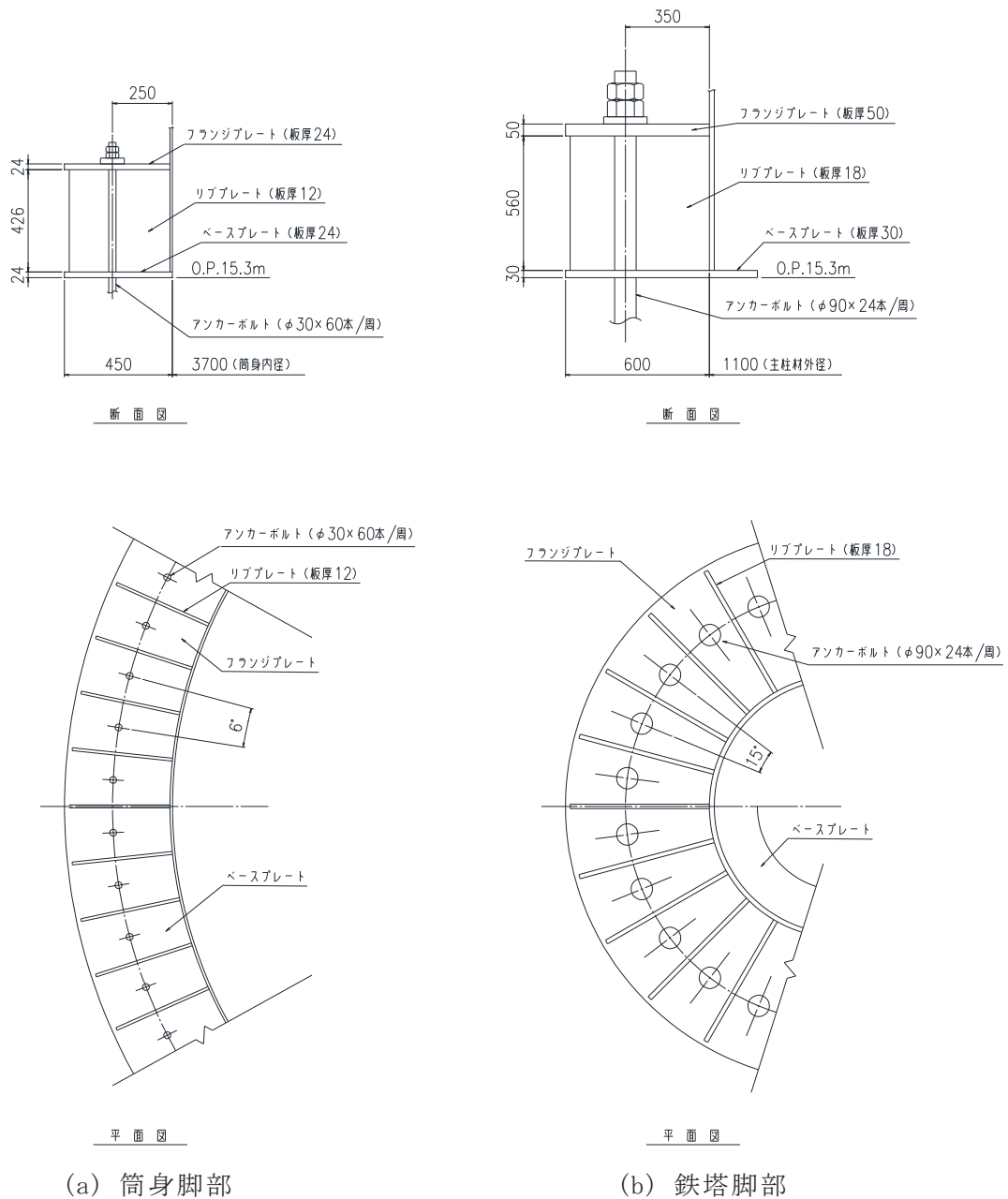
$$\sigma = ((\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

$$\lambda = 0.53 \sqrt{E / F} \cdot t_s$$

5. 筒身脚部及び鉄塔脚部の断面評価

5.1 評価方法

脚部の概要図を図 5-1 に示す。鋼材の許容応力度は、「鋼構造設計規準」に規定される短期応力に対する許容応力度の評価式に「建設省告示第 2464 号」に基づき F 値×1.1 を適用して算定する。コンクリートの許容応力度は、「RC 規準」に規定される短期許容応力度とする。アンカーボルト以外の各プレートには、2mm の腐食代（両面 1mm ずつ）を考慮する。基準地震動 S_s に対する筒身脚部及び鉄塔脚部の脚部評価用反力を表 5-1 及び表 5-2 に、弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力に対する筒身脚部の脚部評価用反力を表 5-3 に示す。



注：板厚は使用板厚を示す。

図 5-1 脚部の概要図（単位：mm）

表 5-1 S_s地震時における筒身脚部の評価用反力 (S_s-F 3, ケース①)

軸力 (圧縮側) (kN)	軸力 (引張側) (kN)	せん断力 (kN)	曲げ モーメント (kN・m)	ねじり モーメント (kN・m)
5380	-2231	329	5629	81

表 5-2 S_s地震時における鉄塔脚部の評価用反力 (S_s-N 1, ケース③)

軸力 (圧縮側) (kN)	軸力 (引張側) (kN)	せん断力 (kN)	曲げ モーメント (kN・m)	ねじり モーメント (kN・m)
17042	-12551	4800	2582	287

表 5-3 S_d地震時における筒身脚部の評価用反力 (S_d-D 1, ケース③)

軸力 (圧縮側) (kN)	軸力 (引張側) (kN)	せん断力 (kN)	曲げ モーメント (kN・m)	ねじり モーメント (kN・m)
3164	-16	262	3977	55

5.2 アンカーボルトに対する検討

5.2.1 アンカーボルトの引張応力度に対する検討

アンカーボルトに作用する引張力は脚部に作用する軸力と曲げモーメントの荷重状態に応じて算出する。

すべてのアンカーボルトが引張状態となる場合、アンカーボルトの全数で引張力に対抗する。このときアンカーボルトに作用する引張力は次式の通り算定する。

$$P = N / n_0 + M / Z_b$$

ここに

P : 1本当たりのアンカーボルトに作用する引張力 (N)

N : 軸力 (N)

n_0 : アンカーボルト本数 (本) (n_0 = 筒身:60本, 鉄塔:24本)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z_b : アンカーボルト群の中心線周りの断面係数 (mm)

(Z_b = 筒身:63000mm, 鉄塔:10800mm)

中立軸が断面内にあり一部のアンカーボルトが引張状態となる場合、断面内の圧縮荷重に対しては圧縮側にあるベースプレート下面のコンクリートで、引張力に対しては引張側にあるアンカーボルトで抵抗する。このときアンカーボルトに作用する引張力はベースプレートの平面形状を円環の鉄筋コンクリート断面とした応力算定式より求める。

アンカーボルトの引張応力度が以下に示す引張応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_t \leq f_t$$

ここに

σ_t : アンカーボルトねじ部の引張応力度 $\sigma_t = P / A_e$ (N/mm²)

P : 1本当たりのアンカーボルトに作用する引張力 (N)

A_e : アンカーボルトねじ部有効断面積 (mm²)

(A_e = 筒身:561mm², 鉄塔:5590mm²)

f_t : アンカーボルトの許容引張応力度 (N/mm²)

(「鋼構造設計規準」の鋼材の短期許容引張応力度の評価式に

「建設省告示第2464号」に基づきF値×1.1を適用して算定)

5.2.2 アンカーボルトのせん断応力度に対する検討

せん断力とねじりモーメントの設計用反力に対してアンカーボルトに作用するせん断力を次式の通り算定する。

$$Q = S / n_0 + T / Z_t$$

ここに

- Q : 1本当たりのアンカーボルトに作用するせん断力 (N)
- S : せん断力 (N)
- T : ねじりモーメント (N・mm)
- n₀ : アンカーボルト本数 (本) (n₀=筒身:60本, 鉄塔:24本)
- Z_t : アンカーボルト群の中心周りの断面係数 (mm³)
(Z_t=筒身:126000mm³, 鉄塔:21600mm³)

アンカーボルトのせん断応力度が以下に示すせん断応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\tau \leq f_s$$

ここに

- τ : アンカーボルトねじ部のせん断応力度 $\tau = Q / A_e$ (N/mm²)
- Q : 1本当たりのアンカーボルトに作用するせん断力 (N)
- A_e : アンカーボルトねじ部有効断面積 (mm²)
- f_s : アンカーボルトの許容せん断応力度 (N/mm²)

(「鋼構造設計規準」の鋼材の短期許容せん断応力度の評価式に「建設省告示第2464号」に基づきF値×1.1を適用して算定)

5.2.3 引張力とせん断力を同時に受けるアンカーボルトの引張応力度に対する検討

引張力とせん断力を同時に受けるアンカーボルトの引張応力度が以下に示す引張応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_t \leq f_{ts}$$

ここに

- σ_t : アンカーボルトねじ部の引張応力度 $\sigma_t = P / A_e$ (N/mm²)
- P : 1本当たりのアンカーボルトに作用する引張力 (N)
- A_e : アンカーボルトねじ部有効断面積 (mm²)
- f_{ts} : 引張力とせん断力を同時に受けるアンカーボルトの許容引張応力度 (N/mm²), $f_{ts} = 1.4 f_t - 1.6 \tau$ かつ, $f_{ts} \leq f_t$
- f_t : 5.2.1に規定するアンカーボルトの許容引張応力度 (N/mm²)
- τ : 5.2.2に規定するアンカーボルトねじ部のせん断応力度 (N/mm²)

5.2.4 コンクリートのコーン状破壊に対する検討

コンクリートのコーン状破壊に対する許容引張力は、アンカーボルトの引張力が以下に示すコンクリート部の引張力に対する許容値以下であることを確認する。

$$P \leq p_a = \text{Min} (p_{a1}, p_{a2})$$

ここに、

$$p_{a1} = 0.31 \cdot K_1 \cdot A_c \sqrt{F_c}$$

$$p_{a2} = K_2 \cdot \alpha_c \cdot A_0 \cdot F_c$$

ここに

P : 5.2.1に規定するボルト1本当たりの引張荷重 (N)

p_a : アンカーボルト1本当たりのコンクリート部の許容引張荷重 (N)

p_{a1} : コンクリート躯体がコーン状破壊する場合のアンカーボルト1本当たりの許容引張荷重 (N)

p_{a2} : アンカーボルト頭部に接するコンクリート部が支圧破壊する場合のアンカーボルト1本当たりの許容引張荷重 (N)

K_1 : コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数 ($K_1 = 2/3$)

K_2 : 支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数 ($K_2 = 1$)

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

A_c : コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (mm²)

α_c : 支圧面積と有効投影面積から定まる定数, $\alpha_c = \sqrt{A_c / A_0}$ で 6 を超える場合は 6

A_0 : 支圧面積 (mm²)

5.3 ベースプレートに対する検討

5.3.1 コンクリートの圧縮応力度に対する検討

ベースプレート下面のコンクリートの圧縮応力度が以下に示す圧縮応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_c \leq f_c$$

ここに

σ_c : コンクリートの圧縮応力度 (N/mm²)

f_c : コンクリートの短期許容圧縮応力度 (N/mm²)

(「RC規準」の短期許容圧縮応力度)

5.3.2 ベースプレートの面外曲げに対する検討

ベースプレートの下面にはコンクリートの圧縮応力度 (σ_c) が等分布荷重として作用する (図 5-2)。リブプレート及び筒身, 又はリブプレート及び鉄塔の部材位置を固定とする 3 辺固定 1 辺自由板としてベースプレートの面外曲げ応力度を算定する。ベースプレートの面外の曲げ応力度が以下に示す曲げ応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_{Bb} \leq f_{b1}$$

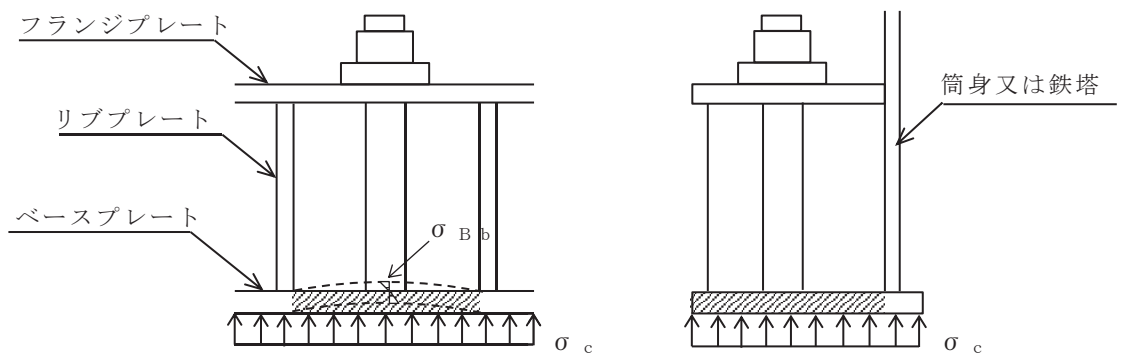
ここに

σ_{Bb} : ベースプレートの面外の曲げ応力度 (N/mm²)

(等分布荷重を受ける 3 辺固定板 1 辺自由スラブの応力図より算定)

f_{b1} : 面外に曲げを受ける板の許容曲げ応力度 (N/mm²)

(「鋼構造設計規準」の面外に曲げを受ける板の短期許容曲げ応力度の評価式に「建設省告示第 2464 号」に基づき F 値 $\times 1.1$ を適用して算定)



(a) 正面図

(b) 断面図

図 5-2 ベースプレート応力算定説明図

5.4 フランジプレートに対する検討

5.4.1 フランジプレートの面外曲げに対する検討

フランジプレートにはアンカーボルトの引張力（P）が集中荷重として作用する（図 5-3）。リブプレート位置を固定とする 2 辺固定板（両端固定梁）としてフランジプレートの面外の曲げ応力度を算定する。フランジプレートの面外の曲げ応力度が以下に示す曲げ応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_{Fb} \leq f_{b1}$$

ここに

σ_{Fb} : フランジプレートの面外曲げ応力度 (N/mm²)
(リブプレート間を梁スパンとする両端固定梁として算定)

f_{b1} : 面外に曲げを受ける板の許容曲げ応力度 (N/mm²)
(「鋼構造設計規準」の面外に曲げを受ける板の短期許容曲げ応力度の評価式に「建設省告示第 2464 号」に基づき F 値 × 1.1 を適用して算定)

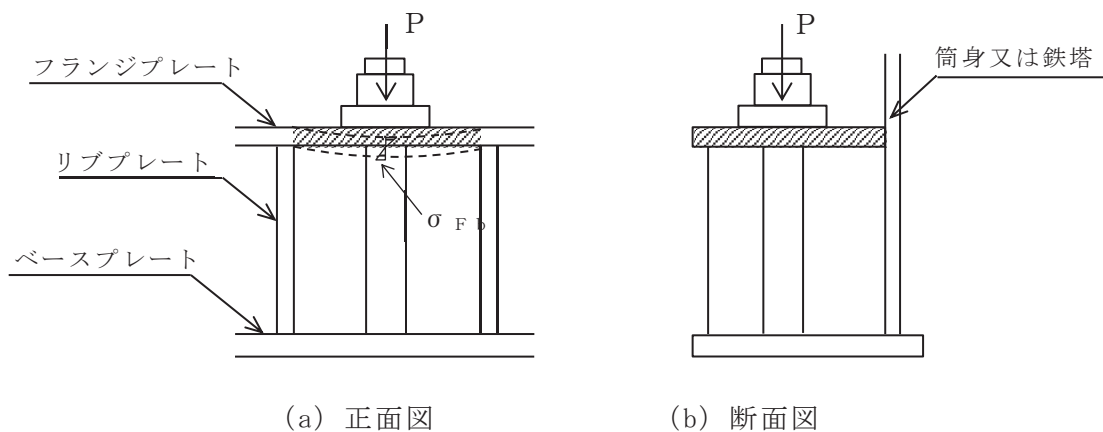


図 5-3 フランジプレート応力算定説明図

5.5 リブプレートに対する検討

5.5.1 リブプレートの圧縮応力度に対する検討

アンカーボルトからの引張力（ P ）又はベースプレート下面からの圧縮力（ σ_c ）によってリブプレートに圧縮応力度が作用する（図5-4）。リブプレートの圧縮応力度はアンカーボルトの引張力とベースプレート下面のコンクリート圧縮応力度から求めた圧縮力を比較して大きい方の値を用いて算定する。リブプレートの圧縮応力度が以下に示す圧縮応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_{Rc} \leq f_c$$

ここに

σ_{Rc} : リブプレートの圧縮応力度 (N/mm²)

f_c : リブプレートの許容圧縮応力度 (N/mm²)

(リブプレートは「鋼構造設計規準」の幅厚比制限を満足するものとし、 f_c は「建設省告示第2464号」に基づきF値×1.1の値)

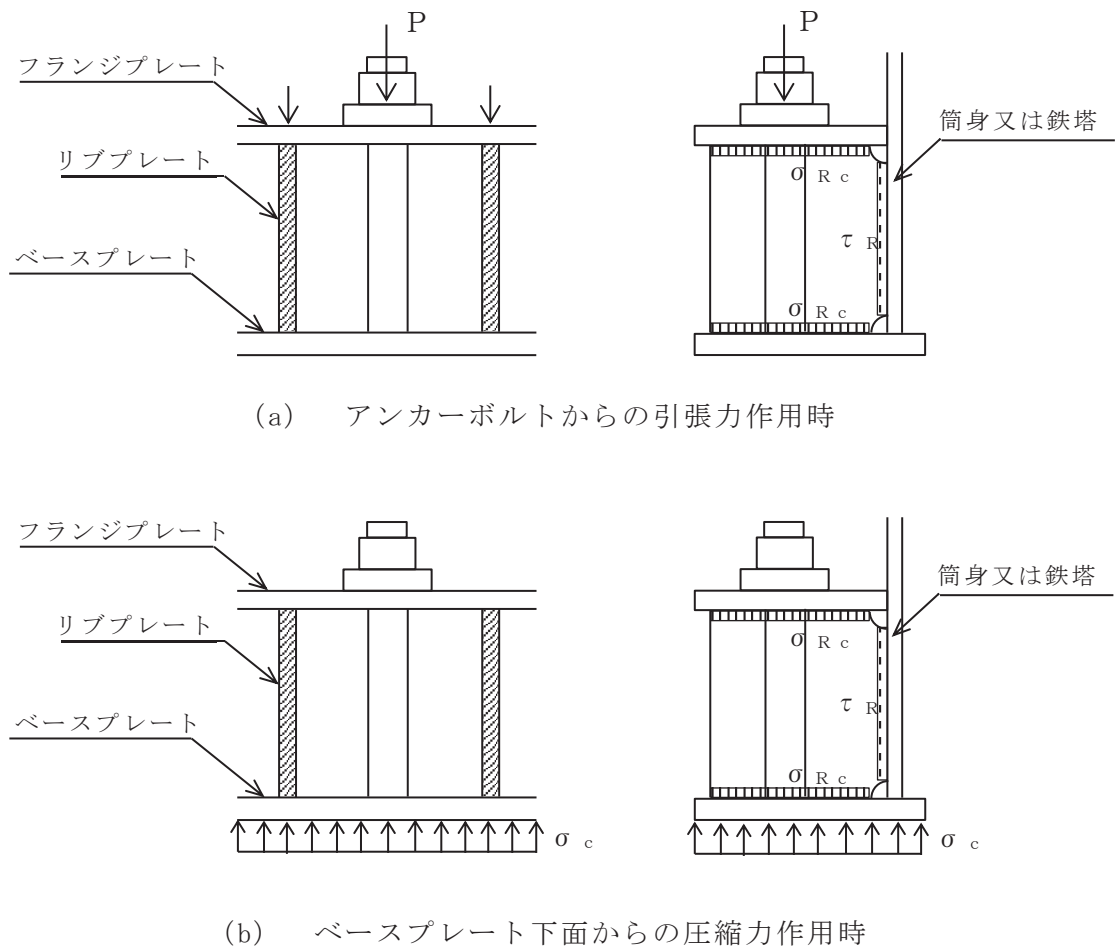


図5-4 リブプレート応力算定説明図

5.5.2 リブプレートのせん断応力度に対する検討

アンカーボルトからの引張力（P）又はベースプレート下面からの圧縮力（ σ_c ）によってリブプレートにせん断応力度が作用する（図5-4）。リブプレートのせん断応力度はアンカーボルトの引張力とベースプレート下面のコンクリート圧縮応力度から求めた圧縮力を比較して大きい方の値を用いて算定する。リブプレートのせん断応力度が以下に示すせん断応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\tau_R \leq f_s$$

ここに

τ_R : リブプレートのせん断応力度（N/mm²）

f_s : リブプレートの許容せん断応力度（N/mm²）

（「鋼構造設計規準」の鋼材の短期許容せん断応力度の評価式に「建設省告示第2464号」に基づきF値×1.1を適用して算定）

5.6 評価結果

基準地震動 S_s に対する筒身脚部及び鉄塔脚部の各部位の評価結果を表 5-4 及び表 5-5 に、弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力に対する筒身脚部の各部位の評価結果を表 5-6 に示す。また、基準地震動 S_s に対する発生応力/許容値の一覧表を表 5-7 及び表 5-8 に、弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力に対する発生応力/許容値の一覧表を表 5-9 に示す。なお、本節における応力計算結果は、各地震動、検討ケースに対して、I～IV方向の軸力・曲げモーメントの最大値同士を組み合わせ用いたものである。表 5-7～表 5-9 により、筒身脚部及び鉄塔脚部における各部位の発生応力は、各許容値以下であることを確認した。

表 5-4(1) S_s 地震時における筒身脚部の評価結果 ($S_s - F 3$, ケース①)

項目		記号	単位	数値
アンカーボルト の検討	アンカーボルトの材質	-	-	SS400
	アンカーボルトの基準強度	F	N/mm ²	235
	アンカーボルトの引張力 (1 本当たり)	P	kN	124
	アンカーボルトのせん断力 (1 本当たり)	Q	kN	6.13
	アンカーボルトのねじ部有効断面積	A_e	mm ²	561
	アンカーボルトの引張応力度	σ_t	N/mm ²	221.1
	アンカーボルトの許容引張応力度	f_t	N/mm ²	258.5
	アンカーボルトのせん断応力度	τ	N/mm ²	11.0
	アンカーボルトの許容せん断応力度	f_s	N/mm ²	149.2
	アンカーボルトの許容引張応力度(せん断力との組合せ)	f_{ts}	N/mm ²	258.5
コンクリートの コーン状破壊に 対する検討	コンクリートの基準強度	F_c	N/mm ²	20.5
	コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (1 本当たり)	A_c	mm ²	495625
	アンカーボルト頭部の支圧面積 (1 本当たり)	A_o	mm ²	44729
	コンクリート部の許容引張荷重 (1 本当たり)	p_a	kN	463
コンクリートの 圧縮応力度に対 する検討	ベースプレートの幅	B_b	mm	450
	ベースプレート下面のコンクリートの圧縮応力度	σ_c	N/mm ²	1.9
	コンクリートの許容圧縮応力度	f_c	N/mm ²	13.6

表 5-4(2) S_s地震時における筒身脚部の評価結果 (S_s-F3, ケース①)

項目		記号	単位	数値
ベースプレートの面外曲げに対する検討	ベースプレートの材質	-	-	SS400
	ベースプレートの基準強度	F	N/mm ²	235
	ベースプレートの板厚 (使用板厚)	t _b	mm	24
	ベースプレートに作用する面外曲げモーメント (単位幅当たり)	M _b	N・mm/mm	6955
	ベースプレートの面外曲げモーメントに対する断面係数 (単位幅当たり)	Z _b *	mm ³ /mm	80.6
	ベースプレートの面外曲げ応力度	σ _{Bb}	N/mm ²	86.3
	ベースプレートの許容面外曲げ応力度	f _{b1}	N/mm ²	298.2
フランジプレートの面外曲げに対する検討	フランジプレートの材質	-	-	SS400
	フランジプレートの基準強度	F	N/mm ²	235
	フランジプレートの板厚 (使用板厚)	t _f	mm	24
	フランジプレートに作用する面外曲げモーメント	M _f	kN・mm	3410
	フランジプレートの面外曲げモーメントに対する断面係数	Z _f *	mm ³	25800
	フランジプレートの面外曲げ応力度	σ _{Fb}	N/mm ²	132.2
	フランジプレートの許容面外曲げ応力度	f _{b1}	N/mm ²	298.2
リブプレートの検討	リブプレートの材質	-	-	SS400
	リブプレートの基準強度	F	N/mm ²	235
	リブプレートの板厚 (使用板厚)	t _r	mm	12
	リブプレートに作用する圧縮力	P _r	kN	184
	リブプレートの断面積 (軸断面)	A _r *	mm ²	3850
	リブプレートの断面積 (せん断断面)	A _{rs} *	mm ²	3560
	圧縮応力度	σ _{Rc}	N/mm ²	47.8
	許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	258.5
	せん断応力度	τ _R	N/mm ²	51.7
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	149.2

注記* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{Bb} = M_b / Z_b \quad \sigma_{Fb} = M_f / Z_f$$

$$\sigma_{Rc} = P_r / A_r \quad \tau_R = P_r / A_{rs}$$

表 5-5(1) S_s地震時における鉄塔脚部の評価結果 (S_s-N1, ケース③)

項目		記号	単位	数値
アンカーボルト の検討	アンカーボルトの材質	-	-	SS400
	アンカーボルトの基準強度	F	N/mm ²	215
	アンカーボルトの引張力 (1本あたり)	P	kN	763
	アンカーボルトのせん断力 (1本あたり)	Q	kN	213.3
	アンカーボルトのねじ部有効断面積	A _e	mm ²	5590
	アンカーボルトの引張応力度	σ_t	N/mm ²	136.5
	アンカーボルトの許容引張応力度	f _t	N/mm ²	236.5
	アンカーボルトのせん断応力度	τ	N/mm ²	38.2
	アンカーボルトの許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	136.5
	アンカーボルトの許容引張応力度(せん断力との組合せ)	f _{t s}	N/mm ²	236.5
コンクリートの コーン状破壊に 対する検討	コンクリートの基準強度	F _c	N/mm ²	20.5
	コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (1本あたり)	A _c	mm ²	1080000
	アンカーボルト頭部の支圧面積 (1本あたり)	A _o	mm ²	64292
	コンクリート部の許容引張荷重 (1本あたり)	p _a	kN	1009
コンクリートの 圧縮応力度に対 する検討	ベースプレートの幅	B _b	mm	800
	ベースプレート下面のコンクリートの圧縮応力度	σ_c	N/mm ²	6.1
	コンクリートの許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	13.6

表 5-5(2) S_s地震時における鉄塔脚部の評価結果 (S_s-N1, ケース③)

項目		記号	単位	数値
ベースプレートの面外曲げに対する検討	ベースプレートの材質	-	-	SM400A
	ベースプレートの基準強度	F	N/mm ²	235
	ベースプレートの板厚 (使用板厚)	t _b	mm	30
	ベースプレートに作用する面外曲げモーメント (単位幅当たり)	M _b	N・mm/mm	24505
	ベースプレートの面外曲げモーメントに対する断面係数 (単位幅当たり)	Z _b *	mm ³ /mm	130
	ベースプレートの面外曲げ応力度	σ _{Bb}	N/mm ²	188.5
	ベースプレートの許容面外曲げ応力度	f _{b1}	N/mm ²	298.2
フランジプレートの面外曲げに対する検討	フランジプレートの材質	-	-	SM400A
	フランジプレートの基準強度	F	N/mm ²	215
	フランジプレートの板厚 (使用板厚)	t _f	mm	50
	フランジプレートに作用する面外曲げモーメント	M _f	kN・mm	22509
	フランジプレートの面外曲げモーメントに対する断面係数	Z _f *	mm ³	159000
	フランジプレートの面外曲げ応力度	σ _{Fb}	N/mm ²	141.6
	フランジプレートの許容面外曲げ応力度	f _{b1}	N/mm ²	272.8
リブプレートの検討	リブプレートの材質	-	-	SS400
	リブプレートの基準強度	F	N/mm ²	235
	リブプレートの板厚 (使用板厚)	t _r	mm	18
	リブプレートに作用する圧縮力	P _r	kN	864
	リブプレートの断面積 (軸断面)	A _r *	mm ²	8720
	リブプレートの断面積 (せん断断面)	A _{rs} *	mm ²	7840
	圧縮応力度	σ _{Rc}	N/mm ²	99.1
	許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	258.5
	せん断応力度	τ _R	N/mm ²	110.3
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	149.2

注記* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{Bb} = M_b / Z_b \quad \sigma_{Fb} = M_f / Z_f$$

$$\sigma_{Rc} = P_r / A_r \quad \tau_R = P_r / A_{rs}$$

表 5-6(1) S d 地震時における筒身脚部の評価結果 (S d - D 1, ケース③)

項目		記号	単位	数値
アンカーボルト の検討	アンカーボルトの材質	-	-	SS400
	アンカーボルトの基準強度	F	N/mm ²	235
	アンカーボルトの引張力 (1 本当たり)	P	kN	53
	アンカーボルトのせん断力 (1 本当たり)	Q	kN	4.81
	アンカーボルトのねじ部有効断面積	A _e	mm ²	561
	アンカーボルトの引張応力度	σ_t	N/mm ²	94.5
	アンカーボルトの許容引張応力度	f _t	N/mm ²	235
	アンカーボルトのせん断応力度	τ	N/mm ²	8.6
	アンカーボルトの許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	135.6
	アンカーボルトの許容引張応力度 (せん断力との組合せ)	f _{t s}	N/mm ²	235
コンクリートの コーン状破壊に 対する検討	コンクリートの基準強度	F _c	N/mm ²	20.5
	コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (1 本当たり)	A _c	mm ²	497500
	アンカーボルト頭部の支圧面積 (1 本当たり)	A _o	mm ²	44727
	コンクリート部の許容引張荷重 (1 本当たり)	p _a	kN	465
コンクリートの 圧縮応力度に対 する検討	ベースプレートの幅	B _b	mm	450
	ベースプレート下面のコンクリートの圧縮応力度	σ_c	N/mm ²	1.5
	コンクリートの許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	13.6

表 5-6(2) S d 地震時における筒身脚部の評価結果 (S d - D 1, ケース③)

項目		記号	単位	数値
ベースプレート の面外曲げに対 する検討	ベースプレートの材質	-	-	SS400
	ベースプレートの基準強度	F	N/mm ²	235
	ベースプレートの板厚 (使用板厚)	t _b	mm	24
	ベースプレートに作用する面外曲げモーメント (単位幅当たり)	M _b	N・mm/mm	5491
	ベースプレートの面外曲げモーメントに対する断面係数 (単位幅当たり)	Z _b *	mm ³ /mm	80.6
	ベースプレートの面外曲げ応力度	σ _{Bb}	N/mm ²	68.2
	ベースプレートの許容面外曲げ応力度	f _{b1}	N/mm ²	271.1
フランジプレー トの面外曲げに 対する検討	フランジプレートの材質	-	-	SS400
	フランジプレートの基準強度	F	N/mm ²	235
	フランジプレートの板厚 (使用板厚)	t _f	mm	24
	フランジプレートに作用する面外曲げモーメント	M _f	kN・mm	1458
	フランジプレートの面外曲げモーメントに対する断面係数	Z _f *	mm ³	25800
	フランジプレートの面外曲げ応力度	σ _{Fb}	N/mm ²	56.6
	フランジプレートの許容面外曲げ応力度	f _{b1}	N/mm ²	271.1
リブプレートの 検討	リブプレートの材質	-	-	SS400
	リブプレートの基準強度	F	N/mm ²	235
	リブプレートの板厚 (使用板厚)	t _r	mm	12
	リブプレートに作用する圧縮力	P _r	kN	146
	リブプレートの断面積 (軸断面)	A _r *	mm ²	3850
	リブプレートの断面積 (せん断面)	A _{rs} *	mm ²	3560
	圧縮応力度	σ _{Rc}	N/mm ²	38.0
	許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	235
	せん断応力度	τ _R	N/mm ²	41.1
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	135.6

注記* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{Bb} = M_b / Z_b \quad \sigma_{Fb} = M_f / Z_f$$

$$\sigma_{Rc} = P_r / A_r \quad \tau_R = P_r / A_{rs}$$

表 5-7 S s 地震時における筒身脚部の評価結果 (S s - F 3, ケース①)

評価部位	応力分類	単位	発生応力	許容値	発生応力 / 許容値
アンカーボルト	引張	N/mm ²	221.1	258.5	0.86
	せん断	N/mm ²	11.0	149.2	0.08
	組合せ	N/mm ²	221.1	258.5	0.86
コンクリート (コーン状破壊)	引張*	kN	124	463	0.27
コンクリート (圧縮)	圧縮	N/mm ²	1.9	13.6	0.14
ベースプレート	面外曲げ	N/mm ²	86.3	298.2	0.29
フランジプレート	面外曲げ	N/mm ²	132.2	298.2	0.45
リブプレート	圧縮	N/mm ²	47.8	258.5	0.19
	せん断	N/mm ²	51.7	149.2	0.35

注記* : アンカーボルト 1 本当たりの引張力

表 5-8 S s 地震時における鉄塔脚部の評価結果 (S s - N 1, ケース③)

評価部位	応力分類	単位	発生応力	許容値	発生応力 / 許容値
アンカーボルト	引張	N/mm ²	136.5	236.5	0.58
	せん断	N/mm ²	38.2	136.5	0.28
	組合せ	N/mm ²	136.5	236.5	0.58
コンクリート (コーン状破壊)	引張*	kN	763	1009	0.76
コンクリート (圧縮)	圧縮	N/mm ²	6.1	13.6	0.45
ベースプレート	面外曲げ	N/mm ²	188.5	298.2	0.64
フランジプレート	面外曲げ	N/mm ²	141.6	272.8	0.52
リブプレート	圧縮	N/mm ²	99.1	258.5	0.39
	せん断	N/mm ²	110.3	149.2	0.74

注記* : アンカーボルト 1 本当たりの引張力

表 5-9 S d 地震時における筒身脚部の評価結果 (S d-D 1, ケース③)

評価部位	応力分類	単位	発生応力	許容値	発生応力 /許容値
アンカーボルト	引張	N/mm ²	94.5	235.0	0.41
	せん断	N/mm ²	8.6	135.6	0.07
	組合せ	N/mm ²	94.5	235.0	0.41
コンクリート (コーン状破壊)	引張*	kN	53	465	0.12
コンクリート (圧縮)	圧縮	N/mm ²	1.5	13.6	0.12
ベースプレート	面外曲げ	N/mm ²	68.2	271.1	0.26
フランジプレート	面外曲げ	N/mm ²	56.6	271.1	0.21
リブプレート	圧縮	N/mm ²	38.0	235.0	0.17
	せん断	N/mm ²	41.1	135.6	0.31

注記* : アンカーボルト 1 本当たりの引張力

VI-2-7-3 液体廃棄物処理系の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-7-3-1 放射性ドレン移送系の耐震性についての計算書

VI-2-7-3-2 サプレッションプール水貯蔵系の耐震性についての計算書

VI-2-7-3-1 放射性ドレン移送系の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-7-3-1-1 管の耐震性についての計算書（放射性ドレン移送系）

VI-2-7-3-1-1 管の耐震性についての計算書
(放射性ドレン移送系)

設計基準対象施設

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	6
3.1 計算方法	6
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
3.3 設計条件	8
3.4 材料及び許容応力評価条件	11
3.5 設計用地震力	12
4. 解析結果及び評価	13
4.1 固有周期及び設計震度	13
4.2 評価結果	19
4.2.1 管の応力評価結果	19
4.2.2 支持構造物評価結果	20
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	21
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	23

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、放射性ドレン移送系の管、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及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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2モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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

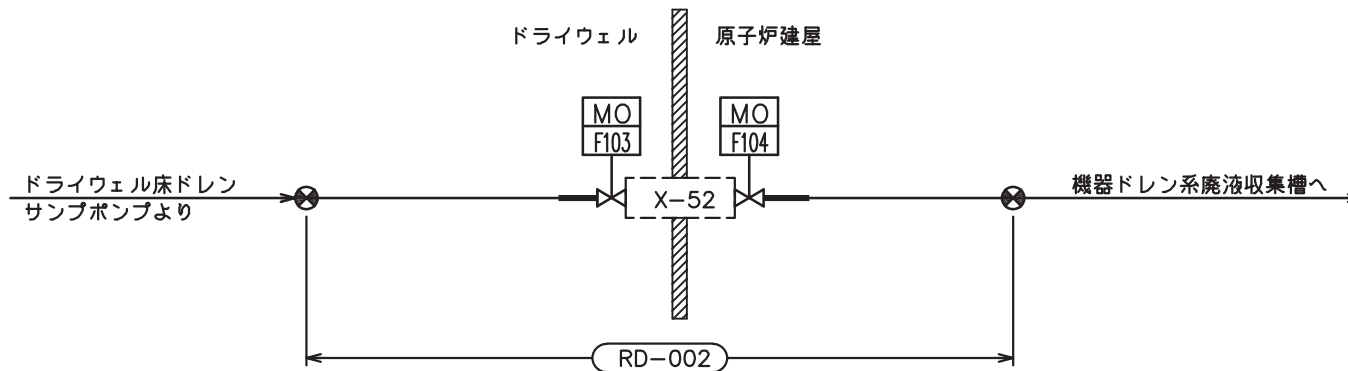
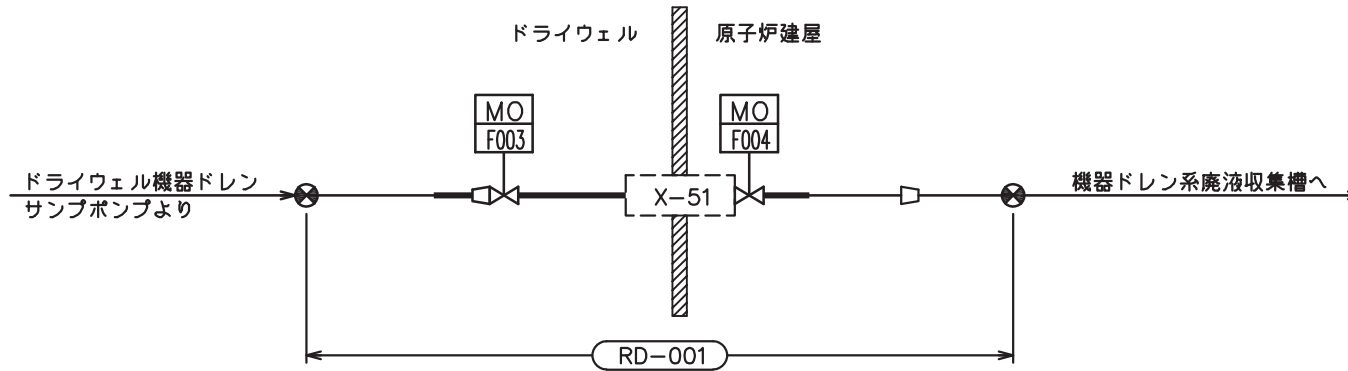
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

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


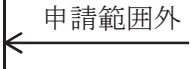




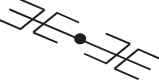

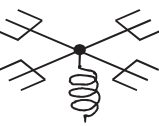
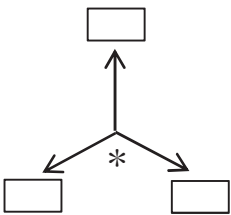
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



放射性ドレン移送系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	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として本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印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。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	ガイド
	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。)

5

鳥瞰図

RD-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「ISAP」及び「SAP-V」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「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *3	許容応力状態
放射性廃棄物の廃棄施設	気体, 液体又は固体廃棄物処理設備	放射性ドレン移送系	DB	—	クラス2管 クラス3管	S	I _L +S d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L +S d	
							I _L +S s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L +S s	

注記*1: DB は設計基準対象施設, SA は重大事故等対処設備を示す。

*2: 運転状態の添字Lは荷重を示す。

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

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 RD-001

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.98	95	76.3	5.2	STPT370	S	198400
2	0.98	95	89.1	5.5	STPT370	S	198400
3	0.98	171	89.1	5.5	STS410	S	193320
4	0.98	66	89.1	5.5	STPT370	S	200360

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 R D - 0 0 1

管名称	対 応 す る 評 価 点
1	10 101 902
2	10 11
3	13 14 15 16
4	21 22 801

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
10		15		22		801	
14		16		101		902	

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

弁 2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
11		19	
12		20	
13		21	
35		37	
900		38	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	12			
弁2	20			

O 2 ⑥ VI-2-7-3-1-1(設) R 0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RD-001

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
** 17 **						
22						
** 22 **						
** 900 **						
902						
** 902 **						

--

02 ⑥ VI-2-7-3-1-1 (設) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
STPT370	66	—	199	360	—
	95	—	188	351	—
STS410	171	—	211	404	—

3.5 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計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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「VI-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(O.P. (m))	減衰定数(%)
R D - 0 0 1	原子炉本体基礎		
	原子炉格納容器		
	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RD-001

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

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

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_I$ 及び $1.2C_V$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RD-001

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

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

代表的振動モード図

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

鳥瞰図 RD-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | RD-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 RD-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス 2 以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 S p r m (S d) S p r m (S s)	許容応力 S y *1 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
RD-001	Ⅲ _A S	21	S p r m (S d)	121	199	—	—	—
	Ⅳ _A S	21	S p r m (S s)	186	324	—	—	—
	Ⅳ _A S	21	S n (S s)	—	—	331	398	—

注記 *1: オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、S y と 1. 2 ・ S h のうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
RD-001-900S	メカニカルスナッパ	SMS-03-100	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		3	4.5
RD-002-039BB	ロッドレストレイント	RSA-06			8	9

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	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			
RD-001-022R	レストレイント	Uプレート	SS400	40	7	14	6	—	—	—	せん断	98	141

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超える弁については、詳細評価を実施する。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
K11-F103	ゲート弁	β (S d)	7.1*	3.6	6.0	6.0

注：機能維持評価用加速度は、配管系の地震応答解析による打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

注記*：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、詳細評価を行う。

詳細評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が駆動部の動作機能確認済加速度以下及び計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		駆動部の動作機能確認済 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	評価部位*	応力分類	計算応力	許容応力
K11-F103	ゲート弁	β (S d)	7.1	3.6	20.0	20.0	ボンネット	曲げ	187	234

注記*：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

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、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス 2 以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*				疲労評価			
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	RD-001	21	121	199	1.64	○	21	186	324	1.74	○	21	331	398	1.20	○	—	—	—
2	RD-002	24	35	188	5.37	—	24	52	431	8.28	—	24	117	376	3.21	—	—	—	—

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

VI-2-7-3-2 サプレッションプール水貯蔵系の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-7-3-2-1 管の耐震性についての計算書（サプレッションプール水貯蔵系）

VI-2-7-3-2-1 管の耐震性についての計算書
(サプレッションプール水貯蔵系)

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5条（地震による損傷の防止）の技術上の基準に対し、サブプレッションプール水貯蔵系設備を撤去することによる影響を説明するものである。

液体廃棄物処理系であるサブプレッションプール水貯蔵系設備と取合う既設設備は、サブプレッションチェンバ、残留熱除去系配管及び床ドレン・化学廃液系配管、電源供給元である制御盤、操作盤等である。

サブプレッションプール水貯蔵系設備の撤去工事においては、サブプレッションプール水貯蔵系設備と既設設備の取合い部は適切に処置することとしている。

具体的には、配管は取合い部で切断し閉止することで既設設備と切り離し、また制御盤、操作盤等については、予備化、端末処理等を行うこととしており、添付書類「VI-2-2-2 原子炉建屋の耐震性についての計算書」にて評価する原子炉建屋、添付書類「VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」にて評価するサブプレッションチェンバ、添付書類「VI-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書（残留熱除去系）」にて評価する残留熱除去系配管及び床ドレン・化学廃液系配管への耐震性に影響を及ぼすことはない。

VI-2-8 放射線管理施設の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-8-1 放射線管理施設の耐震性についての計算結果
- VI-2-8-2 放射線管理用計測装置についての耐震計算書
- VI-2-8-3 換気設備の耐震性についての計算書
- VI-2-8-4 生体遮蔽装置の耐震性についての計算書

VI-2-8-1 放射線管理施設の耐震性についての計算結果

目次

1. 概要..... 1
2. 耐震評価条件整理..... 1

1. 概要

本説明書は、放射線管理施設の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

放射線管理施設の設備に対して、設計基準対象施設の耐震重要度分類、重大事故等対処設備の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績との差異の有無を整理した。また、重大事故等対処設備のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処設備の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表 1 に示す。

放射線管理施設の耐震計算は表 1 に示す計算書に記載することとする。

表 1 耐震評価条件整理一覧表

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
放射線管理施設	放射線管理用計測装置	主蒸気管放射線モニタ	S	—*2	VI-2-8-2-1-1-1	—	—	—
		格納容器内雰囲気放射線モニタ (D/W)	S	—*2	VI-2-8-2-1-2-1	常設耐震／防止 常設／緩和	有	VI-2-8-2-1-2-1
		格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C)	S	—*2	VI-2-8-2-1-2-2	常設耐震／防止 常設／緩和	有	VI-2-8-2-1-2-2
		原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタ	S	—*2	VI-2-8-2-1-3-1	—	—	—
		フィルタ装置出口放射線モニタ	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-8-2-1-3-2
		燃料取替エリア放射線モニタ	S	無	VI-2-8-2-1-3-3	—	—	—
		耐圧強化ベント系放射線モニタ	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-8-2-1-3-4
		使用済燃料プール上部空間放射線モニタ (低線量)	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-8-2-2-1-1
		使用済燃料プール上部空間放射線モニタ (高線量)	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-8-2-2-1-2
	換気設備	主配管 (ダクト)	S	無	VI-2-8-3-1-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	VI-2-8-3-1-1
		中央制御室送風機	S	無	VI-2-8-3-1-2	常設耐震／防止 常設／緩和	無	VI-2-8-3-1-2
		中央制御室再循環送風機	S	無	VI-2-8-3-1-3	常設耐震／防止 常設／緩和	無	VI-2-8-3-1-3
		中央制御室排風機	S	無	VI-2-8-3-1-4	常設耐震／防止 常設／緩和	無	VI-2-8-3-1-4

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所	
放射線管理施設	換気設備	中央制御室再循環フィルタ装置	S	無	VI-2-8-3-1-5	常設耐震／防止 常設／緩和	無	VI-2-8-3-1-5
		主配管（ダクト）	—	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-8-3-2-1
		主配管	—	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-8-3-2-2
		緊急時対策所非常用送風機	—	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-8-3-2-3
		緊急時対策所非常用フィルタ装置	—	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-8-3-2-4
		主配管	—	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-8-3-3-1
		差圧計（中央制御室待避所用）	—	—*2	—	常設／その他	—	VI-2-8-3-3-2
		主配管	—	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-8-3-4-1
		差圧計（緊急時対策所用）	—	—*2	—	常設／その他	—	VI-2-8-3-4-2
	生体遮蔽装置	2次しゃへい壁	B	有	VI-2-8-4-1	常設／防止 常設／緩和	無	VI-2-8-4-1
		補助しゃへい	B	有	VI-2-8-4-2	常設／防止 常設／緩和	無	VI-2-8-4-2
		中央制御室しゃへい壁	S	有	VI-2-8-4-3	常設耐震／防止 常設／緩和	無	VI-2-8-4-3
		中央制御室待避所遮蔽	—	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-8-4-4
		緊急時対策所遮蔽	—	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-8-4-5

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
放射線管理施設	その他の放射線管理施設	V30-D301A, B (中央制御室少量外気取入ダンパ (A) (B))	S	—*2	VI-2-8-3-1-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	VI-2-8-3-1-1
		V30-D302A, B (中央制御室再循環フィルタ装置入口ダンパ (A) (B))	S	—*2	VI-2-8-3-1-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	VI-2-8-3-1-1
		V30-D303 (中央制御室外気取入ダンパ (前))	S	—*2	VI-2-8-3-1-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	VI-2-8-3-1-1
		V30-D304 (中央制御室外気取入ダンパ (後))	S	—*2	VI-2-8-3-1-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	VI-2-8-3-1-1
		V30-D305A, B (中央制御室排風機 (A) (B) 出口ダンパ)	S	—*2	VI-2-8-3-1-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	VI-2-8-3-1-1

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，「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及び「常設／その他」は常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備以外の常設重大事故等対処設備を示す。

注記*2：本工事計画で新規に申請する設備であることから，差異比較の対象外。

VI-2-8-2 放射線管理用計測装置についての耐震計算書

目 次

VI-2-8-2-1 プロセスモニタリング設備の耐震性についての計算書

VI-2-8-2-2 エリアモニタリング設備の耐震性についての計算書

VI-2-8-2-1 プロセスモニタリング設備の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-8-2-1-1 主蒸気管中の放射性物質濃度を計測する装置の耐震性についての計算書
- VI-2-8-2-1-2 原子炉格納容器本体内の放射性物質濃度を計測する装置の耐震性についての計算書
- VI-2-8-2-1-3 放射性物質により汚染するおそれがある管理区域から環境に放出する排水中又は排気中の放射性物質濃度を計測する装置の耐震性についての計算

VI-2-8-2-1-1 主蒸気管中の放射性物質濃度を計測する装置の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-8-2-1-1-1 主蒸気管放射線モニタの耐震性についての計算書

VI-2-8-2-1-1-1 主蒸気管放射線モニタの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	7
4.1 固有値解析方法	7
4.2 解析モデル及び諸元	7
4.3 固有値解析結果	9
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
5.2.2 許容応力	11
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	15
5.4.1 応力の計算方法	15
5.5 計算条件	16
5.5.1 保持金具支持部取付ボルトの応力計算条件	16
5.6 応力の評価	16
5.6.1 保持金具支持部取付ボルトの応力評価	16
6. 機能維持評価	17
6.1 電氣的機能維持評価方法	17
7. 評価結果	18
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	18

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、主蒸気管放射線モニタが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

主蒸気管放射線モニタは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

構造強度評価については、保持金具支持部取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また、電氣的機能維持評価については、評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電氣的機能維持評価に用いる評価用加速度は、設置床高さが同じで保持金具が剛構造の場合は同じ加速度となることから、構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
D11-RE001A（代表） D11-RE001B D11-RE001C D11-RE001D	5. 構造強度評価	表 2-1 構造計画

2. 一般事項

2.1 構造計画

主蒸気管放射線モニタの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、保持金具に固定され検出器ウェル内に固定する。</p> <p>保持金具は、検出器ウェル先端と鉛プラグにより固定され、水平方向は保持金具支持部により固定される。また、保持金具は、保持金具支持部及び保持金具支持部取付ボルトで支持される。検出器ウェルは原子炉建屋躯体に貫通して設置される。</p>	<p>電離箱 (検出器は検出器ウェルに設置された保持金具に固定される構造)</p>	<p>【主蒸気管放射線モニタ (D11-RE001A)】</p>

2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 評価方針

主蒸気管放射線モニタの応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す主蒸気管放射線モニタの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、主蒸気管放射線モニタの機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

主蒸気管放射線モニタの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

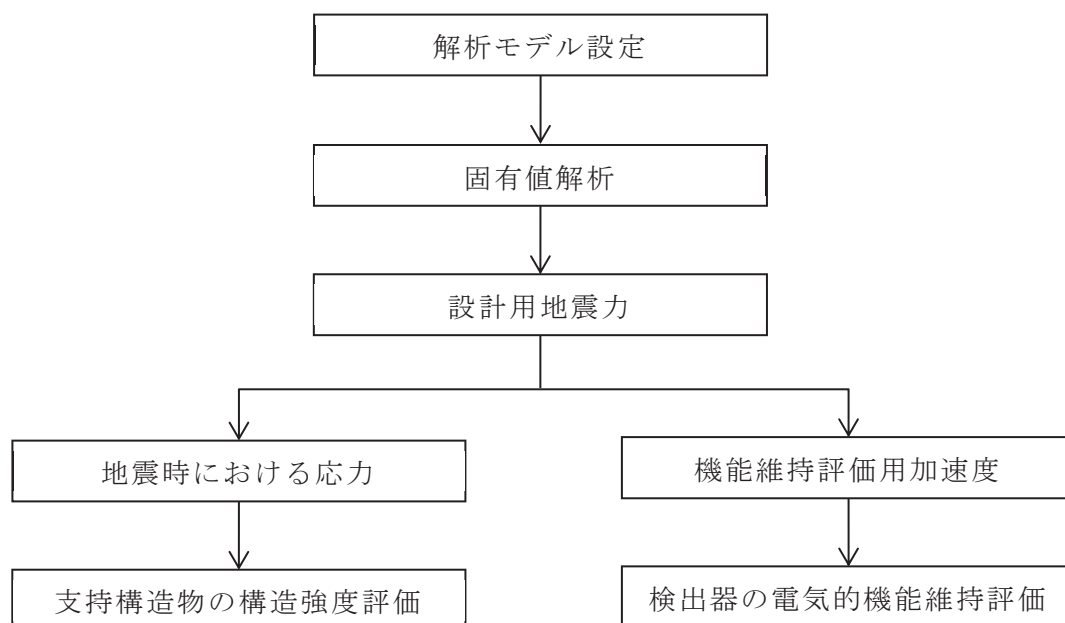


図 2-1 主蒸気管放射線モニタの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
（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	部材の断面積	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
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
I_p	保持金具の断面二次極モーメント	mm^4
I_y	保持金具の断面二次モーメント (y軸)	mm^4
I_z	保持金具の断面二次モーメント (z軸)	mm^4
f_{t0}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
m	質量 (検出器及び保持金具)	kg
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	—
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に定める材料の40℃における値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

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第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

主蒸気管放射線モニタの耐震評価は、「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保持金具支持部取付ボルトについて実施する。主蒸気管放射線モニタの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

主蒸気管放射線モニタの固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 主蒸気管放射線モニタは、「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルを用いる。

4.2 解析モデル及び諸元

主蒸気管放射線モニタの解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【主蒸気管放射線モニタ (D11-RE001A) の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 保持金具は検出器ウェル内に固定されることから、保守的に最も断面積の小さい保持金具（要素①）の部材の断面形状を全部材に適用することで直線とみなし、支持点（保持金具支持部，保持金具上端及び下端）7点で固定する。
- (2) 解析モデルにおいて、検出器及び保持金具の質量は質点に集中するものとし、質点は保持金具支持部の支持間隔の中心に設置する。
- (3) 主蒸気管放射線モニタの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (4) 拘束条件として、保持金具支持部は上下方向に動くローラーで検出器ウェル内部に接しているため、ローラー支持点により X Z 方向の移動を拘束，Y 方向の移動を自由，X Y Z 方向の回転を拘束する。保持金具上端は鉛プラグに固定されていることから、ピン支持点により X Y Z 方向の移動を拘束，X Z 方向の回転を自由，Y 方向の回転を拘束する。保持金具下端は検出器ウェルに固定されていることから、ピン支持点により X Y Z 方向の移動を拘束，X Y Z 方向の回転を自由とする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (6) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

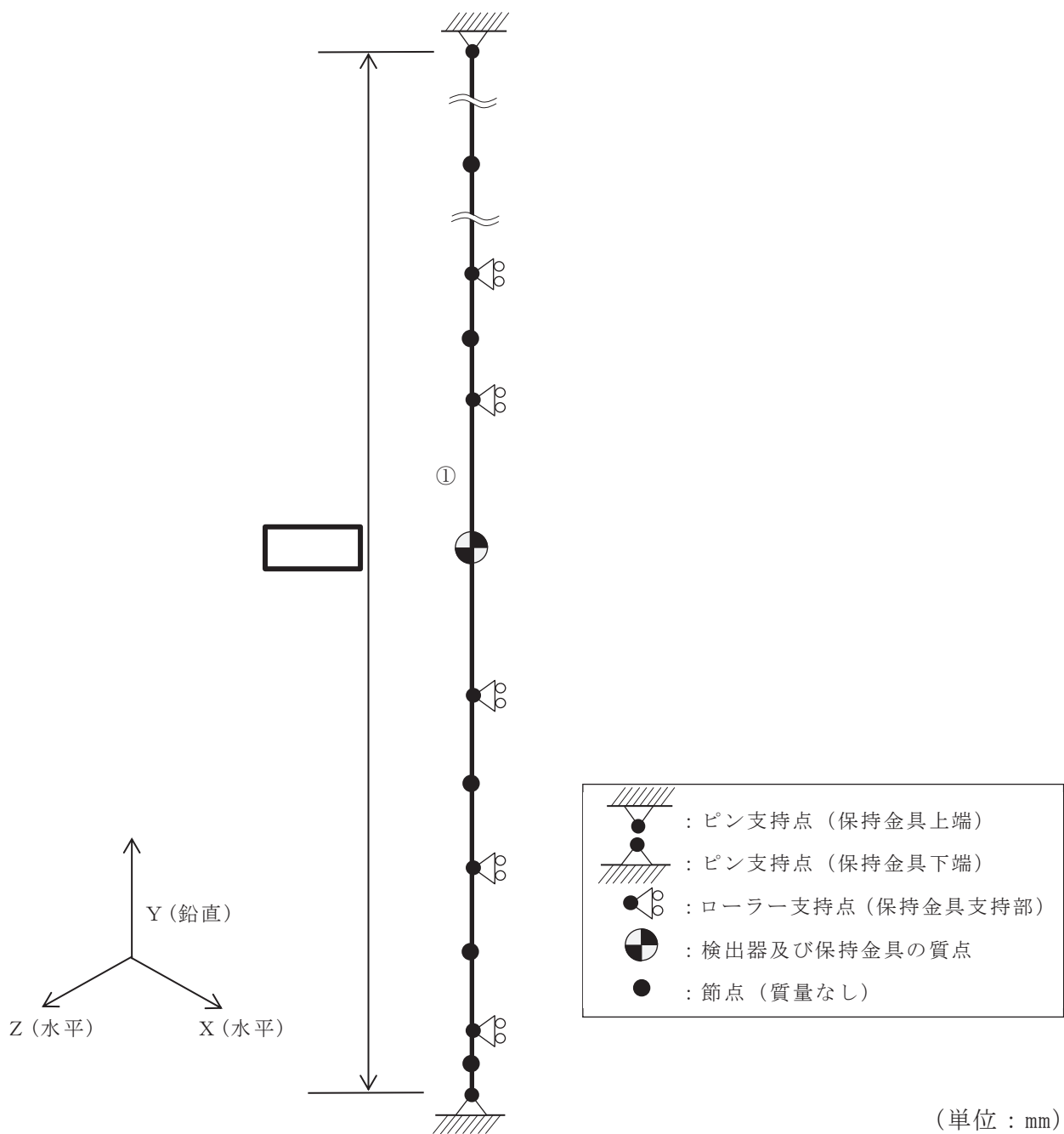


図 4-1 主蒸気管放射線モニタ解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-1 に、振動モード図を図 4-2 及び図 4-3 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Z 方向	
1 次	水平方向		—	—	—
5 次	鉛直方向		—	—	—

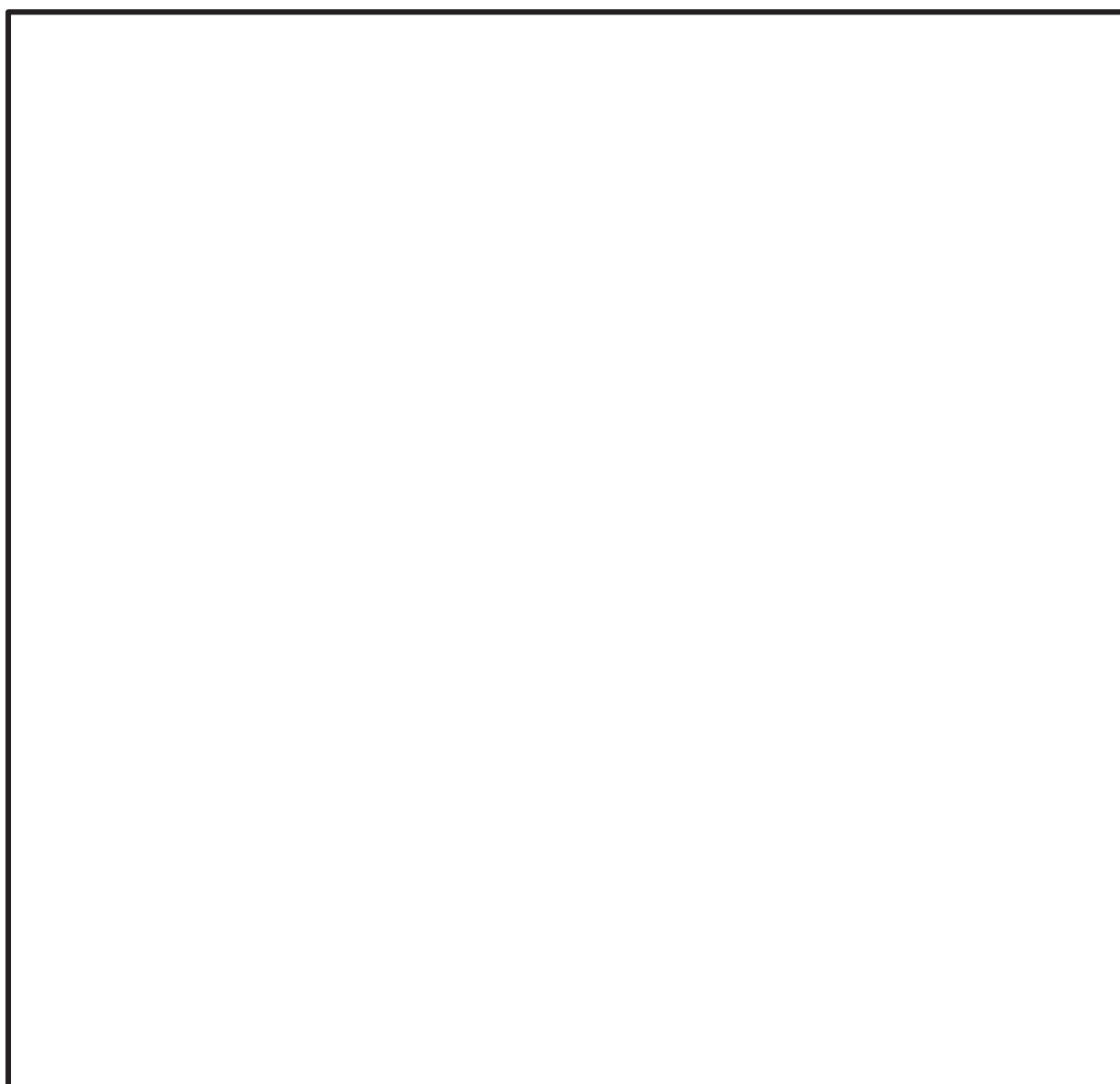


図 4-2 振動モード図 (1 次モード 水平方向)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

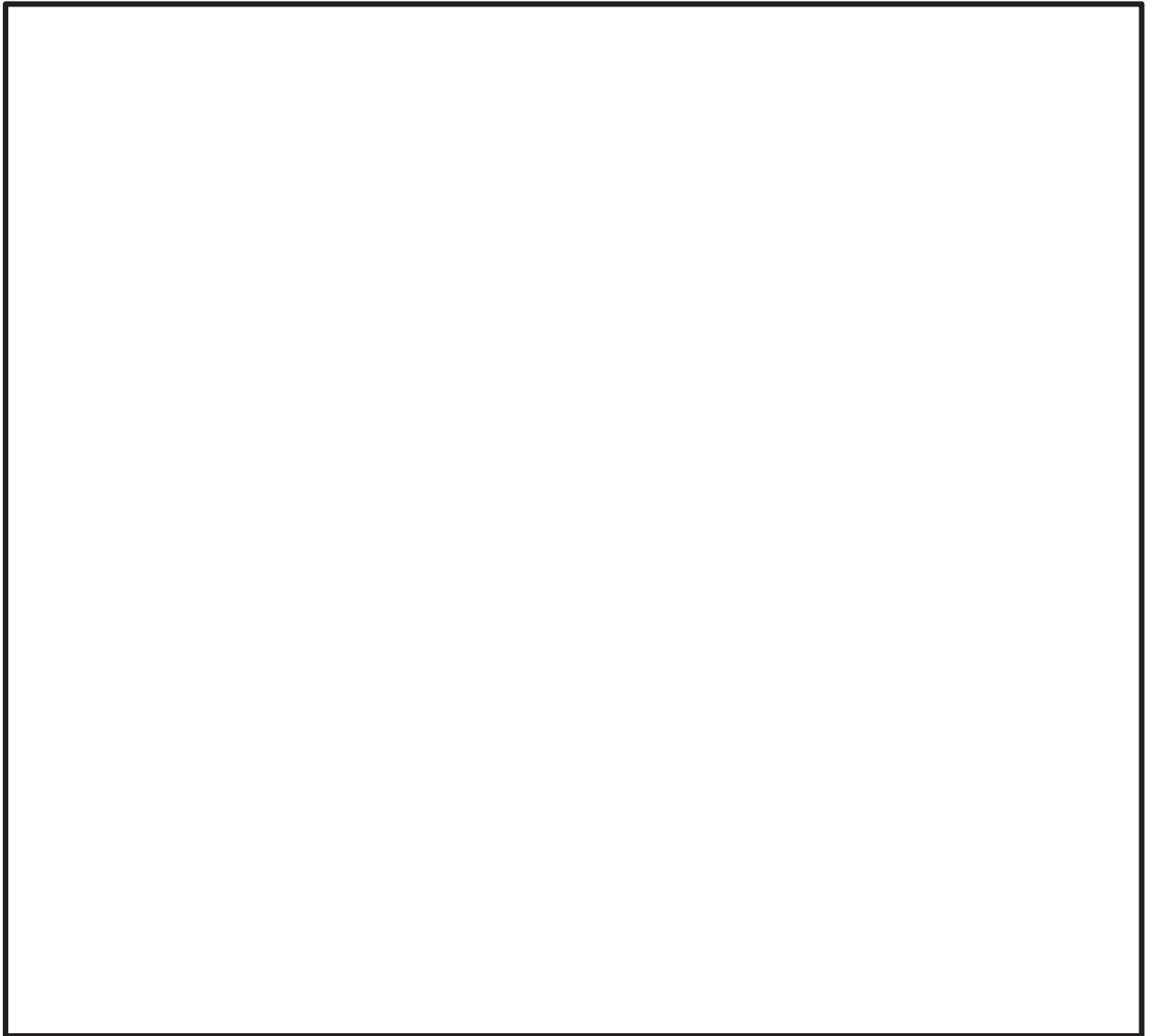


図 4-3 振動モード図 (5 次モード 鉛直方向)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)～(5)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、主蒸気管放射線モニタに対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (2) 主蒸気管放射線モニタは、保持金具により検出器ウェル内に固定される。保持金具は、ウェル先端と鉛プラグにより軸方向を固定し、保持金具支持部で検出器ウェル内面に接触して半径方向を固定され、保持金具支持部は、保持金具支持部取付ボルトで支持されているものとする。
- (3) 主蒸気管放射線モニタの質量は、検出器及び保持金具を考慮する。

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

主蒸気管放射線モニタの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

主蒸気管放射線モニタの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

主蒸気管放射線モニタの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-3 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	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	放射線管理用 計測装置	主蒸気管放射線モニタ	S	— *1	$D + P_D + M_D + S_d^*$	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。

表 5-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 *1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		保持金具 支持部取付ボルト		周囲環境温度	55	195

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4 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「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 5-4 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 O. P. 15.00 ^{*1}			— ^{*2}	— ^{*2}	C _H = 1.97	C _V = 1.37

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。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 保持金具支持部取付ボルトの計算方法

保持金具支持部取付ボルトの応力は、地震による震度により作用する地震力によって生じる引張力について計算する。

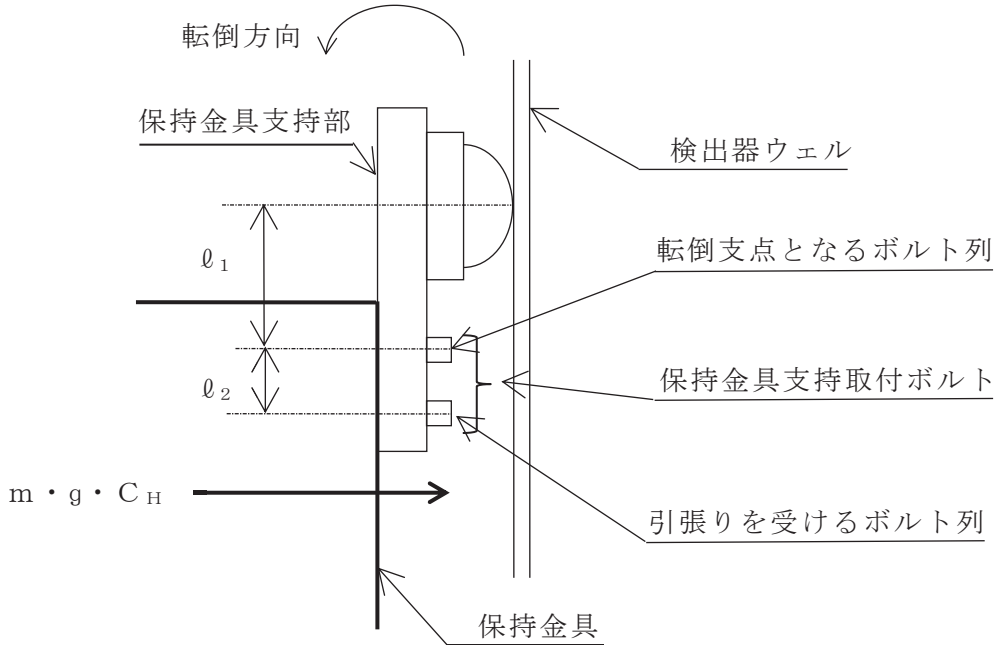


図5-1 計算モデル

(1) 引張応力

保持金具支持部取付ボルトに対する引張力は、転倒支点となるボルト列を支点とする転倒を考え、これをもう片側のボルト列で受けるものとして計算する。

引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot \ell_1}{n_f \cdot \ell_2} \dots \dots \dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

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

ここで、保持金具支持部取付ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

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

5.5 計算条件

5.5.1 保持金具支持部取付ボルトの応力計算条件

保持金具支持部取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【主蒸気管放射線モニタ (D11-RE001A) 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 保持金具支持部取付ボルトの応力評価

5.4.1 項で求めた保持金具支持部取付ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_t 以下であること。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

主蒸気管放射線モニタの電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

主蒸気管放射線モニタの機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
主蒸気管放射線モニタ (D11-RE001A)	水平方向	
	鉛直方向	

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

主蒸気管放射線モニタの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電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。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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【主蒸気管放射線モニタの耐震性 (D11-RE001A) についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
主蒸気管放射線モニタ (D11-RE001A)	S	原子炉建屋 O.P. 15.00* ¹			—* ²	—* ²	C _H =1.97	C _V =1.37	55

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

1.2.1 主蒸気管放射線モニタ

部材	m (kg)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n _f
保持金具 支持部取付ボルト						2

部材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
保持金具 支持部取付ボルト	195	496	205	205	205

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位: N)

部材	F _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
保持金具 支持部取付ボルト	—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力*	許容応力	算出応力	許容応力
保持金具 支持部取付ボルト		引張り	$\sigma_b = 13$	$f_{t0} = 153$	$\sigma_b = 13$	$f_{t0} = 153$

注記*：基準地震動 S_s による算出値
すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度	機能確認済加速度
主蒸気管放射線モニタ (D11-RE001A)	水平方向	1.65	
	鉛直方向	1.15	

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

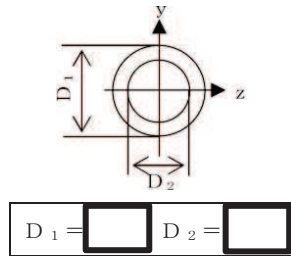
(1) 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	℃	55
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

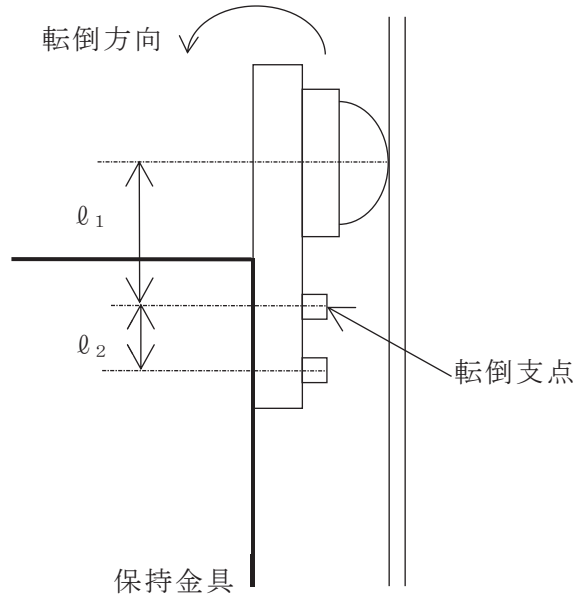
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 部材の機器要目

材料	
対象要素	①
A (mm ²)	
I _y (mm ⁴)	
I _z (mm ⁴)	
I _p (mm ⁴)	
断面形状 (mm) *1	



注記*1：解析において、保持金具は最も断面積の小さい①の部材の断面を適用していることから、①の部材の断面形状を示す。



VI-2-8-2-1-2 原子炉格納容器本体内の放射性物質濃度を計測する装置の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-8-2-1-2-1 格納容器内雰囲気放射線モニタ (D/W) の耐震性についての計算書
- VI-2-8-2-1-2-2 格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) の耐震性についての計算書

VI-2-8-2-1-2-1 格納容器内雰囲気放射線モニタ (D/W) の耐震性について
の計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用規格・基準等	4
2.4	記号の説明	5
2.5	計算精度と数値の丸め方	6
3.	評価部位	7
4.	固有周期	7
4.1	固有値解析方法	7
4.2	解析モデル及び諸元	7
4.3	固有値解析結果	9
5.	構造強度評価	13
5.1	構造強度評価方法	13
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	13
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	13
5.2.2	許容応力	13
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	13
5.3	設計用地震力	17
5.4	計算方法	18
5.4.1	応力の計算方法	18
5.5	計算条件	19
5.5.1	保持金具支持部取付ボルトの応力計算条件	19
5.6	応力の評価	19
5.6.1	保持金具支持部取付ボルトの応力評価	19
6.	機能維持評価	20
6.1	電氣的機能維持評価方法	20
7.	評価結果	21
7.1	設計基準対象施設としての評価結果	21
7.2	重大事故等対処設備としての評価結果	21

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

構造強度評価については保持金具支持取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件(許容値/発生値の小さい方)となるものを代表して評価する。また、電氣的機能維持評価に用いる評価用加速度は、設置床高さが同じで、同構造の場合は同じ加速度となることから、構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。評価対象を表1-1に示す。

表 1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
D23-RE005A (代表) D23-RE005B	5. 構造強度評価	表 2-1 構造計画

2. 一般事項

2.1 構造計画

格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、保持金具に固定され取付ボルトで原子炉格納容器貫通部のスリーブに固定する。</p> <p>また、保持金具は、スリーブ内面に保持金具支持部及び保持金具支持部取付ボルトで支持する。</p>	<p>電離箱 (原子炉格納容器貫通部のスリーブに支持された保持金具に、検出器を取付ボルトにより固定する構造)</p>	<p>【格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W) (D23-RE005A)】</p> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

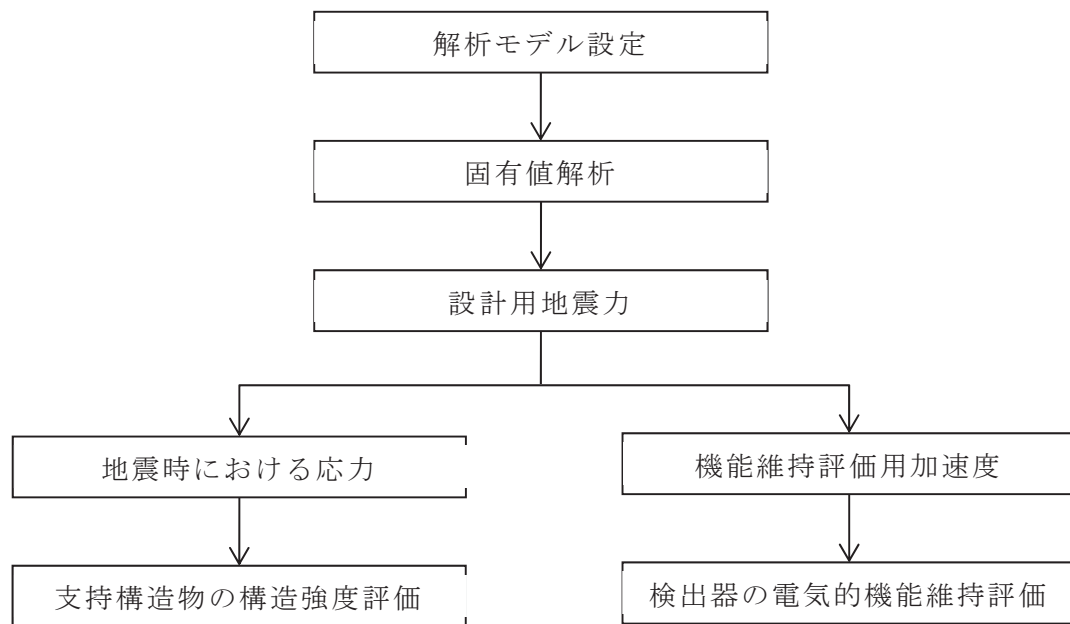


図 2-1 格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1－2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
（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
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
f_{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
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
m	質量	kg
n	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
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
π	円周率	—
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

計器精度は、有効数字 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	°C	—	—	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}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

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第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる保持金具支持部取付ボルトについて実施する。格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)は、「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルを用いる。

4.2 解析モデル及び諸元

格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)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、機器の諸元を本計算書の【格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W) (D23-RE005A) の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 保持金具は円筒でスリーブ内に固定されることから、①の部材の直線とみなし、支持点（保持金具支持部及び取付ボルト）5点で固定される。
- (2) 解析モデルにおいて、検出器の質量は質点に集中するものとし、質点は検出器の取付位置に設置する。
- (3) 拘束条件として、支持点（保持金具支持部）をX Y方向及び回転方向を固定されるものとし、支持点（取付ボルト）をX Y Z方向及び回転方向を固定されるものとする。なお、取付ボルトは剛体として評価する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

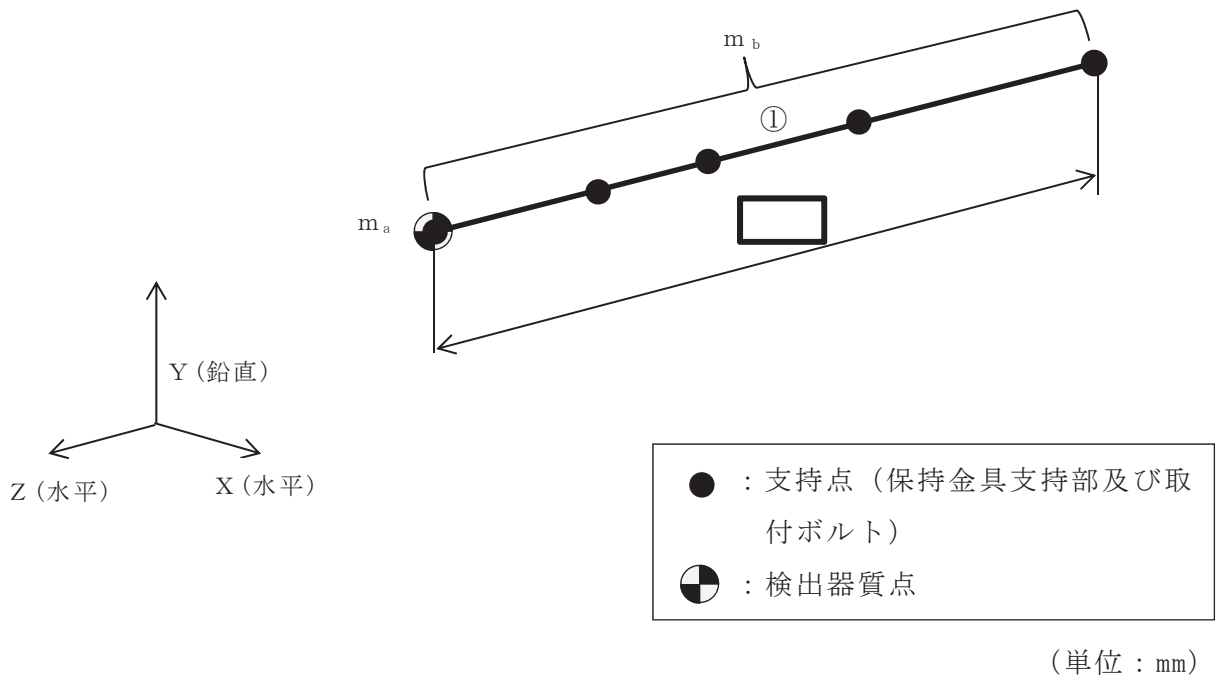


図 4-1 格納容器内雰囲気放射線モニタ (D/W) 解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、振動モード図を図 4-2 及び図 4-3 に示す。重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に、振動モード図を図 4-4 及び図 4-5 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有値解析結果（設計基準対象施設）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Z 方向	
1 次	鉛直方向		—	—	—
2 次	水平方向		—	—	—



図 4-2 振動モード図（1 次モード 鉛直方向 s）
（設計基準対象施設）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

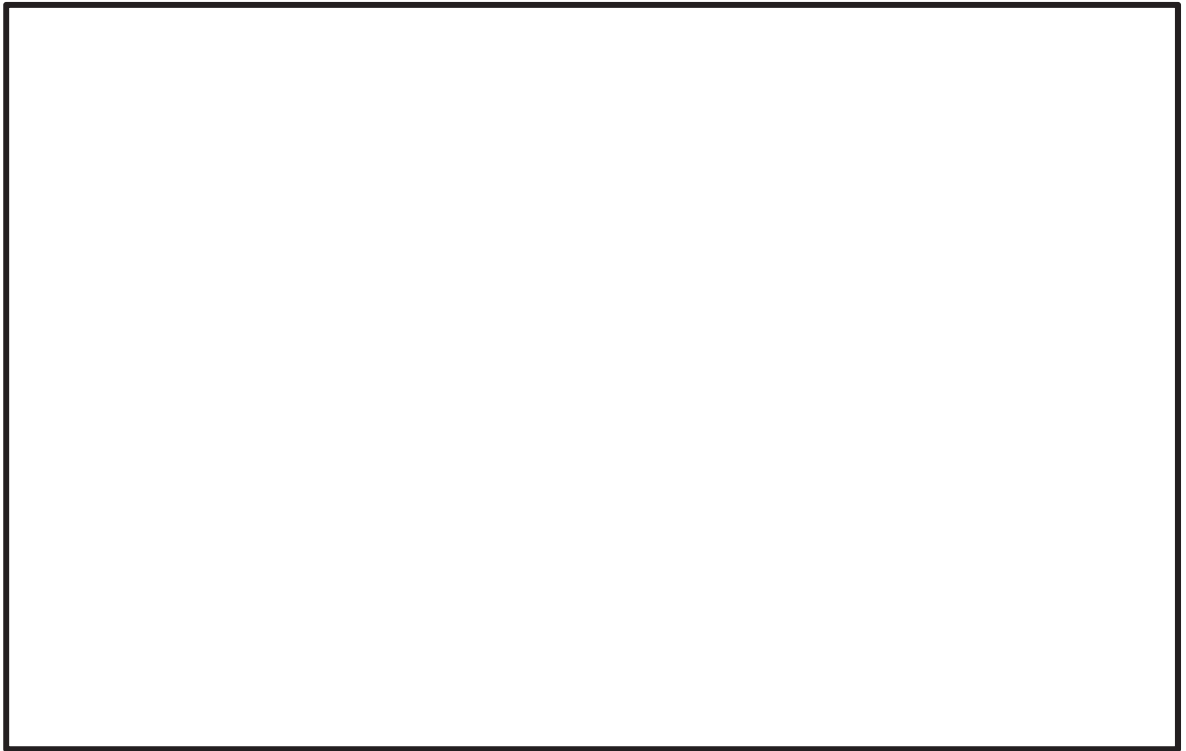


図 4-3 振動モード図 (2次モード 水平方向 s)
(設計基準対象施設)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-2 固有値解析結果（重大事故等対処設備）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Z方向	
1次	水平方向		—	—	—
2次	鉛直方向		—	—	—

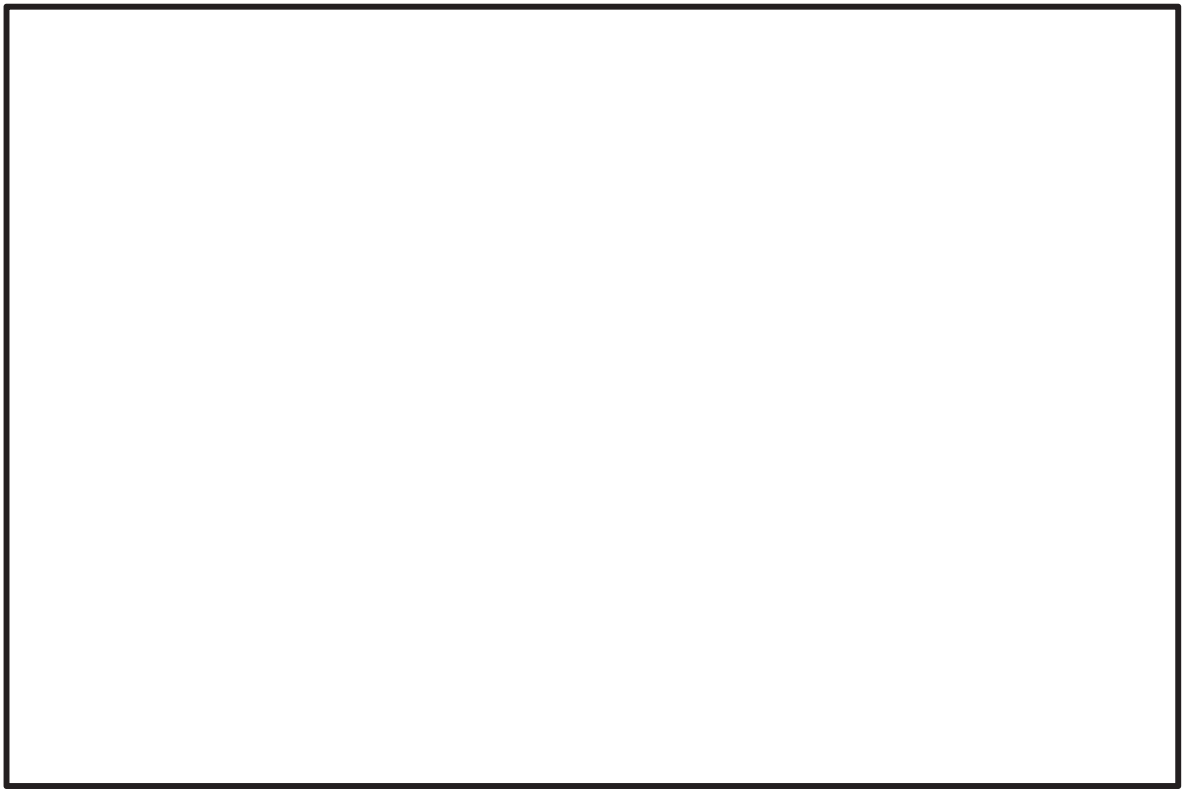


図 4-4 振動モード図（1次モード 水平方向 s）
（重大事故等対処設備）

O 2 ⑥ VI-2-8-2-1-2-1 R 3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

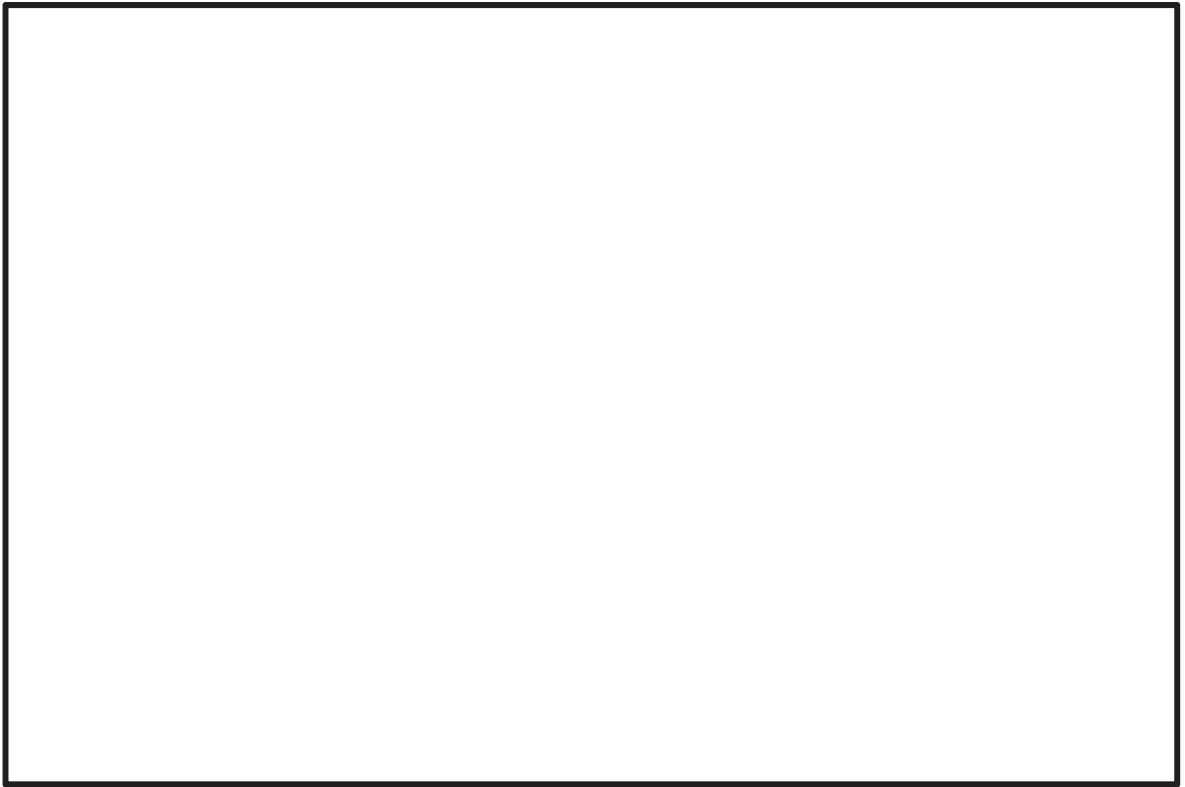


図 4-5 振動モード図 (2次モード 鉛直方向 s)
(重大事故等対処設備)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)から(4)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)に対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (2) 格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)は、保持金具の取付ボルトで原子炉格納容器貫通部に固定される。保持金具は、保持金具支持部でスリーブ内面に接触して固定されて、保持金具支持部は、保持金具支持部取付ボルトで支持する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	放射線管理用 計測装置	格納容器内雰囲気 放射線モニタ(D/W)	S	— *1	$D + P_D + M_D + S_d^*$	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。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	放射線管理用 計測装置	格納容器内雰囲気 放射線モニタ(D/W)	常設耐震／防止 常設／緩和	— *2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _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）

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

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

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

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
保持金具 支持部取付ボルト	SS400 (40 mm < 径 ≤ 100 mm)	周囲環境温度	171	176	373	—

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
保持金具 支持部取付ボルト	SS400 (40 mm < 径 ≤ 100 mm)	周囲環境温度	200	170	373	—

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

「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「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 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 O. P. 6.00 (O. P. 15.00* ¹)			— * ²	— * ²	C _H = 1.97	C _V = 1.37

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 O. P. 6.00 (O. P. 15.00* ¹)			—	—	C _H = 1.97	C _V = 1.37

注記 *¹：基準床レベルを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

保持金具支持部取付ボルトの応力は、地震による震度により作用する地震力によって生じるせん断力について計算する。

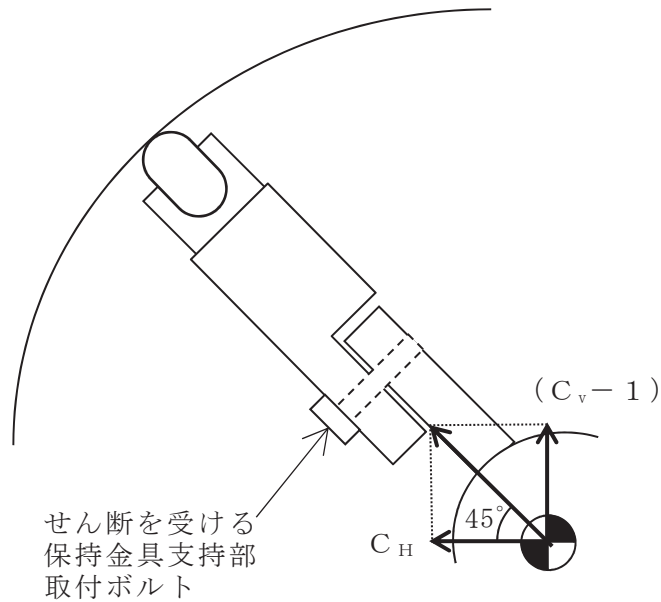


図5-1 計算モデル

(1) せん断応力

保持金具支持部取付ボルトに対するせん断力は、図5-1に示す水平方向及び鉛直方向の地震力を、取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = m \cdot g \cdot \frac{C_H + (C_v - 1)}{\sqrt{2}} \dots \dots \dots (5.4.1.1)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (5.4.1.2)$$

ここで、取付ボルトの断面積 A_b は次式により求める。

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

5.5 計算条件

5.5.1 保持金具支持部取付ボルトの応力計算条件

保持金具支持部取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W) (D23-RE005A) 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 保持金具支持部取付ボルトの応力評価

5.4.1項で求めた保持金具支持部取付ボルトのせん断応力 τ_b は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

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

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W) (D23-RE005A)	水平方向	
	鉛直方向	

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電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。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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W)の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電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。

【格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W) (D23-RE005A) の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
格納容器内雰囲気 放射線モニタ(D/W) (D23-RE005A)	S	原子炉建屋 O.P. 6.00 (O.P. 15.00* ¹)			—* ²	—* ²	C _H =1.97	C _V =1.37	171

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

部 材	m (kg)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
保持金具支持部 取付ボルト				2	176	373	176	211

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	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
保持金具支持部 取付ボルト	—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力*	許容応力	算出応力	許容応力
保持金具支持部 取付ボルト	SS400	せん断	$\tau_b = 38$	$f_{sb} = 101$	$\tau_b = 38$	$f_{sb} = 122$

注記*：基準地震動 S_s による算出値
すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8m/s^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
格納容器内雰囲気 放射線モニタ (D/W) (D23-RE005A)	水平方向	1.65	
	鉛直方向	1.15	

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

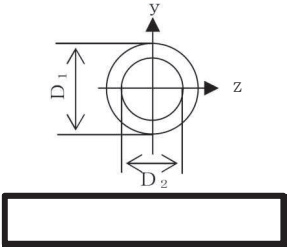
23

1.5 その他の機器要目

(1) 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_a	kg	
等分布質量	m_b	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	171
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

(2) 部材の機器要目

材料	
対象要素	①
A (mm ²)	
I _y (mm ⁴)	
I _z (mm ⁴)	
I _p (mm ⁴)	
断面形状 (mm)	 <p>The diagram shows a rectangular cross-section with a vertical diameter D_1 and a horizontal diameter D_2. A coordinate system is centered on the rectangle, with the y-axis pointing upwards and the z-axis pointing to the right. Below the diagram is a simple rectangular outline representing the cross-section.</p>

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 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
格納容器内雰囲気 放射線モニタ (D/W) (D23-RE005A)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 O. P. 6.00 (O. P. 15.00*1)			—	—	C _H =1.97	C _V =1.37	200

注記*1：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部 材	m (kg)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
保持金具支持部 取付ボルト				2	170	373	—	204

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	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
保持金具支持部 取付ボルト	—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
保持金具支持部 取付ボルト	SS400	せん断	—	—	$\tau_b = 38$	$f_{sb} = 117$

すべて許容応力以下である。

2.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8m/s^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
格納容器内雰囲気 放射線モニタ (D/W) (D23-RE005A)	水平方向	1.65	
	鉛直方向	1.15	

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

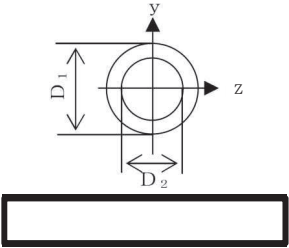
機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

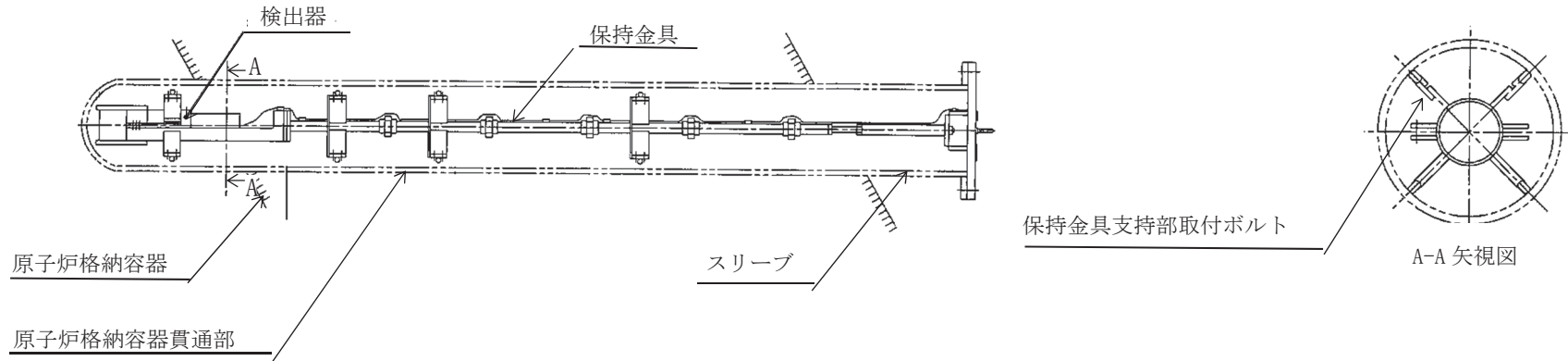
2.5 その他の機器要目

(1) 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_a	kg	
等分布質量	m_b	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	200
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

(2) 部材の機器要目

材料	
対象要素	①
A (mm ²)	
I _y (mm ⁴)	
I _z (mm ⁴)	
I _p (mm ⁴)	
断面形状 (mm)	 <p>The diagram shows a rectangular cross-section with a vertical dimension D_1 and a horizontal dimension D_2. A coordinate system is centered on the rectangle, with the y-axis pointing upwards and the z-axis pointing to the right. Below the diagram is a simple rectangular outline representing the cross-section.</p>



VI-2-8-2-1-2-2 格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) の耐震性について
の計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	4
2.3 適用規格・基準等	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	8
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2 許容応力	8
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	8
4.3 解析モデル及び諸元	12
4.4 固有周期	14
4.4.1 格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)(D23-RE006A)の固有周期	14
4.4.2 格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)(D23-RE006B)の固有周期	18
4.5 設計用地震力	22
4.6 計算方法	24
4.6.1 溶接部(D23-RE006A)の応力の計算方法	24
4.6.2 溶接部(D23-RE006B)の応力の計算方法	27
4.7 計算条件	30
4.7.1 溶接部の応力計算条件	30
4.8 応力の評価	30
4.8.1 溶接部の応力評価	30
5. 機能維持評価	31
5.1 電氣的機能維持評価方法	31
6. 評価結果	32
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	32
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	32

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)の構造計画を表2-1及び表2-2に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は, 取付ボルトにより計器スターションに取付けられた取付板に固定される。</p> <p>計器スターションは, 原子炉建屋内の構造物に溶接で固定する。</p>	<p>電離箱 (原子炉建屋内の構造物に溶接された計器スターションに, 検出器を取付ボルトにより固定する構造)</p>	<p>【格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) (D23-RE006A)】</p> <p>上面</p> <p>原子炉建屋内構造物</p> <p>溶接部 A</p> <p>溶接部 B</p> <p>1903</p> <p>検出器</p> <p>計器スターション</p> <p>1622</p> <p>取付ボルト</p> <p>取付板</p> <p>正面</p> <p>257</p> <p>側面</p> <p>(単位 : mm)</p>

表 2-2 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は, 取付ボルトにより計器スターションに取付けられた取付板に固定される。</p> <p>計器スターションは, 原子炉建屋内の構造物に溶接で固定する。</p>	<p>電離箱 (原子炉建屋内の構造物に溶接された計器スターションに, 検出器を取付ボルトにより固定する構造)</p>	<p>【格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) (D23-RE006B)】</p> <p>上面</p> <p>正面</p> <p>側面</p> <p>(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

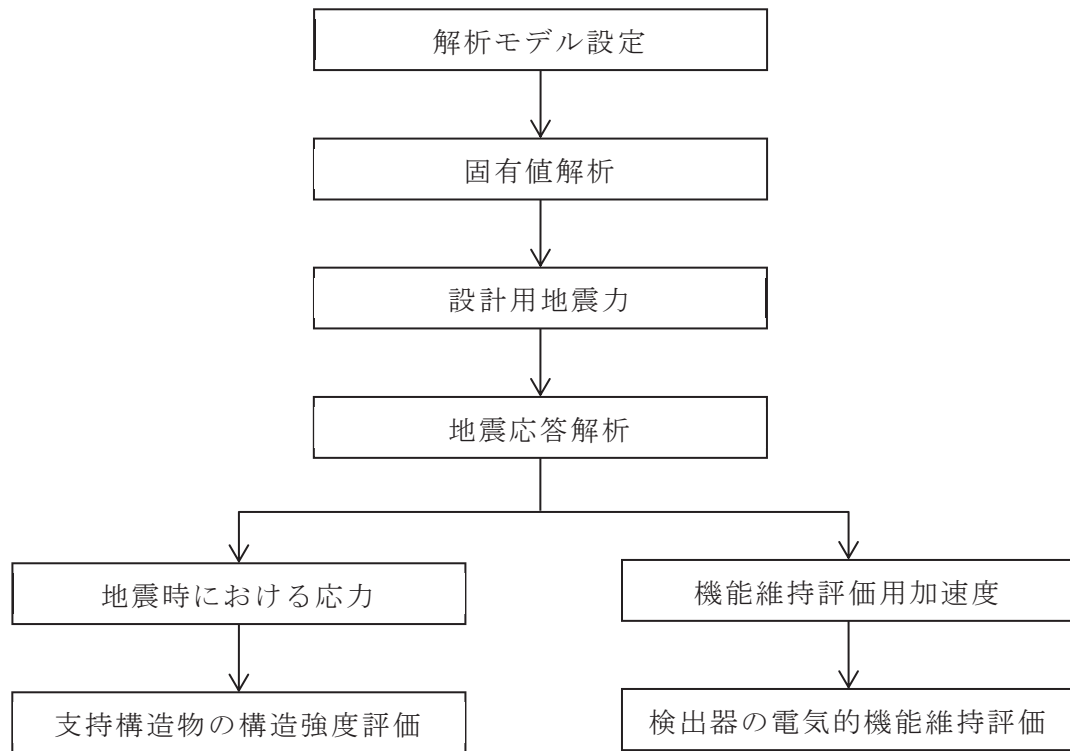


図 2-1 格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 - 1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1 - 2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
（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	溶接部の有効のど厚	mm
A_w	溶接部の有効断面積	mm ²
A_{wX}	溶接部の F_x に対する有効断面積	mm ²
A_{wZ}	溶接部の F_z に対する有効断面積	mm ²
b_1, b_2	溶接の有効長さ (x 方向)	mm
b_3, b_4	溶接の有効長さ (x 方向)	mm
h_1, h_2	溶接の有効長さ (z 方向)	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
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_x	溶接部に作用する力 (X 方向)	N
F_y	溶接部に作用する力 (Y 方向)	N
F_z	溶接部に作用する力 (Z 方向)	N
f_s	溶接部の許容せん断応力 (f_s を 1.5 倍した値又は f_s^* を 1.5 倍した値)	MPa
M_x	溶接部に作用するモーメント (X 軸)	N・mm
M_y	溶接部に作用するモーメント (Y 軸)	N・mm
M_z	溶接部に作用するモーメント (Z 軸)	N・mm
s	溶接脚長	mm
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°C における値	
Z_x	溶接部の溶接全断面における X 軸方向の断面係数	mm ³
Z_z	溶接部の溶接全断面における Z 軸方向の断面係数	mm ³
Z_p	溶接全断面におけるねじり断面係数	mm ³
σ_t	溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_b	溶接部に生じる曲げ応力	MPa
σ_w	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
τ	溶接部に生じるせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

計器精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-3 に示すとおりである。

表 2-3 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	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}
縦弾性係数	MPa	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
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

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第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる溶接部について実施する。格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)の耐震評価部位については、表 2-1 及び表 2-2 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 地震力は、格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)に対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (2) 格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)は、取付ボルトにより計器スタンションに固定され、計器スタンションは、原子炉建屋内構造物に溶接で固定する。
- (3) 格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)の質量は検出器及び計器スタンションを考慮する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	放射線管理 用計測装置	格納容器内雰囲気 放射線モニタ(S/C)	S	— * 1	$D + P_D + M_D + S_d^*$	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。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 *1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	放射線管理 用計測装置	格納容器内雰囲気 放射線モニタ(S/C)	常設耐震／防止 常設／緩和	— * 2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV _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 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等以外)				
	一次応力				
	引張り	せん断	圧縮	曲げ	支圧
Ⅲ _{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$
Ⅳ _{AS}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$
V _{AS} (V _{AS} としてⅣ _{AS} の許容限界を用いる。)					

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

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

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		溶接部		周囲環境温度	100	196

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）

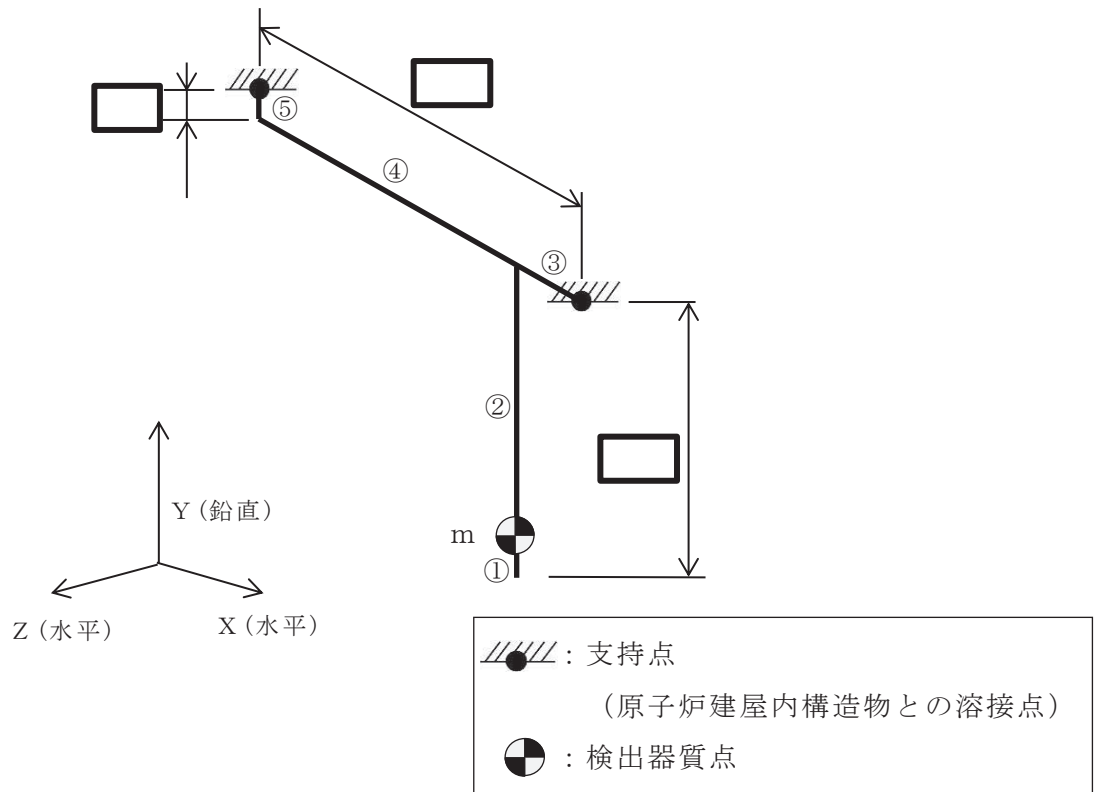
評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		溶接部		周囲環境温度	130	187

4.3 解析モデル及び諸元

格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)の解析モデルを図 4-1 及び図 4-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C) (D23-RE006A, B) の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

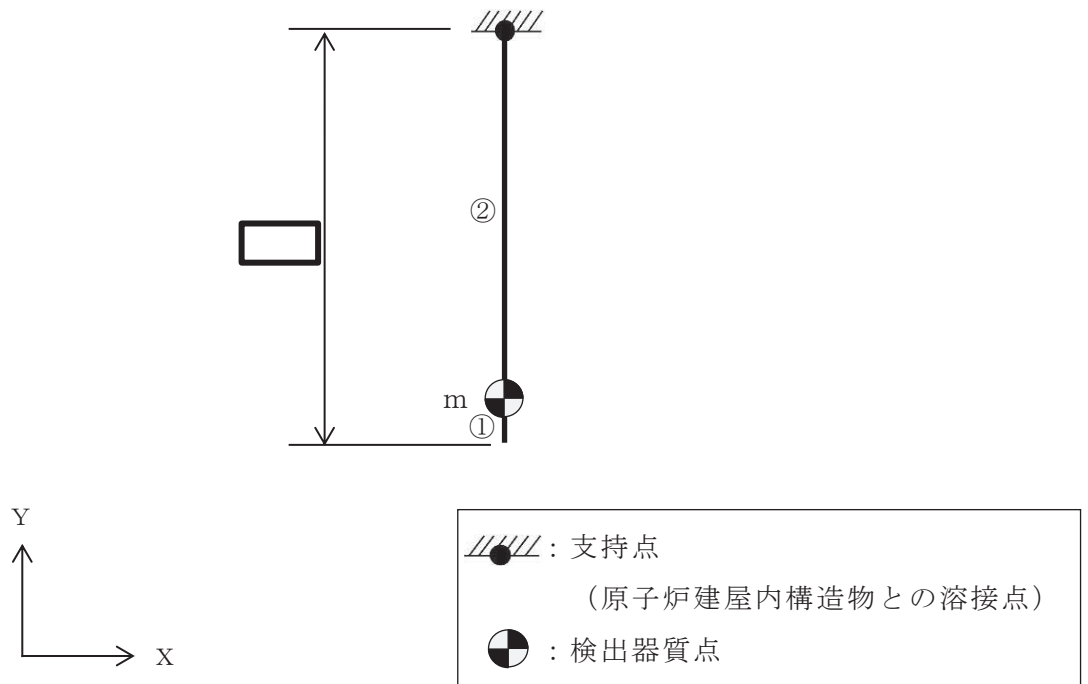
- (1) 格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)は、三次元はりモデルを用いる。
- (2) 格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C) (D23-RE006A)は、計器スタンションで原子炉建屋構造物に固定されることから、①から⑤の部材で組まれた支持構造物とみなし、支持点（原子炉建屋構造物との溶接点）2点で固定される。

格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C) (D23-RE006B)は、計器スタンションで原子炉建屋構造物に固定されることから、①及び②の部材で組まれた支持構造物とみなし、支持点（原子炉建屋構造物との溶接点）1点で固定される。
- (3) 解析モデルにおいて、検出器の質量は質点に集中するものとし、質点は検出器の取付位置に設置する。
- (4) 拘束条件として、支持点（原子炉建屋構造物との溶接点）をX Y Z方向及び回転方向を固定する。
- (5) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。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「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



(単位：mm)

図 4-1 格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) (D23-RE006A) 解析モデル



(単位：mm)

図 4-2 格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) (D23-RE006B) 解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.4 固有周期

4.4.1 格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)(D23-RE006A)の固有周期

固有値解析結果のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-6 に、振動モード図を図 4-3 及び図 4-4 に示す。重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-7 に、振動モード図を図 4-5 及び図 4-6 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-6 格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)(D23-RE006A)
固有値解析結果（設計基準対象施設）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Z 方向	
1 次	水平方向		—	—	—
3 次	鉛直方向		—	—	—



図 4-3 格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)(D23-RE006A)
振動モード図（1次モード 水平方向 s）（設計基準対象施設）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

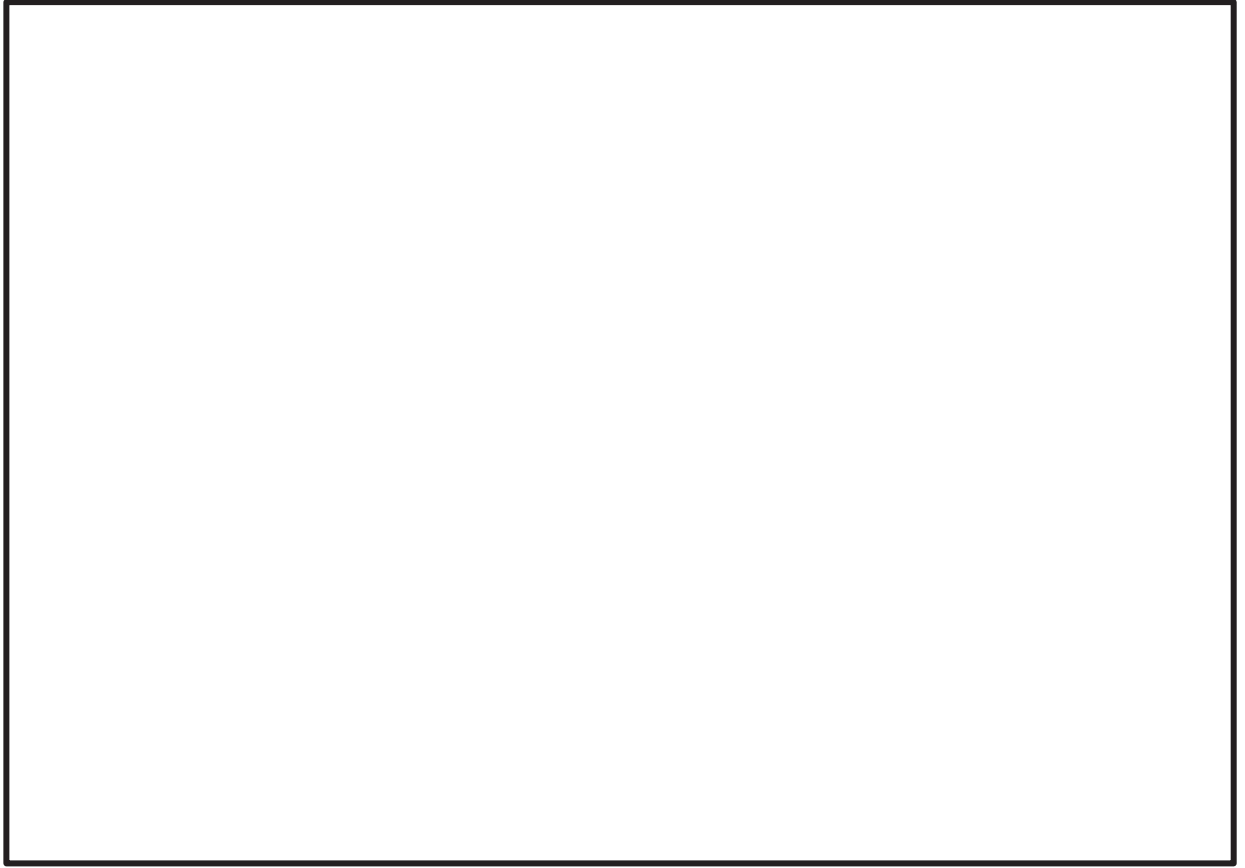


図 4-4 格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) (D23-RE006A)
振動モード図 (3 次モード 鉛直方向 s) (設計基準対象施設)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-7 格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) (D23-RE006A)

固有値解析結果 (重大事故等対処設備)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Z方向	
1次	水平方向		—	—	—
3次	鉛直方向		—	—	—

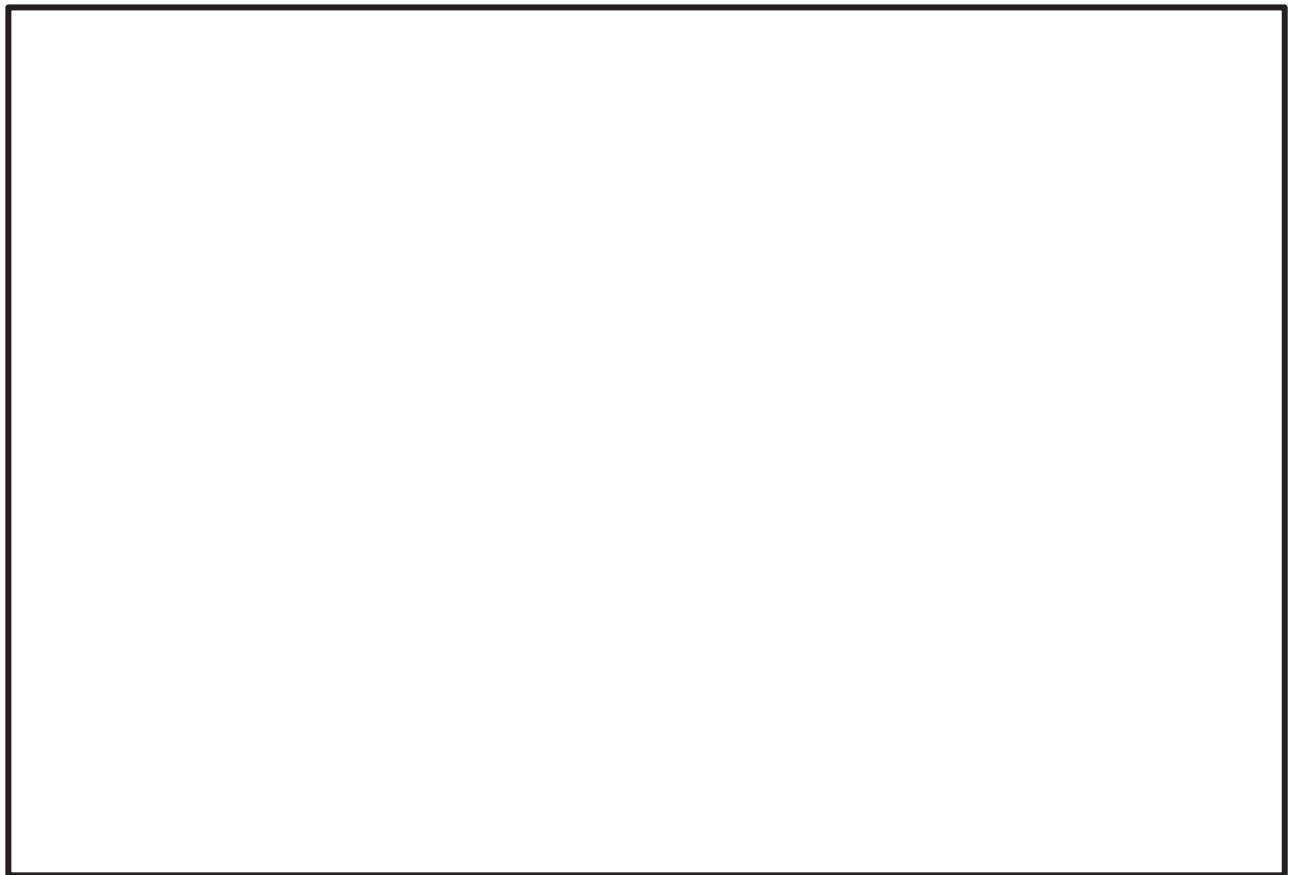


図 4-5 格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) (D23-RE006A)

振動モード図 (1次モード 水平方向 s) (重大事故等対処設備)

O 2 ⑥ VI-2-8-2-1-2-2 R 2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

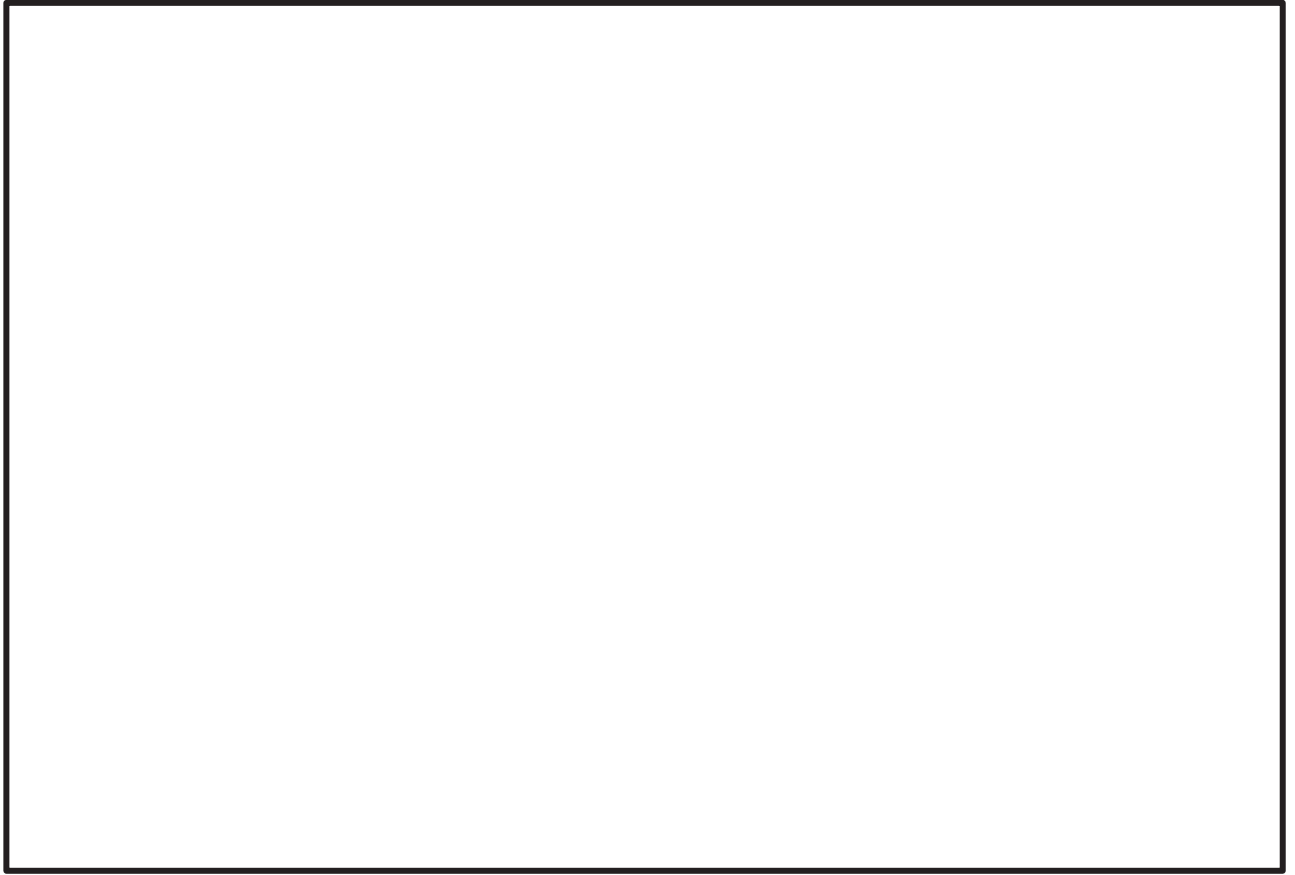


図 4-6 格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) (D23-RE006A)
振動モード図 (3 次モード 鉛直方向 s) (重大事故等対処設備)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.4.2 格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)(D23-RE006B)の固有周期

固有値解析結果のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-8に、振動モード図を図4-7及び図4-8に示す。重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-9に、振動モード図を図4-9及び図4-10に示す。固有周期は0.05秒以下であり、剛であることを確認した。

表4-8 格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)(D23-RE006B)

固有値解析結果(設計基準対象施設)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Z方向	
1次	水平方向	□	—	—	—
4次	鉛直方向		—	—	—



図4-7 格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)(D23-RE006B)
振動モード図(1次モード 水平方向 □ s)(設計基準対象施設)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

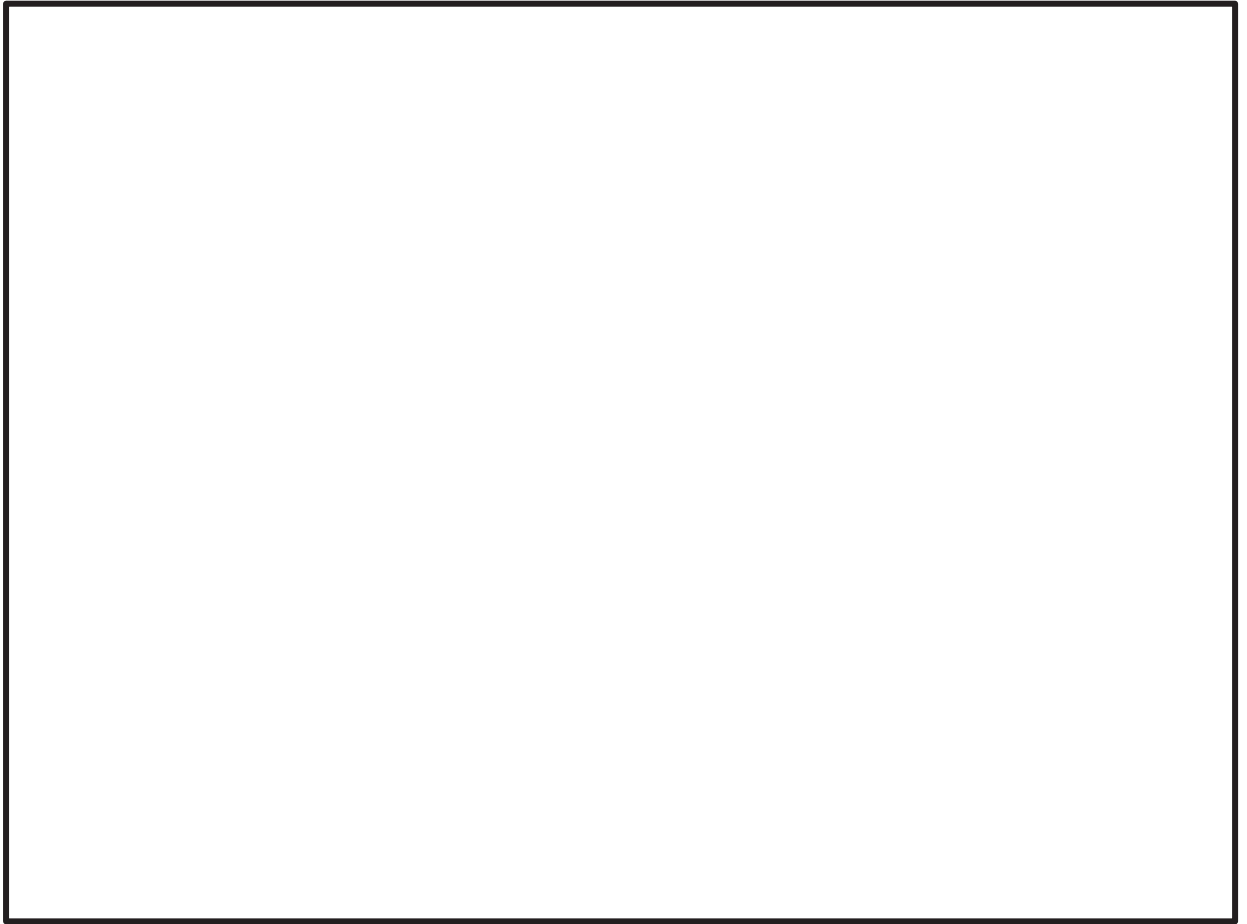


図 4-8 格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) (D23-RE006B)
振動モード図 (4 次モード 鉛直方向 s) (設計基準対象施設)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-9 格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) (D23-RE006B)

固有値解析結果 (重大事故等対処設備)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Z方向	
1次	水平方向	[]	—	—	—
4次	鉛直方向		—	—	—

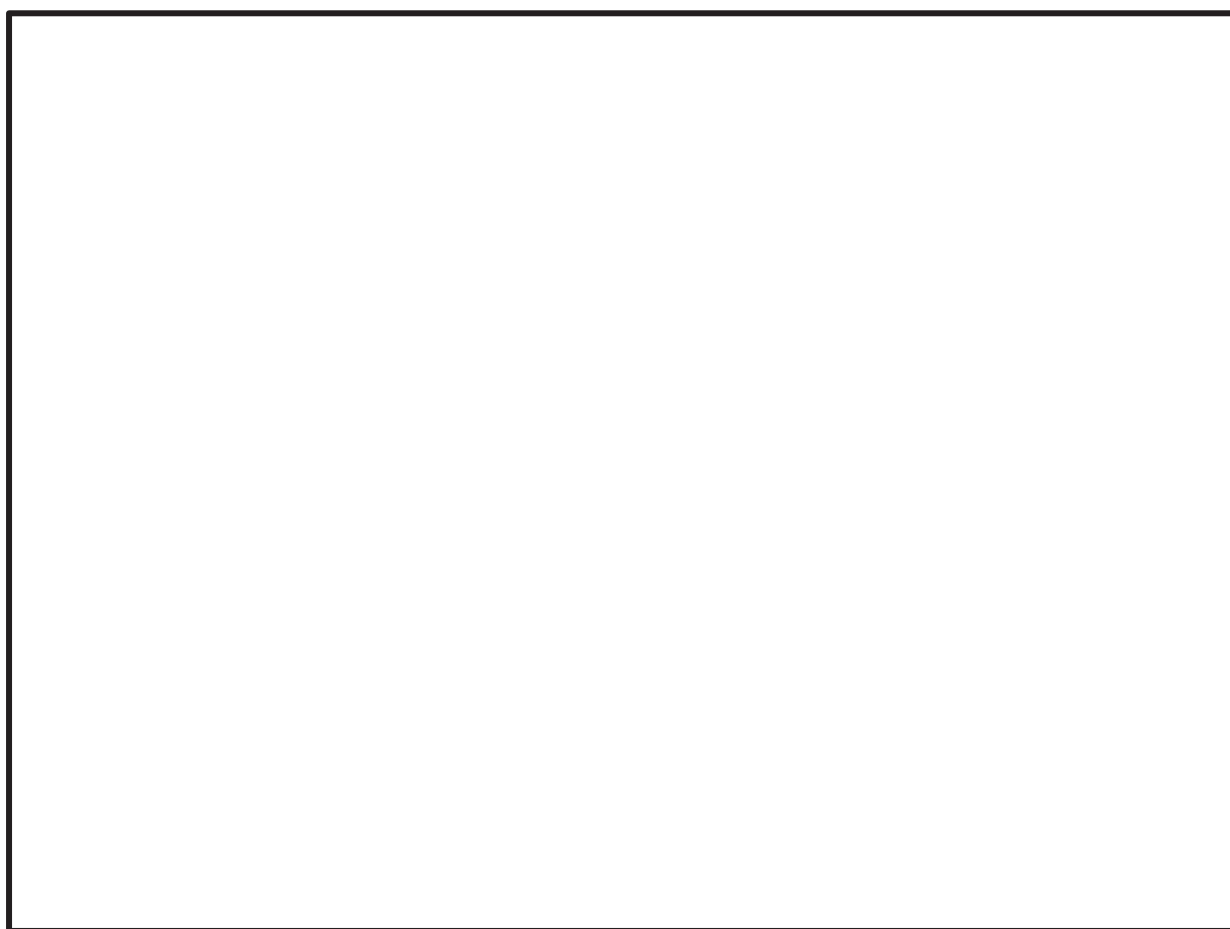


図 4-9 格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) (D23-RE006B)
振動モード図 (1次モード 水平方向 [] s) (重大事故等対処設備)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

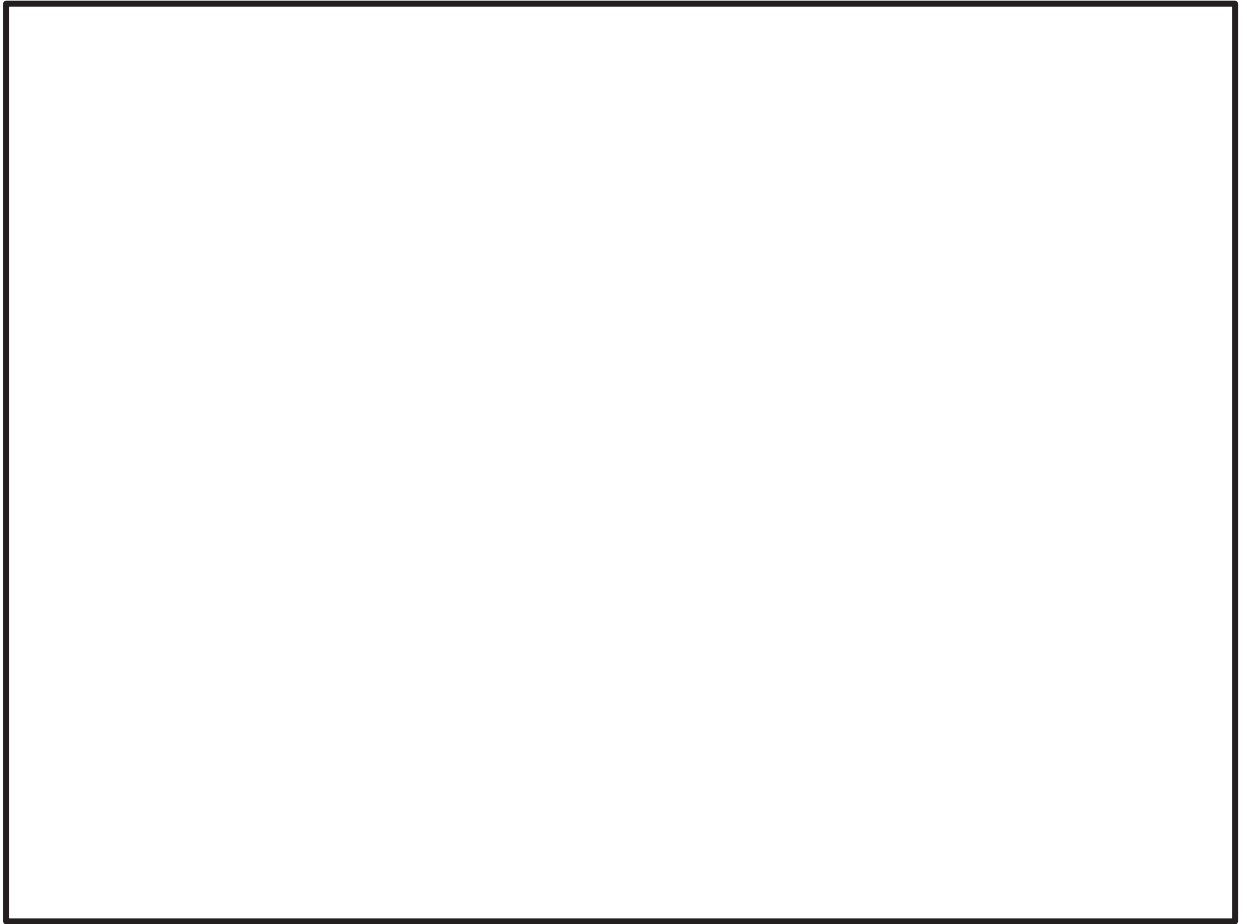


図 4-10 格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) (D23-RE006B)
振動モード図 (4 次モード 鉛直方向 s) (重大事故等対処設備)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.5 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-10, 表 4-11, 表 4-12 及び表 4-13 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「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 4-10 格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) (D23-RE006A) の設計用地震力
(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 O. P. -0.80 (O. P. 6.00*1)			—*2	—*2	C _H = 1.57	C _V = 1.09

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 4-11 格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) (D23-RE006B) の設計用地震力
(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 O. P. -0.80 (O. P. 6.00*1)	0.032	0.002	—*2	—*2	C _H = 1.57	C _V = 1.09

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 4-12 格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) (D23-RE006A) の設計用地震力
(重大事故等対処設備)

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 O. P. -0.80 (O. P. 6.00* ¹)			—	—	C _H = 1.57	C _V = 1.09

注記 *1: 基準床レベルを示す。

表 4-13 格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) (D23-RE006B) の設計用地震力
(重大事故等対処設備)

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 O. P. -0.80 (O. P. 6.00* ¹)			—	—	C _H = 1.57	C _V = 1.09

注記 *1: 基準床レベルを示す。

4.6 計算方法

4.6.1 溶接部 (D23-RE006A) の応力の計算方法

三次元はりモデルによる地震応答解析から溶接部の荷重を算出し、その結果を用いて理論式にて溶接部を評価する。なお、溶接部の評価は、有効断面積が小さい溶接部Bを代表として評価する。

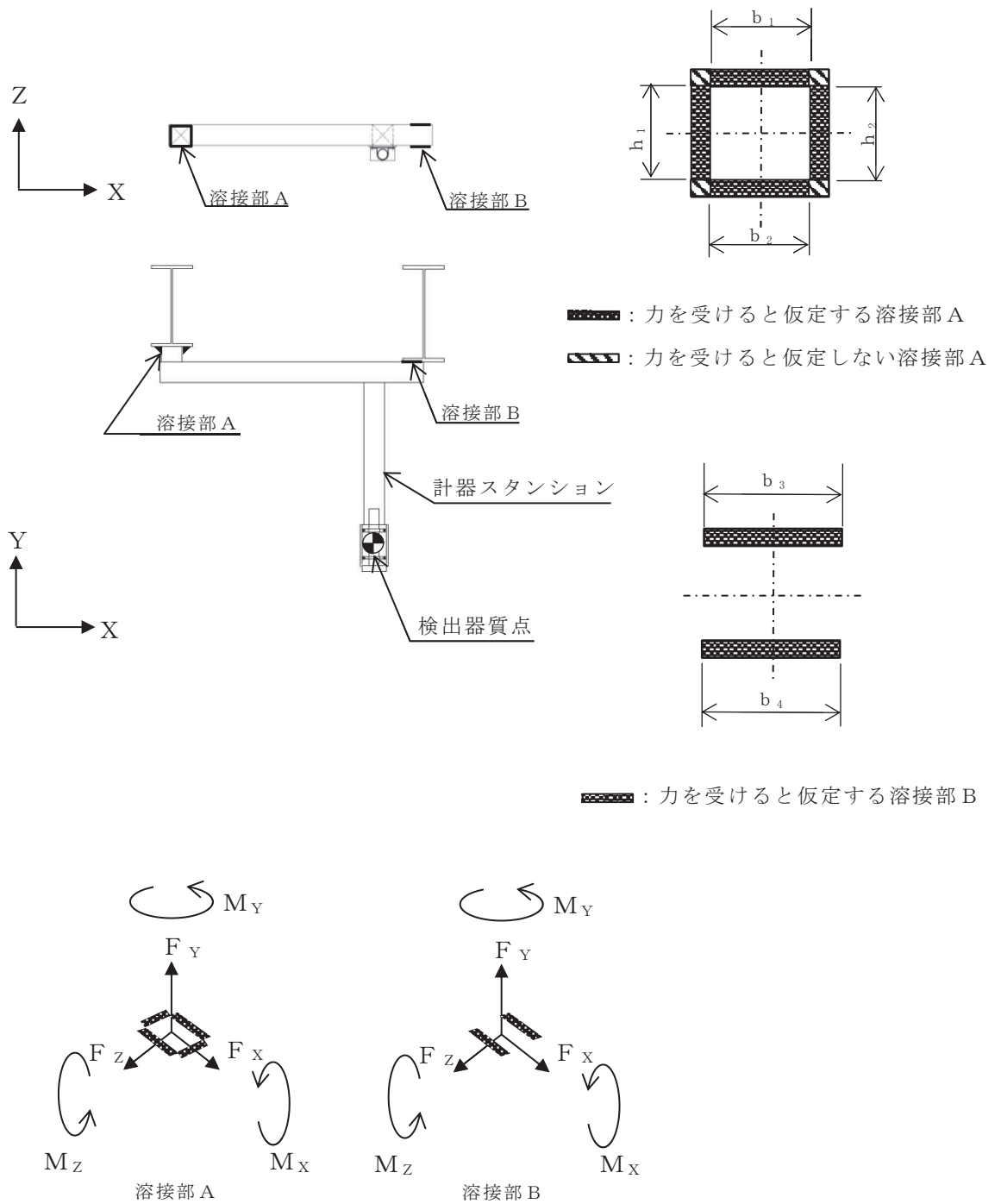


図 4-11 D23-RE006A の計算モデル

地震応答解析によって得られた溶接部評価点の反力とモーメントを表 4-14 に示す。

表 4-14 溶接部発生反力，モーメント

対象計器	反力(N)			モーメント(N・mm)		
	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
D23-RE006A						

(1) 引張応力

溶接部に対する引張応力は，全溶接断面積で受けるものとして計算する。

引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_y}{A_w} \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

ここで，溶接部の有効断面積 A_w は，次式により求める。

$$A_w = a \cdot (b_3 + b_4) \dots\dots\dots (4.6.1.2)$$

ただし，溶接部の有効のど厚 a は，

$$a = 0.7 \cdot s \dots\dots\dots (4.6.1.3)$$

(2) せん断応力

溶接部に対するせん断応力は、全溶接断面積で受けるものとして計算する。

せん断応力

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{F_X}{A_{WX}} + \frac{M_Y}{Z_P}\right)^2 + \left(\frac{F_Z}{A_{WZ}} + \frac{M_Y}{Z_P}\right)^2} \dots\dots\dots (4.6.1.4)$$

ここで、 A_{WX} 、 A_{WZ} はせん断力を受ける各方向の有効断面積、 Z_P は溶接断面におけるねじり断面係数を示す。

A_{WX} 、 A_{WZ} は、次式により求める。

$$A_{WX} = A_{WZ} = a \cdot (b_3 + b_4) \dots\dots\dots (4.6.1.5)$$

(3) 曲げ応力

溶接部に対する曲げ応力は、図 4-11 で X 軸方向、Z 軸方向に対する曲げモーメントを中心軸の外側の溶接部で受けるものとして計算する。

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_X}{Z_X} + \frac{M_Z}{Z_Z} \dots\dots\dots (4.6.1.6)$$

Z_X 、 Z_Z は溶接部の溶接断面の X 軸及び Z 軸に関する断面係数を示す。

(4) 組合せ応力

溶接部に対する組合せ応力は、各応力を足し合わせたものとして計算する。

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + \tau^2} \dots\dots\dots (4.6.1.7)$$

4.6.2 溶接部 (D23-RE006B) の応力の計算方法

三次元はりモデルによる地震応答解析から溶接部の荷重を算出し、その結果を用いて理論式にて溶接部を評価する。

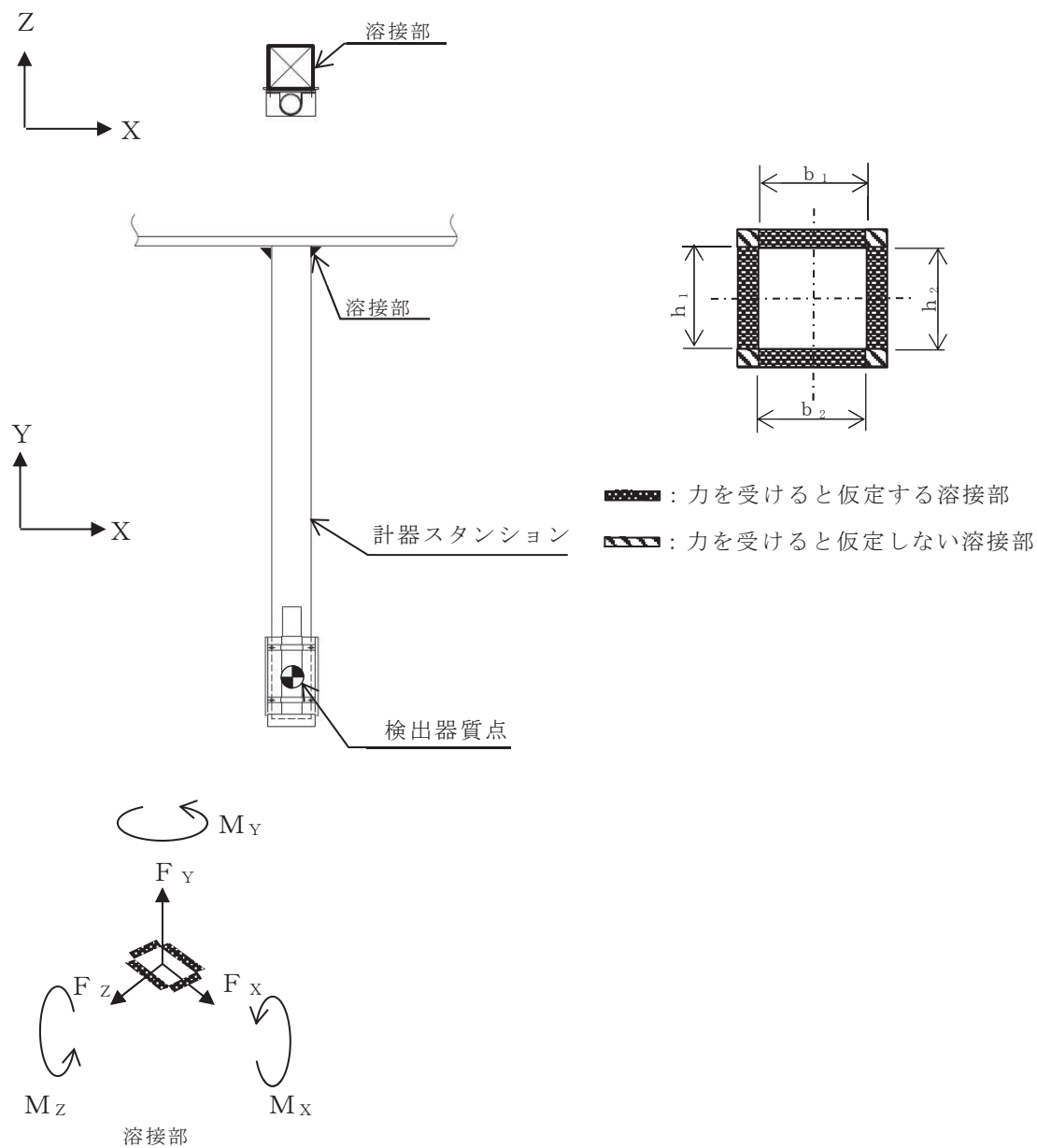


図 4-12 D23-RE006B の計算モデル

地震応答解析によって得られた溶接部評価点の反力とモーメントを表 4-15 に示す。

表 4-15 溶接部発生反力，モーメント

対象計器	反力 (N)			モーメント (N・mm)		
	F _X	F _Y	F _Z	M _X	M _Y	M _Z
D23-RE006B						

(1) 引張応力

溶接部に対する引張応力は，全溶接断面積で受けるものとして計算する。

引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_Y}{A_w} \dots\dots\dots (4.6.2.1)$$

ここで，溶接部の有効断面積 A_w は次式により求める。

$$A_w = a \cdot (h_1 + h_2 + b_1 + b_2) \dots\dots\dots (4.6.2.2)$$

ただし，溶接部の有効のど厚 a は，

$$a = 0.7 \cdot s \dots\dots\dots (4.6.2.3)$$

(2) せん断応力

溶接部に対するせん断応力は，全溶接断面積で受けるものとして計算する。

せん断応力

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{F_X}{A_{wX}} + \frac{M_Y}{Z_P}\right)^2 + \left(\frac{F_Z}{A_{wZ}} + \frac{M_Y}{Z_P}\right)^2} \dots\dots\dots (4.6.2.4)$$

ここで， A_{wX} ， A_{wZ} はせん断力を受ける各方向の有効断面積， Z_P は溶接断面におけるねじり断面係数を示す。

A_{wX} ， A_{wZ} は，次式により求める。

$$A_{wX} = A_{wZ} = a \cdot (h_1 + h_2 + b_1 + b_2) \dots\dots\dots (4.6.2.5)$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 曲げ応力

溶接部に対する曲げ応力は、図 4-12 で X 軸方向、Z 軸方向に対する曲げモーメントを中心軸の外側の溶接部で受けるものとして計算する。

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_x}{Z_x} + \frac{M_z}{Z_z} \dots\dots\dots (4.6.2.6)$$

Z_x 、 Z_z は溶接断面の X 軸及び Z 軸に関する断面係数を示す。

(4) 組合せ応力

溶接部に対する組合せ応力は、各応力を足し合わせたものとして計算する。

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + \tau^2} \dots\dots\dots (4.6.2.7)$$

4.7 計算条件

4.7.1 溶接部の応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) (D23-RE006A, B) の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 溶接部の応力評価

4.6.1 及び 4.6.2 項で求めた溶接部に発生する応力は、許容応力 f_s 以下であること。ただし、 f_s は下表による。

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

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

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

評価部位	方向	機能確認済加速度
格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C) (D23-RE006A, B)	水平方向	
	鉛直方向	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電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。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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C)の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電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。

【格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C) (D23-RE006A, B) の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	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(°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C) (D23-RE006A)	S	原子炉建屋 O.P. -0.80 (O.P. 6.00* ¹)			—* ²	—* ²	C _H =1.57	C _V =1.09	100
格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C) (D23-RE006B)	S	原子炉建屋 O.P. -0.80 (O.P. 6.00* ¹)			—* ²	—* ²	C _H =1.57	C _V =1.09	100

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

部 材	s (mm)	a (mm)	b ₁ (mm)	b ₂ (mm)	b ₃ (mm)	b ₄ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	A _w (mm ²)	Z _x (mm ³)	Z _z (mm ³)	Z _p (mm ³)
溶接部 (D23-RE006A)												
溶接部 (D23-RE006B)												

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
溶接部 (D23-RE006A)	196	373	196	235
溶接部 (D23-RE006B)				

1.3 計算数値

1.3.1 溶接部に作用する力

(単位：N)

部 材	F _x		F _y		F _z	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
溶接部 (D23-RE006A)	—		—		—	
溶接部 (D23-RE006B)	—		—		—	

1.3.2 溶接部に作用するモーメント

(単位：N・mm)

部 材	M _x		M _y		M _z	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
溶接部 (D23-RE006A)	—		—		—	
溶接部 (D23-RE006B)	—		—		—	

1.4 結論

1.4.1 溶接部の応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力*	許容応力	算出応力	許容応力
溶接部 (D23-RE006A)		引張り	$\sigma_t = 2$	$f_s = 113$	$\sigma_t = 2$	$f_s = 135$
		せん断	$\tau = 8$	$f_s = 113$	$\tau = 8$	$f_s = 135$
		曲げ	$\sigma_b = 37$	$f_s = 113$	$\sigma_b = 37$	$f_s = 135$
		組合せ	$\sigma_w = 39$	$f_s = 113$	$\sigma_w = 39$	$f_s = 135$
溶接部 (D23-RE006B)		引張り	$\sigma_t = 1$	$f_s = 113$	$\sigma_t = 1$	$f_s = 135$
		せん断	$\tau = 1$	$f_s = 113$	$\tau = 1$	$f_s = 135$
		曲げ	$\sigma_b = 28$	$f_s = 113$	$\sigma_b = 28$	$f_s = 135$
		組合せ	$\sigma_w = 29$	$f_s = 113$	$\sigma_w = 29$	$f_s = 135$

注記*：基準地震動 S_s による算出値
すべて許容応力以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

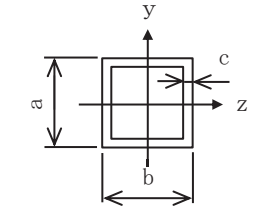
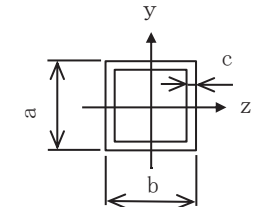
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
格納容器内雰囲気 放射線モニタ(S/C) (D23-RE006A, B)	水平方向	1.31	
	鉛直方向	0.91	

注記*：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

項目	記号	単位	入力値	
			D23-RE006A	D23-RE006B
材質	—	—		
質量	m _a	kg		
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	100	100
縦弾性係数	E	MPa		
ポアソン比	ν	—		
要素数	—	個		
節点数	—	個		

機器	D23-RE006A	D23-RE006B
材料	<input type="text"/>	<input type="text"/>
対象要素	①-⑤	①②
A (mm ²)		
I _y (mm ⁴)		
I _z (mm ⁴)		
I _p (mm ⁴)		
断面形状 (mm)	 <input type="text"/> (a×b×c)	 <input type="text"/> (a×b×c)

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 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
格納容器内雰囲気 放射線モニタ(S/C) (D23-RE006A)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 O. P. -0.80 (O. P. 6.00*1)			—	—	C _H =1.57	C _V =1.09	130
格納容器内雰囲気 放射線モニタ(S/C) (D23-RE006B)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 O. P. -0.80 (O. P. 6.00*1)			—	—	C _H =1.57	C _V =1.09	130

注記*1：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部 材	s (mm)	a (mm)	b ₁ (mm)	b ₂ (mm)	b ₃ (mm)	b ₄ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	A _w (mm ²)	Z _x (mm ³)	Z _z (mm ³)	Z _p (mm ³)
溶接部 (D23-RE006A)												
溶接部 (D23-RE006B)												

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
溶接部 (D23-RE006A)	187	373	—	225
溶接部 (D23-RE006B)				

37

2.3 計算数値

2.3.1 溶接部に作用する力

(単位：N)

部 材	F_x		F_y		F_z	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
溶接部 (D23-RE006A)	—		—		—	
溶接部 (D23-RE006B)	—		—		—	

2.3.2 溶接部に作用するモーメント

(単位：N・mm)

部 材	M_x		M_y		M_z	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
溶接部 (D23-RE006A)	—		—		—	
溶接部 (D23-RE006B)	—		—		—	

2.4 結論

2.4.1 溶接部の応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
溶接部 (D23-RE006A)		引張り	—	—	$\sigma_t = 2$	$f_s = 129$
		せん断	—	—	$\tau = 8$	$f_s = 129$
		曲げ	—	—	$\sigma_b = 37$	$f_s = 129$
		組合せ	—	—	$\sigma_w = 39$	$f_s = 129$
溶接部 (D23-RE006B)		引張り	—	—	$\sigma_t = 1$	$f_s = 129$
		せん断	—	—	$\tau = 1$	$f_s = 129$
		曲げ	—	—	$\sigma_b = 28$	$f_s = 129$
		組合せ	—	—	$\sigma_w = 29$	$f_s = 129$

すべて許容応力以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.4.2 電氣的機能維持の評価結果

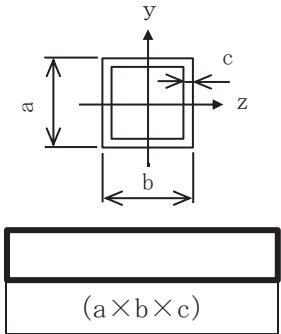
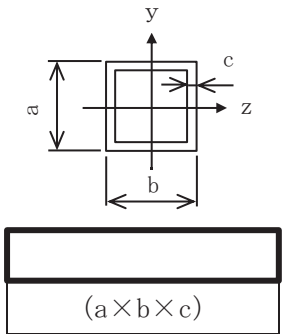
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
格納容器内雰囲気 放射線モニタ(S/C) (D23-RE006A, B)	水平方向	1.31	
	鉛直方向	0.91	

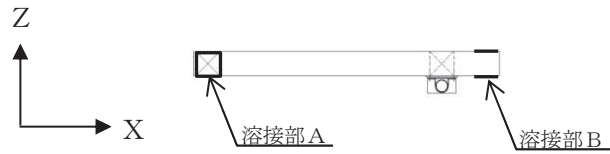
注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

項目	記号	単位	入力値	
			D23-RE006A	D23-RE006B
材質	—	—		
質量	m_a	kg		
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	130	130
縦弾性係数	E	MPa		
ポアソン比	ν	—		
要素数	—	個		
節点数	—	個		

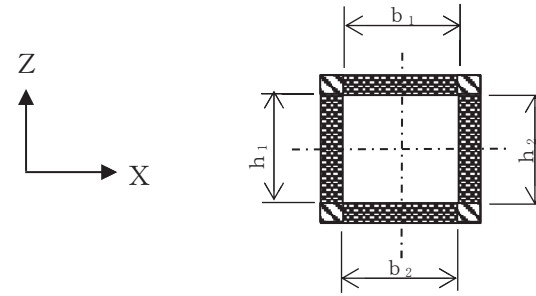
39



機器	D23-RE006A	D23-RE006B
材料	<input type="text"/>	<input type="text"/>
対象要素	①-⑤	①②
A (mm ²)		
I _y (mm ⁴)		
I _z (mm ⁴)		
I _p (mm ⁴)		
断面形状 (mm)		

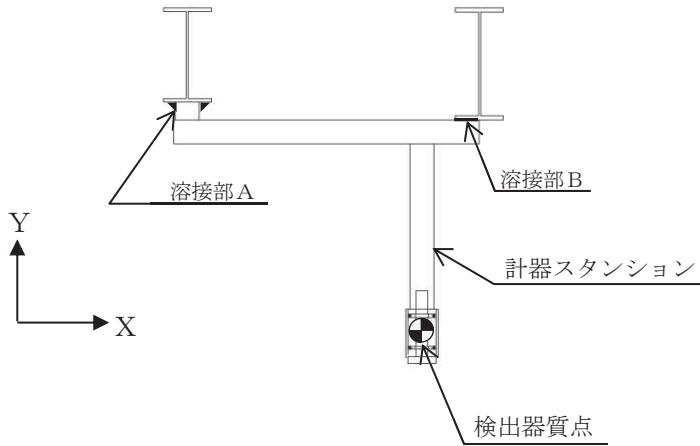
【格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C) (D23-RE006A)】



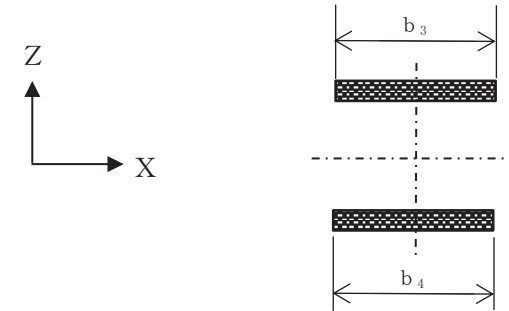
(上面)




 : 力を受けると仮定する溶接部A
 : 力を受けると仮定しない溶接部A

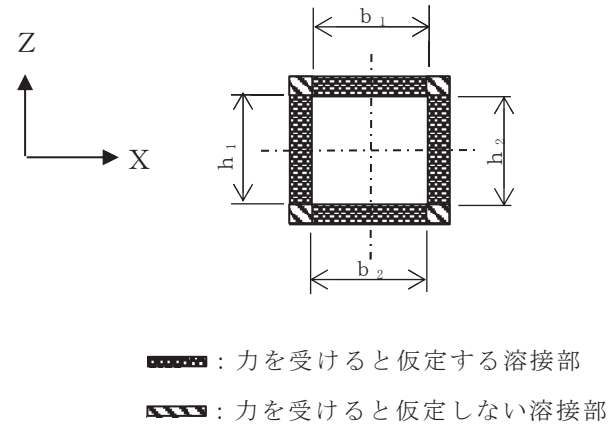
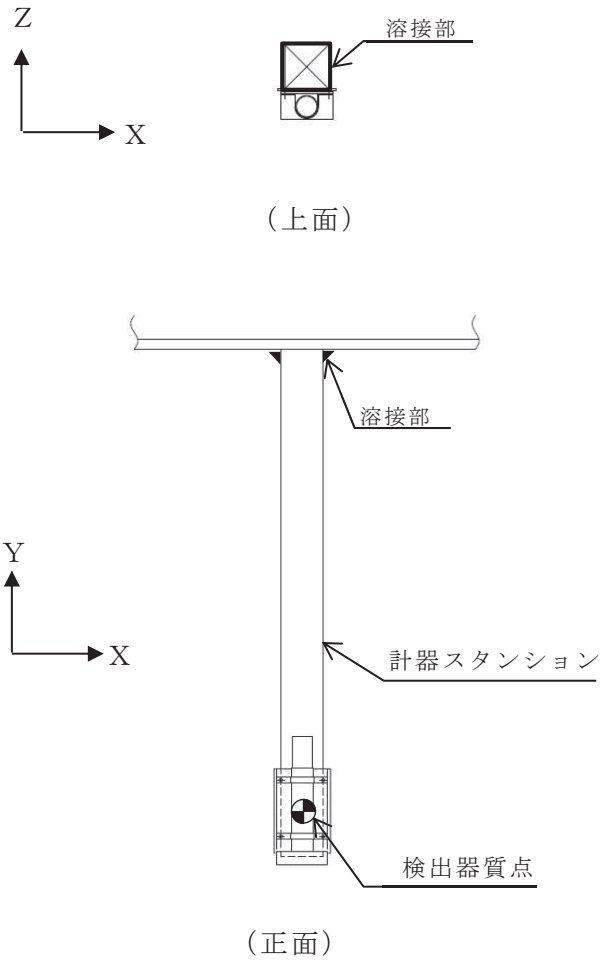


(正面)



 : 力を受けると仮定する溶接部B

【格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C) (D23-RE006B)】



VI-2-8-2-1-3 放射性物質により汚染するおそれがある管理区域から環境に放出する排水中又は排気中の放射性物質濃度を計測する装置の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-8-2-1-3-1 原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタの耐震性についての計算書
- VI-2-8-2-1-3-2 フィルタ装置出口放射線モニタの耐震性についての計算書
- VI-2-8-2-1-3-3 燃料取替エリア放射線モニタの耐震性についての計算書
- VI-2-8-2-1-3-4 耐圧強化ベント系放射線モニタの耐震性についての計算書

VI-2-8-2-1-3-1 原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタの
耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
4. 構造強度評価	3
4.1 構造強度評価方法	3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
4.2.2 許容応力	3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	3
4.3 計算条件	3
5. 機能維持評価	6
5.1 電氣的機能維持評価方法	6
6. 評価結果	7
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	7

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-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、原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタが設置される計装ラックは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の壁掛形計装ラックと類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

構造強度評価については、計装ラックの取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また、電氣的機能維持評価については、評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電氣的機能維持評価に用いる評価用加速度は、設置床高さが同じで計装ラックが剛構造の場合は同じ加速度となることから、構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
D11-RE002A（代表） D11-RE002B D11-RE002C D11-RE002D	VI-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針	表 2-1 構造計画

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、検出器取付ボルトにより取付金具に固定され、取付金具は取付金具取付ボルトにより検出器収納箱内部に固定される。</p> <p>検出器収納箱は取付ボルトによりチャンネルベースに固定され、チャンネルベースは、壁に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>半導体式 (壁面に設置された検出器収納箱に検出器を検出器取付ボルトにより固定する構造)</p>	<p>【原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタ (D11-RE002A)】</p> <p>The diagram illustrates the detector assembly in three views: <ul style="list-style-type: none"> Top View (上面): Shows a rectangular detector housing with a width of 310 mm. Front View (正面): Shows the detector housing with a height of 740 mm and mounting brackets on the top and bottom edges. Side View (側面): Shows the detector housing (306 mm wide) mounted on a channel base. The channel base is secured to a wall (基礎) using chemical anchors (基礎ボルト (ケミカルアンカ)). The detector is mounted to the channel base using detector mounting bolts (検出器取付ボルト) and brackets (取付金具). The brackets are secured to the channel base with bracket mounting bolts (取付金具取付ボルト). </p> <p>(単位：mm)</p>

3. 固有周期

原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタが設置される計装ラックの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計装ラック（打振試験）の測定結果から、固有周期は0.05秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期の確認結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	鉛直方向
0.05 以下	0.05 以下

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に示す。

4.2.2 許容応力

原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表4-2のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-3に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタ(D11-RE002A)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。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	放射線管理用 計測装置	原子炉建屋原子炉棟 排気放射線モニタ	S	— *1	$D + P_D + M_D + S_d^*$	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。

表 4-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 *1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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

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

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト (i=1)	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)		周囲環境温度	40	215	400
取付ボルト (i=2)	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	40		215	400	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタの電氣的機能維持評価について、以下に示す。

原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタの電氣的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

計装ラックに設置される検出器の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉建屋原子炉棟排気 放射線モニタ (D11-RE002A)	水平方向	
	鉛直方向	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電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。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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタ (D11-RE002A) の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタ (D11-RE002A)	S	原子炉建屋 O.P. 27.20 (O.P. 33.20* ¹)	0.05 以下	0.05 以下	—* ²	—* ²	C _H =2.65	C _V =1.77	40

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

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} (mm)	ℓ _{2i} (mm)	ℓ _{3i} (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fvi}	n _{fhi}	
基礎ボルト (i=1)		306							4	2	2
取付ボルト (i=2)		206							4	2	2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F* _i (MPa)	転倒方向* 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)	215	400	215	258	水平方向	水平方向
取付ボルト (i=2)	215	400	215	258	水平方向	水平方向

注記*1: 水平、鉛直方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{b 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)	—		—	
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*1	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	$\sigma_{b1} = 12$	$f_{ts1} = 129^{*2}$	$\sigma_{b1} = 12$	$f_{ts1} = 154^{*2}$
		せん断	$\tau_{b1} = 5$	$f_{sb1} = 99$	$\tau_{b1} = 5$	$f_{sb1} = 119$
基礎ボルト (i=2)	SS400	引張り	$\sigma_{b2} = 3$	$f_{ts2} = 161^{*2}$	$\sigma_{b2} = 3$	$f_{ts2} = 193^{*2}$
		せん断	$\tau_{b2} = 2$	$f_{sb2} = 124$	$\tau_{b2} = 2$	$f_{sb2} = 148$

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
すべて許容応力以下である。

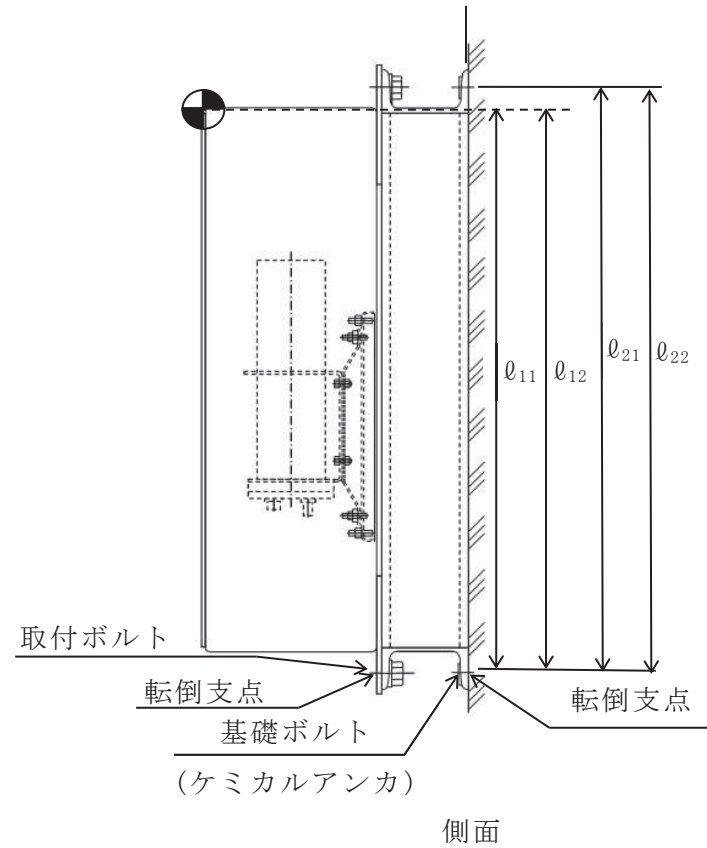
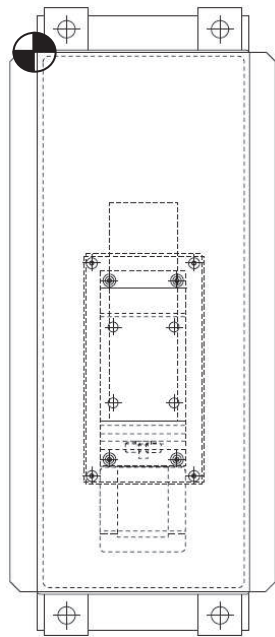
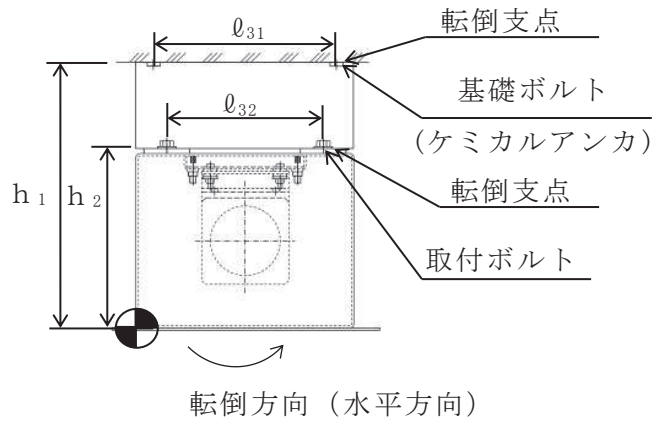
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持 評価用加速度*	機能確認済加速度
原子炉建屋原子炉棟排気 放射線モニタ (D11-RE002A)	水平方向	2.21	
	鉛直方向	1.47	

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



VI-2-8-2-1-3-2 フィルタ装置出口放射線モニタの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	7
4.1 固有値解析方法	7
4.2 解析モデル及び諸元	7
4.3 固有値解析結果	9
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
5.2.2 許容応力	11
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	15
5.4.1 応力の計算方法	15
5.5 計算条件	17
5.5.1 取付ボルトの応力計算条件	17
5.6 応力の評価	17
5.6.1 取付ボルトの応力評価	17
6. 機能維持評価	18
6.1 電氣的機能維持評価方法	18
7. 評価結果	19
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	19

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、フィルタ装置出口放射線モニタ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。

フィルタ装置出口放射線モニタは、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置出口放射線モニタの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、取付ボルトにより架台に固定される。</p> <p>架台は、床及び壁に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>電離箱 (床及び壁に設置された架台に、検出器を取付ボルトにより固定する構造)</p>	<p>【フィルタ装置出口放射線モニタ】</p> <p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>A-A 矢視</p> <p>上面</p> <p>取付ボルト</p> <p>検出器</p> <p>1963</p> <p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>基礎 (床)</p> <p>3200</p> <p>正面</p> <p>基礎 (壁)</p> <p>1705</p> <p>側面</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

フィルタ装置出口放射線モニタの応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すフィルタ装置出口放射線モニタの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、フィルタ装置出口放射線モニタの機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

フィルタ装置出口放射線モニタの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

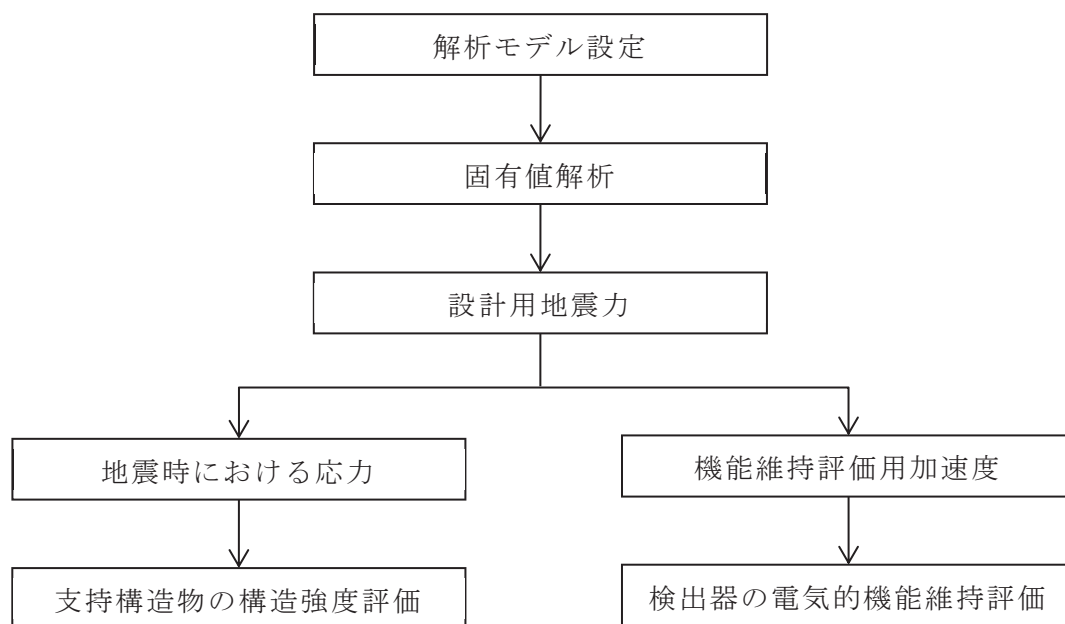


図 2-1 フィルタ装置出口放射線モニタの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
（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
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 (f_s を1.5倍した値又は f_s^* を1.5倍した値)	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力 (f_t を1.5倍した値又は f_t^* を1.5倍した値)	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	取付面から重心までの距離	mm
l_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	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
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記 * : $l_1 \leq l_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

計器精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	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}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

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第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

フィルタ装置出口放射線モニタの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる取付ボルトについて実施する。フィルタ装置出口放射線モニタの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

フィルタ装置出口放射線モニタの固有値解析方法を以下に示す。

- (1) フィルタ装置出口放射線モニタは「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルを用いる。

4.2 解析モデル及び諸元

フィルタ装置出口放射線モニタの解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【フィルタ装置出口放射線モニタ(T63-RE009A, B)の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 検出器は、架台で原子炉建屋床及び壁に固定されることから、①から③の部材で組まれた構造とみなし、支持点（架台基礎部）15 点で固定される。
- (2) 解析モデルにおいて、検出器の質量 m_a は架台の③及び④の部材の検出器取付位置に分散され、 m_b は架台の②から③の部材の検出器取付位置に分散されるものとする。また、解析モデルにおいて、検出器（鉛遮へい体含む）は剛構造とみなす。
- (3) 拘束条件として、基礎部の X Y Z 方向及び回転方向を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

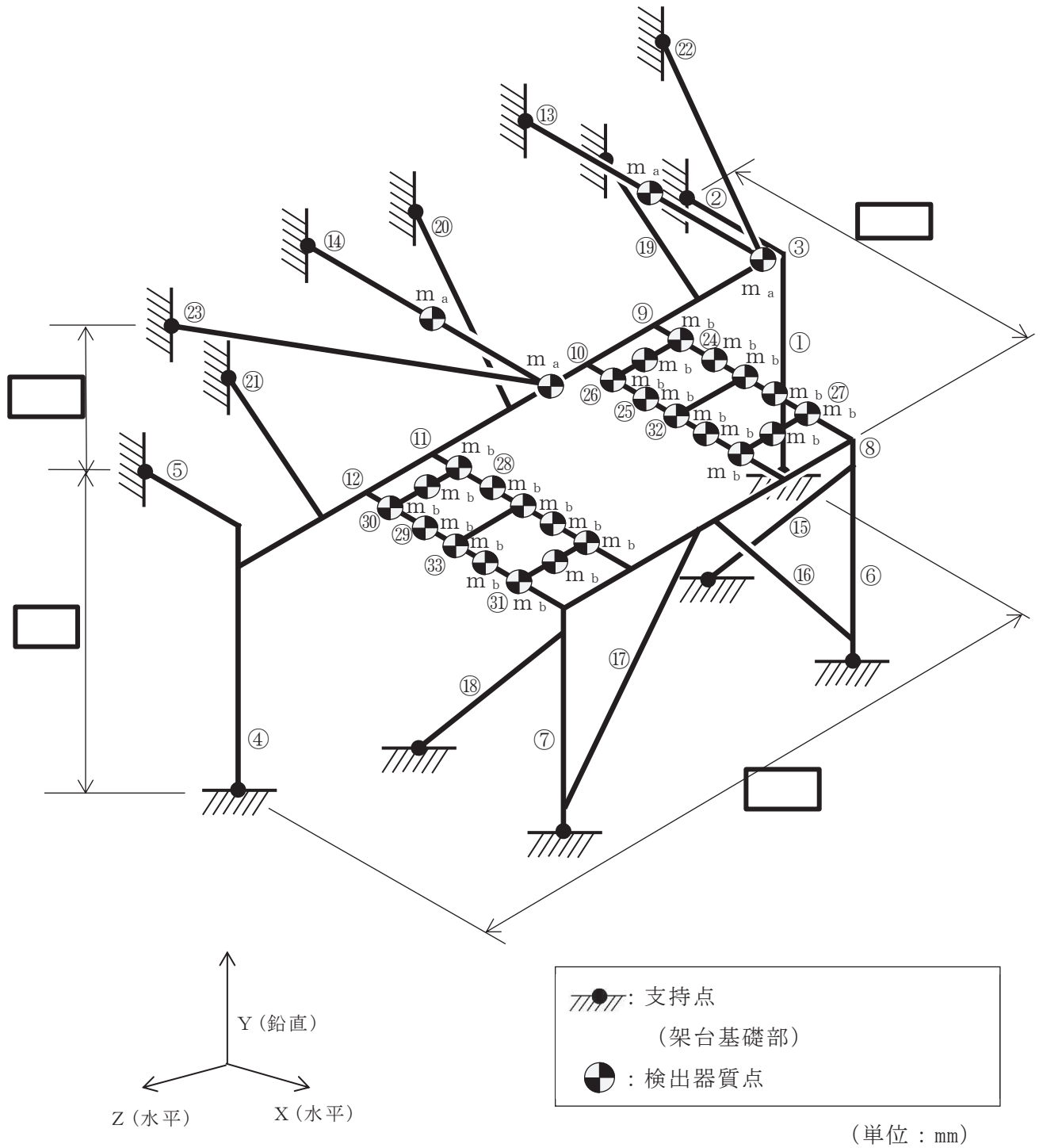


図 4-1 フィルタ装置出口放射線モニタ解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-1 に、振動モード図を図 4-2 及び図 4-3 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Z 方向	
1 次	鉛直方向		—	—	—
2 次	水平方向		—	—	—

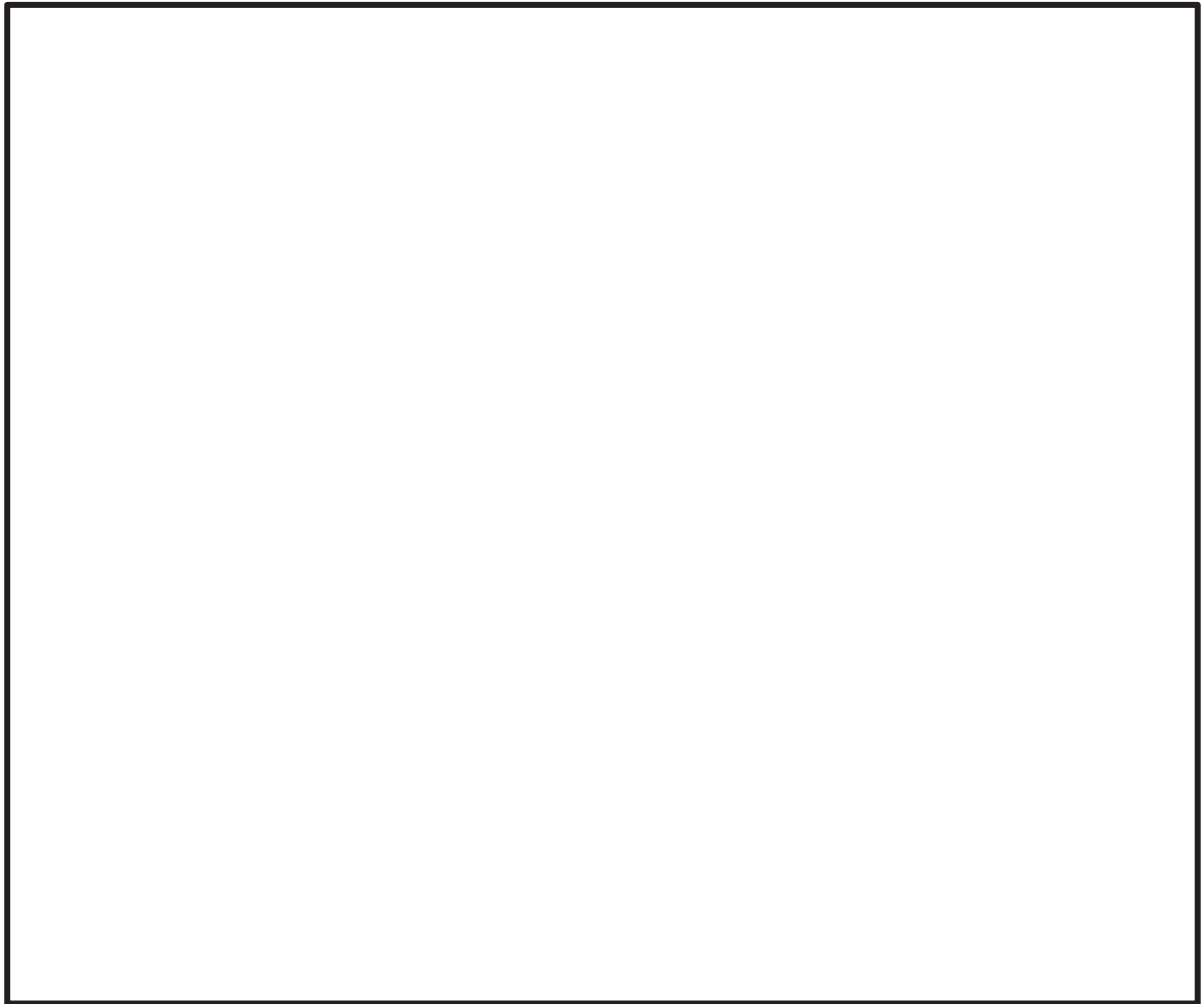


図 4-2 振動モード図 (1 次モード 鉛直方向 s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 4-3 振動モード図 (2次モード 水平方向 s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)から(4)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、フィルタ装置出口放射線モニタに対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (2) フィルタ装置出口放射線モニタは、基礎ボルトにより床及び壁に固定された架台に取付ボルトにより固定する。
- (3) 検出器 2 台は同一構造であることから、1 台を代表して評価する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置出口放射線モニタの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

フィルタ装置出口放射線モニタの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

フィルタ装置出口放射線モニタの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	放射線管理 用計測装置	フィルタ装置出口 放射線モニタ	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_S^{*3}$	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。)

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

*2: その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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

表 5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		取付ボルト	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	40	215

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

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

表 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
原子炉建屋 0. P. 24. 80 (0. P. 33. 20* ¹)			—	—	$C_H =$ 2. 65	$C_V =$ 1. 77

注記 *1：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

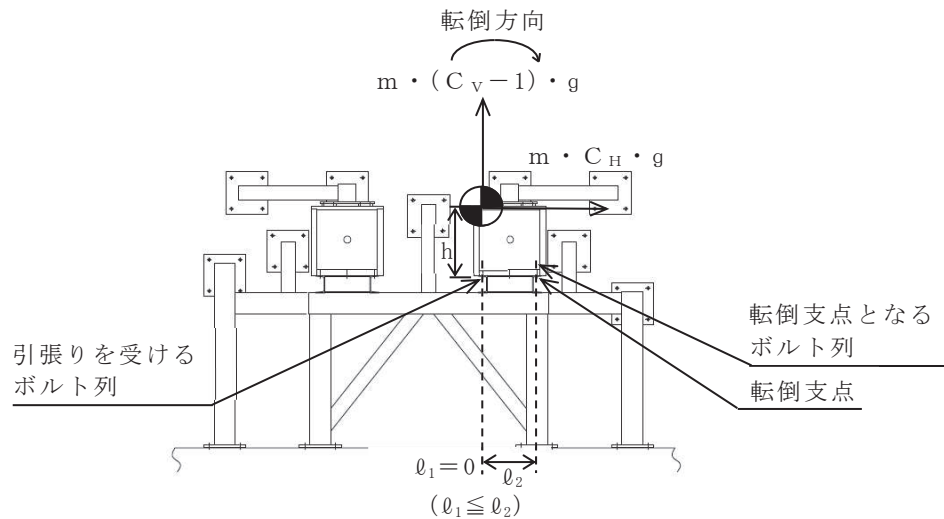


図 5-1(1) 計算モデル
(短辺方向転倒の場合)

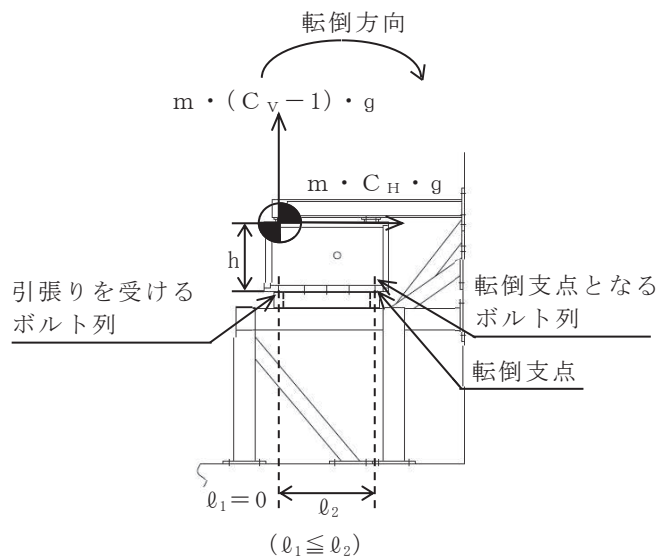


図 5-1(2) 計算モデル
(長辺方向転倒の場合)

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図 5-1 (1) 及び図 5-1 (2) で最外列の取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の取付ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図 5-1(1)及び図 5-1(2)の場合の引張力

$$F_b = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot h - (1 - C_V) \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

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

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

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

(2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は、取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 取付ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【フィルタ装置出口放射線モニタ (T63-RE009A, B) の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 取付ボルトの応力評価

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

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

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

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

フィルタ装置出口放射線モニタの電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

フィルタ装置出口放射線モニタの機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置出口 放射線モニタ (T63-RE009A) (T63-RE009B)	水平方向	
	鉛直方向	

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置出口放射線モニタの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電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。

【フィルタ装置出口放射線モニタ (T63-RE009A, B) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
フィルタ装置出口 放射線モニタ (T63-RE009A, B)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 24.80 (O.P. 33.20 ^{*1})			—	—	C _H =2.65	C _V =1.77	40

注記*1：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m (kg)	h (mm)	ℓ ₁ ^{*1} (mm)	ℓ ₂ ^{*1} (mm)	d (mm)	A _b [*] (mm ²)	n	n _f ^{*1}	
取付ボルト		494						12	3
									5

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)	転倒方向 ^{*2}	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト	215	400	—	258	—	長辺方向

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

*2：短辺、長辺方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

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

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 100$	$f_{ts} = 154^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 25$	$f_{sb} = 119$

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。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
フィルタ装置出口 放射線モニタ (T63-RE009A, B)	水平方向	2.21	
	鉛直方向	1.47	

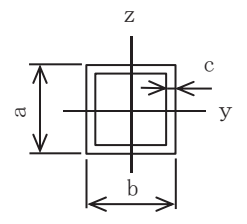
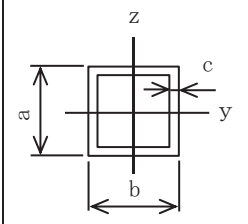
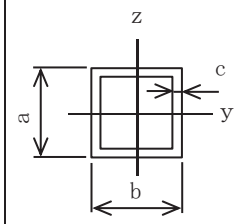
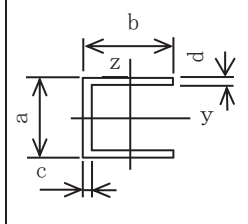
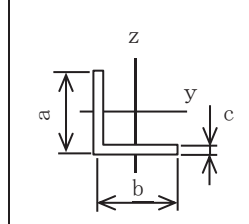
注記* : 基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
 機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

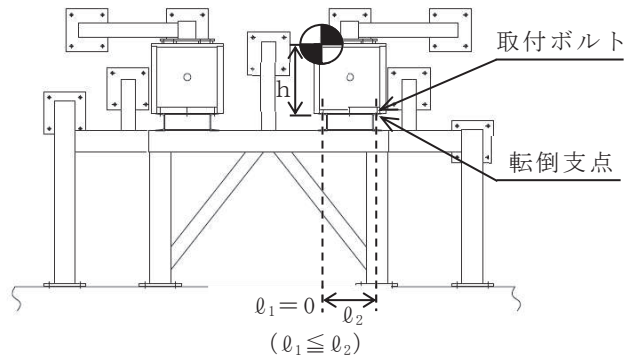
1.5 その他の機器要目

(1) 機器諸元

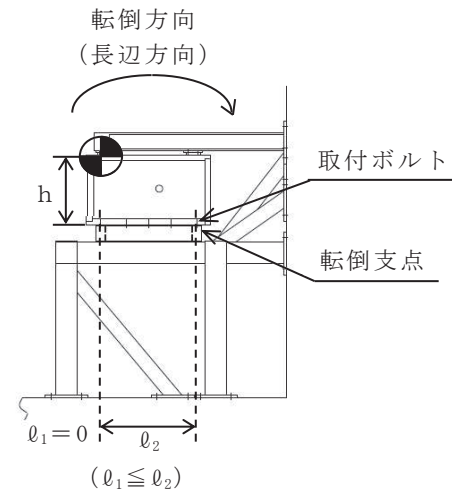
項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_a	kg	
	m_b^*	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	40
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

(2) 部材の機器要目

材料					
対象要素	①-⑫	⑬-⑭	⑮-⑳	㉔-㉓	㉔-㉓
A (mm ²)					
I _y (mm ⁴)					
I _z (mm ⁴)					
I _p (mm ⁴)					
断面形状 (mm)	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">(a×b×c)</div>	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">(a×b×c)</div>	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">(a×b×c)</div>	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">(a×b×c×d)</div>	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">(a×b×c)</div>



正面



側面

VI-2-8-2-1-3-3 燃料取替エリア放射線モニタの耐震性についての
計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	8
4.1 固有値解析方法	8
4.2 解析モデル及び諸元	8
4.3 固有値解析結果	10
5. 構造強度評価	12
5.1 構造強度評価方法	12
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
5.2.2 許容応力	12
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	12
5.3 設計用地震力	15
5.4 計算方法	16
5.4.1 応力の計算方法	16
5.5 計算条件	20
5.5.1 検出器取付ボルトの応力計算条件	20
5.6 応力の評価	20
5.6.1 ボルトの応力評価	20
6. 機能維持評価	21
6.1 電氣的機能維持評価方法	21
7. 評価結果	22
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	22

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-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、燃料取替エリア放射線モニタが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

燃料取替エリア放射線モニタは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

構造強度評価については、計器スタンションに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また、電氣的機能維持評価については、評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電氣的機能維持評価に用いる評価用加速度は、設置床高さが同じで計器スタンションが剛構造の場合は同じ加速度となることから、構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
D11-RE003A（代表） D11-RE003B D11-RE003C D11-RE003D	5. 構造強度評価	表 2-1 構造計画

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料取替エリア放射線モニタの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>架台は、壁面に架台取付ボルトにて固定する。</p> <p>検出器は、検出器取付ボルトにより取付金具に固定され、取付金具は、取付金具取付ボルトにより架台に固定される。</p>	<p>半導体式 (検出器は壁面に設置された架台に検出器取付ボルトにより固定される構造)</p>	<p>【燃料取替エリア放射線モニタ (D11-RE003A)】</p> <p>The diagram shows three views of the detector assembly: <ul style="list-style-type: none"> Top View (上面): Shows the detector mounted on a bracket with a width of 180 mm. Front View (正面): Shows the detector's profile with a width of 180 mm. Side View (側面): Shows the detector mounted on a wall. The detector height is 420 mm, and the bracket width is 175.3 mm. Labels include: 架台 (Bracket), 架台取付ボルト (Bracket mounting bolt), 取付金具取付ボルト (Mounting bracket mounting bolt), 埋込金物 (Embedment), 壁 (Wall), 検出器取付ボルト (Detector mounting bolt), 取付金具 (Mounting bracket), and ベース (Base). </p> <p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

燃料取替エリア放射線モニタの応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す燃料取替エリア放射線モニタの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、燃料取替エリア放射線モニタの機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

燃料取替エリア放射線モニタの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

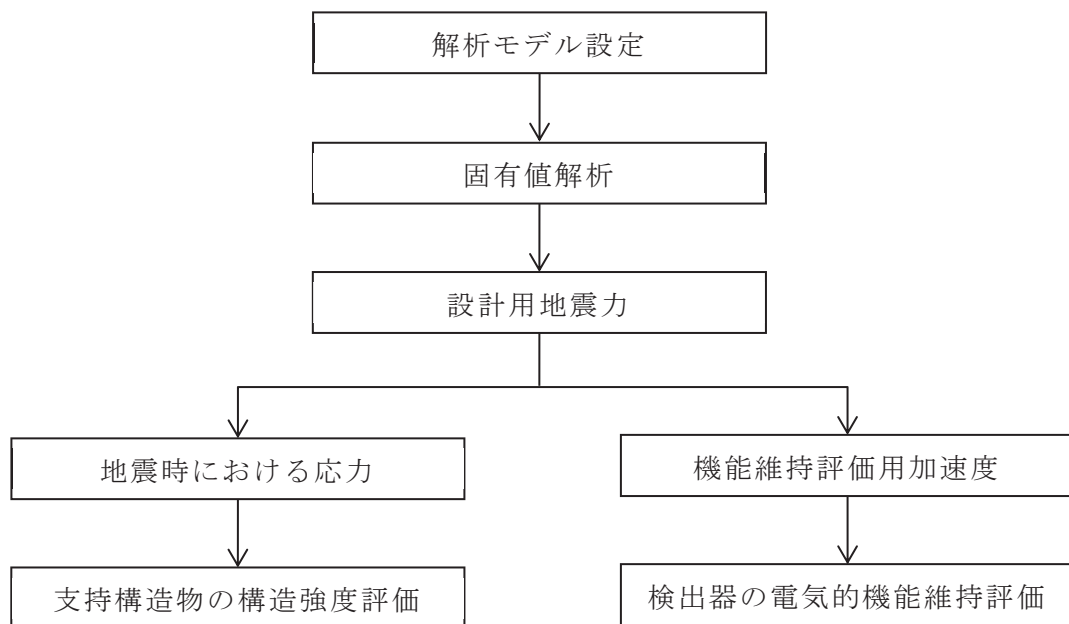


図 2-1 燃料取替エリア放射線モニタの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
（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	部材の断面積	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
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本あたり)	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛の取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛の取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
I_p	取付金具の断面二次極モーメント	mm^4
I_y	取付金具の断面二次モーメント (y軸)	mm^4
I_z	取付金具の断面二次モーメント (z軸)	mm^4
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_2	取付面から重心までの距離	mm
l_3	重心と下側ボルト間の距離	mm
l_a	側面(左右)ボルト間の距離	mm
l_b	上下ボルト間の距離	mm
m	検出器の質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)	—
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力	N

記号	記号の説明	単位
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

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第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

燃料取替エリア放射線モニタの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる検出器取付ボルトについて実施する。燃料取替エリア放射線モニタの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

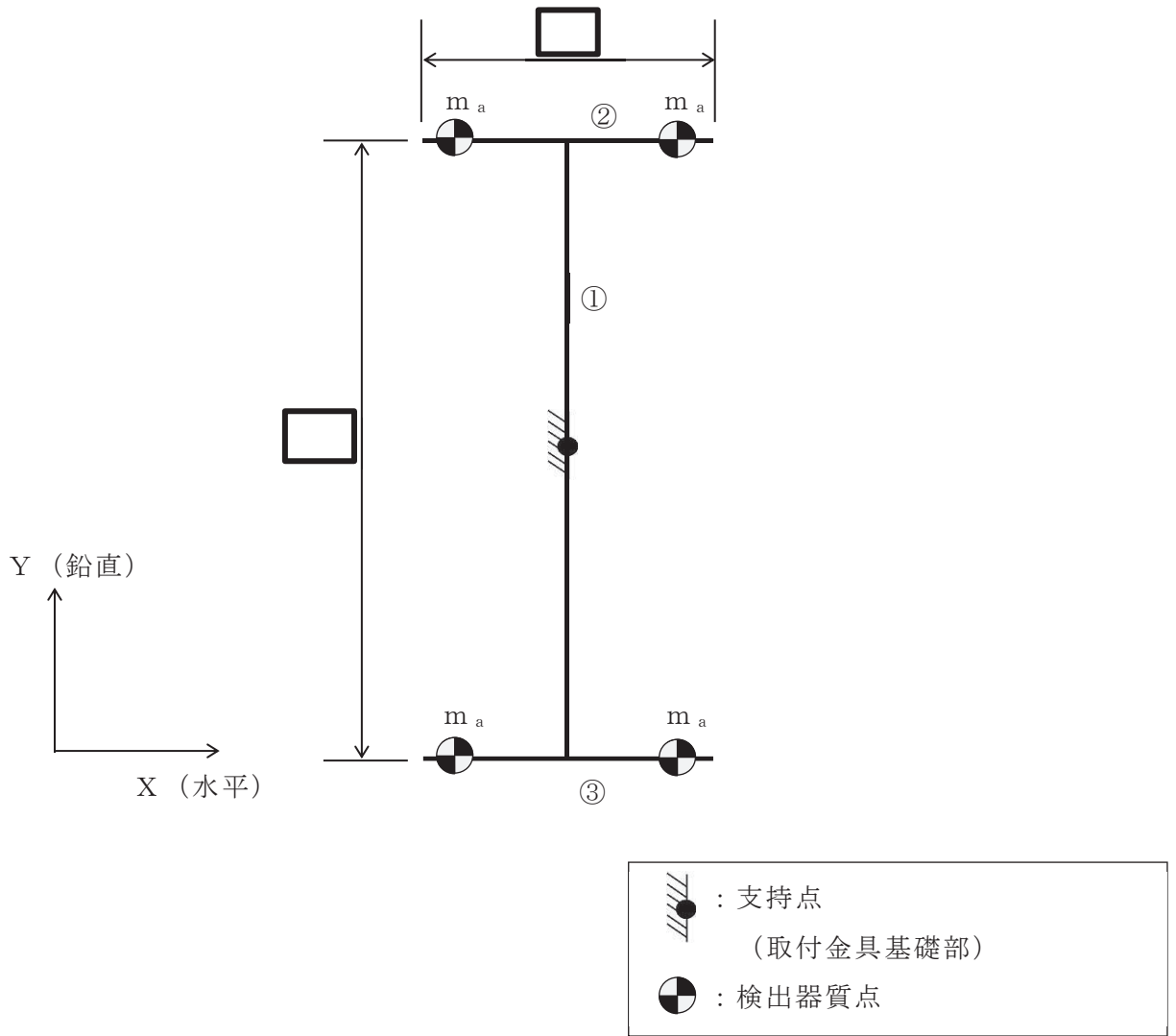
燃料取替エリア放射線モニタの固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 燃料取替エリア放射線モニタは、「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルを用いる。

4.2 解析モデル及び諸元

燃料取替エリア放射線モニタの解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【燃料取替エリア放射線モニタ (D11-RE003A) の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 検出器は、取付金具及び架台で原子炉建屋壁に固定されることから、①～③の部材で組まれた構造とみなし、支持点（取付金具基礎部）1点で固定する。
- (2) 解析モデルにおいて、検出器の質量は取付金具の検出器取付位置に分散されるものとする。
- (3) 拘束条件として、基礎部の X Y Z 方向及び回転方向を固定する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



(単位：mm)

図 4-1 燃料取替エリア放射線モニタ解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-1 に、振動モード図を図 4-2、図 4-3 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Z 方向	
1 次	水平方向		—	—	—
7 次	鉛直方向		—	—	—

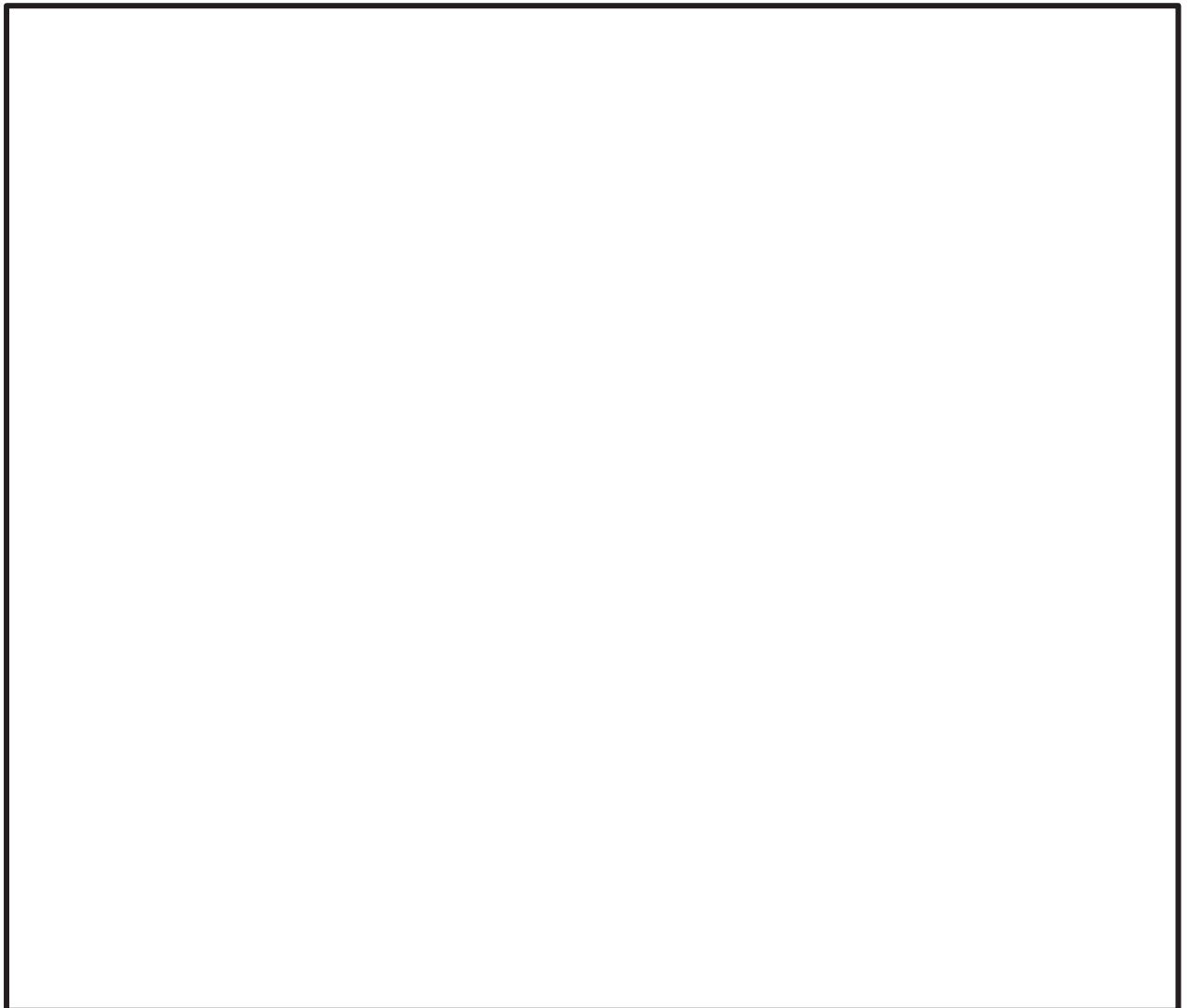


図 4-2 振動モード図 (1 次モード 水平方向 s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 4-3 振動モード図 (7次モード 鉛直方向 s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)～(4)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、燃料取替エリア放射線モニタに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 燃料取替エリア放射線モニタは、検出器取付ボルトにより取付金具に固定されているものとする。
- (3) 燃料取替エリア放射線モニタの質量は検出器を考慮する。

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

燃料取替エリア放射線モニタの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

燃料取替エリア放射線モニタの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料取替エリア放射線モニタの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-3 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	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	放射線管理用 計測装置	燃料取替エリア 放射線モニタ	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^*$	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。

表 5-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
検出器取付ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	40	235	400	—

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4 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「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 5-4 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 O. P. 33. 20 (O. P. 41. 20 ^{*1})			— ^{*2}	— ^{*2}	C _H = 3. 43	C _V = 1. 89

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。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 検出器取付ボルトの計算方法

検出器取付ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

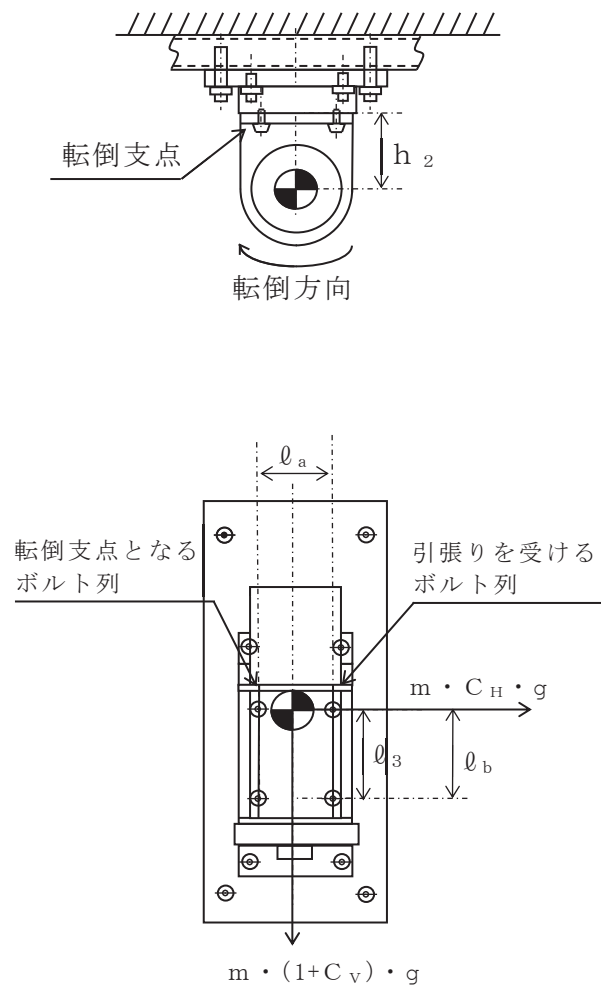


図5-1(1) 計算モデル
(水平方向転倒の場合)

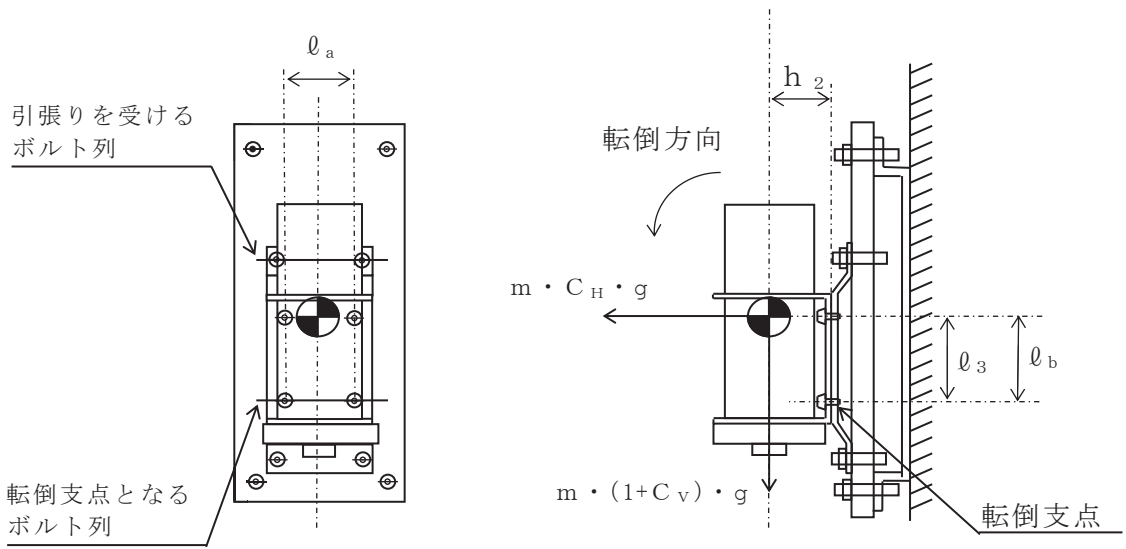


図5-1(2) 計算モデル
(鉛直方向転倒の場合)

(1) 引張応力

検出器取付ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図5-1(1)及び図5-1(2)で最外列の検出器取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の検出器取付ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図5-1(1)の場合の引張力

$$F_{b1} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot h_2}{n_{fH} \cdot \ell_a} + \frac{(1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot \ell_b} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

計算モデル図5-1(2)の場合の引張力

$$F_{b2} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot \ell_3 + (1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot \ell_b} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

ここで、検出器取付ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

(2) せん断応力

検出器取付ボルトに対するせん断力は，検出器取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = m \cdot g \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

5.5 計算条件

5.5.1 検出器取付ボルトの応力計算条件

検出器取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料取替エリア放射線モニタ (D11-RE003A) 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

5.4.1.1項で求めた検出器取付ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

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

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受ける検出器取付ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

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

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

燃料取替エリア放射線モニタの電氣的機能維持評価について、以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

燃料取替エリア放射線モニタの機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
燃料取替エリア 放射線モニタ (D11-RE003A)	水平方向	
	鉛直方向	

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

燃料取替エリア放射線モニタの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電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。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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料取替エリア放射線モニタの耐震性 (D11-RE003A) についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
燃料取替エリア放射線モニタ (D11-RE003A)	S	原子炉建屋 O.P. 33.20 (O.P. 41.20* ¹)			—* ²	—* ²	C _H =3.43	C _V =1.89	40

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

部材	m (kg)	h ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ _a (mm)	ℓ _b (mm)	d (mm)	Λ _b (mm ²)	n	n _{fV}	n _{fH}
検出器取付ボルト		60						4	2	2

部材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向* ¹	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
検出器取付ボルト	235	400	235	280	鉛直方向	鉛直方向

注記*1：水平，鉛直方向のうち，評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
検出器取付ボルト	—		—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力*1	許容応力	算出応力	許容応力
検出器取付ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 4$	$f_{ts} = 176^{*2}$	$\sigma_b = 4$	$f_{ts} = 210^{*2}$
		せん断	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 135$	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 161$

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。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持 評価用加速度*	機能確認済加速度
燃料取替エリア 放射線モニタ (D11-RE003A)	水平方向	2.86	
	鉛直方向	1.58	

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

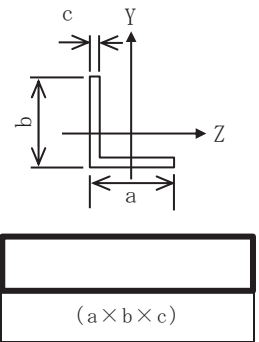
1.5 その他の機器要目

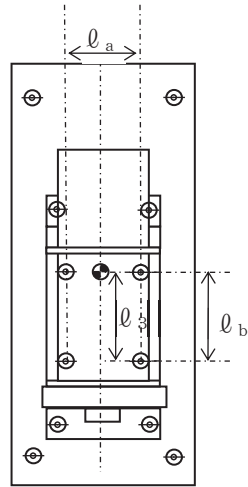
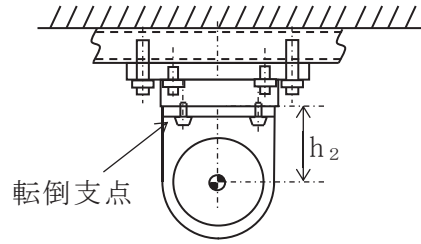
(1) 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SS400
質量	m _a	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	℃	40
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

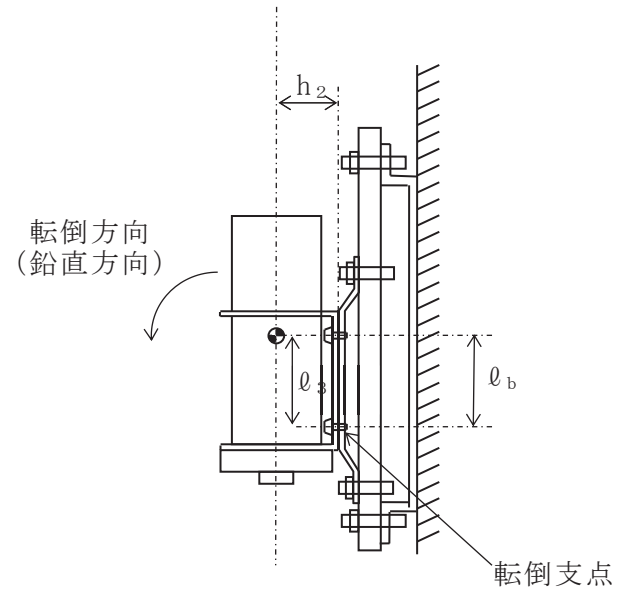
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 部材の機器要目

材料	SS400
対象要素	①-③
A (mm ²)	
I _y (mm ⁴)	
I _z (mm ⁴)	
I _p (mm ⁴)	
断面形状 (mm)	 <p>The diagram shows an L-shaped cross-section with dimensions a, b, and c. The vertical leg has height b and the horizontal leg has width a. The total width of the horizontal leg is c. Coordinate axes Y and Z are shown. Below the diagram is a rectangular box labeled $(a \times b \times c)$.</p>



正面



側面

VI-2-8-2-1-3-4 耐圧強化ベント系放射線モニタの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2 許容応力	4
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	4
4.3 計算条件	4
5. 機能維持評価	7
5.1 電氣的機能維持評価方法	7
6. 評価結果	8
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、耐圧強化ベント系放射線モニタが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

耐圧強化ベント系放射線モニタは、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、耐圧強化ベント系放射線モニタが設置される計器スタンは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形計器スタンスと類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-9 計器スタンスの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

構造強度評価については、計器スタンスの基礎ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また、電氣的機能維持評価については、機能維持評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電氣的機能維持評価に用いる機能維持評価用加速度は、設置床高さが同じで計器スタンスが剛構造の場合は同じ加速度となることから、構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
D11-RE019A（代表） D11-RE019B	VI-2-1-13-9 計器スタンスの耐震性についての計算書作成の基本方針	表 2-1 構造計画

2. 一般事項

2.1 構造計画

耐圧強化ベント系放射線モニタの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、取付ボルトにより計器スターションに固定される。</p> <p>計器スターションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>電離箱 (床に設置された計器スターションに、検出器を取付ボルトにより固定する構造)</p>	<p>【耐圧強化ベント系放射線モニタ (D11-RE019A)】</p> <p>上面</p> <p>180</p> <p>検出器</p> <p>取付ボルト</p> <p>1030</p> <p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>基礎 (床面)</p> <p>正面</p> <p>176</p> <p>計器スターション</p> <p>側面</p> <p>(単位 : mm)</p>

3. 固有周期

計器スタンションの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計器スタンション（打振試験）の測定結果から、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	鉛直方向
0.05 以下	0.05 以下

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

耐圧強化ベント系放射線モニタの構造強度評価は、添付書類「VI-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行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

耐圧強化ベント系放射線モニタの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

耐圧強化ベント系放射線モニタの許容応力は、添付書類「VI-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

耐圧強化ベント系放射線モニタの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【耐圧強化ベント系放射線モニタ (D11-RE019A) 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。

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	放射線管理用 計測装置	耐圧強化ベント系 放射線モニタ	常設耐震／防止	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。)

注記 *1: 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*2: その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		基礎ボルト	SS400 (40 mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	40	215

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

耐圧強化ベント系放射線モニタの電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「VI-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。

計器スタンションに設置される検出器の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
耐圧強化ベント系 放射線モニタ (D11-RE019A)	水平方向	
	鉛直方向	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

耐圧強化ベント系放射線モニタの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電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。

【耐圧強化ベント系放射線モニタ (D11-RE019A) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
耐圧強化ベント系 放射線モニタ (D11-RE019A)	常設耐震/防止	原子炉建屋 O.P. 27.20 (O.P. 33.20*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =2.65	C _V =1.77	40

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m (kg)	h ₁ (mm)	ℓ ₁ * ¹ (mm)	ℓ ₂ * ¹ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f * ¹	
基礎ボルト		1030						4	2
									2

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向* ²	
					弾性設計用 地震動 S _d 又 は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	215	400	—	258	—	前後方向

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：左右、前後方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

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

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 17$	$f_{ts} = 154^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 119$

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。

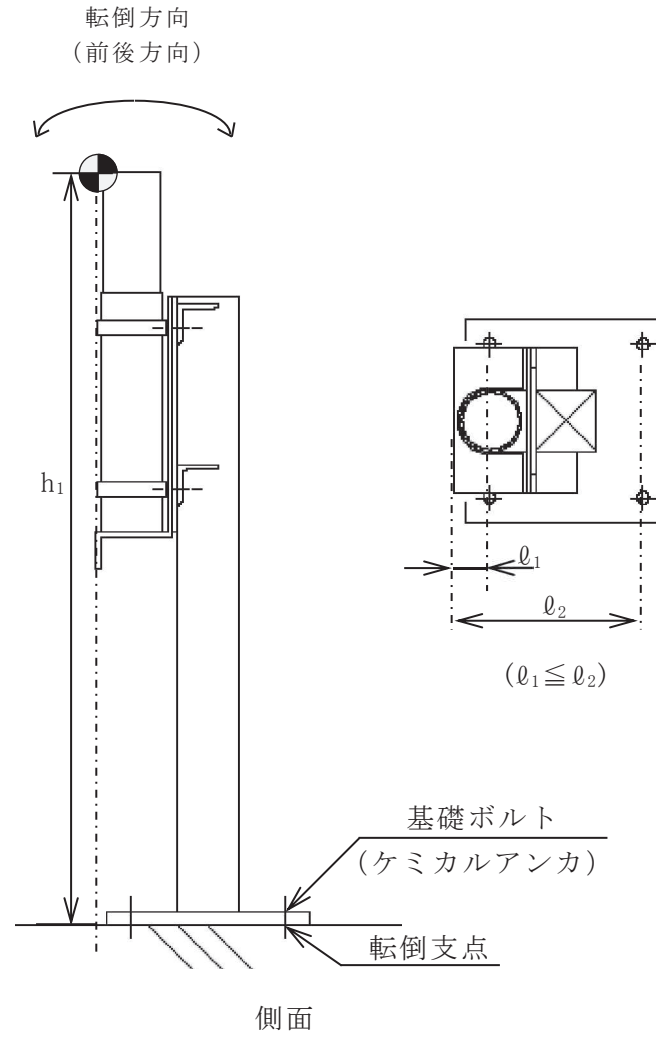
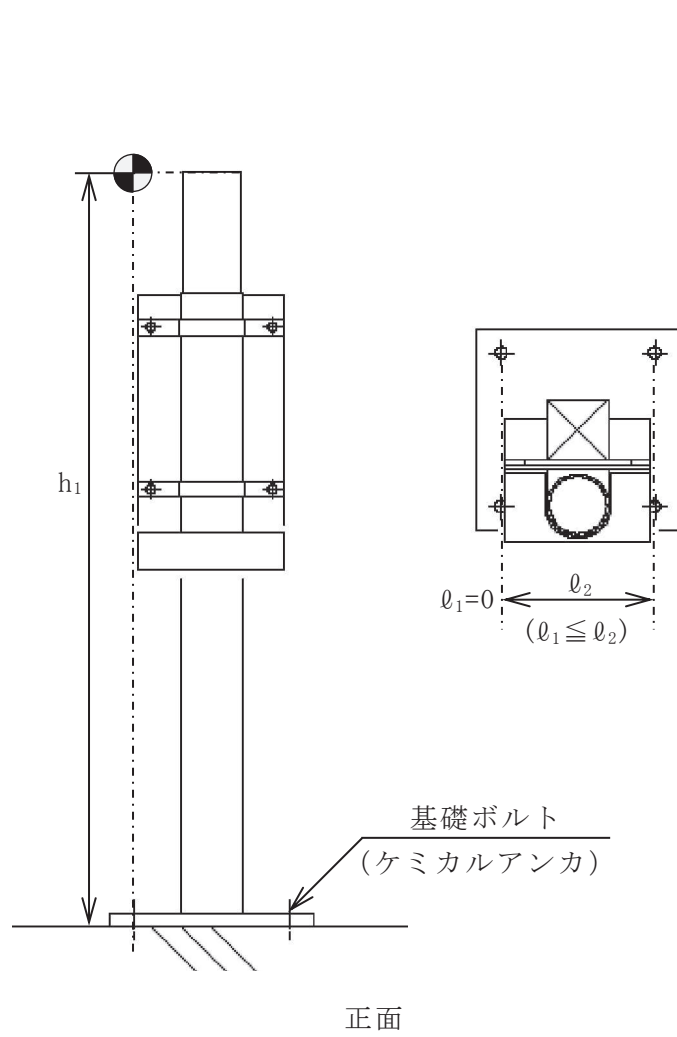
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
耐圧強化ベント系 放射線モニタ (D11-RE019A)	水平方向	2.21	
	鉛直方向	1.47	

注記* : 基準地震動 S_sにより定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

11



VI-2-8-2-2 エリアモニタリング設備の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-8-2-2-1 使用済燃料貯蔵槽エリアの線量当量率を計測する装置の耐震性についての計算書

VI-2-8-2-2-1 使用済燃料貯蔵槽エリアの線量当量率を計測する装置の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-8-2-2-1-1 使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の耐震性についての計算書
- VI-2-8-2-2-1-2 使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の耐震性についての計算書

VI-2-8-2-2-1-1 使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）
の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	7
4.1 固有値解析方法	7
4.2 解析モデル及び諸元	7
4.3 固有値解析結果	9
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
5.2.2 許容応力	11
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	15
5.4.1 応力の計算方法	15
5.5 計算条件	17
5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件	17
5.6 応力の評価	17
5.6.1 基礎ボルトの応力評価	17
6. 機能維持評価	18
6.1 電氣的機能維持評価方法	18
7. 評価結果	19
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	19

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）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。

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は, 取付ボルトにより計器スターションに固定される。</p> <p>計器スターションは, 床に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>電離箱 (床に設置された計器スターションに, 検出器を取付ボルトにより固定する構造)</p>	<p>【使用済燃料プール上部空間放射線モニタ (低線量)】</p> <p>上面</p> <p>正面</p> <p>側面</p> <p>検出器 (低線量)</p> <p>取付ボルト</p> <p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>基礎 (床)</p> <p>計器スターション</p> <p>(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

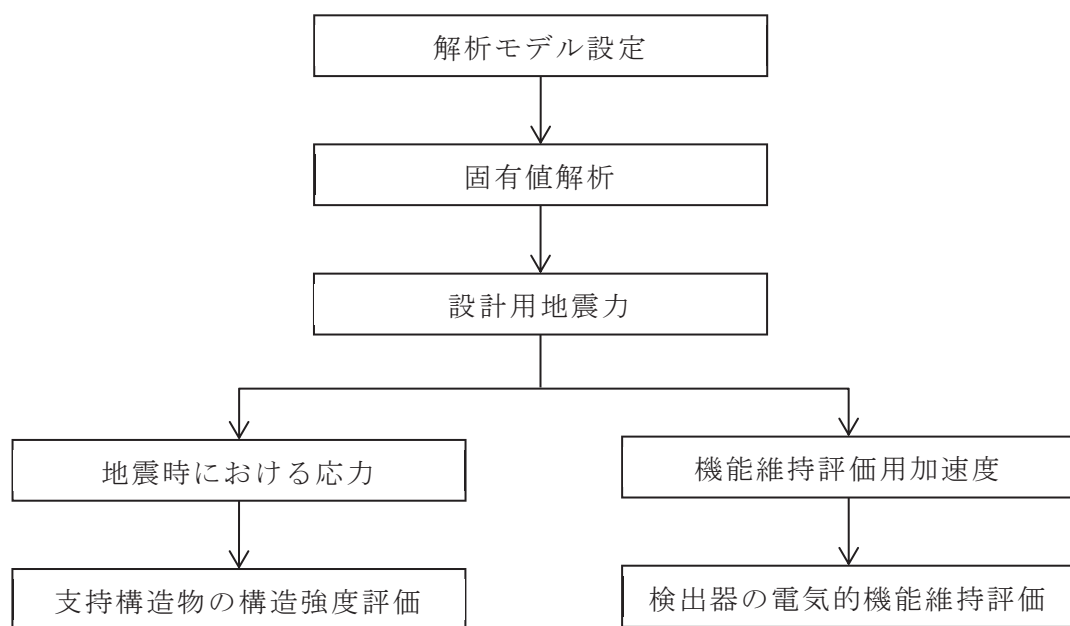


図 2-1 使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
（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
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	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	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	取付面から重心までの距離	mm
l_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	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
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記 * : $l_1 \leq l_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	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}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

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第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）は、「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルを用いる。

4.2 解析モデル及び諸元

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）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、機器の諸元を本計算書の【使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）(D21-RE043) の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 検出器は、計器スタンションで原子炉建屋床に固定されることから、①から⑥の部材で組まれた構造とみなし、支持点（計器スタンション基礎部）2 点で固定される。
- (2) 解析モデルにおいて、検出器の質量 m_a 及び m_b は計器スタンションの③から⑥の部材の検出器取付位置に分散されるものとする。
- (3) 拘束条件として、基礎部の X Y Z 方向及び回転方向を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）は、使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）と同じ計器スタンションに設置されるため、使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）も考慮して評価する。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (6) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

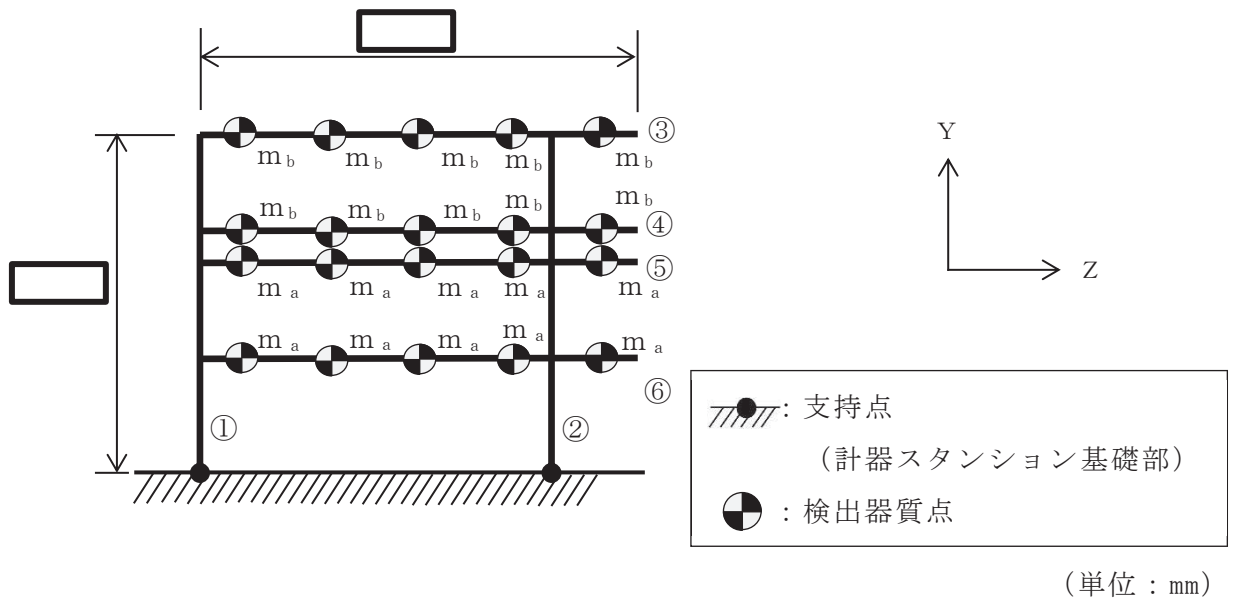


図 4-1 使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-1 に、振動モード図を図 4-2 及び図 4-3 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Z 方向	
1 次	水平方向		—	—	—
17 次	鉛直方向		—	—	—



図 4-2 振動モード図 (1 次モード 水平方向 s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

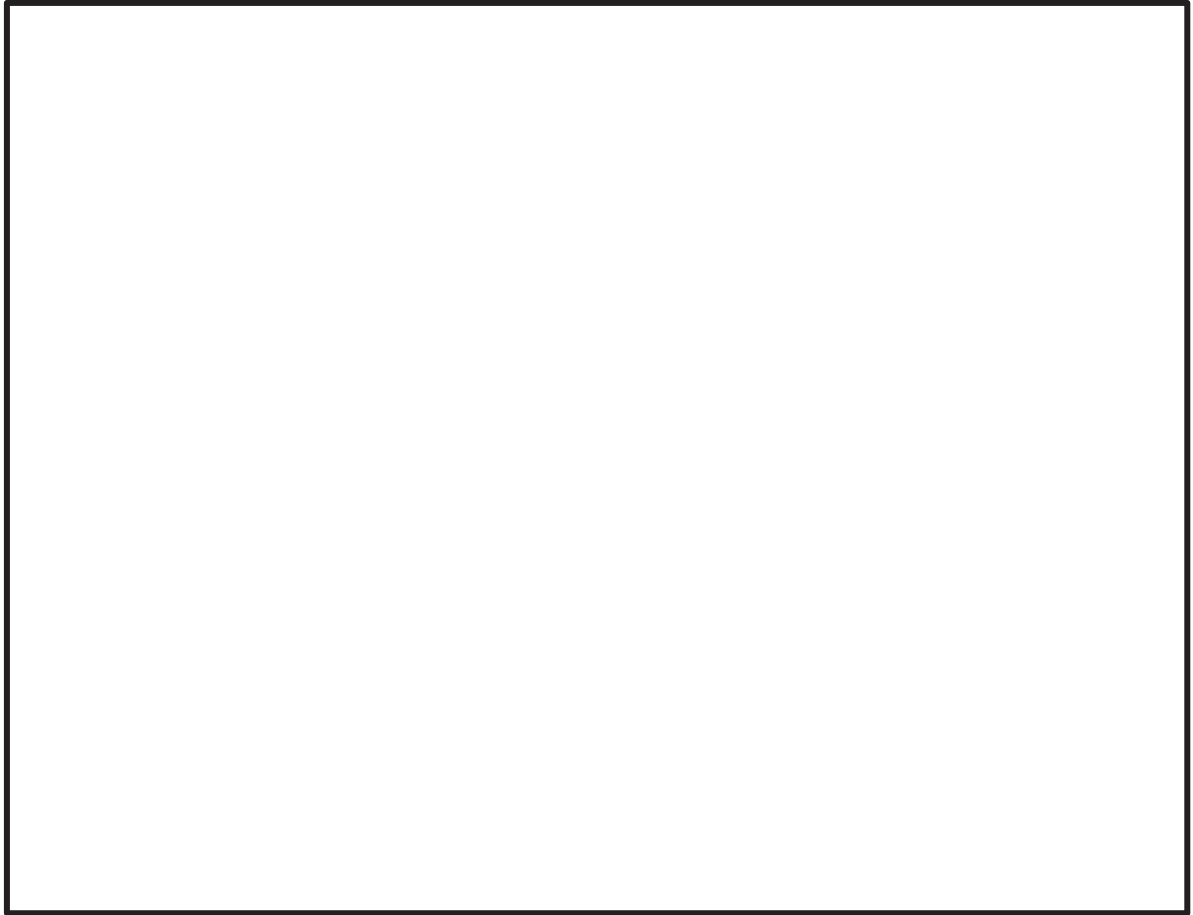


図 4-3 振動モード図 (17 次モード 鉛直方向 s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)から(5)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）に対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (2) 使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）は、基礎ボルトにより床に固定する。

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

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	放射線管理 用計測装置	使用済燃料プール上部空間 放射線モニタ（低線量）	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_S^{*3}$	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$	V_{AS} （ V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。）

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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

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

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

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		基礎ボルト	SS400 (40 mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	100	194

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

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

表 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
原子炉建屋 O.P. 33.20* ¹			—	—	$C_H =$ 2.65	$C_V =$ 1.77

注記 *1：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

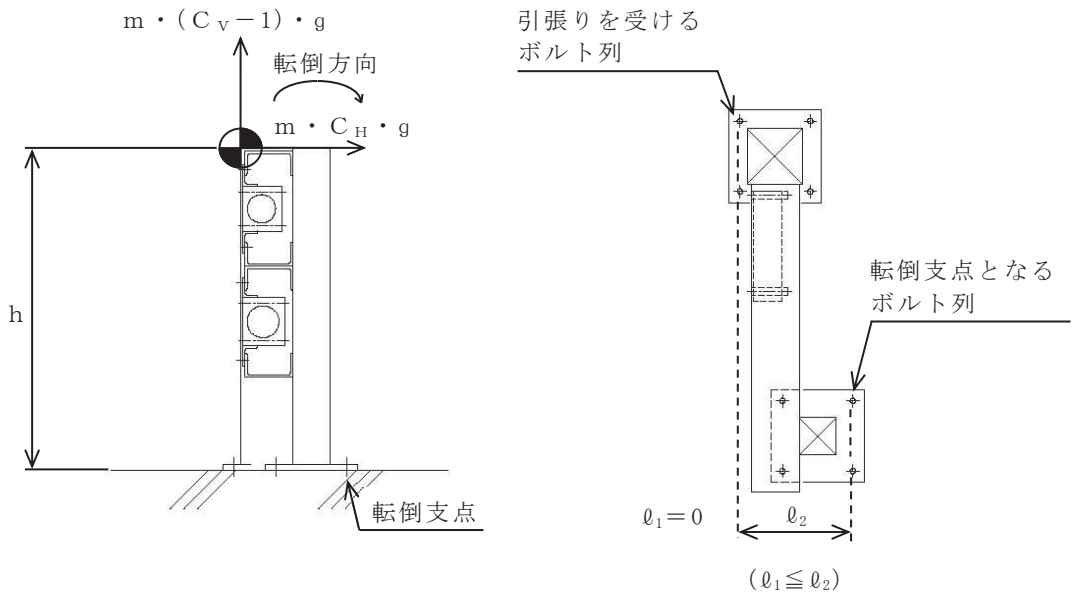


図 5-1(1) 計算モデル
(短辺方向転倒の場合)

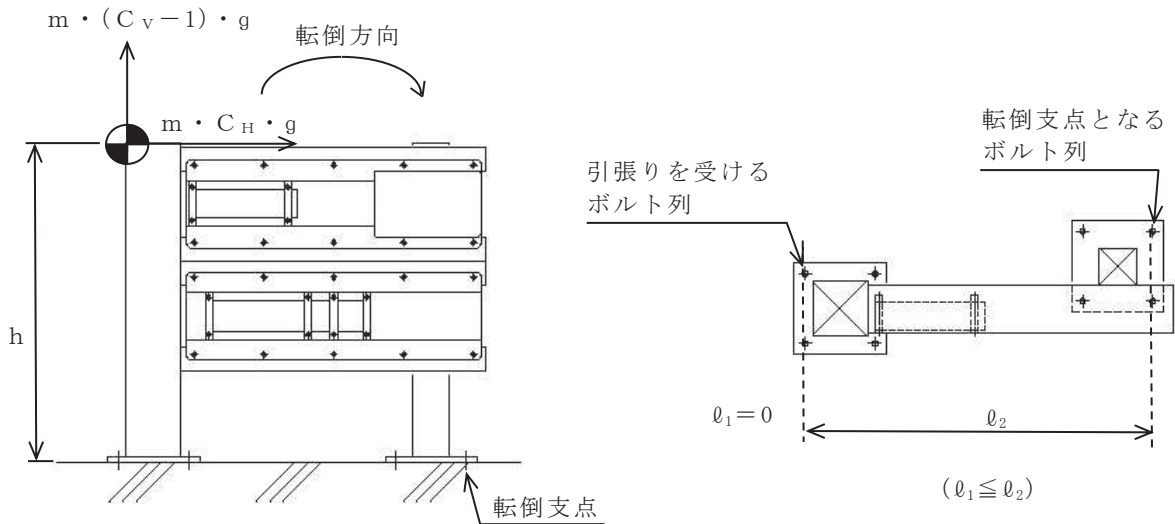


図 5-1(2) 計算モデル
(長辺方向転倒の場合)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図 5-1(1)及び図 5-1(2)では最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図 5-1(1)及び図 5-1(2)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot (1 - C_v) \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

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

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

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

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）(D21-RE043)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 基礎ボルトの応力評価

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

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

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

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プール上部空間 放射線モニタ（低線量） (D21-RE043)	水平方向	
	鉛直方向	

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電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。

【使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）（D21-RE043）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
使用済燃料プール上部 空間放射線モニタ (低線量) (D21-RE043)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 33.20*1			—	—	C _H =2.65	C _V =1.77	100

注記*1：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m (kg)	h (mm)	ℓ ₁ *1 (mm)	ℓ ₂ *1 (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f *1
基礎ボルト		860					8	2 2

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向*2	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	194	373	—	232	—	短辺方向

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

*2：短辺、長辺方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

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

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	σ _b = 45	f _{ts} = 139*
		せん断	—	—	τ _b = 4	f _{sb} = 107

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
使用済燃料プール上 部空間放射線モニタ (低線量) (D21-RE043)	水平方向	2.21	
	鉛直方向	1.47	

注記* : 基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

21

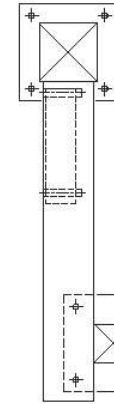
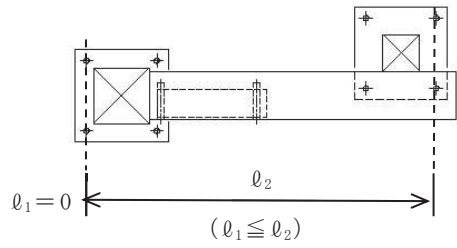
1.5 その他の機器要目

(1) 機器諸元

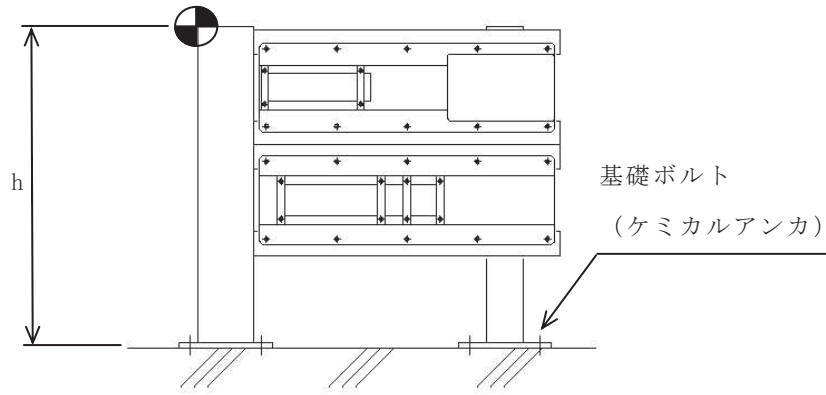
項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_a	kg	
	m_b	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	100
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

(2) 部材の機器要目

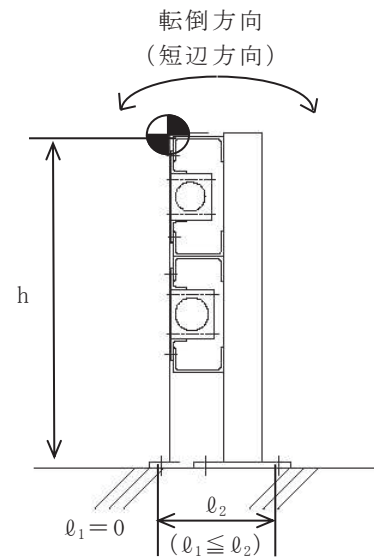
材料			
対象要素	①	②	③-⑥
A (mm ²)			
I _y (mm ⁴)			
I _z (mm ⁴)			
I _p (mm ⁴)			
断面形状 (mm)			



基礎ボルト (ケミカルアンカ)



正面



側面

VI-2-8-2-2-1-2 使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）
の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	7
4.1 固有値解析方法	7
4.2 解析モデル及び諸元	7
4.3 固有値解析結果	9
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
5.2.2 許容応力	11
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	15
5.4.1 応力の計算方法	15
5.5 計算条件	17
5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件	17
5.6 応力の評価	17
5.6.1 基礎ボルトの応力評価	17
6. 機能維持評価	18
6.1 電氣的機能維持評価方法	18
7. 評価結果	19
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	19

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）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。

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は, 取付ボルトにより計器スターションに固定される。</p> <p>計器スターションは, 床に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>電離箱 (床に設置された計器スターションに, 検出器を取付ボルトにより固定する構造)</p>	<p>【使用済燃料プール上部空間放射線モニタ (高線量)】</p> <p>上面</p> <p>980</p> <p>検出器 (高線量)</p> <p>取付ボルト</p> <p>860</p> <p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>正面</p> <p>基礎 (床)</p> <p>240</p> <p>計器スターション</p> <p>側面</p> <p>(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

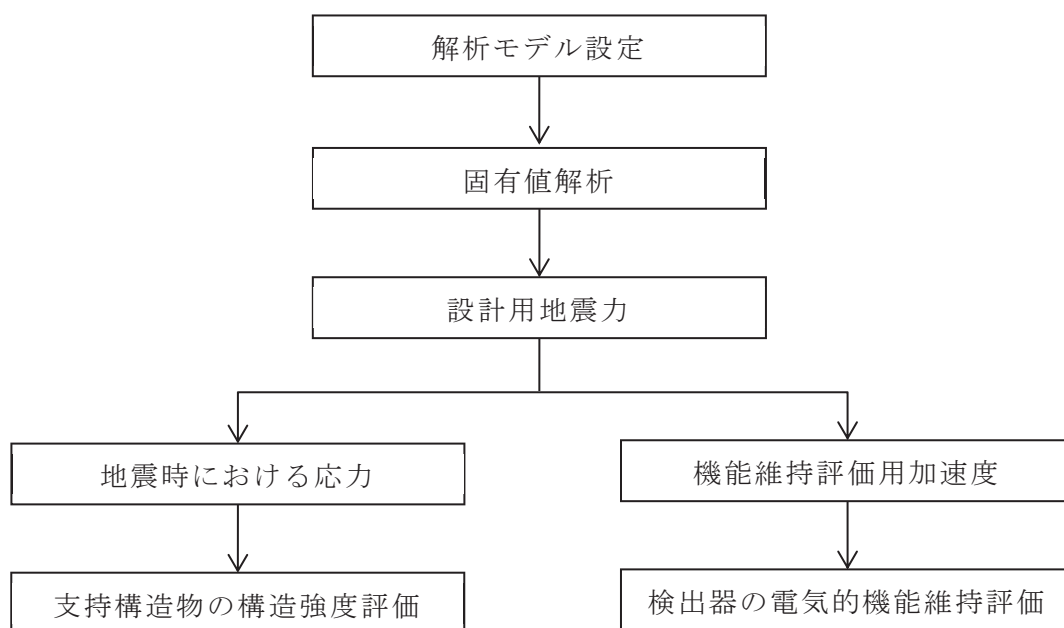


図 2-1 使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
（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
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 (f_s を1.5倍した値又は f_s^* を1.5倍した値)	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力 (f_t を1.5倍した値又は f_t^* を1.5倍した値)	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	取付面から重心までの距離	mm
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	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
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記 * : $\ell_1 \leq \ell_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	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}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

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第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）は、「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルを用いる。

4.2 解析モデル及び諸元

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）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、機器の諸元を本計算書の【使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）(D21-RE044) の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 検出器は、計器スタンションで原子炉建屋床に固定されることから、①から⑥の部材で組まれた構造とみなし、支持点（計器スタンション基礎部）2 点で固定される。
- (2) 解析モデルにおいて、検出器の質量 m_a 及び m_b は計器スタンションの③から⑥の部材の検出器取付位置に分散されるものとする。
- (3) 拘束条件として、基礎部の X Y Z 方向及び回転方向を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）は、使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）と同じ計器スタンションに設置されるため、使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）も考慮して評価する。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (6) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

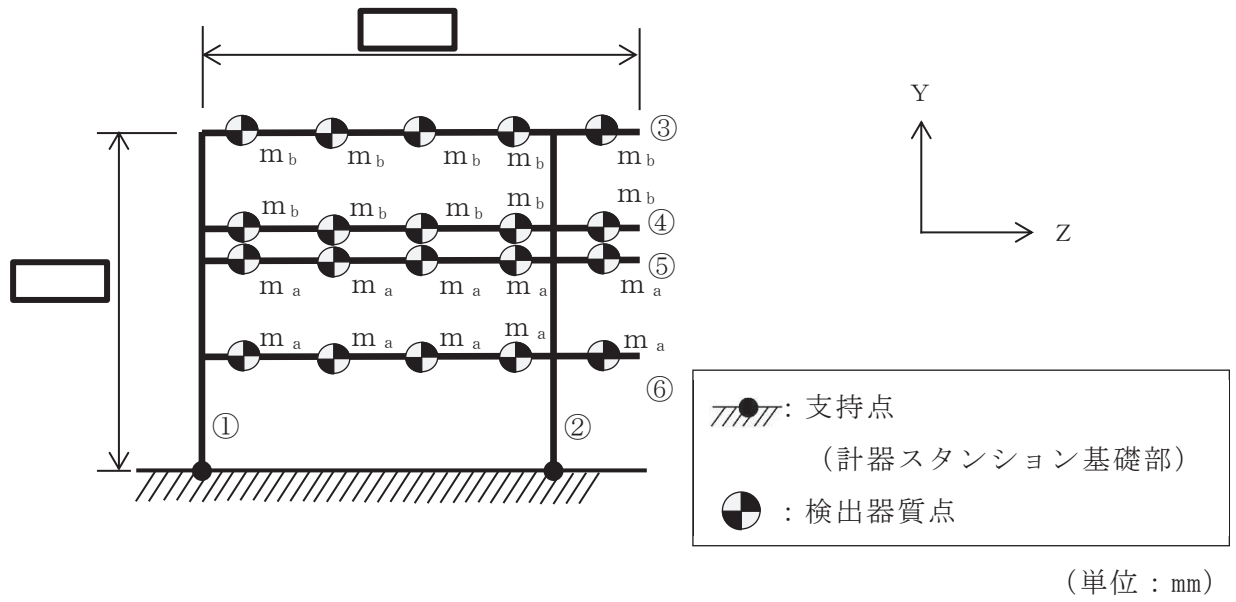


図 4-1 使用済燃料プール上部空間放射線モニタ (高線量) 解析モデル

O 2 ⑥ VI-2-8-2-2-1-2 R 2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-1 に、振動モード図を図 4-2 及び図 4-3 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Z 方向	
1 次	水平方向	□	—	—	—
17 次	鉛直方向		—	—	—



図 4-2 振動モード図 (1 次モード 水平方向 □ s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

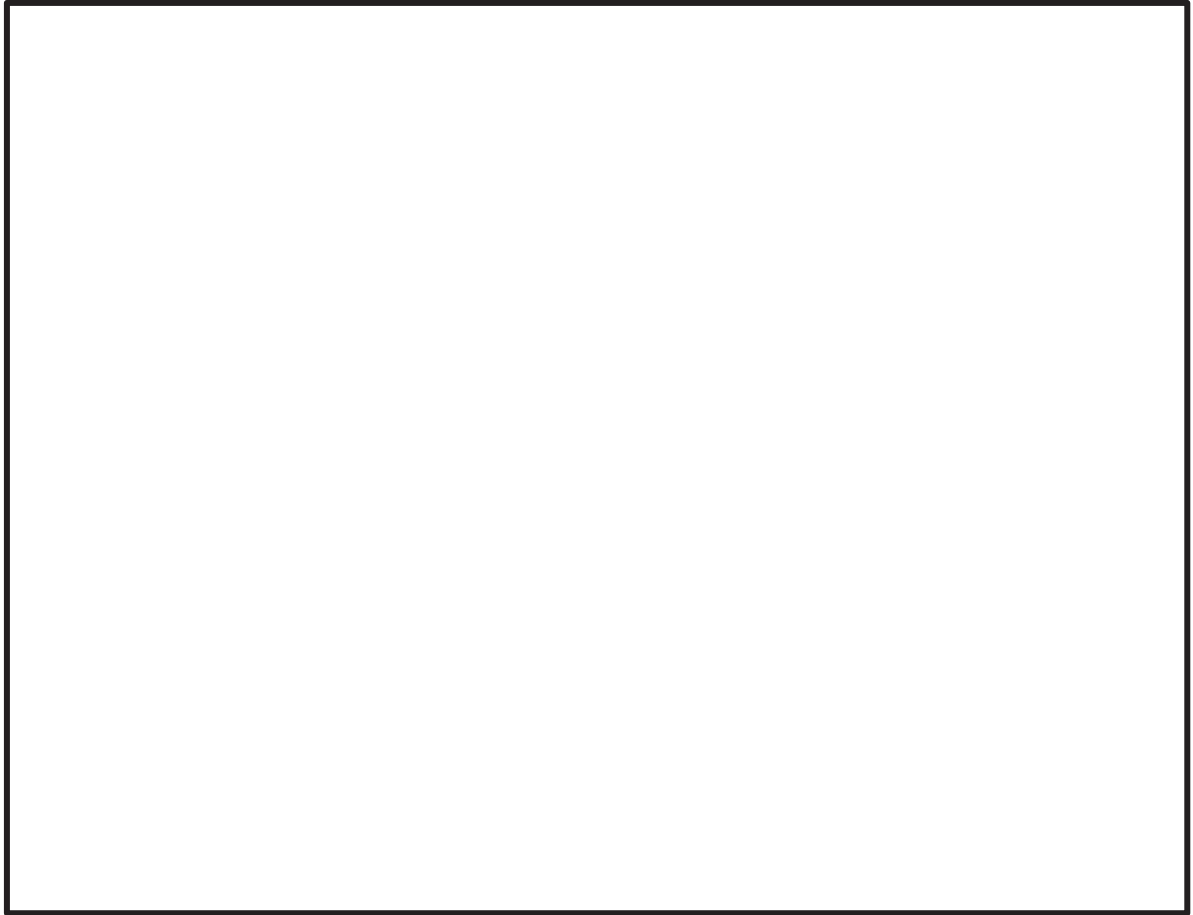


図 4-3 振動モード図 (17 次モード 鉛直方向 s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)から(5)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）に対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (2) 使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）は、基礎ボルトにより床に固定する。

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

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	放射線管理 用計測装置	使用済燃料プール上部空間 放射線モニタ（高線量）	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_S^{*3}$	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$	V_{AS} （ V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。）

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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

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

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

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		基礎ボルト	SS400 (40 mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	100	194

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

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

表 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
原子炉建屋 O.P. 33.20* ¹			—	—	$C_H =$ 2.65	$C_V =$ 1.77

注記 *1：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

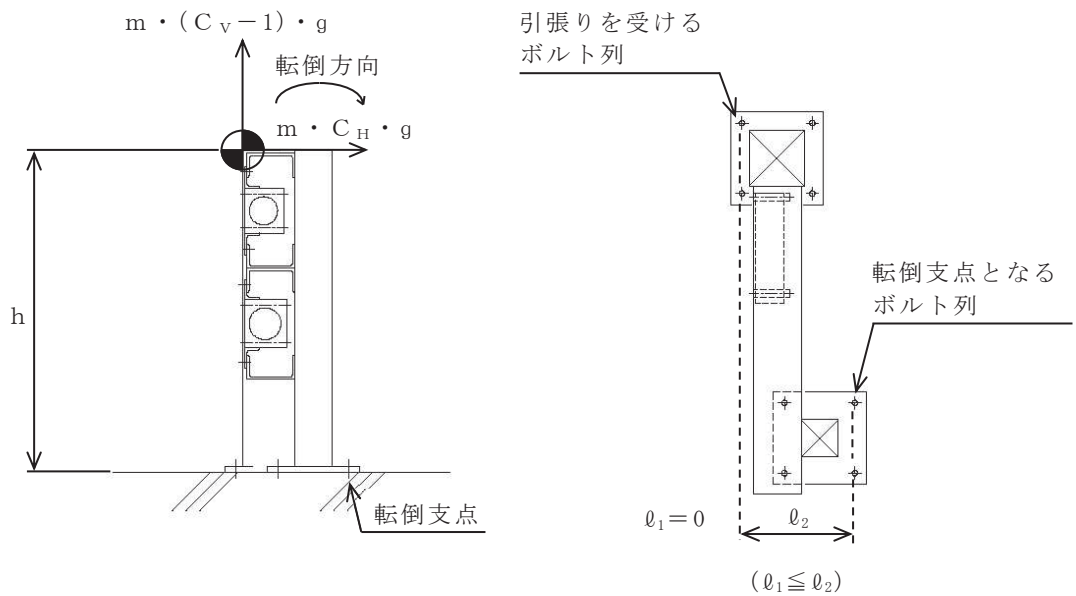


図 5-1(1) 計算モデル
(短辺方向転倒の場合)

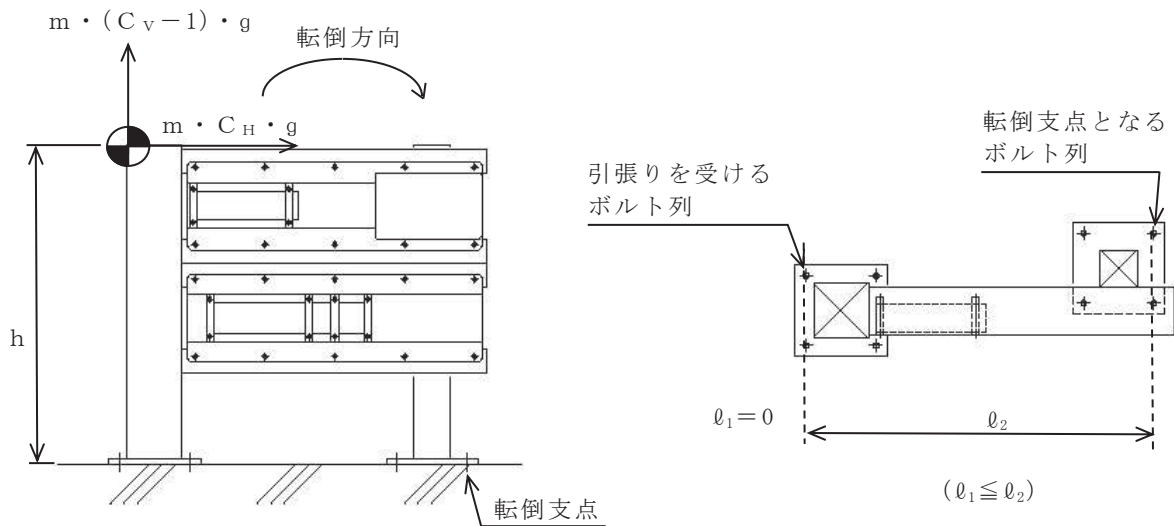


図 5-1(2) 計算モデル
(長辺方向転倒の場合)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図 5-1(1)及び図 5-1(2)では最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図 5-1(1)及び図 5-1(2)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot (1 - C_v) \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

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

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

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

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）(D21-RE044)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 基礎ボルトの応力評価

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

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

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

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プール上部空間 放射線モニタ（高線量） （D21-RE044）	水平方向	
	鉛直方向	

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電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。

【使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）（D21-RE044）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
使用済燃料プール上部 空間放射線モニタ (高線量) (D21-RE044)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 33.20*1			—	—	C _H =2.65	C _V =1.77	100

注記*1：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m (kg)	h (mm)	ℓ ₁ *1 (mm)	ℓ ₂ *1 (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f *1
基礎ボルト		860					8	2 2

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向*2	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	194	373	—	232	—	短辺方向

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

*2：短辺、長辺方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

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

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	σ _b = 45	f _{ts} = 139*
		せん断	—	—	τ _b = 4	f _{sb} = 107

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。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
使用済燃料プール上 部空間放射線モニタ (高線量) (D21-RE044)	水平方向	2.21	
	鉛直方向	1.47	

注記* : 基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

21

1.5 その他の機器要目

(1) 機器諸元

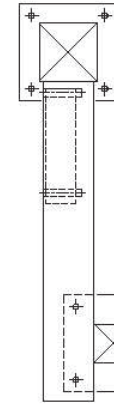
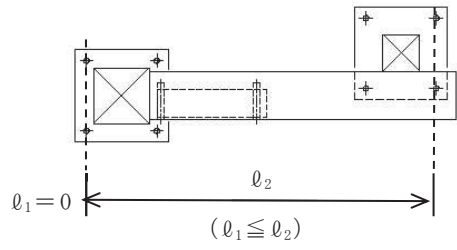
項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_a	kg	
	m_b	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	100
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

(2) 部材の機器要目

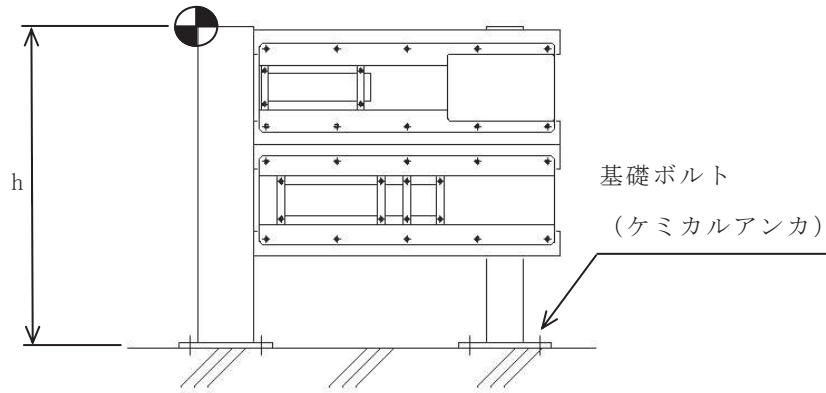
材料			
対象要素	①	②	③-⑥
A (mm ²)			
I _y (mm ⁴)			
I _z (mm ⁴)			
I _p (mm ⁴)			
断面形状 (mm)			

22

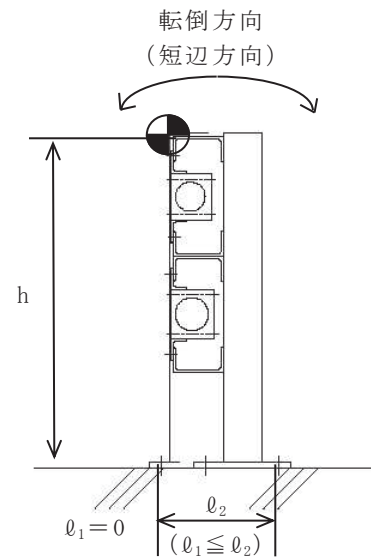
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



基礎ボルト (ケミカルアンカ)



正面



側面

VI-2-8-3 換気設備の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-8-3-1 中央制御室換気空調系の耐震性についての計算書
- VI-2-8-3-2 緊急時対策所換気空調系の耐震性についての計算書
- VI-2-8-3-3 中央制御室待避所加圧空気供給系の耐震性についての計算書
- VI-2-8-3-4 緊急時対策所加圧空気供給系の耐震性についての計算書

VI-2-8-3-1 中央制御室換気空調系の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-8-3-1-1 中央制御室換気空調系ダクトの耐震性についての計算書
- VI-2-8-3-1-2 中央制御室送風機の耐震性についての計算書
- VI-2-8-3-1-3 中央制御室再循環送風機の耐震性についての計算書
- VI-2-8-3-1-4 中央制御室排風機の耐震性についての計算書
- VI-2-8-3-1-5 中央制御室再循環フィルタ装置の耐震性についての計算書

VI-2-8-3-1-1 中央制御室換気空調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 適用規格・基準等	5
2.4 記号の説明	6
2.4.1 矩形ダクトの記号の説明	6
2.4.2 円形ダクトの記号の説明	7
2.4.3 支持構造物の記号の説明	8
2.5 計算精度と数値の丸め方	9
3. 評価部位	9
4. 固有振動数	10
4.1 固有振動数の計算方法	10
5. 構造強度評価	12
5.1 構造強度評価方法	12
5.1.1 矩形ダクトの構造強度評価方法	12
5.1.2 円形ダクトの構造強度評価方法	13
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	14
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
5.2.2 許容限界	14
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	14
5.3 設計用地震力	19
6. 評価結果	19
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	19
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	21
7. 支持構造物設計の基本方針	21
7.1 支持構造物の構造及び種類	21
7.2 支持構造物の耐震性確認	21

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」及び「IV-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、中央制御室換気空調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。

中央制御室換気空調系ダクトは、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

中央制御室換気空調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。	矩形ダクト 円形ダクト	<p>(溶接型円形ダクト)</p> <p>(溶接型矩形ダクト)</p>

2.2 評価方針

中央制御室換気空調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 (20Hz 以上) となるよう算定する手法を用いて支持間隔を決定する。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、分岐部、重量物の取付部、伸縮継手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) 曲管部及び分岐部

曲管部及び分岐部は、図 2-1 で求まる支持間隔に縮小率を乗じた支持間隔を用いて支持点を設計する。

(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。

(4) 伸縮継手部

ダクトに伸縮継手がある場合は、双方接続部の近傍を支持するものとする。

(5) ダクトの支持構造物は、原則として建屋の壁、天井等に埋め込まれた埋込金物より支持するものとする。

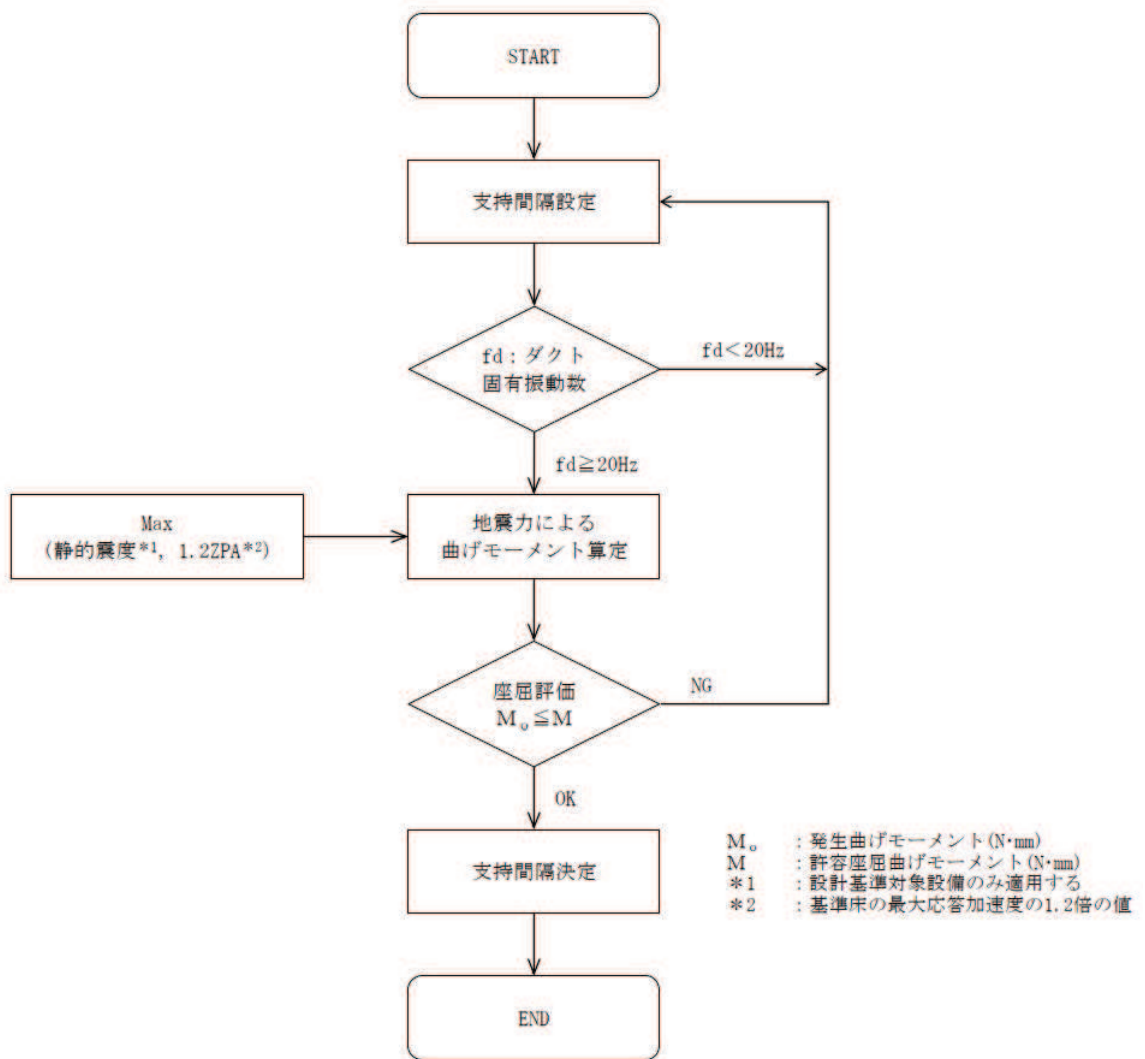


図 2-1 ダクト支持点間隔設定手順

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

2.4.1 矩形ダクトの記号の説明

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	MPa
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* [Redacted]	—
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
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	許容座屈曲げモーメントの安全係数 (= [Redacted])	—
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	MPa
γ	座屈限界曲げモーメントの安全係数 (= [Redacted]) *	—

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係数を用いる。

2.4.2 円形ダクトの記号の説明

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	MPa
g	重力加速度	mm/s ²
I	断面二次モーメント	mm ⁴
Z	断面係数	mm ³
W	ダクト単位長さ重量	N/mm
β	弾性座屈曲げモーメントの補正係数 (= <input type="text"/>)	—
d_1	ダクト内径寸法	mm
d_2	ダクト外径寸法	mm
R	ダクト内半径寸法	mm
t	ダクト板厚	mm
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	許容座屈曲げモーメントの安全係数 (= <input type="text"/>)	—
$M_{c r}$	弾性座屈曲げモーメント	N・mm
M_T	座屈限界曲げモーメント	N・mm
ν	ポアソン比 (=0.3)	—
$\sigma_{c r}$	弾性座屈応力	MPa
σ_y	降伏点	MPa

2.4.3 支持構造物の記号の説明

記号	記号の説明	単位
f_t	許容引張応力	MPa
f_s	許容せん断応力	MPa
f_b	許容曲げ応力	MPa
σ_t	引張（圧縮）応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
τ	せん断応力	MPa
σ	組合せ応力	MPa
A	引張（圧縮）応力計算に用いる断面積	mm ²
A_s	せん断応力計算に用いる断面積	mm ²
Z	曲げ応力計算に用いる断面係数	mm ³
N	引張（圧縮）方向荷重	N
Q	せん断方向荷重	N
M_0	曲げモーメント	N・mm

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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
支持間隔	mm	十の位	切捨て	整数位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
発生応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1 : 設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2 : 絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

3. 評価部位

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ばりにモデル化する。

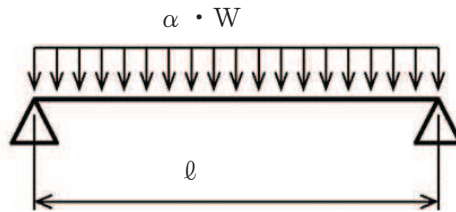


図 4-1 両端単純支持ばり

(2) 固有振動数

a. 矩形ダクトの固有振動数計算方法

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，

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

(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(S60～S61)」

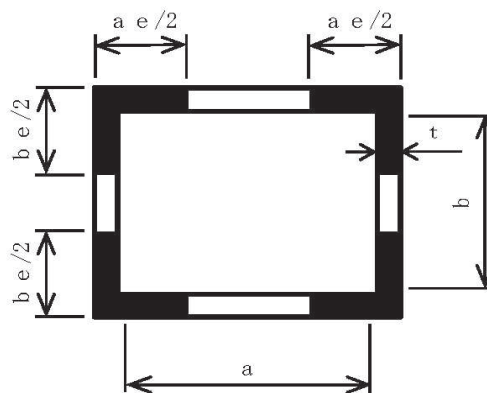


図 4-2 矩形ダクトの断面図

b. 円形ダクトの固有振動数計算方法

両端単純支持された円形ダクトの固有振動数は、次式で与えられる。算出に用いる円形ダクトの断面図を図 4-3 に示す。

$$f = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{W}} \dots\dots\dots (4.3)$$

ここで、

$$I = \frac{\pi}{64} (d_2^4 - d_1^4) \dots\dots\dots (4.4)$$

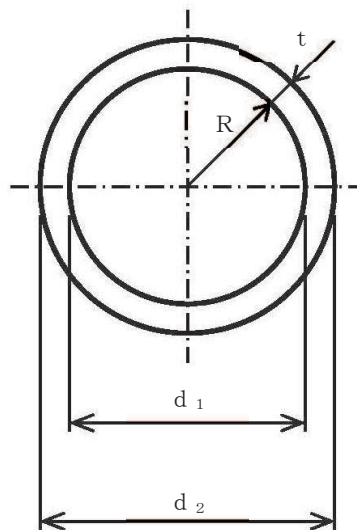


図 4-3 円形ダクトの断面図

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

5.1.1 矩形ダクトの構造強度評価方法

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。

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

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。

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

(5.1)，(5.2)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。

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

ここで，

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

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

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

(5.2)～(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(S60～S61)」

5.1.2 円形ダクトの構造強度評価方法

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

$$M_0 = \frac{\alpha \cdot W \cdot \ell^2}{8} \dots\dots\dots (5.7)$$

ここで，円形ダクトの座屈による大変形を防ぐために円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。

$$M_0 \leq M \dots\dots\dots (5.8)$$

(5.7)，(5.8)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。

$$\ell = \sqrt{\frac{8 \cdot M}{W \cdot \alpha}} \dots\dots\dots (5.9)$$

ここで，

$$M = S \cdot M_T \dots\dots\dots (5.10)$$

$$M_T = \min(\sigma_{cr}, \sigma_y) \cdot Z \dots\dots\dots (5.11)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{M_{cr}}{Z} \dots\dots\dots (5.12)$$

$$M_{cr} = \frac{\beta \cdot E \cdot R \cdot t^2}{(1 - \nu^2)} \dots\dots\dots (5.13)$$

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2} \dots\dots\dots (5.14)$$

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、支持構造物の許容応力を表 5-5 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ダクト及び支持構造物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 5-6 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-7 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 換気空調系 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を適用する。

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 又は静的地震力（ 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、 S_d^* は S_s に包絡されるため、 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 換気空調系 主配管	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2管	$D + P_D + M_D + S s^{*2}$	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：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S s$ 」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ペ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)及び(5.9)から(5.14)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ペ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)及び(5.9)から(5.14)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 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）*3

許容応力状態	許容限界*1 (ボルト等以外)			
	一次応力			
	引張	せん断	曲げ	組合せ*2
III _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$
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：組合せ応力の許容応力は，設計・建設規格に基づく値とする。

3： f_t^ ， f_s^* ， f_b^* は， f_t ， f_s ， f_b の値を算出する際に設計・建設規格 SSB-3121.1(1)本文中「付録材料図表 Part5 表 8 に定める値」とあるのを「付録材料図表 Part5 表 8 に定める値の 1.2 倍の値」と読み替えて計算した値とする。

表 5-6 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S* (MPa)	S _y (MPa)	S _u * (MPa)	S _y (RT)* (MPa)
		最高使用温度					
ダクト	SS400	最高使用温度	40	—	245	—	—
支持架構	SS400	最高使用温度	40	—	245	400	—
	STKR400	最高使用温度	40	—	245	400	—

注記*：評価に使用していない許容応力については「—」と記載する。

表 5-7 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S* (MPa)	S _y (MPa)	S _u * (MPa)	S _y (RT)* (MPa)
		最高使用温度					
ダクト	SS400	最高使用温度	40	—	245	—	—
支持架構	SS400	最高使用温度	40	—	245	400	—
	STKR400	最高使用温度	40	—	245	400	—

注記*：評価に使用していない許容応力については「—」と記載する。

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-8 及び表 5-9 に示す。

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「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

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、 S_s 評価と 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、 S_d^* は S_s に包絡されるため、 S_d^* に対する評価は省略する。

表 5-8 設計用地震力（設計基準対象施設）

建物・構築物	据付場所及び 床面高さ (m)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
制御建屋	0. P. 1. 5 ～29. 15	2. 43	1. 22	4. 05	2. 29

表 5-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）

建物・構築物	据付場所及び 床面高さ (m)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
制御建屋	0. P. 1. 5 ～29. 15	—	—	4. 05	2. 29

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室換気空調系ダクトの耐震支持間隔は、「2.2 評価方針」に示す手法から定めており、設計基準対象施設としての支持間隔を表 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 中央制御室換気空調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）

ダクト種別*	ダクト		板厚 (mm)	支持間隔 ($f_d \geq 20\text{Hz}$) (mm)	発生曲げ モーメント M_0 (N・mm)	許容座屈曲げ モーメント M (N・mm)
	長辺 (mm)	短辺 (mm)				
鋼板 溶接矩形ダクト (SS400)	200	200	2.3			
	200	200	3.2			
	426.6	337.6	3.2			
	427.6	342.6	3.2			
	481.6	378.6	3.2			
	500	400	2.3			
	500	400	3.2			
	500	450	2.3			
	500	450	3.2			
	500	500	2.3			
	600	550	2.3			
	600	550	3.2			
	650	300	2.3			
	650	300	3.2			
	800	400	3.2			
	850	600	2.3			
	900	900	2.3			
	1183.6	850.6	3.2			
	1400	1400	2.3			
	1400	1400	3.2			
1600	1350	4.5				
1850	1300	2.3				
1850	1300	3.2				
2000	900	2.3				
2000	900	3.2				
2000	1000	2.3				
2000	1000	3.2				
鋼板 溶接円形ダクト (SS400)	ϕ 250		2.3			
	ϕ 250		3.2			
	ϕ 453.6		3.2			
	ϕ 502.6		3.2			
	ϕ 550		2.3			
	ϕ 550		3.2			
	ϕ 650		2.3			
	ϕ 1118		4.5			

注記*：全て保温有りとして算出。

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支持間隔は、設計基準対象施設としての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、形鋼及び角形鋼管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7-3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、型式(R2, R3)毎に分類し、そのうち型式毎に最大の発生応力とな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「SAP-IV」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「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

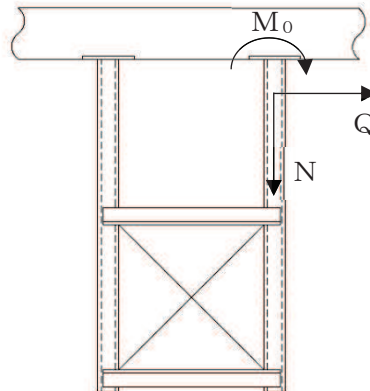
また、支持構造物の強度計算式を以下に示す。

なお、以下に示す計算式は代表的な形状に対するものであり、記載のない形状についても同様の計算式で計算できる。

$$\sigma_t = N/A$$

$$\tau = Q/A_s$$

$$\sigma_b = M_0/Z$$



したがって、

$$1.5 \cdot f_t^* \geq \sigma = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

表 7-1 ダクト支持構造物の耐震性確認結果

構造物	型式*	許容応力 状態	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
支持架構	R 2	IV _A S	組合せ	72	280
	R 3	IV _A S	組合せ	114	280

注記* : 「R 2」はダクト軸直角の2方向を拘束するもの, 「R 3」はダクト軸方向及び軸直角方向の3方向を拘束するものを示す。

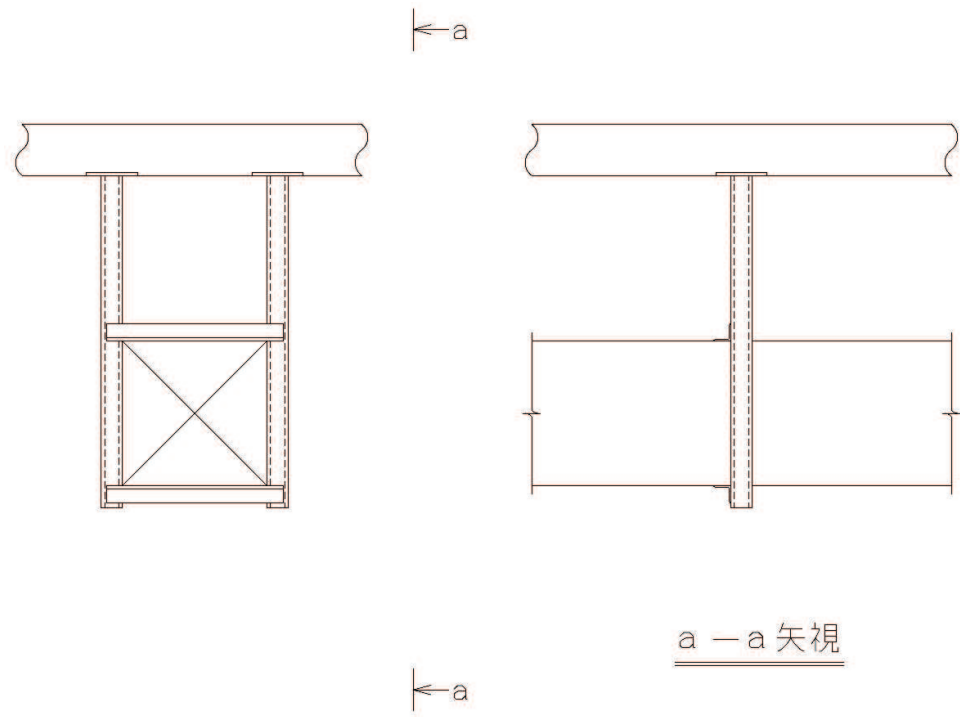


図 7-1 2 方向（軸直角方向）拘束の代表例

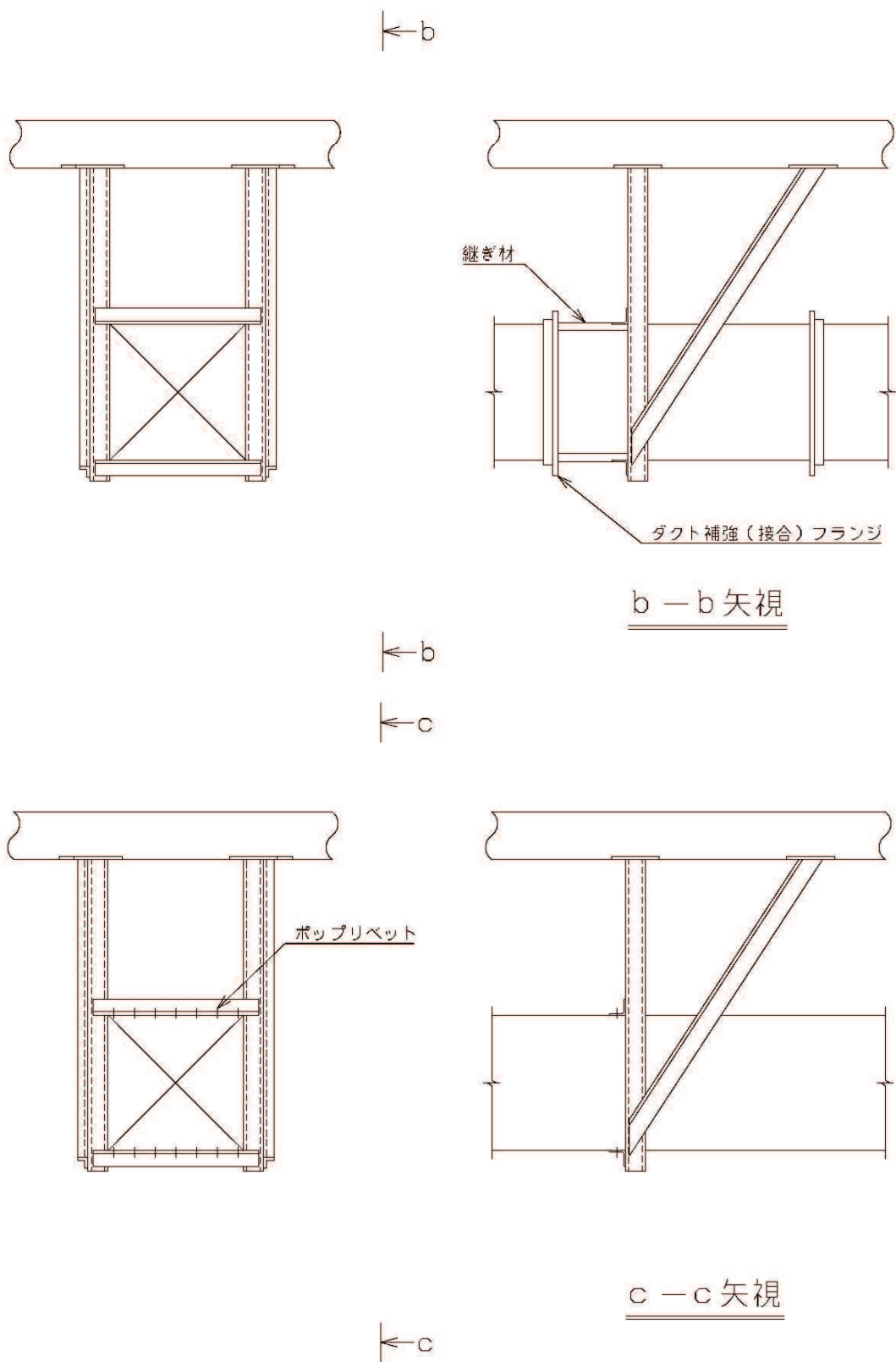


図 7-2 3 方向 (軸方向及び軸直角方向) 拘束の代表例

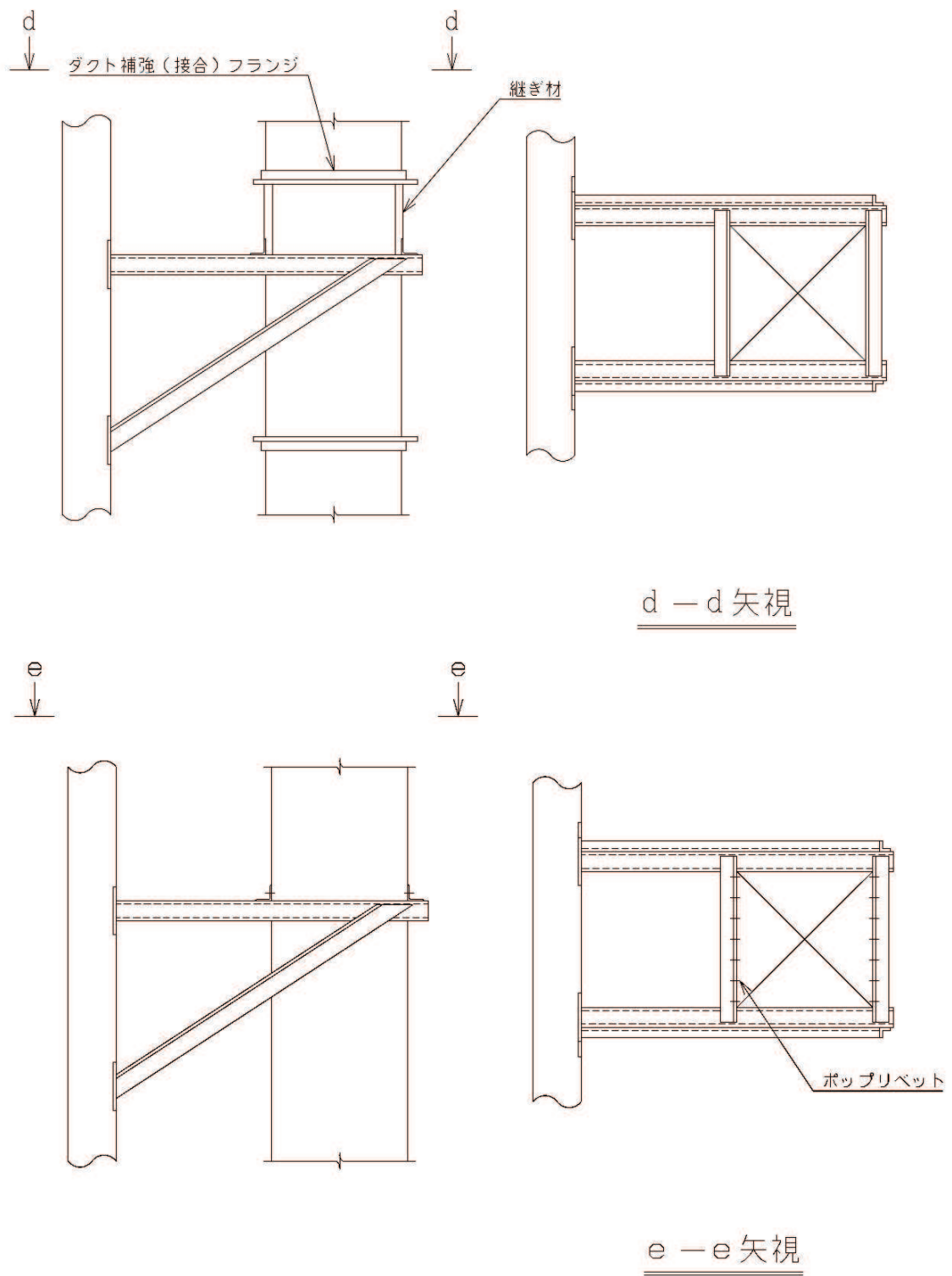


図 7-3 垂直ダクトの支持の代表例

VI-2-8-3-1-2 中央制御室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. 固有周期	3
3.1 記号の説明	3
3.2 固有周期の計算方法	3
3.3 固有周期の計算条件	4
3.4 固有周期の計算結果	4
4. 構造強度評価	5
4.1 構造強度評価方法	5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
4.2.2 許容応力	5
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	5
4.3 計算条件	5
5. 機能維持評価	9
5.1 動的機能維持評価方法	9
6. 評価結果	10
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	10
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	10

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-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。

中央制御室送風機は、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。

なお、中央制御室送風機は、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプと類似の構造であるため、添付書類「VI-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」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

中央制御室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	
<p>原動機は架台に取付 ボルトにより固定さ れ、架台は基礎ボル トで基礎に据え付け る。</p>	<p>遠心式(遠心直結型 ファン)</p>	<p>(単位 : mm)</p>

3. 固有周期

3.1 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_e	有効せん断断面積	mm^2
E	縦弾性係数	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
h	据付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
m	運転時質量	kg
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s

3.2 固有周期の計算方法

中央制御室送風機の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 中央制御室送風機の質量は重心に集中するものとする。
- b. 中央制御室送風機は基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。
- c. 中央制御室送風機をはりと考え，変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。
- d. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

中央制御室送風機は，図 3-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

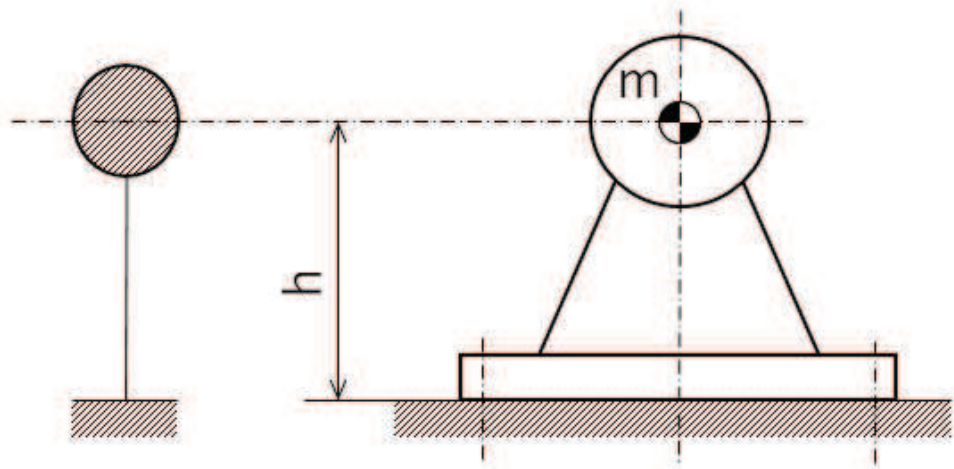


図 3-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h}{G \cdot A_e}} \dots\dots\dots (3.2.1)$$

したがって、固有周期 T_H は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_H}} \dots\dots\dots (3.2.2)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_V は次式で求める。

$$K_V = \frac{1000}{E \cdot A_e} * \dots\dots\dots (3.2.3)$$

注記*：断面積には、固有周期が大きく算出される有効せん断断面積 A_e を用いる。

したがって、固有周期 T_V は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_V}} \dots\dots\dots (3.2.4)$$

3.3 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【中央制御室送風機の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

3.4 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向		
鉛直方向		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

中央制御室送風機の構造強度評価は、添付書類「VI-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行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

中央制御室送風機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

中央制御室送風機の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

中央制御室送風機の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【中央制御室送風機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。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	換気設備	中央制御室送風機	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^*$	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。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	換気設備	中央制御室送風機	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 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 4-4 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40*	231	394	—
原動機取付 ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40*	231	394	—

注記*：周囲環境温度が 50°C 以下の場合は，耐震計算上は 50°C とする。

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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40*	231	394	—
原動機取付 ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40*	231	394	—

注記*：周囲環境温度が 50°C 以下の場合は，耐震計算上は 50°C とする。

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

中央制御室送風機の動的機能維持評価は、添付書類「VI-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行う。

中央制御室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「VI-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 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

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	水平方向	2.3
		鉛直方向	1.0
原動機	横形ころがり軸受電動機	水平方向	4.7
		鉛直方向	1.0

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室送風機の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

中央制御室送風機の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び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。

【中央制御室送風機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		送風機振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
中央制御室送風機	S	制御建屋 O.P. 1.50* ¹			C _H = 0.77	C _V = 0.42	C _H = 1.35	C _V = 0.79		—	40* ²

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 周囲環境温度が 50°C 以下の場合は、耐震計算上は 50°C とする。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} * ¹ (mm)	ℓ _{2i} * ¹ (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} * ¹
基礎ボルト (i=1)							12	6
原動機取付ボルト (i=2)								2
							4	2
								2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	231* ² (16mm < 径 ≤ 40mm)	394* ²	231	276	軸直角	軸直角	—
原動機取付ボルト (i=2)	231* ² (16mm < 径 ≤ 40mm)	394* ²	231	276	軸直角	軸直角	

H _p (μm)	N (rpm)

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 : 周囲環境温度が 50°C 以下の場合は、耐震計算上は 50°C とする。

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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 ($i=2$)				

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト ($i=1$)	SS400	引張り	$\sigma_{b1}=13$	$f_{ts1}=173^*$	$\sigma_{b1}=27$	$f_{ts1}=207^*$
		せん断	$\tau_{b1}=8$	$f_{sb1}=133$	$\tau_{b1}=13$	$f_{sb1}=159$
原動機取付ボルト ($i=2$)	SS400	引張り	$\sigma_{b2}=7$	$f_{ts2}=173^*$	$\sigma_{b2}=16$	$f_{ts2}=207^*$
		せん断	$\tau_{b2}=7$	$f_{sb2}=133$	$\tau_{b2}=12$	$f_{sb2}=159$

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

1.4.3 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.13	2.3
	鉛直方向	0.66	1.0
原動機	水平方向	1.13	4.7
	鉛直方向	0.66	1.0

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

【中央制御室送風機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		送風機振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
中央制御室送風機	常設耐震／防止 常設／緩和	制御建屋 0.P.1.50*1	[REDACTED]		—	—	C _H =1.35	C _V =0.79	[REDACTED]	—	40*2

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：周囲環境温度が50°C以下の場合、耐震計算上は50°Cとする。

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)	[REDACTED]						12	6
								2
原動機取付ボルト (i=2)	[REDACTED]						4	2
								2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	231*2 (16mm<径≤40mm)	394*2	—	276	—	軸直角	—
原動機取付ボルト (i=2)	231*2 (16mm<径≤40mm)	394*2	—	276	—	軸直角	[REDACTED]

H _p (μm)	N (rpm)
[REDACTED]	

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：周囲環境温度が50°C以下の場合、耐震計算上は50°Cとする。

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)
[REDACTED]			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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=2)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

2.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=27$	$f_{ts1}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=13$	$f_{sb1}=159$
原動機取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=16$	$f_{ts2}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=12$	$f_{sb2}=159$

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

2.4.3 動的機能の評価結果

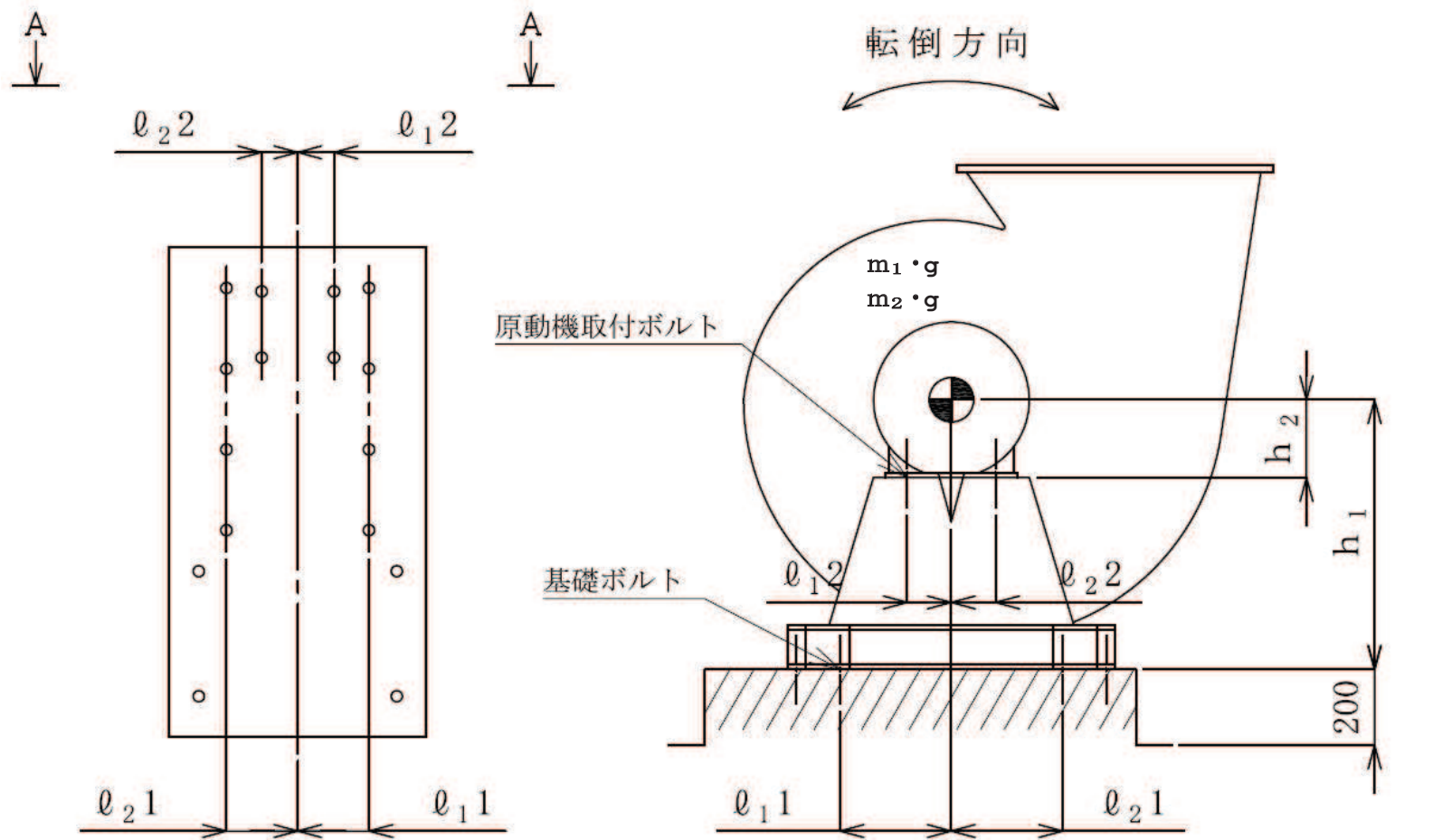
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.13	2.3
	鉛直方向	0.66	1.0
原動機	水平方向	1.13	4.7
	鉛直方向	0.66	1.0

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



A ~ A 矢視図
 (基礎ボルト)
 (原動機取付ボルト)

VI-2-8-3-1-3 中央制御室再循環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. 固有周期	3
3.1 記号の説明	3
3.2 固有周期の計算方法	3
3.3 固有周期の計算条件	4
3.4 固有周期の計算結果	4
4. 構造強度評価	5
4.1 構造強度評価方法	5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
4.2.2 許容応力	5
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	5
4.3 計算条件	5
5. 機能維持評価	9
5.1 動的機能維持評価方法	9
6. 評価結果	10
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	10
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	10

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-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、中央制御室再循環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。

中央制御室再循環送風機は、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。

なお、中央制御室再循環送風機は、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプと類似の構造であるため、添付書類「VI-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」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

中央制御室再循環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	
<p>原動機は架台に取付 ボルトにより固定さ れ、架台は基礎ボル トで基礎に据え付け る。</p>	<p>遠心式(遠心直結型 ファン)</p>	<p>(単位 : mm)</p>

3. 固有周期

3.1 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_e	有効せん断断面積	mm^2
E	縦弾性係数	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
h	据付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
m	運転時質量	kg
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s

3.2 固有周期の計算方法

中央制御室再循環送風機の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- 中央制御室再循環送風機の質量は重心に集中するものとする。
- 中央制御室再循環送風機は基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。
- 中央制御室再循環送風機をはりと考え，変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。
- 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

中央制御室再循環送風機は，図 3-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

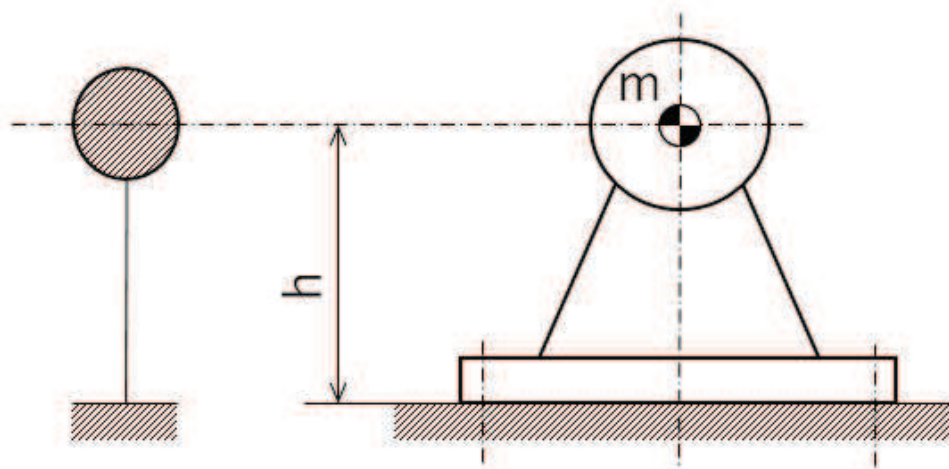


図 3-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h}{G \cdot A_e}} \dots\dots\dots (3.2.1)$$

したがって、固有周期 T_H は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_H}} \dots\dots\dots (3.2.2)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_V は次式で求める。

$$K_V = \frac{1000}{E \cdot A_e} * \dots\dots\dots (3.2.3)$$

注記*：断面積には、固有周期が大きく算出される有効せん断断面積 A_e を用いる。

したがって、固有周期 T_V は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_V}} \dots\dots\dots (3.2.4)$$

3.3 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【中央制御室再循環送風機の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

3.4 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向			
鉛直方向			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

中央制御室再循環送風機の構造強度評価は、添付書類「VI-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行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

中央制御室再循環送風機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

中央制御室再循環送風機の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

中央制御室再循環送風機の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【中央制御室再循環送風機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。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	換気設備	中央制御室 再循環送風機	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^*$	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。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	換気設備	中央制御室 再循環送風機	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 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 4-4 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40*	231	394	—
原動機取付 ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40*	231	394	—

注記*：周囲環境温度が 50°C 以下の場合は，耐震計算上は 50°C とする。

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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40*	231	394	—
原動機取付 ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40*	231	394	—

注記*：周囲環境温度が 50°C 以下の場合は，耐震計算上は 50°C とする。

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

中央制御室再循環送風機の動的機能維持評価は、添付書類「VI-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行う。

中央制御室再循環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「VI-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 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

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	水平方向	2.3
		鉛直方向	1.0
原動機	横形ころがり軸受電動機	水平方向	4.7
		鉛直方向	1.0

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室再循環送風機の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

中央制御室再循環送風機の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び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。

【中央制御室再循環送風機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s		送風機振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
中央制御室再循環送風機	S	制御建屋 O.P. 1.50*1			C _H =0.77	C _V =0.42	C _H =1.35	C _V =0.79		—	40*2

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 周囲環境温度が 50°C 以下の場合は、耐震計算上は 50°C とする。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)								5
原動機取付ボルト (i=2)								2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	231*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	394*2	231	276	軸直角	軸直角	—
原動機取付ボルト (i=2)	231*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	394*2	231	276	軸直角	軸直角	

H _p (μm)	N (rpm)

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 : 周囲環境温度が 50°C 以下の場合は、耐震計算上は 50°C とする。

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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 ($i=2$)				

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト ($i=1$)	SS400	引張り	$\sigma_{b1}=7$	$f_{ts1}=173^*$	$\sigma_{b1}=15$	$f_{ts1}=207^*$
		せん断	$\tau_{b1}=5$	$f_{sb1}=133$	$\tau_{b1}=8$	$f_{sb1}=159$
原動機取付ボルト ($i=2$)	SS400	引張り	$\sigma_{b2}=4$	$f_{ts2}=173^*$	$\sigma_{b2}=9$	$f_{ts2}=207^*$
		せん断	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=133$	$\tau_{b2}=6$	$f_{sb2}=159$

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

1.4.3 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.13	2.3
	鉛直方向	0.66	1.0
原動機	水平方向	1.13	4.7
	鉛直方向	0.66	1.0

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

【中央制御室再循環送風機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		送風機振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
中央制御室再循環送風機	常設耐震/防止 常設/緩和	制御建屋 O. P. 1. 50*1	[REDACTED]		—	—	C _H =1. 35	C _V =0. 79	[REDACTED]	—	40*2

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 周囲環境温度が 50°C 以下の場合、耐震計算上は 50°C とする。

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)	[REDACTED]						10	5
原動機取付ボルト (i=2)								4

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	231*2 (16mm<径≤40mm)	394*2	—	276	—	軸直角	—
原動機取付ボルト (i=2)	231*2 (16mm<径≤40mm)	394*2	—	276	—	軸直角	[REDACTED]

H _p (μm)	N (rpm)
[REDACTED]	

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 : 周囲環境温度が 50°C 以下の場合、耐震計算上は 50°C とする。

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)
[REDACTED]			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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=2)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

2.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=15$	$f_{ts1}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=8$	$f_{sb1}=159$
原動機取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=9$	$f_{ts2}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=6$	$f_{sb2}=159$

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

2.4.3 動的機能の評価結果

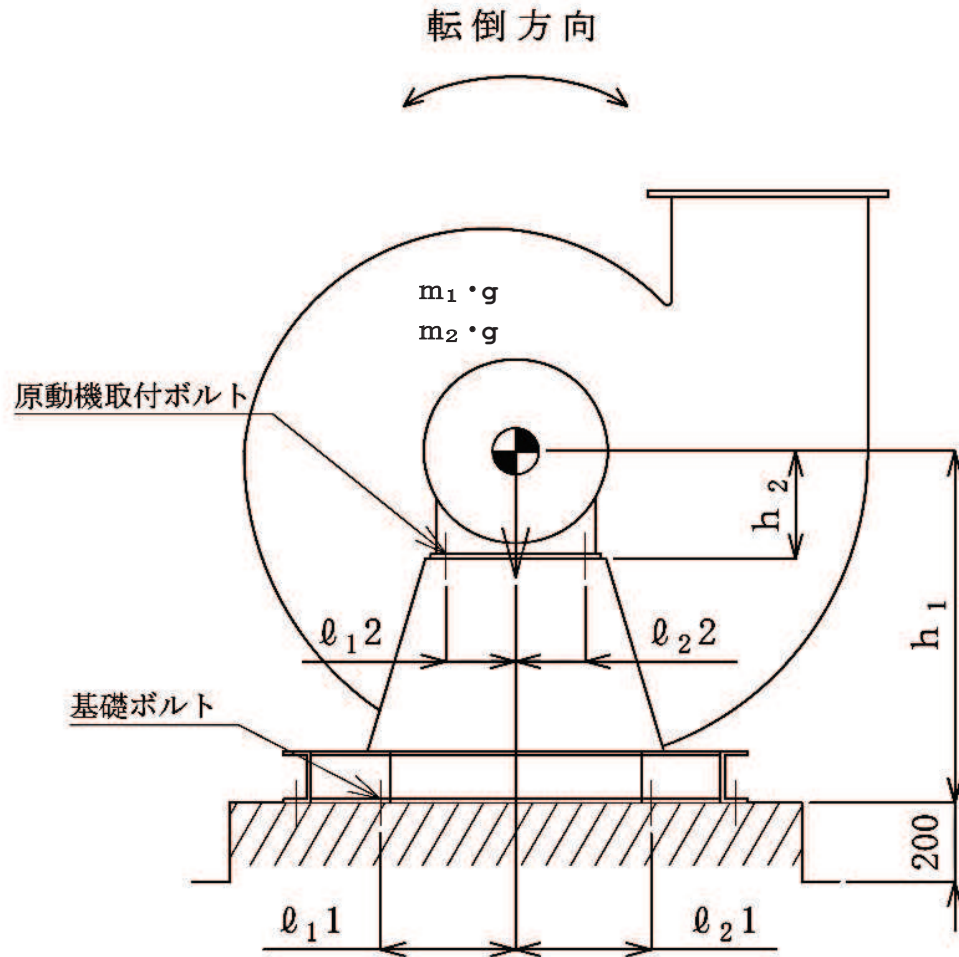
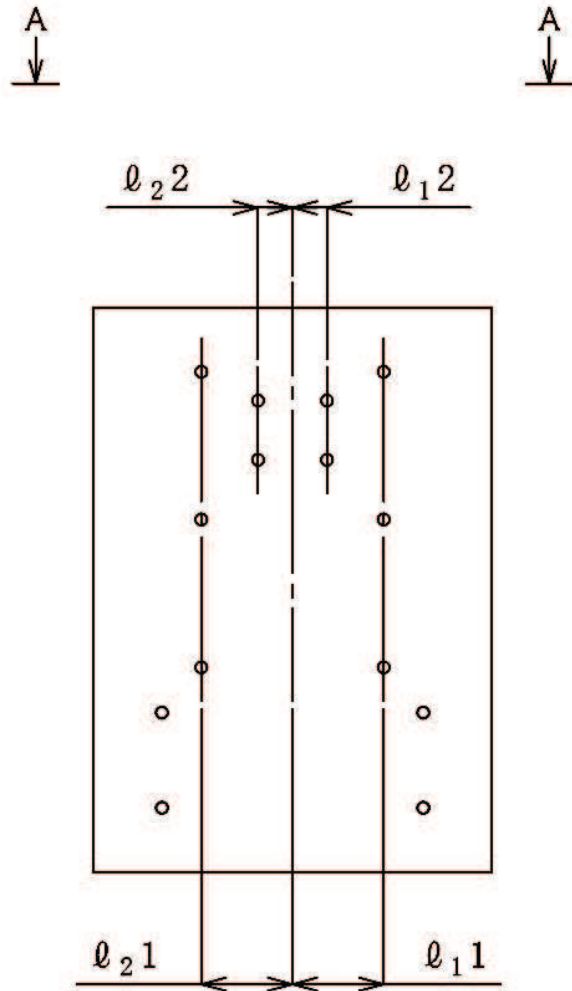
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.13	2.3
	鉛直方向	0.66	1.0
原動機	水平方向	1.13	4.7
	鉛直方向	0.66	1.0

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



A ~ A 矢視図
 (基礎ボルト)
 (原動機取付ボルト)

VI-2-8-3-1-4 中央制御室排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. 固有周期	3
3.1 記号の説明	3
3.2 固有周期の計算方法	3
3.3 固有周期の計算条件	4
3.4 固有周期の計算結果	4
4. 構造強度評価	5
4.1 構造強度評価方法	5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
4.2.2 許容応力	5
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	5
4.3 計算条件	5
5. 機能維持評価	9
5.1 動的機能維持評価方法	9
6. 評価結果	10
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	10
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	10

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-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、中央制御室排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。

中央制御室排風機は、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。

なお、中央制御室排風機は、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプと類似の構造であるため、添付書類「VI-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」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

中央制御室排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	
<p>原動機は架台に取付 ボルトにより固定さ れ、架台は基礎ボル トで基礎に据え付け る。</p>	<p>遠心式(遠心直動型 ファン)</p>	<p>(単位 : mm)</p>

3. 固有周期

3.1 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_e	有効せん断断面積	mm^2
E	縦弾性係数	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
h	据付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
m	運転時質量	kg
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s

3.2 固有周期の計算方法

中央制御室排風機の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- 中央制御室排風機の質量は重心に集中するものとする。
- 中央制御室排風機は基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。
- 中央制御室排風機をはりと考え，変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。
- 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

中央制御室排風機は，図 3-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

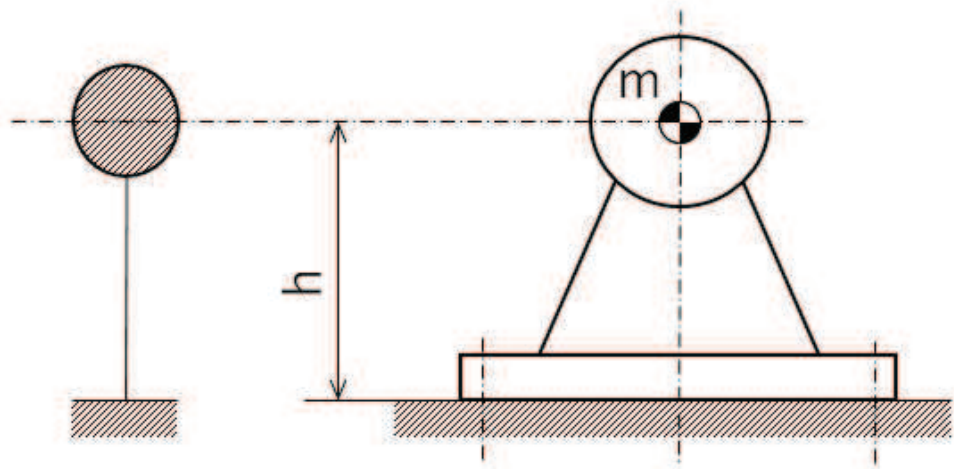


図 3-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h}{G \cdot A_e}} \dots\dots\dots (3.2.1)$$

したがって、固有周期 T_H は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_H}} \dots\dots\dots (3.2.2)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_V は次式で求める。

$$K_V = \frac{1000}{E \cdot A_e} * \dots\dots\dots (3.2.3)$$

注記*：断面積には、固有周期が大きく算出される有効せん断断面積 A_e を用いる。

したがって、固有周期 T_V は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_V}} \dots\dots\dots (3.2.4)$$

3.3 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【中央制御室排風機の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

3.4 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向			
鉛直方向			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

中央制御室排風機の構造強度評価は、添付書類「VI-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行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

中央制御室排風機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

中央制御室排風機の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

中央制御室排風機の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【中央制御室排風機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。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	換気設備	中央制御室排風機	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^*$	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。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	換気設備	中央制御室排風機	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 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 4-4 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (径≤16mm)	周囲環境温度	40*	241	394	—
原動機取付 ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40*	231	394	—

注記*：周囲環境温度が 50°C 以下の場合は，耐震計算上は 50°C とする。

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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (径≤16mm)	周囲環境温度	40*	241	394	—
原動機取付 ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40*	231	394	—

注記*：周囲環境温度が 50°C 以下の場合は，耐震計算上は 50°C とする。

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

中央制御室排風機の動的機能維持評価は、添付書類「VI-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行う。

中央制御室排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「VI-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 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ファン	遠心直動型ファン	水平方向	2.6
		鉛直方向	1.0
原動機	横形ころがり軸受電動機	水平方向	4.7
		鉛直方向	1.0

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室排風機の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

中央制御室排風機の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び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。

【中央制御室排風機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s		排風機振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
中央制御室排風機	S	制御建屋 O.P. 1.50*1	[Redacted]		C _H =0.77	C _V =0.42	C _H =1.35	C _V =0.79	[Redacted]	—	40*2

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 周囲環境温度が 50°C 以下の場合は、耐震計算上は 50°C とする。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)	[Redacted]						6	3
原動機取付ボルト (i=2)	[Redacted]						4	2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	241*2 (径≤16mm)	394*2	241	276	軸	軸	—
原動機取付ボルト (i=2)	231*2 (16mm<径≤40mm)	394*2	231	276	軸	軸	—

H _p (μm)	N (rpm)
[Redacted]	[Redacted]

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 : 周囲環境温度が 50°C 以下の場合は、耐震計算上は 50°C とする。

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)
[Redacted]			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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 ($i=2$)				

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト ($i=1$)	SS400	引張り	$\sigma_{b1}=7$	$f_{ts1}=180^*$	$\sigma_{b1}=16$	$f_{ts1}=207^*$
		せん断	$\tau_{b1}=5$	$f_{sb1}=139$	$\tau_{b1}=8$	$f_{sb1}=159$
原動機取付ボルト ($i=2$)	SS400	引張り	$\sigma_{b2}=16$	$f_{ts2}=173^*$	$\sigma_{b2}=24$	$f_{ts2}=207^*$
		せん断	$\tau_{b2}=5$	$f_{sb2}=133$	$\tau_{b2}=8$	$f_{sb2}=159$

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

1.4.3 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.13	2.6
	鉛直方向	0.66	1.0
原動機	水平方向	1.13	4.7
	鉛直方向	0.66	1.0

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

【中央制御室排風機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		排風機振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
中央制御室排風機	常設耐震/防止 常設/緩和	制御建屋 0. P. 1. 50*1	[Redacted]		—	—	C _H =1.35	C _V =0.79	[Redacted]	—	40*2

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 周囲環境温度が 50°C 以下の場合、耐震計算上は 50°C とする。

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)	[Redacted]						6	3
原動機取付ボルト (i=2)	[Redacted]						4	2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	241*2 (径 ≤ 16mm)	394*2	—	276	—	軸	—
原動機取付ボルト (i=2)	231*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	394*2	—	276	—	軸	—

H _p (μm)	N (rpm)
[Redacted]	[Redacted]

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 : 周囲環境温度が 50°C 以下の場合、耐震計算上は 50°C とする。

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)
[Redacted]			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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=2)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

2.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=16$	$f_{ts1}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=8$	$f_{sb1}=159$
原動機取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=24$	$f_{ts2}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=8$	$f_{sb2}=159$

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

2.4.3 動的機能の評価結果

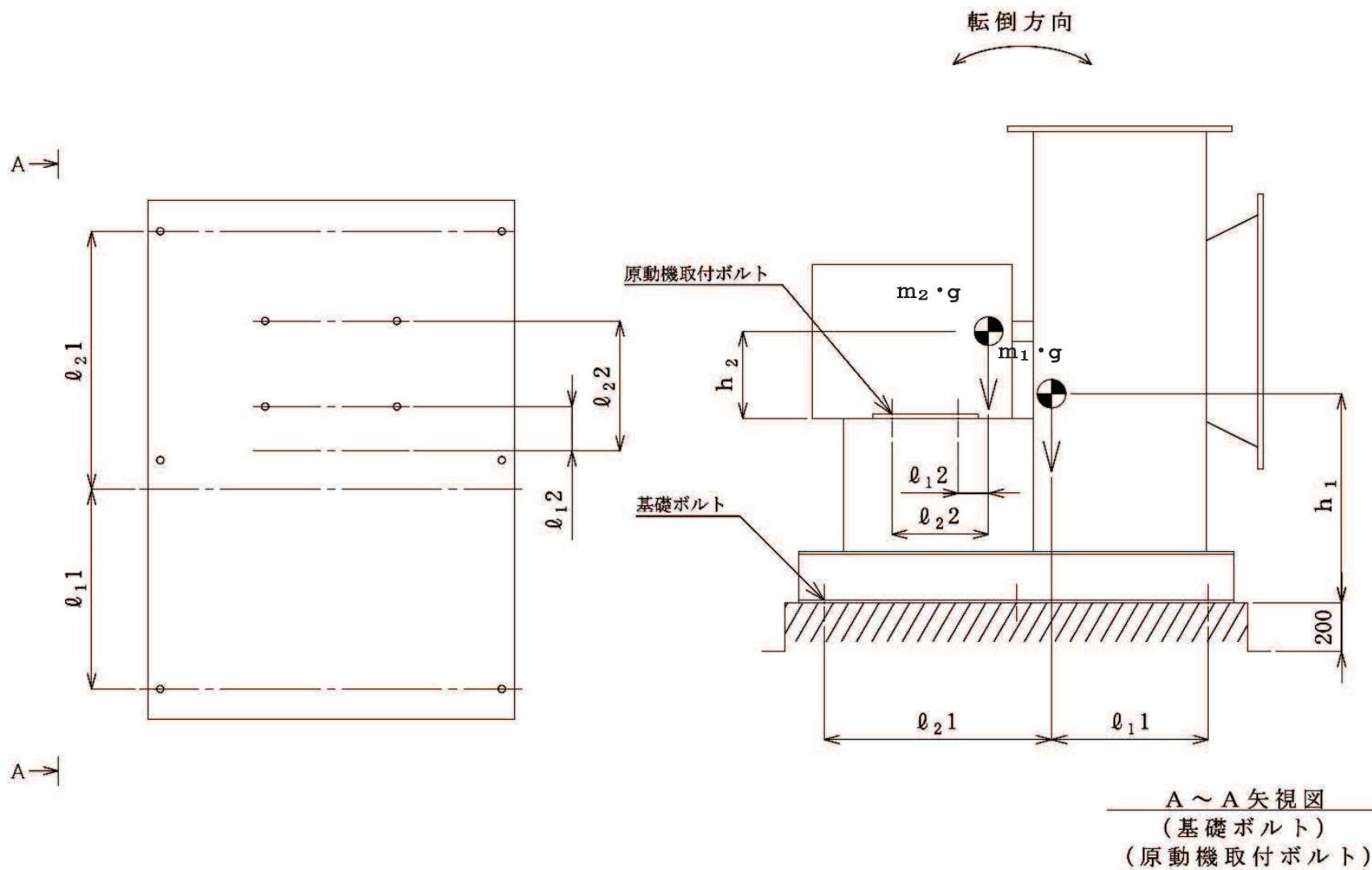
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.13	2.6
	鉛直方向	0.66	1.0
原動機	水平方向	1.13	4.7
	鉛直方向	0.66	1.0

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



VI-2-8-3-1-5 中央制御室再循環フィルタ装置の耐震性
についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	8
4.1 固有周期の計算方法	8
4.2 固有周期の計算条件	9
4.3 固有周期の計算結果	9
5. 構造強度評価	10
5.1 構造強度評価方法	10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
5.2.2 許容応力	10
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	10
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	15
5.4.1 応力の計算方法	15
5.5 計算条件	19
5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件	19
5.6 応力の評価	19
5.6.1 ボルトの応力評価	19
6. 評価結果	20
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	20
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	20

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-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、中央制御室再循環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。

中央制御室再循環フィルタ装置は、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

中央制御室再循環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	
中央制御室再循環フ ィルタ装置は基礎ボ ルトで基礎に据え付 ける。	高性能エアフ ィルタ及びチ ャコールエア フィルタ(形鋼 骨組及び鋼板 外板による溶 接構造)	<p>(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

中央制御室再循環フィルタ装置の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す中央制御室再循環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。

中央制御室再循環フィルタ装置の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

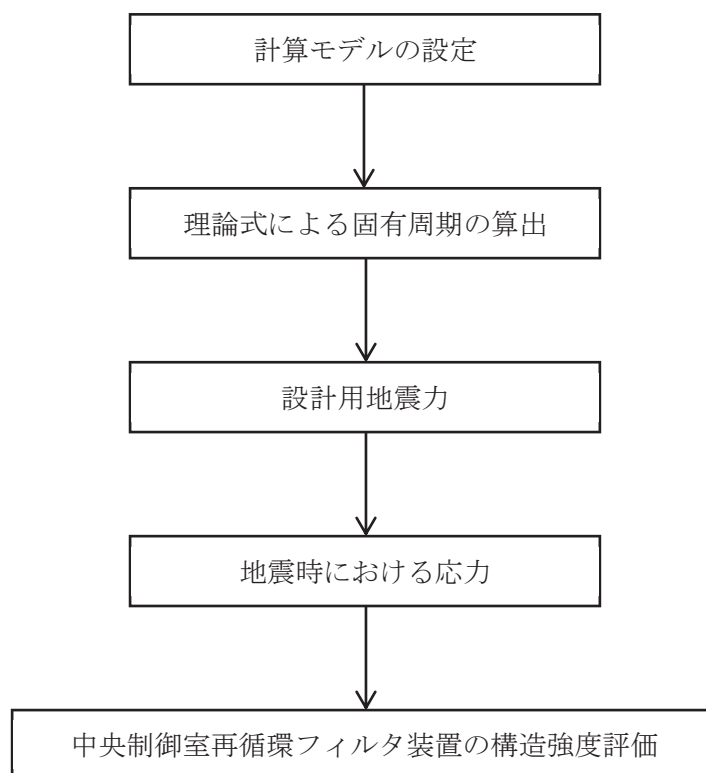


図 2-1 中央制御室再循環フィルタ装置の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（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_e	有効せん断断面積	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-3121.1(1)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	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
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
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	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* : $l_1 \leq l_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	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
断面二次モーメント	mm ⁴	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1 : 設計上定める値が小数点以下第 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

中央制御室再循環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について実施する。中央制御室再循環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

中央制御室再循環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. 中央制御室再循環フィルタ装置の質量は重心に集中するものとする。
- b. 中央制御室再循環フィルタ装置は基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。
- c. 中央制御室再循環フィルタ装置をはりと考え，変形モードは曲げ及びびせん断変形を考慮する。
- d. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

中央制御室再循環フィルタ装置は，図 4-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

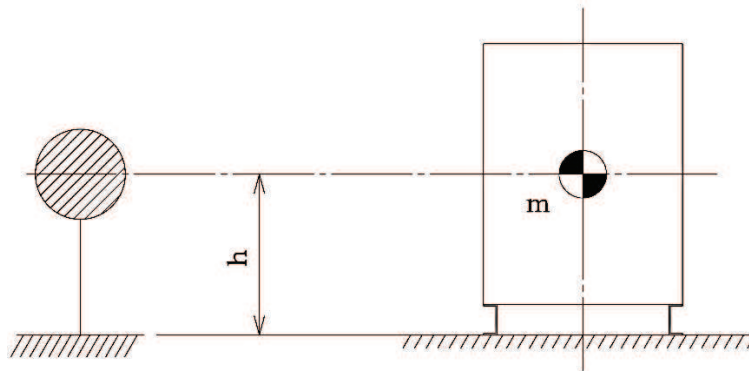


図 4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びびせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

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

したがって，水平方向固有周期 T_H は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_H}} \quad \dots \quad (4.1.2)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_v は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{h}{E \cdot A_e}} \quad * \dots\dots\dots (4.1.3)$$

注記*：断面積には、固有周期が大きく算出される有効せん断断面積 A_e を用いる。

したがって、鉛直方向固有周期 T_v は次式で求める。

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_v}} \quad \dots\dots\dots (4.1.4)$$

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【中央制御室再循環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 4-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平方向			
鉛直方向			

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1 項 a. ～d. のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は中央制御室再循環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。
- (2) 転倒方向は図 5-1 及び図 5-2 における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

5.2 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

中央制御室再循環フィルタ装置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

中央制御室再循環フィルタ装置の許容応力は、添付書類「VI-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

中央制御室再循環フィルタ装置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	中央制御室再循環 フィルタ装置	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^*$	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。

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	中央制御室再循環 フィルタ装置	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 _{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
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 5-4 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40*	231	394	—

注記*：周囲環境温度が 50°C 以下の場合は，耐震計算上は 50°C とする。

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 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40*	231	394	—

注記*：周囲環境温度が 50°C 以下の場合は，耐震計算上は 50°C とする。

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

「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「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 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
制御建屋 0. P. 1. 50*			C _H =0.77	C _V =0.42	C _H =1.35	C _V =0.79

注記*：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
制御建屋 0. P. 1. 50*			—	—	C _H =1.35	C _V =0.79

注記*：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

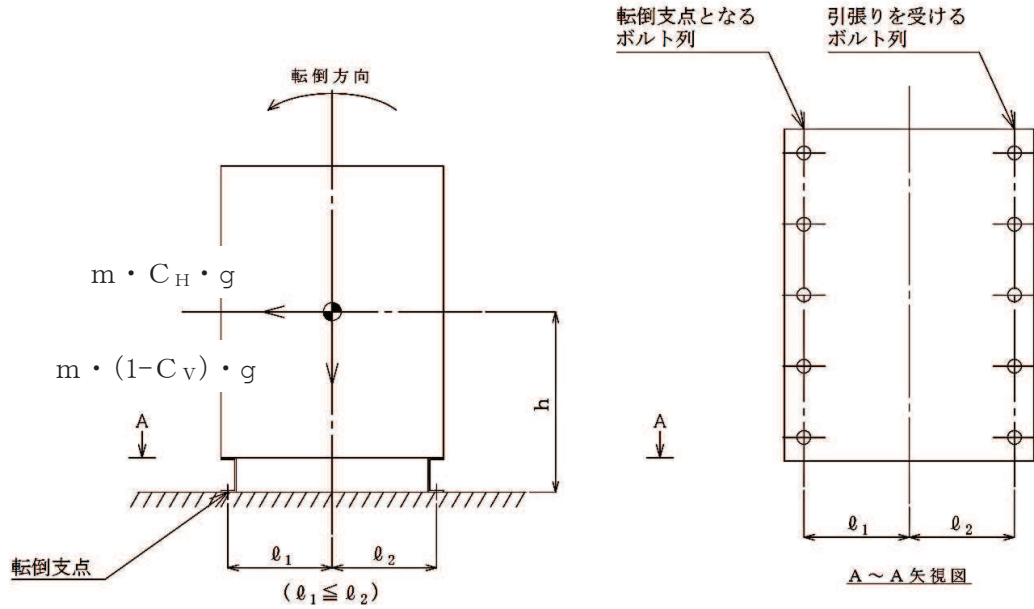


図 5-1(1) 計算モデル
(短辺方向転倒-1 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

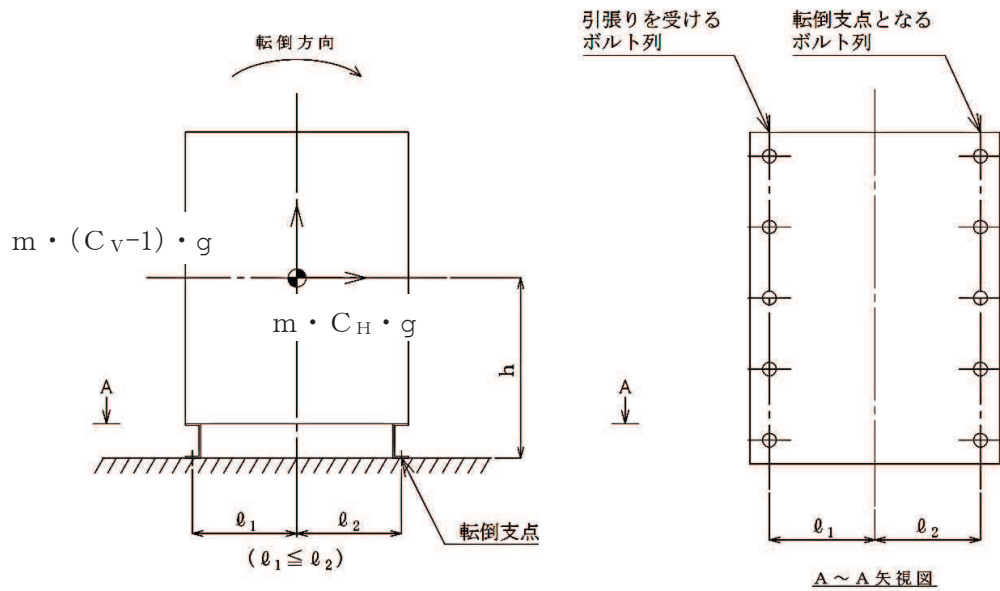


図 5-1(2) 計算モデル
(短辺方向転倒-2 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

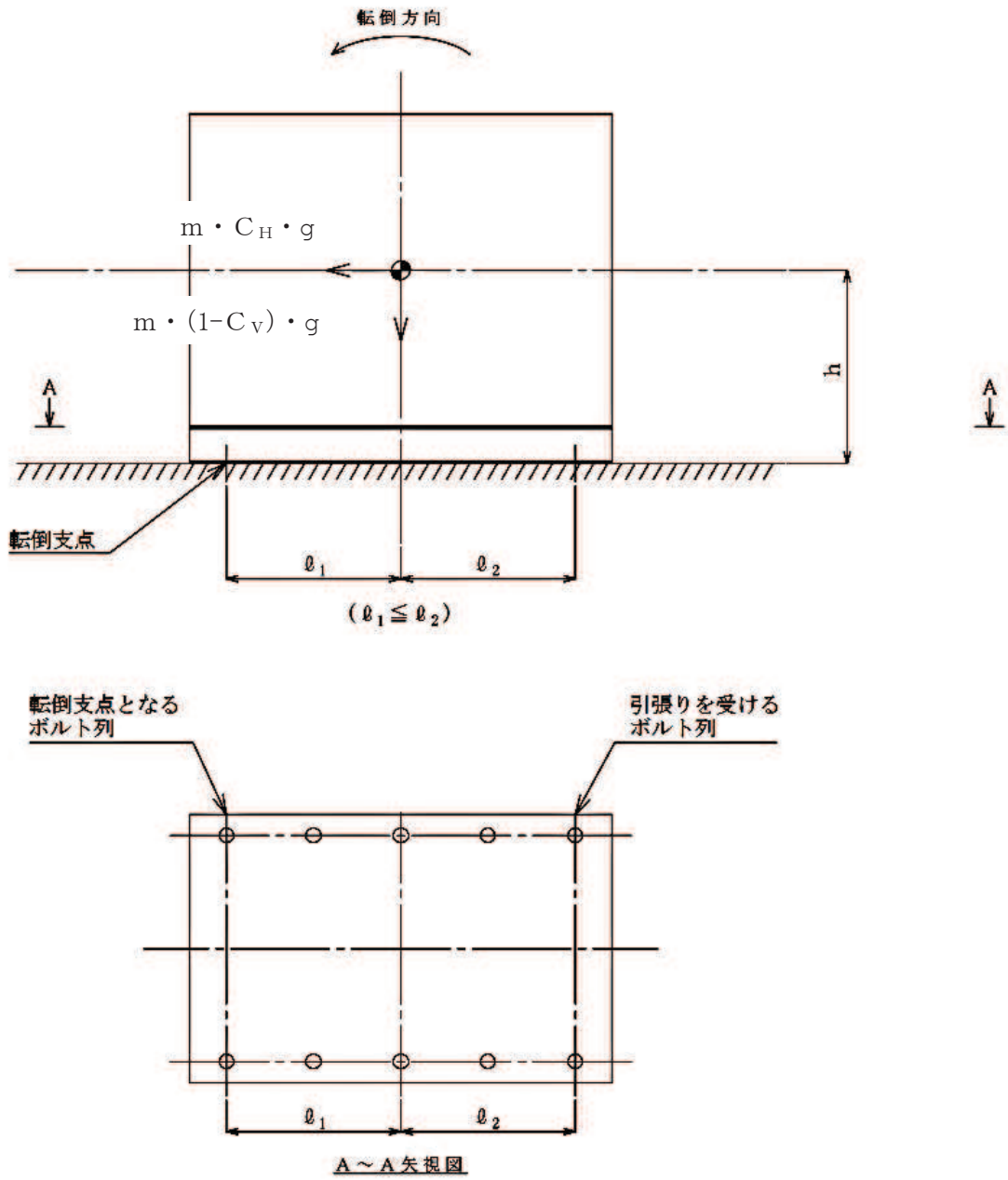


図 5-2(1) 計算モデル
(長辺方向転倒-1 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

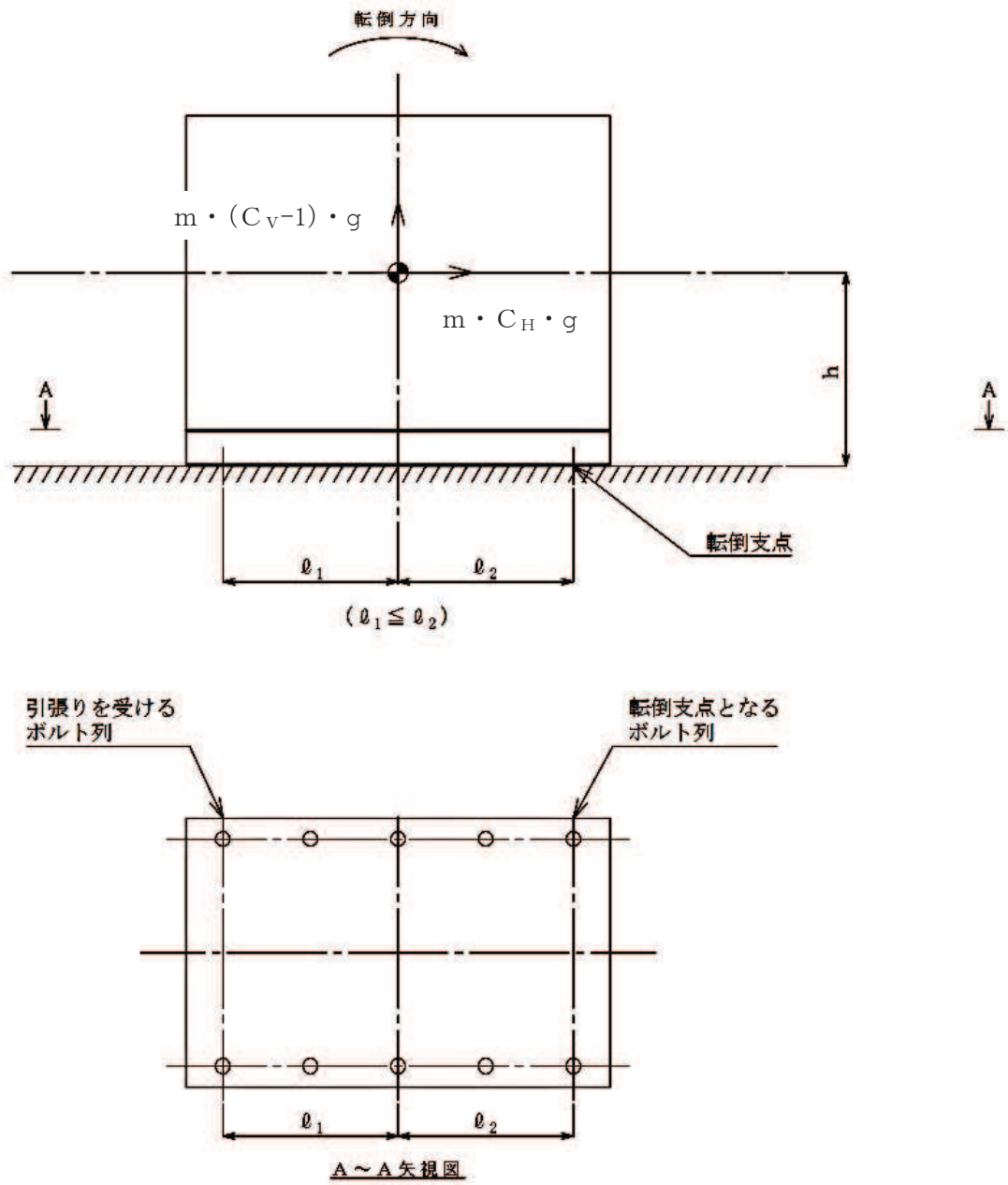


図 5-2(2) 計算モデル
 (長辺方向転倒-2 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-1 及び図 5-2 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

a. 引張力

計算モデル図 5-1(1) 及び図 5-2(1) の場合の引張力 $((1-C_V) \geq 0$ の場合)

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

計算モデル図 5-1(2) 及び図 5-2(2) の場合の引張力 $((1-C_V) < 0$ の場合)

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_V) \cdot m \cdot g \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

b. 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

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

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

a. せん断力

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【中央制御室再循環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_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

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

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

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

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室再循環フィルタ装置の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

中央制御室再循環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。

【中央制御室再循環フィルタ装置の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的 震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
中央制御室再循環 フィルタ装置	S	制御建屋 0. P. 1. 50*1			C _H =0.77	C _V =0.42	C _H =1.35	C _V =0.79	—	40*2

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：周囲環境温度が50°C以下の場合、耐震計算上は50°Cとする。

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	ℓ ₁ *1 (mm)	ℓ ₂ *1 (mm)	n	n _f *1
基礎ボルト						10	5 2

部材	A _b (mm ²)	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		231*2 (16mm<径≤40mm)	394*2	231	276	短辺	短辺

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)

注記*1：ボルトにおける上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度が50°C以下の場合、耐震計算上は50°Cとする。

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 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 3$	$f_{ts} = 173^*$	$\sigma_b = 27$	$f_{ts} = 207^*$
		せん断	$\tau_b = 22$	$f_{sb} = 133$	$\tau_b = 38$	$f_{sb} = 159$

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

【中央制御室再循環フィルタ装置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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
中央制御室再循環 フィルタ装置	常設耐震/防止 常設/緩和	制御建屋 O.P. 1.50*1			—	—	C _H =1.35	C _V =0.79	—	40*2

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：周囲環境温度が50°C以下の場合は、耐震計算上は50°Cとする。

2.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	ℓ ₁ *1 (mm)	ℓ ₂ *1 (mm)	n	n _f *1
基礎ボルト						10	5 2

部材	A _b (mm ²)	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		231*2 (16mm<径≤40mm)	394*2	—	276	—	短辺

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)

注記*1：ボルトにおける上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度が50°C以下の場合は、耐震計算上は50°Cとする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

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

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

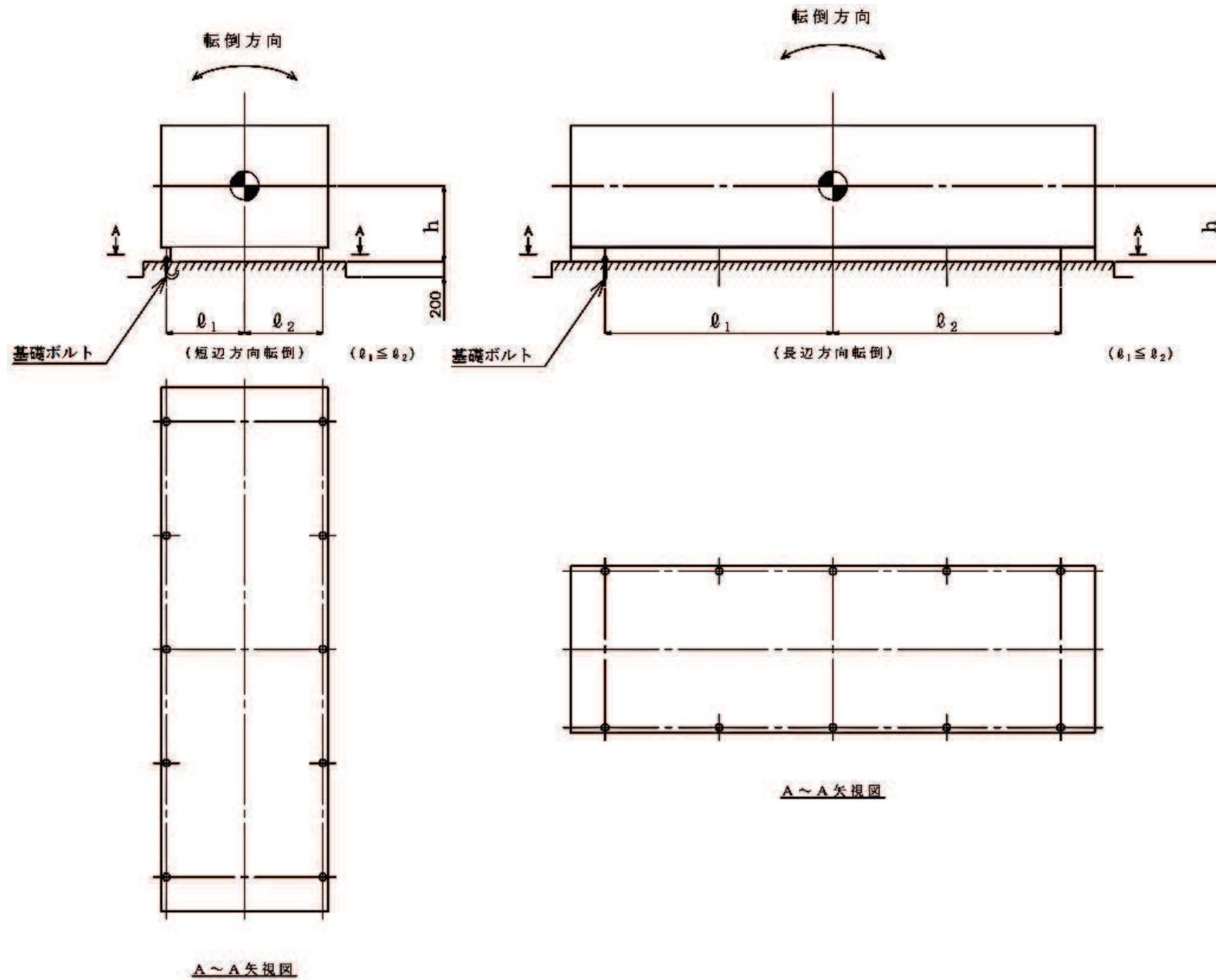
2.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 27$	$f_{ts} = 207^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 38$	$f_{sb} = 159$

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



VI-2-8-3-2 緊急時対策所換気空調系の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-8-3-2-1 緊急時対策所換気空調系ダクトの耐震性についての計算書
- VI-2-8-3-2-2 管の耐震性についての計算書（緊急時対策所換気空調系）
- VI-2-8-3-2-3 緊急時対策所非常用送風機の耐震性についての計算書
- VI-2-8-3-2-4 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

VI-2-8-3-2-1 緊急時対策所換気空調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 適用規格・基準等	5
2.4 記号の説明	6
2.4.1 矩形ダクトの記号の説明	6
2.4.2 支持構造物の記号の説明	7
2.5 計算精度と数値の丸め方	8
3. 評価部位	8
4. 固有振動数	9
4.1 固有振動数の計算方法	9
5. 構造強度評価	10
5.1 構造強度評価方法	10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
5.2.2 許容限界	11
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
5.3 設計用地震力	15
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
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「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」及び「IV-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、緊急時対策所換気空調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。

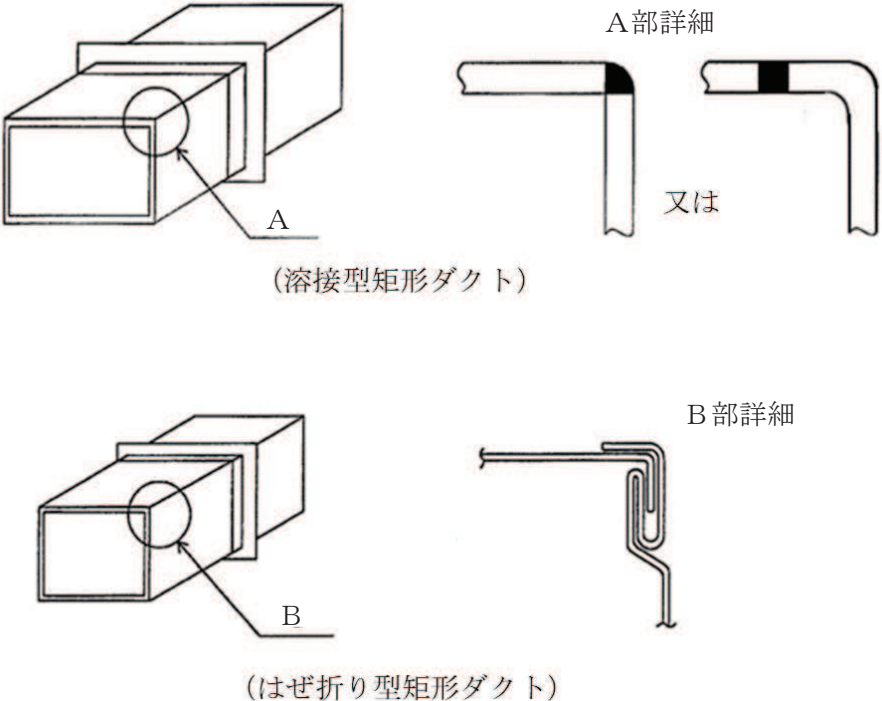
緊急時対策所換気空調系ダクトは、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

緊急時対策所換気空調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。	矩形ダクト	 <p>(溶接型矩形ダクト)</p> <p>(はぜ折り型矩形ダクト)</p>

2.2 評価方針

緊急時対策所換気空調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 (20Hz 以上) となるよう算定する手法を用いて支持間隔を決定する。支持点間隔算出手順を図 2-1 に示す。こうして定められた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、分岐部、重量物の取付部、伸縮継手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) 曲管部及び分岐部

曲管部及び分岐部は、図 2-1 で求まる支持間隔に縮小率を乗じた支持間隔を用いて支持点を設計する。

(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。

(4) 伸縮継手部

ダクトに伸縮継手がある場合は、双方接続部の近傍を支持するものとする。

(5) ダクトの支持構造物は、原則として建屋の壁、天井等に埋め込まれた埋込金物より支持するものとする。

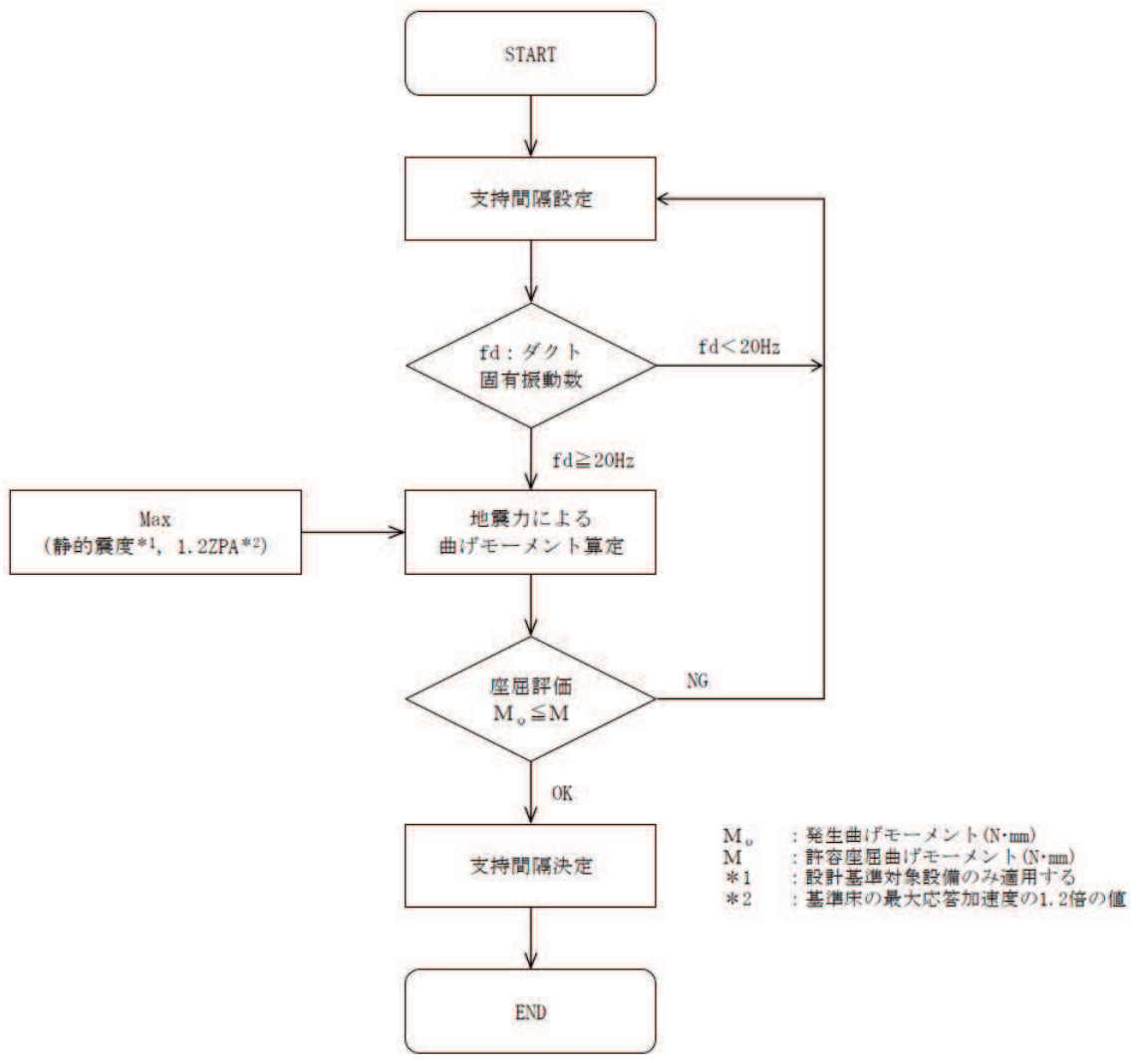


図 2-1 ダクト支持点間隔算出手順

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

2.4.1 矩形ダクトの記号の説明

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	MPa
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 <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 500px; margin-top: 5px;"></div>	—
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
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	許容座屈曲げモーメントの安全係数 (= <input style="width: 20px; height: 15px;" type="text"/>)	—
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	MPa
γ	座屈限界曲げモーメントの安全係数 (= <input style="width: 20px; height: 15px;" type="text"/>) *	—

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係数を用いる。

2.4.2 支持構造物の記号の説明

記号	記号の説明	単位
f_t	許容引張応力	MPa
f_s	許容せん断応力	MPa
f_b	許容曲げ応力	MPa
σ_t	引張（圧縮）応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
τ	せん断応力	MPa
σ	組合せ応力	MPa
A	引張（圧縮）応力計算に用いる断面積	mm ²
A_s	せん断応力計算に用いる断面積	mm ²
Z	曲げ応力計算に用いる断面係数	mm ³
N	引張（圧縮）方向荷重	N
Q	せん断方向荷重	N
M_0	曲げモーメント	N・mm

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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
支持間隔	mm	十の位	切捨て	整数位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
発生応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1 : 設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2 : 絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

3. 評価部位

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ばりにモデル化する。

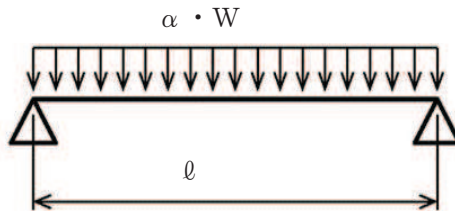


図 4-1 両端単純支持ばり

(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、

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

(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(S60～S61)」

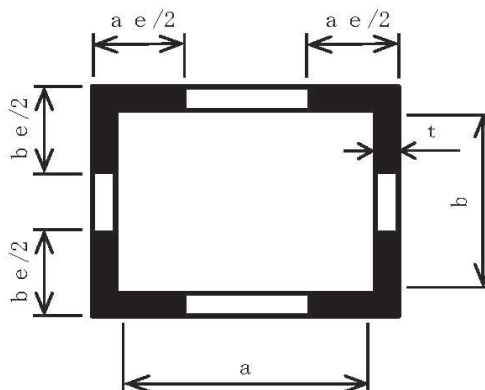


図 4-2 矩形ダクトの断面図

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。

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

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。

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

(5.1)、(5.2) 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。

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

ここで、

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

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

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

(5.2)～(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(S60～S61)」

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 許容限界

ダクトの許容限界を表 5-2 に、支持構造物の許容応力を表 5-3 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ダクト及び支持構造物の許容応力のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-4 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 換気空調系 主配管	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 管	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。)

注記*1 : 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

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

表 5-2 許容限界（重大事故等クラス 2 管（クラス 4 管））

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

表5-3 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）*3

許容応力状態	許容限界*1 (ボルト等以外)			
	一次応力			
	引張	せん断	曲げ	組合せ*2
IV _A S	1.5・f _t * 1.5・f _s *	1.5・f _s *	1.5・f _b *	1.5・f _t *
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：組合せ応力の許容応力は、設計・建設規格に基づく値とする。

3：f_t、f_s*、f_b*は、f_t、f_s、f_bの値を算出する際に設計・建設規格 SSB-3121.1(1)本文中「付録材料図表 Part5 表 8 に定める値」とあるのを「付録材料図表 Part5 表 8 に定める値の 1.2 倍の値」と読み替えて計算した値とする。

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S [*] (MPa)	S _y (MPa)	S _u [*] (MPa)	S _y (RT) [*] (MPa)
		ダクト		最高使用温度	40	—	
支持架構	SS400	最高使用温度	40	—	245	400	—
	STKR400	最高使用温度	40	—	245	400	—

注記*：評価に使用していない許容応力については「—」と記載する。

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-5 に示す。

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「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

表 5-5 設計用地震力（重大事故等対処設備）

建物・構築物	据付場所及び 床面高さ (m)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
緊急時対策建屋	0. P. 57. 30* (0. P. 62. 20)	—	—	1. 68	1. 12

注記*：基準床レベルを示す。

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

緊急時対策所換気空調系ダクトの耐震支持間隔は、「2.2 評価方針」に示す手法から定めており、重大事故等対処設備としての支持間隔を表 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 緊急時対策所換気空調系ダクトの耐震支持間隔
(重大事故等対処設備としての評価結果)

ダクト種別*	ダクト		板厚 (mm)	支持間隔 ($f_d \geq 20\text{Hz}$) (mm)	発生曲げ モーメント M_0 (N・mm)	許容座屈曲げ モーメント M (N・mm)
	長辺 (mm)	短辺 (mm)				
<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> はぜ折りダクト <div style="border: 1px solid black; width: 50px; height: 15px; margin: 0 auto;"></div>	150	150	3200			
	200	200	3600			
	300	300	4300			
	350	350	4600			
	400	200	3300			
<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> 溶接ダクト <div style="border: 1px solid black; width: 50px; height: 15px; margin: 0 auto;"></div>	150	150	3900			
	350	350	5300			

注記* : 全て保温有りとして算出。

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、形鋼及び角形鋼管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7-3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、型式（R 2，R 3）毎に分類し、そのうち型式毎に最大の発生応力とな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「SAP-IV」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「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

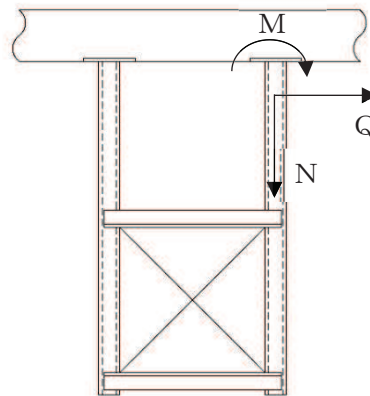
また、支持構造物の強度計算式を以下に示す。

なお、以下に示す計算式は代表的な形状に対するものであり、記載のない形状についても同様の計算式で計算できる。

$$\sigma_t = N/A$$

$$\tau = Q/A_s$$

$$\sigma_b = M_0/Z$$



したがって、

$$1.5 \cdot f_t^* \geq \sigma = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

表 7-1 ダクト支持構造物の耐震性確認結果

構造物	型式*	許容応力 状態	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
支持架構	R 2	IV _{AS}	組合せ	40	280
	R 3	IV _{AS}	組合せ	57	280

注記* : 「R 2」はダクト軸直角の2方向を拘束するもの, 「R 3」はダクト軸方向及び軸直角方向の3方向を拘束するものを示す。

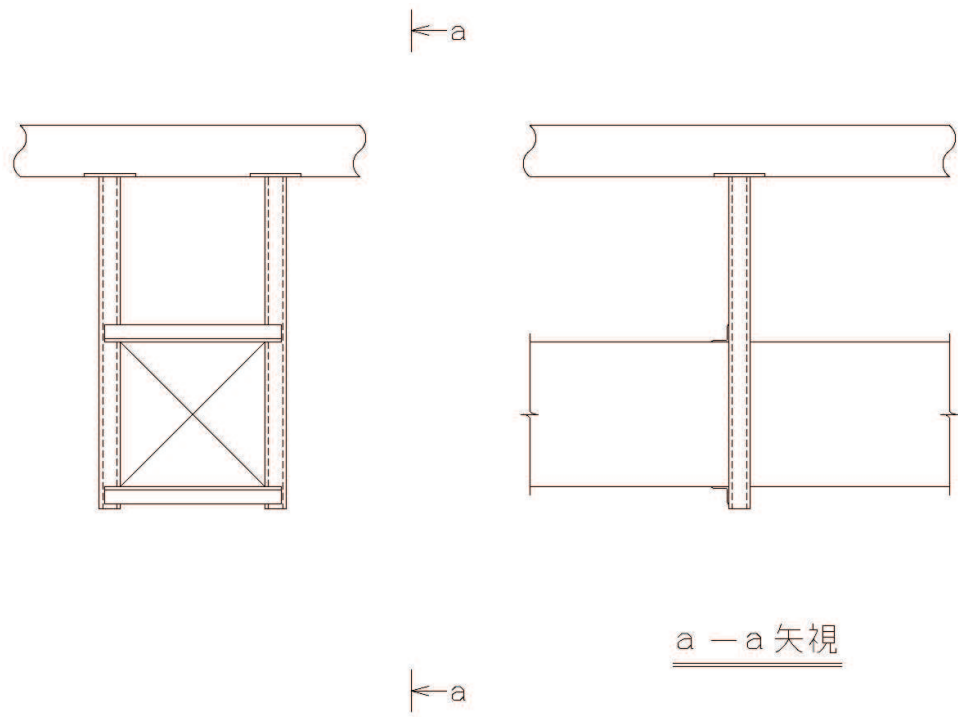


図7-1 2方向（軸直角方向）拘束の代表例

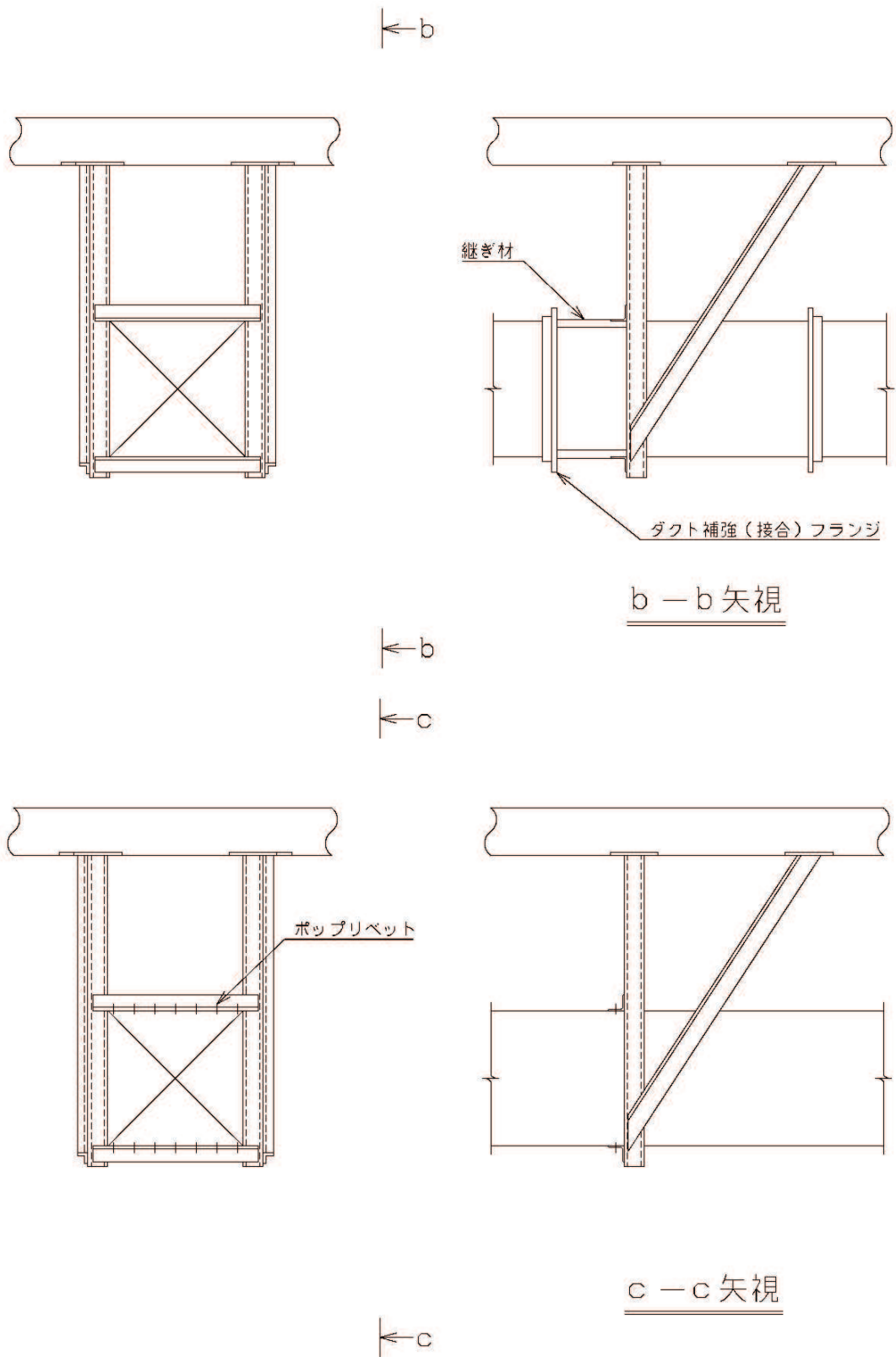


図 7-2 3 方向 (軸方向及び軸直角方向) 拘束の代表例

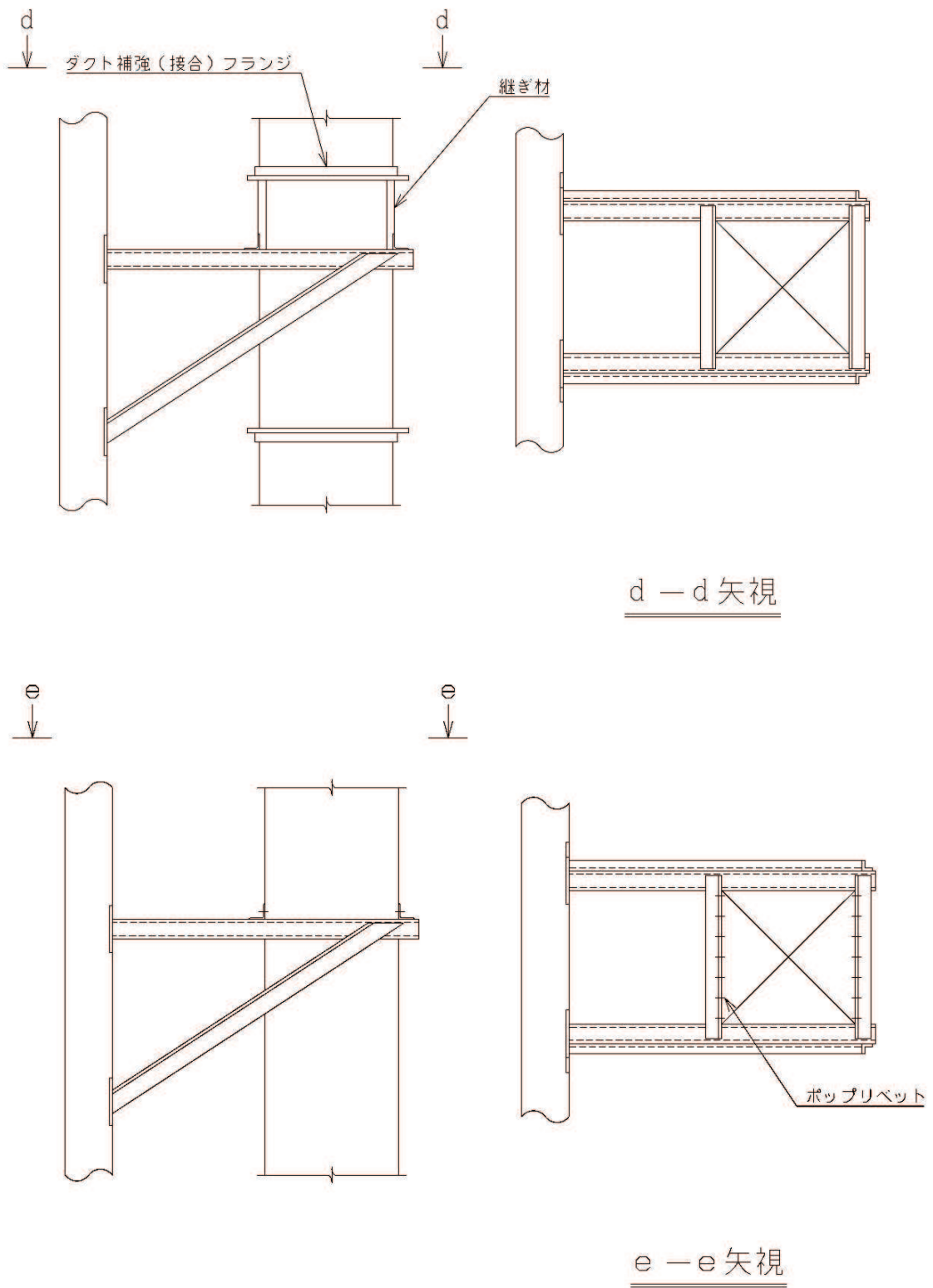


図 7-3 垂直ダクトの支持の代表例

VI-2-8-3-2-2 管の耐震性についての計算書（緊急時対策所換気空調系）

重大事故等対処設備

目次

1.	概要	1
2.	概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1	概略系統図	2
2.2	鳥瞰図	4
3.	計算条件	13
3.1	計算方法	13
3.2	荷重の組合せ及び許容応力状態	14
3.3	設計条件	15
3.4	材料及び許容応力評価条件	24
3.5	設計用地震力	25
4.	解析結果及び評価	27
4.1	固有周期及び設計震度	27
4.2	評価結果	33
4.2.1	管の応力評価結果	33
4.2.2	支持構造物評価結果	35
4.2.3	弁の動的機能維持評価結果	36
4.2.4	代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	37

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、緊急時対策所換気空調系の管、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及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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13モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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

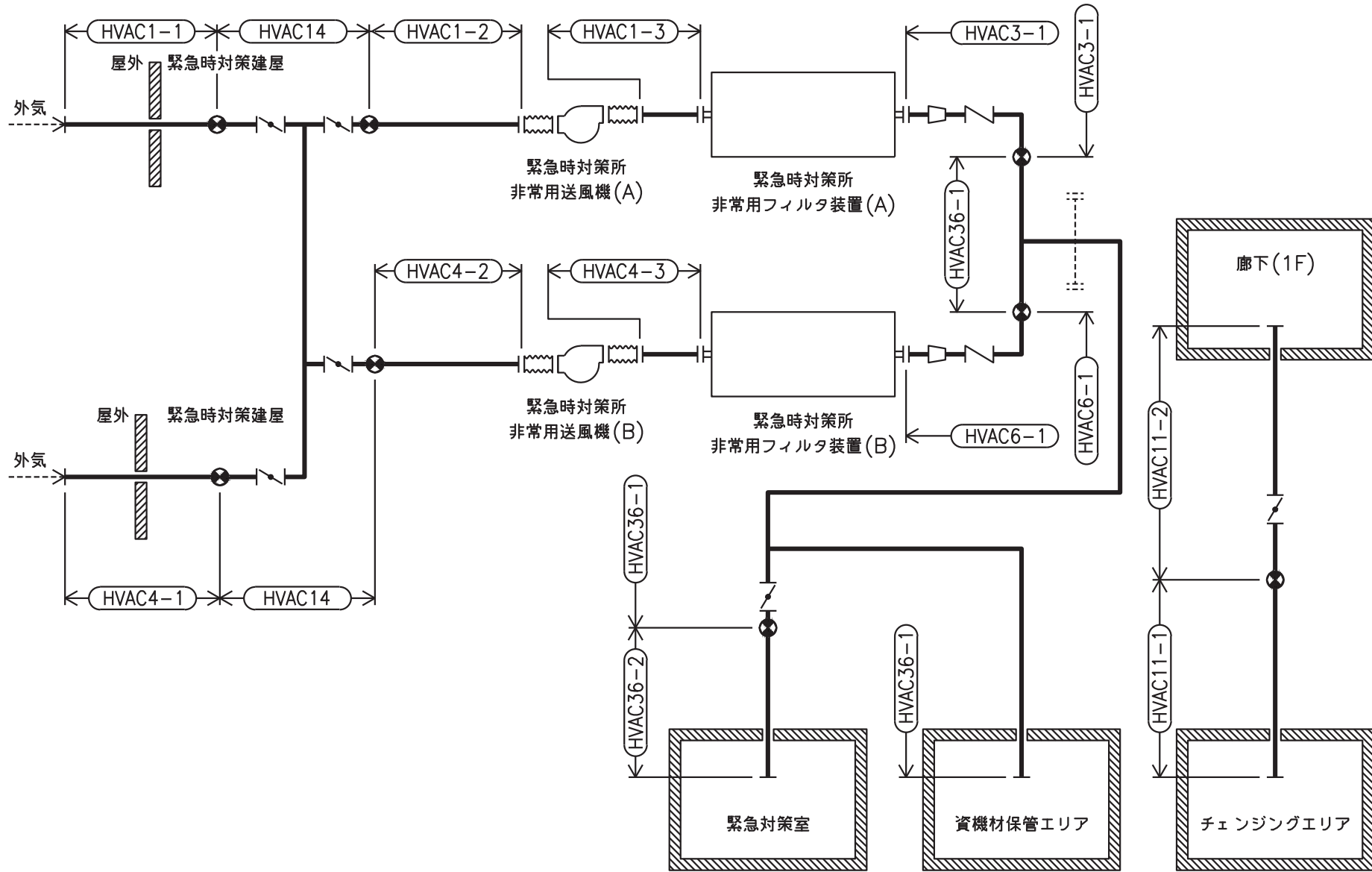
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

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


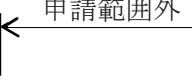


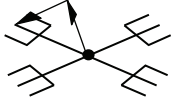
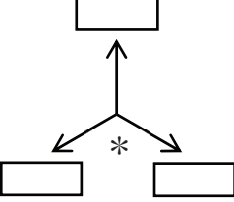
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



緊急時対策所換気空調系概略系統図(その1)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>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, <input type="text"/> 内に変位量を記載する。)</p>

鳥瞰図 HVAC3-1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

9

鳥瞰図 HVAC14(1/7)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HVAC14(2/7)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HVAC14(3/7)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6

鳥瞰図 HVAC14(4/7)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HVAC14(5/7)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HVAC14(6/7)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HVAC14(7/7)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「SOLVER」及び「NX NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	緊急時対策所 換気空調系	SA	常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_s$	V_{AS}

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA は重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設／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は荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態 V_{AS} は許容応力状態 IV_{AS} の許容限界を使用し，許容応力状態 IV_{AS} として評価を実施する。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 H V A C 3 - 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.005	40	318.5	10.3	STS410	—	201670
2	0.005	40	267.4	9.3	STS410	—	201670

設計条件

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 H V A C 3 - 1

管名称	対応する評価点									
1	1	2	3							
2	3	4	5	6	8	9				

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 HVAC 3-1

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		3		5	
2		4		9	

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
6	
7	
8	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁 1	7			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HVAC 3-1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
9						

設計条件

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

鳥 瞰 図 H V A C 1 4

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.005	40	267.4	9.3	STS410	—	201670

設計条件

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 H V A C 1 4

管名称	対応する評価点													
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
	28	29	30	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	
	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	
	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	
	81	82	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	
	95	96	97	98	99	101	102							

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 HVAC14

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		22		43		61		79	
2		23		44		62		80	
3		24		45		63		81	
4		25		46		64		82	
5		26		47		65		86	
6		27		48		66		87	
7		28		49		67		88	
8		29		50		68		89	
9		33		51		69		90	
10		34		52		70		91	
14		35		53		71		92	
15		36		54		72		93	
16		37		55		73		94	
17		38		56		74		95	
18		39		57		75		96	
19		40		58		76		97	
20		41		59		77		98	
21		42		60		78		102	

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

弁 2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
11		83	
12		84	
13		85	
103		107	
104		108	
106		110	

弁 3

弁 4

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
30		99	
31		100	
32		101	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁 1	12			
弁 2	84			
弁 3	31			
弁 4	100			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HVAC14

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
4						
7						
14						
19						
25						
33						
35						
40						
42						
47						
49						
51						
53						
58						
61						
64						
66						
71						
73						
75						
80						
86						
89						
92						
94						
96						
102						
105						
109						

O 2 ⑥ VI-2-8-3-2-2 (重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
STS410	40	—	245	410	—

3.5 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計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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「VI-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	建屋・構築物	標高 (O. P. (m))	減衰定数 (%)
HVAC 3-1	緊急時対策建屋		

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計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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「VI-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	建屋・構築物	標高 (O. P. (m))	減衰定数 (%)
HVAC 1 4	緊急時対策建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HVAC 3-1

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向	
1 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

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

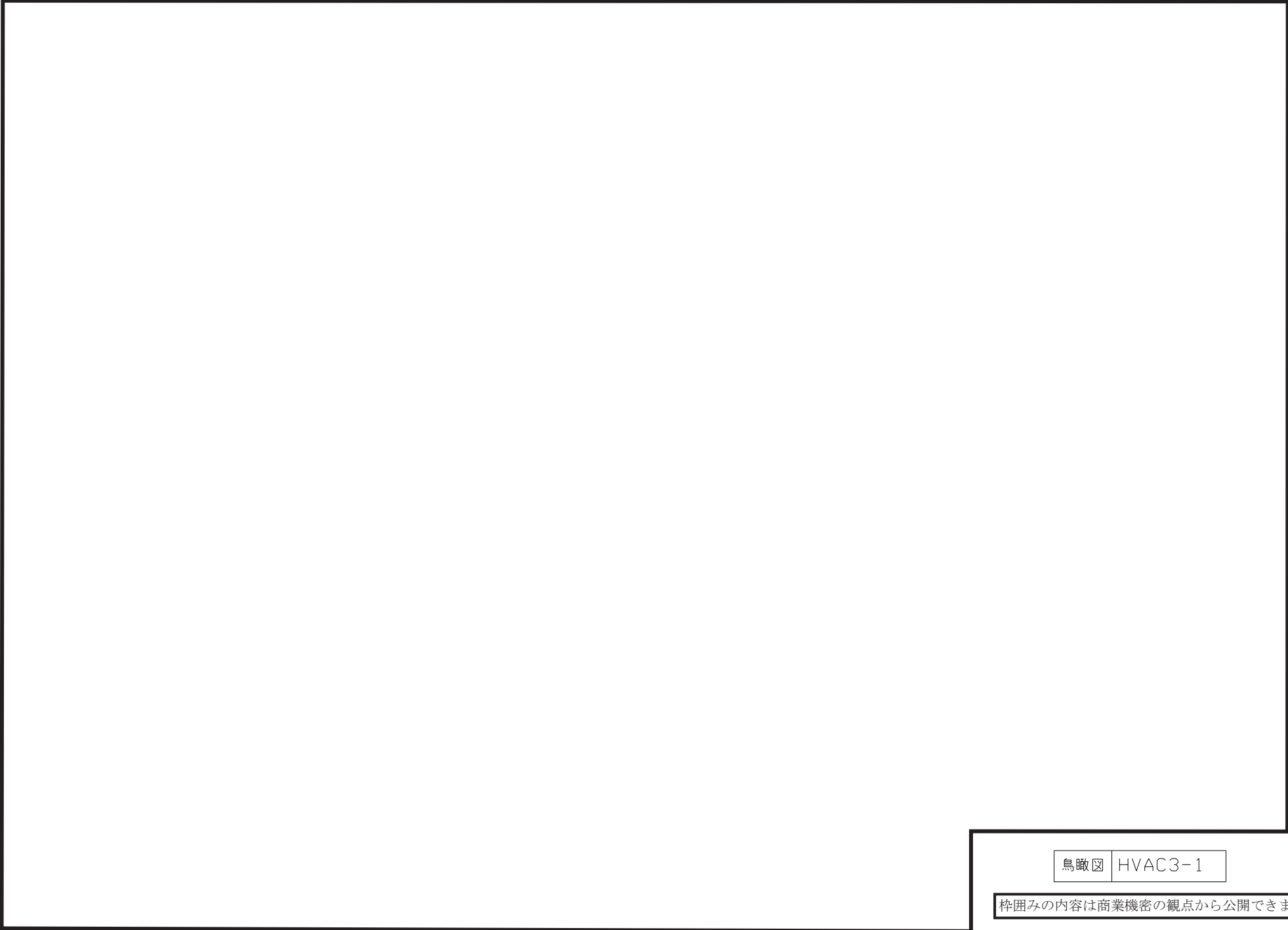
*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4：3.6C_I及び1.2C_Vより定めた震度を示す。

代表的振動モード図

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



鳥瞰図 HVAC3-1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HVAC14

適用する地震動等		S _d 及び静的震度			S _s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向	
1次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

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

*2：固有周期が0.050 s以下であることを示す。

*3：S_d又はS_s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4：3.6C_I及び1.2C_Vより定めた震度を示す。

代表的振動モード図

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

鳥瞰図 HVAC14

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr m} (S_s)$	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 $U S_s$
HVAC 3-1	$V_A S$	1	$S_{pr m} (S_s)$	22	369	—	—	—
	$V_A S$	1	$S_n (S_s)$	—	—	84	490	—

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 S p r m (S s)	許容応力 0.9S u	計算応力 S n (S s)	許容応力 2S y	疲労累積係数 U S s
HVAC14	V _A S	33	S p r m (S s)	32	369	—	—	—
	V _A S	33	S n (S s)	—	—	60	490	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°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 (°C)	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			
K11003-404	レストレイント	ラグ	SM400B	50	11	6	20	—	—	—	組合せ	106	121
K11003-402	アンカ	ラグ	SM400B	50	27	21	27	20	5	20	組合せ	117	422

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	

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、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管）

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	HVAC1-1	6	21	369	17.57	—	6	32	490	15.31	—	—	—	—
2	HVAC1-2	2	10	369	36.90	—	2	14	490	35.00	—	—	—	—
3	HVAC1-3	4	4	369	92.25	—	4	6	490	81.66	—	—	—	—
4	HVAC3-1	1	22	369	16.77	—	1	84	490	5.83	○*	—	—	—
5	HVAC4-1	6	21	369	17.57	—	6	32	490	15.31	—	—	—	—
6	HVAC4-2	1	7	369	52.71	—	1	10	490	49.00	—	—	—	—
7	HVAC4-3	4	4	369	92.25	—	4	6	490	81.66	—	—	—	—
8	HVAC6-1	1	22	369	16.77	—	1	84	490	5.83	—*	—	—	—

* : HVAC3-1とHVAC6-1は同一構造であり、設置建屋及び標高も同じ解析モデルのため、同じ評価結果である。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 (重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

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
9	HVAC11-1	1	6	369	61.50	—	1	12	490	40.83	—	—	—	—
10	HVAC11-2	1	14	369	26.35	—	1	40	490	12.25	—	—	—	—
11	HVAC14	33	32	369	11.53	○	33	60	490	8.16	—	—	—	—
12	HVAC36-1	80	24	369	15.37	—	6	43	490	11.39	—	—	—	—
13	HVAC36-2	1	12	369	30.75	—	1	6	490	81.66	—	—	—	—

VI-2-8-3-2-3 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. 固有周期	3
3.1 記号の説明	3
3.2 固有周期の計算方法	3
3.3 固有周期の計算条件	4
3.4 固有周期の計算結果	4
4. 構造強度評価	5
4.1 構造強度評価方法	5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
4.2.2 許容応力	5
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	5
4.3 計算条件	5
5. 機能維持評価	9
5.1 動的機能維持評価方法	9
6. 評価結果	10
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	10

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-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。

なお、緊急時対策所非常用送風機は、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプと類似の構造であるため、添付書類「VI-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」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

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	
<p>原動機は架台に取付 ボルトにより固定さ れ、架台は基礎ボル トで基礎に据え付け る。</p>	<p>遠心式(遠心直動型 ファン)</p>	<p>(単位: mm)</p>

3. 固有周期

3.1 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_e	有効せん断断面積	mm^2
E	縦弾性係数	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
h	据付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
m	運転時質量	kg
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s

3.2 固有周期の計算方法

緊急時対策所非常用送風機の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- 緊急時対策所非常用送風機の質量は重心に集中するものとする。
- 緊急時対策所非常用送風機は基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- 緊急時対策所非常用送風機をはりと考え、変形モードは曲げ及びびせん断変形を考慮する。
- 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

緊急時対策所非常用送風機は、図 3-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

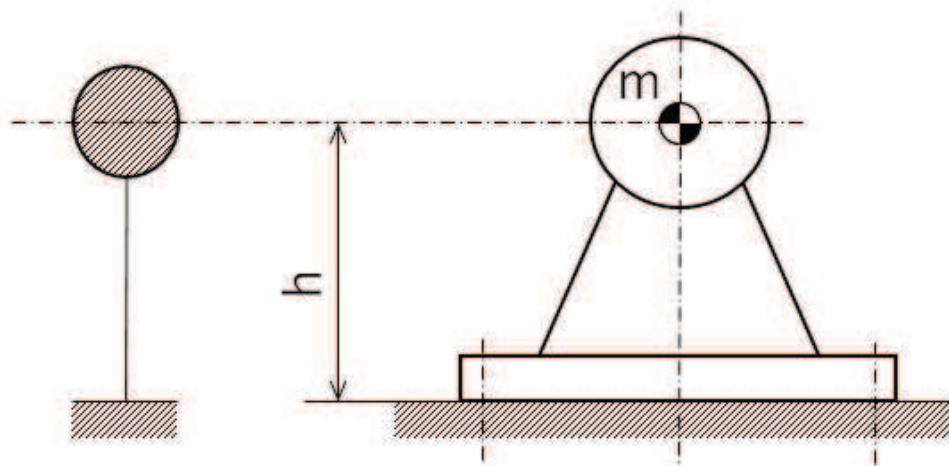


図 3-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h}{G \cdot A_e}} \dots\dots\dots (3.2.1)$$

したがって、固有周期 T_H は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_H}} \dots\dots\dots (3.2.2)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_V は次式で求める。

$$K_V = \frac{1000}{\frac{h}{E \cdot A_e}} * \dots\dots\dots (3.2.3)$$

注記*：断面積には、固有周期が大きく算出される有効せん断断面積 A_e を用いる。

したがって、固有周期 T_V は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_V}} \dots\dots\dots (3.2.4)$$

3.3 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【緊急時対策所非常用送風機の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

3.4 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向			
鉛直方向			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

緊急時対策所非常用送風機の構造強度評価は、添付書類「VI-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行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

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 4-1 に示す。

4.2.2 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「VI-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 4-3 に示す。

4.3 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送風機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。

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 非常用送風機	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。)

注記*1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40*	231	394	—
原動機取付 ボルト	SS400 (40mm<径)	周囲環境温度	40*	211	394	—

注記*：周囲環境温度が 50°C 以下の場合、耐震計算上は 50°C とする。

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

緊急時対策所非常用送風機の動的機能維持評価は、添付書類「VI-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行う。

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「VI-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 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ファン	遠心直動型ファン	水平方向	2.6
		鉛直方向	1.0
原動機	横形ころがり軸受電動機	水平方向	4.7
		鉛直方向	1.0

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送風機の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び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		送風機振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	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	緊急時対策建屋 0. P. 62. 20*1			—	—	C _H =1. 68	C _V =1. 12		—	40*2

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 周囲環境温度が 50°C 以下の場合は、耐震計算上は 50°C とする。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							4	2
原動機取付ボルト (i=2)							4	2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		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	
基礎ボルト (i=1)	231*2 (16mm<径≤40mm)	394*2	—	276	—	軸	—
原動機取付ボルト (i=2)	211*2 (40mm<径)	394*2	—	253	—	軸	—

H _p (μm)	N (rpm)

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 : 周囲環境温度が 50°C 以下の場合は、耐震計算上は 50°C とする。

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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 ($i=2$)	—		—	

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト ($i=1$)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=26$	$f_{ts1}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=12$	$f_{sb1}=159$
原動機取付ボルト ($i=2$)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=8$	$f_{ts2}=190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=146$

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

1.4.3 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

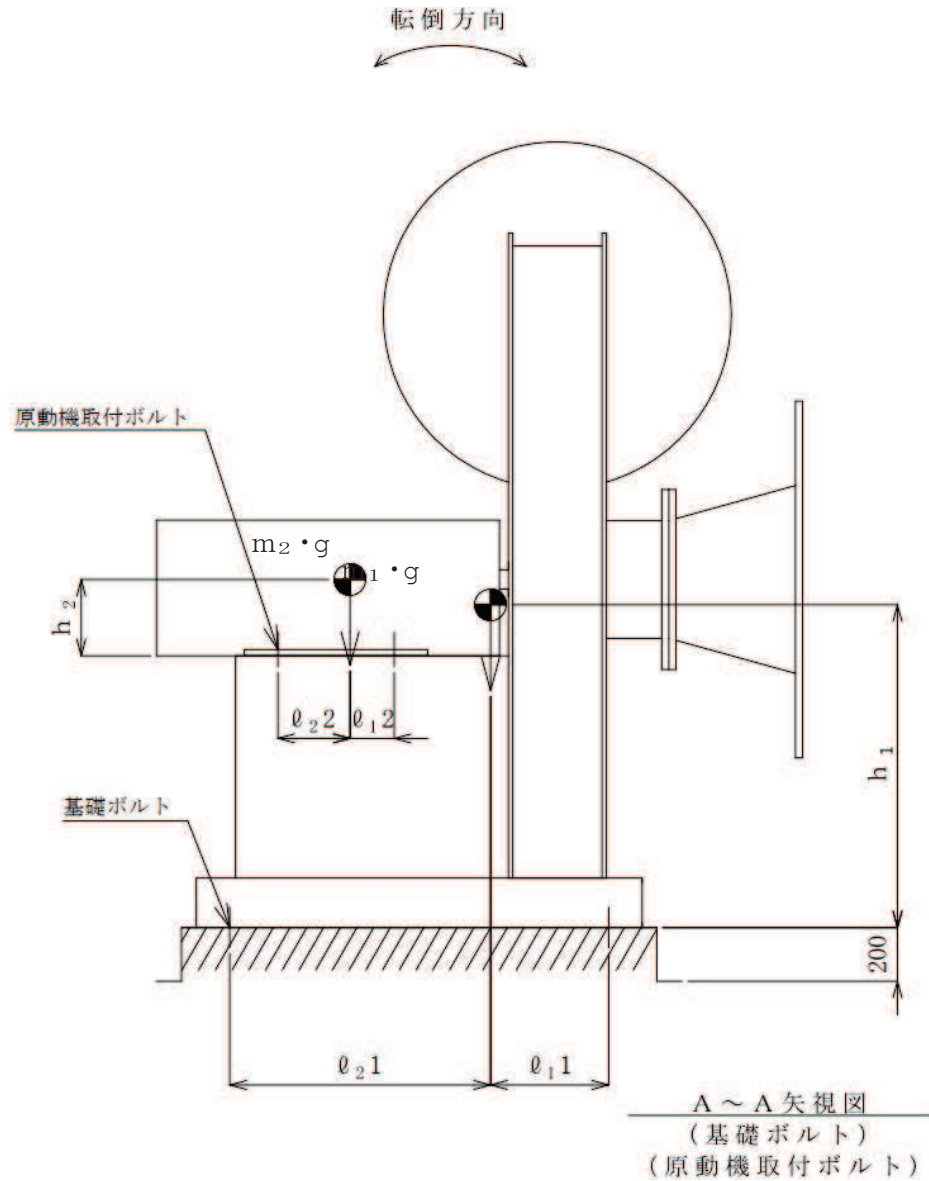
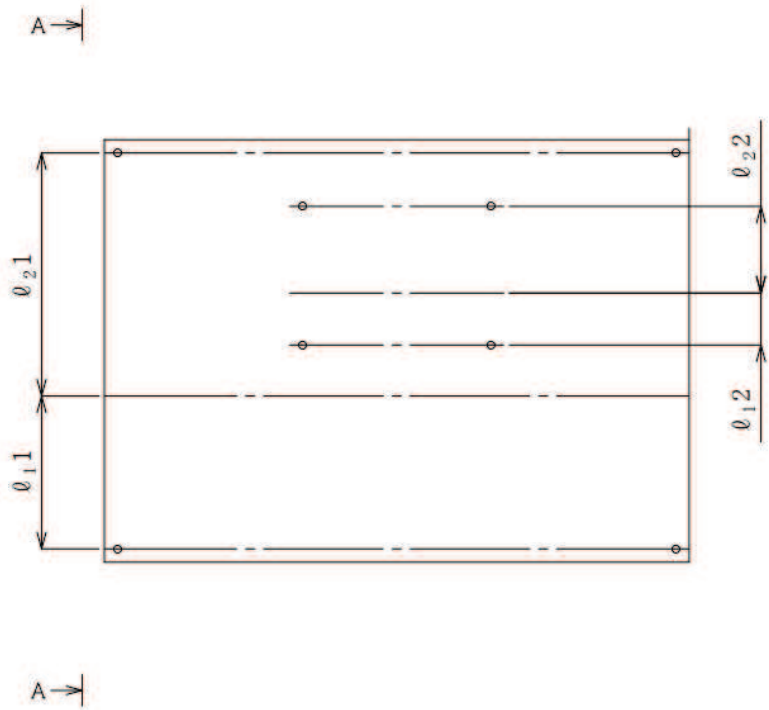
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.40	2.6
	鉛直方向	0.93	1.0
原動機	水平方向	1.40	4.7
	鉛直方向	0.93	1.0

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ε I



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

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	10
4.3 固有周期の計算結果	10
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
5.2.2 許容応力	11
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
5.3 設計用地震力	15
5.4 計算方法	16
5.4.1 応力の計算方法	16
5.5 計算条件	20
5.5.1 ボルトの応力計算条件	20
5.6 応力の評価	20
5.6.1 ボルトの応力評価	20
6. 評価結果	21
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	21

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-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	
<p>緊急時対策所非常用フィルタ装置は架台に取付ボルトで固定され、架台は基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>高性能エアフィルタ及び活性炭エアフィルタ(形鋼骨組及び鋼板外板による溶接構造)</p>	<p>(単位 : mm)</p>

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「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す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。

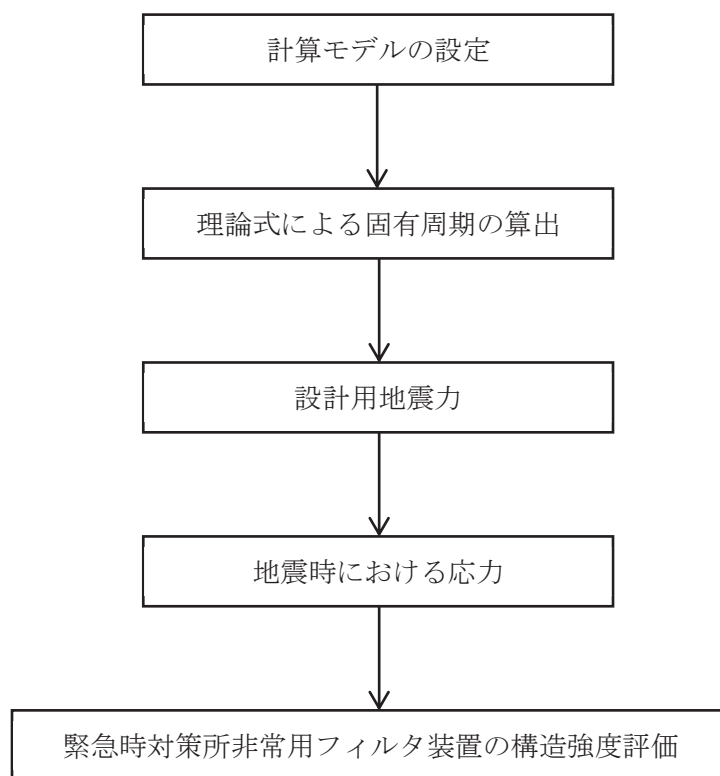


図 2-1 緊急時対策所非常用フィルタ装置の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（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_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
A_e	有効せん断断面積	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
E	縦弾性係数	MPa
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力 (1本当たり) * ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_i	架台上面又は据付面から重心までの距離* ²	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_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
m_i	運転時質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
n_{qi}	せん断力を受けるボルトの本数* ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の40°Cにおける値* ¹	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_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1 : A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , ℓ_{1i} , ℓ_{2i} , n_i , n_{fi} , n_{qi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は, 以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: 取付ボルト

*2 : h_i 及び m_i の添字 i の意味は, 以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: 架台上面

*3 : $\ell_{1i} \leq \ell_{2i}$

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	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}
断面二次モーメント	mm ⁴	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1 : 設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2 : 絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

3. 評価部位

緊急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. 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。
- b. 緊急時対策所非常用フィルタ装置は架台上にあり、架台は基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- c. 緊急時対策所非常用フィルタ装置をはりと考え、変形モードは曲げ及びびせん断変形を考慮する。
- d. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

緊急時対策所非常用フィルタ装置は、図 4-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

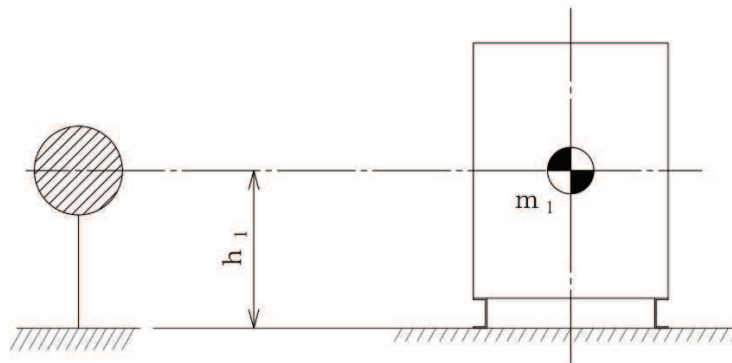


図 4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びびせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{G \cdot A_e}} \quad \dots \quad (4.1.1)$$

したがって、水平方向固有周期 T_H は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{K_H}} \quad \dots \quad (4.1.2)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_V は次式で求める。

$$K_V = \frac{1000}{\frac{h_1}{E \cdot A_e}} \quad * \dots\dots\dots (4.1.3)$$

注記*：断面積には、固有周期が大きく算出される有効せん断断面積 A_e を用いる。

したがって、鉛直方向固有周期 T_V は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{K_V}} \quad \dots\dots\dots (4.1.4)$$

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【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 4-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平方向			
鉛直方向			

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1 項 a. ～d. のほか、次の条件で計算する。

- (1) 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。
- (2) 転倒方向は図 5-1 及び図 5-2 における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (3) 基礎ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとする。
また、取付ボルトに対するせん断力は、長辺方向にスライドできるものとし、固定部(2本)のボルト本数のみで受けるものとする。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急時対策所非常用フィルタ装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 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「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

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

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

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

注記*1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40*	231	394	—
取付ボルト	SCM435	最高使用温度	60	743	882	—

注記*：周囲環境温度が 50°C 以下の場合は，耐震計算上は 50°C とする。

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

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

表 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 対策建屋 O.P. 62.20*	□	□	—	—	$C_H=1.68$	$C_V=1.12$

注記*：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 ボルトの計算方法

基礎ボルト及び取付ボルトの応力は地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

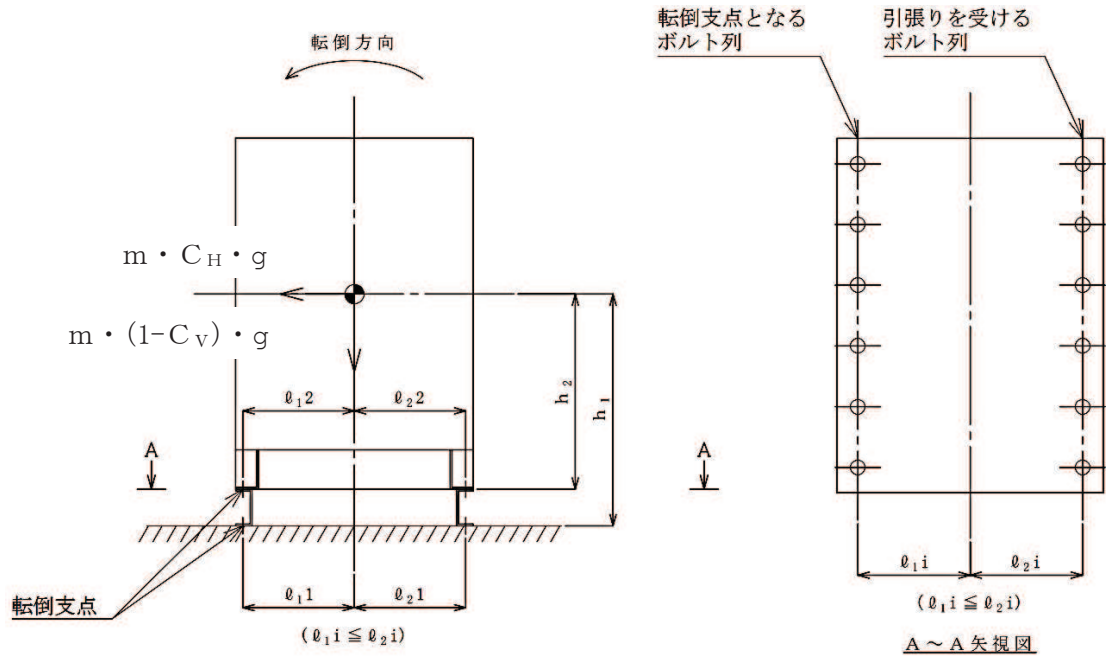


図 5-1(1) 計算モデル
(短辺方向転倒-1 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

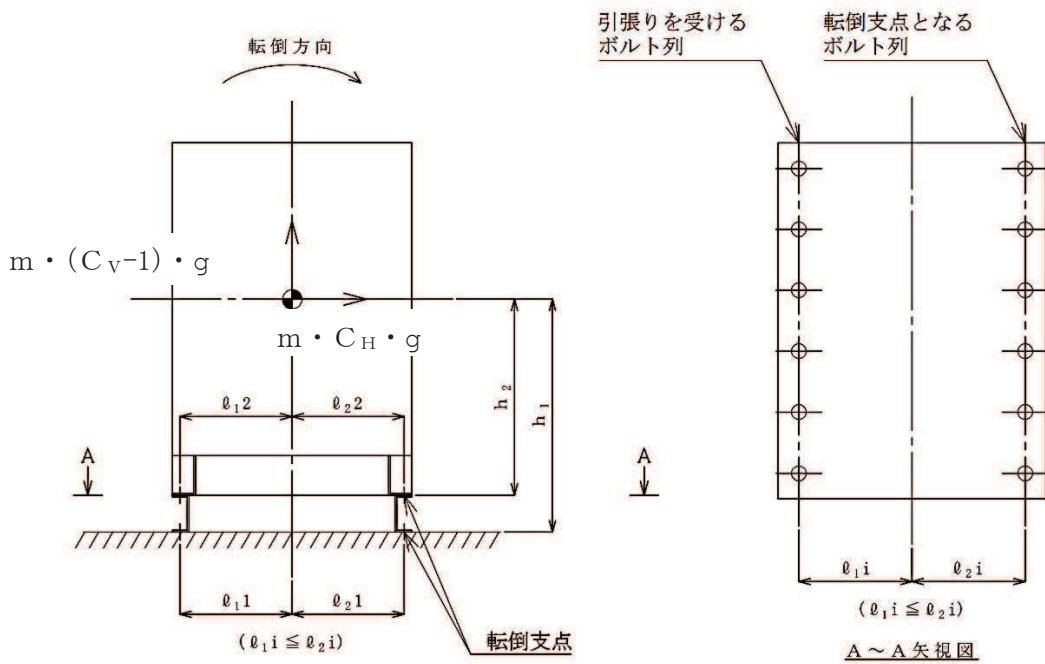
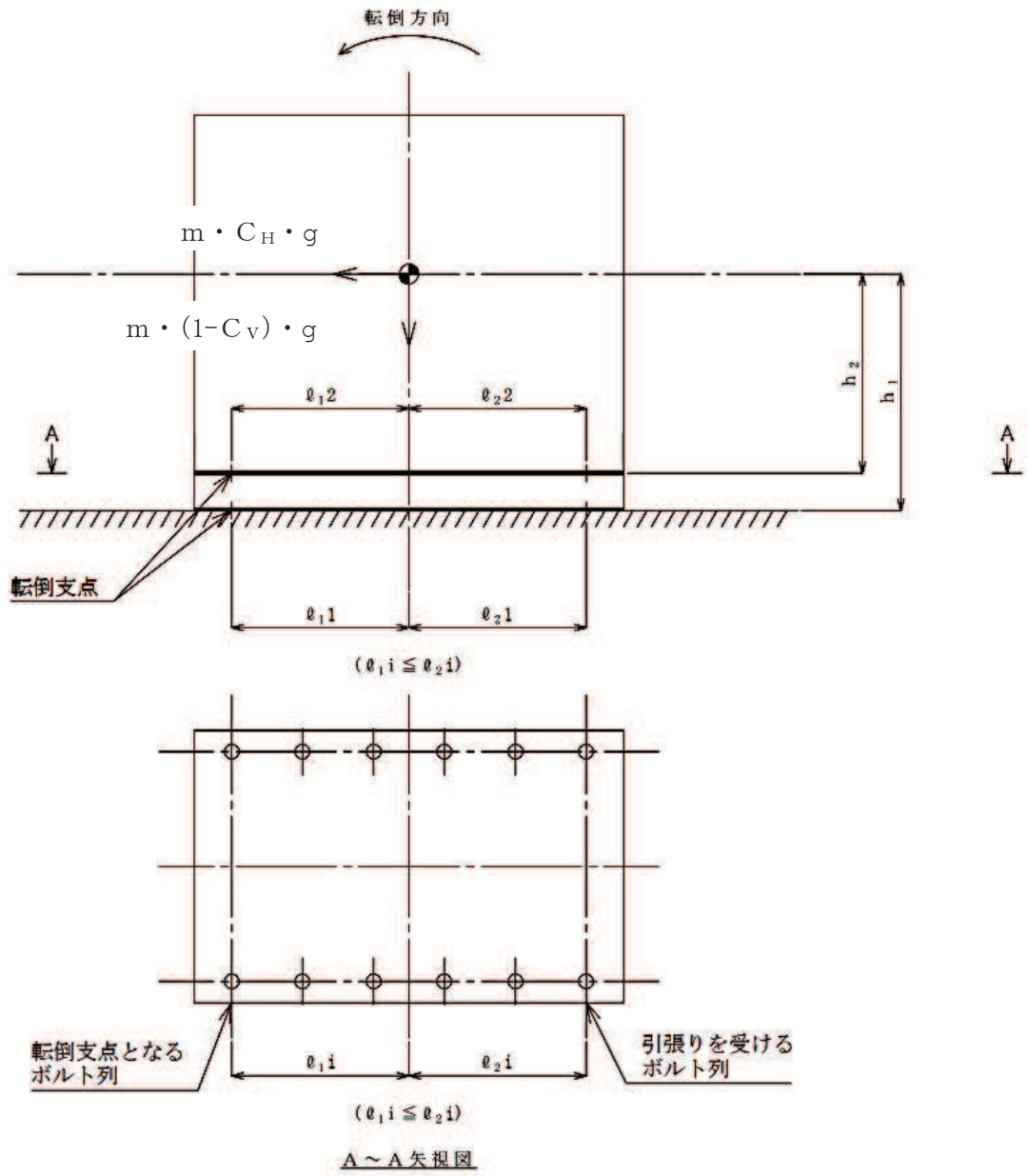


図 5-1(2) 計算モデル
(短辺方向転倒-2 $(1 - C_V) < 0$ の場合)



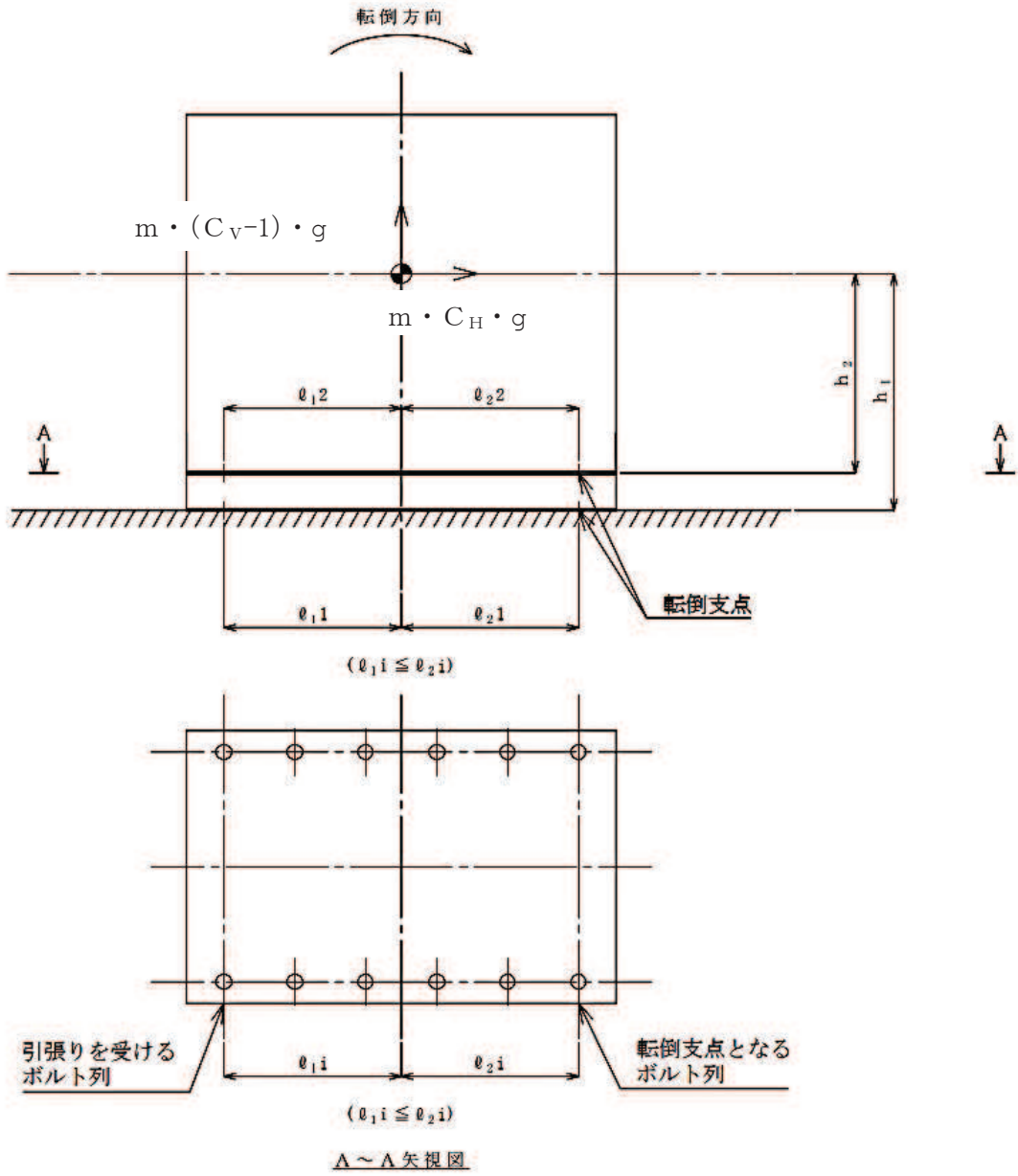


図 5-2(2) 計算モデル
 (長辺方向転倒-2 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-1 及び図 5-2 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

a. 引張力

計算モデル図 5-1(1) 及び図 5-2(1) の場合の引張力 $((1 - C_V) \geq 0$ の場合)

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot C_H \cdot h_i - m_i \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{1i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

計算モデル図 5-1(2) 及び図 5-2(2) の場合の引張力 $((1 - C_V) < 0$ の場合)

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot C_H \cdot h_i - m_i \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{2i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

b. 引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_{bi} は次式により求める。

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

ただし、 F_{bi} が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

また、取付ボルトに対するせん断力は固定部 (2 本) のボルト本数のみで受けるものとして計算する。

a. せん断力

$$Q_{bi} = m_i \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

b. せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_{qi} \cdot A_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

5.5 計算条件

5.5.1 ボルトの応力計算条件

ボルトの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。

【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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	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	緊急時対策建屋 O.P. 62. 20*1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H =1. 68	C _V =1. 12	60	40*2

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 周囲環境温度が 50°C 以下の場合は、耐震計算上は 50°C とする。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1	n _{qi}
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>				24 (M24)	452. 4	12	6 2	12
取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>				24 (M24)	452. 4	12	6 2	2

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	231*2 (16mm<径≤40mm)	394*2	—	276	—	短辺
取付ボルト (i=2)	743*3	882*3	—	617	—	短辺

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*1 : ボルトにおける上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2 : 周囲環境温度が 50°C 以下の場合は、耐震計算上は 50°C とする。

*3 : 最高使用温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

1.4 結論

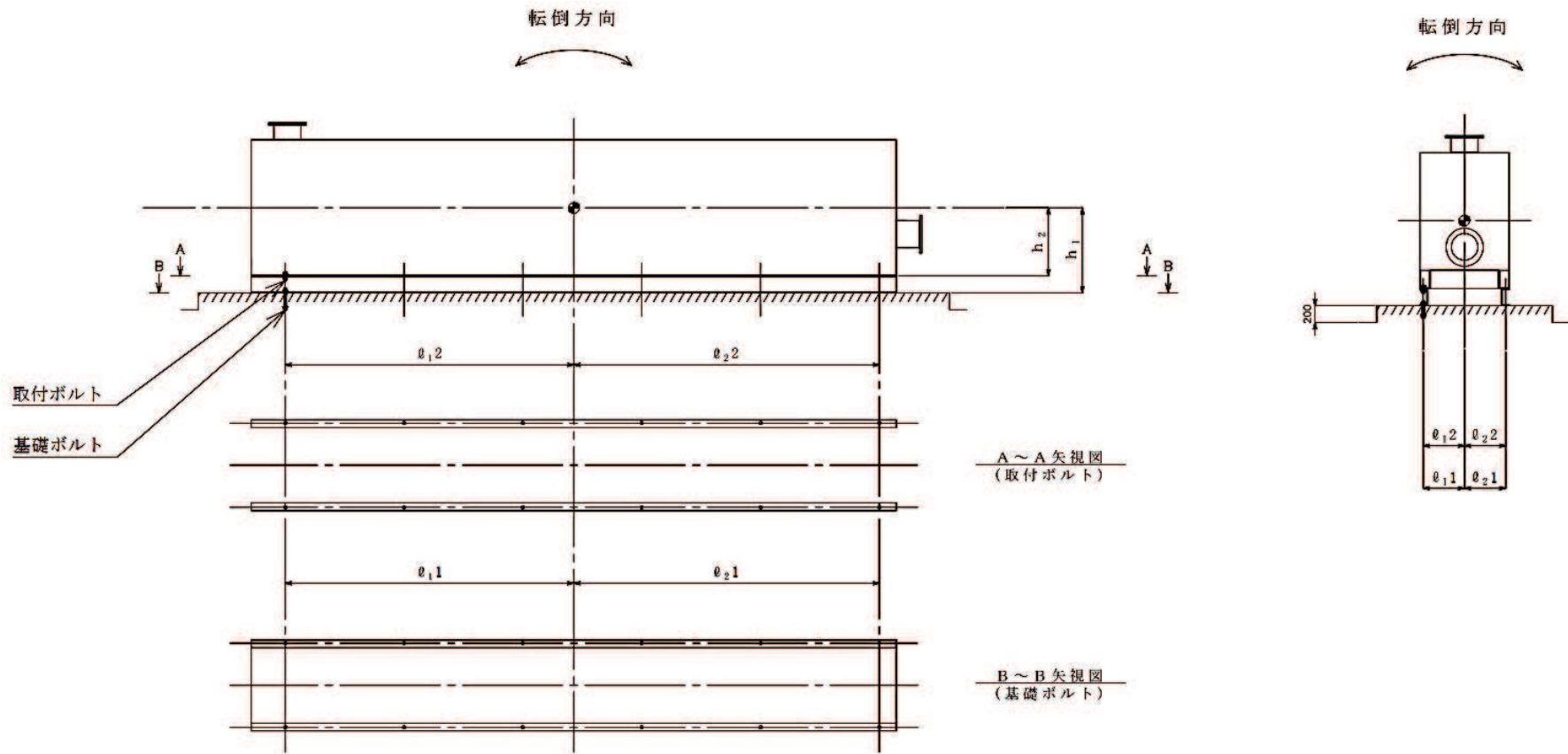
1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=40$	$f_{ts1}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=21$	$f_{sb1}=159$
取付ボルト (i=2)	SCM435	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=33$	$f_{ts2}=463^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=106$	$f_{sb2}=356$

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



VI-2-8-3-3 中央制御室待避所加圧空気供給系の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-8-3-3-1 管の耐震性についての計算書（中央制御室待避所加圧空気供給系）
- VI-2-8-3-3-2 差圧計（中央制御室待避所用）の耐震性についての計算書

VI-2-8-3-3-1 管の耐震性についての計算書
(中央制御室待避所加圧空気供給系)

重大事故等対処設備

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 計算方法	9
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
3.3 設計条件	11
3.4 材料及び許容応力評価条件	20
3.5 設計用地震力	21
4. 解析結果及び評価	22
4.1 固有周期及び設計震度	22
4.2 評価結果	28
4.2.1 管の応力評価結果	28
4.2.2 支持構造物評価結果	29
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	30
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	31

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、中央制御室待避所加圧空気供給系の管、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及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

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

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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。




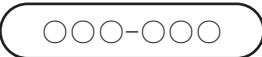

(3) 弁

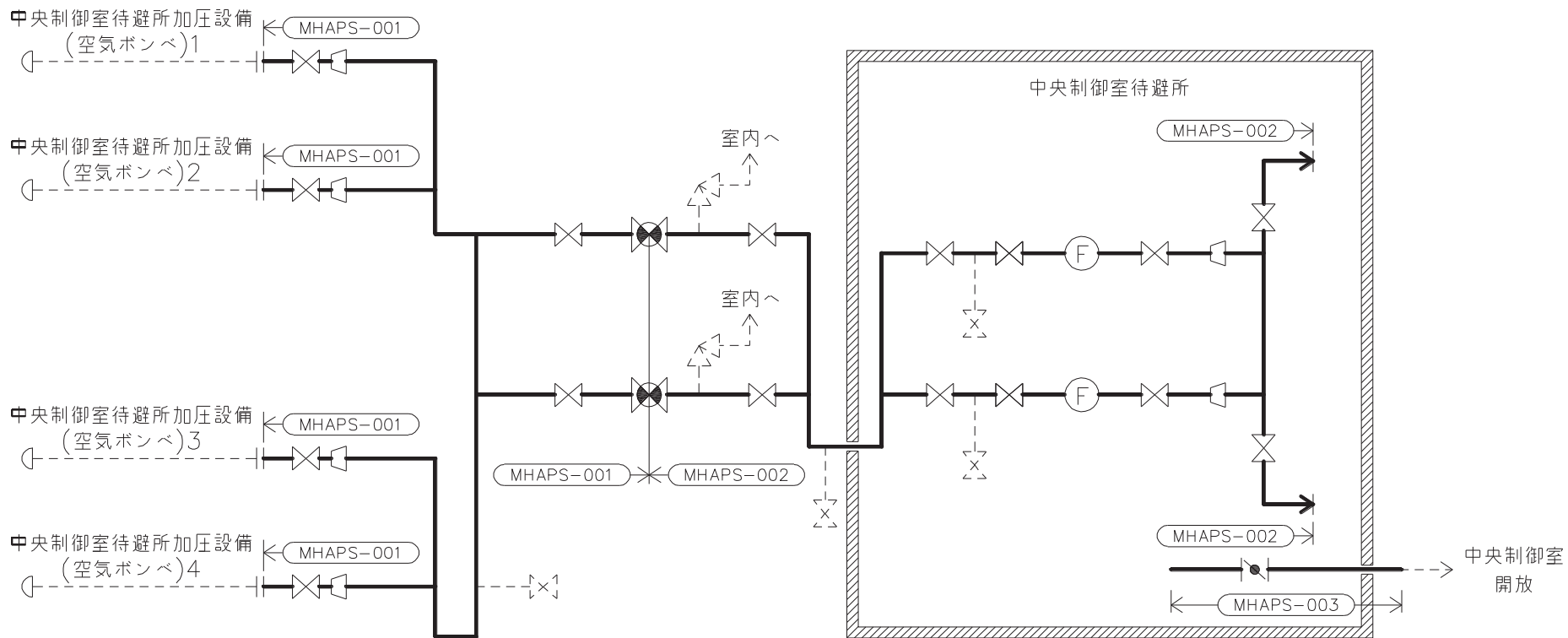
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

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


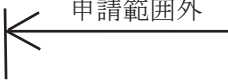


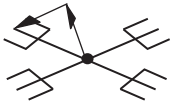
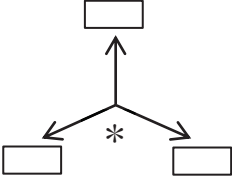
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



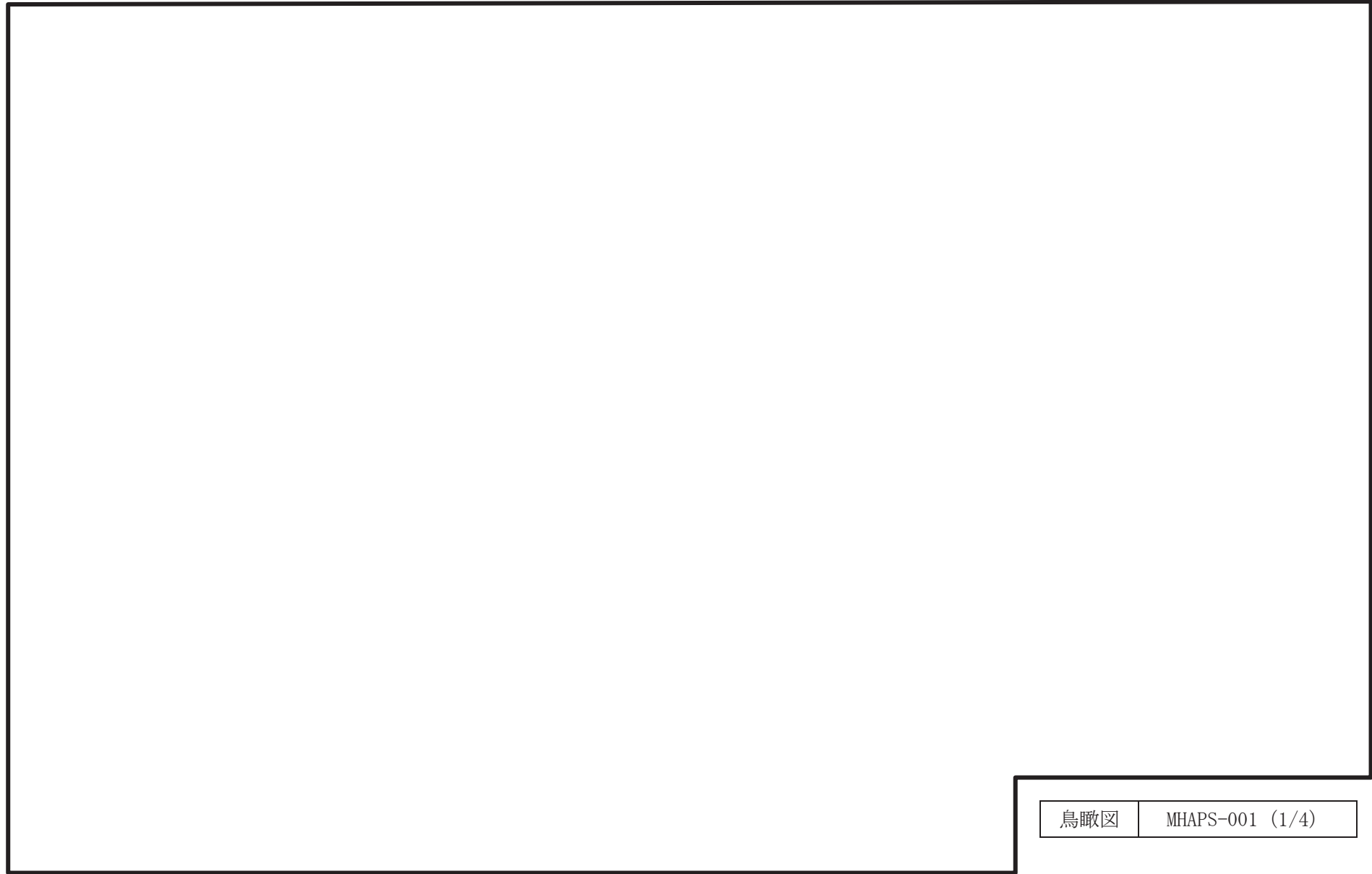
中央制御室待避所加圧空気供給系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>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, <input type="text"/> 内に変位量を記載する。)</p>

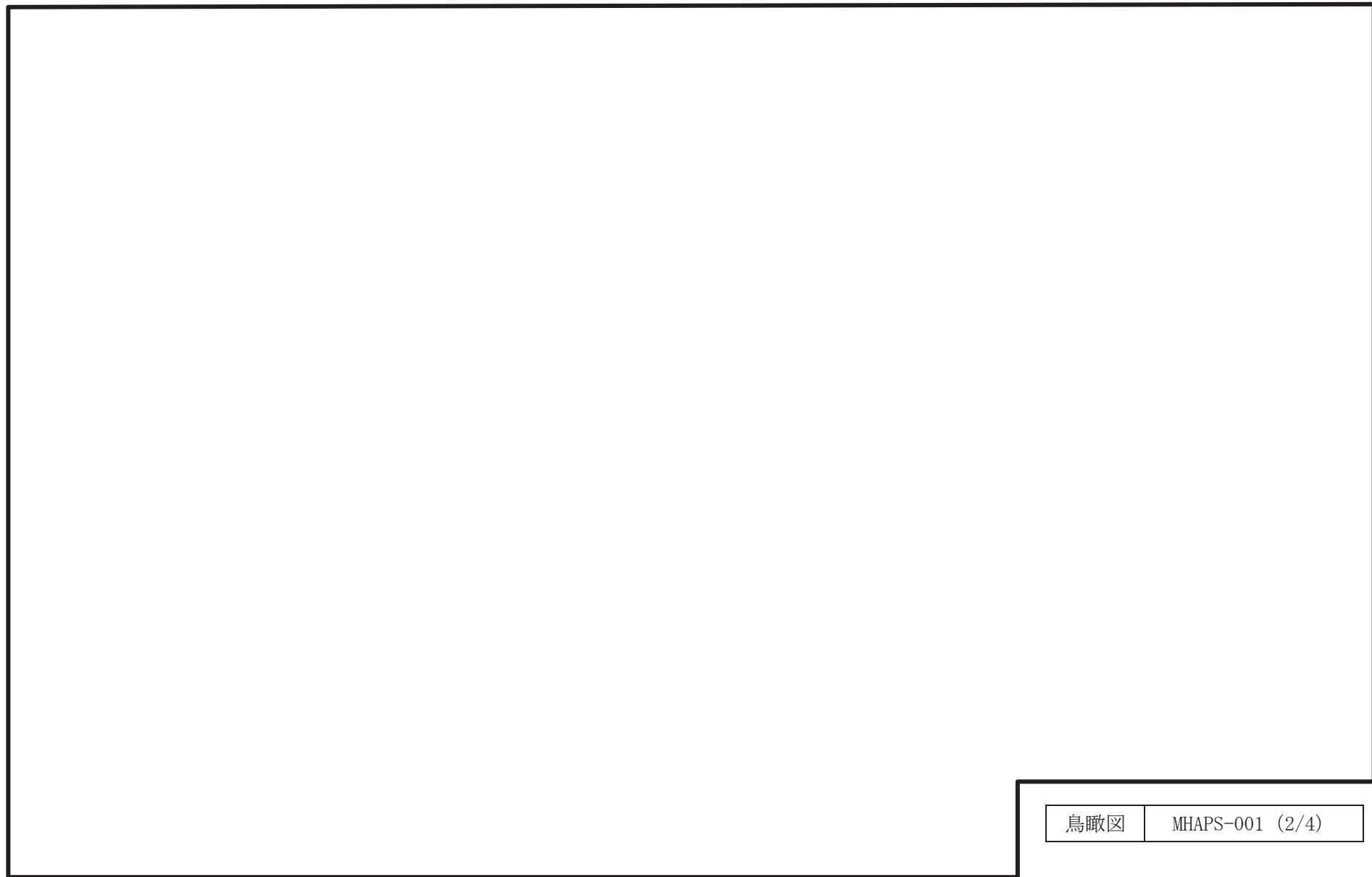
5



鳥瞰図	MHAPS-001 (1/4)
-----	-----------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

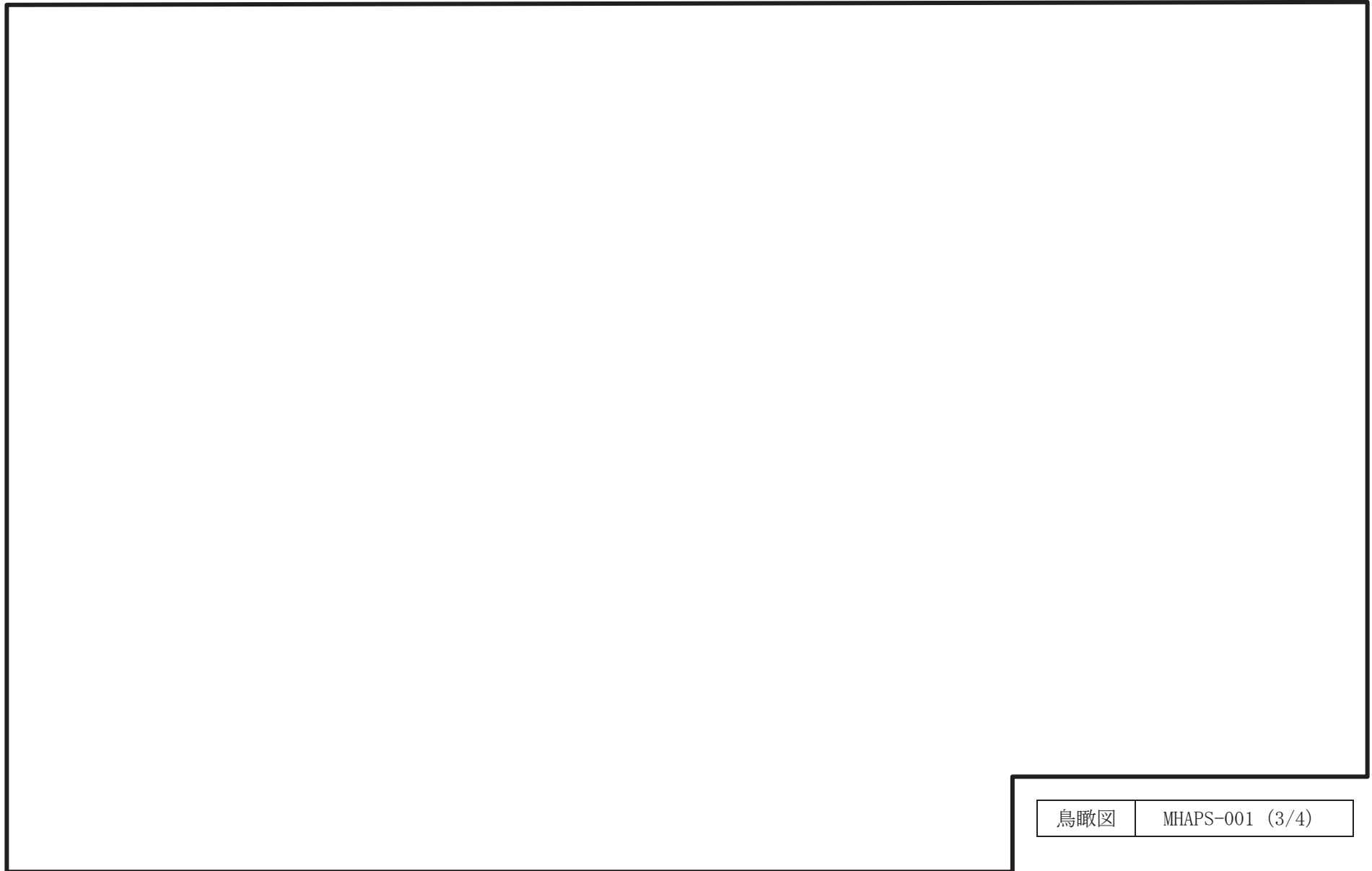
6



鳥瞰図	MHAPS-001 (2/4)
-----	-----------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

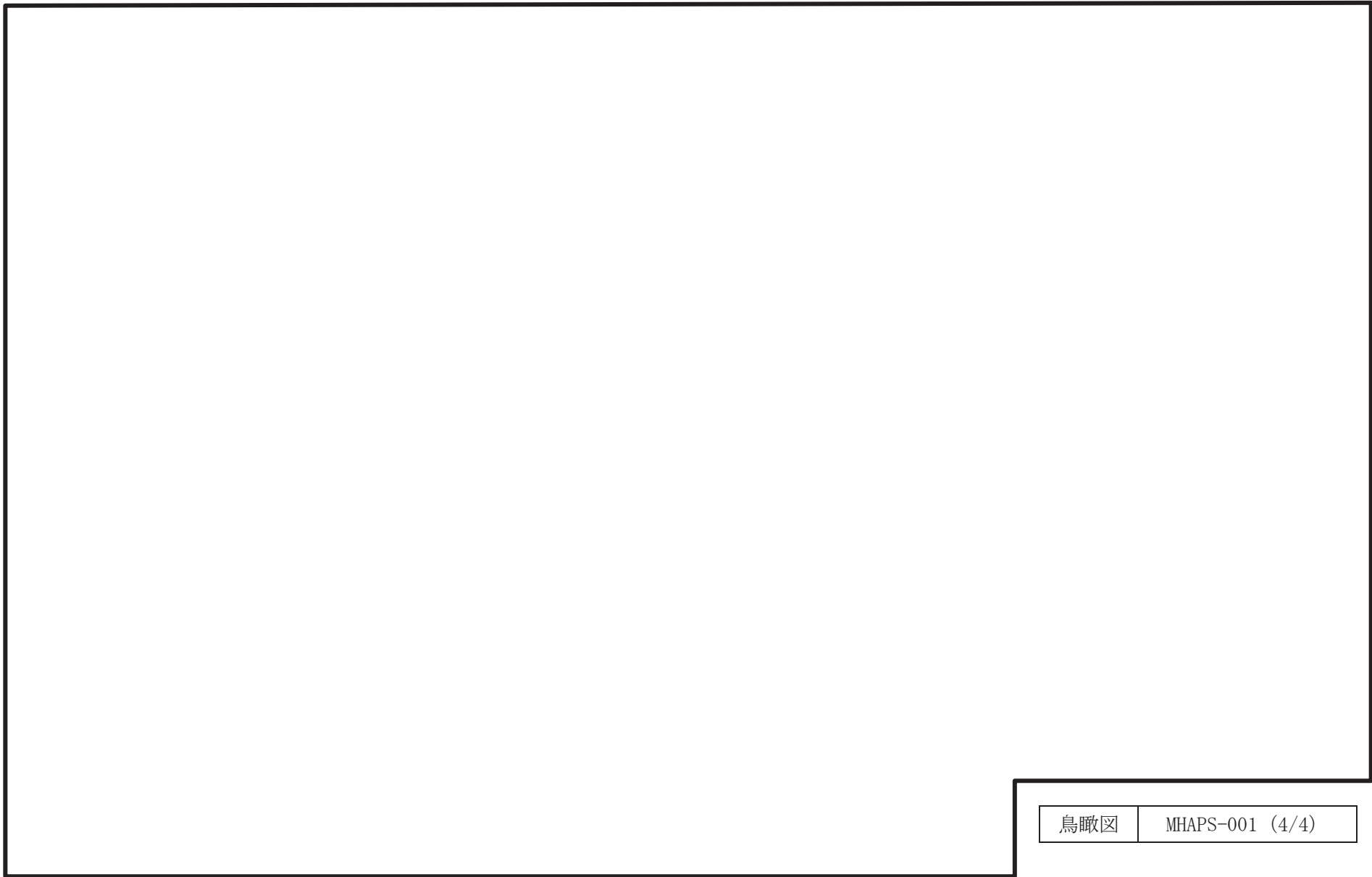
7



鳥瞰図	MHAPS-001 (3/4)
-----	-----------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

8



鳥瞰図	MHAPS-001 (4/4)
-----	-----------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「NuPIAS」及び「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	中央制御室待避所 加圧空気供給系	SA	常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_s$	V_{AS}

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA は重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設／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は荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態 V_{AS} は許容応力状態 IV_{AS} の許容限界を使用し，許容応力状態 IV_{AS} として評価を実施する。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 MHAPS-001

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	22.00	40	21.7	3.7	SUS304TP	—	194000
2	22.00	40	34.0	4.5	SUS304TP	—	194000
3	22.00	40	21.7	3.7	SUS304TP	—	194000

設計条件

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 MHAPS-001

管名称	対 応 す る 評 価 点											
1	1	2	3	4	5	143	144	145	146	147	152	153
	154	155	156	157	158	159	160	161				
2	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101
	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113
	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125
	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137
	138	139	140	141	142	148	149	150	151	162	163	164
		165	166	167	168	169	170					
3	5	6	142	143	151	152	161	162				

O 2 ⑥ VI-2-8-3-3-1 (重) R 2

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 MHAPS-001

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量 (kg)	評価点	質量 (kg)	評価点	質量 (kg)	評価点	質量 (kg)	評価点	質量 (kg)

○ 2 ⑥ VI-2-8-3-3-1 (重) R 2

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 MHAPS-001

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量 (kg)	評価点	質量 (kg)	評価点	質量 (kg)	評価点	質量 (kg)	評価点	質量 (kg)

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量 (kg)	評価点	質量 (kg)	評価点	質量 (kg)	評価点	質量 (kg)	評価点	質量 (kg)

弁 6		弁 7	
評価点	質量 (kg)	評価点	質量 (kg)

弁部の寸法を下表に示す。

弁 No.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁 1	3	21.7	3.7	—
弁 2	159	21.7	3.7	—
弁 3	168	34.0	4.5	—
弁 4	145	21.7	3.7	—
弁 5	154	21.7	3.7	—
弁 6	118	34.0	4.5	—
弁 7	123	34.0	4.5	—

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MHAPS-001

支持点部のばね定数を下表に示す。

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						
4						
7						
9						
11						
14						
16						
18						
20						
22						
24						
26						
28						
33						
35						
37						
39						
41						
43						
45						
47						
49						
51						
54						
56						
58						
60						
62						
64						
66						
68						
70						

O 2 ⑥ VI-2-8-3-3-1 (重) R 2

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MHAPS-001

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
72						
74						
76						
78						
80						
82						
84						
86						
88						
90						
92						
94						
96						
98						
100						
103						
105						
107						
109						
111						
113						
117						
119						
121						
122						
124						
126						
129						
131						
133						
135						
137						

O 2 ⑥ VI-2-8-3-3-1 (重) R 2

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MHAPS-001

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
139						
141						
144						
146						
148						
150						
153						
155						
165						
158						
160						
163						
166						
169						

O 2 ⑥ VI-2-8-3-3-1 (重) R 2

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S m (MPa)	S y (MPa)	S u (MPa)	S h (MPa)
SUS304TP	40	—	205	520	—

3.5 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計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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「VI-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(O. P. (m))	減衰定数(%)
MHAPS-001	制御建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 MHAPS-001

適用する地震動等		S _d 及び静的震度			S _s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* ¹		応答鉛直震度* ¹	応答水平震度* ¹		応答鉛直震度* ¹
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次	0.044* ²	—	—	—	—	—	—
動的震度* ³		—	—	—	2.28	2.28	1.73
静的震度* ⁴		—	—	—	—	—	—

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

*2: 固有周期が 0.050s 以下であることを示す。

*3: S_d 又は S_s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4: 3.6C_I 及び 1.2C_V より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

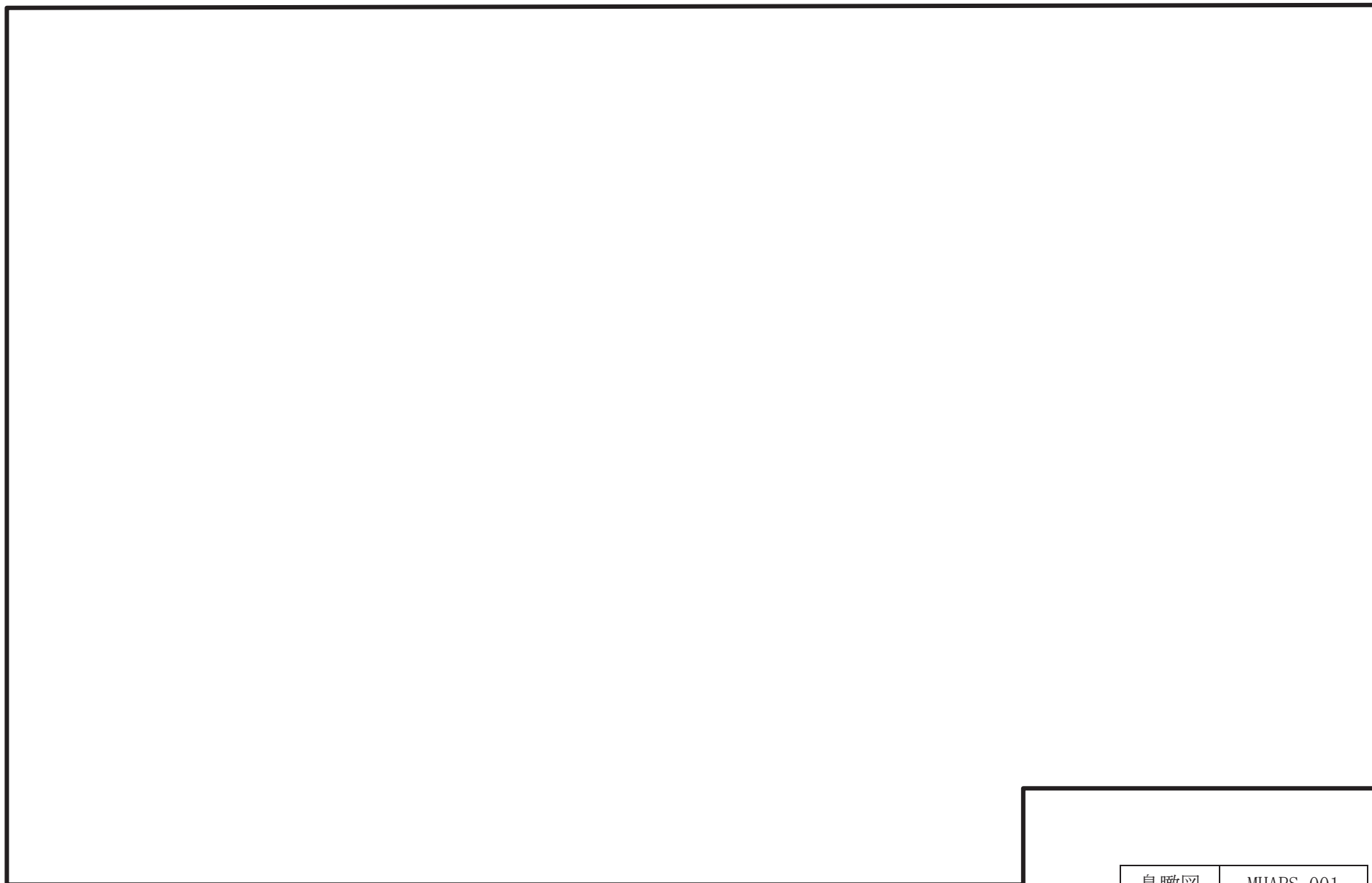
鳥 瞰 図 MHAPS-001

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次	0.044	0.059	0.347	0.668

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

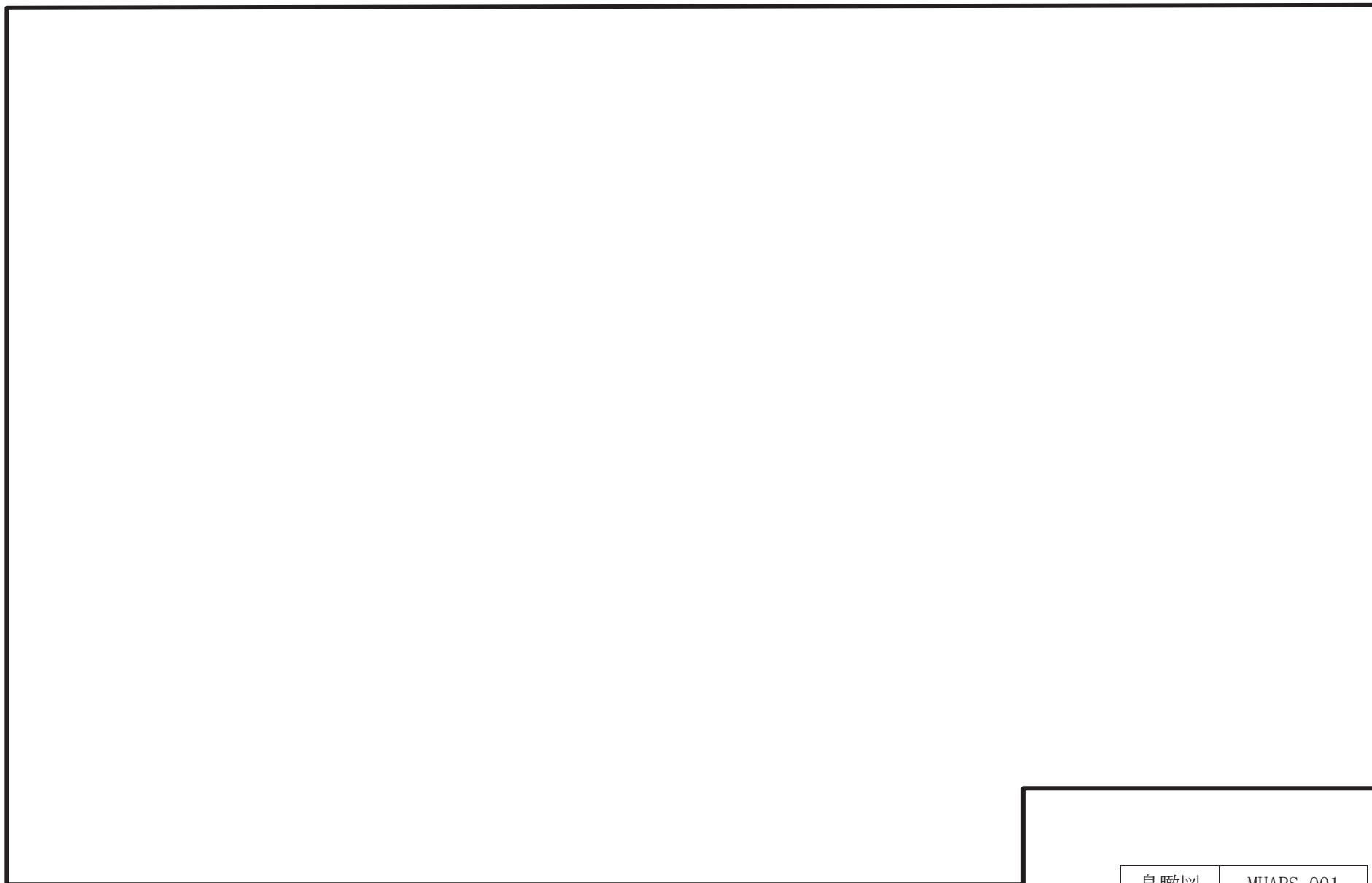
代表的振動モード図

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



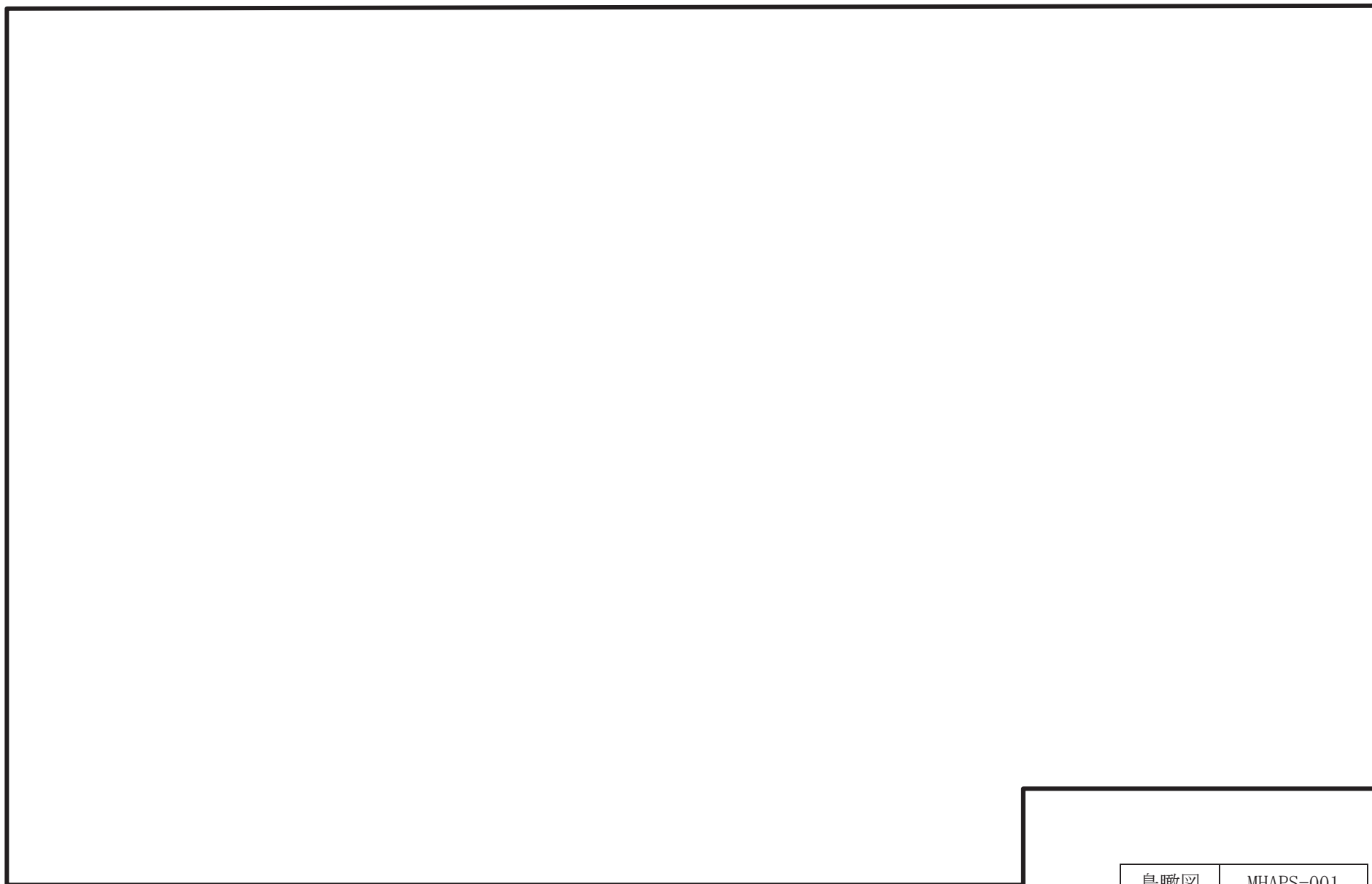
鳥瞰図	MHAPS-001
-----	-----------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図	MHAPS-001
-----	-----------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図	MHAPS-001
-----	-----------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{p r m} (S_s)$	許容応力 $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n (S_s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
MHAPS-001	V_{AS}	145	$S_{p r m} (S_s)$	161	468	—	—	—
	V_{AS}	159	$S_n (S_s)$	—	—	243	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 (°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 (°C)	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			
SP-019	レストレイント	架構	STKR400	40	3	1	0	—	—	—	垂直+ せん断	43	141
SP-071-01	アンカ	架構	STKR400	40	5	4	5	1	1	1	垂直+ せん断	47	141

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	

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、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 (重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 V _{AS}												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	MHAPS-001	145	161	468	2.90	○	159	243	410	1.68	○	—	—	—
2	MHAPS-002	151	128	468	3.65	—	151	237	410	1.72	—	—	—	—
3	MHAPS-003	3	23	468	20.3	—	4	53	410	7.73	—	—	—	—

VI-2-8-3-3-2 差圧計（中央制御室待避所用）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の算出方法	3
3.2 固有周期の計算条件	4
3.3 固有周期の計算結果	4
4. 構造強度評価	5
4.1 構造強度評価方法	5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
4.3 計算条件	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	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「VI-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、差圧計（中央制御室待避所用）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。

差圧計（中央制御室待避所用）は、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備以外の常設重大事故等対処設備に分類される。差圧計（中央制御室待避所用）の評価においては、添付書類「VI-1-7-3 中央制御室の居住性に関する説明書」に基づき、基準地震動 S_s による地震力に対して十分な電氣的機能を有していることを確認する。

差圧計（中央制御室待避所用）は、重大事故等対処設備として基準地震動 S_s による機能維持が要求されることから、本計算書は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」の「5. 機能維持の基本方針」及び添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針を準用し、設計用地震力に対して電氣的機能を有していることを説明するものである。

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。

なお、差圧計（中央制御室待避所用）が設置される計器スタンションは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の壁掛形計器スタンションと類似の構造であるため、添付書類「VI-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」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

差圧計（中央制御室待避所用）の構造計画を表 2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、溶接により計器スタンションに固定される。</p> <p>計器スタンションは、壁面に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>弾性型差圧検出器 (壁に設置された計器スタンションに検出器を計器取付ボルトにより固定する構造)</p>	<p>(単位: mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

差圧計（中央制御室待避所用）の固有周期の計算方法を以下に示す。

- (1) 差圧計（中央制御室待避所用）は、図 3-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。
- (2) 計器スタンションは鋼材で上下 2 箇所を制御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 T (s) を次式で求める。

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

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。

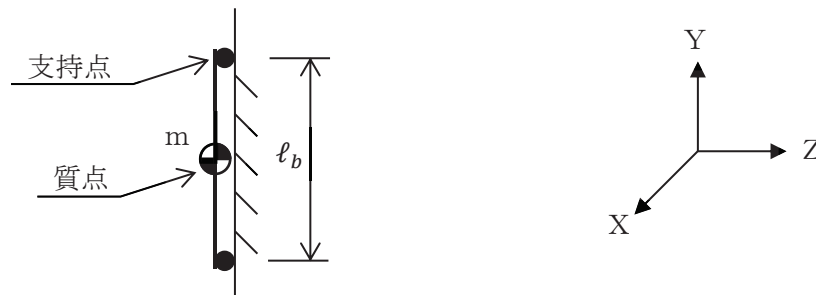
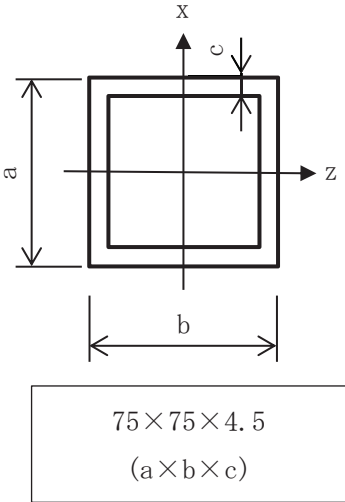


図 3-1 固有周期の計算モデル

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	8
上下ボルト間の距離（壁掛形）	l_b	mm	200
計器スタンションの材質	—	—	STKR400
縦弾性係数	E	MPa	202000
断面二次モーメント	I	mm ⁴	9.860×10^5
最小有効せん断断面積	A_b	mm ²	675
せん断弾性係数	G	MPa	77700
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
0.001	—

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

差圧計（中央制御室待避所用）の構造強度評価は、添付書類「VI-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行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

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

4.2.2 許容応力

差圧計（中央制御室待避所用）の許容応力は、添付書類「VI-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

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

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【差圧計（中央制御室待避所用）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。

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	差圧計 (中央制御室待避所用)	常設/その他	—*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/その他」は常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備以外の常設重大事故等対処設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1,*2 (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 *	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 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 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

差圧計（中央制御室待避所用）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「VI-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。

差圧計（中央制御室待避所用）の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
差圧計 (中央制御室待避所用)	水平方向	10.22
	鉛直方向	5.78

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【差圧計（中央制御室待避所用）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
差圧計 (中央制御室待避所用)	常設/ その他	制御建屋 OP. 22.95* (OP. 29.15)	0.001	—	—	—	C _H =4.05	C _V =2.29	40

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m (kg)	h ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ _a (mm)	ℓ _b (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _{fV}	n _{fH}
基礎ボルト	8	46	100	150	200	12 (M12)	113.1	4	2	2

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向*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	245 (径 ≤ 16mm)	400	—	280	—	水平方向

注記 *1 : 水平、鉛直方向のうち評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	109.1	—	409.4

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 1$	$f_{ts} = 168^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 129$

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

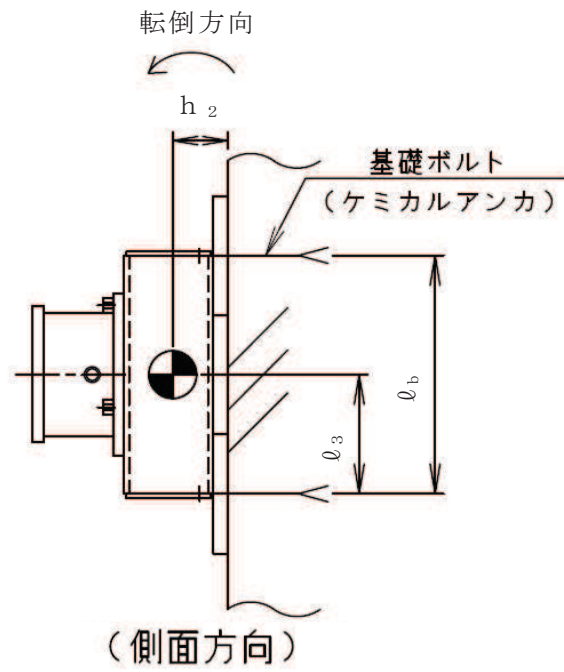
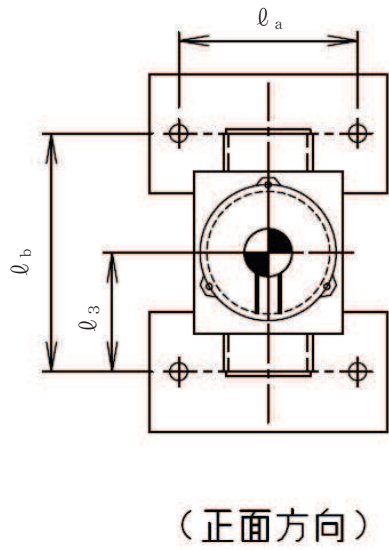
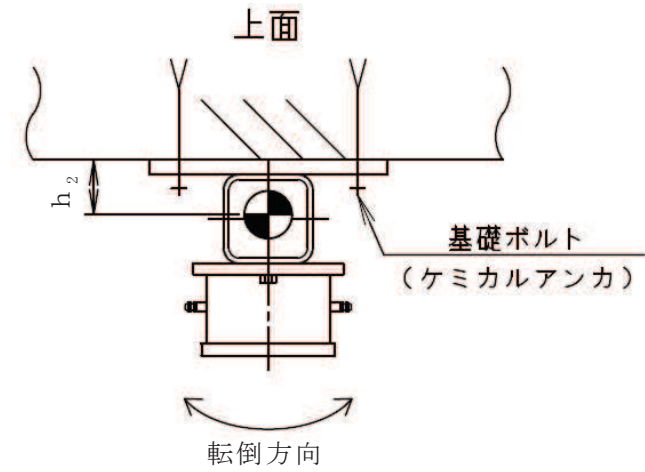
すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
差圧計 (中央制御室待避所用)	水平方向	3.37	10.22
	鉛直方向	1.91	5.78

注記 * : 基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-8-3-4 緊急時対策所加圧空気供給系の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-8-3-4-1 管の耐震性についての計算書（緊急時対策所加圧空気供給系）
- VI-2-8-3-4-2 差圧計（緊急時対策所用）の耐震性についての計算書

VI-2-8-3-4-1 管の耐震性についての計算書
(緊急時対策所加圧空気供給系)

重大事故等対処設備

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	43
3.1	計算方法	43
3.2	荷重の組合せ及び許容応力状態	44
3.3	設計条件	45
3.4	材料及び許容応力評価条件	66
3.5	設計用地震力	67
4.	解析結果及び評価	69
4.1	固有周期及び設計震度	69
4.2	評価結果	77
4.2.1	管の応力評価結果	77
4.2.2	支持構造物評価結果	79
4.2.3	弁の動的機能維持評価結果	80
4.2.4	代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	81

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、緊急時対策所加圧空気供給系の管、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及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(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の記載する。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(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に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。



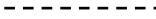
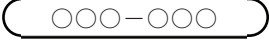

(3) 弁

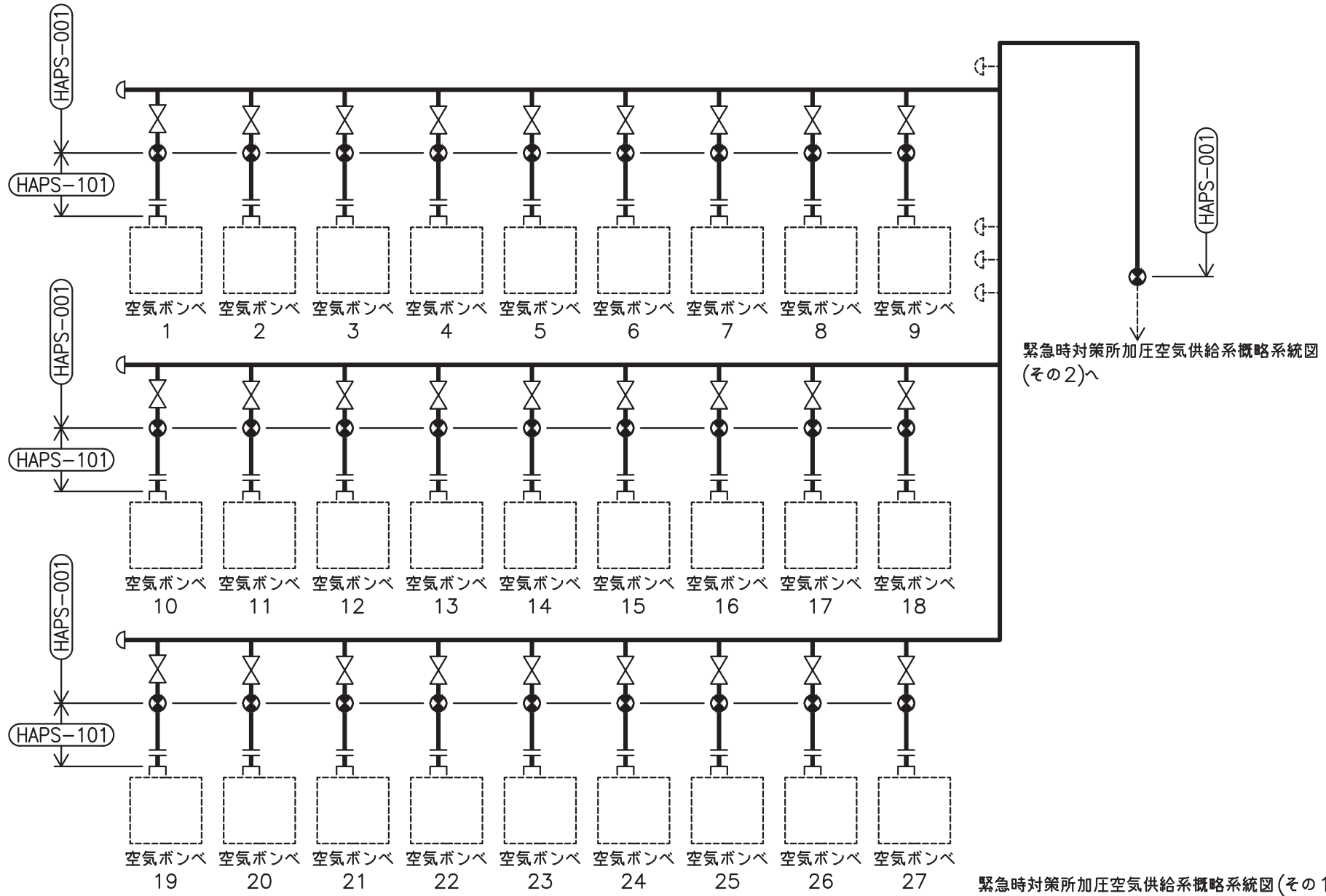
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

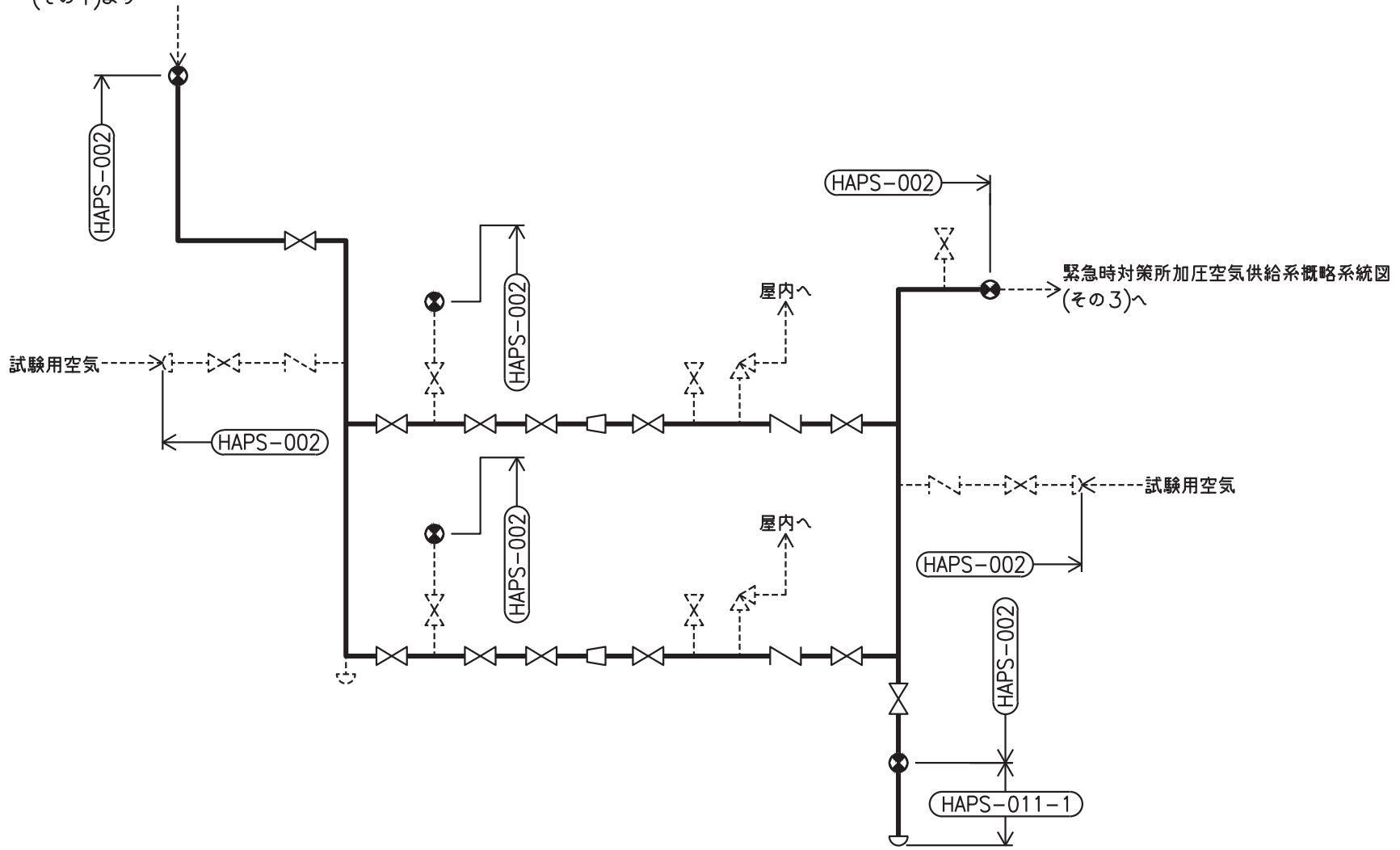
概略系統図記号凡例

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
 (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
	アンカ



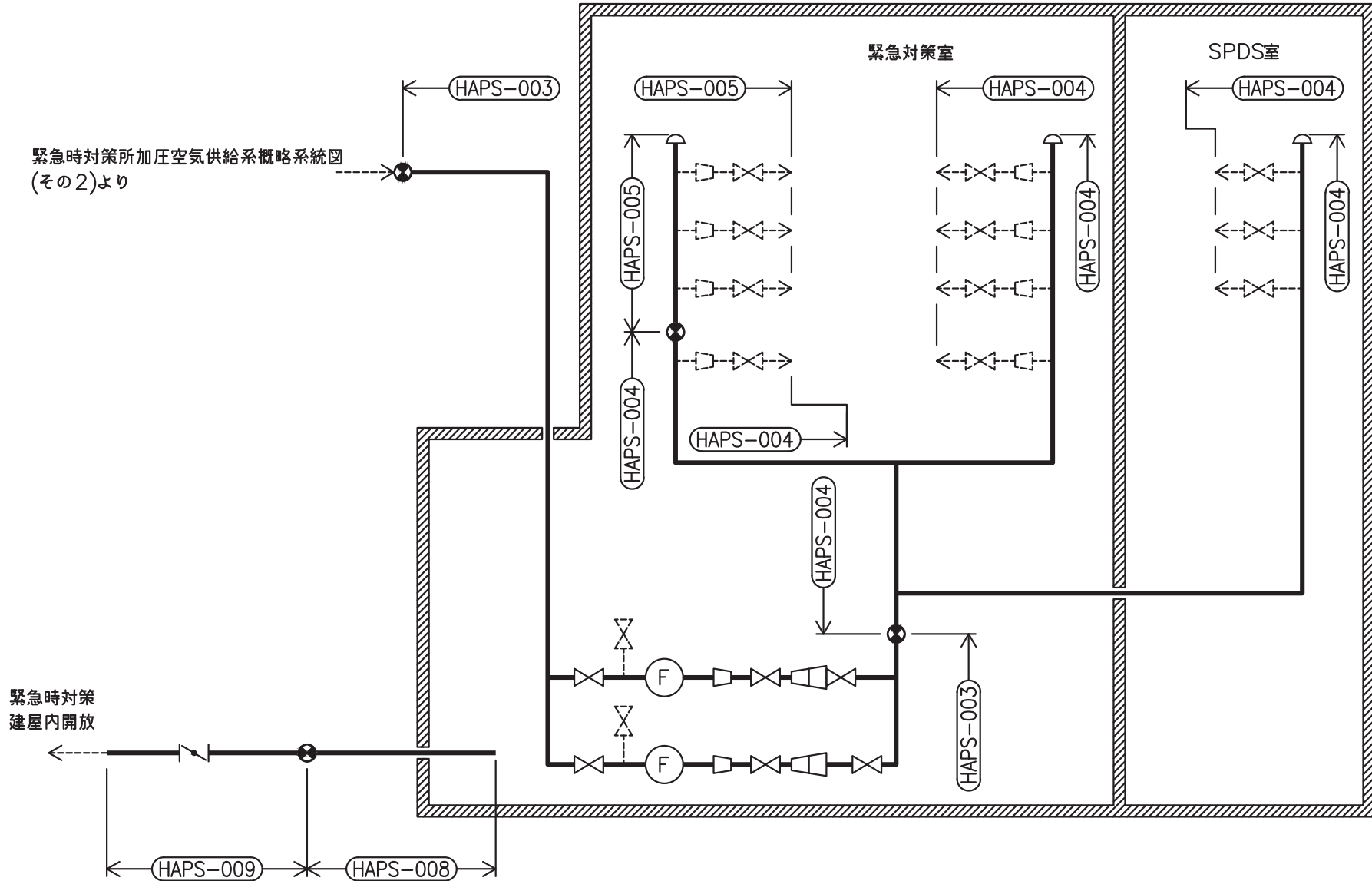
緊急時対策所加圧空気供給系概略系統図(その1)

緊急時対策所加圧空気供給系概略系統図
(その1)より



緊急時対策所加圧空気供給系概略系統図(その2)


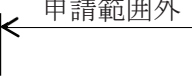


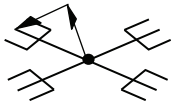
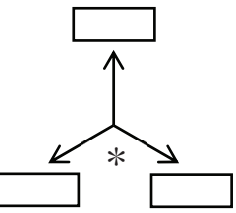
緊急時対策所加圧空気供給系概略系統図
(その2)より



緊急時対策所加圧空気供給系概略系統図(その3)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。)</p>
	<p>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, <input type="text"/> 内に変位量を記載する。)</p>

鳥瞰図 HAPS-001< 1/27 >

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | HAPS-001<2/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | HAPS-001<3/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | HAPS-001< 4/27 >

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-001<5/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | HAPS-001<6/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-001<7/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-001<8/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 | HAPS-001<9/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-001<10/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-001<11/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-001<12/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-001<13/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-001<14/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-001<15/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-001<16/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-001<17/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-001<18/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-001<19/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-001<20/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-001<21/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-001<22/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-001<23/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

30

鳥瞰図 HAPS-001<24/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-001<25/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-001<26/27>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-002< 1/9 >

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-002<2/9>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-002<3/9>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-002<4/9>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-002<5/9>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-002<6/9>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-002<7/9>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-002<8/9>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-002<9/9>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「SOLVER」及び「NX NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 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	緊急時対策所 加圧空気供給系	SA	常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_s$	V_{AS}

注記*1：DB は設計基準対象施設，SA は重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設／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は荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態 V_{AS} は許容応力状態 IV_{AS} の許容限界を使用し，許容応力状態 IV_{AS} として評価を実施する。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	22.00	66	34.0	6.4	SUS304TP	—	191720

設計条件

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 1

管名称	対応する評価点												
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117
	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156
	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169
	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182
	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195
	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208
	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221
	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234
	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247
	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260
	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273
	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286
	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299
	300	301	303	304	305	306	307	308	309	310	311	313	314
	315	316	317	318	319	320	321	323	324	325	326	327	328
	329	330	331	332	334	335	336	337	338	339	340	341	342
	344	345	346	347	348	349	350	351	352	354	355	356	357
	358	359	360	361	362	364	365	366	367	368	369	370	371
	372	374	375	376	377	378	379	380	381	382	384	385	386
	387	388	389	390	391	392	394	395	396	397	398	399	400
	401	402	404	405	406	407	408	409	410	411	412	414	415
	416	417	418	419	420	421	422	424	425	426	427	428	429
	430	431	432	434	435	436	437	438	439	440	441	442	444
	445	446	447	448	449	450	451	452	454	455	456	457	458

設計条件

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 1

管名称	対応する評価点												
	459	460	461	462	464	465	466	467	468	469	470	471	472
	474	475	476	477	478	479	480	481	482	484	485	486	487
	488	489	490	491	492	494	495	496	497	498	499	500	501
	502	503	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515
	516	518	519	520	521	522	523	524	525	526	528	529	530
	531	532	533	534	535	536	538	539	540	541	542	543	544
	545	546	548	549	550	551	552	553	554	555	556	558	559
	560	561	562	563	564	565	566	568	569	570	571	572	573
	574												

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 1

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		35		69		103		137	
2		36		70		104		138	
3		37		71		105		139	
4		38		72		106		140	
5		39		73		107		141	
6		40		74		108		142	
7		41		75		109		143	
8		42		76		110		144	
9		43		77		111		145	
10		44		78		112		146	
11		45		79		113		147	
12		46		80		114		148	
13		47		81		115		149	
14		48		82		116		150	
15		49		83		117		151	
16		50		84		118		152	
17		51		85		119		153	
18		52		86		120		154	
19		53		87		121		155	
20		54		88		122		156	
21		55		89		123		157	
22		56		90		124		158	
23		57		91		125		159	
24		58		92		126		160	
25		59		93		127		161	
26		60		94		128		162	
27		61		95		129		163	
28		62		96		130		164	
29		63		97		131		165	
30		64		98		132		166	
31		65		99		133		167	
32		66		100		134		168	
33		67		101		135		169	
34		68		102		136		170	

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 1

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
171		205		239		273		310	
172		206		240		274		314	
173		207		241		275		315	
174		208		242		276		316	
175		209		243		277		317	
176		210		244		278		318	
177		211		245		279		319	
178		212		246		280		320	
179		213		247		281		324	
180		214		248		282		325	
181		215		249		283		326	
182		216		250		284		327	
183		217		251		285		328	
184		218		252		286		329	
185		219		253		287		330	
186		220		254		288		331	
187		221		255		289		335	
188		222		256		290		336	
189		223		257		291		337	
190		224		258		292		338	
191		225		259		293		339	
192		226		260		294		340	
193		227		261		295		341	
194		228		262		296		345	
195		229		263		297		346	
196		230		264		298		347	
197		231		265		299		348	
198		232		266		300		349	
199		233		267		304		350	
200		234		268		305		351	
201		235		269		306		355	
202		236		270		307		356	
203		237		271		308		357	
204		238		272		309		358	

O 2 ⑥ VI-2-8-3-4-1 (重) R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 1

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
359		405		448		491		534	
360		406		449		495		535	
361		407		450		496		539	
365		408		451		497		540	
366		409		455		498		541	
367		410		456		499		542	
368		411		457		500		543	
369		415		458		501		544	
370		416		459		502		545	
371		417		460		506		549	
375		418		461		507		550	
376		419		465		508		551	
377		420		466		509		552	
378		421		467		510		553	
379		425		468		511		554	
380		426		469		512		555	
381		427		470		513		559	
385		428		471		514		560	
386		429		475		515		561	
387		430		476		519		562	
388		431		477		520		563	
389		435		478		521		564	
390		436		479		522		565	
391		437		480		523		569	
395		438		481		524		570	
396		439		485		525		571	
397		440		486		529		572	
398		441		487		530		573	
399		445		488		531		574	
400		446		489		532			
401		447		490		533			

O 2 ⑥ VI-2-8-3-4-1 (重) R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
301		311		321		332		342	
302		312		322		333		343	
303		313		323		334		344	

弁 6		弁 7		弁 8		弁 9		弁 1 0	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
352		362		372		382		392	
353		363		373		383		393	
354		364		374		384		394	

弁 1 1		弁 1 2		弁 1 3		弁 1 4		弁 1 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
402		412		422		432		442	
403		413		423		433		443	
404		414		424		434		444	

弁 1 6		弁 1 7		弁 1 8		弁 1 9		弁 2 0	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
452		462		472		482		492	
453		463		473		483		493	
454		464		474		484		494	

弁 2 1		弁 2 2		弁 2 3		弁 2 4		弁 2 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
503		516		526		536		546	
504		517		527		537		547	
505		518		528		538		548	

弁 2 6		弁 2 7	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
556		566	
557		567	
558		568	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁 1	302			
弁 2	312			
弁 3	322			
弁 4	333			
弁 5	343			
弁 6	353			
弁 7	363			
弁 8	373			
弁 9	383			
弁 1 0	393			
弁 1 1	403			
弁 1 2	413			
弁 1 3	423			
弁 1 4	433			
弁 1 5	443			
弁 1 6	453			
弁 1 7	463			
弁 1 8	473			
弁 1 9	483			
弁 2 0	493			
弁 2 1	504			
弁 2 2	517			
弁 2 3	527			
弁 2 4	537			
弁 2 5	547			
弁 2 6	557			
弁 2 7	567			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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						
12						
18						
20						
22						
24						
30						
32						
37						
42						
44						
46						
48						
50						
56						
58						
63						
68						
76						
83						
86						
88						
90						
92						
97						
99						
101						
103						
108						

O 2 ⑥ VI-2-8-3-4-1 (重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
111						
115						
117						
121						
123						
126						
131						
133						
135						
137						
139						
142						
146						
150						
152						
154						
156						
159						
161						
163						
169						
174						
179						
181						
183						
185						
190						
195						
197						
202						

O 2 ⑥ VI-2-8-3-4-1 (重) R 1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
204						
206						
208						
210						
215						
220						
222						
229						
235						
241						
246						
248						
250						
252						
254						
260						
266						
272						
274						
276						
278						
280						
282						
284						
289						
295						
300						
304						
306						
308						

O 2 ⑥ VI-2-8-3-4-1 (重) R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
310						
314						
316						
318						
320						
324						
326						
329						
331						
335						
337						
339						
341						
345						
347						
349						
351						
355						
357						
359						
361						
365						
367						
369						
371						
375						
377						
379						
381						
385						

O 2 ⑥ VI-2-8-3-4-1 (重) R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
387						
389						
391						
395						
397						
399						
401						
405						
407						
409						
411						
415						
417						
419						
421						
425						
427						
429						
431						
435						
437						
439						
441						
445						
447						
449						
451						
455						
457						
459						

O 2 ⑥ VI-2-8-3-4-1 (重) R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
461						
465						
467						
469						
471						
475						
477						
479						
481						
485						
487						
489						
491						
495						
497						
499						
501						
506						
508						
511						
513						
515						
519						
521						
523						
525						
529						
531						
533						
535						

O 2 ⑥ VI-2-8-3-4-1 (重) R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
539						
541						
543						
545						
549						
551						
553						
555						
559						
561						
563						
565						
569						
571						
573						

O 2 ⑥ VI-2-8-3-4-1 (重) R 1

設計条件

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

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	22.00	66	34.0	6.4	SUS304TP	—	191720
2	22.00	66	60.5	8.7	SUS304TP	—	191720
3	0.86	66	60.5	3.9	SUS304TP	—	191720

設計条件

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 2

管名称	対応する評価点													
1	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14	
	15	16	17	18	19	21	22	23	24	26	27	28	29	
	30	31	32	34	35	36	37	38	40	41	42	43	44	
	100	101	102	104	105	106	107	108	109	111	112	113	114	
	115	117	118	119	120	121								
2	44	45	46	47	121	122	123	124						
3	49	50	51	52	53	54	55	56	57	59	60	62	63	
	64	65	66	67	68	70	71	72	73	74	75	76	77	
	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	
	91	92	93	94	126	127	128	129	130	131	132	133	134	
	135	137	138	139	141	142								

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 2

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		27		55		83		113	
2		28		56		84		114	
3		29		63		85		118	
4		30		64		86		119	
8		31		65		87		120	
9		35		66		88		121	
10		36		67		89		122	
11		37		71		90		123	
12		41		72		91		127	
13		42		73		92		128	
14		43		74		93		129	
15		44		75		94		130	
16		45		76		100		131	
17		46		77		101		132	
18		50		78		105		133	
19		51		79		106		134	
21		52		80		107		138	
22		53		81		108		142	
23		54		82		112			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

弁 2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
32		109	
33		110	
34		111	
215		212	
217		214	

弁 3

弁 4

弁 5

弁 6

弁 7

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
5		24		38		47		57	
6		25		39		48		58	
7		26		40		49		59	

弁 8

弁 9

弁 1 0

弁 1 1

弁 1 2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
60		68		139		135		124	
61		69		140		136		125	
62		70		141		137		126	

弁 1 3

弁 1 4

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
115		102	
116		103	
117		104	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
弁 1	33			
弁 2	110			
弁 3	6			
弁 4	25			
弁 5	39			
弁 6	48			
弁 7	58			
弁 8	61			
弁 9	69			
弁 1 0	140			
弁 1 1	136			
弁 1 2	125			
弁 1 3	116			
弁 1 4	103			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 2

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
1						
4						
11						
16						
22						
27						
31						
35						
37						
41						
46						
50						
64						
67						
73						
75						
84						
92						
94						
101						
108						
112						
114						
118						
123						
127						
138						
213						
216						

O 2 ⑥ VI-2-8-3-4-1 (重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SUS304TP	66	—	188	479	—

3.5 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計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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「VI-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 (O. P. (m))	減衰定数 (%)
H A P S - 0 0 1	緊急時対策建屋		

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計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-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「VI-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 (O. P. (m))	減衰定数 (%)
H A P S - 0 0 2	緊急時対策建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 1

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向	
1 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

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

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4：3.6C_I及び1.2C_Vより定めた震度を示す。

代表的振動モード図

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

鳥瞰図 HAPS-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 2

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
3 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

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

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4：3.6C_I及び1.2C_Vより定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 H A P S - 0 0 2

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次				
2 次				

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

代表的振動モード図

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

鳥瞰図 HAPS-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 HAPS-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 S _{pr m} (S _s)	許容応力 0.9S _u	計算応力 S _n (S _s)	許容応力 2S _y	疲労累積係数 U _{S_s}
HAPS-001	V _A S	491	S _{pr m} (S _s)	115	431	—	—	—
	V _A S	491	S _n (S _s)	—	—	180	376	—

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 S 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	疲労累積係数 U S s
H A P S - 0 0 2	V _A S	32	S p r m (S s)	122	431	—	—	—
	V _A S	106	S n (S s)	—	—	141	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 (°C)	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			
KB4001-011	レストレイント	ラグ	SUS304	50	1	1	4	—	—	—	組合せ	57	118
KB1001-082	アンカ	ラグ	SM400B	50	11	5	7	3	5	4	組合せ	44	422

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	

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、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管）

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	HAPS-001	491	115	431	3.74	—	491	180	376	2.08	○	—	—	—
2	HAPS-002	32	122	431	3.53	○	106	141	376	2.66	—	—	—	—
3	HAPS-003	105	74	431	5.82	—	105	145	376	2.59	—	—	—	—
4	HAPS-004	1	15	431	28.73	—	1	30	376	12.53	—	—	—	—
5	HAPS-005	7	23	431	18.73	—	18	32	376	11.75	—	—	—	—
6	HAPS-008	5	12	369	30.75	—	5	6	490	81.66	—	—	—	—
7	HAPS-009	1	21	369	17.57	—	1	18	490	27.22	—	—	—	—
8	HAPS-011-1	1	6	431	71.83	—	1	2	376	188.00	—	—	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 (重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

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
9	HAPS-101	2	53	431	8.13	—	2	40	376	9.40	—	—	—	—

VI-2-8-3-4-2 差圧計（緊急時対策所用）の耐震性についての計算書

目次

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

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-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、差圧計（緊急時対策所用）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。

差圧計（緊急時対策所用）は、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備以外の常設重大事故等対処設備に分類される。差圧計（緊急時対策所用）の評価においては、添付書類「VI-1-9-3-2 緊急時対策所の居住性に関する説明書」に基づき、基準地震動 S_s による地震力に対して十分な電氣的機能を有していることを確認する。

差圧計（緊急時対策所用）は、重大事故等対処設備として基準地震動 S_s による機能維持が要求されることから、本計算書は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」の「5. 機能維持の基本方針」及び添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針を準用し、設計用地震力に対して電氣的機能を有していることを説明するものである。

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。

なお、差圧計（緊急時対策所用）が設置される計器スタンションは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の壁掛形計器スタンションと類似の構造であるため、添付書類「VI-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」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

差圧計（緊急時対策所用）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、溶接により計器スタンションに固定される。 計器スタンションは、壁面に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>弾性型圧力検出器 (壁に設置された計器スタンションに検出器を計器取付ボルトにより固定する構造)</p>	

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

差圧計（緊急時対策所用）の固有周期の計算方法を以下に示す。

- (1) 差圧計（緊急時対策所用）は、図 3-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。
- (2) 計器スタンションは鋼材で上下 2 箇所を緊急時対策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 \ominus は検出器及び計器スタンションの質点、 \bullet は計器スタンションの支持点、 — は計器スタンションを示す。

3.1.1 水平方向（X 方向，Z 方向）

- (1) X 方向及び Z 方向に対する固有周期を次式で求める。

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

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。

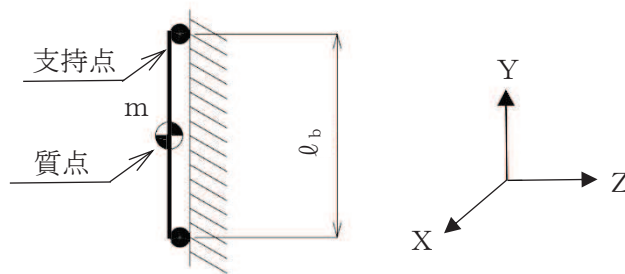
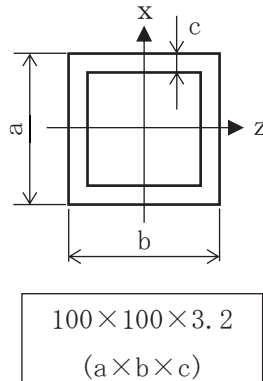


図 3-1 固有周期の計算モデル

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	37
上下ボルト間の距離（壁掛形）	l_b	mm	720
計器スタンションの材質	—	—	STKR400
縦弾性係数	E	MPa	202000
断面二次モーメント	I	mm ⁴	1.870×10^6
最小有効せん断断面積	A_b	mm ²	640
せん断弾性係数	G	MPa	77700
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
0.05	—

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

差圧計（緊急時対策所用）の構造強度評価は，添付書類「VI-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行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

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

4.2.2 許容応力

差圧計（緊急時対策所用）の許容応力は，添付書類「VI-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

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

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【差圧計（緊急時対策所用）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。

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	差圧計 (緊急時対策所用)	常設/その他	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用 いる。)

注記*1：「常設/その他」は常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備以外の常設重大事故等対処設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		基礎ボルト	SS400 (40mm<径)	周囲環境温度	40	215

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

差圧計（緊急時対策所用）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「VI-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。

差圧計（緊急時対策所用）の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
差圧計（緊急時対策所用）	水平方向	4.0
	鉛直方向	3.0

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

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

【差圧計（緊急時対策所用）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
差圧計 (緊急時対策所用)	常設/その他	緊急時対策建屋 OP. 51.50* (OP. 57.30)	□	—	—	—	C _H =1.21	C _V =0.87	40

注記*：基準床レベルを示す。

6

1.2 機器要目

1.2.1 差圧計（緊急時対策所用）

部 材	m (kg)	h ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ _a (mm)	ℓ _b (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _{fV}	n _{fH}
基礎ボルト	□						113.1	4	2	2

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向*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	215 (40mm<径)	400	—	258	—	水平方向

注記*1：水平、鉛直方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 8$	$f_{ts} = 154^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 119$

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

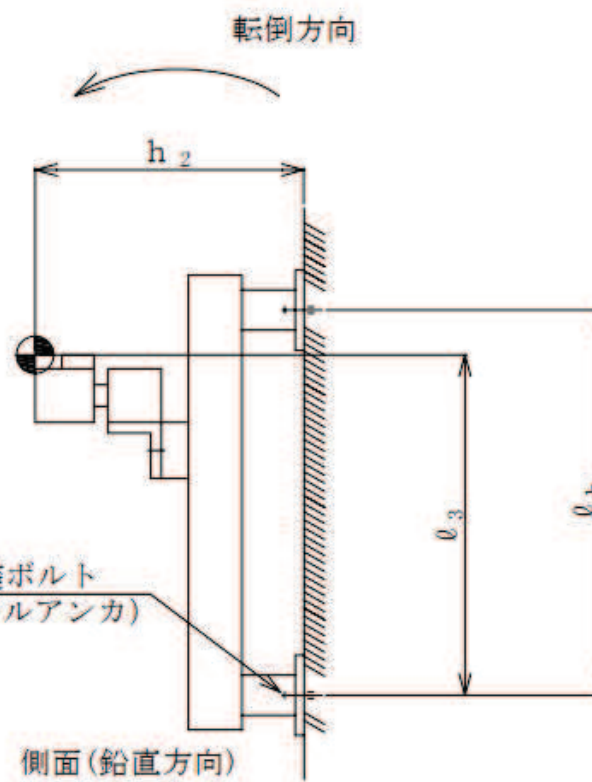
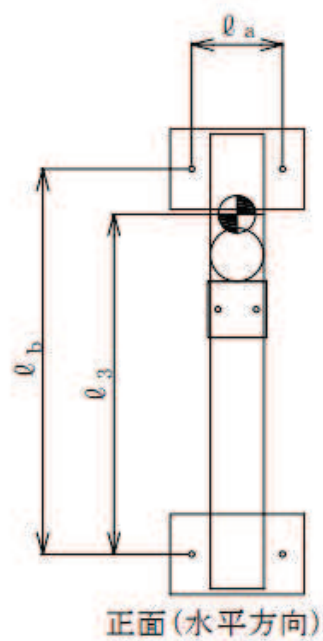
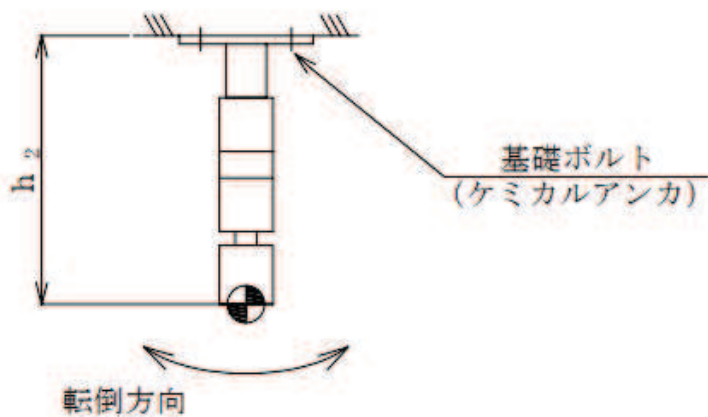
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8m/s^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
差圧計 (緊急時対策所用)	水平方向	1.01	4.0
	鉛直方向	0.73	3.0

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-8-4 生体遮蔽装置の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-8-4-1 2次しゃへい壁の耐震性についての計算書
- VI-2-8-4-2 補助しゃへいの耐震性についての計算書
- VI-2-8-4-3 中央制御室しゃへい壁の耐震性についての計算書
- VI-2-8-4-4 中央制御室待避所遮蔽の耐震性についての計算書
- VI-2-8-4-5 緊急時対策所遮蔽の耐震性についての計算書

VI-2-8-4-1 2次しゃへい壁の耐震性についての計算書

添付書類「VI-2-8-4-1 2次しゃへい壁の耐震性についての計算書」は、添付書類「VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書」に倣うものとする。

VI-2-8-4-2 補助しゃへいの耐震性についての計算書

添付書類「VI-2-8-4-2 補助しゃへいの耐震性についての計算書」は，添付書類「VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書」に倣うものとする。

VI-2-8-4-3 中央制御室しゃへい壁の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針（中央制御室しゃへい壁）	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（中央制御室しゃへい壁）	11
4. 応力解析による評価方法（中央制御室しゃへい壁）	13
4.1 評価対象部位及び評価方針	13
4.1.1 天井スラブ及び床スラブ	13
4.1.2 耐震壁	17
4.2 荷重及び荷重の組合せ	20
4.2.1 天井スラブ及び床スラブ	20
4.2.2 耐震壁	22
4.3 許容限界	23
4.4 解析モデル及び諸元	25
4.4.1 天井スラブ及び床スラブ	25
4.4.2 耐震壁	27
4.5 評価方法	28
4.5.1 天井スラブ及び床スラブの応力解析方法	28
4.5.2 耐震壁の応力解析方法	32
4.5.3 天井スラブ及び床スラブの断面評価方法	33
4.5.4 耐震壁の断面評価方法	33
5. 評価結果（中央制御室しゃへい壁）	34
5.1 地震応答解析による評価結果	34
5.2 応力解析による評価結果	37
5.2.1 天井スラブ及び床スラブの評価結果	37
5.2.2 耐震壁の評価結果	44
6. 基本方針（中央制御室バウンダリ）	47
6.1 位置	47
6.2 構造概要	48
6.3 評価方針	50
6.4 適用規格・基準等	52

7.	地震応答解析による評価方法（中央制御室バウンダリ）	53
8.	応力解析による評価方法（中央制御室バウンダリ）	55
8.1	評価対象部位及び評価方針	55
8.2	荷重及び荷重の組合せ	59
8.3	許容限界	62
8.4	解析モデル及び諸元	64
8.5	評価方法	66
8.5.1	応力解析方法	66
8.5.2	断面評価方法	69
9.	評価結果（中央制御室バウンダリ）	70
9.1	地震応答解析による評価結果	70
9.2	応力解析による評価結果	73

別紙1 中央制御室の気密性に関する計算書

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「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、中央制御室しゃへい壁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。

なお、中央制御室は、添付書類「VI-1-7-3 中央制御室の居住性に関する説明書」において、「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 条及び第 74 条並びにそれらの「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の解釈」に基づく居住性の評価を行っており、中央制御室換気設備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。）を定めている。以下、中央制御室のうち構造強度及び遮蔽性が要求される範囲（以下「中央制御室しゃへい壁」という。）と中央制御室バウンダリの耐震評価をそれぞれ示す。

2. 基本方針（中央制御室しゃへい壁）

中央制御室しゃへい壁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中央制御室しゃへい壁としての耐震評価を示す。

2.1 位置

中央制御室しゃへい壁は、制御建屋の一部を構成している。中央制御室しゃへい壁を含む制御建屋の設置位置を図2-1に示す。

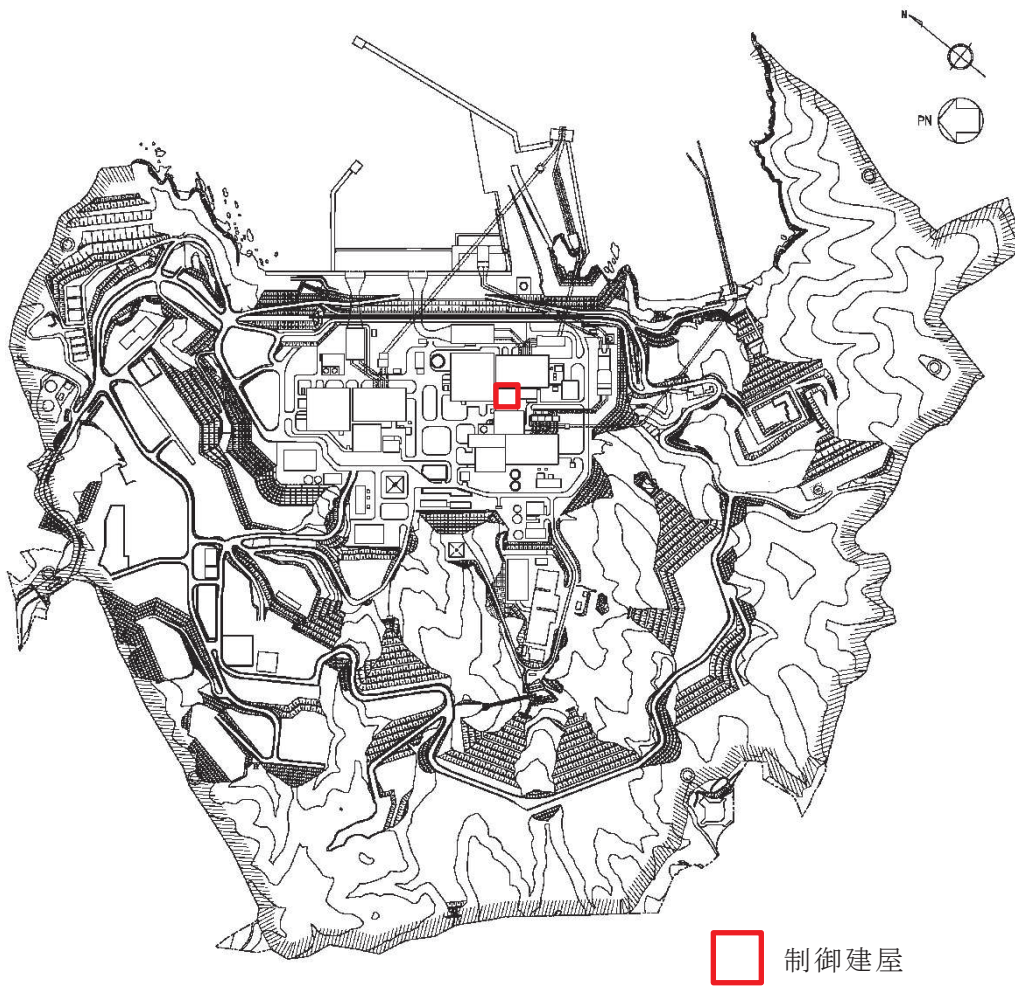


図2-1 中央制御室しゃへい壁を含む制御建屋の設置位置

2.2 構造概要

制御建屋は地下2階，地上3階建で，基礎底面からの高さは30.65mであり，平面は下部で41.0m(NS方向)×40.0m(EW方向)^{*1}のほぼ正方形である。

建屋の構造は鉄筋コンクリート造(一部鉄骨造)であり，その主たる耐震要素は建屋の外周の耐震壁である。

制御建屋の基礎は，厚さ3.0mのべた基礎で，支持地盤である砂岩及び頁岩上に設置されており，一部は支持地盤上に打設されたマンメイドロック上に設置されている。

中央制御室はO.P.^{*2}22.95m～O.P.29.15mに位置する。平面規模は，41.0m(NS方向)×40.0m(EW方向)である。中央制御室しゃへい壁は，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□，床スラブ及び天井スラブの厚さは□である。

中央制御室しゃへい壁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。

注記*1：建屋寸法は壁外面押えとする。

*2：O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり，東京湾平均海面(T.P.)-0.74mである。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

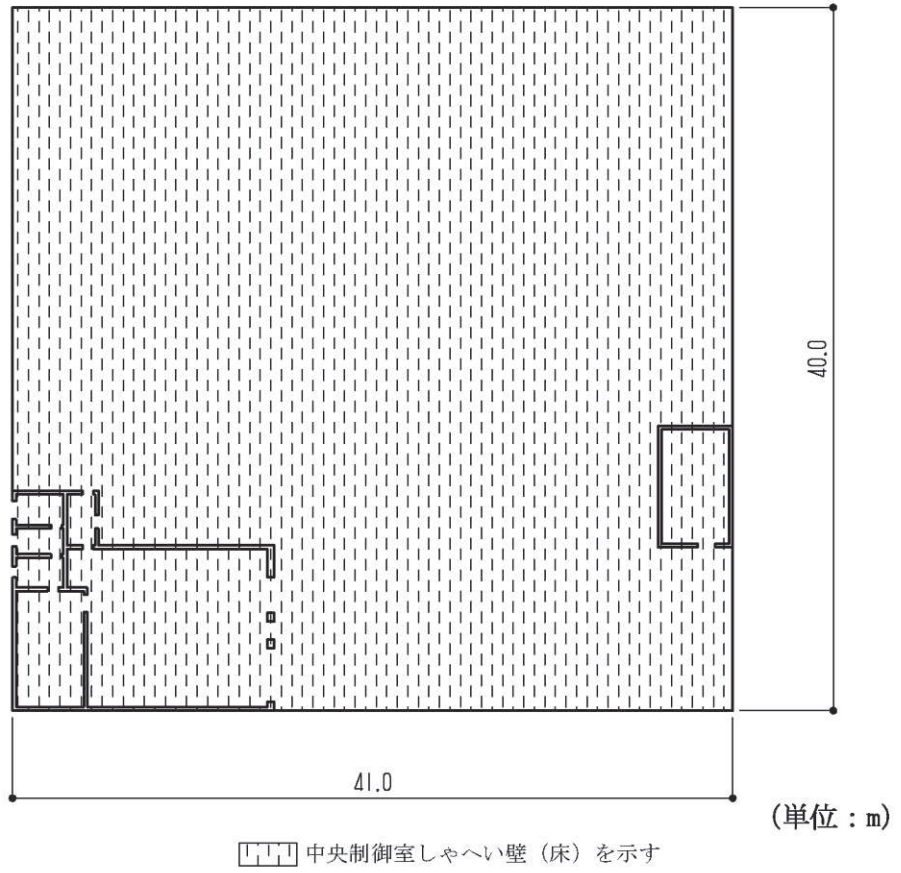


図 2-2(1) 中央制御室しゃへい壁の概略平面図 (0. P. 29. 15m)

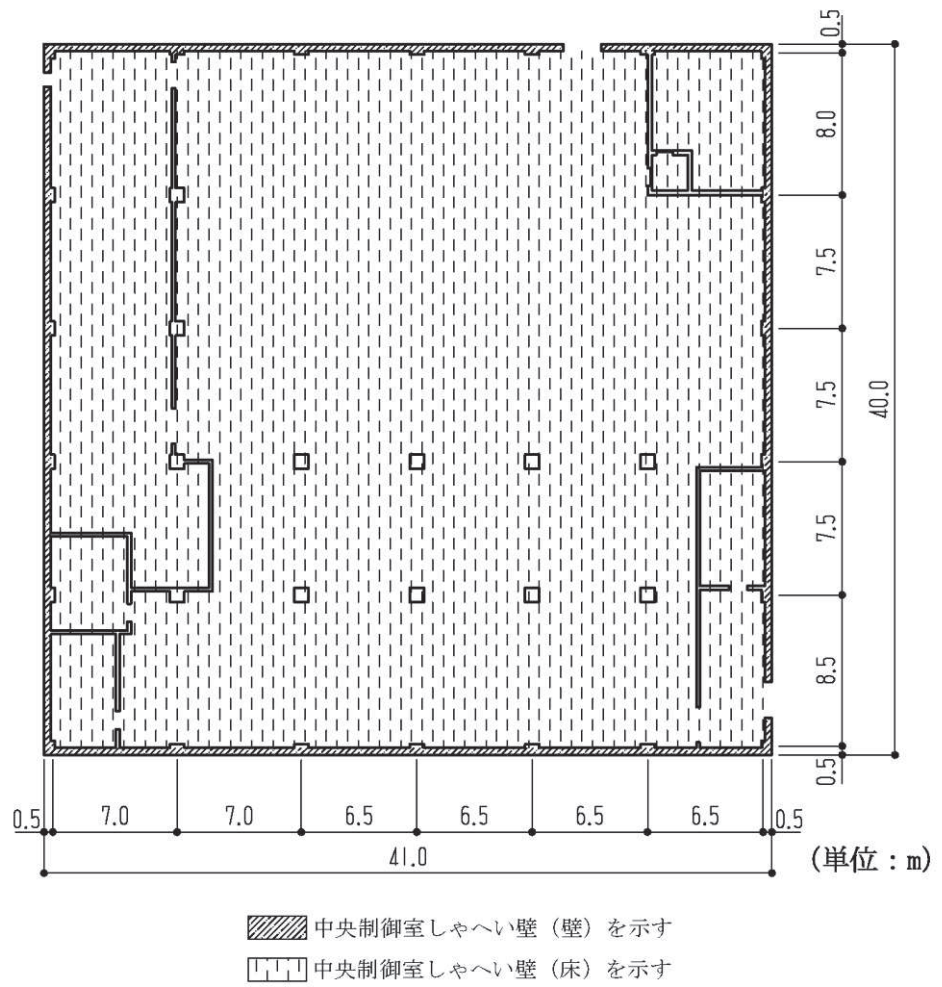
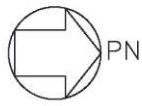


図 2-2(2) 中央制御室しゃへい壁の概略平面図 (0.P. 22.95m)

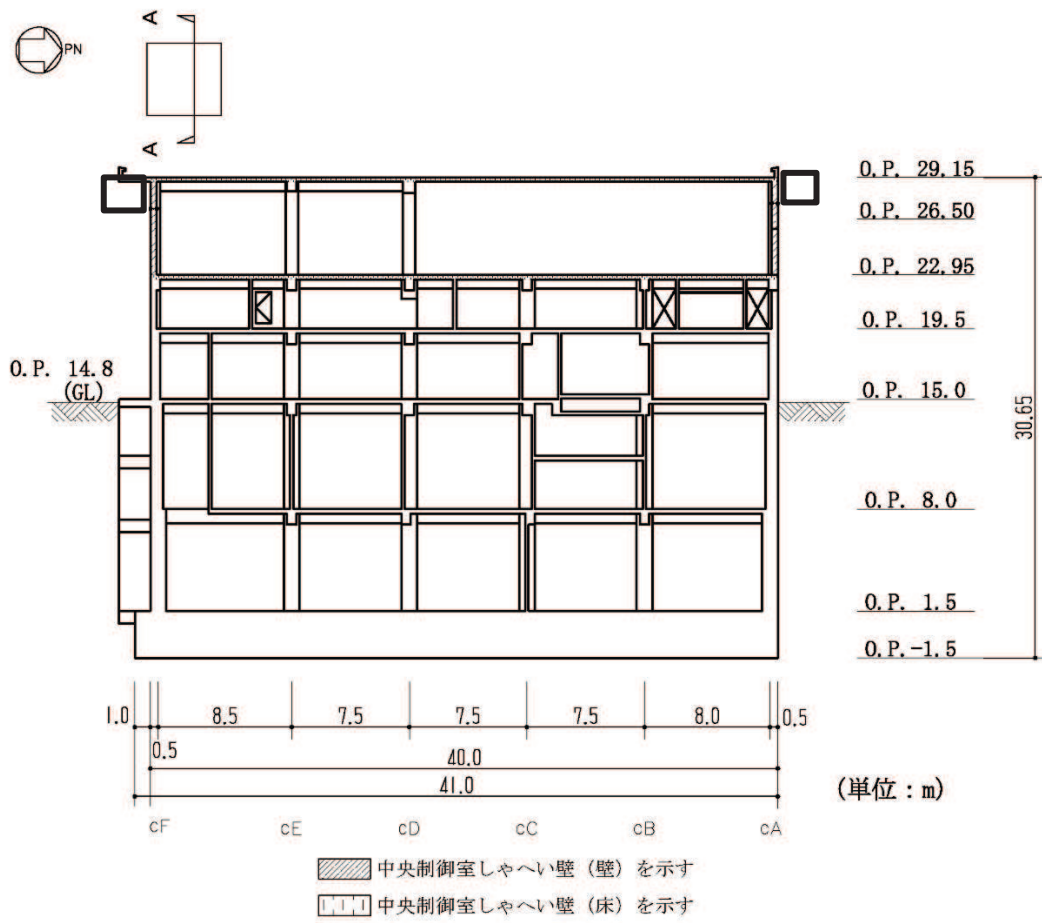


図 2-3 中央制御室しゃへい壁の概略断面図 (A-A 断面 EW 方向)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 評価方針

中央制御室しゃへい壁は、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。

中央制御室しゃへい壁は、中央制御室を取り囲む耐震壁、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。

中央制御室しゃへい壁の評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、「3. 地震応答解析による評価方法（中央制御室しゃへい壁）」においては耐震壁についてせん断ひずみの評価を、「4. 応力解析による評価方法（中央制御室しゃへい壁）」においては耐震壁、床スラブ及び天井スラブについて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。

それぞれの評価は、添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。評価にあたっては材料物性の不確かさを考慮する。表2-1に材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを示す。

静的地震力に対する評価については、平成2年5月24日付け元資庁第14466号にて認可された工事計画の添付書類「IV-2-4 制御建屋の耐震性についての計算書」（以下「既工認」という。）にて実施しているため、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は、弾性設計用地震動 S_d による地震力に対する評価を行うこととする。

なお、中央制御室しゃへい壁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、中央制御室しゃへい壁が制御建屋の一部であることを踏まえ、中央制御室しゃへい壁を含む制御建屋全体としての評価結果を添付書類「VI-2-2-4 制御建屋の耐震性についての計算書」に示す。

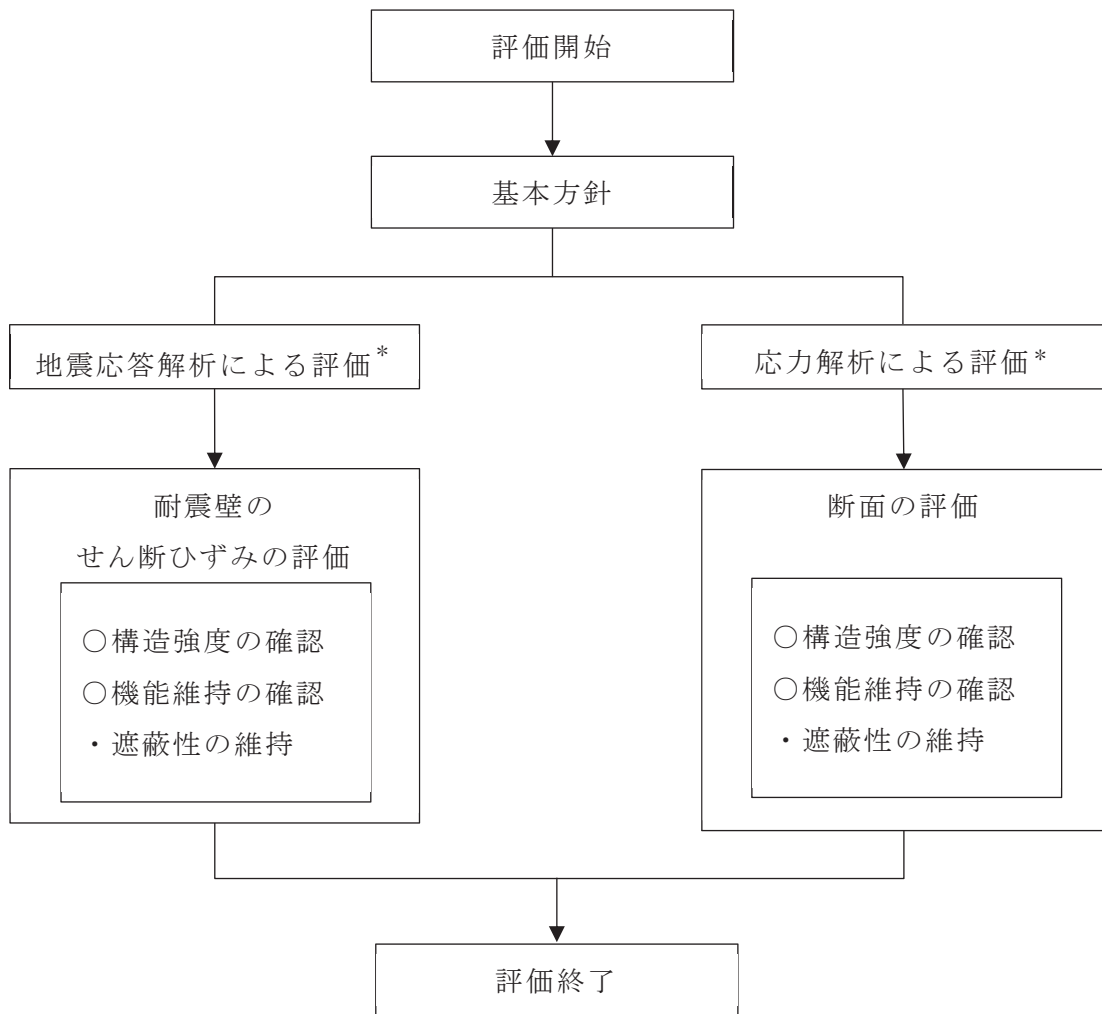
また、重大事故等対処施設としての評価においては、 S_s 地震時に対する評価を行う。ここで、中央制御室しゃへい壁では、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態において、圧力、温度等の条件について有意な差異がないことから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設としての評価と同一となる。

中央制御室しゃへい壁の評価フローを図2-4に示す。

表 2-1 材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

対象地震動	ケース名	スケルトンカーブ		建屋材料減衰	地盤物性	
		初期剛性	終局耐力		入力地震動	底面地盤ばね
基準地震動 S _s (水平)	ケース 1 (基本ケース)	2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正	設計基準強度を用いた JEAG 式で評価	5%	直接入力	標準地盤
	ケース 2	同上	同上	同上	同上	標準地盤 + σ
	ケース 3				同上	標準地盤 - σ
	ケース 4	基本ケースの 0.70 倍*	同上	同上	同上	標準地盤
	ケース 5				同上	標準地盤 + σ
	ケース 6				同上	標準地盤 - σ
基準地震動 S _s (鉛直)	ケース 1 (基本ケース)	設計剛性	—	5%	直接入力	標準地盤
	ケース 2	同上	—	同上	同上	標準地盤 + σ
	ケース 3					標準地盤 - σ
弾性設計用 地震動 S _d (水平, 鉛直)	ケース 1 (基本ケース)	水平: 3.11 地震シミュレーションにより補正 鉛直: 設計剛性	—	5% (水平, 鉛直とも)	水平: 直接入力 鉛直: 直接入力	標準地盤
	ケース 2	同上	—	同上	同上	標準地盤 + σ
	ケース 3				同上	標準地盤 - σ

注記*: 建屋剛性（初期剛性）の不確かさについて、基準地震動 S_s 入力後の建屋全体の平均的な剛性低下を全ての基準地震動 S_s について評価し、最も剛性低下するケースの低下後の剛性を初期剛性の不確かさとして考慮する。具体的には、基準地震動 S_s 入力前後の 1 次固有振動数の比 (f_{Ss 入力後}/f_{Ss 入力前}) から算定した剛性比を基本ケースの初期剛性に掛けることによって算定する。



注記*：添付書類「VI-2-2-3 制御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 中央制御室しゃへい壁の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

中央制御室しゃへい壁の評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 1999 年 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-
- ・ 日本建築学会 2005 年 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（以下「RC-N規準」という。）
- ・ 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）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- ・ 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）（以下「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」という。）

3. 地震応答解析による評価方法（中央制御室しゃへい壁）

中央制御室しゃへい壁の構造強度については，添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」による結果に基づき，材料物性の不確かさを考慮した最大応答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，遮蔽性の維持については，添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」による結果に基づき，材料物性の不確かさを考慮した最大応答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しゃへい壁の許容限界は，添付書類「VI-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(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	耐震壁*	最大応答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	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能を損なわないこと	基準地震動 S _s	耐震壁*	最大応答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	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³

注記*：建屋全体としては，耐震壁で地震力を全て負担する構造となっており，剛性の高い耐震壁の変形に追従する柱，はり，間仕切壁等の部材の層間変形は十分小さいこと，また，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ことから，耐震壁の最大応答せん断ひずみが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。

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	耐震壁*	最大応答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	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能を損なわないこと	基準地震動 S _s	耐震壁*	最大応答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	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³

注記*：建屋全体としては、耐震壁で地震力を全て負担する構造となっており、剛性の高い耐震壁の変形に追従する柱、はり、間仕切壁等の部材の層間変形は十分小さいこと、また、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ことから、耐震壁の最大応答せん断ひずみが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。

4. 応力解析による評価方法（中央制御室しゃへい壁）

4.1 評価対象部位及び評価方針

中央制御室しゃへい壁の応力解析による評価対象部位は、中央制御室しゃへい壁を構成する天井スラブ、床スラブ及び耐震壁とし、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「VI-2-2-3 制御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。

4.1.1 天井スラブ及び床スラブ

(1) S d 地震時に対する評価

S d 地震時に対する評価は、材料物性の不確かさ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により発生する応力が、「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、材料物性の不確かさ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。

評価については、各断面についてスラブの検定値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。

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（中央制御室しゃへい壁）」に含まれる。

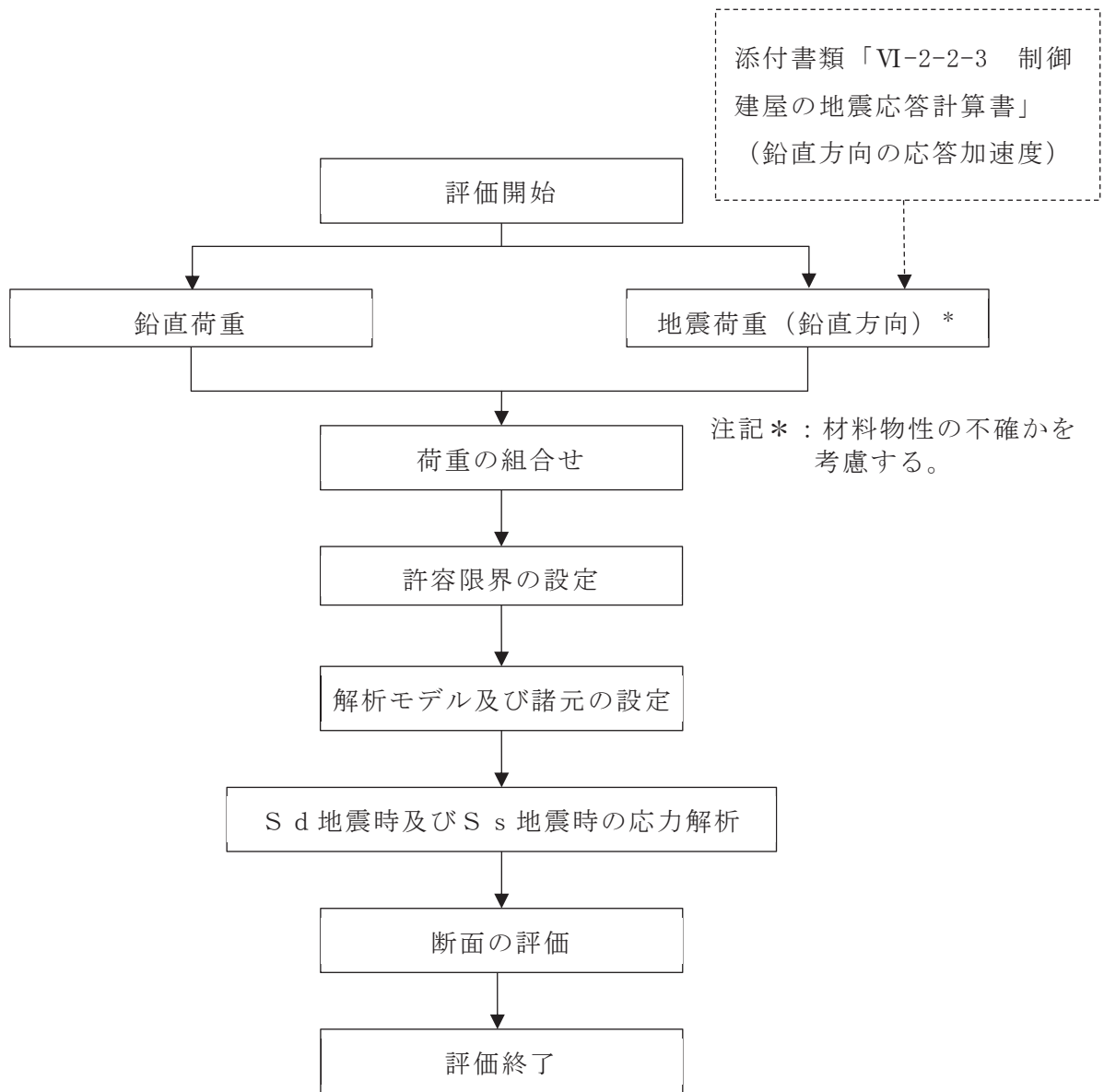


図 4-1 天井スラブ及び床スラブの応力解析による評価フロー

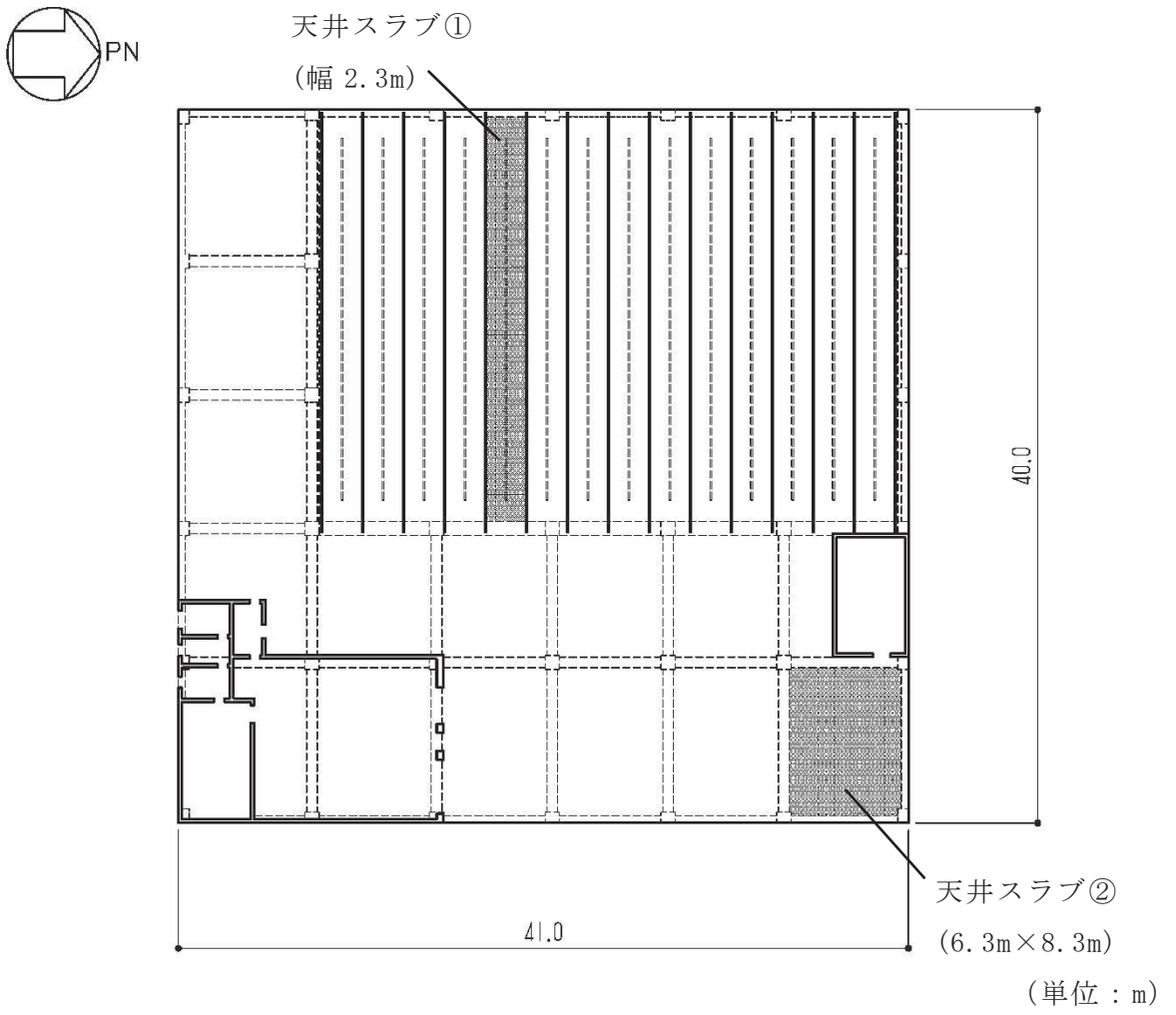


図 4-2(1) スラブの評価を記載する部材の位置 (RF, 0.P. 29.15m)

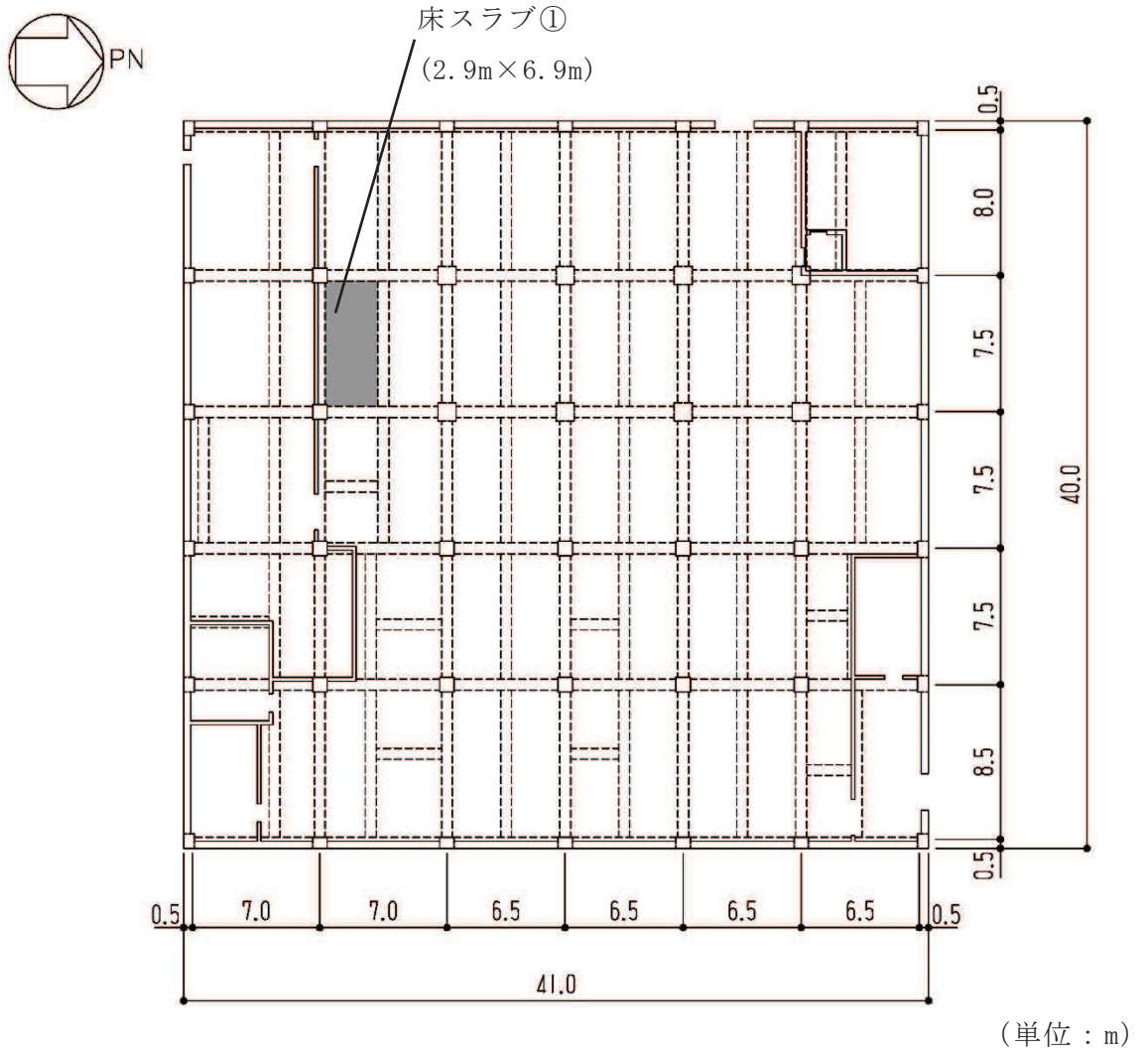


図 4-2(2) スラブの評価を記載する部材の位置 (3F, O.P. 22.95m)

4.1.2 耐震壁

(1) S d 地震時に対する評価

S d 地震時に対する評価は、材料物性の不確かさを考慮した地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果により発生する応力が、「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。

応力解析による評価フローを図 4-3 に、選定した部材を図 4-4 に示す。

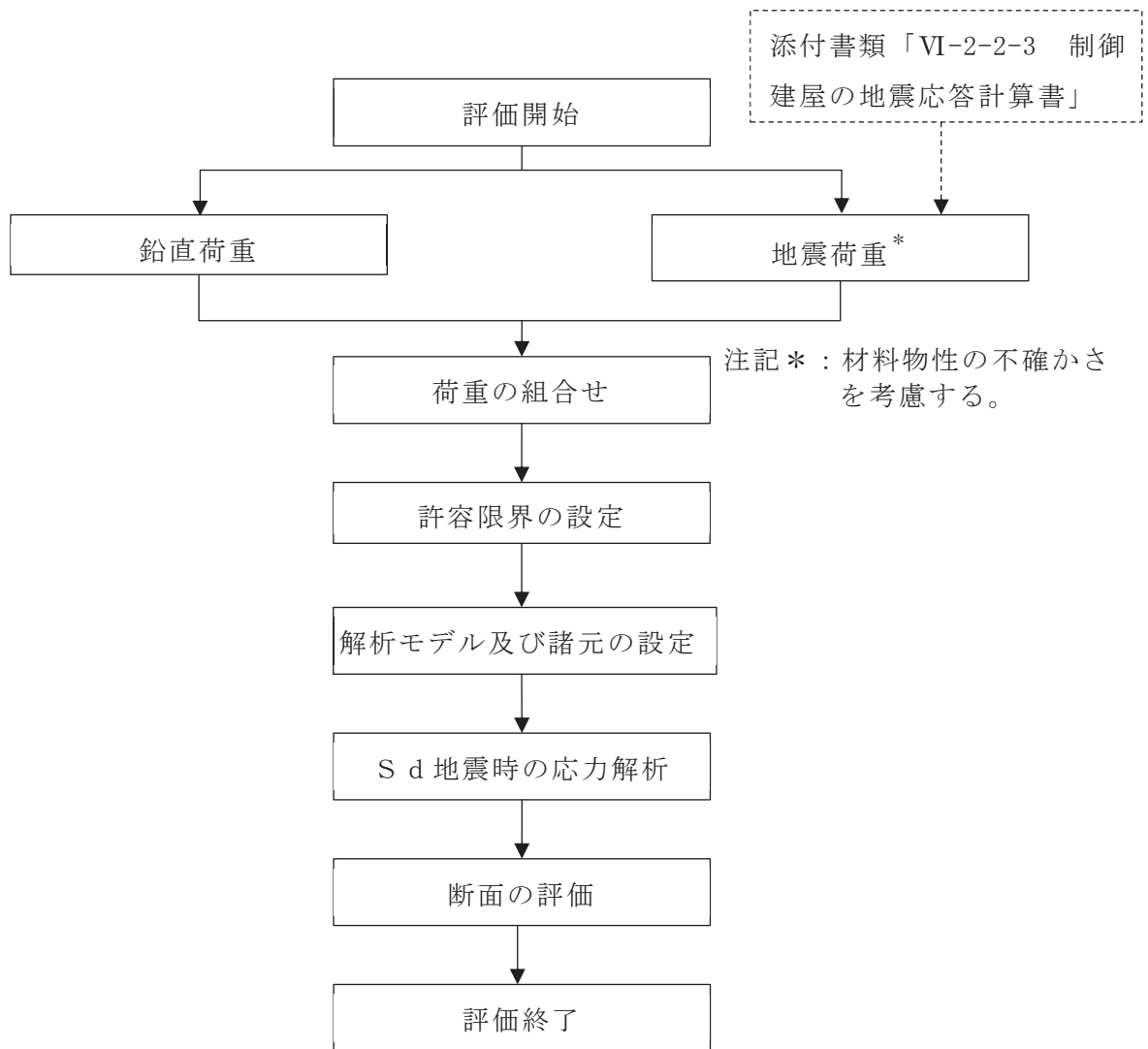
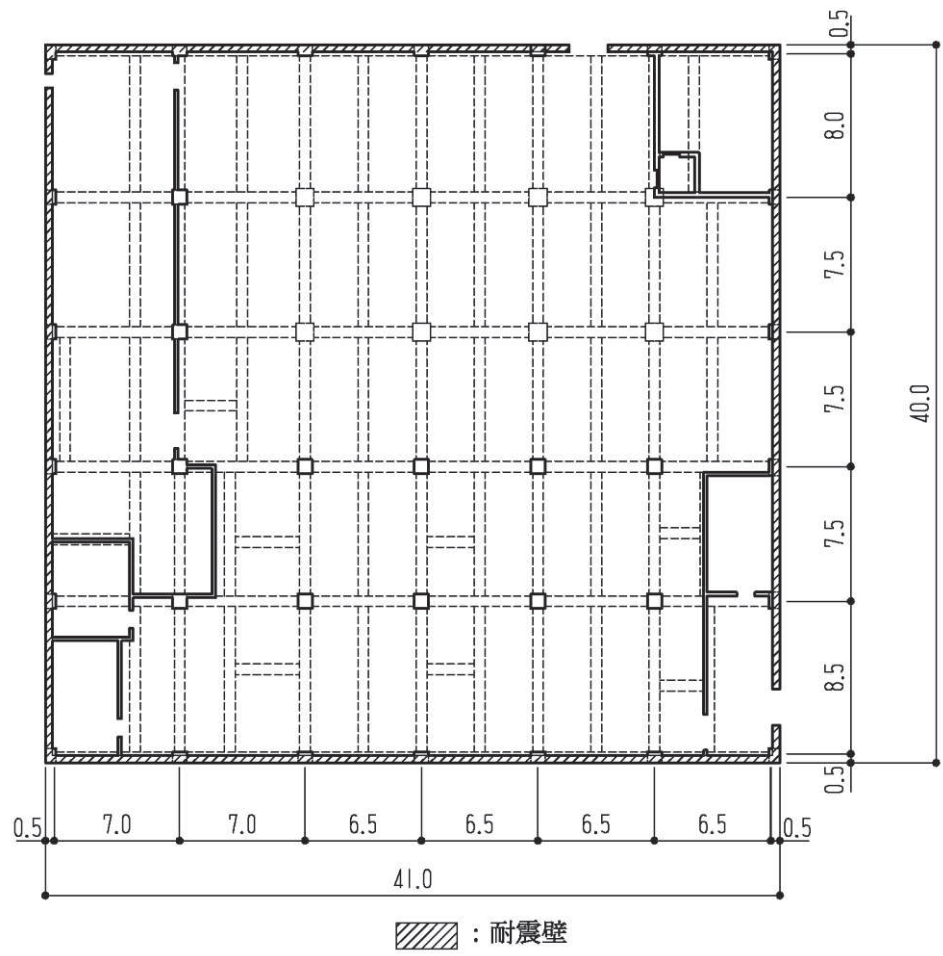
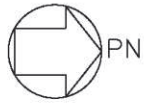


図 4-3 耐震壁の応力解析による評価フロー



(単位：m)

図 4-4 耐震壁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「VI-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 天井スラブ及び床スラブ

(1) 荷重

a. 鉛直荷重

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

b. 地震荷重（ S_s ， S_d ）

鉛直地震力は、材料物性の不確かさを考慮した基準地震動 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より設定する。

天井スラブ及び床スラブが、長辺方向 6.9m～8.3m、短辺方向 2.3m～6.3m で厚さ 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。

鉛直方向の地震荷重は、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中央制御室天井レベル（0.P.29.15m、質点番号 1）及び中央制御室床レベル（0.P.22.95m、質点番号 2）の鉛直方向最大応答加速度より算定される誘発上下動を考慮した鉛直震度とする。

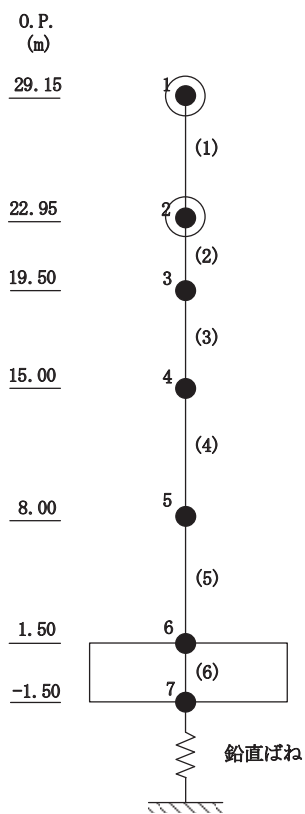
表 4-1 固定荷重（G）

部位	固定荷重 (kN/m ²)
天井スラブ①	7.2
天井スラブ②	7.2
床スラブ①	7.2

表 4-2 積載荷重（P）

部位	積載荷重 (kN/m ²)
天井スラブ①	2.2
天井スラブ②	2.3
床スラブ①	12.0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



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 4-5 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 (鉛直方向)

(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 S s 地震時	$(1 + K_v)(G + P)$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

K_v : 鉛直震度

4.2.2 耐震壁

水平地震力及び鉛直地震力は、弾性設計用地震動 S d に対する地震応答解析により算定される動的地震力より設定する。なお、水平地震力及び鉛直地震力は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

4.3 許容限界

応力解析による評価における中央制御室しゃへい壁の許容限界は、添付書類「VI-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 (評価基準値)
—	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」に基づく短期許容応力度*
		弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力	耐震壁	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
天井スラブ 床スラブ					
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性能を損なわないこと	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*
		弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力	耐震壁	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
天井スラブ 床スラブ					

注記*：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。

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 (評価基準値)
—	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 短期許容応力度*
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性能を損なわないこと	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*

注記*：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。

表 4-6 コンクリートの許容応力度

設計基準強度 F _c (N/mm ²)	圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)
32.4	21.6	1.21

表 4-7 鉄筋の許容応力度

種別	引張及び圧縮 (N/mm ²)	せん断補強 (N/mm ²)
SD35 (SD345 相当)	345	345

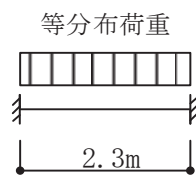
4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 天井スラブ及び床スラブ

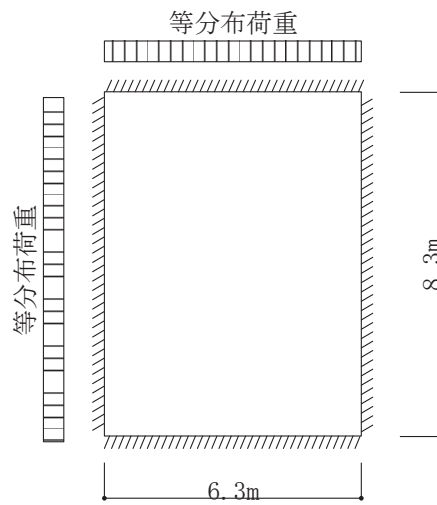
(1) モデル化の基本方針

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、壁及びはり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①については単位幅についてはりで支持された両端固定はりとして評価する。天井スラブ②及び床スラブ①については、四辺固定版として評価する。スラブの解析モデルを図4-4に示す。

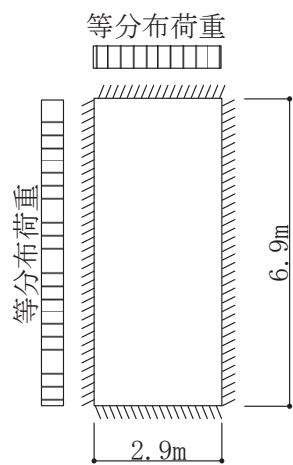


(a) 天井スラブ①（両端固定はり）



(b) 天井スラブ②（四辺固定版）

図4-4(1) 解析モデル



(c) 床スラブ① (四辺固定版)

図 4-4(2) 解析モデル

(2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-8 に示す。

表 4-8 使用材料の物性値

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
32.4	2.51×10^4	0.2

4.4.2 耐震壁

(1) モデル化の基本方針

耐震壁の応力は、添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」に基づき評価する。

(2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-9 に示す。

表 4-9 使用材料の物性値

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
32.4	2.51×10^4	0.2

4.5 評価方法

4.5.1 天井スラブ及び床スラブの応力解析方法

(1) 荷重ケース

作用荷重のうち地震荷重は、鉛直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) 長期荷重時の応力の算出方法

長期荷重時の端部曲げモーメント、中央部曲げモーメント及びせん断力の算出方法は下式の通りである。長期荷重時の端部曲げモーメント、中央部曲げモーメント及びせん断力を表 4-10 に示す。

(四辺固定版)

- ・短辺の端部曲げモーメント (M_{X1})

$$M_{X1} = -\frac{1}{12} \cdot w_x \cdot l_x^2$$

- ・短辺の中央部曲げモーメント (M_{X2})

$$M_{X2} = \frac{1}{18} \cdot w_x \cdot l_x^2$$

- ・短辺のせん断力 (Q_x)

$$Q_x = 0.52 \cdot w \cdot l_x$$

- ・長辺の端部曲げモーメント (M_{Y1})

$$M_{Y1} = -\frac{1}{24} \cdot w \cdot l_x^2$$

- ・長辺の中央部曲げモーメント (M_{Y2})

$$M_{Y2} = \frac{1}{36} \cdot w \cdot l_x^2$$

- ・長辺のせん断力 (Q_y)

$$Q_y = 0.46 \cdot w \cdot l_x$$

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/m²)

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

(両端固定はり)

- ・ 端部曲げモーメント (M_E)

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

- ・ 中央部曲げモーメント (M_C)

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

- ・ 端部せん断力 (Q_E)

$$Q_E = \frac{1}{2} \cdot w \cdot l$$

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 4-10 長期荷重時の端部曲げモーメント, 中央部曲げモーメント及びせん断力

部位	スラブ厚 (mm)	方向	端部曲げ モーメント ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	中央部曲げ モーメント ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	せん断力 (kN/m)
天井スラブ①		短辺 (NS)	4.1	2.1	10.8
天井スラブ②		短辺 (NS)	23.6	15.7	31.1
		長辺 (EW)	15.7	10.5	27.5
床スラブ①		短辺 (NS)	13.0	8.7	29.0
		長辺 (EW)	6.7	4.5	25.6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) Sd 地震時及び Ss 地震時の応力の算出方法

「(2) 長期荷重時の応力の算出方法」における長期荷重時の端部曲げモーメント, 中央部曲げモーメント及びせん断力を, 中央制御室天井レベル(0. P. 29. 15m, 質点番号 1) 及び中央制御室床レベル(0. P. 22. 15m, 質点番号 2) 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 4-11 に, 算出した端部曲げモーメント, 中央部曲げモーメント及びせん断力を表 4-12 に示す。

表 4-11 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

質点番号	O. P. (m)	最大値 (cm/s ²)
1	29. 15	991
2	22. 95	876

(b) 基準地震動 S s

質点番号	O. P. (m)	最大値 (cm/s ²)
1	29. 15	1754
2	22. 95	1574

表 4-12 鉛直震度より算出した端部曲げモーメント，中央部曲げモーメント
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	端部曲げモーメント (kN・m/m)	中央部曲げモーメント (kN・m/m)	せん断力 (kN/m)
天井スラブ①	2.02	短辺 (NS)	8.3	4.2	21.8
天井スラブ②	2.02	短辺 (NS)	47.7	31.7	62.8
		長辺 (EW)	31.7	21.2	55.6
床スラブ①	1.90	短辺 (NS)	24.7	16.5	55.1
		長辺 (EW)	12.7	8.6	48.6

注記*：検討用鉛直震度には長期荷重時の重量を含むものとする。

(b) 基準地震動 S s

部位	検討用鉛直震度*	方向	端部曲げモーメント (kN・m/m)	中央部曲げモーメント (kN・m/m)	せん断力 (kN/m)
天井スラブ①	2.79	短辺 (NS)	11.4	5.9	30.1
天井スラブ②	2.79	短辺 (NS)	65.8	43.8	86.8
		長辺 (EW)	43.8	29.3	76.7
床スラブ①	2.61	短辺 (NS)	33.9	22.7	75.7
		長辺 (EW)	17.5	11.7	66.8

注記*：検討用鉛直震度には長期荷重時の重量を含むものとする。

4.5.2 耐震壁の応力解析方法

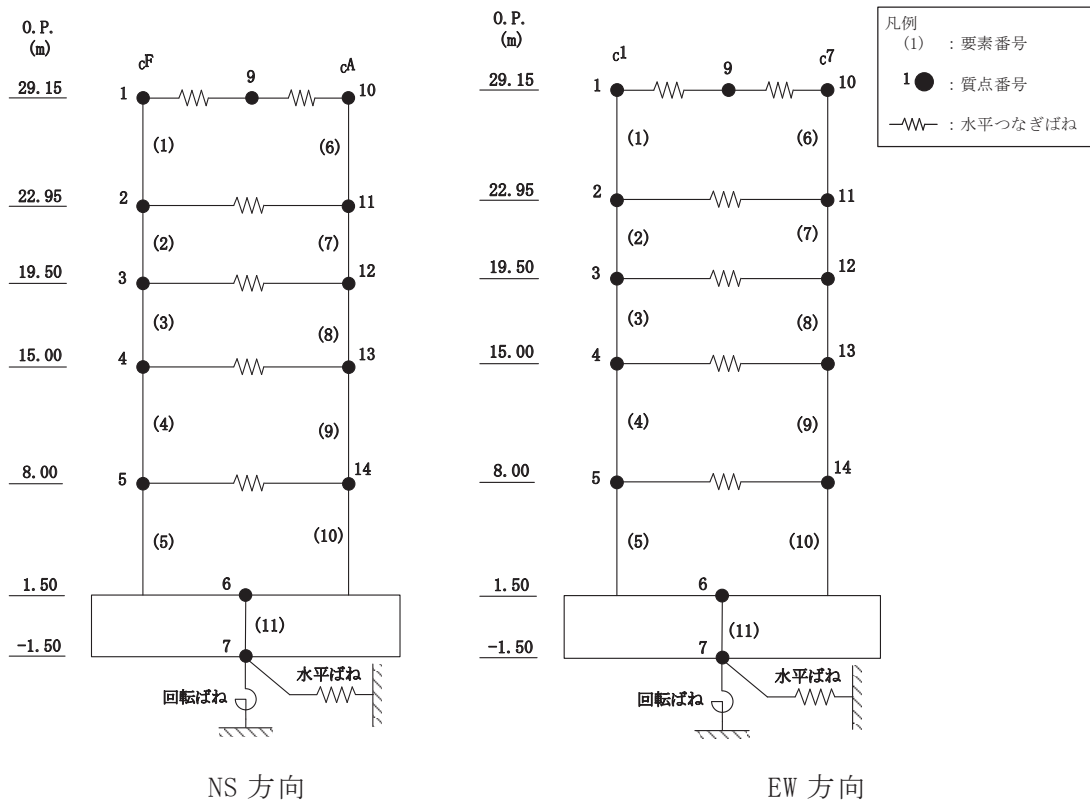
水平地震力は、弾性設計用地震動 S d に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び層せん断力係数 $3.0 \cdot C_i$ より算定される静的地震力より設定する。

S d 地震荷重は、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レベル (O.P. 22.95m~O.P. 29.15m 要素番号(1)及び(6)) の最大応答せん断力より設定する。材料物性の不確かさを考慮した中央制御室レベルにおける層せん断力を表 4-13 に示す。

弾性設計用地震動 S d による地震力は静的地震力を上回るため、弾性設計用地震動 S d による地震力により耐震壁の検討を行う。

表 4-13 層せん断力 (弾性設計用地震動 S d による地震力及び静的地震力)

部位	方向	要素番号	弾性設計用地震動 S d による地震力 ($\times 10^3 \text{kN}$)	層せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)	
				弾性設計用地震動 S d による地震力	静的地震力
中央制御室	NS	(1)	21.80	42.92	24.65
		(6)	21.12		
	EW	(1)	23.60	44.44	24.54
		(6)	20.84		



4.5.3 天井スラブ及び床スラブの断面評価方法

(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、次式をもとに計算した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 : せん断スパン比 $M / (Q \cdot d)$ による割増し係数

(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 (N/mm²)

4.5.4 耐震壁の断面評価方法

S d 地震時について、せん断力による応力は全て鉄筋で負担し、また、曲げモーメントにより生じる引張応力についても鉄筋で負担することとし、必要鉄筋比が設計鉄筋比を超えていないことを確認する。

5. 評価結果（中央制御室しゃへい壁）

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。当該階の耐震壁の最大応答せん断ひずみ一覧を表 5-1 に，質点系モデルを図 5-1 に，材料物性の不確かさを考慮した最大応答値をせん断スケルトンカーブ上にプロットし図 5-2 に示す。

材料物性の不確かさを考慮した最大応答せん断ひずみは 0.79×10^{-3} （要素番号(6)，NS 方向，S s - D 2，ケース 6）であり，許容限界（ 2.0×10^{-3} ）を超えないことを確認した。

表 5-1 耐震壁の最大応答せん断ひずみ

方向	階	部位	ケース	最大応答 せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
NS	3	要素番号(6) (O. P. 22. 95m～ 29. 15m)	S s - D 2 ケース 6	0. 79	2. 0
EW	3	要素番号(1) (O. P. 22. 95m～ 29. 15m)	S s - D 2 ケース 6	0. 58	2. 0

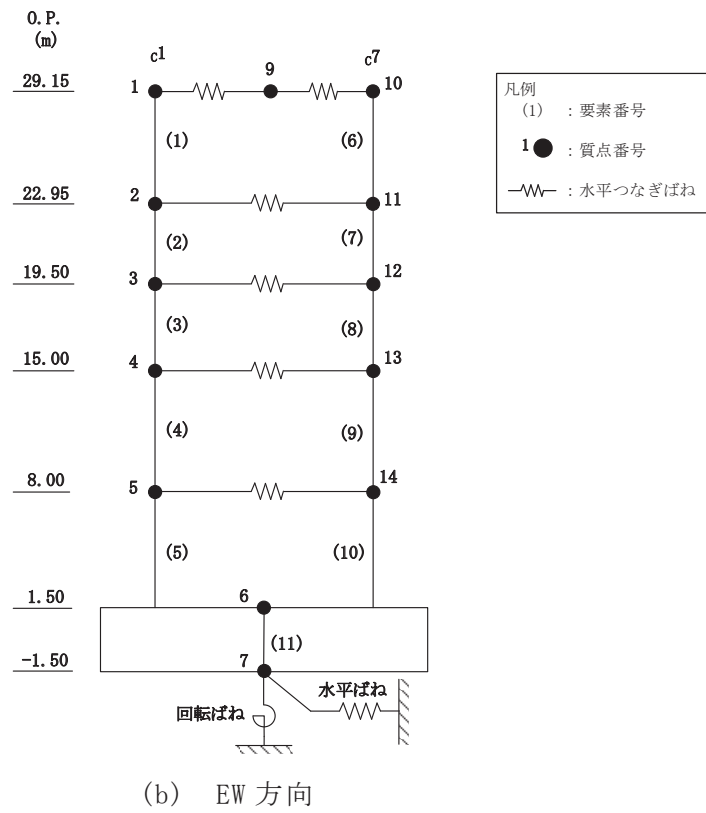
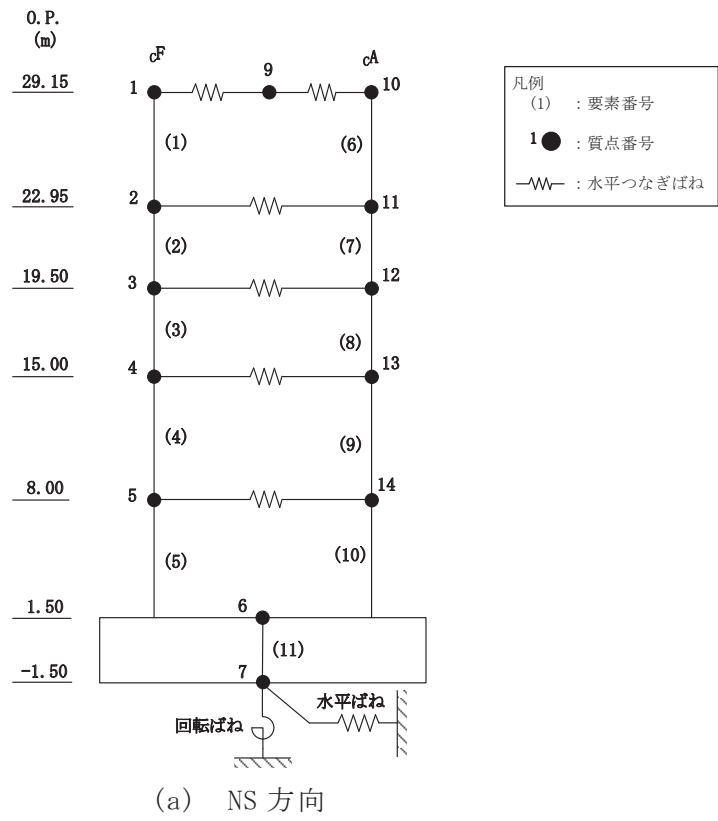
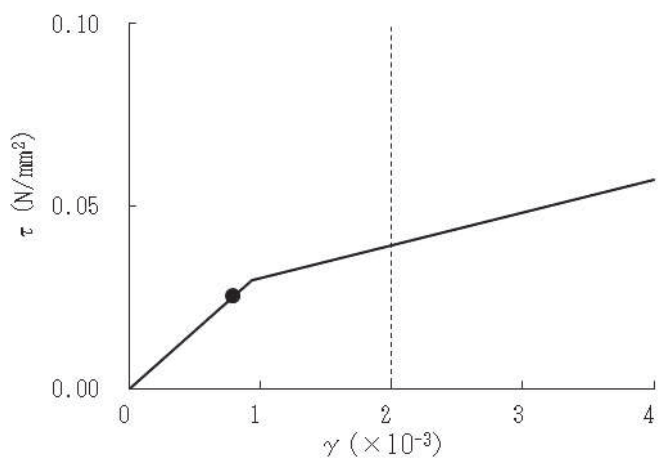
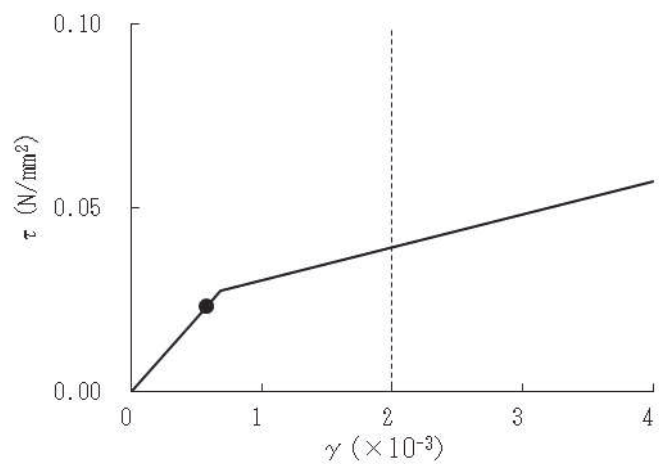


図 5-1 質点系モデル (水平方向)



(a) NS 方向 (S s - D 2, ケース 6, 要素番号(6))



(b) EW 方向 (S s - D 2, ケース 6, 要素番号(1))

図 5-2 せん断スケルトンカーブ上の最大応答せん断ひずみ

5.2 応力解析による評価結果

5.2.1 天井スラブ及び床スラブの評価結果

スラブの配筋一覧を表 5-2 に示す。また、「4.5.3 天井スラブ及び床スラブの断面評価方法」に基づいた断面の評価結果を表 5-3 及び表 5-4 に示す。S d 地震時及び S s 地震時において、発生値が許容限界を超えないことを確認した。

表 5-2 スラブの配筋一覧

(a) 天井 (O.P. 29.15m)

部材	方向	上ば筋		下ば筋	
		配筋	断面積 (mm ² /m)	配筋	断面積 (mm ² /m)
天井スラブ①	NS	D16@200	995	D16@200	995
天井スラブ②	NS	D16@200	995	D16@200	995
	EW	D16@200	995	D16@200	995

(b) 床 (O.P. 22.95m)

部材	方向	上ば筋		下ば筋	
		配筋	断面積 (mm ² /m)	配筋	断面積 (mm ² /m)
床スラブ①	NS	D16@200	995	D16@200	995
	EW	D16@200	995	D16@200	995

表 5-3(1) 評価結果 (天井スラブ①, 弾性設計用地震動 S d)

方向		NS 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		□ × 1000
有効せい d (mm)		236
配筋	上ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)
	下ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)
発生曲げモーメント M (kN・m/m)		8.3
許容限界 M _A (kN・m/m)		71
検定値 M/M _A		0.12
発生せん断力 Q (kN/m)		21.8
せん断スパン比による割増係数 α		1.53
許容限界 Q _A (kN/m)		383
検定値 Q/Q _A		0.06
判定		可

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-3(2) 評価結果 (天井スラブ②, 弾性設計用地震動 S d)

方向		NS 方向	EW 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		□ × 1000	
有効せい d (mm)		236	
配筋	上ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)	D16@200 (995 mm ² /m)
	下ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)	D16@200 (995 mm ² /m)
発生曲げモーメント M (kN・m/m)		47.7	31.7
許容限界 M _A (kN・m/m)		71	71
検定値 M/M _A		0.68	0.45
発生せん断力 Q (kN/m)		62.8	55.6
せん断スパン比による割増係数 α		1	1.17
許容限界 Q _A (kN/m)		250	293
検定値 Q/Q _A		0.26	0.19
判定		可	可

表 5-3(3) 評価結果 (床スラブ①, 弾性設計用地震動 S d)

方向		NS 方向	EW 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		□ × 1000	
有効せい d (mm)		236	
配筋	上ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)	D16@200 (995 mm ² /m)
	下ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)	D16@200 (995 mm ² /m)
発生曲げモーメント M (kN・m/m)		24.7	12.7
許容限界 M _A (kN・m/m)		71	71
検定値 M/M _A		0.35	0.18
発生せん断力 Q (kN/m)		55.1	48.6
せん断スパン比による割増係数 α		1.38	1.90
許容限界 Q _A (kN/m)		346	476
検定値 Q/Q _A		0.16	0.11
判定		可	可

表 5-4(1) 評価結果 (天井スラブ①, 基準地震動 S_s)

方向		NS 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		<input type="text" value="□"/> × 1000
有効せい d (mm)		236
配筋	上ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)
	下ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)
発生曲げモーメント M (kN・m/m)		11.4
許容限界 M_A (kN・m/m)		71
検定値 M/M_A		0.17
発生せん断力 Q (kN/m)		30.1
せん断スパン比による割増係数 α		1.53
許容限界 Q_A (kN/m)		383
検定値 Q/Q_A		0.08
判定		可

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-4(2) 評価結果 (天井スラブ②, 基準地震動 S_s)

方向		NS 方向	EW 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		□ × 1000	
有効せい d (mm)		236	
配筋	上ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)	D16@200 (995 mm ² /m)
	下ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)	D16@200 (995 mm ² /m)
発生曲げモーメント M (kN・m/m)		65.8	43.8
許容限界 M_A (kN・m/m)		71	71
検定値 M/M_A		0.93	0.62
発生せん断力 Q (kN/m)		86.8	76.7
せん断スパン比による割増係数 α		1	1.17
許容限界 Q_A (kN/m)		250	293
検定値 Q/Q_A		0.35	0.27
判定		可	可

表 5-4(3) 評価結果 (床スラブ①, 基準地震動 S_s)

方向		NS 方向	EW 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		□ × 1000	
有効せい d (mm)		236	
配筋	上ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)	D16@200 (995 mm ² /m)
	下ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)	D16@200 (995 mm ² /m)
発生曲げモーメント M (kN・m/m)		33.9	17.5
許容限界 M_A (kN・m/m)		71	71
検定値 M/M_A		0.48	0.25
発生せん断力 Q (kN/m)		75.7	66.8
せん断スパン比による割増係数 α		1.38	1.90
許容限界 Q_A (kN/m)		346	476
検定値 Q/Q_A		0.22	0.15
判定		可	可

5.2.2 耐震壁の評価結果

評価対象とする耐震壁を示したものを図 5-3 に、配筋一覧を表 5-5 に示す。
また、「4.5.4 耐震壁の断面評価方法」に基づいた断面の評価結果を表 5-6 に示す。

S d 地震時において、必要鉄筋比が設計鉄筋比を超えないことを確認した。

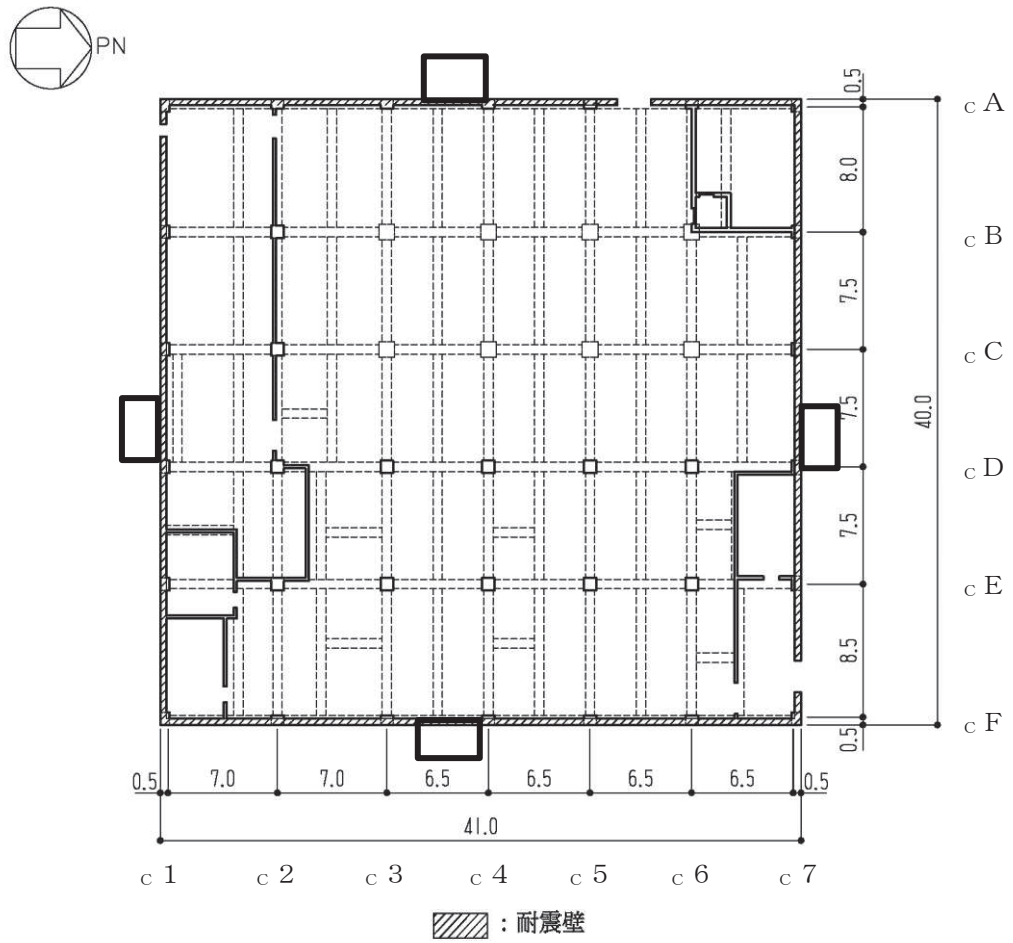


図 5-3 評価対象とする耐震壁

表 5-5 耐震壁の配筋一覧

階	壁記号	壁厚 (mm)	縦筋		横筋	
			配筋	断面積 (mm ² /m)	配筋	断面積 (mm ² /m)
3			2-D19@200	2870	2-D19@200	2870

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-6 評価結果 (3 階, 弾性設計用地震動 S d)

O. P. (m)		O. P. 22.95~O. P. 29.15			
壁位置 (通り)		cA	cF	c1	c7
壁記号					
断面積 (m ²)		12.6	16.4	16.0	15.2
壁厚 (mm)					
配筋	縦筋配筋	2-D19@200	2-D19@200	2-D19@200	2-D19@200
	縦筋設計鉄筋比 P _g (%)	0.717	0.717	0.717	0.717
	横筋配筋	2-D19@200	2-D19@200	2-D19@200	2-D19@200
	横筋設計鉄筋比 P _g (%)	0.717	0.717	0.717	0.717
せん断に対する検討	せん断力 Q (×10 ³ kN)	21.1	21.8	23.6	20.8
	せん断力応力度 τ (N/mm ²)	1.67	1.33	1.48	1.37
	必要鉄筋比 P _Q (%)	0.484	0.385	0.428	0.397
曲げモーメントに対する検討	曲げモーメント M (×10 ⁵ kN・m)	1.84	2.36	2.29	1.99
	軸力 N (×10 ³ kN)	3.59	4.23	4.05	3.37
	鉛直震度*	0.407	0.407	0.407	0.407
	必要鉄筋比 P _M (%)	0.170	0.233	0.206	0.200
(P _Q +P _M)/P _g		0.92	0.87	0.89	0.84
判定		可	可	可	可

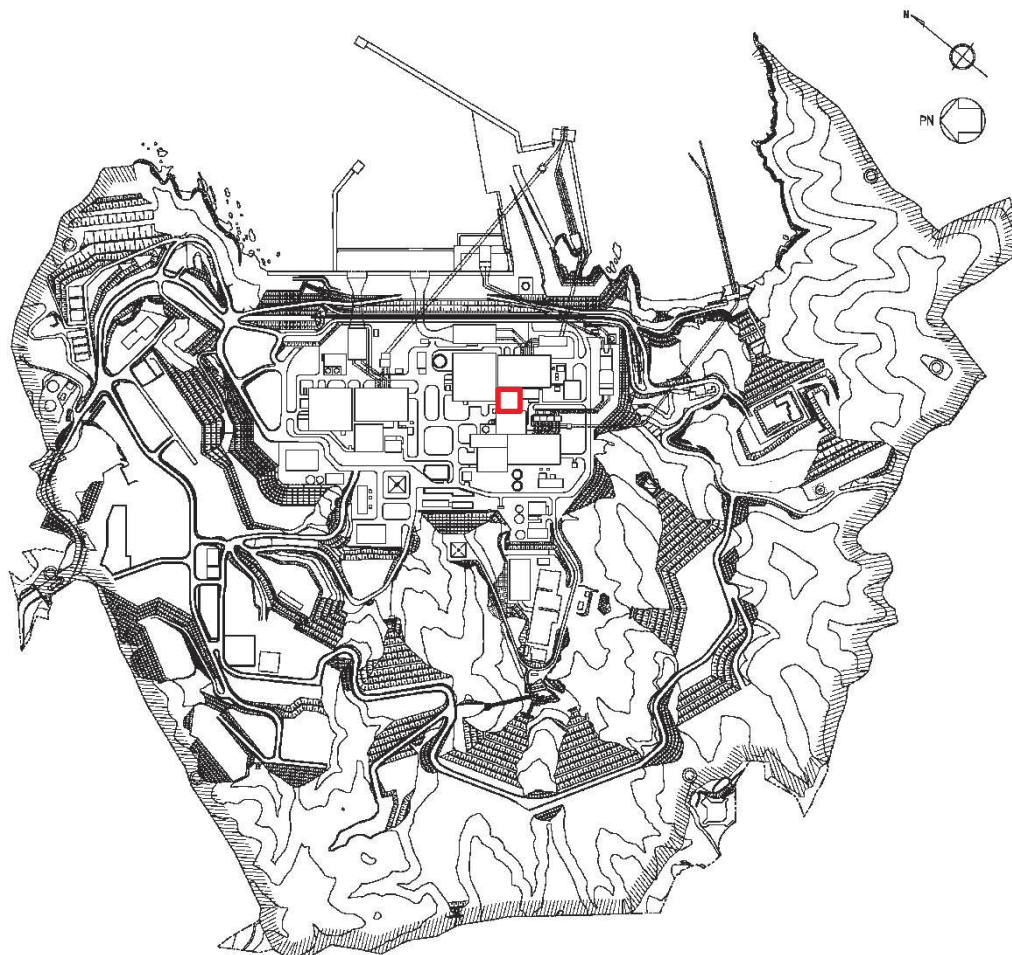
注記* : 鉛直震度には長期荷重時の重量は含まない。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6. 基本方針（中央制御室バウンダリ）

6.1 位置

中央制御室バウンダリは、制御建屋の一部を構成している。中央制御室バウンダリを含む制御建屋の設置位置を図 6-1 に示す。




 制御建屋

図 6-1 中央制御室バウンダリを含む制御建屋の設置位置

6.2 構造概要

制御建屋は地下2階，地上3階建で，基礎底面からの高さは30.65mであり，平面は下部で41.0m(NS方向)×40.0m(EW方向)*のほぼ正方形である。

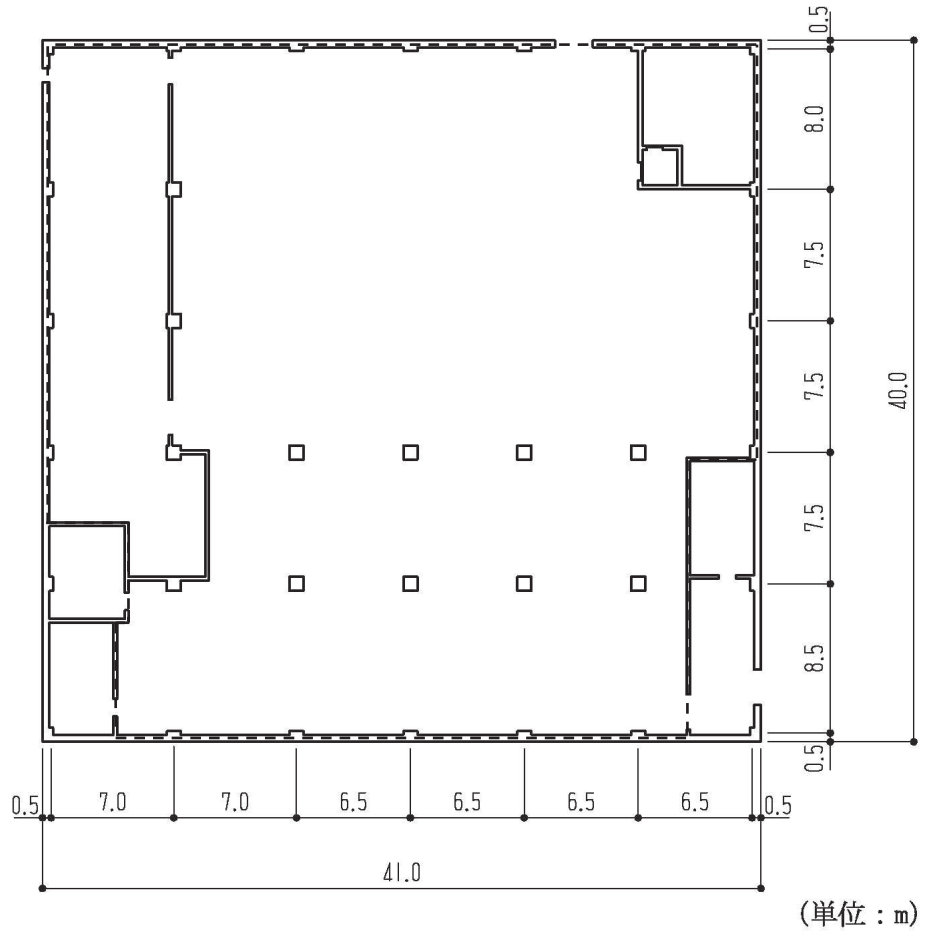
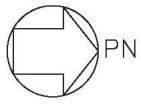
建屋の構造は鉄筋コンクリート造(一部鉄骨造)であり，その主たる耐震要素は建屋の外周の耐震壁である。

制御建屋の基礎は，厚さ3.0mのべた基礎で，支持地盤である砂岩及び頁岩上に設置されており，一部は支持地盤上に打設されたマンメイドロック上に設置されている。

中央制御室はO.P.22.95m～O.P.29.15mに位置する。平面は，41.0m(NS方向)×40.0m(EW方向)である。中央制御室バウンダリは，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□□□□，床スラブ及び天井スラブの厚さは□□□□である。

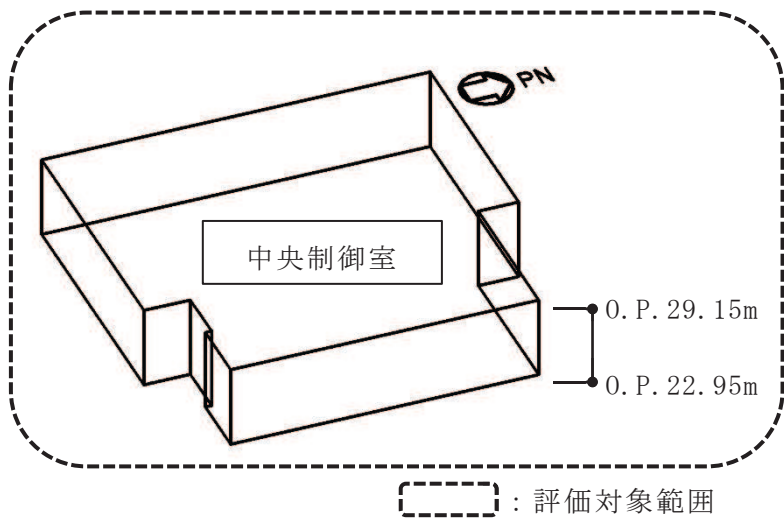
中央制御室バウンダリの範囲を図6-2に示す。

注記*：建屋寸法は壁外面押えとする



----- : 中央制御室バウンダリ

(a) 平面図 (O.P. 22.95m)



----- : 評価対象範囲

(b) 中央制御室バウンダリの概要

図 6-2 中央制御室バウンダリの範囲

6.3 評価方針

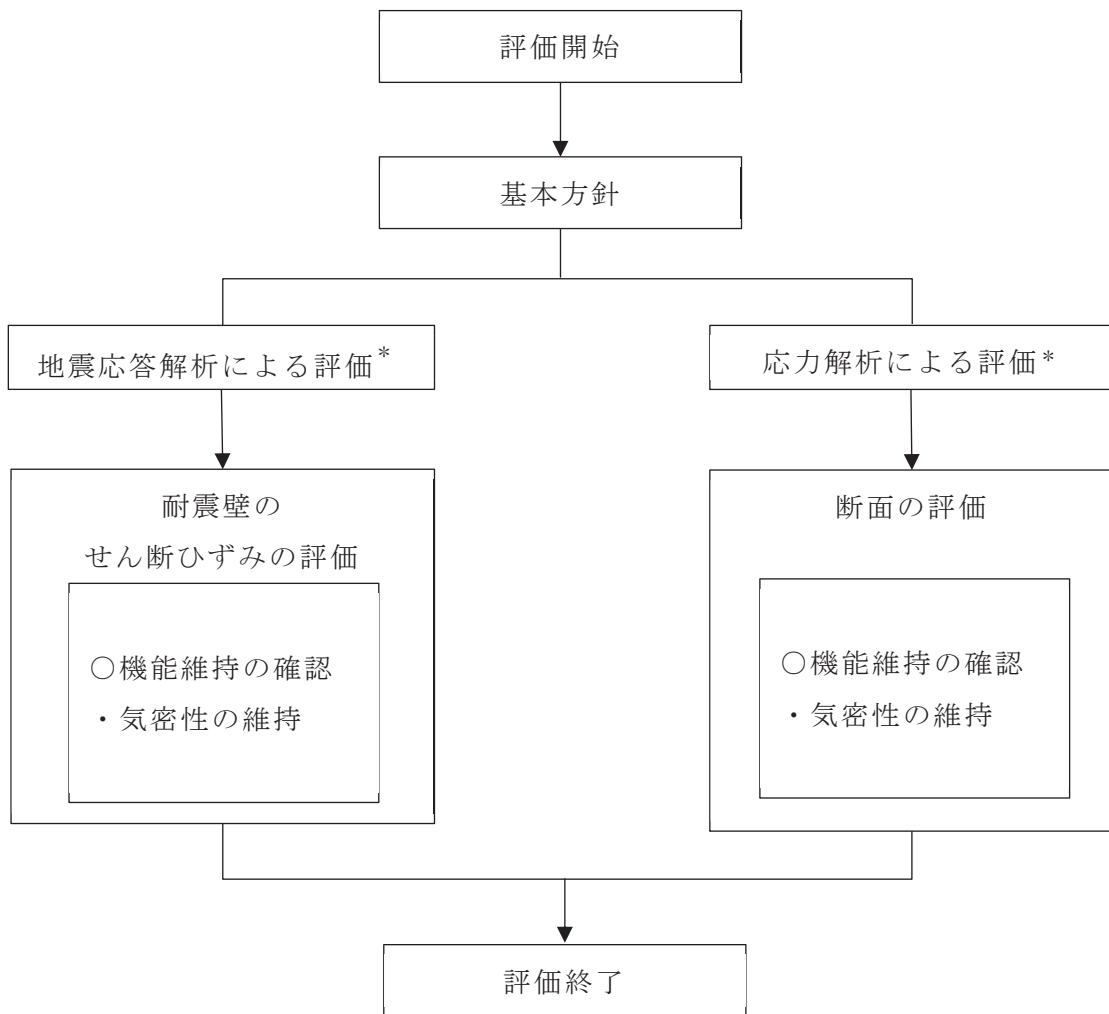
中央制御室バウンダリは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示すとおり、換気設備とあいまって、気密性維持の境界において気圧差を確保することで必要な気密性を維持する設計とする。なお、重大事故対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に分類される。

中央制御室バウンダリは、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、S s地震時に対する評価を行う。

中央制御室バウンダリの評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、「7. 地震応答解析による評価方法（中央制御室バウンダリ）」においては耐震壁についてせん断ひずみの評価を、「8. 応力解析による評価方法（中央制御室バウンダリ）」においては床スラブ及び天井スラブについて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によって必要な気密性を維持する設計とする（「別紙1 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「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。評価にあたっては材料物性の不確かさを考慮する。

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、中央制御室バウンダリでは、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。

中央制御室バウンダリの評価フローを図6-3に示す。



注記*：添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 6-3 中央制御室バウンダリの評価フロー

6.4 適用規格・基準等

中央制御室バウンダリの評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 1999 年 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-
- ・ 日本建築学会 2005 年 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（以下「RC-N規準」という。）
- ・ 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）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- ・ 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）（以下「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」という。）

7. 地震応答解析による評価方法（中央制御室バウンダリ）

中央制御室バウンダリの気密性の維持については、添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の最大応答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バウンダリの許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 7-1 及び表 7-2 のとおり設定する。

表 7-1 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)
気密性	換気性能とあいまって気密性能を維持すること	基準地震動 S _s	耐震壁* ¹	最大応答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	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³ * ²

注記*1: 建屋全体としては、耐震壁で地震力を全て負担する構造となっており、剛性の高い耐震壁の変形に追従する柱、はり、間仕切壁等の部材の層間変形は十分小さいこと、また、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ことから、耐震壁の最大応答せん断ひずみが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。耐震壁の気密性に対する許容限界の適用性は、「別紙 1 中央制御室の気密性に関する計算書」に示す。

表 7-2 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)
気密性	換気性能とあいまって気密性を維持すること	基準地震動 S _s	耐震壁 ^{*1}	最大応答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	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³ ^{*2}

注記*1: 建屋全体としては、耐震壁で地震力を全て負担する構造となっており、剛性の高い耐震壁の変形に追従する柱、はり、間仕切壁等の部材の層間変形は十分小さいこと、また、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ことから、耐震壁の最大応答せん断ひずみが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。耐震壁の気密性に対する許容限界の適用性は、「別紙 1 中央制御室の気密性に関する計算書」に示す。

8. 応力解析による評価方法（中央制御室バウンダリ）

8.1 評価対象部位及び評価方針

中央制御室バウンダリの応力解析による評価対象部位は、中央制御室バウンダリ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「VI-2-2-3 制御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 s 地震時に対する評価

S s 地震時に対する評価は、材料物性の不確かさ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。

評価については、各断面についてスラブの検定値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 8-1 に、選定した部材を図 8-2 に示す。

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、「7. 地震応答解析による評価方法（中央制御室バウンダリ）」に含まれる。

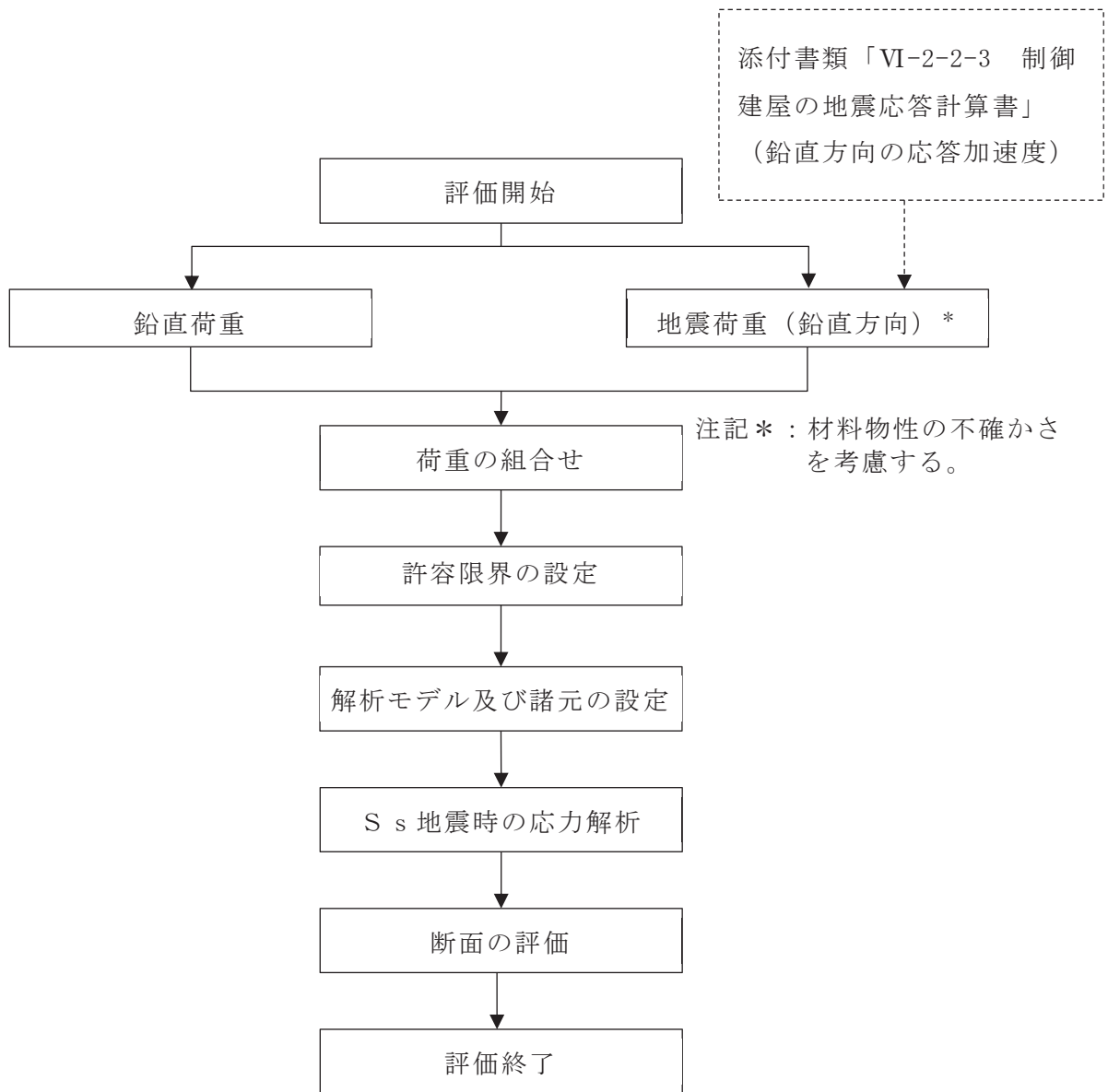


図 8-1 天井スラブ及び床スラブの応力解析による評価フロー

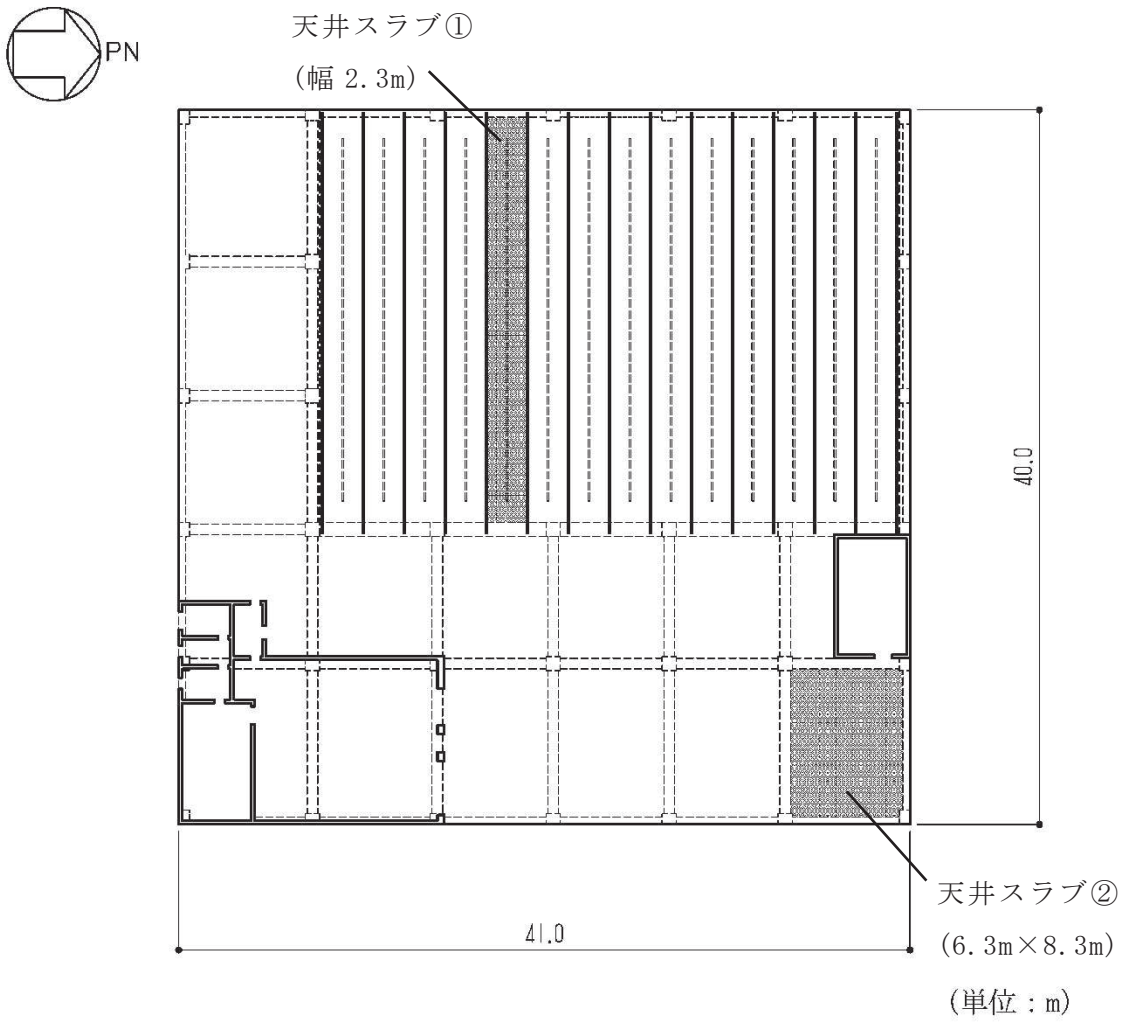


図 8-2(1) スラブの評価を記載する部材の位置 (RF, O.P. 29.15m)

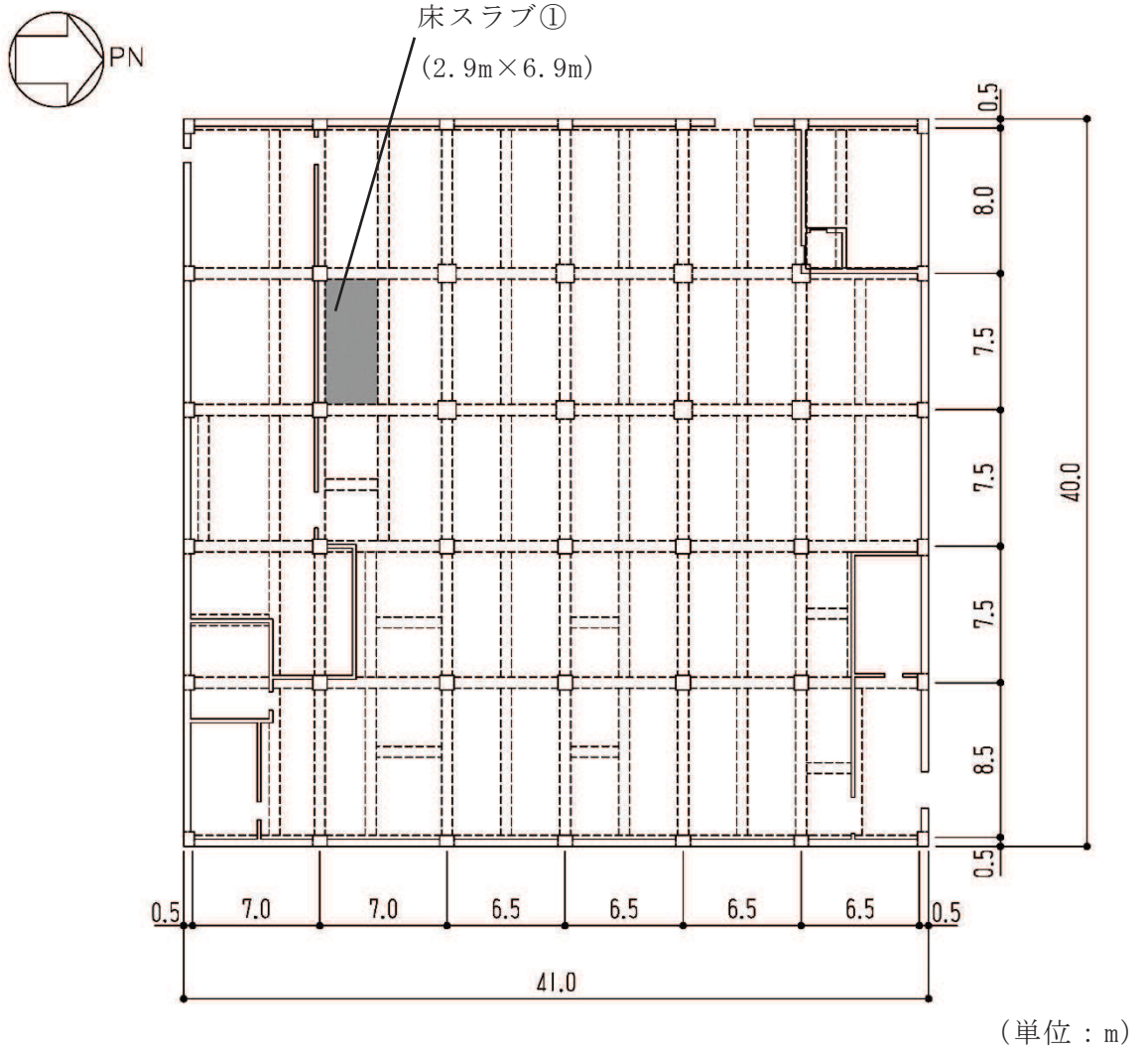


図 8-2(2) スラブの評価を記載する部材の位置 (3F, O.P. 22.95m)

8.2 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「VI-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。

(1) 荷重

a. 鉛直荷重

応力解析において考慮する固定荷重（G）及び積載荷重（P）を表 8-1 及び表 8-2 に示す。

表 8-1 固定荷重（G）

部位	固定荷重 (kN/m ²)
天井スラブ①	7.2
天井スラブ②	7.2
床スラブ①	7.2

表 8-2 積載荷重（P）

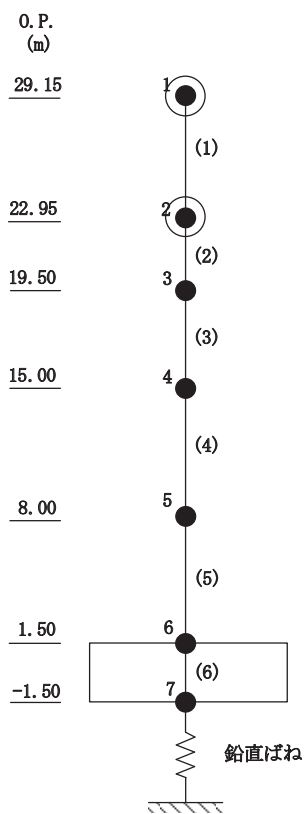
部位	積載荷重 (kN/m ²)
天井スラブ①	2.2
天井スラブ②	2.3
床スラブ①	12.0

b. 地震荷重（S_s）

鉛直地震力は、材料物性の不確かさを考慮した基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的地震力により設定する。

天井スラブ及び床スラブが、長辺方向 6.9m～8.3m，短辺方向 2.3m～6.3m で厚さ 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。

鉛直方向の地震荷重は、図 8-3 に示す基準地震動 S_s に対する質点系モデルの中央制御室天井レベル (0. P. 29. 15 m, 質点番号 1) 及び中央制御室床レベル (0. P. 22. 95 m, 質点番号 2) の鉛直方向最大応答加速度より算定される誘発上下動を考慮した鉛直震度とする。



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 8-3 基準地震動 S_s に対する質点系モデル (鉛直方向)

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 8-3 に示す。

表 8-3 荷重の組合せ

荷重状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + S _s

G : 固定荷重
P : 積載荷重
S_s : S_s 地震荷重

8.3 許容限界

応力解析による評価における中央制御室バウンダリの許容限界は、添付書類「VI-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 8-4 及び表 8-5 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 8-6 及び表 8-7 に示す。

表 8-4 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(評価基準値)
気密性	換気性能とあいまって気密性能を維持すること	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*

注記*：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 8-5 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(評価基準値)
気密性	換気性能とあいまって気密性能を維持すること	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*

注記*：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 8-6 コンクリートの許容応力度

設計基準強度 F _c (N/mm ²)	圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)
32.4	21.6	1.21

表 8-7 鉄筋の許容応力度

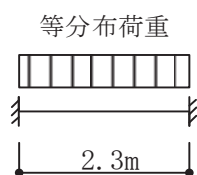
種別	引張及び圧縮 (N/mm ²)	せん断補強 (N/mm ²)
SD35 (SD345 相当)	345	345

8.4 解析モデル及び諸元

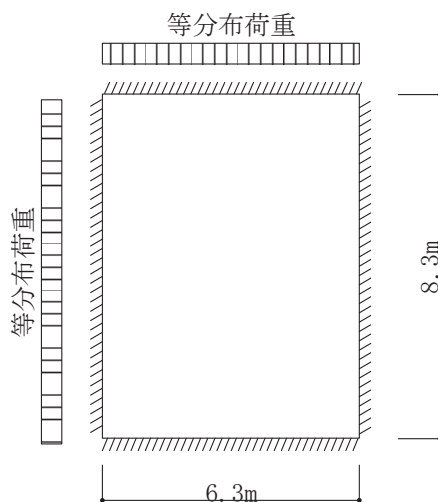
(1) モデル化の基本方針

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，壁及びはり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①については単位幅についてははりで支持された両端固定はりとして評価する。天井スラブ②及び床スラブ①については，四辺固定版として評価する。スラブの解析モデルを図 8-4 に示す。

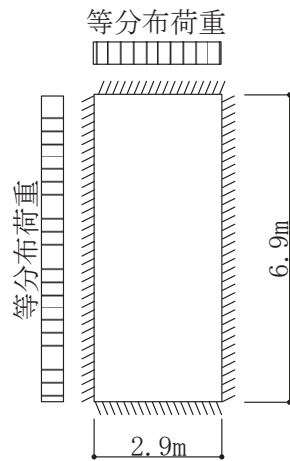


(a) 天井スラブ①（両端固定はり）



(b) 天井スラブ②（四辺固定版）

図 8-4(1) 解析モデル



(c) 床スラブ① (四辺固定版)

図 8-4(2) 解析モデル

(2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 8-8 に示す。

表 8-8 使用材料の物性値

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
32.4	2.51×10^4	0.2

8.5 評価方法

8.5.1 応力解析方法

(1) 荷重ケース

作用荷重のうち地震荷重は、鉛直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) 長期荷重時の応力の算出方法

長期荷重時の端部曲げモーメント、中央部曲げ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。長期荷重時の端部曲げモーメント、中央部曲げモーメント及びせん断力を表 8-9 に示す。

(四辺固定版)

- ・短辺の端部曲げモーメント (M_{X1})

$$M_{X1} = -\frac{1}{12} \cdot w_x \cdot l_x^2$$

- ・短辺の中央部曲げモーメント (M_{X2})

$$M_{X2} = \frac{1}{18} \cdot w_x \cdot l_x^2$$

- ・短辺のせん断力 (Q_x)

$$Q_x = 0.52 \cdot w \cdot l_x$$

- ・長辺の端部曲げモーメント (M_{Y1})

$$M_{Y1} = -\frac{1}{24} \cdot w \cdot l_x^2$$

- ・長辺の中央部曲げモーメント (M_{Y2})

$$M_{Y2} = \frac{1}{36} \cdot w \cdot l_x^2$$

- ・長辺のせん断力 (Q_y)

$$Q_y = 0.46 \cdot w \cdot l_x$$

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/m²)

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

(両端固定はり)

- ・ 端部曲げモーメント (M_E)

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

- ・ 中央部曲げモーメント (M_C)

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

- ・ 端部せん断力 (Q_E)

$$Q_E = \frac{1}{2} \cdot w \cdot l$$

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 8-9 長期荷重時の端部曲げモーメント, 中央部曲げモーメント及びせん断力

部位	スラブ厚 (mm)	方向	端部曲げ モーメント ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	中央部曲げ モーメント ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	せん断力 (kN/m)
天井スラブ①		短辺 (NS)	4.1	2.1	10.8
天井スラブ②		短辺 (NS)	23.6	15.7	31.1
		長辺 (EW)	15.7	10.5	27.5
床スラブ①		短辺 (NS)	13.0	8.7	29.0
		長辺 (EW)	6.7	4.5	25.6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 応力の算出方法

「(2) 長期荷重時の応力の算出方法」における長期荷重時の端部曲げモーメント、中央部曲げモーメント及びせん断力を、中央制御室天井レベル(0. P. 29. 15m, 質点番号 1) 及び中央制御室床レベル (0. P. 22. 15m, 質点番号 2) 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 8-10 に、算出した端部曲げモーメント、中央部曲げモーメント及びせん断力を表 8-11 に示す。

表 8-10 地震応答解析による最大応答加速度 (基準地震動 S s)

質点番号	O. P. (m)	最大値 (cm/s^2)
1	29. 15	1754
2	22. 95	1574

表 8-11 鉛直震度より算出した端部曲げモーメント、
中央部曲げモーメント及びせん断力 (基準地震動 S s)

部位	検討用 鉛直震度*	方向	端部曲げ モーメント ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	中央部曲げ モーメント ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	せん断力 (kN/m)
天井スラブ①	2. 79	短辺 (NS)	11. 4	5. 9	30. 1
天井スラブ②	2. 79	短辺 (NS)	65. 8	43. 8	86. 8
		長辺 (EW)	43. 8	29. 3	76. 7
床スラブ①	2. 61	短辺 (NS)	33. 9	22. 7	75. 7
		長辺 (EW)	17. 5	11. 7	66. 8

注記* : 検討用鉛直震度には長期荷重時の重量を含むものとする。

8.5.2 断面評価方法

(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、次式をもとに計算した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 : せん断スパン比 $M / (Q \cdot d)$ による割増し係数
(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 (N/mm²)

9. 評価結果（中央制御室バウンダリ）

9.1 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 地震時の最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。当該階の耐震壁の最大応答せん断ひずみ一覧を表 9-1 に、質点系モデルを図 9-1 に、最大応答せん断ひずみをせん断スケルトンカーブにプロットした図を図 9-2 に示す。

材料物性の不確かさを考慮した最大応答せん断ひずみは 0.79×10^{-3} （要素番号(6)、NS 方向、 $S_s - D 2$ 、ケース 6）であり、許容限界（ 2.0×10^{-3} ）を超えないことを確認した。

表 9-1 耐震壁の最大応答せん断ひずみ

方向	階	部位	ケース	最大応答 せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
NS	3	要素番号(6) (0.P. 22.95m～ 29.15m)	$S_s - D 2$ ケース 6	0.79	2.0
EW	3	要素番号(1) (0.P. 22.95m～ 29.15m)	$S_s - D 2$ ケース 6	0.58	2.0

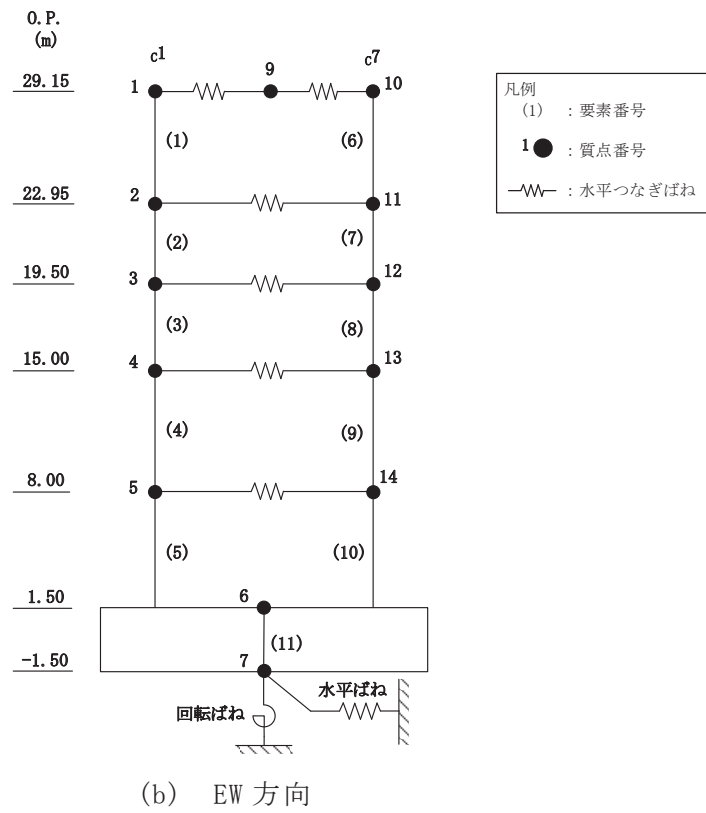
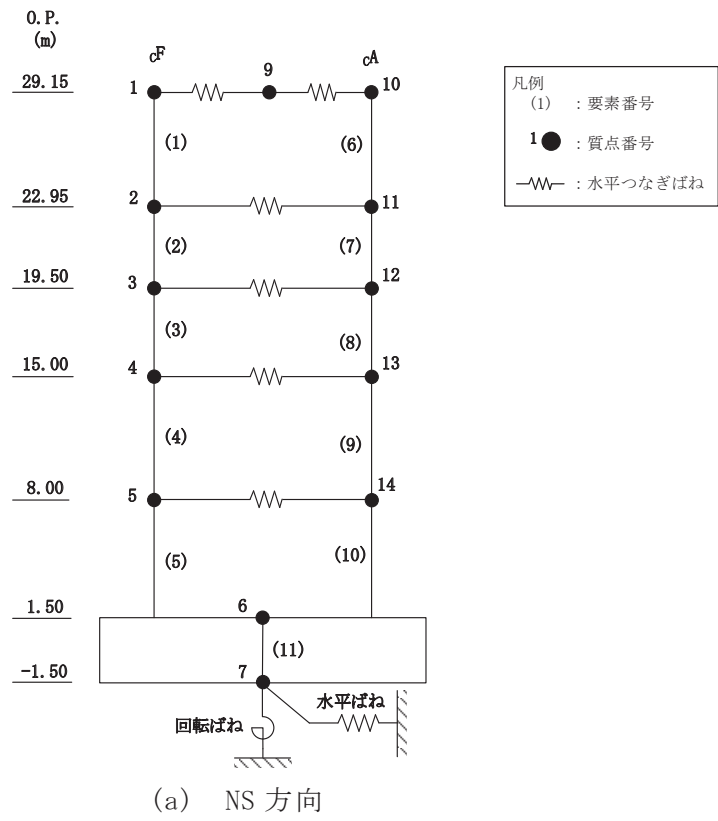
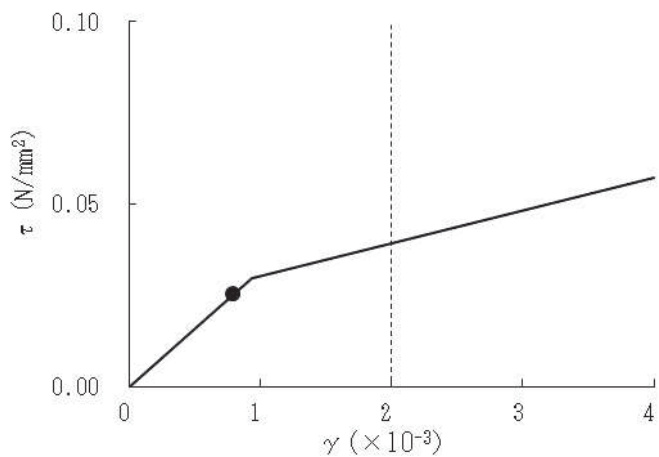
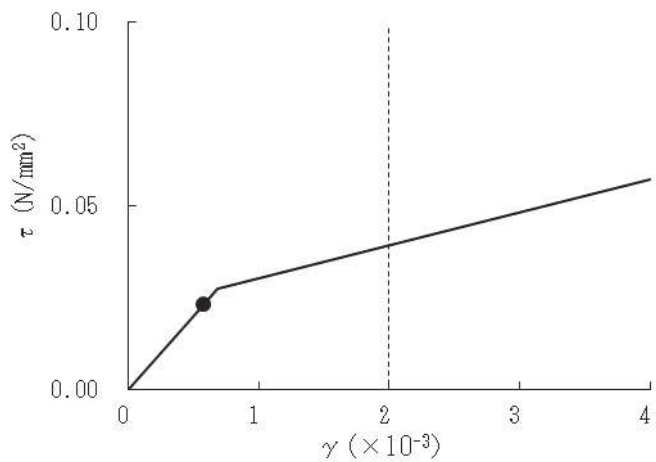


図 9-1 質点系モデル (水平方向)



(a) NS 方向 (S s - D 2, ケース 6, 要素番号(6))



(b) EW 方向 (S s - D 2, ケース 6, 要素番号(1))

図 9-2 せん断スケルトンカーブ上の最大応答せん断ひずみ

9.2 応力解析による評価結果

スラブの配筋一覧を表 9-2 に示す。また、「8.5.2 断面評価方法」に基づいた断面の評価結果を表 9-3 に示す。

S s 地震時において、発生値が許容限界を超えないことを確認した。

表 9-2 スラブの配筋一覧

(a) 天井 (O.P. 29.15m)

部材	方向	上ば筋		下ば筋	
		配筋	断面積 (mm ² /m)	配筋	断面積 (mm ² /m)
天井スラブ①	NS	D16@200	995	D16@200	995
天井スラブ②	NS	D16@200	995	D16@200	995
	EW	D16@200	995	D16@200	995

(b) 床 (O.P. 22.95m)

部材	方向	上ば筋		下ば筋	
		配筋	断面積 (mm ² /m)	配筋	断面積 (mm ² /m)
床スラブ①	NS	D16@200	995	D16@200	995
	EW	D16@200	995	D16@200	995

表 9-3(1) 評価結果 (天井スラブ①, 基準地震動 S_s)

方向		NS 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		<input type="text" value="□"/> × 1000
有効せい d (mm)		236
配筋	上ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)
	下ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)
発生曲げモーメント M (kN・m/m)		11.4
許容限界 M_A (kN・m/m)		71
検定値 M/M_A		0.17
発生せん断力 Q (kN/m)		30.1
せん断スパン比による割増係数 α		1.53
許容限界 Q_A (kN/m)		383
検定値 Q/Q_A		0.08
判定		可

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 9-3(2) 評価結果 (天井スラブ②, 基準地震動 S_s)

方向		NS 方向	EW 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		<input type="text" value=""/> × 1000	
有効せい d (mm)		236	
配筋	上ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)	D16@200 (995 mm ² /m)
	下ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)	D16@200 (995 mm ² /m)
発生曲げモーメント M (kN・m/m)		65.8	43.8
許容限界 M_A (kN・m/m)		71	71
検定値 M/M_A		0.93	0.62
発生せん断力 Q (kN/m)		86.8	76.7
せん断スパン比による割増係数 α		1	1.17
許容限界 Q_A (kN/m)		250	293
検定値 Q/Q_A		0.35	0.27
判定		可	可

表 9-3(3) 評価結果 (床スラブ①, 基準地震動 S_s)

方向		NS 方向	EW 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		<input type="text" value=""/> × 1000	
有効せい d (mm)		236	
配筋	上ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)	D16@200 (995 mm ² /m)
	下ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)	D16@200 (995 mm ² /m)
発生曲げモーメント M (kN・m/m)		33.9	17.5
許容限界 M_A (kN・m/m)		71	71
検定値 M/M_A		0.48	0.25
発生せん断力 Q (kN/m)		75.7	66.8
せん断スパン比による割増係数 α		1.38	1.90
許容限界 Q_A (kN/m)		346	476
検定値 Q/Q_A		0.22	0.15
判定		可	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 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「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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せん断ひずみ 2.0×10^{-3} としている。

中央制御室しゃへい壁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 $2/1000\text{rad}$ 、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、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。

総漏えい量

$$Q \cdot A \cdot \Delta Q \quad (\text{L/min}) \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで、

A : 壁の面積 (m²)

$$Q = C \cdot \gamma^{2.57} \cdot \Delta P / T \dots\dots\dots (2.2)$$

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)

$$\Delta Q = \left\{ (\alpha^2 - 1) \cdot \left(\frac{Q'}{Q_0} - 1 \right) - 1 \right\} \cdot \beta + 1 \dots\dots\dots (2.3)$$

ここで、

ΔQ : 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」

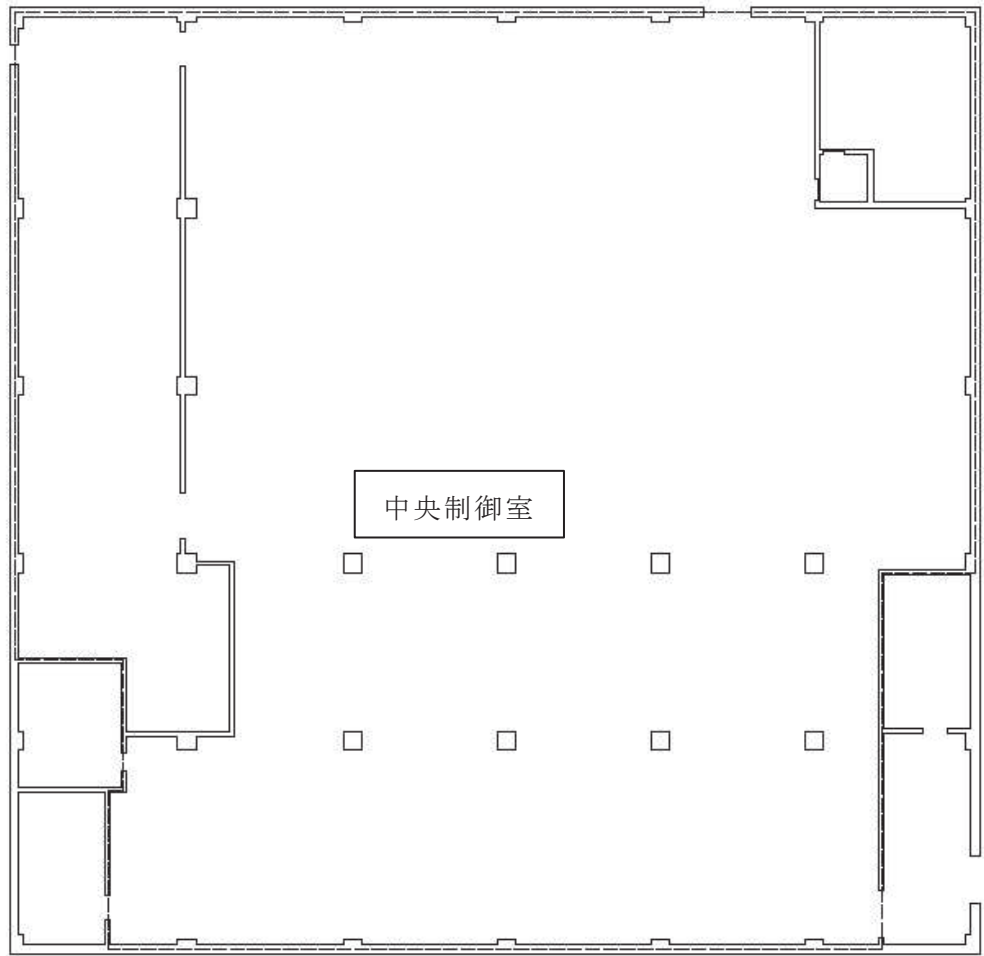
3. 中央制御室バウンダリにおける空気漏えい量に対する影響検討

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、(2.1)式～(2.3)式により、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、空気漏えい量から算出した空気流入率が、被ばく評価用に用いる空気流入率 (1.0 回/h) を超えないことを確認する。ここで中央制御室バウンダリ内体積は 8900m^3 とする。

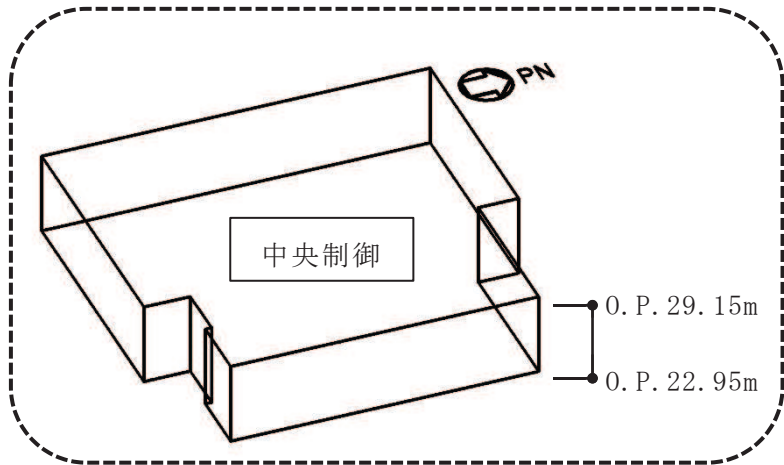
中央制御室バウンダリの範囲を図 3-1 に示す。中央制御室バウンダリ (O. P. 22. 95m ~ O. P. 29. 15m) を構成する壁の壁厚は である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



----- : 中央制御室バウンダリ

(a) 平面図 (0. P. 22. 95m)



----- : 評価対象範囲

(b) 中央制御室バウンダリの概要

図 3-1 中央制御室バウンダリの範囲

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 中央制御室バウンダリの気密性計算結果

壁厚 T (cm)	定数		せん断 ひずみ* ¹ 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 積に対 する開 口の総 面積 β	通気量 割増率 Δq	総 漏えい量 $Q \times A$ $\times \Delta q$ (L/min)
	C	$\frac{Q}{Q_0}$							
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	20.0	25.83	1.37	0.000	1.00	35.29
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	20.0	98.28	1.37	0.046	3.33	446.99
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	20.0	40.32	1.37	0.050	3.53	194.55
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	20.0	33.39	1.37	0.053	3.65	166.52
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	20.0	27.09	1.37	0.012	1.59	58.99
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	20.0	352.17	0.68	0.000	1.00	240.58
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	20.0	253.26	0.68	0.020	1.98	342.88
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	20.0	170.73	0.68	0.052	3.63	423.70
								合計	1909.49

注記*1：保守的に各壁のせん断ひずみが同時に許容限界となることを想定。

*2：中央制御室空気流入率測定試験結果に基づいた保守的な値。

*3：中央制御室バウンダリを構成する壁の総面積を用いる。

3.3 空気流入率の比較

総漏えい量から算出した空気流入率及び、被ばく評価に用いる空気流入率の比較を表 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 総漏えい量から算出した空気流入率と被ばく評価に用いる空気流入率の比較
(回/h)

総漏えい量から算出した空気流入率	被ばく評価用に用いる空気流入率
0.013*	1.0

注記*：空気漏えい量の合計値を中央制御室気密バウンダリ内体積で除した数値
(中央制御室気密バウンダリ内体積は 8900m³とする。)

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空気流入率は、被ばく評価用に用いる空気流入率を超えないことを確認した。

よって、中央制御室バウンダリは、鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界をせん断ひずみ 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、鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界として設定したせん断ひずみ 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、中央制御室しゃへい壁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、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。

VI-2-8-4-4 中央制御室待避所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	7
2.4 適用規格・基準等	9
3. 応力解析による評価方法	10
3.1 評価対象部位及び評価方針	10
3.1.1 スラブ	10
3.1.2 新設壁	13
3.2 荷重及び荷重の組合せ	15
3.2.1 スラブ	15
3.2.2 新設壁	17
3.3 許容限界	19
3.4 解析モデル	21
3.5 評価方法	22
3.5.1 スラブの応力解析方法	22
3.5.2 新設壁の応力解析方法	24
3.5.3 スラブの断面評価方法	25
3.5.4 新設壁の断面評価方法	26
4. 評価結果	27

別紙1 中央制御室待避所の気密性に関する計算書

1. 概要

本資料は、炉心の著しい損傷後の原子炉格納容器フィルタベント系を作動させる場合に放出される放射性雲通過時において、中央制御室待避所にとどまる運転員の被ばくを低減するために設置する中央制御室待避所遮蔽(以下「中央制御室待避所遮蔽」という。)について、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、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。

また、中央制御室待避所は、添付書類「VI-1-7-3 中央制御室の居住性に関する説明書」において、「実用発電用原子炉及びその付属施設の技術基準に関する規則」第 38 条及び第 74 条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその付属施設の技術基準に関する規則の解釈」に基づく居住性の評価を行っており、中央制御室待避所加圧設備の処理対象となるバウンダリ(以下「待避所バウンダリ」という。)を定めている。以下、中央制御室待避所のうち中央制御室待避所遮蔽と待避所バウンダリの耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

中央制御室待避所遮蔽及び待避所バウンダリは、制御建屋内にある中央制御室待避所の一部を構成している。中央制御室待避所遮蔽及び待避所バウンダリを含む制御建屋の位置を図2-1に示す。

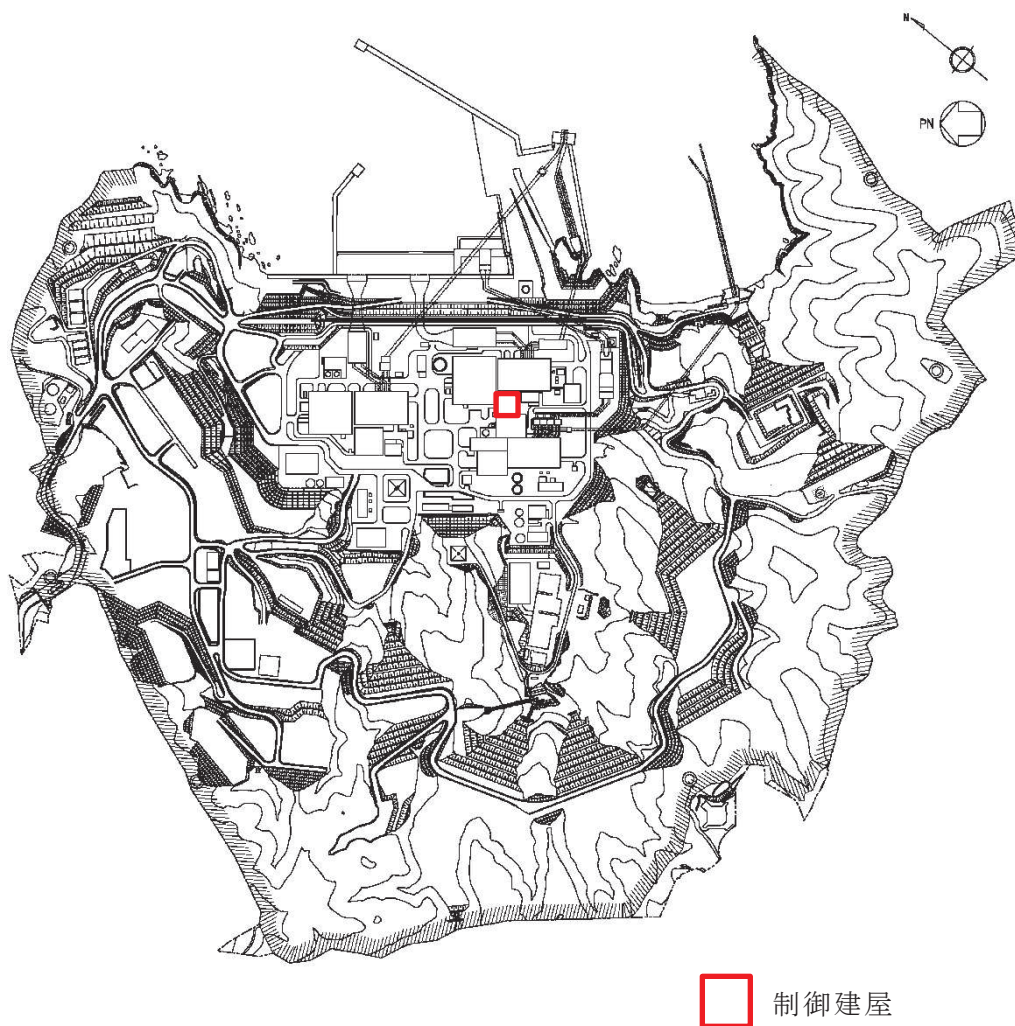


図2-1 制御建屋の設置位置

2.2 構造概要

制御建屋は地下2階，地上3階建で，基礎底面からの高さは30.65mであり，平面は下部で41.0m(NS方向)×40.0m(EW方向)*のほぼ正方形である。

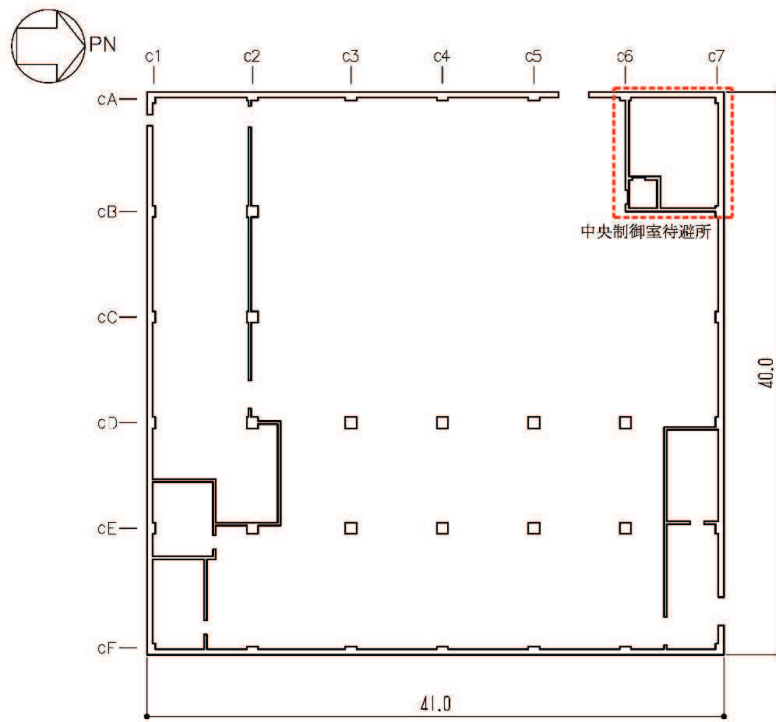
建屋の構造は鉄筋コンクリート造(一部鉄骨造)であり，その主たる耐震要素は建屋の外周の耐震壁である。

制御建屋の基礎は，厚さ3.0mのべた基礎で，支持地盤である砂岩及び頁岩上に設置されており，一部は支持地盤上に打設されたマンメイドロック上に設置されている。

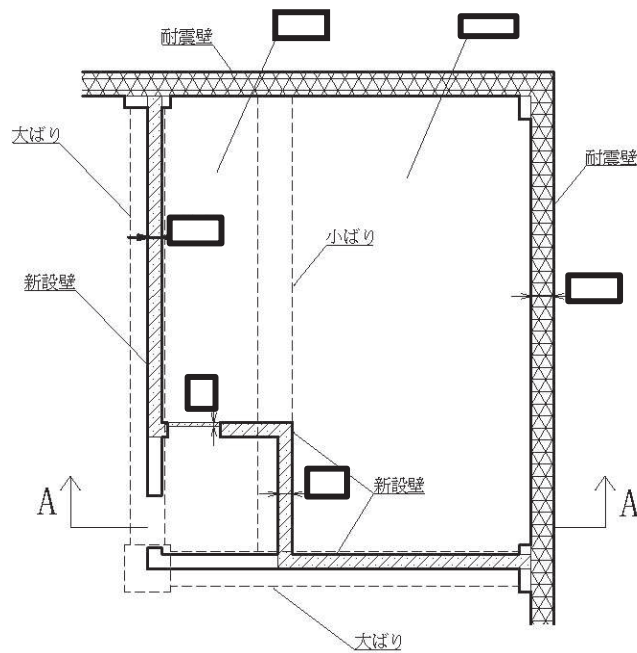
中央制御室待避所は制御建屋の3階に位置する。中央制御室待避所遮蔽及び待避所バウンダリは，中央制御室待避所を取り囲むコンクリート壁(耐震壁及び新設壁)及びコンクリートスラブ(床スラブ及び新設スラブ)で構成されており，壁の厚さは□□□□，スラブの厚さは□□□□である。

中央制御室待避所の概略平面図及び概略断面図を図2-2及び図2-3に，待避所バウンダリの範囲を図2-4に示す。

注記* : 建屋寸法は壁外面押えとする。



(単位：m)



(単位：mm)

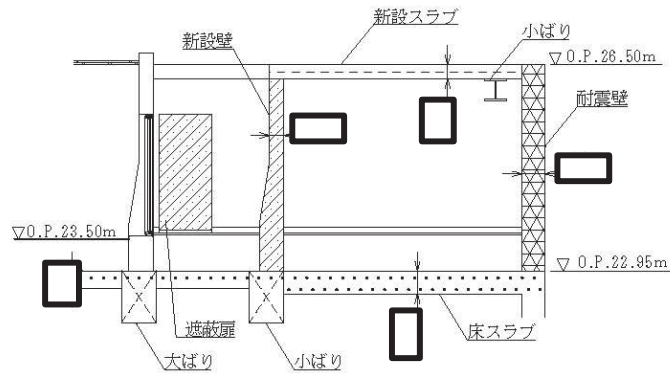
中央制御室待避所平面拡大図

- 中央制御室しゃへい壁(壁)を示す。
- 中央制御室待避所遮蔽(壁)を示す。

図 2-2 中央制御室待避所の概略平面図 (制御建屋 3F, O.P.*22.95m)

注記* : O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面(T.P.)-0.74mである。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(単位：mm)





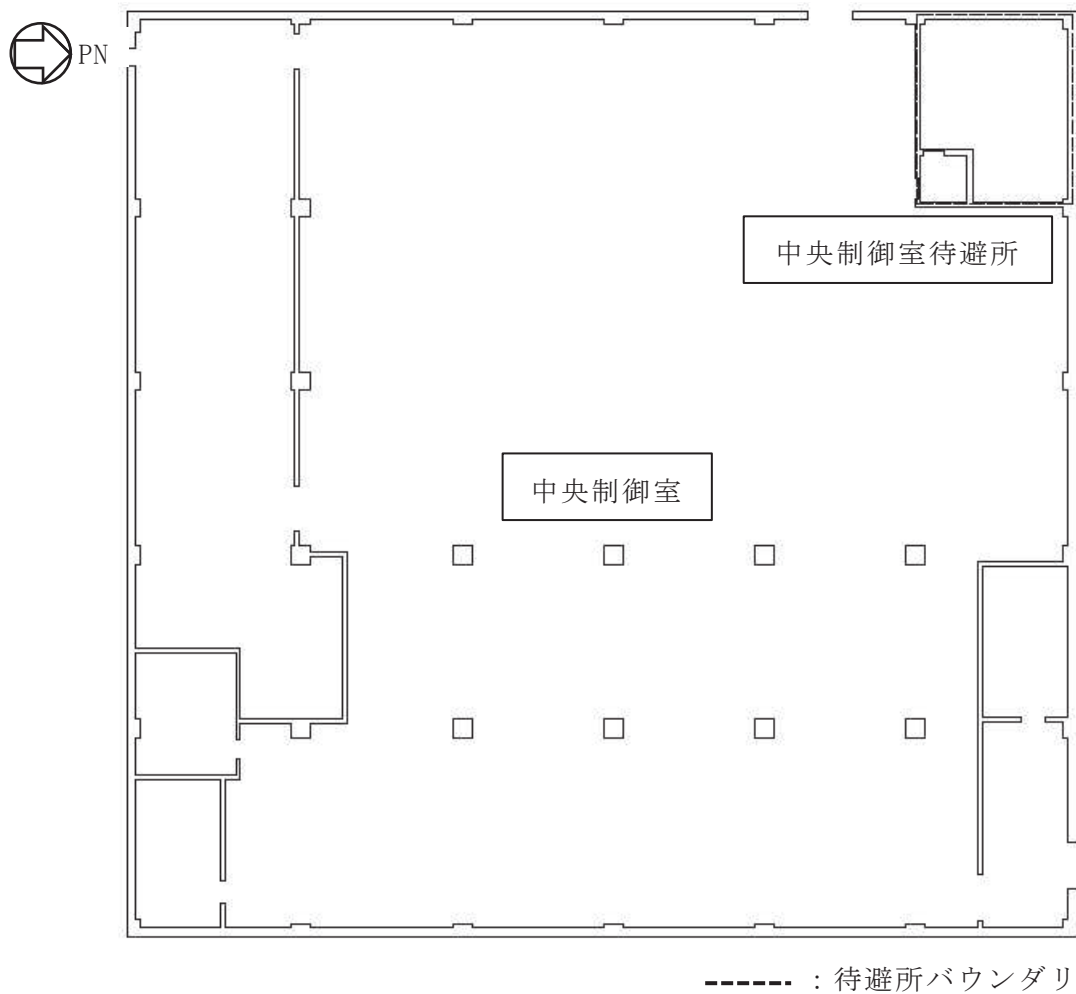
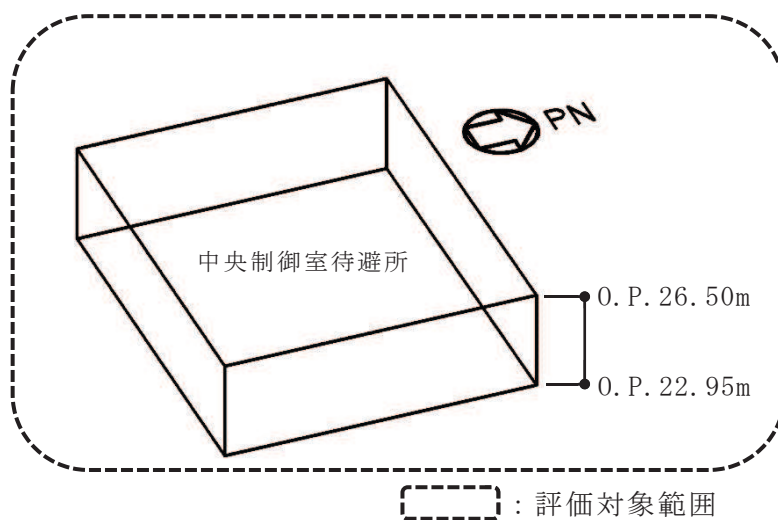
-  中央制御室しゃへい壁(壁)を示す。
-  中央制御室しゃへい壁(床)を示す。
-  中央制御室待避所遮蔽(壁)を示す。
-  中央制御室待避所遮蔽(床)を示す。

図 2-3 中央制御室待避所の概略断面図 (A-A 断面)



(a) 平面図 (0. P. 22.95m)



(b) 待避所バウンダリの概要

図 2-4 待避所バウンダリの範囲

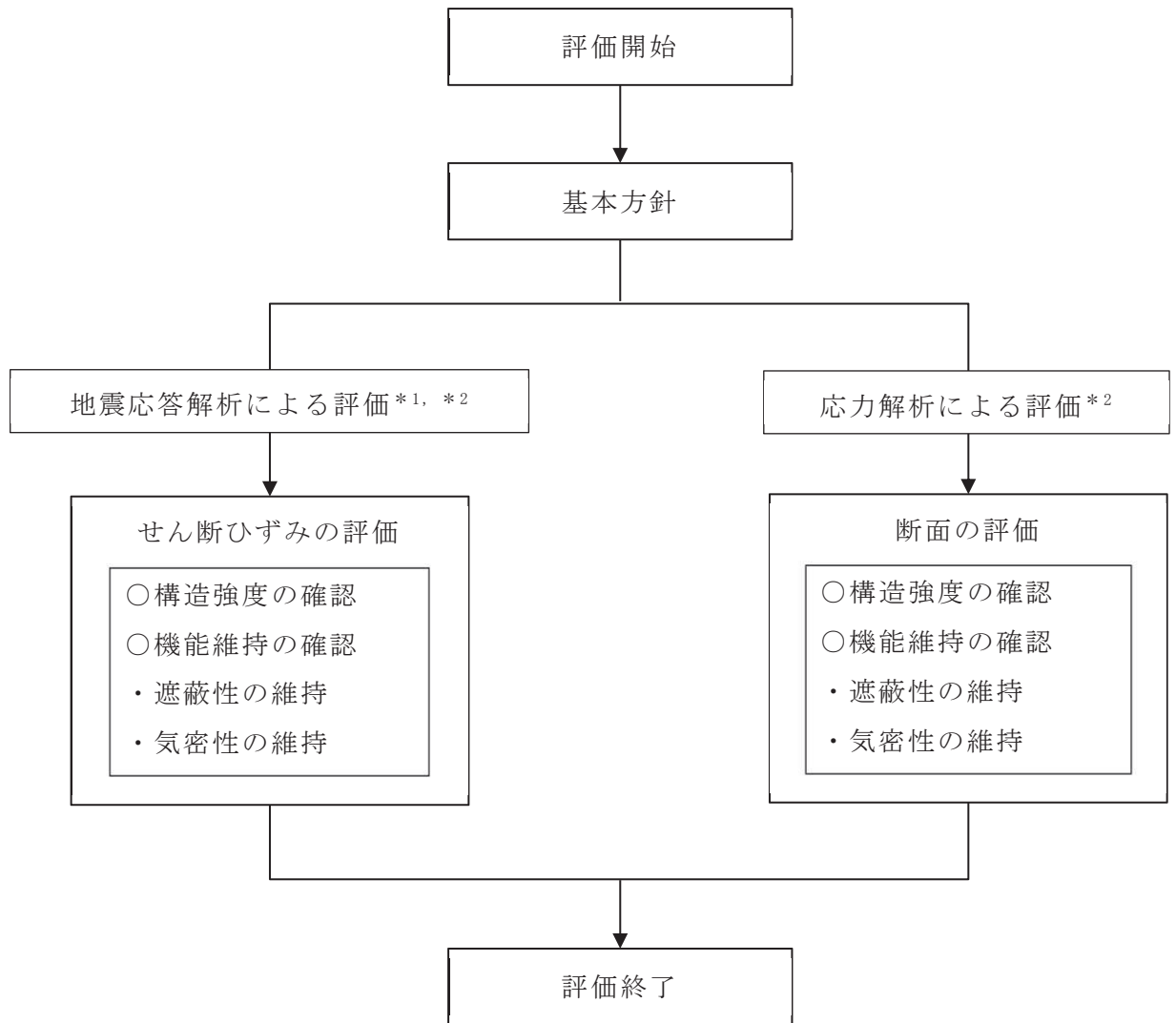
2.3 評価方針

中央制御室待避所遮蔽は、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、待避所バウンダリは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示すとおり、加圧設備とあいまって、気密性維持の境界において気圧差を確保することで必要な気密性を維持する設計とする。なお、重大事故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。

中央制御室待避所及び待避所バウンダリは、中央制御室待避所を取り囲むコンクリート壁(耐震壁及び新設壁)及びコンクリートスラブ(床スラブ及び新設スラブ)で構成されており、重大事故等対処施設としての評価においては、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。

中央制御室待避所遮蔽及び待避所バウンダリの評価は、添付書類「VI-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耐震壁についてせん断ひずみの評価を、応力解析による評価においては新設スラブ、床スラブ及び新設壁について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することで必要な気密性を維持する設計とする(別紙1「中央制御室待避所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「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。評価に当たっては材料物性の不確かさを考慮する。中央制御室待避所遮蔽及び待避所バウンダリの評価フローを図2-5に示す。

なお、中央制御室待避所を構成する耐震壁は、中央制御室しゃへい壁の一部であることを踏まえ、地震時の構造強度及び機能維持の確認は添付書類「VI-2-8-4-3 中央制御室しゃへい壁の耐震性についての計算書」によるものとする。また、制御建屋は地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等は耐震壁の変形に追従すること、また、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変形が抑えられるため、各層の耐震壁が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。



注記*1：地震応答解析による評価は添付書類「VI-2-8-4-3 中央制御室しゃへい壁の耐震性についての計算書」によるものとする。

*2：添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-5 中央制御室待避所遮蔽及び待避所バウンダリの評価フロー

2.4 適用規格・基準等

中央制御室待避所遮蔽及び待避所バウンダリの評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 1999 年 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-
- ・ 日本建築学会 2005 年 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（以下「RC-N規準」という。）
- ・ 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）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- ・ 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）（以下「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」という。）

3. 応力解析による評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

中央制御室待避所遮蔽及び待避所バウンダリの応力解析による評価対象部位は、中央制御室待避所を構成する新設スラブ、床スラブ及び新設壁とし、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「VI-2-2-3 制御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。

3.1.1 スラブ

S s 地震時に対する評価は、材料物性の不確かさ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。評価については、スラブの検定比が大きい部材を選定して示すこととし、評価対象は床スラブとする。

応力解析による評価フローを図 3-1 に、スラブの評価を記載する部材の位置を図 3-2 に示す。

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、地震応答解析による評価に含まれる。

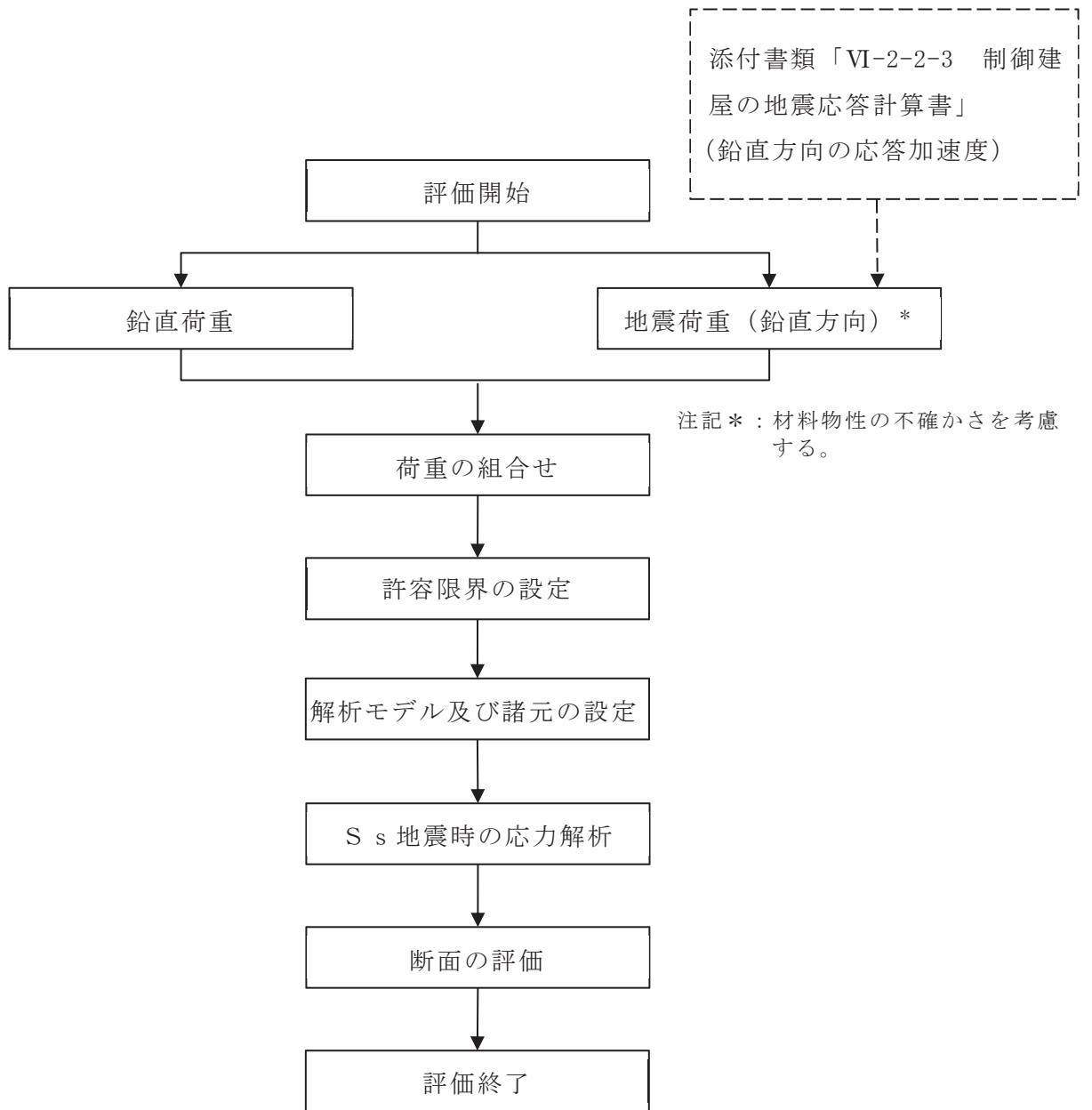


図 3-1 スラブの応力解析による評価フロー

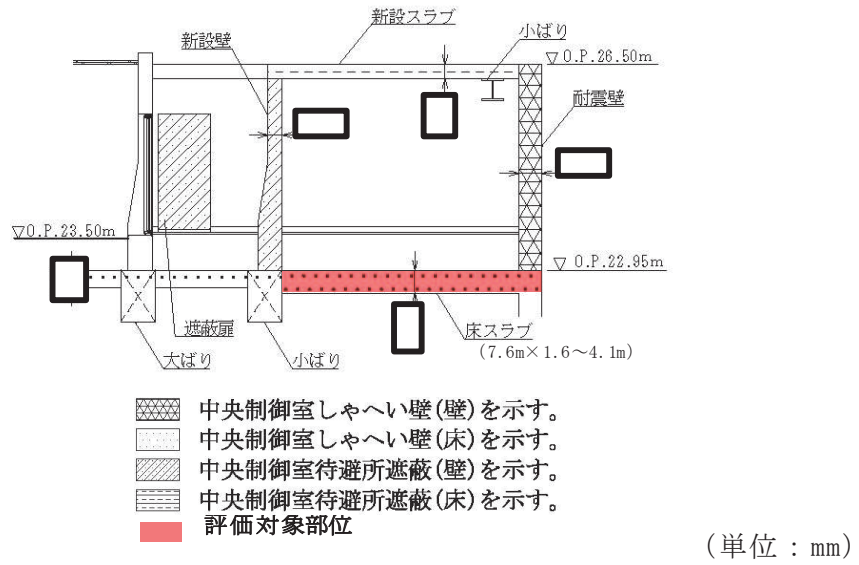


図 3-2 スラブの評価を記載する部材の位置

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.1.2 新設壁

S_s地震時に対する評価は、材料物性の不確かさを考慮した水平方向の地震力により発生する応力が、「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。

応力解析による評価フローを図3-3に、評価を記載する部材の位置を図3-4に示す。

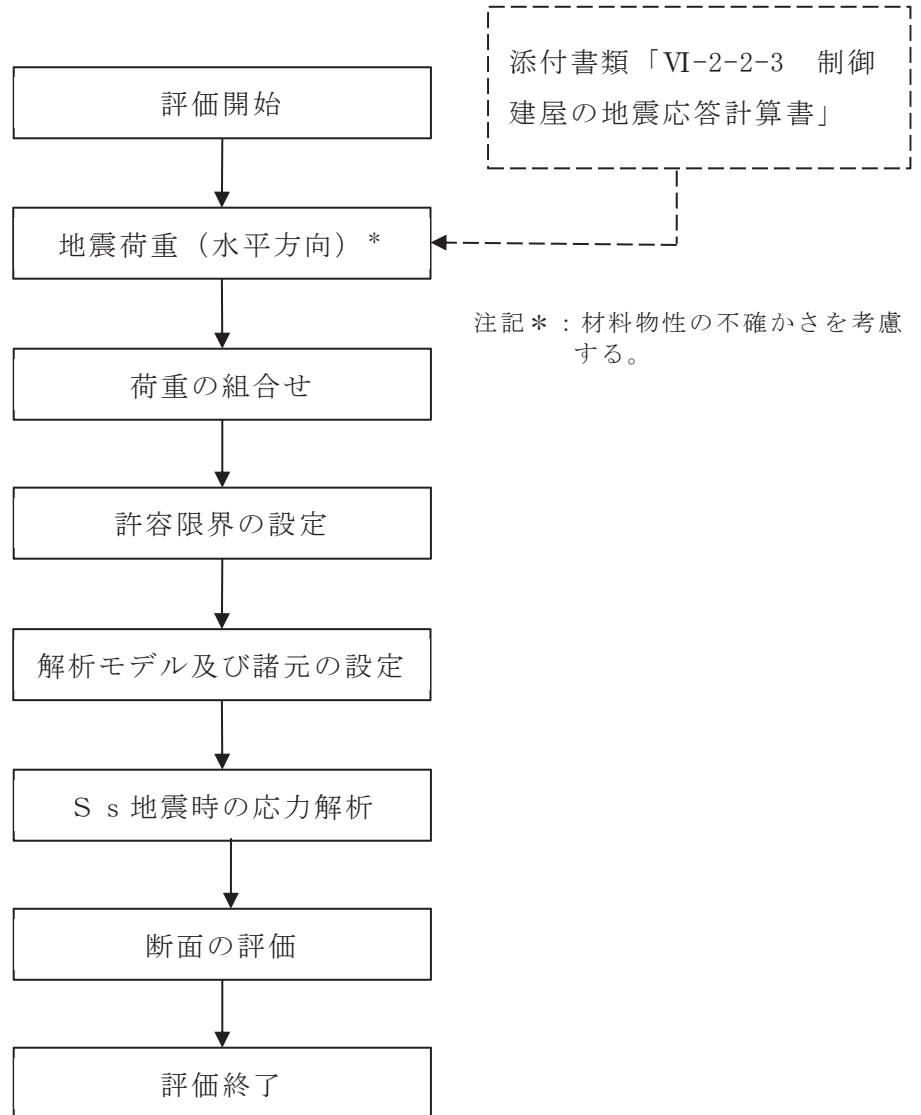


図3-3 新設壁の応力解析による評価フロー

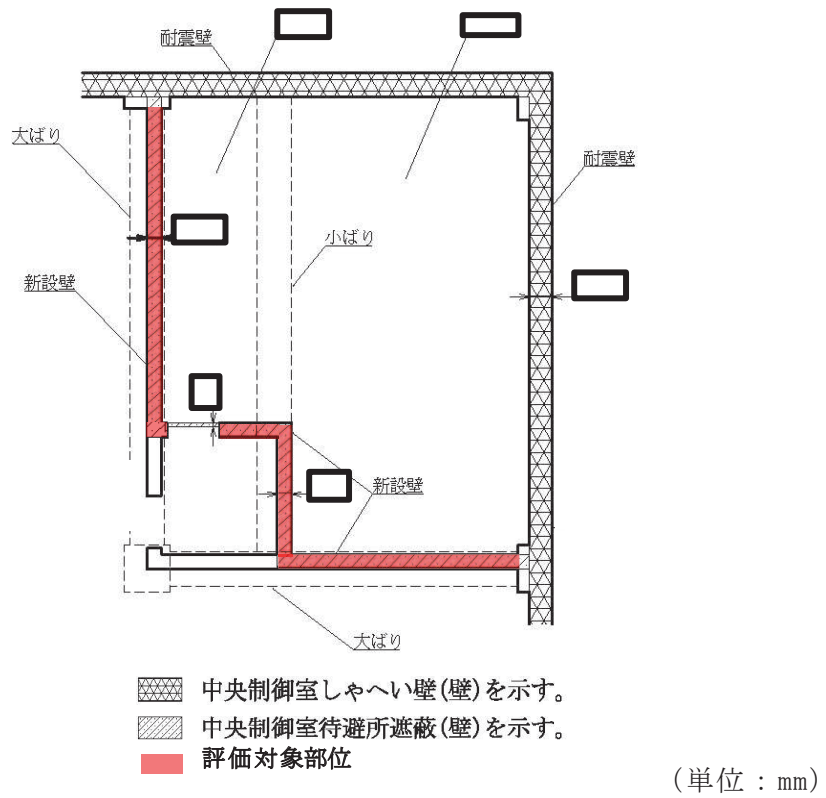


図 3-4 評価を記載する部材の位置

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.2 荷重及び荷重の組合せ

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

3.2.1 スラブ

(1) 荷重

a. 鉛直荷重

応力解析において考慮する固定荷重 (G) 及び積載荷重 (P) を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

表 3-1 固定荷重 (G)

部位	固定荷重 (kN/m ²)
床スラブ	9.6

表 3-2 積載荷重 (P)

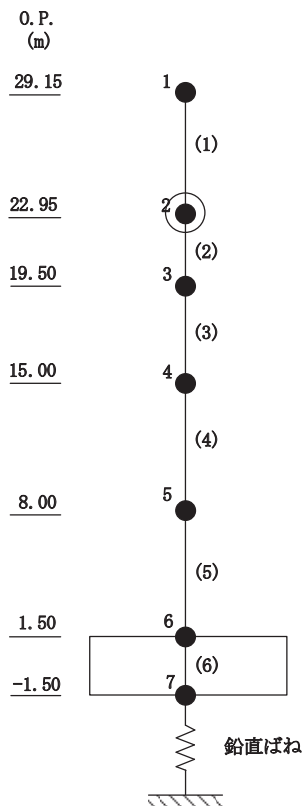
部位	積載荷重 (kN/m ²)
床スラブ	6.3

b. 地震荷重 (S s)

鉛直地震力は、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により設定する。

床スラブが、長辺方向 7.6m、短辺方向 1.6m～4.1m で厚さ 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。

鉛直方向の地震荷重は、図 3-5 に示す基準地震動 S s に対する制御建屋の質点系モデルの中央制御室床レベル (0.P. 22.95m, 質点番号 2) の鉛直方向最大応答加速度より算定される誘発上下動を考慮した鉛直震度とする。



- 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 3-5 基準地震動 S_s に対する質点系モデル (鉛直方向)

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

荷重状態	荷重の組合せ
S_s 地震時	$(1 + K_v)(G + P)$

G : 固定荷重

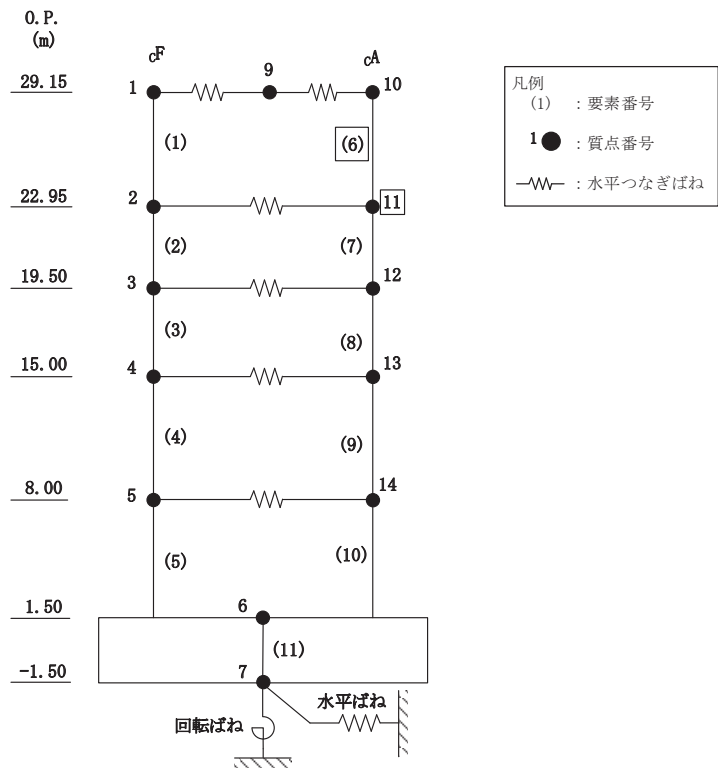
P : 積載荷重

K_v : 鉛直震度

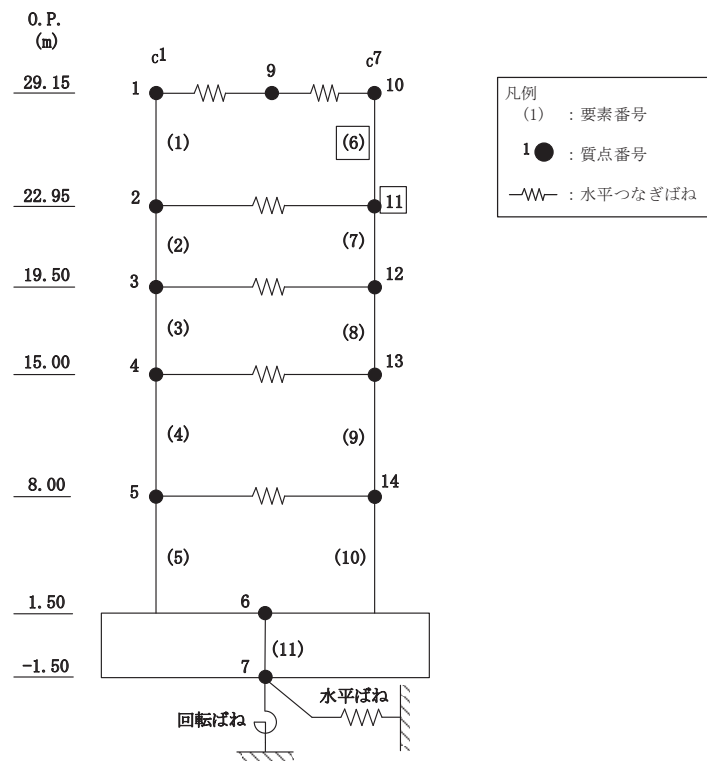
3.2.2 新設壁

水平地震力は、保守的に基準地震動 S_s に対する地震応答解析により算定される動的地震力より設定する。

S_s 地震荷重は、面内方向については図 3-6 に示す基準地震動 S_s に対する制御建屋の地震応答解析モデルの中央制御室床レベル(0.P.22.95m, 要素番号(6))の最大応答せん断応力度によるものとする。面外方向については中央制御室床レベル(0.P.22.95m, 質点番号 11)の最大応答加速度より算定される水平震度によるものとする。



(a) NS 方向



(b) EW 方向

注 : □印の動的応答を用いる。

図 3-6 基準地震動 S_s に対する地震応答解析モデル (水平方向)

3.3 許容限界

応力解析による評価における中央制御室待避所遮蔽の許容限界は、添付書類「VI-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 3-4 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 3-5 及び表 3-6 に示す。

表 3-4 応力解析による評価における許容限界

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	スラブ 新設壁	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*1
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性能を損なわないこと	基準地震動 S s	スラブ 新設壁	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*1
気密性	換気性能とあいまって気密性能を維持すること	基準地震動 S s	スラブ 新設壁	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*2

注記 *1：許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したの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。

*2：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 3-5 コンクリートの許容応力度

部位	設計基準強度 Fc (N/mm ²)	圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)
スラブ	32.4	21.6	1.21
新設壁	33	22.0	1.23

表 3-6 鉄筋の許容応力度

部位	種別	引張及び圧縮 (N/mm ²)	せん断補強 (N/mm ²)
スラブ	SD35 (SD345 相当)	345	345
新設壁	SD345	345	345

3.4 解析モデル

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、壁及びはりで囲まれた図 3-2 に示す範囲についてモデル化する。

スラブの解析モデルは、床スラブについては、四辺固定版として評価する。スラブの解析モデルを図 3-7 に示す。

新設壁の面外方向に対する水平地震動による影響に対する検討において、3階床スラブ及び中央制御室待避所天井スラブで支持された範囲を一方向版としてモデル化する。

新設壁の解析モデルは、大ばり及び小ばりに支持される脚部を固定、中央制御室待避所天井スラブに支持される頂部を単純支持として評価する。新設壁の解析モデルを図 3-8 に示す。

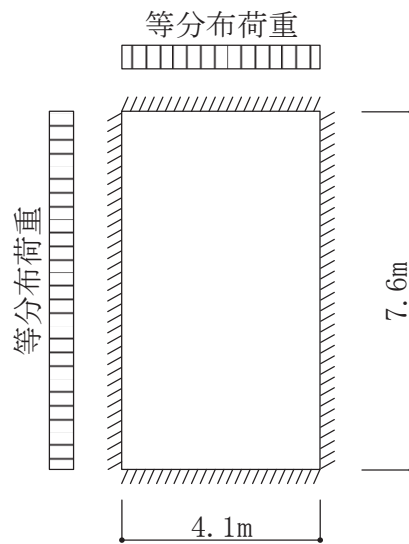


図 3-7 床スラブの解析モデル

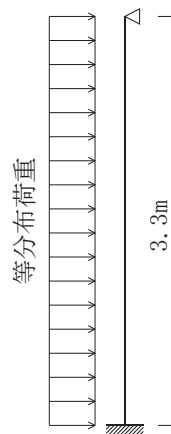


図 3-8 新設壁の解析モデル

3.5 評価方法

3.5.1 スラブの応力解析方法

(1) 荷重ケース

作用荷重のうち地震荷重は、鉛直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) 長期荷重時の応力の算出方法

長期荷重時の端部曲げモーメント、中央部曲げモーメント及びせん断力の算出方法は下式の通りである。長期荷重時の端部曲げモーメント、中央部曲げモーメント及びせん断力を表 3-7 に示す。

(四辺固定版)

- ・短辺の端部曲げモーメント (M_{X1})

$$M_{X1} = -\frac{1}{12} \cdot w_x \cdot l_x^2$$

- ・短辺の中央部曲げモーメント (M_{X2})

$$M_{X2} = \frac{1}{18} \cdot w_x \cdot l_x^2$$

- ・短辺のせん断力 (Q_x)

$$Q_x = 0.52 \cdot w \cdot l_x$$

- ・長辺の端部曲げモーメント (M_{Y1})

$$M_{Y1} = -\frac{1}{24} \cdot w \cdot l_x^2$$

- ・長辺の中央部曲げモーメント (M_{Y2})

$$M_{Y2} = \frac{1}{36} \cdot w \cdot l_x^2$$

- ・長辺のせん断力 (Q_y)

$$Q_y = 0.46 \cdot w \cdot l_x$$

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/m²)

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

表 3-7 長期荷重時の端部曲げモーメント，中央部曲げモーメント及びせん断力

部位	スラブ厚 (m)	方向	端部曲げモーメント (kN・m/m)	中央部曲げモーメント (kN・m/m)	せん断力 (kN/m)
床スラブ		短辺 (NS)	20.5	13.7	33.9
		長辺 (EW)	11.1	7.4	30.0

(3) S s 地震時の応力の算出方法

「(2) 長期荷重の応力の算出方法」における長期荷重時の端部曲げモーメント，中央部曲げモーメント及びせん断力を，中央制御室床レベル (O.P. 22.95m，質点番号 2) 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 3-8 に示す。また，鉛直震度より算出した端部曲げモーメント，中央部曲げモーメント及びせん断力を表 3-9 に示す。

表 3-8 地震応答解析による最大応答加速度 (基準地震動 S s)

質点番号	O.P. (m)	最大値 (cm/s ²)
2	22.95	1574

表 3-9 鉛直震度より算出した端部曲げモーメント，中央部曲げモーメント及びせん断力

部位	検討用鉛直震度*	方向	端部曲げモーメント (kN・m/m)	中央部曲げモーメント (kN・m/m)	せん断力 (kN/m)
床スラブ	2.61	短辺 (NS)	53.5	35.8	88.5
		長辺 (EW)	29.0	19.3	78.3

注記* : 検討用鉛直震度には長期荷重時の重量を含むものとする。

3.5.2 新設壁の応力解析方法

(1) S s 地震時の面内方向応力の算出方法

面内方向については，地震応答解析により算出される耐震壁の面内せん断応力度による。

(2) S s 地震時の面外方向応力の算出方法

面外方向については，中央制御室レベル（O.P.22.95m，質点番号 11）の水平方向最大応答加速度より算出した水平震度に基づき，S s 地震時の脚部曲げモーメント及び脚部せん断力を算出する。S s 地震時の脚部曲げモーメント及び脚部せん断力の算出方法は下式の通りである。水平方向最大応答加速度を表 3-10 に示す。また，水平震度より算出した脚部曲げモーメント及び脚部せん断力を表 3-11 に示す。

（脚部固定一頂部単純支持版）

・脚部曲げモーメント（M）

$$M = -k h \cdot \frac{1}{8} \cdot w \cdot l^2$$

・脚部せん断力（Q）

$$Q = k h \cdot \frac{5}{8} \cdot w \cdot l$$

ここで，

l : 有効スパン（m）

w : 単位面積あたりの壁重量（6.0kN/m²）

kh : S s 地震時水平震度

表 3-10 地震応答解析による最大応答加速度（基準地震動 S s）

方向	質点番号	O.P. (m)	最大値 (cm/s ²)
NS	11	22.95	2270
EW	11	22.95	2068

表 3-11 水平震度より算出した脚部曲げモーメント及び脚部せん断力

部位	検討用 水平震度	脚部曲げモーメント (kN・m/m)	脚部せん断力 (kN/m)
壁	2.32	18.9	28.7

3.5.3 スラブの断面評価方法

(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、次式をもとに計算した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 : せん断スパン比 $M / (Q \cdot d)$ による割増し係数

(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 (N/mm²)

3.5.4 新設壁の断面評価方法

(1) 面内せん断力に対する断面の評価方法

S s 地震時について、面内せん断力による応力は、すべて鉄筋で負担することとし、必要鉄筋比が設計鉄筋比を超えないことを確認する。

(2) 面外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、次式をもとに計算した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)

(3) 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。なお、新設壁については軸力を付加しない。

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

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 : せん断スパン比 $M / (Q \cdot d)$ による割増し係数

(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 (N/mm²)

4. 評価結果

スラブの配筋一覧を表 4-1 に示す。また、「3.5.3 スラブの断面評価方法」及び「3.5.4 新設壁の断面評価方法」に基づいた断面の評価結果を表 4-2～表 4-4 に示す。S s 地震時において、発生値が許容限界を超えないことを確認した。

表 4-1 スラブの配筋一覧

部材	方向	上ば筋		下ば筋	
		配筋	断面積 (mm ² /m)	配筋	断面積 (mm ² /m)
床スラブ	NS	D19@200	1435	D19@200	1435
	EW	D19@200	1435	D19@200	1435

表 4-2 床スラブの評価結果 (基準地震動 S_s)

方向		NS 方向	EW 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		□ × 1000	□ × 1000
有効せい d (mm)		332	332
配筋	上ば筋	D19@200 (1435 mm ² /m)	D19@200 (1435 mm ² /m)
	下ば筋	D19@200 (1435 mm ² /m)	D19@200 (1435 mm ² /m)
曲げ モーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	53.5	29.0
	許容限界 M _A (kN・m/m)	144	144
	検定値 M/M _A	0.38	0.21
面外 せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	88.5	78.3
	せん断スパン比による 割増係数 α	1.42	1.89
	許容限界 Q _A (kN/m)	500	665
	検定値 Q/Q _A	0.18	0.12
判定		可	可

O 2 ⑥ VI-2-8-4-4 R 4

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-3 新設壁の面内せん断力に対する評価結果（基準地震動 S_s）

方向		NS 方向	EW 方向
O.P. (m)		22.95~26.50	22.95~26.50
壁厚 (mm)		□	□
配筋	縦筋配筋	2-D19@200 (2870 mm ² /m)	2-D19@200 (2870 mm ² /m)
	縦筋設計鉄筋比 P _g (%)	1.14	1.14
	横筋配筋	2-D19@200 (2870 mm ² /m)	2-D19@200 (2870 mm ² /m)
	横筋設計鉄筋比 P _g (%)	1.14	1.14
面内 せん断力	せん断応力度 τ (N/mm ²)	2.54	2.24
	必要鉄筋比 P _Q (%)	0.74	0.65
	P _Q /P _g	0.65	0.57
判定		可	可

O 2 © VI-2-8-4-4 R 4

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-4 新設壁の面外曲げモーメント及び面外せん断力に対する評価結果（基準地震動 S s）

方向		NS 方向及び EW 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		□ × 1000
有効せい d (mm)		172
配筋	縦筋配筋	D19@200 (1435 mm ² /m)
曲げ モーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	18.9
	許容限界 M _A (kN・m/m)	74.5
	検定値 M/M _A	0.26
面外 せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	28.7
	せん断スパン比による 割増係数 α	1.0
	許容限界 Q _A (kN/m)	185
	検定値 Q/Q _A	0.16
判定		可

O 2 © VI-2-8-4-4 R 4

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙1 中央制御室待避所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. 待避所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 総漏えい量と加圧設備必要換気量の比較	別紙 1-5
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「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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せん断ひずみ 2.0×10^{-3} としている。

中央制御室待避所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、中央制御室待避所加圧設備（空気ポンプ）の処理対象となるバウンダリ（以下「待避所バウンダリ」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、待避所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、待避所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。

総漏えい量

$$Q \cdot A \cdot \Delta Q \quad (\text{L/min}) \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで、

A : 壁の面積 (m²)

$$Q = C \cdot \gamma^{2.57} \cdot \Delta P / T \dots\dots\dots (2.2)$$

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)

$$\Delta Q = \left\{ (\alpha^2 - 1) \cdot \left(\frac{Q'}{Q_0} - 1 \right) - 1 \right\} \cdot \beta + 1 \dots\dots\dots (2.3)$$

ここで、

ΔQ : 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」

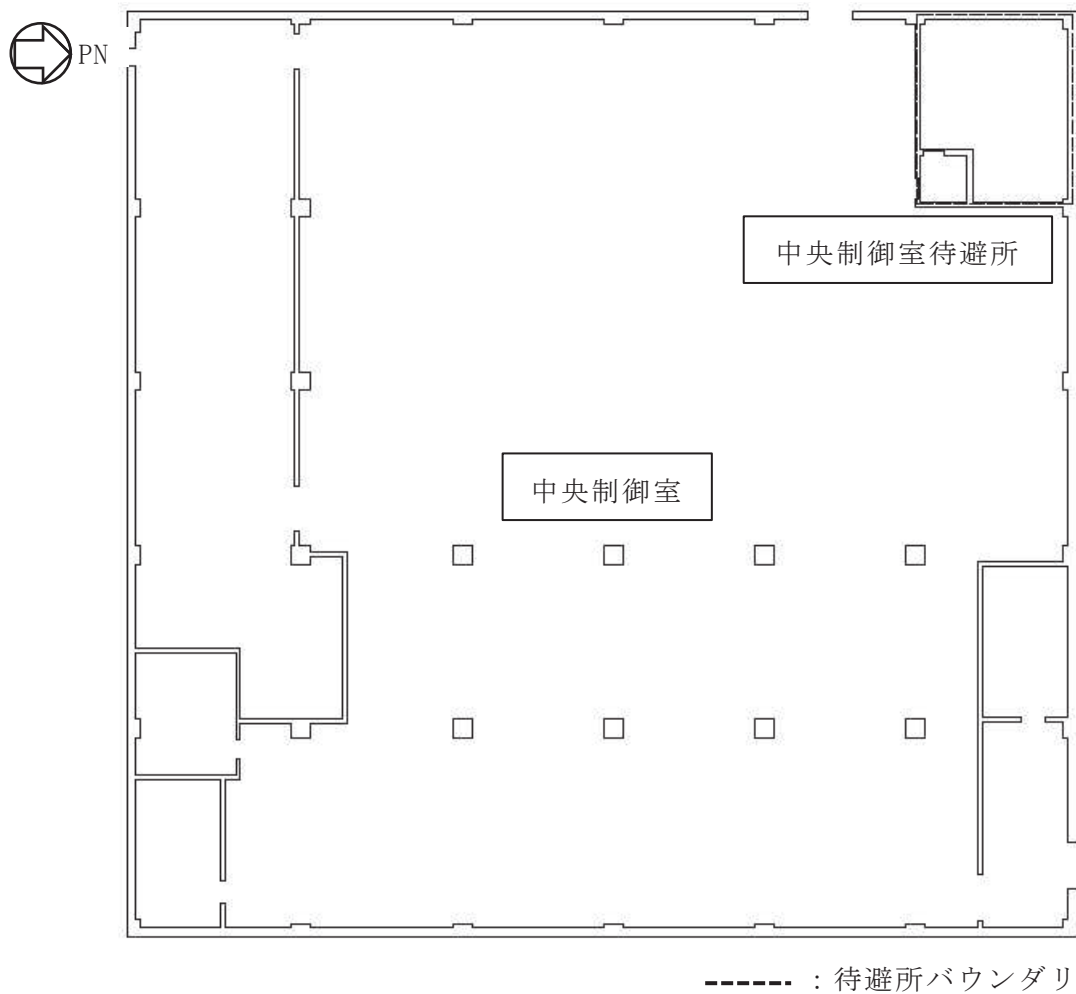
3. 待避所バウンダリにおける空気漏えい量に対する影響検討

3.1 検討方針

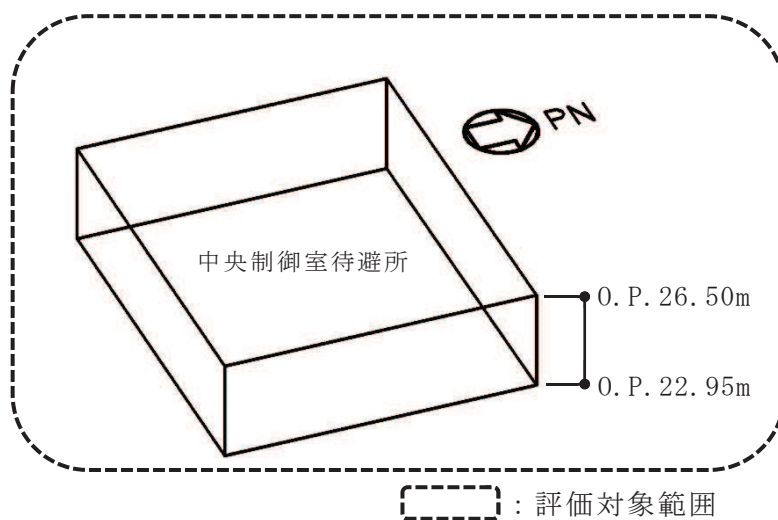
「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に基づき、(2.1)式～(2.3)式により、待避所バウンダリを構成する壁のせん断ひずみが許容限界 (2.0×10^{-3}) に達したときの空気漏えい量を算定し、加圧設備必要換気量 ($0.5 \text{ (m}^3/\text{min)}$) を超えないことを確認する。

待避所バウンダリ範囲を図3-1に示す。待避所バウンダリ (O.P. 22.95m～O.P. 26.50m) を構成する壁の壁厚は である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(b) 平面図 (O.P. 22.95m)






(b) 待避所バウンダリの概要

図 3-1 待避所バウンダリの範囲

3.2 空気漏えい量の算定結果

待避所バウンダリ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 待避所バウンダリの気密性計算結果

壁厚 T (cm)	定数		せん断 ひずみ*1 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 積に対 する開 口の総 面積 β	通気量 割増率 ΔQ	総 漏えい量 $Q \times A$ $\times \Delta Q$ (L/min)
	C	$\frac{Q}{Q_0}$							
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	2.1	20.96	0.11	0.000	1.00	2.41
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	2.1	25.91	0.11	0.089	5.48	16.30
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	22.1	46.86	0.75	0.000	1.00	35.37
								合計	54.08

注記*1：保守的に各壁のせん断ひずみが同時に許容限界となることを想定。

*2：待避所バウンダリの加圧に必要な差圧条件とする。

*3：気密バウンダリを構成する壁の総面積を用いる。

3.3 総漏えい量と加圧設備必要換気量の比較

待避所バウンダリの総漏えい量と加圧設備必要換気量を表3-2に示す。待避所バウンダリについて総漏えい量は、加圧設備必要換気量の10%程度であることを確認した。

表 3-2 総漏えい量と加圧設備必要換気量の比較

(m ³ /min)	
総漏えい量	加圧設備必要換気量
0.054	0.5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 検討結果

待避所バウンダリについて、総漏えい量は加圧設備必要換気量を超えないことを確認した。

よって、待避所バウンダリは、鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界をせん断ひずみ 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

待避所バウンダリは、鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界として設定したせん断ひずみ 2.0×10^{-3} を適用した場合において、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ことを確認した。

以上より、制御建屋の中央制御室待避所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、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。

VI-2-8-4-5 緊急時対策所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	11
2.4	適用規格・基準等	14
3.	地震応答解析による評価方法	15
4.	応力解析による評価方法	16
4.1	評価対象部位及び評価方針	16
4.1.1	床スラブ及び屋根スラブ	16
4.2	荷重及び荷重の組合せ	21
4.2.1	床スラブ及び屋根スラブ	21
4.3	許容限界	24
4.4	解析モデル及び諸元	25
4.4.1	床スラブ及び屋根スラブ	25
4.5	評価方法	27
4.5.1	床スラブ及び屋根スラブの応力解析方法	27
4.5.2	床スラブ及び屋根スラブの断面評価方法	30
5.	評価結果	31
5.1	地震応答解析による評価結果	31
5.2	応力解析による評価結果	34

別紙 1 緊急時対策所の気密性に関する計算書

1. 概要

本資料は、重大事故等が発生した場合において、緊急時対策建屋内緊急時対策所（以下「緊急時対策所」という。）にとどまる要員の被ばくを低減するために設置する緊急時対策所遮蔽（以下「緊急時対策所遮蔽」という。）について、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、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。

また、緊急時対策所は、添付書類「VI-1-9-3-2 緊急時対策所の居住性に関する説明書」において、「実用発電用原子炉及びその付属施設の技術基準に関する規則」第46条及び第76条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその付属施設の技術基準に関する規則の解釈」に基づく居住性の評価を行っており、緊急時対策所換気設備の処理対象となるバウンダリ（以下「緊急時対策所バウンダリ」という。）を定めている。

以下、緊急時対策所のうち緊急時対策所遮蔽と緊急時対策所バウンダリの耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所バウンダリは、緊急時対策建屋の一部を構成している。緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所バウンダリを含む緊急時対策建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

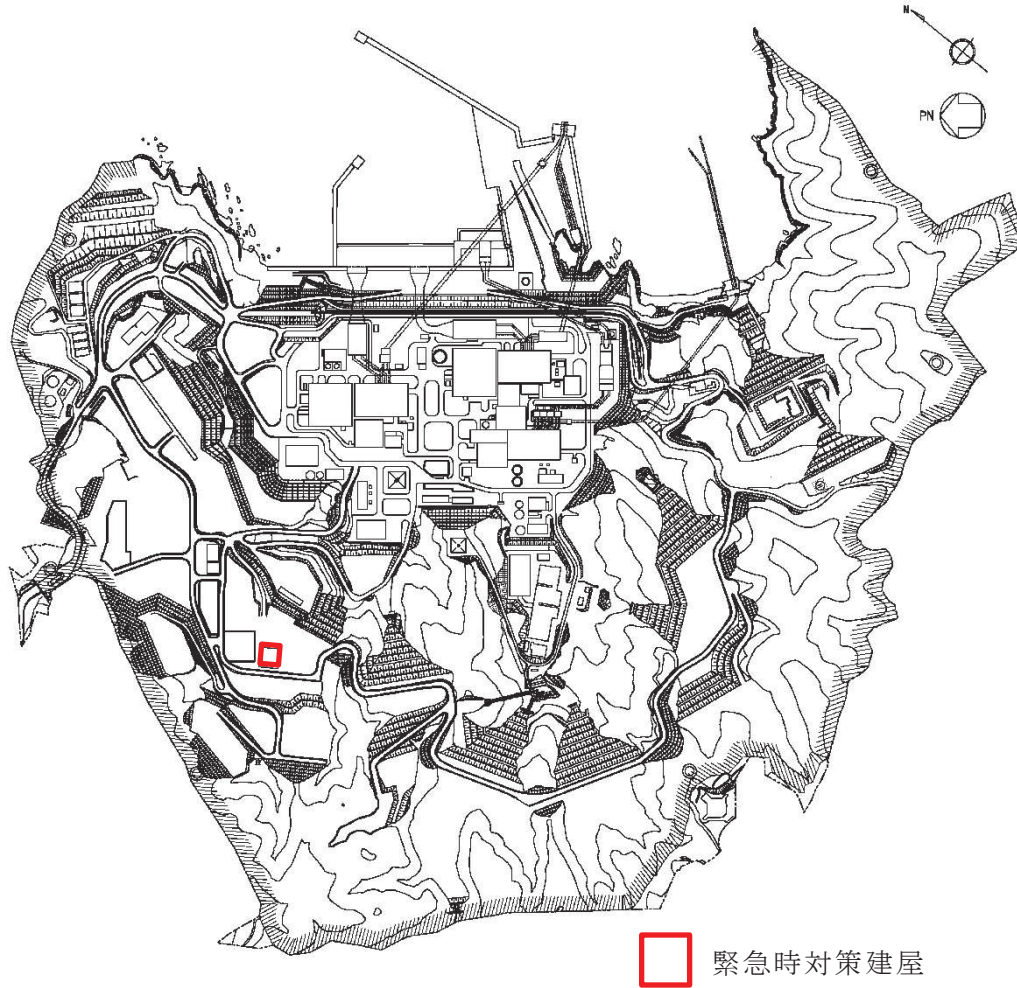


図 2-1 緊急時対策建屋の設置位置

2.2 構造概要

緊急時対策建屋は、地下2階、地上2階建てで、基礎底面からの高さは30.4m（地上高さは13.9m）であり、平面は36.4m(NS方向)×36.4m(EW方向)^{*1}の正方形である。建屋の構造は鉄筋コンクリート造である。

緊急時対策建屋の基礎は、厚さ6.0mで、はね出しを有し、平面は47.0m(NS方向)×47.0m(EW方向)の正方形であり、支持地盤である砂岩に岩着している。

緊急時対策建屋の主たる耐震要素は、建屋外壁の耐震壁で、基礎版から屋上階床面まで連続しており、壁厚は0.5m～2.2mである。建屋は全体として非常に剛性が高く、地震時の水平力はすべてこれらの耐震壁で負担する。

緊急時対策所は地下2階(O.P.^{*2}51.5m～O.P.57.3m)に位置する。平面規模は、25.25m(NS方向)×25.25m(EW方向)である。緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所バウンダリは、緊急時対策所を取り囲むコンクリート壁(耐震壁及び間仕切壁)及びコンクリートスラブ(床スラブ及び屋根スラブ)で構成されており、壁の厚さは 床スラブの厚さは である。

緊急時対策所遮蔽の概略平面図及び概略断面図を図2-2及び図2-3に、緊急時対策所バウンダリの範囲を図2-4に示す。

注記*1：建屋寸法は壁外面押えとする

*2：O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面(T.P.)-0.74mである。

02 ⑥ VI-2-8-4-5 R5

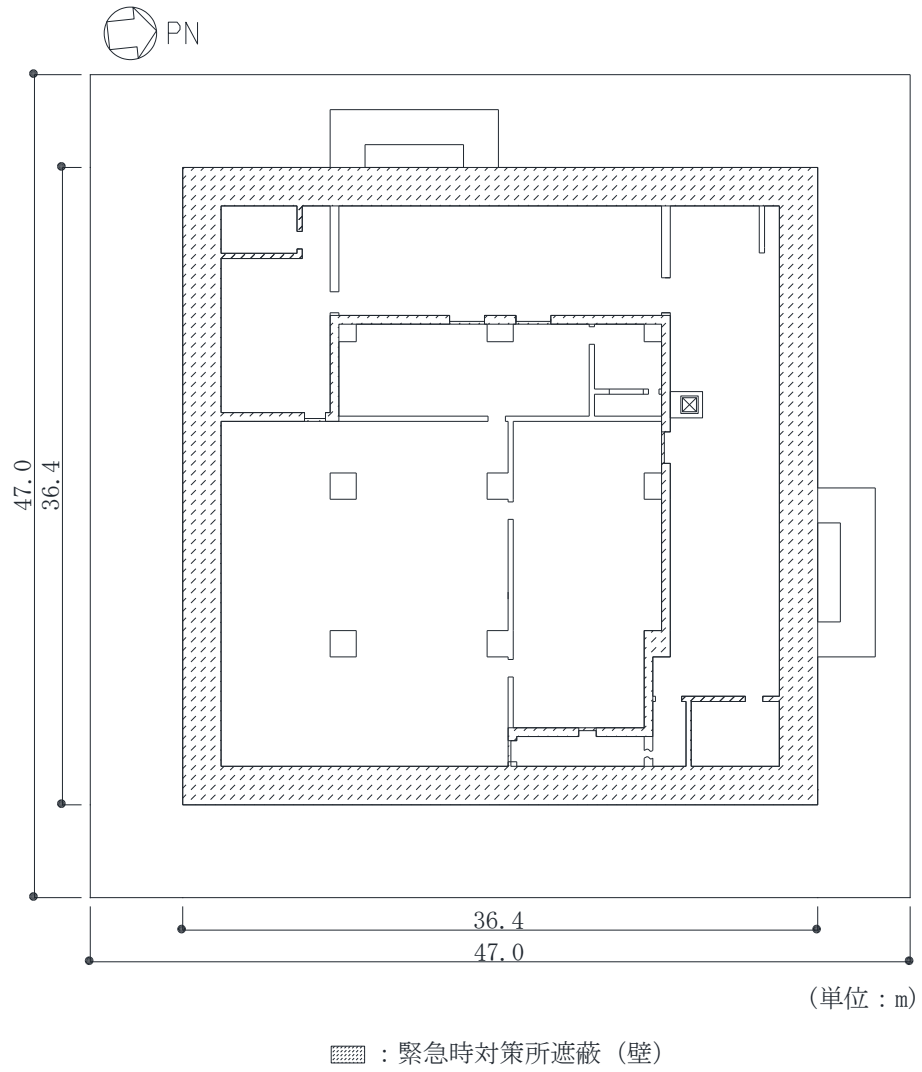
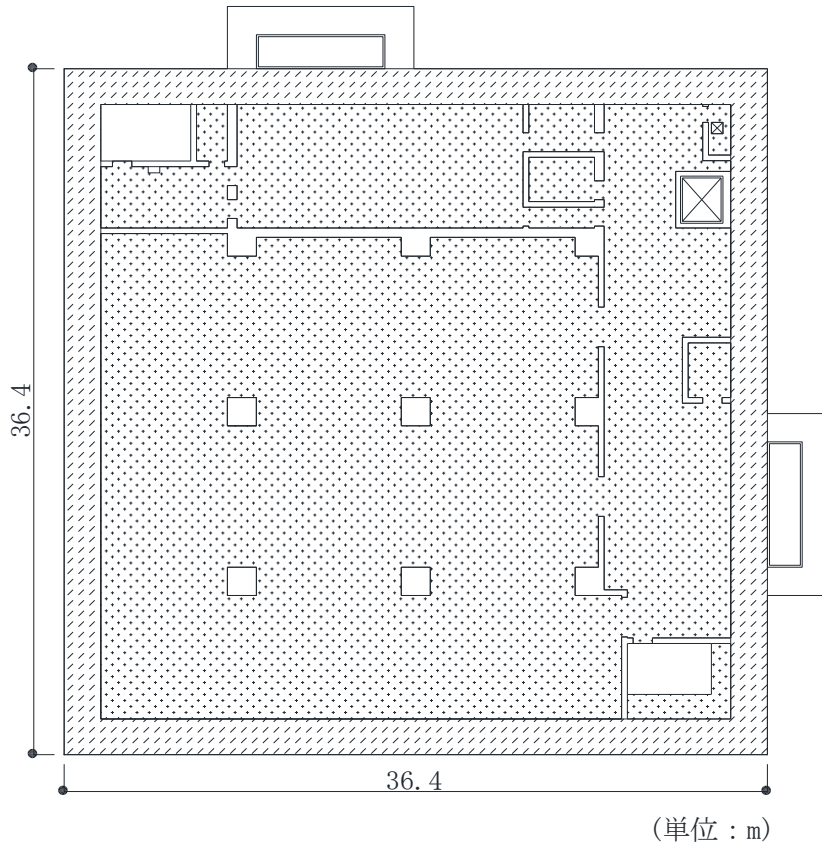


図 2-2(1) 緊急時対策所遮蔽の概略平面図 (0. P. 51. 5m)





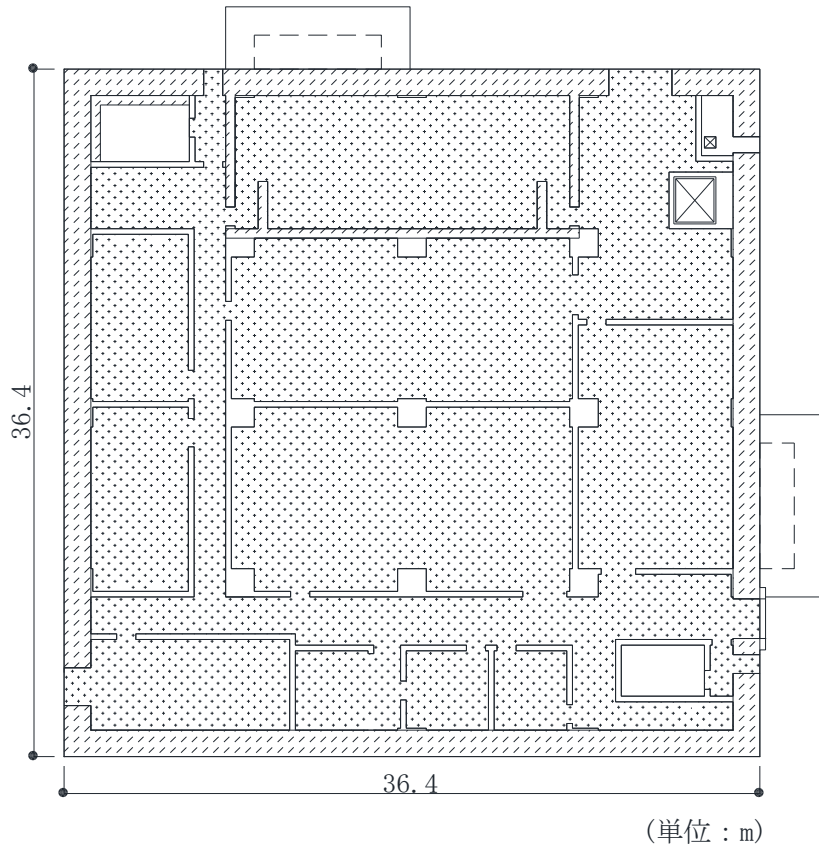
-  : 緊急時対策所遮蔽 (壁)
-  : 緊急時対策所遮蔽 (床)

図 2-2(2) 緊急時対策所遮蔽の概略平面図 (O.P. 57.3m)





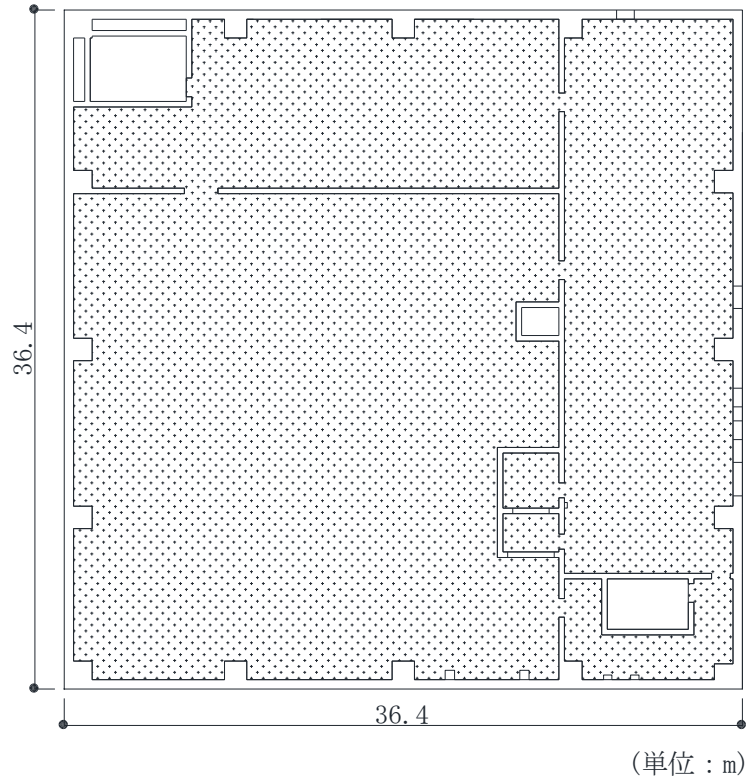
-  : 緊急時対策所遮蔽 (壁)
-  : 緊急時対策所遮蔽 (床)

図 2-2(3) 緊急時対策所遮蔽の概略平面図 (0.P.62.2m)



☐ : 緊急時対策所遮蔽 (床)

図 2-2(4) 緊急時対策所遮蔽の概略平面図 (0.P.69.4m)

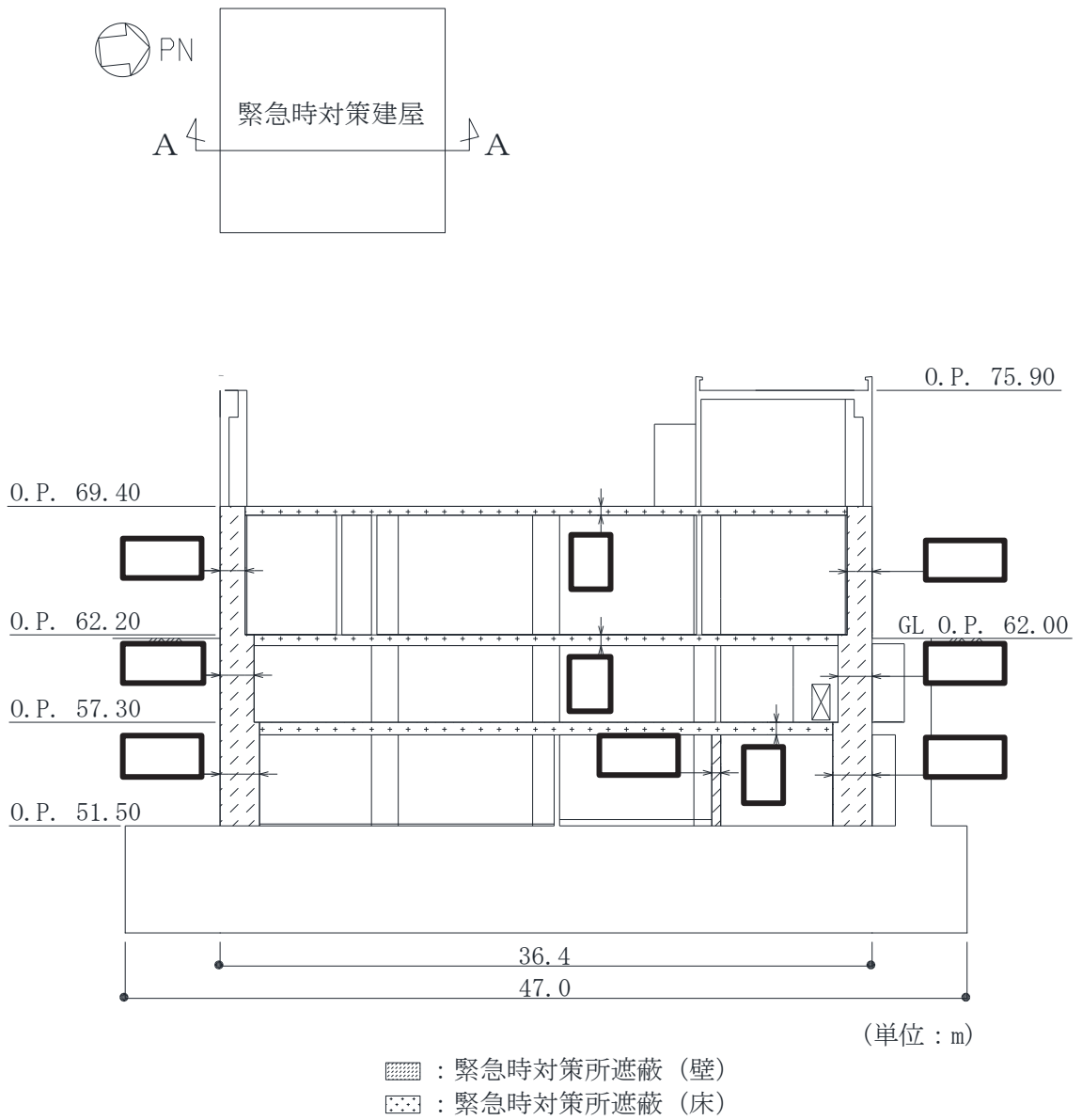


図 2-3(1) 緊急時対策所遮蔽の概略断面図 (A-A 断面 NS 方向)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

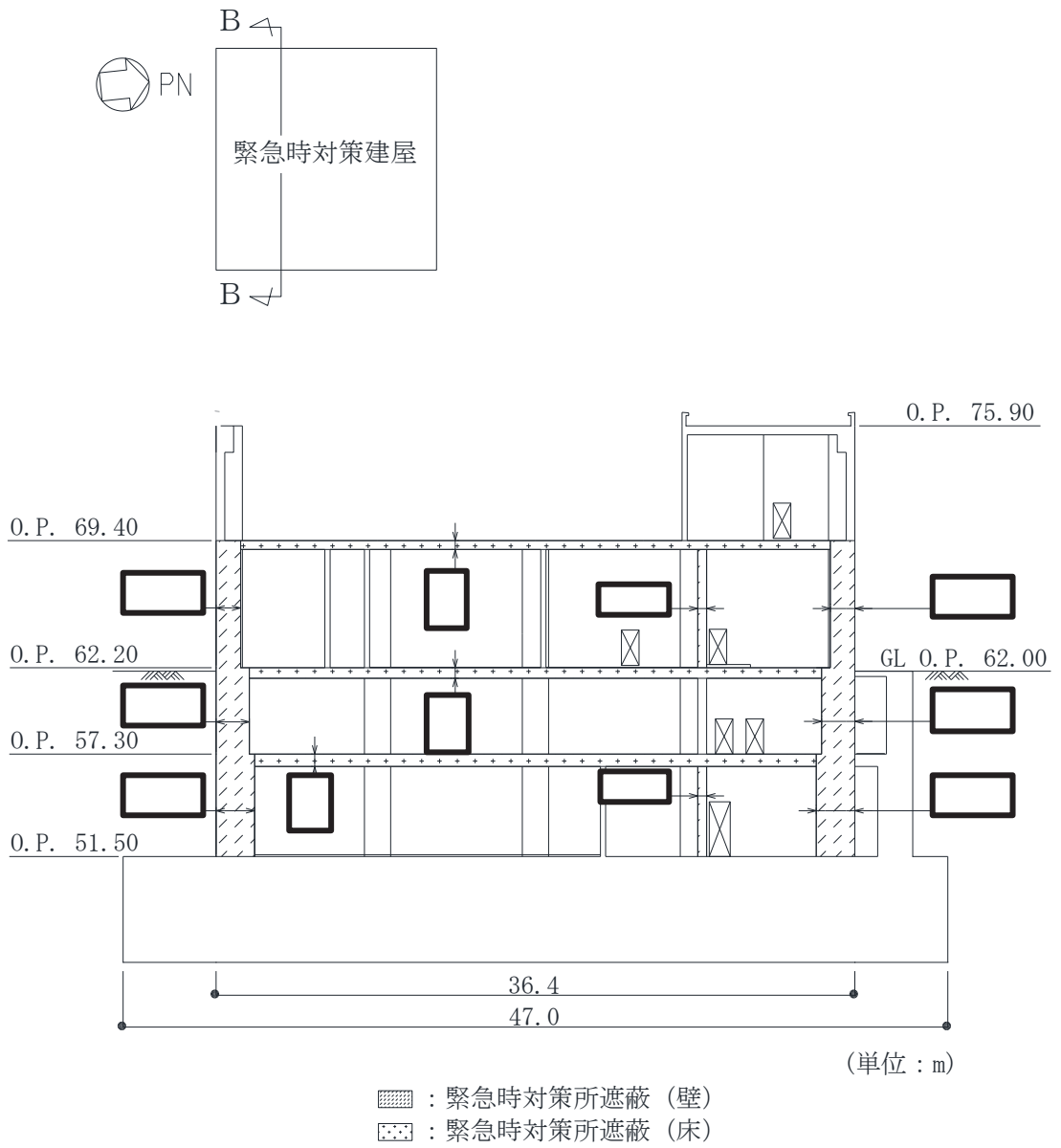
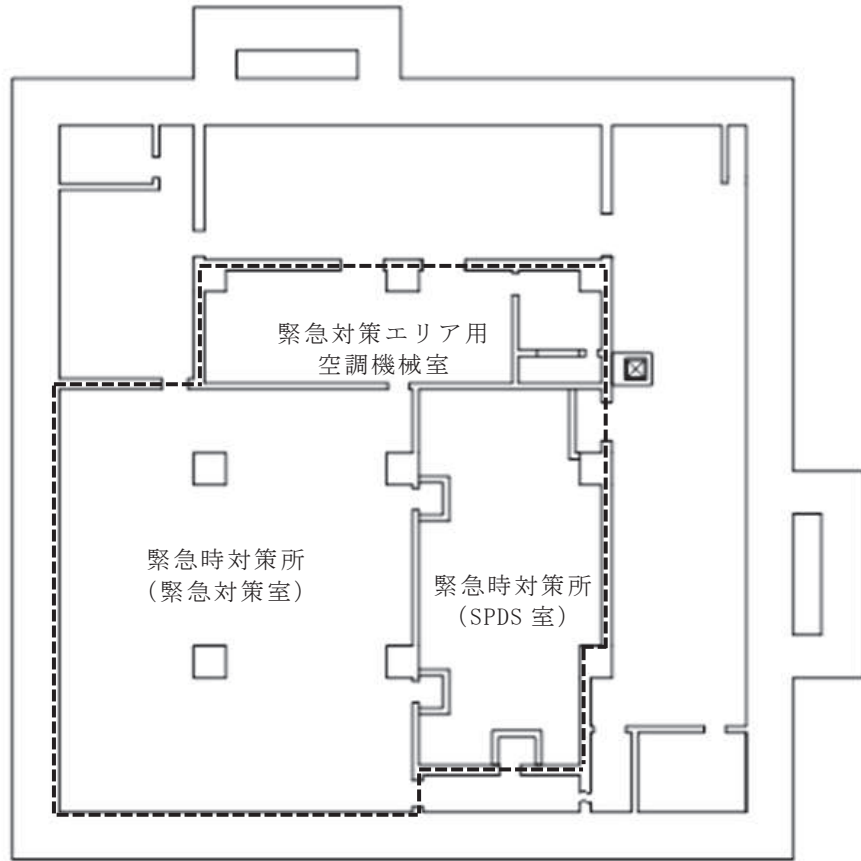


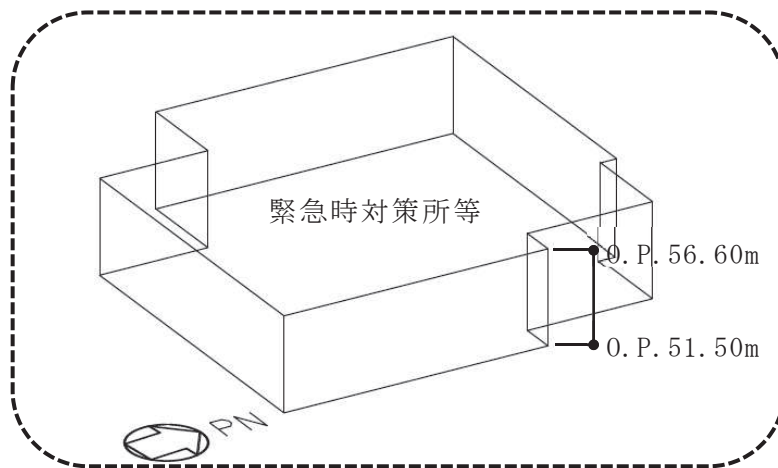
図 2-3(2) 緊急時対策所遮蔽の概略断面図 (B-B 断面 EW 方向)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



----- : 緊急時対策所バウンダリ

(a) 平面図 (O.P. 51.50m)



----- : 評価対象範囲

(b) 緊急時対策所バウンダリの概要

図 2-4 緊急時対策所バウンダリの範囲

2.3 評価方針

緊急時対策所遮蔽は、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、緊急時対策所バウンダリは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示すとおり、換気設備とあいまって、気密性維持の境界において気圧差を確保することで必要な気密性を維持する設計とする。なお、重大事故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。

緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所バウンダリは、緊急時対策所を取り囲むコンクリート壁（耐震壁及び間仕切壁）及びコンクリートスラブ（床スラブ及び屋根スラブ）で構成されており、重大事故等対処施設としての評価においては、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。

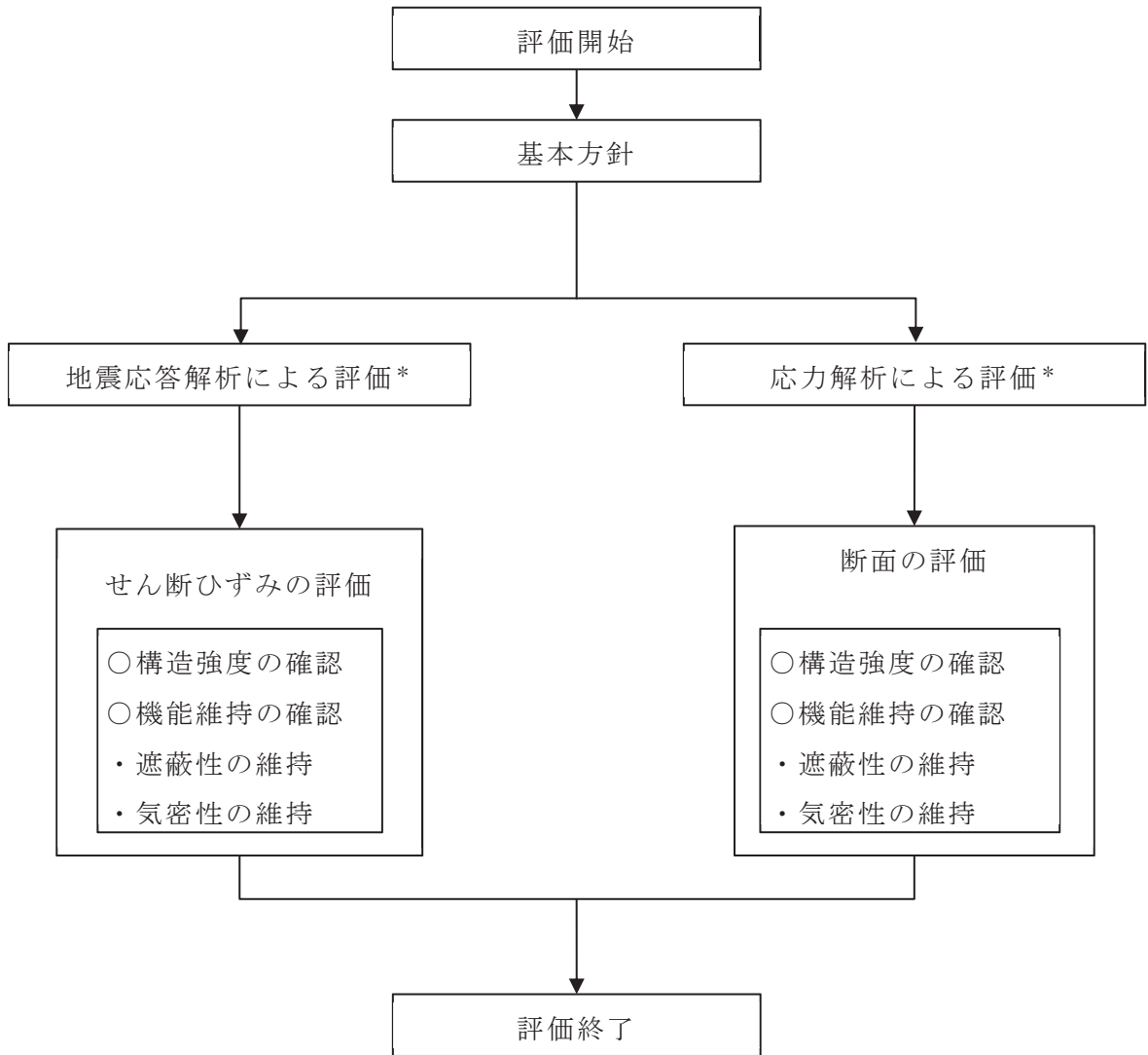
緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所バウンダリの評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、「3. 地震応答解析による評価」においては、耐震壁についてせん断ひずみの評価を、「4. 応力解析による評価」においては、床スラブ及び屋根スラブについて断面の評価を行うことで、地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。

それぞれの評価は、「VI-2-2-23 緊急時対策建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。評価にあたっては材料物性の不確かさを考慮する。表 2-1 に材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを示す。

緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所バウンダリの評価フローを図 2-5 に示す。

表 2-1 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

ケース名	建屋減衰	コンクリート剛性		地盤のせん断波速度
		初期剛性	終局耐力	
ケース 1 (基本ケース)	5%	設計基準強度に基づき JEAG 式で評価		平均値
ケース 2	同上	同上		+ σ 相当
ケース 3	同上	同上		- σ 相当
ケース 4 (水平のみ)	同上	基本ケースの 0.8 倍	設計基準強度に基づき JEAG 式で評価	平均値
ケース 5 (水平のみ)	同上	同上	同上	+ σ 相当
ケース 6 (水平のみ)	同上	同上	同上	- σ 相当



注記*：添付資料「VI-2-2-23 緊急時対策建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-5 緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所バウンダリの評価フロー

2.4 適用規格・基準等

緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所バウンダリの評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 1999 年 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-
- ・ 日本建築学会 2005 年 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（以下「RC-N規準」という。）
- ・ 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）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- ・ 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）（以下「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」という。）

3. 地震応答解析による評価方法

緊急時対策所遮蔽の構造強度については、添付書類「VI-2-2-23 緊急時対策建屋の地震応答計算書」による結果に基づき、材料物性の不確かさを考慮した最大応答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「VI-2-2-23 緊急時対策建屋の地震応答計算書」による結果に基づき、材料物性の不確かさを考慮した最大応答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緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所バウンダリの許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 3-1 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
(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	耐震壁*1	最大応答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	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	最大応答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	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性を維持すること	基準地震動 S _s	耐震壁*1	最大応答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	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³ *2

注記*1：建屋全体としては、耐震壁で地震力を全て負担する構造となっており、剛性の高い耐震壁の変形に追従する柱、はり、間仕切壁等の部材の層間変形は十分小さいこと、また、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ことから、各層の耐震壁が最大応答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：緊急時対策所は、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。耐震壁の気密性に対する許容限界の適用性は、「別紙 1 緊急時対策所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

緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所バウンダリの応力解析による評価対象部位は、緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所バウンダリを構成する床スラブ及び屋根スラブとし、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「VI-2-2-24 緊急時対策建屋の耐震性についての計算書」による結果を用いて、荷重の組合せを行う。

4.1.1 床スラブ及び屋根スラブ

S s 地震時に対する評価は、材料物性の不確かさ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。

評価については、各断面についてスラブスパン、スラブに作用する荷重等を考慮して、検定値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、選定した部材の位置を図4-2に示す。

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、地震応答解析による評価に含まれる。

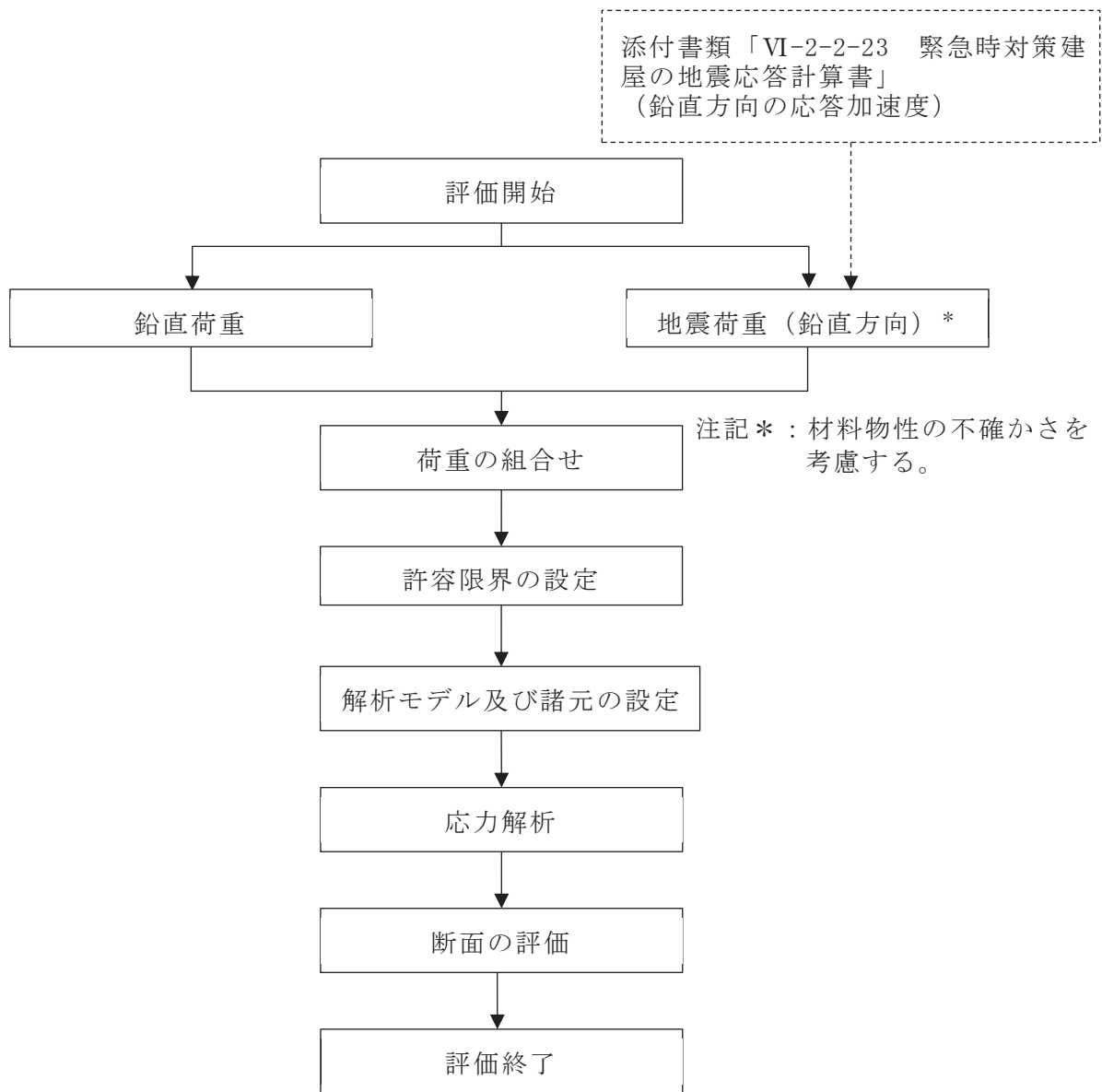


図 4-1 床スラブ及び屋根スラブの応力解析による評価フロー

02 ⑥ VI-2-8-4-5 R5

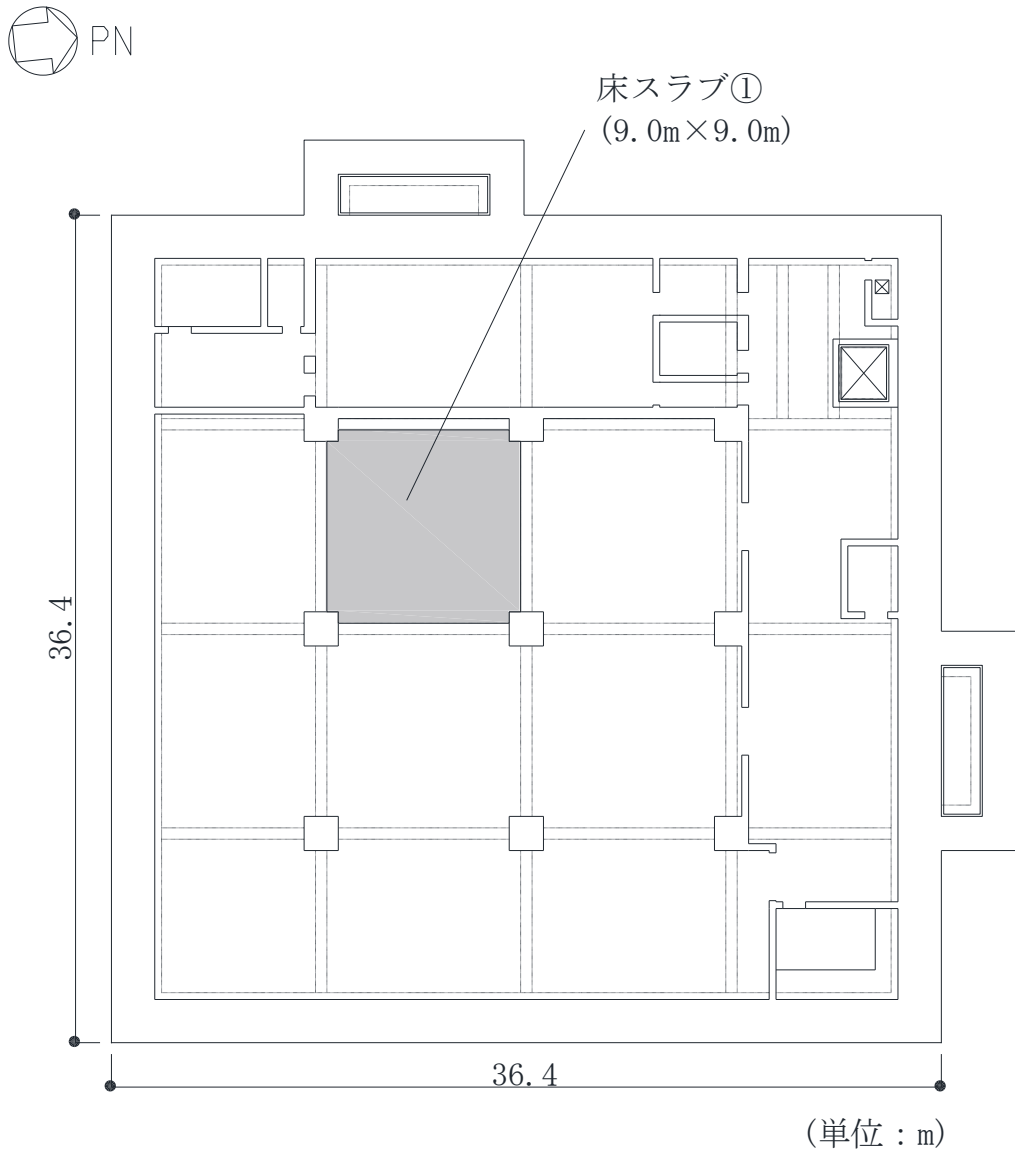


図 4-2(1) 床スラブの評価を記載する部材の位置 (B1F 0.P.57.3m)

02 ⑥ VI-2-8-4-5 R5

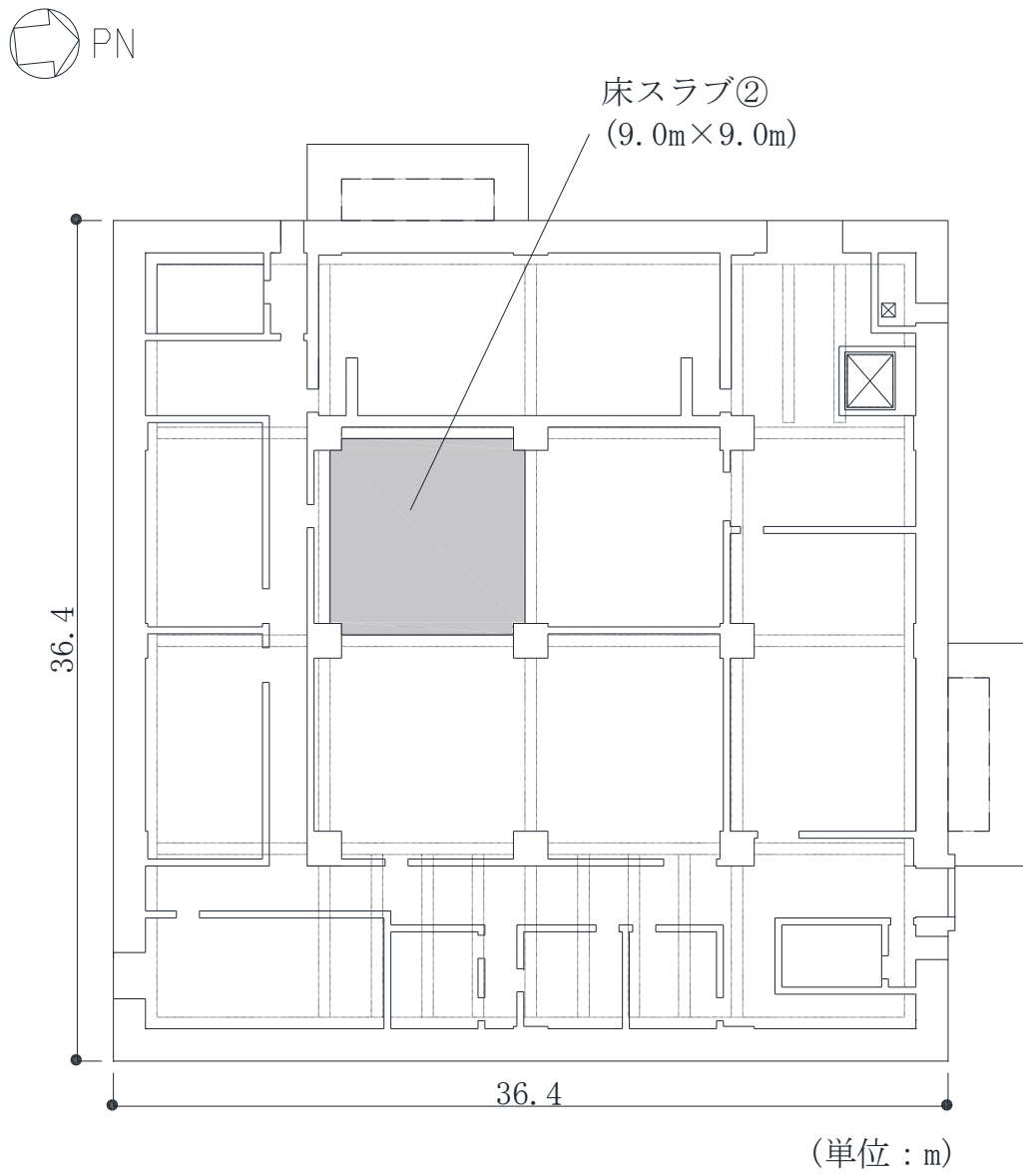


図 4-2(2) 床スラブの評価を記載する部材の位置 (1F 0.P.62.2m)



02 ⑥ VI-2-8-4-5 R5

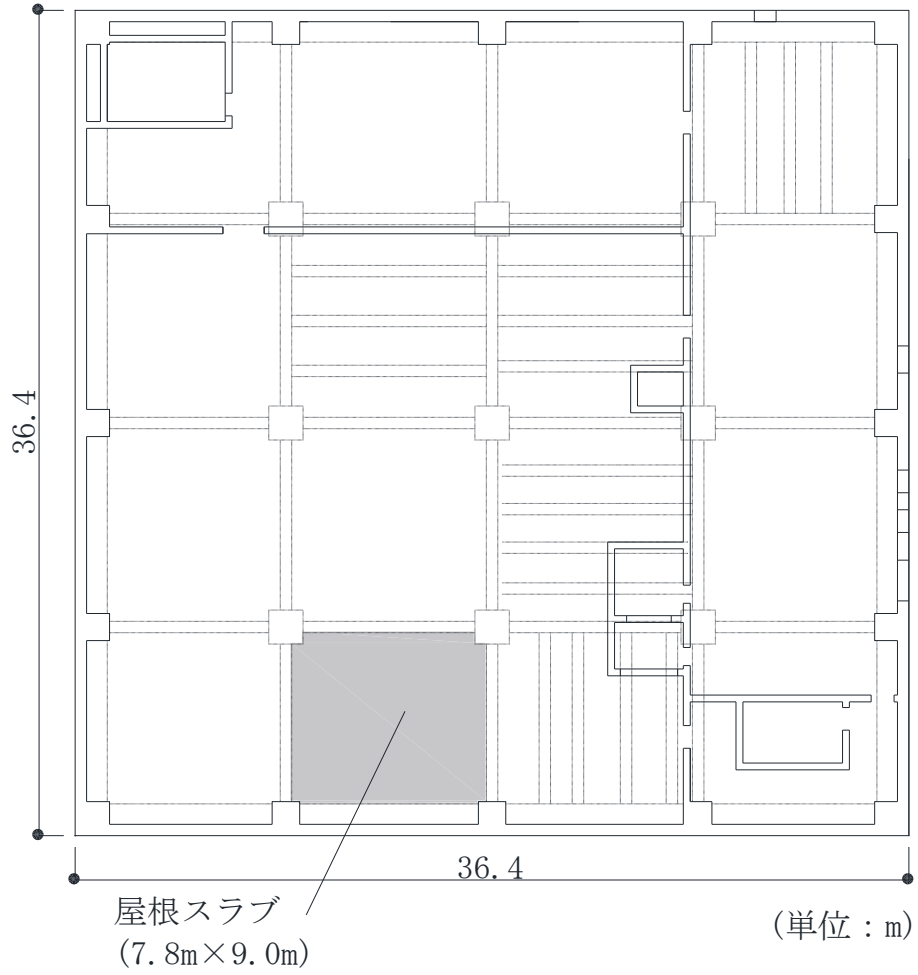


図 4-2(3) 屋根スラブの評価を記載する部材の位置 (2F 0.P. 69.4m)

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「VI-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 床スラブ及び屋根スラブ

(1) 荷重

a. 鉛直荷重

応力解析において考慮する固定荷重、積載荷重及び積雪荷重を表 4-1、表 4-2 及び表 4-3 に示す。なお、積雪量は、石巻測候所の最深積雪量（1923 年 2 月 17 日）を考慮して 43cm とし、地震時は 0.35 の係数を乗じた積雪荷重とする。

表 4-1 固定荷重(G)

部位	固定荷重 (kN/m ²)
床スラブ①	19.00
床スラブ②	16.60
屋根スラブ	19.80

表 4-2 積載荷重(P)

部位	積載荷重 (kN/m ²)
床スラブ①	7.20
床スラブ②	8.20
屋根スラブ	8.10

表 4-3 積雪荷重(P_s)

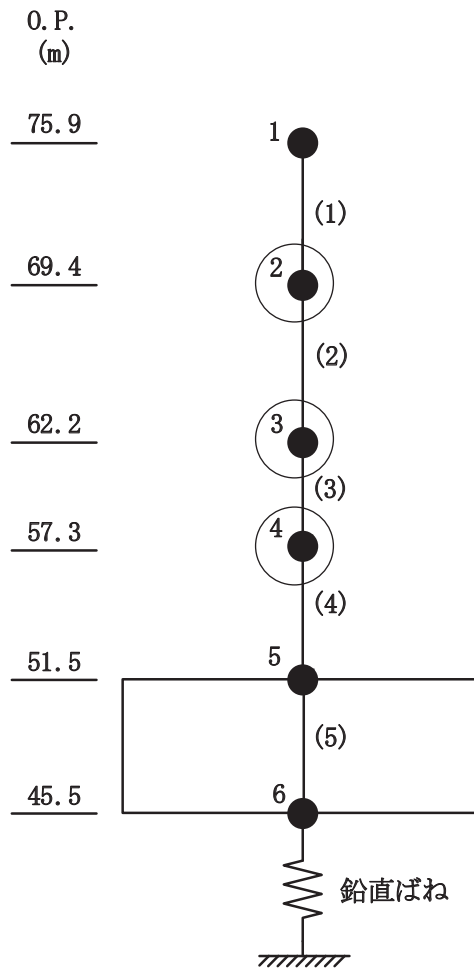
外力の状態	積雪荷重 (kN/m ²)
地震時	0.30

b. 地震荷重 (S s)

鉛直地震力は、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に材料物性の不確かさを考慮して設定する。

床スラブが、NS 方向 9.0m, EW 方向 9.0m スパン, 屋根スラブは、NS 方向 9.0m, EW 方向 7.8m スパンで厚さ 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。

鉛直方向の地震荷重は、図 4-7 に示す基準地震動 S s に対する質点系モデルの地下 1 階～地上 2 階レベル (O.P. 57.3m～O.P. 69.4m, 質点番号 2～4) 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 4-7 基準地震動 S s に対する質点系モデル (UD 方向)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-4 に示す。

表 4-4 荷重の組合せ

荷重状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	$(1 + K_v)(G + P + P_s)$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

K_v : 鉛直震度

P_s : 積雪荷重 (屋根スラブのみ考慮)

4.3 許容限界

応力解析による評価における緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所バウンダリの許容限界は、添付書類「VI-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 4-5 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 4-5 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(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	床スラブ 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* 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	床スラブ 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* ¹
気密性	換気性能とあいまって気密性能を維持すること	基準地震動 S _s	床スラブ 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* ²

注記*1：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。

*2：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

設計基準強度 F _c (N/mm ²)	圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)
30	20	1.18

表 4-7 鉄筋の許容応力度

種別	引張及び圧縮 (N/mm ²)	せん断補強 (N/mm ²)
SD345	345	345
SD390	390	390

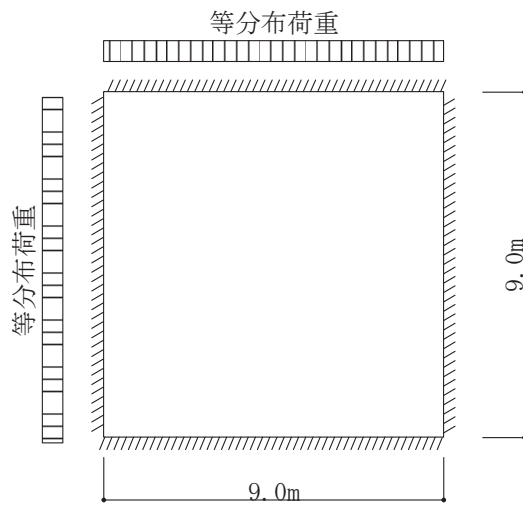
4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 床スラブ及び屋根スラブ

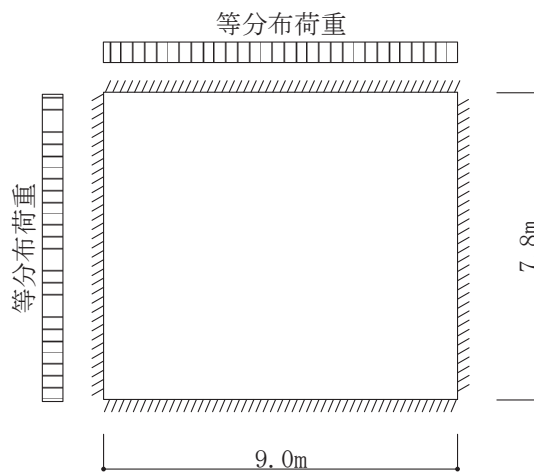
(1) モデル化の基本方針

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、壁及びはり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、四辺固定版として評価する。スラブの解析モデルを図4-4に示す。



(a) 床スラブ①②（四辺固定版）



(b) 屋根スラブ（四辺固定版）

図4-4 解析モデル

(2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-8 に示す。

表 4-8 使用材料の物性値

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
30.0	2.44×10^4	0.2

4.5 評価方法

4.5.1 床スラブ及び屋根スラブの応力解析方法

(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) 長期荷重時の応力の算出方法

長期荷重時の端部曲げモーメント、中央部曲げモーメント及びせん断力の算出方法は下式の通りである。長期荷重時の端部曲げモーメント、中央部曲げモーメント及びせん断力を表 4-9 に示す。

(四辺固定版)

- ・ 短辺の端部曲げモーメント (M_{X1})

$$M_{X1} = -\frac{1}{12} \cdot w_x \cdot l_x^2$$

- ・ 短辺の中央部曲げモーメント (M_{X2})

$$M_{X2} = \frac{1}{18} \cdot w_x \cdot l_x^2$$

- ・ 短辺のせん断力 (Q_x)

$$Q_x = 0.52 \cdot w \cdot l_x$$

- ・ 長辺の端部曲げモーメント (M_{Y1})

$$M_{Y1} = -\frac{1}{24} \cdot w \cdot l_x^2$$

- ・ 長辺の中央部曲げモーメント (M_{Y2})

$$M_{Y2} = \frac{1}{36} \cdot w \cdot l_x^2$$

- ・ 長辺のせん断力 (Q_y)

$$Q_y = 0.46 \cdot w \cdot l_x$$

- ・ $l_x = l_y$ のせん断力 ($Q_x = Q_y$)

$$Q_x = Q_y = 0.44 \cdot w \cdot l_x$$

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/m²)

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

表 4-9 長期荷重時の端部曲げモーメント，中央部曲げモーメント及びせん断力

部位	スラブ厚 (mm)	方向	端部曲げ モーメント (kN・m/m)	中央部曲げ モーメント (kN・m/m)	せん断力 (kN/m)
床スラブ①		NS・EW	88.4	59.0	103.8
床スラブ②		NS・EW	83.7	55.8	98.2
屋根スラブ		短辺 (NS)	90.4	60.3	113.2
		長辺 (EW)	70.7	47.2	100.1

(3) Ss 地震時の応力の算出方法

「(2) 長期荷重の算出方法」における長期荷重時の端部曲げモーメント，中央部曲げモーメント及びせん断力を，地下 1 階～地上 2 階レベル（O.P. 57.3m～O.P. 69.4m，質点番号 2～4）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，算出した端部曲げモーメント，中央部曲げ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

部位	質点番号	最大値 (cm/s ²)
床スラブ①	4	708
床スラブ②	3	908
屋根スラブ	2	1214

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

部位	検討用 鉛直震度*	方向	端部曲げ モーメント (kN・m/m)	中央部曲げ モーメント (kN・m/m)	せん断力 (kN/m)
床スラブ①	1.72	NS・EW	152.1	101.4	178.5
床スラブ②	1.93	NS・EW	161.5	107.7	189.5
屋根スラブ	2.24	短辺 (NS)	204.7	136.5	256.2
		長辺 (EW)	160.1	106.8	226.6

*検討用鉛直震度は，長期荷重時を含む。

4.5.2 床スラブ及び屋根スラブの断面評価方法

(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 (N/mm²)

5. 評価結果

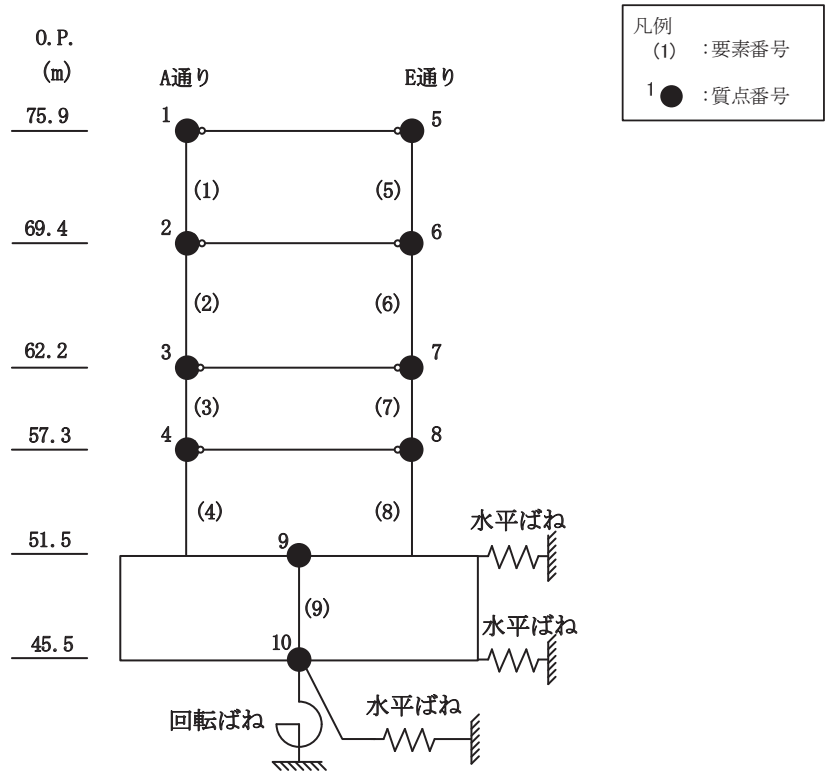
5.1 地震応答解析による評価結果

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。当該階の耐震壁の最大応答せん断ひずみ一覧を表 5-1 に、質点系モデルを図 5-1 に、材料物性の不確かさを考慮した最大応答値をせん断スケルトンカーブ上にプロットし図 5-2 に示す。

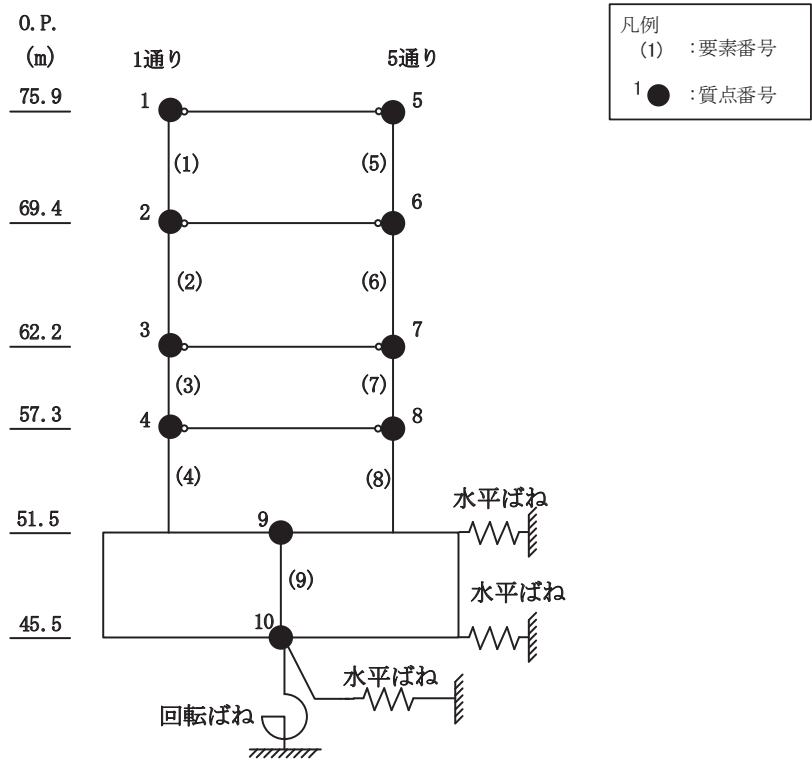
材料物性の不確かさを考慮した最大応答せん断ひずみは 0.271×10^{-3} (要素番号(4), (8), NS 方向, EW 方向, $S_s - D 2$, ケース 5) であり、許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。

表 5-1 耐震壁の最大応答せん断ひずみ

方向	階	部位	ケース	最大応答 せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
NS	B2	要素番号(4), (8) (O.P. 51.5m~57.3m)	$S_s - D 2$ ケース 5	0.271	2.0
EW	B2	要素番号(4), (8) (O.P. 51.5m~57.3m)	$S_s - D 2$ ケース 5	0.271	2.0

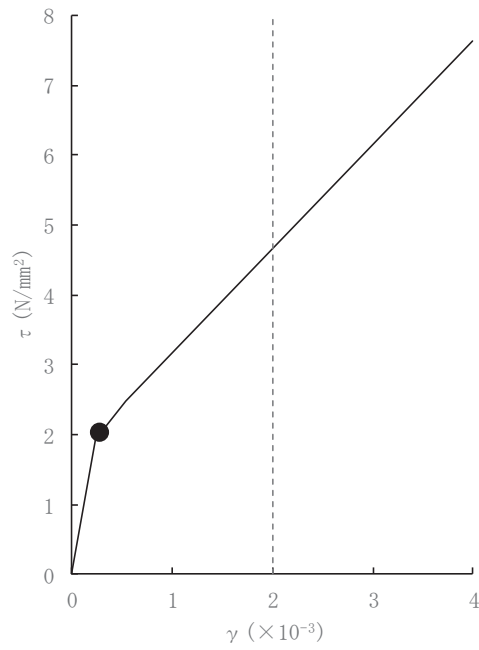


(a) NS 方向

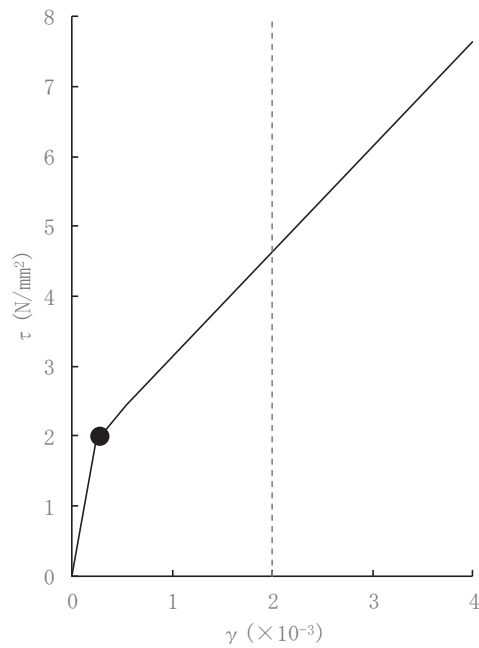


(b) EW 方向

図 5-1 質点系モデル (水平方向)



(a) NS 方向 (S s - D 2, ケース 5, 要素番号(4), (8))



(b) EW 方向 (S s - D 2, ケース 5, 要素番号(4), (8))

図 5-2 セン断スケルトンカーブ上の最大応答せん断ひずみ

5.2 応力解析による評価結果

床スラブ及び屋根スラブの配筋一覧を表 5-2 に示す。また、「4.5.3 床スラブ及び屋根スラブの断面評価方法」に基づいた断面の評価結果を表 5-3 に示す。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 5-2 スラブの配筋一覧

部材	方向	上ば筋		下ば筋	
		配筋	断面積 (mm ² /m)	配筋	断面積 (mm ² /m)
床スラブ①	NS	D25@200	2535	D25@200	2535
	EW	D25@200	2535	D25@200	2535
床スラブ②	NS	D25@200	2535	D25@200	2535
	EW	D25@200	2535	D25@200	2535
屋根スラブ	NS	D32@200	3970	D32@200	3970
	EW	D32@200	3970	D32@200	3970

表 5-3(1) 評価結果 (床スラブ, 基準地震動 S_s)

部材		床スラブ①	床スラブ②
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		□ × 1000	□ × 1000
有効せい d (mm)		588	488
配筋	上ば筋	D25@200 (2535 mm ² /m)	D25@200 (2535 mm ² /m)
	下ば筋	D25@200 (2535 mm ² /m)	D25@200 (2535 mm ² /m)
発生曲げモーメント M (kN・m/m)		152.1	161.5
許容値 M_A (kN・m/m)		449.9	373.4
検定値 M/M_A		0.339	0.433
発生せん断力 Q (kN/m)		178.5	189.5
せん断スパン比による割増係数 α		1.63	1.46
許容値 Q_A (kN/m)		989.5	735.6
検定値 Q/Q_A		0.18	0.26
判定		可	可

O 2 ⑥ VI-2-8-4-5 R 5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-3(2) 評価結果 (屋根スラブ, 基準地震動 S_s)

方向		短辺 (EW) 方向	長辺 (NS) 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		<input type="text" value=""/>	× 1000
有効せい d (mm)		360	
配筋	上ば筋	D32@200 (3970 mm ² /m)	D32@200 (3970 mm ² /m)
	下ば筋	D32@200 (3970 mm ² /m)	D32@200 (3970 mm ² /m)
発生曲げモーメント M (kN・m/m)		204.7	160.1
許容値 M_A (kN・m/m)		487.7	
検定値 M/M_A		0.420	0.329
発生せん断力 Q (kN/m)		256.2	226.6
せん断スパン比による割増係数 α		1.24	1.35
許容値 Q_A (kN/m)		460.9	501.7
検定値 Q/Q_A		0.56	0.45
判定		可	可

O 2 ⑥ VI-2-8-4-5 R 5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙1 緊急時対策所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. 緊急時対策所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 総漏えい量と緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）必要換気量の比較...	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「VI-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、設置する加圧設備の性能を下回ることで必要な気密性を維持する設計としている。その場合、気密性を要求される施設に対し、基準地震動 S_s による鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界をせん断ひずみ 2.0×10^{-3} としている。

緊急時対策所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、緊急時対策所加圧設備(空気ポンプ)の処理対象となるバウンダリ(以下「緊急時対策所バウンダリ」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、緊急時対策所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、緊急時対策所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。

総漏えい量

$$Q \cdot A \cdot \Delta Q \quad (\text{L/min}) \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで,

A : 壁の面積 (m²)

$$Q = C \cdot \gamma^{2.57} \cdot \Delta P / T \dots\dots\dots (2.2)$$

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)

$$\Delta Q = \left\{ \left(\alpha^2 - 1 \right) \cdot \left(\frac{Q'}{Q_0} - 1 \right) - 1 \right\} \cdot \beta + 1 \dots\dots\dots (2.3)$$

ここで,

ΔQ : 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」

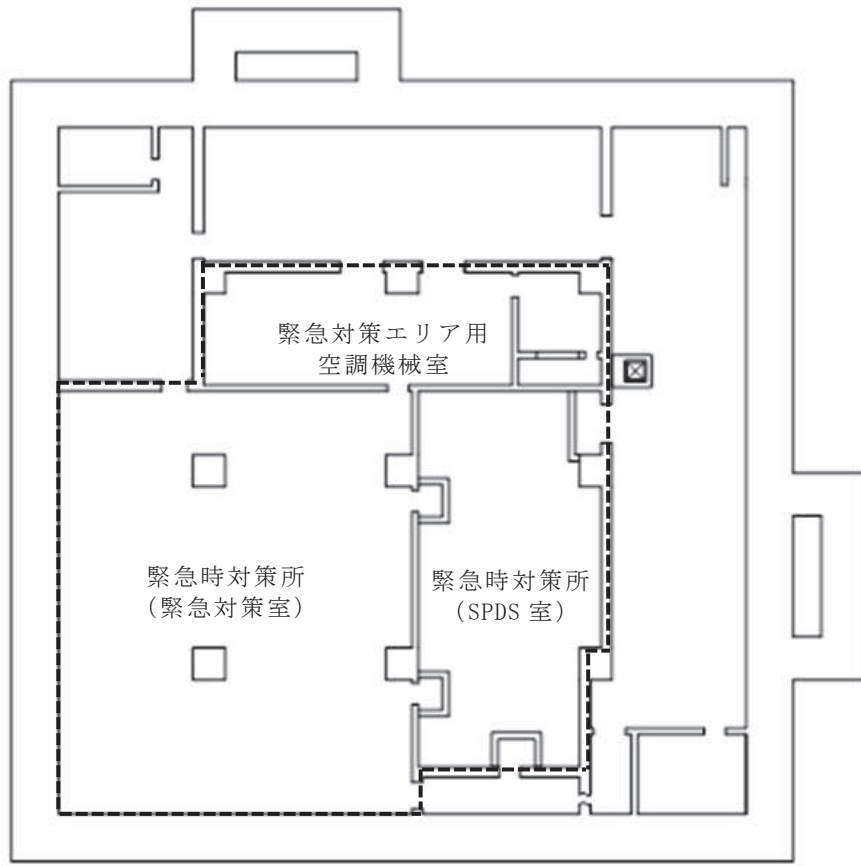
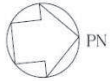
*2: 財団法人 原子力発電技術機構「耐震安全解析コード改良試験 原子炉建屋の弾塑性試験 試験結果の評価に関する報告書 平成5年度」

3. 緊急時対策所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

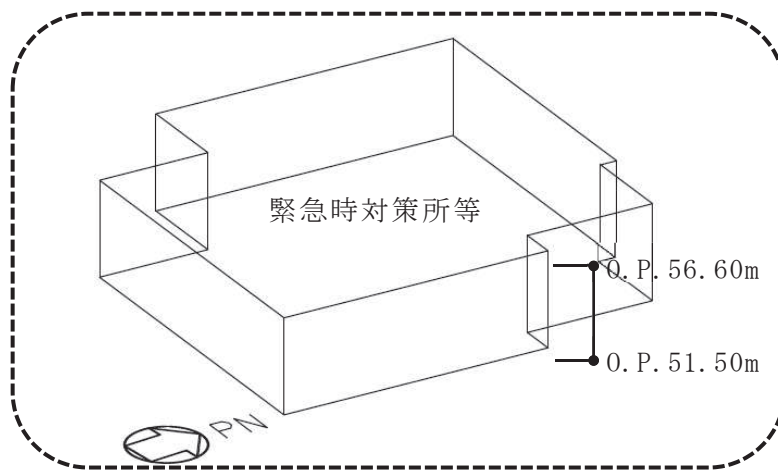
「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に基づき、(2.1)式から(2.3)式により、緊急時対策所バウンダリを構成する壁の最大せん断ひずみが許容限界(2.0×10^{-3})に達したときの空気漏えい量を算定し、緊急時対策所加圧設備(空気ボンベ)必要換気量($290 \text{ (m}^3/\text{h)}$)を超えないことを確認する。

緊急時対策所バウンダリ範囲を図3-1に示す。緊急時対策所バウンダリ(O.P. 51.50m~O.P. 56.60m)を構成する壁の壁厚は である。



----- : 緊急時対策所バウンダリ

(a) 平面図 (O.P. 51.50m)



----- : 評価対象範囲

(b) 緊急時対策所バウンダリの概要

図 3-1 緊急時対策所バウンダリの範囲

3.2 空気漏えい量の算定結果

緊急時対策所バウンダリ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 緊急時対策所バウンダリの気密性計算結果

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 積に対 する開 口の総 面積 β	通気量 割増率 ΔQ	総 漏えい量 $Q \times A$ $\times \Delta Q$ (L/min)
	C	$\frac{Q}{Q_0}$							
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	100.47	0.03	0.000	1.00	2.55
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	34.43	0.11	0.139	8.00	30.69
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	28.31	0.11	0.000	1.00	3.16
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	94.35	0.11	0.089	5.48	57.67
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	89.25	0.11	0.068	4.43	44.04
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	5.10	0.04	0.000	1.00	0.19
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	28.31	0.11	0.000	1.00	3.16
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	39.78	0.11	0.055	3.76	16.65
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	11.33	0.11	0.443	23.28	29.38
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	83.90	0.03	0.000	1.00	2.13
							合計		189.60

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。

*2： 緊急時対策所バウンダリの加圧に必要な差圧条件とする。

*3： 気密バウンダリを構成する壁の総面積を用いる。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.3 総漏えい量と緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）必要換気量の比較

緊急時対策所バウンダリの総漏えい量と緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）必要換気量を表3-2に示す。緊急時対策所バウンダリについて総漏えい量は、緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）必要換気量の4%程度であることを確認した。

表 3-2 総漏えい量と緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）必要換気量の比較
(m³/h)

総漏えい量	緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）必要換気量
11.4	290

3.4 検討結果

緊急時対策所バウンダリについて、総漏えい量は緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）必要換気量を超えないことを確認した。

よって、緊急時対策所バウンダリは、鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界をせん断ひずみ 2.0×10^{-3} とした場合において、加圧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

緊急時対策所バウンダリは、鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界として設定したせん断ひずみ 2.0×10^{-3} を適用した場合において、加圧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ことを確認した。

以上より、緊急時対策所遮蔽の地震応答解析による評価において、加圧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、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。

VI-2-9 原子炉格納施設の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-9-1 原子炉格納施設の耐震性についての計算結果
- VI-2-9-2 原子炉格納容器の耐震性についての計算書
- VI-2-9-3 原子炉建屋の耐震性についての計算書
- VI-2-9-4 圧力低減設備その他の安全設備の耐震性についての計算書

VI-2-9-1 原子炉格納施設の耐震性についての計算結果

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

原子炉格納施設に対して、設計基準対象施設の耐震クラス、重大事故等対処設備の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績との差異の有無を整理した。また、重大事故等対処設備のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処設備の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表 1 に示す。

原子炉格納施設の耐震計算は表 1 に示す計算書に記載することとする。

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (1/31)

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	VI-2-9-2-1-1 VI-2-9-2-1-2 VI-2-9-2-1-3 VI-2-9-2-1-4 VI-2-9-2-1-5	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-2-1-1 VI-2-9-2-1-2 VI-2-9-2-1-3 VI-2-9-2-1-4 VI-2-9-2-1-5
		機器搬出入用ハッチ	S	無	VI-2-9-2-2-1	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-2-2-1
		逃がし安全弁搬出入口	S	無	VI-2-9-2-2-2	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-2-2-2
		制御棒駆動機構搬出入口	S	無	VI-2-9-2-2-3	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-2-2-3
		サプレッションチェンバ出入口	S	—*2	VI-2-9-2-2-4	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-2-2-4
		所員用エアロック	S	無	VI-2-9-2-3-1	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-2-3-1
		原子炉格納容器配管貫通部	S	有	VI-2-9-2-4-1	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-2-4-1
		原子炉格納容器電気配線貫通部	S	有	VI-2-9-2-4-2	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-2-4-2

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (2/31)

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（二次格納施設）	S	有	VI-2-9-3-1	常設/緩和	無	VI-2-9-3-1
		原子炉建屋大物搬入口	S	有	VI-2-9-3-2	常設/緩和	無	VI-2-9-3-2
		原子炉建屋エアロック	S	無	VI-2-9-3-3	常設/緩和	無	VI-2-9-3-3
		原子炉建屋基礎版	—	有	VI-2-9-3-4	—	—	—
	圧力低減設備その他の 安全設備	真空破壊弁	S	有	VI-2-9-4-2	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-4-2
		ダウンカマ	S	有	VI-2-9-4-1	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-4-1
		ベント管	S	有	VI-2-9-4-2	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-4-2
		ベントヘッド	S	有	VI-2-9-4-1	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-4-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (3/31)

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	原子炉格納容器 スプレイ冷却系	主配管	S	無	VI-2-9-4-3-1-1	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-4-3-1-1
		原子炉格納容器下部注水系	復水移送ポンプ (原子炉冷却系 統施設に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-5-6-2-1
			代替循環冷却ポ ンプ(圧力低減設 備その他の安全 設備 代替循環 冷却系に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-3-4-1
			復水貯蔵タンク (原子炉冷却系 統施設に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-5-6-2-2

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (4/31)

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	原子炉格納容器下部注水系	残留熱除去系ス トレーナ(原子炉 冷却系統施設に 記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-5-4-1-3
			主配管	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-3-2-1 VI-2-9-4-3-4-2
			主配管(原子炉冷 却系統施設に記 載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-5-4-1-4 VI-2-5-5-1-3 VI-2-5-5-4-2 VI-2-5-6-2-3
			原子炉格納容器 配管貫通部(原子 炉格納容器に記 載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-4-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (5/31)

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	原子炉格納容器下部注水系	原子炉格納容器 (原子炉格納容 器に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-1-1 VI-2-9-2-1-2 VI-2-9-2-1-3 VI-2-9-2-1-4 VI-2-9-2-1-5 VI-2-9-2-2-1 VI-2-9-2-2-2 VI-2-9-2-2-3 VI-2-9-2-2-4 VI-2-9-2-3-1
			残留熱除去系熱 交換器(原子炉冷 却系統施設に記 載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-5-4-1-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (6/31)

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	原子炉格納容器代替スプレイ冷却系	復水移送ポンプ (原子炉冷却系 統施設に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-6-2-1
			復水貯蔵タンク (原子炉冷却系 統施設に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-6-2-2
			主配管	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-9-4-3-1-1 VI-2-9-4-3-3-1
			主配管(原子炉冷 却系統施設に記 載)	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-4-1-4 VI-2-5-5-1-3 VI-2-5-5-4-2 VI-2-5-6-2-3
			原子炉格納容器 配管貫通部(原子 炉格納容器に記 載)	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-9-2-4-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (7/31)

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	原子炉格納容器代替スプレイ冷却系	原子炉格納容器 (原子炉格納容 器に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-9-2-1-1 VI-2-9-2-1-2 VI-2-9-2-1-3 VI-2-9-2-1-4 VI-2-9-2-1-5 VI-2-9-2-2-1 VI-2-9-2-2-2 VI-2-9-2-2-3 VI-2-9-2-2-4 VI-2-9-2-3-1
			残留熱除去系熱 交換器(原子炉冷 却系統施設に記 載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-5-4-1-1
			代替循環冷却ポ ンプ	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-3-4-1
			残留熱除去系ス トレーナ(原子炉 冷却系統施設に 記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-5-4-1-3

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (8/31)

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	代替循環冷却系	主配管	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-3-1-1 VI-2-9-4-3-2-1 VI-2-9-4-3-4-2
			主配管(原子炉冷却系統施設に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-5-4-1-4 VI-2-5-5-4-2
			原子炉格納容器配管貫通部(原子炉格納容器に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-4-1
			原子炉格納容器(原子炉格納容器に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-1-1 VI-2-9-2-1-2 VI-2-9-2-1-3 VI-2-9-2-1-4 VI-2-9-2-1-5 VI-2-9-2-2-1 VI-2-9-2-2-2 VI-2-9-2-2-3 VI-2-9-2-2-4 VI-2-9-2-3-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (9/31)

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	代替循環冷却系	炉心支持構造物 (原子炉本体に 記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-3-3-2-2 VI-2-3-3-2-3 VI-2-3-3-2-4 VI-2-3-3-2-5 VI-2-3-3-2-6 VI-2-3-3-2-7 VI-2-3-3-2-8
			原子炉圧力容器 (原子炉圧力容 器に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-3-4-1-2
			原子炉圧力容器 内部構造物(原子 炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-3-4-3-8

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (10/31)

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	高圧代替注水系	高圧代替注水系タービンポンプ (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-5-5-3-1
			復水貯蔵タンク (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-5-6-2-2
			主配管(原子炉冷却系統施設に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-5-3-1-2 VI-2-5-3-2-1 VI-2-5-5-1-3 VI-2-5-5-3-2 VI-2-5-6-1-3 VI-2-5-8-1-1
			原子炉格納容器配管貫通部(原子炉格納容器に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-4-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (11/31)

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	高圧代替注水系	炉心支持構造物 (原子炉本体に 記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-3-3-2-2 VI-2-3-3-2-3 VI-2-3-3-2-4 VI-2-3-3-2-5 VI-2-3-3-2-6 VI-2-3-3-2-7 VI-2-3-3-2-8
			原子炉圧力容器 (原子炉圧力容 器に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-3-4-1-2
			原子炉圧力容器 内部構造物(原子 炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-3-4-3-6

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (12/31)

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	低圧代替注水系	復水移送ポンプ (原子炉冷却系 統施設に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-5-6-2-1
			復水貯蔵タンク (原子炉冷却系 統施設に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-5-6-2-2
			主配管(原子炉冷 却系統施設に記 載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-5-4-1-4 VI-2-5-5-1-3 VI-2-5-5-4-2 VI-2-5-6-2-3
			原子炉格納容器 配管貫通部(原子 炉格納容器に記 載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-4-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (13/31)

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	低圧代替注水系	原子炉压力容器 内部構造物(原子 炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-3-4-3-8
			炉心支持構造物 (原子炉本体に 記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-3-3-2-2 VI-2-3-3-2-3 VI-2-3-3-2-4 VI-2-3-3-2-5 VI-2-3-3-2-6 VI-2-3-3-2-7 VI-2-3-3-2-8
			原子炉压力容器 (原子炉圧力容 器に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-3-4-1-2

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (14/31)

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	ほう酸水注入系	ほう酸水注入系 ポンプ	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-6-4-1-1
			ほう酸水注入系 貯蔵タンク	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-6-4-1-2
			主配管(計測制御 系統施設に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-6-4-1-3
			原子炉格納容器 配管貫通部(原子 炉格納容器に記 載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-4-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (15/31)

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	ほう酸水注入系	原子炉圧力容器 付属構造物(原子 炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-3-4-2-4
			原子炉圧力容器 内部構造物(原子 炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-3-4-3-10
			炉心支持構造物 (原子炉本体に 記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-3-3-2-2 VI-2-3-3-2-3 VI-2-3-3-2-4 VI-2-3-3-2-5 VI-2-3-3-2-6 VI-2-3-3-2-7 VI-2-3-3-2-8
			原子炉圧力容器 (原子炉圧力容 器に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-3-4-1-2

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (16/31)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規基準 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(格納容器スプレイ冷却モード)	残留熱除去系熱交換器(原子炉冷却系統施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-1
			残留熱除去系ポンプ(原子炉冷却系統施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-2
			残留熱除去系ストレーナ(原子炉冷却系統施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-3
			主配管	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-4-3-1-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (17/31)

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(格納容器スプレイ冷却モード)	主配管(原子炉冷却系統施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-4
			原子炉格納容器配管貫通部(原子炉格納容器に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-4-1
			原子炉格納容器(原子炉格納容器に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-1-1 VI-2-9-2-1-2 VI-2-9-2-1-3 VI-2-9-2-1-4 VI-2-9-2-1-5 VI-2-9-2-2-1 VI-2-9-2-2-2 VI-2-9-2-2-3 VI-2-9-2-2-4 VI-2-9-2-3-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (18/31)

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(サブプレッションプール水冷却モード)	残留熱除去系熱交換器(原子炉冷却系統施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-1
			残留熱除去系ポンプ(原子炉冷却系統施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-2
			残留熱除去系ストレーナ(原子炉冷却系統施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-3
			主配管(原子炉冷却系統施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-4

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (19/31)

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(サブプレッションプール水冷却モード)	原子炉格納容器 配管貫通部(原子 炉格納容器に記 載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-4-1
			原子炉格納容器 (原子炉格納容 器に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-1-1 VI-2-9-2-1-2 VI-2-9-2-1-3 VI-2-9-2-1-4 VI-2-9-2-1-5 VI-2-9-2-2-1 VI-2-9-2-2-2 VI-2-9-2-2-3 VI-2-9-2-2-4 VI-2-9-2-3-1
	非常用ガス処理系	非常用ガス処理 系空気乾燥装置	S	無	VI-2-9-4-4-1-1	—	—	—	

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (20/31)

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	非常用ガス処理系	主要弁	S	無	VI-2-9-4-4-1-2	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-9-4-4-1-2	常設/緩和	有	VI-2-9-4-4-1-2
			非常用ガス処理系排風機	S	無	VI-2-9-4-4-1-3	常設/緩和	無	VI-2-9-4-4-1-3
			非常用ガス処理系フィルタ装置	S	無	VI-2-9-4-4-1-4	—	—	—

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (21/31)

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	非常用ガス処理系	原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設)(原子炉建屋に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-3-1
			原子炉建屋大物搬入口(原子炉建屋に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-3-2
			原子炉建屋エアロック(原子炉建屋に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-3-3
			排気筒(放射性廃棄物の廃棄施設に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-7-2-1
			原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-4-1-5

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (22/31)

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	可燃性ガス濃度制御系	可燃性ガス濃度 制御系再結合装 置加熱器	S	無	VI-2-9-4-4-2-1	—	—	—
			主要弁	S	無	VI-2-9-4-4-2-1	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-9-4-4-2-1	—	—	—
			可燃性ガス濃度 制御系再結合装 置ブロワ	S	無	VI-2-9-4-4-2-2	—	—	—
			可燃性ガス濃度 制御系再結合装 置	S	無	VI-2-9-4-4-2-3	—	—	—

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (23/31)

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	原子炉建屋水素濃度制御系	静的触媒式水素再結合装置	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-4-3-1
			原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設)(原子炉建屋に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-3-1
			原子炉建屋大物搬入口(原子炉建屋に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-3-2
			原子炉建屋エアロック(原子炉建屋に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-3-3

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (24/31)

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	可搬型窒素ガス供給系	主配管	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-4-4-1 VI-2-9-4-5-1-1
			原子炉格納容器 配管貫通部(原子 炉格納容器に記 載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-4-1
			原子炉格納容器 (原子炉格納容 器に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-1-1 VI-2-9-2-1-2 VI-2-9-2-1-3 VI-2-9-2-1-4 VI-2-9-2-1-5 VI-2-9-2-2-1 VI-2-9-2-2-2 VI-2-9-2-2-3 VI-2-9-2-2-4 VI-2-9-2-3-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (25/31)

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	原子炉格納容器フィルタベント系（放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備）	フィルタ装置 （フィルタベ ント系（圧逃が し装置）に記 載）	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-6-1-2
			主要弁（フィル タベント系（圧 逃がし装置）に 記載）	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-5-1-1 VI-2-9-4-6-1-1
			主配管	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-4-4-1 VI-2-9-4-5-1-1 VI-2-9-4-6-1-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (26/31)

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	原子炉格納容器フィルタベント系(放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備)	フィルタ装置 出口側ラプチャディスク(フィルタベント系(圧逃がし装置)に記載)	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-6-1-1
			原子炉格納容器配管貫通部 (原子炉格納容器に記載)	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-4-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (27/31)

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	原子炉格納容器フィルタベント系（放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備）	原子炉格納容器（原子炉格納容器に記載）	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-1-1 VI-2-9-2-1-2 VI-2-9-2-1-3 VI-2-9-2-1-4 VI-2-9-2-1-5 VI-2-9-2-2-1 VI-2-9-2-2-2 VI-2-9-2-2-3 VI-2-9-2-2-4 VI-2-9-2-3-1
			遠隔手動弁操作設備（フィルタベント系（圧逃がし装置）に記載）	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-6-1-3

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (28/31)

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	原子炉格納容器フィルタベント系（放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備）	遠隔手動弁操作設備遮蔽（フィルタベント系（圧逃がし装置）に記載）	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-6-1-4
		原子炉格納容器調気系	主要弁	S	無	VI-2-9-4-5-1-1	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-9-4-5-1-1	—	—	—

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (29/31)

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	原子炉格納容器 フィルタベント系 (圧力逃がし装置)	フィルタ装置	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-9-4-6-1-2
			主要弁	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-9-4-5-1-1 VI-2-9-4-6-1-1
			フィルタ装置 出口側ラプチ ャディスク	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-9-4-6-1-1
			主配管	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-9-4-4-4-1 VI-2-9-4-5-1-1 VI-2-9-4-6-1-1
			原子炉格納容 器配管貫通部 (原子炉格納 容器に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-9-2-4-1

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (30/31)

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	原子炉格納容器フィルタベント系(圧力逃がし装置)	原子炉格納容器(原子炉格納容器に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-9-2-1-1 VI-2-9-2-1-2 VI-2-9-2-1-3 VI-2-9-2-1-4 VI-2-9-2-1-5 VI-2-9-2-2-1 VI-2-9-2-2-2 VI-2-9-2-2-3 VI-2-9-2-2-4 VI-2-9-2-3-1
			遠隔手動弁操作設備	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-9-4-6-1-3
			遠隔手動弁操作設備遮蔽	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-9-4-6-1-4

表 1 耐震評価条件整理一覧表 (31/31)

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	そ の 他	原子炉建屋ブローアウト パネル	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-3-1-1

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,「常設/防止(DB拡張)」は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)を示す。

*2:本工事で新規に申請する設備であることから,差異比較の対象外。

VI-2-9-2 原子炉格納容器の耐震性についての計算書

目 次

- VI-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
- VI-2-9-2-2 機器搬出入口の耐震性についての計算書
- VI-2-9-2-3 エアロックの耐震性についての計算書
- VI-2-9-2-4 原子炉格納容器配管貫通部及び電気配線貫通部の耐震性についての計算書

VI-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

目 次

- VI-2-9-2-1-1 ドライウエルの耐震性についての計算書
- VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書
- VI-2-9-2-1-3 原子炉格納容器シヤラグの耐震性についての計算書
- VI-2-9-2-1-4 ドライウエルベント開口部の耐震性についての計算書
- VI-2-9-2-1-5 ボックスサポートの耐震性についての計算書

VI-2-9-2-1-1 ドライウェル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	適用規格・基準等	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.	固有周期	9
5.	構造強度評価	10
5.1	構造強度評価方法	10
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	10
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	10
5.2.2	許容応力	10
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	10
5.2.4	設計荷重	16
5.3	設計用地震力	18
5.4	計算方法	20
5.5	計算条件	22
5.6	応力の評価	22
6.	評価結果	23
6.1	設計基準対象施設としての評価結果	23
6.2	重大事故等対処設備としての評価結果	33
7.	参照図書	40

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、ドライウェルが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

ドライウェルは、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。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力による荷重及び重大事故等時の荷重に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるドライウェルの評価は、平成 2 年 5 月 24 日付け元資庁第 14466 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ドライウェルの構造計画を表 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	
<p>ドライウエルは、原子炉格納容器シヤラグ及び基部（サンドクッション部）を原子炉建屋により拘束された構造であり、水平方向荷重は原子炉格納容器シヤラグ及び基部を介して、鉛直方向荷重は基部を介して原子炉建屋に伝達される。</p>	<p>ドライウエルは、上鏡、上部円筒部、ナックル部、上部球形部、下部円筒部及び下鏡で構成される鋼製構造物である。 ドライウエル基部外側には、サンドクッションを備える。</p>	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

ドライウエルの応力評価は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する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。

ドライウエルの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

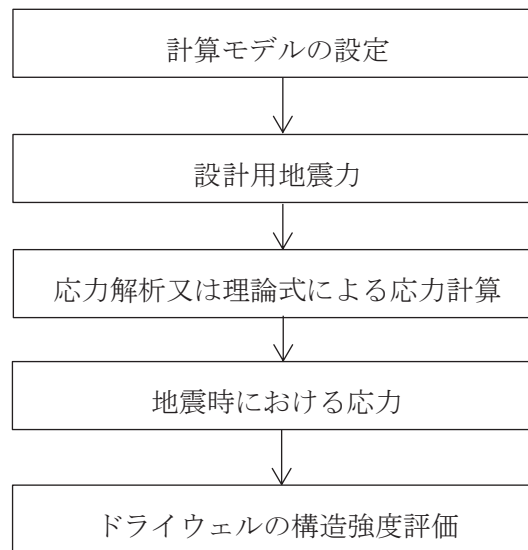


図 2-1 ドライウエルの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1－2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（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
C _v	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
D _i	直径 (i = 1, 2)	mm
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
ℓ _i	長さ (i = 1, 2, 3…)	mm
M	機械的荷重, 曲げモーメント	—, N・mm
M _L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M _{SAL}	機械的荷重 (SA 後長期 (L) 機械的荷重)	—
M _{SALL}	機械的荷重 (SA 後長期 (LL) 機械的荷重)	—
P	圧力, 軸圧縮荷重	—, —
P _L	地震と組み合わせる圧力	—
P _{SAL}	圧力 (SA 後長期 (L) 圧力)	kPa
P _{SALL}	圧力 (SA 後長期 (LL) 圧力)	kPa
R _i	半径 (i = 1, 2, 3)	mm
S	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のい ずれか大きい方の地震力	—
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—
S _u	設計引張強さ	MPa
S _y	設計降伏点	MPa
S _y (RT)	40℃における設計降伏点	MPa
t _i	厚さ (i = 1, 2, 3…)	mm
T _{SAL}	温度 (SA 後長期 (L) 温度)	℃
T _{SALL}	温度 (SA 後長期 (LL) 温度)	℃
Z	断面係数	—
ASS	オーステナイト系ステンレス鋼	—
HNA	高ニッケル合金	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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

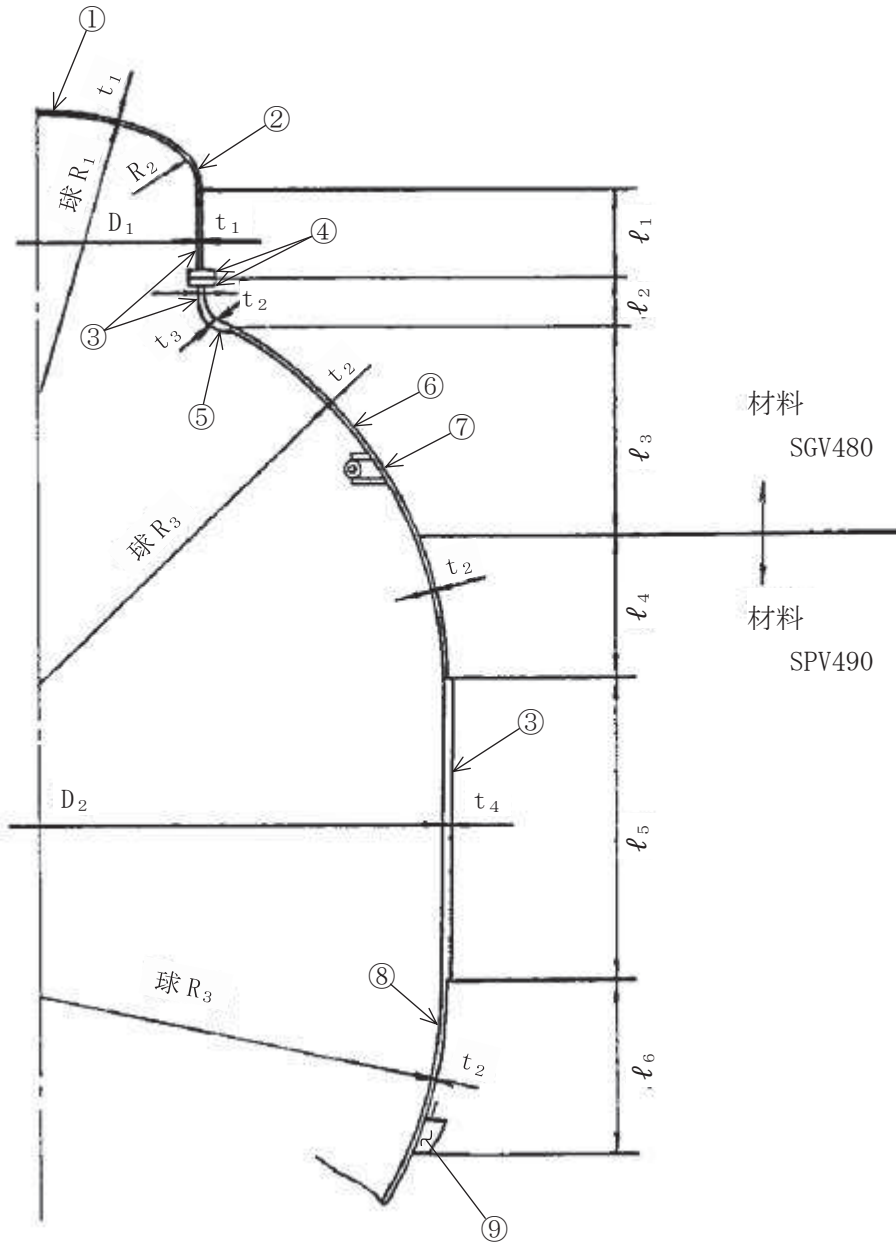
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	°C	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*2}

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：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

ドライウエルの形状及び主要寸法を図 3-1 及び図 3-2 に、評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。

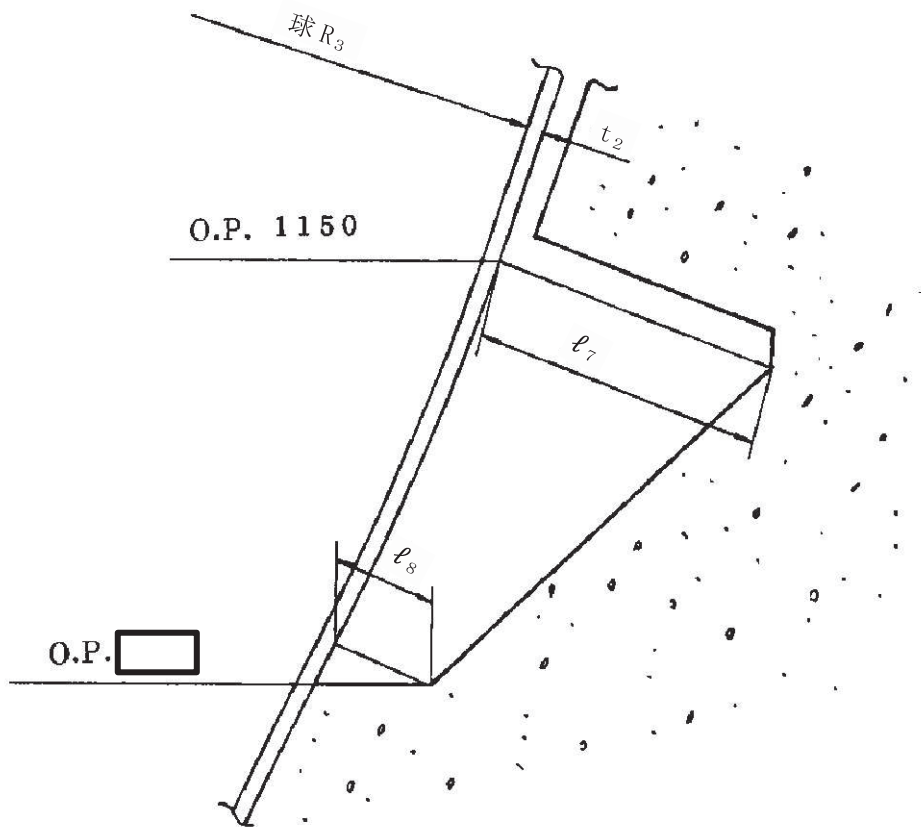


- ①上鏡球形部 ②上鏡ナックル部 ③円筒部 ④フランジ ⑤ナックル部
 ⑥上部球形部 ⑦ドライウエルスプレイ管取付部 ⑧下鏡 ⑨サンドクッション部

$D_1 =$	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$D_2 =$	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	球 $R_1 =$	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$R_2 =$	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	球 $R_3 =$	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>
$l_1 =$	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$l_2 =$	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$l_3 =$	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$l_4 =$	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$l_5 =$	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>
$l_6 =$	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$t_1 =$	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$t_2 =$	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$t_3 =$	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$t_4 =$	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>

(単位：mm)

図 3-1 ドライウエルの形状及び主要寸法



球 R₃ = l₇ = l₈ = t₂ =

(単位 : mm)

図 3-2 サンドクッション部の形状及び主要寸法

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位	使用材料
ドライウエル	SGV480 SPV490

4. 固有周期

ドライウエルは、添付書類「VI-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」にて原子炉格納容器の固有周期を踏まえて計算した設計用地震力を用いて評価をするため，本計算書ではドライウエルの固有周期の計算は実施しない。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) ドライウェルは、原子炉格納容器シヤラグ及び基部（サンドクッション部）を原子炉建屋により拘束された構造であり、水平方向荷重は原子炉格納容器シヤラグ及び基部を介して、鉛直方向荷重は基部を介して原子炉建屋に伝達される。

ドライウェルの耐震評価として、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-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応答加速度及び荷重を用いて、参照図書(1)に示す既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

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

ドライウェル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。

詳細な荷重の組合せは、添付書類「VI-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。

5.2.2 許容応力

ドライウェルの許容応力は添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ドライウェル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	ドライウエル	S	クラスMC 容器	D + P + M + S _d [*]	(9)	Ⅲ _A S
						(10)	
					(13)		
					D + P + M + S _s	(11)	Ⅳ _A S
						(12)	
						(13)	
						(14)	
					D + P _L + M _L + S _d ^{**2}	(16)	Ⅳ _A S

注記*1：（ ）内は添付書類「VI-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3-6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、構造体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 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 ^{*2}		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	ドライウエル	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d^{*3}$	(V(L)-1)	V_{AS}^{*4}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S s$	(V(LL)-1)	V_{AS}^{*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「VI-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3-7の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：重大事故等後の最高内圧及び最高温度との組合せを考慮する。

*4： V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

表5-3 クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力（その1）

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、AS S及びHNAについては1.2・Sとする。	左欄の α倍の値 ^{*4}	3・S ^{*1} 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。	*2, *3
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、ASS及びHNA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。	左欄の α倍の値 ^{*4}		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。
V _A S ^{*5}				

注記*1：3・Sを超えるとき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。

*2：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。

*3：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。

*4：設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比または1.5のいずれか小さい方の値（α）を用いる。

*5：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表5-3 クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力（その2）

応力分類 許容 応力状態	特別な応力限界 (座屈)
III_{AS}	軸圧縮荷重と曲げモーメントが負荷される場合、次の不等式を満足しなければならない。
IV_{AS}	$\frac{\alpha (P/A)}{f_c} + \frac{\alpha (M/Z)}{f_b} \leq 1.0$
V_{AS}^*	本式の適用範囲は l/R は5以下とする。ただし、強め輪等により l/R が0.5以下となる場合は、その効果を別途検討により考慮することができる。

注記* : V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

表5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		ドライウエル	SGV480	周囲環境 温度	171	131	229
SPV490	周囲環境 温度		171	167	429	550	—

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）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		ドライウエル	SGV480	周囲環境 温度	111/178 ^{*1} (200) ^{*2}	131	226
SPV490	周囲環境 温度		111/178 ^{*1} (200) ^{*2}	167	417	545	—

注記*1：SA 後長期 (L) の時 178°C，SA 後長期 (LL) の時 111°C。

*2：重大事故等時の評価温度として、保守的に限界温度を適用する。

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，最高使用圧力，最高使用温度，死荷重及び活荷重は，既工認（参照図書(1)）からの変更はなく，以下のとおりとする。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

内圧	427kPa
外圧	13.7kPa
温度	171℃

b. 死荷重

ドライウェル及び付属物の自重を死荷重とする。
各応力評価点に対する荷重を表 5-6 に示す。

c. 活荷重

燃料交換時に，ドライウェル主フランジ部ウォーターシール部に作用する水荷重及びハッチ類に作用する荷重を活荷重とする。
各応力評価点に対する荷重を表 5-6 に示す。

d. 冷却材喪失事故時荷重

(a) 事故時圧力

事故時圧力は，冷却材喪失事故後の最大内圧とする。
最大内圧 324kPa

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は，添付書類「VI-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，以下のとおりとする。死荷重は，設計基準対象施設と同じとする。なお，死荷重として活荷重も考慮する。

内圧 P_{SAL}	640kPa (SA 後長期 (L))
内圧 P_{SALL}	427kPa (SA 後長期 (LL))
温度 T_{SAL}	178℃* (SA 後長期 (L))
温度 T_{SALL}	111℃* (SA 後長期 (LL))

注記*：保守的に限界温度 200℃を適用する。

表 5-6 各応力評価点に対する死荷重及び活荷重

(単位：×10³kg)

応力評価点	通常運転時	燃料交換時
	鉛直荷重*	鉛直荷重*
P1		
P2		
P3		
P4		
P5		
P6		
P7		
P8		
P9		
P10		
P11		

注記*：死荷重と活荷重の和である。

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-7～表 5-10 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。

表 5-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉 格納容器 O.P. —	—	—	—	C _v =0.57*	—	C _v =0.98*

注記*：原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。

表 5-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d		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 格納容器 O.P. —	—	—	—	C _v =0.57*	—	C _v =0.98*

注記*：原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。

表 5-9 設計用地震力（設計基準対象施設）*1

応力評価点*2	水平荷重 S d *		水平荷重 S s	
	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)
P1				
P2				
P3				
P4				
P5				
P6				
P7				
P8				
P9				
P10				
P11				

注記*1：既工認で用いた設計用地震力と今回工認の設計用地震力を比較し，包絡する値を用いる。

*2：応力評価点の位置は，図 5-1 参照のこと。

表 5-10 設計用地震力（重大事故等対処設備）*1

応力評価点*2	水平荷重 S d		水平荷重 S s	
	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)
P1				
P2				
P3				
P4				
P5				
P6				
P7				
P8				
P9				
P10				
P11				

注記*1：既工認で用いた設計用地震力と今回工認の設計用地震力を比較し，包絡する値を用いる。

*2：応力評価点の位置は，図 5-1 参照のこと。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.4 計算方法

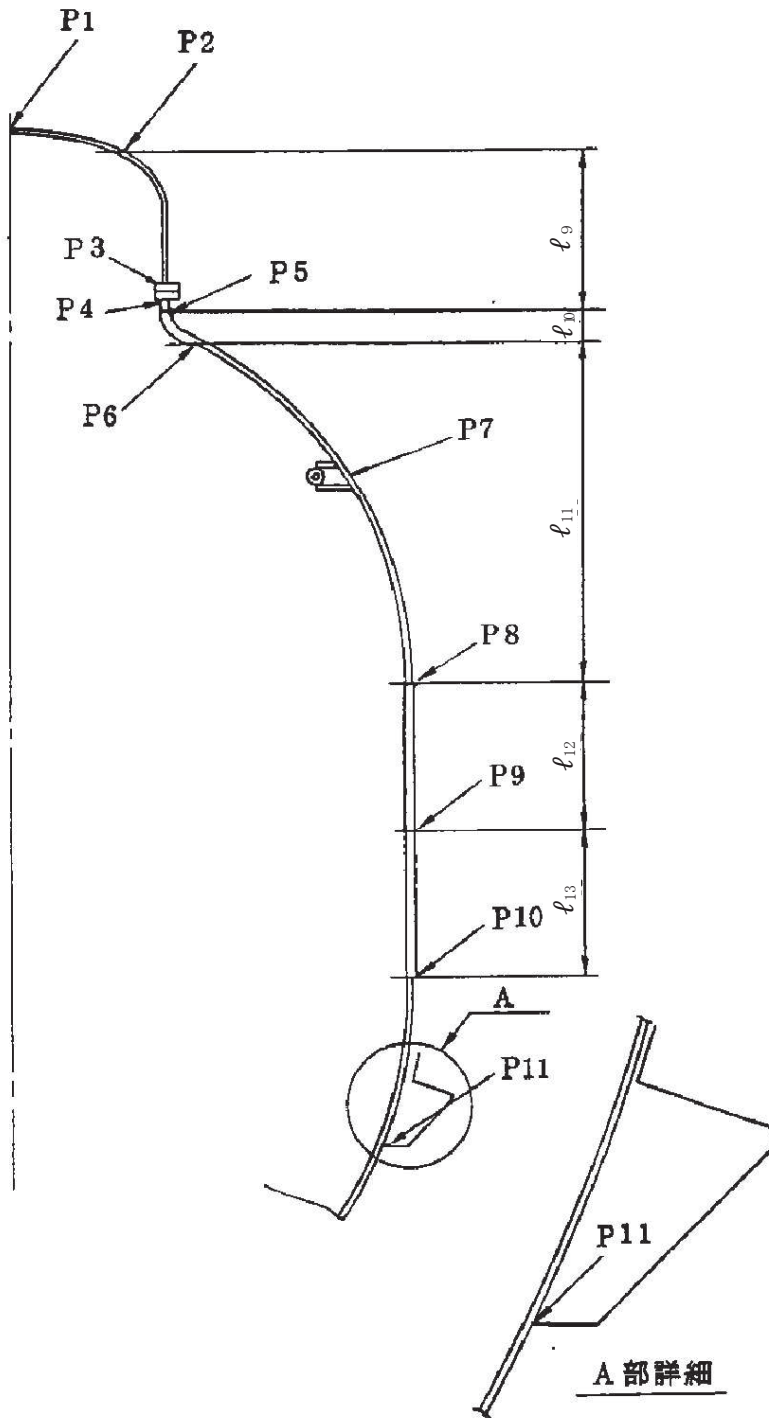
ドライウエルの応力評価点は、ドライウエルを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 5-11 及び図 5-1 に示す。

応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

応力評価点 P1～P11 の応力は、既工認の各荷重条件や耐震条件との比を用いて発生応力を算出し評価する。

表 5-11 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	上鏡球形部
P2	上鏡球形部と上鏡ナックル部の接合部
P3	円筒部と上フランジの接合部
P4	下フランジと円筒部の接合部
P5	円筒部とナックル部の接合部
P6	ナックル部と上部球形部の接合部
P7	ドライウエルスプレイ管取付部
P8	上部球形部と円筒部の接合部
P9	円筒部中心部
P10	円筒部と下鏡の接合部
P11	サンドクッション部



$l_9 =$ $l_{10} =$ $l_{11} =$ $l_{12} =$ $l_{13} =$

(単位：mm)

図 5-1 ドライウェルの応力評価点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.5 計算条件

応力解析に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた各応力が、表 5-3 に示す許容応力以下であること。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 (PVB-3313 を除く。S_mはSと読み替える。)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。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

ドライウエル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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表6-1～表6-3に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」における表3-6の荷重の組合せのNo.を記載する。

なお、表中の一次膜応力+一次曲げ応力の算出応力が一次一般膜応力の許容応力を下回ることから、評価を省略した一次一般膜応力が生じる応力評価点も十分な構造強度を有する。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d^{*}) (その 1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル	P1	上鏡球形部	一次一般膜応力	2	229	○	(9)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	2	344	○	(9)	
			一次+二次応力	0	393	○	(9), (10)	
	P2	上鏡球形部と上鏡ナックル部の接 合部	一次膜応力+一次曲げ応力	5	344	○	(9)	
			一次+二次応力	6	393	○	(9), (10)	
	P3	円筒部と上フランジの接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	4	344	○	(9)	
			一次+二次応力	6	393	○	(9), (10)	
	P4	下フランジと円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	11	344	○	(9), (10)	
			一次+二次応力	22	393	○	(9), (10)	
	P5	円筒部とナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	12	344	○	(10)	
			一次+二次応力	22	393	○	(9), (10)	
	P6	ナックル部と上部球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	22	344	○	(10)	
一次+二次応力			36	393	○	(10)		

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d^{*}) (その 2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル	P7	ドライウエルスプレイ管取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	42	344	○	(10)	
			一次+二次応力	82	393	○	(9), (10)	
	P8	上部球形部と円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	43	495	○	(10)	
			一次+二次応力	82	501	○	(9), (10)	
	P9	円筒部中心部	一次一般膜応力	44	330	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	44	495	○	(10)	
			一次+二次応力	84	501	○	(9), (10)	
	P10	円筒部と下鏡の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	58	495	○	(10)	
			一次+二次応力	104	501	○	(10)	
	P11	サンドクッション部	一次膜応力+一次曲げ応力	65	495	○	(10)	
			一次+二次応力	134	501	○	(10)	

表 6-2(1) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s) (その 1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル	P1	上鏡球形部	一次一般膜応力	2	253	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	2	380	○	(11)	
			一次+二次応力	0	393	○	(11), (12)	
	P2	上鏡球形部と上鏡ナックル部の接 合部	一次膜応力+一次曲げ応力	6	380	○	(11)	
			一次+二次応力	10	393	○	(11), (12)	
	P3	円筒部と上フランジの接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	6	380	○	(11)	
			一次+二次応力	10	393	○	(11), (12)	
	P4	下フランジと円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	15	380	○	(11), (12)	
			一次+二次応力	30	393	○	(11), (12)	
	P5	円筒部とナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	16	380	○	(11)	
			一次+二次応力	30	393	○	(11), (12)	
	P6	ナックル部と上部球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	29	380	○	(12)	
一次+二次応力			62	393	○	(12)		

表 6-2(1) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s) (その 2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル	P7	ドライウエルスプレイ管取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	70	380	○	(12)	
			一次+二次応力	140	393	○	(12)	
	P8	上部球形部と円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	67	495	○	(12)	
			一次+二次応力	130	501	○	(12)	
	P9	円筒部中心部	一次一般膜応力	71	330	○	(12)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	71	495	○	(12)	
			一次+二次応力	138	501	○	(12)	
	P10	円筒部と下鏡の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	90	495	○	(12)	
			一次+二次応力	168	501	○	(12)	
	P11	サンドクッション部	一次膜応力+一次曲げ応力	104	495	○	(12)	
			一次+二次応力	220	501	○	(12)	

表 6-2(2) 許容応力状態IV_{AS} に対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d^{*}) (その 1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IV _{AS}		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル	P1	上鏡球形部	一次一般膜応力	56	253	○	(16)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	56	380	○	(16)	
			一次+二次応力	0	393	○	(16)	
	P2	上鏡球形部と上鏡ナックル部の接 合部	一次膜応力+一次曲げ応力	82	380	○	(16)	
			一次+二次応力	6	393	○	(16)	
	P3	円筒部と上フランジの接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	33	380	○	(16)	
			一次+二次応力	6	393	○	(16)	
	P4	下フランジと円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	27	380	○	(16)	
			一次+二次応力	22	393	○	(16)	
	P5	円筒部とナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	41	380	○	(16)	
			一次+二次応力	22	393	○	(16)	
	P6	ナックル部と上部球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	118	380	○	(16)	
一次+二次応力			18	393	○	(16)		

表 6-2(2) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d^{*}) (その 2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル	P7	ドライウエルスプレイ管取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	70	380	○	(16)	
			一次+二次応力	82	393	○	(16)	
	P8	上部球形部と円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	93	495	○	(16)	
			一次+二次応力	82	501	○	(16)	
	P9	円筒部中心部	一次一般膜応力	111	330	○	(16)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	111	495	○	(16)	
			一次+二次応力	84	501	○	(16)	
	P10	円筒部と下鏡の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	97	495	○	(16)	
			一次+二次応力	102	501	○	(16)	
	P11	サンドクッション部	一次膜応力+一次曲げ応力	99	495	○	(16)	
			一次+二次応力	130	501	○	(16)	

表 6-3(1) 座屈応力に対する評価結果 (D + P + M + S d^{*})

評価対象設備	応力評価点		$\frac{\alpha (P/A)}{f_c} + \frac{\alpha (M/Z)}{f_b}$	許容値	判定	荷重の 組合せ	備考
ドライウエル	P10	円筒部と下鏡の接合部	0.33	1.0	○	(10)	
	P11	サンドクッション部	0.47	1.0	○	(10)	

表 6-3(2) 座屈応力に対する評価結果 (D + P + M + S s)

評価対象設備	応力評価点		$\frac{\alpha (P/A)}{f_c} + \frac{\alpha (M/Z)}{f_b}$	許容値	判定	荷重の 組合せ	備考
ドライウエル	P10	円筒部と下鏡の接合部	0.50	1.0	○	(12)	
	P11	サンドクッション部	0.70	1.0	○	(12)	

表 6-3(3) 座屈応力に対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d^{*})

評価対象設備	応力評価点		$\frac{\alpha (P/A)}{f_c} + \frac{\alpha (M/Z)}{f_b}$	許容値	判定	荷重の 組合せ	備考
ドライウエル	P10	円筒部と下鏡の接合部	0.31	1.0	○	(16)	
	P11	サンドクッション部	0.43	1.0	○	(16)	

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ドライウエル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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次＋二次＋ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表6-4及び表6-5に示す。

なお、表中の一次膜応力＋一次曲げ応力の算出応力が一次一般膜応力の許容応力を下回ることから、評価を省略した一次一般膜応力が生じる応力評価点も十分な構造強度を有する。

表 6-4(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$) (その 1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ドライウェル	P1	上鏡球形部	一次一般膜応力	111	253	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	111	379	○	
			一次+二次応力	0	393	○	
	P2	上鏡球形部と上鏡ナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	162	379	○	
			一次+二次応力	6	393	○	
	P3	円筒部と上フランジの接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	63	379	○	
			一次+二次応力	6	393	○	
	P4	下フランジと円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	49	379	○	
			一次+二次応力	22	393	○	
	P5	円筒部とナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	79	379	○	
			一次+二次応力	22	393	○	
	P6	ナックル部と上部球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	235	379	○	
			一次+二次応力	18	393	○	

表 6-4(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$) (その 2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ドライウエル	P7	ドライウエルスプレイ管取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	118	379	○	
			一次+二次応力	82	393	○	
	P8	上部球形部と円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	165	490	○	
			一次+二次応力	82	501	○	
	P9	円筒部中心部	一次一般膜応力	207	327	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	207	490	○	
			一次+二次応力	84	501	○	
	P10	円筒部と下鏡の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	157	490	○	
			一次+二次応力	102	501	○	
	P11	サンドクッション部	一次膜応力+一次曲げ応力	151	490	○	
			一次+二次応力	130	501	○	

表 6-4(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (その 1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ドライウエル	P1	上鏡球形部	一次一般膜応力	74	253	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	74	379	○	
			一次+二次応力	0	393	○	
	P2	上鏡球形部と上鏡ナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	109	379	○	
			一次+二次応力	10	393	○	
	P3	円筒部と上フランジの接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	45	379	○	
			一次+二次応力	10	393	○	
	P4	下フランジと円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	36	379	○	
			一次+二次応力	30	393	○	
	P5	円筒部とナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	55	379	○	
			一次+二次応力	30	393	○	
	P6	ナックル部と上部球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	158	379	○	
一次+二次応力			32	393	○		

表 6-4(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (その 2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ドライウエル	P7	ドライウエルスプレイ管取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	99	379	○	
			一次+二次応力	138	393	○	
	P8	上部球形部と円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	129	490	○	
			一次+二次応力	128	501	○	
	P9	円筒部中心部	一次一般膜応力	153	327	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	153	490	○	
			一次+二次応力	136	501	○	
	P10	円筒部と下鏡の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	139	490	○	
			一次+二次応力	164	501	○	
	P11	サンドクッション部	一次膜応力+一次曲げ応力	149	490	○	
			一次+二次応力	212	501	○	

表 6-5(1) 座屈応力に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d)

評価対象設備	応力評価点		$\frac{\alpha (P/A)}{f_c} + \frac{\alpha (M/Z)}{f_b}$	許容値	判定	備考
ドライウエル	P10	円筒部と下鏡の接合部	0.32	1.0	○	
	P11	サンドクッション部	0.45	1.0	○	

表 6-5(2) 座屈応力に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s)

評価対象設備	応力評価点		$\frac{\alpha (P/A)}{f_c} + \frac{\alpha (M/Z)}{f_b}$	許容値	判定	備考
ドライウエル	P10	円筒部と下鏡の接合部	0.48	1.0	○	
	P11	サンドクッション部	0.69	1.0	○	

7. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
添付書類「IV-3-1-1-4 ドライウエルの強度計算書」

VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバ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	適用規格・基準等	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	9
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	9
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	9
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	9
4.2.2	許容応力	9
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	9
4.2.4	設計荷重	14
4.3	解析モデル及び諸元	16
4.4	固有周期	21
4.5	設計用地震力	27
4.6	計算方法	29
4.6.1	応力評価点	29
4.6.2	応力計算方法	31
4.7	計算条件	31
4.8	応力の評価	31
5.	評価結果	32
5.1	設計基準対象施設としての評価結果	32
5.2	重大事故等対処設備としての評価結果	39
6.	参照図書	44

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-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、サブプレッションチェンバ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。

サブプレッションチェンバは、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。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力による荷重及び重大事故等時の荷重に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるサブプレッションチェンバの評価は、平成 2 年 5 月 24 日付け元資庁第 14466 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

サブプレッションチェンバの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

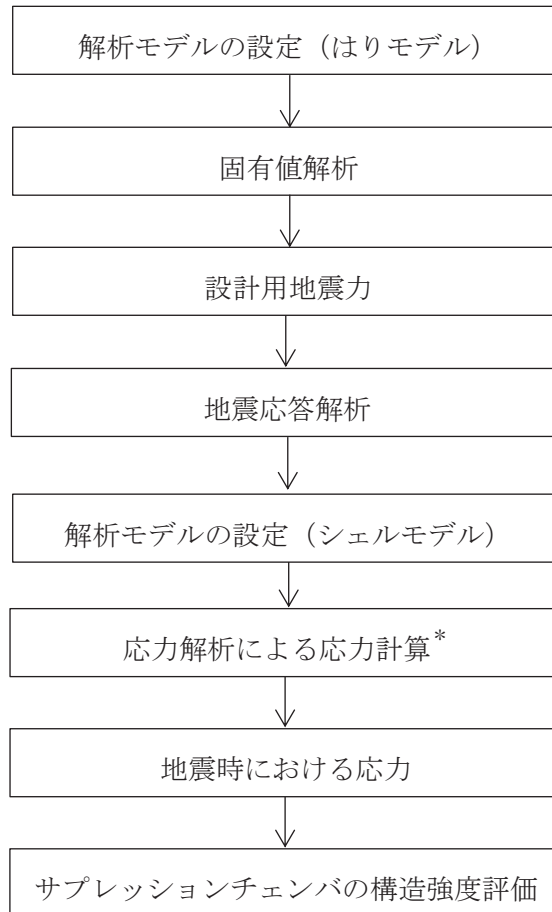
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>サプレッションチェンバは、ボックスサポートにより拘束支持された円環状の円筒構造であり、地震荷重はボックスサポートを介して原子炉建屋に伝達される。</p> <p>サプレッションチェンバは、ドライウェルとベント管を介して接続されているが、ベント管のベント管ベローズにより振動が伝達しない構造であり、地震による揺れは、原子建屋基礎版上からボックスサポートを介しサプレッションチェンバに入力される。</p>	<p>サプレッションチェンバは、内部水を有した16セグメントの円筒筒で構成される円環状の構成構造物である。円筒筒内部に強め輪を備える。</p>	<p>サプレッションチェンバ</p> <p>ボックスサポート</p> <p>原子炉建屋</p> <p>強め輪</p> <p>A-Aから見る (単位: mm)</p> <p>B部</p> <p>B部詳細</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 評価方針

サブプレッションチェンバの応力評価は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する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。

サブプレッションチェンバの耐震評価フローを図 2-1 に示す。



注記*：スロッシング荷重を考慮

図 2-1 サブプレッションチェンバの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (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)
- (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)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (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	死荷重	—
D_1	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
l_i	長さ ($i = 1, 2, 3$)	mm
M	機械的荷重	—
M_L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M_{SAL}	機械的荷重 (SA 後長期 (L) 機械的荷重)	—
M_{SALL}	機械的荷重 (SA 後長期 (LL) 機械的荷重)	—
P	圧力	—
P_L	地震と組み合わせる圧力	—
P_{SAL}	圧力 (SA 後長期 (L) 圧力)	kPa
P_{SALL}	圧力 (SA 後長期 (LL) 圧力)	kPa
R_1	半径	mm
S	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のいずれか大きい方の地震力	—
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
$S_y (RT)$	40°Cにおける設計降伏点	MPa
t_1	厚さ	mm
T	温度	°C
T_{SAL}	温度 (SA 後長期 (L) 温度)	°C
T_{SALL}	温度 (SA 後長期 (LL) 温度)	°C
θ_1	角度	°
ν	ポアソン比	—
ASS	オーステナイト系ステンレス鋼	—
HNA	高ニッケル合金	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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

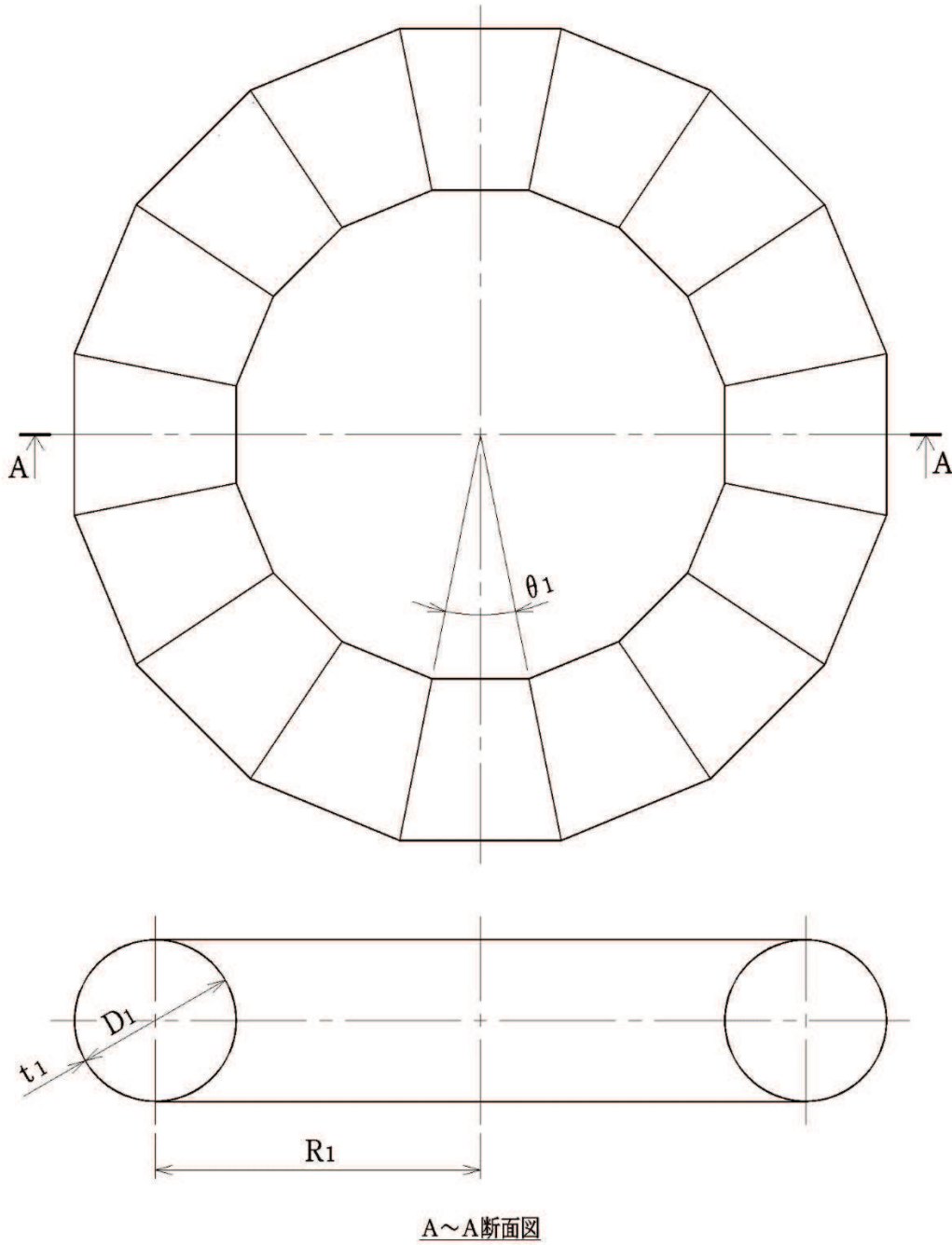
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	kPa	—	—	整数位 ^{*1}
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	有効数字 3 桁	四捨五入	有効数字 2 桁
密度	kg/m ³	有効数字 3 桁	四捨五入	有効数字 2 桁
長さ	mm	—	—	整数位
角度	°	—	—	整数位 ^{*1}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
ポアソン比	—	—	—	小数点以下第 1 位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*2}

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：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の形状及び主要寸法を図 3-1 及び図 3-2 に、評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。

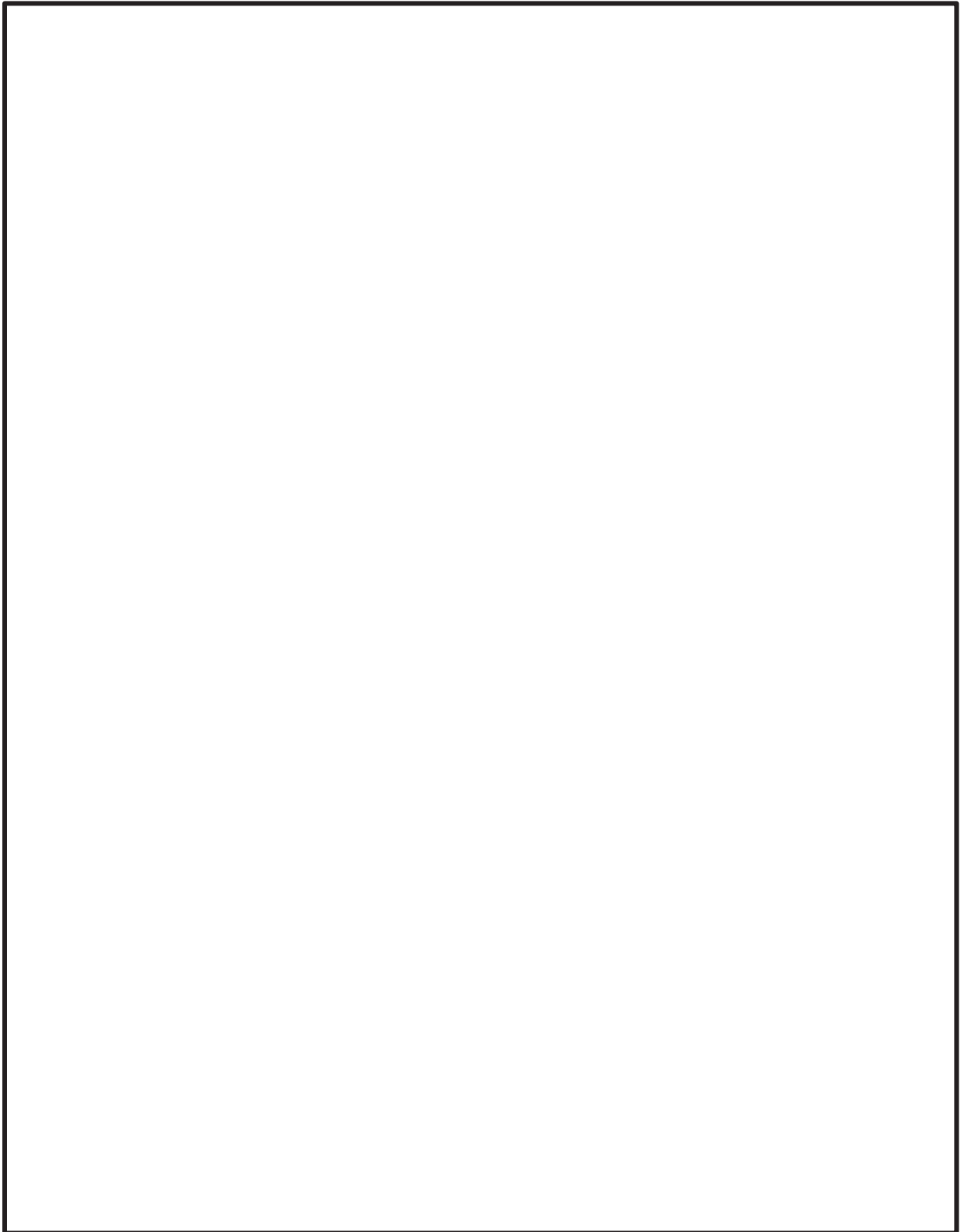


$D_1 = \square$ $R_1 = \square$ $t_1 = \square$ $\theta_1 = \square$

(単位：mm)

図 3-1 サプレッションチェンバの形状及び主要寸法

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



- ①サプレッションチェンバ ②強め輪 ③強め輪補強 ④連結板
⑤補強パッド ⑥補強リブ

$$l_1 = \boxed{} \quad l_2 = \boxed{} \quad l_3 = \boxed{} \quad t_1 = \boxed{}$$

(単位：mm)

図 3-2 サプレッションチェンバ強め輪の形状及び主要寸法

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位	使用材料	備考
サプレッションチェンバ	SGV480	

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は、ボックスサポートにより拘束支持された円環状の円筒構造であり、地震荷重はボックスサポートを介して原子炉建屋に伝達される。サプレッションチェンバは、ドライウェルとベント管を介して接続されているが、ベント管のベント管ベローズにより振動が伝達しない構造であり、地震による揺れは、原子建屋基礎版上からボックスサポートを介しサプレッションチェンバに入力される。

サプレッションチェンバに作用する地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」から求められる水平及び鉛直の固有周期に応じた応答加速度に基づき、スペクトルモーダル解析を用いて算出する。サプレッションチェンバの耐震評価として、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。また、重大事故等対処設備としての評価においては、重大事故等時における水頭圧を考慮する。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
(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応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

サプレッションチェンバ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。

詳細な荷重の組合せは、添付書類「VI-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 許容応力

サプレッションチェンバの許容応力は添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 に示すとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

サプレッションチェンバの使用材料の許容応力評価条件のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度 分類	機器等 の区分	荷重の組合せ ^{*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 ンチェンバ	S	クラスMC 容器	D + P + M + S _d [*]	(9) (10) ^{*3} (13) (15)	III _A S
						D + P + M + S _s	(11) (12) ^{*3} (14)
					D + P _L + M _L + S _d ^{**2}	(16)	IV _A S

注記*1：（ ）内は添付書類「VI-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3-6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、構造体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。

*3：運転状態 I による燃料交換時の活荷重は、サプレッションンチェンバに作用しないことから、荷重の組合せとして考慮せず評価しない。

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	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ ^{*3}	(V(L)-1)	V_{AS} ^{*4}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V(LL)-1)	V_{AS} ^{*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「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」における表3-7の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：重大事故等後の最高内圧及び最高温度との組合せを考慮する。

*4： V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

表4-3 クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ _{AS}	S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、AS S及びHNAについては1.2・Sとする。	左欄の α倍の値 ^{*4}	$3 \cdot S^{*1}$ 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。	^{*2, *3} 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。
Ⅳ _{AS}	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、ASS及びHNA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。	左欄の α倍の値 ^{*4}		
V _{AS} ^{*5}				

注記*1：3・Sを超えるとき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。また、S_mはSと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

*2：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。

*3：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。

*4：設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比または1.5のいずれか小さい方の値（α）を用いる。

*5：V_{AS}としてⅣ_{AS}の許容限界を用いる。

表4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度	104				
サプレッションチェンバ	SGV480	周囲環境 温度	104	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）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度	178 ^{*1}				
サプレッションチェンバ	SGV480	周囲環境 温度	178 ^{*1}	131	228	422	—
		周囲環境 温度	111 ^{*2}	131	236	429	—

注記*1：SA 後長期 (L) のサプレッションチェンバ温度を考慮する。

*2：SA 後長期 (LL) のサプレッションチェンバ温度を考慮する。

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，最高使用圧力，最高使用温度及び水力学
的動荷重は，既工認（参照図書(1)）からの変更はなく，次のとおりである。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

内圧	427kPa
外圧	13.7kPa
温度	104℃

b. 死荷重

サプレッションチェンバ，ボックスサポート及びサプレッションチェンバ内部水の
自重を死荷重とする。

死荷重	4.2×10^6 kg
-----	----------------------

c. 冷却材喪失事故時荷重

事故時圧力は，冷却材喪失事故後の最大内圧とする。

最大内圧	206 kPa
------	---------

d. 逃がし安全弁作動時の荷重

逃がし安全弁作動時，排気管内の気体が T-クエンチャからサプレッションプール水
中に放出される際，サプレッションチェンバに圧力振動荷重が作用する。

最大正圧	<input type="text"/> kPa
最大負圧	<input type="text"/> kPa

e. 水位

水位	O. P. -3800mm
----	------------------

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

a. 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は，添付書類「VI-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，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	640kPa (SA 後長期 (L))
内圧 P_{SALL}	427kPa (SA 後長期 (LL))
温度 T_{SAL}	178℃ (SA 後長期 (L))
温度 T_{SALL}	111℃ (SA 後長期 (LL))

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. 死荷重

サプレッションチェンバ，ボックスサポート及びサプレッションチェンバ内部水の自重を死荷重とする。

死荷重 6.77×10^6 kg

c. 水力的動荷重

重大事故等対処設備としての水力的動荷重は，以下のとおりである。

サプレッションチェンバに対して，低流量蒸気凝縮時に以下に示す蒸気凝縮振動（チャギング）荷重が作用する。

最大正圧 kPa

最大負圧 kPa

d. 水位

重大事故等対処設備における水位は，以下のとおりとする。

水位 O. P. -1514mm

4.3 解析モデル及び諸元

(1) 設計基準対象施設としての解析モデル及び諸元

設計基準対象施設としての評価は、以下の 3 つの解析モデルを用いる。サプレッションチェンバ全体はりモデルとサプレッションチェンバ部分シェルモデルに大別され、前者は地震応答解析及び死荷重による変位の算出に用いるモデル、後者は応力解析に用いるモデルである。さらに、サプレッションチェンバ部分シェルモデルにおいては、拘束条件や境界条件を変更した 2 つの解析モデルを用いる。解析コードは「MSC NASTRAN」を使用する。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

解析モデルの概要を以下に示す。

- a. スペクトルモーダル解析及びサプレッションチェンバ部分シェルモデルに与える強制変位の計算は、サプレッションチェンバ全体をはり要素にモデル化したモデルを用いて行う。解析モデルを図 4-1 に、諸元を表 4-6 に示す。サプレッションチェンバ、ボックスサポートをはり要素で、フランジプレート、基礎ボルトをばね要素でモデル化する。なお、ボックスサポート等はサプレッションチェンバと一体構造であることから、サプレッションチェンバに加えてモデル化を行う。サプレッションチェンバの内部水は、仮想質量法により算定し、NASTRAN の機能である Guyan 縮約法を用いて本モデルのサプレッションチェンバの各質点に縮約し、付加する。ボックスサポート下端は、
- b. 圧力による応力は、サプレッションチェンバを構成する円筒のうち 2 個をシェル要素にモデル化した部分シェルモデルにより計算する。解析モデルを図 4-2、図 4-4 に、諸元を表 4-6 に示す。円筒部の端面を また、ボックスサポート下端を、
- c. 死荷重、スロッシング荷重及び地震荷重による応力は、サプレッションチェンバを構成する円筒のうち 2 個をシェル要素にモデル化した部分シェルモデルにより計算する。解析モデルを図 4-3、図 4-4 に、諸元を表 4-6 に示す。円筒部端面の各節点を また、ボックスサポート下端に対し、

(2) 重大事故等対処設備としての解析モデル及び諸元

重大事故等時のサプレッションチェンバの解析モデルは、

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

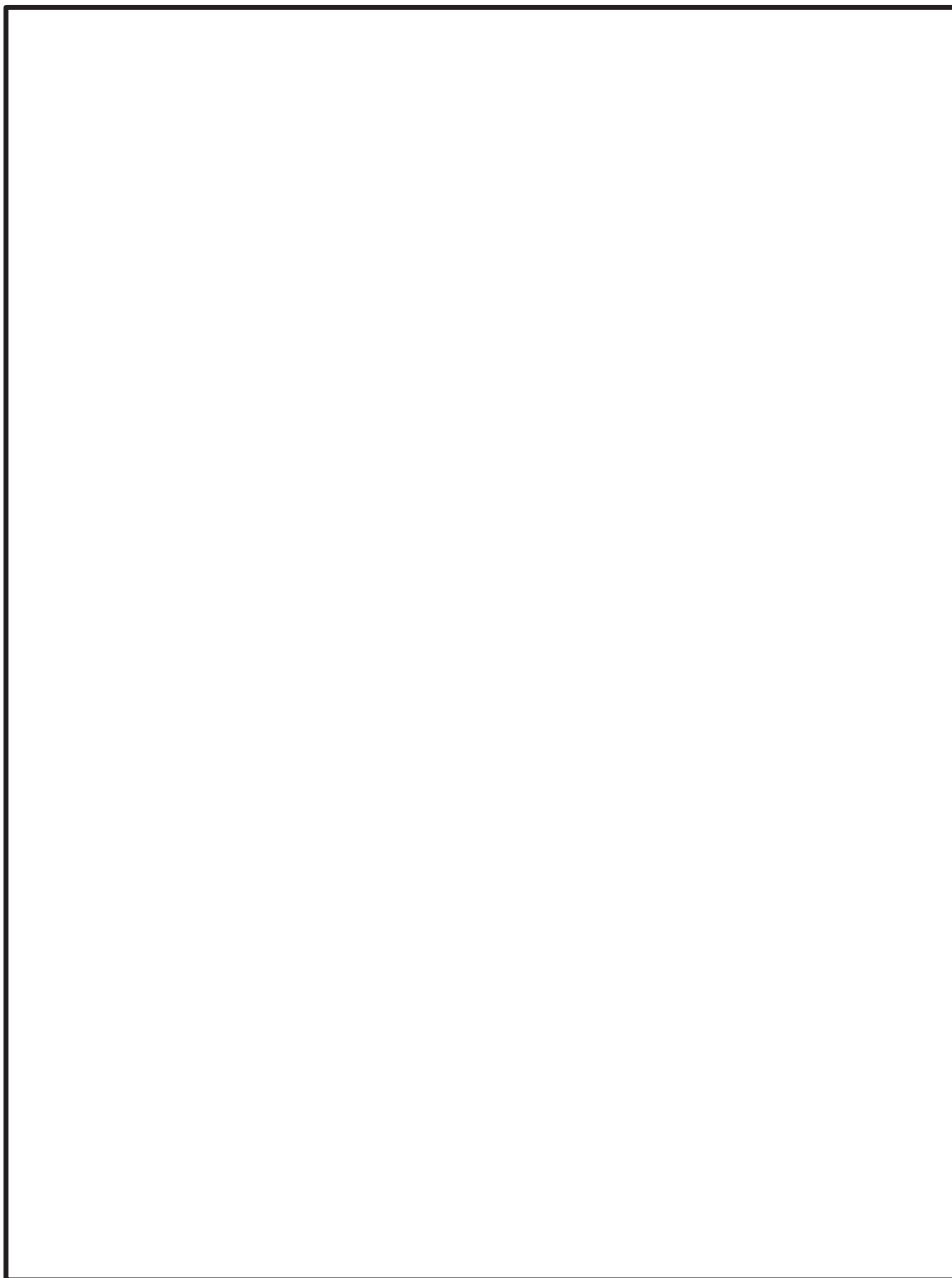


図 4-1 解析モデル サプレッションチェーンバ全体はりモデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

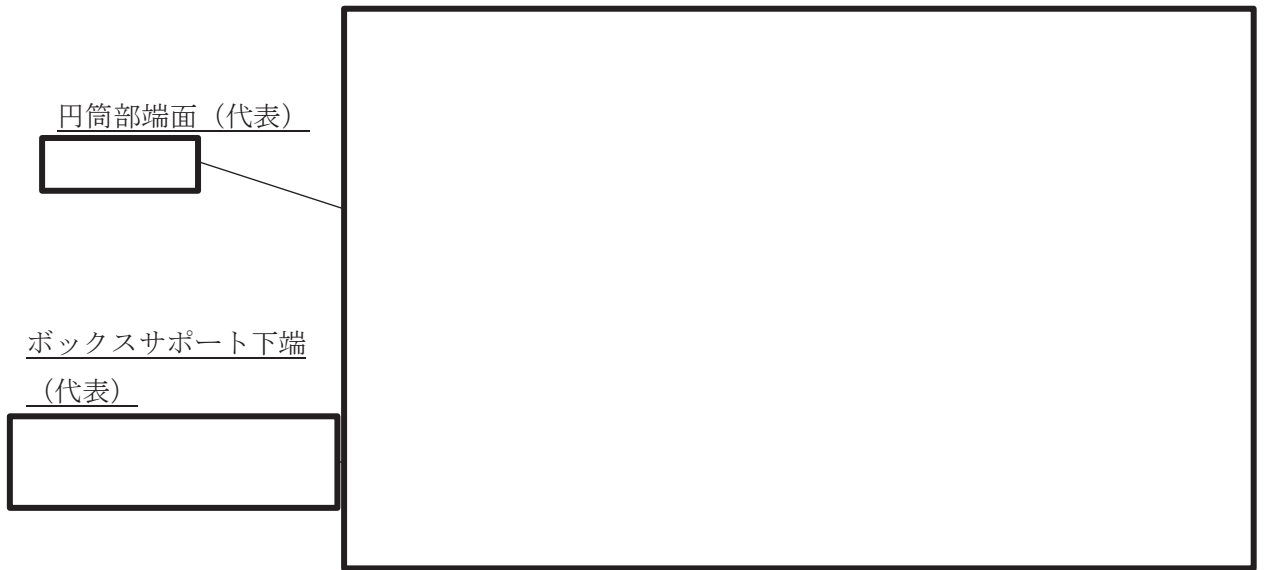


図 4-2 解析モデル サプレッションチェンバ部分シェルモデル (圧力荷重)

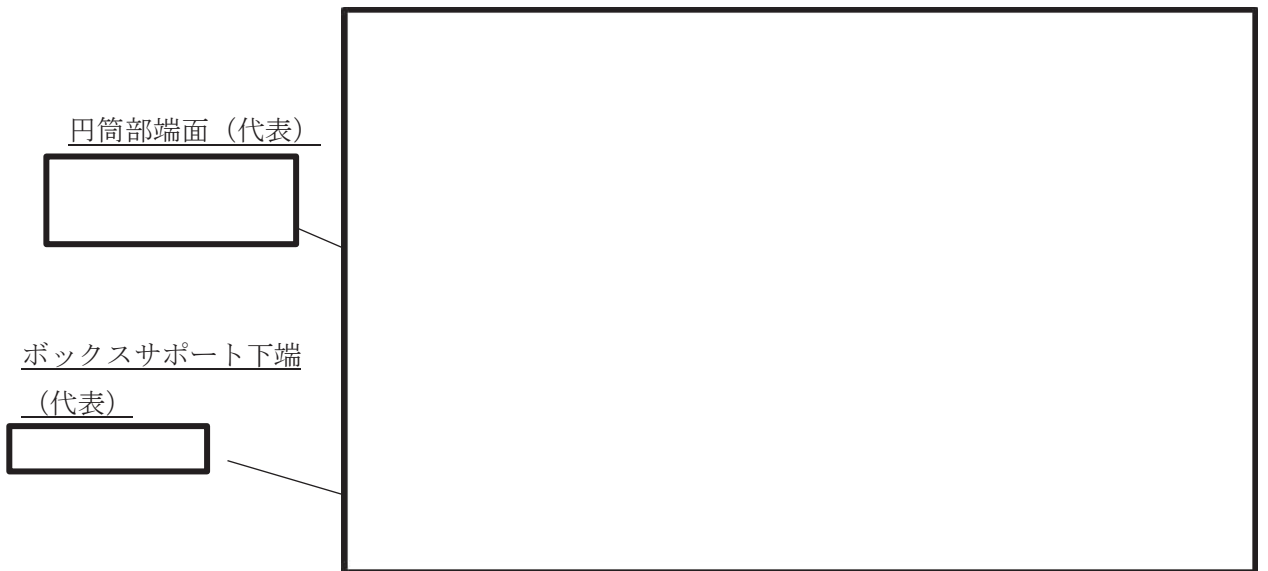


図 4-3 解析モデル サプレッションチェンバ部分シェルモデル (強制変位荷重)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

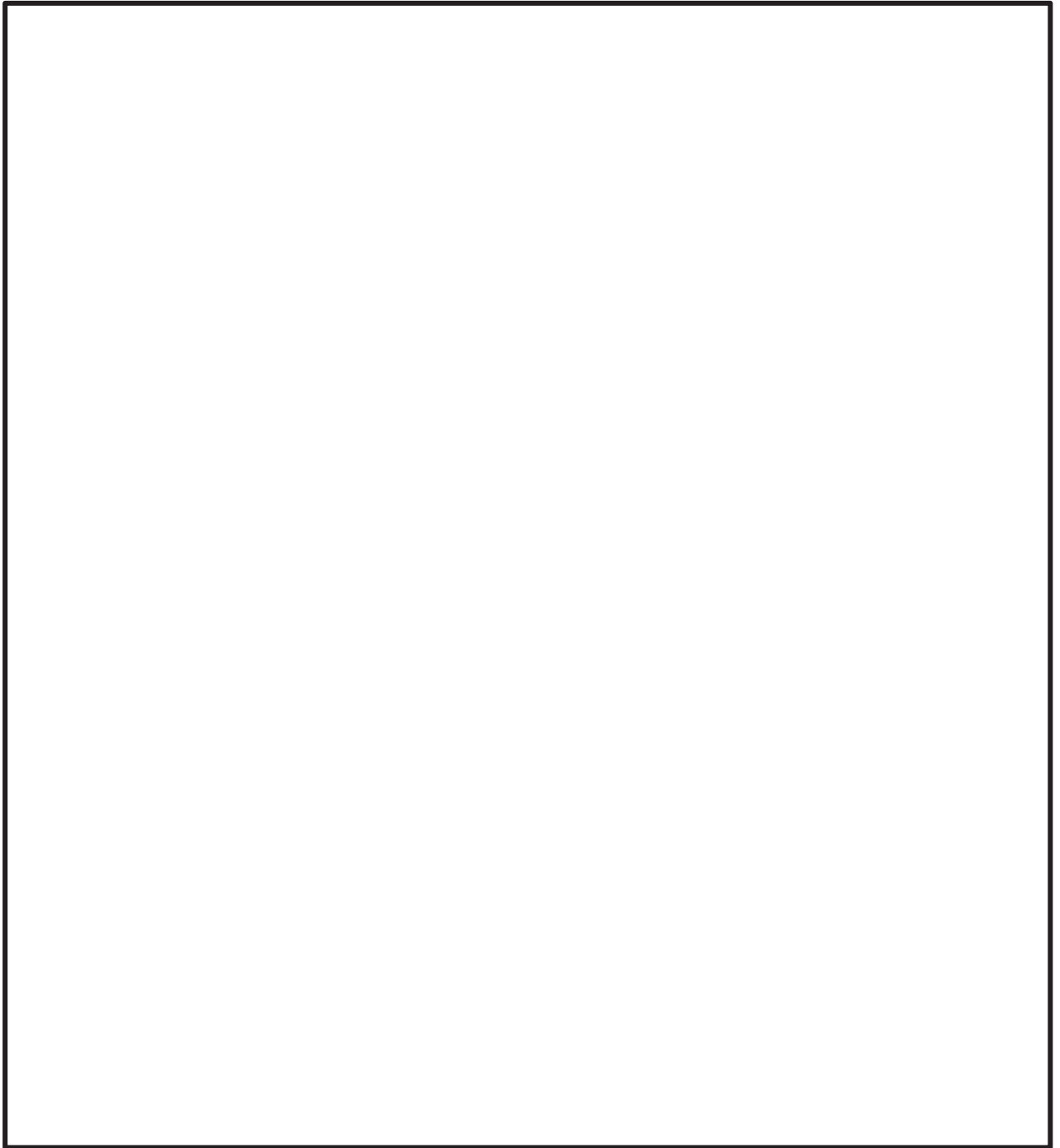


図 4-4 サプレッションチェーン部分シェルモデルの部材名称

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-6(1) 機器諸元 (その 1)

項目	記号	単位	入力値	
			設計基準対象施設	重大事故等対処設備
材質	—	—	SGV480	
機器質量	—	kg		
水密度	—	kg/m ³		
水位	—	mm	O. P. -3800	O. P. -1514
温度条件	T	℃		
縦弾性係数	E	MPa		
ポアソン比	ν	—		

注記*1：解析モデルの温度は、通常運転時温度と事故時温度の平均温度とする。なお、許容応力は保守的に事故時温度で算出する。

*2：解析モデルの温度は、通常運転時温度と限界温度の平均温度とする。なお、許容応力は各運転状態の最高温度で算出する。

表 4-6(2) 機器諸元 (その 2)

項目	要素数	節点数
(1) サプレッションチェンバ全体はりモデル		
(2) サプレッションチェンバ部分シェルモデル (圧力荷重)		
(3) サプレッションチェンバ部分シェルモデル (強制変位荷重)		

4.4 固有周期

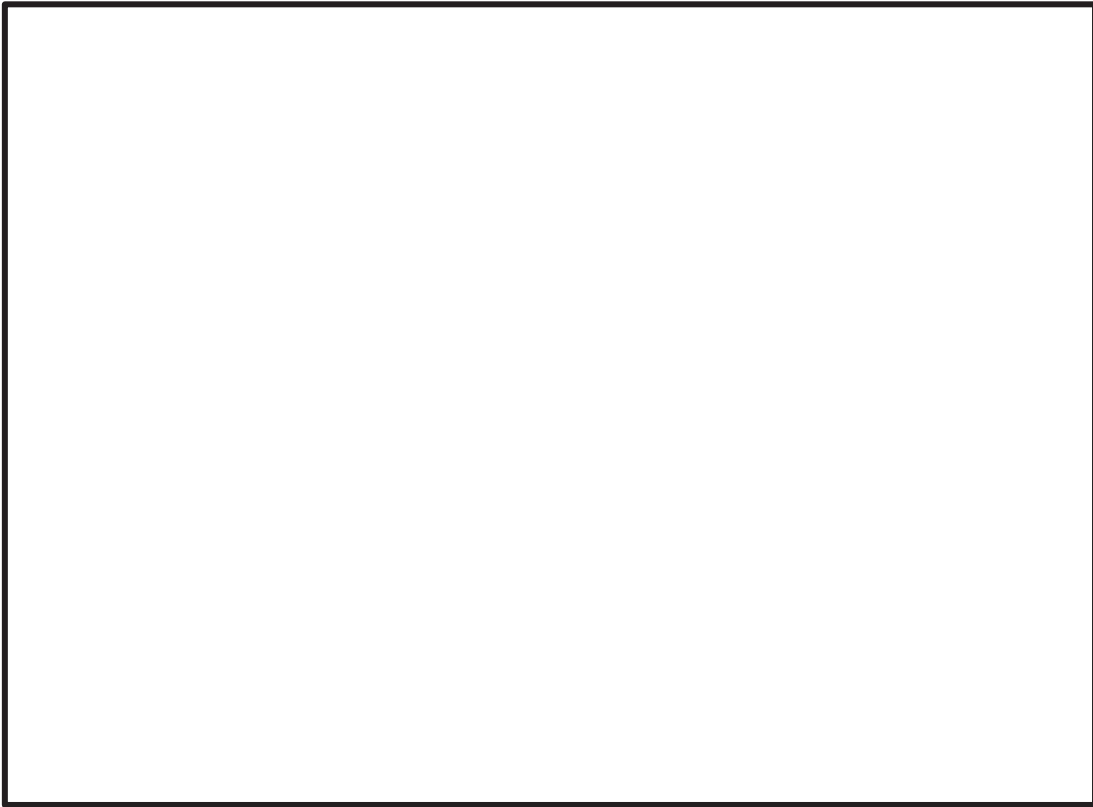
(1) 設計基準対象施設としての固有周期

固有周期は、「4.3 解析モデル及び諸元」に示すモデルを用いて解析により算出する。設計基準対象施設における固有周期を表 4-7 に、主要振動モード図を 3 モード代表して図 4-5 にそれぞれ示す。水平方向及び鉛直方向に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-7 固有周期 (設計基準対象施設)

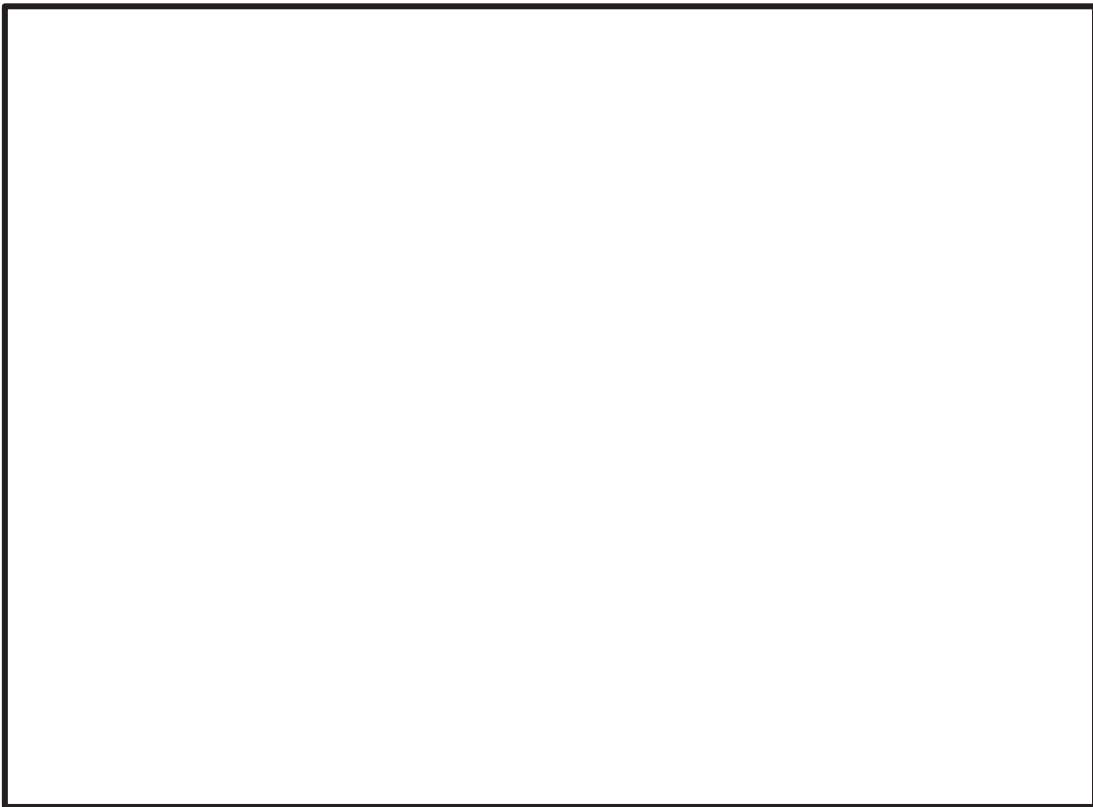
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.077			
2次	0.077			
3次	0.073			
4次	0.073			
5次	0.067			
6次	0.060			
7次	0.060			
8次	0.053			
9次	0.053			
10次	0.052			
11次	0.052			
12次	0.050			

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



3次モード

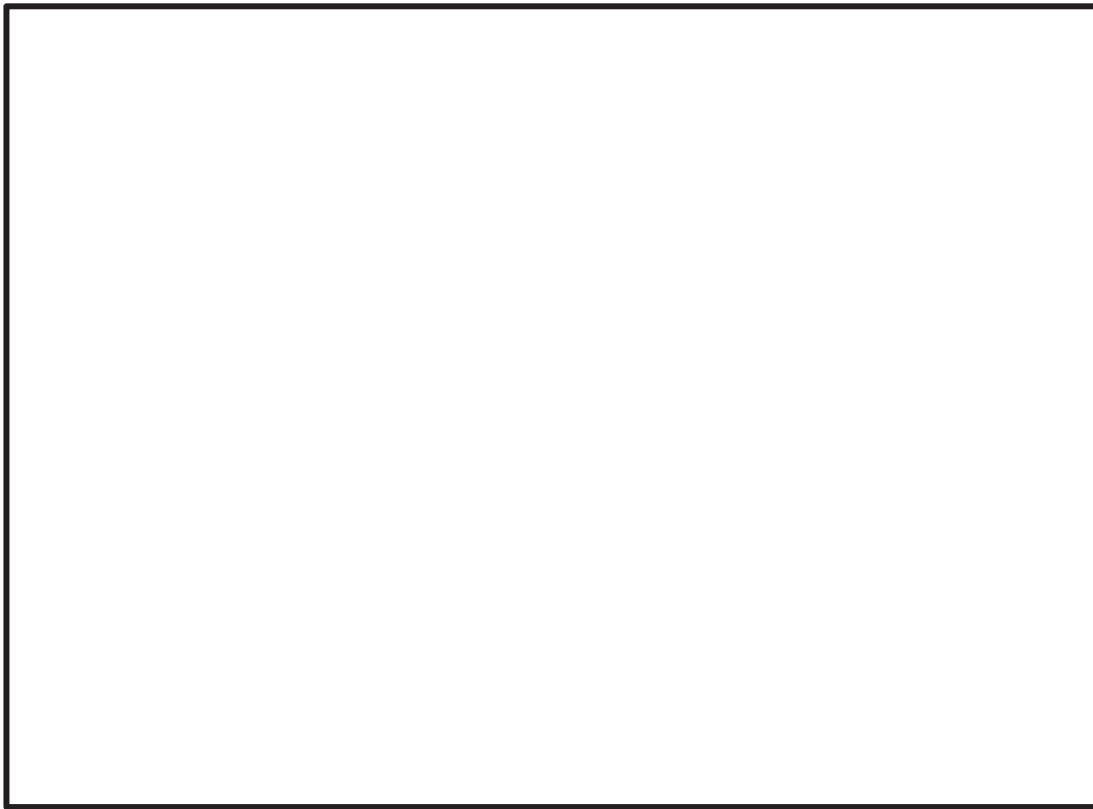
図 4-5 主要振動モード図（設計基準対象施設）（その1）



4次モード

図 4-5 主要振動モード図（設計基準対象施設）（その2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



5次モード

図 4-5 主要振動モード図（設計基準対象施設）（その 3）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

固有周期は、「4.3 解析モデル及び諸元」に示すモデルを用いて解析により算出する。重大事故等対処設備における固有周期は表 4-8 に、主要振動モード図を 3 モード代表として図 4-6 にそれぞれ示す。水平方向及び鉛直方向に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-8 固有周期（重大事故等対処設備）

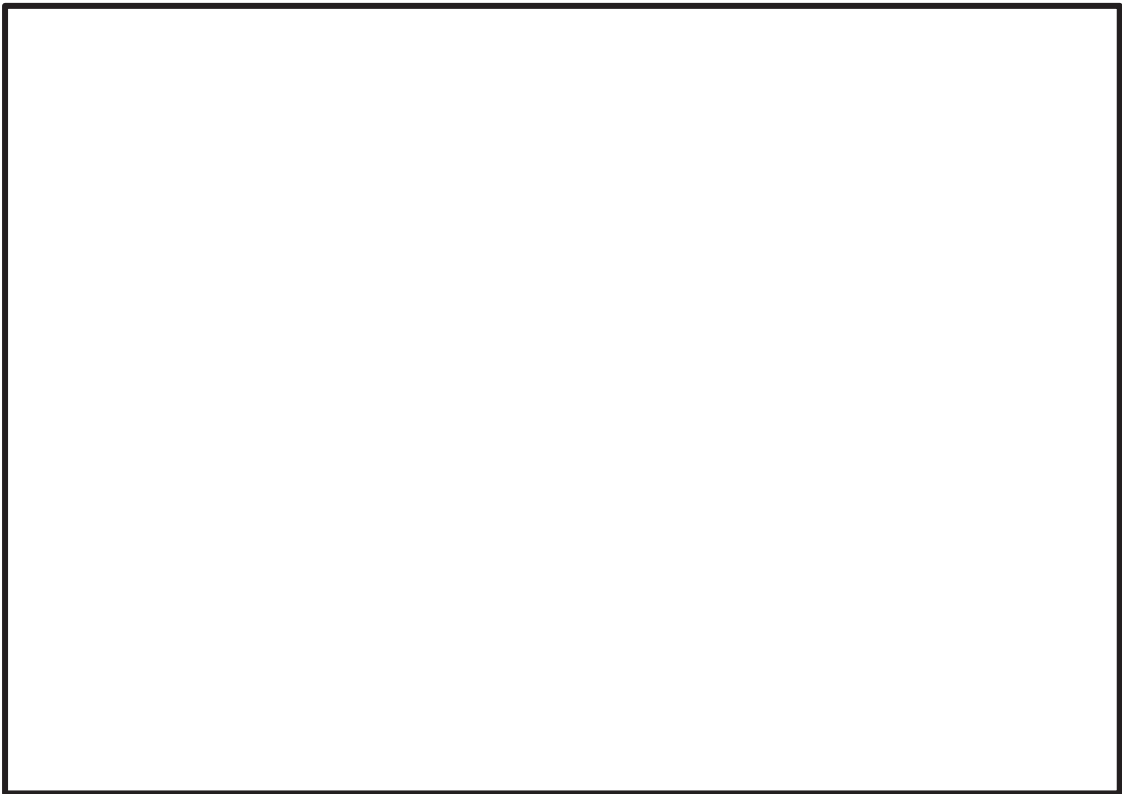
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.104			
2次	0.104			
3次	0.097			
4次	0.097			
5次	0.085			
6次	0.076			
7次	0.076			
8次	0.069			
9次	0.069			
10次	0.068			
11次	0.066			
12次	0.066			
13次	0.051			
14次	0.051			
15次	0.047			

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



3次モード

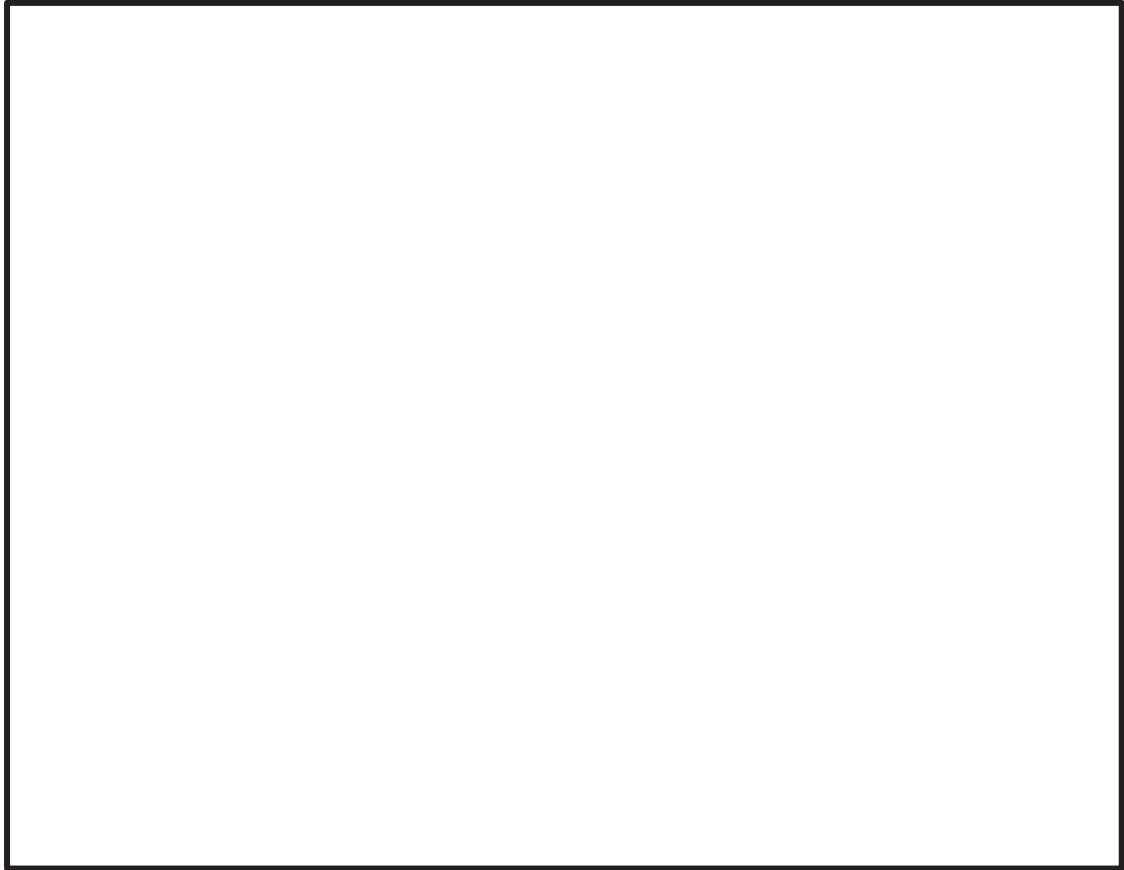
図 4-6 主要振動モード図（重大事故等対処設備）（その1）



4次モード

図 4-6 主要振動モード図（重大事故等対処設備）（その2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



5次モード

図 4-6 主要振動モード図（重大事故等対処設備）（その3）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-9 及び表 4-10 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、添付書類「VI-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「VI-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 4-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉建屋 O.P. -8.10 ^{*1}					
減衰定数 (%)		水平：1.0 ^{*2} 鉛直：1.0 ^{*2}					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*3}		応答鉛直 震度 ^{*3}	応答水平震度 ^{*3}		応答鉛直 震度 ^{*3}
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次	0.077						
2次	0.077						
3次	0.073						
4次	0.073						
5次	0.067						
6次	0.060						
7次	0.060						
8次	0.053						
9次	0.053						
10次	0.052						
11次	0.052						
12次	0.050	—	—	—	—	—	—
動的地震力 ^{*4}		0.40	0.40	0.33	0.82	0.82	0.57
静的地震力 ^{*5}		0.30	0.30	0.24	—	—	—

注記*1：サプレッションチェンバが設置される原子炉建屋 O.P. -8.10m の床応答スペクトルを用いる。

*2：添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物に適用される減衰定数を用いる。

*3：各モードの固有周期に対し、設計用床応答スペクトルより得られる震度を示す。

*4：S_d 又は S_s 地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*5：静的震度 (3.0・C_i 及び 1.0・C_v) を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-10 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉建屋 0.P. -8.10 ^{*1}					
減衰定数 (%)		水平：1.0 ^{*2} 鉛直：1.0 ^{*2}					
地震力		弾性設計用地震動 S d			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*3}		応答鉛直 震度 ^{*3}	応答水平震度 ^{*3}		応答鉛直 震度 ^{*3}
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次	0.104						
2次	0.104						
3次	0.097						
4次	0.097						
5次	0.085						
6次	0.076						
7次	0.076						
8次	0.069						
9次	0.069						
10次	0.068						
11次	0.066						
12次	0.066						
13次	0.051						
14次	0.051						
15次	0.047	—	—	—	—	—	—
動的地震力 ^{*4}		0.40	0.40	0.33	0.82	0.82	0.57

注記*1：サプレッションチェンバが設置される原子炉建屋 0.P. -8.10m の床応答スペクトルを適用する。

*2：添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物に適用される減衰定数を用いる。

*3：各モードの固有周期に対し、設計用床応答スペクトルより得られる震度を示す。

*4：S d又はS s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

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の応力評価点は、サプレッションチェンバ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 4-11 及び図 4-7 に示す。

表 4-11 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	胴中央部外側
P2	胴中央部底部
P3	胴中央部内側
P4	胴中央部頂部
P5	胴エビ継手部外側
P6	胴エビ継手部底部
P7	胴エビ継手部内側
P8	胴エビ継手部頂部
P9	内側ボックスサポート取付部
P10	外側ボックスサポート取付部

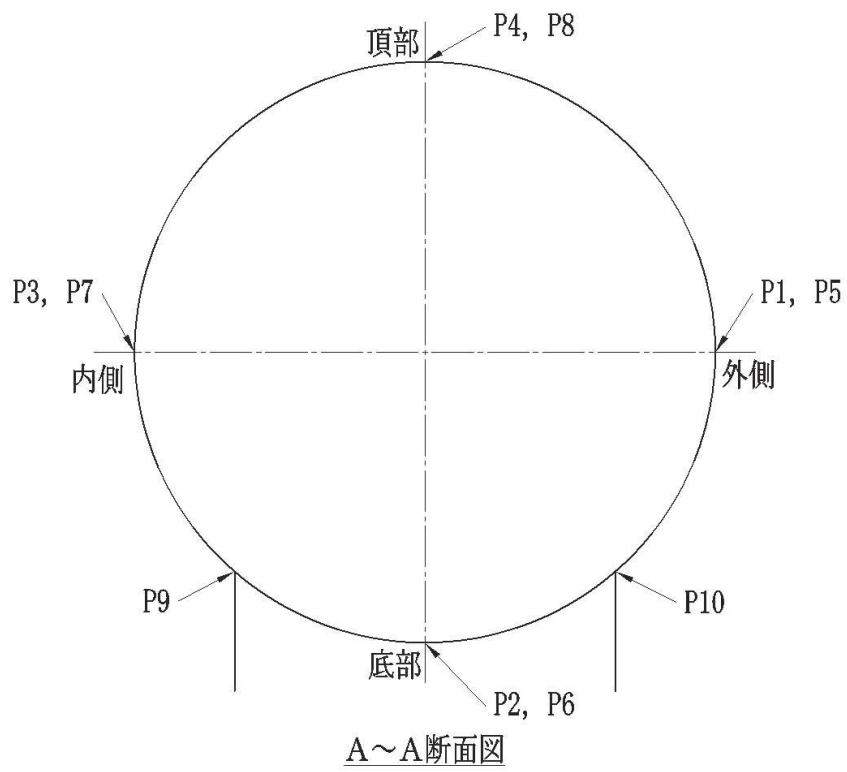
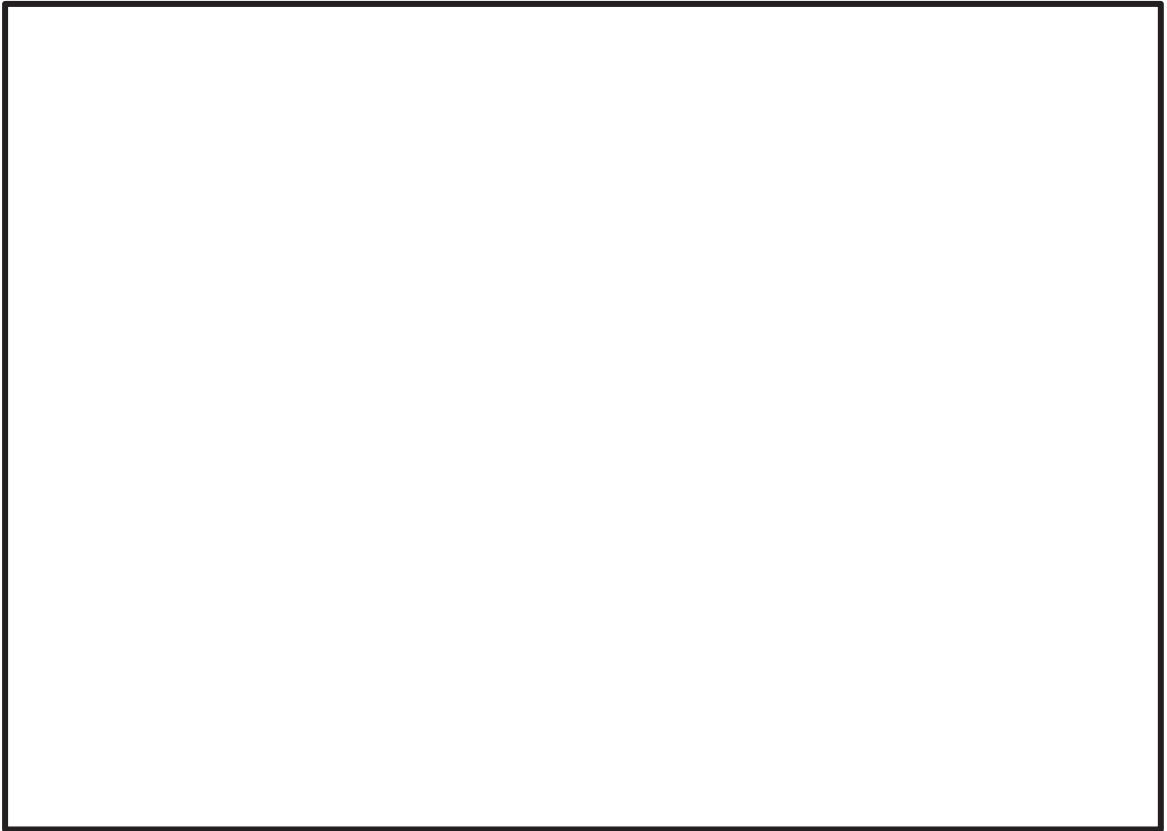


図 4-7 サプレッションチェンバの応力評価点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.6.2 応力計算方法

サブプレッションチェンバの応力計算方法について以下に示す。

(1) 設計基準対象施設としての応力計算

設計基準対象施設における応力は、応力評価点 P1～P10 に対し、「4.3 解析モデル及び諸元」に示すサブプレッションチェンバ部分シェルモデルにより算出する。水力学的動荷重は、参照図書(1)に示す水力学的動荷重による応力を用いる。水平 2 方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は、二乗和平方根により組み合わせる。

(2) 重大事故等対処設備としての応力計算

重大事故等対処設備における応力は、応力評価点 P1～P10 に対し、「4.3 解析モデル及び諸元」に示すサブプレッションチェンバ部分シェルモデルにより算出する。水力学的動荷重は、参照図書(1)に示す水力学的動荷重による応力を用いる。水平 2 方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は、二乗和平方根により組み合わせる。

4.7 計算条件

応力解析に用いる荷重を、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」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」で求めた各応力が、表 4-3 に示す許容応力以下であること。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 (PVB-3313 を除く。S_mはSと読み替える。)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

サブレーションチェンバ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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 3.1.23 項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次＋二次＋ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、添付書類「VI-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 3-6 の荷重の組合せの No. を記載する。

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

評価対象設備	応力評価点		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッション チェンバ	P1	胴中央部外側	一次一般膜応力	36	237	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	36	356	○	(13)	
			一次+二次応力	48	393	○	(9), (13)	
	P2	胴中央部底部	一次一般膜応力	38	237	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	38	356	○	(13)	
			一次+二次応力	30	393	○	(9), (13)	
	P3	胴中央部内側	一次一般膜応力	32	237	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	32	356	○	(13)	
			一次+二次応力	38	393	○	(9), (13)	
	P4	胴中央部頂部	一次一般膜応力	16	237	○	(9), (13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	16	356	○	(9), (13)	
			一次+二次応力	22	393	○	(9), (13)	
	P5	胴エビ継手部外側	一次膜応力+一次曲げ応力	24	356	○	(13)	
			一次+二次応力	46	393	○	(9), (13)	

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

評価対象設備	応力評価点		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッション チェーンバ	P6	胴エビ継手部底部	一次膜応力+一次曲げ応力	74	356	○	(13)	
			一次+二次応力	30	393	○	(9), (13)	
	P7	胴エビ継手部内側	一次膜応力+一次曲げ応力	31	356	○	(13)	
			一次+二次応力	42	393	○	(9), (13)	
	P8	胴エビ継手部頂部	一次膜応力+一次曲げ応力	19	356	○	(13)	
			一次+二次応力	26	393	○	(9), (13)	
	P9	内側ボックスサポート取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	86	356	○	(13)	
			一次+二次応力	86	393	○	(9), (13)	
	P10	外側ボックスサポート取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	92	356	○	(13)	
			一次+二次応力	96	393	○	(9), (13)	

表 5-2(1) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s) (その 1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッション チェンバ	P1	胴中央部外側	一次一般膜応力	56	258	○	(14)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	56	387	○	(14)	
			一次+二次応力	88	393	○	(11), (14)	
	P2	胴中央部底部	一次一般膜応力	51	258	○	(14)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	51	387	○	(14)	
			一次+二次応力	54	393	○	(11), (14)	
	P3	胴中央部内側	一次一般膜応力	48	258	○	(14)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	48	387	○	(14)	
			一次+二次応力	70	393	○	(11), (14)	
	P4	胴中央部頂部	一次一般膜応力	25	258	○	(11), (14)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	25	387	○	(11), (14)	
			一次+二次応力	40	393	○	(11), (14)	
	P5	胴エビ継手部外側	一次膜応力+一次曲げ応力	39	387	○	(14)	
			一次+二次応力	86	393	○	(11), (14)	

表 5-2(1) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s) (その 2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッション チェーンバ	P6	胴エビ継手部底部	一次膜応力+一次曲げ応力	85	387	○	(14)	
			一次+二次応力	56	393	○	(11), (14)	
	P7	胴エビ継手部内側	一次膜応力+一次曲げ応力	46	387	○	(14)	
			一次+二次応力	78	393	○	(11), (14)	
	P8	胴エビ継手部頂部	一次膜応力+一次曲げ応力	28	387	○	(14)	
			一次+二次応力	48	393	○	(11), (14)	
	P9	内側ボックスサポート取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	116	387	○	(14)	
			一次+二次応力	158	393	○	(11), (14)	
	P10	外側ボックスサポート取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	126	387	○	(14)	
			一次+二次応力	180	393	○	(11), (14)	

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 *) (その 1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IV _{AS}		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッション チェンバ	P1	胴中央部外側	一次一般膜応力	76	258	○	(16)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	76	387	○	(16)	
			一次+二次応力	48	393	○	(16)	
	P2	胴中央部底部	一次一般膜応力	65	258	○	(16)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	65	387	○	(16)	
			一次+二次応力	30	393	○	(16)	
	P3	胴中央部内側	一次一般膜応力	71	258	○	(16)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	71	387	○	(16)	
			一次+二次応力	38	393	○	(16)	
	P4	胴中央部頂部	一次一般膜応力	62	258	○	(16)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	62	387	○	(16)	
			一次+二次応力	22	393	○	(16)	
	P5	胴エビ継手部外側	一次膜応力+一次曲げ応力	41	387	○	(16)	
			一次+二次応力	46	393	○	(16)	

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*) (その 2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IV _{AS}		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッション チェーンバ	P6	胴エビ継手部底部	一次膜応力+一次曲げ応力	38	387	○	(16)	
			一次+二次応力	30	393	○	(16)	
	P7	胴エビ継手部内側	一次膜応力+一次曲げ応力	58	387	○	(16)	
			一次+二次応力	42	393	○	(16)	
	P8	胴エビ継手部頂部	一次膜応力+一次曲げ応力	42	387	○	(16)	
			一次+二次応力	26	393	○	(16)	
	P9	内側ボックスサポート取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	73	387	○	(16)	
			一次+二次応力	86	393	○	(16)	
	P10	外側ボックスサポート取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	76	387	○	(16)	
			一次+二次応力	96	393	○	(16)	

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

サブプレッションチェンバ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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-3 に示す。

表 5-3(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (その 1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V _{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
サプレッション ンチェンバ	P1	胴中央部外側	一次一般膜応力	215	253	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	215	380	○	
			一次+二次応力	82	393	○	
	P2	胴中央部底部	一次一般膜応力	200	253	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	200	380	○	
			一次+二次応力	52	393	○	
	P3	胴中央部内側	一次一般膜応力	209	253	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	209	380	○	
			一次+二次応力	70	393	○	
	P4	胴中央部頂部	一次一般膜応力	193	253	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	193	380	○	
			一次+二次応力	40	393	○	
	P5	胴エビ継手部外側	一次膜応力+一次曲げ応力	104	380	○	
			一次+二次応力	82	393	○	

表 5-3(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$) (その 2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
サプレッション チェーンバ	P6	胴エビ継手部底部	一次膜応力+一次曲げ応力	111	380	○	
			一次+二次応力	52	393	○	
	P7	胴エビ継手部内側	一次膜応力+一次曲げ応力	161	380	○	
			一次+二次応力	76	393	○	
	P8	胴エビ継手部頂部	一次膜応力+一次曲げ応力	126	380	○	
			一次+二次応力	48	393	○	
	P9	内側ボックスサポート取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	221	380	○	
			一次+二次応力	154	393	○	
	P10	外側ボックスサポート取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	220	380	○	
			一次+二次応力	168	393	○	

表 5-3(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (その 1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
サプレッションチェンバ	P1	胴中央部外側	一次一般膜応力	204	257	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	204	386	○	
			一次+二次応力	166	393	○	
	P2	胴中央部底部	一次一般膜応力	172	257	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	172	386	○	
			一次+二次応力	106	393	○	
	P3	胴中央部内側	一次一般膜応力	189	257	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	189	386	○	
			一次+二次応力	136	393	○	
	P4	胴中央部頂部	一次一般膜応力	160	257	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	160	386	○	
			一次+二次応力	78	393	○	
	P5	胴エビ継手部外側	一次膜応力+一次曲げ応力	116	386	○	
			一次+二次応力	162	393	○	

表 5-3(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (その 2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
サプレッション チェーンバ	P6	胴エビ継手部底部	一次膜応力+一次曲げ応力	106	386	○	
			一次+二次応力	104	393	○	
	P7	胴エビ継手部内側	一次膜応力+一次曲げ応力	157	386	○	
			一次+二次応力	152	393	○	
	P8	胴エビ継手部頂部	一次膜応力+一次曲げ応力	112	386	○	
			一次+二次応力	92	393	○	
	P9	内側ボックスサポート取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	204	386	○	
			一次+二次応力	300	393	○	
	P10	外側ボックスサポート取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	213	386	○	
			一次+二次応力	330	393	○	

6. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
添付書類「IV-3-1-1-13 サプレッションチェンバの強度計算書」

VI-2-9-2-1-3 原子炉格納容器シヤラグ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	適用規格・基準等	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.	固有周期	11
5.	構造強度評価	12
5.1	構造強度評価方法	12
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	12
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	12
5.2.2	許容応力	12
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	12
5.2.4	設計荷重	20
5.3	設計用地震力	21
5.4	計算方法	25
5.4.1	応力評価点	25
5.4.2	内側フィメールシヤラグ（応力評価点 P1, P2）	26
5.4.3	外側メイルシヤラグ（応力評価点 P3, P4）	30
5.4.4	外側フィメールシヤラグ（応力評価点 P5～P10）	34
5.4.5	原子炉格納容器シヤラグ取付部（応力評価点 P11）	45
5.5	計算条件	47
5.6	応力の評価	47
6.	評価結果	48
6.1	設計基準対象施設としての評価結果	48
6.2	重大事故等対処設備としての評価結果	62
7.	参照図書	72

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-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、原子炉格納容器シヤラグ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。

原子炉格納容器シヤラグは、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

原子炉格納容器シヤラグの構造計画を表 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	
<p>原子炉格納容器シヤラグは、地震時の原子炉圧力容器及び原子炉しゃへい壁に生じる水平方向の荷重及び変位を小さくするためにドライウェル上部に設置される。内側フィメイルシヤラグ及び外側メイルシヤラグは原子炉格納容器胴に溶接され、外側フィメイルシヤラグは原子炉建屋に基礎ボルトで固定される。</p> <p>地震荷重は、原子炉格納容器スタビライザの内側メイルシヤラグを介し原子炉建屋に伝達させる。</p>	<p>原子炉格納容器シヤラグは、内側フィメイルシヤラグ、外側メイルシヤラグ、外側フィメイルシヤラグで構成される鋼製構造物である。</p>	

2.2 評価方針

原子炉格納容器シヤラグの応力評価は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する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を実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

原子炉格納容器シヤラグの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

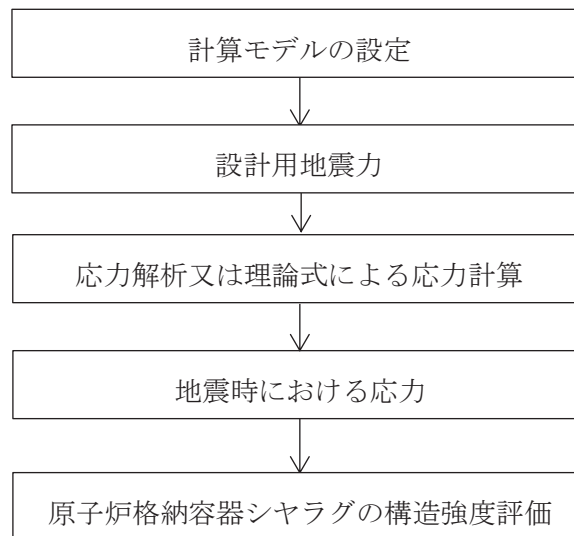


図 2-1 原子炉格納容器シヤラグの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（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_i	断面積 ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm^2
C_v	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
E	縦弾性係数	MPa
f_b	許容曲げ応力度	MPa
f_c	許容圧縮応力度	MPa
f_p	許容支圧応力度	MPa
f_s	許容せん断応力度	MPa
f_t	許容引張応力度	MPa
F_c	コンクリートの設計基準強度	N/mm^2 (kg/cm^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	—
l_i	長さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
L	活荷重	—
M	機械的荷重	—
M_i	曲げモーメント ($i = 1, 2, 3 \dots$)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M_{SAL}	機械的荷重 (SA 後長期 (L) 機械的荷重)	—
M_{SALL}	機械的荷重 (SA 後長期 (LL) 機械的荷重)	—
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	—
P	圧力	—
P_L	地震と組み合わせる圧力	—
P_{SAL}	圧力 (SA 後長期 (L) 圧力)	kPa
P_{SALL}	圧力 (SA 後長期 (LL) 圧力)	kPa
R_s	半径	mm

記号	記号の説明	単位
S	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のい ずれか大きい方の地震力	—
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 _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 _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—
S _u	設計引張強さ	MPa
S _y	設計降伏点	MPa
S _y (RT)	40℃における設計降伏点	MPa
t _i	厚さ (i = 1, 2, 3…)	mm
T	温度	℃
T _L	地震と組み合わせる温度	℃
T _{SAL}	温度 (SA 後長期 (L) 温度)	℃
T _{SALL}	温度 (SA 後長期 (LL) 温度)	℃
V	せん断力	N
W _i	荷重 (i = 1, 2)	N
W _L	荷重	N
W _{L i}	荷重 (i = 1, 2)	N
W _H	荷重	N
W _S	荷重	N
W _{S i}	荷重 (i = 1, 2)	N
Z _i	断面係数 (i = 1, 2, 3…)	mm ³
α	角度	°
σ _b	曲げ応力	—
σ _c	圧縮応力	—
σ _p	支圧応力	—
τ	せん断応力	—
A S S	オーステナイト系ステンレス鋼	—
H N A	高ニッケル合金	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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

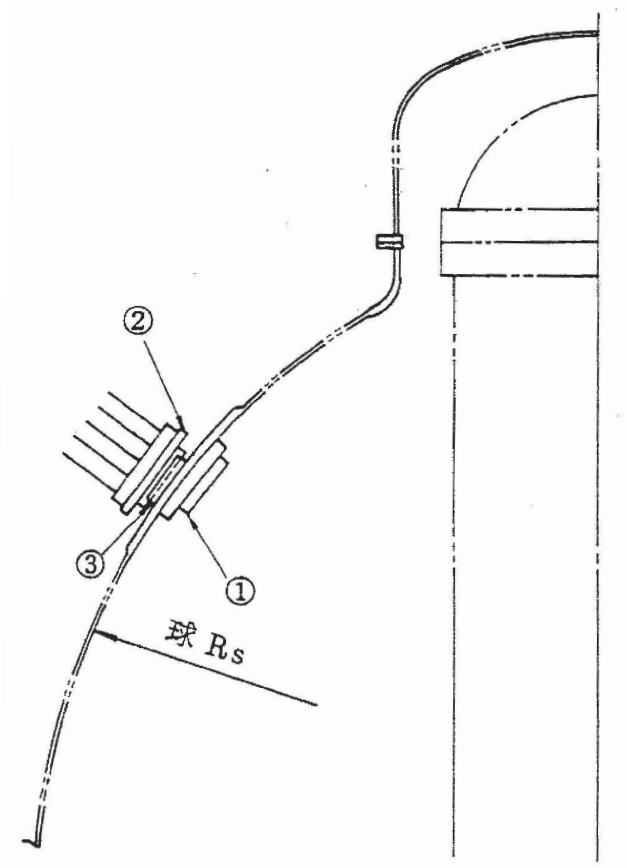
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	kPa	—	—	整数位 ^{*1}
温度	℃	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
角度	°	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
モーメント	N・mm	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
断面係数	mm ³	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*2}

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：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

原子炉格納容器シヤラグの形状及び主要寸法を図 3-1 に、評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。



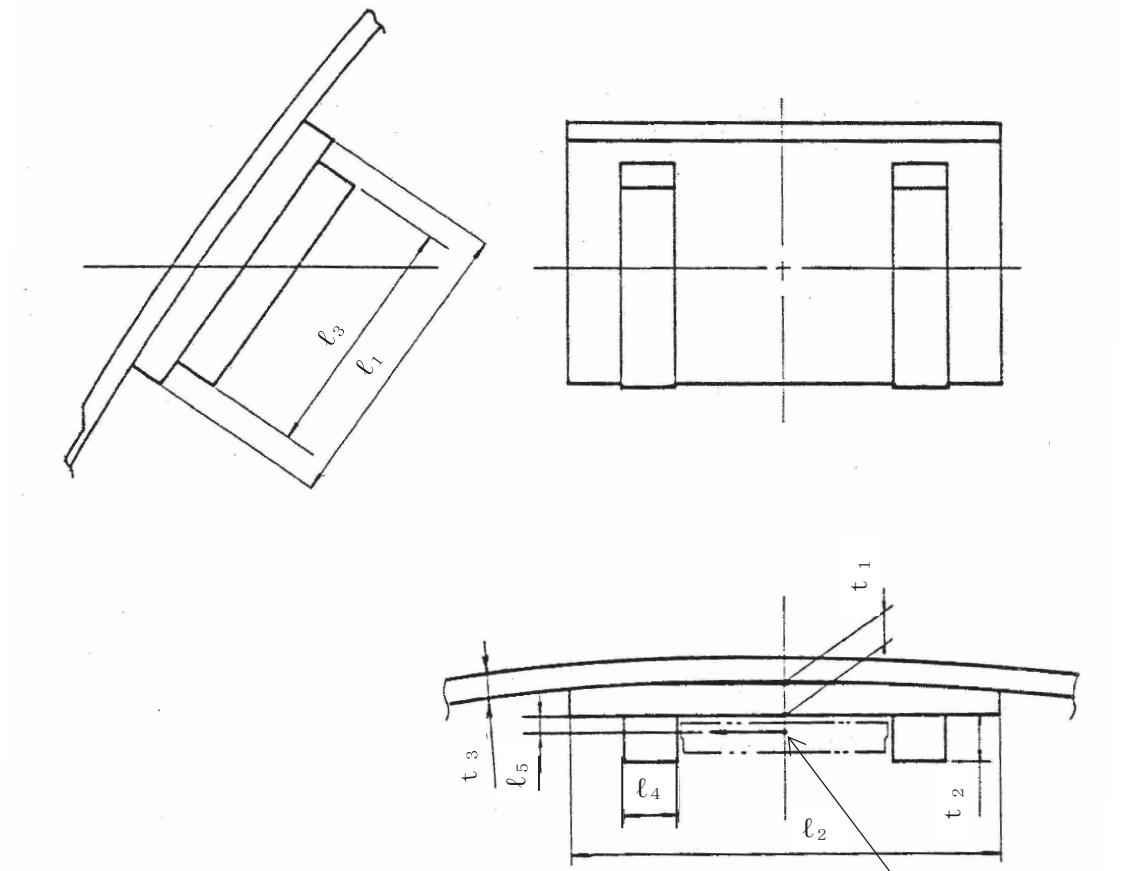
- ①内側フィメイルシヤラグ ②外側フィメイルシヤラグ
- ③外側メイルシヤラグ

球 $R_s =$

(単位：mm)

図 3-1 原子炉格納容器シヤラグの形状及び主要寸法 (その 1)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



内側フィメールシヤラグ

内側メイルシヤラグの内側
フィメールシヤラグとの接
触面における重心

$$\begin{array}{cccc}
 l_1 = \boxed{} & l_2 = \boxed{} & l_3 = \boxed{} & l_4 = \boxed{} \\
 t_1 = \boxed{} & t_2 = \boxed{} & t_3 = \boxed{} &
 \end{array}$$

各荷重の組合せに対する l_5 の値を以下に示す。

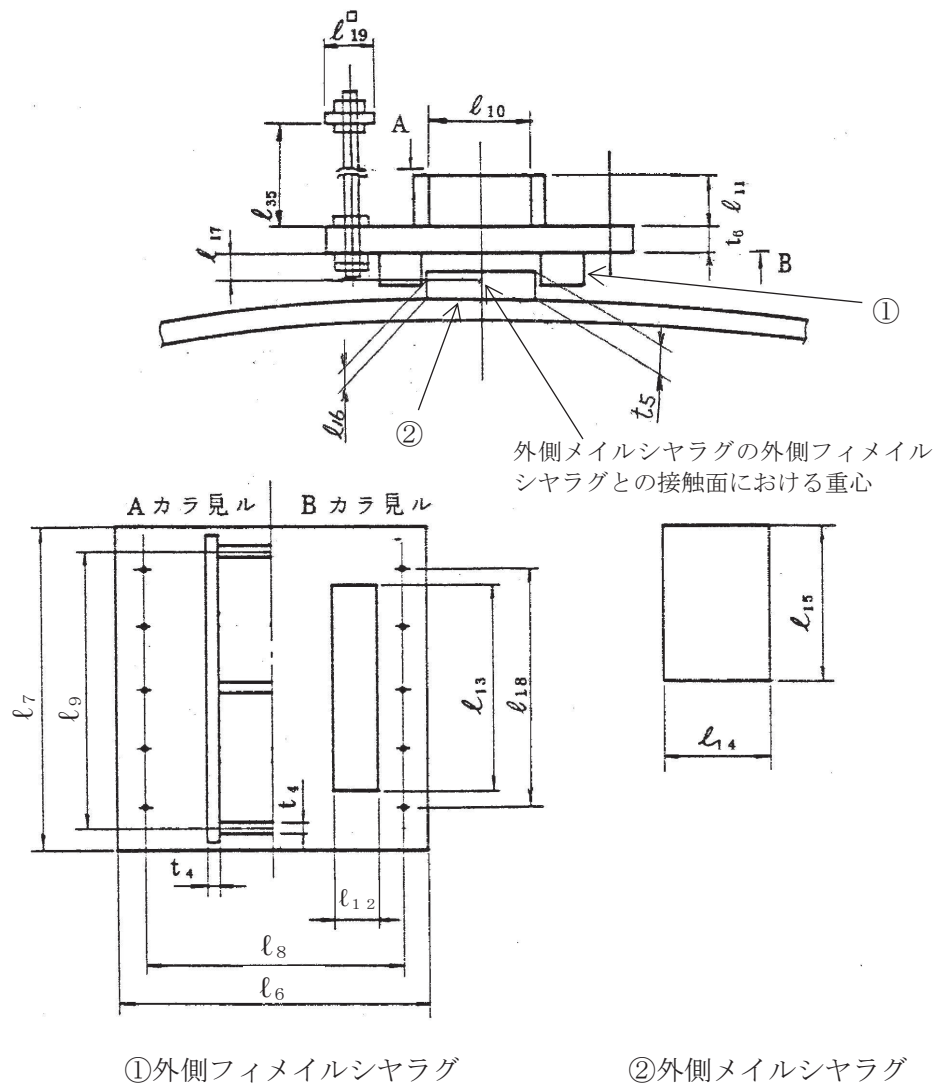
$$\begin{array}{ll}
 l_5 = \boxed{} & : D + P + M + S d^*, D + P + M + S s \\
 l_5 = \boxed{} & : D + P_L + M_L + S d^* \\
 l_5 = \boxed{} & : D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d \\
 l_5 = \boxed{} & : D + P_{SALL} + M_{SALL} + S s
 \end{array}$$

注記 : 各荷重の組合せは表 5-1 及び表 5-2 参照

(単位 : mm)

図 3-1 原子炉格納容器シヤラグの形状及び主要寸法 (その 2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



$l_6 =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	$l_7 =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	$l_8 =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	$l_9 =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	$l_{10} =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
$l_{11} =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	$l_{12} =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	$l_{13} =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	$l_{14} =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	$l_{15} =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
$l_{18} =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	$l_{19} =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	$l_{35} =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>		
$t_4 =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	$t_5 =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	$t_6 =$ <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>		

各荷重の組合せに対する l_{16} 及び l_{17} の値を以下に示す。

$l_{16} =$ <input style="width: 50px; height: 40px;" type="text"/>	$l_{17} =$ <input style="width: 50px; height: 40px;" type="text"/>	: $D + P + M + S d^*$, $D + P + M + S s$
$l_{16} =$ <input style="width: 50px; height: 40px;" type="text"/>	$l_{17} =$ <input style="width: 50px; height: 40px;" type="text"/>	: $D + P_L + M_L + S d^*$
$l_{16} =$ <input style="width: 50px; height: 40px;" type="text"/>	$l_{17} =$ <input style="width: 50px; height: 40px;" type="text"/>	: $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d$
$l_{16} =$ <input style="width: 50px; height: 40px;" type="text"/>	$l_{17} =$ <input style="width: 50px; height: 40px;" type="text"/>	: $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S s$


注記 : 各荷重の組合せは表 5-1 及び表 5-2 参照

(単位 : mm)

図 3-1 原子炉格納容器シャラグの形状及び主要寸法 (その 3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位	使用材料
原子炉格納容器本体	SGV480
外側メイルシヤラグ	
内側フィメイルシヤラグ	
外側フィメイルシヤラグ	
ベースプレート	
外側フィメイルシヤラグ (ベースプレートを除く)	
基礎ボルト	
コンクリート部	コンクリート ($F_c = 32.3\text{N/mm}^2$ [330kg/cm ²])

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 固有周期

原子炉格納容器シヤラグのうち、内側フィメールシヤラグ及び外側メイルシヤラグは、ドレイウェルからの突出し長さが短いため、固有周期は十分に小さく剛構造となる。また、外側フィメールシヤラグは、ベースプレート及び基礎ボルトがコンクリートに埋め込まれた構造であり、埋め込み部からの突出し長さが短いため、固有周期は十分に小さく剛構造となる。

よって、固有周期の計算は省略する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 原子炉格納容器シヤラグは、内側フィメールシヤラグ及び外側メイルシヤラグがドライウェルに溶接され、また、外側フィメールシヤラグが生体遮蔽壁コンクリートに埋め込まれた構造であり、地震荷重はドライウェル底部及び生体遮蔽壁コンクリートを介して原子炉建屋に伝達される。

原子炉格納容器シヤラグの耐震評価として、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-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応答加速度及び荷重を用いて、「5.4 計算方法」にて示す方法に従い、構造強度評価を行う。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

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

原子炉格納容器シヤラグ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。

詳細な荷重の組合せは、添付書類「VI-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。

5.2.2 許容応力

原子炉格納容器シヤラグの許容応力及び許容応力度は添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3～表 5-5 に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉格納容器シヤラグ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 5-6 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-7 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	耐震重要度 分類	機器等 の区分	荷重の組合せ*1, *2		許容応力状態*1
—	—	原子炉 格納容器 シヤラグ	S	その他の支 持構造物	$D + P + M + S_d^*$	—	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	—	Ⅳ _A S
原子炉格納 施設	原子炉格納 容器	原子炉格納 容器シヤラ グ取付部	S	クラスMC 容器	$D + P + M + S_d^*$	(9) (10) (13) (15)	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	(11) (12) (14)	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^{* *3}$	(16)	Ⅳ _A S

注記*1：内側フィメイルシヤラグ，外側メイルシヤラグは，原子炉格納容器の耐圧部に直接溶接される部分であるが原子炉格納容器の自重を支持しない耐震支持部材であるため，JEAG 4601・補-1984を踏まえ，「その他の支持構造物（クラスMC支持構造物の規定に準じる範囲）」として整理し，外側フィメイルシヤラグは，「その他の支持構造物」として整理しているが，冷却材喪失事故後地震時の原子炉圧力容器及び原子炉しゃへい壁に生じる荷重を原子炉建屋に伝達させる機能の維持を確認する意味で，全てのシヤラグにおいてクラスMC支持構造物に準じた許容応力状態及び荷重の組合せを適用する。

*2：（ ）内は添付書類「VI-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3-6の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：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，構造体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 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*2, *3		許容応力状態
—	—	原子炉格納容器 シヤラグ	—	その他の支持構造物	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*4}$	—	V_{AS}^{*5}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	—	V_{AS}^{*5}
原子炉格納施設	原子炉格納容器	原子炉格納容器 シヤラグ 取付部	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*4}$	(V(L)-1)	V_{AS}^{*5}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V(LL)-1)	V_{AS}^{*5}

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

*2：内側フィメールシヤラグ，外側メイルシヤラグ及び外側フィメールシヤラグは重大事故等クラス2支持構造物（その他の支持構造物）であるが，重大事故等後地震時の原子炉圧力容器及び原子炉しゃへい壁に生じる荷重を原子炉建屋に伝達させる機能の維持を確認する意味で，重大事故等クラス2支持構造物（クラスMC支持構造物）に準じた許容応力状態及び荷重の組合せを適用する。

*3：（ ）内は添付書類「VI-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3-7の荷重の組合せのNo.を示す。

*4：重大事故等後の最高内圧及び最高温度との組合せを考慮する。

*5： V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

表5-3 クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、AS S及びHNAについては1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*4	3・S*1 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。	*2, *3 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。
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、ASS及びHNA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。	左欄の α倍の値*4		
V _A S*5				

注記*1: 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。

*2: 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。

*3: 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が1.0以下とする。

*4: 設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比または1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*5: V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表5-4 クラスMC支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物の許容応力度*1

応力分類 許容 応力状態	ボルト等以外										ボルト等
	一次応力					一次+二次応力					一次応力
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 /圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈	引張
Ⅲ _{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s^{*2}$	$3 \cdot f_b^{*3}$	$1.5 \cdot f_p$		$1.5 \cdot f_t$
Ⅳ _{AS} *4	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	$\left[\begin{array}{l} S_d \text{ 又は } S_s \text{ 地震動のみ} \\ \text{による応力範囲について} \\ \text{評価する} \end{array} \right]$			$1.5 \cdot f_p^*$	$1.5 \cdot f_b^{*3},$ $1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_t^*$
V _{AS} *4, *5											

注記*1：本表の対象部としては、内側フィメールシヤラグ、外側メイルシヤラグ及び外側フィメールシヤラグが該当する。

*2：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。

*3：設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_b とする。

4： f_t^ 、 f_s^* 、 f_c^* 、 f_b^* 、 f_p^* は、設計・建設規格 SSB-3133に定める S_y から $1.2 \cdot S_y$ への読み替えを考慮する。

*5：V_{AS}としてⅣ_{AS}の許容限界を用いる。

表5-5 コンクリート部の許容応力度

許容応力状態	コンクリート部 (単位：N/mm ²)	
	圧縮応力度	せん断応力度
Ⅲ _{AS}	$\frac{2}{3} \cdot F_c$	$1.5 \cdot \min\left(\frac{F_c}{30}, 0.49 + \frac{F_c}{100}\right)$
Ⅳ _{AS}	$0.75 \cdot F_c$	
V _{AS} *		

注記*：V_{AS}としてⅣ_{AS}の許容限界を用いる。

表5-6 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
内側フィメールシヤラグ本体（溶接部）， 内側フィメールシヤラグ取付部（溶接部）， 外側メイルシヤラグ取付部（溶接部）及び 外側メイルシヤラグ本体		周囲環境 温度	171				—
原子炉格納容器シヤラグ取付部	SGV480	周囲環境 温度	171	131	229	423	—
外側フィメールシヤラグベースプレート		周囲環境 温度	171	—			—
			40*	—			—
外側フィメールシヤラグ本体（溶接部）及び 外側フィメールシヤラグ本体		周囲環境 温度	171	—			—
			40*	—			—
外側フィメールシヤラグ基礎ボルト		周囲環境 温度	171	—			—
			40*	—			—

注記*：Ⅲ_AS（荷重の組合せ D + P + M + S_d*）及びⅣ_AS（荷重の組合せ D + P + M + S_s）の評価温度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表5-7 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
内側フィメイルシヤラグ本体（溶接部）， 内側フィメイルシヤラグ取付部（溶接部）， 外側メイルシヤラグ取付部（溶接部）及び 外側メイルシヤラグ本体		周囲環境 温度	111/178* ¹ (200)* ²				—
原子炉格納容器シヤラグ取付部	SGV480	周囲環境 温度	111/178* ¹ (200)* ²	131	226	422	—
外側フィメイルシヤラグベースプレート		周囲環境 温度	178* ¹ (200)* ²	—			—
			66* ³	—			—
外側フィメイルシヤラグ本体（溶接部）及び 外側フィメイルシヤラグ本体		周囲環境 温度	178* ¹ (200)* ²	—			—
			66* ³	—			—
外側フィメイルシヤラグ基礎ボルト		周囲環境 温度	178* ¹ (200)* ²	—			—
			66* ³	—			—

注記*1：SA 後長期（L）の時 178℃，SA 後長期（LL）の時 111℃。

*2：重大事故等時の評価温度として，保守的に限界温度を適用する。

*3：SA 後長期（LL）の評価温度を示す。

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての評価圧力、評価温度、死荷重及び活荷重は、以下のとおりとする。

a. 評価圧力及び評価温度

外圧	13.7kPa (最高使用圧力)
内圧	324kPa (冷却材喪失事故後の最高圧力)
温度 T	171°C (最高使用温度)
温度 T _L	146°C (冷却材喪失事故後の最高温度)

b. 死荷重

原子炉格納容器シヤラグに作用する死荷重については、既工認の添付書類「IV-3-1-1-6 所員用エアロックの強度計算書」の応力評価点 P7 に示すドライウエルの鉛直荷重とする。

c. 活荷重

原子炉格納容器シヤラグに作用する活荷重については、既工認の添付書類「IV-3-1-1-6 所員用エアロックの強度計算書」の応力評価点 P7 に示すドライウエルの鉛直荷重とする。

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は、添付書類「VI-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、以下のとおりとする。死荷重は、設計基準対象施設と同じとする。

内圧 P _{SAL}	640kPa (SA 後長期 (L))
内圧 P _{SALL}	427kPa (SA 後長期 (LL))
温度 T _{SAL}	178°C (SA 後長期 (L))
温度 T _{SALL}	111°C (SA 後長期 (LL))

5.3 設計用地震力

原子炉格納容器本体に作用する設計用地震力を表 5-8～表 5-11 に示す。また，原子炉格納容器シヤラグに作用する設計用地震力を表 5-12 及び表 5-13 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「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。

表 5-8 原子炉格納容器本体に作用する設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期* ¹ (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 格納容器 O.P. 21.55	—	—	—	C _v =0.57* ²	—	C _v =0.98* ²

注記*1：固有周期は十分に小さく，計算を省略する。

*2：原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。

表 5-9 原子炉格納容器本体に作用する設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期* ¹ (s)		弾性設計用地震動 S _d		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 格納容器 O.P. 21.55	—	—	—	C _v =0.57* ²	—	C _v =0.98* ²

注記*1：固有周期は十分に小さく，計算を省略する。

*2：原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。

表 5-10 原子炉格納容器本体に作用する設計用地震力（設計基準対象施設）*1

応力評価点*2	水平荷重 S d *		水平荷重 S s	
	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)
P11	[Redacted]			

注記*1：建設時に用いた設計用地震力と今回工認の設計用地震力を比較し、包絡する値を用いる。

*2：応力評価点の位置は、図 5-2 参照のこと。

表 5-11 原子炉格納容器本体に作用する設計用地震力（重大事故等対処設備）*1

応力評価点*2	水平荷重 S d		水平荷重 S s	
	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)
P11	[Redacted]			

注記*1：建設時に用いた設計用地震力と今回工認の設計用地震力を比較し、包絡する値を用いる。

*2：応力評価点の位置は、図 5-2 参照のこと。

表 5-12 原子炉格納容器シヤラグに作用する設計用地震力（設計基準対象施設）*1

応力評価点*2	水平荷重 S d *	水平荷重 S s
	($\times 10^3$ N)	($\times 10^3$ N)
P1 及び P2	[Redacted]	
P3～P10		

注記*1：既工認で用いた設計用地震力と今回工認の設計用地震力を比較し、包絡する値を用いる。

*2：応力評価点の位置は、図 5-2 参照のこと。

表 5-13 原子炉格納容器シヤラグに作用する設計用地震力（重大事故等対処設備）*1

応力評価点*2	水平荷重 S d *2	水平荷重 S s
	($\times 10^3$ N)	($\times 10^3$ N)
P1 及び P2	[Redacted]	
P3～P10		

注記*1：既工認で用いた設計用地震力と今回工認の設計用地震力を比較し、包絡する値を用いる。

*2：応力評価点の位置は、図 5-2 参照のこと。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-12 及び表 5-13 の荷重を用いて、原子炉格納容器シヤラグの 1 個あたりの荷重を求める。

(i) シヤラグの荷重分布

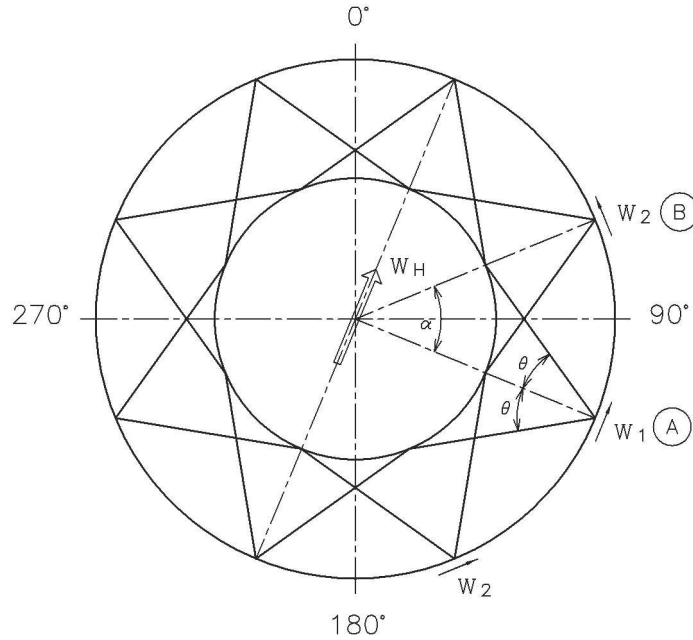


図 5-1 シヤラグにおける荷重の分布

原子炉格納容器シヤラグに最大反力が生じる図 5-1 に示す方向に水平地震荷重が作用する場合の各位置における荷重の分布は次式によって得られる。

$$W_H = 2(W_1 + 2W_2 \cos \alpha)$$

ここに、

W_1 : 図 5-1 の①点に作用する力

W_2 : 図 5-1 の②点に作用する力

α : 45°

$W_2 = W_1 \cos \alpha$ ゆえ、

$$W_H = 2W_1(1 + 2\cos^2 \alpha) = 2W_1(1 + 2\cos^2 45^\circ) = 4W_1$$

$$\therefore W_1 = \frac{1}{4}W_H$$

(ii) 原子炉格納容器シヤラグ 1 個あたりの荷重

表 5-12 及び表 5-13 に示す荷重を用いて、(i) に示す方法にて計算した原子炉格納容器シヤラグ 1 個に作用する最大地震荷重を表 5-14 及び表 5-15 に示す。

表 5-14 原子炉格納容器シヤラグ 1 個の最大荷重 (設計基準対象施設)

応力評価点*	水平荷重 S_d * ($\times 10^3$ N)	水平荷重 S_s ($\times 10^3$ N)
P1 及び P2	$W_{S1} = \boxed{}$	$W_{S2} = \boxed{}$
P3~P10	$W_{L1} = \boxed{}$	$W_{L2} = \boxed{}$

注記* : 応力評価点の位置は、図 5-2 参照のこと。

表 5-15 原子炉格納容器シヤラグ 1 個の最大荷重 (重大事故等対処設備)

応力評価点* ¹	水平荷重 S_d * ² ($\times 10^3$ N)	水平荷重 S_s ($\times 10^3$ N)
P1 及び P2	$W_{S1} = \boxed{}$	$W_{S2} = \boxed{}$
P3~P10	$W_{L1} = \boxed{}$	$W_{L2} = \boxed{}$

注記*1 : 応力評価点の位置は、図 5-2 参照のこと。

*2 : 重大事故等対処設備に対し、弾性設計用地震動 S_d に加えて静的地震力を考慮する。

5.4 計算方法

5.4.1 応力評価点

原子炉格納容器シヤラグの応力評価点は、原子炉格納容器シヤラグ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 5-16 及び図 5-2 に示す。

応力評価点 P11 のドライウェルに作用する荷重による応力は、既工認の各荷重条件や耐震条件との比を用いて発生応力を算出し評価する。

表 5-16 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点	
P1	内側フィメイルシヤラグ	本体（溶接部）
P2	内側フィメイルシヤラグ	取付部（溶接部）
P3	外側メイルシヤラグ	取付部（溶接部）
P4	外側メイルシヤラグ	本体
P5	外側フィメイルシヤラグ	本体（溶接部）
P6	外側フィメイルシヤラグ	本体
P7	外側フィメイルシヤラグ	ベースプレート
P8	外側フィメイルシヤラグ	基礎ボルト
P9	外側フィメイルシヤラグ	本体（溶接部）
P10	コンクリート	
P11	原子炉格納容器シヤラグ取付部	

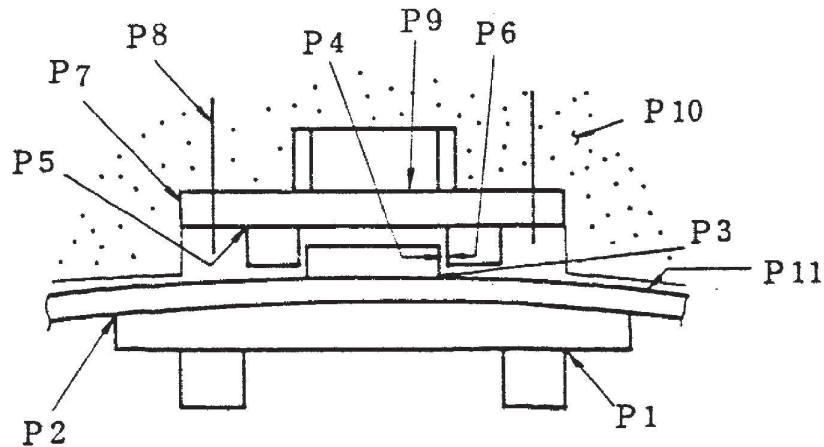


図 5-2 原子炉格納容器シヤラグの応力評価点

5.4.2 内側フィメイルシヤラグ (応力評価点 P1, P2)

内側フィメイルシヤラグに作用する荷重の状態を図 5-3 に示す。

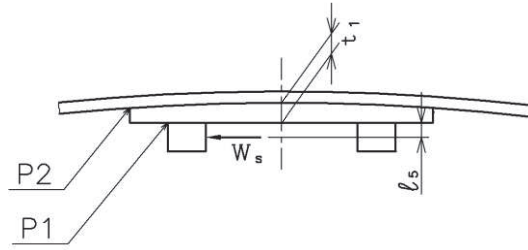


図 5-3 内側フィメイルシヤラグに作用する荷重の状態

(1) 荷 重

荷重は表 5-14 及び表 5-15 に示す W_{S1} または W_{S2} を用いる。

図 5-3 の応力評価点 P1, P2 に作用する荷重の計算方法を表 5-17 に示す。

表 5-17 内側フィメイルシヤラグに作用する荷重の計算方法

P1	P2	P1, P2
曲げモーメント M_1	曲げモーメント M_2	せん断力 W_S
$M_1 = W_{S1} \cdot l_5$ または $M_1 = W_{S2} \cdot l_5$	$M_2 = W_{S1} \cdot (l_5 + t_1)$ または $M_2 = W_{S2} \cdot (l_5 + t_1)$	W_{S1} または W_{S2}

(2) 断面性能
 応力評価点 P1

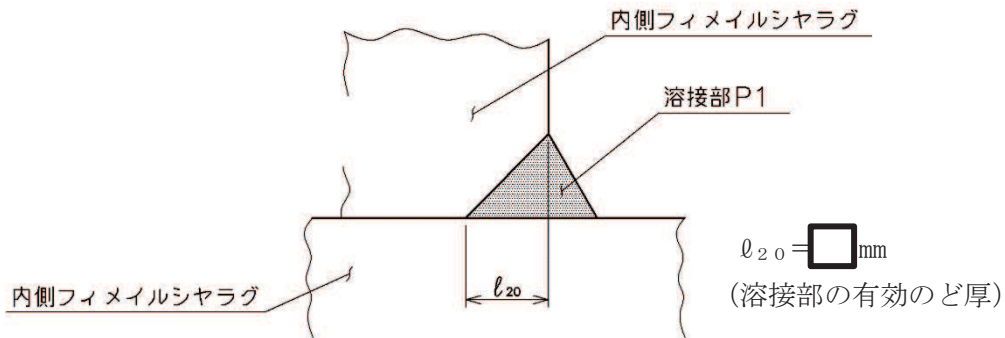


図 5-4 内側フィメイルシヤラグ取付部

図 5-4 に示す溶接部（応力評価点 P1）において、応力計算では安全側に l_{20} のみを考える。この場合、溶接部の断面は図 5-5 となる。

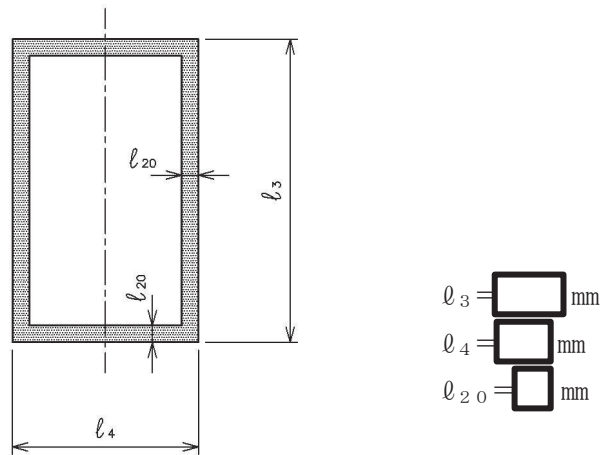


図 5-5 応力評価点 P1 断面

図 5-5 の形状による断面性能は以下のようなになる。

断面積は、

$$A_1 = l_3 \cdot l_4 - (l_3 - 2l_{20})(l_4 - 2l_{20})$$

$$= \boxed{} \text{ mm}^2$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

断面係数は,

$$Z_1 = \frac{\ell_3 \cdot \ell_4^3 - (\ell_3 - 2\ell_{20})(\ell_4 - 2\ell_{20})^3}{6\ell_4}$$



応力評価点 P2

応力評価点 P2 は脚長 \square mm のすみ肉溶接部であり, その断面図は図 5-6 に示すとおりである。

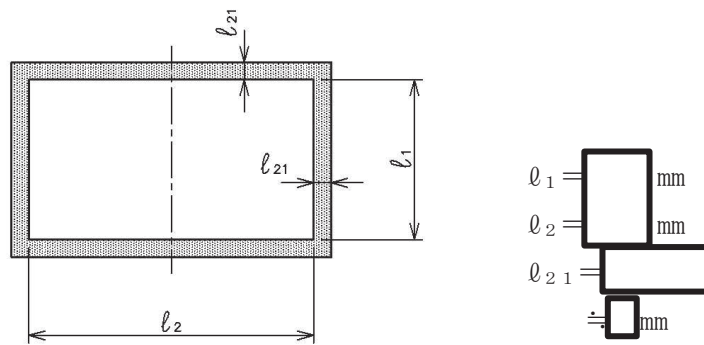


図 5-6 応力評価点 P2 断面

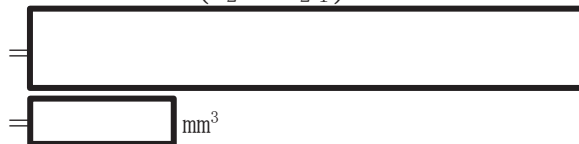
断面積は,

$$A_2 = (\ell_1 + 2\ell_{21})(\ell_2 + 2\ell_{21}) - \ell_1 \cdot \ell_2$$



断面係数は,

$$Z_2 = \frac{(\ell_1 + 2\ell_{21})(\ell_2 + 2\ell_{21})^3 - \ell_1 \cdot \ell_2^3}{6(\ell_2 + 2\ell_{21})}$$



(3) 応力計算

表 5-17 における荷重作用時の応力計算方法を示す。

応力評価点 P1

せん断応力

$$\tau = \frac{W_s}{A_1}$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_1}{Z_1}$$

応力評価点 P2

せん断応力

$$\tau = \frac{W_s}{A_2}$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_2}{Z_2}$$

5.4.3 外側マイルシヤラグ (応力評価点 P3, P4)

外側マイルシヤラグに作用する荷重の状態を図 5-7 に示す。

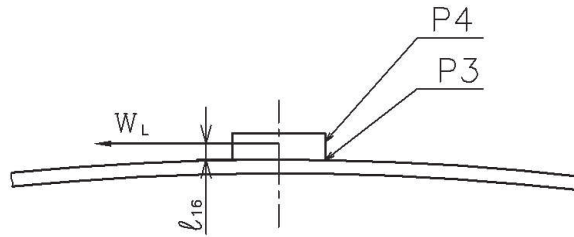


図 5-7 外側マイルシヤラグに作用する荷重の状態

(1) 荷 重

荷重は表 5-14 及び表 5-15 に示す W_{L1} または W_{L2} を用いる。

図 5-7 の応力評価点 P3, P4 に作用する荷重の計算方法を表 5-18 に示す。

表 5-18 外側マイルシヤラグに作用する荷重の計算方法

P3	P3	P4
曲げモーメント M_3	せん断力 W_L	支圧荷重 W_L
$M_3 = W_{L1} \cdot l_{16}$ または $M_3 = W_{L2} \cdot l_{16}$	W_{L1} または W_{L2}	W_{L1} または W_{L2}

(2) 断面性能
 応力評価点 P3

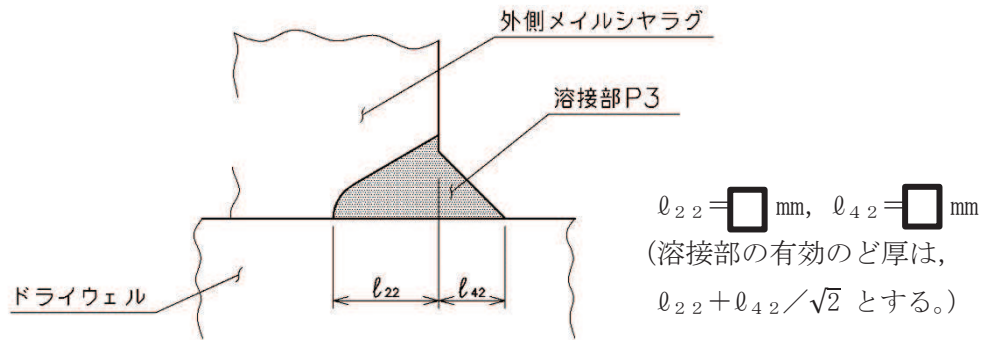


図 5-8 外側メイルシヤラグ取付部

図 5-8 に示す溶接部（応力評価点 P3）において、溶接部の断面は図 5-9 となる。

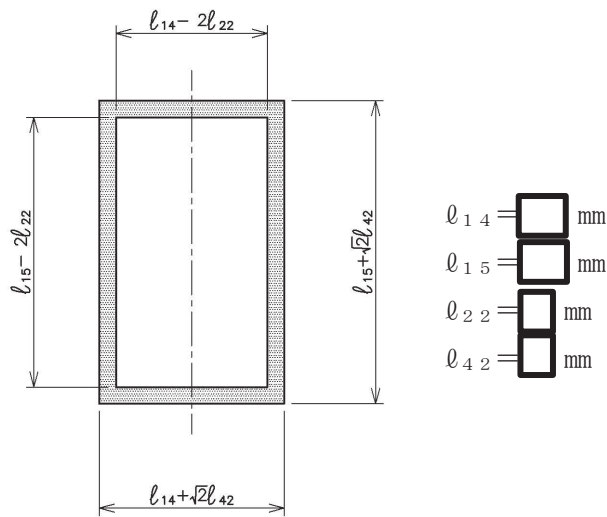


図 5-9 応力評価点 P3 断面

図 5-9 の形状による断面性能は以下のようなになる。
 断面積は、

$$A_3 = (l_{15} + \sqrt{2}l_{42})(l_{14} + \sqrt{2}l_{42}) - (l_{15} - 2l_{22})(l_{14} - 2l_{22})$$

$$= \text{[]} \text{ mm}^2$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

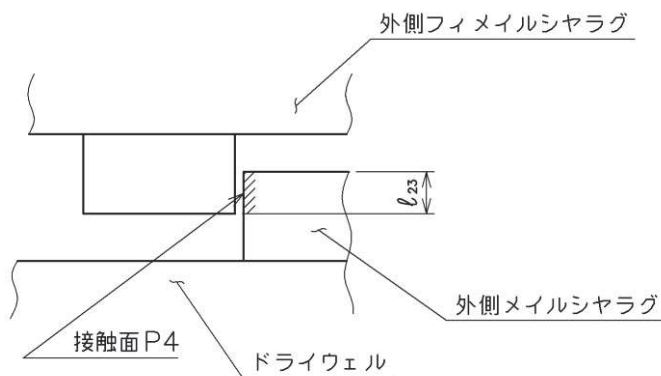
断面係数は、

$$Z_3 = \frac{(\ell_{15} + \sqrt{2}\ell_{42})(\ell_{14} + \sqrt{2}\ell_{42})^3 - (\ell_{15} - 2\ell_{22})(\ell_{14} - 2\ell_{22})^3}{6(\ell_{14} + \sqrt{2}\ell_{42})}$$

=

= mm³

応力評価点 P4



各荷重の組合せに対する l_{23} の値を以下に示す。

- $l_{23} =$: D + P + M + S d *, D + P + M + S s
- $l_{23} =$: D + P_L + M_L + S d *
- $l_{23} =$: D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d
- $l_{23} =$: D + P_{SALL} + M_{SALL} + S s

(単位 : mm)

図 5-10 外側メイルシヤラグと外側フィメールシヤラグ

応力評価点 P4 では、支圧応力の評価を行うので外側メイル、フィメールシヤラグ間の接触面積を求める。(図 5-10 参照)

接触面積の計算方法を以下に示す。

$$A_4 = \ell_{15} \cdot \ell_{23}$$

(3) 応力計算

表 5-18 における荷重作用時の応力計算方法を示す。

応力評価点 P3

せん断応力

$$\tau = \frac{W_L}{A_3}$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_3}{Z_3}$$

応力評価点 P4

支圧応力

$$\sigma_p = \frac{W_L}{A_4}$$

5.4.4 外側フィメイルシヤラグ (応力評価点 P5~P10)

外側フィメイルシヤラグに作用する荷重の状態を図 5-11 に示す。

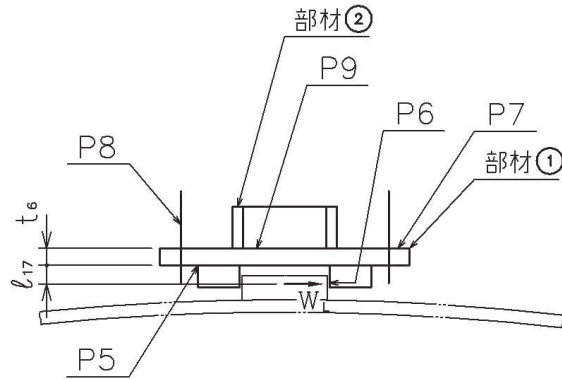


図 5-11 外側フィメイルシヤラグに作用する荷重の状態

以下応力評価点ごとに荷重及び応力計算方法を示す。なお、応力評価点 P6 については、支圧応力の計算であり、応力評価点 P4 と同じ支圧応力となる。

(1) 応力評価点 P5

(a) 荷重

荷重は表 5-14 及び表 5-15 に示す W_{L1} または W_{L2} を用いる。

図 5-11 の応力評価点 P5 に作用する荷重の計算方法を表 5-19 に示す。

表 5-19 外側フィメイルシヤラグに作用する荷重の計算方法

P5	P5
曲げモーメント	せん断力
M_5	W_L
$M_5 = W_{L1} \cdot l_{17}$	W_{L1}
または	または
$M_5 = W_{L2} \cdot l_{17}$	W_{L2}

(b) 断面性能

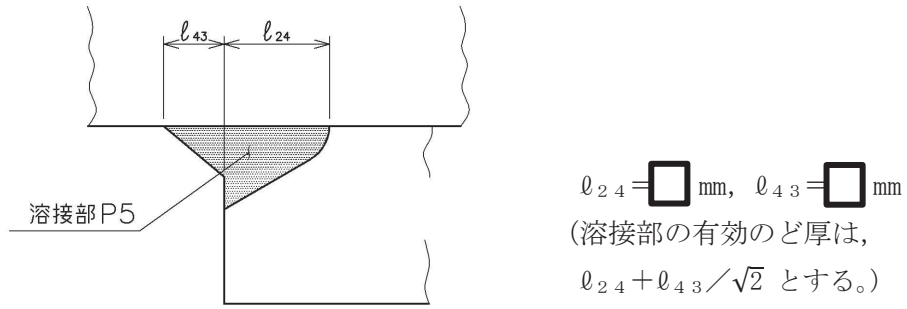


図 5-12 外側フィメイルシヤラグ取付部

図 5-12 に示す溶接部（応力評価点 P5）において，溶接部の断面は図 5-13 となる。

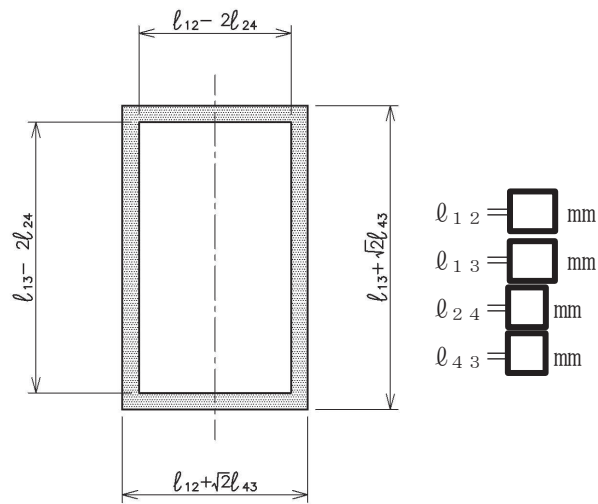


図 5-13 応力評価点 P5 断面

図 5-13 の形状による断面性能は以下のようなになる。

断面積は，

$$A_5 = (l_{13} + \sqrt{2}l_{43})(l_{12} + \sqrt{2}l_{43}) - (l_{13} - 2l_{24})(l_{12} - 2l_{24})$$

$$= \square \text{ mm}^2$$

断面係数は,

$$Z_5 = \frac{(\ell_{13} + \sqrt{2}\ell_{43})(\ell_{12} + \sqrt{2}\ell_{43})^3 - (\ell_{13} - 2\ell_{24})(\ell_{12} - 2\ell_{24})^3}{6(\ell_{12} + \sqrt{2}\ell_{43})}$$

$$= \boxed{\hspace{15em}}$$

$$= \boxed{\hspace{2em}} \text{mm}^3$$

(c) 応力計算

表 5-19 における荷重作用時の応力計算方法を示す。

せん断応力

$$\tau = \frac{W_L}{A_5}$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_5}{Z_5}$$

(2) コンクリート及び基礎ボルトの応力計算

応力計算は参照図書(1)の10章の手法に従って行う。

(a) 計算モデル

図5-11より計算モデルとして図5-14を考える。

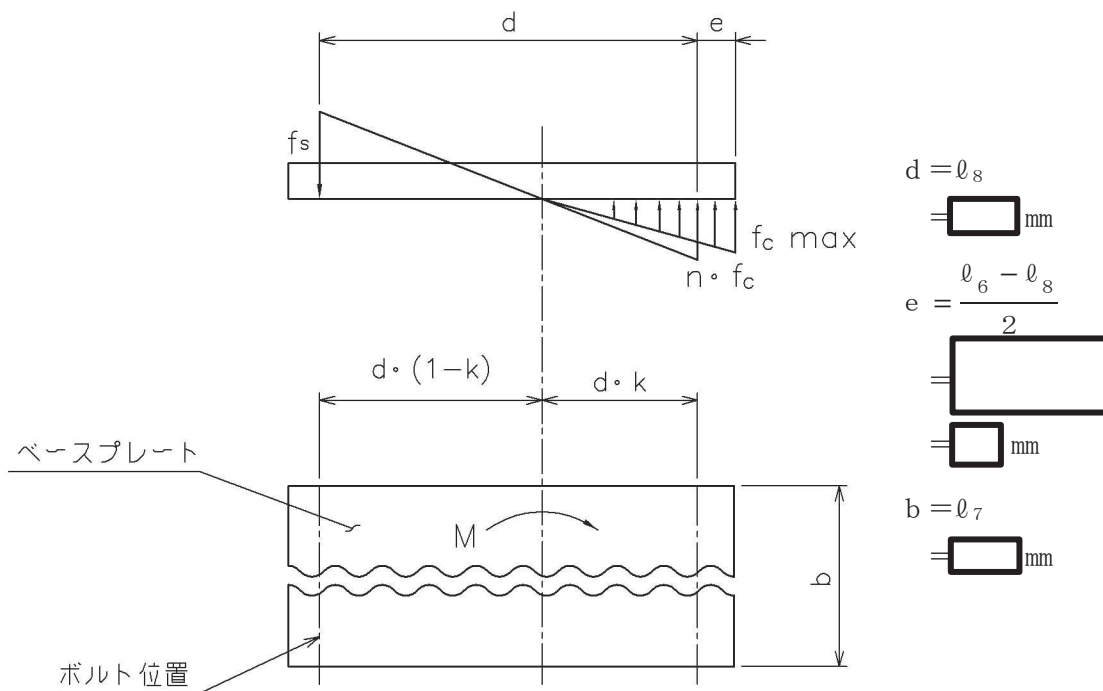


図5-14 計算モデル

(b) 使用記号

本計算において使用する記号

M : 曲げモーメントで図5-11より,

$$M = W_L \cdot \left(\ell_{17} + \frac{t_6}{2} \right)$$

f_s : ボルトの引張応力

f_c : コンクリートの圧縮応力

f_{cmax} : コンクリートの最大圧縮応力

k : 係数で $k = 1 / (1 + f_s / n \cdot f_c)$ (3)

n : $n = E_s / E_c = \boxed{}$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

- 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 : ボルトの本数 (片側) $N = \square$
 A_b : ボルト一本の断面積 (呼び径 \square)
 $A_b = \square \text{ mm}^2$
 A_c : 圧縮側のベースプレートの面積
 $A_c = (k \cdot d + e) b$
 d, b, e : 図 5-14 に示すベースプレートの寸法

(c) 荷重のつり合い条件式

参照図書(1)の10章より以下の荷重のつり合い条件式が成立する。

力のつり合い条件より,

$$N \cdot A_b \cdot f_s - N \cdot A_b (n \cdot f_c) - \frac{1}{2} f_{c \max} \cdot A_c = 0 \dots\dots\dots (1)$$

モーメントのつり合い条件より,

$$M - N \cdot A_b \cdot f_s (1-k)d - N \cdot A_b (n \cdot f_c) k \cdot d - \frac{1}{3} (k \cdot d + e) f_{c \max} \cdot A_c = 0 \dots\dots\dots (2)$$

ここに,

$$f_{c \max} = \frac{(d \cdot k + e) f_c}{d \cdot k}$$

(d) 応力計算

$$\square$$

$$A_c = (k \cdot d + e) b$$

$$f_{c \max} = \frac{(d \cdot k + e) f_c}{d \cdot k}$$

$$M = W_{L1} \cdot \left(\ell_{17} + \frac{t_6}{2} \right)$$

または,

$$M = W_{L2} \cdot \left(\ell_{17} + \frac{t_6}{2} \right)$$

これらの値を(1)及び(2)式に代入すると、 f_s 、 f_c 及び $f_{c \max}$ の各応力値を求めることが出来る。 \square

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) ベースプレート (部材①) (応力評価点 P7)

(a) 計算モデルと荷重条件

図 5-11, 図 5-14 及び図 5-15 に示す計算モデルを考え, ①及び②点における強度を検討する。

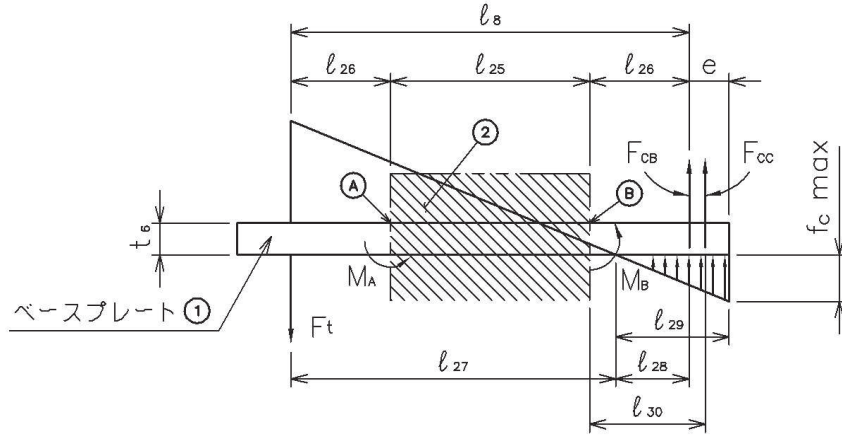


図 5-15 計算モデル

$l_8 = \square$ mm $l_{25} = \square$ mm $l_{26} = \square$ mm
 $e = \square$ mm $t_6 = \square$ mm
 $l_{27}, l_{28}, l_{29}, l_{30}$: 前項(2)で求めた k に対して定まる長さ
 (図 5-14 及び図 5-15 参照)

(b) 力, モーメント及びせん断力

基礎ボルトよりベースプレートが受ける引張力は,

$$F_t = N \cdot A_b \cdot f_s$$

基礎ボルトよりベースプレートが受ける圧縮力は,

$$F_{CB} = N \cdot A_b \cdot n \cdot f_c$$

ベースプレートがコンクリートより受ける圧縮力は,

$$F_{CC} = f_{c \max} \cdot l_{29} \cdot l_7 / 2$$

以上より,

①点に生じるモーメントは,

$$M_A = F_t \cdot l_{26}$$

②点に生じる曲げモーメントは,

$$M_B = F_{CB} \cdot l_{26} + F_{CC} \cdot l_{30}$$

①点に生じるせん断力は,

$$V_A = F_t$$

②点に生じるせん断力は,

$$V_B = F_{CB} + F_{CC}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(c) 応力計算方法

ベースプレートの断面性能は、以下のようになる。

断面積は、

$$\begin{aligned} A_6 &= l_7 \cdot t_6 \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

断面係数は、

$$\begin{aligned} Z_6 &= l_7 \cdot t_6^2 / 6 \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

ゆえに、曲げ応力は、

$$\sigma_b = \frac{M_B}{Z_6}$$

せん断応力は、

$$\tau = \frac{V_B}{A_6}$$

または、

$$\tau = \frac{V_A}{A_6}$$

(4) 応力評価点 P9

(a) 荷重

図 5-16 に示す計算モデルを用いて、部材①と部材②の溶接部に作用する荷重を求める。

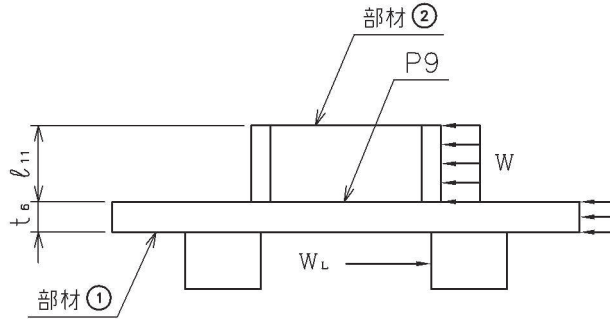


図 5-16 計算モデル

部材②に作用する荷重 W は、部材①と部材②の側面積の比に比例すると考える。

$$W = W_{L1} \times \frac{l_9 \cdot l_{11}}{l_9 \cdot l_{11} + t_6 \cdot l_7}$$

または、

$$W = W_{L2} \times \frac{l_9 \cdot l_{11}}{l_9 \cdot l_{11} + t_6 \cdot l_7}$$

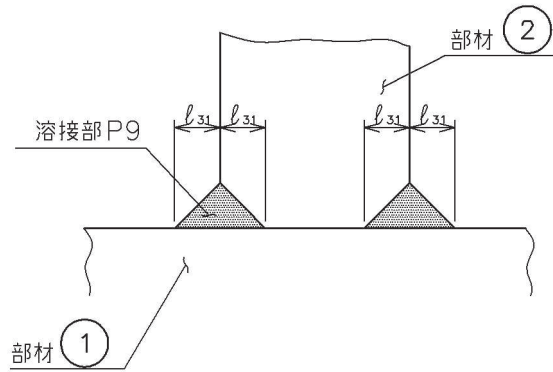
せん断力 V は、

$$V = W$$

曲げモーメント M は、

$$M = \frac{1}{2} W \cdot l_{11}$$

(b) 断面性能



溶接部の有効のど厚 l_{32} は,

$$l_{32} = (l_{31} - 3) + l_{31} / \sqrt{2}$$

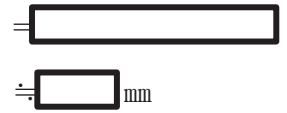
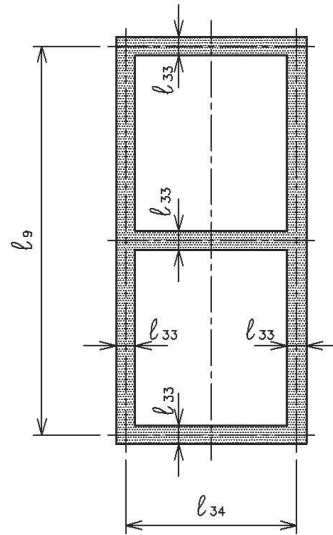


図 5-17 外側フィメイルシヤラグ取付部

部材①と部材②の溶接部の断面は図 5-18 となる。



$$l_9 = \text{mm}$$

$$l_{33} = 2l_{32}$$



$$l_{34} = l_{10} + 2 \times \frac{t_4}{2}$$



図 5-18 応力評価点 P9 断面

図 5-18 の形状による断面性能は以下のようになる。

断面積 A_7 は、

$$\begin{aligned}
 A_7 &= 2l_{33} \cdot (l_9 + l_{33}) + 3l_{33} \cdot (l_{34} - l_{33}) \\
 &= \boxed{\hspace{10em}} \\
 &= \boxed{\hspace{2em}} \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

断面係数 Z_7 は、

$$\begin{aligned}
 Z_7 &= \frac{(l_9 + l_{33}) \cdot (l_{34} + l_{33})^3 - (l_9 - 2l_{33}) \cdot (l_{34} - l_{33})^3}{6(l_{33} + l_{34})} \\
 &= \boxed{\hspace{15em}} \\
 &= \boxed{\hspace{2em}} \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

(c) 応力計算方法

せん断応力

$$\tau = \frac{V}{A_7}$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_7}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(5) 基礎ボルト埋込部のコンクリート（応力評価点 P10）

(a) 基礎ボルトの寸法

基礎ボルトの寸法は以下のとおりである。

ねじの呼び径：

ボルト長さ： $l_{35} =$ mm

(b) ボルト 1 本当たりの引張荷重

ボルト 1 本に作用する引張荷重は、

$$F_b = f_s \cdot A_b$$

ここに、

f_s ：ボルト 1 本に生じる引張応力（5.4.4(2) (d) 項参照）

(c) 応力計算

基礎ボルトの引張力によるコンクリートのせん断応力は、

$$\tau = \frac{N \cdot F_b}{2 \cdot l_{18} \cdot l_{36}}$$

ここに、

l_{36} ：有効長さ

$l_{36} =$ mm

N：ボルト本数（片側）

N =

(6) 外側フィメールシヤラグの側面におけるコンクリート（応力評価点 P10）

(a) 計算モデルと作用する荷重

計算モデルとして図 5-16 を考え、外側フィメールシヤラグの側面のコンクリート面に作用する荷重として W_L を用いる。

(b) 応力計算

コンクリートの圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_c = \frac{W_{L1}}{t_6 \cdot l_7 + l_9 \cdot l_{11}}$$

または、

$$\sigma_c = \frac{W_{L2}}{t_6 \cdot l_7 + l_9 \cdot l_{11}}$$

5.4.5 原子炉格納容器シヤラグ取付部（応力評価点 P11）

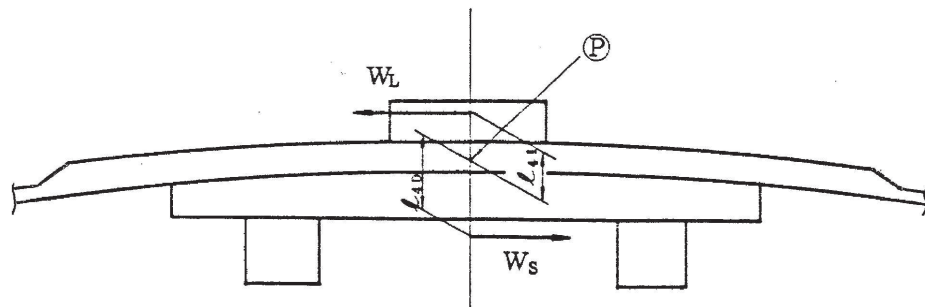
(1) ドライウェルに作用する荷重による応力

応力計算方法は参照図書(3)に示す既工認と同じであり、原子炉格納容器シヤラグ高さにおける断面性能等を考慮する。

(2) 原子炉格納容器シヤラグに作用する荷重による応力

原子炉格納容器シヤラグに作用する荷重として、図 5-19 に示す水平地震荷重を考慮する。

(a) 水平地震荷重によるモーメント



各荷重の組合せに対する l_{40} , l_{41} の値を以下に示す。

$l_{40} =$	$l_{41} =$: $D + P + M + S d^*$, $D + P + M + S s$
$l_{40} =$	$l_{41} =$: $D + P_L + M_L + S d^*$
$l_{40} =$	$l_{41} =$: $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d$
$l_{40} =$	$l_{41} =$: $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S s$

(単位：mm)

図 5-19 原子炉格納容器シヤラグに作用する水平地震荷重

ドライウェルの中心，すなわち図 5-19 のⓐ点のモーメント M_P は，表 5-14 及び表 5-15 に示す W_{S1} , W_{S2} , W_{L1} 及び W_{L2} を用い，次式で計算する。

$$M_P = W_{S1} \cdot l_{40} + W_{L1} \cdot l_{41}$$

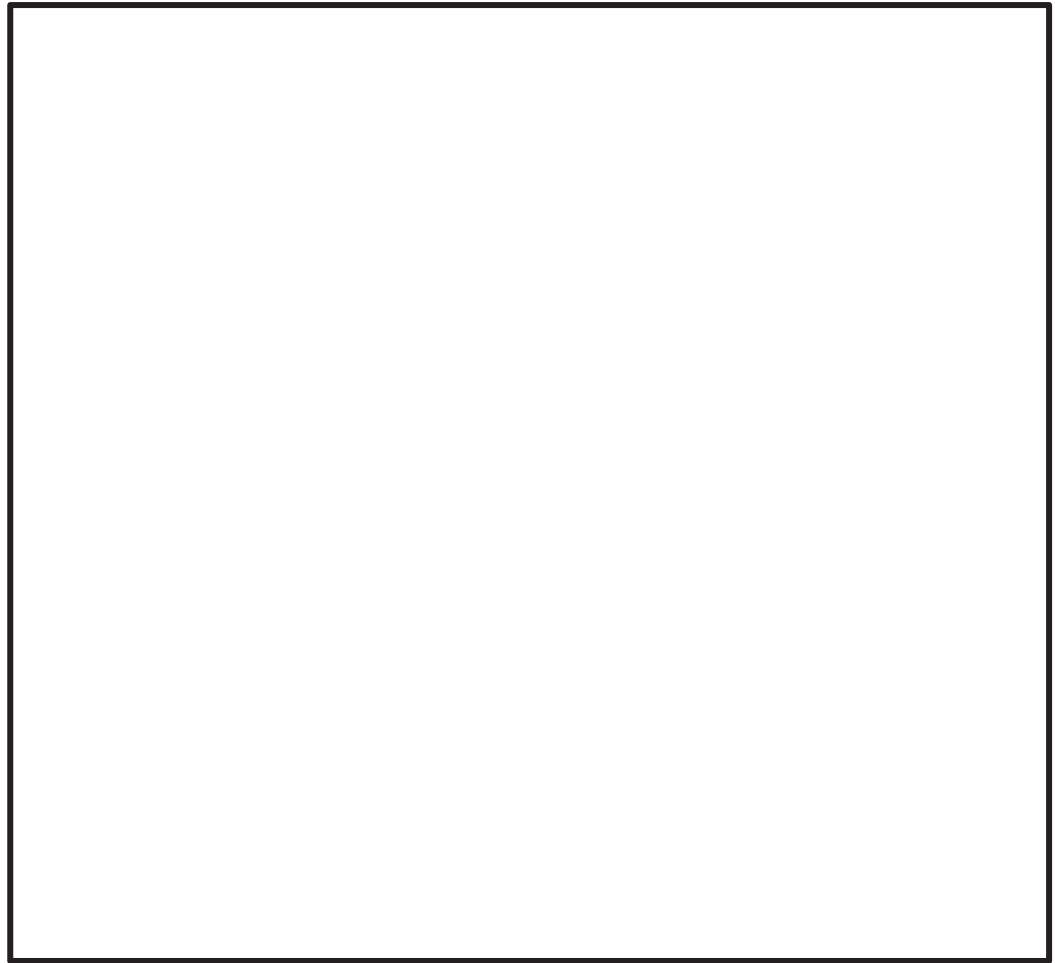
または，

$$M_P = W_{S2} \cdot l_{40} + W_{L2} \cdot l_{41}$$

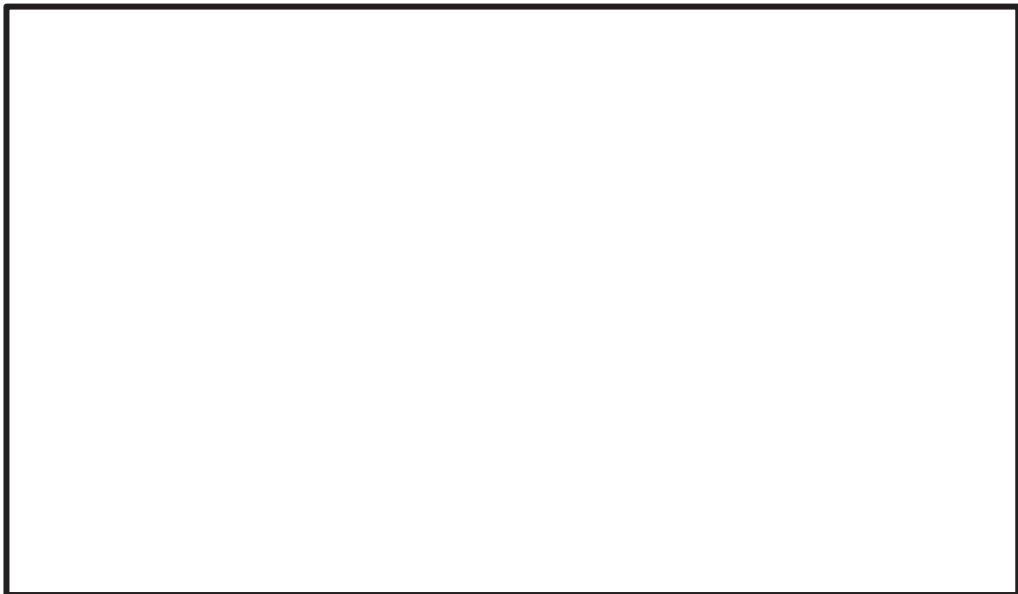
(b) 応力計算

原子炉格納容器シヤラグ取付部に生じる応力を，参照図書(2)に基づき計算する。この場合，内側フィニッシュシヤラグには周方向の荷重のみが作用するので図 5-20 の応力評価点 P11 についてのみ応力計算を行う。

なお，ここで使用する記号はすべて参照図書(2)に従う。



荷重 M_1 による応力



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.5 計算条件

応力解析に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた各応力が、表 5-3～表 5-5 に示す許容応力以下であること。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 (PVB-3313 を除く。S_mはSと読み替える。)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。

本書で使用する設計・建設規格 PVB-3315 における簡易弾塑性評価式を以下に示す。

(1) 繰返しピーク応力強さ (設計・建設規格 PVB-3315)

$$S_{\ell} = \frac{K_e \cdot S_p}{2}$$

ここに、

S_ℓ : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S_p : ピーク応力強さのサイクルにおける極大値と極小値との差 (MPa)

K_e : 次の計算式より計算した値

$$K_e = 1 + A_0 \cdot \left(\frac{S_n}{3 \cdot S} - \frac{1}{K} \right)$$

S_n : 一次応力と二次応力を加えて求めた応力強さのサイクルにおける最大値と最小値との差 (MPa)

A₀ : 表 PVB-3315-1 に掲げる値

A₀ = 0.66

K : 応力係数

K = 2.1

(2) 許容繰返し回数 (設計・建設規格 PVB-3315)

設計・建設規格 添付 4-2 を基に、下式にて補正した繰返しピーク応力強さより、許容繰返し回数を求める。

$$S_{\ell}' = S_{\ell} \cdot \frac{2.07 \times 10^5}{E}$$

ここに、

S_ℓ' : 補正繰返しピーク応力強さ (MPa)

E : 縦弾性係数 (MPa)

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉格納容器シヤラグ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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 3.1.23 項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次＋二次＋ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、添付書類「VI-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 3-6 の荷重の組合せの No. を記載する。

(2) 疲労評価結果

表 6-2 の応力評価点 P11 の一次＋二次応力が許容値である $3 \cdot S$ を超えたため、簡易弾塑性解析による疲労評価を実施した結果を表 6-3 に示す。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D+P+M+S d*) (その1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
原子炉 格納容器 シヤラグ	P1	内側フィメイルシヤラグ 本体 (溶接部)	一次応力	せん断	43	[Redacted]	○	(9), (10)	
				曲げ	20		○	(9), (10)	
				組合せ	78		○	(9), (10)	
			一次応力+二次応力	せん断	43		○	(9), (10)	
				曲げ	20		○	(9), (10)	
				座屈	43		○	(9), (10)	
	P2	内側フィメイルシヤラグ 取付部 (溶接部)	一次応力	せん断	47		○	(9), (10)	
				曲げ	15		○	(9), (10)	
				組合せ	83		○	(9), (10)	
			一次応力+二次応力	せん断	47		○	(9), (10)	
				曲げ	30*4		○	(9), (10)	
				座屈	47		○	(9), (10)	
				組合せ	166		○	(9), (10)	

注記*1: すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 f_s とする。

*2: せん断に対する許容座屈応力を示す。

*3: 許容引張応力の値を用いる。

*4: 応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D+P+M+S d*) (その2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
原子炉 格納容器 シヤラグ	P3	外側メイルシヤラグ 取付部 (溶接部)	一次応力	せん断	35		○	(9), (10)	
				曲げ	24		○	(9), (10)	
				組合せ	66		○	(9), (10)	
			一次応力+二次応力	せん断	35		○	(9), (10)	
				曲げ	48*4		○	(9), (10)	
				座屈	35		○	(9), (10)	
	P4	外側メイルシヤラグ 本体	一次応力	支圧	122		○	(9), (10)	
			一次応力+二次応力	支圧	122		○	(9), (10)	
	P5	外側フィメイルシヤラグ 本体 (溶接部)	一次応力	せん断	54		○	(9), (10)	
				曲げ	69		○	(9), (10)	
				組合せ	117		○	(9), (10)	
			一次応力+二次応力	せん断	54		○	(9), (10)	
				曲げ	69		○	(9), (10)	
				座屈	54		○	(9), (10)	
	組合せ	117	○	(9), (10)					

注記*1: すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 f_s とする。

*2: せん断に対する許容座屈応力を示す。

*3: 許容引張応力の値を用いる。

*4: 応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D+P+M+S d*) (その3)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
原子炉 格納容器 シヤラグ	P6	外側フィメイルシヤラグ 本体	一次応力	支圧	122		○	(9), (10)	
			一次応力+二次応力	支圧	122		○	(9), (10)	
	P7	外側フィメイルシヤラグ ベースプレート	一次応力	せん断	6		○	(9), (10)	
				曲げ	109		○	(9), (10)	
				組合せ	110		○	(9), (10)	
			一次応力+二次応力	せん断	12* ⁴		○	(9), (10)	
				曲げ	218* ⁴		○	(9), (10)	
				座屈	109* ¹		○	(9), (10)	
	組合せ	219	○	(9), (10)					
	P8	外側フィメイルシヤラグ 基礎ボルト	引張応力		108		○	(9), (10)	

注記*1：応力の最大圧縮値を示す。

*2：曲げに対する許容座屈応力を示す。

*3：許容引張応力の値を用いる。

*4：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D+P+M+S d*) (その4)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
原子炉 格納容器 シヤラグ	P9	外側フィメールシヤラグ 本体 (溶接部)	一次応力	せん断	26	344	○	(9), (10)	
				曲げ	26		○	(9), (10)	
				組合せ	52		○	(9), (10)	
			一次応力+二次応力	せん断	26		○	(9), (10)	
				曲げ	52*4		○	(9), (10)	
				座屈	26		○	(9), (10)	
				組合せ	104		○	(9), (10)	
	P10	コンクリート	ベースプレート部	圧縮	2.5	○	(9), (10)		
			外側フィメール シヤラグ側面	圧縮	11.9	○	(9), (10)		
			基礎ボルト	せん断	0.46	○	(9), (10)		
	P11	原子炉格納容器シヤラグ 取付部	一次膜応力+一次曲げ応力		50	344	○	(10)	
一次+二次応力			242	393	○	(10)			

注記*1：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 f_s とする。

*2：せん断に対する許容座屈応力を示す。

*3：許容引張応力の値を用いる。

*4：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

表 6-2(1) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D+P+M+S_s) (その1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
原子炉 格納容器 シヤラグ	P1	内側フィメイルシヤラグ 本体 (溶接部)	一次応力	せん断	72		○	(11), (12)	
				曲げ	33		○	(11), (12)	
				組合せ	129		○	(11), (12)	
			一次応力+二次応力	せん断	72		○	(11), (12)	
				曲げ	33		○	(11), (12)	
				座屈	72		○	(11), (12)	
	P2	内側フィメイルシヤラグ 取付部 (溶接部)	一次応力	せん断	78		○	(11), (12)	
				曲げ	24		○	(11), (12)	
				組合せ	138		○	(11), (12)	
			一次応力+二次応力	せん断	78		○	(11), (12)	
				曲げ	48* ⁴		○	(11), (12)	
				座屈	78		○	(11), (12)	
				組合せ	275		○	(11), (12)	

注記*1: すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 f_s とする。

*2: せん断に対する許容座屈応力を示す。

*3: 許容引張応力の値を用いる。

*4: 応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

表 6-2(1) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s) (その 2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
原子炉 格納容器 シヤラグ	P3	外側メイルシヤラグ 取付部 (溶接部)	一次応力	せん断	63	[Redacted]	○	(11), (12)	
				曲げ	43		○	(11), (12)	
				組合せ	118		○	(11), (12)	
			一次応力+二次応力	せん断	63		○	(11), (12)	
				曲げ	86 ^{*4}		○	(11), (12)	
				座屈	63		○	(11), (12)	
	P4	外側メイルシヤラグ 本体	一次応力	支圧	222		○	(11), (12)	
			一次応力+二次応力	支圧	222		○	(11), (12)	
	P5	外側フィメイルシヤラグ 本体 (溶接部)	一次応力	せん断	97		○	(11), (12)	
				曲げ	126		○	(11), (12)	
				組合せ	211		○	(11), (12)	
			一次応力+二次応力	せん断	97		○	(11), (12)	
				曲げ	126		○	(11), (12)	
				座屈	97		○	(11), (12)	
	組合せ	211	○	(11), (12)					

注記*1: すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 f_s とする。

*2: せん断に対する許容座屈応力を示す。

*3: 許容引張応力の値を用いる。

*4: 応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

表 6-2(1) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s) (その 3)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
原子炉 格納容器 シヤラグ	P6	外側フィメイルシヤラグ 本体	一次応力	支圧	222		○	(11), (12)	
			一次応力+二次応力	支圧	222		○	(11), (12)	
	P7	外側フィメイルシヤラグ ベースプレート	一次応力	せん断	11		○	(11), (12)	
				曲げ	198		○	(11), (12)	
				組合せ	199		○	(11), (12)	
			一次応力+二次応力	せん断	22* ⁴		○	(11), (12)	
				曲げ	396* ⁴		○	(11), (12)	
				座屈	198* ¹		○	(11), (12)	
				組合せ	398		○	(11), (12)	
	P8	外側フィメイルシヤラグ 基礎ボルト	引張応力		196		○	(11), (12)	

注記*1：応力の最大圧縮値を示す。

*2：曲げに対する許容座屈応力を示す。

*3：許容引張応力の値を用いる。

*4：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

表 6-2(1) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s) (その 4)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
原子炉 格納容器 シヤラグ	P9	外側フィメイルシヤラグ 本体 (溶接部)	一次応力	せん断	47	380	○	(11), (12)	
				曲げ	47		○	(11), (12)	
				組合せ	94		○	(11), (12)	
			一次応力+二次応力	せん断	47		○	(11), (12)	
				曲げ	94* ⁴		○	(11), (12)	
				座屈	47		○	(11), (12)	
				組合せ	188		○	(11), (12)	
	P10	コンクリート	ベースプレート部	圧縮	4.6		○	(11), (12)	
			外側フィメイル シヤラグ側面	圧縮	21.6		○	(11), (12)	
			基礎ボルト	せん断	0.84		○	(11), (12)	
	P11	原子炉格納容器シヤラグ 取付部	一次膜応力+一次曲げ応力		82		380	○	(12)
一次+二次応力			420	393	×* ⁵	(12)			

注記*1：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 f_s とする。

*2：せん断に対する許容座屈応力を示す。

*3：許容引張応力の値を用いる。

*4：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*5：P11 の一次+二次応力評価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、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 6-2(2) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d*) (その1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
原子炉 格納容器 シヤラグ	P1	内側フィメイルシヤラグ 本体 (溶接部)	一次応力	せん断	43	○	(16)		
				曲げ	39		(16)		
				組合せ	85		(16)		
			一次応力+二次応力	せん断	43		(16)		
				曲げ	39		(16)		
				座屈	43		(16)		
	P2	内側フィメイルシヤラグ 取付部 (溶接部)	一次応力	せん断	47		(16)		
				曲げ	18		(16)		
				組合せ	84		(16)		
			一次応力+二次応力	せん断	47		(16)		
				曲げ	36* ⁴		(16)		
				座屈	47		(16)		
				組合せ	167		(16)		

注記*1: すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 f_s とする。

*2: せん断に対する許容座屈応力を示す。

*3: 許容引張応力の値を用いる。

*4: 応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

表 6-2(2) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d *) (その 2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
原子炉 格納容器 シヤラグ	P3	外側メイルシヤラグ 取付部 (溶接部)	一次応力	せん断	35	[Redacted]	○	(16)	
				曲げ	19		○	(16)	
				組合せ	64		○	(16)	
			一次応力+二次応力	せん断	35		○	(16)	
				曲げ	38*4		○	(16)	
				座屈	35		○	(16)	
	P4	外側メイルシヤラグ 本体	一次応力	支圧	78		○	(16)	
			一次応力+二次応力	支圧	78		○	(16)	
	P5	外側フィメイルシヤラグ 本体 (溶接部)	一次応力	せん断	54		○	(16)	
				曲げ	55		○	(16)	
				組合せ	109		○	(16)	
			一次応力+二次応力	せん断	54		○	(16)	
				曲げ	55		○	(16)	
				座屈	54		○	(16)	
				組合せ	109		○	(16)	

注記*1: すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 f_s とする。

*2: せん断に対する許容座屈応力を示す。

*3: 許容引張応力の値を用いる。

*4: 応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 6-2(2) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d *) (その 3)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
原子炉 格納容器 シヤラグ	P6	外側フィメイルシヤラグ 本体	一次応力	支圧	78		○	(16)	
			一次応力+二次応力	支圧	78		○	(16)	
	P7	外側フィメイルシヤラグ ベースプレート	一次応力	せん断	5		○	(16)	
				曲げ	94		○	(16)	
				組合せ	95		○	(16)	
			一次応力+二次応力	せん断	10* ⁴		○	(16)	
				曲げ	188* ⁴		○	(16)	
				座屈	94* ¹		○	(16)	
	P8	外側フィメイルシヤラグ 基礎ボルト	引張応力		94		○	(16)	

注記*1：応力の最大圧縮値を示す。

*2：曲げに対する許容座屈応力を示す。

*3：許容引張応力の値を用いる。

*4：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

表 6-2(2) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d *) (その 4)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
原子炉 格納容器 シヤラグ	P9	外側フィメイルシヤラグ 本体 (溶接部)	一次応力	せん断	26	[Redacted]	○	(16)	
				曲げ	26		○	(16)	
				組合せ	52		○	(16)	
			一次応力+二次応力	せん断	26		○	(16)	
				曲げ	52*4		○	(16)	
				座屈	26		○	(16)	
				組合せ	104		○	(16)	
	P10	コンクリート	ベースプレート部	圧縮	2.2	○	(16)		
			外側フィメイル シヤラグ側面	圧縮	11.9	○	(16)		
			基礎ボルト	せん断	0.40	○	(16)		
	P11	原子炉格納容器シヤラグ 取付部	一次膜応力+一次曲げ応力		90	380	○	(16)	
一次+二次応力			240	393	○	(16)			

注記*1: すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 f_s とする。

*2: せん断に対する許容座屈応力を示す。

*3: 許容引張応力の値を用いる。

*4: 応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 6-3 許容応力状態IV_AS に対する疲労評価結果

応力評価点	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
P11								0.485

注記* : S_ℓに (/ E) を乗じた値である。

E = MPa

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉格納容器シヤラグ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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次＋二次＋ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 6-4 に示す。

(2) 疲労評価結果

表 6-4 の応力評価点 P11 の一次＋二次応力が許容値である $3 \cdot S$ を超えたため、簡易弾塑性解析による疲労評価を実施した結果を表 6-5 に示す。

表 6-4(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$) (その1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		V_{AS}		判定	備考
					算出応力	許容応力		
					MPa	MPa		
原子炉 格納容器 シヤラグ	P1	内側フィメイルシヤラグ 本体 (溶接部)	一次応力	せん断	43		○	
				曲げ	45		○	
				組合せ	88		○	
			一次応力+二次応力	せん断	43		○	
				曲げ	45		○	
				座屈	43		○	
	P2	内側フィメイルシヤラグ 取付部 (溶接部)	一次応力	せん断	47		○	
				曲げ	19		○	
				組合せ	84		○	
			一次応力+二次応力	せん断	47		○	
				曲げ	38*4		○	
				座屈	47		○	
				組合せ	168		○	

注記*1: すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 f_s$ とする。

*2: せん断に対する許容座屈応力を示す。

*3: 許容引張応力の値を用いる。

*4: 応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

表 6-4(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$) (その2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		V_{AS}		判定	備考
					算出応力	許容応力		
					MPa	MPa		
原子炉 格納容器 シヤラグ	P3	外側メイルシヤラグ 取付部 (溶接部)	一次応力	せん断	35		○	
				曲げ	18		○	
				組合せ	64		○	
			一次応力+二次応力	せん断	35		○	
				曲げ	36*4		○	
				座屈	35		○	
	P4	外側メイルシヤラグ 本体	一次応力	支圧	69		○	
			一次応力+二次応力	支圧	69		○	
	P5	外側フィメイルシヤラグ 本体 (溶接部)	一次応力	せん断	54		○	
				曲げ	51		○	
				組合せ	107		○	
			一次応力+二次応力	せん断	54		○	
				曲げ	51		○	
				座屈	54		○	
				組合せ	107		○	

注記*1: すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 f_s$ とする。

*2: せん断に対する許容座屈応力を示す。

*3: 許容引張応力の値を用いる。

*4: 応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 6-4(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$) (その 3)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		V_{AS}		判定	備考
					算出応力	許容応力		
					MPa	MPa		
原子炉 格納容器 シヤラグ	P6	外側フィメイルシヤラグ 本体	一次応力	支圧	69		○	
			一次応力+二次応力	支圧	69		○	
	P7	外側フィメイルシヤラグ ベースプレート	一次応力	せん断	5		○	
				曲げ	89		○	
				組合せ	90		○	
			一次応力+二次応力	せん断	10*4		○	
				曲げ	178*4		○	
				座屈	89*1		○	
	組合せ	179	○					
	P8	外側フィメイルシヤラグ 基礎ボルト	引張応力		89		○	

注記*1：応力の最大圧縮値を示す。

*2：曲げに対する許容座屈応力を示す。

*3：許容引張応力の値を用いる。

*4：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

表 6-4(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$) (その 4)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		V_{AS}		判定	備考
					算出応力	許容応力		
					MPa	MPa		
原子炉 格納容器 シヤラグ	P9	外側フィメイルシヤラグ 本体 (溶接部)	一次応力	せん断	26	[Redacted]	○	
				曲げ	26		○	
				組合せ	52		○	
			一次応力+二次応力	せん断	26		○	
				曲げ	52*4		○	
				座屈	26		○	
				組合せ	104		○	
	P10	コンクリート	ベースプレート部	圧縮	2.1	○		
			外側フィメイル シヤラグ側面	圧縮	11.9	○		
			基礎ボルト	せん断	0.38	○		
	P11	原子炉格納容器シヤラグ 取付部	一次膜応力+一次曲げ応力		143	379	○	
一次+二次応力			240	393	○			

注記*1：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 f_s$ とする。

*2：せん断に対する許容座屈応力を示す。

*3：許容引張応力の値を用いる。

*4：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

表 6-4(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (その1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		V_{AS}		判定	備考
					算出応力	許容応力		
					MPa	MPa		
原子炉 格納容器 シヤラグ	P1	内側フィメイルシヤラグ 本体 (溶接部)	一次応力	せん断	72		○	
				曲げ	57		○	
				組合せ	138		○	
			一次応力+二次応力	せん断	72		○	
				曲げ	57		○	
				座屈	72		○	
	P2	内側フィメイルシヤラグ 取付部 (溶接部)	一次応力	せん断	78		○	
				曲げ	28		○	
				組合せ	138		○	
			一次応力+二次応力	せん断	78		○	
				曲げ	56 ^{*4}		○	
				座屈	78		○	
				組合せ	276		○	

注記*1: すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 f_s$ とする。

*2: せん断に対する許容座屈応力を示す。

*3: 許容引張応力の値を用いる。

*4: 応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

表 6-4(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (その2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		V_{AS}		判定	備考
					算出応力	許容応力		
					MPa	MPa		
原子炉 格納容器 シヤラグ	P3	外側メイルシヤラグ 取付部 (溶接部)	一次応力	せん断	63	○	○	
				曲げ	37		○	
				組合せ	116		○	
			一次応力+二次応力	せん断	63		○	
				曲げ	74*4		○	
				座屈	63		○	
	P4	外側メイルシヤラグ 本体	一次応力	支圧	154		○	
			一次応力+二次応力	支圧	154		○	
	P5	外側フィメイルシヤラグ 本体 (溶接部)	一次応力	せん断	97		○	
				曲げ	106		○	
				組合せ	199		○	
			一次応力+二次応力	せん断	97		○	
				曲げ	106		○	
				座屈	97		○	
				組合せ	199		○	

注記*1: すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 f_s$ とする。

*2: せん断に対する許容座屈応力を示す。

*3: 許容引張応力の値を用いる。

*4: 応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

表 6-4(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (その 3)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		V_{AS}		判定	備考
					算出応力	許容応力		
					MPa	MPa		
原子炉 格納容器 シヤラグ	P6	外側フィメイルシヤラグ 本体	一次応力	支圧	154		○	
			一次応力+二次応力	支圧	154		○	
	P7	外側フィメイルシヤラグ ベースプレート	一次応力	せん断	10		○	
				曲げ	178		○	
				組合せ	179		○	
			一次応力+二次応力	せん断	20*4		○	
				曲げ	356*4		○	
				座屈	178*1		○	
	P8	外側フィメイルシヤラグ 基礎ボルト	引張応力		176		○	

注記*1：応力の最大圧縮値を示す。

*2：曲げに対する許容座屈応力を示す。

*3：許容引張応力の値を用いる。

*4：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

表 6-4(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (その 4)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		V_{AS}		判定	備考	
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
原子炉 格納容器 シヤラグ	P9	外側フィメイルシヤラグ 本体 (溶接部)	一次応力	せん断	47	○	○		
				曲げ	47				
				組合せ	94				
			一次応力+二次応力	せん断	47			○	○
				曲げ	94*4				
				座屈	47				
				組合せ	188				
	P10	コンクリート	ベースプレート部	圧縮	4.1	○	○		
			外側フィメイル シヤラグ側面	圧縮	21.6				
			基礎ボルト	せん断	0.75				
	P11	原子炉格納容器シヤラグ 取付部	一次膜応力+一次曲げ応力		131	379	○	○	
一次+二次応力			416	393	×*5				

注記*1：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 f_s$ とする。

*2：せん断に対する許容座屈応力を示す。

*3：許容引張応力の値を用いる。

*4：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*5：P11 の一次+二次応力評価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、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 6-5 許容応力状態 V_AS に対する疲労評価結果

応力評価点	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
P11	[Redacted]						0.467	

注記* : S_ℓに ([Redacted]/E) を乗じた値である。

E = [Redacted] MPa

7. 参照図書

- (1) L. E. Brownell and E. H. Young, "Process Equipment Design", John Wiley & Sons, Inc. (1968)
- (2) K. R. Wichman, A. G. Hopper and J. L. Mershon, "Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings", Welding Research Council Bulletin No. 107(1965)
- (3) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
添付書類「IV-3-1-1-4 ドライウエルの強度計算書」

VI-2-9-2-1-4 ドライウェルベント開口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 適用規格・基準等	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	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2 許容応力	8
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	8
4.2.4 設計荷重	12
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	19
4.5 設計用地震力	20
4.6 計算方法	23
4.6.1 応力評価点	23
4.6.2 応力計算方法	24
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	29
6. 参照図書	32

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、ドライウェルベント開口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。

ドライウェルベント開口部は、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。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力による荷重及び重大事故等時の荷重に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるドライウェルベント開口部の評価は、平成 2 年 5 月 24 日付け元資庁第 14466 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ドライウェルベント開口部の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

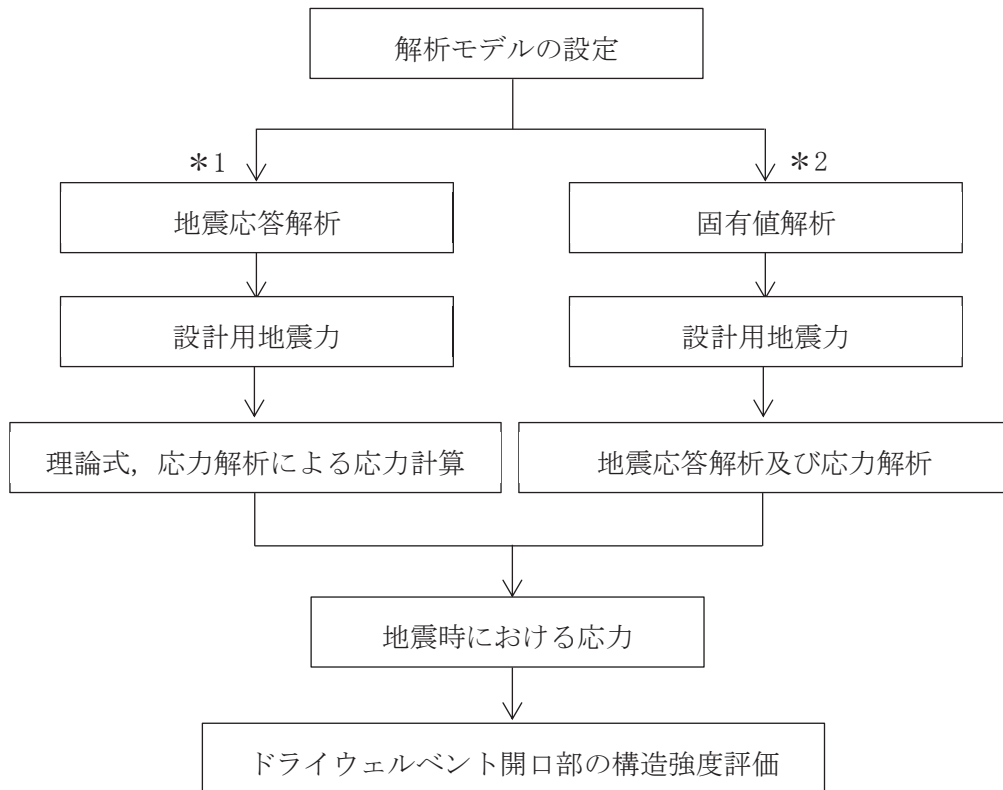
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ドライウェルベント開口部を構成するベントノズルは、ドライウェルに支持され、ベント管と接続する。また、ドライウェルベント開口部はドライウェルに接続するリブを介してジェットデフレクタが接続されている。</p> <p>ドライウェルベント開口部は、原子炉格納容器と一体構造となっており、鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、ドライウェルを介して原子炉建屋に伝達される。</p>	<p>ドライウェルベント開口部を構成するベントノズルは、内径 <input type="text"/> mm 及び板厚 <input type="text"/> mm の円筒に小径側内径 <input type="text"/> mm 及び板厚 <input type="text"/> mm の円すいを接続した構造物である。</p>	<p>概略構造図</p> <p>原子炉格納容器断面図</p> <div style="border: 1px solid black; height: 150px; width: 100%; margin-top: 10px;"></div> <p>A部詳細 (ドライウェルベント開口部) (単位: mm)</p>

2

2.2 評価方針

ドライウェルベント開口部の応力評価は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及び「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する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。

ドライウェルベント開口部の耐震評価フローを図 2-1 に示す。



注記*1：応力評価点 P2（ドライウェルベント開口部）の耐震評価フローを示す。

*2：応力評価点 P1（ベントノズル円すい部）の耐震評価フローを示す。

図 2-1 ドライウェルベント開口部の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（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
C_v	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
D_i	直径 ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
E	縦弾性係数	MPa
ℓ_i	長さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
M	機械的荷重	—
M_i	曲げモーメント ($i = 1, 2$)	N・mm
M_L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M_{SAL}	機械的荷重 (SA 後長期 (L) 機械的荷重)	—
M_{SALL}	機械的荷重 (SA 後長期 (LL) 機械的荷重)	—
P	圧力, 軸力	—, N
P_L	地震と組み合わせる圧力	—
P_{SAL}	圧力 (SA 後長期 (L) 圧力)	kPa
P_{SALL}	圧力 (SA 後長期 (LL) 圧力)	kPa
R	半径	mm
S	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の いずれか大きい方の地震力	—
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
$S_y (RT)$	40℃における設計降伏点	MPa
t_i	厚さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
T	温度	℃
T_{SAL}	温度 (SA 後長期 (L) 温度)	℃
T_{SALL}	温度 (SA 後長期 (LL) 温度)	℃
ν	ポアソン比	—
ASS	オーステナイト系ステンレス鋼	—
HNA	高ニッケル合金	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字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

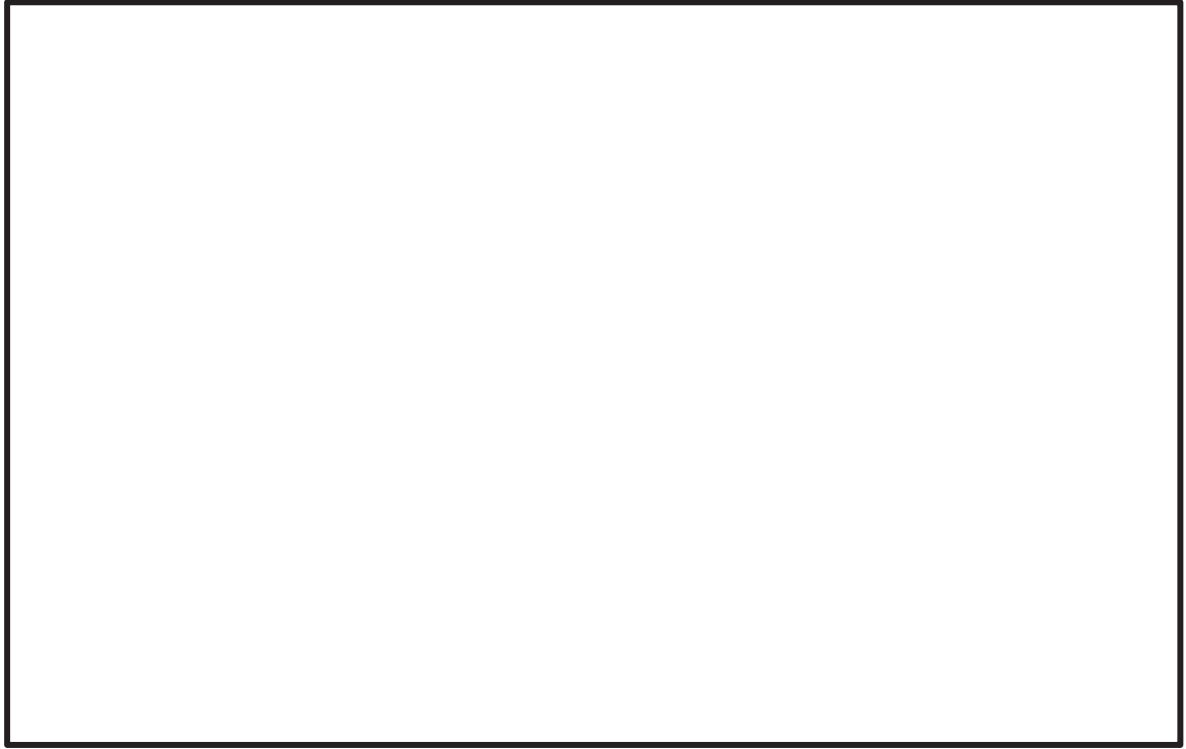
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
最高使用圧力	kPa	—	—	整数位 ^{*1}
温度	℃	—	—	整数位 ^{*1}
許容応力 ^{*2}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
質量	kg	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
力	N	有効数字5桁目	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

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。

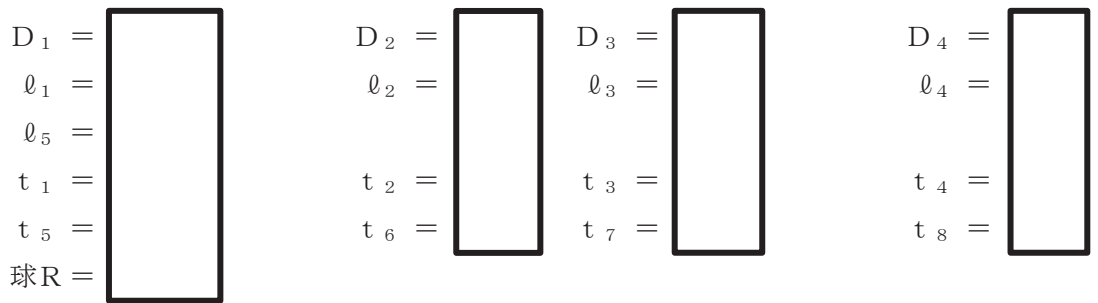
*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ドライウェルベント開口部の形状及び主要寸法を図 3-1 に、評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。



- | | |
|-------------|--------------|
| ① ベントノズル部 | ② ベントノズル円すい部 |
| ③ ベント管 | ④ 補強板 |
| ⑤ ジェットデフレクタ | ⑥ リブ |
| ⑦ 補強リブ | ⑧ 補強パッド |



(単位：mm)

図 3-1 ドライウェルベント開口部の形状及び主要寸法

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位	使用材料
ベントノズル	
補強板	

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) ドライウェルベント開口部は、ベントノズル円すい部が原子炉格納容器に支持された構造であり、鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、ドライウェルを介して原子炉建屋に伝達される。

ドライウェルベント開口部に作用する地震力は、ドライウェルから作用する地震力とベント系から作用する地震力があり、前者は添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-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」で計算された応答加速度及び荷重を用い、後者は添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示す水平及び鉛直の固有周期に応じた応答加速度に基づき算出する。ドライウェルベント開口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) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
 (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応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ドライウェルベント開口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 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。

詳細な荷重の組合せは、添付書類「VI-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 許容応力

ドライウェルベント開口部の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 に示すとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ドライウェルベント開口部の使用材料の許容応力評価条件のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ ^{*1}		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	ドライウエルベント開口部	S	クラスMC容器	D + P + M + S _d [*]	(9)	Ⅲ _A S
						(10)	
					(13) ^{*2}		
						(15) ^{*3}	
					D + P + M + S _s	(11)	Ⅳ _A S
						(12)	
						(14) ^{*2}	
					D + P _L + M _L + S _d [*]	(16) ^{*4}	Ⅳ _A S

注記*1：() 内は添付書類「VI-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3-6の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：逃がし安全弁作動時荷重はドライウエルベント開口部に作用しないことから荷重の組合せとして考慮せず評価しない。

*3：冷却材喪失事故後10⁻¹年後の圧力を考慮する。

*4：冷却材喪失事故時の最大内圧を考慮する。

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	ドライウエルベント開口部	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	D + P _{SAL} + M _{SAL} + S _d	(V (L)-1)	V _A S ^{*3}
					D + P _{SALL} + M _{SALL} + S _s	(V (LL)-1)	V _A S ^{*3}

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「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「VI-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3-7の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表4-3 クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ _{AS}	S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、A S S及びH N Aについては、1.2・Sとする。	左欄のα倍の値 ^{*4}		*2, *3
Ⅳ _{AS}	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、A S S及びH N A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。	左欄のα倍の値 ^{*4}	3・S ^{*1} 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。
V _{AS} ^{*5}				

注記*1：3・Sを超えるとき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。

*2：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。

*3：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。

*4：設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比または1.5のいずれか小さい方の値（α）を用いる。

*5：V_{AS}としてⅣ_{AS}の許容限界を用いる。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ベントノズル		周囲環境 温度	171				—
補強板		周囲環境 温度	171				—

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)

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ベントノズル		周囲環境 温度	178/111 (200) *				—
補強板		周囲環境 温度	178/111 (200) *				—

注記* : 重大事故等時の評価温度として、保守的に限界温度を適用する。

4.2.4 設計荷重

ドライウェルベント開口部に対する設計荷重を以下に示すものとし、ベントノズルに対する設計荷重は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示す。

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，最高使用圧力，最高使用温度及び死荷重は，既工認（参照図書（1））からの変更はなく，以下のとおりとする。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

内圧	427kPa
外圧	13.7kPa
温度	171℃

b. 死荷重

ドライウェルベント開口部の応力評価点より上部のドライウェル及び付属物の自重を死荷重とする。

c. 冷却材喪失事故時荷重

事故時圧力は，冷却材喪失事故後の最大内圧とする。

サブプレッションチェンバ内のベント管内圧	157kPa
サブプレッションチェンバ外のベント管内圧	324kPa

d. ベント系から加わる荷重

ベント系からドライウェルベント開口部に加わる荷重は，添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」の解析に基づき設定する。

ベント系からドライウェルベント開口部に加わる荷重を表 4-6 に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

a. 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は，添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」に従い，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	640kPa (SA 後長期 (L))
内圧 P_{SALL}	427kPa (SA 後長期 (LL))
温度 T_{SAL}	178℃ (SA 後長期 (L))
温度 T_{SALL}	111℃ (SA 後長期 (LL))

b. 死荷重

ドライウェルベント開口部の応力評価点より上部のドライウェル及び付属物の自重を死荷重とする。

c. ベント系から加わる荷重

ベント系からドライウェルベント開口部に加わる荷重は，添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」の解析に基づき設定する。

ベント系からドライウェルベント開口部に加わる荷重を表 4-7 に示す。

表 4-6 ベント系からドライウェルベント開口部 1 箇所当たりに加わる荷重
(設計基準対象施設)

荷重*1	軸力*2 P (N)	曲げモーメント*2 M ₁ (N・mm)	曲げモーメント*2 M ₂ (N・mm)
最高使用圧力 (外圧)			
ベント系死荷重			
事故時圧力			

注記*1：地震荷重によりベント系からドライウェルベント開口部に加わる荷重を表 4-13 に示す。

*2：符号は，図 4-2 に示す荷重の方向を正符号とし，その逆方向を負符号とする。

表 4-7 ベント系からドライウェルベント開口部 1 箇所当たりに加わる荷重
(重大事故等対処設備)

荷重*1	軸力*2 P (N)	曲げモーメント*2 M ₁ (N・mm)	曲げモーメント*2 M ₂ (N・mm)
ベント系圧力 (SA 後長期 (L))			
ベント系圧力 (SA 後長期 (LL))			
ベント系死荷重			

注記*1：地震荷重によりベント系からドライウェルベント開口部に加わる荷重を表 4-14 に示す。

*2：符号は，図 4-2 に示す荷重の方向を正符号とし，その逆方向を負符号とする。

4.3 解析モデル及び諸元

(1) ドライウェルベント開口部

ドライウェルベント開口部に対する設計基準対象施設としての評価及び重大事故等対処設備としての評価は、ベント系から加わる荷重を考慮して応力解析を行う。応力解析に対してはシェルモデルを用いる。なお、設計基準対象施設としての評価及び重大事故等対処設備としての評価に用いる解析モデルは、表 4-8 に示す機器諸元が異なるのみで、形状、拘束条件及び境界条件の違いはない。

解析モデルの概要を以下に示す。

- a. ドライウェルベント開口部は、ベント系 3 次元シェルはりモデルからの反力を精緻に評価するため、3次元シェル要素による有限要素解析手法を適用する。解析モデルを図 4-1～図 4-5 に、機器の諸元について表 4-8 に示す。
- b. モデル化の範囲は、作用する荷重を考慮し構造的に対称となる全体の 1/2 とし、上端はドライウェルベント開口部より十分離れたドライウェル円筒部上端、下端はコンクリート埋設境界となるサンドクッション下端とする。ベント系から加わる荷重によってドライウェルベント開口部に生じる応力への影響の観点から、ドライウェルベント開口部近傍のジェットデフレクタ、リブ、補強リブ及び補強パッドもモデル化する。
- c. 拘束条件は、
- d. 荷重の作用点は、
で結合する。
- e. 解析コードは「MSC NASTRAN」及び「ANSYS」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「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(2) ベントノズル

ベントノズルに対する設計基準対象施設としての評価及び重大事故等対処設備としての評価は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント管、ベントヘッダ及びダウンカマの解析モデルにより応力解析を行う。

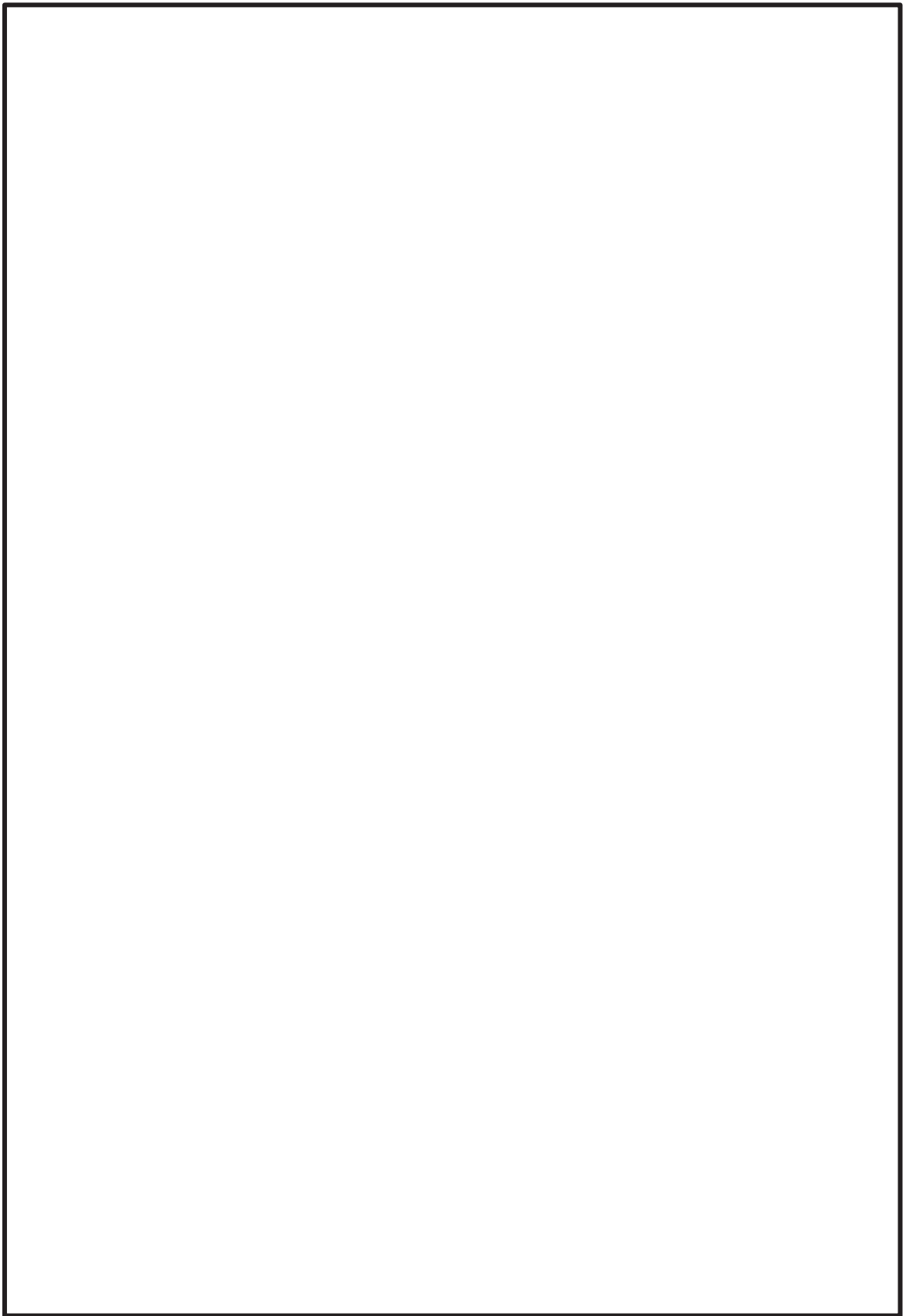


図 4-1 解析モデル ドライウェルベント開口部シェルモデル (全体)



図 4-2 解析モデル ドライウェルベント開口部シェルモデル (A部拡大)

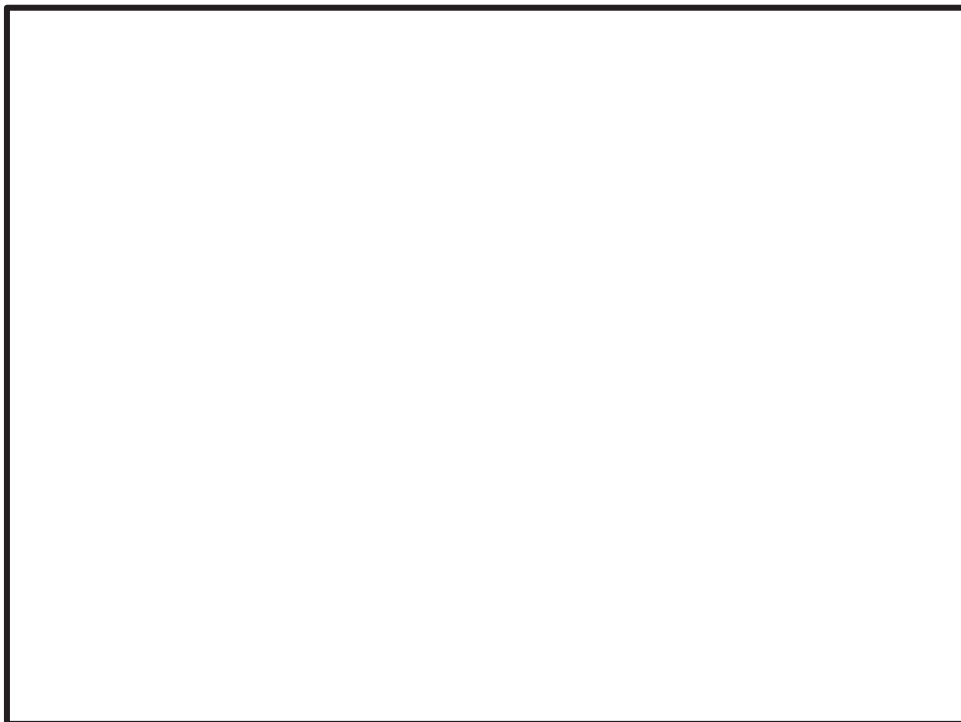


図 4-3 解析モデル ドライウェルベント開口部シェルモデル (B部拡大)

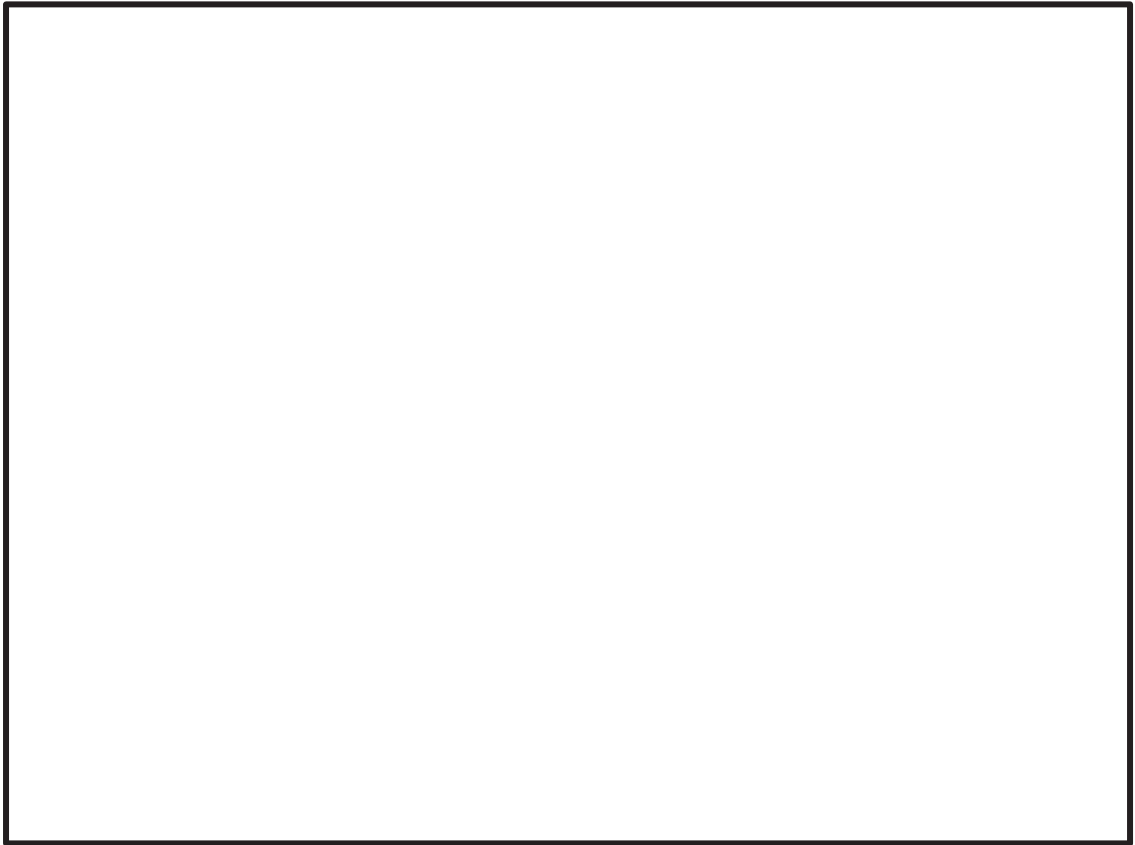


図 4-4 解析モデル ドライウェルベント開口部シェルモデル (Cから見る)

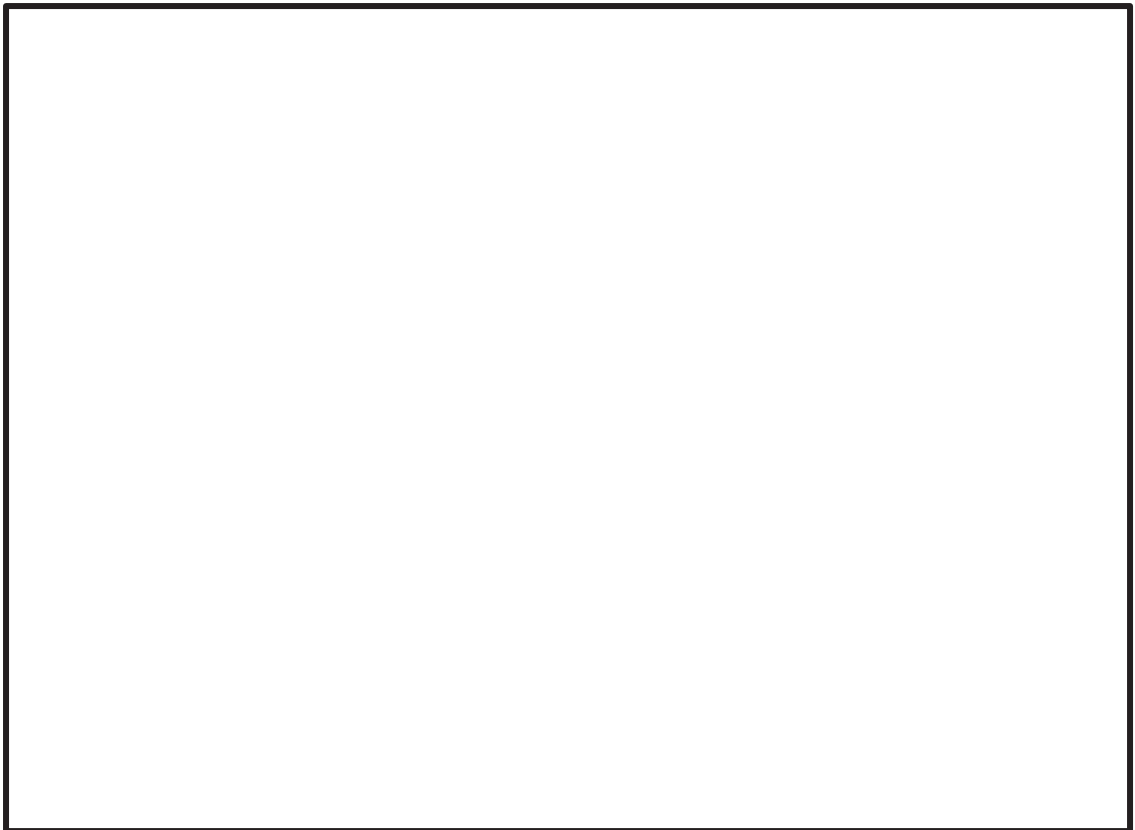


図 4-5 解析モデル ドライウェルベント開口部シェルモデル (Dから見る)

表 4-8 機器諸元

項目		記号	単位	入力値			
				設計基準対象施設	重大事故等対処設備		
材質	補強板	—	—				
	補強パッド	—	—				
	ベントノズル	—	—				
	リブ	—	—				
	ジェットデフレクタ	—	—				
補強リブ	—	—					
機器質量*1		—	kg				
温度条件		T	℃				
縦弾性係数		E	MPa				
ポアソン比		ν	—				
要素数		—	—				
節点数		—	—				

注記*1：ベント系全体の機器質量を示す。

*2：解析モデルの温度は，通常運転時温度と事故時温度の平均温度とする。なお，許容応力は保守的に事故時温度で算出する。

*3：解析モデルの温度は，通常運転時温度と限界温度の平均温度とする。なお，許容応力は保守的に限界温度で算出する。

4.4 固有周期

ドライウエルベント開口部は、ベントノズル円すい部がドライウエルに支持された構造であり、鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、ドライウエルを介して原子炉建屋に伝達される。

ドライウエルベント開口部の耐震評価は、ドライウエルに作用する荷重とベントノズルに作用する荷重を用いて実施し、ドライウエルに作用する荷重は、添付書類「VI-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」にて原子炉格納容器の固有周期を踏まえて計算した設計用地震力を用いて評価するため、本計算書ではドライウエルの固有周期の計算は実施しない。ベントノズルに作用する荷重は、ベント系の解析モデルから算出することから、固有周期は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示すとおりである。

4.5 設計用地震力

ベントノズル円すい部に対する「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「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示すとおりである。

ドライウェルからドライウェルベント開口部に作用する設計用地震力を表 4-9～表 4-12 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「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。

また、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント管，ベントヘッド及びダウンカマの地震応答解析で計算された，ベント系からドライウェルベント開口部 1 箇所あたりに作用する設計用地震力を表 4-13 及び表 4-14 に示す。

表 4-9 ドライウェルからドライウェルベント開口部に作用する設計用地震力
(設計基準対象施設)

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉 格納容器 O.P. 2.60	—	—	—	$C_v=0.57^*$	—	$C_v=0.98^*$

注記*：原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。

表 4-10 ドライウェルからドライウェルベント開口部に作用する設計用地震力
(重大事故等対処設備)

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d		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 格納容器 O.P. 2.60	—	—	—	$C_v=0.57^*$	—	$C_v=0.98^*$

注記*：原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。

表 4-11 ドライウェルからドライウェルベント開口部 1 箇所あたりに作用する
設計用地震力（設計基準対象施設）*1

応力評価点*2		水平荷重 S d *		水平荷重 S s	
		せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)
P2	(P7)				
	(P8)				
	(P9)				

注記*1：既工認で用いた設計用地震力と今回工認の設計用地震力を比較し、包絡する値を用いる。

*2：応力評価点の位置は、図 4-6 参照のこと。括弧内は既工認の応力評価点を示す。

表 4-12 ドライウェルからドライウェルベント開口部 1 箇所あたりに作用する
設計用地震力（重大事故等対処設備）

応力評価点*		水平荷重 S d		水平荷重 S s	
		せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)
P2	(P7)				
	(P8)				
	(P9)				

注記*：応力評価点の位置は、図 4-6 参照のこと。括弧内は既工認の応力評価点を示す。

表 4-13 ベント系からドライウェルベント開口部 1 箇所当たりに作用する
設計用地震力（設計基準対象施設）

荷重*1	軸力 P (N)	曲げモーメント M ₁ (N・mm)	曲げモーメント M ₂ (N・mm)
ベント系地震荷重 S _d * *2			
ベント系地震荷重 S _s * *2			

注記*1：荷重の方向を図 4-2 に示す。

*2：鉛直方向及び水平 2 方向の地震荷重によってベント系から加わる荷重を、2 乗和平方根により組み合わせた値を示す。

表 4-14 ベント系からドライウェルベント開口部 1 箇所当たりに作用する
設計用地震力（重大事故等対処設備）

荷重*1	軸力 P (N)	曲げモーメント M ₁ (N・mm)	曲げモーメント M ₂ (N・mm)
ベント系地震荷重 S _d * *2			
ベント系地震荷重 S _s * *2			

注記*1：荷重の方向を図 4-2 に示す。

*2：鉛直方向及び水平 2 方向の地震荷重によってベント系から加わる荷重を、2 乗和平方根により組み合わせた値を示す。

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

ドライウェルベント開口部の応力評価点は、ドライウェルベント開口部を構成する各部材において、発生応力が最も大きくなる箇所とする。選定した応力評価点を表 4-15 及び図 4-6 に示す。

表 4-15 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1 ^{*1}	ベントノズル円すい部
P2 ^{*2}	ドライウェルベント開口部

注記*1：ベントノズル円すい部全域のうち応力が最大となる応力評価点を示す。既工認の応力評価点 P1～P6 を包絡する。

*2：ベントノズル近傍の補強板のうち応力が最大となる応力評価点を示す。既工認の応力評価点 P7～P9 を包絡する。

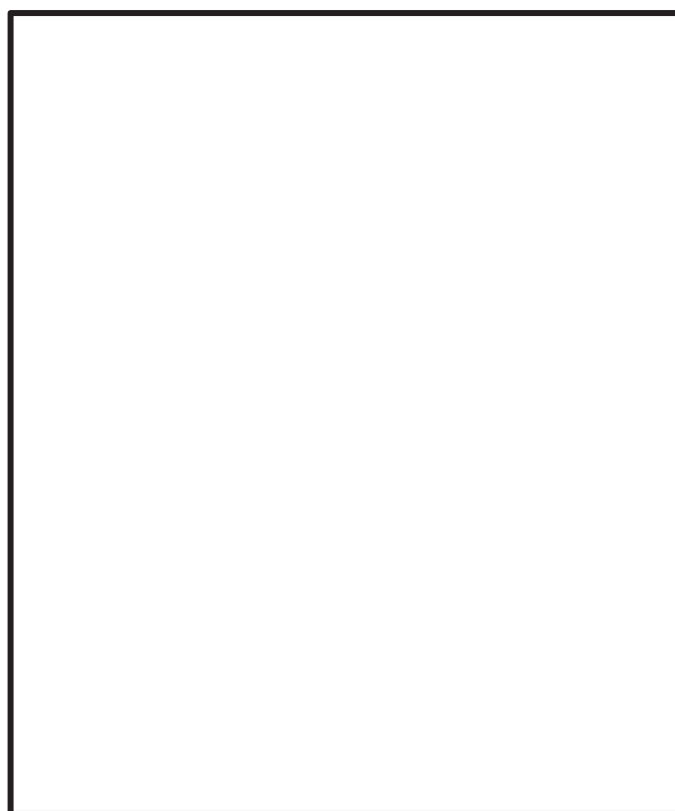


図 4-6 ドライウェルベント開口部の応力評価点

4.6.2 応力計算方法

ドライウェルベント開口部の応力計算方法について以下に示す。

(1) 設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての応力計算

応力評価点 P1 の設計基準対象施設及び重大事故等対処設備における応力は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント管、ベントヘッダ及びダウンカマの解析モデルにより算出する。応力評価点 P1 の水平 2 方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は、二乗和平方根により組み合わせる。

応力評価点 P2 は設計基準対象施設及び重大事故等対処設備におけるベント系に作用する荷重による応力とドライウェルに作用する荷重による応力を足し合わせて評価を行う。ベント系に作用する荷重による応力は、「4.3 解析モデル及び諸元」に示すドライウェルベント開口部シェルモデルを用いて算出し、ドライウェルに作用する荷重による応力は、既工認（参照図書(1)）と同様の計算方法により発生応力を算出する。この際、圧力及び鉛直地震荷重による応力は、既工認の各荷重条件や耐震条件との比を用いて発生応力を算出する。

4.7 計算条件

応力解析に用いる荷重を、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」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」で求めた各応力が、表 4-3 に示す許容応力以下であること。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（PVB-3313 を除く。S_mはSと読み替える。）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

ドライウェルベント開口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。

なお，添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり，地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため，各許容応力状態における一次＋二次＋ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表5-1～表5-3に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には，添付書類「VI-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3-6の荷重の組合せのNo.を記載する。

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	応力評価点		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル ベント開口部	P1	ベントノズル円すい部	一次膜+一次曲げ応力	40		○	(9)	
			一次+二次応力	120		○	(9)	
	P2	ドライウエルベント開口部	一次膜+一次曲げ応力	109		○	(10)	
			一次+二次応力	278		○	(10)	

表 5-2 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	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル ベント開口部	P1	ベントノズル円すい部	一次膜+一次曲げ応力	59		○	(11)	
			一次+二次応力	178		○	(11)	
	P2	ドライウエルベント開口部	一次膜+一次曲げ応力	168		○	(12)	
			一次+二次応力	430		○	(12)	

表 5-3 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	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウェル ベント開口部	P1	ベントノズル円すい部	一次膜+一次曲げ応力	60		○	(16)	
			一次+二次応力	120		○	(16)	
	P2	ドライウェルベント開口部	一次膜+一次曲げ応力	173		○	(16)	
			一次+二次応力	274		○	(16)	

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ドライウェルベント開口部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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表5-4及び表5-5に示す。

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

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ドライウェルベ ント開口部	P1	ベントノズル円すい部	一次膜応力+一次曲げ応力	81		○	
			一次+二次応力	95		○	
	P2	ドライウェルベント開口部	一次膜応力+一次曲げ応力	221		○	
			一次+二次応力	212		○	

表 5-5 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ドライウェルベ ント開口部	P1	ベントノズル円すい部	一次膜応力+一次曲げ応力	92		○	
			一次+二次応力	204		○	
	P2	ドライウェルベント開口部	一次膜応力+一次曲げ応力	261		○	
			一次+二次応力	458		○	

6. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
添付書類「IV-3-1-1-10 ドライウェルベント開口部の強度計算書」

VI-2-9-2-1-5 ボックスサポー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	適用規格・基準等	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.	固有周期	9
5.	構造強度評価	10
5.1	構造強度評価方法	10
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	10
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	10
5.2.2	許容応力	10
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	10
5.2.4	設計荷重	17
5.3	設計用地震力	21
5.4	計算方法	23
5.4.1	応力評価点	23
5.4.2	ボックスプレート（応力評価点 P1）	25
5.4.3	ボックスプレート取付部（応力評価点 P2）	27
5.4.4	ボックスプレート（上側）取付部（応力評価点 P2'）	28
5.4.5	フランジプレートとシヤラグ接触部及びシヤラグ取付部 （応力評価点 P3, P4）	29
5.4.6	基礎ボルト（応力評価点 P5）	31
5.4.7	フランジプレート（応力評価点 P6）	32
5.4.8	フランジプレート（外側）（応力評価点 P6'）	39
5.4.9	ベースプレート（応力評価点 P7）	43
5.4.10	シヤコネクタ（外側）取付部（応力評価点 P8）	45
5.4.11	コンクリート（応力評価点 P9, P10, P11）	47
5.4.12	パッド取付部（応力評価点 P12）	49
5.5	計算条件	51
5.6	応力の評価	51
6.	評価結果	52
6.1	設計基準対象施設としての評価結果	52
6.2	重大事故等対処設備としての評価結果	65
7.	参照図書	78

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-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、ボックスサポー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。

ボックスサポートは、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。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力による荷重及び重大事故等時の荷重に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるボックスサポートの評価は、平成 2 年 5 月 24 日付け元資庁第 14466 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ボックスサポートの構造計画を表 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	
<p>ボックスサポートは、原子炉建屋基礎版に拘束支持される。ボックスサポートは、サブプレッションチェンバ（大円）の半径方向の熱膨張を吸収する目的で可動し、サブプレッションチェンバの周方向及び鉛直方向の荷重を、原子炉建屋に伝達させる。</p>	<p>ボックスサポートは、ボックスプレート、フランジプレート、シヤラグ、ベースプレート、シヤコネクタ、基礎ボルト等からなる鋼製構造物である。</p>	

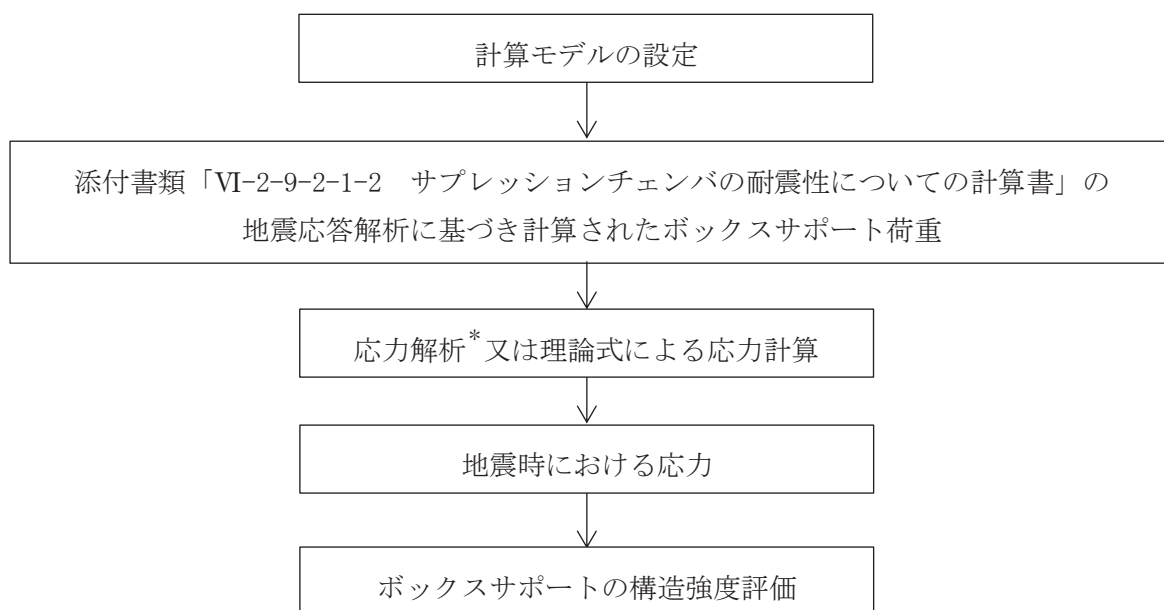
2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 評価方針

ボックスサポートの応力評価は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及び「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する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。

ボックスサポートの耐震評価フローを図 2-1 に示す。



注記*：応力評価点 P6' の応力状態を詳細に把握するために適用

図 2-1 ボックスサポートの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (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)
- (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)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (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
A _b	ボルトの断面積	mm ²
D	死荷重	—
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
f _b	許容曲げ応力	MPa
f _c	許容圧縮応力	MPa
f _p	許容支圧応力	MPa
f _s	許容せん断応力	MPa
f _t	許容引張応力	MPa
F	荷重	N
F _c	コンクリートの設計基準強度	N/mm ² (kg/cm ²)
F _t	荷重	N
F _{t b}	ボルトに作用する軸方向荷重	N
ℓ _i	長さ (i = 1, 2, 3…)	mm
M	機械的荷重, モーメント	—, N・mm
M _L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M _{SAL}	機械的荷重 (SA 後長期 (L) 機械的荷重)	—
M _{SALL}	機械的荷重 (SA 後長期 (LL) 機械的荷重)	—
n	ボルトの縦弾性係数とコンクリートの縦弾性係数の比	—
N	ボルトの本数	—
P	圧力	—
P _L	地震と組み合わせる圧力	—
P _{SAL}	圧力 (SA 後長期 (L) 圧力)	—
P _{SALL}	圧力 (SA 後長期 (LL) 圧力)	—
R _i	半径	mm
R _o	半径	mm
S	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のい ずれか大きい方の地震力	—
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—
S _u	設計引張強さ	MPa
S _y	設計降伏点	MPa
S _y (RT)	40℃における設計降伏点	MPa

記号	記号の説明	単位
t_i	厚さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
T	温度	°C
T_{SAL}	温度 (SA 後長期 (L) 温度)	°C
T_{SALL}	温度 (SA 後長期 (LL) 温度)	°C
W_S	荷重	N
Z	断面係数	mm ³
σ_b	曲げ応力	MPa
σ_c	圧縮応力	MPa
σ_p	支圧応力	MPa
σ_t	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

計算精度は、有効数字 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

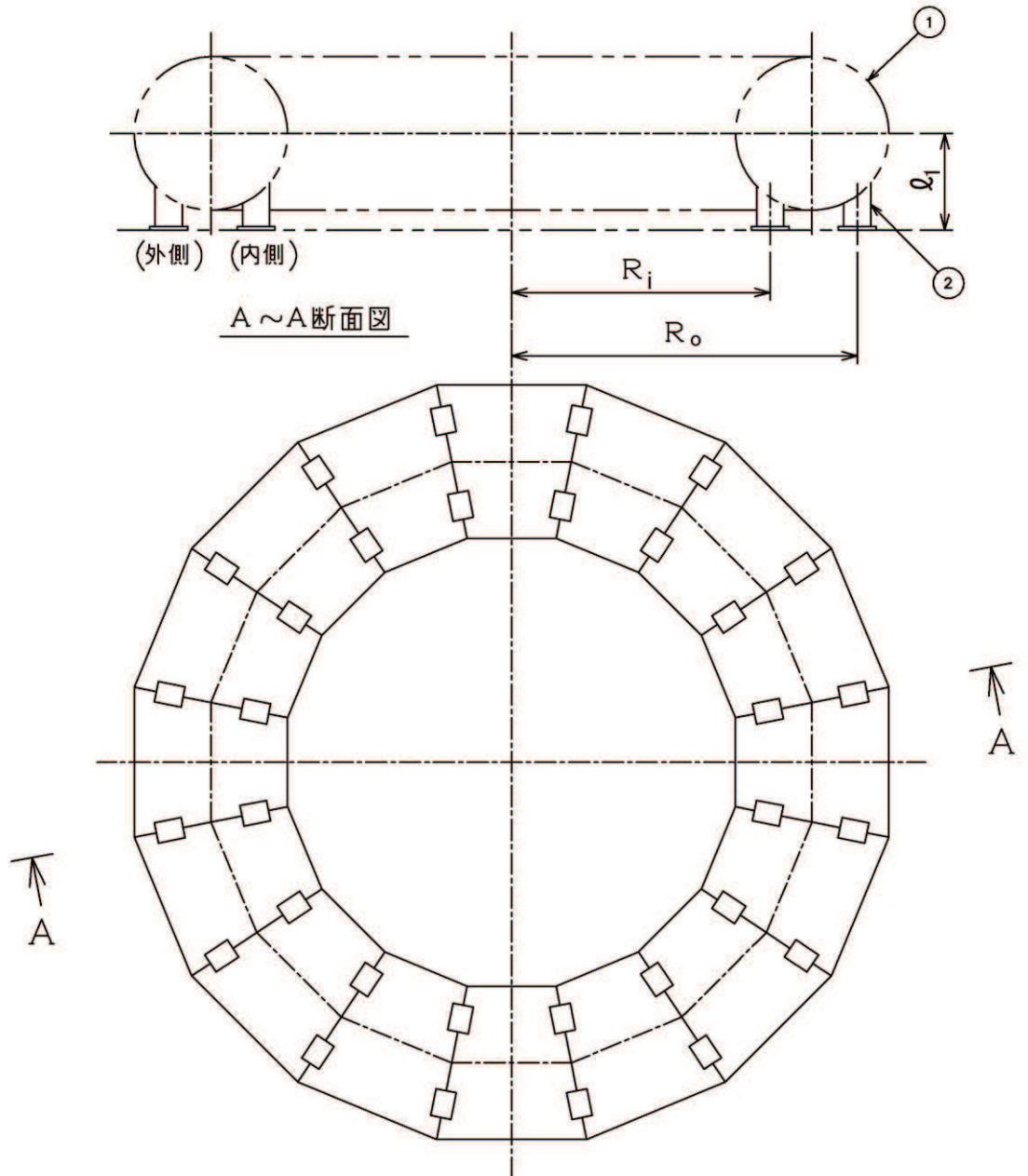
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
温度	°C	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ¹
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
断面係数	mm ³	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位* ²

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：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

ボックスサポートの形状及び主要寸法を図 3-1 に、評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。



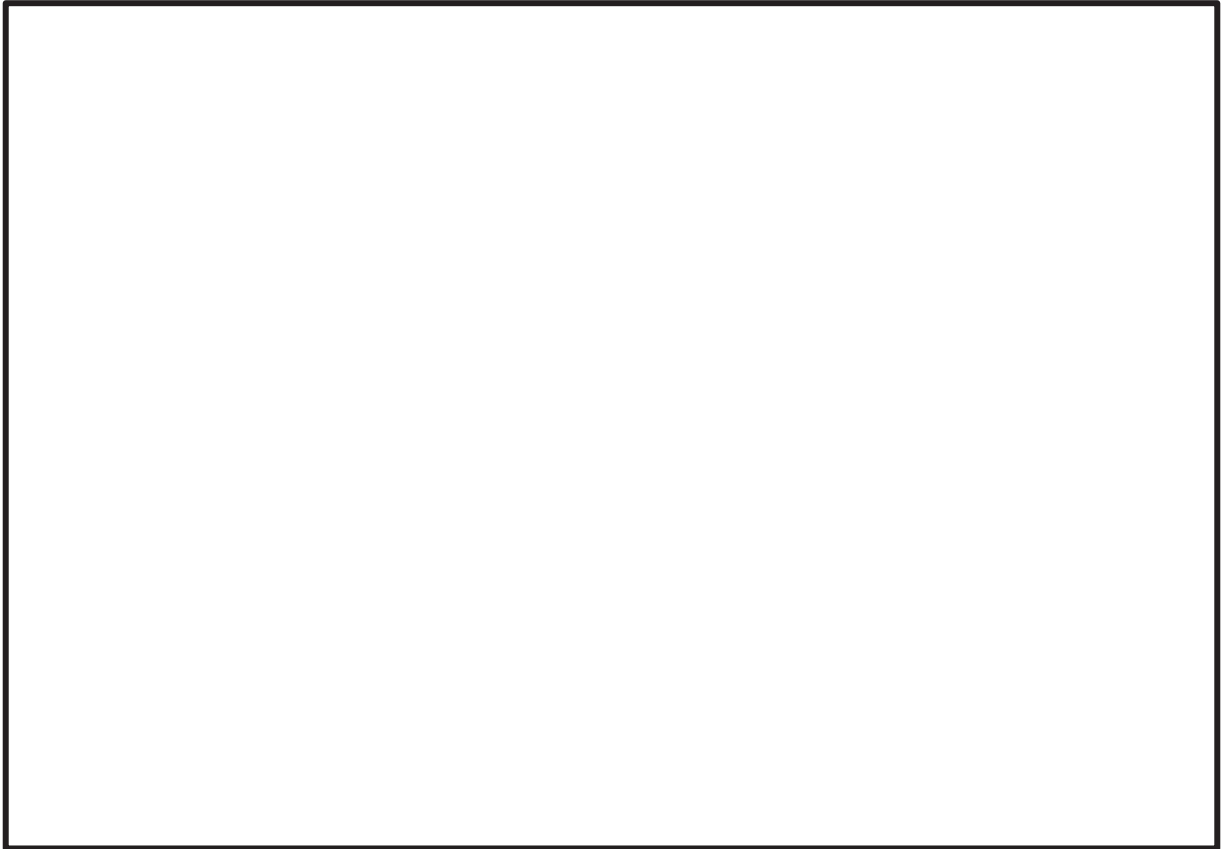
① サプレッションチェンバ ② ボックスサポート

$R_i = \square$ $R_o = \square$ $l_1 = \square$

(単位 : mm)

図 3-1 ボックスサポートの形状及び主要寸法 (その 1)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



- ① ボックスプレート ② フランジプレート ③ シヤラグ ④ 基礎ボルト
- ⑤ ベースプレート ⑥ シヤコネクタ ⑦ シヤプレート
- ⑧ 補強リブ ⑨ ベースプレート (外側) ⑩ シヤコネクタ (外側)
- ⑪ パッド

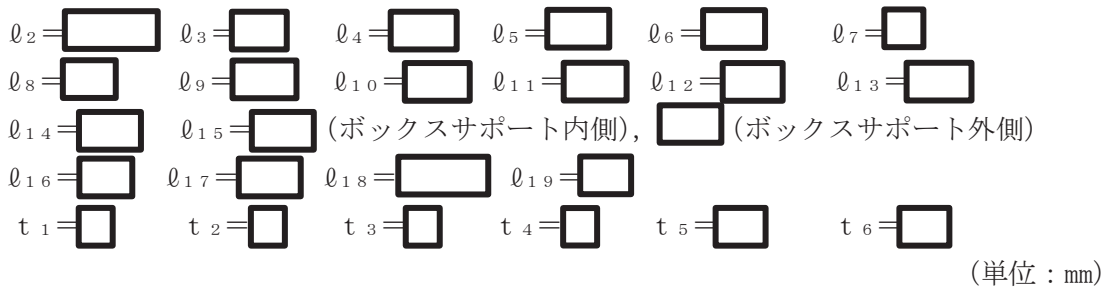


図 3-1 ボックスサポートの形状及び主要寸法 (その 2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位	使用材料	備考
ボックスプレート	SM400B	
フランジプレート	SM400B	
シヤラグ	SM400B	
ベースプレート	SM400B	
シヤコネクタ (外側)	[Redacted]	
補強リブ		
パッド		
基礎ボルト		
コンクリート	コンクリート ($F_c = 32.3 \text{ N/mm}^2$ [330kg/cm ²])	

4. 固有周期

ボックスサポートは、添付書類「VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示すサプレッションチェンバ及びボックスサポートの固有周期に基づく地震応答解析で計算した荷重を用いて評価をするため、本計算書ではボックスサポートの固有周期の計算は実施しない。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

(1) ボックスサポートは、サプレッションチェンバに溶接された箱型の支持構造であり、サプレッションチェンバ（大円）の半径方向の熱膨張を吸収する目的で可動する。サプレッションチェンバの周方向及び鉛直方向の地震荷重は、ボックスプレート、フランジプレート、シヤラグ、ベースプレート、シヤコネクタ及び基礎ボルト等を介して原子炉建屋に伝達される。

ボックスサポートの耐震評価として、添付書類「VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示すサプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析で計算された、ボックスサポートに作用する荷重を用いて、「5.4 計算方法」にて示す方法に従い、構造強度評価を行う。

(2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。

(3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

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

ボックスサポー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。

詳細な荷重の組合せは、添付書類「VI-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。

5.2.2 許容応力

ボックスサポートの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 及び表 5-4 に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ボックスサポー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 5-5 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	耐震重要度 分類	機器等 の区分	荷重の組合せ ^{*1, *2}		許容応力状態 ^{*1}	
原子炉格納 施設	原子炉格納 容器	ボックス サポート	S	クラスMC 支持構造物	D + P + M + S _d [*]	(9) (10) ^{*4} (13) (15)	Ⅲ _A S	
						D + P + M + S _s	(11) (12) ^{*4} (14)	Ⅳ _A S
							D + P _L + M _L + S _d ^{* *3}	(16) ^{*5}

注記*1：シヤラグ，ベースプレート，シヤコネクタ，基礎ボルトはその他の支持構造物であるが，冷却材喪失事故後地震時のサプレッションチェンバに生じる荷重を原子炉建屋に伝達させる機能の維持を確認する意味で，クラスMC支持構造物に準じた許容応力状態及び荷重の組合せを適用する。

*2：（ ）内は添付書類「VI-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3-6の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：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，構造体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。

*4：運転状態Ⅰによる燃料交換時の活荷重は，サプレッションチェンバに作用しないことから，荷重の組合せとして考慮せず評価しない。

5：ボックスサポートに対しては，荷重の組合せD + P + M + S_d^{}に包絡されるため，評価しない。

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 ^{*2, *3}		許容応力状態 ^{*2}
原子炉格納施設	原子炉格納容器	ボックスサポート	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2 支持構造物	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ ^{*4}	(V(L)-1)	V_{AS} ^{*5}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S$	(V(LL)-1)	V_{AS} ^{*5}

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

*2：シヤラグ，ベースプレート，シヤコネクタ，基礎ボルトは重大事故等クラス2支持構造物（その他の支持構造物）であるが，重大事故等後地震時のサプレッションチェンバに生じる荷重を原子炉建屋に伝達させる機能の維持を確認する意味で，重大事故等クラス2支持構造物（クラスMC支持構造物）に準じた許容応力状態及び荷重の組合せを適用する。

*3：（ ）内は添付書類「VI-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3-7の荷重の組合せのNo.を示す。

*4：重大事故等後の最高内圧及び最高温度との組合せを考慮する。

*5： V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

表5-3 クラスMC支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物の許容応力

応力分類 許容 応力状態	ボルト等以外										ボルト等
	一次応力					一次+二次応力					一次応力
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 /圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈	引張
Ⅲ _{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s^{*1}$	$3 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$		$1.5 \cdot f_t$
Ⅳ _{AS}						$\left[\begin{array}{l} S_d \text{ 又は } S_s \text{ 地震動のみ} \\ \text{による応力範囲について} \\ \text{評価する} \end{array} \right]$				$1.5 \cdot f_b,$ $1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$	
V _{AS} ^{*2}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$				$1.5 \cdot f_p^*$		

注記*1：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。

*2：V_{AS}としてⅣ_{AS}の許容限界を用いる。

表5-4 コンクリート部の許容応力度

許容応力状態	コンクリート部 (単位：N/mm ²)	
	圧縮応力度	せん断応力度
Ⅲ _{AS}	$\frac{2}{3} \cdot F_c$	$1.5 \cdot \min\left(\frac{F_c}{30}, 0.49 + \frac{F_c}{100}\right)$
Ⅳ _{AS}	$0.75 \cdot F_c$	
V _{AS} *		

注記*：V_{AS}としてⅣ_{AS}の許容限界を用いる。

表5-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件*		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度	(°C)				
ボックスプレート, ボックスプレート（上側）取付部, フランジプレート, シヤラグ, シヤラグ取付部, ベースプレート	SM400B	周囲環境 温度	104	—	192	373	—
シヤコネクタ（外側）取付部		周囲環境 温度	104	—			—
パッド		周囲環境 温度	104	—			—
基礎ボルト		周囲環境 温度	104	—			—

注記*：参照図書(1)の既工認と同様とする。

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）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ボックスプレート, ボックスプレート（上側）取付部, フランジプレート, シヤラグ, シヤラグ取付部, ベースプレート	SM400B	周囲環境 温度	178 ^{*1}	—	174	373	—
		周囲環境 温度	111 ^{*2}	—	191	373	—
シヤコネクタ（外側）取付部		周囲環境 温度	178 ^{*1}	—			—
		周囲環境 温度	111 ^{*2}	—			—
パッド		周囲環境 温度	178 ^{*1}	—			—
		周囲環境 温度	111 ^{*2}	—			—
基礎ボルト		周囲環境 温度	100 ^{*3}	—			—
			130 ^{*4}	—			—

注記*1 : SA 後長期 (L) のサプレッションチェンバ温度を考慮する。

*2 : SA 後長期 (LL) のサプレッションチェンバ温度を考慮する。

*3 : 重大事故等後の基準地震動 S_s 作用時の温度を示す。

*4 : 重大事故等後の弾性設計用地震動 S_d 作用時の温度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，最高使用温度及び水力学的動荷重は，既工認（参照図書(1)）からの変更はなく，次のとおりである。

a. 最高使用温度

温度 T 104°C

b. 死荷重

サプレッションチェンバ，ボックスサポート及びサプレッションチェンバ内部水の自重を死荷重とする。

死荷重 4.2×10^6 kg

c. 逃がし安全弁作動時の荷重

逃がし安全弁作動時，排気管内の気体が T-クエンチャからサプレッションプール水中に放出される際，サプレッションチェンバに圧力振動荷重が作用する。

最大正圧 kPa

最大負圧 kPa

d. ボックスサポート 1 個あたりに作用する鉛直方向荷重

前記 a, b 及び c の条件を基に，添付書類「VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示すサプレッションチェンバ及びボックスサポートの応力解析で計算された，ボックスサポート 1 個あたりに作用する鉛直方向荷重を表 5-7 に，基礎ボルト 1 本あたりに作用する軸方向荷重を表 5-8 に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

a. 重大事故等対処設備としての評価温度

重大事故等対処設備としての評価温度は，添付書類「VI-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，以下のとおりとする。

温度 T_{SAL} 178°C (SA 後長期 (L))

温度 T_{SALL} 111°C (SA 後長期 (LL))

b. 死荷重

サプレッションチェンバ，ボックスサポート及びサプレッションチェンバ内部水の自重を死荷重とする。

死荷重 6.77×10^6 kg

c. 水力的動荷重

重大事故等対処設備としての水力的動荷重は，以下のとおりである。

サプレッションチェンバに対して，低流量蒸気凝縮時に以下に示す蒸気凝縮振動（チャギング）荷重が作用する。

最大正圧 kPa

最大負圧 kPa

d. ボックスサポート 1 個あたりに作用する鉛直方向荷重

前記 a, b 及び c の条件を基に，添付書類「VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示すサプレッションチェンバ及びボックスサポートの応力解析で計算された，ボックスサポート 1 個あたりに作用する鉛直方向荷重を表 5-9 に，基礎ボルト 1 本あたりに作用する軸方向荷重を表 5-10 に示す。

表 5-7 ボックスサポート 1 個あたりに作用する鉛直方向荷重 (設計基準対象施設)

荷重	鉛直方向荷重 ^{*1}	
	(N)	
	F	
	内側 ^{*2}	外側 ^{*2}
死荷重		
チャギング荷重 (最大上向)		
チャギング荷重 (最大下向)		
逃がし安全弁作動時の荷重 (最大上向)		
逃がし安全弁作動時の荷重 (最大下向)		

注記*1: +は上向き (引張), -は下向き (圧縮) 荷重であることを示す。

*2: 内側はサプレッションチェンバ大円の内側に設置されたボックスサポート, 外側はサプレッションチェンバ大円の外側に設置されたボックスサポートを示す。

表 5-8 基礎ボルト 1 本あたりに作用する軸方向荷重 (設計基準対象施設)

荷重	軸方向荷重 ^{*1}	
	(N)	
	F _{t b}	
	内側 ^{*2}	外側 ^{*2}
死荷重		
チャギング荷重 (最大上向)		
チャギング荷重 (最大下向)		
逃がし安全弁作動時の荷重 (最大上向)		
逃がし安全弁作動時の荷重 (最大下向)		

注記*1: +は上向き (引張), -は下向き (圧縮) 荷重であることを示す。

*2: 内側はサプレッションチェンバ大円の内側に設置されたボックスサポート, 外側はサプレッションチェンバ大円の外側に設置されたボックスサポートを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-9 ボックスサポート 1 個あたりに作用する鉛直方向荷重 (重大事故等対処設備)

荷重	鉛直方向荷重 ^{*1}	
	(N)	
	F	
	内側 ^{*2}	外側 ^{*2}
死荷重		
チャギング荷重 (最大上向)		
チャギング荷重 (最大下向)		
逃がし安全弁作動時の荷重 (最大上向)		
逃がし安全弁作動時の荷重 (最大下向)		

注記*1: +は上向き (引張), -は下向き (圧縮) 荷重であることを示す。

*2: 内側はサプレッションチェンバ大円の内側に設置されたボックスサポート, 外側はサプレッションチェンバ大円の外側に設置されたボックスサポートを示す。

表 5-10 基礎ボルト 1 本あたりに作用する軸方向荷重 (重大事故等対処設備)

荷重	軸方向荷重 ^{*1}	
	(N)	
	F _{t b}	
	内側 ^{*2}	外側 ^{*2}
死荷重		
チャギング荷重 (最大上向)		
チャギング荷重 (最大下向)		
逃がし安全弁作動時の荷重 (最大上向)		
逃がし安全弁作動時の荷重 (最大下向)		

注記*1: +は上向き (引張), -は下向き (圧縮) 荷重であることを示す。

*2: 内側はサプレッションチェンバ大円の内側に設置されたボックスサポート, 外側はサプレッションチェンバ大円の外側に設置されたボックスサポートを示す。

5.3 設計用地震力

添付書類「VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示すサプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析で計算された、ボックスサポート1個当たりに作用する設計用地震力を表5-11及び表5-13に、基礎ボルト1本当たりに作用する設計用地震力を表5-12及び表5-14に示す。

表5-11 ボックスサポート1個当たりに作用する設計用地震力^{*2} (設計基準対象施設)

*1 応力評価点	地震荷重	水平方向荷重	鉛直方向荷重	モーメント
		(N)	(N)	(N・mm)
		W _s	F	M
P1~P4, P6~P11, 及びP6'	地震荷重 S _d * 作用時			
	地震荷重 S _s 作用時			
P2', P12	地震荷重 S _d * 作用時			
	地震荷重 S _s 作用時			

注記*1：応力評価点の位置は、図5-1参照のこと。

*2：設計用地震力のうち、上段はサプレッションチェンバ大円の内側に設置されたボックスサポート1個当たり、下段はサプレッションチェンバ大円の外側に設置されたボックスサポート1個当たりを示す。

表5-12 基礎ボルト1本当たりに作用する設計用地震力^{*2} (設計基準対象施設)

*1 応力評価点	地震荷重	軸方向荷重
		(N)
		F _{tb}
P5	地震荷重 S _d * 作用時	
	地震荷重 S _s 作用時	

注記*1：応力評価点の位置は、図5-1参照のこと。

*2：設計用地震力のうち、上段はサプレッションチェンバ大円の内側に設置されたボックスサポートの基礎ボルト1本当たり、下段はサプレッションチェンバ大円の外側に設置されたボックスサポートの基礎ボルト1本当たりを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-13 ボックスサポート 1 個あたりに作用する設計用地震力^{*2} (重大事故等対処設備)

*1 応力評価点	地震荷重	水平方向荷重 (N)	鉛直方向荷重 (N)	モーメント (N・mm)
		W _s	F	M
P1~P4, P6~P11, 及び P6'	地震荷重 S _d 作用時			
	地震荷重 S _s 作用時			
P2', P12	地震荷重 S _d 作用時			
	地震荷重 S _s 作用時			

注記*1：応力評価点の位置は，図 5-1 参照のこと。

注記*2：設計用地震力のうち，上段はサプレッションチェンバ大円の内側に設置されたボックスサポート 1 個当たり，下段はサプレッションチェンバ大円の外側に設置されたボックスサポート 1 個当たりを示す。

表 5-14 基礎ボルト 1 本あたりに作用する設計用地震力^{*2} (重大事故等対処設備)

*1 応力評価点	地震荷重	軸方向荷重 (N)
		F _{tb}
P5	地震荷重 S _d 作用時	
	地震荷重 S _s 作用時	

注記*1：応力評価点の位置は，図 5-1 参照のこと。

注記*2：設計用地震力のうち，上段はサプレッションチェンバ大円の内側に設置されたボックスサポートの基礎ボルト 1 本当たり，下段はサプレッションチェンバ大円の外側に設置されたボックスサポートの基礎ボルト 1 本当たりを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.4 計算方法

5.4.1 応力評価点

ボックスサポートの応力評価点は、ボックスサポー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する。選定した応力評価点を表 5-15 及び図 5-1 に示す。

表 5-15 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	ボックスプレート
P2	ボックスプレート取付部
P2'	ボックスプレート（上側）取付部
P3	フランジプレートとシヤラグ接触部
P4	シヤラグ取付部
P5	基礎ボルト
P6	フランジプレート
P6'	フランジプレート（外側）
P7	ベースプレート
P8	シヤコネクタ（外側）取付部
P9	コンクリート（ベースプレート下面）
P10	コンクリート（シヤコネクタ（外側）側面）
P11	コンクリート（シヤプレート上面）
P12	パッド取付部

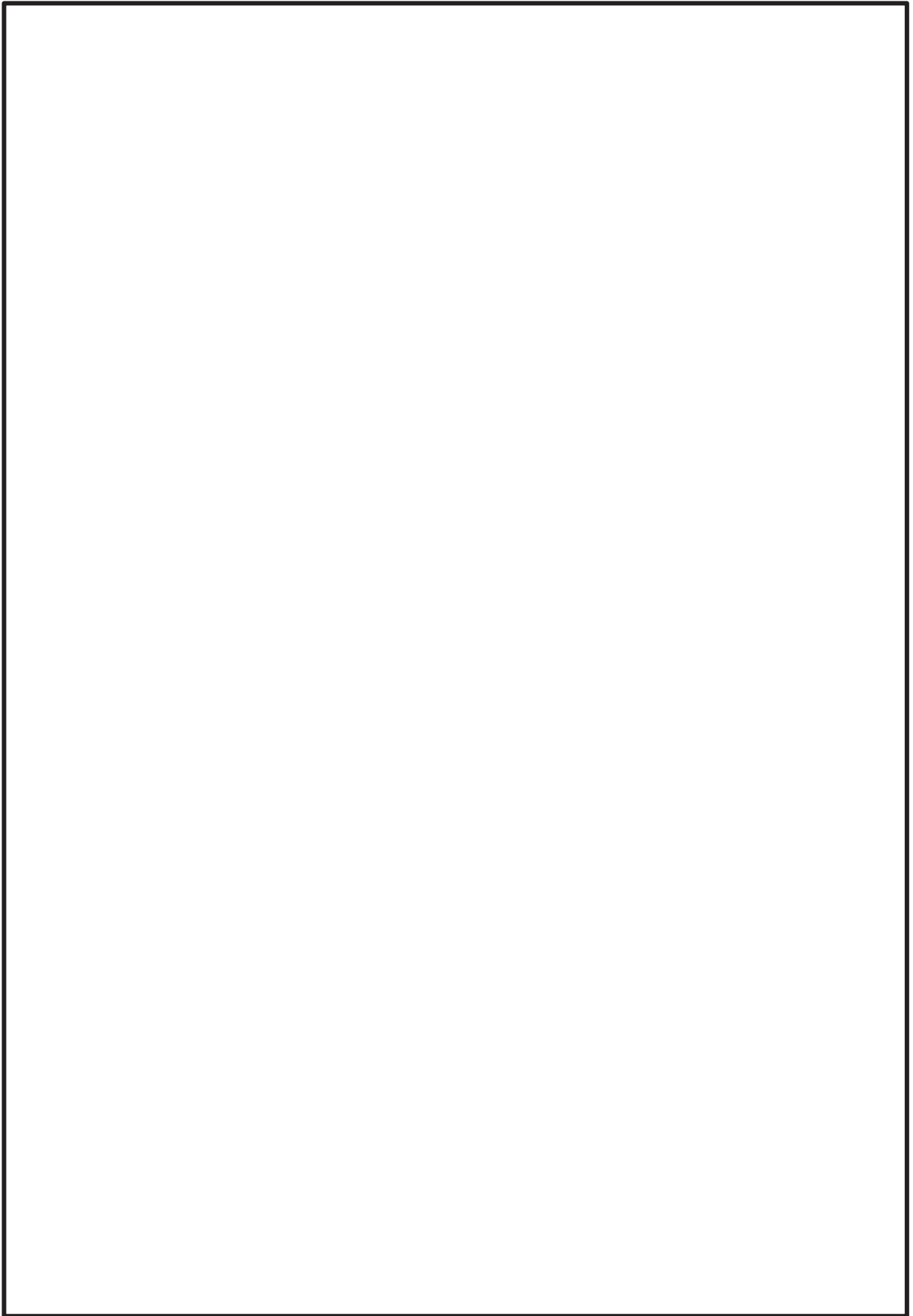


図 5-1 ボックスサポートの応力評価点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.4.2 ボックスプレート（応力評価点 P1）

ボックスプレートに作用する荷重の状態を図 5-2 に示す。

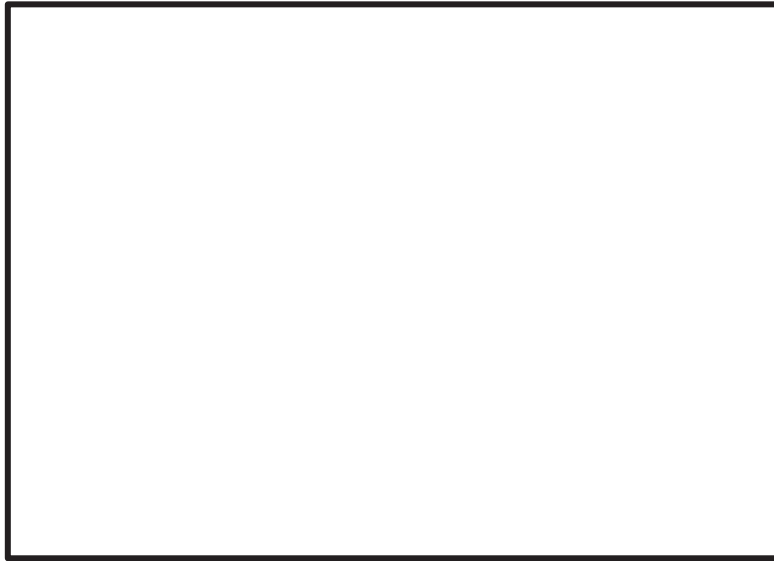


図 5-2 ボックスプレートに作用する荷重の状態

(1) 荷重

図 5-2 の応力評価点 P1 に作用する荷重は、表 5-7，表 5-9，表 5-11 及び表 5-13 に示す鉛直方向荷重 F ，水平方向荷重 W_s ，モーメント M を用いる。

(2) 断面性能

応力評価点 P1 における断面性能を表 5-16 に示す。

表 5-16 ボックスプレートの断面性能*

位置	断面積 A	断面係数 Z
内側ボックスサポート		
外側ボックスサポート		

注記*：補強リブを含む。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 応力計算

前記(1)の荷重作用時の応力計算方法を示す。

応力評価点 P1 (内側ボックスサポート及び外側ボックスサポート)

せん断応力

$$\tau = \frac{W_S}{A}$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

ここに,

F : 下向き最大の鉛直方向荷重

引張応力

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

ここに,

F : 上向き最大の鉛直方向荷重

5.4.3 ボックスプレート取付部（応力評価点 P2）

ボックスプレート取付部に作用する荷重の状態は，図 5-2 と同様である。

(1) 荷重

図 5-2 の応力評価点 P2 に作用する荷重は，表 5-7，表 5-9，表 5-11 及び表 5-13 に示す鉛直方向荷重 F，水平方向荷重 W_s，モーメント M を用いる。

(2) 断面性能

応力評価点 P2 における断面性能を表 5-17 に示す。

表 5-17 ボックスプレート取付部の断面性能*

位置	断面積 A	断面係数 Z
内側ボックスサポート		
外側ボックスサポート		

注記*：補強リブを含む。

(3) 応力計算

前記 (1) における荷重作用時の応力計算方法を示す。

応力評価点 P2

せん断応力

$$\tau = \frac{W_s}{A}$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

引張応力

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

5.4.4 ボックスプレート（上側）取付部（応力評価点 P2'）

ボックスプレート上端の取付部に作用する荷重の状態は，図 5-2 と同様である。

(1) 荷重

図 5-2 の応力評価点 P2' に作用する荷重は，表 5-7，表 5-9，表 5-11 及び表 5-13 に示す鉛直方向荷重 F，水平方向荷重 W_S，モーメント M を用いる。

(2) 断面性能

応力評価点 P2' における断面性能を表 5-18 に示す。

表 5-18 ボックスプレート（上側）取付部の断面性能*

位置	断面積 A	断面係数 Z
内側ボックスサポート		
外側ボックスサポート		

注記*：補強リブを含む。

(3) 応力計算

前記(1)における荷重作用時の応力計算方法を示す。

応力評価点 P2'

せん断応力

$$\tau = \frac{W_S}{A}$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

引張応力

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.4.5 フランジプレートとシヤラグ接触部及びシヤラグ取付部（応力評価点 P3, P4）

フランジプレートとシヤラグ接触部及びシヤラグ取付部に作用する荷重の状態を図 5-3 に示す。



図 5-3 フランジプレートとシヤラグ接触部及びシヤラグ取付部に作用する荷重の状態

(1) 荷重

図 5-3 の応力評価点 P3 及び P4 に作用する荷重は，表 5-11 及び表 5-13 に示す水平方向荷重 W_s と，以下に示すモーメントを用いる。

応力評価点 P4 に生じるモーメント

$$M = W_s \cdot (l_7 + t_4 / 2)$$

(2) 断面性能

応力評価点 P3, P4 における断面性能を表 5-19 に示す。

表 5-19 フランジプレートとシヤラグ接触部及びシヤラグ取付部の断面性能

位置	断面積 A	断面係数 Z
フランジプレートとシヤラグ接触部 (P3)		
シヤラグ取付部 (P4)		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 応力計算

前記(1)における荷重作用時の応力計算方法を示す。

応力評価点 P3

支圧応力

$$\sigma_p = \frac{W_s}{A}$$

応力評価点 P4

せん断応力

$$\tau = \frac{W_s}{A}$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

5.4.6 基礎ボルト（応力評価点 P5）

(1) 荷 重

図 5-1 の応力評価点 P5 に作用する荷重は、表 5-8、表 5-10、表 5-12 及び表 5-14 に示す基礎ボルト 1 本あたりに作用する軸方向荷重 F_{tb} を用いる。

(2) 断面性能

応力評価点 P5 における断面性能を以下に示す。

断面積

$$A_b = \boxed{} \text{ mm}^2$$

(3) 応力計算

前記(1)における荷重作用時の応力計算方法を示す。

応力評価点 P5

引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_{tb}}{A_b}$$

ここに、

F_{tb} : 基礎ボルト 1 本あたりに作用する軸方向引張荷重

5.4.7 フランジプレート(応力評価点 P6)

(1) 計算モデル

計算モデルとして図 5-4 を考える。図 5-4 におけるA点, すなわち引張側のフランジプレートに対し, 応力計算は「5.4.6 基礎ボルト (応力評価点 P5)」に示す基礎ボルトの引張荷重を用いる。

図 5-4 におけるB点, すなわち圧縮側のフランジプレートに対し, 応力計算は参照図書(2)の 10 章に基づいて行う。使用記号は特記以外, 参照図書(2)に従う。

a. 中立軸がボルト間にある場合

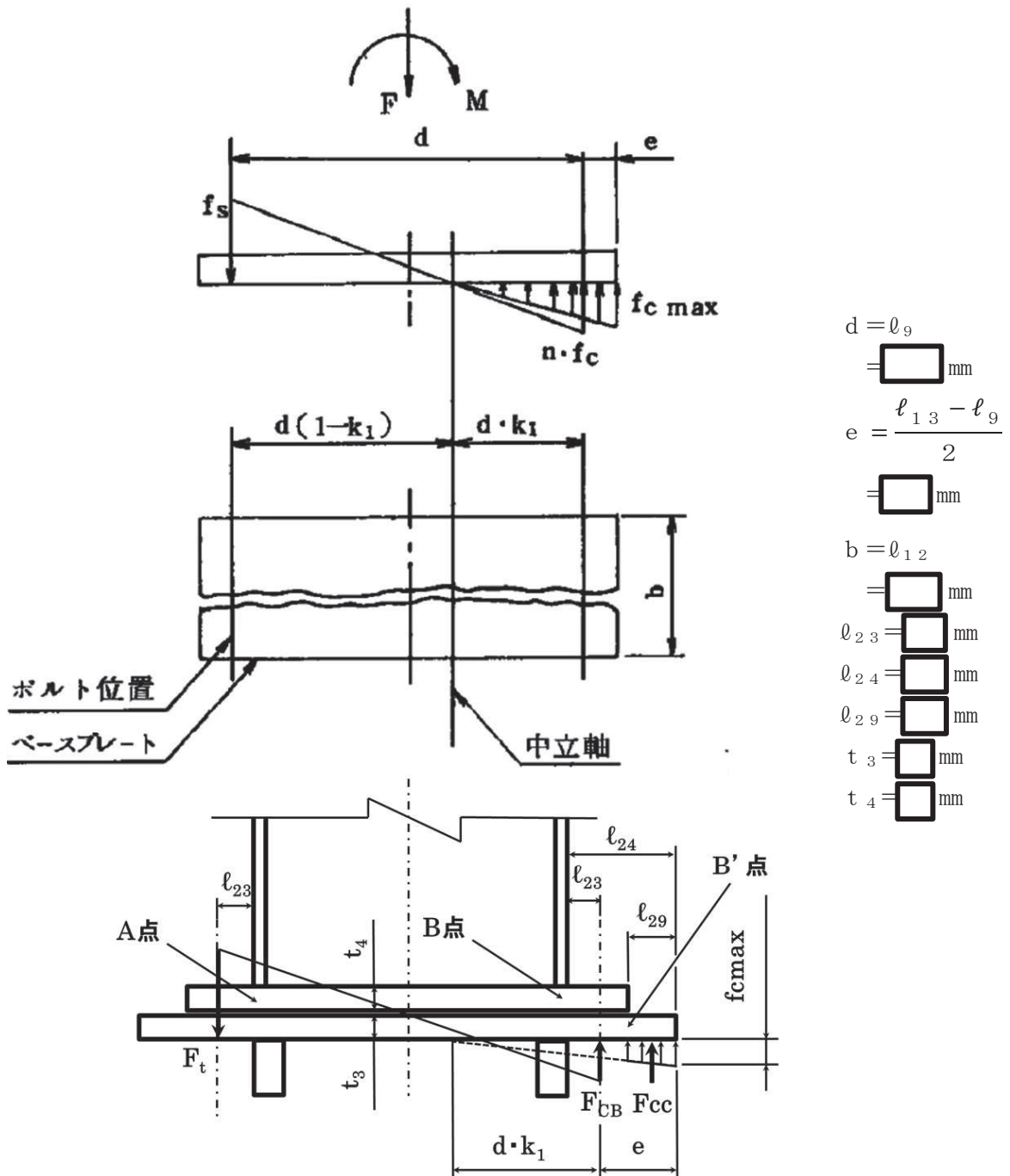


図 5-4 フランジプレートの計算モデル (その 1)

b. 中立軸がボルトとベースプレート端部間にある場合

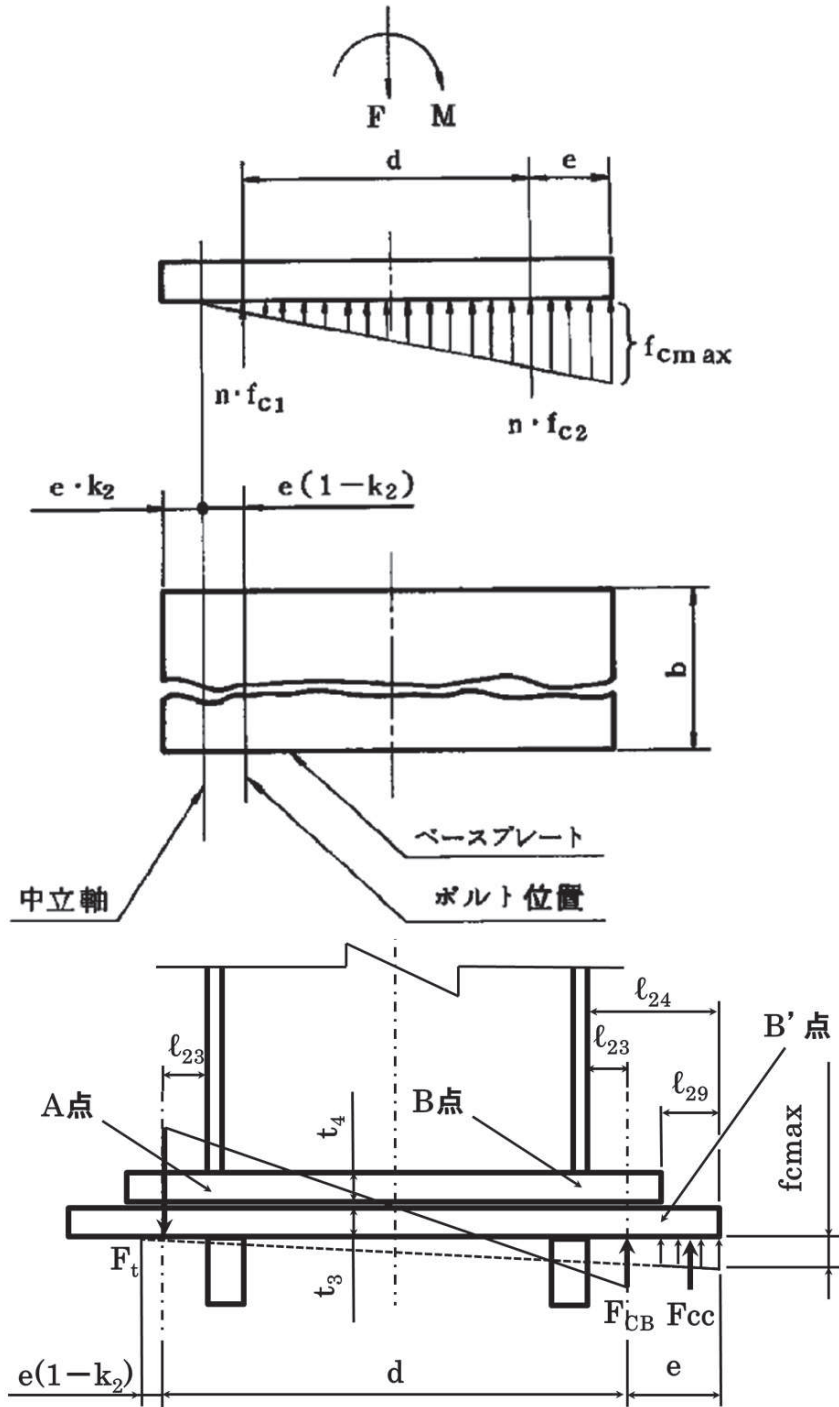


図 5-4 フランジプレートの計算モデル (その 2)

c. 中立軸がベースプレート端部より外にある場合

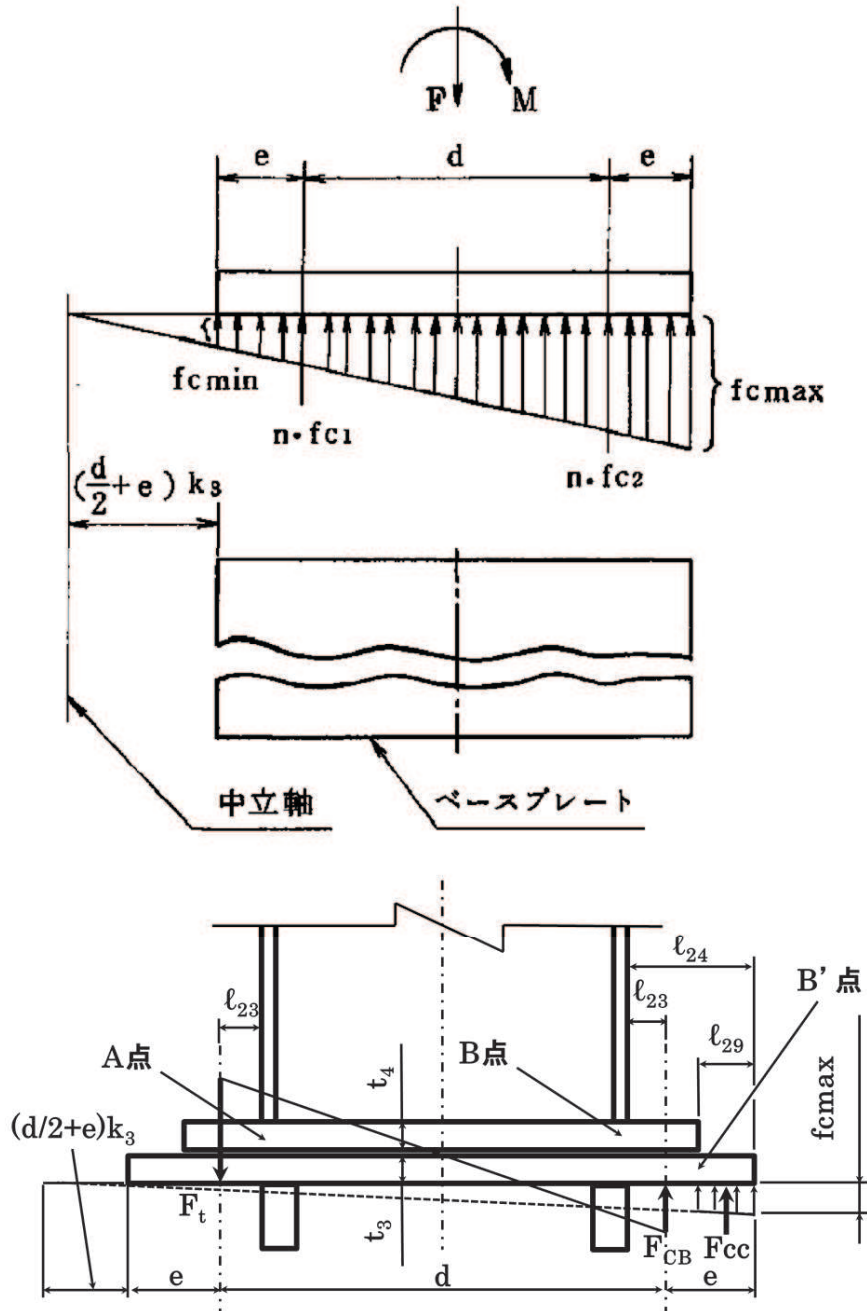


図 5-4 フランジプレートの計算モデル (その 3)

(2) 使用記号

B点における圧縮側のフランジプレートに対する計算において使用する記号

M : 曲げモーメント

F : 鉛直荷重

f_s : ボルトの引張応力

f_c : コンクリートの圧縮応力

f_{cmax} : コンクリートの最大圧縮応力

k : 係数で

$$k_1 = 1 / \{ 1 + f_s / (n \cdot f_c) \}$$

(中立軸がボルト間にある場合)

$$k_2 = \frac{f_{cmax} \cdot e - f_{c1} (d + 2e)}{e (f_{cmax} - f_{c1})}$$

(中立軸がボルトとベースプレート端部間にある場合)

$$k_3 = \frac{f_{cmax} \cdot e - f_{c1} (d + 2e)}{(\frac{d}{2} + e) (f_{c1} - f_{cmax})}$$

(中立軸がボルトとベースプレート端部より外にある場合)

n : $n = E_s / E_c = 15$

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 : ボルトの本数 (片側) $N = 4$

A_b : ボルト一本の断面積 (呼び径)

$$A_b = \text{} \text{ mm}^2$$

A_c : 圧縮側のベースプレートの面積

$$A_{c1} = (k_1 \cdot d + e) b$$

(中立軸がボルト間にある場合)

$$A_{c2} = (d + 2 \cdot e - e \cdot k_2) b$$

(中立軸がボルトとベースプレート端部間にある場合)

$$A_{c3} = (d + 2 \cdot e) b$$

(中立軸がベースプレート端部より外にある場合)

b, d, e : 図 5-4 に示すベースプレートの寸法

A点 : 図 5-4 に示すフランジプレートにおいて、曲げモーメントが作用した場合に引張側 (中立軸がボルトとベースプレート端部間またはベースプレート端部より外にある場合は圧縮側) となる箇所

B点 : 図 5-4 に示すフランジプレートにおいて、曲げモーメントが作用した場合に圧縮側となる箇所

B'点 : 図 5-4 に示すベースプレートにおいて、曲げモーメントが作用した場合に圧縮側となる箇所

F_t : 「5.4.6 基礎ボルト（応力評価点 P5）」を基に、1 列の基礎ボルトよりフランジプレートが受ける引張力

$$F_t = N \cdot F_{tb}$$

F_{CB} : 基礎ボルトよりベースプレートが受ける圧縮力

$$F_{CB} = N \cdot A_b \cdot n \cdot f_c$$

F_{CC} : コンクリートよりベースプレートが受ける圧縮力

$$F_{CC} = \frac{f_{c \max}}{2} \left(1 + \frac{d \cdot k_1 - \ell_{23}}{d \cdot k_1 + e} \right) \cdot \ell_{24} \cdot \ell_{12}$$

(中立軸がボルト間にある場合)

$$F_{CC} = \frac{f_{c \max}}{2} \left(1 + \frac{d + (1 - k_2) e - \ell_{23}}{d + (1 - k_2) e + e} \right) \cdot \ell_{24} \cdot \ell_{12}$$

(中立軸がボルトとベースプレート端部間にある場合)

$$F_{CC} = \frac{f_{c \max}}{2} \left(1 + \frac{\left(\frac{d}{2} + e \right) k_3 + d + e - \ell_{23}}{\left(\frac{d}{2} + e \right) k_3 + d + 2e} \right) \cdot \ell_{24} \cdot \ell_{12}$$

(中立軸がボルトとベースプレート端部より外にある場合)

(3) 荷重のつり合い条件式

B点における圧縮側のフランジプレートに対し、参照図書(2)の10章より、既工認同様に荷重のつり合い条件式を用いて荷重を算出する。

(4) 断面性能

応力評価点 P6 における断面性能を以下に示す。

a. 引張側のフランジプレート (A点)

フランジプレートの断面剛性に加え、補強リブの剛性を考慮する。

断面積

$$A = \boxed{} \text{ mm}^2$$

断面係数

$$Z = \boxed{} \text{ mm}^3$$

b. 圧縮側のフランジプレート (B点)

前記(a)に加え、ベースプレートの剛性を考慮する。

断面積

$$A = \boxed{} \text{ mm}^2$$

断面係数

$$Z = \boxed{} \text{ mm}^3$$

(5) 応力計算

前記(3)における荷重作用時の応力計算方法を示す。

応力評価点 P6

a. 引張側のフランジプレート

せん断応力

$$\tau = \frac{F_t}{A}$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここに,

M : A点に生じるモーメント

$$M = F_t \cdot \ell_{23}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. 圧縮側のフランジプレート

せん断応力

$$\tau = \frac{F_{CB} + F_{CC}}{A}$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここに,

M : B点に生じるモーメント

$$M = F_{CB} \cdot \ell_{23} + F_{CC} \cdot \frac{\ell_{24}}{3} \cdot \frac{3d \cdot k_1 + 2e - \ell_{23}}{2d \cdot k_1 + e - \ell_{23}}$$

(中立軸がボルト間にある場合)

$$M = F_{CB} \cdot \ell_{23} + F_{CC} \cdot \frac{\ell_{24}}{3} \cdot \frac{3d + 3(1 - k_2)e + 2e - \ell_{23}}{2d + 2(1 - k_2)e + e - \ell_{23}}$$

(中立軸がボルトとベースプレート端部間にある場合)

$$M = F_{CB} \cdot \ell_{23} + F_{CC} \cdot \frac{\ell_{24}}{3} \cdot \frac{3\left(\frac{d}{2} + e\right)k_3 + 3d + 5e - \ell_{23}}{(d + 2e)k_3 + 2d + 3e - \ell_{23}}$$

(中立軸がボルトとベースプレート端部より外にある場合)

5.4.8 フランジプレート（外側）（応力評価点 P6'）

(1) 計算モデル

計算モデルとして図 5-5 を考える。



なお、荷重の組合せ $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ (V(LL)-1) におけるボックスサポートに限り、上述の曲げ応力の計算方法に代え、実機構造を反映した境界条件を設定するために、(2)に示す有限要素法を用いた応力解析を行う。

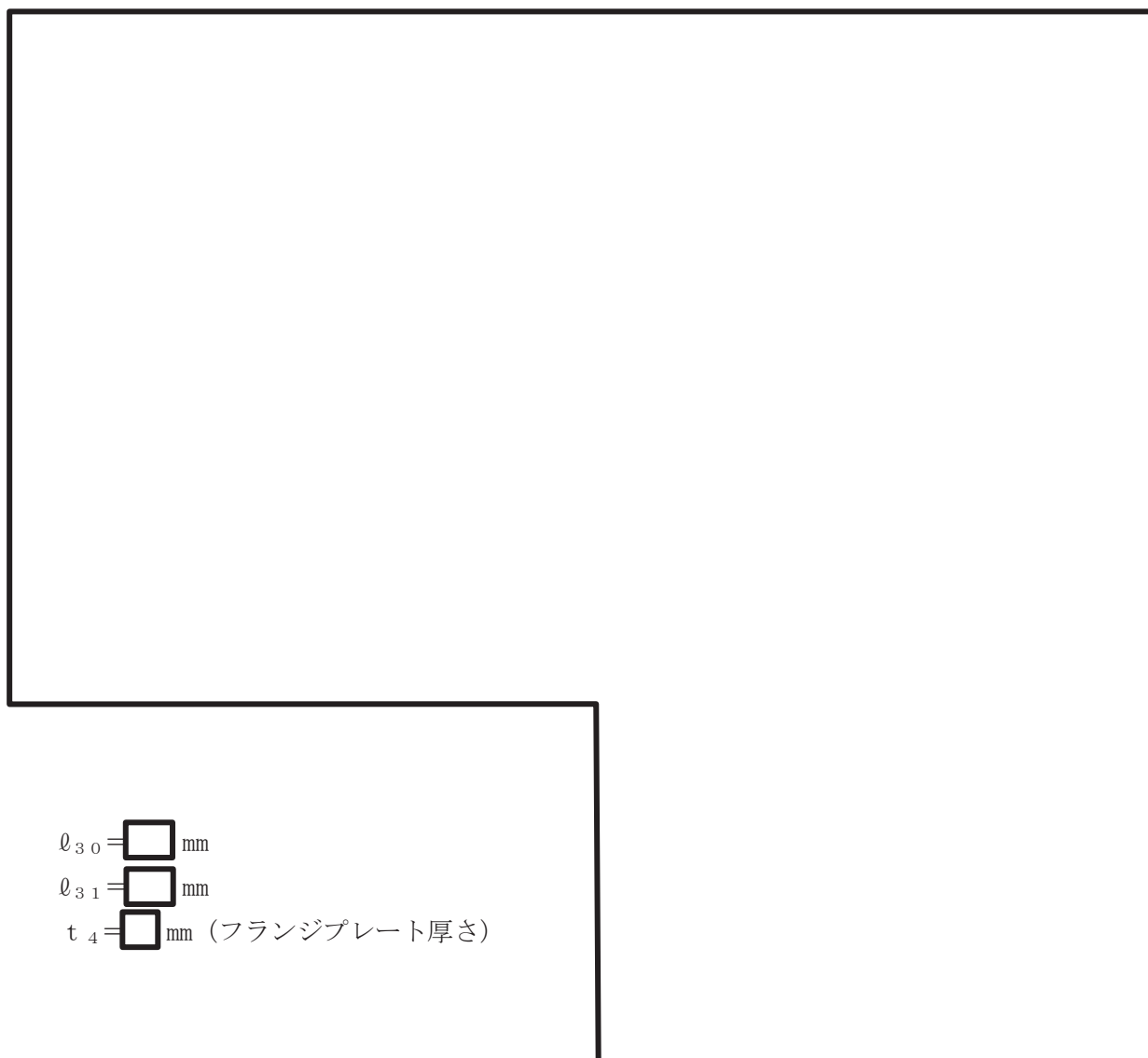


図 5-5 フランジプレート（外側）の構造

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 解析モデル及び諸元

荷重の組合せ $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ (V(LL)-1) におけるボックスサポート (フランジプレート (外側)) の応力計算に用いる解析モデルを図 5-6, 諸元を表 5-20 に, 概要を以下に示す。

- a. フランジプレート (外側) に対し, 3次元シェル要素による有限要素解析手法を適用する。



- d. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用する。

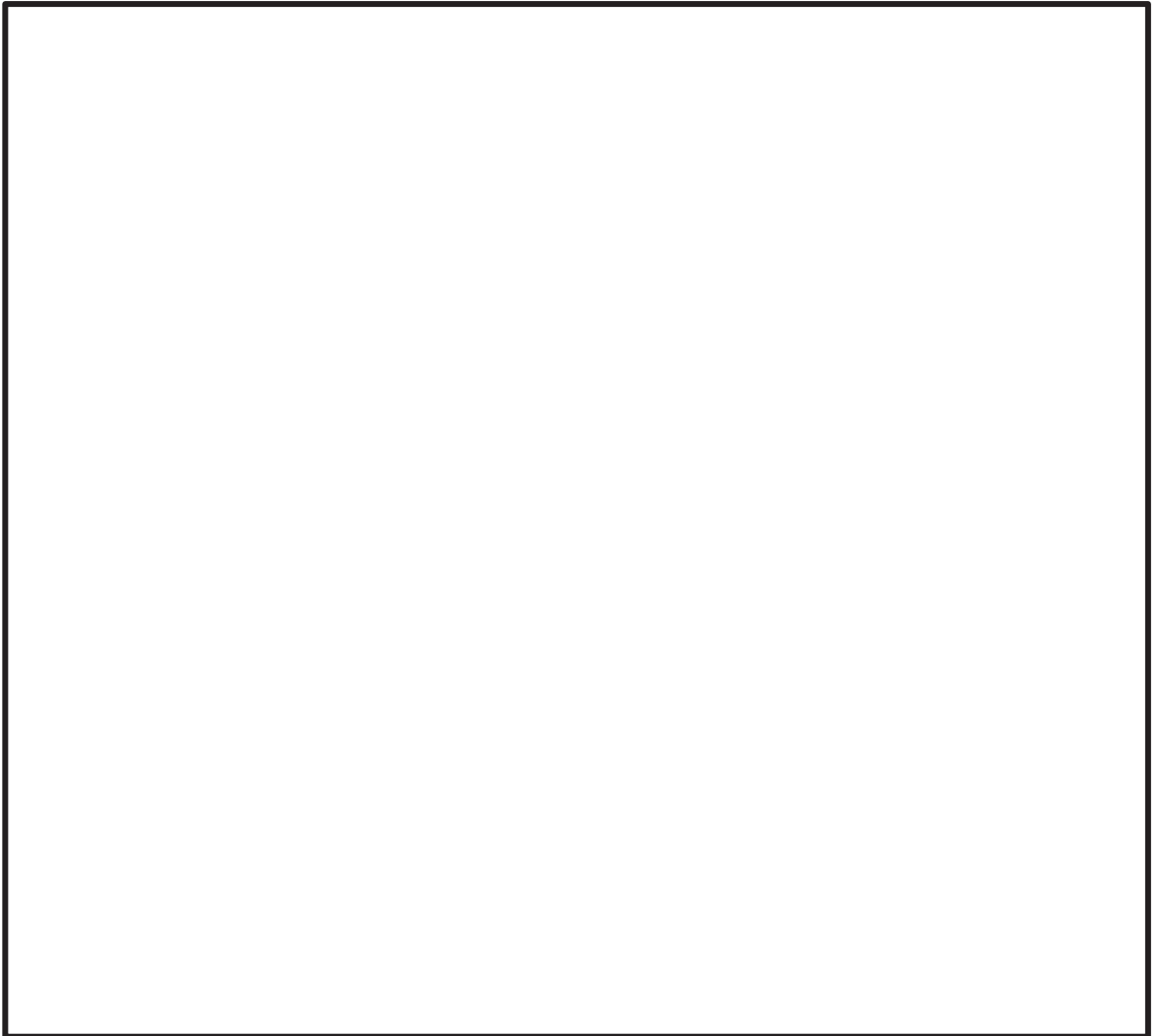


図 5-6 フランジプレート (外側) の応力解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-20 (1) 機器諸元 (その 1)

項目	記号	単位	入力値
			重大事故等対処設備
材質	—	—	SM400B
温度条件	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	

注記*：解析モデルの温度は、通常運転時温度と限界温度の平均温度とする。なお、許容応力は各運転状態の最高温度で算出する。

表 5-20 (2) 機器諸元 (その 2)

項目	要素数	節点数
(1) フランジプレート部分シェルモデル		

(3) 応力計算

前記(1)における荷重作用時の応力計算方法を示す。

応力評価点 P6'

せん断応力

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

ここに,

F_{tb} : 「5.4.6 基礎ボルト (応力評価点 P5)」に示す基礎ボルト1本よりフランジプレート (外側) が受ける荷重

A : 断面積

$$A = (\ell_{30} + 2\ell_{31}) \cdot t_4$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{\beta \cdot q \cdot \ell_{31}^2}{t_4}$$

ここに,

β : 参照図書(3)より求められる係数

q : 「5.4.6 基礎ボルト (応力評価点 P5)」に示す基礎ボルトよりフランジプレート (外側) が受ける等分布荷重

$$q = \frac{F_{tb}}{\ell_{30} \cdot \ell_{31}}$$

ただし、荷重の組合せ $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ (V(LL)-1) におけるボックスサポート (フランジプレート (外側)) の曲げ応力は、(2)の解析モデルで計算した最大曲げ応力とする。

5.4.9 ベースプレート(応力評価点 P7)

応力計算は、参照図書(2)の10章に基づいて行う。

(1) 計算モデル

計算モデルは、「5.4.7 フランジプレート(応力評価点 P6)」の図 5-4 と同様とし、B' 点における圧縮側のベースプレートに対して計算する。

(2) 使用記号

下記を除いて、使用記号は、「5.4.7 フランジプレート(応力評価点 P6)」(2)と同様である。

F_{CC} : コンクリートよりベースプレートが受ける圧縮力 (B' 点)

$$F_{CC} = \frac{f_{c \max}}{2} \left(1 + \frac{d \cdot k_1 + e - \ell_{29}}{d \cdot k_1 + e} \right) \cdot \ell_{29} \cdot \ell_{12}$$

(中立軸がボルト間にある場合)

$$F_{CC} = \frac{f_{c \max}}{2} \left(1 + \frac{d + (1 - k_2) e + e - \ell_{29}}{d + (1 - k_2) e + e} \right) \cdot \ell_{29} \cdot \ell_{12}$$

(中立軸がボルトとベースプレート端部間にある場合)

$$F_{CC} = \frac{f_{c \max}}{2} \left(1 + \frac{\left(\frac{d}{2} + e \right) k_3 + d + 2e - \ell_{29}}{\left(\frac{d}{2} + e \right) k_3 + d + 2e} \right) \cdot \ell_{29} \cdot \ell_{12}$$

(中立軸がボルトとベースプレート端部より外にある場合)

(3) 荷重のつり合い条件式

荷重のつり合い条件式は、「5.4.7 フランジプレート(応力評価点 P6)」(3)と同様である。

(4) 断面性能

応力評価点 P7 における断面性能を以下に示す。なお、有効幅として安全側にベースプレートの幅 ℓ_{12} よりも短いフランジプレートの幅 ℓ_{10} を考慮することで保守的な断面性能とする。

断面積

$$A = \boxed{} \text{ mm}^2$$

断面係数

$$Z = \boxed{} \text{ mm}^3$$

(5) 応力計算

せん断応力

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

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここに,

M : B' 点に生じるモーメント

$$M = F_{CC} \cdot \frac{\ell_{29}}{3} \cdot \left(3 - \frac{3d \cdot k_1 + 3e - 2\ell_{29}}{2d \cdot k_1 + 2e - \ell_{29}} \right)$$

(中立軸がボルト間にある場合)

$$M = F_{CC} \cdot \frac{\ell_{29}}{3} \cdot \left(3 - \frac{3d + 3(1 - k_2)e + 3e - 2\ell_{29}}{2d + 2(1 - k_2)e + 2e - \ell_{29}} \right)$$

(中立軸がボルトとベースプレート端部間にある場合)

$$M = F_{CC} \cdot \frac{\ell_{29}}{3} \cdot \left(3 - \frac{3\left(\frac{d}{2} + e\right)k_3 + 3d + 6e - 2\ell_{29}}{(d + 2e)k_3 + 2d + 4e - \ell_{29}} \right)$$

(中立軸がボルトとベースプレート端部より外にある場合)

5.4.10 シヤコネクタ（外側）取付部（応力評価点 P8）

シヤコネクタ（外側）取付部に作用する荷重の状態を図 5-7 に示す。



図 5-7 シヤコネクタ（外側）取付部に作用する荷重の状態

(1) 荷重

図 5-7 の応力評価点 P8 に作用する荷重は、表 5-11 及び表 5-13 に示す水平方向荷重 W_s と、以下に示すモーメントを用いる。

モーメント

$$M = W_s \cdot l_{32} / 2$$

(2) 断面性能

応力評価点 P8 における断面性能を表 5-21 に示す。

表 5-21 シヤコネクタ（外側）取付部の断面性能

位置	断面積 A	断面係数 Z
内側ボックスサポート		
外側ボックスサポート		

(3) 応力計算

表 5-21 における荷重作用時の応力計算方法を示す。

せん断応力

$$\tau = \frac{W_s}{A}$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

5.4.11 コンクリート（応力評価点 P9, P10, P11）

(1) コンクリート（ベースプレート下面）（応力評価点 P9）

ベースプレート下面コンクリートの圧縮応力は、「5.4.7 フランジプレート（応力評価点 P6）」で求めた f_{cmax} とする。

(2) コンクリート（シヤコネクタ（外側）側面）（応力評価点 P10）

シヤコネクタ（外側）側面コンクリートの支圧応力 σ_p は、表 5-11 及び表 5-13 に示す水平方向荷重 W_s と、図 5-7 より、

$$\sigma_p = \frac{W_s}{l_{32} \cdot l_{15}}$$

- (3) コンクリート（シヤプレート上面）（応力評価点 P11）
 計算モデルとして図 5-8 を考える。

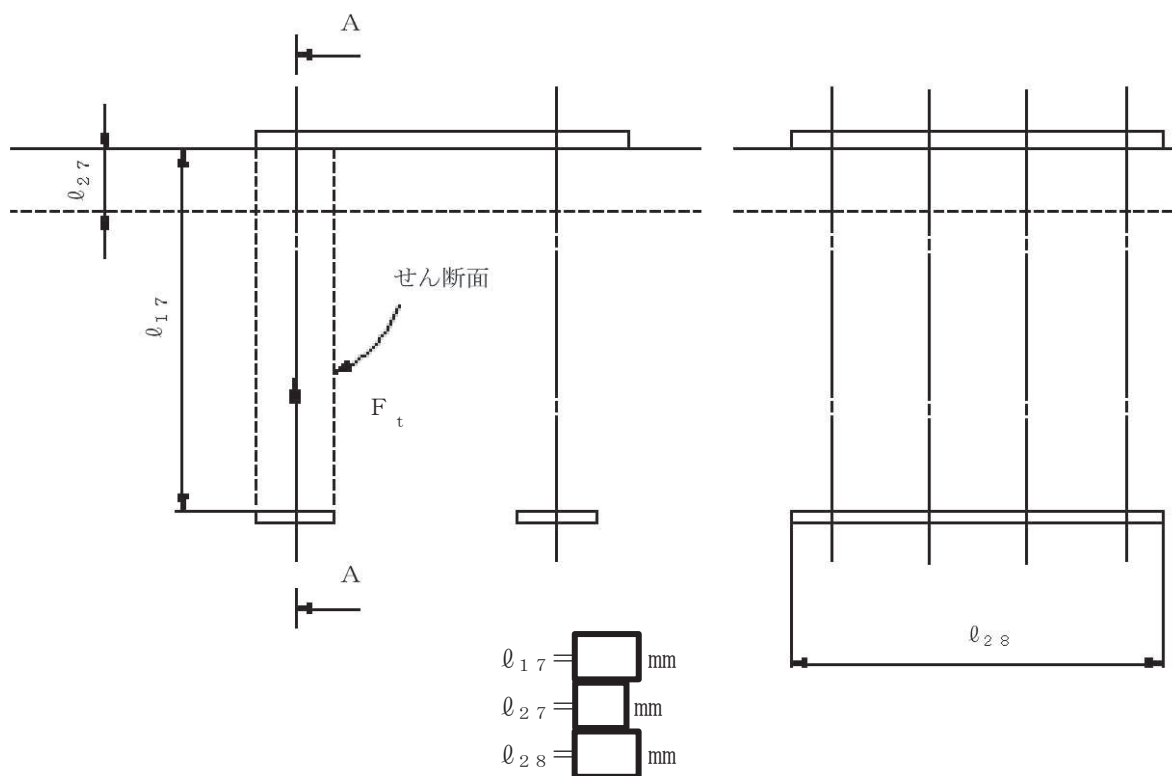


図 5-8 シヤプレート上面コンクリートの計算モデル

基礎ボルトに作用する引張力により，シヤプレート上面コンクリートに生じるせん断応力は，

$$\tau = \frac{F_t}{A}$$

ここに，

F_t : 「5.4.7 フランジプレート（応力評価点 P6）」に示す，1 列の基礎ボルトより受ける引張力

A : コンクリートせん断有効面積

$$A = 2 (l_{17} - l_{27}) \cdot l_{28}$$

5.4.12 パッド取付部（応力評価点 P12）

パッド取付部の概要図を図 5-9 に示す。なおパッド取付部に作用する荷重の状態は、図 5-2 と同様である。



図 5-9 パッド取付部概要図

(1) 荷重

応力評価点 P12 に作用する荷重は、表 5-7、表 5-9、表 5-11 及び表 5-13 に示す鉛直方向荷重 F 、水平方向荷重 W_s 、モーメント M を用いる。

(2) 断面性能

応力評価点 P12 における断面性能を表 5-22 に示す。

表 5-22 パッド取付部（上側）の断面性能

位置	断面積 A	断面係数 Z
内側ボックスサポート		
外側ボックスサポート		

(3) 応力計算

前記 (1) における荷重作用時の応力計算方法を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

応力評価点 P12

せん断応力

$$\tau = \frac{W_s}{A}$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

引張応力

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

5.5 計算条件

応力解析に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた各応力が表 5-3 及び表 5-4 で定める許容応力以下であること。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 (PVB-3313 を除く。S_mはSと読み替える。)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。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

ボックスサポー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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表6-1及び表6-2に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」における表3-6の荷重の組合せのNo.を記載する。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D+P+M+S d*) (その 1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
ボックス サポート	P1	ボックスプレート	一次応力	引張	14	192	○	(13)	
				せん断	12	111	○	(13)	
				圧縮	29	192	○	(13)	
				曲げ	34	192	○	(13)	
				組合せ	64	192 ^{*1}	○	(13)	
			一次応力+二次応力	引張・圧縮	28 ^{*3}	385	○	(13)	
				せん断	23 ^{*3}	222	○	(13)	
				曲げ	68 ^{*3}	385	○	(13)	
				座屈	34	192 ^{*4}	○	(13)	
				組合せ	99	385 ^{*1}	○	(13)	
	P2	ボックスプレート取付部	一次応力	引張	14	192	○	(13)	
				せん断	12	111	○	(13)	
				曲げ	36	192	○	(13)	
				組合せ	53	192 ^{*1}	○	(13)	
			一次応力+二次応力	引張・圧縮	14 ^{*3}	385	○	(13)	
せん断				24 ^{*3}	111 ^{*2}	○	(13)		
曲げ				71 ^{*3}	385	○	(13)		
座屈				36	192 ^{*4}	○	(13)		
組合せ				94	385 ^{*1}	○	(13)		

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 f_s とする。

*3：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*4：曲げに対する許容座屈応力を示す。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D+P+M+S d*) (その 2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
ボックス サポート	P2'	ボックスプレート (上側) 取付部	一次応力	引張	17	192	○	(13)	
				せん断	14	111	○	(13)	
				曲げ	3	192	○	(13)	
				組合せ	30	192 ^{*1}	○	(13)	
			一次応力+二次応力	引張・圧縮	17 ^{*3}	385	○	(13)	
				せん断	28 ^{*3}	111 ^{*2}	○	(13)	
				曲げ	5 ^{*3}	385	○	(13)	
				座屈	14	111 ^{*4}	○	(13)	
	P3	フランジプレートと シヤラグ接触部	一次応力	支圧	20	262	○	(13)	
			一次応力+二次応力	支圧	20	262	○	(13)	

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 f_s とする。

*3：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*4：せん断に対する許容座屈応力を示す。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D+P+M+S d*) (その 3)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
ボックス サポート	P4	シヤラグ取付部	一次応力	せん断	14	111	○	(13)	
				曲げ	30	192	○	(13)	
				組合せ	39	192 ^{*1}	○	(13)	
			一次応力+二次応力	せん断	14 ^{*3}	111 ^{*2}	○	(13)	
				曲げ	30 ^{*3}	385	○	(13)	
				座屈	30	192 ^{*4}	○	(13)	
			組合せ	39	385 ^{*1}	○	(13)		
	P5	基礎ボルト	引張応力		145		○	(13)	

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 f_s とする。

*3：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*4：曲げに対する許容座屈応力を示す。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D+P+M+S d*) (その 4)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
ボックス サポート	P6	フランジプレート	一次応力 (ボルト反力側)	せん断	13	111	○	(13)	
				曲げ	34	222	○	(13)	
				組合せ	41	192 ^{*1}	○	(13)	
			一次応力 (コンクリート反力側)	せん断	10	111	○	(13)	
				曲げ	53	222	○	(13)	
				組合せ	56	192 ^{*1}	○	(13)	
			一次応力+二次応力	せん断	20 ^{*2}	222	○	(13)	
				曲げ	80 ^{*2}	444	○	(13)	
				座屈	53	222 ^{*3}	○	(13)	
	P6'	フランジプレート (外側)	一次応力	せん断	9	111	○	(13)	
				曲げ	81	222	○	(13)	
				組合せ	83	192 ^{*1}	○	(13)	
			一次応力+二次応力	せん断	9 ^{*2}	222	○	(13)	
				曲げ	81 ^{*2}	444	○	(13)	
				座屈	81	222 ^{*3}	○	(13)	
			組合せ	83	385 ^{*1}	○	(13)		

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*3：曲げに対する許容座屈応力を示す。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D+P+M+S d*) (その 5)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
ボックス サポート	P7	ベースプレート	一次応力	せん断	8	111	○	(13)	
				曲げ	50	222	○	(13)	
				組合せ	52	192 ^{*1}	○	(13)	
			一次応力+二次応力	せん断	8 ^{*3}	222	○	(13)	
				曲げ	50 ^{*3}	444	○	(13)	
				座屈	50	222 ^{*5}	○	(13)	
	P8	シヤコネクタ (外側) 取付部	一次応力	せん断	15	[Redacted]	○	(13)	
				曲げ	23		○	(13)	
				組合せ	35		○	(13)	
			一次応力+二次応力	せん断	15 ^{*3}		○	(13)	
				曲げ	23 ^{*3}		○	(13)	
				座屈	15		○	(13)	
				組合せ	35		○	(13)	

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 f_s とする。

*3：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*4：せん断に対する許容座屈応力を示す。

*5：曲げに対する許容座屈応力を示す。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D+P+M+S d*) (その 6)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
ボックス サポート	P9	コンクリート (ベースプレート下面)	圧縮応力		3.50	21.5	○	(13)	
	P10	コンクリート (シヤコネクタ (外側) 側 面)	圧縮応力		6.70	21.5	○	(13)	
	P11	コンクリート (シヤプレート上面)	せん断応力		0.29	1.22	○	(13)	
	P12	パッド取付部	一次応力	引張	14		○	(13)	
				せん断	12		○	(13)	
				曲げ	2		○	(13)	
				組合せ	25		○	(13)	
			一次応力+二次応力	引張・圧縮	14 ^{*3}		○	(13)	
				せん断	23 ^{*3}		○	(13)	
				曲げ	4 ^{*3}		○	(13)	
座屈				12	○		(13)		
組合せ	43	○	(13)						

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 f_s とする。

*3：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*4：せん断に対する許容座屈応力を示す。

表 6-2 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s) (その 1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
ボックス サポート	P1	ボックスプレート	一次応力	引張	26	231	○	(14)	
				せん断	21	133	○	(14)	
				圧縮	41	231	○	(14)	
				曲げ	61	231	○	(14)	
				組合せ	104	231 ^{*1}	○	(14)	
			一次応力+二次応力	引張・圧縮	52 ^{*3}	385	○	(14)	
				せん断	42 ^{*3}	222	○	(14)	
				曲げ	123 ^{*3}	385	○	(14)	
				座屈	61	192 ^{*5}	○	(14)	
				組合せ	181	385 ^{*1}	○	(14)	
	P2	ボックスプレート取付部	一次応力	引張	27	231	○	(14)	
				せん断	22	133	○	(14)	
				曲げ	65	231	○	(14)	
				組合せ	95	231 ^{*1}	○	(14)	
			一次応力+二次応力	引張・圧縮	27 ^{*3}	385	○	(14)	
				せん断	43 ^{*3}	111 ^{*2}	○	(14)	
曲げ				129 ^{*3}	385	○	(14)		
座屈				65	192 ^{*4}	○	(14)		
組合せ				169	385 ^{*1}	○	(14)		

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 f_s とする。

*3：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*4：曲げに対する許容座屈応力を示す。

表 6-2 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s) (その 2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
ボックス サポート	P2'	ボックスプレート (上側) 取付部	一次応力	引張	32	231	○	(14)	
				せん断	26	133	○	(14)	
				曲げ	5	231	○	(14)	
				組合せ	55	231 ^{*1}	○	(14)	
			一次応力+二次応力	引張・圧縮	32 ^{*3}	385	○	(14)	
				せん断	51 ^{*3}	111 ^{*2}	○	(14)	
				曲げ	9 ^{*3}	385	○	(14)	
				座屈	26	111 ^{*4}	○	(14)	
	P3	フランジプレートと シヤラグ接触部	一次応力	支圧	37	315	○	(14)	
			一次応力+二次応力	支圧	37	315	○	(14)	

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 f_s とする。

*3：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*4：せん断に対する許容座屈応力を示す。

表 6-2 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s) (その 3)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
ボックス サポート	P4	シヤラグ取付部	一次応力	せん断	26	133	○	(14)	
				曲げ	55	231	○	(14)	
				組合せ	71	231 ^{*1}	○	(14)	
			一次応力+二次応力	せん断	26 ^{*3}	111 ^{*2}	○	(14)	
				曲げ	55 ^{*3}	385	○	(14)	
				座屈	55	192 ^{*4}	○	(14)	
	P5	基礎ボルト	引張応力		267		○	(14)	

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 f_s とする。

*3：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*4：曲げに対する許容座屈応力を示す。

表 6-2 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s) (その 4)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
ボックス サポート	P6	フランジプレート	一次応力 (ボルト反力側)	せん断	23	133	○	(14)	
				曲げ	62	267	○	(14)	
				組合せ	74	231 ^{*1}	○	(14)	
			一次応力 (コンクリート反力側)	せん断	16	133	○	(14)	
				曲げ	90	267	○	(14)	
				組合せ	95	231 ^{*1}	○	(14)	
			一次応力+二次応力	せん断	37 ^{*2}	222	○	(14)	
				曲げ	146 ^{*2}	444	○	(14)	
				座屈	90	222 ^{*3}	○	(14)	
	P6'	フランジプレート (外側)	一次応力	せん断	17	133	○	(14)	
				曲げ	149	267	○	(14)	
				組合せ	152	231 ^{*1}	○	(14)	
			一次応力+二次応力	せん断	17 ^{*2}	222	○	(14)	
				曲げ	149 ^{*2}	444	○	(14)	
				座屈	149	222 ^{*3}	○	(14)	
			組合せ	152	385 ^{*1}	○	(14)		

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*3：曲げに対する許容座屈応力を示す。

表 6-2 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s) (その 5)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
ボックス サポート	P7	ベースプレート	一次応力	せん断	13	133	○	(14)	
				曲げ	86	267	○	(14)	
				組合せ	89	231 ^{*1}	○	(14)	
			一次応力+二次応力	せん断	13 ^{*3}	222	○	(14)	
				曲げ	86 ^{*3}	444	○	(14)	
				座屈	86	222 ^{*5}	○	(14)	
	P8	シヤコネクタ (外側) 取付部	一次応力	せん断	27	[Redacted]	○	(14)	
				曲げ	42		○	(14)	
				組合せ	63		○	(14)	
			一次応力+二次応力	せん断	27 ^{*3}		○	(14)	
				曲げ	42 ^{*3}		○	(14)	
				座屈	27		○	(14)	
				組合せ	63		○	(14)	

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 f_s とする。

*3：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*4：せん断に対する許容座屈応力を示す。

*5：曲げに対する許容座屈応力を示す。

表 6-2 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s) (その 6)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
					算出応力	許容応力			
					MPa	MPa			
ボックス サポート	P9	コンクリート (ベースプレート下面)	圧縮応力		6.17	24.2	○	(14)	
	P10	コンクリート (シヤコネクタ (外側) 側 面)	圧縮応力		12.21	24.2	○	(14)	
	P11	コンクリート (シヤプレート上面)	せん断応力		0.53	1.22	○	(14)	
	P12	パッド取付部	一次応力	引張	26		○	(14)	
				せん断	21		○	(14)	
				曲げ	4		○	(14)	
				組合せ	45		○	(14)	
			一次応力+二次応力	引張・圧縮	26 ^{*3}		○	(14)	
				せん断	42 ^{*3}		○	(14)	
				曲げ	8 ^{*3}		○	(14)	
座屈				21	○		(14)		
組合せ	79	○	(14)						

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 f_s とする。

*3：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*4：せん断に対する許容座屈応力を示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ボックスサポー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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 6-3 に示す。

表 6-3(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$) (その 1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		V_{AS}		判定	備考
					算出応力	許容応力		
					MPa	MPa		
ボックス サポート	P1	ボックスプレート	一次応力	引張	15	209	○	
				せん断	18	121	○	
				圧縮	37	209	○	
				曲げ	52	209	○	
				組合せ	90	209 ^{*1}	○	
			一次応力+二次応力	引張・圧縮	50 ^{*3}	349	○	
				せん断	35 ^{*3}	201	○	
				曲げ	104 ^{*3}	349	○	
				座屈	52	174 ^{*4}	○	
				組合せ	158	349 ^{*1}	○	
	P2	ボックスプレート取付部	一次応力	引張	16	209	○	
				せん断	18	121	○	
				曲げ	55	209	○	
				組合せ	74	209 ^{*1}	○	
			一次応力+二次応力	引張・圧縮	16 ^{*3}	349	○	
せん断	36 ^{*3}	100 ^{*2}	○					
曲げ	109 ^{*3}	349	○					
座屈	55	174 ^{*4}	○					
組合せ	137	349 ^{*1}	○					

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 f_s$ とする。

*3：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*4：曲げに対する許容座屈応力を示す。

表 6-3(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$) (その 2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		V_{AS}		判定	備考
					算出応力	許容応力		
					MPa	MPa		
ボックス サポート	P2'	ボックスプレート (上側) 取付部	一次応力	引張	19	209	○	
				せん断	22	121	○	
				曲げ	4	209	○	
				組合せ	43	209 ^{*1}	○	
			一次応力+二次応力	引張・圧縮	19 ^{*3}	349	○	
				せん断	43 ^{*3}	100 ^{*2}	○	
				曲げ	7 ^{*3}	349	○	
				座屈	22	100 ^{*4}	○	
	P3	フランジプレートと シヤラグ接触部	一次応力	支圧	31	285	○	
			一次応力+二次応力	支圧	31	285	○	

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*4：せん断に対する許容座屈応力を示す。

*2：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 f_s$ とする。

*3：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

表 6-3(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$) (その 3)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考	
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ボックス サポート	P4	シヤラグ取付部	一次応力	せん断	22	121	○	
				曲げ	46	209	○	
				組合せ	60	209 ^{*1}	○	
			一次応力+二次応力	せん断	22 ^{*3}	100 ^{*2}	○	
	曲げ	46 ^{*3}		349	○			
	座屈	46		174 ^{*4}	○			
	組合せ	60		349 ^{*1}	○			
	P5	基礎ボルト	引張応力		177		○	

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 f_s$ とする。

*3：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*4：曲げに対する許容座屈応力を示す。

表 6-3(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$) (その 4)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		V_{AS}		判定	備考
					算出応力	許容応力		
					MPa	MPa		
ボックス サポート	P6	フランジプレート	一次応力 (ボルト反力側)	せん断	15	121	○	
				曲げ	41	241	○	
				組合せ	49	209 ^{*1}	○	
			一次応力 (コンクリート反力側)	せん断	14	121	○	
				曲げ	77	241	○	
				組合せ	81	209 ^{*1}	○	
			一次応力+二次応力	せん断	29 ^{*2}	201	○	
				曲げ	117 ^{*2}	403	○	
				座屈	77	201 ^{*3}	○	
	P6'	フランジプレート (外側)	一次応力	せん断	11	121	○	
				曲げ	99	241	○	
				組合せ	101	209 ^{*1}	○	
			一次応力+二次応力	せん断	11 ^{*2}	201	○	
				曲げ	99 ^{*2}	403	○	
				座屈	99	201 ^{*3}	○	
	組合せ	101	349 ^{*1}	○				

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*3：曲げに対する許容座屈応力を示す。

表 6-3(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$) (その 5)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		V_{AS}		判定	備考
					算出応力	許容応力		
					MPa	MPa		
ボックス サポート	P7	ベースプレート	一次応力	せん断	12	121	○	
				曲げ	73	241	○	
				組合せ	76	209 ^{*1}	○	
			一次応力+二次応力	せん断	12 ^{*3}	201	○	
				曲げ	73 ^{*3}	403	○	
				座屈	73	201 ^{*5}	○	
	P8	シヤコネクタ (外側) 取付部	一次応力	せん断	23	[Redacted]	○	
				曲げ	35		○	
				組合せ	53		○	
			一次応力+二次応力	せん断	23 ^{*3}		○	
				曲げ	35 ^{*3}		○	
				座屈	23		○	
			組合せ	53	○			

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 f_s$ とする。

*3：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*4：せん断に対する許容座屈応力を示す。

*5：曲げに対する許容座屈応力を示す。

表 6-3(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$) (その 6)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		V_{AS}		判定	備考
					算出応力	許容応力		
					MPa	MPa		
ボックス サポート	P9	コンクリート (ベースプレート下面)	圧縮応力		5.19	24.2	○	
	P10	コンクリート (シヤコネクタ (外側) 側面)	圧縮応力		10.26	24.2	○	
	P11	コンクリート (シヤプレート上面)	せん断応力		0.35	1.22	○	
	P12	パッド取付部	一次応力	引張	16		○	
				せん断	18		○	
				曲げ	3		○	
				組合せ	35		○	
			一次応力+二次応力	引張・圧縮	16 ^{*3}		○	
				せん断	35 ^{*3}		○	
				曲げ	6 ^{*3}		○	
座屈				18	○			
組合せ	64	○						

注記*1: 許容引張応力の値を用いる。

*2: すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 f_s$ とする。

*3: 応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*4: せん断に対する許容座屈応力を示す。

表 6-3(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (その 1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		V_{AS}		判定	備考
					算出応力	許容応力		
					MPa	MPa		
ボックス サポート	P1	ボックスプレート	一次応力	引張	37	229	○	
				せん断	36	132	○	
				圧縮	59	229	○	
				曲げ	107	229	○	
				組合せ	167	229 ^{*1}	○	
			一次応力+二次応力	引張・圧縮	95 ^{*3}	382	○	
				せん断	72 ^{*3}	220	○	
				曲げ	213 ^{*3}	382	○	
				座屈	107	191 ^{*4}	○	
				組合せ	314	382 ^{*1}	○	
	P2	ボックスプレート取付部	一次応力	引張	38	229	○	
				せん断	37	132	○	
				曲げ	113	229	○	
				組合せ	155	229 ^{*1}	○	
			一次応力+二次応力	引張・圧縮	38 ^{*3}	382	○	
せん断	74 ^{*3}	110 ^{*2}	○					
曲げ	225 ^{*3}	382	○					
座屈	113	191 ^{*4}	○					
組合せ	284	382 ^{*1}	○					

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 f_s$ とする。

*3：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*4：曲げに対する許容座屈応力を示す。

表 6-3(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (その 2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		V_{AS}		判定	備考
					算出応力	許容応力		
					MPa	MPa		
ボックス サポート	P2'	ボックスプレート (上側) 取付部	一次応力	引張	46	229	○	
				せん断	44	132	○	
				曲げ	7	229	○	
				組合せ	87	229 ^{*1}	○	
			一次応力+二次応力	引張・圧縮	46 ^{*3}	382	○	
				せん断	88 ^{*3}	110 ^{*2}	○	
				曲げ	13 ^{*3}	382	○	
				座屈	44	110 ^{*4}	○	
	P3	フランジプレートと シヤラグ接触部	一次応力	支圧	63	312	○	
			一次応力+二次応力	支圧	63	312	○	

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*4：せん断に対する許容座屈応力を示す。

*2：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 f_s$ とする。

*3：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

表 6-3(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (その 3)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		V_{AS}		判定	備考
					算出応力	許容応力		
					MPa	MPa		
ボックス サポート	P4	シヤラグ取付部	一次応力	せん断	45	132	○	
				曲げ	94	229	○	
				組合せ	123	229 ^{*1}	○	
			一次応力+二次応力	せん断	45 ^{*3}	110 ^{*2}	○	
	曲げ	94 ^{*3}		382	○			
	座屈	94		191 ^{*4}	○			
	組合せ	123		382 ^{*1}	○			
	P5	基礎ボルト	引張応力		404		○	

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：すみ肉溶接部にあっては最大応力に対して $1.5 f_s$ とする。

*3：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*4：曲げに対する許容座屈応力を示す。

表 6-3(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (その 4)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		V_{AS}		判定	備考
					算出応力	許容応力		
					MPa	MPa		
ボックス サポート	P6	フランジプレート	一次応力 (ボルト反力側)	せん断	35	132	○	
				曲げ	94	264	○	
				組合せ	112	229 ^{*1}	○	
			一次応力 (コンクリート反力側)	せん断	27	132	○	
				曲げ	151	264	○	
				組合せ	158	229 ^{*1}	○	
			一次応力+二次応力	せん断	61 ^{*2}	220	○	
				曲げ	245 ^{*2}	441	○	
				座屈	151	220 ^{*3}	○	
	P6'	フランジプレート (外側)	一次応力	せん断	25	132	○	
				曲げ	168	264	○	
				組合せ	174	229 ^{*1}	○	
			一次応力+二次応力	せん断	25 ^{*2}	220	○	
				曲げ	168 ^{*2}	441	○	
				座屈	168	220 ^{*3}	○	
				組合せ	174	382 ^{*1}	○	

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*3：曲げに対する許容座屈応力を示す。

表 6-3(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (その 5)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		V_{AS}		判定	備考
					算出応力	許容応力		
					MPa	MPa		
ボックス サポート	P7	ベースプレート	一次応力	せん断	23	132	○	
				曲げ	148	264	○	
				組合せ	154	229 ^{*1}	○	
			一次応力+二次応力	せん断	23 ^{*3}	220	○	
				曲げ	148 ^{*3}	441	○	
				座屈	148	220 ^{*5}	○	
	P8	シヤコネクタ (外側) 取付部	一次応力	せん断	46		○	
				曲げ	72		○	
				組合せ	108		○	
			一次応力+二次応力	せん断	46 ^{*3}		○	
				曲げ	72 ^{*3}		○	
				座屈	46		○	
			組合せ	108	○			

注記*1：許容引張応力の値を用いる。

*2：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 f_s$ とする。

*3：応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*4：せん断に対する許容座屈応力を示す。

*5：曲げに対する許容座屈応力を示す。

表 6-3(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (その 6)

評価対象設備	応力評価点		応力分類		V_{AS}		判定	備考
					算出応力	許容応力		
					MPa	MPa		
ボックス サポート	P9	コンクリート (ベースプレート下面)	圧縮応力		10.65	24.2	○	
	P10	コンクリート (シヤコネクタ (外側) 側面)	圧縮応力		21.10	24.2	○	
	P11	コンクリート (シヤプレート上面)	せん断応力		0.80	1.22	○	
	P12	パッド取付部	一次応力	引張	38		○	
				せん断	36		○	
				曲げ	6		○	
				組合せ	71		○	
			一次応力+二次応力	引張・圧縮	38 ^{*3}		○	
				せん断	72 ^{*3}		○	
				曲げ	11 ^{*3}		○	
				座屈	36		○	
組合せ	131	○						

注記*1: 許容引張応力の値を用いる。

*2: すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 f_s$ とする。

*3: 応力サイクルにおける最大値と最小値の差を示す。

*4: せん断に対する許容座屈応力を示す。

7. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
添付書類「IV-3-1-1-15 ボックスサポートの強度計算書」
- (2) L. E. Brownell and E. H. Young, “Process Equipment Design”, John Wiley & Sons, Inc. (1968)
- (3) Raymond J. Roark, Warren C. Young and Richard G. Budynas, “Roark’s Formulas for Stress and Strain”, Seventh Edition(2002)

VI-2-9-2-2 機器搬出入口の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-9-2-2-1 機器搬出入用ハッチの耐震性についての計算書
- VI-2-9-2-2-2 逃がし安全弁搬出入口の耐震性についての計算書
- VI-2-9-2-2-3 制御棒駆動機構搬出入口の耐震性についての計算書
- VI-2-9-2-2-4 サプレッションチェンバ出入口の耐震性についての計算書

VI-2-9-2-2-1 機器搬出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 適用規格・基準等	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. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	12
4.3 固有周期の計算結果	13
5. 構造強度評価	14
5.1 構造強度評価方法	14
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	14
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
5.2.2 許容応力	14
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	14
5.2.4 設計荷重	19
5.3 設計用地震力	21
5.4 計算方法	23
5.5 計算条件	25
5.6 応力の評価	25
6. 評価結果	26
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	26
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	30
7. 参照図書	33

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-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、機器搬出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。

機器搬出入用ハッチは、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。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力による荷重及び重大事故等時の荷重に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重による機器搬出入用ハッチの評価は、平成 2 年 5 月 24 日付け元資庁第 14466 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

機器搬出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	
<p>機器搬出入用ハッチは、ドライウエルに支持される。</p> <p>水平方向荷重は原子炉格納容器シヤラグ及び基部を介して、鉛直方向荷重は基部を介して原子炉建屋に伝達される。</p>	<p>機器搬出入用ハッチは、内径 <input type="text"/> mm、板厚 <input type="text"/> mm、長さ <input type="text"/> mm の円筒胴及び板厚 <input type="text"/> mm の鏡板、蓋フランジで構成される鋼製構造物である。</p>	<p style="text-align: center;">機器搬出入用ハッチ 拡大図</p> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

機器搬出入用ハッチの応力評価は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 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。

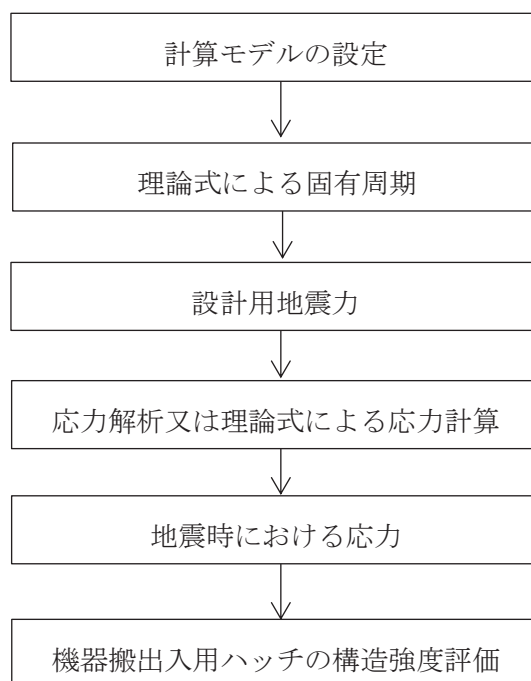


図 2-1 機器搬出入用ハッチの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（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
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
d ₁	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
I	断面二次モーメント	mm ⁴
K _{1BC}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向ばね定数 (水平方向)	N/mm
K _{1BL}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向ばね定数 (鉛直方向)	N/mm
K _{1C}	軸直角方向 (水平方向) の合成ばね定数	N/mm
K _{1L}	軸直角方向 (鉛直方向) の合成ばね定数	N/mm
K _{1S}	片持はりを仮定した軸直角方向ばね定数	N/mm
K ₂	軸方向の合成ばね定数	N/mm
K _{2B}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向ばね定数	N/mm
K _{2S}	片持はりを仮定した軸方向ばね定数	N/mm
L	重心までの距離	mm
ℓ _i	長さ (i = 1, 2, 3)	mm
M	機械的荷重	—
M _L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M _{SAL}	機械的荷重 (SA 後長期 (L) 機械的荷重)	—
M _{SALL}	機械的荷重 (SA 後長期 (LL) 機械的荷重)	—
P	圧力	—
P _L	地震と組み合わせる圧力	—
P _{SAL}	圧力 (SA 後長期 (L) 圧力)	kPa
P _{SALL}	圧力 (SA 後長期 (LL) 圧力)	kPa
R	半径	mm
R _h	半径	mm
S	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のいずれか大きい方の地震力	—
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—

記号	記号の説明	単位
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
$S_y (RT)$	40°Cにおける設計降伏点	MPa
T_{1C}	軸直角方向固有周期（水平方向）	s
T_{1L}	軸直角方向固有周期（鉛直方向）	s
T_2	軸方向固有周期	s
t_i	厚さ（ $i = 1, 2, 3 \dots$ ）	mm
T_{SAL}	温度（SA 後長期（L）温度）	°C
T_{SALL}	温度（SA 後長期（LL）温度）	°C
W	死荷重	N
ASS	オーステナイト系ステンレス鋼	—
HNA	高ニッケル合金	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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

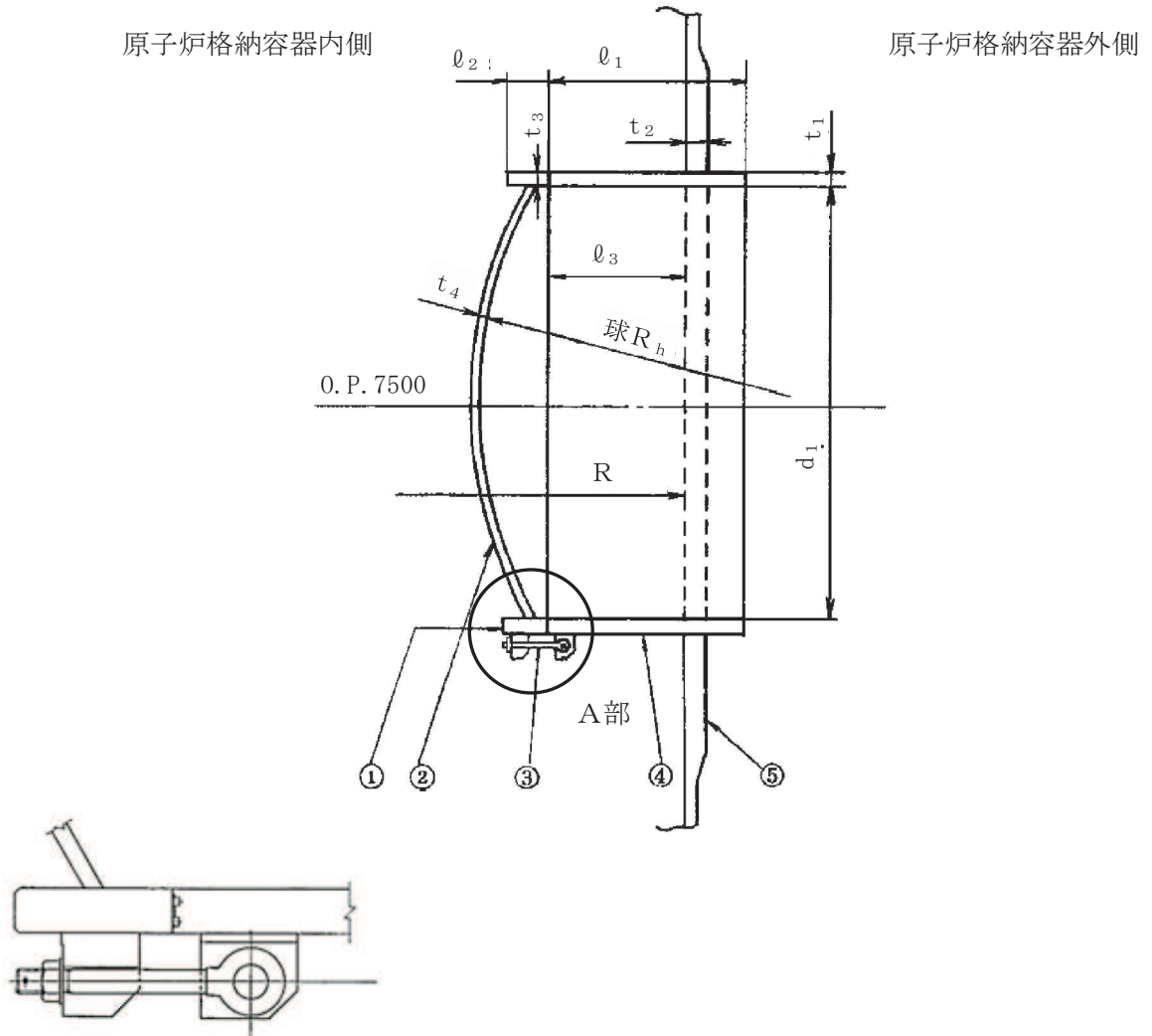
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	kPa	—	—	整数位 ^{*1}
温度	℃	—	—	整数位 ^{*1}
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
断面 2 次モーメント	mm ⁴	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
縦弾性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

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：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

機器搬出入用ハッチの形状及び主要寸法を図 3-1 に、評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。



A部詳細

- ① 蓋フランジ ② 鏡板 ③ ヒンジボルト ④ 円筒胴 ⑤ 補強板

$d_1 =$ <input type="text"/>	$R =$ <input type="text"/>	球 $R_h =$ <input type="text"/>	
$l_1 =$ <input type="text"/>	$l_2 =$ <input type="text"/>	$l_3 =$ <input type="text"/>	
$t_1 =$ <input type="text"/>	$t_2 =$ <input type="text"/>	$t_3 =$ <input type="text"/>	$t_4 =$ <input type="text"/>

(単位：mm)

図 3-1 機器搬出入用ハッチの形状及び主要寸法

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位	使用材料
蓋フランジ	SGV480
鏡板	SGV480
円筒胴	SGV480
補強板	SPV490

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

機器搬出入用ハッチの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 機器搬出入用ハッチの質量は、重心に集中するものとする。
- b. 機器搬出入用ハッチは、原子炉格納容器に固定されており、一端固定、他端自由とする。また、機器搬出入用ハッチを片持はりと考え、変形モードは曲げ又は圧縮・引張りを考慮する。
- c. 機器搬出入用ハッチより加わる荷重（以下、外荷重と称す）によって機器搬出入用ハッチ取付部に生じる変形を考える。変形モードは曲げモーメントによる取付部変形、又は圧縮・引張りによる取付部変形を考慮する。
- d. b及びcによる変形の両者を考慮する。
- e. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

機器搬出入用ハッチは、図 4-1 に示す集中荷重が作用する片持はりと、図 4-2 に示す外荷重によって取付部に生じる変形モデルの、両者の合成として考える。

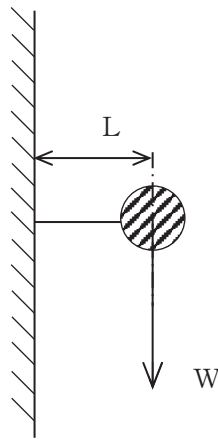


図 4-1 固有周期の計算モデル（片持はり）

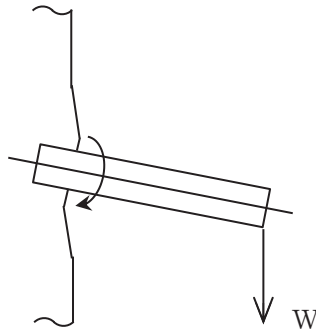


図 4-2 固有周期の計算モデル（外荷重によって取付部に生じる変形モデル）

(2) 軸直角方向ばね定数

片持はりを仮定した軸直角方向ばね定数は次式で求める。

$$K_{1S} = \frac{3 \cdot E \cdot I}{L^3}$$

外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向ばね定数は、参照図書(2)を基に荷重と変位の関係より求める。水平方向（軸直角）ばね定数を K_{1BC} 、鉛直方向（軸直角）ばね定数を K_{1BL} とし、その値を表 4-1 に示す。

(3) 軸方向ばね定数

片持はりを仮定した軸方向ばね定数は次式で求める。

$$K_{2S} = \frac{A \cdot E}{L}$$

外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向ばね定数は、参照図書(2)を基に荷重と変位の関係より求める。ばね定数を K_{2B} とし、その値を表 4-1 に示す。

(4) 合成ばね定数

片持はりを仮定したばね定数と，外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定したばね定数の，両者の合成ばね定数は次式で求める。

$$K_{1C} = \frac{1}{\frac{1}{K_{1S}} + \frac{1}{K_{1BC}}}$$

$$K_{1L} = \frac{1}{\frac{1}{K_{1S}} + \frac{1}{K_{1BL}}}$$

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{K_{2S}} + \frac{1}{K_{2B}}}$$

(5) 軸直角方向固有周期

軸直角方向固有周期は次式で求める。

水平方向（軸直角）

$$T_{1C} = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot g \cdot K_{1C}}{W}}}$$

鉛直方向（軸直角）

$$T_{1L} = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot g \cdot K_{1L}}{W}}}$$

(6) 軸方向固有周期

軸方向固有周期は次式で求める。

$$T_2 = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot g \cdot K_2}{W}}}$$

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を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算に用いる計算条件

		機器搬出入用ハッチ	
L (mm)	重心までの距離		
E (MPa)	128.5°C *		
I (mm ⁴)			
A (mm ²)			
W (N)	死荷重		
K _{1S} (N/mm)			
K _{1BC} (N/mm)			
K _{1BL} (N/mm)			
K _{2S} (N/mm)			
K _{2B} (N/mm)			
K _{1C} (N/mm)			
K _{1L} (N/mm)			
K ₂ (N/mm)			

注記* : 通常運転時温度 57°C と重大事故等時限界温度 200°C の平均温度を適用する。

4.3 固有周期の計算結果

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

固有周期の計算結果を表 4-2 に示す。水平方向（軸）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、水平方向（軸直角）及び鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-2 固有周期（設計基準対象施設）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	0.075
水平方向（軸直角）	0.022
鉛直方向（軸直角）	0.011

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

固有周期の計算結果を表 4-3 に示す。水平方向（軸）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、水平方向（軸直角）及び鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-3 固有周期（重大事故等対処設備）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	0.075
水平方向（軸直角）	0.022
鉛直方向（軸直角）	0.011

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 機器搬出入用ハッチは、円筒胴がドライウェルに支持された構造であり、水平方向荷重は原子炉格納容器シヤラグ及び基部を介して、鉛直方向荷重は基部を介して原子炉建屋に伝達される。

機器搬出入用ハッチの耐震評価として、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-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応答加速度及び荷重を用いて、参照図書(1)に示す既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

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

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 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。

詳細な荷重の組合せは、添付書類「VI-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。

5.2.2 許容応力

機器搬出入用ハッチの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

機器搬出入用ハッチ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	機器搬出入 用ハッチ	S	クラスMC 容器	D + P + M + S _d [*]	(9)	Ⅲ _A S
						(10)	
					(13)		
					D + P + M + S _s	(11)	Ⅳ _A S
						(12)	
						(14)	
					D + P _L + M _L + S _d ^{**2}	(16)	Ⅳ _A S

注記*1：（ ）内は添付書類「VI-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3-6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、構造体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 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 ^{*2}		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	機器搬出入用ハッチ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d$ ^{*3}	(V(L)-1)	V_{AS} ^{*4}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S s$	(V(LL)-1)	V_{AS} ^{*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「VI-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3-7の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：重大事故等後の最高内圧及び最高温度との組合せを考慮する。

*4： V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

表5-3 クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、AS S及びHNAについては1.2・Sとする。	左欄の α倍の値 ^{*4}	$3 \cdot S^{*1}$ 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。	^{*2, *3} 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。
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、ASS及びHNA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。	左欄の α倍の値 ^{*4}		
V _A S ^{*5}				

注記*1：3・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。

*2：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。

*3：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。

*4：設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比または1.5のいずれか小さい方の値（α）を用いる。

*5：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度					
補強板	SPV490	周囲環境 温度	171	167	429	550	—

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）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度					
補強板	SPV490	周囲環境 温度	111/178 ^{*1} (200) ^{*2}	167	417	545	—

注記*1：SA 後長期 (L) の時 178°C，SA 後長期 (LL) の時 111°C。

*2：重大事故等時の評価温度として，保守的に限界温度を適用する。

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，最高使用圧力，最高使用温度，死荷重及び活荷重は，既工認（参照図書(1)）からの変更はなく，以下のとおりとする。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

内圧	427kPa
外圧	13.7kPa
温度	171℃

b. 死荷重

(a) ドライウエル

機器搬出入用ハッチの応力評価点より上部のドライウエル及び付属物の自重を死荷重とする。

(b) 機器搬出入用ハッチ

機器搬出入用ハッチの自重を死荷重とする。

死荷重 kg

c. 活荷重

(a) ドライウエル

燃料交換時に，ドライウエル主フランジウォーターシール部に作用する水荷重及び機器搬出入用ハッチの応力評価点より上部の付属物に作用する荷重を活荷重とする。

(b) 機器搬出入用ハッチ

燃料交換時に機器搬出入用ハッチに作用する荷重を活荷重とする。

活荷重 kg

d. 冷却材喪失事故時荷重

(a) 事故時圧力

事故時圧力は，冷却材喪失事故後の最大内圧とする。

最大内圧 324kPa

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は、添付書類「VI-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、以下のとおりとする。死荷重は、設計基準対象施設と同じとする。

内圧 P_{SAL}	640kPa (SA 後長期 (L))
内圧 P_{SALL}	427kPa (SA 後長期 (LL))
温度 T_{SAL}	178℃* (SA 後長期 (L))
温度 T_{SALL}	111℃* (SA 後長期 (LL))

注記*：保守的に限界温度 200℃を適用する。

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6～表 5-9 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「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-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」に基づき設定する。また，減衰定数は添付書類「VI-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 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		減衰定数 (%)	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平	鉛直
原子炉 格納容器 O.P. 7.50	0.075	0.011		C _v = 0.57* ²		C _v = 0.98* ²	1.0* ⁴	—

注記*1：弾性設計用地震動 S_d に基づく設計用床応答曲線により得られる値。

*2：原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。

*3：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線により得られる値。

*4：添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物に適用される減衰定数を用いる。

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	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	鉛直
原子炉 格納容器 O.P. 7.50	0.075	0.011		C _v = 0.57* ²		C _v = 0.98* ²	1.0* ⁴	—

注記*1：弾性設計用地震動 S_d に基づく設計用床応答曲線により得られる値。

*2：原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。

*3：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線により得られる値。

*4：添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物に適用される減衰定数を用いる。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-8 設計用地震力（設計基準対象施設）*1

応力評価点*2	水平荷重 S d *		水平荷重 S s	
	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)
P3				
P4				
P5				

注記*1：既工認で用いた設計用地震力と今回工認の設計用地震力を比較し、包絡する値を用いる。

*2：応力評価点の位置は、図 5-1 参照のこと。

表 5-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）*1

応力評価点*2	水平荷重 S d		水平荷重 S s	
	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)
P3				
P4				
P5				

注記*1：既工認で用いた設計用地震力と今回工認の設計用地震力を比較し、包絡する値を用いる。

*2：応力評価点の位置は、図 5-1 参照のこと。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.4 計算方法

機器搬出入用ハッチの応力評価点は，機器搬出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 5-10 及び図 5-1 に示す。

応力計算方法は既工認から変更はなく，参照図書(1)に示すとおりである。

応力評価点 P3～P5 の応力は，既工認の各荷重条件や耐震条件との比を用いて発生応力を算出し評価する。

表 5-10 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1 *	鏡板中央部
P2 *	蓋フランジ
P3～P5	機器搬出入用ハッチ取付部

注記*：応力評価点 P1 及び P2 については，地震荷重は荷重値が小さく無視できるので評価を行わない。

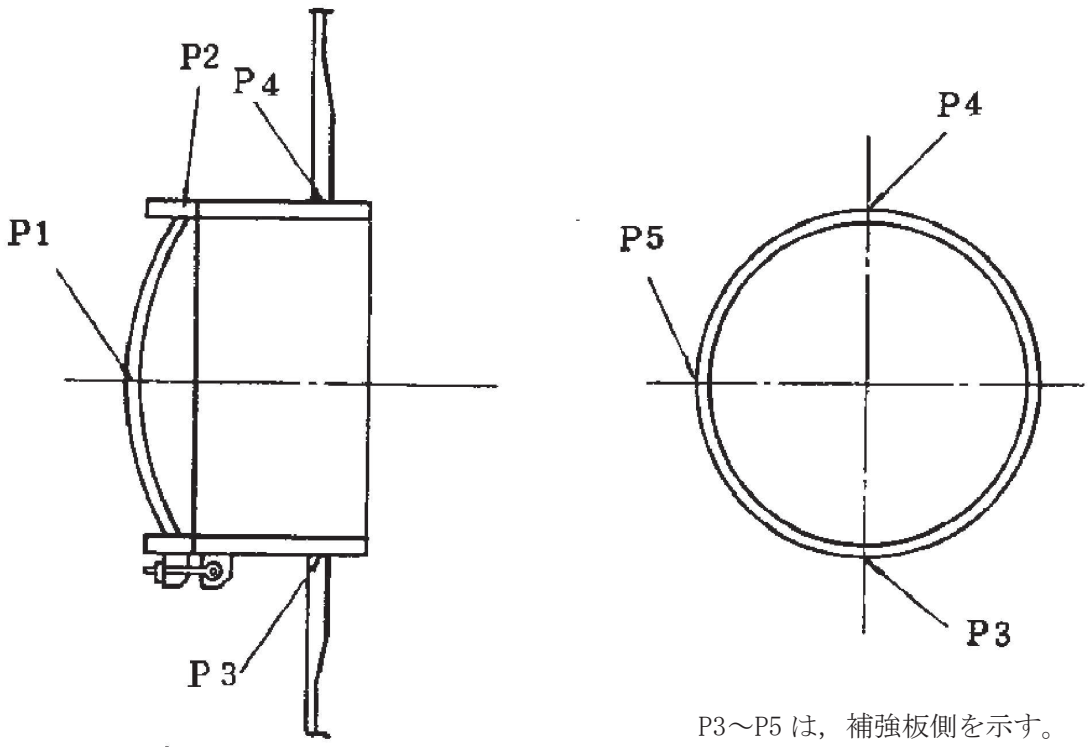


図 5-1 機器搬出入用ハッチの応力評価点

5.5 計算条件

応力解析に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた各応力が、表 5-3 に示す許容応力以下であること。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 (PVB-3313 を除く。S_mはSと読み替える。)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。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

機器搬出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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表6-1及び表6-2に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、添付書類「VI-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3-6の荷重の組合せのNo.を記載する。

なお、表中の一次膜応力+一次曲げ応力の算出応力が一次一般膜応力の許容応力を下回ることから、評価を省略した一次一般膜応力が生じる応力評価点も十分な構造強度を有する。

表 6-1 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	応力評価点		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
機器搬出入用 ハッチ	P3	機器搬出入用ハッチ取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	63	495	○	(10)	
			一次+二次応力	206	501	○	(10)	
	P4	機器搬出入用ハッチ取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	62	495	○	(10)	
			一次+二次応力	206	501	○	(10)	
	P5	機器搬出入用ハッチ取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	69	495	○	(10)	
			一次+二次応力	254	501	○	(10)	

表 6-2(1) 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	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
機器搬出入用 ハッチ	P3	機器搬出入用ハッチ取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	104	495	○	(12)	
			一次+二次応力	360	501	○	(12)	
	P4	機器搬出入用ハッチ取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	102	495	○	(12)	
			一次+二次応力	360	501	○	(12)	
	P5	機器搬出入用ハッチ取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	115	495	○	(12)	
			一次+二次応力	446	501	○	(12)	

表 6-2(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	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
機器搬出入用 ハッチ	P3	機器搬出入用ハッチ取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	119	495	○	(16)	
			一次+二次応力	102	501	○	(16)	
	P4	機器搬出入用ハッチ取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	117	495	○	(16)	
			一次+二次応力	94	501	○	(16)	
	P5	機器搬出入用ハッチ取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	116	495	○	(16)	
			一次+二次応力	110	501	○	(16)	

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

機器搬出入用ハッチ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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表6-3に示す。

なお、表中の一次膜応力+一次曲げ応力の算出応力が一次一般膜応力の許容応力を下回ることから、評価を省略した一次一般膜応力が生じる応力評価点も十分な構造強度を有する。

表 6-3(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
機器搬出入用 ハッチ	P3	機器搬出入用ハッチ取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	215	490	○	
			一次+二次応力	102	501	○	
	P4	機器搬出入用ハッチ取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	213	490	○	
			一次+二次応力	94	501	○	
	P5	機器搬出入用ハッチ取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	210	490	○	
			一次+二次応力	110	501	○	

表 6-3(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
機器搬出入用 ハッチ	P3	機器搬出入用ハッチ取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	166	490	○	
			一次+二次応力	172	501	○	
	P4	機器搬出入用ハッチ取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	163	490	○	
			一次+二次応力	160	501	○	
	P5	機器搬出入用ハッチ取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	162	490	○	
			一次+二次応力	182	501	○	

7. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
添付書類「IV-3-1-1-7 機器搬出入用ハッチの強度計算書」
- (2) P.P. Bijlaard, "Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels", The Welding Journal, No.34(12), Research Supplement(1955)

VI-2-9-2-2-2 逃がし安全弁搬出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 適用規格・基準等	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. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	12
4.3 固有周期の計算結果	13
5. 構造強度評価	14
5.1 構造強度評価方法	14
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	14
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
5.2.2 許容応力	14
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	14
5.2.4 設計荷重	19
5.3 設計用地震力	21
5.4 計算方法	23
5.5 計算条件	25
5.6 応力の評価	25
6. 評価結果	26
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	26
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	30
7. 参照図書	33

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-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、逃がし安全弁搬出入口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。

逃がし安全弁搬出入口は、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。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力による荷重及び重大事故等時の荷重に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重による逃がし安全弁搬出入口の評価は、平成 2 年 5 月 24 日付け元資庁第 14466 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

逃がし安全弁搬出入口の構造計画を表 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	
<p>逃がし安全弁搬出入口は、ドライウェルに支持される。</p> <p>水平方向荷重は原子炉格納容器シヤラグ及び基部を介して、鉛直方向荷重は基部を介して原子炉建屋に伝達される。</p>	<p>逃がし安全弁搬出入口は、内径 <input type="text"/> mm、板厚 <input type="text"/> mm、長さ <input type="text"/> mm の円筒胴及び板厚 <input type="text"/> mm の鏡板、蓋フランジで構成される鋼製構造物である。</p>	<div style="text-align: center;"> <p>逃がし安全弁搬出入口 拡大図</p> </div> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

2

2.2 評価方針

逃がし安全弁搬出入口の応力評価は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及び「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

逃がし安全弁搬出入口の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

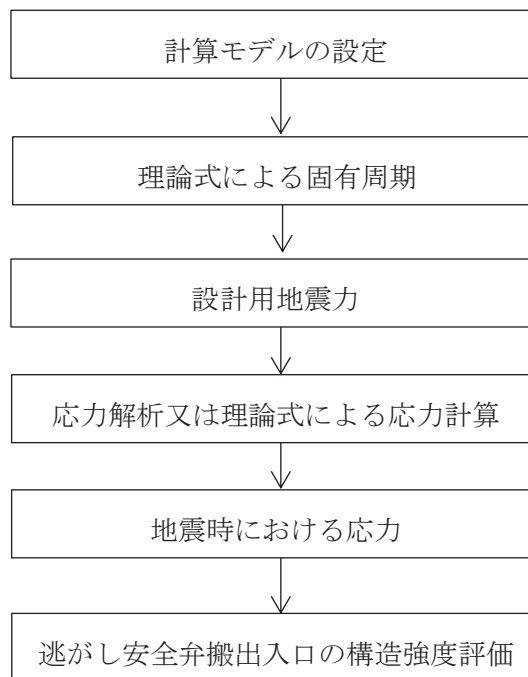


図 2-1 逃がし安全弁搬出入口の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (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)
- (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)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (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
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
d ₁	直径	mm
d _h	直径	mm
d _p	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
I	断面二次モーメント	mm ⁴
K ₁	軸直角方向の合成ばね定数	N/mm
K _{1B}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向ばね定数	N/mm
K _{1S}	片持はりを仮定した軸直角方向ばね定数	N/mm
K ₂	軸方向の合成ばね定数	N/mm
K _{2B}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向ばね定数	N/mm
K _{2S}	片持はりを仮定した軸方向ばね定数	N/mm
L	重心までの距離	mm
ℓ _i	長さ (i = 1, 2, 3…)	mm
M	機械的荷重	—
M _L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M _{SAL}	機械的荷重 (SA 後長期 (L) 機械的荷重)	—
M _{SALL}	機械的荷重 (SA 後長期 (LL) 機械的荷重)	—
P	圧力	—
P _L	地震と組み合わせる圧力	—
P _{SAL}	圧力 (SA 後長期 (L) 圧力)	kPa
P _{SALL}	圧力 (SA 後長期 (LL) 圧力)	kPa
R	半径	mm
R _h	半径	mm
r _b	半径	mm
S	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のいずれか大きい方の地震力	—
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—

記号	記号の説明	単位
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
$S_y (RT)$	40°Cにおける設計降伏点	MPa
T_1	軸直角方向固有周期	s
T_2	軸方向固有周期	s
t_i	厚さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
T_{SAL}	温度 (SA 後長期 (L) 温度)	°C
T_{SALL}	温度 (SA 後長期 (LL) 温度)	°C
W	死荷重	N
ASS	オーステナイト系ステンレス鋼	—
HNA	高ニッケル合金	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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
圧力	kPa	—	—	整数位 ^{*1}
温度	℃	—	—	整数位 ^{*1}
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
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
断面 2 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
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*2}

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：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

逃がし安全弁搬出入口の形状及び主要寸法を図 3-1 に、評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。

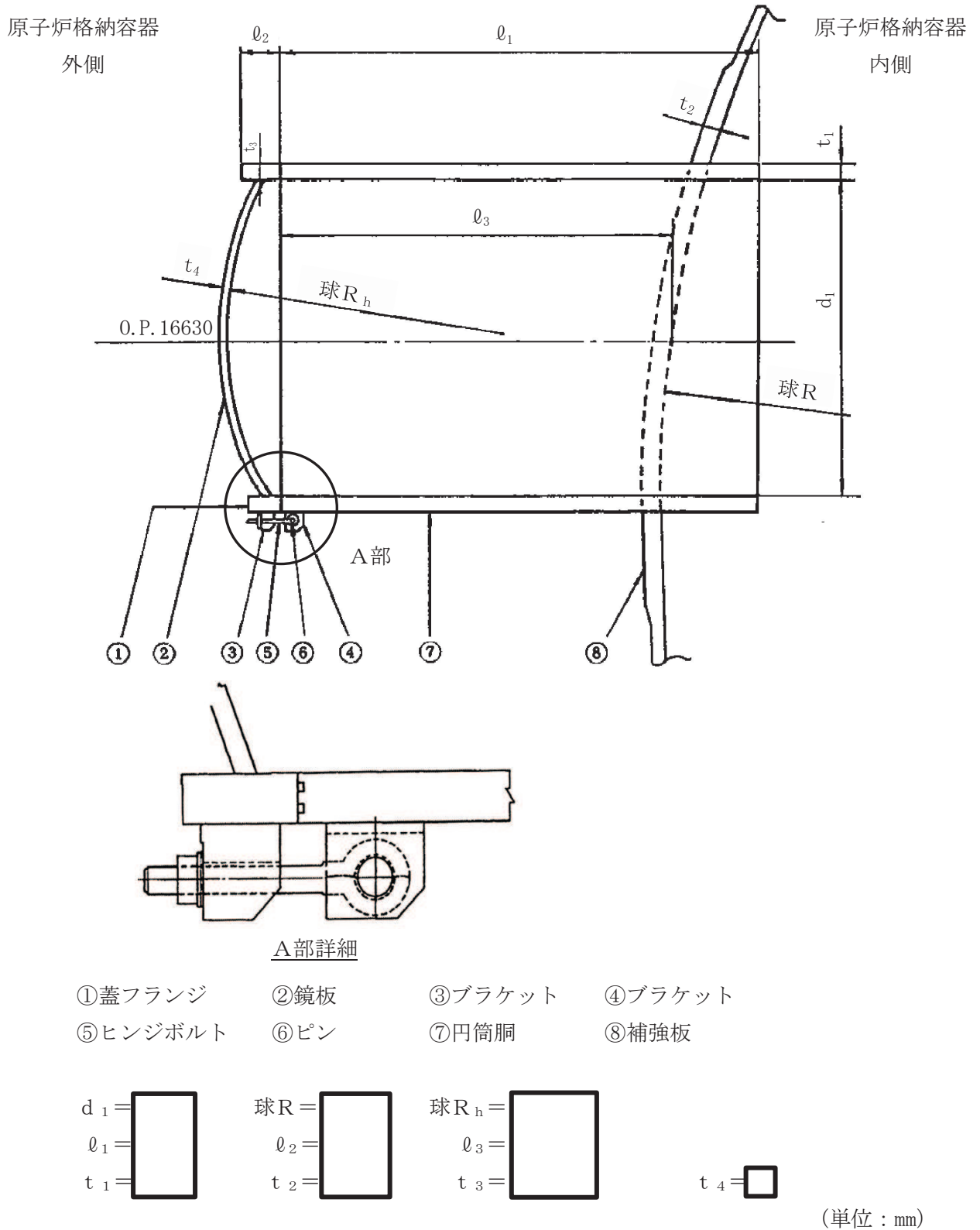


図 3-1 逃がし安全弁搬出入口の形状及び主要寸法

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位	使用材料
蓋フランジ	SGV480
鏡板	SGV480
ブラケット	SGV480
ヒンジボルト	
ピン	
円筒胴	SGV480
補強板	SPV490

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

逃がし安全弁搬出入口の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 逃がし安全弁搬出入口の質量は，重心に集中するものとする。
- b. 逃がし安全弁搬出入口は，原子炉格納容器に固定されており，一端固定，他端自由とする。また，逃がし安全弁搬出入口を片持はりと考え，変形モードは曲げ又は圧縮・引張りを考慮する。
- c. 逃がし安全弁搬出入口より加わる荷重（以下，外荷重と称す）によって逃がし安全弁搬出入口取付部に生じる変形を考える。変形モードは曲げモーメントによる取付部変形，又は圧縮・引張りによる取付部変形を考慮する。
- d. b及びcによる変形の両者を考慮する。
- e. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

逃がし安全弁搬出入口は，図 4-1 に示す集中荷重が作用する片持はりと，図 4-2 に示す外荷重によって取付部に生じる変形モデルの，両者の合成として考える。

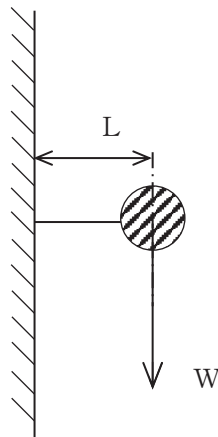


図 4-1 固有周期の計算モデル（片持はり）

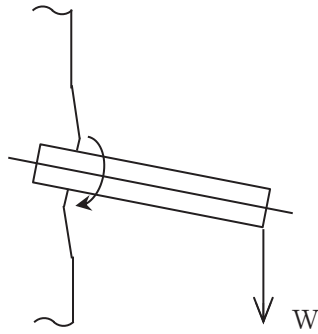


図 4-2 固有周期の計算モデル（外荷重によって取付部に生じる変形モデル）

(2) 軸直角方向ばね定数

片持りを仮定した軸直角方向ばね定数は次式で求める。

$$K_{1S} = \frac{3 \cdot E \cdot I}{L^3}$$

外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向ばね定数は，参照図書(2)を基に荷重と変位の関係より求める。ばね定数を K_{1B} とし，その値を表 4-1 に示す。

(3) 軸方向ばね定数

片持りを仮定した軸方向ばね定数は次式で求める。

$$K_{2S} = \frac{A \cdot E}{L}$$

外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向ばね定数は，参照図書(2)を基に荷重と変位の関係より求める。ばね定数を K_{2B} とし，その値を表 4-1 に示す。

(4) 合成ばね定数

片持はりを仮定したばね定数と，外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定したばね定数の，両者の合成ばね定数は次式で求める。

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{K_{1S}} + \frac{1}{K_{1B}}}$$

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{K_{2S}} + \frac{1}{K_{2B}}}$$

(5) 軸直角方向固有周期

軸直角方向固有周期は次式で求める。

$$T_1 = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot g \cdot K_1}{W}}}$$

(6) 軸方向固有周期

軸方向固有周期は次式で求める。

$$T_2 = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot g \cdot K_2}{W}}}$$

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を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算に用いる計算条件

		逃がし安全弁搬出入口		
L (mm)	重心までの距離			
E (MPa)	128.5°C*			
I (mm ⁴)				
A (mm ²)				
W (N)	死荷重			
K _{1S} (N/mm)				
K _{1B} (N/mm)				
K _{2S} (N/mm)				
K _{2B} (N/mm)				
K ₁ (N/mm)				
K ₂ (N/mm)				

注記*：通常運転時温度 57°C と重大事故等時限界温度 200°C の平均温度を適用する。

4.3 固有周期の計算結果

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

固有周期の計算結果を表 4-2 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-2 固有周期（設計基準対象施設）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	0.022
水平方向（軸直角）	0.030
鉛直方向（軸直角）	0.030

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

固有周期の計算結果を表 4-3 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-3 固有周期（重大事故等対処設備）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	0.022
水平方向（軸直角）	0.030
鉛直方向（軸直角）	0.030

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 逃がし安全弁搬出入口は、円筒胴がドライウェルに支持された構造であり、水平方向荷重は原子炉格納容器シヤラグ及び基部を介して、鉛直方向荷重は基部を介して原子炉建屋に伝達される。

逃がし安全弁搬出入口の耐震評価として、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-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応答加速度及び荷重を用いて、参照図書(1)に示す既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

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

逃がし安全弁搬出入口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。

詳細な荷重の組合せは、添付書類「VI-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。

5.2.2 許容応力

逃がし安全弁搬出入口の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

逃がし安全弁搬出入口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	逃がし安全 弁搬出入口	S	クラスMC 容器	D + P + M + S _d *	(9)	Ⅲ _A S
						(10)	
					(13)		
					D + P + M + S _s	(11)	Ⅳ _A S
						(12)	
						(14)	
					D + P _L + M _L + S _d * *2	(16)	Ⅳ _A S

注記*1：（ ）内は添付書類「VI-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3-6 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、構造体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 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*2		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	逃がし安全弁搬出入口	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*3}$	(V(L)-1)	V_{AS}^{*4}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V(LL)-1)	V_{AS}^{*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「VI-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3-7の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：重大事故等後の最高内圧及び最高温度との組合せを考慮する。

*4： V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

表5-3 クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、AS S及びHNAについては1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*4	3・S*1 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。	*2, *3 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。
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、ASS及びHNA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。	左欄の α倍の値*4		
V _A S*5				

注記*1: 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。

*2: 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。

*3: 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。

*4: 設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比または1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*5: V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度	171				
補強板	SPV490	周囲環境 温度	171	167	429	550	—

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）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度	111/178* ¹ (200)* ²				
補強板	SPV490	周囲環境 温度	111/178* ¹ (200)* ²	167	417	545	—

注記*1：SA 後長期 (L) の時 178°C，SA 後長期 (LL) の時 111°C。

*2：重大事故等時の評価温度として，保守的に限界温度を適用する。

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，最高使用圧力，最高使用温度，死荷重及び活荷重は，既工認（参照図書(1)）からの変更はなく，以下のとおりとする。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

内圧	427kPa
外圧	13.7kPa
温度	171℃

b. 死荷重

(a) ドライウエル

逃がし安全弁搬出入口の応力評価点より上部のドライウエル及び付属物の自重を死荷重とする。

(b) 逃がし安全弁搬出入口

逃がし安全弁搬出入口の自重を死荷重とする。

死荷重 kg

c. 活荷重

(a) ドライウエル

燃料交換時に，ドライウエル主フランジウォーターシール部に作用する水荷重及び逃がし安全弁搬出入口の応力評価点より上部の付属物に作用する荷重を活荷重とする。

(b) 逃がし安全弁搬出入口

燃料交換時に逃がし安全弁搬出入口に作用する荷重を活荷重とする。

活荷重 kg

d. 冷却材喪失事故時荷重

(a) 事故時圧力

事故時圧力は，冷却材喪失事故後の最大内圧とする。

最大内圧 324kPa

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は、添付書類「VI-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、以下のとおりとする。死荷重は、設計基準対象施設と同じとする。

内圧 P_{SAL}	640kPa (SA 後長期 (L))
内圧 P_{SALL}	427kPa (SA 後長期 (LL))
温度 T_{SAL}	178℃* (SA 後長期 (L))
温度 T_{SALL}	111℃* (SA 後長期 (LL))

注記*：保守的に限界温度 200℃を適用する。

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6～表 5-9 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「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉 格納容器 O.P. 16.63	0.030	0.030	C _H = 0.93* ¹	C _V = 0.57* ²	C _H = 1.68* ¹	C _V = 0.98* ²

注記*1：応力評価点を包絡する設計震度とする。

*2：原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d		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 格納容器 O.P. 16.63	0.030	0.030	C _H = 0.93* ¹	C _V = 0.57* ²	C _H = 1.68* ¹	C _V = 0.98* ²

注記*1：応力評価点を包絡する設計震度とする。

*2：原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。

表 5-8 設計用地震力（設計基準対象施設）*1

応力評価点*2	水平荷重 S d *		水平荷重 S s	
	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)
P9	[Redacted]			
P10				
P11				

注記*1：既工認で用いた設計用地震力と今回工認の設計用地震力を比較し、包絡する値を用いる。

*2：応力評価点の位置は、図 5-1 参照のこと。

表 5-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）*1

応力評価点*2	水平荷重 S d		水平荷重 S s	
	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)
P9	[Redacted]			
P10				
P11				

注記*1：既工認で用いた設計用地震力と今回工認の設計用地震力を比較し、包絡する値を用いる。

*2：応力評価点の位置は、図 5-1 参照のこと。

5.4 計算方法

逃がし安全弁搬出入口の応力評価点は、逃がし安全弁搬出入口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 5-10 及び図 5-1 に示す。

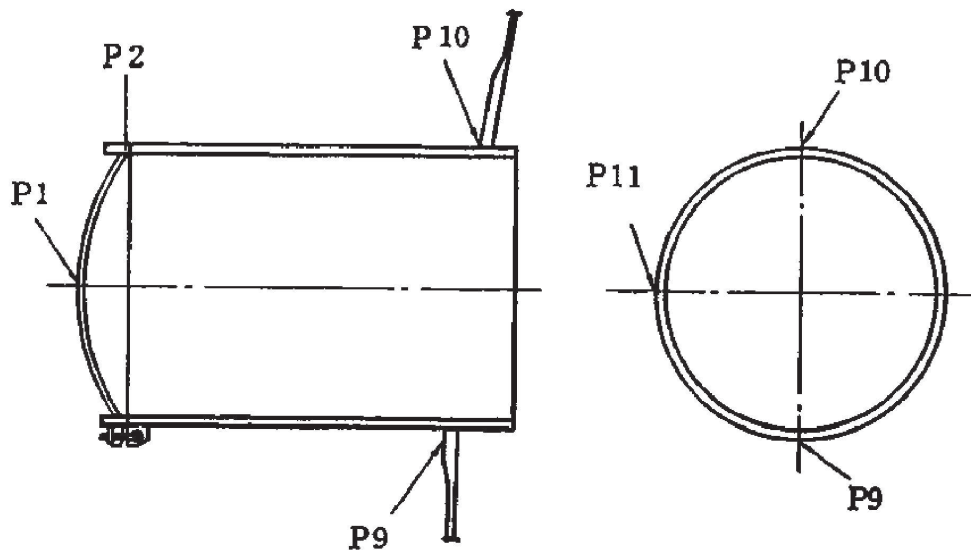
応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

応力評価点 P9～P11 の応力は、既工認の各荷重条件や耐震条件との比を用いて発生応力を算出し評価する。

表 5-10 応力評価点

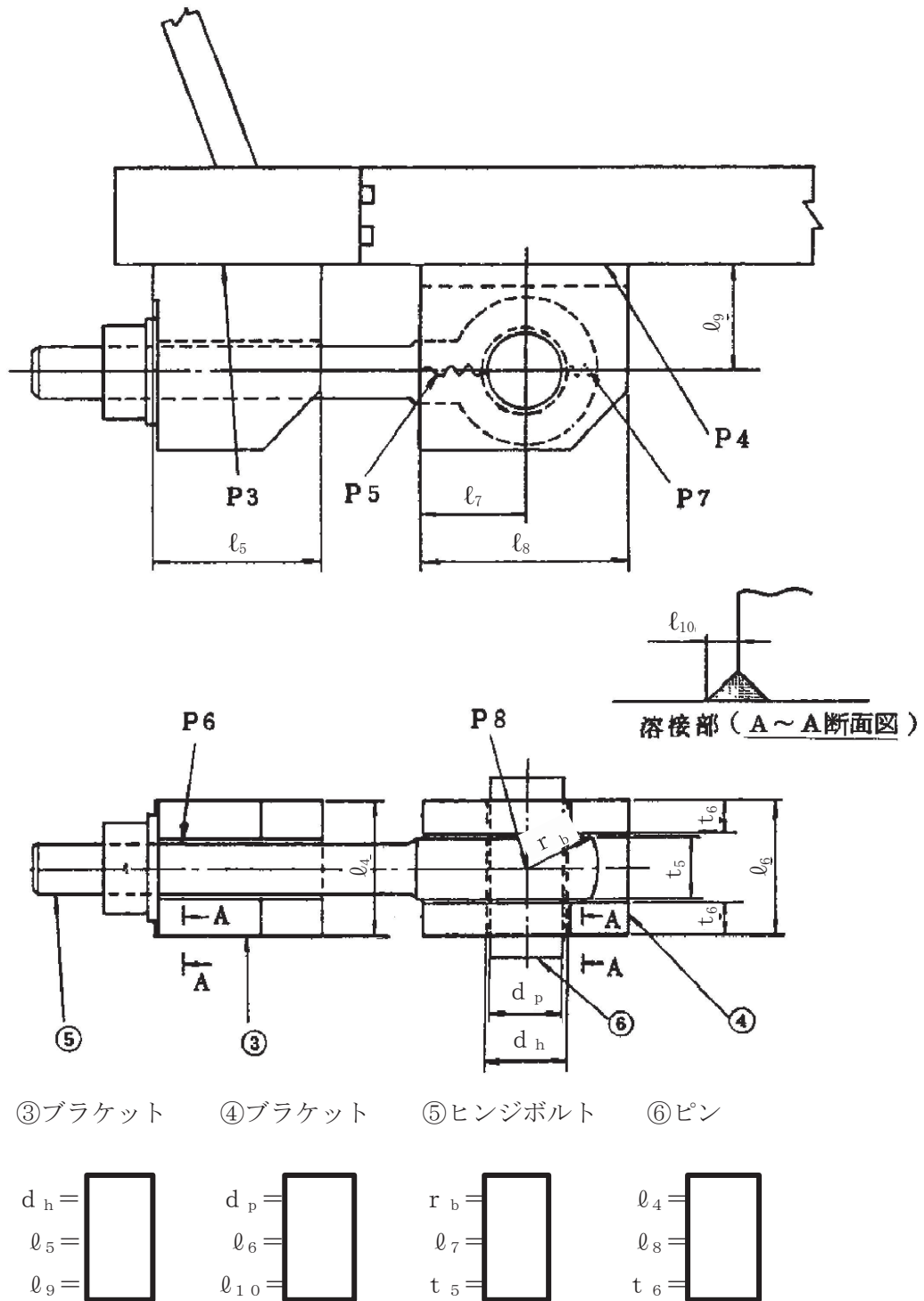
応力評価点番号	応力評価点
P1*	鏡板中央部
P2*	蓋フランジ
P3*	蓋フランジのブラケット取付部
P4*	円筒胴のブラケット取付部
P5*	ピン取付部
P6*	ヒンジボルトのねじ部
P7*	ヒンジボルトのピン貫通部
P8*	ピン
P9～P11	逃がし安全弁搬出入口取付部

注記*：応力評価点 P1～P8 については、地震荷重は荷重値が小さく無視できるので評価を行わない。



P9～P11 は、補強板側を示す。

図 5-1 逃がし安全弁搬出入口の応力評価点 (その 1)



③ブラケット ④ブラケット ⑤ヒンジボルト ⑥ピン

$d_h =$	<input type="text"/>	$d_p =$	<input type="text"/>	$r_b =$	<input type="text"/>	$l_4 =$	<input type="text"/>
$l_5 =$	<input type="text"/>	$l_6 =$	<input type="text"/>	$l_7 =$	<input type="text"/>	$l_8 =$	<input type="text"/>
$l_9 =$	<input type="text"/>	$l_{10} =$	<input type="text"/>	$t_5 =$	<input type="text"/>	$t_6 =$	<input type="text"/>

(単位：mm)

図 5-1 逃がし安全弁搬出入口の応力評価点 (その 2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.5 計算条件

応力解析に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた各応力が表 5-3 に示す許容応力以下であること。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 (PVB-3313 を除く。S_mはSと読み替える。)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。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

逃がし安全弁搬出入口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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次＋二次＋ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表6-1及び表6-2に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、添付書類「VI-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3-6の荷重の組合せのNo.を記載する。

なお、表中の一次膜応力＋一次曲げ応力の算出応力が一次一般膜応力の許容応力を下回ることから、評価を省略した一次一般膜応力が生じる応力評価点も十分な構造強度を有する。

表 6-1 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	応力評価点		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
逃がし安全弁 搬出入口	P9	逃がし安全弁搬出入口取 付部	一次膜応力+一次曲げ応力	39	495	○	(10)	
			一次+二次応力	122	501	○	(10)	
	P10	逃がし安全弁搬出入口取 付部	一次膜応力+一次曲げ応力	46	495	○	(10)	
			一次+二次応力	114	501	○	(10)	
	P11	逃がし安全弁搬出入口取 付部	一次膜応力+一次曲げ応力	45	495	○	(10)	
			一次+二次応力	138	501	○	(10)	

表 6-2(1) 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	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
逃がし安全弁 搬出入口	P9	逃がし安全弁搬出入口取 付部	一次膜応力+一次曲げ応力	64	495	○	(12)	
			一次+二次応力	206	501	○	(12)	
	P10	逃がし安全弁搬出入口取 付部	一次膜応力+一次曲げ応力	73	495	○	(12)	
			一次+二次応力	196	501	○	(12)	
	P11	逃がし安全弁搬出入口取 付部	一次膜応力+一次曲げ応力	72	495	○	(12)	
			一次+二次応力	244	501	○	(12)	

表 6-2(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	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
逃がし安全弁 搬出入口	P9	逃がし安全弁搬出入口取 付部	一次膜応力+一次曲げ応力	78	495	○	(16)	
			一次+二次応力	96	501	○	(16)	
	P10	逃がし安全弁搬出入口取 付部	一次膜応力+一次曲げ応力	84	495	○	(16)	
			一次+二次応力	96	501	○	(16)	
	P11	逃がし安全弁搬出入口取 付部	一次膜応力+一次曲げ応力	83	495	○	(16)	
			一次+二次応力	110	501	○	(16)	

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

逃がし安全弁搬出入口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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表6-3に示す。

なお、表中の一次膜応力+一次曲げ応力の算出応力が一次一般膜応力の許容応力を下回ることから、評価を省略した一次一般膜応力が生じる応力評価点も十分な構造強度を有する。

表 6-3(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
逃がし安全弁 搬出入口	P9	逃がし安全弁搬出入口取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	131	490	○	
			一次+二次応力	96	501	○	
	P10	逃がし安全弁搬出入口取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	138	490	○	
			一次+二次応力	96	501	○	
	P11	逃がし安全弁搬出入口取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	137	490	○	
			一次+二次応力	110	501	○	

表 6-3(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
逃がし安全弁 搬出入口	P9	逃がし安全弁搬出入口取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	114	490	○	
			一次+二次応力	162	501	○	
	P10	逃がし安全弁搬出入口取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	120	490	○	
			一次+二次応力	162	501	○	
	P11	逃がし安全弁搬出入口取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	122	490	○	
			一次+二次応力	186	501	○	

7. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
添付書類「IV-3-1-1-8 逃がし安全弁搬出入口の強度計算書」
- (2) P.P. Bijlaard, "Computation of the Stresses from Local Loads in Spherical Pressure Vessels or Pressure Vessel Heads", Welding Research Council Bulletin No. 34(1957)

VI-2-9-2-2-3 制御棒駆動機構搬出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	適用規格・基準等	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.	固有周期	9
4.1	固有周期の計算方法	9
4.2	固有周期の計算条件	12
4.3	固有周期の計算結果	13
5.	構造強度評価	14
5.1	構造強度評価方法	14
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	14
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	14
5.2.2	許容応力	14
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	14
5.2.4	設計荷重	19
5.3	設計用地震力	21
5.4	計算方法	23
5.5	計算条件	25
5.6	応力の評価	25
6.	評価結果	26
6.1	設計基準対象施設としての評価結果	26
6.2	重大事故等対処設備としての評価結果	30
7.	参照図書	33

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、制御棒駆動機構搬出入口が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

制御棒駆動機構搬出入口は、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。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力による荷重及び重大事故等時の荷重に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重による制御棒駆動機構搬出入口の評価は、平成 2 年 5 月 24 日付け元資庁第 14466 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

制御棒駆動機構搬出入口の構造計画を表 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	
<p>制御棒駆動機構搬出入口は、ドライウェルに支持される。</p> <p>水平方向荷重は原子炉格納容器シヤラグ及び基部を介して、鉛直方向荷重は基部を介して原子炉建屋に伝達される。</p>	<p>制御棒駆動機構搬出入口は、内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm, 長さ <input type="text"/> mm の円筒胴及び板厚 <input type="text"/> mm の鏡板、蓋フランジで構成される鋼製構造物である。</p>	<p>制御棒駆動機構搬出入口 拡大図 (Aから見る)</p> <p>(単位：mm)</p>

2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 評価方針

制御棒駆動機構搬出入口の応力評価は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

制御棒駆動機構搬出入口の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

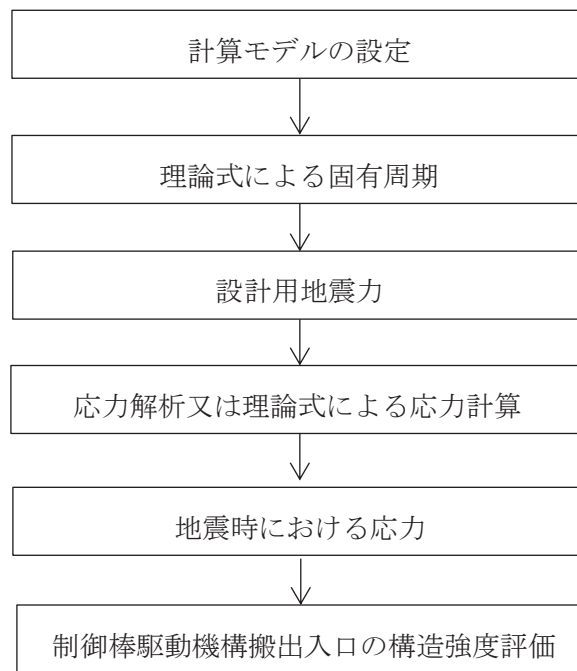


図 2-1 制御棒駆動機構搬出入口の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（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
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
d ₁	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
I	断面二次モーメント	mm ⁴
K ₁	軸直角方向の合成ばね定数	N/mm
K _{1B}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向ばね定数	N/mm
K _{1S}	片持はりを仮定した軸直角方向ばね定数	N/mm
K ₂	軸方向の合成ばね定数	N/mm
K _{2B}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向ばね定数	N/mm
K _{2S}	片持はりを仮定した軸方向ばね定数	N/mm
L	重心までの距離	mm
ℓ _i	長さ (i = 1, 2, 3)	mm
M	機械的荷重	—
M _L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M _{SAL}	機械的荷重 (SA 後長期 (L) 機械的荷重)	—
M _{SALL}	機械的荷重 (SA 後長期 (LL) 機械的荷重)	—
P	圧力	—
P _L	地震と組み合わせる圧力	—
P _{SAL}	圧力 (SA 後長期 (L) 圧力)	kPa
P _{SALL}	圧力 (SA 後長期 (LL) 圧力)	kPa
R	半径	mm
R _h	半径	mm
S	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のいずれか大きい方の地震力	—
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—
S _u	設計引張強さ	MPa
S _y	設計降伏点	MPa
S _y (RT)	40℃における設計降伏点	MPa

記号	記号の説明	単位
T_1	軸直角方向固有周期	s
T_2	軸方向固有周期	s
t_i	厚さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
T_{SAL}	温度 (SA 後長期 (L) 温度)	°C
T_{SALL}	温度 (SA 後長期 (LL) 温度)	°C
W	死荷重	N
ASS	オーステナイト系ステンレス鋼	—
HNA	高ニッケル合金	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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

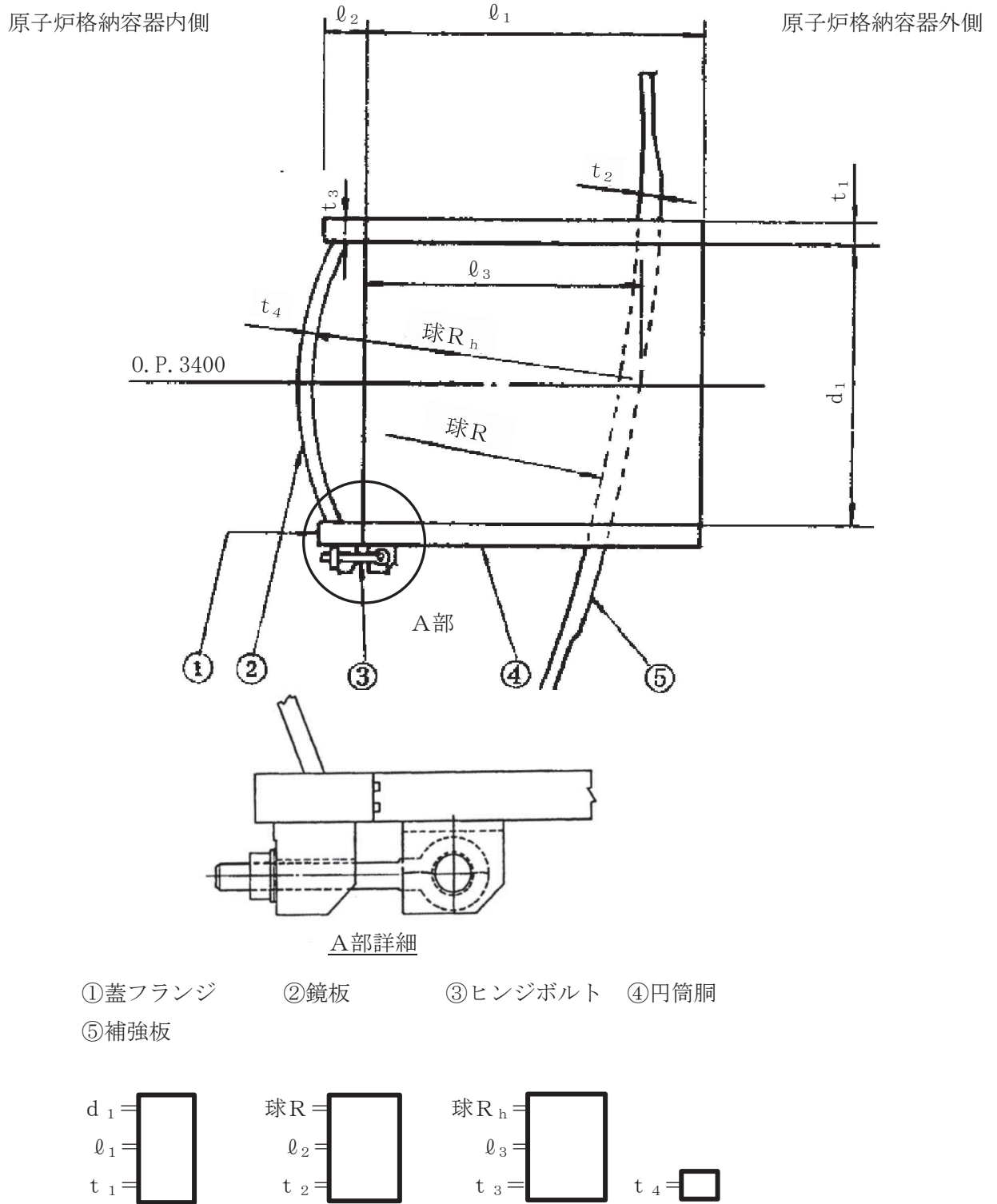
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	kPa	—	—	整数位 ^{*1}
温度	℃	—	—	整数位 ^{*1}
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
断面 2 次モーメント	mm ⁴	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
縦弾性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

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：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

制御棒駆動機構搬出入口の形状及び主要寸法を図 3-1 に、評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。



(単位：mm)

図 3-1 制御棒駆動機構搬出入口の形状及び主要寸法

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位	使用材料
蓋フランジ	SGV480
鏡板	SGV480
円筒胴	SGV480
補強板	SPV490

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

制御棒駆動機構搬出入口の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 制御棒駆動機構搬出入口の質量は、重心に集中するものとする。
- b. 制御棒駆動機構搬出入口は、原子炉格納容器に固定されており、一端固定、他端自由とする。また、制御棒駆動機構搬出入口を片持はりと考え、変形モードは曲げ又は圧縮・引張りを考慮する。
- c. 制御棒駆動機構搬出入口より加わる荷重（以下、外荷重と称す）によって制御棒駆動機構搬出入口取付部に生じる変形を考える。変形モードは曲げモーメントによる取付部変形、又は圧縮・引張りによる取付部変形を考慮する。
- d. b 及び c による変形の両者を考慮する。
- e. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

制御棒駆動機構搬出入口は、図 4-1 に示す集中荷重が作用する片持はりと、図 4-2 に示す外荷重によって取付部に生じる変形モデルの、両者の合成として考える。

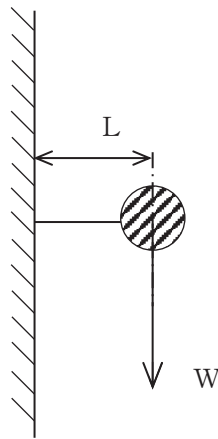


図 4-1 固有周期の計算モデル（片持はり）

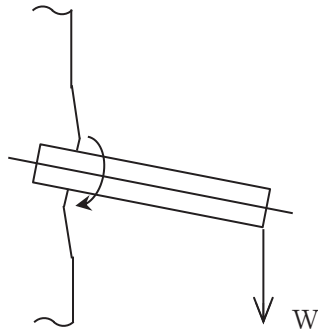


図 4-2 固有周期の計算モデル（外荷重によって取付部に生じる変形モデル）

(2) 軸直角方向ばね定数

片持りを仮定した軸直角方向ばね定数は次式で求める。

$$K_{1S} = \frac{3 \cdot E \cdot I}{L^3}$$

外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向ばね定数は、参照図書(2)を基に荷重と変位の関係より求める。ばね定数を K_{1B} とし、その値を表 4-1 に示す。

(3) 軸方向ばね定数

片持りを仮定した軸方向ばね定数は次式で求める。

$$K_{2S} = \frac{A \cdot E}{L}$$

外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向ばね定数は、参照図書(2)を基に荷重と変位の関係より求める。ばね定数を K_{2B} とし、その値を表 4-1 に示す。

(4) 合成ばね定数

片持はりを仮定したばね定数と，外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定したばね定数の，両者の合成ばね定数は次式で求める。

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{K_{1S}} + \frac{1}{K_{1B}}}$$

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{K_{2S}} + \frac{1}{K_{2B}}}$$

(5) 軸直角方向固有周期

軸直角方向固有周期は次式で求める。

$$T_1 = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot g \cdot K_1}{W}}}$$

(6) 軸方向固有周期

軸方向固有周期は次式で求める。

$$T_2 = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot g \cdot K_2}{W}}}$$

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を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算に用いる計算条件

		制御棒駆動機構搬出入口	
L (mm)	重心までの距離		
E (MPa)	128.5°C *		
I (mm ⁴)			
A (mm ²)			
W (N)	死荷重		
K _{1S} (N/mm)			
K _{1B} (N/mm)			
K _{2S} (N/mm)			
K _{2B} (N/mm)			
K ₁ (N/mm)			
K ₂ (N/mm)			

注記* : 通常運転時温度 57°C と重大事故等時限界温度 200°C の平均温度を適用する。

4.3 固有周期の計算結果

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

固有周期の計算結果を表 4-2 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり，剛構造であることを確認した。

表 4-2 固有周期（設計基準対象施設）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	0.016
水平方向（軸直角）	0.009
鉛直方向（軸直角）	0.009

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

固有周期の計算結果を表 4-3 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり，剛構造であることを確認した。

表 4-3 固有周期（重大事故等対処設備）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	0.016
水平方向（軸直角）	0.009
鉛直方向（軸直角）	0.009

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 制御棒駆動機構搬出入口は、円筒胴がドライウエルに支持された構造であり、水平方向荷重は原子炉格納容器シヤラグ及び基部を介して、鉛直方向荷重は基部を介して原子炉建屋に伝達される。

制御棒駆動機構搬出入口の耐震評価として、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」、 「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」及び「VI-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応答加速度及び荷重を用いて、参照図書(1)に示す既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

制御棒駆動機構搬出入口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。

詳細な荷重の組合せは、添付書類「VI-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。

5.2.2 許容応力

制御棒駆動機構搬出入口の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

制御棒駆動機構搬出入口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	制御棒駆動 機構搬出入 口	S	クラスMC 容器	D + P + M + S _d *	(9)	III _A S
						(10)	
					(13)		
					D + P + M + S _s	(11)	IV _A S
						(12)	
						(14)	
					D + P _L + M _L + S _d * *2	(16)	IV _A S

注記*1：（ ）内は添付書類「VI-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3-6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、構造体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 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*2		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	制御棒駆動機構搬出入口	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*3}$	(V(L)-1)	V_{AS}^{*4}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V(LL)-1)	V_{AS}^{*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「VI-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3-7の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：重大事故等後の最高内圧及び最高温度との組合せを考慮する。

*4： V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

表5-3 クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、AS S及びHNAについては1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*4	3・S*1 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。	*2, *3 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。
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、ASS及びHNA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。	左欄の α倍の値*4		
V _A S*5				

注記*1: 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。

*2: 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。

*3: 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。

*4: 設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比または1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*5: V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度					
補強板	SPV490	周囲環境 温度	171	167	429	550	—

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）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度					
補強板	SPV490	周囲環境 温度	111/178* ¹ (200)* ²	167	417	545	—

注記*1：SA 後長期 (L) の時 178°C，SA 後長期 (LL) の時 111°C。

*2：重大事故等時の評価温度として，保守的に限界温度を適用する。

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，最高使用圧力，最高使用温度，死荷重及び活荷重は，既工認（参照図書(1)）からの変更はなく，以下のとおりとする。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

内圧	427kPa
外圧	13.7kPa
温度	171℃

b. 死荷重

(a) ドライウエル

制御棒駆動機構搬出入口の応力評価点より上部のドライウエル及び付属物の自重を死荷重とする。

(b) 制御棒駆動機構搬出入口

制御棒駆動機構搬出入口の自重を死荷重とする。

死荷重 kg

c. 活荷重

(a) ドライウエル

燃料交換時に，ドライウエル主フランジウォーターシール部に作用する水荷重及び制御棒駆動機構搬出入口の応力評価点より上部の付属物に作用する荷重を活荷重とする。

(b) 制御棒駆動機構搬出入口

燃料交換時に制御棒駆動機構搬出入口に作用する荷重を活荷重とする。

活荷重 kg

d. 冷却材喪失事故時荷重

(a) 事故時圧力

事故時圧力は，冷却材喪失事故後の最大内圧とする。

最大内圧 324kPa

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は、添付書類「VI-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、以下のとおりとする。死荷重は、設計基準対象施設と同じとする。

内圧 P_{SAL}	640kPa (SA 後長期 (L))
内圧 P_{SALL}	427kPa (SA 後長期 (LL))
温度 T_{SAL}	178℃* (SA 後長期 (L))
温度 T_{SALL}	111℃* (SA 後長期 (LL))

注記* : 保守的に限界温度 200℃を適用する。

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6～表 5-9 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「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」, 「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」及び「VI-2-3-2 炉心, 原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。

表 5-6 設計用地震力 (設計基準対象施設)

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉 格納容器 O.P. 3.40	0.016	0.009	C _H = 0.57* ¹	C _V = 0.57* ²	C _H = 1.13* ¹	C _V = 0.98* ²

注記*1: 応力評価点を包絡する設計震度とする。

*2: 原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。

表 5-7 設計用地震力 (重大事故等対処設備)

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d		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 格納容器 O.P. 3.40	0.016	0.009	C _H = 0.56* ¹	C _V = 0.57* ²	C _H = 1.13* ³	C _V = 0.98* ²

注記*1: 応力評価点を包絡する設計震度を上回る既工認で用いた設計震度とする。

*2: 原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。

*3: 応力評価点を包絡する設計震度とする。

表 5-8 設計用地震力（設計基準対象施設）*1

応力評価点*2	水平荷重 S d *		水平荷重 S s	
	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)
P3				
P4				
P5				

注記*1：既工認で用いた設計用地震力と今回工認の設計用地震力を比較し、包絡する値を用いる。

*2：応力評価点の位置は、図 5-1 参照のこと。

表 5-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）*1

応力評価点*2	水平荷重 S d		水平荷重 S s	
	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)
P3				
P4				
P5				

注記*1：既工認で用いた設計用地震力と今回工認の設計用地震力を比較し、包絡する値を用いる。

*2：応力評価点の位置は、図 5-1 参照のこと。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.4 計算方法

制御棒駆動機構搬出入口の応力評価点は，制御棒駆動機構搬出入口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 5-10 及び図 5-1 に示す。

応力計算方法は既工認から変更はなく，参照図書(1)に示すとおりである。

応力評価点 P3～P5 の応力は，既工認の各荷重条件や耐震条件との比を用いて発生応力を算出し評価する。

表 5-10 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1*	鏡板中央部
P2*	蓋フランジ
P3～P5	制御棒駆動機構搬出入口取付部

注記*：応力評価点 P1 及び P2 については，地震荷重は荷重値が小さく無視できるので評価を行わない。

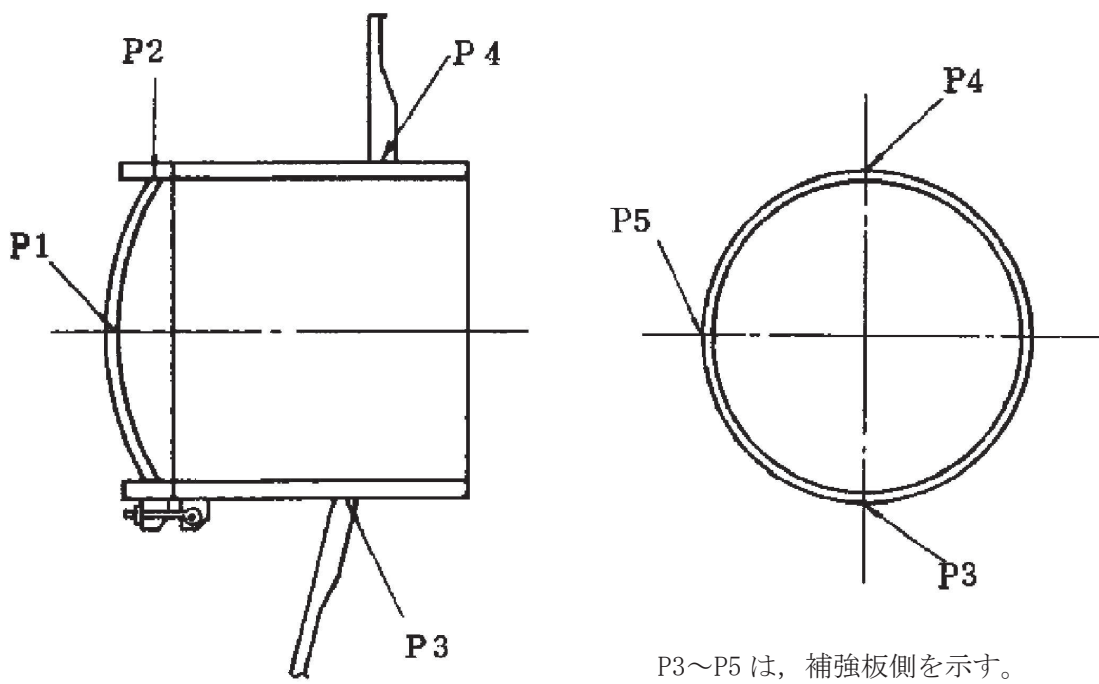


図 5-1 制御棒駆動機構搬出入口の応力評価点

5.5 計算条件

応力解析に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた各応力が表 5-3 に示す許容応力以下であること。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 (PVB-3313 を除く。S_mはSと読み替える。)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。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

制御棒駆動機構搬出入口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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 3.1.23 項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、添付書類「VI-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 3-6 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、表中の一次膜応力+一次曲げ応力の算出応力が一次一般膜応力の許容応力を下回ることから、評価を省略した一次一般膜応力が生じる応力評価点も十分な構造強度を有する。

表 6-1 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	応力評価点		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
制御棒駆動機 構搬出入口	P3	制御棒駆動機構搬出入口取 付部	一次膜応力+一次曲げ応力	68	495	○	(10)	
			一次+二次応力	126	501	○	(10)	
	P4	制御棒駆動機構搬出入口取 付部	一次膜応力+一次曲げ応力	59	495	○	(10)	
			一次+二次応力	112	501	○	(10)	
	P5	制御棒駆動機構搬出入口取 付部	一次膜応力+一次曲げ応力	63	495	○	(10)	
			一次+二次応力	120	501	○	(10)	

表 6-2(1) 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	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
制御棒駆動機 構搬出入口	P3	制御棒駆動機構搬出入口取 付部	一次膜応力+一次曲げ応力	107	495	○	(12)	
			一次+二次応力	214	501	○	(12)	
	P4	制御棒駆動機構搬出入口取 付部	一次膜応力+一次曲げ応力	92	495	○	(12)	
			一次+二次応力	184	501	○	(12)	
	P5	制御棒駆動機構搬出入口取 付部	一次膜応力+一次曲げ応力	98	495	○	(12)	
			一次+二次応力	198	501	○	(12)	

表 6-2(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	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
制御棒駆動機 構搬出入口	P3	制御棒駆動機構搬出入口取 付部	一次膜応力+一次曲げ応力	98	495	○	(16)	
			一次+二次応力	118	501	○	(16)	
	P4	制御棒駆動機構搬出入口取 付部	一次膜応力+一次曲げ応力	94	495	○	(16)	
			一次+二次応力	106	501	○	(16)	
	P5	制御棒駆動機構搬出入口取 付部	一次膜応力+一次曲げ応力	95	495	○	(16)	
			一次+二次応力	112	501	○	(16)	

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

制御棒駆動機構搬出入口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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表6-3に示す。

なお、表中の一次膜応力+一次曲げ応力の算出応力が一次一般膜応力の許容応力を下回ることから、評価を省略した一次一般膜応力が生じる応力評価点も十分な構造強度を有する。

表 6-3(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
制御棒駆動機構搬出入口	P3	制御棒駆動機構搬出入口取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	151	490	○	
			一次+二次応力	118	501	○	
	P4	制御棒駆動機構搬出入口取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	149	490	○	
			一次+二次応力	106	501	○	
	P5	制御棒駆動機構搬出入口取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	147	490	○	
			一次+二次応力	112	501	○	

表 6-3(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
制御棒駆動機構搬出入口	P3	制御棒駆動機構搬出入口取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	144	490	○	
			一次+二次応力	200	501	○	
	P4	制御棒駆動機構搬出入口取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	138	490	○	
			一次+二次応力	174	501	○	
	P5	制御棒駆動機構搬出入口取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	138	490	○	
			一次+二次応力	184	501	○	

7. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
添付書類「IV-3-1-1-9 制御棒駆動機構搬出入口の強度計算書」
- (2) P.P. Bijlaard, "Computation of the Stresses from Local Loads in Spherical Pressure Vessels or Pressure Vessel Heads", Welding Research Council Bulletin No. 34(1957)

VI-2-9-2-2-4 サプレッションチェンバ出入口の
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 適用規格・基準等	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. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	12
4.3 固有周期の計算結果	13
5. 構造強度評価	14
5.1 構造強度評価方法	14
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	14
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
5.2.2 許容応力	14
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	14
5.2.4 設計荷重	19
5.3 設計用地震力	21
5.4 計算方法	22
5.5 計算条件	27
5.6 応力の評価	27
6. 評価結果	28
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	28
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	32
7. 参照図書	35

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-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、サブプレッションチェンバ出入口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。

サブプレッションチェンバ出入口は、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。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力による荷重及び重大事故等時の荷重に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるサブプレッションチェンバ出入口の評価は、平成 2 年 5 月 24 日付け元資庁第 14466 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

サブプレッションチェンバ出入口の構造計画を表 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	
<p>サプレッションチェンバ出入口は、サプレッションチェンバに支持される。 鉛直方向荷重及び水平方向荷重はサプレッションチェンバ及びボックスサポートを介して原子炉建屋に伝達させる。</p>	<p>サプレッションチェンバ出入口は、内径 <input type="text"/> mm、板厚 <input type="text"/> mm の円筒胴及び板厚 <input type="text"/> mm の蓋板、フランジで構成される鋼製構造物である。</p>	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 評価方針

サブプレッションチェンバ出入口の応力評価は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「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。

サブプレッションチェンバ出入口の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

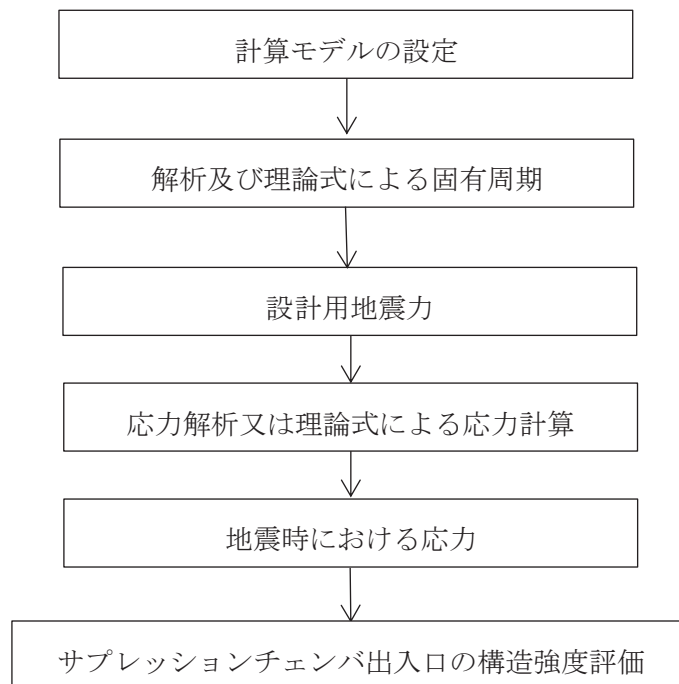


図 2-1 サブプレッションチェンバ出入口の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (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）
- (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）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（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
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
d _i	直径 (i = 1, 2, 3)	mm
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
I	断面二次モーメント	mm ⁴
K _{1BC}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向ばね定数 (サプレッションチェンバ周方向)	N/mm
K _{1BL}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向ばね定数 (サプレッションチェンバ軸方向)	N/mm
K _{1C}	軸直角方向 (水平方向) の合成ばね定数	N/mm
K _{1L}	軸直角方向 (鉛直方向) の合成ばね定数	N/mm
K _{1S}	片持はりを仮定した軸直角方向ばね定数	N/mm
K ₂	軸方向の合成ばね定数	N/mm
K _{2B}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向ばね定数	N/mm
K _{2S}	片持はりを仮定した軸方向ばね定数	N/mm
L	サプレッションチェンバ出入口端部までの距離	mm
ℓ _i	長さ (i = 1, 2)	mm
M	機械的荷重	—
M _C	モーメント	N・mm
M _L	地震と組み合わせる機械的荷重, モーメント	—, N・mm
M _{SAL}	機械的荷重 (SA 後長期 (L) 機械的荷重)	—
M _{SALL}	機械的荷重 (SA 後長期 (LL) 機械的荷重)	—
P	圧力, 荷重	—, N
P _L	地震と組み合わせる圧力	—
P _{SAL}	圧力 (SA 後長期 (L) 圧力)	kPa
P _{SALL}	圧力 (SA 後長期 (LL) 圧力)	kPa
R	半径	mm
S	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のいずれか大きい方の地震力	—

記号	記号の説明	単位
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
$S_y (RT)$	40°Cにおける設計降伏点	MPa
T_{1C}	軸直角方向固有周期 (サプレッションチェンバ周方向)	s
T_{1L}	軸直角方向固有周期 (サプレッションチェンバ軸方向)	s
T_2	軸方向固有周期	s
t_i	厚さ ($i = 1, 2, 3$)	mm
T	温度	°C
T_{SAL}	温度 (SA 後長期 (L) 温度)	°C
T_{SALL}	温度 (SA 後長期 (LL) 温度)	°C
W	荷重	N
ASS	オーステナイト系ステンレス鋼	—
HNA	高ニッケル合金	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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

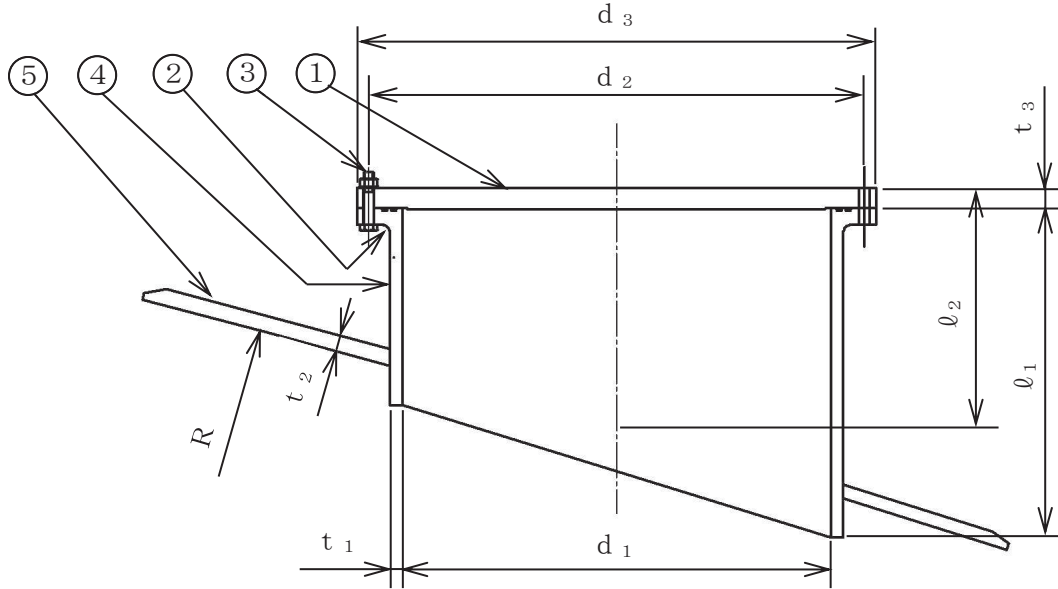
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	kPa	—	—	整数位 ^{*1}
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
断面 2 次モーメント	mm ⁴	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
力	kg	有効数字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

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：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出入口の形状及び主要寸法を図 3-1 に、評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。



- ① 蓋板
- ② フランジ
- ③ ボルト
- ④ 円筒胴
- ⑤ 補強板

$d_1 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$d_2 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$d_3 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$R =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>
$l_1 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$l_2 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>		
$t_1 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$t_2 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	$t_3 =$ <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	

(単位 : mm)

図 3-1 サプレッションチェンバ出入口の形状及び主要寸法

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位	使用材料	備考
蓋板	SGV480	
フランジ	SFVC2B	
ボルト		
円筒胴	SGV480	
補強板	SGV480	

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

サプレッションチェンバ出入口の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. サプレッションチェンバ出入口の質量は、サプレッションチェンバ出入口端部に集中するものとする。
- b. サプレッションチェンバ出入口は、サプレッションチェンバに固定されており、一端固定、他端自由とする。また、サプレッションチェンバ出入口を片持はりと考え、変形モードは曲げ又は圧縮・引張りを考慮する。
- c. サプレッションチェンバ出入口より加わる荷重（以下「外荷重」という。）によってサプレッションチェンバ出入口取付部に生じる変形を考える。変形モードは曲げモーメントによる取付部変形、又は圧縮・引張りによる取付部変形を考慮する。
- d. b及びcによる変形の両者を考慮する。
- e. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

サプレッションチェンバ出入口は、図4-1に示す集中荷重が作用する片持はりと、図4-2に示す外荷重によって取付部に生じる変形モデルの、両者の合成として考える。

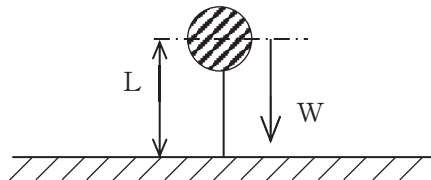


図 4-1 固有周期の計算モデル（片持はり）

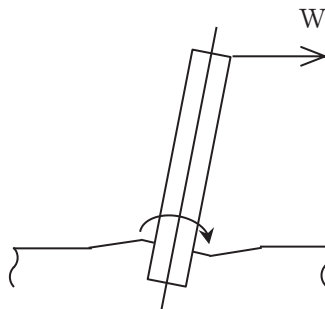


図 4-2 固有周期の計算モデル（外荷重によって取付部に生じる変形モデル）

外荷重によってサプレッションチェンバ出入口取付部に生じる変形を精緻に評価するため、3次元シェル要素による有限要素解析手法を適用する。解析モデルを図4-3に、機器の諸元を表4-1に示す。

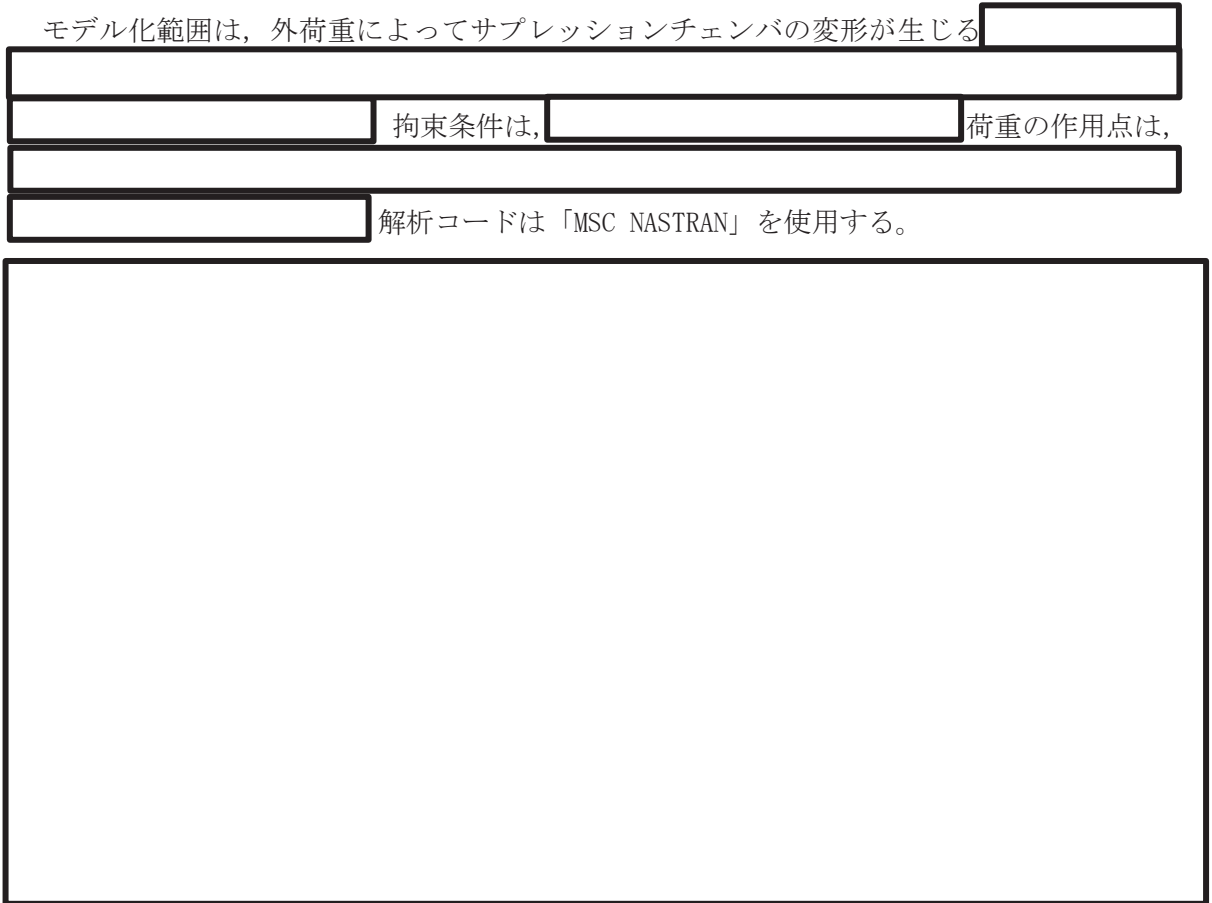


図4-3 解析モデル（外荷重によって取付部に生じる変形を求めるモデル）

表4-1 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV480
温度条件	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	—	
節点数	—	—	

注記*：解析モデルの温度は、通常運転時温度と限界温度の平均温度とする。なお、許容応力は、設計基準対象施設は事故時温度、重大事故等対処設備は限界温度で算出する。

(2) 軸直角方向ばね定数

片持はりを仮定した軸直角方向ばね定数は次式で求める。

$$K_{1S} = \frac{3 \cdot E \cdot I}{L^3}$$

外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向ばね定数は、図 4-3 に示す解析モデルを用いて荷重と変位の関係より求める。サプレッションチェーンバ周方向ばね定数を K_{1BC} 、サプレッションチェーン軸方向ばね定数を K_{1BL} とし、その値を表 4-2 に示す。

(3) 軸方向ばね定数

片持はりを仮定した軸方向ばね定数は次式で求める。

$$K_{2S} = \frac{A \cdot E}{L}$$

外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向ばね定数は、図 4-3 に示す解析モデルを用いて荷重と変位の関係より求める。ばね定数を K_{2B} とし、その値を表 4-2 に示す。

(4) 合成ばね定数

片持はりを仮定したばね定数と、外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定したばね定数の、両者の合成ばね定数は次式で求める。

$$K_{1C} = \frac{1}{\frac{1}{K_{1S}} + \frac{1}{K_{1BC}}}$$

$$K_{1L} = \frac{1}{\frac{1}{K_{1S}} + \frac{1}{K_{1BL}}}$$

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{K_{2S}} + \frac{1}{K_{2B}}}$$

(5) 軸直角方向固有周期

軸直角方向固有周期は次式で求める。

サプレッションチェーンバ周方向

$$T_{1C} = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot g \cdot K_{1C}}{W}}}$$

サプレッションチェンバ軸方向

$$T_{1L} = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot g \cdot K_{1L}}{W}}}$$

(6) 軸方向固有周期

軸方向固有周期は次式で求める。

$$T_2 = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot g \cdot K_2}{W}}}$$

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を表 4-2 に示す。

表 4-2 固有周期の計算に用いる計算条件

		サプレッションチェンバ出入口
L (mm)	サプレッションチェンバ 出入口端部までの距離	
E (MPa)		
I (mm ⁴)		
A (mm ²)		
W (N)	死荷重	
K _{1S} (N/mm)		
K _{1BC} (N/mm)		
K _{1BL} (N/mm)		
K _{2S} (N/mm)		
K _{2B} (N/mm)		
K _{1C} (N/mm)		
K _{1L} (N/mm)		
K ₂ (N/mm)		

注記*：通常運転時温度と限界温度の平均温度とする。なお、許容応力、設計基準対象施設は事故時温度、重大事故等対処設備は限界温度で算出する。

4.3 固有周期の計算結果

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設における固有周期は、「5.2.4 設計荷重」に示す設計基準対象施設としての評価温度を考慮し算出する。固有周期を表 4-3 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-3 固有周期（設計基準対象施設）

卓越方向	固有周期 (s)
鉛直方向（軸）	0.021
水平方向（軸直角）	0.016 ^{*1}
	0.033 ^{*2}

注記*1：サプレッションチェンバ軸方向を示す。

*2：サプレッションチェンバ周方向を示す。

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備における固有周期は、「5.2.4 設計荷重」に示す重大事故等時における評価温度を考慮し算出する。固有周期を表 4-4 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-4 固有周期（重大事故等対処設備）

卓越方向	固有周期 (s)
鉛直方向（軸）	0.021
水平方向（軸直角）	0.016 ^{*1}
	0.033 ^{*2}

注記*1：サプレッションチェンバ軸方向を示す。

*2：サプレッションチェンバ周方向を示す。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) サプレッションチェンバ出入口は、円筒胴がサプレッションチェンバに支持された構造であり、鉛直方向荷重及び水平方向荷重はサプレッションチェンバ及びボックスサポートを介して原子炉建屋に伝達される。

サプレッションチェンバ出入口の耐震評価として、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」において計算された応答加速度を用いて、「5.4 計算方法」にて示す方法に従い、構造強度評価を行う。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

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

サプレッションチェンバ出入口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。

詳細な荷重の組合せは、添付書類「VI-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。

5.2.2 許容応力

サプレッションチェンバ出入口の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

サプレッションチェンバ出入口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 バ出入口	S	クラスMC 容器	D + P + M + S _d [*]	(9) (10) ^{*3} (13) (15)	III _A S
						D + P + M + S _s	(11) (12) ^{*3} (14)
					D + P _L + M _L + S _d ^{**2}	(16)	IV _A S

注記*1：（ ）内は添付書類「VI-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3-6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、構造体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。

*3：運転状態 I による燃料交換時の活荷重は、サプレッションチェンバ出入口に作用しないことから、荷重の組合せとして考慮せず評価しない。

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 ^{*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出入口	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ ^{*3}	(V(L)-1)	V_{AS} ^{*4}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V(LL)-1)	V_{AS} ^{*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「VI-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3-7の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：重大事故等後の最高内圧及び最高温度との組合せを考慮する。

*4： V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

表5-3 クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、AS S及びHNAについては1.2・Sとする。	左欄の α倍の値 ^{*4}	3・S ^{*1} 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。	*2, *3 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。
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、ASS及びHNA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。	左欄の α倍の値 ^{*4}		
V _A S ^{*5}				

注記*1: 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。また、S_mはSと読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

*2: 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。

*3: 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。

*4: 設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比または1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*5: V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度					
円筒胴, 補強板	SGV480	周囲環境 温度	104	131	237	430	—

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）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度					
円筒胴, 補強板	SGV480	周囲環境 温度	111/178 ^{*1} (200) ^{*2}	131	226	422	—

注記*1：SA 後長期 (L) の時 178°C，SA 後長期 (LL) の時 111°C。

*2：重大事故等時の評価温度として，保守的に限界温度を適用する。

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である最高使用圧力，最高使用温度，死荷重及び水力学的動荷重は，以下のとおりとする。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

内圧	427kPa
外圧	13.7kPa
温度	104℃

b. 死荷重

サブプレッションチェンバ出入口の自重を死荷重とする。

死荷重 kg

c. 冷却材喪失事故時荷重

事故時圧力は，冷却材喪失事故後の最大内圧とする。

最大内圧 206 kPa

d. 逃がし安全弁作動時の荷重

逃がし安全弁作動時，排気管内の気体が T-クエンチャからサブプレッションプール水中に放出される際，サブプレッションチェンバに圧力振動荷重が作用する。

最大正圧 kPa

最大負圧 kPa

e. 水位

水位 O.P. -3800mm

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

a. 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は，添付書類「VI-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，以下のとおりとする。死荷重は，設計基準対象施設と同じとする。

内圧 P _{SAL}	640kPa (SA 後長期 (L))
内圧 P _{SALL}	427kPa (SA 後長期 (LL))
温度 T _{SAL}	178℃* (SA 後長期 (L))
温度 T _{SALL}	111℃* (SA 後長期 (LL))

注記*：保守的に限界温度 200℃を適用する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. 水力的動的荷重

重大事故等対処設備としての水力的動的荷重は、以下のとおりである。

サプレッションチェンバに対して、低流量蒸気凝縮時に以下に示す蒸気凝縮振動（チャギング）荷重が作用する。

最大正圧 kPa
最大負圧 kPa

c. 水位

重大事故等対処設備としての水位は、以下のとおりとする。

水位 O.P. -1514mm

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「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉 格納容器 O.P. 1.49*	0.033	0.021	$C_H=1.94$	$C_V=2.15$	$C_H=3.37$	$C_V=3.82$

注記*：添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示すサプレッションチェンバの震度を適用する。

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d		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 格納容器 O.P. 1.49*	0.033	0.021	$C_H=2.02$	$C_V=3.15$	$C_H=3.64$	$C_V=5.32$

注記*：添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示すサプレッションチェンバの震度を適用する。

5.4 計算方法

サプレッションチェンバ出入口の応力評価点は、サプレッションチェンバ出入口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 5-8 及び図 5-1 に示す。

表 5-8 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1*	蓋板中央部
P2*	フランジ
P3*	ボルト
P4	円筒胴
P5	サプレッションチェンバ出入口取付部

注記*：応力評価点 P1～P3 については、地震荷重は荷重値が小さく無視できるので評価を行わない。

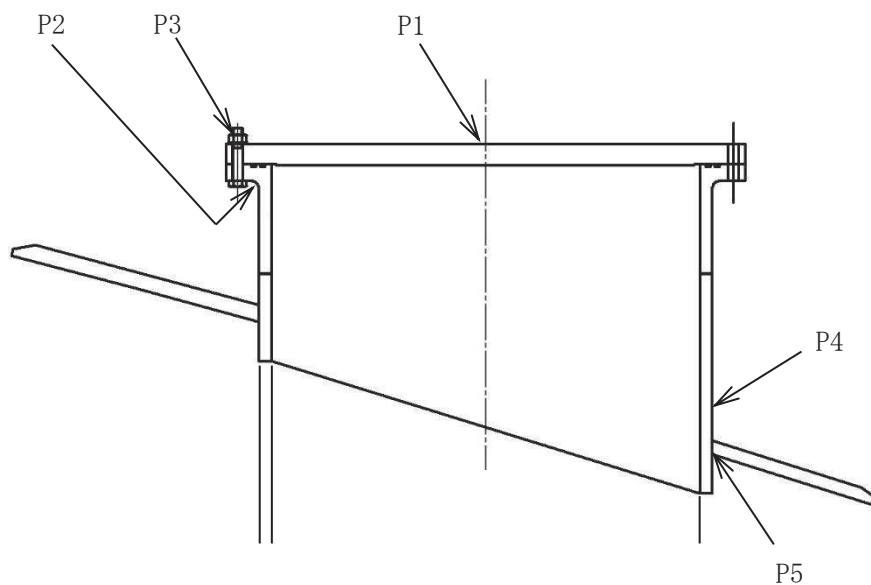


図 5-1 サプレッションチェンバ出入口の応力評価点

(1) サプレッションチェンバに作用する荷重による応力

応力計算方法は、添付書類「VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示す方法と同じであり、サプレッションチェンバ出入口の取付位置を考慮する。水平 2 方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は、二乗和平方根により組み合わせる。

(2) サプレッションチェンバ出入口に作用する荷重による応力

応力計算方法は、参照図書(1)に示す方法と同じであり、サプレッションチェンバ出入口の自重、寸法等を考慮する。応力評価点 P4, P5 に作用する荷重を表 5-9 に示す。

表 5-9 応力評価点 P4, P5 に作用する荷重^{*2}

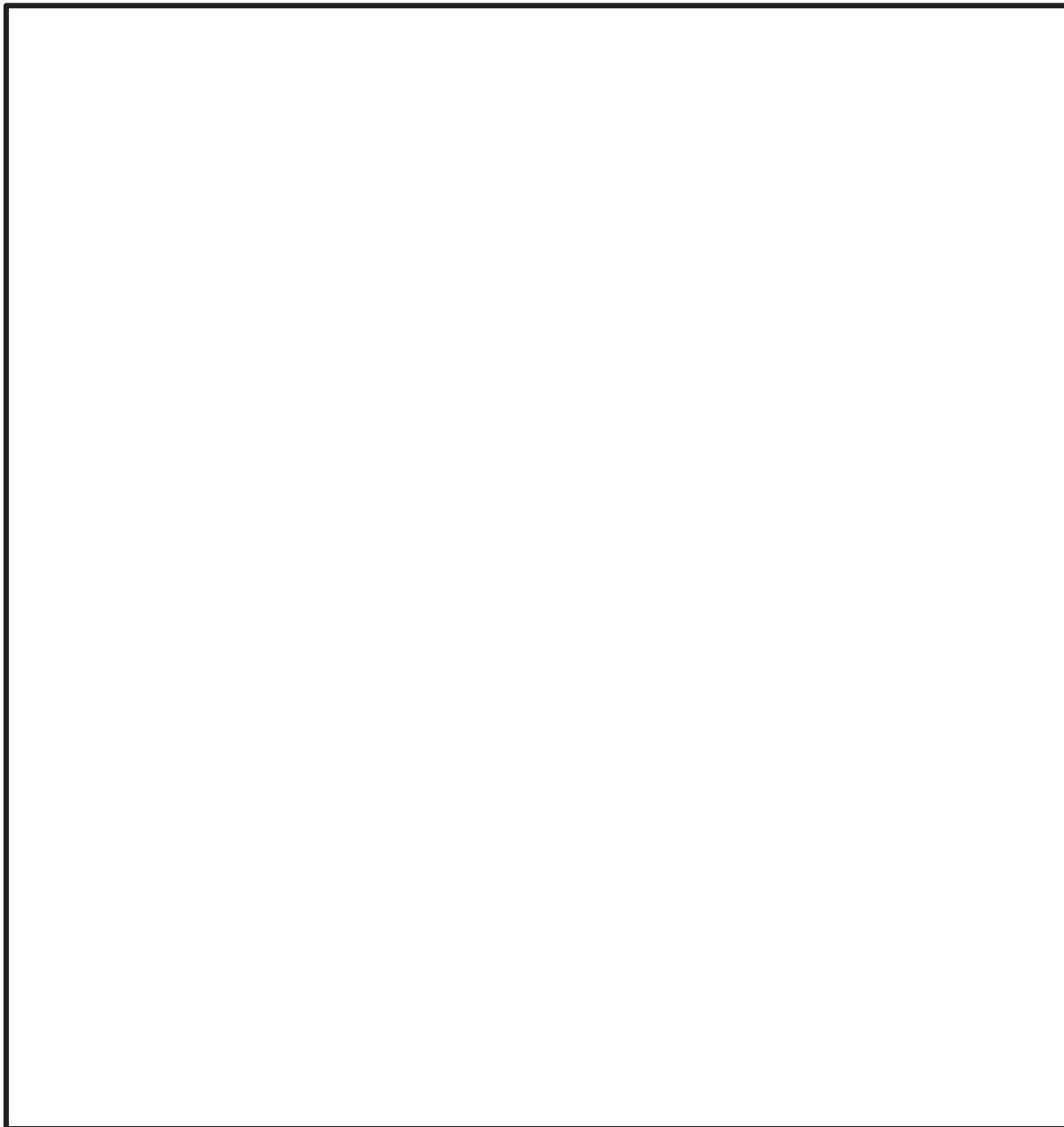
荷重の種類 ^{*1}	死荷重	地震荷重
P	W	$W \cdot C_V$
M_L	—	$W \cdot \ell_2 \cdot C_H$
M_C	—	$W \cdot \ell_2 \cdot C_H$

注記*1：図 5-2 に示す荷重の記号による。

*2：応力評価点 P4 に対し、「5.2.4 設計荷重」に示す圧力も作用する。

表 5-9 の荷重によりサプレッションチェンバ出入口取付部に生じる応力を、参照図書(2)に基づき計算する方法を以下に示す。

なお、ここで使用する記号はすべて参照図書(2)に従う。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

荷重Pによる応力

方向	応力 評価点	位置	図の 番号	図からの 読取値	図からの読取値に 乗じる値	応力の 絶対値

02 ⑥ VI-2-9-2-2-4 RO

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

荷重 M_L による応力

方向	応力 評価点	位置	図の 番号	図からの 読取值	図からの読取值に 乗じる値	応力の 絶対値

荷重 M_C による応力

方向	応力 評価点	位置	図の 番号	図からの 読取值	図からの読取值に 乗じる値	応力の 絶対値

O 2 ⑥ VI-2-9-2-2-4 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.5 計算条件

応力解析に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた各応力が、表 5-3 に示す許容応力以下であること。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 (PVB-3313 を除く。S_mはSと読み替える。)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。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

サブレーションチェンバ出入口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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次＋二次＋ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表6-1及び表6-2に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、添付書類「VI-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3-6の荷重の組合せのNo.を記載する。

表 6-1 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	応力評価点		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッション チェンバ出 入口	P4	円筒胴	一次一般膜応力	5	237	○	(9), (13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	5	356	○	(9), (13)	
			一次+二次応力	8	393	○	(9), (13)	
	P5	サプレッションチェンバ出入口取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	25	356	○	(9), (13)	
			一次+二次応力	84	393	○	(9), (13)	

表 6-2(1) 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	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッション チェンバ出 入口	P4	円筒胴	一次一般膜応力	9	258	○	(11), (14)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	9	387	○	(11), (14)	
			一次+二次応力	16	393	○	(11), (14)	
	P5	サプレッションチェンバ出入口取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	40	387	○	(11), (14)	
			一次+二次応力	148	393	○	(11), (14)	

表 6-2(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	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッション チェンバ出 入口	P4	円筒胴	一次一般膜応力	7	258	○	(16)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	7	387	○	(16)	
			一次+二次応力	8	393	○	(16)	
	P5	サプレッションチェンバ出入口取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	66	387	○	(16)	
			一次+二次応力	84	393	○	(16)	

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

サブプレッションチェンバ出入口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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表6-3に示す。

表 6-3(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
サプレッション チェンバ出 入口	P4	円筒胴	一次一般膜応力	13	253	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	13	379	○	
			一次+二次応力	12	393	○	
	P5	サプレッションチェンバ出入口取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	182	379	○	
			一次+二次応力	116	393	○	

表 6-3(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
サプレッション チェンバ出 入口	P4	円筒胴	一次一般膜応力	14	253	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	14	379	○	
			一次+二次応力	18	393	○	
	P5	サプレッションチェンバ出入口取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	153	379	○	
			一次+二次応力	212	393	○	

7. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
添付書類「IV-3-1-2-4 原子炉格納容器配管貫通部の強度計算書」
- (2) K.R.Wichman, A.G.Hopper and J.L.Mershon, “Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings”, Welding Research Council Bulletin No.107(1965)

VI-2-9-2-3 エアロックの耐震性についての計算書

目 次

VI-2-9-2-3-1 所員用エアロックの耐震性についての計算書

VI-2-9-2-3-1 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 適用規格・基準等	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. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	12
4.3 固有周期の計算結果	13
5. 構造強度評価	14
5.1 構造強度評価方法	14
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	14
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
5.2.2 許容応力	14
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	14
5.2.4 設計荷重	19
5.3 設計用地震力	21
5.4 計算方法	23
5.5 計算条件	25
5.6 応力の評価	25
6. 評価結果	26
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	26
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	30
7. 参照図書	33

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-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、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。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力による荷重及び重大事故等時の荷重に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重による所員用エアロックの評価は、平成 2 年 5 月 24 日付け元資庁第 14466 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

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	
<p>所員用エアロックは、ドライウェルに支持される。</p> <p>水平方向荷重は原子炉格納容器シヤラグ及び基部を介して、鉛直方向荷重は基部を介して原子炉建屋に伝達される。</p>	<p>所員用エアロックは、内径 <input type="text"/> mm、板厚 <input type="text"/> mm、長さ <input type="text"/> mm の円筒胴、板厚 <input type="text"/> mm の扉板及び板厚 <input type="text"/> mm の隔壁で構成される鋼製構造物である。</p>	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 評価方針

所員用エアロックの応力評価は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及び「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 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。

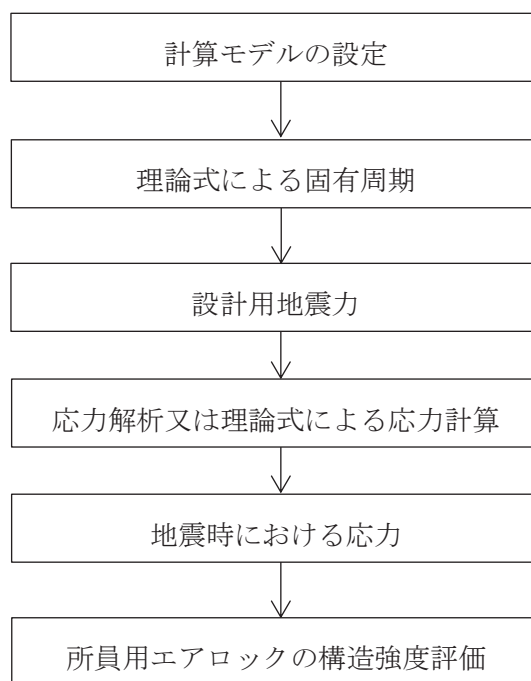


図 2-1 所員用エアロックの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (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)
- (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)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (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
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
d ₁	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
I	断面二次モーメント	mm ⁴
K ₁	軸直角方向の合成ばね定数	N/mm
K _{1B}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向ばね定数	N/mm
K _{1S}	片持はりを仮定した軸直角方向ばね定数	N/mm
K ₂	軸方向の合成ばね定数	N/mm
K _{2B}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向ばね定数	N/mm
K _{2S}	片持はりを仮定した軸方向ばね定数	N/mm
L	重心までの距離	mm
ℓ _i	長さ (i = 1, 2)	mm
M	機械的荷重	—
M _L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M _{SAL}	機械的荷重 (SA 後長期 (L) 機械的荷重)	—
M _{SALL}	機械的荷重 (SA 後長期 (LL) 機械的荷重)	—
P	圧力	—
P _L	地震と組み合わせる圧力	—
P _{SAL}	圧力 (SA 後長期 (L) 圧力)	kPa
P _{SALL}	圧力 (SA 後長期 (LL) 圧力)	kPa
R	半径	mm
S	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のいずれか大きい方の地震力	—
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—
S _u	設計引張強さ	MPa
S _y	設計降伏点	MPa
S _y (RT)	40℃における設計降伏点	MPa

記号	記号の説明	単位
T_1	軸直角方向固有周期	s
T_2	軸方向固有周期	s
t_i	厚さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
T_{SAL}	温度 (SA 後長期 (L) 温度)	°C
T_{SALL}	温度 (SA 後長期 (LL) 温度)	°C
W	死荷重	N
ASS	オーステナイト系ステンレス鋼	—
HNA	高ニッケル合金	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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

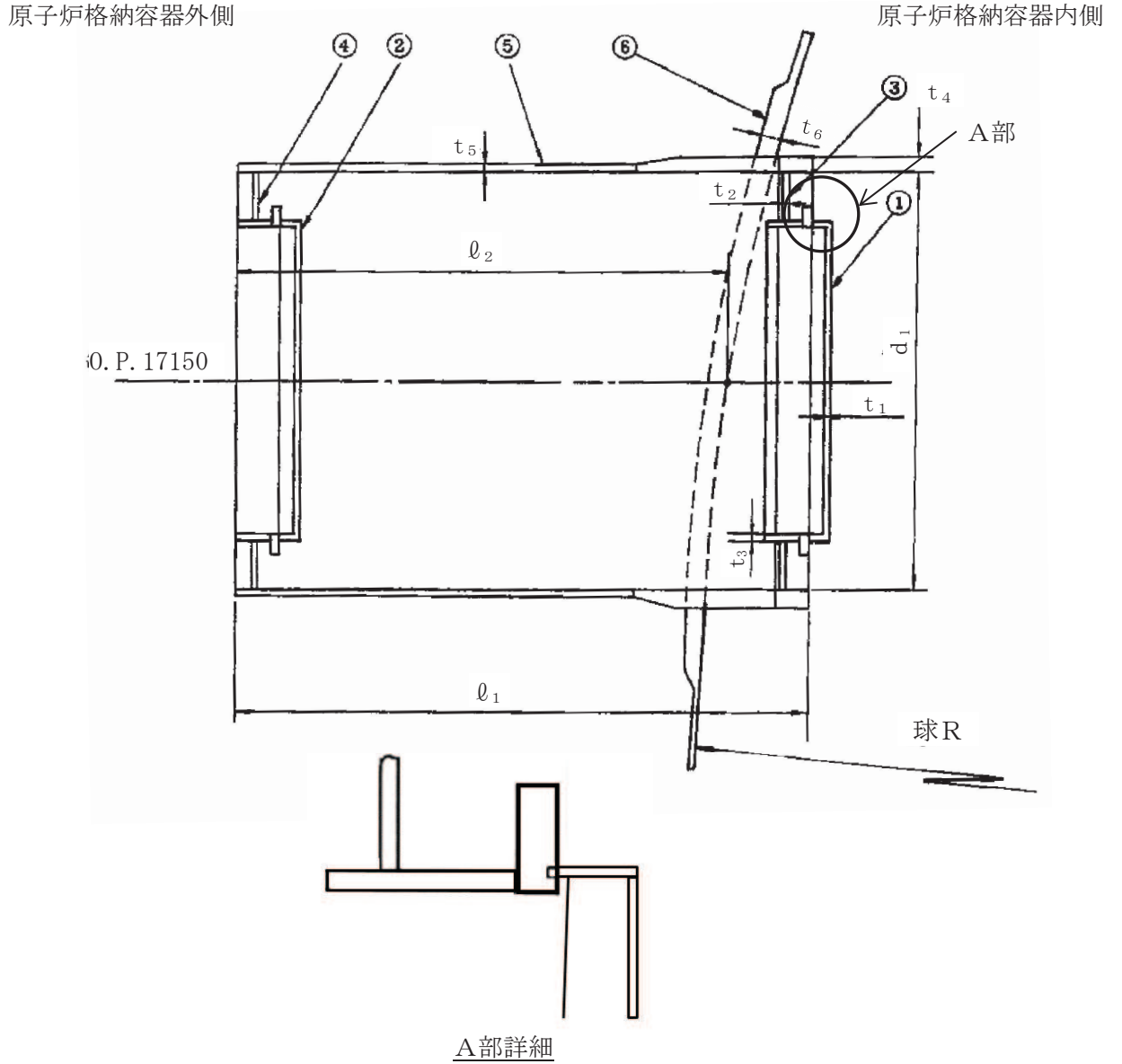
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	kPa	—	—	整数位 ^{*1}
温度	℃	—	—	整数位 ^{*1}
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
断面 2 次モーメント	mm ⁴	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
縦弾性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

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：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，評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。



- ①内側扉 ②外側扉 ③内側隔壁 ④外側隔壁 ⑤円筒胴 ⑥補強板

$d_1 =$ <input type="text"/>	球R = <input type="text"/>	
$l_1 =$ <input type="text"/>	$l_2 =$ <input type="text"/>	
$t_1 =$ <input type="text"/>	$t_2 =$ <input type="text"/>	$t_3 =$ <input type="text"/>
$t_4 =$ <input type="text"/>	$t_5 =$ <input type="text"/>	$t_6 =$ <input type="text"/>

(単位：mm)

図 3-1 所員用エアロックの形状及び主要寸法

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位	使用材料
内側扉	SGV480
外側扉	SGV480
内側隔壁	SGV480
外側隔壁	SGV480
水平及び垂直ビーム	SGV480
円筒胴	SGV480
補強板	SPV490

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

所員用エアロックの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 所員用エアロックの質量は，重心に集中するものとする。
- b. 所員用エアロックは，原子炉格納容器に固定されており，一端固定，他端自由とする。また，所員用エアロックを片持はりと考え，変形モードは曲げ又は圧縮・引張りを考慮する。
- c. 所員用エアロックより加わる荷重（以下，外荷重と称す）によって所員用エアロック取付部に生じる変形を考える。変形モードは曲げモーメントによる取付部変形，又は圧縮・引張りによる取付部変形を考慮する。
- d. b及びcによる変形の両者を考慮する。
- e. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

所員用エアロックは，図 4-1 に示す集中荷重が作用する片持はりと，図 4-2 に示す外荷重によって取付部に生じる変形モデルの，両者の合成として考える。

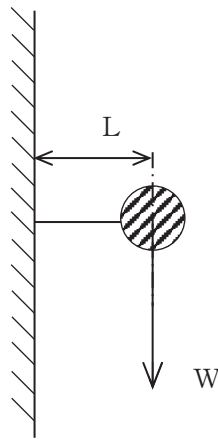


図 4-1 固有周期の計算モデル（片持はり）

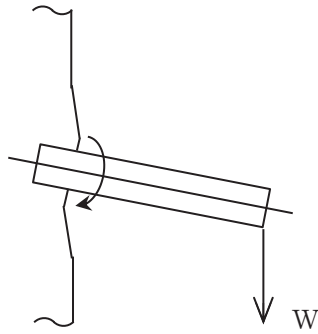


図 4-2 固有周期の計算モデル（外荷重によって取付部に生じる変形モデル）

(2) 軸直角方向ばね定数

片持りを仮定した軸直角方向ばね定数は次式で求める。

$$K_{1S} = \frac{3 \cdot E \cdot I}{L^3}$$

外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向ばね定数は，参照図書(2)を基に荷重と変位の関係より求める。ばね定数を K_{1B} とし，その値を表 4-1 に示す。

(3) 軸方向ばね定数

片持りを仮定した軸方向ばね定数は次式で求める。

$$K_{2S} = \frac{A \cdot E}{L}$$

外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向ばね定数は，参照図書(2)を基に荷重と変位の関係より求める。ばね定数を K_{2B} とし，その値を表 4-1 に示す。

(4) 合成ばね定数

片持はりを仮定したばね定数と，外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定したばね定数の，両者の合成ばね定数は次式で求める。

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{K_{1S}} + \frac{1}{K_{1B}}}$$

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{K_{2S}} + \frac{1}{K_{2B}}}$$

(5) 軸直角方向固有周期

軸直角方向固有周期は次式で求める。

$$T_1 = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot g \cdot K_1}{W}}}$$

(6) 軸方向固有周期

軸方向固有周期は次式で求める。

$$T_2 = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot g \cdot K_2}{W}}}$$

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を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算に用いる計算条件

		所員用エアロック	
L (mm)	重心までの距離		
E (MPa)	128.5°C*		
I (mm ⁴)			
A (mm ²)			
W (N)	死荷重		
K _{1S} (N/mm)			
K _{1B} (N/mm)			
K _{2S} (N/mm)			
K _{2B} (N/mm)			
K ₁ (N/mm)			
K ₂ (N/mm)			

注記*：通常運転時温度 57°C と重大事故等時限界温度 200°C の平均温度を適用する。

4.3 固有周期の計算結果

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

固有周期の計算結果を表 4-2 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり，剛構造であることを確認した。

表 4-2 固有周期（設計基準対象施設）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	0.022
水平方向（軸直角）	0.023
鉛直方向（軸直角）	0.023

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

固有周期の計算結果を表 4-3 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり，剛構造であることを確認した。

表 4-3 固有周期（重大事故等対処設備）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	0.022
水平方向（軸直角）	0.023
鉛直方向（軸直角）	0.023

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 所員用エアロックは、円筒胴がドライウエルに支持された構造であり、水平方向荷重は原子炉格納容器シヤラグ及び基部を介して、鉛直方向荷重は基部を介して原子炉建屋に伝達される。

所員用エアロックの耐震評価として、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-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応答加速度及び荷重を用いて、参照図書(1)に示す既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

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

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 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。

詳細な荷重の組合せは、添付書類「VI-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。

5.2.2 許容応力

所員用エアロックの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

所員用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応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度 分類	機器等 の区分	荷重の組合せ*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	クラスMC 容器	D + P + M + S _d * [*]	(9)	Ⅲ _A S
						(10)	
					(13)		
					D + P + M + S _s	(11)	Ⅳ _A S
						(12)	
						(14)	
					D + P _L + M _L + S _d * ^{**2}	(16)	Ⅳ _A S

注記*1：（ ）内は添付書類「VI-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3-6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、構造体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 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*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	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*3}$	(V(L)-1)	V_{AS}^{*4}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V(LL)-1)	V_{AS}^{*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「VI-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3-7の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：重大事故等後の最高内圧及び最高温度との組合せを考慮する。

*4： V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

表5-3 クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、AS S及びHNAについては1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*4		*2, *3
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、ASS及びHNA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。	左欄の α倍の値*4	3・S *1 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。
V _A S*5				

注記*1：3・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。

*2：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。

*3：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。

*4：設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比または1.5のいずれか小さい方の値（α）を用いる。

*5：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度	171				
補強板	SPV490	周囲環境 温度	171	167	429	550	—

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）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度	111/178* ¹ (200)* ²				
補強板	SPV490	周囲環境 温度	111/178* ¹ (200)* ²	167	417	545	—

注記*1： SA 後長期 (L) の時 178°C，SA 後長期 (LL) の時 111°C。

*2： 重大事故等時の評価温度として，保守的に限界温度を適用する。

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，最高使用圧力，最高使用温度，死荷重及び活荷重は，既工認（参照図書(1)）からの変更はなく，以下のとおりとする。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

内圧	427kPa
外圧	13.7kPa
温度	171℃

b. 死荷重

(a) ドライウエル

所員用エアロックの応力評価点より上部のドライウエル及び付属物の自重を死荷重とする。

(b) 所員用エアロック

所員用エアロックの自重を死荷重とする。

死荷重 kg

c. 活荷重

(a) ドライウエル

燃料交換時に，ドライウエル主フランジウォーターシール部に作用する水荷重及び所員用エアロックの応力評価点より上部の付属物に作用する荷重を活荷重とする。

(b) 所員用エアロック

通常運転時及び燃料交換時に所員用エアロックに作用する荷重を活荷重とする。

活荷重 kg

d. 冷却材喪失事故時荷重

(a) 事故時圧力

事故時圧力は，冷却材喪失事故後の最大内圧とする。

最大内圧 324kPa

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は、添付書類「VI-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、以下のとおりとする。死荷重は、設計基準対象施設と同じとする。

内圧 P_{SAL}	640kPa (SA 後長期 (L))
内圧 P_{SALL}	427kPa (SA 後長期 (LL))
温度 T_{SAL}	178℃* (SA 後長期 (L))
温度 T_{SALL}	111℃* (SA 後長期 (LL))

注記*：保守的に限界温度 200℃を適用する。

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6～表 5-9 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「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉 格納容器 O.P. 17.15	0.023	0.023	C _H = 0.93* ¹	C _V = 0.57* ²	C _H = 1.68* ¹	C _V = 0.98* ²

注記*1：応力評価点を包絡する設計震度とする。

*2：原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d		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 格納容器 O.P. 17.15	0.023	0.023	C _H = 0.93* ¹	C _V = 0.57* ²	C _H = 1.68* ¹	C _V = 0.98* ²

注記*1：応力評価点を包絡する設計震度とする。

*2：原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。

表 5-8 設計用地震力（設計基準対象施設）*1

応力評価点*2	水平荷重 S d *		水平荷重 S s	
	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)
P6	[Redacted]			
P7				
P8				

注記*1：既工認で用いた設計用地震力と今回工認の設計用地震力を比較し、包絡する値を用いる。

*2：応力評価点の位置は、図 5-1 参照のこと。

表 5-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）*1

応力評価点*2	水平荷重 S d		水平荷重 S s	
	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)
P6	[Redacted]			
P7				
P8				

注記*1：既工認で用いた設計用地震力と今回工認の設計用地震力を比較し、包絡する値を用いる。

*2：応力評価点の位置は、図 5-1 参照のこと。

5.4 計算方法

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 5-10 及び図 5-1 に示す。

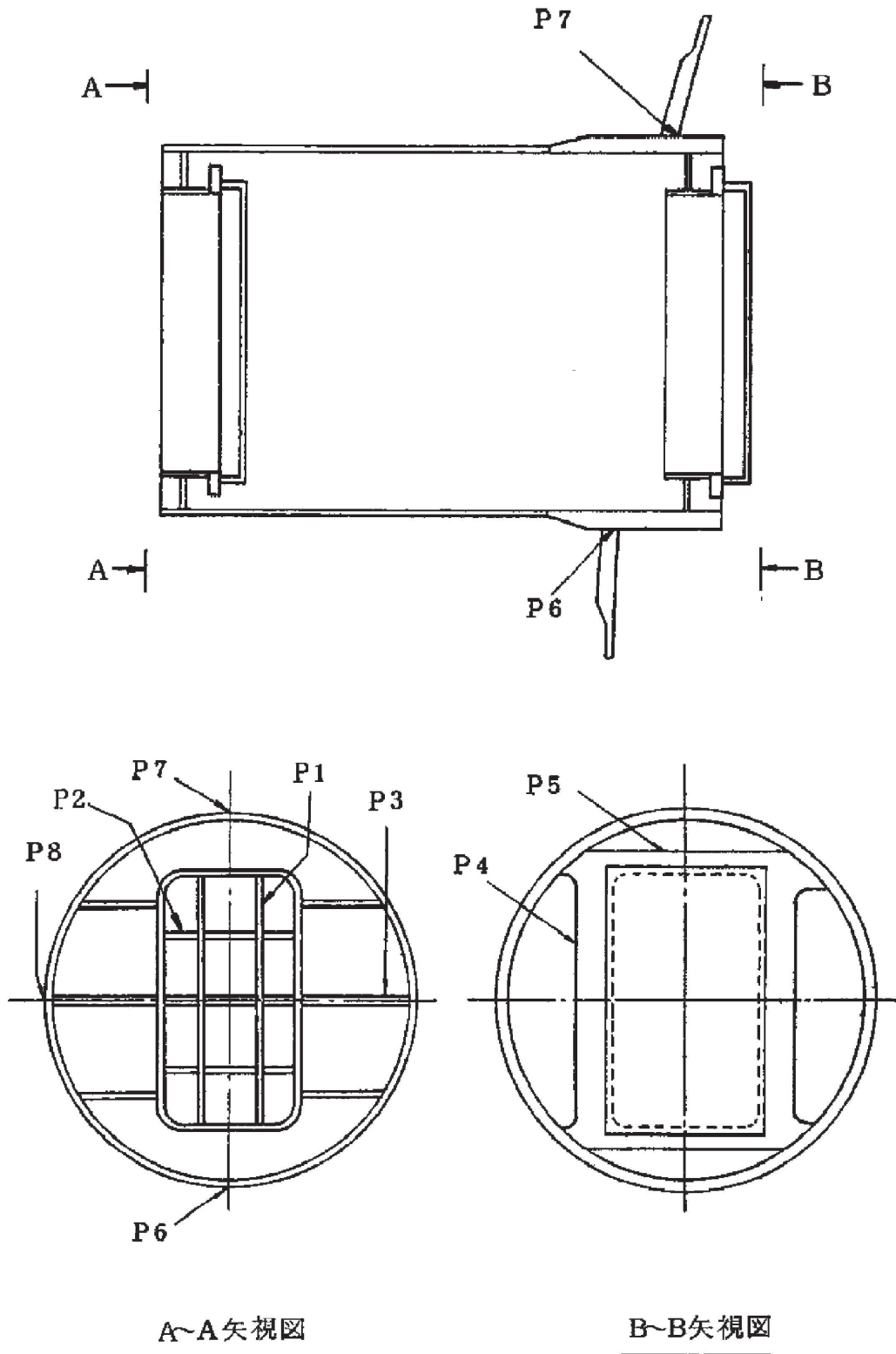
応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

応力評価点 P6～P8 の応力は、既工認の各荷重条件や耐震条件との比を用いて発生応力を算出し評価する。

表 5-10 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1*	内外扉垂直部材
P2*	内外扉水平部材
P3*	内外隔壁外側水平部材
P4*	内外隔壁内側垂直部材
P5*	内外隔壁内側水平部材
P6～P8	所員用エアロック取付部

注記*：応力評価点 P1～P5 については、地震荷重は荷重値が小さく無視できるので評価を行わない。



P6~P8 は、補強板側を示す。

図 5-1 所員用エアロックの応力評価点

5.5 計算条件

応力解析に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた各応力が、表 5-3 に示す許容応力以下であること。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 (PVB-3313 を除く。S_mはSと読み替える。)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。

6. 評価結果

6.1 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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次＋二次＋ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表6-1及び表6-2に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、添付書類「VI-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3-6の荷重の組合せのNo.を記載する。

なお、表中の一次膜応力＋一次曲げ応力の算出応力が一次一般膜応力の許容応力を下回ることから、評価を省略した一次一般膜応力が生じる応力評価点も十分な構造強度を有する。

表 6-1 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	応力評価点		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
所員用 エアロック	P6	所員用エアロック取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	39	495	○	(10)	
			一次+二次応力	96	501	○	(10)	
	P7	所員用エアロック取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	47	495	○	(10)	
			一次+二次応力	96	501	○	(10)	
	P8	所員用エアロック取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	46	495	○	(10)	
			一次+二次応力	114	501	○	(10)	

表 6-2(1) 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	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
所員用 エアロック	P6	所員用エアロック取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	65	495	○	(12)	
			一次+二次応力	164	501	○	(12)	
	P7	所員用エアロック取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	73	495	○	(12)	
			一次+二次応力	160	501	○	(12)	
	P8	所員用エアロック取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	74	495	○	(12)	
			一次+二次応力	196	501	○	(12)	

表 6-2(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	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
所員用 エアロック	P6	所員用エアロック取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	78	495	○	(16)	
			一次+二次応力	86	501	○	(16)	
	P7	所員用エアロック取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	88	495	○	(16)	
			一次+二次応力	90	501	○	(16)	
	P8	所員用エアロック取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	86	495	○	(16)	
			一次+二次応力	100	501	○	(16)	

6.2 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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表6-3に示す。

なお、表中の一次膜応力+一次曲げ応力の算出応力が一次一般膜応力の許容応力を下回ることから、評価を省略した一次一般膜応力が生じる応力評価点も十分な構造強度を有する。

表 6-3(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
所員用 エアロック	P6	所員用エアロック取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	130	490	○	
			一次+二次応力	86	501	○	
	P7	所員用エアロック取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	141	490	○	
			一次+二次応力	90	501	○	
	P8	所員用エアロック取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	139	490	○	
			一次+二次応力	100	501	○	

表 6-3(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
所員用 エアロック	P6	所員用エアロック取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	114	490	○	
			一次+二次応力	146	501	○	
	P7	所員用エアロック取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	123	490	○	
			一次+二次応力	146	501	○	
	P8	所員用エアロック取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	125	490	○	
			一次+二次応力	170	501	○	

7. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
添付書類「IV-3-1-1-6 所員用エアロックの強度計算書」
- (2) P.P. Bijlaard, "Computation of the Stresses from Local Loads in Spherical Pressure Vessels or Pressure Vessel Heads", Welding Research Council Bulletin No. 34(1957)

VI-2-9-2-4 原子炉格納容器配管貫通部及び電気配線貫通部の耐震性について
の計算書

目 次

VI-2-9-2-4-1 原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書

VI-2-9-2-4-2 原子炉格納容器電気配線貫通部の耐震性についての計算書

VI-2-9-2-4-1 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 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	9
5. 構造強度評価	10
5.1 構造強度評価方法	10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
5.2.2 許容応力	10
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	10
5.2.4 設計荷重	16
5.3 設計用地震力	20
5.4 計算方法	23
5.5 計算条件	25
5.6 応力の評価	25
6. 評価結果	26
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	26
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	30
7. 参照図書	33

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-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。

表 2-1 に示す貫通部形式のうち、形式 1 は管口径が大きく反力の大きい配管類の貫通部に用いている。この形式の貫通部は、原子炉格納容器外側で原子炉建屋にアンカされ、ベローズによって建屋とドライウエルの相対変位を吸収する構造となっている。このため貫通部への反力は極めて小さい。したがって、貫通部の構造強度評価は省略する。

形式 2 及び 3 の貫通部は配管の反力が直接作用する。したがって、貫通部の構造強度評価を実施する。本計算書では、ドライウエル及びサプレッションチェンバそれぞれにおいて、口径が大きく、荷重の大きくなる X-81 及び X-231 を代表貫通部として構造強度評価を実施する。

小口径の配管は、貫通部に加わる反力は小さいため、貫通部の構造強度評価は省略する。

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代表貫通部に対する構造強度評価を示す。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力による荷重及び重大事故等時の荷重に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重による原子炉格納容器配管貫通部の評価は、平成 2 年 5 月 24 日付け元資庁第 14466 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

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。

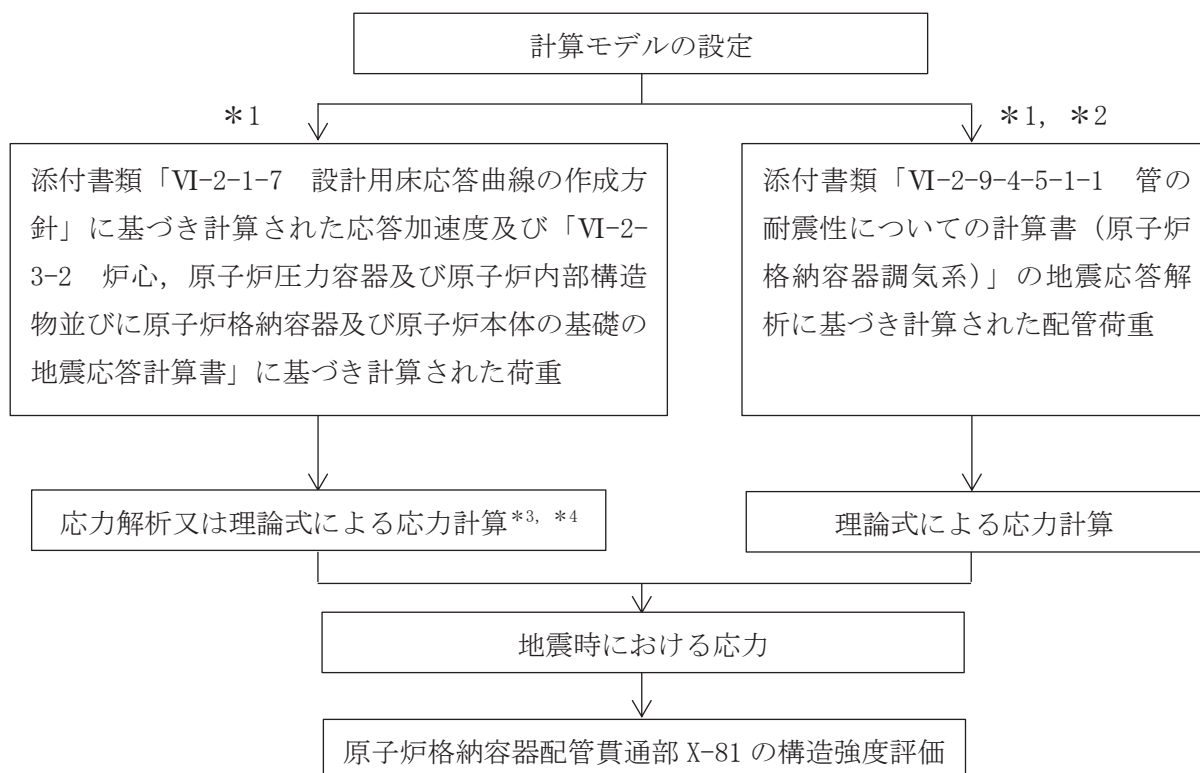
表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原子炉格納容器配管貫通部は、原子炉格納容器（ドライウエルまたはサブプレッションチェンバ）に支持される。</p> <p>原子炉格納容器配管貫通部は、原子炉格納容器と一体構造となっており、ドライウエルの水平方向荷重は原子炉格納容器シヤラグ及び基部を介して、鉛直方向荷重は基部を介して、サブプレッションチェンバの水平方向荷重及び鉛直方向荷重はサブプレッションチェンバ及びボックスサポートを介して原子炉建屋に伝達される。</p>	<p>原子炉格納容器配管貫通部は、鋼製のスリーブ（貫通部管台）が原子炉格納容器に溶接支持される構造である。</p> <p>形式 1 にベローズ、形式 1 と形式 2 に端板を備える。</p>	<p>原子炉格納容器配管貫通部 拡大図</p>

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「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所作用する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を実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

原子炉格納容器配管貫通部のうちドライウエルに接続する X-81 の耐震評価フローを図 2-1 に、サプレッションチェンバに接続する X-231 の耐震評価フローを図 2-2 示す。



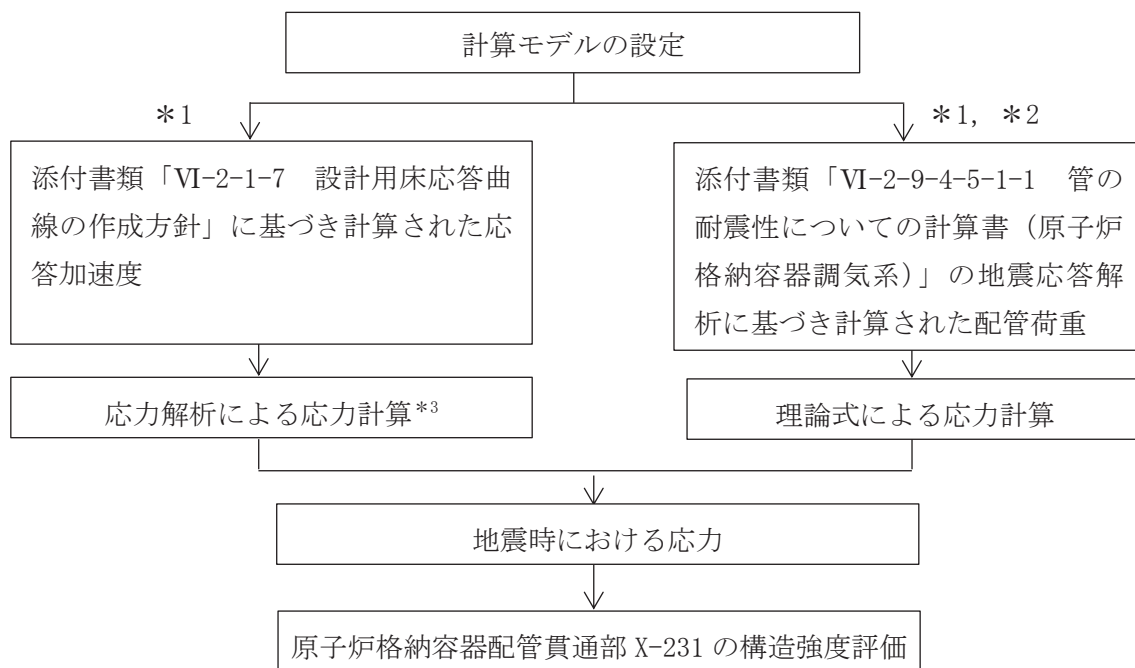
注記*1：X-81 貫通部管台取付部の耐震評価フローを示す。

*2：X-81 貫通部管台の耐震評価フローを示す。

*3：ドライウエルの鉛直方向の応答加速度を用いて応力解析により応力を算出する。

*4：ドライウエルの水平方向の荷重を用いて理論式により応力を算出する。

図 2-1 原子炉格納容器配管貫通部 X-81 (ドライウエル) の耐震評価フロー



注記*1：X-231 貫通部管台取付部の耐震評価フローを示す。

*2：X-231 貫通部管台の耐震評価フローを示す。

*3：添付書類「VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示す応力解析により応力を算出する。

図 2-2 原子炉格納容器配管貫通部 X-231 (サプレッションチェンバ) の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (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)
- (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)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (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	直径	mm
D	死荷重	—
M	機械的荷重	—
M_i	モーメント ($i=1, 2$)	N・mm
M_L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M_{SAL}	機械的荷重 (SA 後長期 (L) 機械的荷重)	—
M_{SALL}	機械的荷重 (SA 後長期 (LL) 機械的荷重)	—
P	圧力, 軸力	—, N
P_L	地震と組み合わせる圧力	—
P_{SAL}	圧力 (SA 後長期 (L) 圧力)	kPa
P_{SALL}	圧力 (SA 後長期 (LL) 圧力)	kPa
R	半径	mm
S	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のい ずれか大きい方の地震力	—
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
$S_y (RT)$	40°Cにおける設計降伏点	MPa
t	厚さ	mm
T	厚さ	mm
T_{SAL}	温度 (SA 後長期 (L) 温度)	°C
T_{SALL}	温度 (SA 後長期 (LL) 温度)	°C
ASS	オーステナイト系ステンレス鋼	—
HNA	高ニッケル合金	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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

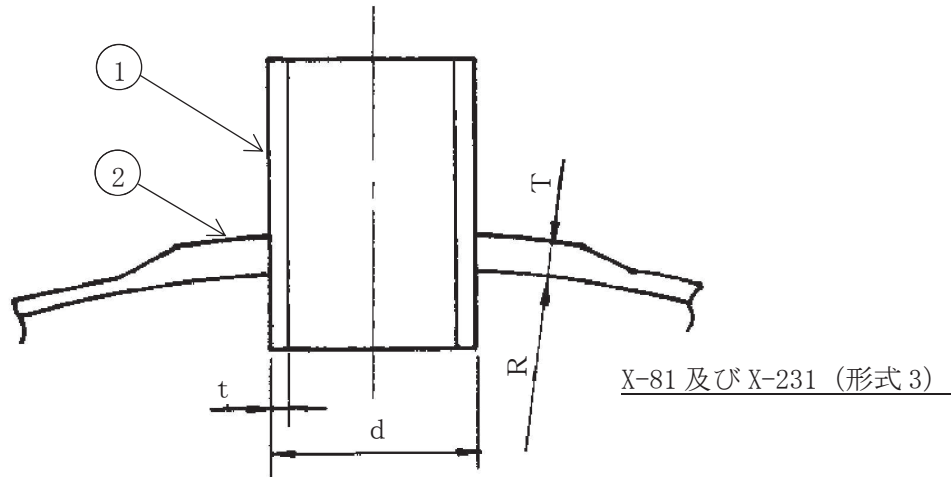
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	kPa	—	—	整数位 ^{*1}
温度	°C	—	—	整数位 ^{*1}
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*2}

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：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

代表とした原子炉格納容器配管貫通部 X-81 及び X-231 の形状及び主要寸法を図 3-1 に、評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。



①貫通部管台 ②補強板

貫通部 番号	形式	名称	d	t	T	R
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
X-81	3	ドライウエル換気 (排気)	609.6			
X-231	3	サプレッションチェ ンバ換気 (送気)	609.6			

図 3-1 代表とした原子炉格納容器配管貫通部の形状及び主要寸法

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位	貫通部番号	使用材料
貫通部管台	X-81	STS410
	X-231	STS410
補強板	X-81	SPV490
	X-231	SGV480

4. 固有周期

原子炉格納容器配管貫通部の耐震評価は、ドライウエル又はサプレッションチェンバに作用する荷重と配管荷重を用いて実施する。

ドライウエルに作用する荷重は、添付書類「VI-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」にて原子炉格納容器の固有周期を踏まえて計算した設計用地震力を用いることから，本計算書では固有周期の計算は実施しない。

サプレッションチェンバに作用する荷重は，添付書類「VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」にてサプレッションチェンバ及びボックスサポートの固有周期を踏まえて計算した設計用地震力を用いることから，本計算書では固有周期の計算は実施しない。

配管荷重は，添付書類「VI-2-9-4-5-1-1 管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器調気系）」に示す管の固有周期に基づく地震応答解析で計算した荷重を用いて評価をするため，本計算書では原子炉格納容器配管貫通部の固有周期の計算は実施しない。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 原子炉格納容器配管貫通部は、貫通部管台が原子炉格納容器に支持された構造であり、ドライウエルの水平方向荷重は、原子炉格納容器シヤラグ及び基部を介して、鉛直方向荷重は基部を介して、サブプレッションチェンバの水平方向荷重及び鉛直方向荷重はサブプレッションチェンバ及びボックスサポートを介して原子炉建屋に伝達される。

原子炉格納容器配管貫通部の耐震評価として、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-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応答加速度、荷重及び添付書類「VI-2-9-4-5-1-1 管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器調気系）」において計算された配管荷重を用いて、参照図書(1)に示す既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
 (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

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。

詳細な荷重の組合せは、添付書類「VI-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。

5.2.2 許容応力

原子炉格納容器配管貫通部の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉格納容器配管貫通部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	クラスMC 容器	D + P + M + S _d [*]	(9)	Ⅲ _A S
						(10)	
					(13)		
					D + P + M + S _s	(11)	Ⅳ _A S
						(12)	
						(14)	
					D + P _L + M _L + S _d [*] ^{*2}	(16)	Ⅳ _A S

注記*1：（ ）内は添付書類「VI-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3-6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、構造体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 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 ^{*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	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ ^{*3}	(V(L)-1)	V_{AS} ^{*4}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V(LL)-1)	V_{AS} ^{*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「VI-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3-7の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：重大事故等後の最高内圧及び最高温度との組合せを考慮する。

*4： V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

表5-3 クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、AS S及びHNAについては1.2・Sとする。	左欄の α倍の値 ^{*4}	$3 \cdot S^{*1}$ 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。	^{*2, *3} 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。
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、ASS及びHNA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。	左欄の α倍の値 ^{*4}		
V _A S ^{*5}				

注記*1：3・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。また、S_mはSと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

*2：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。

*3：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。

*4：設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比または1.5のいずれか小さい方の値（α）を用いる。

*5：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部位 (応力評価対象)	貫通部番号	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
			周囲環境 温度					
補強板	X-81	SPV490	周囲環境 温度	171	167	429	550	—
補強板	X-231	SGV480	周囲環境 温度	104	131	237	430	—
貫通部管台	X-81	STS410	周囲環境 温度	171	114	211	404	—
貫通部管台	X-231	STS410	周囲環境 温度	104	114	219	404	—

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）

評価部位 (応力評価対象)	貫通部番号	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
補強板	X-81	SPV490	周囲環境 温度	111/178 ^{*1} (200) ^{*2}	167	417	545	—
補強板	X-231	SGV480	周囲環境 温度	111/178 ^{*1} (200) ^{*2}	131	226	422	—
貫通部管台	X-81 X-231	STS410	周囲環境 温度	111/178 ^{*1} (200) ^{*2}	114	207	404	—

注記*1：SA 後長期 (L) の時 178°C，SA 後長期 (LL) の時 111°C。

*2：重大事故等時の評価温度として，保守的に限界温度を適用する。

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，最高使用圧力，最高使用温度及び水力学的動荷重は，既工認（参照図書(1)）からの変更はなく，以下のとおりとする。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

内圧	427 kPa
外圧	13.7 kPa
温度 ドライウエル	171 °C
温度 サプレッションチェンバ	104 °C

b. 死荷重

(a) ドライウエル

原子炉格納容器配管貫通部の応力評価点より上部のドライウエル及び付属物の自重を死荷重とする。

(b) サプレッションチェンバ

添付書類「VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示す。なお，添付書類「VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」ではサプレッションチェンバ，ボックスサポート及びサプレッションチェンバ内部水の自重を死荷重とし，サプレッションチェンバ全体はりモデルとしている。

c. 活荷重

燃料交換時に，ドライウエル主フランジ部ウォーターシール部に作用する水荷重及び原子炉格納容器配管貫通部の応力評価点より上部の付属物に作用する荷重を活荷重とする。

d. 冷却材喪失事故時荷重

事故時圧力は，冷却材喪失事故後の最大内圧とする。

最大内圧 ドライウエル	324 kPa
最大内圧 サプレッションチェンバ	206 kPa

e. 逃がし安全弁作動時の荷重

逃がし安全弁作動時，排気管内の気体が T-クエンチャからサブプレッションプール水中に放出される際，サブプレッションチェンバに圧力振動荷重が作用する。

最大正圧 kPa
 最大負圧 kPa

f. サプレッションチェンバ水位

水位 O. P. -3800mm

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

a. 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は，添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」に従い，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	640kPa (SA 後長期 (L))
内圧 P_{SALL}	427kPa (SA 後長期 (LL))
温度 T_{SAL}	178°C* (SA 後長期 (L))
温度 T_{SALL}	111°C* (SA 後長期 (LL))

注記*：保守的に限界温度 200°Cを適用する。

b. 死荷重

(a) ドライウエル

重大事故等対処設備としてのドライウエル死荷重は，設計基準対象施設としての荷重と同じであるため，「5.2.4 設計荷重」の(1)に示すとおりである。

(b) サプレッションチェンバ

添付書類「VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示す。なお，添付書類「VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」ではサブプレッションチェンバ，ボックスサポート及びサブプレッションチェンバ内部水の自重を死荷重とし，サブプレッションチェンバ全体はりモデルとしている。

c. 水力学的動荷重

重大事故等対処設備としての水力学的動荷重は、以下のとおりである。

サプレッションチェンバに対して、低流量蒸気凝縮時に以下に示す蒸気凝縮振動（チャギング）荷重が作用する。

最大正圧 kPa
最大負圧 kPa

d. サプレッションチェンバ水位

重大事故等対処設備としてのサプレッションチェンバ水位は、以下のとおりとする。

水位 O.P. -1514mm

(3) 配管荷重

図 3-1 の原子炉格納容器配管貫通部に作用する配管荷重による設計荷重を表 5-6 及び表 5-7 に示す。原子炉格納容器配管貫通部の荷重作用方向を図 5-1 に示す。

なお、表 5-6 及び表 5-7 の設計荷重は、添付書類「VI-2-9-4-5-1-1 管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器調気系）」に示す地震応答解析で計算した貫通部に生じる荷重である。

表 5-6 原子炉格納容器配管貫通部の設計荷重（設計基準対象施設）

貫通部 番号	最高使用圧力 (kPa)		地震荷重	死荷重			地震荷重		
				軸力 (N)	モーメント (N・mm)		軸力 (N)	モーメント (N・mm)	
	内圧	外圧		P	M ₁	M ₂	P	M ₁	M ₂
X-81	427	13.7	地震荷重 S _d *作用時 地震荷重 S _s 作用時						
X-231	427	13.7	地震荷重 S _d *作用時 地震荷重 S _s 作用時						

表 5-7 原子炉格納容器配管貫通部の設計荷重（重大事故等対処設備）

貫通部 番号	最高使用圧力 (kPa)		地震荷重	死荷重			地震荷重		
				軸力 (N)	モーメント (N・mm)		軸力 (N)	モーメント (N・mm)	
	内圧	外圧		P	M ₁	M ₂	P	M ₁	M ₂
X-81	854	—	地震荷重 S _d 作用時 地震荷重 S _s 作用時						
X-231	854	—	地震荷重 S _d 作用時 地震荷重 S _s 作用時						

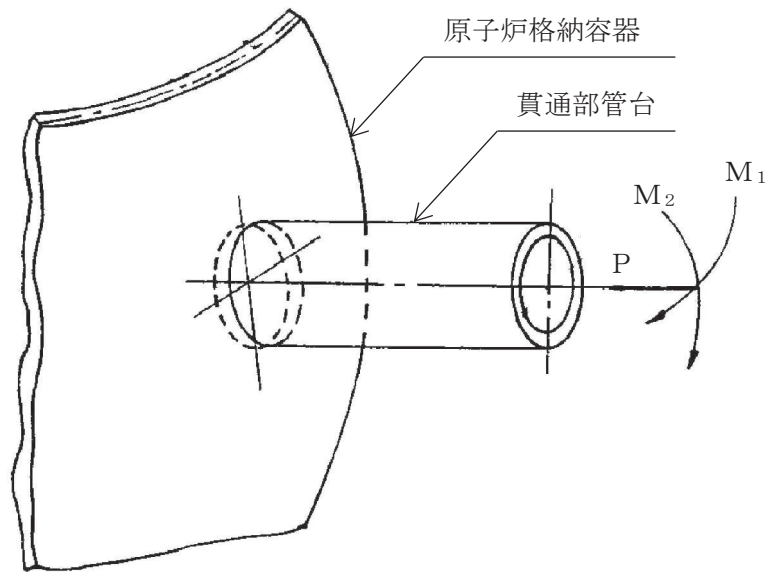


図 5-1 原子炉格納容器配管貫通部の荷重作用方向

5.3 設計用地震力

(1) ドライウェル

ドライウェルに作用する設計用地震力を表 5-8～表 5-11 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「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき計算された応答加速度及び「VI-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」に基づき計算された荷重を設定する。

(2) サプレッションチェンバ

サプレッションチェンバに作用する設計用地震力は、添付書類「VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示すとおりである。

(3) 配管荷重

評価に用いる設計用地震力は、「5.2.4 (3) 配管荷重」に示す配管の地震応答解析で計算された荷重を用いる。

表 5-8 ドライウェルに作用する設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉 格納容器 O.P. 17.80	—	—	—	C _v =0.57*	—	C _v =0.98*

注記*：原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。

表 5-9 ドライウェルに作用する設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d		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 格納容器 O.P. 17.80	—	—	—	C _v =0.57*	—	C _v =0.98*

注記*：原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。

表 5-10 ドライウェルに作用する設計用地震力（設計基準対象施設）

応力評価点*	水平荷重 S d *		水平荷重 S s	
	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)
P1				

注記*：応力評価点の位置は，図 5-2 参照のこと。

表 5-11 ドライウェルに作用する設計用地震力（重大事故等対処設備）

応力評価点*	水平荷重 S d		水平荷重 S s	
	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)
P1				

注記*：応力評価点の位置は，図 5-2 参照のこと。

5.4 計算方法

原子炉格納容器配管貫通部の応力評価点は、原子炉格納容器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 5-12 及び図 5-2 に示す。

(1) 原子炉格納容器配管貫通部 X-81 (ドライウエル) の計算方法

原子炉格納容器配管貫通部 X-81 (ドライウエル) の応力評価点は、貫通部管台取付部を応力評価点 P1、貫通部管台を応力評価点 P3 として評価を行う。

応力評価点 P1 の応力は、ドライウエルに作用する荷重による応力と配管荷重による応力を足し合わせて評価を行う。

ドライウエルに作用する水平地震力による応力は、貫通部 X-81 の高さにおけるドライウエルの断面性能を用いて応力を算出し、ドライウエルに作用する水平地震力以外の荷重による応力は、既工認の各荷重条件や耐震条件との比を用いて発生応力を算出し評価する。

なお、貫通部 X-81 におけるドライウエルの水平 2 方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は、絶対値和により組み合わせる。

また、配管荷重による応力は、既工認 (参照図書(1)) と同様の計算方法により発生応力を算出する。

応力評価点 P3 の応力は、配管荷重による応力であり、既工認 (参照図書(1)) と同様の計算方法により発生応力を算出する。

(2) 原子炉格納容器配管貫通部 X-231 (サプレッションチェンバ) の計算方法

原子炉格納容器配管貫通部 X-231 (サプレッションチェンバ) の応力評価点は、貫通部管台取付部を応力評価点 P2、貫通部管台を応力評価点 P4 として評価を行う。

応力評価点 P2 の応力は、サプレッションチェンバに作用する荷重による応力と配管荷重による応力を足し合わせて評価を行う。

サプレッションチェンバに作用する水学的動荷重以外の荷重による応力は、添付書類「VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示すサプレッションチェンバ及びボックスサポートの解析モデルを用いた応力解析により貫通部 X-231 の貫通部管台取付部の応力として算出する。この際、貫通部 X-231 におけるサプレッションチェンバの水平 2 方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は、二乗和平方根により組み合わせる。水学的動荷重による応力は、既工認の荷重条件との比を用いて発生応力を算出して評価を行う。

また、配管荷重による応力は、既工認 (参照図書(1)) と同様の計算方法により発生応力を算出する。

応力評価点 P4 の応力は、配管荷重による応力であり、既工認 (参照図書(1)) と同様の計算方法により発生応力を算出する。

表 5-12 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	X-81 貫通部管台取付部
P2	X-231 貫通部管台取付部
P3	X-81 貫通部管台
P4	X-231 貫通部管台

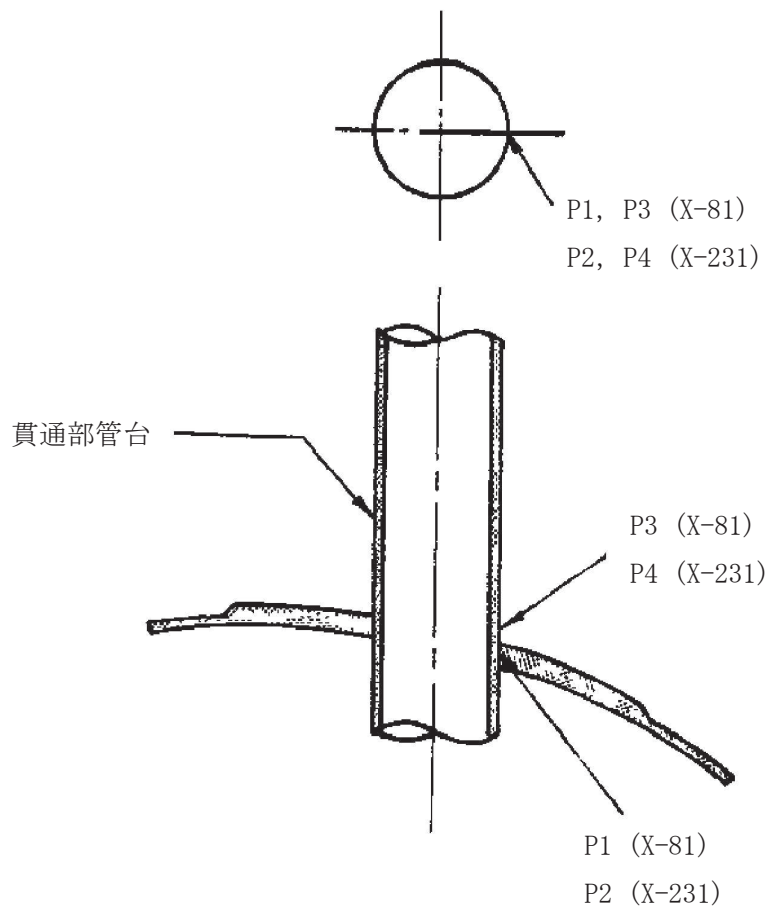


図 5-2 原子炉格納容器配管貫通部の応力評価点

5.5 計算条件

応力解析に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた各応力が、表 5-3 に示す許容応力以下であること。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 (PVB-3313 を除く。S_mはSと読み替える。)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。

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。

なお，添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 3.1.23 項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり，地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため，各許容応力状態における一次＋二次＋ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には，添付書類「VI-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 3-6 の荷重の組合せの No. を記載する。

表 6-1 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	応力評価点		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
原子炉 格納容器 配管貫通部	P1	X-81 貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	36	495	○	(10)	
			一次+二次応力	140	501	○	(9), (10)	
	P2	X-231 貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	27	356	○	(9), (13)	
			一次+二次応力	136	393	○	(9), (13)	
	P3	X-81 貫通部管台	一次一般膜応力	7	211	○	(9), (10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	7	316	○	(9), (10)	
			一次+二次応力	10	342	○	(9), (10)	
	P4	X-231 貫通部管台	一次一般膜応力	6	219	○	(9), (13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	6	329	○	(9), (13)	
			一次+二次応力	8	342	○	(9), (13)	

表 6-2(1) 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	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
原子炉 格納容器 配管貫通部	P1	X-81 貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	72	495	○	(12)	
			一次+二次応力	258	501	○	(11), (12)	
	P2	X-231 貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	44	387	○	(11), (14)	
			一次+二次応力	246	393	○	(11), (14)	
	P3	X-81 貫通部管台	一次一般膜応力	10	242	○	(11), (12)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	363	○	(11), (12)	
			一次+二次応力	16	342	○	(11), (12)	
	P4	X-231 貫通部管台	一次一般膜応力	10	242	○	(11), (14)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	364	○	(11), (14)	
			一次+二次応力	16	342	○	(11), (14)	

表 6-2(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	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
原子炉 格納容器 配管貫通部	P1	X-81 貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	80	495	○	(16)	
			一次+二次応力	140	501	○	(16)	
	P2	X-231 貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	66	387	○	(16)	
			一次+二次応力	136	393	○	(16)	
	P3	X-81 貫通部管台	一次一般膜応力	8	242	○	(16)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	8	363	○	(16)	
			一次+二次応力	10	342	○	(16)	
	P4	X-231 貫通部管台	一次一般膜応力	6	242	○	(16)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	6	364	○	(16)	
			一次+二次応力	8	342	○	(16)	

6.2 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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次＋二次＋ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 6-3 に示す。

表 6-3(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
原子炉 格納容器 配管貫通部	P1	X-81 貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	133	490	○	
			一次+二次応力	138	501	○	
	P2	X-231 貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	183	379	○	
			一次+二次応力	192	393	○	
	P3	X-81 貫通部管台	一次一般膜応力	9	242	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	9	363	○	
			一次+二次応力	10	342	○	
	P4	X-231 貫通部管台	一次一般膜応力	10	242	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	363	○	
			一次+二次応力	12	342	○	

表 6-3(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
原子炉 格納容器 配管貫通部	P1	X-81 貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	128	490	○	
			一次+二次応力	258	501	○	
	P2	X-231 貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	156	379	○	
			一次+二次応力	368	393	○	
	P3	X-81 貫通部管台	一次一般膜応力	11	242	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	11	363	○	
			一次+二次応力	16	342	○	
	P4	X-231 貫通部管台	一次一般膜応力	14	242	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	14	363	○	
			一次+二次応力	22	342	○	

7. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
添付書類「IV-3-1-2-4 原子炉格納容器配管貫通部の強度計算書」

VI-2-9-2-4-2 原子炉格納容器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 適用規格・基準等	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. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	11
4.3 固有周期の計算結果	12
5. 構造強度評価	13
5.1 構造強度評価方法	13
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	13
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	13
5.2.2 許容応力	13
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	13
5.2.4 設計荷重	19
5.3 設計用地震力	22
5.4 計算方法	24
5.5 計算条件	25
5.6 応力の評価	25
6. 評価結果	26
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	26
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	30
7. 参照図書	33

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-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、原子炉格納容器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。

原子炉格納容器電気配線貫通部は、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。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力による荷重及び重大事故等時の荷重に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重による原子炉格納容器電気配線貫通部の評価は、平成2年5月24日付け元資庁第14466号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)及び(2)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉格納容器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	
<p>原子炉格納容器電気配線貫通部は、原子炉格納容器（ドライウエル又はサプレッションチェンバ）に支持される。</p> <p>原子炉格納容器電気配線貫通部は、原子炉格納容器と一体構造となっており、鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、原子炉格納容器シヤラグ、ドライウエル底部又はサプレッションチェンバ及びボックスサポートを介して原子炉建屋に伝達される。</p>	<p>原子炉格納容器電気配線貫通部は、原子炉格納容器に円筒形スリーブ、アダプタ、ヘッド及び端子箱が取り付けられた鋼製構造物である。</p>	

2.2 評価方針

原子炉格納容器電気配線貫通部の応力評価は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及び「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することを実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

原子炉格納容器電気配線貫通部の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

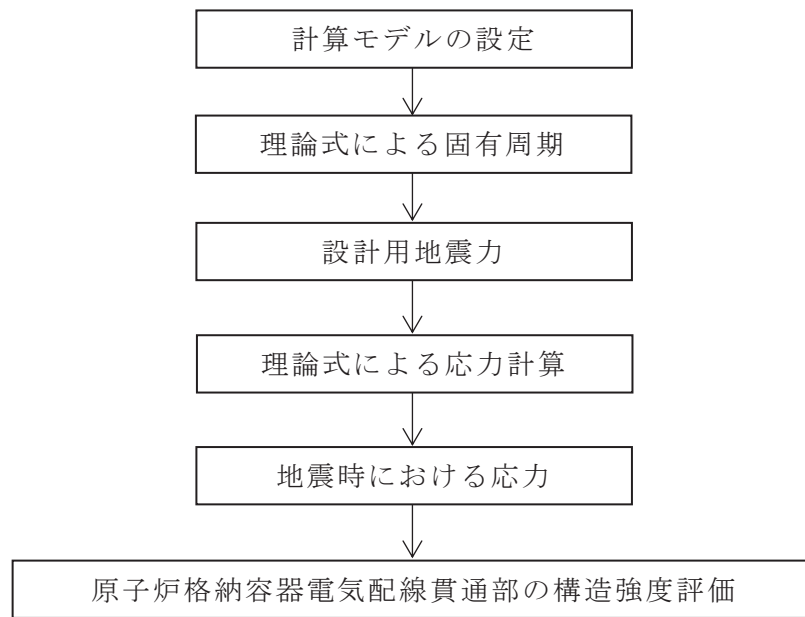


図 2-1 原子炉格納容器電気配線貫通部の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (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)
- (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)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (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	スリーブの断面積	mm ²
D	死荷重	—
D _o	スリーブ外径	mm
D _i	スリーブ内径	mm
E	スリーブの縦弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
I	スリーブの断面二次モーメント	mm ⁴
L	端子箱間の長さ	mm
ℓ	はりの長さ	mm
M	機械的荷重	—
M _L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M _{SAL}	機械的荷重 (SA 後長期 (L) 機械的荷重)	—
M _{SALL}	機械的荷重 (SA 後長期 (LL) 機械的荷重)	—
P	圧力	—
P _e	外圧	—
P _L	地震と組み合わせる圧力	—
P _{SAL}	圧力 (SA 後長期 (L) 圧力)	kPa
P _{SALL}	圧力 (SA 後長期 (LL) 圧力)	kPa
T _{lat}	軸直角方向固有周期	s
T _{long}	軸方向固有周期	s
T _{SAL}	温度 (SA 後長期 (L) 温度)	°C
T _{SALL}	温度 (SA 後長期 (LL) 温度)	°C
S _s	基準地震動 S _s 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	—
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のい ずれか大きい方の地震力	—
S	許容引張応力	MPa
S _u	設計引張強さ	MPa
S _y	設計降伏点	MPa
S _y (RT)	40°Cにおける設計降伏点	MPa
W _B	スリーブの荷重	N
W _M	原子炉格納容器電気配線貫通部の荷重	N

記号	記号の説明	単位
ASS	オーステナイト系ステンレス鋼	—
HNA	高ニッケル合金	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算の精度は、有効数字 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
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*2}
断面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
断面二次モーメント	mm ⁴	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
質量	kg	—	—	整数位 ^{*1}
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
圧力	kPa	—	—	整数位 ^{*1}
温度	℃	—	—	整数位
力	N	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}
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	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 1,000 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

原子炉格納容器電気配線貫通部の一覧を表 3-1 に示す。このうち、代表貫通部である X-101A 及び X-105A の形状を図 3-1 に、仕様を表 3-2 に示す。

なお、原子炉格納容器電気配線貫通部のうち、高電圧用と低電圧用のそれぞれについて、格納容器バウンダリである原子炉格納容器外側の固有振動数が最も低く、かつ重量が重いものを代表として選定した。

表 3-1 原子炉格納容器電気配線貫通部の一覧

種別	貫通部番号
高電圧用	X-101A～D
低電圧用	X-100A～D, X-102A～E, X-103A～C, X-104A～D, X-105A～D, X-250A・B
予備	X-106A

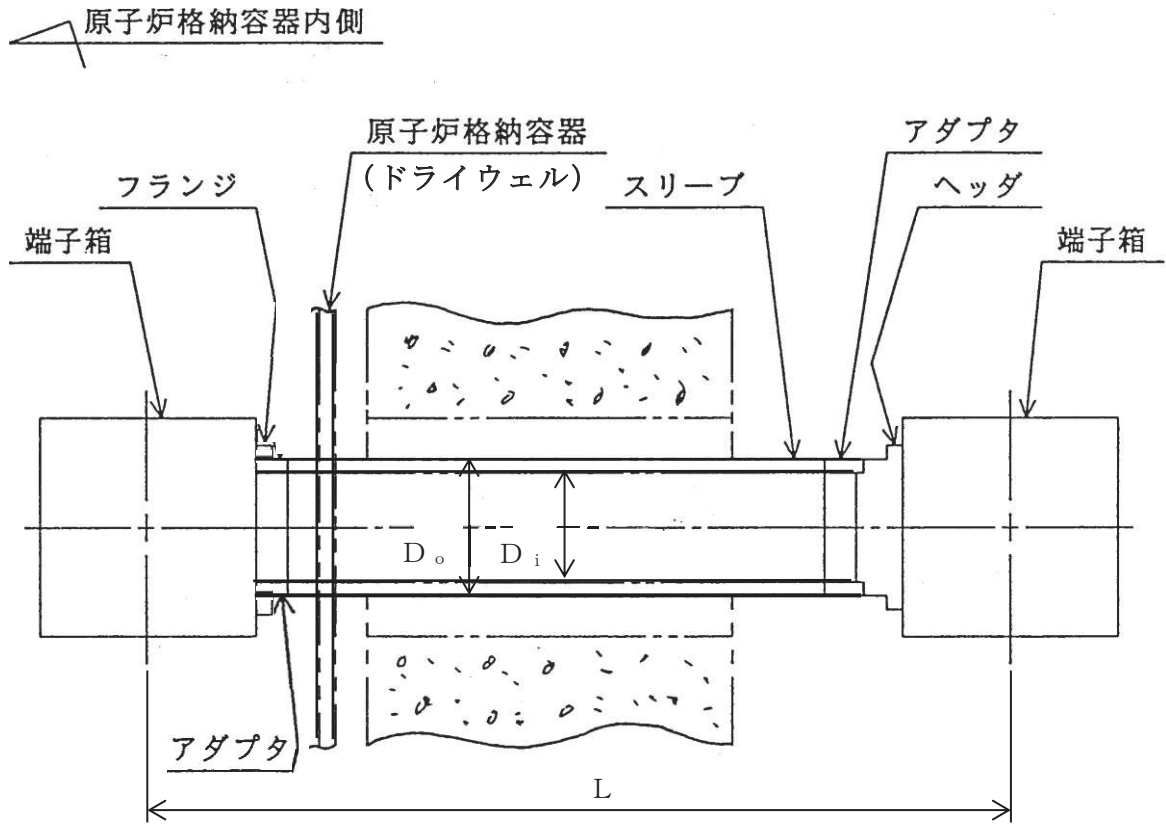


図 3-1 原子炉格納容器電気配線貫通部の形状

表 3-2 原子炉格納容器電気配線貫通部の仕様 (単位：mm)

貫通部番号	スリーブ外径 D_o	スリーブ内径 D_i	端子箱間の長さ L
X-101A	457.2	[REDACTED]	[REDACTED]
X-105A	318.5		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

原子炉格納容器電気配線貫通部の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 原子炉格納容器電気配線貫通部の質量(図4-2に示すスリーブ以外の質量)は、重心に集中するものとする。
- b. 原子炉格納容器電気配線貫通部は、原子炉格納容器に固定されており、一端固定、他端自由とする。
- c. 原子炉格納容器電気配線貫通部を片持はりと考え、変形モードは曲げ又は圧縮・引張りを考慮する。
- d. 片持はりには、スリーブの質量(図4-2に示すスリーブの質量)が一様に加わるものとする。
- e. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

原子炉格納容器電気配線貫通部は、図4-1に示す集中荷重 W_M 及び等分布荷重 W_B / ℓ が作用する片持はりとして考える。

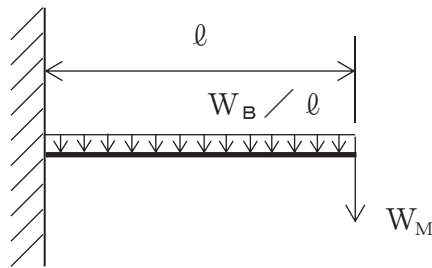


図 4-1 固有周期の計算モデル (片持はり)

(2) 軸直角方向固有周期

軸直角方向固有周期は次式で求める。

$$T_{lat} = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda_{lat}^2 \cdot \sqrt{\frac{1000 \cdot g \cdot E \cdot I}{W_B \cdot \ell^3}}} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

$$\lambda_{lat}^2 = \sqrt{\frac{3}{\frac{33}{140} + \frac{W_M}{W_B}}} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

λ_{lat}^2 : 軸直角方向の固有振動数を算出する際の係数

(3) 軸方向固有周期

軸方向固有周期は次式で求める。

$$T_{long} = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda_{long} \cdot \sqrt{\frac{1000 \cdot g \cdot A \cdot E}{W_M \cdot \ell}}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

$$\lambda_{long} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{W_B}{3 \cdot W_M}}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

λ_{long} : 軸方向の固有振動数を算出する際の係数

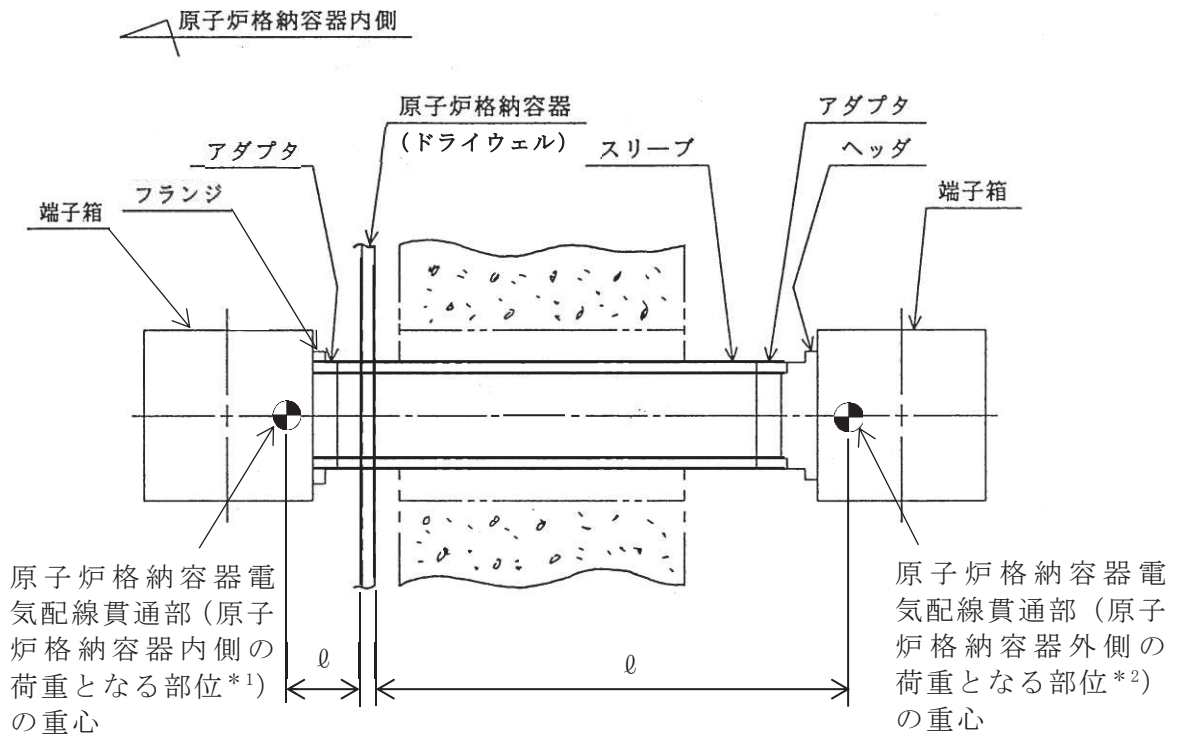
4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件を表 4-1 に、重心位置と原子炉格納容器までの位置を図 4-2 に示す。

表 4-1 固有周期の計算に用いる計算条件

		貫通部番号	
		X-101A	X-105A
ℓ (mm)	原子炉格納容器内側		
	原子炉格納容器外側		
E (MPa)	171°C	1.93 × 10 ⁵	
	200°C *	1.91 × 10 ⁵	
I (mm ⁴)			
A (mm ²)			
W _B (N)	原子炉格納容器内側		
	原子炉格納容器外側		
W _M (N)	原子炉格納容器内側		
	原子炉格納容器外側		

注記 * : 重大事故等時の評価温度として、保守的に限界温度を適用する。



- *1: フランジ, アダプタ, 端子箱 (原子炉格納容器内側) 等
- *2: アダプタ, ヘッダ, 端子箱 (原子炉格納容器外側) 等

図 4-2 重心位置と原子炉格納容器までの位置を示した図

4.3 固有周期の計算結果

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設における固有周期は、「5.2.4 設計荷重」に示す設計基準対象施設としての評価温度を考慮し算出する。固有周期を表 4-2 に示す。

なお、水平方向固有周期は、軸直角方向固有周期と軸方向固有周期を比較し、厳しい方の値、鉛直方向固有周期は軸直角方向固有周期の値とする。また、水平方向固有周期及び鉛直方向固有周期について、原子炉格納容器内側と原子炉格納容器外側の固有周期を比較し、厳しい方の値を当該方向の固有周期とする。ただし、図 5-1 の応力評価点 P4 については、原子炉格納容器内側と外側のそれぞれの固有周期とする。

X-101A の固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。X-105A の固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-2 固有周期（設計基準対象施設）（単位：s）

貫通部 番号	水平方向		鉛直方向	
	原子炉格納容器 内側	原子炉格納容器 外側	原子炉格納容器 内側	原子炉格納容器 外側
X-101A	0.002	0.035	0.002	0.035
X-105A	0.007	0.056	0.007	0.056

重大事故等対処設備における固有周期は、「5.2.4 設計荷重」に示す重大事故等時における評価温度を考慮し算出する。固有周期を表 4-3 に示す。

なお、水平方向固有周期は、軸直角方向固有周期と軸方向固有周期を比較し、厳しい方の値、鉛直方向固有周期は軸直角方向固有周期の値とする。また、水平方向固有周期及び鉛直方向固有周期について、原子炉格納容器内側と原子炉格納容器外側の固有周期を比較し、厳しい方の値を当該方向の固有周期とする。ただし、図 5-1 の応力評価点 P4 については、原子炉格納容器内側と外側のそれぞれの固有周期とする。

X-101A の固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。X-105A の固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-3 固有周期（重大事故等対処設備）（単位：s）

貫通部 番号	水平方向		鉛直方向	
	原子炉格納容器 内側	原子炉格納容器 外側	原子炉格納容器 内側	原子炉格納容器 外側
X-101A	0.002	0.035	0.002	0.035
X-105A	0.007	0.057	0.007	0.057

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 原子炉格納容器電気配線貫通部は、スリーブが原子炉格納容器に支持された構造であり、鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、原子炉格納容器シヤラグ、ドライウェル底部又はサプレッションチェンバ及びボックスサポートを介して原子炉建屋に伝達される。

原子炉格納容器電気配線貫通部の耐震評価として、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」、「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」及び「VI-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応答加速度及び荷重を用いて、参照図書(1)及び(2)に示す既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

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

原子炉格納容器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 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。

詳細な荷重の組合せは、添付書類「VI-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。

5.2.2 許容応力

原子炉格納容器電気配線貫通部の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉格納容器電気配線貫通部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 電気配線貫通部	S	クラスMC容器	D + P + M + S _d *	(9)	III _A S
						(10)	
					(13)		
					D + P + M + S _s	(11)	IV _A S
						(12)	
						(14)	
					D + P _L + M _L + S _d **2	(16)	

注記 *1: () 内は添付書類「VI-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 3-6 の荷重の組合せ 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、構造体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 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*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 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	$D + P_{SAL}$ $+ M_{SAL} + S_d$ *3	(V(L)-1)	V_{AS}^{*4}
					$D + P_{SALL}$ $+ M_{SALL} + S_s$	(V(LL)-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: () 内は添付書類「VI-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 3-7 の荷重の組合せ No. を示す。

*3: 重大事故等後の最高内圧及び最高温度との組合せを考慮する。

*4: V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

表 5-3 クラスMC 容器及び重大事故等クラス 2 容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ピーク応力
III _{AS}	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし，A S S 及び H N A については $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の α 倍の値 ^{*1}	$3 \cdot S$ ^{*2} 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。	^{*3, *4} 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。
IV _{AS}	構造上の連続な部分は $0.6 \cdot S_u$ ，不連続 な部分は S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。	左欄の α 倍の値 ^{*1}		
V _{AS} ^{*5}	ただし，A S S 及び H N A については， 構造上の連続な部分は $2 \cdot S$ と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方，不連続な部分は $1.2 \cdot S$ と する。			

注記 *1：設計・建設規格 PVB-3111 に基づき，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。

*2： $3 \cdot S$ 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。

*3：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。

*4：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。

*5：V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度	171				
ヘッド	SUS304	周囲環境 温度	171	125	150	413	—
アダプタ	STS410	周囲環境 温度	171	114	211	404	—
スリーブ	STS410	周囲環境 温度	171	114	211	404	—
原子炉格納容器 (ドライウエル)	SPV490	周囲環境 温度	171	167	429	550	—

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）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	
ヘッド	SUS304	周囲環境 温度	111/ 178* ¹ (200)* ²	123	144	402	—
アダプタ	STS410	周囲環境 温度	111/ 178* ¹ (200)* ²	114	207	404	—
スリーブ	STS410	周囲環境 温度	111/ 178* ¹ (200)* ²	114	207	404	—
原子炉格納容器 (ドライウエル)	SPV490	周囲環境 温度	111/ 178* ¹ (200)* ²	167	417	545	—

注記 *1：SA 後長期 (L) の時 178°C，SA 後長期 (LL) の時 111°C。

*2：重大事故等時の評価温度として，保守的に限界温度を適用する。

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての評価圧力及び評価温度

設計基準対象施設としての設計荷重である最高使用圧力，最高使用温度及び死荷重は，既工認（参照図書(1)）からの変更はなく，以下のとおりとする。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

内圧 P 427kPa
 外圧 P_e 13.7kPa
 温度 T 171℃

b. 死荷重

原子炉格納容器電気配線貫通部の代表貫通部である X-101A 及び X-105A の死荷重を表 5-6 に示す。

表 5-6 原子炉格納容器電気配線貫通部の死荷重 （単位：kg）

貫通部番号	原子炉格納容器内側		原子炉格納容器外側		
	応力評価点 P1*	応力評価点 P4*	応力評価点 P2*	応力評価点 P3*	応力評価点 P4*
原子炉格納容器 電気配線貫通部 (X-101A)					
原子炉格納容器 電気配線貫通部 (X-105A)					

注記 *：応力評価点の位置は，図 5-1 参照のこと。

c. 冷却材喪失事故時荷重

(a) 事故時圧力

事故時圧力は，冷却材喪失事故後の最大内圧とする。

最大内圧 324kPa

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は、添付書類「VI-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、以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL} 640kPa (SA 後長期 (L))

内圧 P_{SALL} 427kPa (SA 後長期 (LL))

温度 T_{SAL} 178℃* (SA 後長期 (L))

温度 T_{SALL} 111℃* (SA 後長期 (LL))

注記 * : 保守的に限界温度 200℃を適用する。

(3) 原子炉格納容器電気配線貫通部の設計荷重

図 5-1 の応力評価点に作用する原子炉格納容器電気配線貫通部の設計荷重を表 5-7 及び表 5-8 に示す。

表 5-7 原子炉格納容器電気配線貫通部の設計荷重 (設計基準対象施設)

貫通部 番号	応力 評価点*1	荷重 (N) 又は 曲げモーメント (N・mm)	自重のみに 起因	地震のみに起因	
				弾性設計用地震 動 S_d 又は静的 震度	基準地震動 S_s
X-101A	P1	荷重	[Blank]		
		曲げモーメント			
	P2	荷重			
		曲げモーメント			
	P3	荷重			
		曲げモーメント			
	P4	荷重			
		曲げモーメント			
X-105A	P1	荷重	[Blank]		
		曲げモーメント			
	P2	荷重			
		曲げモーメント			
	P3	荷重			
		曲げモーメント			
	P4	荷重			
		曲げモーメント			

注記 *1 : 応力評価点の位置は、図 5-1 参照のこと。

*2 : 鉛直方向の曲げモーメントを示す。

*3 : 水平方向の曲げモーメントを示す。

*4 : 格納容器内外面の荷重または曲げモーメントの合算値を示す。

表 5-8 原子炉格納容器電気配線貫通部の設計荷重（重大事故等対処設備）

貫通部 番号	応力 評価点*1	荷重(N)又は 曲げモーメント (N・mm)	自重のみに 起因	地震のみに起因	
				弾性設計用地 震動 S d	基準地震動 S s
X-101A	P1	荷重			
		曲げモーメント			
	P2	荷重			
		曲げモーメント			
	P3	荷重			
		曲げモーメント			
	P4	荷重			
		曲げモーメント			
X-105A	P1	荷重			
		曲げモーメント			
	P2	荷重			
		曲げモーメント			
	P3	荷重			
		曲げモーメント			
	P4	荷重			
		曲げモーメント			

注記 *1：応力評価点の位置は，図 5-1 参照のこと。

*2：鉛直方向の曲げモーメントを示す。

*3：水平方向の曲げモーメントを示す。

*4：格納容器内外面の荷重または曲げモーメントの合算値を示す。

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-9 及び表 5-10 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」、「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」及び「VI-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「VI-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 5-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

貫通部 番号	据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		減衰定数 (%)	
		水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平	鉛直
X-101A*3	原子炉 格納容器 O.P. 2.65	0.035	0.035					—	—
								—	—
X-105A*4	原子炉 格納容器 O.P. 9.60	0.056	0.056					1.0*6	1.0*6
		0.007	0.007					—	—
		0.056	0.056					1.0*6	1.0*6

注記 *1：弾性設計用地震動 S_d に基づく設計用床応答曲線により得られる値。

*2：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線により得られる値。

*3：震度の欄に示す上段は応力評価点 P1～3，下段は応力評価点 P4 における設計用地震力を示す。

*4：震度の欄に示す上段は応力評価点 P1～3，中段は応力評価点 P4 原子炉格納容器内側，下段は応力評価点 P4 原子炉格納容器外側における設計用地震力を示す。

*5：原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。

*6：添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物に適用される減衰定数を用いる。

表 5-10 設計用地震力（重大事故等対処設備）

貫通部 番号	据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d		基準地震動 S _s		減衰定数 (%)	
		水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平	鉛直
X-101A*3	原子炉 格納容器 O.P. 2.65	0.035	0.035					—	—
								—	—
X-105A*4	原子炉 格納容器 O.P. 9.60	0.057	0.057					1.0*6	1.0*6
		0.007	0.007					—	—
		0.057	0.057					1.0*6	1.0*6

- 注記 *1：弾性設計用地震動 S_d に基づく設計用床応答曲線により得られる値。
 *2：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線により得られる値。
 *3：震度の欄に示す上段は応力評価点 P1～3，下段は応力評価点 P4 における設計用地震力を示す。
 *4：震度の欄に示す上段は応力評価点 P1～3，中段は応力評価点 P4 原子炉格納容器内側，下段は応力評価点 P4 原子炉格納容器外側における設計用地震力を示す。
 *5：原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。
 *6：添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物に適用される減衰定数を用いる。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.4 計算方法

原子炉格納容器電気配線貫通部の応力評価点は，原子炉格納容器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（原子炉格納容器電気配線貫通部特有の部位含む）を選定する。選定した応力評価点を表 5-11 及び図 5-1 に示す。

応力計算方法は既工認から変更はなく，参照図書(1)及び(2)に示すとおりである。評価の概要を以下に示す。

一端固定，他端自由の片持はりとしてモデル化し評価する。

表 5-11 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	アダプタとスリーブの継手（原子炉格納容器内側）
P2	スリーブとアダプタの継手（原子炉格納容器外側）
P3	アダプタとヘッダの継手
P4	貫通部管台取付部

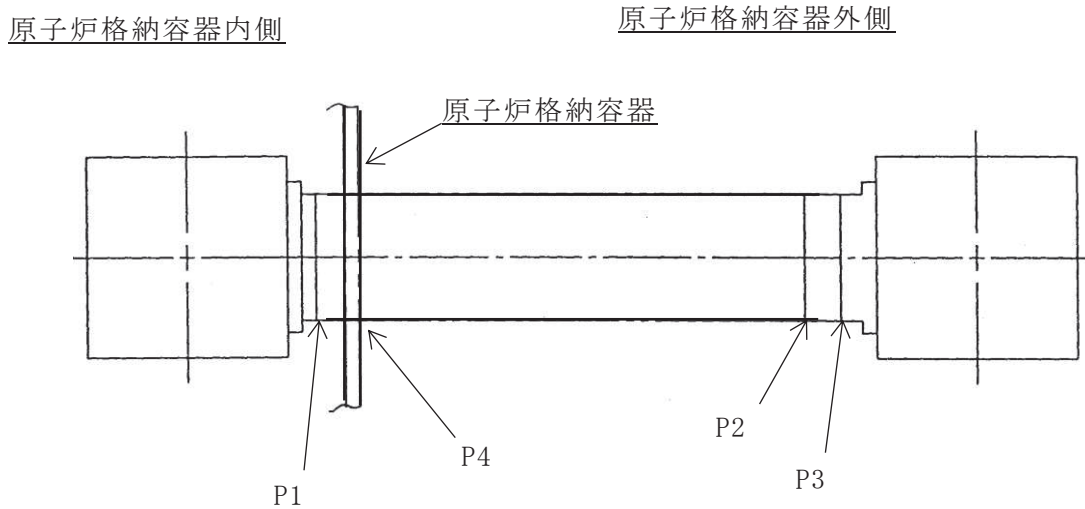


図 5-1 原子炉格納容器電気配線貫通部の応力評価点

5.5 計算条件

応力計算に用いる荷重を「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた各応力が、表 5-3 に示す許容応力以下であること。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 (PVB-3313 を除く。S_mはSと読み替える。)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。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉格納容器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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の3.1.23項「繰返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次＋二次＋ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、添付書類「VI-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 3-6 の荷重の組合せの No. を記載する。

表 6-1 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	応力評価点		応力分類	III _A S		判定	荷重の組合せ	備考	
				算出応力	許容応力				
				MPa	MPa				
原子炉 格納容器 電気配線 貫通部 (X-101A)	P1	アダプタとスリーブの 継手 (原子炉格納容器 内側)	一次一般膜応力	2	211	○	(9)		
			一次膜応力+一次曲げ応力	2	316	○	(9)		
			一次+二次応力	1	342	○	(9)		
	P2	スリーブとアダプタの 継手 (原子炉格納容器 外側)	一次一般膜応力	3	211	○	(9)		
			一次膜応力+一次曲げ応力	3	316	○	(9)		
			一次+二次応力	2	342	○	(9)		
	P3	アダプタとヘッダの継 手	一次膜応力+一次曲げ応力	2	225	○	(9)		
			一次+二次応力	2	342	○	(9)		
	P4	貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	57	495	○	(10)		
			一次+二次応力	114	501	○	(10)		
	原子炉 格納容器 電気配線 貫通部 (X-105A)	P1	アダプタとスリーブの 継手 (原子炉格納容器 内側)	一次一般膜応力	9	211	○	(9)	
				一次膜応力+一次曲げ応力	9	316	○	(9)	
一次+二次応力				13	342	○	(9)		
P2		スリーブとアダプタの 継手 (原子炉格納容器 外側)	一次一般膜応力	12	211	○	(9)		
			一次膜応力+一次曲げ応力	12	316	○	(9)		
			一次+二次応力	17	342	○	(9)		
P3		アダプタとヘッダの継 手	一次膜応力+一次曲げ応力	9	225	○	(9)		
			一次+二次応力	13	342	○	(9)		
P4		貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	35	495	○	(10)		
			一次+二次応力	134	501	○	(9), (10)		

表 6-2(1) 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	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ	備考	
				算出応力	許容応力				
				MPa	MPa				
原子炉 格納容器 電気配線 貫通部 (X-101A)	P1	アダプタとスリーブの 継手 (原子炉格納容器 内側)	一次一般膜応力	2	242	○	(11)		
			一次膜応力+一次曲げ応力	2	363	○	(11)		
			一次+二次応力	2	342	○	(11)		
	P2	スリーブとアダプタの 継手 (原子炉格納容器 外側)	一次一般膜応力	4	242	○	(11)		
			一次膜応力+一次曲げ応力	4	363	○	(11)		
			一次+二次応力	4	342	○	(11)		
	P3	アダプタとヘッダの継 手	一次膜応力+一次曲げ応力	3	363	○	(11)		
			一次+二次応力	3	342	○	(11)		
	P4	貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	108	495	○	(12)		
			一次+二次応力	230	501	○	(11), (12)		
	原子炉 格納容器 電気配線 貫通部 (X-105A)	P1	アダプタとスリーブの 継手 (原子炉格納容器 内側)	一次一般膜応力	13	242	○	(11)	
				一次膜応力+一次曲げ応力	13	363	○	(11)	
一次+二次応力				21	342	○	(11)		
P2		スリーブとアダプタの 継手 (原子炉格納容器 外側)	一次一般膜応力	18	242	○	(11)		
			一次膜応力+一次曲げ応力	18	363	○	(11)		
			一次+二次応力	29	342	○	(11)		
P3		アダプタとヘッダの継 手	一次膜応力+一次曲げ応力	13	363	○	(11)		
			一次+二次応力	21	342	○	(11)		
P4		貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	74	495	○	(12)		
			一次+二次応力	240	501	○	(12)		

表 6-2(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	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ	備考	
				算出応力	許容応力				
				MPa	MPa				
原子炉格納容器 電気配線貫通部 (X-101A)	P1	アダプタとスリーブの継手 (原子炉格納容器内側)	一次一般膜応力	2	242	○	(16)		
			一次膜応力+一次曲げ応力	2	363	○	(16)		
			一次+二次応力	1	342	○	(16)		
	P2	スリーブとアダプタの継手 (原子炉格納容器外側)	一次一般膜応力	7	242	○	(16)		
			一次膜応力+一次曲げ応力	7	363	○	(16)		
			一次+二次応力	2	342	○	(16)		
	P3	アダプタとヘッダの継手	一次膜応力+一次曲げ応力	7	363	○	(16)		
			一次+二次応力	2	342	○	(16)		
	P4	貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	97	495	○	(16)		
			一次+二次応力	112	501	○	(16)		
	原子炉格納容器 電気配線貫通部 (X-105A)	P1	アダプタとスリーブの継手 (原子炉格納容器内側)	一次一般膜応力	9	242	○	(16)	
				一次膜応力+一次曲げ応力	9	363	○	(16)	
一次+二次応力				13	342	○	(16)		
P2		スリーブとアダプタの継手 (原子炉格納容器外側)	一次一般膜応力	15	242	○	(16)		
			一次膜応力+一次曲げ応力	15	363	○	(16)		
			一次+二次応力	17	342	○	(16)		
P3		アダプタとヘッダの継手	一次膜応力+一次曲げ応力	12	363	○	(16)		
			一次+二次応力	13	342	○	(16)		
P4		貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	110	495	○	(16)		
			一次+二次応力	134	501	○	(16)		

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉格納容器電気配線貫通部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。

なお、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の3.1.23項「繰返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次＋二次＋ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 6-3 及び表 6-4 に示す。

表 6-3 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考	
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
原子炉 格納容器 電気配線 貫通部 (X-101A)	P1	アダプタとスリーブの 継手 (原子炉格納容器 内側)	一次一般膜応力	2	242	○		
			一次膜応力+一次曲げ応力	2	363	○		
			一次+二次応力	1	342	○		
	P2	スリーブとアダプタの 継手 (原子炉格納容器 外側)	一次一般膜応力	13	242	○		
			一次膜応力+一次曲げ応力	13	363	○		
			一次+二次応力	2	342	○		
	P3	アダプタとヘッダの継 手	一次膜応力+一次曲げ応力	13	361	○		
			一次+二次応力	2	342	○		
	P4	貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	166	490	○		
			一次+二次応力	110	501	○		
	原子炉 格納容器 電気配線 貫通部 (X-105A)	P1	アダプタとスリーブの 継手 (原子炉格納容器 内側)	一次一般膜応力	9	242	○	
				一次膜応力+一次曲げ応力	9	363	○	
一次+二次応力				13	342	○		
P2		スリーブとアダプタの 継手 (原子炉格納容器 外側)	一次一般膜応力	17	242	○		
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	363	○		
			一次+二次応力	17	342	○		
P3		アダプタとヘッダの継 手	一次膜応力+一次曲げ応力	14	361	○		
			一次+二次応力	13	342	○		
P4		貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	209	490	○		
			一次+二次応力	134	501	○		

表 6-4 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V_{AS}		判定	備考	
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
原子炉格納容器電気配線貫通部 (X-101A)	P1	アダプタとスリーブの継手 (原子炉格納容器内側)	一次一般膜応力	2	242	○		
			一次膜応力+一次曲げ応力	2	363	○		
			一次+二次応力	2	342	○		
	P2	スリーブとアダプタの継手 (原子炉格納容器外側)	一次一般膜応力	9	242	○		
			一次膜応力+一次曲げ応力	9	363	○		
			一次+二次応力	4	342	○		
	P3	アダプタとヘッダの継手	一次膜応力+一次曲げ応力	9	361	○		
			一次+二次応力	3	342	○		
	P4	貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	164	490	○		
			一次+二次応力	230	501	○		
	原子炉格納容器電気配線貫通部 (X-105A)	P1	アダプタとスリーブの継手 (原子炉格納容器内側)	一次一般膜応力	13	242	○	
				一次膜応力+一次曲げ応力	13	363	○	
一次+二次応力				21	342	○		
P2		スリーブとアダプタの継手 (原子炉格納容器外側)	一次一般膜応力	21	242	○		
			一次膜応力+一次曲げ応力	21	363	○		
			一次+二次応力	29	342	○		
P3		アダプタとヘッダの継手	一次膜応力+一次曲げ応力	17	361	○		
			一次+二次応力	21	342	○		
P4		貫通部管台取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	157	490	○		
			一次+二次応力	238	501	○		

7. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
添付書類「IV-3-1-2-5 原子炉格納容器電気配線貫通部の強度計算書」
- (2) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
添付書類「IV-3-1-2-4 原子炉格納容器配管貫通部の強度計算書」

VI-2-9-3 原子炉建屋の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書
- VI-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
- VI-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
- VI-2-9-3-4 原子炉建屋基礎版の耐震性についての計算書