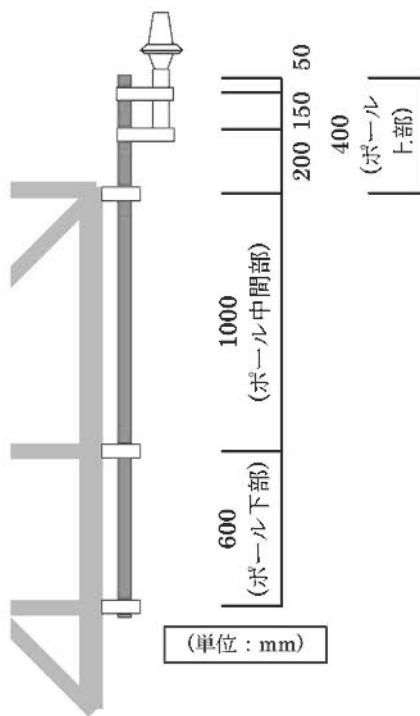


第4-6表 アンテナポールの解析モデルの諸元

項目	記号	単位	数値等
材質 (アンテナポール)	—	—	STK400
材料密度 (アンテナポール)	ρ	kg/m ³	7850
器具質量 (衛星携帯電話用アンテナ)	W_a	kg	0.9
器具質量 (取付金具)	W_b	kg	1.225
アンテナポールの縦弾性係数	E	MPa	2.017×10 ⁵
アンテナポールの外径	d	mm	48.6
アンテナポールの肉厚	t	mm	3.2
アンテナポールの断面積	A	m ²	0.00045641
アンテナポールの断面二次モーメント	I	m ⁴	1.1818×10 ⁻⁷
雰囲気温度条件	—	℃	40
寸法	—	—	第4-4図
要素数	—	個	32
節点数	—	個	33



要素分割数	Z座標(m)	搭載物	質量(kg)
—	2.000	衛星携帯電話用アンテナ	0.9
1	1.950	取付金具	1.225
3	1.800	取付金具	1.225
4	1.600	—	—
16	0.600	—	—
8	0.000	—	—

第4-4図 アンテナポール 外形図

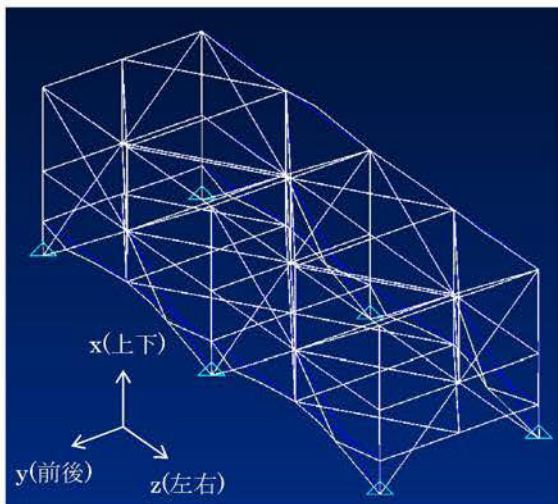
4.5 固有値

(1) 架台

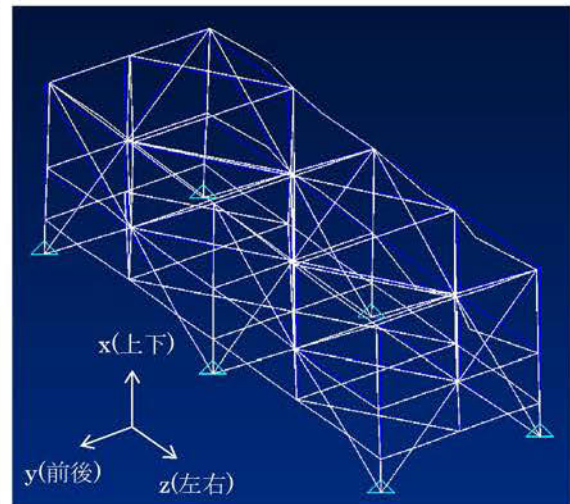
架台の固有振動数を第 4-7 表に、振動モード図を第 4-5 図～第 4-7 図に示す。

第 4-7 表 固有振動数

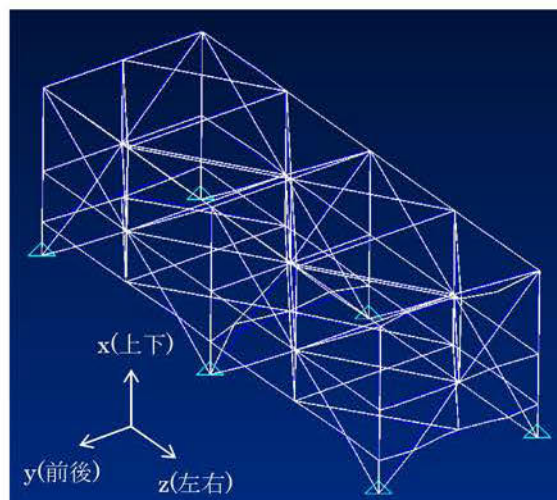
次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数			卓越相当部材
		X (上下) 方向	Y (前後) 方向	Z (左右) 方向	
1	41.24	0.5364	-14.7862	0.0563	水平材
2	61.24	-3.8216	4.4179	1.0866	水平材
3	72.03	4.4091	-0.3723	24.1470	水平材



第 4-5 図 振動モード
(y 方向振動モード)



第 4-6 図 振動モード
(x 方向振動モード)



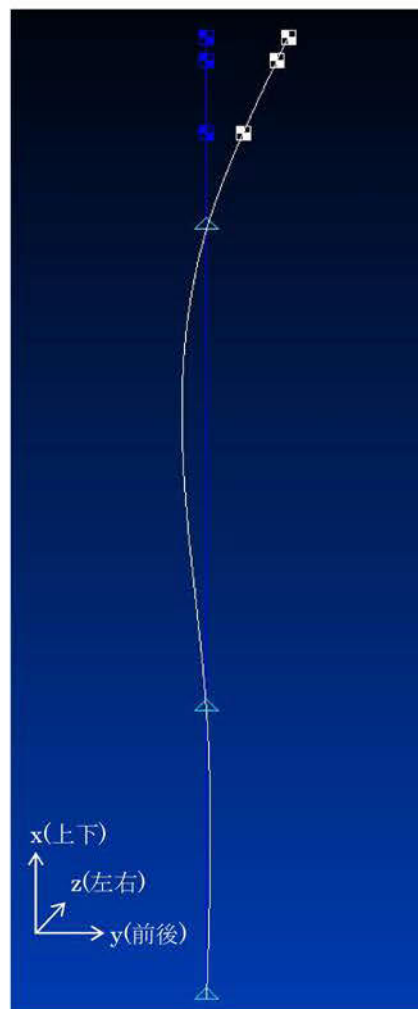
第 4-7 図 振動モード
(z 方向振動モード)

(2) アンテナポール

アンテナポールの固有振動数を第4-8表に、振動モード図を第4-8図に示す。

第4-8表 固有振動数

次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数			卓越相当部材
		X (上下) 方向	Y (前後) 方向	Z (左右) 方向	
1	46.43	-1.9843	1.9843	0.0000	衛星携帯電話 用アンテナ及 びポール上部



第4-8図 振動モード (1次モード)

4.6 応力評価方法

4.6.1 基礎ボルト及び取付ボルト

FEM 解析の結果から得られる基礎ボルト部の最大荷重を用いて、以下の式により最大応力及び組合せ応力を計算する。

応力の種類	単 位	応力計算式
引張応力 σ_{bt}	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$
せん断応力 τ_b	MPa	$\frac{F_y}{A_b} + \frac{F_z}{A_b}$
組合せ応力	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$

ここで、

記号	記号の説明	単位	評価部位	加速度の方向	数値
F_x	ボルト 1 本あたりに作用する引張力	N	基礎ボルト	左右 + 鉛直	6846
				前後 + 鉛直	9044
			取付ボルト	前後 + 鉛直	500
F_y	ボルト 1 本あたりに作用する Y 軸方向のせん断力	N	基礎ボルト	前後 + 鉛直	3548
			取付ボルト	左右 + 鉛直	500
F_z	ボルト 1 本あたりに作用する Z 軸方向のせん断力	N	基礎ボルト	左右 + 鉛直	4098
				取付ボルト	左右 + 鉛直
			前後 + 鉛直		190
A_b	ボルト 1 本あたりの断面積	mm ²	基礎ボルト	—	157
			取付ボルト	—	113

4.7 応力評価条件

(1) 応力計算条件

項目		記号	単位	数値等
材質	基礎ボルト	—	—	SD345
	取付ボルト	—	—	SS400
寸法	基礎ボルト	—	—	M16×300mm×4本/脚
	取付ボルト	—	—	M12×2本

(2) 設計用加速度

方 向	設計用加速度 (×9.8m/s ²)
水平 (前後・左右)	2.93
鉛直	0.96

(注) 固有値解析結果より、固有振動数が 30Hz 以上であることを確認したため、設計用加速度には最大床加速度の 1.2 倍を使用する。

5. 機能維持評価

衛星携帯電話用アンテナの地震時及び地震後の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

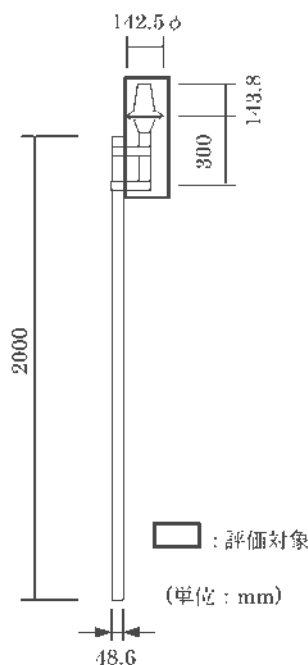
5.1 機能維持評価方法

衛星携帯電話用アンテナの評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、衛星携帯電話用アンテナ単体の正弦波加振試験（掃引試験及びビート試験）において、電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を第5-1表に、衛星携帯電話用アンテナ外形図を第5-1図に示す。

なお、固有値解析結果より、架台及びアンテナポールの固有振動数が30Hz以上であることを確認したため、評価用加速度は最大床加速度を使用する。

第5-1表 機能確認済加速度

機器名称	方向	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
衛星携帯電話用アンテナ	水平	10.0
	鉛直	10.0



第5-1図 衛星携帯電話用アンテナ外形図

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処施設としての評価結果

衛星携帯電話用アンテナの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を第 6-1 表に示す。また、電氣的機能維持評価結果を第 6-2 表に示す。また、最大応力発生箇所を第 6-1 図及び第 6-2 図に示す。

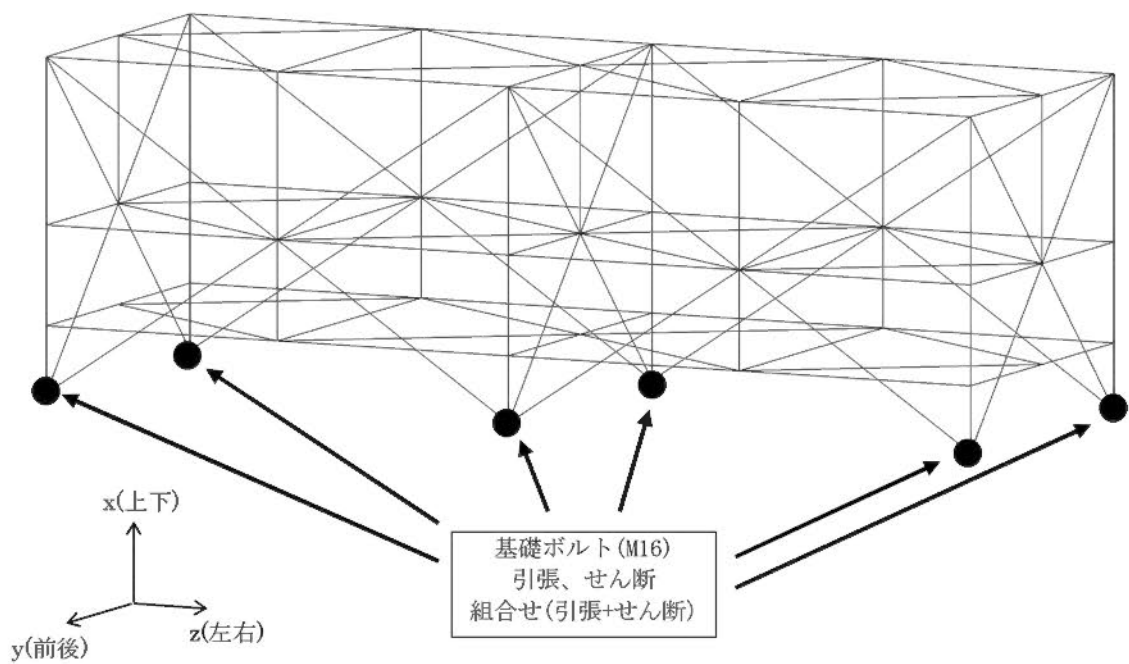
第6-1表 基準地震動 S_s による評価結果 ($D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_k+P_s$)

評価対象設備			評価部位	応力分類	加速度の方向	発生値	評価基準値
						MPa	MPa
計測制御系統施設	その他	衛星携帯電話用アンテナ	基礎ボルト	引張応力	左右+鉛直	44	257
					前後+鉛直	58	
				せん断応力	左右+鉛直	27	198
					前後+鉛直	23	
				組合せ応力	左右+鉛直	44	257 (注)
					前後+鉛直	58	
			取付ボルト	引張応力	前後+鉛直	5	210
				せん断応力	左右+鉛直	7	161
					前後+鉛直	2	
				組合せ応力	前後+鉛直	5	210 (注)

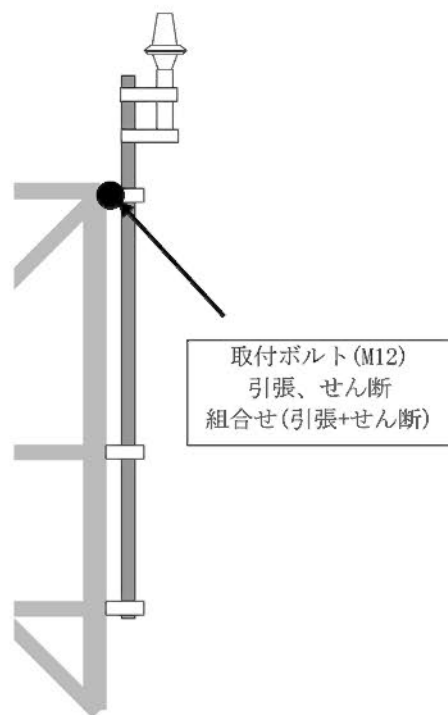
(注) 引張応力(σ_b)とせん断応力(τ_b)との組合せ応力の評価基準値は $\text{Min}(1.4 \cdot 1.5f_t^* - 1.6\tau_b, 1.5f_t^*)$ とする

第6-2表 電氣的機能維持評価結果（重大事故等対処施設）

評価対象設備				機能確認済加速度との比較						詳細評価
				加速度確認部位	水平加速度($\times 9.8\text{m/s}^2$)		鉛直加速度($\times 9.8\text{m/s}^2$)			
					評価用加速度	機能確認済加速度	評価用加速度	機能確認済加速度		
計測制御系統施設	その他	衛星携帯電話用アンテナ	衛星携帯電話用アンテナ	—	2.44	10.0	0.80	10.0	—	



第 6-1 図 架台の最大応力発生箇所



第 6-2 図 アンテナポールの最大応力発生箇所

統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の
耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-1-2

玄海原子力発電所第3号機

通信端末の耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-1-2-1

玄海原子力発電所第3号機

目 次

	頁
1. 概 要	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 1 - 1
2. 基本方針	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 1 - 2
2.1 構造の説明	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 1 - 2
2.2 評価方針	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 1 - 6
3. 加振試験	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 1 - 7
3.1 基本事項	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 1 - 7
3.2 設計用地震力	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 1 - 7
4. 機能維持評価	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 1 - 8
4.1 機能維持評価方法	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 1 - 8
5. 評価結果	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 1 - 12
5.1 重大事故等対処施設としての評価結果	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 1 - 12

1. 概 要

本資料は、資料 12-9「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、通信端末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。その耐震評価は機能維持評価により行う。

通信端末は、設計基準対象施設においては C クラス施設に、重大事故等対処施設においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、資料 12-1「耐震設計の基本方針」の「2.1 基本方針」に示す常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の耐震評価を示す。

2. 基本方針

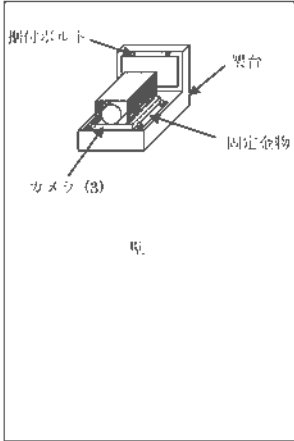
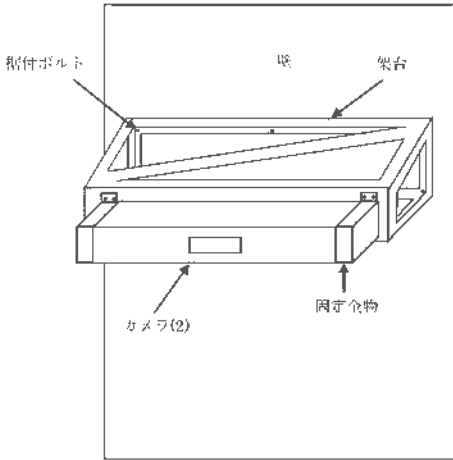
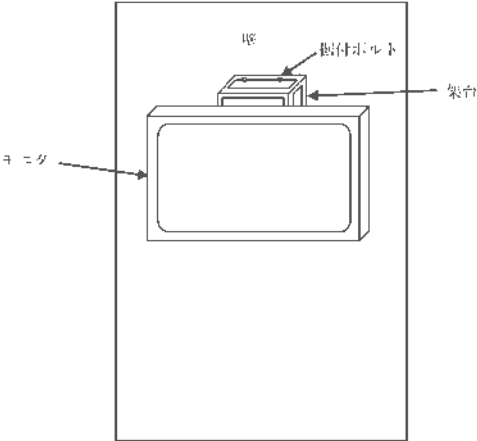
2.1 構造の説明

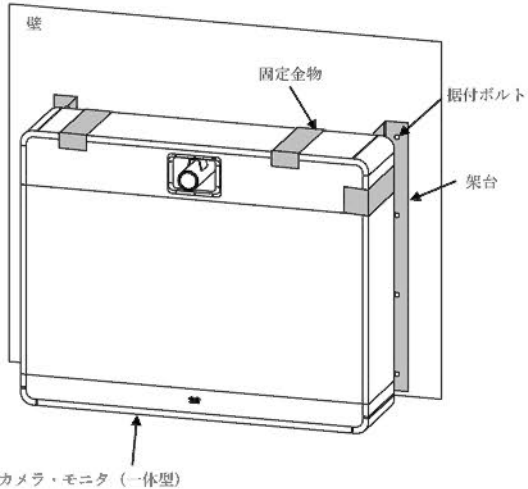
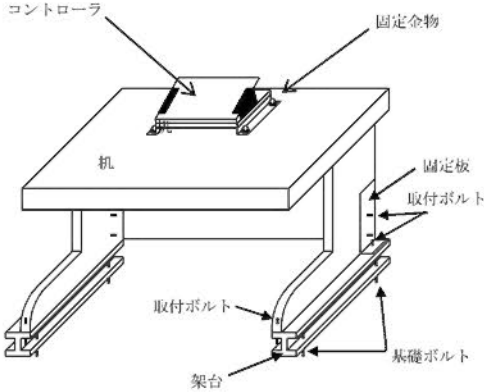
通信端末の構造計画を第 2-1 表に示す。通信端末は、IP 電話、衛星通信装置（電話）、IP-FAX（地上・衛星）及びテレビ会議システムで構成される。

第 2-1 表 通信端末の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
IP 電話 (固定金物)	IP 電話機	IP 電話機を固定金物にて机に固定する。 また、机を固定板及び取付ボルトにて架台に固定し、架台を基礎ボルトにて床面に据え付ける。	
IP 電話 (電話台)	IP 電話機	IP 電話機を電話台に固定し、電話台を机に固定する。 また、机を固定板及び取付ボルトにて架台に固定し、架台を基礎ボルトにて床面に据え付ける。	

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
IP 電話 (引出内固定)	IP 電話機	IP 電話機を固定金物にて机の引出内に固定する。 また、机は固定治具及び据付ボルトにて壁面に据え付ける。	<p>IP 電話機 壁 机 固定金物 引出 据付ボルト 固定板</p>
衛星通信装置 (電話)	固定電話機	固定電話機を固定金物にて机引出内に固定する。 また、机は固定板及び据付ボルトにて壁面に据え付ける。	<p>固定電話機 壁 机 固定金物 引出 据付ボルト 固定板</p>
IP-FAX (地上・衛星)	IP-FAX	IP-FAX は固定治具にて架台に固定する。 また、架台は基礎ボルトにて床面に据え付ける。	<p>IP-FAX 架台 固定治具 基礎ボルト</p>

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
TV 会議システム	カメラ (3)	カメラを固定金物にて架台に固定する。 また、架台を据付ボルトにて壁面に据え付ける。	
	カメラ (2)	カメラを固定金物及び取付ボルトにて架台に固定する。 また、架台を据付ボルトにて壁面に据え付ける。	
	モニタ	モニタを取付ボルトにて架台に固定する。 また、架台を据付ボルトにて壁面に据え付ける。	

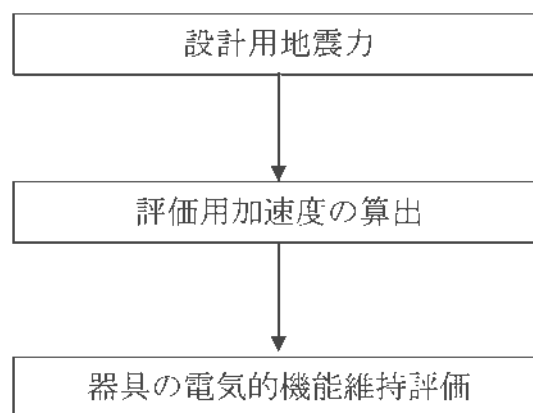
設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
TV 会議システム	カメラ・モニタ（一体型）	カメラ・モニタ（一体型）を固定金物及び取付ボルトにて架台に固定する。 また架台を据付ボルトにて壁面に据え付ける。	
	コントローラ	コントローラを固定金物にて机に固定する。 また、机を固定板及び取付ボルトにて架台に固定し、架台を基礎ボルトにて床面に据え付ける。	

2.2 評価方針

通信端末の機能維持評価は、資料 12-9「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. 加振試験」及び「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。

通信端末の耐震評価の手順は、平成 29 年 8 月 25 日付け原規規発第 1708253 号にて認可された工事計画の実績に基づき実施する。

通信端末の耐震評価フローを第 2-1 図に示す。



第 2-1 図 通信端末の耐震評価フロー

3. 加振試験

3.1 基本事項

通信端末について、設置状態を模擬して加振試験を行い、基準地震動 S_s による地震力に対して、要求される機能が維持されることを確認する。

3.2 設計用地震力

以下の加振波の最大床加速度を上回る加速度で加振を行う。

- ・加振波 : 対象機器設置床における基準地震動 (S_s-1 から S_s-5) に対する設計用床応答曲線を上回るように設定
- ・加振方向 : 水平 (前後) + 水平 (左右) + 鉛直の 3 方向同時

建屋及び床面高さ(m)	加振方向		最大床加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
緊急時対策棟 EL. 25.30	水平	前後	0.86
		左右	0.86
	鉛直		0.61
緊急時対策棟 EL.30.75	水平	前後	1.21
		左右	1.21
	鉛直		0.70

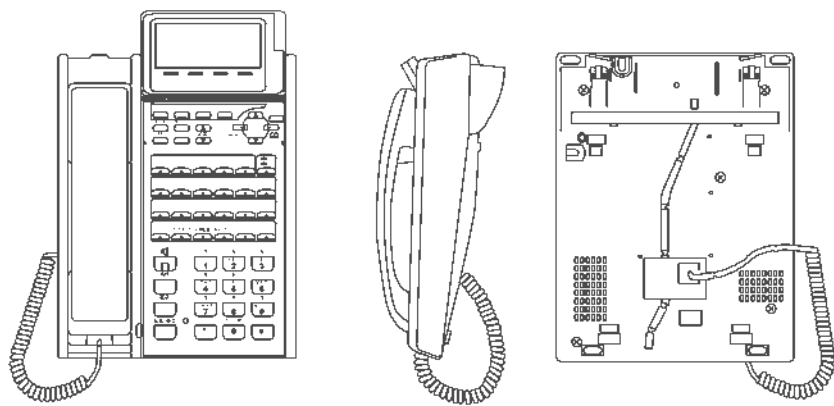
4. 機能維持評価

通信端末の地震時及び地震後の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

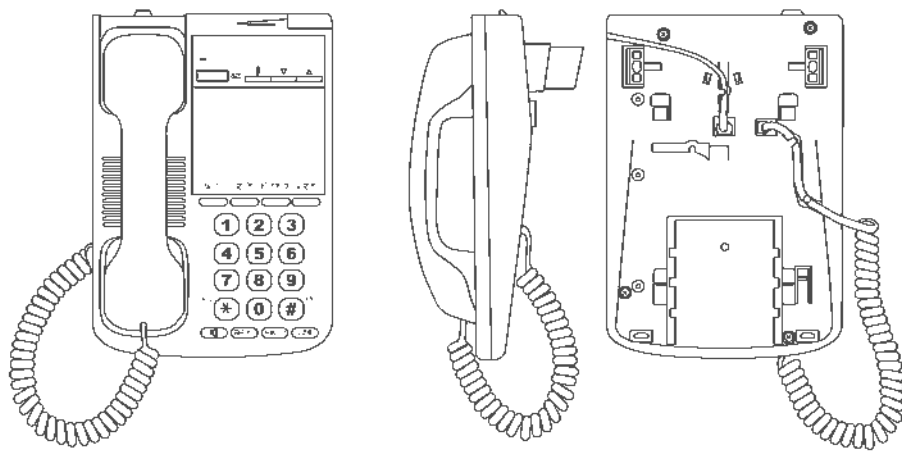
4.1 機能維持評価方法

通信端末の機能維持評価方法は、対象機器設置床における最大床加速度が、機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、加振試験後に電氣的機能が維持されていることを通信試験により確認した加振波の最大加速度を適用する。評価する器具の外形図を第 4-1 図～第 4-4 図に示す。

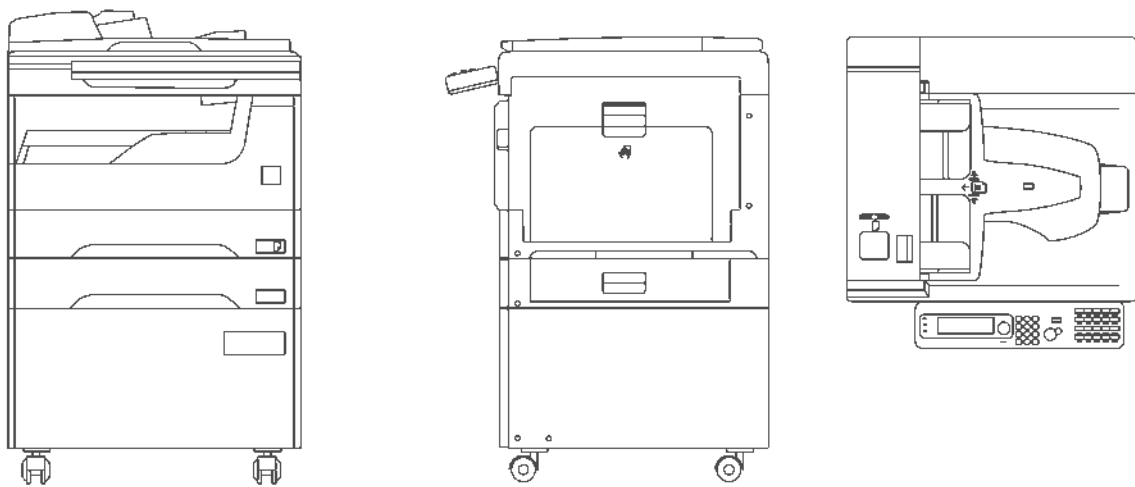
なお、評価用加速度は最大床加速度を使用する。



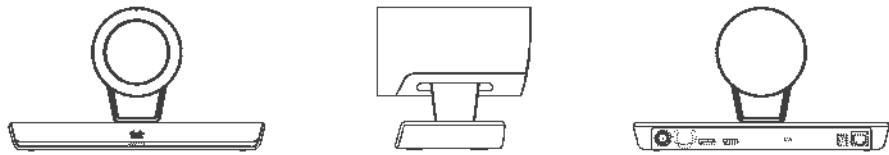
第 4-1 図 IP 電話 外形図



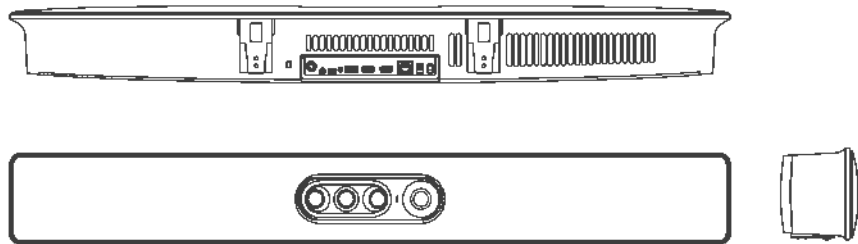
第 4-2 図 衛星通信装置（電話） 外形図



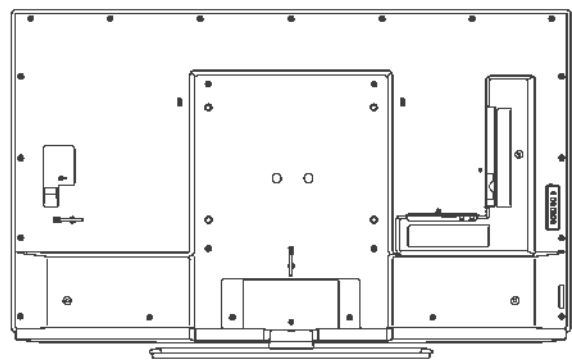
第 4-3 図 IP-FAX（地上・衛星）外形図



カメラ (3)

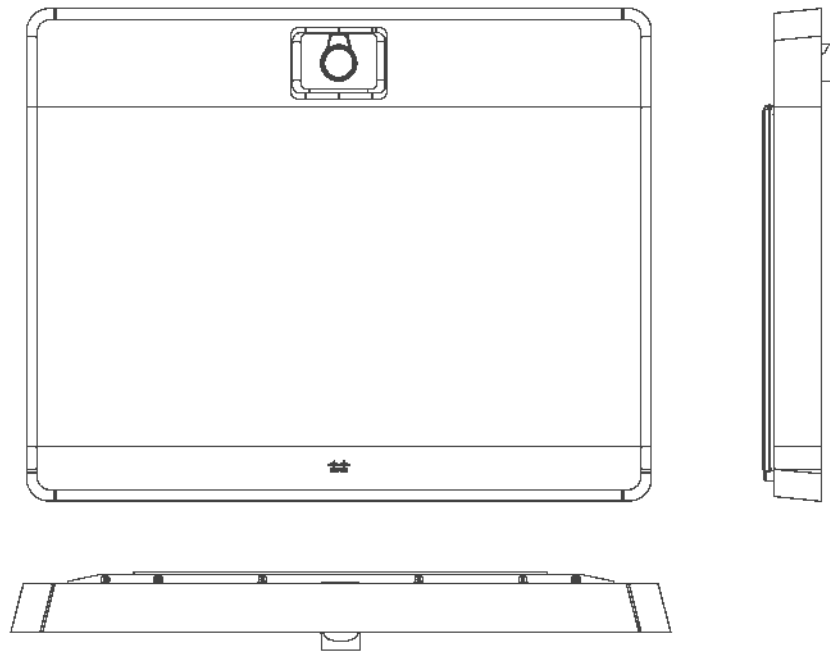


カメラ (2)

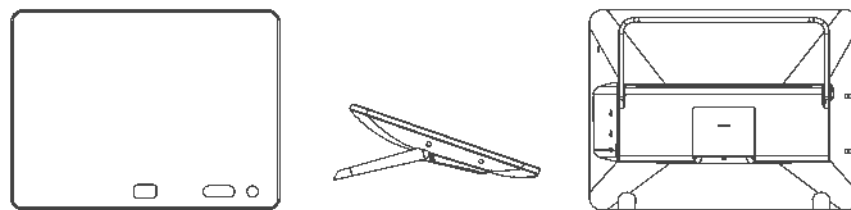


モニタ

第4-4図 テレビ会議システム 外形図 (1/2)



カメラ・モニタ（一体型）



コントローラ

第4-4図 テレビ会議システム 外形図 (2/2)

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処施設としての評価結果

通信端末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を満足しており、耐震性を有することを確認した。

電氣的機能維持評価結果を第 5-1 表に示す。

第5-1表 電氣的機能維持評価結果（重大事故等対処施設）（1/2）

評価対象設備		加速度 確認部位	加振 方向		機能確認済加速度との比較		詳細評価	
					評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		
計測制御系統施設	その他	IP 電話 (固定金物)	加振台	水平	前後	0.86	2.07	—
					左右	0.86	2.07	
				鉛直		0.61	1.99	
		IP 電話 (電話台)	加振台	水平	前後	0.86	1.82	—
					左右	0.86	1.82	
				鉛直		0.61	1.50	
		IP 電話 (引出内固定)	加振台	水平	前後	1.21	2.58	—
					左右	1.21	2.58	
				鉛直		0.70	1.54	
		衛星通信装置（電話）	加振台	水平	前後	1.21	2.58	—
					左右	1.21	2.58	
				鉛直		0.70	1.54	
		IP-FAX（地上・衛星）	加振台	水平	前後	0.86	1.82	—
					左右	0.86	1.82	
				鉛直		0.61	1.55	

第5-1表 電氣的機能維持評価結果（重大事故等対処施設）（2/2）

評価対象設備			加速度 確認部位	加振 方向		機能確認済加速度との比較		詳細 評価	
						評価用加速度 (×9.8m/s ²)	機能確認済加速度 (×9.8m/s ²)		
計測制御系統施設	その他	テレビ会議システム	カメラ (3)	加振台	水平	前後	1.21	2.35	—
						左右	1.21	2.35	
					鉛直		0.70	1.41	
			カメラ (2)	加振台	水平	前後	1.21	2.31	—
						左右	1.21	2.31	
					鉛直		0.70	1.40	
			モニタ	加振台	水平	前後	1.21	2.35	—
						左右	1.21	2.35	
					鉛直		0.70	1.41	
			カメラ・モニタ (一体型)	加振台	水平	前後	1.21	2.35	—
						左右	1.21	2.35	
					鉛直		0.70	1.42	
			コントローラ	加振台	水平	前後	0.86	1.88	—
						左右	0.86	1.88	
					鉛直		0.61	1.07	

通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)の耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-1-2-2

玄海原子力発電所第3号機

目 次

	頁
1. 概 要	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 2 - 1
2. 基本方針	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 2 - 1
2.1 構造の説明	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 2 - 1
2.2 評価方針	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 2 - 2
3. 耐震評価箇所	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 2 - 3
4. 地震応答解析及び応力評価	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 2 - 3
4.1 基本方針	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 2 - 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 2 - 4
4.3 設計用地震力	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 2 - 7
4.4 解析モデル及び諸元	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 2 - 10
4.5 固有値	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 2 - 12
4.6 応力評価方法	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 2 - 14
4.7 応力評価条件	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 2 - 19
5. 機能維持評価	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 2 - 20
5.1 機能維持評価方法	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 2 - 20
6. 評価結果	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 2 - 22
6.1 重大事故等対処施設としての評価結果	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 2 - 22

1. 概要

本資料は、資料 12-9 「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、通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)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。その耐震評価は地震応答解析、応力評価及び機能維持評価により行う。

通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)は、設計基準対象施設においては C クラス施設に、重大事故等対処施設においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、資料 12-1 「耐震設計の基本方針」の「2.1 基本方針」に示す常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

資料 12-11 「機器・配管の耐震支持方針」にて設定した電気計測制御装置の支持方針に基づき設計した通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)の構造計画を第 2-1 表に示す。なお、通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)は 3 面列盤となるため、3 面列盤構造で耐震評価を実施する。

第 2-1 表 通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)	垂直自立型 ^(注)	盤を取付ボルトにてチャンネルベースに取り付ける。 また、チャンネルベースと溶接された架台は建屋の床面に埋め込まれた埋込金物に溶接にて固定される。	

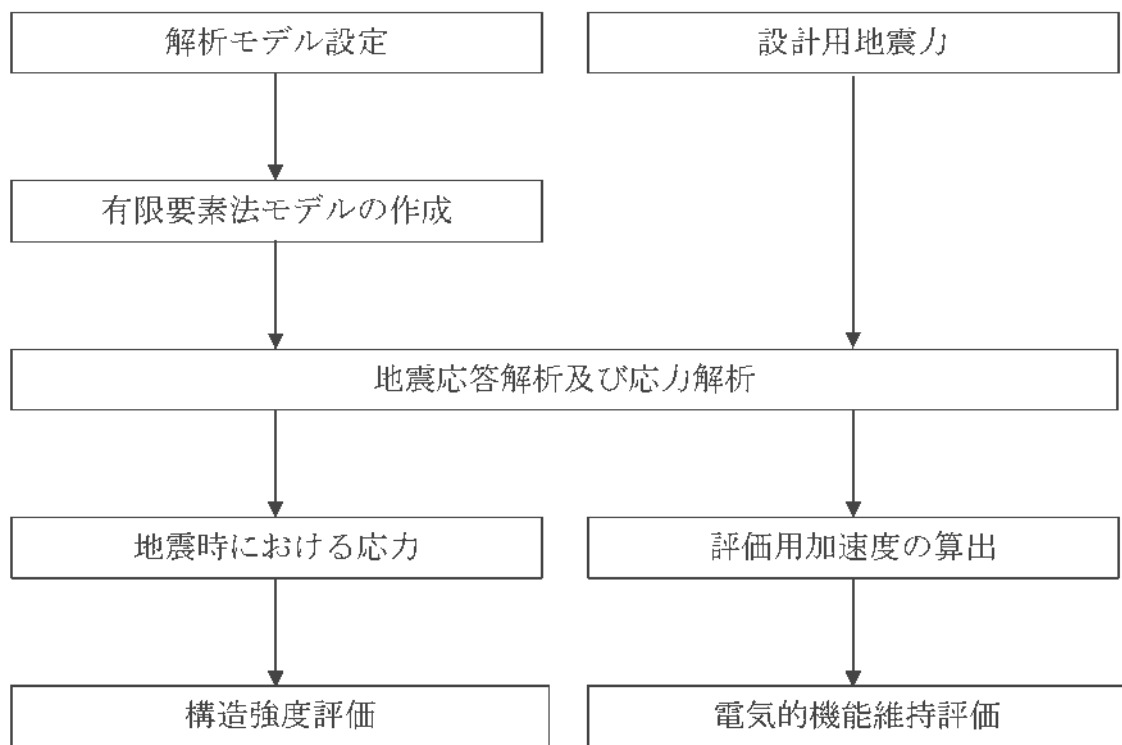
(注) 機能維持評価を行う、メディアコンバータ、レイヤ 2 スイッチ(L2SW)、テレビ会議システム、開閉器、衛星用ルータ、VoIP ゲートウェイ(VoIP-GW)、A/D コンバータ、無線機、無線制御器及び分電ユニットを内装する盤。

2.2 評価方針

通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)の応力評価は、資料 12-9「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 構造の説明」にて示す通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)の部位を踏まえ、「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所に作用する応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)の機能維持評価は、資料 12-9「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。

通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)の耐震評価の手順は、平成 29 年 8 月 25 日付け原規規発第 1708253 号にて認可された工事計画の実績に基づき実施する。

通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)の耐震評価フローを第 2-1 図に示す。



第 2-1 図 通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)の耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる盤フレーム、架台フレーム及び取付ボルトを選定して実施する。通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)の耐震評価箇所について、第2-1表の説明図に示す。

4. 地震応答解析及び応力評価

4.1 基本方針

(1) 通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)の固有振動数、応力及び荷重を算定するための地震応答解析には、平成29年8月25日付け原規規発第1708253号にて認可された工事計画にて実績のある3次元FEMモデルによる解析手法を適用する。

(2) 盤を構成する鋼材をはり要素、鋼板をシェル要素としてモデル化し、固有振動数が30Hz以上である場合は最大床加速度の1.2倍を用いた静解析を、20Hz以上30Hz未満である場合はスペクトルモーダル解析及び最大床加速度の1.2倍を用いた静解析を、20Hz未満である場合はスペクトルモーダル解析を実施する。

(3) 解析コードは「MSC NASTRAN Ver.2008.0.4」を使用する。なお、評価に用いる解析コード「MSC NASTRAN Ver.2008.0.4」の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(4) 境界条件として、基礎溶接部で固定し盤のフレームとパネル間及びチャンネルベースと架台間は剛体接続、盤とチャンネルベース間は取付ボルトを弾性体としてモデル化し接続する。

(5) 取付器具の質量は筐体との取付ボルト位置に付加し、扉の質量は筐体のヒンジ位置に付加する。金具、ケーブル類の質量は等分布としてモデル全体に付加する。

3面列盤における総質量は1800kgである。また、盤と架台を締結するためのチャンネルベースの総質量は105kg、基礎とチャンネルベースを締結するための架台の総質量は25kgである。

(6) 許容応力についてJSME S NJ1-2012のPart3を用いて計算する際に、温度が図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。

但し、比例法を用いる場合の端数処理は、有効3桁以下を切り捨てた値を用いるものとする。

(7) 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

通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)の荷重の組合せ及び許容応力状態を第 4-1 表に示す。

4.2.2 許容応力

通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)の許容応力を第 4-2 表に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)の使用材料の許容応力を第 4-3 表に示す。

第4-1表 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処施設）

施設区分		機器名称	設備分類	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他	通信連絡設備収容盤 (1)、(2)、(3) ^(注1)	常設重大事故 緩和設備	$D + P_D + M_D + S_s$ ^(注2)	IVAS
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	

(注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。

(注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。

第 4-2 表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{(注1)(注2)} (ボルト以外)				許容限界 ^(注2) (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
IV _{AS}	1.5f _t *	1.5f _s *	1.5f _c *	1.5f _b *	1.5f _t *	1.5f _s *

(注 1) 「鋼構造設計規準 SI 単位版」(2002 年日本建築学会)等の幅厚比の制限を満足させる。

(注 2) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

第 4-3 表 使用材料の許容応力（重大事故等対処施設）

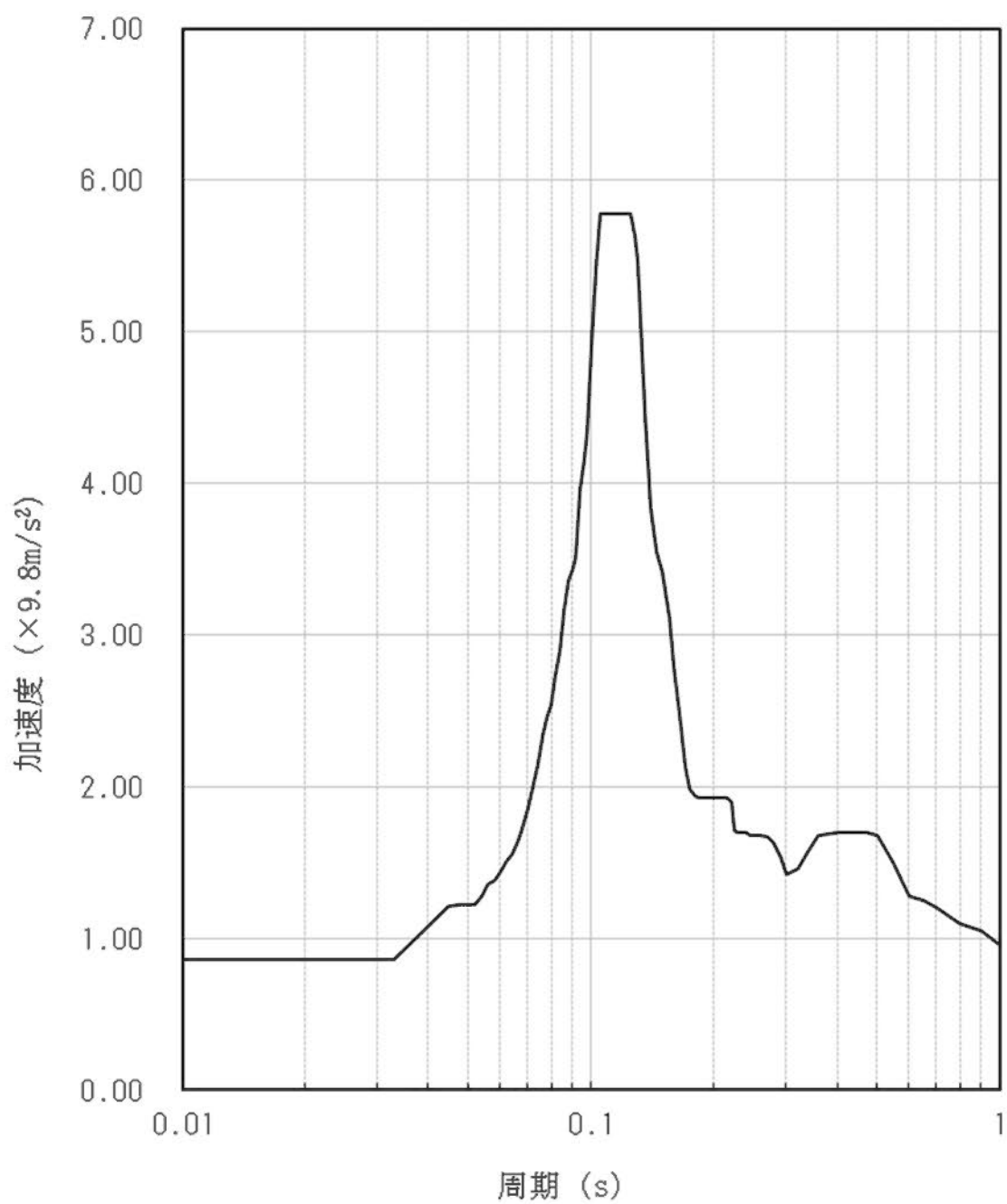
評価部位	材 料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	摘 要
盤フレーム	SS400	40 (雰囲気温度)	245	400	280	—
架台フレーム						
取付ボルト						呼径 M16

4.3 設計用地震力

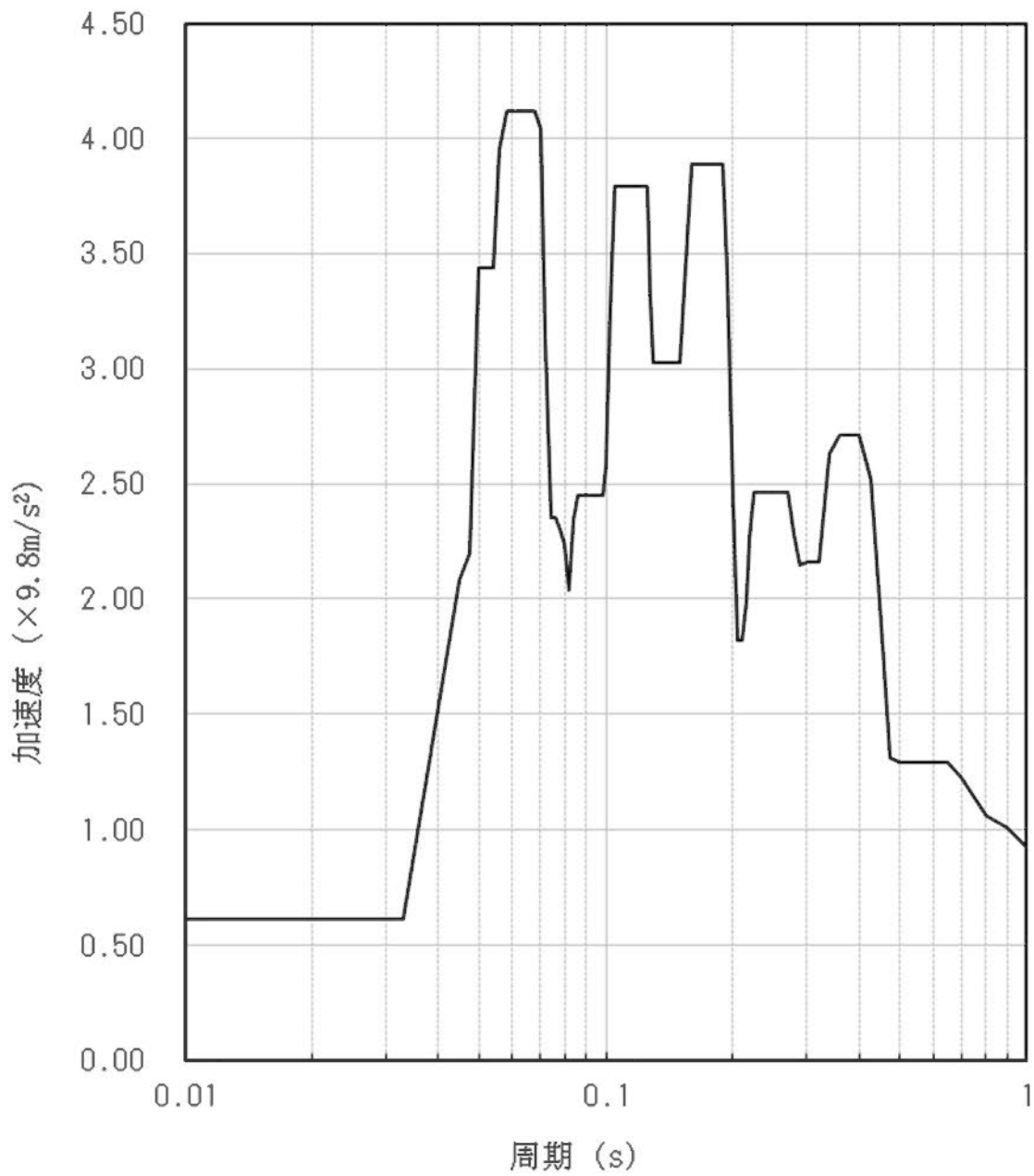
耐震計算に用いる入力地震力には、資料 12-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、第 4-4 表にて示す条件を用いて作成した第 4-1 図に示す設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は資料 12-6「地震応答解析の基本方針」第 3-1 表に記載の減衰定数を用いる。

第 4-4 表 設計用地震力

地震動	設置場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備 考
		建屋及び高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	
基準 地震動 Ss	緊急時対策棟 EL.25.30	緊急時対策棟 EL.25.30	水平	4.0	水平方向は、Ss-1～ 5 の X 方向及び Y 方 向の包絡曲線を用い る。 鉛直方向は、Ss-1～ 5 の包絡曲線を用い る。
			鉛直	1.0	



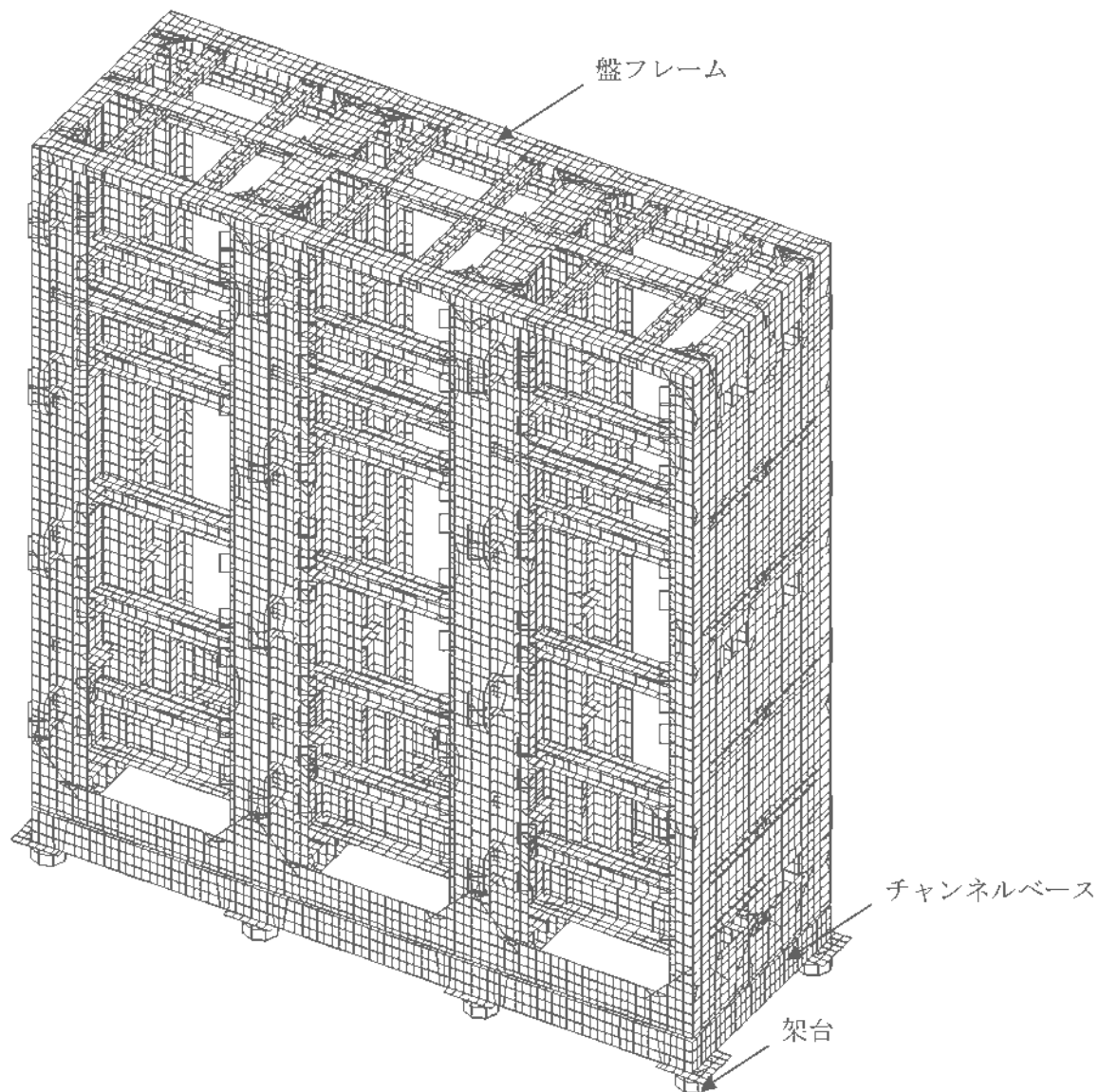
第 4-1 図(1/2) 基準地震動 Ss
 (緊急時対策棟 EL.25.30m 減衰定数 4.0%
 Ss-1~5 包絡 水平方向)



第 4-1 図(2/2) 基準地震動 Ss
 (緊急時対策棟 EL.25.30m 減衰定数 1.0%
 Ss-1~5 包絡 鉛直方向)

4.4 解析モデル及び諸元

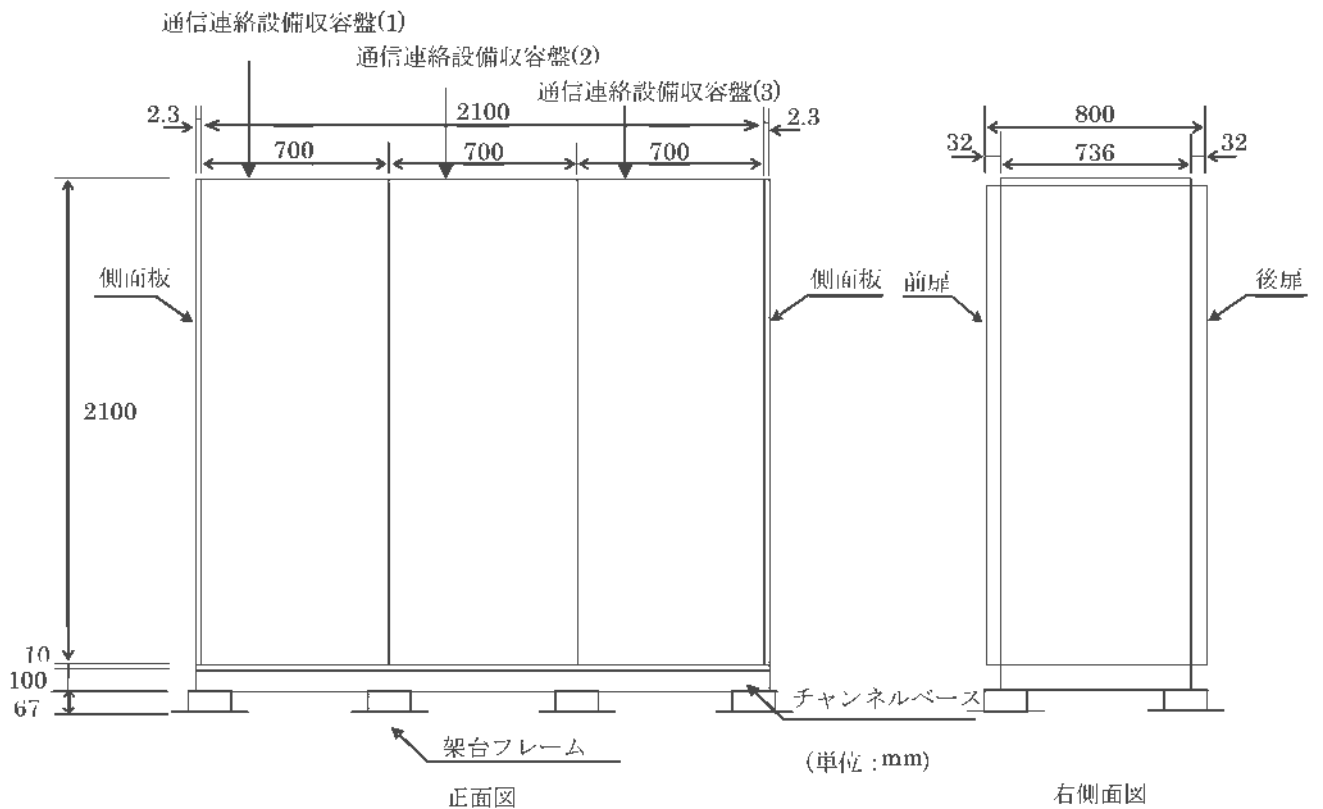
解析モデルは、盤を構成する鋼材をはり要素、鋼板、チャンネルベース及び架台をシェル要素としてモデル化した 3 次元 FEM モデルである。解析モデルを第 4-2 図に、解析モデルの諸元を第 4-5 表に示す。



第 4-2 図 解析モデル

第4-5表 解析モデルの諸元

項目		記号	単位	数値等
材質	盤	—	—	SS400
	架台	—	—	SS400
	取付ボルト	—	—	SS400
温度条件(雰囲気温度)		T	℃	40
縦弾性係数		E	MPa	2.01000×10^5
ポアソン比		ν	—	0.3
寸法	盤	—	—	第4-3図
	取付ボルト	—	—	M16×90mm×42本
要素数		—	個	26,310
節点数		—	個	24,011



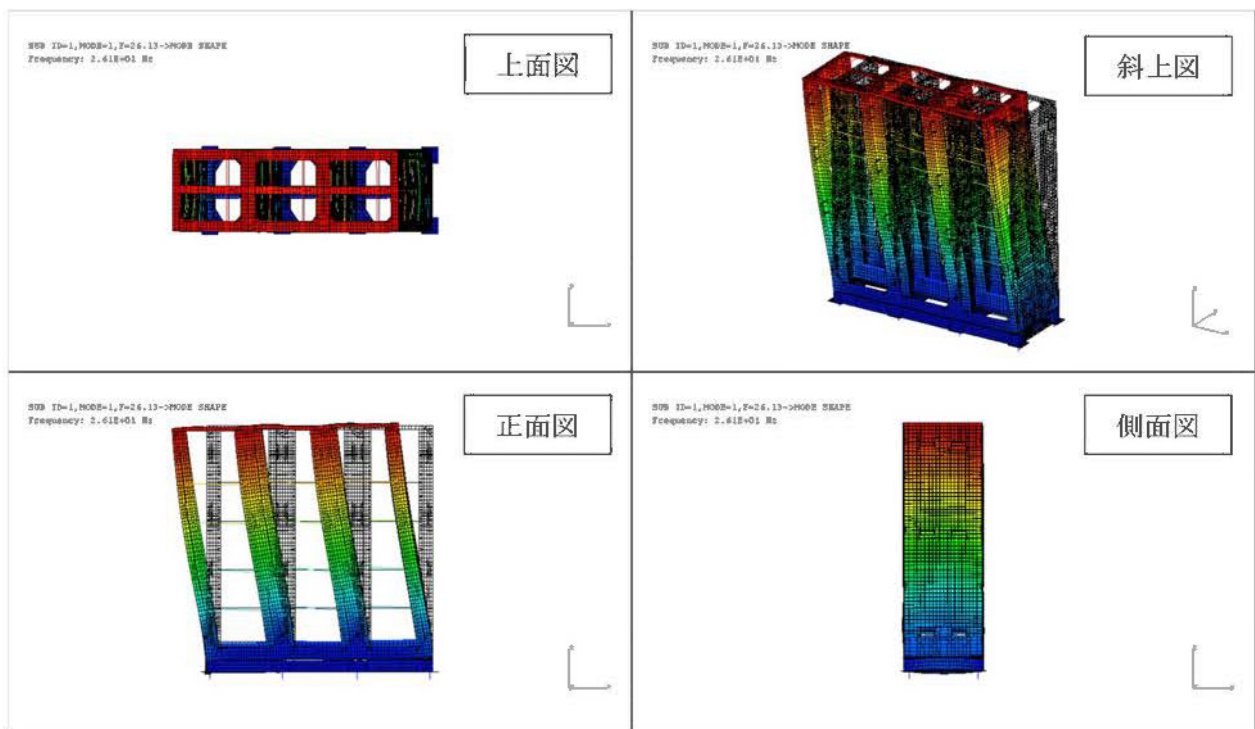
第4-3図 通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)外形図

4.5 固有値

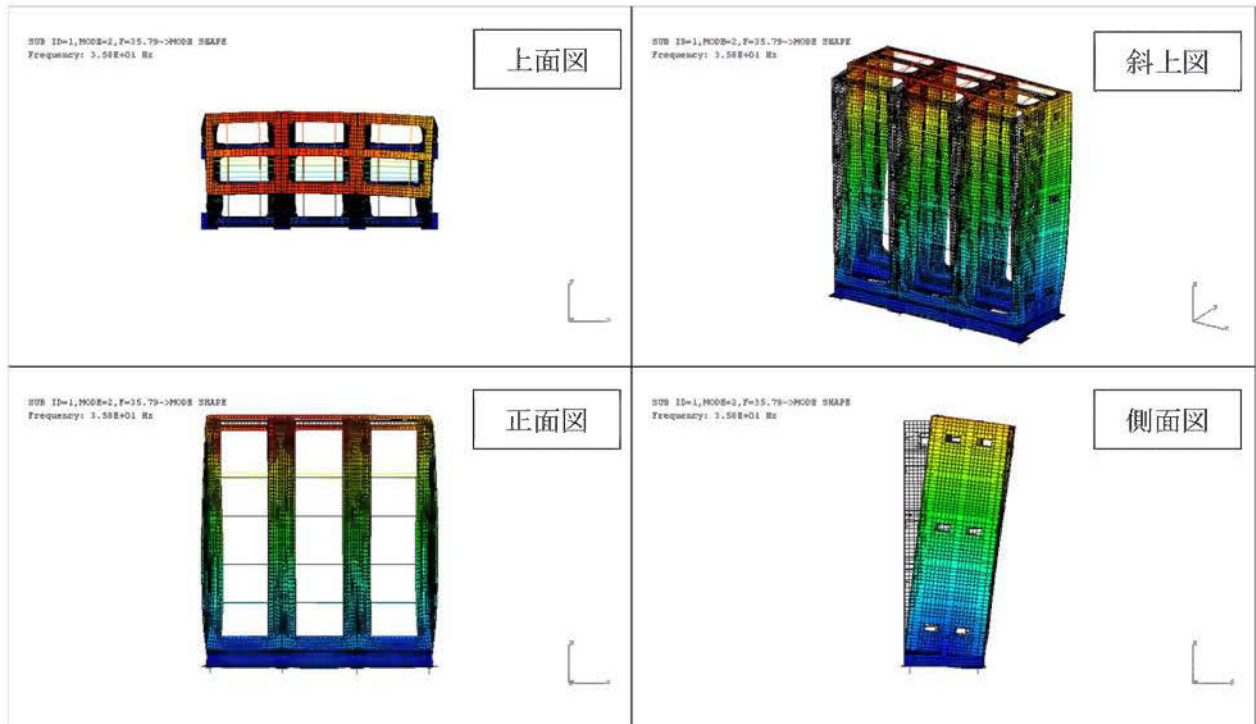
固有振動数を第 4-6 表に、振動モード図を第 4-4 図～第 4-6 図に示す。

第 4-6 表 固有振動数

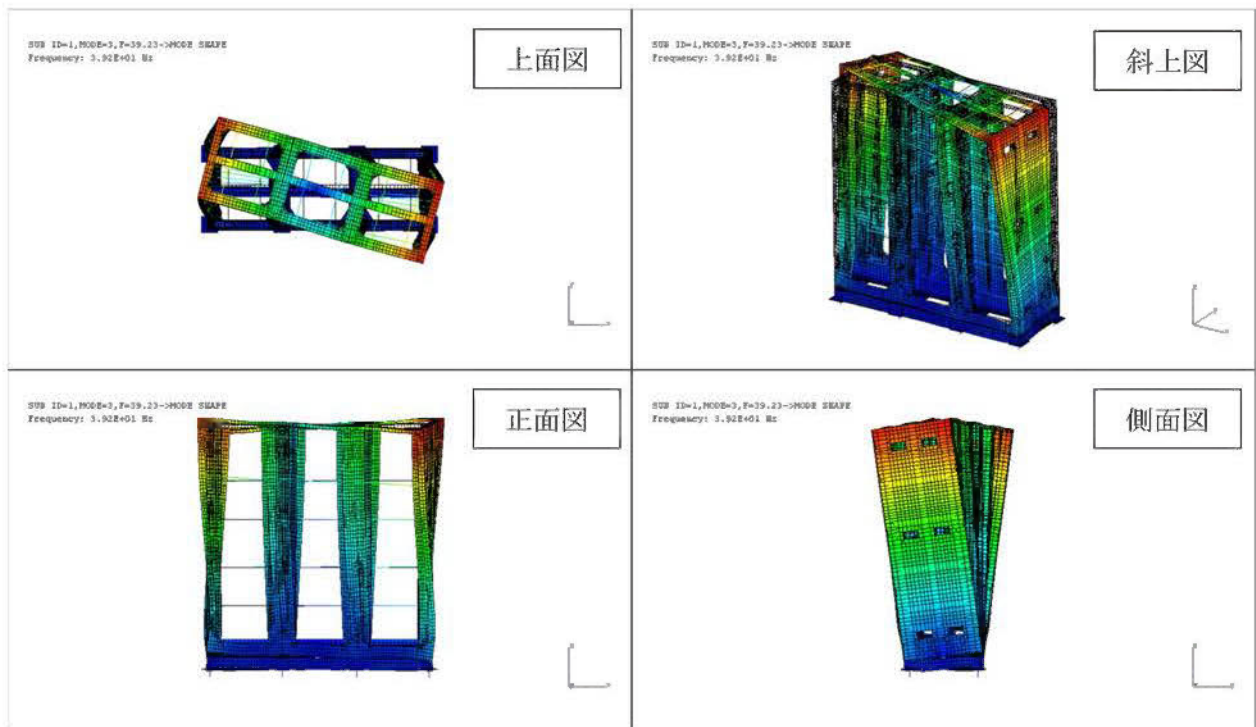
次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数			卓越相当部材
		X 方向	Y 方向	Z 方向	
1	26.12	-1.0914	-0.0127	-0.0000	盤フレーム
2	35.78	-0.0096	1.0988	0.0248	盤フレーム
3	39.23	0.0106	-0.0396	0.0240	盤フレーム



第 4-4 図 振動モード (1 次モード)



第 4-5 図 振動モード (2 次モード)



第 4-6 図 振動モード (3 次モード)

4.6 応力評価方法

4.6.1 盤フレーム、架台フレーム

FEM 解析の結果から得られるフレーム部分のはり要素の荷重、モーメントを用いて、以下の式により最大応力及び組合せ応力を計算する。

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力 σ_t		MPa	$\frac{F_x}{A}$
圧縮応力 σ_c		MPa	$\frac{F_x}{A}$
曲げ応力 σ_b		MPa	$\frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力 τ		MPa	$\frac{F_y}{A_y} + \frac{F_z}{A_z} + \frac{hT}{J}$
組合せ 応力	引張+曲げ	—	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5f_t^*}$
	圧縮+曲げ	—	$\frac{\sigma_c}{1.5f_c^*} + \frac{\sigma_b}{1.5f_b^*}$

ここで、

盤フレーム

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
F _x	はりに作用する 引張、圧縮力	N	引張	1189.5
			圧縮	2204.6
			組合せ (引張+曲げ)	31.4
			組合せ (圧縮+曲げ)	2198.6
F _y	はりに作用する Y軸方向のせん断力	N	—	384.6
F _z	はりに作用する Z軸方向のせん断力	N	—	48.0

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
M_y	はりに作用する Y軸周りの曲げ モーメント	N・mm	曲げ	10298.4
			組合せ (引張+曲げ)	
			組合せ (圧縮+曲げ)	3470.2
M_z	はりに作用する Z軸周りの曲げ モーメント	N・mm	曲げ	76529.0
			組合せ (引張+曲げ)	
			組合せ (圧縮+曲げ)	163559.1
T	はりに作用する ねじりモーメント	N・mm	—	2844.8
A	はりの断面積	mm ²	引張	347.5
			圧縮	856.3
			組合せ (引張+曲げ)	570.2
			組合せ (圧縮+曲げ)	856.3
A_y	はりの有効せん断 断面積 (Y軸方向)	mm ²	—	83.2
A_z	はりの有効せん断 断面積 (Z軸方向)	mm ²	—	128.0

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
Z_y	はりの Y 軸まわりの 断面係数	mm^3	曲げ	4420.0
			組合せ (引張+曲げ)	
			組合せ (圧縮+曲げ)	11940.0
Z_z	はりの Z 軸まわりの 断面係数	mm^3	曲げ	4570.0
			組合せ (引張+曲げ)	
			組合せ (圧縮+曲げ)	20800.0
J	はりのねじり剛性	mm^4	—	650.0
h	はりの板厚	mm	—	3.2

架台フレーム

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
F_x	はりに作用する 引張、圧縮力	N	引張	7989.0
			圧縮	14294.7
			組合せ (引張+曲げ)	7873.7
			組合せ (圧縮+曲げ)	14294.7
F_y	はりに作用する Y 軸方向のせん断力	N	—	3855.7
F_z	はりに作用する Z 軸方向のせん断力	N	—	3334.8

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
M_y	はりに作用する Y 軸周りの曲げ モーメント	N・mm	曲げ	30695.3
			組合せ (引張+曲げ)	
			組合せ (圧縮+曲げ)	
M_z	はりに作用する Z 軸周りの曲げ モーメント	N・mm	曲げ	1005701.7
			組合せ (引張+曲げ)	
			組合せ (圧縮+曲げ)	
T	はりに作用する ねじりモーメント	N・mm	—	43321.3
A	はりの断面積	mm ²	—	3067.0
A_y	はりの有効せん断 断面積 (Y 軸方向)	mm ²	—	1800.0
A_z	はりの有効せん断 断面積 (Z 軸方向)	mm ²	—	1800.0
Z_y	はりの Y 軸まわりの 断面係数	mm ³	—	81600.0
Z_z	はりの Z 軸まわりの 断面係数	mm ³	—	81600.0
J	はりのねじり剛性	mm ⁴	—	6782130.0
h	はりの板厚	mm	—	9.0

4.6.2 取付ボルト

FEM 解析の結果から得られる取付ボルト部の最大荷重を用いて、以下の式により最大応力及び組合せ応力を計算する。

応力の種類	単 位	応力計算式
引張応力 σ_{bt}	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$
せん断応力 τ_b	MPa	$\frac{F_y}{A_b} + \frac{F_z}{A_b} + \frac{hT}{J}$
組合せ応力	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$

ここで、

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
F_x	ボルト 1 本あたりに作用する引張力	N	取付ボルト	3732.9
F_y	ボルト 1 本あたりに作用する Y 軸方向のせん断力	N	取付ボルト	2467.6
F_z	ボルト 1 本あたりに作用する Z 軸方向のせん断力	N	取付ボルト	940.7
T	ボルト 1 本あたりに作用するねじりモーメント	N・mm	取付ボルト	6.8

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
A_b	ボルト 1 本あたりの断面積	mm^2	取付ボルト	157
J	ボルト 1 本あたりのねじり剛性	mm^4	取付ボルト	4585.4
h	ボルト 1 本あたりの半径	mm	取付ボルト	7.3

4.7 応力評価条件

(1) 応力計算条件

	項目	記号	単位	数値等
材質	盤フレーム	—	—	SS400
	架台フレーム	—	—	SS400
	取付ボルト	—	—	SS400
寸法	盤	—	—	第 4-3 図
	取付ボルト	—	—	M16×42 本

5. 機能維持評価

通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)の地震時及び地震後の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

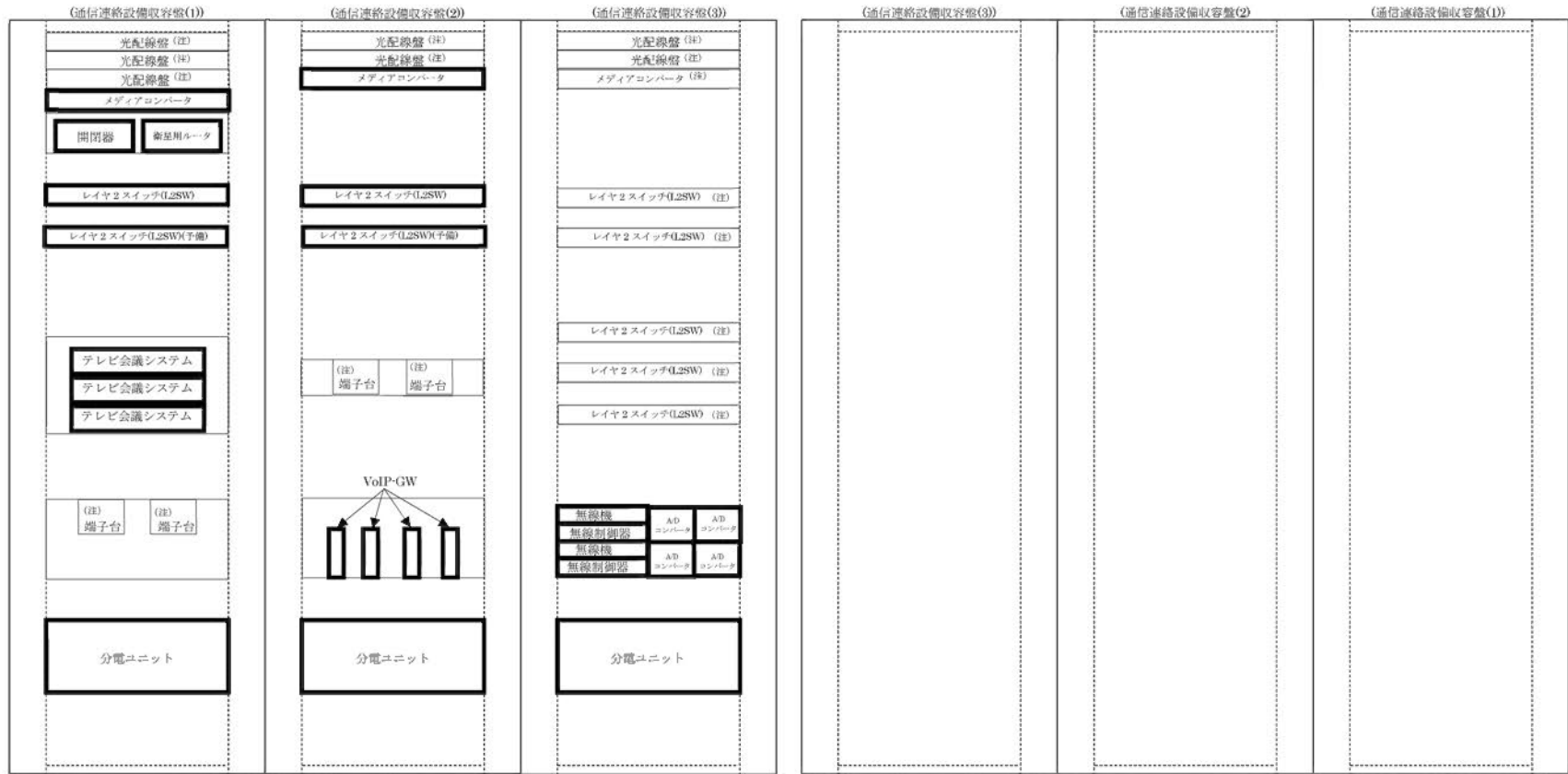
5.1 機能維持評価方法

通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)の評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、器具単体の正弦波加振試験（掃引試験及びビート試験）において、電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を第5-1表に示す。また、評価する器具の実装図を第5-1図に示す。

なお、評価用加速度には、地震応答解析により得られた器具取付位置における応答加速度の最大値を用いる。

第5-1表 機能確認済加速度

器具名称	方 向	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
メディアコンバータ	水平	10.0
	鉛直	10.0
レイヤ2スイッチ (L2SW)	水平	10.0
	鉛直	10.0
テレビ会議システム	水平	10.0
	鉛直	5.0
開閉器	水平	10.0
	鉛直	10.0
衛星用ルータ	水平	10.0
	鉛直	10.0
VoIP ゲートウェイ (VoIP-GW)	水平	10.0
	鉛直	10.0
A/D コンバータ	水平	10.0
	鉛直	10.0
無線機	水平	10.0
	鉛直	10.0
無線制御器	水平	10.0
	鉛直	10.0
分電ユニット	水平	6.0
	鉛直	2.0



前面

後面

: 評価対象

(注) : 重大事故等時に機能要求がない器具のため評価対象外

第 5-1 図 器具の実装図

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処施設としての評価結果

通信連絡設備収容盤(1)、(2)、(3)の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を第 6-1 表に、電氣的機能維持評価結果を第 6-2 表に示す。また、最大応力発生箇所を第 6-1 図～第 6-3 図に示す。

第6-1表 基準地震動 S_s による評価結果 ($D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$) (1/2)

評価対象設備		評価部位	応力分類		発生値	評価基準値	
					MPa	MPa	
計測制御系統施設	その他	通信連絡設備収容盤 (1)、(2)、(3)	盤フレーム	引張応力		4	279
				せん断応力		20	160
				圧縮応力		3	61
				曲げ応力		20	279
			組合せ 応力	引張+曲げ	0.08 ^(注1)	1 ^(注1)	
				圧縮+曲げ	0.09 ^(注1)		
			架台 フレーム	引張応力		3	279
				せん断応力		5	160
				圧縮応力		5	279
				曲げ応力		13	279
組合せ 応力	引張+曲げ	0.06 ^(注1)		1 ^(注1)			
	圧縮+曲げ	0.07 ^(注1)					

第6-1表 基準地震動 S_s による評価結果 ($D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$) (2/2)

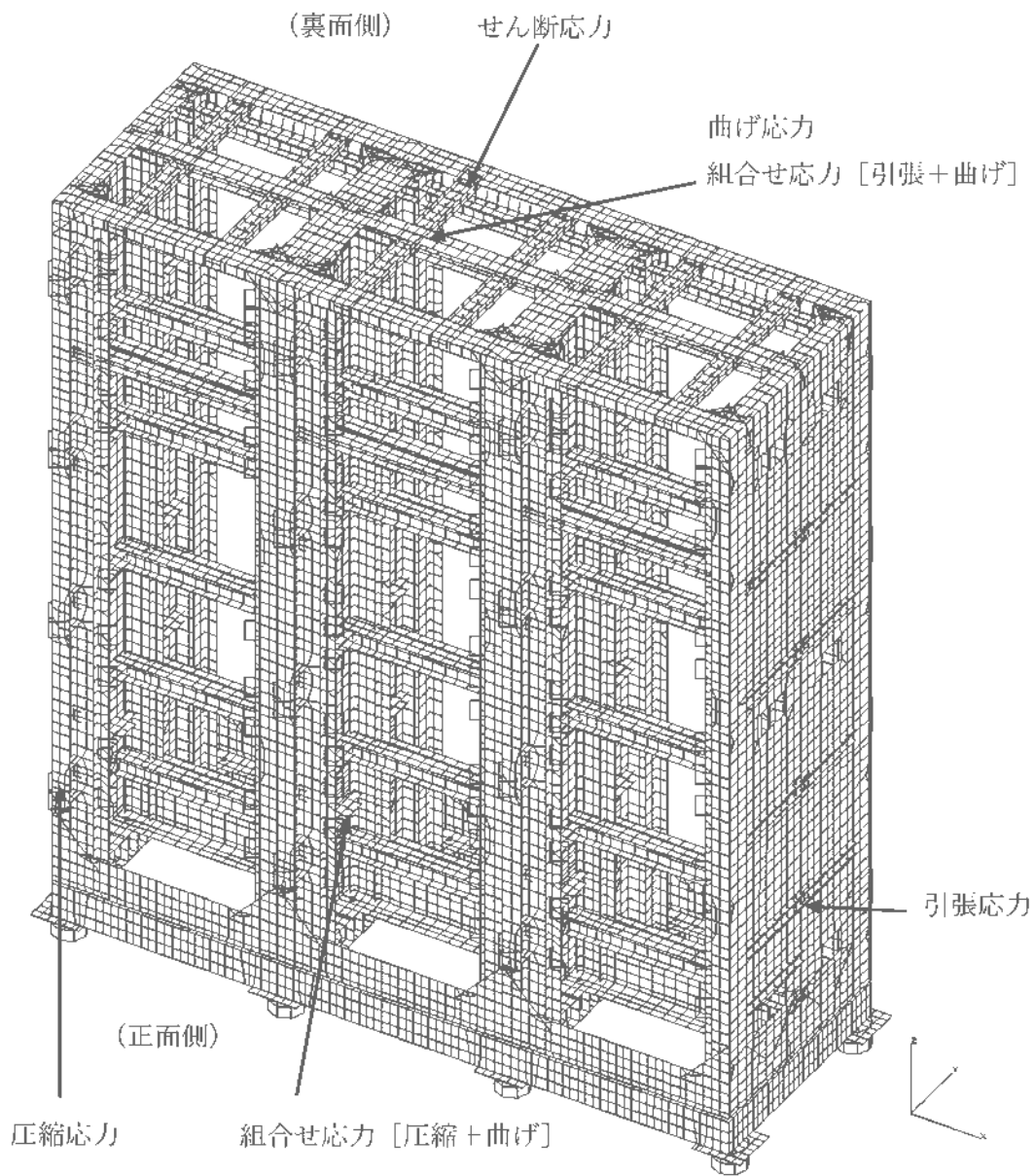
評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値	評価基準値	
				MPa	MPa	
計測制御系統施設	その他	通信連絡設備収容盤 (1)、(2)、(3)	取付 ボルト	引張応力	24	279
				せん断応力	22	160
				組合せ応力	24	279 ^(注2)

(注1) 単位なし

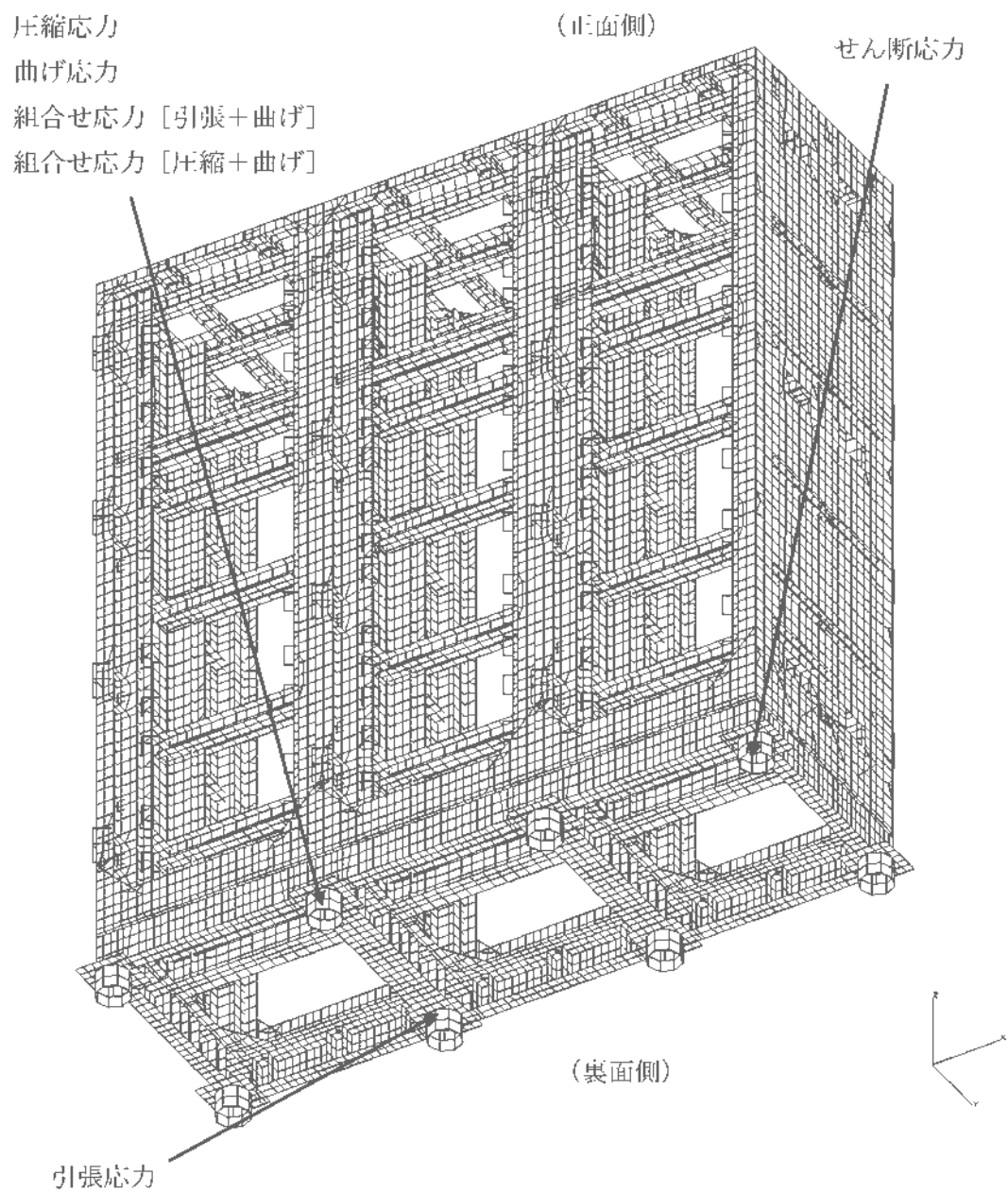
(注2) 引張応力(σ_{bt})とせん断応力(τ_b)との組合せ応力の評価基準値は $\text{Min}(1.4 \cdot 1.5f_t^* - 1.6\tau_b, 1.5f_t^*)$ とする。

第6-2表 電氣的機能維持評価結果（重大事故等対処施設）

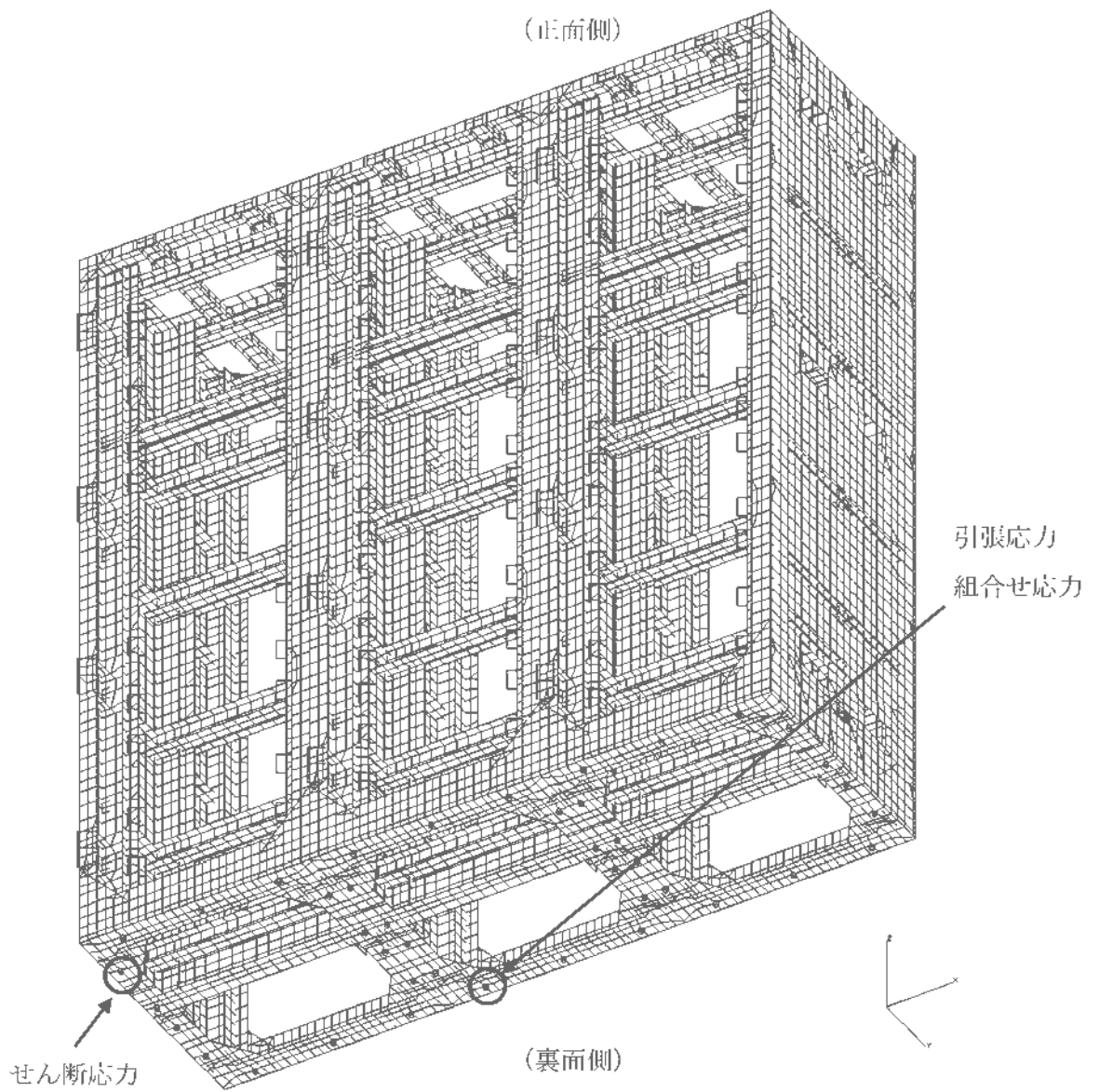
評価対象設備			機能確認済加速度との比較						詳細評価
			加速度 確認部位	水平加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		鉛直加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			
				評価用 加速度	機能確認済 加速度	評価用 加速度	機能確認済 加速度		
計測制御系統施設	その他	通信連絡設備収容盤 (1)、(2)、(3)	メディアコンバータ	—	1.7	10.0	0.7	10.0	—
			レイヤ2スイッチ (L2SW)	—	8.2	10.0	0.7	10.0	—
			テレビ会議システム	—	2.4	10.0	0.7	5.0	—
			開閉器	—	1.3	10.0	0.7	10.0	—
			衛星用ルータ	—	1.3	10.0	0.7	10.0	—
			VoIP ゲートウェイ (VoIP-GW)	—	1.7	10.0	0.7	10.0	—
			A/D コンバータ	—	2.0	10.0	0.7	10.0	—
			無線機	—	2.0	10.0	0.7	10.0	—
			無線制御器	—	2.0	10.0	0.7	10.0	—
			分電ユニット	—	1.2	6.0	0.7	2.0	—



第6-1図 盤フレームの最大応力発生箇所



第6-2図 架台脚部の最大応力発生箇所



第6-3図 盤-チャンネルベース間締結ボルトの最大応力発生箇所

通信機器収容盤 (1)、(2)、(3) の耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-1-2-3

玄海原子力発電所第3号機

目 次

	頁
1. 概 要	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 3 - 1
2. 評価内容	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 3 - 1

1. 概 要

本資料は、資料 12-9「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、通信機器収容盤(1)、(2)、(3)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。その耐震評価は地震応答解析、応力評価及び機能維持評価により行う。

通信機器収容盤(1)、(2)、(3)は、設計基準対象施設においては C クラス施設に、重大事故等対処施設においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、資料 12-1「耐震設計の基本方針」の「2.1 基本方針」に示す常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の耐震評価を示す。

2. 評価内容

耐震評価は資料 12-17-1-1-2「通信機器収容盤(1)、(2)、(3)の耐震計算書」による。

衛星アンテナの耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-1-2-4

玄海原子力発電所第3号機

目 次

	頁
1. 概 要	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 4 - 1
2. 基本方針	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 4 - 1
2.1 構造の説明	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 4 - 1
2.2 評価方針	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 4 - 2
3. 耐震評価箇所	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 4 - 3
4. 地震応答解析及び応力評価	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 4 - 3
4.1 基本方針	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 4 - 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 4 - 4
4.3 設計用地震力	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 4 - 8
4.4 解析モデル及び諸元	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 4 - 11
4.5 固有値	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 4 - 14
4.6 応力評価方法	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 4 - 15
4.7 応力評価条件	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 4 - 52
5. 機能維持評価	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 4 - 53
5.1 機能維持評価方法	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 4 - 53
6. 評価結果	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 4 - 54
6.1 重大事故等対処施設としての評価結果	12 (3) - 17 - 1 - 2 - 4 - 54

1. 概要

本資料は、資料 12-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、衛星アンテナが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は地震応答解析、応力評価及び機能維持評価により行う。

衛星アンテナは、設計基準対象施設においては C クラス施設に、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。以下、資料 12-1「耐震設計の基本方針」の「2.1 基本方針」に示す常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

資料 12-11「機器・配管の耐震支持方針」にて設定した電気計測制御装置の支持方針に基づき設計した衛星アンテナの構造計画を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 衛星アンテナの構造計画

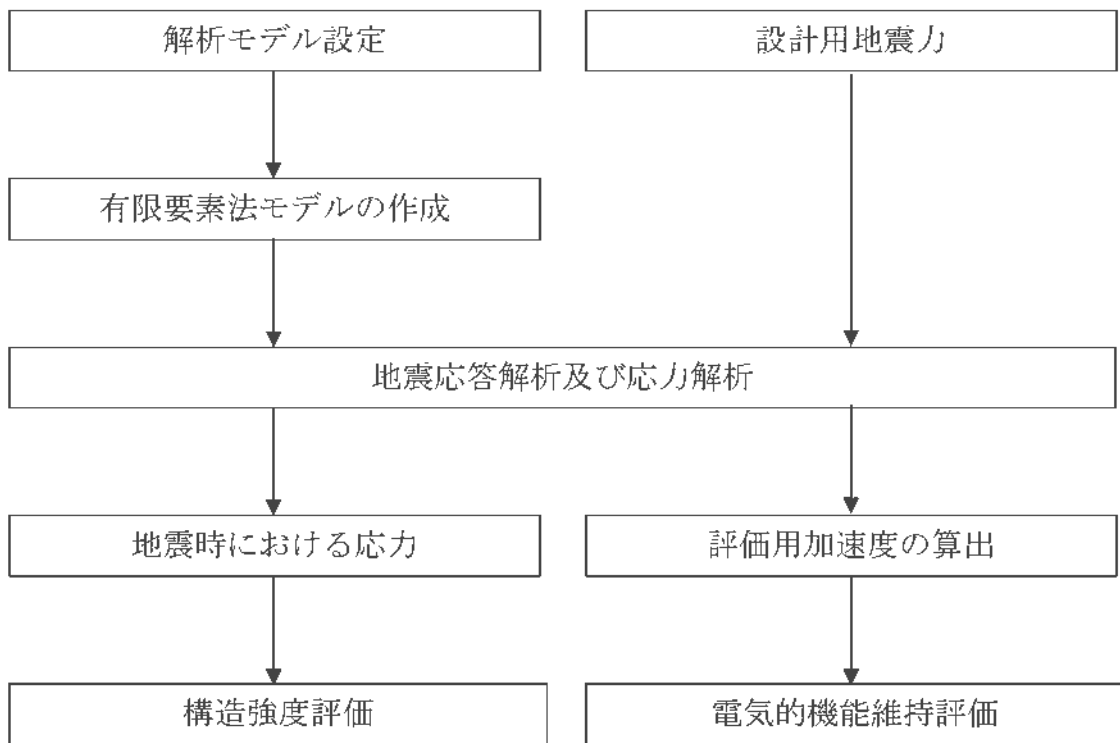
設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
衛星アンテナ	アンテナ (注)	アンテナ、支持柱及び補強材を取付ボルトにて相互に固定する。 また、支持柱及び補強材を基礎ボルトにて基礎面に据え付ける。	

(注) 機能維持評価を行う、送受信装置(ODU)を実装するアンテナ。

2.2 評価方針

衛星アンテナの応力評価は、資料 12-9「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 構造の説明」にて示す衛星アンテナの部位を踏まえ、「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所に作用する応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、衛星アンテナの機能維持評価は、資料 12-9「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。衛星アンテナの耐震評価の手順は、平成 29 年 8 月 25 日付け原規規発第 1708253 号にて認可された工事計画の実績に基づき実施する。

衛星アンテナの耐震評価フローを第 2-1 図に示す。



第 2-1 図 衛星アンテナの耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

衛星アンテナの耐震評価は、耐震評価上厳しくなるアンテナ、支持柱、補強材及び基礎ボルトを選定して実施する。衛星アンテナの耐震評価箇所について、第 2-1 表の説明図に示す。

4. 地震応答解析及び応力評価

4.1 基本方針

- (1) 衛星アンテナの固有振動数、応力及び荷重を算定するための地震応答解析には、平成 29 年 8 月 25 日付け原規規発第 1708253 号にて認可された工事計画にて実績のある 3 次元 FEM モデルによる解析手法を適用する。
- (2) 固有振動数及び荷重を求めるため、衛星アンテナをはり要素及びシェル要素によりモデル化し、固有振動数が 30Hz 以上である場合は最大床加速度の 1.2 倍を用いた静解析を、20Hz 以上 30Hz 未満である場合はスペクトルモーダル解析及び最大床加速度の 1.2 倍を用いた静解析を、20Hz 未満である場合はスペクトルモーダル解析を実施する。
- (3) 解析コードは「MSC NASTRAN Ver.2008.0.0」を使用する。なお、評価に用いる解析コード「MSC NASTRAN Ver.2008.0.0」の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。
- (4) 境界条件として、支持柱及び補強材の基礎ボルトは剛接続とし、固定部を完全拘束する。また、アンテナと支持柱間は、球面ジョイントを模擬した回転自由なピン接続とし、アンテナ（反射鏡部）とアンテナ（補強枠）の接続部及び取付ボルトは剛接続とする。
- (5) 送受信装置(ODU)の質量は、重心に相当する位置に付加する。
アンテナ、支持柱の総質量は 128.0kg である。また、補強材の総質量は 61.2kg、送受信装置(ODU)の質量は 5.1kg である。
- (6) 許容応力について JSME S NJ1-2012 の Part3 を用いて計算する際に、温度が図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。但し、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

衛星アンテナの荷重の組合せ及び許容応力状態を第 4-1 表に示す。

4.2.2 許容応力

衛星アンテナの許容応力を第 4-2 表に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

衛星アンテナの使用材料の許容応力を第 4-3 表に示す。

第4-1表 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処施設）

施設区分		機器名称	設備分類	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他	衛星アンテナ ^(注1)	常設重大事故 緩和設備	$D + P_D + M_D + S_s + P_k$ ^(注2)	Ⅲ _{AS} ^(注3)
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_k$	

(注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。

(注2) 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_k$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

(注3) 衛星アンテナの塑性変形は機能喪失に直結するため、発生応力が弾性域内にあることを確認する。

第4-2表 許容応力（その他の支持構造物）

許容 応力 状態	許容限界 ^{(注1)(注2)} (ボルト以外)				許容限界 ^(注2) (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲 げ	引張	せん断
ⅢAS ^(注3)	1.5f _t	1.5f _s	1.5f _c	1.5f _b	1.5f _t	1.5f _s

(注1) 「鋼構造設計規準 SI単位版」(2002年日本建築学会)等の幅厚比の制限を満足させる。

(注2) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

(注3) 衛星アンテナの塑性変形は機能喪失に直結するため、発生応力が弾性域内にあることを確認する。

第4-3表 使用材料の許容応力（重大事故等対処施設）

(1) アンテナ、支持柱及び補強材

評価部位	材 料	温度条件 (°C)	Sy (MPa)	Su (MPa)	F (MPa)	摘 要
支持柱 補強材	SS400	40 (雰囲気温度)	245	400	245	—
	STKR400		245	400	245	
	SUS304		205	520	205	
アンテナ	A5052S -H112		70 ^(注1)	175 ^(注1)	70	—
	A5052P -H32		155 ^(注2)	215 ^(注2)	150	

(注1) JIS H 4100-2006にて規定される材料を使用。

(注2) JIS H 4000-2014にて規定される材料を使用。

(2) 基礎ボルト

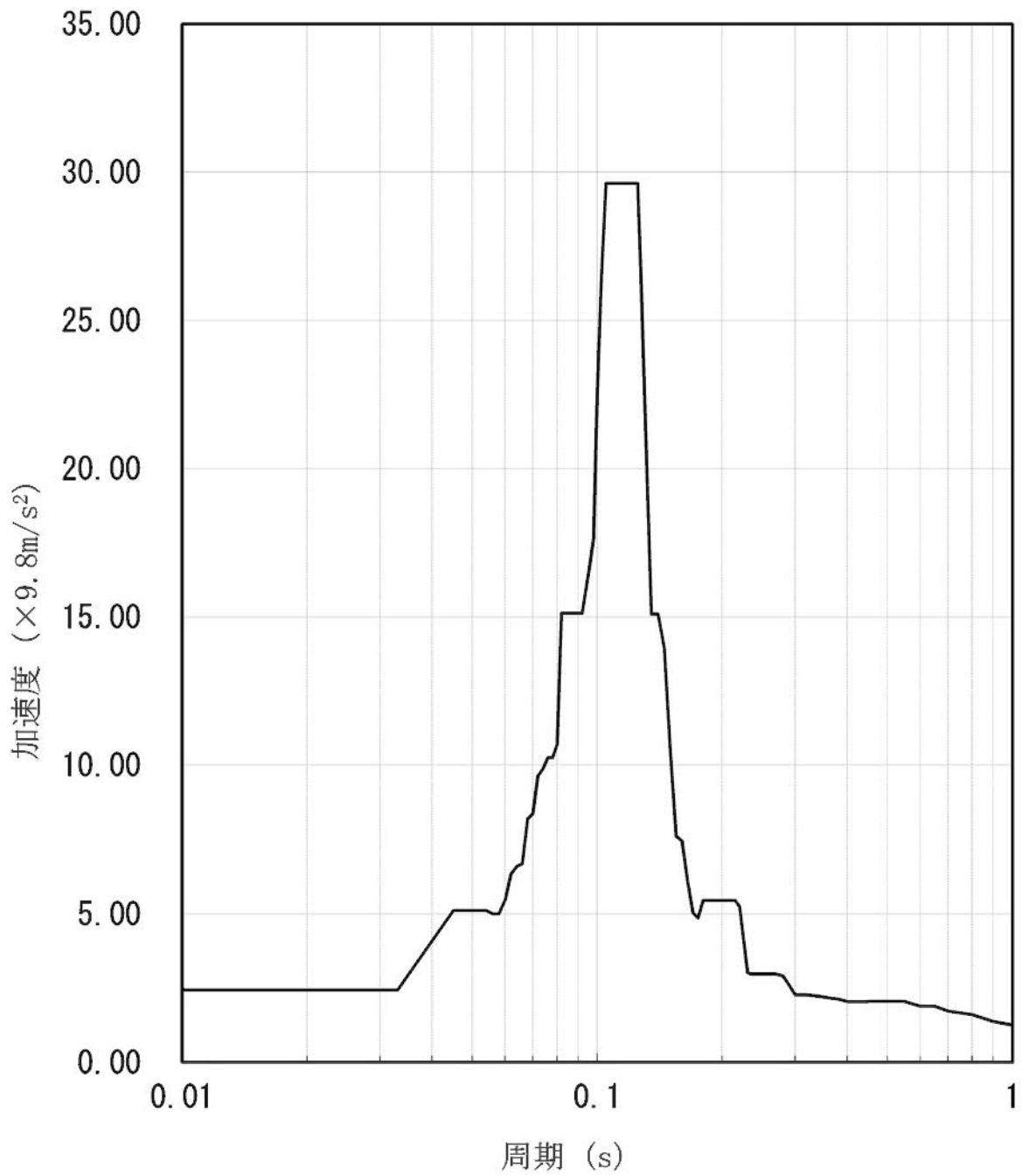
評価部位	材 料	温度条件 (°C)	Sy (MPa)	Su (MPa)	F (MPa)	摘 要
基礎ボルト (補強材)	SS400	40 (雰囲気温度)	245	400	245	呼径 M12
基礎ボルト (支持柱)			235	400	235	呼径 M20

4.3 設計用地震力

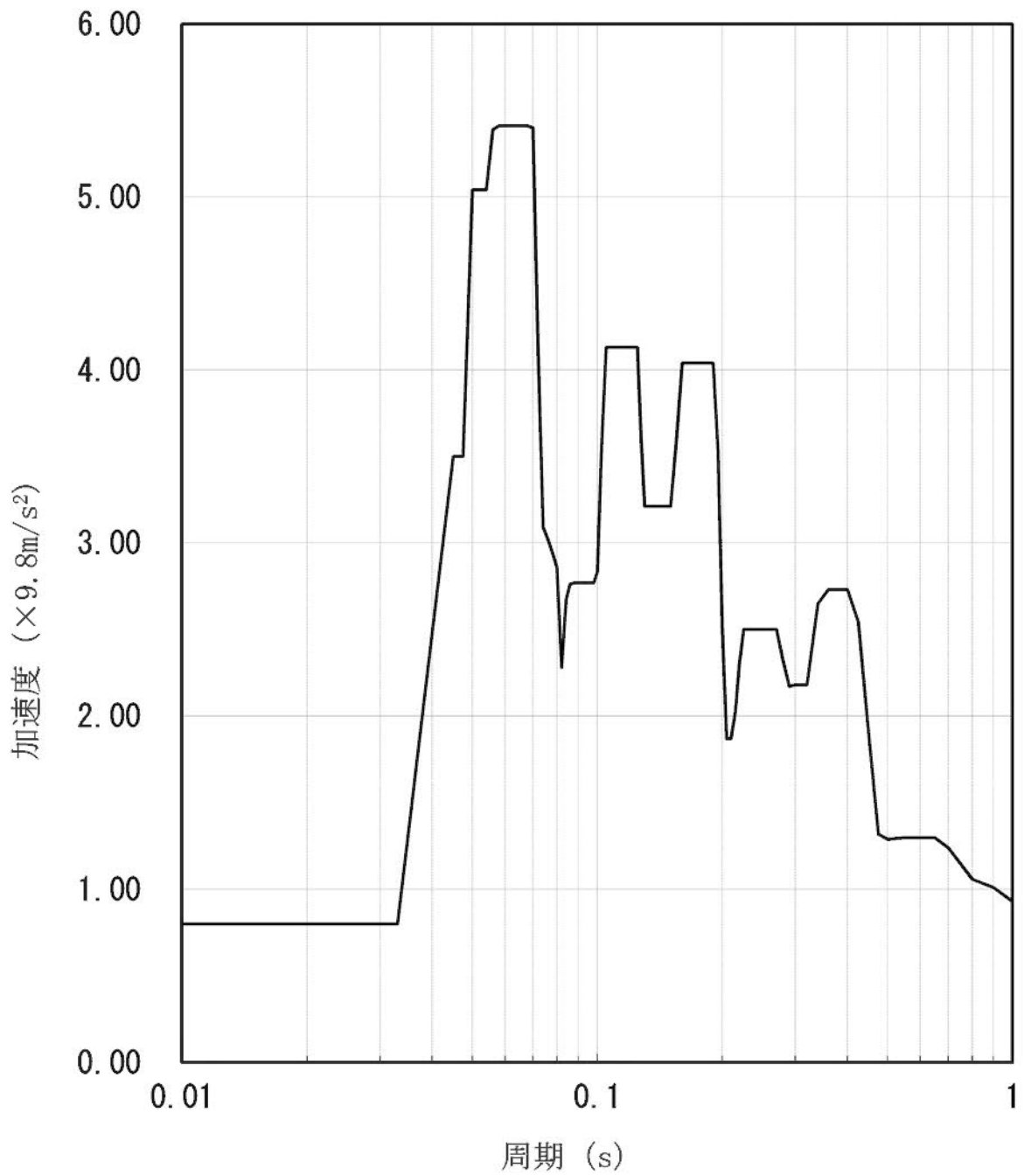
耐震計算に用いる入力地震力には、資料 12-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、第 4-4 表にて示す条件を用いて作成した第 4-1 図及び第 4-2 図に示す設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は資料 12-6「地震応答解析の基本方針」第 3-1 表に記載の減衰定数を用いる。

第 4-4 表 設計用地震力

地震動	設置場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備 考
		建屋 及び高さ (m)	方向	減衰 定数 (%)	
基準 地震動 Ss	緊急時対策棟 EL.42.70	緊急時対策棟 EL.42.70	水平	1.0	水平方向は Ss-1~5 の X 方向及び Y 方向 の包絡曲線を用い る。 鉛直方向は Ss-1~5 の包絡曲線を用い る。
			鉛直	1.0	



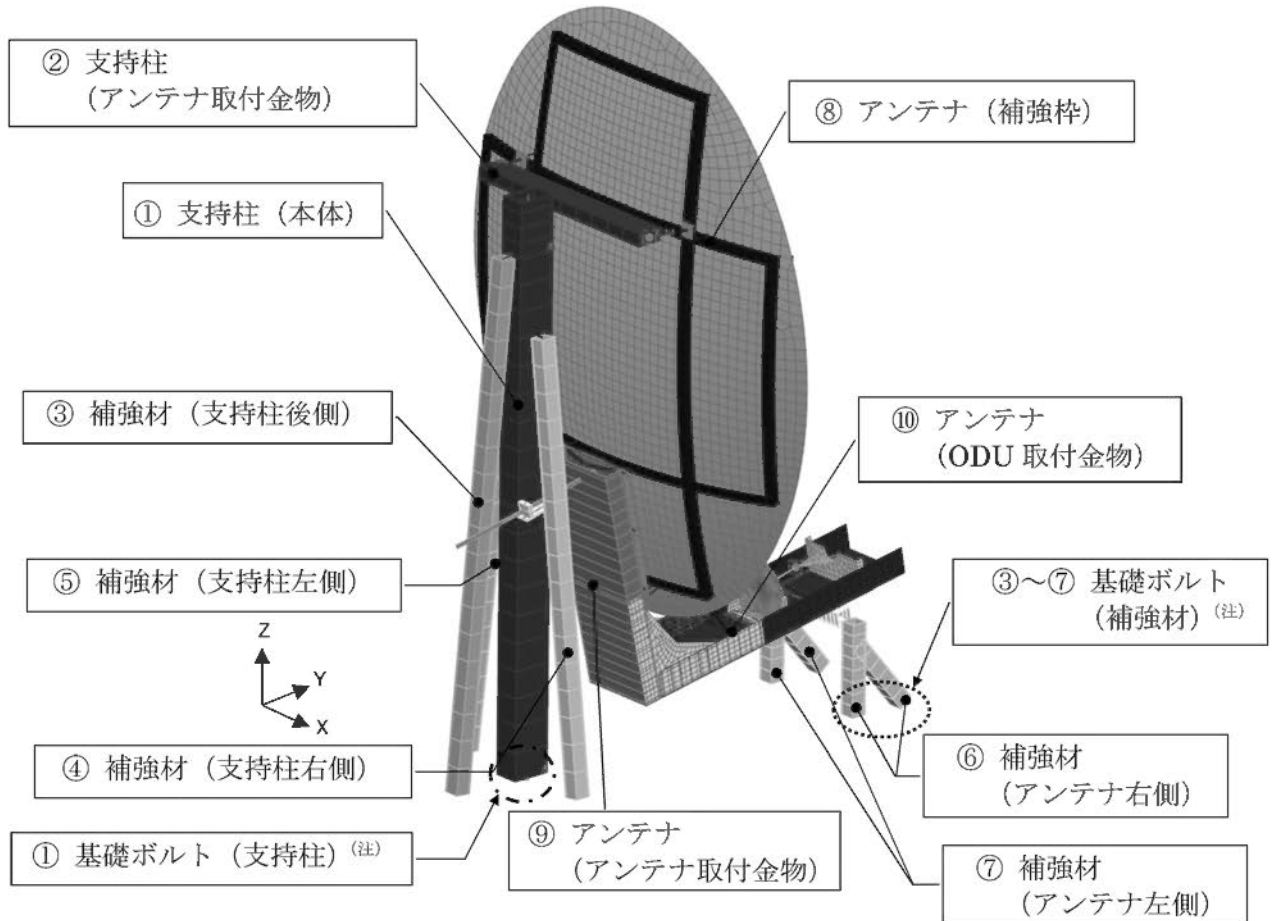
第4-1図 基準地震動 Ss
 (緊急時対策棟 EL.42.70m 減衰定数 1.0%
 Ss-1~5 包絡 水平方向)



第4-2図 基準地震動 Ss
 (緊急時対策棟 EL.42.70m 減衰定数 1.0%
 Ss-1~5 包絡 鉛直方向)

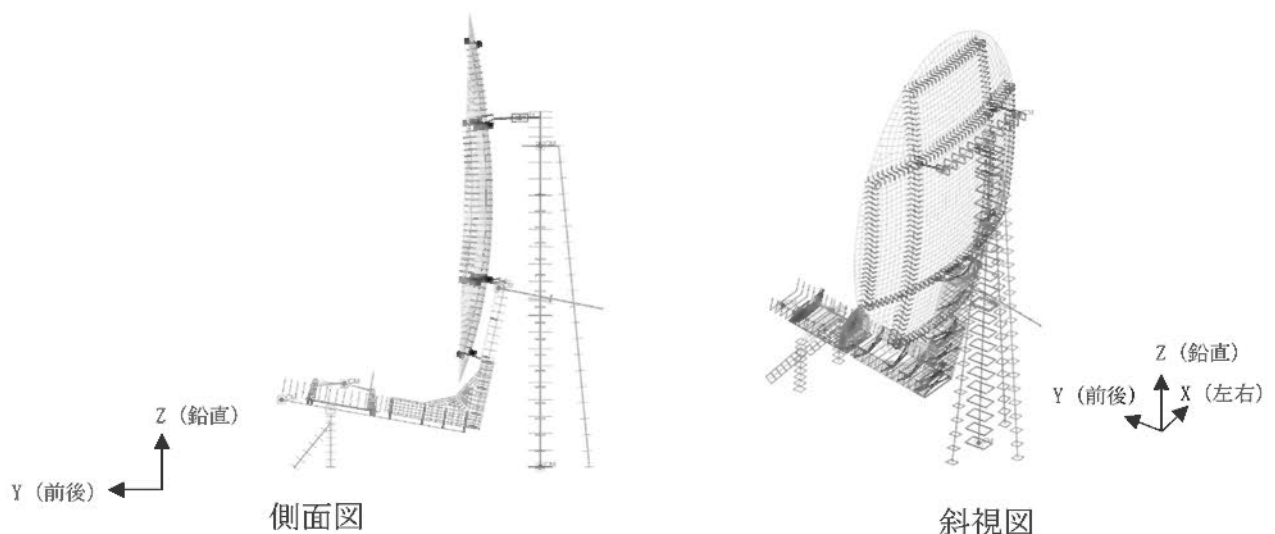
4.4 解析モデル及び諸元

解析モデルを第 4-3 図及び第 4-4 図に、解析モデルの諸元を第 4-5 表に示す。



(注) 基礎ボルトの番号は、支持柱及び補強材の番号による

第 4-3 図 解析モデル (全体図)



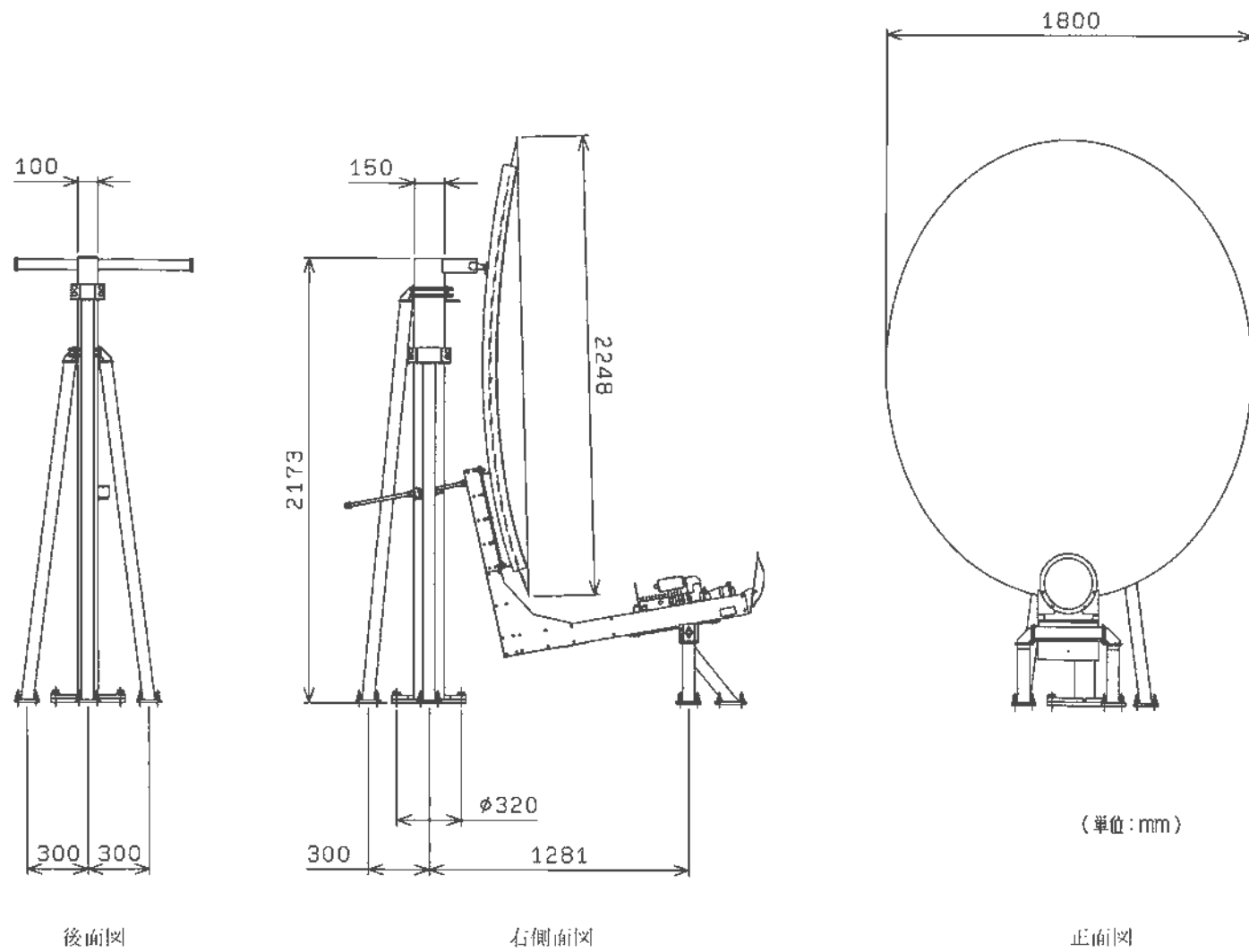
第 4-4 図 解析モデル (はりモデル図)

第4-5表 解析モデルの諸元

項目		記号	単位	数値等
材 質	①, ② 支持柱	—	—	SS400
	③~⑦ 補強材			STKR400
				SUS304
	⑧~⑩ アンテナ	—	—	A5052S-H112
				A5052P-H32
温度条件 (雰囲気温度)		T	℃	40
縦弾性係数	SS400	E	MPa	2.012×10^5
	STKR400	E	MPa	2.012×10^5
	SUS304	E	MPa	1.938×10^5
	A5052S-H112	E	MPa	0.693×10^5
	A5052P-H32	E	MPa	0.694×10^5
ポアソン比	SS400	v	—	0.30
	STKR400	v	—	0.30
	SUS304	v	—	0.25 ^(注1)
	A5052S-H112	v	—	0.33 ^(注2)
	A5052P-H32	v	—	0.33 ^(注2)
寸 法	衛星アンテナ	—	—	第4-5図
要素数		—	個	4,970
節点数		—	個	4,942

(注1) 「金属材料の弾性係数」(2008年日本機械学会)から算出された値を使用。

(注2) 「金属材料の弾性係数」(2008年日本機械学会)に記載された値を使用。



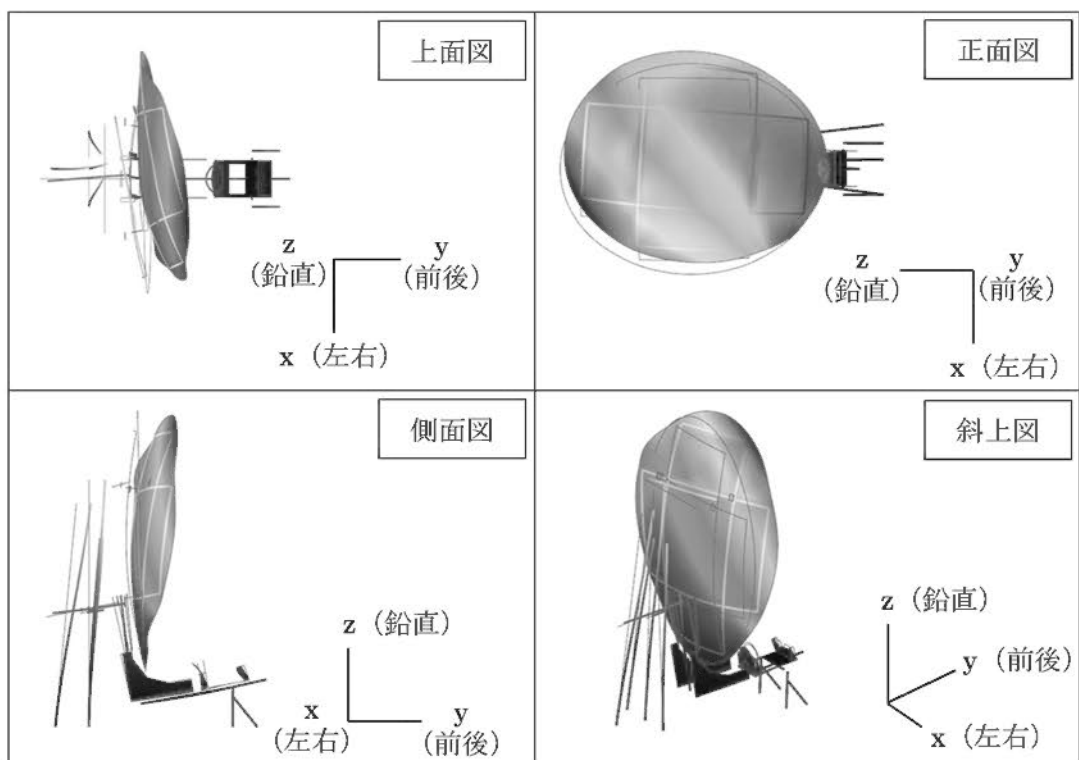
第4-5図 衛星アンテナ 外形図

4.5 固有値

固有振動数を第 4-6 表に、振動モード図を第 4-6 図に示す。

第 4-6 表 固有振動数

次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数			卓越相当部材
		X 方向	Y 方向	Z 方向	
1	31.1	-0.0980	0.2451	-0.0196	アンテナ



第 4-6 図 振動モード (1 次モード)

4.6 応力評価方法

4.6.1 支持柱（本体）

FEM 解析の結果から得られる支持柱（本体）のはり要素の荷重、モーメントを用いて、以下の式により最大の組合せ応力を計算する。

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力 σ_t		MPa	$\frac{F_x}{A}$
圧縮応力 σ_c		MPa	$-\frac{F_x}{A}$
曲げ応力 σ_b		MPa	$\frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力 τ		MPa	$\sqrt{\left(\frac{F_1}{A_1}\right)^2 + \left(\frac{F_2}{A_2}\right)^2} \cdot \frac{M}{Z_p}$
組合せ 応力	引張+曲げ	—	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5f_t}$
	圧縮+曲げ	—	$\frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5f_b}$

ここで、

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
F_x	はりに作用する 引張、圧縮力	N	引張	21,129.2
			圧縮	-1,141.1
			組合せ (引張+曲げ)	13,815.3
			組合せ (圧縮+曲げ)	-177.2
F_y	はりに作用する Y軸方向のせん断力	N	—	-5,241.8
F_z	はりに作用する Z軸方向のせん断力	N	—	23.2
M_y	はりに作用する Y軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	1,610.1
			組合せ (引張+曲げ)	13,327.3
			組合せ (圧縮+曲げ)	242,914.9
M_z	はりに作用する Z軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	5,085,579.5
			組合せ (引張+曲げ)	5,047,456.2
			組合せ (圧縮+曲げ)	422,977.4
M_x	はりに作用する ねじりモーメント	N・mm	—	327,179.0

A	はりの断面積	mm ²	引張	2,763.0
			圧縮	2,763.0
			組合せ (引張+曲げ)	2,763.0
			組合せ (圧縮+曲げ)	2,763.0
A _y	はりの有効せん断 断面積 (Y 軸方向)	mm ²	—	1,492.0
A _z	はりの有効せん断 断面積 (Z 軸方向)	mm ²	—	806.8
Z _y	はりの Y 軸まわりの 断面係数	mm ³	曲げ	88,800.0
			組合せ (引張+曲げ)	88,800.0
			組合せ (圧縮+曲げ)	88,800.0
Z _z	はりの Z 軸まわりの 断面係数	mm ³	曲げ	111,333.3
			組合せ (引張+曲げ)	111,333.3
			組合せ (圧縮+曲げ)	111,333.3
Z _p	極断面係数	mm ³	—	162,000.0

4.6.2 支持柱（アンテナ取付金物）

FEM 解析の結果から得られる支持柱（アンテナ取付金物）のはり要素の荷重、モーメントを用いて、以下の式により最大の組合せ応力を計算する。

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力 σ_t		MPa	$\frac{F_x}{A}$
圧縮応力 σ_c		MPa	$-\frac{F_x}{A}$
曲げ応力 σ_b		MPa	$\frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力 τ		MPa	$\sqrt{\left(\frac{F_y}{A}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{A}\right)^2} + \frac{M_x}{Z_x}$
組合せ 応力	引張+曲げ	—	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5f_t}$
	圧縮+曲げ	—	$\frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5f_b}$

ここで、

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
F_x	はりに作用する 引張、圧縮力	N	引張	—
			圧縮	-1,399.0
			組合せ (引張+曲げ)	—
			組合せ (圧縮+曲げ)	-1,137.5
F_y	はりに作用する Y軸方向のせん断力	N	—	-1,684.0
F_z	はりに作用する Z軸方向のせん断力	N	—	548.4
M_y	はりに作用する Y軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	247,773.3
			組合せ (引張+曲げ)	—
			組合せ (圧縮+曲げ)	247,773.3
M_z	はりに作用する Z軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	691,465.6
			組合せ (引張+曲げ)	—
			組合せ (圧縮+曲げ)	691,465.6
M_x	はりに作用する ねじりモーメント	N・mm	—	87,993.4

A	はりの断面積	mm ²	引張	—
			圧縮	892.7
			組合せ (引張+曲げ)	—
			組合せ (圧縮+曲げ)	892.7
A _y	はりの有効せん断 断面積 (Y 軸方向)	mm ²	—	551.7
A _z	はりの有効せん断 断面積 (Z 軸方向)	mm ²	—	191.9
Z _y	はりの Y 軸まわりの 断面係数	mm ³	曲げ	15,200.0
			組合せ (引張+曲げ)	—
			組合せ (圧縮+曲げ)	15,200.0
Z _z	はりの Z 軸まわりの 断面係数	mm ³	曲げ	22,400.0
			組合せ (引張+曲げ)	—
			組合せ (圧縮+曲げ)	22,400.0
Z _p	極断面係数	mm ³	—	28,900.0

4.6.3 補強材（支持柱後側）

FEM 解析の結果から得られる補強材（支持柱後側）のはり要素の荷重、モーメントを用いて、以下の式により最大の組合せ応力を計算する。

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力 σ_t		MPa	$\frac{F_x}{A}$
圧縮応力 σ_c		MPa	$-\frac{F_x}{A}$
曲げ応力 σ_b		MPa	$\frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力 τ		MPa	$\sqrt{\left(\frac{F_y}{A}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{A}\right)^2} + \frac{M_x}{Z_x}$
組合せ 応力	引張+曲げ	—	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5f_t}$
	圧縮+曲げ	—	$\frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5f_b}$

ここで、

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
F_x	はりに作用する 引張、圧縮力	N	引張	—
			圧縮	-21,593.0
			組合せ (引張+曲げ)	—
			組合せ (圧縮+曲げ)	-21,593.0
F_y	はりに作用する Y軸方向のせん断力	N	—	-18.4
F_z	はりに作用する Z軸方向のせん断力	N	—	-327.4
M_y	はりに作用する Y軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	257,293.6
			組合せ (引張+曲げ)	—
			組合せ (圧縮+曲げ)	257,293.6
M_z	はりに作用する Z軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	14,879.1
			組合せ (引張+曲げ)	—
			組合せ (圧縮+曲げ)	14,879.1
M_x	はりに作用する ねじりモーメント	N・mm	—	17,192.1

A	はりの断面積	mm ²	引張	—
			圧縮	700.7
			組合せ (引張+曲げ)	—
			組合せ (圧縮+曲げ)	700.7
A _y	はりの有効せん断 断面積 (Y 軸方向)	mm ²	—	291.5
A _z	はりの有効せん断 断面積 (Z 軸方向)	mm ²	—	291.5
Z _y	はりの Y 軸まわりの 断面係数	mm ³	曲げ	12,300.0
			組合せ (引張+曲げ)	—
			組合せ (圧縮+曲げ)	12,300.0
Z _z	はりの Z 軸まわりの 断面係数	mm ³	曲げ	12,300.0
			組合せ (引張+曲げ)	—
			組合せ (圧縮+曲げ)	12,300.0
Z _p	極断面係数	mm ³	—	20,600.0

4.6.4 補強材（支持柱右側）

FEM 解析の結果から得られる補強材（支持柱右側）のはり要素の荷重、モーメントを用いて、以下の式により最大の組合せ応力を計算する。

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力 σ_t		MPa	$\frac{F_x}{A}$
圧縮応力 σ_c		MPa	$-\frac{F_x}{A}$
曲げ応力 σ_b		MPa	$\frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力 τ		MPa	$\sqrt{\left(\frac{F_y}{A}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{A}\right)^2} + \frac{M_x}{Z_x}$
組合せ 応力	引張+曲げ	—	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5f_t}$
	圧縮+曲げ	—	$\frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5f_b}$

ここで、

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
F_x	はりに作用する 引張、圧縮力	N	引張	8,000.1
			圧縮	-4,036.4
			組合せ (引張+曲げ)	8,000.1
			組合せ (圧縮+曲げ)	-4,036.4
F_y	はりに作用する Y軸方向のせん断力	N	—	-477.1
F_z	はりに作用する Z軸方向のせん断力	N	—	12.1
M_y	はりに作用する Y軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	2,285.2
			組合せ (引張+曲げ)	109,003.6
			組合せ (圧縮+曲げ)	106,325.8
M_z	はりに作用する Z軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	303,375.6
			組合せ (引張+曲げ)	167,527.2
			組合せ (圧縮+曲げ)	187,644.0
M_x	はりに作用する ねじりモーメント	N・mm	—	21,911.6

A	はりの断面積	mm ²	引張	700.7
			圧縮	700.7
			組合せ (引張+曲げ)	700.7
			組合せ (圧縮+曲げ)	700.7
A _y	はりの有効せん断 断面積 (Y 軸方向)	mm ²	—	291.5
A _z	はりの有効せん断 断面積 (Z 軸方向)	mm ²	—	291.5
Z _y	はりの Y 軸まわりの 断面係数	mm ³	曲げ	12,300.0
			組合せ (引張+曲げ)	12,300.0
			組合せ (圧縮+曲げ)	12,300.0
Z _z	はりの Z 軸まわりの 断面係数	mm ³	曲げ	12,300.0
			組合せ (引張+曲げ)	12,300.0
			組合せ (圧縮+曲げ)	12,300.0
Z _p	極断面係数	mm ³	—	20,600.0

4.6.5 補強材（支持柱左側）

FEM 解析の結果から得られる補強材（支持柱左側）のはり要素の荷重、モーメントを用いて、以下の式により最大の組合せ応力を計算する。

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力 σ_t		MPa	$\frac{F_x}{A}$
圧縮応力 σ_c		MPa	$-\frac{F_x}{A}$
曲げ応力 σ_b		MPa	$\frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力 τ		MPa	$\sqrt{\left(\frac{F_y}{A}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{A}\right)^2} + \frac{M_x}{Z_x}$
組合せ 応力	引張+曲げ	—	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5f_t}$
	圧縮+曲げ	—	$\frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5f_b}$

ここで、

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
F_x	はりに作用する 引張、圧縮力	N	引張	8,202.7
			圧縮	-3,646.5
			組合せ (引張+曲げ)	8,202.7
			組合せ (圧縮+曲げ)	-3,646.5
F_y	はりに作用する Y軸方向のせん断力	N	—	-430.2
F_z	はりに作用する Z軸方向のせん断力	N	—	-13.2
M_y	はりに作用する Y軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	4,248.5
			組合せ (引張+曲げ)	107,927.9
			組合せ (圧縮+曲げ)	104,511.9
M_z	はりに作用する Z軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	271,336.6
			組合せ (引張+曲げ)	143,295.8
			組合せ (圧縮+曲げ)	161,354.3
M_x	はりに作用する ねじりモーメント	N・mm	—	12,926.0

A	はりの断面積	mm ²	引張	700.7
			圧縮	700.7
			組合せ (引張+曲げ)	700.7
			組合せ (圧縮+曲げ)	700.7
A _y	はりの有効せん断 断面積 (Y 軸方向)	mm ²	—	291.5
A _z	はりの有効せん断 断面積 (Z 軸方向)	mm ²	—	291.5
Z _y	はりの Y 軸まわりの 断面係数	mm ³	曲げ	12,300.0
			組合せ (引張+曲げ)	12,300.0
			組合せ (圧縮+曲げ)	12,300.0
Z _z	はりの Z 軸まわりの 断面係数	mm ³	曲げ	12,300.0
			組合せ (引張+曲げ)	12,300.0
			組合せ (圧縮+曲げ)	12,300.0
Z _p	極断面係数	mm ³	—	20,600.0

4.6.6 補強材（アンテナ右側）

FEM 解析の結果から得られる補強材（アンテナ右側）のはり要素の荷重、モーメントを用いて、以下の式により最大の組合せ応力を計算する。

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力 σ_t		MPa	$\frac{F_x}{A}$
圧縮応力 σ_c		MPa	$-\frac{F_x}{A}$
曲げ応力 σ_b		MPa	$\frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力 τ		MPa	$\sqrt{\left(\frac{F_y}{A_s}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{A_s}\right)^2} + \frac{M_x}{Z_x}$
組合せ 応力	引張+曲げ	—	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5f_t}$
	圧縮+曲げ	—	$\frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5f_b}$

ここで、

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
F_x	はりに作用する 引張、圧縮力	N	引張	2,875.9
			圧縮	-2,131.3
			組合せ (引張+曲げ)	505.2
			組合せ (圧縮+曲げ)	-2,131.3
F_y	はりに作用する Y軸方向のせん断力	N	—	-513.7
F_z	はりに作用する Z軸方向のせん断力	N	—	-1,468.3
M_y	はりに作用する Y軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	134,313.2
			組合せ (引張+曲げ)	134,313.2
			組合せ (圧縮+曲げ)	22,949.5
M_z	はりに作用する Z軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	42,935.7
			組合せ (引張+曲げ)	42,935.7
			組合せ (圧縮+曲げ)	84,016.2
M_x	はりに作用する ねじりモーメント	N・mm	—	908.7

A	はりの断面積	mm ²	引張	700.7
			圧縮	700.7
			組合せ (引張+曲げ)	700.7
			組合せ (圧縮+曲げ)	700.7
A _y	はりの有効せん断 断面積 (Y 軸方向)	mm ²	—	291.5
A _z	はりの有効せん断 断面積 (Z 軸方向)	mm ²	—	291.5
Z _y	はりの Y 軸まわりの 断面係数	mm ³	曲げ	12,300.0
			組合せ (引張+曲げ)	12,300.0
			組合せ (圧縮+曲げ)	12,300.0
Z _z	はりの Z 軸まわりの 断面係数	mm ³	曲げ	12,300.0
			組合せ (引張+曲げ)	12,300.0
			組合せ (圧縮+曲げ)	12,300.0
Z _p	極断面係数	mm ³	—	20,600.0

4.6.7 補強材（アンテナ左側）

FEM 解析の結果から得られる補強材（アンテナ左側）のはり要素の荷重、モーメントを用いて、以下の式により最大の組合せ応力を計算する。

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力 σ_t		MPa	$\frac{F_x}{A}$
圧縮応力 σ_c		MPa	$-\frac{F_x}{A}$
曲げ応力 σ_b		MPa	$\frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力 τ		MPa	$\sqrt{\left(\frac{F_y}{A_s}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{A_s}\right)^2} + \frac{M_x}{Z_x}$
組合せ 応力	引張+曲げ	—	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5f_t}$
	圧縮+曲げ	—	$\frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5f_b}$

ここで、

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
F_x	はりに作用する 引張、圧縮力	N	引張	2,934.7
			圧縮	-1,998.1
			組合せ (引張+曲げ)	512.3
			組合せ (圧縮+曲げ)	-1,886.8
F_y	はりに作用する Y軸方向のせん断力	N	—	-555.6
F_z	はりに作用する Z軸方向のせん断力	N	—	1,498.2
M_y	はりに作用する Y軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	139,250.8
			組合せ (引張+曲げ)	139,250.8
			組合せ (圧縮+曲げ)	21,958.7
M_z	はりに作用する Z軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	44,554.1
			組合せ (引張+曲げ)	44,554.1
			組合せ (圧縮+曲げ)	87,247.1
M_x	はりに作用する ねじりモーメント	N・mm	—	1,211.4

A	はりの断面積	mm ²	引張	700.7
			圧縮	700.7
			組合せ (引張+曲げ)	700.7
			組合せ (圧縮+曲げ)	700.7
A _y	はりの有効せん断 断面積 (Y 軸方向)	mm ²	—	291.5
A _z	はりの有効せん断 断面積 (Z 軸方向)	mm ²	—	291.5
Z _y	はりの Y 軸まわりの 断面係数	mm ³	曲げ	12,300.0
			組合せ (引張+曲げ)	12,300.0
			組合せ (圧縮+曲げ)	12,300.0
Z _z	はりの Z 軸まわりの 断面係数	mm ³	曲げ	12,300.0
			組合せ (引張+曲げ)	12,300.0
			組合せ (圧縮+曲げ)	12,300.0
Z _p	極断面係数	mm ³	—	20,600.0

4.6.8 アンテナ（補強枠）

FEM 解析の結果から得られるアンテナ（補強枠）のはり要素の荷重、モーメントを用いて、以下の式により最大の組合せ応力を計算する。

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力 σ_t		MPa	$\frac{F_x}{A}$
圧縮応力 σ_c		MPa	$-\frac{F_x}{A}$
曲げ応力 σ_b		MPa	$\frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力 τ		MPa	$\frac{(zI_z - yI_{yz})}{(I_y I_z - I_{yz}^2)} M_y + \frac{(yI_y - zI_{yz})}{(I_y I_z - I_{yz}^2)} M_z$
組合せ 応力	引張 + 曲げ	—	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5f_t}$
	圧縮 + 曲げ	—	$\frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5f_b}$

ここで、

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
F_x	はりに作用する 引張、圧縮力	N	引張	704.6
			圧縮	-2,502.8
			組合せ (引張+曲げ)	56.8
			組合せ (圧縮+曲げ)	-1,310.5
F_y	はりに作用する Y軸方向のせん断力	N	—	726.4
F_z	はりに作用する Z軸方向のせん断力	N	—	564.2
M_y	はりに作用する Y軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	-20,664.7
			組合せ (引張+曲げ)	1,435.5
			組合せ (圧縮+曲げ)	-20,664.7
M_z	はりに作用する Z軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	-98,644.4
			組合せ (引張+曲げ)	-65,670.9
			組合せ (圧縮+曲げ)	-98,644.4
M_x	はりに作用する ねじりモーメント	N・mm	—	4,812.8

A	はりの断面積	mm ²	引張	402.0
			圧縮	402.0
			組合せ (引張+曲げ)	402.0
			組合せ (圧縮+曲げ)	402.0
A _y	はりの有効せん断 断面積 (Y 軸方向)	mm ²	—	192.2
A _z	はりの有効せん断 断面積 (Z 軸方向)	mm ²	—	192.2
I _y	はりの Y 軸まわりの 断面 2 次モーメント	mm ⁴	曲げ	75,300.0
			組合せ (引張+曲げ)	75,300.0
			組合せ (圧縮+曲げ)	75,300.0
I _z	はりの Z 軸まわりの 断面 2 次モーメント	mm ⁴	曲げ	301,000.0
			組合せ (引張+曲げ)	301,000.0
			組合せ (圧縮+曲げ)	301,000.0
I _{yz}	断面相乗モーメント	mm ⁴	曲げ	-113,000.0
			組合せ (引張+曲げ)	-113,000.0
			組合せ (圧縮+曲げ)	-113,000.0

Z _p	極断面係数	mm ³	—	403.0
y	応力出力点	mm	曲げ	-35.0
			組合せ (引張+曲げ)	-35.0
			組合せ (圧縮+曲げ)	-35.0
z	応力出力点	mm	曲げ	-1.5
			組合せ (引張+曲げ)	-1.5
			組合せ (圧縮+曲げ)	-1.5

4.6.9 アンテナ（アンテナ取付金物）

FEM 解析の結果から得られるアンテナ（アンテナ取付金物）のはり要素の荷重、モーメントを用いて、以下の式により最大の組合せ応力を計算する。

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力 σ_t		MPa	$\frac{F_x}{A}$
圧縮応力 σ_c		MPa	$-\frac{F_x}{A}$
曲げ応力 σ_b		MPa	$\frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力 τ		MPa	$\sqrt{\left(\frac{F_y}{A_s}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{A_s}\right)^2} + \frac{M_x}{Z_x}$
組合せ 応力	引張+曲げ	—	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5f_t}$
	圧縮+曲げ	—	$\frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5f_b}$

ここで、

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
F_x	はりに作用する 引張、圧縮力	N	引張	957.2
			圧縮	-1,889.9
			組合せ (引張+曲げ)	957.2
			組合せ (圧縮+曲げ)	-192.9
F_y	はりに作用する Y軸方向のせん断力	N	—	-1,146.4
F_z	はりに作用する Z軸方向のせん断力	N	—	25.5
M_y	はりに作用する Y軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	11,812.1
			組合せ (引張+曲げ)	11,812.1
			組合せ (圧縮+曲げ)	6,808.4
M_z	はりに作用する Z軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	343,605.3
			組合せ (引張+曲げ)	343,605.3
			組合せ (圧縮+曲げ)	327,624.3
M_x	はりに作用する ねじりモーメント	N・mm	—	12,429.0

A	はりの断面積	mm ²	引張	1,480.0
			圧縮	1,480.0
			組合せ (引張+曲げ)	1,480.0
			組合せ (圧縮+曲げ)	1,480.0
A _y	はりの有効せん断 断面積 (Y 軸方向)	mm ²	—	131.7
A _z	はりの有効せん断 断面積 (Z 軸方向)	mm ²	—	1,101.1
Z _y	はりの Y 軸まわりの 断面係数	mm ³	曲げ	101,333.3
			組合せ (引張+曲げ)	101,333.3
			組合せ (圧縮+曲げ)	101,333.3
Z _z	はりの Z 軸まわりの 断面係数	mm ³	曲げ	45,135.1
			組合せ (引張+曲げ)	45,135.1
			組合せ (圧縮+曲げ)	45,135.1
Z _p	極断面係数	mm ³	—	85,800.0

4.6.10 アンテナ (ODU 取付金物)

FEM 解析の結果から得られるアンテナ (ODU 取付金物) のはり要素の荷重、モーメントを用いて、以下の式により最大の組合せ応力を計算する。

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力 σ_t		MPa	$\frac{F_x}{A}$
圧縮応力 σ_c		MPa	$-\frac{F_x}{A}$
曲げ応力 σ_b		MPa	$\frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力 τ		MPa	$\sqrt{\left(\frac{F_y}{A_s}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{A_s}\right)^2} + \frac{M_x}{Z_x}$
組合せ 応力	引張+曲げ	—	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5f_t}$
	圧縮+曲げ	—	$\frac{\sigma_b - \sigma_c}{1.5f_t}$

ここで、

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
F_x	はりに作用する 引張、圧縮力	N	引張	1,486.6
			圧縮	-3,204.9
			組合せ (引張+曲げ)	1,460.8
			組合せ (圧縮+曲げ)	-1,387.5
F_y	はりに作用する Y軸方向のせん断力	N	—	-956.9
F_z	はりに作用する Z軸方向のせん断力	N	—	-25.5
M_y	はりに作用する Y軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	602.9
			組合せ (引張+曲げ)	602.9
			組合せ (圧縮+曲げ)	1,958.3
M_z	はりに作用する Z軸周りの 曲げモーメント	N・mm	曲げ	397,856.5
			組合せ (引張+曲げ)	397,856.5
			組合せ (圧縮+曲げ)	210,304.1
M_x	はりに作用する ねじりモーメント	N・mm	—	31.2

A	はりの断面積	mm ²	引張	992.0
			圧縮	992.0
			組合せ (引張+曲げ)	992.0
			組合せ (圧縮+曲げ)	992.0
A _y	はりの有効せん断 断面積 (Y 軸方向)	mm ²	—	399.8
A _z	はりの有効せん断 断面積 (Z 軸方向)	mm ²	—	599.2
Z _y	はりの Y 軸まわりの 断面係数	mm ³	曲げ	88,000.0
			組合せ (引張+曲げ)	88,000.0
			組合せ (圧縮+曲げ)	88,000.0
Z _z	はりの Z 軸まわりの 断面係数	mm ³	曲げ	6,871.2
			組合せ (引張+曲げ)	6,871.2
			組合せ (圧縮+曲げ)	6,871.2
Z _p	極断面係数	mm ³	—	660.0

4.6.11 基礎ボルト（支持柱本体）

FEM 解析の結果から得られる基礎ボルト固定部の最大荷重を用いて、以下の式により最大応力及び組合せ応力を計算する。

応力の種類	単位	応力計算式
引張応力 σ_b	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$
せん断応力 τ_b	MPa	$\frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{A_b}$
組合せ応力	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$

ここで、

記号	記号の説明	単位	数値
F_x	基礎ボルト固定部に作用する引張力	N	13,808.0
F_y	基礎ボルト固定部に作用する Y 軸方向のせん断力	N	5,808.0
F_z	基礎ボルト固定部に作用する Z 軸方向のせん断力	N	24.0
A_b	基礎ボルトの総断面積	mm ²	1,468.8

4.6.12 基礎ボルト（補強材支持柱後側）

FEM 解析の結果から得られる基礎ボルト固定部の最大荷重を用いて、以下の式により最大応力及び組合せ応力を計算する。

応力の種類	単位	応力計算式
引張応力 σ_b	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$
せん断応力 τ_b	MPa	$\frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{A_b}$
組合せ応力	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$

ここで、

記号	記号の説明	単位	数値
F_x	基礎ボルト固定部に作用する引張力	N	—
F_y	基礎ボルト固定部に作用する Y 軸方向のせん断力	N	2,397.0
F_z	基礎ボルト固定部に作用する Z 軸方向のせん断力	N	19.0
A_b	基礎ボルトの総断面積	mm ²	337.1

4.6.13 基礎ボルト（補強材支持柱右側）

FEM 解析の結果から得られる基礎ボルト固定部の最大荷重を用いて、以下の式により最大応力及び組合せ応力を計算する。

応力の種類	単位	応力計算式
引張応力 σ_b	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$
せん断応力 τ_b	MPa	$\frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{A_b}$
組合せ応力	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$

ここで、

記号	記号の説明	単位	数値
F_x	基礎ボルト固定部に作用する引張力	N	7,907.0
F_y	基礎ボルト固定部に作用する Y 軸方向のせん断力	N	228.0
F_z	基礎ボルト固定部に作用する Z 軸方向のせん断力	N	1,250.0
A_b	基礎ボルトの総断面積	mm ²	337.1

4.6.14 基礎ボルト（補強材支持柱左側）

FEM 解析の結果から得られる基礎ボルト固定部の最大荷重を用いて、以下の式により最大応力及び組合せ応力を計算する。

応力の種類	単 位	応力計算式
引張応力 σ_b	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$
せん断応力 τ_b	MPa	$\frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{A_b}$
組合せ応力	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$

ここで、

記号	記号の説明	単位	数値
F_x	基礎ボルト固定部に作用する引張力	N	8,108.0
F_y	基礎ボルト固定部に作用する Y 軸方向のせん断力	N	192.0
F_z	基礎ボルト固定部に作用する Z 軸方向のせん断力	N	-1,274.0
A_b	基礎ボルトの総断面積	mm ²	337.1

4.6.15 基礎ボルト（補強材アンテナ右側）

FEM 解析の結果から得られる基礎ボルト固定部の最大荷重を用いて、以下の式により最大応力及び組合せ応力を計算する。

応力の種類	単位	応力計算式
引張応力 σ_b	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$
せん断応力 τ_b	MPa	$\frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{A_b}$
組合せ応力	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$

ここで、

記号	記号の説明	単位	数値
F_x	基礎ボルト固定部に作用する引張力	N	2,310.0
F_y	基礎ボルト固定部に作用する Y 軸方向のせん断力	N	1,669.0
F_z	基礎ボルト固定部に作用する Z 軸方向のせん断力	N	217.0
A_b	基礎ボルトの総断面積	mm ²	337.1

4.6.16 基礎ボルト（補強材アンテナ左側）

FEM 解析の結果から得られる基礎ボルト固定部の最大荷重を用いて、以下の式により最大応力及び組合せ応力を計算する。

応力の種類	単位	応力計算式
引張応力 σ_b	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$
せん断応力 τ_b	MPa	$\frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{A_b}$
組合せ応力	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$

ここで、

記号	記号の説明	単位	数値
F_x	基礎ボルト固定部に作用する引張力	N	2,397.0
F_y	基礎ボルト固定部に作用する Y 軸方向のせん断力	N	1,706.0
F_z	基礎ボルト固定部に作用する Z 軸方向のせん断力	N	-233.0
A_b	基礎ボルトの総断面積	mm ²	337.1

4.7 応力評価条件

(1) 応力計算条件

項目		記号	単位	入力値	
材質	アンテナ、 支持柱及び 補強材	① 支持柱（本体）	—	—	STKR400
		② 支持柱 （アンテナ取付金物）			STKR400 SUS304
		③ 補強材 （支持柱後側）			STKR400
		④ 補強材 （支持柱右側）			STKR400
		⑤ 補強材 （支持柱左側）			STKR400
		⑥ 補強材 （アンテナ右側）			STKR400
		⑦ 補強材 （アンテナ左側）			STKR400
		⑧ アンテナ （補強枠）			A5052S —H112
		⑨ アンテナ （アンテナ取付金物）			A5052P —H32
		⑩ アンテナ （ODU 取付金物）			A5052P —H32
	基礎ボルト（補強材）				
基礎ボルト（支持柱）				SS400	
寸法	アンテナ、支持柱及び補強材		—	—	第 4-5 図
	基礎ボルト（補強材 1 本当たり）				M12×4 本
	基礎ボルト（支持柱）				M20×6 本

(2) 設計用加速度

項目	記号	設計用加速度 (×9.8m/s ²)
水平	C _H	2.928 ^(注)
鉛直	C _V	0.960 ^(注)

(注) 固有値解析結果より、衛星アンテナの固有振動数が 30Hz 以上であることを確認したため、評価用加速度は最大床加速度の 1.2 倍を使用する。

5. 機能維持評価

衛星アンテナの地震時及び地震後の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

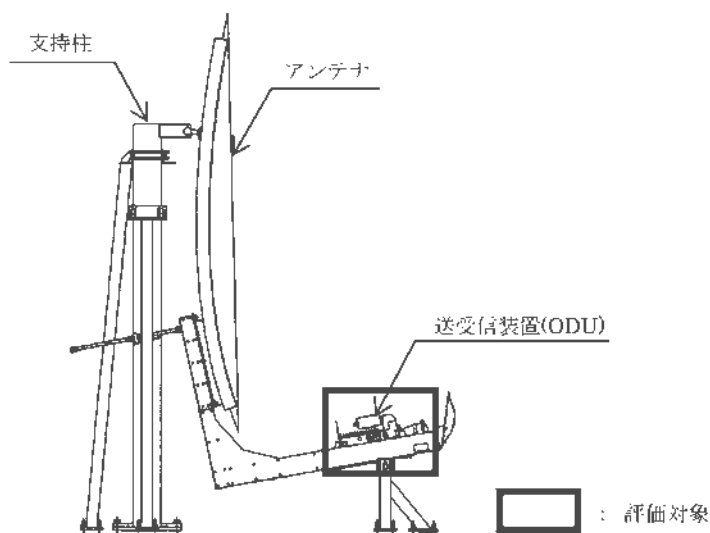
5.1 機能維持評価方法

衛星アンテナの評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、器具単体の正弦波加振試験（掃引試験及びビート試験）において、電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を第5-1表に示す。また、評価する器具の実装図を第5-1図に示す。

なお、固有値解析結果より、衛星アンテナの固有振動数が30Hz以上であることを確認したため、評価用加速度には最大床加速度を使用する。

第5-1表 機能確認済加速度

器具名称	方 向	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
送受信装置(ODU)	水平	10.0
	鉛直	10.0



第5-1図 器具の実装図

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処施設としての評価結果

衛星アンテナの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を第 6-1 表に、電気的機能維持評価結果を第 6-2 表に示す。また、最大応力発生箇所を第 6-1 図～第 6-16 図に示す。

第6-1表 基準地震動 S_s による評価結果($D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_r$)(1/7)

評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	
計測制御系統施設	その他	衛星アンテナ	① 支持柱 (本体)	引張応力	8	244
				せん断応力	6	141
				圧縮応力	1	210
				曲げ応力	46	244
				組合せ 応力	引張+曲げ	0.22 ^(注1)
			圧縮+曲げ		0.04 ^(注1)	
			② 支持柱 (アンテナ 取付金物)	引張応力	—	244
				せん断応力	8	141
				圧縮応力	2	231
				曲げ応力	48	244
組合せ 応力	引張+曲げ	— ^(注1)		1 ^(注1)		
	圧縮+曲げ	0.21 ^(注1)				

第6-1表 基準地震動 S_s による評価結果($D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_r$)(2/7)

評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)		
計測制御系統施設	その他	衛星アンテナ	③ 補強材 (支持柱後側)	引張応力	—	244	
				せん断応力	2	141	
				圧縮応力	31	124	
				曲げ応力	23	244	
				組合せ 応力	引張+曲げ	— (注1)	1 (注1)
					圧縮+曲げ	0.35 (注1)	
			④ 補強材 (支持柱右側)	引張応力	12	244	
				せん断応力	3	141	
				圧縮応力	6	124	
				曲げ応力	25	244	
組合せ 応力	引張+曲げ	0.15 (注1)		1 (注1)			
	圧縮+曲げ	0.15 (注1)					

第6-1表 基準地震動 S_s による評価結果($D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_r$)(3/7)

評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)		
計測制御系統施設	その他	衛星アンテナ	⑤ 補強材 (支持柱左側)	引張応力	12	244	
				せん断応力	3	141	
				圧縮応力	6	124	
				曲げ応力	23	244	
				組合せ 応力	引張+曲げ	0.14 ^(注1)	1 ^(注1)
					圧縮+曲げ	0.14 ^(注1)	
			⑥ 補強材 (アンテナ右側)	引張応力	5	244	
				せん断応力	6	141	
				圧縮応力	4	124	
				曲げ応力	15	244	
				組合せ 応力	引張+曲げ	0.07 ^(注1)	1 ^(注1)
					圧縮+曲げ	0.07 ^(注1)	

第6-1表 基準地震動 S_s による評価結果($D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_r$)(4/7)

評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)		
計測制御系統施設	その他	衛星アンテナ	⑦ 補強材 (アンテナ左側)	引張応力	5	244	
				せん断応力	6	141	
				圧縮応力	3	124	
				曲げ応力	15	244	
				組合せ 応力	引張+曲げ	0.07 ^(注1)	1 ^(注1)
					圧縮+曲げ	0.07 ^(注1)	
			⑧ アンテナ (補強枠)	引張応力	2	69	
				せん断応力	17	39	
				圧縮応力	7	48	
				曲げ応力	38	69	
組合せ 応力	引張+曲げ	0.28 ^(注1)		1 ^(注1)			
	圧縮+曲げ	0.64 ^(注1)					

第6-1表 基準地震動 S_s による評価結果($D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_r$)(5/7)

評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)		
計測制御系統施設	その他	衛星アンテナ	⑨ アンテナ (アンテナ 取付金物)	引張応力	1	150	
				せん断応力	9	85	
				圧縮応力	2	148	
				曲げ応力	8	150	
				組合せ 応力	引張+曲げ	0.06 ^(注1)	1 ^(注1)
					圧縮+曲げ	0.07 ^(注1)	
		衛星アンテナ	⑩ アンテナ (ODU 取付金物)	引張応力	2	150	
				せん断応力	3	85	
				圧縮応力	4	147	
				曲げ応力	58	150	
組合せ 応力	引張+曲げ			0.40 ^(注1)	1 ^(注1)		
	圧縮+曲げ			0.20 ^(注1)			

第6-1表 基準地震動 S_s による評価結果($D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_r$)(6/7)

評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	
計測制御系統施設	その他	衛星アンテナ	① 基礎ボルト (支持柱 本体)	引張応力	10	234
				せん断応力	4	135
				組合せ応力	10	234 ^(注2)
			③ 基礎ボルト (補強材 支持柱後側)	引張応力	—	244
				せん断応力	8	141
				組合せ応力	—	244 ^(注2)
			④ 基礎ボルト (補強材 支持柱右側)	引張応力	24	244
				せん断応力	4	141
				組合せ応力	24	244 ^(注2)
		⑤ 基礎ボルト (補強材 支持柱左側)	引張応力	25	244	
			せん断応力	4	141	
			組合せ応力	25	244 ^(注2)	

第6-1表 基準地震動 Ss による評価結果(D+P_{SAD}+M_{SAD}+Ss+P_k)(7/7)

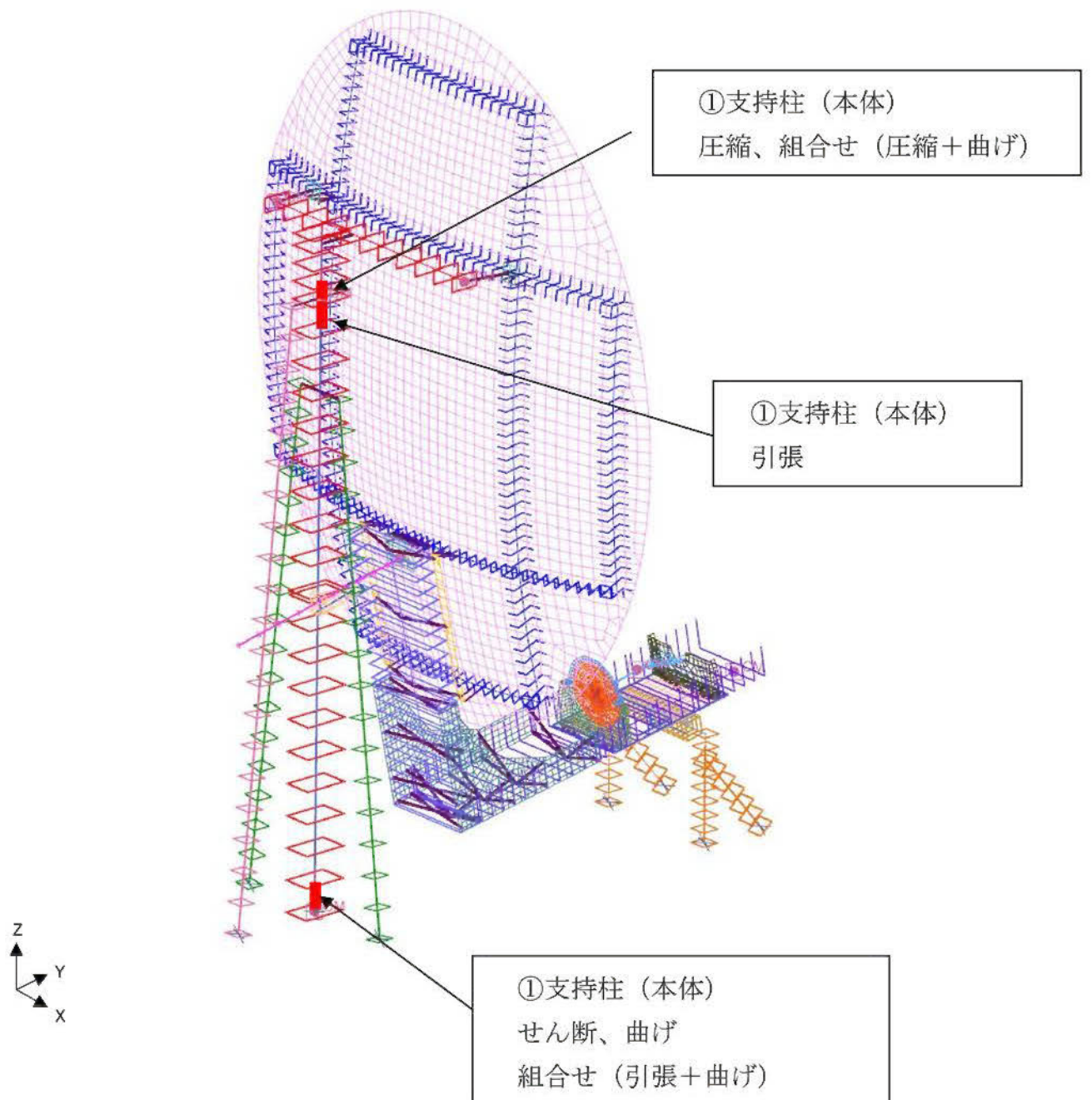
評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)
計測制御系統施設	その他	⑥ 基礎ボルト (補強材 アンテナ右側)	引張応力	7	244
			せん断応力	5	141
			組合せ応力	7	244 ^(注2)
		⑦ 基礎ボルト (補強材 アンテナ左側)	引張応力	8	244
			せん断応力	6	141
			組合せ応力	8	244 ^(注2)

(注1) 単位なし

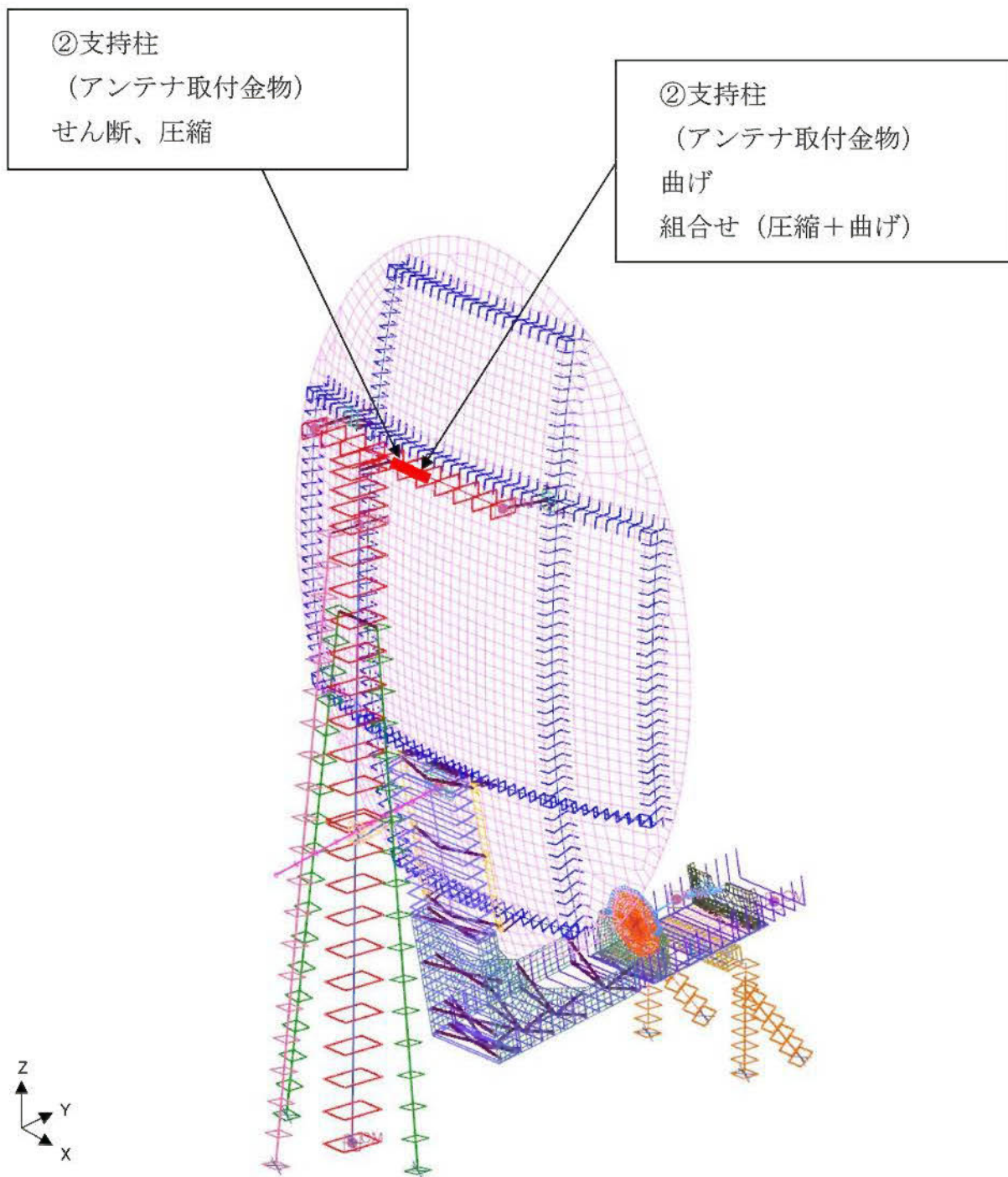
(注2) 引張応力(σ_{bt})とせん断応力(τ_{bs})との組合せ応力の評価基準値は、 $\text{Min}(1.4 \cdot 1.5f_t - 1.6 \tau_{bs}, 1.5f_t)$ とする。

第6-2表 電氣的機能維持評価結果（重大事故等対処施設）

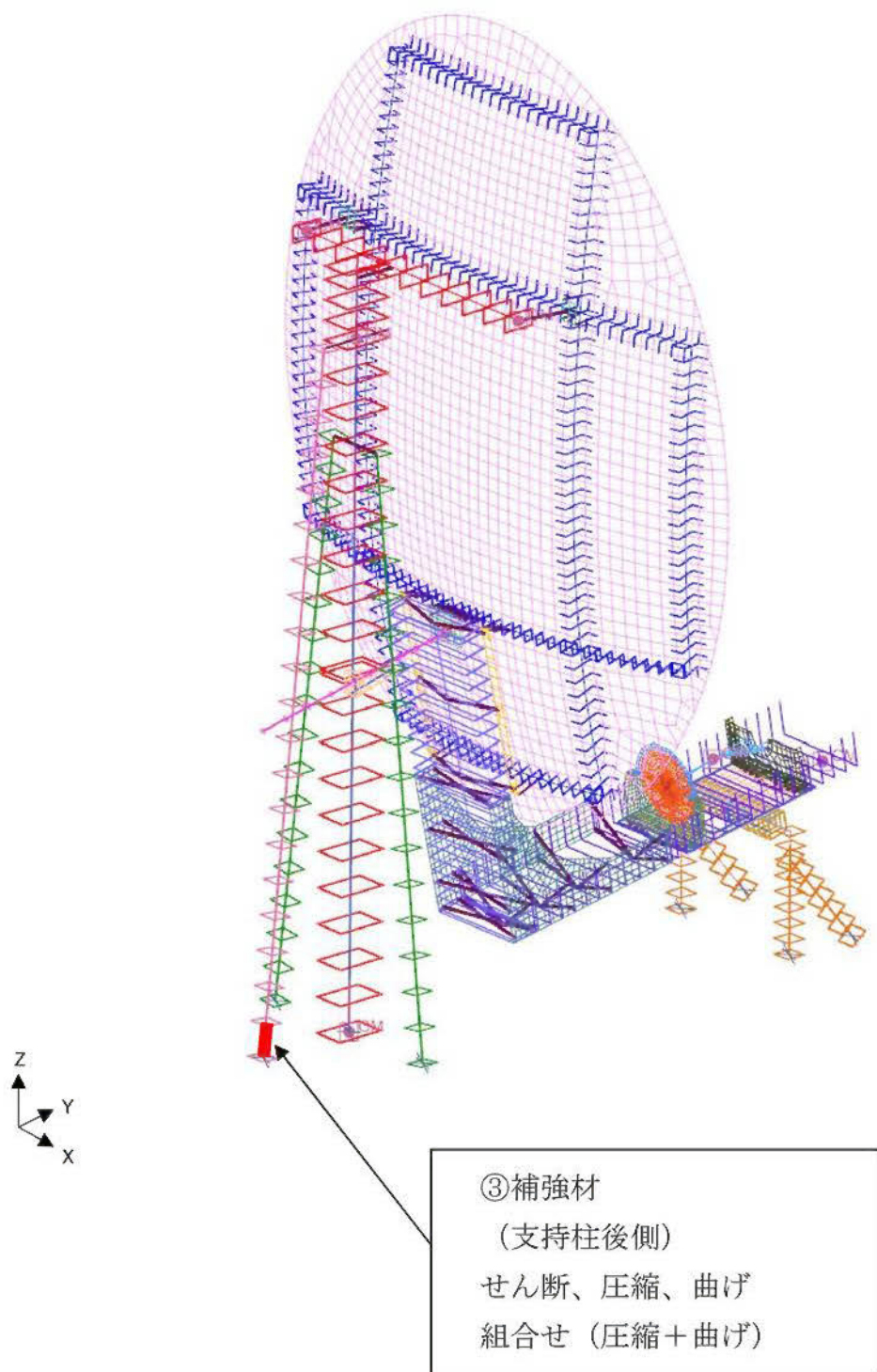
評価対象設備				機能確認済加速度との比較					詳細評価
				加速度 確認部位	水平加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		鉛直加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		
					評価用 加速度	機能確認済 加速度	評価用 加速度	機能確認 済加速度	
計測制御系統施設	その他	衛星アンテナ	送受信装置 (ODU)	—	2.44	10.0	0.80	10.0	—



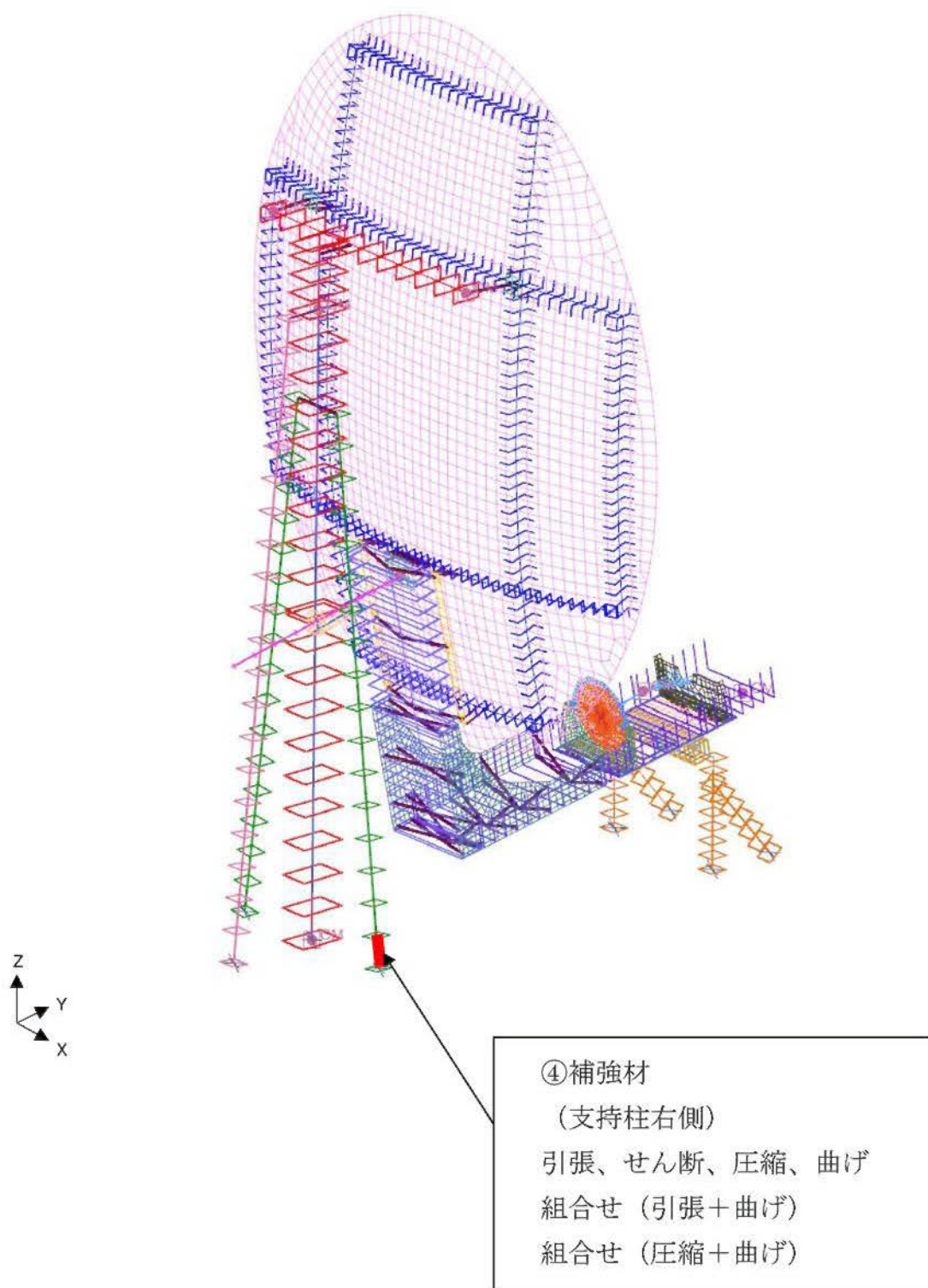
第6-1図 最大応力発生箇所



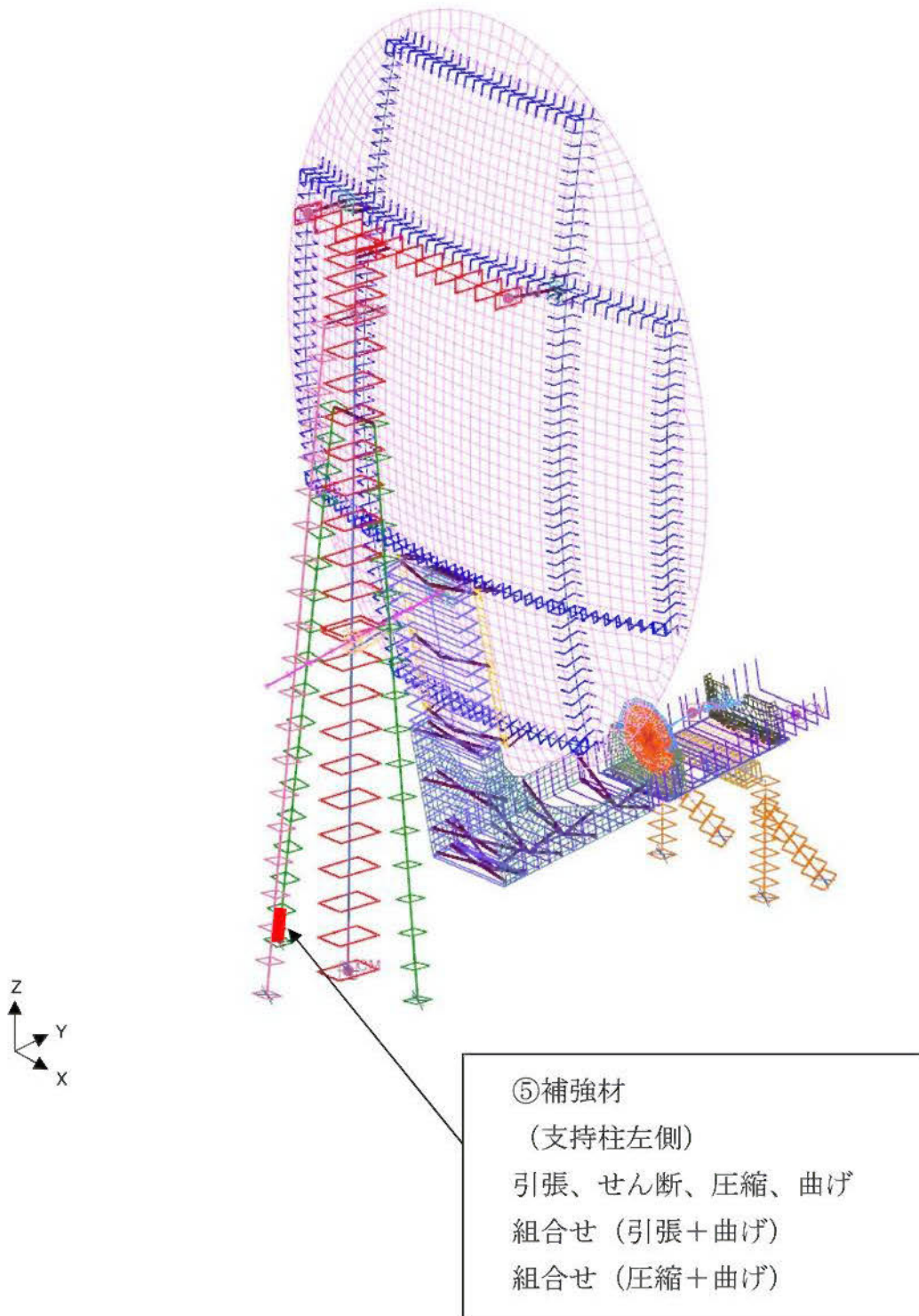
第6-2図 最大応力発生箇所



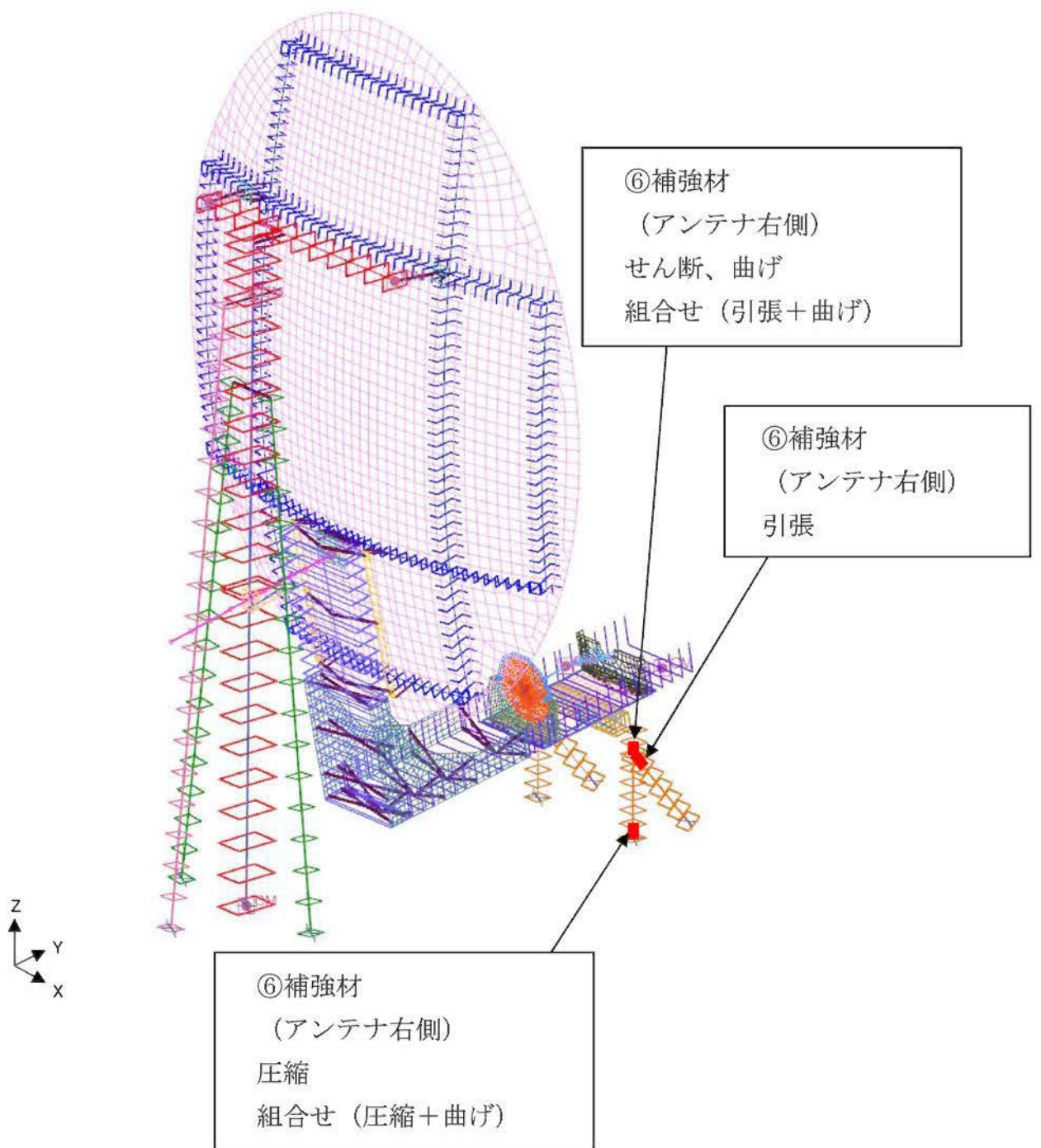
第6-3図 最大応力発生箇所



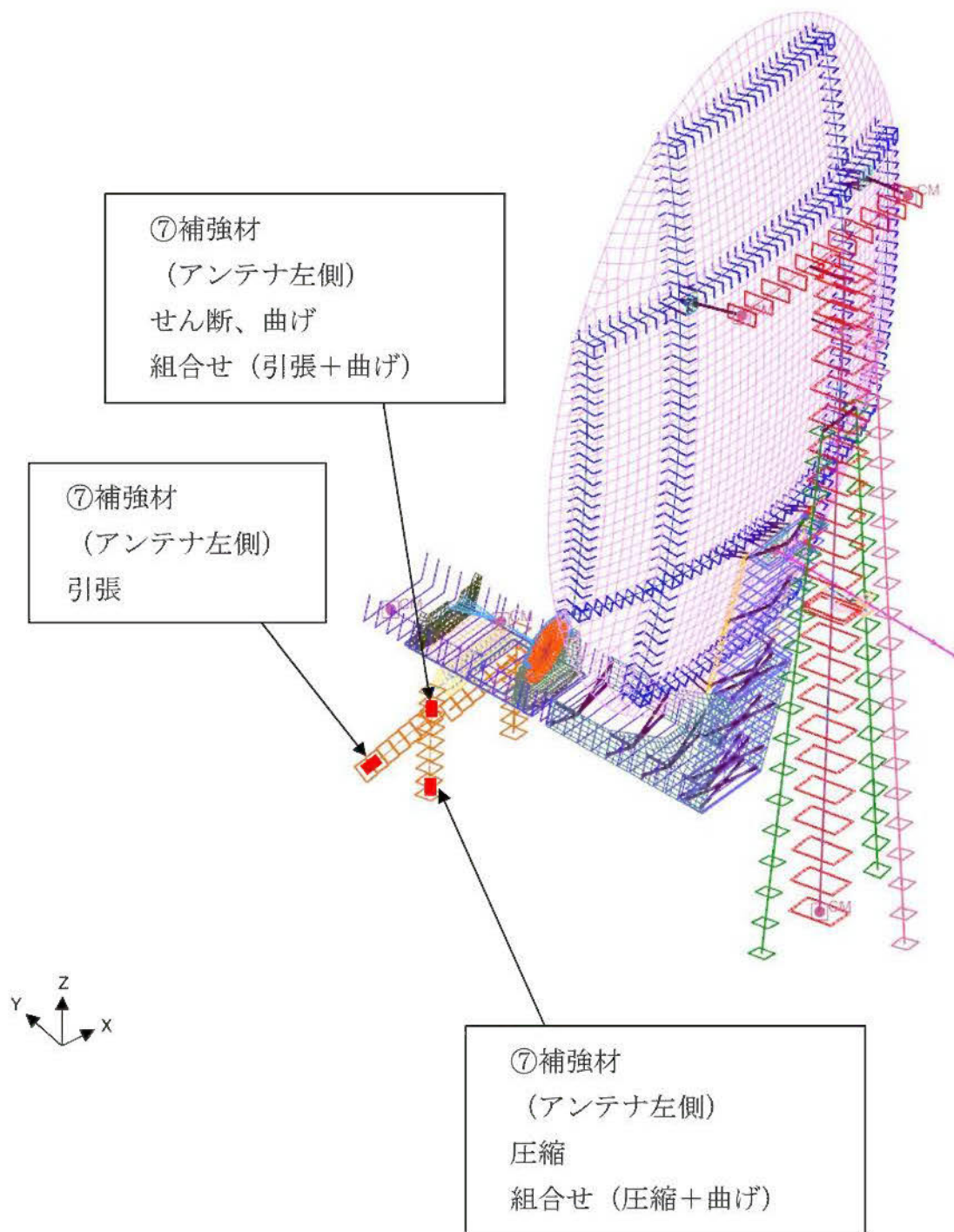
第 6-4 図 最大応力発生箇所



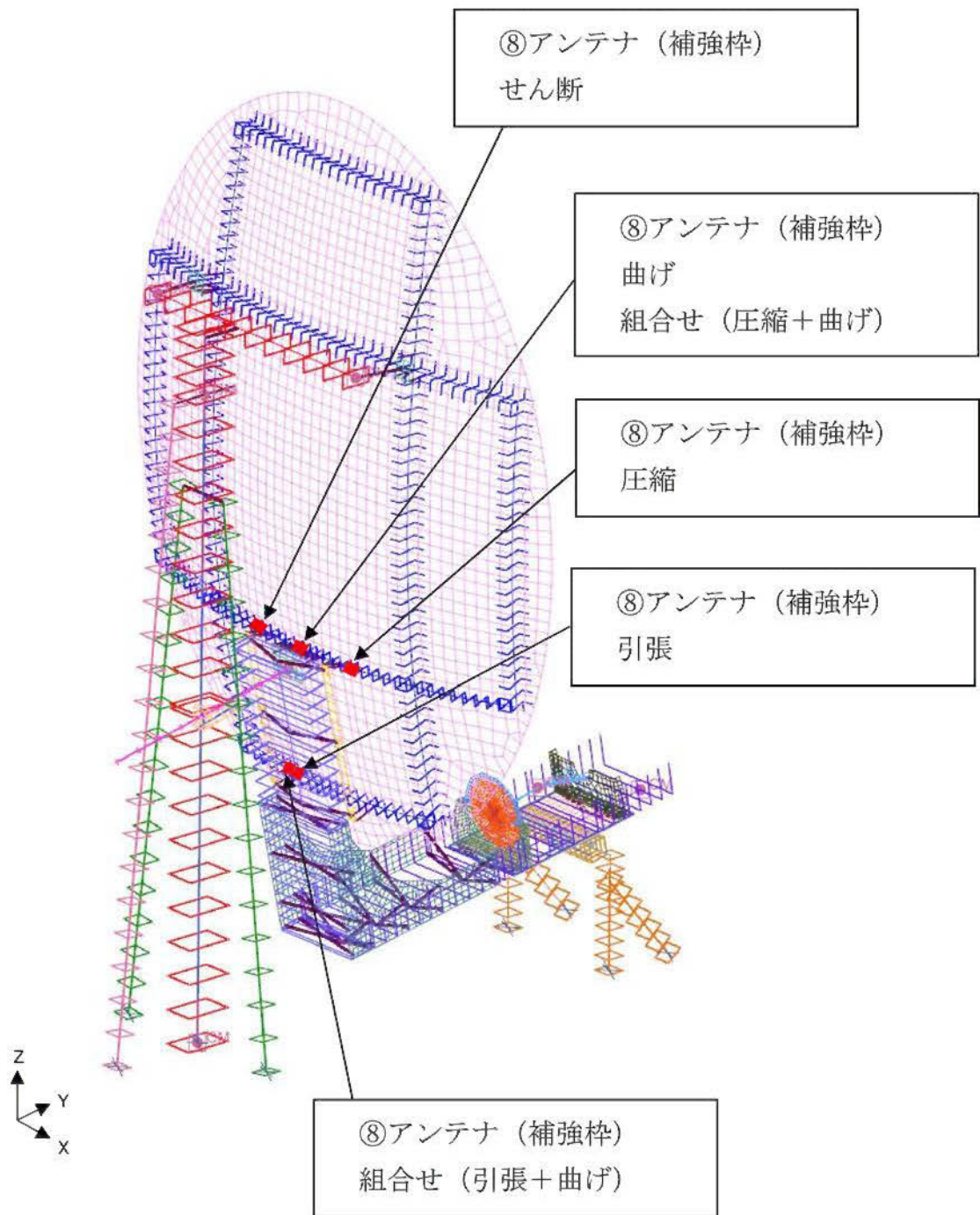
第 6-5 図 最大応力発生箇所



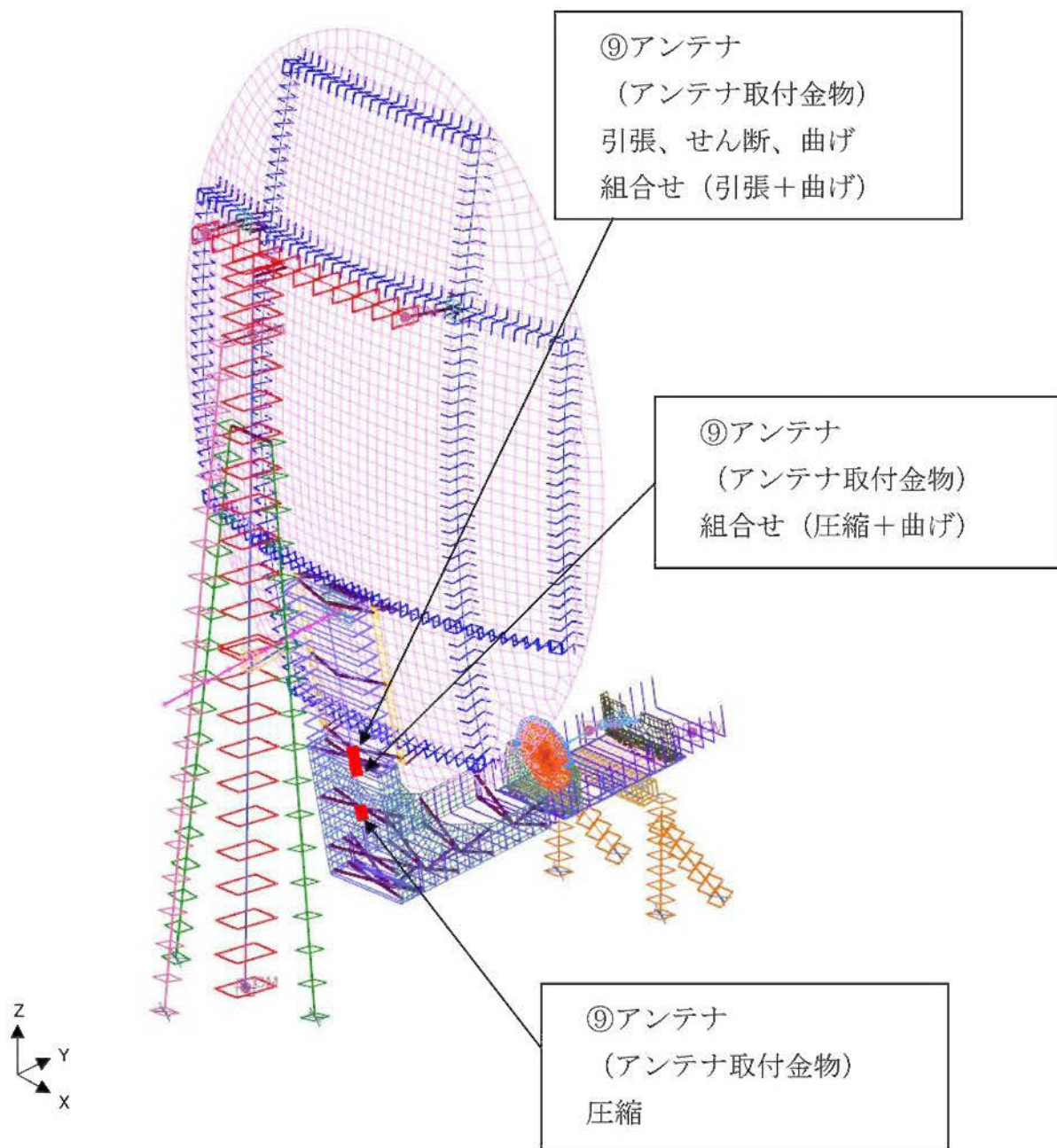
第 6-6 図 最大応力発生箇所



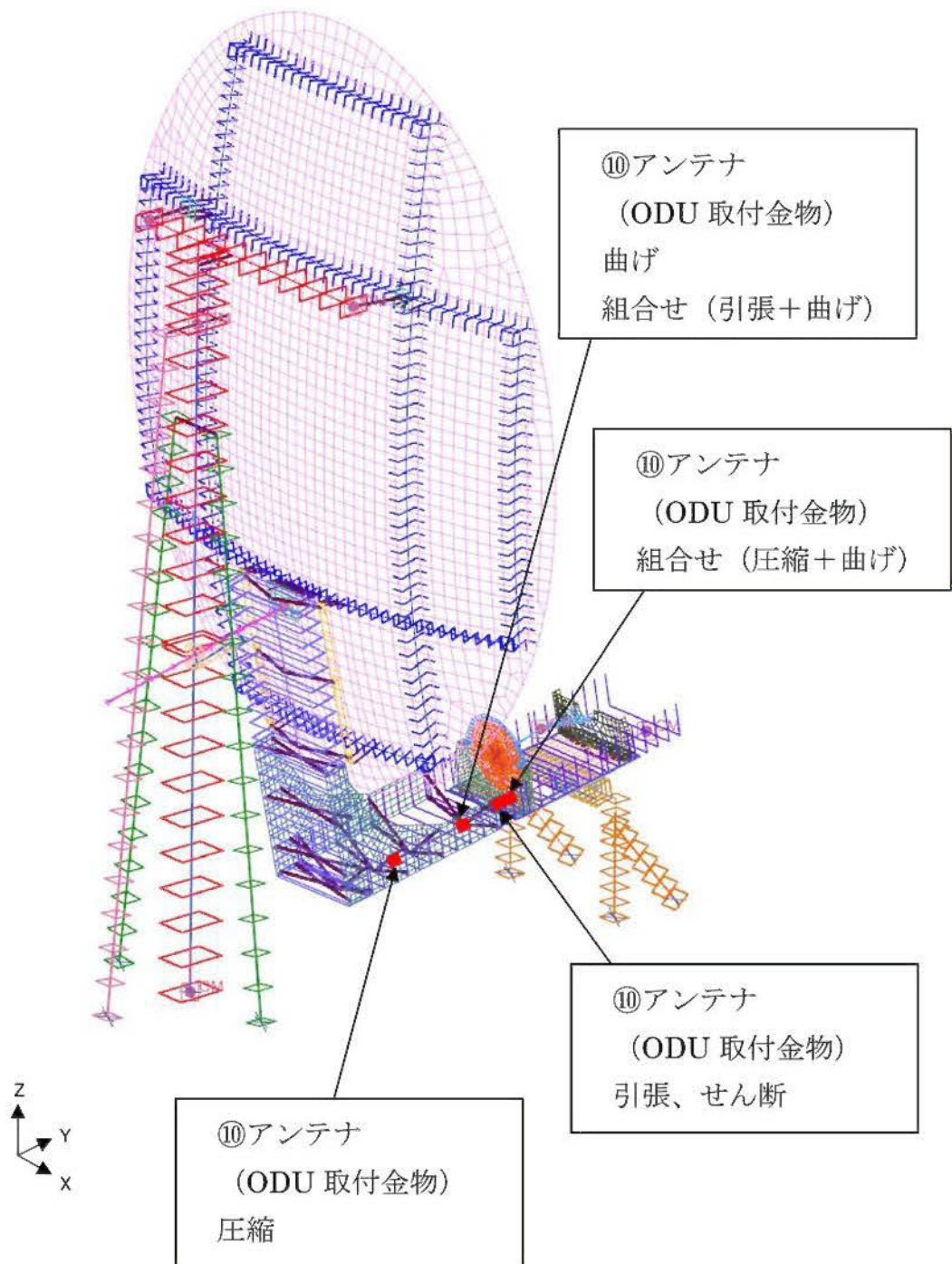
第 6-7 図 最大応力発生箇所



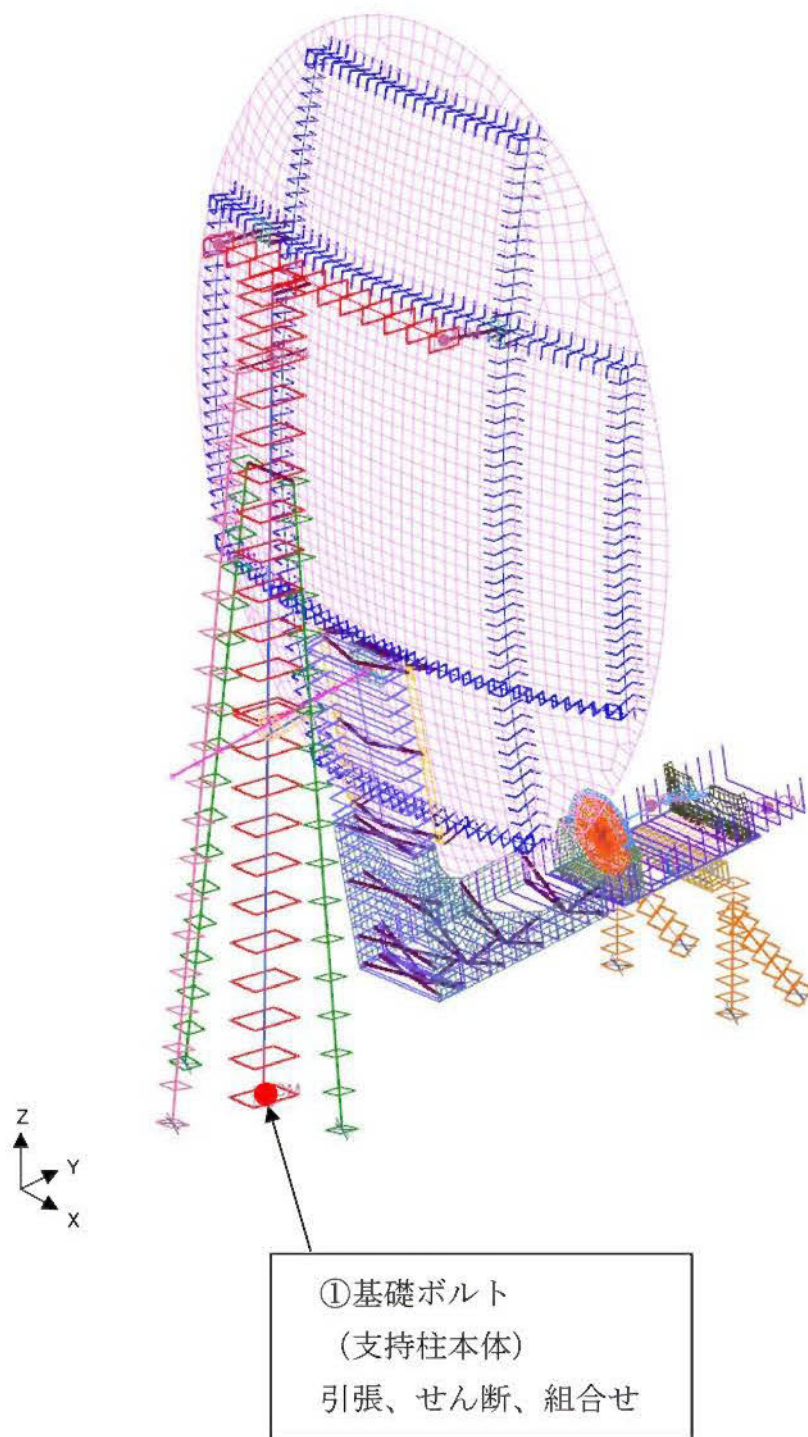
第6-8図 最大応力発生箇所



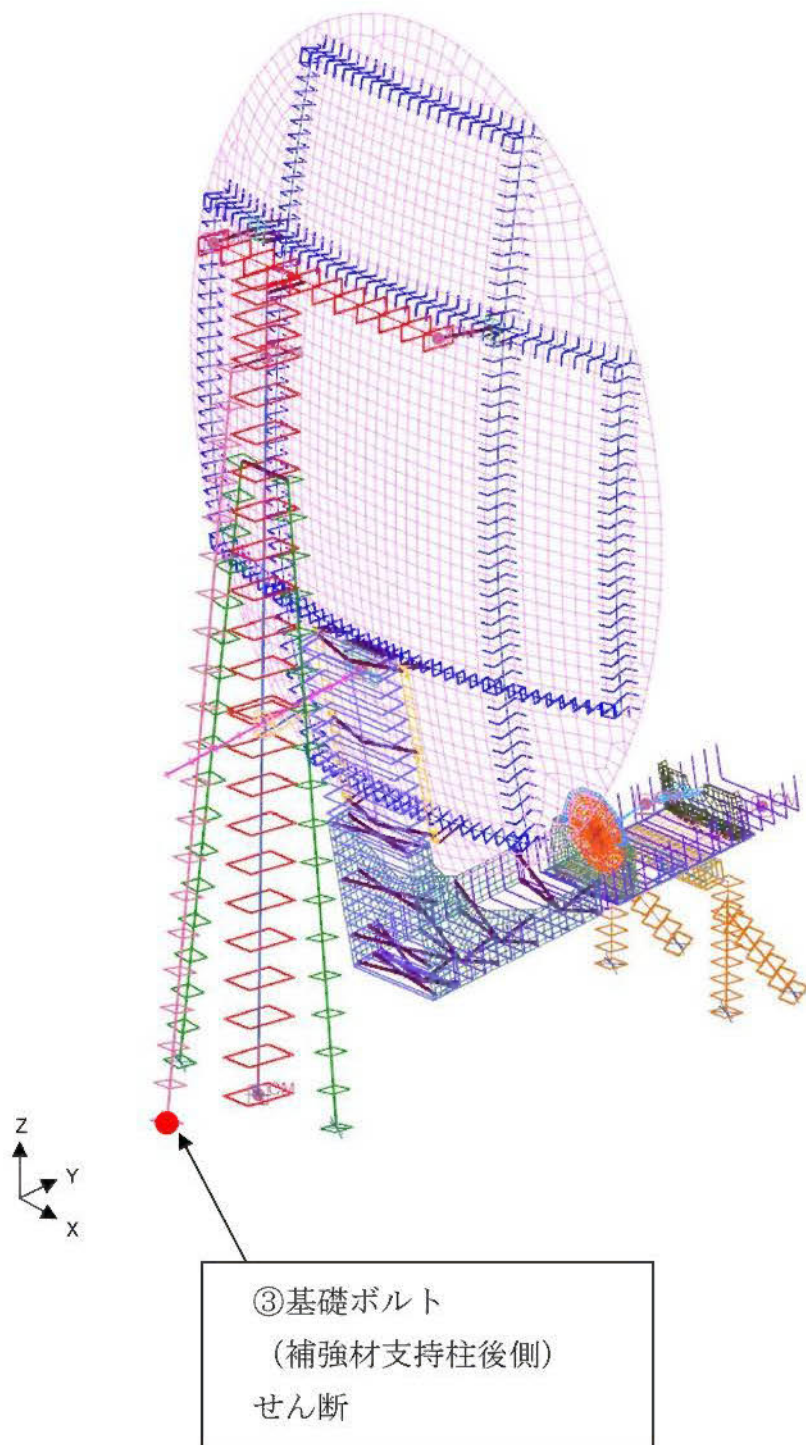
第6-9図 最大応力発生箇所



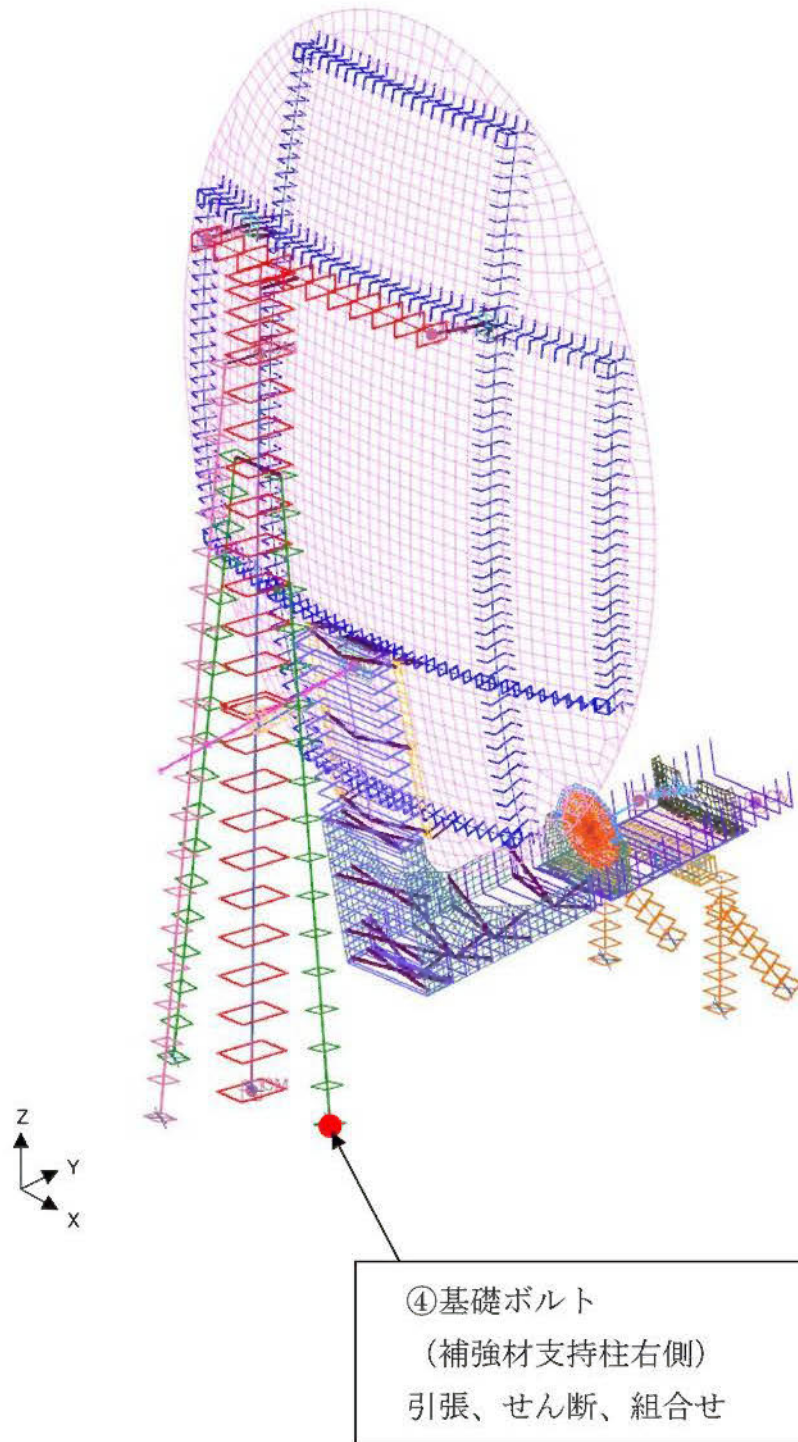
第6-10図 最大応力発生箇所



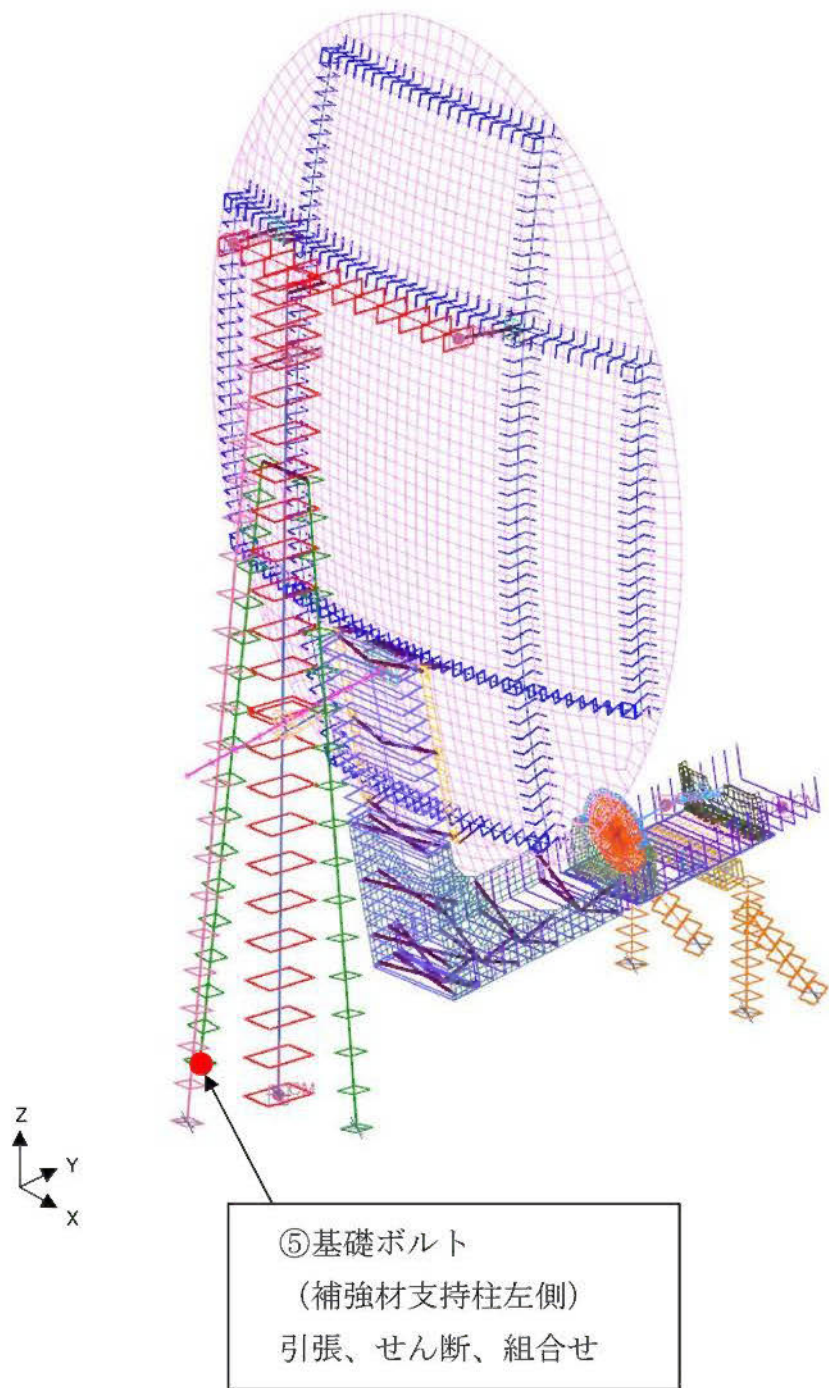
第6-11図 最大応力発生箇所



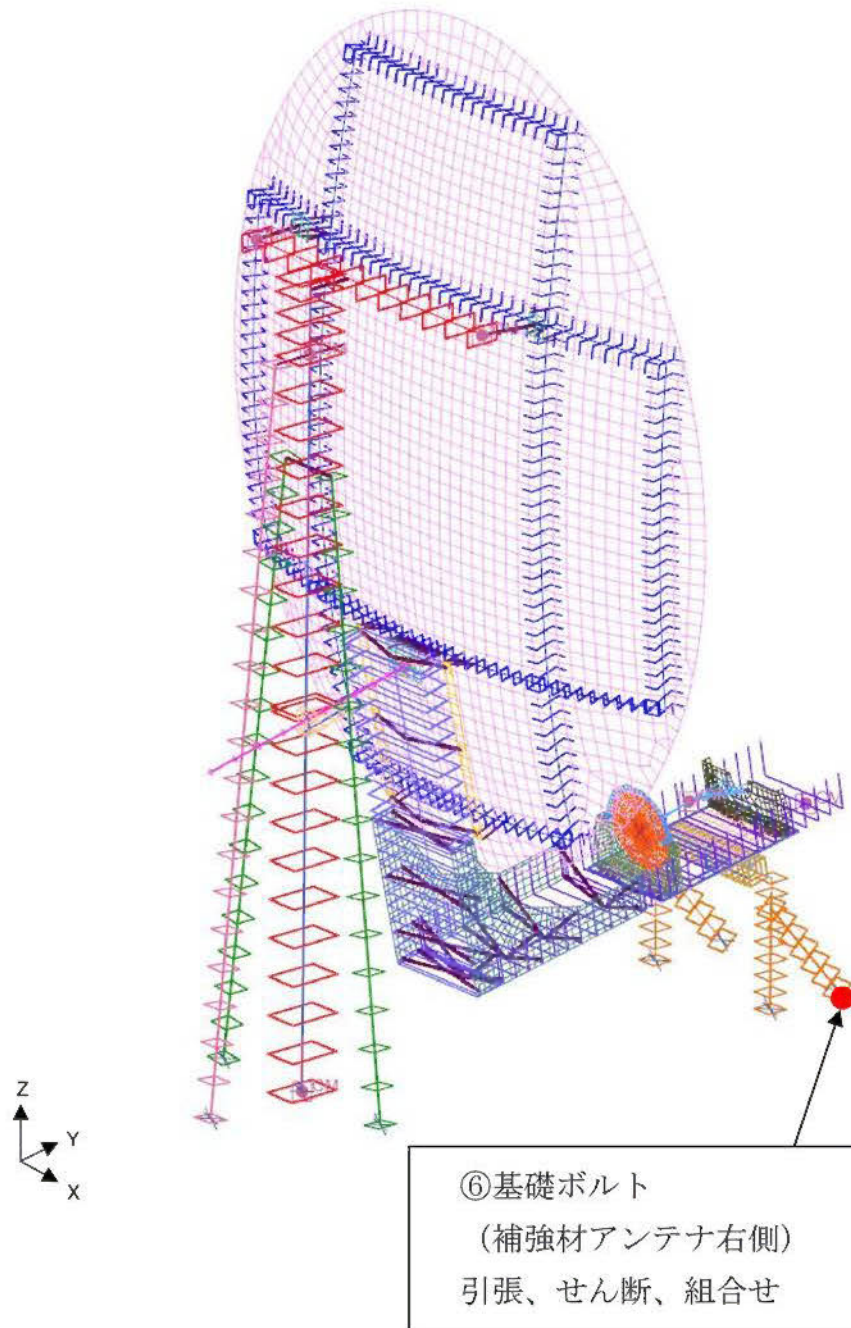
第6-12図 最大応力発生箇所



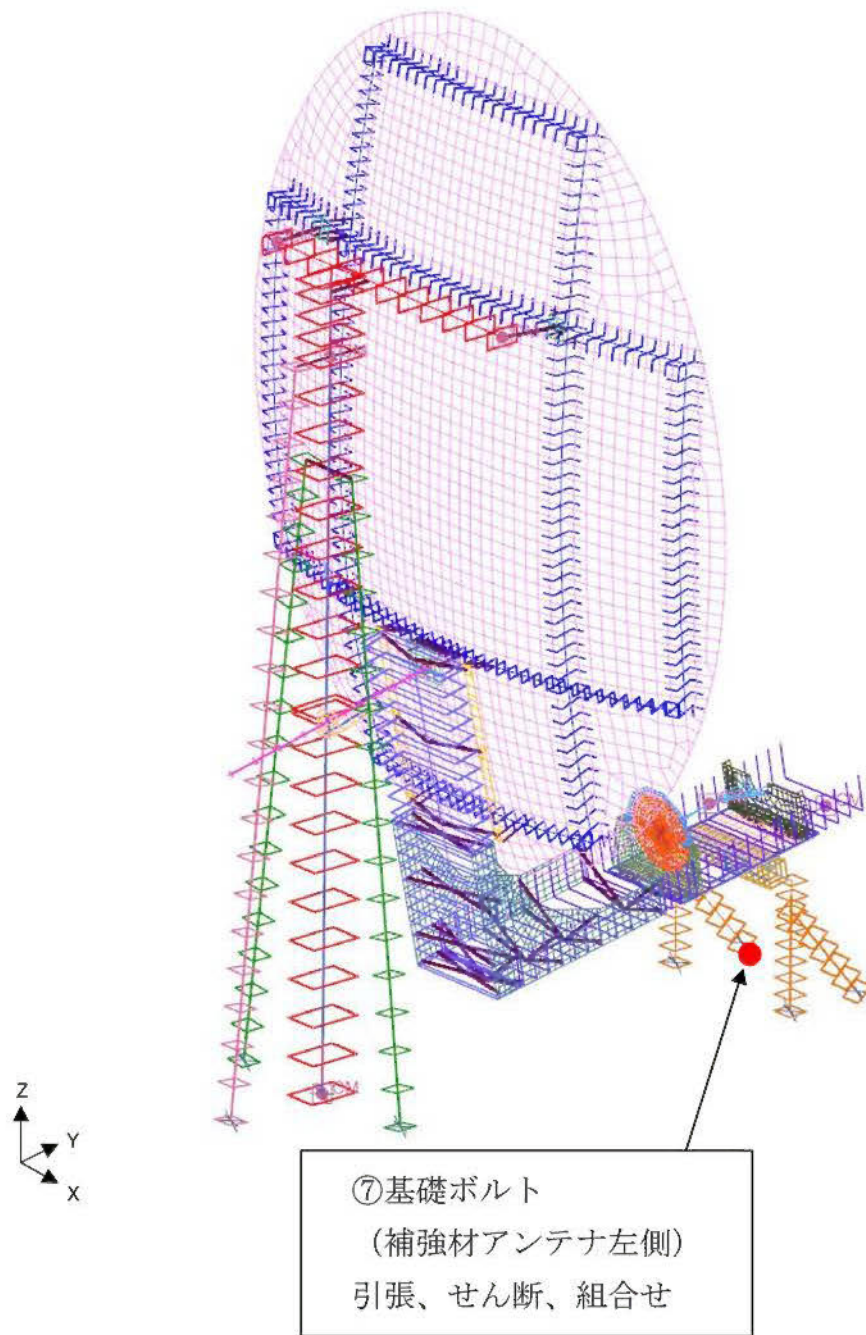
第6-13図 最大応力発生箇所



第6-14図 最大応力発生箇所



第6-15図 最大応力発生箇所



第 6-16 図 最大応力発生箇所

SPDS データ表示装置の耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-1-3

玄海原子力発電所第3号機

SPDS データ表示端末の耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-1-3-1

玄海原子力発電所第3号機

目 次

			頁
1. 概 要	12 (3)	- 17 - 1 - 3 - 1 - 1	
2. 基本方針	12 (3)	- 17 - 1 - 3 - 1 - 1	
2.1 構造の説明	12 (3)	- 17 - 1 - 3 - 1 - 1	
2.2 評価方針	12 (3)	- 17 - 1 - 3 - 1 - 2	
3. 加振試験	12 (3)	- 17 - 1 - 3 - 1 - 3	
3.1 基本事項	12 (3)	- 17 - 1 - 3 - 1 - 3	
3.2 設計用地震力	12 (3)	- 17 - 1 - 3 - 1 - 3	
4. 機能維持評価	12 (3)	- 17 - 1 - 3 - 1 - 4	
4.1 機能維持評価方法	12 (3)	- 17 - 1 - 3 - 1 - 4	
5. 評価結果	12 (3)	- 17 - 1 - 3 - 1 - 5	
5.1 重大事故等対処施設としての評価結果	12 (3)	- 17 - 1 - 3 - 1 - 5	

1. 概要

本資料は、資料 12-9「機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、SPDS データ表示端末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。その耐震評価は機能維持評価により行う。

SPDS データ表示端末は、設計基準対象施設においては C クラス施設に、重大事故等対処施設においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、資料 12-1「耐震設計の基本方針」の「2.1 基本方針」に示す常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

SPDS データ表示端末の構造計画を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 SPDS データ表示端末の構造計画

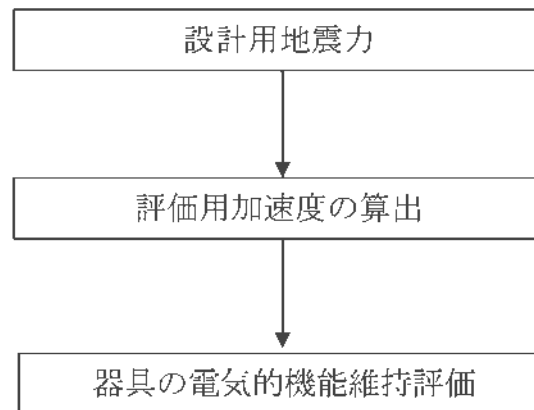
設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
SPDS データ表示端末 (固定金物)	SPDS データ表示端末	SPDS データ表示端末を固定金物にて机に固定する。また、机を固定板及び取付ボルトにて架台に固定し、架台を基礎ボルトにて床に据え付ける。	<p>SPDSデータ表示端末、固定金物、机、固定板、取付ボルト、取付ボルト、架台、基礎ボルト</p>
SPDS データ表示端末 (パソコン台)	SPDS データ表示端末	SPDS データ表示端末をパソコン台に固定し、パソコン台を机に固定する。また、机を固定板及び取付ボルトにて架台に固定し、架台を基礎ボルトにて床に据え付ける。	<p>SPDSデータ表示端末、パソコン台、机、固定板、取付ボルト、取付ボルト、架台、基礎ボルト</p>

2.2 評価方針

SPDS データ表示端末の機能維持評価は、資料 12-9「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. 加振試験」及び「4. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

SPDS データ表示端末の耐震評価の手順は、平成 29 年 8 月 25 日付け原規規発第 1708253 号にて認可された工事計画の実績に基づき実施する。

SPDS データ表示端末の耐震評価フローを第 2-1 図に示す。



第 2-1 図 SPDS データ表示端末の耐震評価フロー

3. 加振試験

3.1 基本事項

SPDS データ表示端末について、設置状態を模擬して加振試験を行い、基準地震動 S_s による地震力に対して、要求される機能が維持されることを確認する。

3.2 設計用地震力

以下の加振波の最大床加速度を上回る加速度で加振を行う。

- ・加振波 : 対象機器設置床における基準地震動 (S_s-1 から S_s-5) に対する設計用床応答曲線を上回るように設定
- ・加振方向 : 水平 (前後) + 水平 (左右) + 鉛直の 3 方向同時

建屋及び床面高さ(m)	加振方向		最大床加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
緊急時対策棟 EL.25.30	水平	前後	0.86
		左右	0.86
	鉛直		0.61

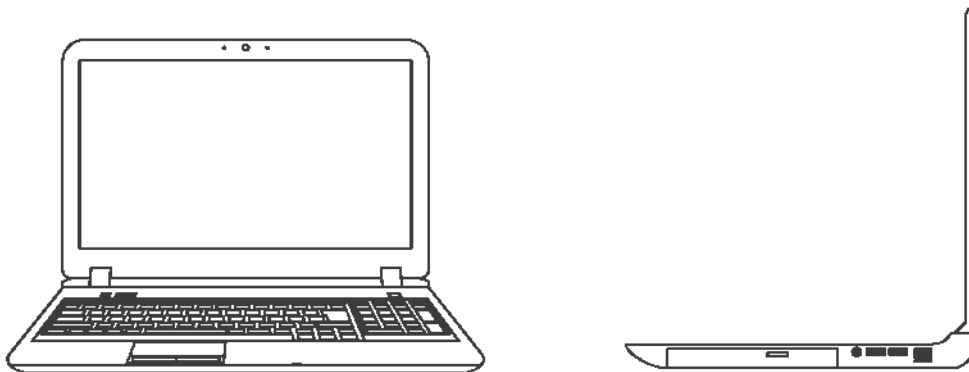
4. 機能維持評価

SPDS データ表示端末の地震時及び地震後の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

4.1 機能維持評価方法

SPDS データ表示端末の機能維持評価方法は、対象機器設置床における最大床加速度が、機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、加振試験後に電氣的機能が維持されていることを通信試験により確認した加振波の最大加速度を適用する。SPDS データ表示端末の外形図を第 4-1 図に示す。

なお、評価用加速度は最大床加速度を使用する。



第 4-1 図 SPDS データ表示端末 外形図

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処施設としての評価結果

SPDS データ表示端末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を満足しており、耐震性を有することを確認した。

電氣的機能維持評価結果を第 5-1 表に示す。

第5-1表 電氣的機能維持評価結果（重大事故等対処施設）

評価対象設備		加速度 確認部位	加振 方向		機能確認済加速度との比較		詳細 評価	
					評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		
計測制御系統施設	その他	SPDS データ 表示端末 (固定金物)	加振台	水平	前後	0.86	1.85	—
				左右	0.86	1.85		
			鉛直		0.61	1.51		
		SPDS データ 表示端末 (パソコン台)	加振台	水平	前後	0.86	1.84	—
				左右	0.86	1.84		
			鉛直		0.61	1.54		

SPDS-GWP 通信用計算機の耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-1-3-2

玄海原子力発電所第3号機

目 次

	頁
1. 概 要	12 (3) - 17 - 1 - 3 - 2 - 1
2. 基本方針	12 (3) - 17 - 1 - 3 - 2 - 1
2.1 構造の説明	12 (3) - 17 - 1 - 3 - 2 - 1
2.2 評価方針	12 (3) - 17 - 1 - 3 - 2 - 2
3. 耐震評価箇所	12 (3) - 17 - 1 - 3 - 2 - 3
4. 地震応答解析及び応力評価	12 (3) - 17 - 1 - 3 - 2 - 4
4.1 基本方針	12 (3) - 17 - 1 - 3 - 2 - 4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	12 (3) - 17 - 1 - 3 - 2 - 5
4.3 設計用地震力	12 (3) - 17 - 1 - 3 - 2 - 8
4.4 解析モデル及び諸元	12 (3) - 17 - 1 - 3 - 2 - 11
4.5 固有値	12 (3) - 17 - 1 - 3 - 2 - 13
4.6 応力評価方法	12 (3) - 17 - 1 - 3 - 2 - 15
4.7 応力評価条件	12 (3) - 17 - 1 - 3 - 2 - 20
5. 機能維持評価	12 (3) - 17 - 1 - 3 - 2 - 21
5.1 機能維持評価方法	12 (3) - 17 - 1 - 3 - 2 - 21
6. 評価結果	12 (3) - 17 - 1 - 3 - 2 - 23
6.1 重大事故等対処施設としての評価結果	12 (3) - 17 - 1 - 3 - 2 - 23

1. 概要

本資料は、資料 12-9 「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、SPDS-GWP 通信用計算機が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は地震応答解析、応力評価及び機能維持評価により行う。

SPDS-GWP 通信用計算機は、設計基準対象施設においては C クラス施設に、重大事故等対処施設においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、資料 12-1 「耐震設計の基本方針」の「2.1 基本方針」に示す常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

資料 12-11 「機器・配管の耐震支持方針」にて設定した電気計測制御装置の支持方針に基づき設計した SPDS-GWP 通信用計算機の構造計画を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 SPDS-GWP 通信用計算機の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
SPDS-GWP 通信用計算機	垂直自立型 (注)	盤を取付ボルトにてチャンネルベースに取り付ける。 また、チャンネルベースと溶接された架台は建屋の床面に埋め込まれた埋込金物に溶接にて固定される。	

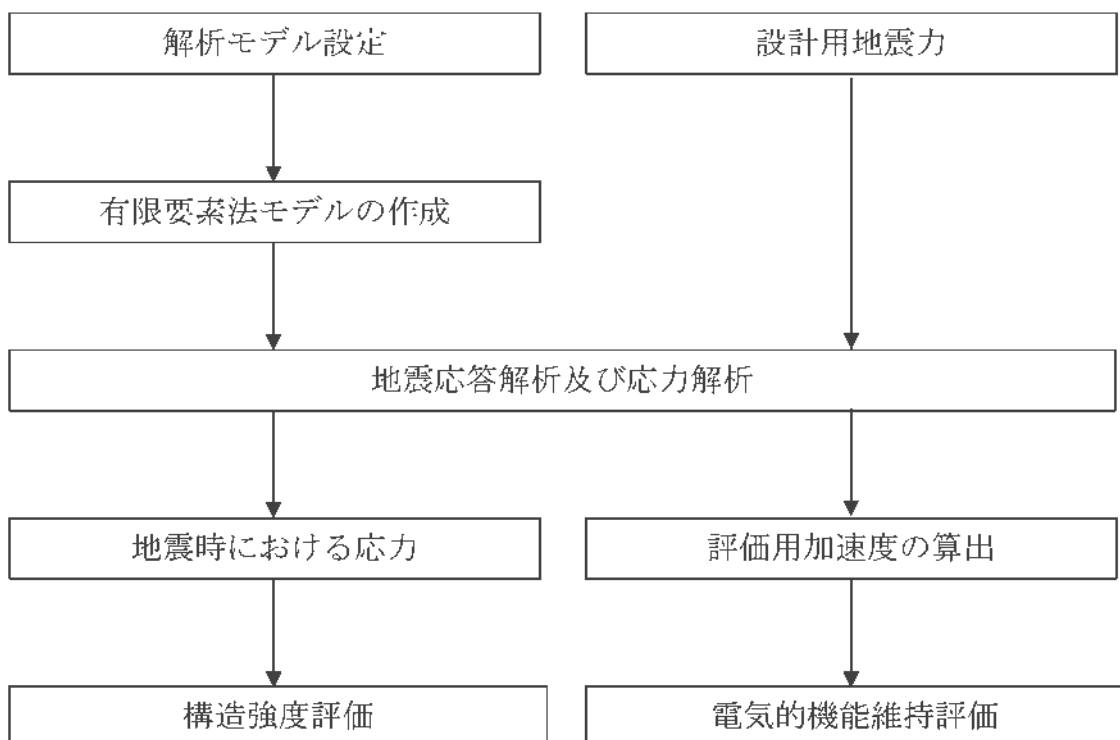
(注) 機能維持評価を行う、中央処理装置 (ファンユニット含む)、分電ユニット、端末用ハブ(HUB)、レイヤ 2 スイッチ(L2SW)及びメディアコンバータを内装する盤。

2.2 評価方針

SPDS-GWP 通信用計算機の応力評価は、資料 12-9「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 構造の説明」にて示す SPDS-GWP 通信用計算機の部位を踏まえ、「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所に作用する応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、SPDS-GWP 通信用計算機の機能維持評価は、資料 12-9「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。

SPDS-GWP 通信用計算機の耐震評価の手順は、平成 29 年 8 月 25 日付け原規規発第 1708253 号にて認可された工事計画の実績に基づき実施する。

SPDS-GWP 通信用計算機の耐震評価フローを第 2-1 図に示す。



第 2-1 図 SPDS-GWP 通信用計算機の耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

SPDS・GWP 通信用計算機の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる盤フレーム、架台フレーム及び取付ボルトを選定して実施する。SPDS・GWP 通信用計算機の耐震評価箇所について、第 2-1 表の説明図に示す。

4. 地震応答解析及び応力評価

4.1 基本方針

- (1) SPDS-GWP 通信用計算機の固有振動数、応力及び荷重を算定するための地震応答解析には、平成 29 年 8 月 25 日付け原規規発第 1708253 号にて認可された工事計画にて実績のある 3 次元 FEM モデルによる解析手法を適用する。
- (2) 盤を構成する鋼材をはり要素、鋼板をシェル要素としてモデル化し、固有振動数が 30Hz 以上である場合は最大床加速度の 1.2 倍を用いた静解析を、20Hz 以上 30Hz 未満である場合はスペクトルモーダル解析及び最大床加速度の 1.2 倍を用いた静解析を、20Hz 未満である場合はスペクトルモーダル解析を実施する。
- (3) 解析コードは「MSC NASTRAN Ver.2008.0.4」を使用する。なお、評価に用いる解析コード「MSC NASTRAN Ver.2008.0.4」の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。
- (4) 境界条件として、基礎溶接部で固定し、盤のフレームとパネル間及びチャンネルベースと架台間は剛体接続、盤とチャンネルベース間には取付ボルトを弾性体としてモデル化し接続する。
- (5) 取付器具の質量は筐体との取付ボルト位置に付加し、扉の質量は筐体のヒンジ位置に付加する。金具、ケーブル類の質量は等分布としてモデル全体に付加する。

単面における総質量は 600kg である。また、盤と架台を締結するためのチャンネルベースの総質量は 70kg、基礎とチャンネルベースを締結するための架台の総質量は 125kg である。
- (6) 許容応力について JSME S NJ1-2012 の Part3 を用いて計算する際に、温度が図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。

但し、比例法を用いる場合の端数処理は、有効 3 桁以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (7) 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

SPDS-GWP 通信用計算機の荷重の組合せ及び許容応力状態を第 4-1 表に示す。

4.2.2 許容応力

SPDS-GWP 通信用計算機の許容応力を第 4-2 表に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

SPDS-GWP 通信用計算機の使用材料の許容応力を第 4-3 表に示す。

第4-1表 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処施設）

施設区分		機器名称	設備分類	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他	SPDS-GWP 通信用 計算機 (注1)	常設重大事故 緩和設備	$D + P_D + M_D + S_s$ (注2)	IVAS
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	

(注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。

(注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。

第4-2表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{(注1)(注2)} (ボルト以外)				許容限界 ^(注2) (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
IV _{AS}	1.5f _t *	1.5f _s *	1.5f _c *	1.5f _b *	1.5f _t *	1.5f _s *

(注1) 「鋼構造設計規準 SI 単位版」(2002年日本建築学会)等の幅厚比の制限を満足させる。

(注2) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

第4-3表 使用材料の許容応力（重大事故等対処施設）

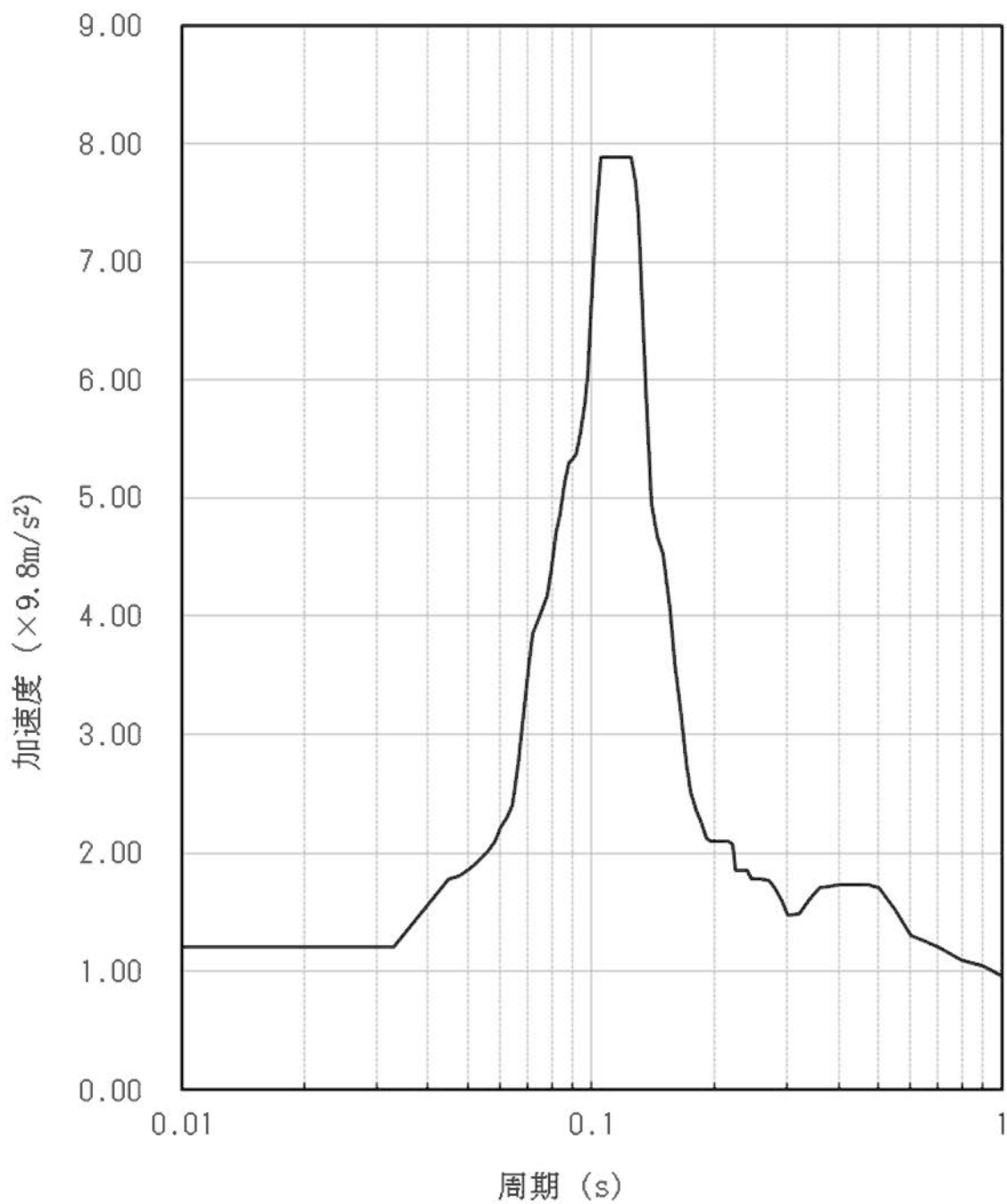
評価部位	材 料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	摘 要
盤フレーム	SS400	40 (雰囲気温度)	245	400	280	—
架台フレーム						
取付ボルト						呼径 M16

4.3 設計用地震力

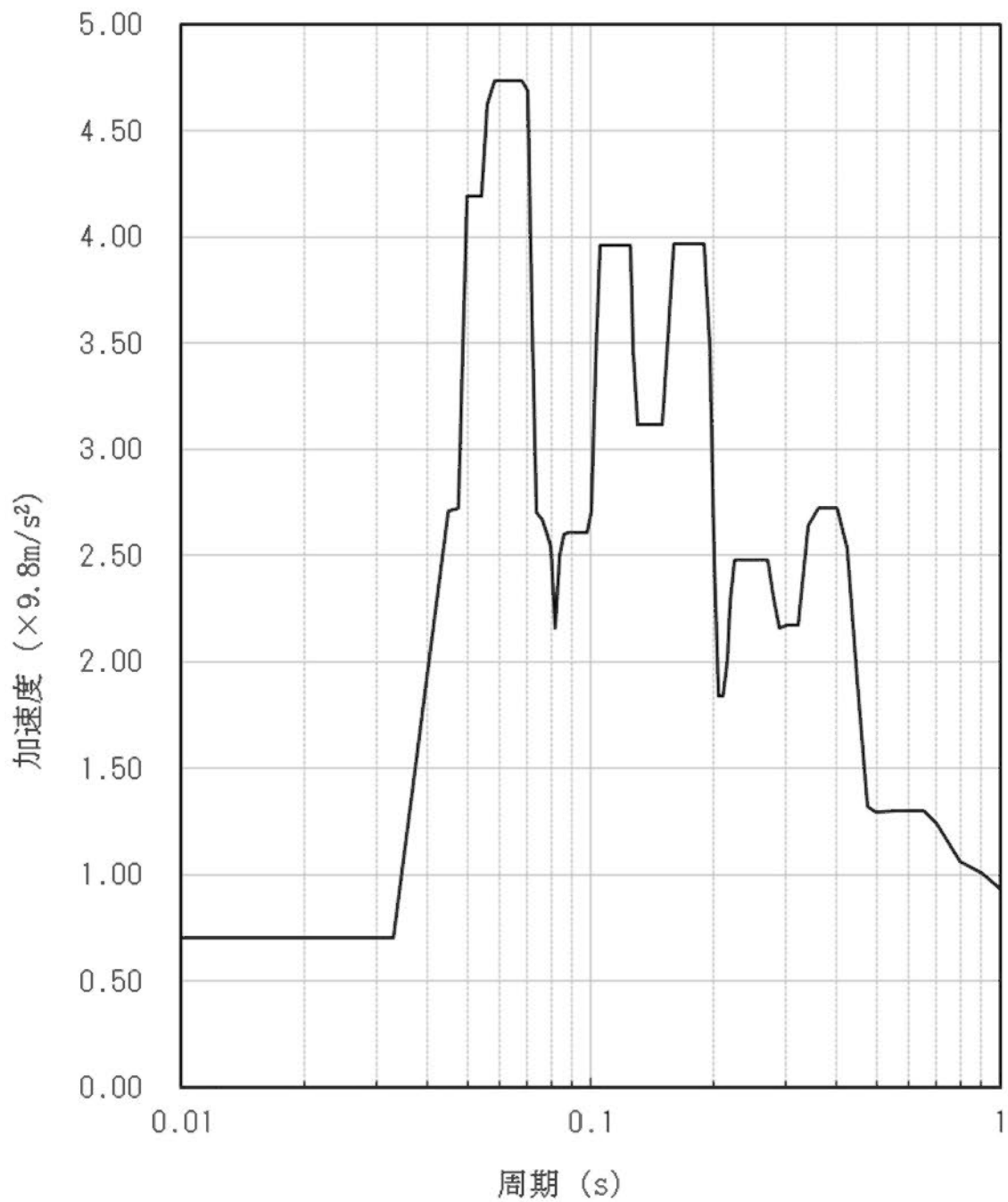
耐震計算に用いる入力地震力には、資料 12-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、第 4-4 表にて示す条件を用いて作成した第 4-1 図に示す設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は資料 12-6「地震応答解析の基本方針」第 3-1 表に記載の減衰定数を用いる。

第 4-4 表 設計用地震力

地震動	設置場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備 考
		建屋及び高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	
基準地震動 Ss	緊急時対策棟 EL.30.75	緊急時対策棟 EL.30.75	水平	4.0	水平方向は、Ss -1~5のX方向 及びY方向の包 絡曲線を用い る。 鉛直方向は、Ss -1~5の包絡曲 線を用いる。
			鉛直	1.0	



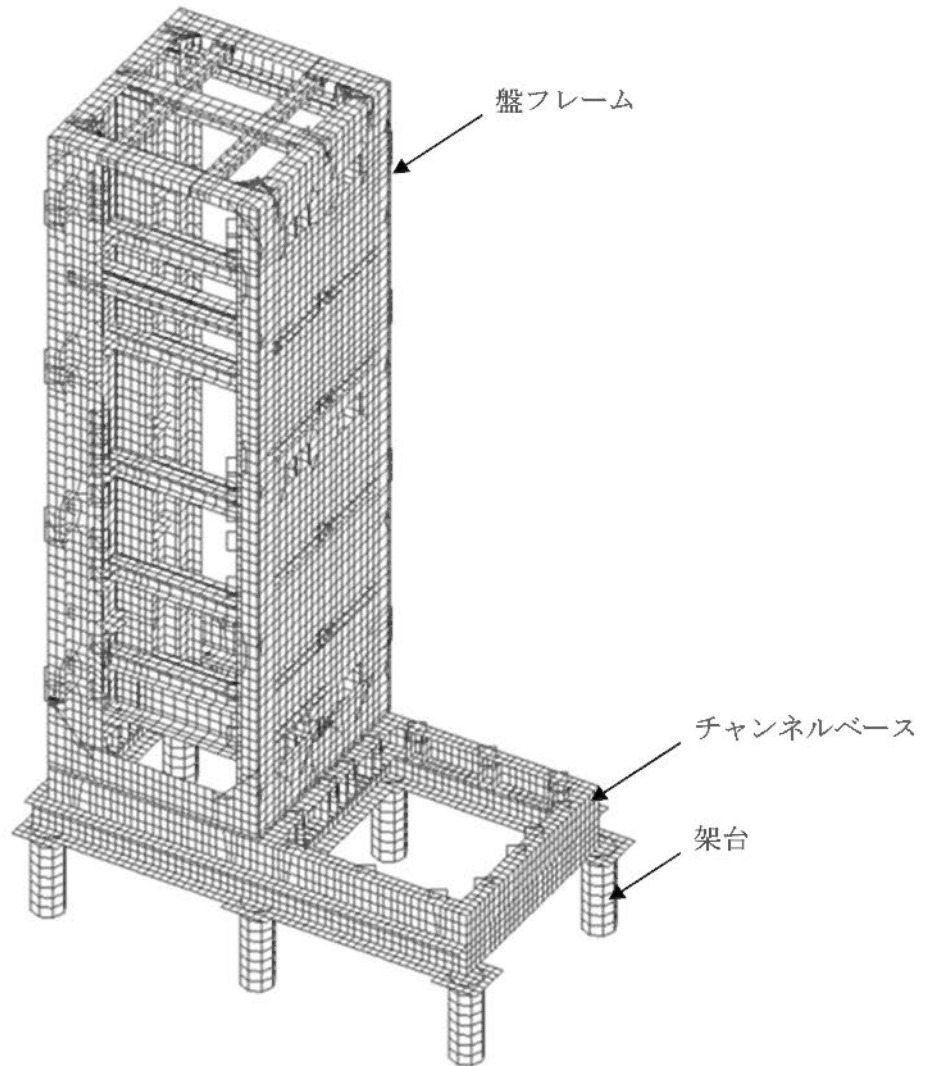
第 4-1 図(1/2) 基準地震動 Ss
 (緊急時対策棟 EL.30.75m 減衰定数 4.0%
 Ss-1~5 包絡 水平方向)



第 4-1 図(2/2) 基準地震動 Ss
 (緊急時対策棟 EL.30.75m 減衰定数 1.0%
 Ss-1~5 包絡 鉛直方向)

4.4 解析モデル及び諸元

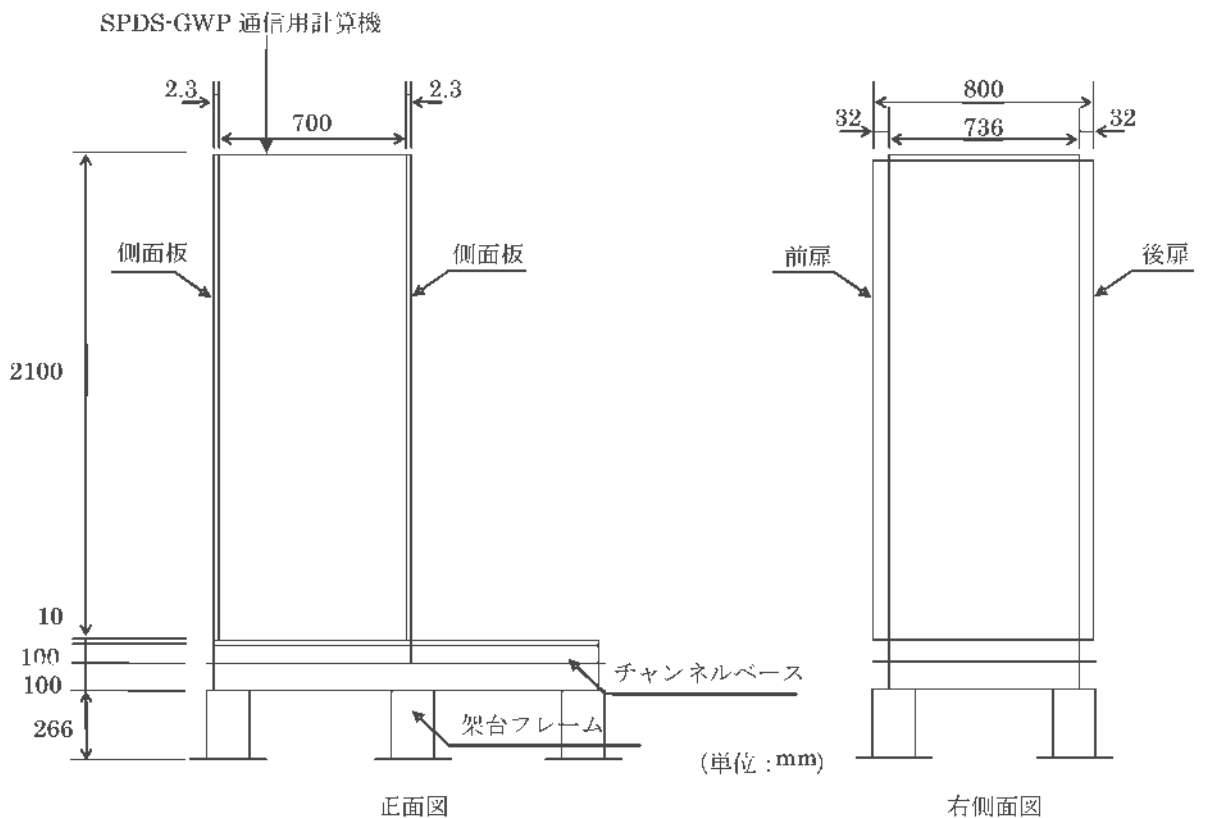
解析モデルは、盤を構成する鋼材をはり要素、鋼板、チャンネルベース及び架台をシェル要素としてモデル化した 3 次元 FEM モデルである。解析モデルを第 4-2 図に、解析モデルの諸元を第 4-5 表に示す。



第 4-2 図 解析モデル

第4-5表 解析モデルの諸元

項目		記号	単位	数値等
材質	盤	—	—	SS400
	架台	—	—	SS400
	取付ボルト	—	—	SS400
温度条件(雰囲気温度)		T	℃	40
縦弾性係数		E	MPa	2.01000×10^5
ポアソン比		ν	—	0.3
寸法	盤	—	—	第4-3図
	取付ボルト	—	—	M16×90mm×14本
要素数		—	個	12,140
節点数		—	個	11,517



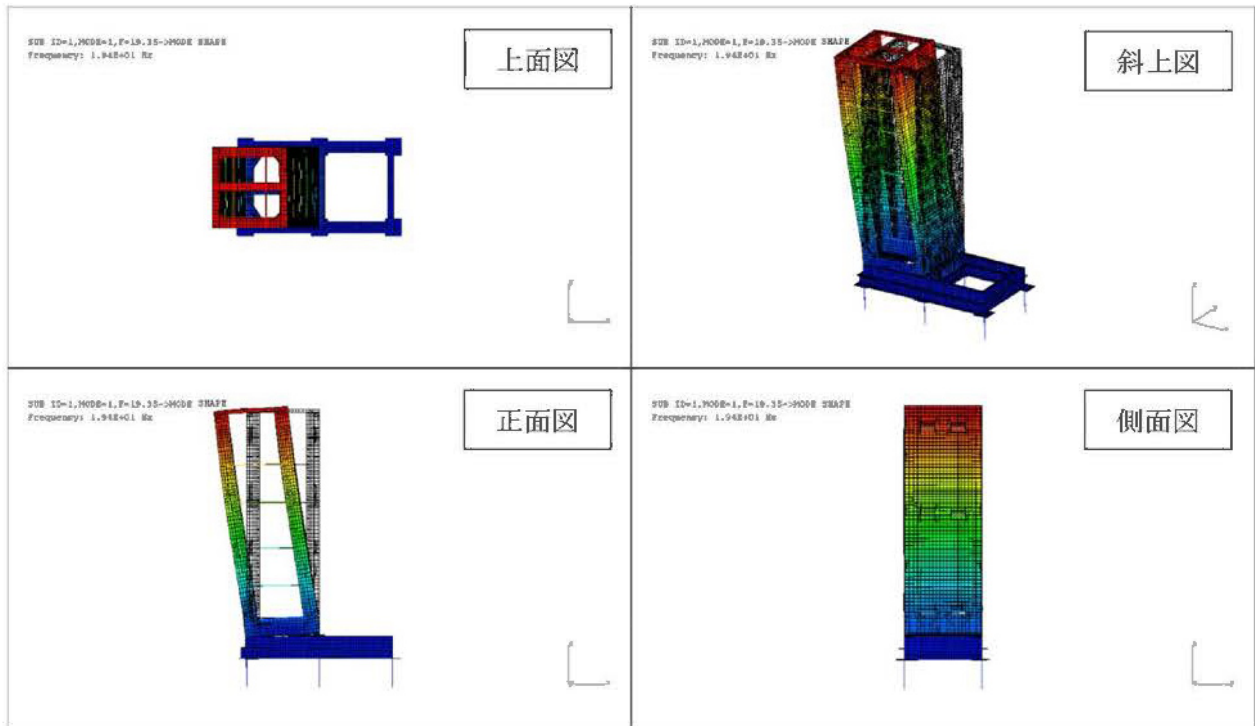
第4-3図 SPDS-GWP 通信用計算機 外形図

4.5 固有値

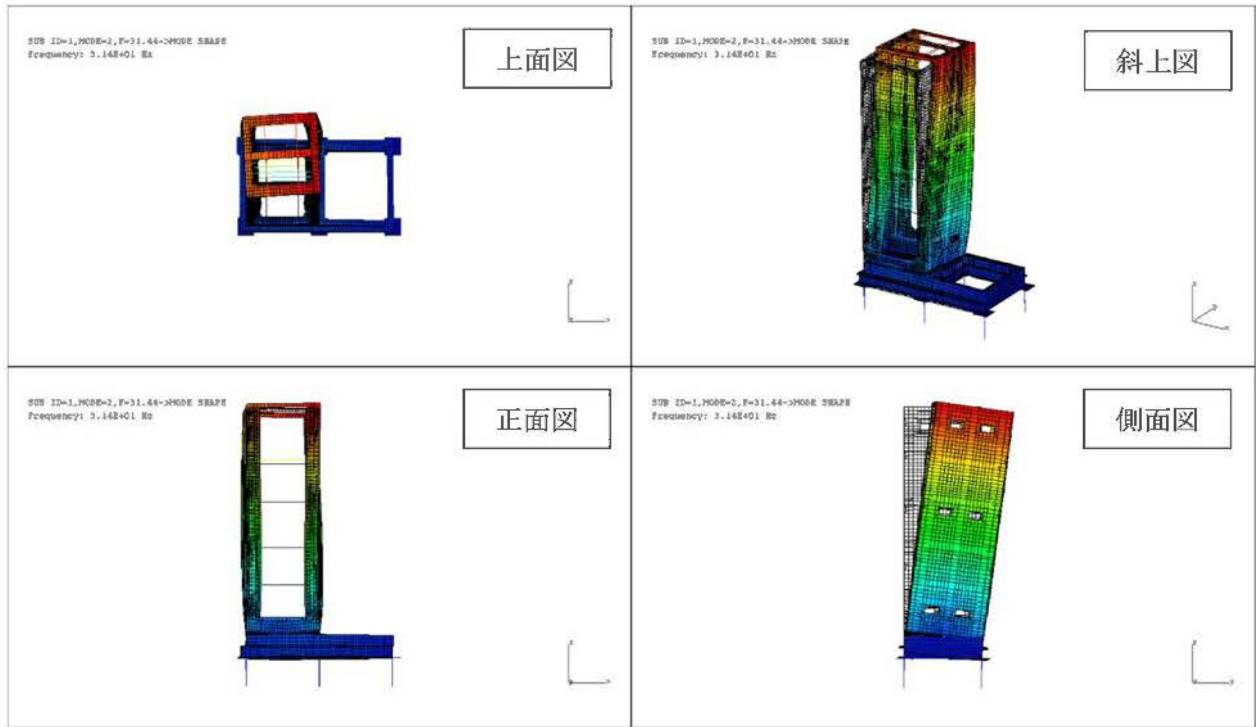
固有振動数を第 4-6 表に、振動モード図を第 4-4 図～第 4-6 図に示す。

第 4-6 表 固有振動数

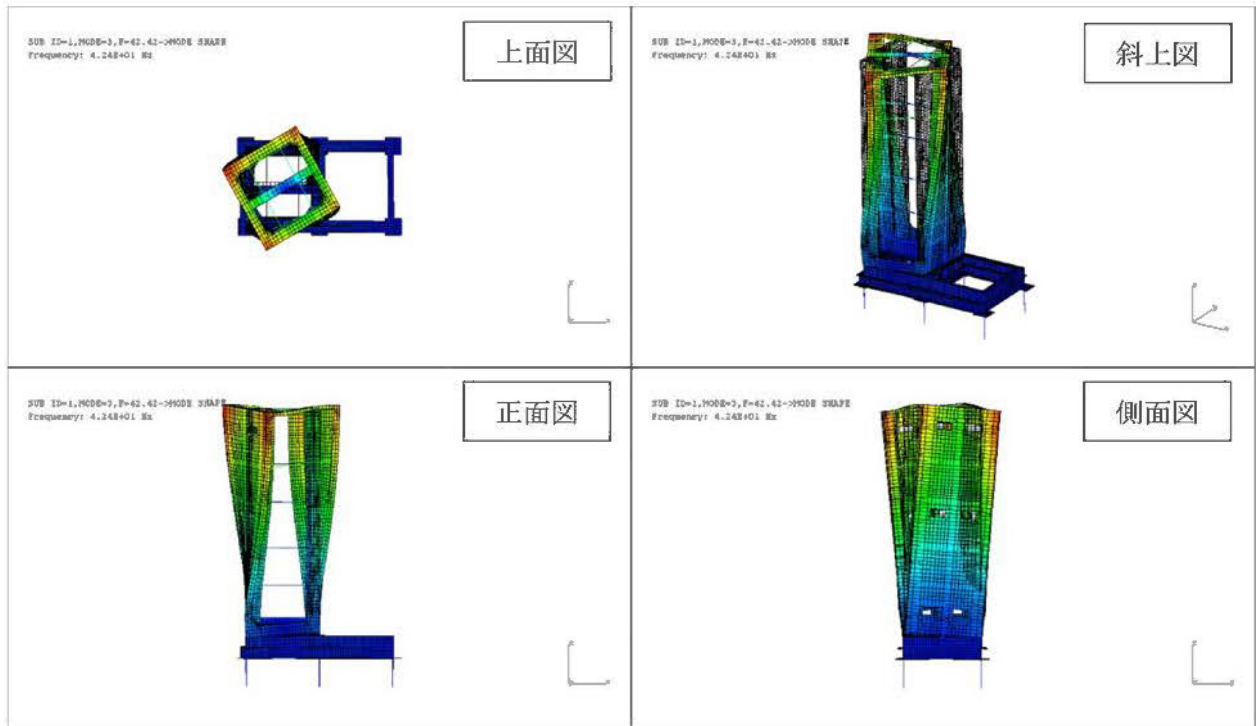
次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数			卓越相当部材
		X 方向	Y 方向	Z 方向	
1	19.35	-0.6421	-0.0063	0.0151	盤フレーム
2	31.44	-0.0031	0.6648	0.0117	盤フレーム
3	42.42	-0.0117	0.0407	0.0263	盤フレーム



第 4-4 図 振動モード (1 次モード)



第 4-5 図 振動モード (2 次モード)



第 4-6 図 振動モード (3 次モード)

4.6 応力評価方法

4.6.1 盤フレーム、架台フレーム

FEM 解析の結果から得られるフレーム部分のはり要素の荷重、モーメントを用いて、以下の式により最大応力及び組合せ応力を計算する。

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力 σ_t		MPa	$\frac{F_x}{A}$
圧縮応力 σ_c		MPa	$\frac{F_x}{A}$
曲げ応力 σ_b		MPa	$\frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力 τ		MPa	$\frac{F_y}{A_y} + \frac{F_z}{A_z} + \frac{hT}{J}$
組合せ 応力	引張+曲げ	—	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5f_t^*}$
	圧縮+曲げ	—	$\frac{\sigma_c}{1.5f_c^*} + \frac{\sigma_b}{1.5f_b^*}$

ここで、

盤フレーム

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
F _x	はりに作用する 引張、圧縮力	N	引張	2230.0
			圧縮	3548.2
			組合せ (引張+曲げ)	506.0
			組合せ (圧縮+曲げ)	3548.2
F _y	はりに作用する Y軸方向のせん断力	N	—	650.6
F _z	はりに作用する Z軸方向のせん断力	N	—	95.4

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
M_y	はりに作用する Y軸周りの曲げ モーメント	N・mm	曲げ	4075.9
			組合せ (引張+曲げ)	
			組合せ (圧縮+曲げ)	5575.5
M_z	はりに作用する Z軸周りの曲げ モーメント	N・mm	曲げ	151642.4
			組合せ (引張+曲げ)	
			組合せ (圧縮+曲げ)	328549.0
T	はりに作用する ねじりモーメント	N・mm	—	4713.8
A	はりの断面積	mm ²	引張	347.5
			圧縮	856.3
			組合せ (引張+曲げ)	570.2
			組合せ (圧縮+曲げ)	856.3
A_y	はりの有効せん断 断面積 (Y軸方向)	mm ²	—	83.2
A_z	はりの有効せん断 断面積 (Z軸方向)	mm ²	—	128.0

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
Z_y	はりの Y 軸まわりの 断面係数	mm^3	曲げ	4420.0
			組合せ (引張+曲げ)	
			組合せ (圧縮+曲げ)	11940.0
Z_z	はりの Z 軸まわりの 断面係数	mm^3	曲げ	4570.0
			組合せ (引張+曲げ)	
			組合せ (圧縮+曲げ)	20800.0
J	はりのねじり剛性	mm^4	—	650.0
h	はりの板厚	mm	—	3.2

架台フレーム

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
F_x	はりに作用する 引張、圧縮力	N	引張	7094.1
			圧縮	10936.9
			組合せ (引張+曲げ)	7031.8
			組合せ (圧縮+曲げ)	10936.9
F_y	はりに作用する Y 軸方向のせん断力	N	—	2606.7
F_z	はりに作用する Z 軸方向のせん断力	N	—	359.0

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
M_y	はりに作用する Y 軸周りの曲げ モーメント	N・mm	曲げ	205795.9
			組合せ (引張+曲げ)	
			組合せ (圧縮+曲げ)	
M_z	はりに作用する Z 軸周りの曲げ モーメント	N・mm	曲げ	605139.4
			組合せ (引張+曲げ)	
			組合せ (圧縮+曲げ)	
T	はりに作用する ねじりモーメント	N・mm	—	12163.3
A	はりの断面積	mm ²	—	3067.0
A_y	はりの有効せん断 断面積 (Y 軸方向)	mm ²	—	1800.0
A_z	はりの有効せん断 断面積 (Z 軸方向)	mm ²	—	1800.0
Z_y	はりの Y 軸まわりの 断面係数	mm ³	—	81600.0
Z_z	はりの Z 軸まわりの 断面係数	mm ³	—	81600.0
J	はりのねじり剛性	mm ⁴	—	6782130.0
h	はりの板厚	mm	—	9.0

4.6.2 取付ボルト

FEM 解析の結果から得られる取付ボルト部の最大荷重を用いて、以下の式により最大応力及び組合せ応力を計算する。

応力の種類	単 位	応力計算式
引張応力 σ_{bt}	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$
せん断応力 τ_b	MPa	$\frac{F_y}{A_b} + \frac{F_z}{A_b} + \frac{hT}{J}$
組合せ応力	MPa	$\frac{F_x}{A_b}$

ここで、

記号	記号の説明	単位	応力分類	数値
F_x	ボルト 1 本あたりに作用する引張力	N	取付ボルト	7472.2
F_y	ボルト 1 本あたりに作用する Y 軸方向のせん断力	N	取付ボルト	4897.1
F_z	ボルト 1 本あたりに作用する Z 軸方向のせん断力	N	取付ボルト	1602.7
T	ボルト 1 本あたりに作用するねじりモーメント	N・mm	取付ボルト	16.1

記号	記号の説明	単位	応力分類	加速度の方向	数値
A_b	ボルト 1 本あたりの断面積	mm²	取付ボルト	—	157
J	ボルト 1 本あたりのねじり剛性	mm⁴	取付ボルト	—	4585.4
h	ボルト 1 本あたりの半径	mm	取付ボルト	—	7.3

4.7 応力評価条件

(1) 応力計算条件

	項目	記号	単位	数値等
材質	盤フレーム	—	—	SS400
	架台フレーム	—	—	SS400
	取付ボルト	—	—	SS400
寸法	盤	—	—	第 4-3 図
	取付ボルト	—	—	M16×14 本

5. 機能維持評価

SPDS-GWP 通信用計算機の地震時及び地震後の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

5.1 機能維持評価方法

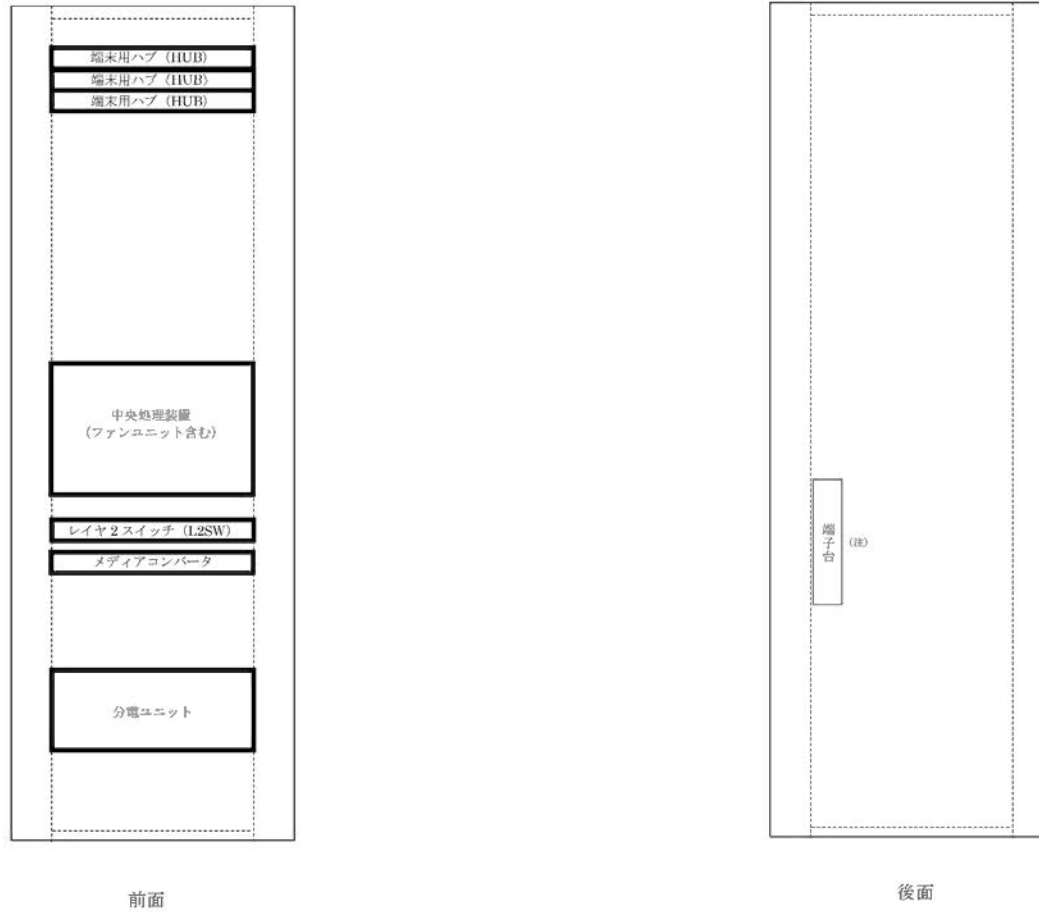
SPDS-GWP 通信用計算機の評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、器具単体の正弦波加振試験（掃引試験及びビート試験）において、電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を第5-1表に示す。また、評価する器具の実装図を第5-1図に示す。

なお、評価用加速度には、地震応答解析により得られた器具取付位置における応答加速度の最大値を用いる。

第5-1表 機能確認済加速度

器具名称	方向	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
中央処理装置 (ファンユニット含む)	水平	10.0
	鉛直	2.0
分電ユニット	水平	6.0
	鉛直	2.0
端末用ハブ (HUB)	水平	10.0
	鉛直	2.0
レイヤ2スイッチ(L2SW)	水平	6.0
	鉛直	2.0
メディアコンバータ	水平	6.0
	鉛直	2.0

SPDS-GWP 通信用計算機



■ : 評価対象

(注) : 重大事故等時に機能要求がない器具のため評価対象外

第 5-1 図 器具の実装図

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処施設としての評価結果

SPDS-GWP 通信用計算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。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を第 6-1 表に、電氣的機能維持評価結果を第 6-2 表に示す。また、最大応力発生箇所を第 6-1 図～第 6-3 図に示す。

第6-1表 基準地震動 S_s による評価結果 (D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s) (1/2)

評価対象設備		評価部位	応力分類		発生値	評価基準値	
					MPa	MPa	
計測制御系統施設	その他	SPDS-GWP 通信 用計算機	盤フレーム	引張応力		7	279
				せん断応力		32	160
				圧縮応力		5	61
				曲げ応力		35	279
			組合せ 応力	引張+曲げ	0.13 ^(注1)	1 ^(注1)	
				圧縮+曲げ	0.15 ^(注1)		
			架台 フレーム	引張応力		3	279
				せん断応力		2	160
				圧縮応力		4	277
				曲げ応力		10	279
組合せ 応力	引張+曲げ	0.05 ^(注1)		1 ^(注1)			
	圧縮+曲げ	0.06 ^(注1)					

第6-1表 基準地震動 S_s による評価結果 ($D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$) (2/2)

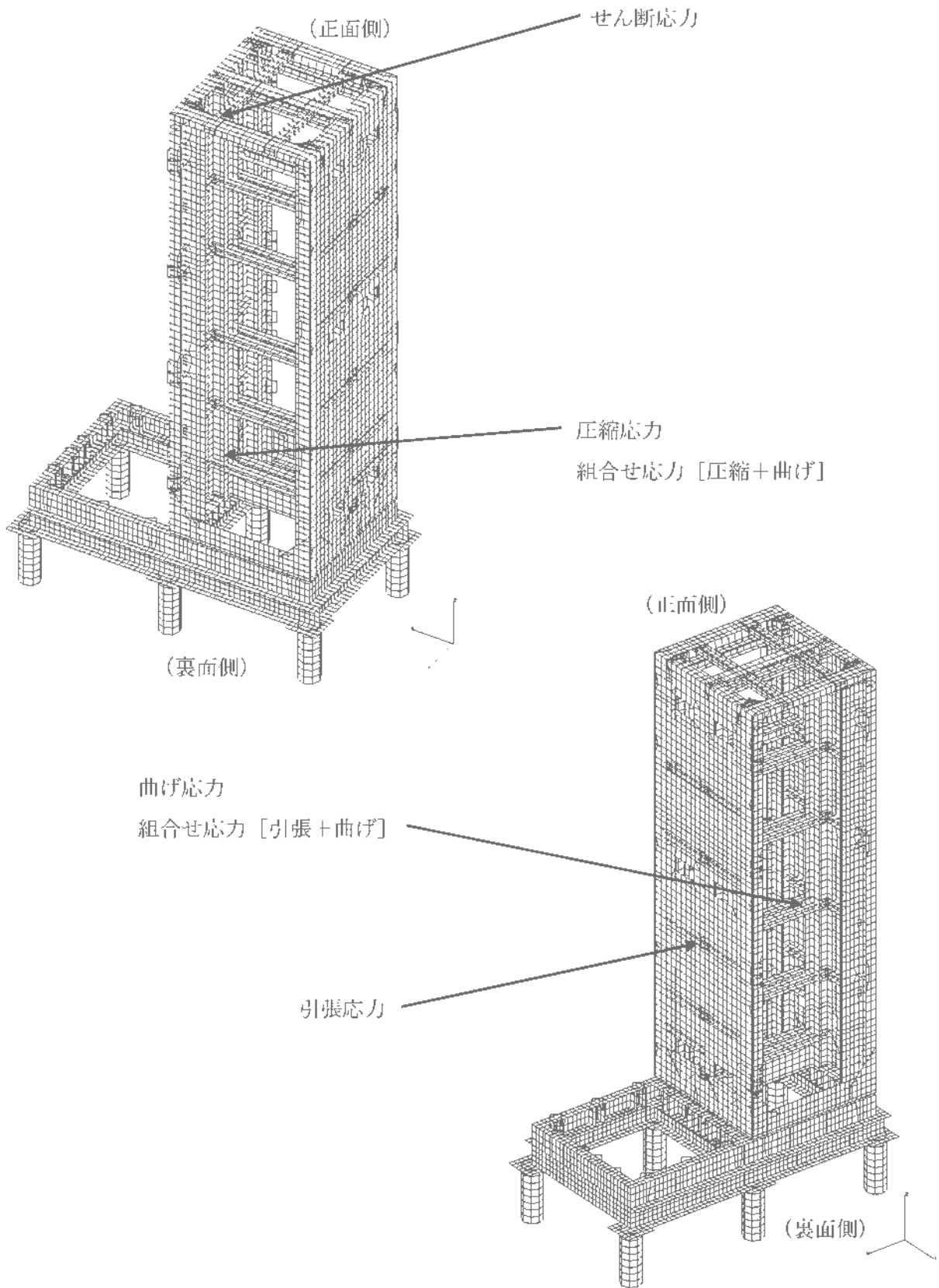
評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値	評価基準値	
				MPa	MPa	
計測制御系統施設	その他	SPDS-GWP 通信用計算機	取付ボルト	引張応力	48	279
				せん断応力	42	160
				組合せ応力	48	279 ^(注2)

(注1) 単位なし

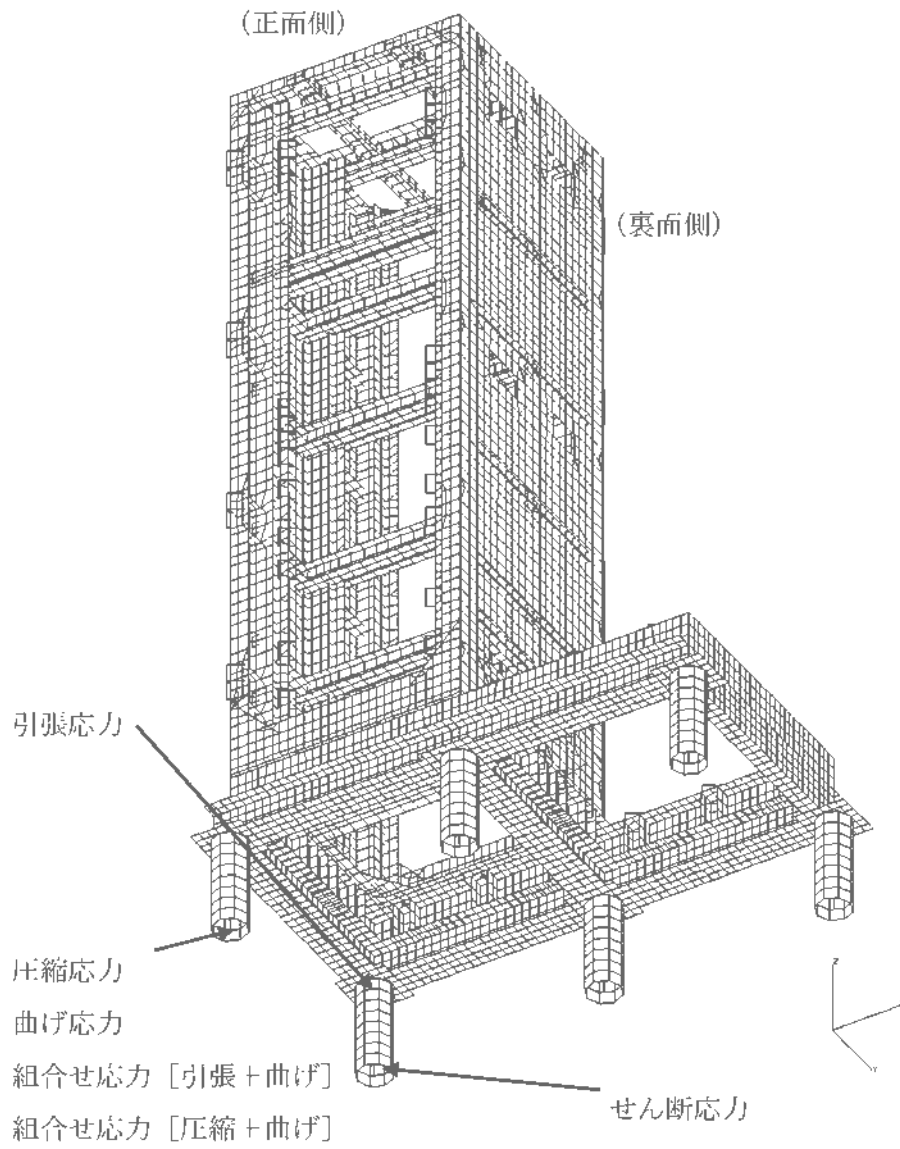
(注2) 引張応力(σ_b)とせん断応力(τ_b)との組合せ応力の評価基準値は $\text{Min}(1.4 \cdot 1.5f_t^* - 1.6 \tau_b, 1.5f_t^*)$ とする。

第6-2表 電氣的機能維持評価結果（重大事故等対処施設）

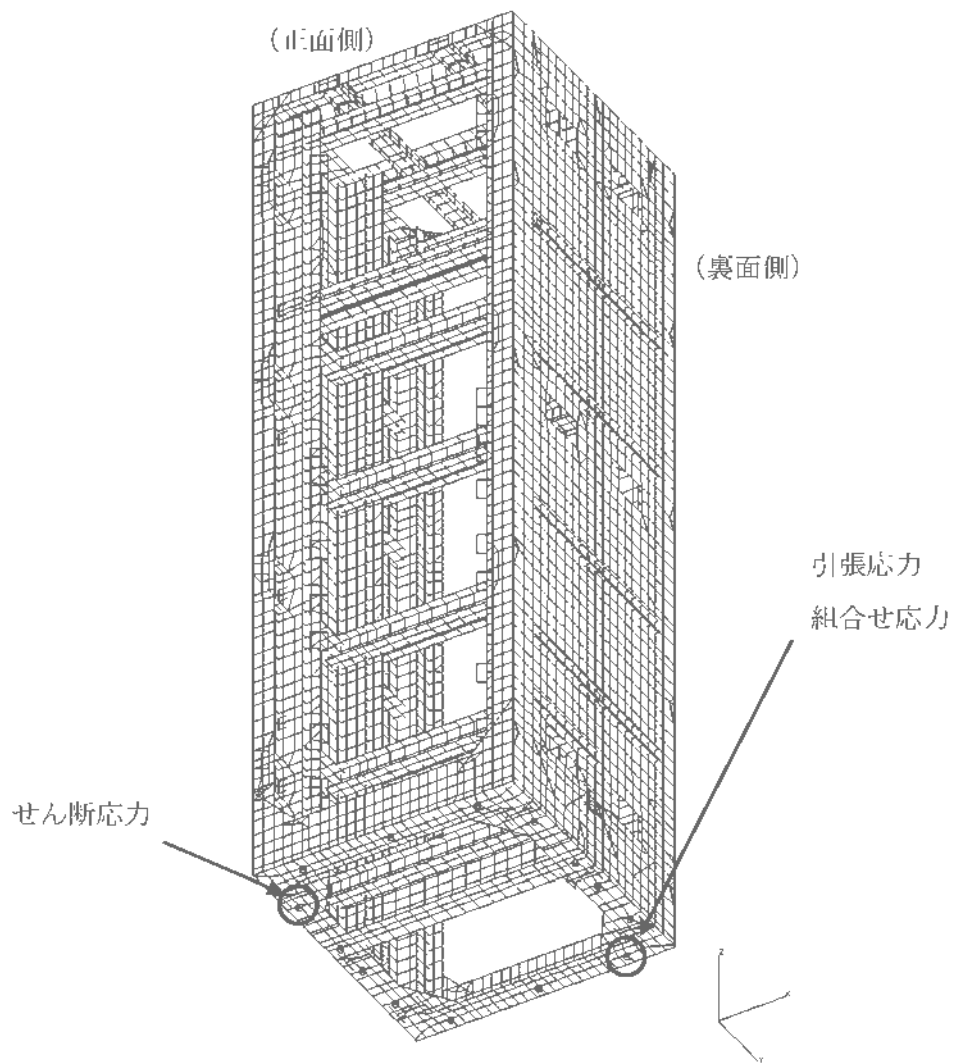
評価対象設備				機能確認済加速度との比較					詳細評価
				加速度 確認部位	水平加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		鉛直加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		
					評価用 加速度	機能確認済 加速度	評価用 加速度	機能確認済 加速度	
計測 制御 系統 施設	その他	SPDS-GWP 通 信用 計算機	中央処理装置 (ファンユニット含む)	—	2.4	10.0	0.9	2.0	—
			分電ユニット	—	2.1	6.0	0.9	2.0	—
			端末用ハブ(HUB)	—	3.0	10.0	0.9	2.0	—
			レイヤ2スイッチ (L2SW)	—	2.3	6.0	0.9	2.0	—
			メディアコンバータ	—	2.2	6.0	0.9	2.0	—



第6-1図 盤フレームの最大応力発生箇所



第 6-2 図 架台脚部の最大応力発生箇所



第6-3図 取付ボルトの最大応力発生箇所

放射線管理施設の耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-2

玄海原子力発電所第3号機

緊急時対策所非常用空気浄化ファンの耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-2-1

玄海原子力発電所第3号機

目 次

	頁
1. 概 要	12 (3) - 17 - 2 - 1 - 1
2. 応力評価	12 (3) - 17 - 2 - 1 - 1
2.1 基本方針	12 (3) - 17 - 2 - 1 - 1
2.2 荷重の組合せ及び許容応力	12 (3) - 17 - 2 - 1 - 1
3. 機能維持評価	12 (3) - 17 - 2 - 1 - 4
3.1 機能維持評価方法	12 (3) - 17 - 2 - 1 - 4
4. 評価結果	12 (3) - 17 - 2 - 1 - 5
4.1 重大事故等対処施設としての評価結果	12 (3) - 17 - 2 - 1 - 5

1. 概 要

本資料は、資料 12-9「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空気浄化ファンが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的維持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、応力評価及び機能維持評価により行う。

緊急時対策所非常用空気浄化ファンは、重大事故等対処施設において常設重大事故緩和設備に分類される。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 応力評価

2.1 基本方針

応力評価は、資料 12-15「補機（ポンプ類）の耐震計算について」に記載の耐震計算方法に基づき実施する。

2.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急時対策所非常用空気浄化ファンの荷重の組合せ及び許容応力状態を第 2-1 表に示す。

2.2.2 許容応力

緊急時対策所非常用空気浄化ファンの許容応力を第 2-2 表に示す。

2.2.3 使用材料の許容応力

緊急時対策所非常用空気浄化ファンの使用材料の許容応力を第 2-3 表に示す。

第2-1表 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処施設）

施設区分		機器名称	設備分類	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理 施設	換気設備	(注1) 緊急時対策所 非常用空気浄化 ファン	常設重大事故 緩和設備	$D + P_D + M_D + S_s$ (注2)	IVAS
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	

(注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。

(注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。

第2-2表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	(注) 許容限界 (ボルト等)	
	- 次 応 力	
	引張	せん断
I_{AS}	$1.5f_t^*$	$1.5f_s^*$

(注) 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。

第2-3表 使用材料の許容応力（重大事故等対処施設）

部材	材料名	温度条件		Sy (MPa)	Su (MPa)	F* (MPa)
		(°C)				
基礎ボルト	SS400	雰囲気温度	40	245	400	280
原動機取付ボルト	SS400	雰囲気温度	40	245	400	280

3. 機能維持評価

緊急時対策所非常用空気浄化ファンの地震時及び地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。

3.1 機能維持評価方法

緊急時対策所非常用空気浄化ファンは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性を持っているため、資料 12-9「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第 3-1 表に示す。

第 3-1 表 機能確認済加速度

評価部位	型式	方向	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
ファン	遠心直結型ファン	水平	2.6
		鉛直	2.0
原動機	横形ころがり軸受 電動機	水平	7.0
		鉛直	2.0

4. 評価結果

4.1 重大事故等対処施設としての評価結果

緊急時対策所非常用空気浄化ファンの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

基準地震動 S_s に対する応力評価結果、動的機能維持評価結果を次頁以降に示す。

緊急時対策所非常用空気浄化ファンの耐震計算書

1. 設計条件

	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	ボルト配置状態	評価用温度 (°C)	
				雰囲気温度	
				基礎ボルト	原動機 取付ボルト
重大事故等 対処施設	常設重大事故 緩和設備	緊急時対策棟 地上 2 階 EL.30.75	矩形配置	40	40

2. 設計用加速度

減衰定数 (%)	固有周期 T(s)		設計用加速度 (m/s ²) 基準地震動 S _s (注)		回転体振動による 加速度 a _p (m/s ²)	回転体回転により働く モーメント M _p (N・mm)
	水平	鉛直	水平 a _H	鉛直 a _V		
1.0	0.033 以下	0.033 以下	14.24	8.24	2.84	79,577

(注) 水平方向は S_s-1~5 の X 方向及び Y 方向の包絡曲線を用いる。鉛直方向は S_s-1~5 の包絡曲線を用いる。

3. 機器要目

評価部位	m (kg)	h (mm)	A _b (mm ²)	n (-)	N (-)	L (mm)	ℓ (mm)
基礎ボルト	1,500	665	157 (M16)	10	1	912	1,690
原動機取付ボルト	205	180	84.3 (M12)	4	2	120.5	241

P (kW)	R (min ⁻¹)	p (μm)
15	1,800	160
15	1,800	160

4. 結論

4.1 摩擦力と水平地震力の比較

評価部位	基準地震動 S _s	
	基礎ボルト	原動機 取付ボルト
摩擦力 F' (N)	8.0×10 ⁴	1.3×10 ⁴
水平地震力 F _H (N)	2.6×10 ⁴	3.6×10 ³
評価結果	F' ≥ F _H よ り、せん断力 は作用しない	F' ≥ F _H よ り、せん断力 は作用しない

4.2 評価結果 (D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_S) (単位: MPa)

評価部位	材 料	応 力	基準地震動 S _S		応 力	基準地震動 S _S		応 力	基準地震動 S _S	
			発生値	許容値		発生値	許容値		発生値	許容値
基礎ボルト	SS400	引 張	71	279	せん断	—	—	組合せ	—	—
原動機取付ボルト	SS400	引 張	17	279	せん断	—	—	組合せ	—	—

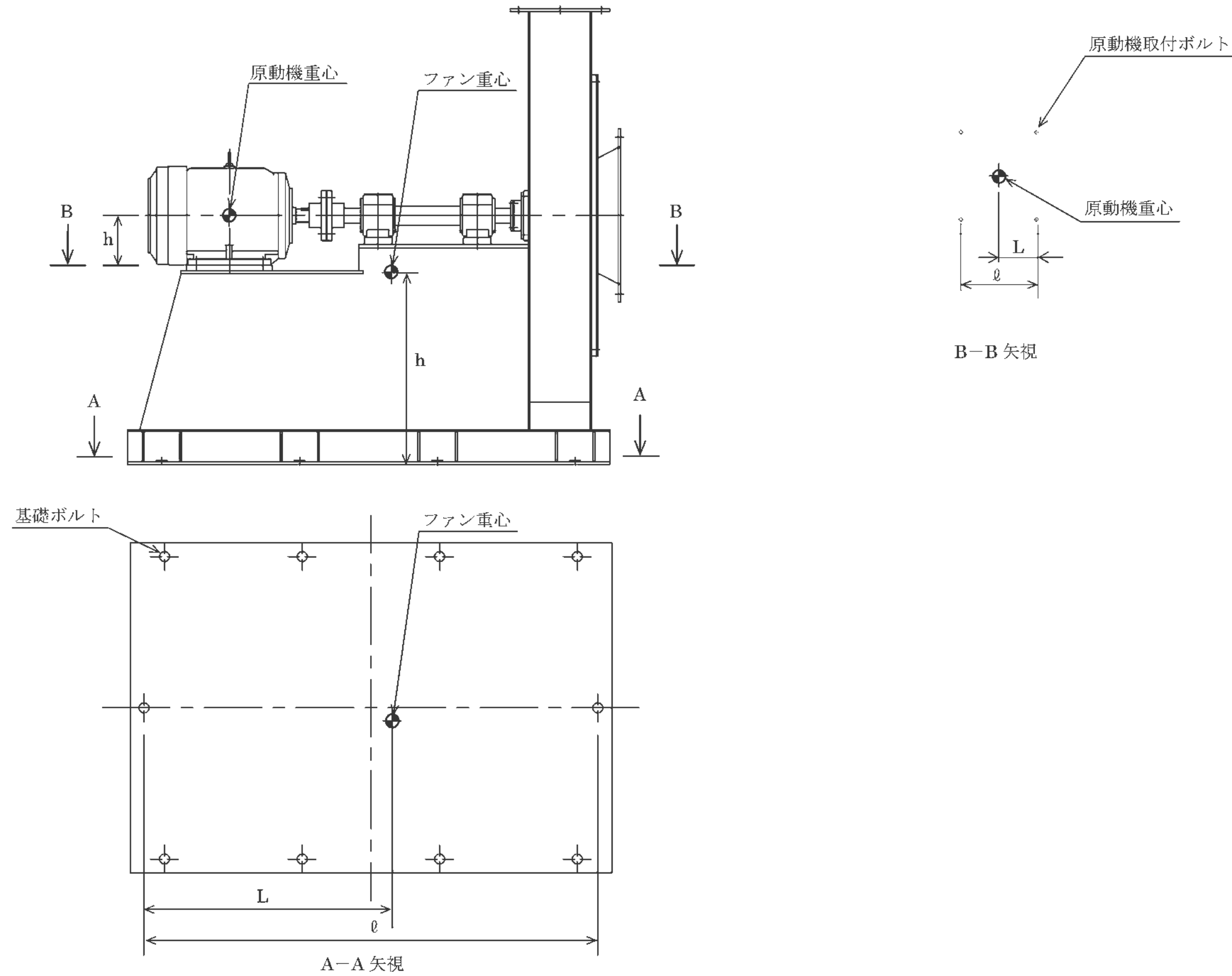
発生値はすべて許容値以下である。

4.3 動的機能の評価結果 (単位: ×9.8 m/s²)

		評価用加速度 ^(注)	機能確認済加速度
ファン	水平	1.21	2.6
	鉛直	0.70	2.0
原動機	水平	1.21	7.0
	鉛直	0.70	2.0

(注) 水平方向は S_S-1~5 の X 方向及び Y 方向の包絡曲線を用いる。鉛直方向は S_S-1~5 の包絡曲線を用いる。
 評価用加速度は、すべて機能確認済加速度以下である。

5. 外形図



緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットの
耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-2-2

玄海原子力発電所第3号機

目 次

	頁
1. 概 要	12 (3) - 17 - 2 - 2 - 1
2. 基本方針	12 (3) - 17 - 2 - 2 - 1
2.1 構造の説明	12 (3) - 17 - 2 - 2 - 1
2.2 評価方針	12 (3) - 17 - 2 - 2 - 2
3. 耐震評価箇所	12 (3) - 17 - 2 - 2 - 3
4. 固有値解析	12 (3) - 17 - 2 - 2 - 3
4.1 基本方針	12 (3) - 17 - 2 - 2 - 3
4.2 解析モデル及び諸元	12 (3) - 17 - 2 - 2 - 4
4.3 固有値解析結果	12 (3) - 17 - 2 - 2 - 6
5. 応力評価	12 (3) - 17 - 2 - 2 - 8
5.1 基本方針	12 (3) - 17 - 2 - 2 - 8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	12 (3) - 17 - 2 - 2 - 8
6. 評価結果	12 (3) - 17 - 2 - 2 - 11
6.1 重大事故等対処施設としての評価結果	12 (3) - 17 - 2 - 2 - 11

1. 概 要

本資料は、資料 12-9「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空気浄化フィルタユニットが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は、固有値解析及び応力評価により行う。

緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットは、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。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

資料 12-11「機器・配管の耐震支持方針」にて設定した機器の支持方針に基づき設計した緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットの構造計画を第 2-1 表に示す。

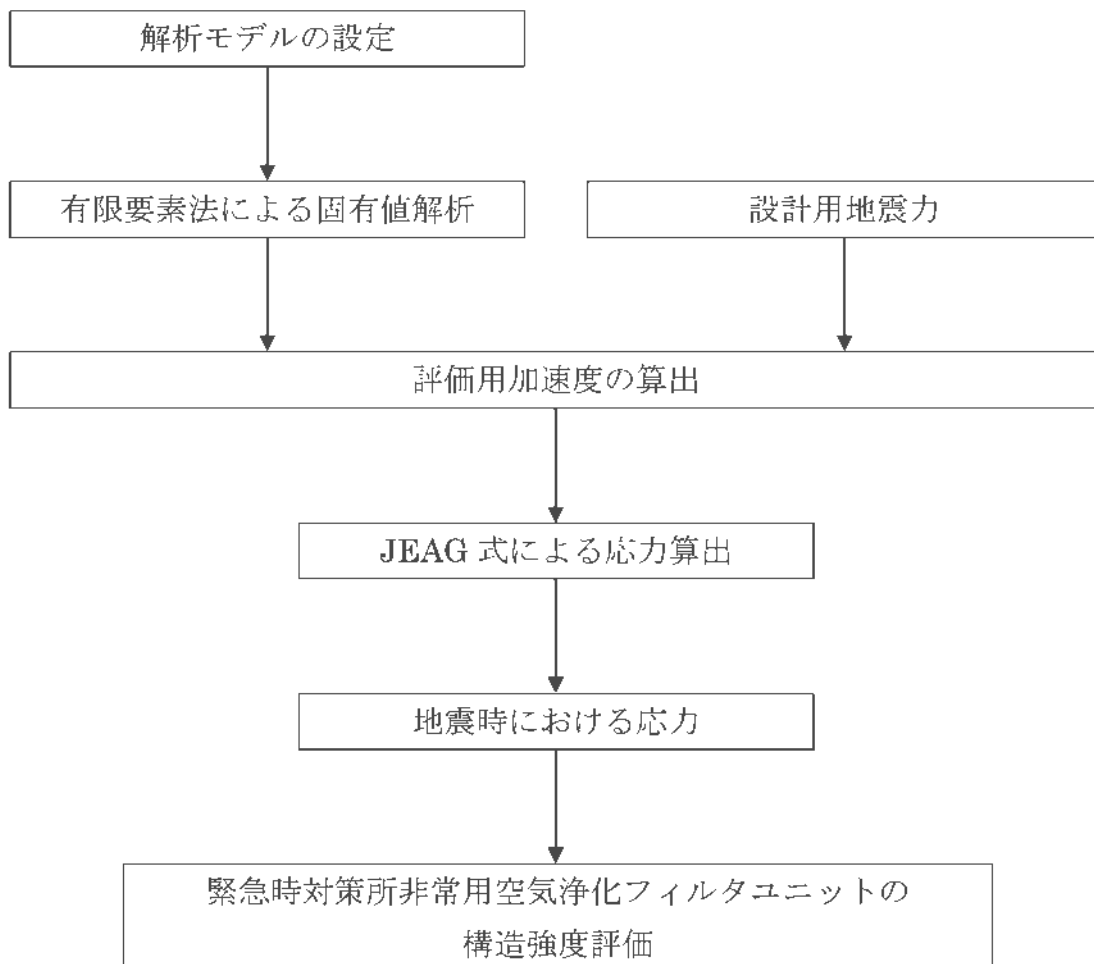
第 2-1 表 緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットの構造計画

設備名称	計画の概要		説 明 図
	主体構造	支持構造	
緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニット	鋼板、鋼帯及び形鋼による溶接構造	建屋の床に基礎ボルトにて据え付ける。	

2.2 評価方針

緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットの応力評価は、資料 12-9 「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組み合わせ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造の説明」にて示す緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットの部位を踏まえ、「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 応力評価」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空気浄化フィルタユニットの耐震評価フローを第 2-1 図に示す。



第 2-1 図 緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットの耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットの耐震評価は、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトを選定して実施する。緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットの耐震評価箇所について、第 2-1 表の説明図に示す。

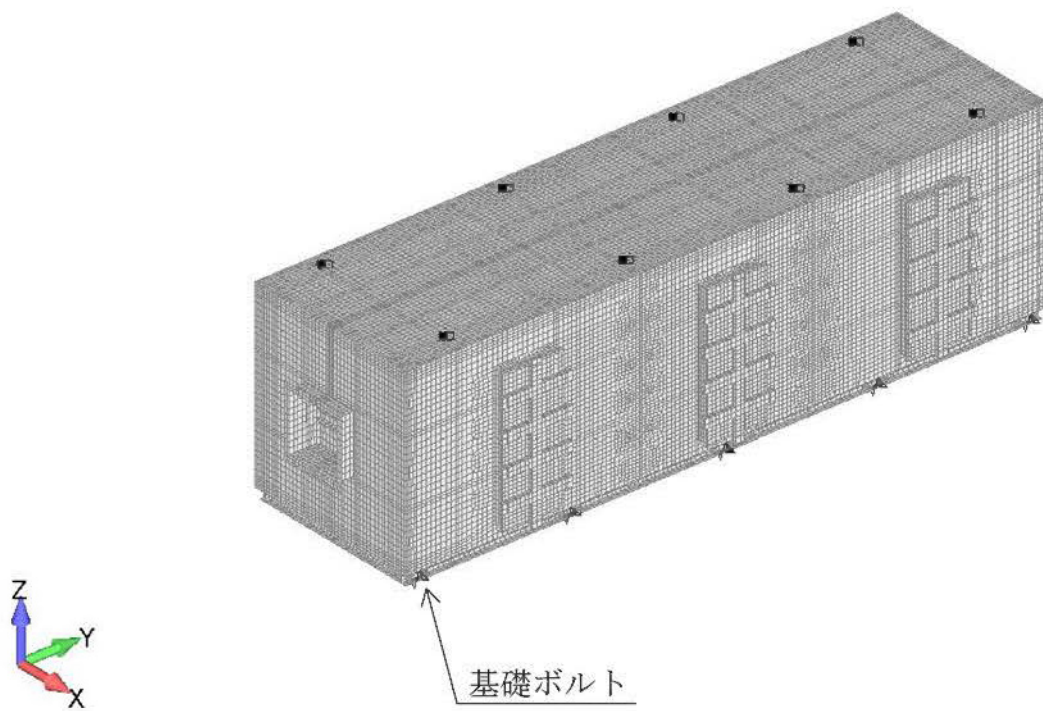
4. 固有値解析

4.1 基本方針

- (1) 緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットをシェル要素によりモデル化し、3次元 FEM モデルによる固有値解析を行い、固有振動数が 30Hz 以上である場合は最大床応答加速度の 1.2 倍を用いた静解析を、20Hz 以上 30Hz 未満で有る場合はスペクトルモーダル解析及び最大床応答加速度の 1.2 倍を用いた静解析を、20Hz 未満で有る場合はスペクトルモーダル解析を実施する。
- (2) 解析コードは「MSC NASTRAN Ver.2008r1」を使用する。なお、評価に用いる解析コード「MSC NASTRAN Ver.2008r1」の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。
- (3) 拘束条件として、基礎ボルト点を完全拘束として固定する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

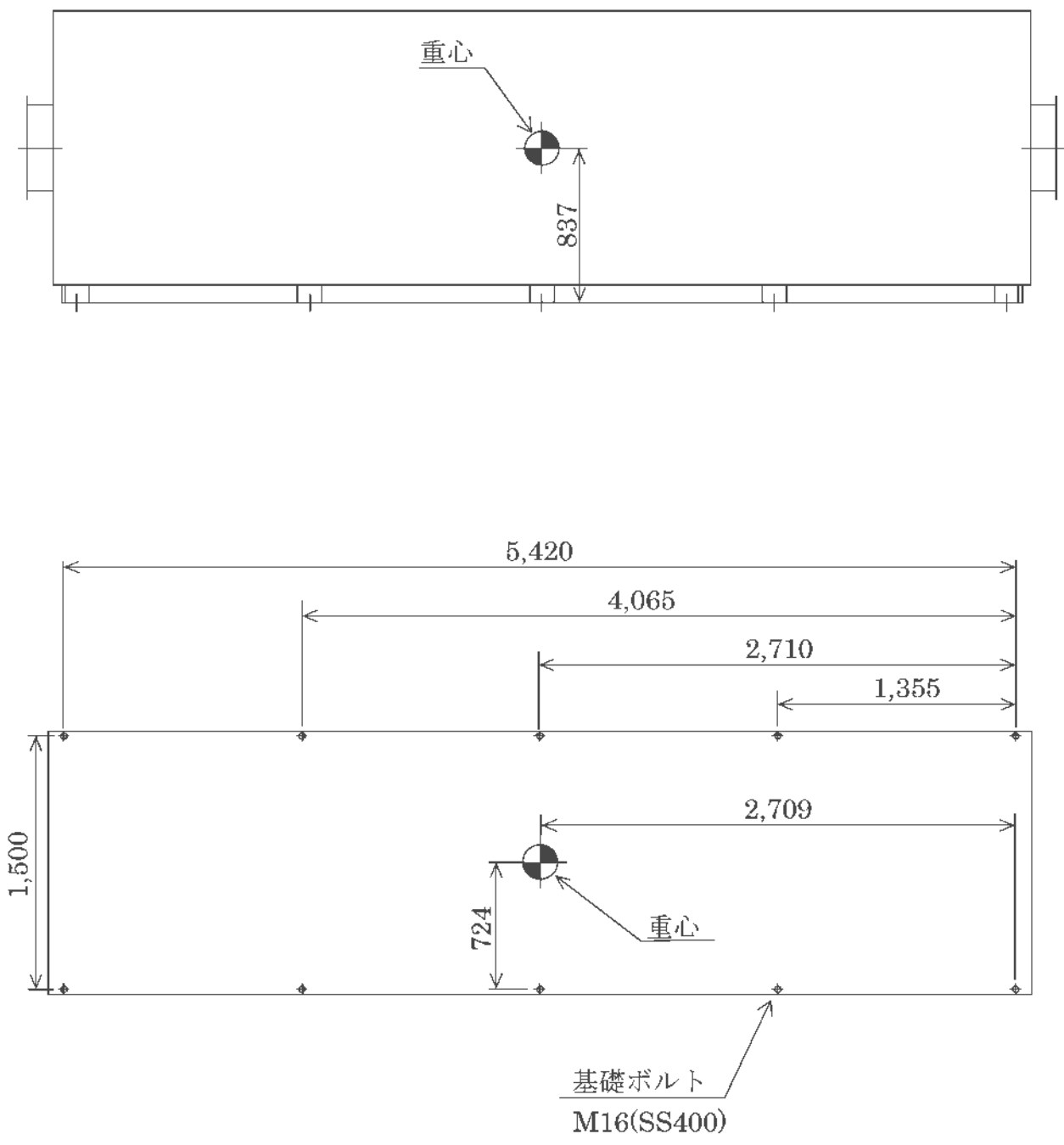
4.2 解析モデル及び諸元

緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットの解析モデルを第4-1図に、形状及び寸法を第4-2図に示す。また、緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットの機器の諸元を第4-1表に示す。



要素数 : 86,798
節点数 : 87,018

第4-1図 解析モデル



(単位 : mm)

第 4-2 図 形状及び寸法

第4-1表 機器諸元

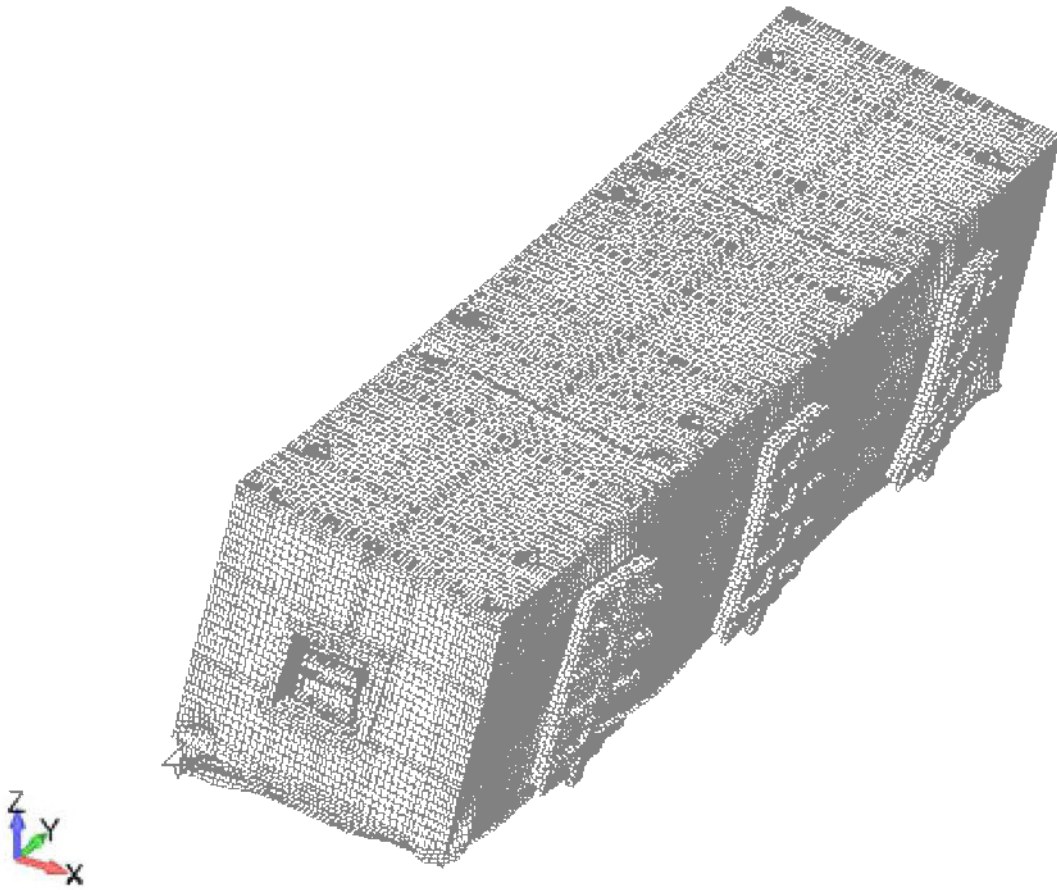
項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	SUS304
質量	m	kg	5,400
縦弾性係数	E	MPa	1.93×10^5

4.3 固有値解析結果

緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットの固有振動数を第4-2表に、振動モード図を第4-3図に示す。

第4-2表 固有値解析結果

固有振動数 (Hz)
40.22



第4-3図 緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニット モード図 (40.22Hz)

5. 応力評価

5.1 基本方針

応力評価は、資料 12-15「補機（ポンプ類）の耐震計算について」に記載の耐震計算方法に基づき実施する。

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空気浄化フィルタユニットの荷重の組合せ及び許容応力状態を第 5-1 表に示す。

5.2.2 許容応力

緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットの許容応力を第 5-2 表に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力

緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットの使用材料の許容応力を第 5-3 表に示す。

第5-1表 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処施設）

施設区分		機器名称	設備分類	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	換気設備	(注1) 緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニット	常設重大事故緩和設備	$D + P_D + M_D + S_s$ (注2)	IVAS
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	

(注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。

(注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。

第5-2表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	(注) 許容限界 (ボルト等)	
	- 次 応 力	
	引張	せん断
IV _{AS}	1.5f _t *	1.5f _s *

(注) 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。

第5-3表 使用材料の許容応力（重大事故等対処施設）

部材	材料名	温度条件 (°C)		Sy (MPa)	Su (MPa)	F* (MPa)
		基礎ボルト	SS400	雰囲気温度	40	245

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処施設としての評価結果

緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を次頁以降に示す。

緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットの耐震計算書

1. 設計条件

	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	ボルト配置状態	評価用温度(°C)	
				雰囲気温度	基礎ボルト
				重大事故等 対処施設	常設重大事故 緩和設備

2. 設計用加速度

減衰定数 (%)	固有周期 T(s)		設計用加速度(m/s ²) 基準地震動 S _S ^(注)		回転体振動による 加速度 a _P (m/s ²)	回転体回転により働く モーメント M _P (N・mm)
	水平	鉛直	水平 a _H	鉛直 a _V		
	1.0	0.033 以下	0.033 以下	20.48		

(注) 水平方向は S_S-1~5 の X 方向及び Y 方向の包絡曲線を用いる。鉛直方向は S_S-1~5 の包絡曲線を用いる。

3. 機器要目

評価部位	m (kg)	h (mm)	A _b (mm ²)	n (-)	N (-)	L (mm)	ℓ (mm)
基礎ボルト	5,400	837	157 (M16)	10	5	724	1,500

P (kW)	R (min ⁻¹)	p (μm)
—	—	—

4. 結論

4.1 摩擦力と水平地震力の比較

	基準地震動 S _S
評価部位	基礎ボルト
摩擦力 F ^o (N)	8.3 × 10 ⁴
水平地震力 F _H (N)	1.2 × 10 ⁵
評価結果	F ^o < F _H より、せん断力が作用する

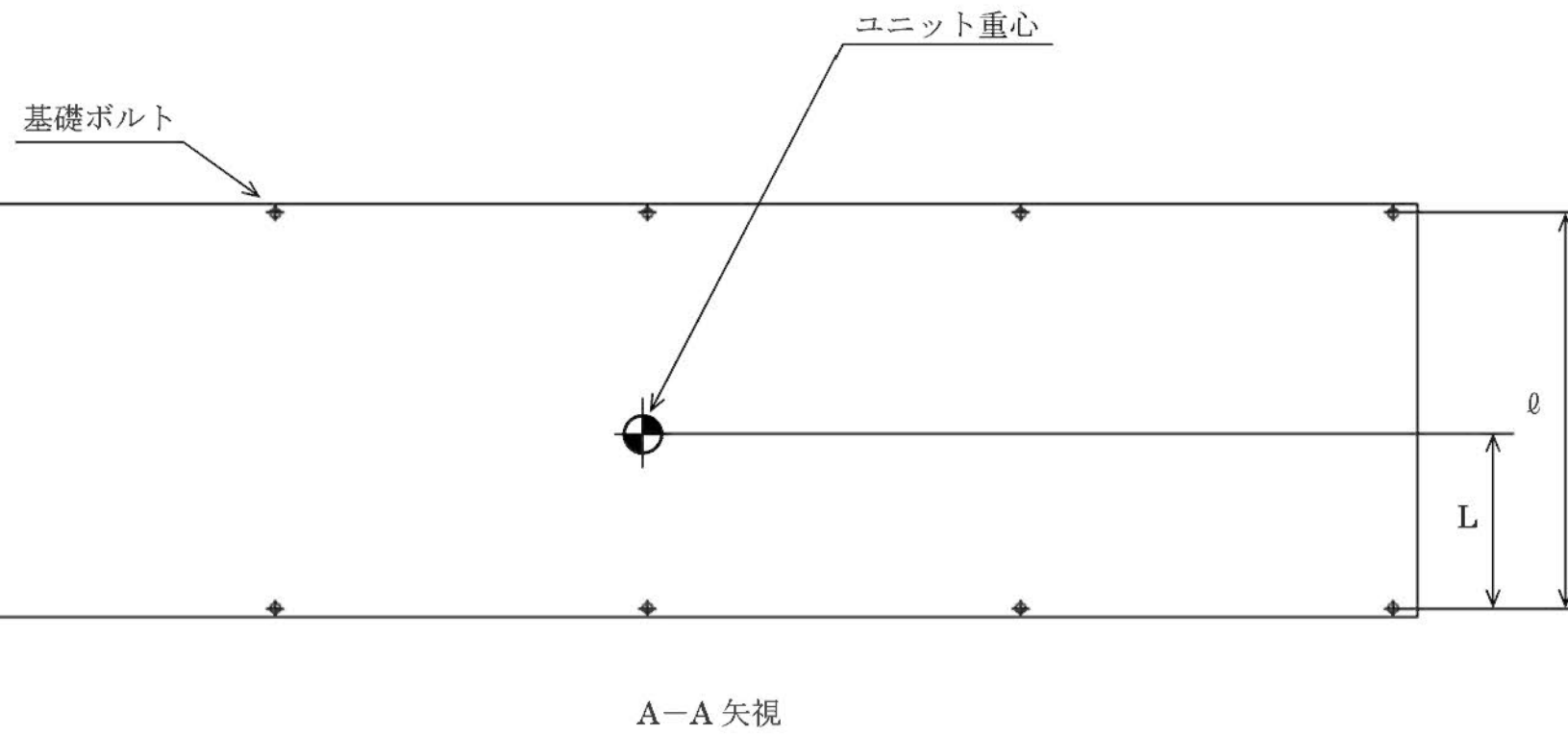
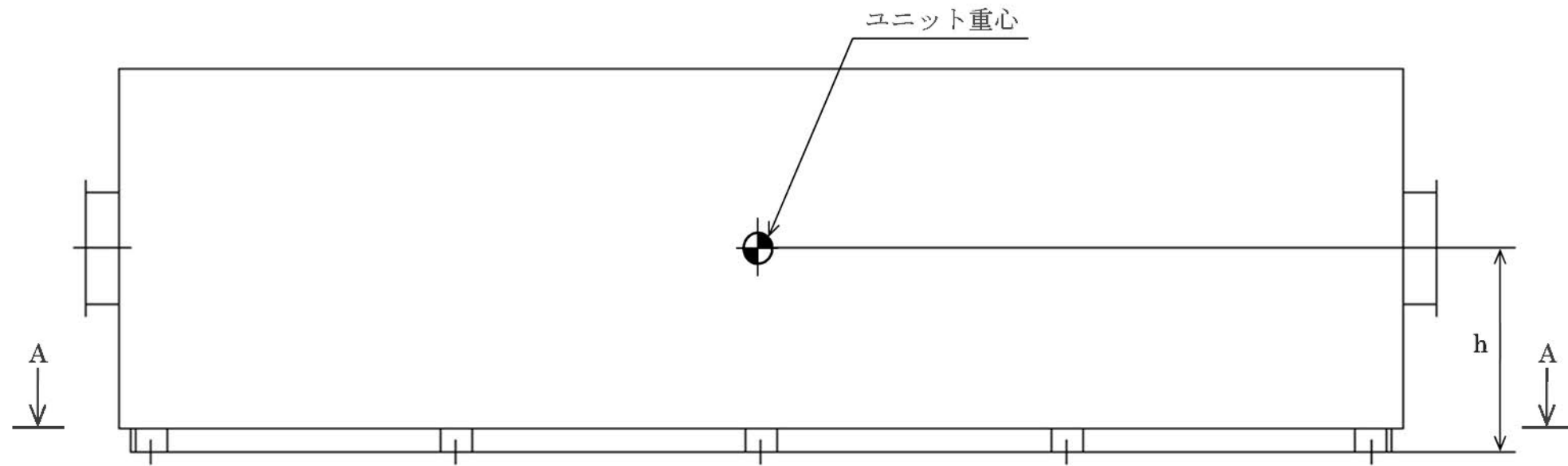
4.2 評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S)

(単位: MPa)

評価部位	材 料	応 力	基準地震動 S _S		応 力	基準地震動 S _S		応 力	基準地震動 S _S	
			発生値	許容値		発生値	許容値		発生値	許容値
基礎ボルト	SS400	引 張	76	279	せん断	71	160	組合せ	76	277

発生値はすべて許容値以下である。

5. 外形図



非常用電源設備の耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-3

玄海原子力発電所第3号機

緊急時対策所用発電機車用給油ポンプの耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料12-17-3-1

玄海原子力発電所第3号機

目 次

	頁
1. 概 要	12 (3) - 17 - 3 - 1 - 1
2. 応力評価	12 (3) - 17 - 3 - 1 - 1
2.1 基本方針	12 (3) - 17 - 3 - 1 - 1
2.2 荷重の組合せ及び許容応力	12 (3) - 17 - 3 - 1 - 1
3. 機能維持評価	12 (3) - 17 - 3 - 1 - 4
3.1 機能維持評価方法	12 (3) - 17 - 3 - 1 - 4
3.2 設計用地震力	12 (3) - 17 - 3 - 1 - 4
4. 評価結果	12 (3) - 17 - 3 - 1 - 6
4.1 重大事故等対処施設としての評価結果	12 (3) - 17 - 3 - 1 - 6

1. 概 要

本資料は、資料 12-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、緊急時対策所用発電機車用給油ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は応力評価及び機能維持評価により行う。

緊急時対策所用発電機車用給油ポンプは重大事故等対処施設において常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 応力評価

2.1 基本方針

応力評価は、資料 12-15「補機（ポンプ類）の耐震計算について」に記載の耐震計算方法に基づき実施する。

2.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急時対策所用発電機車用給油ポンプの重大事故等対処施設の評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態を第 2-1 表に示す。

2.2.2 許容応力

緊急時対策所用発電機車用給油ポンプの重大事故等対処施設の評価に用いる許容応力を第 2-2 表に示す。

2.2.3 使用材料の許容応力

緊急時対策所用発電機車用給油ポンプの重大事故等対処施設の評価に用いる使用材料の許容応力を第 2-3 表に示す。

第2-1表 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処施設）

施設区分		機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	非常用発電装置	緊急時対策所用発電機 車用給油ポンプ ^(注1)	常設重大事故 緩和設備	—	$D + P_D + M_D + S_s$ ^(注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。

(注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。

第2-2表 許容応力（その他の支持構造物（重大事故等対処施設））

許容応力状態	^(注) 許容限界 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV_{AS}	1.5f _t *	1.5f _s *
V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる)		

(注) 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。

第2-3表 使用材料の許容応力（重大事故等対処施設）

評価部位	材料	温度条件 (°C)		Sy (MPa)	Su (MPa)	F* (MPa)
		雰囲気温度				
基礎ボルト	SS400	雰囲気温度	40	245	400	280
ポンプ取付ボルト	SUS316	雰囲気温度	40	205	520	246
原動機取付ボルト	SS400	雰囲気温度	40	245	400	280

3. 機能維持評価

緊急時対策所用発電機車用給油ポンプの地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。

3.1 機能維持評価方法

緊急時対策所用発電機車用給油ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性を持っているため、資料 12-9「機能維持の基本方針」第 4-1 表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第 3-1 表に示す。

第 3-1 表 機能確認済加速度

評価部位	形式	方 向	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
ポンプ	横形単段遠心式 ポンプ	水 平	4.0
		鉛 直	2.0
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水 平	7.0
		鉛 直	2.0

3.2 設計用地震力

耐震計算に用いる入力地震力には、資料 12-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、第 3-2 表にて示す条件を用いて作成した設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は資料 12-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

第 3-2 表 設計用地震力

地震動	設置場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備 考
		建屋 及び高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	
基準地震動 Ss	緊急時対策 棟 屋外地下エ リア（燃料 設備） EL.15.0	基礎 EL.11.0	水平	1.0	水平方向は Ss-1～ Ss-5 の X 方向及び Y 方向の包絡曲線を用 いる。 鉛直方向は Ss-1～ Ss-5 の包絡曲線を用 いる。
			鉛直	1.0	

4. 評価結果

4.1 重大事故等対処施設としての評価結果

緊急時対策所用発電機車用給油ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。基準地震動 S_s に対する応力評価結果、動的機能維持評価結果を次頁以降に示す。

玄海原子力発電所第3号機 緊急時対策所用発電機車用給油ポンプの耐震計算書

1. 設計条件

	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	ボルト配置状態	評価用温度 (°C)		
				雰囲気温度		
				基礎ボルト	ポンプ 取付ボルト	原動機 取付ボルト
重大事故等対処施設	常設耐震重要重大事故防止設備 常設重大事故緩和設備	緊急時対策棟屋外地下エリア (燃料設備) EL.15.0	矩形配置	40	40	40

2. 設計用加速度

減衰定数 (%)	固有周期 T(s)		設計用加速度(m/s ²)		回転体振動による 加速度 a _P (m/s ²)	回転体回転により働く モーメント M _P (N・mm)		
	水平	鉛直	基準地震動 S _s (注)			基礎ボルト	ポンプ取付ボルト	原動機取付ボルト
			水平 a _H	鉛直 a _V				
1.0	0.033 以下	0.033 以下	6.47	5.18	2.57	0	4,188	4,188

(注) 水平方向は S_s-1~S_s-5 の X 方向及び Y 方向の包絡曲線を用いる。鉛直方向は S_s-1~S_s-5 の包絡曲線を用いる。

3. 機器要目

評価部位	m (kg)	h (mm)	A _b (mm ²)	n (-)	N (-)	L (mm)	ℓ (mm)	P (kW)	R (min ⁻¹)	p (μm)
基礎ボルト	219	325.0	157 (M16)	4	2	230.0	460.0	1.5	3,420	40
ポンプ取付ボルト	65	0	84.3 (M12)	4	2	85.0	90.0	1.5	3,420	40
原動機取付ボルト	44	112.0	58.0 (M10)	4	2	70.0	140.0	1.5	3,420	40

4. 結論

4.1 摩擦力と水平地震力の比較

評価部位	基準地震動 S _s		
	基礎ボルト	ポンプ 取付ボルト	原動機 取付ボルト
摩擦力 F' (N)	1.3×10 ²	4.0×10 ¹	2.7×10 ¹
水平地震力 F _H (N)	2.0×10 ³	5.9×10 ²	4.0×10 ²
評価結果	F' < F _H より、せん断力は作用する。	F' < F _H より、せん断力は作用する。	F' < F _H より、せん断力は作用する。

4.2 評価結果 (D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s)

(単位 : MPa)

評価部位	材 料	応 力	基準地震動 S _s		応 力	基準地震動 S _s		応 力	基準地震動 S _s	
			発生値	許容値		発生値	許容値		発生値	許容値
基礎ボルト	SS400	引 張	4	279	せん断	4	160	組合せ	4	279
ポンプ取付ボルト	SUS316	引 張	7	246	せん断	2	141	組合せ	7	246
原動機取付ボルト	SS400	引 張	3	279	せん断	2	160	組合せ	3	279

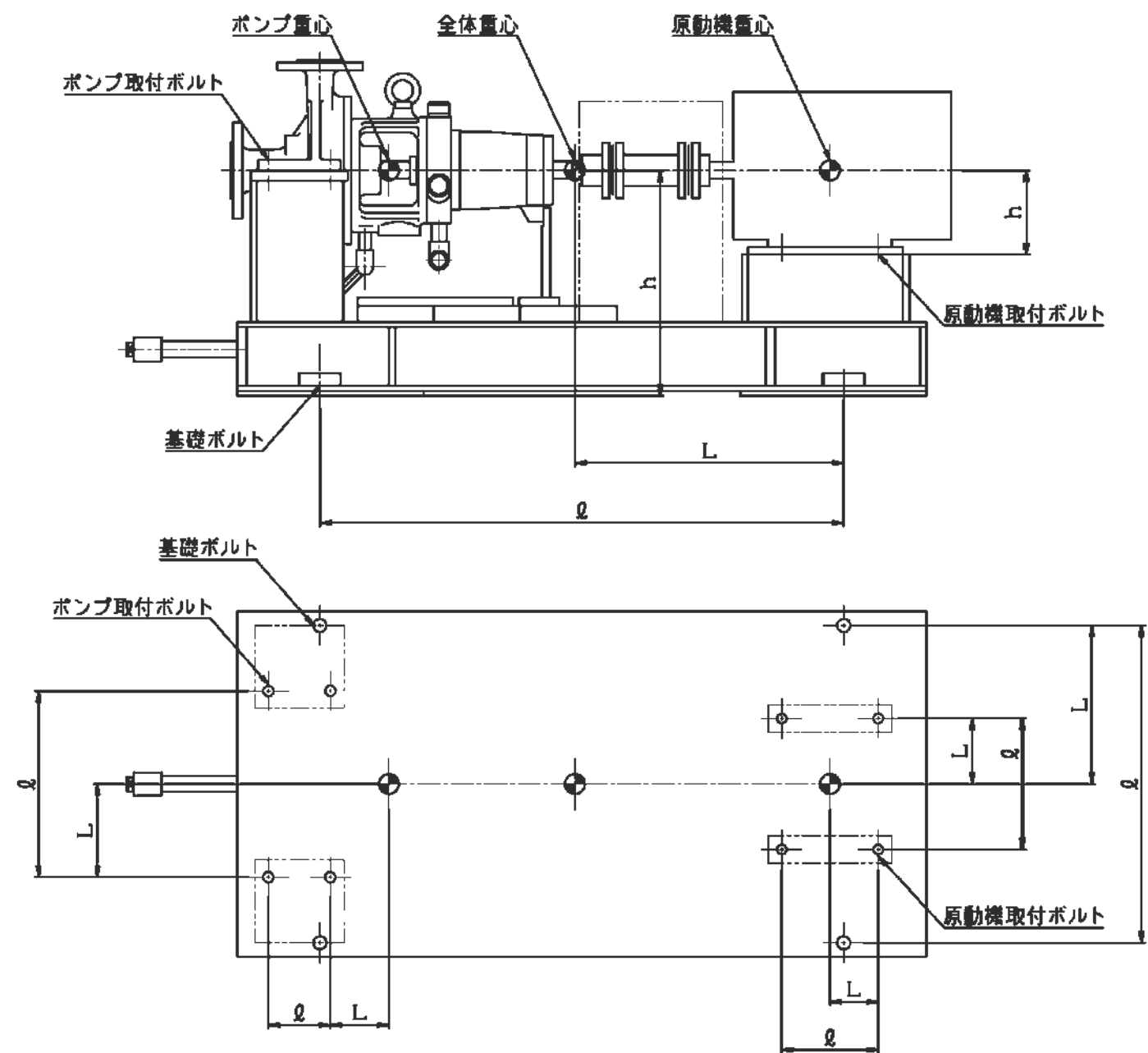
発生値はすべて許容値以下である。

4.3 動的機能の評価結果 (単位 : ×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平	0.55	4.0
	鉛直	0.44	2.0
原動機	水平	0.55	7.0
	鉛直	0.44	2.0

評価用加速度は、すべて機能確認済加速度以下である。

5. 外形図



緊急時対策所用発電機車用燃料油貯蔵タンクの
耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-3-2

玄海原子力発電所第3号機

目 次

	頁
1. 概 要	12 (3) - 17 - 3 - 2 - 1
2. 応力評価	12 (3) - 17 - 3 - 2 - 1
2.1 基本方針	12 (3) - 17 - 3 - 2 - 1
2.2 荷重の組合せ及び許容応力	12 (3) - 17 - 3 - 2 - 1
3. 評価結果	12 (3) - 17 - 3 - 2 - 6

1. 概 要

本資料は、資料 12-9「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、緊急時対策所用発電機車用燃料油貯蔵タンクが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価により行う。

緊急時対策所用発電機車用燃料油貯蔵タンクは、重大事故等対処施設において常設重大事故緩和設備に分類される。以下に耐震評価を示す。

2. 応力評価

2.1 基本方針

応力評価は、資料 12-14「補機（容器）の耐震計算について」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

2.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急時対策所用発電機車用燃料油貯蔵タンクの荷重の組合せ及び許容応力状態を第 2-1 表に示す。

2.2.2 許容応力

緊急時対策所用発電機車用燃料油貯蔵タンクの許容応力を第 2-2 表～第 2-3 表に示す。

2.2.3 使用材料の許容応力

緊急時対策所用発電機車用燃料油貯蔵タンクの使用材料の許容応力を第 2-4 表に示す。

第2-1表 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処施設）

施設区分		機器名称	設備分類	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	(注1) 緊急時対策所用 発電機車用 燃料油貯蔵タンク	常設重大事故 緩和設備	$D+P_D+M_D+S_s$ (注2)	IV _{AS}
				$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	

(注1) 重大事故等クラス2容器（クラス2、3容器）及び重大事故等クラス2容器の支持構造物（クラス2、3容器の支持構造物）の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

(注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。

第2-2表 許容応力（重大事故等クラス2容器（クラス2、3容器））

許容応力 状 態	許 容 限 界 ^(注1)			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次 + ピーク応力
IV _{AS}	0.6S _u	左欄の1.5倍の値	^(注2) S _s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2S _y 以下であれば、疲労解析は行わない。	

(注1) 座屈に対する評価が必要な場合には、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

(注2) 2S_yを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、JSME S NC1 PVB-3300（同PVB-3313を除く。また、S_mは2/3S_yに読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

第2-3表 許容応力（重大事故等クラス2支持構造物（クラス2、3支持構造物））

許容応力状態	許容限界 ^{(注1)(注2)(注3)} (ボルト以外)					許容限界 ^(注2) (ボルト等)	
	一次応力				一次+二次応力 ^(注6)	一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	座屈	引張	せん断
IV _{AS}	1.5f _t *	1.5f _s *	1.5f _c *	1.5f _b *	^(注4) ^(注5) 1.5f _b , 1.5f _s 又は 1.5f _c	1.5f _t *	1.5f _s *

(注1) 「鋼構造設計規準 SI単位版」(2002年日本建築学会)等の幅厚比の制限を満足させる。

(注2) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

(注3) 耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては、耐圧部と同じ許容応力とする。

(注4) JSME S NC1 SSB-3121.1(4)により求めたf_bとする。

(注5) 自重、熱膨張等により常時作用する荷重に、地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

(注6) 薄肉円筒形状のもの座屈の評価にあつては、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

第 2-4 表 使用材料の許容応力

評価部位	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
		最高使用温度				
胴板	SM400B	最高使用温度	40	235	400	—
支持脚	SM400B	最高使用温度	40	235	400	280
基礎ボルト	SNB7	雰囲気温度	40	725	860	602

3. 評価結果

緊急時対策所用発電機車用燃料油貯蔵タンクの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。応力評価結果を次頁以降に示す。

1. 設計条件

	設備分類	据付場所 及び床面高さ (m)	構造概要	評価用圧力 P_r (MPa)			評価用温度(°C)			液体の比重 ρ
				最高使用圧力			最高使用温度		雰囲気温度	
				胴板	支持脚	基礎ボルト	胴板	支持脚	基礎ボルト	
重大事故等対処施設	常設重大事故緩和設備	緊急時対策棟屋外 地下エリア (燃料設備) EL.15.0 地下埋設	横置円筒形 (3脚支持)	大気圧	—	—	40	40	40	

2. 設計用加速度

減衰定数 (%)	固有周期 T (s)		設計用加速度(m/s ²)	
	水平	鉛直	基準地震動 S_s (注)	
			水平	鉛直
1.0	0.023	0.033 以下	6.47	5.18

(注) 水平方向は S_s -1 から S_s -5 の X 方向及び Y 方向の包絡曲線を用いる。鉛直方向は S_s -1 から S_s -5 の包絡曲線を用いる。

3. 機器要目

m_o (kg)	m_s (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_o (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	C_1 (mm)	C_2 (mm)
		3,200	20						

I_x (mm ⁴)	I_y (mm ⁴)	Z_{sx} (mm ³)	Z_{sy} (mm ³)	θ_0 (rad)	A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)

s (-)	n (-)	n_1 (-)	n_2 (-)	a (mm)	b (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)

評価部位	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
胴板	235	400	—
支持脚	235	400	280
基礎ボルト	725	860	602

4. 結論

4.1 摩擦力と水平地震力の比較

	基準地震動 S _s
摩擦力 F (N)	1.7×10 ⁶
水平地震力 F _H (N)	6.9×10 ⁵
評価結果	F ≥ F _H より、基礎ボルトにせん断力は作用しない。

4.2 評価結果 (D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s)

(単位 : MPa)

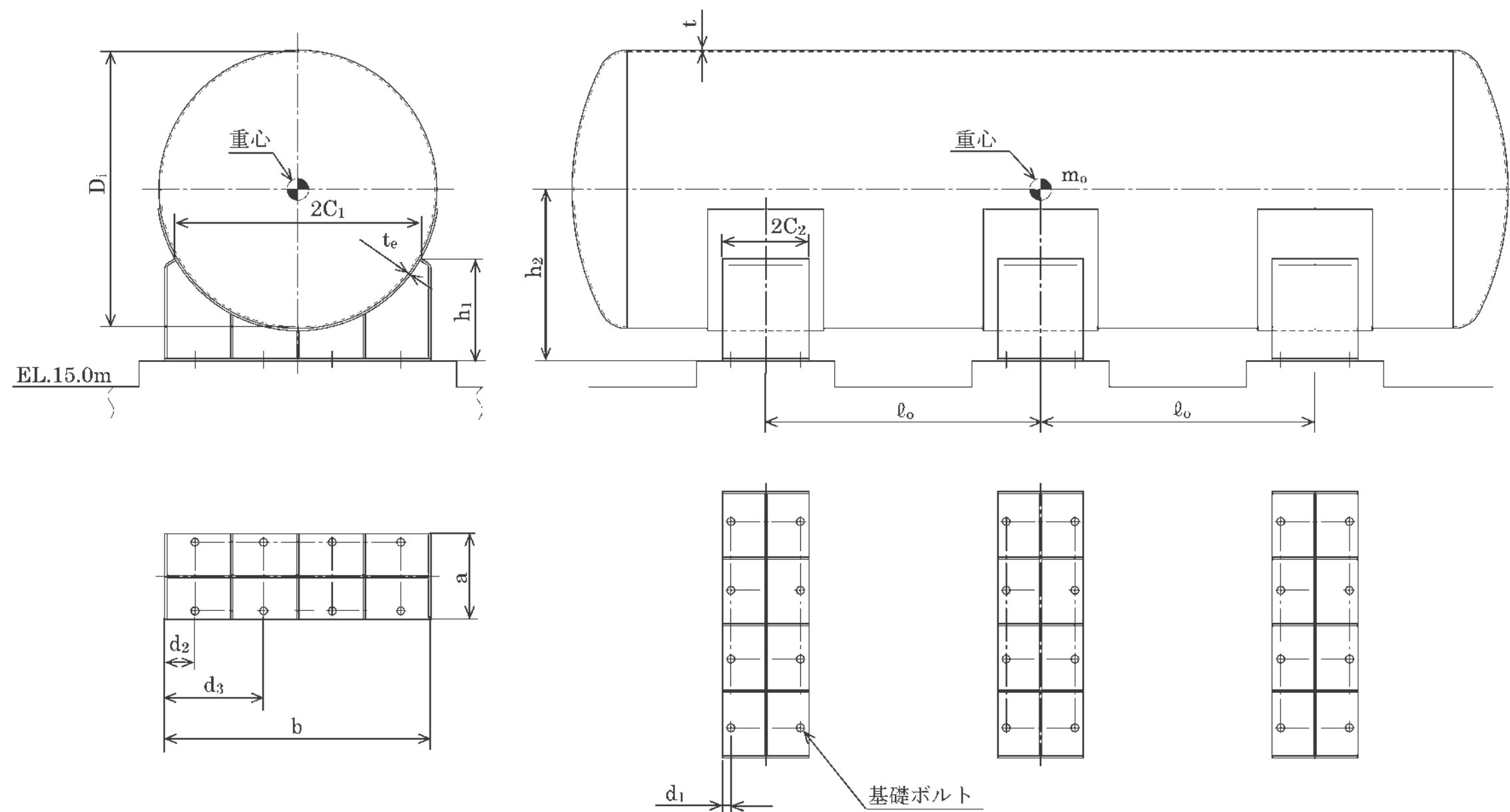
評価部位	材 料	応 力	基準地震動 S _s	
			評価応力 ^(注1)	許容応力
胴板	SM400B	一次一般膜	σ ₀ =14	S ₀ =240
		一 次	σ ₁ =51	S _I =360
		一次+二次	σ ₂ =77	S _{II} =235
支持脚	SM400B	組合せ	σ _s =18	1.5f _t *=279
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価) ^(注2)	$\frac{\sigma_{sc}}{1.5f_c^*} + \frac{\sigma_{sb}}{1.5f_b^*} \leq 1$	
			0.05	
基礎ボルト	SNB7	引 張	σ _b =38	1.5f _t *=601
		せん断	—	—
		組合せ	—	—

(注1) 水平方向と鉛直方向の対応の組合せは、SRSS法を適用した結果を示す。

(注2) 単位なし。

評価応力はすべて許容応力以下である。

5. 外形図



緊急時対策所用発電機車接続盤の耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-3-3

玄海原子力発電所第3号機

目 次

	頁
1. 概 要	12 (3) - 17 - 3 - 3 - 1
2. 基本方針	12 (3) - 17 - 3 - 3 - 1
2.1 構造の説明	12 (3) - 17 - 3 - 3 - 1
2.2 評価方針	12 (3) - 17 - 3 - 3 - 3
3. 耐震評価箇所	12 (3) - 17 - 3 - 3 - 3
4. 固有値解析	12 (3) - 17 - 3 - 3 - 4
4.1 基本方針	12 (3) - 17 - 3 - 3 - 4
4.2 固有振動数の計算方法	12 (3) - 17 - 3 - 3 - 4
4.3 固有値解析結果	12 (3) - 17 - 3 - 3 - 7
5. 応力評価	12 (3) - 17 - 3 - 3 - 8
5.1 基本事項	12 (3) - 17 - 3 - 3 - 8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	12 (3) - 17 - 3 - 3 - 8
5.3 設計用地震力	12 (3) - 17 - 3 - 3 - 10
5.4 応力評価方法	12 (3) - 17 - 3 - 3 - 13
5.5 応力評価条件	12 (3) - 17 - 3 - 3 - 19
6. 機能維持評価	12 (3) - 17 - 3 - 3 - 21
6.1 機能維持評価方法	12 (3) - 17 - 3 - 3 - 21
7. 評価結果	12 (3) - 17 - 3 - 3 - 22
7.1 重大事故等対処施設としての評価結果	12 (3) - 17 - 3 - 3 - 22

1. 概 要

本資料は、資料12-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、緊急時対策所用発電機車接続盤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。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

緊急時対策所用発電機車接続盤は、重大事故等対処施設において常設重大事故緩和設備に分類される。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

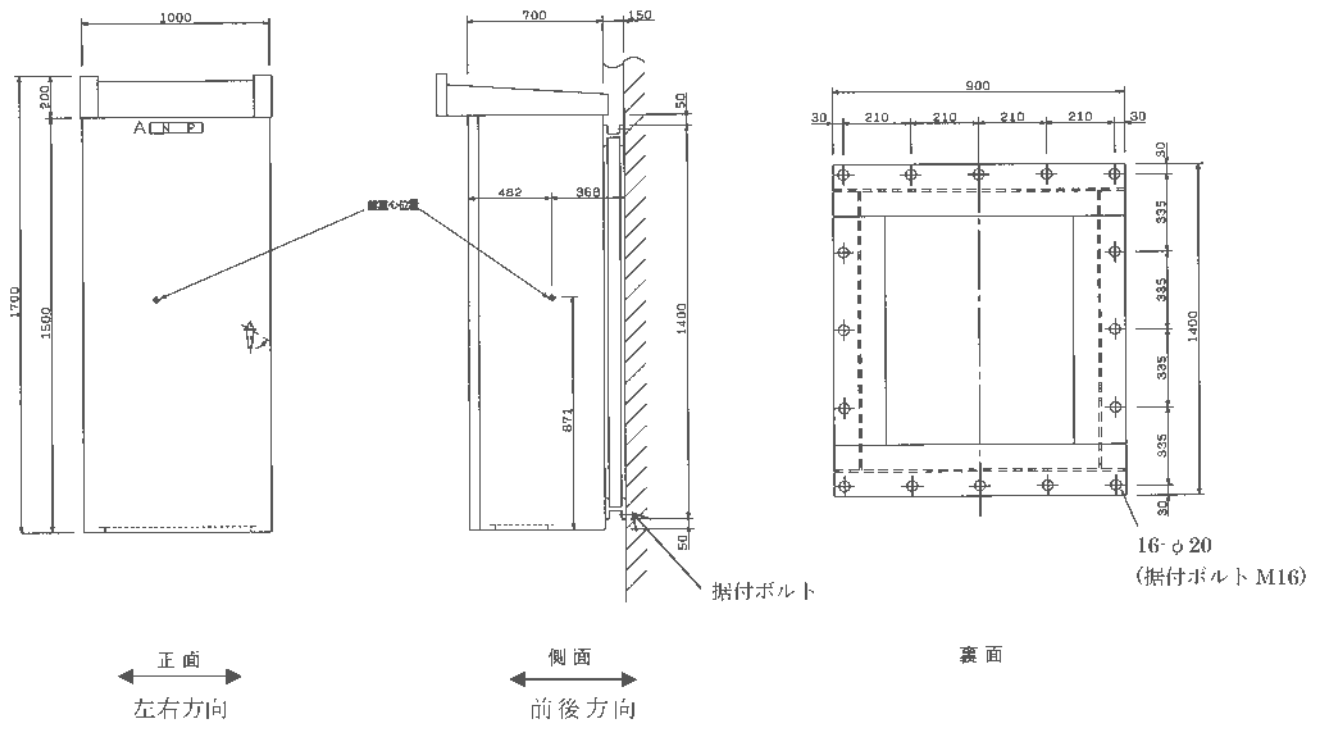
2.1 構造の説明

資料12-11「機器・配管の耐震支持方針」にて設定した電気計測制御装置の支持方針に基づき設計した緊急時対策所用発電機車接続盤の構造計画を第2-1表に示す。

第2-1表 緊急時対策所用発電機車接続盤の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
緊急時対策所用発電機車接続盤	壁掛け型 ^(注)	壁面に据付ボルトにて据え付ける。	第2-1図

(注) 機能維持評価を行う、コネクタを内装する盤。



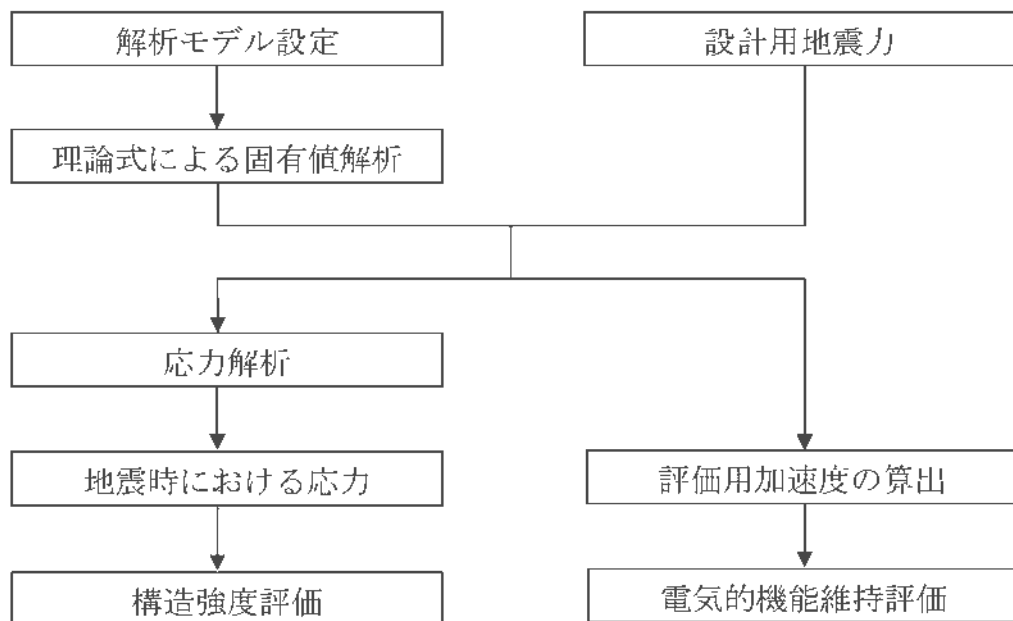
(単位 : mm)

第2-1図 外形図

2.2 評価方針

緊急時対策所用発電機車接続盤の応力評価は、資料12-9「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 構造の説明」にて示す緊急時対策所用発電機車接続盤の部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所に作用する応力等が許容限界内に収まることを、「5. 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、緊急時対策所用発電機車接続盤の機能維持評価は、資料12-9「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。

緊急時対策所用発電機車接続盤の耐震評価フローを第2-2図に示す。



第2-2図 緊急時対策所用発電機車接続盤の耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

緊急時対策所用発電機車接続盤の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる据付ボルトを選定して実施する。

4. 固有値解析

緊急時対策所用発電機車接続盤の固有振動数算定方法について以下に示す。

4.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは 1 質点系モデルとし、盤の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- (2) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 固有振動数の計算方法

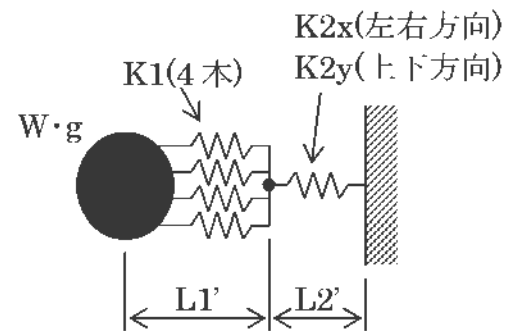
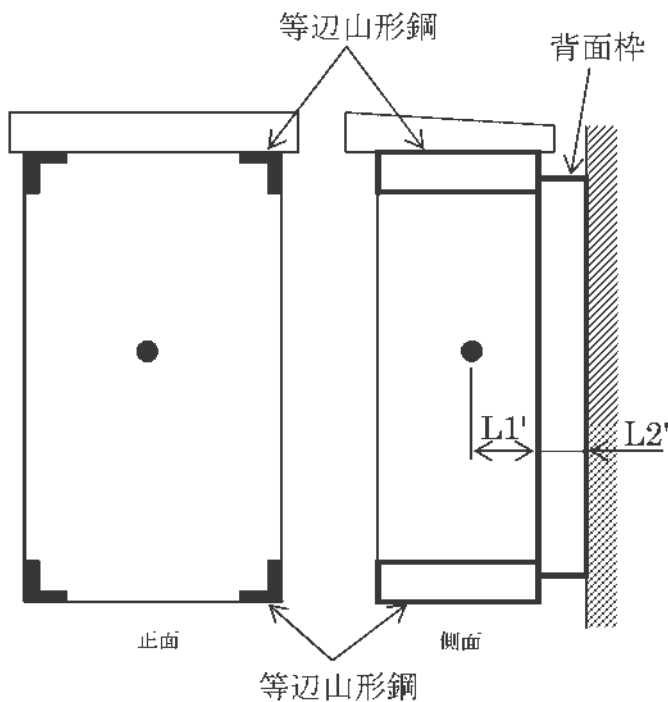
4.2.1 記号の説明

記号	説明	単位
L1'	背面枠頂部から機器重心までの水平距離	mm
L2'	壁面から背面枠頂部までの水平距離	mm
E	強度部材の縦弾性係数	MPa
I1	等辺山形鋼の断面二次モーメント	mm ⁴
I2 _x	背面枠の断面二次モーメント（左右方向）	mm ⁴
I2 _y	背面枠の断面二次モーメント（上下方向）	mm ⁴
f _x	固有振動数（左右方向）	Hz
f _y	固有振動数（上下方向）	Hz
K1	等辺山形鋼のばね定数	N/m
K2 _x	背面枠のばね定数（左右方向）	N/m
K2 _y	背面枠のばね定数（上下方向）	N/m
K _x	全体のばね定数（左右方向）	N/m
K _y	全体のばね定数（上下方向）	N/m
W	機器質量	kg

4.2.2 固有振動数計算モデル

盤の主要な強度部材である4本の等辺山形鋼と背面枠のばねが直列に接続され、それに機器の質量が均等に負荷されているものとし、また機器質量が機器重心位置に負荷されるものとして、以下の1質点モデルにより固有振動数を計算する。

なお、4本の等辺山形鋼は全質量を均等に負荷した計算モデルであり、以下側面図の鉛直方向を面内、奥行き方向を面外とした場合、等辺山形鋼の断面二次モーメント I が同一であることから、面内・面外ともに同一の固有振動数となる。



固有振動数計算モデル

4.2.3 固有振動数の計算

$$\text{等辺山形鋼1本当たりのばね定数} = \frac{3E \cdot I_1 \cdot 1000}{L_1^3}$$

等辺山形鋼4本のばね定数

$$K_1 = 4 \cdot \frac{3E \cdot I_1 \cdot 1000}{L_1^3} = \frac{12E \cdot I_1 \cdot 1000}{L_1^3}$$

背面枠のばね定数

$$K_{2_x} = \frac{3E \cdot I_{2_x} \cdot 1000}{L_2^3} \quad (\text{左右方向})$$

$$K_{2_y} = \frac{3E \cdot I_{2_y} \cdot 1000}{L_2^3} \quad (\text{上下方向})$$

全体のばね定数

$$K_x = \frac{K_1 \cdot K_{2_x}}{K_1 + K_{2_x}} = \frac{\frac{12E \cdot I_1 \cdot 1000}{L_1^3} \cdot \frac{3E \cdot I_{2_x} \cdot 1000}{L_2^3}}{\frac{12E \cdot I_1 \cdot 1000}{L_1^3} + \frac{3E \cdot I_{2_x} \cdot 1000}{L_2^3}}$$

$$K_x = \frac{12E \cdot I_1 \cdot I_{2_x} \cdot 1000}{4 \cdot I_1 \cdot L_2^3 + I_{2_x} \cdot L_1^3} \quad (\text{左右方向})$$

同様に

$$K_y = \frac{12E \cdot I_1 \cdot I_{2_y} \cdot 1000}{4 \cdot I_1 \cdot L_2^3 + I_{2_y} \cdot L_1^3} \quad (\text{上下方向})$$

固有振動数

$$f_x = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_x}{W}} \quad (\text{左右方向})$$

$$f_y = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_y}{W}} \quad (\text{上下方向})$$

4.2.4 盤の固有振動数の計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	SS400
機器質量	W	kg	700
等辺山形鋼の標準断面寸法	—	mm	75×75×6
背面枠の標準断面寸法	—	mm	150×150×7×10
強度部材の縦弾性係数	E	MPa	200,000
等辺山形鋼の断面二次モーメント	I ₁	mm ⁴	461,000
背面枠の断面二次モーメント (左右方向)	I _{2_x}	mm ⁴	2.9533×10 ⁹
背面枠の断面二次モーメント (上下方向)	I _{2_y}	mm ⁴	6.3804×10 ⁹
背面枠頂部から機器重心までの距離	L1'	mm	218
壁面から背面枠頂部までの距離	L2'	mm	150
雰囲気温度条件	—	℃	40

4.3 固有値解析結果

固有振動数の計算結果を以下に示す。

方向	盤の固有振動数 (Hz)
左右	61.93
上下	61.93

5. 応力評価

5.1 基本事項

- (1) 耐震計算モデルは 1 質点系モデルとし、盤の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- (2) 許容応力について JSME S NJ1-2012 の Part3 を用いて計算する際に、温度が図表記載温度の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (3) 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

緊急時対策所用発電機車接続盤の荷重の組合せ及び許容応力状態を第5-1表に示す。

5.2.2 許容応力

緊急時対策所用発電機車接続盤の許容応力を第5-2表に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力

緊急時対策所用発電機車接続盤の使用材料の許容応力を第5-3表に示す。

第5-1表 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処施設）

施設区分	機器名称	設備分類	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備 その他の電源装置	(注1) 緊急時対策所用発電 機車接続盤	常設重大事故緩和設備	$D + P_D + M_D + S_s$ (注2)	IVAS
			$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	

(注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。

(注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。

第5-2表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等） (注)	
	一次応力	
	引張	せん断
IVAS	$1.5f_t^*$	$1.5f_s^*$

(注) 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。

第5-3表 使用材料の許容応力（重大事故等対処施設）

材質	評価温度 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
SS400	40 (雰囲気温度)	245	400	280

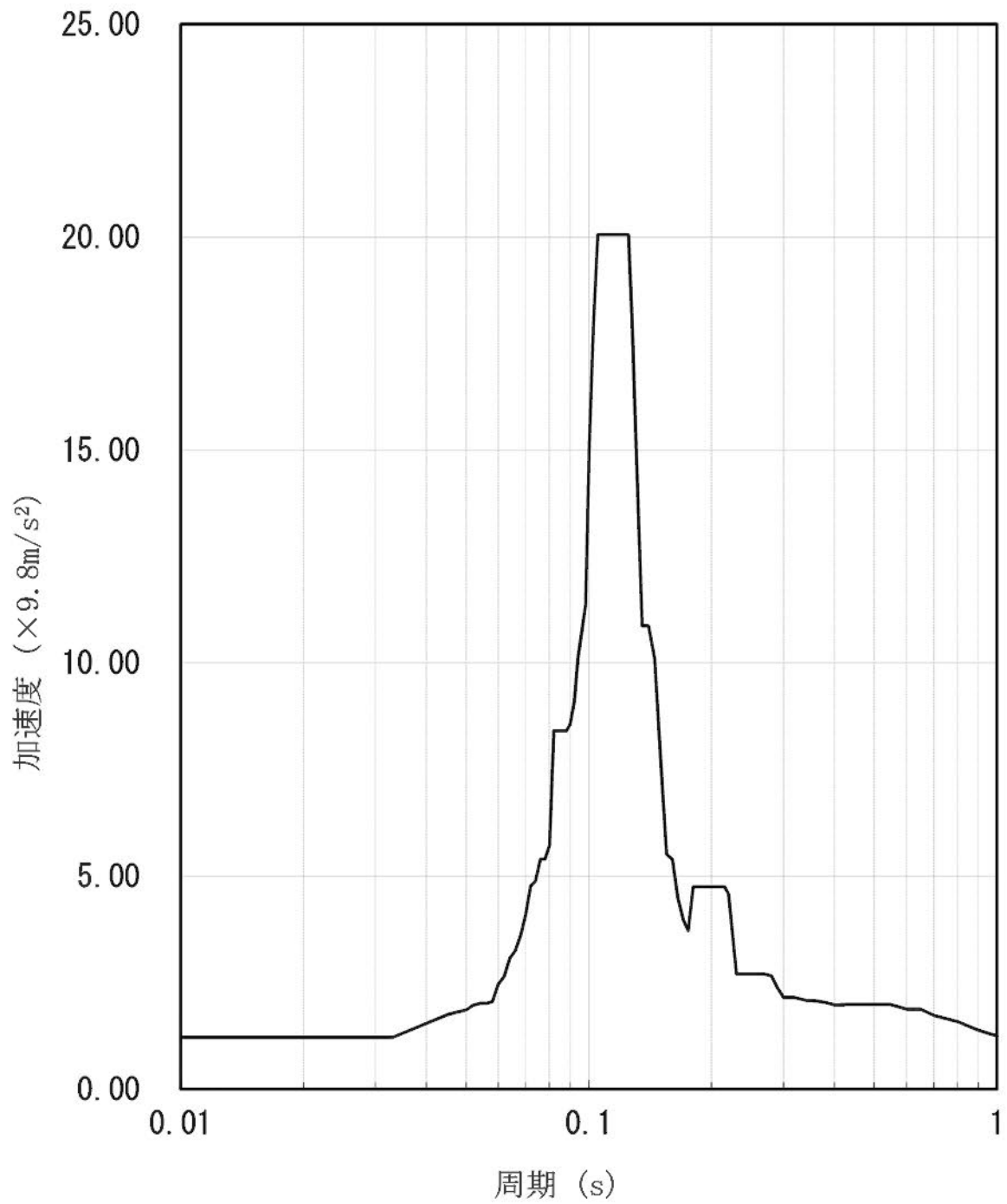
5.3 設計用地震力

耐震計算に用いる入力地震力には、資料12-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、第5-4表にて示す条件を用いて作成した第5-1図に示す設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は資料12-6「地震応答解析の基本方針」第3-1表に記載の減衰定数を用いる。

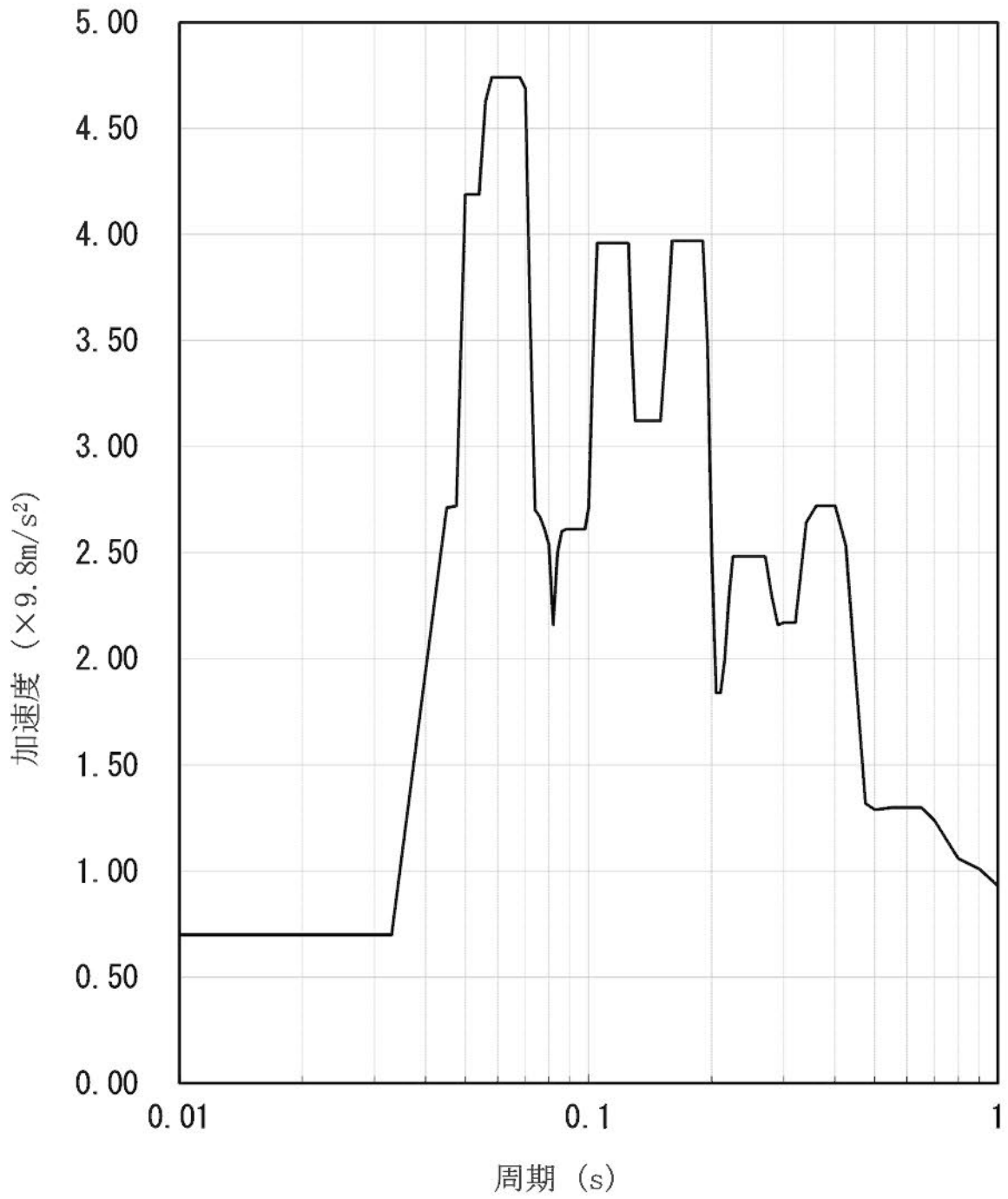
第5-4表 設計用地震力

地震動	設置場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備考
		建屋 及び高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	
基準地震動 S _s	緊急時対策棟 EL.25.3	緊急時対策棟 EL.30.75	水平	1.0	水平方向は S _s -1~5 の X 方向及び Y 方向 の包絡曲線を用い る。 鉛直方向は S _s -1~5 の包絡曲線を用い る。
			鉛直	1.0	

(注 1) 壁掛け型の盤なので、設置フロア上階の設計用床応答曲線を使用する。



第 5-1 図(1/2) 基準地震動 S_s
 (緊急時対策棟 EL.30.75m 減衰定数 1.0% $S_s-1\sim 5$ 包絡 水平方向)



第 5-1 図(2/2) 基準地震動 Ss
 (緊急時対策棟 EL.30.75m 減衰定数 1.0% Ss-1~5 包絡 鉛直方向)

5.4 応力評価方法

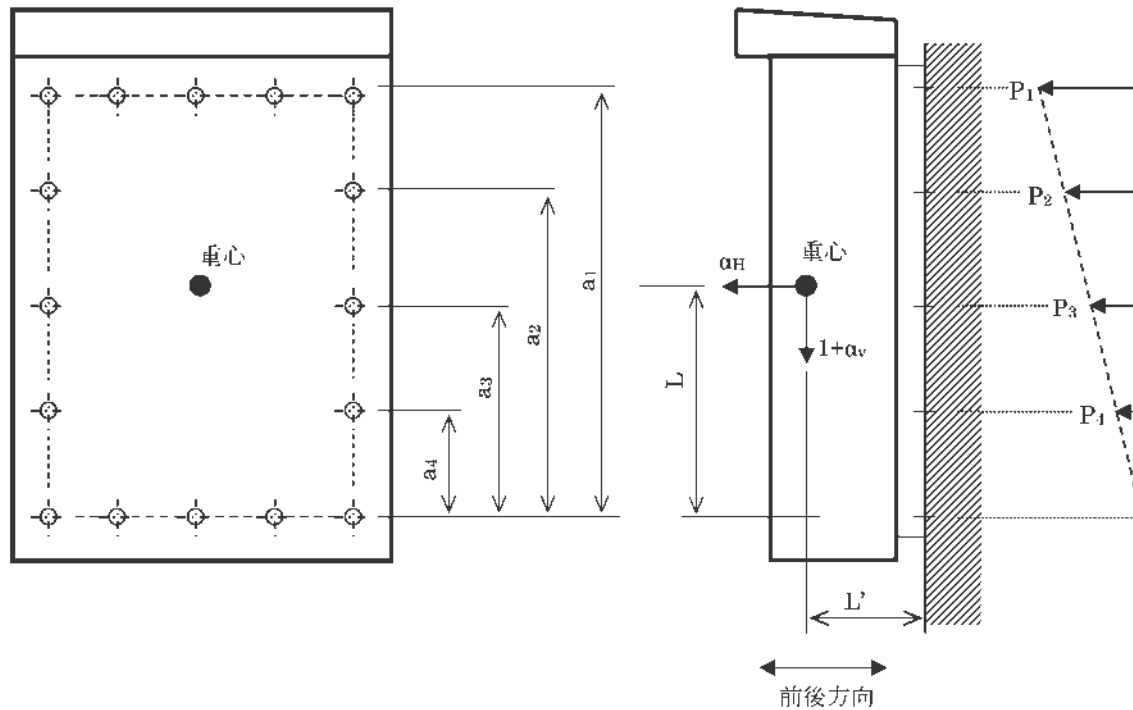
5.4.1 記号の説明

記号	説明	単位
L	下側据付ボルト中心から機器重心までの鉛直方向の距離	mm
L'	壁面から機器重心までの距離	mm
N	据付ボルトの本数	—
W	機器質量	kg
g	重力加速度(9.80665m/s ²)	m/s ²
α_H	設計用水平震度	—
α_V	設計用鉛直震度	—
α	設計用合成震度	—
A	据付ボルトの有効断面積	mm ²
a_n	支点からの据付ボルト距離（前後方向）、 $a_1 \sim a_4$	mm
L_n	支点からの据付ボルト距離（左右方向）、 $L_1 \sim L_8, L_{11} \sim L_{17}$	mm
L_{Hn}	支点から据付ボルトまでの水平距離	mm
L_{Vn}	支点から据付ボルトまでの鉛直距離	mm

5.4.2 計算モデル

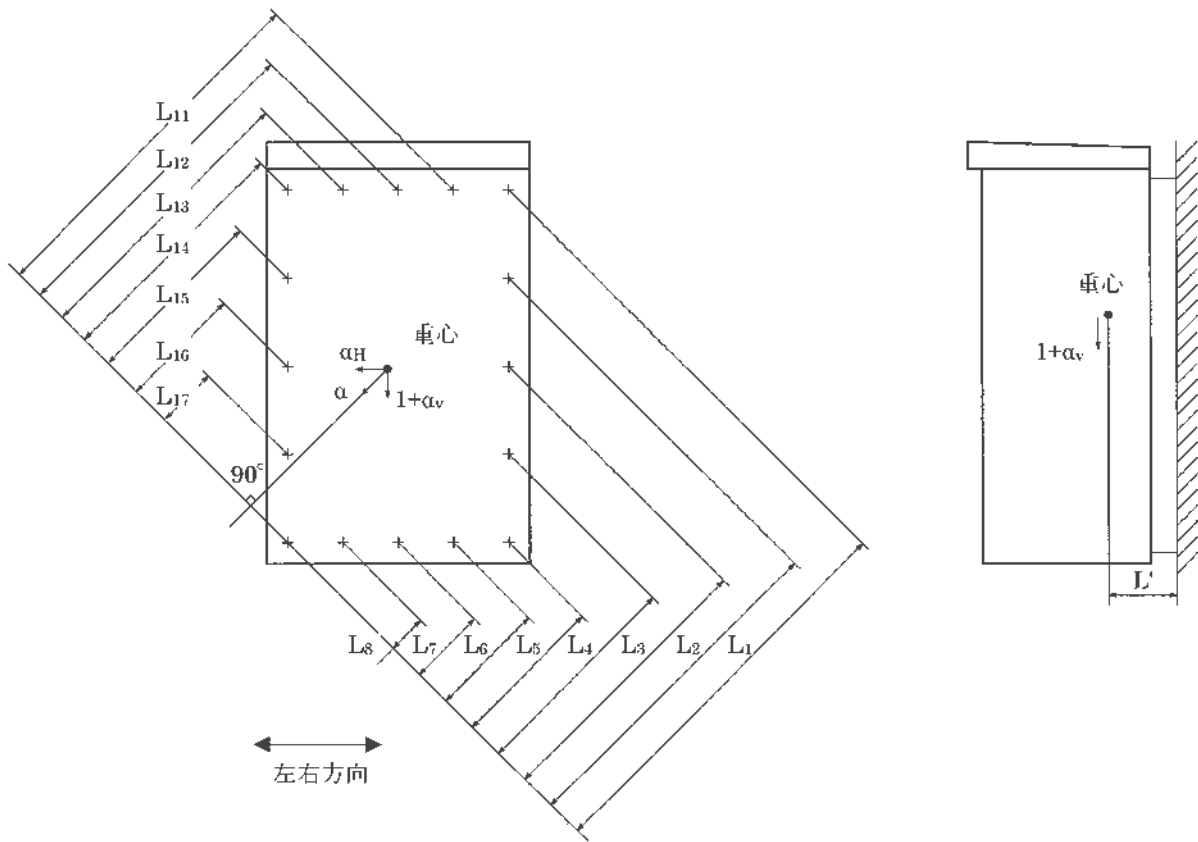
応力計算モデルを第5-2図、第5-3図に示す。

(1)前後方向



第5-2図 計算モデル

(2)左右方向



第5-3図 計算モデル

5.4.3 応力計算

計算式については、材料力学公式等に則り以下のとおりとする。

(1) 前後方向

各ボルトに発生する力を $P_1 \sim P_4$ とした際、モーメントのつり合いより

$$5 \cdot P_1 \cdot a_1 + 2 \cdot P_2 \cdot a_2 + 2 \cdot P_3 \cdot a_3 + 2 \cdot P_4 \cdot a_4 = \alpha_H \cdot W \cdot g \cdot L + (1 + \alpha_V) \cdot W \cdot g \cdot L'$$

$$\frac{P_1}{a_1} = \frac{P_2}{a_2} = \frac{P_3}{a_3} = \frac{P_4}{a_4} \text{ より、 } P_2 = P_1 \frac{a_2}{a_1}, \quad P_3 = P_1 \frac{a_3}{a_1}, \quad P_4 = P_1 \frac{a_4}{a_1}$$

よって、据付ボルト1本当りの最大引張力 P_1 は、

$$P_1 = \frac{a_1 \cdot W \cdot g \cdot \{\alpha_H \cdot L + (1 + \alpha_V) \cdot L'\}}{5 \cdot a_1^2 + 2 \cdot a_2^2 + 2 \cdot a_3^2 + 2 \cdot a_4^2}$$

据付ボルトに作用する引張応力 P は、

$$P = \frac{P_1}{A}$$

据付ボルト1本当りのせん断力 T は、鉛直方向の力を据付ボルト本数で除することで求められる。

$$T = \frac{(1 + \alpha_V) \cdot W \cdot g}{N}$$

据付ボルトに作用するせん断応力 τ は、

$$\tau = \frac{T}{A}$$

(2) 左右方向

①合成震度

$$\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + (1 + \alpha_V)^2}$$

②据付ボルトの引抜力

各ボルトに発生する力を $P_1 \sim P_8$ 、 $P_{11} \sim P_{17}$ とした際、モーメントの釣合いより、

$$\sum P_n \cdot L_n = \alpha \cdot W \cdot L'g$$

$$L_n = \sqrt{L_{11n}^2 + L_{Vn}^2} \cdot \cos \left[\tan^{-1}(L_{Vn}/L_{11n}) - \tan^{-1}\{(1 + \alpha_V)/\alpha_H\} \right]$$

$$\frac{P_1}{L_1} = \frac{P_2}{L_2} = \dots = \frac{P_8}{L_8}, \quad \frac{P_1}{L_1} = \frac{P_{11}}{L_{11}} = \dots = \frac{P_{17}}{L_{17}} \text{ より、}$$

$$P_2 = P_1 \frac{L_2}{L_1}, \dots; P_{17} = P_1 \frac{L_{17}}{L_1}$$

$$P_1 \cdot L_1 + P_2 \cdot L_2 + \dots + P_{17} \cdot L_{17} = \frac{P_1}{L_1} (L_1^2 + L_2^2 + \dots + L_{17}^2)$$

よって、据付ボルト1本当りの最大引張力 P_1 は、

$$\sum P_n \cdot L_n = \alpha \cdot W \cdot L'g$$

$$\sum P_n \cdot L_n = P_1 \cdot L_1 + P_2 \cdot L_2 + \dots + P_{17} \cdot L_{17} = \alpha \cdot W \cdot L'g$$

$$\frac{P_1}{L_1} (L_1^2 + L_2^2 + \dots + L_{17}^2) = \alpha \cdot W \cdot L'g$$

$$P_1 = \frac{\alpha \cdot W \cdot L' \cdot L_1 \cdot g}{(L_1^2 + L_2^2 + \dots + L_{17}^2)}$$

据付ボルトに作用する引張応力 P は、

$$P = \frac{P_1}{A}$$

据付ボルト 1 本当りのせん断力 T は、合成地震力を据付ボルト本数で除することで求められる。

$$T = \frac{\alpha \cdot W \cdot g}{N}$$

据付ボルトに作用するせん断応力 τ は、

$$\tau = \frac{T}{A}$$

5.5 応力評価条件

5.5.1 応力計算条件

(1) 盤関係

項目		記号	単位	数値
機器質量		W	kg	700
重力加速度		g	m/s ²	9.80665
下側据付ボルト中心から機器重心までの鉛直方向の距離		L	mm	791
壁面から機器重心までの距離		L'	mm	368
据付ボルトの本数		N	—	16
据付ボルトの有効断面積(M16)		A	mm ²	157
前後方向	支点からの据付ボルト距離	a ₁	mm	1,340
		a ₂	mm	1,005
		a ₃	mm	670
		a ₄	mm	335
左右方向	支点からの据付ボルト距離	L ₁	mm	1,571
		L ₂	mm	1,309
		L ₃	mm	1,046
		L ₄	mm	784
		L ₅	mm	522
		L ₆	mm	391
		L ₇	mm	261
		L ₈	mm	130
		L ₁₁	mm	1,441
		L ₁₂	mm	1,310
		L ₁₃	mm	1,180
		L ₁₄	mm	1,049
		L ₁₅	mm	787
		L ₁₆	mm	524
L ₁₇	mm	262		

(2) 設計用加速度

項 目	記号	設計用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
水平	α_H	1.46
鉛直	α_V	0.84

(注) 固有値解析にて、固有振動数が30Hz以上であることを確認し、設計用加速度は最大床加速度の1.2倍を使用する。

6. 機能維持評価

緊急時対策所用発電機車接続盤は、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その維持がされていることを示す。

6.1 機能維持評価方法

緊急時対策所用発電機車接続盤の固有振動数から応答加速度を求め、機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、器具単体の加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を第6-1表に示す。

なお、固有値解析結果にて固有振動数が30Hz以上であることを確認し、評価用加速度は最大床加速度を使用する。

第6-1表 機能確認済加速度

項目	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
水平	10.00
鉛直	3.00

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処施設としての評価結果

緊急時対策所用発電機車接続盤の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

基準地震動 S_s による構造強度評価結果を第7-1表に示す。また、電氣的機能維持評価結果を第7-2表に示す。

第7-1表 基準地震動Ssによる構造強度評価結果 (D+P_{SAD}+M_{SAD}+Ss)

評価対象設備			評価部位	応力分類	方向	発生値	評価基準値
						MPa	MPa
非常用電源設備	その他の電源装置	緊急時対策所用発電機車接続盤	据付ボルト	引張応力	前後	9	279
					左右	5	
				せん断応力	前後	6	160
					左右	7	
				組合せ	前後	9	279 ^(注)
					左右	5	

(注) 引張応力(P_{bt})とせん断応力(τ_{bs})との組合せ応力の評価基準値は、Min(1.4・1.5ft* - 1.6・τ_{bs}, 1.5ft*)とする。

第7-2表 電氣的機能維持評価結果 (重大事故等対処施設)

評価対象設備			機能確認済加速度との比較				詳細評価	
			加速度確認部位	水平加速度 (×9.8m/s ²)		鉛直加速度 (×9.8m/s ²)		
				評価用加速度	機能確認済加速度	評価用加速度		機能確認済加速度
非常用電源設備	その他の電源装置	緊急時対策所用発電機車接続盤	—	1.21	10.00	0.70	3.00	—

緊急時対策棟メタルクラッド開閉装置の耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-3-4

玄海原子力発電所第3号機

目 次

	頁
1. 概 要	12 (3) - 17 - 3 - 4 - 1
2. 基本方針	12 (3) - 17 - 3 - 4 - 1
2.1 構造の説明	12 (3) - 17 - 3 - 4 - 1
2.2 評価方針	12 (3) - 17 - 3 - 4 - 3
3. 耐震評価箇所	12 (3) - 17 - 3 - 4 - 3
4. 固有値解析	12 (3) - 17 - 3 - 4 - 4
4.1 基本方針	12 (3) - 17 - 3 - 4 - 4
4.2 解析モデル及び諸元	12 (3) - 17 - 3 - 4 - 5
4.3 固有値解析結果	12 (3) - 17 - 3 - 4 - 6
5. 応力評価	12 (3) - 17 - 3 - 4 - 8
5.1 基本方針	12 (3) - 17 - 3 - 4 - 8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	12 (3) - 17 - 3 - 4 - 8
5.3 設計用地震力	12 (3) - 17 - 3 - 4 - 10
5.4 応力評価方法	12 (3) - 17 - 3 - 4 - 13
5.5 応力評価条件	12 (3) - 17 - 3 - 4 - 17
6. 機能維持評価	12 (3) - 17 - 3 - 4 - 18
6.1 機能維持評価方法	12 (3) - 17 - 3 - 4 - 18
7. 評価結果	12 (3) - 17 - 3 - 4 - 19
7.1 重大事故等対処施設としての評価結果	12 (3) - 17 - 3 - 4 - 19

1. 概 要

本資料は、資料12-9「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、緊急時対策棟メタルクラッド開閉装置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。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

緊急時対策棟メタルクラッド開閉装置は、重大事故等対処施設において常設重大事故緩和設備に分類される。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

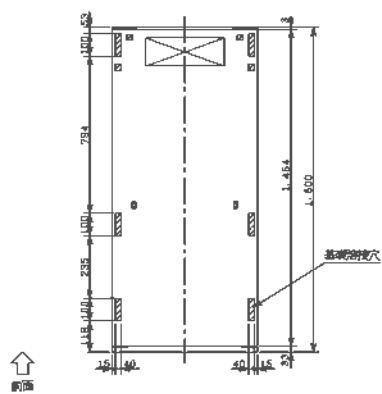
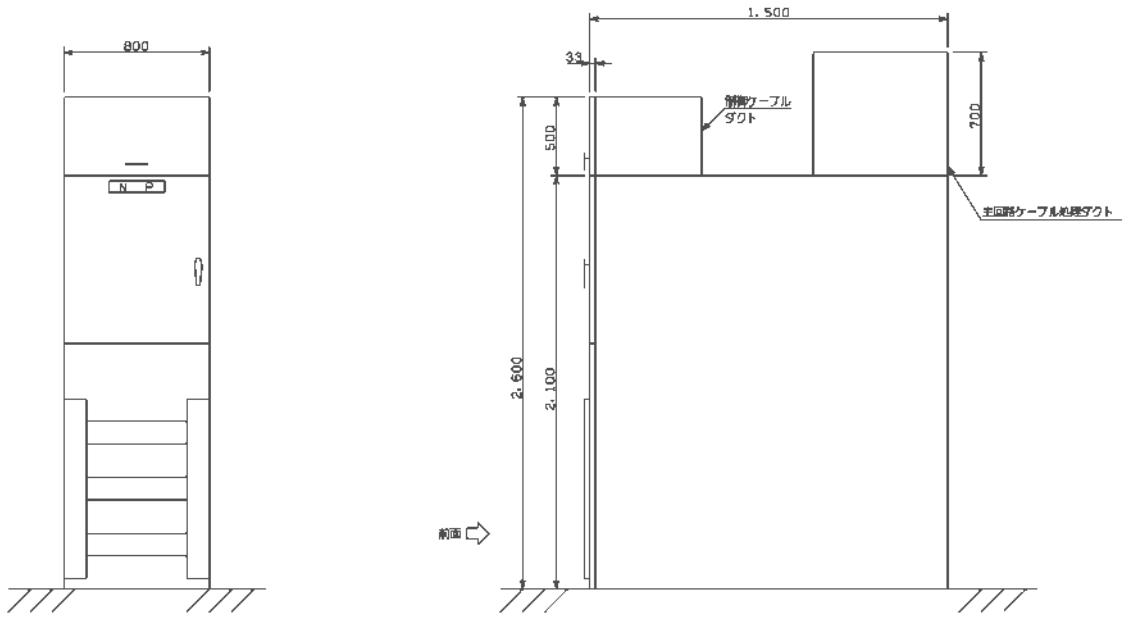
2. 基本方針

2.1 構造の説明

資料12-11「機器・配管の耐震支持方針」にて設定した電気計測制御装置の支持方針に基づき設計した緊急時対策棟メタルクラッド開閉装置の構造計画を第2-1表に示す。

第2-1表 緊急時対策棟メタルクラッド開閉装置の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
緊急時対策棟メタルクラッド開閉装置	自立閉鎖形	建屋床面に埋め込まれた埋込金物に溶接により据え付ける。	第2-1図



基礎図

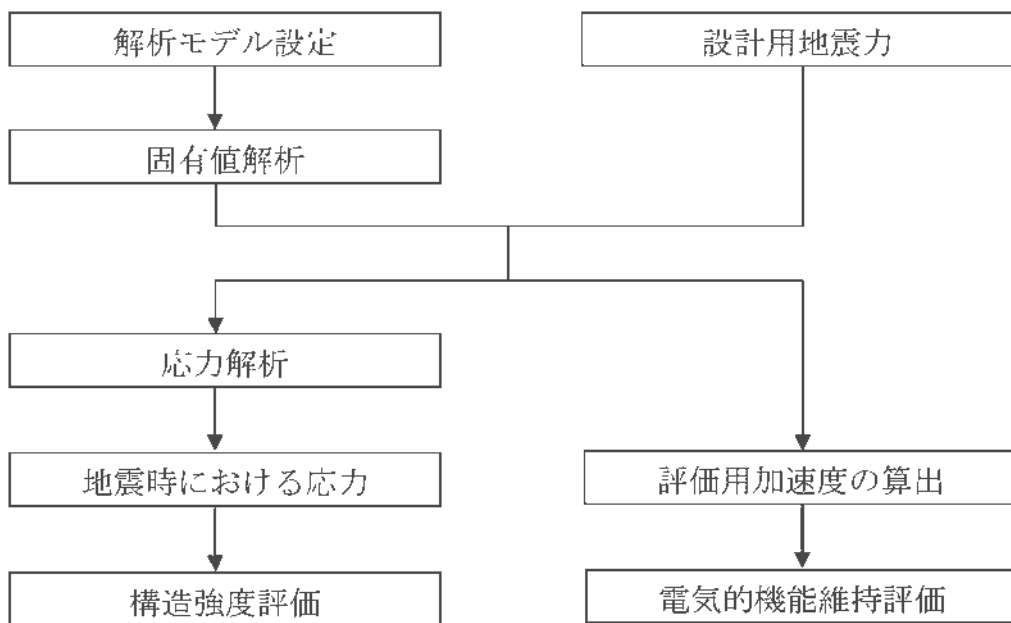
(単位 : mm)

第2-1図 外形図

2.2 評価方針

緊急時対策棟メタルラッド開閉装置の応力評価は、資料12-9「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 構造の説明」にて示す緊急時対策棟メタルラッド開閉装置の部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、緊急時対策棟メタルラッド開閉装置の機能維持評価は、資料12-9「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。

緊急時対策棟メタルラッド開閉装置の耐震評価フローを第2-2図に示す。



第2-2図 緊急時対策棟メタルラッド開閉装置の耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

緊急時対策棟メタルラッド開閉装置の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる溶接部を選定して実施する。

4. 固有値解析

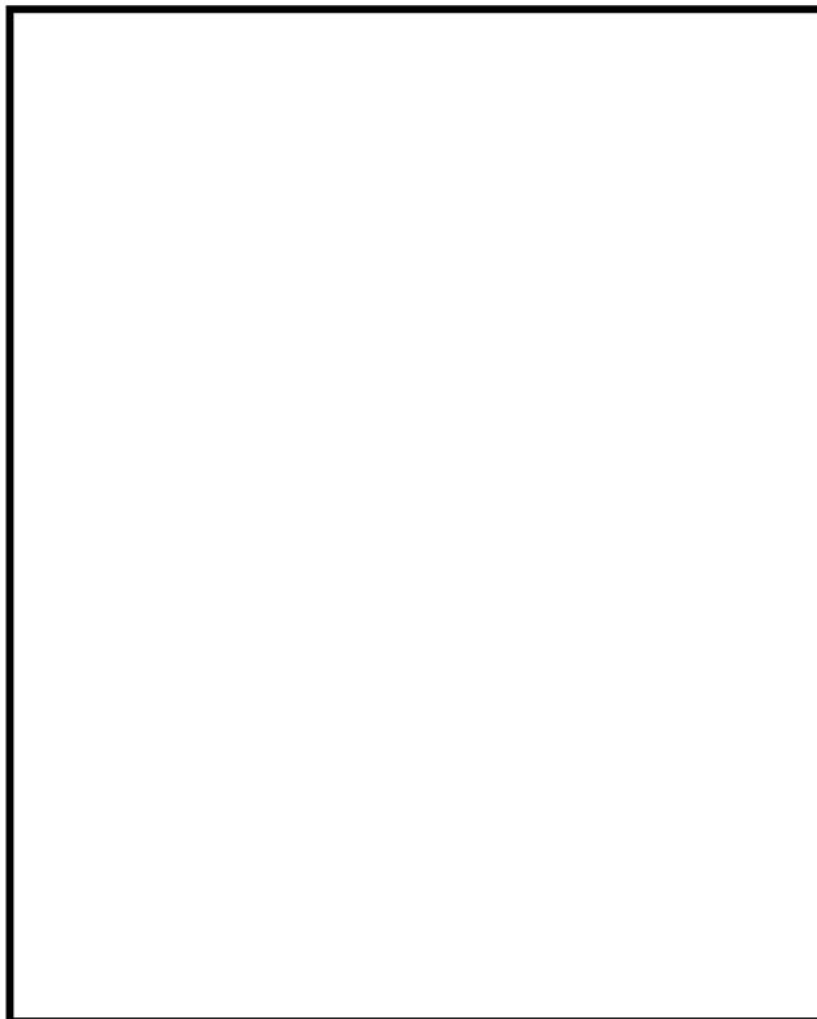
緊急時対策棟メタルクラッド開閉装置の固有振動数算定方法について以下に示す。

4.1 基本方針

- (1) 支持構造物を構成する鋼材の内、主フレーム、パネルを梁要素及び板要素でモデル化した 3 次元 FEM モデルによる固有値解析を行い、固有振動数が 30Hz 以上である場合は最大床加速度の 1.2 倍を用いた静解析を、20Hz 以上 30Hz 未満である場合はスペクトルモーダル解析及び最大床加速度の 1.2 倍を用いた静解析を、20Hz 未満である場合はスペクトルモーダル解析を実施する。
- (2) 解析コードは「MSC NASTRAN Ver.2008.0.4」を用いる。なお、評価に用いる解析コード「MSC NASTRAN Ver.2008.0.4」の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。
- (3) 拘束条件として、基礎溶接部を完全拘束としてモデル化する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 解析モデル及び諸元

解析モデルを第 4-1 図に、機器の諸元を第 4-1 表に示す。



第 4-1 図 解析モデル

第 4-1 表 機器の諸元

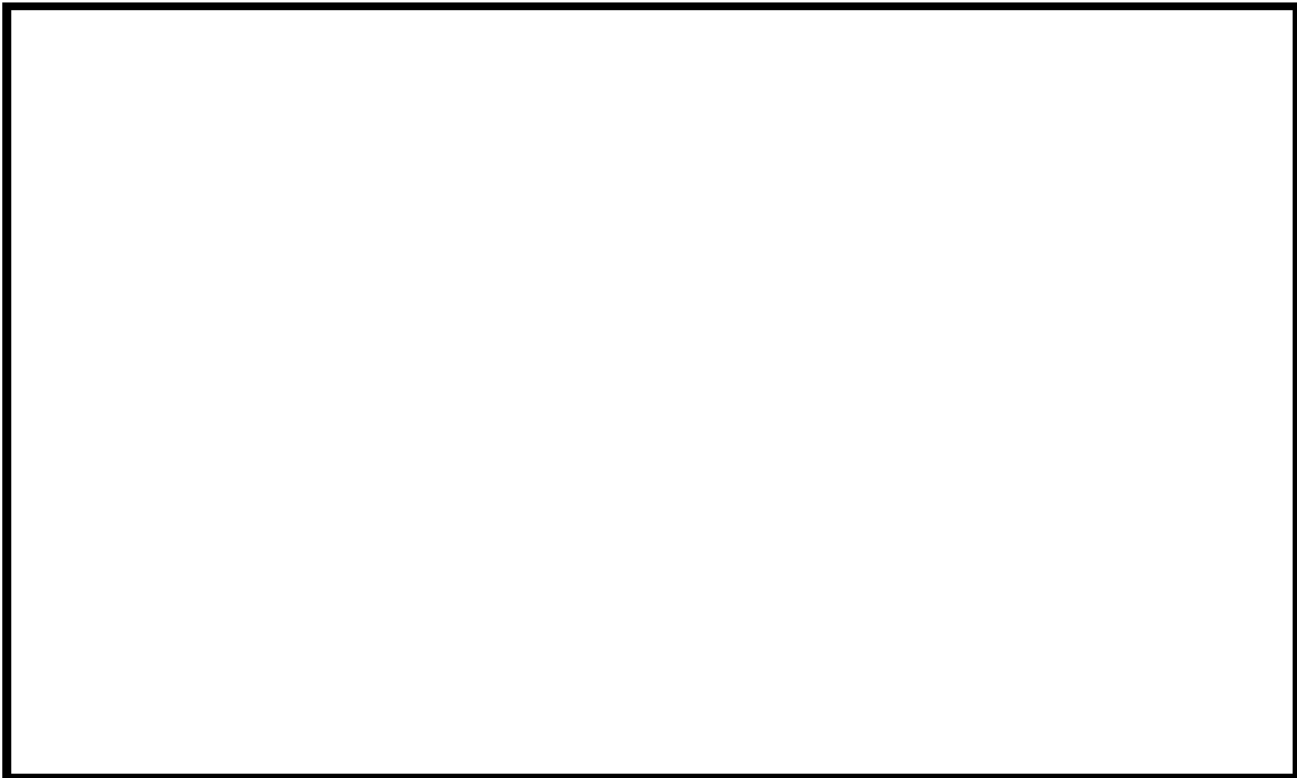
項目	記号	単位	入力値
温度条件 (雰囲気温度)	—	℃	40
質量	—	kg	1,700
要素数	—	個	
節点数	—	個	

4.3 固有値解析結果

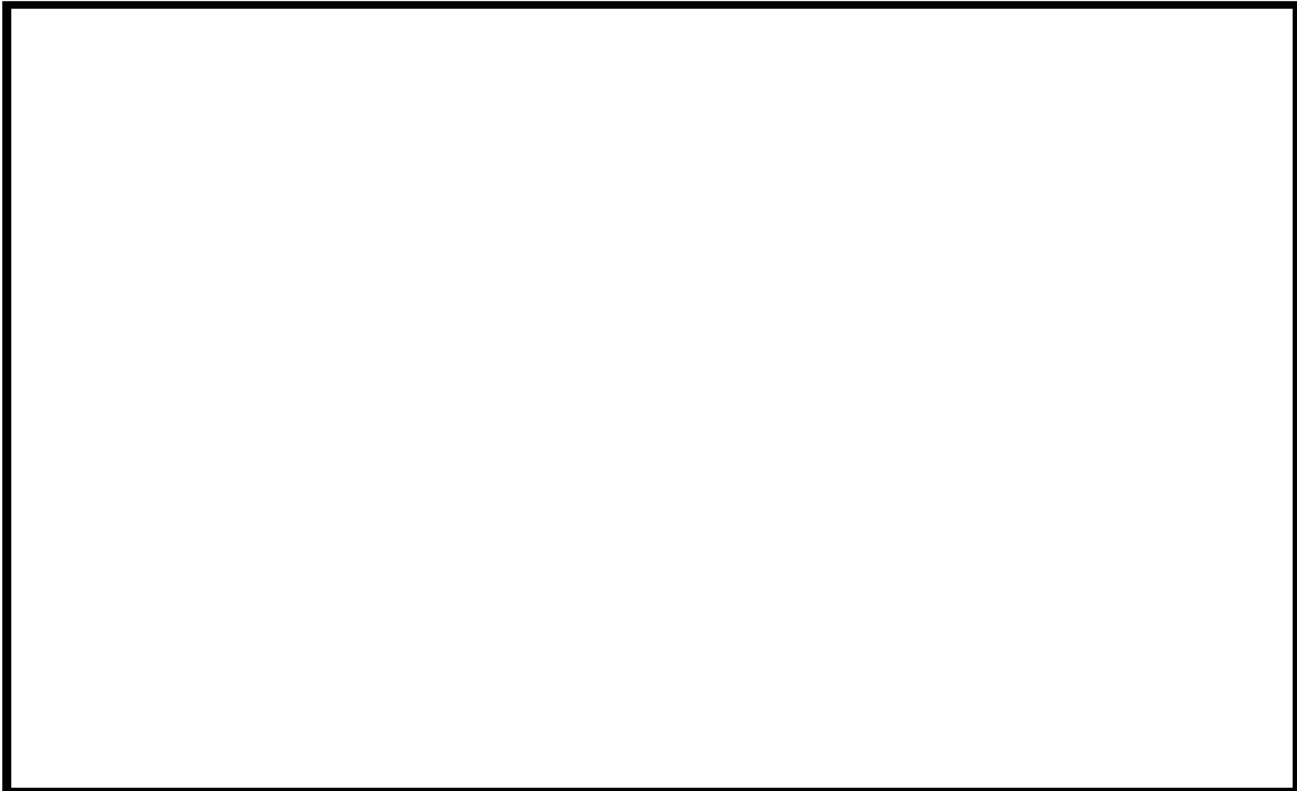
固有振動数の計算結果を第 4-2 表に、振動モード図を第 4-2 図、第 4-3 図に示す。

第 4-2 表 固有振動数

次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数			モード図
		X (左右)	Y (前後)	Z (上下)	
1	31.0				第 4-2 図
2	37.6				第 4-3 図



第4-2図 左右方向モード (31.0Hz)



第4-3図 前後方向モード (37.6Hz)

5. 応力評価

緊急時対策棟メタルクラッド開閉装置の応力評価方法について以下に示す。

5.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは 1 質点系モデルとし、盤の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- (2) 地震による転倒モーメントを溶接部のみで負担すると考える。また、保守的評価として一部溶接部を無視して評価する。
- (3) 許容応力について JSME S NJ1-2012 の Part3 を用いて計算する際に、温度が図表記載温度の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 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

緊急時対策棟メタルクラッド開閉装置の荷重の組合せ及び許容応力状態を第5-1表に示す。

5.2.2 許容応力

緊急時対策棟メタルクラッド開閉装置の許容応力を第5-2表に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力

緊急時対策棟メタルクラッド開閉装置の使用材料の許容応力を第5-3表に示す。

第5-1表 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処施設）

施設区分		機器名称	設備分類	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	その他の電源装置	(注1) 緊急時対策棟メタルクラッド開閉装置	常設重大事故緩和設備	$D + P_D + M_D + S_s$ (注2)	IV _{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	

(注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。

(注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。

第5-2表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 (注1) (注2) (注3) (ボルト以外)
	一次応力
	せん断
IV _{AS}	1.5f _s *

(注1) 「鋼構造設計規準 SI単位版」（2002年日本建築学会）等の幅厚比の制限を満足させる。

(注2) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

(注3) 耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては、耐圧部と同じ許容応力とする。

第5-3表 使用材料の許容応力評価条件

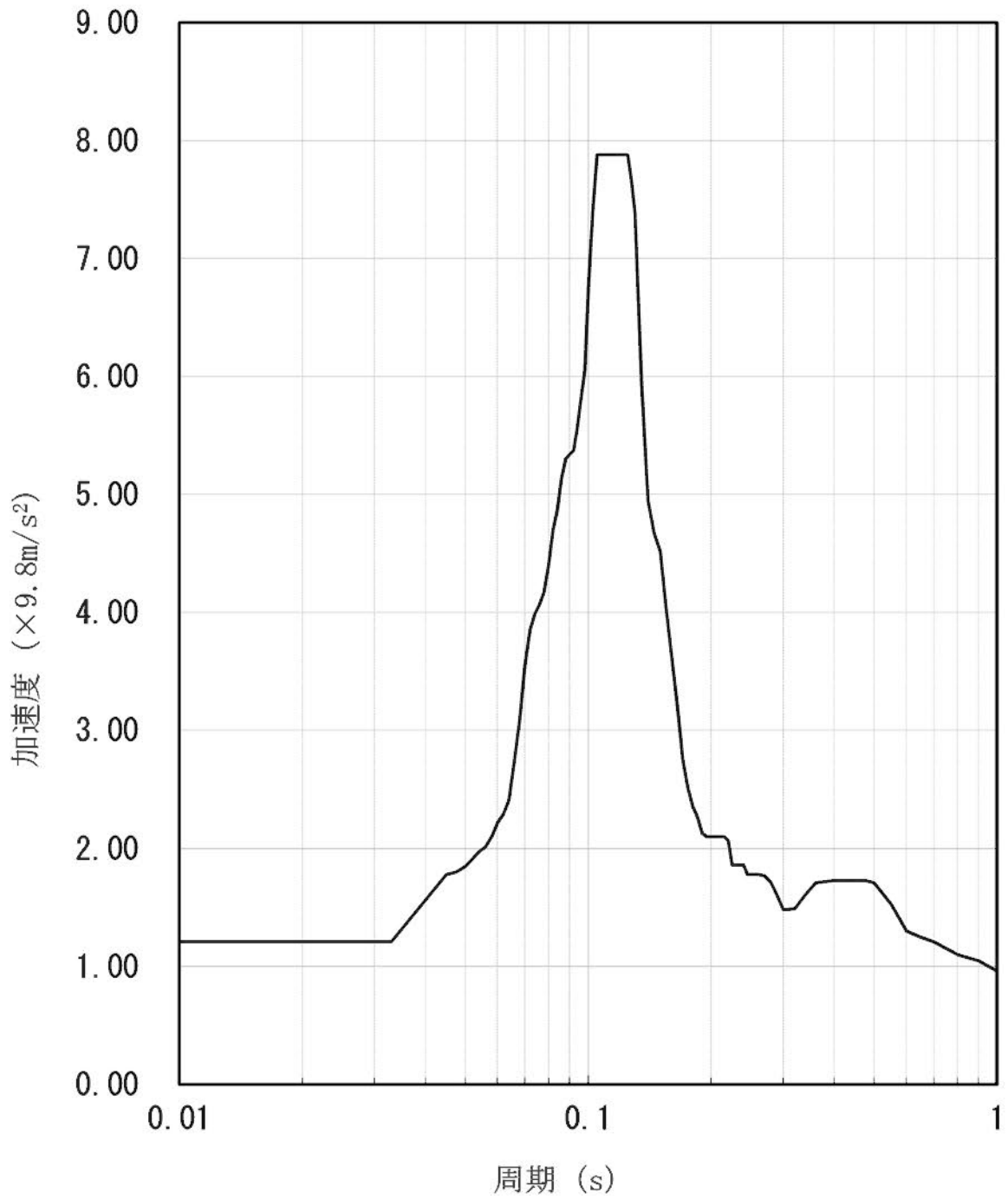
材質	評価温度 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
SS400	40 (雰囲気温度)	245	400	280

5.3 設計用地震力

耐震計算に用いる入力地震力には、資料12-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、第5-4表にて示す条件を用いて作成した第5-1図に示す設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は資料12-6「地震応答解析の基本方針」第3-1表に記載の減衰定数を用いる。

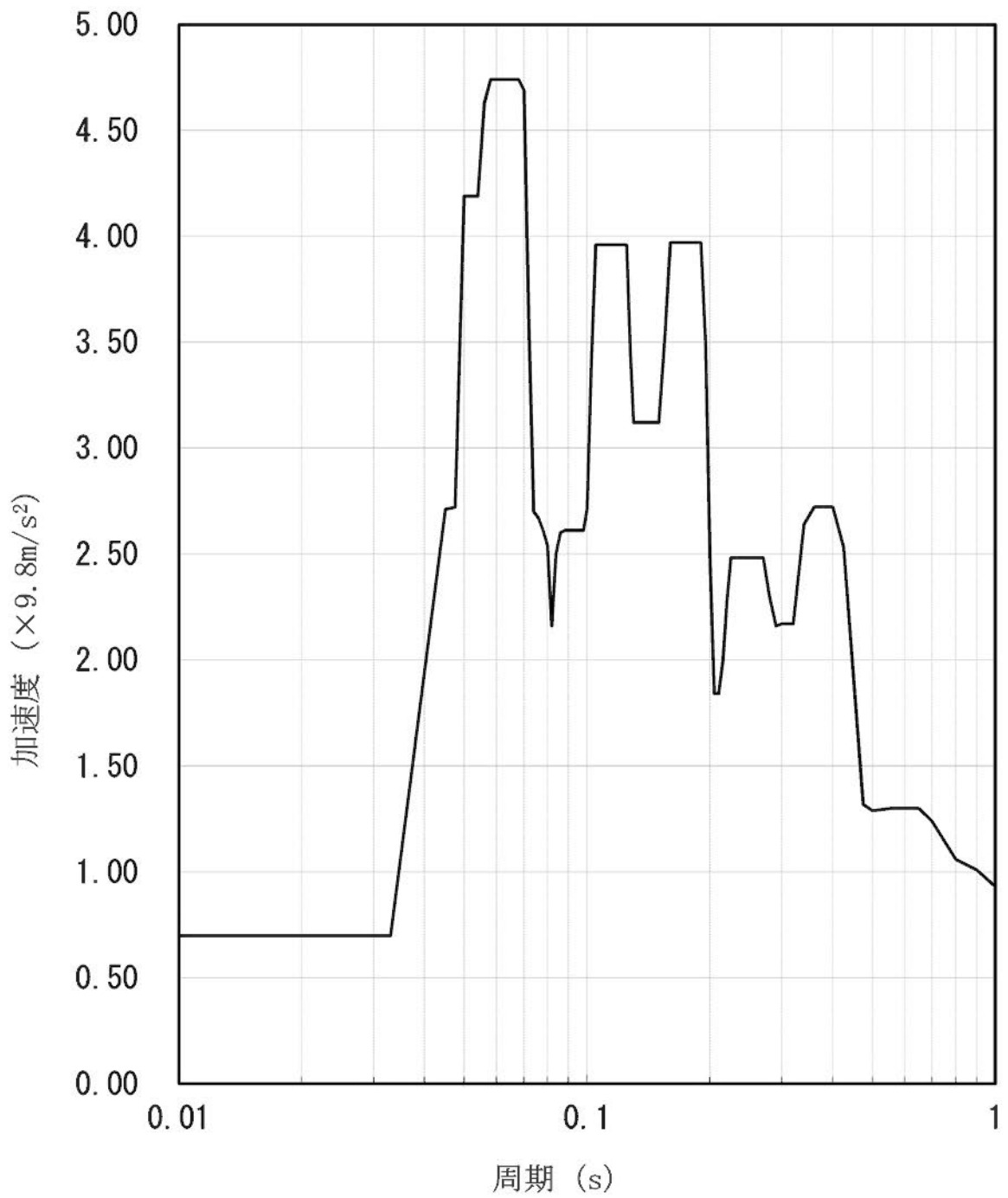
第5-4表 設計用地震力

地震動	設置場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備考
		建屋 及び高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	
基準地震動 S _s	緊急時 対策棟 EL.30.75	緊急時 対策棟 EL.30.75	水平	4.0	水平方向は S _s -1~5 の X 方向及び Y 方向 の包絡曲線を用い る。 鉛直方向は S _s -1~5 の包絡曲線を用い る。
			鉛直	1.0	



第5-1 図(1/2) 基準地震動 Ss

(緊急時対策棟 EL.30.75m 減衰定数 4.0% Ss-1~5 包絡 水平方向)



第 5-1 図(2/2) 基準地震動 Ss
 (緊急時対策棟 EL.30.75m 減衰定数 1.0% Ss-1~5 包絡 鉛直方向)

5.4 応力評価方法

5.4.1 記号の説明

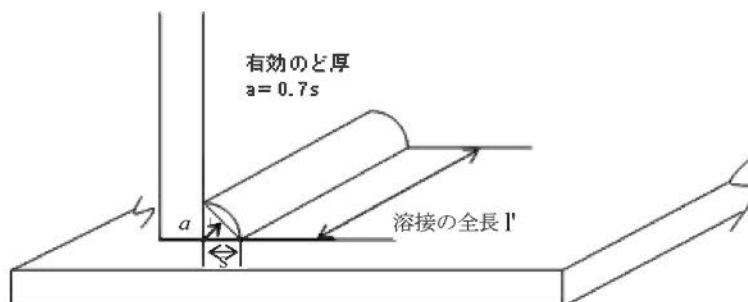
記号	説明	単位
S	溶接部の有効断面積 ^(注)	mm ²
s	溶接すみ肉	mm
a	溶接のど厚	mm
l	溶接の有効長さ	mm
l'	溶接の全長	mm
W	機器質量	kg
g	重力加速度(9.80665m/s ²)	m/s ²
α_H	設計用水平震度	—
α_V	設計用鉛直震度	—
L _D	前面支点から機器重心までの距離	mm
L _W	左右支点から機器重心までの距離	mm
L _{WN}	溶接端部より溶接部までの水平距離 (左右方向) (N=整数)	mm
L _{DN}	溶接端部より溶接部までの水平距離 (前後方向) (N=整数)	mm
h	機器重心高さ	mm
σ	引張力によるせん断応力	MPa
τ	せん断力によるせん断応力	MPa
f _{max}	最大の応力	MPa
n	盤奥行方向 1 列当たりの溶接箇所数	—
m	盤奥行方向の溶接列	—

(注) 溶接部の有効断面の算定

溶接部の有効断面積は (溶接のど厚×溶接の有効長さ) とする。溶接の有効長さ l とは、まわし溶接を含めた溶接の全長 l' からすみ肉のサイズ s の 2 倍を減じたものである。

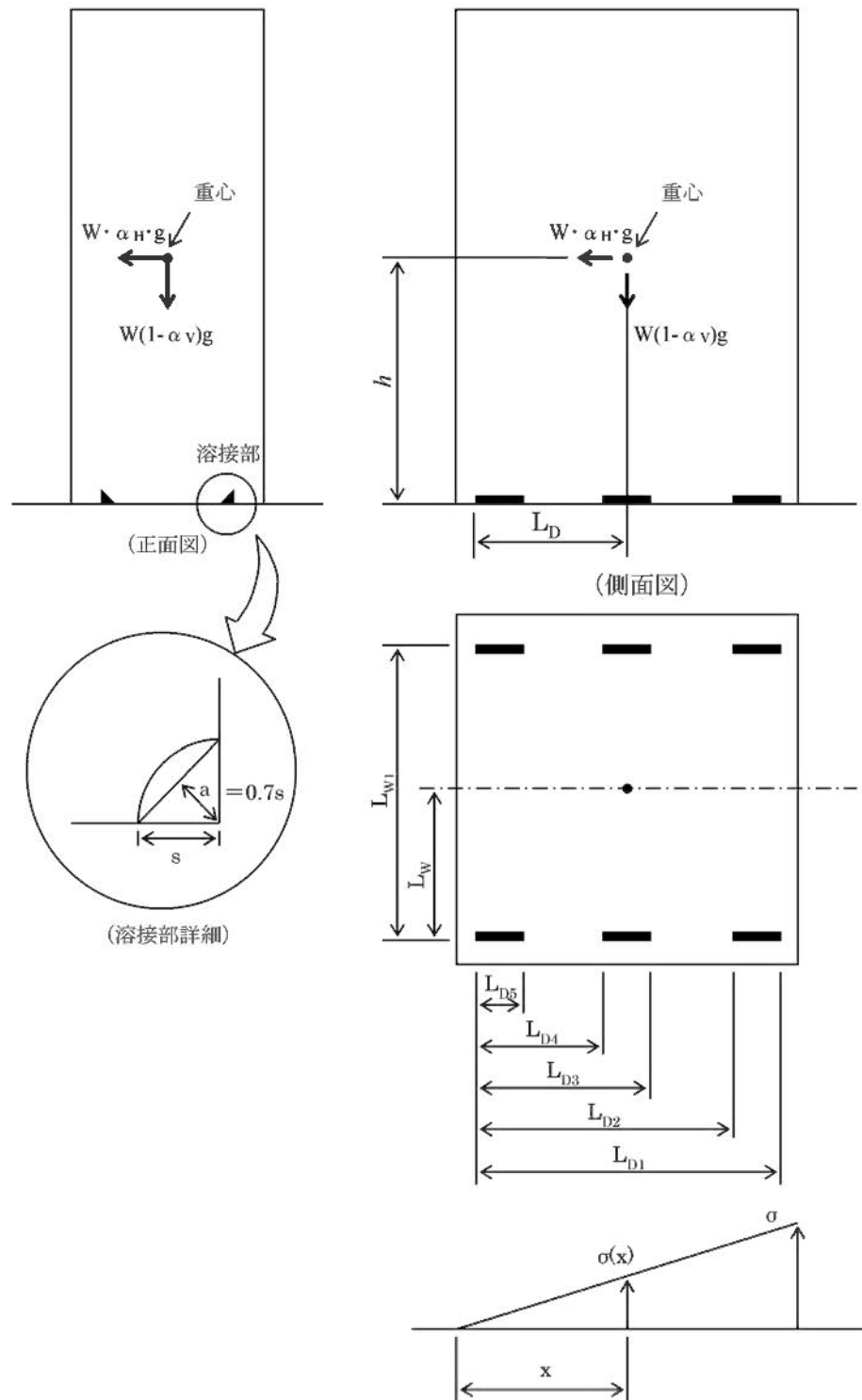
すなわち溶接部の有効断面積 S は下式で表せる。

$$S = a \cdot l = a \cdot (l' - 2 \cdot s)$$



5.4.2 計算モデル

計算モデル及び応力分布の概念図を第5-2図に示す。



5.4.3 応力計算

計算式については、材料力学公式等に則り以下のとおりとする。

(1) 左右方向

盤の転倒による引張力により溶接部ののど面に加わる引張応力

$$W\{\alpha_H \cdot h - (1 - \alpha_V)L_W\}g = \sigma \cdot n \cdot S \cdot L_{W1}$$

$$\sigma = \frac{W \cdot g}{n \cdot S \cdot L_{W1}} \{\alpha_H \cdot h - (1 - \alpha_V)L_W\}$$

盤へのせん断力により溶接部ののど面に加わるせん断応力

$$\tau = \frac{W \cdot \alpha_H \cdot g}{m \cdot n \cdot S}$$

溶接部に加わる応力が最大となるのは、上記 σ と τ が同時に加わった場合であるから、発生する最大の応力は次式で表せる。

$$f_{\max} = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = \sqrt{\left[\frac{W \cdot g}{n \cdot S \cdot L_{W1}} \{\alpha_H \cdot h - (1 - \alpha_V)L_W\} \right]^2 + \left\{ \frac{W \cdot \alpha_H \cdot g}{m \cdot n \cdot S} \right\}^2}$$

(2) 前後方向

盤の転倒による引張力により溶接部ののど面に加わる引張応力

$$\frac{\sigma}{L_{D1}} = \frac{\sigma(x)}{x}$$

$$W\{\alpha_{II} \cdot h - (1 - \alpha_V)L_D\}g = 2 \int_{L_{D2}}^{L_{D1}} \sigma(x) \cdot x \cdot a \cdot dx + 2 \int_{L_{D4}}^{L_{D3}} \sigma(x) \cdot x \cdot a \cdot dx + 2 \int_0^{L_{D5}} \sigma(x) \cdot x \cdot a \cdot dx$$

$$= \frac{\sigma \cdot a}{L_{D1}} \left\{ 2 \int_{L_{D2}}^{L_{D1}} x^2 \cdot dx + 2 \int_{L_{D4}}^{L_{D3}} x^2 \cdot dx + 2 \int_0^{L_{D5}} x^2 \cdot dx \right\}$$

$$= \frac{2\sigma \cdot a}{3L_{D1}} \left\{ (L_{D1}^3 - L_{D2}^3) + (L_{D3}^3 - L_{D4}^3) + L_{D5}^3 \right\}$$

$$\sigma = \frac{3L_{D1} \cdot W\{\alpha_{II} \cdot h - (1 - \alpha_V)L_D\}g}{2a \left\{ (L_{D1}^3 - L_{D2}^3) + (L_{D3}^3 - L_{D4}^3) + L_{D5}^3 \right\}}$$

盤へのせん断力により溶接部ののど面に加わるせん断応力

$$\tau = \frac{W \cdot \alpha_{II} \cdot g}{m \cdot n \cdot S}$$

溶接部に加わる応力が最大となるのは、上記 σ と τ が同時に加わった場合であるから、発生する最大の応力は次式で表せる。

$$f_{\max} = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = \sqrt{\left[\frac{3L_{D1} \cdot W\{\alpha_{II} \cdot h - (1 - \alpha_V)L_D\}g}{2a \left\{ (L_{D1}^3 - L_{D2}^3) + (L_{D3}^3 - L_{D4}^3) + L_{D5}^3 \right\}} \right]^2 + \left\{ \frac{W \cdot \alpha_{II} \cdot g}{m \cdot n \cdot S} \right\}^2}$$

5.5 応力評価条件

5.5.1 応力計算条件

(1) 盤関係

項目	記号	単位	数値
機器質量	W	kg	1,700
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
溶接のど厚	a	mm	6.3
溶接の有効長さ	l	mm	82
前面支点から機器重心までの距離	L _D	mm	523
左右支点から機器重心までの距離	L _W	mm	385
盤奥行方向 1 列当たりの溶接箇所数	n	—	3
盤奥行方向の溶接列	m	—	2
溶接端部より溶接部までの水平距離	L _{D1}	mm	1,311
	L _{D2}	mm	1,229
	L _{D3}	mm	417
	L _{D4}	mm	335
	L _{D5}	mm	82
	L _{W1}	mm	770
機器重心高さ	h	mm	1,150

(2) 設計用加速度

項目	記号	設計用加速度 (×9.8m/s ²)
水平	α_H	1.46
鉛直	α_V	0.84

(注) 固有値解析結果から、固有振動数は、前後方向、左右方向、鉛直方向は 30Hz以上であることから、動的地震力は最大床加速度の1.2倍とする。

6. 機能維持評価

緊急時対策棟メタルラッド開閉装置は、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その維持がされていることを示す。

6.1 機能維持評価方法

緊急時対策棟メタルラッド開閉装置の固有振動数から応答加速度を求め、機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、器具単体の加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を第6-1表に示す。

なお、固有値解析結果から、固有振動数は、前後方向、左右方向、鉛直方向30Hz以上であるため、評価用加速度は基準地震動Ssの最大床応答加速度とする。

第6-1表 機能確認済加速度

項目	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
水平	4.17
鉛直	1.88

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処施設としての評価結果

緊急時対策棟メタルクラッド開閉装置の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を第7-1表に示す。また、基準地震動 S_s に対する電氣的機能維持評価結果を第7-2表に示す。

第7-1表 基準地震動Ssによる評価結果 (D+P_{SAD}+M_{SAD}+Ss)

評価対象設備			評価部位	応力分類	方向	発生値	評価基準値
						MPa	MPa
非常用電源設備	その他の電源装置	緊急時対策棟メタルクラッド開閉装置	溶接部	せん断応力 ^(注)	前後	21	160
					左右	24	

(注) 発生値は組合せ応力であるが、評価基準値にせん断応力の値を用いるため、応力分類はせん断応力として示す。

第7-2表 電気的機能維持評価結果 (重大事故等対処施設)

評価対象設備			機能確認済加速度との比較				詳細評価	
			加速度確認部位	水平加速度 (×9.8m/s ²)		鉛直加速度 (×9.8m/s ²)		
				評価用加速度	機能確認済加速度	評価用加速度		機能確認済加速度
非常用電源設備	その他の電源装置	緊急時対策棟メタルクラッド開閉装置	盤頂部	1.21	4.17	0.70	1.88	—

緊急時対策棟動力変圧器の耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-3-5

玄海原子力発電所第3号機

目 次

	頁
1. 概 要	12 (3) - 17 - 3 - 5 - 1
2. 基本方針	12 (3) - 17 - 3 - 5 - 1
2.1 構造の説明	12 (3) - 17 - 3 - 5 - 1
2.2 評価方針	12 (3) - 17 - 3 - 5 - 3
3. 耐震評価箇所	12 (3) - 17 - 3 - 5 - 3
4. 応力評価	12 (3) - 17 - 3 - 5 - 4
4.1 基本方針	12 (3) - 17 - 3 - 5 - 4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	12 (3) - 17 - 3 - 5 - 4
4.3 設計用地震力	12 (3) - 17 - 3 - 5 - 6
4.4 応力評価方法	12 (3) - 17 - 3 - 5 - 9
4.5 応力評価条件	12 (3) - 17 - 3 - 5 - 13
5. 機能維持評価	12 (3) - 17 - 3 - 5 - 14
5.1 機能維持評価方法	12 (3) - 17 - 3 - 5 - 14
6. 評価結果	12 (3) - 17 - 3 - 5 - 15
6.1 重大事故等対処施設としての評価結果	12 (3) - 17 - 3 - 5 - 15

1. 概 要

本資料は、資料12-9「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、緊急時対策棟動力変圧器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。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

緊急時対策棟動力変圧器は、重大事故等対処施設において常設重大事故緩和設備に分類される。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

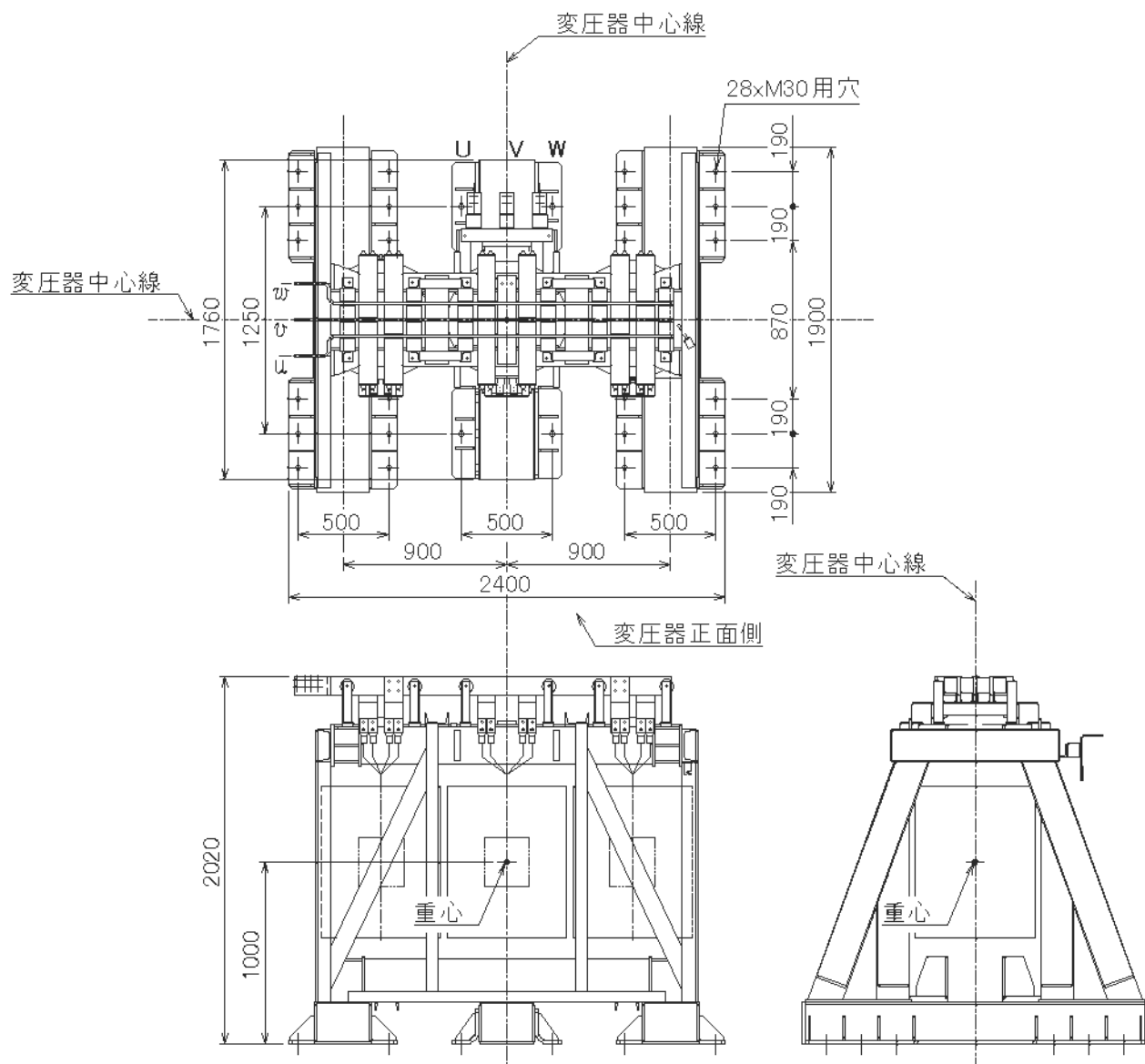
2.1 構造の説明

資料12-11「機器・配管の耐震支持方針」にて設定した電気計測制御装置の支持方針に基づき設計した緊急時対策棟動力変圧器の構造計画を第2-1表に示す。

第2-1表 動力変圧器の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
緊急時対策棟 動力変圧器	変圧器	緊急時対策棟動力変圧器は、基礎ボルトにて建屋床に据え付ける。	第2-1図

(単位：mm)

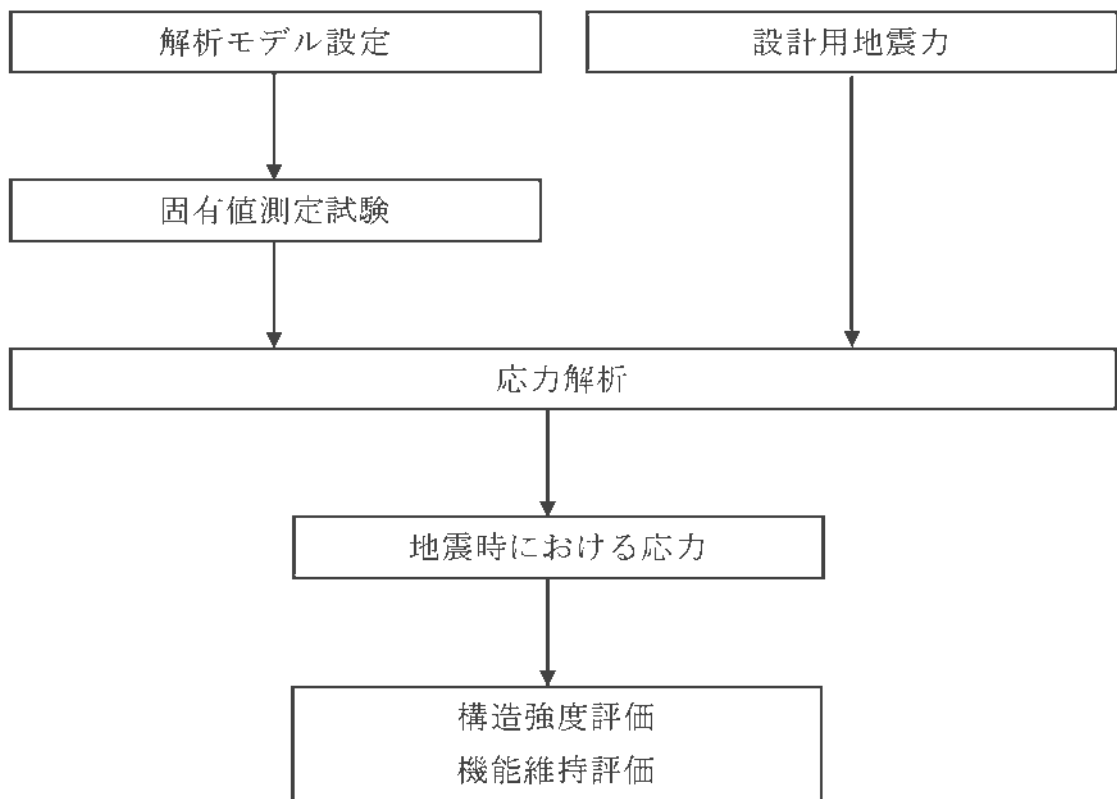


第2-1図 緊急時対策棟動力変圧器 外形図

2.2 評価方針

緊急時対策棟動力変圧器の応力評価は、資料12-9「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 構造の説明」にて示す緊急時対策棟動力変圧器の部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する部位に発生する応力等が許容限界内に収まることを、「4. 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、緊急時対策棟動力変圧器の機能維持評価は、資料12-9「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、地震時の最大発生応力が許容応力以下であることを、「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。

緊急時対策棟動力変圧器の耐震評価フローを第2-2図に示す。



第2-2図 緊急時対策棟動力変圧器の耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

緊急時対策棟動力変圧器の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトを選定して実施する。

4. 応力評価

4.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは1質点系モデルとし、緊急時対策棟動力変圧器の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- (2) 許容応力について JSME S NJ1-2012 の Part3 を用いて計算する際に、温度が図表記載温度の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (3) 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

緊急時対策棟動力変圧器の荷重の組合せ及び許容応力状態を第4-1表に示す。

4.2.2 許容応力

緊急時対策棟動力変圧器の許容応力を第4-2表に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

緊急時対策棟動力変圧器の使用材料の許容応力を第4-3表に示す。

第4-1表 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処施設）

施設区分		機器名称	設備分類	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	その他の電源装置	(注1) 緊急時対策棟 動力変圧器	常設重大事故緩和設備	$D + P_D + M_D + S_s$ (注2)	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	

(注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。

(注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。

第4-2表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 (注) (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV_{AS}	$1.5f_t^*$	$1.5f_s^*$

(注) 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。

第4-3表 使用材料の許容応力（重大事故等対処施設）

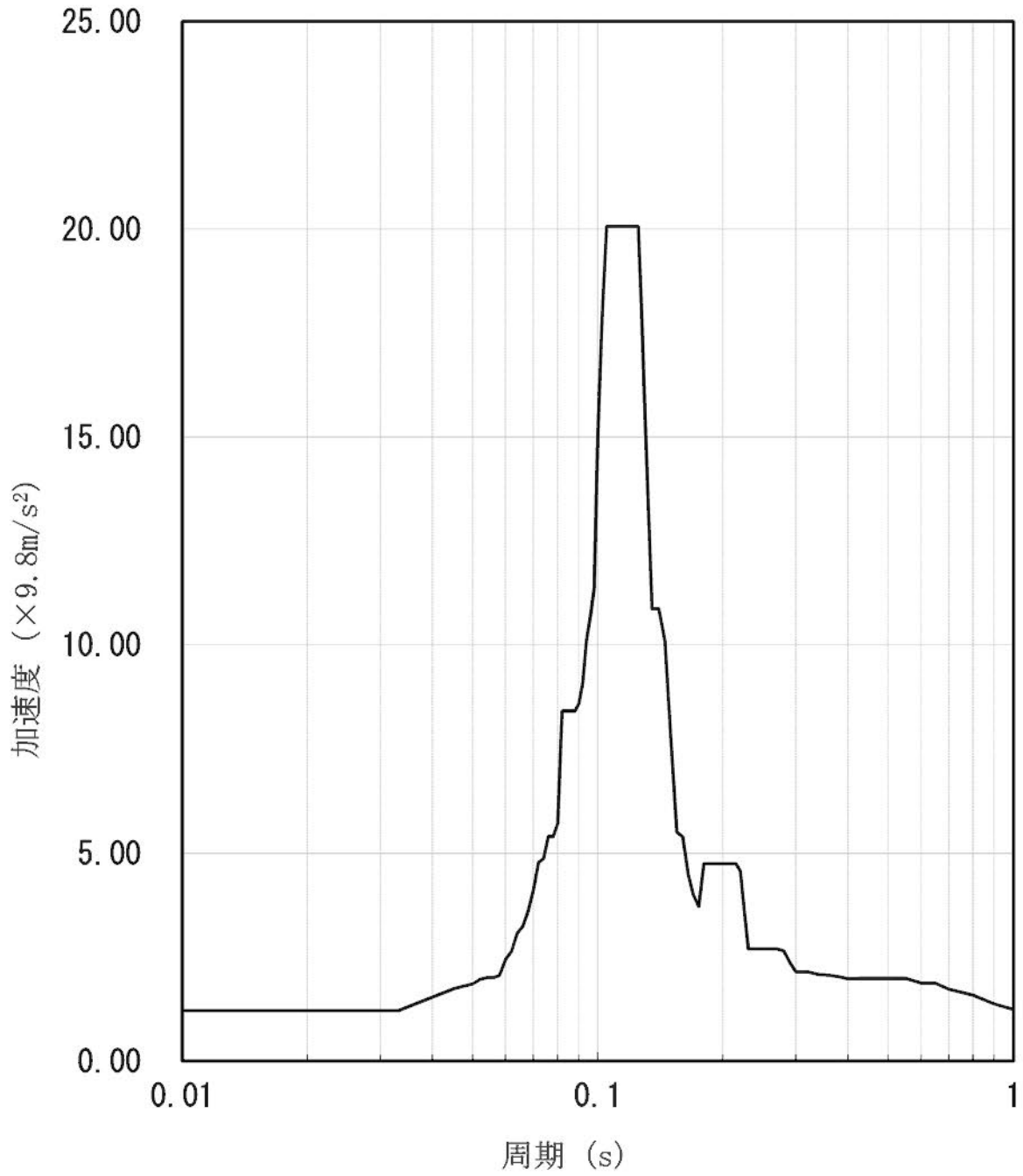
材質	評価温度 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
SS400	40 (雰囲気温度)	235	400	280

4.3 設計用地震力

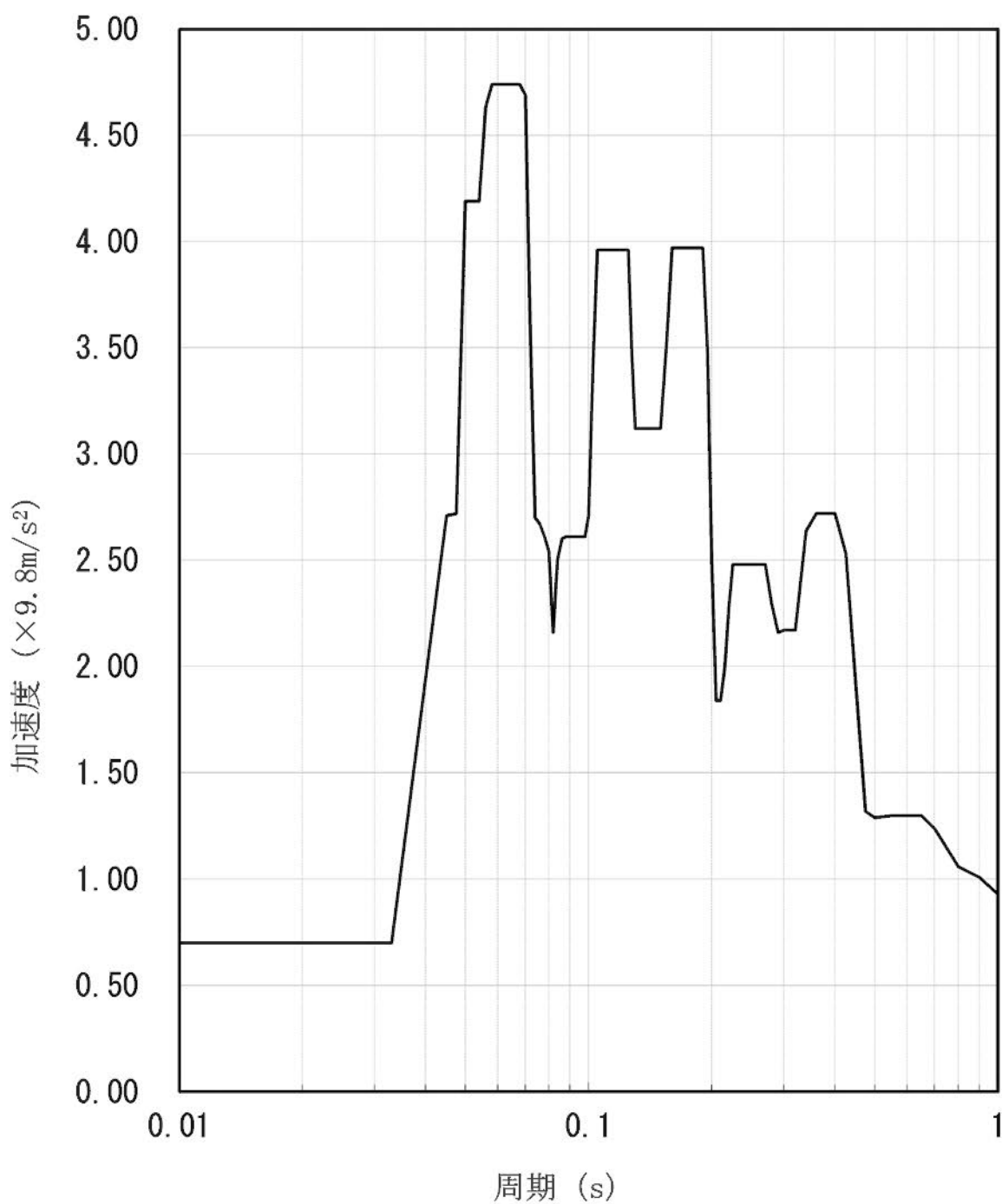
耐震計算に用いる入力地震力には、資料12-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、第4-4表にて示す条件を用いて作成した第4-1図に示す設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は資料12-6「地震応答解析の基本方針」第3-1表に記載の減衰定数を用いる。

第4-4表 設計用地震力

地震動	設置場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備考
		建屋 及び高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	
基準地震動 S _s	緊急時 対策棟 EL.30.75	緊急時 対策棟 EL.30.75	水平	1.0	水平方向は S _s -1~5 の X 方向及び Y 方向 の包絡曲線を用い る。 鉛直方向は S _s -1~5 の包絡曲線を用い る。
			鉛直	1.0	



第 4-1 図(1/2) 基準地震動 Ss
 (緊急時対策棟 EL. 30.75m 減衰定数 1.0%
 Ss-1~5 包絡 水平方向)



第 4-1 図(2/2) 基準地震動 Ss
 (緊急時対策棟 EL. 30.75m 減衰定数 1.0%
 Ss-1~5 包絡 鉛直方向)

4.4 応力評価方法

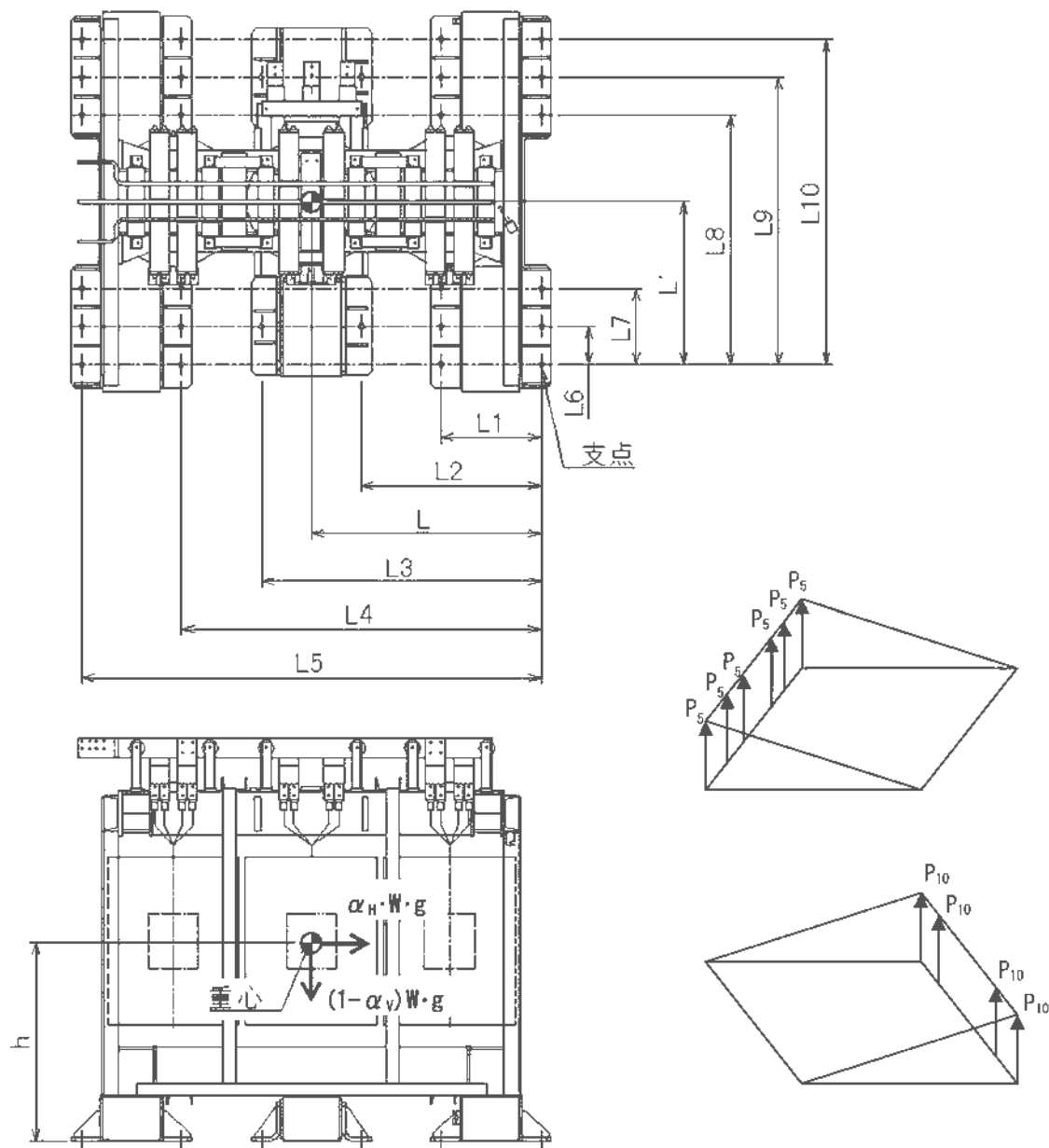
4.4.1 記号の説明

記号	記号の説明	単位
L, L'	支点から機器重心までの水平距離	mm
L_n	支点からのボルト間距離 (左右方向) $L_1 \sim L_5$ (前後方向) $L_6 \sim L_{10}$	mm
h	機器重心高さ	mm
α_H	設計用水平震度	-
α_V	設計用鉛直震度	-
W	機器質量	kg
g	重力加速度 (=9.80665m/s ²)	m/s ²
N	基礎ボルト総本数	本
P	支点から最も離れた基礎ボルトの引張力	N
σ	支点から最も離れた基礎ボルトの引張応力	MPa
τ	支点から最も離れた基礎ボルトのせん断応力	MPa
A_b	基礎ボルトの断面積	mm ²

4.4.2 応力計算

基礎ボルトの引張力は、基礎ボルト端列を支点とし、各基礎ボルトに働く力は支点からの距離に比例するものとしてモーメントの釣り合い式より求める。

計算モデルを第4-2図に示す。



第4-2図 計算モデル図

(1) 左右方向

第4-2図をもとに、緊急時対策棟動力変圧器の左右方向におけるモーメントの釣り合い式を求めると次のようになる。

$$6 \cdot P_1 \cdot L_1 + 2 \cdot P_2 \cdot L_2 + 2 \cdot P_3 \cdot L_3 + 6 \cdot P_4 \cdot L_4 + 6 \cdot P_5 \cdot L_5 = \alpha_H \cdot W \cdot g \cdot h - (1 - \alpha_V) \cdot W \cdot g \cdot L$$

一方

$$\frac{P_1}{L_1} = \frac{P_2}{L_2} = \frac{P_3}{L_3} = \frac{P_4}{L_4} = \frac{P_5}{L_5}$$

が成立するため

$$P_5 = \frac{L_5 \{ \alpha_H \cdot W \cdot g \cdot h - (1 - \alpha_V) \cdot W \cdot g \cdot L \}}{6 \cdot L_1^2 + 2 \cdot L_2^2 + 2 \cdot L_3^2 + 6 \cdot L_4^2 + 6 \cdot L_5^2} = P$$

したがって、引張応力 σ は次式となる。

$$\sigma = \frac{P}{A_b}$$

また、せん断応力 τ は次式となる。

$$\tau = \frac{\alpha_H \cdot W \cdot g}{A_b \cdot N}$$

(2) 前後方向

第4-2図をもとに、緊急時対策棟動力変圧器の前後方向におけるモーメントの釣り合い式を求めると次のようになる。

$$6 \cdot P_6 \cdot L_6 + 4 \cdot P_7 \cdot L_7 + 4 \cdot P_8 \cdot L_8 + 6 \cdot P_9 \cdot L_9 + 4 \cdot P_{10} \cdot L_{10} = \alpha_H \cdot W \cdot g \cdot h - (1 - \alpha_V) \cdot W \cdot g \cdot L'$$

一方

$$\frac{P_6}{L_6} = \frac{P_7}{L_7} = \frac{P_8}{L_8} = \frac{P_9}{L_9} = \frac{P_{10}}{L_{10}}$$

が成立するため

$$P_{10} = \frac{L_{10} \{ \alpha_H \cdot W \cdot g \cdot h - (1 - \alpha_V) \cdot W \cdot g \cdot L' \}}{6 \cdot L_6^2 + 4 \cdot L_7^2 + 4 \cdot L_8^2 + 6 \cdot L_9^2 + 4 \cdot L_{10}^2} = P$$

したがって、引張応力 σ は次式となる。

$$\sigma = \frac{P}{\Lambda_b}$$

また、せん断応力 τ は次式となる。

$$\tau = \frac{\alpha_H \cdot W \cdot g}{\Lambda_b \cdot N}$$

4.5 応力評価条件

4.5.1 応力計算条件

(1) 動力変圧器

項 目	記号	単位	数値
機器質量	W	kg	7800
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
機器重心高さ	h	mm	1000
支点から重心位置までの距離（左右方向）	L	mm	1150
支点から重心位置までの距離（前後方向）	L'	mm	815
基礎ボルト(M30)の本数	N	本	28
基礎ボルト(M30)の断面積	Ab	mm ²	561
支点からの基礎ボルト距離（左右方向）	L ₁	mm	500
	L ₂	mm	900
	L ₃	mm	1400
	L ₄	mm	1800
	L ₅	mm	2300
支点からの基礎ボルト距離（前後方向）	L ₆	mm	190
	L ₇	mm	380
	L ₈	mm	1250
	L ₉	mm	1440
	L ₁₀	mm	1630

(2) 設計用加速度

項 目	記号	設計用加速度
水平	α_H	1.46
鉛直	α_V	0.84

(注) 固有値測定試験結果より、固有振動数は30Hz以上であることから、設計用加速度には、基準地震動Ssにおける最大床加速度の1.2倍の値を使用する。

5. 機能維持評価

緊急時対策棟動力変圧器は、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その維持がされていることを以下に示す。

5.1 機能維持評価方法

緊急時対策棟動力変圧器は、JEAG4601-1987において「装置」に分類され、一般に剛構造であるため、機能維持評価は構造健全性を確認することとされている。したがって、緊急時対策棟動力変圧器の機能維持評価は、支持構造物が健全であることの確認により行う。

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処施設としての評価結果

緊急時対策棟動力変圧器の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を第6-1表に示す。

第6-1表 基準地震動Ssによる評価結果 (D+P_{SAD}+M_{SAD}+Ss)

評価対象設備			評価部位	応力分類	方向	発生値	評価基準値
						MPa	MPa
非常用電源設備	その他の電源装置	緊急時対策棟 動力変圧器	基礎ボルト	引張	前後	10	279
					左右	7	
				せん断	前後	8	160
					左右	8	
				組合せ	前後	10	279 ^(注)
					左右	7	

(注) 引張応力 (σ) とせん断応力 (τ) との組合せ応力の評価基準値は $\text{Min} (1.4 \cdot 1.5f_t^* - 1.6\tau, 1.5f_t^*)$ とする。

緊急時対策棟コントロールセンタの耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-3-6

玄海原子力発電所第3号機

目 次

	頁
1. 概 要	12 (3) - 17 - 3 - 6 - 1
2. 基本方針	12 (3) - 17 - 3 - 6 - 1
2.1 構造の説明	12 (3) - 17 - 3 - 6 - 1
2.2 評価方針	12 (3) - 17 - 3 - 6 - 3
3. 耐震評価箇所	12 (3) - 17 - 3 - 6 - 3
4. 応力評価	12 (3) - 17 - 3 - 6 - 4
4.1 基本方針	12 (3) - 17 - 3 - 6 - 4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	12 (3) - 17 - 3 - 6 - 4
4.3 設計用地震力	12 (3) - 17 - 3 - 6 - 6
4.4 応力評価方法	12 (3) - 17 - 3 - 6 - 9
4.5 応力評価条件	12 (3) - 17 - 3 - 6 - 13
5. 機能維持評価	12 (3) - 17 - 3 - 6 - 14
5.1 機能維持評価方法	12 (3) - 17 - 3 - 6 - 14
6. 評価結果	12 (3) - 17 - 3 - 6 - 15
6.1 重大事故等対処施設としての評価結果	12 (3) - 17 - 3 - 6 - 15

1. 概 要

本資料は、資料12-9「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、緊急時対策棟コントロールセン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。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

緊急時対策棟コントロールセンタは、重大事故等対処施設において常設重大事故緩和設備に分類される。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

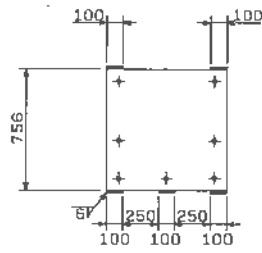
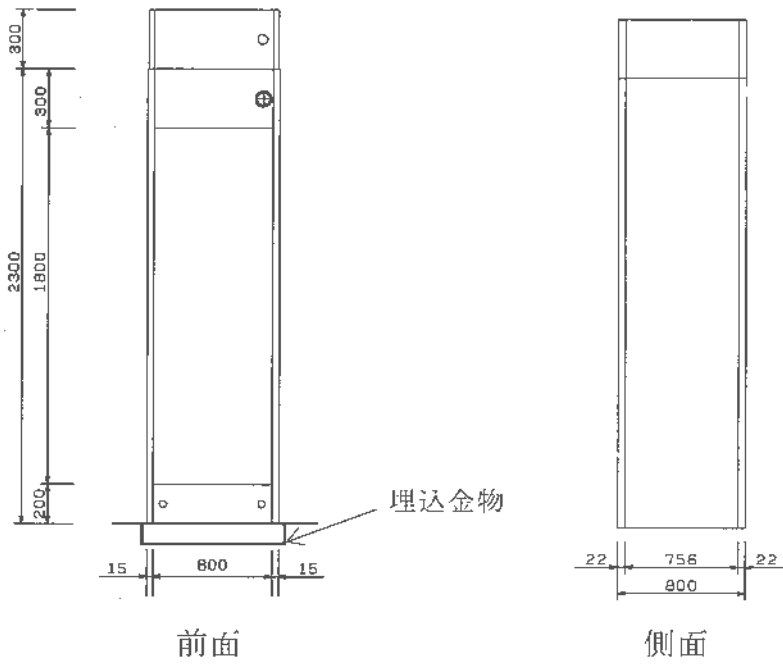
2. 基本方針

2.1 構造の説明

資料12-11「機器・配管の耐震支持方針」にて設定した電気計測制御装置の支持方針に基づき設計した緊急時対策棟コントロールセンタの構造計画を第2-1表に示す。

第2-1表 緊急時対策棟コントロールセンタの構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
緊急時対策棟 コントロールセンタ	自立閉鎖形	建屋床面に埋め込まれた埋込金物に溶接により据え付ける。	第2-1図



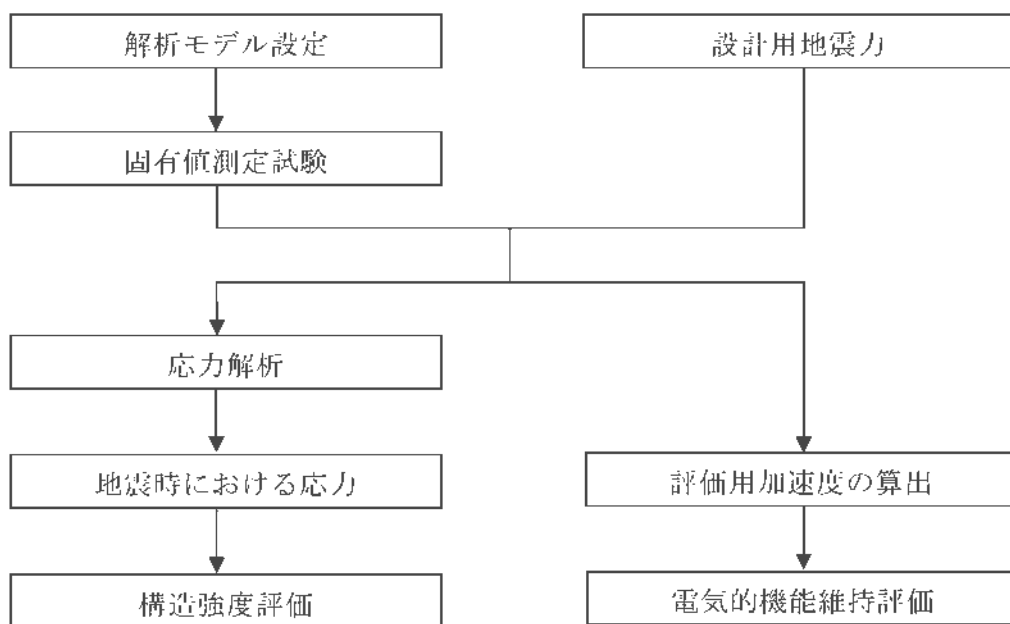
(単位：mm)

第2-1図 外形構成図

2.2 評価方針

緊急時対策棟コントロールセンタの応力評価は、資料12-9「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 構造の説明」にて示す緊急時対策棟コントロールセンタの部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所に作用する応力等が許容限界内に収まることを、「4. 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、緊急時対策棟コントロールセンタの機能維持評価は、資料12-9「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。

緊急時対策棟コントロールセンタの耐震評価フローを第2-2図に示す。



第2-2図 緊急時対策棟コントロールセンタの耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

緊急時対策棟コントロールセンタの耐震評価は、耐震評価上厳しくなる溶接部を選定して実施する。

4. 応力評価

4.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは1質点系モデルとし、盤の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- (2) 地震による転倒モーメント及びせん断力を溶接部のみで負担すると考え、取付ボルトの負担は無視する。
- (3) 許容応力についてJSME S NJ1-2012のPart3を用いて計算する際に、温度が図表記載温度の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

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

緊急時対策棟コントロールセンタの荷重の組合せ及び許容応力状態を第4-1表に示す。

4.2.2 許容応力

緊急時対策棟コントロールセンタの許容応力を第4-2表に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

緊急時対策棟コントロールセンタの使用材料の許容応力を第4-3表に示す。

第4-1表 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処施設）

施設区分	機器名称	設備分類	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	その他の 電源装置 <small>(注1)</small> 緊急時対策棟コント ロールセンタ	常設重大事故緩 和設備	$D + P_D + M_D + S_s$ <small>(注2)</small>	IV _{AS}
			$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	

(注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。

(注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。

第4-2表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 <small>(注1)</small> <small>(注2)</small> <small>(注3)</small> (ボルト以外)
	一次応力
	せん断
IV _{AS}	$1.5f_s^*$

(注1) 「鋼構造設計規準 SI単位版」（2002年日本建築学会）等の幅厚比の制限を満足させる。

(注2) 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

(注3) 耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては、耐圧部と同じ許容応力とする。

第4-3表 使用材料の許容応力（重大事故等対処施設）

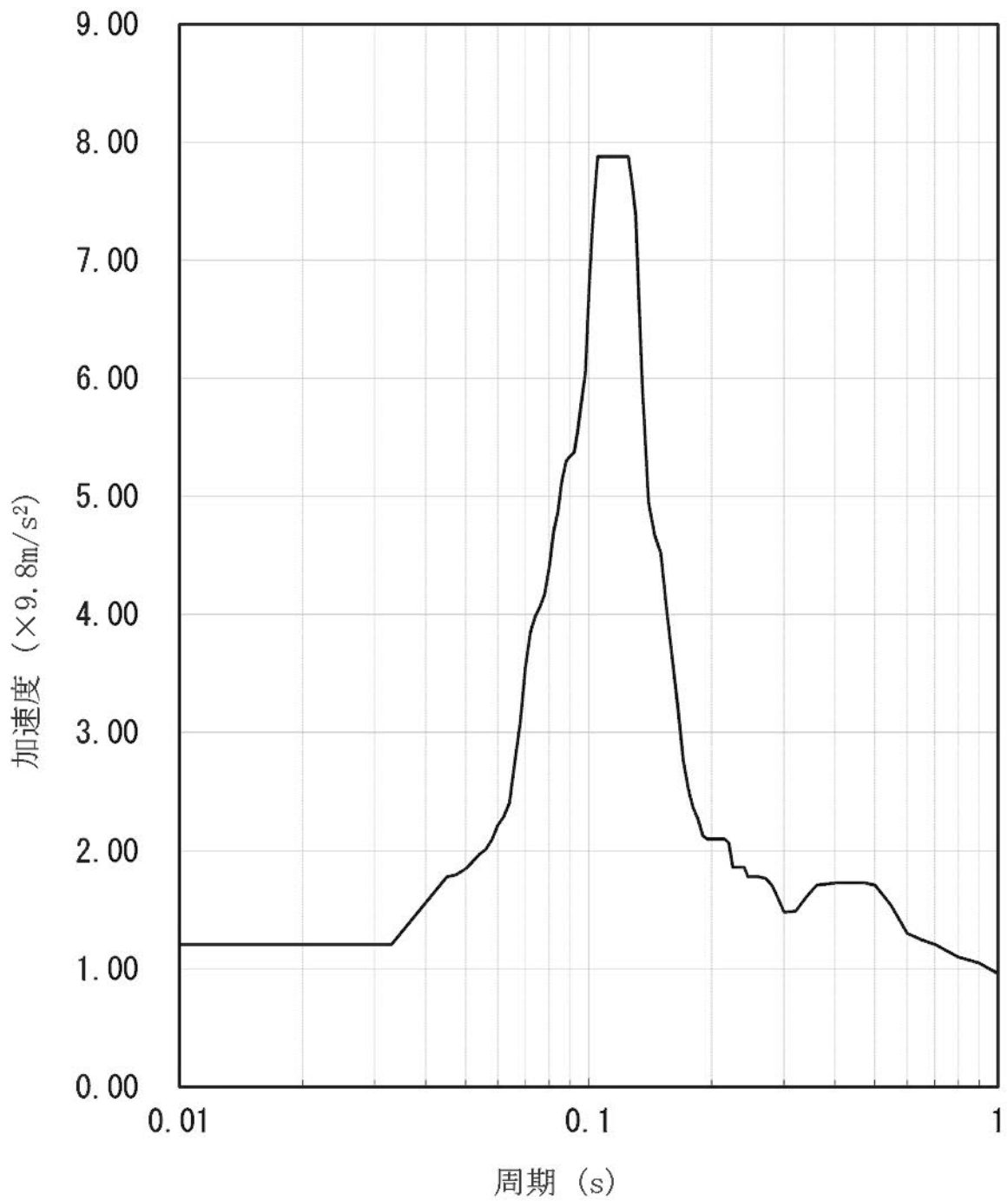
材質	評価温度 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
SS400	40 (雰囲気温度)	245	400	280

4.3 設計用地震力

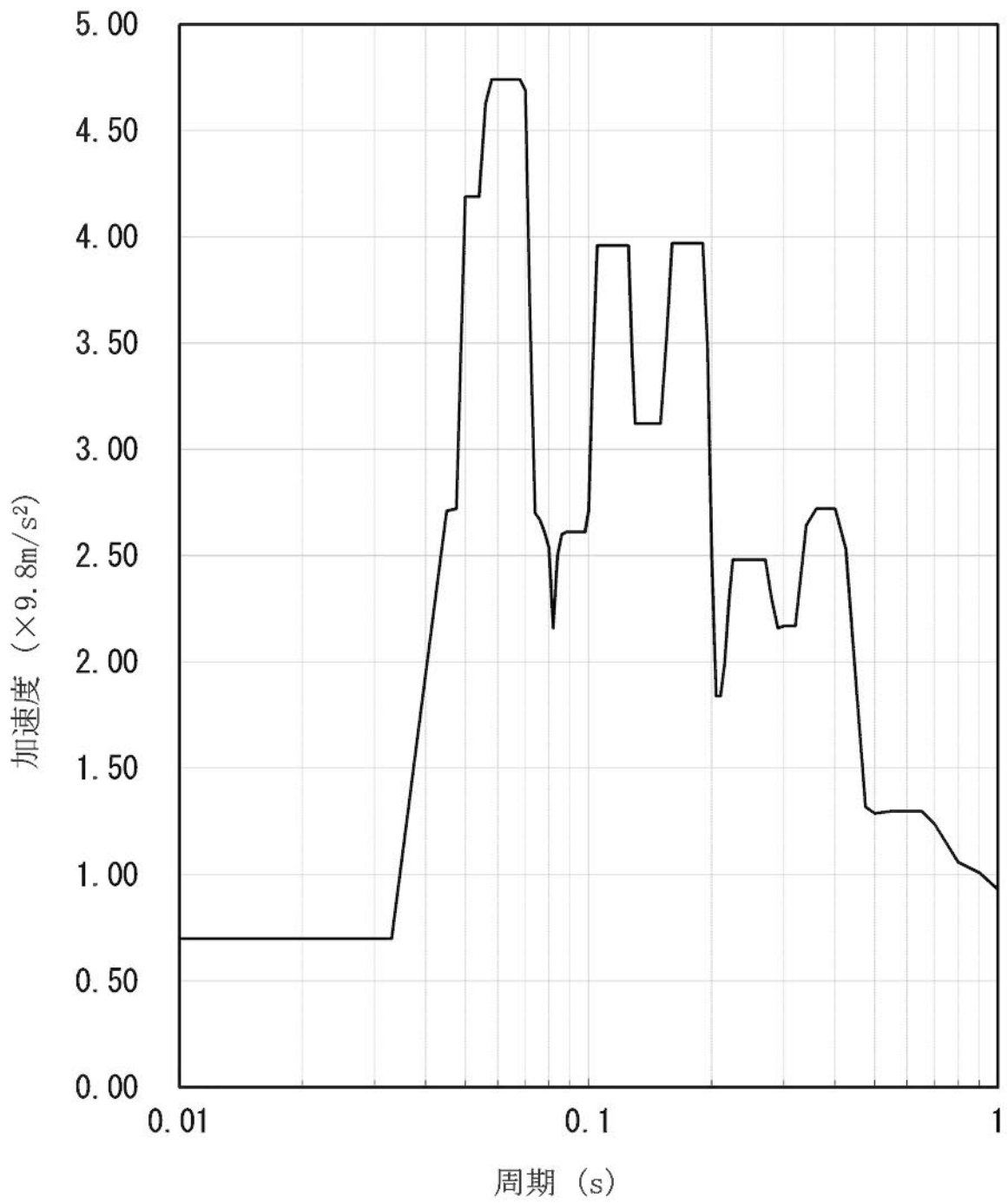
耐震計算に用いる入力地震力には、資料12-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、第4-4表にて示す条件を用いて作成した第4-1図に示す設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は資料12-6「地震応答解析の基本方針」第3-1表に記載の減衰定数を用いる。

第4-4表 設計用地震力

地震動	設置場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備考
		建屋 及び高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	
基準地震動 S _s	緊急時対策 棟 EL.30.75	緊急時対策棟 EL.30.75	水平	4.0	水平方向はS _s -1~5 のX方向及びY方向の 包絡曲線を用いる。 鉛直方向はS _s -1~5 の包絡曲線を用い る。
			鉛直	1.0	



第4-1図(1/2) 基準地震動 Ss
 (緊急時対策棟 EL. 30.75m 減衰定数 4.0%
 Ss-1~5 包絡 水平方向)



第 4-1 図(2/2) 基準地震動 Ss
 (緊急時対策棟 EL. 30.75m 減衰定数 1.0%
 Ss-1~5 包絡 鉛直方向)

4.4 応力評価方法

4.4.1 記号の説明

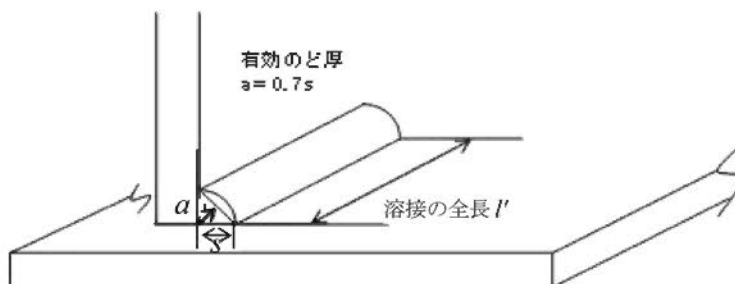
記号	説明	単位
S	溶接部の有効断面積 ^(注)	mm ²
s	溶接すみ肉	mm
a	溶接のど厚	mm
l	溶接の有効長さ	mm
l'	溶接の全長	mm
W	機器質量	kg
g	重力加速度(9.80665m/s ²)	m/s ²
C _H	設計用水平震度	—
C _V	設計用鉛直震度	—
L _D	前面支点から機器重心までの距離	mm
L _W	左右支点から機器重心までの距離	mm
L _{WN}	溶接端部より溶接部までの水平距離(左右方向)(N=整数)	mm
L _{DN}	溶接端部より溶接部までの水平距離(前後方向)(N=整数)	mm
h	機器重心高さ	mm
σ	引張力によるせん断応力	MPa
τ	せん断力によるせん断応力	MPa
f _{max}	最大の応力	MPa
n	正面溶接箇所数	—
n'	裏面溶接箇所数	—

(注) 溶接部の有効断面の算定

溶接部の有効断面積は(溶接のど厚×溶接の有効長さ)とする。溶接の有効長さ l とは、まわし溶接を含めた溶接の全長 l' からすみ肉のサイズ s の2倍を減じたものである。

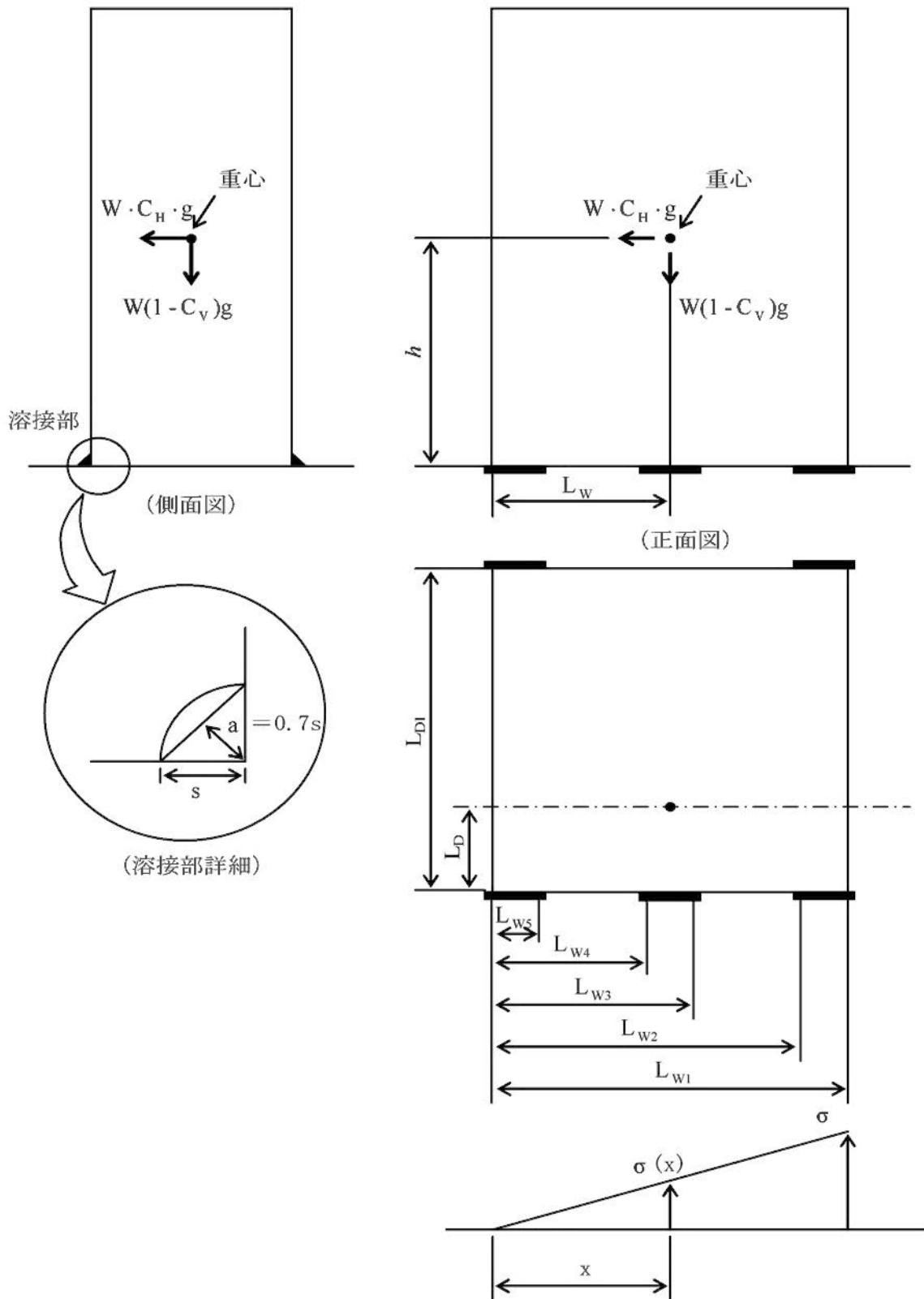
すなわち溶接部の有効断面積 s は下式で表せる。

$$s = a \cdot l = a \cdot (l' - 2 \cdot s)$$



4.4.2 計算モデル

計算モデル及び応力分布の概念図を第4-2図に示す。



第4-2図 計算モデル及び応力分布概念図

4.4.3 応力計算

計算式については、材料力学公式等に則り以下のとおりとする。

(1) 前後方向

盤の転倒による引張力により溶接部ののど面に加わる引張応力

$$W\{C_H h - (1 - C_V)L_D\}g = \sigma n' S L_{D1}$$

$$\sigma = \frac{Wg}{n'S \cdot L_{D1}} \{C_H h - (1 - C_V)L_D\}$$

盤へのせん断力により溶接部ののど面に加わるせん断応力

$$\tau = \frac{W \cdot C_H \cdot g}{(n + n')S}$$

溶接部に加わる応力が最大となるのは、上記 σ と τ が同時に加わった場合であるから、発生する最大の応力は次式で表せる。

$$f_{\max} = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$$

(2) 左右方向

盤の転倒による引張力により溶接部ののど面に加わる引張応力

$$\frac{\sigma}{L_{w1}} = \frac{\sigma(x)}{x}$$

$$\begin{aligned} W\{C_H h - (1 - C_V)L_w\}g &= 2\int_{L_{w2}}^{L_{w1}} \sigma(x) \cdot x \cdot dx + \int_{L_{w4}}^{L_{w3}} \sigma(x) \cdot x \cdot dx + 2\int_0^{L_{w5}} \sigma(x) \cdot x \cdot dx \\ &= \frac{\sigma \cdot a}{L_{w1}} \left\{ 2\int_{L_{w2}}^{L_{w1}} x^2 \cdot dx + \int_{L_{w4}}^{L_{w3}} x^2 \cdot dx + 2\int_0^{L_{w5}} x^2 \cdot dx \right\} \\ &= \frac{\sigma \cdot a}{3L_{w1}} \left\{ 2(L_{w1}^3 - L_{w2}^3) + (L_{w3}^3 - L_{w4}^3) + 2L_{w5}^3 \right\} \end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{3L_{w1} W\{C_H h - (1 - C_V)L_w\}g}{a\{2(L_{w1}^3 - L_{w2}^3) + (L_{w3}^3 - L_{w4}^3) + 2L_{w5}^3\}}$$

盤へのせん断力により溶接部ののど面に加わるせん断応力

$$\tau = \frac{W \cdot C_H \cdot g}{(n + n')S}$$

溶接部に加わる応力が最大となるのは、上記 σ と τ が同時に加わった場合であるから、発生する最大の応力は次式で表せる。

$$f_{\max} = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$$

4.5 応力評価条件

4.5.1 応力計算条件

(1) 盤関係

項目	記号	単位	数値
機器質量	W	kg	700
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
溶接のど厚	a	mm	4.2
溶接の有効長さ	l	mm	88
前面支点から機器重心までの距離	L _D	mm	278
左右支点から機器重心までの距離	L _w	mm	400
正面溶接箇所数	n	—	3
裏面溶接箇所数	n'	—	2
溶接端部より溶接部までの水平距離	L _{w1}	mm	794
	L _{w2}	mm	706
	L _{w3}	mm	444
	L _{w4}	mm	356
	L _{w5}	mm	94
	L _{D1}	mm	756
機器重心高さ	h	mm	1,150

(2) 設計用加速度

項目	記号	設計用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
水平	C_H	1.46
鉛直	C_V	0.84

(注) 加振試験結果から、固有振動数は、前後方向 \square Hz、左右方向 \square Hz、鉛直方向 \square Hz以上であることから、動的地震力は最大床加速度の1.2倍とする。

5. 機能維持評価

緊急時対策棟コントロールセンタは、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その維持がされていることを示す。

5.1 機能維持評価方法

緊急時対策棟コントロールセンタの固有振動数から応答加速度を求め、機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、器具単体の加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を第5-1表に示す。

なお、加振試験結果から、固有振動数は、前後方向 \square Hz、左右方向 \square Hz、鉛直方向 \square Hz以上であるため、評価用加速度は最大床加速度とする。

第5-1表 機能確認済加速度

項目	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
水平	\square
鉛直	\square

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処施設としての評価結果

緊急時対策棟コントロールセン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。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を第6-1表に示す。また、電氣的機能維持評価結果を第6-2表に示す。

第6-1表 基準地震動Ssによる評価結果 (D+P_{SAD}+M_{SAD}+Ss)

評価対象設備			評価部位	応力分類	方向	発生値	評価基準値
						MPa	MPa
非常用電源設備	その他の電源装置	緊急時対策棟コントロールセンタ	溶接部	せん断応力 ^(注)	前後	21	160
					左右	20	

(注) 発生値は組合せ応力であるが、評価基準値にせん断応力の値を用いるため、応力分類はせん断応力として示す。

第6-2表 電気的機能維持評価結果 (重大事故等対処施設)

評価対象設備			機能確認済加速度との比較				詳細評価	
			加速度確認部位	水平加速度 (×9.8m/s ²)		鉛直加速度 (×9.8m/s ²)		
				評価用加速度	機能確認済加速度	評価用加速度		機能確認済加速度
非常用電源設備	その他の電源装置	緊急時対策棟コントロールセンタ	盤頂部	1.21	□	0.70	□	—

緊急時対策棟計装電源盤の耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-3-7

玄海原子力発電所第3号機

目 次

	頁
1. 概 要	12 (3) - 17 - 3 - 7 - 1
2. 基本方針	12 (3) - 17 - 3 - 7 - 1
2.1 構造の説明	12 (3) - 17 - 3 - 7 - 1
2.2 評価方針	12 (3) - 17 - 3 - 7 - 2
3. 耐震評価箇所	12 (3) - 17 - 3 - 7 - 2
4. 応力評価	12 (3) - 17 - 3 - 7 - 3
4.1 基本方針	12 (3) - 17 - 3 - 7 - 3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	12 (3) - 17 - 3 - 7 - 3
4.3 設計用地震力	12 (3) - 17 - 3 - 7 - 5
4.4 応力評価方法	12 (3) - 17 - 3 - 7 - 8
4.5 応力評価条件	12 (3) - 17 - 3 - 7 - 11
5. 機能維持評価	12 (3) - 17 - 3 - 7 - 13
5.1 機能維持評価方法	12 (3) - 17 - 3 - 7 - 13
6. 評価結果	12 (3) - 17 - 3 - 7 - 14
6.1 重大事故等対処施設としての評価結果	12 (3) - 17 - 3 - 7 - 14

1. 概要

本資料は、資料12-9「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、緊急時対策棟計装電源盤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。その耐震評価は、応力評価及び機能維持評価により行う。

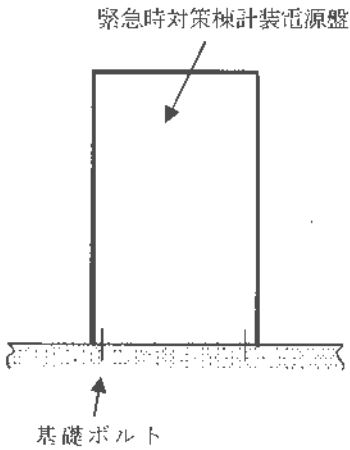
緊急時対策棟計装電源盤は、重大事故等対処施設において常設重大事故緩和設備に分類される。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

資料12-11「機器・配管の耐震支持方針」にて設定した電気計測制御装置の支持方針に基づき設計した緊急時対策棟計装電源盤の構造計画を第2-1表に示す。

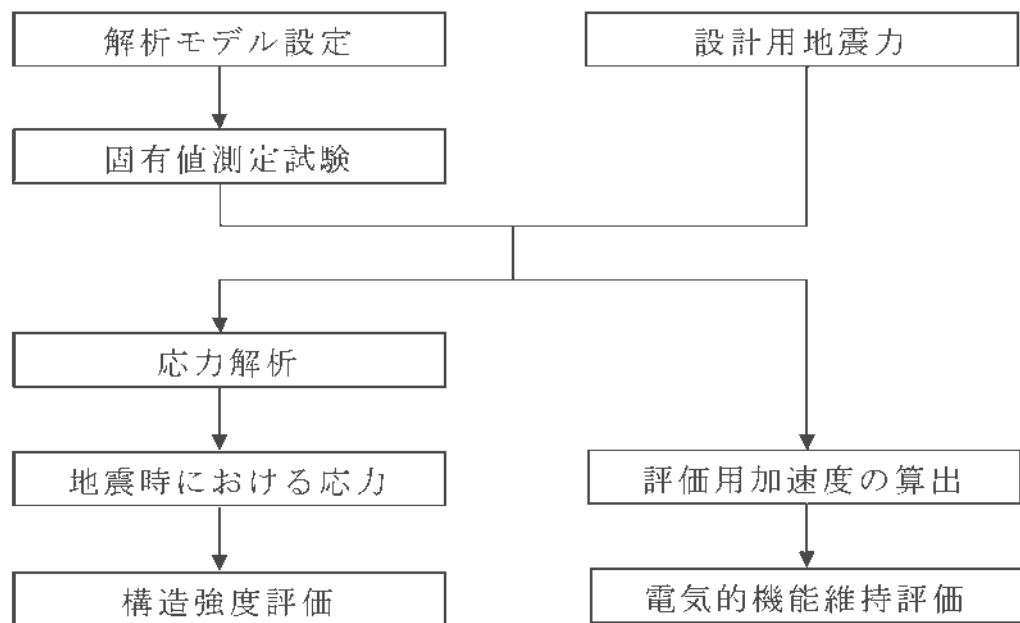
第2-1表 緊急時対策棟計装電源盤の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
緊急時対策棟 計装電源盤	自立閉鎖形	基礎ボルトで建屋の床に据え付ける。	

2.2 評価方針

緊急時対策棟計装電源盤の応力評価は、資料12-9「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 構造の説明」にて示す緊急時対策棟計装電源盤の部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所に作用する応力等が許容限界内に収まることを、「4. 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、緊急時対策棟計装電源盤の機能維持評価は、資料12-9「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。

緊急時対策棟計装電源盤の耐震評価フローは第2-1図に示す。



第2-1図 緊急時対策棟計装電源盤の耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

緊急時対策棟計装電源盤の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトを選定して実施する。

4. 応力評価

4.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは1質点系モデルとし、盤の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- (2) 許容応力についてJSME S NJ1-2012のPart3を用いて計算する際に、温度が図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
但し、図表で比例法を用いる場合の端数処理は、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (3) 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

緊急時対策棟計装電源盤の荷重の組合せ及び許容応力状態を第4-1表に示す。

4.2.2 許容応力

緊急時対策棟計装電源盤の許容応力を第4-2表に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

緊急時対策棟計装電源盤の使用材料の許容応力を第4-3表に示す。

第 4-1 表 荷重の組合せ及び許容応力（重大事故等対処施設）

施設区分		機器名称	設備分類	荷重の組合せ	許容 応力 状態
非常用電 源設備	その他の 電源装置	緊急時対策棟 ^(注1) 計装電源盤	常設重大事故 緩和設備	$D + P_D + M_D + S_s$ ^(注2)	IV _{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	

(注 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。

(注 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。

第 4-2 表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等） ^(注)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV _{AS}	$1.5f_t^*$	$1.5f_s^*$

(注) 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。

第4-3表 使用材料の許容応力（重大事故等対処施設）

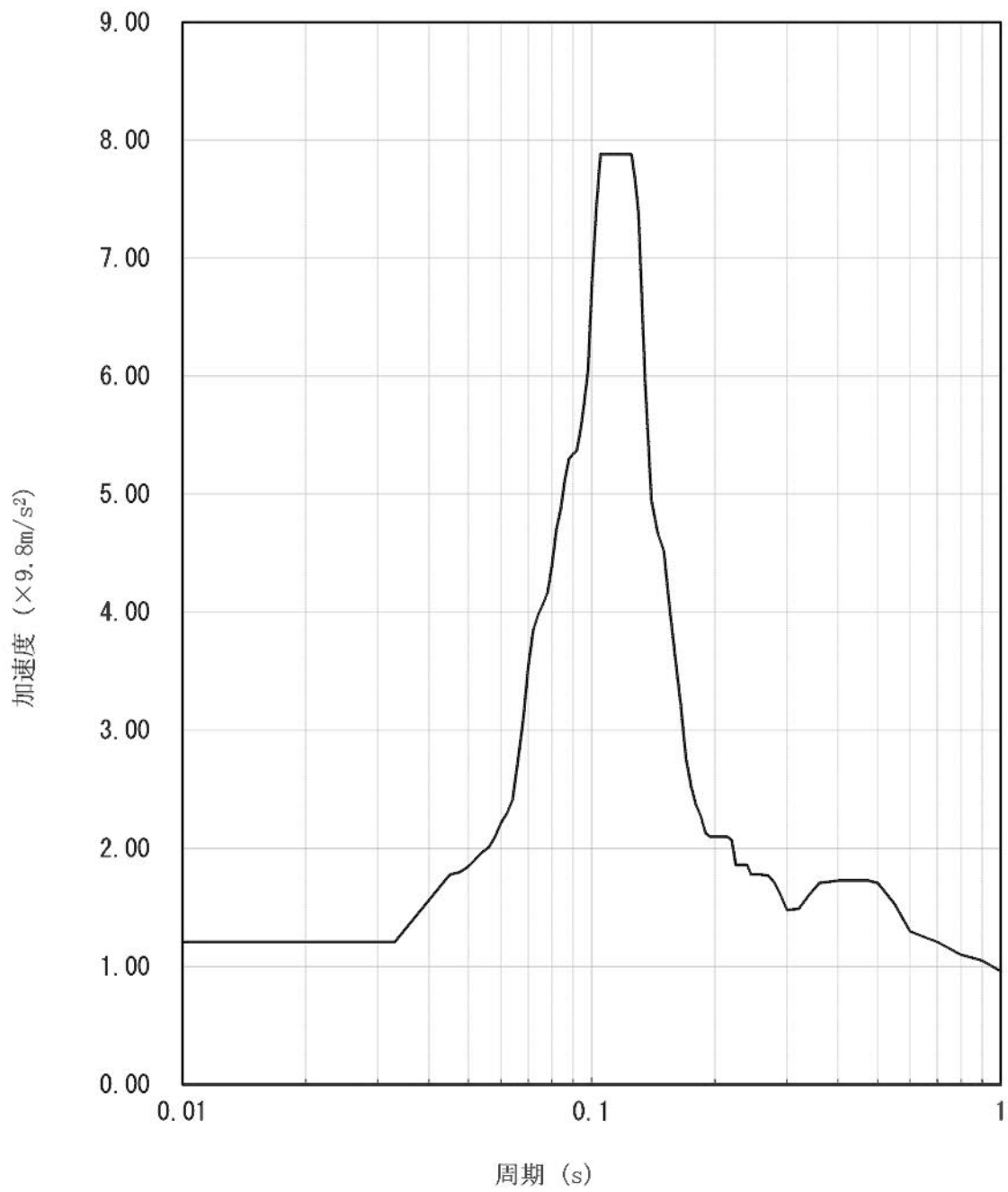
評価部位	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	SS400	40 (雰囲気温度)	235	400	280

4.3 設計用地震力

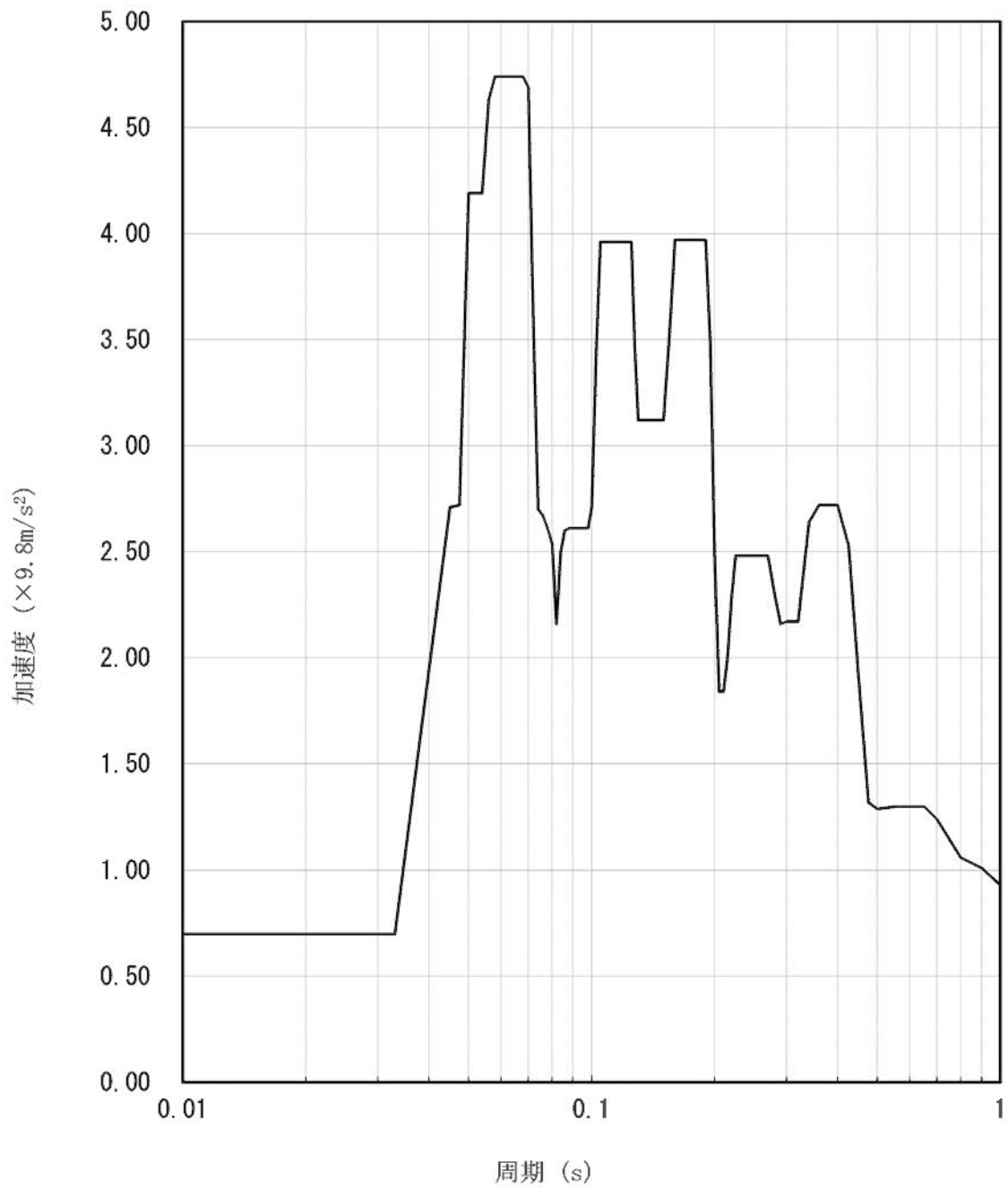
耐震計算に用いる入力地震力には、資料12-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、第4-4表にて示す条件を用いて作成した第4-1図に示す設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は資料12-6「地震応答解析の基本方針」第3-1表に記載の減衰定数を用いる。

第4-4表 設計用地震力

地震動	設置場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備考
		建屋 及び高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	
基準地震動 S _s	緊急時 対策棟 EL.30.75	緊急時 対策棟 EL.30.75	水平	4.0	水平方向はS _s -1~5の X方向及びY方向の 包絡曲線を用いる。 鉛直方向はS _s -1~5の 包絡曲線を用いる。
			鉛直	1.0	



第 4-1 図(1/2) 基準地震動 S_s
 (緊急時対策棟 EL.30.75m 減衰定数 4.0% $S_s-1\sim 5$ 包絡 水平方向)

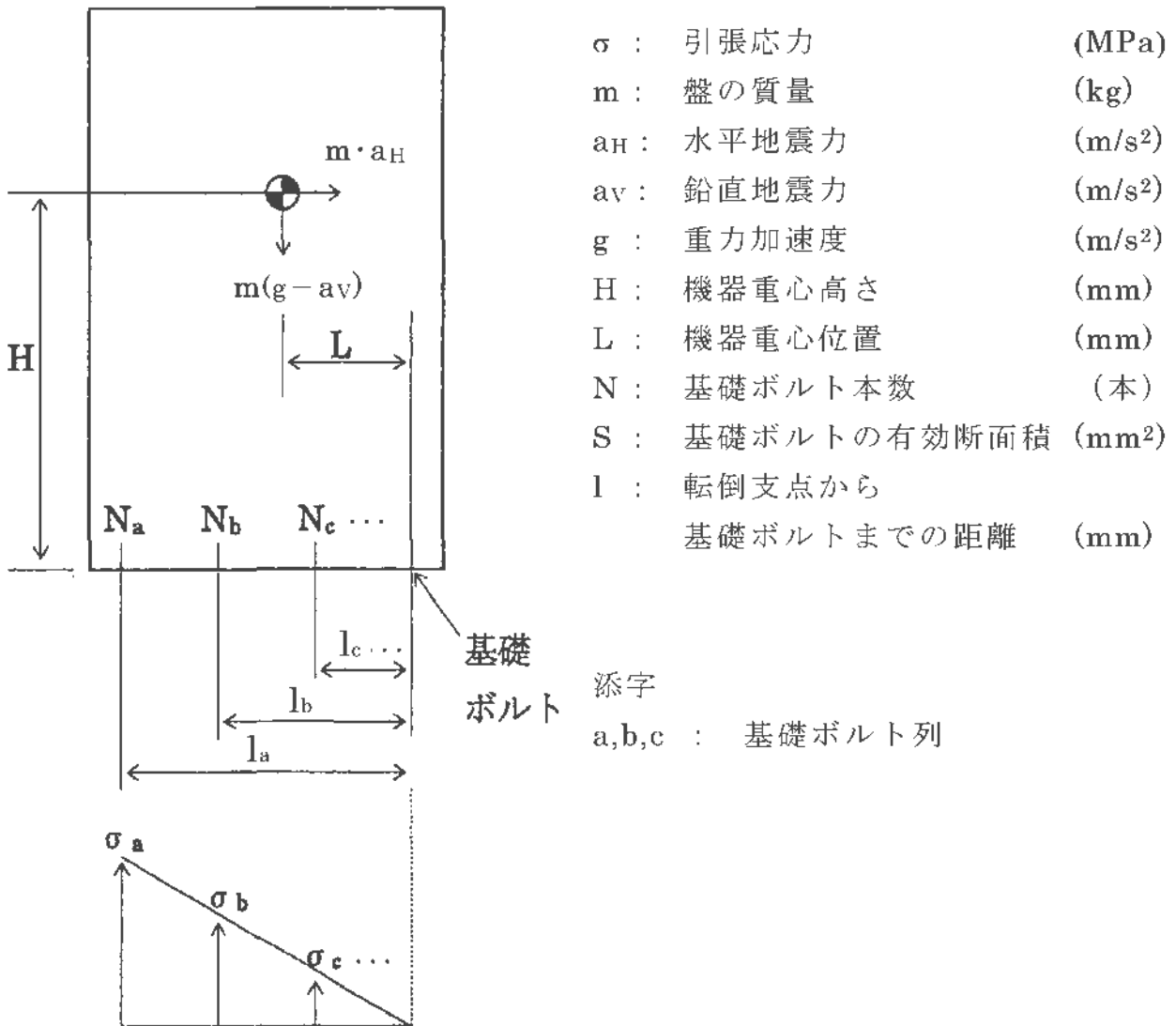


第 4-1 図(2/2) 基準地震動 S_s
 (緊急時対策棟 EL.30.75m 減衰定数 1.0% $S_s-1\sim 5$ 包絡 鉛直方向)

4.4 応力評価方法

応力算出の概念を示す図及び計算式を以下に示す。

基礎ボルトの配置概略図を第 4-2 図に、外形図を第 4-3 図に示す。



第4-2図 基礎ボルト配置概略図

4.4.1 基礎ボルトの引張応力

地震時の引張応力は、ボルト端列を支点とし各ボルト列応力が支点からの距離に比例するとして、モーメントのつり合い式より計算する。

$$\frac{\sigma_a}{l_a} = \frac{\sigma_b}{l_b} = \frac{\sigma_c}{l_c} = \dots \quad \text{①}$$

$$\begin{aligned} & (N_a \times S) \times \sigma_a \times l_a + (N_b \times S) \times \sigma_b \times l_b + (N_c \times S) \times \sigma_c \times l_c + \dots \\ & = m \times a_H \times H - m \times (g - a_V) \times L \end{aligned} \quad \text{②}$$

①、②式より

$$\sigma_{\max} = \sigma_a = \frac{l_a \times m \times \{a_H \times H - (g - a_V) \times L\}}{(N_a \times l_a^2 + N_b \times l_b^2 + N_c \times l_c^2 + \dots) \times S} \quad \text{③}$$

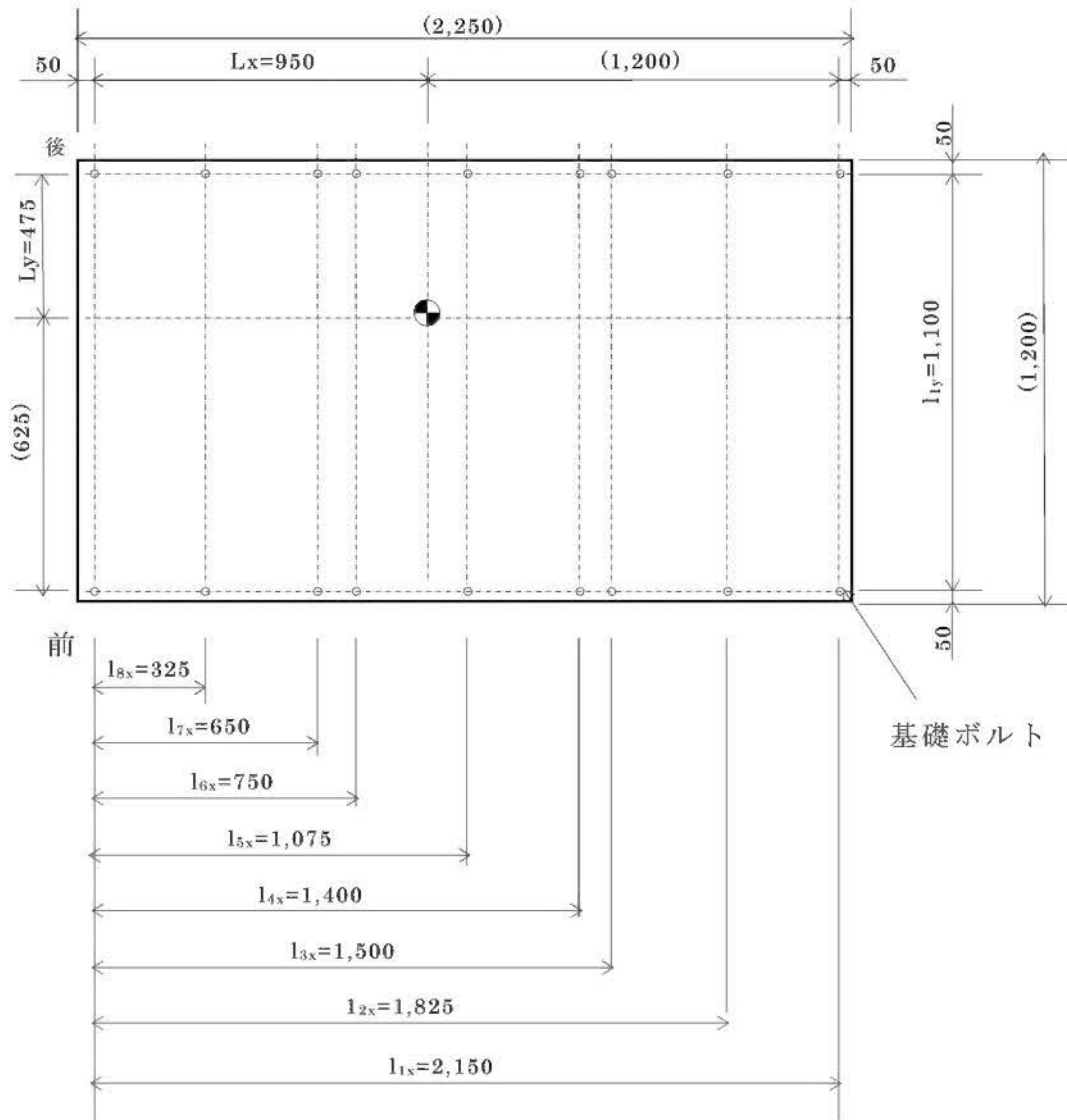
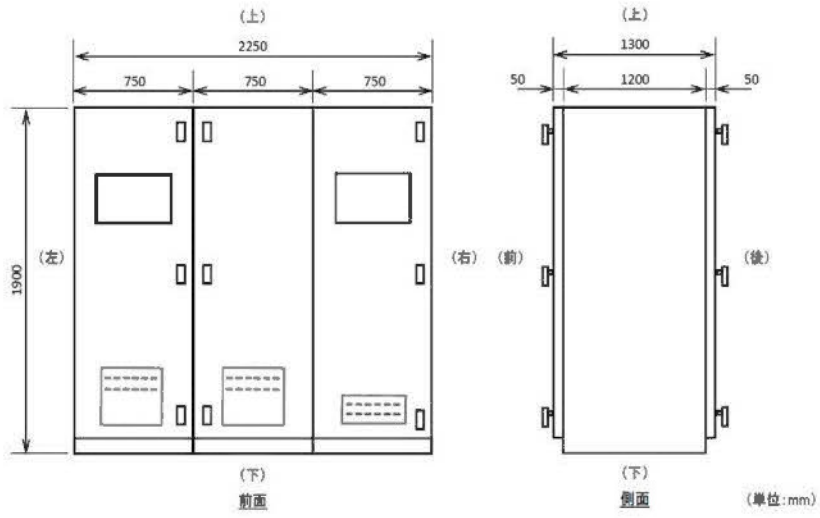
4.4.2 基礎ボルトのせん断応力

せん断応力は以下の式より計算する。

$$\tau = \frac{m \times a_H}{N \times S}$$

ここで

τ	: せん断応力	(MPa)
m	: 盤の質量	(kg)
N	: 基礎ボルト本数	(本)
a_H	: 水平地震力	(m/s ²)
S	: 基礎ボルトの有効断面積	(mm ²)



第 4-3 図 外形図

4.5 応力評価条件

4.5.1 応力計算条件

(1) 盤関係

項目		記号	単位	数値等
盤の質量		m	kg	4200
重力加速度		g	m/s ²	9.80665
盤重心位置	高さ	H	mm	775
	左右方向	Lx	mm	950 ^(注)
	前後方向	Ly	mm	475 ^(注)
基礎ボルト	支点からの基礎ボルト 距離（左右方向）	l _{1x}	mm	2,150
		l _{2x}	mm	1,825
		l _{3x}	mm	1,500
		l _{4x}	mm	1,400
		l _{5x}	mm	1,075
		l _{6x}	mm	750
		l _{7x}	mm	650
		l _{8x}	mm	325
	支点からの基礎ボルト 距離（前後方向）	l _{1y}	mm	1,100
	材料	—	—	SS400
	呼び径	—	—	M24
	有効断面積	S	mm ²	353
	本数	N	本	18
雰囲気温度条件	—	℃	40	

(注) ボルト列からの距離

(2) 設計用加速度

方向	記号	設計用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
水平	a_H	1.452
鉛直	a_V	0.840

(注) 正弦波掃引試験結果より、固有振動数は、前後方向、左右方向、鉛直方向が 30Hz 以上であることから、設計用加速度には最大床加速度の 1.2 倍の値を使用する。

5. 機能維持評価

緊急時対策棟計装電源盤の地震時及び地震後の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

5.1 機能維持評価方法

緊急時対策棟計装電源盤の評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、器具単体の加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を第5-1表に示す。

なお、正弦波掃引試験結果より、固有振動数が30Hz以上であることを確認したため、評価用加速度は最大床加速度を使用する。

第5-1表 機能確認済加速度

方向	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
水平	<input type="text"/>
鉛直	<input type="text"/>

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処施設としての評価結果

緊急時対策棟計装電源盤の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

基準地震動 S_s による構造強度評価結果を第6-1表に示す。また、電氣的機能維持確認結果を第6-2表に示す。

第6-1表 基準地震動 S_s による評価結果 ($D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$)

評価対象設備			評価部位	応力分類	方向	発生値	評価基準値
						MPa	MPa
非常用電源設備	その他の電源装置	緊急時対策棟計装電源盤	基礎ボルト	引張応力	左右	9	279
					前後	13	
				せん断応力	左右	10	160
					前後	10	
				組合せ	左右	9	279 (注)
					前後	13	

(注) 引張応力 (σ_t) とせん断応力 (τ) との組合せ応力の評価基準値は $\text{Min} (1.4 \cdot 1.5\sigma_t^* - 1.6\tau, 1.5\sigma_t^*)$ とする。

第6-2表 電氣的機能維持評価結果 (重大事故等対処施設)

評価対象設備			機能維持確認済加速度との比較				詳細評価	
			加速度 確認部位	水平加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		鉛直加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		
				評価用加速度	機能確認済 加速度	評価用加速度		機能確認済 加速度
非常用電源設備	その他の電源装置	緊急時対策棟計装電源盤	機器取付位置	1.21	<input type="checkbox"/>	0.70	<input type="checkbox"/>	—

緊急時対策棟計装分電盤の耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-3-8

玄海原子力発電所第3号機

目 次

	頁
1. 概 要	12 (3) - 17 - 3 - 8 - 1
2. 基本方針	12 (3) - 17 - 3 - 8 - 1
2.1 構造の説明	12 (3) - 17 - 3 - 8 - 1
2.2 評価方針	12 (3) - 17 - 3 - 8 - 3
3. 耐震評価箇所	12 (3) - 17 - 3 - 8 - 4
4. 固有値解析	12 (3) - 17 - 3 - 8 - 4
4.1 基本方針	12 (3) - 17 - 3 - 8 - 4
4.2 固有振動数の計算方法	12 (3) - 17 - 3 - 8 - 5
4.3 固有値解析結果	12 (3) - 17 - 3 - 8 - 11
5. 応力評価	12 (3) - 17 - 3 - 8 - 12
5.1 基本方針	12 (3) - 17 - 3 - 8 - 12
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	12 (3) - 17 - 3 - 8 - 12
5.3 設計用地震力	12 (3) - 17 - 3 - 8 - 14
5.4 応力評価方法	12 (3) - 17 - 3 - 8 - 17
5.5 応力評価条件	12 (3) - 17 - 3 - 8 - 21
6. 機能維持評価	12 (3) - 17 - 3 - 8 - 22
6.1 機能維持評価方法	12 (3) - 17 - 3 - 8 - 22
7. 評価結果	12 (3) - 17 - 3 - 8 - 23
7.1 重大事故等対処施設としての評価結果	12 (3) - 17 - 3 - 8 - 23

1. 概要

本資料は、資料 12-9「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、緊急時対策棟計装分電盤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。その耐震評価は、緊急時対策棟計装分電盤の固有値解析及び応力評価並びに機能維持評価により行う。

緊急時対策棟計装分電盤は、重大事故等対処施設において常設重大事故緩和設備に分類される。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

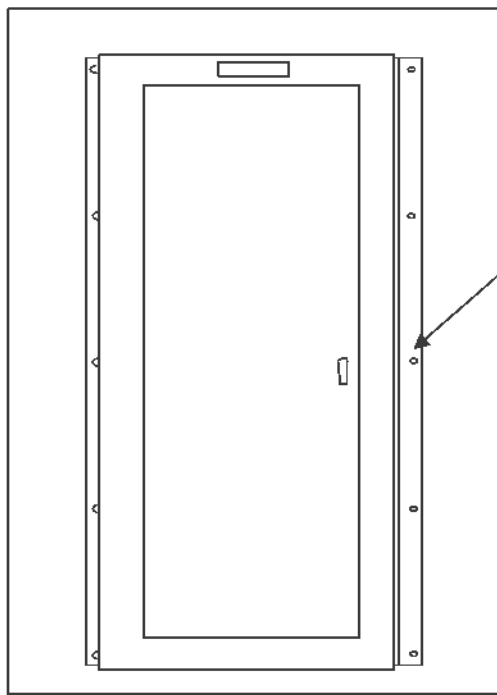
2.1 構造の説明

資料 12-11「機器・配管の耐震支持方針」にて設定した電気計測制御装置の支持方針に基づき設計した緊急時対策棟計装分電盤の構造計画を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 緊急時対策棟計装分電盤の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
緊急時対策棟計装分電盤	壁掛け形 ^(注)	緊急時対策棟計装分電盤を据付ボルトにて、壁面に固定された据付部材に剛に据え付ける。	第 2-1 図

(注) 機能維持評価を行う、MCCB (Molded Case Circuit Breaker : 配線用遮断器) を内装する盤。



据付ボルトにより固定

(前面)



据付ボルトにより固定

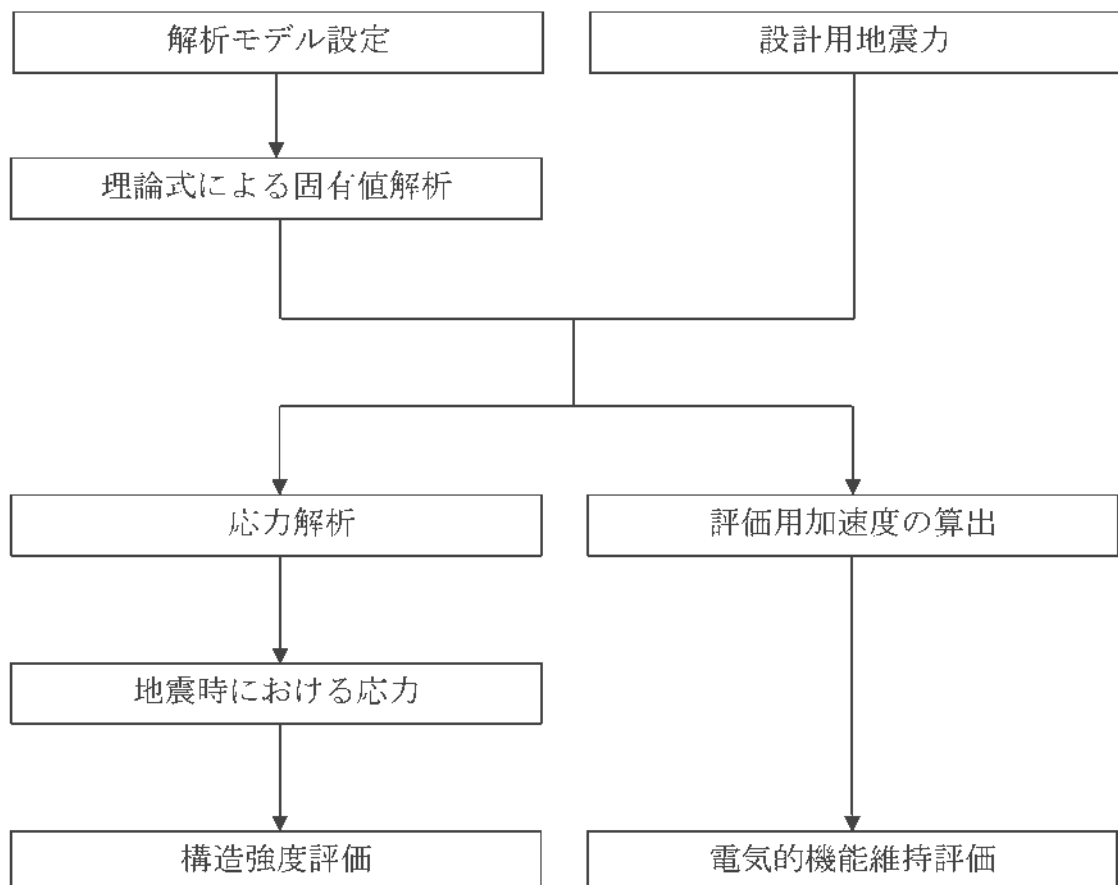
(側面)

第 2-1 図 外形図

2.2 評価方針

緊急時対策棟計装分電盤の応力評価は、資料 12-9「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 構造の説明」にて示す緊急時対策棟計装分電盤の部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、緊急時対策棟計装分電盤の機能維持評価は、資料 12-9「機能維持の基本方針」にて設定した電気計装設備の機能維持方針に基づき、地震時の応答加速度が振動試験により得られた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。

緊急時対策棟計装分電盤の耐震評価フローを第 2-2 図に示す。



第 2-2 図 緊急時対策棟計装分電盤の耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

緊急時対策棟計装分電盤の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる据付ボルトを選定して実施する。

4. 固有値解析

緊急時対策棟計装分電盤の固有振動数算定方法について以下に示す。

4.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは1質点系モデルとし、盤の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- (2) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

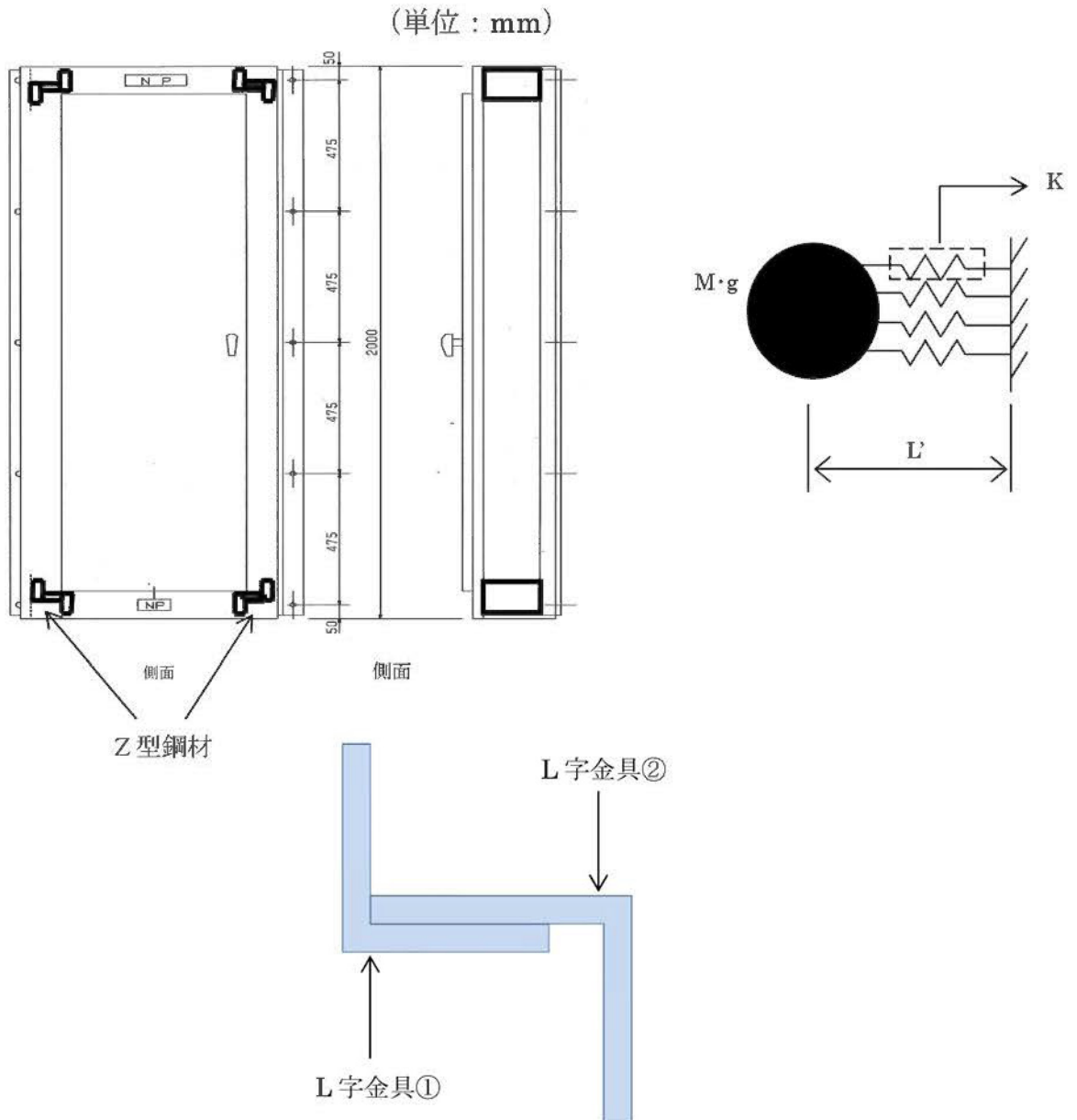
4.2 固有振動数の計算方法

4.2.1 記号の説明

記号	説明	単位
L'	盤裏面から機器重心までの距離	mm
E	縦弾性係数	MPa
S _{x1}	L字金具①におけるX軸を基準としたときの断面一次モーメント	mm ³
S _{x2}	L字金具②におけるX軸を基準としたときの断面一次モーメント	mm ³
S _{xz}	Z形鋼材におけるX軸を基準としたときの断面一次モーメント	mm ³
S _{y1}	L字金具①におけるY軸を基準としたときの断面一次モーメント	mm ³
S _{y2}	L字金具②におけるY軸を基準としたときの断面一次モーメント	mm ³
S _{yz}	Z形鋼材におけるY軸を基準としたときの断面一次モーメント	mm ³
A ₁	L字金具①の断面積	mm ²
A ₂	L字金具②の断面積	mm ²
A _z	Z形鋼材の断面積	mm ²
X _{G1}	L字金具①の図心 X座標	mm
X _{G2}	L字金具②の図心 X座標	mm
X _{Gz}	Z形鋼材の図心 X座標	mm
Y _{G1}	L字金具①の図心 Y座標	mm
Y _{G2}	L字金具②の図心 Y座標	mm
Y _{Gz}	Z形鋼材の図心 Y座標	mm
I _{x1}	L字金具①の図心を通るX軸周りの断面二次モーメント	mm ⁴
I _{x2}	L字金具②の図心を通るX軸周りの断面二次モーメント	mm ⁴
I _{zx}	Z形鋼材の図心を通るX軸周りの断面二次モーメント	mm ⁴
I _{y1}	L字金具①の図心を通るY軸周りの断面二次モーメント	mm ⁴
I _{y2}	L字金具②の図心を通るY軸周りの断面二次モーメント	mm ⁴
I _{zy}	Z形鋼材の図心を通るY軸周りの断面二次モーメント	mm ⁴
a ₁	L字金具①の横方向外形寸法	mm
a ₂	L字金具②の横方向外形寸法	mm
b ₁	L字金具①の高さ方向外形寸法	mm
b ₂	L字金具②の高さ方向外形寸法	mm
t	L字金具①, ②の厚さ	mm
f _{nx}	上下方向に対する固有振動数	Hz
f _{ny}	左右方向に対する固有振動数	Hz
K _x	上下方向に対するばね定数	N/m
K _y	左右方向に対するばね定数	N/m
M	機器質量	kg
g	重力加速度 (9.80665m/s ²)	m/s ²

4.2.2 固有振動数計算モデル

盤の主要な強度部材である 4 本の Z 型鋼材に、据付部材を含む機器の質量が負荷されているものとし、1 質点モデルにより固有振動数を計算する。計算モデルを第 4-1 図に示す。



第 4-1 図 計算モデル図 (Z 型鋼材)

4.2.3 固有振動数の計算

四隅の Z 形鋼材が主要な強度部材として、各々独立して盤の質量を支えているものとし、盤の固有振動数を計算する。

まず、Z 形鋼材を L 字金具①、L 字金具②に分け、それぞれの図心と断面二次モーメントを計算する。

L 字金具①の断面一次モーメント S_{x1}, S_{y1}

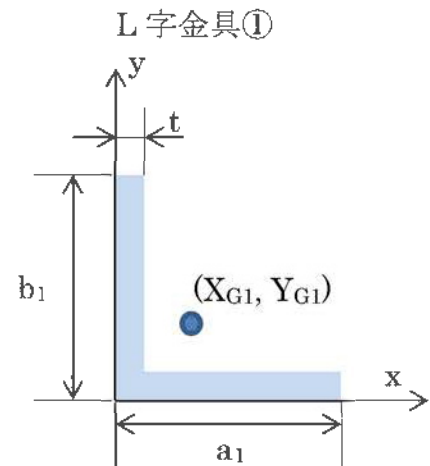
$$\begin{aligned} S_{x1} &= \int_A y dA \\ &= a_1 \int_0^t y dy + t \int_t^{b_1} y dy \\ &= \frac{1}{2} a_1 t^2 + \frac{1}{2} t (b_1^2 - t^2) \end{aligned}$$

L 字金具①は $a_1 = b_1$ であるため、 $S_{x1} = S_{y1}$

L 字金具①の図心 (X_{G1}, Y_{G1})

$$X_{G1} = \frac{S_{y1}}{A_1} \quad Y_{G1} = \frac{S_{x1}}{A_1}$$

$$(A_1 = b_1 t + (a_1 - t)t)$$



L 字金具①の断面二次モーメント I_{x1}, I_{y1}

$$I_{x1} = \frac{1}{3} \{ t e_1^3 + a_1 e_2^3 - (a_1 - t)(e_2 - t)^3 \}$$

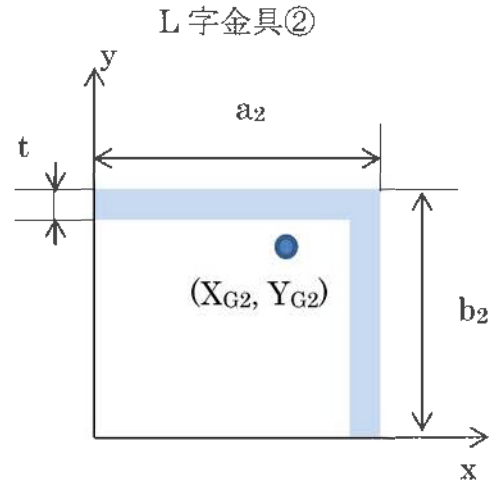
$$\left(e_1 = b_1 - \frac{b_1^2 t + t^2 (a_1 - t)}{2(a_1 t + (b_1 - t)t)} \quad e_2 = \frac{b_1^2 t + t^2 (a_1 - t)}{2(a_1 t + (b_1 - t)t)} \right)$$

L 字金具①は $a_1 = b_1$ であることから、 $I_{x1} = I_{y1}$

L字金具②の断面一次モーメント S_{x2}, S_{y2}

$$\begin{aligned} S_{x2} &= \int_A y dA \\ &= a_2 \int_{b_2-t}^{b_2} y dy + t \int_0^{b_2-t} y dy \\ &= \frac{1}{2} a_2 (2b_2 t - t^2) + \frac{1}{2} t (b_2 - t)^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{y2} &= \int_A x dA \\ &= t \int_0^{a_2-t} x dx + b_2 \int_{a_2-t}^{a_2} x dx \\ &= \frac{1}{2} b_2 (2a_2 t - t^2) + \frac{1}{2} t (a_2 - t)^2 \end{aligned}$$



L字金具②の図心(X_{G2}, Y_{G2})

$$X_{G2} = \frac{S_{y2}}{A_2} \quad Y_{G2} = \frac{S_{x2}}{A_2}$$

$$(A_2 = a_2 t + (b_2 - t)t)$$

L字金具②の断面二次モーメント I_{x2}, I_{y2}

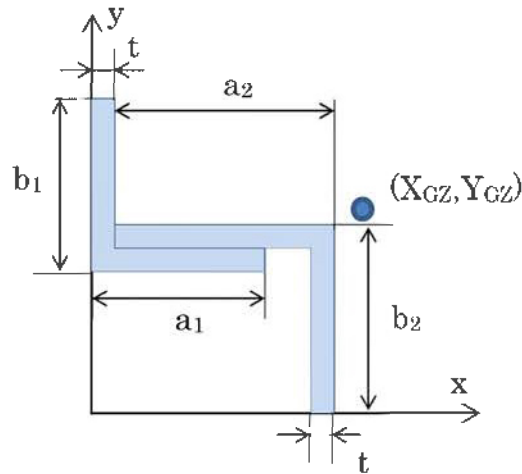
$$I_{x2} = \frac{1}{3} \{ t e_1^3 + a_2 e_2^3 - (a_2 - t)(e_2 - t)^3 \}$$

$$(e_1 = b_2 - \frac{b_2^2 t + t^2 (a_2 - t)}{2(a_2 t + (b_2 - t)t)} \quad e_2 = \frac{b_2^2 t + t^2 (a_2 - t)}{2(a_2 t + (b_2 - t)t)})$$

$$I_{y2} = \frac{1}{3} \{ t e_3^3 + b_2 e_4^3 - (b_2 - t)(e_4 - t)^3 \}$$

$$(e_3 = a_2 - \frac{a_2^2 t + t^2 (b_2 - t)}{2(b_2 t + (a_2 - t)t)} \quad e_4 = \frac{a_2^2 t + t^2 (b_2 - t)}{2(b_2 t + (a_2 - t)t)})$$

Z形鋼材の図心を求め、平行軸の定理より断面二次モーメントを計算する。



Z形鋼材の断面一次モーメント S_{xz} , S_{yz}

$$\begin{aligned}
 S_{xz} &= \int_A y dy \\
 &= a_1 \int_{b_2-t}^{b_2} y dy + t \int_{b_2-t}^{b_1+b_2-2t} y dy + a_2 \int_{b_2-t}^{b_2} y dy + t \int_0^{b_2-t} y dy \\
 &= \frac{1}{2} \left\{ a_1 (2b_2 t - 3t^2) + t (b_1^2 + 2b_1 b_2 - 4b_1 t - 2b_2 t + 3t^2) + a_2 (2b_2 t - t^2) + t (b_2 - t)^2 \right\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{yz} &= \int_A x dx \\
 &= t \int_0^{a_1} x dx + (b_1 - t) \int_0^t x dx + t \int_t^{t+a_2} x dx + (b_2 - t) \int_{a_2}^{a_2+t} x dx \\
 &= \frac{1}{2} \left\{ t a_1^2 + (b_1 - t) t^2 + t (2a_2 t + a_2^2) + (b_2 - t) (2a_2 t + t^2) \right\}
 \end{aligned}$$

Z形鋼材の図心 (X_{GZ}, Y_{GZ})

$$X_{GZ} = \frac{S_{yz}}{A_Z} \qquad Y_{GZ} = \frac{S_{xz}}{A_Z}$$

$$(A_Z = A_1 + A_2)$$

平行軸の定理より、Z形鋼材の断面二次モーメント I_{zx} , I_{zy} は以下の通りになる。

$$I_{zx} = I_{x1} + A_1(Y_{GZ} - Y_{G1})^2 + I_{x2} + A_2(Y_{GZ} - Y_{G2})^2$$

$$I_{zy} = I_{y1} + A_1(X_{GZ} - X_{G1})^2 + I_{y2} + A_2(X_{GZ} - X_{G2})^2$$

固有振動数 f_n

・上下方向

Z形鋼材 1 本あたりのばね定数

$$K_x = \frac{1000}{\frac{L^3}{3E \cdot I_{zx}}}$$

固有振動数

$$f_{nx} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4K_x}{M}}$$

・左右方向

Z形鋼材 1 本あたりのばね定数

$$K_y = \frac{1000}{\frac{L^3}{3E \cdot I_{zy}}}$$

固有振動数

$$f_{ny} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4K_y}{M}}$$

4.2.4 盤の固有振動数の計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	SS400
縦弾性係数	E	MPa	201,200
機器質量	W	kg	250
壁面から機器重心までの距離	L'	mm	125
雰囲気温度条件	—	℃	40

4.3 固有値解析結果

固有振動数の計算結果を以下に示す。

方向	盤の固有振動数 (Hz)
上下	<input type="text"/>
左右	<input type="text"/>

5. 応力評価

5.1. 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは 1 質点系モデルとし、盤の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- (2) 許容応力について、JSME S NJ1-2012 の Part3 を用いて計算する際に、温度が図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
但し、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (3) 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

緊急時対策棟計装分電盤の荷重の組合せ及び許容応力状態を第 5-1 表に示す。

5.2.2 許容応力

緊急時対策棟計装分電盤の許容応力を第 5-2 表に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力

緊急時対策棟計装分電盤の使用材料の許容応力を第 5-3 表に示す。

第5-1表 荷重の組合せ及び許容応力（重大事故等対処施設）

施設区分		機器名称	設備分類	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	その他の電源装置	^(注1) 緊急時対策棟 計装分電盤	常設重大事故緩和設備	$D + P_D + M_D + S_s$ ^(注2)	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	

(注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。

(注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。

第5-2表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等） ^(注)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV_{AS}	$1.5f_t^*$	$1.5f_s^*$

(注) 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。

第5-3表 使用材料の許容応力（重大事故等対処施設）

材質	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
SS400	40 (雰囲気温度)	245	400	280

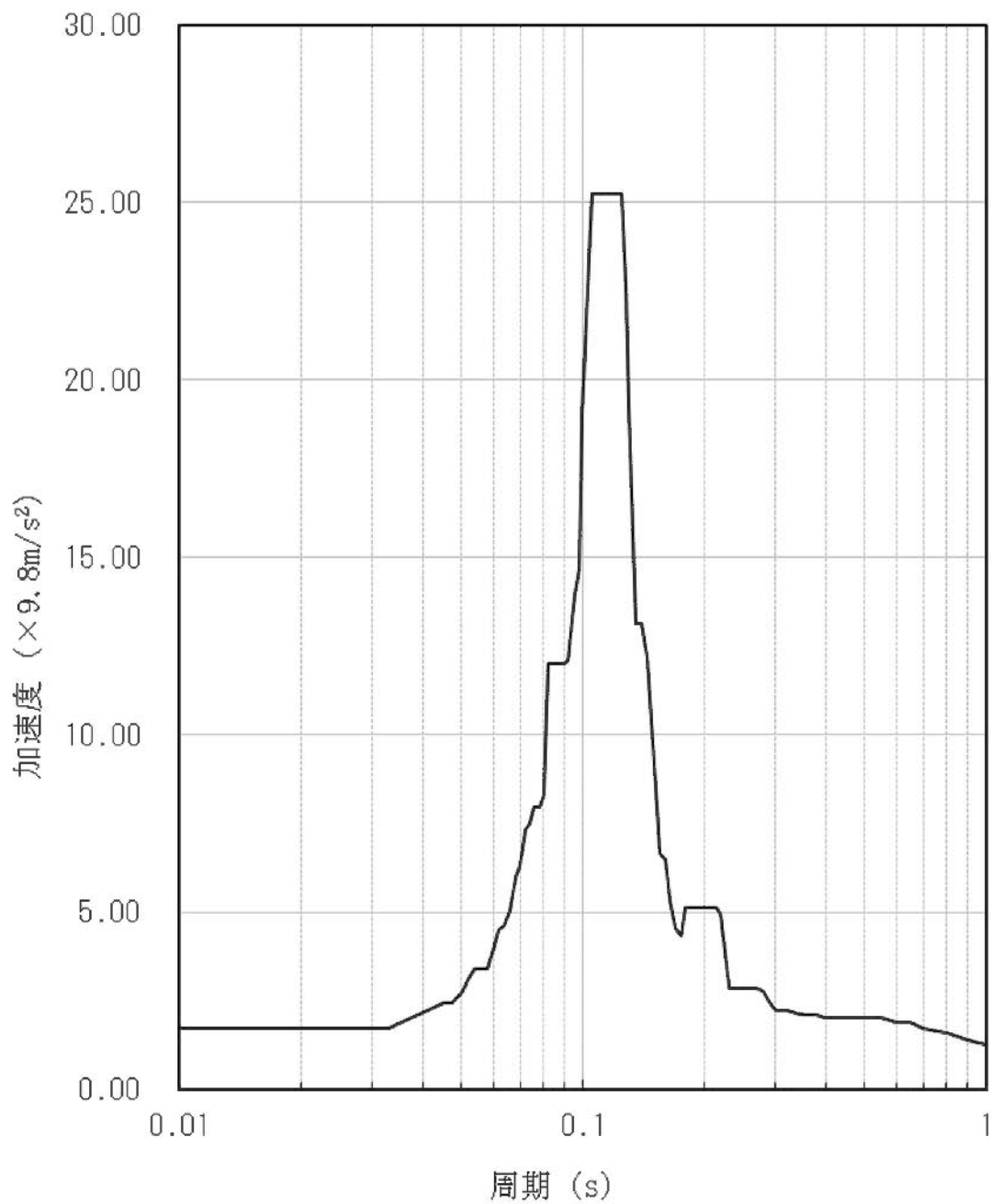
5.3 設計用地震力

耐震計算に用いる入力地震力には、資料12-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、第5-4表にて示す条件を用いて作成した第5-1図に示す設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は資料12-6「地震応答解析の基本方針」第3-1表に記載の減衰定数を用いる。

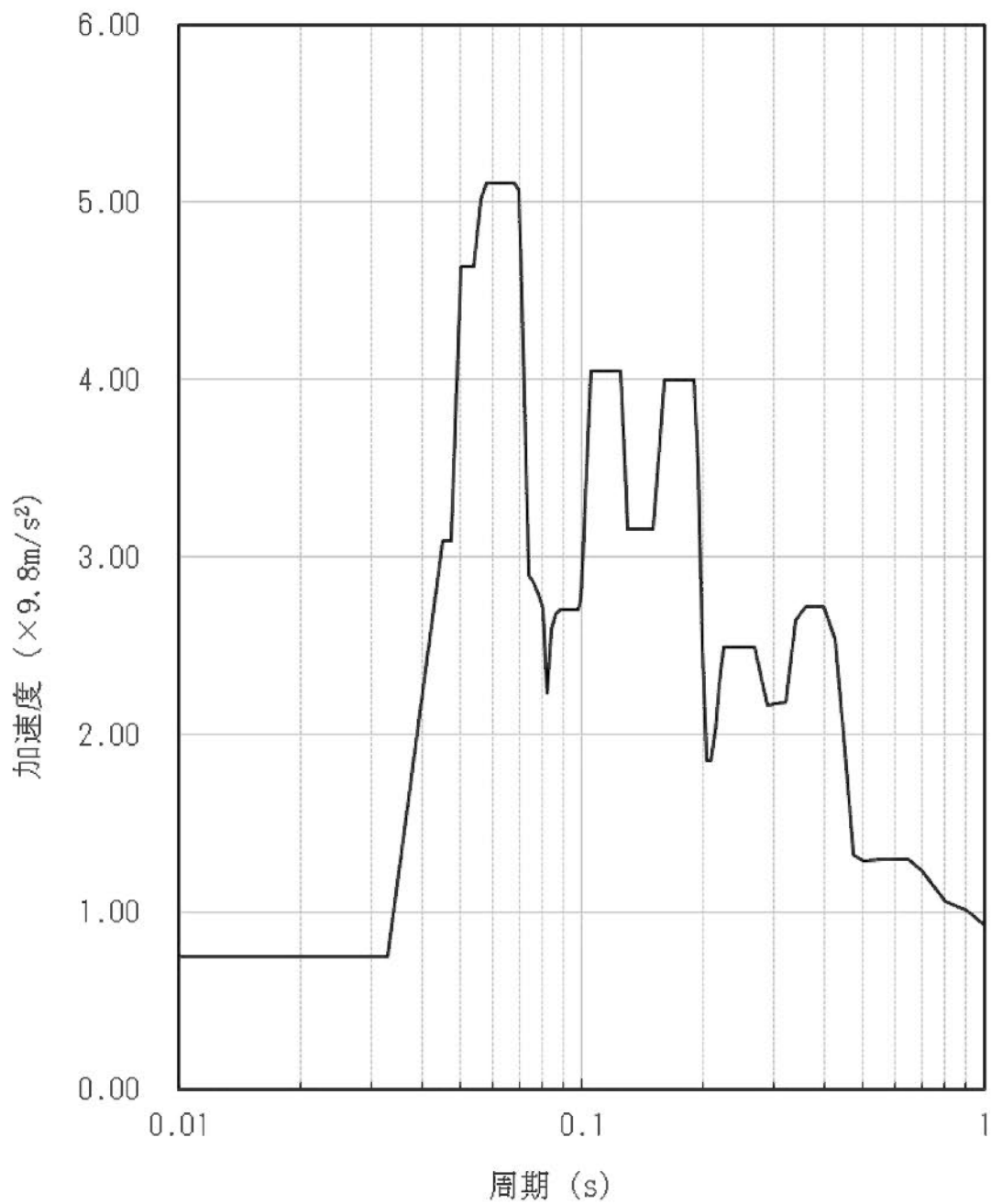
第5-4表 設計用地震力

地震動	設置場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備考
		建屋 ^(注) 及び高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	
基準地震動 S _s	緊急時対策棟 EL.30.75	緊急時対策棟 EL.37.60	水平	1.0	水平方向は S _s -1~5 の X 方向及び Y 方向 の包絡曲線を用いる。 鉛直方向は S _s -1~5 の包絡曲線を用いる。
			鉛直	1.0	

(注) 壁掛け式の盤なので、設置フロア上階の設計用床応答曲線を使用する。



第 5-1 図(1/2) 基準地震動 Ss
 (緊急時対策棟 EL. 37.60m 減衰定数 1.0%
 Ss-1~5 包絡 水平方向)



第5-1 図(2/2) 基準地震動 Ss
 (緊急時対策棟 EL. 37.60m 減衰定数 1.0%
 Ss-1~5 包絡 鉛直方向)

5.4 応力評価方法

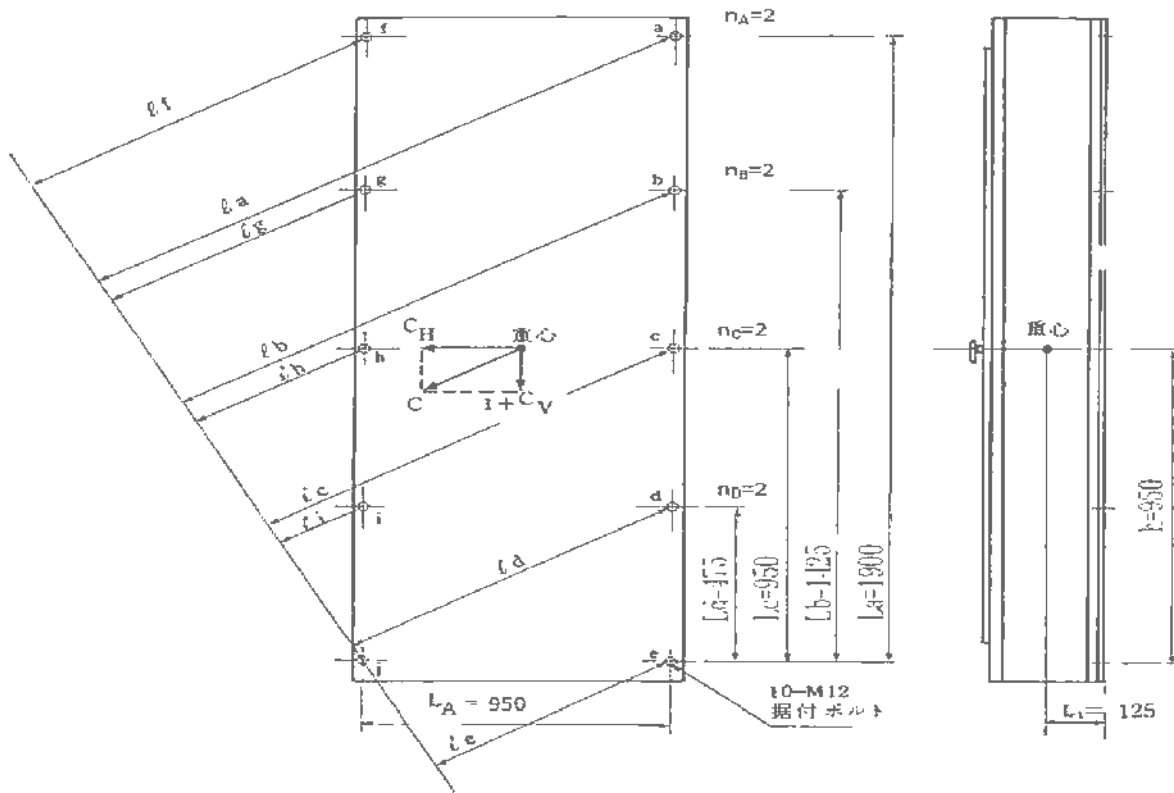
5.4.1 記号の説明

記号	説明	単位
L_1	盤裏面から機器重心までの距離	mm
L_A	据付ボルト間の距離（盤幅方向）	mm
h	下側据付ボルト中心から機器重心までの鉛直方向の距離	mm
N	据付ボルトの総本数	—
$n_A \sim n_D$	各列のボルトの本数	—
C_H	設計用水平震度	—
C_V	設計用鉛直震度	—
C	設計用合成震度	—
W	機器質量	kg
g	重力加速度(9.80665m/s ²)	m/s ²
S	据付ボルトの有効断面積	mm ²
L_n	支点からの据付ボルト距離（前後方向）、 $L_a \sim L_d$	mm
l_n	支点からの据付ボルト距離（左右方向）、 $l_a \sim l_i$	mm
σ_Y	各ボルトにかかる引張応力（前後方向）	MPa
σ_X	各ボルトにかかる引張応力（左右方向）	MPa
τ	各ボルトにかかるせん断応力	MPa
F	各ボルトにかかる引張力	N
T	各ボルトにかかるせん断力	N

5.4.2 応力計算

応力計算モデルを第5-2図に示す。

(単位：mm)



第5-2図 計算モデル

(1) 前後方向

モーメントの釣り合いより

$$n_A F L_a + n_B F_2 L_b + n_C F_3 L_c + n_D F_4 L_d = W \{(1 + C_v) L_1 + C_H h\} g \quad \dots \textcircled{1}$$

$$\frac{F}{L_a} = \frac{F_2}{L_b} = \frac{F_3}{L_c} = \frac{F_4}{L_d} \quad \text{より} \quad F_2 = F \frac{L_b}{L_a}, \quad F_3 = F \frac{L_c}{L_a}, \quad F_4 = F \frac{L_d}{L_a}$$

①式を変形すると

$$F(n_A L_a^2 + n_B L_b^2 + n_C L_c^2 + n_D L_d^2) = L_a W \{(1 + C_v) L_1 + C_H h\} g$$

よって、据付ボルト 1 本当たりの引張力 F は、

$$F = \frac{L_a W \{(1 + C_v) L_1 + C_H h\} g}{(n_A L_a^2 + n_B L_b^2 + n_C L_c^2 + n_D L_d^2)}$$

据付ボルトに作用する引張応力 σ_Y は

$$\sigma_Y = \frac{F}{S}$$

据付ボルト 1 本当たりのせん断力 T は、鉛直方向の力を据付ボルト本数で除することで求められる。

$$T = \frac{(1 + C_v) \times W \times g}{N}$$

据付ボルトに作用するせん断応力 τ は

$$\tau = \frac{T}{S}$$

(2) 左右方向

合成加速度

$$C = \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2}$$

モーメントの釣合いより

$$F l_a + F_2 l_b + F_3 l_c + F_4 l_d + F_5 l_e + F_6 l_f + F_7 l_g + F_8 l_h + F_9 l_i = WCL_1 g \dots \textcircled{1}$$

$$\frac{F}{l_a} = \frac{F_2}{l_b} = \frac{F_3}{l_c} = \frac{F_4}{l_d} = \frac{F_5}{l_e} = \frac{F_6}{l_f} = \frac{F_7}{l_g} = \frac{F_8}{l_h} = \frac{F_9}{l_i} \quad \text{より} \quad F_2 = F \frac{l_b}{l_a}, F_3 = F \frac{l_c}{l_a} \dots = F \frac{l_i}{l_a}$$

①式を変形すると

$$F(l_a^2 + l_b^2 + l_c^2 + l_d^2 + l_e^2 + l_f^2 + l_g^2 + l_h^2 + l_i^2) = l_a WCL_1 g$$

よって、据付ボルト 1 本当たりの引張力 F は、

$$F = \frac{l_a WCL_1 g}{(l_a^2 + l_b^2 + l_c^2 + l_d^2 + l_e^2 + l_f^2 + l_g^2 + l_h^2 + l_i^2)}$$

据付ボルトに作用する引張応力 σX は

$$\sigma X = \frac{F}{S}$$

据付ボルト 1 本当たりのせん断力 T は、合成地震力を据付ボルト本数で除することで求められる。

$$T = \frac{C \times W \times g}{N}$$

据付ボルトに作用するせん断応力 τ は

$$\tau = \frac{T}{S}$$

5.5 応力評価条件

5.5.1 応力計算条件

(1) 盤関係

項目		記号	単位	数値
盤質量		W	kg	250
重力加速度		g	m/s ²	9.80665
下側据付ボルト中心から機器重心までの鉛直方向の距離		h	mm	950
壁面から機器重心までの距離		L ₁	mm	125
据付ボルト間の距離（盤幅方向）		L _A	mm	950
据付ボルト本数		N	—	10
据付ボルト各列の本数		n _A ~n _D	—	2
据付ボルトの有効断面積(M12)		S	mm ²	84.3
前後方向	支点からの据付ボルト距離	L _a	mm	1,900
		L _b	mm	1,425
		L _c	mm	950
		L _d	mm	475
左右方向	支点からの据付ボルト距離	ℓ _a	mm	1,981
		ℓ _b	mm	1,661
		ℓ _c	mm	1,341
		ℓ _d	mm	1,022
		ℓ _e	mm	702
		ℓ _f	mm	1,278
		ℓ _g	mm	958
		ℓ _h	mm	639
		ℓ _i	mm	319

(2) 設計用地震力

項目	記号	設計用加速度 (×9.8m/s ²)
水平	C _H	2.09
鉛直	C _V	0.90

(注) 固有値解析結果より、固有振動数が 30Hz 以上であることを確認したため、設計用加速度は最大床加速度の 1.2 倍を使用する。

6. 機能維持評価

緊急時対策棟計装分電盤は、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その維持がされていることを示す。

6.1 機能維持評価方法

緊急時対策棟計装分電盤の固有振動数から応答加速度を求め、機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、盤内機器単体の正弦波加振試験（掃引試験及び連続試験）において、電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を第6-1表に示す。

なお、固有値解析結果より、固有振動数が30Hz以上であることを確認したため、評価用加速度は最大床加速度を使用する。

第6-1表 機能確認済加速度

項目	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
水平	<input type="text"/>
鉛直	<input type="text"/>

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処施設としての評価結果

緊急時対策棟計装分電盤の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

基準地震動 S_s に対する構造強度評価結果を第 7-1 表に示す。また、電氣的機能維持確認結果を第 7-2 表に示す。

第7-1表 基準地震動 S_s による評価結果 (D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s)

評価対象設備			評価部位	応力分類	方向	発生値	評価基準値
						MPa	MPa
非常用電源設備	その他の電源装置	緊急時対策棟計装分電盤	据付ボルト	引張応力	前後	10	279
					左右	2	
				せん断応力	前後	6	160
					左右	9	
				組合せ	前後	10	279 ^(注)
					左右	2	

(注) 引張応力(σ_{bt})とせん断応力(τ_{bs})との組合せ応力の評価基準値は、 $\text{Min}(1.4 \cdot 1.5f_t^* - 1.6 \tau_{bs}, 1.5f_t^*)$ とする。

第7-2表 電氣的機能維持評価結果 (重大事故等対処施設)

評価対象設備			機能確認済加速度との比較				詳細評価	
			加速度確認部位	水平加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		鉛直加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		
				評価用加速度	機能確認済加速度	評価用加速度		機能確認済加速度
非常用電源設備	その他の電源装置	緊急時対策棟計装分電盤	盤頂部	1.74	□	0.75	□	—

緊急時対策棟指揮所内分電盤の耐震計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-17-3-9

玄海原子力発電所第3号機

目 次

	頁
1. 概 要	12 (3) - 17 - 3 - 9 - 1
2. 基本方針	12 (3) - 17 - 3 - 9 - 1
2.1 構造の説明	12 (3) - 17 - 3 - 9 - 1
2.2 評価方針	12 (3) - 17 - 3 - 9 - 3
3. 耐震評価箇所	12 (3) - 17 - 3 - 9 - 4
4. 固有値解析	12 (3) - 17 - 3 - 9 - 4
4.1 基本方針	12 (3) - 17 - 3 - 9 - 4
4.2 固有振動数の計算方法	12 (3) - 17 - 3 - 9 - 5
4.3 固有値解析結果	12 (3) - 17 - 3 - 9 - 11
5. 応力評価	12 (3) - 17 - 3 - 9 - 12
5.1 基本方針	12 (3) - 17 - 3 - 9 - 12
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	12 (3) - 17 - 3 - 9 - 12
5.3 設計用地震力	12 (3) - 17 - 3 - 9 - 14
5.4 応力評価方法	12 (3) - 17 - 3 - 9 - 17
5.5 応力評価条件	12 (3) - 17 - 3 - 9 - 21
6. 機能維持評価	12 (3) - 17 - 3 - 9 - 22
6.1 機能維持評価方法	12 (3) - 17 - 3 - 9 - 22
7. 評価結果	12 (3) - 17 - 3 - 9 - 23
7.1 重大事故等対処施設としての評価結果	12 (3) - 17 - 3 - 9 - 23

1. 概要

本資料は、資料 12-9「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、緊急時対策棟指揮所内分電盤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。その耐震評価は、緊急時対策棟指揮所内分電盤の固有値解析及び応力評価並びに機能維持評価により行う。

緊急時対策棟指揮所内分電盤は、重大事故等対処施設において常設重大事故緩和設備に分類される。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

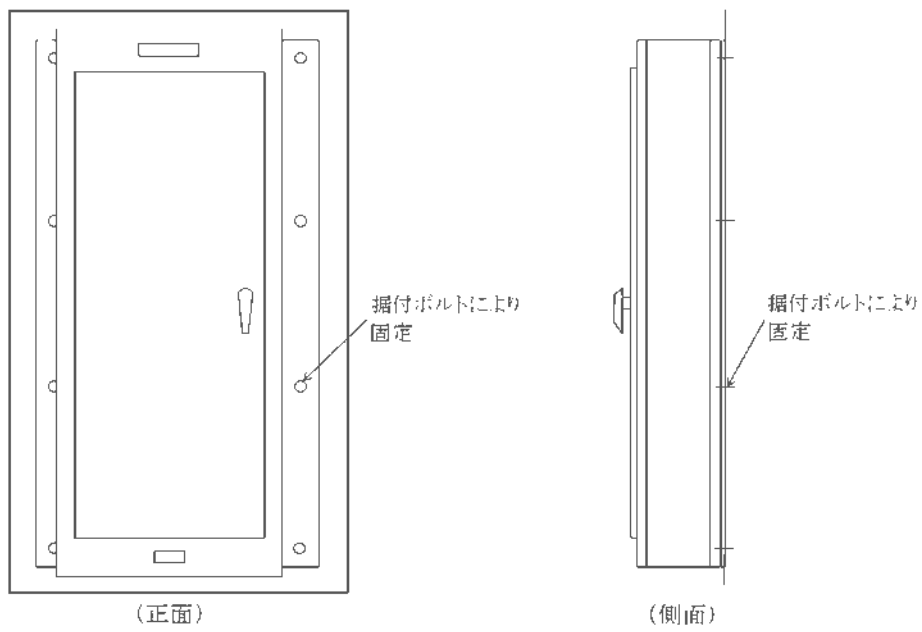
2.1 構造の説明

資料 12-11「機器・配管の耐震支持方針」にて設定した電気計測制御装置の支持方針に基づき設計した緊急時対策棟指揮所内分電盤の構造計画を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 緊急時対策棟指揮所内分電盤の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
緊急時対策棟指揮所内分電盤	壁掛け形 ^(注)	緊急時対策棟指揮所内分電盤を据付ボルトにて、壁面に固定された据付部材に剛に据え付ける。	第 2-1 図

(注) 機能維持評価を行う、MCCB (Molded Case Circuit Breaker : 配線用遮断器) を内装する盤。

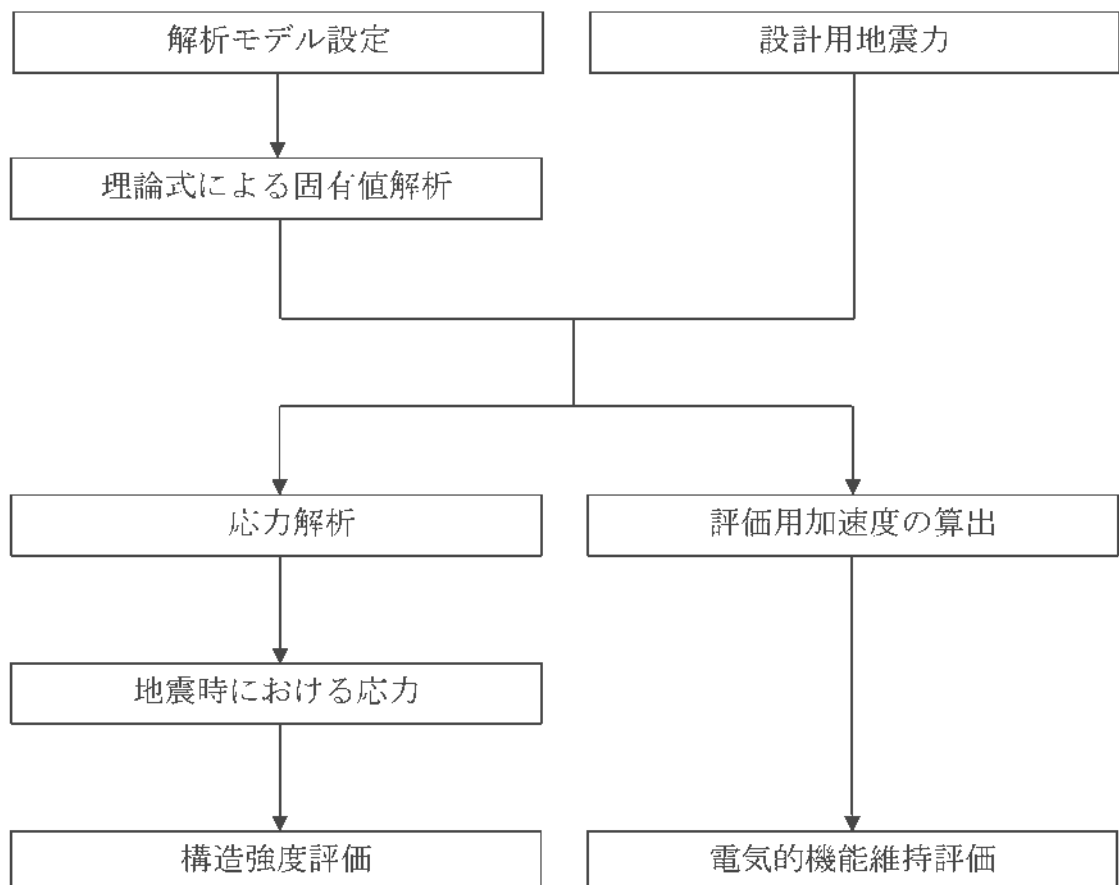


第 2-1 図 外形図

2.2 評価方針

緊急時対策棟指揮所内分電盤の応力評価は、資料 12-9「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 構造の説明」にて示す緊急時対策棟指揮所内分電盤の部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、緊急時対策棟指揮所内分電盤の機能維持評価は、資料 12-9「機能維持の基本方針」にて設定した電気計装設備の機能維持方針に基づき、地震時の応答加速度が振動試験により得られた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。

緊急時対策棟指揮所内分電盤の耐震評価フローを第 2-2 図に示す。



第 2-2 図 緊急時対策棟指揮所内分電盤の耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

緊急時対策棟指揮所内分電盤の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる据付ボルトを選定して実施する。

4. 固有値解析

緊急時対策棟指揮所内分電盤の固有振動数算定方法について以下に示す。

4.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは1質点系モデルとし、盤の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- (2) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

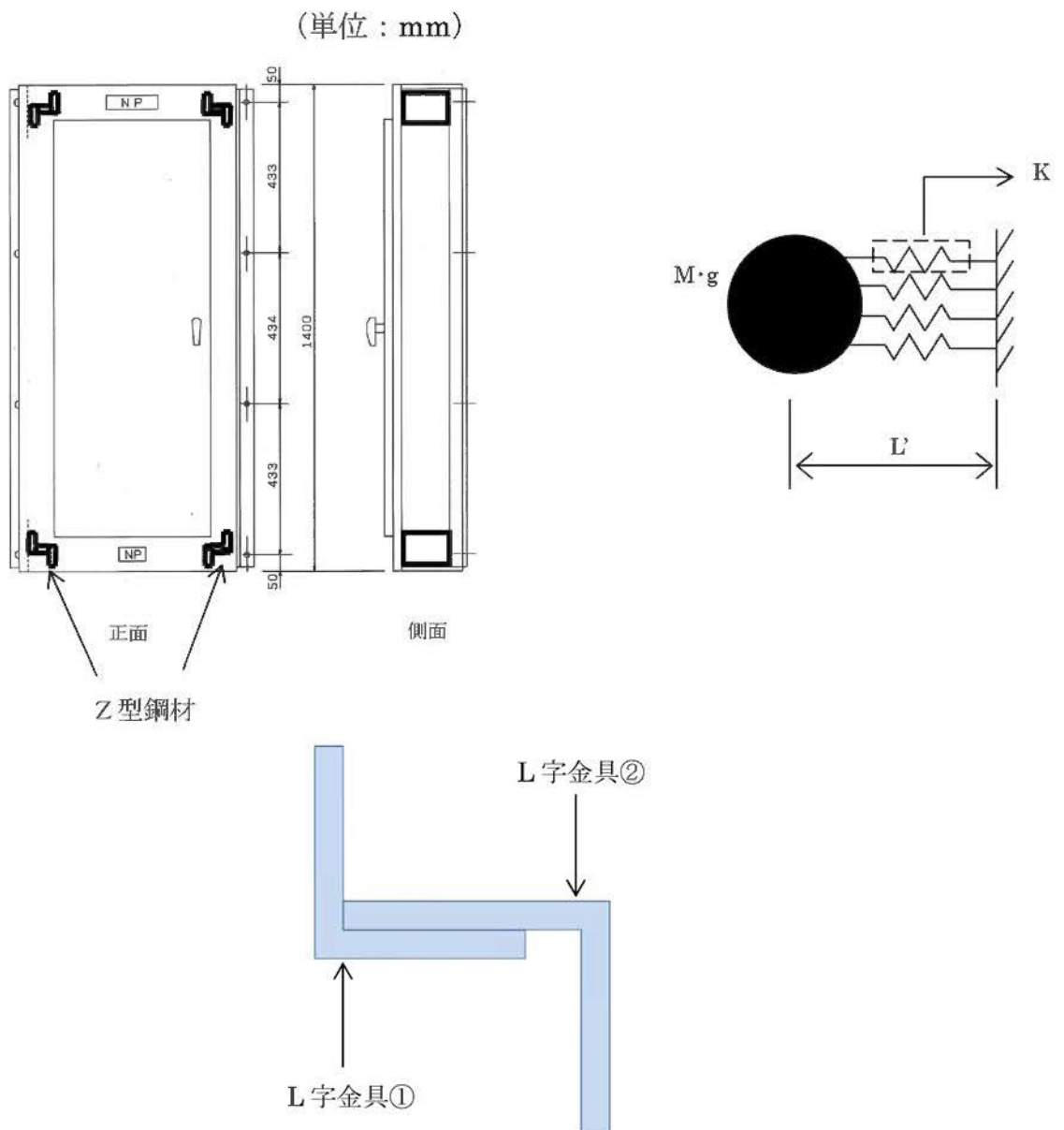
4.2 固有振動数の計算方法

4.2.1 記号の説明

記号	説明	単位
L'	盤裏面から機器重心までの距離	mm
E	縦弾性係数	MPa
S _{x1}	L字金具①におけるX軸を基準としたときの断面一次モーメント	mm ³
S _{x2}	L字金具②におけるX軸を基準としたときの断面一次モーメント	mm ³
S _{xz}	Z形鋼材におけるX軸を基準としたときの断面一次モーメント	mm ³
S _{y1}	L字金具①におけるY軸を基準としたときの断面一次モーメント	mm ³
S _{y2}	L字金具②におけるY軸を基準としたときの断面一次モーメント	mm ³
S _{yz}	Z形鋼材におけるY軸を基準としたときの断面一次モーメント	mm ³
A ₁	L字金具①の断面積	mm ²
A ₂	L字金具②の断面積	mm ²
A _z	Z形鋼材の断面積	mm ²
X _{G1}	L字金具①の図心 X座標	mm
X _{G2}	L字金具②の図心 X座標	mm
X _{Gz}	Z形鋼材の図心 X座標	mm
Y _{G1}	L字金具①の図心 Y座標	mm
Y _{G2}	L字金具②の図心 Y座標	mm
Y _{Gz}	Z形鋼材の図心 Y座標	mm
I _{x1}	L字金具①の図心を通るX軸周りの断面二次モーメント	mm ⁴
I _{x2}	L字金具②の図心を通るX軸周りの断面二次モーメント	mm ⁴
I _{zx}	Z形鋼材の図心を通るX軸周りの断面二次モーメント	mm ⁴
I _{y1}	L字金具①の図心を通るY軸周りの断面二次モーメント	mm ⁴
I _{y2}	L字金具②の図心を通るY軸周りの断面二次モーメント	mm ⁴
I _{zy}	Z形鋼材の図心を通るY軸周りの断面二次モーメント	mm ⁴
a ₁	L字金具①の横方向外形寸法	mm
a ₂	L字金具②の横方向外形寸法	mm
b ₁	L字金具①の高さ方向外形寸法	mm
b ₂	L字金具②の高さ方向外形寸法	mm
t	L字金具①, ②の厚さ	mm
f _{nx}	上下方向に対する固有振動数	Hz
f _{ny}	左右方向に対する固有振動数	Hz
K _x	上下方向に対するばね定数	N/m
K _y	左右方向に対するばね定数	N/m
M	機器質量	kg
g	重力加速度 (9.80665m/s ²)	m/s ²

4.2.2 固有振動数計算モデル

盤の主要な強度部材である 4 本の Z 型鋼材に、据付部材を含む機器の質量が負荷されているものとし、1 質点モデルにより固有振動数を計算する。計算モデルを第 4-1 図に示す。



第 4-1 図 計算モデル図 (Z 型鋼材)

4.2.3 固有振動数の計算

四隅の Z 形鋼材が主要な強度部材として、各々独立して盤の質量を支えているものとし、盤の固有振動数を計算する。

まず、Z 形鋼材を L 字金具①、L 字金具②に分け、それぞれの図心と断面二次モーメントを計算する。

L 字金具①の断面一次モーメント S_{x1}, S_{y1}

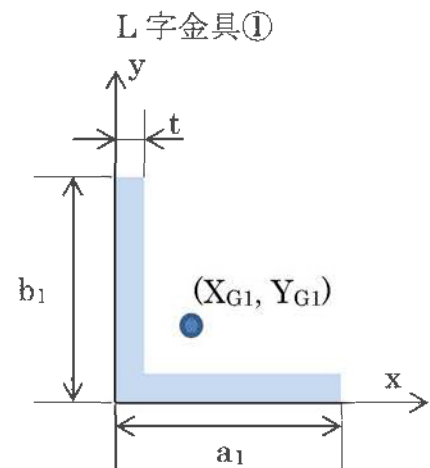
$$\begin{aligned} S_{x1} &= \int_A y dA \\ &= a_1 \int_0^t y dy + t \int_t^{b_1} y dy \\ &= \frac{1}{2} a_1 t^2 + \frac{1}{2} t (b_1^2 - t^2) \end{aligned}$$

L 字金具①は $a_1 = b_1$ であるため、 $S_{x1} = S_{y1}$

L 字金具①の図心 (X_{G1}, Y_{G1})

$$X_{G1} = \frac{S_{y1}}{A_1} \quad Y_{G1} = \frac{S_{x1}}{A_1}$$

$$(A_1 = b_1 t + (a_1 - t)t)$$



L 字金具①の断面二次モーメント I_{x1}, I_{y1}

$$I_{x1} = \frac{1}{3} \{ t e_1^3 + a_1 e_2^3 - (a_1 - t)(e_2 - t)^3 \}$$

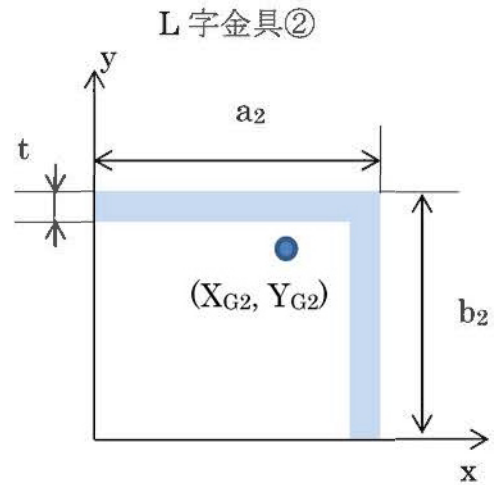
$$\left(e_1 = b_1 - \frac{b_1^2 t + t^2 (a_1 - t)}{2(a_1 t + (b_1 - t)t)} \quad e_2 = \frac{b_1^2 t + t^2 (a_1 - t)}{2(a_1 t + (b_1 - t)t)} \right)$$

L 字金具①は $a_1 = b_1$ であることから、 $I_{x1} = I_{y1}$

L字金具②の断面一次モーメント S_{x2}, S_{y2}

$$\begin{aligned} S_{x2} &= \int_A y dA \\ &= a_2 \int_{b_2-t}^{b_2} y dy + t \int_0^{b_2-t} y dy \\ &= \frac{1}{2} a_2 (2b_2 t - t^2) + \frac{1}{2} t (b_2 - t)^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{y2} &= \int_A x dA \\ &= t \int_0^{a_2-t} x dx + b_2 \int_{a_2-t}^{a_2} x dx \\ &= \frac{1}{2} b_2 (2a_2 t - t^2) + \frac{1}{2} t (a_2 - t)^2 \end{aligned}$$



L字金具②の図心(X_{G2}, Y_{G2})

$$X_{G2} = \frac{S_{y2}}{A_2} \quad Y_{G2} = \frac{S_{x2}}{A_2}$$

$$(A_2 = a_2 t + (b_2 - t)t)$$

L字金具②の断面二次モーメント I_{x2}, I_{y2}

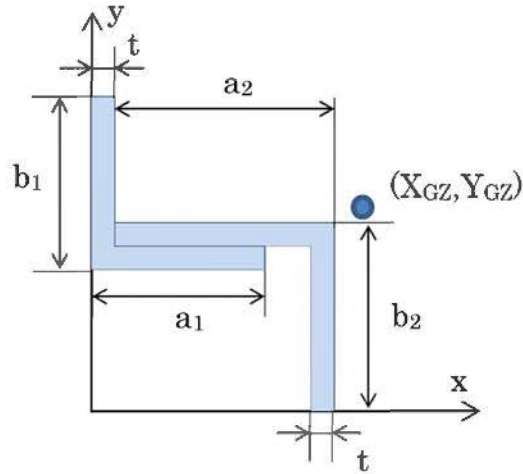
$$I_{x2} = \frac{1}{3} \{ t e_1^3 + a_2 e_2^3 - (a_2 - t)(e_2 - t)^3 \}$$

$$(e_1 = b_2 - \frac{b_2^2 t + t^2(a_2 - t)}{2(a_2 t + (b_2 - t)t)} \quad e_2 = \frac{b_2^2 t + t^2(a_2 - t)}{2(a_2 t + (b_2 - t)t})$$

$$I_{y2} = \frac{1}{3} \{ t e_3^3 + b_2 e_4^3 - (b_2 - t)(e_4 - t)^3 \}$$

$$(e_3 = a_2 - \frac{a_2^2 t + t^2(b_2 - t)}{2(b_2 t + (a_2 - t)t)} \quad e_4 = \frac{a_2^2 t + t^2(b_2 - t)}{2(b_2 t + (a_2 - t)t})$$

Z形鋼材の図心を求め、平行軸の定理より断面二次モーメントを計算する。



Z形鋼材の断面一次モーメント S_{xz}, S_{yz}

$$\begin{aligned}
 S_{xz} &= \int_A y dy \\
 &= a_1 \int_{b_2-2t}^{b_2-t} y dy + t \int_{b_2-t}^{b_1+b_2-2t} y dy + a_2 \int_{b_2-t}^{b_2} y dy + t \int_0^{b_2-t} y dy \\
 &= \frac{1}{2} \left\{ a_1 (2b_2 t - 3t^2) + t (b_1^2 + 2b_1 b_2 - 4b_1 t - 2b_2 t + 3t^2) + a_2 (2b_2 t - t^2) + t (b_2 - t)^2 \right\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{yz} &= \int_A x dx \\
 &= t \int_0^{a_1} x dx + (b_1 - t) \int_0^t x dx + t \int_t^{t+a_2} x dx + (b_2 - t) \int_{a_2}^{a_2+t} x dx \\
 &= \frac{1}{2} \left\{ t a_1^2 + (b_1 - t) t^2 + t (2a_2 t + a_2^2) + (b_2 - t) (2a_2 t + t^2) \right\}
 \end{aligned}$$

Z形鋼材の図心 (X_{GZ}, Y_{GZ})

$$X_{GZ} = \frac{S_{yz}}{A_z} \qquad Y_{GZ} = \frac{S_{xz}}{A_z}$$

$$(A_z = A_1 + A_2)$$

平行軸の定理より、Z形鋼材の断面二次モーメント I_{zx} , I_{zy} は以下の通りになる。

$$I_{zx} = I_{x1} + A_1(Y_{GZ} - Y_{G1})^2 + I_{x2} + A_2(Y_{GZ} - Y_{G2})^2$$

$$I_{zy} = I_{y1} + A_1(X_{GZ} - X_{G1})^2 + I_{y2} + A_2(X_{GZ} - X_{G2})^2$$

固有振動数 f_n

・上下方向

Z形鋼材 1 本あたりのばね定数

$$K_x = \frac{1000}{\frac{L^3}{3E \cdot I_{zx}}}$$

固有振動数

$$f_{nx} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4K_x}{M}}$$

・左右方向

Z形鋼材 1 本あたりのばね定数

$$K_y = \frac{1000}{\frac{L^3}{3E \cdot I_{zy}}}$$

固有振動数

$$f_{ny} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4K_y}{M}}$$

4.2.4 盤の固有振動数の計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	SS400
縦弾性係数	E	MPa	201,200
機器質量	M	kg	130
壁面から機器重心までの距離	L'	mm	125
雰囲気温度条件	—	℃	40

4.3 固有値解析結果

固有振動数の計算結果を以下に示す。

方向	盤の固有振動数 (Hz)
上下	<input type="text"/>
左右	<input type="text"/>

5. 応力評価

5.1. 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは 1 質点系モデルとし、盤の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- (2) 許容応力について、JSME S NJ1-2012 の Part3 を用いて計算する際に、温度が図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
但し、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (3) 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

緊急時対策棟指揮所内分電盤の荷重の組合せ及び許容応力状態を第 5-1 表に示す。

5.2.2 許容応力

緊急時対策棟指揮所内分電盤の許容応力を第 5-2 表に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力

緊急時対策棟指揮所内分電盤の使用材料の許容応力を第 5-3 表に示す。

第5-1表 荷重の組合せ及び許容応力（重大事故等対処施設）

施設区分		機器名称	設備分類	荷重の組合せ	許容応力 状態
非常用電源 設備	その他の電 源装置	^(注1) 緊急時対策棟 指揮所内分電盤	常設重大事故緩 和設備	$D + P_D + M_D + S_s$ ^(注2)	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	

(注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。

(注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。

第5-2表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等） ^(注)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV_{AS}	$1.5f_t^*$	$1.5f_s^*$

(注) 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。

第5-3表 使用材料の許容応力（重大事故等対処施設）

材質	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
SS400	40 (雰囲気温度)	245	400	280

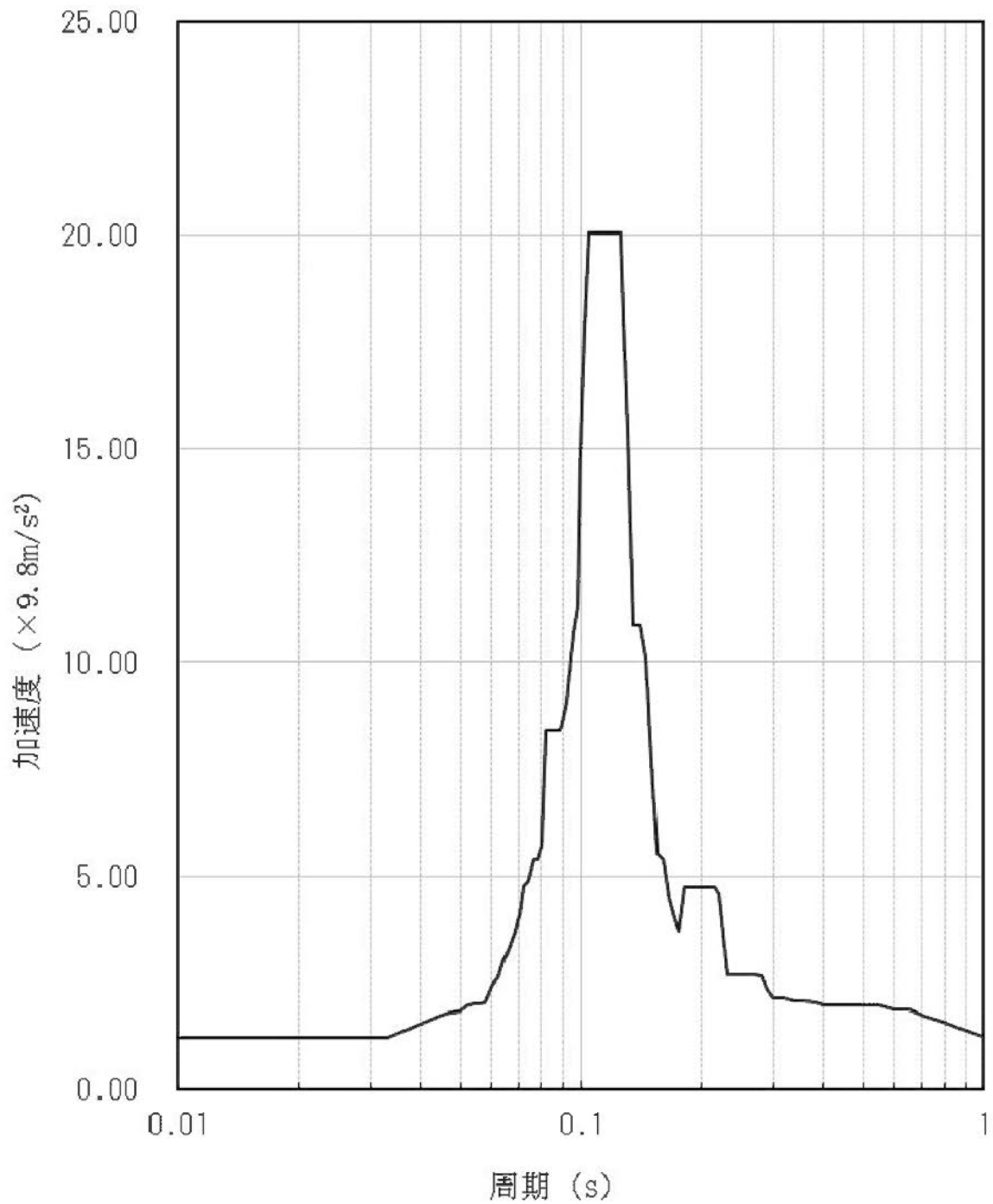
5.3 設計用地震力

耐震計算に用いる入力地震力には、資料12-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、第5-4表にて示す条件を用いて作成した第5-1図に示す設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は資料12-6「地震応答解析の基本方針」第3-1表に記載の減衰定数を用いる。

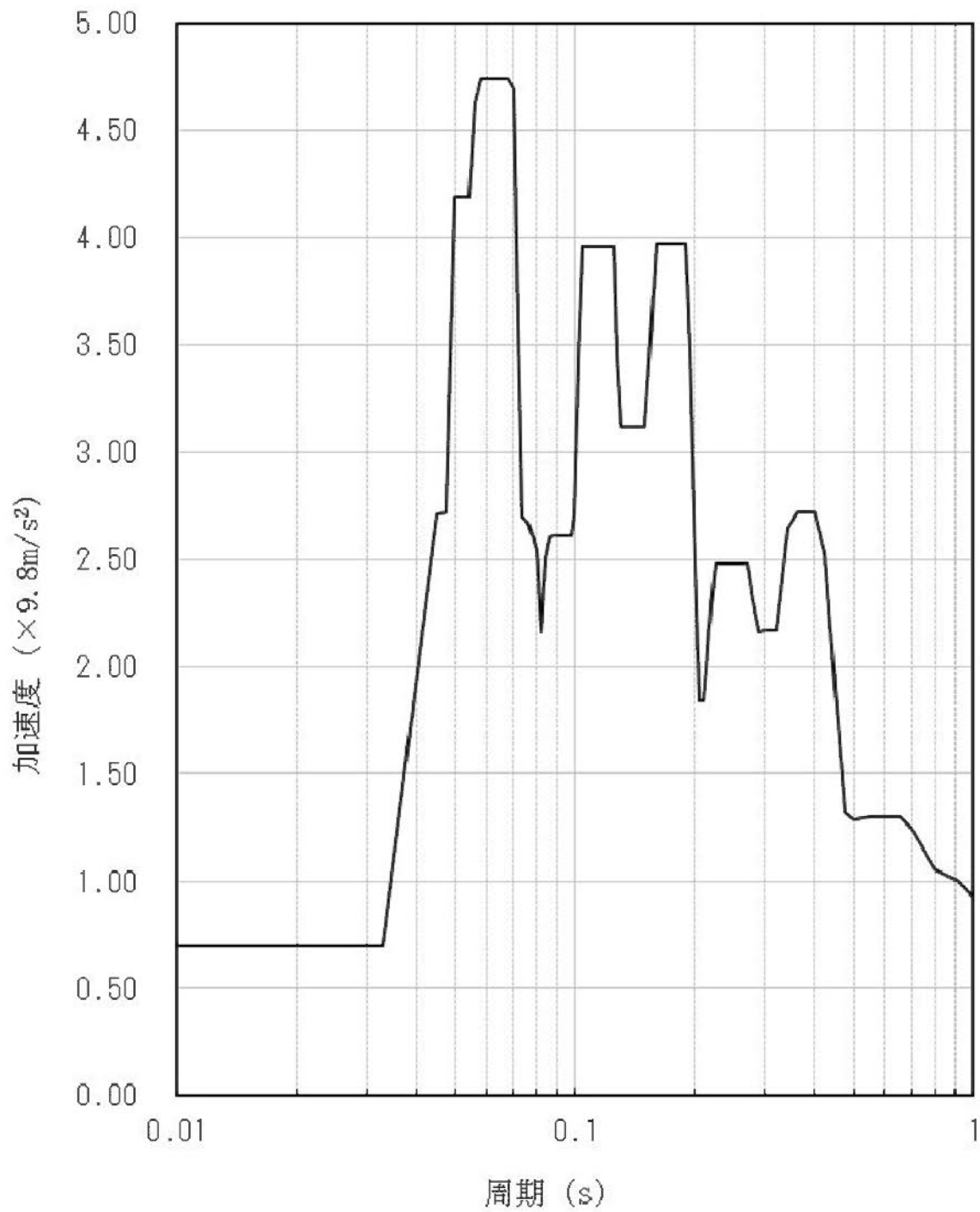
第5-4表 設計用地震力

地震動	設置場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備考
		建屋 ^(注) 及び高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	
基準地震動 S _s	緊急時対策棟 EL.25.30	緊急時対策棟 EL.30.75	水平	1.0	水平方向は S _s -1~5 の X 方向及び Y 方向 の包絡曲線を用いる。 鉛直方向は S _s -1~5 の包絡曲線を用いる。
			鉛直	1.0	

(注) 壁掛け式の盤なので、設置フロア上階の設計用床応答曲線を使用する。



第 5-1 図(1/2) 基準地震動 S_s
 (緊急時対策棟 EL. 30.75m 減衰定数 1.0%
 $S_s-1\sim 5$ 包絡 水平方向)



第 5-1 図(2/2) 基準地震動 Ss
 (緊急時対策棟 EL. 30.75m 減衰定数 1.0%
 Ss-1~5 包絡 鉛直方向)

5.4 応力評価方法

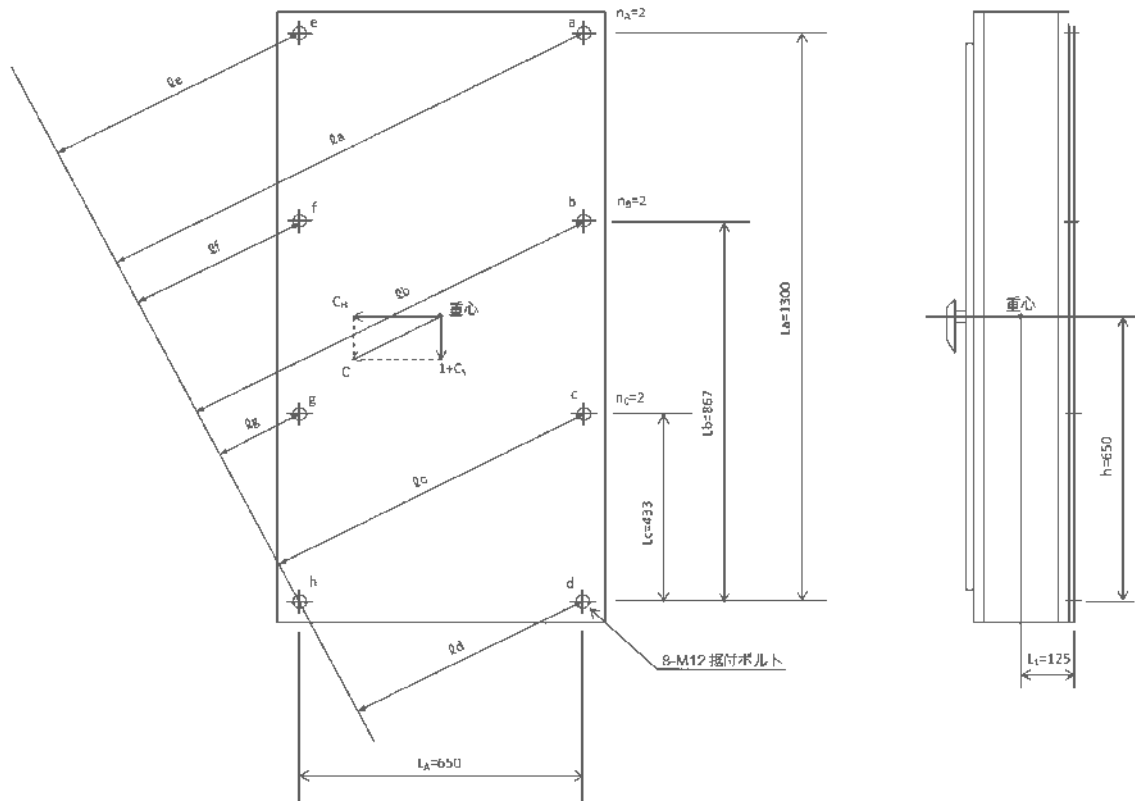
5.4.1 記号の説明

記号	説明	単位
L_1	盤裏面から機器重心までの距離	mm
L_A	据付ボルト間の距離（盤幅方向）	mm
h	下側据付ボルト中心から機器重心までの鉛直方向の距離	mm
N	据付ボルトの総本数	—
$n_A \sim n_C$	各列のボルトの本数	—
C_H	設計用水平震度	—
C_V	設計用鉛直震度	—
C	設計用合成震度	—
W	機器質量	kg
g	重力加速度(9.80665m/s ²)	m/s ²
S	据付ボルトの有効断面積	mm ²
L_n	支点からの据付ボルト距離（前後方向）、 $L_a \sim L_c$	mm
l_n	支点からの据付ボルト距離（左右方向）、 $l_a \sim l_g$	mm
σ_Y	各ボルトにかかる引張応力（前後方向）	MPa
σ_X	各ボルトにかかる引張応力（左右方向）	MPa
τ	各ボルトにかかるせん断応力	MPa
F	各ボルトにかかる引張力	N
T	各ボルトにかかるせん断力	N

5.4.2 応力計算

応力計算モデルを第5-2図に示す。

(単位：mm)



第5-2図 計算モデル

(1) 前後方向

モーメントの釣り合いより

$$n_A F L_a + n_B F_2 L_b + n_C F_3 L_c = W \{ (1 + C_v) L_1 + C_H h \} g \quad \dots \textcircled{1}$$

$$\frac{F}{L_a} = \frac{F_2}{L_b} = \frac{F_3}{L_c} \quad \text{より} \quad F_2 = F \frac{L_b}{L_a}, \quad F_3 = F \frac{L_c}{L_a}$$

①式を変形すると

$$F(n_A L_a^2 + n_B L_b^2 + n_C L_c^2) = L_a W \{ (1 + C_v) L_1 + C_H h \} g$$

よって、据付ボルト 1 本当たりの引張力 F は、

$$F = \frac{L_a W \{ (1 + C_v) L_1 + C_H h \} g}{(n_A L_a^2 + n_B L_b^2 + n_C L_c^2)}$$

据付ボルトに作用する引張応力 σ_Y は

$$\sigma_Y = \frac{F}{S}$$

据付ボルト 1 本当たりのせん断力 T は、鉛直方向の力を据付ボルト本数で除することで求められる。

$$T = \frac{(1 + C_v) \times W \times g}{N}$$

据付ボルトに作用するせん断応力 τ は

$$\tau = \frac{T}{S}$$

(2) 左右方向

合成加速度

$$C = \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2}$$

モーメントの釣合いより

$$F l_a + F_2 l_b + F_3 l_c + F_4 l_d + F_5 l_e + F_6 l_f + F_7 l_g = WCL_1 g \quad \dots \textcircled{1}$$

$$\frac{F}{l_a} = \frac{F_2}{l_b} = \frac{F_3}{l_c} = \frac{F_4}{l_d} = \frac{F_5}{l_e} = \frac{F_6}{l_f} = \frac{F_7}{l_g} \quad \text{より} \quad F_2 = F \frac{l_b}{l_a}, F_3 = F \frac{l_c}{l_a} \dots = F \frac{l_g}{l_a}$$

①式を変形すると

$$F(l_a^2 + l_b^2 + l_c^2 + l_d^2 + l_e^2 + l_f^2 + l_g^2) = l_a WCL_1 g$$

よって、据付ボルト 1 本当たりの引張力 F は、

$$F = \frac{l_a WCL_1 g}{(l_a^2 + l_b^2 + l_c^2 + l_d^2 + l_e^2 + l_f^2 + l_g^2)}$$

据付ボルトに作用する引張応力 σX は

$$\sigma X = \frac{F}{S}$$

据付ボルト 1 本当たりのせん断力 T は、合成地震力を据付ボルト本数で除することで求められる。

$$T = \frac{C \times W \times g}{N}$$

据付ボルトに作用するせん断応力 τ は

$$\tau = \frac{T}{S}$$

5.5 応力評価条件

5.5.1 応力計算条件

(1) 盤関係

項目		記号	単位	数値
機器質量		W	kg	130
重力加速度		g	m/s ²	9.80665
下側据付ボルト中心から機器重心までの鉛直方向の距離		h	mm	650
壁面から機器重心までの距離		L ₁	mm	125
据付ボルト間の距離（盤幅方向）		L _A	mm	650
据付ボルト本数		N	—	8
据付ボルト各列の本数		n _A ~n _C	—	2
据付ボルトの有効断面積(M12)		S	mm ²	84.3
前後方向	支点からの据付ボルト距離	L _a	mm	1,300
		L _b	mm	867
		L _c	mm	433
左右方向	支点からの据付ボルト距離	ℓ _a	mm	1,422
		ℓ _b	mm	1,083
		ℓ _c	mm	743
		ℓ _d	mm	404
		ℓ _e	mm	1,018
		ℓ _f	mm	679
		ℓ _g	mm	339

(2) 設計用地震力

項目	記号	設計用加速度 (×9.8m/s ²)
水平	C _H	1.46
鉛直	C _V	0.84

(注) 固有値解析結果より、固有振動数が30Hz以上であることを確認したため、設計用加速度は最大床加速度の1.2倍を使用する。

6. 機能維持評価

緊急時対策棟指揮所内分電盤は、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その維持がされていることを示す。

6.1 機能維持評価方法

緊急時対策棟指揮所内分電盤の固有振動数から応答加速度を求め、機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、盤内機器単体の正弦波加振試験（掃引試験及び連続試験）において、電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を第6-1表に示す。

なお、固有値解析結果より、固有振動数が30Hz以上であることを確認したため、評価用加速度は最大床加速度を使用する。

第6-1表 機能確認済加速度

項目	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
水平	<input type="text"/>
鉛直	<input type="text"/>

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処施設としての評価結果

緊急時対策棟指揮所内分電盤の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

基準地震動 S_s に対する構造強度評価結果を第 7-1 表に示す。また、電氣的機能維持確認結果を第 7-2 表に示す。

第7-1表 基準地震動 Ss による評価結果(D+PsAD+MsAD+Ss)

評価対象設備			評価部位	応力分類	方向	発生値	評価基準値
						MPa	MPa
非常用電源設備	その他の電源装置	緊急時対策棟 指揮所内分電盤	据付ボルト	引張応力	前後	5	279
					左右	2	
				せん断応力	前後	4	160
					左右	5	
				組合せ	前後	5	279 ^(注)
					左右	2	

(注) 引張応力(σ_{bt})とせん断応力(τ_{bs})との組合せ応力の評価基準値は、 $\text{Min}(1.4 \cdot 1.5f_t^* - 1.6 \tau_{bs}, 1.5f_t^*)$ とする。

第7-2表 電氣的機能維持評価結果(重大事故等対処施設)

評価対象設備			機能確認済加速度との比較				詳細評価	
			加速度確認部位	水平加速度($\times 9.8\text{m/s}^2$)		鉛直加速度($\times 9.8\text{m/s}^2$)		
				評価用加速度	機能確認済加速度	評価用加速度		機能確認済加速度
非常用電源設備	その他の電源装置	緊急時対策棟 指揮所内分電盤	盤頂部	1.21	☐	0.70	☐	—

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する
影響評価結果

設計及び工事計画認可申請添付資料 12-18

玄海原子力発電所第 3 号機

目 次

	頁
1. 概 要	12 (3) - 18 - 1
2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ による影響評価に用いる地震動	12 (3) - 18 - 1
3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ による影響評価結果	12 (3) - 18 - 1
3.1 建物・構築物	12 (3) - 18 - 1
3.2 機器・配管系	12 (3) - 18 - 31
4. まとめ	12 (3) - 18 - 35

1. 概 要

本資料は、資料 12-1「耐震設計の基本方針」のうち「10. 耐震計算の基本方針」及び資料 12-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に基づき、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、施設が有する耐震性に及ぼす影響について評価した結果を説明するものである。

2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価には、玄海原子力発電所の基準地震動 S_s-1 ～ S_s-5 を用いる。基準地震動 S_s については、資料 12-2「基準地震動 S_s の概要」による。

3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果

3.1 建物・構築物

3.1.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位を整理し、緊急時対策棟（以下「緊対棟」という。）、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）（以下「加圧設備棟」という。）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）（以下「燃料設備棟」という。）の各建屋において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認した。確認した結果を第 3-1 表に示す。

(2) 応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び 3 次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を第 3-2 表及び第 3-3 表に示す。

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

第 3-1 表に示す耐震評価上の構成部位のうち、第 3-2 表に示す荷重の組合せによる応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を第 3-4 表に示す。

応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位として、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎を抽出した。

また、応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位として緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地下外壁を抽出した。

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

第3-1表に示す耐震評価上の構成部位のうち、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、第3-3表に示す3次元的な応答特性により、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を第3-5表に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位及び応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動が発生」する部位として、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価が必要な部位は抽出されなかった。

(5) 3次元 FEM モデルによる精査

3次元的な応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位を含め、耐震評価部位全般について、局所応答の観点から、3次元 FEM モデルによる精査を行った。

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟は、各方向にバランスよく耐震壁が配置され、地震力を主に耐震壁で負担する構造であり、構造特性については、平成29年8月25日付け原規規発第1708253号にて認可された工事計画の添付資料3-19「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」において局所応答の検討を行った原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋と類似している。したがって、平成29年8月25日付け原規規発第1708253号にて認可された工事計画の添付資料3-19「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」の知見を用いて、局所応答に対する3次元 FEM モデルによる精査を行った。

3次元 FEM モデルを用いた精査の結果、原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、建屋が有する耐震性への影響は想定されず、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う必要がある部位は抽出されなかったとしている。

以上より、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の各建屋についても、局

所応答については、有する耐震性への影響は想定されないことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う必要がある部位は抽出しない。精査した結果を第 3-6 表に示す。

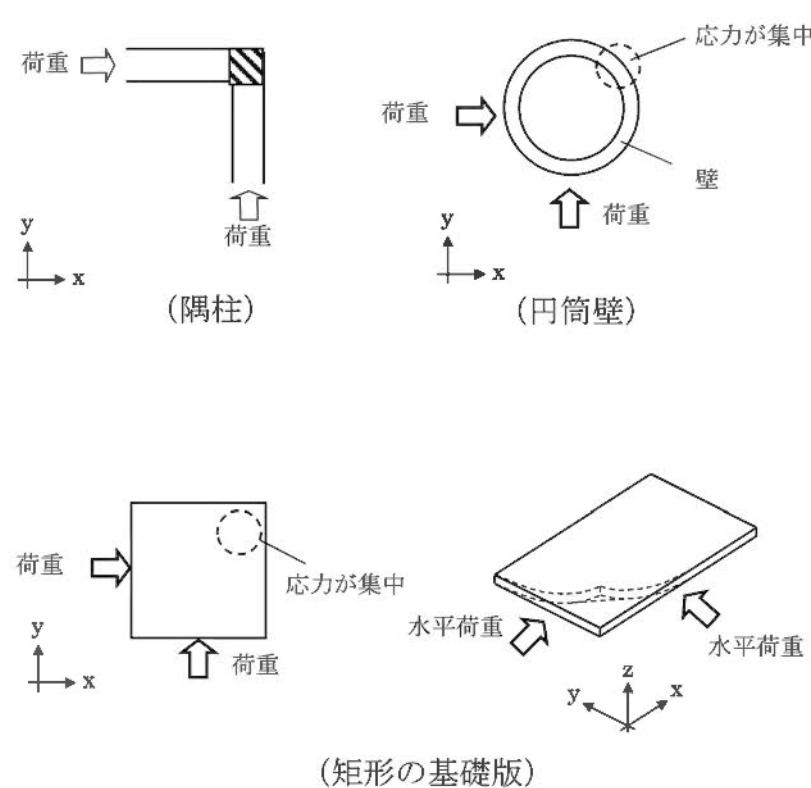
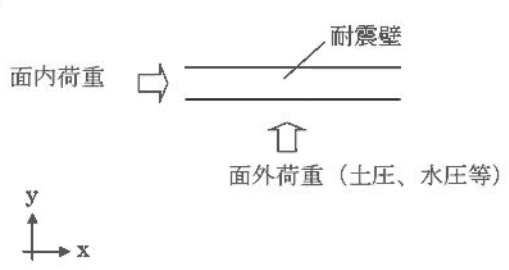
第3-1表 建物・構築物における耐震評価上の構成部材の整理

耐震評価部位		緊対棟	加圧設備棟	燃料設備棟
柱	一般部 ^(注)	○	○	—
	隅部	—	—	—
	地下部	—	—	—
はり	一般部 ^(注)	○	—	○
	地下部	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—
壁	一般部	○	○	○
	斜め部	—	—	—
	地下部	○	○	○
	鉄骨ブレース	—	—	—
	水密扉	—	—	—
床・屋根	一般部 (地下部を含む)	○	○	○
基礎	矩形		○	

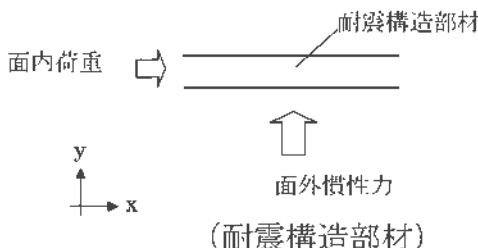
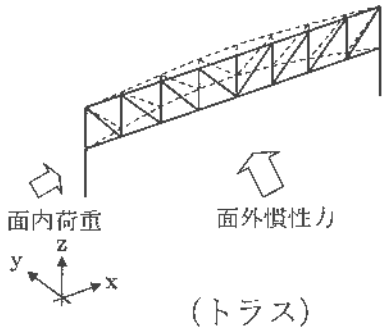
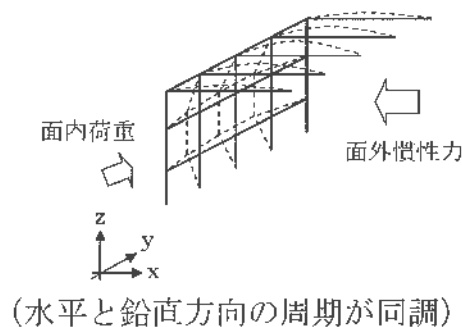
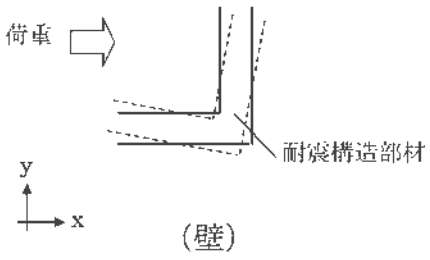
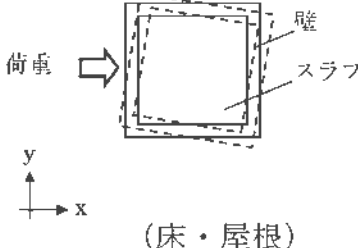
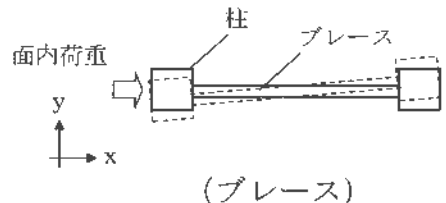
凡例 ○：対象の部材有り、—：対象の部材なし

(注) 地下部の耐震評価部位のうち、外周部ではなく土圧の影響を受けない部位は、一般部として扱う。

第 3-2 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性
(荷重の組合せによる応答特性)

荷重の組合せによる 応答特性	影響想定部位
<p>①-1</p> <p>直交する水平 2 方向の荷重 が、応力とし て集中</p>	<p>応力の集中する隅柱等 (例)</p>  <p>(隅柱)</p> <p>(円筒壁)</p> <p>(矩形の基礎版)</p>
<p>①-2</p> <p>面内方向の荷 重を負担しつ つ、面外方向 の荷重が作用</p>	<p>土圧を負担する地下耐震壁等 水圧を負担するピット等 (例)</p>  <p>耐震壁</p> <p>面内荷重</p> <p>面外荷重 (土圧、水圧等)</p>

第3-3表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性
(3次元的な応答特性)

3次元的な応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパン又は吹抜部に設置された部位 (例)</p>   
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方向に励起される振動が発生</p>	<p>塔状構造物等を含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p>   

第3-4表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(荷重の組合せによる応答特性によるスクリーニング)

耐震評価部位		緊対棟	加圧設備棟	燃料設備棟
柱	一般部	該当なし	該当なし	—
	隅部	—	—	—
	地下部	—	—	—
はり	一般部	該当なし	—	該当なし
	地下部	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—
壁	一般部	該当なし	該当なし	該当なし
	斜め部	—	—	—
	地下部	①-2 要	①-2 要	①-2 要
	鉄骨ブレース	—	—	—
	水密扉	—	—	—
床・屋根	一般部 (地下部含む)	該当なし	該当なし	該当なし
基礎	矩形	①-1 要		

凡例 要：評価必要、①-1：応答特性「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」、①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

第3-5表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出

(3次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震評価部位		緊対棟	加圧設備棟	燃料設備棟
柱	一般部	否	否	—
	隅部	—	—	—
	地下部	—	—	—
はり	一般部	否	—	否
	地下部	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—
壁	一般部	否	否	否
	斜め部	—	—	—
	地下部	要	要	要
	鉄骨ブレース	—	—	—
	水密扉	—	—	—
床・屋根	一般部 (地下部含む)	否	否	否
基礎	矩形	要		

凡例 要：荷重の組合せによる応答特性によるスクリーニングで抽出済み、否：評価不要、②-1：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」、②-2：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動が発生」

第3-6表 3次元 FEM モデルを用いた精査

対 象		3次元的な 応答特性 (②-1、 ②-2)	3次元 FEM モデルを 用いた精査方法	3次元 FEM モデルを 用いた精査結果
耐震 評価部位	建物・構築物 ⁽¹⁾			
耐震評価 部位全般	<ul style="list-style-type: none"> ・ 緊対棟 ・ 加圧設備棟 ・ 燃料設備棟 ・ <u>原子炉格納容器及び</u> <u>原子炉周辺建屋</u> 	局所的な 応答	水平 2 方向及び鉛直方向入力時の最大応答加速度から、水平 1 方向入力時に対する増分を考慮して、局部応答を踏まえた耐震壁のひずみを評価し、影響を検討	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋が有する耐震性への影響は想定されないため抽出しない。

(注) 下線は評価する建物・構築物を示す。なお、局所応答に対する 3次元 FEM モデルを用いた精査については、平成 29 年 8 月 25 日付け原規規発第 1708253 号にて認可された工事計画の添付資料 3-19「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」の知見を用いて評価を行っている。したがって、原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋は、今回工認における評価対象建屋ではないが、建物・構築物に含まれている。

3.1.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出結果

(1) 建物・構築物における影響評価部位の抽出結果

建物・構築物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定されるとして抽出した部位を第 3-7 表に示す。

応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位として、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位として、建屋規模が大きく、重要な施設を内包する緊対棟の地下外壁について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

(2) 機器・配管系への影響の可能性のある部位の抽出結果

建物・構築物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響から、機器・配管系への影響の可能性のある部位を抽出した。

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより応力が集中する部位であり、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

緊対棟の地下外壁は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、面内力と面外力が同時に作用する部位であり、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

第 3-7 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位

応答特性	耐震評価部位		対象建物・構築物 ^(注)	評価部位
①-1	基礎	矩形	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎</u> 	緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎版を評価する。
①-2	壁	地下部	<ul style="list-style-type: none"> ・ 緊対棟 ・ 加圧設備棟 ・ 燃料設備棟 	建屋規模が大きく、重要な施設を内包する緊対棟の壁を評価する。

凡例 ①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」、①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

(注) 下線は評価する建物・構築物を示す。

3.1.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価方針

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位として抽出された部位について、基準地震動 S_s を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を評価した。影響評価は、資料12-16「耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震計算書」の各部位の解析モデル及び地震力を用いた。影響評価に用いる地震動を第3-8表に示す。また、影響評価に用いる地震力は、基準地震動 S_s の各方向地震成分により、個別に計算した最大応答値を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 Regulatory Guide 1.92^(注)の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法(1.0 : 0.4 : 0.4)に基づいて評価する。

(注) Regulatory Guide (RG) 1.92 “ Combining modal responses and spatial components in seismic response analysis ”

第3-8表 影響評価に用いる地震動

影響評価部位		対象建物・構築物	影響評価に用いる地震動	備考
壁	地下部	緊対棟	基準地震動 S_s-1 S_s-2 S_s-3 S_s-4 S_s-5	資料12-16-2「緊急時対策棟の耐震計算書」の評価結果を用いるため、 S_s-1 ~ S_s-5 を包絡した地震力とする。
基礎	矩形	緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎	基準地震動 S_s-1 S_s-2 S_s-3 S_s-4 S_s-5	資料12-16-3「緊急時対策棟、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の基礎の耐震計算書」の評価結果を用いるため、 S_s-1 ~ S_s-5 を包絡した地震力とする。

3.1.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果

(1) 緊対棟の評価結果

「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位である緊対棟の地下外壁について、基準地震動 S_s による地震力を水平 2 方向及び鉛直方向に作用させ、3 次元 FEM モデルによる弾性応力解析を行った。3 次元 FEM 解析による断面の評価は、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（(社) 日本建築学会、2005 制定）」（以下「RC-N 規準」という。）に基づいて行った。

緊対棟の壁の評価は、基準地震動 S_s による地震力が作用する状態（以下「 S_s 地震時」という。）を対象として、土圧を受ける壁のうち、資料 12-16-2「緊急時対策棟の耐震計算書」における断面の評価結果（検定値）が最も厳しい EE 通り及び E1 通りの壁について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を評価した。

地震荷重は、基準地震動 $S_s-1 \sim S_s-5$ により算出される動的地震力を包絡して設定し、資料 12-16-2「緊急時対策棟の耐震計算書」に示す地震荷重とする。その他、固定荷重、積載荷重及び土圧荷重を考慮する。

荷重の組合せは、資料 12-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。地震荷重及び風荷重の組合せについて、緊対棟がコンクリート構造物であり、自重の大きな施設であることから、風荷重の影響は小さいため、地震荷重及び風荷重の組合せは考慮しない。また、積雪荷重は、地震荷重及び積載荷重の組合せで考慮される。

緊対棟の概略配置図を第 3-1 図、概略平面図及び概略断面図を第 3-2 図及び第 3-3 図に示す。

緊対棟の 3 次元 FEM モデルは、緊対棟、加圧設備棟、燃料設備棟及び基礎版全体の解析モデルを作成し、柱及びはりをはり要素、壁、床及び屋根並びに基礎版の一部をシェル要素、基礎版をソリッド要素でモデル化する。また、資料 12-16-1「緊急時対策棟、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の地震応答解析」に示す質点系モデルの地盤ばねを離散化して、水平方向及び鉛直方向のばねを基礎底面に設ける。

解析モデルを第 3-4 図、コンクリート及び鉄筋の材料定数を第 3-9 表及び第 3-10 表に示す。

評価の結果、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる軸力及び曲げモーメント並びに面内せん断力に対し、必要鉄筋量が設計配筋量を超え

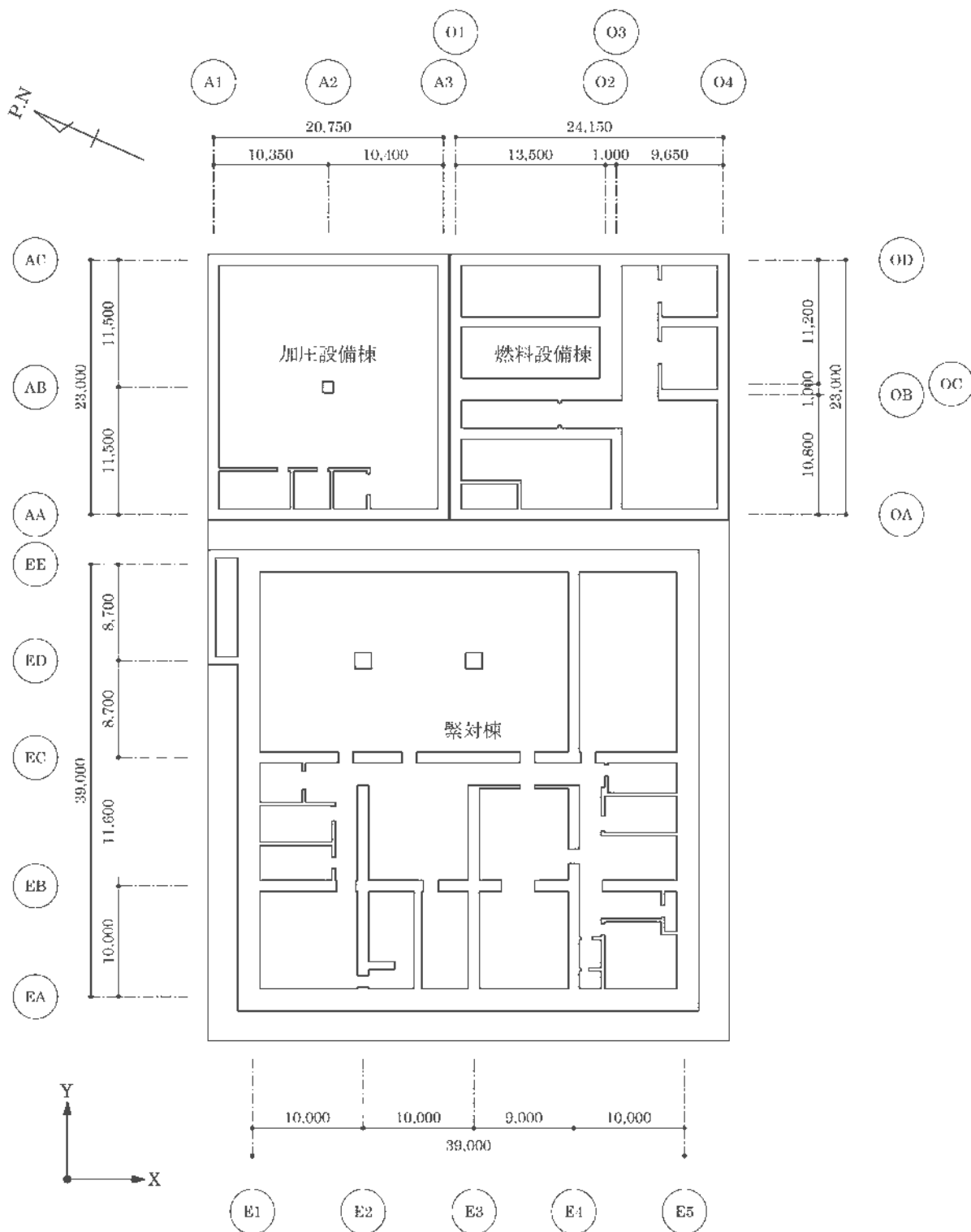
ないことを確認した。また、面外せん断応力度が短期許容せん断応力度を超えないことを確認した。

ここで、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する断面の評価結果と水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する断面の評価結果とを比較すると、水平2方向の地震力の影響により、鉄筋及び面外せん断応力度の検定値は、増加傾向であることを確認した。

断面の評価対象要素番号を第3-5図、断面の評価結果を第3-11表及び第3-12表に示す。

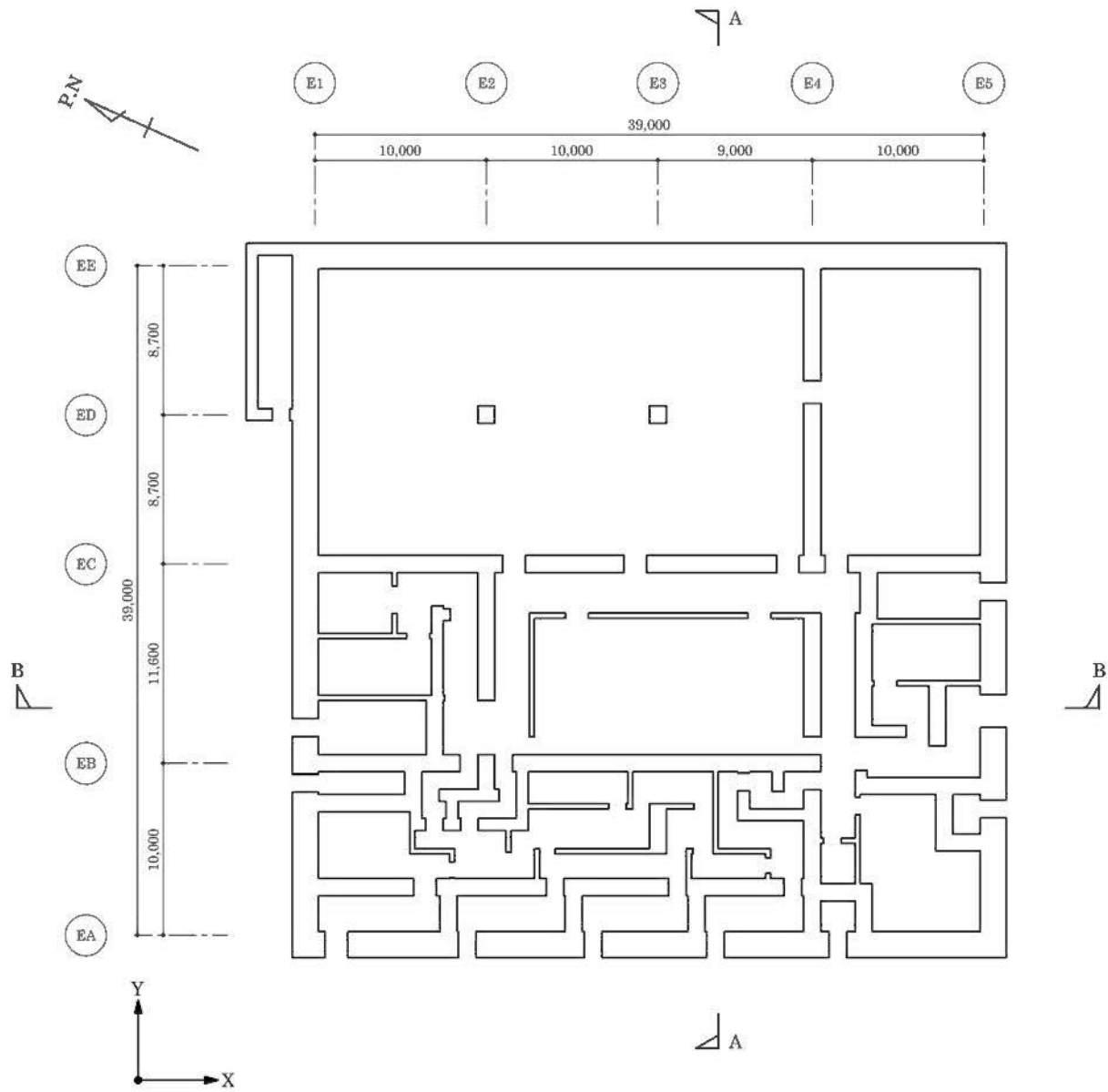
以上のことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、緊対棟が有する耐震性への影響はないことを確認した。

(mm)



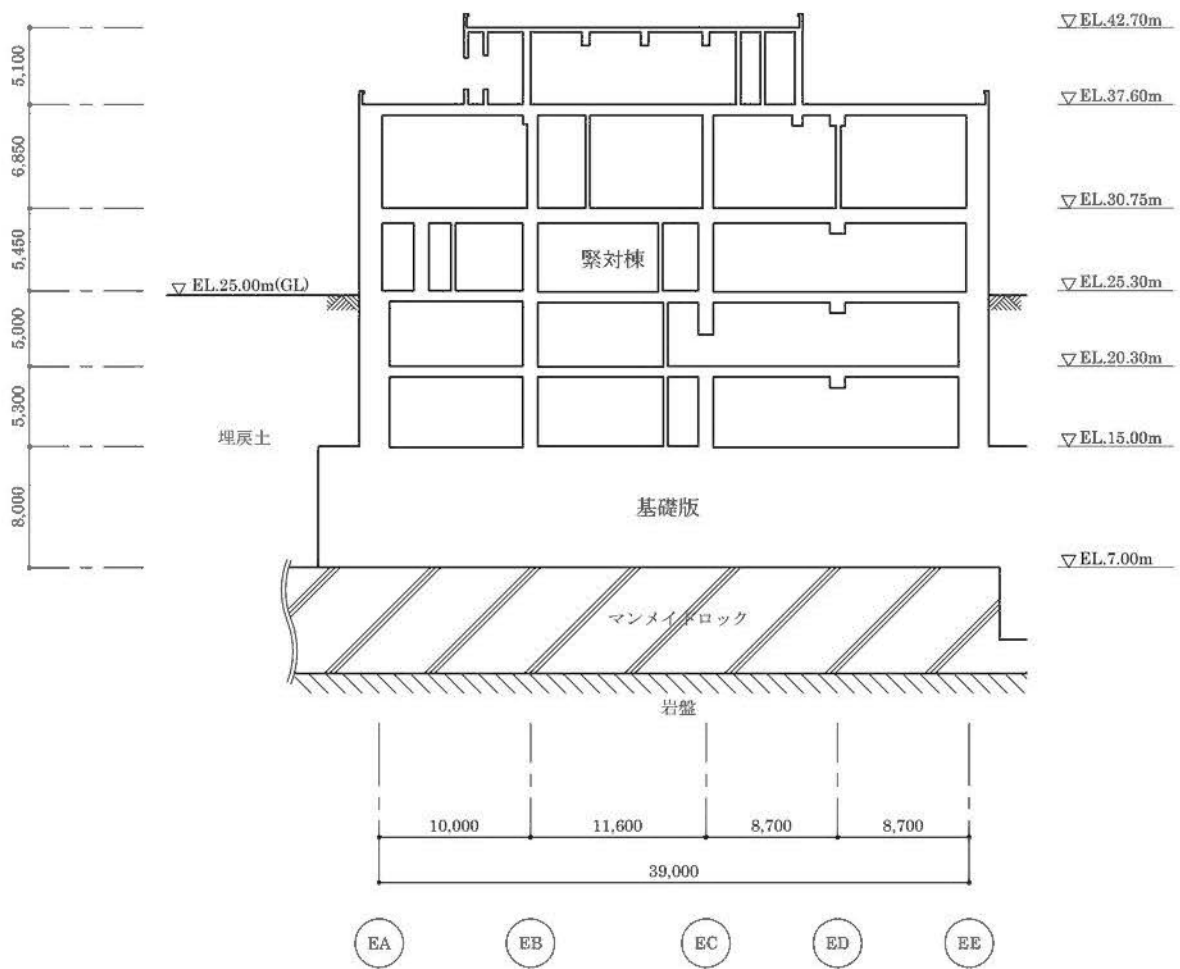
第 3-1 図 緊対棟の概略配置図 (地下 2 階)

(mm)



第3-2図 緊対棟の概略平面図(EL.25.30m)

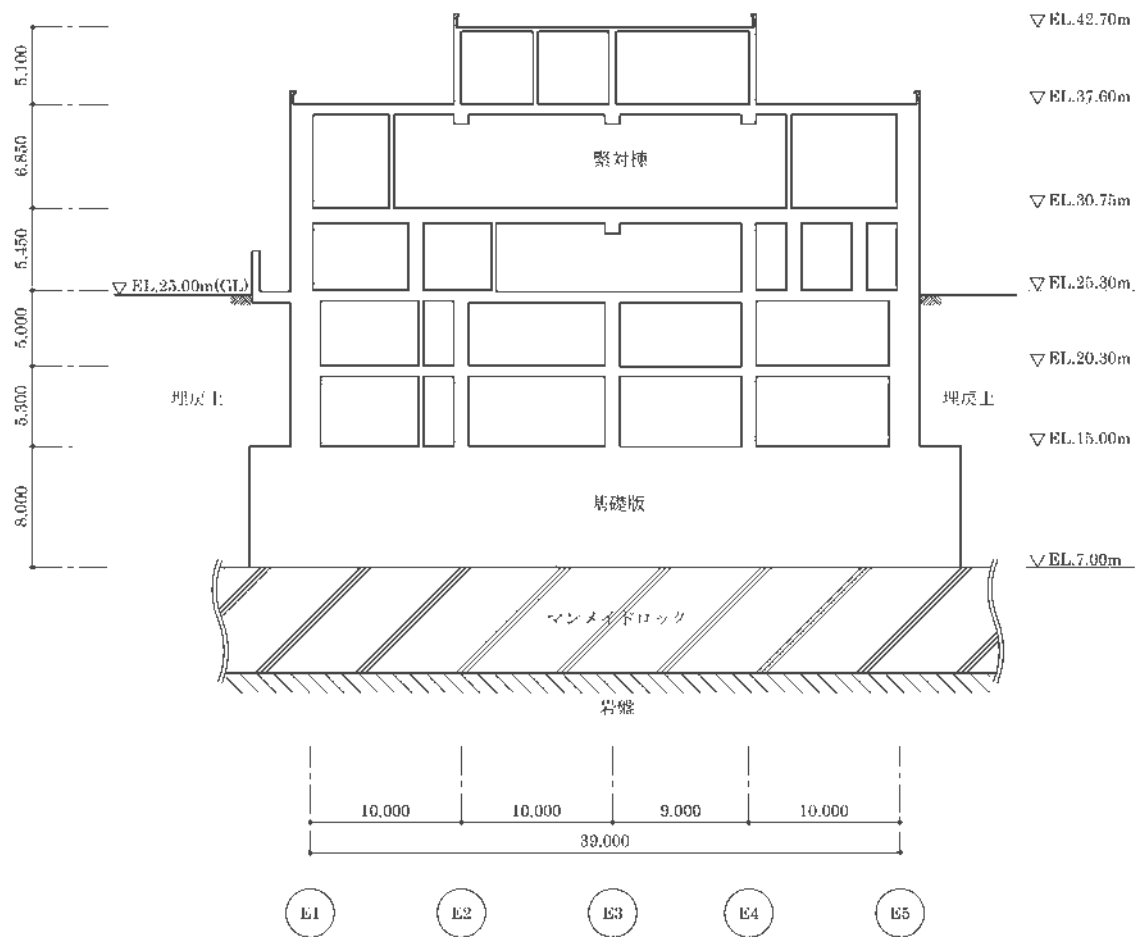
(mm)



(a) A-A 断面

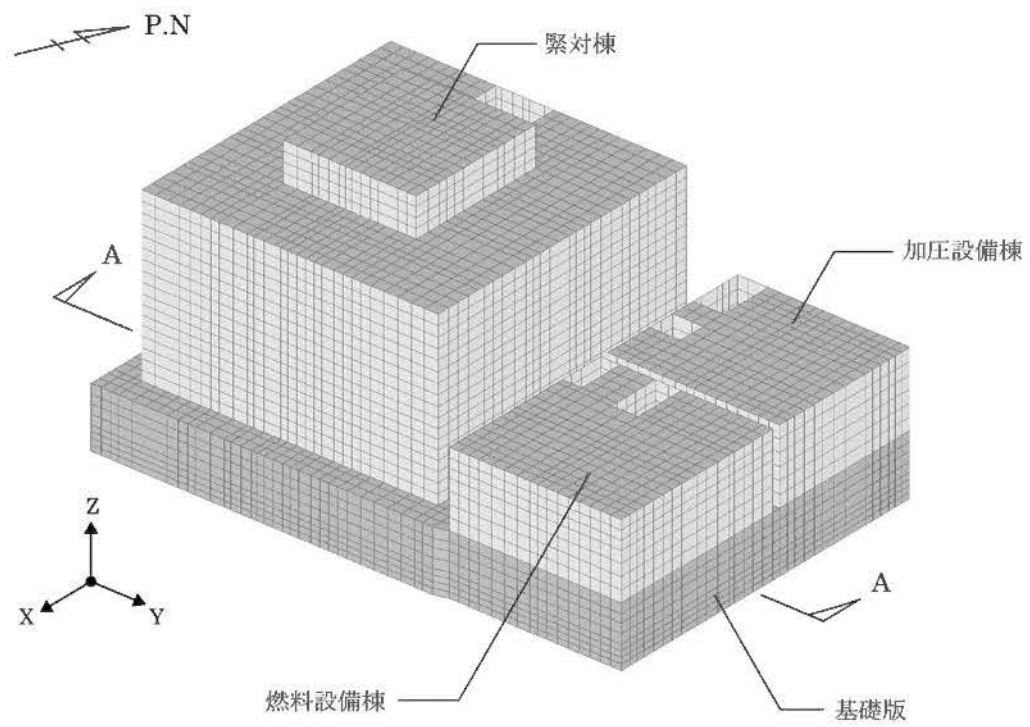
第 3-3 図 緊対棟の概略断面図(1/2)

(mm)

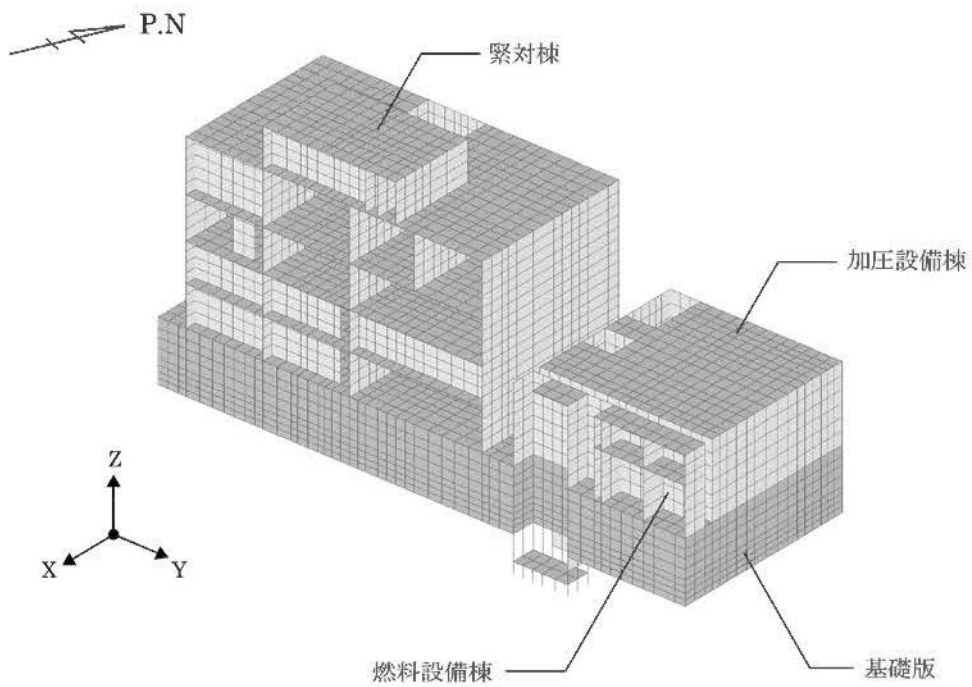


(b) B-B断面

第3-3図 緊対棟の概略断面図(2/2)



(a) 全体



(b) A-A 断面

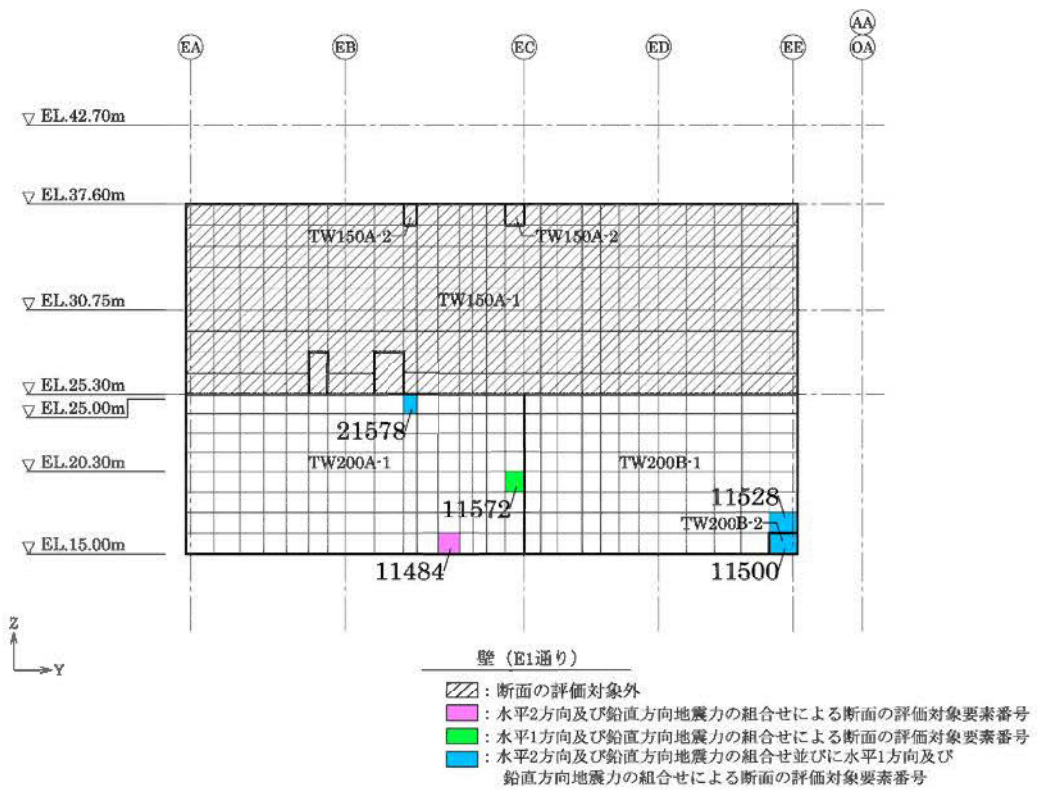
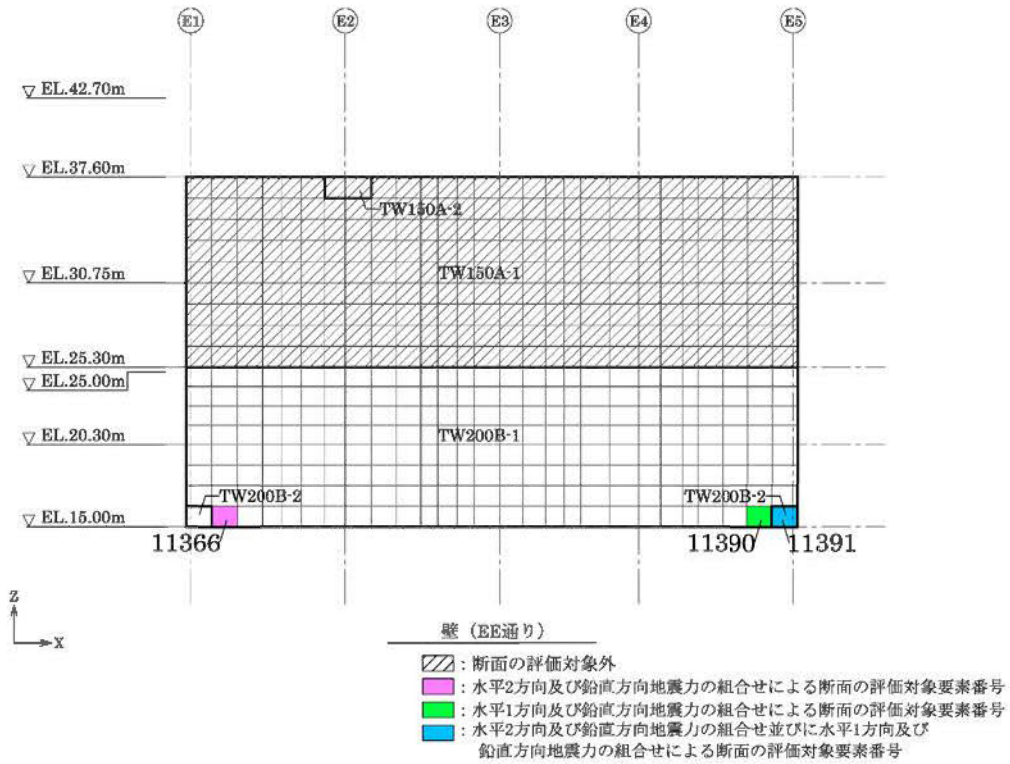
第 3-4 図 解析モデル (鳥瞰図)

第 3-9 表 コンクリートの材料定数

部位		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
緊対棟	EL.15.00m より上部	30.0	2.44×10 ⁴	0.2
加圧設備棟	EL.15.00m より上部	30.0	2.44×10 ⁴	0.2
燃料設備棟	EL.15.00m より上部	30.0	2.44×10 ⁴	0.2
	EL.15.00m 以下 (ピット部分)	24.0	2.27×10 ⁴	0.2
基礎版		24.0	2.27×10 ⁴	0.2

第 3-10 表 鉄筋の材料定数

鉄筋種類	降伏強度 F _y (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)
SD345	345	2.05×10 ⁵



第3-5図 断面の評価対象要素番号

第3-11表 断面の評価結果（軸力及び曲げモーメント並びに面内せん断力）

(a) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ

部位	領域	要素番号	方向	組合せ応力			必要鉄筋量 a_g (mm^2/m)	設計配筋量 a_g' (mm^2/m)	検定値	判定
				N (kN/m)	M ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	Q _{xy} (kN/m)				
壁	TW200A-1	21578	縦筋	2,166	-138	-3,237	8,126	11,400	0.72	可
	TW200B-1	11528	縦筋	5,376	21	3,236	12,530	14,250	0.88	可
	TW200B-2	11500	縦筋	6,788	-355	3,707	16,041	19,950	0.81	可

(b) 水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ

部位	領域	要素番号	方向	組合せ応力			必要鉄筋量 a_g (mm^2/m)	設計配筋量 a_g' (mm^2/m)	検定値	判定
				N (kN/m)	M ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	Q _{xy} (kN/m)				
壁	TW200A-1	21578	縦筋	2,128	-143	-2,507	7,021	11,400	0.62	可
	TW200B-1	11528	縦筋	4,220	12	3,539	11,274	14,250	0.80	可
	TW200B-2	11500	縦筋	5,378	-59	4,002	13,733	19,950	0.69	可

第 3-12 表 断面の評価結果（面外せん断応力度）

(a) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

部位	領域	要素番号	方向	面外せん断 応力度 τ (N/mm ²)	許容せん断 応力度 τ_A (N/mm ²)	検定値	判定
壁	TW200A-1	11484	縦筋	0.848	2.36	0.36	可
	TW200B-1	11366	縦筋	0.911	1.18	0.78	可
	TW200B-2	11391	縦筋	0.805	1.18	0.69	可

(b) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

部位	領域	要素番号	方向	面外せん断 応力度 τ (N/mm ²)	許容せん断 応力度 τ_A (N/mm ²)	検定値	判定
壁	TW200A-1	11572	横筋	0.832	2.36	0.36	可
	TW200B-1	11390	縦筋	0.896	1.18	0.76	可
	TW200B-2	11391	縦筋	0.728	1.18	0.62	可

(2) 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎の評価結果

「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位である緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎について、基準地震動 S_s による地震力を水平2方向及び鉛直方向に作用させ、3次元 FEM モデルによる弾性応力解析を行った。3次元 FEM 解析による断面の評価は、RC-N 規準に基づいて行った。

地震荷重は、基準地震動 $S_s-1\sim S_s-5$ により算出される動的地震力を包絡して設定し、資料 12-16-3「緊急時対策棟、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の基礎の耐震計算書」に示す地震荷重とする。その他、固定荷重、積載荷重及び土圧荷重を考慮する。

荷重の組合せは、資料 12-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。地震荷重及び風荷重の組合せについて、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟がコンクリート構造物であり、自重の大きな施設であることから、風荷重の影響は小さいため、地震荷重及び風荷重の組合せは考慮しない。また、積当荷重は、地震荷重及び積載荷重の組合せで考慮される。

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の概略配置図、概略平面図及び概略断面図は「(1) 緊対棟の評価結果」の第 3-1 図～第 3-3 図に示す。

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎の 3次元 FEM モデルは、「(1) 緊対棟の評価結果」の第 3-4 図に示すモデルを用いる。また、コンクリート及び鉄筋の材料定数は、「(1) 緊対棟の評価結果」の第 3-9 表及び第 3-10 表に示す材料定数とする。

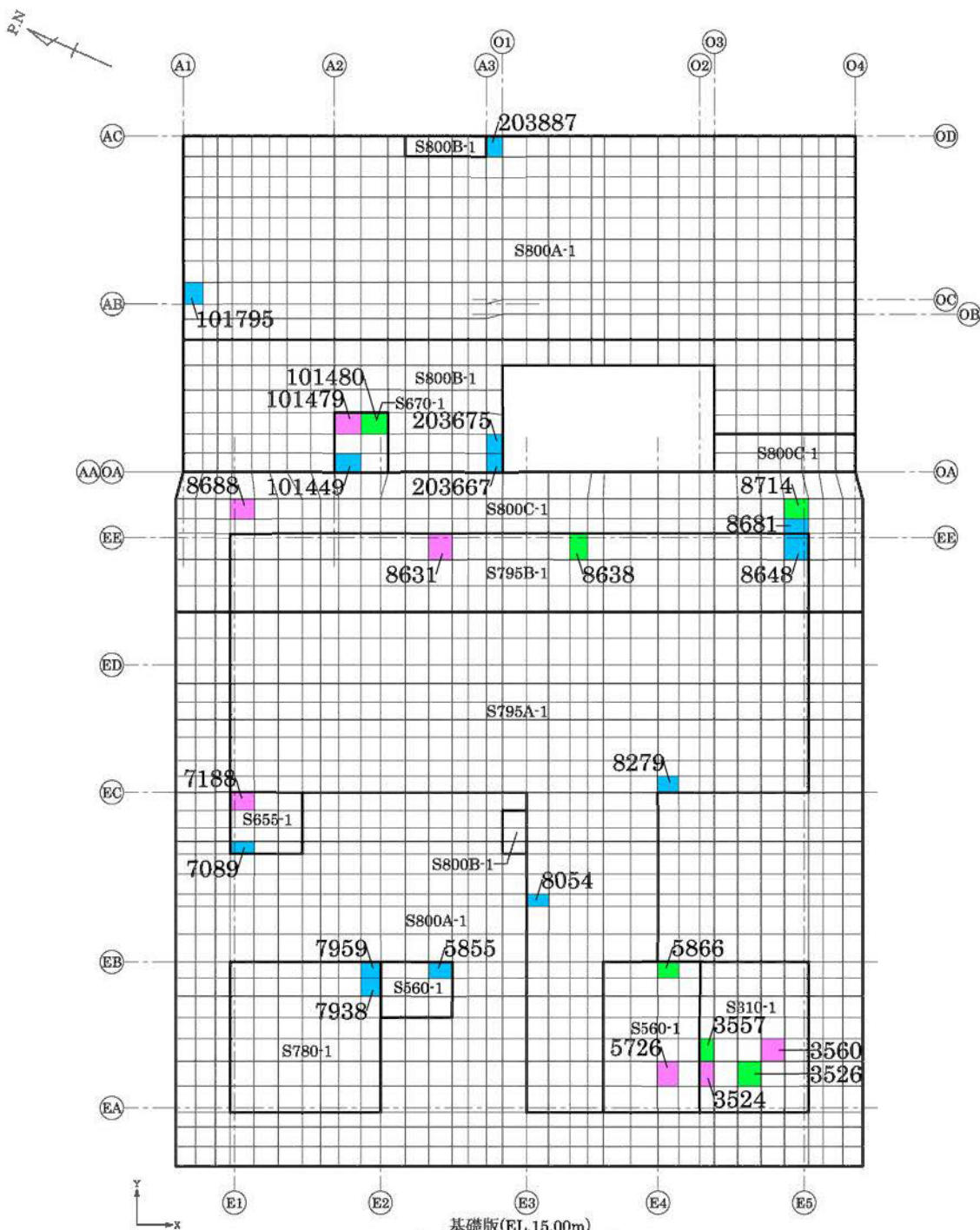
評価の結果、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる軸力及び曲げモーメント並びに面内せん断力に対し、必要鉄筋量が設計配筋量を超えないことを確認した。また、面外せん断応力度が短期許容せん断応力度を超えないことを確認した。

ここで、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する断面の評価結果と水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する断面の評価結果とを比較すると、水平2方向の地震力の影響により、鉄筋及び面外せん断応力度の検定値は、増加傾向であることを確認した。

断面の評価対象要素番号を第 3-6 図、断面の評価結果を第 3-13 表及び第 3-14 表に示す。

以上のことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎が有する耐震性への影響はないこと

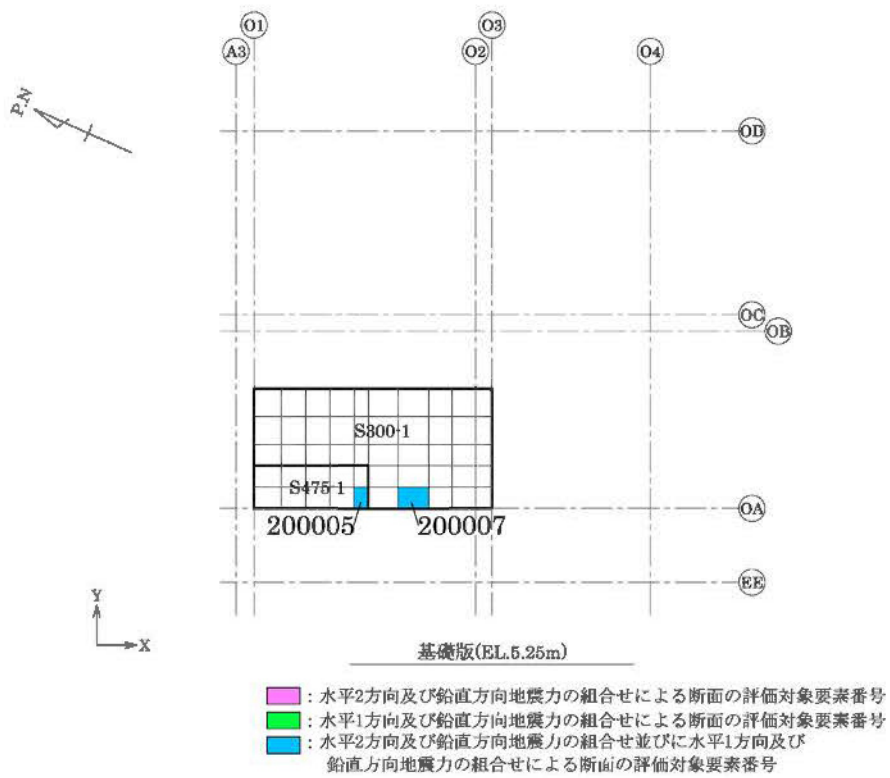
を確認した。



- : 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面の評価対象要素番号
- : 水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面の評価対象要素番号
- : 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ並びに水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面の評価対象要素番号

(a) EL.15.00m

第3-6図 断面の評価要素番号(1/2)



(b) EL.5.25m

第 3-6 図 断面の評価対象要素番号(2/2)

第3-13表 断面の評価結果（軸力及び曲げモーメント並びに面内せん断力）

(a) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ

領域	要素番号	方向	組合せ応力			必要鉄筋量 a_g (mm^2/m)	設計配筋量 a_g' (mm^2/m)	検定値	判定
			N (kN/m)	M ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	Q_{xy} (kN/m)				
S800A-1	101795	Y	3,106	6,067	-98	7,000	11,400	0.62	可
S800B-1	203675	Y	3,546	9,085	669	8,967	17,100	0.53	可
S800C-1	8681	Y	5,077	-22,216	-1,797	17,000	34,200	0.50	可
S795A-1	8054	X	215	8,003	895	3,540	11,400	0.32	可
S795B-1	8648	Y	1,161	-10,853	-2,393	6,307	34,200	0.19	可
S780-1	7938	X	786	4,032	563	2,824	11,400	0.25	可
S670-1	101479	Y	1,460	3,393	1,429	3,822	17,100	0.23	可
S655-1	7089	Y	924	2,906	-633	2,809	11,400	0.25	可
S560-1	5855	X	1,355	2,658	177	3,563	11,400	0.32	可
S475-1	200005	Y	1,153	-2,882	-741	3,733	11,400	0.33	可
S310-1	3560	Y	211	-1,806	-679	2,318	11,400	0.21	可
S300-1	200007	Y	767	-1,763	-929	3,189	11,400	0.28	可

(b) 水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ

領域	要素番号	方向	組合せ応力			必要鉄筋量 a_g (mm^2/m)	設計配筋量 a_g' (mm^2/m)	検定値	判定
			N (kN/m)	M ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	Q_{xy} (kN/m)				
S800A-1	101795	Y	3,215	4,533	105	6,525	11,400	0.58	可
S800B-1	203675	Y	2,361	4,885	-524	5,480	17,100	0.33	可
S800C-1	8681	Y	5,051	-19,085	-1,810	15,637	34,200	0.46	可
S795A-1	8054	X	1,002	6,688	-273	4,177	11,400	0.37	可
S795B-1	8648	Y	1,448	-8,289	-1,589	5,667	34,200	0.17	可
S780-1	7938	X	1,007	3,761	-286	3,059	11,400	0.27	可
S670-1	101480	Y	703	1,850	-978	1,980	17,100	0.12	可
S655-1	7089	Y	1,200	1,530	193	2,509	11,400	0.23	可
S560-1	5855	X	1,581	2,215	-310	3,624	11,400	0.32	可
S475-1	200005	Y	605	-2,247	-238	2,465	11,400	0.22	可
S310-1	3526	X	199	-1,661	-385	2,138	11,400	0.19	可
S300-1	200007	Y	492	-1,398	-390	2,348	11,400	0.21	可

第3-14表 断面の評価結果（面外せん断応力度）

(a) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ

領域	要素番号	方向	面外せん断 応力度 τ (N/mm ²)	許容せん断 応力度 τ_A (N/mm ²)	検定値	判定
S800A-1	203887	X	1.50	2.18	0.69	可
S800B-1	203667	Y	0.876	2.18	0.41	可
S800C-1	8688	Y	1.68	2.18	0.78	可
S795A-1	8279	X	1.08	2.18	0.50	可
S795B-1	8631	X	0.700	2.18	0.33	可
S780-1	7959	X	0.916	2.18	0.43	可
S670-1	101449	Y	0.573	2.18	0.27	可
S655-1	7188	Y	0.592	2.18	0.28	可
S560-1	5726	X	0.877	2.18	0.41	可
S475-1	200005	Y	0.795	2.18	0.37	可
S310-1	3524	X	1.22	2.18	0.56	可
S300-1	200007	Y	1.17	2.18	0.54	可

(b) 水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ

領域	要素番号	方向	面外せん断 応力度 τ (N/mm ²)	許容せん断 応力度 τ_A (N/mm ²)	検定値	判定
S800A-1	203887	X	1.41	2.18	0.65	可
S800B-1	203667	Y	0.787	2.18	0.37	可
S800C-1	8714	Y	1.30	2.18	0.60	可
S795A-1	8279	X	1.03	2.18	0.48	可
S795B-1	8638	X	0.594	2.18	0.28	可
S780-1	7959	X	0.905	2.18	0.42	可
S670-1	101449	Y	0.435	2.18	0.20	可
S655-1	7089	Y	0.436	2.18	0.20	可
S560-1	5866	X	0.873	2.18	0.41	可
S475-1	200005	Y	0.746	2.18	0.35	可
S310-1	3557	X	1.07	2.18	0.50	可
S300-1	200007	Y	1.01	2.18	0.47	可

3.1.5 まとめ

建物・構築物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性がある部位を抽出し、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を確認した結果、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応力等は、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応力等に対し、増加する傾向があった。応力等が増加する場合でも、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応力等が許容値を超えないことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、建物・構築物が有する耐震性への影響がないことを確認した。

また、機器・配管系への影響の可能性のある部位については、抽出されなかった。

3.2 機器・配管系

3.2.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

評価対象設備を機種毎に分類した結果を第3-15表に示す。

以下に、今回の申請範囲の新設設備に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果を示す。

第3-15表 水平2方向入力の影響検討対象設備

設備	部位
横置き容器	胴板
	支持脚
	基礎ボルト
横型ポンプ、空調ファン、空調ユニット、横形機器用電動機	基礎ボルト、取付ボルト
電気盤	基礎ボルト、据付ボルト、取付ボルト、溶接部
	フレーム
配管本体（定ピッチスパン法）	直管配管（水平）
	直管配管（鉛直）
	曲り部、分岐部
通信連絡設備（アンテナ類）	基礎ボルト、取付ボルト

(1)水平2方向の地震力が重複する観点

水平1方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重複した場合、水平2方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものを抽出する。以下の場合、水平2方向の地震力による影響が軽微な設備であると整理した。

- a. 水平2方向の地震力を受けた場合でも、その構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの

横置き容器の胴板及び支持脚については、平成27年3月18日付け原規規発第1503181号にて認可された工事計画の添付資料3-19「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」と同様に、水平2方向の地震力を想定した場合、水平各方向で振動性状及び荷重の負担断面が異なる構造であることにより、特定の方向の地震力の影響を受ける部位であるため、水平1方向の地震力しか負担しないものとして分類した。

- b. 水平 2 方向の地震力を受けた場合、その構造により最大応力の発生箇所が異なるもの

今回の申請設備の各部位については、水平 2 方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた場合、構造より最大応力の発生箇所が同じ箇所もあるため、影響を受ける。

- c. 水平 2 方向の地震を組み合わせても水平 1 方向の地震による応力と同等といえるもの

配管本体については、平成 27 年 3 月 18 日付け原規規発第 1503181 号にて認可された工事計画の添付資料 3-19「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」と同様に、水平 2 方向の地震を組み合わせた場合、水平 1 方向の地震による応力と同等のものとして分類した。

- d. 従来評価にて保守性を考慮しており、水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響を考慮しても影響が軽微であるもの

今回の申請設備の各部位については、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力による保守性を考慮していないため、影響を受ける。

(2)水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

今回申請設備の各部位については、水平方向の各軸方向に対して均等な構造となっており、評価上有意なねじり振動は発生しない。

(3)水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

上記(1)(2)にて影響の可能性がある設備について、水平 2 方向の地震力が各方向 1 : 1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の設計手法による発生値と比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

上記(1)(2)にて抽出された以外の設備は、応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きが明確であるため、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分による耐震性への影響の懸念される部位はない。

以上のとおり、申請設備について、水平2方向及び鉛直方向地震力により耐震性への影響が懸念される評価部位は抽出されなかった。

3.2.2 建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出

3.1 項における建物・構築物及び屋外重要土木構造物の影響評価において、機器・配管系への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念されるものは抽出されなかった。

3.2.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

3.2.1 項で抽出した結果を第3-16表に示す。

第3-16表 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

(凡例) ○：影響の可能性あり
△：影響軽微
－：該当なし

設備（機種）及び部位	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性		
	3.2.1 項(1)及び(2)の観点	3.2.1 項(3)の観点	検討結果
横置き容器	○（基礎ボルトせん断）	△	明確な応答軸を有している
横型ポンプ、空調ファン、空調ユニット、横形機器用電動機	○（基礎ボルト、取付ボルトせん断）	△	明確な応答軸を有している
電気盤	○（基礎ボルト、据付ボルト、取付ボルトせん断、溶接部、フレーム）	△	明確な応答軸を有している
通信連絡設備（アンテナ類）	○（基礎ボルト、取付ボルトせん断）	△	明確な応答軸を有している

3.2.4 まとめ

水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性がある設備（部位）について、従来設計手法における保守性も考慮した上で抽出し、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を確認した結果、設備が有する耐震性に影響のないことを確認した。

4. まとめ

各施設について、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した場合、従来の設計手法における水平1方向及び鉛直方向地震力の評価結果と同等、若しくは一部について上回る箇所はあるが、施設が有する耐震性への影響はないことを確認した。

火災防護設備の耐震性に関する説明書

目 次

- 別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の方針
- 別添 1-2 火災感知器の耐震計算書
- 別添 1-3 火災報知盤の耐震計算書
- 別添 1-4 ハロンボンベ設備の耐震計算書
- 別添 1-5 ハロンガス供給選択弁の耐震計算書
- 別添 1-6 全域ハロン自動消火設備制御盤の耐震計算書
- 別添 1-7 ハロンガス供給配管の耐震計算書
- 別添 1-8 火災防護設備の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する
影響評価結果

火災防護設備の耐震計算の方針

目 次

		頁
1. 概 要	12 (3) ・ 別添 1-1-1	
2. 耐震評価の基本方針	12 (3) ・ 別添 1-1-2	
2.1 評価対象設備	12 (3) ・ 別添 1-1-2	
3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	12 (3) ・ 別添 1-1-10	
3.1 荷重及び荷重の組合せ	12 (3) ・ 別添 1-1-10	
3.2 許容限界	12 (3) ・ 別添 1-1-11	
4. 耐震評価方法	12 (3) ・ 別添 1-1-20	
4.1 地震応答解析	12 (3) ・ 別添 1-1-20	
4.2 応力評価	12 (3) ・ 別添 1-1-24	
4.3 機能維持評価	12 (3) ・ 別添 1-1-68	
4.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の考慮	12 (3) ・ 別添 1-1-70	
5. 適用規格	12 (3) ・ 別添 1-1-70	

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（以下「技術基準規則」という。）」第52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」が適合することを要求している「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準（平成25年6月19日制定）（以下「火災防護に係る審査基準」という。）」に適合する設計とするため、添付資料5「発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書」（以下「添付資料5」という。）に示す火災感知設備及び消火設備が、緊急時対策所（緊急時対策棟内）に係る重大事故対処施設の区分に応じた地震力に対して耐震性を有することを確認するための耐震計算方針について説明するものである。火災感知設備及び消火設備への緊急時対策所（緊急時対策棟内）に係る重大事故対処施設の区分に応じた地震力に対する耐震性の要求は、技術基準規則の第50条の対象ではない。

耐震計算は、添付資料5に示す適用規格を用いて実施する。

火災防護設備の具体的な耐震計算の方法及び結果は、別添1-2「火災感知器の耐震計算書」、別添1-3「火災報知盤の耐震計算書」、別添1-4「ハロンボンベ設備の耐震計算書」、別添1-5「ハロンガス供給選択弁の耐震計算書」、別添1-6「全域ハロン自動消火設備制御盤の耐震計算書」及び別添1-7「ハロンガス供給配管の耐震計算書」に示すとともに、動的地震力の水平2方向及び鉛直方向の組合せに対する各設備の影響評価結果を、別添1-8「火災防護設備の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」に示す。

2. 耐震評価の基本方針

耐震評価は、「2.1 評価対象設備」に示す評価対象設備を対象として、「3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」で示す地震力と組み合わせべき他の荷重による応力等が許容限界内にあることを、「4. 耐震評価方法」に示す評価方法を使用し、「5. 適用規格」に示す適用規格を用いて確認する。

火災感知設備及び消火設備は、緊急時対策所（緊急時対策棟内）に係る重大事故対処施設の区分に応じた地震力に対して、その機能を保持できる設計とすることを踏まえ、水平2方向及び鉛直方向地震力を適切に組み合わせる実施する。影響評価方法は、「4.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の考慮」に示す。

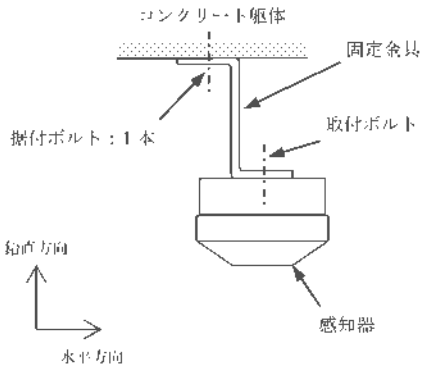
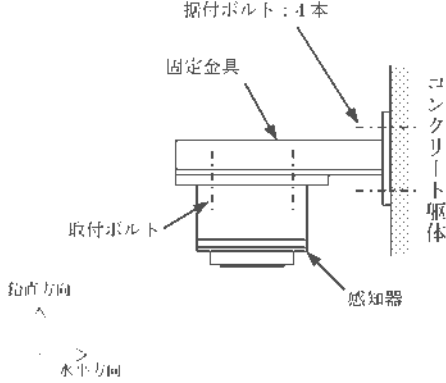
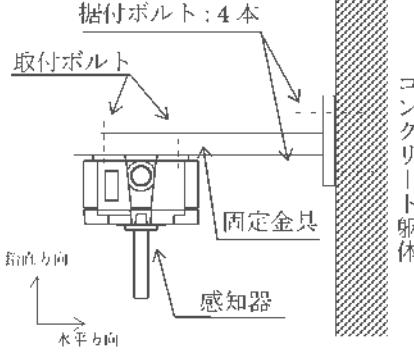
耐震Cクラス設計とする消火設備の耐震性に関する計算の基本方針は、資料12-1「耐震設計の基本方針」による。

2.1 評価対象設備

評価対象設備は、添付資料5の「5.1 火災感知設備について」に示す火災感知設備のうち火災感知器及び火災報知盤、並びに添付資料5の「5.2 消火設備について」に示す消火設備のうち全域ハロン自動消火設備（以下「全域ハロン自動消火設備」という。）を構成するハロンボンベ設備、ハロンガス供給選択弁、全域ハロン自動消火設備制御盤及びハロンガス供給配管を対象とする。

添付資料5の「5.1 火災感知設備について」に示す火災感知設備の構造計画を第2-1、2表に、添付資料5の「5.2 消火設備について」に示す消火設備の構造計画を第2-3表から第2-6表に示す。

第2-1表 火災感知設備のうち火災感知器の構造計画

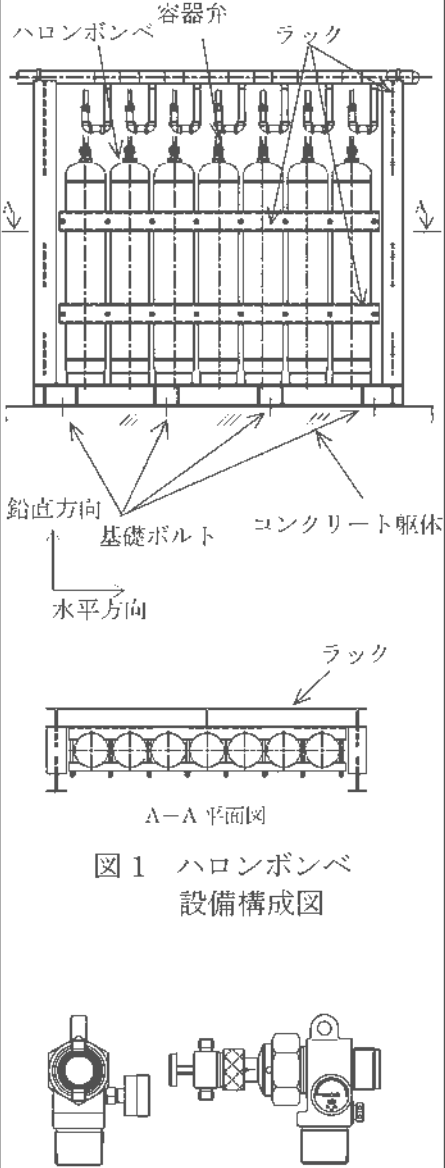
設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>火災感知器は、火災区域又は火災区画における放射線、取付面高さ、温度、湿度、空気流等の環境条件及び炎が生じる前に発煙する等の予想される火災の性質を考慮して選定された種類の火災感知器を、緊急時対策棟及び緊急時対策棟屋外地下エリアに設置する設計とする。</p>			
<p>煙感知器 (アナログ)</p> <p>熱感知器 (アナログ)</p>	<p>煙感知器</p> <p>熱感知器</p>	<p>各火災感知器は、取付ボルトにて固定金具に取り付け、固定金具を据付ボルトにより、建屋天井のコンクリート躯体に据え付ける。</p>	
<p>煙感知器 (防爆)</p>	<p>煙感知器</p>	<p>煙感知器 (防爆) は、取付ボルトにて固定金具に取り付け、固定金具を据付ボルトにより、建屋壁のコンクリート躯体に据え付ける。</p>	
<p>熱感知器 (防爆)</p>	<p>熱感知器</p>	<p>熱感知器 (防爆) は、取付ボルトにて固定金具に取り付け、固定金具を据付ボルトにより、建屋壁のコンクリート躯体に据え付ける。</p>	

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
炎感知器	炎感知器	炎感知器は、取付ボルトにて固定金具に取り付け、固定金具を据付ボルトにより、建屋壁のコンクリート躯体に据え付ける。	

第 2-2 表 火災感知設備のうち火災報知盤の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】 火災報知盤は、火災感知器からの作動信号を常時監視できるように、緊急時対策所（緊急時対策棟内）に設置する設計とする。</p>			
火災報知盤	火災報知盤 (壁掛け型)	火災報知盤の背面は、取付ボルトにて火災報知盤を固定金具に、固定金具を据付ボルトにより建屋壁のコンクリート躯体に据え付ける。	<p>火災報知盤</p> <p>据付ボルト：6本</p> <p>取付ボルト：9本</p> <p>固定金具</p> <p>鉛直方向</p> <p>水平方向</p>

第 2-3 表 消火設備のうちハロンボンベ設備の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>ハロンボンベ設備は、火災が発生している火災区域又は火災区画からの火災の火炎及び熱による直接的な影響のみならず、煙、流出流体、断線、爆発等の二次的影響は受けず、緊急時対策所（緊急時対策棟内）に係る重大事故等対処施設に悪影響を及ぼさないよう、消火対象となる火災区域又は火災区画とは別のエリアに設置する設計とする。</p>			
ハロンボンベ設備	ハロンボンベ容器弁 (遠隔操作型)	容器弁はハロンボンベにねじ込み固定する。ハロンボンベはラックに固定し、基礎ボルトによりラックを建屋床のコンクリート躯体に据え付ける。	 <p>図 1 ハロンボンベ設備構成図</p> <p>図 2 容器弁 外形図</p>

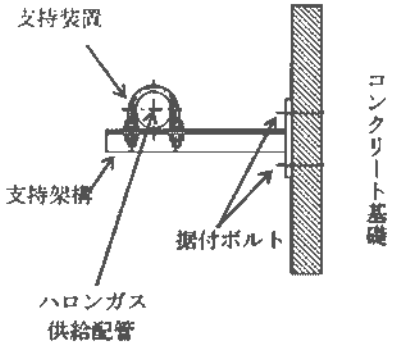
第2-4表 消火設備のうちハロンガス供給選択弁の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>ハロンボンベ設備は、火災が発生している火災区域又は火災区画からの火災の火炎及び熱による直接的な影響のみならず、煙、流出流体、断線、爆発等の二次的影響は受けず、緊急時対策所（緊急時対策棟内）に係る重大事故等対処施設に悪影響を及ぼさないよう、消火対象となる火災区域又は火災区画とは別のエリアに設置する設計とする。</p>			
ハロンガス供給 選択弁	ハロンガス供給選 択弁 (遠隔操作型)	ハロンガス供給 選択弁は、ハロン ガス供給配管に 対し、取付ボルト にてフランジに 固定し、ハロンガ ス供給選択弁至 近のハロンガス 供給配管の両端 を U ボルト及び U バンドにより コンクリート軀 体に据え付ける。	

第2-5表 消火設備のうち全域ハロン自動消火設備制御盤の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>全域ハロン自動消火設備制御盤は、火災が発生している火災区域又は火災区画からの火災の火炎及び熱による直接的な影響のみならず、煙、流出流体、断線、爆発等の二次的影響は受けず、緊急時対策所（緊急時対策棟内）に係る重大事故等対処施設に悪影響を及ぼさないよう、消火対象となる火災区域又は火災区画とは別のエリアに設置する設計とする。</p>			
全域ハロン自動消火設備制御盤	全域ハロン自動消火設備制御盤 (壁掛け型)	全域ハロン自動消火設備制御盤は、取付ボルトにて固定金具に取り付け、固定金具を据付ボルトによりコンクリート躯体に据え付ける。	

第2-6表 消火設備のうちハロンガス供給配管の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>ハロンガス供給配管は、消火対象である複数の火災区域又は火災区画に設置する設計とする。</p>			
ハロンガス供給配管	ハロンガス供給配管	ハロンガス供給配管は、支持装置及び支持架構から構成される支持構造物を据付ボルトによりコンクリート躯体に据え付ける。	 <p>ハロンガス供給配管の支持構造例</p>

3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

火災感知設備及び消火設備の耐震計算に用いる荷重及び荷重の組合せを、以下の「3.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「3.2 許容限界」に示す。

3.1 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の種類

荷重は、添付資料 5 の「5.1 火災感知設備について」及び添付資料 5 の「5.2 消火設備について」に示す以下の荷重を用いる。

a. 死荷重(D)

死荷重は、持続的に生じる荷重であり、添付資料 5 の「5.1 火災感知設備について」及び添付資料 5 の「5.2 消火設備について」に示すとおり、自重とする。

b. 内圧荷重(P_D)

内圧荷重は、添付資料 5 の「5.2 消火設備について」に示すとおり、当該設備に設計上定める最高使用圧力による荷重とする。

c. 地震荷重(S_s)

地震荷重は、添付資料 5 の「5.1 火災感知設備について」及び添付資料 5 の「5.2 消火設備について」に示すとおり、基準地震動 S_s に伴う地震力とする。

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せは、火災起因の荷重は発生しないため、資料 12-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」に示す、機器、配管系の荷重の組合せを用いる。

評価対象部位ごとの荷重及び荷重の組合せを第 3-1 表に示す。

3.2 許容限界

許容限界は、添付資料 5 の「5.1 火災感知設備について」及び添付資料 5 の「5.2 消火設備について」に示す設備ごとの構造強度上の性能目標及び評価方針に従い、評価対象部位ごとに設定する。

評価対象部位ごとの許容限界を第 3-1 表に示す。

各設備の許容限界の詳細は、各計算書にて評価対象部位の機能損傷モードを考慮し、評価項目を選定し、評価項目ごとに許容限界を定める。

3.2.1 火災感知設備

(1) 火災感知器

火災感知器のうち火災感知器本体、固定金具及び取付ボルトについては、基準地震動 S_s による地震力に対し、地震応答解析により求めた火災感知器を設置する場所の基準地震動 S_s による最大床加速度が、設置状態を模擬した加振試験にて火災感知器の機能を保持可能であることを確認した加振台の加速度以下であることを確認する。

加振試験では、火災感知器本体、固定金具及び取付ボルトの外観に変形、損傷がないことを確認している。

a. 据付ボルト

火災感知器は、火災起因の荷重は発生しないため緊急時対策所（緊急時対策棟内）に係る重大事故対処施設の区分に応じた地震力に対し、耐震性を有する緊急時対策棟にボルト等で固定し、主要な構造部材が、緊急時対策所（緊急時対策棟内）に係る重大事故対処施設に対する火災の影響を限定し、火災を早期に感知する機能を保持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし、具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

火災感知器は、基準地震動 S_s による地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に感知する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、火災感知器を固定する火災感知器の据付ボルトの許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、資料 12-9「機能維持の基本方針」に示す、「原子力発電所耐震設計技術指針」JEAG4601-1987（以下「JEAG4601-1987」という。）に準じて許容応力状態 IV_{AS} の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

据付ボルトの具体的な許容限界を第 3-2 表に示す。

(2) 火災報知盤

火災報知盤はのうち火災報知盤本体及び固定金具については、基準地震動 S_s による地震力に対し、地震応答解析により求めた火災報知盤を設置する場所の基準地震動 S_s による最大床加速度が、設置状態を模擬した加振試験にて火災報知盤の機能を保持可能であることを確認した加振台の加速度以下であることを確認する。

加振試験では、火災報知盤本体及び固定金具の外観に変形、損傷がないことを確認している。

a. 据付ボルト及び取付ボルト

火災報知盤は、火災起因の荷重は発生しないため、緊急時対策所（緊急時対策棟内）に係る重大事故対処施設の区分に応じた地震力に対し、耐震性を有する緊急時対策棟にボルト等で固定し、主要な構造部材が、緊急時対策所（緊急時対策棟内）に係る重大事故対処施設に対する火災の影響を限定し、火災を早期に感知する機能を保持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし、具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

火災報知盤は、基準地震動 S_s による地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に消火する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、火災報知盤を固定する火災報知盤の据付ボルト及び取付ボルトの許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、資料 12-9「機能維持の基本方針」に示す、JEAG4601-1987 に準じて許容応力状態 IV_{AS} の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

据付ボルト及び取付ボルトの具体的な許容限界を第 3-2 表に示す。

3.2.2 消火設備

(1) ハロンボンベ設備

a. ラック及び基礎ボルト

ハロンボンベ設備は、火災起因の荷重は発生しないため、基準地震動 S_s による地震力に対し、耐震性を有する緊急時対策棟にボルト等で固定し、主要な構造部材が、緊急時対策所（緊急時対策棟内）に係る重大事故対処施設に対する火災の影響を限定し、火災を早期に消火する機能を保持可能な構造強度を有することを構造強度上の性能目標とし、具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

ハロンボンベ設備は、緊急時対策所（緊急時対策棟内）に係る重大事故対処施設の区分に応じた地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に消火する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、ハロンボンベ設備の構成品であるラック及びハロンボンベ設備の基礎ボルトの許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、資料 12-9「機能維持の基本方針」に示す、JEAG4601-1987 に準じて許容応力状態 IV_{AS} の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

ラック及び基礎ボルトの具体的な許容限界を、第 3-2 表及び第 3-3 表に示す。

(2) 全域ハロン自動消火設備制御盤

全域ハロン自動消火設備制御盤のうち全域ハロン自動消火設備制御盤本体及び固定金具については、基準地震動 S_s による地震力に対し、地震応答解析により求めた全域ハロン自動消火設備制御盤を設置する場所の基準地震動 S_s による最大床加速度が、設置状態を模擬した加振試験にて全域ハロン自動消火設備制御盤の機能を保持可能であることを確認した加振台の加速度以下であることを確認する。

加振試験では、全域ハロン自動消火設備制御盤本体及び固定金具の外観に変形、損傷がないことを確認している。

a. 据付ボルト及び取付ボルト

全域ハロン自動消火設備制御盤は、火災起因の荷重は発生しないため、緊急時対策所（緊急時対策棟内）に係る重大事故対処施設の区分に応じた地震力に対し、耐震性を有する緊急時対策棟にボルト等で固定し、主要な構造部材が、緊急時対策所（緊急時対策棟内）に係る重大事故対処施設に対する火災の影響を限定し、火災を早期に消火する機能を保持可能な構造強度を有することを構造強度上の性能目標とし、具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

全域ハロン自動消火設備制御盤は、基準地震動 S_s による地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に消火する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、全域ハロン自動消火設備制御盤を固定する全域ハロン自動消火設備制御盤の据付ボルト及び取付ボルトの許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、資料 12-9「機能維持の基本方針」に示す、JEAG4601-1987 に準じて許容応力状態 IV_{AS} の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

据付ボルト及び取付ボルトの具体的な許容限界を第 3-2 表に示す。

(3) ハロンガス供給配管

ハロンガス供給配管は、火災起因の荷重は発生しないため、緊急時対策所（緊急時対策棟内）に係る重大事故対処施設の区分に応じた地震力に対し、耐震性を有する緊急時対策棟にボルト等で固定し、主要な構造部材が、緊急時対策所（緊急時対策棟内）に係る重大事故対処施設に対する火災の影響を限定し、火災を早期に消火する機能を保持可能な構造強度を有することを構造強度上の性能目標とし、具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

- a. ハロンガス供給配管は、基準地震動 S_s による地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に消火する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、ハロンガス供給配管の許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、資料 12-9「機能維持の基本方針」に示す、JEAG4601-1987 に準じて許容応力状態 IV_AS の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

ハロンガス供給配管の具体的な許容限界を第 3-4 表に示す。

第3-1表 設備ごとの荷重の組合せ及び許容限界

設備名称	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
火災感知器	D+Ss	据付ボルト	引張、せん断	部材の降伏	JEAG4601-1987 に準じて、 許容応力状態IV _{AS} の許容応 力以下とする。
		取付ボルト	引張、せん断	部材の降伏	
火災報知盤	D+Ss	据付ボルト	引張、せん断	部材の降伏	
		取付ボルト	引張、せん断	部材の降伏	
ハロンボンベ設備	D+Ss	ラック	組合せ	部材の降伏	
		基礎ボルト	引張、せん断	部材の降伏	
全域ハロン自動消火設 備制御盤	D+Ss	据付ボルト	引張、せん断	部材の降伏	
		取付ボルト	引張、せん断	部材の降伏	
ハロンガス供給配管	D+P _D +Ss	ハロンガス 供給配管	一次応力（曲げ応 力含む）、一次+二 次応力、一次+二 次+ピーク応力	部材の降伏	

第 3-2 表 ボルトの許容限界

評価対象部位	荷重の組合せ	許容 応力 状態	許容限界 ^(注1) ^(注2)	
			一次応力	
			引張 ^(注3)	せん断 ^(注3)
据付ボルト 取付ボルト 基礎ボルト	D+Ss	IV _{AS}	1.5f _t [*]	1.5f _s [*]

- (注 1) f_t^{*}, f_s^{*}: JSME S NC1-2012 SSB-3121.1 (1) a 本文中 Sy 及び Sy(RT)を 1.2Sy 及び 1.2Sy(RT)と読み替えて算出した値 (JSME S NC1-2012 SSB-3133)。但し、Sy 及び 0.7Su のいずれか小さい方の値とする。
- (注 2) JEAG4601・補-1984 の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。
- (注 3) ボルトにせん断力が作用する場合、組合せ評価を実施する。その際の許容応力値は、JSME S NC1-2012 SSB-3133 に基づき、Min (1.4(1.5f_t^{*}) - 1.6 τ_b, 1.5f_t^{*}) とする。

第 3-3 表 ラックの許容限界

評価対象部位	荷重の組合せ	許容 応力 状態	許容限界 ^(注1) ^(注2)
			一次応力
			組合せ
ラック	D+Ss	IV _{AS}	1.5f _t [*]

- (注 1) f_t^{*}: JSME S NC1-2012 SSB-3121.1 (1) a 本文中 Sy 及び Sy(RT)を 1.2Sy 及び 1.2Sy(RT)と読み替えて算出した値 (JSME S NC1-2012 SSB-3121.3)。但し、Sy 及び 0.7Su のいずれか小さい方の値とする。
- (注 2) JEAG4601・補-1984 の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

第3-4表 ハロンガス供給配管の許容限界

評価対象 部位	荷重の組合せ	許容 応力 状態	許容限界 ^(注1)		
			一次応力 (曲げ応力 含む)	一次+ 二次応力	一次+ 二次+ ピーク応力
ハロンガス 供給配管	$D + P_D + S_s$	IV_{AS}	$0.9S_u$	S _s 地震動のみによる疲労解析 ^(注2) を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。但し、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2S_y$ 以下であれば、疲労解析は行わない。	

(注1) JEAG4601・補-1984の「第4種管の許容応力」に準じて設定する。

(注2) $2S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、JSME NC1-2012 PPB-3536 (同(3)、(6)及び(7)を除く。また、 S_m は $2/3S_y$ に読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

4. 耐震評価方法

火災感知設備及び消火設備の耐震評価は、以下の「4.1 地震応答解析」、「4.2 応力評価」及び「4.3 機能維持評価」に従って実施する。

4.1 地震応答解析

火災感知設備及び消火設備の地震応答解析は、以下の「4.1.1 入力地震動」に示す入力地震動及び「4.1.2 解析方法及び解析モデル」に示す解析方法に従い、「4.1.3 設計用減衰定数」に示す減衰定数を用いて実施する。

火災感知設備及び消火設備の地震応答解析フローを第4-1図に示す。

4.1.1 入力地震動

火災感知設備及び消火設備の地震応答解析における入力地震動は、資料12-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示す、当該設備設置場所の基準地震動 S_s における設計用床応答曲線(S_s)とする。

4.1.2 解析方法及び解析モデル

動的解析による地震力の算定にあたっては、地震応答解析の適用性及び適用限界等を考慮のうえ、適切な解析法を選定するとともに、解析条件として考慮すべき減衰定数、剛性等の各種物性値は、適切な規格及び基準や実験等の結果に基づき設定する。

火災感知設備及び消火設備の地震応答解析は、以下の方法に従い実施する。

(1) スペクトルモーダル法による解析

消火設備のうちハロンボンベ設備は、複雑な形状であることを踏まえ、代表的な振動モードを適切に表現できるよう3次元FEMモデルにてモデル化し、入力地震動において発生する荷重をスペクトルモーダル解析法により求める。

解析の概要を以下に示す。

- a. スペクトルモーダル解析法における最大値は、2乗和平方根(SRSS)法により求める。
- b. 許容応力についてJSME S NJ1-2012のPart3を用いて計算する際に、温度が図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。但し、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- c. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

(2) 3次元 FEM モデルによる解析

「2.1 評価対象設備」に示す評価対象設備のうち、解析により固有値等の評価を行う設備は、当該設備を3次元 FEM モデルにてモデル化し、固有振動数を算出する。

解析の概要を以下に示す。

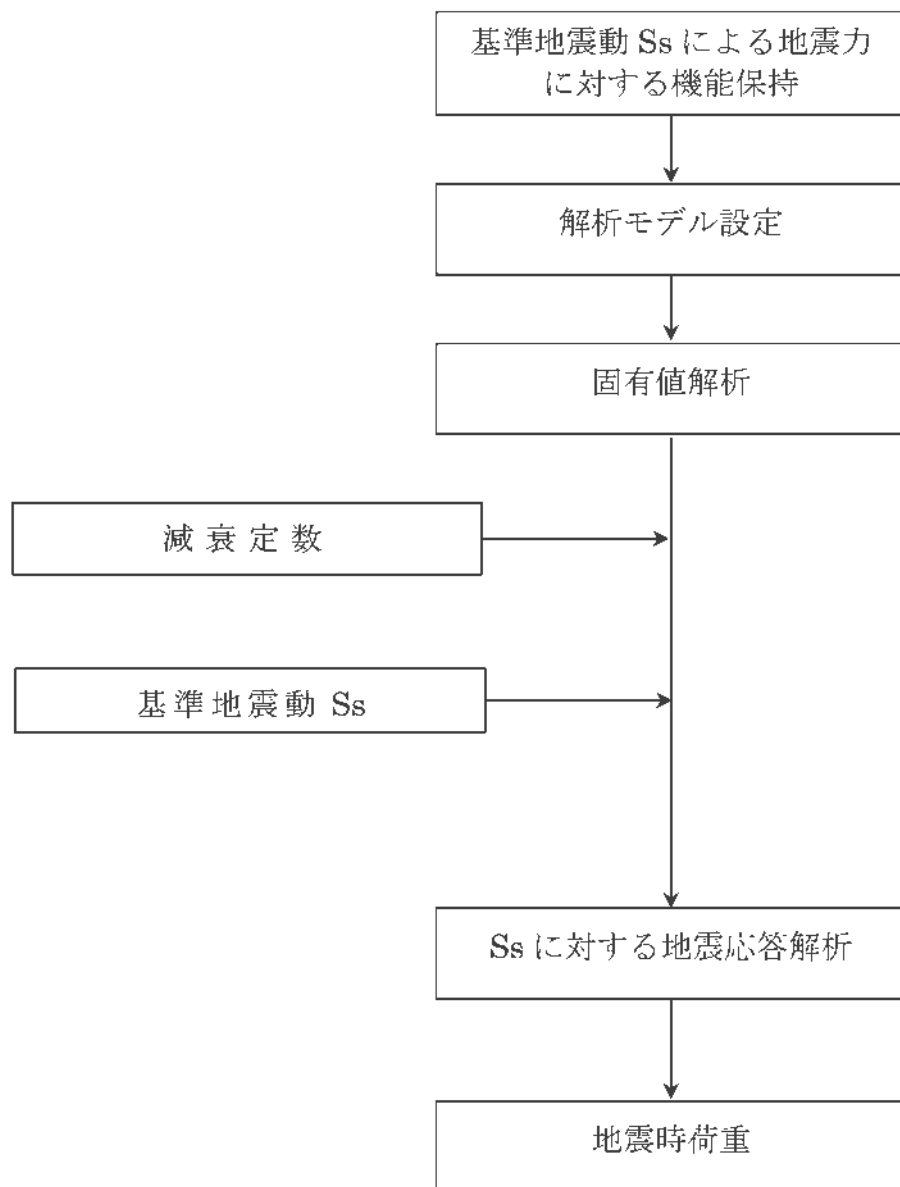
- a. 評価対象部位をはり要素としてモデル化した3次元 FEM モデルによる地震応答解析を実施する。
- b. 解析コードは MSC NASTRAN Ver.2008.0.4 を使用する。なお、評価に用いる解析コード MSC NASTRAN Ver.2008.0.4 の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。
- c. 拘束条件として、基礎ボルト点を並進3方向固定として設定する。
- d. 許容応力について JSME S NJ1-2012 の Part3 を用いて計算する際に、温度が図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。但し、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- e. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.1.3 設計用減衰定数

地震応答解析に用いる減衰定数は、資料 12-6「地震応答解析の基本方針」に示す、JEAG4601-1987 に記載されている減衰定数又は試験等で妥当性が確認された値を用いる。具体的な減衰定数を第 4-1 表に示す。

4.1.4 試験概要

火災感知設備及び消火設備のうち解析により固有値等の評価を実施しない火災感知設備及び消火設備は、設備の設置状況を模擬した正弦波掃引試験により、固定金具等の支持構造物も含めた設備の固有振動数を測定する。



第 4-1 図 火災感知設備及び消火設備の地震応答解析フロー

第4-1表 設計用減衰定数

設備名称	減衰定数(%)	
	水平方向	鉛直方向
溶接構造物	1.0	1.0 ^(注1)
電気盤	4.0	1.0 ^(注1)
配管系 ^(注3)	0.5~3.0 ^(注2)	0.5~3.0 ^{(注1)(注2)}

(注1) 既往の研究等において、設備の地震入力方向の依存性や減衰特性について検討され妥当性が確認された値

(注2) 既往の研究等において、試験及び解析などにより妥当性が確認されている値

(参考文献)

電力共通研究「機器・配管系に対する合理的耐震評価法の研究 (H12~H13)」

電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究 (H7~H10)」

4.2 応力評価

火災感知設備及び消火設備の応力評価は、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重の組合せに対して、「4.1 地震応答解析」で示す地震応答解析により求める荷重から算出する発生応力、又は評価対象設備の応答加速度から算出する発生応力が、「3.2 許容限界」に示す許容応力以下となることを確認する。

固有振動数が 30Hz 以上の剛構造である場合は、最大床加速度の 1.2 倍の加速度から発生応力を算出する。

火災感知設備及び消火設備の応力評価は、以下に示す評価手法により実施する。

- ・ 1 質点系モデルによる応力評価
- ・ 3 次元 FEM モデルによる解析
- ・ 標準支持間隔法

「4.1 地震応答解析」に示す正弦波掃引試験により固有振動数の測定を行う設備は、正弦波掃引試験で得られた固有振動数に応じて応答加速度を算出し、設備の重心位置に質量を集中させた 1 質点系モデルに対して、応力評価を実施する。

「4.1 地震応答解析」にて 3 次元 FEM モデルによる解析を実施する設備は、解析により求めた荷重を用いて応力評価を実施する。

また、ハロンガス供給配管は、標準支持間隔法により応力評価を実施する。

1 質点系モデルにて応力評価を実施する火災感知器、火災報知盤及び全域ハロン自動消火設備制御盤並びに 3 次元 FEM モデルによる解析を実施する場合及び標準支持間隔法を実施する場合の応力評価方法を以下に示す。

4.2.1 火災感知器

火災感知器は、以下の評価方針、評価対象部位及び評価方法により応力評価を実施する。

(1) 評価方針

火災感知器の応力評価を行う場合、以下の方針に従うものとする。

- a. 応力評価モデルは 1 質点系モデルとし、火災感知器の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- b. 許容応力について JSME S NJ1-2012 の Part3 を用いて計算する際に、温度が図表記載温度の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
但し、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- c. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

(2) 評価対象部位

1 質点系モデルにて応力評価を実施する火災感知器の評価対象部位及び評価内容を第 4-2 表に示す。

第 4-2 表 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
据付ボルト	引張、せん断

(3) 応力評価方法

火災感知器は、支持構造に応じて一点固定型、二点固定型、四点固定型に分類し、以下の評価方法にて応力評価を実施する。

a. 一点固定型

(a) 記号の定義

一点固定型の応力評価に使用する記号を第 4-3 表に示す。

第 4-3 表 一点固定型の応力評価に用いる記号の定義

記号	単位	記号の定義
d	mm	据付ボルト呼び径
g	m/s ²	重力加速度
l ₁	mm	天井面より機器重心までの鉛直距離
l ₂	mm	据付ボルトより固定金具端部までの水平距離
l ₃		
l ₄	mm	据付ボルトより機器重心までの水平距離
N	本	据付ボルト総数
p _x	N	固定金具に作用する反力
p _y		
p _z		
S	mm ²	据付ボルト断面積
W	kg	機器質量
α _{II}	×9.8m/s ²	水平加速度
α _V	×9.8m/s ²	鉛直加速度
σ _{xz}	MPa	据付ボルトに発生する引張応力（前後方向）
σ _{yz}	MPa	据付ボルトに発生する引張応力（左右方向）
τ _{xz}	MPa	据付ボルトに発生するせん断応力（前後方向）
τ _{yz}	MPa	据付ボルトに発生するせん断応力（左右方向）

(b) 応力評価モデル及び評価式

一点固定型の評価式を以下に、応力評価モデルを第 4-2 図に示す。

火災感知器は軽量かつ接続される電線管に拘束されることから、地震時における火災感知器の回転は考慮しない。

イ. 固定金具に作用する反力

自重及び基準地震動 S_s による地震力によって固定金具に作用する反力を、以下の式より算出する。

$$\begin{aligned} p_x &= p_y = Wg\alpha_H \\ p_z &= Wg(1+\alpha_V) \end{aligned}$$

ロ. 据付ボルトに発生する引張応力

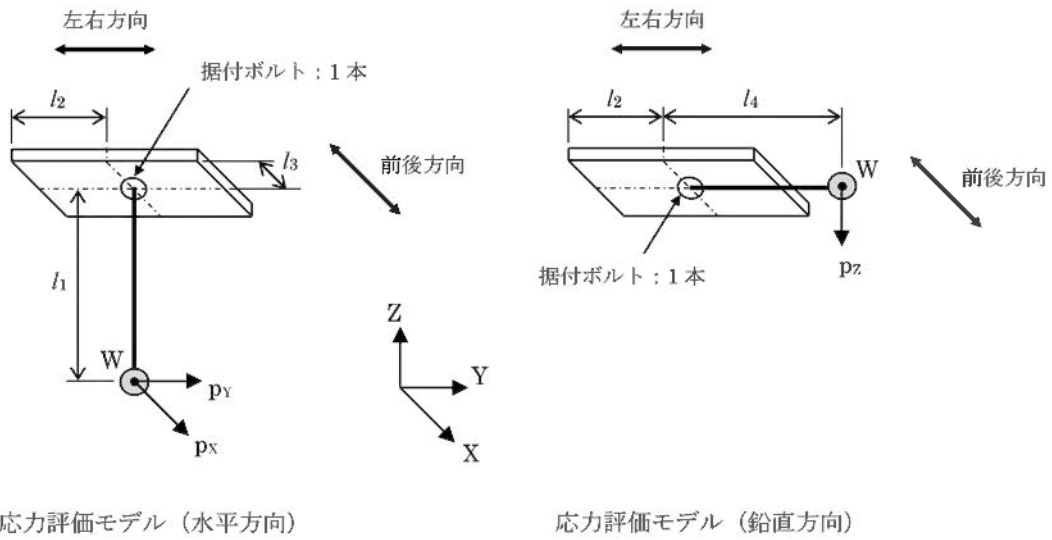
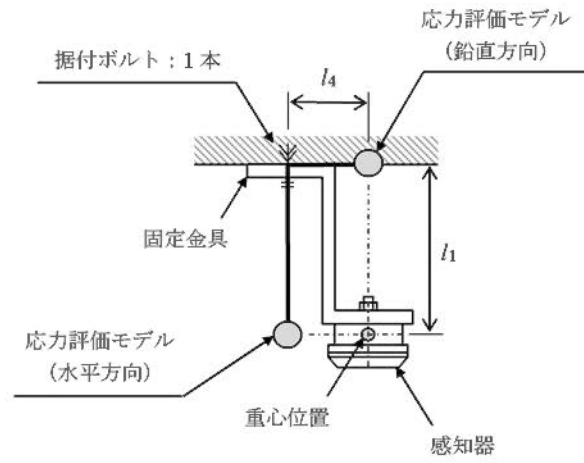
据付ボルトに作用する反力のモーメントのつり合い及び鉛直方向反力により、引張応力を算出する。

$$\begin{aligned} \sigma_{xz} &= \frac{1}{S} \left(\frac{p_x l_1}{l_3} + \frac{p_z l_4}{l_2} + p_z \right) \\ \sigma_{yz} &= \frac{1}{S} \left(\frac{p_y l_1}{l_2} + \frac{p_z l_4}{l_2} + p_z \right) \end{aligned}$$

ハ. 据付ボルトに発生するせん断応力

据付ボルトに作用する水平方向反力により、せん断応力を算出する。

$$\begin{aligned} \tau_{xz} &= \frac{p_x}{S} \\ \tau_{yz} &= \frac{p_y}{S} \end{aligned}$$



第 4-2 図 一点固定型の応力評価モデル

b. 二点固定型

(a) 記号の定義

二点固定型の応力評価に使用する記号を第4-4表に示す。

第4-4表 二点固定型の応力評価に用いる記号の定義

記号	単位	記号の定義
d	mm	据付ボルト呼び径
F_x	N	水平地震力による荷重
F_y		
F_z	N	鉛直地震力及び自重による荷重
g	m/s ²	重力加速度
l_1	mm	曲がり部支点より機器重心までの鉛直距離
l_2	mm	壁面より曲がり部支点までの水平距離
l_3	mm	鉛直方向の据付ボルト間距離
l_4	mm	据付ボルトより固定金具端部までの水平距離
M_x	Nmm	モーメント荷重
M_y		
N	本	据付ボルト総数
r_1	mm	据付ボルト間中心より据付ボルトまでの距離
r_2		
r_{11}	mm	据付ボルト間中心より据付ボルトまでの最大距離 (鉛直方向)
S	mm ²	据付ボルト断面積
W	kg	機器質量
α_H	G	水平加速度
α_V	G	鉛直加速度
σ_{xz}	MPa	各据付ボルトに発生する引張応力 (前後方向)
σ_{yz}	MPa	各据付ボルトに発生する引張応力 (左右方向)
τ_{xz}	MPa	各据付ボルトに発生するせん断応力 (前後方向)
τ_{yz}	MPa	各据付ボルトに発生するせん断応力 (左右方向)

(b) 反力評価モデル、応力評価モデル及び評価式

二点固定型の評価式を以下に、反力評価モデルを第 4-3 図に、応力評価モデルを第 4-4 図に示す。

曲がり部支点に作用する反力を算出し、据付ボルトに作用する反力評価モデルに付加することで、据付ボルトに発生する応力を算出する。

イ. 曲がり部支点に作用する反力

- ・ 水平地震力による荷重

$$F_X = F_Y = Wg\alpha_H$$

- ・ 水平地震力によるモーメント

$$M_X = M_Y = F_X l_1$$

- ・ 鉛直地震力及び自重による荷重

$$F_Z = Wg(1 + \alpha_V)$$

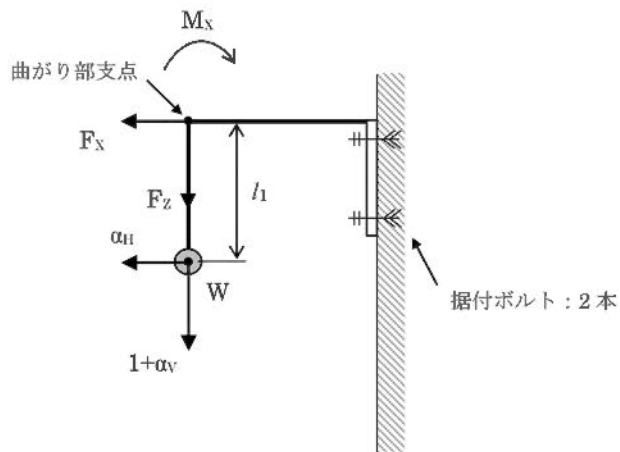
ロ. 据付ボルトに作用する反力

(イ) 前後方向

- ・ 引張方向荷重： F_X
- ・ せん断方向荷重： F_Z
- ・ 曲げモーメント荷重： M_X 、 $F_Z l_2$

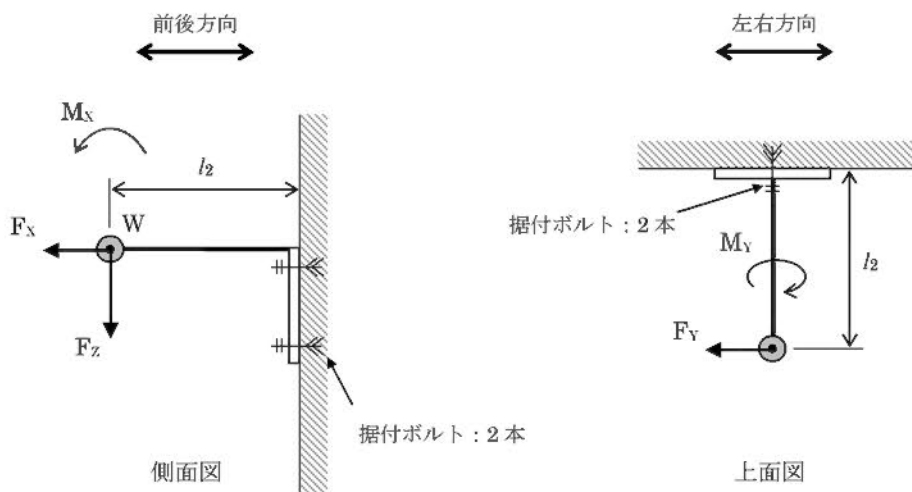
(ロ) 左右方向

- ・ せん断方向荷重： F_Y 、 F_Z
- ・ 曲げモーメント荷重： $F_Y l_2$ 、 $F_Z l_2$
- ・ ねじりモーメント荷重： M_Y



側面図

曲がり部支点に作用する反力評価モデル



据付ボルトに作用する反力評価モデル

第 4-3 図 二点固定型の反力評価モデル

ハ. 据付ボルトに発生する引張応力

据付ボルトに作用する反力のモーメントのつり合いにより、引張応力を算出する。

(イ) 前後方向

$$\sigma_{xz} = \frac{1}{S} \left(\frac{F_x}{N} + \frac{M_x + F_z l_2}{l_3} \right)$$

(ロ) 左右方向

$$\sigma_{yz} = \frac{l_2}{S} \left(\frac{F_y}{l_1 N} + \frac{F_z}{l_3} \right)$$

ニ. 据付ボルトに発生するせん断応力

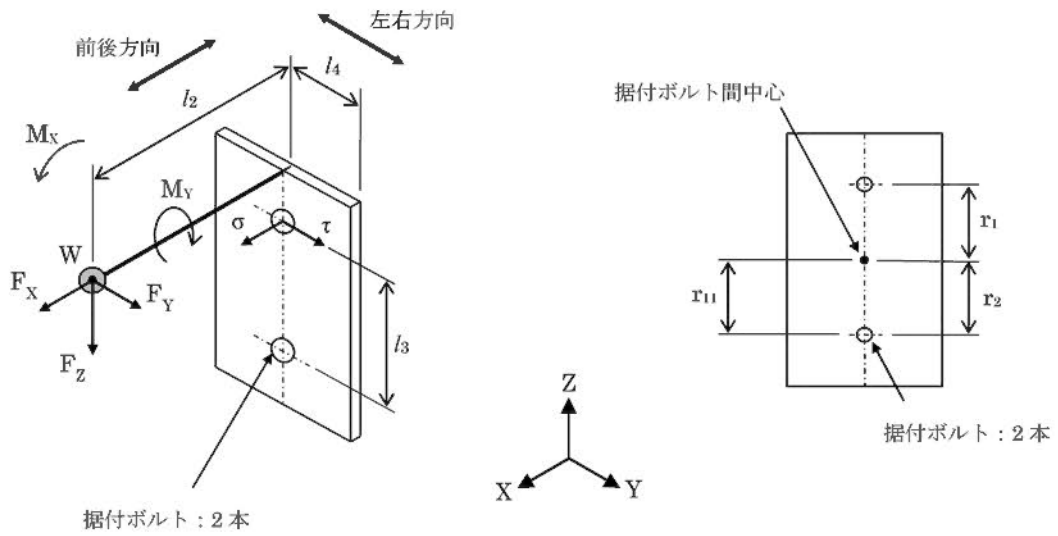
据付ボルトに発生するせん断応力は、ボルト全本数(N)で受けるものとして計算する。

(イ) 前後方向

$$\tau_{xz} = \frac{F_z}{NS}$$

(ロ) 左右方向

$$\tau_{yz} = \sqrt{\left\{ \frac{F_y}{NS} + \frac{M_y r_{11}}{(r_1^2 + r_2^2)S} \right\}^2 + \left(\frac{F_z}{NS} \right)^2}$$



応力評価モデル

第4-4図 二点固定型の応力評価モデル

c. 四点固定型

(a) 記号の定義

四点固定型の応力評価に用いる記号を第4-5表に示す。

第4-5表 四点固定型における据付ボルトの応力評価に用いる記号

記号	単位	記号の定義
d	mm	据付ボルト呼び径
g	m/s ²	重力加速度
h	mm	据付ボルトより機器重心までの鉛直距離
h'	mm	鉛直方向の据付ボルト間距離
l	mm	壁面より機器重心までの水平距離
l'	mm	水平方向の据付ボルト間距離
l_{a1}	mm	支点よりの据付ボルト間距離（前後方向）
l_{b1}	mm	支点よりの据付ボルト間距離（左右方向）
l_{b2}		
l_{b3}		
n_1	本	各列の据付ボルト本数
N	本	据付ボルト総数
S	mm ²	据付ボルト断面積
W	kg	機器質量
α_H	—	水平震度
α_V	—	鉛直震度
σ_{a1}	MPa	各据付ボルトに発生する引張応力（前後方向）
σ_{b1}	MPa	各据付ボルトに発生する引張応力（左右方向）
σ_{b2}		
σ_{b3}		
σ_{amax}	MPa	最大引張応力（前後方向）
σ_{bmax}	MPa	最大引張応力（左右方向）
τ_a	MPa	各据付ボルトに発生するせん断応力（前後方向）
τ_b	MPa	各据付ボルトに発生するせん断応力（左右方向）

(b) 応力評価モデル及び評価式

四点固定型の評価式を以下に、応力評価モデル（前後方向）を第 4-5 図に、四点固定型の応力評価モデル（左右方向）を第 4-6 図に示す。

イ. 前後方向

(イ) 据付ボルトに発生する最大引張応力

据付ボルトに発生する引張応力は、最も厳しい条件として、片側のボルトを支点とし、この支点から最も離れた位置にあるボルト（評価本数 n_1 ）で受けるものとして計算する。

モーメントの釣合式より、

$$\sigma_{al} l_{al} n_1 S = Wg\alpha_H h + Wg(1 + \alpha_V) l$$

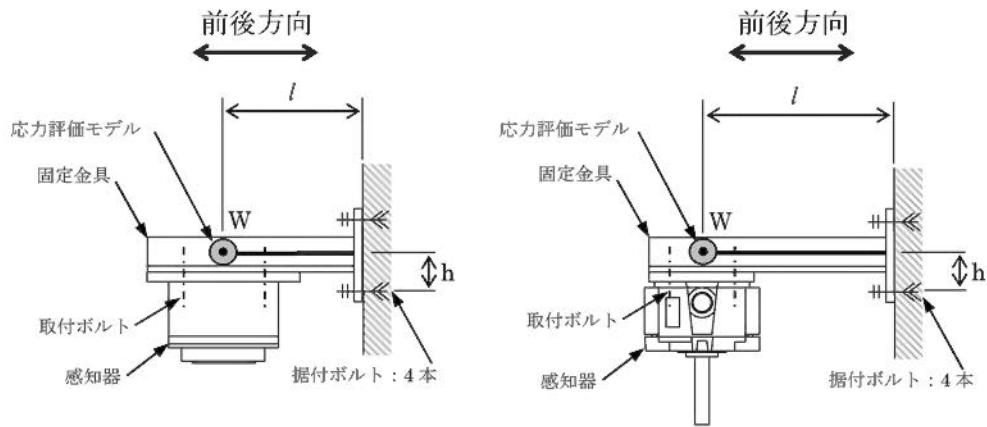
以上の式より

$$\sigma_{al} = \frac{Wg(\alpha_H h + (1 + \alpha_V) l)}{S l_{al} n_1} = \sigma_{a \max}$$

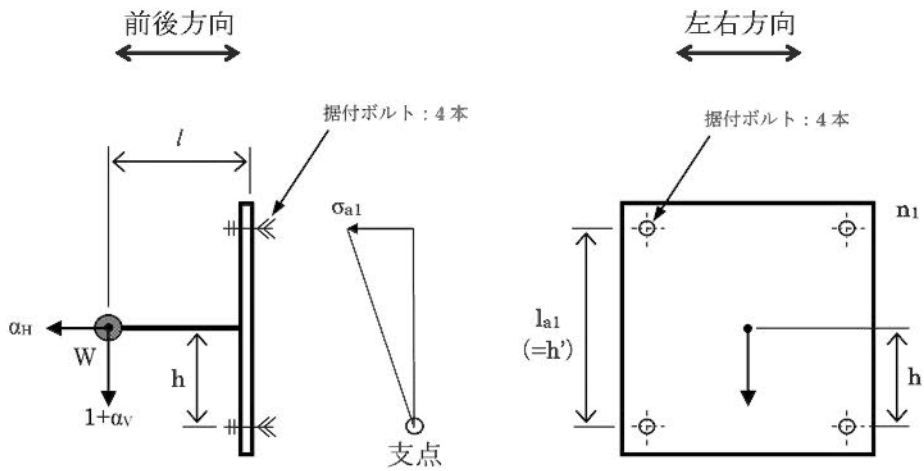
(ロ) 据付ボルトに発生するせん断応力

据付ボルトに発生するせん断応力は、ボルト全本数(N)で受けるものとして計算する。

$$\tau_a = \frac{Wg(1 + \alpha_V)}{NS}$$



四点固定型



第 4-5 図 四点固定型の応力評価モデル (前後方向)

ロ. 左右方向

(イ) 据付ボルトに発生する最大引張応力

据付ボルトに発生する引張応力は、最も厳しい条件として、支点から最も離れたボルトについて計算する。

応力は、支点からの距離に比例することから、

$$\frac{\sigma_{b1}}{l_{b1}} = \frac{\sigma_{b2}}{l_{b2}} = \frac{\sigma_{b3}}{l_{b3}}$$

モーメントの釣合式より、

$$l_{b1}S\sigma_{b1} + l_{b2}S\sigma_{b2} + l_{b3}S\sigma_{b3} = W/g\sqrt{\alpha_H^2 + (1 + \alpha_V)^2}$$

以上の式より

$$\sigma_{b1} = \frac{W/g\sqrt{\alpha_H^2 + (1 + \alpha_V)^2} \cdot l_{b1}}{S(l_{b1}^2 + l_{b2}^2 + l_{b3}^2)} = \sigma_{b\max}$$

ここで、 $l_{b1} = h' \sin \theta + l' \cos \theta$

$$l_{b2} = h' \sin \theta$$

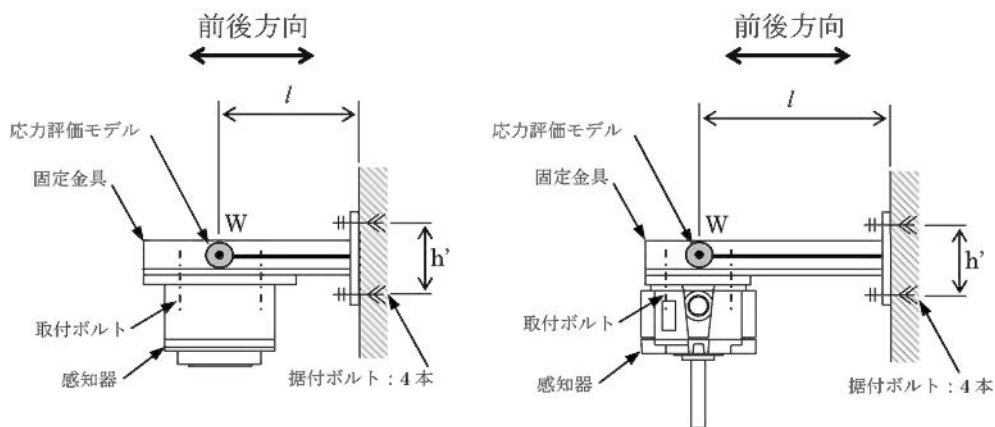
$$l_{b3} = l' \cos 0 \quad \text{とする。}$$

$$\text{但し、} \theta = \tan^{-1} \left(\frac{1 + \alpha_V}{\alpha_H} \right)$$

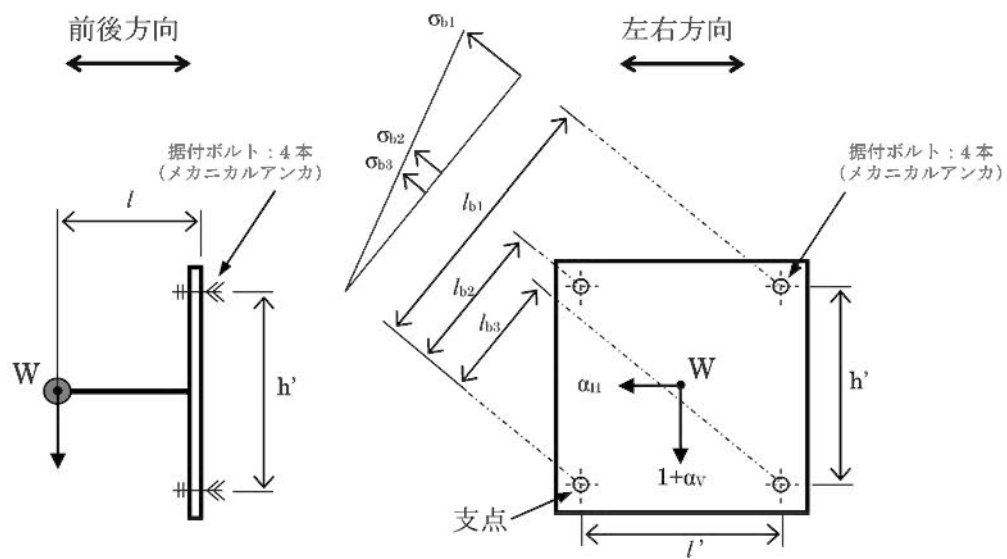
(ロ) 据付ボルトに発生するせん断応力

据付ボルトに発生するせん断応力は、ボルト全本数(N)で受けるものとして計算する。

$$\tau_b = \frac{Wg\sqrt{\alpha_H^2 + (1 + \alpha_V)^2}}{NS}$$



四点固定型



第 4-6 図 四点固定型の応力評価モデル (左右方向)

ハ. 据付ボルトに発生する引張応力

据付ボルトに作用する反力のモーメントのつり合いにより、引張応力を算出する。

(イ) 前後方向

$$\sigma_{xz} = \frac{1}{S} \left(\frac{F_x}{N} + \frac{M_x + F_z l_2}{l_3} \right)$$

(ロ) 左右方向

$$\sigma_{yz} = \frac{l_2}{S} \left(\frac{F_y}{l_1 N} + \frac{F_z}{l_3} \right)$$

ニ. 据付ボルトに発生するせん断応力

据付ボルトに発生するせん断応力は、ボルト全本数(N)で受けるものとして計算する。

(イ) 前後方向

$$\tau_{xz} = \frac{F_z}{NS}$$

(ロ) 左右方向

$$\tau_{yz} = \sqrt{\left\{ \frac{F_y}{NS} + \frac{M_y r_{11}}{(r_1^2 + r_2^2)S} \right\}^2 + \left(\frac{F_z}{NS} \right)^2}$$

4.2.2 火災報知盤

(1) 評価方針

火災報知盤の応力評価を行う場合、以下の方針に従うものとする。

- a. 応力評価モデルは 1 質点系モデルとし、火災報知盤の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- b. 許容応力について JSME S NJ1-2012 の Part3 を用いて計算する際に、温度が図表記載温度の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
但し、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- c. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

(2) 評価対象部位

1 質点系モデルにて応力評価を実施する火災報知盤の評価対象部位及び評価内容を第 4-6 表に示す。

第 4-6 表 火災報知盤の評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
据付ボルト	引張、せん断
取付ボルト	引張、せん断

(3) 応力評価方法

a. 記号の定義

据付ボルトの応力評価に用いる記号を第 4-7 表に、取付ボルトの応力評価に用いる記号を第 4-8 表に示す。

第 4-7 表 据付ボルトの応力評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	記号の定義
d_1	mm	据付ボルト呼び径
g	m/s ²	重力加速度
h_1	mm	据付ボルトより機器重心までの鉛直距離
h_{11}'	mm	鉛直方向の据付ボルト間距離
h_{12}'		
l_1	mm	壁面より機器重心までの水平距離
l_1'	mm	水平方向の据付ボルト間距離
l_{a1}	mm	支点よりの据付ボルト間距離 (前後方向)
l_{a2}		
l_{b1}	mm	支点よりの据付ボルト間距離 (左右方向)
l_{b2}		
l_{b3}		
l_{b4}		
l_{b5}		
n_{a1}	本	各列の据付ボルト本数
n_{a2}		
N_1	本	据付ボルト総数
S_1	mm ²	据付ボルト断面積
W_1	kg	機器質量

第4-7表 据付ボルトの応力評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	記号の定義
α_H	—	水平震度
α_V	—	鉛直震度
σ_{a1}	MPa	各据付ボルトに発生する引張応力 (前後方向)
σ_{a2}		
σ_{b1}	MPa	各据付ボルトに発生する引張応力 (左右方向)
σ_{b2}		
σ_{b3}		
σ_{b4}		
σ_{b5}		
σ_{amax}	MPa	最大引張応力 (前後方向)
σ_{bmax}	MPa	最大引張応力 (左右方向)
τ_a	MPa	各据付ボルトに発生するせん断応力 (前後方向)
τ_b	MPa	各据付ボルトに発生するせん断応力 (左右方向)

第4-8表 取付ボルトの応力評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	記号の定義
d_2	mm	取付ボルト呼び径
g	m/s ²	重力加速度
h_2	mm	取付ボルトより機器重心までの鉛直距離
h_{21}'	mm	鉛直方向の取付ボルト間距離
h_{22}'		
l_2	mm	固定金具より機器重心までの水平距離
l_{21}'	mm	水平方向の取付ボルト間距離
l_{22}'		
l_{c1}	mm	支点よりの取付ボルト間距離 (前後方向)
l_{c2}		
l_{d1}	mm	支点よりの取付ボルト間距離 (左右方向)
l_{d2}		
l_{d3}		
l_{d4}		
l_{d5}		
n_{c1}	本	各列の取付ボルト本数
n_{c2}		
N_2	本	取付ボルト総数
S_2	mm ²	取付ボルト断面積
W_2	kg	機器質量

第4-8表 取付ボルトの応力評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	記号の定義
α_H	—	水平震度
α_V	—	鉛直震度
σ_{c1}	MPa	各取付ボルトに発生する引張応力 (前後方向)
σ_{c2}		
σ_{d1}	MPa	各取付ボルトに発生する引張応力 (左右方向)
σ_{d2}		
σ_{d3}		
σ_{d4}		
σ_{d5}		
σ_{cmax}	MPa	最大引張応力 (前後方向)
σ_{dmax}	MPa	最大引張応力 (左右方向)
τ_c	MPa	各取付ボルトに発生するせん断応力 (前後方向)
τ_d	MPa	各取付ボルトに発生するせん断応力 (左右方向)

b. 応力評価モデル及び評価式

応力評価モデルは、1 質点系モデルであり、火災報知盤の重心位置に地震荷重が作用するものとする。

火災報知盤は、据付ボルト、取付ボルトにより据え付けるため、据付ボルト、取付ボルトは、それぞれに対し応力評価モデル及び評価式にて評価する。

ここで、盤正面に直交する方向を前後方向、盤正面と平行な方向を左右方向とする。

(a) 据付ボルトの構造強度評価

据付ボルトの評価式を以下に、応力評価モデルを第 4-7 図及び第 4-8 図に示す。

イ. 据付ボルトに発生する引張応力、せん断応力

(イ) 前後方向

・最大引張応力 σ_{amax} の算出

応力は、支点からの距離に比例することから、

$$\frac{\sigma_{a1}}{l_{a1}} = \frac{\sigma_{a2}}{l_{a2}}$$

モーメントの釣合式より、

$$\sigma_{a1} l_{a1} n_{a1} S_1 + \sigma_{a2} l_{a2} n_{a2} S_1 = W_1 g \alpha_H h_1 + W_1 g (1 + \alpha_V) l_1$$

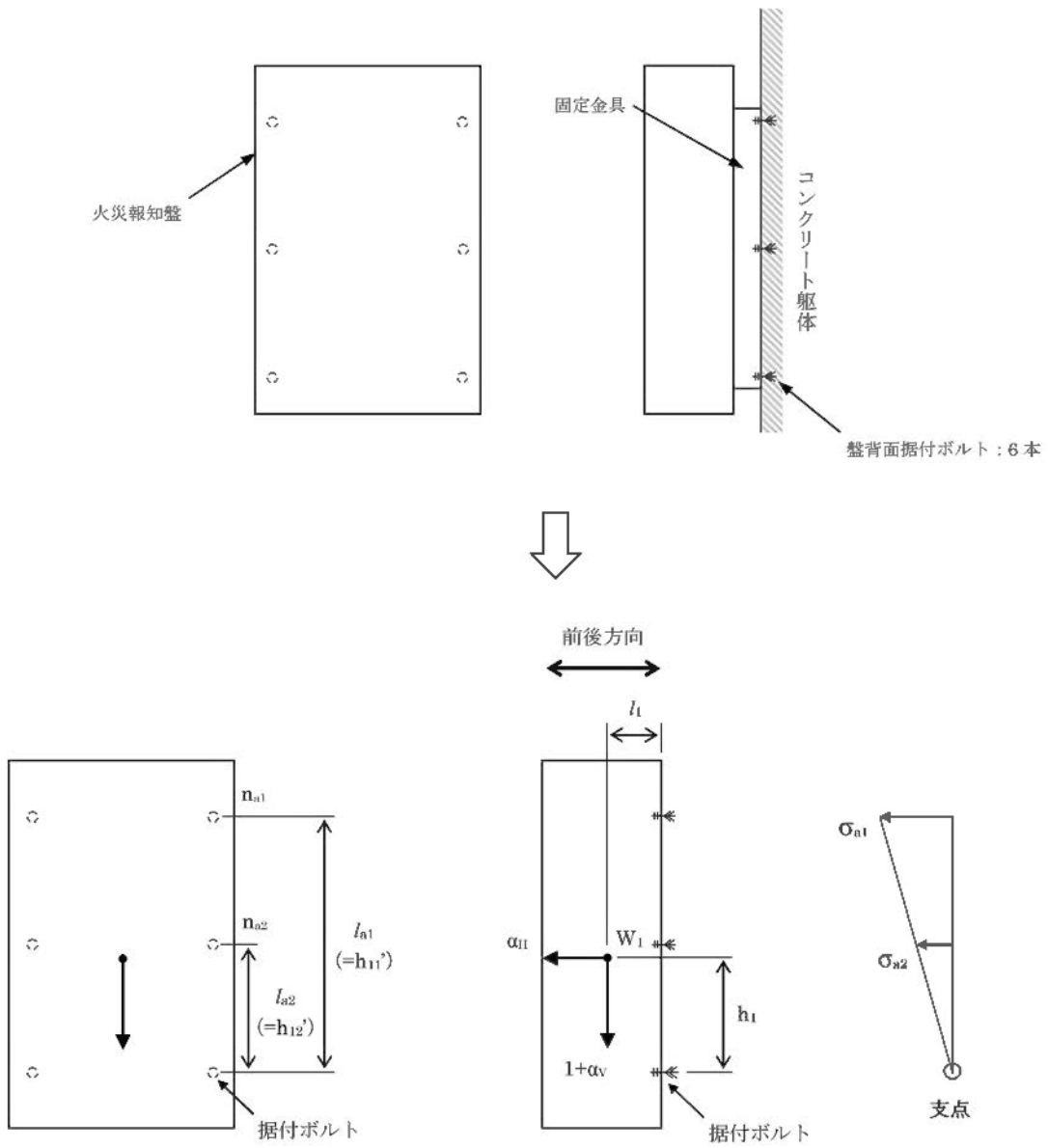
以上の式より

$$\sigma_{a1} = \frac{W_1 l_{a1} g (\alpha_H h_1 + (1 + \alpha_V) l_1)}{S_1 (l_{a1}^2 n_{a1} + l_{a2}^2 n_{a2})} = \sigma_{amax}$$

・せん断応力 τ_a の算出

据付ボルトに発生するせん断応力は、ボルト全本数(N_1)で受けるものとして計算する。

$$\tau_a = \frac{W_1 g (1 + \alpha_V)}{N_1 S_1}$$



第 4-7 図 据付ボルトの応力評価モデル (前後方向)

(ロ) 左右方向

・最大引張応力 σ_{bmax} の算出

据付ボルトに発生する引張応力は、最も厳しい条件として、支点から最も離れたボルトについて計算する。

応力は、支点からの距離に比例することから、

$$\frac{\sigma_{b1}}{l_{b1}} = \frac{\sigma_{b2}}{l_{b2}} = \frac{\sigma_{b3}}{l_{b3}} = \frac{\sigma_{b4}}{l_{b4}} = \frac{\sigma_{b5}}{l_{b5}}$$

モーメントの釣合式より、

$$l_{b1}S_1\sigma_{b1} + l_{b2}S_1\sigma_{b2} + l_{b3}S_1\sigma_{b3} + l_{b4}S_1\sigma_{b4} + l_{b5}S_1\sigma_{b5} = W_1l_1g\sqrt{\alpha_H^2 + (1 + \alpha_V)^2}$$

以上の式より

$$\sigma_{b1} = \frac{W_1l_1g\sqrt{\alpha_H^2 + (1 + \alpha_V)^2} \cdot l_{b1}}{S_1(l_{b1}^2 + l_{b2}^2 + l_{b3}^2 + l_{b4}^2 + l_{b5}^2)} = \sigma_{bmax}$$

ここで、 $l_{b1} = l_1' \cos \theta + h_{11}' \sin \theta$

$$l_{b2} = l_1' \cos \theta + h_{12}' \sin \theta$$

$$l_{b3} = l_1' \cos \theta$$

$$l_{b4} = h_{11}' \sin \theta$$

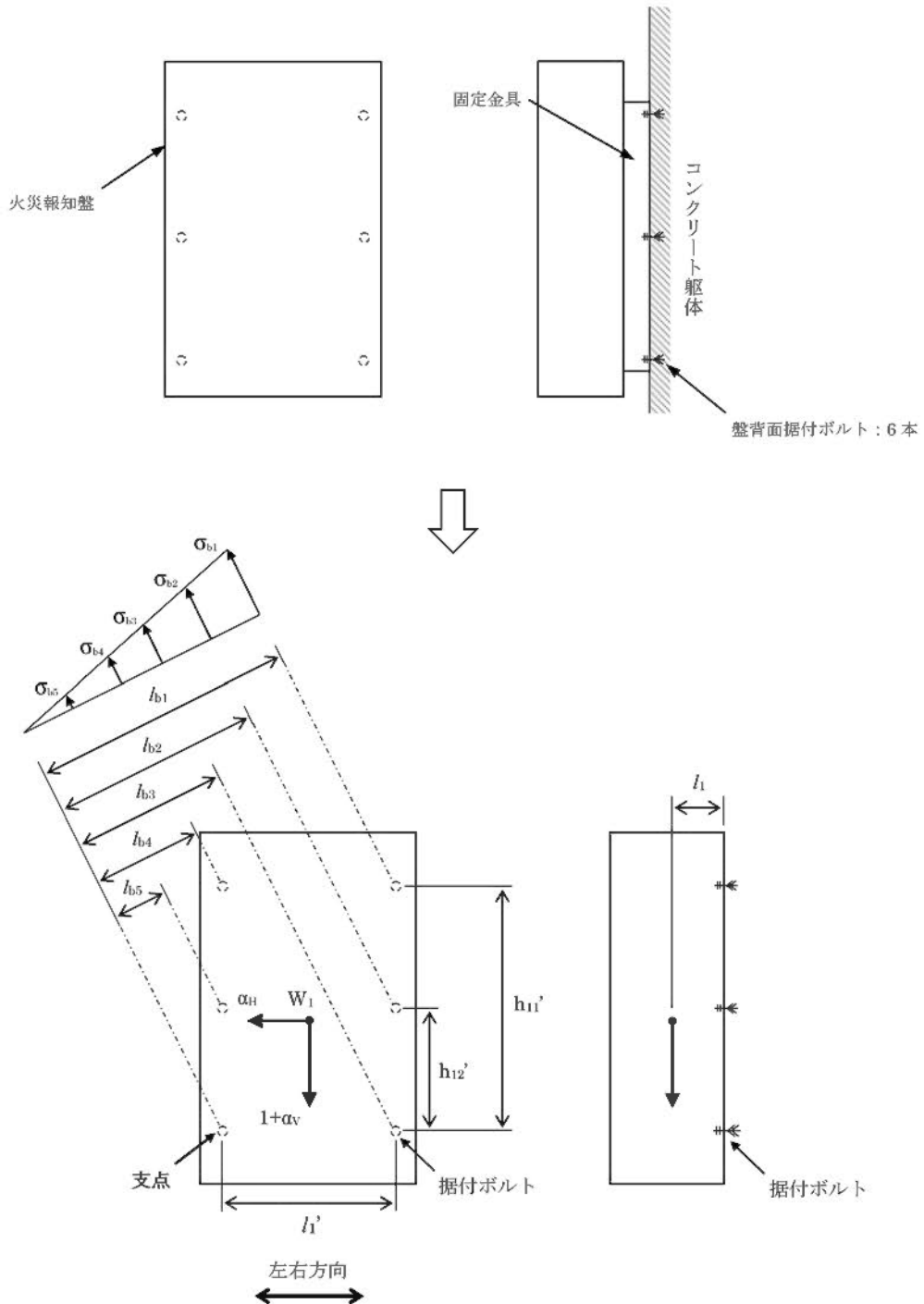
$$l_{b5} = h_{12}' \sin \theta \quad \text{とする。}$$

$$\text{但し、} \theta = \tan^{-1} \left(\frac{1 + \alpha_V}{\alpha_H} \right)$$

・せん断応力 τ_b の算出

据付ボルトに発生するせん断応力は、ボルト全本数(N_1)で受けるものとして計算する。

$$\tau_b = \frac{W_1g\sqrt{\alpha_H^2 + (1 + \alpha_V)^2}}{N_1S_1}$$



第 4-8 図 据付ボルトの応力評価モデル (左右方向)

(b) 取付ボルトの構造強度評価

取付ボルトの評価式を以下に、応力評価モデルを第 4-9 図及び第 4-10 図に示す。

イ. 取付ボルトに発生する引張応力、せん断応力

(イ) 前後方向

・最大引張応力 σ_{cmax} の算出

応力は、支点からの距離に比例することから、

$$\frac{\sigma_{c1}}{l_{c1}} = \frac{\sigma_{c2}}{l_{c2}}$$

モーメントの釣合式より、

$$\sigma_{c1} l_{c1} n_{c1} S_2 + \sigma_{c2} l_{c2} n_{c2} S_2 = W_2 g \alpha_H h_2 + W_2 g (1 + \alpha_V) l_2$$

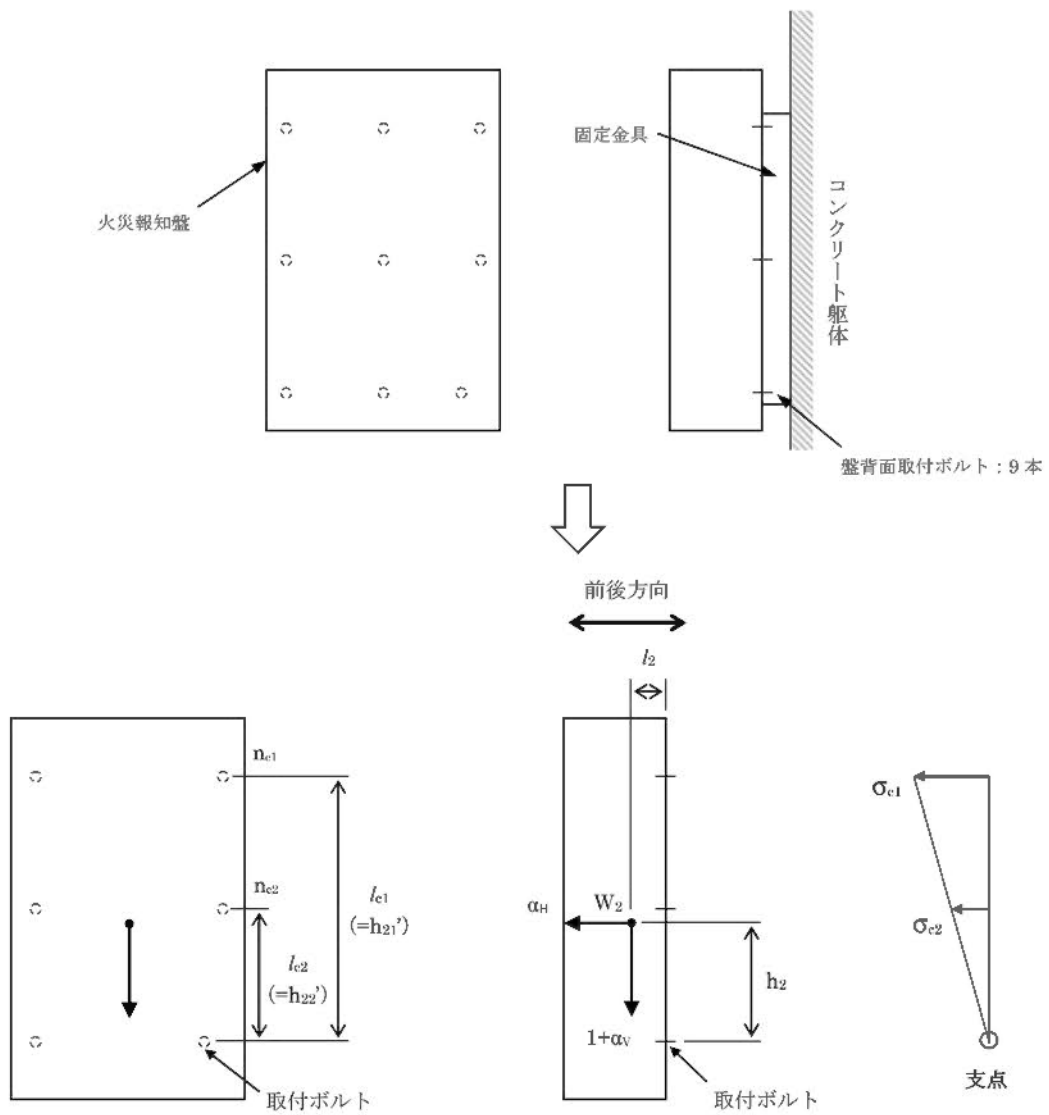
以上の式より

$$\sigma_{c1} = \frac{W_2 l_{c2} g (\alpha_H h_2 + (1 + \alpha_V) l_2)}{S_2 (l_{c1}^2 n_{c1} + l_{c2}^2 n_{c2})} = \sigma_{cmax}$$

・せん断応力 τ_c の算出

取付ボルトに発生するせん断応力は、ボルト全本数(N_2)で受けるものとして計算する。

$$\tau_c = \frac{W_2 g (1 + \alpha_V)}{N_2 S_2}$$



第 4-9 図 取付ボルトの応力評価モデル (前後方向)

(ロ) 左右方向

・最大引張応力 σ_{dmax} の算出

取付ボルトに発生する引張応力は、最も厳しい条件として、支点から最も離れたボルトについて計算する。

応力は、支点からの距離に比例することから、

$$\frac{\sigma_{d1}}{l_{d1}} = \frac{\sigma_{d2}}{l_{d2}} = \frac{\sigma_{d3}}{l_{d3}} = \frac{\sigma_{d4}}{l_{d4}} = \frac{\sigma_{d5}}{l_{d5}}$$

モーメントの釣合式より、

$$l_{d1}S_2\sigma_{d1} + l_{d2}S_2\sigma_{d2} + l_{d3}S_2\sigma_{d3} + l_{d4}S_2\sigma_{d4} + l_{d5}S_2\sigma_{d5} = W_2l_2g\sqrt{\alpha_H^2 + (1 + \alpha_V)^2}$$

以上の式より

$$\sigma_{d1} = \frac{W_2l_2g\sqrt{\alpha_H^2 + (1 + \alpha_V)^2} \cdot l_{d1}}{S_2(l_{d1}^2 + l_{d2}^2 + l_{d3}^2 + l_{d4}^2 + l_{d5}^2)} = \sigma_{dmax}$$

ここで、 $l_{d1} = l_{21}' \cos \theta + h_{21}' \sin \theta$

$l_{d2} = l_{21}' \cos \theta + h_{22}' \sin \theta$

$l_{d3} = l_{22}' \cos \theta$

$l_{d4} = h_{21}' \sin \theta$

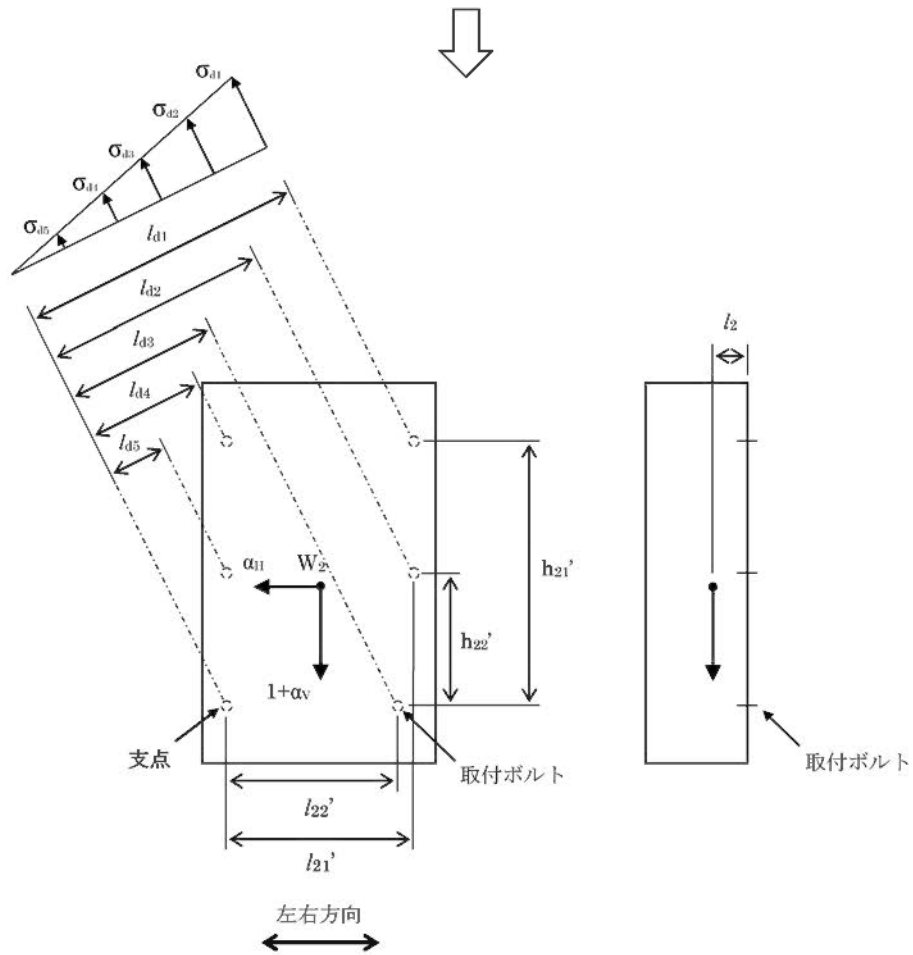
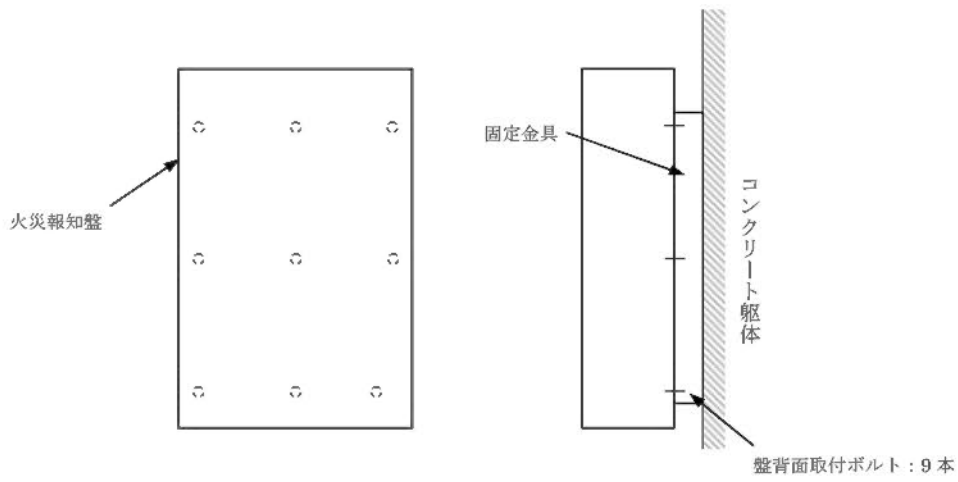
$l_{d5} = h_{22}' \sin \theta$ とする。

但し、 $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{1 + \alpha_V}{\alpha_H} \right)$

・せん断応力 τ_d の算出

取付ボルトに発生するせん断応力は、ボルト全本数(N_2)で受けるものとして計算する。

$$\tau_d = \frac{W_2g\sqrt{\alpha_H^2 + (1 + \alpha_V)^2}}{N_2S_2}$$



第 4-10 図 取付ボルトの応力評価モデル (左右方向)

4.2.3 全域ハロン自動消火設備制御盤

(1) 評価方針

全域ハロン自動消火設備制御盤の応力評価を行う場合、以下の方針に従うものとする。

- a. 応力評価モデルは 1 質点系モデルとし、全域ハロン自動消火設備制御盤の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- b. 許容応力について JSME S NJ1-2012 の Part3 を用いて計算する際に、温度が図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
但し、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- c. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

(2) 評価対象部位

1 質点系モデルにて応力評価を実施する全域ハロン自動消火設備制御盤の評価対象部位及び評価内容を第 4-9 表に示す。

第 4-9 表 全域ハロン自動消火設備制御盤の評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
据付ボルト	引張、せん断
取付ボルト	引張、せん断

(3) 応力評価方法

全域ハロン自動消火設備制御盤は以下の評価方法にて応力評価を実施する。

a. 記号の定義

全域ハロン自動消火設備制御盤の応力評価に使用する記号を第 4-10 表及び第 4-11 表に示す。

第4-10表 据付ボルトの応力評価に用いる記号の定義(1/2)

記号	単位	記号の定義
d_1	mm	据付ボルト呼び径
g	m/s ²	重力加速度
h_1	mm	支点より機器重心までの鉛直距離
h_{11}'	mm	鉛直方向の据付ボルト間距離
h_{12}'		
h_{13}'		
l_1	mm	支点より機器重心までの水平距離
l_1'	mm	水平方向の据付ボルト間距離
l_{a1}	mm	支点よりの据付ボルト間距離（前後方向）
l_{a2}		
l_{a3}		
l_{b1}	mm	支点よりの据付ボルト間距離（左右方向）
l_{b2}		
l_{b3}		
l_{b4}		
l_{b5}		
l_{b6}		
l_{b7}		
N_1	本	据付ボルト総数
n_{a1}	本	各列の据付ボルト本数
n_{a2}		
n_{a3}		
S_1	mm ²	据付ボルト断面積
W_1	kg	機器質量
α_H	—	水平加速度
α_V	—	鉛直加速度

第4-10表 据付ボルトの応力評価に用いる記号の定義(2/2)

記号	単位	記号の定義
σ_{a1}	MPa	各据付ボルトに発生する引張応力（前後方向）
σ_{a2}		
σ_{a3}		
σ_{b1}	MPa	各据付ボルトに発生する引張応力（左右方向）
σ_{b2}		
σ_{b3}		
σ_{b4}		
σ_{b5}		
σ_{b6}		
σ_{b7}		
σ_{amax}	MPa	最大引張応力（前後方向）
σ_{bmax}	MPa	最大引張応力（左右方向）
τ_a	MPa	各据付ボルトに発生するせん断応力（前後方向）
τ_b	MPa	各据付ボルトに発生するせん断応力（左右方向）

第4-11表 取付ボルトの応力評価に用いる記号の定義(1/2)

記号	単位	記号の定義
d_2	mm	取付ボルト呼び径
g	m/s ²	重力加速度
h_2	mm	支点より機器重心までの鉛直距離
h_{21}'	mm	鉛直方向の取付ボルト間距離
h_{22}'		
h_{23}'		
h_{24}'		
l_2	mm	支点より機器重心までの水平距離
l_2'	mm	水平方向の取付ボルト間距離
l_{c1}	mm	支点よりの取付ボルト間距離（前後方向）
l_{c2}		
l_{c3}		
l_{c4}		
l_{d1}	mm	支点よりの取付ボルト間距離（左右方向）
l_{d2}		
l_{d3}		
l_{d4}		
l_{d5}		
l_{d6}		
l_{d7}		
n_{c1}	本	各列の取付ボルト本数
n_{c2}		
n_{c3}		
n_{c4}		
N_2	本	取付ボルト総数
S_2	mm ²	取付ボルト断面積
W_2	kg	機器質量
α_H	—	水平加速度
α_V	—	鉛直加速度

第 4-11 表 取付ボルトの応力評価に用いる記号の定義(2/2)

記号	単位	記号の定義
σ_{e1}	MPa	各取付ボルトに発生する引張応力（前後方向）
σ_{e2}		
σ_{e3}		
σ_{e4}		
σ_{d1}	MPa	各取付ボルトに発生する引張応力（左右方向）
σ_{d2}		
σ_{d3}		
σ_{d4}		
σ_{d5}		
σ_{d6}		
σ_{d7}		
σ_{emax}	MPa	最大引張応力（前後方向）
σ_{dmax}	MPa	最大引張応力（左右方向）
τ_c	MPa	各取付ボルトに発生するせん断応力（前後方向）
τ_d	MPa	各取付ボルトに発生するせん断応力（左右方向）

b. 応力評価モデル及び評価式

全域ハロン自動消火設備制御盤の据付ボルト及び取付ボルトの評価式及び応力評価モデルを以下に示す。

(a). 据付ボルト

全域ハロン自動消火設備制御盤の据付ボルトの評価式を以下に、応力評価モデルを第 4-11 図及び第 4-12 図に示す。

イ. 据付ボルトに発生する最大引張応力

(イ) 前後方向

応力は支点からの距離に比例することから、

$$\frac{\sigma_{a1}}{l_{a1}} = \frac{\sigma_{a2}}{l_{a2}} = \frac{\sigma_{a3}}{l_{a3}}$$

モーメントのつり合いより、

$$\sigma_{a1} l_{a1} n_{a1} S_1 + \sigma_{a2} l_{a2} n_{a2} S_1 + \sigma_{a3} l_{a3} n_{a3} S_1 = W_1 g \alpha_H h_1 + W_1 g (1 + \alpha_V) l_1$$

以上の式より、

$$\sigma_{a1} = \frac{W_1 l_1 g (\alpha_H h_1 + (1 + \alpha_V) l_1)}{S_1 (l_{a1}^2 n_{a1} + l_{a2}^2 n_{a2} + l_{a3}^2 n_{a3})} = \sigma_{amax}$$

(ロ) 左右方向

応力は支点からの距離に比例することから、

$$\frac{\sigma_{b1}}{l_{b1}} = \frac{\sigma_{b2}}{l_{b2}} = \frac{\sigma_{b3}}{l_{b3}} = \frac{\sigma_{b4}}{l_{b4}} = \frac{\sigma_{b5}}{l_{b5}} = \frac{\sigma_{b6}}{l_{b6}} = \frac{\sigma_{b7}}{l_{b7}}$$

モーメントのつり合いより、

$$\begin{aligned} l_{b1} S_1 \sigma_{b1} + l_{b2} S_1 \sigma_{b2} + l_{b3} S_1 \sigma_{b3} + l_{b4} S_1 \sigma_{b4} + l_{b5} S_1 \sigma_{b5} + l_{b6} S_1 \sigma_{b6} + l_{b7} S_1 \sigma_{b7} \\ = W_1 l_1 g \sqrt{\alpha_H^2 + (1 + \alpha_V)^2} \end{aligned}$$

以上の式より、

$$\sigma_{b1} = \frac{W_1 l_1 g \sqrt{\alpha_H^2 + (1 + \alpha_V)^2} \cdot l_{b1}}{S_1 (l_{b1}^2 + l_{b2}^2 + l_{b3}^2 + l_{b4}^2 + l_{b5}^2 + l_{b6}^2 + l_{b7}^2)} = \sigma_{bmax}$$

ここで、

$$\begin{aligned}
 l_{b1} &= l_1' \cos\theta + h_{11}' \sin\theta \\
 l_{b2} &= l_1' \cos\theta + h_{12}' \sin\theta \\
 l_{b3} &= l_1' \cos\theta + h_{13}' \sin\theta \\
 l_{b4} &= l_1' \cos\theta \\
 l_{b5} &= h_{11}' \sin\theta \\
 l_{b6} &= h_{12}' \sin\theta \\
 l_{b7} &= h_{13}' \sin\theta \quad \text{とする。}
 \end{aligned}$$

但し、 $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{1 + \alpha_V}{\alpha_H} \right)$

ロ. 据付ボルトに発生するせん断応力

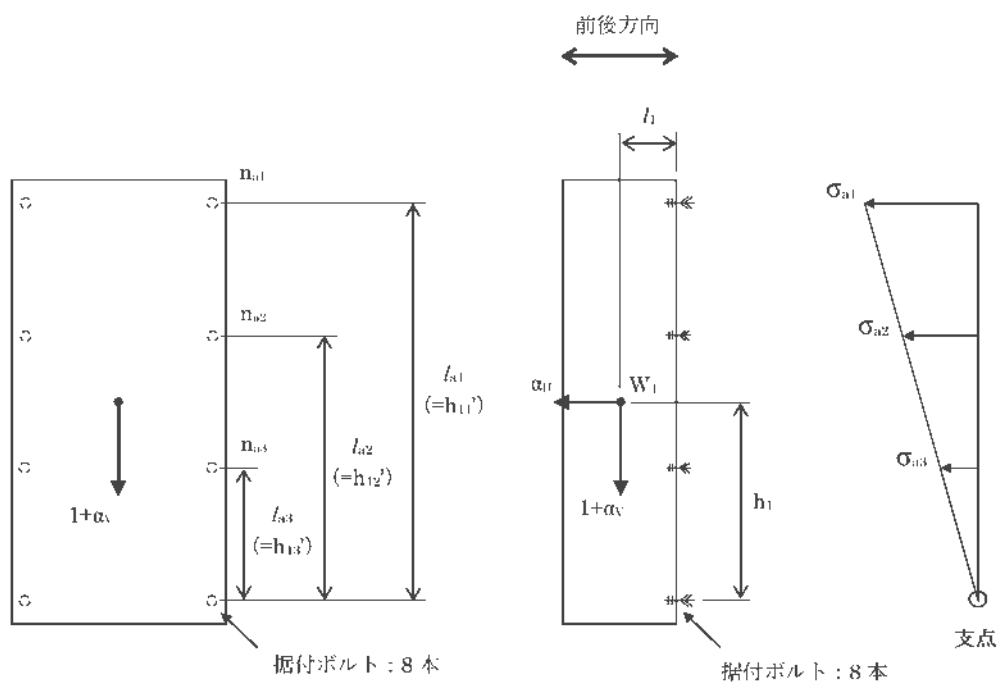
据付ボルトに発生するせん断応力は、ボルト全本数(N_1)で受けるものとして計算する。

(イ) 前後方向

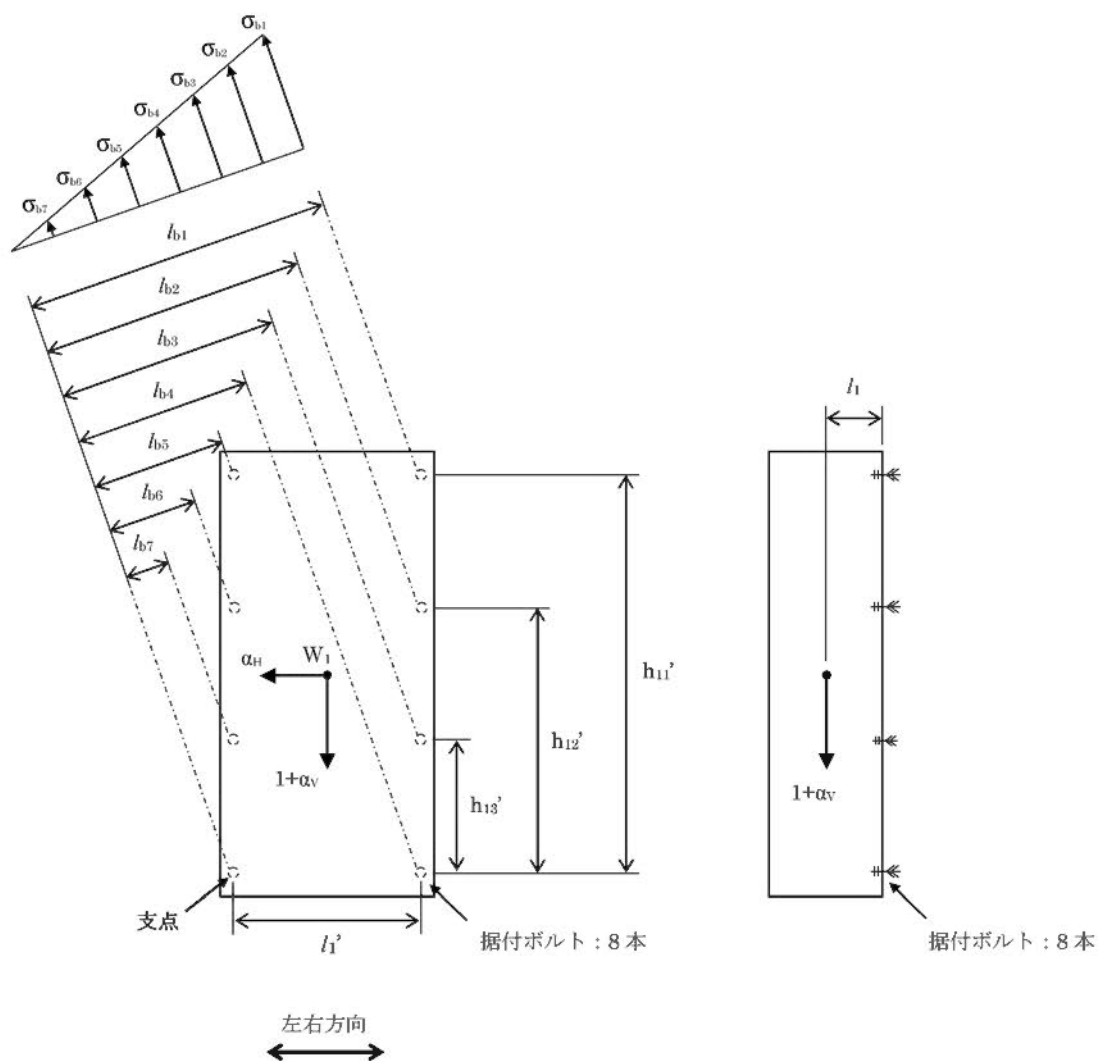
$$\tau_a = \frac{W_1 g (1 + \alpha_V)}{N_1 S_1}$$

(ロ) 左右方向

$$\tau_b = \frac{W_1 g \sqrt{\alpha_H^2 + (1 + \alpha_V)^2}}{N_1 S_1}$$



第4-11図 全域ハロン自動消火設備制御盤 据付ボルトの応力評価モデル(前後方向)



第4-12図 全域ハロン自動消火設備制御盤 据付ボルトの応力評価モデル(左右方向)

(b) 取付ボルト

全域ハロン自動消火設備制御盤の取付ボルトの評価式を以下に、応力評価モデルを第4-13図及び第4-14図に示す。

イ. 取付ボルトに発生する最大引張応力

(イ) 前後方向

応力は支点からの距離に比例することから、

$$\frac{\sigma_{c1}}{l_{c1}} = \frac{\sigma_{c2}}{l_{c2}} = \frac{\sigma_{c3}}{l_{c3}} = \frac{\sigma_{c4}}{l_{c4}}$$

モーメントのつり合いより、

$$\begin{aligned} \sigma_{c1} l_{c1} n_{c1} S_2 + \sigma_{c2} l_{c2} n_{c2} S_2 + \sigma_{c3} l_{c3} n_{c3} S_2 + \sigma_{c4} l_{c4} n_{c4} S_2 \\ = W_2 g \alpha_H h_2 + W_2 g (1 + \alpha_V) l_2 \end{aligned}$$

以上の式より、

$$\sigma_{c1} = \frac{W_2 l_{c1} g (\alpha_H h_2 + (1 + \alpha_V) l_2)}{S_2 (l_{c1}^2 n_{c1} + l_{c2}^2 n_{c2} + l_{c3}^2 n_{c3} + l_{c4}^2 n_{c4})} = \sigma_{cmax}$$

(ロ) 左右方向

応力は支点からの距離に比例することから、

$$\frac{\sigma_{d1}}{l_{d1}} = \frac{\sigma_{d2}}{l_{d2}} = \frac{\sigma_{d3}}{l_{d3}} = \frac{\sigma_{d4}}{l_{d4}} = \frac{\sigma_{d5}}{l_{d5}} = \frac{\sigma_{d6}}{l_{d6}} = \frac{\sigma_{d7}}{l_{d7}}$$

モーメントのつり合いより、

$$\begin{aligned} l_{d1} S_2 \sigma_{d1} + l_{d2} S_2 \sigma_{d2} + l_{d3} S_2 \sigma_{d3} + l_{d4} S_2 \sigma_{d4} + l_{d5} S_2 \sigma_{d5} + l_{d6} S_2 \sigma_{d6} + l_{d7} S_2 \sigma_{d7} \\ = W_2 l_2 g \sqrt{\alpha_H^2 + (1 + \alpha_V)^2} \end{aligned}$$

以上の式より、

$$\sigma_{d1} = \frac{W_2 l_2 g \sqrt{\alpha_H^2 + (1 + \alpha_V)^2} \cdot l_{d1}}{S_2 (l_{d1}^2 + l_{d2}^2 + l_{d3}^2 + l_{d4}^2 + l_{d5}^2 + l_{d6}^2 + l_{d7}^2)} = \sigma_{dmax}$$

ここで、

$$\begin{aligned}
 l_{d1} &= l_2' \cos\theta + h_{21}' \sin\theta \\
 l_{d2} &= l_2' \cos\theta + h_{23}' \sin\theta \\
 l_{d3} &= l_2' \cos\theta + h_{24}' \sin\theta \\
 l_{d4} &= l_2' \cos\theta \\
 l_{b5} &= h_{21}' \sin\theta \\
 l_{d6} &= h_{22}' \sin\theta \\
 l_{d7} &= h_{24}' \sin\theta \quad \text{とする。}
 \end{aligned}$$

但し、 $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{1+\alpha_V}{\alpha_H}\right)$

ロ. 取付ボルトに発生するせん断応力

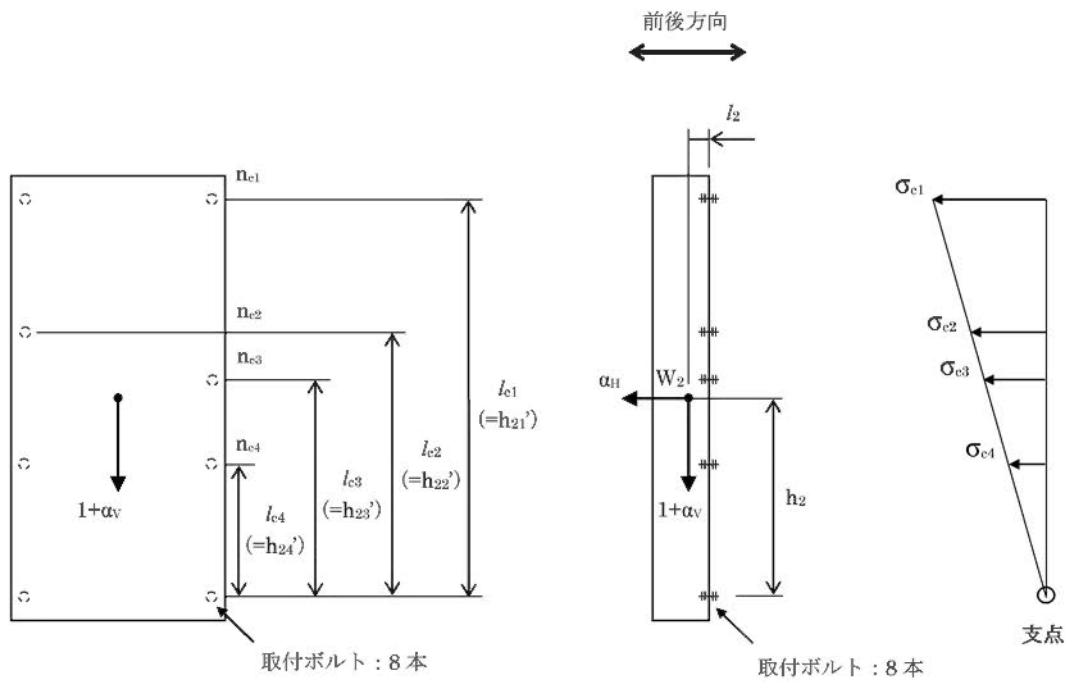
取付ボルトに発生するせん断応力は、ボルト全本数(N_2)で受けるものとして計算する。

(イ) 前後方向

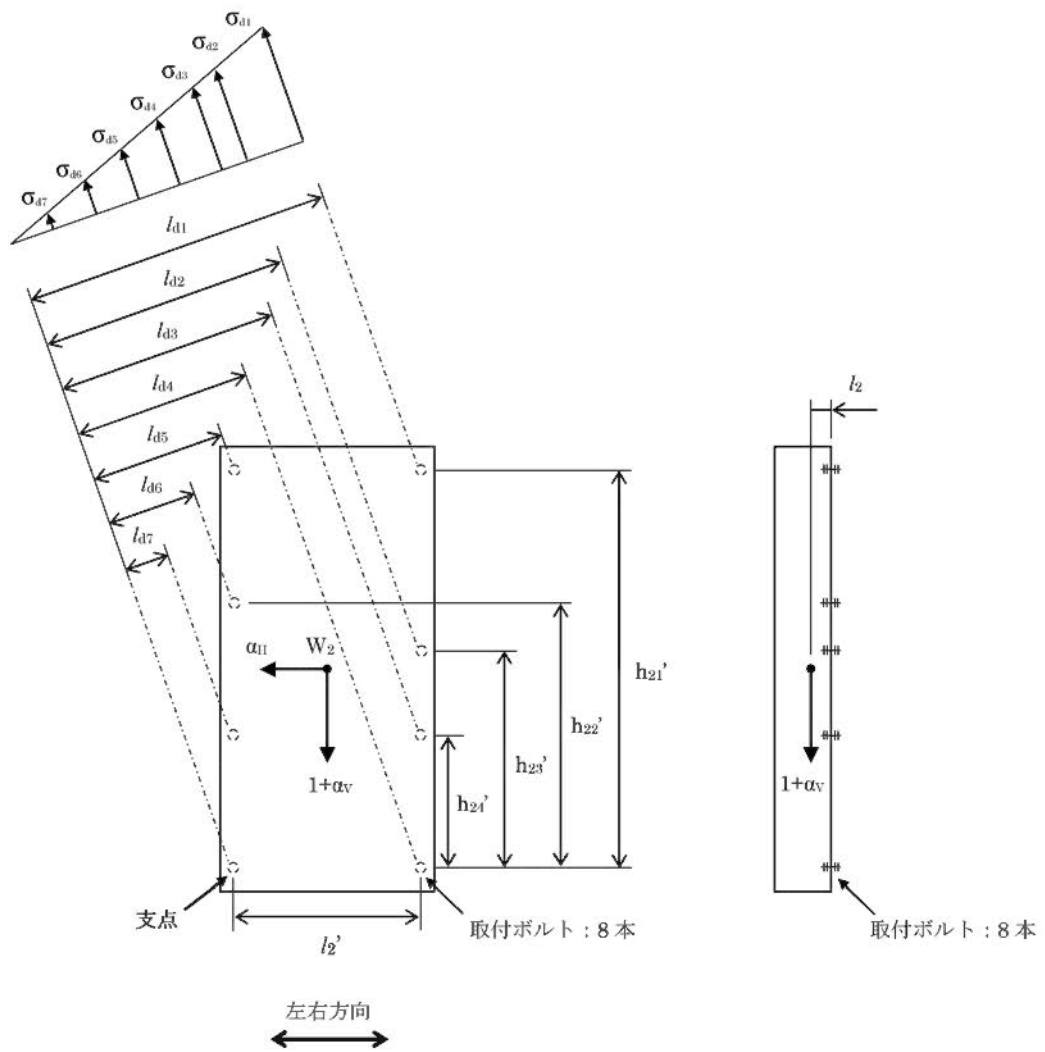
$$\tau_c = \frac{W_2 g (1 + \alpha_V)}{N_2 S_2}$$

(ロ) 左右方向

$$\tau_d = \frac{W_2 g \sqrt{\alpha_H^2 + (1 + \alpha_V)^2}}{N_2 S_2}$$



第4-13図 全域ハロン自動消火設備制御盤 取付ボルトの応力評価モデル(前後方向)



第4-14図 全域ハロン自動消火設備制御盤 取付ボルトの応力評価モデル(左右方向)

4.2.4 3次元 FEM モデルによる解析

「4.1 地震応答解析」において、3次元 FEM モデルによる地震応答解析を実施する設備は、解析により求めた荷重を用いて応力評価を実施する。3次元 FEM モデルによる地震応答解析を実施するハロンボンベ設備のラック及び基礎ボルトの応力評価について以下に示す。

(1) 記号の定義

ハロンボンベ設備のラック及び基礎ボルトの応力評価に用いる記号の定義を第4-12表に示す。

第4-12表 ラック及び基礎ボルトの応力評価に用いる記号の定義

記号	単位	記号の定義
A	mm ²	基礎ボルト 1 本当たりの断面積
F _s	N	基礎ボルト 1 本当たりに作用するせん断力
F _t	N	基礎ボルト 1 本当たりに作用する引張力
σ	MPa	ラックの組合せ応力
σ _a	MPa	ラックの軸応力
σ _b	MPa	ラックの曲げ応力
σ _{bt}	MPa	基礎ボルトに発生する引張応力
τ	MPa	ラックのせん断応力
τ _b	MPa	基礎ボルトに発生するせん断応力
τ _t	MPa	ラックのねじりモーメントによるせん断応力

(2) 発生応力の評価式

a. ラックの構造強度評価

(a) 組合せ応力

3次元 FEM モデルによる地震応答解析にて算出するラックの軸応力、曲げ応力及びせん断応力を用いて、以下の式によりラックの組合せ応力を算出する。

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_b)^2 + 3(\tau + \tau_t)^2}$$

b. 基礎ボルトの構造強度評価

(a) 引張応力

3次元 FEM モデルによる地震応答解析にて算出する基礎ボルトの引張力及び基礎ボルトの断面積を用いて、以下の式により基礎ボルトの引張応力を算出する。

$$\sigma_b = \frac{F_t}{A}$$

(b) せん断応力

3次元 FEM モデルによる地震応答解析にて算出する基礎ボルトのせん断力及び基礎ボルトの断面積を用いて、以下の式により基礎ボルトのせん断応力を算出する。

$$\tau_b = \frac{F_s}{A}$$

4.2.5 標準支持間隔法

ハロンガス供給配管は、資料 12-12「配管及び弁の耐震計算並びに標準支持間隔の耐震計算について」に示す標準支持間隔法により設計する。

ハロンガス供給配管に接続されるハロンガス供給選択弁については、ハロンガス供給配管より厚肉構造のものを使用するため、配管より発生応力が小さくなる。一方、集中質量部であるハロンガス供給選択弁の支持間隔を求める際には、弁質量を付加して評価を行っている。このため、ハロンガス供給選択弁の評価は、配管の評価で包絡できる。

4.3 機能維持評価

火災感知設備及び消火設備は、基準地震動 S_s に対し、火災を早期に感知、消火する動的機能及び電氣的機能を保持することを性能目標としているため、火災感知設備及び消火設備の動的機能維持及び電氣的機能維持に係る耐震計算の方針は、資料 12-9「機能維持の基本方針」の「4. 機能維持」を用いる。

4.3.1 動的機能維持

地震時及び地震後に動的機能が要求される機器は、添付資料 5 の「5.2 消火設備について」に示す設備ごとの構造強度上の性能目標及び評価方針を踏まえ、基準地震動 S_s による当該設備設置場所の最大床加速度が、以下に示す機能確認済加速度以下であることを確認する。

(1) 消火設備

a. ハロンボンベ設備のうち容器弁

ハロンボンベ設備の構成部品である容器弁は、基準地震動 S_s による地震力に対し、地震応答解析により求めたハロンボンベ設備を設置する床の基準地震動 S_s による最大床加速度が、設置状態を模擬した加振試験にて容器弁単体の動的機能が保持できることを確認した加振台の加速度以下であることにより確認する。

b. ハロンガス供給選択弁

ハロンガス供給選択弁は、基準地震動 S_s による地震力に対し、地震応答解析により求めたハロンガス供給選択弁を設置する場所の基準地震動 S_s による最大床加速度が、設置状態を模擬した加振試験にてハロンガス供給選択弁単体の動的機能が保持できることを確認した加振台の加速度以下であることにより確認する。

4.3.2 電氣的機能維持

地震時及び地震後に電氣的機能が要求される機器は、添付資料 5 の「5.1 火災感知設備について」及び添付資料 5 の「5.2 消火設備について」に示す設備ごとの構造強度上の性能目標及び評価方針を踏まえ、基準地震動 S_s による当該設備設置場所の最大床加速度が、以下に示す機能確認済加速度以下であることを確認する。

(1) 火災感知設備

a. 火災感知器

火災感知器は、基準地震動 S_s による地震力に対し、地震応答解析により求めた火災感知器を設置する場所の基準地震動 S_s による最大床加速度が、設置状態を模擬した加振試験にて火災感知器単体の電氣的機能が保持できることを確認した加振台の加速度以下であることにより確認する。

b. 火災報知盤

火災報知盤は、基準地震動 S_s による地震力に対し、地震応答解析により求めた火災報知盤を設置する場所の基準地震動 S_s による最大床加速度が、設置状態を模擬した加振試験にて火災報知盤単体の電氣的機能が保持できることを確認した加振台の加速度以下であることにより確認する。

(2) 消火設備

a. 全域ハロン自動消火設備制御盤

全域ハロン自動消火設備制御盤は、基準地震動 S_s による地震力に対し、地震応答解析により求めた全域ハロン自動消火設備制御盤を設置する場所の基準地震動 S_s による最大床加速度が、設置状態を模擬した加振試験にて全域ハロン自動消火設備制御盤単体の電氣的機能が保持できることを確認した加振台の加速度以下であることにより確認する。

4.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の考慮

基準地震動 S_s による地震力による耐震性評価を実施する火災感知設備及び消火設備に関する、水平 2 方向及び鉛直方向の組合せによる影響評価については、資料 12-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の評価方針及び評価方法に基づき評価を行う。

評価内容及び評価結果は、別添 1-8「火災防護設備の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」に示す。

5. 適用規格

添付資料 5 に記載している以下の指針等を適用する。

- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012 年版〈第 I 編 軽水炉規格〉）JSME S NC1-2012」（日本機械学会）
- ・「発電用原子力設備規格 材料規格（2012 年版）JSME S NJ1-2012」（日本機械学会）
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針」（JEAG4601-1987）日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編」（JEAG4601・補-1984）日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針」（JEAG4601-1991 追補版）日本電気協会
- ・JIS G 3112-1987 鉄筋コンクリート用棒鋼

火災感知器の耐震計算書

目 次

	頁
1. 概 要	12 (3) - 別添 1 - 2 - 1
2. 基本方針	12 (3) - 別添 1 - 2 - 2
2.1 位 置	12 (3) - 別添 1 - 2 - 2
2.2 構造概要	12 (3) - 別添 1 - 2 - 2
2.3 評価方針	12 (3) - 別添 1 - 2 - 8
2.4 適用規格	12 (3) - 別添 1 - 2 - 8
3. 地震応答解析	12 (3) - 別添 1 - 2 - 10
3.1 基本方針	12 (3) - 別添 1 - 2 - 10
3.2 解析方法	12 (3) - 別添 1 - 2 - 10
3.3 固有値解析結果	12 (3) - 別添 1 - 2 - 11
4. 応力評価	12 (3) - 別添 1 - 2 - 12
4.1 基本方針	12 (3) - 別添 1 - 2 - 12
4.2 評価対象部位	12 (3) - 別添 1 - 2 - 12
4.3 荷重及び荷重の組合せ	12 (3) - 別添 1 - 2 - 12
4.4 許容限界	12 (3) - 別添 1 - 2 - 14
4.5 評価方法	12 (3) - 別添 1 - 2 - 15
5. 機能維持評価	12 (3) - 別添 1 - 2 - 29
5.1 基本方針	12 (3) - 別添 1 - 2 - 29
5.2 評価対象部位	12 (3) - 別添 1 - 2 - 29
5.3 許容限界	12 (3) - 別添 1 - 2 - 29
5.4 評価方法	12 (3) - 別添 1 - 2 - 29
6. 評価条件	12 (3) - 別添 1 - 2 - 31
6.1 応力評価条件	12 (3) - 別添 1 - 2 - 31
6.2 機能維持評価条件	12 (3) - 別添 1 - 2 - 40
7. 耐震評価結果	12 (3) - 別添 1 - 2 - 41

1. 概 要

本資料は、別添 1-1「火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「別添 1-1」という。）に示すとおり、火災感知器が、地震時及び地震後においても、基準地震動 S_s による地震力に対し、火災を早期に感知する機能を保持するために、耐震性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

別添 1-1 の「2.1 評価対象設備」に示す火災感知器の構造計画を、「2.1 位置」及び「2.2 構造概要」に示す。

2.1 位置

火災感知器は、別添 1-1 の「2.1 評価対象設備」のうち構造計画に示すとおり、火災区域又は火災区画における放射線、取付面高さ、温度、湿度、空気流等の環境条件及び炎が生じる前に発煙する等の予想される火災の性質を考慮して選定された種類の火災感知器を緊急時対策棟及び緊急時対策棟屋外地下エリアに設置する設計とする。

2.2 構造概要

火災感知器の構造は、別添 1-1 の「2.1 評価対象設備」に示す構造計画としており、火災感知器の構造計画を第 2-1 表に、外観図を第 2-1 図から第 2-5 図に示す。

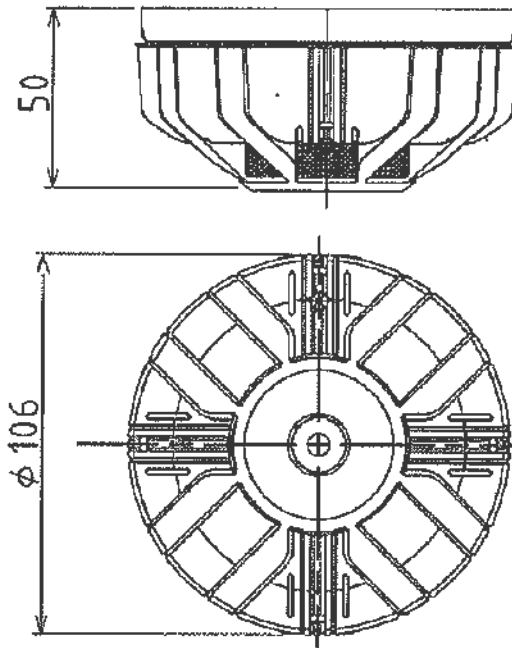
第 2-1 表 火災感知器の構造計画 (1/2)

機器名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
煙感知器 (アナログ) 熱感知器 (アナログ)	煙感知器 熱感知器	各火災感知器は、取付ボルトにて固定金具に取り付け、固定金具を据付ボルトにより、建屋天井のコンクリート躯体に据え付ける。	

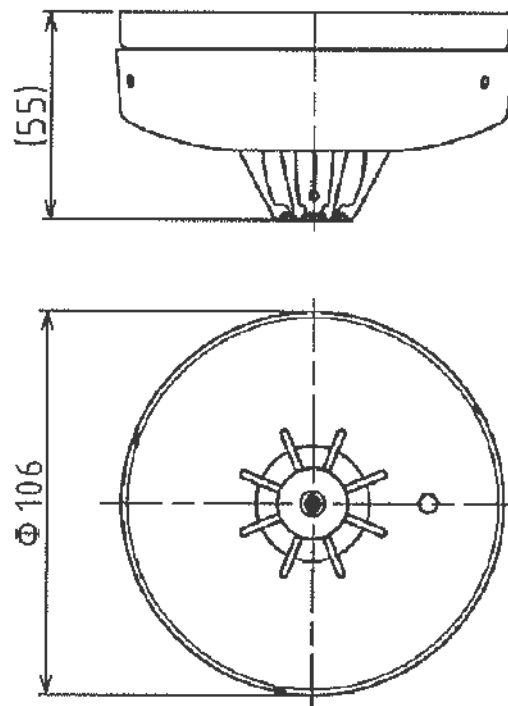
第2-1表 火災感知器の構造計画 (2/2)

機器名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
煙感知器 (防爆)	煙感知器	煙感知器（防爆）は、取付ボルトにて固定金具に取り付け、固定金具を据付ボルトにより、建屋壁のコンクリート躯体に据え付ける。	
熱感知器 (防爆)	熱感知器	熱感知器（防爆）は、取付ボルトにて固定金具に取り付け、固定金具を据付ボルトにより、建屋壁のコンクリート躯体に据え付ける。	
炎感知器	炎感知器	炎感知器は、取付ボルトにて固定金具に取り付け、固定金具を据付ボルトにより、建屋壁のコンクリート躯体に据え付ける。	

(単位：mm)

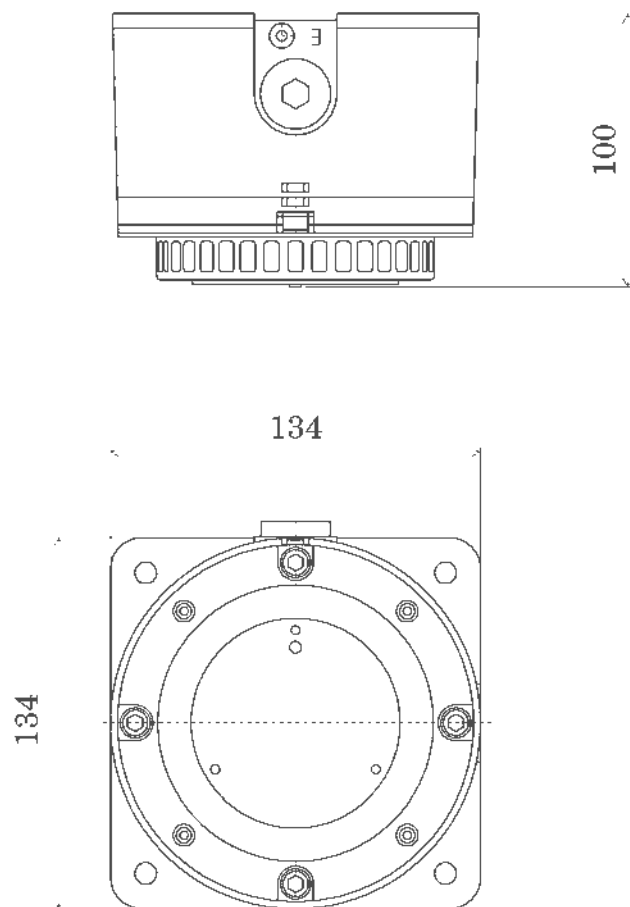


第2-1図 煙感知器（アナログ） 外観図



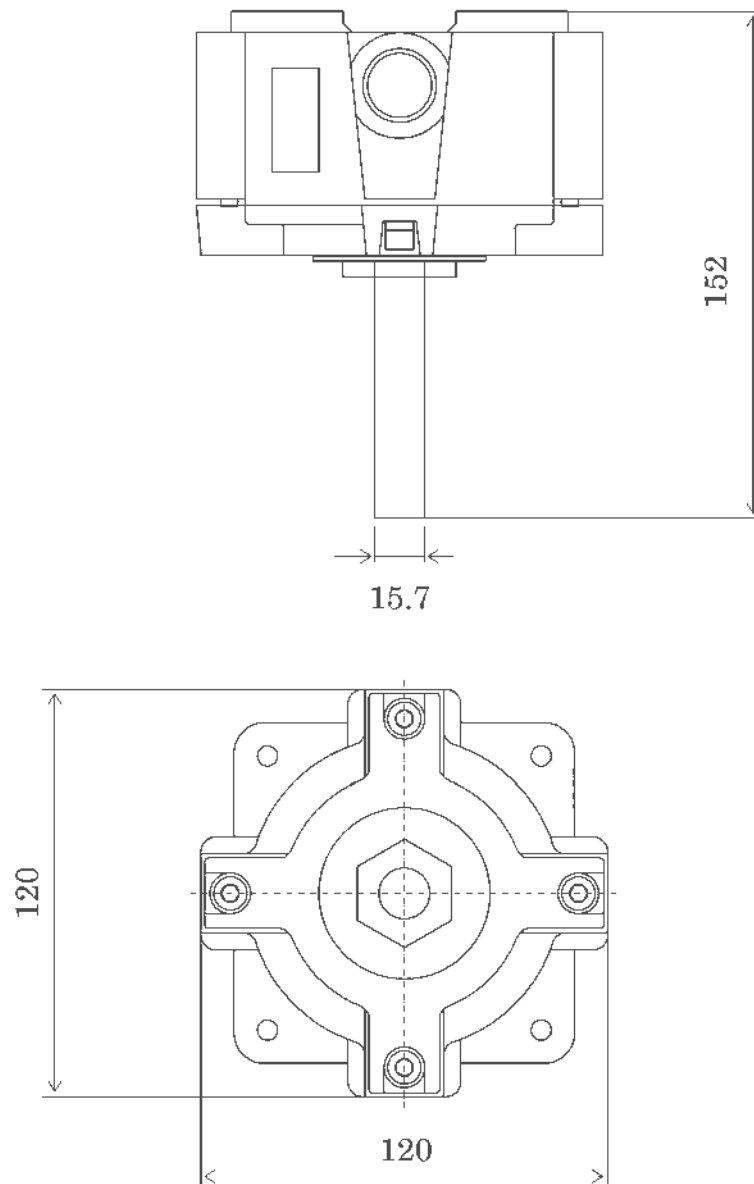
第2-2図 熱感知器（アナログ） 外観図

(単位：mm)



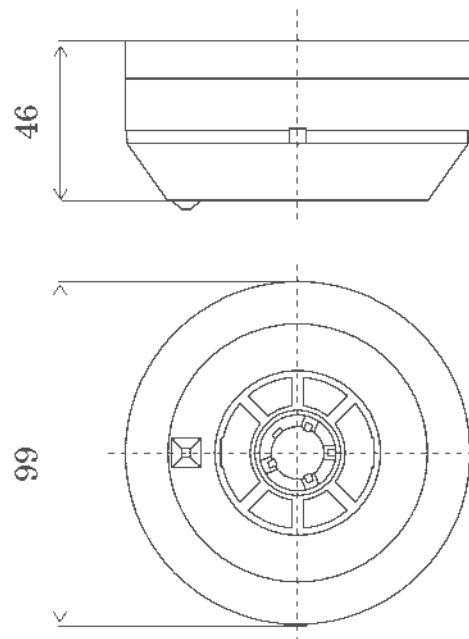
第 2-3 図 煙感知器 (防爆) 外觀図

(単位：mm)



第 2-4 図 熱感知器 (防爆) 外觀図

(単位：mm)



第2-5図 炎感知器 外観図

2.3 評価方針

火災感知器は、別添 1-1 の「4.2 応力評価」に示す応力評価の方針に従い、応力評価を実施する。

火災感知器の応力評価は、「3. 地震応答解析」及び「4. 応力評価」に示す方法により、「6. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「7. 耐震評価結果」において火災感知器の評価対象部位に発生する応力が許容限界に収まることを確認する。

火災感知器は、別添 1-1 の「4.3 機能維持評価」に示す機能維持評価の方針に従い、電氣的機能維持評価を実施する。

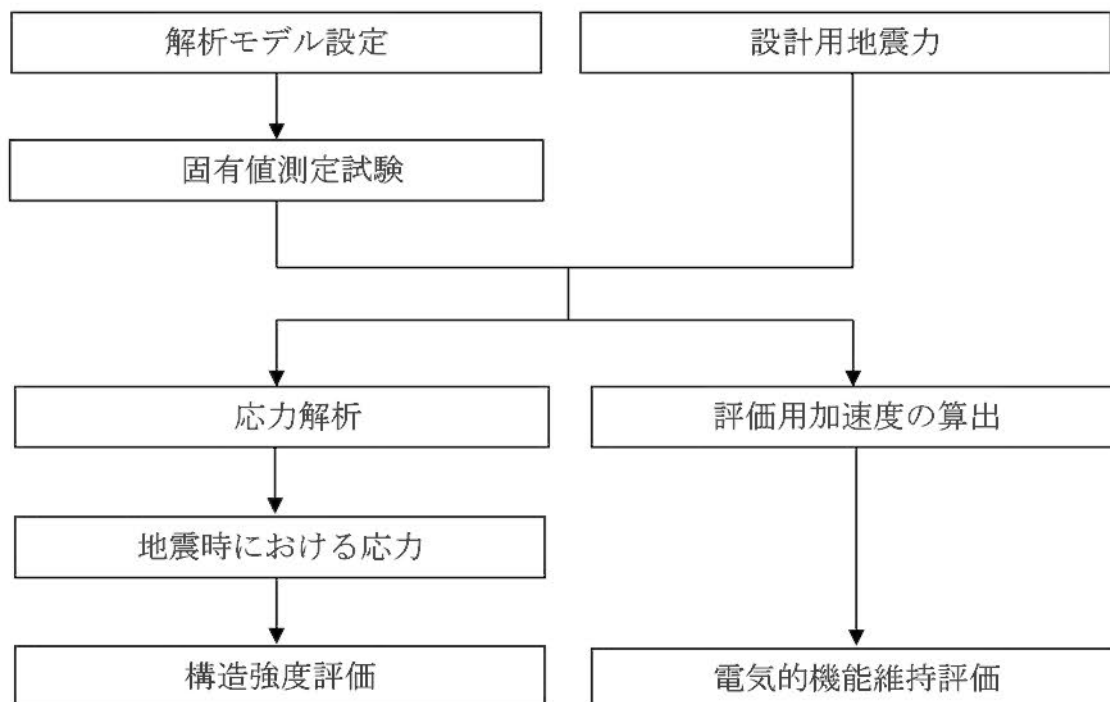
火災感知器の電氣的機能維持評価は、「3. 地震応答解析」及び「5. 機能維持評価」に示す方法により、「6. 評価条件」に示す評価条件を用い、「7. 耐震評価結果」において火災感知器の評価用加速度が機能確認済加速度以下となることを確認する。

火災感知器の耐震評価フローを第 2-6 図に示す。

2.4 適用規格

適用する規格、基準等を以下に示す。

- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」(JSME S NC1-2012)
日本機械学会
- ・「発電用原子力設備規格 材料規格」(JSME S NJ1-2012)
日本機械学会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-1987) 日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編」
(JEAG4601・補-1984) 日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-1991 追補版) 日本電気協会



第 2-6 図 火災感知器の耐震評価フロー

3. 地震応答解析

3.1 基本方針

火災感知器は、別添 1-1 の「4.1 地震応答解析」に示す評価方針に従い、地震応答解析を実施する。

火災感知器本体の地震応答解析は、「3.2 解析方法」に示す方法により、「3.3 固有値解析結果」において火災感知器本体の固有振動数を評価する。

3.2 解析方法

火災感知器は、固定金具等の支持構造物も含めた火災感知器の設置状態を模擬し、正弦波掃引試験を実施する。

3.3 固有値解析結果

火災感知器の固有値解析結果を第 3-1 表に示す。

第 3-1 表 火災感知器の固有振動数

設備名称		方向	固有振動数 (Hz)
火災感知器	煙感知器 (アナログ)	上下	30 以上
		前後	30 以上
		左右	30 以上
	熱感知器 (アナログ)	上下	30 以上
		前後	30 以上
		左右	30 以上
	煙感知器 (防爆)	上下	30 以上
		前後	30 以上
		左右	30 以上
	熱感知器 (防爆)	上下	30 以上
		前後	30 以上
		左右	30 以上
	炎感知器	上下	23.8
		前後	25.1
		左右	22.5

4. 応力評価

4.1 基本方針

火災感知器は、別添 1-1 の「4.2 応力評価」に示す評価方針に従い、応力評価を実施する。

火災感知器の応力評価は、「4.2 評価対象部位」に示す評価対象部位が、「4.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せに対し「4.4 許容限界」に示す許容限界に収まることを、「4.5 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2 評価対象部位

火災感知器の評価対象部位は、別添 1-1 の「3.2 許容限界」に示すとおり、評価対象部位である据付ボルトとする。

4.3 荷重及び荷重の組合せ

応力評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、別添 1-1 の「3.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

4.3.1 荷重の種類

応力評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

(1) 死荷重(D)

死荷重は、固定金具等を含めた火災感知器の自重とする。

(2) 地震荷重(Ss)

地震荷重は、基準地震動 Ss による地震力とする。

4.3.2 荷重の組合せ

応力評価に用いる荷重の組合せは、火災感知器の評価対象部位ごとに設定する。荷重の組合せを第4-1表に示す。

第4-1表 荷重の組合せ

設備名称		評価対象部位	荷重の組合せ
火災感知器	煙感知器（アナログ）	据付ボルト	D+Ss
	熱感知器（アナログ）	据付ボルト	D+Ss
	煙感知器（防爆）	据付ボルト	D+Ss
	熱感知器（防爆）	据付ボルト	D+Ss
	炎感知器	据付ボルト	D+Ss

4.4 許容限界

火災感知器の許容限界は、「4.2 評価対象部位」に示す評価対象部位の機能損傷モードを考慮し、別添 1-1 の「3.2 許容限界」に示す許容限界に従い、許容応力状態 IV_{AS} の許容応力とする。

各評価対象部位の許容限界を第 4-2 表に示す。

第 4-2 表 据付ボルトの許容限界

評価対象部位	耐震 クラス	荷重の組合せ	許容 応力 状態	許容限界 ^(注1) ^(注2)	
				一次応力	
				引張 ^(注3)	せん断 ^(注3)
据付ボルト	—	D+Ss	IV_{AS}	$1.5f_t^*$	$1.5f_s^*$

(注 1) f_t^* , f_s^* : JSME S NC1-2012 SSB-3121.1(1)a 本文中 S_y 及び $S_y(RT)$ を $1.2S_y$ 及び $1.2S_y(RT)$ と読み替えて算出した値 (JSME S NC1-2012 SSB-3133)。但し、 S_y 及び $0.7S_u$ のいずれか小さい方の値とする。

(注 2) JEAG4601・補-1984 の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

(注 3) ボルトにせん断力が作用する場合、組合せ評価を実施する。その際の許容応力値は、JSME S NC1-2012 SSB-3133 に基づき、 $\text{Min} (1.4(1.5f_t^*) - 1.6 \tau_b, 1.5f_t^*)$ とする。

4.5 評価方法

火災感知器の応力評価は、支持構造に応じて一点固定型、二点固定型、四点固定型に分類でき、別添 1-1 の「4.2 応力評価」に示す。

各々の評価式より評価対象部位の発生応力を計算し、許容応力以下となることを次のとおり確認する。

- ・ 応力評価モデルは 1 質点系モデルとし、火災感知器の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- ・ 許容応力について JSME S NJ1-2012 の Part3 を用いて計算する際に、温度が図表記載温度の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。但し、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- ・ 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.5.1 記号の定義

一点固定型における据付ボルトの応力評価に用いる記号を第 4-3 表に、二点固定型における据付ボルトの応力評価に用いる記号を第 4-4 表に、四点固定型における据付ボルトの応力評価に用いる記号を第 4-5 表に示す。

第 4-3 表 一点固定型における据付ボルトの応力評価に用いる記号

記号	単位	記号の定義
d	mm	据付ボルト呼び径
g	m/s^2	重力加速度
l_1	mm	天井面より機器重心までの鉛直距離
l_2	mm	据付ボルトより固定金具端部までの水平距離
l_3		
l_4	mm	据付ボルトより機器重心までの水平距離
N	本	据付ボルト総数
p_x	N	固定金具に作用する反力
p_y		
p_z		
S	mm^2	据付ボルト断面積
W	kg	機器質量
α_H	—	水平震度
α_V	—	鉛直震度
σ_{xz}	MPa	据付ボルトに発生する引張応力（前後方向）
σ_{yz}	MPa	据付ボルトに発生する引張応力（左右方向）
τ_{xz}	MPa	据付ボルトに発生するせん断応力（前後方向）
τ_{yz}	MPa	据付ボルトに発生するせん断応力（左右方向）

第 4-4 表 二点固定型における据付ボルトの応力評価に用いる記号

記号	単位	記号の定義
d	mm	据付ボルト呼び径
F_x	N	水平地震力による荷重
F_y		
F_z	N	鉛直地震力及び自重による荷重
g	m/s ²	重力加速度
l_1	mm	曲がり部支点より機器重心までの鉛直距離
l_2	mm	壁面より曲がり部支点までの水平距離
l_3	mm	鉛直方向の据付ボルト間距離
l_4	mm	据付ボルトより固定金具端部までの水平距離
M_x	N・mm	モーメント荷重
M_y		
N	本	据付ボルト総数
r_1	mm	据付ボルト間中心より据付ボルトまでの距離
r_2		
r_{11}	mm	据付ボルト間中心より据付ボルトまでの最大距離 (鉛直方向)
S	mm ²	据付ボルト断面積
W	kg	機器質量
α_H	—	水平加速度
α_V	—	鉛直加速度
σ_{xz}	MPa	各据付ボルトに発生する引張応力 (前後方向)
σ_{yz}	MPa	各据付ボルトに発生する引張応力 (左右方向)
τ_{xz}	MPa	各据付ボルトに発生するせん断応力 (前後方向)
τ_{yz}	MPa	各据付ボルトに発生するせん断応力 (左右方向)

第 4-5 表 四点固定型における据付ボルトの応力評価に用いる記号

記号	単位	記号の定義
d	mm	据付ボルト呼び径
g	m/s ²	重力加速度
h	mm	据付ボルトより機器重心までの鉛直距離
h'	mm	鉛直方向の据付ボルト間距離
l	mm	壁面より機器重心までの水平距離
l'	mm	水平方向の据付ボルト間距離
l_{a1}	mm	支点よりの据付ボルト間距離（前後方向）
l_{b1}	mm	支点よりの据付ボルト間距離（左右方向）
l_{b2}		
l_{b3}		
n_1	本	各列の据付ボルト本数
N	本	据付ボルト総数
S	mm ²	据付ボルト断面積
W	kg	機器質量
α_H	—	水平震度
α_V	—	鉛直震度
σ_{a1}	MPa	各据付ボルトに発生する引張応力（前後方向）
σ_{b1}	MPa	各据付ボルトに発生する引張応力（左右方向）
σ_{b2}		
σ_{b3}		
σ_{amax}	MPa	最大引張応力（前後方向）
σ_{bmax}	MPa	最大引張応力（左右方向）
τ_a	MPa	各据付ボルトに発生するせん断応力（前後方向）
τ_b	MPa	各据付ボルトに発生するせん断応力（左右方向）

4.5.2 応力評価モデル及び評価式

応力評価モデルは、1 質点系モデルであり、火災感知器の重心位置に地震荷重が作用するものとする。

(1) 一点固定型の構造強度評価

「6. 評価条件」に示す評価条件を用いて、以下の式により煙感知器（アナログ）及び熱感知器（アナログ）における据付ボルトの発生応力を算出する。一点固定型の応力評価モデルを第 4-1 図に示す。

a. 固定金具に作用する反力

自重及び基準地震動 S_s による地震力によって固定金具に作用する反力を、以下の式より算出する。

$$\begin{aligned} p_x &= p_y = Wg\alpha_H \\ p_z &= Wg(1+\alpha_V) \end{aligned}$$

b. 据付ボルトに発生する引張応力

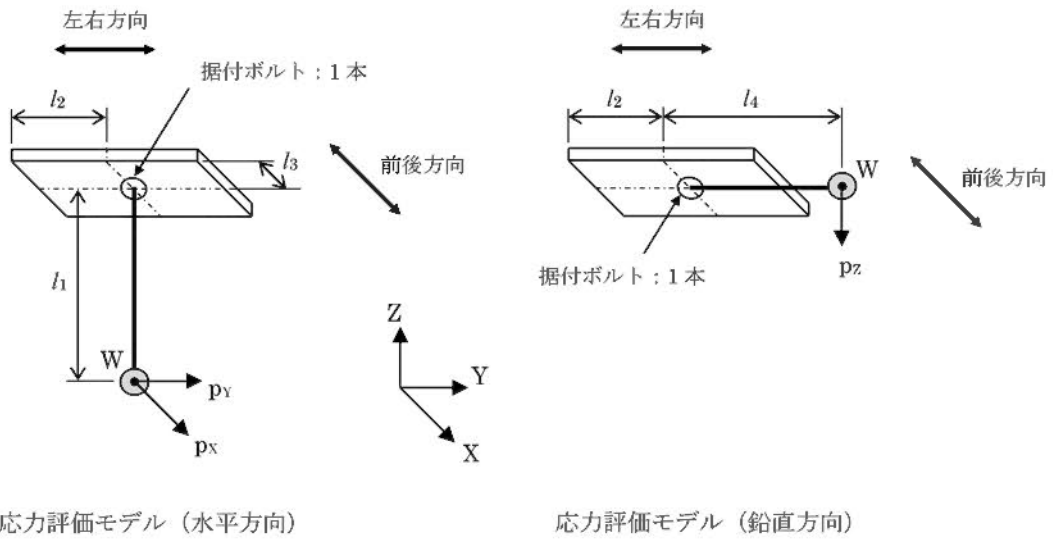
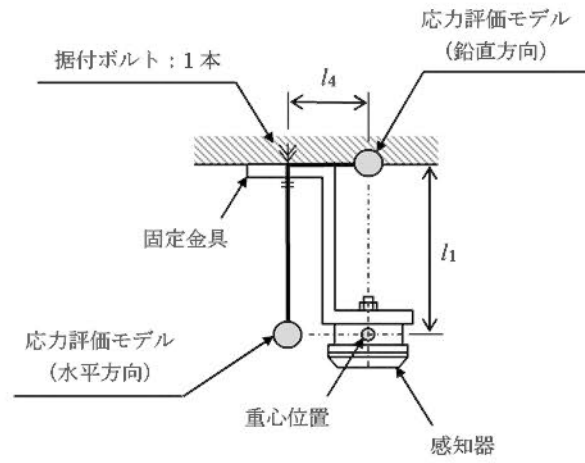
据付ボルトに作用する反力のモーメントのつり合い及び鉛直方向反力により、引張応力を算出する。

$$\begin{aligned} \sigma_{xz} &= \frac{1}{S} \left(\frac{p_x l_1}{l_3} + \frac{p_z l_4}{l_2} + p_z \right) \\ \sigma_{yz} &= \frac{1}{S} \left(\frac{p_y l_1}{l_2} + \frac{p_z l_4}{l_2} + p_z \right) \end{aligned}$$

c. 据付ボルトに発生するせん断応力

据付ボルトに作用する水平方向反力により、せん断応力を算出する。

$$\begin{aligned} \tau_{xz} &= \frac{p_x}{S} \\ \tau_{yz} &= \frac{p_y}{S} \end{aligned}$$



第 4-1 図 一点固定型の応力評価モデル

(2) 二点固定型の構造強度評価

「6. 評価条件」に示す評価条件を用いて、以下の式により炎感知器における据付ボルトの発生応力を算出する。二点固定型の反力評価モデルを第 4-2 図に、応力評価モデルを第 4-3 図に示す。

曲がり部支点に作用する反力を算出し、据付ボルトに作用する反力評価モデルに付加することで、据付ボルトに発生する応力を算出する。

a. 曲がり部支点に作用する反力

- ・ 水平地震力による荷重

$$F_x = F_y = Wg\alpha_H$$

- ・ 水平地震力によるモーメント

$$M_x = M_y = F_x l_1$$

- ・ 鉛直地震力及び自重による荷重

$$F_z = Wg(1 + \alpha_V)$$

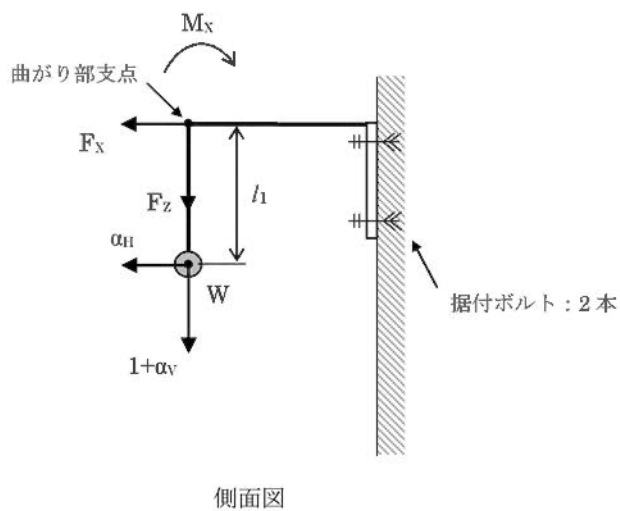
b. 据付ボルトに作用する反力

(a) 前後方向

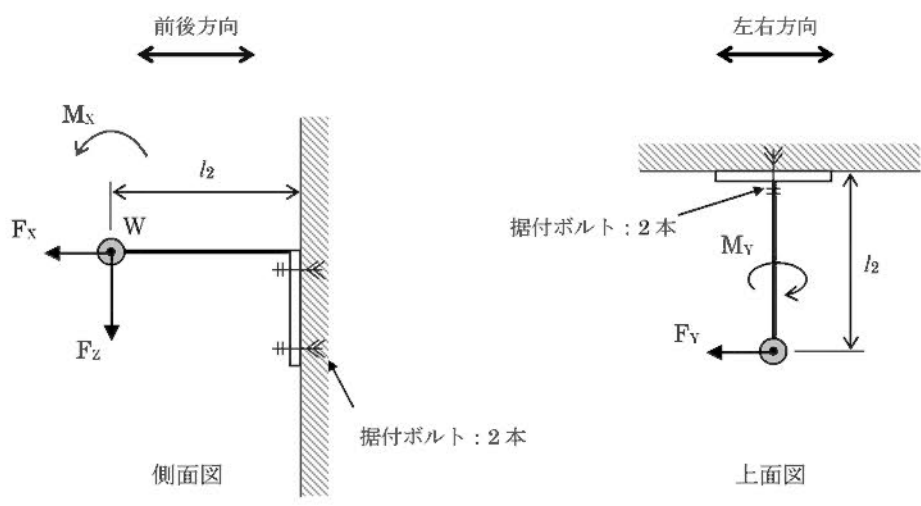
- ・ 引張方向荷重 : F_x
- ・ せん断方向荷重 : F_z
- ・ 曲げモーメント荷重 : M_x 、 $F_z l_2$

(b) 左右方向

- ・ せん断方向荷重 : F_y 、 F_z
- ・ 曲げモーメント荷重 : $F_y l_2$ 、 $F_z l_2$
- ・ ねじりモーメント荷重 : M_y



曲がり部支点に作用する反力評価モデル



据付ボルトに作用する反力評価モデル

第 4-2 図 二点固定型の反力評価モデル

c. 据付ボルトに発生する引張応力

据付ボルトに作用する反力のモーメントのつり合いにより、引張応力を算出する。

(a) 前後方向

$$\sigma_{xz} = \frac{1}{S} \left(\frac{F_x}{N} + \frac{M_x + F_z l_2}{l_3} \right)$$

(b) 左右方向

$$\sigma_{yz} = \frac{l_2}{S} \left(\frac{F_y}{l_1 N} + \frac{F_z}{l_3} \right)$$

d. 据付ボルトに発生するせん断応力

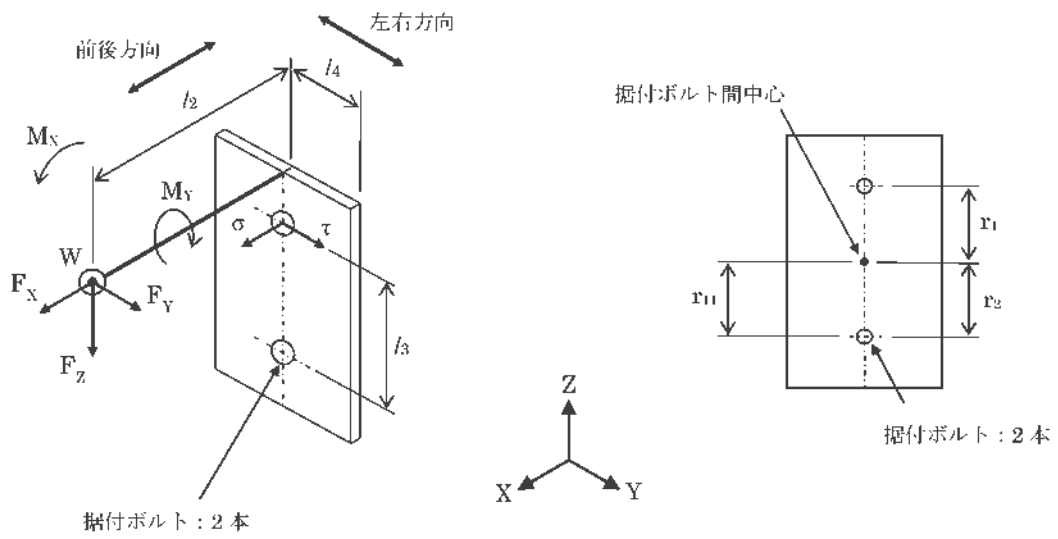
据付ボルトに発生するせん断応力は、ボルト全本数(N)で受けるものとして計算する。

(a) 前後方向

$$\tau_{xz} = \frac{F_z}{NS}$$

(b) 左右方向

$$\tau_{yz} = \sqrt{\left\{ \frac{F_y}{NS} + \frac{M_y r_{11}}{(r_1^2 + r_2^2)S} \right\}^2 + \left(\frac{F_z}{NS} \right)^2}$$



応力評価モデル

第4-3図 二点固定型の応力評価モデル

(3) 四点固定型の構造強度評価

「6. 評価条件」に示す評価条件を用いて、以下の式により煙感知器（防爆）及び熱感知器（防爆）における据付ボルトの発生応力を算出する。四点固定型の応力評価モデル（前後方向）を第 4-4 図に、四点固定型の応力評価モデル（左右方向）を第 4-5 図に示す。

a. 前後方向

(a) 据付ボルトに発生する最大引張応力

据付ボルトに発生する引張応力は、最も厳しい条件として、片側のボルトを支点とし、この支点から最も離れた位置にあるボルト（評価本数 n_1 ）で受けるものとして計算する。

モーメントの釣合式より、

$$\sigma_{al} l_{al} n_1 S = Wg \alpha_H h + Wg(1 + \alpha_V) l$$

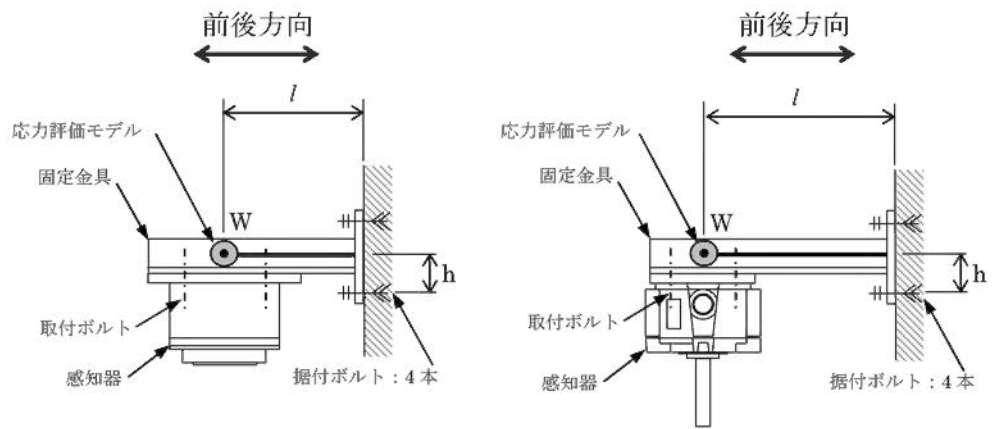
以上の式より

$$\sigma_{al} = \frac{Wg(\alpha_H h + (1 + \alpha_V) l)}{S l_{al} n_1} = \sigma_{a \max}$$

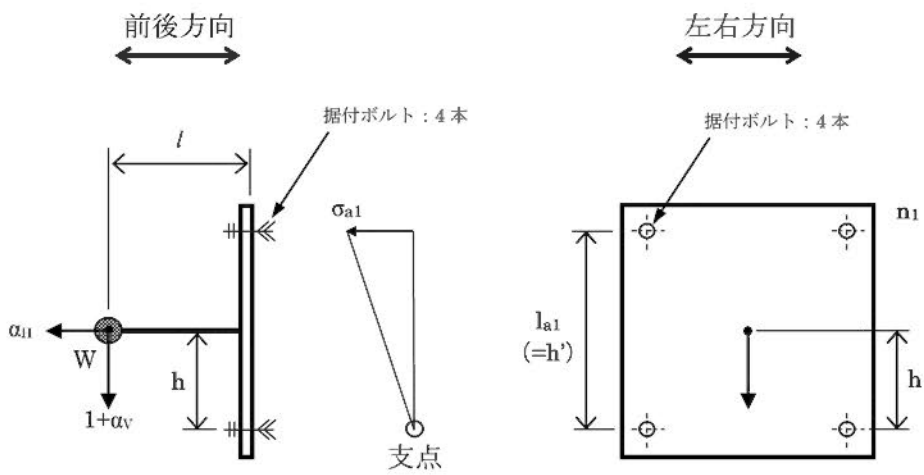
(b) 据付ボルトに発生するせん断応力

据付ボルトに発生するせん断応力は、ボルト全本数(N)で受けるものとして計算する。

$$\tau_a = \frac{Wg(1 + \alpha_V)}{NS}$$



四点固定型



第 4-4 図 四点固定型の応力評価モデル (前後方向)

b. 左右方向

(a) 据付ボルトに発生する最大引張応力

据付ボルトに発生する引張応力は、最も厳しい条件として、支点から最も離れたボルトについて計算する。

応力は、支点からの距離に比例することから、

$$\frac{\sigma_{b1}}{l_{b1}} = \frac{\sigma_{b2}}{l_{b2}} = \frac{\sigma_{b3}}{l_{b3}}$$

モーメントの釣合式より、

$$l_{b1}S\sigma_{b1} + l_{b2}S\sigma_{b2} + l_{b3}S\sigma_{b3} = W/g\sqrt{\alpha_H^2 + (1 + \alpha_V)^2}$$

以上の式より

$$\sigma_{b1} = \frac{W/g\sqrt{\alpha_H^2 + (1 + \alpha_V)^2} \cdot l_{b1}}{S(l_{b1}^2 + l_{b2}^2 + l_{b3}^2)} = \sigma_{b \max}$$

ここで、 $l_{b1} = h' \sin\theta + l' \cos\theta$

$$l_{b2} = h' \sin\theta$$

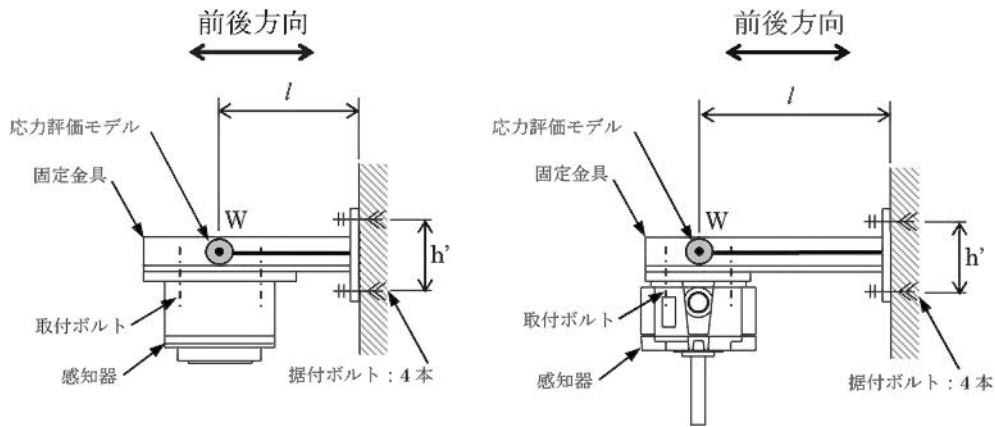
$$l_{b3} = l' \cos\theta \quad \text{とする。}$$

$$\text{但し、} \theta = \tan^{-1}\left(\frac{1 + \alpha_V}{\alpha_H}\right)$$

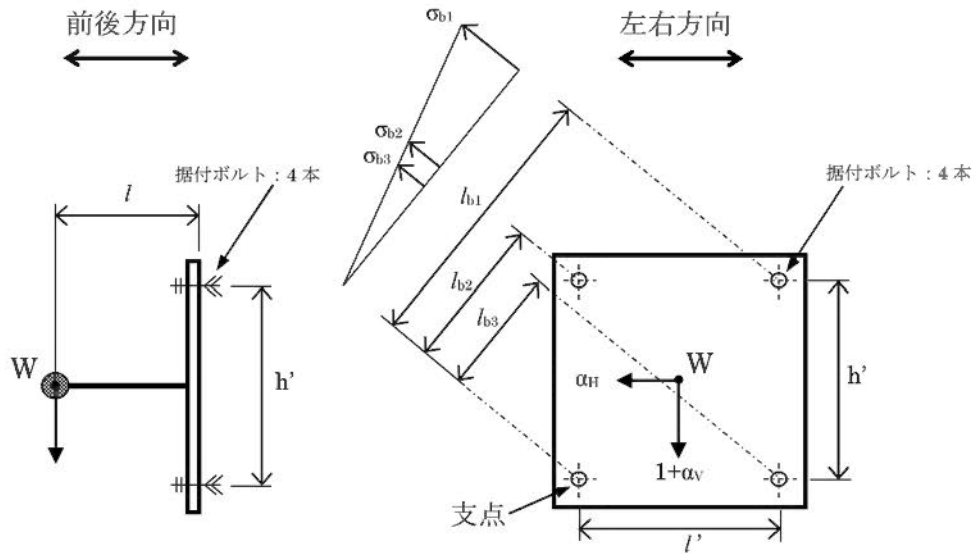
(b) 据付ボルトに発生するせん断応力

据付ボルトに発生するせん断応力は、ボルト全本数(N)で受けるものとして計算する。

$$\tau_b = \frac{Wg\sqrt{\alpha_H^2 + (1 + \alpha_V)^2}}{NS}$$



四点固定型



第 4-5 図 四点固定型の応力評価モデル (左右方向)

5. 機能維持評価

5.1 基本方針

火災感知器は、別添 1-1 の「4.3 機能維持評価」に示す評価方針に従い、機能維持評価を実施する。

火災感知器の機能維持評価は、「5.2 評価対象部位」に示す評価対象部位が、「5.3 許容限界」に示す許容限界に収まることを、「5.4 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

5.2 評価対象部位

火災感知器の評価対象部位は、別添 1-1 の「4.3 機能維持評価」の評価方針に示すとおり、地震時及び地震後に電氣的機能の保持が必要な火災感知器本体とする。

5.3 許容限界

火災感知器の許容限界は、別添 1-1 の「4.3 機能維持評価」に示す機能確認済加速度とする。

火災感知器の機能確認済加速度を第 5-1 表に示す。

5.4 評価方法

火災感知器の機能維持評価は、別添 1-1 の「4.3 機能維持評価」に示す評価方針に従い、火災感知器の評価用加速度が機能確認済加速度以下となることを確認する。

第5-1表 火災感知器の機能確認済加速度

設備名称		加速度確認箇所	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平方向	鉛直方向
火災感知器	煙感知器 (アナログ)	加振台への 取付位置	5.5	4.5
	熱感知器 (アナログ)	加振台への 取付位置	5.5	4.5
	煙感知器 (防爆)	加振台への 取付位置	7.5	4.5
	熱感知器 (防爆)	加振台への 取付位置	5.5	2.0
	炎感知器	加振台への 取付位置	5.5	2.0

6. 評価条件

「4. 応力評価」及び「5. 機能維持評価」に用いる評価条件を以下に示す。

6.1 応力評価条件

6.1.1 設計用地震力

火災感知器の設計用地震力は、第 6-1 表に示す条件を用いて作成した設計用床応答曲線を用いる。火災感知器の設置場所は 1 箇所限定されず複数箇所に設置されるため、設計用床応答曲線は、別添 1-1 の「4.1.1 入力地震動」に示す建屋の各場所における最大床加速度(S_s)のうち、最大の加速度となる場所を選定する。

第 6-1 表 火災感知器の設計用地震力

機器名称	地震動	設置場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備 考
			建屋 及び高さ (m)	方向	(注) 減衰定数 (%)	
煙感知器 (アナログ) 熱感知器 (アナログ)	基準 地震動 Ss	緊急時 対策棟 EL.37.60 他	緊急時 対策棟 EL.42.70	水平	1.0	水平方向は Ss-1~Ss-5 の X 方向及び Y 方向の包絡曲線を用いる。鉛直方向は Ss-1~Ss-5 の包絡曲線を用いる。
				鉛直	1.0	
煙感知器 (防爆) 熱感知器 (防爆)	基準 地震動 Ss	緊急時 対策棟 EL.30.75 他	緊急時 対策棟 EL.37.60	水平	1.0	水平方向は Ss-1~Ss-5 の X 方向及び Y 方向の包絡曲線を用いる。鉛直方向は Ss-1~Ss-5 の包絡曲線を用いる。
				鉛直	1.0	
炎感知器	基準 地震動 Ss	緊急時 対策棟 EL.30.75 他	緊急時 対策棟 EL.37.60	水平	1.0	水平方向は Ss-1~Ss-5 の X 方向及び Y 方向の包絡曲線を用いる。鉛直方向は Ss-1~Ss-5 の包絡曲線を用いる。
				鉛直	1.0	

(注) 別添 1-1 の「4.1.3 設計用減衰定数」に示す減衰定数とする。

6.1.2 許容応力条件

第6-2表に火災感知器の許容応力評価条件を示す。

第6-2表 火災感知器の許容応力評価条件

設備名称	評価対象 部位	材 料	評価用温度 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
煙感知器 (アナログ)	据付ボルト	SS400 相当	40 (雰囲気温度)	245	400	280
熱感知器 (アナログ)	据付ボルト	SS400 相当	40 (雰囲気温度)	245	400	280
煙感知器 (防爆)	据付ボルト	SS400 相当	40 (雰囲気温度)	245	400	280
熱感知器 (防爆)	据付ボルト	SS400 相当	40 (雰囲気温度)	245	400	280
炎感知器	据付ボルト	SS400 相当	40 (雰囲気温度)	245	400	280

記号の定義

S_y : 設計降伏点 JSME S NJ1-2012 の Part3 表 6 に規定される値

S_u : 設計引張強さ JSME S NJ1-2012 の Part3 表 7 に規定される値

F* : JSME S NC1-2012 SSB-3121.1(1)により規定される値

6.1.3 応力評価モデルの諸元

火災感知器は、「3.3 固有値解析結果」により固有振動数を確認した。

煙感知器（アナログ）、熱感知器（アナログ）、煙感知器（防爆）及び熱感知器（防爆）の固有振動数は上下方向 30Hz 以上、前後方向 30Hz 以上、左右方向 30Hz 以上であることを確認した。したがって、応力評価に使用する設計用加速度は、最大床加速度の 1.2 倍を使用する。

炎感知器の固有振動数は上下方向 23.8Hz、前後方向 25.1Hz、左右方向 22.5Hz であることを確認した。したがって、応力評価に使用する設計用加速度は、水平方向の設計用加速度は固有振動数が最小である 22.5Hz における応答加速度を、鉛直方向の設計用加速度は 23.8Hz における応答加速度を使用する。

火災感知器の応力評価モデルの諸元及び設計用加速度を第 6-3 表から第 6-12 表に示す。

第6-3表 煙感知器（アナログ）の応力評価モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
据付ボルト呼び径	d	mm	10
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
天井面より機器重心までの鉛直距離	l_1	mm	210
据付ボルトより固定金具端部までの水平距離	l_2	mm	30
	l_3	mm	25
据付ボルトより機器重心までの水平距離	l_4	mm	64
据付ボルト総数	N	本	1
据付ボルト断面積	S	mm ²	58
機器質量	W	kg	6

第6-4表 煙感知器（アナログ）の設計用加速度

方向	記号	設計用加速度 (×9.8m/s ²)
水平	α_H	2.928
鉛直	α_V	0.960

第6-5表 熱感知器（アナログ）の応力評価モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
据付ボルト呼び径	d	mm	10
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
天井面より機器重心までの鉛直距離	l_1	mm	210
据付ボルトより固定金具端部までの水平距離	l_2	mm	30
	l_3	mm	25
据付ボルトより機器重心までの水平距離	l_4	mm	64
据付ボルト総数	N	本	1
据付ボルト断面積	S	mm ²	58
機器質量	W	kg	6

第6-6表 熱感知器（アナログ）の設計用加速度

方向	記号	設計用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
水平	α_H	2.928
鉛直	α_V	0.960

第6-7表 煙感知器（防爆）の応力評価モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
据付ボルト呼び径	d	mm	10
支点より機器重心までの鉛直距離	h	mm	50
鉛直方向の据付ボルト間距離	h'	mm	100
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
壁面より機器重心までの水平距離	l	mm	137
水平方向の据付ボルト間距離	l'	mm	100
各列の据付ボルト本数	n ₁	本	2
据付ボルト総数	N	本	4
据付ボルト断面積	S	mm ²	58
機器質量	W	kg	10

第6-8表 煙感知器（防爆）の設計用加速度

方 向	記 号	設計用加速度 (×9.8m/s ²)
水平	α _h	2.088
鉛直	α _v	0.900

第6-9表 熱感知器（防爆）の応力評価モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
据付ボルト呼び径	d	mm	10
支点より機器重心までの鉛直距離	h	mm	50
鉛直方向の据付ボルト間距離	h'	mm	100
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
壁面より機器重心までの水平距離	l	mm	387
水平方向の据付ボルト間距離	l'	mm	100
各列の据付ボルト本数	n ₁	本	2
据付ボルト総数	N	本	4
据付ボルト断面積	S	mm ²	58
機器質量	W	kg	9

第6-10表 熱感知器（防爆）の設計用加速度

方 向	記 号	設計用加速度 (×9.8m/s ²)
水平	α _h	2.088
鉛直	α _v	0.900

第6-11表 炎感知器の応力評価モデルの諸元

項目	記号	単位	数値
据付ボルト呼び径	d	mm	8
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
曲がり部支点より機器重心までの鉛直距離	l_1	mm	129
壁面より曲がり部支点までの水平距離	l_2	mm	113
鉛直方向の据付ボルト間距離	l_3	mm	75
据付ボルトより固定金具端部までの水平距離	l_4	mm	52
据付ボルト総数	N	本	2
据付ボルト間中心より据付ボルトまでの距離	r_1	mm	37
	r_2	mm	37
据付ボルト間中心より据付ボルトまでの最大距離 (鉛直方向)	r_{11}	mm	37
据付ボルト断面積	S	mm ²	36.6
機器質量	W	kg	2

第6-12表 炎感知器の設計用加速度

項目	記号	設計用加速度 (×9.8m/s ²)
水平加速度	α_H	2.401
鉛直加速度	α_V	2.570

6.2 機能維持評価条件

6.2.1 設計用地震力

火災感知器の機能維持評価に用いる設計用地震力は、「6.1.1 設計用地震力」に示す。

6.2.2 評価用加速度

火災感知器は、30Hz 未満の固有振動数を含めて正弦波加振試験を実施していることから、火災感知器の機能維持評価に用いる評価用加速度は設置フロア上階床面の最大床加速度を使用する。

火災感知器の評価用加速度を第 6-13 表に示す。

第 6-13 表 火災感知器の評価用加速度

機器名称	方 向	評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
煙感知器 (アナログ)	水平	2.44
	鉛直	0.80
熱感知器 (アナログ)	水平	2.44
	鉛直	0.80
煙感知器 (防爆)	水平	1.74
	鉛直	0.75
熱感知器 (防爆)	水平	1.74
	鉛直	0.75
炎感知器	水平	1.74
	鉛直	0.75

7. 耐震評価結果

火災感知器の応力評価結果及び機能維持評価結果を第7-1表及び第7-2表に示す。

据付ボルトの発生応力は許容応力以下であり、火災感知器の評価用加速度は機能確認済加速度以下である。

したがって、火災感知器は、地震時及び地震後においても、基準地震動 S_s による地震力に対し、火災を早期に感知する機能を保持するため、耐震性を有する。

第7-1表 火災感知器の応力評価結果 (1/2)

設備名称	評価部位	応力分類	方向	発生応力	許容応力
				MPa	MPa
火災感知器	煙感知器 (アナログ)	引張応力	前後	32	279
			左右	28	279
		せん断応力	前後	3	160
			左右	3	160
		組合せ応力	前後	32	279
			左右	28	279
	熱感知器 (アナログ)	引張応力	前後	32	279
			左右	28	279
		せん断応力	前後	3	160
			左右	3	160
		組合せ応力	前後	32	279
			左右	28	279
	煙感知器 (防爆)	引張応力	前後	4	279
			左右	4	279
		せん断応力	前後	1	160
			左右	2	160
		組合せ応力	前後	4	279
			左右	4	279
	熱感知器 (防爆)	引張応力	前後	7	279
			左右	8	279
せん断応力		前後	1	160	
		左右	2	160	
組合せ応力		前後	7	279	
		左右	8	279	

第7-1表 火災感知器の応力評価結果 (2/2)

設備名称		評価部位	応力分類	方向	発生応力	許容応力
					MPa	MPa
火災感知器	炎感知器	据付ボルト	引張応力	前後	6	279
				左右	5	279
			せん断応力	前後	1	160
				左右	4	160
			組合せ応力	前後	6	279
				左右	5	279

第7-2表 火災感知器の機能維持評価結果

設備名称		機能確認済加速度との比較				詳細評価	
		加速度確認箇所	水平加速度 (×9.8m/s ²)		鉛直加速度 (×9.8m/s ²)		
			評価用加速度	機能確認済加速度	評価用加速度		機能確認済加速度
火災感知器	煙感知器 (アナログ)	加振台への取付位置	2.44	5.5	0.80	4.5	—
	熱感知器 (アナログ)	加振台への取付位置	2.44	5.5	0.80	4.5	—
	煙感知器 (防爆)	加振台への取付位置	1.74	7.5	0.75	4.5	—
	熱感知器 (防爆)	加振台への取付位置	1.74	5.5	0.75	2.0	—
	炎感知器	加振台への取付位置	1.74	5.5	0.75	2.0	—

火災報知盤の耐震計算書

目 次

	頁
1. 概 要	12 (3) - 別添 1 - 3 - 1
2. 基本方針	12 (3) - 別添 1 - 3 - 2
2.1 位 置	12 (3) - 別添 1 - 3 - 2
2.2 構造概要	12 (3) - 別添 1 - 3 - 2
2.3 評価方針	12 (3) - 別添 1 - 3 - 4
2.4 適用規格	12 (3) - 別添 1 - 3 - 4
3. 地震応答解析	12 (3) - 別添 1 - 3 - 6
3.1 基本方針	12 (3) - 別添 1 - 3 - 6
3.2 解析方法	12 (3) - 別添 1 - 3 - 6
3.3 固有値解析結果	12 (3) - 別添 1 - 3 - 6
4. 応力評価	12 (3) - 別添 1 - 3 - 7
4.1 基本方針	12 (3) - 別添 1 - 3 - 7
4.2 評価対象部位	12 (3) - 別添 1 - 3 - 7
4.3 荷重及び荷重の組合せ	12 (3) - 別添 1 - 3 - 7
4.4 許容限界	12 (3) - 別添 1 - 3 - 8
4.5 評価方法	12 (3) - 別添 1 - 3 - 9
5. 機能維持評価	12 (3) - 別添 1 - 3 - 21
5.1 基本方針	12 (3) - 別添 1 - 3 - 21
5.2 評価対象部位	12 (3) - 別添 1 - 3 - 21
5.3 許容限界	12 (3) - 別添 1 - 3 - 21
5.4 評価方法	12 (3) - 別添 1 - 3 - 21
6. 評価条件	12 (3) - 別添 1 - 3 - 22
6.1 応力評価条件	12 (3) - 別添 1 - 3 - 22
6.2 機能維持評価条件	12 (3) - 別添 1 - 3 - 27
7. 耐震評価結果	12 (3) - 別添 1 - 3 - 28

1. 概 要

本資料は、別添 1-1「火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「別添 1-1」という。）に示すとおり、火災報知盤が、地震時及び地震後においても、基準地震動 S_s による地震力に対し、火災を早期に感知する機能を保持するために、耐震性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

別添 1-1 の「2.1 評価対象設備」に示す火災報知盤の構造計画を、「2.1 位置」及び「2.2 構造概要」に示す。

2.1 位置

火災報知盤は、別添 1-1 の「2.1 評価対象設備」のうち構造計画に示すとおり、火災感知器からの作動信号を常時監視できるように、緊急時対策棟に設置する。

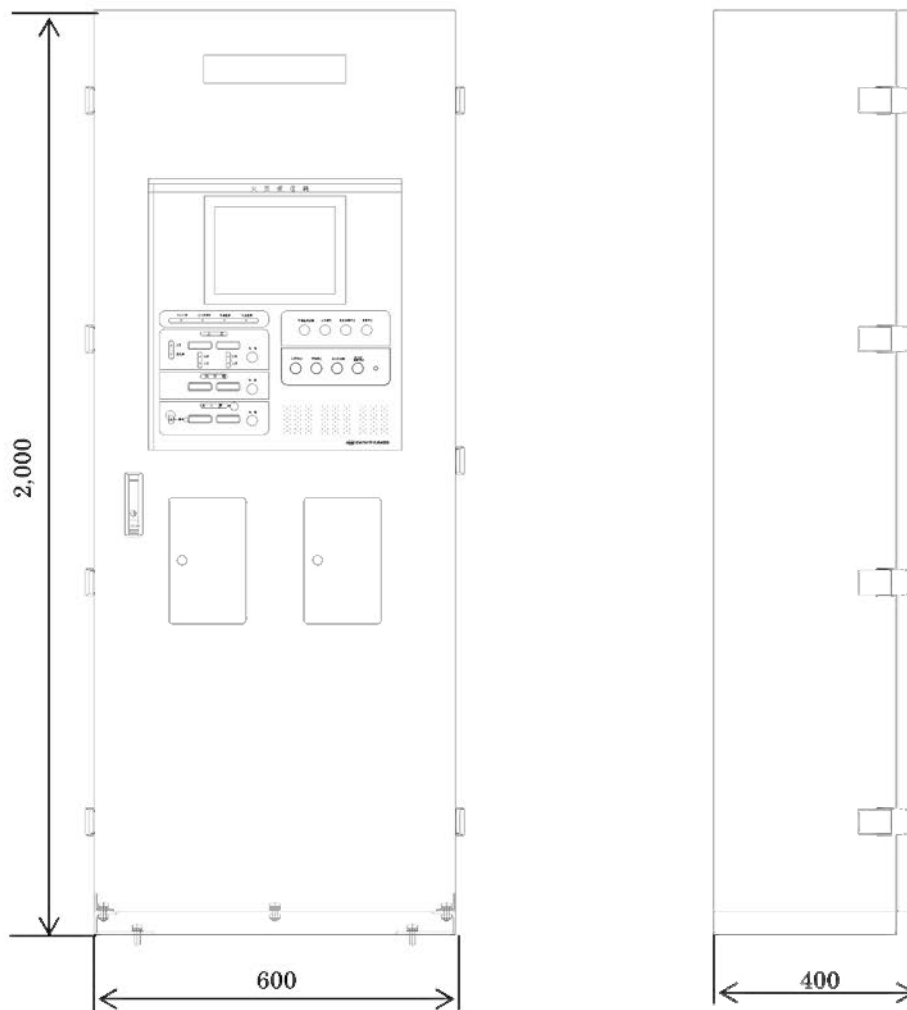
2.2 構造概要

火災報知盤の構造は、別添 1-1 の「2.1 評価対象設備」に示す構造計画としており、火災報知盤の構造計画を第 2-1 表に、外観図を第 2-1 図に示す。

第 2-1 表 火災報知盤の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
火災報知盤	火災報知盤 (壁掛け型)	火災報知盤の背面は、取付ボルトにて火災報知盤を固定金具に、固定金具を据付ボルトにより建屋壁のコンクリート躯体に据え付ける。	

(単位：mm)



第 2-1 図 火災報知盤 外観図

2.3 評価方針

火災報知盤は、別添 1-1 の「4.2 応力評価」に示す応力評価の方針に従い、応力評価を実施する。

火災報知盤の応力評価は、「3. 地震応答解析」及び「4. 応力評価」に示す方法により、「6. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「7. 耐震評価結果」において火災報知盤の評価対象部位に発生する応力が許容限界に収まることを確認する。

火災報知盤は、別添 1-1 の「4.3 機能維持評価」に示す機能維持評価の方針に従い、電氣的機能維持評価を実施する。

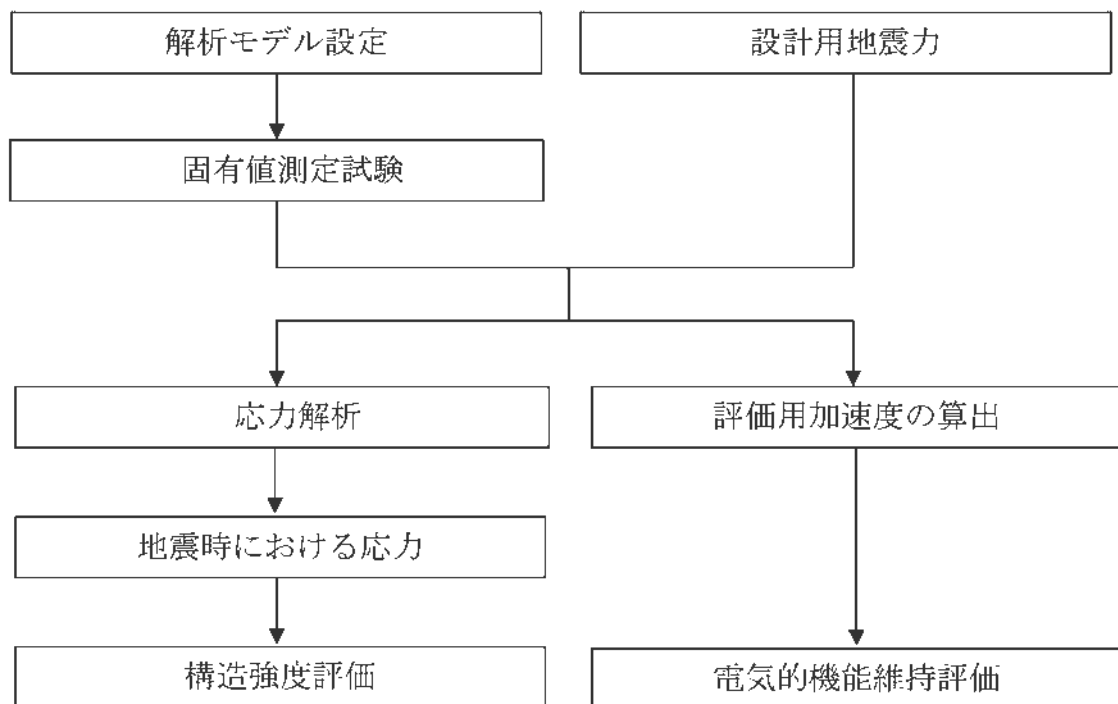
火災報知盤の電氣的機能維持評価は、「3. 地震応答解析」及び「5. 機能維持評価」に示す方法により、「6. 評価条件」に示す評価条件を用い、「7. 耐震評価結果」において火災報知盤の評価用加速度が機能確認済加速度以下となることを確認する。

火災報知盤の耐震評価フローを第 2-2 図に示す。

2.4 適用規格

適用する規格、基準等を以下に示す。

- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」(JSME S NC1-2012)
日本機械学会
- ・「発電用原子力設備規格 材料規格」(JSME S NJ1-2012)
日本機械学会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-1987) 日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編」
(JEAG4601・補-1984) 日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-1991 追補版) 日本電気協会



第 2-2 図 火災報知盤の耐震評価フロー

3. 地震応答解析

3.1 基本方針

火災報知盤は、別添 1-1 の「4.1 地震応答解析」に示す評価方針に従い、「3.2 解析方法」に示す方法により、「3.3 固有値解析結果」において火災報知盤の固有振動数を評価する。

3.2 解析方法

火災報知盤は、固定金具等の支持構造物も含めた火災報知盤の設置状態を模擬し、正弦波掃引試験を実施する。

3.3 固有値解析結果

「3.2 解析方法」に示す正弦波掃引試験にて測定した火災報知盤の固有値解析結果を第 3-1 表に示す。

第 3-1 表より、火災報知盤の固有振動数は、上下方向 30Hz 以上、前後方向 21.4Hz、左右方向 27.6Hz であることを確認した。

第 3-1 表 火災報知盤の固有振動数

設備名称	方向	固有振動数 (Hz)
火災報知盤	上下	30 以上
	前後	21.4
	左右	27.6

4. 応力評価

4.1 基本方針

火災報知盤は、別添 1-1 の「4.2 応力評価」に示す評価方針に従い、応力評価を実施する。

火災報知盤の応力評価は、「4.2 評価対象部位」に示す評価対象部位が、「4.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せに対し「4.4 許容限界」に示す許容限界に収まることを、「4.5 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2 評価対象部位

火災報知盤の評価対象部位は、別添 1-1 の「3.2 許容限界」に示すとおり、評価対象部位である据付ボルト及び取付ボルトとする。

4.3 荷重及び荷重の組合せ

応力評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、別添 1-1 の「3.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

4.3.1 荷重の種類

応力評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

(1) 死荷重(D)

死荷重は、火災報知盤の自重とする。

(2) 地震荷重(Ss)

地震荷重は、基準地震動 Ss による地震力とする。

4.3.2 荷重の組合せ

応力評価に用いる荷重の組合せは、火災報知盤の評価対象部位ごとに設定する。荷重の組合せを第4-1表に示す。

第4-1表 荷重の組合せ

設備名称	評価対象部位	荷重の組合せ
火災報知盤	据付ボルト	D+Ss
	取付ボルト	D+Ss

4.4 許容限界

火災報知盤の許容限界は、「4.2 評価対象部位」に示す評価対象部位の機能損傷モードを考慮し、別添1-1の「3.2 許容限界」に示す許容限界に従い、許容応力状態 IV_{AS} の許容応力とする。

各評価対象部位の許容限界を第4-2表に示す。

第4-2表 据付ボルト及び取付ボルトの許容限界

評価対象部位	耐震クラス	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界 ^{(注1)(注2)}	
				一次応力	
				引張 ^(注3)	せん断 ^(注3)
据付ボルト 取付ボルト	—	D+Ss	IV _{AS}	1.5f _t [*]	1.5f _s [*]

(注1) f_t^{*}, f_s^{*} : JSME S NC1-2012 SSB-3121.1(1)a 本文中 S_y 及び S_y(RT)を 1.2S_y 及び 1.2S_y(RT)と読み替えて算出した値 (JSME S NC1-2012 SSB-3133)。

但し、S_y 及び 0.7S_u のいずれか小さい方の値とする。

(注2) JEAG4601・補-1984 の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

(注3) ボルトにせん断力が作用する場合、組合せ評価を実施する。その際の許容応力値は、JSME S NC1-2012 SSB-3133 に基づき、Min (1.4(1.5f_t^{*}) - 1.6 τ_b, 1.5f_t^{*}) とする。

4.5 評価方法

火災報知盤の応力評価は、別添 1-1 の「4.2 応力評価」にて設定している壁掛け盤の評価式より評価対象部位の発生応力を計算し、許容応力以下となることを次のとおり確認する。

- ・ 応力評価モデルは 1 質点系モデルとし、火災報知盤の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- ・ 許容応力について JSME S NJ1-2012 の Part3 を用いて計算する際に、温度が図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。但し、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- ・ 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.5.1 記号の定義

据付ボルトの応力評価に用いる記号を第 4-3 表に、取付ボルトの応力評価に用いる記号を第 4-4 表に示す。

第 4-3 表 据付ボルトの応力評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	記号の定義
d_1	mm	据付ボルト呼び径
g	m/s ²	重力加速度
h_1	mm	据付ボルトより機器重心までの鉛直距離
h_{11}'	mm	鉛直方向の据付ボルト間距離
h_{12}'		
l_1	mm	壁面より機器重心までの水平距離
l_1'	mm	水平方向の据付ボルト間距離
l_{a1}	mm	支点よりの据付ボルト間距離 (前後方向)
l_{a2}		
l_{b1}	mm	支点よりの据付ボルト間距離 (左右方向)
l_{b2}		
l_{b3}		
l_{b4}		
l_{b5}		

第4-3表 据付ボルトの応力評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	記号の定義
n_{a1}	本	各列の据付ボルト本数
n_{a2}		
N_1	本	据付ボルト総数
S_1	mm^2	据付ボルト断面積
W_1	kg	機器質量
α_H	—	水平震度
α_V	—	鉛直震度
σ_{a1}	MPa	各据付ボルトに発生する引張応力 (前後方向)
σ_{a2}		
σ_{b1}	MPa	各据付ボルトに発生する引張応力 (左右方向)
σ_{b2}		
σ_{b3}		
σ_{b4}		
σ_{b5}		
σ_{amax}	MPa	最大引張応力 (前後方向)
σ_{bmax}	MPa	最大引張応力 (左右方向)
τ_a	MPa	各据付ボルトに発生するせん断応力 (前後方向)
τ_b	MPa	各据付ボルトに発生するせん断応力 (左右方向)

第 4-4 表 取付ボルトの応力評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	記号の定義
d_2	mm	取付ボルト呼び径
g	m/s ²	重力加速度
h_2	mm	取付ボルトより機器重心までの鉛直距離
h_{21}'	mm	鉛直方向の取付ボルト間距離
h_{22}'		
l_2	mm	固定金具より機器重心までの水平距離
l_{21}'	mm	水平方向の取付ボルト間距離
l_{22}'		
l_{c1}	mm	支点よりの取付ボルト間距離 (前後方向)
l_{c2}		
l_{d1}	mm	支点よりの取付ボルト間距離 (左右方向)
l_{d2}		
l_{d3}		
l_{d4}		
l_{d5}		
n_{c1}	本	各列の取付ボルト本数
n_{c2}		
N_2	本	取付ボルト総数
S_2	mm ²	取付ボルト断面積
W_2	kg	機器質量
α_H	—	水平震度
α_V	—	鉛直震度

第 4-4 表 取付ボルトの応力評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	記号の定義
σ_{c1}	MPa	各取付ボルトに発生する引張応力 (前後方向)
σ_{c2}		
σ_{d1}	MPa	各取付ボルトに発生する引張応力 (左右方向)
σ_{d2}		
σ_{d3}		
σ_{d4}		
σ_{d5}		
σ_{cmax}	MPa	最大引張応力 (前後方向)
σ_{dmax}	MPa	最大引張応力 (左右方向)
τ_c	MPa	各取付ボルトに発生するせん断応力 (前後方向)
τ_d	MPa	各取付ボルトに発生するせん断応力 (左右方向)

4.5.2 応力評価モデル及び評価式

応力評価モデルは、1質点系モデルであり、火災報知盤の重心位置に地震荷重が作用するものとする。

火災報知盤は、「2.2 構造概要」の第2-1表に示すとおり、据付ボルト、取付ボルトにより据え付けるため、据付ボルト、取付ボルトは、それぞれに対し応力評価モデル及び評価式にて評価する。

ここで、盤正面に直交する方向を前後方向、盤正面と平行な方向を左右方向とする。

(1) 据付ボルトの構造強度評価

「6. 評価条件」に示す評価条件を用いて、以下の式により据付ボルトの発生応力を算出する。据付ボルトの応力評価モデルを第4-1図及び第4-2図に示し、評価式を以下に示す。

a. 前後方向

(a) 据付ボルトに発生する最大引張応力

応力は、支点からの距離に比例することから、

$$\frac{\sigma_{a1}}{l_{a1}} = \frac{\sigma_{a2}}{l_{a2}}$$

モーメントの釣合式より、

$$\sigma_{a1} l_{a1} n_{a1} S_1 + \sigma_{a2} l_{a2} n_{a2} S_1 = W_1 g \alpha_H h_1 + W_1 g (1 + \alpha_V) l_1$$

以上の式より

$$\sigma_{a1} = \frac{W_1 l_{a1} g (\alpha_H h_1 + (1 + \alpha_V) l_1)}{S_1 (l_{a1}^2 n_{a1} + l_{a2}^2 n_{a2})} = \sigma_{amax}$$

(b) 据付ボルトに発生するせん断応力

据付ボルトに発生するせん断応力は、ボルト全本数(N_1)で受けるものとして計算する。

$$\tau_a = \frac{W_1 g (1 + \alpha_V)}{N_1 S_1}$$