

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-025-09
提出年月日	2023年2月27日

中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての
計算書に関する補足説明資料)

2023年2月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

VI-2-8-4-3「中央制御室（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

別紙1 応力解析における断面の評価部位の選定

別紙1-1 天井スラブ及び床スラブの固有振動数について

別紙1-2 応答増幅を考慮した天井スラブの耐震評価

別紙 1 応力解析における断面の評価部位の選定

目 次

1. 概要	別紙 1-1
2. 天井スラブ及び床スラブ	別紙 1-2
2.1 評価方針	別紙 1-2
2.2 断面の評価部位の選定	別紙 1-2
3. 耐震壁	別紙 1-15
3.1 評価方針	別紙 1-15
3.2 断面の評価部位の選定	別紙 1-17

別紙 1-1 天井スラブ及び床スラブの固有振動数について

別紙 1-2 応答増幅を考慮した天井スラブの耐震評価

1. 概要

本資料は、中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリを構成する部材の応力解析における断面の評価部位の選定について示すものである。

2. 天井スラブ及び床スラブ

2.1 評価方針

天井スラブ及び床スラブの評価では、VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」の「4.5.1 天井スラブ及び床スラブ」に示すとおり，スラブの辺長比及び周囲の境界条件を考慮して，両端固定はり，三辺固定・一辺自由版又は四辺固定版として評価する。

2.2 断面の評価部位の選定

天井スラブ及び床スラブの評価部位については，各階の中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリを構成するスラブの種類ごとに，スパンが長くスラブの応力が大きくなる部位が最も厳しくなると判断して選定した。

中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリを構成するスラブの評価における荷重の組合せケースを表2-1に，天井スラブの位置及び断面の評価位置を図2-1及び図2-3に，天井スラブのスラブ厚及び配筋一覧を表2-2及び表2-4に，床スラブの位置及び断面の評価位置を図2-2及び図2-4に，床スラブのスラブ厚及び配筋一覧を表2-3及び表2-5に示す。

天井スラブの検定値及び評価法一覧を表2-6及び表2-8に，床スラブの検定値及び評価法一覧を表2-7及び表2-9に，検定値を踏まえて選定した断面の評価位置及び評価結果を図2-5に示す。

表2-1 荷重の組合せケース

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + SNL* + 1.0 S _{sUD}

G : 固定荷重

P : 積載荷重

SNL : 積雪荷重

S_{sUD} : S_s地震荷重（鉛直方向）

注記*：積雪荷重（SNL）は，積雪荷重が作用する屋外に面する天井スラブに対して考慮する。

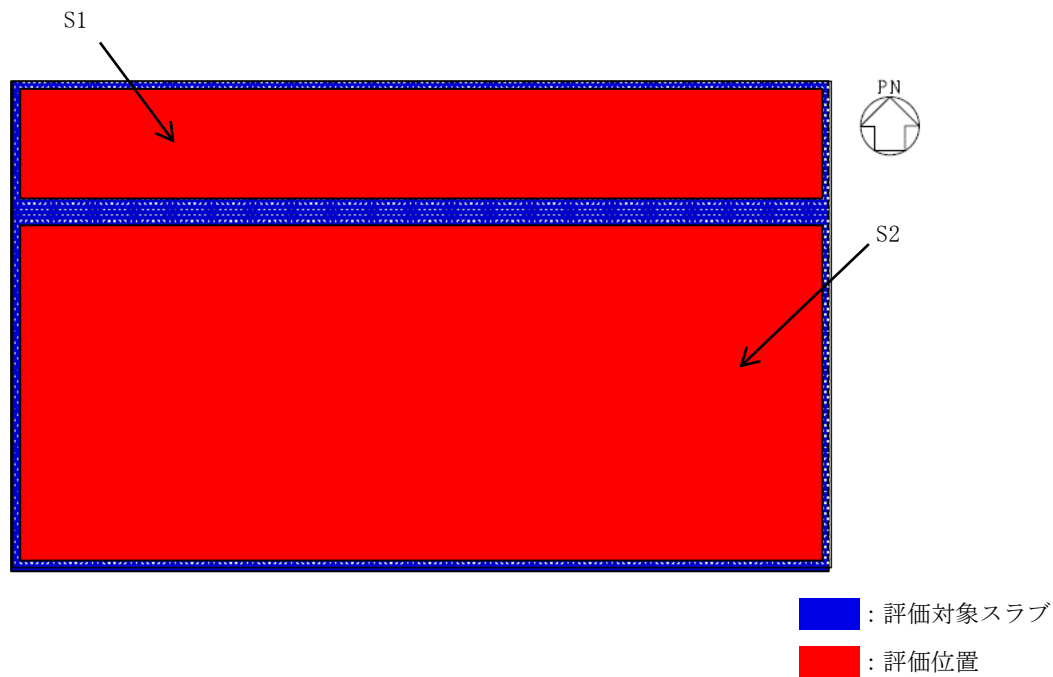


図 2-1 中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリを構成する天井スラブの位置及び断面の評価位置（制御室建物，EL 22.05m）

表 2-2 天井スラブのスラブ厚及び配筋一覧（制御室建物，EL 22.05m）

符号	スラブ厚 (mm)	配筋（上下共*）	
		N S 方向	E W 方向
S1	□	D22@300	D22@400
S2	□	上ば筋 D29@150 下ば筋 D29@100	上ば筋 D25@200 下ば筋 D22@200

注記*：S2 を除く。

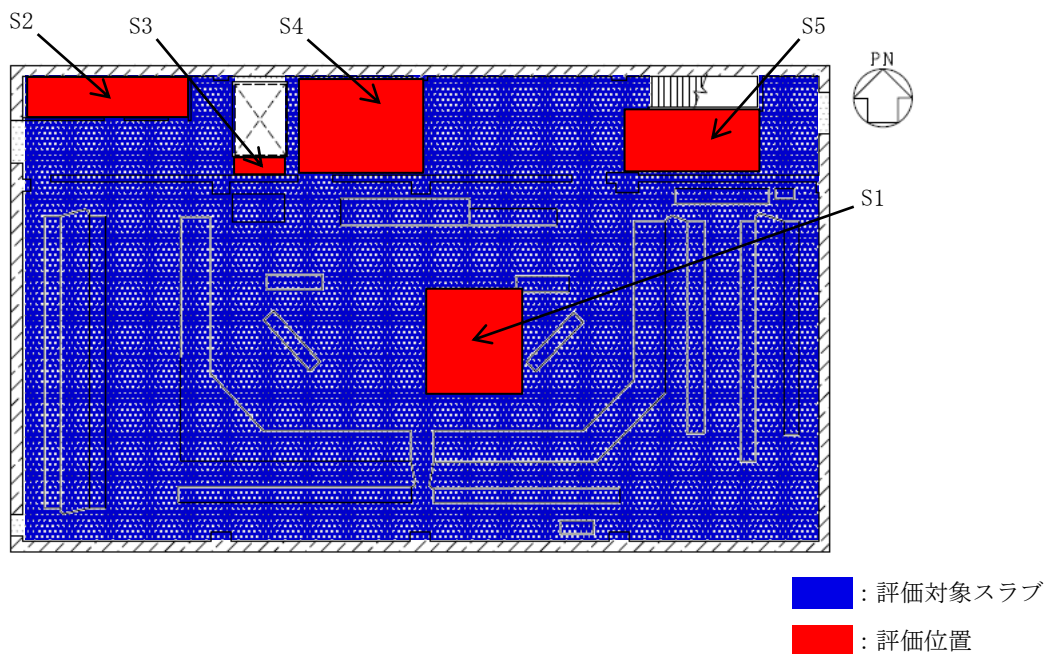


図 2-2(1) 中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリを構成する床スラブの位置及び断面の評価位置 (制御室建物, EL 16.9m)

表 2-3(1) 床スラブのスラブ厚及び配筋一覧 (制御室建物, EL 16.9m)

符号	スラブ厚 (mm)	配筋 (上下共)	
		N S 方向	E W 方向
S1	□	D13@200	D13@200
S2	□	D16@200	D13@200
S3	□	D16@200	D16@200
S4	□	D16@200	D13@200
S5	□	D16@200	D16@150

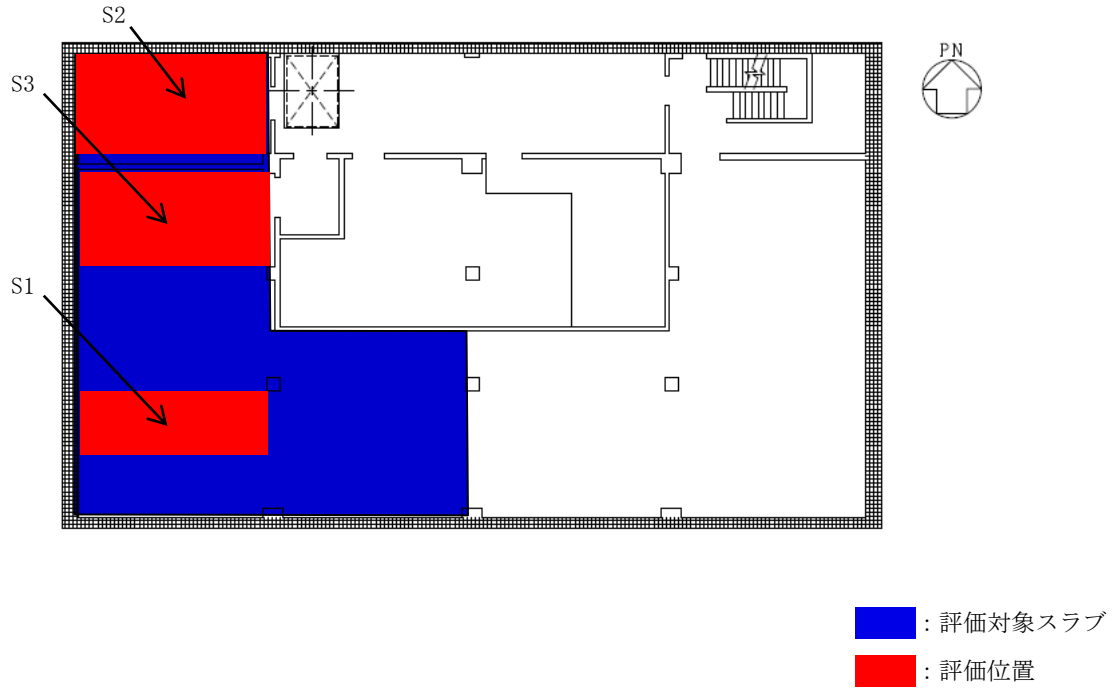
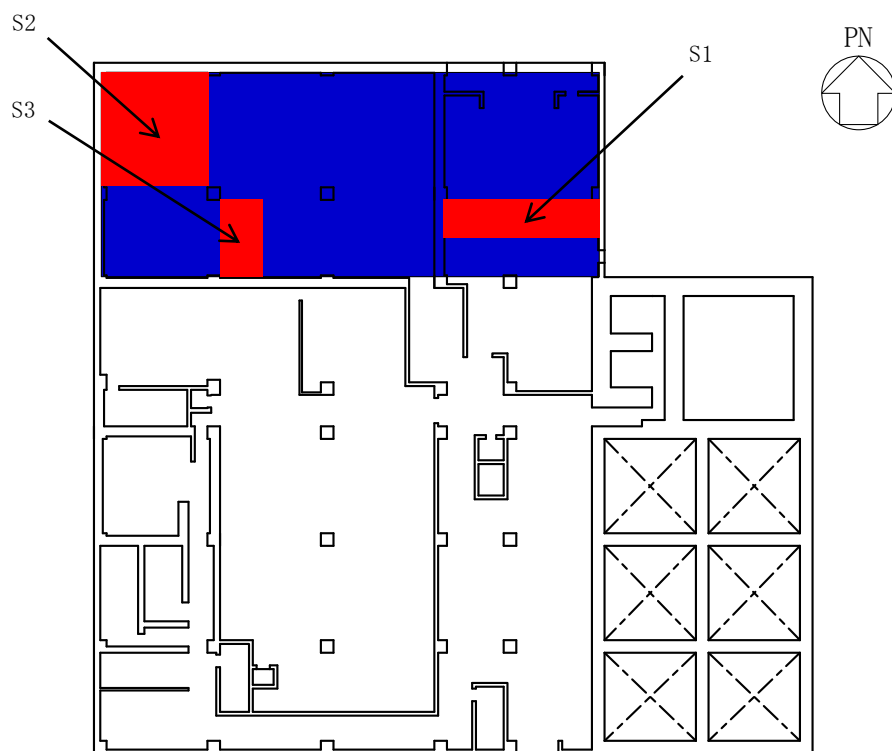


図 2-2(2) 中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリを構成する床スラブの位置及び断面の評価位置 (制御室建物, EL 12.8m)

表 2-3(2) 床スラブのスラブ厚及び配筋一覧 (制御室建物, EL 12.8m)

符号	スラブ厚 (mm)	配筋 (上下共)	
		N S 方向	E W 方向
S1	□	D13@200	D13@200
S2	□	D16@200	D13@200
S3	□	D22@200	D19@200

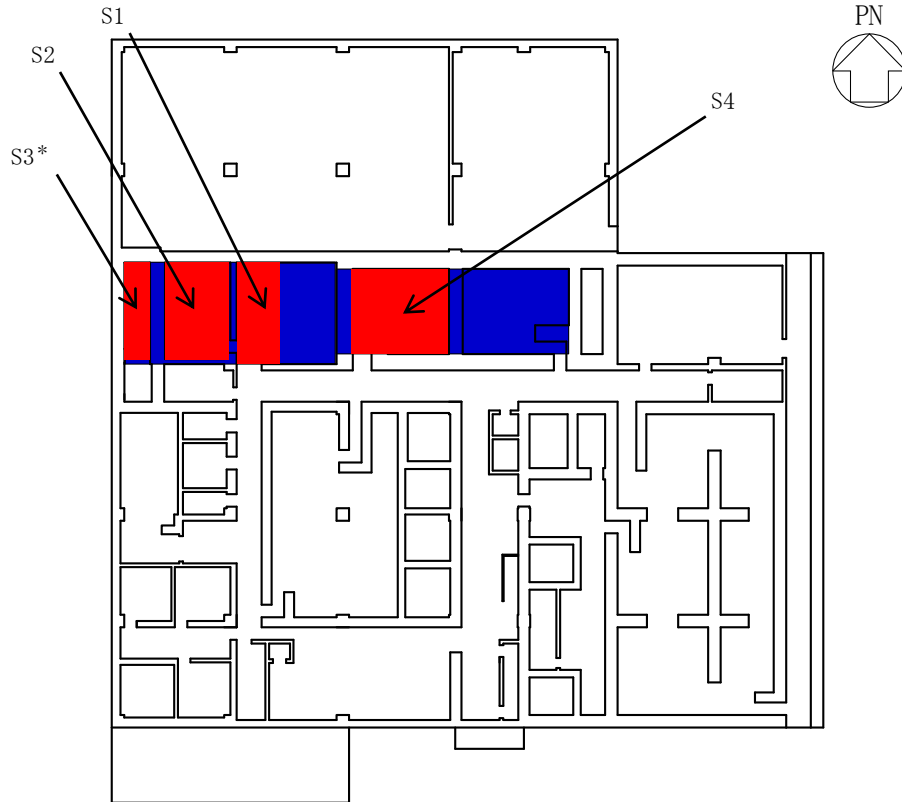


■ : 評価対象スラブ
■ : 評価位置

図 2-3(1) 中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリを構成する天井スラブの位置及び断面の評価位置 (廃棄物処理建物, EL 32.0m)

表 2-4(1) 天井スラブのスラブ厚及び配筋一覧 (廃棄物処理建物, EL 32.0m)

符号	スラブ厚 (mm)	配筋 (上下共)	
		N S 方向	E W 方向
S1	□	D16@200	D16@200
S2	□	D19@200	D19@200
S3	□	D16@200	D19@200



■ : 評価対象スラブ
 ■ : 評価位置

注記* : EL 19.5m のスラブ

図 2-3(2) 中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリを構成する天井スラブの位置及び断面の評価位置 (廃棄物処理建物, EL 22.1m)

表 2-4(2) 天井スラブのスラブ厚及び配筋一覧 (廃棄物処理建物, EL 22.1m)

符号	スラブ厚 (mm)	配筋 (上下共)	
		N S 方向	E W 方向
S1		D13@200	D16@200
S2		D16@200	D16@200
S3*		D22@200	D22@200
S4		D25@200	D25@200

注記* : EL 19.5m のスラブ

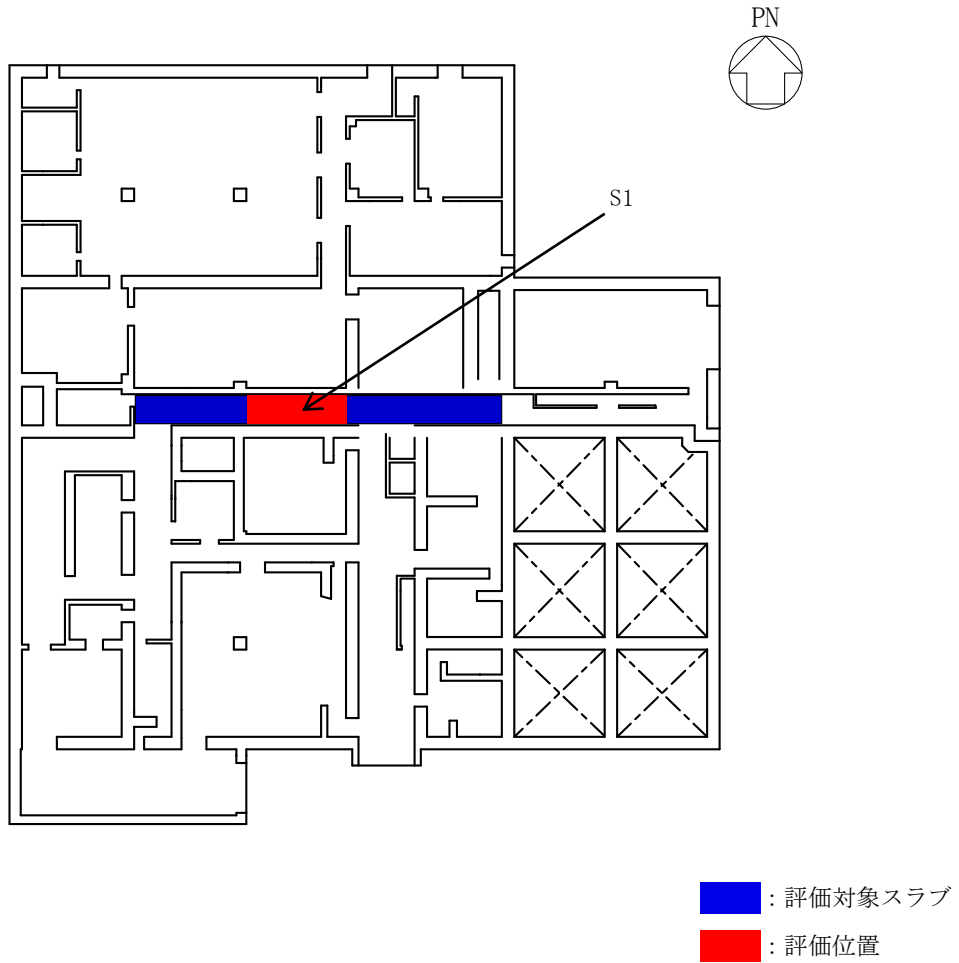


図 2-3(3) 中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリを構成する天井スラブの位置及び断面の評価位置 (廃棄物処理建物, EL 15.3m)

表 2-4(3) 天井スラブのスラブ厚及び配筋一覧 (廃棄物処理建物, EL 15.3m)

符号	スラブ厚 (mm)	配筋 (上下共)	
		N S 方向	E W 方向
S1	□	D13@200	D13@200

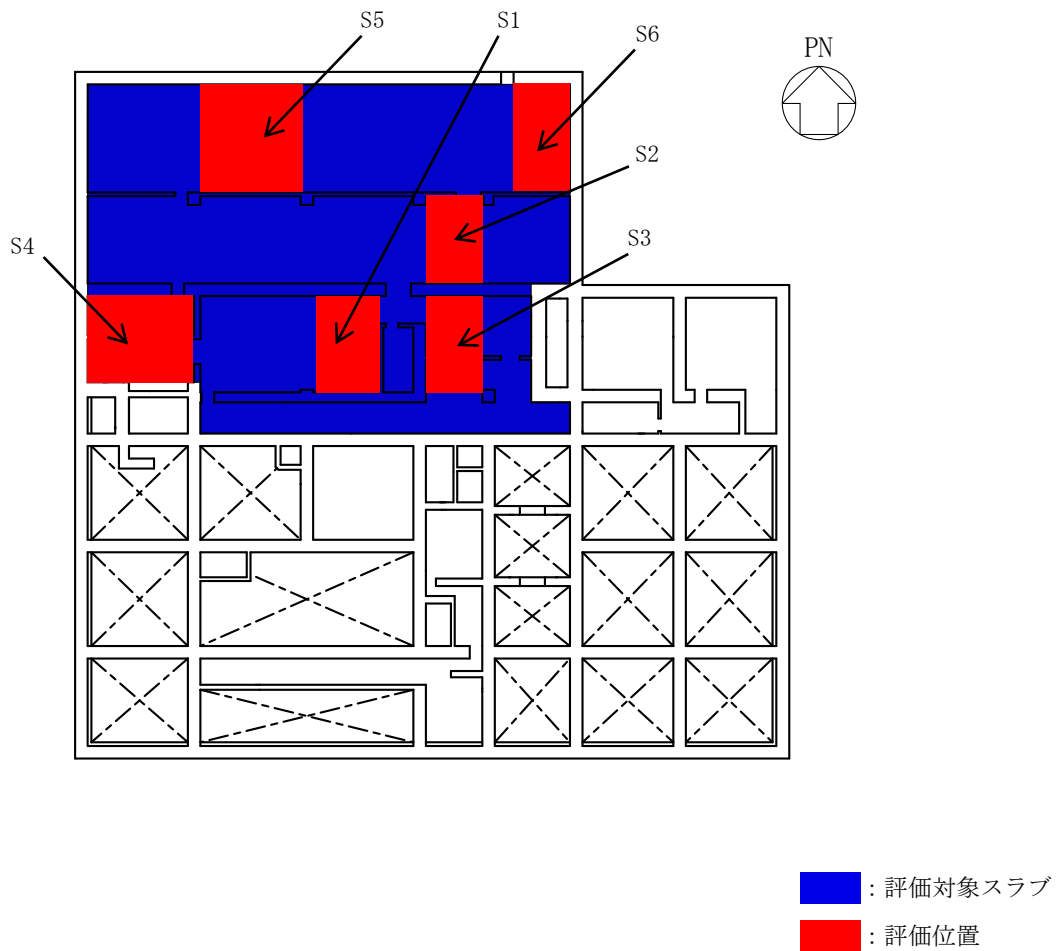


図 2-4 中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリを構成する床スラブの位置及び断面の評価位置（廃棄物処理建物，EL 12.3m）

表 2-5 床スラブのスラブ厚及び配筋一覧（廃棄物処理建物，EL 12.3m）

符号	スラブ厚 (mm)	配筋	
		N S 方向	E W 方向
S1		D16@200	D16@200
S2		D13@200	D13@200
S3		D19@200	D22@200
S4		D16@200	D16@200
S5		D19@200	D19@200
S6		D22@200	D22@200

表 2-6 天井スラブの検定値及び評価法一覧（制御室建物，EL 22.05m）

符号	検定値				評価法
	曲げモーメント		せん断力		
	短辺方向	長辺方向	短辺方向	長辺方向	
S1	0.23	—	0.08	—	両端固定はり
S2	0.91	—	0.53	—	両端固定はり

注：■ は，曲げモーメント及びせん断力に対する評価の検定値の最大値を示す。

表 2-7 床スラブの検定値及び評価法一覧

(a) 制御室建物（EL 16.9m）

符号	検定値				評価法
	曲げモーメント		せん断力		
	短辺方向	長辺方向	短辺方向	長辺方向	
S1	0.38	0.28	0.16	0.11	四辺固定版
S2	0.07	—	0.05	—	両端固定はり
S3	0.07	0.09	0.04	0.05	三辺固定・一辺自由版
S4	0.26	0.33	0.12	0.11	四辺固定版
S5	0.36	0.42	0.14	0.22	三辺固定・一辺自由版

注：■ は，曲げモーメント及びせん断力に対する評価の検定値の最大値を示す。

(b) 制御室建物（EL 12.8m）

符号	検定値				評価法
	曲げモーメント		せん断力		
	短辺方向	長辺方向	短辺方向	長辺方向	
S1	0.30	—	0.13	—	両端固定はり
S2	0.30	0.28	0.12	0.09	四辺固定版
S3	0.13	0.10	0.07	0.07	四辺固定版

表 2-8 天井スラブの検定値及び評価法一覧

(a) 廃棄物処理建物 (EL 32.0m)

符号	検定値				評価法
	曲げモーメント		せん断力		
	短辺方向	長辺方向	短辺方向	長辺方向	
S1	0.24	—	0.10	—	両端固定はり
S2	0.71	0.62	0.24	0.22	四辺固定版
S3	0.22	0.19	0.11	0.10	四辺固定版

(b) 廃棄物処理建物 (EL 22.1m)

符号	検定値				評価法
	曲げモーメント		せん断力		
	短辺方向	長辺方向	短辺方向	長辺方向	
S1	0.54	—	0.28	—	両端固定はり
S2	0.50	0.31	0.15	0.13	四辺固定版
S3	0.03	—	0.04	—	両端固定はり
S4	0.28	0.16	0.16	0.12	四辺固定版

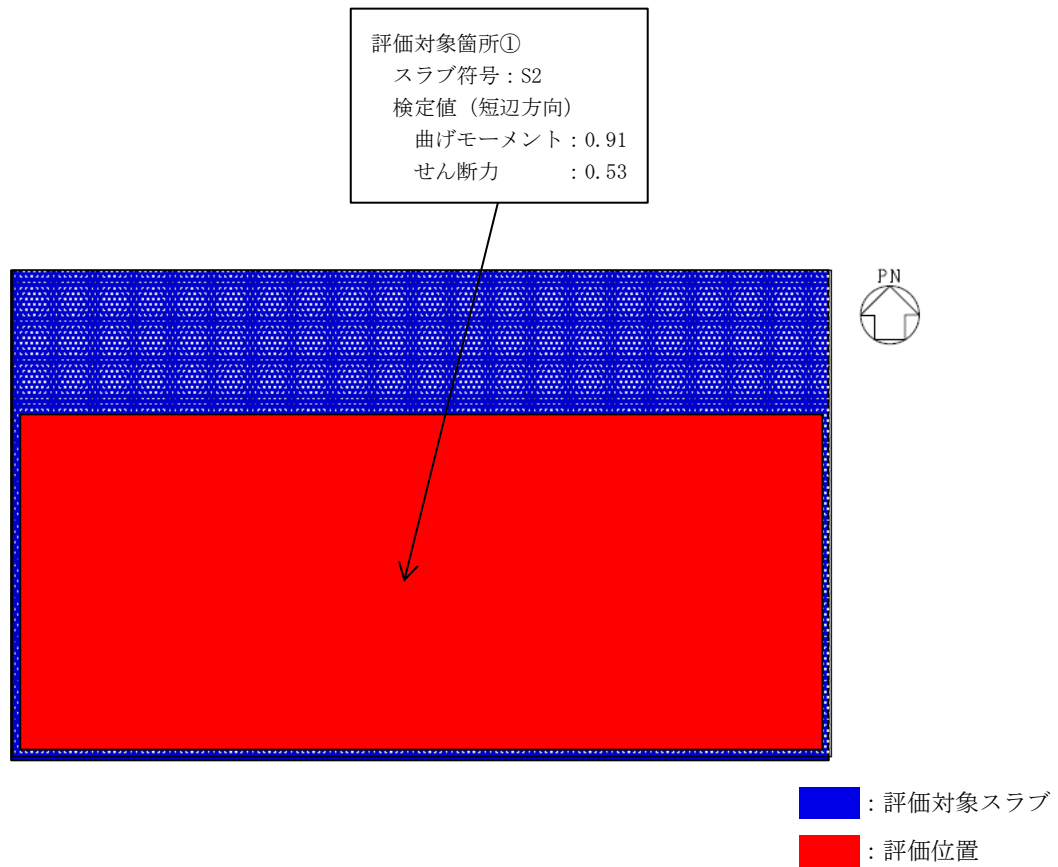
(c) 廃棄物処理建物 (EL 15.3m)

符号	検定値				評価法
	曲げモーメント		せん断力		
	短辺方向	長辺方向	短辺方向	長辺方向	
S1	0.48	—	0.19	—	両端固定はり

表 2-9 床スラブの検定値及び評価法一覧 (廃棄物処理建物, EL 12.3m)

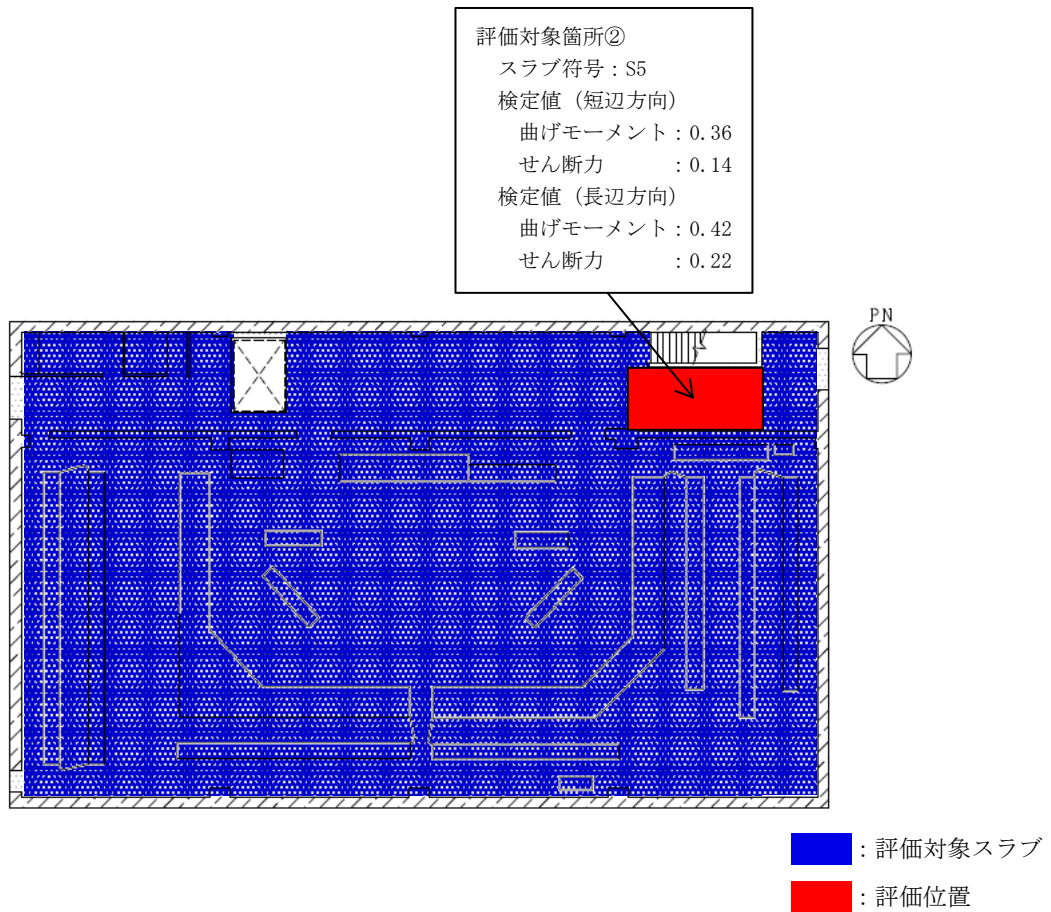
符号	検定値				評価法
	曲げモーメント		せん断力		
	短辺方向	長辺方向	短辺方向	長辺方向	
S1	0.69	0.47	0.35	0.29	四辺固定版
S2	0.84	0.65	0.28	0.26	四辺固定版
S3	0.46	0.40	0.44	0.36	四辺固定版
S4	0.68	0.53	0.21	0.16	四辺固定版
S5	0.45	0.41	0.16	0.14	四辺固定版
S6	0.24	0.15	0.11	0.10	四辺固定版

注：■ は、曲げモーメント及びせん断力に対する評価の検定値の最大値を示す。



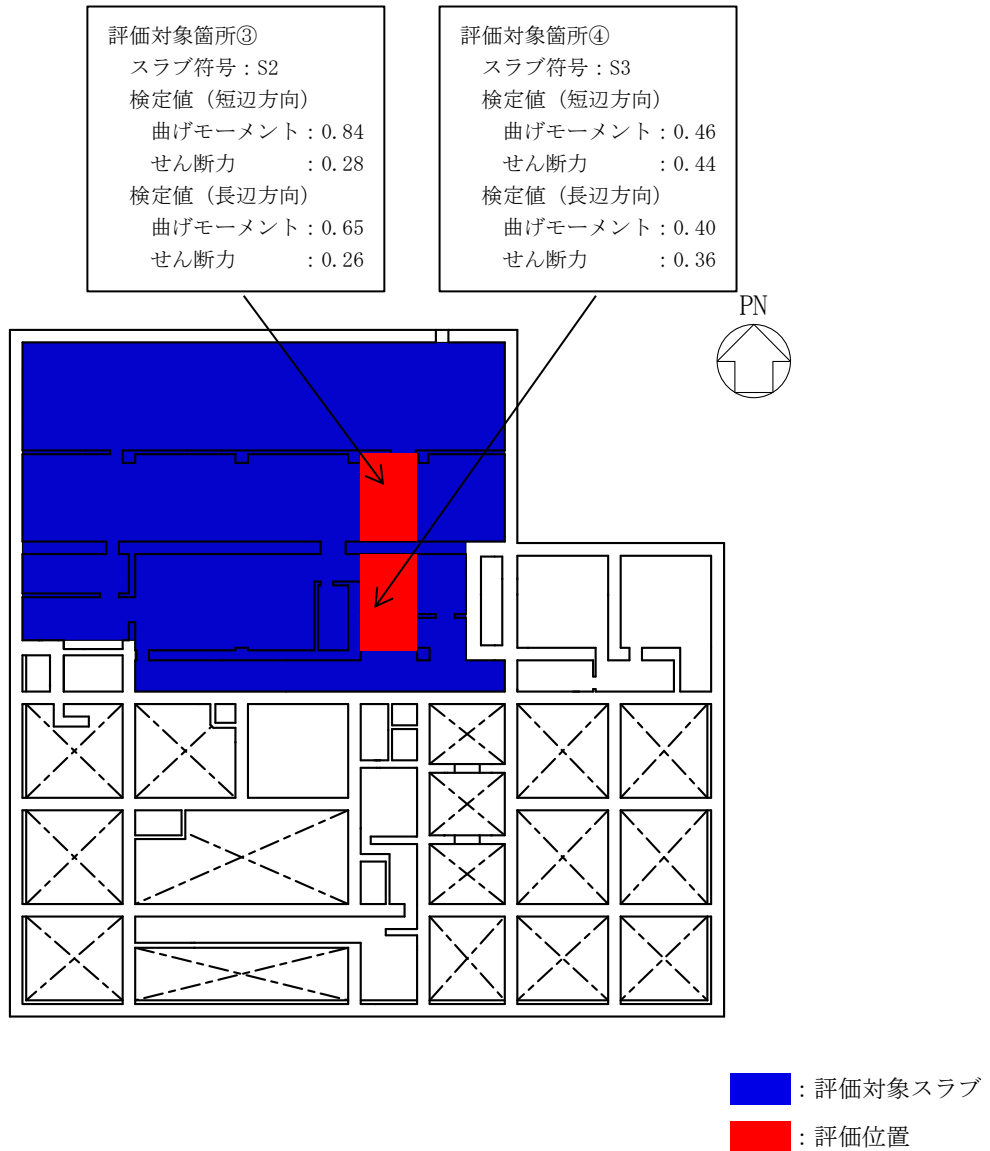
(a) 天井スラブ (制御室建物, EL 22.05m)

図 2-5(1) 断面の評価位置及び評価結果



(b) 床スラブ（制御室建物，EL 16.9m）

図 2-5(2) 断面の評価位置及び評価結果



(c) 床スラブ（廃棄物処理建物，EL 12.3m）

図 2-5(3) 断面の評価位置及び評価結果

3. 耐震壁

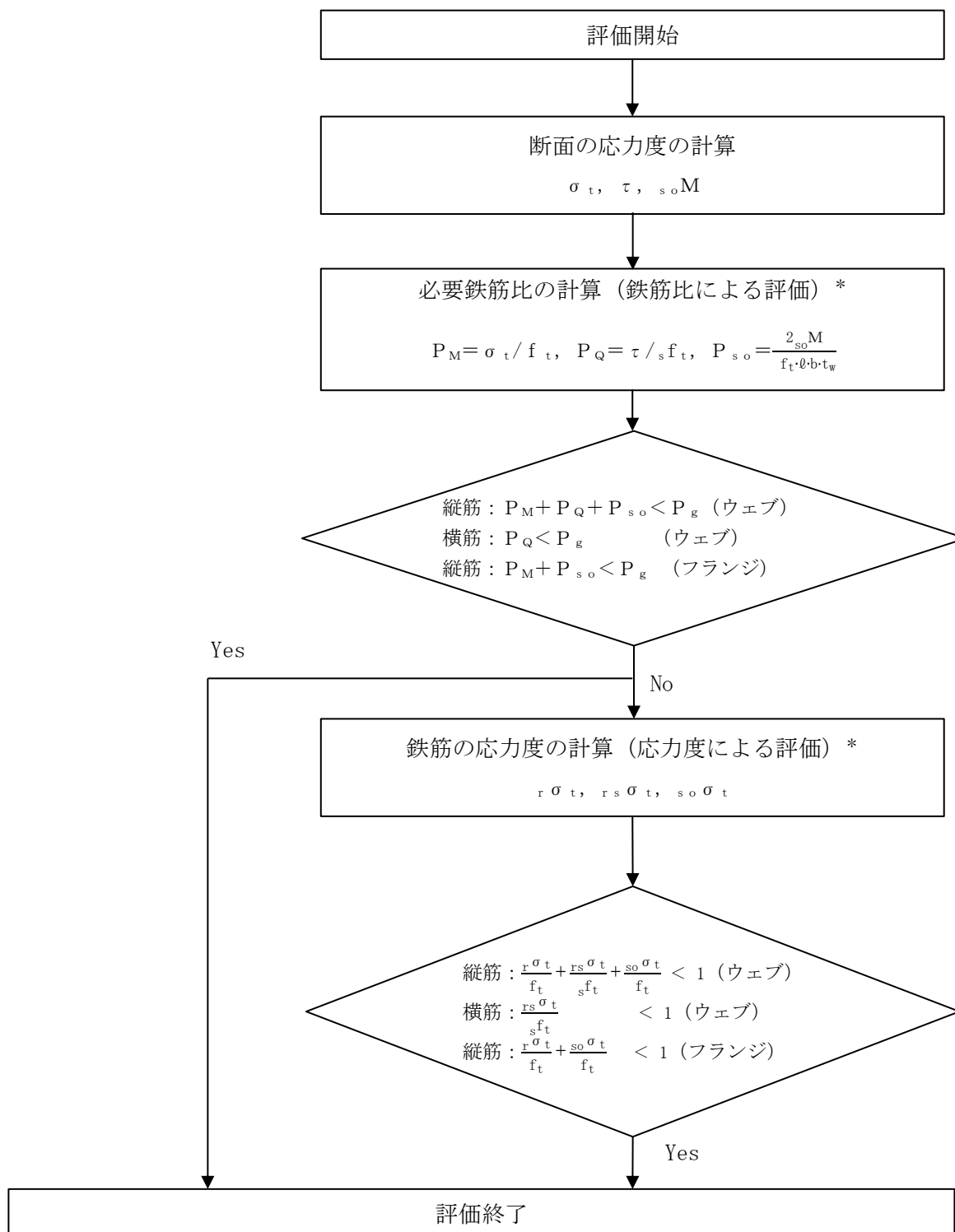
3.1 評価方針

耐震壁の評価では、VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」の「4.5.2 耐震壁」に示すとおり、鉄筋比による評価を行う。この評価で健全性が確認できない場合は、「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）」の「14 条 柱の軸方向力と曲げに対する断面算定」に準じて、応力度による評価を行う。

図 3-1 に耐震壁の評価フローを示す。

ここで、図中の記号は以下による。

- σ_t : 軸方向最大引張応力度
- τ : 面内せん断応力度
- $s_o \sigma_t$: 土圧による鉄筋の最大引張応力度
- f_t : 鉄筋の許容引張応力度
- $s f_t$: 鉄筋のせん断補強用許容引張応力度
- P_g : 設計鉄筋比
- P_Q : 面内せん断力による必要鉄筋比
- P_{s_o} : 土圧による面外曲げモーメントによる必要鉄筋比
- P_M : 曲げモーメント及び軸力による必要鉄筋比
- $s_o M$: 土圧による面外曲げモーメント
- $r \sigma_t$: 曲げモーメント及び軸力による鉄筋の最大引張応力度
- $r s \sigma_t$: 面内せん断力による鉄筋の最大引張応力度
- b : 耐震壁の幅
- t_w : 耐震壁の厚さ
- \varnothing : 鉄筋の重心間距離



注記* : VI-2-8-4-3 「中央制御室遮蔽 (1, 2号機共用) の耐震性についての計算書」の「4.5.2 耐震壁」による。

図 3-1 耐震壁の評価フロー

3.2 断面の評価部位の選定

耐震壁の選定部位については、中央制御室遮蔽を構成する耐震壁すべてにおいて評価を実施し、検定値が最も厳しい部位を選定する。

中央制御室遮蔽を構成する耐震壁の評価における荷重の組合せケースを表 3-1 に、耐震壁の評価結果のうち VI-2-8-4-3 「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」の「4.5.2 耐震壁」に基づき鉄筋比による評価を行った結果を表 3-2 に示す。

耐震壁の検定値一覧を表 3-3 に示す。

表 3-1 荷重の組合せケース

外力の状態	荷重の組合せ
S d 地震時	G + P + S d

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S d : 地震荷重

表 3-2(1) 耐震壁断面算定表 (EL 16.9m~EL 22.05m)

(a) NS方向 (ウエブ検討)

階	壁位置	断面積 ($\times 10^6 \text{mm}^2$)	壁厚 ($\times 10 \text{mm}$)	配筋 上段 縦筋 下段 横筋 () 内は P_g : %	せん断力に対する検討			曲げモーメントに対する検討				土圧に対する検討		$\frac{P_Q + P_M + P_{SO}}{P_g}$
					せん断力 Q ($\times 10^4 \text{kN}$)	せん断 応力度 τ (N/mm^2)	必要 鉄筋比 P_Q (%)	曲 モーメント M ($\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}$)	軸力 N* ($\times 10^3 \text{kN}$)	必要 鉄筋比 P_M (%)	コンクリート の最大圧縮 応力 σ_c (N/mm^2)	必要 鉄筋比 P_{SO} (%)	コンクリート の最大圧縮 応力 σ_{so} (N/mm^2)	
4F	c1	19.7		2-D19@200 (0.574)	3.05	1.55	0.448	1.57	13.9	0.071	1.21	—	—	0.91
				2-D19@200 (0.574)						—	—	—	—	—
	c5	19.7		2-D19@200 (0.574)	3.05	1.55	0.448	1.57	22.7	0.071	1.21	—	—	0.91
				2-D19@200 (0.574)						—	—	—	—	—

注記* : 上段は鉛直震度上向き, 下段は鉛直震度下向きを示す。

表 3-2(2) 耐震壁断面算定表 (EL 16.9m~EL 22.05m)

(b) EW方向 (ウエブ検討)

階	壁位置	断面積 ($\times 10^6 \text{mm}^2$)	壁厚 ($\times 10 \text{mm}$)	配筋 上段 縦筋 下段 横筋 () 内は P_g : %	せん断力に対する検討			曲げモーメントに対する検討				土圧に対する検討				
					せん断力 Q ($\times 10^4 \text{kN}$)	せん断 応力度 τ (N/mm^2)	必要 鉄筋比 P_Q (%)	曲 モーメント M ($\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}$)	軸力 N* ($\times 10^3 \text{kN}$)	必要 鉄筋比 P_M (%)	コンク リートの 最大圧 縮力 応 σ_c (N/mm^2)	必要 鉄筋比 P_{SO} (%)	コンク リートの 最大圧 縮力 応 σ_{sc} (N/mm^2)	$\frac{P_Q + P_M + P_{SO}}{P_g}$		
4F	cA	37.0		2-D16@200 (0.398)	3.31	0.89	0.259	16.1	—	—	—	—	—	—	0.74	
				2-D16@200 (0.398)												
	cE	37.0		2-D22@200 (0.774)	3.31	0.89	0.259	26.2	0.033	1.09	—	—	—	—	—	0.38
				2-D22@200 (0.774)												

注記* : 上段は鉛直震度上向き, 下段は鉛直震度下向きを示す。

表 3-3 耐震壁の検定値一覧

(a) N S 方向

階	EL (m)	壁位置 (通り)	検定値	
			縦筋	横筋
4F	22.05~16.9	c1	0.91	0.79
		c5	0.91	0.79

注：□ は，検定値の最大値を示す。

(b) E W 方向

階	EL (m)	壁位置 (通り)	検定値	
			縦筋	横筋
4F	22.05~16.9	cA	0.74	0.66
		cE	0.38	0.34

別紙 1-1 天井スラブ及び床スラブの固有振動数について

目 次

1. 概要	別紙 1-1-1
2. 検討方針	別紙 1-1-2
3. 算定諸元	別紙 1-1-4
4. 評価結果	別紙 1-1-7

1. 概要

本資料は、中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリを構成するスラブのうち、VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」（以下「中央制御室遮蔽の耐震計算書」という。）において耐震評価を実施している天井スラブ及び床スラブについて、共振の有無を確認するものである。

2. 検討方針

本検討は、中央制御室遮蔽の耐震計算書で評価対象としている天井スラブ及び床スラブを対象に、土木学会「構造力学公式集」に則り、四辺固定長方形版又は両端固定はりとして固有振動数を下式より算定し、固有振動数が 20Hz を上回ることを確認する。

固有振動数が 20Hz を下回る場合には、当該スラブの応答増幅について影響評価を行う。

(四辺固定版)

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

$$\omega = \pi^2 \frac{\lambda}{a^2} \sqrt{\frac{D}{\rho h}}$$

ここで、

f : 固有振動数 (Hz)

ω : 固有角振動数 (rad/s)

a : 短辺方向スパン (m)

b : 長辺方向スパン (m)

D : 曲げ剛性 (N・m)

ρ : 密度 (N・s²/m⁴)

h : スラブ厚 (m)

λ : 四辺固定長方形版の無次元係数 (表 2-1 参照)

表 2-1 四辺固定長方形版の無次元係数 λ

モ ー ド		b/a			
		1.0	1.5	2.0	3.0
x, y 軸に 対 称	1	3.646	2.730	2.480	2.336
	2	13.37	6.740	4.535	3.112
	3	13.37	12.69	8.839	4.859
x, y 軸に 逆 対 称	1	10.96	8.085	7.202	6.639
	2	24.55	13.79	10.21	7.854
	3	24.55	22.03	15.39	9.990
x 軸に 対 称 y 軸に 逆 対 称	1	7.437	6.699	6.485	6.347
	2	16.72	10.45	8.438	7.137
	3	21.33	18.08	12.53	8.803

[土木学会「構造力学公式集」による。]

(両端固定はり)

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

$$\omega = \frac{4.73^2}{a^2} \sqrt{\frac{E I}{M}}$$

ここで,

f : 固有振動数 (Hz)

ω : 固有角振動数 (rad/s)

a : 短辺方向スパン (m)

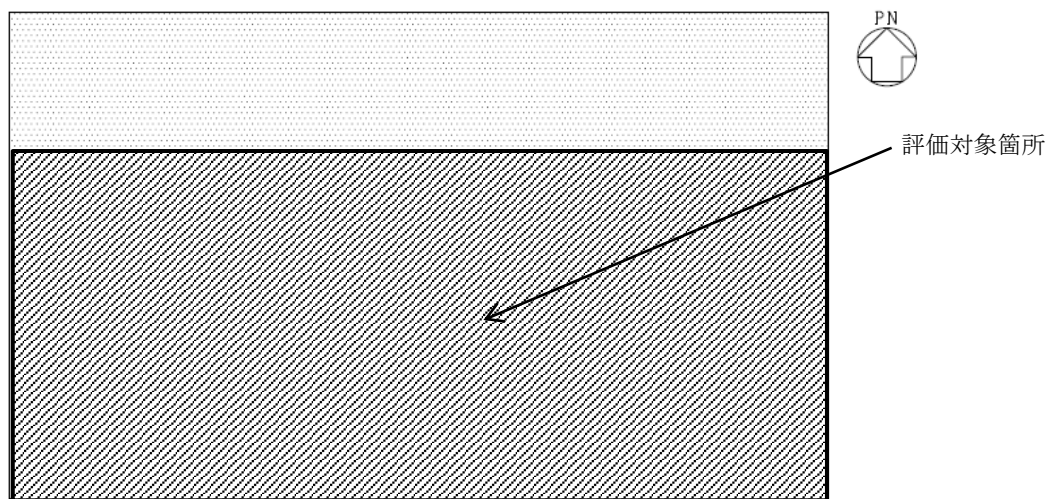
E : ヤング係数 (N/m²)

I : 断面二次モーメント (m⁴)

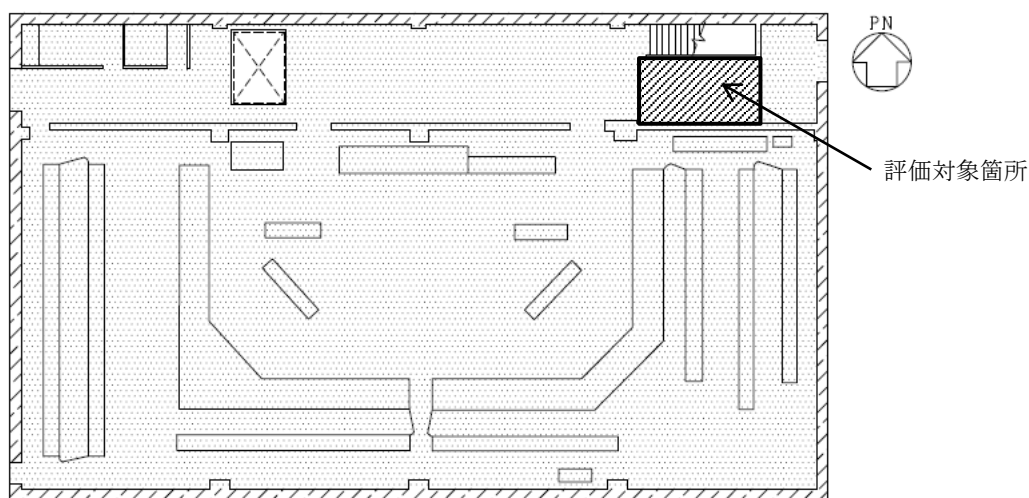
M : 分布質量 (N・s²/m²)

3. 算定諸元

中央制御室遮蔽の耐震計算書において耐震評価を実施している天井スラブ及び床スラブの位置を図 3-1 に、固有振動数の算定諸元を表 3-1 に示す。無次元係数 λ については、表 2-1 よりスラブの短辺方向と長辺方向の比から、保守的になるように設定する。

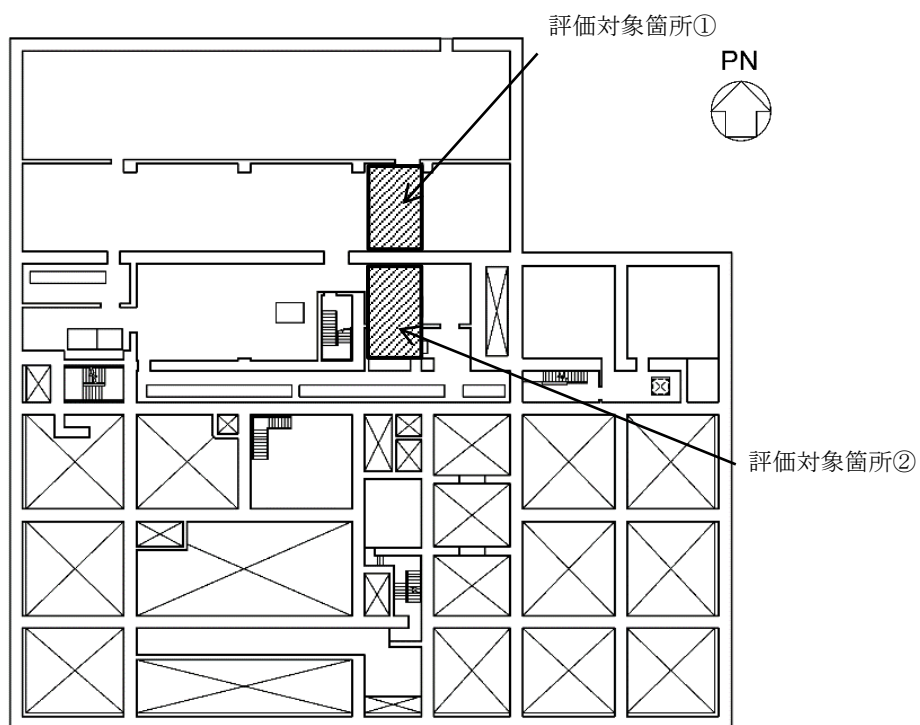


(a) 天井スラブ (制御室建物) (EL 22.05m)



(b) 床スラブ (制御室建物) (EL 16.9m)

図 3-1(1) 耐震評価を実施している天井スラブ及び床スラブの位置



(c) 床スラブ（廃棄物処理建物）（EL 12.3m）

図 3-1(2) 耐震評価を実施している天井スラブ及び床スラブの位置

表 3-1 算定諸元

(a) 天井スラブ (制御室建物)

a	15.20 (m)
b	36.00 (m)
b / a	2.37
D	1.64×10^9 (N・m)
ρ	3.20×10^3 (N・s ² /m ⁴)
h	<input type="text"/> (m)
λ	2.336

(b) 床スラブ (制御室建物)

a	5.65 (m)
E	2.20×10^{10} (N/m ²)
I	1.56×10^{-2} (m ⁴)
M	3.89×10^3 (N・s ² /m ²)

(c) 床スラブ① (廃棄物処理建物)

a	4.60 (m)
b	6.00 (m)
b / a	1.30
D	5.27×10^7 (N・m)
ρ	6.42×10^3 (N・s ² /m ⁴)
h	<input type="text"/> (m)
λ	2.730

(d) 床スラブ② (廃棄物処理建物)

a	4.50 (m)
b	7.60 (m)
b / a	1.69
D	5.27×10^7 (N・m)
ρ	9.28×10^3 (N・s ² /m ⁴)
h	<input type="text"/> (m)
λ	2.480

4. 評価結果

表 4-1 に評価結果を示す。

評価対象としている床スラブの固有振動数は、20Hz 以上であることを確認した。

天井スラブの固有振動数は 20Hz を下回るため、振動特性を踏まえ鉛直方向の応答増幅による影響評価を行う。影響評価については別紙 1-2 「応答増幅を考慮した天井スラブの耐震評価」に示す。

表 4-1 評価結果

建物	評価部位	固有振動数 (Hz)
制御室建物	天井スラブ	11.7
	床スラブ	33.1
廃棄物処理建物	床スラブ①	33.5
	床スラブ②	26.5

別紙 1-2 応答増幅を考慮した天井スラブの耐震評価

目 次

1. 概要	別紙 1-2-1
2. 評価方針	別紙 1-2-4
3. 応力解析による評価方法	別紙 1-2-5
3.1 評価対象部位及び評価方針	別紙 1-2-5
3.1.1 S s 地震時に対する評価	別紙 1-2-5
3.2 荷重及び荷重の組合せ	別紙 1-2-7
3.2.1 荷重	別紙 1-2-7
3.2.2 荷重の組合せ	別紙 1-2-7
3.3 許容限界	別紙 1-2-8
3.4 解析モデル及び諸元	別紙 1-2-13
3.4.1 モデル化の基本方針	別紙 1-2-13
3.4.2 解析諸元	別紙 1-2-15
3.4.3 材料構成則	別紙 1-2-16
3.5 評価方法	別紙 1-2-18
3.5.1 応力解析方法	別紙 1-2-18
3.5.2 断面の評価方法	別紙 1-2-22
4. 応力解析による評価結果	別紙 1-2-24
5. 引用文献	別紙 1-2-27

1. 概要

別紙 1-1「天井スラブ及び床スラブの固有振動数について」において、中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリを構成するスラブのうち、VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」（以下「中央制御室遮蔽の耐震計算書」という。）において耐震評価を実施している天井スラブ及び床スラブについて固有振動数を確認した結果、制御室建物の天井スラブの一部で固有振動数が 20Hz を下回ることを確認した。

本資料では、制御室建物の天井スラブについて、振動特性を踏まえ鉛直方向の応答増幅による影響評価を行う。

また、制御室建物は天井スラブを支持する 4 階（EL 22.05m～EL 16.9m）の外壁の厚さが天井スラブの厚さに対して薄いため、鉛直方向の地震力による天井スラブ端部に発生する曲げ応力に対する外壁の健全性についても確認する。

制御室建物の概略平面図（4F 及び RF）及び概略断面図を図 1-1 及び図 1-2 に示す。

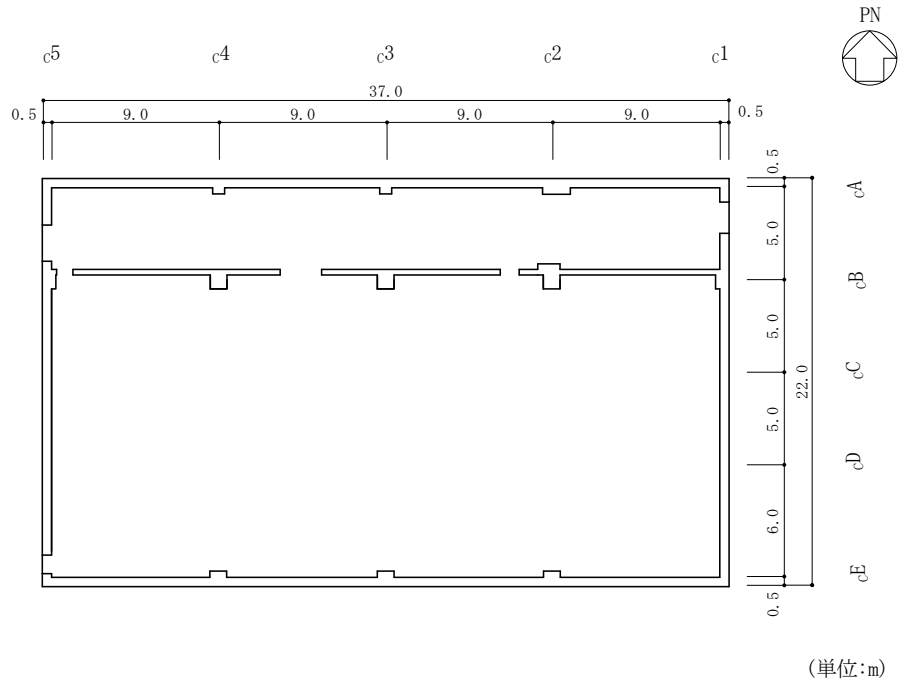


図 1-1(1) 制御室建物の概略平面図 (4F, EL 16.9m)

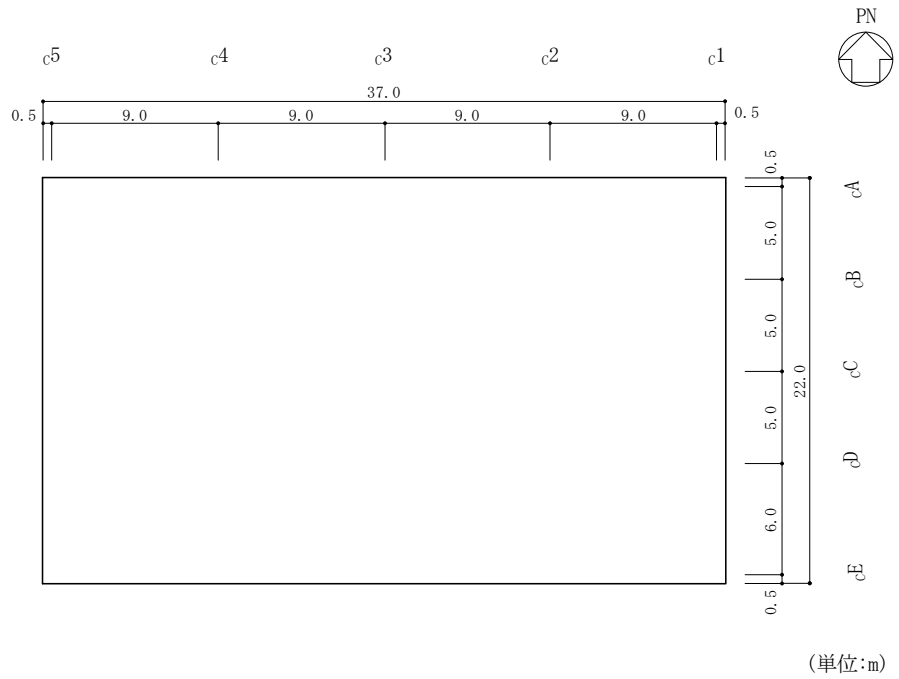


図 1-1(2) 制御室建物の概略平面図 (RF, EL 22.05m)

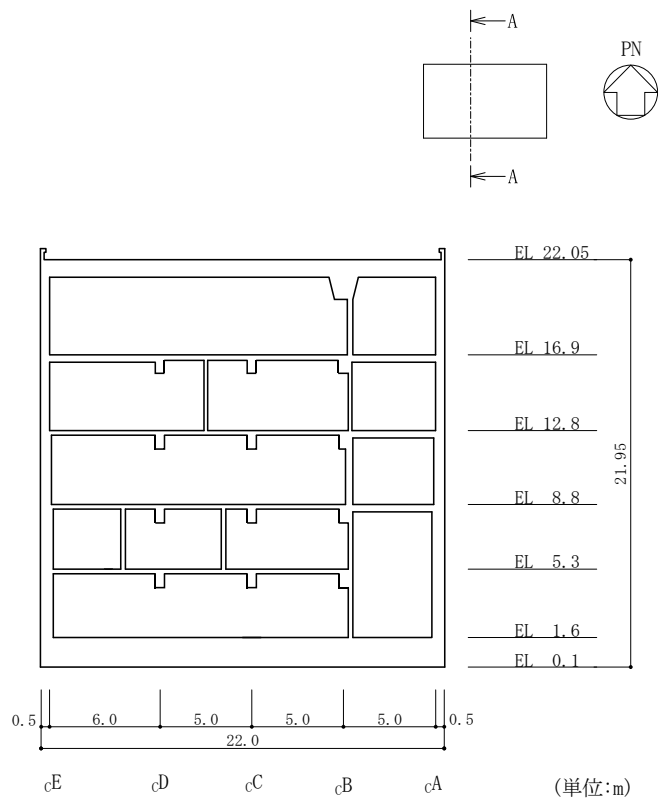


図 1-2(1) 制御室建物の概略断面図 (A-A断面, NS方向)

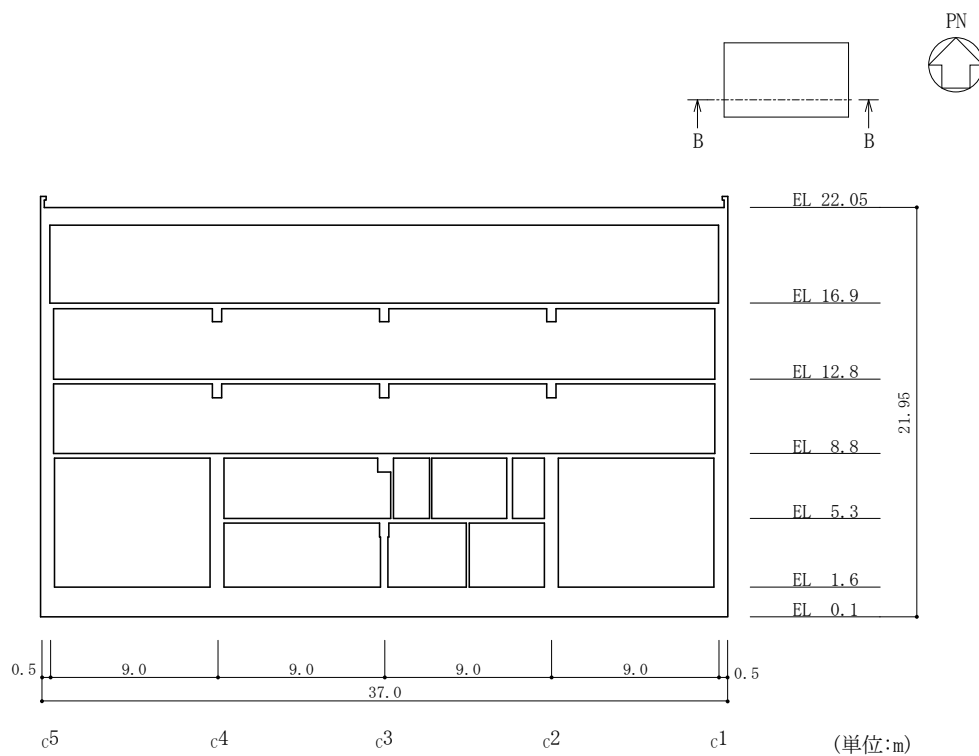


図 1-2(2) 制御室建物の概略断面図 (B-B断面, EW方向)

2. 評価方針

中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリについて、振動特性を踏まえ鉛直方向の応答増幅を考慮した基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）を行う。

中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリの評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、応力解析による評価として天井スラブ及び壁について断面の評価を行うことで、地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。

それぞれの評価は、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。評価にあたっては材料物性の不確かさを考慮する。

3. 応力解析による評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

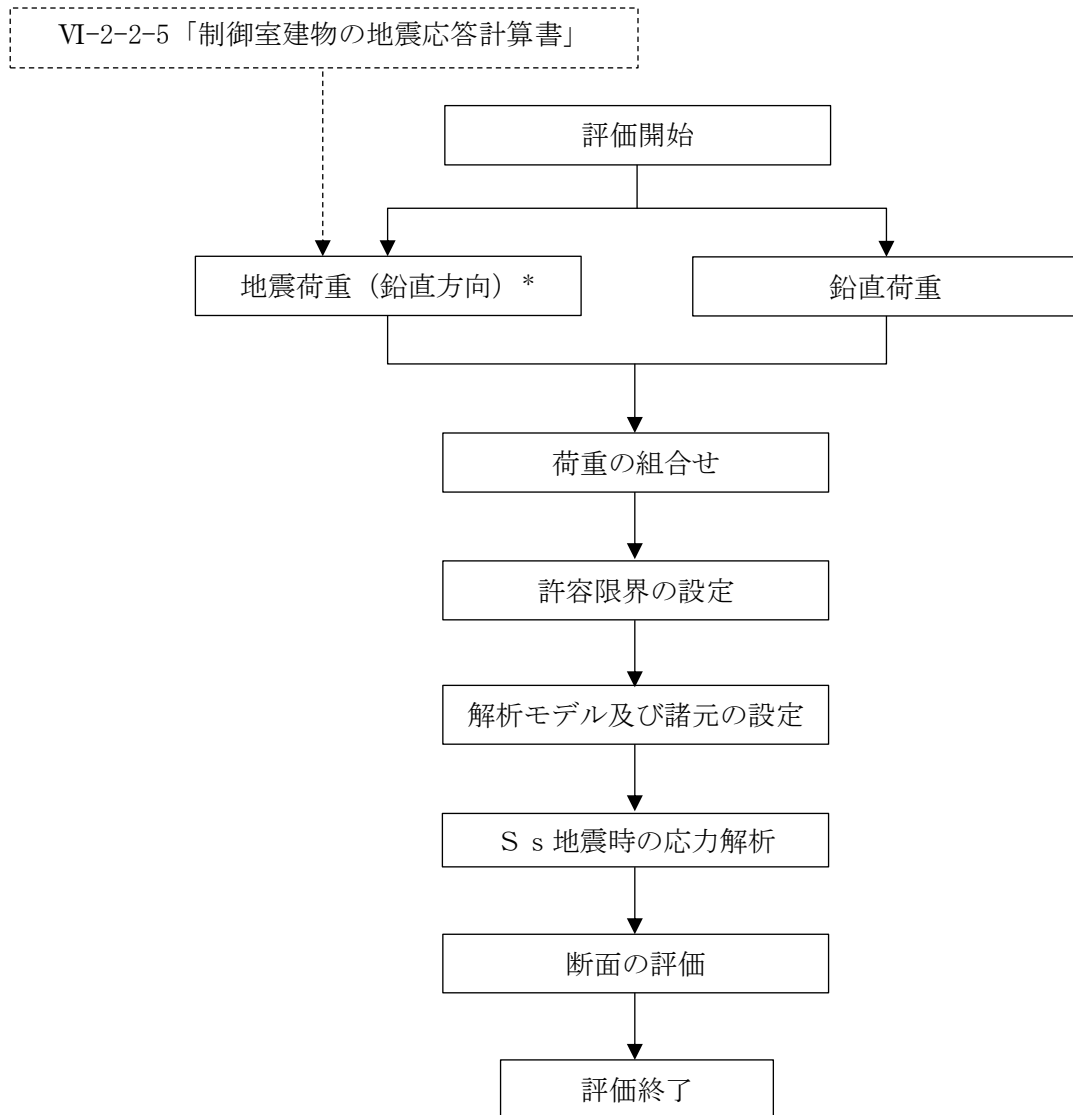
中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリの応力解析による評価対象部位は、中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリを構成する天井スラブ及び床スラブ並びに壁のうち、固有振動数が 20Hz を下回る天井スラブ及び天井スラブを支持する 4 階 (EL 22.05m~EL 16.9m) の壁とし、3 次元 FEM モデルを用いた弾塑性応力解析により評価を行う。弾塑性応力解析にあたっては、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」による結果を用いて、荷重の組合せを行う。

3.1.1 S_s地震時に対する評価

S_s地震時に対する評価は、材料物性の不確かさを考慮した基準地震動 S_sによる鉛直方向の地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力又はひずみが、「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ((社) 日本機械学会, 2003)」(以下「CCV規格」という。)又は「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。)に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

応力解析による評価フローを図 3-1 に示す。

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



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 3-1 天井スラブ及び壁の応力解析による評価フロー

3.2 荷重及び荷重の組合せ

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

3.2.1 荷重

(1) 鉛直荷重

鉛直荷重の詳細は、中央制御室遮蔽の耐震計算書の「4.2 荷重及び荷重の組合せ」に示す内容と同一である。

(2) 地震荷重(S_s)

地震荷重(S_s)は、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」から得られるEL 22.05mのS_s地震時の鉛直方向の応答に基づき震度を算定する。

なお、評価にあたっては材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表3-1に示す。

表3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + S _{NL} + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_{NL} : 積雪荷重

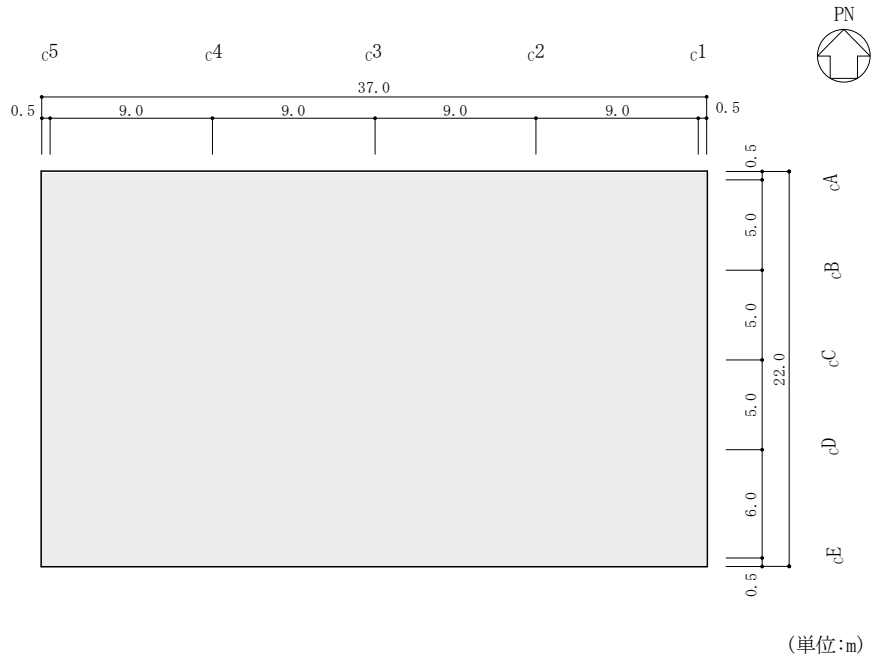
S_s : 地震荷重

3.3 許容限界

応力解析による評価における中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリの許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能維持の基本方針に基づき、中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリの要求機能に応じて設定する。

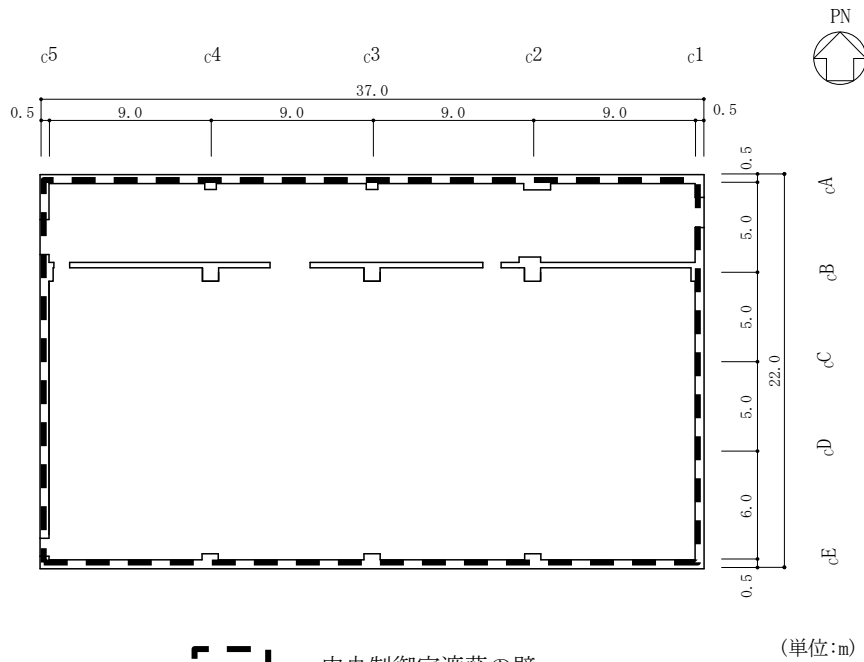
制御室建物の EL 22.05m～EL 16.9m における中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリの概略図を図 3-2 及び図 3-3 に、応力解析による評価における許容限界を表 3-2 に示す。

また、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 3-3 及び表 3-4 に、コンクリート及び鉄筋の許容ひずみを表 3-5 に示す。



☐ : 中央制御室遮蔽の天井スラブ

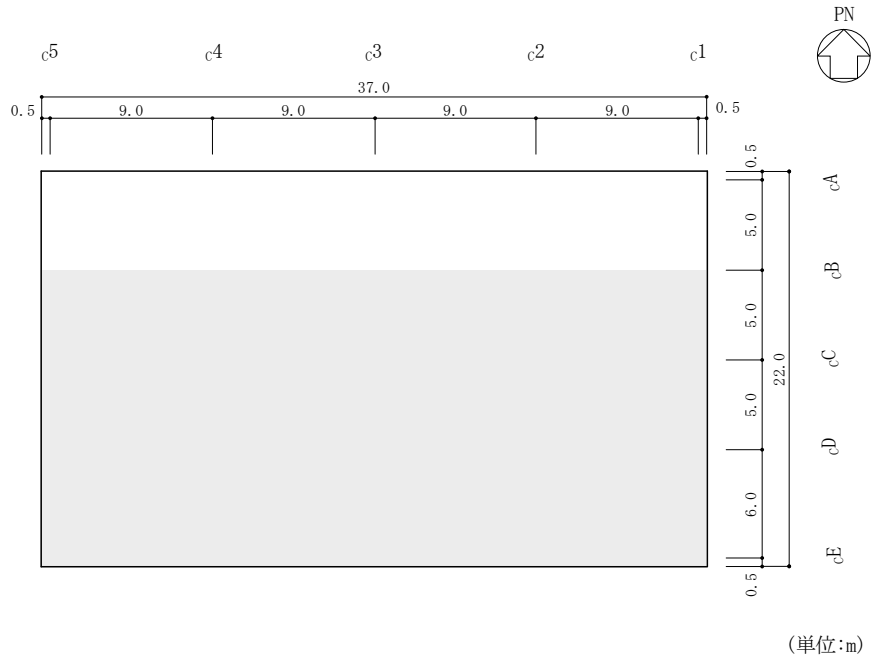
(a) 平面図 (EL 22.05m)



┌─┐ : 中央制御室遮蔽の壁

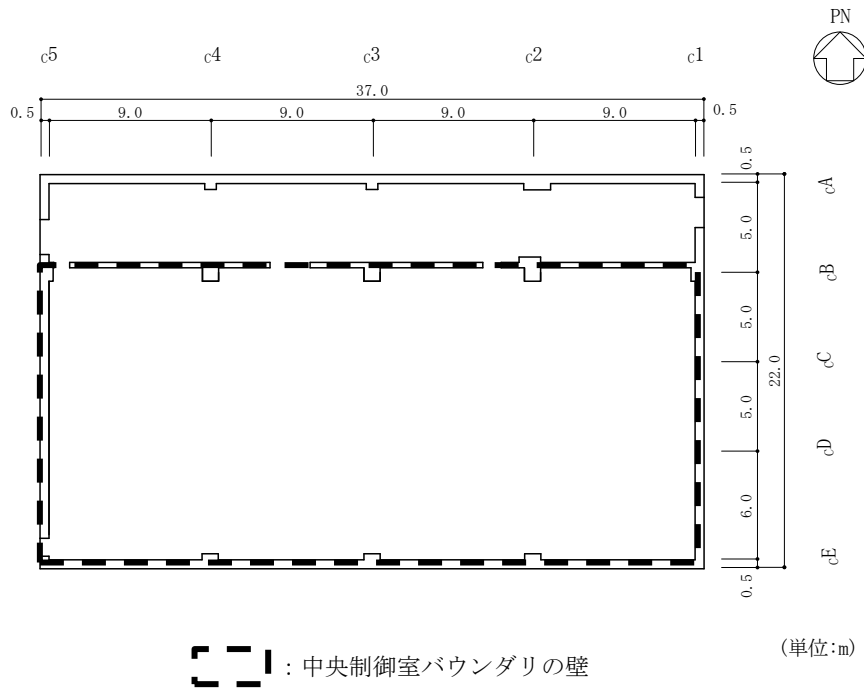
(b) 平面図 (EL 16.9m)

図 3-2 中央制御室遮蔽の概略図



☐ : 中央制御室バウンダリの天井スラブ

(a) 平面図 (EL 22.05m)



┌─┐ : 中央制御室バウンダリの壁

(b) 平面図 (EL 16.9m)

図 3-3 中央制御室バウンダリの概略図

表 3-2 応力解析による評価における許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S s	中央制御室遮蔽の天井スラブ	部材に生じる応力及びひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	<ul style="list-style-type: none"> ひずみ^{*1} コンクリート 3.0×10^{-3} (圧縮) 鉄筋 5.0×10^{-3} (圧縮及び引張) 面外せん断力^{*2} 短期許容せん断力^{*3}
			中央制御室バウンダリの天井スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	弾性限強度 ^{*4, *5}
			中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリの壁	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	弾性限強度 ^{*4, *5}
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S s	中央制御室遮蔽の天井スラブ	部材に生じる応力及びひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	<ul style="list-style-type: none"> ひずみ^{*1} コンクリート 3.0×10^{-3} (圧縮) 鉄筋 5.0×10^{-3} (圧縮及び引張) 面外せん断力^{*2} 短期許容せん断力^{*3}
			中央制御室遮蔽の壁	部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	弾性限強度 ^{*4, *5}
気密性	換気性能とあいまって気密性能を維持すること	基準地震動 S s	中央制御室バウンダリの天井スラブ	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	弾性限強度 ^{*5}
			中央制御室バウンダリの壁	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	弾性限強度 ^{*5}

注記*1:「CCV規格」に基づく。

*2:「RC-N規準」に基づく。

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

*4:許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものと設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して弾性限強度とする。

*5:せん断力に対する評価については、短期許容応力度を適用する。

表 3-3 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm²)

設計基準強度 F_c	せん断
22.1	1.06

表 3-4 鉄筋の短期許容応力度

(単位：N/mm²)

種別	引張及び圧縮	せん断
SD35 (SD345 相当)	345	345

表 3-5 コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ

コンクリート (圧縮ひずみ)	鉄筋 (圧縮ひずみ及び引張ひずみ)
0.003	0.005

3.4 解析モデル及び諸元

3.4.1 モデル化の基本方針

(1) 基本方針

応力解析は、3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析とする。解析には、解析コード「FINAL」を用いる。

応力解析モデルは、制御室建物4階(EL 16.9m)より上部の鉄筋コンクリート造の天井スラブ、壁、柱及びはりをモデル化する。解析モデルを図3-4に示す。

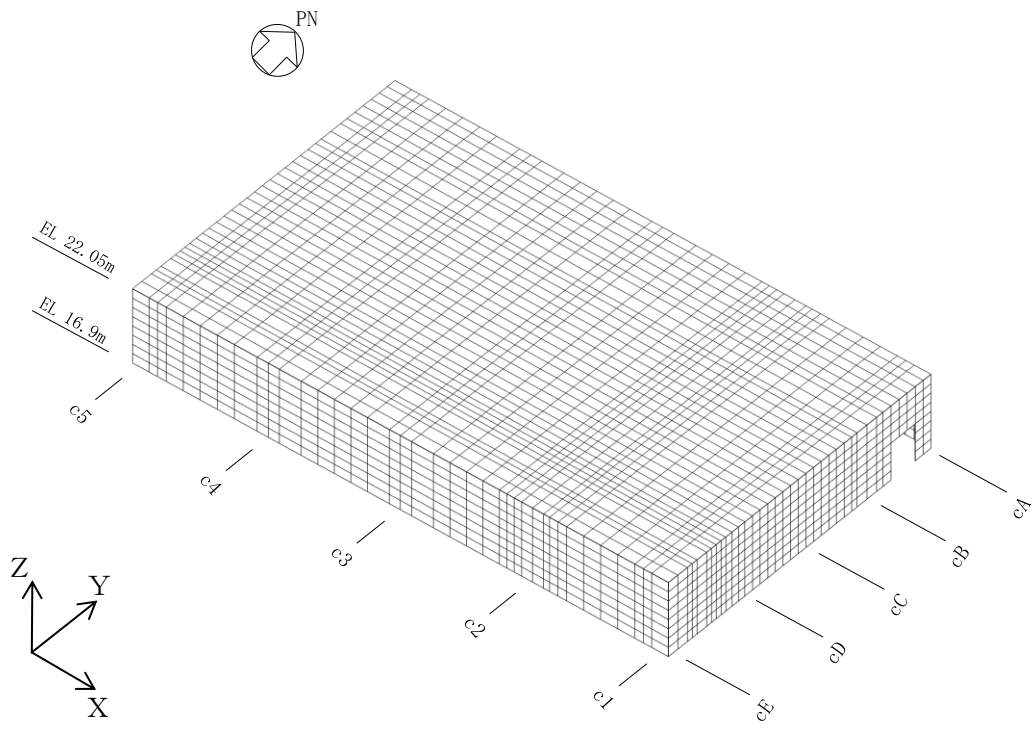
(2) 使用要素

解析モデルに使用するFEM要素は、天井スラブ及び壁については積層シェル要素、柱及びはりについてはファイバー要素とする。各要素は、鉄筋層をモデル化した異方性材料による要素である。

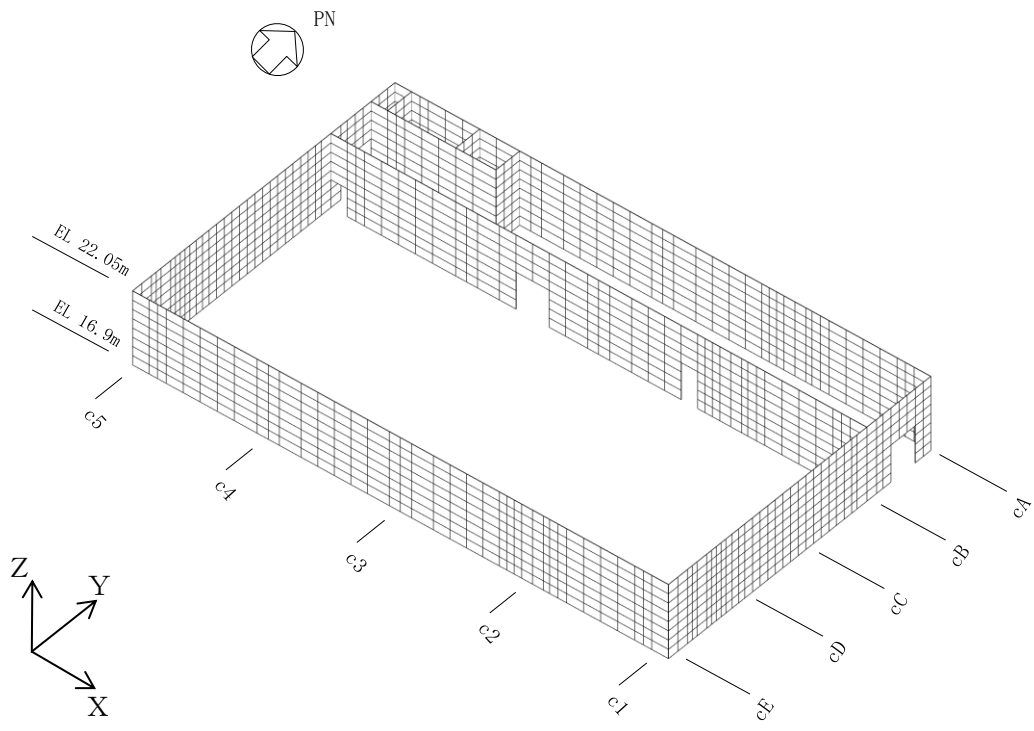
各要素には、板の曲げと軸力を同時に考えるが、板の曲げには面外せん断変形の影響も考慮する。

(3) 境界条件

3次元FEMモデルのEL 16.9mの位置を固定とする。



(a) 鳥瞰図 (天井スラブ表示)



(b) 鳥瞰図 (天井スラブ非表示)

図 3-4 解析モデル

3.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 3-6 及び表 3-7 に示す。

表 3-6 コンクリートの物性値

設計基準強度 F_c (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
22.1	2.20×10^4	0.2

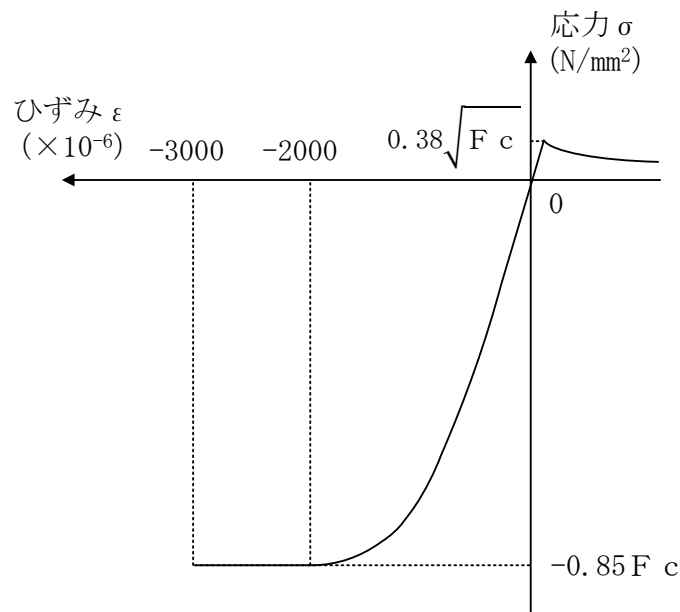
表 3-7 鉄筋の物性値

鉄筋の種類	降伏応力 σ_y (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)
SD35 (SD345 相当)	345	2.05×10^5

3.4.3 材料構成則

材料構成則を図3-5に示す。

コンクリートのヤング係数及び圧縮強度については、設計基準強度に基づき算定した値とする。



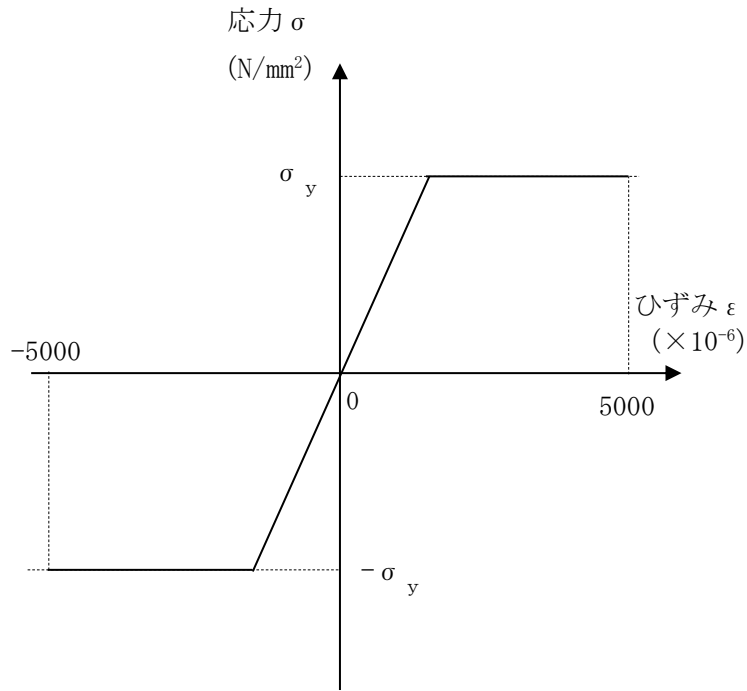
F_c : コンクリートの設計基準強度

項目	設定
圧縮強度	$\sigma_c = -0.85 F_c$ (「CCV規格」)
終局圧縮ひずみ	-3000×10^{-6} (「CCV規格」)
圧縮側のコンクリート構成則	長沼 (1995) による式 (「修正 Ahmad」) (引用文献(1)参照)
ひび割れ発生後の引張軟化曲線	出雲ほか (1987) による式 ($c = 0.4$) (引用文献(2)参照)
引張強度	$\sigma_t = 0.38 \sqrt{F_c}$ (鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 一許容応力度設計法— (社) 日本建築学会, 1999 改定)

注：引張方向の符号を正とする。

(a) コンクリートの応力-ひずみ関係

図3-5(1) 材料構成則



σ_y : 鉄筋の降伏応力

項目	設定
鉄筋の構成則	バイリニア型 (「CCV規格」)
終局ひずみ	$\pm 5000 \times 10^{-6}$ (「CCV規格」)

注：引張方向の符号を正とする。

(b) 鉄筋の応力-ひずみ関係

図 3-5(2) 材料構成則

3.5 評価方法

3.5.1 応力解析方法

制御室建物の天井スラブ及び壁について、 S_s 地震時に対して3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析を実施する。

(1) 荷重ケース

S_s 地震時の応力は、次の荷重を組み合わせる。

- G : 固定荷重
- P : 積載荷重
- SNL : 積雪荷重
- S_{sUD} : S_s 地震荷重（鉛直方向）

S_s 地震荷重（鉛直方向）は、 cB 通りより南側の天井スラブ（以下「天井スラブ（南側）」という。）については固有振動数が20Hzを下回るため、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」から得られるEL 22.05mの S_s 地震時の鉛直方向の加速度応答スペクトルより、3次元FEMモデルを用いた固有値解析結果から得られる天井スラブ（南側）の1次固有振動数に相当する加速度応答から鉛直震度を算定する。

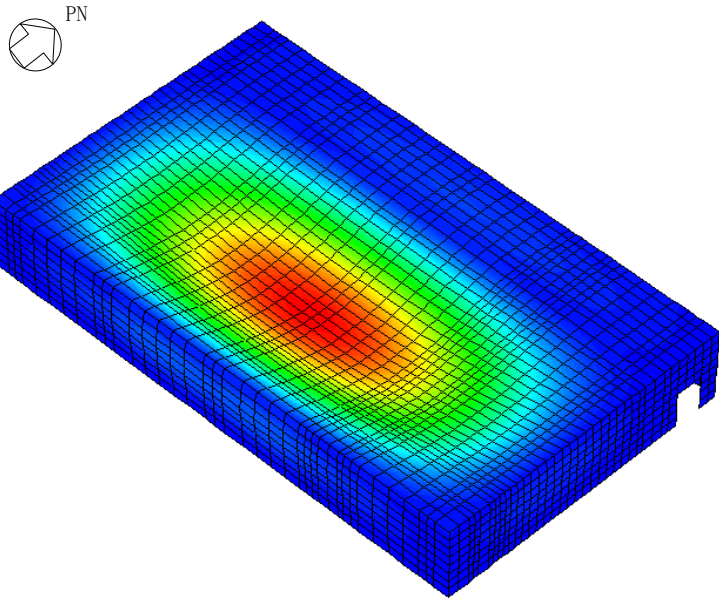
cB 通りより北側の天井スラブ（以下「天井スラブ（北側）」という。）については固有振動数が20Hz以上であるため、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」から得られるEL 22.05mの S_s 地震時の鉛直方向最大応答加速度より鉛直震度を算定する。

なお、評価にあたっては材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

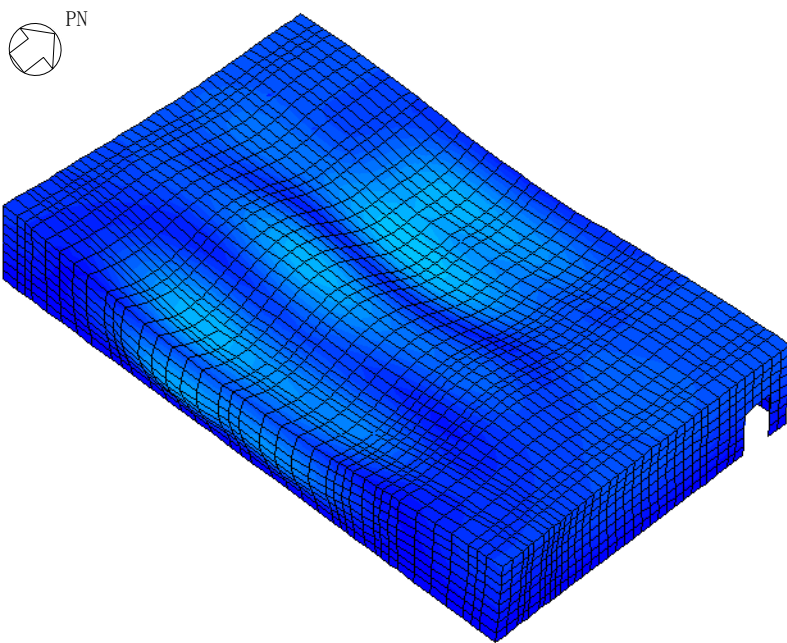
3次元FEMモデルの固有値解析結果を表3-8及び図3-6に、EL 22.05mの S_s 地震時の鉛直方向加速度応答スペクトルを図3-7に、 S_s 地震時の鉛直震度を表3-9に示す。

表3-8 固有値解析結果

次数	振動数	周期	刺激係数			備考
			NS	EW	鉛直	
1	7.69	0.130	3.07	-0.03	-32.90	天井スラブ（南側）鉛直方向1次
19	38.59	0.026	6.84	0.06	-16.23	天井スラブ（北側）鉛直方向1次



(a) 1次モード (天井スラブ (南側) 鉛直方向1次)



(b) 19次モード (天井スラブ (北側) 鉛直方向1次)

図3-6 固有モード図

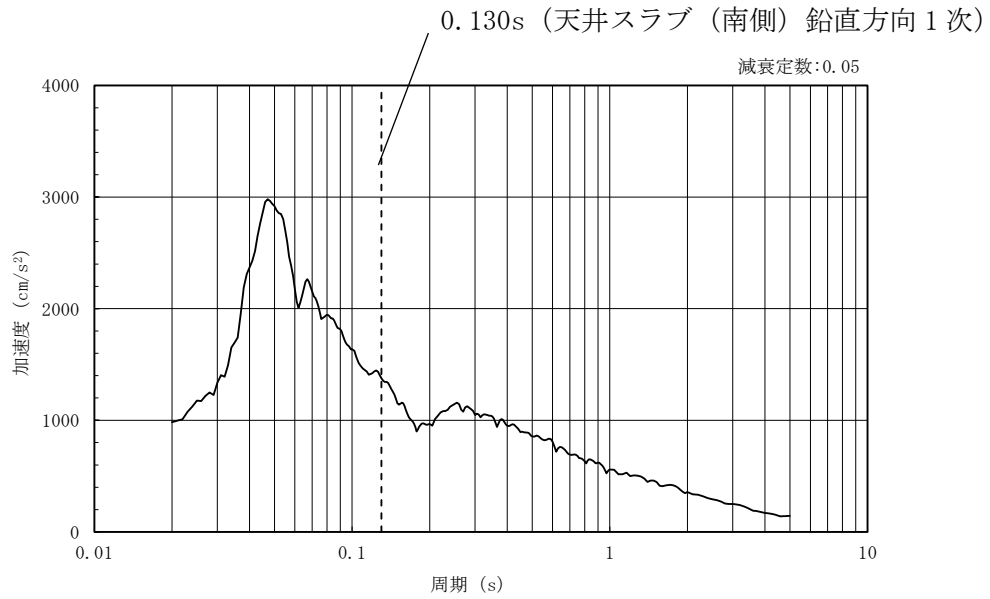


図 3-7 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s - D (ケース 3), 鉛直方向, 質点番号 1)

表 3-9 S s 地震時の鉛直震度

(a) 天井スラブ (南側)

EL (m)	ケース	1次固有振動数における 加速度応答スペクトルの値 (cm/s ²)	加速度応答 スペクトルの値から 算出した鉛直震度
22.05	S s - D (ケース 3)	1375	1.41

(b) 天井スラブ (北側)

EL (m)	ケース	最大応答 鉛直加速度 (cm/s ²)	鉛直震度
22.05	S s - N 2 (ケース 2)	972	1.00

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-10 に示す。

鉛直地震力は、固定荷重及び積雪荷重と同じ載荷方向となる下向き方向に作用させるものとする。

表 3-10 荷重の組合せケース

ケース	外力の状態	荷重の組合せ
1	S s 地震時	G + P + S N L + 1.0 S s U D

(3) 荷重の入力方法

a. 地震荷重

鉛直地震力については、3次元FEMモデルの各節点における鉛直震度により支配面積に応じた節点荷重として入力する。

b. 地震荷重以外の荷重

地震荷重以外の荷重については、3次元FEMモデルの各節点又は各要素に、集中荷重又は分布荷重として入力する。

3.5.2 断面の評価方法

(1) 中央制御室遮蔽の天井スラブ

a. 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみが、「CCV規格」に基づき、表3-5に示す許容ひずみを超えないことを確認する。

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき行う。

面外せん断力が、次式を基に算定した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot w f_t (p_w - 0.002) \}$$

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの7/8倍の値 (mm)

α : 許容せん断力の割増し係数

(2を超える場合は2, 1未満の場合は1とする。また、引張軸応力度が 2N/mm^2 を超える場合は1とする。)

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

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表3-3に示す値 (N/mm^2)

$w f_t$: せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表3-4に示す値 (N/mm^2)

p_w : せん断補強筋比で、次式による。(0.002以上とする。*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

a_w : せん断補強筋の断面積 (mm^2)

x : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記* : せん断補強筋がない領域については、第2項を0とする。

(なお、制御室建物の天井スラブには、面外せん断補強筋は入っていない。)

(2) 中央制御室バウンダリの天井スラブ

a. 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度が，降伏応力を超えないことを確認する。

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

面外せん断力に対する断面の評価方法の詳細は，中央制御室遮蔽の天井スラブの評価方法と同一である。

(3) 中央制御室遮蔽及び中央制御室バウンダリの壁

a. 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度が，降伏応力を超えないことを確認する。

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

面外せん断力に対する断面の評価方法の詳細は，中央制御室遮蔽の天井スラブの評価方法と同一である。

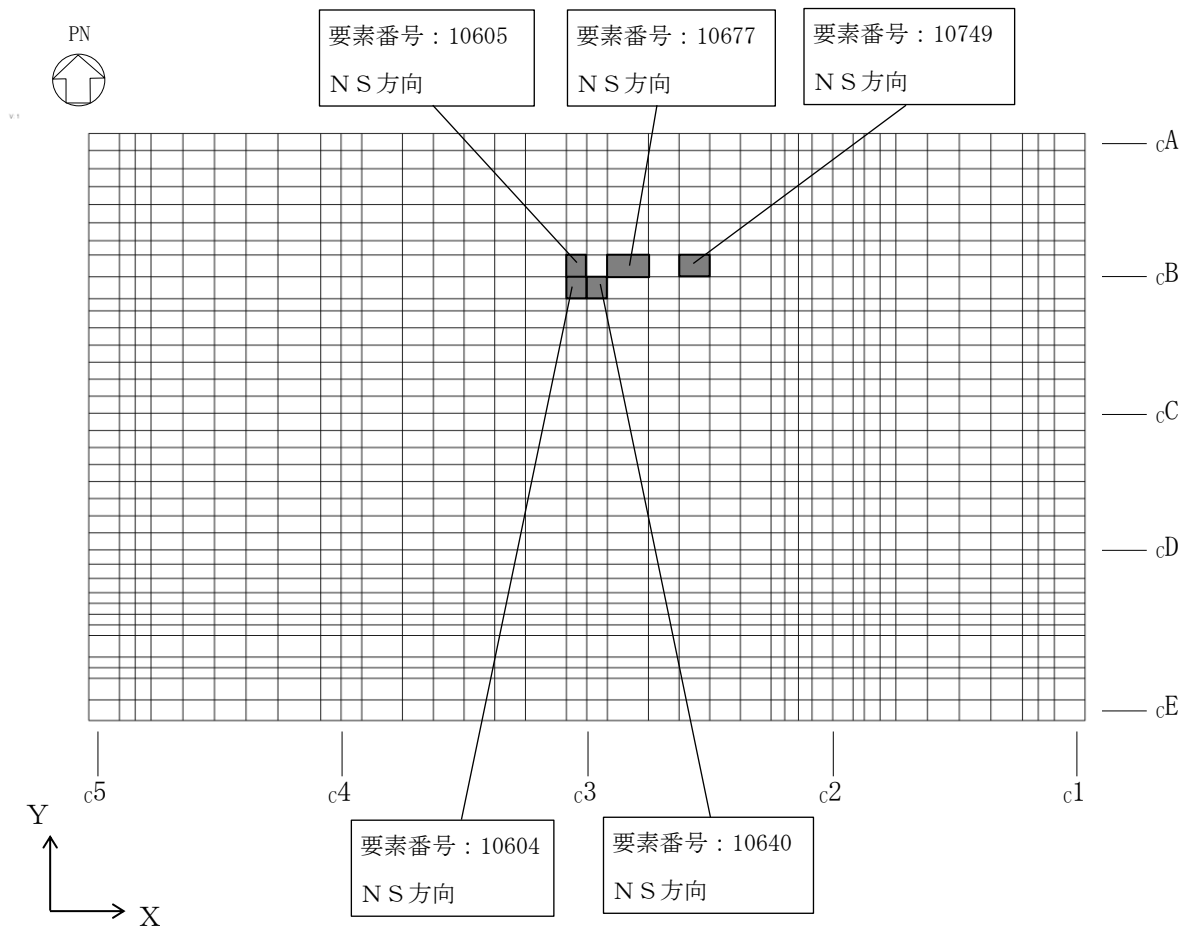
4. 応力解析による評価結果

「3.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。

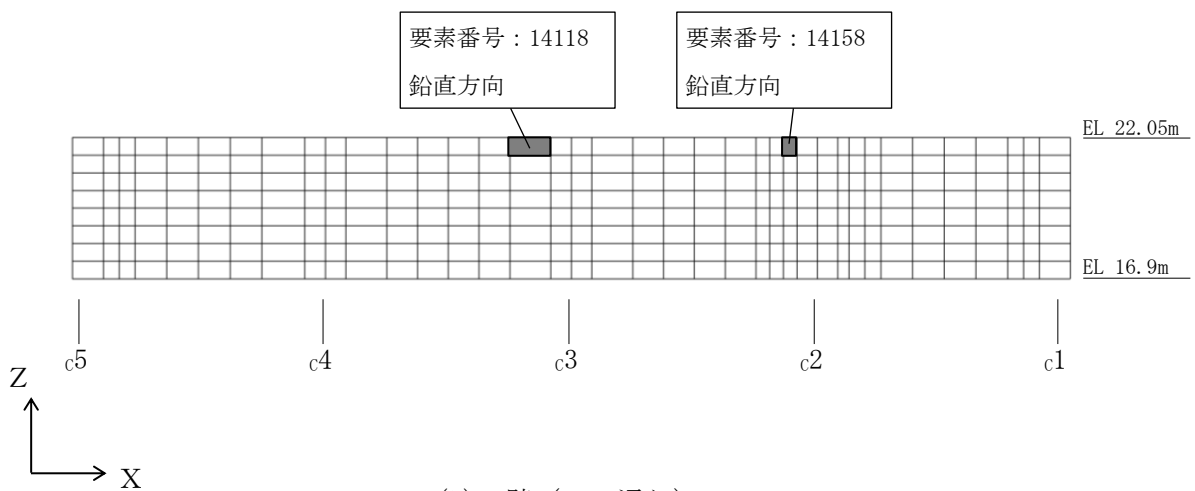
断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ又は鉄筋の引張応力度並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図4-1に、評価結果を表4-1に示す。

S s 地震時において、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ又は鉄筋の引張応力度並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認した。



(a) 天井スラブ



(b) 壁 (c E 通り)

図4-1 選定した要素の位置

表4-1 評価結果

部位	評価項目		方向	要素 番号	発生値	許容値
中央制御室遮蔽の 天井スラブ	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート 圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	N S	10677	0.448	3.00
		鉄筋 引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	N S	10749	2.30	5.00
	面外せん断力	面外せん断力 ($\times 10^3$ kN/m)	N S	10605	0.554	0.908
中央制御室 バウンダリの 天井スラブ	軸力 + 曲げモーメント	鉄筋 引張応力度 (N/mm ²)	N S	10640	224.3	345
	面外せん断力	面外せん断力 ($\times 10^3$ kN/m)	N S	10604	0.960	1.30
壁	軸力 + 曲げモーメント	鉄筋 引張応力度 (N/mm ²)	鉛直	14118	336.4	345
	面外せん断力	面外せん断力 ($\times 10^3$ kN/m)	鉛直	14158	0.209	0.380

5. 引用文献

- (1) 長沼一洋：三軸圧縮下のコンクリートの応力～ひずみ関係，日本建築学会構造系論文集，第474号，1995. 8
- (2) 出雲淳一，島弘，岡村甫：面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル，コンクリート工学，Vol. 25，No. 9，1987. 9