

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7 補足-026-14 改1
提出年月日	2020年4月16日

緊急時対策所遮蔽の耐震性についての計算書に係る補足説明資料

2020年 4月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 工事計画添付資料に係る補足説明資料

V-2-8-4-5「緊急時対策所遮蔽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 緊急時対策所遮蔽のスラブの耐震性評価

## 別紙 1 緊急時対策所遮蔽のスラブの耐震性評価

## 目 次

1. 概要	別紙 1-1
2. 評価方針	別紙 1-2
3. 振動特性の確認	別紙 1-3
3.1 解析方針	別紙 1-3
3.2 固有値解析結果	別紙 1-9
4. 応答増幅の影響評価	別紙 1-12
4.1 評価方法	別紙 1-12
4.2 応力解析方法	別紙 1-15
4.3 評価結果	別紙 1-18

## 1. 概要

本資料は、V-2-8-4-5「緊急時対策所遮蔽の耐震性についての計算書」におけるスラブの鉛直地震力に対する耐震評価を補足的に説明するものである。

## 2. 評価方針

緊急時対策所遮蔽を構成するスラブは遮蔽性及び気密性を維持するための構成部材の一つであり、基準地震動  $S_s$  による地震力に対し機能維持が求められている。

地震時の機能維持の確認では、当該スラブは十分に剛であるとし、地震荷重は質点系モデルにおいて、当該スラブが位置する質点の鉛直方向の応答値を用いている。

ここでは、耐震壁及び大ばりで囲まれたスラブのうち、スラブのスペンから判断して、鉛直方向地震力による増幅の影響が最も大きいと思われる部位を評価部位として、当該スラブの支持条件を適切にモデル化した 3 次元 FEM モデルを用いた固有値解析により当該スラブの振動特性を確認し、1 次固有振動数が 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。

### 3. 振動特性の確認

#### 3.1 解析方針

評価対象部位の振動性状の確認は、3次元FEMモデルを用いた固有値解析により行う。

床スラブ及び天井スラブについては、図3-1に示す耐震壁及び大ばりで囲まれたスラブのうち、スラブのスパンから判断して、鉛直方向地震力による増幅の影響が最も大きいと思われる部位を評価対象部位としてモデル化する。また、大ばりについても幅の半分をモデル化し、はりの柔性の影響を考慮する。解析モデルに使用するFEM要素は、形状及び厚さを踏まえたシェル要素とする。境界条件は、V-2-8-4-5「緊急時対策所遮蔽の耐震性についての計算書」では、はり若しくは耐震壁に支持されている状況に応じ、四辺固定版または両端固定はりとしてモデル化している。本検討における境界条件は、耐震壁で支持されている範囲は固定とし、下部に壁がない大ばり及び鉄筋コンクリート造の小ばりは、鉛直変位方向のみ自由とする。床スラブの解析モデルの節点数は143、シェル要素数は120、はり要素数は44、天井スラブの解析モデルの節点数は130、シェル要素数は108、はり要素数は42である。固有値解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。

屋根スラブについては、図3-1に示す鉄骨小ばりで囲まれたスラブのうち、鉛直方向地震力による増幅の影響が最も大きいと思われる部位を評価対象部位としてモデル化する。また、屋根スラブ、立上り壁、鉄骨小ばりは、形状及び厚さを踏まえたシェル要素とし、屋根スラブと鉄骨小ばりの上フランジは剛なばりで緊結する。鉄骨小ばりの端部と立上り壁は鉛直変位及び水平変位が同一となるようにする。屋根スラブは短辺方向へ連続性を考慮する。解析モデルの節点数は929、シェル要素数は802、はり要素数は58である。固有値解析には、解析コード「DIANA」を用いる。

使用材料の物性値を表3-1及び表3-2に、解析モデルを図3-2に示す。

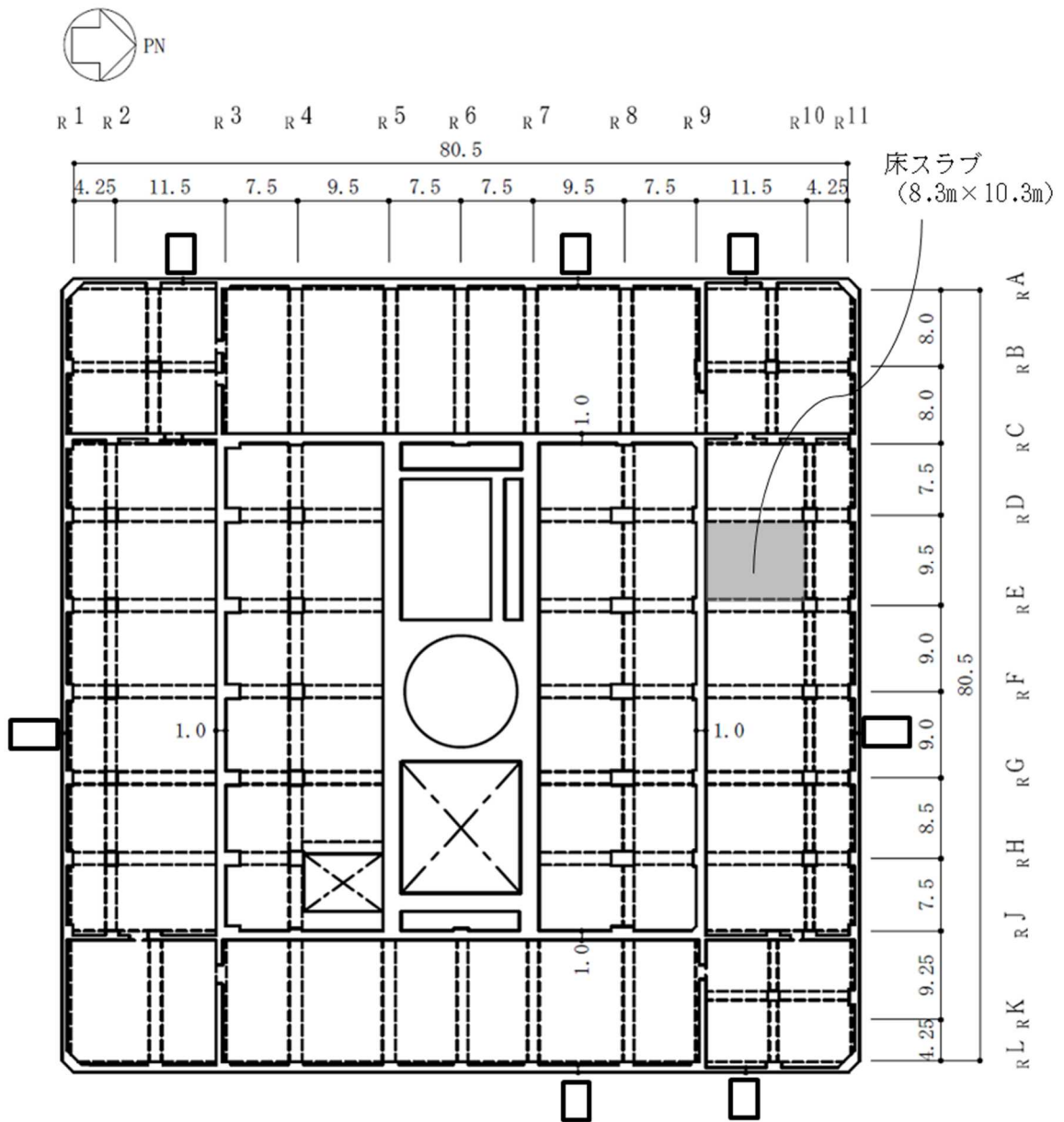
表3-1 コンクリートの物性値

諸元	物性値
ヤング係数	$2.48 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
ポアソン比	0.2

注：剛性はコンクリートの実強度（ $31.3 \text{ N/mm}^2$ ）に基づく

表3-2 鉄骨の物性値

諸元	物性値
鋼材種	SN490
ヤング係数	$2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$



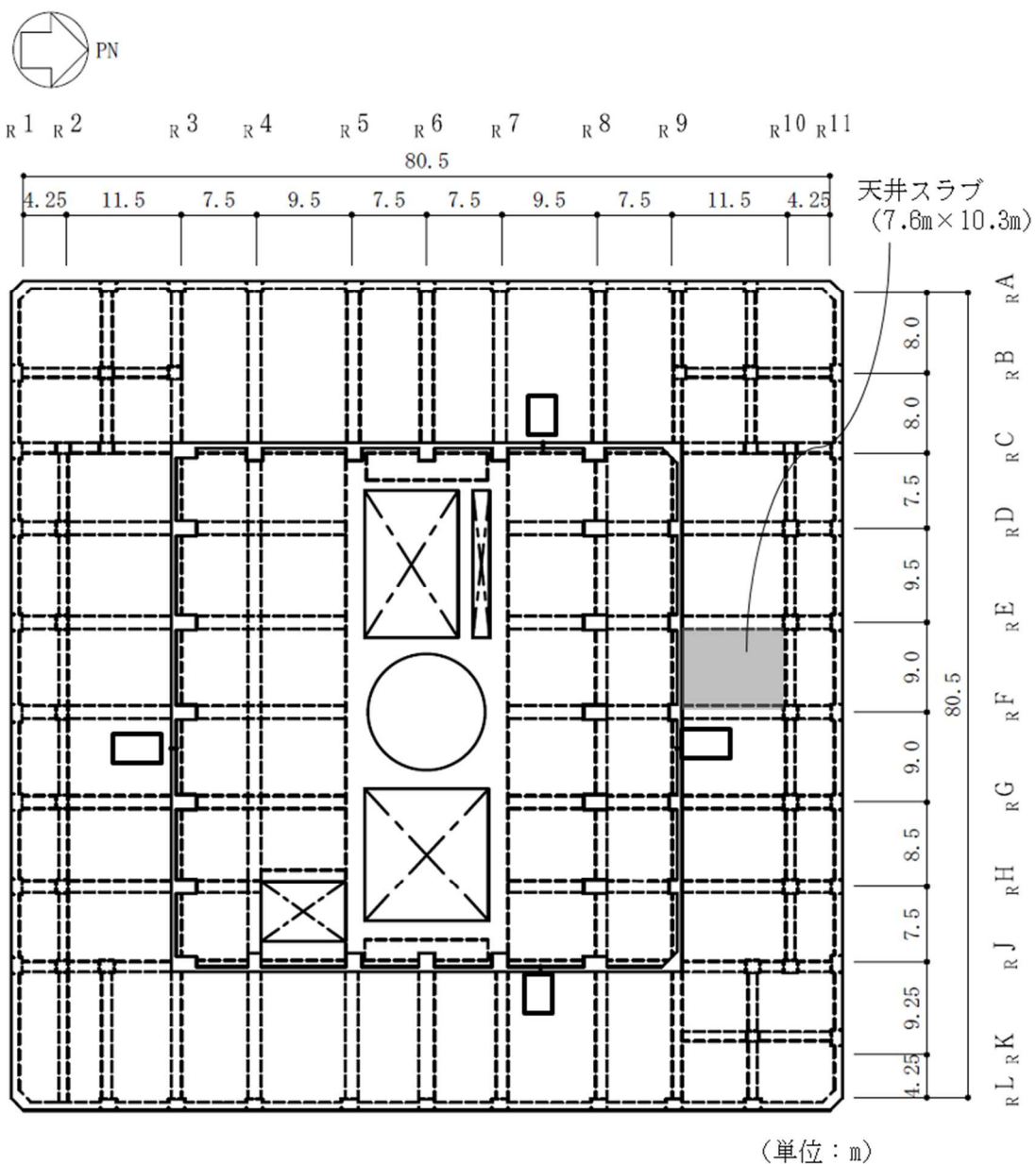
(単位 : m)

(a) 緊急時対策所 床スラブ

(5号機原子炉建屋 3F, T.M.S.L. 27.8m)

図 3-1 スラブの評価を記載する部材の位置 (1/3)

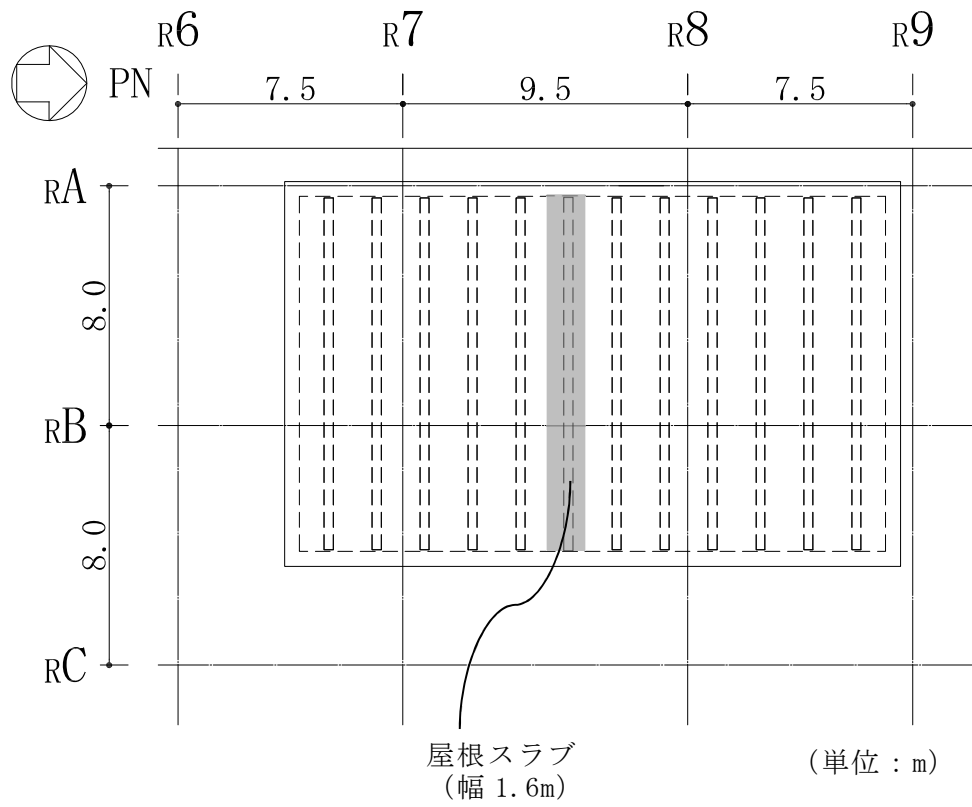




(b) 緊急時対策所 天井スラブ

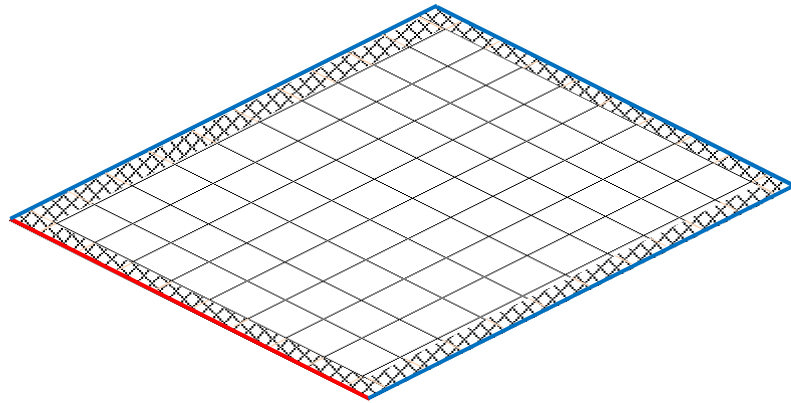
(5号機原子炉建屋4F, T.M.S.L. 33.0m)

図3-1 スラブの評価を記載する部材の位置 (2/3)

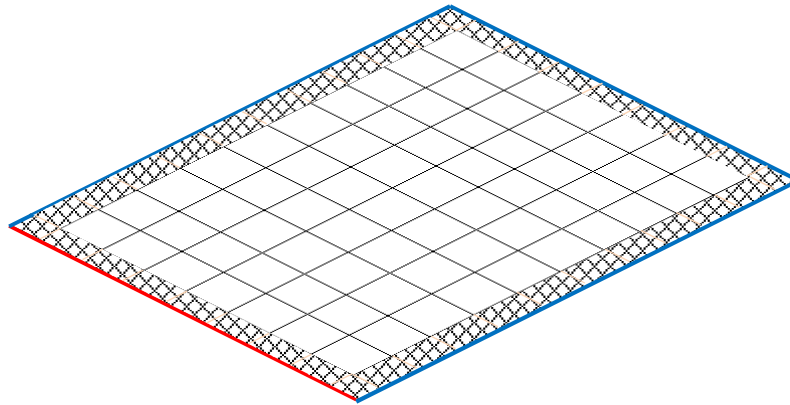


(c) 緊急時対策所 屋根スラブ

図 3-1 スラブの評価を記載する部材の位置 (3/3)



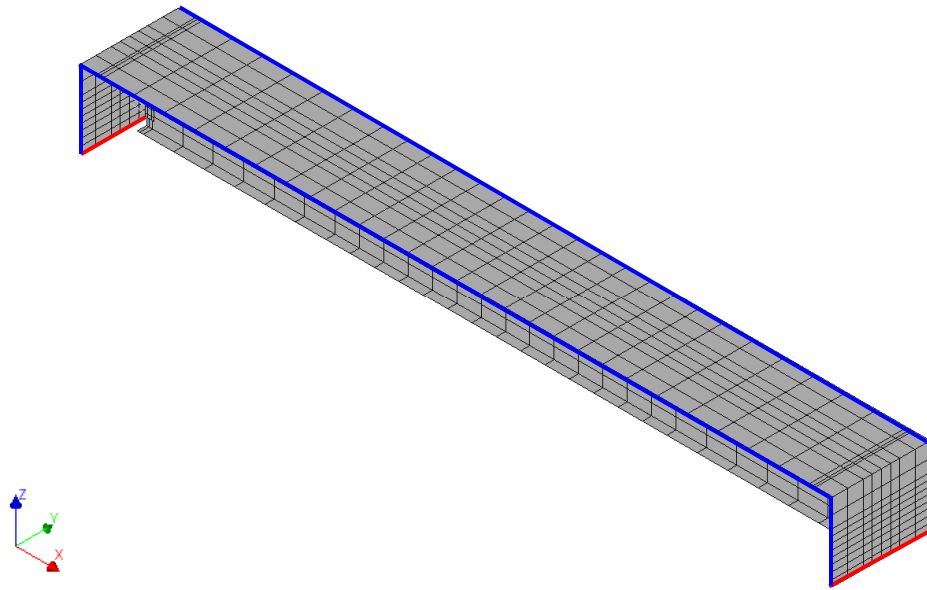
(a) 緊急時対策所床スラブ (5号機原子炉建屋3F, T.M.S.L. 27.8m)



(b) 緊急時対策所天井スラブ (5号機原子炉建屋4F, T.M.S.L. 33.0m)

— : 固定      — : 鉛直変位方向のみ自由      (ハッチング部ははりの範囲を示す)

図 3-2 解析モデル図 (1/2)



(c) 緊急時対策所屋根スラブ

— : 固定 — : 対称境界

図 3-2 解析モデル図 (2/2)

### 3.2 固有値解析結果

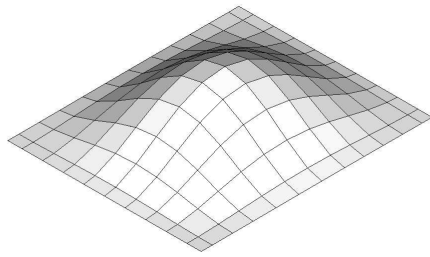
床スラブ，天井スラブ及び屋根スラブの固有振動数を表 3-3 に，モード図を図 3-3 に示す。

1 次固有振動数が 20Hz を下回るスラブについては応答増幅の影響評価を行うこととする。

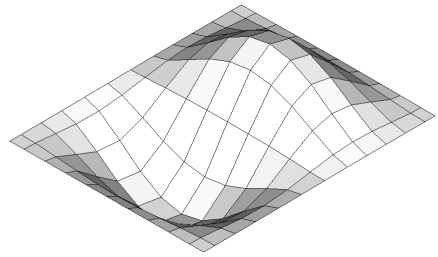
表 3-3 床スラブ，天井スラブ及び屋根スラブの固有振動数

部位	次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
床スラブ	1 次	18.11	4.699	20Hz を下回る
	2 次	31.85	0.365	
	3 次	39.55	-0.000	
天井スラブ	1 次	14.58	4.574	20Hz を下回る
	2 次	24.77	0.173	
	3 次	32.75	-0.006	
屋根スラブ	1 次	15.81	-5.373	20Hz を下回る
	2 次	36.26	-0.000	
	3 次	55.02	-0.000	

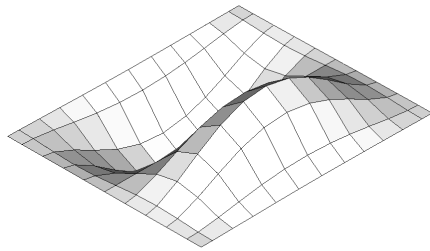
注記\*：一般化質量の値が 1.0 になるように正規化した値を示す。



1次 : 18.11 Hz

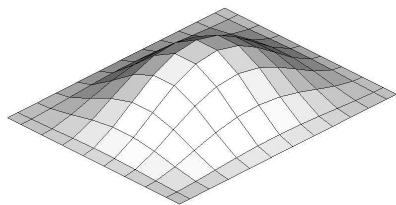


2次 : 31.85 Hz

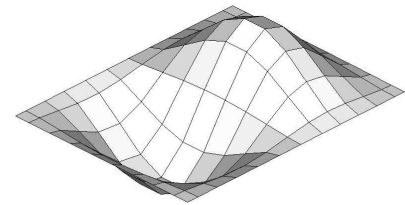


3次 : 39.55 Hz

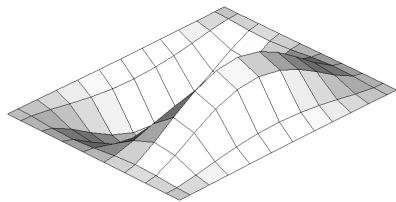
(a) 緊急時対策所床スラブ



1次 : 14.58 Hz



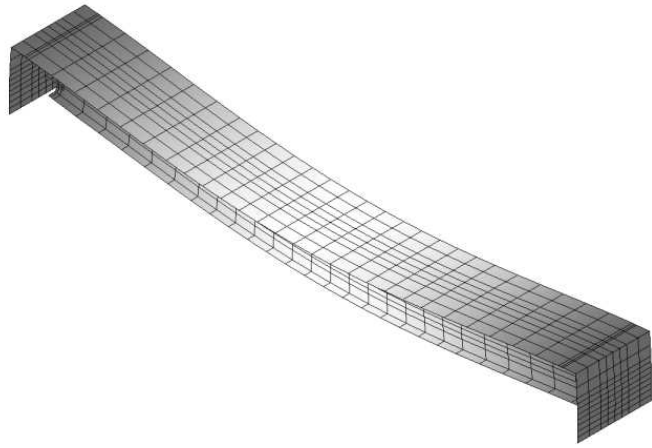
2次 : 24.77 Hz



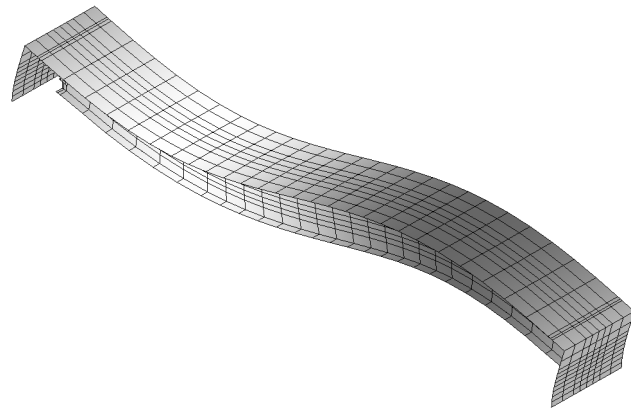
3次 : 32.75 Hz

(b) 緊急時対策所天井スラブ

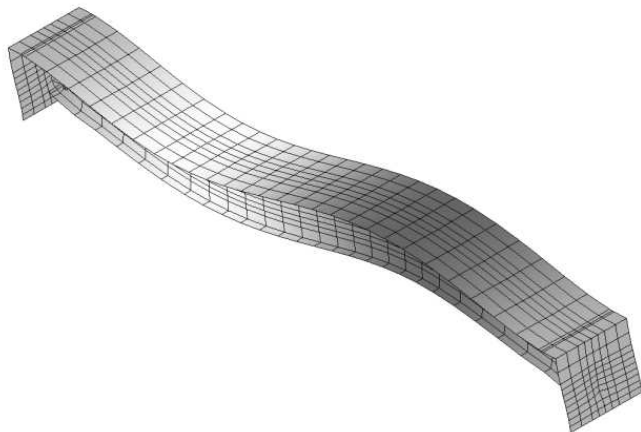
図 3-3 モード図 (1/2)



1 次 : 15.81 Hz



2 次 : 36.26 Hz



3 次 : 55.02 Hz

(c) 緊急時対策所屋根スラブ

図 3-3 モード図 (2/2)

#### 4. 応答増幅の影響評価

固有値解析の結果，1次固有振動数が20Hzを下回るスラブについて，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。

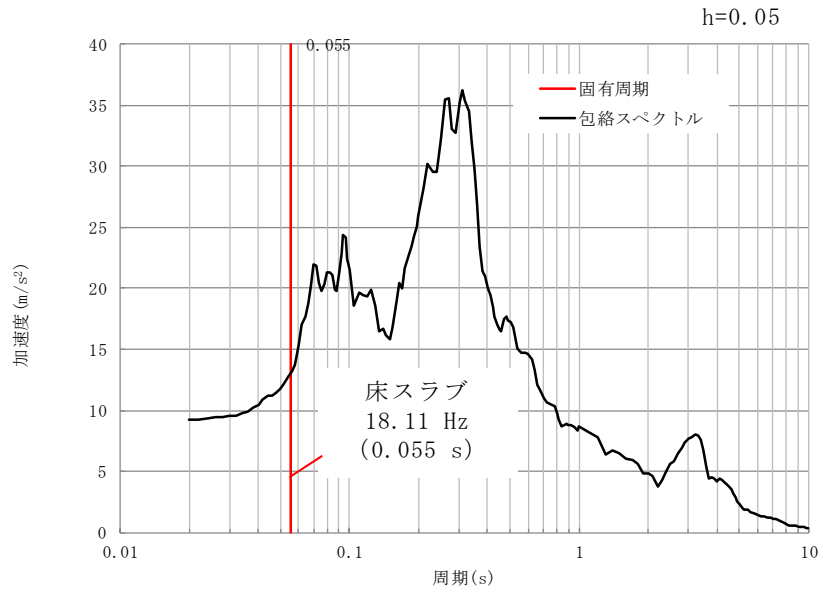
##### 4.1 評価方法

鉛直方向の応答増幅の影響評価にあたっては，評価対象が位置する質点の加速度応答スペクトルより，評価対象の1次固有振動数に相当する応答加速度から鉛直震度を算出し，その鉛直震度を用いて得られた応力により影響評価を行う。評価にあたっては，材料物性の不確かさを考慮する。

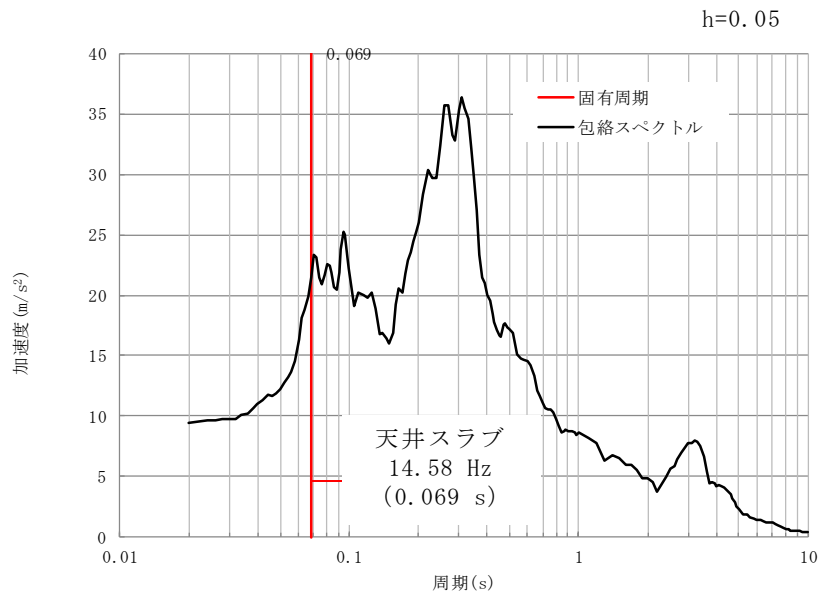
影響評価を行うスラブにおいて，基準地震動 $S_s$ （鉛直方向）に対する評価対象が位置する質点の加速度応答スペクトル図より，スラブの1次固有振動数相当の最大加速度を求め，この最大応答加速度を重力加速度で除すことにより鉛直震度を算出する。

評価対象が位置する質点の鉛直方向の減衰定数5%の加速度応答スペクトルを図4-1に，それらより算出した鉛直震度を表4-1に示す。





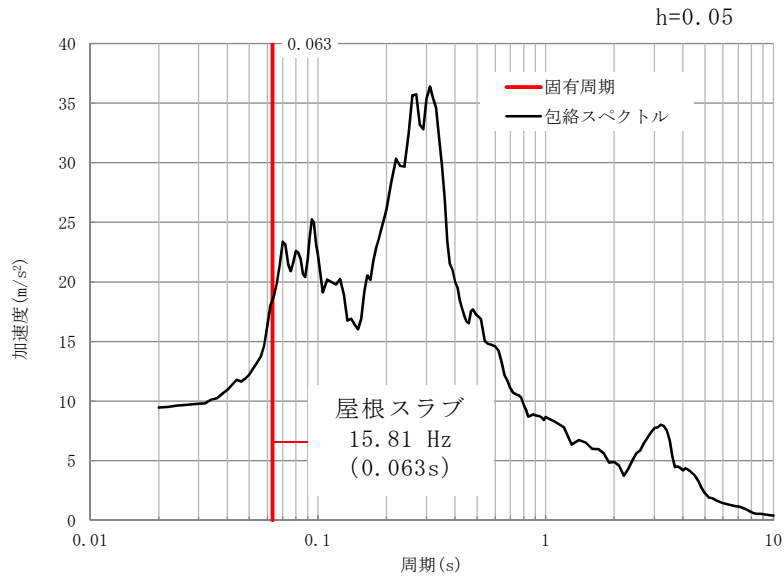
(a) 床スラブ (5号機原子炉建屋 3F T.M.S.L. 27.8m)



(b) 天井スラブ (5号機原子炉建屋 4F T.M.S.L. 33.0m)

注：図中の包絡スペクトルは、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である。

図4-1 評価対象が位置する質点の鉛直方向の加速度応答スペクトル (鉛直方向) (1/2)



注：図中の包絡スペクトルは，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である。

図 4-1 評価対象が位置する質点の  
鉛直方向の加速度応答スペクトル  
(鉛直方向) (2/2)

表 4-1 1次固有振動数を考慮した鉛直震度

項目	床スラブ (3F)	天井スラブ (4F)	屋根スラブ (4F)
1次固有振動数における加速度応答スペクトルの値 (m/s <sup>2</sup> )	13.0	22.1	18.5
上記のスペクトルの値から算出した鉛直震度 (長期荷重を含む)	2.32	3.25	2.89

## 4.2 応力解析方法

### (1) 荷重ケース

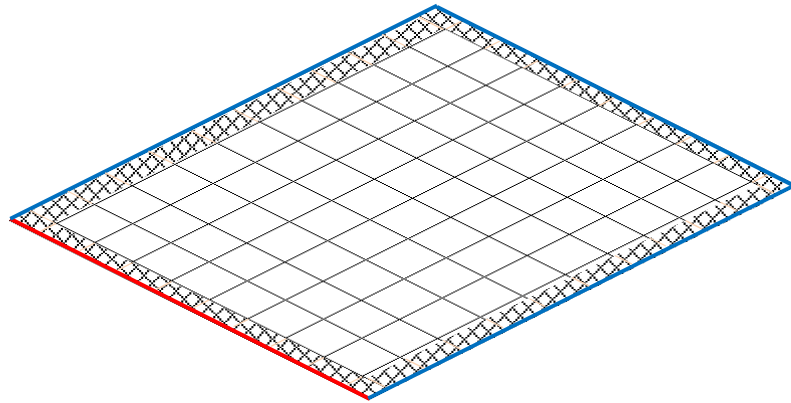
作用荷重のうち地震荷重は，固定荷重及び積載荷重と同じ下向きに作用する場合に生じる応力が最大となるため，鉛直下向きの場合のみを考慮する。

### (2) 発生応力の算出

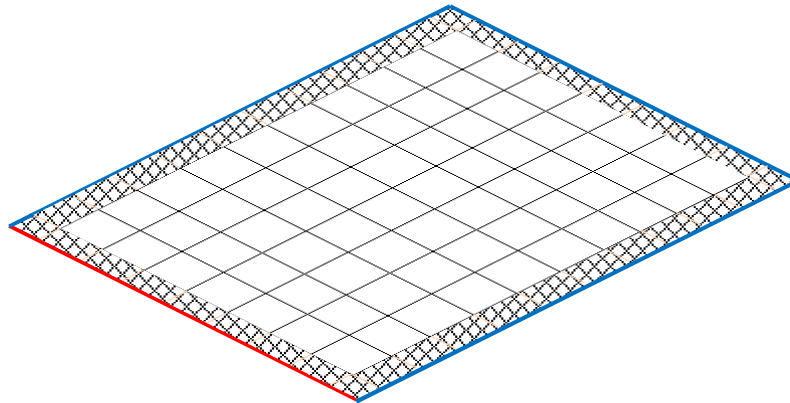
S s 地震時の発生応力は，表 4-1 の鉛直震度を用いて，固定荷重，積載荷重及び積雪荷重を係数倍することで算出する。なお，床スラブ及び天井スラブは，3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析で算出する。解析には「M S C N A S T R A N」を用いる。

解析モデルに使用する FEM 要素は，形状及び厚さを踏まえたシェル要素とする。境界条件は，耐震壁で支持されている範囲は固定とし，下部に壁がない大ばり及び鉄筋コンクリート造の小ばりは，鉛直変位方向のみ自由とする。解析モデルの節点数及び要素数は，固有値解析の解析モデルと同様である。

床スラブ及び天井スラブのモデル図を図 4-2 に示す。鉛直震度より算出した端部曲げモーメント，中央部曲げモーメント及びせん断力を表 4-2 に示す。



(a) 緊急時対策所床スラブ (5号機原子炉建屋3F, T.M.S.L. 27.8m)



(b) 緊急時対策所天井スラブ (5号機原子炉建屋4F, T.M.S.L. 33.0m)

— : 固定      — : 鉛直変位方向のみ自由      (ハッチング部ははりの範囲を示す)

図 4-2 解析モデル図 (1/2)

表 4-2 鉛直震度より算出した端部曲げモーメント，中央部曲げモーメント及びせん断力

部位	検討用 鉛直震度	方向	端部 曲げモーメント M (kN・m/m)	中央部曲げ モーメント M (kN・m/m)	せん断力 Q (kN/m)
床スラブ	2.32	短辺 (EW)	286.4	209.3	311.8
天井スラブ	3.25	短辺 (EW)	358.0	305.2	431.9
屋根スラブ	2.89	短辺 (NS)	10.6	5.3	39.9

#### 4.3 評価結果

床スラブ、天井スラブ及び屋根スラブについて、鉛直震度を乗じた発生応力に対する評価結果を表 4-3 に示す。スラブの増幅を考慮した場合においても、発生応力が「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」に基づく許容限界を超えないことを確認した。

表 4-3 評価結果(1/2)


部位		床スラブ	天井スラブ
方向		短辺 (EW)	短辺 (EW)
厚さ t (mm)		600	
有効せい d (mm)		540	440
配筋	上ば筋	D29@200 (3210mm <sup>2</sup> /m)	D29@200 (3210mm <sup>2</sup> /m)
	下ば筋	D29@200 (3210mm <sup>2</sup> /m)	D29@200 (3210mm <sup>2</sup> /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	286.4	358.0
	許容限界 M <sub>A</sub> (kN・m/m)	523.3	426.4
	検定値 M/M <sub>A</sub>	0.55	0.84
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	311.8	431.9
	せん断スパン比による割増し係数 α	1.48	1.39
	許容限界 Q <sub>A</sub> (kN/m)	755.2	578.0
	検定値 Q/Q <sub>A</sub>	0.42	0.75
判定		可	可

表 4-3 評価結果 (2/2)

部位		屋根スラブ
方向		短辺 (NS)
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		□ × 1000
有効せい d (mm)		429
配筋	上ば筋	D13@200 (635mm <sup>2</sup> /m)
	下ば筋	D13@200 (635mm <sup>2</sup> /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	10.6
	許容限界 M <sub>A</sub> (kN・m/m)	82.2
	検定値 M/M <sub>A</sub>	0.13
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	39.9
	せん断スパン比による割増し係数 α	1.00
	許容限界 Q <sub>A</sub> (kN/m)	405.4
	検定値 Q/Q <sub>A</sub>	0.10
判定		可