

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4
提出年月日	2020年8月13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8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2 屋根スラブ設置に伴う躯体の構造健全性について

(参考資料1) 計算機プログラム(解析コード)の概要

## 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

別紙 1-1 屋根スラブを支持する各部材の構造健全性について

## 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。

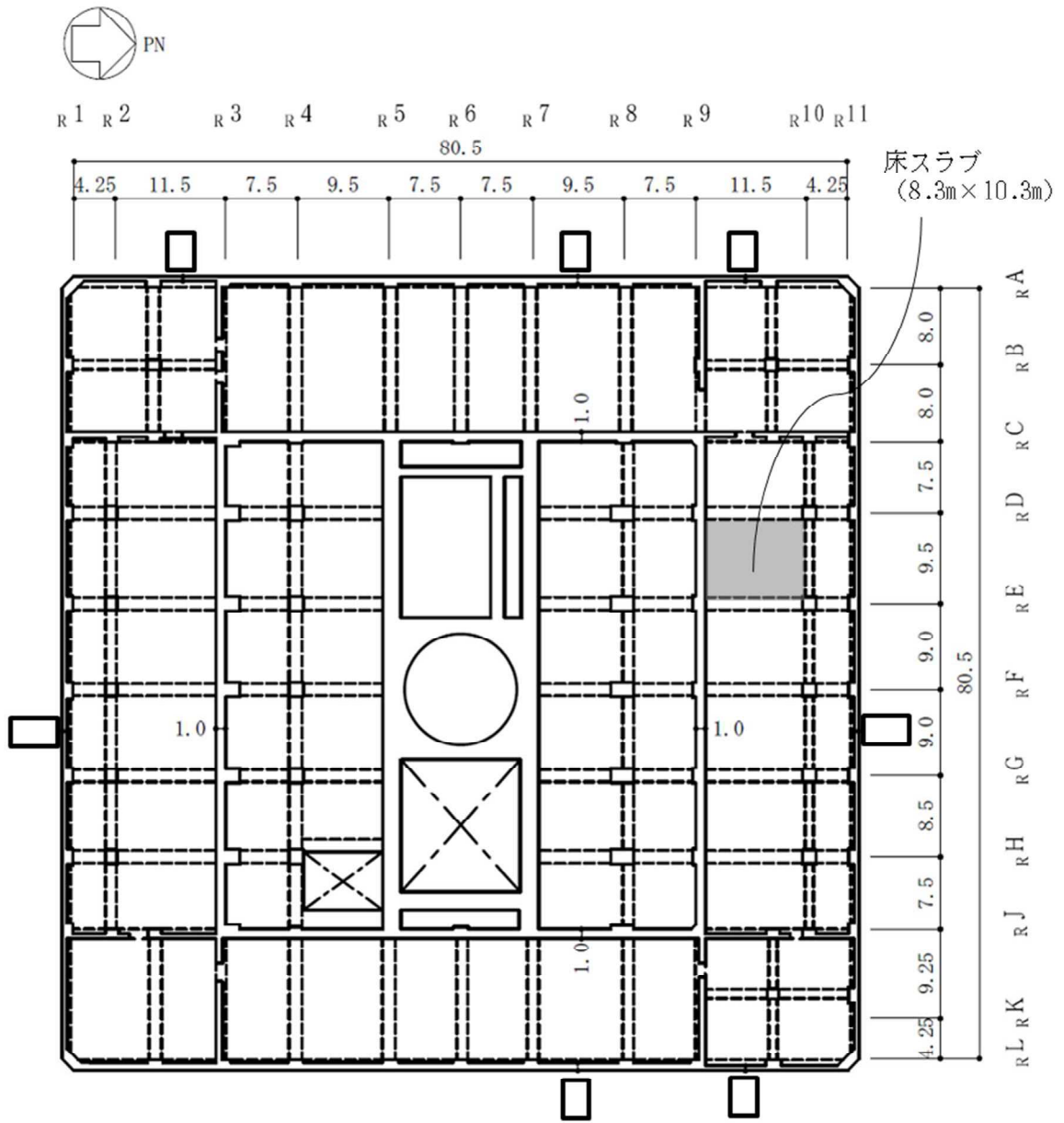
表3-1 コンクリートの物性値

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	$2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$



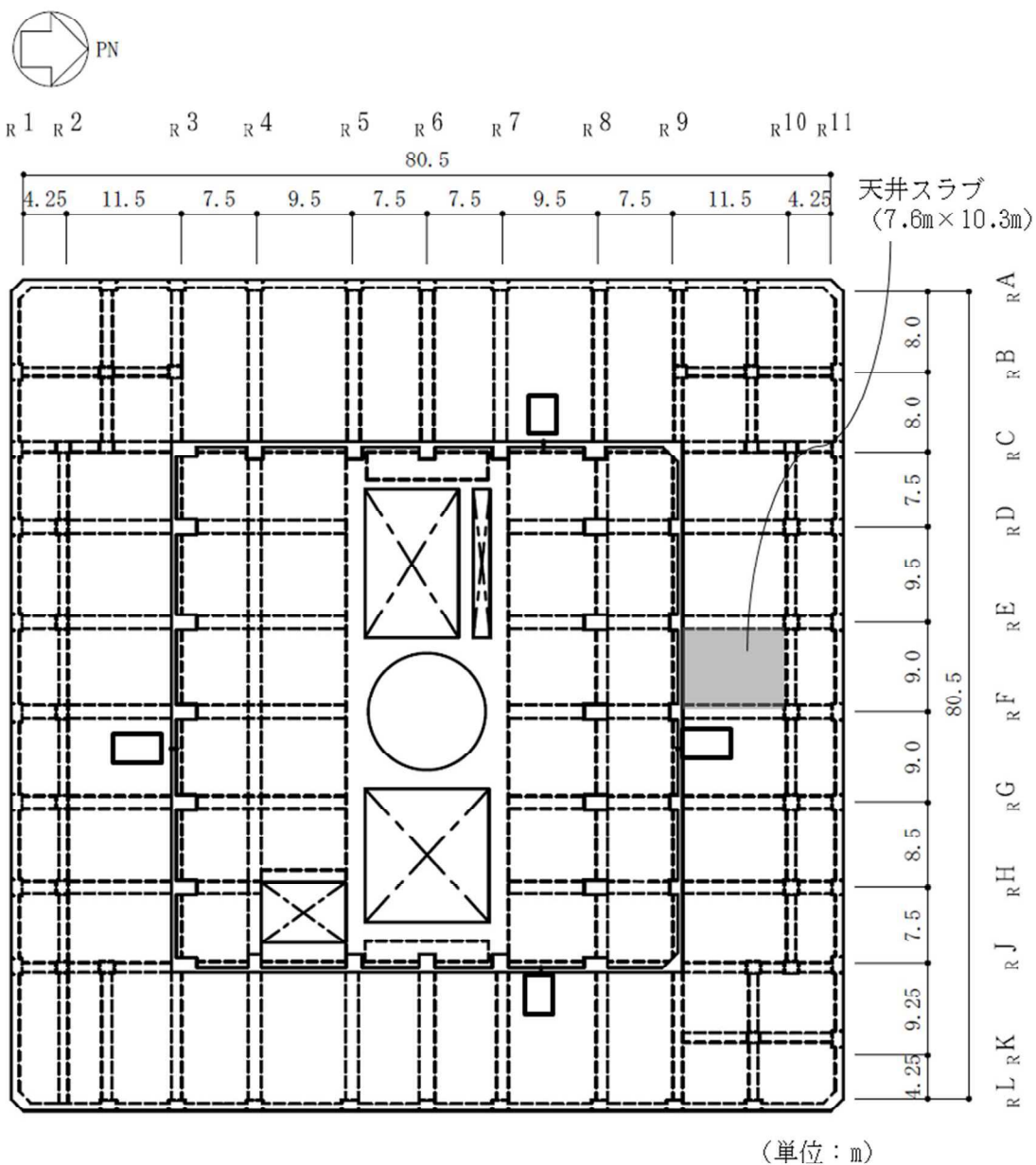
(単位 : m)

(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)

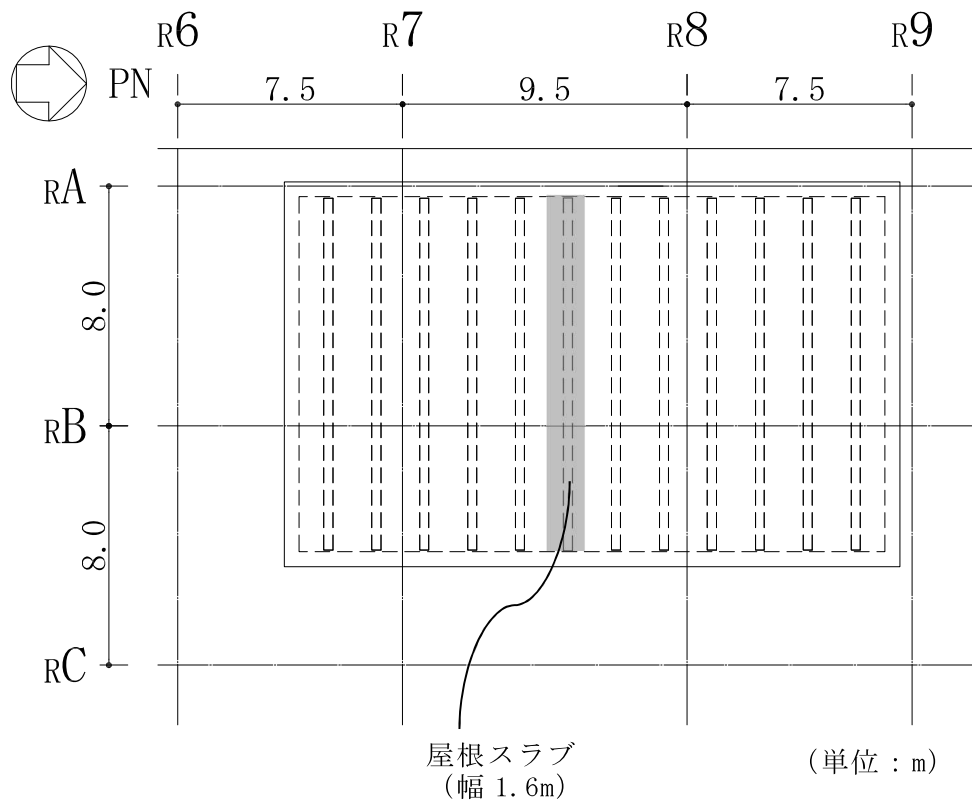




(b) 緊急時対策所 天井スラブ

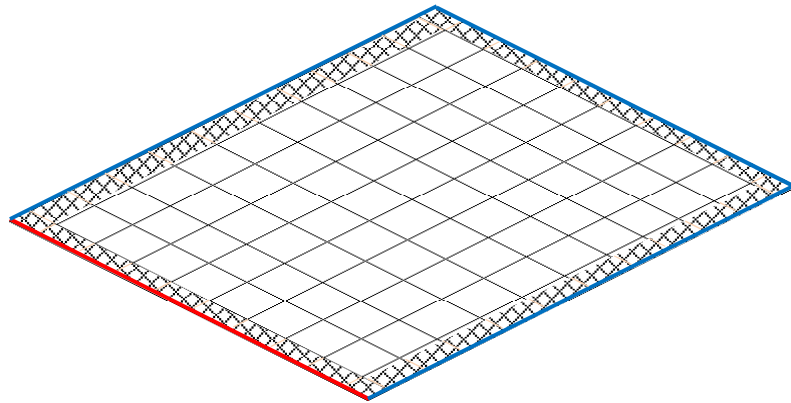
(5号機原子炉建屋4F, T.M.S.L. 33.0m)

図3-1 スラブの評価を記載する部材の位置 (2/3)

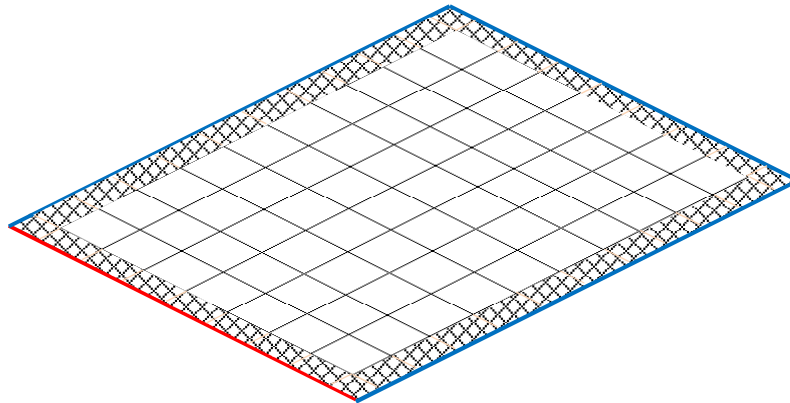


(c) 緊急時対策所 屋根スラブ

図 3-1 スラブの評価を記載する部材の位置 (3/3)



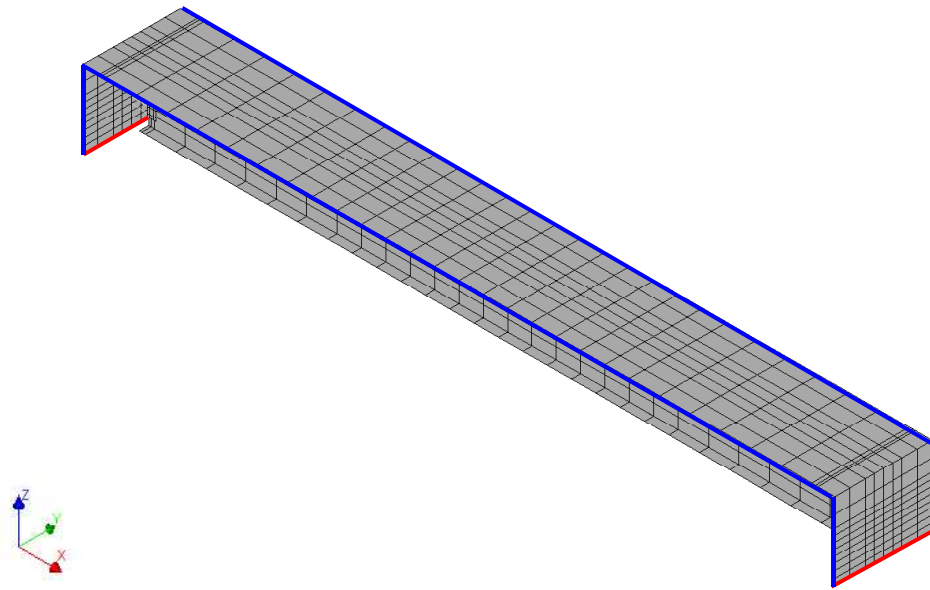
(a) 緊急時対策所床スラブ (5号機原子炉建屋3F, T.M.S.L. 27.8m)



(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

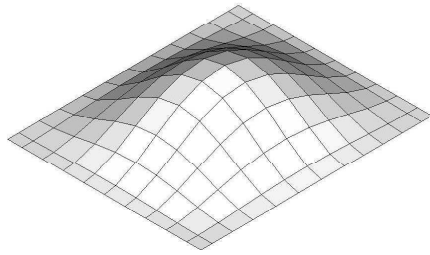
床スラブ，天井スラブ及び屋根スラブの固有振動数を表 3-3 に，モード図を図 3-3 に示す。

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。

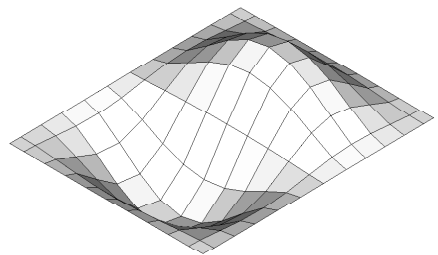
表 3-3 床スラブ，天井スラブ及び屋根スラブの固有振動数

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	

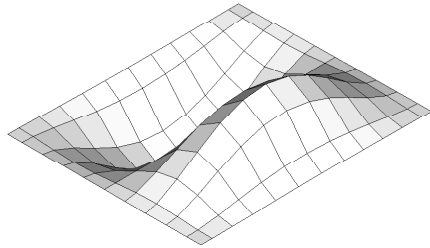
注記\*：一般化質量の値が 1.0 になるように正規化した値を示す。



1次 : 18.11 Hz

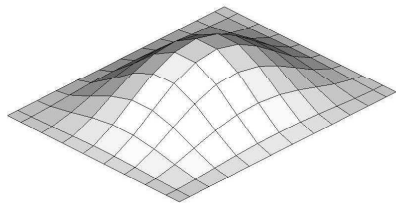


2次 : 31.85 Hz

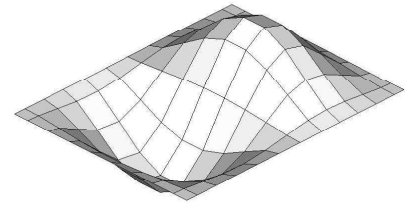


3次 : 39.55 Hz

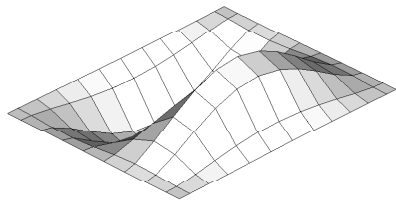
(a) 緊急時対策所床スラブ



1次 : 14.58 Hz



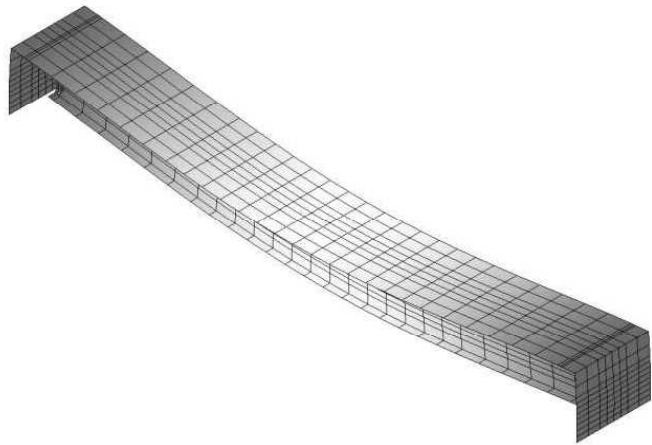
2次 : 24.77 Hz



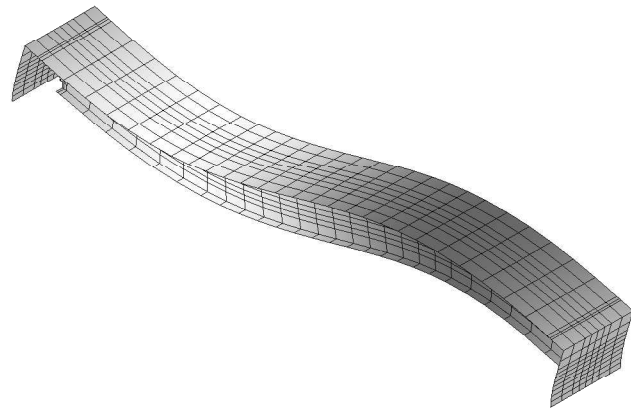
3次 : 32.75 Hz

(b) 緊急時対策所天井スラブ

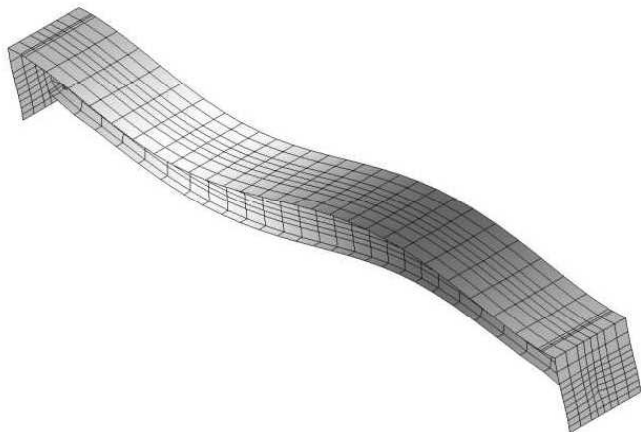
図 3-3 モード図 (1/2)



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。

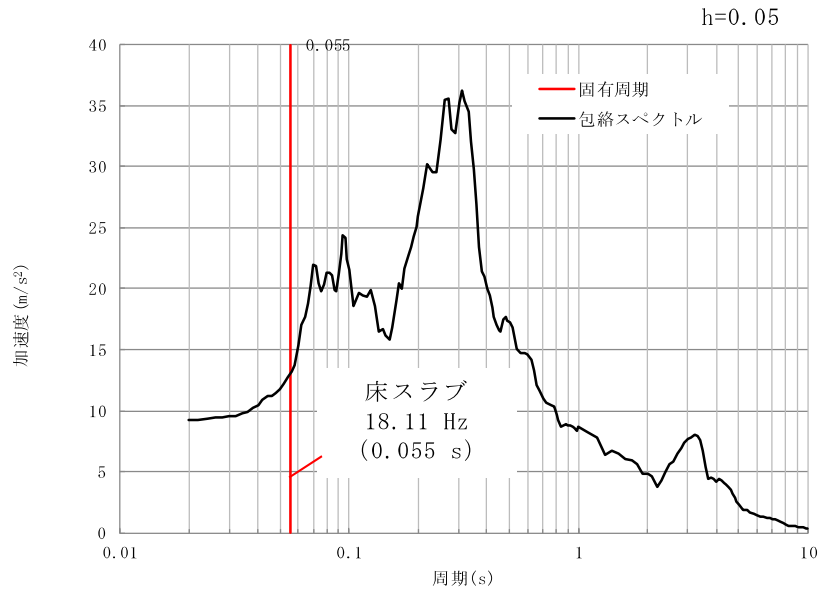
##### 4.1 評価方法

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。

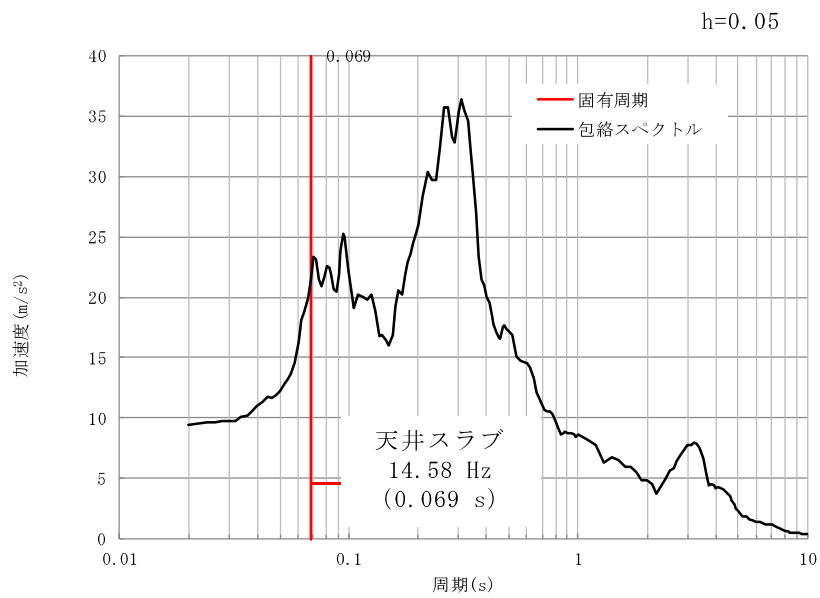
影響評価を行うスラブにおいて，基準地震動 $S_s$ （鉛直方向）に対する評価対象が位置する質点の加速度応答スペクトル図より，スラブの1次固有振動数相当の最大加速度を求め，この最大応答加速度を重力加速度で除すことにより鉛直震度を算出する。

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。





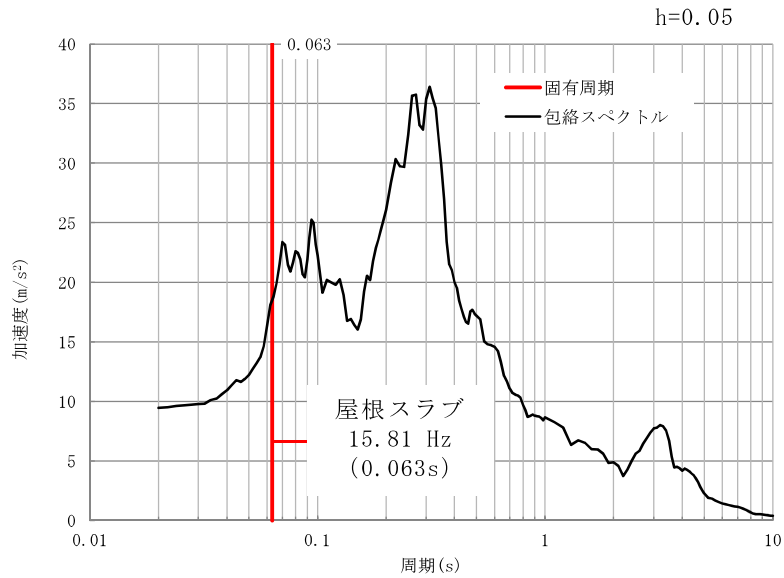
(a) 床スラブ (5号機原子炉建屋 3F T.M.S.L. 27.8m)



(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)



(c) 屋根スラブ

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

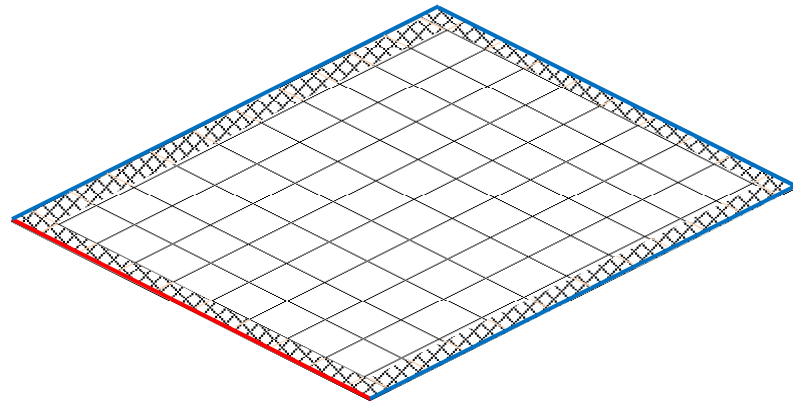
作用荷重のうち地震荷重は，固定荷重及び積載荷重と同じ下向きに作用する場合に生じる応力が最大となるため，鉛直下向きの場合のみを考慮する。

### (2) 発生応力の算出

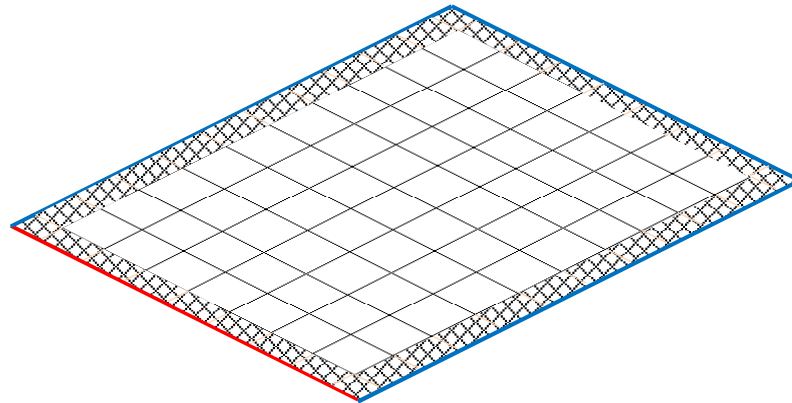
S s 地震時の発生応力は，表 4-1 の鉛直震度を用いて，固定荷重，積載荷重及び積雪荷重を係数倍することで算出する。なお，床スラブ及び天井スラブは，3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析で算出する。解析には「MSC NASTRAN」を用いる。

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 $M_A$ (kN・m/m)	82.2
	検定値 $M/M_A$	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 $\alpha$	1.00
	許容限界 $Q_A$ (kN/m)	405.4
	検定値 $Q/Q_A$	0.10
判定		可

別紙 1-1 屋根スラブを支持する各部材の構造健全性について



## 目 次

1. 概要	別紙 1-1-1
2. 評価方針	別紙 1-1-2
3. 応力解析による評価方法	別紙 1-1-5
3.1 鉄骨はり及び鉄骨はり接合部の評価	別紙 1-1-5
3.2 立ち上がり壁の評価	別紙 1-1-7
3.3 頭付きスタッドの評価	別紙 1-1-8
4. 断面の評価方法	別紙 1-1-10
4.1 鉄骨はり及び接合部（ボルト，ガセットプレート）の評価	別紙 1-1-10
4.2 立ち上がり壁の評価	別紙 1-1-12
4.3 接合部（アンカー）の評価	別紙 1-1-13
4.4 頭付きスタッドの評価	別紙 1-1-15
5. 評価結果	別紙 1-1-16

## 1. 概要

緊急時対策所遮蔽を構成する屋根スラブは、5号機原子炉建屋 4F天井スラブ(T. M. S. L. 33.0m) の上に位置しており、緊急時対策所遮蔽の一部を構成している。本資料は、屋根スラブを支持する各部材の構造健全性について確認するものである。

## 2. 評価方針

屋根スラブは、鉄骨はりコンクリートの立ち上がりを通して、既設建屋が支持する構造となっている。また、屋根スラブは頭付きスタッドにより鉄骨はり一体の構造となっている。屋根スラブは、緊急時対策所設置に伴い新たに設置するものであるため、屋根スラブを支持する各部材の構造健全性について確認を行う。屋根スラブの平面図及び構成部材の概略断面図を図2-1及び図2-2に示す。各部材の許容応力度を表2-1～表2-5に示す。

各部材（鉄骨はり、鉄骨はり接合部、立ち上がり壁）の評価は、基準地震動 $S_s$ による地震力に対する評価（以下「 $S_s$ 地震時に対する評価」という。）を行い、各部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。それぞれの評価は、V-2-2-15「緊急時対策所の地震応答計算書」及び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」の補足説明資料別紙1の結果を踏まえたものとする。なお、評価にあたっては材料物性の不確かさを考慮する。

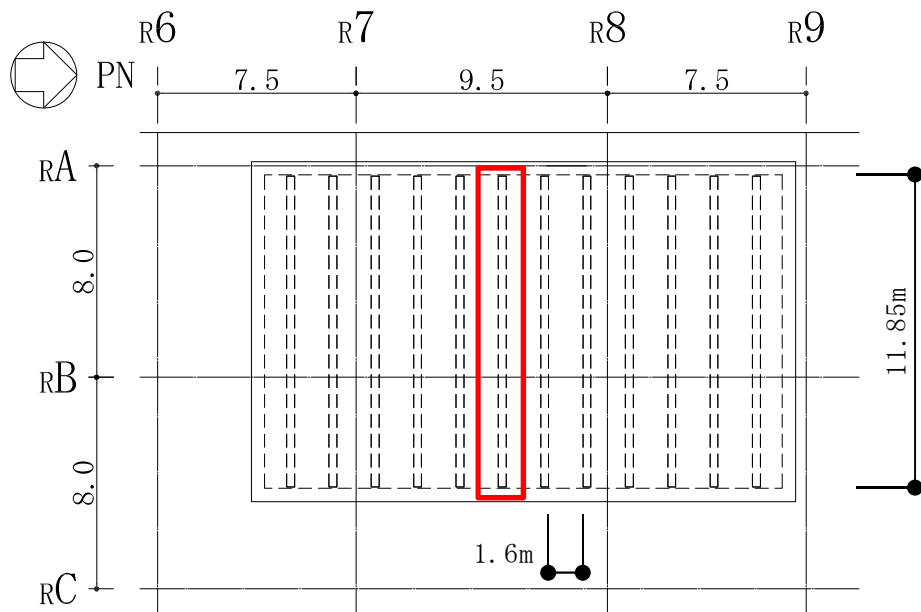


図2-1 屋根スラブ（対策本部）平面図

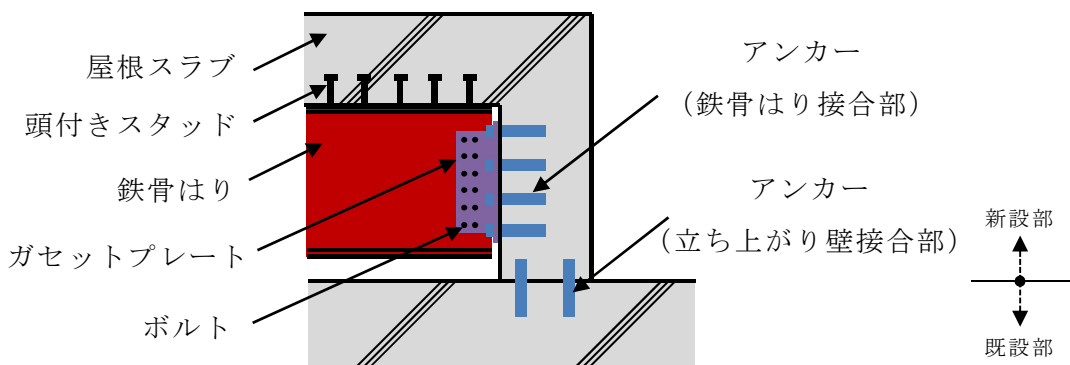


図2-2 屋根スラブ構成部材の概略断面図

表 2-1 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

	設計基準強度 F <sub>c</sub>	ヤング係数 E <sub>c</sub>	圧縮	せん断
既設	23.5	24800	15.6	1.08
新設	24	22700	16.0	1.09

注：既設の剛性はコンクリートの実強度（31.3N/mm<sup>2</sup>）に基づく

表 2-2 鉄筋の短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

種別	引張及び圧縮
SD345	345

表 2-3 鋼材の弾性限強度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

材 料		板 厚	基準強度 F 値	弾性限強度	
				曲げ*	せん断*
構造用 鋼材	SS400 SN400	t ≤ 40 mm	235	258	149
	SN490	t ≤ 40 mm	325	357	206

注記\*：「2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）」（以下「技術基準解説書」という。）に基づき、F 値に 1.1 倍の割増しを考慮する。

表 2-4 ボルトの許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

種別	せん断
F10T	225（1面摩擦）

表 2-5 頭付きスタッドの許容応力度  
(単位：N/mm<sup>2</sup>)

種別	降伏強度
頭付きスタッド	235

### 3. 応力解析による評価方法

#### 3.1 鉄骨はり及び鉄骨はり接合部の評価

鉄骨はりは、両端ピンの単純はりとしてモデル化し、鉛直方向の地震荷重に対して評価する。鉄骨はりの接合部（ボルト、ガセットプレート、アンカー）は、鉄骨はりの端部に発生する応力を用いて評価する。

鉄骨はりにかかる鉛直方向の地震荷重は、屋根スラブの荷重のうち鉄骨はりの負担幅を考慮した荷重及び鉄骨はりの自重に鉛直震度を乗じて算定する。固定荷重を表 3-1 に、積載荷重を表 3-2 に、積雪荷重を表 3-3 に示す。作用荷重のうち地震荷重は、固定荷重及び積載荷重と同じ下向きに作用する場合に生じる応力が最大となるため、地震荷重は鉛直下向きの場合のみを考慮する。地震荷重の算定に用いる鉛直震度は、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」の補足説明資料別紙 1 表 4-1 に示すとおり、応答増幅による影響を考慮して、1 次固有振動数に相当する応答加速度から算出した鉛直震度とする。

発生応力の算定式は次式のとおり。解析モデルを図 3-1、鉄骨はりにかかる鉛直方向の地震荷重より算出したモーメント及びせん断力を表 3-4 に示す。

表 3-1 固定荷重

部位	固定荷重 (kN/m)
鉄骨はり	23.2

表 3-2 積載荷重

部位	積載荷重 (kN/m)
鉄骨はり	3.2

表 3-3 積雪荷重

外力の状態	積雪荷重 (kN/m)
地震時	3.6

(両端ピン)

- ・ 中央部曲げモーメント (M)

$$M = \frac{1}{8} w \cdot \ell^2$$

- ・ せん断力 (Q)

$$Q = \frac{1}{2} w \cdot \ell$$

ここで,

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

$\ell$  : 有効スパン (m)

w : 単位面積あたりの荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

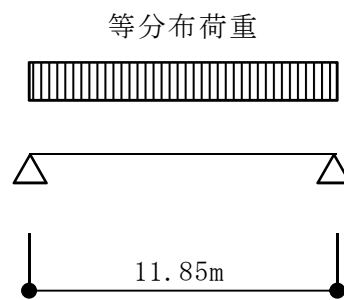


図 3-1 解析モデル (鉄骨はり)

表 3-4 鉛直方向の地震荷重より算出したモーメント及びせん断力

部位	曲げモーメント M (kN・m)	せん断力 Q (kN)
鉄骨はり	1522	514

### 3.2 立ち上がり壁の評価

立ち上がり壁は、屋根スラブ及び立ち上がり壁の架構としてモデル化し、水平方向の地震荷重に対して評価する。解析モデルは、脚部を固定とし、部材芯にてモデル化する。

立ち上がり壁にかかる水平方向の地震荷重は、屋根スラブの荷重のうち鉄骨はりの負担幅を考慮した荷重、鉄骨はりの自重及び立ち上がり壁の自重に水平震度を乗じて算定する。地震荷重の算定に用いる水平震度は、V-2-2-15「緊急時対策所の地震応答計算書」の結果に基づき設定する。

立ち上がり壁は水平方向に対して鉄骨はりによって拘束されて一体で動くと考えられることから地震荷重は、鉄骨はりの中心位置に集中荷重として作用することとする。

解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。

解析モデルを図3-2、立ち上がり壁にかかる水平方向の地震荷重より算出したモーメント及びせん断力を表3-5に示す。

- ・立ち上がり壁にかかる水平方向の地震荷重（P）

$$P = k_H \times W$$

ここで、

$k_H$  : 水平震度 (1.17)

$W$  : 全重量の 1/2 (kN)

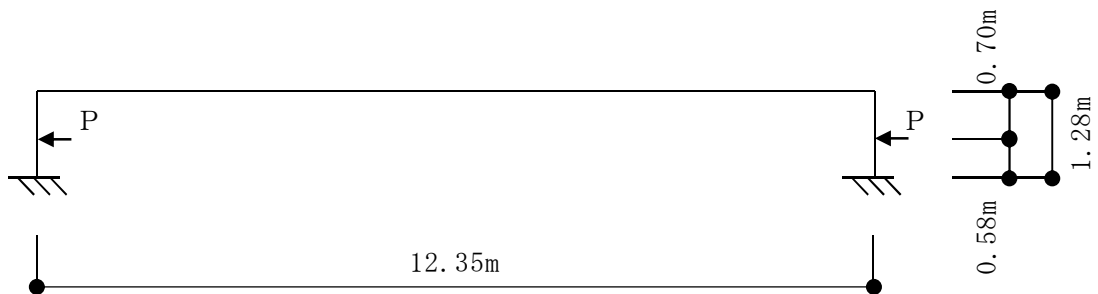


図3-2 解析モデル（立ち上がり壁）

表3-5 水平方向の地震荷重より算出したモーメント及びせん断力

部位	脚部 曲げモーメント M (kN・m)	脚部 せん断力 Q (kN)
立ち上がり壁	132	249



### 3.3 頭付きスタッドの評価

頭付きスタッドは、水平方向の地震荷重に対して評価する。頭付きスタッドにかかる水平方向の地震荷重は、屋根スラブの荷重のうち鉄骨はりでの負担幅を考慮した荷重に水平震度を乗じて算定する。固定荷重を表 3-6 に、積載荷重を表 3-7 に、積雪荷重を表 3-8 に示す。地震荷重の算定に用いる水平震度は、V-2-2-15「緊急時対策所の地震応答計算書」の結果に基づき設定する。

発生応力の算定式は次式のとおり。1 本の頭付きスタッドが負担する屋根スラブの範囲を図 3-3、水平方向の地震荷重より算出した 1 本の頭付きスタッドにかかるせん断力を表 3-9 に示す。

表 3-6 固定荷重

部位	固定荷重 (kN/m)
頭付きスタッド	20.8

表 3-7 積載荷重

部位	積載荷重 (kN/m)
頭付きスタッド	3.2

表 3-8 積雪荷重

外力の状態	積雪荷重 (kN/m)
地震時	3.6

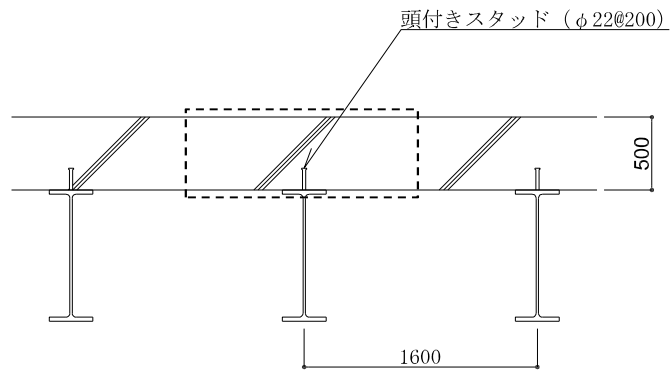
- ・頭付きスタッドにかかる水平方向の地震荷重 (P)

$$P = k_H \times W$$

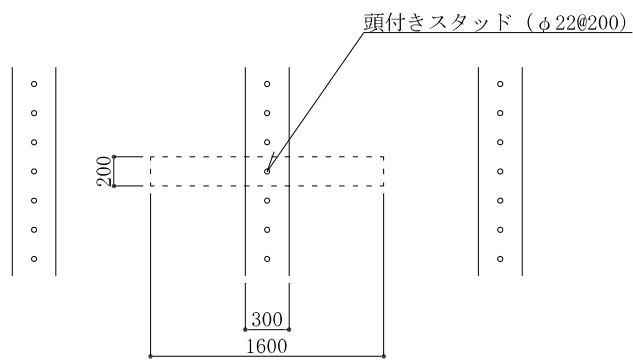
ここで、

$k_H$  : 水平震度 (1.17)

$W$  : 負担幅を考慮した重量 (kN)



a) 断面図



b) 伏図

[- - -] 負担範囲

図 3-3 1本の頭付きスタッドが負担する屋根スラブの範囲

表 3-9 頭付きスタッドにかかるせん断力

部位	せん断力 Q (kN/本)
頭付きスタッド	6.46

#### 4. 断面の評価方法

##### 4.1 鉄骨はり及び接合部（ボルト，ガセットプレート）の評価

鉄骨はり及び接合部（ボルト，ガセットプレート）の評価は，評価対象部位に生じる応力が，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，1999 改訂）」の F 値に「技術基準解説書」に基づき 1.1 倍の割増した上，次式(1)(2)(3)にて計算した許容限界を超えないことを確認する。

##### (1) 鉄骨はりの評価

- ・ 曲げ応力を受ける部材

$$\frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$$

ここで，

$\sigma_b$  : 曲げ応力度 (=M/Z (N/mm<sup>2</sup>))

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$f_b$  : 鋼材の許容曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

- ・ せん断応力を受ける部材

$$\frac{\tau}{f_s} \leq 1$$

ここで，

$\tau$  : せん断応力度 (=Q/A<sub>w</sub> (N/mm<sup>2</sup>))

Q : せん断力 (N)

A<sub>w</sub> : 部材のせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

$f_s$  : 鋼材の許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

##### (2) 接合部（ボルト）の評価

$$Q_A = n \cdot f_s \cdot A$$

ここで，

Q<sub>A</sub> : 許容せん断力 (N)

n : ボルト本数

$f_s$  : ボルトの許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

A : ボルトの軸断面積 (mm<sup>2</sup>)

(3) 接合部（ガセットプレート）の評価

$$Q_A = f_s \cdot A$$

ここで、

$Q_A$  : 許容せん断力 (N)

$f_s$  : 鋼材の許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A$  : 部材のせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

## 4.2 立ち上がり壁の評価

立ち上がり壁の評価は，評価対象部位に生じる応力が「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）」（以下「RC-N 規準」という。）に基づき，次式(1)(2)にて計算した許容限界を超えないことを確認する。

### (1) 短期許容曲げモーメント

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

ここで，

- $M_A$  : 短期許容曲げモーメント (N・mm)
- $a_t$  : 引張鉄筋断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $f_t$  : 引張鉄筋の短期許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $j$  : 断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

### (2) 短期許容せん断力

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

ここで，

- $Q_A$  : 許容面外せん断力 (N)
- $b$  : 断面の幅 (mm)
- $j$  : 断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)
- $\alpha$  : 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。)
- $f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

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

- $M$  : 曲げモーメント (N・mm)
- $Q$  : せん断力 (N)
- $d$  : 断面の有効せい (mm)

#### 4.3 接合部（アンカー）の評価

接合部（アンカー）の評価は、評価対象部位に生じる応力が「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010改訂）」に基づき次式で計算した許容限界を超えないことを確認する。

- ・アンカーの許容引張力

$$p_a = \min(p_{a1}, p_{a3})$$

$$p_{a1} = \phi_1 \cdot s \sigma_{pa} \cdot s_{ca}$$

$$p_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot \ell_{ce}$$

ここで、

$p_a$  : アンカーボルト1本あたりの許容引張力 (N)

$p_{a1}$  : アンカーボルトの降伏により決まる場合のアンカーボルト1本あたりの許容引張力 (N)

$p_{a3}$  : アンカーボルトの付着力により決まる場合のアンカーボルト1本あたりの許容引張力 (N)

$\phi_1$  : 低減係数で 1.0

$\phi_3$  : 低減係数で 2/3

$s \sigma_{pa}$  : アンカーボルトの引張強度で、 $s \sigma_{pa} = s \sigma_y$  (N/mm<sup>2</sup>)

$s \sigma_y$  : アンカーボルトの規格降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$s_{ca}$  : アンカーボルトの断面積で軸部断面積とねじ部有効断面積の小なるほうの値をとる。(mm<sup>2</sup>)

$d_a$  : アンカーボルトの径 (mm)

$\ell_{ce}$  : アンカーボルトの強度算定用埋込長さで、 $\ell_{ce} = \ell_e - 2d_a$  とする。(mm)

$\ell_e$  : アンカーボルトの有効埋込長さ (mm)

$\tau_a$  : へりあき及びアンカーボルトのピッチを考慮したアンカーボルトの引張力に対する付着強度 (N/mm<sup>2</sup>)

・アンカーの許容せん断力

$$q_a = \min(q_{a1}, q_{a2})$$

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot c \sigma_{qa} \cdot s c a$$

ここで、

$q_a$  : アンカーボルト1本あたりの許容せん断力 (N)

$q_{a1}$  : アンカーボルトのせん断強度により決まる場合のアンカーボルト1本あたりの許容せん断力 (N)

$q_{a2}$  : 定着した躯体の支圧強度により決まる場合のアンカーボルト1本あたりの許容せん断力 (N)

$\phi_1$  : 低減係数で 1.0

$\phi_2$  : 低減係数で 2/3

$s \sigma_{qa}$  : アンカーボルトのせん断強度で、 $s \sigma_{qa} = 0.7 \cdot s \sigma_y$  (N/mm<sup>2</sup>)

$s \sigma_y$  : アンカーボルトの規格降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$s c a$  : アンカーボルトの断面積で軸部断面積とねじ部有効断面積の小なるほうの値をとる。(mm<sup>2</sup>)

$c \sigma_{qa}$  : コンクリートの支圧強度で、 $c \sigma_{qa} = 0.5 \sqrt{F_c \cdot E_c}$  (N/mm<sup>2</sup>)

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$E_c$  : コンクリートのヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

・組合わせ荷重

$$(p/p_a)^2 + (q/q_a)^2 \leq 1$$

ここで、

$p$  : 引張力 (N)

$q$  : せん断力 (N)

$p_a$  : せん断がかからない場合の引張耐力 (N)

$q_a$  : 引張がかからない場合のせん断耐力 (N)

#### 4.4 頭付きスタッドの評価

頭付きスタッドの評価は，評価対象部位に生じる応力が「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改訂）」に基づき次式で計算した許容限界を超えないことを確認する。

・頭付きスタッドの許容せん断力

$$q_a = \min(q_{a1}, q_{a2})$$

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot c \sigma_{qa} \cdot s c a$$

ここで，

$q_a$  : 頭付きスタッド1本あたりの許容せん断力 (N)

$q_{a1}$  : 頭付きスタッドのせん断強度により決まる場合の頭付きスタッド1本あたりの許容せん断力 (N)

$q_{a2}$  : 定着した躯体の支圧強度により決まる場合の頭付きスタッド1本あたりの許容せん断力 (N)

$\phi_1$  : 低減係数で 1.0

$\phi_2$  : 低減係数で 2/3

$s \sigma_{qa}$  : 頭付きスタッドのせん断強度で， $s \sigma_{qa} = 0.7 \cdot s \sigma_y$  (N/mm<sup>2</sup>)

$s \sigma_y$  : 頭付きスタッドの規格降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$s c a$  : 頭付きスタッドの断面積で軸部断面積とねじ部有効断面積の小なるほうの値をとる。(mm<sup>2</sup>)

$c \sigma_{qa}$  : コンクリートの支圧強度で， $c \sigma_{qa} = 0.5 \sqrt{F_c \cdot E_c}$  (N/mm<sup>2</sup>)

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$E_c$  : コンクリートのヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)



5. 評価結果

屋根スラブを支持する各部材の評価結果を表 5-1～表 5-5 に示す。各部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認した。

表 5-1 鉄骨はりの評価結果

部材	部材	鉄骨はり
	種別	H-900×300×16×28 SN490
曲げ	発生曲げモーメントM ( $\times 10^6 \text{N}\cdot\text{mm}$ )	1522
	断面係数Z ( $\times 10^6 \text{mm}^3$ )	8.99
	曲げ応力度 $\sigma_b$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	169
	許容限界 $f_b$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	357
	検定値 $\sigma_b / f_b$	0.48
せん断	発生せん断力Q ( $\times 10^3 \text{N}$ )	514
	せん断断面積A ( $\times 10^3 \text{mm}^2$ ) *	12.1
	せん断応力度 $\tau$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	42
	許容限界 $f_s$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	206
	検定値 $\tau / f_s$	0.21

注記\* ボルトの欠損を考慮

表 5-2 鉄骨はり接合部の評価結果

部材	部材	接合部 ボルト	接合部 ガセットプレート*	接合部 アンカー
	種別	12-M22 F10T	t=16 SN400	16-M22 SS400
せん断	発生せん断力 Q (kN)	514	514	514
	許容限界 $Q_A$ (kN)	818	1087	876
	検定値 $Q/Q_A$	0.63	0.48	0.59

注記\* ボルトの欠損を考慮

表 5-3 立ち上がり壁の評価結果

部材	部材	立ち上がり壁
	幅 (mm)	500
	有効せい d (mm)	423.5
	配筋	D22@200 (3096mm <sup>2</sup> )
曲げ	発生曲げモーメント M (kN・m)	132
	許容限界 $M_A$ (kN・m)	396
	検定値 $M/M_A$	0.34
せん断	発生せん断力 Q (kN)	249
	許容限界 $Q_A$ (kN)	646
	検定値 $Q/Q_A$	0.39

表 5-4 立ち上がり壁接合部の評価結果

部材	部材	立ち上がり壁 アンカー
	種別	D22 (387mm <sup>2</sup> /本)
曲げ	発生引張力 P (kN)	380
	許容限界 P <sub>A</sub> (kN)	431
せん断	発生せん断力 Q (kN)	249
	許容限界 Q <sub>A</sub> (kN)	1495
検定値 $(P/P_A)^2 + (Q/Q_A)^2$		0.81

表 5-5 頭付きスタッドの評価結果

部材	部材	頭付きスタッド
	種別	φ 22 (308.1mm <sup>2</sup> /本)
せん断	発生せん断力 Q (kN)	6.46
	許容限界 Q <sub>A</sub> (kN)	62.5
	検定値 Q/Q <sub>A</sub>	0.11

## 別紙 2 屋根スラブ設置に伴う躯体の構造健全性について

## 目 次

1. 概要	別紙 2-1
2. 基本方針	別紙 2-2
2.1 構造概要	別紙 2-2
2.2 評価方針	別紙 2-6
3. 地震応答解析による評価方法	別紙 2-8
4. 応力解析による評価方法	別紙 2-9
4.1 評価対象部位及び評価方針	別紙 2-9
4.2 荷重及び荷重の組合せ	別紙 2-13
4.3 許容限界	別紙 2-16
4.4 解析モデル	別紙 2-18
4.5 評価方法	別紙 2-19
4.5.1 応力解析方法	別紙 2-19
4.5.2 はりの断面評価方法	別紙 2-19
5. 評価結果	別紙 2-20
5.1 地震応答解析による評価結果	別紙 2-20
5.2 応力解析による評価結果	別紙 2-22
6. まとめ	別紙 2-23

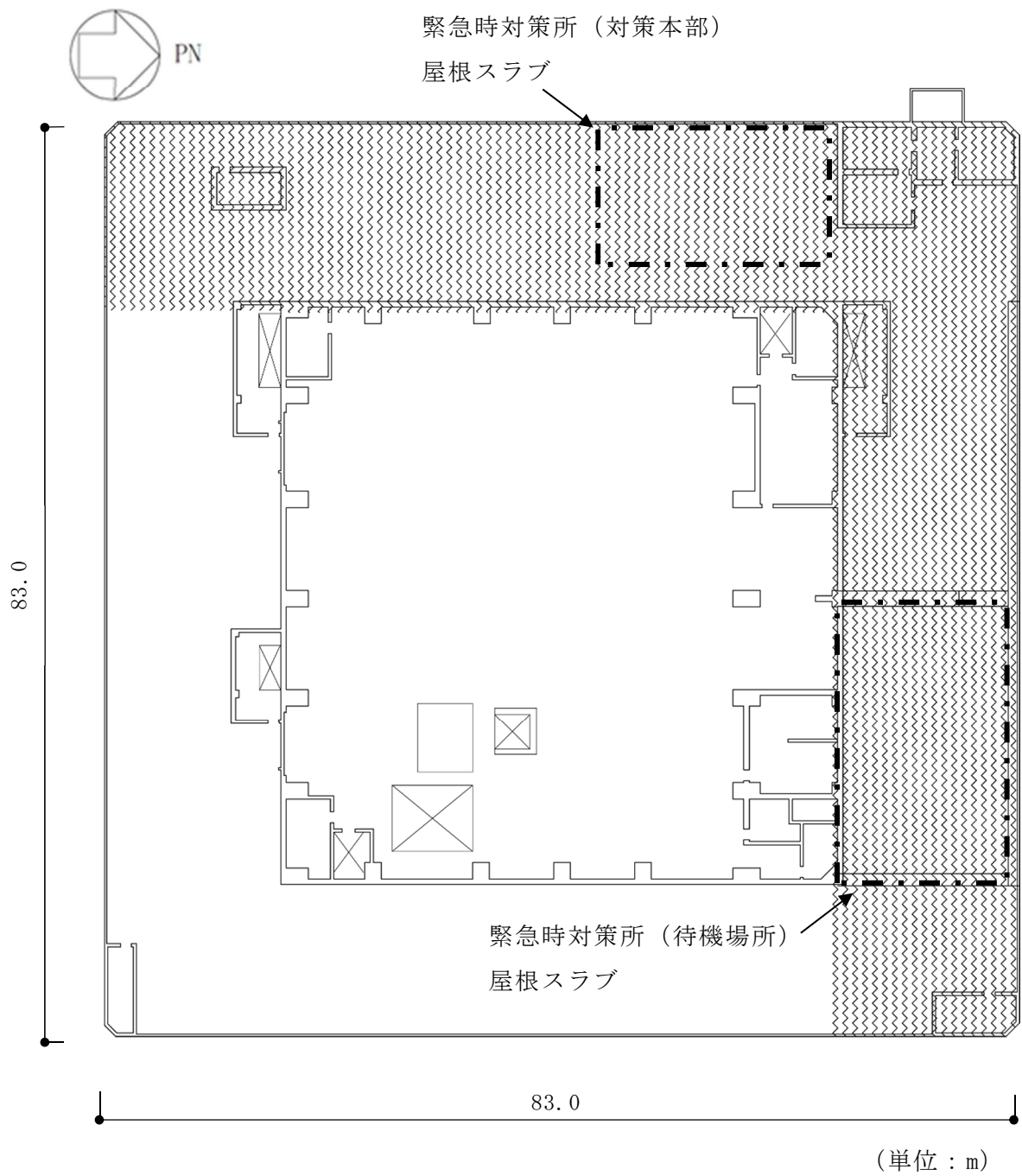
## 1. 概要

緊急時対策所遮蔽を構成する屋根スラブは、5号機原子炉建屋 4F天井スラブ(T. M. S. L. 33.0m) の上に位置しており、緊急時対策所遮蔽の一部を構成している。本資料は、屋根スラブの設置に伴う重量増加が5号機原子炉建屋躯体の構造健全性に与える影響について確認するものである。

## 2. 基本方針

### 2.1 構造概要

屋根スラブは、鉄骨はりとコンクリートの立ち上りを介して、建屋の耐震壁及びはりが支持する構造となっている。屋根スラブを含む緊急時対策所遮蔽の概略平面図、概略断面図及び屋根スラブの平面図を図 2-1～図 2-5 に示す。




 : 緊急時対策所遮蔽（床）

図 2-1 緊急時対策所遮蔽の概略平面図  
(5号機原子炉建屋 4F, T.M.S.L. 33.0m)



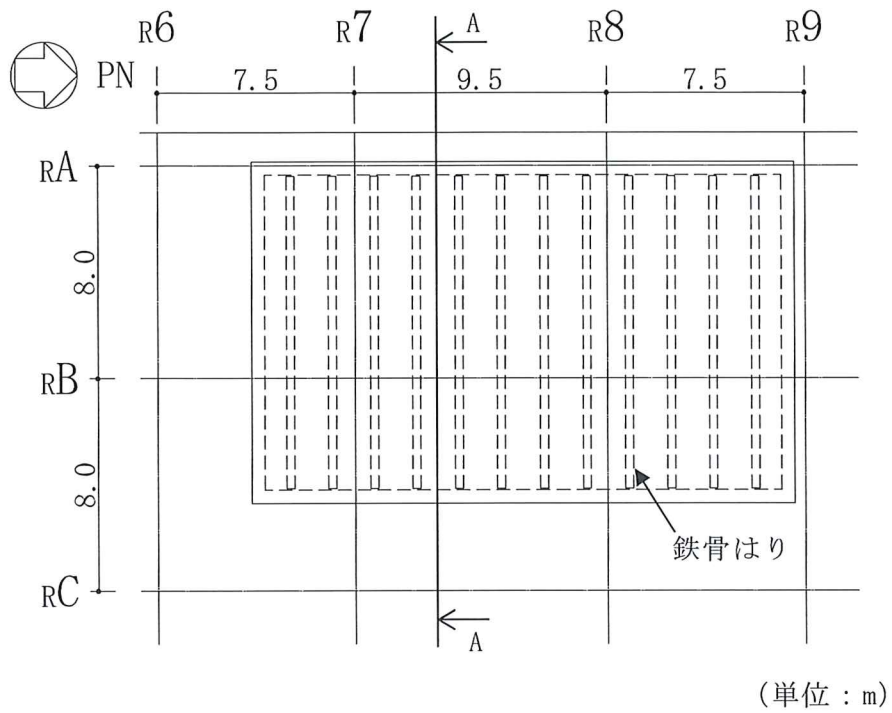
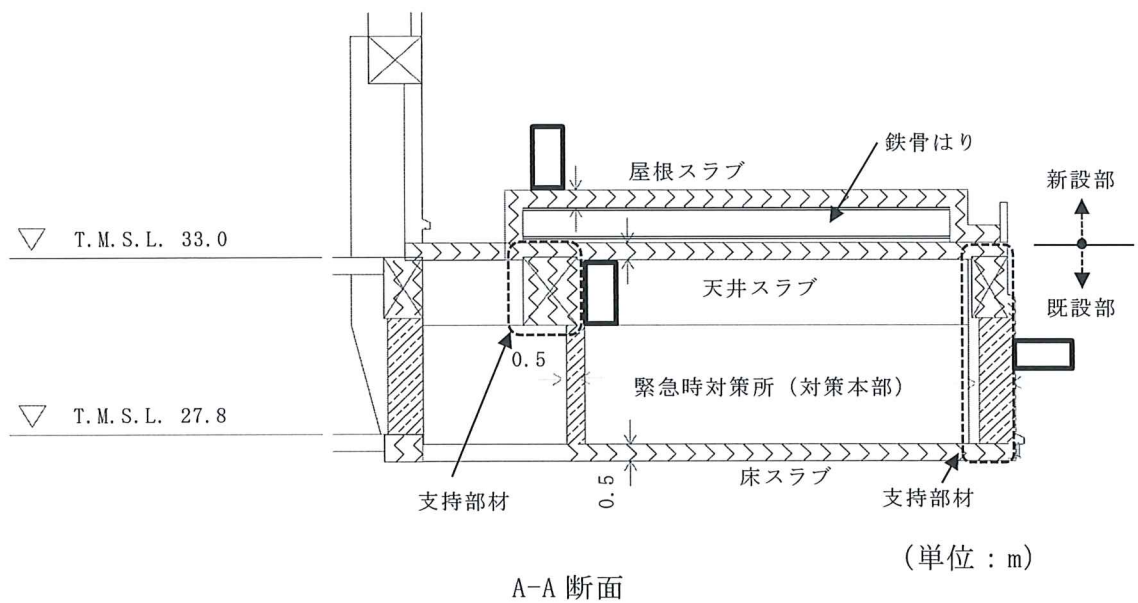


図 2-2 緊急時対策所（対策本部）屋根スラブの平面図



- : 緊急時対策所遮蔽（壁）
- : 緊急時対策所遮蔽（床）

図 2-3 緊急時対策所遮蔽（対策本部）の概略断面図

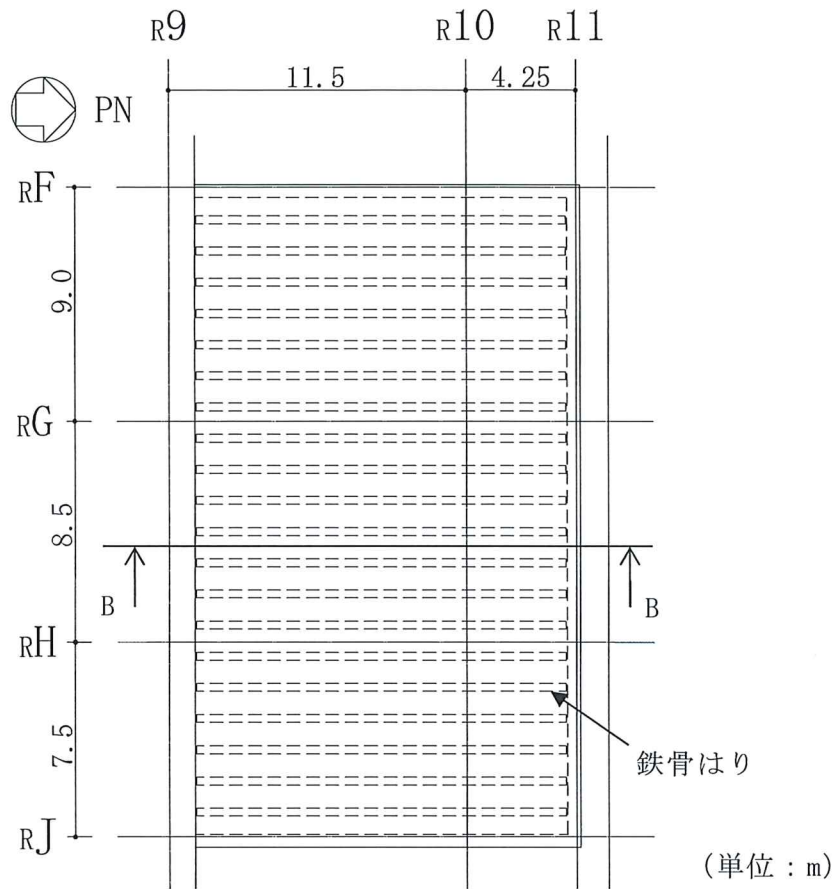


図 2-4 緊急時対策所（待機場所）屋根スラブの平面図

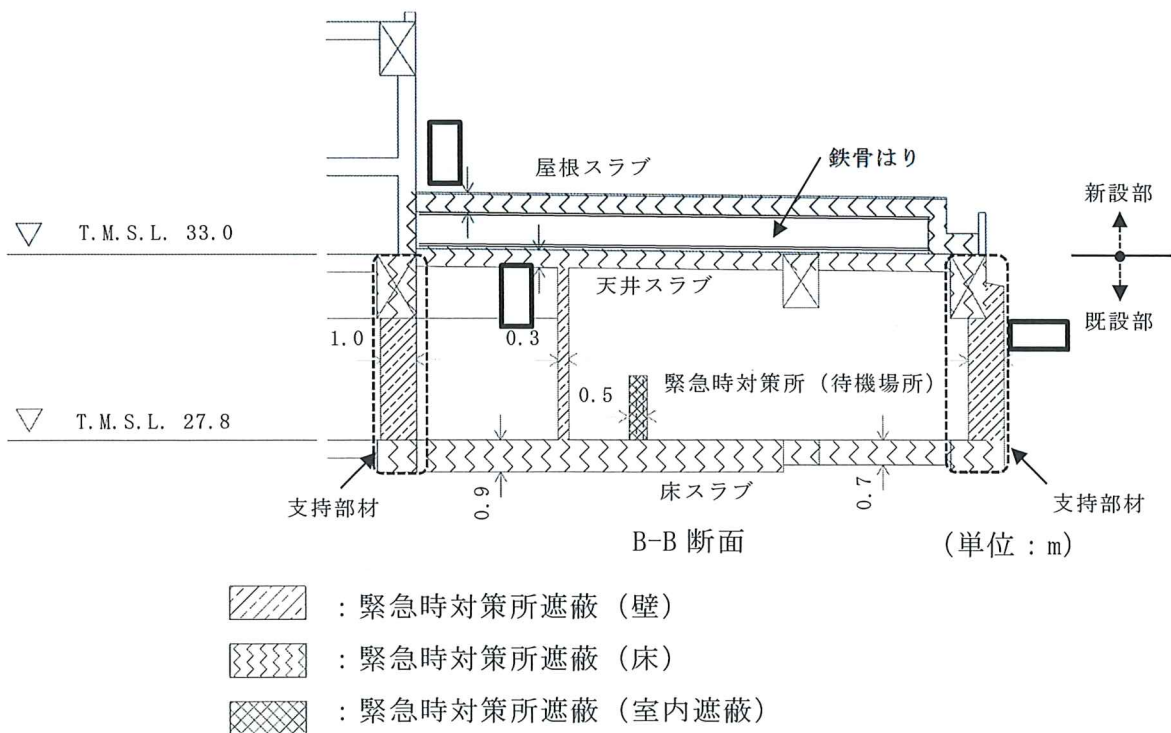


図 2-5 緊急時対策所遮蔽（待機場所）の概略断面図

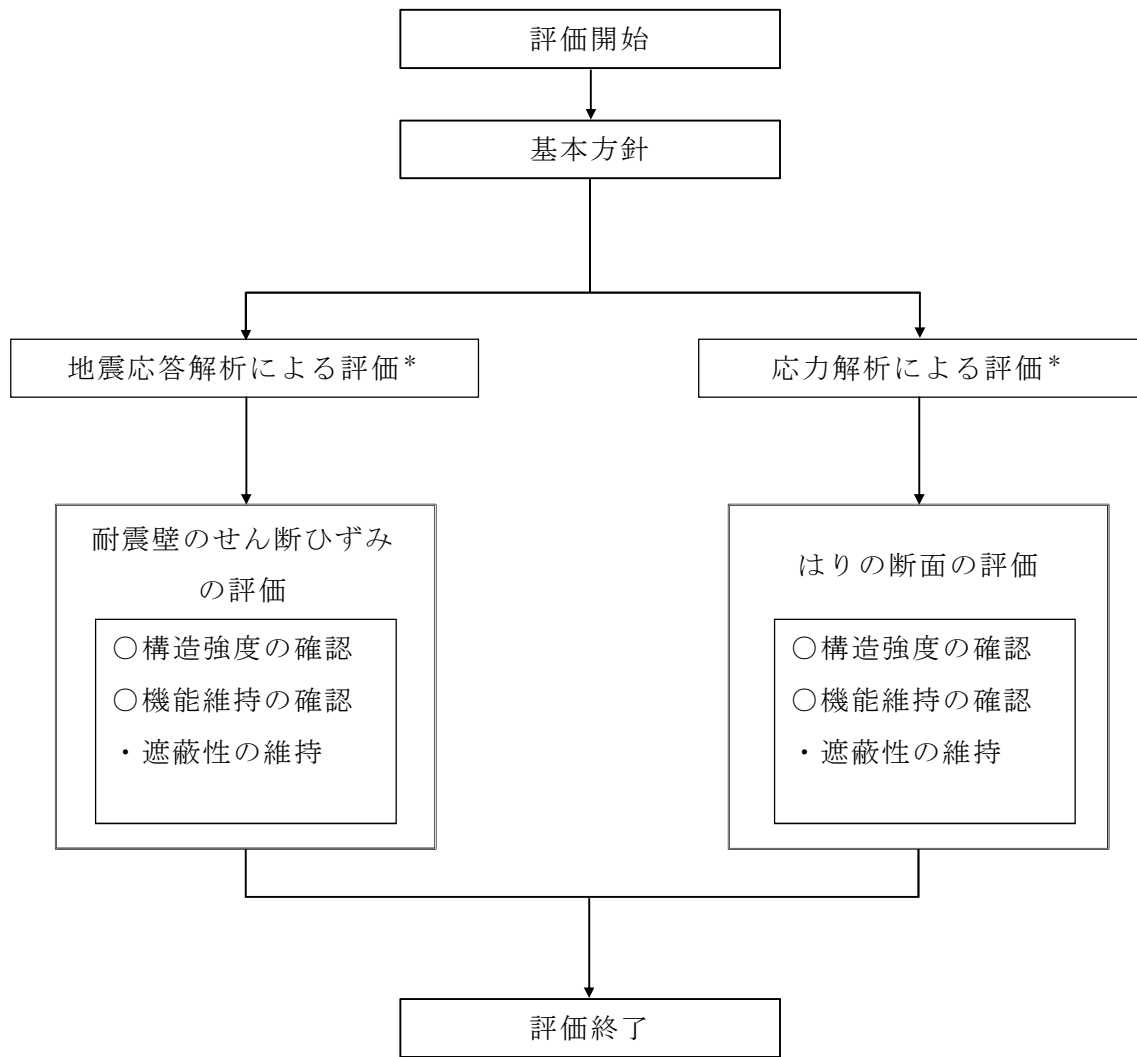
## 2.2 評価方針

屋根スラブの荷重は、鉄骨はりを支持するコンクリートの立ち上り位置から5号機原子炉建屋の耐震壁及びはりに作用する。したがって、屋根スラブの荷重を支持する耐震壁及びはりの評価を行うことで、躯体の構造健全性に与える影響を確認する。

屋根スラブを支持する耐震壁及びはりの評価は、基準地震動 $S_s$ による地震力に対する評価（以下「 $S_s$ 地震時に対する評価」という。）を行う。

屋根スラブを支持する耐震壁及びはりの評価は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析による評価においては、耐震壁についてせん断ひずみの評価を、応力解析による評価においては、はり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、V-2-2-15「緊急時対策所の地震応答計算書」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。評価フローを図2-6に示す。



注記\*：V-2-2-15「緊急時対策所の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-6 評価フロー

### 3. 地震応答解析による評価方法

耐震壁の構造強度及び機能維持については、V-2-2-15「緊急時対策所の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

地震応答解析による評価における耐震壁の許容限界は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表3-1のとおり設定する。

表3-1 地震応答解析による評価における許容限界

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 <sub>s</sub>	耐震壁	最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 <sup>-3</sup>
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性能を損なわないこと	基準地震動 S <sub>s</sub>	耐震壁	最大せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 <sup>-3</sup>

#### 4. 応力解析による評価方法

##### 4.1 評価対象部位及び評価方針

応力解析による評価対象部位は、屋根スラブの荷重が作用するはりを対象とする。緊急時対策所（対策本部）屋根スラブは、鉄骨はりを支持するコンクリートの立ち上がり位置から耐震壁及びはりに荷重が作用するため、当該部に位置するはりを評価対象とする。緊急時対策所（待機場所）屋根スラブは、耐震壁に荷重が作用するため、応力解析による評価は対象外とする。

評価については、弾性応力解析により評価を行い、V-2-2-15「緊急時対策所の地震応答計算書」による結果を用いて、荷重の組合せを行う。

S s 地震時に対する評価は、材料物性の不確かさを考慮した鉛直方向の地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が、「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 4-1 に、評価対象部位の位置を図 4-2 に、はりの配筋一覧を表 4-1 に示す。

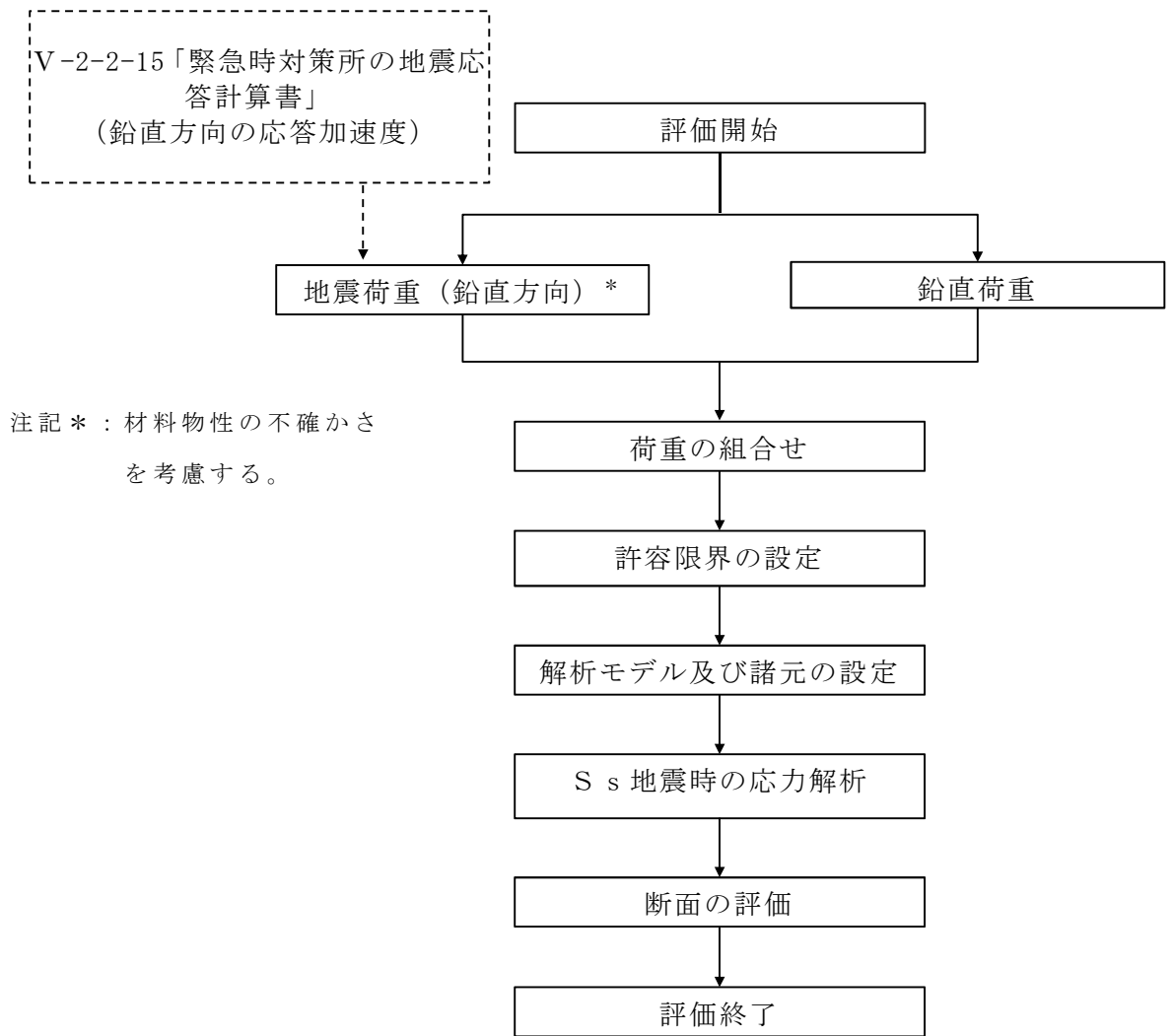
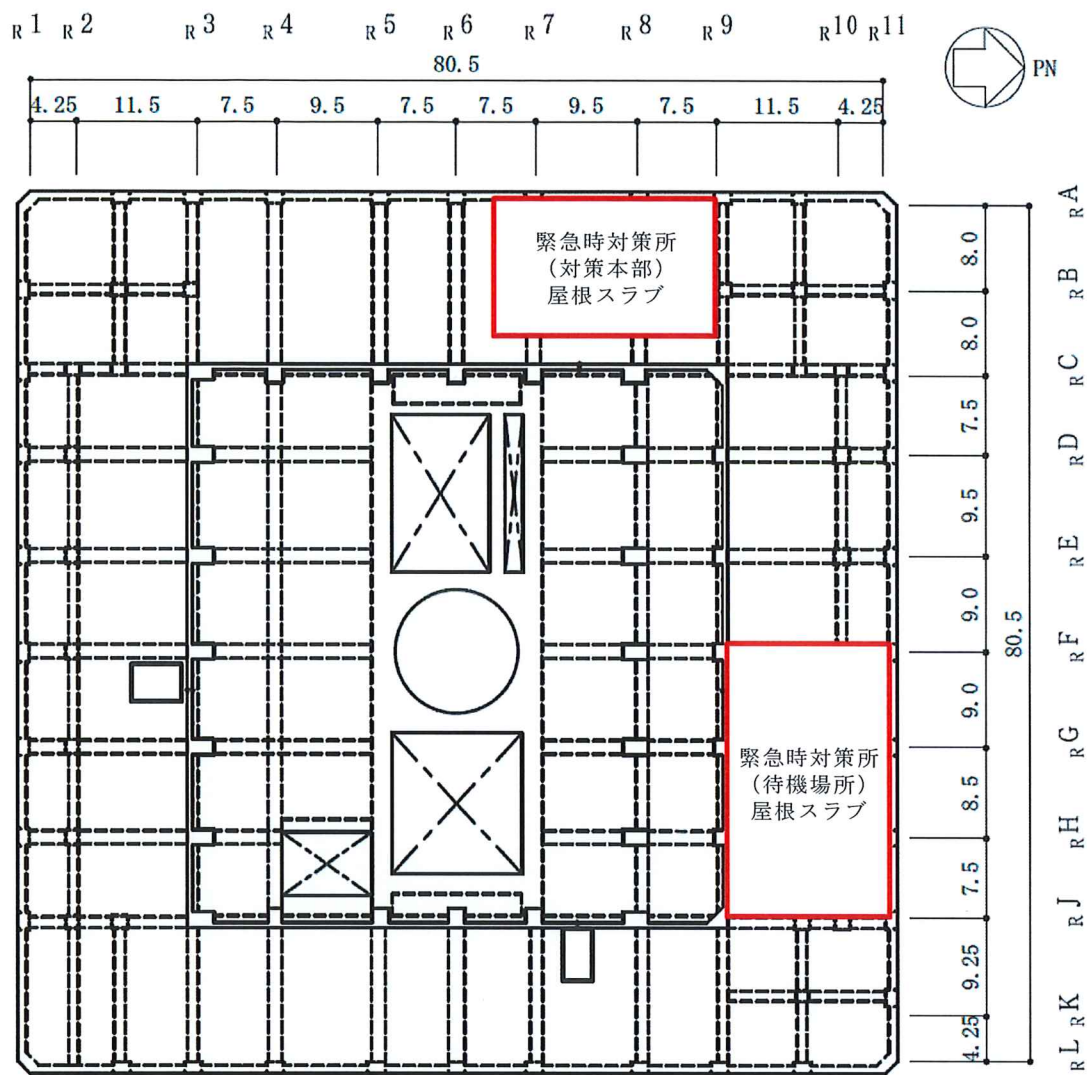
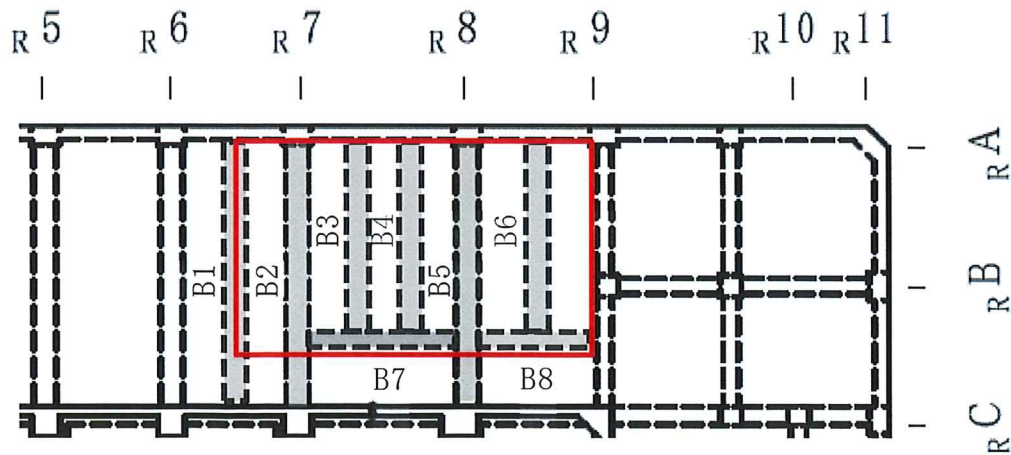


図 4-1 応力解析による評価フロー



----- : はり       : 屋根スラブ

(a) 概略平面図 (5号機原子炉建屋 4F, T.M.S.L. 33.0m)



: 評価対象       : 屋根スラブ

(b) 平面拡大図 (緊急時対策所 (対策本部) 周辺)

図 4-2 評価対象部位の位置



表 4-1 はりの緒元一覧

部材			上ば筋		下ば筋	
			配筋	断面積 (mm <sup>2</sup> /m)	配筋	断面積 (mm <sup>2</sup> /m)
B1	1600×1800	RC 端	13-D35	12441	11-D35	10527
		中央	11-D35	10527	13-D35	12441
		RA 端	13-D35	12441	11-D35	10527
B2	1600×2000	RC 端	20-D38	22800	10-D38	11400
		中央	10-D38	11400	14-D38	15960
		RA 端	12-D38	13680	10-D38	11400
B3	1000×1500	RC 端	8-D32	6352	6-D32	4764
		中央	6-D32	4764	10-D32	7940
		RA 端	8-D32	6352	6-D32	4764
B4	1000×1500	RC 端	8-D32	6352	6-D32	4764
		中央	6-D32	4764	10-D32	7940
		RA 端	8-D32	6352	6-D32	4764
B5	1600×2000	RC 端	20-D38	22800	10-D38	11400
		中央	10-D38	11400	14-D38	15960
		RA 端	12-D38	13680	10-D38	11400
B6	1000×1500	RC 端	8-D32	6352	6-D32	4764
		中央	6-D32	4764	10-D32	7940
		RA 端	10-D32	7940	6-D32	4764
B7	1500×2000	R7 端	12-D35	11484	10-D35	9570
		中央	10-D35	9570	12-D35	11484
		R8 端	12-D35	11484	10-D35	9570
B8	1500×1500	R8 端	12-D32	9528	10-D32	7940
		中央	10-D32	7940	12-D32	9528
		R9 端	12-D32	9528	10-D32	7940

## 4.2 荷重及び荷重の組合せ

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

### (1) 荷重

#### a. 鉛直荷重

表4-2～表4-5に荷重の一覧を示す。鉛直荷重は固定荷重、積載荷重及び積雪荷重とする。なお、積雪量は217cmとし、地震荷重と組み合わせるため、その0.35倍の積雪荷重を考慮する。

屋根スラブの荷重は、鉄骨はりとは直交するコンクリートの立ち上がり位置に線荷重として考慮する。

表4-2 固定荷重

部位	分布荷重 (kN/m <sup>2</sup> )
緊急時対策所 (対策本部) はり	16.87

表4-3 積載荷重

部位	分布荷重 (kN/m <sup>2</sup> )
緊急時対策所 (対策本部) はり	2.94

表4-4 積雪荷重

部位	分布荷重 (kN/m <sup>2</sup> )
緊急時対策所 (対策本部) はり	2.24

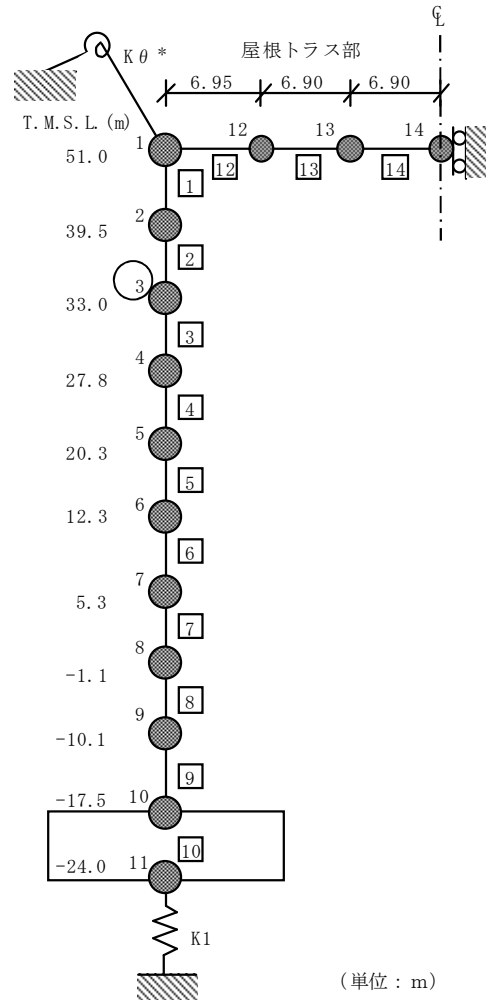
表4-5 屋根スラブの荷重

部位	線荷重 (kN/m)
緊急時対策所 (対策本部) はり	125

b. 地震荷重 (S<sub>s</sub>)

鉛直地震力は、基準地震動 S<sub>s</sub> に対する地震応答解析より算定される動的地震力より設定する。

鉛直方向の地震荷重は、図 4-3 に示す基準地震動 S<sub>s</sub> に対する質点系モデルの T.M.S.L. 33.0m、質点番号 3 の鉛直方向最大応答加速度より算定される鉛直震度とする。



(単位 : m)

注記\* : 屋根トラス端部回転拘束ばね

注 1 : 数字は質点番号を示す。

注 2 : □ 内は部材番号を示す。

注 3 : ○ 印の動的応答を用いる。

図 4-3 基準地震動 S<sub>s</sub> に対する質点系モデル (鉛直方向)

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-6 に示す。

表 4-6 荷重の組合せ

外力の状態	荷重組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	G+P+S <sub>NL</sub> +S <sub>s</sub>

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S<sub>NL</sub> : 積雪荷重 (天井スラブ, 屋根スラブのみ考慮)

S<sub>s</sub> : S<sub>s</sub> 地震荷重

### 4.3 許容限界

応力解析による評価における緊急時対策所遮蔽の許容限界は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の基本方針に基づき、表4-7のとおり設定する。

また、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表4-8及び表4-9に示す。

表4-7 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 <sub>s</sub>	はり	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく終局強度
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性能を損なわないこと	基準地震動 S <sub>s</sub>	はり	部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度*1

注記\*1：許容限界は終局強度に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

表 4-8 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 F <sub>c</sub>	圧縮	せん断
23.5	15.6	1.08

表 4-9 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

種別	引張及び圧縮	せん断補強
SD35 (SD345 相当)	345	345

#### 4.4 解析モデル

解析モデルは、緊急時対策所（対策本部）が設置される 3F およびその直下の 2F について、耐震壁で囲まれた範囲をモデル化する。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、4F（T.M.S.L. 33.0m）及び 3F（T.M.S.L. 27.8m）は水平拘束とし、2F 床レベル（T.M.S.L. 20.3m）は完全拘束とする。解析モデルの節点数は 6013、シェル要素数は 5966、梁要素数は 1452 である。スラブおよび壁はシェル要素に、梁は梁要素に荷重を入力している。解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。解析モデル図を図 4-4 に示す。

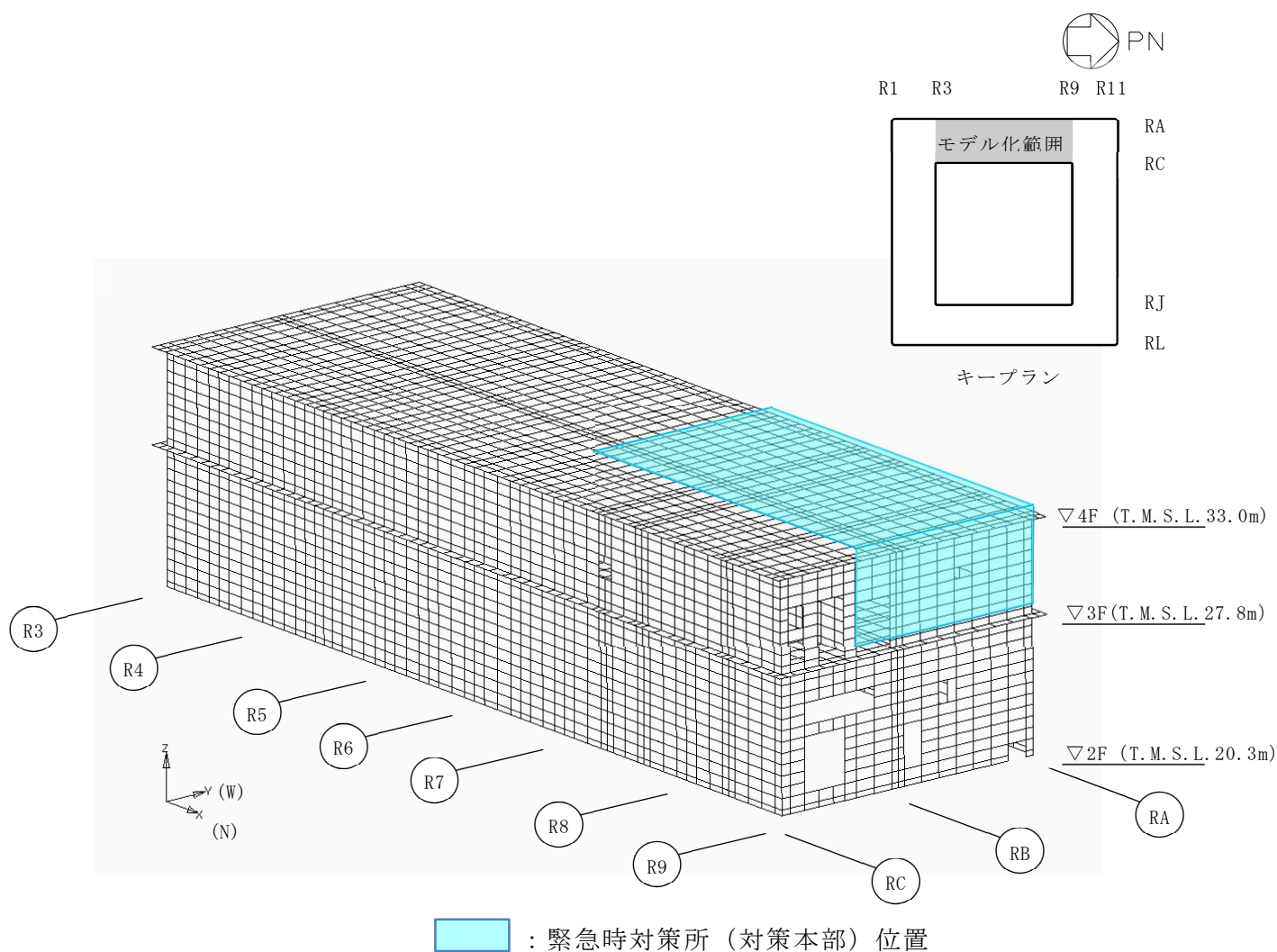


図 4-4 解析モデル図

## 4.5 評価方法

### 4.5.1 応力解析方法

緊急時対策所（対策本部）は、S s 地震時に対して 3 次元 FEM モデルを用いた弾性解析を実施し、梁の応力を算定する。

### 4.5.2 はりの断面評価方法

#### (1) 曲げモーメントに対する断面の評価方法

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

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

ここで、

$M_A$  : 短期許容曲げモーメント (N・mm)

$a_t$  : 引張鉄筋断面積 (mm<sup>2</sup>)

$f_t$  : 引張鉄筋の短期許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$j$  : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

#### (2) せん断力に対する断面評価方法

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

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

ここで、

$Q_A$  : 短期許容せん断力 (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)

$f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\alpha$  : 許容せん断力の割増し係数

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

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

$M$  : 曲げモーメント (N・mm)

$Q$  : せん断力 (N)

$d$  : 断面の有効せい (mm)



## 5. 評価結果

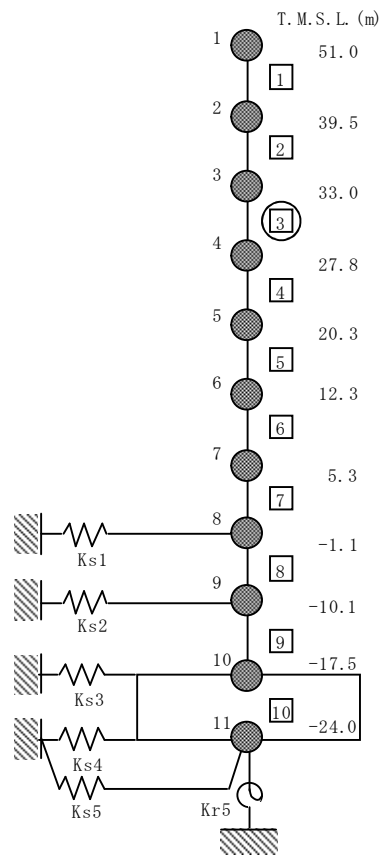
### 5.1 地震応答解析による評価結果

鉄筋コンクリート造耐震壁について、 $S_s$ 地震時の最大せん断ひずみが許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認する。耐震壁の最大せん断ひずみ一覧を表 5-1 に、質点系モデルを図 5-1 に示す。

材料物性の不確かさを考慮した最大せん断ひずみは、 $0.121 \times 10^{-3}$  (部材番号 3, NS 方向,  $S_s$ -1, ケース 5) であり、許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認した。

表 5-1 耐震壁の最大せん断ひずみ

部位	階	方向	ケース	最大せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	許容限界 ( $\times 10^{-3}$ )
緊急時対策所 部材番号 3 (T. M. S. L. 27.8~33.0m)	3	NS	$S_s$ -1, ケース 5	0.121	2.0
		EW	$S_s$ -2, ケース 5	0.104	



- 注 1：数字は質点番号を示す。
- 注 2：□内は部材番号を示す。
- 注 3：○印は評価対象位置を示す。

図 5-1 基準地震動  $S_s$  に対する質点系モデル（水平方向）

## 5.2 応力解析による評価結果

断面の評価結果を表 5-2 に示す。S<sub>s</sub> 地震時において、発生値が許容限界を超えないことを確認した。

表 5-2 はりの評価結果（基準地震動 S<sub>s</sub>）

部位		発生曲げ モーメン ト M (kN・m)	許容限界 M <sub>A</sub> (kN・m)	検定値 M/M <sub>A</sub>	発生 せん断力 Q (kN)	許容限界 Q <sub>A</sub> (kN)	検定値 Q/Q <sub>A</sub>
B1	RC 端	5139	6198	0.83	2098	4017	0.53
	中央	2121	6198	0.35	—	—	—
	RA 端	3570	6198	0.58	1703	4017	0.43
B2	RC 端	8160	12735	0.65	3085	4252	0.73
	中央	3054	8915	0.35	—	—	—
	RA 端	5670	7641	0.75	1875	4252	0.45
B3	RC 端	148	2588	0.06	476	1747	0.28
	中央	957	3235	0.30	—	—	—
	RA 端	2268	2588	0.88	878	1747	0.51
B4	RC 端	163	2588	0.07	481	1747	0.28
	中央	957	3235	0.30	—	—	—
	RA 端	2258	2588	0.88	875	1747	0.51
B5	RC 端	8216	12735	0.65	3130	4252	0.74
	中央	3110	8915	0.35	—	—	—
	RA 端	5952	7641	0.78	1980	4252	0.47
B6	RC 端	438	2588	0.17	463	1875	0.25
	中央	712	3235	0.23	—	—	—
	RA 端	1751	3235	0.55	755	1875	0.41
B7	R7 端	440	6414	0.07	679	5246	0.13
	中央	1246	6414	0.20	—	—	—
	R8 端	565	6414	0.09	540	5246	0.11
B8	R8 端	155	3882	0.04	330	3406	0.10
	中央	788	3882	0.21	—	—	—
	R9 端	3097	3882	0.80	1842	3406	0.55

## 6. まとめ

屋根スラブの荷重を支持する耐震壁及びはりについて、 $S_s$ 地震時に対する評価を行い、表 3-1 及び表 4-7 で設定した許容限界を超えないことを確認した。このため、屋根スラブ設置に伴う建屋躯体の構造健全性に与える影響はないことを確認した。

(参考資料 1) 計算機プログラム (解析コード) の概要

D I A N A

1. 使用状況一覧

使用補足説明資料		バージョン
別紙 1	緊急時対策所遮蔽のスラブの耐震性評価	Ver. 10.2

## 2. 解析コードの概要

項目	コード名 D I A N A
使用目的	固有値解析
開発機関	TNO DIANA 社
開発時期	1983 年
使用したバージョン	Ver. 10. 2
コードの概要	<p>本解析コードは，TNO DIANA BV（オランダ）により開発され，国内においては JIP テクノサイエンス（株）により保守されている汎用市販有限要素法プログラムである。</p> <p>土木及び建築分野に特化した要素群及び材料非線形モデルを数多くサポートしていることが特徴で，日本国内では，建設部門を中心として，官公庁，大学及び民間を問わず，多くの利用実績がある。</p>
検証（Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	<p>本解析コードは，中央制御室遮蔽他及び緊急時対策所遮蔽のスラブの 3 次元有限要素法による固有値解析に使用している。</p> <p><b>【検証（Verification）】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードを用いて評価したシェル要素の固有振動数が理論解と良い一致を示すことを確認している。</li> <li>・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認（Validation）】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・検証内容のとおり，シェル要素の固有値解析について検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。</li> </ul>

### 3. 解析手法

#### 3.1 一般事項

本解析コードは、有限要素法による汎用非線形構造解析プログラムである。材料非線形性及び幾何学的非線形性を考慮した構造物の静的応力変形解析や動的解析、熱伝導解析、地盤の浸透流、圧密解析が提供されている。また、各分野特有の連成問題（熱応力、構造－流体連成、圧密－浸透流連成等）も解析可能である。本解析コードは、コントロール建屋の床スラブの固有値解析に使用している。

#### 3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・非線形構造問題（材料及び幾何学的非線形）に必要な機能が充実している。
- ・数多くの要素及び材料構成則が提供されており、多様な構造物のモデル化が可能である。
- ・連成問題が解析可能である。

また、今回の解析における本解析コードの使用要素はシェル要素である。

### 3.3 解析フローチャート

本計算機コードを用いた解析フローチャートを図 3-1 に示す。

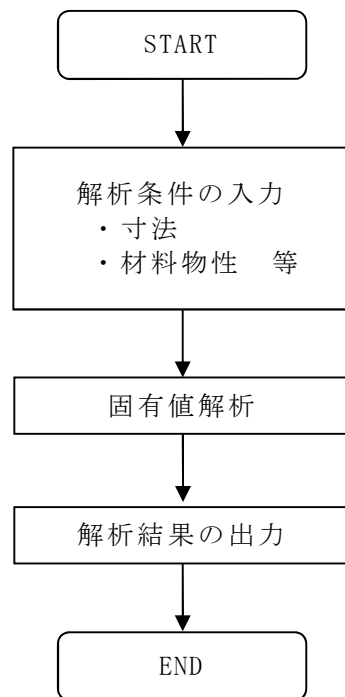


図 3-1 解析フローチャート



### 3.4 検証(Verification)と妥当性確認(Validation)

#### 3.4.1 理論解とシミュレーション解析の比較による検証

##### (1) 検証概要

シェル要素の固有振動数について、本コードによる解析結果と理論解との比較を行った。

##### (2) 検証モデル及び検討条件

シェル要素を用いて作成した検証モデルを図 3-2 に、検証条件を表 3-1 に示す。検討モデルの両端はピン支持とした。

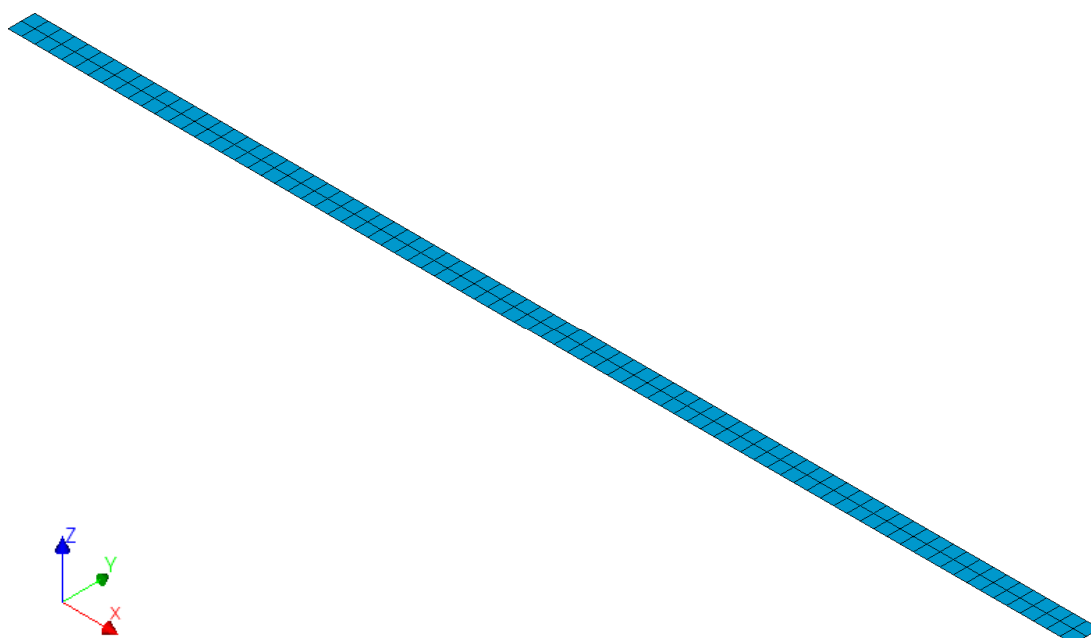


図 3-2 検証モデル

表 3-1 検証条件

諸元	記号	入力値	単位
長さ	l	2000	(mm)
断面積	A	2500	(mm <sup>2</sup> )
断面二次モーメント	I	5.21E+05	(mm <sup>4</sup> )
ねじり定数	J	8.80E+05	(mm <sup>4</sup> )
せん断面積係数	K	0.833	(-)
ヤング係数	E	2.27E+04	(N/mm <sup>2</sup> )
ポアソン比	$\nu$	0.20	(-)
密度	$\rho$	2.40E-09	(ton/mm <sup>3</sup> )

### 3.4.2 解析結果と理論解との比較

解析結果と理論解の固有振動数の比較を表 3-2 に示す。理論解は「機械工学便覧」(引用文献(1)参照)に示されている「支持-支持」のモデルに対する(3.1)式に基づき導出した。また、各次数におけるシェル要素の解析結果(モード図)を、図 3-3 に示す。

表 3-2 に示すとおり、本コードによる解析結果と理論解はよく一致していることが確認できる。

表 3-2 固有振動数の解析結果と理論解の比較

次数	固有振動数 [Hz]		解析結果*
	理論解	解析結果	理論解
1 次	17.43	17.42	1.00
2 次	69.74	69.51	1.00
3 次	156.91	155.78	0.99

#### ・固有振動数

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad (3.1)$$

ここで、 $f$  : 固有振動数 (Hz)

$l$  : 長さ (m)

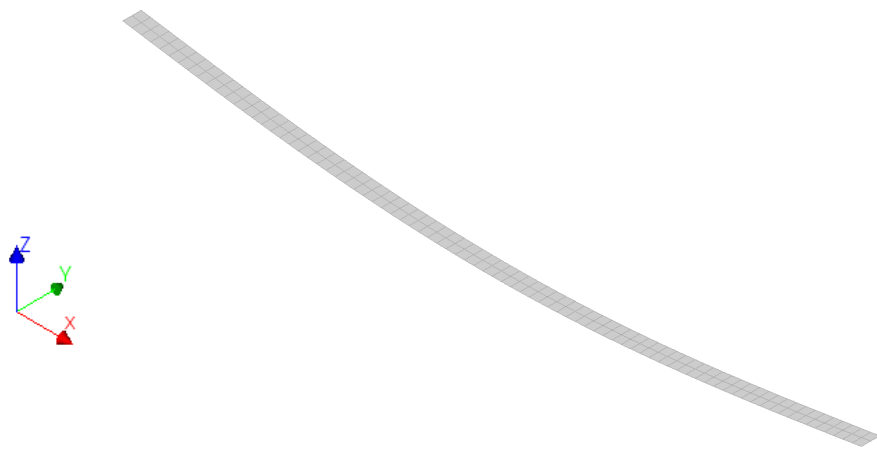
$E$  : ヤング係数 (N/m<sup>2</sup>)

$I$  : 断面二次モーメント (m<sup>4</sup>)

$\rho$  : 比重 (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  : 断面積 (m<sup>2</sup>)

$\lambda$  : 振動数係数 (1 次 :  $\pi$ , 2 次 :  $2\pi$ , 3 次 :  $3\pi$ )



1次



2次



3次

図 3-3 解析結果 (モード図)

#### 4. 引用文献

- (1) 日本機械学会（編）：機械工学便覧 基礎編 A3 力学・機械力学 1986.6