

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3
提出年月日	2020年6月17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6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

下線：今回ご提示資料

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。

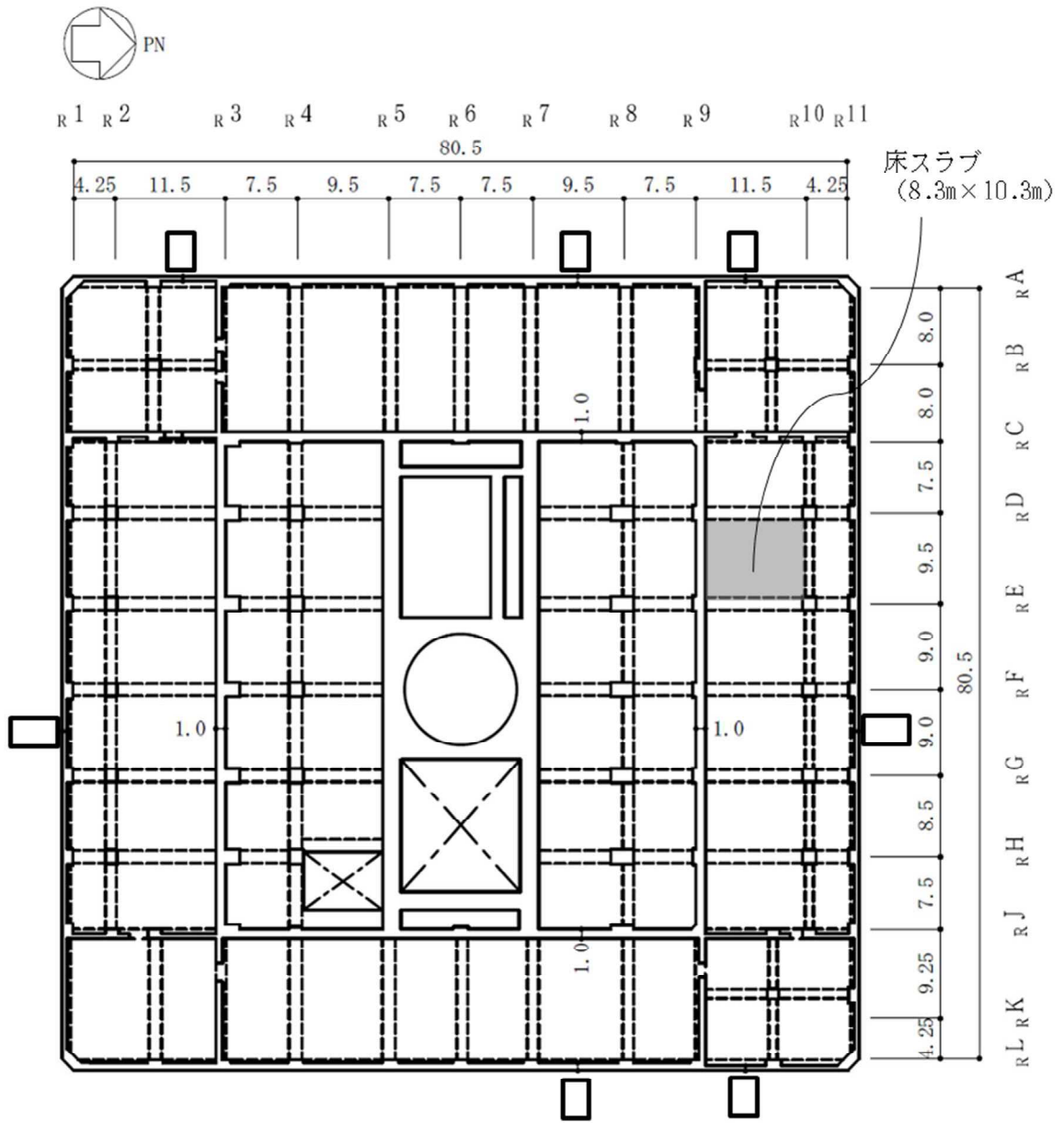
表3-1 コンクリートの物性値

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

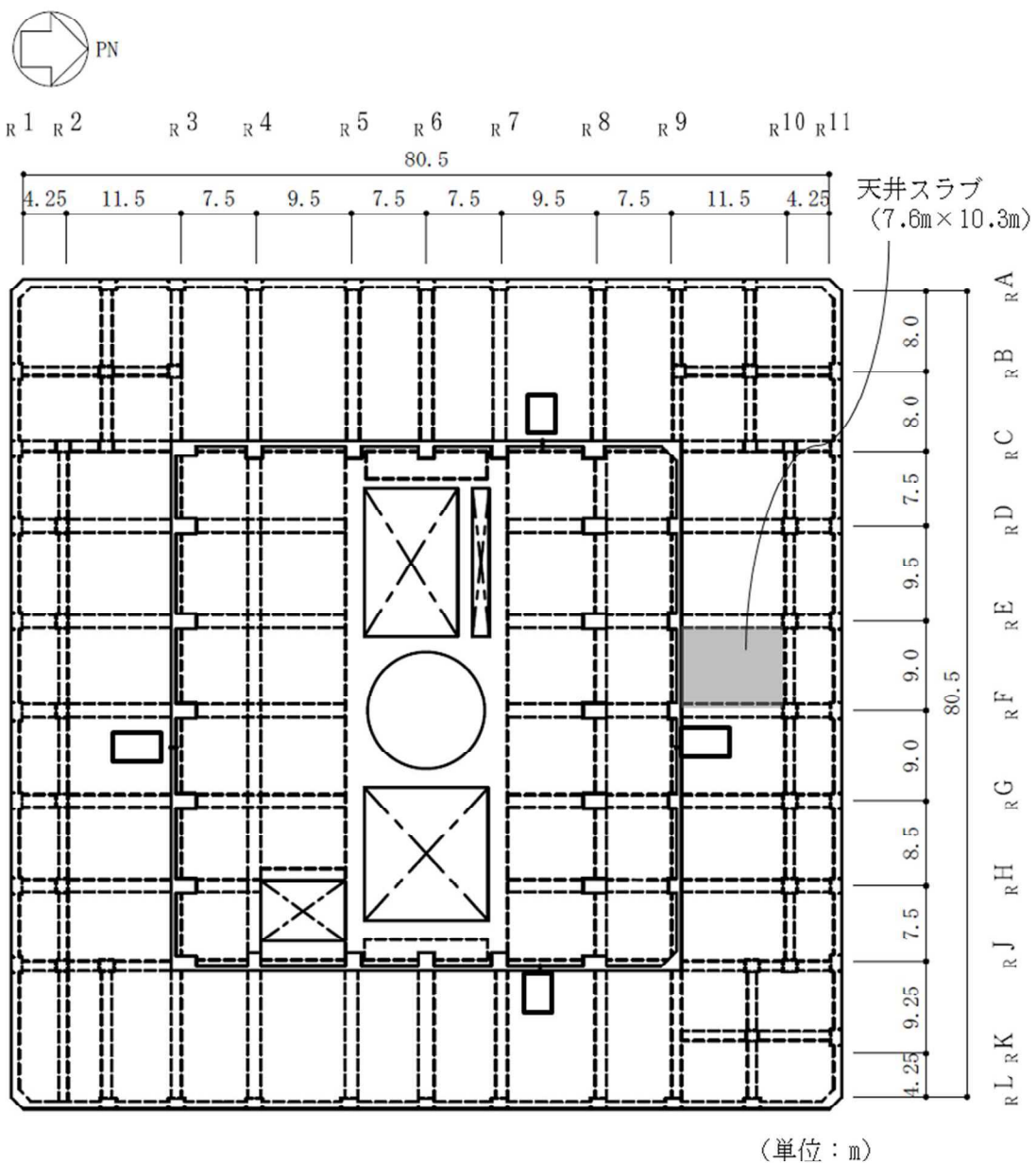


(単位 : m)

(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)

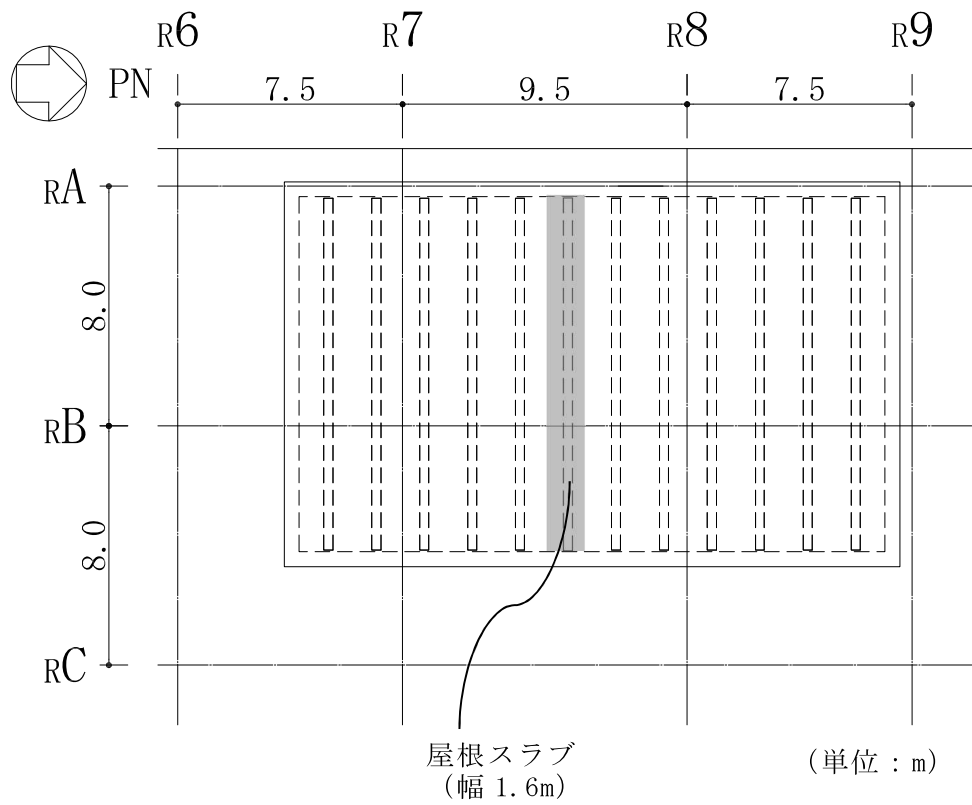
図 3-1 スラブの評価を記載する部材の位置 (1/3)



(b) 緊急時対策所 天井スラブ

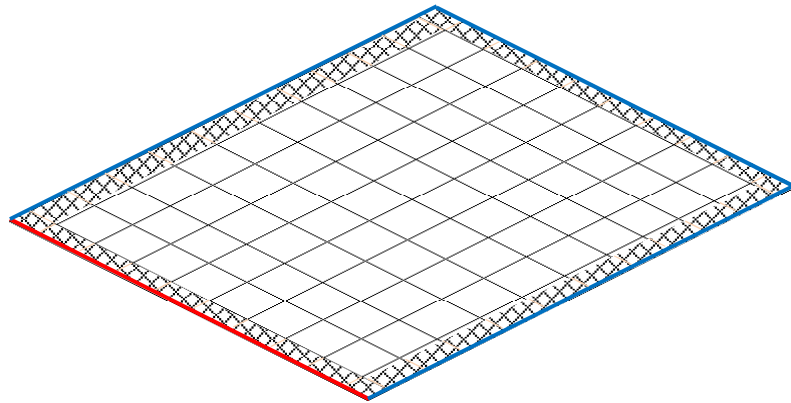
(5号機原子炉建屋 4F, T.M.S.L. 33.0m)

図3-1 スラブの評価を記載する部材の位置 (2/3)

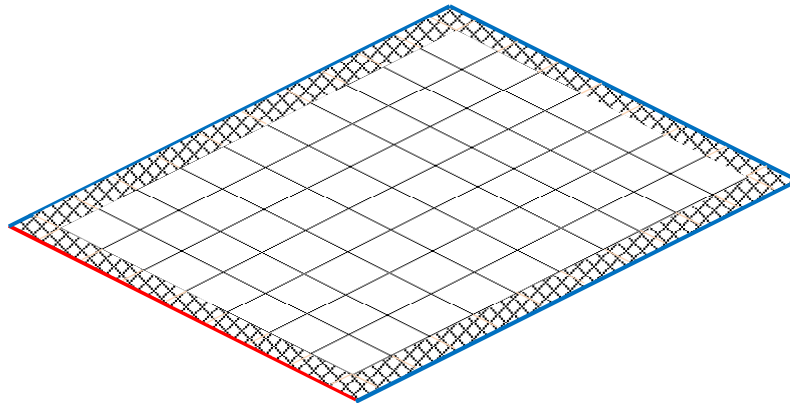


(c) 緊急時対策所 屋根スラブ

図 3-1 スラブの評価を記載する部材の位置 (3/3)



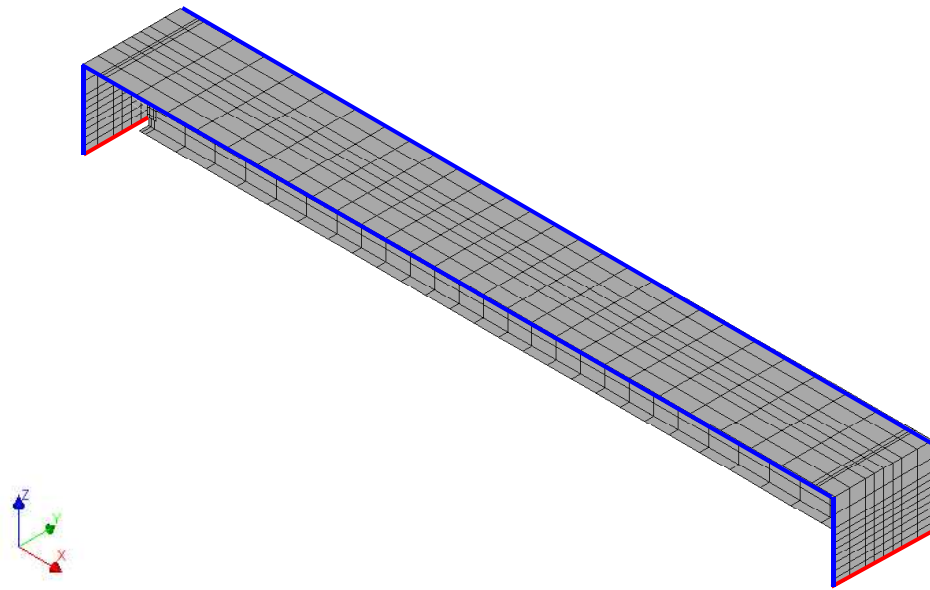
(a) 緊急時対策所床スラブ (5号機原子炉建屋3F, T.M.S.L. 27.8m)



(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

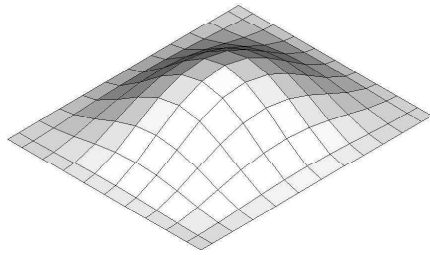
床スラブ，天井スラブ及び屋根スラブの固有振動数を表 3-3 に，モード図を図 3-3 に示す。

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。

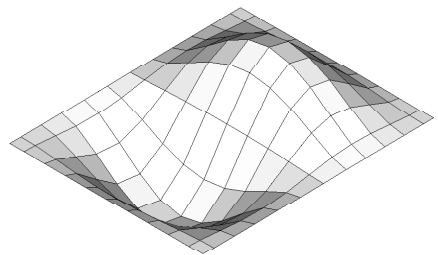
表 3-3 床スラブ，天井スラブ及び屋根スラブの固有振動数

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	

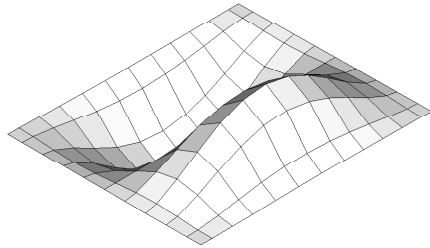
注記*：一般化質量の値が 1.0 になるように正規化した値を示す。



1次 : 18.11 Hz

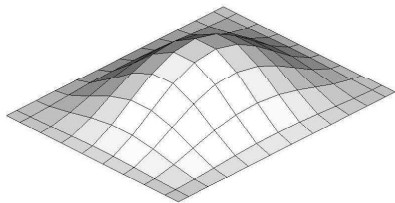


2次 : 31.85 Hz

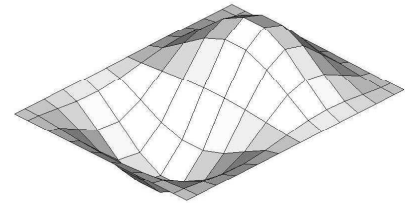


3次 : 39.55 Hz

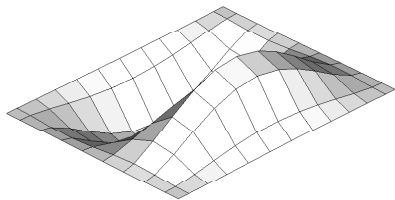
(a) 緊急時対策所床スラブ



1次 : 14.58 Hz



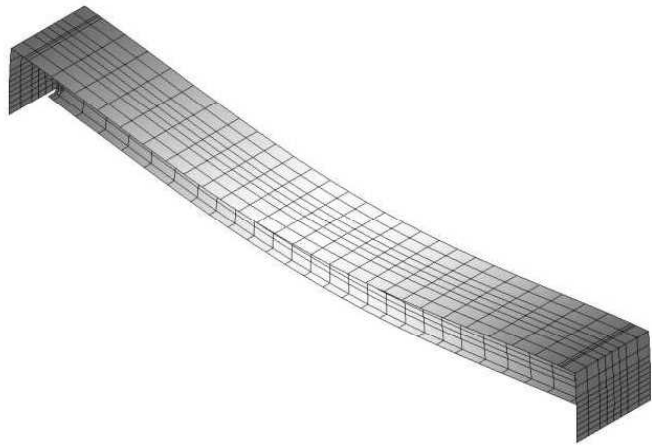
2次 : 24.77 Hz



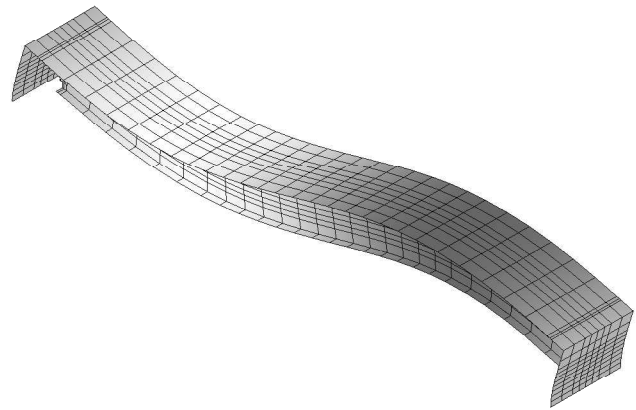
3次 : 32.75 Hz

(b) 緊急時対策所天井スラブ

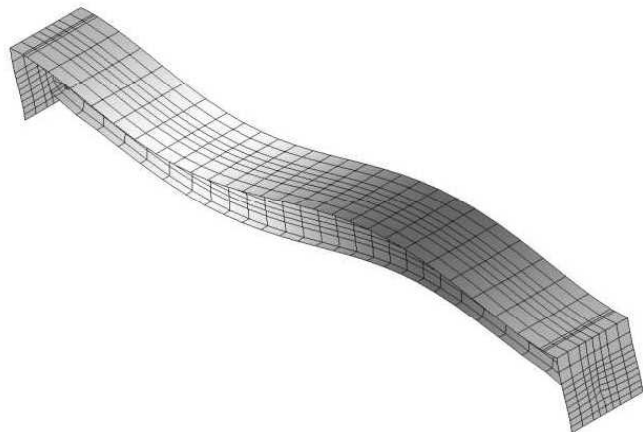
図 3-3 モード図 (1/2)



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

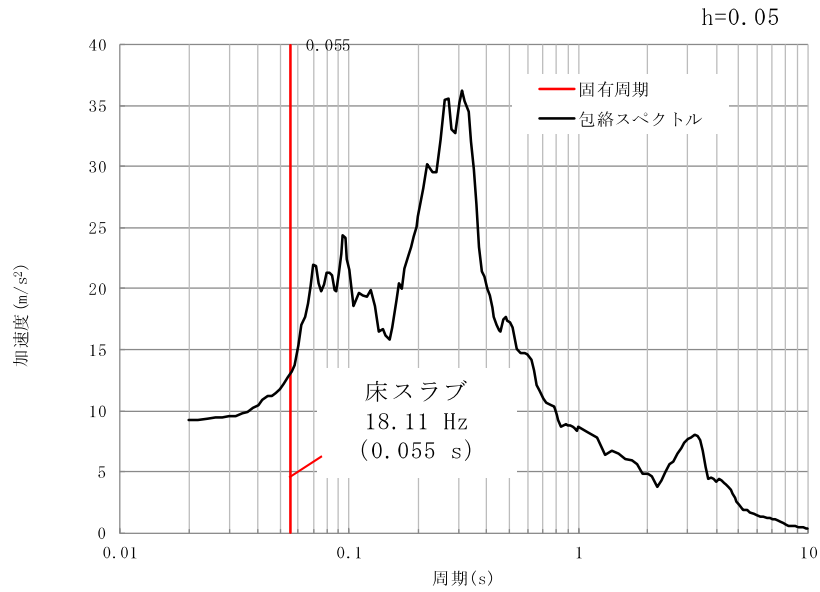
固有値解析の結果，1次固有振動数が20Hzを下回るスラブについて，振動特性を踏まえ鉛直方向の応答増幅による影響評価を行う。

4.1 評価方法

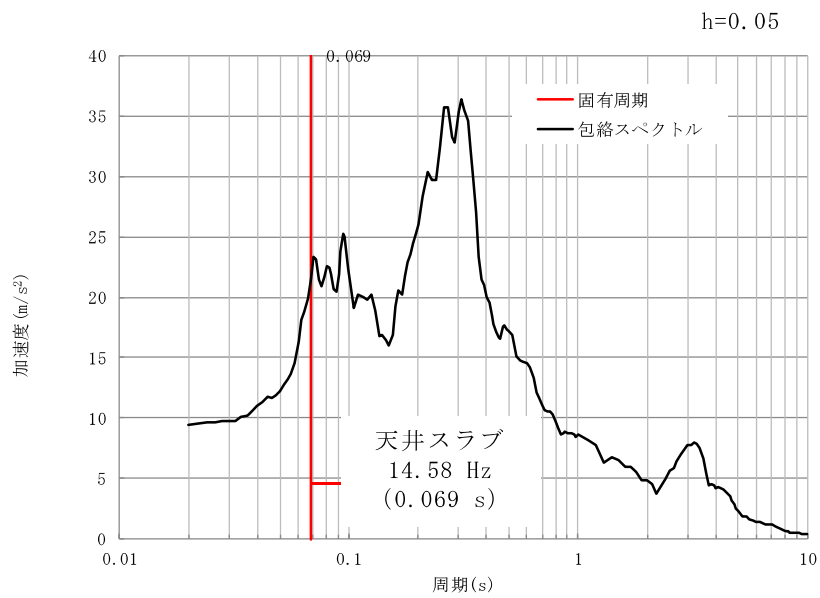
鉛直方向の応答増幅の影響評価にあたっては，評価対象が位置する質点の加速度応答スペクトルより，評価対象の1次固有振動数に相当する応答加速度から鉛直震度を算出し，その鉛直震度を用いて得られた応力により影響評価を行う。評価にあたっては，材料物性の不確かさを考慮する。

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。



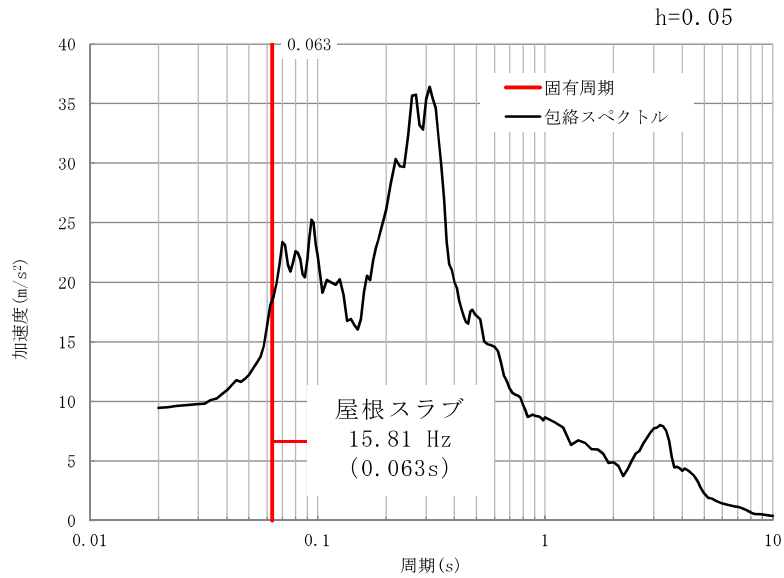
(a) 床スラブ (5号機原子炉建屋 3F T.M.S.L. 27.8m)



(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 ²)	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

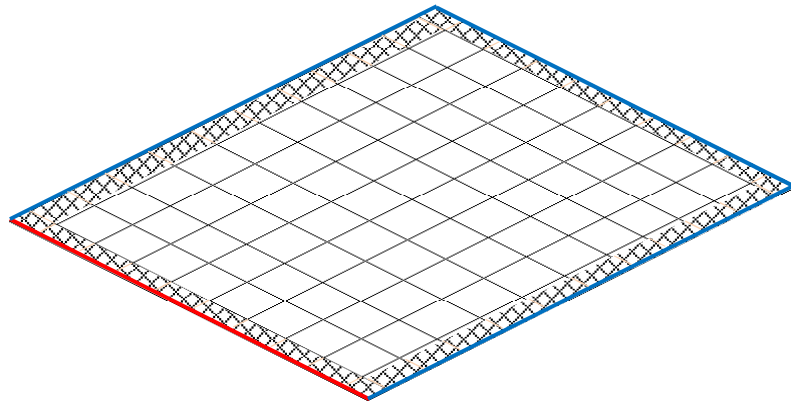
作用荷重のうち地震荷重は，固定荷重及び積載荷重と同じ下向きに作用する場合に生じる応力が最大となるため，鉛直下向きの場合のみを考慮する。

(2) 発生応力の算出

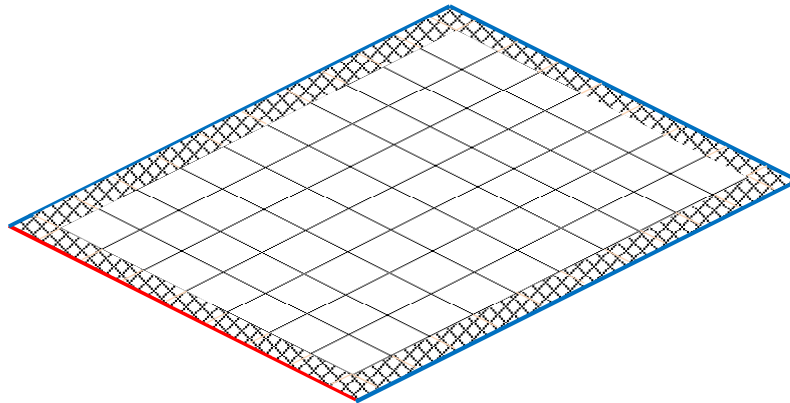
S s 地震時の発生応力は，表 4-1 の鉛直震度を用いて，固定荷重，積載荷重及び積雪荷重を係数倍することで算出する。なお，床スラブ及び天井スラブは，3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析で算出する。解析には「M S C N A S T R A N」を用いる。

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 ² /m)	D29@200 (3210mm ² /m)
	下ば筋	D29@200 (3210mm ² /m)	D29@200 (3210mm ² /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 _A (kN・m/m)	523.3	426.4
	検定値 M/M _A	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 _A (kN/m)	755.2	578.0
	検定値 Q/Q _A	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)		<input type="text" value=""/> × 1000
有効せい d (mm)		429
配筋	上ば筋	D13@200 (635mm ² /m)
	下ば筋	D13@200 (635mm ² /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 α	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 1-1-4
3.1 鉄骨はり及び鉄骨はり接合部の評価	別紙 1-1-4
3.2 立ち上がり壁の評価	別紙 1-1-6
4. 断面の評価方法	別紙 1-1-7
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 1-1-7
4.2 立ち上がり壁の評価	別紙 1-1-9
4.3 接合部（アンカー）の評価	別紙 1-1-10
5. 評価結果	別紙 1-1-12

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りを介して、既設建屋が支持する構造となっている。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 2-4 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。

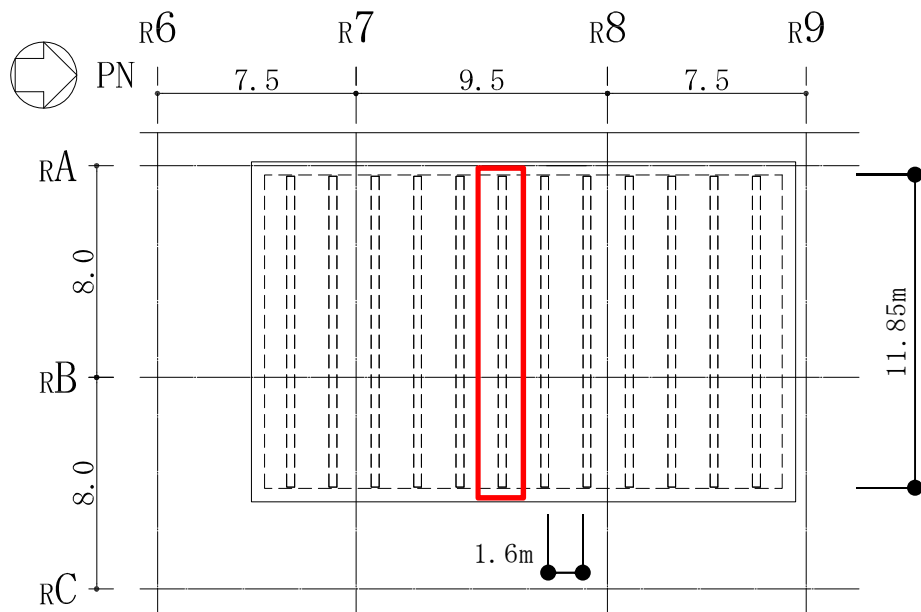


図 2-1 屋根スラブ（対策本部）平面図

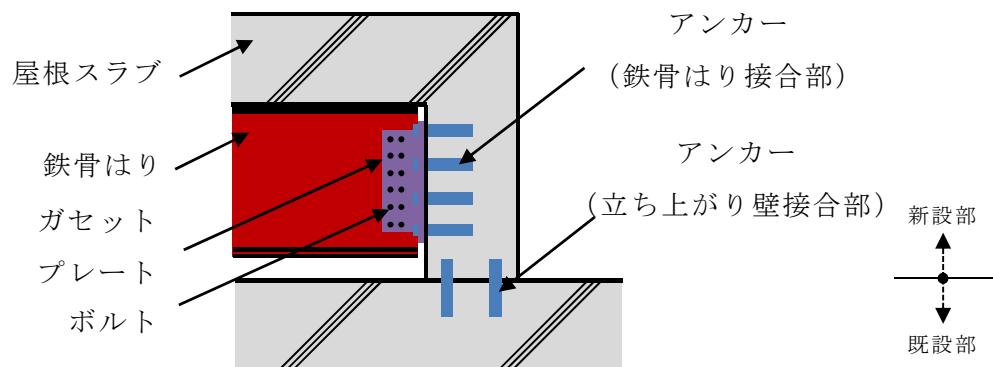


図 2-2 屋根スラブ構成部材の概略断面図

表 2-1 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm²)

	設計基準強度 F _c	ヤング係数 E _c	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/mm²）に基づく

表 2-2 鉄筋の短期許容応力度

(単位：N/mm²)

種別	引張及び圧縮
SD345	345

表 2-3 鋼材の弾性限強度

(単位：N/mm²)

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/mm²)

種別	せん断
F10T	225（1面摩擦）

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(G)

部位	固定荷重 (kN/m)
鉄骨はり	23.2

表 3-2 積載荷重(P)

部位	積載荷重 (kN/m)
鉄骨はり	3.2

表 3-3 積雪荷重(SNL)

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)

$$M = 1/8 w \cdot \ell^2$$

- ・ せん断力 (Q)

$$Q = 1/2 w \cdot \ell$$

ここで,

M : 曲げモーメント (kN・m)

Q : せん断力 (kN)

ℓ : 有効スパン (m)

w : 単位面積あたりの荷重 (kN/m²)

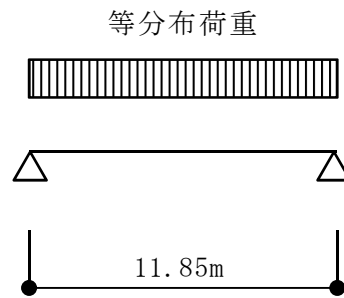


図 3-1 解析モデル (鉄骨はり)

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で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)

$$P = kh \times W$$

ここで、

P : 立ち上がり壁にかかる水平方向の地震荷重 (kN)

kh : 水平震度 (1.17)

W : 全重量の 1/2 (kN)

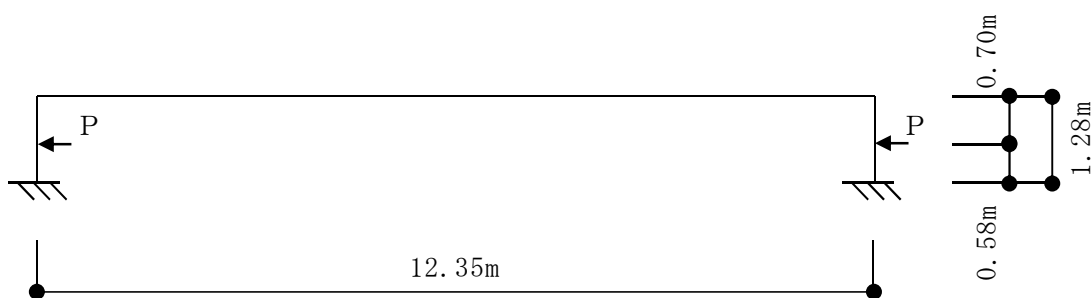


図 3-2 解析モデル (立ち上がり壁)

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

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，

σ_b : 曲げ応力度 (=M/Z (N/mm²))

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 断面係数 (mm³)

f_b : 鋼材の許容曲げ応力度 (N/mm²)

- ・ せん断応力を受ける部材

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

ここで，

τ : せん断応力度 (=Q/A_w (N/mm²))

Q : せん断力 (N)

A_w : 部材のせん断断面積 (mm²)

f_s : 鋼材の許容せん断応力度 (N/mm²)

(2) 接合部（ボルト）の評価

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

ここで，

Q_A : 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/mm²)

A : ボルトの軸断面積 (mm²)

(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/mm²)

A : 部材のせん断断面積 (mm²)

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 (mm²)
- f_t : 引張鉄筋の短期許容引張応力度 (N/mm²)
- j : 断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

(2) 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)
- 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。)
- f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

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

- 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。

- ・アンカーの許容せん断力

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

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s \sigma_{qa} \cdot s_{ca}$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot c \sigma_{qa} \cdot s_{ca}$$

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)

ϕ_1 : 低減係数で 1.0

ϕ_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/mm²)

$s \sigma_y$: アンカーボルトの規格降伏点強度 (N/mm²)

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。(mm²)

$c \sigma_{qa}$: コンクリートの支圧強度で、 $c \sigma_{qa} = 0.5 \sqrt{F_c \cdot E_c}$ (N/mm²)

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)

・アンカーの許容引張力

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

$$p_{a1} = \phi_1 \cdot s \sigma_{pa} \cdot s c a$$

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

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)

ϕ_1 : 低減係数で 1.0

ϕ_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/mm²)

$s \sigma_y$: アンカーボルトの規格降伏点強度 (N/mm²)

$s c a$: 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。(mm²)

d_a : アンカーボルトの径 (mm)

ℓ_{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)

ℓ_e : アンカーボルトの有効埋込長さ (mm)

τ_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/mm²)

・組合わせ荷重

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

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)

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5-1～5-4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 σ_b (N/mm^2)	169
	許容限界 f_b (N/mm^2)	357
	検定値 σ_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 τ (N/mm^2)	42
	許容限界 f_s (N/mm^2)	206
	検定値 τ / 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 ²)
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 ² /本)
曲げ	発生引張力 P (kN)	380
	許容限界 P _A (kN)	431
せん断	発生せん断力 Q (kN)	249
	許容限界 Q _A (kN)	1495
検定値 $(P/P_A)^2 + (Q/Q_A)^2$		0.81