

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2 |
| 提出年月日 | 2020年5月28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 5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 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 |

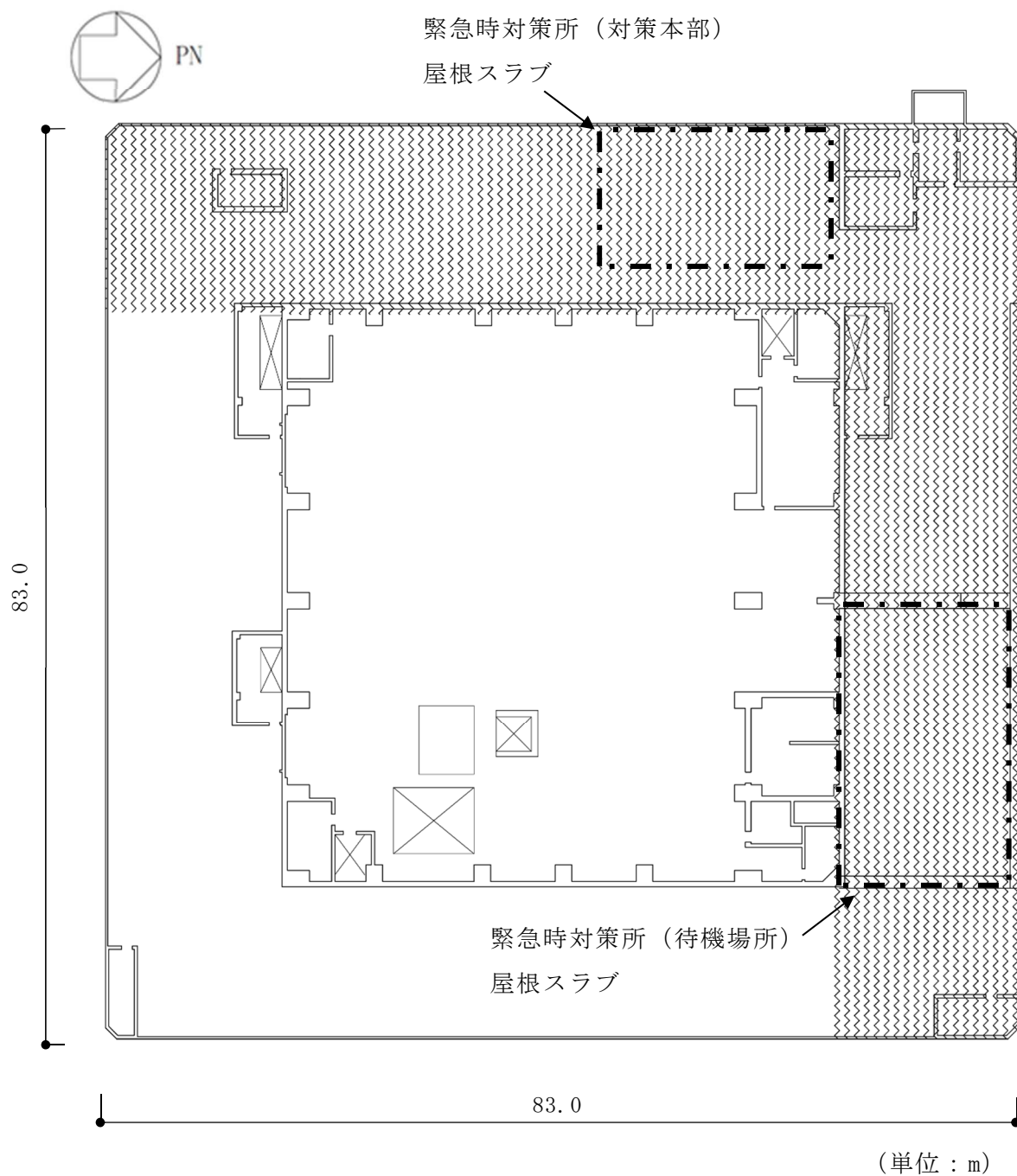
1. 概要

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)

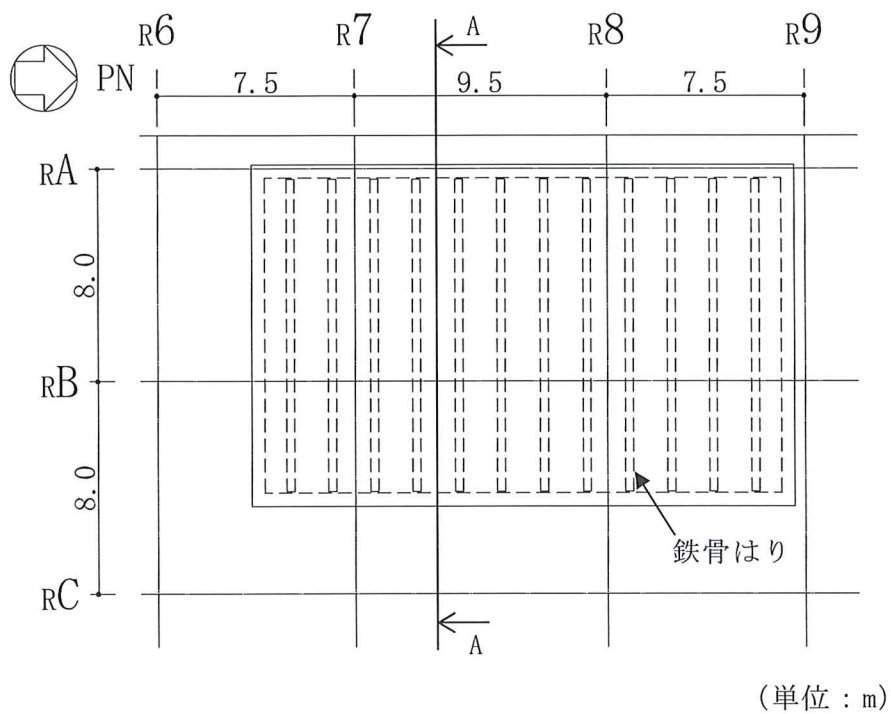
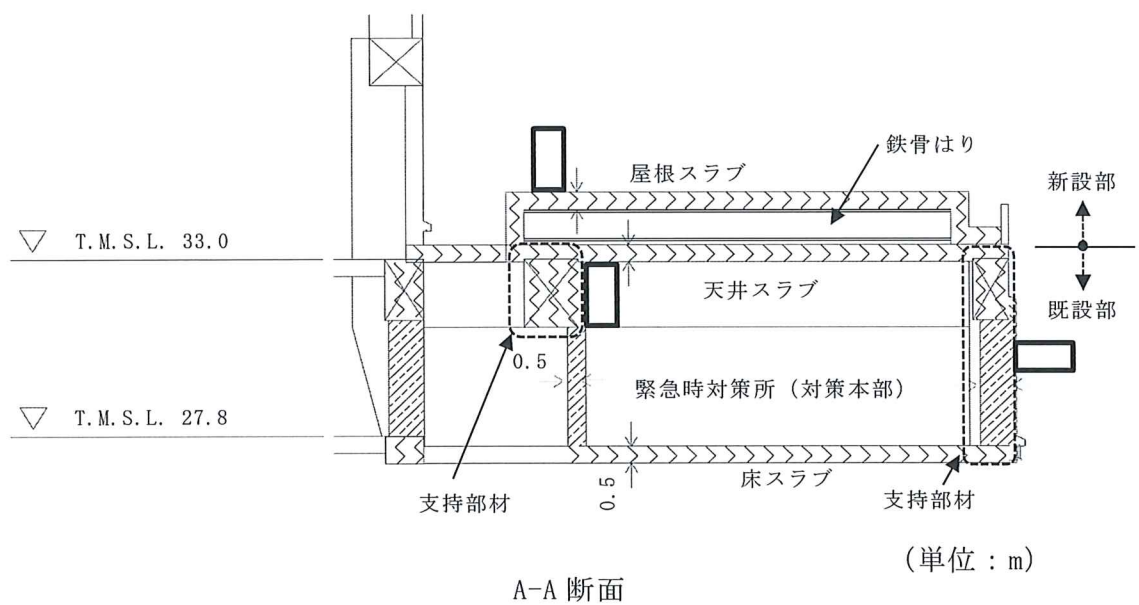


図 2-2 緊急時対策所（対策本部）屋根スラブの平面図



- : 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

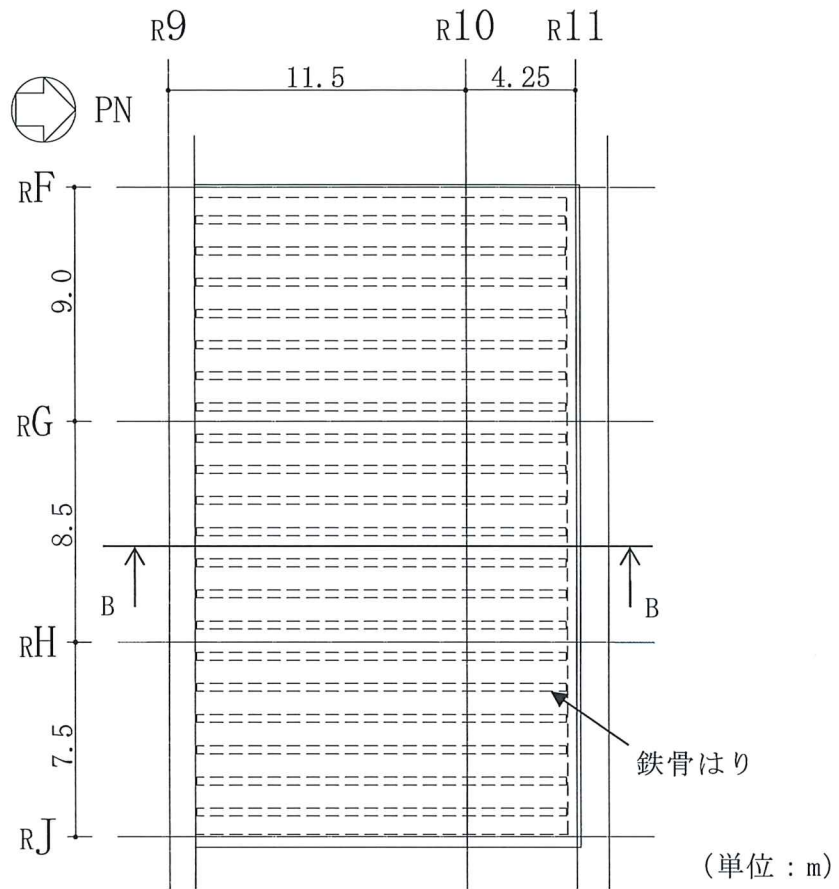


図 2-4 緊急時対策所（待機場所）屋根スラブの平面図

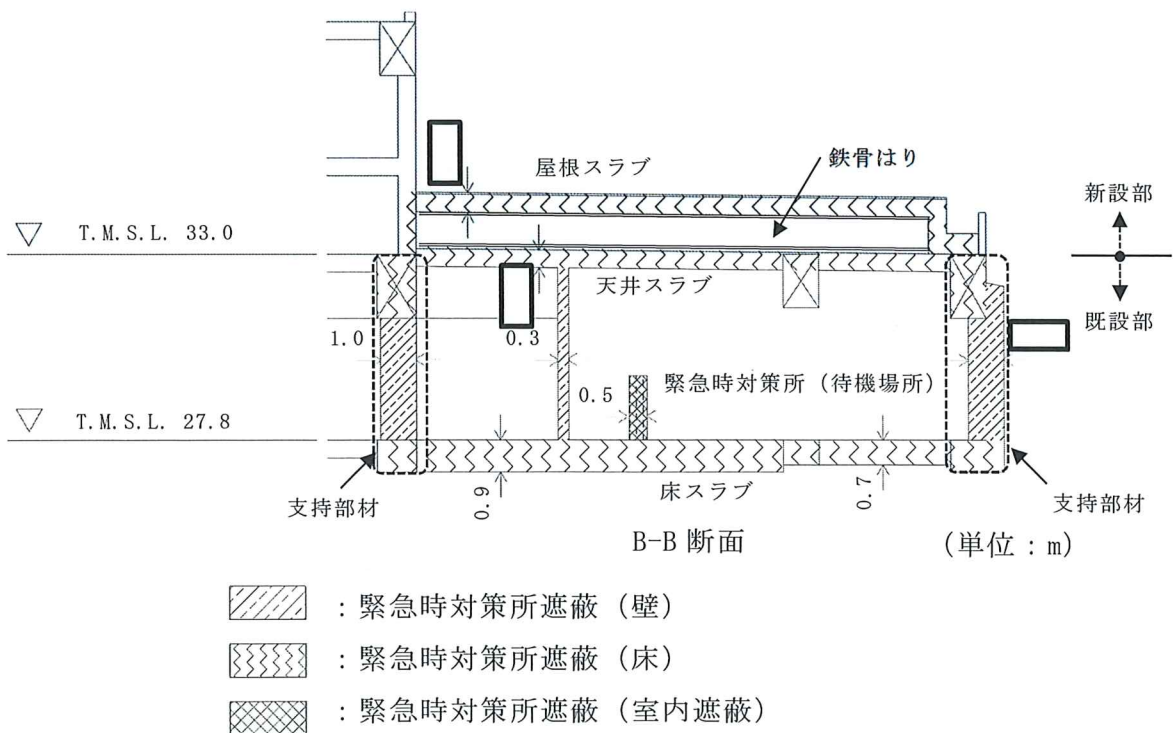


図 2-5 緊急時対策所遮蔽（待機場所）の概略断面図

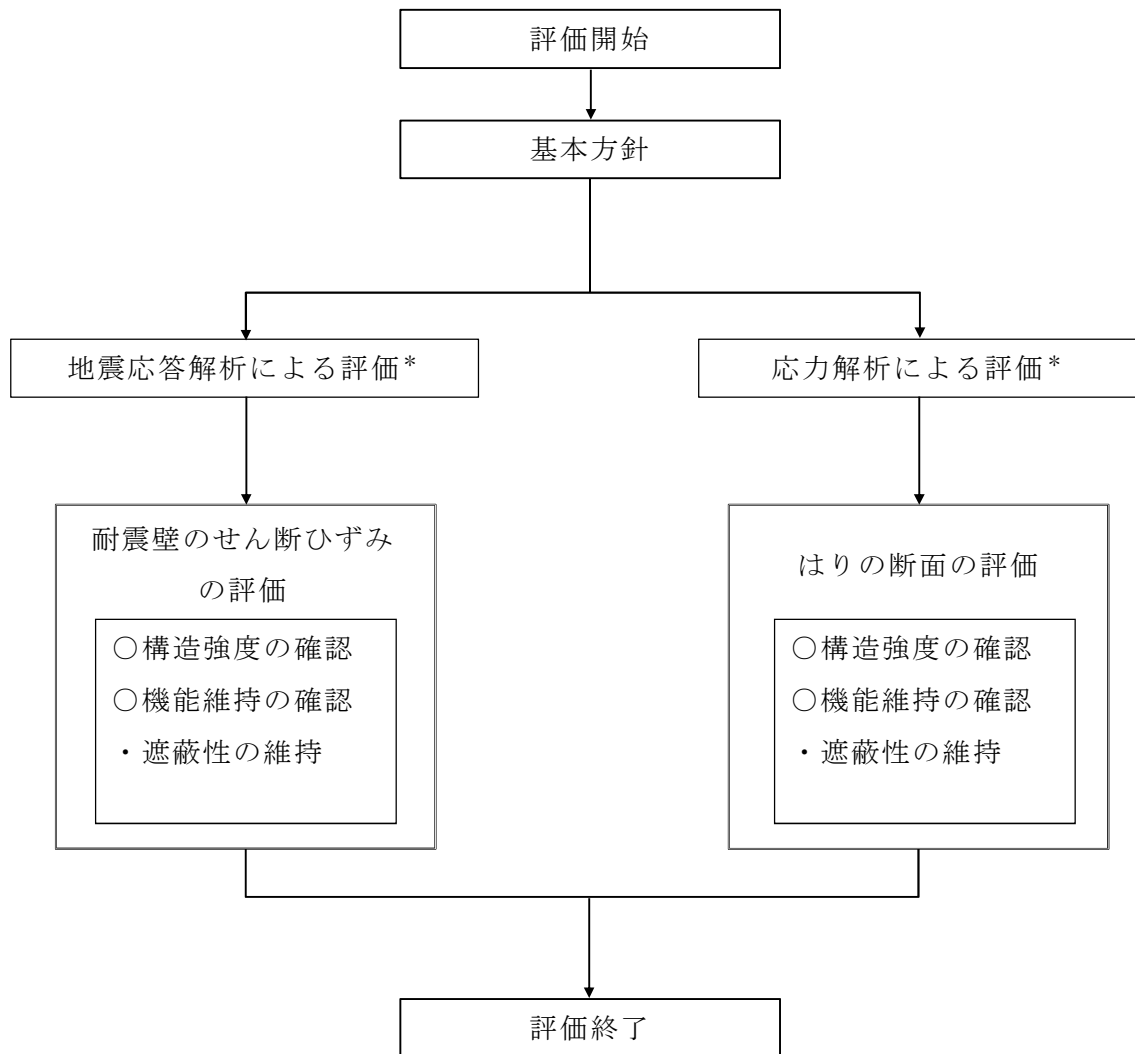
2.2 評価方針

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 _s | 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 ⁻³ |
| 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 _s | 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 ⁻³ |

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。

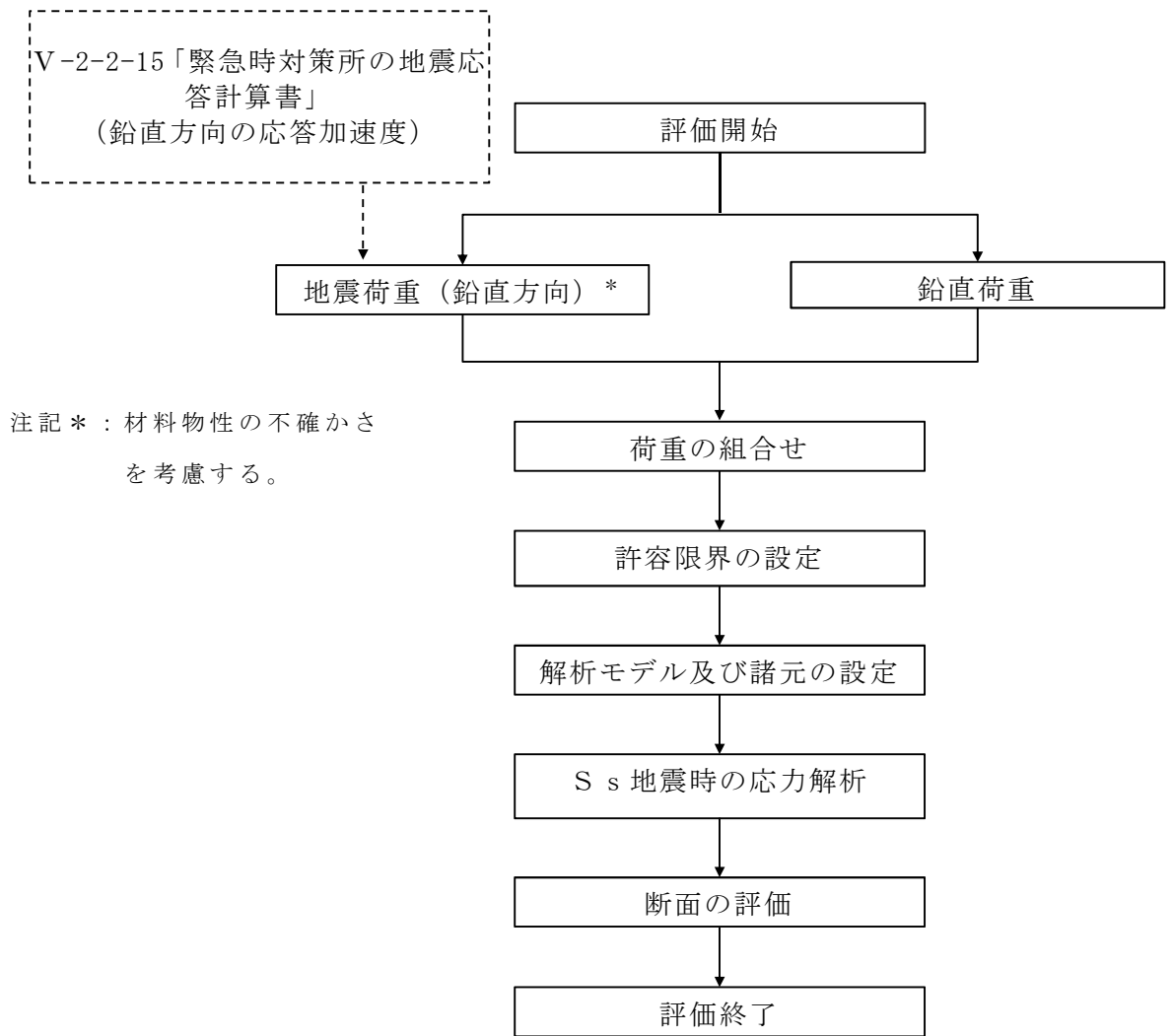
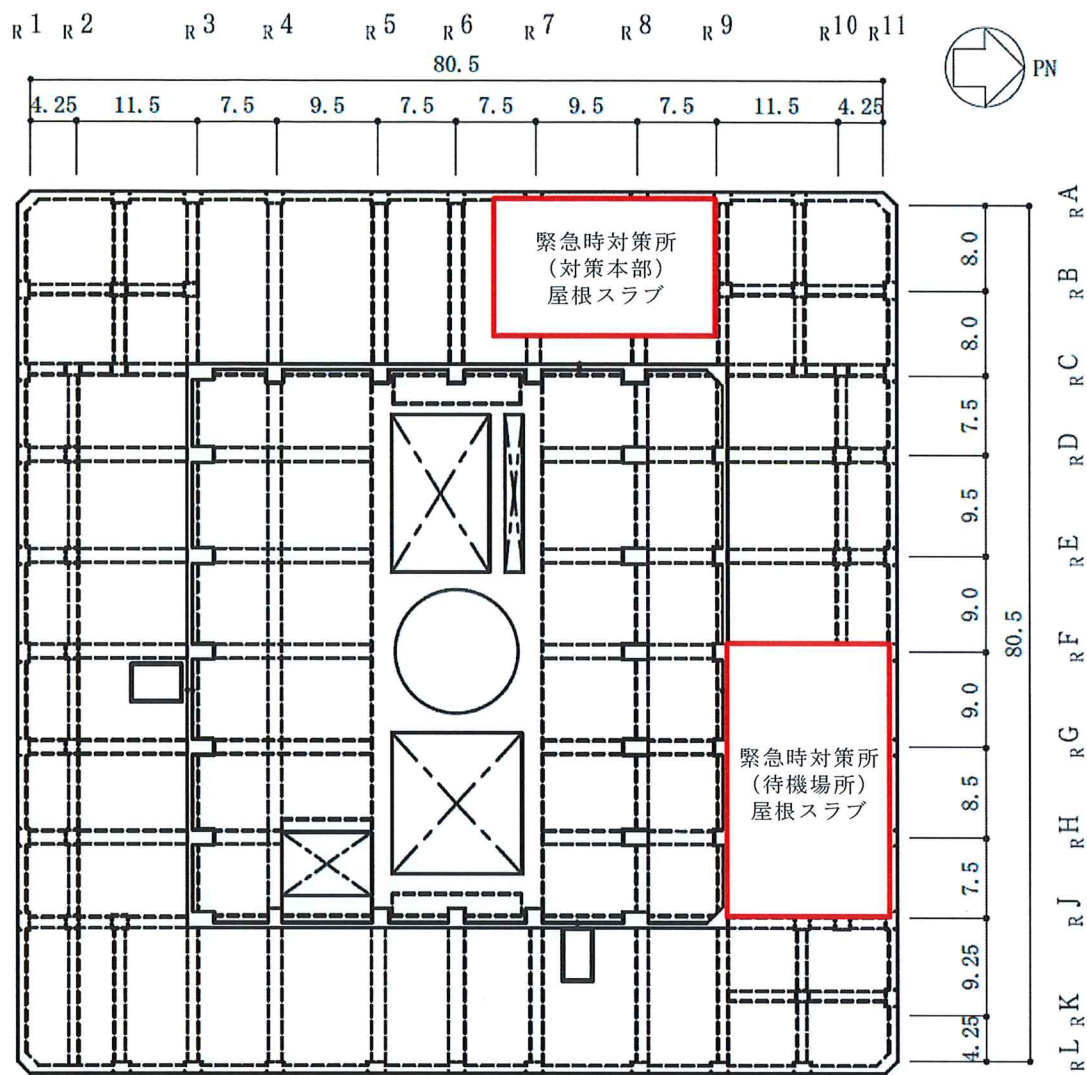
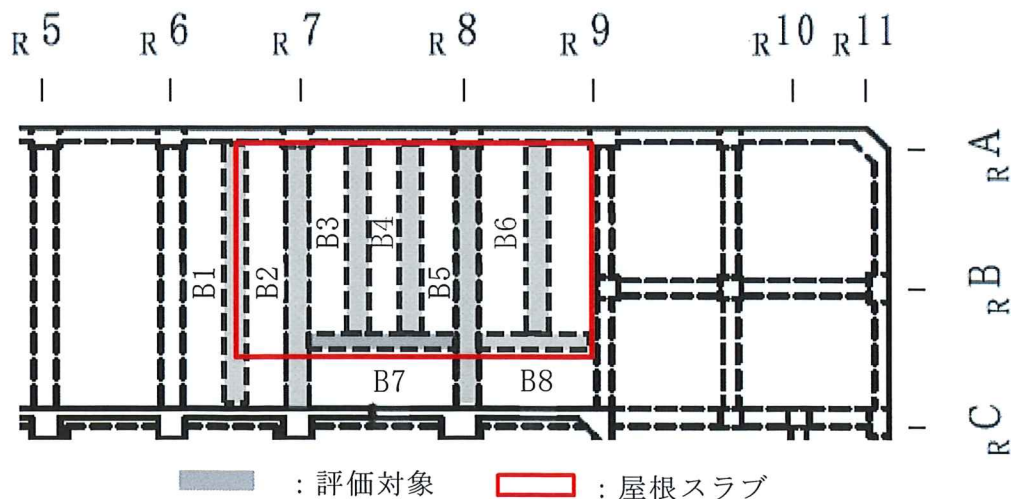


図 4-1 応力解析による評価フロー



----- : 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 ² /m) | 配筋 | 断面積 (mm ² /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 ²) |
|---------------------|---------------------------|
| 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 ²) |
|---------------------|---------------------------|
| 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 ²) |
|---------------------|---------------------------|
| 緊急時対策所 (対策本部) はり | 2.24 |

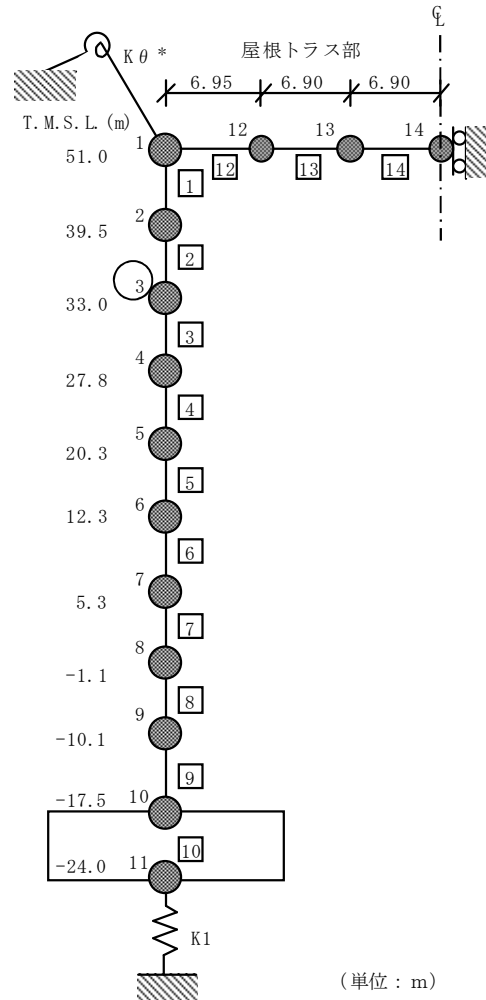
表4-5 屋根スラブの荷重

| 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_s)

鉛直地震力は、基準地震動 S_s 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_s 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_s 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 _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 (天井スラブ, 屋根スラブのみ考慮)

S_s : S_s 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 _s | 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 _s | 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の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/mm²)

| 設計基準強度 F _c | 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/mm²)

| 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。

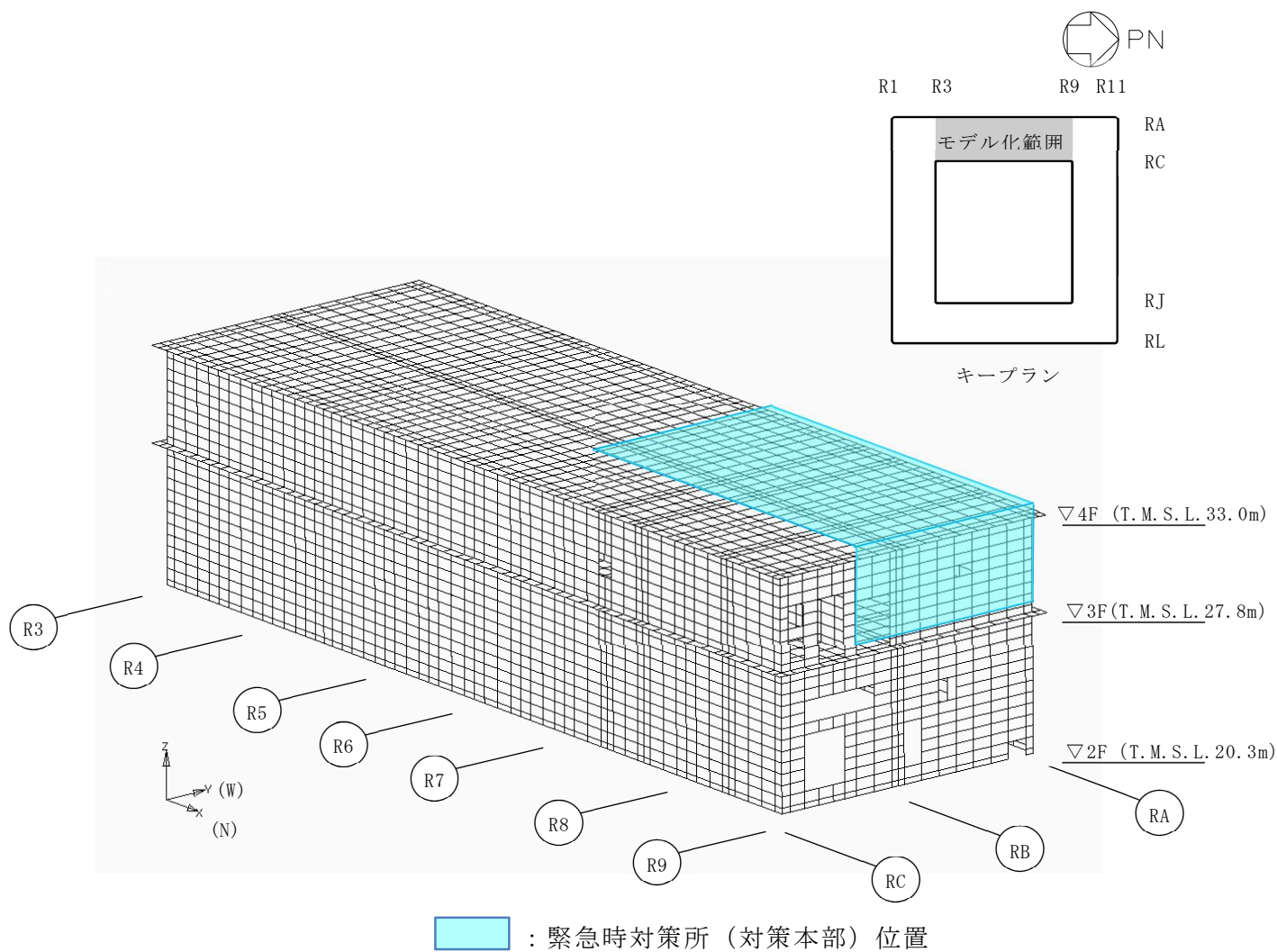


図 4-4 解析モデル図

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 (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) 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/mm²)

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。)

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

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

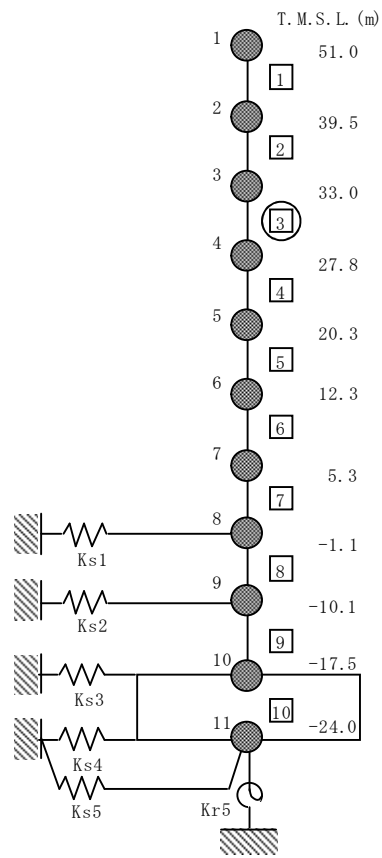
5.1 地震応答解析による評価結果

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 (2.0×10^{-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、 0.121×10^{-3} (部材番号 3, NS 方向, S_s-1 , ケース 5) であり、許容限界 (2.0×10^{-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_s 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_s）

| 部位 | | 発生曲げ モーメン ト M (kN・m) | 許容限界 M _A (kN・m) | 検定値 M/M _A | 発生 せん断力 Q (kN) | 許容限界 Q _A (kN) | 検定値 Q/Q _A |
|----|------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| 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。