

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-008-22
提出年月日	2023年1月16日

VI-2-8-4-5 緊急時対策所遮蔽の耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-8-4-5 R0

2023年1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。

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	9
2.4 適用規格・基準等	11
3. 地震応答解析による評価方法	12
4. 応力解析による評価方法	14
4.1 評価対象部位及び評価方針	14
4.1.1 屋根スラブ	14
4.2 荷重及び荷重の組合せ	17
4.2.1 屋根スラブ	17
4.3 許容限界	19
4.4 解析モデル及び諸元	21
4.4.1 屋根スラブ	21
4.5 応力評価方法	22
4.5.1 屋根スラブ	22
4.6 断面の評価方法	24
4.6.1 屋根スラブ	24
5. 地震応答解析による評価結果	26
5.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果	26
6. 応力解析による評価結果	29
6.1 屋根スラブの評価結果	29

1. 概要

本資料は、重大事故等が発生した場合において、緊急時対策所にとどまる要員の被ばくを低減するために設置する緊急時対策所遮蔽（以下「緊急時対策所遮蔽」という。）について、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、その評価は、地震応答解析による評価及び応力解析による評価により行う。

また、緊急時対策所は、VI-1-9-3-2「緊急時対策所の居住性に関する説明書」において、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第46条及び第76条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に基づく居住性の評価を行っており、緊急時対策所換気設備の処理対象となるバウンダリ（以下「緊急時対策所正圧化バウンダリ」という。）を定めている。

以下、緊急時対策所のうち緊急時対策所遮蔽と緊急時対策所正圧化バウンダリの耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所正圧化バウンダリは、緊急時対策所の一部を構成している。緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所正圧化バウンダリを含む緊急時対策所の設置位置を図 2-1 に示す。

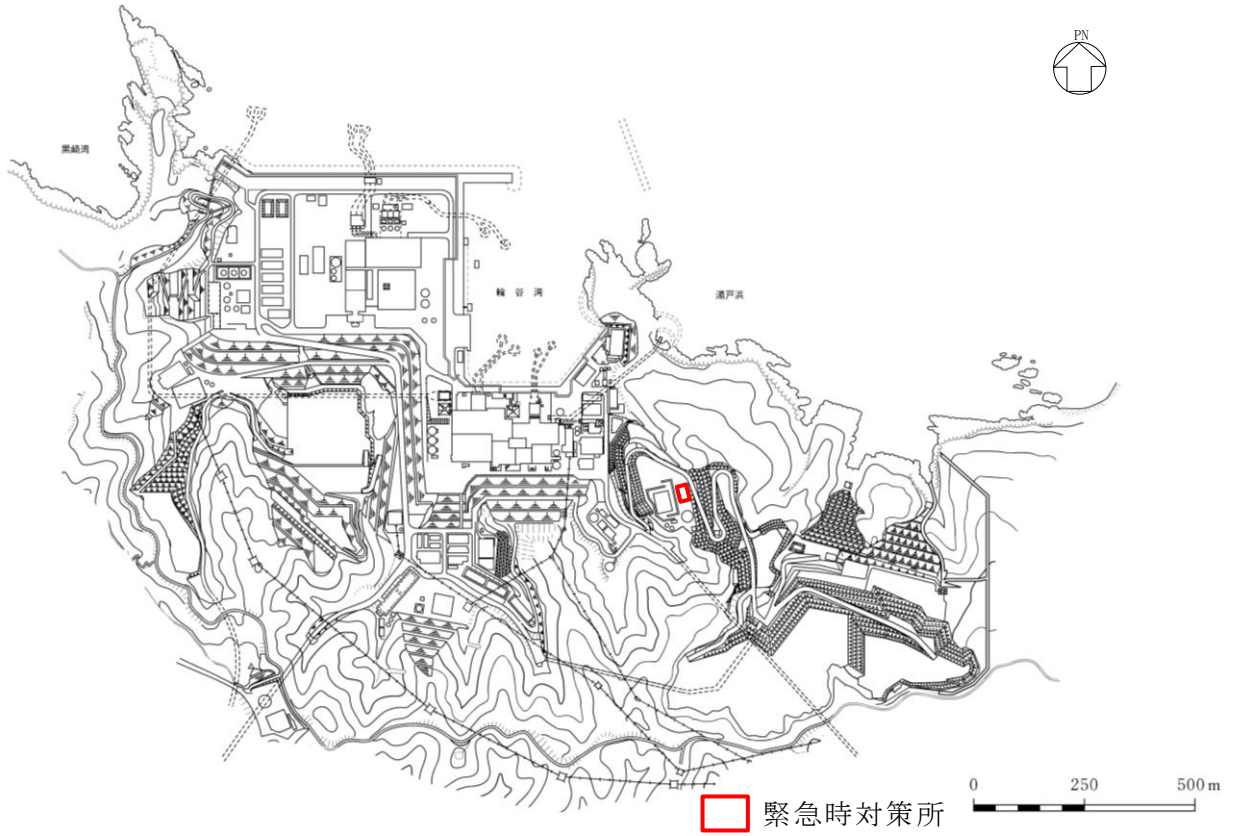


図 2-1 緊急時対策所の設置位置

2.2 構造概要

緊急時対策所は、地上1階建の鉄筋コンクリート造の建物である。

緊急時対策所の平面寸法は、30.5m*（NS）×23.0m*（EW）である。基礎スラブ底面からの高さは8.35mである。

緊急時対策所の基礎は厚さ2.0mのべた基礎で、岩盤に直接設置している。

建物に加わる地震時の水平力はすべて耐震壁に負担させている。

緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所正圧化バウンダリは、緊急時対策所を取り囲むコンクリート壁（耐震壁及び間仕切壁）及びコンクリートスラブ（屋根スラブ）で構成されており、壁の厚さは□cm～□cm、屋根スラブの厚さは□cmである。

緊急時対策所遮蔽の概略平面図及び概略断面図を図2-2及び図2-3に、緊急時対策所正圧化バウンダリの範囲を図2-4に示す。

注記*：建物寸法は壁外面寸法とする。

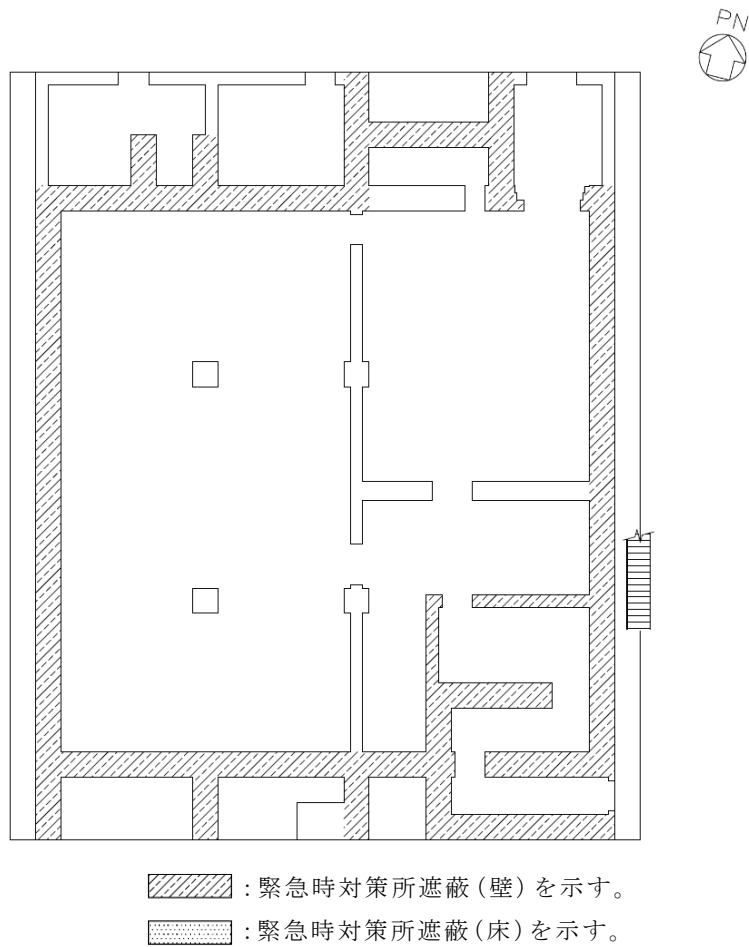
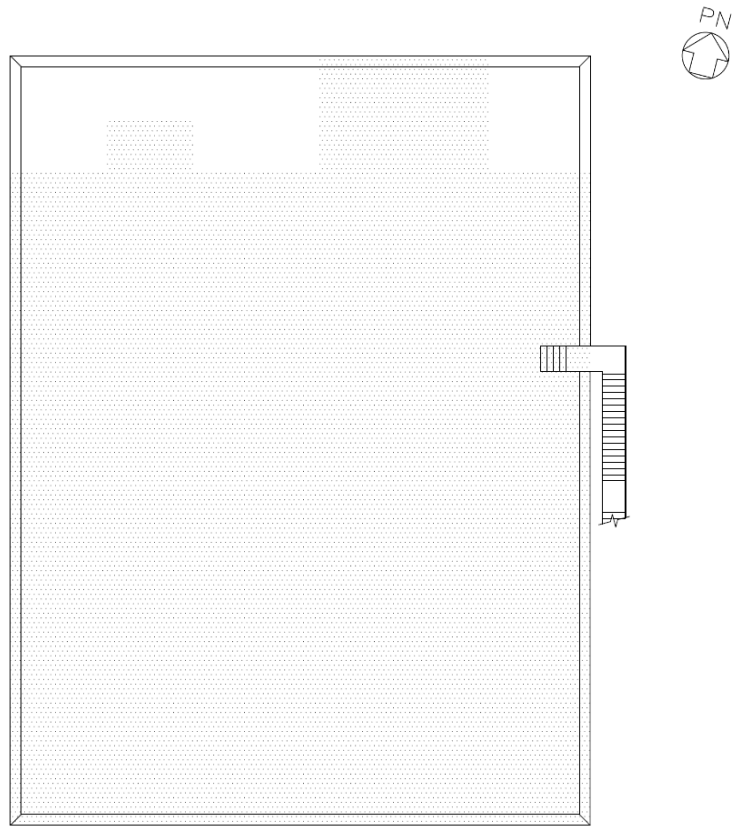


図 2-2(1) 緊急時対策所遮蔽の概略平面図(EL 50.25m*)

注記* : 「EL」は東京湾平均海面(T.P.)を基準としたレベルを示す。





-  : 緊急時対策所遮蔽(壁)を示す。
-  : 緊急時対策所遮蔽(床)を示す。

図 2-2(2) 緊急時対策所遮蔽の概略平面図 (EL 56.6m)

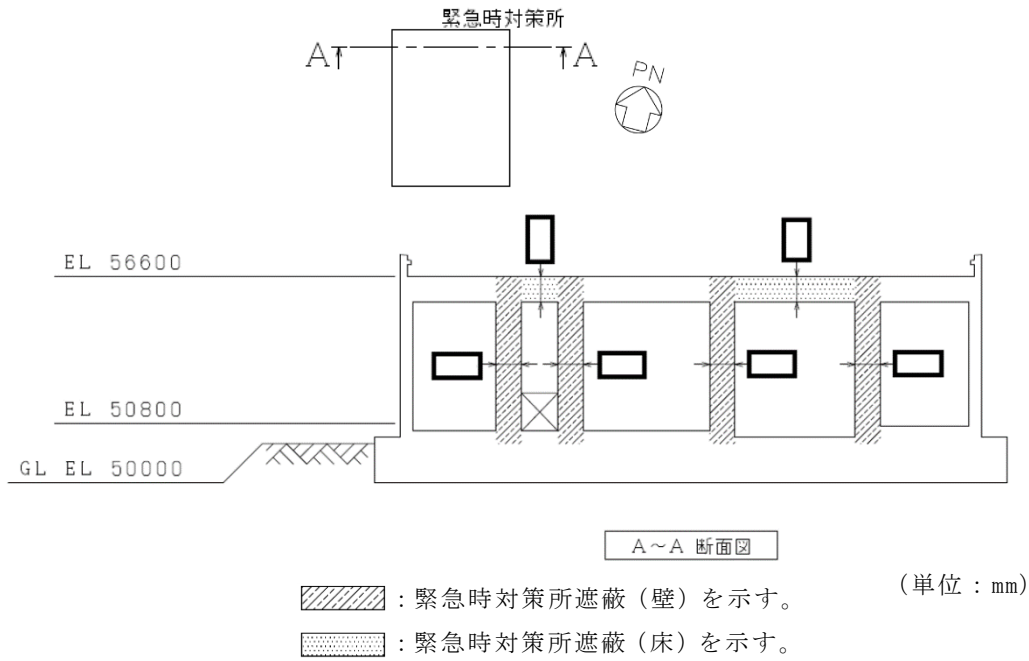


図 2-3(1) 緊急時対策所遮蔽の概略断面図 (A-A 断面, N S 方向)

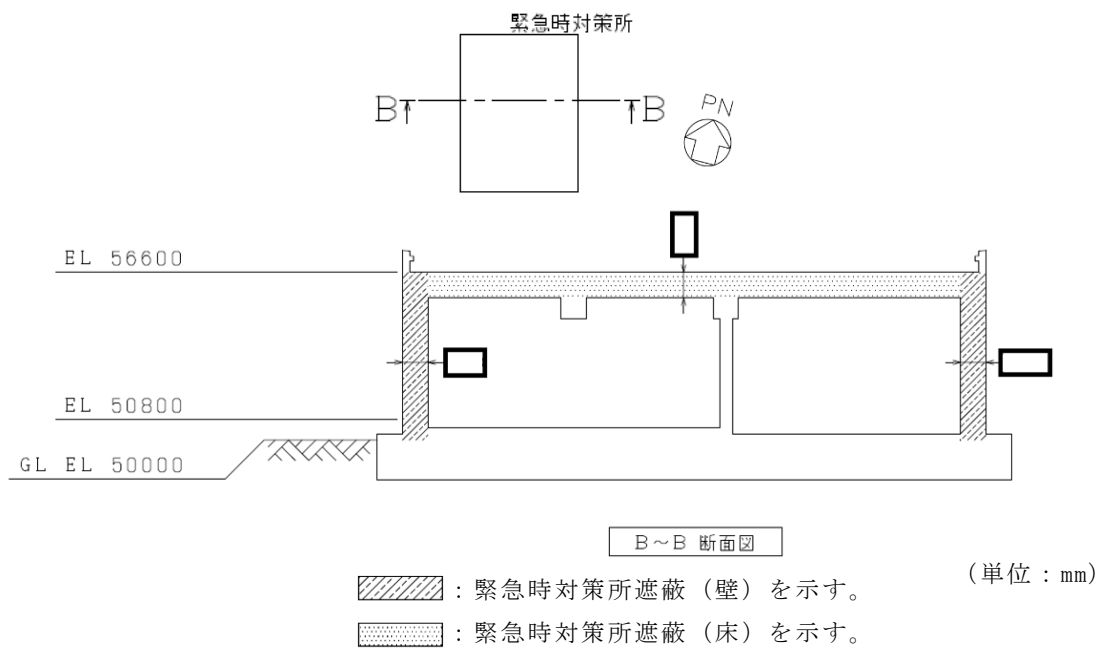
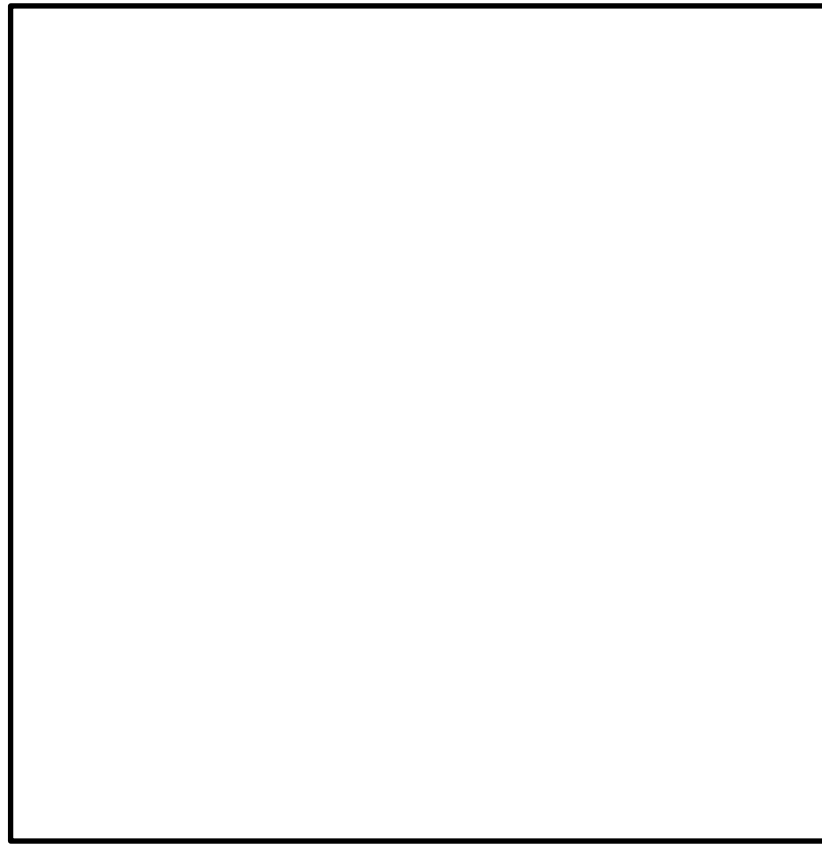
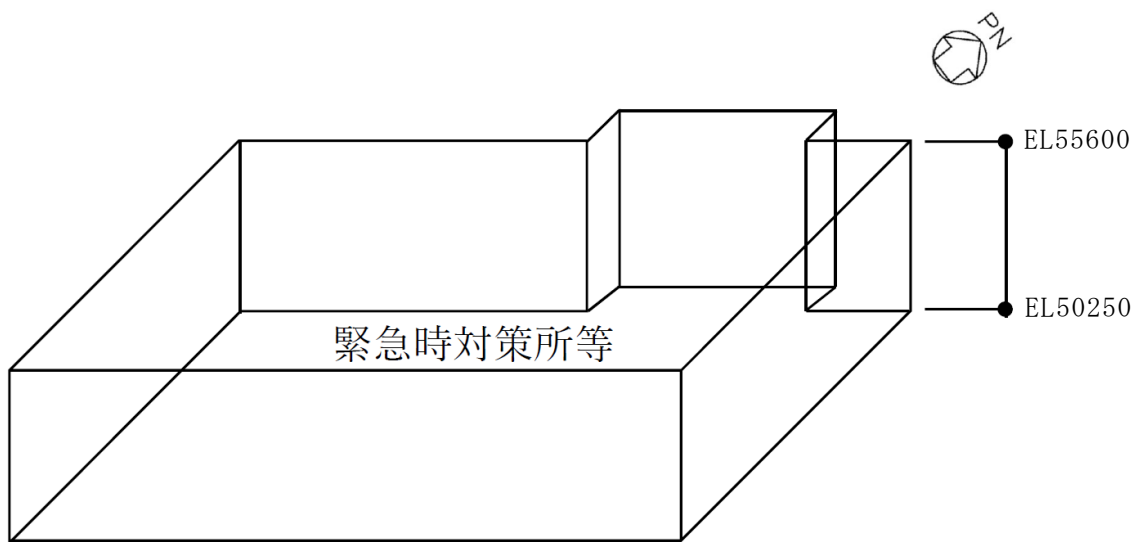


図 2-3(2) 緊急時対策所遮蔽の概略断面図（B - B 断面，EW 方向）



(a) 平面図 (EL 50.25m)



(b) 緊急時対策所正圧化バウンダリの概要

図 2-4 緊急時対策所正圧化バウンダリの範囲

2.3 評価方針

緊急時対策所遮蔽は、重大事故等対処施設においては「常設重大事故緩和設備」に分類される。また、緊急時対策所正圧化バウンダリは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すとおり、換気設備とあいまって、気密性維持の境界において気圧差を確保することで必要な気密性を維持する設計とする。なお、重大事故等対処施設においては「常設重大事故緩和設備」に分類される。

緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所正圧化バウンダリは、緊急時対策所を取り囲むコンクリート壁（耐震壁及び間仕切壁）及びコンクリートスラブ（屋根スラブ）で構成されており、重大事故等対処施設としての評価においては、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。

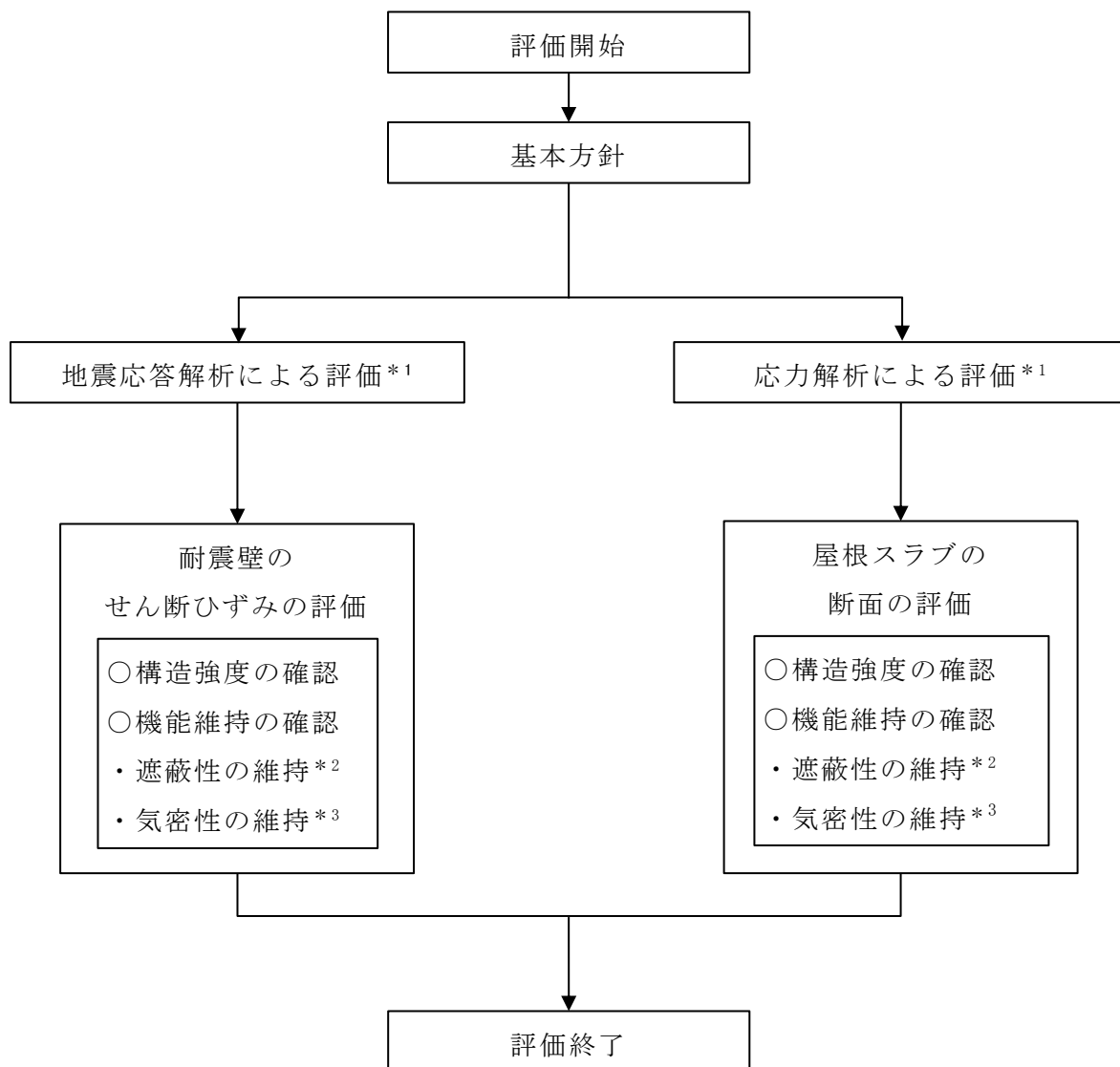
緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所正圧化バウンダリの評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析による評価においては、耐震壁についてせん断ひずみの評価を、応力解析による評価においては、屋根スラブについて断面の評価を行うことで、地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。

それぞれの評価は、VI-2-2-11「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。表 2-1 に材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを示す。

緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所正圧化バウンダリの評価フローを図 2-5 に示す。

表 2-1 材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	地盤物性	備考
ケース 1 (工認モデル)	設計基準強度	標準地盤	基本ケース
ケース 2 (地盤物性 + σ)	設計基準強度	標準地盤 + σ (+10%, +20%)	
ケース 3 (地盤物性 - σ)	設計基準強度	標準地盤 - σ (-10%, -20%)	
ケース 4 (積雪)	設計基準強度	標準地盤	積雪荷重との 組合せを考慮



注記*1：VI-2-2-11「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。

*2：緊急時対策所遮蔽について実施する。

*3：緊急時対策所正圧化バウンダリについて実施する。

図2-5 緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所正圧化バウンダリの評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・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)
- ・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)
- ・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)

3. 地震応答解析による評価方法

緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所正圧化バウンダリの構造強度については、VI-2-2-11「緊急時対策所の地震応答計算書」による結果に基づき、材料物性の不確かさを考慮した最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

また、遮蔽性及び気密性の維持については、VI-2-2-11「緊急時対策所の地震応答計算書」による結果に基づき、材料物性の不確かさを考慮した最大応答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緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所正圧化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
(重大事故等対処施設としての評価)

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*1	最大応答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を損なわないこと	基準地震動 S _s	耐震壁*1 (緊急時対策所遮蔽)	最大応答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
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	耐震壁*1 (緊急時対策所正圧化パウダリ)	最大応答せん断ひずみ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	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³ *2

注記*1：建物全体としては、耐震壁で地震力を全て負担する構造となっており、剛性の高い耐震壁の変形に追従する柱、はり、間仕切壁等の部材の層間変形は十分小さいこと、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく屋根スラブの変形が抑えられることから、耐震壁の最大応答せん断ひずみの許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

*2：緊急時対策所は、事故時に換気性能とあいまって居住性を維持できる気密性を有する設計とし、地震時においてもその機能を維持できる設計とする。

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

緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所正圧化バウンダリの応力解析による評価対象部位は、屋根スラブとし、弾性応力解析により評価を行う。

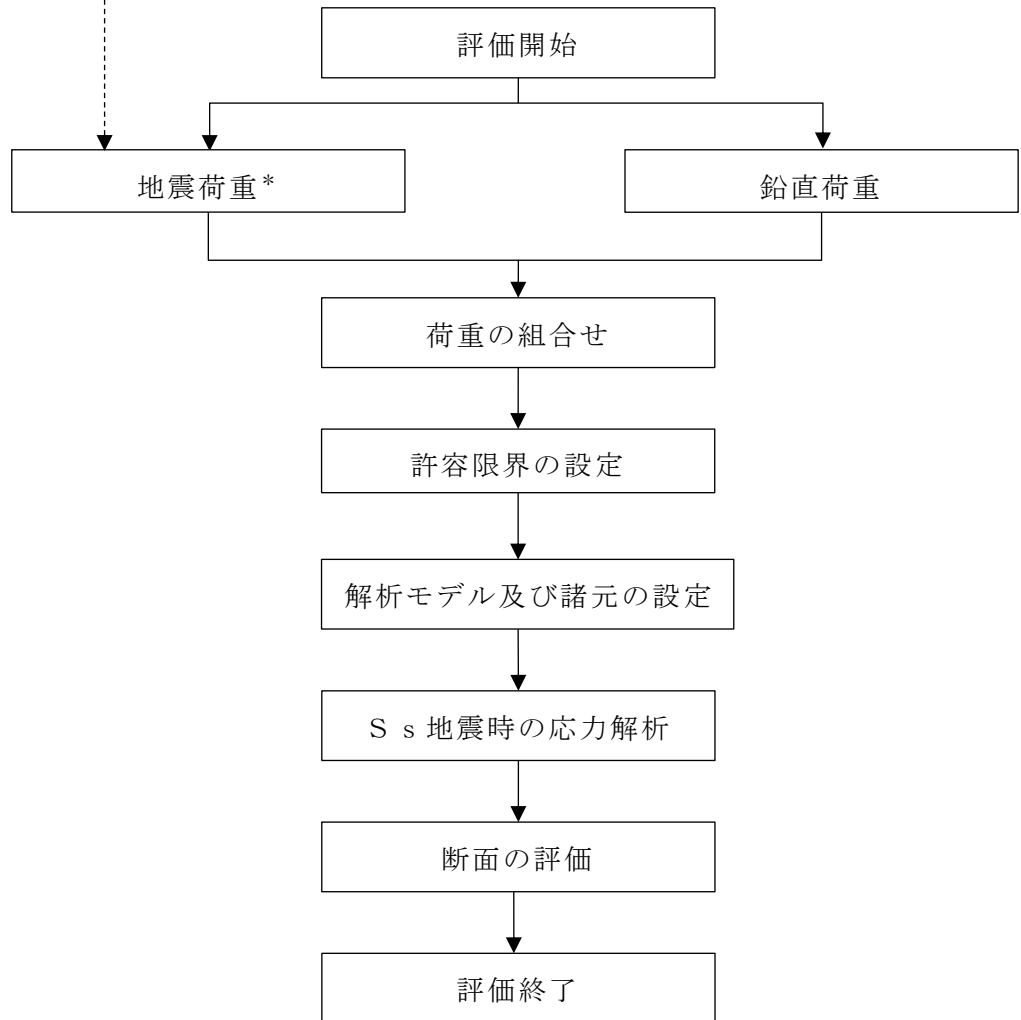
4.1.1 屋根スラブ

屋根スラブについては、鉛直方向の地震動の影響を受けやすいと考えられる。したがって、 S_s 地震時に対する評価は、基準地震動 S_s による鉛直震度を考慮した応力解析モデルを用いて、各部材の断面評価を行う。鉛直震度については、VI-2-2-11「緊急時対策所の地震応答計算書」により得られた基準地震動 S_s による結果を用いる。許容限界については、屋根スラブ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。）に基づき設定する。

評価については、各断面の検定値が最も大きい部材を選定して示す。

応力解析による評価フローを図 4-1 に、選定した部材を図 4-2 に示す。

VI-2-2-11 「緊急時対策所の地震応答計算書」



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 4-1 屋根スラブの応力解析による評価フロー

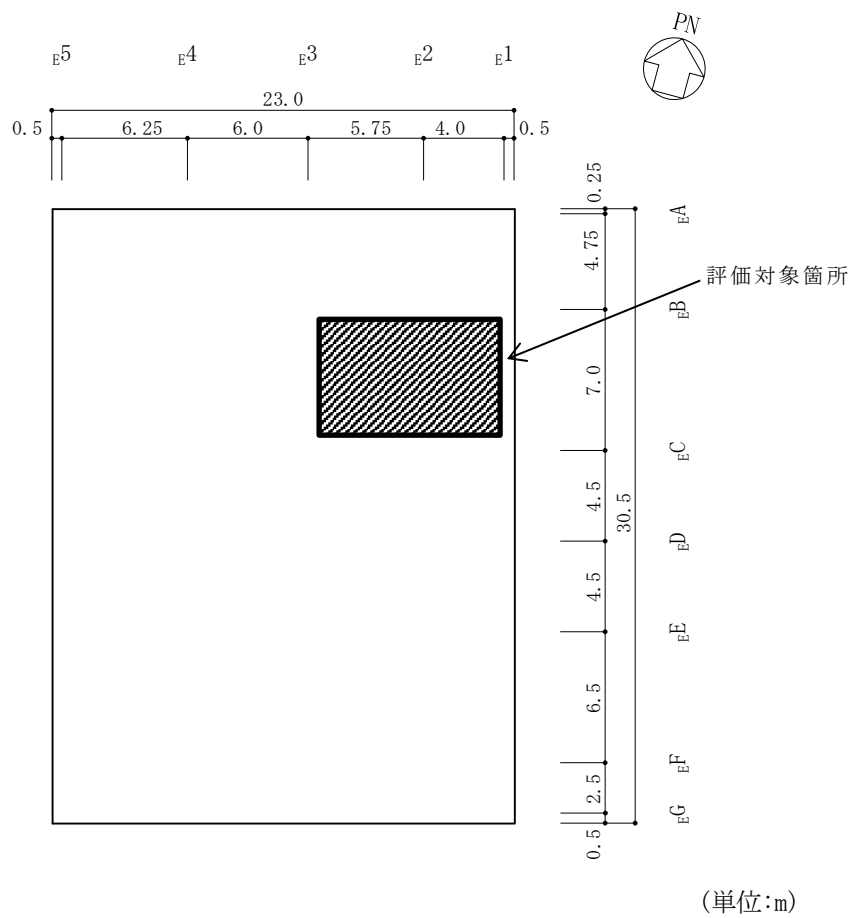


図 4-2 屋根スラブの評価を記載する部材の位置
(RF, EL 56.6m)

4.2 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。

4.2.1 屋根スラブ

(1) 荷重

a. 鉛直荷重

固定荷重（G）、積載荷重（P）及び積雪荷重（SNL）を表4-1に示す。積雪荷重（SNL）は、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとし、積雪量1cmごとに20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

表4-1 荷重一覧

(単位：kN/m²)

固定荷重（G）	31.8
積載荷重（P）	13.2
積雪荷重（SNL）	0.7

b. 地震荷重

地震荷重（S_s）は、基準地震動S_sに対する質点系モデルの屋上レベル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、鉛直震度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。

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-2 に示す。

表 4-2 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

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及び緊急時対策所正圧化バウンダリの許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 4-3 のとおり設定する。

また、表 4-4 及び表 4-5 にコンクリート及び鉄筋の短期許容応力度を示す。

表 4-3 応力解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

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	屋根スラブ	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	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度* ¹
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	屋根スラブ	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
気密性	換気性能とあいまって気密性を維持すること	基準地震動 S _s	屋根スラブ	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	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度* ²

注記*1：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。

*2：地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし、地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

表 4-4 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	圧縮	せん断
30.0	20.0	1.18

表 4-5 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
SD345	345	345

4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 屋根スラブ

(1) モデル化の基本方針

屋根スラブは、屋根スラブ周囲の境界条件を考慮して四辺固定版として評価する。

(2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-6 に示す。

表 4-6 使用材料の物性値

コンクリートの 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
30.0	2.44×10^4	0.2

4.5 応力評価方法

4.5.1 屋根スラブ

(1) 荷重ケース

S_s地震時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。

単独荷重の記号を以下に示す。鉛直震度算定のための最大鉛直加速度は、質点系モデルにより得られた屋根面の加速度のうち、最大の加速度を採用する。なお、対象とするスラブは十分な剛性（固有振動数 20Hz 以上）を有していることから、共振は考慮しない。最大鉛直加速度及び鉛直震度を表 4-7 に示す。

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

表 4-7 最大鉛直加速度及び鉛直震度

EL (m)	階	ケース	最大鉛直 加速度 (m/s ²)	鉛直震度
56.6	RF	S _s -D (ケース 3)	7.89	0.81

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-8 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 4-8 荷重の組合せケース（屋根スラブ）

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + S _{NL} + 1.0 · S _{UD}

(3) 応力算出方法

等分布荷重を受ける四辺固定版の曲げモーメント及びせん断力は下式により求める。

- ・短辺方向の端部曲げモーメント (M_{X1})

$$M_{X1} = -\frac{1}{12} \cdot w_X \cdot l_X^2$$

- ・短辺方向の中央部曲げモーメント (M_{X2})

$$M_{X2} = \frac{1}{18} \cdot w_X \cdot l_X^2$$

- ・短辺方向のせん断力 (Q_X)

$$Q_X = 0.52 \cdot w \cdot l_X$$

- ・長辺方向の端部曲げモーメント (M_{Y1})

$$M_{Y1} = -\frac{1}{24} \cdot w \cdot l_X^2$$

- ・長辺方向の中央部曲げモーメント (M_{Y2})

$$M_{Y2} = \frac{1}{36} \cdot w \cdot l_X^2$$

- ・長辺方向のせん断力 (Q_Y)

$$Q_Y = 0.46 \cdot w \cdot l_X$$

ここで、

l_X : 短辺有効スパン (m)

l_Y : 長辺有効スパン (m)

w : 等分布荷重 (kN/m²)

$$w_X = \frac{l_Y^4}{l_X^4 + l_Y^4} \cdot w$$

4.6 断面の評価方法

4.6.1 屋根スラブ

断面の評価は以下の方法で行う。

曲げモーメントによる鉄筋応力度及び面外せん断力を算定し、各許容限界を超えないことを確認する。

(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、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで、

σ_t : 鉄筋の引張応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

a_t : 引張鉄筋断面積 (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) 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、評価対象部位に生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

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

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 : 許容せん断力の割り増し係数

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

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

ここで、

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 4-4 に示す値 (N/mm²)
 f_t : せん断補強筋の短期許容引張応力度で, 表 4-5 に示す値 (N/mm²)
 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 (mm²)

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, 屋根スラブには, 面外せん断補強筋は入っていない。)

5. 地震応答解析による評価結果

5.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果

鉄筋コンクリート造耐震壁について、S_s地震時の最大応答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。

材料物性の不確かさを考慮した最大応答せん断ひずみは 0.10×10^{-3} (EW方向, S_s-D, ケース 4, 要素番号 1) であり, 許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。耐震壁の最大応答せん断ひずみ一覧を表 5-1 に示す。各表において, 最大応答せん断ひずみをせん断スケルトン曲線上にプロットした図を図 5-1 に示す。

なお, 気密性について, 各方向の耐震壁とも最大応答せん断ひずみはせん断スケルトン曲線上の第 1 折点を超えておらず, おおむね弾性状態にとどまることから気密性能を維持することを確認した。

表 5-1(1) 最大応答せん断ひずみ (N S 方向)

EL (m)	要素 番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
56.6~50.25	1	0.08	2.0

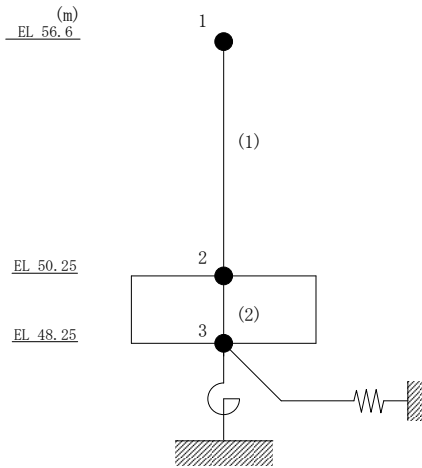
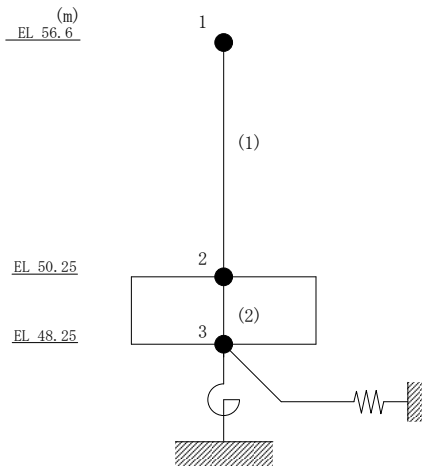
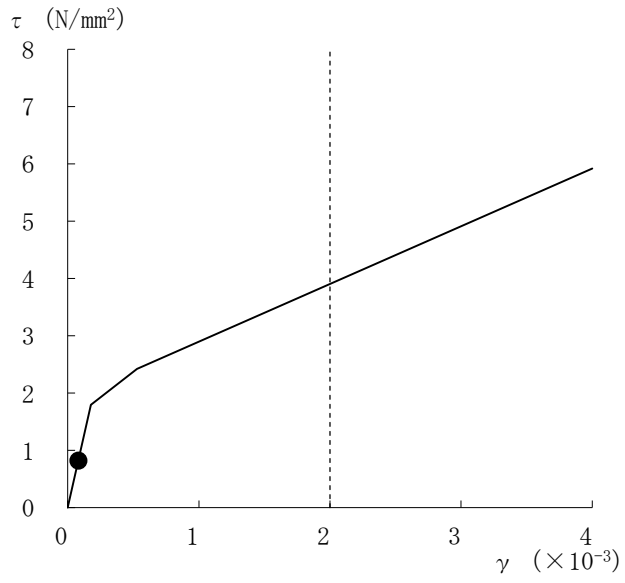


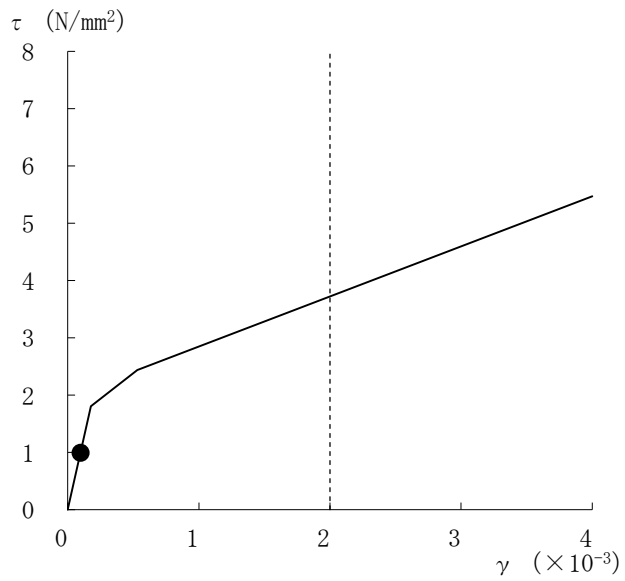
表 5-1(2) 最大応答せん断ひずみ (E W 方向)

EL (m)	要素 番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
56.6~50.25	1	0.10	2.0





(a) NS方向 (S_s-D, ケース 4, 要素番号 1)



(b) EW方向 (S_s-D, ケース 4, 要素番号 1)

図 5-1 せん断スケルトン曲線上の最大応答せん断ひずみ

6. 応力解析による評価結果

6.1 屋根スラブの評価結果

屋根スラブの評価結果を表 6-1 に示す。

屋根スラブについては，S s 地震時において，曲げモーメントに対する鉄筋応力度が許容限界を超えないこと及び発生する面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。

表 6-1 評価結果（屋根スラブ）

方向		短辺（N S）方向	長辺（E W）方向
EL (m)		56.6	
厚さ t (mm)		□	
有効せい d (mm)		□	□
配筋 (鉄筋断面積)	上ば筋	D25@200 (2535 mm ² /m)	D25@200 (2535 mm ² /m)
	下ば筋	D25@200 (2535 mm ² /m)	D25@200 (2535 mm ² /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	201.9	123.3
	鉄筋応力度 σ_t (N/mm ²)	101	62
	許容限界 (N/mm ²)	345	345
	検定値	0.30	0.18
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	256.5	226.9
	せん断スパン比による 割増し係数 α	2.0	2.0
	許容限界 (kN/m)	1858.5	1858.5
	検定値	0.14	0.13
判定		可	可