

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0116_改1
提出年月日	2021年6月14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

02 ③ VI-2-8-4-5 R2

2021年 6月
東北電力株式会社

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	11
2.4 適用規格・基準等	14
3. 地震応答解析による評価方法	15
4. 応力解析による評価方法	16
4.1 評価対象部位及び評価方針	16
4.1.1 床スラブ及び屋根スラブ	16
4.2 荷重及び荷重の組合せ	21
4.2.1 床スラブ及び屋根スラブ	21
4.3 許容限界	24
4.4 解析モデル及び諸元	25
4.4.1 床スラブ及び屋根スラブ	25
4.5 評価方法	27
4.5.1 床スラブ及び屋根スラブの応力解析方法	27
4.5.2 床スラブ及び屋根スラブの断面評価方法	30
5. 評価結果	31
5.1 地震応答解析による評価結果	31
5.2 応力解析による評価結果	34

別紙1 緊急時対策所の気密性についての計算書

1. 概要

本資料は、重大事故等が発生した場合において、緊急時対策建屋内緊急時対策所（以下「緊急時対策所」という。）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、添付書類「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、添付書類「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付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付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バウンダリは、緊急時対策建屋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バウンダリを含む緊急時対策建屋の設置位置を図2-1に示す。

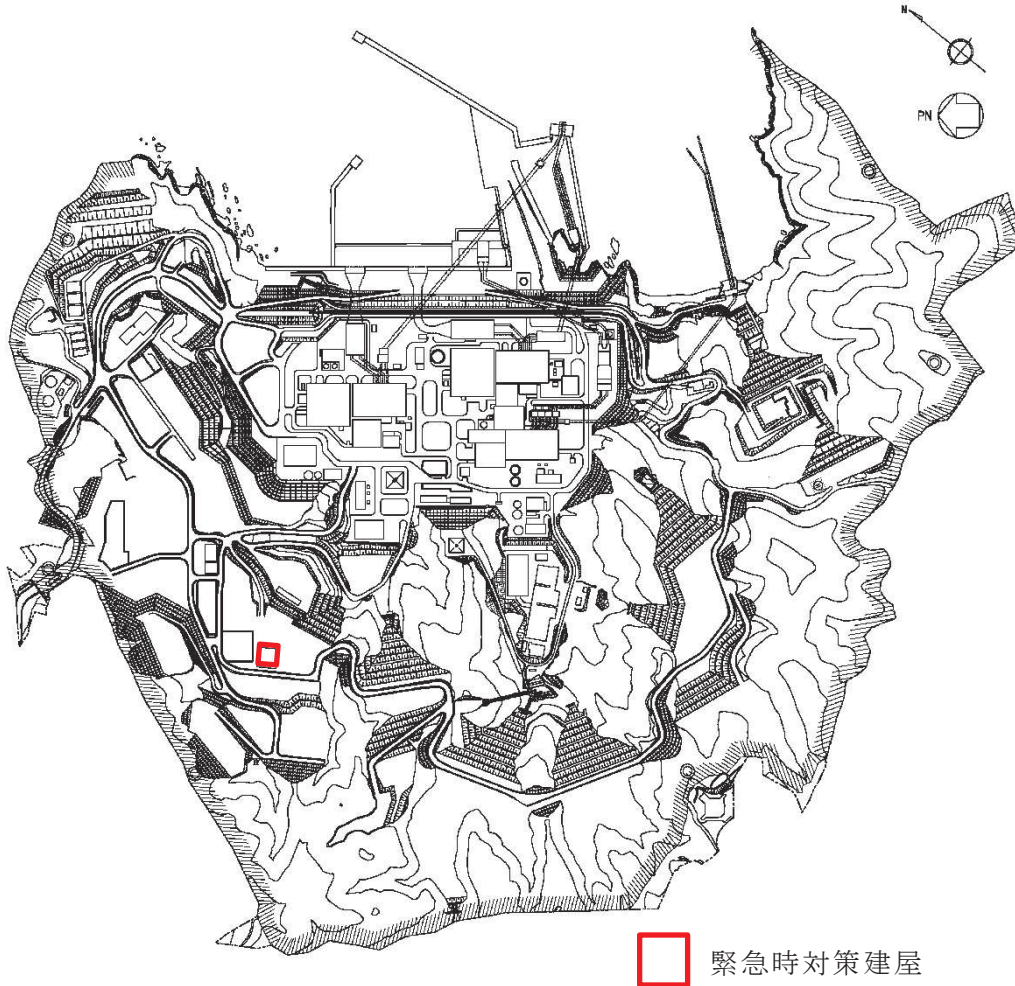


図2-1 緊急時対策建屋の設置位置

2.2 構造概要

緊急時対策建屋は、地下2階、地上2階建てで、基礎底面からの高さは30.4m（地上高さは13.9m）であり、平面は36.4m(NS方向)×36.4m(EW方向)^{*1}の正方形である。建屋の構造は鉄筋コンクリート造である。

緊急時対策建屋の基礎は、厚さ6.0mで、はね出しを有し、平面は47.0m(NS方向)×47.0m(EW方向)の正方形であり、支持地盤である砂岩に岩着している。

緊急時対策建屋の主たる耐震要素は、建屋外壁の耐震壁で、基礎版から屋上階床面まで連続しており、壁厚は0.5m～2.2mである。建屋は全体として非常に剛性が高く、地震時の水平力はすべてこれらの耐震壁で負担する。

緊急時対策所は地下2階(O.P.^{*2}51.5m～O.P.57.3m)に位置する。平面規模は、25.25m(NS方向)×25.25m(EW方向)である。緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所バウンダリは、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(床スラブ及び屋根スラブ)で構成されており、壁の厚さは ，床スラブの厚さは 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、緊急時対策所バウンダリの範囲を図2-4に示す。

注記*1：建屋寸法は壁外面押えとする

*2：O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面(T.P.)-0.74mである。

02 ③ VI-2-8-4-5 R2

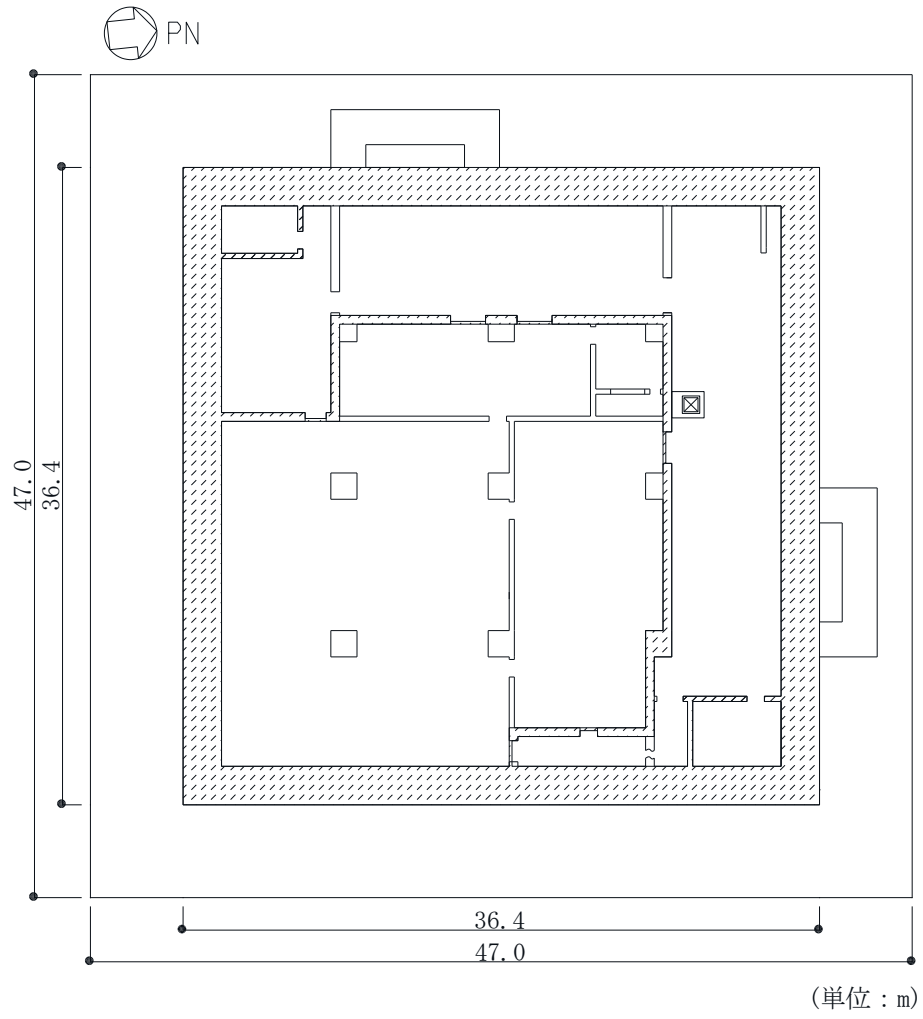
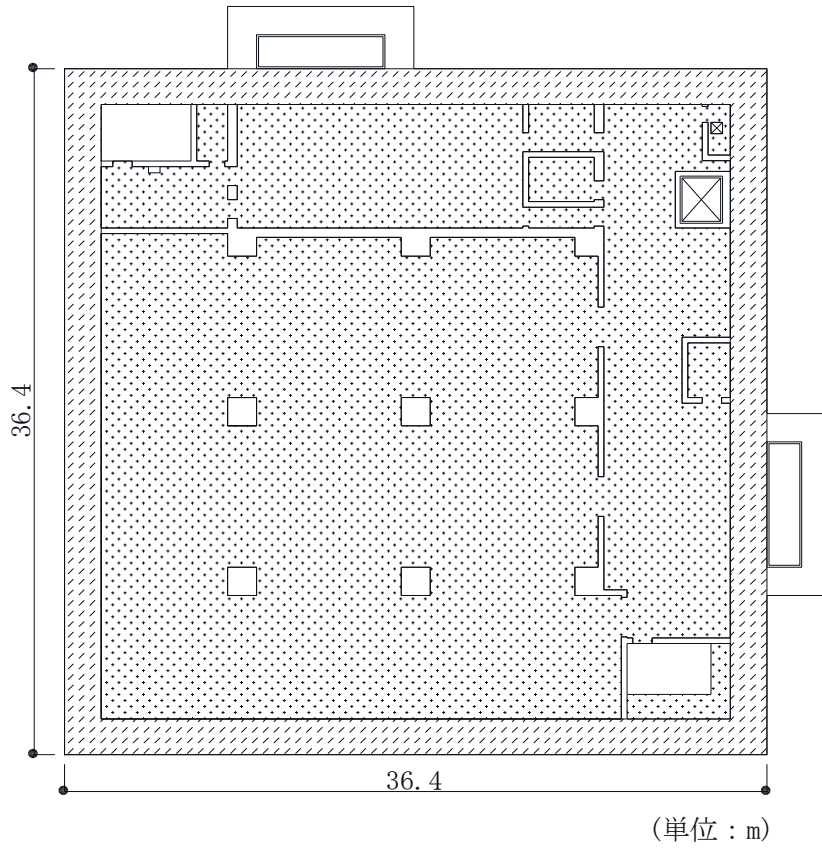


図 2-2(1) 緊急時対策所遮蔽の概略平面図 (0. P. 51. 5m)





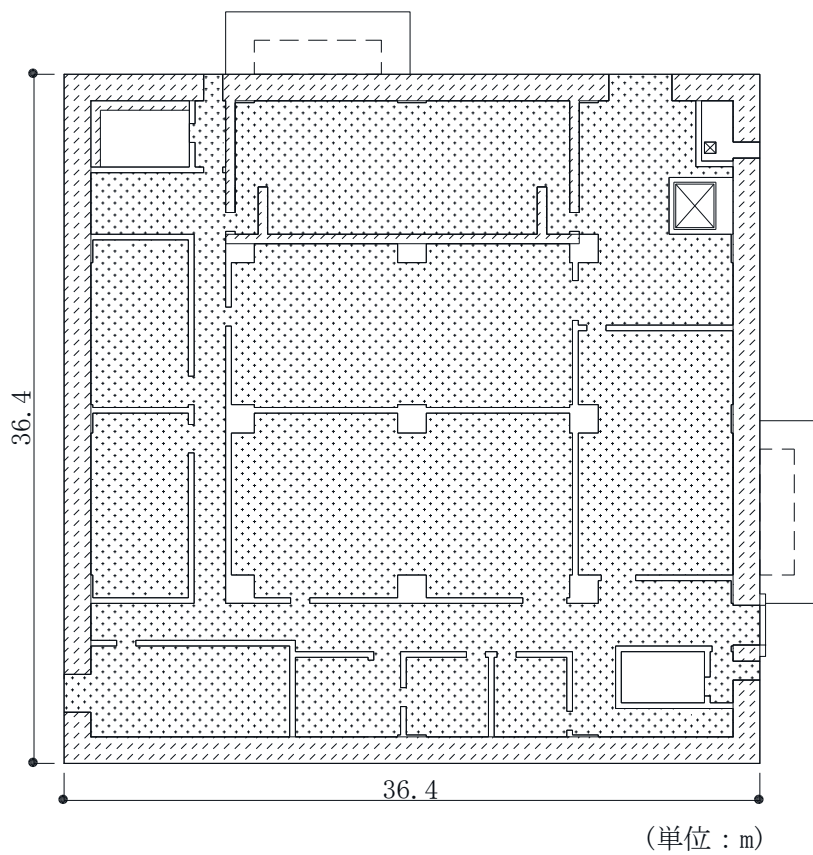
-  : 緊急時対策所遮蔽 (壁)
-  : 緊急時対策所遮蔽 (床)

図 2-2(2) 緊急時対策所遮蔽の概略平面図 (O.P. 57.3m)





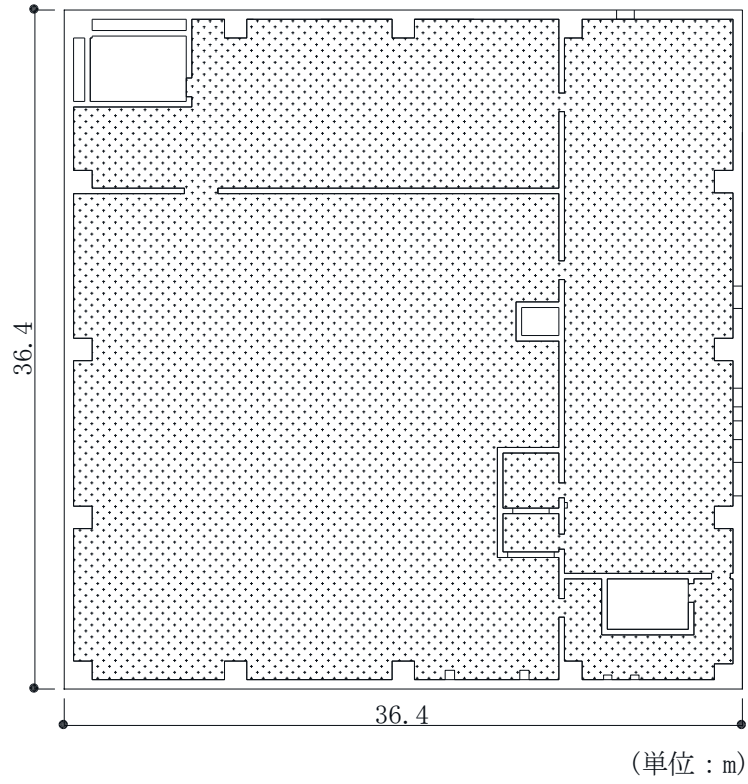
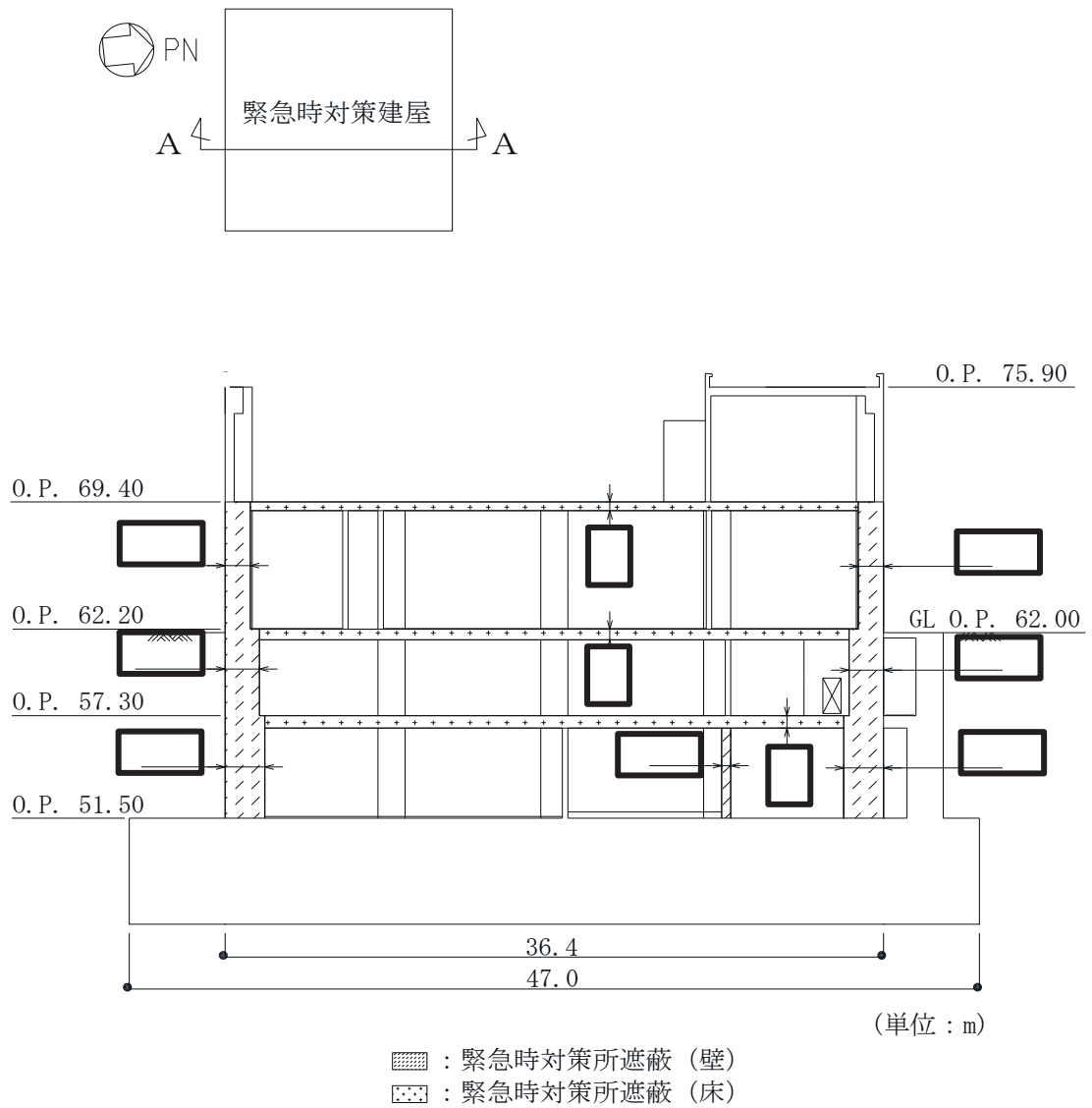
-  : 緊急時対策所遮蔽 (壁)
-  : 緊急時対策所遮蔽 (床)

図 2-2(3) 緊急時対策所遮蔽の概略平面図 (0. P. 62. 2m)



☐ : 緊急時対策所遮蔽 (床)

図 2-2(4) 緊急時対策所遮蔽の概略平面図 (0. P. 69. 4m)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

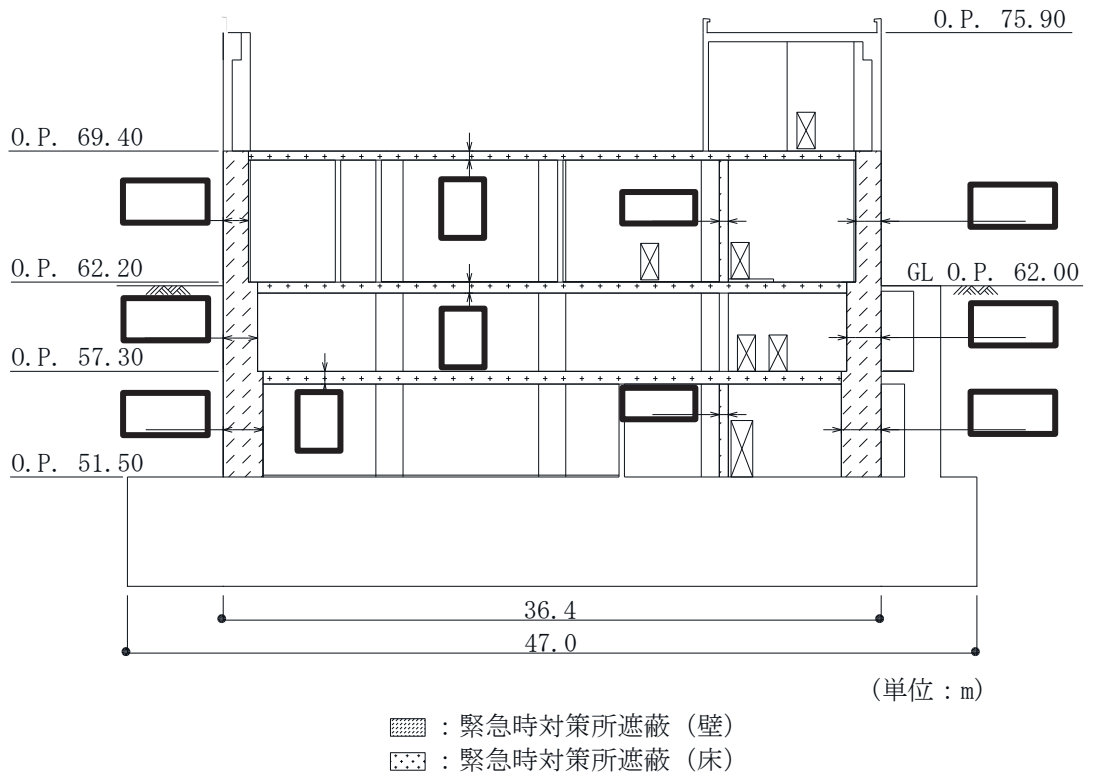
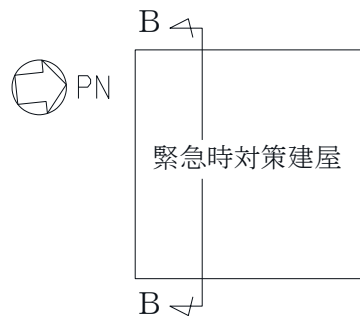
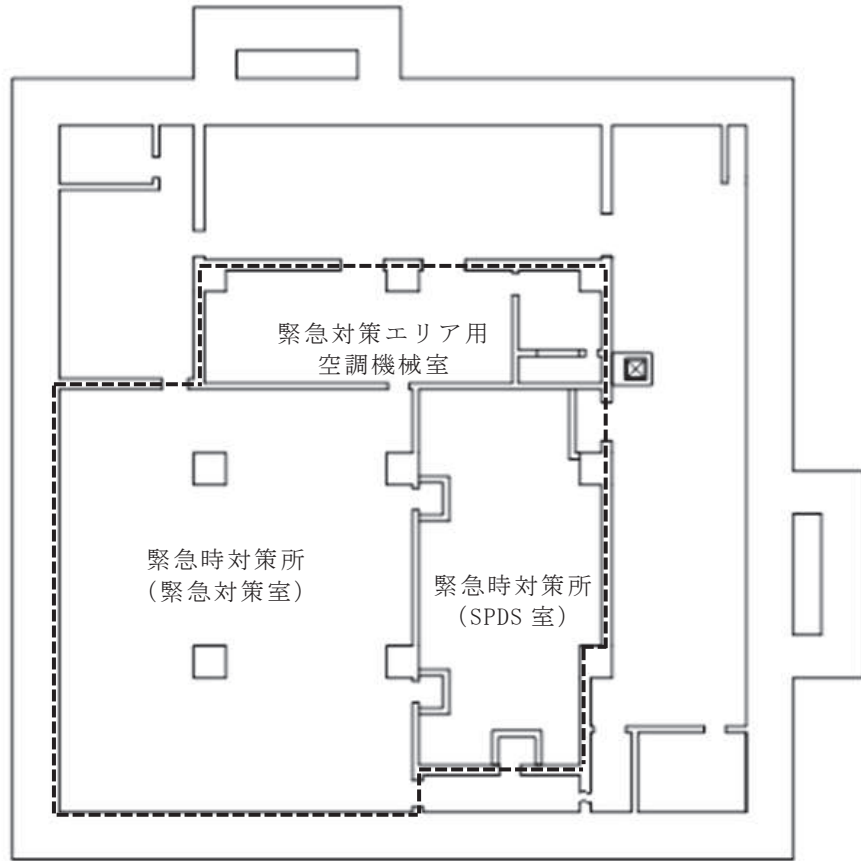


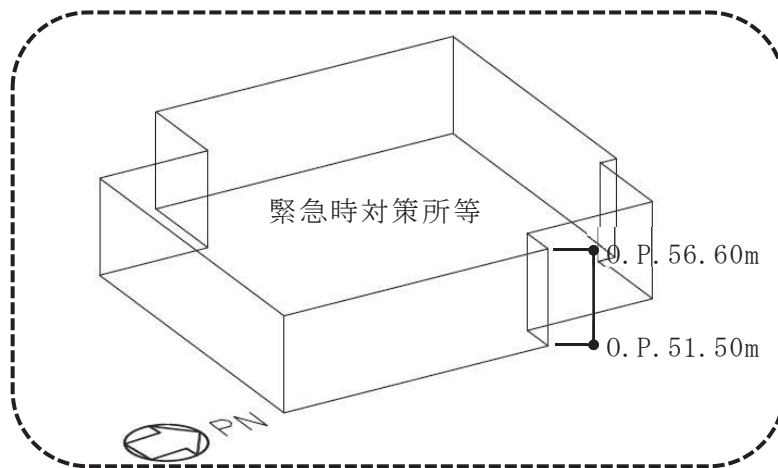
図 2-3(2) 緊急時対策所遮蔽の概略断面図 (B-B 断面 EW 方向)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



----- : 緊急時対策所バウンダリ

(a) 平面図 (O.P. 51.50m)



----- : 評価対象範囲

(b) 緊急時対策所バウンダリの概要

図 2-4 緊急時対策所バウンダリの範囲

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、緊急時対策所バウンダリは、添付書類「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（床スラブ及び屋根スラブ）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。

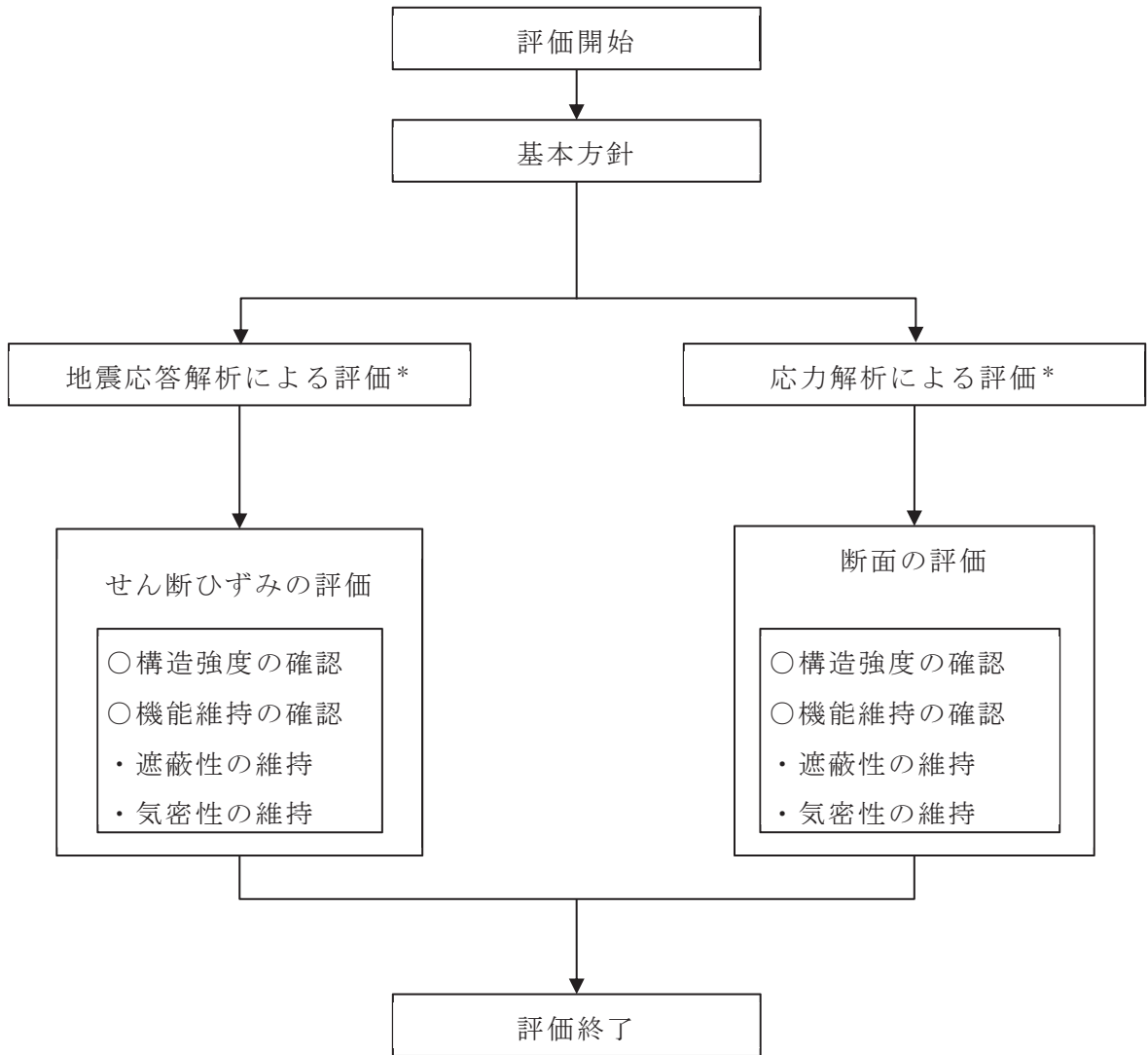
緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所バウンダリの評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、「3. 地震応答解析による評価」においては、耐震壁についてせん断ひずみの評価を、「4. 応力解析による評価」においては、床スラブ及び屋根スラブについて断面の評価を行うことで、地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。

それぞれの評価は、「VI-2-2-23 緊急時対策建屋の地震応答計算書」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地震応答解析ケース

ケース名	建屋減衰	コンクリート剛性		地盤のせん断波速度
		初期剛性	終局耐力	
ケース 1 (基本ケース)	5%	設計基準強度に基づき JEAG 式で評価		平均値
ケース 2	同上	同上		+ σ 相当
ケース 3	同上	同上		- σ 相当
ケース 4 (水平のみ)	同上	基本ケースの 0.8 倍	設計基準強度に基づき JEAG 式で評価	平均値
ケース 5 (水平のみ)	同上	同上	同上	+ σ 相当
ケース 6 (水平のみ)	同上	同上	同上	- σ 相当



注記*：添付資料「VI-2-2-23 緊急時対策建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-5 緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所バウンダリの評価フロー

2.4 適用規格・基準等

緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所バウンダリの評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 1999 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-許容応力度設計法-
- ・ 日本建築学会 2005 年 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（以下「RC-N規準」という。）
- ・ 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）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- ・ 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）（以下「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」という。）

3. 地震応答解析による評価方法

緊急時対策所遮蔽の構造強度については、添付書類「VI-2-2-23 緊急時対策建屋の地震応答計算書」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、添付書類「VI-2-2-23 緊急時対策建屋の地震応答計算書」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バウンダリの許容限界は、添付書類「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
—	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	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	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 : 建屋全体としては、地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従することと、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床スラブの面内変形が抑えられるため、各層の耐震壁が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。耐震壁の気密性に対する許容限界の適用性は、「別紙 1 緊急時対策所の気密性に関する計算書」に示す。

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バウンダリの応力解析による評価対象部位は、緊急時対策所遮蔽及び緊急時対策所バウンダリを構成する床スラブ及び屋根スラブとし、弾性応力解析により評価を行う。弾性応力解析にあたっては、添付書類「VI-2-2-24 緊急時対策建屋の耐震性についての計算書」による結果を用いて、荷重の組合せを行う。

4.1.1 床スラブ及び屋根スラブ

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、「RC-N規準」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

評価については、各断面についてスラブスパン、スラブに作用する荷重等を考慮して、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、選定した部材の位置を図4-2に示す。

なお、水平方向の地震荷重に対する評価は、建屋全体が剛性の高い構造となっており、耐震壁間での相対変形が小さく、スラブの面内変形が抑えられることから、地震応答解析による評価に含まれる。

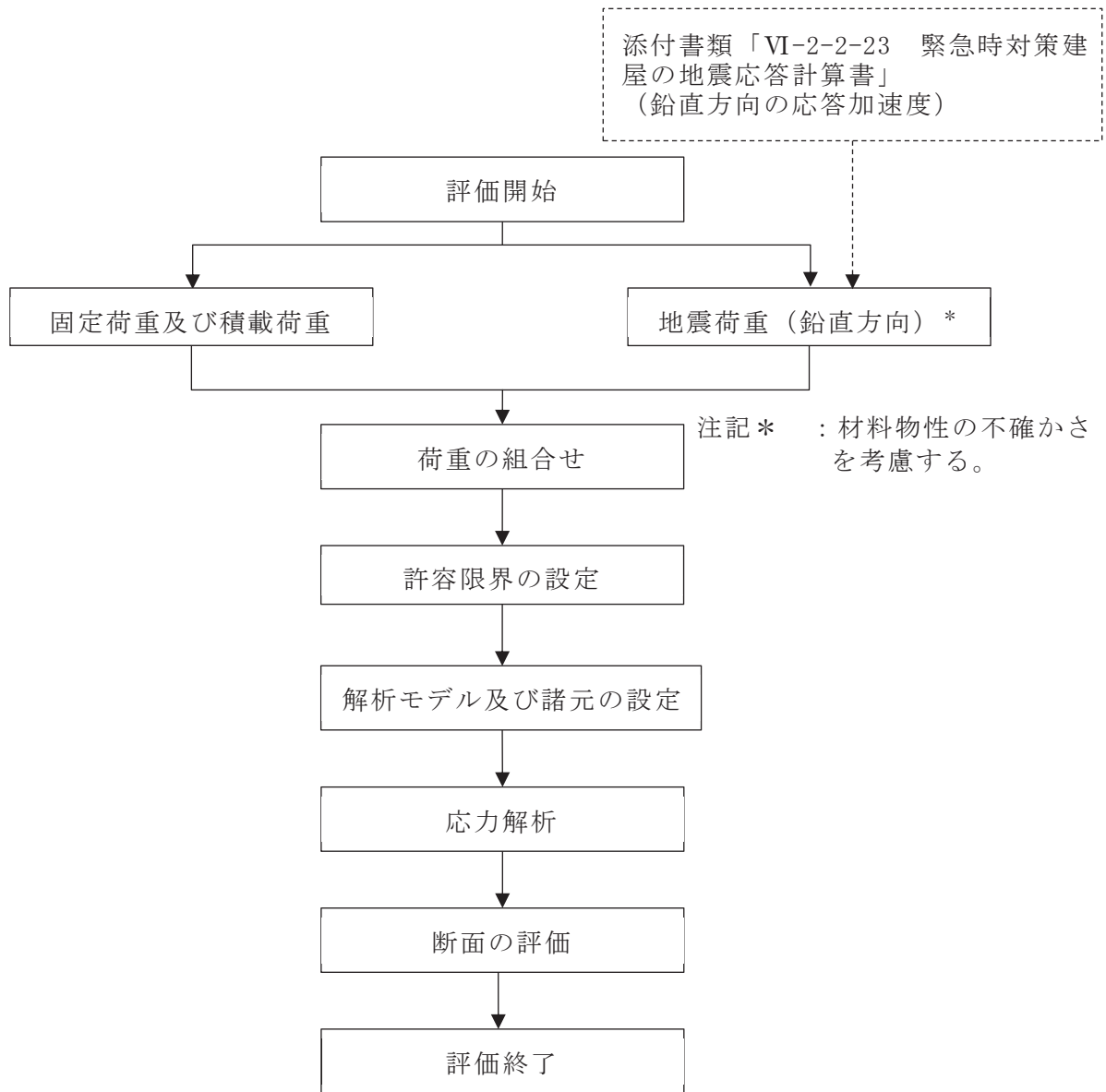


図 4-1 床スラブ及び屋根スラブの応力解析による評価フロー

02 ③ VI-2-8-4-5 R2

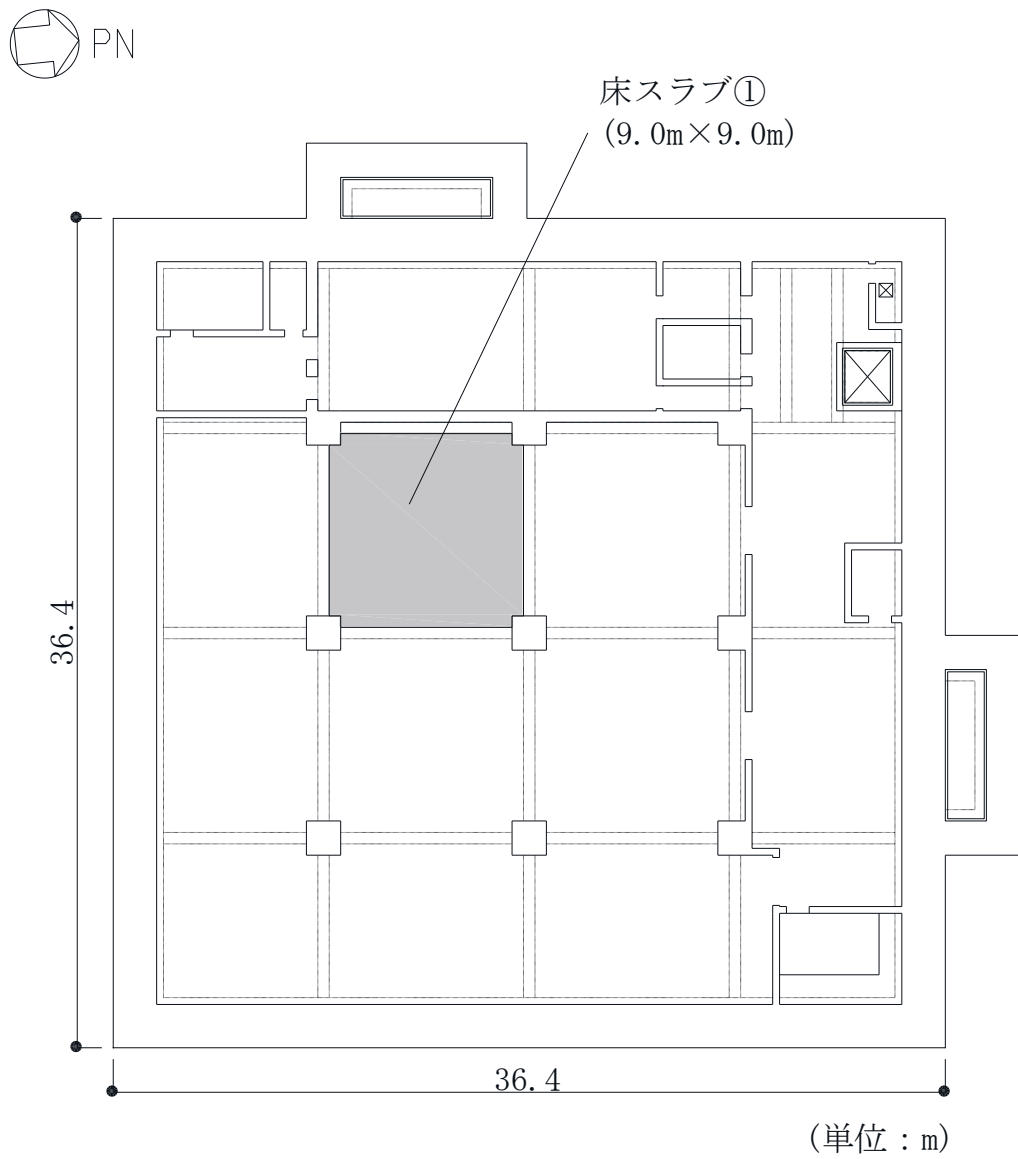
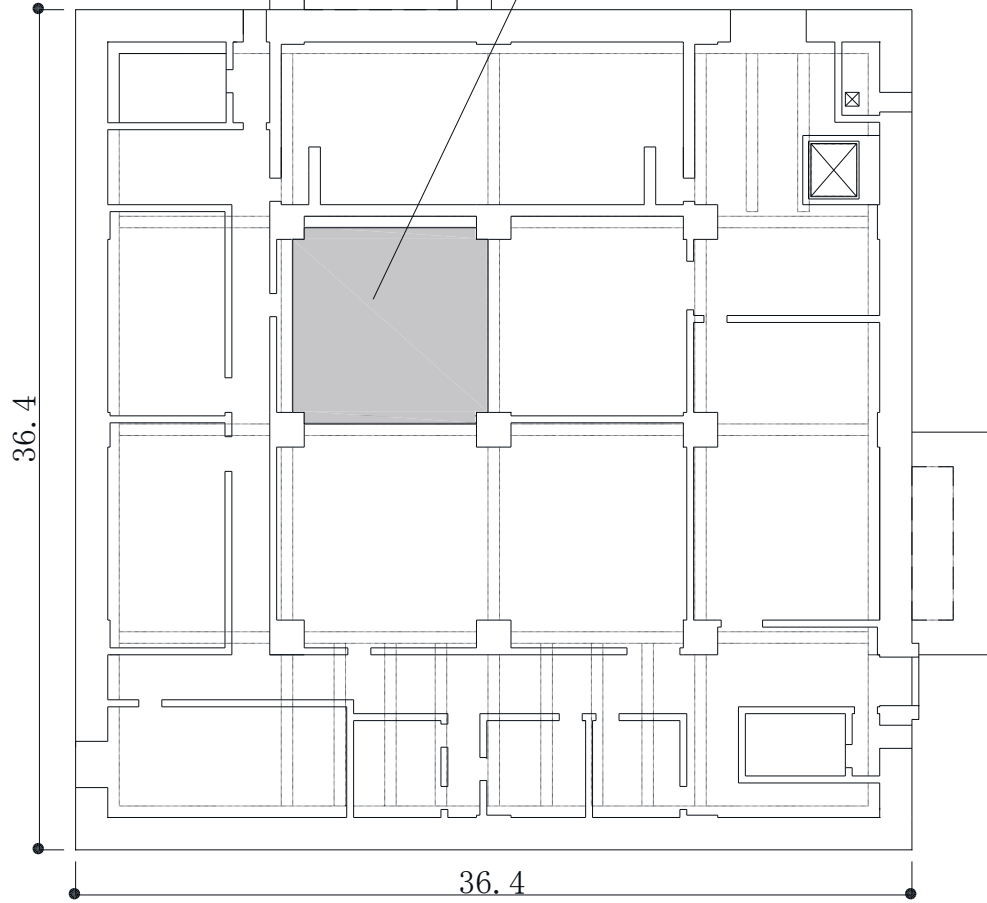


図 4-2(1) 床スラブの評価を記載する部材の位置 (B1F 0.P.57.3m)



床スラブ②
(9.0m×9.0m)



(単位 : m)

02 ③ VI-2-8-4-5 R2

図 4-2(2) 床スラブの評価を記載する部材の位置 (1F 0.P. 62.2m)



02 ③ VI-2-8-4-5 R2

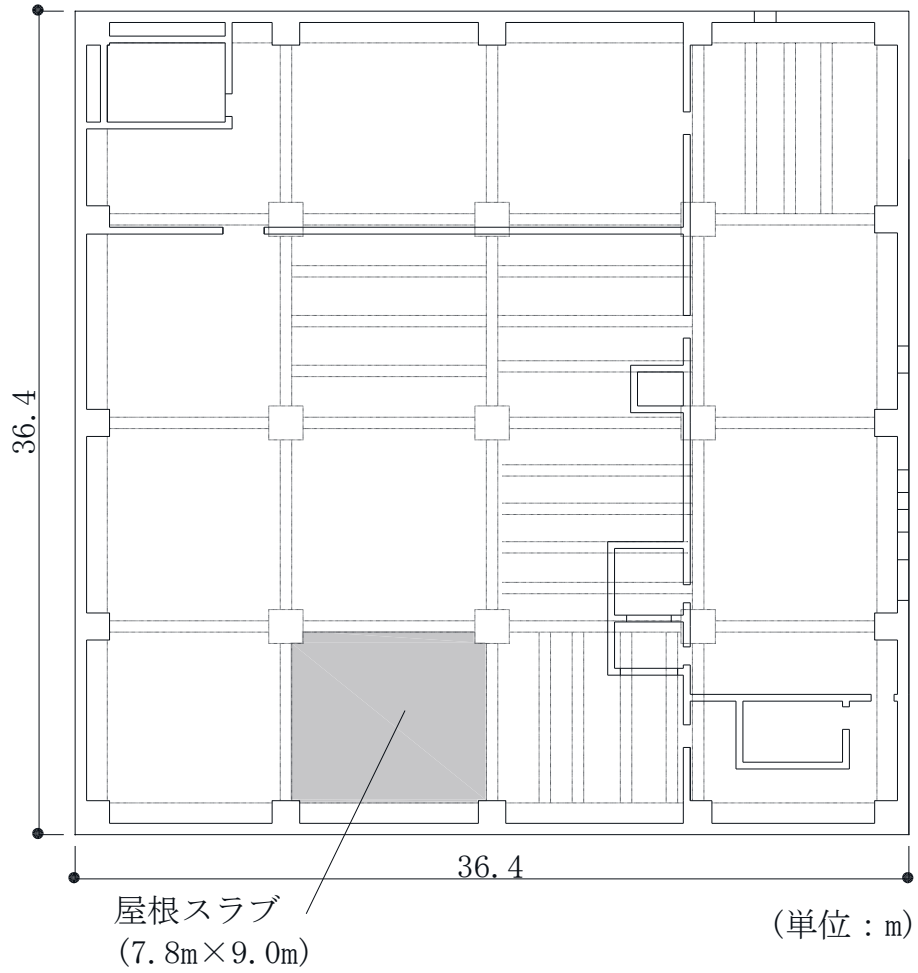


図 4-2(3) 屋根スラブの評価を記載する部材の位置 (2F 0.P. 69.4m)

4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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 床スラブ及び屋根スラブ

(1) 荷重

a. 鉛直荷重

応力解析において考慮する固定荷重、積載荷重及び積雪荷重を表 4-1、表 4-2 及び表 4-3 に示す。なお、積雪量は、石巻測候所の最深積雪量（1923 年 2 月 17 日）を考慮して 43cm とし、地震時は 0.35 の係数を乗じた積雪荷重とする。

表 4-1 固定荷重(G)

部位	固定荷重 (kN/m ²)
床スラブ①	19.00
床スラブ②	16.60
屋根スラブ	19.80

表 4-2 積載荷重(P)

部位	積載荷重 (kN/m ²)
床スラブ①	7.20
床スラブ②	8.20
屋根スラブ	8.10

表 4-3 積雪荷重(P_s)

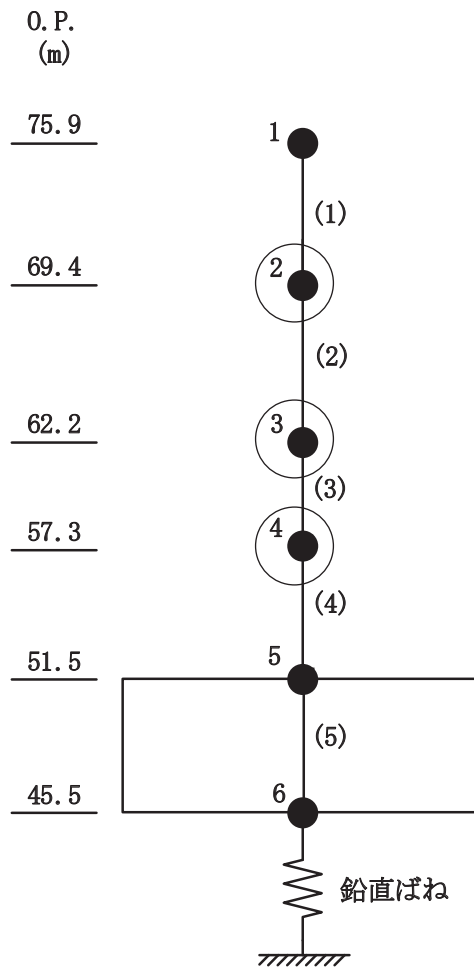
外力の状態	積雪荷重 (kN/m ²)
地震時	0.30

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に材料物性の不確かさを考慮して設定する。

床スラブが、NS 方向 9.0m, EW 方向 9.0m スパン, 屋根スラブは、NS 方向 9.0m, EW 方向 7.8m スパンで厚さ の鉄筋コンクリート造スラブであることから剛とみなす。

鉛直方向の地震荷重は、図 4-7 に示す基準地震動 S s に対する質点系モデルの地下 1 階～地上 2 階レベル (O. P. 57.3m～O. P. 69.4m, 質点番号 2～4) 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。



注 1 : 数字は質点番号を示す。

注 2 : () 内は要素番号を示す。

注 3 : ○印の動的応答を用いる。

図 4-7 基準地震動 S s に対する質点系モデル (UD 方向)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-4 に示す。

表 4-4 荷重の組合せ

荷重状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + P _s + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重

P_s : 積雪荷重(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及び緊急時対策所バウンダリの許容限界は、添付書類「VI-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 4-5 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 4-6 及び表 4-7 に示す。

表 4-5 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
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	床スラブ 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	床スラブ 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能を維持すること	基準地震動 S _s	床スラブ 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。

*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 4-6 コンクリートの許容応力度

設計基準強度 F _c (N/mm ²)	圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)
30	20	1.18

表 4-7 鉄筋の許容応力度

種別	引張及び圧縮 (N/mm ²)	せん断補強 (N/mm ²)
SD345	345	345
SD390	390	390

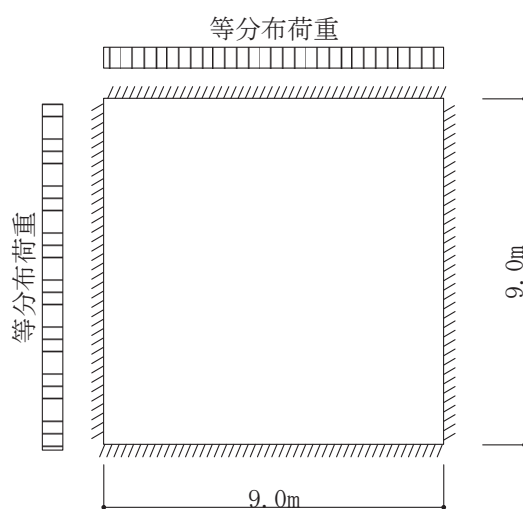
4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 床スラブ及び屋根スラブ

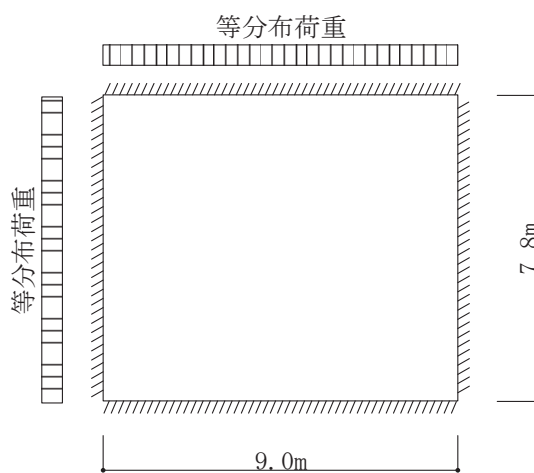
(1) モデル化の基本方針

スラブの鉛直地震動による影響に対する検討において、柱、壁及びはりで囲まれた範囲についてモデル化する。

スラブの解析モデルは、四辺固定版として評価する。スラブの解析モデルを図4-4に示す。



(a) 床スラブ①② (四辺固定版)



(b) 屋根スラブ (四辺固定版)

図4-4 解析モデル

(2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-8 に示す。

表 4-8 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 評価方法

4.5.1 床スラブ及び屋根スラブの応力解析方法

(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、地震荷重は鉛直下向きの場合のみ考慮する。

(2) 長期荷重の算出方法

長期荷重時の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の算出方法は下式の通りである。長期荷重時の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 4-9 に示す。

(四辺固定版)

- ・短辺の端部曲げモーメント (M_{X1})

$$M_{X1} = -\frac{1}{12} w_x \cdot l_x^2$$

- ・短辺の中央部曲げモーメント (M_{X2})

$$M_{X2} = \frac{1}{18} w_x \cdot l_x^2$$

- ・短辺のせん断力 (Q_x)

$$Q_x = 0.52 w \cdot l_x$$

- ・長辺の端部曲げモーメント (M_{Y1})

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

- ・長辺の中央部曲げモーメント (M_{Y2})

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

- ・長辺のせん断力 (Q_y)

$$Q_y = 0.46 w \cdot l_x$$

- ・ $l_x = l_y$ のせん断力 ($Q_x = Q_y$)

$$Q_x = Q_y = 0.44 w \cdot l_x$$

ここで，

l_x : 短辺有効スパン (m)

l_y : 長辺有効スパン (m)

w : 単位面積あたりの長期荷重 (kN/m²)

$$w_x = \frac{l_y^4}{l_x^4 + l_y^4} w$$

表 4-9 長期荷重時の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	スラブ厚 (mm)	方向	端部曲げ モーメント (kN・m/m)	中央部曲げ モーメント (kN・m/m)	せん断力 (kN/m)
床スラブ①		NS・EW	88.4	59.0	103.8
床スラブ②		NS・EW	83.7	55.8	98.2
屋根スラブ		短辺 (NS)	90.4	60.3	113.2
		長辺 (EW)	70.7	47.2	100.1

(3) 応力の算出方法

「(2) 長期荷重の算出方法」における長期荷重時の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，地下 1 階～地上 2 階レベル（O.P. 57.3m～O.P. 69.4m，質点番号 2～4）の鉛直方向最大応答加速度より算出した鉛直震度により係数倍することで算出する。鉛直方向最大応答加速度を表 4-10 に，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 4-11 に示す。

表 4-10 地震応答解析による最大応答加速度

部位	質点番号	最大値 (cm/s^2)
床スラブ①	4	708
床スラブ②	3	908
屋根スラブ	2	1214

表 4-11 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 ($\text{kN}\cdot\text{m/m}$)	中央部曲げモーメント ($\text{kN}\cdot\text{m/m}$)	せん断力 (kN/m)
床スラブ①	1.72	NS・EW	152.1	101.4	178.5
床スラブ②	1.93	NS・EW	161.5	107.7	189.5
屋根スラブ	2.24	短辺 (NS)	204.7	136.5	256.2
		長辺 (EW)	160.1	106.8	226.6

*検討用鉛直震度は，長期荷重時を含む。

4.5.2 床スラブ及び屋根スラブの断面評価方法

(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、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) 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。

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

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。また、引張軸力が 2N/mm² を超える場合は 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)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

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。当該階の耐震壁の最大応答せん断ひずみ一覧を表 5-1 に、質点系モデルを図 5-1 に、材料物性の不確かさを考慮した最大応答値をせん断スケルトンカーブ上にプロットし図 5-2 に示す。

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 0.271×10^{-3} (要素番号(4), (8), NS 方向, EW 方向, $S_s - D 2$, 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 耐震壁の最大応答せん断ひずみ

方向	階	部位	ケース	最大応答 せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
NS	B2	要素番号(4), (8) (O.P. 51.5m~57.3m)	$S_s - D 2$ ケース 5	0.271	2.0
EW	B2	要素番号(4), (8) (O.P. 51.5m~57.3m)	$S_s - D 2$ ケース 5	0.271	2.0

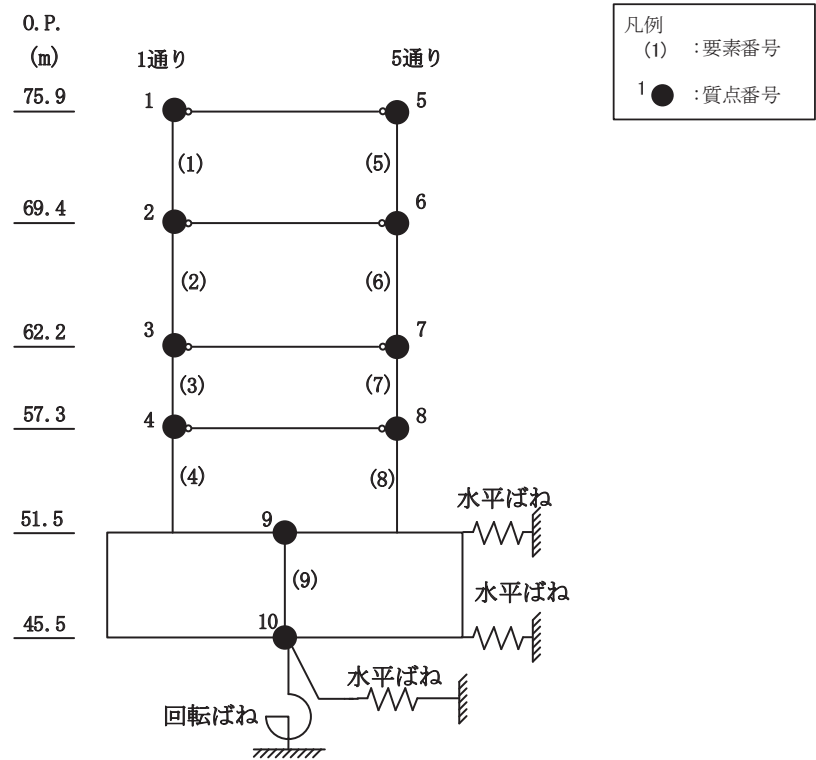
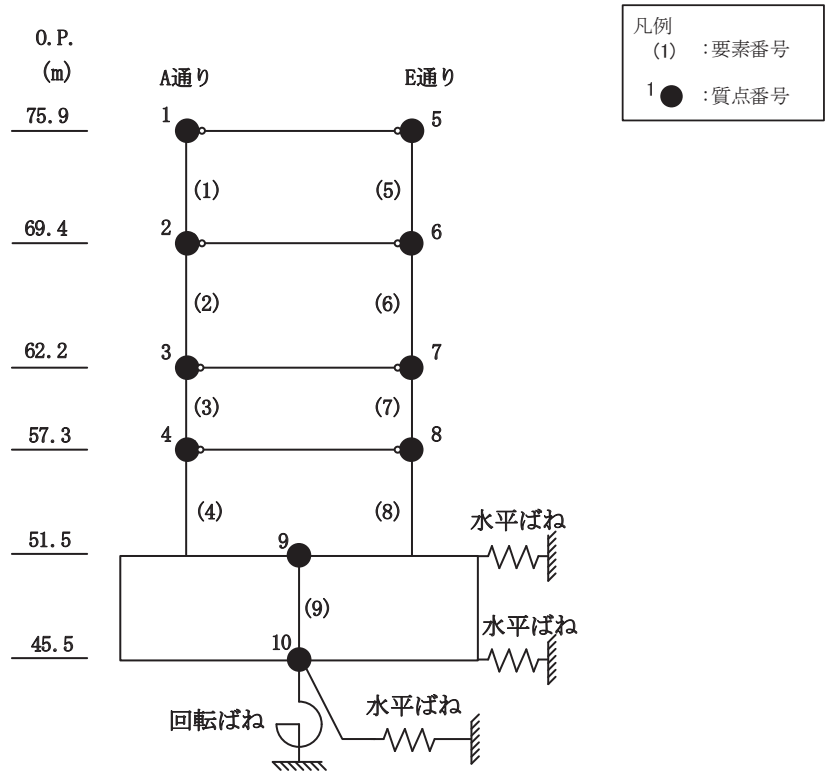
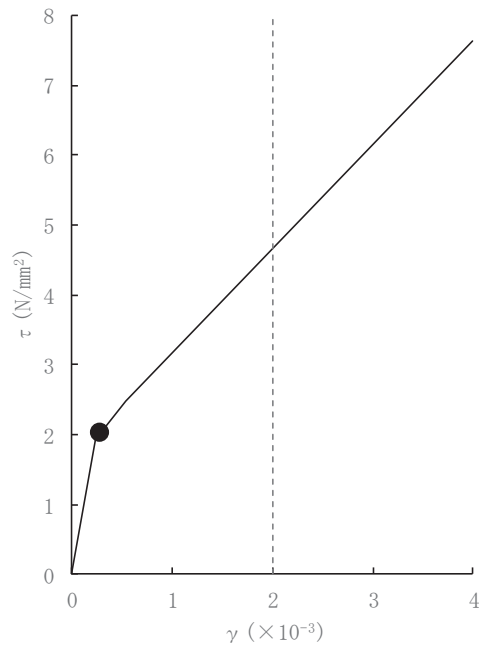
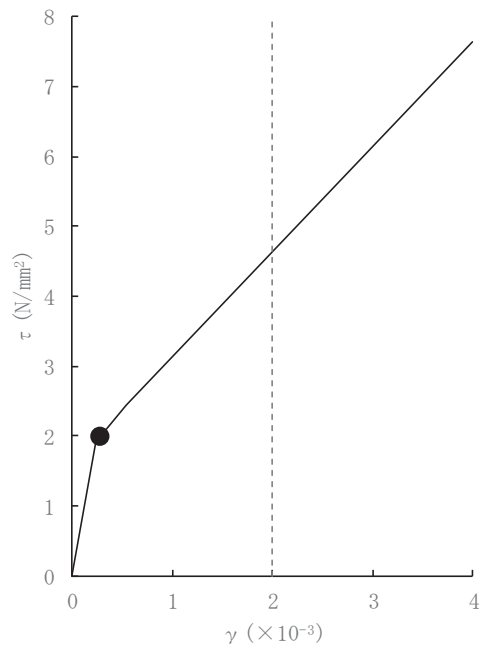


図 5-1 質点系モデル (水平方向)



(a) NS 方向 (S s - D 2, ケース 5, 要素番号(4), (8))



(b) EW 方向 (S s - D 2, ケース 5, 要素番号(4), (8))

図 5-2 セン断スケルトンカーブ上の最大応答せん断ひずみ

5.2 応力解析による評価結果

床スラブ及び屋根スラブの配筋一覧を表 5-2 に示す。また、「4.5.3 床スラブ及び屋根スラブの断面評価方法」に基づいた断面の評価結果を表 5-3 に示す。S s 地震時において、発生値が許容値を超えないことを確認した。

表 5-2 スラブの配筋一覧

部材	方向	上ば筋		下ば筋	
		配筋	断面積 (mm ² /m)	配筋	断面積 (mm ² /m)
床スラブ①	NS	D25@200	2535	D25@200	2535
	EW	D25@200	2535	D25@200	2535
床スラブ②	NS	D25@200	2535	D25@200	2535
	EW	D25@200	2535	D25@200	2535
屋根スラブ	NS	D32@200	3970	D32@200	3970
	EW	D32@200	3970	D32@200	3970

表 5-3(1) 評価結果 (床スラブ, 基準地震動 S_s)

部材		床スラブ①	床スラブ②
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		□ × 1000	□ × 1000
有効せい d (mm)		588	488
配筋	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)
発生曲げモーメント M (kN・m/m)		152.1	161.5
許容値 M_A (kN・m/m)		449.9	373.4
検定値 M/M_A		0.339	0.433
発生せん断力 Q (kN/m)		178.5	189.5
せん断スパン比による割増係数 α		1.63	1.46
許容値 Q_A (kN/m)		989.5	735.6
検定値 Q/Q_A		0.18	0.26
判定		可	可

O 2 ③ VI-2-8-4-5 R 2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-3(2) 評価結果 (屋根スラブ, 基準地震動 S_s)

方向		短辺 (EW) 方向	長辺 (NS) 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		<input type="text" value=""/>	× 1000
有効せい d (mm)		360	
配筋	上ば筋	D32@200 (3970 mm ² /m)	D32@200 (3970 mm ² /m)
	下ば筋	D32@200 (3970 mm ² /m)	D32@200 (3970 mm ² /m)
発生曲げモーメント M (kN・m/m)		204.7	160.1
許容値 M_A (kN・m/m)		487.7	
検定値 M/M_A		0.420	0.329
発生せん断力 Q (kN/m)		256.2	226.6
せん断スパン比による割増係数 α		1.24	1.35
許容値 Q_A (kN/m)		460.9	501.7
検定値 Q/Q_A		0.56	0.45
判定		可	可

O 2 ③ VI-2-8-4-5 R 2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙1 緊急時対策所の気密性に関する計算書

目 次

1. 概要	別紙 1-1
2. 既往の知見等の整理	別紙 1-1
3. 緊急時対策所バウンダリにおける空気漏えい量に対する影響検討.....	別紙 1-3
3.1 検討方針	別紙 1-3
3.2 空気漏えい量の算定結果	別紙 1-5
3.3 総漏えい量と緊急時対策所加圧設備（空気ポンペ）必要換気量の比較.....	別紙 1-5
3.4 検討結果	別紙 1-6
4. まとめ	別紙 1-6

1. 概要

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」(昭和53年9月制定)におけるAクラスの施設の気密性について、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)(以下「J E A G 4 6 0 1-1987」という。)では、S₁地震動に対し弾性範囲であることを確認することで、機能が維持されるとしている。

添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の機能維持の設計方針では、耐震壁のせん断ひずみが概ね弾性状態にとどまることを基本としたうえで、概ね弾性状態を超える場合は、地震応答解析による耐震壁のせん断ひずみから算定した空気漏えい量が、設置する加圧設備の性能を下回することで必要な気密性を維持する設計としている。その場合、気密性を要求される施設に対し、基準地震動S_sによる鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界をせん断ひずみ 2.0×10^{-3} としている。

緊急時対策所遮蔽の地震応答解析による評価において、鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界として設定したせん断ひずみ 2.0×10^{-3} の適用性について確認するために、耐震壁のせん断ひび割れと空気漏えい量の関係に係る既往の知見を整理するとともに、緊急時対策所加圧設備(空気ポンプ)の処理対象となるバウンダリ(以下「緊急時対策所バウンダリ」という。)における空気漏えい量に対する影響を評価する。

2. 既往の知見等の整理

(財)原子力発電技術機構は、「原子力発電施設耐震信頼性実証試験に関する報告書*1」において、J E A G 4 6 0 1-1987による許容限界の目安値(S₂地震時に対してせん断変形角 $2/1000$ rad、静的地震力に対して $\tau = \tau_u/1.5$)において想定されるひび割れを残留ひび割れと仮定した場合の外気侵入量を算出し、気圧差維持のためのファン容量と比較することで、空気漏えい量に対する評価を実施している。その結果「残留ひび割れからの外気侵入量は、ファン容量に比較すると無視できるほど小さいことが明らかになった。」としている。

また、(財)原子力発電技術機構は、「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書*2」において、耐震壁の残留ひび割れからの通気量の評価式が、十分に実機への適用性があることを確認している。更に、開口部の存在による通気量割増率の評価式も示されており、「開口部の残留ひび割れ幅の割増率がおおよそ推定できる。」としている。

したがって、緊急時対策所バウンダリを構成する壁が鉄筋コンクリート造であり、壁厚も、「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に示される壁厚と同程度であることから、同文献にて提案されている各評価式を用い、緊急時対策所バウンダリにおける空気漏えい量の算出を行う。以下に評価式を示す。

総漏えい量

$$Q \cdot A \cdot \Delta_Q \quad (\text{L/min}) \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで、

A : 壁の面積 (m²)

$$Q = C \cdot \gamma^{2.57} \cdot \Delta P / T \dots\dots\dots (2.2)$$

ここで、

Q : 単位面積あたりの流量(L/min/m²)

C : 定数

(中央値は 2.24×10^6 , 95%非超過値は 1.18×10^7 , 5%非超過値は 4.21×10^5)

γ : 最大せん断ひずみ

ΔP : 差圧(mmAq)

T : 壁厚(cm)

$$\Delta_Q = \left\{ \left(\alpha^2 - 1 \right) \cdot \left(\frac{Q'}{Q_0} - 1 \right) - 1 \right\} \cdot \beta + 1 \dots\dots\dots (2.3)$$

ここで、

Δ_Q : 通気量割増率

α : 通気量割増範囲(=3)

$\frac{Q'}{Q_0}$: 定数

(中央値とみなされる評価法では1.81, 安全側とみなされる評価法では7.41)

β : 壁の見付け面積に対する開口の総面積

注記*1 : 財団法人 原子力発電技術機構「原子力発電施設耐震信頼性実証試験 原子炉建屋総合評価 建屋基礎地盤系評価に関する報告書(その2) 平成8年度」

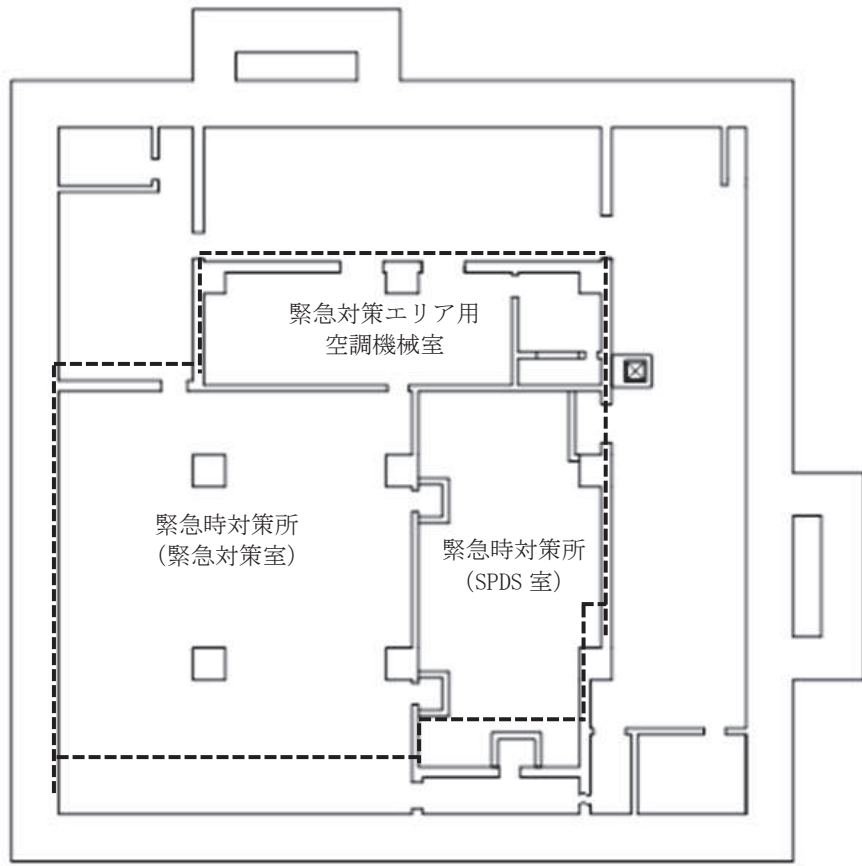
*2 : 財団法人 原子力発電技術機構「耐震安全解析コード改良試験 原子炉建屋の弾塑性試験 試験結果の評価に関する報告書 平成5年度」

3. 緊急時対策所バウンダリにおける空気漏えい量に対する影響検討

3.1 検討方針

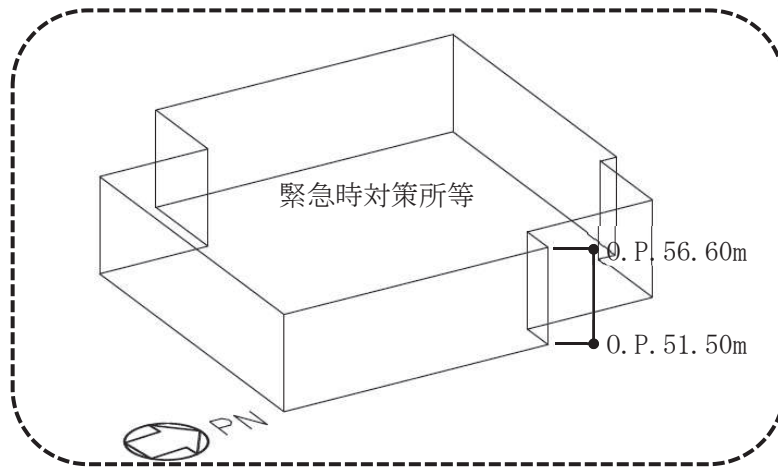
「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に基づき、(2.1)式から(2.3)式により、緊急時対策所バウンダリを構成する壁の最大せん断ひずみが許容限界(2.0×10^{-3})に達したときの空気漏えい量を算定し、緊急時対策所加圧設備(空気ポンペ)必要換気量($290 \text{ m}^3/\text{h}$)を超えないことを確認する。

緊急時対策所バウンダリ範囲を図3-1に示す。緊急時対策所バウンダリ(O.P. 51.50m~O.P. 56.60m)を構成する壁の壁厚は である。



----- : 緊急時対策所バウンダリ

(a) 平面図 (O.P. 51.50m)



----- : 評価対象範囲

(b) 緊急時対策所バウンダリの概要

図 3-1 緊急時対策所バウンダリの範囲

3.2 空気漏えい量の算定結果

緊急時対策所バウンダリの壁厚ごとに空気漏えい量を算定した。本検討は、地震応答解析のせん断ひずみの許容限界としてせん断ひずみ 2.0×10^{-3} を用いることの適用性を確認することが目的であることから、評価式における定数について、安全側の値を用いた。算定結果を表3-1に示す。

表 3-1 緊急時対策所バウンダリの気密性計算結果

壁厚 T (cm)	定数		最大*1 せん断 ひずみ γ	差圧*2 ΔP (mmAq)	壁の*3 面積 A (m^2)	漏えい量 Q (L/min/ m^2)	壁の見 付け面 積に対 する開 口の総 面積 β	通気量 割増率 ΔQ	総 漏えい量 $Q \times A$ $\times \Delta Q$ (L/min)
	C	$\frac{Q}{Q_0}$							
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	100.47	0.03	0.000	1.00	2.55
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	34.43	0.11	0.139	8.00	30.69
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	28.31	0.11	0.000	1.00	3.16
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	94.35	0.11	0.089	5.48	57.67
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	89.25	0.11	0.068	4.43	44.04
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	5.10	0.04	0.000	1.00	0.19
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	28.31	0.11	0.000	1.00	3.16
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	39.78	0.11	0.055	3.76	16.65
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	11.33	0.11	0.443	23.28	29.38
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	4.1	83.90	0.03	0.000	1.00	2.13
合計									189.60

注記 *1：保守的に各壁の最大せん断ひずみが同時に許容限界となることを想定。
 *2：緊急時対策所バウンダリの加圧に必要な差圧条件とする。
 *3：気密バウンダリを構成する壁の総面積を用いる。

3.3 総漏えい量と緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）必要換気量の比較

緊急時対策所バウンダリの総漏えい量と緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）必要換気量を表3-2に示す。緊急時対策所バウンダリについて総漏えい量は、緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）必要換気量の4%程度であることを確認した。

表 3-2 総漏えい量と緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）必要換気量の比較
(m^3/h)

総漏えい量	緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）必要換気量
11.4	290

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 検討結果

緊急時対策所バウンダリについて、総漏えい量は緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）必要換気量を超えないことを確認した。

よって、緊急時対策所バウンダリは、鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界をせん断ひずみ 2.0×10^{-3} とした場合において、加圧設備とあいまって機能を維持できる気密性を有している。

4. まとめ

緊急時対策所バウンダリは、鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界として設定したせん断ひずみ 2.0×10^{-3} を適用した場合において、加圧設備とあいまって機能を維持できる気密性を有していることを確認した。

以上より、緊急時対策所遮蔽の地震応答解析による評価において、加圧設備とあいまって気密性を維持するために設定する許容限界として、せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を用いることの適用性を確認した。