

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 添-2-039-17 改4
提出年月日	2020年8月13日

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

K7 ① V-2-8-4-5 R0

2020年 8月

東京電力ホールディングス株式会社

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

## 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	8
2.4	適用規格・基準等	10
3.	地震応答解析による評価方法	11
4.	応力解析による評価方法	12
4.1	評価対象部位及び評価方針	12
4.1.1	床スラブ, 天井スラブ及び屋根スラブ	12
4.1.2	室内遮蔽	12
4.2	荷重及び荷重の組合せ	20
4.2.1	床スラブ, 天井スラブ及び屋根スラブ	20
4.2.2	室内遮蔽	23
4.3	許容限界	24
4.4	解析モデル	26
4.4.1	床スラブ, 天井スラブ及び屋根スラブ	26
4.4.2	室内遮蔽	27
4.5	評価方法	28
4.5.1	床スラブ, 天井スラブ及び屋根スラブの応力解析方法	28
4.5.2	室内遮蔽の応力解析方法	31
4.5.3	床スラブ, 天井スラブ, 屋根スラブ及び室内遮蔽の断面評価方法	32
5.	評価結果	33
5.1	地震応答解析による評価結果	33
5.2	応力解析による評価結果	36

別紙 緊急時対策所の気密性に関する計算書

## 1. 概要

本資料は、重大事故等が発生した場合において、5号機原子炉建屋内緊急時対策所（「6,7号機共用,5号機に設置」）（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5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対策本部)遮蔽,5号機原子炉建屋内緊急時対策所(待機場所)遮蔽及び5号機原子炉建屋内緊急時対策所(待機場所)室内遮蔽（以下「緊急時対策所遮蔽」という。）について、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、緊急時対策所遮蔽の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。

## 2. 基本方針

緊急時対策所遮蔽は、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に分類される。以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

### 2.1 位置

緊急時対策所遮蔽は、5号機原子炉建屋の一部を構成している。緊急時対策所遮蔽を含む5号機原子炉建屋の位置を図2-1に示す。

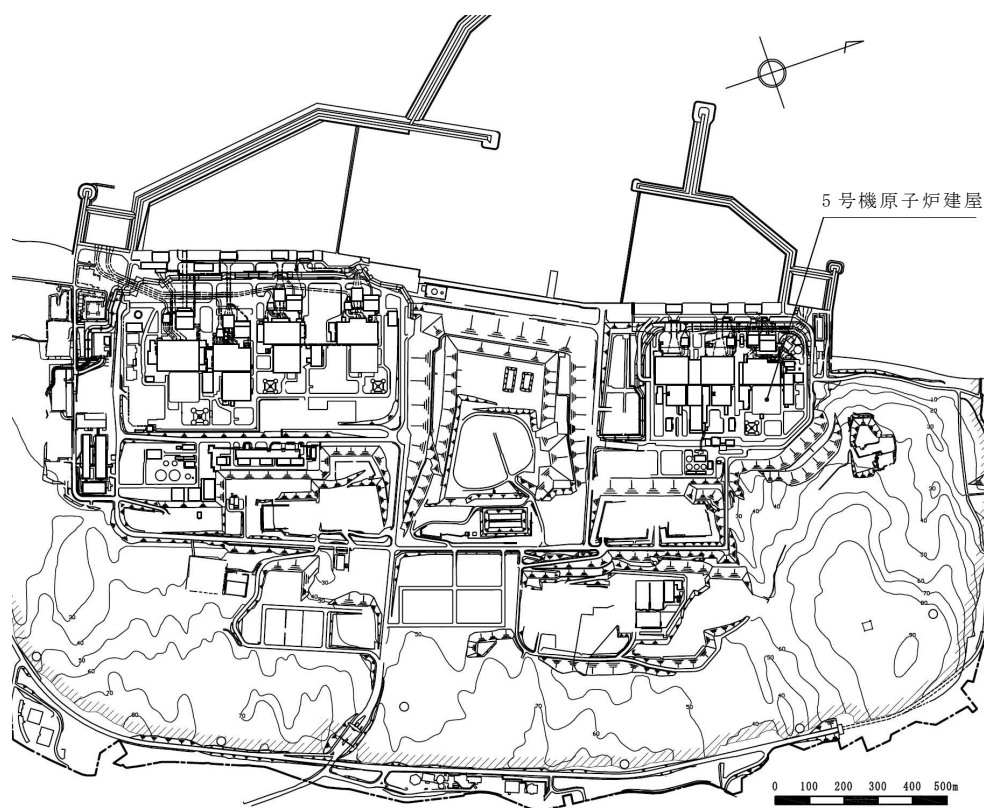


図2-1 緊急時対策所遮蔽を含む5号機原子炉建屋の設置位置

## 2.2 構造概要

5号機原子炉建屋は、地上4階、地下4階建ての鉄筋コンクリート造を主体とした建物となっている。

5号機原子炉建屋の平面は、83.0m（NS方向）×83.0m（EW方向）である。基礎スラブ底面からの高さは75.0mであり、地上高さは39.0mである。また、5号機原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離している。

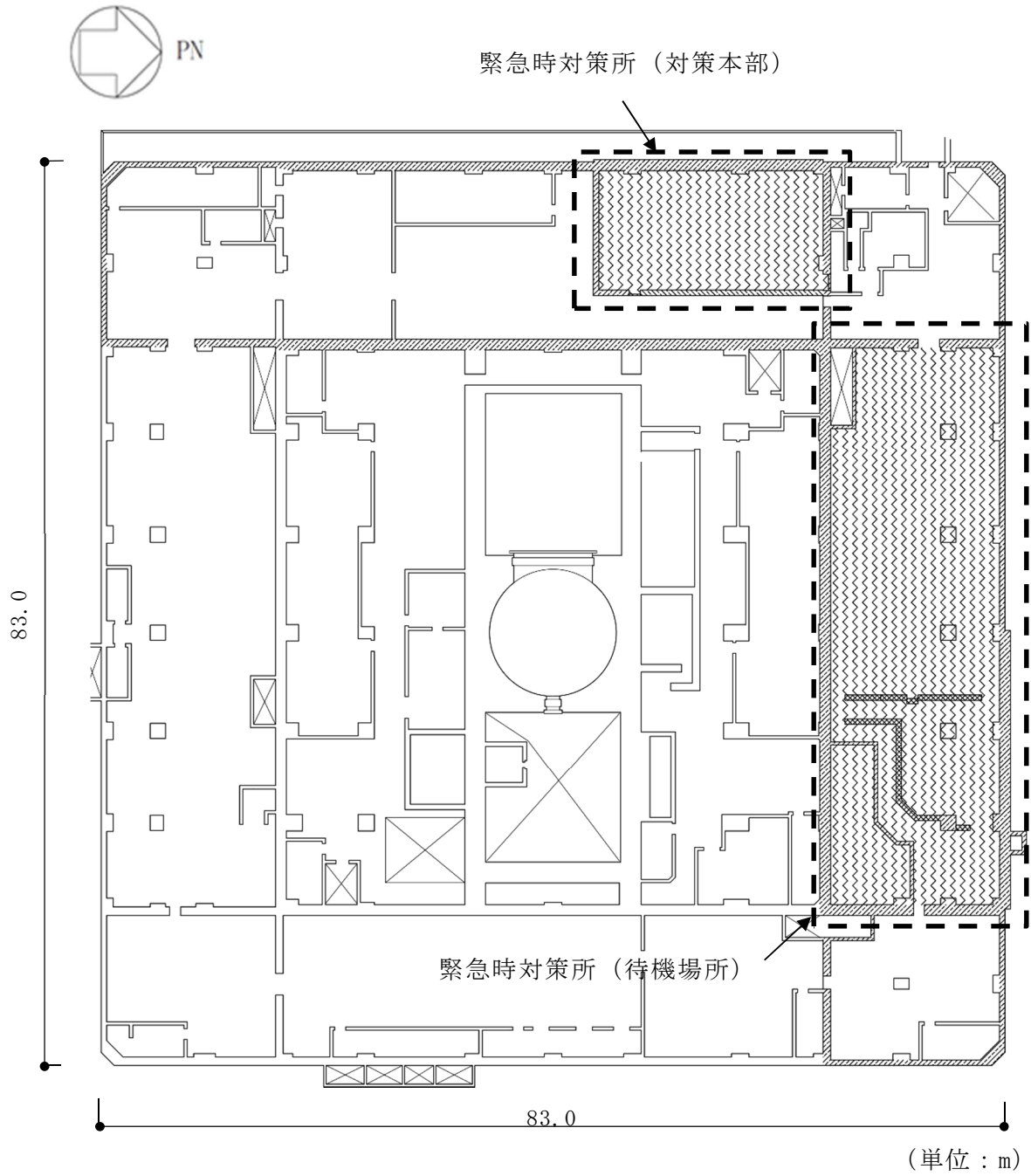
5号機原子炉建屋の基礎は厚さ6.5mのべた基礎で、支持地盤である泥岩上に設置している。

5号機原子炉建屋の主な耐震要素は、原子炉格納容器の周りを囲んでいる一次遮蔽壁、原子炉棟の外壁及び付属棟の外壁であり、開口部も少なく、建屋は全体として非常に剛性の高い構造となっている。

緊急時対策所は5号機原子炉建屋の3階に位置する。緊急時対策所遮蔽は、5号機原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部・高気密室）（「6,7号機共用,5号機に設置」）（以下「緊急時対策所（対策本部）」という。）及び5号機原子炉建屋内緊急時対策所（待機場所）（「6,7号機共用,5号機に設置」）（以下「緊急時対策所（待機場所）」という。）を取り囲むコンクリート壁（耐震壁,間仕切壁）,コンクリートスラブ（床スラブ,天井スラブ,屋根スラブ）及び緊急時対策所（待機場所）室内のコンクリート壁（室内遮蔽）で構成されており、壁の厚さは  スラブの厚さは  である。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、鉄骨はり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。

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に示す。

K7 ① V-2-8-4-5 R0






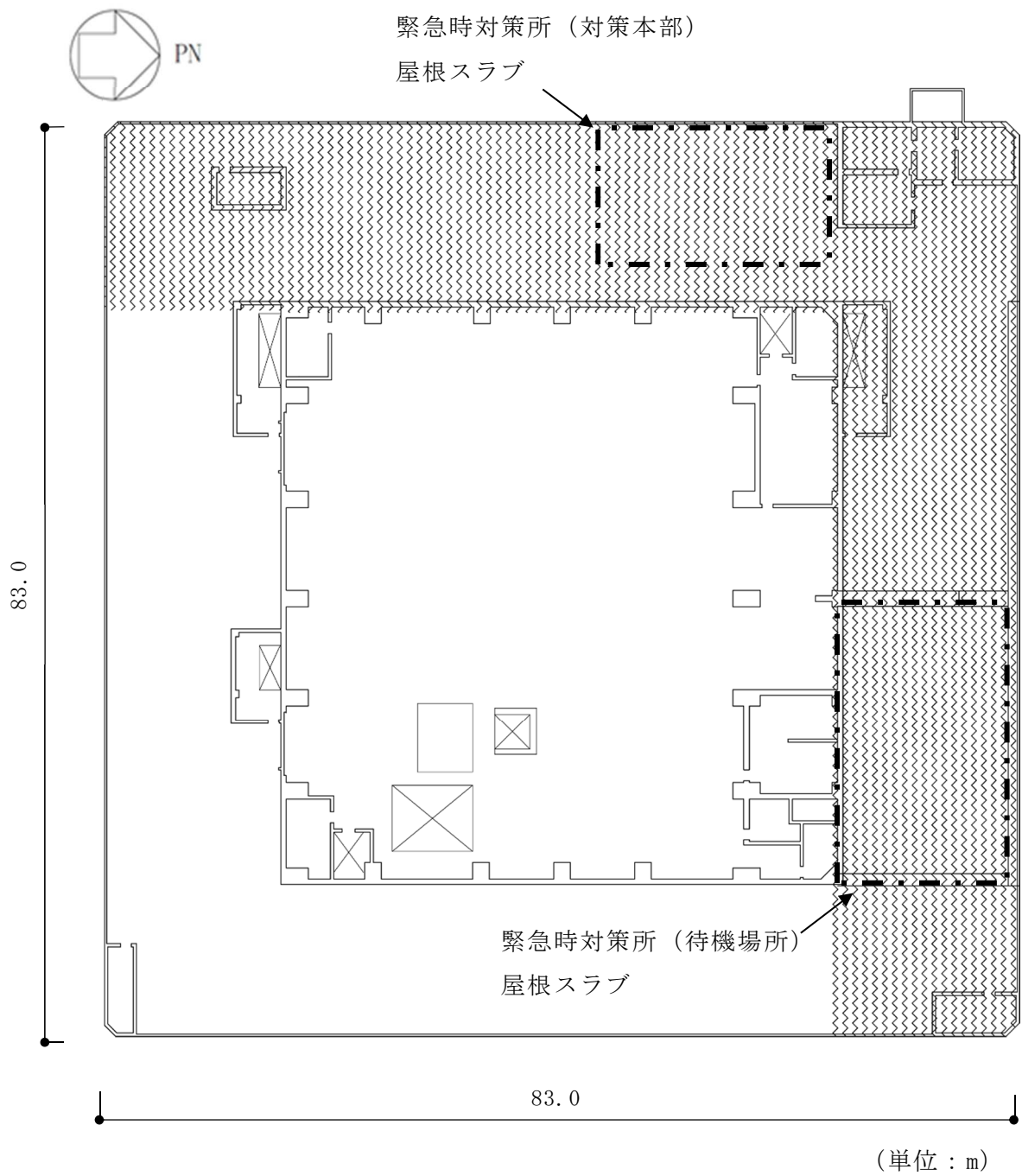
-  : 緊急時対策所遮蔽（壁）
-  : 緊急時対策所遮蔽（床）
-  : 緊急時対策所遮蔽（室内遮蔽）

図 2-2 緊急時対策所遮蔽の概略平面図 (1/2)

(5号機原子炉建屋 3F, T.M.S.L. 27.8m)

K7 ① V-2-8-4-5 R0

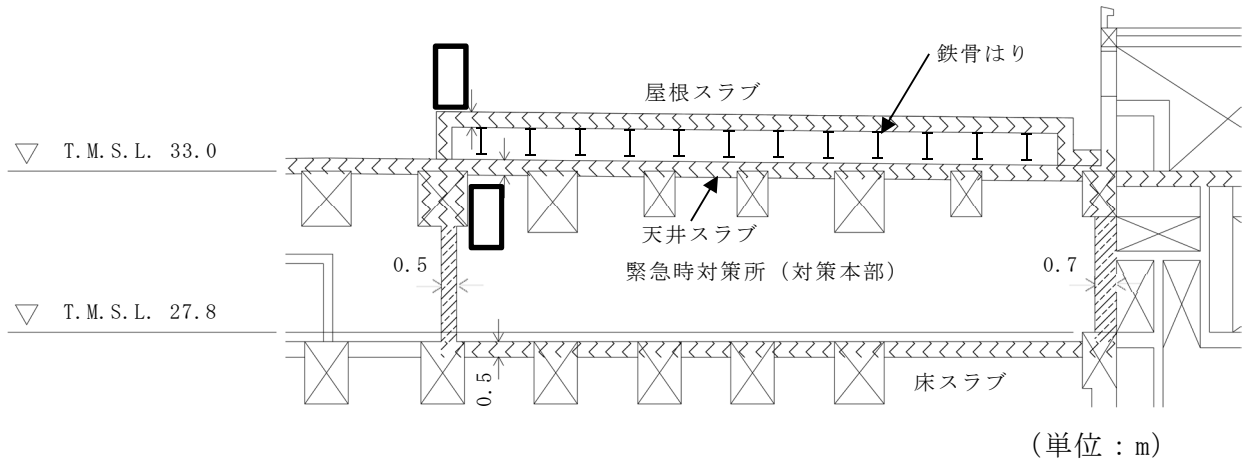


緊急時対策所遮蔽（床）

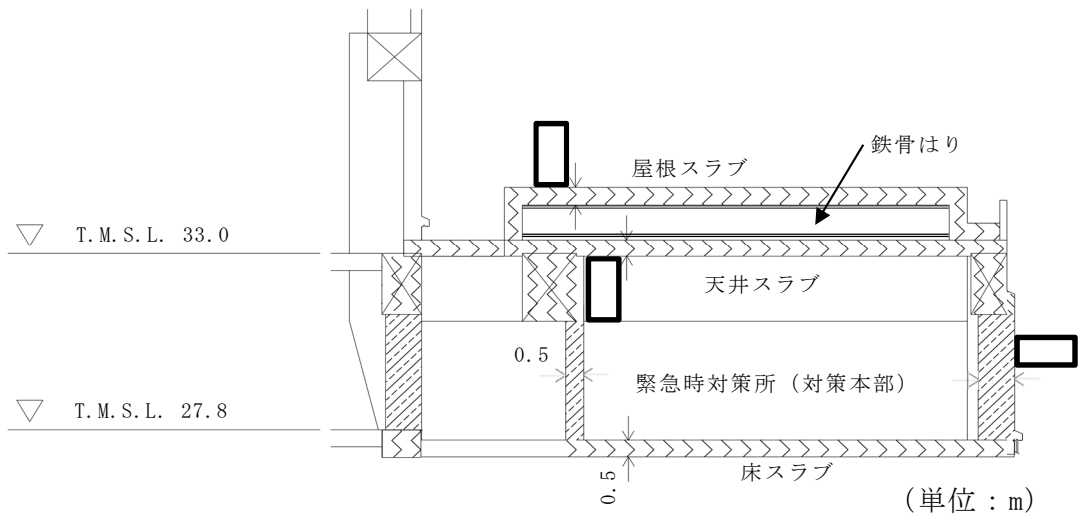
図 2-2 緊急時対策所遮蔽の概略平面図 (2/2)

(5号機原子炉建屋 4F, T.M.S.L. 33.0m)





A-A 断面



B-B 断面

- : 緊急時対策所遮蔽 (壁)
- : 緊急時対策所遮蔽 (床)

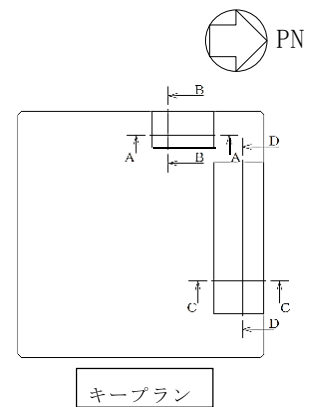
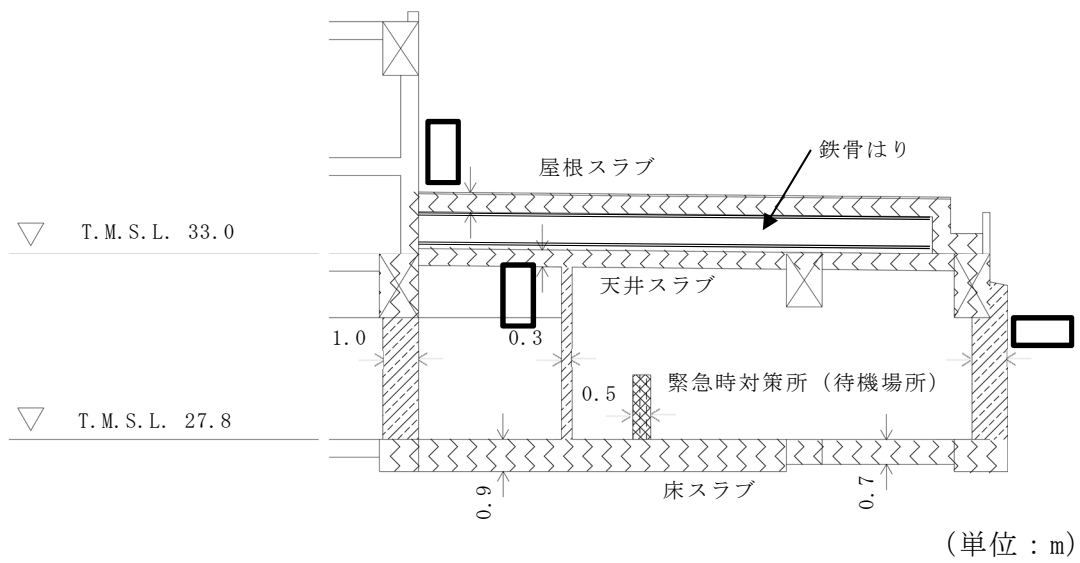
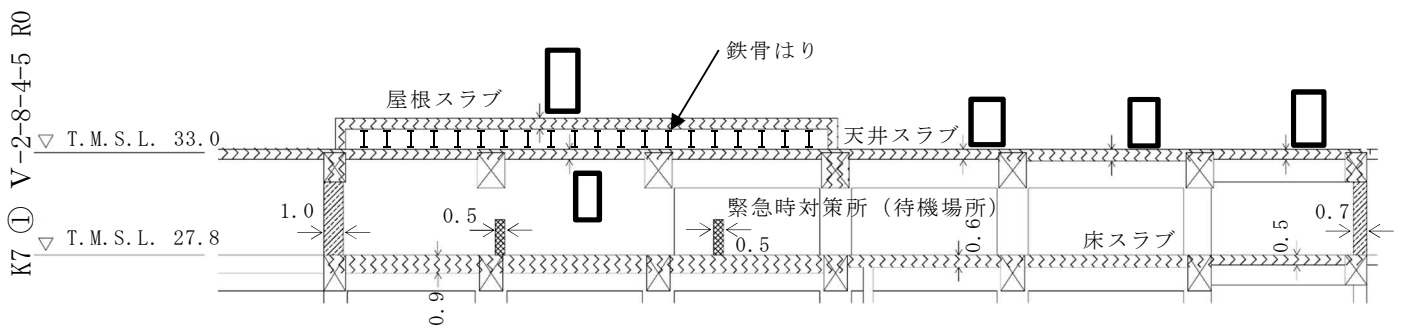





図 2-3 緊急時対策所遮蔽の概略断面図 (1/2)  
(A-A 断面及び B-B 断面)



C-C 断面



D-D 断面

-  : 緊急時対策所遮蔽 (壁)
-  : 緊急時対策所遮蔽 (床)
-  : 緊急時対策所遮蔽 (室内遮蔽)

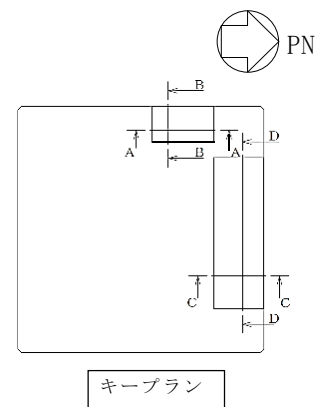


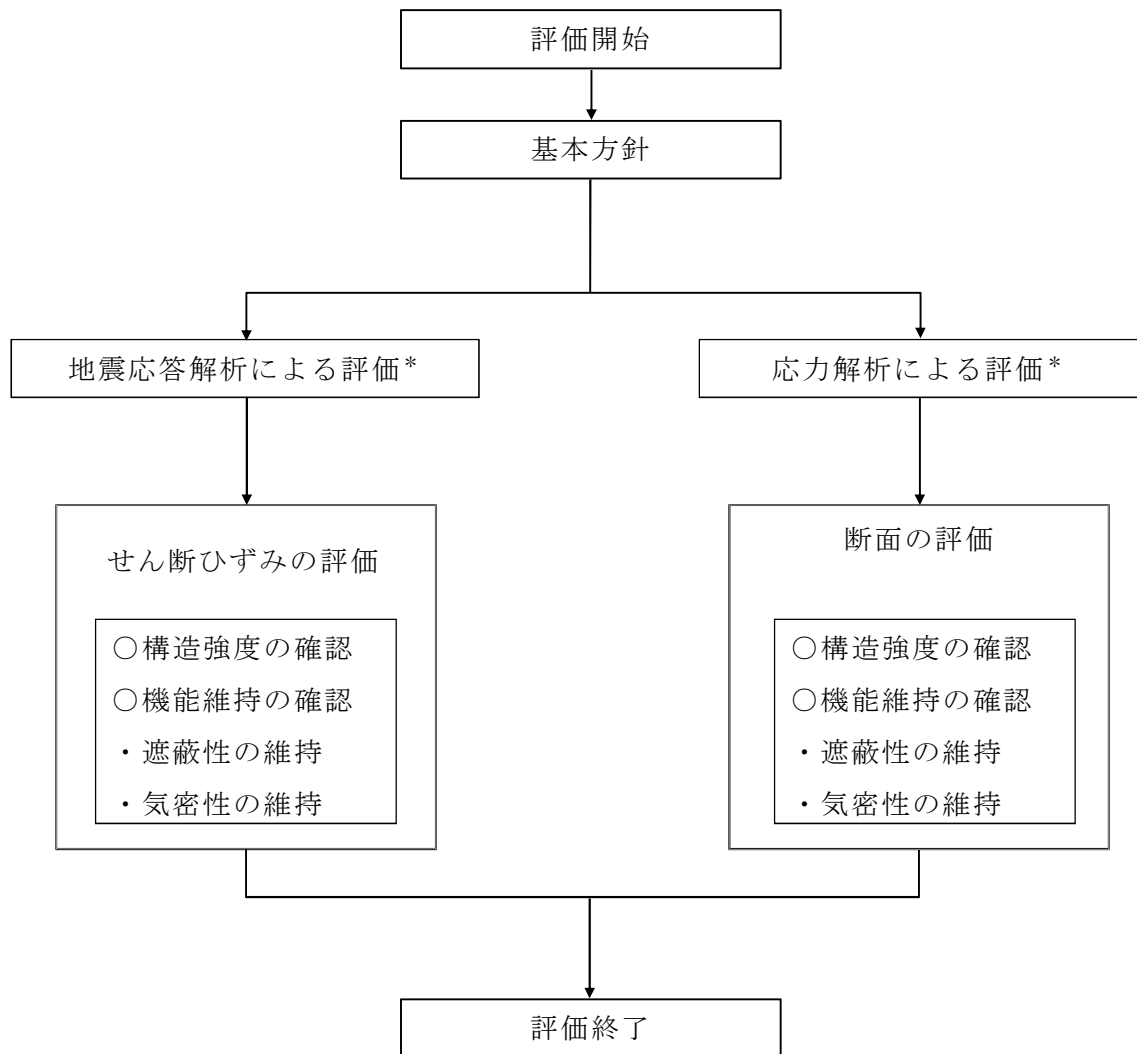
図 2-3 緊急時対策所遮蔽の概略断面図 (2/2)  
(C-C 断面及び D-D 断面)

### 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「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に分類される。

緊急時対策所遮蔽は、緊急時対策所を取り囲むコンクリート壁（耐震壁、間仕切壁）、コンクリートスラブ（床スラブ、天井スラブ、屋根スラブ）及び5号機原子炉建屋内緊急時対策所（待機場所）室内のコンクリート壁（室内遮蔽）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、床スラブ、天井スラブ、屋根スラブ及び室内遮蔽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。機能維持の確認において、建物・構築物の構造強度の許容限界であるせん断ひずみを用いて算定した空気漏えい量が、設置する換気設備の性能を下回ることで必要な気密性を維持する設計とする（別紙「緊急時対策所の気密性に関する計算書」参照）。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。緊急時対策所遮蔽の評価フローを図2-4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 2-4 緊急時対策所遮蔽の評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

緊急時対策所遮蔽の評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・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)
- ・ 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 -1987 ((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)

### 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、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。

また、遮蔽性及び気密性の維持については、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耐震壁の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*1	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	最大せん断ひずみ 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*1	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	最大せん断ひずみ 2.0×10 <sup>-3</sup>
気密性	換気性能とあいまって気密性能を維持すること*3	基準地震動 S <sub>s</sub>	耐震壁*1	最大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	最大せん断ひずみ 2.0×10 <sup>-3</sup> *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、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変形が抑えられるため、各層の耐震壁が最大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（待機場所）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 緊急時対策所の気密性に関する計算書」に示す。

\*3： 緊急時対策所（対策本部）は、鋼板内張構造により気密性を有する設計とする。

#### 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

緊急時対策所遮蔽の応力解析による評価対象部位は、緊急時対策所遮蔽を構成する床スラブ、天井スラブ、屋根スラブ及び室内遮蔽とし、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、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。

##### 4.1.1 床スラブ、天井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、「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。

評価については、各断面についてスラブのスパン、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。

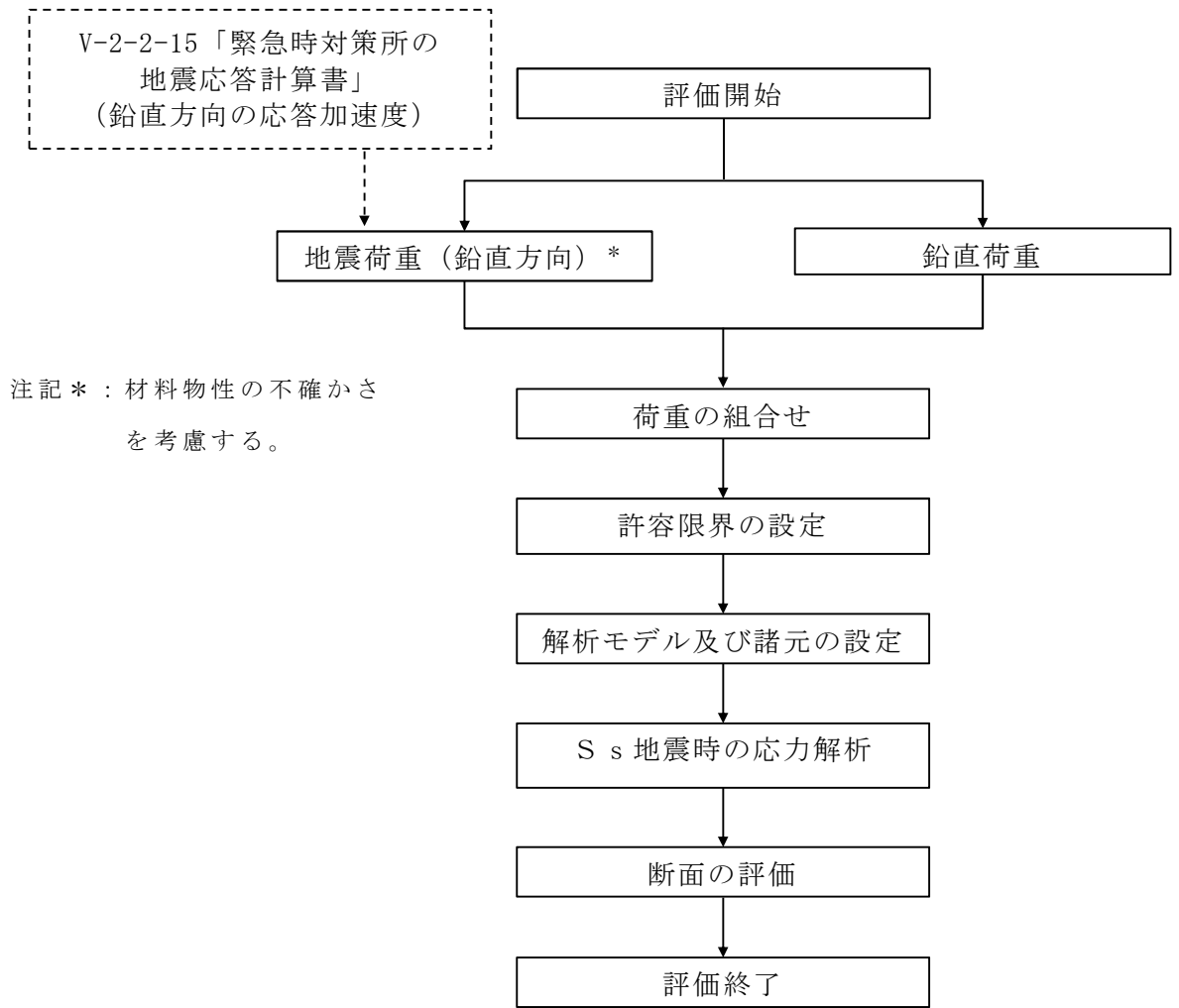
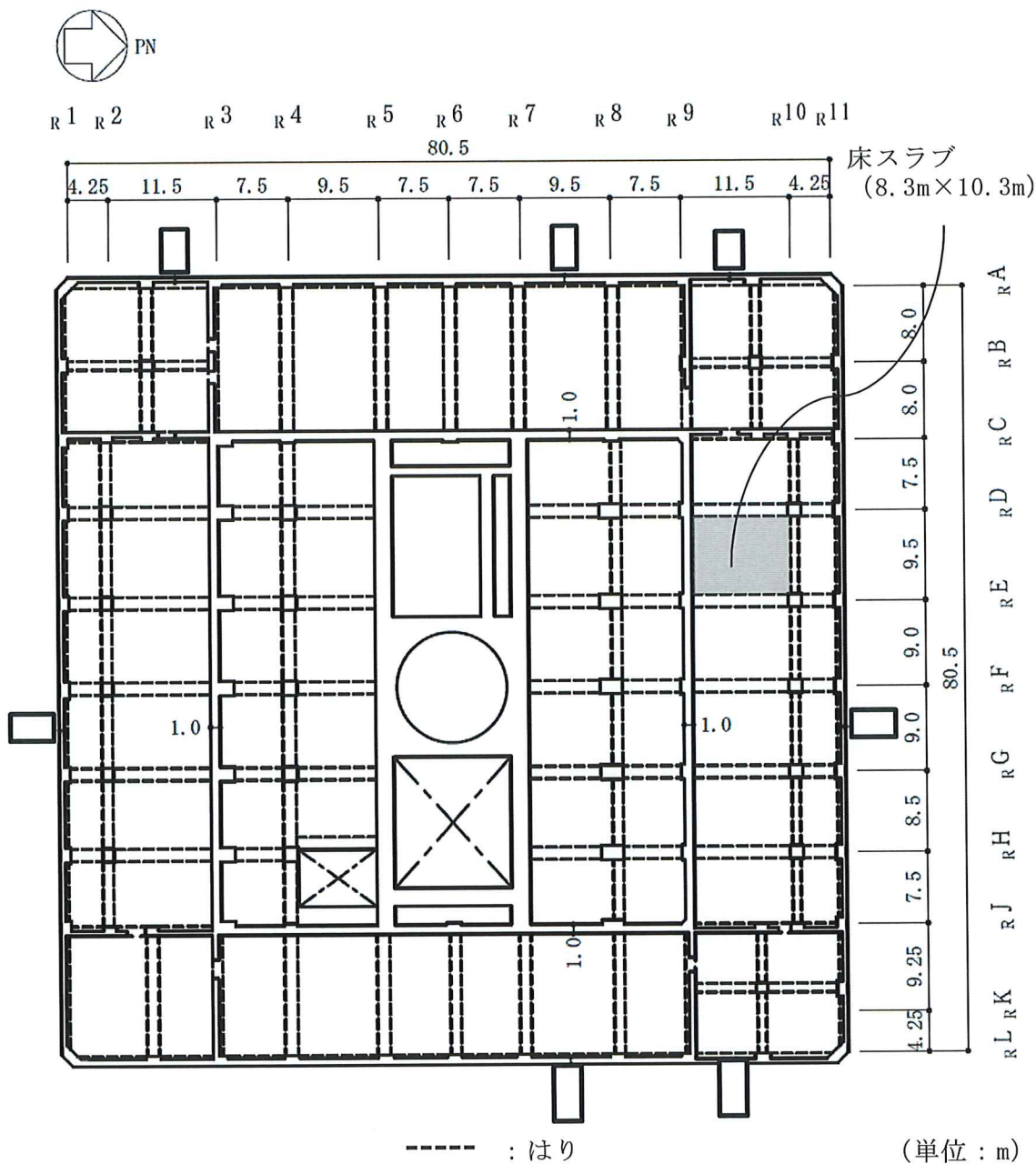


図 4-1 床スラブ、天井スラブ及び屋根スラブの応力解析による評価フロー



K7 ① V-2-8-4-5 R0

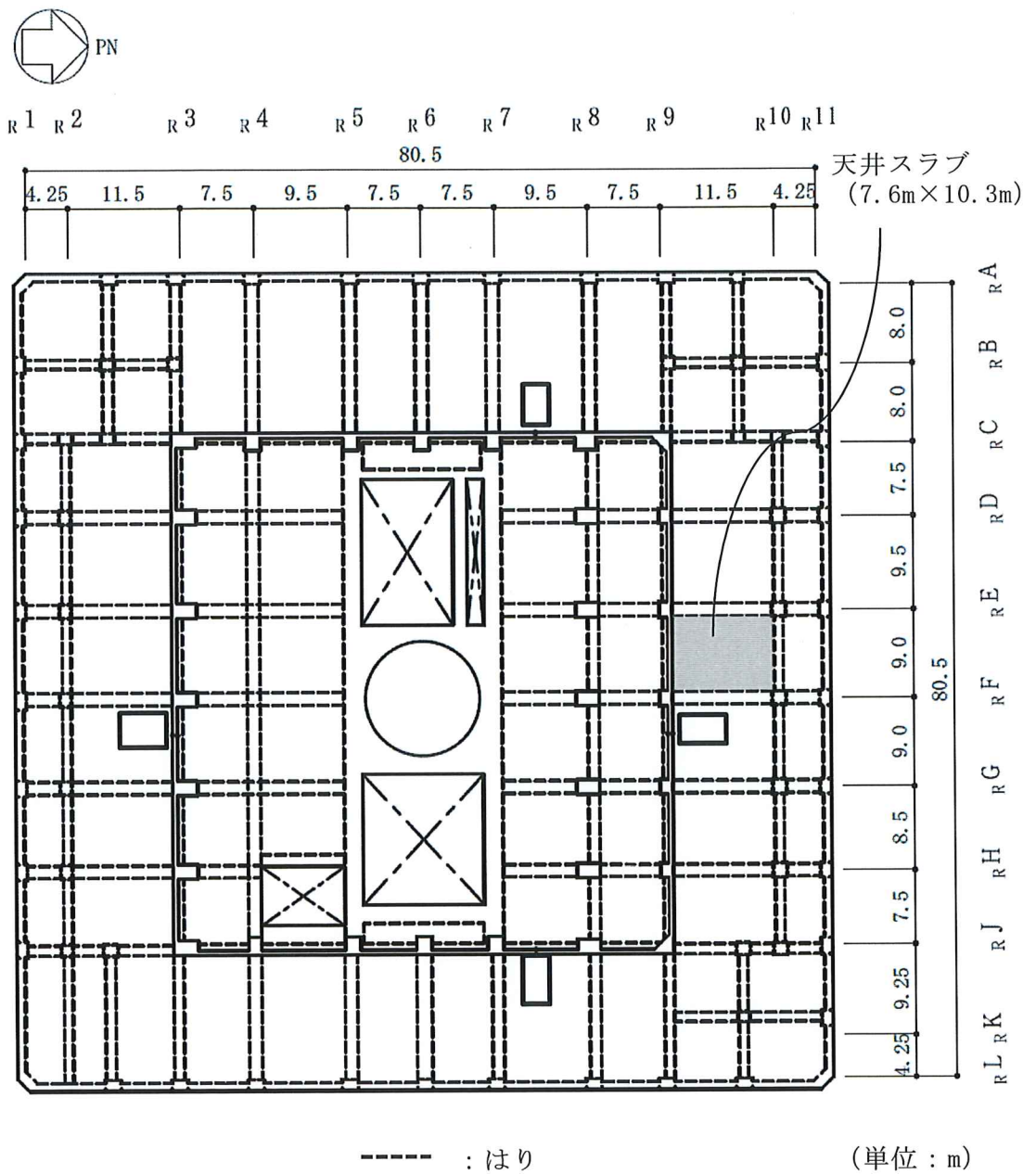


(a) 緊急時対策所 床スラブ

(5号機原子炉建屋 3F, T.M.S.L. 27.8m)

図4-2 スラブの評価を記載する部材の位置 (1/3)

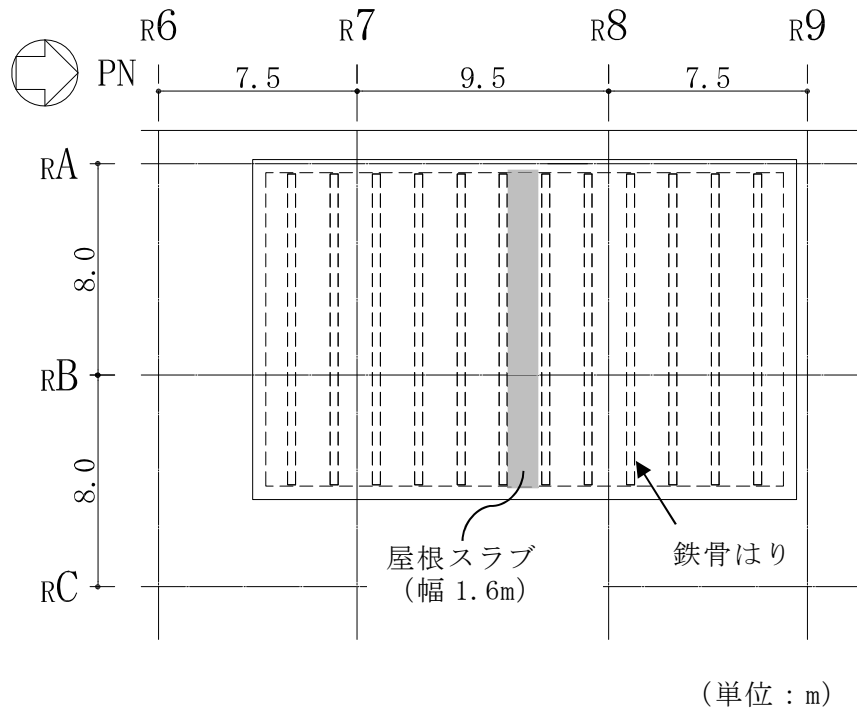
K7 ① V-2-8-4-5 R0



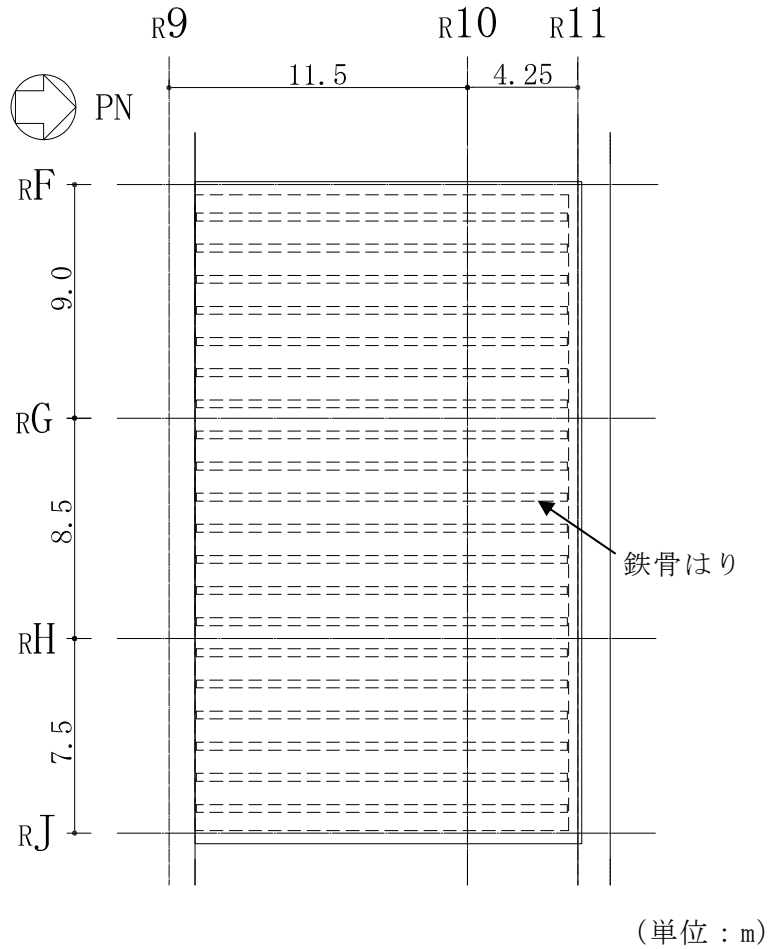
(b) 緊急時対策所 天井スラブ

(5号機原子炉建屋 4F, T.M.S.L. 33.0m)

図 4-2 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 (対策本部) 屋根スラブ



(d) 緊急時対策所 (待機場所) 屋根スラブ

図 4-2 スラブの評価を記載する部材の位置 (3/3)

#### 4.1.2 室内遮蔽

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水平方向の地震力により発生する応力が, 「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, 各断面について室内遮蔽の検定値が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 4-3 に, 選定した部材を図 4-4 に示す。

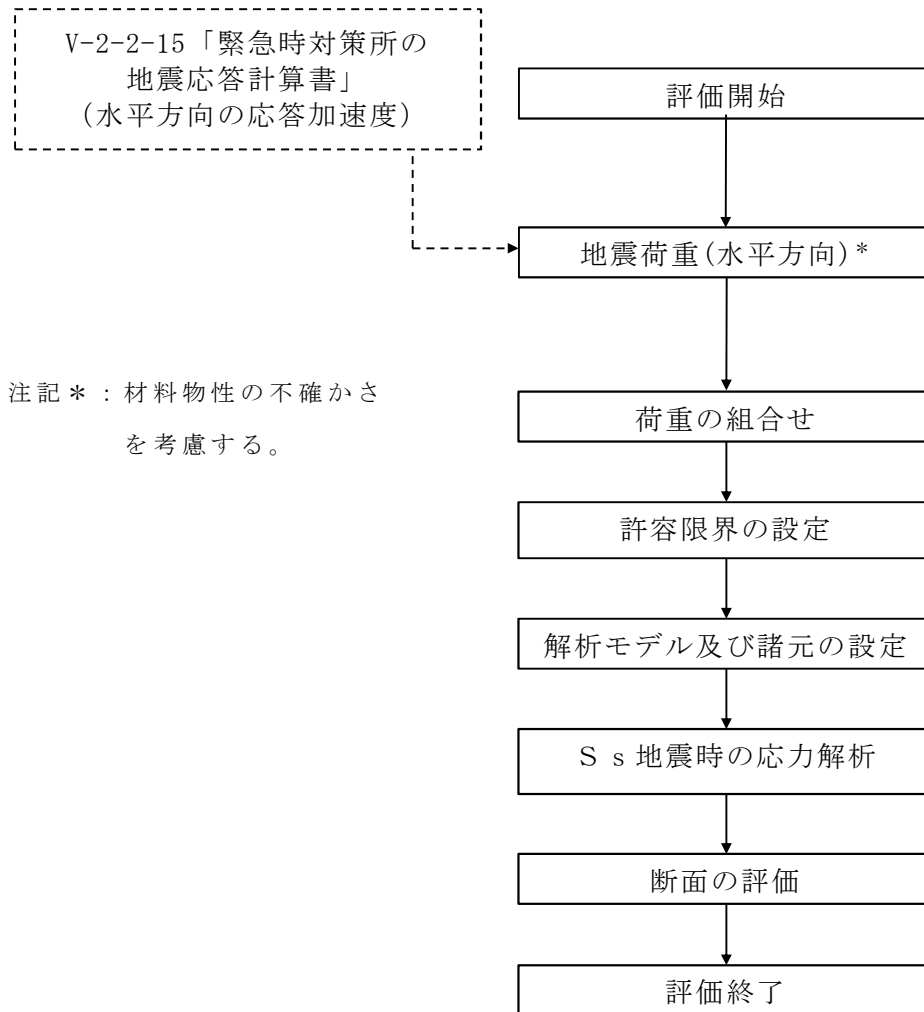


図 4-3 室内遮蔽の応力解析による評価フロー

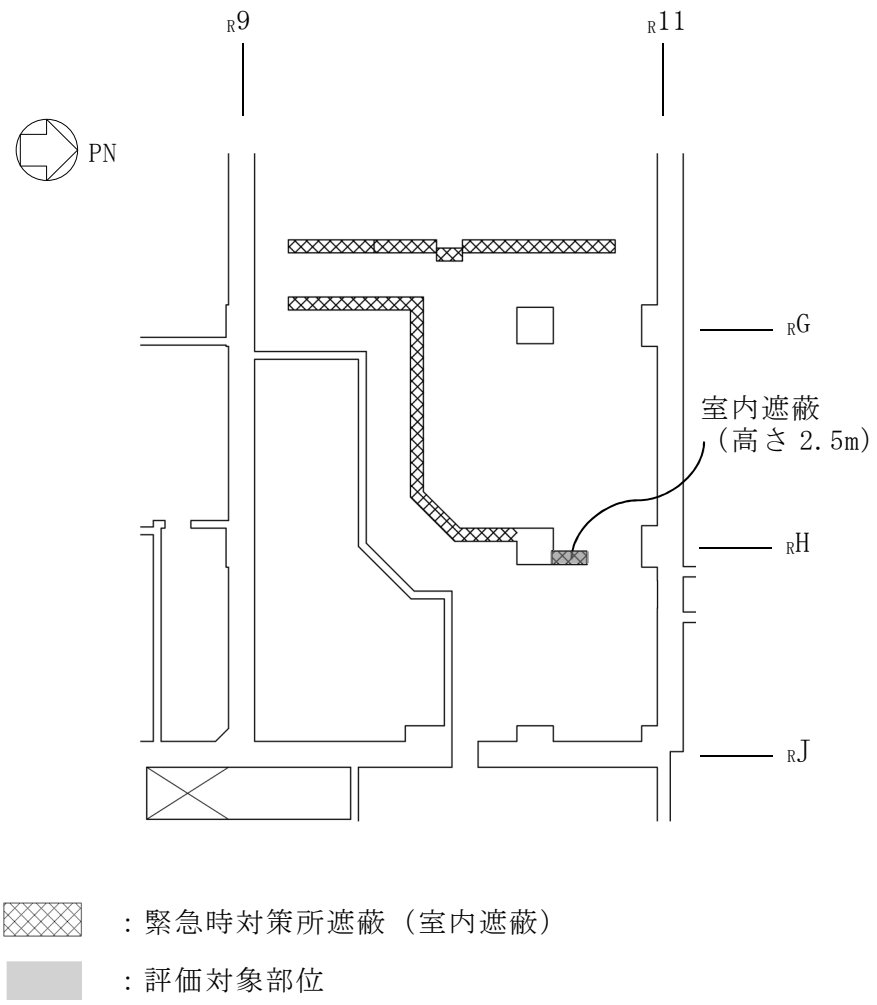


図 4-4 室内遮蔽の評価を記載する部材の位置

## 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。

### 4.2.1 床スラブ，天井スラブ及び屋根スラブ

#### (1) 荷重

##### a. 鉛直荷重

表 4-1，表 4-2 及び表 4-3 に荷重の一覧を示す。固定荷重(G)，積載荷重(P) 及び積雪荷重(SNL)は，昭和 58 年 8 月 22 日付け 58 資庁第 9522 号にて認可された工事計画の添付資料「IV-3-6 原子炉建屋の強度計算書」に基づき設定する。なお，積雪量は 217cm とし，長期は 0.7，地震時は 0.35 の係数を乗じた積雪荷重を考慮する。

表 4-1 固定荷重(G)

部位	固定荷重 (kN/m <sup>2</sup> )
床スラブ	21.48
天井スラブ	32.95
屋根スラブ	13.00

表 4-2 積載荷重(P)

部位	積載荷重 (kN/m <sup>2</sup> )
床スラブ	14.71
天井スラブ	2.94
屋根スラブ	2.00

表 4-3 積雪荷重(SNL)

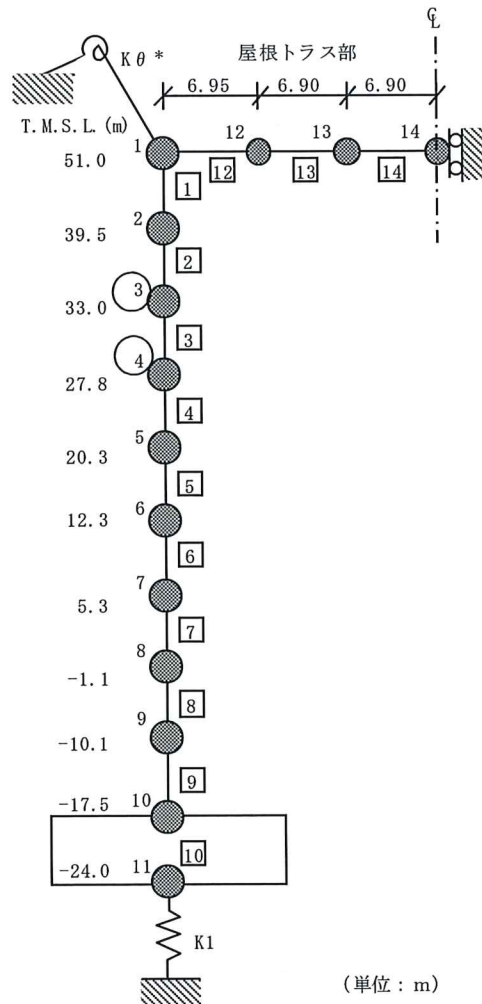
外力の状態	積雪荷重 (kN/m <sup>2</sup> )
長期	4.47
地震時	2.24

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。

床スラブ、天井スラブ及び屋根スラブが、長辺方向 10.3m、短辺方向 1.6m～8.3m 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 4-5 に示す基準地震動 S s に対する質点系モデルの緊急時対策所天井レベル (T.M.S.L. 33.0m、質点番号 3) 及び緊急時対策所床レベル (T.M.S.L. 27.8m、質点番号 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 4-5 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 4-4 に示す。

表 4-4 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

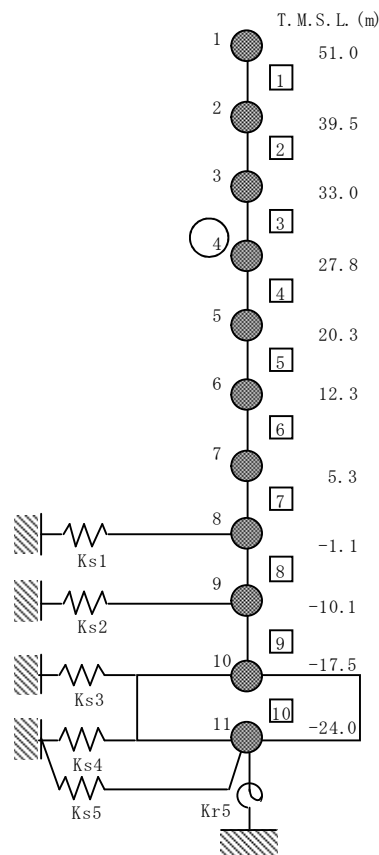
S<sub>NL</sub> : 積雪荷重 (天井スラブ, 屋根スラブのみ考慮)

S<sub>s</sub> : S<sub>s</sub> 地震荷重

#### 4.2.2 室内遮蔽

水平地震力は、基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析により算定される動的地震力より設定する。

水平方向の地震荷重は、図 4-6 に示す基準地震動  $S_s$  に対する質点系モデルの緊急時対策所床レベル (T.M.S.L. 27.8m, 質点番号 4) の水平方向最大応答加速度より算定される水平震度とする。



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 4-6 基準地震動  $S_s$  に対する質点系モデル (水平方向)

### 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4-5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

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>	天井スラブ 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>	天井スラブ 床スラブ 屋根スラブ 室内遮蔽	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* <sup>1</sup>
気密性	換気性能とあいまって気密性能を維持すること* <sup>3</sup>	基準地震動 S <sub>s</sub>	天井スラブ 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* <sup>2</sup>

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: 緊急時対策所(待機場所)は、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。

\*3: 緊急時対策所(対策本部)は、鋼板内張構造により気密性を有する設計とする。

表 4-6 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 4-7 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

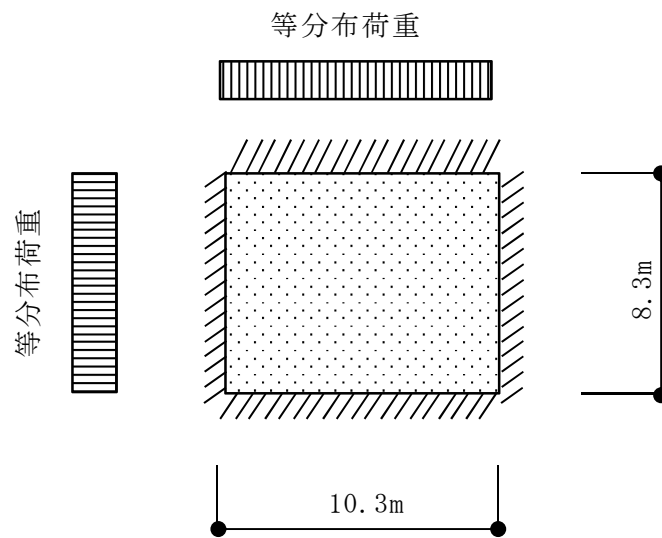
種別	引張及び圧縮	せん断補強
SD35 (SD345 相当)	345	345

#### 4.4 解析モデル

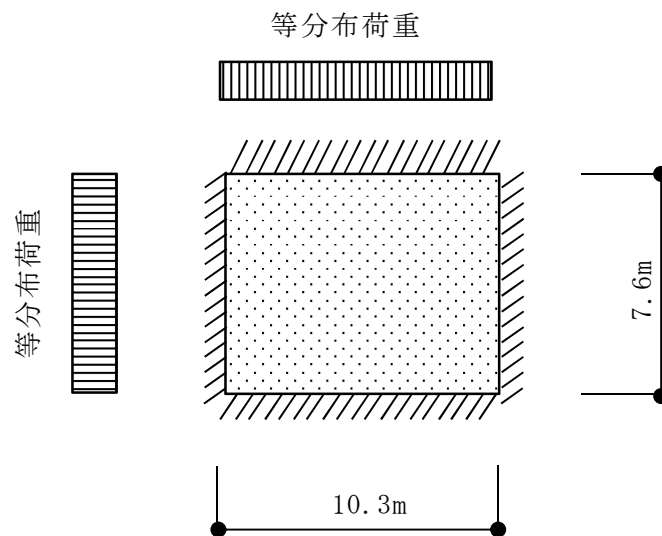
##### 4.4.1 床スラブ，天井スラブ及び屋根スラブ

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図 4-2 に示す範囲についてモデル化する。

スラブの解析モデルは，床スラブ，天井スラブは四辺固定版として評価する。屋根スラブは，鉄骨はりとコンクリートの立ち上り壁で囲まれた範囲において，スラブの辺長比が大きいことから 1 方向スラブとし，短辺方向で荷重を負担する両端固定はりとして評価する。スラブの解析モデルを図 4-7 に示す。

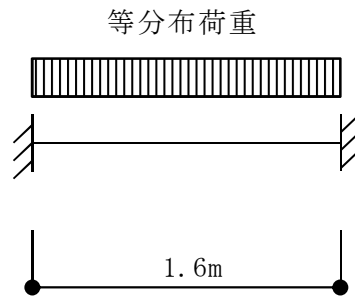


(a) 床スラブ（四辺固定版）



(b) 天井スラブ（四辺固定版）

図 4-7 解析モデル (1/2)



(c) 屋根スラブ (両端固定はり)

図 4-7 解析モデル (2/2)

#### 4.4.2 室内遮蔽

室内遮蔽の解析モデルは、脚部固定の片持ちはりとして評価する。室内遮蔽の解析モデルを図 4-8 に示す。

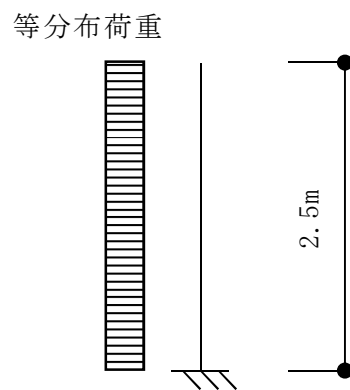


図 4-8 解析モデル

## 4.5 評価方法

### 4.5.1 床スラブ，天井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，積載荷重及び積雪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とおり算出する。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 4-8 に示す。

(両端固定はり)

- ・端部曲げモーメント ( $M_E$ )

$$M_E = -\frac{1}{12} w \cdot \ell^2$$

- ・中央部曲げモーメント ( $M_C$ )

$$M_C = \frac{1}{24} w \cdot \ell^2$$

- ・せん断力 ( $Q_E$ )

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

ここで，

$\ell$  : 有効スパン (m)

$w$  : 単位面積あたりの長期荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

(四辺固定版)

- ・短辺の端部曲げモーメント ( $M_{x1}$ )

$$M_{x1} = -\frac{1}{12} w_x \cdot \ell_x^2$$

- ・短辺の中央部曲げモーメント ( $M_{x2}$ )

$$M_{x2} = \frac{1}{18} w_x \cdot \ell_x^2$$

- ・短辺のせん断力 ( $Q_x$ )

$$Q_x = 0.52 w \cdot \ell_x$$

- ・長辺の端部曲げモーメント ( $M_{y1}$ )

$$M_{y1} = -\frac{1}{24} w \cdot \ell_x^2$$

- ・長辺の中央部曲げモーメント ( $M_{y2}$ )

$$M_{y2} = \frac{1}{36} w \cdot \ell_x^2$$

- ・長辺のせん断力 ( $Q_y$ )

$$Q_y = 0.46 w \cdot \ell_x$$

ここで、



$\ell_x$  : 短辺有効スパン (m)

$\ell_y$  : 長辺有効スパン (m)

$w$  : 単位面積あたりの長期荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$$w_x = \frac{\ell_y^4}{\ell_x^4 + \ell_y^4} w$$

表 4-8 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

部材	スラブ厚 (m)	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	0.6	短辺 (EW)	146.2	97.4	156.2
		長辺 (NS)	103.9	69.3	138.2
天井スラブ		短辺 (EW)	149.8	99.9	159.5
		長辺 (NS)	97.1	64.8	141.1
屋根スラブ		短辺 (NS)	4.2	2.1	15.6



(3) S s 地震時の応力の算出方法

S s 地震時の応力は，緊急時対策所天井レベル（T. M. S. L. 33.0m，質点番号 3）及び緊急時対策所床レベル（T. M. S. L. 27.8m，質点番号 4）の鉛直方向最大応答加速度より得られる鉛直震度を用いて，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。鉛直方向最大応答加速度を表 4-9 に示す。また，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 4-10 に示す。

表 4-9 地震応答解析による最大応答加速度  
基準地震動 S s

質点番号	T. M. S. L. (m)	最大値 (m/s <sup>2</sup> )
3	33.0	9.45
4	27.8	9.20

表 4-10 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 (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	1.94	短辺(EW)	283.5	189.0	303.0
		長辺(NS)	201.5	134.4	268.1
天井スラブ	1.97	短辺(EW)	278.9	185.9	296.9
		長辺(NS)	180.8	120.5	262.6
屋根スラブ	1.97	短辺(NS)	7.2	3.6	27.2

4.5.2 室内遮蔽の応力解析方法

S s 地震時の曲げモーメント及びせん断力の算出方法は下式のとおりとする。

(片持ちはり)

- ・脚部曲げモーメント (M)

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

- ・せん断力 (Q)

$$Q = w \cdot H$$

ここで、

w : 単位面積当たりの地震時水平力 (kN/m<sup>2</sup>)

H : 高さ (m)

地震時水平力は緊急時対策所床レベル (T. M. S. L. 27.8m, 質点番号 4) の水平震度を用いて算出する。水平方向最大応答加速度を表 4-11 に示す。

また、水平震度より算出した曲げモーメント及びせん断力を表 4-12 に示す。

表 4-11 地震応答解析による最大応答加速度  
基準地震動 S s

質点番号	T. M. S. L. (m)	最大値 (m/s <sup>2</sup> )
4	27.8	10.6

表 4-12 水平震度より算出した曲げモーメント及びせん断力

部位	壁厚 (m)	検討用 水平震度	脚部曲げ モーメント (kN・m/m)	せん断力 (kN/m)
室内遮蔽	0.5	1.09	40.9	32.7

#### 4.5.3 床スラブ，天井スラブ，屋根スラブ及び室内遮蔽の断面評価方法

##### (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) 面外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)

$f_s$  : 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

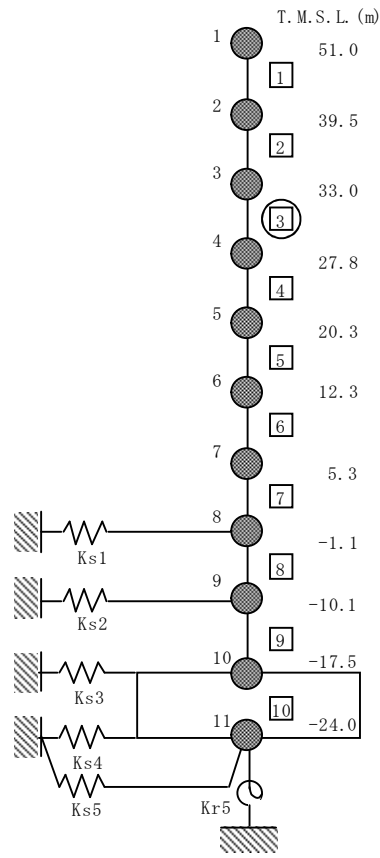
### 5.1 地震応答解析による評価結果

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、最大せん断ひずみをせん断スケルトン曲線にプロットした図を図 5-2 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, Ss-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。

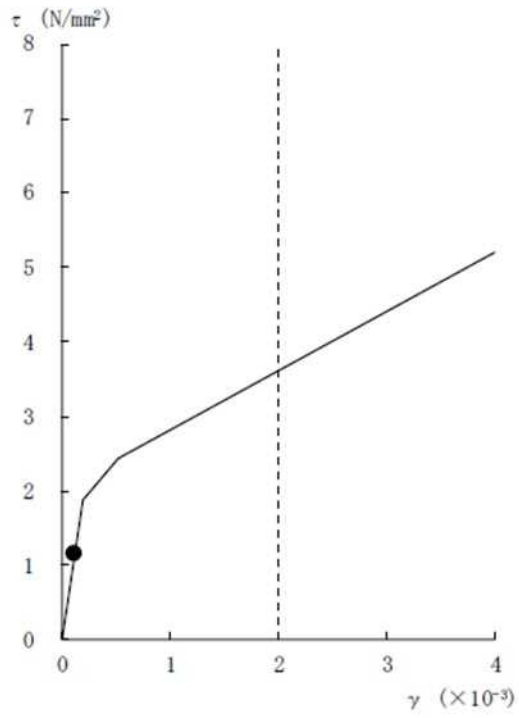
表 5-1 耐震壁の最大せん断ひずみ

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	Ss-1, ケース 5	0.121	2.0
		EW	Ss-2, ケース 5	0.104	

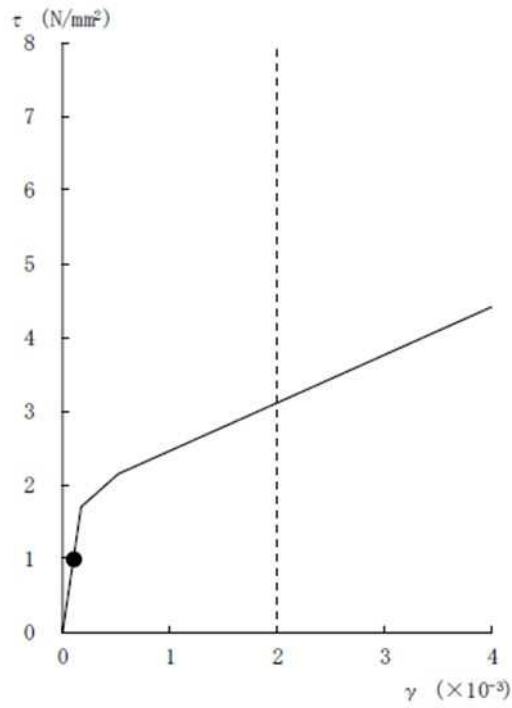


- 注 1 : 数字は質点番号を示す。
- 注 2 : □ 内は部材番号を示す。
- 注 3 : ○ 印の動的応答を用いる。

図 5-1 基準地震動  $S_s$  に対する質点系モデル (水平方向)



(NS 方向, Ss-1, ケース 5, 3F)



(EW 方向, Ss-2, ケース 5, 3F)

図 5-2 せん断スケルトン曲線上の最大せん断ひずみ

## 5.2 応力解析による評価結果

スラブ及び室内遮蔽の配筋一覧を表 5-2～表 5-3 に示す。また、「4.5.3 床スラブ、天井スラブ、屋根スラブ及び室内遮蔽の断面評価方法」に基づいた断面の評価結果を表 5-4～表 5-7 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 スラブの配筋一覧

スラブ	方向	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)
床スラブ	NS	D29@200	3210	D29@200	3210
	EW				
天井スラブ	NS	D29@200	3210	D29@200	3210
	EW				
屋根スラブ	NS	D13@200	635	D13@200	635

表 5-3 室内遮蔽の配筋一覧

壁	配筋	断面積 (mm <sup>2</sup> /m)
室内遮蔽	D16@200	995

表 5-4 床スラブの評価結果（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)		600 × 1000	
有効せい $d$ (mm)		540	510
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)	283.5	201.5
	許容限界 $M_A$ (kN・m/m)	523.3	494.3
	検定値 $M/M_A$	0.55	0.41
面外せん断力	発生せん断力 $Q$ (kN/m)	303.0	268.1
	せん断スパン比による割増し係数 $\alpha$	1.00	1.00
	許容限界 $Q_A$ (kN/m)	510.3	482
	検定値 $Q/Q_A$	0.60	0.56
判定		可	可




表 5-5 天井スラブの評価結果 (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)		□ × 1000	
有効せい $d$ (mm)		440	410
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)	278.9	180.8
	許容限界 $M_A$ (kN・m/m)	426.4	397.4
	検定値 $M/M_A$	0.66	0.46
面外せん断力	発生せん断力 $Q$ (kN/m)	296.9	262.6
	せん断スパン比による割増し係数 $\alpha$	1.00	1.00
	許容限界 $Q_A$ (kN/m)	415.8	387.5
	検定値 $Q/Q_A$	0.72	0.68
判定		可	可

K7 ① V-2-8-4-5 R0

表 5-6 屋根スラブの評価結果 (基準地震動  $S_s$ )

方向		短辺 (NS) 方向
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)	7.2
	許容限界 $M_A$ (kN・m/m)	82.2
	検定値 $M/M_A$	0.09
面外せん断力	発生せん断力 $Q$ (kN/m)	27.2
	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 $Q/Q_A$	0.07
判定		可

K7 ① V-2-8-4-5 R0

表 5-7 室内遮蔽の評価結果（基準地震動  $S_s$ ）

方向		EW
厚さ $t$ (mm) × 幅 $b$ (mm)		500 × 1000
有効せい $d$ (mm)		423
配筋	壁筋	D16@200 (995mm <sup>2</sup> /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント $M$ (kN・m/m)	40.9
	許容限界 $M_A$ (kN・m/m)	127.0
	検定値 $M/M_A$	0.33
面外せん断力	発生せん断力 $Q$ (kN/m)	32.7
	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)	399.7
	検定値 $Q/Q_A$	0.09
判定		可

V-2-8-4-5 別紙 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. 待機場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 総漏えい量と陽圧化装置必要換気量の比較 .....	別紙 1-5
3.4 検討結果 .....	別紙 1-5
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、 $S_1$ 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。

V-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、設置する換気設備の性能を下回ること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最大せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$ としている。

5号機原子炉建屋の緊急時対策所待機場所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最大せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$ 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、5号機原子炉建屋内緊急時対策所（待機場所）陽圧化装置（空気ボンベ）の処理対象となるバウンダリ（以下「待機場所バウンダリ」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（ $S_2$ 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、待機場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、待機場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

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

ここで,

A : 壁の面積 (m<sup>2</sup>)

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

ここで,

Q : 単位面積あたりの流量 (L/min/m<sup>2</sup>)

C : 定数

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

$\gamma$  : 最大せん断ひずみ

$\Delta P$  : 差圧 (mmAq)

T : 壁厚 (m)

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

ここで,

$\Delta Q$  : 通気量割増率

$\alpha$  : 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)

$\beta$  : 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」

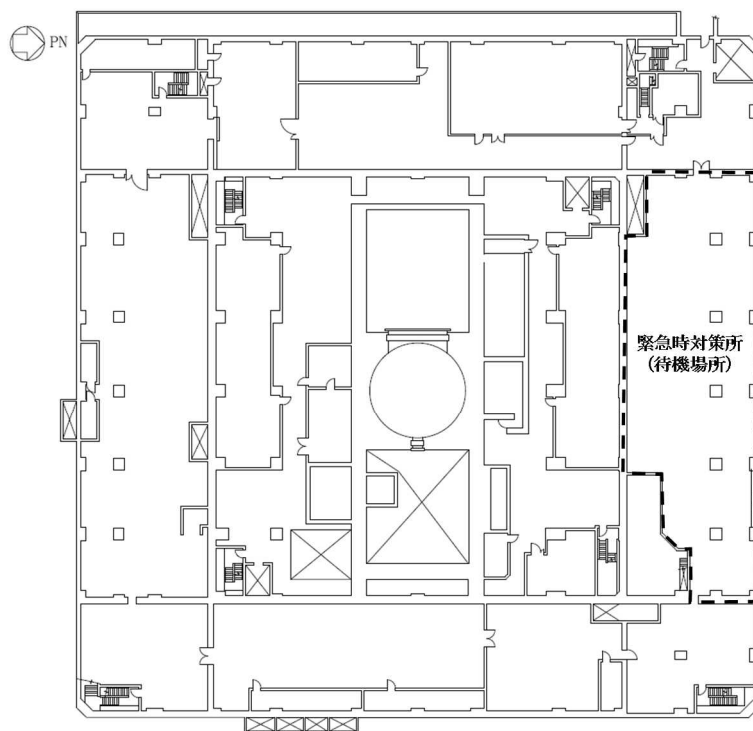
### 3. 待機場所バウンダリにおける空気漏えい量に対する影響検討

#### 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、式(2.1)～(2.3)により、待機場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( $2.0 \times 10^{-3}$ )に達したときの空気漏えい量を算定し、陽圧化装置必要換気量( $12.4 \text{ (m}^3/\text{min)}$ )を超えないことを確認する。

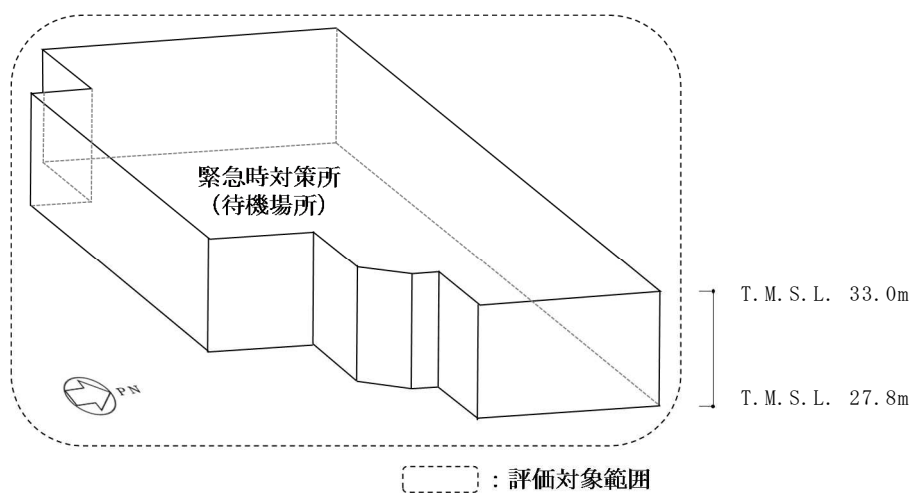
待機場所バウンダリ範囲を図3-1に示す。待機場所バウンダリ(T.M.S.L. 27.8m～T.M.S.L. 33.0m)を構成する壁の壁厚は  である。





--- : 待機場所バウンダリ

(a) T.M.S.L. 27.8m 平面図



--- : 評価対象範囲

(b) 待機場所バウンダリの概要

図 3-1 待機場所バウンダリの概略図

### 3.2 空気漏えい量の算定結果

待機場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最大せん断ひずみ  $2.0 \times 10^{-3}$  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 待機場所バウンダリの気密性計算結果

壁厚 T (m)	定数		通気量 割増範囲 $\alpha$	最大 <sup>*1</sup> せん断 ひずみ $\gamma$	差圧 <sup>*2</sup> $\Delta P$ (mmAq)	壁の面積 <sup>*3</sup> A ( $m^2$ )	単位面積当 たりの流量 Q (L/min/ $m^2$ )	壁の見付け 面積に対する 開口の総面積 $\beta$	通気量 割増率 $\Delta Q$	総漏えい量 $Q \times A \times \Delta Q$ (L/min)
	C	$Q/Q_0$								
	$1.18 \times 10^{-7}$	7.41	3	$2 \times 10^{-3}$	2.1	131	0.10	0.004	1.21	16
	$1.18 \times 10^{-7}$	7.41	3	$2 \times 10^{-3}$	2.1	143	0.06	0.010	1.51	13
	$1.18 \times 10^{-7}$	7.41	3	$2 \times 10^{-3}$	2.1	37	0.05	0.380	20.11	38
	$1.18 \times 10^{-7}$	7.41	3	$2 \times 10^{-3}$	2.1	100	0.03	0.072	4.63	14
									合計	81

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し、評価する。

\*2: 待機場所バウンダリの陽圧化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 総漏えい量と陽圧化装置必要換気量の比較

待機場所バウンダリの総漏えい量と陽圧化装置必要換気量を表 3-2 に示す。待機場所バウンダリについて総漏えい量は、陽圧化装置必要換気量の 0.7% 程度であることを確認した。

表 3-2 総漏えい量と陽圧化装置必要換気量の比較

総漏えい量 ( $m^3/min$ )	陽圧化装置必要換気量 ( $m^3/min$ )
0.1	12.4

### 3.4 検討結果

待機場所バウンダリについて、総漏えい量は陽圧化装置必要換気量を超えないことを確認した。

よって、待機場所バウンダリは、鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界を最大せん断ひずみ  $2.0 \times 10^{-3}$  とした場合において、換気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

待機場所バウンダリは、鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界として設定した最大せん断ひずみ  $2.0 \times 10^{-3}$  を適用した場合において、換気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、5号機原子炉建屋の緊急時対策所待機場所の地震応答解析による評価において、換気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、最大せん断ひずみ  $2.0 \times 10^{-3}$  を用いることの適用性を確認した。

以 上