

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-19-0115_改3
提出年月日	2021年9月6日

VI-2-8-4-4 中央制御室待避所遮蔽の耐震性についての計算書

2021年 9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	7
2.4 適用規格・基準等	9
3. 応力解析による評価方法	10
3.1 評価対象部位及び評価方針	10
3.1.1 スラブ	10
3.1.2 新設壁	13
3.2 荷重及び荷重の組合せ	15
3.2.1 スラブ	15
3.2.2 新設壁	17
3.3 許容限界	19
3.4 解析モデル	21
3.5 評価方法	22
3.5.1 スラブの応力解析方法	22
3.5.2 新設壁の応力解析方法	24
3.5.3 スラブの断面評価方法	25
3.5.4 新設壁の断面評価方法	26
4. 評価結果	27

別紙 1 中央制御室待避所の気密性に関する計算書

1. 概要

本資料は、炉心の著しい損傷後の原子炉格納容器フィルタベント系を作動させる場合に放出される放射性雲通過時において、中央制御室待避所にとどまる運転員の被ばくを低減するために設置する中央制御室待避所遮蔽(以下「中央制御室待避所遮蔽」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、中央制御室待避所は、添付書類「VI-1-7-3 中央制御室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 38 条及び第 74 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、中央制御室待避所加圧設備の処理対象となるバウンダリ(以下「待避所バウンダリ」という。)を定めている。以下、中央制御室待避所のうち中央制御室待避所遮蔽と待避所バウンダリの耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

中央制御室待避所遮蔽及び待避所バウンダリは、制御建屋内にある中央制御室待避所の一部を構成している。中央制御室待避所遮蔽及び待避所バウンダリを含む制御建屋の位置を図2-1に示す。

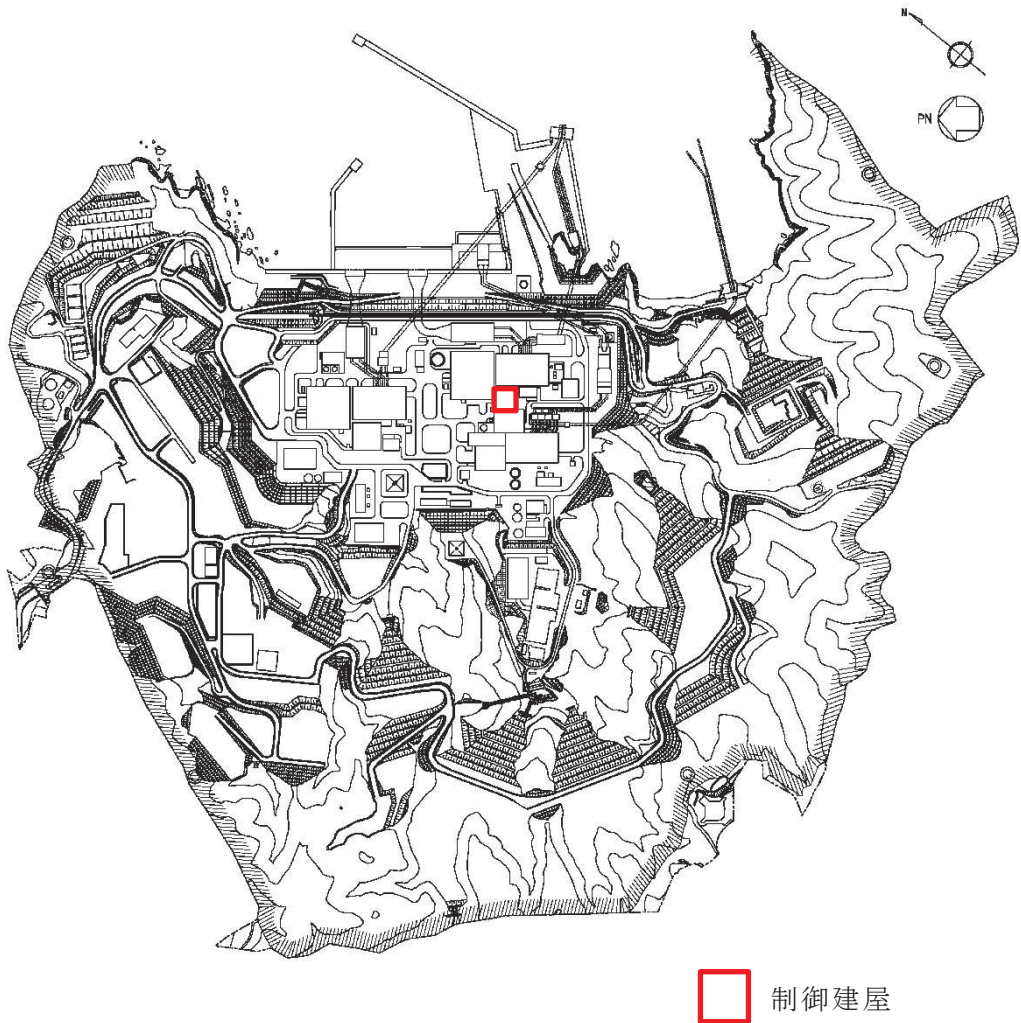


図2-1 制御建屋の設置位置

2.2 構造概要

制御建屋は地下2階，地上3階建で，基礎底面からの高さは30.65mであり，平面は下部で41.0m(NS方向)×40.0m(EW方向)*のほぼ正方形である。

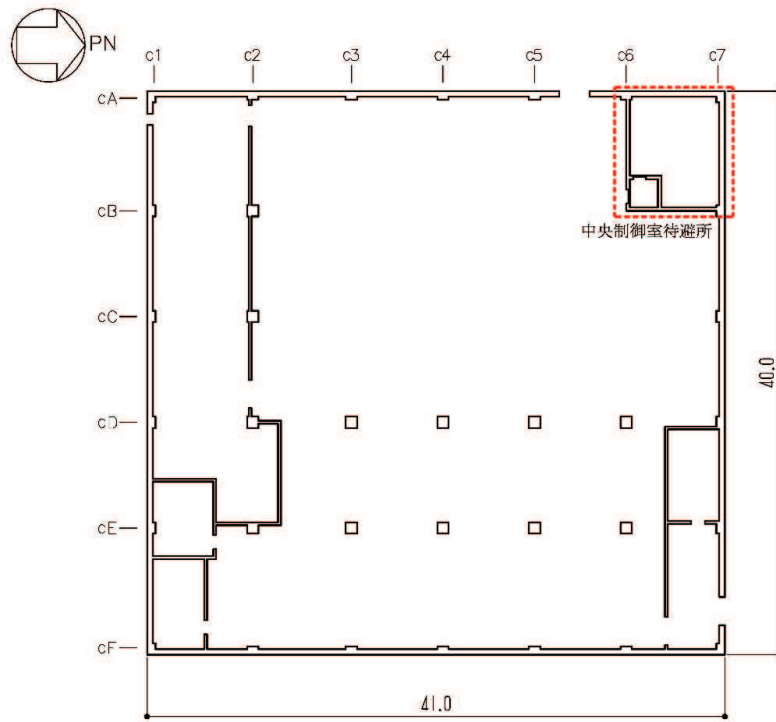
建屋の構造は鉄筋コンクリート造(一部鉄骨造)であり，その主たる耐震要素は建屋の外周の耐震壁である。

制御建屋の基礎は，厚さ3.0mのべた基礎で，支持地盤である砂岩及び頁岩上に設置されており，一部は支持地盤上に打設されたマンメイドロック上に設置されている。

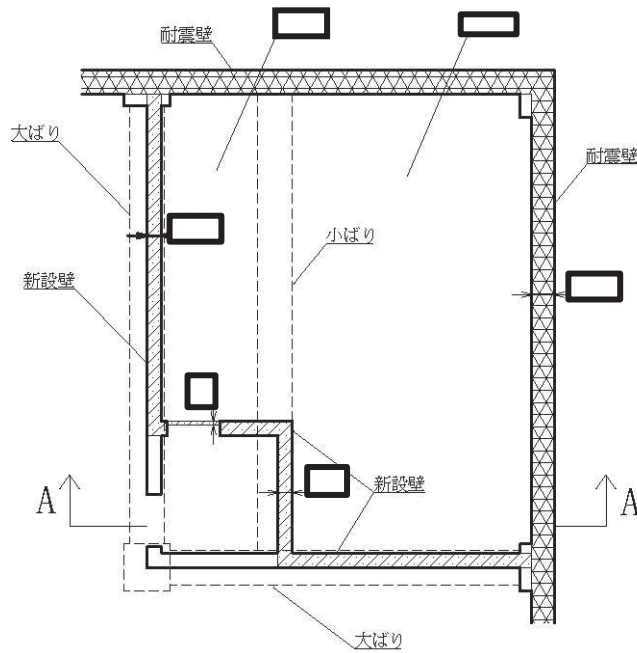
中央制御室待避所は制御建屋の3階に位置する。中央制御室待避所遮蔽及び待避所バウンダリは，中央制御室待避所を取り囲むコンクリート壁(耐震壁及び新設壁)及びコンクリートスラブ(床スラブ及び新設スラブ)で構成されており，壁の厚さは ，スラブの厚さは である。

中央制御室待避所の概略平面図及び概略断面図を図2-2及び図2-3に，待避所バウンダリの範囲を図2-4に示す。

注記* : 建屋寸法は壁外面押えとする。



(単位：m)



(単位：mm)

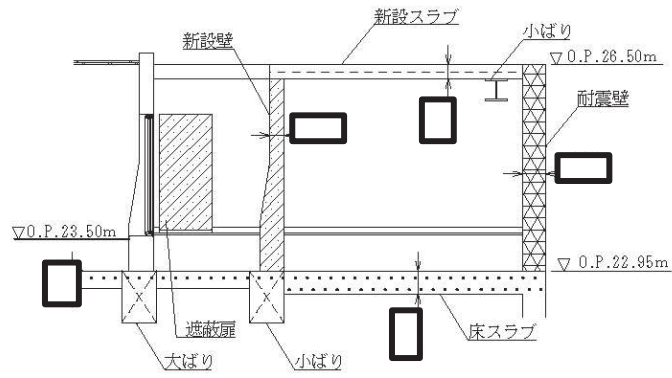
中央制御室待避所平面拡大図

- 中央制御室しゃへい壁(壁)を示す。
- 中央制御室待避所遮蔽(壁)を示す。

図 2-2 中央制御室待避所の概略平面図 (制御建屋 3F, O.P.*22.95m)

注記*： 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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(単位：mm)





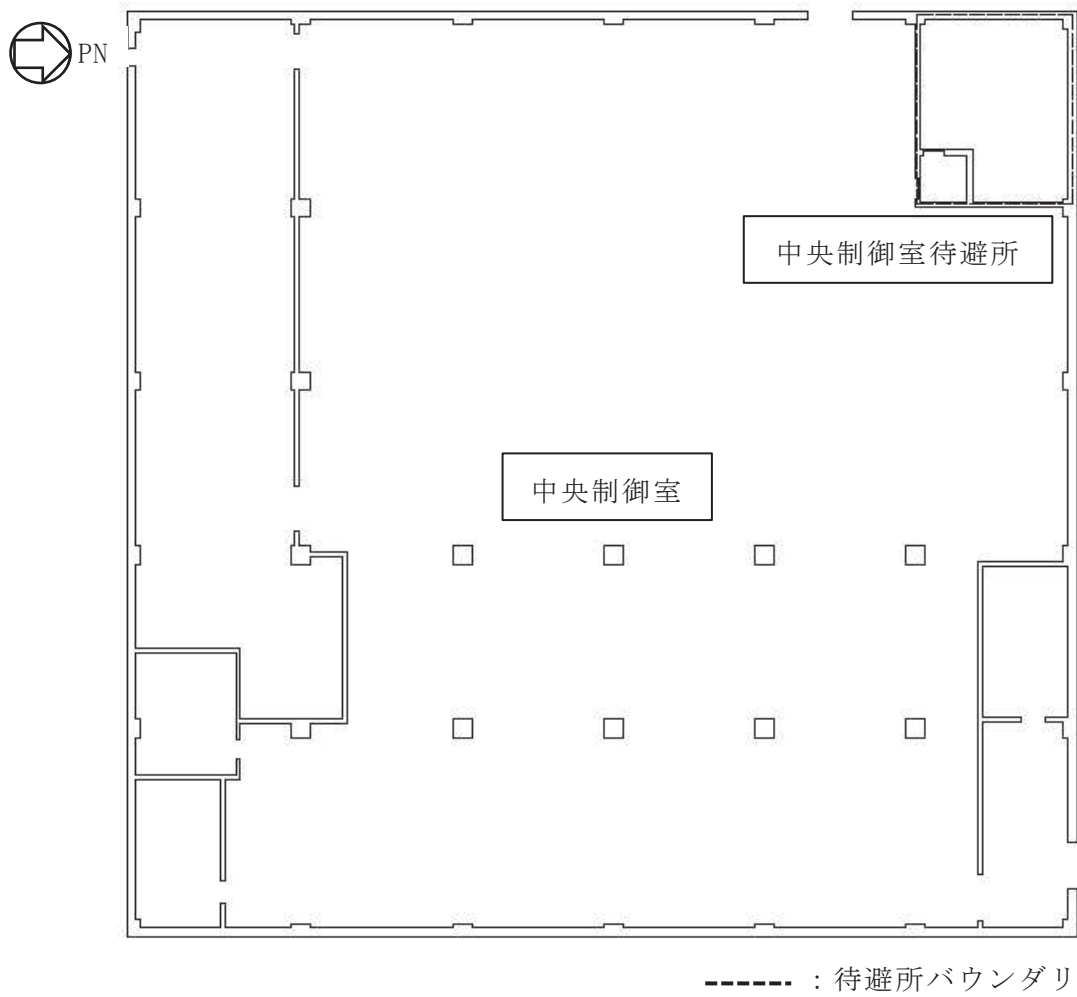
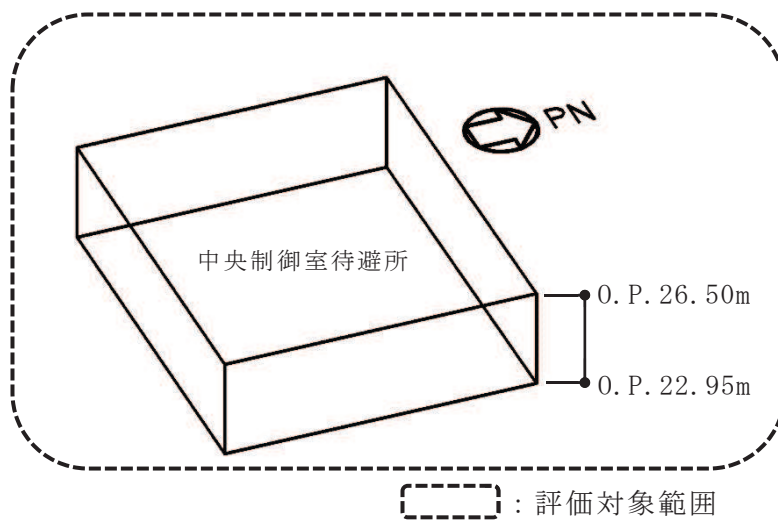
-  中央制御室しゃへい壁(壁)を示す。
-  中央制御室しゃへい壁(床)を示す。
-  中央制御室待避所遮蔽(壁)を示す。
-  中央制御室待避所遮蔽(床)を示す。

図 2-3 中央制御室待避所の概略断面図 (A-A 断面)



(a) 平面図 (0. P. 22. 95m)



(b) 待避所バウンダリの概要

図 2-4 待避所バウンダリの範囲

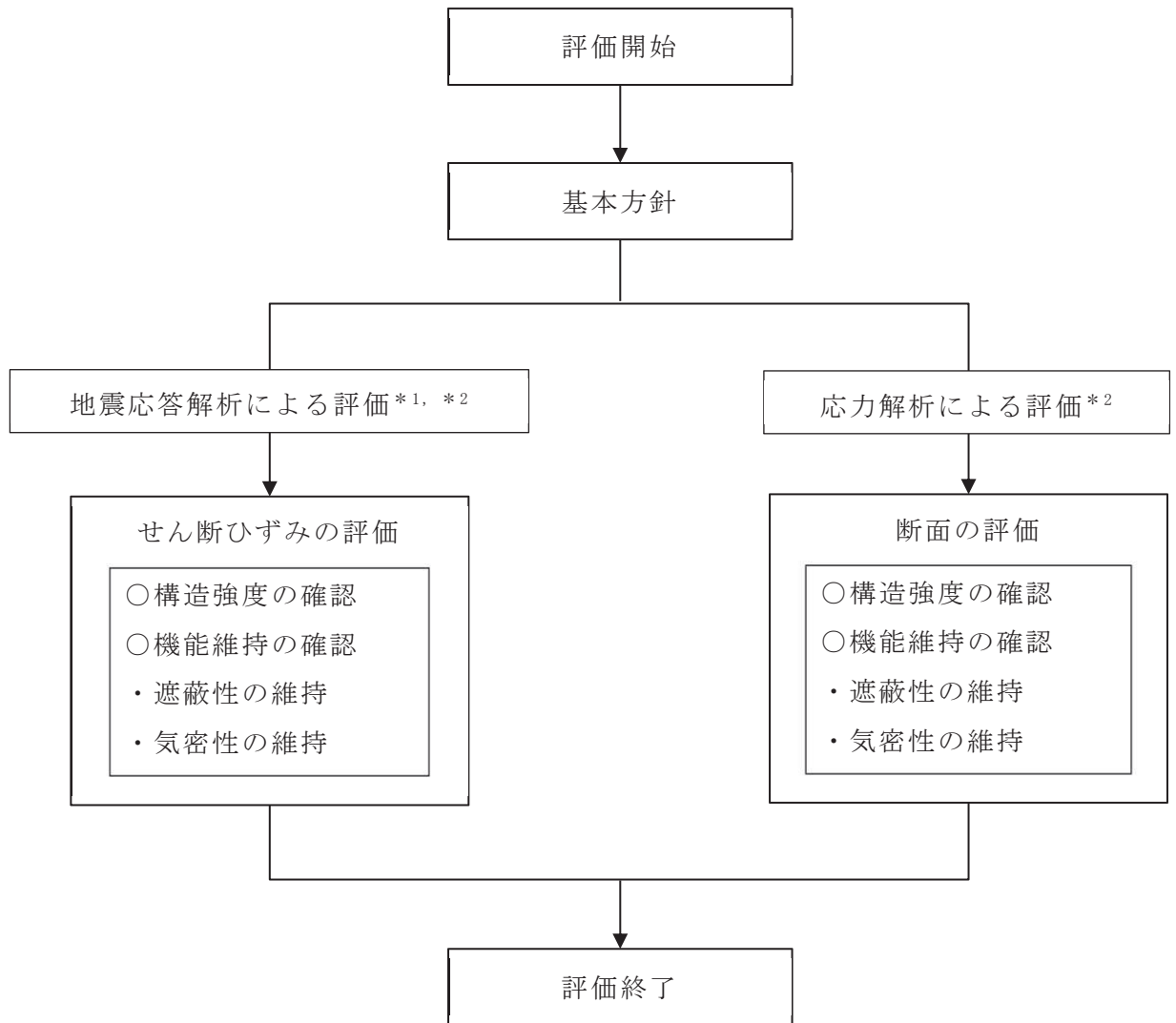
2.3 評価方針

中央制御室待避所遮蔽は、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、待避所バウンダリは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示すとおり、加圧設備とあいまって、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。

中央制御室待避所及び待避所バウンダリは、中央制御室待避所を取り囲むコンクリート壁(耐震壁及び新設壁)及びコンクリートスラブ(床スラブ及び新設スラブ)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。

中央制御室待避所遮蔽及び待避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、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新設スラブ、床スラブ及び新設壁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1「中央制御室待避所の気密性に関する計算書」参照)。それぞれの評価は、添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。評価に当たっては材料物性の不確かさを考慮する。中央制御室待避所遮蔽及び待避所バウンダリの評価フローを図2-5に示す。

なお、中央制御室待避所を構成する耐震壁は、中央制御室しゃへい壁の一部であることを踏まえ、地震時の構造強度及び機能維持の確認は添付書類「VI-2-8-4-3 中央制御室しゃへい壁の耐震性についての計算書」によるものとする。また、制御建屋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、間仕切壁等は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。



注記*1: 地震応答解析による評価は添付書類「VI-2-8-4-3 中央制御室しゃへい壁の耐震性についての計算書」によるものとする。

*2: 添付書類「VI-2-2-3 制御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 中央制御室待避所遮蔽及び待避所バウンダリの評価フロー

2.4 適用規格・基準等

中央制御室待避所遮蔽及び待避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. 応力解析による評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

中央制御室待避所遮蔽及び待避所バウンダリの応力解析による評価対象部位は、中央制御室待避所を構成する新設スラブ、床スラブ及び新設壁とし、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-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」による結果を用いて、荷重の組合せを行う。

3.1.1 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、スラブの検定比が大きい部材を選定して示すこととし、評価対象は床スラブとする。

応力解析による評価フローを図 3-1 に、スラブの評価を記載する部材の位置を図 3-2 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。

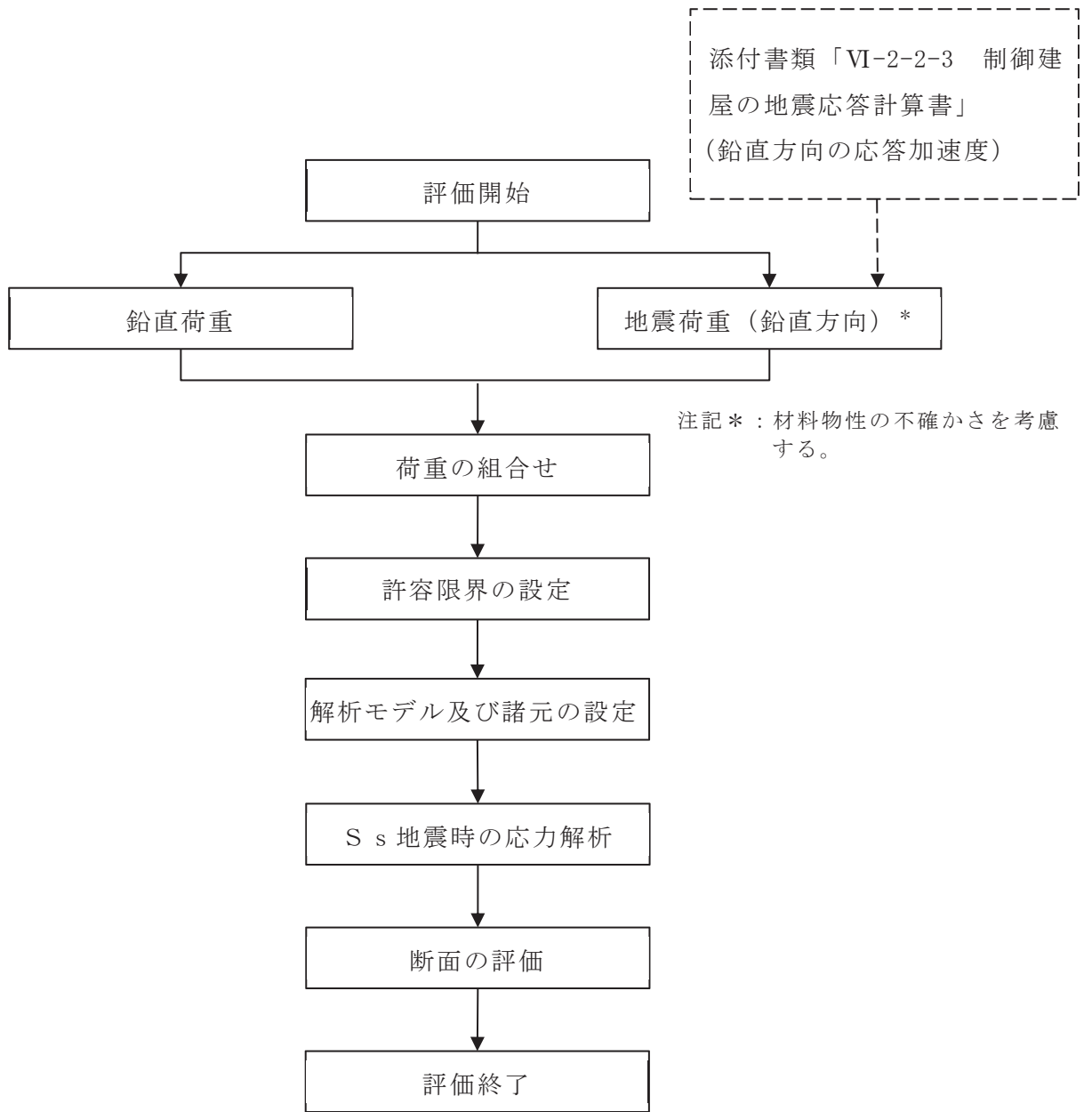
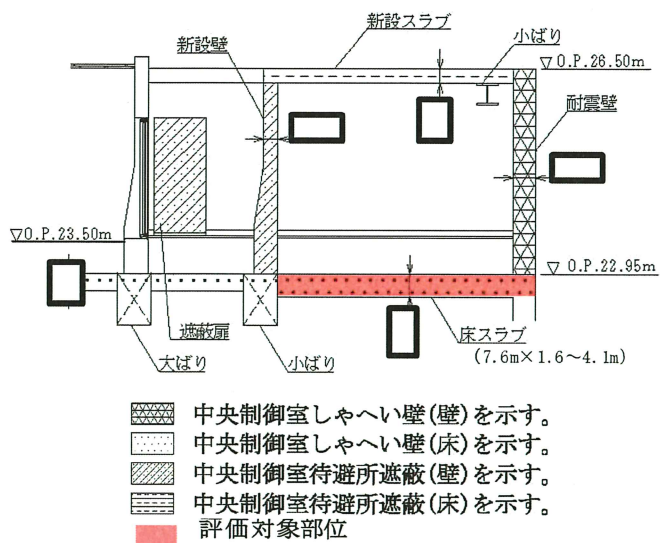


図 3-1 スラブの応力解析による評価フロー



(単位 : mm)

図 3-2 スラブの評価を記載する部材の位置

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.1.2 新設壁

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。

応力解析による評価フローを図 3-3 に、評価を記載する部材の位置を図 3-4 に示す。

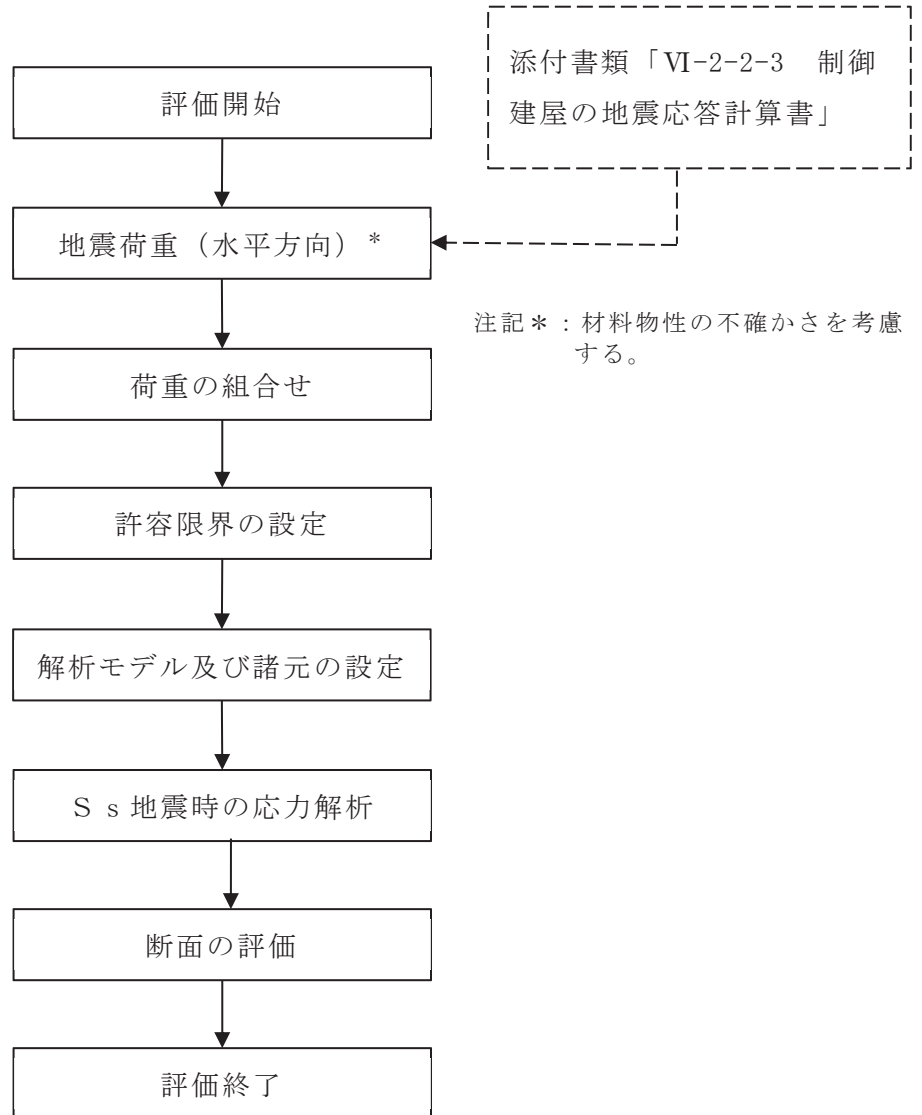


図 3-3 新設壁の応力解析による評価フロー

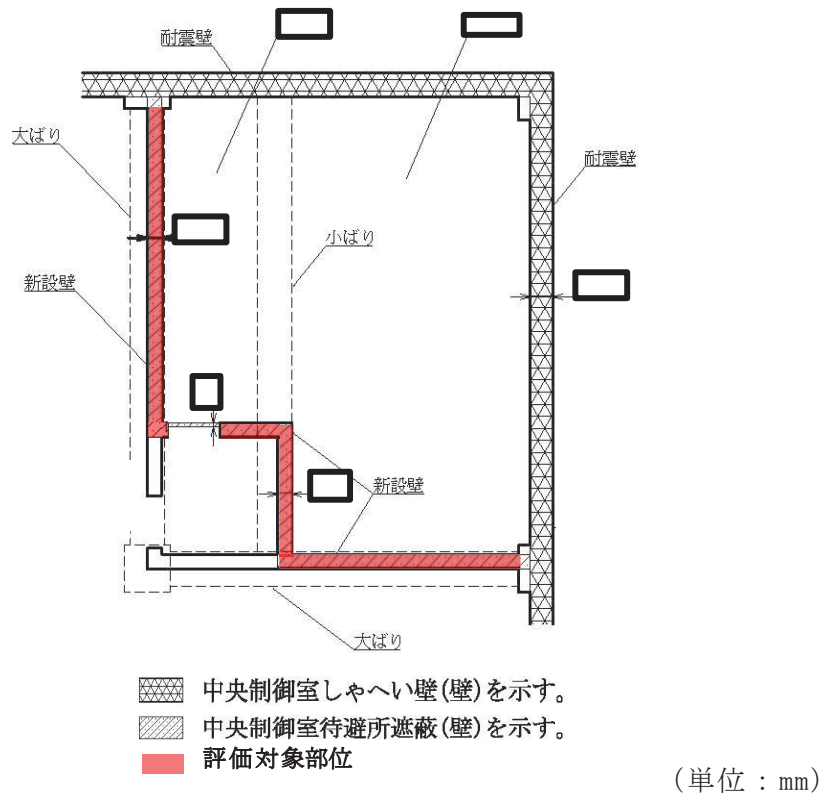


図 3-4 評価を記載する部材の位置

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.2 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。

3.2.1 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 (G) 及び積載荷重 (P) を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

表 3-1 固定荷重 (G)

部位	固定荷重 (kN/m ²)
床スラブ	9.6

表 3-2 積載荷重 (P)

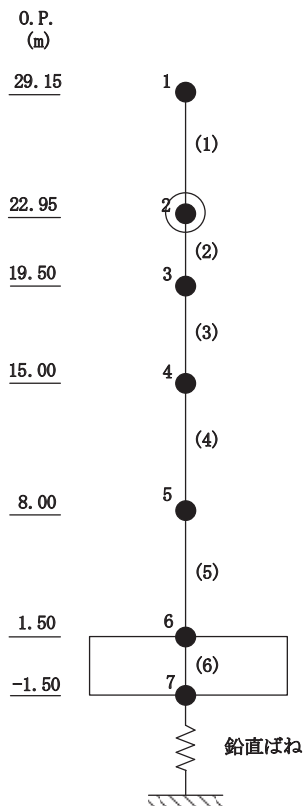
部位	積載荷重 (kN/m ²)
床スラブ	6.3

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より設定する。

床スラブが、長辺方向 7.6m、短辺方向 1.6m~4.1m 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 3-5 に示す基準地震動 S s に対する制御建屋の質点系モデルの中央制御室床レベル (0.P. 22.95m, 質点番号 2) の鉛直方向最大応答加速度より算定される誘発上下動を考慮した鉛直震度とする。



- 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 3-5 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 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

荷重状態	荷重の組合せ
S_s 地震時	$(1 + K_v)(G + P)$

G : 固定荷重

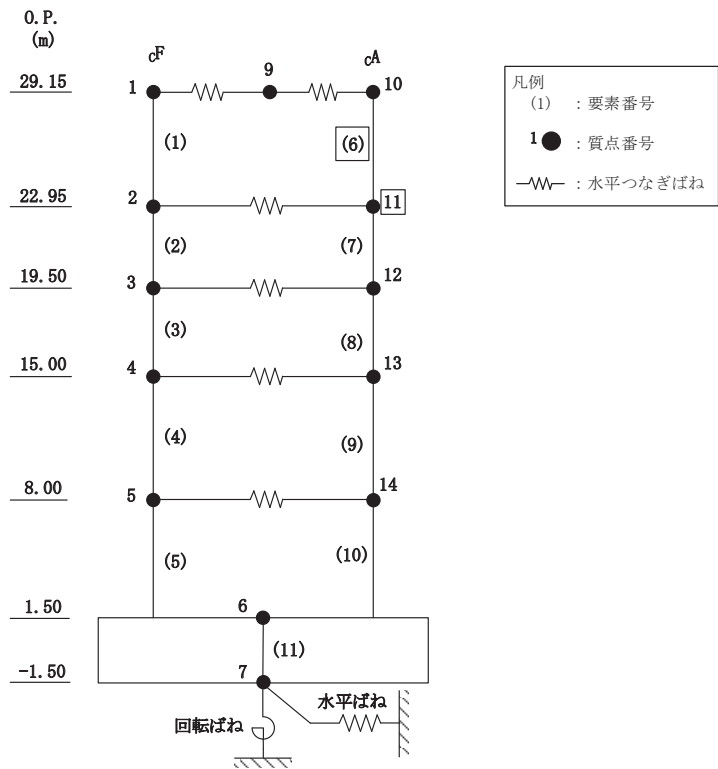
P : 積載荷重

K_v : 鉛直震度

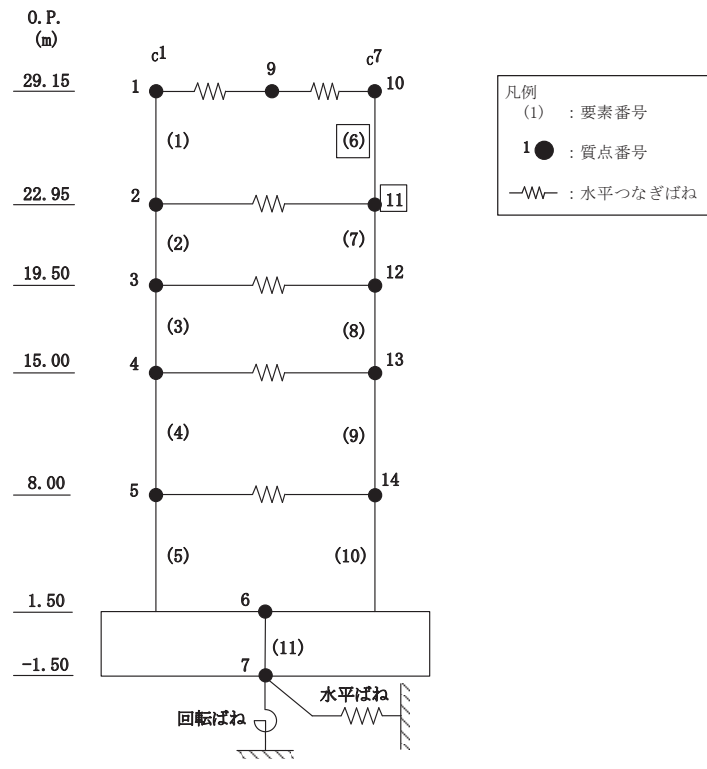
3.2.2 新設壁

水平地震力は、保守的に基準地震動 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。

S_s 地震荷重は、面内方向については図 3-6 に示す基準地震動 S_s に対する制御建屋の地震応答解析モデルの中央制御室床レベル(0.P.22.95m, 要素番号(6))の最大応答せん断応力度によるものとする。面外方向については中央制御室床レベル(0.P.22.95m, 質点番号 11)の最大応答加速度より算定される水平震度によるものとする。



(a) NS 方向



(b) EW 方向

注 : □印の動的応答を用いる。

図 3-6 基準地震動 S_s に対する地震応答解析モデル (水平方向)

3.3 許容限界

応力解析による評価における中央制御室待避所遮蔽の許容限界は、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 3-4 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 3-5 及び表 3-6 に示す。

表 3-4 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	スラブ 新設壁	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能を損なわないこと	基準地震動 S s	スラブ 新設壁	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	スラブ 新設壁	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。

*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 3-5 コンクリートの許容応力度

部位	設計基準強度 Fc (N/mm ²)	圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)
スラブ	32.4	21.6	1.21
新設壁	33	22.0	1.23

表 3-6 鉄筋の許容応力度

部位	種別	引張及び圧縮 (N/mm ²)	せん断補強 (N/mm ²)
スラブ	SD35 (SD345 相当)	345	345
新設壁	SD345	345	345

3.4 解析モデル

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 3-2 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、床スラブについては、四辺固定版として評価する。スラブの解析モデルを図 3-7 に示す。

新設壁の面外方向に対する水平地震動による影響に対する検討において、3階床スラブ及び中央制御室待避所天井スラブで支持された範囲を一方向版としてモデル化する。

新設壁の解析モデルは、大ばり及び小ばりに支持される脚部を固定、中央制御室待避所天井スラブに支持される頂部を単純支持として評価する。新設壁の解析モデルを図 3-8 に示す。

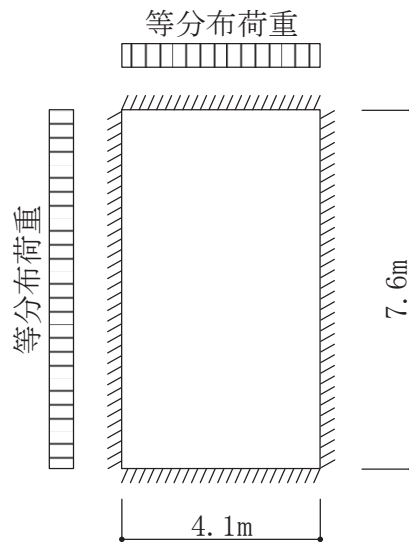


図 3-7 床スラブの解析モデル

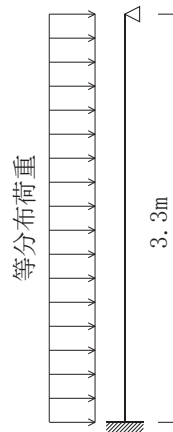


図 3-8 新設壁の解析モデル

3.5 評価方法

3.5.1 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、鉛直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) 長期荷重時の応力の算出方法

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 3-7 に示す。

(四辺固定版)

- ・短辺の端部曲げモーメント (M_{X1})

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

- ・短辺の中央部曲げモーメント (M_{X2})

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

- ・短辺のせん断力 (Q_x)

$$Q_x = 0.52 \cdot w \cdot l_x$$

- ・長辺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 : 単位面積あたりの長期荷重 (kN/m²)

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

表 3-7 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 (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		短辺 (NS)	20.5	13.7	33.9
		長辺 (EW)	11.1	7.4	30.0

(3) S s 地震時の応力の算出方法

「(2) 長期荷重の応力の算出方法」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，中央制御室床レベル（O.P. 22.95m，質点番号 2）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 3-8 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 3-9 に示す。

表 3-8 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	O.P. (m)	最大値 (cm/s ²)
2	22.95	1574

表 3-9 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	2.61	短辺 (NS)	53.5	35.8	88.5
		長辺 (EW)	29.0	19.3	78.3

注記* : 検討用鉛直震度には長期荷重時の重量を含むものとする。

3.5.2 新設壁の応力解析方法

(1) S s 地震時の面内方向応力の算出方法

面内方向については，地震応答解析により算出される耐震壁の面内せん断応力度による。

(2) S s 地震時の面外方向応力の算出方法

面外方向については，中央制御室レベル（O.P. 22.95m，質点番号 11）の水平方向最大応答加速度より算出した水平震度に基づき，S s 地震時の脚部曲げモーメント及び脚部せん断力を算出する。S s 地震時の脚部曲げモーメント及び脚部せん断力の算出方法は下式の通りである。水平方向最大応答加速度を表 3-10 に示す。また，水平震度より算出した脚部曲げモーメント及び脚部せん断力を表 3-11 に示す。

（脚部固定一頂部単純支持版）

・脚部曲げモーメント（M）

$$M = -k h \cdot \frac{1}{8} \cdot w \cdot l^2$$

・脚部せん断力（Q）

$$Q = k h \cdot \frac{5}{8} \cdot w \cdot l$$

ここで，

l : 有効スパン（m）

w : 単位面積あたりの壁重量（6.0kN/m²）

kh : S s 地震時水平震度

表 3-10 地震応答解析による最大応答加速度（基準地震動 S s）

方向	質点番号	O.P. (m)	最大値 (cm/s ²)
NS	11	22.95	2270
EW	11	22.95	2068

表 3-11 水平震度より算出した脚部曲げモーメント及び脚部せん断力

部位	検討用 水平震度	脚部曲げモーメント (kN・m/m)	脚部せん断力 (kN/m)
壁	2.32	18.9	28.7

3.5.3 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、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) 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 : せん断スパン比 $M / (Q \cdot d)$ による割増し係数

(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)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

3.5.4 新設壁の断面評価方法

(1) 面内せん断力に対する断面の評価方法

S s 地震時について、面内せん断力による応力は、すべて鉄筋で負担することとし、必要鉄筋比が設計鉄筋比を超えないことを確認する。

(2) 面外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)

(3) 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。**なお、新設壁については軸力を付加しない。**

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

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 : せん断スパン比 $M / (Q \cdot d)$ による割増し係数

(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)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

4. 評価結果

スラブの配筋一覧を表 4-1 に示す。また、「3.5.3 スラブの断面評価方法」及び「3.5.4 新設壁の断面評価方法」に基づいた断面の評価結果を表 4-2～表 4-4 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 4-1 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	NS	D19@200	1435	D19@200	1435
	EW	D19@200	1435	D19@200	1435

表 4-2 床スラブの評価結果 (基準地震動 S_s)

方向		NS 方向	EW 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		□×1000	□×1000
有効せい d (mm)		332	332
配筋	上ば筋	D19@200 (1435 mm ² /m)	D19@200 (1435 mm ² /m)
	下ば筋	D19@200 (1435 mm ² /m)	D19@200 (1435 mm ² /m)
曲げ モーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	53.5	29.0
	許容限界 M _A (kN・m/m)	144	144
	検定値 M/M _A	0.38	0.21
面外 せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	88.5	78.3
	せん断スパン比による 割増係数 α	1.42	1.89
	許容限界 Q _A (kN/m)	500	665
	検定値 Q/Q _A	0.18	0.12
判定		可	可

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-3 新設壁の面内せん断力に対する評価結果 (基準地震動 S_s)

方向		NS 方向	EW 方向
O. P. (m)		22.95~26.50	22.95~26.50
壁厚 (mm)		□	□
配筋	縦筋配筋	2-D19@200 (2870 mm ² /m)	2-D19@200 (2870 mm ² /m)
	縦筋設計鉄筋比 P _g (%)	1.14	1.14
	横筋配筋	2-D19@200 (2870 mm ² /m)	2-D19@200 (2870 mm ² /m)
	横筋設計鉄筋比 P _g (%)	1.14	1.14
面内 せん断力	せん断応力度 τ (N/mm ²)	2.54	2.24
	必要鉄筋比 P _Q (%)	0.74	0.65
	P _Q /P _g	0.65	0.57
判定		可	可

O 2 ③ VI-2-8-4-4 R 4

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-4 新設壁の面外曲げモーメント及び面外せん断力に対する評価結果（基準地震動 S s）

方向		NS 方向及び EW 方向
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		□ × 1000
有効せい d (mm)		172
配筋	縦筋配筋	D19@200 (1435 mm ² /m)
曲げ モーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	18.9
	許容限界 M _A (kN・m/m)	74.5
	検定値 M/M _A	0.26
面外 せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	28.7
	せん断スパン比による 割増係数 α	1.0
	許容限界 Q _A (kN/m)	185
	検定値 Q/Q _A	0.16
判定		可

O 2 ③ VI-2-8-4-4 R 4

別紙1 中央制御室待避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. 待避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 総漏えい量と加圧設備必要換気量の比較	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、 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。

添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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せん断ひずみ 2.0×10^{-3} としている。

中央制御室待避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、中央制御室待避所加圧設備（空気ポンプ）の処理対象となるバウンダリ（以下「待避所バウンダリ」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 地震動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、待避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、待避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)

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

ここで、

ΔQ : 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」

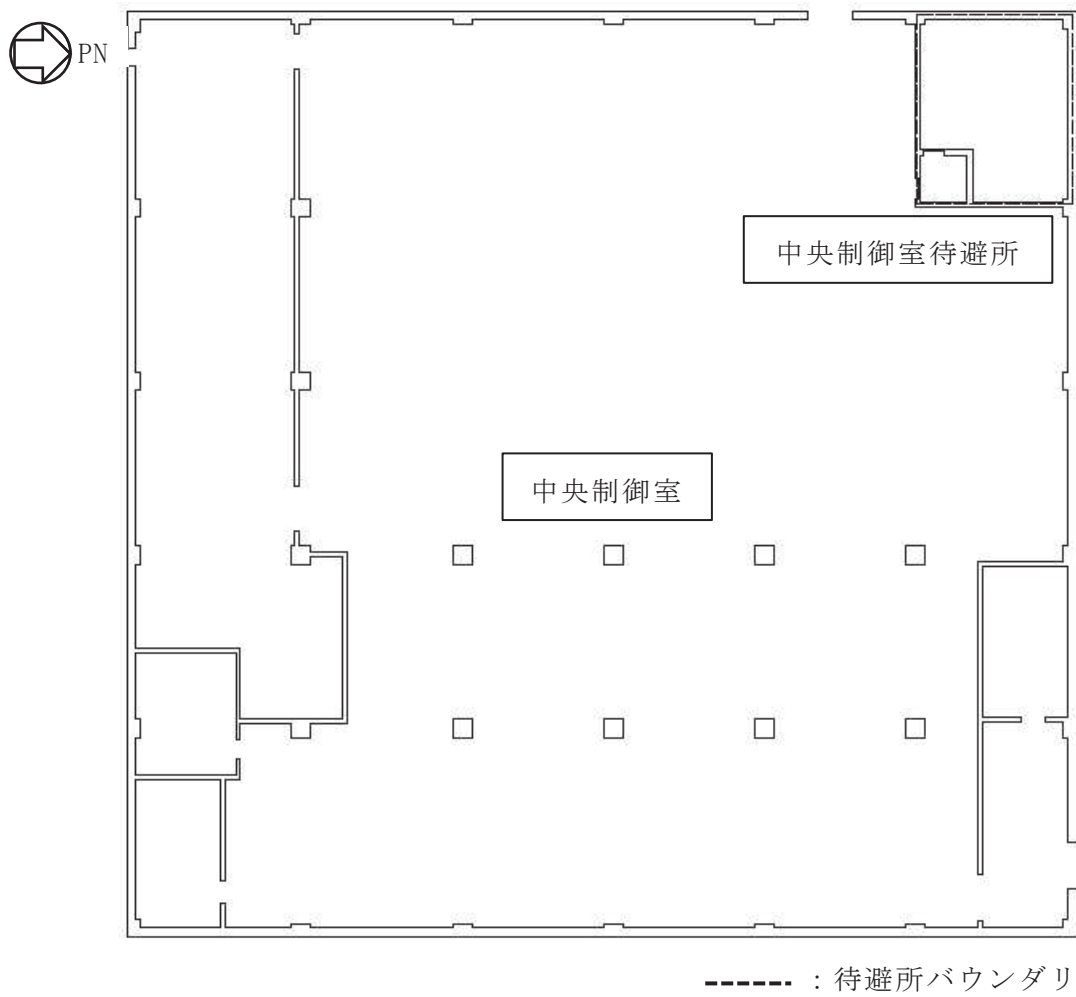
3. 待避所バウンダリにおける空気漏えい量に対する影響検討

3.1 検討方針

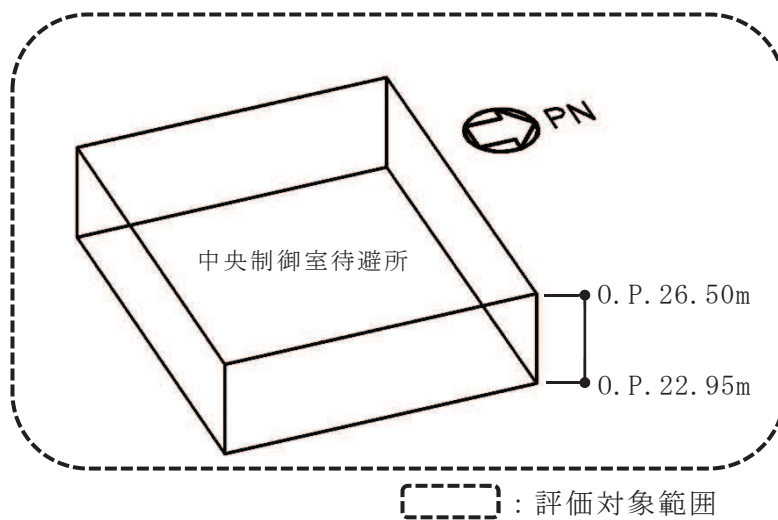
「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に基づき、(2.1)式～(2.3)式により、待避所バウンダリを構成する壁のせん断ひずみが許容限界 (2.0×10^{-3}) に達したときの空気漏えい量を算定し、加圧設備必要換気量 ($0.5 \text{ (m}^3/\text{min)}$) を超えないことを確認する。

待避所バウンダリ範囲を図3-1に示す。待避所バウンダリ (O.P. 22.95m～O.P. 26.50m) を構成する壁の壁厚は である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(b) 平面図 (O. P. 22.95m)






(b) 待避所バウンダリの概要

図 3-1 待避所バウンダリの範囲

3.2 空気漏えい量の算定結果

待避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 待避所バウンダリの気密性計算結果

壁厚 T (cm)	定数		せん断 ひずみ*1 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}	2.1	20.96	0.11	0.000	1.00	2.41
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	2.1	25.91	0.11	0.089	5.48	16.30
	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	22.1	46.86	0.75	0.000	1.00	35.37
								合計	54.08

注記*1：保守的に各壁のせん断ひずみが同時に許容限界となることを想定。

*2：待避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 総漏えい量と加圧設備必要換気量の比較

待避所バウンダリの総漏えい量と加圧設備必要換気量を表3-2に示す。待避所バウンダリについて総漏えい量は、加圧設備必要換気量の10%程度であることを確認した。

表 3-2 総漏えい量と加圧設備必要換気量の比較

(m ³ /min)	
総漏えい量	加圧設備必要換気量
0.054	0.5

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

待避所バウンダリについて、総漏えい量は加圧設備必要換気量を超えないことを確認した。

よって、待避所バウンダリは、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、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

待避所バウンダリは、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、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、制御建屋の中央制御室待避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、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。