

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-008-20
提出年月日	2023年2月27日

VI-2-8-4-3 中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性
についての計算書

2023年2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（中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物））	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	12
3. 地震応答解析による評価方法（中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物））	13
4. 応力解析による評価方法（中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物））	15
4.1 評価対象部位及び評価方針	15
4.1.1 天井スラブ及び床スラブ	15
4.1.2 耐震壁	18
4.2 荷重及び荷重の組合せ	20
4.2.1 天井スラブ及び床スラブ	20
4.2.2 耐震壁	21
4.3 許容限界	27
4.4 解析モデル及び諸元	30
4.4.1 天井スラブ及び床スラブ	30
4.4.2 耐震壁	31
4.5 応力評価方法	32
4.5.1 天井スラブ及び床スラブ	32
4.5.2 耐震壁	35
4.6 断面の評価方法	40
4.6.1 天井スラブ及び床スラブ	40
4.6.2 耐震壁	42
5. 評価結果（中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物））	44
5.1 地震応答解析による評価結果	44
5.2 応力解析による評価結果	47
5.2.1 天井スラブ及び床スラブの評価結果	47
5.2.2 耐震壁の評価結果	51
6. 基本方針（中央制御室バウンダリ）	53
6.1 位置	53
6.2 構造概要	54
6.3 評価方針	57
6.4 適用規格・基準等	59
7. 地震応答解析による評価方法（中央制御室バウンダリ）	60

8.	応力解析による評価方法（中央制御室バウンダリ）	62
8.1	評価対象部位及び評価方針	62
8.2	荷重及び荷重の組合せ	65
8.3	許容限界	66
8.4	解析モデル及び諸元	68
8.5	応力評価方法	69
8.6	断面の評価方法	72
9.	評価結果（中央制御室バウンダリ）	74
9.1	地震応答解析による評価結果	74
9.2	応力解析による評価結果	80
10.	引用文献	83

別紙 1 中央制御室の気密性に関する計算書

1. 概要

本資料は、「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 38 条において設置することが要求されている中央制御室について、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、中央制御室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る。また、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、制御室建物のうち、補助遮蔽（制御室建物）の地震時の構造強度及び機能維持の確認についても説明する。それらの評価は、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。

なお、中央制御室は、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附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、中央制御室空調換気系の処理対象となるバウンダリ（以下「中央制御室バウンダリ」という。）を定めている。

以下、中央制御室のうち構造強度及び遮蔽性が要求される範囲（以下「中央制御室遮蔽」という。）、補助遮蔽（制御室建物）及び中央制御室バウンダリの耐震評価をそれぞれ示す。

2. 基本方針（中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物））

中央制御室遮蔽は設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、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。また、制御室建物を構成する壁の一部は、制御室建物の補助遮蔽（制御室建物）に該当し、その補助遮蔽（制御室建物）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以外の常設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中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）としての耐震評価を示す。

2.1 位置

中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）は、制御室建物の一部を構成している。中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）を含む制御室建物の設置位置を図 2-1 に示す。

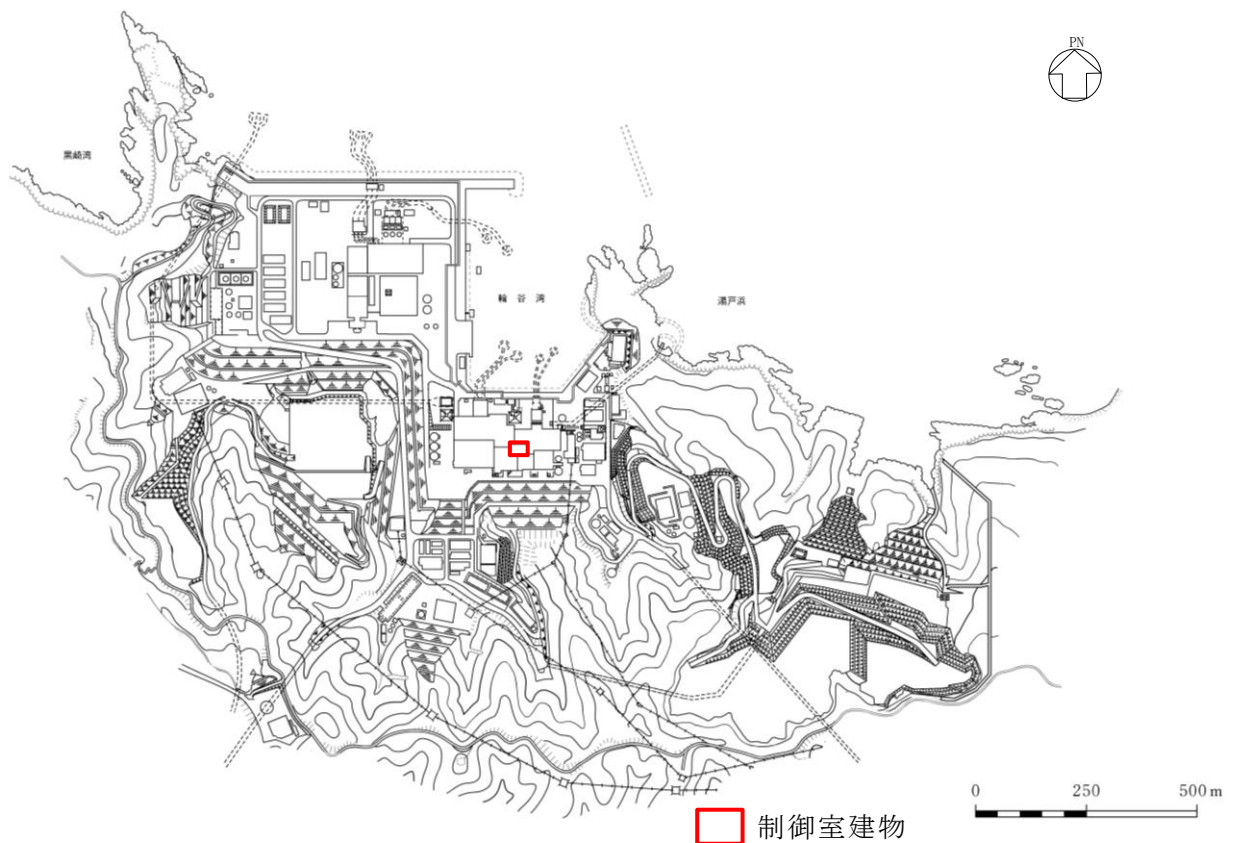


図 2-1 中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）を含む制御室建物の設置位置

2.2 構造概要

制御室建物は、4階建の鉄筋コンクリート造の建物である。

制御室建物の平面寸法は、 22.0m^{*1} (NS) \times 37.0m^{*1} (EW) である。基礎スラブ底面からの高さは 21.95m である。また、制御室建物は隣接する他の建物と構造的に分離している。

制御室建物の基礎は厚さ 1.5m 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。

中央制御室は $\text{EL } 16.9\text{m}^{*2}$ ~ $\text{EL } 22.05\text{m}$ に位置する。平面規模は、 22.0m (NS) \times 37.0m (EW) である。中央制御室遮蔽は、中央制御室を取り囲む壁、天井スラブ及び床スラブで構成されており、壁の厚さは $\square\text{cm}$ 、天井スラブ及び床スラブの厚さは $\square\text{cm}$ ~ $\square\text{cm}$ である。また、補助遮蔽（制御室建物）は、制御室建物の壁の一部で構成されており、壁の厚さは $\square\text{cm}$ ~ $\square\text{cm}^{*3}$ である。

中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）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。

注記*1：建物寸法は壁外面寸法とする。

*2：「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。

*3：「常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に分類される壁の厚さを示す。



図 2-2(1) 中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の概略平面図（EL 22.05m）

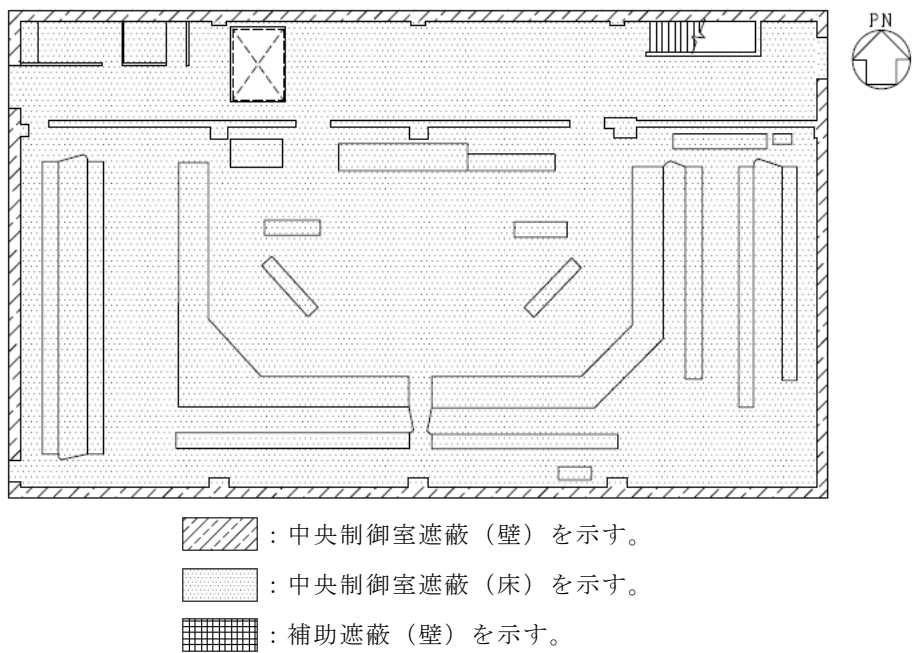


図 2-2(2) 中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の概略平面図（EL 16.9m）

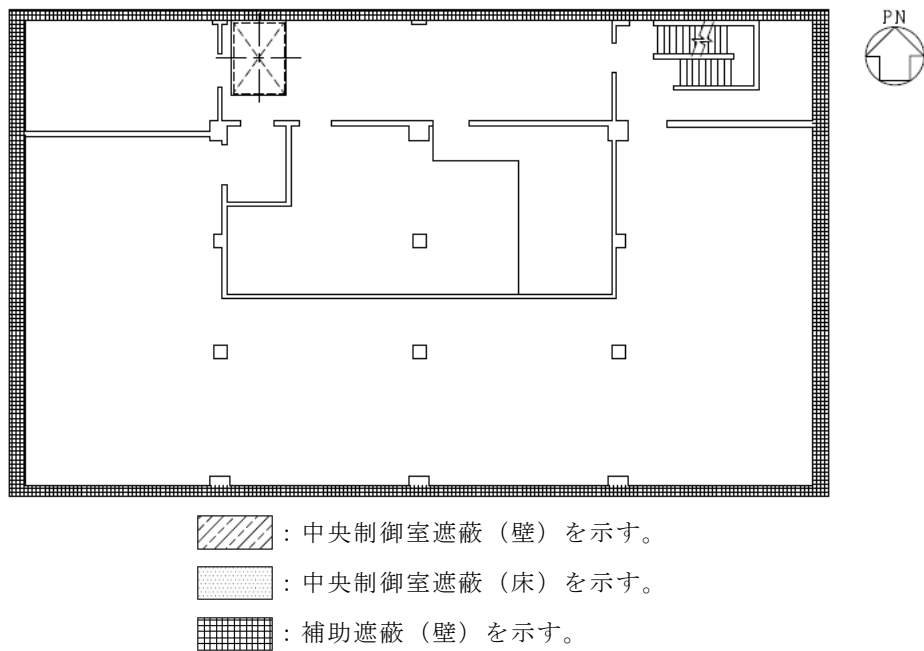


図 2-2(3) 中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の概略平面図（EL 12.8m）

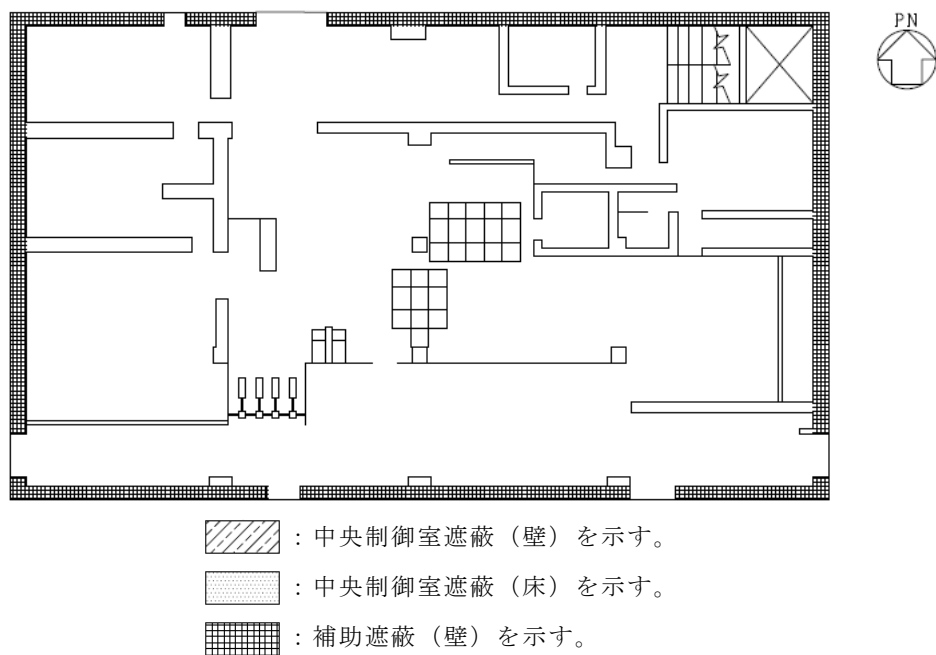


図 2-2(4) 中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の概略平面図（EL 8.8m）

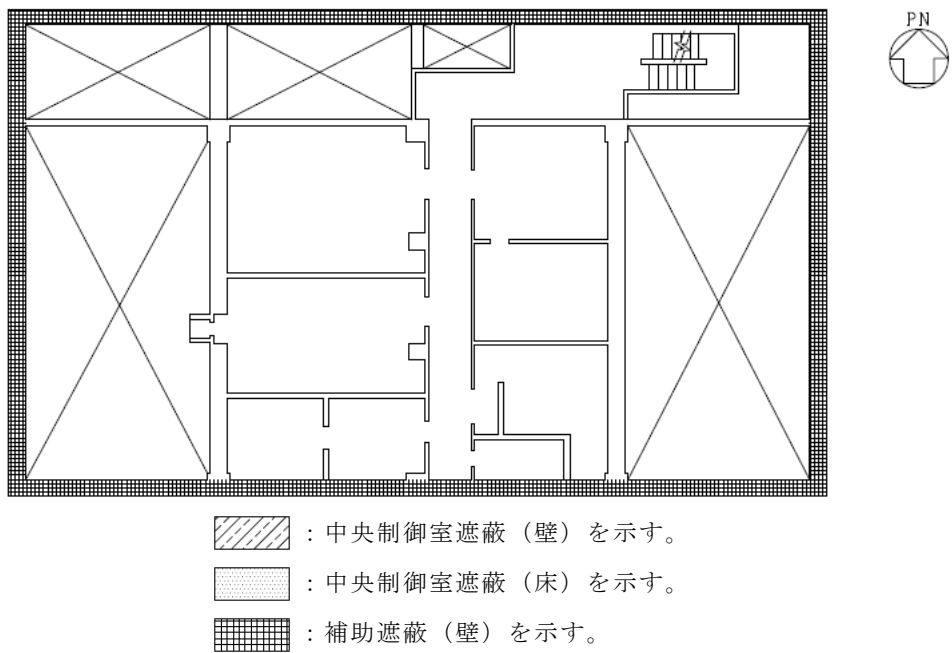


図 2-2(5) 中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の概略平面図（EL 5.3m）

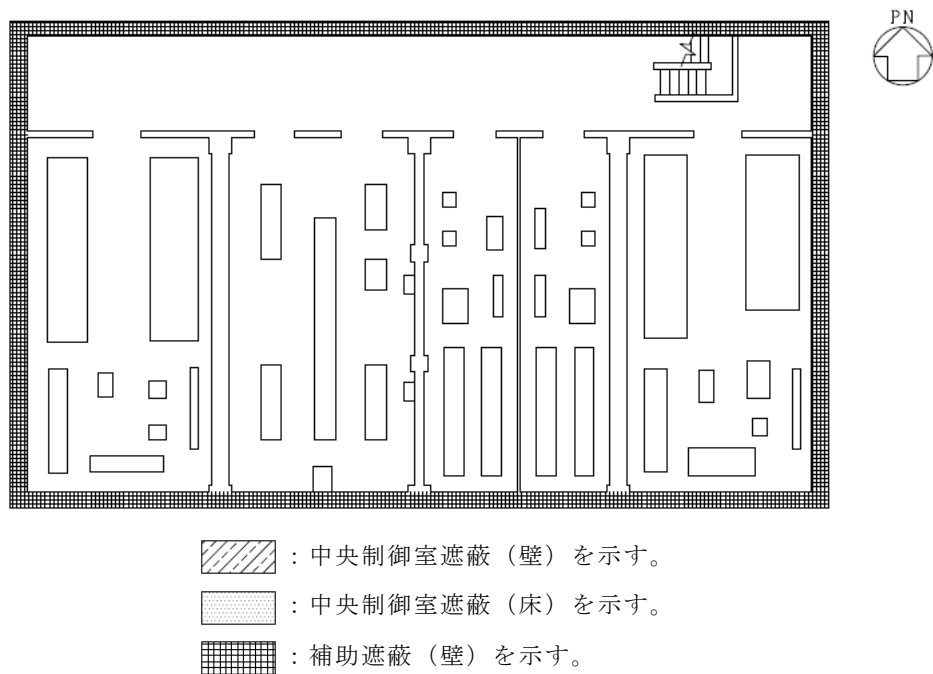


図 2-2(6) 中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の概略平面図（EL 1.6m）

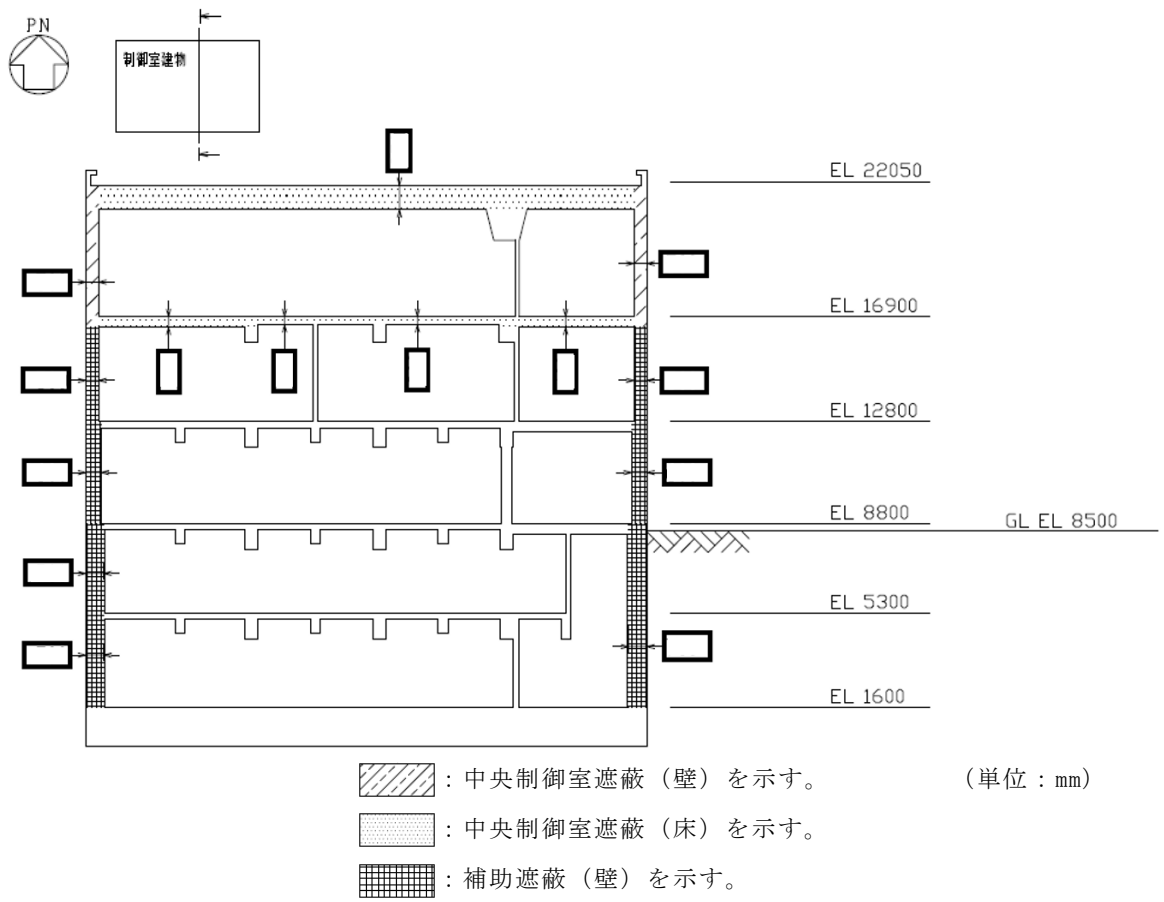


図 2-3(1) 中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の概略断面図（N S 方向）

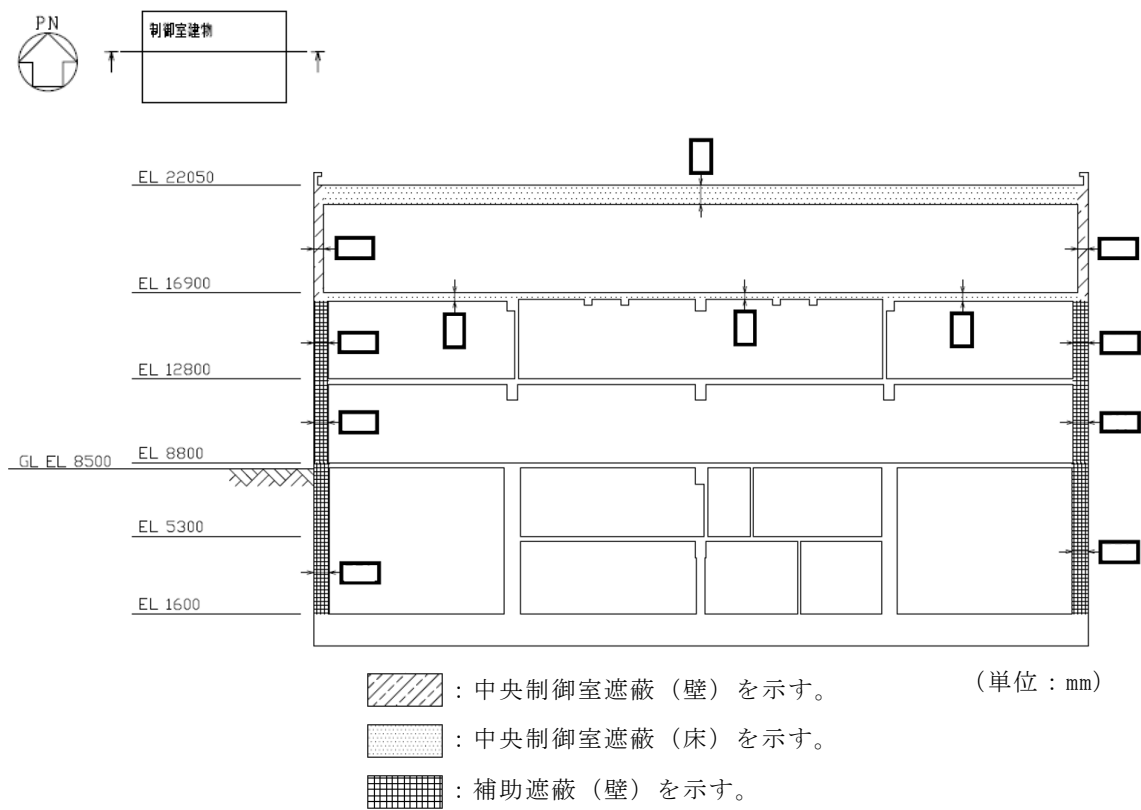


図 2-3(2) 中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の概略断面図（E W方向）

2.3 評価方針

中央制御室遮蔽は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、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。また、補助遮蔽（制御室建物）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以外の常設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。

中央制御室遮蔽は、中央制御室を取り囲む耐震壁、天井スラブ及び床スラブで構成されており、設計基準対象施設としての評価においては、弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対する評価（以下「 S_d 地震時に対する評価」という。）、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。）及び保有水平耐力の評価を行う。

中央制御室遮蔽の評価は、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及び保有水平耐力の評価を、応力解析による評価においては耐震壁、天井スラブ及び床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-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」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。

なお、中央制御室遮蔽の地震時の構造強度及び機能維持の確認には、地震応答解析による評価において保有水平耐力の評価及び支持機能の確認が必要であるが、中央制御室遮蔽が制御室建物の一部であることを踏まえ、中央制御室遮蔽を含む制御室建物全体としての評価結果をVI-2-2-6「制御室建物の耐震性についての計算書」に示す。

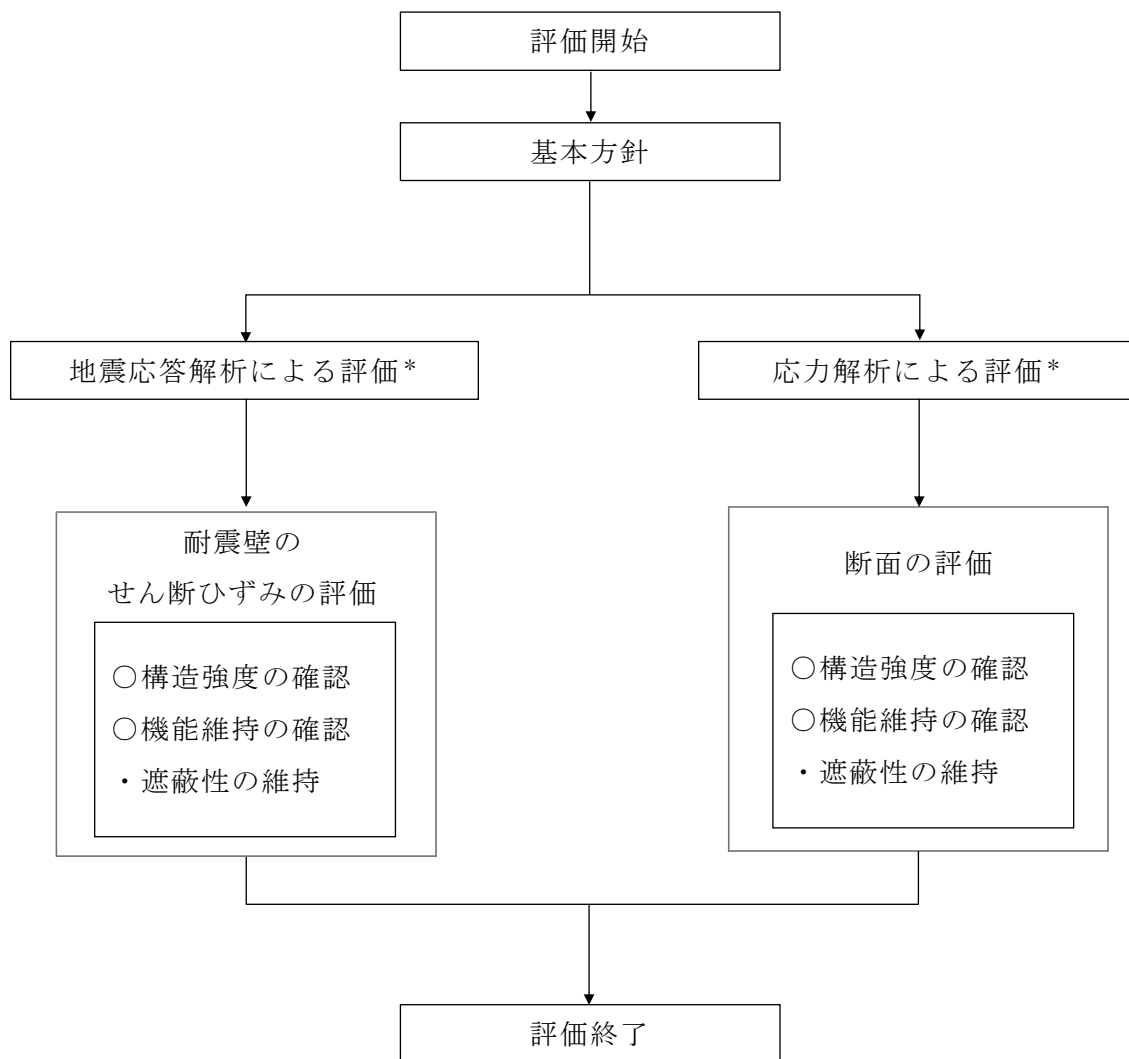
また、中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の重大事故等対処施設としての評価においては、 S_s 地震時に対する評価及び保有水平耐力の評価を行う。ここで、制御室建物では、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態において、圧力、温度等の条件について有意な差異がないことから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設としての評価と同一となる。

中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の評価フローを図 2-4 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* : VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、地盤のS波速度 V_s 及びP波速度 V_p の不確かさを設定する。



注記* : VI-2-2-5 「制御室建物の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-4 中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）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（中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物））

中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の構造強度についてはVI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」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、遮蔽性の維持については、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」による結果に基づき、材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の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中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）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及び表3-2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
(設計基準対象施設としての評価)

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*	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* (中央制御室遮蔽)	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

注記*：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床スラブの変形が抑えられることから、各層の耐震壁の最大応答せん断ひずみが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。

表 3-2 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*	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* (中央制御室遮蔽及び補助遮蔽(制御室建物))	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

注記*：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床スラブの変形が抑えられることから、各層の耐震壁の最大応答せん断ひずみが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。

4. 応力解析による評価方法（中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物））

4.1 評価対象部位及び評価方針

中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の応力解析による評価対象部位は、中央制御室遮蔽を構成する天井スラブ及び床スラブ並びに中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）を構成する耐震壁とし、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、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」による結果を用いて、荷重の組合せを行う。

4.1.1 天井スラブ及び床スラブ

(1) S_d地震時に対する評価

S_d地震時に対する評価は、材料物性の不確かさを考慮した弾性設計用地震動 S_d による鉛直方向の地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果により発生する応力が、「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。

(2) S_s地震時に対する評価

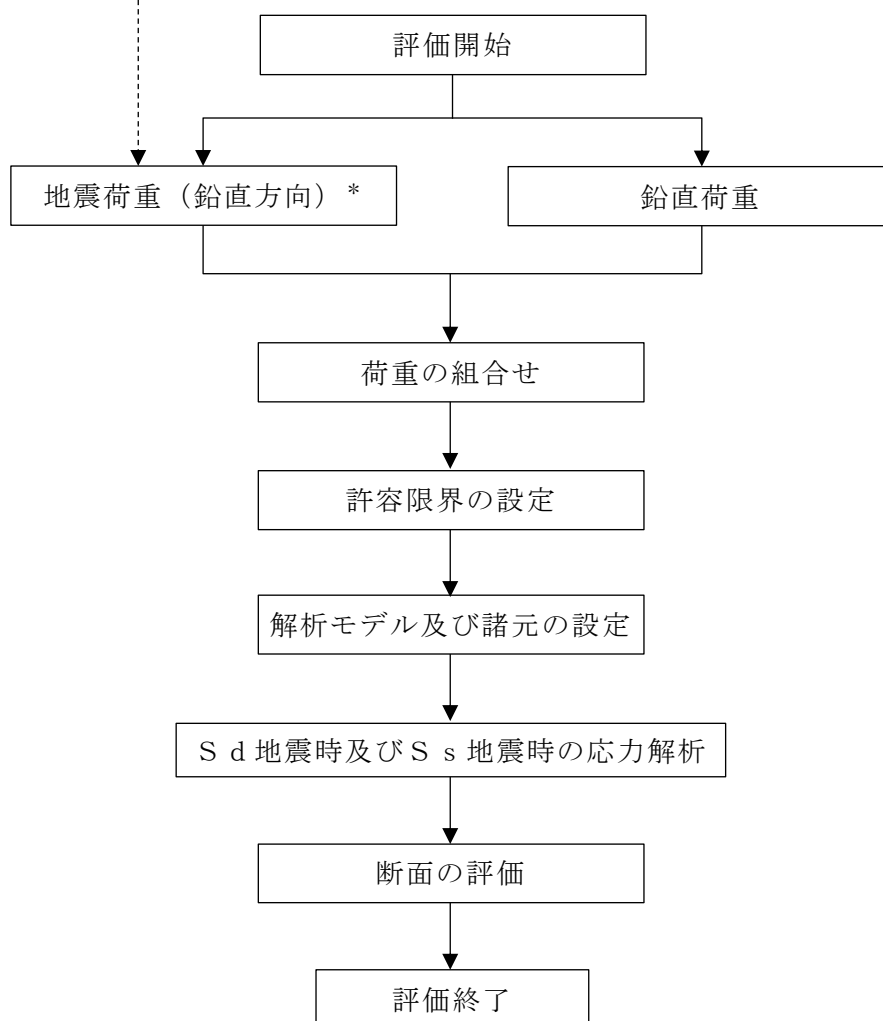
S_s地震時に対する評価は、材料物性の不確かさを考慮した基準地震動 S_s による鉛直方向の地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果により発生する応力が、「RC-N規準」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

評価については、各断面についてスラブ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。

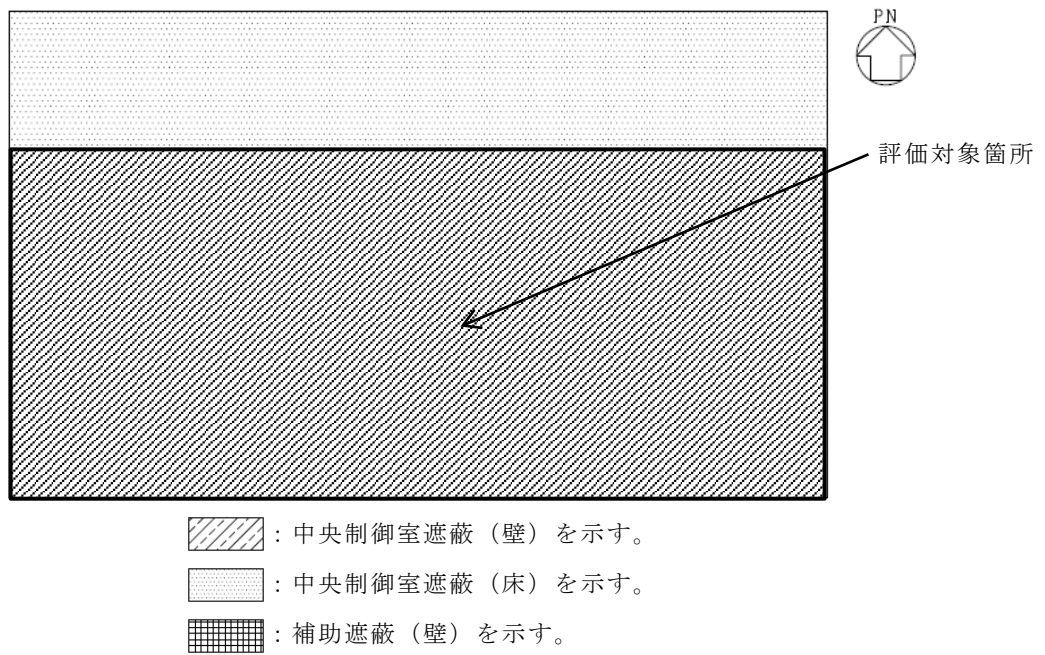
なお、水平方向の地震荷重に対する評価は、建物全体が剛性の高い構造となっており、耐震壁間での相対変形が小さく、スラブの面内変形が抑えられることから、地震応答解析による評価に含まれる。

VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」

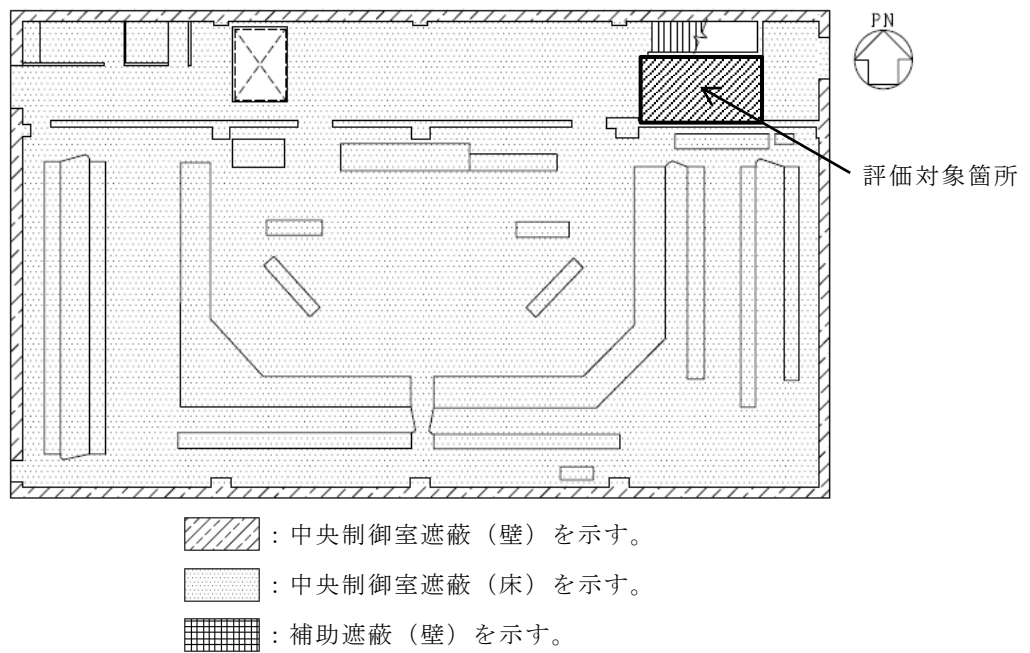


注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 4-1 天井スラブ及び床スラブの応力解析による評価フロー



(a) 天井スラブ (EL 22.05m)



(b) 床スラブ (EL 16.9m)

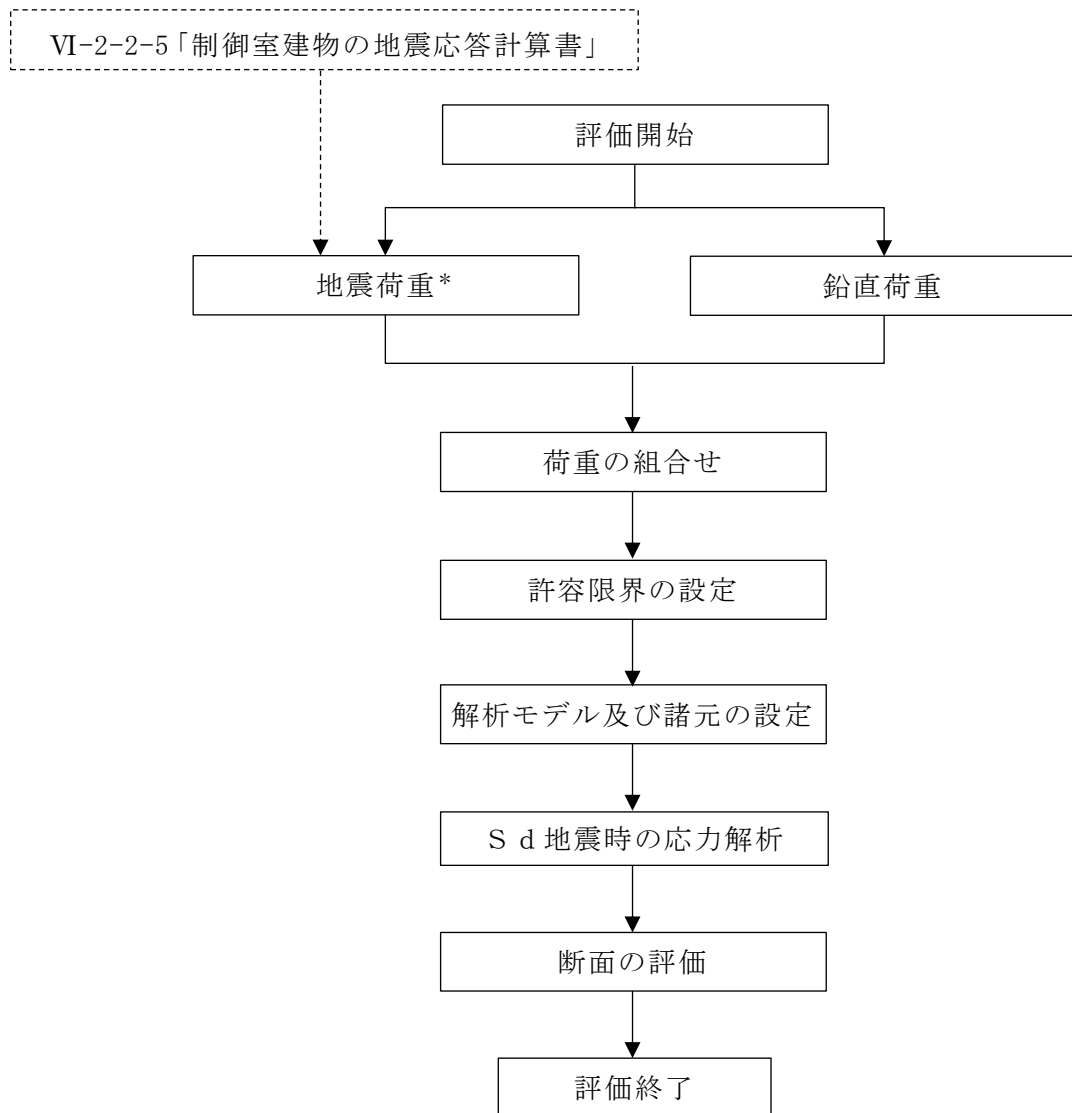
図 4-2 天井スラブ及び床スラブの評価を記載する部材の位置

4.1.2 耐震壁

(1) S d 地震時に対する評価

S d 地震時に対する評価は、材料物性の不確かさを考慮した弾性設計用地震動 S d による地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果により発生する応力が、「R C-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、耐震壁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 4-3 に、選定した部材を図 4-4 に示す。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 4-3 耐震壁の応力解析による評価フロー

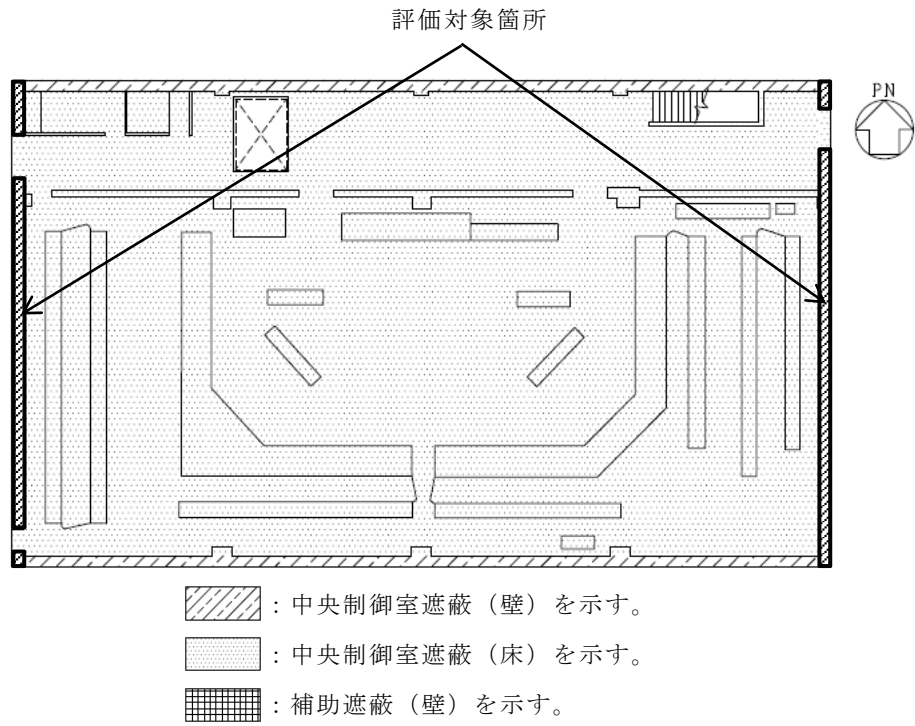


図 4-4 耐震壁の評価を記載する部材の位置 (EL 16.9m)

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 天井スラブ及び床スラブ

(1) 荷重

a. 鉛直荷重

鉛直荷重として、固定荷重（G）、積載荷重（P）及び積雪荷重（SNL）を考慮する。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。

b. 地震荷重（S_d、S_s）

地震荷重（S_d）は、静的地震力に対する鉛直震度と弾性設計用地震動S_dに対する質点系モデルの各レベルの鉛直方向最大応答加速度による鉛直震度を包絡した震度を算定する。また、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各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4-1に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + SNL* + S _s
S _d 地震時	G + P + SNL* + S _d

G : 固定荷重

P : 積載荷重

SNL : 積雪荷重

S_s : 地震荷重（S_s地震時）

S_d : 地震荷重（S_d地震時）

注記* : 積雪荷重（SNL）は、積雪荷重が作用する屋外に面する天井スラブに対して考慮する。

4.2.2 耐震壁

(1) 荷重

a. 鉛直荷重

鉛直荷重として、固定荷重（G）及び積載荷重（P）を考慮する。

b. 地震荷重

(a) 地震荷重

地震荷重（ S_d ）は、静的地震力と弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析により算定される動的地震力を包絡した荷重とする。このとき、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析より算定される動的地震力は、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮して設定する。

地震荷重を表 4-2～表 4-4 に示す。

表 4-2(1) 地震荷重

(弾性設計用地震動 S d 及び静的地震力によるせん断力, N S 方向)

EL (m)	要素 番号	せん断力 ($\times 10^4$ kN)		
		Sd	静的	最大値
22.05~16.9	1	3.05	2.17	3.05

注：ハッチングは弾性設計用地震動 S d による動的地震力と静的地震力のうち大きい値を表示。

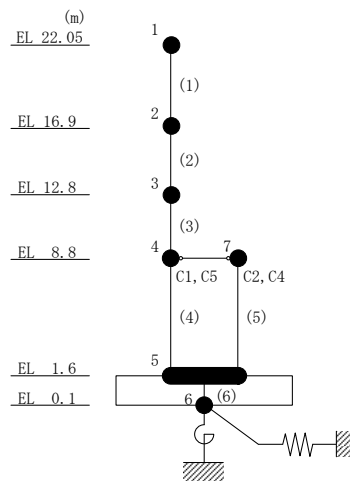


表 4-2(2) 地震荷重

(弾性設計用地震動 S d 及び静的地震力によるせん断力, E W 方向)

EL (m)	要素 番号	せん断力 ($\times 10^4$ kN)		
		Sd	静的	最大値
22.05~16.9	1	3.31	1.96	3.31

注：ハッチングは弾性設計用地震動 S d による動的地震力と静的地震力のうち大きい値を表示。

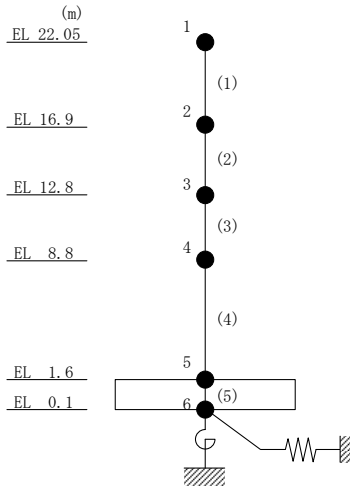


表 4-3(1) 地震荷重

(弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力による曲げモーメント, N S 方向)

EL (m)	要素 番号	曲げモーメント ($\times 10^5$ kN \cdot m)		
		S _d	静的	最大値
22.05~16.9	1	0.00	0.00	—
		1.57	1.12	1.57

注：ハッチングは弾性設計用地震動 S_d による動的地震力と静的地震力のうち大きい値を表示。

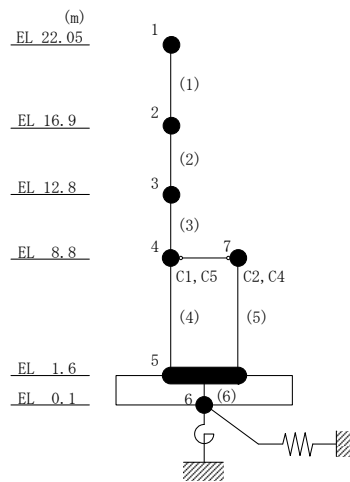


表 4-3(2) 地震荷重

(弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力による曲げモーメント, E W 方向)

EL (m)	要素 番号	曲げモーメント ($\times 10^5$ kN \cdot m)		
		S _d	静的	最大値
22.05~16.9	1	0.00	0.00	—
		1.70	1.01	1.70

注：ハッチングは弾性設計用地震動 S_d による動的地震力と静的地震力のうち大きい値を表示。

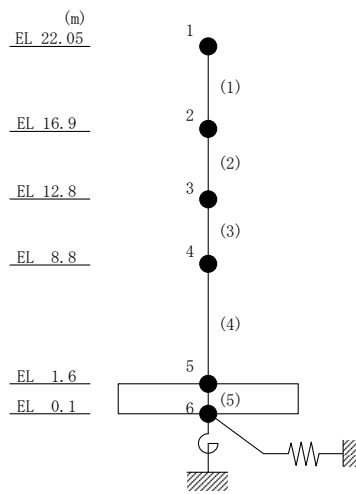
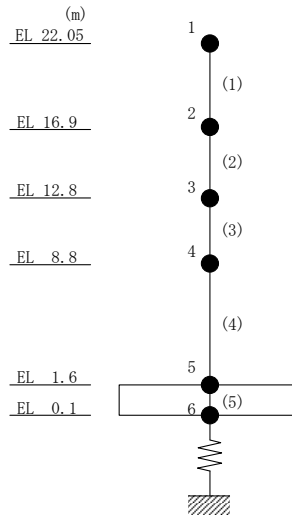


表 4-4 地震荷重

(弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力による鉛直震度)

EL (m)	鉛直震度			
	S _d	0.4×S _d	静的	包絡値
22.05~16.9	0.51	0.20	0.24	0.24

注：ハッチングは弾性設計用地震動 S_d による動的地震力と静的地震力のうち大きい値を表示。



(b) 地震時土圧

地震時土圧荷重は、「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）」に基づき算出し、常時土圧に地震時増分土圧を加えて算定した地震時土圧を設定する。なお、制御室建物の周囲にはタービン建物，廃棄物処理建物，1号機タービン建物及び1号機廃棄物処理建物が隣接しており，側面地盤と接する外壁はないため，地震時土圧荷重を考慮しない。

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-5 に示す。

表 4-5 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S d 地震時	G + P + S d

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S d : 地震荷重

4.3 許容限界

応力解析による評価における中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の許容限界は、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4-6及び表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4-6 応力解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

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	中央制御室遮蔽の天井スラブ及び床スラブ	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」に基づく終局耐力*
		弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力	中央制御室遮蔽の耐震壁	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
中央制御室遮蔽の天井スラブ及び床スラブ	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				
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	中央制御室遮蔽の天井スラブ及び床スラブ	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」に基づく終局耐力*
		弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力	中央制御室遮蔽の耐震壁	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
中央制御室遮蔽の天井スラブ及び床スラブ	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				

注記*：曲げモーメントに対する評価については、「平12建告第2464号」に基づき、鉄筋の基準強度を1.1倍とする。せん断力に対する評価については、短期許容応力度を適用する。

表 4-7 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	中央制御室遮蔽の天井スラブ及び床スラブ	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」に基づく終局耐力*
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	中央制御室遮蔽の天井スラブ及び床スラブ	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」に基づく終局耐力*

注記* : 曲げモーメントに対する評価については、「平 12 建告第 2464 号」に基づき、鉄筋の基準強度を 1.1 倍とする。せん断力に対する評価については、短期許容応力度を適用する。

表 4-8 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
22.1	14.6	1.06

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
SD35 (SD345 相当)	345*	345

注記*：S s 地震時に対する評価においては、材料強度は許容応力度（引張及び圧縮）を 1.1 倍して算定する。

4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 天井スラブ及び床スラブ

(1) モデル化の基本方針

天井スラブ及び床スラブは、天井スラブ及び床スラブの辺長比及び周囲の境界条件を考慮して、両端固定はり、三辺固定・一辺自由版又は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 4-10 に示す。

表 4-10 使用材料の物性値

コンクリートの 設計基準強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
22.1	2.20×10^4	0.2

4.4.2 耐震壁

(1) モデル化の基本方針

耐震壁の応力は、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」に基づき評価する。

地震時土圧に対する地下外壁の応力解析は、図 4-5 に示すように、基礎スラブ上端で固定、各床位置をピン支承とする一方向版として行う。

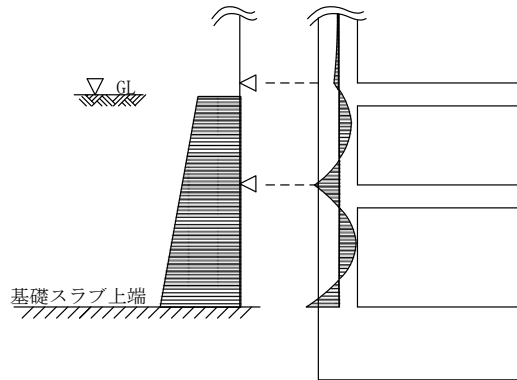


図 4-5 地下外壁の応力解析モデル

(2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-11 に示す。

表 4-11 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
22.1	2.20×10^4	0.2

4.5 応力評価方法

4.5.1 天井スラブ及び床スラブ

(1) 荷重ケース

S_d地震時及び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応答鉛直加速度は、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」による。最大応答鉛直加速度及び鉛直震度を表4-12に示す。静的地震力に対する鉛直震度は表4-12(1)に包絡される。

- G : 固定荷重
- P : 積載荷重
- S_NL : 積雪荷重
- S_s_{UD} : S_s地震荷重（鉛直方向）
- S_d_{UD} : S_d地震荷重（鉛直方向）

表4-12(1) 最大応答鉛直加速度及び鉛直震度（S_d地震時）

EL (m)	ケース	最大応答 鉛直加速度 (cm/s ²)	鉛直震度
22.05	S _d -N2 (ケース2)	494	0.51
16.9	S _d -N2 (ケース2)	434	0.45

表4-12(2) 最大応答鉛直加速度及び鉛直震度（S_s地震時）

EL (m)	ケース	最大応答 鉛直加速度 (cm/s ²)	鉛直震度
22.05	S _s -N2 (ケース2)	972	1.00
16.9	S _s -N2 (ケース2)	861	0.88

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-13 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 4-13 荷重の組合せケース (天井スラブ及び床スラブ)

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + S _{NL} * + 1.0 S _{sUD}
S _d 地震時	G + P + S _{NL} * + 1.0 S _{dUD}

注記* : 積雪荷重 (S_{NL}) は、積雪荷重が作用する屋外に面する天井スラブに対して考慮する。

(3) 応力算出方法

等分布荷重を受ける両端固定はり及び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。また、等分布荷重を受ける三辺固定・一辺自由版の曲げモーメント及びせん断力は、計算図表 (引用文献(1)参照) を用いて求める。

(両端固定はり)

- ・ 端部曲げモーメント (M_E)

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

- ・ 中央部曲げモーメント (M_C)

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

- ・ 端部せん断力 (Q_E)

$$Q_E = 0.5 \cdot w \cdot l$$

ここで、

l : 有効スパン (m)

w : 等分布荷重 (kN/m)

(四辺固定版)

- 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)

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

4.5.2 耐震壁

(1) 地震時面内せん断応力度

地震荷重に対する耐震壁の面内せん断力に対して、耐震壁の有効せん断断面積により面内せん断応力度を評価する。

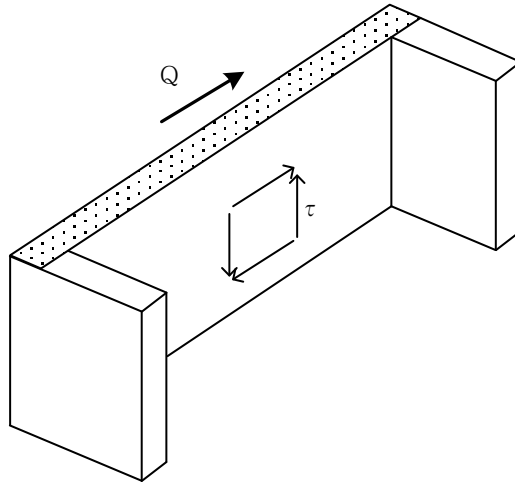
$$\tau = \frac{Q}{A_s}$$

ここで、

τ : 面内せん断応力度 (N/mm²)

Q : 面内せん断力 (N)

A_s : 有効せん断断面積 (mm²)



また、面内せん断応力度に対して、鉄筋のせん断補強用許容引張応力度により面内せん断力による必要鉄筋比を評価する。

$$P_Q = \frac{\tau}{s f_t}$$

ここで、

P_Q : 面内せん断力による必要鉄筋比

$s f_t$: 鉄筋のせん断補強用許容引張応力度 (N/mm²)

(2) 地震時曲げモーメント及び軸力

a. 鉄筋比により評価する場合

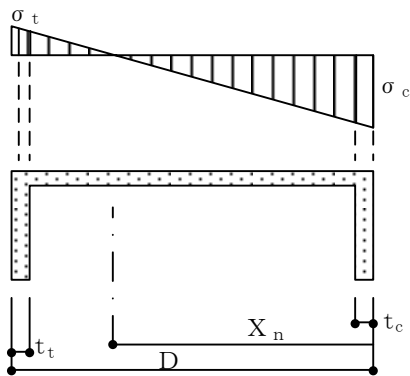
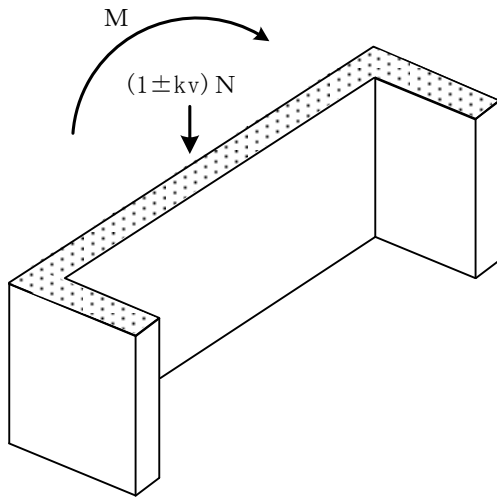
地震時曲げモーメント及び軸力に対して、耐震壁の有効断面二次モーメントにより軸方向応力度を評価する。なお、鉛直荷重に対しては、鉛直震度を考慮する。

$$\sigma_c = (1 + k_v) \sigma_o + \frac{M}{I} (X_n - t_c) \times 10^{-3} \quad (\text{ウェブ})$$

$$= (1 + k_v) \sigma_o + \frac{M}{I} X_n \times 10^{-3} \quad (\text{フランジ})$$

$$\sigma_t = (1 - k_v) \sigma_o - \frac{M}{I} (D - X_n - t_t) \times 10^{-3} \quad (\text{ウェブ})$$

$$= (1 - k_v) \sigma_o - \frac{M}{I} (D - X_n - \frac{t_t}{2}) \times 10^{-3} \quad (\text{フランジ})$$



ここで、

σ_c : 軸方向最大圧縮応力度 (N/mm²)

σ_t : 軸方向最大引張応力度 (N/mm²)

σ_o : 鉛直荷重による平均軸圧縮応力度 (N/mm²)

M : 地震時曲げモーメント (kN・m)

N : 長期軸力 (kN)

k_v : 鉛直震度

I : 耐震壁の断面二次モーメント (m⁴)

X_n : 曲げ材の圧縮縁から中立軸までの距離 (m)

D : 曲げ材のせい (m)

t_c : 圧縮側フランジ部分の厚さ (m)

t_t : 引張側フランジ部分の厚さ (m)

また、軸方向最大引張応力度に対して、鉄筋の許容引張応力度により曲げモーメント及び軸力による必要鉄筋比を評価する。

$$P_M = \frac{\sigma_t}{f_t}$$

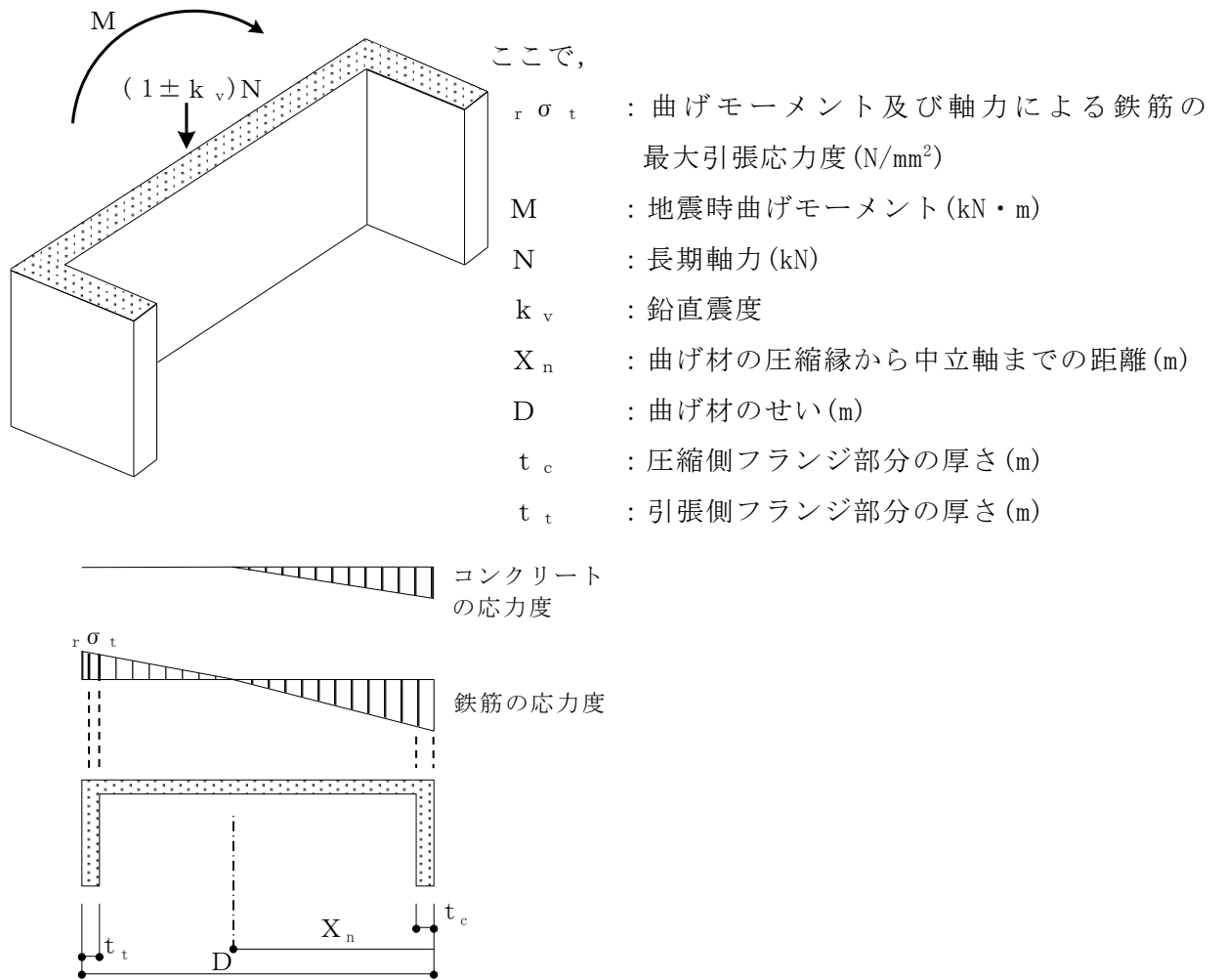
ここで、

P_M : 曲げモーメント及び軸力による必要鉄筋比

f_t : 鉄筋の許容引張応力度 (N/mm²)

b. 応力度により評価する場合

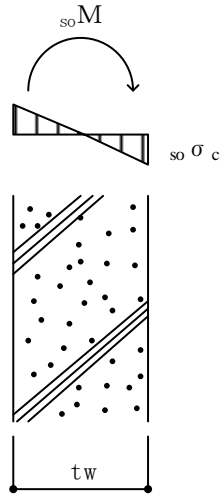
鉄筋比により健全性が確認できなかった場合、「RC-N規準 14 条 柱の軸方向力と曲げに対する断面算定」に準じて地震時曲げモーメント及び軸力に対する耐震壁の鉄筋の応力度を評価する。なお、鉛直荷重に対しては、鉛直震度を考慮する。



(3) 土圧による面外応力度

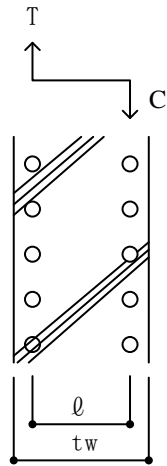
耐震壁で土圧による面外曲げモーメントの生じる部分については、下式によりそれぞれコンクリートの最大圧縮応力度及び鉄筋の最大引張応力度を評価する。

$$s_o \sigma_c = \frac{s_o M}{Z}$$



$$a_t = \frac{s_o M}{f_t \cdot \ell}$$

$$P_{s_o} = \frac{2}{b} \cdot \frac{a_t}{t_w}$$



ここで、

$s_o \sigma_c$: コンクリートの最大圧縮応力度 (N/mm²)

$s_o M$: 土圧による面外曲げモーメント (kN・m)

Z : 単位幅あたりの壁の面外断面係数 (m³)

$$\left(= \frac{b \cdot t_w^2}{6} \right)$$

b : 単位幅 (m)

t_w : 壁の厚さ (m)

ここで、

a_t : 片側必要鉄筋断面積 (m²)

ℓ : 鉄筋の重心間距離 (m)

f_t : 鉄筋の許容引張応力度 (N/mm²)

b : 耐震壁の幅 (m)

P_{s_o} : 土圧による面外曲げモーメントによる必要鉄筋比

4.6 断面の評価方法

4.6.1 天井スラブ及び床スラブ

天井スラブ及び床スラブの評価対象箇所は、中央制御室遮蔽の範囲の天井スラブ及び床スラブとし、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。

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

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で、表 4-8 に示す値
(N/mm²)

$w f_t$: せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表 4-9 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、天井スラブ及び床スラブには、面外せん断補強筋は入っていない。)

4.6.2 耐震壁

耐震壁の断面評価の評価フローを図 4-6 に示す。

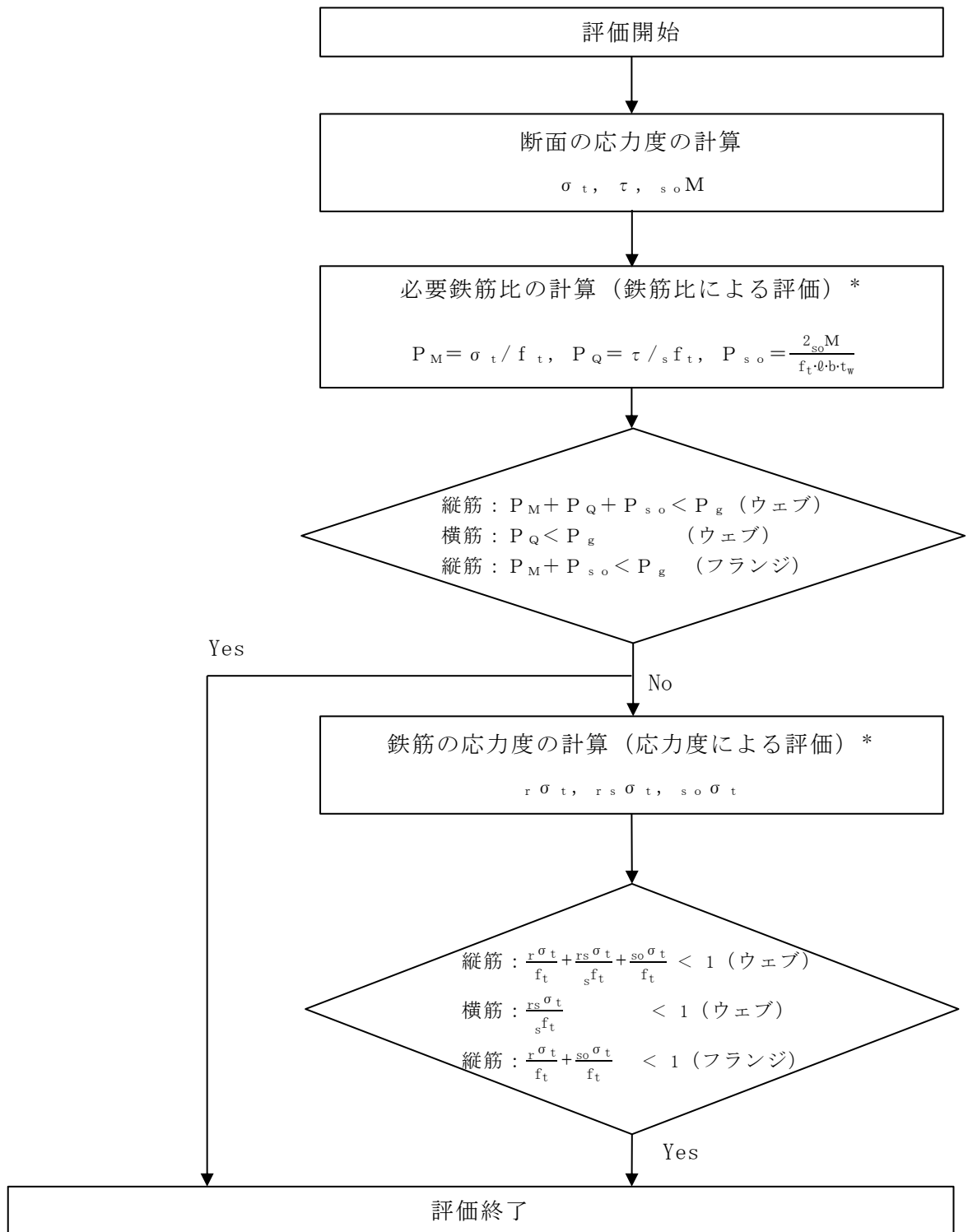
ここで、図中の記号は以下による。

- σ_t : 軸方向最大引張応力度
- τ : 面内せん断応力度
- $s_o \sigma_t$: 土圧による鉄筋の最大引張応力度
- f_t : 鉄筋の許容引張応力度
- $s f_t$: 鉄筋のせん断補強用許容引張応力度
- P_g : 設計鉄筋比
- P_Q : 面内せん断力による必要鉄筋比
- P_{s_o} : 土圧による面外曲げモーメントによる必要鉄筋比
- P_M : 曲げモーメント及び軸力による必要鉄筋比
- $s_o M$: 土圧による面外曲げモーメント
- $r \sigma_t$: 曲げモーメント及び軸力による鉄筋の最大引張応力度
- $r_s \sigma_t$: 面内せん断力による鉄筋の最大引張応力度
- b : 耐震壁の幅
- t_w : 耐震壁の厚さ
- ℓ : 鉄筋の重心間距離

耐震壁の断面評価は、「4.5 応力評価方法」に示す方法により地震時面内せん断応力度、地震時曲げモーメント及び軸力による軸方向応力度並びに土圧による面外応力度によってそれぞれ計算される必要鉄筋比の和が設計鉄筋比を超えないことを確認する。

必要鉄筋比の和が設計鉄筋比を上回る場合には、地震時曲げモーメント及び軸力に対して、「RC-N規準 14 条 柱の軸方向力と曲げに対する断面算定」に準じて鉄筋の応力度を算定し、地震時面内せん断応力度及び地震時土圧による面外応力度を組み合わせた応力度が鉄筋の許容応力度を超えないことを確認する。

各部の評価において考慮する応力度は次のとおりとする。ウェブの評価においては、地震時面内せん断応力度、地震時曲げモーメント及び軸力による軸方向応力度並びに常時土圧による面外応力度を考慮するものとする。フランジにおいては、地震時曲げモーメント及び軸力による軸方向応力度並びに地震時土圧による面外応力度を考慮するものとする。なお、フランジのうちウェブと交差する箇所は、地震時面内せん断応力度も考慮するものとする。



注記* : 「4.5.2 耐震壁」による。

図 4-6 耐震壁の評価フロー

5. 評価結果（中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物））

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 地震時の各層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 0.60×10^{-3} （NS方向， S_s-D ，ケース 2，要素番号 3）であり，許容限界（ 2.0×10^{-3} ）を超えないことを確認した。各要素の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，各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値について，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。

表 5-1(1) 最大応答せん断ひずみ一覧 (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 ($\times 10^{-3}$)
22.05~16.9	1	0.33	2.0
16.9~12.8	2	0.43	
12.8~8.8	3	0.60	

注：ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。

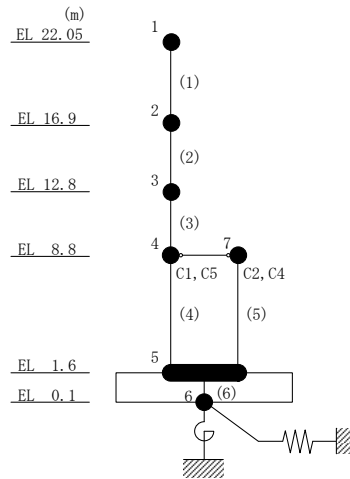
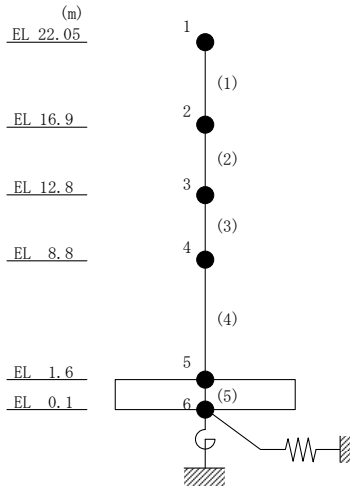
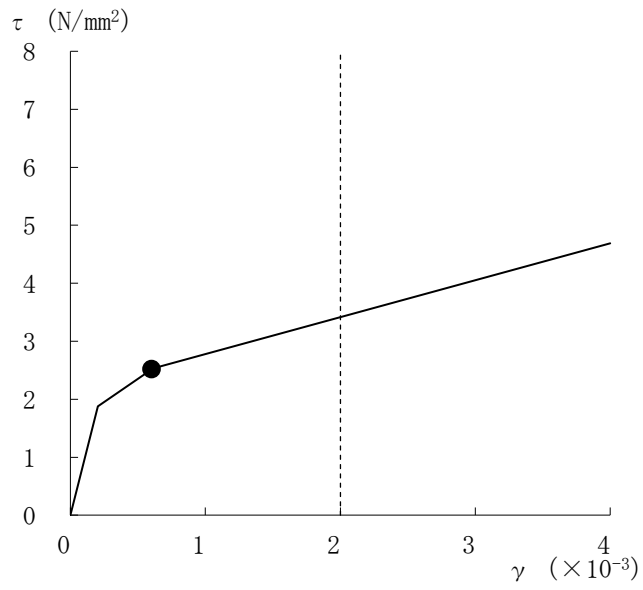


表 5-1(2) 最大応答せん断ひずみ一覧 (E W 方向)

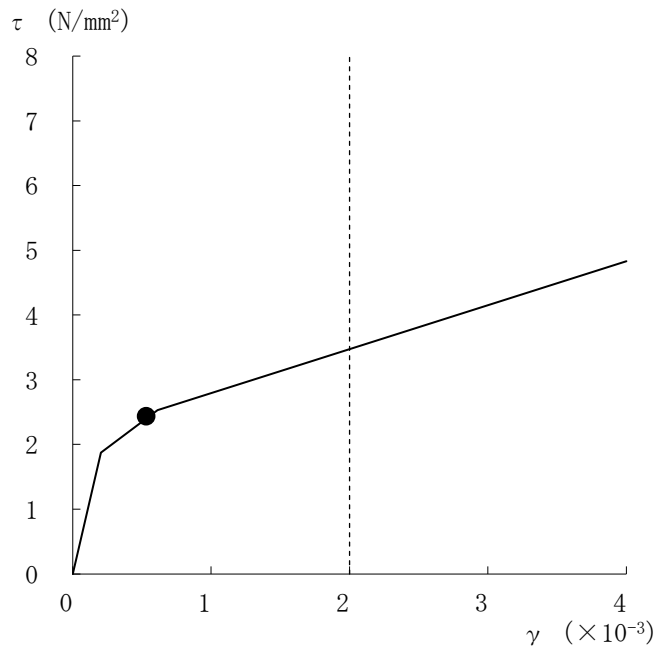
EL (m)	要素番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
22.05~16.9	1	0.16	2.0
16.9~12.8	2	0.40	
12.8~8.8	3	0.53	

注：ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。





(a) NS方向 (S s -D, ケース 2, 要素番号 3)



(b) EW方向 (S s -D, ケース 1, 要素番号 3)

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

5.2 応力解析による評価結果

5.2.1 天井スラブ及び床スラブの評価結果

天井スラブ及び床スラブの評価結果を表5-2～表5-5に示す。

天井スラブ及び床スラブについては、S_d地震時及び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5-2 評価結果（天井スラブ）（S_d地震時）



方向		短辺（N S）方向
EL (m)		22.05
厚さ t (mm)		
有効せい d (mm)		
配筋 (鉄筋断面積)	上ば筋	D29@150 (4280 mm ² /m)
	下ば筋	D29@100 (6420 mm ² /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	866.4
	鉄筋応力度 σ_t (N/mm ²)	260
	許容限界 (N/mm ²)	345
	検定値	0.76
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	342.0
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.04
	許容限界 (kN/m)	858.4
	検定値	0.40
判定		可

表 5-3 評価結果 (床スラブ) (S d 地震時)

方向		短辺 (NS) 方向	長辺 (EW) 方向
EL (m)		16.9	
厚さ t (mm)		□	
有効せい d (mm)		□	□
配筋 (鉄筋断面積)	上ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)	D16@150 (1327 mm ² /m)
	下ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)	D16@150 (1327 mm ² /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	30.8	43.2
	鉄筋応力度 σ_t (N/mm ²)	104	120
	許容限界 (N/mm ²)	345	345
	検定値	0.31	0.35
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	45.2	53.5
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.33	1.11
	許容限界 (kN/m)	419.4	319.1
	検定値	0.11	0.17
判定		可	可

表 5-4 評価結果（天井スラブ）（S_s地震時）



方向		短辺（NS）方向
EL（m）		22.05
厚さ t（mm）		
有効せい d（mm）		
配筋 （鉄筋断面積）	上ば筋	D29@150 (4280 mm ² /m)
	下ば筋	D29@100 (6420 mm ² /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M（kN・m/m）	1147.5
	鉄筋応力度 σ_t （N/mm ² ）	344
	許容限界 （N/mm ² ）	379
	検定値	0.91
面外せん断力	発生せん断力 Q（kN/m）	453.0
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.04
	許容限界 （kN/m）	858.4
	検定値	0.53
判定		可

表 5-5 評価結果 (床スラブ) (S_s地震時)


方向		短辺 (NS) 方向	長辺 (EW) 方向
EL (m)		16.9	
厚さ t (mm)		□	
有効せい d (mm)		□	□
配筋 (鉄筋断面積)	上ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)	D16@150 (1327 mm ² /m)
	下ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)	D16@150 (1327 mm ² /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	39.9	56.0
	鉄筋応力度 σ_t (N/mm ²)	135	156
	許容限界 (N/mm ²)	379	379
	検定値	0.36	0.42
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	58.6	69.3
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.33	1.11
	許容限界 (kN/m)	419.4	319.1
	検定値	0.14	0.22
判定		可	可

5.2.2 耐震壁の評価結果

耐震壁の評価結果を表 5-6 に示す。

対象部位において、鉄筋比による評価を実施した結果、S d 地震時に曲げモーメント及び軸力並びに面内せん断力による必要鉄筋比が設計鉄筋比を超えないことを確認した。

表 5-6 評価結果 (耐震壁)

EL (m)		16.9~22.05
壁位置 (通り)		c1, c5
壁厚 (mm)		
せん断断面積 (m ²)		19.74
配筋	縦筋配筋	2-D19@200
	縦筋設計鉄筋比 P _g (%)	0.574
	横筋配筋	2-D19@200
	横筋設計鉄筋比 P _g (%)	0.574
せん断に対する検討	せん断力 Q (×10 ⁴ kN)	3.05
	せん断応力度 τ (N/mm ²)	1.55
	面内せん断力による 必要鉄筋比 P _Q (%)	0.448
曲げモーメントに対する検討	曲げモーメント M (×10 ⁵ kN・m)	1.57
	軸力 N (×10 ³ kN)	18.3
	曲げモーメント及び軸力 による必要鉄筋比 P _M (%)	0.071
(P _Q + P _M) / P _g		0.91
判定		可

6. 基本方針（中央制御室バウンダリ）

6.1 位置

中央制御室バウンダリは、制御室建物及び廃棄物処理建物の一部を構成している。中央制御室バウンダリを含む制御室建物及び廃棄物処理建物の位置を図 6-1 に示す。

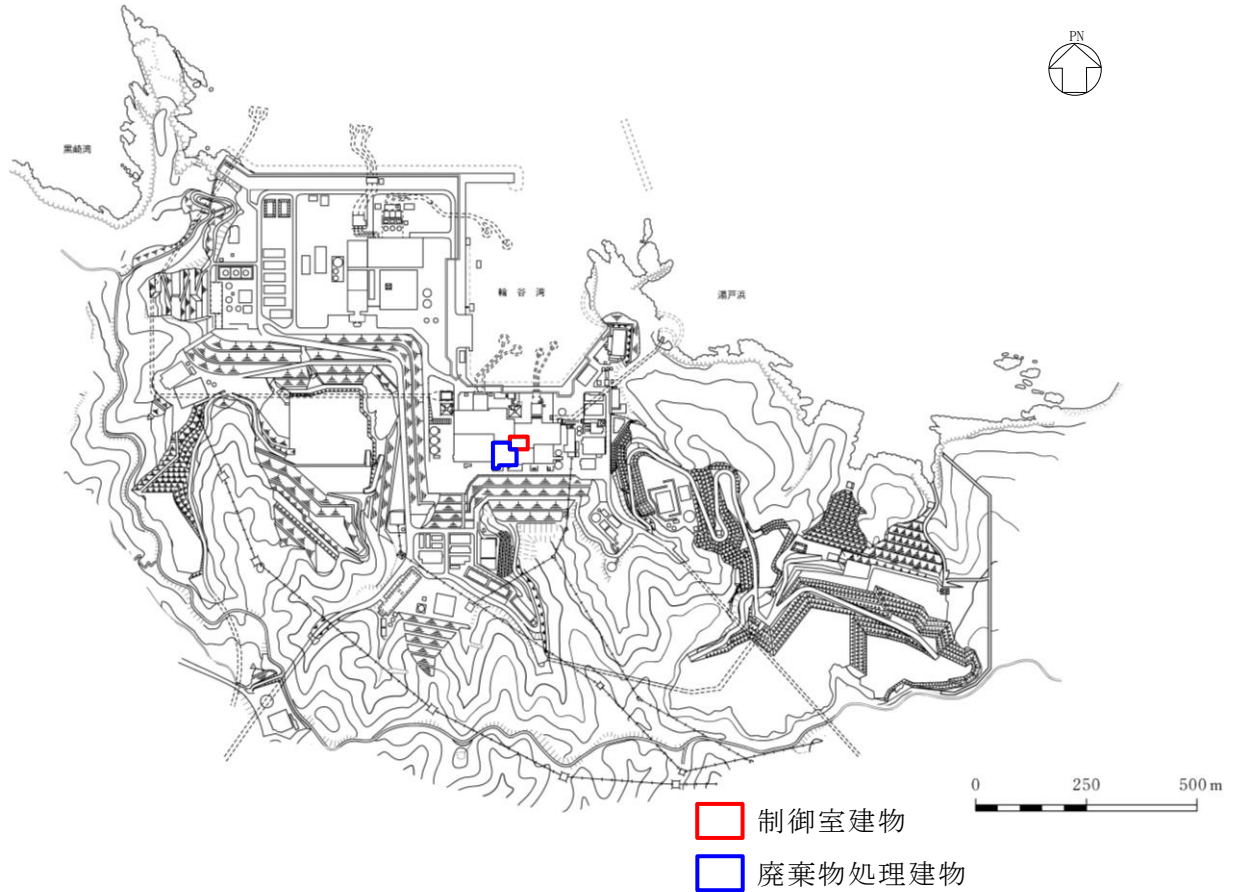


図 6-1 中央制御室バウンダリを含む制御室建物及び廃棄物処理建物の設置位置

6.2 構造概要

制御室建物は、4階建の鉄筋コンクリート造の建物である。

制御室建物の平面寸法は、22.0m* (N S) × 37.0m* (E W) である。基礎スラブ底面からの高さは 21.95m である。また、制御室建物は隣接する他の建物と構造的に分離している。

制御室建物の基礎は厚さ 1.5m 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。

また、廃棄物処理建物は、地上 5 階、地下 2 階建の鉄筋コンクリート造の建物である。

廃棄物処理建物の平面寸法は、54.9m (一部 37.86m) * (N S) × 56.97m (一部 40.5m) * (E W) である。基礎スラブ底面からの高さは 42.0m である。また、廃棄物処理建物は隣接する他の建物と構造的に分離している。

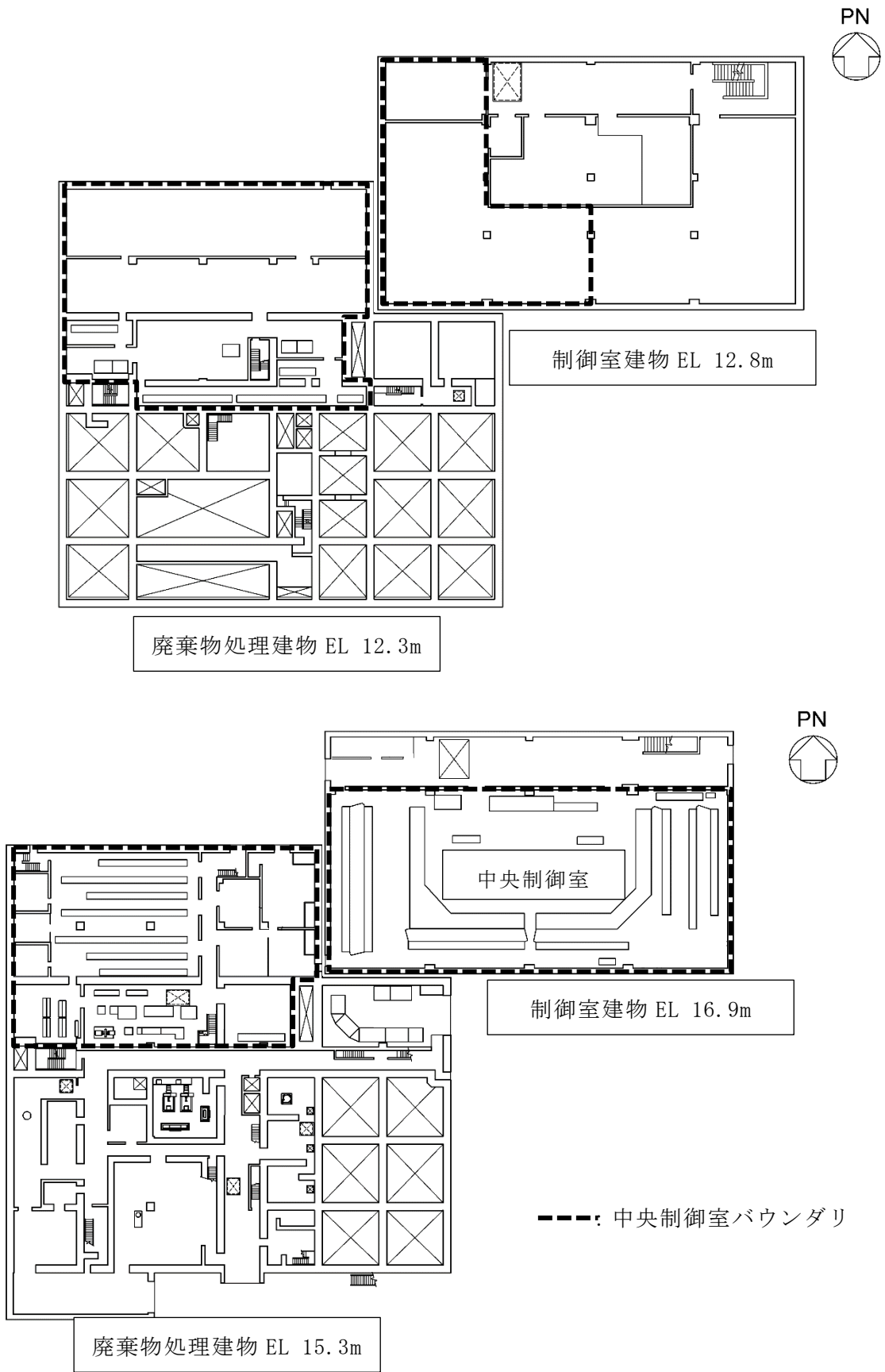
廃棄物処理建物の基礎は厚さ 3.0m のべた基礎で、岩盤に直接設置している。

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。

中央制御室は制御室建物の EL 16.9m~EL 22.05m に位置する。平面規模は、22.0m (N S) × 37.0m (E W) である。中央制御室バウンダリは、中央制御室を取り囲む制御室建物及び廃棄物処理建物の壁、天井スラブ及び床スラブで構成されており、壁の厚さは cm ~ cm、天井スラブ及び床スラブの厚さは cm ~ cm である。

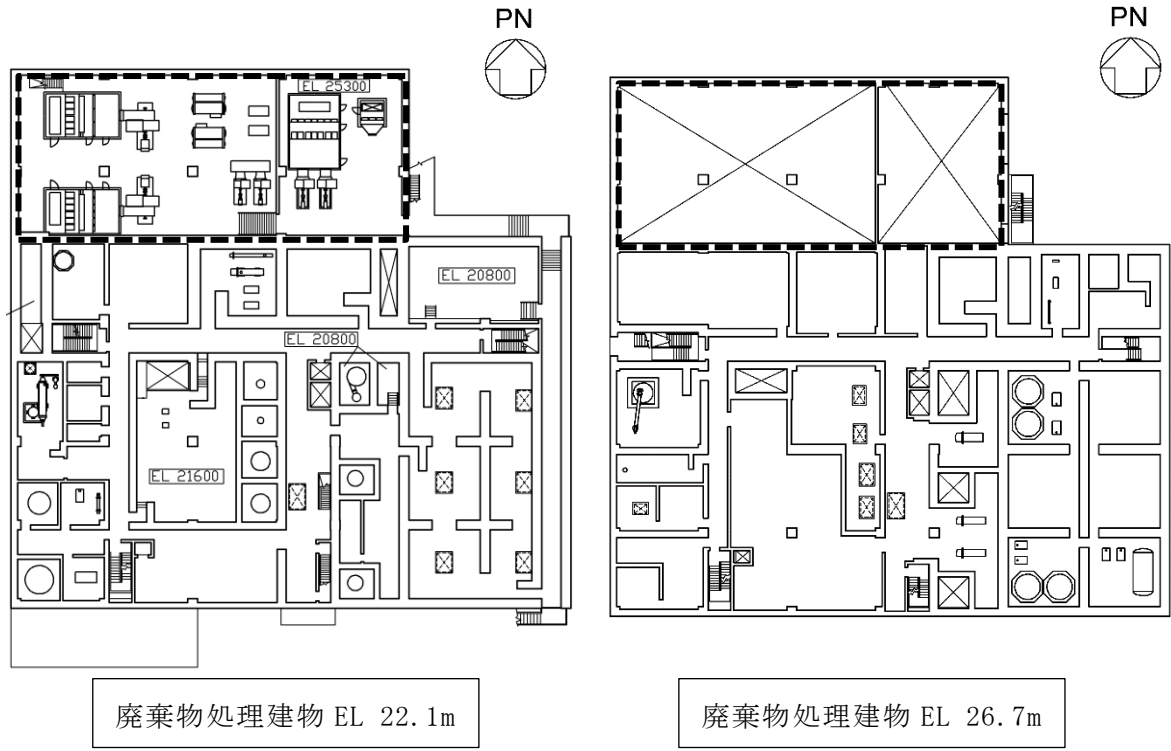
中央制御室バウンダリの範囲を図 6-2 に示す。

注記* : 建物寸法は壁外面寸法とする。



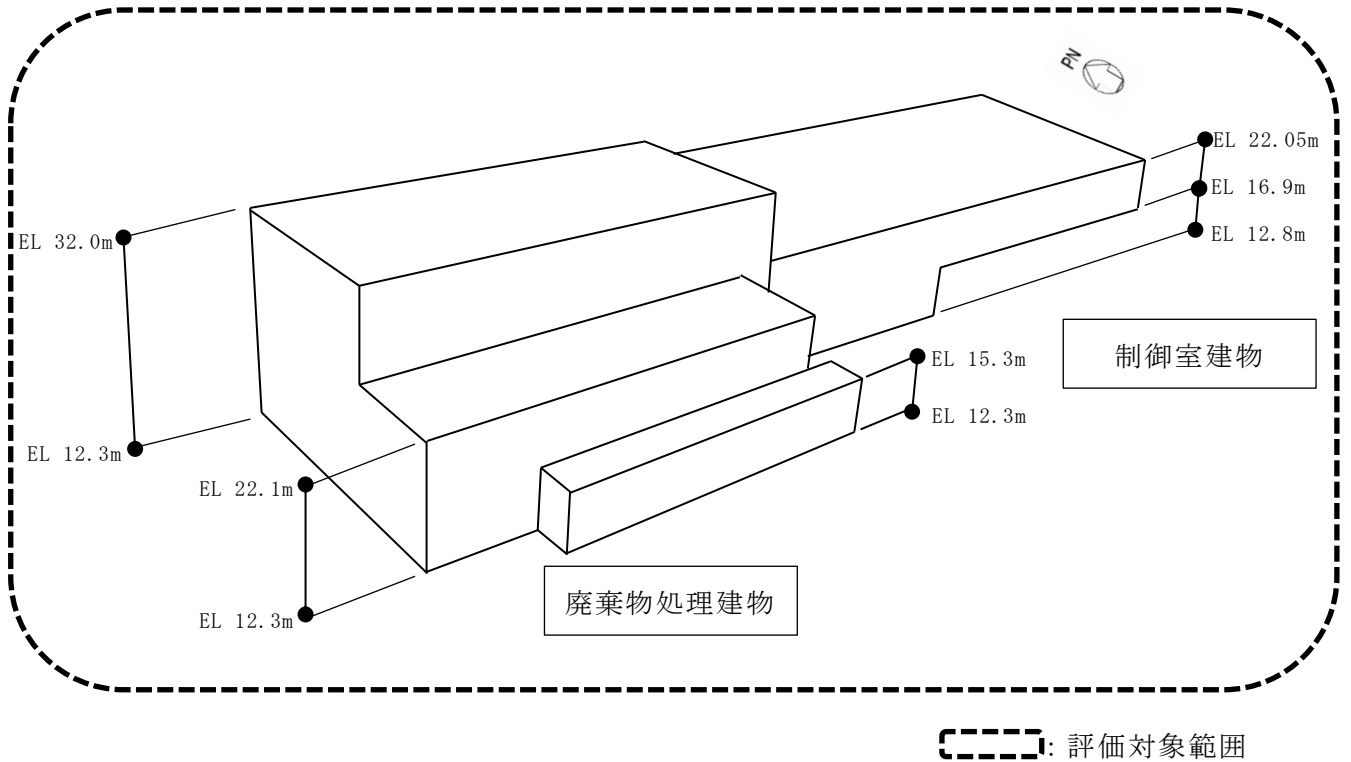
(a) 平面図 (EL 12.3m~EL 16.9m)

図 6-2(1) 中央制御室バウンダリの範囲



-----: 中央制御室バウンダリ

(b) 平面図 (EL 22.1m~EL 26.7m)



-----: 評価対象範囲

(c) 中央制御室バウンダリの概要

図 6-2(2) 中央制御室バウンダリの範囲

6.3 評価方針

中央制御室バウンダリは、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。

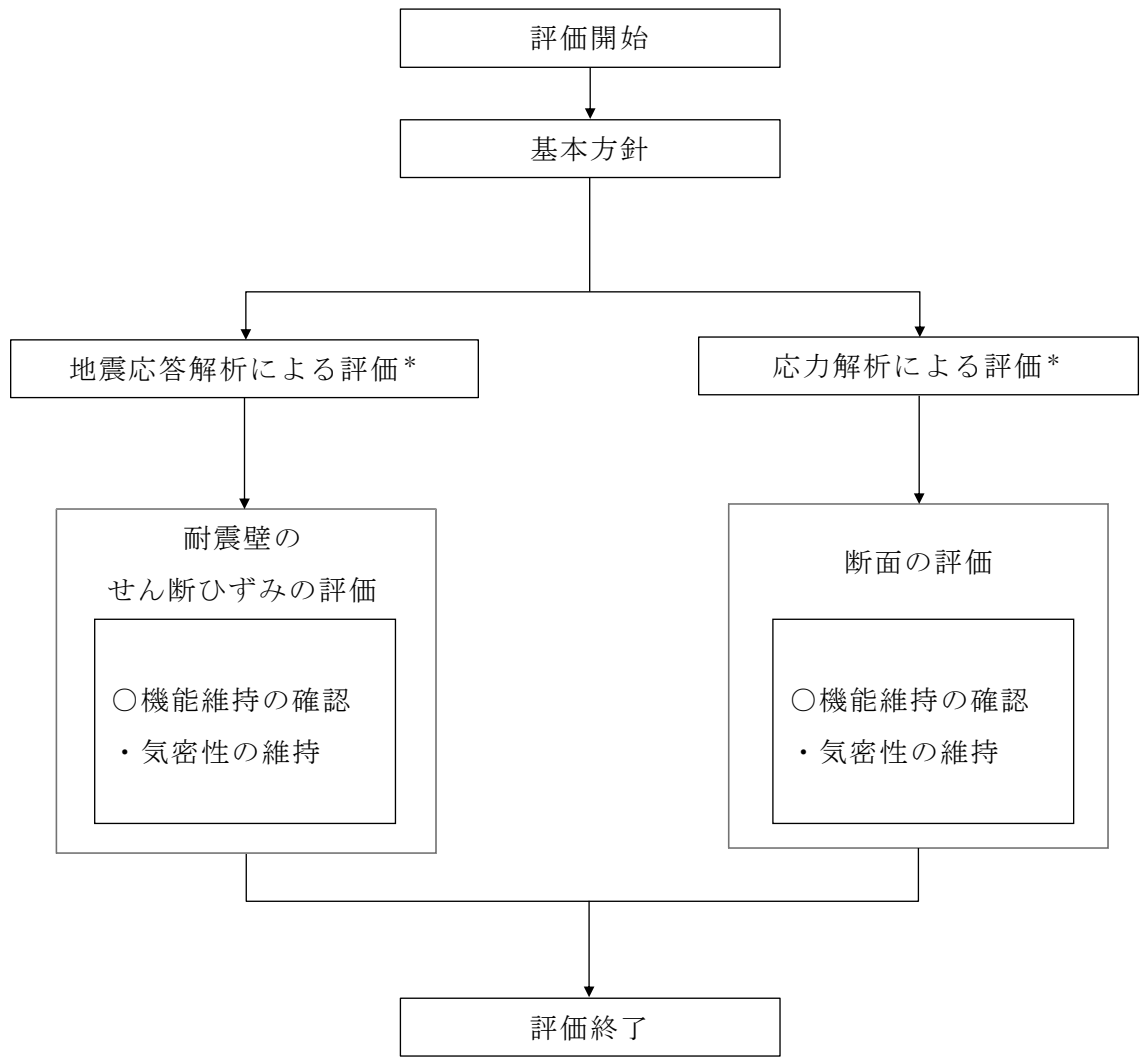
中央制御室バウンダリは、中央制御室を取り囲む制御室建物及び廃棄物処理建物の壁、天井スラブ及び床スラブで構成されており、設計基準対象施設としての評価においては、S s地震時に対する評価を行う。

中央制御室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天井スラブ及び床スラブについて断面の評価を行うことで、地震時の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することで必要な気密性を維持する設計とする（「別紙 1 中央制御室の気密性に関する計算書」参照）。

それぞれの評価は、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」及びVI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」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。

重大事故等対処施設としての評価においては、S s地震時に対する評価を行う。ここで、中央制御室バウンダリでは、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態において、圧力、温度等の条件について有意な差異がないことから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設としての評価と同一となる。

中央制御室バウンダリの評価フローを図 6-3 に示す。



注記* : VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」及びVI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 6-3 中央制御室バウンダリの評価フロー

6.4 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)

7. 地震応答解析による評価方法（中央制御室バウンダリ）

中央制御室バウンダリの気密性の維持については、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」及びVI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」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中央制御室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7-1及び表7-2のとおり設定する。

表7-1 地震応答解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

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)
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床スラブの変形が抑えられることから、各層の耐震壁の最大応答せん断ひずみが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: 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 中央制御室の気密性に関する計算書」に示す。

表 7-2 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)
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	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床スラブの変形が抑えられることから、各層の耐震壁の最大応答せん断ひずみが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: 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 中央制御室の気密性に関する計算書」に示す。

8. 応力解析による評価方法（中央制御室バウンダリ）

8.1 評価対象部位及び評価方針

中央制御室バウンダリの応力解析による評価対象部位は、中央制御室バウンダリを構成する天井スラブ及び床スラブとし、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、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」及びVI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」による結果を用いて、荷重の組合せを行う。

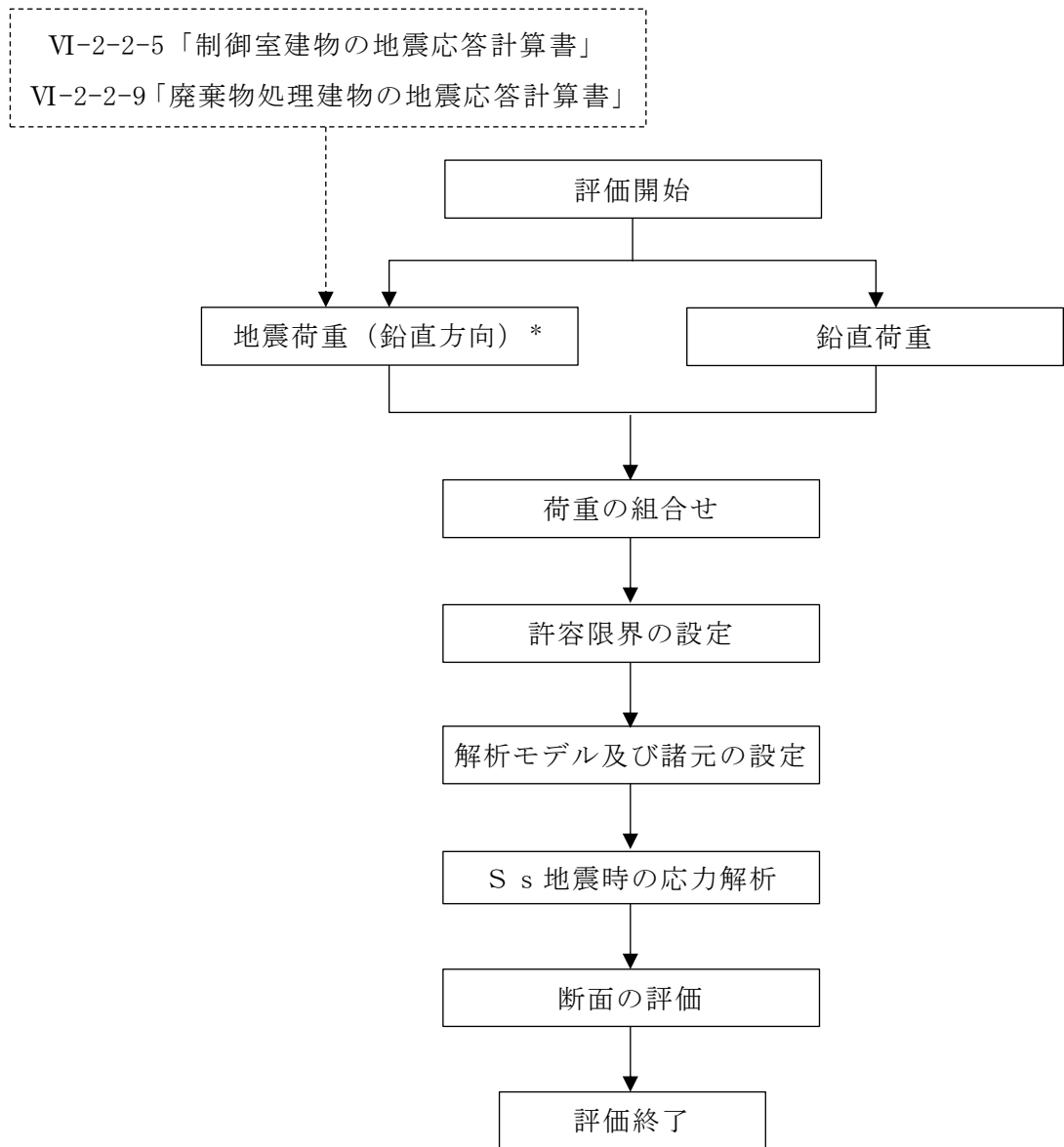
(1) S_s 地震時に対する評価

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基準地震動 S_s による鉛直方向の地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果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、各断面についてスラブの検定値が最も大きい部材を選定して示す。

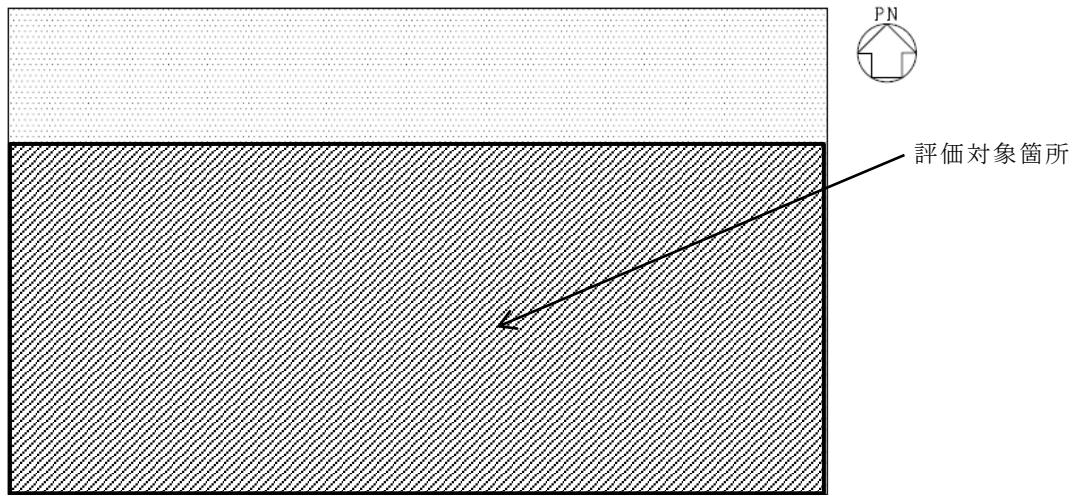
応力解析による評価フローを図 8-1 に、選定した部材を図 8-2 に示す。

なお、水平方向の地震荷重に対する評価は、建物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。

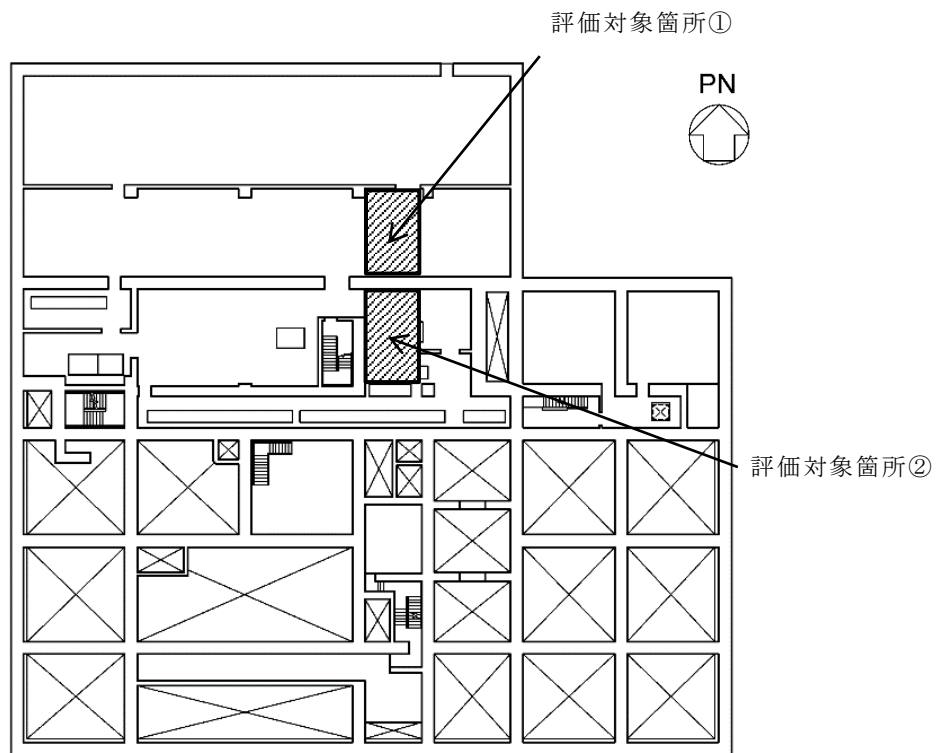


注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 8-1 天井スラブ及び床スラブの応力解析による評価フロー



(a) 天井スラブ (EL 22.05m)
(制御室建物)



(b) 床スラブ (EL 12.3m)
(廃棄物処理建物)

図 8-2 天井スラブ及び床スラブの評価を記載する部材の位置

8.2 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。

(1) 荷重

a. 鉛直荷重

鉛直荷重として、固定荷重（G）、積載荷重（P）及び積雪荷重（SNL）を考慮する。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。

b. 地震荷重（S_s）

地震荷重（S_s）は基準地震動S_sに対する制御室建物及び廃棄物処理建物の質点系モデルの各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8-1に示す。

表 8-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + SNL* + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重

SNL : 積雪荷重

S_s : 地震荷重

注記* : 積雪荷重（SNL）は、積雪荷重が作用する屋外に面する天井スラブに対して考慮する。

8.3 許容限界

応力解析による評価における中央制御室バウンダリの許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能維持の基本方針に基づき、表 8-2 及び表 8-3 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 8-4 及び表 8-5 に示す。

表 8-2 応力解析による評価における許容限界

(設計基準対象施設としての評価)

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)
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	天井スラブ 床スラブ	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	弾性限強度*

注記*：曲げモーメントに対する評価については、「平 12 建告第 2464 号」に基づき、鉄筋の基準強度を 1.1 倍とする。せん断力に対する評価については、短期許容応力度を適用する。

表 8-3 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)
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	天井スラブ 床スラブ	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	弾性限強度*

注記*：曲げモーメントに対する評価については、「平 12 建告第 2464 号」に基づき、鉄筋の基準強度を 1.1 倍とする。せん断力に対する評価については、短期許容応力度を適用する。

表 8-4 コンクリートの短期許容応力度

(a) 制御室建物

(単位：N/mm²)

設計基準強度 F _c	圧縮	せん断
22.1	14.6	1.06

(b) 廃棄物処理建物

(単位：N/mm²)

設計基準強度 F _c	圧縮	せん断
23.5	15.6	1.08

表 8-5 鉄筋の許容応力度（制御室建物及び廃棄物処理建物）

(単位：N/mm²)

種別	引張及び 圧縮	せん断
SD35 (SD345 相当)	345*	345

注記*：材料強度は許容応力度（引張及び圧縮）を 1.1 倍して算定する。

8.4 解析モデル及び諸元

(1) モデル化の基本方針

天井スラブ及び床スラブは、天井スラブ及び床スラブの辺長比及び周囲の境界条件を考慮して、両端固定はり、三辺固定・一辺自由版又は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 8-6 に示す。

表 8-6 使用材料の物性値

(a) 制御室建物

コンクリートの 設計基準強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
22.1	2.20×10^4	0.2

(b) 廃棄物処理建物

コンクリートの 設計基準強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
23.5	2.25×10^4	0.2

8.5 応力評価方法

(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応答鉛直加速度は、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」及びVI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」による。最大応答鉛直加速度及び鉛直震度を表 8-7 に示す。

- G : 固定荷重
 P : 積載荷重
 S N L : 積雪荷重
 S s U D : S s 地震荷重（鉛直方向）

表 8-7(1) 最大応答鉛直加速度及び鉛直震度（制御室建物）

EL (m)	ケース	最大応答 鉛直加速度 (cm/s ²)	鉛直震度
22.05	S s - N 2 (ケース 2)	972	1.00
16.9	S s - N 2 (ケース 2)	861	0.88
12.8	S s - N 2 (ケース 2)	760	0.78

表 8-7(2) 最大応答鉛直加速度及び鉛直震度（廃棄物処理建物）

EL (m)	ケース	最大応答 鉛直加速度 (cm/s ²)	鉛直震度
32.0	S s - D (ケース 4)	944	0.97
22.1	S s - D (ケース 2)	898	0.92
15.3	S s - D (ケース 1)	752	0.77
12.3	S s - D (ケース 1)	680	0.70

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 8-8 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 8-8 荷重の組合せケース (天井スラブ及び床スラブ)

外力の状態	荷重の組合せ
S s 地震時	G + P + S N L * + 1.0 S s U D

注記* : 積雪荷重 (S N L) は、積雪荷重が作用する屋外に面する天井スラブに対して考慮する。

(3) 応力算出方法

等分布荷重を受ける両端固定はり及び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。また、等分布荷重を受ける三辺固定・一边自由版の曲げモーメント及びせん断力は、計算図表 (引用文献(1)参照) を用いて求める。

(両端固定はり)

- ・ 端部曲げモーメント (M_E)

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

- ・ 中央部曲げモーメント (M_C)

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

- ・ 端部せん断力 (Q_E)

$$Q_E = 0.5 \cdot w \cdot l$$

ここで、

l : 有効スパン (m)

w : 等分布荷重 (kN/m)

(四辺固定版)

- 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)

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

8.6 断面の評価方法

天井スラブ及び床スラブの評価対象箇所は、中央制御室バウンダリの範囲の天井スラブ及び床スラブとし、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。

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

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で、表 8-4 に示す値 (N/mm²)

$f_{t w}$: せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表 8-5 に示す値
(N/mm^2)

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 (mm^2)

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、天井スラブ及び床スラブには、面外せん断補強筋は入っていない。)

9. 評価結果（中央制御室バウンダリ）

9.1 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、制御室建物及び廃棄物処理建物における S_s 地震時の各層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。

制御室建物の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 0.43×10^{-3} (NS方向, $S_s - D$, ケース 1, 要素番号 2) であり, 許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。

また, 廃棄物処理建物の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 0.42×10^{-3} (NS方向, $S_s - D$, ケース 2, 要素番号 7) であり, 許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。

各要素の耐震壁の最大応答せん断ひずみ一覧を表 9-1 及び表 9-2 に示す。各表において, 各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値について, せん断スケルトン曲線上にプロットした図を図 9-1 及び図 9-2 に示す。

表9-1(1) 最大応答せん断ひずみ一覧 (制御室建物) (NS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 ($\times 10^{-3}$)
22.05~16.9	1	0.33	2.0
16.9~12.8	2	0.43	

注：ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。

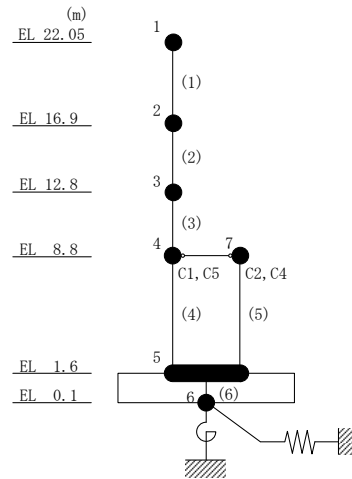


表 9-1(2) 最大応答せん断ひずみ一覧 (制御室建物) (EW方向)

EL (m)	要素番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
22.05~16.9	1	0.16	2.0
16.9~12.8	2	0.40	

注：ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。

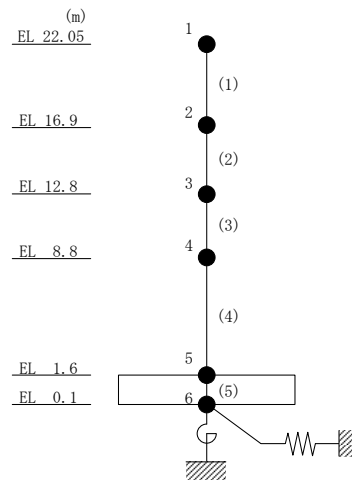


表 9-2(1) 最大応答せん断ひずみ一覧 (廃棄物処理建物) (N S 方向)

EL (m)	要素 番号	最大応答せん断 ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
32.0~26.7	3	0.17	2.0
26.7~22.1	4	0.20	
22.1~16.9	5	0.27	
16.9~15.3	6	0.40	
15.3~12.3	7	0.42	

注：ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。

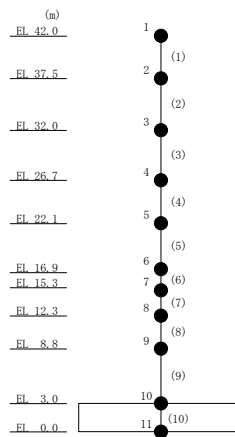
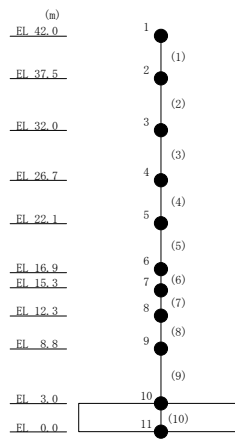
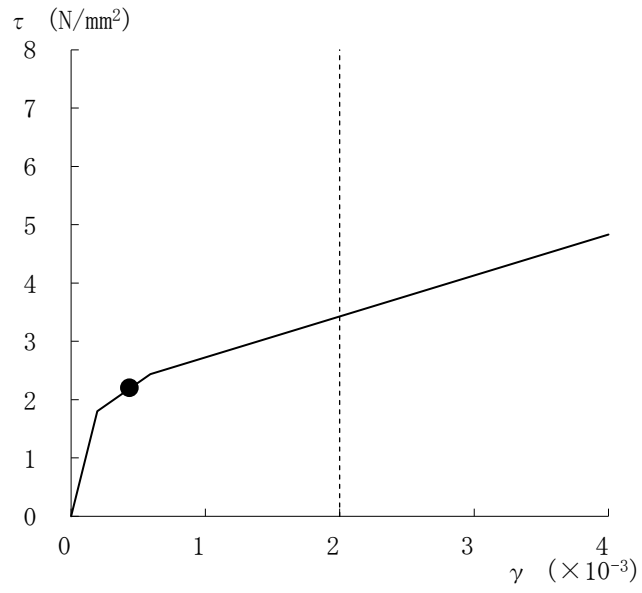


表9-2(2) 最大応答せん断ひずみ一覧 (廃棄物処理建物) (E W方向)

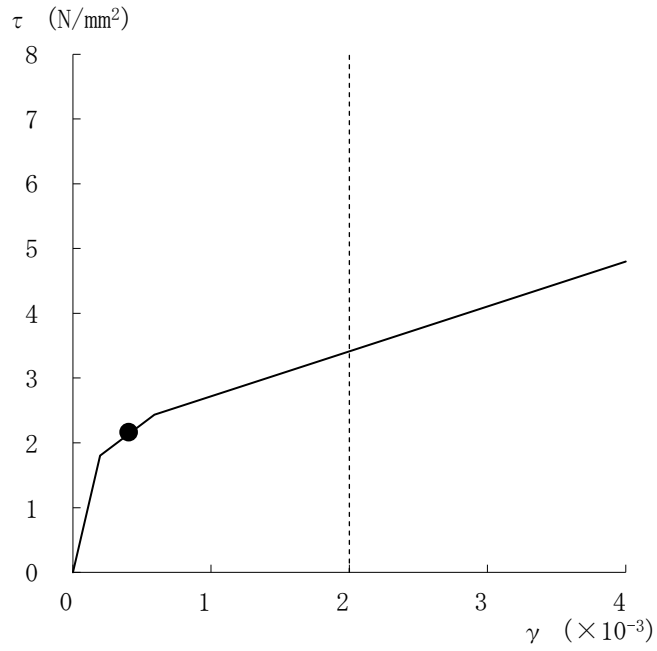
EL (m)	要素 番号	最大応答せん断 ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
32.0~26.7	3	0.15	2.0
26.7~22.1	4	0.28	
22.1~16.9	5	0.31	
16.9~15.3	6	0.34	
15.3~12.3	7	0.21	

注：ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。



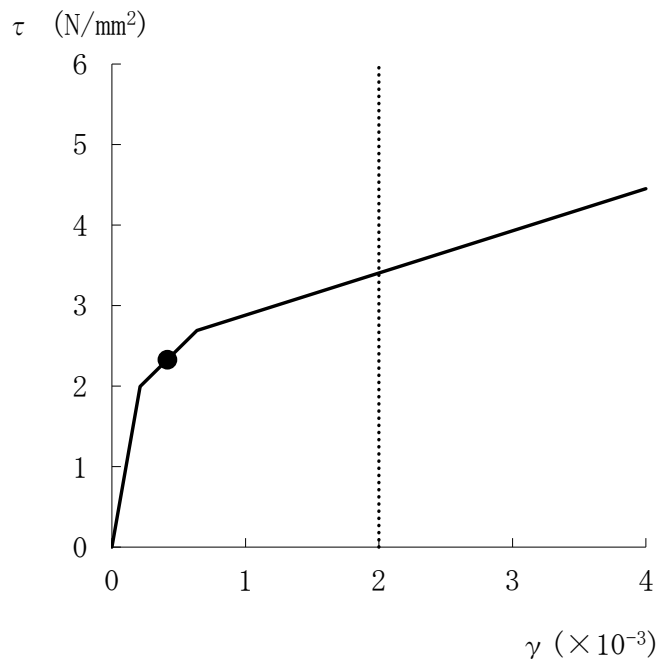


(a) NS方向 (S s -D, ケース 1, 要素番号 2)

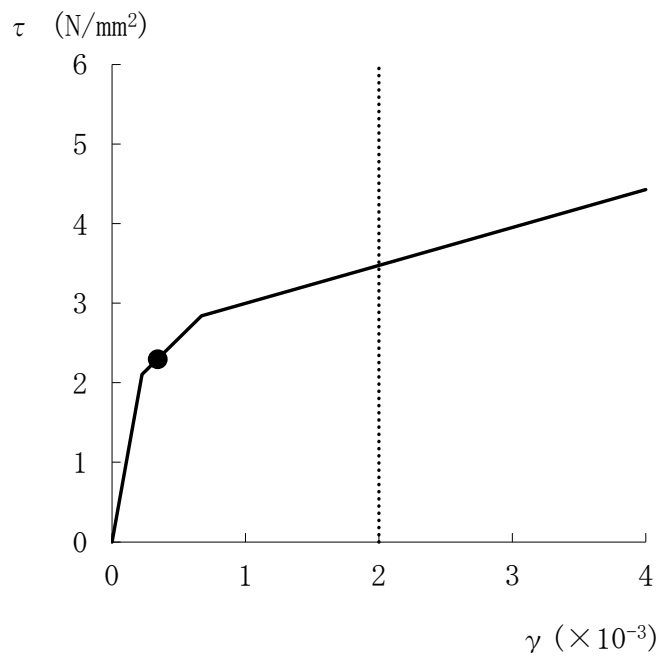


(b) EW方向 (S s -D, ケース 3, 要素番号 2)

図9-1 せん断スケルトン曲線上の最大応答せん断ひずみ
(制御室建物)



(a) NS方向 (S_s-D, ケース 2, 要素番号 7)



(b) EW方向 (S_s-D, ケース 2, 要素番号 6)

図9-2 せん断スケルトン曲線上の最大応答せん断ひずみ
(廃棄物処理建物)

9.2 応力解析による評価結果

天井スラブ及び床スラブの評価結果を表 9-3 及び表 9-4 に示す。

天井スラブ及び床スラブについては、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 9-3 評価結果（天井スラブ（制御室建物））



方向		短辺（N S）方向
EL (m)		22.05
厚さ t (mm)		
有効せい d (mm)		
配筋 (鉄筋断面積)	上ば筋	D29@150 (4280 mm ² /m)
	下ば筋	D29@100 (6420 mm ² /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	1147.5
	鉄筋応力度 σ_t (N/mm ²)	344
	許容限界 (N/mm ²)	379
	検定値	0.91
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	453.0
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.04
	許容限界 (kN/m)	858.4
	検定値	0.53
判定		可

表 9-4(1) 評価結果 (床スラブ① (廃棄物処理建物))

方向		短辺 (EW) 方向	長辺 (NS) 方向
EL (m)		12.3	
厚さ t (mm)		□	
有効せい d (mm)		□	□
配筋 (鉄筋断面積)	上ば筋	D13@200 (635 mm ² /m)	D13@200 (635 mm ² /m)
	下ば筋	D13@200 (635 mm ² /m)	D13@200 (635 mm ² /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	42.1	28.3
	鉄筋応力度 σ_t (N/mm ²)	316	243
	許容限界 (N/mm ²)	379	379
	検定値	0.84	0.65
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	76.9	68.0
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.22	1.34
	許容限界 (kN/m)	276.6	265.9
	検定値	0.28	0.26
判定		可	可

表 9-4(2) 評価結果 (床スラブ② (廃棄物処理建物))

方向		短辺 (EW) 方向	長辺 (NS) 方向
EL (m)		12.3	
厚さ t (mm)		□	
有効せい d (mm)		□	□
配筋 (鉄筋断面積)	上ば筋	D22@200 (1935 mm ² /m)	D19@200 (1435 mm ² /m)
	下ば筋	D22@200 (1935 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)	69.7	39.2
	鉄筋応力度 σ_t (N/mm ²)	172	149
	許容限界 (N/mm ²)	379	379
	検定値	0.46	0.40
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	108.6	96.1
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.09	1.36
	許容限界 (kN/m)	247.2	269.8
	検定値	0.44	0.36
判定		可	可

10. 引用文献

- (1) 「鉄筋コンクリート構造計算用資料集」 ((社) 日本建築学会, 2002 年)

別紙 1 中央制御室の気密性に関する計算書

目 次

1. 概要	1
2. 既往の知見等の整理	1
3. 中央制御室バウンダリにおける空気漏えい量に対する影響検討.....	3
3.1 検討方針	3
3.2 空気漏えい量の算定結果	6
3.2.1 壁面からの漏えい量	6
3.3 空気流入率の比較	8
3.4 検討結果	8
4. まとめ	8

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。

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おおむね弾性状態にとどまることを基本とした上で、おおむ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によって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。

中央制御室遮蔽の地震応答解析による評価において、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、中央制御室空調換気系の処理対象となるバウンダリ（以下「中央制御室バウンダリ」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 $2/1000\text{rad}$ 、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率を算出し、気圧差維持のために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、中央制御室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、中央制御室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。

$$Q = C \cdot \gamma^{2.57} \cdot \Delta P / T \dots\dots\dots (2. 1)$$

ここで、

- Q : 単位面積あたりの流量 (L/min/m²)
- C : 定数
(中央値は 2.24×10⁶, 95%非超過値は 1.18×10⁷, 5%非超過値は 4.21×10⁵)
- γ : 最大応答せん断ひずみ
- ΔP : 差圧 (mmAq)
- T : 壁厚 (cm)

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

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の比

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」

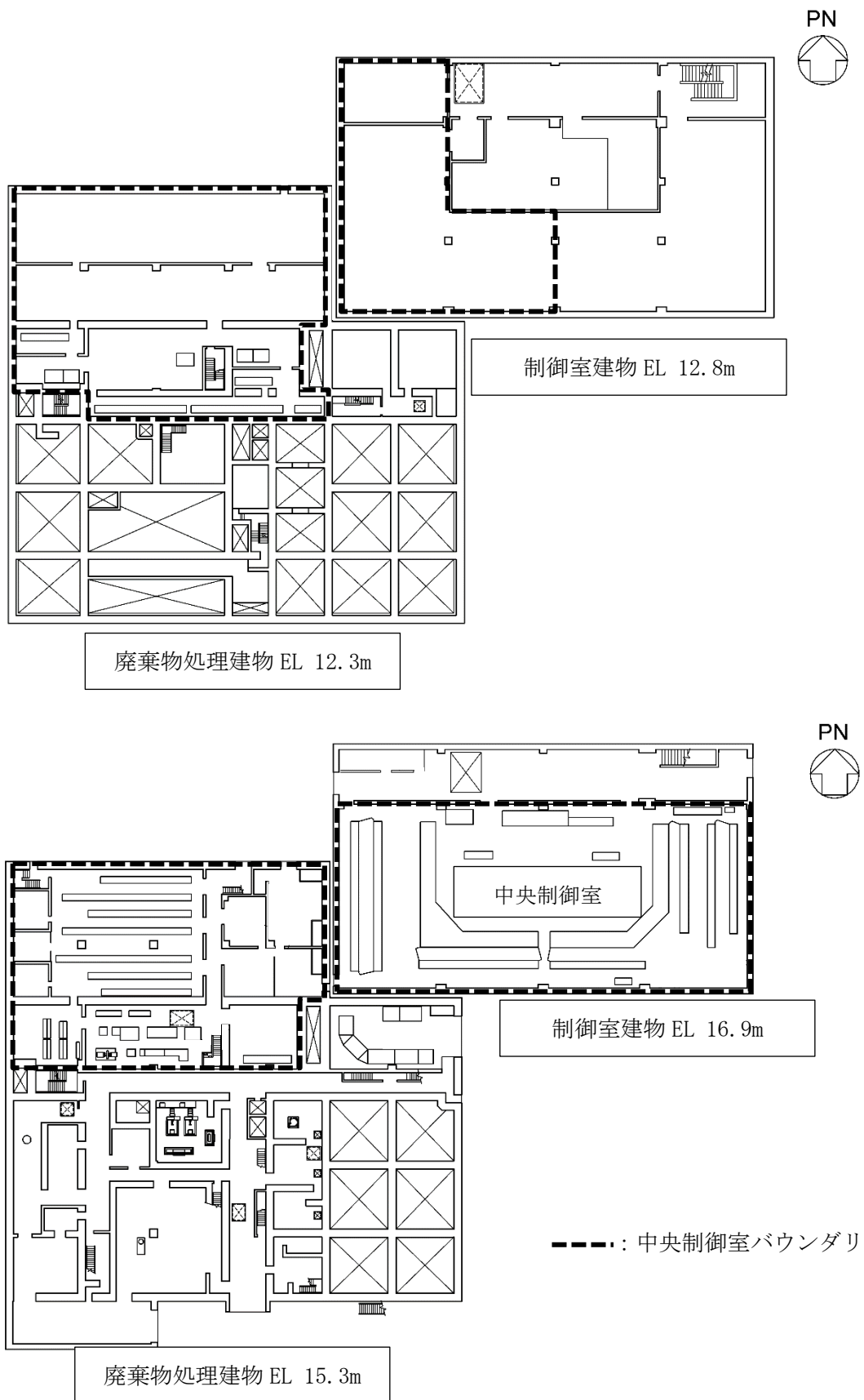
*2: 財団法人 原子力発電技術機構「耐震安全解析コード改良試験 原子炉建屋の弾塑性試験 試験結果の評価に関する報告書 平成5年度」

3. 中央制御室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

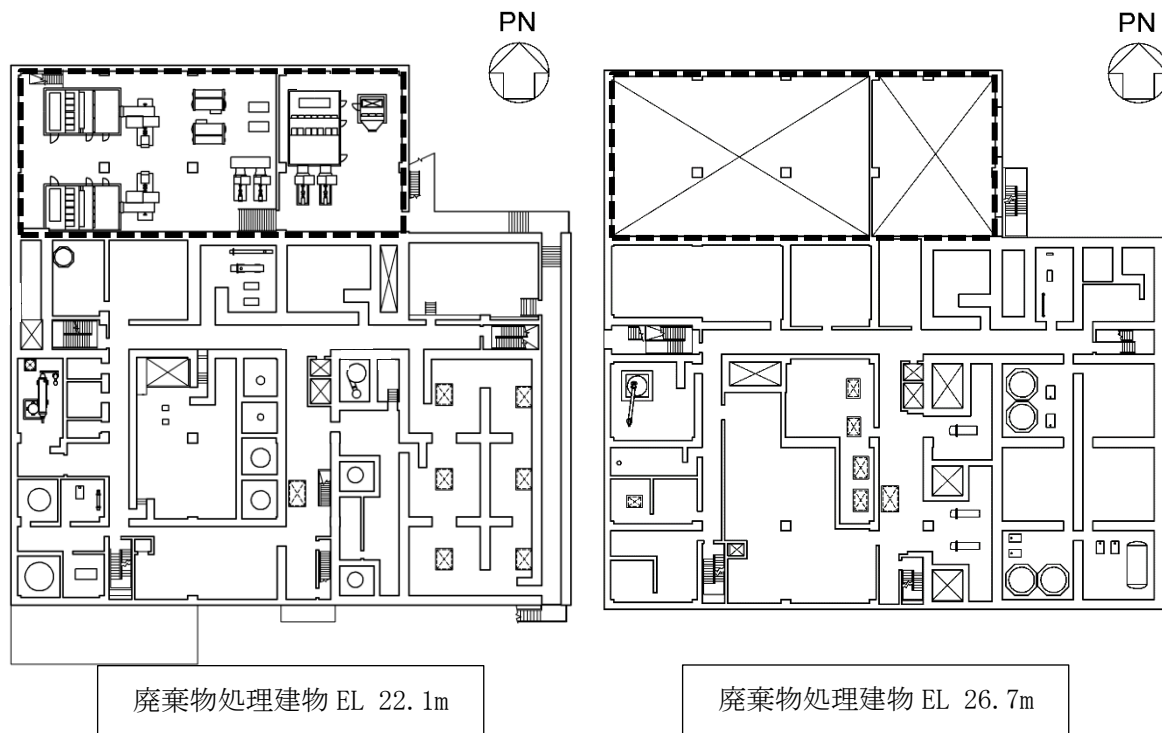
「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に基づき、式(2.1)及び式(2.2)により、中央制御室バウンダリを構成する壁の最大応答せん断ひずみが許容限界(2.0×10^{-3})に達したときの空気漏えい量を算定し、空気漏えい量から算出した空気流入率が、被ばく評価に用いる空気流入率(0.5回/h)を超えないことを確認する。ここで中央制御室バウンダリ内体積は 17150m^3 とする。

中央制御室バウンダリの範囲を図3-1に示す。中央制御室バウンダリ(EL 12.3m~EL 32.0m)を構成する壁の壁厚は約 cm から約 cm である。



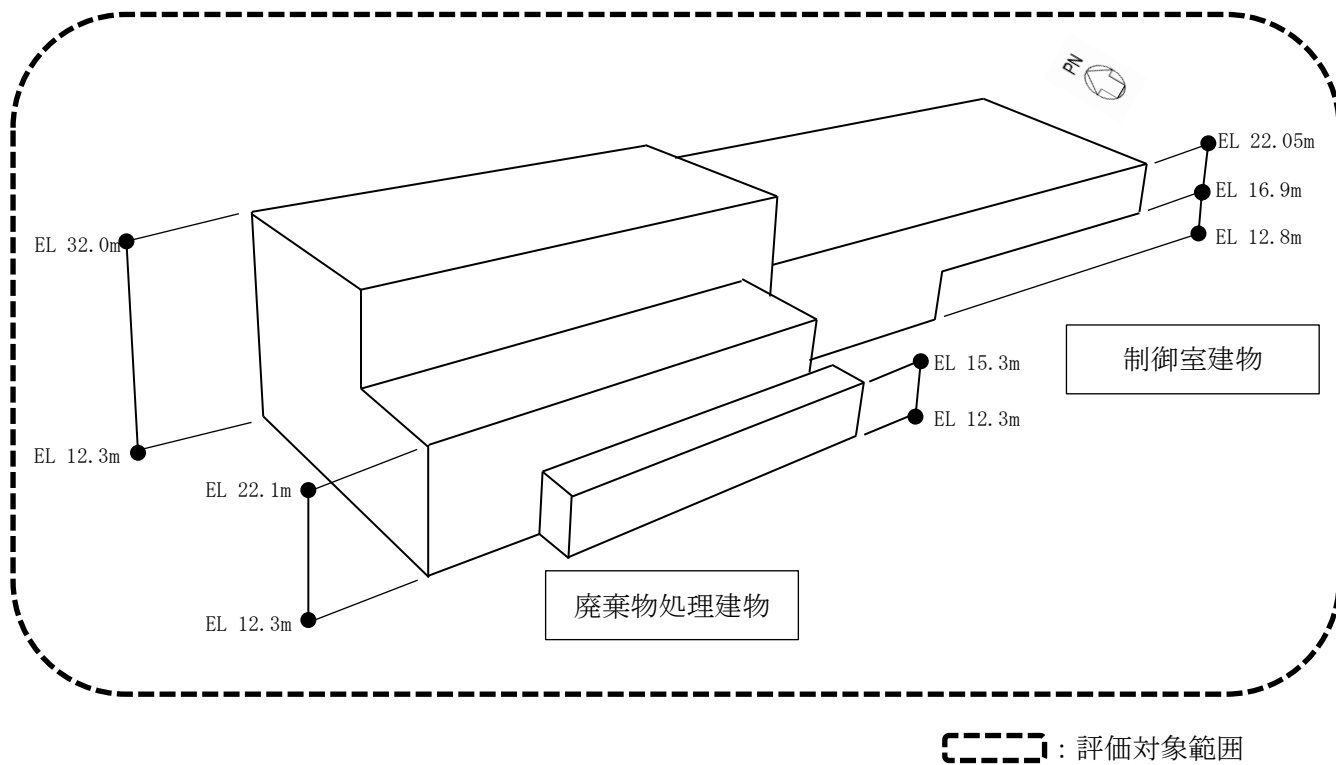
(a) 平面図 (EL 12.3m~EL 16.9m)

図 3-1(1) 中央制御室バウンダリの範囲



-----: 中央制御室バウンダリ

(b) 平面図 (EL 22.1m~EL 26.7m)



-----: 評価対象範囲

(c) 中央制御室バウンダリの概要

図 3-1(2) 中央制御室バウンダリの範囲

3.2 空気漏えい量の算定結果

3.2.1 壁面からの漏えい量

中央制御室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、地震応答解析における耐震壁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 算定結果（中央制御室バウンダリ）

EL (m)	壁厚 T (cm)	定数		*1 最大応答 せん断 ひずみ γ	*2 差圧 ΔP (mmAq)	*3 壁の 見付面積 A (m^2)	漏えい量 Q (L/min/ m^2)	壁の見付面 積に対する 開口の総面 積の比 β	通気量 割増率 ΔQ	総漏えい量 $Q \times A \times \Delta Q$ (L/min)
		C	$\frac{Q'}{Q_0}$							
12.3		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	16	0.27	0.000	1.00	5
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	359	0.14	0.136	7.84	395
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	55	0.11	0.000	1.00	7
12.8		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	87	0.91	0.387	20.46	1620
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	111	0.27	0.024	2.21	67
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	86	0.20	0.170	9.55	165
15.3		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	9	0.27	0.000	1.00	3
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	38	0.17	0.000	1.00	7
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	138	0.14	0.052	3.61	70
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	24	0.11	0.000	1.00	3
16.9		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	185	0.46	0.089	5.47	466
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	527	0.27	0.033	2.66	379
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	426	0.14	0.053	3.66	219
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	77	0.11	0.000	1.00	9
22.1		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	182	0.23	0.000	1.00	42
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	78	0.20	0.000	1.00	16
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	78	0.17	0.000	1.00	14
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	83	0.15	0.000	1.00	13
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	99	0.10	0.009	1.45	15
26.7		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	23	0.46	0.157	8.89	95
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	209	0.23	0.032	2.61	126
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	90	0.20	0.256	13.87	250
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	90	0.17	0.234	12.77	196
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	146	0.15	0.102	6.13	135
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	10.0	41	0.10	0.022	2.11	9
								合計	4326	

注記*1：保守的に各壁の最大応答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：中央制御室空気流入率測定試験結果に基づいた保守的な値とする。

*3：中央制御室バウンダリを構成する壁の総面積を用いる。

3.3 空気流入率の比較

総漏えい量から算出した空気流入率及び被ばく評価に用いる空気流入率の比較を表 3-2 に示す。中央制御室バウンダリについて総漏えい量から算出した空気流入率は、被ばく評価に用いる空気流入率の 4%程度であることを確認した。

表 3-2 総漏えい量から算出した空気流入率及び被ばく評価に用いる空気流入率の比較

総漏えい量から算出した空気流入率 (回/h)	被ばく評価用に用いる空気流入率 (回/h)
0.02*	0.5

注記*：空気漏えい量の合計値を中央制御室バウンダリ内体積で除した数値
(中央制御室バウンダリ内体積は 17150m³ とする。)

3.4 検討結果

中央制御室バウンダリについて総漏えい量から算出した空気流入率は、被ばく評価に用いる空気流入率を超えないことを確認した。

よって、中央制御室バウンダリは、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

中央制御室バウンダリは、耐震壁の許容限界としてせん断ひずみ 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、中央制御室遮蔽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。