

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改02
提出年月日	2023年5月31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5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	15
4.1.2	床スラブ	17
4.1.3	耐震壁	20
4.2	荷重及び荷重の組合せ	22
4.2.1	天井スラブ	22
4.2.2	床スラブ	23
4.2.3	耐震壁	24
4.3	許容限界	29
4.4	解析モデル及び諸元	33
4.4.1	天井スラブ	33
4.4.2	床スラブ	38
4.4.3	耐震壁	39
4.5	応力評価方法	40
4.5.1	天井スラブ	40
4.5.2	床スラブ	46
4.5.3	耐震壁	49
4.6	断面の評価方法	54
4.6.1	天井スラブ	54
4.6.2	床スラブ	56
4.6.3	耐震壁	58
5.	評価結果（中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物））	60
5.1	地震応答解析による評価結果	60
5.2	応力解析による評価結果	63
5.2.1	天井スラブの評価結果	63
5.2.2	床スラブの評価結果	66
5.2.3	耐震壁の評価結果	67

6.	基本方針（中央制御室バウンダリ）	69
6.1	位置	69
6.2	構造概要	70
6.3	評価方針	73
6.4	適用規格・基準等	75
7.	地震応答解析による評価方法（中央制御室バウンダリ）	76
8.	応力解析による評価方法（中央制御室バウンダリ）	78
8.1	評価対象部位及び評価方針	78
8.2	荷重及び荷重の組合せ	82
8.3	許容限界	83
8.4	解析モデル及び諸元	85
8.4.1	制御室建物の天井スラブ	85
8.4.2	廃棄物処理建物の天井スラブ並びに制御室建物及び廃棄物処理建物の床スラブ	85
8.5	応力評価方法	86
8.5.1	制御室建物の天井スラブ	86
8.5.2	廃棄物処理建物の天井スラブ並びに制御室建物及び廃棄物処理建物の床スラブ	87
8.6	断面の評価方法	91
8.6.1	制御室建物の天井スラブ	91
8.6.2	廃棄物処理建物の天井スラブ並びに制御室建物及び廃棄物処理建物の床スラブ	93
9.	評価結果（中央制御室バウンダリ）	95
9.1	地震応答解析による評価結果	95
9.2	応力解析による評価結果	101
9.2.1	制御室建物の天井スラブの評価結果	101
9.2.2	廃棄物処理建物の天井スラブ並びに制御室建物及び廃棄物処理建物の床スラブの評価結果	104
10.	引用文献	108

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。

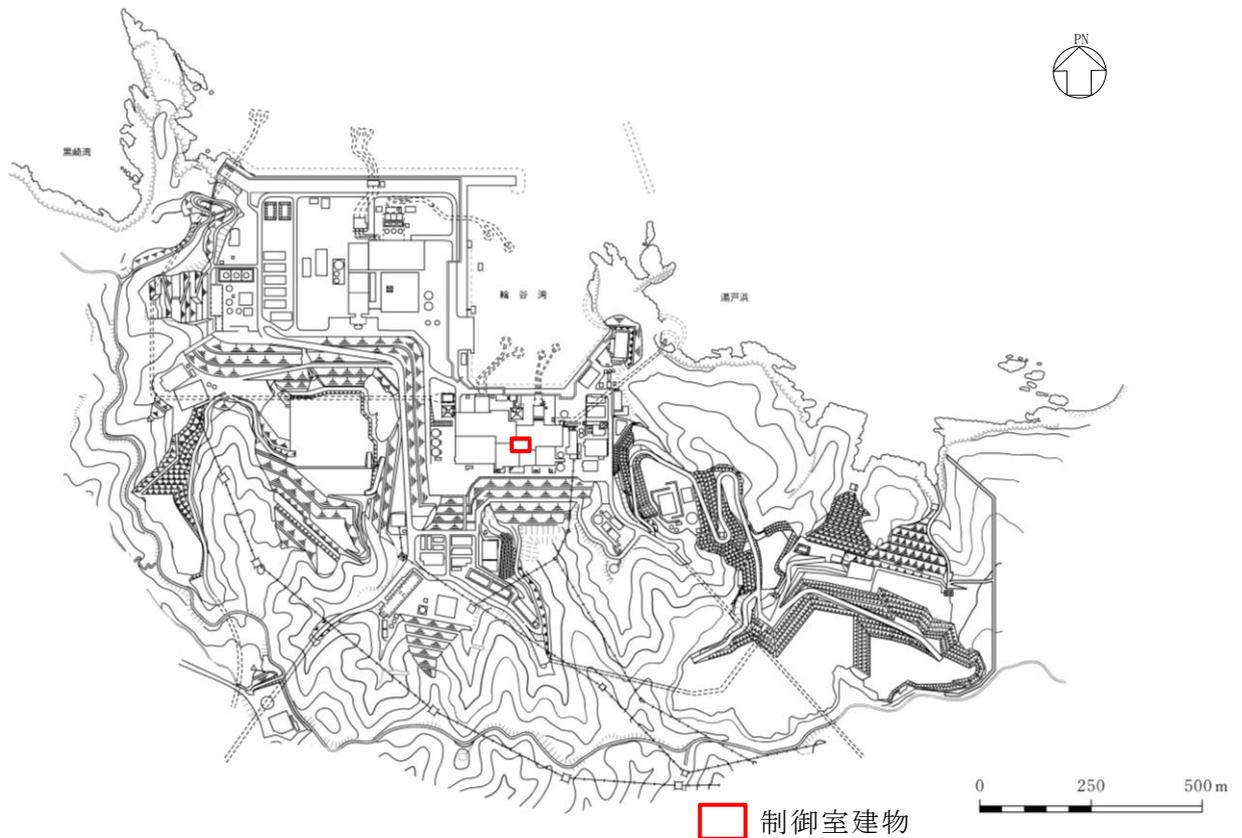


図 2-1 中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）を含む制御室建物の設置位置

## 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、 $22.0\text{m}^{*1}$  (N S)  $\times$   $37.0\text{m}^{*1}$  (E W) である。基礎スラブ底面からの高さは  $21.95\text{m}$  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  $1.5\text{m}$  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、 $22.0\text{m}$  (N S)  $\times$   $37.0\text{m}$  (E W) 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  $\square$  cm、天井スラブ及び床スラブの厚さは  $\square$  cm ~  $\square$  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  $\square$  cm ~  $\square$  cm<sup>\*3</sup> 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。

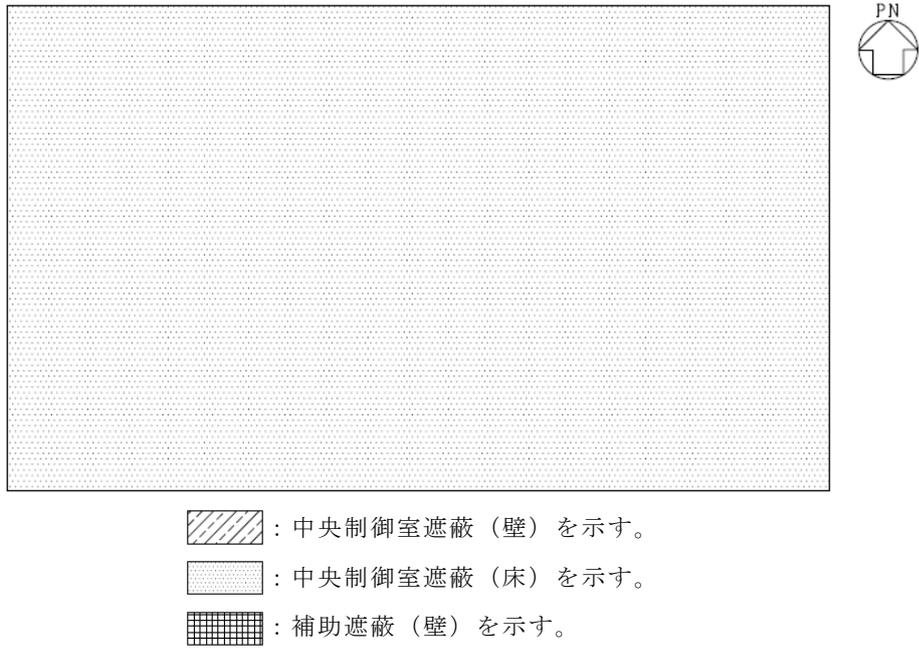


図 2-2(1) 中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の概略平面図（EL 22.05m）

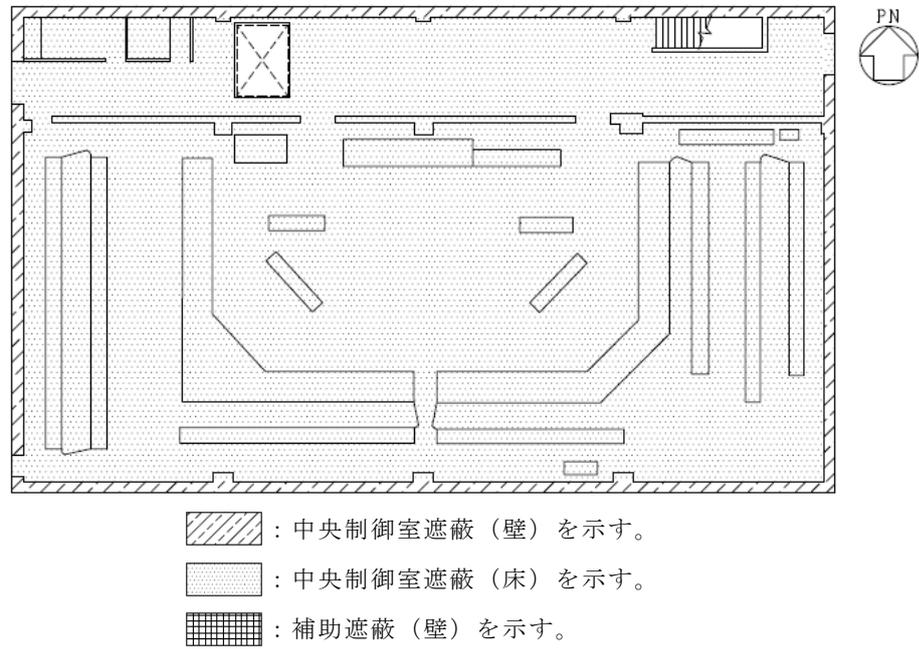


図 2-2(2) 中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の概略平面図（EL 16.9m）

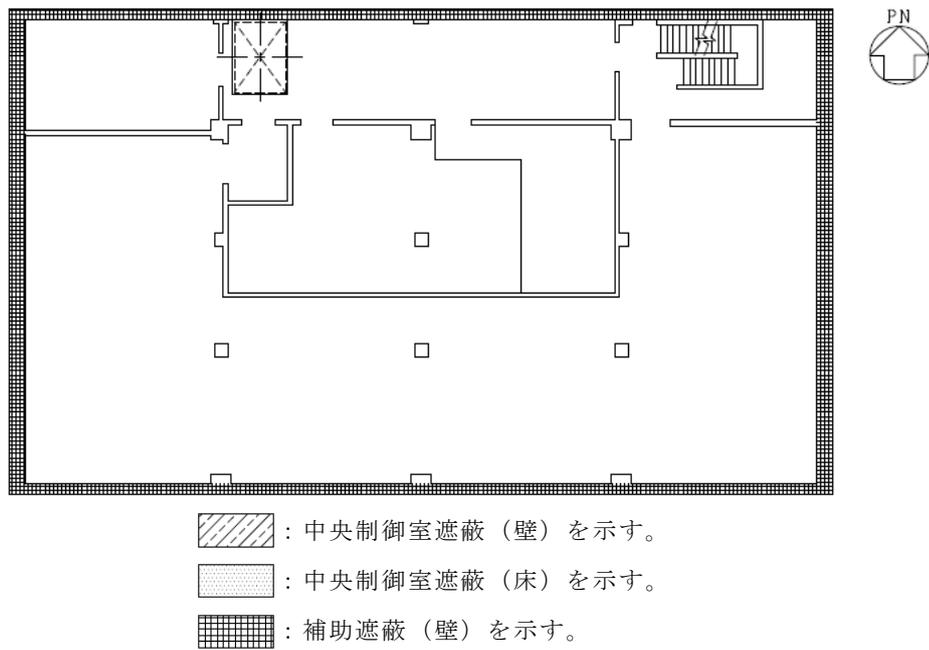


図 2-2(3) 中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の概略平面図（EL 12.8m）

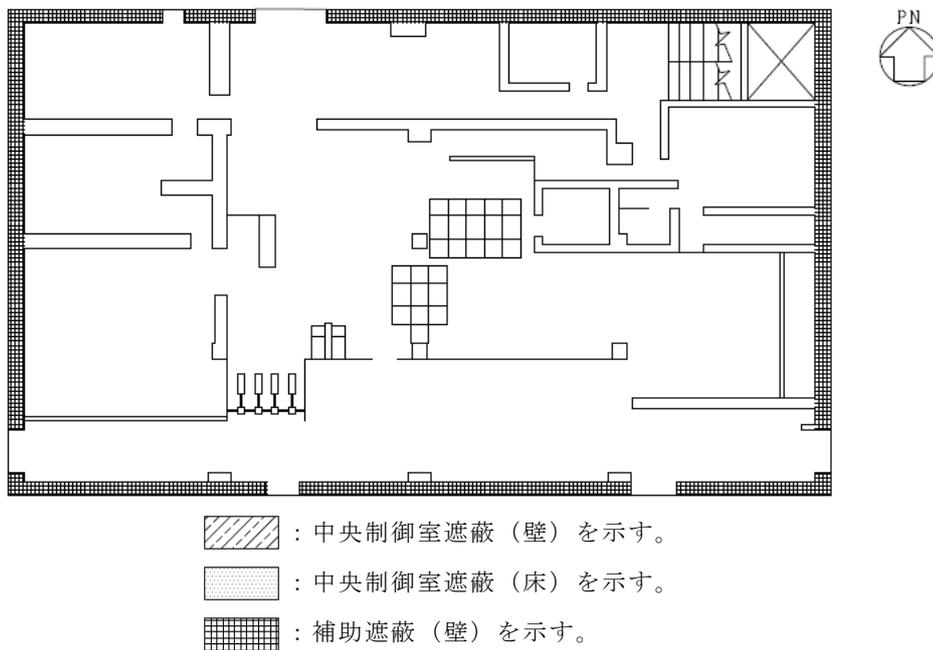


図 2-2(4) 中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の概略平面図（EL 8.8m）

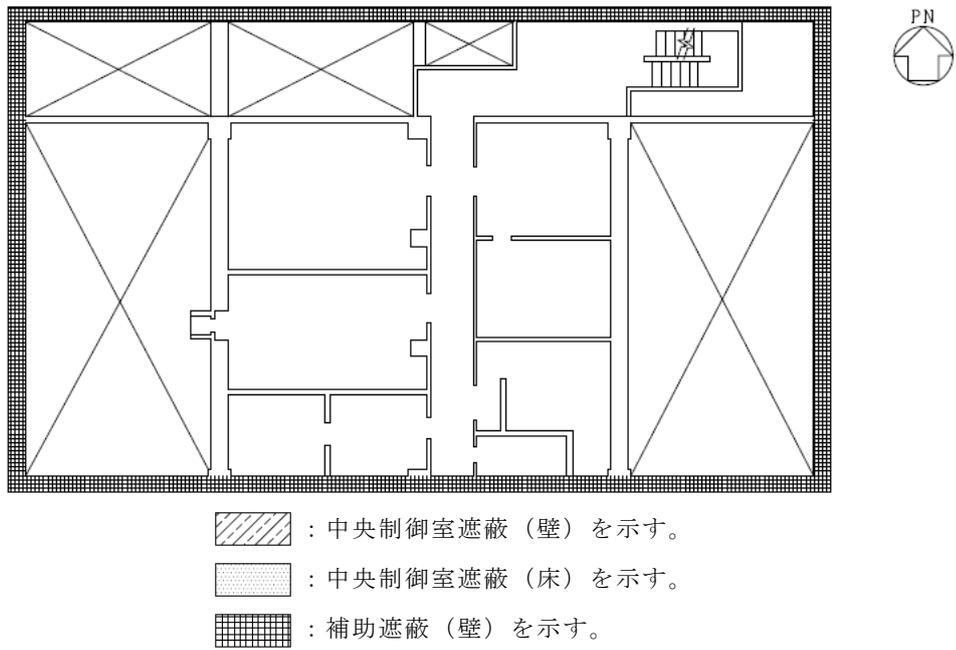


図 2-2(5) 中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の概略平面図（EL 5.3m）

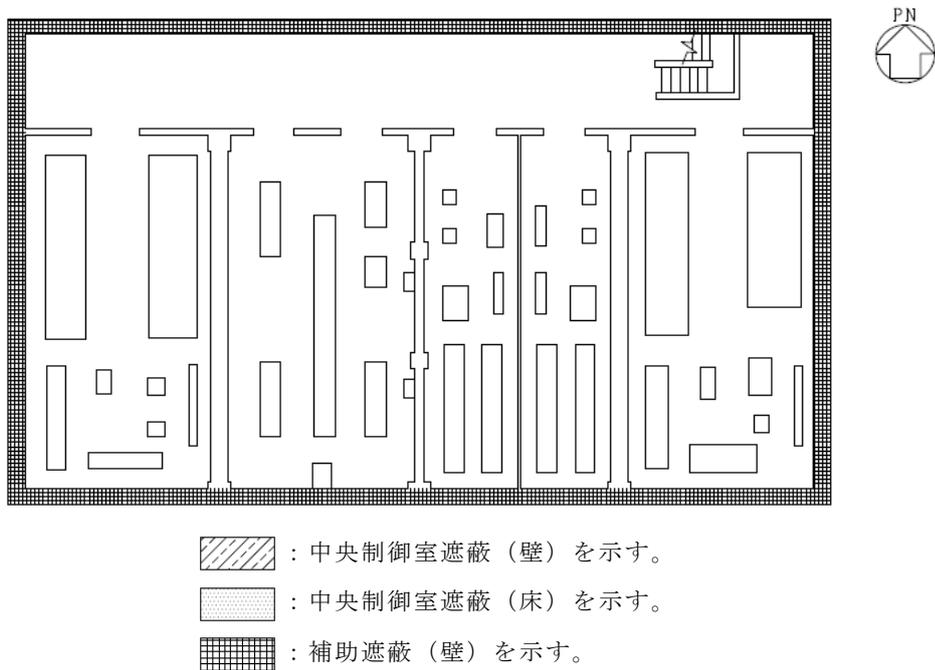


図 2-2(6) 中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の概略平面図（EL 1.6m）

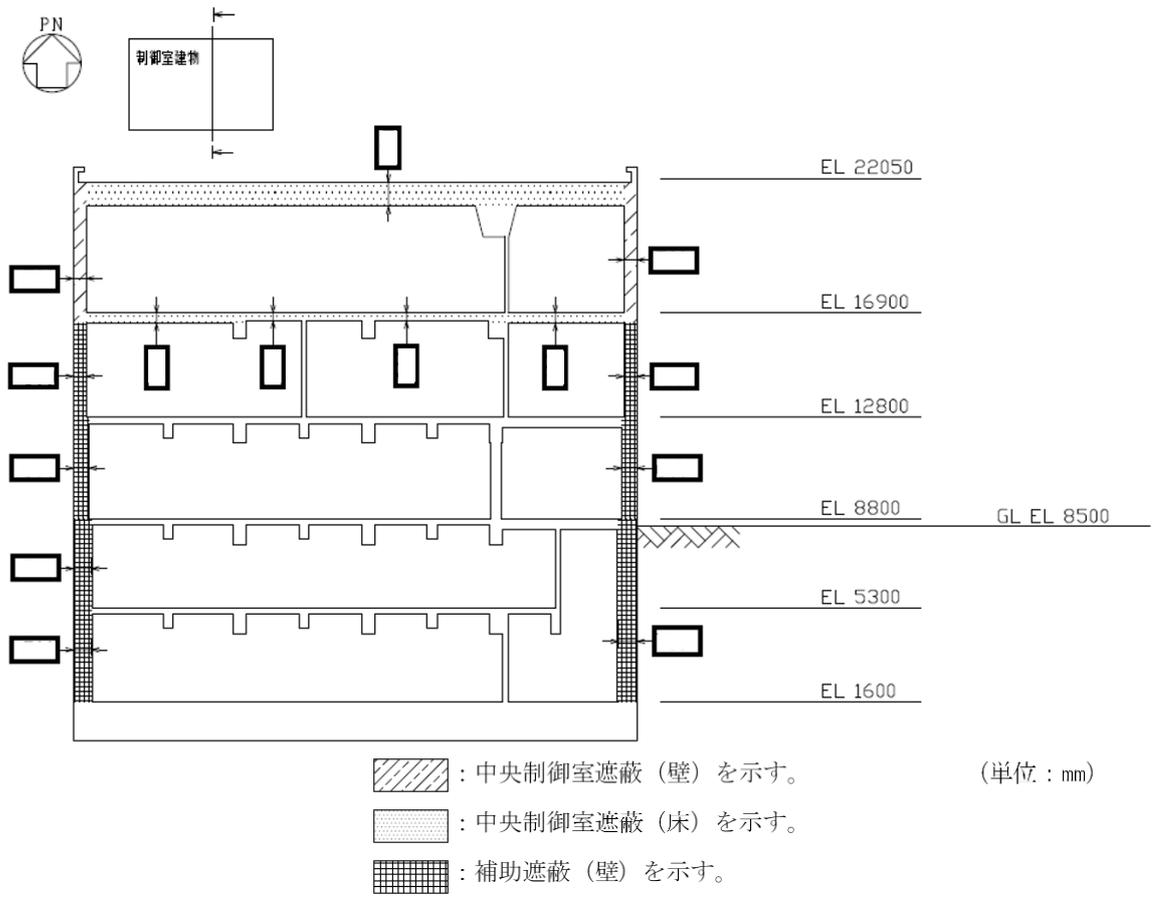


図 2-3(1) 中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の概略断面図（N S 方向）

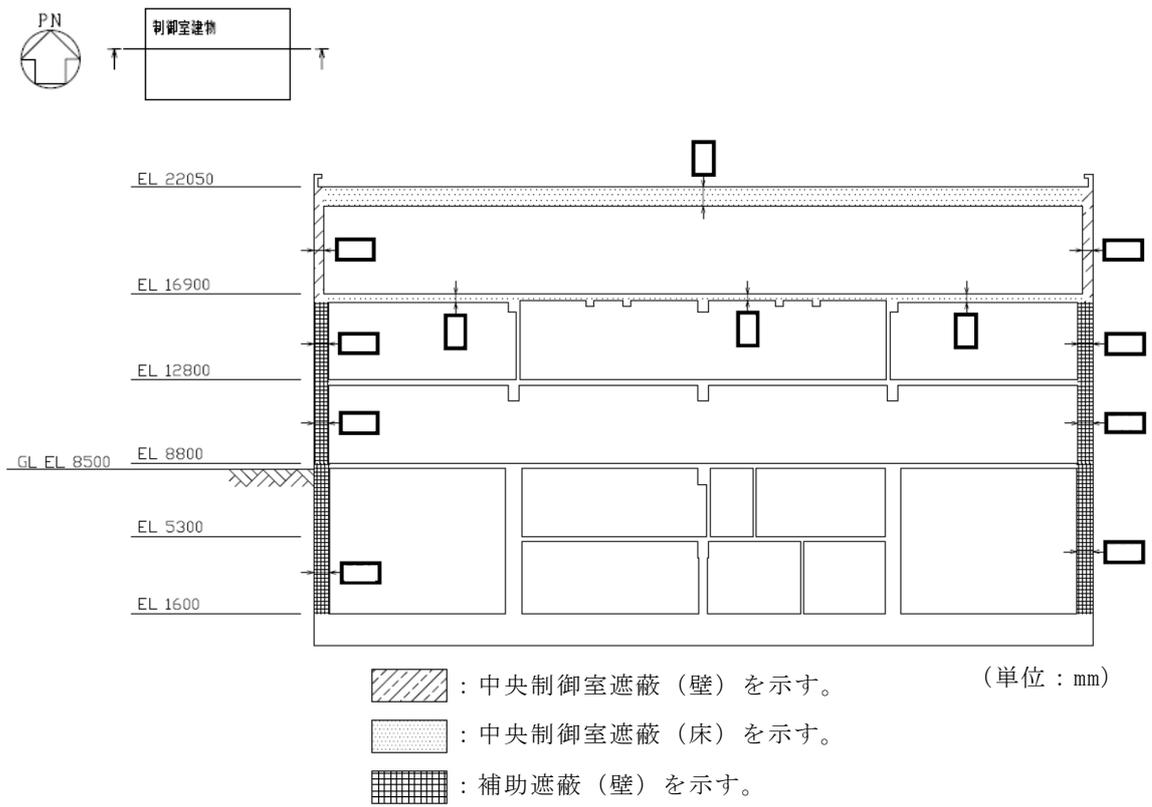


図 2-3(2) 中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の概略断面図（E W方向）

### 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。

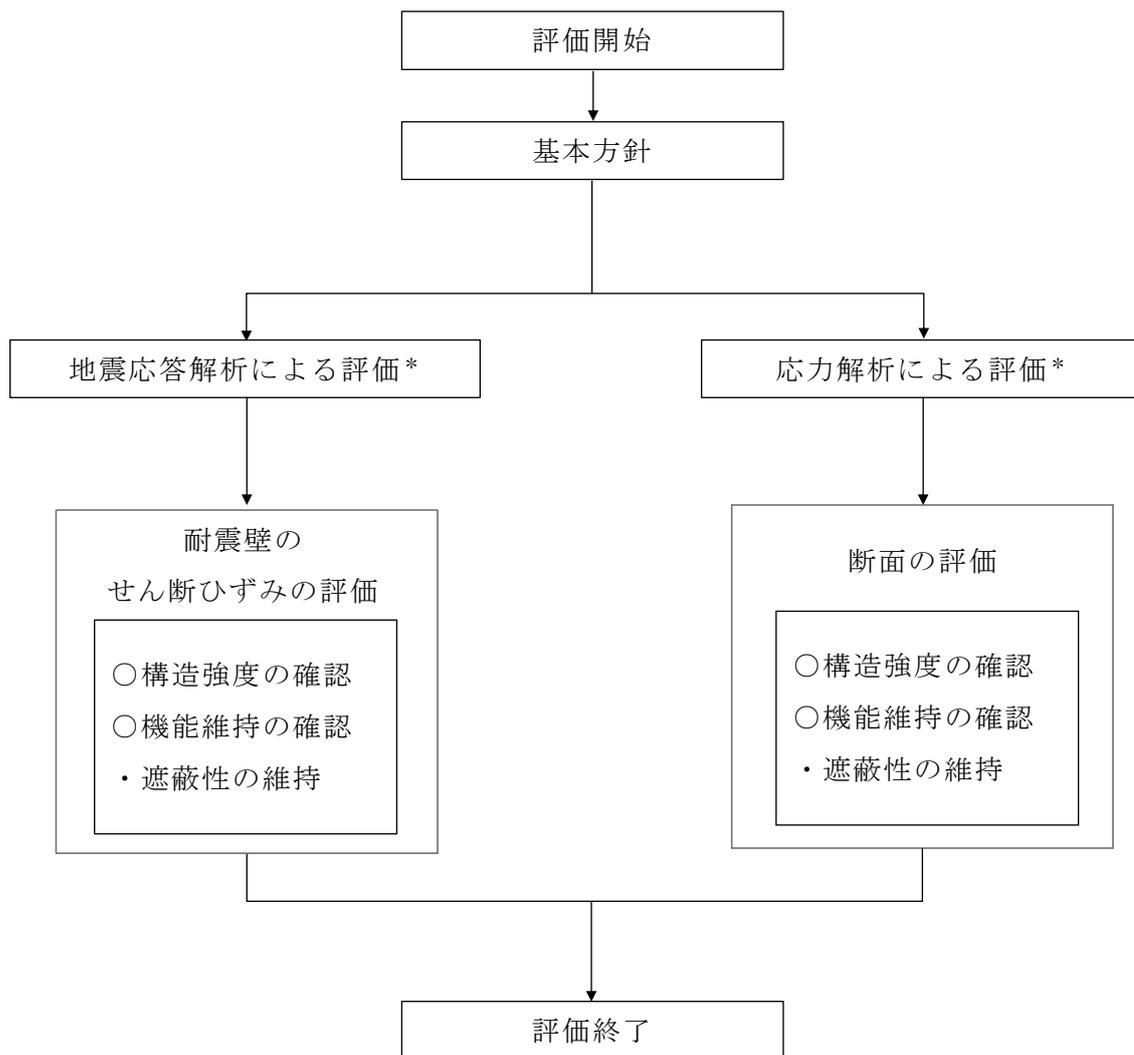
また、中央制御室遮蔽及び補助遮蔽（制御室建物）の重大事故等対処施設としての評価においては、 $S_s$ 地震時に対する評価及び保有水平耐力の評価を行う。ここで、制御室建物では、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態において、圧力、温度等の条件について有意な差異がないことから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設としての評価と同一となる。

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 + $\sigma$ )	設計基準強度	標準地盤 + $\sigma$ (+10%, +20%) *	
ケース 3 (地盤物性 - $\sigma$ )	設計基準強度	標準地盤 - $\sigma$ (-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)
- ・発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ((社) 日本機械学会, 2003)

### 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 <sub>s</sub>	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 <sup>-3</sup>
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 <sub>s</sub>	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 <sup>-3</sup>

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 <sub>s</sub>	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 <sup>-3</sup>
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 <sub>s</sub>	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 <sup>-3</sup>

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、3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析又は弾性応力解析により評価を行う。評価にあたっては、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

###### (1) S<sub>d</sub>地震時に対する評価

天井スラブのS<sub>d</sub>地震時に対する評価は3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析とし、材料物性の不確かさを考慮した弾性設計用地震動S<sub>d</sub>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、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。

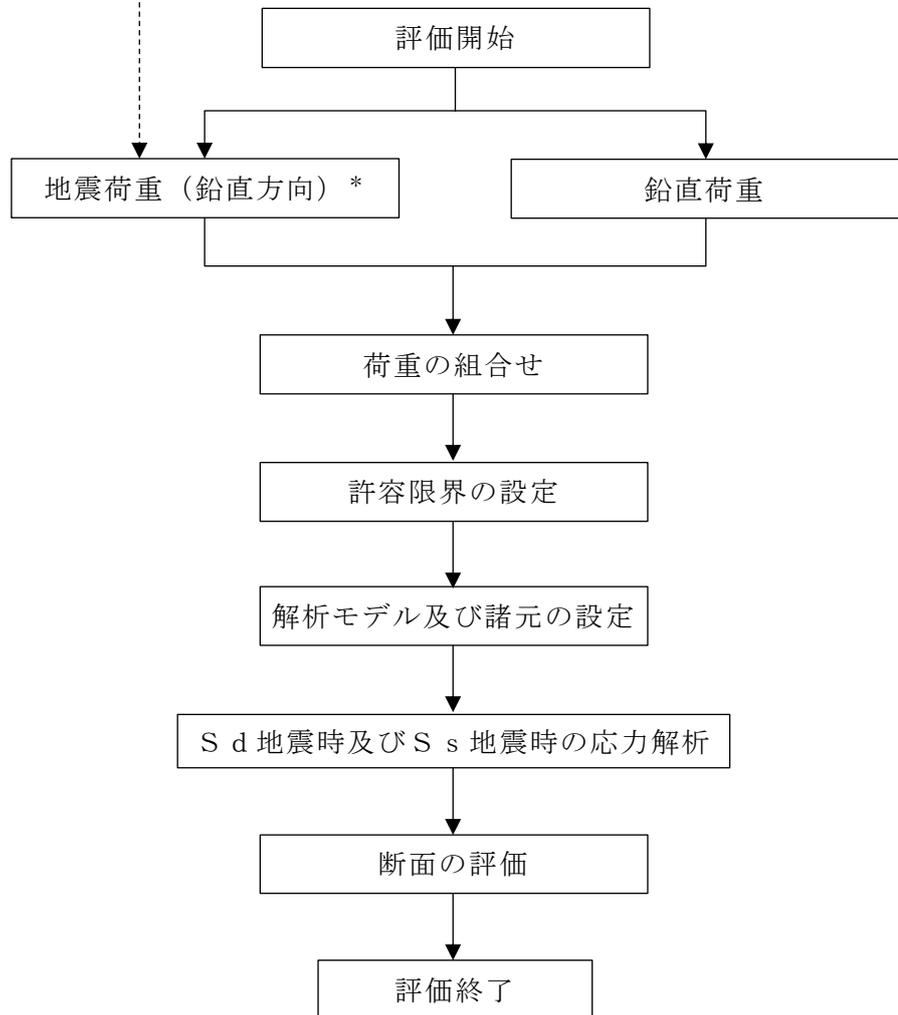
###### (2) S<sub>s</sub>地震時に対する評価

天井スラブのS<sub>s</sub>地震時に対する評価は3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析とし、材料物性の不確かさを考慮した基準地震動S<sub>s</sub>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、発生する応力又はひずみが、「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（（社）日本機械学会，2003）」（以下「CCV規格」という。）又は「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4-1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 天井スラブの応力解析による評価フロー

#### 4.1.2 床スラブ

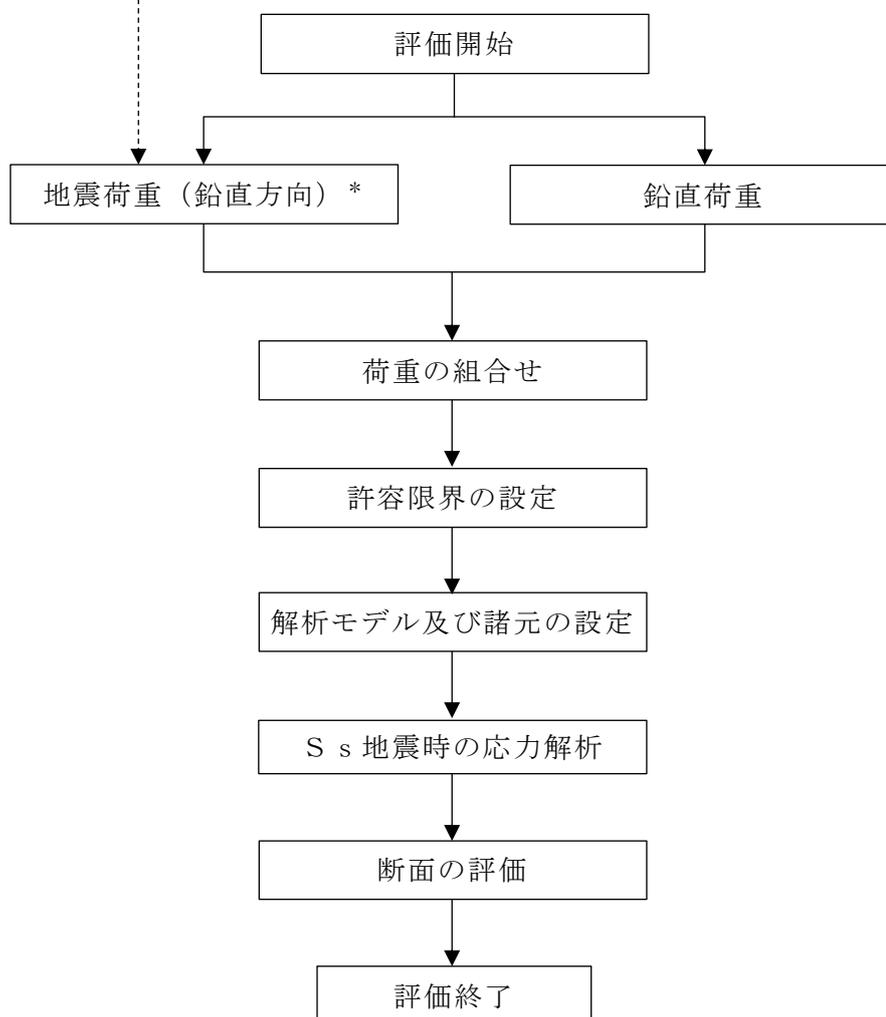
床スラブの $S_s$ 地震時に対する評価は弾性応力解析とし、材料物性の不確かさを考慮した基準地震動 $S_s$ による鉛直方向の地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果により発生する応力が、「RC-N規準」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。 $S_d$ 地震時に対する評価については、上記のとおり基準地震動 $S_s$ で短期評価とするため検討を省略する。

床スラブの評価については、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4-2に、選定した部材を図4-3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 4-2 床スラブの応力解析による評価フロー

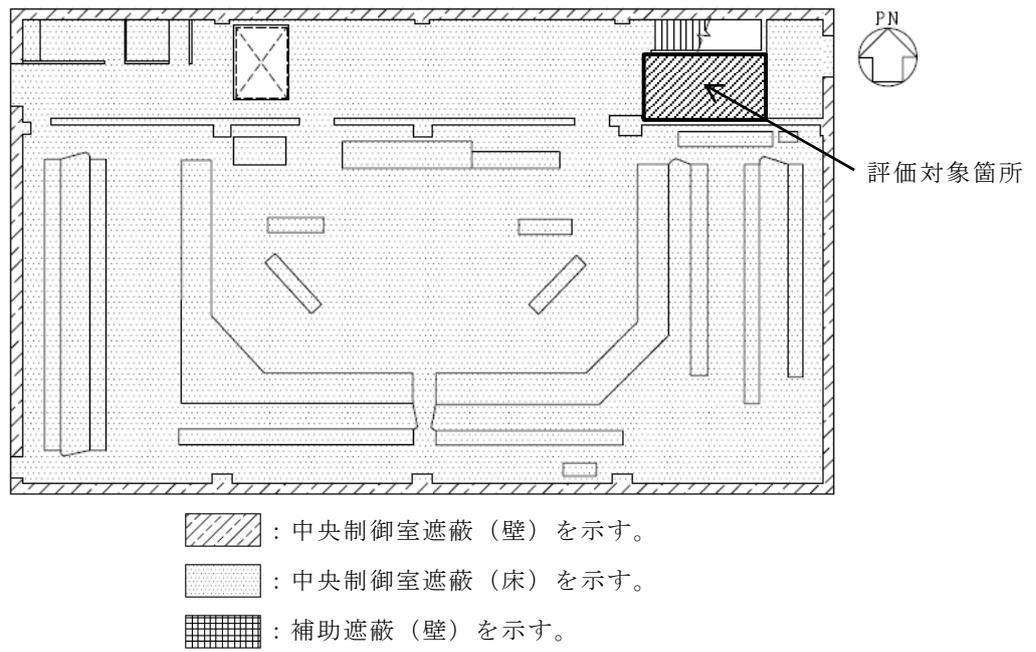


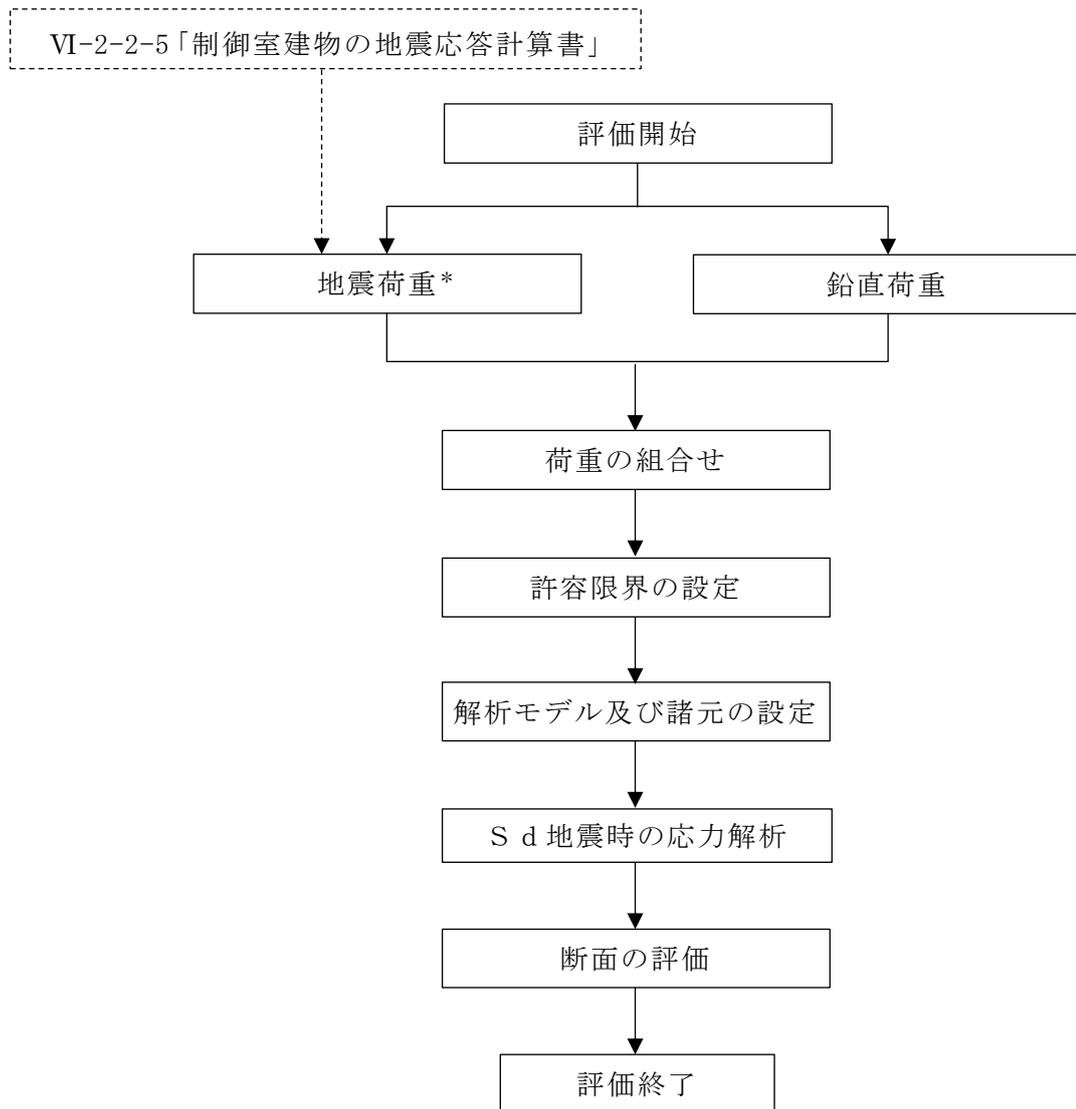
図 4-3 床スラブの評価を記載する部材の位置 (EL 16.9m)

### 4.1.3 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 4-4 に、選定した部材を図 4-5 に示す。



注記\*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 4-4 耐震壁の応力解析による評価フロー

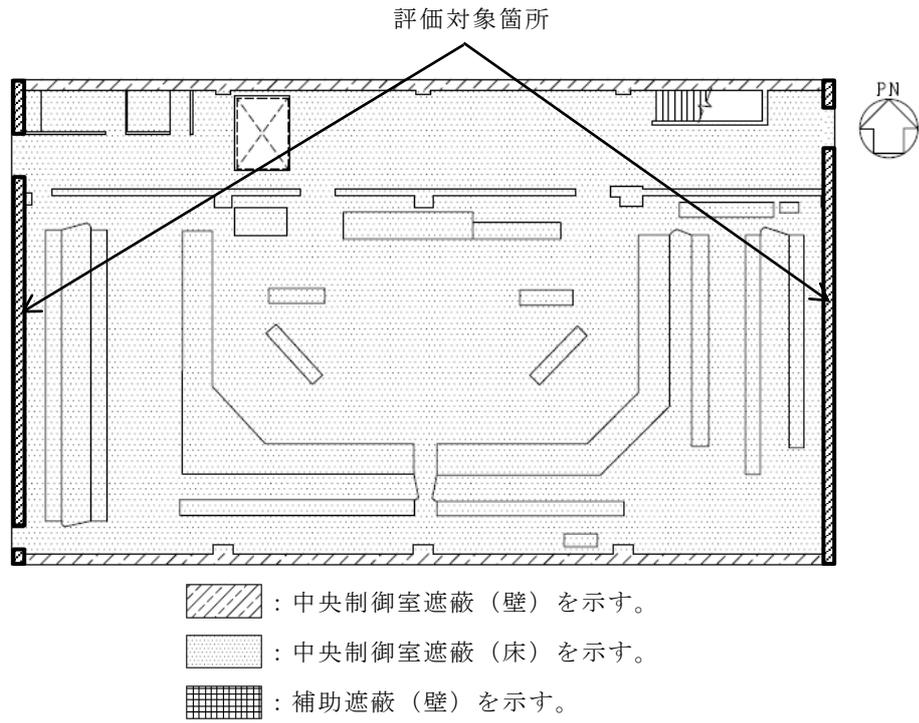


図 4-5 耐震壁の評価を記載する部材の位置 (EL 16.9m)

## 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

#### (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/m<sup>2</sup>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<sub>d</sub>、S<sub>s</sub>）

地震荷重（S<sub>d</sub>）は、静的地震力に対する鉛直震度と弾性設計用地震動S<sub>d</sub>に対する質点系モデルの各レベルの応答に基づく鉛直震度を包絡した震度を算定する。また、地震荷重（S<sub>s</sub>）は基準地震動S<sub>s</sub>に対する質点系モデルの各レベルの応答に基づく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 <sub>s</sub> 地震時	G + P + SNL + S <sub>s</sub>
S <sub>d</sub> 地震時	G + P + SNL + S <sub>d</sub>

G : 固定荷重

P : 積載荷重

SNL : 積雪荷重

S<sub>s</sub> : 地震荷重（S<sub>s</sub>地震時）

S<sub>d</sub> : 地震荷重（S<sub>d</sub>地震時）

#### 4.2.2 床スラブ

##### (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（ $S_s$ ）

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4-2に示す。

表 4-2 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
$S_s$ 地震時	$G + P + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

$S_s$  : 地震荷重（ $S_s$  地震時）

#### 4.2.3 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 4-3～表 4-5 に示す。

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。

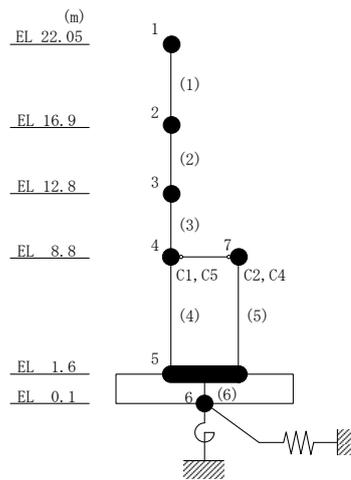


表 4-3(2) 地震荷重

(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。

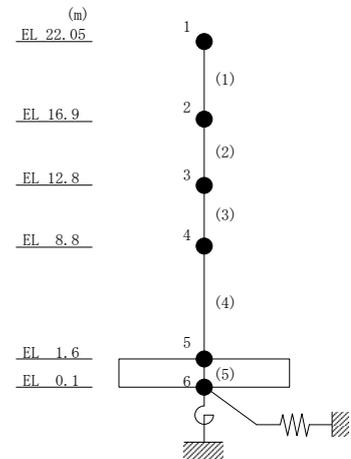


表 4-4(1) 地震荷重

(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·m)		
		Sd	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。

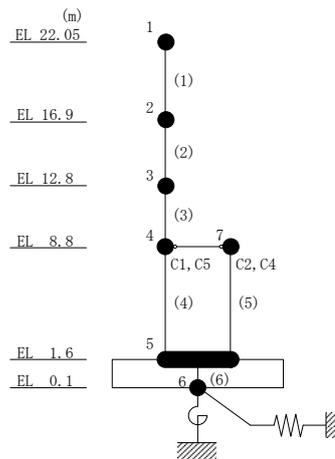


表 4-4(2) 地震荷重

(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·m)		
		Sd	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。

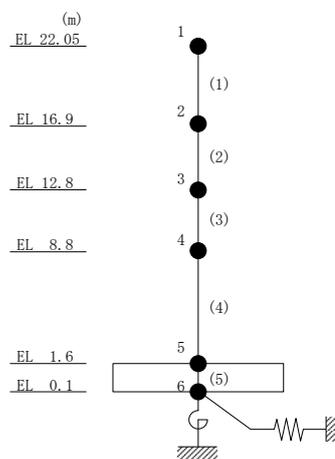
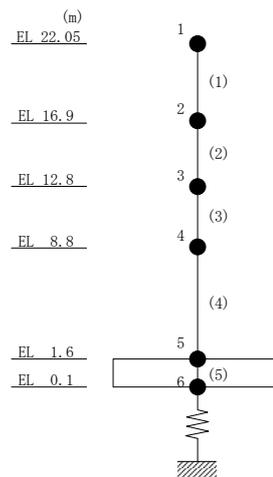


表 4-5 地震荷重

(弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> 及び静的地震力による鉛直震度)

EL (m)	鉛直震度			
	S <sub>d</sub>	0.4×S <sub>d</sub>	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<sub>d</sub> 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 4-6 に示す。

表 4-6 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 4-7 及び表 4-8 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 4-9 及び表 4-10 に、コンクリート及び鉄筋の許容ひずみを表 4-11 に示す。

表 4-7 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	部材に生じる応力及び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	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひずみ<sup>*1</sup> コンクリート <math>3.0 \times 10^{-3}</math> (圧縮) 鉄筋 <math>5.0 \times 10^{-3}</math> (圧縮及び引張)</li> <li>面外せん断力<sup>*2</sup> 短期許容せん断力<sup>*3</sup></li> </ul>
			中央制御室遮蔽の床スラブ	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」に基づく短期許容応力度 <sup>*3</sup>
		弾性設計用地震動 $S_d$ 及び静的地震力	中央制御室遮蔽の天井スラブ及び耐震壁	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
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損わないこと	基準地震動 $S_s$	中央制御室遮蔽の天井スラブ	部材に生じる応力及び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	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひずみ<sup>*1</sup> コンクリート <math>3.0 \times 10^{-3}</math> (圧縮) 鉄筋 <math>5.0 \times 10^{-3}</math> (圧縮及び引張)</li> <li>面外せん断力<sup>*2</sup> 短期許容せん断力<sup>*3</sup></li> </ul>
			中央制御室遮蔽の床スラブ	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」に基づく短期許容応力度 <sup>*3</sup>
		弾性設計用地震動 $S_d$ 及び静的地震力	中央制御室遮蔽の天井スラブ及び耐震壁	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

注記\*1: 「CCV規格」に基づく。

\*2: 「RC-N規準」に基づく。

\*3: 許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

表 4-8 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	部材に生じる応力及び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	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひずみ*<sup>1</sup> コンクリート <math>3.0 \times 10^{-3}</math> (圧縮)</li> <li>鉄筋 <math>5.0 \times 10^{-3}</math> (圧縮及び引張)</li> <li>面外せん断力*<sup>2</sup> 短期許容せん断力*<sup>3</sup></li> </ul>
			中央制御室遮蔽の床スラブ	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」に基づく短期許容応力度* <sup>3</sup>
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	部材に生じる応力及び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	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひずみ*<sup>1</sup> コンクリート <math>3.0 \times 10^{-3}</math> (圧縮)</li> <li>鉄筋 <math>5.0 \times 10^{-3}</math> (圧縮及び引張)</li> <li>面外せん断力*<sup>2</sup> 短期許容せん断力*<sup>3</sup></li> </ul>
			中央制御室遮蔽の床スラブ	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」に基づく短期許容応力度* <sup>3</sup>

注記\*1: 「CCV規格」に基づく。

\*2: 「RC-N規準」に基づく。

\*3: 許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

表 4-9 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 F <sub>c</sub>	圧縮	せん断
22.1	14.6	1.06

表 4-10 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
SD35 (SD345 相当)	345	345

表 4-11 コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ

コンクリート (圧縮ひずみ)	鉄筋 (圧縮ひずみ及び引張ひずみ)
0.003	0.005

#### 4.4 解析モデル及び諸元

##### 4.4.1 天井スラブ

###### (1) モデル化の基本方針

###### a. 基本方針

天井スラブの応力解析は、3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析とする。解析には、解析コード「FINAL」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

応力解析モデルは、天井スラブ及びはりに加えて、EL 22.05m～EL 16.9mの壁及び柱をモデル化する。応力解析における評価対象部位は天井スラブであるが、天井スラブを支持する4階（EL 22.05m～EL 16.9m）の外壁の厚さが天井スラブの厚さに対して薄いため、天井スラブ端部の固定状況を適切に評価するために周辺部を含むモデルを用いる。解析モデルを図4-6に示す。

###### b. 使用要素

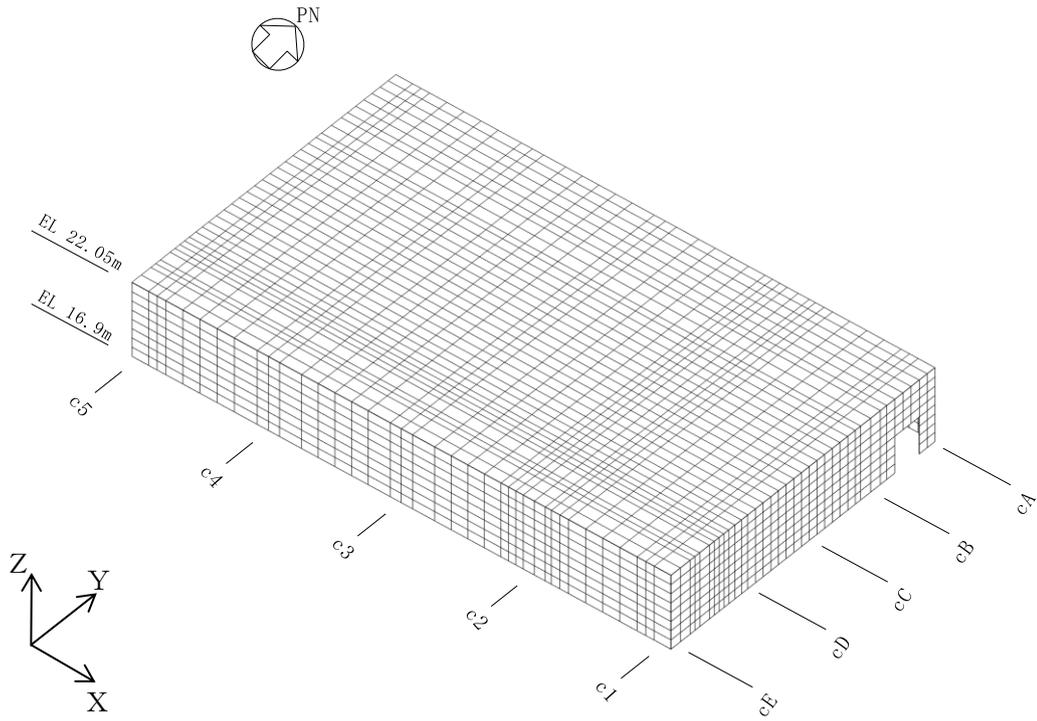
解析モデルに使用するFEM要素は、天井スラブ及び壁については積層シェル要素、柱及びはりについてはファイバー要素とする。各要素は、鉄筋層をモデル化した異方性材料による要素である。

各要素には、板の曲げと軸力を同時に考えるが、板の曲げには面外せん断変形の影響も考慮する。

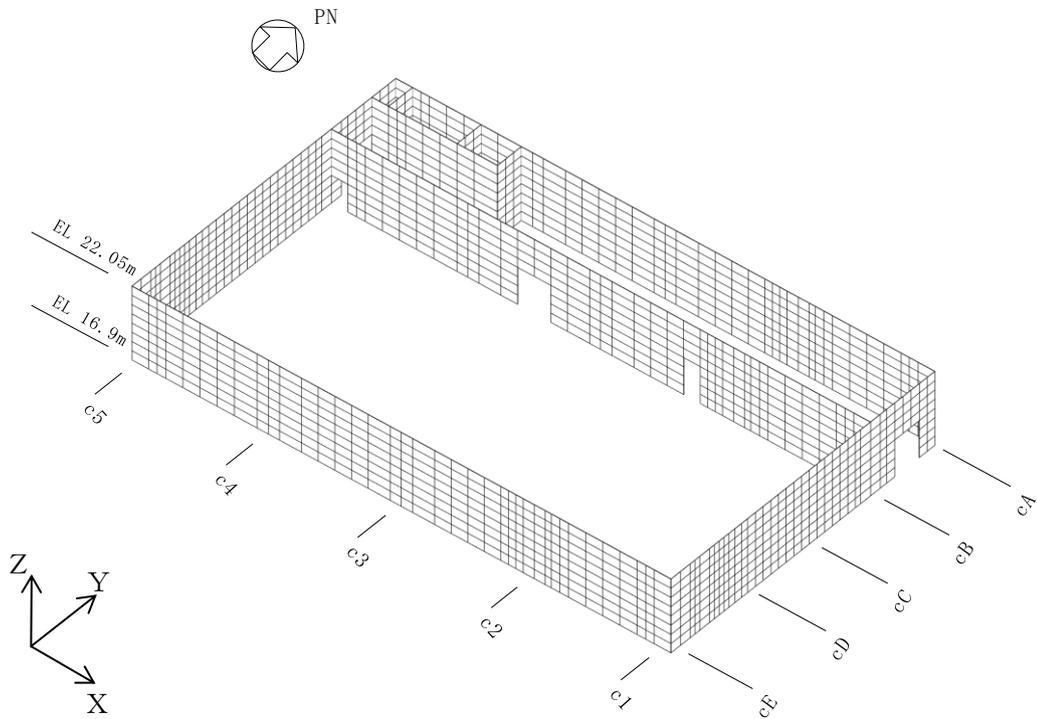
解析モデルの節点数は3024、要素数は3296である。

###### c. 境界条件

3次元FEMモデルのEL 16.9mの位置を固定とする。



(a) 鳥瞰図 (天井スラブ表示)



(b) 鳥瞰図 (天井スラブ非表示)

図 4-6 解析モデル

(2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-12 及び表 4-13 に示す。

表 4-12 コンクリートの物性値

設計基準強度 $F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$
22.1	$2.20 \times 10^4$	0.2

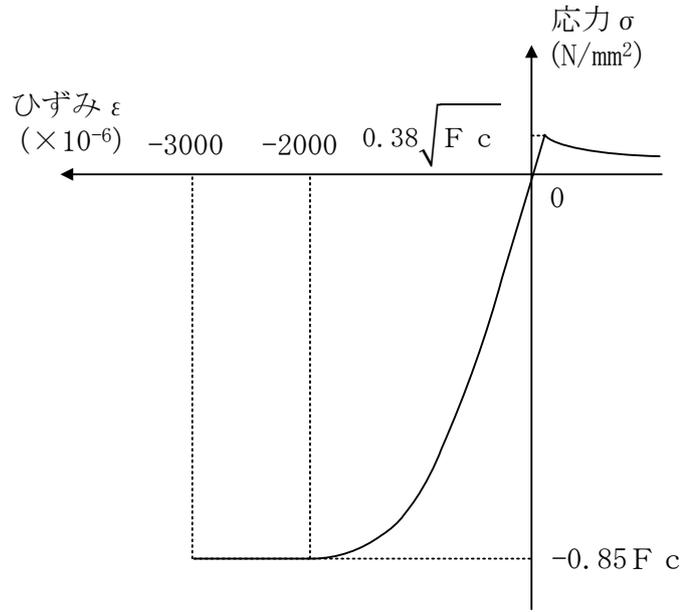
表 4-13 鉄筋の物性値

鉄筋の種類	降伏応力 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )
SD35 (SD345 相当)	345	$2.05 \times 10^5$

(3) 材料構成則

材料構成則を図 4-7 に示す。

コンクリートのヤング係数及び圧縮強度については、設計基準強度に基づき算定した値とする。



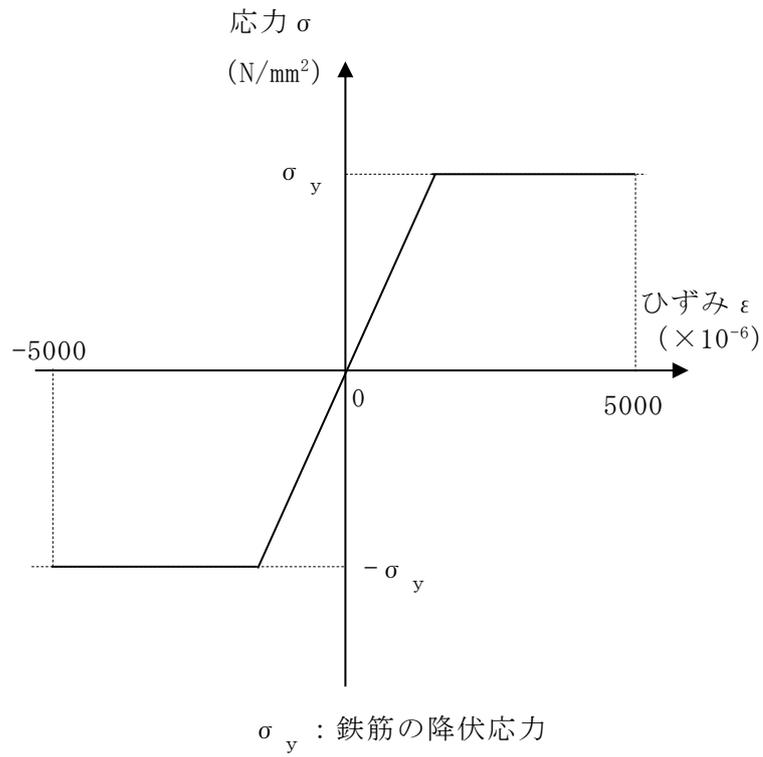
$F_c$  : コンクリートの設計基準強度

項目	設定
圧縮強度	$\sigma_c = -0.85 F_c$ (「CCV規格」)
終局圧縮ひずみ	$-3000 \times 10^{-6}$ (「CCV規格」)
圧縮側のコンクリート構成則	長沼(1995)による式(「修正 Ahmad」) (引用文献(1)参照)
ひび割れ発生後の引張軟化曲線	出雲ほか(1987)による式 ( $c = 0.4$ ) (引用文献(2)参照)
引張強度	$\sigma_t = 0.38 \sqrt{F_c}$ (鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 一許容応 力度設計法一 (社)日本建築学会, 1999 改定)

注：引張方向の符号を正とする。

(a) コンクリートの応力-ひずみ関係

図 4-7(1) 材料構成則



項目	設定
鉄筋の構成則	バイリニア型 (「CCV規格」)
終局ひずみ	$\pm 5000 \times 10^{-6}$ (「CCV規格」)

注：引張方向の符号を正とする。

(b) 鉄筋の応力－ひずみ関係

図 4-7(2) 材料構成則

#### 4.4.2 床スラブ

##### (1) モデル化の基本方針

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 4-14 に示す。

表 4-14 使用材料の物性値

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

#### 4.4.3 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4-8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。

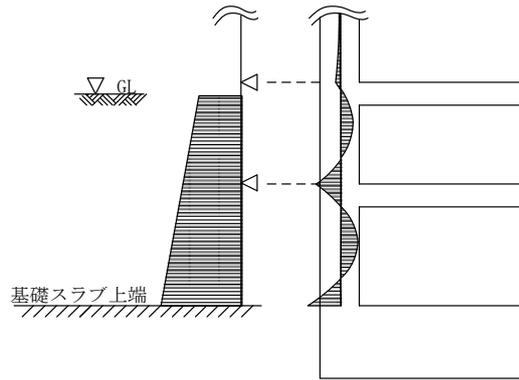


図4-8 地下外壁の応力解析モデル

##### (2) 解析諸元

使用材料の物性値を表4-15に示す。

表4-15 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 $\nu$
22.1	$2.20 \times 10^4$	0.2

## 4.5 応力評価方法

### 4.5.1 天井スラブ

天井スラブについて、S<sub>d</sub>地震時及びS<sub>s</sub>地震時に対して3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析を実施する。

#### (1) 荷重ケース

S<sub>d</sub>地震時及びS<sub>s</sub>地震時の応力は、次の荷重を組み合わせる。

- G : 固定荷重
- P : 積載荷重
- S<sub>NL</sub> : 積雪荷重
- S<sub>sUD</sub> : S<sub>s</sub>地震荷重（鉛直方向）
- S<sub>dUD</sub> : S<sub>d</sub>地震荷重（鉛直方向）

3次元FEMモデルの固有値解析結果を表4-16及び図4-9に示す。

鉛直方向の地震荷重は、cB通りより南側の天井スラブ（以下「天井スラブ（南側）」という。）については固有振動数が20Hzを下回るため、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」から得られるEL 22.05mのS<sub>d</sub>地震時及びS<sub>s</sub>地震時の鉛直方向の加速度応答スペクトルより、3次元FEMモデルを用いた固有値解析結果から得られる天井スラブ（南側）の1次固有振動数に相当する加速度応答から鉛直震度を算定する。

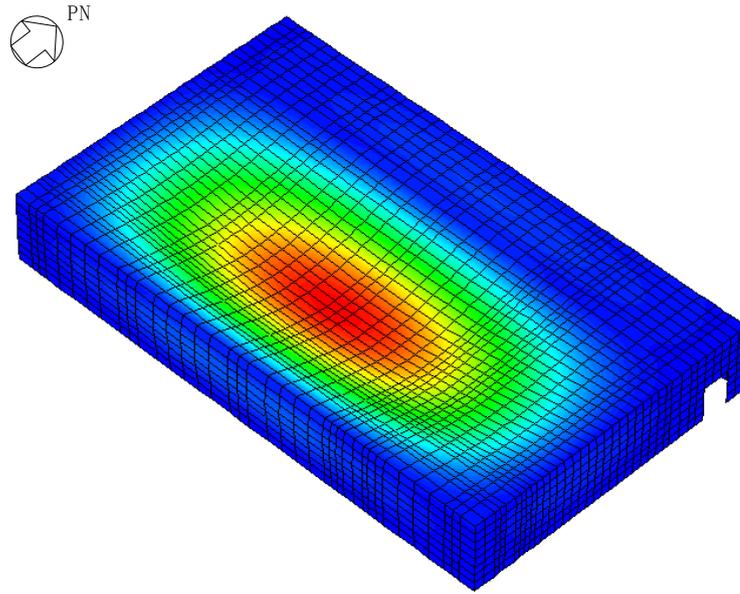
cB通りより北側の天井スラブ（以下「天井スラブ（北側）」という。）については固有振動数が20Hz以上であるため、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」から得られるEL 22.05mのS<sub>d</sub>地震時及びS<sub>s</sub>地震時の鉛直方向最大応答加速度より鉛直震度を算定する。

なお、評価にあたって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。

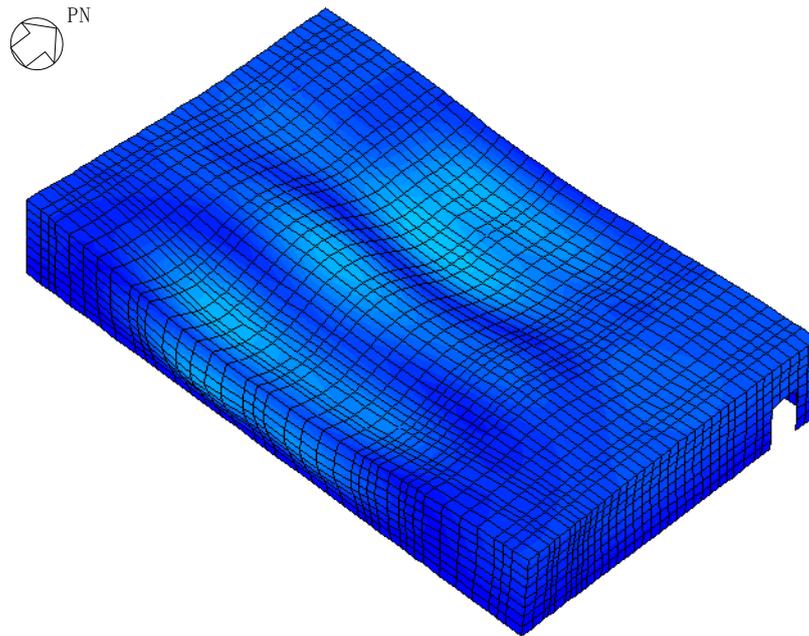
EL 22.05mのS<sub>d</sub>地震時及びS<sub>s</sub>地震時について、天井スラブ（南側）の1次固有周期における加速度が最大となったケースの鉛直方向加速度応答スペクトルを図4-10に、S<sub>d</sub>地震時及びS<sub>s</sub>地震時の鉛直震度を表4-17及び表4-18に示す。

表4-16 固有値解析結果

次数	振動数 (Hz)	周期 (s)	刺激係数			備考
			N S	E W	鉛直	
1	7.69	0.130	3.07	-0.03	-32.90	天井スラブ（南側）鉛直方向 1 次
19	38.59	0.026	6.84	0.06	-16.23	天井スラブ（北側）鉛直方向 1 次

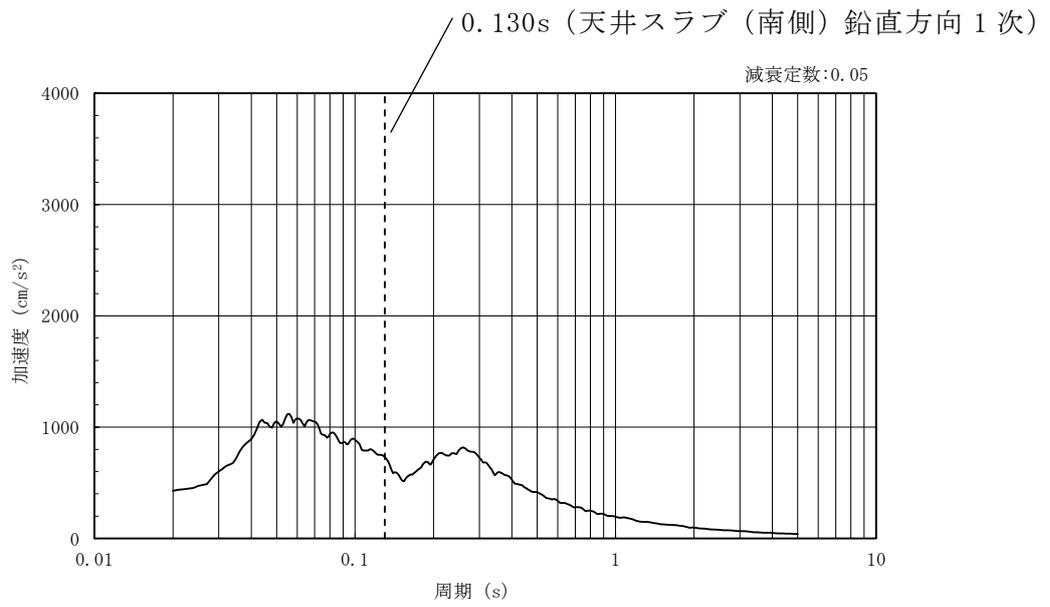


(a) 1次モード（天井スラブ（南側）鉛直方向1次）

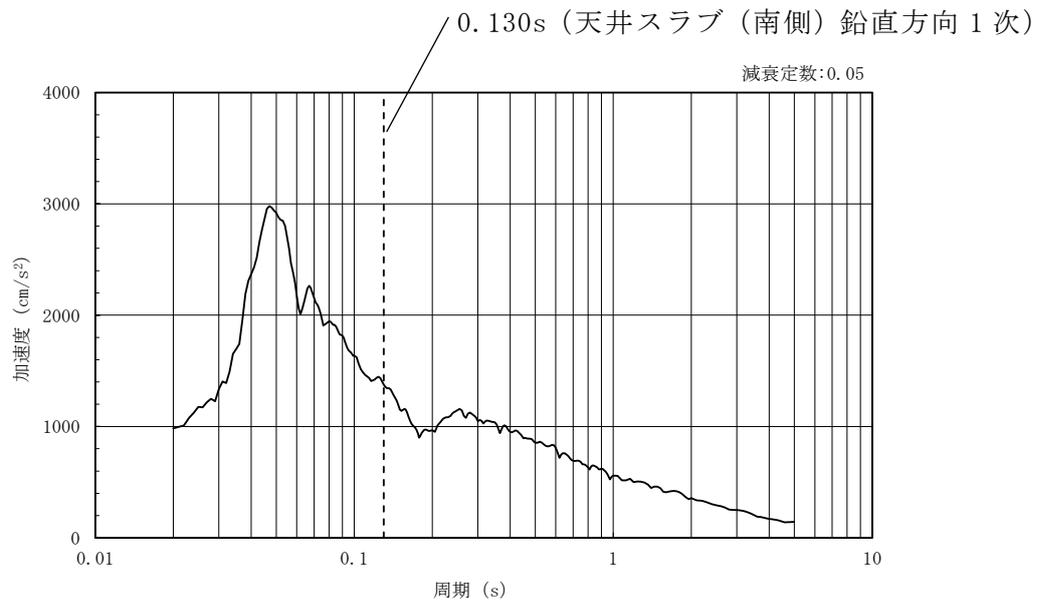


(b) 19次モード（天井スラブ（北側）鉛直方向1次）

図4-9 固有モード図



(a) 基準地震動 S d - 1 (ケース 3) , 鉛直方向, 質点番号 1



(b) 基準地震動 S s - D (ケース 3) , 鉛直方向, 質点番号 1

図 4-10 加速度応答スペクトル

表 4-17 S d 地震時の鉛直震度

(a) 天井スラブ (南側)

EL (m)	ケース	1次固有振動数における 加速度応答スペクトルの 値 (cm/s <sup>2</sup> )	加速度応答 スペクトルの値から 算定した鉛直震度
22.05	S d - 1 (ケース 3)	730	0.75

(b) 天井スラブ (北側)

EL (m)	ケース	最大応答 鉛直加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	鉛直震度
22.05	S d - N 2 (ケース 2)	494	0.51

表 4-18 S s 地震時の鉛直震度

(a) 天井スラブ (南側)

EL (m)	ケース	1次固有振動数における 加速度応答スペクトルの 値 (cm/s <sup>2</sup> )	加速度応答 スペクトルの値から 算定した鉛直震度
22.05	S s - D (ケース 3)	1375	1.41

(b) 天井スラブ (北側)

EL (m)	ケース	最大応答 鉛直加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	鉛直震度
22.05	S s - N 2 (ケース 2)	972	1.00

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-19 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 4-19 荷重の組合せケース (天井スラブ)

外力の状態	荷重の組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	G + P + S <sub>NL</sub> + 1.0 S <sub>sUD</sub>
S <sub>d</sub> 地震時	G + P + S <sub>NL</sub> + 1.0 S <sub>dUD</sub>

(3) 荷重の入力方法

a. 地震荷重

鉛直地震力については、3次元FEMモデルの各節点における鉛直震度により支配面積に応じた節点荷重として入力する。

b. 地震荷重以外の荷重

地震荷重以外の荷重については、3次元FEMモデルの各節点又は各要素に、集中荷重又は分布荷重として入力する。

#### 4.5.2 床スラブ

##### (1) 荷重ケース

S s 地震時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。

単独荷重の記号を以下に示す。鉛直震度算定のための最大応答鉛直加速度は、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」による。なお、対象とするスラブは十分な剛性（固有振動数 20Hz 以上）を有していることから、共振は考慮しない。最大応答鉛直加速度及び鉛直震度を表 4-20 に示す。

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S s U D : S s 地震荷重（鉛直方向）

表 4-20 最大応答鉛直加速度及び鉛直震度

EL (m)	ケース	最大応答 鉛直加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	鉛直震度
16.9	S s - N 2 (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 4-21 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 4-21 荷重の組合せケース (床スラブ)

外力の状態	荷重の組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	G + P + 1.0 S <sub>s</sub> U <sub>D</sub>

(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(3)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/m<sup>2</sup>)

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

## 4.5.3 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。

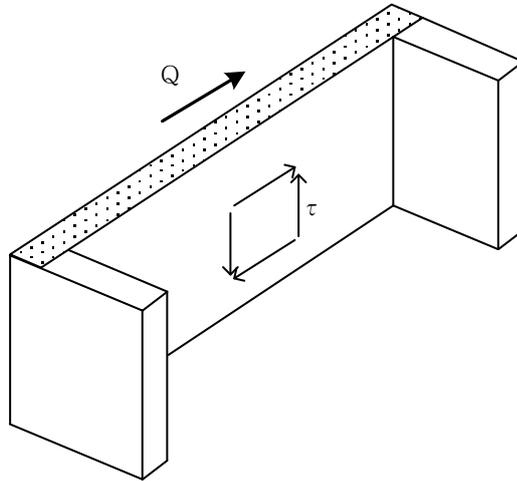
$$\tau = \frac{Q}{A_s}$$

ここで、

$\tau$  : 面内せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q$  : 面内せん断力 (N)

$A_s$  : 有効せん断断面積 (mm<sup>2</sup>)



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/mm<sup>2</sup>)

(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

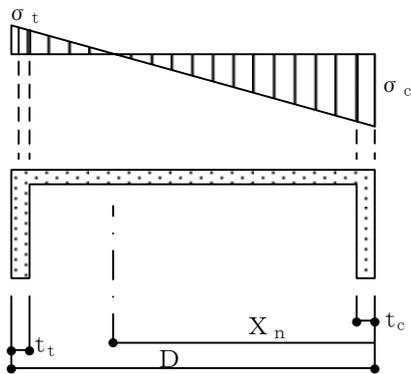
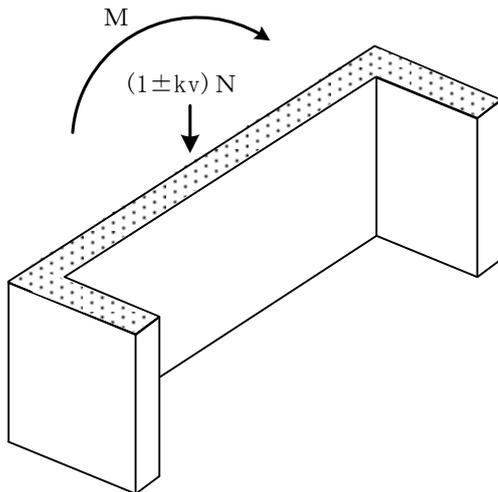
地震時曲げモーメント及び軸力に対して、耐震壁の有効断面二次モーメントにより軸方向応力度を評価する。なお、鉛直荷重に対しては、鉛直震度を考慮する。

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

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

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

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



ここで、

$\sigma_c$  : 軸方向最大圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_t$  : 軸方向最大引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_o$  : 鉛直荷重による平均軸圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M$  : 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 (m<sup>4</sup>)

$X_n$  : 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。

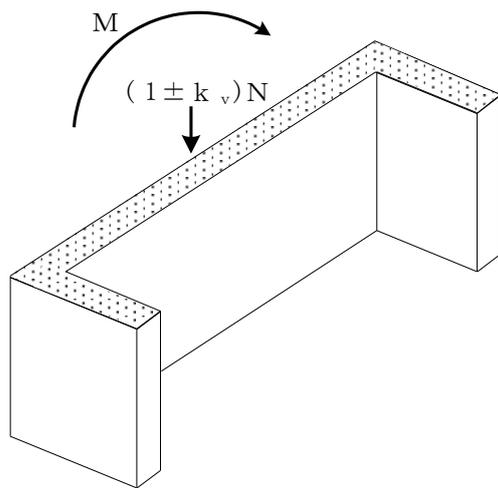
$$P_M = \frac{\sigma_t}{f_t}$$

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/mm<sup>2</sup>)

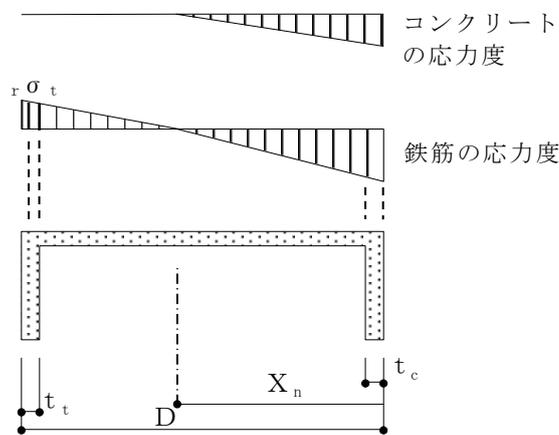
b. 応力度により評価する場合

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。



ここで、

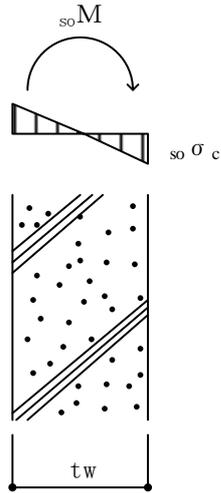
- $r \sigma_t$  : 曲げモーメント及び軸力による鉄筋の最大引張応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
- M : 地震時曲げモーメント ( $\text{kN} \cdot \text{m}$ )
- N : 長期軸力 ( $\text{kN}$ )
- $k_v$  : 鉛直震度
- $X_n$  : 曲げ材の圧縮縁から中立軸までの距離 (m)
- D : 曲げ材のせい (m)
- $t_c$  : 圧縮側フランジ部分の厚さ (m)
- $t_t$  : 引張側フランジ部分の厚さ (m)



(3) 土圧による面外応力度

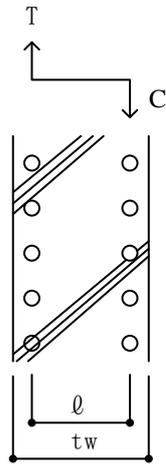
耐震壁で土圧による面外曲げモーメントの生じる部分については、下式によりそれぞれコンクリートの最大圧縮応力度及び鉄筋の最大引張応力度を評価する。

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



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

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



ここで、

$s_o \sigma_c$  : コンクリートの最大圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$s_o M$  : 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 (m<sup>3</sup>)

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

$b$  : 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 (m<sup>2</sup>)

$\ell$  : 鉄筋の重心間距離 (m)

$f_t$  : 鉄筋の許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$b$  : 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

天井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とし、断面の評価は以下の方法で行う。

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ又は鉄筋の引張応力度並びに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) 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

S d 地震時に対する評価では、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度が、表 4-10 に示す短期許容応力度を超えないことを確認する。

S s 地震時に対する評価では、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみが、「CCV規格」に基づき、表 4-11 に示す許容ひずみを超えないことを確認する。

(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」に基づき行う。

面外せん断力が、次式を基に算定した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

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

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)

$\alpha$  : 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。また、引張軸応力度が  $2\text{N/mm}^2$  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で、表 4-9 に示す値 ( $\text{N/mm}^2$ )

$w f_t$  : せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表 4-10 に示す値 ( $\text{N/mm}^2$ )

$p_w$  : 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 ( $\text{mm}^2$ )

$x$  : 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、天井スラブには、面外せん断補強筋は入っていない。)

#### 4.6.2 床スラブ

床スラブの評価対象箇所は、中央制御室遮蔽の範囲の床スラブとし、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、

- $\sigma_t$  : 鉄筋の引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- M : 曲げモーメント (N・mm)
- $a_t$  : 引張鉄筋断面積 (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。

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

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)
- $\alpha$  : 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)

$f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表 4-9 に示す値  
(N/mm<sup>2</sup>)

$w f_t$  : せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表 4-10 に示す値  
(N/mm<sup>2</sup>)

$p_w$  : 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<sup>2</sup>)

$x$  : 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、床スラブには、面外せん断補強筋は入っていない。)

### 4.6.3 耐震壁

耐震壁の断面評価の評価フローを図 4-11 に示す。

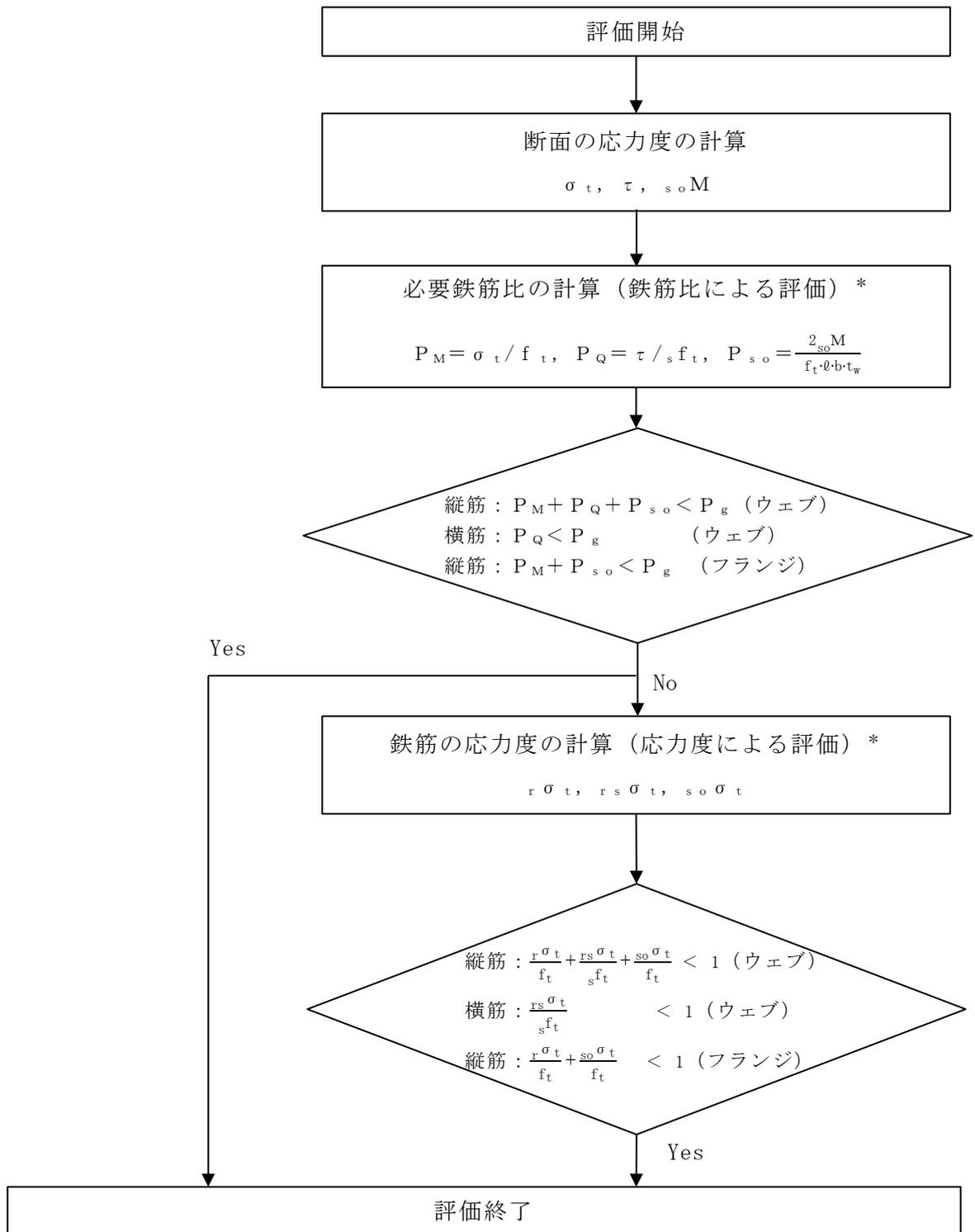
ここで、図中の記号は以下による。

- $\sigma_t$  : 軸方向最大引張応力度
- $\tau$  : 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
- $\ell$  : 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 4-11 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（ $2.0 \times 10^{-3}$ ）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  $0.60 \times 10^{-3}$ （NS方向， $S_s-D$ ，ケース 2，要素番号 3）であり，許容限界（ $2.0 \times 10^{-3}$ ）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。

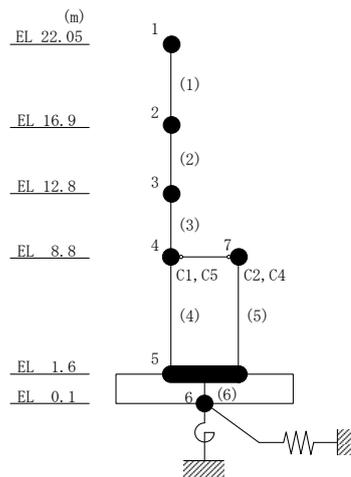
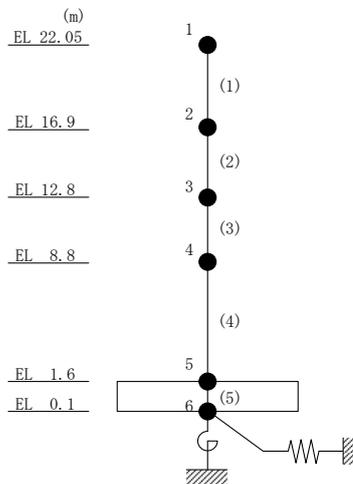
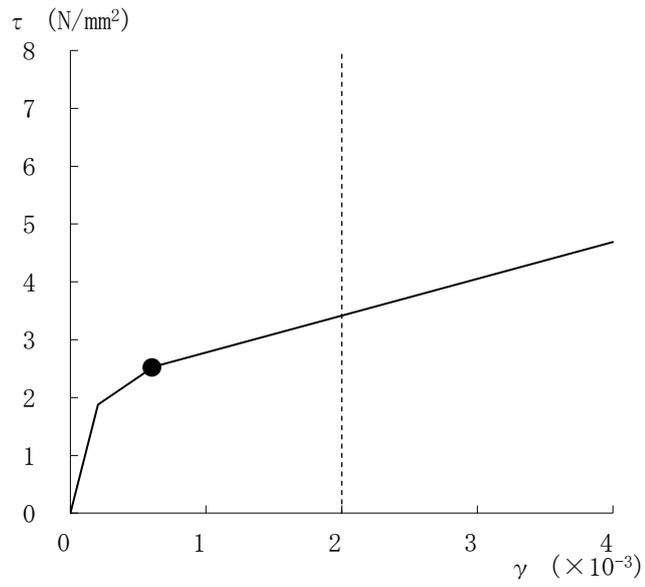


表 5-1(2) 最大応答せん断ひずみ一覧 (E W 方向)

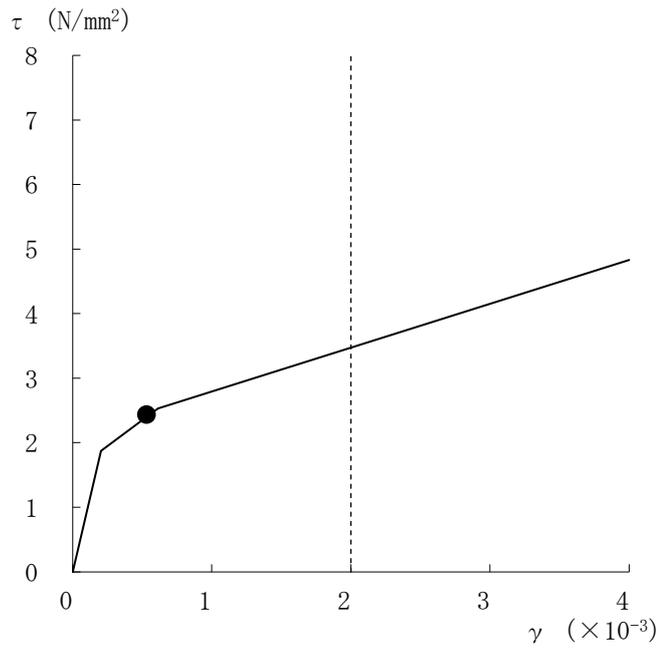
EL (m)	要素番号	最大応答せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	許容限界 ( $\times 10^{-3}$ )
22.05~16.9	1	0.16	2.0
16.9~12.8	2	0.40	
12.8~8.8	3	0.53	

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 天井スラブの評価結果

「4.6 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。

断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ又は鉄筋の引張応力度並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図 5-2 及び図 5-3 に、天井スラブの評価結果を表 5-2 及び表 5-3 に示す。

天井スラブについては、S d 地震時及び S s 地震時において、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ又は鉄筋の引張応力度並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認した。

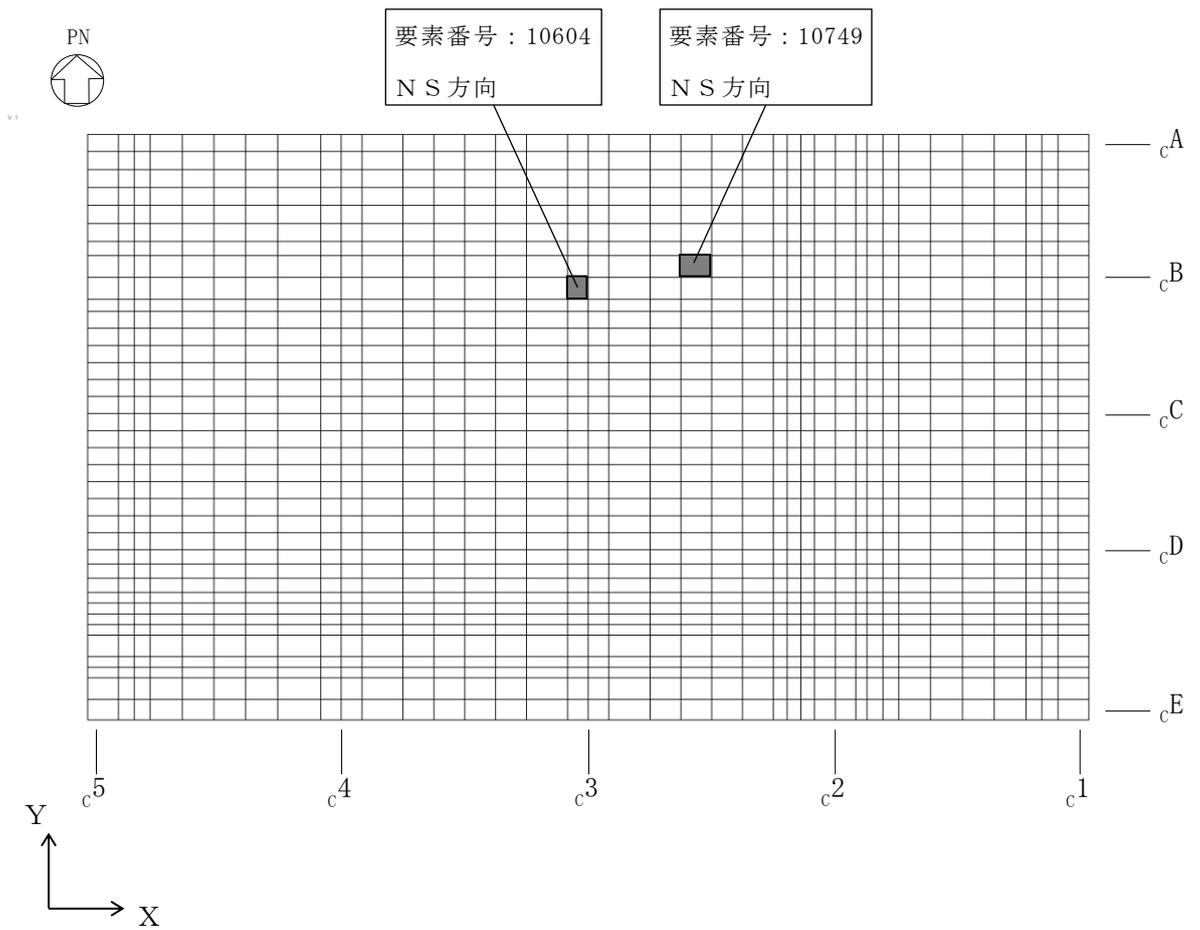


図 5-2 選定した要素の位置 (天井スラブ) (S d 地震時)

表 5-2 評価結果 (天井スラブ) (S d 地震時)

評価項目		方向	要素番号	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	鉄筋引張応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	N S	10749	239	345
面外せん断力	面外せん断力 (×10 <sup>3</sup> kN/m)	N S	10604	0.667	1.27

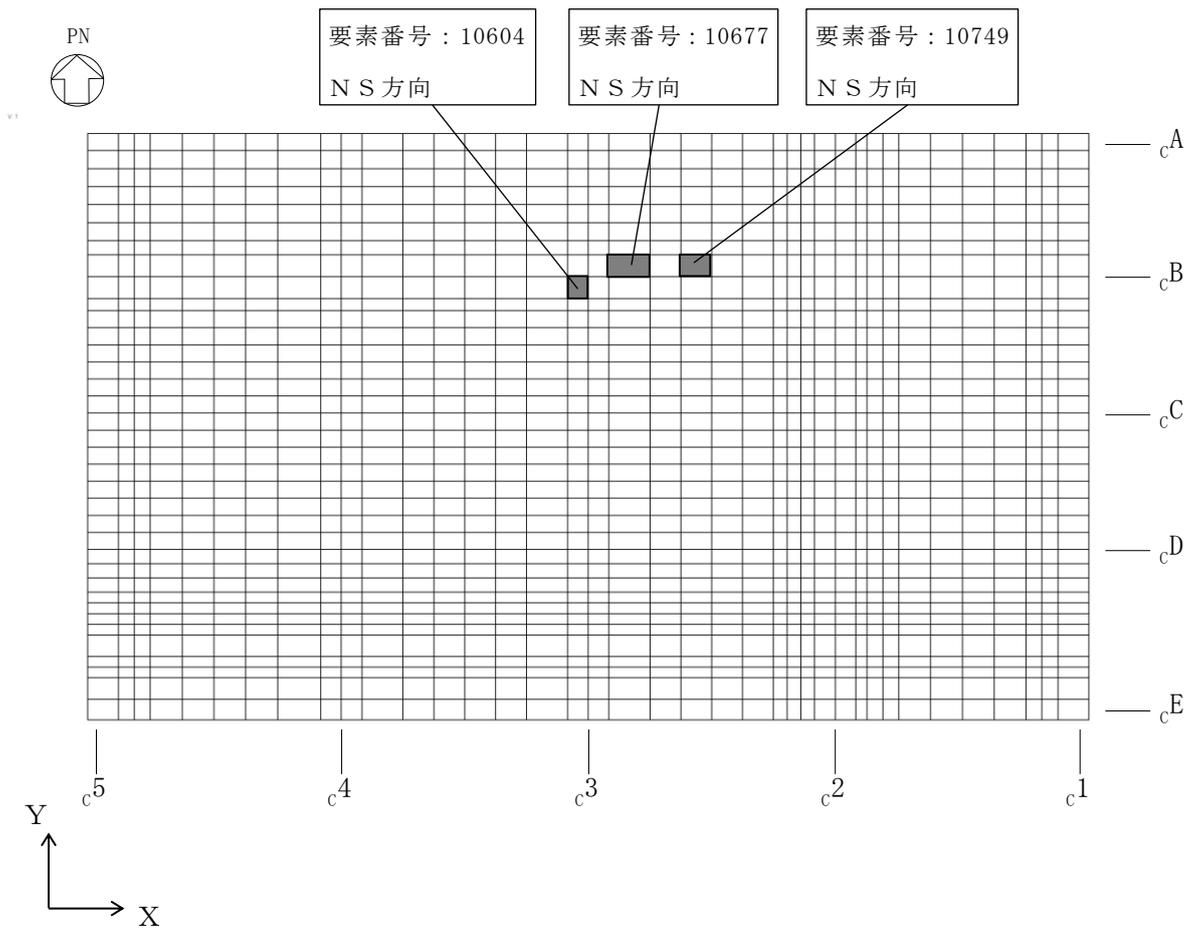


図 5-3 選定した要素の位置 (天井スラブ) (S s 地震時)

表 5-3 評価結果 (天井スラブ) (S s 地震時)

評価項目		方向	要素番号	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	N S	10677	0.448	3.00
	鉄筋引張ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	N S	10749	2.30	5.00
面外せん断力	面外せん断力 ( $\times 10^3 \text{kN/m}$ )	N S	10604	0.960	1.30

### 5.2.2 床スラブの評価結果

床スラブの評価結果を表5-4に示す。

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5-4 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 <sup>2</sup> /m)	D16@150 (1327 mm <sup>2</sup> /m)
	下ば筋	D16@200 (995 mm <sup>2</sup> /m)	D16@150 (1327 mm <sup>2</sup> /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 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	135	156
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345	345
	検定値	0.40	0.46
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 $\alpha$	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

### 5.2.3 耐震壁の評価結果

耐震壁の評価結果を表 5-5 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 5-5 評価結果 (耐震壁)

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

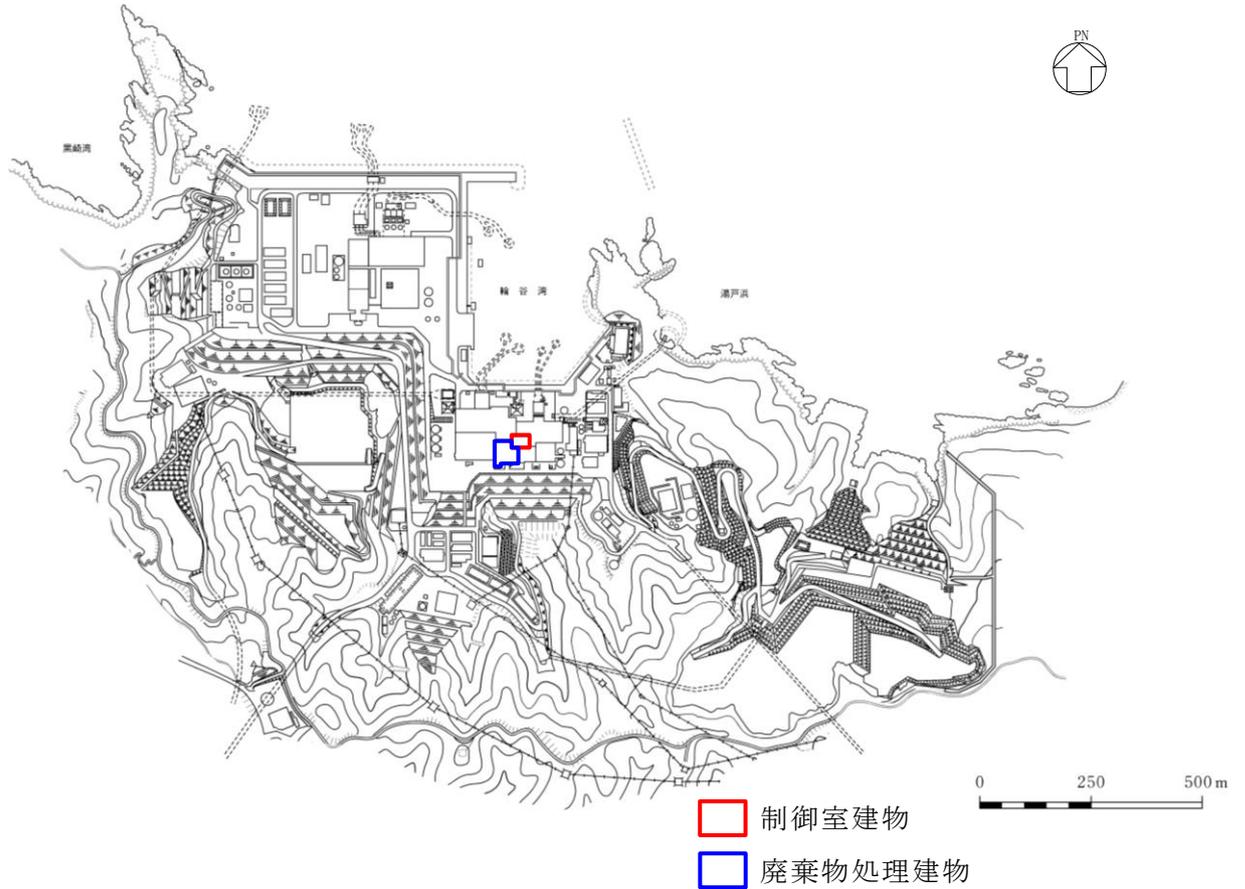


図 6-1 中央制御室バウンダリを含む制御室建物及び廃棄物処理建物の設置位置

## 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。

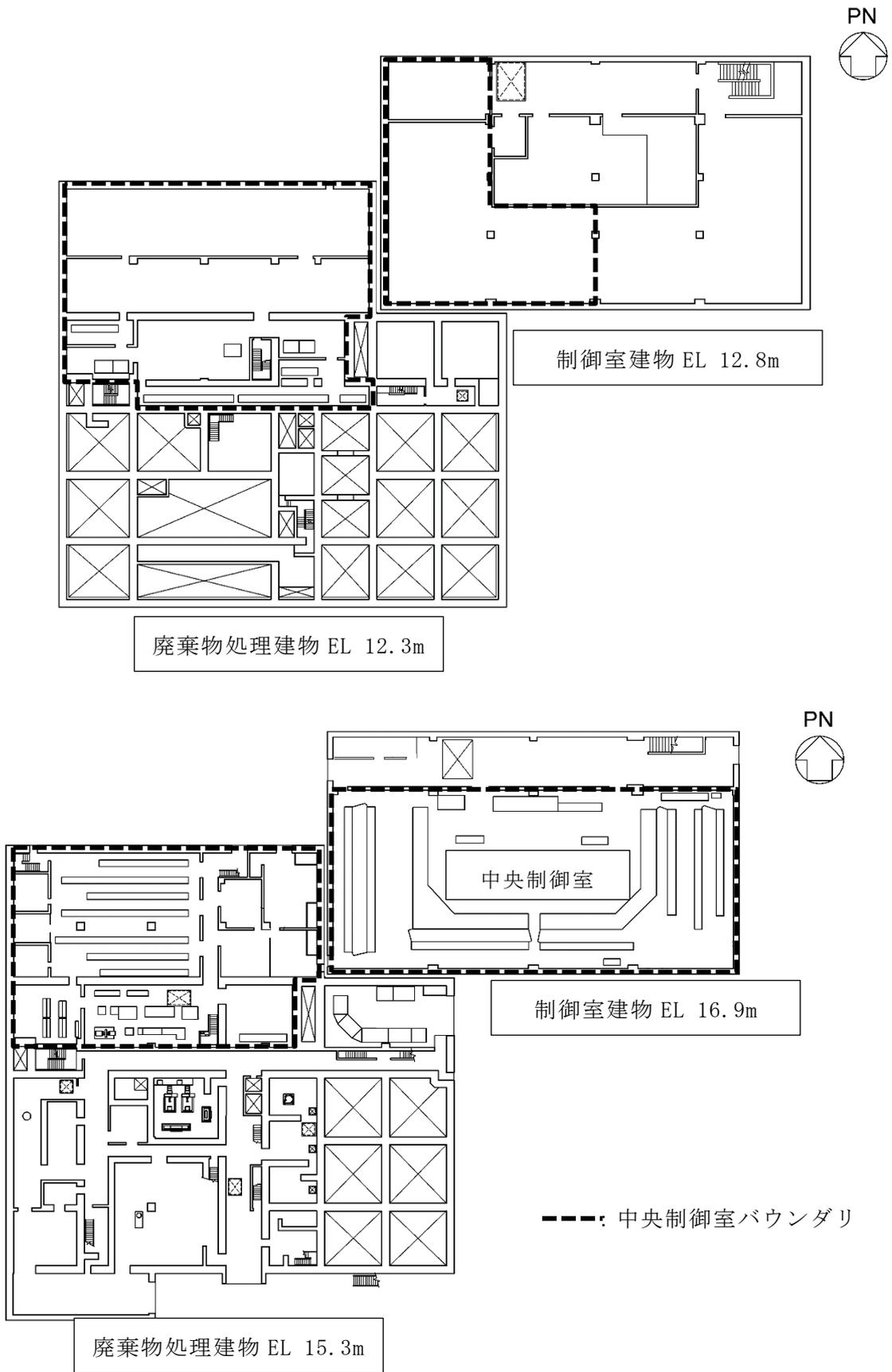
廃棄物処理建物の基礎は厚さ 3.0m のべた基礎で、岩盤に直接設置している。

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。

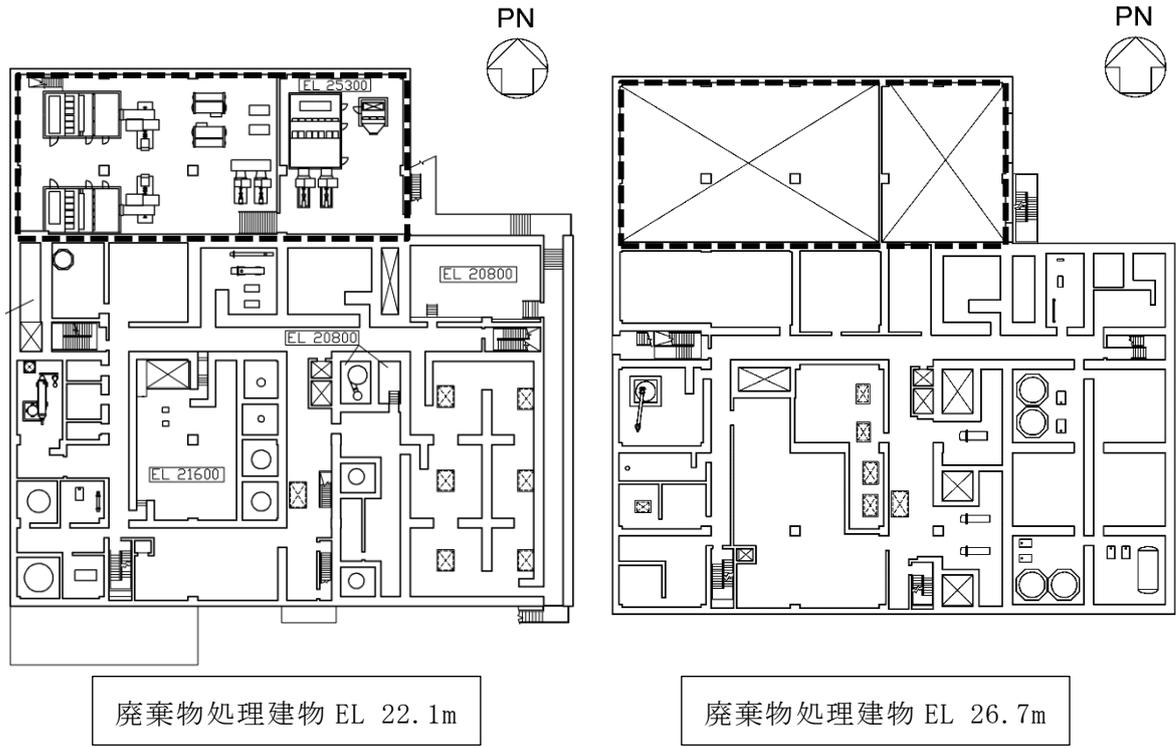
中央制御室バウンダリの範囲を図 6-2 に示す。

注記\* : 建物寸法は壁外面寸法とする。



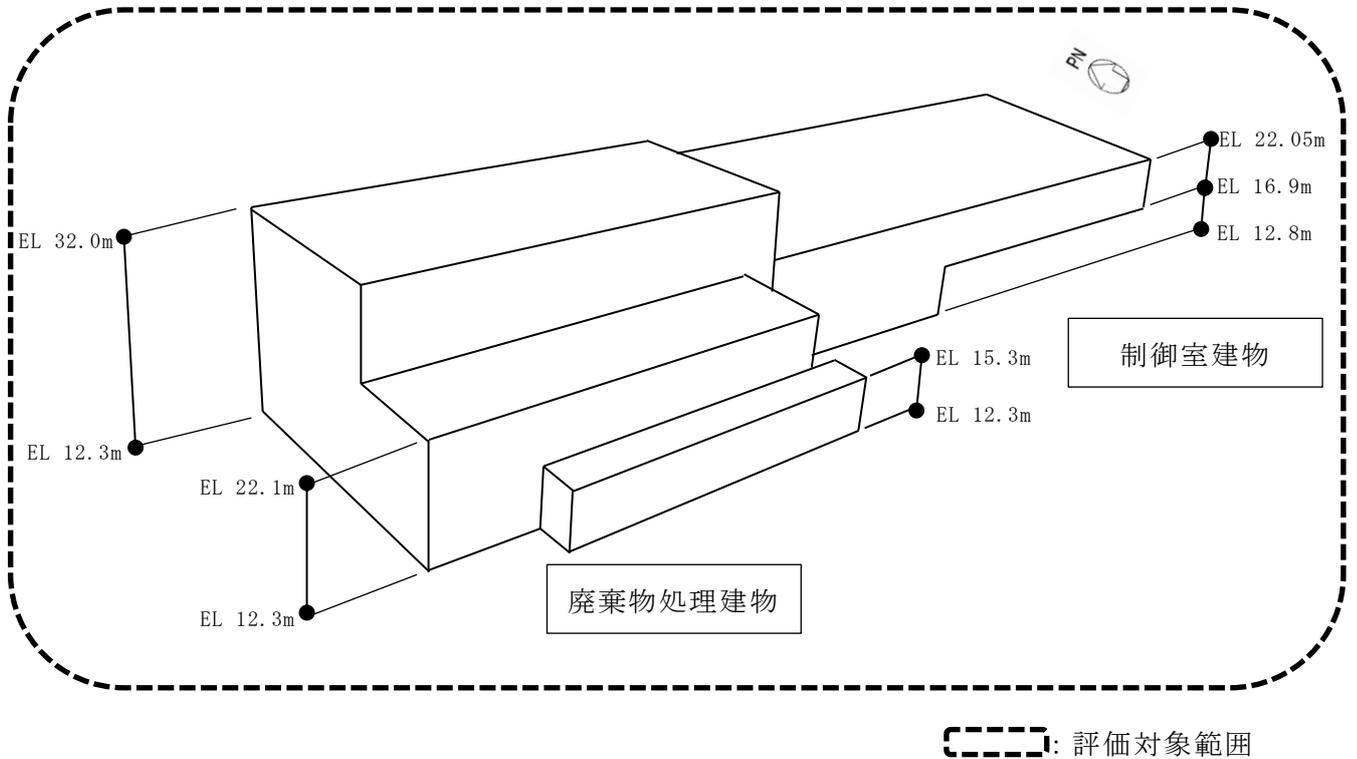
(a) 平面図 (EL 12.3m~EL 16.9m)

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。

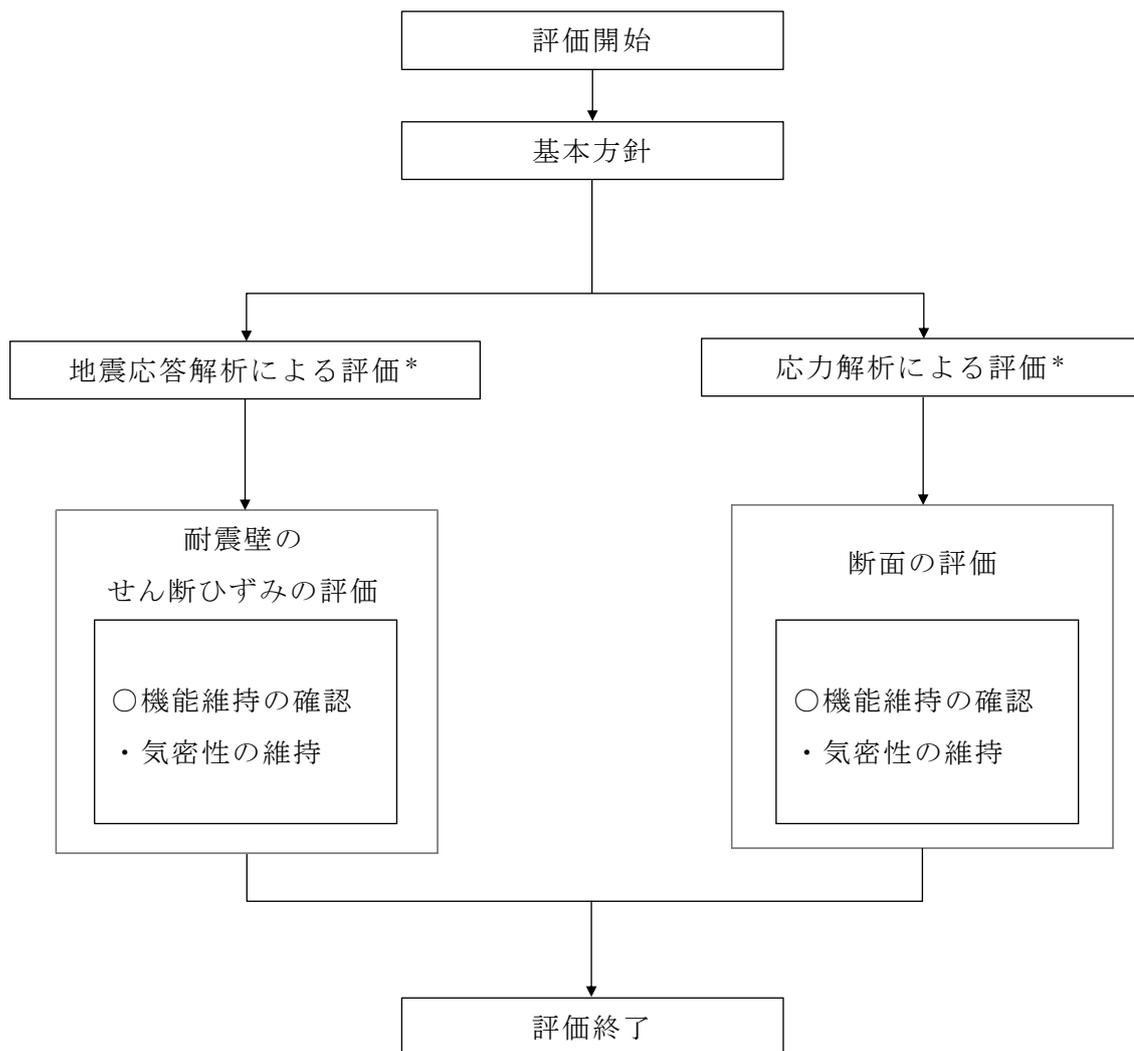
中央制御室バウンダリは、中央制御室を取り囲む制御室建物及び廃棄物処理建物の壁、天井スラブ及び床スラブで構成されており、設計基準対象施設としての評価においては、S s地震時に対する評価を行う。

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ることによって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)
- ・発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ((社) 日本機械学会, 2003)

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 <sub>s</sub>	耐震壁* <sup>1</sup>	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 <sup>-3</sup> * <sup>2</sup>

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 $2.0 \times 10^{-3}$ *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、3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析又は弾性応力解析により評価を行う。評価にあたっては、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。

#### 8.1.1 S s 地震時に対する評価

制御室建物の天井スラブのS s地震時に対する評価は3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析とし、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、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。

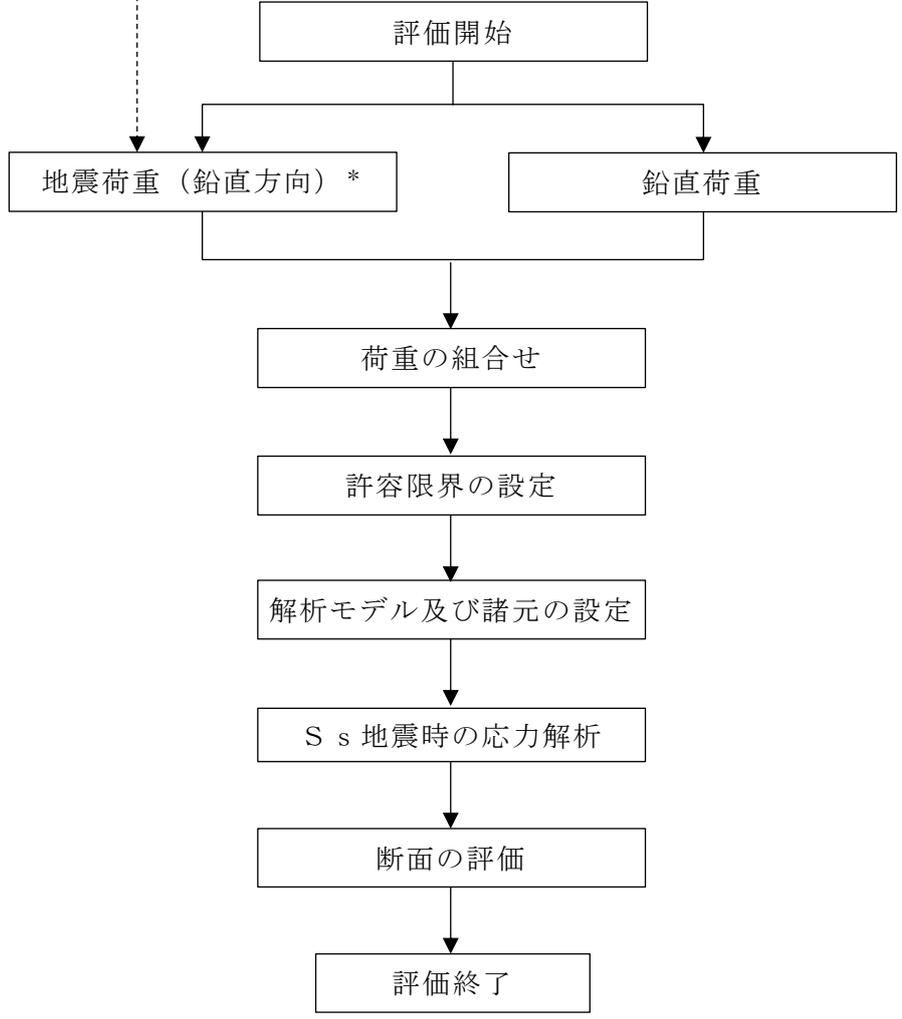
廃棄物処理建物の天井スラブ並びに制御室建物及び廃棄物処理建物の床スラブのS s地震時に対する評価は弾性応力解析とし、材料物性の不確かさを考慮した基準地震動S sによる鉛直方向の地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果により発生する応力が、「RC-N規準」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

廃棄物処理建物の天井スラブ並びに制御室建物及び廃棄物処理建物の床スラブの評価については、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。

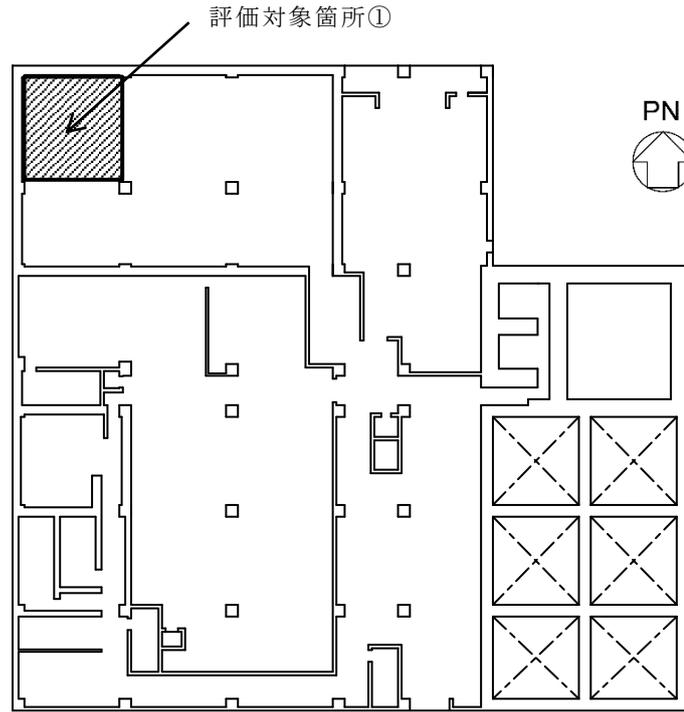
なお、水平方向の地震荷重に対する評価は、建物全体が剛性の高い構造となっており、耐震壁間での相対変形が小さく、スラブの面内変形が抑えられることから、地震応答解析による評価に含まれる。

VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」  
VI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」

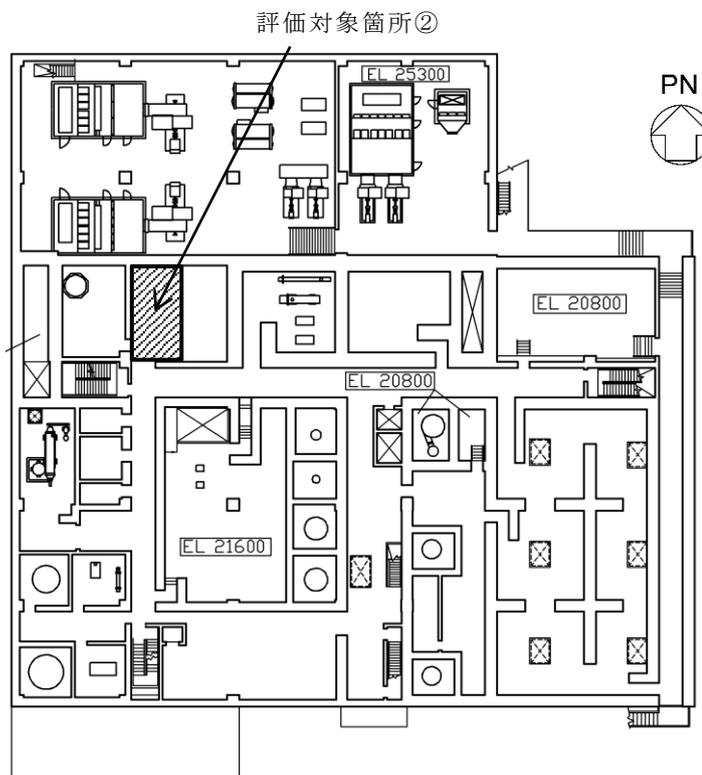


注記\*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 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

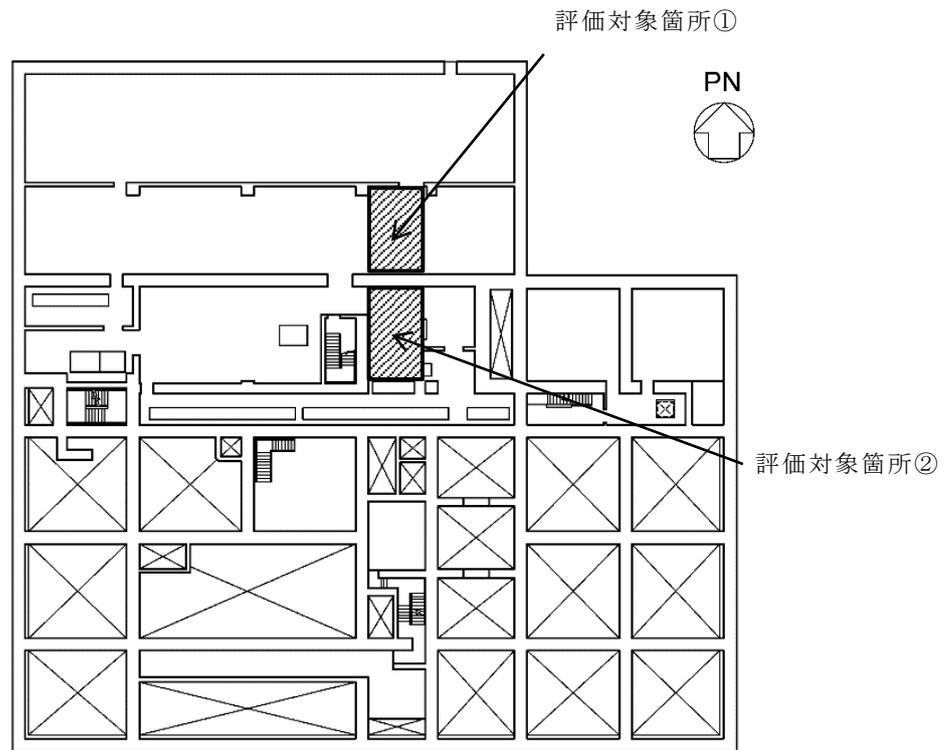


(a) 天井スラブ（廃棄物処理建物，EL 32.0m）



(b) 天井スラブ（廃棄物処理建物，EL 22.1m）

図 8-2(1) 天井スラブ及び床スラブの評価を記載する部材の位置



(c) 床スラブ (廃棄物処理建物, EL 12.3m)

図 8-2(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。

### 8.2.1 荷重

#### (1) 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/m<sup>2</sup>の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

#### (2) 地震荷重（S<sub>s</sub>）

地震荷重（S<sub>s</sub>）は基準地震動S<sub>s</sub>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応答に基づく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。

### 8.2.2 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 <sub>s</sub> 地震時	G + P + SNL* + S <sub>s</sub>

G : 固定荷重

P : 積載荷重

SNL : 積雪荷重

S<sub>s</sub> : 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	天井スラブ及び床スラブ	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	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度*

注記\*：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	天井スラブ及び床スラブ	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	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度*

注記\*：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 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/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 F <sub>c</sub>	圧縮	せん断
22.1	14.6	1.06

(b) 廃棄物処理建物

(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 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/mm<sup>2</sup>)

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

## 8.4 解析モデル及び諸元

### 8.4.1 制御室建物の天井スラブ

制御室建物の天井スラブの応力解析は、3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析とする。

解析モデル及び諸元は「4.4.1 天井スラブ」と同一とする。

### 8.4.2 廃棄物処理建物の天井スラブ並びに制御室建物及び廃棄物処理建物の床スラブ

#### (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 <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν
22.1	2.20×10 <sup>4</sup>	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 <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν
23.5	2.25×10 <sup>4</sup>	0.2

## 8.5 応力評価方法

### 8.5.1 制御室建物の天井スラブ

制御室建物の天井スラブについて、 $S_s$ 地震時に対して3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析を実施する。

#### (1) 荷重ケース

$S_s$ 地震時の応力は、次の荷重を組み合わせて求める。 $S_s$ 地震荷重（鉛直方向）は、「4.5.1 天井スラブ」と同一とする。

- G : 固定荷重
- P : 積載荷重
- SNL : 積雪荷重
- $S_{sUD}$  :  $S_s$ 地震荷重（鉛直方向）

#### (2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表8-7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8-7 荷重の組合せケース（天井スラブ）

外力の状態	荷重の組合せ
$S_s$ 地震時	$G + P + SNL + 1.0S_{sUD}$

#### (3) 荷重の入力方法

##### a. 地震荷重

鉛直地震力については、3次元FEMモデルの各節点における鉛直震度により支配面積に応じた節点荷重として入力する。

##### b. 地震荷重以外の荷重

地震荷重以外の荷重については、3次元FEMモデルの各節点又は各要素に、集中荷重又は分布荷重として入力する。

## 8.5.2 廃棄物処理建物の天井スラブ並びに制御室建物及び廃棄物処理建物の床スラブ

### (1) 荷重ケース

S s 地震時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。

単独荷重の記号を以下に示す。鉛直震度算定のための最大応答鉛直加速度は、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。なお、対象とするスラブは十分な剛性（固有振動数 20Hz 以上）を有していることから、共振は考慮しない。最大応答鉛直加速度及び鉛直震度を表 8-8 に示す。

- G : 固定荷重
- P : 積載荷重
- S s <sub>U D</sub> : S s 地震荷重（鉛直方向）

表 8-8(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 ( $\text{cm/s}^2$ )	鉛直震度
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 8-8(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 ( $\text{cm/s}^2$ )	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 8-9 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 8-9 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 <sub>s</sub> 地震時	G + P + 1.0 S <sub>s</sub> U <sub>D</sub>

## (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(3)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/m<sup>2</sup>)

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

## 8.6 断面の評価方法

### 8.6.1 制御室建物の天井スラブ

天井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とし、断面の評価は以下の方法で行う。

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度並びに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) 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度が、表 8-5 に示す短期許容応力度を超えないことを確認する。

#### (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」に基づき行う。

面外せん断力が、次式を基に算定した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

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

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)

$\alpha$  : 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。また、引張軸応力度が  $2\text{N/mm}^2$  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で、表 8-4 に示す値 ( $\text{N/mm}^2$ )

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

$p_w$  : 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 ( $\text{mm}^2$ )

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, 天井スラブには, 面外せん断補強筋は入っていない。)

8.6.2 廃棄物処理建物の天井スラブ並びに制御室建物及び廃棄物処理建物の床スラブ  
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、

$\sigma_t$  : 鉄筋の引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 曲げモーメント (N・mm)

$a_t$  : 引張鉄筋断面積 (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。

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

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)

$\alpha$  : 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)

$f_s$  : 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  
( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

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

$p_w$  : 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 ( $\text{mm}^2$ )

$x$  : 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 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) 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  $0.43 \times 10^{-3}$  (NS方向,  $S_s - D$ , ケース 1, 要素番号 2) であり, 許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) 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  $0.42 \times 10^{-3}$  (NS方向,  $S_s - D$ , ケース 2, 要素番号 7) であり, 許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) 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。

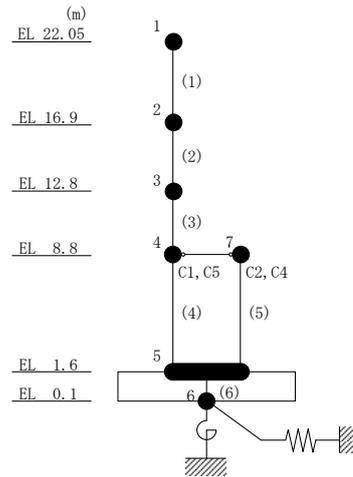


表 9-1(2) 最大応答せん断ひずみ一覧 (制御室建物) (EW方向)

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。

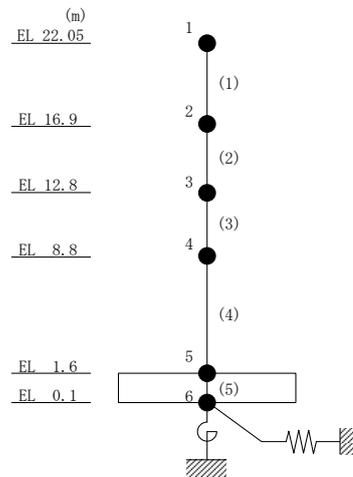


表 9-2(1) 最大応答せん断ひずみ一覧 (廃棄物処理建物) (N S 方向)

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。

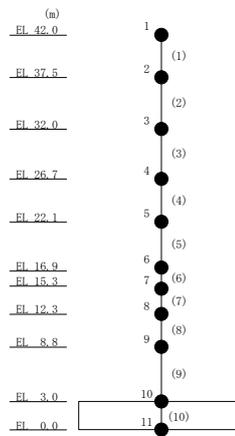
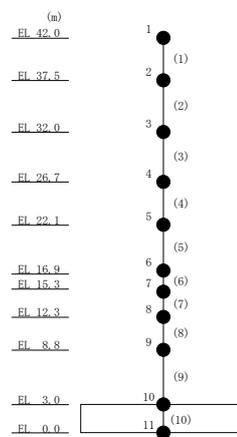
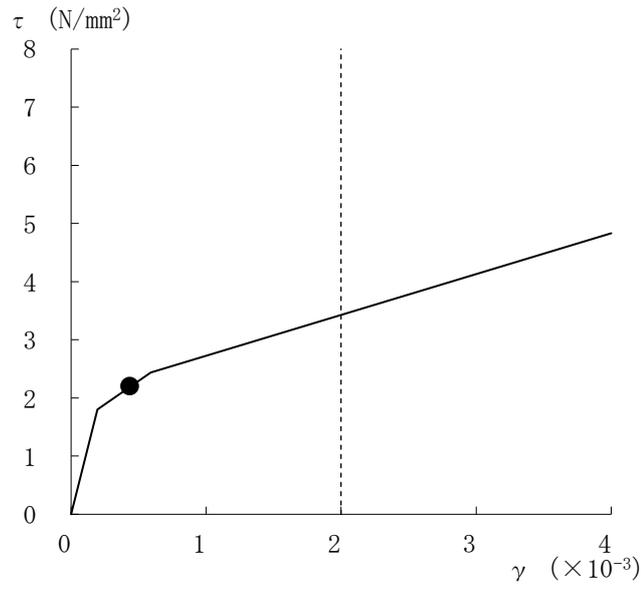


表 9-2(2) 最大応答せん断ひずみ一覧 (廃棄物処理建物) (E W方向)

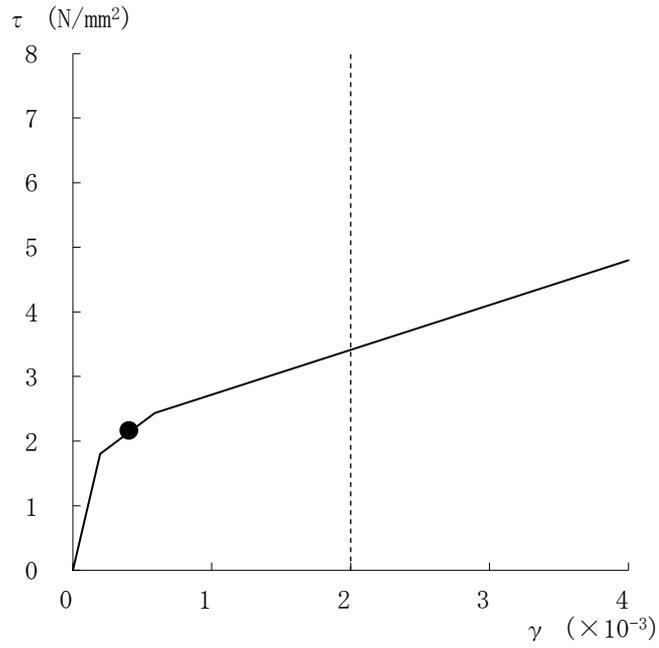
EL (m)	要素 番号	最大応答せん断 ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	許容限界 ( $\times 10^{-3}$ )
32.0~26.7	3	0.15	2.0
26.7~22.1	4	0.28	
22.1~16.9	5	0.31	
16.9~15.3	6	0.34	
15.3~12.3	7	0.21	

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。



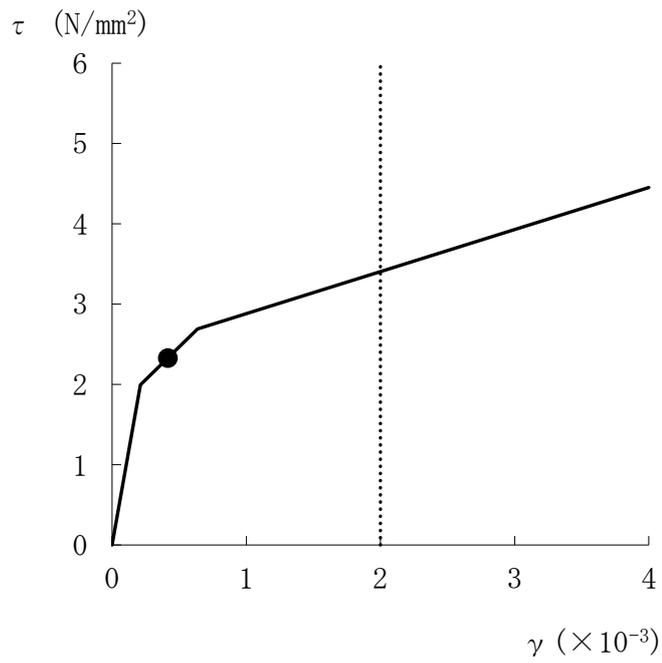


(a) NS方向 (S s -D, ケース 1, 要素番号 2)

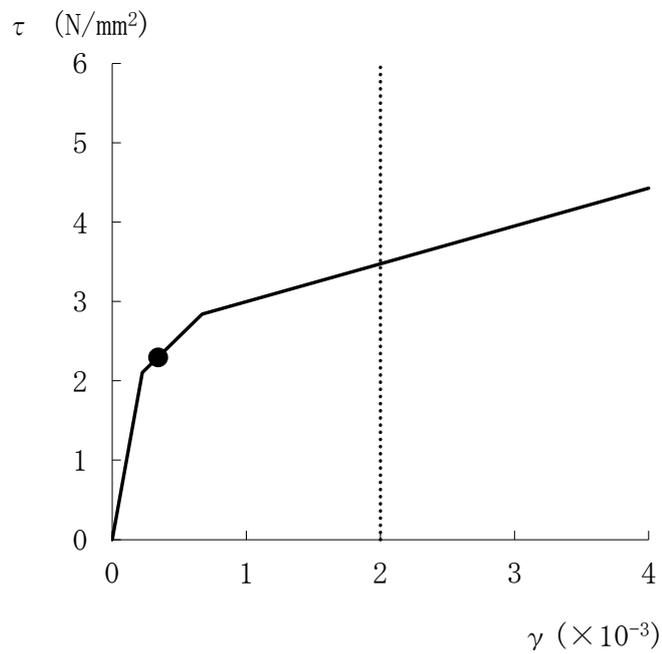


(b) EW方向 (S s -D, ケース 3, 要素番号 2)

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<sub>s</sub>-D, ケース 2, 要素番号 7)



(b) EW方向 (S<sub>s</sub>-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

### 9.2.1 制御室建物の天井スラブの評価結果

「8.6 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。

断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋引張応力度並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図 9-3 に、天井スラブの評価結果を表 9-3 に示す。

制御室建物の天井スラブについては、S s 地震時において、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認した。

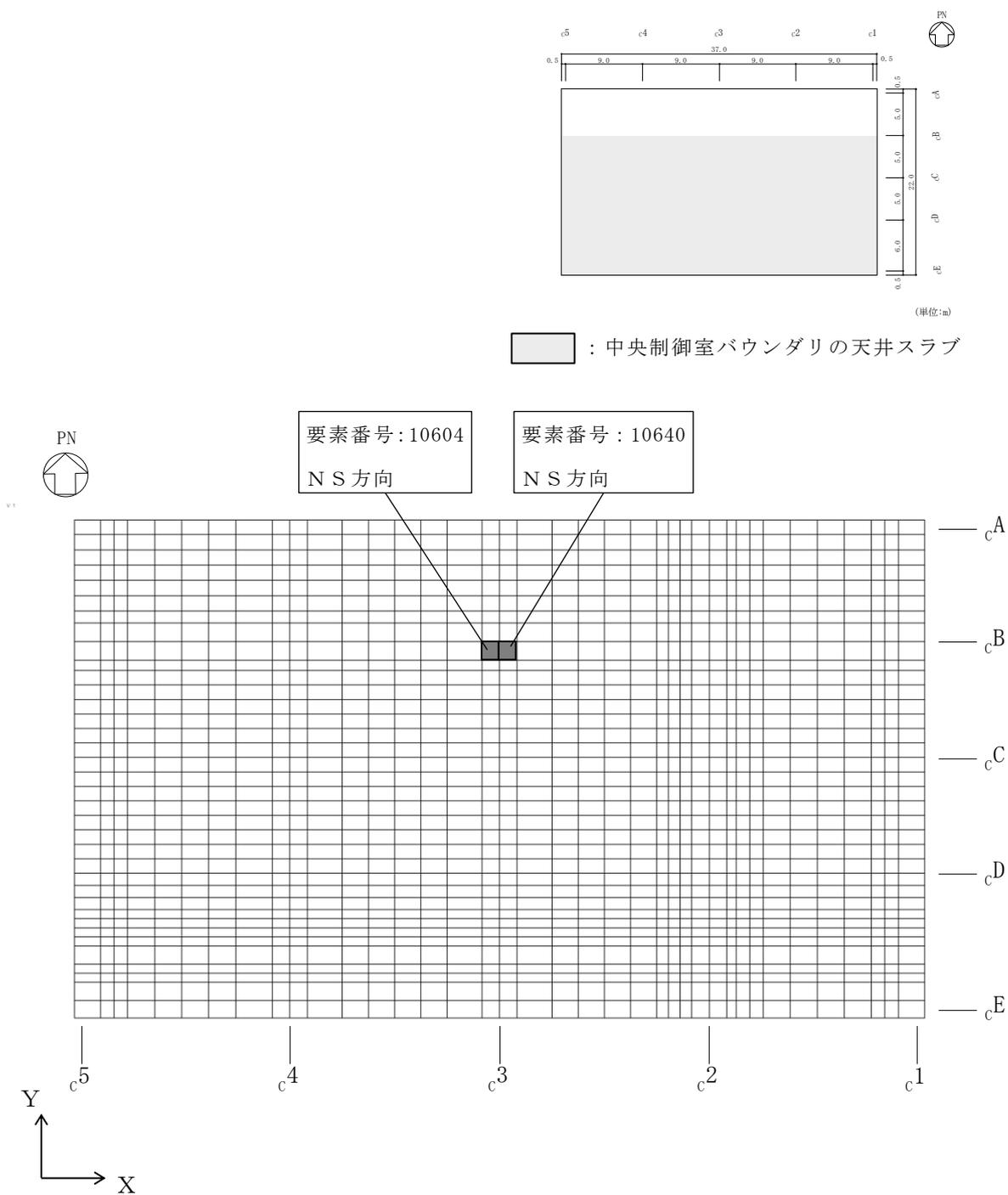


図 9-3 選定した要素の位置 (制御室建物の天井スラブ)

表 9-3 評価結果 (天井スラブ)

評価項目		方向	要素 番号	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	鉄筋引張応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	N S	10640	224	345
面外せん断力	面外せん断力 (×10 <sup>3</sup> kN/m)	N S	10604	0.960	1.30

9.2.2 廃棄物処理建物の天井スラブ並びに制御室建物及び廃棄物処理建物の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9-4及び表9-5に示す。

天井スラブ及び床スラブについては、S<sub>s</sub>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9-4(1) 評価結果(天井スラブ①(廃棄物処理建物))

方向		短辺(EW)方向	長辺(NS)方向
EL (m)		32.0	
厚さ t (mm)		□	
有効せい d (mm)		□	□
配筋 (鉄筋断面積)	上ば筋	D19@200 (1435 mm <sup>2</sup> /m)	D19@200 (1435 mm <sup>2</sup> /m)
	下ば筋	D19@200 (1435 mm <sup>2</sup> /m)	D19@200 (1435 mm <sup>2</sup> /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	249.7	207.5
	鉄筋応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	269	233
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345	345
	検定値	0.78	0.68
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	312.0	276.0
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.92	1.94
	許容限界 (kN/m)	1342.6	1301.6
	検定値	0.24	0.22
判定		可	可

表 9-4(2) 評価結果 (天井スラブ② (廃棄物処理建物))

方向		短辺 (EW) 方向
EL (m)		22.1
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)	上ば筋	D16@200 (995 mm <sup>2</sup> /m)
	下ば筋	D16@200 (995 mm <sup>2</sup> /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	42.4
	鉄筋応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	203
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.59
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	69.7
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	1.13
	許容限界 (kN/m)	256.2
	検定値	0.28
判定		可

表 9-5(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 <sup>2</sup> /m)	D13@200 (635 mm <sup>2</sup> /m)
	下ば筋	D13@200 (635 mm <sup>2</sup> /m)	D13@200 (635 mm <sup>2</sup> /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 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	316	243
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345	345
	検定値	0.92	0.71
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 $\alpha$	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 9-5(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 <sup>2</sup> /m)	D19@200 (1435 mm <sup>2</sup> /m)
	下ば筋	D22@200 (1935 mm <sup>2</sup> /m)	D19@200 (1435 mm <sup>2</sup> /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 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	172	149
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345	345
	検定値	0.50	0.44
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 $\alpha$	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) 長沼一洋：三軸圧縮下のコンクリートの応力～ひずみ関係，日本建築学会構造系論文集，第 474 号，1995.8
- (2) 出雲淳一，島弘，岡村甫：面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル，コンクリート工学，Vol.25，No.9，1987.9
- (3) 「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）