本資料のうち，枠囲みの内容は，
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所　工事計画審査資料	
資料番号	工認-150　改 4
提出年月日	平成 30 年 9 月 26 日

Ⅴ-2-8-4-2　中央制御室遮蔽の耐震性についての計算書

NT2 補② Ⅴ-2-8-4-2 R1

目次

1.　概要 ･･･ 1
2.　基本方針 ･･･ 2
2.1　位置 ･･･ 2
2.2　構造概要 ･･･ 3
2.3　評価方針 ･･･ 8
2.4　適用規格・基準等 ･･･ 10
3.　地震応答解析による評価方法 ･･･ 11
4.　応力解析による評価方法 ･･･ 13
4.1　評価対象部位及び評価方針 ･･･ 13
4.2　荷重及び荷重の組合せ ･･･ 16
4.3　許容限界 ･･･ 19
4.4　解析モデル及び諸元 ･･･ 23
4.5　評価方法 ･･･ 24
5.　評価結果 ･･･ 29
5.1　地震応答解析による評価結果 ･･･ 29
5.2　応力解析による評価結果 ･･･ 31

別紙1　中央制御室の気密性に関する計算書
別紙2　原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した検討（中央制御室遮蔽）

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，添付書類「Ⅴ-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り，その評価は，地震応答解析による評価及び応力解析による評価により行う。

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。

以下，それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

中央制御室遮蔽は，原子炉建屋の一部を構成している。中央制御室遮蔽を含む原子炉建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

図 2-1 中央制御室遮蔽を含む原子炉建屋の設置位置

2.2　構造概要

原子炉建屋は，主体構造が鉄筋コンクリート造で，鉄骨造陸屋根をもつ地下2階，地上6階の建物である。中央部には，平面が南北方向 45.5 m，東西方向 42.5 m の原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）があり，その周囲には，平面が南北方向 68.5 m，東西方向 68.25 m の原子炉建屋付属棟（以下「付属棟」という。）を配置している。

中央制御室は付属棟の EL.18.0 m～EL.23.0 m に位置しており，平面規模は，南北方向 39.5 m，東西方向 27.0 m である。中央制御室遮蔽は，中央制御室を取り囲む壁，床スラブ及び天井スラブで構成されており，壁の厚さは 90 cm～120 cm，床スラブ及び天井スラブの厚さは 50 cm である。

中央制御室遮蔽の概略平面図及び概略断面図を図 2-2～図 2-5 に示す。

図 2-2　中央制御室遮蔽の概略平面図

図 2-3　中央制御室遮蔽の概略断面図

図 2-4 の概略平面図（EL.23.0 m）

図 2-5 の概略平面図（EL. 18.0 m）

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。

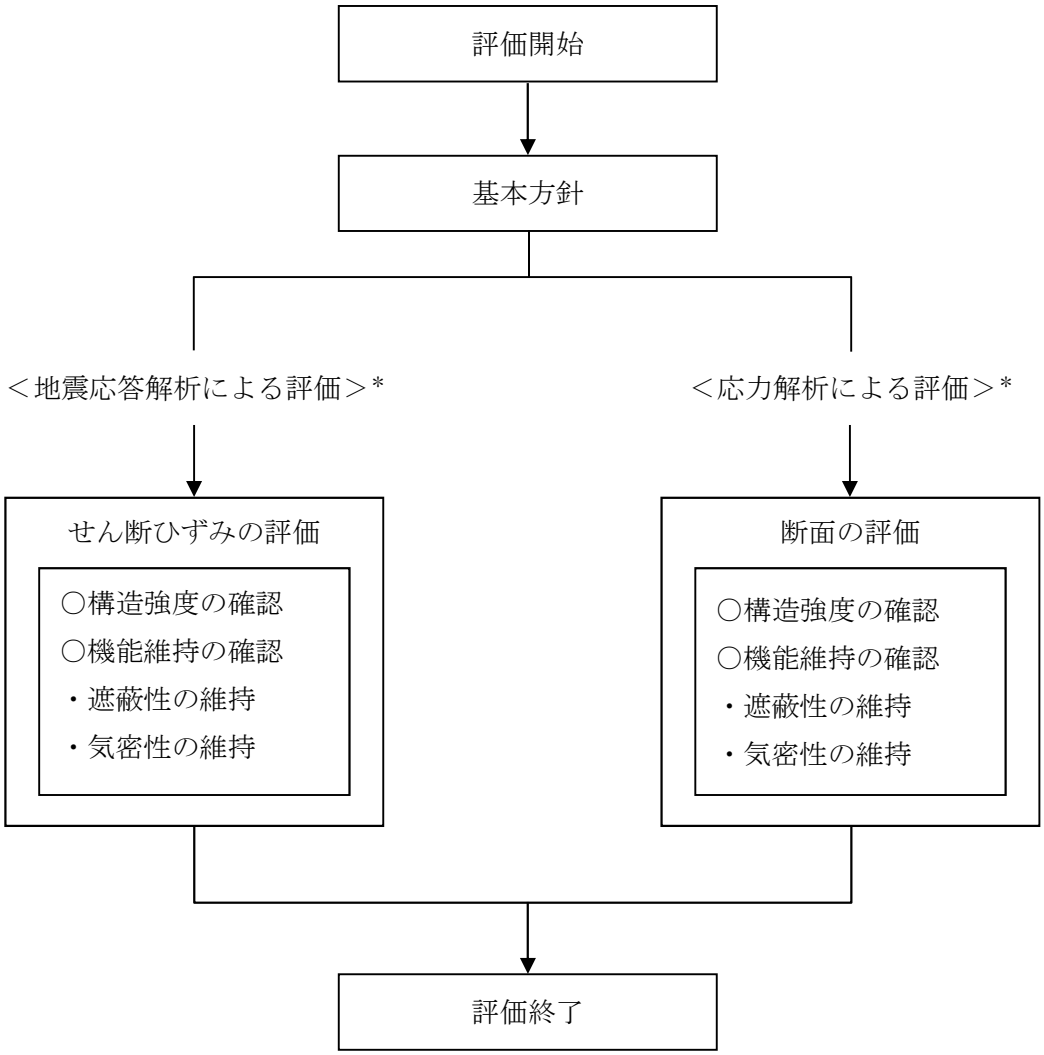
中央制御室遮蔽は，中央制御室を取り囲む壁，床スラブ及び天井スラブで構成されており，設計基準対象施設としての評価においては，弾性設計用地震動S_dによる地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対する評価（以下「S_d地震時に対する評価」という。）及び基準地震動S_sによる地震力に対する評価（以下「S_s地震時に対する評価」という。）を行う。

中央制御室遮蔽の評価は，添付書類「Ｖ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，地震応答解析による評価においてはせん断ひずみの評価を，応力解析による評価においては断面の評価を行うことで，地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。機能維持の確認において，建物・構築物の構造強度の許容限界であるせん断ひずみを用いて算定した空気漏えい量が，設置する換気設備の性能を下回ることで必要な気密性を維持する設計とする（別紙「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，添付書類「Ｖ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。評価に当たっては地盤物性のばらつきを考慮する。ただし，耐震壁については，常時荷重が設計時と同一であること，また，応答に対して支配的となる水平方向の弾性設計用地震動S_dによる地震力及び静的地震力がいずれも『既工事計画認可申請書第１回　資料Ⅲ-1-4「原子炉建屋の地震応答計算書」（47 公第 12076 号　昭和 48 年 4 月 9 日認可）』の設計用地震力よりも小さいことから，新たなS_d地震時に対する評価は行わない。

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，中央制御室遮蔽が原子炉建屋の一部であることを踏まえ，中央制御室遮蔽を含む原子炉建屋全体としての評価結果を添付書類「Ｖ-2-2-2　原子炉建屋の耐震性についての計算書」に示す。

また，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，中央制御室遮蔽では，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。

中央制御室遮蔽の評価フローを図 2-6 に示す。



注記　＊：添付書類「V-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-6　中央制御室遮蔽の評価フロー

2.4　適用規格・基準等

中央制御室遮蔽の評価において，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ＪＥＡＧ４６０１－1987（(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ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（(社) 日本電気協会）
- 原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１－1991 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―許容応力度設計法―（(社) 日本建築学会，1999）
- 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）（以下「ＲＣ－Ｎ規準」という。）
- 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）（以下「技術基準解説書」という。）

3. 地震応答解析による評価方法

中央制御室遮蔽の構造強度については，添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」による結果に基づき，地盤物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

また，遮蔽性及び気密性の維持については，添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」による結果に基づき，地盤物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

地震応答解析による評価における中央制御室遮蔽の許容限界は，添付書類「V-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
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} *2

注記 ＊1：建屋全体としては，地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており，柱，梁，間仕切壁等が耐震壁の変形に追従することと，全体に剛性の高い構造となっており，複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの面内変形が抑えられるため，各層の耐震壁が最大せん断ひずみの許容限界を満足していれば，建物・構築物に要求される機能は維持される。

＊2：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。

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
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} *2

注記　＊1：建屋全体としては，地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており，柱，梁，間仕切壁等が耐震壁の変形に追従することと，全体に剛性の高い構造となっており，複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの面内変形が抑えられるため，各層の耐震壁が最大せん断ひずみの許容限界を満足していれば，建物・構築物に要求される機能は維持される。

＊2：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。

4.　応力解析による評価方法

4.1　評価対象部位及び評価方針

中央制御室遮蔽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とし，弾性応力解析により評価を行う。弾性応力解析にあたっては，添付書類「V-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書」による結果を用いて，荷重の組合せを行う。

(1)　S_d地震時に対する評価

S_d地震時に対する評価は，地盤物性のばらつきを考慮した鉛直方向の地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果，発生する応力が，「ＲＣ－Ｎ規準」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

(2)　S_s地震時に対する評価

S_s地震時に対する評価は，地盤物性のばらつきを考慮した鉛直方向の地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果，発生する応力が，「ＲＣ－Ｎ規準」及び「技術基準解説書」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

評価については，各断面についてスラブのスパン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。ここで，S1a および S1b については，梁方向に開口が連続することから 1 方向版として評価するため，いずれの部位についても同一の評価結果となる。

なお，水平方向の地震荷重に対する評価は，建屋全体が剛性の高い構造となっており，耐震壁間での相対変形が小さく，スラブの面内変形が抑えられることから，「3.　地震応答解析による評価方法」に含まれる。

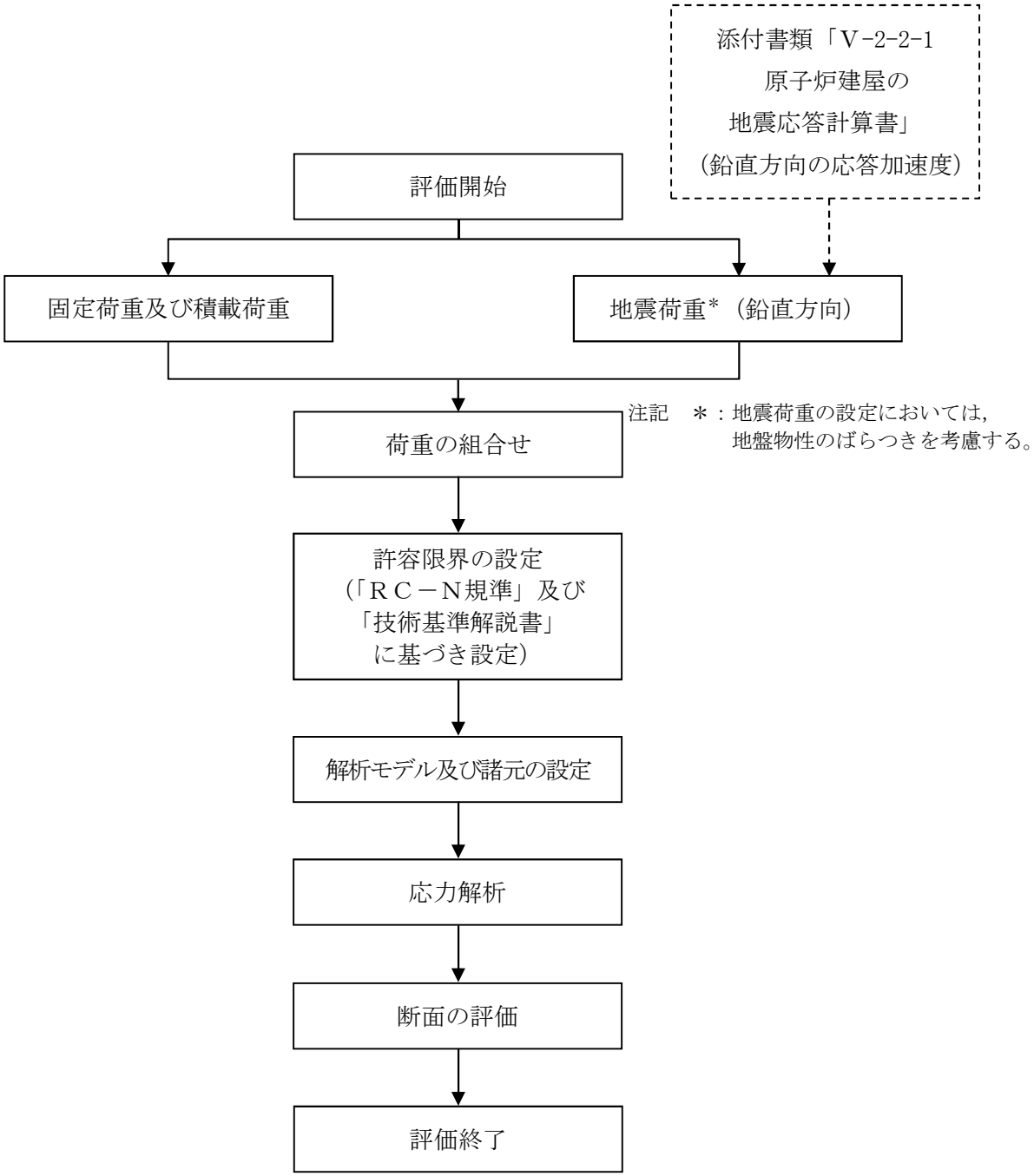


図 4-1　応力解析による評価フロー

図 4-2　スラブの評価を記載する部材の位置

4.2　荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは，添付書類「Ｖ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重組合せを用いる。

4.2.1　荷重

(1)　固定荷重（DL）及び積載荷重（LL）

応力解析において考慮する固定荷重及び積載荷重を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1　固定荷重

部位	固定荷重（kN/m^2）
天井スラブ	12.0
床スラブ	21.6

表 4-2　積載荷重

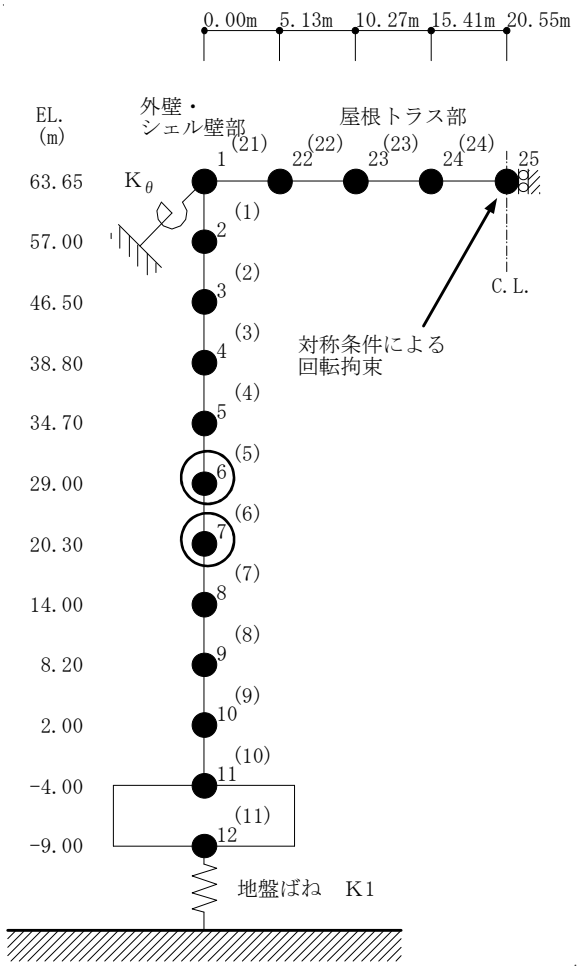
部位	積載荷重（kN/m^2）
天井スラブ	12.3
床スラブ	12.3

(2)　地震荷重（S_d，S_s）

鉛直地震力は，基準地震動S_s及び弾性設計用地震動S_dに対する地震応答解析より算定される動的地震力に地盤物性のばらつきを考慮して設定する。

天井スラブ及び床スラブが，長辺方向約 10.6 m，短辺方向 3.35 m～7.0 m スパンで厚さ 50 cm の鉄筋コンクリート造スラブであることから剛とみなす。

地震荷重は，図 4-1 に示す基準地震動S_s及び弾性設計用地震動S_dに対する質点系モデルの中央制御室天井直上階レベル（EL.29.0 m，質点番号 6）及び中央制御室床直上階レベル（EL.20.3 m，質点番号 7）の鉛直方向最大応答加速度より算定される鉛直震度とする。



注１　：数字は質点番号を示す。
注２　：（　）内は要素番号を示す。
注３　：　○ 印の動的応答を用いる。

図 4-1　基準地震動Ｓ$_s$及び弾性設計用地震動Ｓ$_d$に対する質点系モデル（UD 方向）

4.2.2　荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-3 に示す。

表 4-3　荷重の組合せ

荷重状態	荷重の組合せ
S_d地震時	DL＋LL＋Sd
S_s地震時	DL＋LL＋Ss

DL　：固定荷重

LL　：積載荷重

Sd　：S_d地震荷重

Ss　：S_s地震荷重

4.3　許容限界

応力解析による評価における中央制御室遮蔽の許容限界は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の基本方針に基づき，表 4-4 及び表 4-5 のとおり設定する。

また，コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 4-6 及び表 4-7 に示す。

表 4-4　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
—	構造強度を有すること	弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力	天井スラブ 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
		基準地震動 S_s			「ＲＣ－Ｎ規準」に基づく終局強度*1
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力	天井スラブ 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
		基準地震動 S_s			「ＲＣ－Ｎ規準」に基づく短期許容応力度*2
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力	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	「ＲＣ－Ｎ規準」に基づく短期許容応力度
		基準地震動 S_s			「ＲＣ－Ｎ規準」に基づく短期許容応力度*3

注記　＊1：「ＲＣ－Ｎ規準」の短期許容応力度の鋼材の基準強度Ｆを「技術基準解説書」に基づき 1.1 倍（面外せん断力に対する評価時の鋼材の基準強度Ｆは 1.0 倍）した耐力とする。

＊2：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。

＊3：地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし，地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

表 4-5　応力解析による評価における許容限界
（重大事故等対処施設としての評価）

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部　位	機能維持のための考え方	許容限界
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	天井スラブ 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」に基づく終局強度*1
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S_s	天井スラブ 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*2
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	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	「ＲＣ－Ｎ規準」に基づく短期許容応力度*3

注記　＊1：「ＲＣ－Ｎ規準」の短期許容応力度の鋼材の基準強度Ｆを「技術基準解説書」に基づき 1.1 倍（面外せん断力に対する評価時の鋼材の基準強度Ｆは 1.0 倍）した耐力とする。

＊2：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。

＊3：地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし，地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

表 4-6　コンクリートの許容応力度

Fc (N/mm^2)	圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)
22.1	14.7	1.06

表 4-7　鉄筋の許容応力度

引張及び圧縮 (N/mm^2)	せん断補強 (N/mm^2)
SD345*	SD345*
345	345

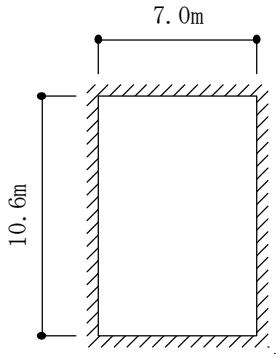
注記　＊：建設当時の鉄筋の種類は SD35 であるが現在の規格（SD345）に読み替えた許容応力度を示す。

4.4 解析モデル及び諸元

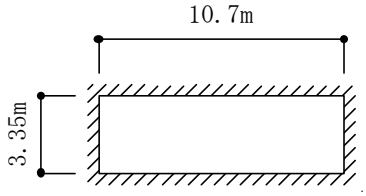
4.4.1 モデル化の基本方針

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

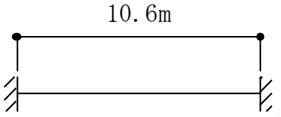
スラブの解析モデルは，天井スラブ及び床スラブ①については，四辺固定版として評価する。床スラブ②及び床スラブ③については，梁方向に連続した開口を有するため，単位幅について壁で支持された両端固定梁として評価する。スラブの解析モデルを図 4-2 に示す。



(a) 天井スラブ



(b) 床スラブ①



(c) 床スラブ②及び床スラブ③

図 4-2 解析モデル

4.4.2　解析諸元

使用材料（鉄筋コンクリート）の物性値を表 4-8 に示す。

表 4-8　鉄筋コンクリートの物性値

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	2.21×10^4	0.2

4.5　評価方法

4.5.1　応力解析方法

(1)　荷重ケース

作用荷重のうち地震荷重は，固定荷重及び積載荷重と同じ下向きに作用する場合に生じる応力が最大となるため，地震荷重は鉛直下向きの場合のみ考慮する。

(2)　長期荷重の算出方法

長期荷重時の端部モーメント，中央モーメント及びせん断力の算出方法は下式の通り算出する。長期荷重時の端部モーメント，中央モーメント及びせん断力を表 4-9 に示す。

（四辺固定版）

・長期荷重時の短辺の端部モーメント（M_{X1}）

$$M_{X1}=-\frac{1}{12}w_X\cdot l_X{}^2$$

・長期荷重時の短辺の中央モーメント（M_{X2}）

$$M_{X2}=\frac{1}{18}w_X\cdot l_X{}^2$$

・長期荷重時の短辺のせん断力（Q_X）

$$Q_X=0.52w\cdot l_X$$

・長期荷重時の長辺の端部モーメント（M_{Y1}）

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

・長期荷重時の長辺の中央モーメント（M_{Y2}）

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

・長期荷重時の長辺のせん断力（Q_Y）

$$Q_Y=0.46w\cdot l_X$$

ここで，

l_X　：短辺有効スパン（m）

l_Y　：長辺有効スパン（m）

w　：単位面積あたりの長期荷重（kN/m²）

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

（両端固定梁）

・長期荷重時の端部モーメント（M_E）

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

・長期荷重時の中央モーメント（M_C）

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

・長期荷重時の端部せん断力（Q_E）

$$Q_E = 0.5 w \cdot l$$

ここで，

l　：有効スパン（m）

w　：単位面積あたりの長期荷重（kN/m²）

表 4-9　長期荷重時の端部モーメント，中央モーメント及びせん断力

部　位	スラブ厚 (mm)	方　向	端部モーメント (kN･m/m)	中央モーメント (kN･m/m)	せん断力 (kN/m)
天井スラブ	500	短辺（EW）	83.4	55.6	88.5
		長辺（NS）	49.6	33.1	78.2
床スラブ①	500	短辺（NS）	31.4	20.9	59.1
		長辺（EW）	15.9	10.6	52.2
床スラブ②	500	長辺（NS）	317.4	158.7	179.7
床スラブ③	500	長辺（EW）	317.4	158.7	179.7

(3)　応力の算出方法

「(2)　長期荷重の算出方法」における長期荷重時の端部モーメント，中央モーメント及びせん断力を，中央制御室天井直上階レベル（EL.29.0 m，質点番号 6）及び中央制御室床直上階レベル（EL.20.3 m，質点番号 7）の鉛直方向最大応答加速度より算出した鉛直震度により係数倍することで算出する。鉛直方向最大応答加速度を表 4-10 に，算出した端部モーメント，中央モーメント及びせん断力を表 4-11 に示す。

表 4-10　地震応答解析による最大応答加速度

(a) 弾性設計用地震動Ｓ$_d$

部　位	質点番号	基　本*1 (cm/s^2)	地盤 ＋σ相当*2 (cm/s^2)	地盤 －σ相当*2 (cm/s^2)	最大値 (cm/s^2)
天　井	6	334	359	305	359
床	7	291	315	278	315

注記　*1：Ｓ$_d$－Ｄ１，Ｓ$_d$－１１，Ｓ$_d$－１２，Ｓ$_d$－１３，Ｓ$_d$－１４，Ｓ$_d$－２１，Ｓ$_d$－２２及びＳ$_d$－３１の最大値
*2：Ｓ$_d$－Ｄ１，Ｓ$_d$－２１，Ｓ$_d$－２２及びＳ$_d$－３１の最大値

(b) 基準地震動Ｓ$_s$

部　位	質点番号	基　本*1 (cm/s^2)	地盤 ＋σ相当*2 (cm/s^2)	地盤 －σ相当*2 (cm/s^2)	最大値 (cm/s^2)
天　井	6	633	690	556	690
床	7	547	603	510	603

注記　*1：Ｓ$_s$－Ｄ１，Ｓ$_s$－１１，Ｓ$_s$－１２，Ｓ$_s$－１３，Ｓ$_s$－１４，Ｓ$_s$－２１，Ｓ$_s$－２２及びＳ$_s$－３１の最大値
*2：Ｓ$_s$－Ｄ１，Ｓ$_s$－２１，Ｓ$_s$－２２及びＳ$_s$－３１の最大値

表 4-11　鉛直震度より算出した端部モーメント，中央モーメント及びせん断力

(a) 弾性設計用地震動Ｓ$_d$

部　位	検討用 鉛直震度	方　向	端部モーメント (kN･m/m)	中央モーメント (kN･m/m)	せん断力 (kN/m)
天井スラブ	1.37	短辺 (EW)	114.3	76.2	121.2
		長辺 (NS)	68.0	45.3	107.1
床スラブ①	1.33	短辺 (NS)	41.8	27.8	78.6
		長辺 (EW)	21.1	14.1	69.4
床スラブ②	1.33	長辺 (NS)	422.1	211.1	239.0
床スラブ③	1.33	長辺 (EW)	422.1	211.1	239.0

(b) 基準地震動Ｓ$_s$

部　位	検討用 鉛直震度	方　向	端部モーメント (kN･m/m)	中央モーメント (kN･m/m)	せん断力 (kN/m)
天井スラブ	1.71	短辺 (EW)	142.6	95.1	151.3
		長辺 (NS)	84.8	56.6	133.7
床スラブ①	1.62	短辺 (NS)	50.9	33.9	95.7
		長辺 (EW)	25.8	17.2	84.6
床スラブ②	1.62	長辺 (NS)	514.2	257.1	291.1
床スラブ③	1.62	長辺 (EW)	514.2	257.1	291.1

4.5.2　断面の評価方法

(1)　曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は，「ＲＣ－Ｎ規準」に基づき，評価対象部位に生じる曲げモーメントが，短期許容曲げモーメントを超えないことを確認する。

$M_A = a_t \cdot f_t \cdot j$

ここで，

M_A　：短期許容曲げモーメント（N･mm）

a_t　：引張鉄筋断面積（mm^2）

f_t　：引張鉄筋の短期許容引張応力度（N/mm^2）

j　：断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値（mm）

(2)　面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は，「ＲＣ－Ｎ規準」に基づき，評価対象部位に生じる面外せん断力が，次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

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

ここで，

Q_A　：許容面外せん断力（N）

b　：断面の幅（mm）

j　：断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値（mm）

α　：許容せん断力の割り増し係数

（2 を超える場合は 2，1 未満の場合は 1 とする。）

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

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）

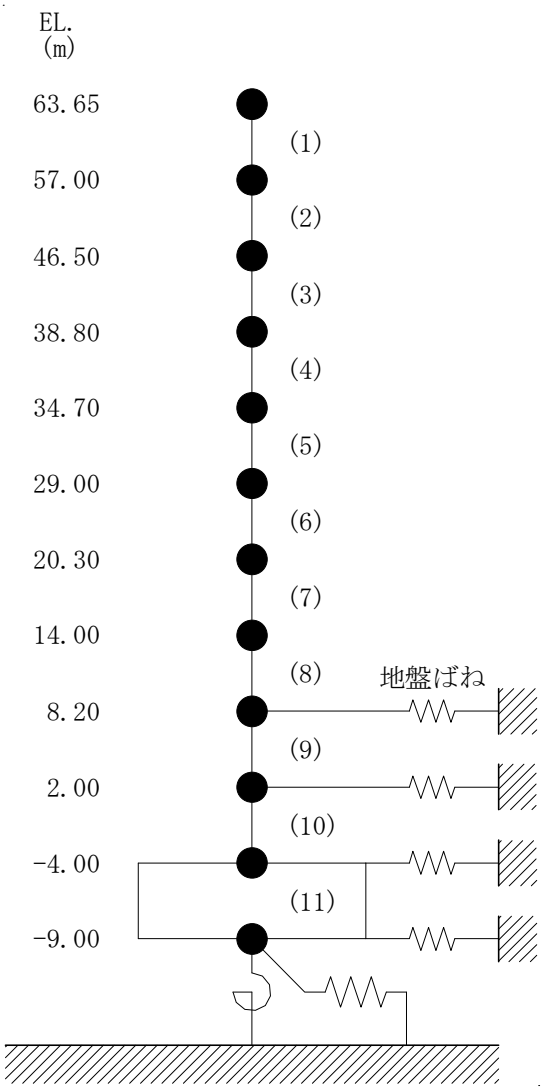
f_s　：コンクリートの短期許容せん断応力度で，表 4-6 に示す値（N/mm^2）

5. 評価結果

5.1 地震応答解析による評価結果

鉄筋コンクリート造耐震壁について，Ｓ$_s$地震時の各層の最大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。

地盤物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみは0.56×10^{-3}（要素番号（7），地盤＋σ相当，EW 方向，Ｓ$_s$－３１）であり，許容限界（2.0×10^{-3}）を超えないことを確認した。質点系モデルを図 5-1 に，地盤物性のばらつきを考慮した要素番号（7），EW 方向のせん断スケルトンカーブと最大応答値を図 5-2 に示す。



注　：（　）内は要素番号を示す。

図 5-1　質点系モデル（水平方向）

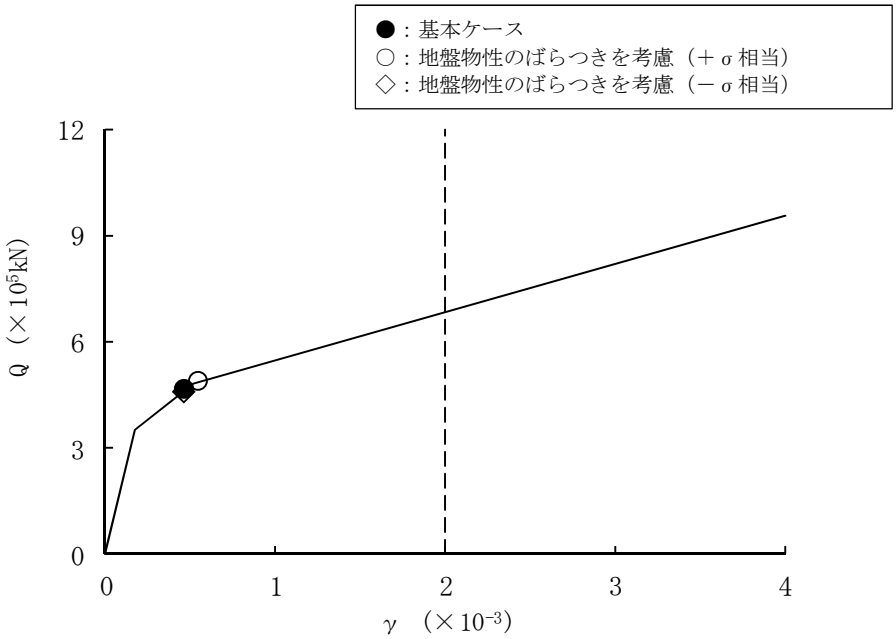


図 5-2　せん断スケルトンカーブと最大応答値（要素番号（7），EW 方向，Ｓ$_s$－３１）

5.2　応力解析による評価結果

スラブの配筋一覧を表 5-1 に示す。また，「4.5.2　断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を表 5-2～表 5-5 に示す。

Ｓ$_d$地震時及びＳ$_s$地震時において，発生値が許容値を超えないことを確認した。

表 5-1　スラブの配筋

(a) 天井（EL.23.0 m）

部材	方向	上端筋	断面積 (mm^2/m)	下端筋	断面積 (mm^2/m)
S2	NS	D19@200	1433	D19@200	1433
	EW	D19@200	1433	D19@200	1433

(b) 床（EL.18.0 m）

部材	方向	上端筋	断面積 (mm^2/m)	下端筋	断面積 (mm^2/m)
S1	NS	D19@200	1433	D19@200	1433
	EW	D19@200	1433	D19@200	1433
S1a	NS	D32@140	5673	D32@140	5673
	EW	D19@200	1433	D19@200	1433
S1b	NS	D19@200	1433	D19@200	1433
	EW	D32@140	5673	D32@140	5673

表 5-2　評価結果（天井スラブ，弾性設計用地震動Ｓ$_d$）

方　向		EW 方向	NS 方向
厚さｔ（mm）×幅ｂ（mm）		500×1000	
有効せい　ｄ（mm）		400	
配　筋	上　端	D19@200 (1433 mm^2)	D19@200 (1433 mm^2)
	下　端	D19@200 (1433 mm^2)	D19@200 (1433 mm^2)
発生曲げモーメント　M（kN･m）		114.3	68.0
許容値　M_A（kN･m）		173	173
検定値　M/M_A		0.67	0.40
発生せん断力　Q（kN）		121.2	107.1
せん断スパン比による割増係数　α		1.19	1.55
許容値　Q_A（kN）		441	575
検定値　Q/Q_A		0.28	0.19
判　定		可	可

表 5-3（1／3）　評価結果（床スラブ①，弾性設計用地震動Ｓ$_d$）

方　向		EW 方向	NS 方向
厚さｔ（mm）×幅ｂ（mm）		500×1000	
有効せい　ｄ（mm）		400	
配　筋	上　端	D19@200 （1433 mm^2）	D19@200 （1433 mm^2）
	下　端	D19@200 （1433 mm^2）	D19@200 （1433 mm^2）
発生曲げモーメント　M（kN･m）		41.8	21.1
許容値　M_A（kN･m）		173	173
検定値　M/M_A		0.25	0.13
発生せん断力　Q（kN）		78.6	69.4
せん断スパン比による割増係数　α		1.72	2.00
許容値　Q_A（kN）		638	742
検定値　Q/Q_A		0.13	0.10
判　定		可	可

表 5-3（2／3）　評価結果（床スラブ②，弾性設計用地震動Ｓ$_d$）

方　向		NS 方向
厚さｔ（mm）×幅ｂ（mm）		500×1000
有効せい　ｄ（mm）		400
配　筋	上　端	D32@140 (5673 mm^2)
	下　端	D32@140 (5673 mm^2)
発生曲げモーメント　M（kN･m）		422.1
許容値　M_A（kN･m）		685
検定値　M/M_A		0.62
発生せん断力　Q（kN）		239.0
せん断スパン比による割増係数　α		1.00
許容値　Q_A（kN）		371
検定値　Q/Q_A		0.65
判　定		可

表 5-3（3／3）　評価結果（床スラブ③，弾性設計用地震動Ｓ$_d$）

方　向		EW 方向
厚さｔ（mm）×幅ｂ（mm）		500×1000
有効せい　ｄ（mm）		400
配　筋	上　端	D32@140 (5673 mm^2)
	下　端	D32@140 (5673 mm^2)
発生曲げモーメント　M（kN･m）		422.1
許容値　M_A（kN･m）		685
検定値　M/M_A		0.62
発生せん断力　Q（kN）		239.0
せん断スパン比による割増係数　α		1.00
許容値　Q_A（kN）		371
検定値　Q/Q_A		0.65
判　定		可

表 5-4　評価結果（天井スラブ，基準地震動Ｓ$_s$）

方　向		EW 方向	NS 方向
厚さｔ（mm）×幅ｂ（mm）		500×1000	
有効せい　ｄ（mm）		400	
配　筋	上　端	D19@200 (1433 mm^2)	D19@200 (1433 mm^2)
	下　端	D19@200 (1433 mm^2)	D19@200 (1433 mm^2)
発生曲げモーメント　M（kN･m）		142.6	84.8
許容値　M_A（kN･m）		173	173
検定値　M/M_A		0.83	0.50
発生せん断力　Q（kN）		151.3	133.7
せん断スパン比による割増係数　α		1.19	1.55
許容値　Q_A（kN）		441	575
検定値　Q/Q_A		0.35	0.24
判　定		可	可

表 5-5（1／3）　評価結果（床スラブ①，基準地震動Ｓ$_s$）

方　向		EW 方向	NS 方向
厚さｔ（mm）×幅ｂ（mm）		500×1000	
有効せい　ｄ（mm）		400	
配　筋	上　端	D19@200 （1433 mm^2）	D19@200 （1433 mm^2）
	下　端	D19@200 （1433 mm^2）	D19@200 （1433 mm^2）
発生曲げモーメント　M（kN･m）		50.9	25.8
許容値　M_A（kN･m）		173	173
検定値　M/M_A		0.30	0.15
発生せん断力　Q（kN）		95.7	84.6
せん断スパン比による割増係数　α		1.72	2.00
許容値　Q_A（kN）		638	742
検定値　Q/Q_A		0.15	0.12
判　定		可	可

表 5-5（2／3）　評価結果（床スラブ②，基準地震動Ｓ$_s$）

方　向		NS 方向
厚さｔ（mm）×幅ｂ（mm）		500×1000
有効せい　ｄ（mm）		400
配　筋	上　端	D32@140 (5673 mm^2)
	下　端	D32@140 (5673 mm^2)
発生曲げモーメント　M（kN･m）		514.2
許容値　M_A（kN･m）		685
検定値　M/M_A		0.76
発生せん断力　Q（kN）		291.1
せん断スパン比による割増係数　α		1.00
許容値　Q_A（kN）		371
検定値　Q/Q_A		0.79
判　定		可

表 5-5（3／3）　評価結果（床スラブ③，基準地震動Ｓ$_s$）

方　向		EW 方向
厚さｔ（mm）×幅ｂ（mm）		500×1000
有効せい　ｄ（mm）		400
配　筋	上　端	D32@140 (5673 mm^2)
	下　端	D32@140 (5673 mm^2)
発生曲げモーメント　M（kN･m）		514.2
許容値　M_A（kN･m）		685
検定値　M/M_A		0.76
発生せん断力　Q（kN）		291.1
せん断スパン比による割増係数　α		1.00
許容値　Q_A（kN）		371
検定値　Q/Q_A		0.79
判　定		可

別紙１　中央制御室の気密性に関する計算書

目次

1.　概要 ･･ 別紙 1-1
2.　既往の知見等の整理 ･･ 別紙 1-1
3.　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 ･･････････････････ 別紙 1-3
3.1　検討方針 ･･ 別紙 1-3
3.2　空気漏えい量の算定結果 ･･ 別紙 1-5
3.3　総漏えい量と空気流入率の比較 ･･ 別紙 1-6
3.4　検討結果 ･･ 別紙 1-6
4.　まとめ ･･ 別紙 1-6

1. 概要

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（昭和53年9月制定）におけるＡクラスの施設の気密性について，原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１－1987（(社）日本電気協会）（以下「ＪＥＡＧ４６０１－1987」という。）では，S_1地震動に対し弾性範囲であることを確認することで，機能が維持されるとしている。

添付書類「Ｖ-2-1-9　機能維持の基本方針」の機能維持の設計方針では，耐震壁のせん断ひずみが概ね弾性状態にとどまることを基本としたうえで，概ね弾性状態を超える場合は，地震応答解析による耐震壁のせん断ひずみから算定した空気漏えい量が，設置する換気設備の性能を下回ることで必要な気密性を維持する設計としている。その場合，気密性を要求される施設に対し，基準地震動S_sによる鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界を最大せん断ひずみ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，鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界として設定した最大せん断ひずみ2.0×10^{-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，中央制御室空調装置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，ＪＥＡＧ４６０１－1987による許容限界の目安値（S_2地震時に対してせん断変形角2/1000 rad，静的地震力に対して$\tau=\tau_u/1.5$）において想定されるひび割れを残留ひび割れと仮定した場合の外気侵入量を算出し，気圧差維持のためのファン容量と比較することで，空気漏えい量に対する評価を実施している。その結果「残留ひび割れからの外気侵入量は，ファン容量に比較すると無視できるほど小さいことが明らかになった」としている。

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

したがって，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。

$$Q = C\gamma^{2.57}\Delta P/T \qquad \cdots(式\ 5.3.1\text{-}4)$$

ここで，

Q　：単位面積あたりの流量（L/min/m^2）

C　：定数

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

γ　：最大せん断ひずみ

ΔP：差圧（mmAq）

T　：壁厚（cm）

$$\Delta_Q = \left\{(\alpha^2-1)\left(\frac{Q'}{Q_0}-1\right)-1\right\}\beta+1 \qquad \cdots(式\ 6.2.4\text{-}31)$$

ここで，

Δ_Q　：通気量割増率

α　：通気量割増範囲（＝3）

$\frac{Q'}{Q_0}$　：定数

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

β　：壁の見付け面積に対する開口の総面積

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

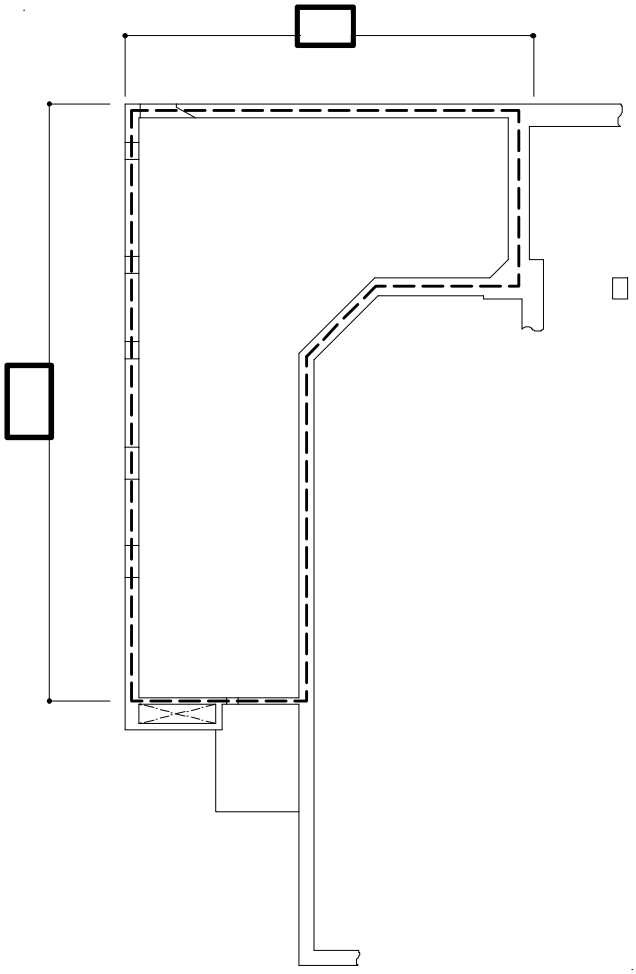
＊2：財団法人 原子力発電技術機構「耐震安全解析コード改良試験 原子炉建屋の弾塑性試験 試験結果の評価に関する報告書 平成５年度」

3. 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

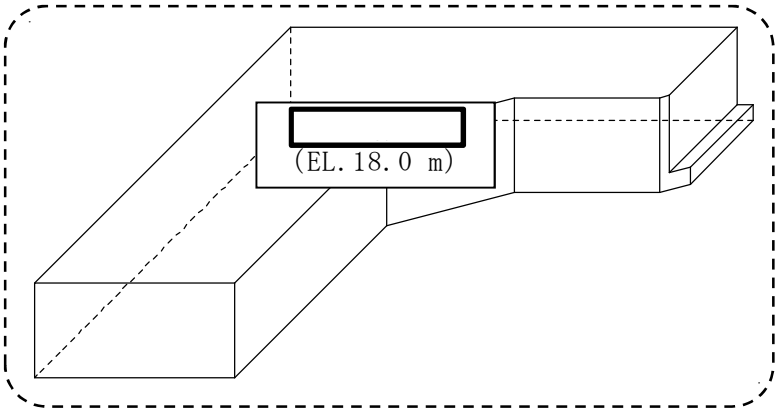
「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に基づき，式 5.3.1-4 及び式 6.2.4-31 により中央制御室バウンダリを構成する壁の最大せん断ひずみが許容限界（2.0×10^{-3}）に達したときの空気漏えい量を算定し，空気流入率を超えないことを確認する。

中央制御室バウンダリの概略図を図 3-1 に示す。中央制御室バウンダリ（EL.18.0 m～EL.23.0 m）を構成する壁の壁厚は約 40 cm から約 140 cm である。



：評価対象範囲

(a) の概略平面図（EL. 18.0 m）



：評価対象範囲

(b) の概要

図 3-1 の概略図

3.2 空気漏えい量の算定結果

中央制御室バウンダリの空気漏えい量を算定した。本検討は，地震応答解析のせん断ひずみの許容限界として最大せん断ひずみ 2.0×10^{-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（[redacted]）

高さ	定数		最大せん断ひずみ γ	差圧*1 ΔP (mmAq)	壁厚 T (cm)	壁の面積*2 A (m^2)	漏えい量 Q ($L/min/m^2$)	壁の見付け面積に対する開口の総面積 β	通気量割増率 Δ_Q	総漏えい量 $Q\times A\times\Delta_Q$ (L/min)
	C	$\frac{Q'}{Q_0}$								
[redacted] (EL.23.0 m ～ EL.18.0 m)	1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	7.5	40	57.2	0.26	0.088	5.43	81
					90	444.8	0.12	0.060	4.02	215
					100	100.8	0.11	0.000	1.00	12
					120	27.7	0.09	0.000	1.00	3
					140	57.2	0.08	0.000	1.00	5
									合計	316

注記 ＊1：試運転時の試験結果を基に，保守的な値とする。

＊2：[redacted]を構成する壁の総面積を用いる。

3.3　総漏えい量と空気流入率の比較

中央制御室バウンダリの総漏えい量と空気流入率を表 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 1%程度であることを確認した。

表 3-2　総漏えい量と空気流入率の比較

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)
0.01*1	1.0*2

注記　＊1：総漏えい量を中央制御室の被ばく評価適用値を切り下げた中央制御室バウンダリ内体積である 2800 m^3*2 を用いて，空気流入率に換算

＊2：添付書類「Ⅴ-1-7-3　中央制御室の居住性に関する説明書」より抜粋

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換気回数は，被ばく評価に用いる換気回数より小さいことを確認した。

よって，中央制御室バウンダリは，耐震壁の許容限界を最大せん断ひずみ 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最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を適用した場合において，換気性能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，最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を用いることの適用性を確認した。

別紙２　原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した検討

（中央制御室遮蔽）

目次

1. 概要 ..... 別紙 2-1
2. 検討方針 ..... 別紙 2-1
3. 検討結果 ..... 別紙 2-3
4. まとめ ..... 別紙 2-4

1.　概要

原子炉建屋の設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答増幅の影響についての検討を行う。

添付書類「Ｖ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書　別紙　原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」に示した地震応答解析結果の応答比率を用いて，中央制御室遮蔽の地震応答解析及び応力解析による評価結果への影響を検討する。

2.　検討方針

中央制御室遮蔽を対象として，設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率と地震応答解析によるせん断ひずみの評価結果及び応力評価結果より影響検討を行う。

せん断ひずみの評価は，中央制御室の耐震壁レベルにあたる EL.18.0ｍ～EL.23.0ｍに位置する要素番号(6)及び要素番号(7)の応答比率を乗じた最大応答せん断ひずみが許容値を超えないことを確認する。

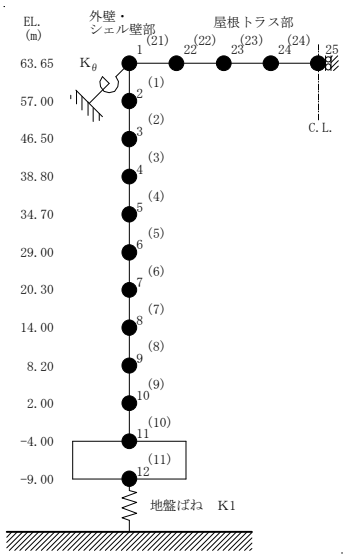
また，中央制御室遮蔽は，中央制御室遮蔽を構成する天井スラブ及び床スラブの鉛直震度として，中央制御室天井直上階レベル(EL.29.0ｍ,質点番号 6)及び中央制御室床直上階レベル(EL.20.3ｍ，質点番号 7）の鉛直方向最大応答加速度より算出した値を考慮することから，天井スラブは質点番号 6，床スラブは質点番号 7 の最大応答加速度の応答比率を割増係数として設定し，応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

表 1-1 に応力評価に用いる質点番号 6 及び質点番号 7 の鉛直方向最大応答加速度の応答比率及び割増係数を示す。

表 1-1　重量増加を考慮した応力評価の割増係数：中央制御室遮蔽

	割増係数	備考
天井スラブ	1.00*	質点番号 6
床スラブ	1.00*	質点番号 7

注記　＊：添付書類「Ⅴ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書　別紙　原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」に示す質点番号 6 及び質点番号 7 の鉛直方向最大応答加速度の応答比率



UD 方向

3.　検討結果

地震応答解析による評価では，設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した割増係数を乗じた最大せん断ひずみは,添付書類「Ⅴ-2-2-1　原子炉建屋の地震応答計算書　別紙　原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」の 4.3 項に示す 0.62×10^{-3}（要素番号（7），EW 方向）であり，許容限界（2.0×10^{-3}）を超えないことを確認した。

応力評価結果については中央制御室遮蔽に乗じる割増係数が 1.00 であり,重量増加を考慮した場合においても，評価に有意な影響がないことを確認した。

4.　まとめ

原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析に基づき影響検討を行い，重量増加を考慮した場合においても安全上問題とならないことを確認した。