

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-025-13改01
提出年月日	2023年3月22日

1号機原子炉建物の耐震性についての計算書に
関する補足説明資料

2023年3月

中国電力株式会社

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

VI-2-11-2-1-1「1号機原子炉建物の耐震性についての計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

今回提出範囲：

別紙1 地震応答解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

別紙1-1 地盤3次元FEMモデルによる地震応答解析について

別紙1-2 地震応答解析モデルの回転ばねの算定について

別紙2 地震応答解析における耐震壁及び鉄骨架構のせん断スケルトン曲線の設定

別紙3 1号機原子炉建物の地震応答解析結果

別紙4 地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討

別紙4-1 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定について

別紙4-2 材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

別紙5 地震応答解析モデルの選定プロセス

別紙6 オペフロ上部外壁の面外加速度応答に対する検討

別紙 1-1 地盤 3 次元 F E M モデルによる地震応答解析
について

目 次

1. 概要	別紙 1-1-1
2. 地盤 3 次元 F E Mモデルのモデル化方法	別紙 1-1-2
3. 入力地震動の補正方法	別紙 1-1-6

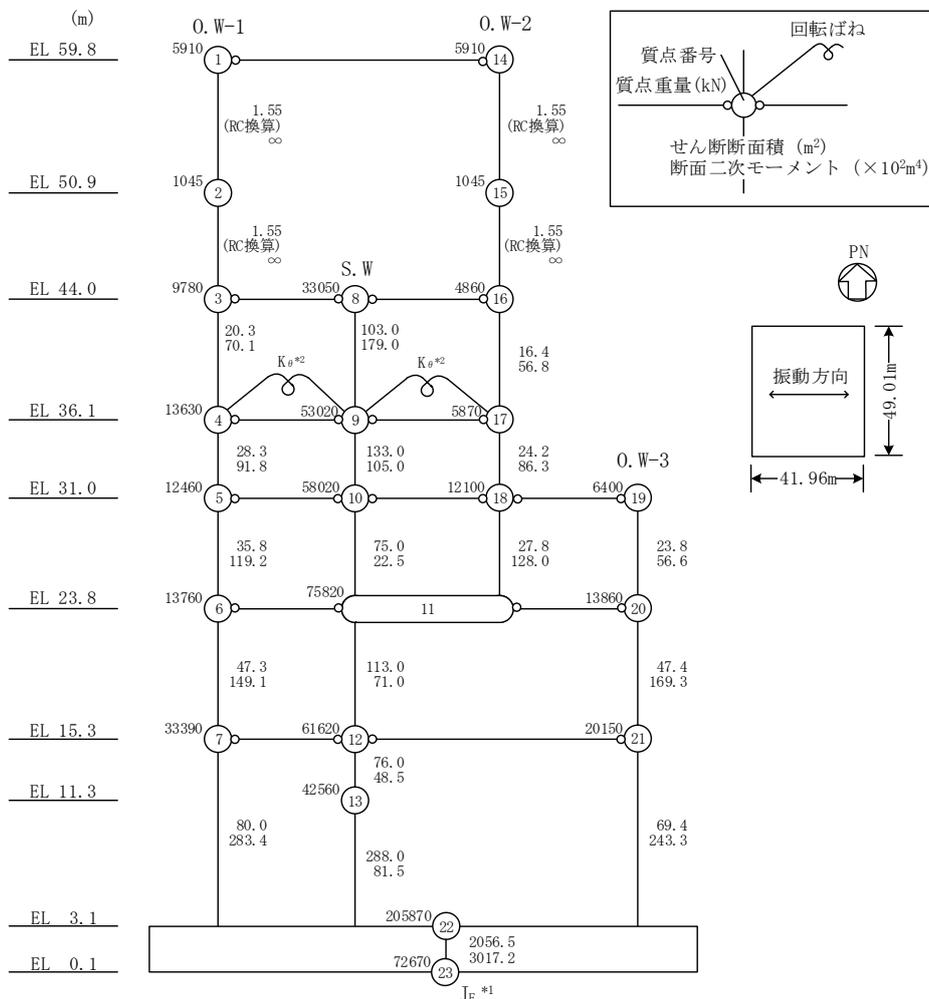
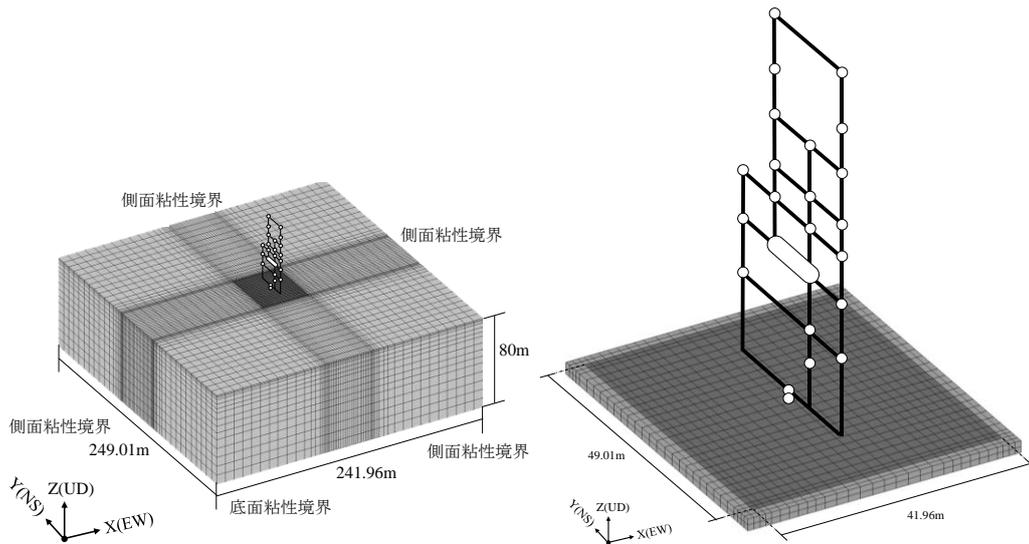
1. 概要

1号機原子炉建物の基準地震動 S_s に対する地震応答解析においては、地盤を3次元FEMでモデル化した地震応答解析モデルを用いており、基礎底面レベルにおける地盤の応答が一次元波動論及び2次元FEM地盤モデルにより算定した入力地震動と一致するように補正した地震動を、地盤モデル底面に入力して評価している。本資料では、地盤3次元FEMモデルのモデル化方法及び入力地震動の補正方法について説明する。

2. 地盤 3次元FEMモデルのモデル化方法

地震応答解析モデルを図 2-1 に示す。図 2-1 のモデルにおける地盤は、成層補正後の物性値を用いて等価な一様地盤とし、3次元FEMでモデル化する。

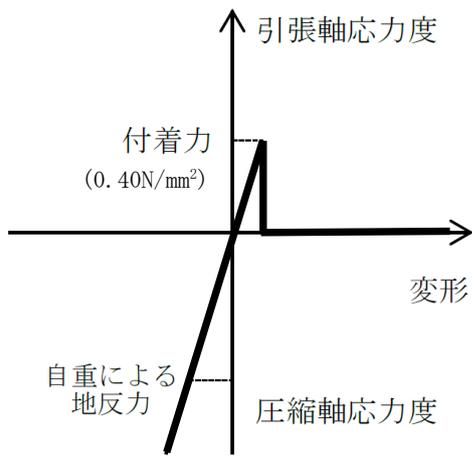
なお、基礎底面と地盤の各節点の間には付着力 0.40N/mm^2 を考慮したジョイント要素を設けることにより基礎の浮上りを評価する。付着力を考慮したジョイント要素の鉛直方向の応力-変形関係を図 2-2 に示す。ジョイント要素は鉛直方向の引張力が付着力 0.40N/mm^2 を超過した時に剥離し、鉛直方向及びせん断方向ともに応力を伝達しない条件とする。また、一旦付着力を超過した後は、引張力が正となった場合に鉛直方向及びせん断方向ともに応力を伝達しない条件とする。基礎底面のジョイント要素のばね定数は、鉛直方向及びせん断方向ともに解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として、振動アドミタンス理論で求めた地盤ばねの 50 倍程度の値を設定している。



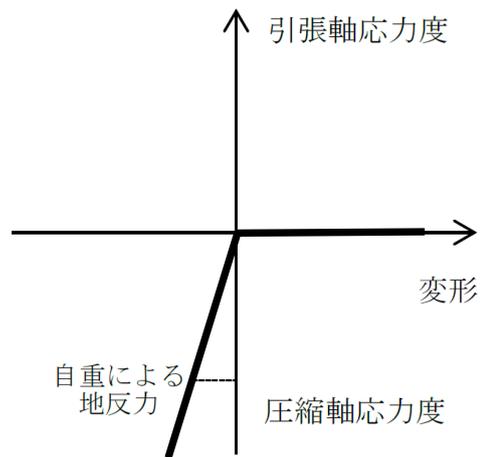
注記*1: 回転慣性重量 (12.77 × 10⁷ kN · m²)

*2: 燃料プール壁の回転ばね (2.329 × 10⁹ kN · m/rad)

図 2-1(2) 地震応答解析モデル (EW方向)

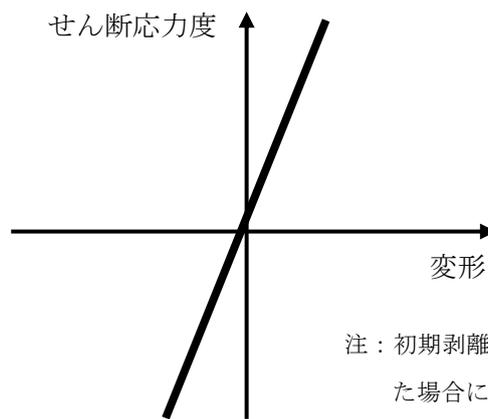


(a) 初期剥離以前



(b) 初期剥離以後

(鉛直方向)



注：初期剥離以後は引張力が正となった場合に応力を伝達しない条件とする。

(せん断方向)

図 2-2 付着力を考慮したジョイント要素の応力-変形関係

3. 入力地震動の補正方法

地震応答解析モデルへの入力地震動は、地盤を 3 次元 FEM でモデル化していることから、以下に示す手順で基礎底面レベルにおける地盤の応答が一次元波動論及び 2 次元 FEM 地盤モデルに基づく評価により算定した入力地震動と一致するように補正し、補正した地震動を 3 次元 FEM モデル底面に入力する。図 3-1 に、入力地震動の補正方法を示す。

- 手順① 解放基盤表面以深の地盤を 1 次元地盤としてモデル化し、一次元波動論に基づく評価により、EL-215m の入射波を算定する。算定した EL-215m の入射波を 2 次元地盤に入力して有限要素法による応答計算を行い、建物基礎底面での地盤応答を評価して入力地震動とする。
- 手順② 手順①で算定した入力地震動の時刻歴のフーリエ変換に、地盤 3 次元 FEM モデル底面 (EL-79.9m) から建物基礎底面位置 (EL 0.1m) への伝達関数の逆数を周波数領域で乗じることにより、地盤 3 次元 FEM モデル底面での補正波を算定する。

地盤 3 次元 FEM モデル底面に入力する地震動の算定には、解析コード「SHAKE」、
「SUPERFLUSH」及び「NAPISOS」を用いる。

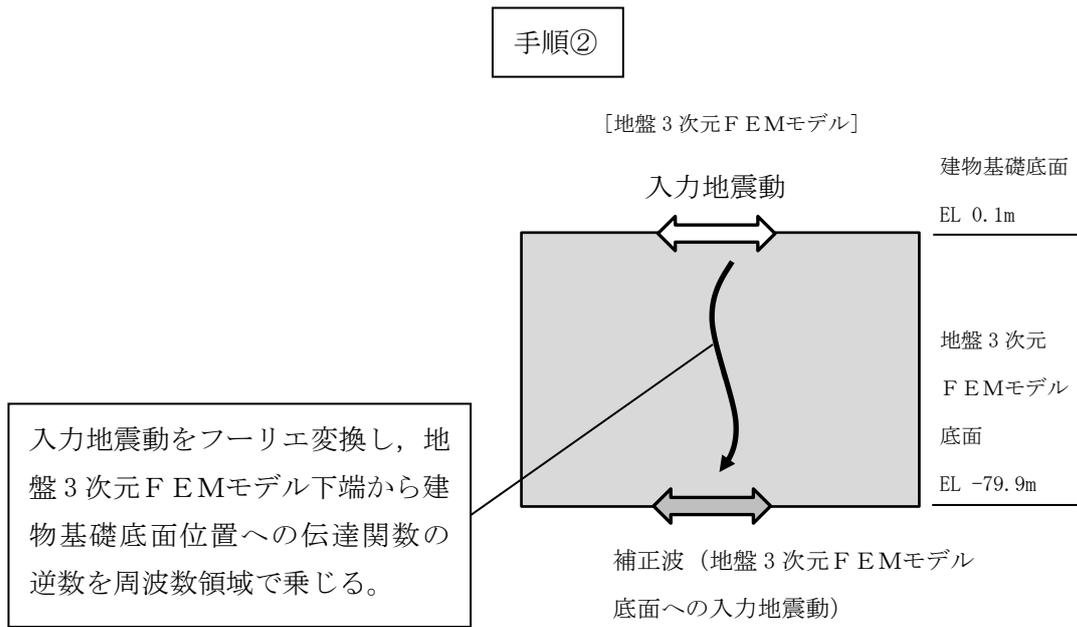
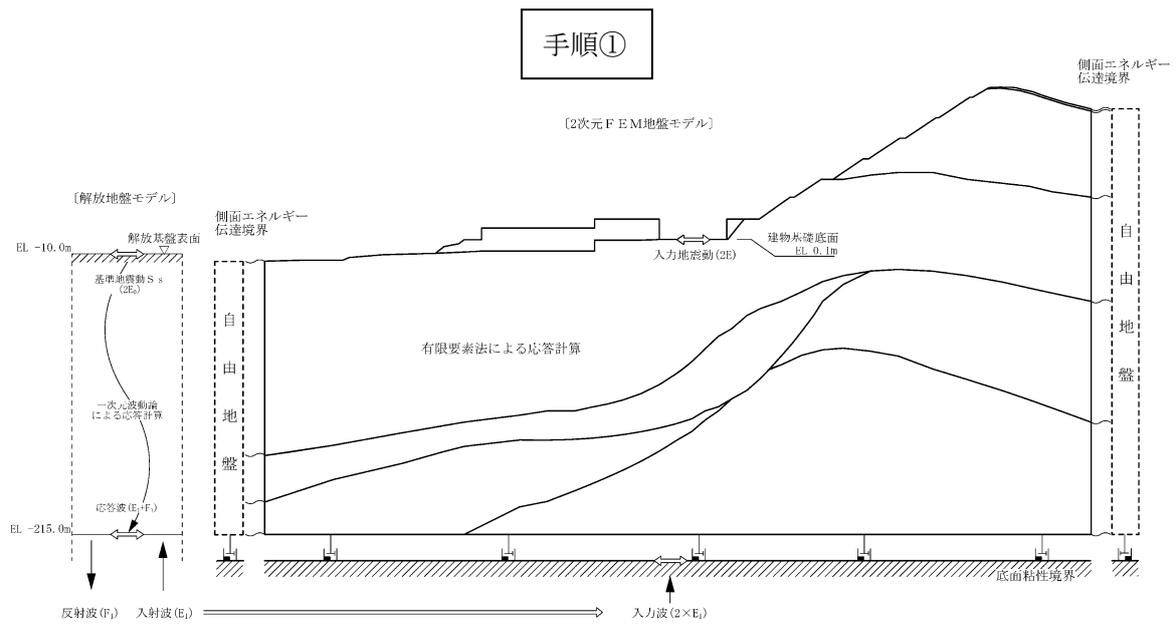


図 3-1 地盤 3次元 FEMモデルへの入力地震動の補正方法

別紙 5 地震応答解析モデルの選定プロセス

目 次

1. 概要	別紙 5-1
2. 地震応答解析モデルの選定プロセス	別紙 5-2
2.1 基準地震動 S_s の評価に用いる地震応答解析モデルの選定	別紙 5-4

1. 概要

1号機原子炉建物の地震応答解析は、基準地震動 S_s に対してジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルにより評価を行っている。本資料では、地震応答解析モデルを選定したプロセスについて説明する。

2. 地震応答解析モデルの選定プロセス

島根2号機の建物・構築物（波及的影響に係る施設を含む）の地震応答解析モデルは、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に示される浮上り非線形地震応答解析により基準地震動 S_s に対して接地率を算定することを基本とし、「NS2-補-023-10 建物の地震応答解析モデル（地震応答解析モデルにおける建物基礎底面の付着力）」に示す島根2号機における各建物の地震応答解析モデルの選定フローに基づき選定している。島根2号機における各建物の地震応答解析モデルの選定フローを図2-1に示す。

なお、地震動や方向による地震応答解析モデルの使い分けはせず同一モデルを用いる方針とする。

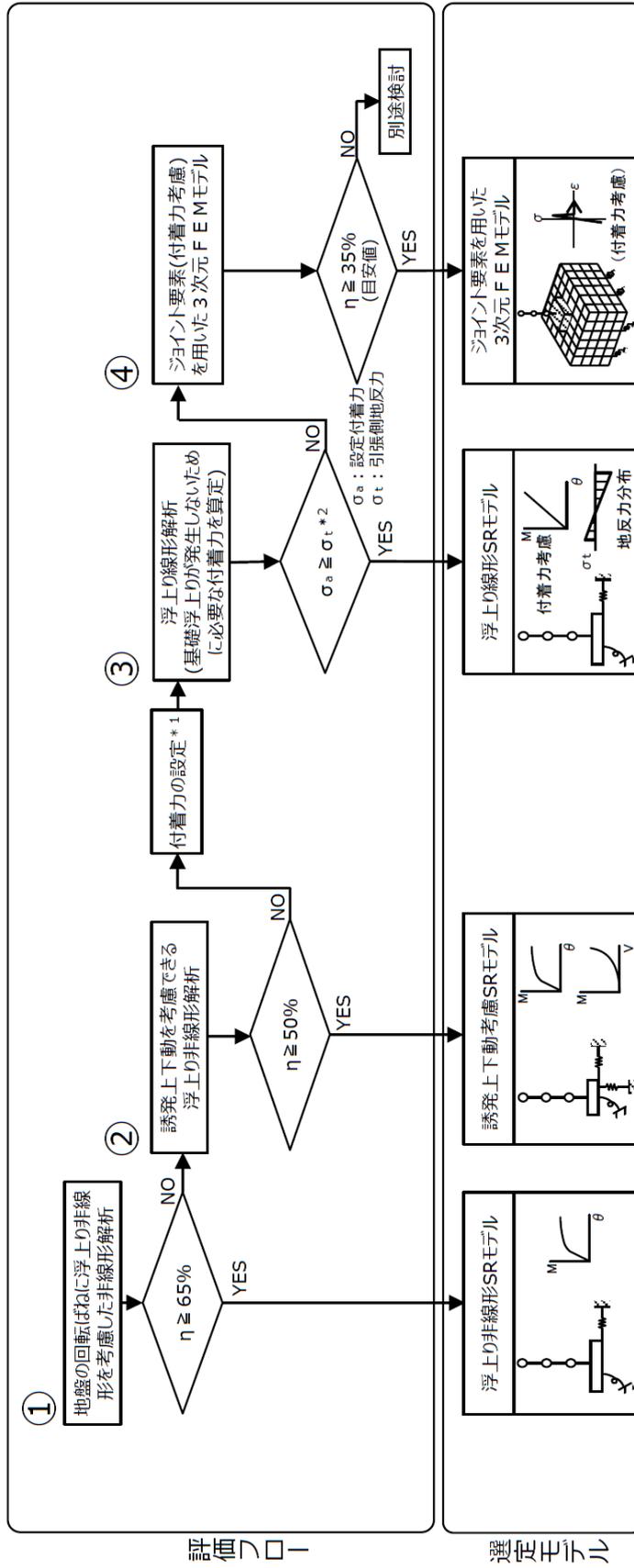


図 2-1 島根 2 号機における各建物の地震応答解析モデルの選定フロー

2.1 基準地震動 S_s の評価に用いる地震応答解析モデルの選定

1号機原子炉建物の基準地震動 S_s の評価に用いる地震応答解析モデルについて、図2-1の評価フローに基づき、接地率が小さくなる傾向にある基準地震動 S_s-D で代表して検討した結果を表2-1に示す。①～③のモデルによる解析結果が適用範囲を満足しないことから、④ジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルを採用する。④による検討結果のうち接地率を別紙4-2「材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果」に示す。

表2-1 各地震応答解析モデルでの基準地震動 S_s に対する検討結果

方向	基準地震動 S_s-D		
	① 浮上り非線形 SRモデル	② 誘発上下動考慮 SRモデル	③ 浮上り線形 SRモデル (付着力考慮)
	接地率(%)	接地率(%)	必要付着力(N/mm ²)
NS	59.7	61.8	0.274
EW	41.6	44.1	0.403

別紙6 オペフロ上部外壁の面外加速度応答に対する検討

目 次

1. 概要	別紙 6-1
2. 評価方針	別紙 6-2
2.1 評価対象部位	別紙 6-2
2.2 解析モデル及び入力地震動	別紙 6-4
2.3 評価方法	別紙 6-8
3. 評価結果	別紙 6-9

1. 概要

1号機原子炉建物の地震応答解析においてオペフロレベル（EL 44.0m）上部で局所的に大きな加速度応答が生じている。本資料は、オペフロレベル上部の外壁について、面外方向の加速度応答に対する検討を実施するものである。

2. 評価方針

2.1 評価対象部位

検討対象は、上位クラス施設である廃棄物処理建物に波及的影響を及ぼすおそれのあるオペフロレベル上部の西側の外壁とする。なお、1号機原子炉建物と上位クラス施設は35m以上の離隔距離が確保されていることから、外装材の脱落による影響はないと判断し、本評価においては、外装材を除く鉄骨部材を検討対象とする。

図2-1に検討対象のオペフロレベル上部の外壁を示す。

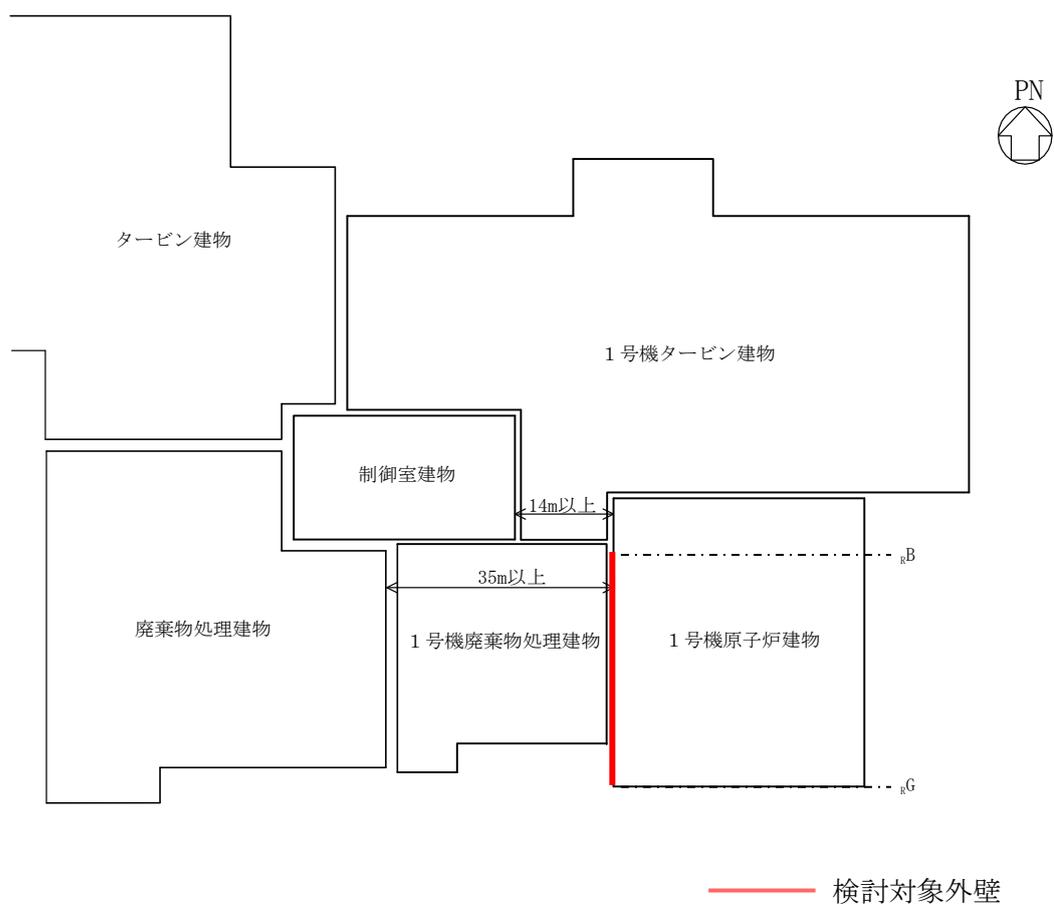


図2-1(1) 検討対象のオペフロレベル上部の外壁

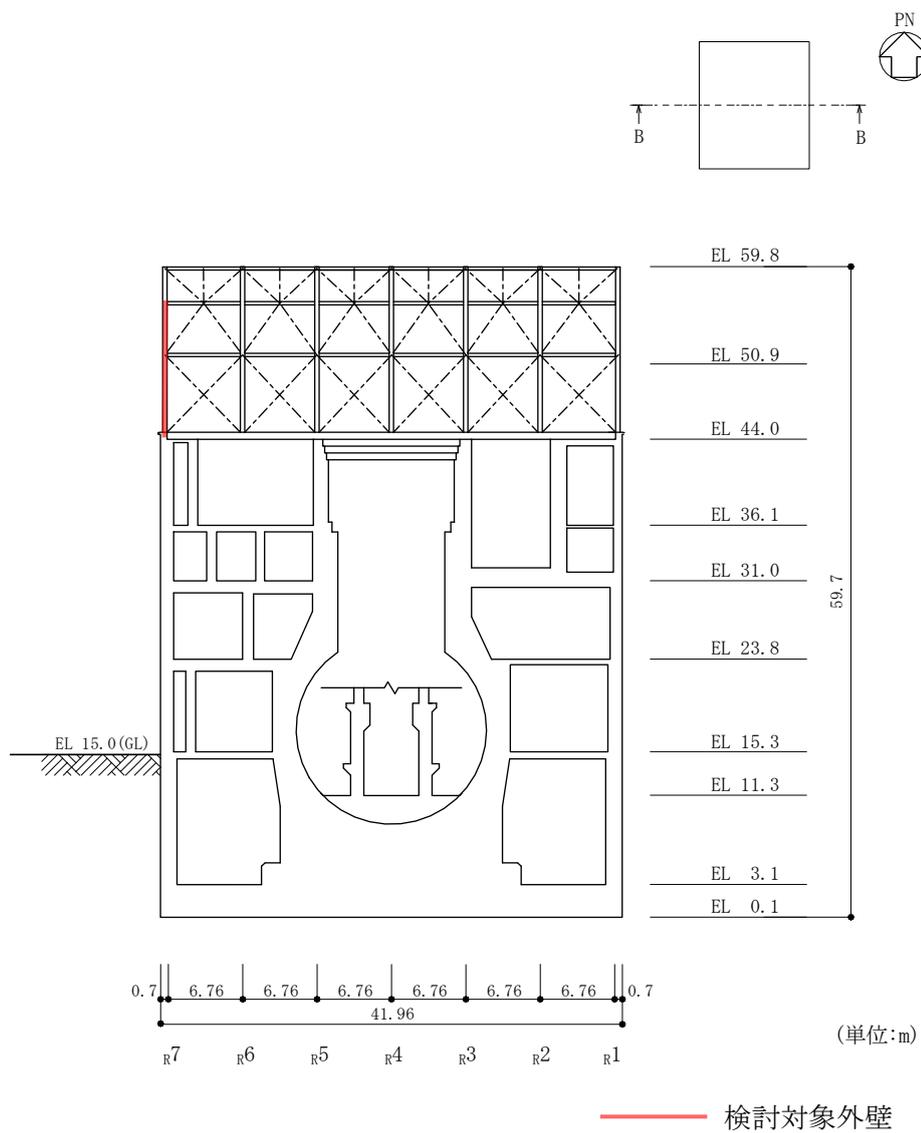


図 2-1(2) 検討対象のオペフロレベル上部の外壁

2.2 解析モデル及び入力地震動

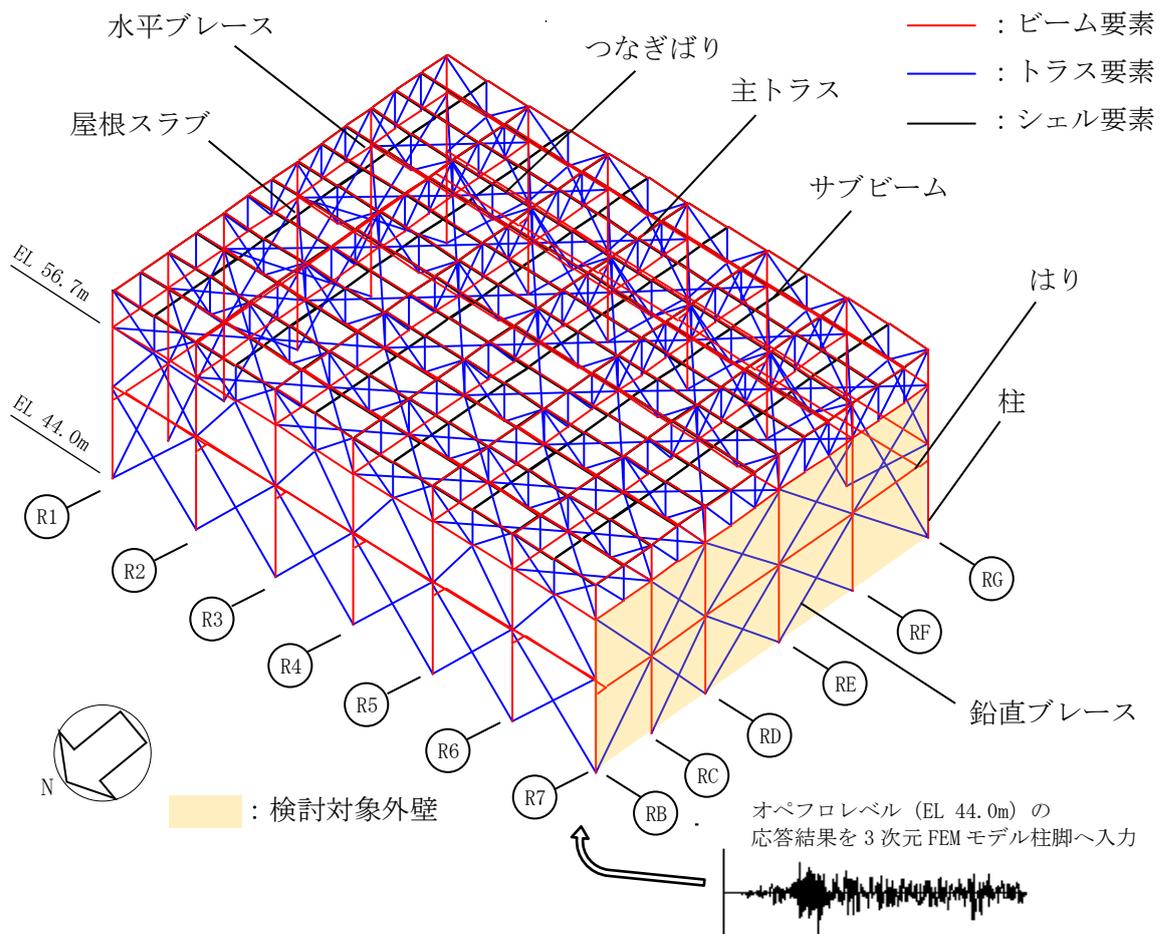
評価は、オペフロレベル (EL 44.0m) より上部の柱, はり, 鉛直ブレース, 屋根トラス, 屋根スラブ等を線材及び面材により立体的にモデル化した 3 次元 FEMモデルによる地震応答解析により実施することとし, 弾塑性解析とする。

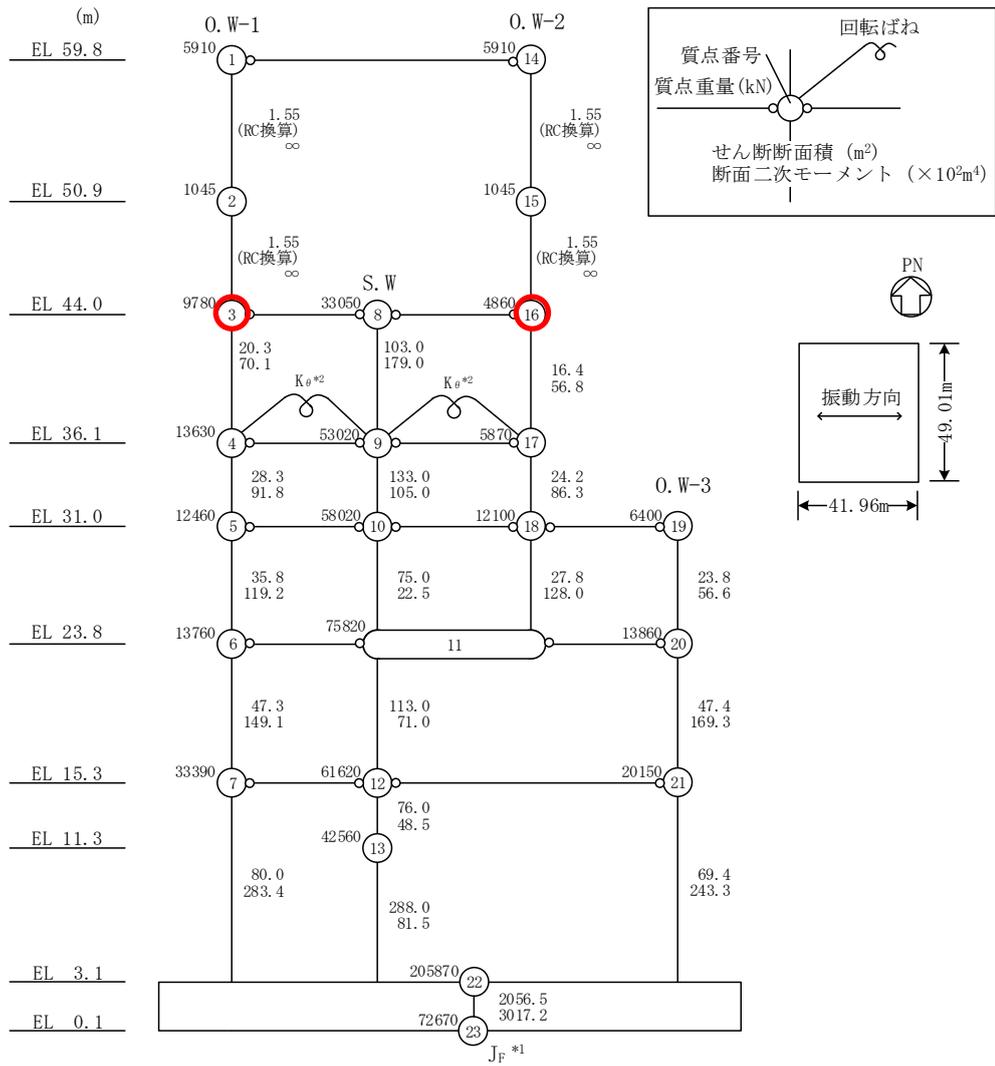
解析は, 別紙 4-2 「材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果」から得られるオペフロレベル (EL 44.0m) より上部の最大応答加速度が最大となる S s - D (ケース 1, EW方向) により実施する。

なお, 解析モデルへの入力は, 1号機原子炉建物全体の地震応答解析から得られるオペフロレベル (EL 44.0m) の応答結果を 3次元 FEMモデル柱脚へ入力する。1号機原子炉建物水平方向の質点系モデルは床剛モデルを採用しているため, 加速度並進成分はオペフロレベルの各質点で同一応答となるが, 回転成分は各質点で応答が異なるため, 回転成分の入力波は, モデル脚部の 2 質点の平均波を入力する。

解析モデル図及び入力概要を図 2-2 に, 入力地震動の取出し位置を図 2-3 に, 使用材料の物性値を表 2-1 に示す。

解析には, 解析コード「f a p p a s e」を使用する。





注記*1: 回転慣性重量 ($12.77 \times 10^7 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)

*2: 燃料プール壁の回転ばね ($2.329 \times 10^9 \text{kN} \cdot \text{m/rad}$)

○ 入力地震動の取出し位置

E W方向モデル

図 2-3 入力地震動の取出し位置

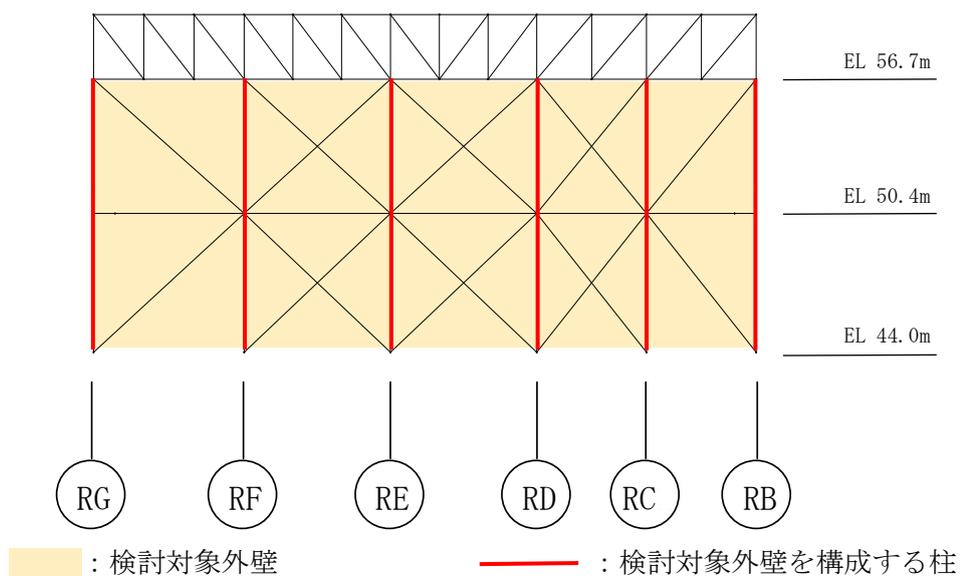
表 2-1 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数* h (%)	備考
鉄筋コンクリート コンクリート： Fc=22.1 (N/mm ²) (Fc=225 (kgf/cm ²)) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.20×10 ⁴	9.18×10 ³	5	—
鉄骨： SS41 (SS400 相当)	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴	2	—

注記*：剛性比例型減衰

2.3 評価方法

3次元FEMモデルのうち図2-4に示す検討対象外壁を構成する各柱（EL 44.0～EL 56.7）について、EW方向（面外方向）地震力に対する最大層間変形角が「震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針（（財）日本建築防災協会）」を参考に設定した許容限界である1/30を下回ることを確認する。なお、被災度区分判定基準においては、柱の残留傾斜角が1/30を超えた場合に大破と判定しているが、保守的に最大層間変形角を用いて評価を行う。



検討対象外壁（R7通り）

図2-4 検討対象外壁を構成する柱

3. 評価結果

検討対象外壁を構成する各柱について、最大層間変形角の評価結果を表 3-1 に示す。
各柱の最大層間変形角は許容限界（1/30）を超えないことを確認した。

以上より、オペフロレベル上部の外壁が面外方向地震力により上位クラス施設に波及的影響を及ぼさないことを確認した。

表 3-1 最大層間変形角の評価結果

柱	レベル	最大層間変形角	許容限界
R B 通り	EL 50.4m～56.7m	1/210	1/30
	EL 44.0m～50.4m	1/350	1/30
R C 通り	EL 50.4m～56.7m	1/65	1/30
	EL 44.0m～50.4m	1/72	1/30
R D 通り	EL 50.4m～56.7m	1/42	1/30
	EL 44.0m～50.4m	1/48	1/30
R E 通り	EL 50.4m～56.7m	1/33	1/30
	EL 44.0m～50.4m	1/35	1/30
R F 通り	EL 50.4m～56.7m	1/41	1/30
	EL 44.0m～50.4m	1/45	1/30
R G 通り	EL 50.4m～56.7m	1/219	1/30
	EL 44.0m～50.4m	1/349	1/30