

|                   |              |
|-------------------|--------------|
| 島根原子力発電所第2号機 審査資料 |              |
| 資料番号              | NS2-補-025-22 |
| 提出年月日             | 2022年10月7日   |

建物・構築物の耐震評価における組合せ係数法の適用

2022年10月

中国電力株式会社

目 次

今回提出範囲：

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 1. 概要                          | 1  |
| 1.1 検討概要                       | 1  |
| 1.2 評価対象部位及び検討方針               | 2  |
| 1.2.1 地盤（必要付着力，接地圧）及び基礎スラブ     | 4  |
| 1.2.2 上部構造物                    | 7  |
| 1.2.3 組合せ係数法による評価値及び時刻歴和による評価値 | 8  |
| 2. 検討内容及び検討結果                  | 12 |
| 2.1 必要付着力の検討                   | 12 |
| 2.1.1 検討内容                     | 12 |
| 2.1.2 検討結果                     | 14 |
| 2.2 接地圧及び基礎スラブの検討              | 16 |
| 2.2.1 検討内容                     | 16 |
| 2.2.2 検討結果                     | 16 |
| 2.3 上部構造物の検討                   | 16 |
| 2.3.1 検討内容                     | 16 |
| 2.3.2 検討結果                     | 16 |

## 1. 概要

### 1.1 検討概要

本資料は、島根原子力発電所第2号機の建物・構築物の耐震評価における組合せ係数法の適用性について説明するものである。

建物・構築物の耐震評価として行う水平及び鉛直方向の荷重の組合せを考慮した評価において、水平及び鉛直方向のそれぞれの最大値をもとに組合せ係数法を適用した評価値（以下「組合せ係数法による評価値」という。）と水平及び鉛直方向の地震応答の時刻歴を時々刻々組み合わせて算定した時刻歴の最大値を基にした評価値（以下「時刻歴和による評価値」という。）の比較を行うことで、組合せ係数法の適用性を確認する。

また、本資料は、以下の添付書類の補足説明をするものである。

- ・ VI-2-2-5 「制御室建物の地震応答計算書」
- ・ VI-2-2-6 「制御室建物の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-2-8 「タービン建物の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-2-9 「廃棄物処理建物の地震応答計算書」
- ・ VI-2-2-12 「緊急時対策所の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-2-15 「排気筒の基礎の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-2-17 「ガスタービン発電機建物の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-4-2-1 「燃料プール（キャスク置場を含む）の耐震性についての計算書」
- ・ 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」
- ・ VI-2-9-3-1 「原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-9-3-4 「原子炉建物基礎スラブの耐震性についての計算書」

## 1.2 評価対象部位及び検討方針

建物・構築物の耐震評価に考慮する荷重の組合せにおいては、以下に示す組合せ係数法を適用し、水平及び鉛直方向の地震力が同時に不利な方向に作用するものとして評価を実施している。

- ①：1.0×水平地震力による荷重+0.4×鉛直地震力による荷重
- ②：0.4×水平地震力による荷重+1.0×鉛直地震力による荷重

耐震評価に組合せ係数法を用いている建物・構築物及び評価対象部位を表 1-1 に示す。評価対象部位のうち、地盤については地震応答解析に基づいて接地圧及び基礎浮上りが発生しないために必要な付着力（以下「必要付着力」という。）の評価を、その他の部位については応力解析に基づいて断面の評価を実施している。

建物・構築物の耐震評価における組合せ係数法の適用性を検討するにあたっては、まず、組合せ係数法による評価値が、時刻歴和による評価値と同等又は保守的であることを確認する。その結果、同等又は保守的といえない場合は、時刻歴和による評価値に基づいた評価が及ぼす各部への影響を検討し、許容限界以内であることを確認することにより、組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認する。

組合せ係数法を用いて評価している部位は、地盤、基礎スラブ及び上部構造物に分類される。以下に、分類された評価部位に対する代表建物の選定方法及び具体的な検討方針を示す。

表 1-1 耐震評価に組合せ係数法を用いている建物・構築物及び評価対象部位

| 建物・構築物          | 評価対象部位                | 評価方法                      | 地震動   |
|-----------------|-----------------------|---------------------------|---|
| 原子炉建物           | 原子炉建物原子炉棟<br>(二次格納施設) | 応力解析による評価<br>(断面の評価)      | 弾性設計用地震動 S <sub>d</sub>                         |
|                 | 燃料プール<br>(キャスク置場を含む)  | 応力解析による評価<br>(断面の評価)      | 基準地震動 S <sub>s</sub><br>弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> |
|                 | 基礎スラブ                 | 応力解析による評価<br>(断面の評価)      | 基準地震動 S <sub>s</sub>                            |
|                 | 地盤                    | 地震応答解析による評価<br>(接地圧の評価)   | 基準地震動 S <sub>s</sub>                            |
| 制御室建物           | 中央制御室遮蔽               | 応力解析による評価<br>(断面の評価)      | 弾性設計用地震動 S <sub>d</sub>                         |
|                 | 基礎スラブ                 | 応力解析による評価<br>(断面の評価)      | 基準地震動 S <sub>s</sub>                            |
|                 | 地盤                    | 地震応答解析による評価<br>(接地圧の評価)   | 基準地震動 S <sub>s</sub>                            |
|                 |                       | 地震応答解析による評価<br>(必要付着力の評価) | 基準地震動 S <sub>s</sub><br>弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> |
| タービン建物          | 基礎スラブ                 | 応力解析による評価<br>(断面の評価)      | 基準地震動 S <sub>s</sub>                            |
|                 | 地盤                    | 地震応答解析による評価<br>(接地圧の評価)   | 基準地震動 S <sub>s</sub>                            |
| 廃棄物処理建物         | 地盤                    | 地震応答解析による評価<br>(必要付着力の評価) | 弾性設計用地震動 S <sub>d</sub>                         |
| 緊急時対策所          | 基礎スラブ                 | 応力解析による評価<br>(断面の評価)      | 基準地震動 S <sub>s</sub>                            |
|                 | 地盤                    | 地震応答解析による評価<br>(接地圧の評価)   | 基準地震動 S <sub>s</sub>                            |
| 排気筒             | 基礎                    | 応力解析による評価<br>(断面の評価)      | 基準地震動 S <sub>s</sub>                            |
|                 | 地盤                    | 応力解析による評価<br>(接地圧の評価)     | 基準地震動 S <sub>s</sub>                            |
| ガスタービン<br>発電機建物 | 基礎スラブ                 | 応力解析による評価<br>(断面の評価)      | 基準地震動 S <sub>s</sub>                            |
|                 | 地盤                    | 地震応答解析による評価<br>(接地圧の評価)   | 基準地震動 S <sub>s</sub>                            |

### 1.2.1 地盤（必要付着力，接地圧）及び基礎スラブ

#### (1) 必要付着力

建物・構築物の地震応答解析において浮上り線形地震応答解析モデル(付着力考慮)を採用している建物については，必要付着力が付着力試験に基づき設定した値(0.40N/mm<sup>2</sup>)（以下「設定付着力」という。）を超えないことを確認している。必要付着力の評価において組合せ係数法を採用していることから，必要付着力に対する組合せ係数法の検討を行う。

検討対象建物は，地震応答解析において建物基礎底面の付着力を考慮して浮上り線形解析を実施している制御室建物(基準地震動S<sub>s</sub>及び弾性設計用地震動S<sub>d</sub>に対する評価)及び廃棄物処理建物(弾性設計用地震動S<sub>d</sub>に対する評価)であるが，これらの建物から建物の重要度及び内包する施設の重要度を踏まえて代表建物を選定する。

また，建物の構造特性は水平方向と鉛直方向で異なり，水平応答と鉛直応答は異なる固有周期で振動している。水平地震力と鉛直地震力を各々の解析で算定し，それらの同時性を考慮することを鑑みれば，両者の固有周期が近いほど必要付着力への相互の影響が大きくなると考えられる。したがって，代表建物の選定においては水平と鉛直の固有周期の比についても考慮する。

付着力を考慮して浮上り線形解析を実施する建物の重要度，内包する施設の重要度及び基本ケースにおける水平と鉛直の固有周期の比を整理して表1-2に示す。表1-2より，建物の重要度及び内包する施設の重要度が高く，水平と鉛直の固有周期の比が最も小さい制御室建物を代表建物として選定する。

なお，必要付着力が設定付着力を超えない場合は基礎浮上りが発生しないことから，制御室建物の基礎スラブの応力解析において設定する地盤ばねは線形とする。

表 1-2 付着力を考慮して浮上り線形解析を実施する建物の重要度，内包する施設の重要度及び水平と鉛直の固有周期の比

| 建物名     | 建物の重要度*1, 2      | 内包する施設の重要度*1, 2  | 固有周期（基本ケース） |               |               |                   | 備考 |
|---------|------------------|------------------|-------------|---------------|---------------|-------------------|----|
|         |                  |                  | 方向          | 水平 1 次<br>(秒) | 鉛直 1 次<br>(秒) | 固有周期の比<br>(水平／鉛直) |    |
| 制御室建物   | S                | S                | NS          | 0.140         | 0.052         | 2.23              |    |
|         | 常設耐震／防止<br>常設／緩和 | 常設耐震／防止<br>常設／緩和 | EW          | 0.116         |               |                   |    |
| 廃棄物処理建物 | B (S s)          | S                | NS          | 0.205*3       | 0.084*3       | 2.27              |    |
|         | 常設耐震／防止<br>常設／緩和 | 常設耐震／防止<br>常設／緩和 | EW          | 0.191*3       |               |                   |    |

注記\*1：上段は設計基準対象施設，下段は重大事故等対処施設を示す。

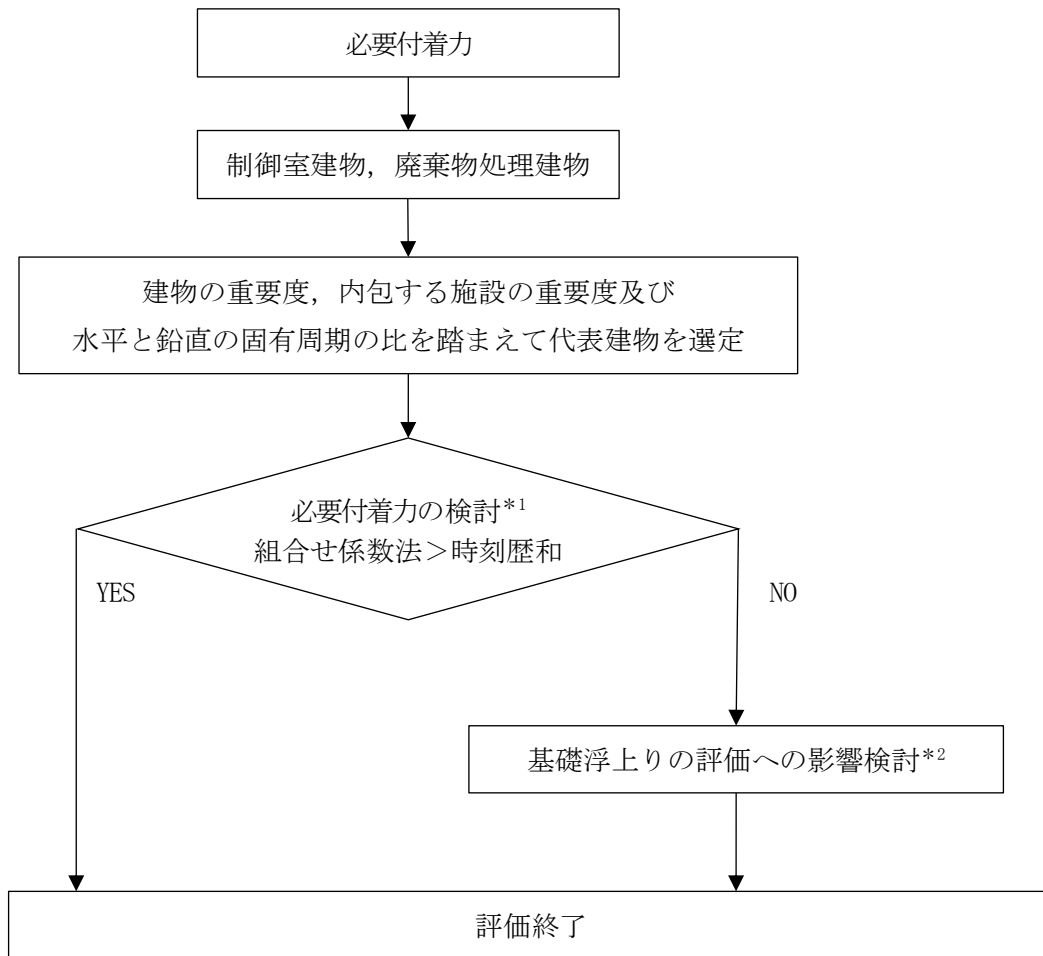
\*2：重大事故等対処施設の分類

- ・常設耐震／防止：常設耐震重要重大事故防止設備
- ・常設／緩和：常設重大事故緩和設備

\*3：弾性設計用地震動 S d に対する評価に用いるモデルの固有周期を示す。

検討は、基準地震動  $S_s$  に対して実施することとし、応答スペクトルに基づく地震動 ( $S_s - D$ )、断層モデルに基づく地震動 ( $S_s - F1$ ,  $S_s - F2$ ) 及び震源を特定せず策定する地震動 ( $S_s - N1$ ,  $S_s - N2$ ) に対して実施する。検討においては、まず組合せ係数法による必要付着力が、時刻歴和による必要付着力と同等又は保守的であることを確認する。同等又は保守的と言えない場合は、時刻歴和による必要付着力が基礎浮上りの評価へ及ぼす影響検討を行う。

必要付着力の検討フローを図 1-1 に示す。



注記\*1：基本ケース（応答スペクトルに基づく地震動，断層モデルに基づく地震動及び震源を特定せず策定する地震動）による検討

\*2：材料物性の不確かさを考慮した検討

図 1-1 必要付着力の検討フロー



(2) 接地圧及び基礎スラブ

(追而)

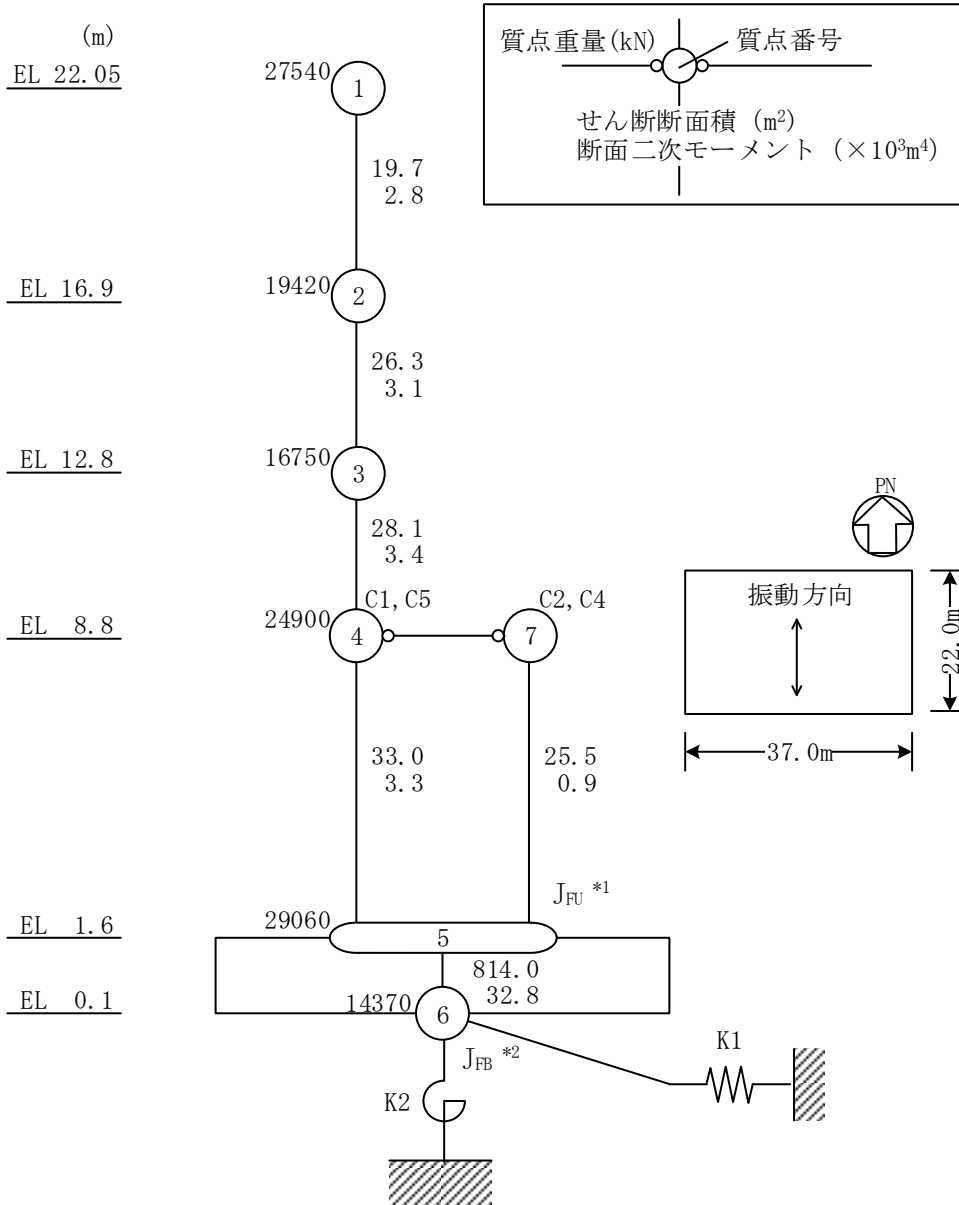
1. 2. 2 上部構造物

(追而)

### 1.2.3 組合せ係数法による評価値及び時刻歴和による評価値

組合せ係数法による評価値と、時刻歴和による評価値の比較は、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」に示す基本ケースの結果に基づくものとする。

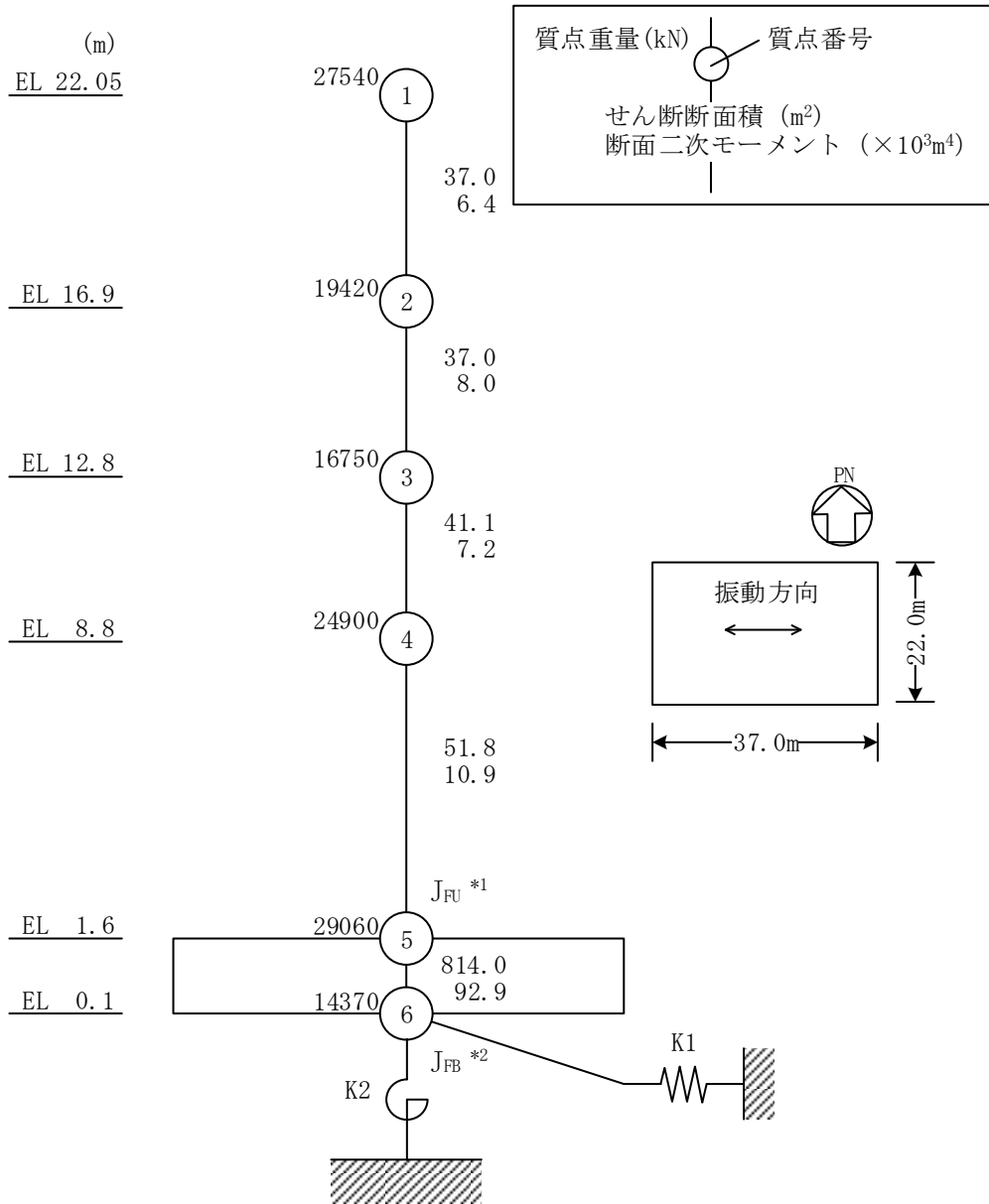
制御室建物の地震応答解析モデルを図 1-2 に示す。



注記\*1：回転慣性重量（基礎スラブ上端）（ $47.46 \times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ ）

\*2：回転慣性重量（基礎スラブ下端）（ $5.79 \times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ ）

図 1-2(1) 制御室建物の地震応答解析モデル（N S 方向）



注記\*1：回転慣性重量（基礎スラブ上端）（ $13.42 \times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ ）

\*2：回転慣性重量（基礎スラブ下端）（ $1.64 \times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ ）

図 1-2(2) 制御室建物の地震応答解析モデル（EW方向）

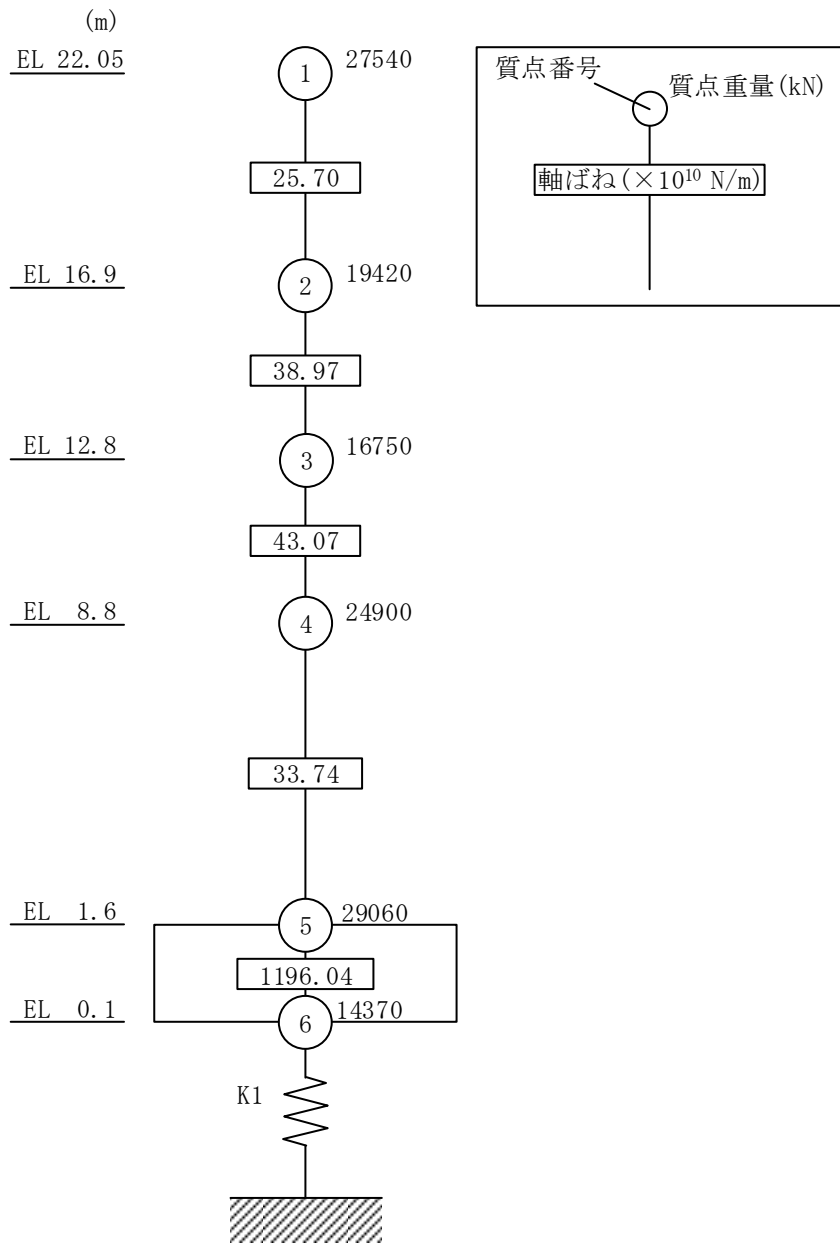


図 1-2(3) 制御室建物の地震応答解析モデル (鉛直方向)

## 2. 検討内容及び検討結果

### 2.1 必要付着力の検討

#### 2.1.1 検討内容

VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」に基づき、組合せ係数法による必要付着力は、水平方向の地震応答解析による最大転倒モーメント及び鉛直方向の地震応答解析による最大応答軸力に0.4（組合せ係数）を乗じた鉛直力、又は水平方向の地震応答解析による最大転倒モーメントに0.4（組合せ係数）を乗じた転倒モーメント及び鉛直方向の地震応答解析による最大応答軸力から算定している。

制御室建物の基準地震動 $S_s$ による地震応答解析結果のうち、組合せ係数法による基本ケースの必要付着力の算定結果を表2-1に示す。表2-1より、必要付着力を踏まえて、応答スペクトルに基づく地震動としては基準地震動 $S_s-D$ 、断層モデルに基づく地震動としては基準地震動 $S_s-F1$ 、震源を特定せず策定する地震動としては基準地震動 $S_s-N2EW$ の計3波に対して組合せ係数法の適用性の確認を実施する。

これに対して、時刻歴和による必要付着力は、水平方向の地震応答解析による時刻歴転倒モーメント及び鉛直方向の地震応答解析による時刻歴応答軸力から時刻毎に算定した必要付着力の最大値とする。

図2-1に制御室建物の必要付着力の検討フローを示す。

表2-1 制御室建物の組合せ係数法による必要付着力（基準地震動 $S_s$ ，基本ケース）

| 基準地震動 $S_s$ | 必要付着力<br>( $N/mm^2$ ) |       | 備考             |
|-------------|-----------------------|-------|----------------|
|             | NS方向                  | EW方向  |                |
| $S_s-D$     | 0.363                 | 0.300 | 応答スペクトルに基づく地震動 |
| $S_s-F1$    | 0.328                 | 0.230 | 断層モデルに基づく地震動   |
| $S_s-F2$    | 0.286                 | 0.228 | 断層モデルに基づく地震動   |
| $S_s-N1$    | 0.258                 | 0.127 | 震源を特定せず策定する地震動 |
| $S_s-N2NS$  | 0.278                 | 0.107 | 震源を特定せず策定する地震動 |
| $S_s-N2EW$  | 0.282                 | 0.205 | 震源を特定せず策定する地震動 |

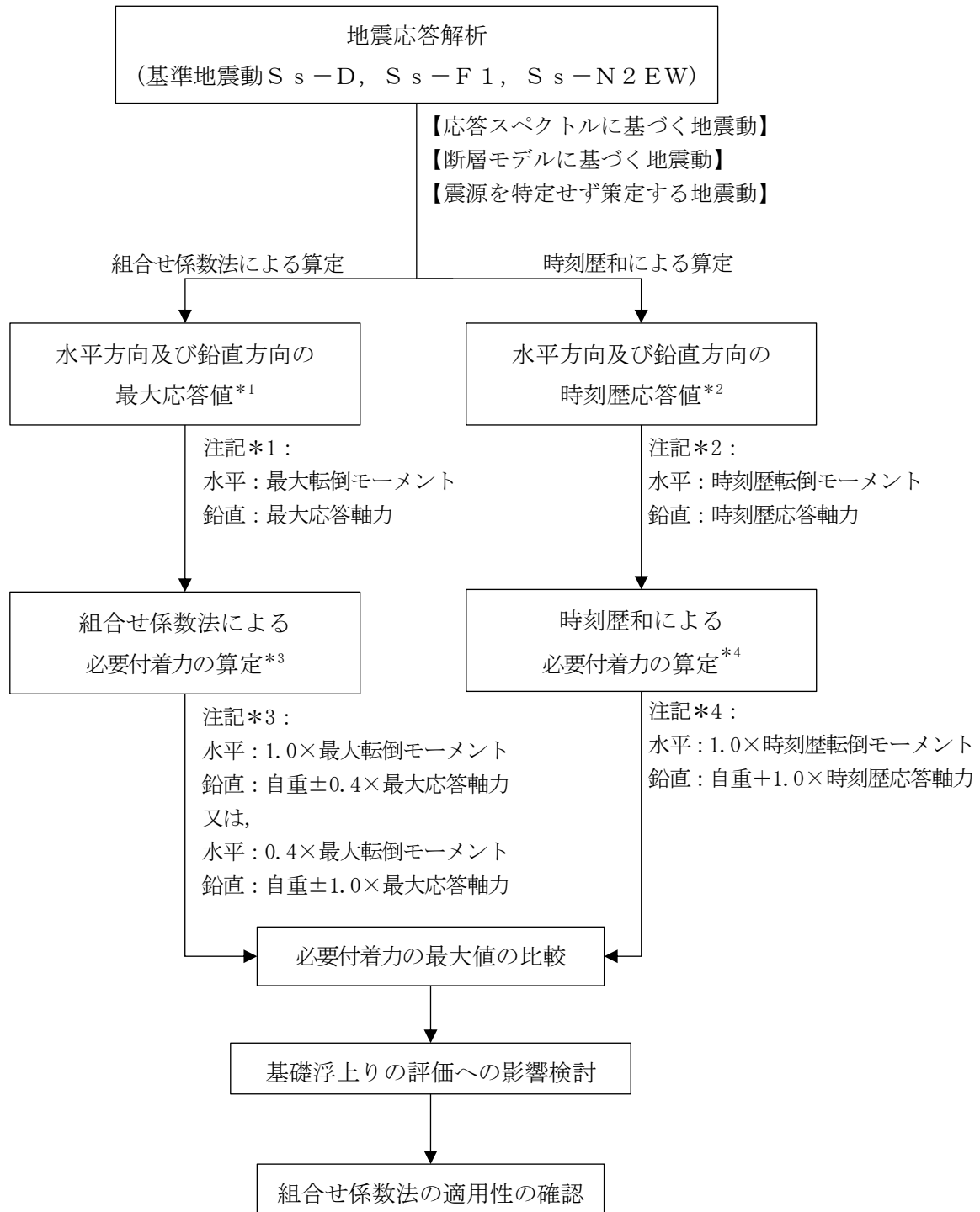


図 2-1 制御室建物の必要付着力の検討フロー

### 2.1.2 検討結果

組合せ係数法による必要付着力 (①), 時刻歴和による必要付着力 (②) 及び両者の比 (①/②) を表 2-2 に示す。

必要付着力の比が 1.0 を下回るケースがあることから, 基礎浮上りの評価への影響検討を行う。

基礎浮上りの評価への影響検討結果を表 2-3 に示す。上記の必要付着力の比 (①/②) から算定した割増し係数を考慮した場合でも, 設定付着力を超えないことを確認した。

以上のことから, 必要付着力の評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

なお, 必要付着力が設定付着力を超えないことから, 制御室建物の基礎スラブの応力解析において設定する地盤ばねは線形とする。



表 2-2 制御室建物の必要付着力の比較（基準地震動  $S_s$ ，基本ケース）

(a) NS方向

|              | ①組合せ係数法による<br>必要付着力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ②時刻歴和による<br>必要付着力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 必要付着力の比<br>(①/②) |
|--------------|---|---|------------------|
| $S_s - D$    | 0.363*                                      | 0.348                                     | 1.04             |
| $S_s - F1$   | 0.328*                                      | 0.307                                     | 1.07             |
| $S_s - N2EW$ | 0.282*                                      | 0.243                                     | 1.16             |

(b) EW方向

|              | ①組合せ係数法による<br>必要付着力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ②時刻歴和による<br>必要付着力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 必要付着力の比<br>(①/②) |
|--------------|---|---|------------------|
| $S_s - D$    | 0.300*                                      | 0.264                                     | 1.14             |
| $S_s - F1$   | 0.230*                                      | 0.182                                     | 1.26             |
| $S_s - N2EW$ | 0.205*                                      | 0.207                                     | 0.99             |

注記\*：水平方向に  $1.0 \times$  最大転倒モーメント，鉛直方向に  $0.4 \times$  最大応答軸力を考慮したケース

表 2-3 制御室建物の基礎浮上りの評価への影響検討結果（EW方向）

|   |       |
|---|-------|
| ①必要付着力の比の最小値<br>(組合せ係数法による必要付着力<br>/時刻歴和による必要付着力) | 0.99  |
| ②割増し係数 (1/①)                                      | 1.01  |
| ③材料物性の不確かさを考慮した<br>必要付着力 (N/mm <sup>2</sup> )     | 0.209 |
| 影響検討結果 (=②×③) (N/mm <sup>2</sup> )                | 0.212 |
| 設定付着力 (N/mm <sup>2</sup> )                        | 0.40  |
| 判定  | 可     |

## 2.2 接地圧及び基礎スラブの検討

### 2.2.1 検討内容

(追而)

### 2.2.2 検討結果

(追而)

## 2.3 上部構造物の検討

### 2.3.1 検討内容

(追而)

### 2.3.2 検討結果

(追而)