

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	PD-1-14 改 25
提出年月日	平成 29 年 11 月 14 日

# 東海第二発電所

## 地震による損傷の防止

平成 29 年 11 月  
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、 は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

## 第4条：地震による損傷の防止

### 目 次

#### 第1部

##### 1. 基本方針

###### 1.1 要求事項の整理

###### 1.2 追加要求事項に対する適合性

下線部：今回提出資料

###### (1) 位置，構造及び設備

###### (2) 安全設計方針

###### (3) 適合性説明

###### 1.3 気象等

###### 1.4 設備等

###### 1.5 手順等

#### 第2部

##### 1. 耐震設計の基本方針

###### 1.1 基本方針

###### 1.2 適用規格

##### 2. 耐震設計上の重要度分類

###### 2.1 重要度分類の基本方針

###### 2.2 耐震重要度分類

##### 3. 設計用地震力

###### 3.1 地震力の算定法

###### 3.2 設計用地震力

##### 4. 荷重の組合せと許容限界

###### 4.1 基本方針

##### 5. 地震応答解析の方針

###### 5.1 建物・構築物

###### 5.2 機器・配管系

###### 5.3 屋外重要土木構造物

###### 5.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備 又は津波監視設備が設置された建物・構築物

##### 6. 設計用減衰定数

##### 7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響

##### 8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針

##### 9. 構造計画と配置計画

(別 添)

- 別添－1 設計用地震力
- 別添－2 動的機能維持の評価
- 別添－3 弾性設計用地震動  $S_d$ ・静的地震力による評価
- 別添－4 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の  
検討について
- 別添－5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針
- 別添－6 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方
- 別添－7 主要建屋の構造概要について
- 別添－8 地震応答解析に用いる地質断面図の作成例及び地盤の速度構造

(別 紙)

- 別紙－1 既工認との手法の相違点の整理について（設置変更許可申請段階  
での整理）
- 別紙－2 原子炉建屋の地震応答解析モデルについて
- 別紙－3 原子炉建屋屋根トラス評価モデルへの弾塑性解析適用について
- 別紙－4 土木構造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について
- 別紙－5 機器・配管系における手法の変更点について
- 別紙－6 下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別紙－7 水平2方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する検討につ  
いて
- 別紙－8 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定について
- 別紙－9 使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価方針について
- 別紙－10 液状化影響の検討方針について
- 別紙－11 屋外二重管の基礎構造の設計方針について
- 別紙－12 既設設備に対する耐震補強等について
- 別紙－13 動的機能維持評価の検討方針について



建物・構築物の動的解析にて地震時の有効応力の変化に伴う影響を考慮する場合には、有効応力解析を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮して設定する。

原子炉建屋については、3次元FEM解析等から、建物・構築物の3次元応答性状及びそれによる機器・配管系への影響を評価する。

屋外重要土木構造物の動的解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる連成系の地震応答解析手法とし、地盤及び構造物の地震時における非線形挙動の有無や程度に応じて、線形、等価線形、非線形解析のいずれかにて行う。

なお、地震力については、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定する。

【説明資料（5.1：P4条－89）（5.3：P4条－93）】

#### ii 機器・配管系

動的解析による地震力の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性、適用限界等を考慮のうえ、適切な解析法を選定するとともに、解析条件として考慮すべき減衰定数、剛性等の各種物性値は、適切な規格及び基準又は実験等の結果に基づき設定する。

機器の解析に当たっては、形状、構造特性等を考慮して、代表的な振動モードを適切に表現できるよう質点系モデル、有限要素モデル等に置換し、設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法又は時刻歴応答解析法により応答を求める。配管系については、**振動モードを適切に表現できる**モデルを作成し、設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法又は時刻歴応答解析法により応答を求める。スペクトルモーダル解析法及び時刻歴応答解析法の選択

動的解析による地震力の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性及び適用限界等を考慮のうえ、適切な解析法を選定するとともに、建物・構築物に応じた適切な解析条件を設定する。また、原則として、建物・構築物の地震応答解析及び床応答曲線の策定は、線形解析及び非線形解析に適用可能な時刻歴応答解析法による。

建物・構築物の動的解析にて地震時の有効応力の変化に伴う影響を考慮する場合には、有効応力解析を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮して設定する。

建物・構築物の地震応答解析に当たっては、建物・構築物の剛性はそれらの形状、構造特性等を十分考慮して評価し、集中質点系等に置換した解析モデルを設定する。

動的解析には、建物・構築物と地盤との相互作用を考慮するものとし、解析モデルの地盤のばね定数は、基礎版の平面形状、基礎側面と地盤の接触状況及び地盤の剛性等を考慮して定める。各入力地震動が接地率に与える影響を踏まえて、地盤ばねには必要に応じて、基礎浮上りによる非線形性又は誘発上下動を考慮できる浮上り非線形性を考慮するものとする。設計用地盤定数は、原則として、弾性波試験によるものを用いる。

地震応答解析に用いる材料定数については、地盤の諸定数も含めて材料のばらつきによる変動幅を適切に考慮する。また、材料のばらつきによる変動が建物・構築物の振動性状や応答性状に及ぼす影響として考慮すべき要因を選定した上で、選定された要因を考慮した動的解析により設計用地震力を設定する。

建物・構築物の3次元応答性状及びそれによる機器・配管系への影響については、建物・構築物の3次元FEMモデルによる解析に基づき、施

設の重要性，建屋規模，構造特性を考慮して評価する。3次元応答性状等の評価は，周波数応答解析法による。

## 5.2 機器・配管系

### (1) 入力地震動又は入力地震力

機器・配管系の地震応答解析における入力地震動又は入力地震力は，基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$ ，又は当該機器・配管系の設置床における設計用床応答曲線又は時刻歴応答波とする。弾性設計用地震動  $S_d$  による評価については別添－3に示す。

また，耐震Bクラスの機器・配管系のうち共振のおそれがあり，動的解析が必要なものに対しては，弾性設計用地震動  $S_d$  を基に作成した設計用床応答曲線の応答加速度を1/2倍したものをを用いる。

### (2) 解析方法及び解析モデル

動的解析による地震力の算定に当たっては，地震応答解析手法の適用性及び適用限界等を考慮のうえ，適切な解析法を選定するとともに解析条件として考慮すべき減衰定数，剛性等の各物性値は適切な規格・基準，あるいは実験等の結果に基づき設定する。

また，評価に当たっては建物・構築物の剛性及び地盤物性のばらつき等を適切に考慮する。

機器の解析に当たっては，形状，構造特性等を考慮して，代表的な振動モードを適切に表現できるよう1質点系モデル，多質点系モデル等に置換し，設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法又は時刻歴応答解析法により応答を求める。配管系については，振動モードを適切に表現できるモデルを作成し，設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法又は時刻歴応答解析法により応答を求める。



## 東海第二発電所

弾性設計用地震動  $S_d$  ・ 静的地震力  
による評価  
(耐震)

## 弾性設計用地震動 $S_d$ ・ 静的地震力による評価

### 1. 建物・構築物

弾性設計用地震動  $S_d$  ・ 静的地震力による評価は、建物・構築物が、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して評価結果が、概ね弾性状態であること及び地震時の最大接地圧が、基礎地盤の短期許容応力度に対して安全余裕を有することを確認する。

また、建物・構築物の保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して安全余裕を有していることを確認する。

### 2. 機器・配管

#### (1) 弾性設計用地震動 $S_d$ による評価

評価対象設備が弾性設計用地震動  $S_d$  に対しておおむね弾性状態にあることを確認するために、以下の手順にて評価を実施する。評価手順を第 3-1 図に示す。

##### ① 基準地震動 $S_s$ による発生値と許容限界 ( $III_A S$ ) の比較

評価対象設備の基準地震動  $S_s$  による発生値が弾性設計用の許容限界 (許容応力状態  $III_A S$ ) 以下であることを確認する。

弾性設計用地震動  $S_d$  は基準地震動  $S_s$  の係数倍にて定義していることから、設備の基準地震動  $S_s$  による発生値が、許容限界 (許容応力状態  $III_A S$ ) 以下であれば、弾性設計用地震動  $S_d$  による発生値についても、許容限界 (許容応力状態  $III_A S$ ) 以下となる。

ただし、基準地震動  $S_s$  評価では考慮しない事故時荷重 (LOCA 時荷重など) を考慮する必要がある評価ケースは、弾性設計用地震動  $S_d$  と組み合わせるべき事故時荷重を考慮した評価を行い、発生値に考慮する。

② 弾性設計用地震動  $S_d$  による発生値と許容限界 ( $\text{III}_A S$ ) の比較

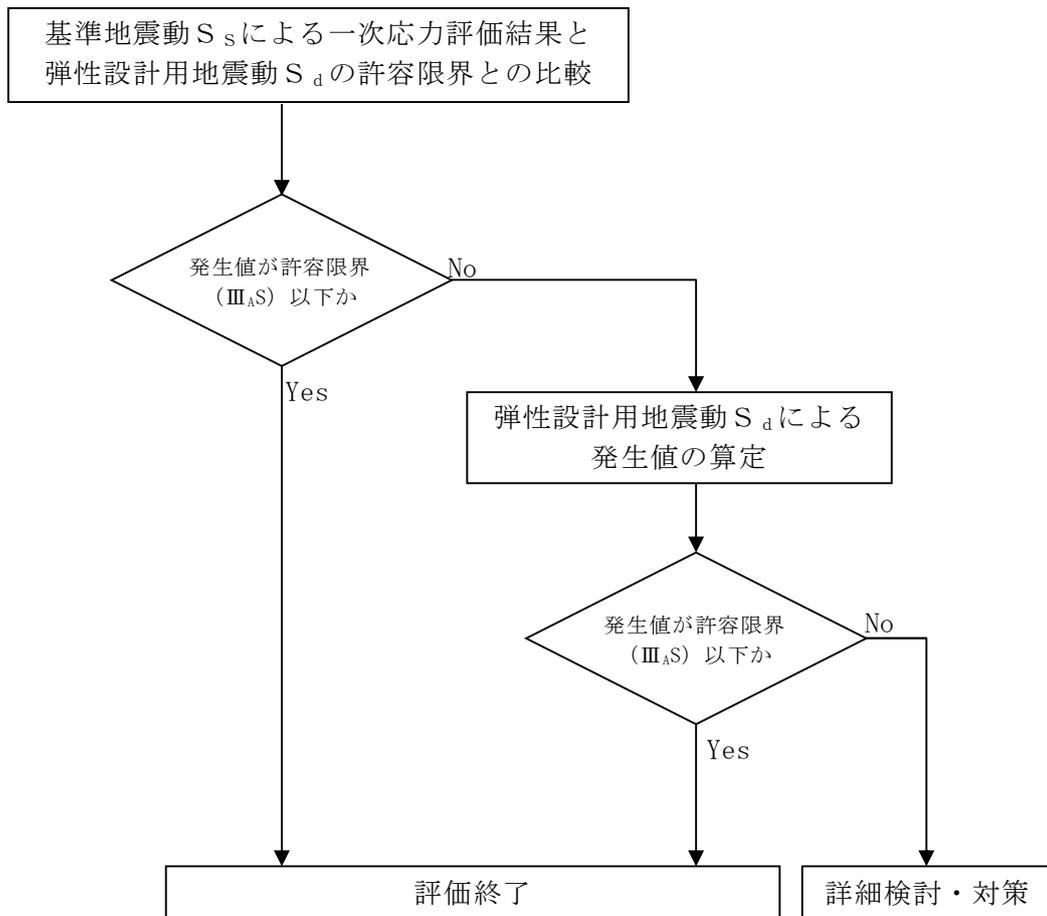
①項にて、評価対象設備の基準地震動  $S_s$  による発生値が、許容限界 (許容応力状態  $\text{III}_A S$ ) を上回った設備については、弾性設計用地震動  $S_d$  による発生値を詳細評価により算定し、その算定した発生値が許容限界 (許容応力状態  $\text{III}_A S$ ) 以下であることを確認する。

a. 弾性設計用地震動  $S_d$  による評価において、1次+2次応力評価の省略について

弾性設計用地震動  $S_d$  による評価において、1次+2次応力評価を省略する理由について以下に示す。

1次+2次応力評価については、JEAG4601・補-1984 許容応力編に規定されている許容応力状態  $\text{IV}_A S$  と  $\text{III}_A S$  の許容値は同一となる。許容値が同じであれば、弾性設計用地震動  $S_d$  より大きな地震動である基準地震動  $S_s$  で評価した結果の方が厳しいことは明らかであることから、基準地震動  $S_s$  の評価を実施することで、弾性設計用地震動  $S_d$  による評価は省略した。

ただし、支持構造物 (ボルト以外) のうち、「支圧」に対しては、許容応力状態  $\text{IV}_A S$  と  $\text{III}_A S$  で許容値が異なるケースが存在するため、個別確認を実施する。



第 3-1 図 機器・配管の弾性設計用地震動  $S_d$  に対する評価手順

(2) 静的地震力による評価

既設の設備については、旧建築基準法（1970 年改正）に基づく静的震度 ( $C_0$ ) により耐震設計を行っており、設備が「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（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第 6 号）」等に規定される静的震度 ( $C_1$ ) においても影響のないことを確認する。

静的震度 ( $C_i$ ) に対する評価は、以下の関係を踏まえ、明らかに許容限界を満足する設備を、以下の①～⑤の手順により、既往評価結果に基づき許容限界を満足するとして詳細設計対象から除外し、詳細評価対象設備を絞り込み、⑥にて詳細評価を実施する。なお、耐震裕度を算出する際の応答加速度は、1.2 倍した値を用いる。評価手順を第 3-2 図に示す。

○耐震評価における関係性

- ・  $3.6C_i$ 、 $3.6C_0$  に対する許容限界＝設計用地震、 $S_d$  に対する許容限界
- ・ 建設時の  $3.6C_0$  による発生値  $\leq$  許容限界を確認済み
- ・ 今回工認での  $S_d$  による発生値  $\leq$  許容限界を確認済み

○評価手順

- ① 建設工認時の静的震度  $C_0$  と静的震度  $C_i$  を比較し、 $C_0 \geq C_i$  となる設備は除外。
- ② 基準地震動  $S_s$  による動的地震力と静的震度  $3.6C_i$  による静的地震力を比較し\*、 $S_s \geq 3.6C_i$  となる設備は除外。  
ただし、弾性設計用地震動  $S_d$  に対する評価において、基準地震動  $S_s$  による発生値を用いている場合のみ適用可能。
- ③ 弾性設計用地震動  $S_d$  による動的地震力と静的震度  $3.6C_i$  による静的地震力を比較し\*、 $S_d \geq 3.6C_i$  となる設備を除外
- ④ 弾性設計用地震動  $S_d$  に対する評価結果に基づく耐震裕度 ( $\text{III}_A S$  許容限界値 / 発生値) (以下「 $S_d$  裕度」という。) と必要裕度 ( $3.6C_i / S_d$  比) を比較し、 $S_d$  裕度  $\geq$  必要となる設備は除外
- ⑤ 既工認における  $3.6C_0$  及び設計用地震に対する評価結果に基づく耐震裕

度（Ⅲ<sub>A</sub>S 許容限界値／発生値）（以下「既工認における裕度」という。）と  $C_i / C_0$  比を比較し，既工認における裕度  $\geq C_i / C_0$  比となる設備は除外

⑥ 3.6C<sub>i</sub>に対する詳細検討を実施

- \* 水平と鉛直方向の組合せについては， $S_s$ ， $S_d$ はSRSS法による組み合わせ，水平方向静的震度 3.6C<sub>i</sub>は鉛直方向静的震度 0.288 と絶対値和による組合せを行っている。

【⑤の補足】

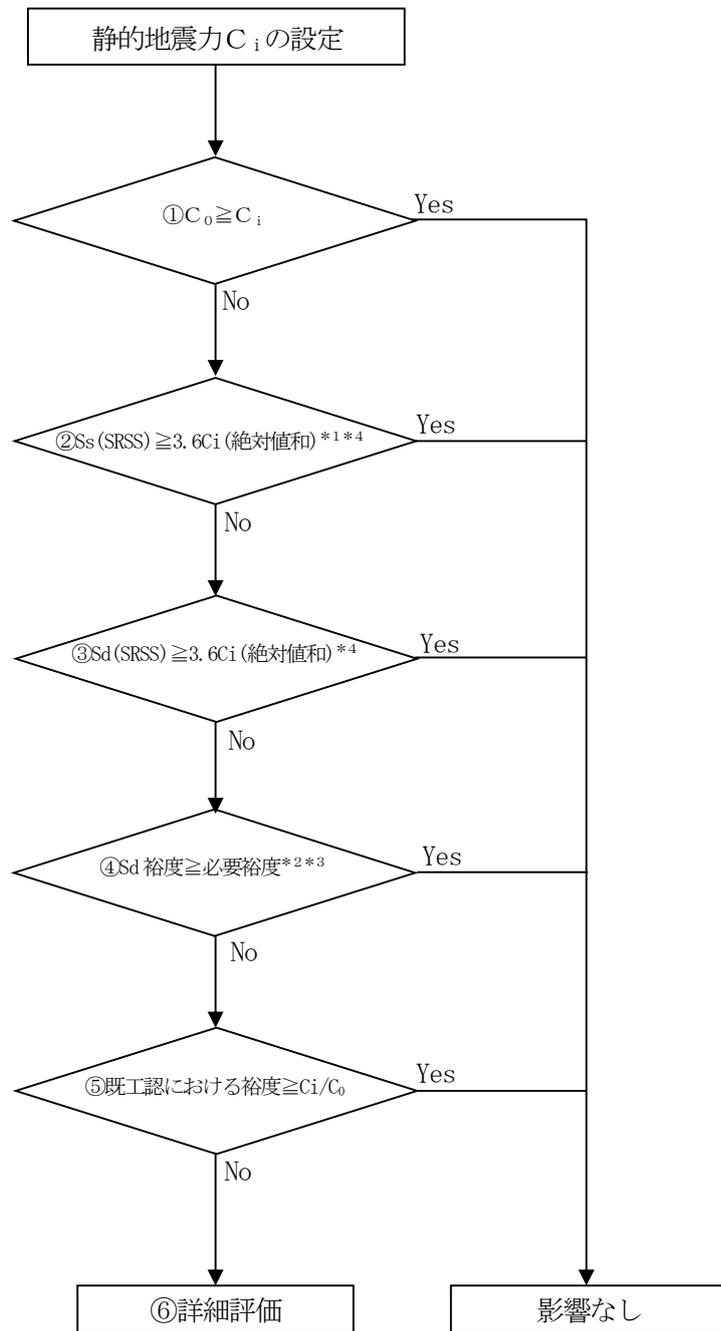
3.6C<sub>i</sub> (3.6C<sub>0</sub>)に対する裕度 = Ⅲ<sub>A</sub>S 許容限界値／3.6C<sub>i</sub> (3.6C<sub>0</sub>)による発生値であり，発生値は静的震度に比例することから，次式のような関係となる。

$$3.6C_i \text{ に対する裕度} = 3.6C_0 \text{ に対する裕度} \div (C_i / C_0)$$

また，既工認における裕度は，3.6C<sub>0</sub>及び設計用地震に対する裕度の小さい方であることから，静的震度比  $C_i / C_0$  で除したものは，次式のような関係となる。

$$3.6C_i \text{ に対する裕度} \geq \text{既工認における裕度} \div (C_i / C_0)$$

よって，既工認における裕度  $\geq C_i / C_0$  であれば，3.6C<sub>i</sub>に対する裕度は1以上となる。



- \* 1 S<sub>d</sub>評価において、S<sub>s</sub>における発生値を用いている場合
- \* 2 必要裕度は  $3.6 C_i$  (絶対和) / S<sub>d</sub> (SRSS) の比
- \* 3 S<sub>d</sub>を用いた動的解析による裕度により判定
- \* 4 水平・鉛直方向の組合せについては、S<sub>s</sub>、S<sub>d</sub>はSRSS法による組合せ、水平方向静的震度  $3.6 C_i$  は鉛直方向静的震度 (0.288) と絶対値和による組合せを行っている。

第3-2 図 静的震度に対する評価手順

### 3. 屋外重要土木構造物

従前より屋外重要土木構造物として取り扱われている構造物については、既工認において、土木構造物として求められているCクラス相当の静的地震力よりも大きなAクラス又はBクラス相当の静的地震力に対して、許容応力度法による耐震評価を実施している。第3-1表に既工認における構築物の静的地震力（静的基準震度）を示す。

したがって、今回工認においては、現在の基準により設定される荷重条件や、許容限界等の諸条件が、既工認における諸条件と同等であることを確認することで、静的地震力に対する耐震評価が今回工認にて満足されることを確認する。

第3-1表 既工認における構築物の静的地震力（静的基準震度）

	クラス別	静的基準震度	
		水平	鉛直
構築物	A <sub>s</sub>	3C <sub>0</sub>	0.24
	A		
	B	1.5C <sub>0</sub>	—
	C	0.9C <sub>0</sub>	—

## 東海第二発電所

上位クラス施設の安全機能への下位クラス  
施設の波及的影響の検討について  
(耐震)

## 1. 概要

本資料は、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の設計を行うに際して、波及的影響を考慮した設計の基本的な考え方を説明するものである。

本資料の適用範囲は、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設である。

## 2. 基本方針

設計基準対象施設のうち耐震重要度分類のSクラスに属する施設（以下「Sクラス施設」という。）、重大事故等対処施設のうち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並びにこれらが設置される常設重大事故等対処施設（以下「SA施設」という。）は、下位クラス施設の波及的影響によって、それぞれその安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないように設計する。

## 3. 波及的影響を考慮した施設の設計方針

### 3.1 設置許可基準規則に例示された事項に基づく事例の検討

Sクラス施設の設計においては、「設置許可基準規則の解釈別記2」（以下「別記2」という。）に記載の以下の4つの観点で実施する。

SA施設の設計においては、別記2における「耐震重要施設」を「SA施設」に、「安全機能」を「重大事故等に対処するために必要な機能」に読み替えて適用する。

- ① 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響
- ② 耐震重要施設と下位のクラスの施設との接続部における相互影響
- ③ 建屋内における下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響

- ④ 建屋外における下位のクラスの施設の損傷，転倒及び落下等による耐震重要施設への影響

### 3.2 地震被害事例に基づく事象の検討

上記の別記2に例示された事項の他に考慮すべき事項が抜け落ちているものがないかを確認する観点で，原子力施設情報公開ライブラリー（NUCIA）に登録された以下の地震を対象に被害情報を確認する。

（対象とした情報）

- ・宮城県沖地震（女川原子力発電所：平成17年8月）
- ・能登半島地震（志賀原子力発電所：平成19年3月）
- ・新潟県中越沖地震（柏崎刈羽原子力発電所：平成19年7月）
- ・駿河湾地震（浜岡原子力発電所：平成21年8月）
- ・東北地方太平洋沖地震（女川原子力発電所，東海第二発電所※：平成23年3月）

※NUCIA最終報告となっているものを対象とした。

その結果，これらの地震の被害要因のうち，3.1の検討事象に整理できないものとして，津波や警報発信等の設備損傷以外の要因が挙げられた。

津波については，別途「津波による損傷の防止」への適合性評価を実施する。津波の影響評価では，基準地震動 $S_s$ に伴う津波を超える高さの津波を基準津波として設定して，施設の安全機能への影響評価を実施することから，基準地震動 $S_s$ に伴う津波による影響については，これらの適合性評価に包絡されるため，ここでは検討の対象外とする。

また，警報発信等については，設備損傷以外の要因による不適合事象であることから，波及的影響の観点で考慮すべき事象に当たらないと判断した。

以上のことから，原子力発電所の地震被害情報から確認された損傷要因を踏まえても，3.1で整理した波及的影響の具体的な検討事象に追加考慮すべ

き事項がないことを確認した。

以上の①～④の具体的な設計方法を以下に示す。

### 3.3 不等沈下又は相対変位の観点による設計

建屋外に設置する設計基準対象施設及び重大事故等対処施設を対象に、別記 2①「設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響」の観点で、上位クラス施設の安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないよう下位クラス施設を設計する。

#### (1) 地盤の不等沈下による影響

下位クラス施設が設置される地盤の不等沈下により、上位クラス施設の安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能が損なわないよう、以下のとおり設計する。

離隔による防護を講じて設計する場合には、下位クラス施設の不等沈下を想定しても上位クラス施設に衝突しない程度に十分な距離をとって配置するか、下位クラス施設と上位クラス施設の間に波及的影響を防止するために、衝突に対する強度を有する障壁を設置する。下位クラス施設を上位クラス施設への波及的影響を及ぼす可能性がある位置に設置する場合には、下位クラス施設を上位クラス施設と同等の支持性能を持つ地盤に、同等の基礎を設けて設置する。支持性能が十分でない地盤に下位クラス施設を設置する場合は、基礎の補強や周辺の地盤改良を行った上で、同等の支持性能を確保する。

上記の方針で設計しない場合は、下位クラス施設が設置される地盤の不等沈下を想定し、上位クラス施設の有する機能を保持するよう設計する。

以上の設計方針のうち、不等沈下を想定し、上位クラス施設の有する機能を保持するよう設計する下位クラス施設を「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」に、その設計方針を「5. 波及的影響の設計対象とす

る下位クラス施設の耐震設計方針」に示す。

## (2) 建屋間の相対変位による影響

下位クラス施設と上位クラス施設との相対変位により、上位クラス施設の安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないよう、以下のとおり設計する。

離隔による防護を講じて設計する場合には、下位クラス施設と上位クラス施設との相対変位を想定しても、下位クラス施設が上位クラス施設に衝突しない程度に十分な距離をとって配置するか、下位クラス施設と上位クラス施設との間に波及的影響を防止するために、衝突に対する強度を有する障壁を設置する。下位クラス施設と上位クラス施設の相対変位により、下位クラス施設が上位クラス施設に衝突する位置にある場合には、衝突部分の接触状況の確認、建屋全体評価又は局部評価を実施し、衝突に伴い、上位クラス施設について、それぞれその安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれのないよう設計する。

以上の設計方針のうち、建屋全体評価又は局部評価を実施して設計する下位クラス施設を「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」に、その設計方針を「5. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計方針」に示す。

## 3.4 接続部の観点による設計

建屋内外に設置する設計基準対象施設及び重大事故等対処施設を対象に、別記2②「上位クラス施設と下位のクラスの施設との接続部における相互影響」の観点で、上位クラス施設の安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないよう下位クラス施設を設計する。

上位クラス施設と下位クラス施設との接続部には、原則、上位クラスの隔離弁等を設置することにより分離し、事故時等に隔離されるよう設計する。

隔離されない接続部以降の下位クラス施設については、下位クラス施設が上位クラス施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、内部流体の内包機能、機器の動的機能、構造強度等を確保するよう設計する。又は、これらが維持されなくなる可能性がある場合は、下位クラス施設の損傷と隔離によるプロセス変化により、上位クラス施設の内部流体の温度、圧力に影響を与えても、支持構造物を含めて系統としての機能が設計の想定範囲内に維持されるよう設計する。

以上の設計方針のうち、内部流体の内包機能、機器の動的機能、構造強度を確保するよう設計する下位クラス施設を「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」に、その設計方針を「5. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計方針」に示す。

### 3.5 損傷、転倒及び落下等の観点による建屋内施設の設計

建屋内に設置する設計基準対象施設及び重大事故等対処施設を対象に、別記2③「建屋内における下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響」の観点で、上位クラス施設の安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないよう下位クラス施設を設計する。

離隔による防護を講じて設計する場合には、下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等を想定しても上位クラス施設に衝突しない程度に十分な距離をとって配置するか、下位クラス施設と上位クラス施設の間に波及的影響を防止するために衝突に対する強度を有する障壁を設置する。下位クラス施設を上位クラス施設への波及的影響を及ぼす可能性がある位置に設置する場合には、下位クラス施設が上位クラス施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、下位クラス施設が損傷、転倒及び落下等に至らないよう構造強度設計を行う。

上記の方針で設計しない場合は、下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等を想定し、上位クラス施設の有する機能を保持するよう設計する。

以上の設計方針のうち、構造強度設計を行う、又は下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等を想定し、上位クラス施設の有する機能を保持するよう設計する下位クラス施設を「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」に、その設計方針を「5. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計方針」に示す。

### 3.6 損傷、転倒及び落下等の観点による建屋外施設の設計

建屋外に設置する設計基準対象施設及び重大事故等対処施設を対象に、別記2④「建屋外における下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響」の観点で、上位クラス施設の安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないよう下位クラス施設を設計する。

離隔による防護を講じて設計する場合には、下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等を想定しても上位クラス施設に衝突しない程度に十分な距離をとって配置するか、下位クラス施設と上位クラス施設の間に波及的影響を防止するために衝突に対する強度を有する障壁を設置する。下位クラス施設を上位クラス施設への波及的影響を及ぼす可能性がある位置に設置する場合には、下位クラス施設が上位クラス施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、下位クラス施設が損傷、転倒及び落下等に至らないよう構造強度設計を行う。

上記の方針で設計しない場合は、下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等を想定し、上位クラス施設の有する機能を保持するよう設計する。

以上の設計方針のうち、構造強度設計を行う、又は下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等を想定し、上位クラス施設の有する機能を保持するよう設計

する下位クラス施設を「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」に、その設計方針を「5. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計方針」に示す。

#### 4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設

「3. 波及的影響を考慮した施設の設計方針」に基づき、構造強度等を確保するよう設計するものとして選定した下位クラス施設を以下に示す。

##### 4.1 不等沈下又は相対変位の観点

###### (1) 地盤の不等沈下による影響

- a. タービン建屋，サービス建屋，ベアラ建屋，サンプルタンク室，ヘパフィルター室，大物搬入口及び連絡通路

下位クラス施設であるタービン建屋，サービス建屋，ベアラ建屋，サンプルタンク室，ヘパフィルター室，大物搬入口及び連絡通路は，上位クラス施設である原子炉建屋に隣接しており，不等沈下による衝突影響の観点で波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。このため波及的影響の設計対象とした。

ここで選定した波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の不等沈下により，波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設を第4-1表に示す。

## 東海第二発電所

地震応答解析に用いる地質断面図の作成例及び  
地盤の速度構造

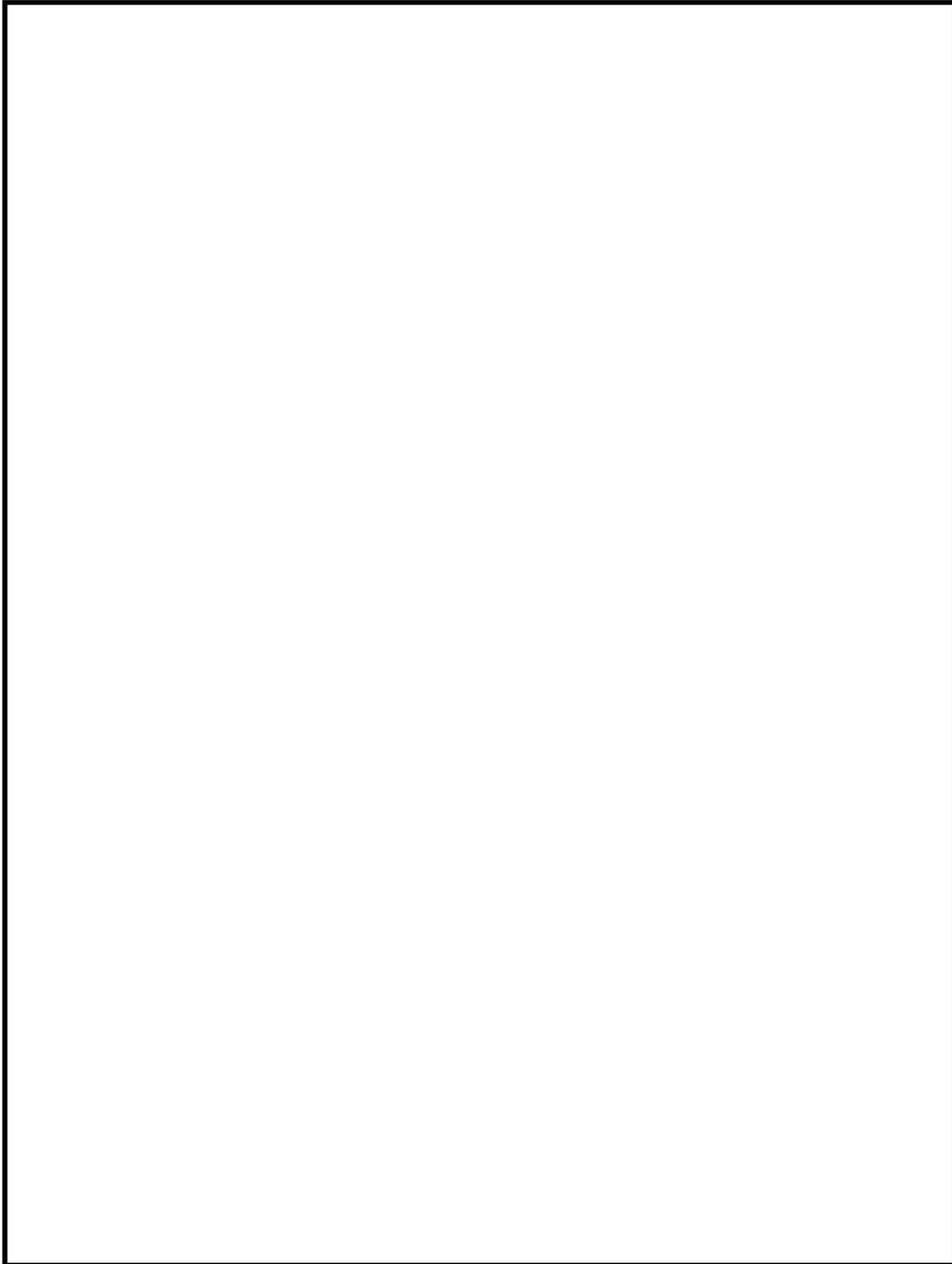
## 地震応答解析に用いる地質断面図の作成例及び地盤の速度構造

### 1. 地質断面図

地震応答解析に用いる地質断面図は，評価対象地点近傍のボーリング調査等の結果に基づき，岩盤，堆積物及び埋戻土の分布を設定し作成する。

第 1-1 図に敷地内で実施したボーリング調査位置図を示す。

代表例として，第 1-1 図に示す断面位置の地質断面図を第 1-2 図及び第 1-3 図に示す。



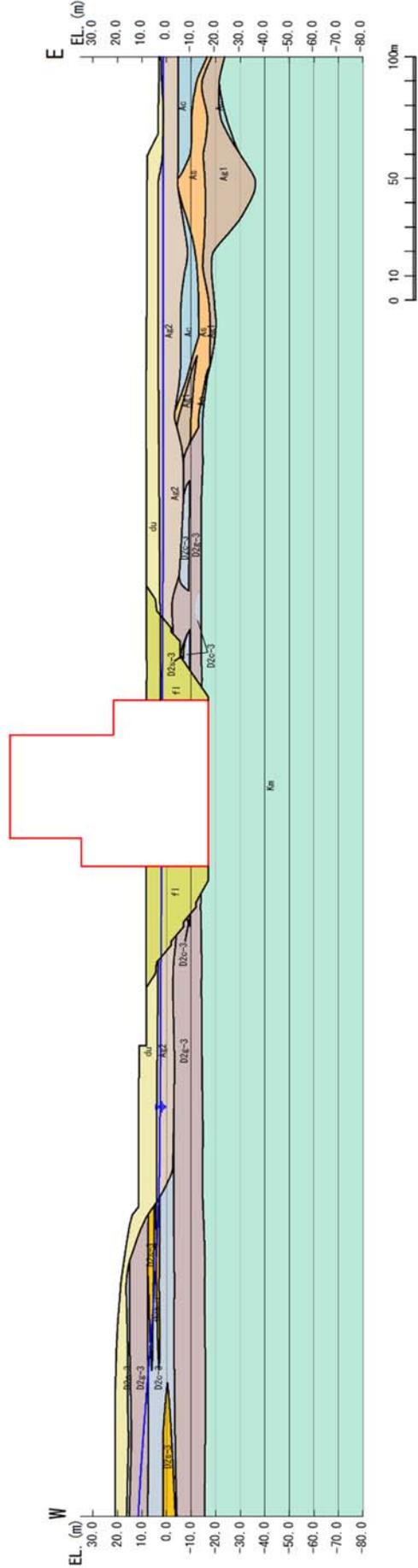
第 1-1 図 ボーリング調査位置図

地質構成表

地質時代	地質区分	記号	岩相
新 世	砂丘砂層	du	砂
		Ak2	砂礫
	沖積層 al	Ac	粘土
		As	砂
		Ag1	砂礫
四 世	DZc-3	シルト	
		DZc-3	砂
		DZc-3	砂礫
	DZc-2	DZc-2	シルト
		DZc-2	砂礫
紀	段丘堆積物	Im	ローム
		D1e-1	シルト
	Km	D1e-1	砂礫
		Km	砂質凝灰岩
		Km	砂質凝灰岩

※印は埋戻土  
 ~~~~~ 不整合

原子炉建屋



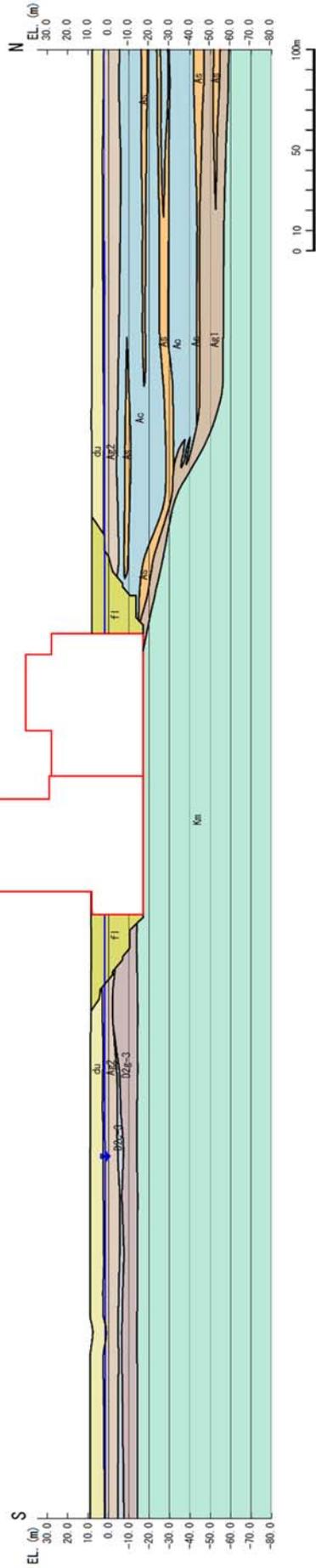
第 1-2 図 地質断面図 (EW 断面)

**地質構成表**

| 地質時代  | 地質区分   | 記号    | 岩相   |
|-------|--------|-------|------|
| 新 世   | 砂丘砂層   | du    | 砂    |
|       |        | Ag2   | 砂礫   |
|       | 沖積層 al | Ac    | 粘土   |
| 四 世   | 沖積層 al | As    | 砂    |
|       |        | Ag1   | 砂礫   |
|       |        | D2c-3 | シルト  |
|       | D2     | D2c-3 | 砂    |
|       |        | D2g-3 | 砂礫   |
| 紀 世   | 段丘堆積物  | D2c-2 | シルト  |
|       |        | D2g-2 | 砂礫   |
|       |        | la    | ローム  |
|       | D1     | D1c-1 | シルト  |
|       |        | D1g-1 | 砂礫   |
| 第三紀新世 | 久米層    | Km    | 砂質泥岩 |

不整合  
※印は埋戻土

原子炉建屋  
タービン建屋



第 1-3 図 地質断面図 (NS 断面)

## 2. 地盤の速度構造

### 2.1 入力地震動策定に用いる地下構造モデル

入力地震動の策定に用いる地下構造モデルについては、評価対象地点の地層構成に基づき、解放基盤表面（EL. -370 m）から解析モデル入力位置までをモデル化する。地下構造モデルの概要を第2-1表に示す。

第2-1表 入力地震動の策定に用いる地下構造モデル

| 地層                                      | 新第三系<br>(Km層)                                                             | 基盤                 |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 標高                                      | 解析モデル入力位置 ~ EL. -370 m                                                    | EL. -370 m以深       |
| P波速度 $V_p$<br>(m/s)                     | $V_p = V_s \sqrt{\frac{2(1 - \nu_d)}{1 - 2\nu_d}}$                        | 1988<br>(z=-370m)  |
| S波速度 $V_s$<br>(m/s)                     | $V_s = 433 - 0.771 \cdot z$<br>z : 標高 (m)                                 | 718<br>(z=-370m)   |
| 動ポアソン比 $\nu_d$                          | $\nu_d = 0.463 + 1.03 \times 10^{-4} \cdot z$<br>z : 標高 (m)               | 0.425<br>(z=-370m) |
| 密度 $\rho$<br>(g/cm <sup>3</sup> )       | $\rho = 1.72 - 1.03 \times 10^{-4} \cdot z$<br>z : 標高 (m)                 | 1.76<br>(z=-370m)  |
| せん断剛性の<br>ひずみ依存性<br>$G/G_0 \sim \gamma$ | $\frac{1}{1 + 107 \gamma^{0.824}}$<br>$\gamma$ : せん断ひずみ (-)               | —                  |
| 減衰定数<br>$h \sim \gamma$                 | $\frac{\gamma}{(4.41 \gamma + 0.0494)} + 0.0184$<br>$\gamma$ : せん断ひずみ (-) | 0.03               |

## 2.2 地震応答解析に用いる浅部地盤の解析モデル

「1. 地質断面図 第1-1図」に示すボーリング孔を利用して実施したPS検層の結果から設定した、地層ごとのP波速度及びS波速度を第2-2表に示す。

地震応答解析に用いる浅部地盤の解析モデルの作成に当たっては、「1. 地質断面図」において作成した地質図を基に、浅部地盤の速度構造を適切に反映できる深度までモデル化する。

第2-2表 PS検層結果

| 地層   |        |       | 平均値                 |                       | 平均有効主応力依存式<br>$V_s = A \times (\sigma'_m)^{0.25}$ |
|------|--------|-------|---------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|
|      |        |       | $V_s$<br>(m/s)      | $V_p$<br>(m/s)        | 係数A                                               |
| 第四系  | du層    | 不飽和   | 210                 | 482                   | 82.9                                              |
|      |        | 飽和    |                     | 1,850                 | 82.2                                              |
|      | Ag2層   | 不飽和   | 240                 | 446                   | 71.5                                              |
|      |        | 飽和    |                     | 1,801                 | 78.8                                              |
|      | Ac層    | 飽和    | $163-1.54 \cdot z$  | $1,240-1.93 \cdot z$  | 58.1                                              |
|      | As層    | 飽和    | $211-1.19 \cdot z$  | $1,360-1.78 \cdot z$  | 65.1                                              |
|      | Ag1層   | 飽和    | 350                 | 1,950                 | 82.7                                              |
|      | D2c-3層 | 飽和    | 270                 | 1,770                 | 78.2                                              |
|      | D2s-3層 | 飽和    | 360                 | 1,400                 | 104.4                                             |
|      | D2g-3層 | 飽和    | 500                 | 1,879                 | 136.2                                             |
|      | lm層    | 飽和    | 130                 | 1,160                 | 41.0                                              |
|      | D1c-1層 | 飽和    | 280                 | 1,730                 | —                                                 |
|      | D1g-1層 | 不飽和   | 390                 | 903                   | 110.6                                             |
| 飽和   |        | 1,757 |                     | 107.0                 |                                                   |
| 新第三系 | Km層    | 飽和    | $433-0.771 \cdot z$ | $1,650-0.910 \cdot z$ | —                                                 |

$z$  : 標高 (m)

$\sigma'_m$  : 平均有効主応力 (kN/m<sup>2</sup>)

A : 最小二乗法の回帰係数



## 東海第二発電所

既工認との手法の相違点の整理について  
(設置変更許可申請段階での整理)  
(耐震)

## 1-1 既工認との手法の相違点の整理について(設置変更許可申請段階での整理)

### 1. はじめに

本資料は、設置変更許可審査段階におけるプラントの耐震成立性確認を目的として、今後提出する東海第二発電所の補正工認（以下「今回工認」という。）で採用する予定の評価手法のうち、当該発電所の既工認（以下「既工認」という。）の評価手法と相違があり、他社のプラントの既工認（以下「他プラント既工認」という。）で採用実績のないものを網羅的に整理する方針について示すものである。

なお、原子炉建屋における今回工認の応答加速度と建設工認時との応答加速度等の比較について、添付1に示す。

### 2. 整理方針

#### (1) 整理対象

プラントの耐震成立性を確認するための重要な耐震Sクラス設備、耐震Sクラス設備に波及的影響を及ぼすおそれのある設備及び耐震Sクラス設備を支持する施設を対象とする。ただし、波及的影響を及ぼすおそれのある設備については、既工認で耐震計算書を有するクレーン類を対象とする。

#### (2) 整理方針

既工認の手法と今回工認の手法の差異を整理するとともに、他プラント既工認での採用実績の有無を整理する。これらから、既工認又は他プラント既工認での採用実績がないものを抽出する。

さらに、東海第二発電所は、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4601-1987 等の規格基準制定前に建設されたプラントであることを踏まえ、既工認の手法と今回工認の手法に相違が無くても、規格基準に沿った手法

で耐震評価がされているかを確認する。なお抽出された設備において、他プラント既工認での適用実績がない場合は、適用例のない手法として整理する。

### (3) 既工認の手法と今回工認の手法の相違点の整理フロー

既工認の手法と今回工認の手法の相違点の整理フローについて、第1図に示すとともに、整理フローの検討内容を下記に示す。

#### a. 既工認と今回工認との比較のための整理

整理対象として抽出した設備について、既工認と今回工認時との比較を行うために、解析手法、解析モデル、減衰定数及びその他（評価条件の変更等）に対して、既工認の手法及び今回工認の手法について設備ごとに内容を整理する。

#### b. 既工認と今回工認との整理結果から適用例の無い手法の抽出

a. にて整理した結果に対して、既工認の手法と今回工認の手法について以下項目における相違の有無を確認する。

##### (a) 解析手法

解析種別として応答解析及び応力解析に適用する解析手法に対して、時刻歴解析、スペクトルモーダル解析、公式等による評価等の相違の有無を確認する。

##### (b) 解析モデル

解析種別として応答解析及び応力解析に適用する解析モデルに対して、1質点系モデル、多質点系モデル、FEMモデル等の相違の有無を確認する。

##### (c) 減衰定数

解析種別として応答解析及び応力解析に適用する減衰定数に対して、相違の有無を確認する。

(d) その他（評価条件の変更等）

(a)～(c)以外の評価条件の変更について相違の有無を確認する。

相違が有れば、他プラントの既工認での適用実績の確認を行う。適用実績の確認は、基本は他プラント既工認での同等設備での確認とするが、同等設備での適用実績がない場合は、その参照した設備を整理した上で、適用実績が無い場合は、適用例の無い手法として整理する。他プラントの既工認での適用実績が有る場合において、東海第二発電所として適用性を確認することとし、適用性に際して特に留意すべき設備については、添付 2 にて個別に整理する。

c. 規格基準に沿った手法であることの確認

既工認の手法と今回工認の手法とに相違が無いことが確認された場合においても、今回工認の手法が既往工認で適用実績がある規格基準に沿った手法であることを確認する。

規格基準に沿った手法でない場合においては、②の手順に従って適用例の無い手法として整理するかを判断する。

別表3 (1) 既設DB施設の耐震評価条件整理一覧表(機器・配管系のうち機器の構造強度評価)

(※1) 共通適用あり: 規格・基準類等に基づきプラントの仕様等によらず適用性が確認されたプラント共通の適用例がある手法 個別適用あり: プラント個別に適用性が確認されたプラント個別の適用例がある手法

| 評価対象設備  | 既工認と今回工認時との比較                           |                |      |                        |                        |      |      |                       |                       |        |        |      | 他プラントを含めた既工認での適用例 |                                                                                      |                                                                                     |                                                                                | 既工認と今回工認の手法に相違                                               |                                                              |                                                                                                                          |                                                                                                                          |         |   |         |   |    |    |
|---------|-----------------------------------------|----------------|------|------------------------|------------------------|------|------|-----------------------|-----------------------|--------|--------|------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---|---------|---|----|----|
|         | 解析手法<br>(公式等による評価, スペクトルモーダル解析, 時刻歴解析他) |                |      |                        | 解析モデル                  |      |      |                       | 減衰定数                  |        |        |      | その他<br>(評価条件の変更等) |                                                                                      | 備考<br>(左欄にて比較した自プラント既工認)                                                            | 内容                                                                             |                                                              | 参照した設備名称                                                     | 減衰定数の実績<br>○: 構造上の差異なし<br>×: 構造上の差異あり<br>(適用可能であること<br>の理由も記載)                                                           |                                                                                                                          |         |   |         |   |    |    |
|         | 相違内容                                    |                |      |                        | 相違内容                   |      |      |                       | 相違内容                  |        |        |      | 相違内容              |                                                                                      |                                                                                     |                                                                                |                                                              |                                                              |                                                                                                                          |                                                                                                                          |         |   |         |   |    |    |
|         | 工認                                      | 解析種別           | 内容   |                        | 工認                     | 解析種別 | 方向   | 内容                    | 工認                    | 解析種別   | 方向     | 内容   | 工認                | 内容                                                                                   |                                                                                     |                                                                                |                                                              |                                                              |                                                                                                                          |                                                                                                                          |         |   |         |   |    |    |
| 放射線管理施設 | 非常用ガス再循環系フィルタトレイン                       | 既工認            | 応答解析 | 各設備の固有周期に基づく応答加速度による評価 | 既工認                    | 応答解析 | 水平   | —                     | 既工認                   | 応答解析   | 水平     | —    | 既工認               | 建設工認 第13回<br>添付書類Ⅲ-2-1「申請設備に係る耐震設計の基本方針」<br>添付書類Ⅲ-2-4「非常用ガス再循環系フィルタトレインの耐震性についての計算書」 |                                                                                     |                                                                                | —                                                            |                                                              |                                                                                                                          | —                                                                                                                        | —       | ○ |         |   |    |    |
|         |                                         |                | 応力解析 | 公式等による評価               |                        | 既工認  | 応力解析 | 水平                    |                       | —      | 既工認    | 応力解析 |                   |                                                                                      | 水平                                                                                  | —                                                                              |                                                              |                                                              |                                                                                                                          |                                                                                                                          |         |   |         |   |    |    |
|         |                                         | 今回工認           | 応答解析 | 各設備の固有周期に基づく応答加速度による評価 | 今回工認                   | 応答解析 | 水平   | —                     | 今回工認                  | 応答解析   | 水平     | —    | 今回工認              |                                                                                      | —                                                                                   | —                                                                              |                                                              | —                                                            | —                                                                                                                        |                                                                                                                          |         |   | —       | — |    |    |
|         |                                         |                | 応力解析 | 公式等による評価               |                        | 今回工認 | 応力解析 | 水平                    |                       | —      | 今回工認   | 応力解析 |                   |                                                                                      |                                                                                     |                                                                                |                                                              |                                                              |                                                                                                                          |                                                                                                                          |         |   |         |   | 水平 | —  |
|         |                                         | 非常用ガス処理系排風機    | 既工認  | 応答解析                   | 各設備の固有周期に基づく応答加速度による評価 | 既工認  | 応答解析 | 水平                    | —                     | 既工認    | 応答解析   | 水平   | —                 |                                                                                      | 既工認                                                                                 | 建設工認 第13回<br>添付書類Ⅲ-2-1「申請設備に係る耐震設計の基本方針」<br>添付書類Ⅲ-2-6「非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算書」 |                                                              | —                                                            | —                                                                                                                        |                                                                                                                          |         |   | —       | — | ○  |    |
|         |                                         |                |      | 応力解析                   | 公式等による評価               |      | 既工認  | 応力解析                  | 水平                    |        | —      | 既工認  | 応力解析              |                                                                                      |                                                                                     |                                                                                |                                                              |                                                              |                                                                                                                          |                                                                                                                          |         |   |         |   |    | 水平 |
|         | 今回工認                                    |                | 応答解析 | 各設備の固有周期に基づく応答加速度による評価 | 今回工認                   | 応答解析 | 水平   | —                     | 今回工認                  | 応答解析   | 水平     | —    | 今回工認              | —                                                                                    | —                                                                                   |                                                                                | —                                                            |                                                              |                                                                                                                          | —                                                                                                                        | —       | — |         |   |    |    |
|         |                                         |                | 応力解析 | 公式等による評価               |                        | 今回工認 | 応力解析 | 水平                    |                       | —      | 今回工認   | 応力解析 |                   |                                                                                      |                                                                                     |                                                                                |                                                              |                                                              |                                                                                                                          |                                                                                                                          |         |   |         |   |    | 水平 |
|         | 非常用ガス処理系フィルタトレイン                        |                | 既工認  | 応答解析                   | 各設備の固有周期に基づく応答加速度による評価 | 既工認  | 応答解析 | 水平                    | —                     | 既工認    | 応答解析   | 水平   | —                 | 既工認                                                                                  | 建設工認 第13回<br>添付書類Ⅲ-2-1「申請設備に係る耐震設計の基本方針」<br>添付書類Ⅲ-2-7「非常用ガス処理系フィルタトレインの耐震性についての計算書」 |                                                                                | —                                                            |                                                              |                                                                                                                          | —                                                                                                                        | —       | — |         |   |    | ○  |
|         |                                         |                |      | 応力解析                   | 公式等による評価               |      | 既工認  | 応力解析                  | 水平                    |        | —      | 既工認  | 応力解析              |                                                                                      |                                                                                     |                                                                                |                                                              |                                                              |                                                                                                                          |                                                                                                                          |         |   |         |   |    |    |
|         |                                         | 今回工認           | 応答解析 | 各設備の固有周期に基づく応答加速度による評価 | 今回工認                   | 応答解析 | 水平   | —                     | 今回工認                  | 応答解析   | 水平     | —    | 今回工認              | —                                                                                    |                                                                                     | —                                                                              |                                                              | —                                                            | —                                                                                                                        |                                                                                                                          |         |   | —       | — |    |    |
|         |                                         |                | 応力解析 | 公式等による評価               |                        | 今回工認 | 応力解析 | 水平                    |                       | —      | 今回工認   | 応力解析 |                   |                                                                                      |                                                                                     |                                                                                |                                                              |                                                              |                                                                                                                          |                                                                                                                          |         |   |         |   | 水平 |    |
| 原子炉格納容器 |                                         | ドライウエル         | 既工認  | 応答解析                   | 時刻歴解析                  | 既工認  | 応答解析 | 水平                    | 多質点系モデル(大型機器系連成解析モデル) | 既工認    | 応答解析   | 水平   | 1.0%              | 既工認                                                                                  |                                                                                     | 建設工認 第1回<br>添付書類Ⅲ-1-1「耐震設計の基本方針」<br>添付書類Ⅲ-3-3「原子炉格納容器強度計算書」                    |                                                              | (解析モデル)<br>応答解析: ○<br>(減衰定数)<br>応答解析: ○<br>(その他)<br>解析コード: ○ | (解析モデル)<br>応答解析: 大間1号既工認での共通適用例のあるモデル<br>(減衰定数)<br>応答解析: 大間1号既工認での共通適用例のある減衰定数<br>(その他)<br>解析コード: 大間1号既工認での共通適用例のある解析コード |                                                                                                                          |         |   | 同じ設備を参照 | ○ | —  |    |
|         |                                         |                |      | 応力解析                   | FEM解析及び公式等による評価        |      | 既工認  | 応力解析                  | 水平                    |        | シェルモデル | 既工認  | 応力解析              |                                                                                      |                                                                                     |                                                                                |                                                              |                                                              |                                                                                                                          |                                                                                                                          |         |   |         |   |    |    |
|         | 今回工認                                    |                | 応答解析 | 時刻歴解析                  | 今回工認                   | 応答解析 | 水平   | 多質点系モデル(大型機器系連成解析モデル) | 今回工認                  | 応答解析   | 水平     | 1.0% | 今回工認              | 解析コード: NASTRAN                                                                       | —                                                                                   |                                                                                | —                                                            |                                                              |                                                                                                                          | —                                                                                                                        | —       | — |         |   |    |    |
|         |                                         |                | 応力解析 | FEM解析及び公式等による評価        |                        | 今回工認 | 応力解析 | 水平                    |                       | シェルモデル | 今回工認   | 応力解析 |                   |                                                                                      |                                                                                     |                                                                                |                                                              |                                                              |                                                                                                                          |                                                                                                                          |         |   |         |   |    | 水平 |
|         | サブプレッションチェンバ                            |                | 既工認  | 応答解析                   | 時刻歴解析                  | 既工認  | 応答解析 | 水平                    | 多質点系モデル(大型機器系連成解析モデル) | 既工認    | 応答解析   | 水平   | 1.0%              | 既工認                                                                                  | 建設工認 第1回<br>添付書類Ⅲ-1-1「耐震設計の基本方針」<br>添付書類Ⅲ-3-3「原子炉格納容器強度計算書」                         |                                                                                | (解析モデル)<br>応答解析: ○<br>(減衰定数)<br>応答解析: ○<br>(その他)<br>解析コード: ○ |                                                              |                                                                                                                          | (解析モデル)<br>応答解析: 大間1号既工認での共通適用例のあるモデル<br>(減衰定数)<br>応答解析: 大間1号既工認での共通適用例のある減衰定数<br>(その他)<br>解析コード: 大間1号既工認での共通適用例のある解析コード | 同じ設備を参照 | ○ |         |   |    | —  |
|         |                                         |                |      | 応力解析                   | FEM解析及び公式等による評価        |      | 既工認  | 応力解析                  | 水平                    |        | シェルモデル | 既工認  | 応力解析              |                                                                                      |                                                                                     |                                                                                |                                                              |                                                              |                                                                                                                          |                                                                                                                          |         |   |         |   |    |    |
|         |                                         | 今回工認           | 応答解析 | 時刻歴解析                  | 今回工認                   | 応答解析 | 水平   | 多質点系モデル(大型機器系連成解析モデル) | 今回工認                  | 応答解析   | 水平     | 1.0% | 今回工認              | 解析コード: NASTRAN                                                                       |                                                                                     | —                                                                              |                                                              | —                                                            | —                                                                                                                        |                                                                                                                          |         |   | —       | — |    |    |
|         |                                         |                | 応力解析 | FEM解析及び公式等による評価        |                        | 今回工認 | 応力解析 | 水平                    |                       | シェルモデル | 今回工認   | 応力解析 |                   |                                                                                      |                                                                                     |                                                                                |                                                              |                                                              |                                                                                                                          |                                                                                                                          |         |   |         |   | 水平 |    |
|         |                                         | 上部シアラフ及びスタビライザ | 既工認  | 応答解析                   | 時刻歴解析                  | 既工認  | 応答解析 | 水平                    | 多質点系モデル(大型機器系連成解析モデル) | 既工認    | 応答解析   | 水平   | 1.0%              | 既工認                                                                                  |                                                                                     | 建設工認 第1回<br>添付書類Ⅲ-1-1「耐震設計の基本方針」<br>添付書類Ⅲ-3-3「原子炉格納容器強度計算書」                    |                                                              | (解析手法)<br>応答解析: ○<br>(解析モデル)<br>応答解析: ○<br>(減衰定数)<br>応答解析: ○ | (解析手法)<br>応答解析: 柏崎5号既工認での共通適用例のある手法<br>(解析モデル)<br>応答解析: 大間1号既工認での共通適用例のあるモデル<br>(減衰定数)<br>応答解析: 大間1号既工認での共通適用例のある減衰定数    |                                                                                                                          |         |   | 同じ設備を参照 | ○ | —  |    |
|         |                                         |                |      | 応力解析                   | 公式等による評価               |      | 既工認  | 応力解析                  | 水平                    |        | —      | 既工認  | 応力解析              |                                                                                      |                                                                                     |                                                                                |                                                              |                                                              |                                                                                                                          |                                                                                                                          |         |   |         |   |    |    |
|         | 今回工認                                    |                | 応答解析 | 時刻歴解析                  | 今回工認                   | 応答解析 | 水平   | 多質点系モデル(大型機器系連成解析モデル) | 今回工認                  | 応答解析   | 水平     | 1.0% | 今回工認              | —                                                                                    | —                                                                                   |                                                                                | —                                                            |                                                              |                                                                                                                          | —                                                                                                                        | —       | — |         |   |    |    |
|         |                                         |                | 応力解析 | FEM解析及び公式等による評価        |                        | 今回工認 | 応力解析 | 水平                    |                       | シェルモデル | 今回工認   | 応力解析 |                   |                                                                                      |                                                                                     |                                                                                |                                                              |                                                              |                                                                                                                          |                                                                                                                          |         |   |         |   |    | 水平 |

別表3(1) 既設DB施設の耐震評価条件整理一覧表(機器・配管系のうち機器の構造強度評価)

(※1) 共通適用あり: 規格・基準等に基づきプラントの仕様等によらず適用性が確認されたプラント共通の適用例がある手法 個別適用あり: プラント個別に適用性が確認されたプラント個別の適用例がある手法

| 評価対象設備             | 既工事と今回工事時の比較                            |                       |                        |       |        |        |          |                       |      |                   |           | 備考<br>(左欄にて比較した自<br>プラント既工事)                                               | 他プラントを含めた既工事での適用例                                            |                                                                         |                                                                |                                                              | 既工事と今回工事の手法<br>に相違 |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
|--------------------|-----------------------------------------|-----------------------|------------------------|-------|--------|--------|----------|-----------------------|------|-------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------|----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---|---|---|
|                    | 解析手法<br>(公式等による評価, スペクトルモーダル解析, 時刻歴解析他) |                       |                        | 解析モデル |        |        | 減衰定数     |                       |      | その他<br>(評価条件の変更等) |           |                                                                            | 内容                                                           | 参照した設備名称                                                                | 減衰定数の実績<br>○: 構造上の差異なし<br>×: 構造上の差異あり<br>(適用可能であることの<br>理由も記載) |                                                              |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
|                    | 既工事                                     | 解析種別                  | 内容                     | 既工事   | 解析種別   | 方向     | 内容       | 既工事                   | 解析種別 | 方向                | 内容        |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                | 既工事                                                          |                    | 内容 |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
|                    |                                         |                       |                        |       |        |        |          |                       |      |                   |           |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    | ○: 同じ<br>●: 異なる<br>-: 該当なし |   |   |   |
| 原子伊格納施設            | 下部シアラグとダイヤフラムブラケット                      | 既工事                   | 応答解析                   | 時刻歴解析 | ●      | 既工事    | 水平       | 多質点系モデル(大型機器系連成解析モデル) | ●    | 既工事               | 水平        | 1.0%                                                                       | 建設工事 第1回<br>添付書類Ⅲ-1-1「耐震設計の基本方針」<br>添付書類Ⅲ-3-3「原子伊格納容器強度計算書」  | (解析手法)<br>応力解析: ○<br>(解析モデル)<br>応力解析: ○<br>応力解析: ○<br>(減衰定数)<br>応答解析: ○ | (解析手法)<br>応力解析: ○<br>(解析モデル)<br>応力解析: ○<br>(減衰定数)<br>応答解析: ○   | (解析手法)<br>応力解析: ○<br>(解析モデル)<br>応力解析: ○<br>(減衰定数)<br>応答解析: ○ | 同じ設備を参照            | ○  | -                          |                            |                            |                            |   |   |   |
|                    |                                         |                       | 鉛直                     | -     |        |        | 鉛直       | -                     |      |                   | 鉛直        | -                                                                          |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            | 鉛直                         | -                          |                            |   |   |   |
|                    |                                         | 応力解析                  | 公式等による評価               | -     | 既工事    | 水平     | -        | 水平                    | -    | 既工事               | 水平        | -                                                                          |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            | -                          | -                          | -                          | - | - | - |
|                    |                                         | 今回工事                  | 応答解析                   | 時刻歴解析 | ●      | 今回工事   | 水平       | 多質点系モデル(大型機器系連成解析モデル) | -    | 今回工事              | 水平        | 1.0%                                                                       |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            | -                          | -                          | -                          | - | - | - |
|                    | 鉛直                                      | 多質点系モデル(大型機器系連成解析モデル) | 鉛直                     | 1.0%  |        |        | 鉛直       | -                     |      |                   |           |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
|                    | 応力解析                                    | FEM解析及び公式等による評価       | -                      | 今回工事  | 水平     | シェルモデル | 水平       | -                     | 今回工事 | 水平                | -         | -                                                                          | -                                                            | -                                                                       | -                                                              | -                                                            | -                  |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
|                    | 鉛直                                      | シェルモデル                | 鉛直                     | -     | 鉛直     | -      |          |                       |      |                   |           |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
|                    | 関アンカー部                                  | 既工事                   | 応答解析                   | 時刻歴解析 | ●      | 既工事    | 水平       | 多質点系モデル(大型機器系連成解析モデル) | ●    | 既工事               | 水平        | 1.0%                                                                       | 建設工事 第1回<br>添付書類Ⅲ-1-1「耐震設計の基本方針」<br>添付書類Ⅲ-3-3「原子伊格納容器強度計算書」  | (解析モデル)<br>応力解析: ○<br>(解析モデル)<br>応力解析: ○                                | (解析モデル)<br>応力解析: ○<br>(減衰定数)<br>応答解析: ○                        | (解析モデル)<br>応力解析: ○<br>(減衰定数)<br>応答解析: ○                      | 同じ設備を参照            | ○  | -                          |                            |                            |                            |   |   |   |
|                    |                                         |                       | 鉛直                     | -     |        |        | 鉛直       | -                     |      |                   | 鉛直        | -                                                                          |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
|                    |                                         | 応力解析                  | 公式等による評価               | -     | 既工事    | 水平     | -        | 水平                    | -    | 既工事               | 水平        | -                                                                          |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            | -                          | -                          | -                          | - | - | - |
|                    |                                         | 今回工事                  | 応答解析                   | 時刻歴解析 | -      | 今回工事   | 水平       | 多質点系モデル(大型機器系連成解析モデル) | -    | 今回工事              | 水平        | 1.0%                                                                       |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            | -                          | -                          | -                          | - | - | - |
|                    | 鉛直                                      | 多質点系モデル(大型機器系連成解析モデル) | 鉛直                     | 1.0%  |        |        | 鉛直       | -                     |      |                   |           |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
| 応力解析               | 公式等による評価                                | -                     | 今回工事                   | 水平    | -      | 水平     | -        | 今回工事                  | 水平   | -                 | -         | -                                                                          | -                                                            | -                                                                       | -                                                              | -                                                            |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
| 鉛直                 | -                                       | 鉛直                    | -                      |       |        |        |          |                       |      |                   |           |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
| イクイメントハッチ          | 既工事                                     | 応答解析                  | 各設備の固有周期に基づく応答加速度による評価 | -     | 既工事    | 水平     | -        | -                     | 既工事  | 水平                | -         | 建設工事 第1回<br>添付書類Ⅲ-1-1「耐震設計の基本方針」<br>添付書類Ⅲ-3-3「原子伊格納容器強度計算書」                | (解析手法)<br>応力解析: ○<br>(解析モデル)<br>応力解析: ○                      | (解析手法)<br>応力解析: ○<br>(解析モデル)<br>応力解析: ○                                 | (解析手法)<br>応力解析: ○<br>(解析モデル)<br>応力解析: ○                        | 同じ設備を参照                                                      | ○                  | -  |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
|                    |                                         | 鉛直                    | -                      |       |        | 鉛直     | -        |                       |      | 鉛直                | -         |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
|                    | 応力解析                                    | 公式等による評価              | -                      | 既工事   | 水平     | -      | 水平       | -                     | 既工事  | 水平                | -         |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    | -                          | -                          | -                          | -                          | - | - |   |
|                    | 今回工事                                    | 応答解析                  | 各設備の固有周期に基づく応答加速度による評価 | ●     | 今回工事   | 水平     | -        | -                     | 今回工事 | 水平                | -         |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    | -                          | -                          | -                          | -                          | - | - |   |
| 鉛直                 | -                                       | 鉛直                    | -                      |       |        | 鉛直     | -        |                       |      |                   |           |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
| 応力解析               | FEM解析及び公式等による評価                         | -                     | 今回工事                   | 水平    | シェルモデル | 水平     | -        | 今回工事                  | 水平   | -                 | -         | -                                                                          | -                                                            | -                                                                       | -                                                              | -                                                            |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
| 鉛直                 | シェルモデル                                  | 鉛直                    | -                      |       |        |        |          |                       |      |                   |           |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
| パーソナルエアロック         | 既工事                                     | 応答解析                  | 各設備の固有周期に基づく応答加速度による評価 | -     | 既工事    | 水平     | -        | -                     | 既工事  | 水平                | -         | 建設工事 第1回<br>添付書類Ⅲ-1-1「耐震設計の基本方針」<br>添付書類Ⅲ-3-3「原子伊格納容器強度計算書」                | (解析手法)<br>応力解析: ○<br>(解析モデル)<br>応力解析: ○                      | (解析手法)<br>応力解析: ○<br>(解析モデル)<br>応力解析: ○                                 | (解析手法)<br>応力解析: ○<br>(解析モデル)<br>応力解析: ○                        | 同じ設備を参照                                                      | ○                  | -  |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
|                    |                                         | 鉛直                    | -                      |       |        | 鉛直     | -        |                       |      | 鉛直                | -         |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
|                    | 応力解析                                    | 公式等による評価              | -                      | 既工事   | 水平     | -      | 水平       | -                     | 既工事  | 水平                | -         |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    | -                          | -                          | -                          | -                          | - | - |   |
|                    | 今回工事                                    | 応答解析                  | 各設備の固有周期に基づく応答加速度による評価 | ●     | 今回工事   | 水平     | -        | -                     | 今回工事 | 水平                | -         |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    | -                          | -                          | -                          | -                          | - | - |   |
| 鉛直                 | -                                       | 鉛直                    | -                      |       |        | 鉛直     | -        |                       |      |                   |           |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
| 応力解析               | FEM解析及び公式等による評価                         | -                     | 今回工事                   | 水平    | シェルモデル | 水平     | -        | 今回工事                  | 水平   | -                 | -         | -                                                                          | -                                                            | -                                                                       | -                                                              | -                                                            |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
| 鉛直                 | シェルモデル                                  | 鉛直                    | -                      |       |        |        |          |                       |      |                   |           |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
| サブレーションチェーンアクセスハッチ | 既工事                                     | 応答解析                  | 各設備の固有周期に基づく応答加速度による評価 | ○     | 既工事    | 水平     | -        | -                     | 既工事  | 水平                | -         | 建設工事 第1回<br>添付書類Ⅲ-1-1「耐震設計の基本方針」<br>添付書類Ⅲ-3-3「原子伊格納容器強度計算書」                | (解析手法)<br>応力解析: ○<br>(解析モデル)<br>応力解析: ○                      | (解析手法)<br>応力解析: ○<br>(解析モデル)<br>応力解析: ○                                 | (解析手法)<br>応力解析: ○<br>(解析モデル)<br>応力解析: ○                        | 同じ設備を参照                                                      | ○                  | -  |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
|                    |                                         | 鉛直                    | -                      |       |        | 鉛直     | -        |                       |      | 鉛直                | -         |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
|                    | 応力解析                                    | 公式等による評価              | -                      | 既工事   | 水平     | -      | 水平       | -                     | 既工事  | 水平                | -         |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    | -                          | -                          | -                          | -                          | - | - |   |
|                    | 今回工事                                    | 応答解析                  | 各設備の固有周期に基づく応答加速度による評価 | ●     | 今回工事   | 水平     | -        | -                     | 今回工事 | 水平                | -         |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    | -                          | -                          | -                          | -                          | - | - |   |
| 鉛直                 | -                                       | 鉛直                    | -                      |       |        | 鉛直     | -        |                       |      |                   |           |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
| 応力解析               | FEM解析及び公式等による評価                         | -                     | 今回工事                   | 水平    | シェルモデル | 水平     | -        | 今回工事                  | 水平   | -                 | -         | -                                                                          | -                                                            | -                                                                       | -                                                              | -                                                            |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
| 鉛直                 | シェルモデル                                  | 鉛直                    | -                      |       |        |        |          |                       |      |                   |           |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
| 配管貫通部              | 既工事                                     | 応答解析                  | スペクトルモーダル解析            | ●     | 既工事    | 水平     | 3次元はりモデル | -                     | 既工事  | 水平                | 0.5%      | 建設工事 第20回<br>添付書類Ⅲ-2-1「申請設備に係る耐震設計の基本方針」<br>添付書類Ⅲ-2-6「格納容器貫通部の耐震性についての計算書」 | (解析手法)<br>応力解析: ○<br>(解析モデル)<br>応力解析: ○<br>(減衰定数)<br>応答解析: ○ | (解析手法)<br>応力解析: ○<br>(解析モデル)<br>応力解析: ○                                 | (解析手法)<br>応力解析: ○<br>(解析モデル)<br>応力解析: ○                        | 同じ設備を参照                                                      | ○                  | -  |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
|                    |                                         | 鉛直                    | 3次元はりモデル               |       |        | 鉛直     | -        |                       |      | 鉛直                | -         |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
|                    | 応力解析                                    | 公式等による評価              | -                      | 既工事   | 水平     | -      | 水平       | -                     | 既工事  | 水平                | -         |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    | -                          | -                          | -                          | -                          | - | - |   |
|                    | 今回工事                                    | 応答解析                  | スペクトルモーダル解析            | ●     | 今回工事   | 水平     | 3次元はりモデル | -                     | 今回工事 | 水平                | 0.5%~3.0% |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    | -                          | -                          | -                          | -                          | - | - |   |
| 鉛直                 | 3次元はりモデル                                | 鉛直                    | 0.5%~3.0%              |       |        | 鉛直     | -        |                       |      |                   |           |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
| 応力解析               | FEM解析                                   | -                     | 今回工事                   | 水平    | シェルモデル | 水平     | -        | 今回工事                  | 水平   | -                 | -         | -                                                                          | -                                                            | -                                                                       | -                                                              | -                                                            |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |
| 鉛直                 | シェルモデル                                  | 鉛直                    | -                      |       |        |        |          |                       |      |                   |           |                                                                            |                                                              |                                                                         |                                                                |                                                              |                    |    |                            |                            |                            |                            |   |   |   |

別表3(1) 既設DB施設の耐震評価条件整理一覧表(機器・配管系のうち機器の構造強度評価)

(※1) 共通適用あり：規格・基準類等に基づきプラントの仕様等によらず適用性が確認されたプラント共通の適用例がある手法 個別適用あり：プラント個別に適用性が確認されたプラント個別の適用例がある手法

| 評価対象設備      | 既工認と今回工認時との比較                         |      |                        |                         |      |      |         |                         |      |                   |                         |                          | 他プラントを含めた既工認での適用例 |                                                                                   |                                                                        |                                       | 既工認と今回工認の手法に相違 |      |      |      |   |
|-------------|---------------------------------------|------|------------------------|-------------------------|------|------|---------|-------------------------|------|-------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------|------|------|------|---|
|             | 解析手法<br>(公式等による評価、スペクトルモーダル解析、時刻歴解析他) |      |                        | 解析モデル                   |      |      |         | 減衰定数                    |      | その他<br>(評価条件の変更等) |                         | 備考<br>(左欄にて比較した自プラント既工認) | 内容                | 参照した設備名称                                                                          | 減衰定数の実績<br>○：構造上の差異なし<br>×：構造上の差異あり<br>(適用可能であること<br>の理由も記載)           |                                       |                |      |      |      |   |
|             | ○：同じ<br>●：異なる<br>-：該当なし               | 相違内容 |                        | ○：同じ<br>●：異なる<br>-：該当なし | 相違内容 |      |         | ○：同じ<br>●：異なる<br>-：該当なし | 相違内容 |                   | ○：同じ<br>●：異なる<br>-：該当なし |                          |                   |                                                                                   |                                                                        | 相違内容                                  |                |      |      |      |   |
|             |                                       | 工認   | 解析種別                   |                         | 内容   | 工認   | 解析種別    |                         | 方向   | 内容                |                         |                          |                   |                                                                                   |                                                                        | 工認                                    |                | 解析種別 | 方向   | 内容   |   |
| 原子炉格納容器     | 電気配線貫通部                               | 既工認  | 応答解析                   | -                       | 既工認  | 応答解析 | 水平      | -                       | 既工認  | 応答解析              | 水平                      | -                        | 既工認               | -                                                                                 | (応答解析)<br>○<br>(応力解析)<br>-                                             | 同設備を参照                                | ○              | -    |      |      |   |
|             |                                       |      | 応力解析                   | -                       |      | 応力解析 | 水平      | -                       |      | 応力解析              | 水平                      | -                        |                   |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
|             |                                       | 今回工認 | 応答解析                   | スペクトルモーダル解析             | 今回工認 | 応答解析 | 水平      | ビームモデル                  | 鉛直   | 1.0%              | 今回工認                    | 応答解析                     | 水平                | 1.0%                                                                              |                                                                        |                                       |                |      | 今回工認 | -    |   |
|             |                                       |      | 応力解析                   | FEM解析                   |      | 応力解析 | 水平      | シェルモデル                  | 鉛直   | -                 |                         | 応力解析                     | 水平                | -                                                                                 |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
|             |                                       |      | 応答解析                   | -                       |      | 応力解析 | 鉛直      | シェルモデル                  | 鉛直   | -                 |                         | 応力解析                     | 鉛直                | -                                                                                 |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
|             |                                       |      | 応力解析                   | -                       |      | 応力解析 | 鉛直      | シェルモデル                  | 鉛直   | -                 |                         | 応力解析                     | 鉛直                | -                                                                                 |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
|             | ダイヤフラムフロア                             | 既工認  | 応答解析                   | 時刻歴解析                   | 既工認  | 応答解析 | 水平      | 多質点系モデル(大型機器系連成解析モデル)   | 鉛直   | 5.0%              | 既工認                     | 応答解析                     | 水平                | -                                                                                 | 建設工認 第3回<br>添付書類Ⅲ-3-1「申請設備に係る耐震設計の基本方針」<br>添付書類Ⅲ-3-2「申請設備の耐震性についての計算書」 | (解析モデル)<br>○<br>(減衰定数)<br>○<br>応答解析：○ | 同設備を参照         | ○    | -    |      |   |
|             |                                       |      | 応力解析                   | FEM解析及び公式等による評価         |      | 応力解析 | 水平      | FEMモデル                  | 鉛直   | -                 |                         | 応力解析                     | 水平                | -                                                                                 |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
|             |                                       | 今回工認 | 応答解析                   | 時刻歴解析                   | 今回工認 | 応答解析 | 水平      | 多質点系モデル(大型機器系連成解析モデル)   | 鉛直   | 5.0%              | 今回工認                    | 応答解析                     | 水平                | 5.0%                                                                              |                                                                        |                                       |                |      |      | 今回工認 | - |
|             |                                       |      | 応力解析                   | FEM解析及び公式等による評価         |      | 応力解析 | 水平      | FEMモデル                  | 鉛直   | -                 |                         | 応力解析                     | 水平                | -                                                                                 |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
|             |                                       |      | 応答解析                   | -                       |      | 応力解析 | 鉛直      | FEMモデル                  | 鉛直   | -                 |                         | 応力解析                     | 鉛直                | -                                                                                 |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
|             |                                       |      | 応力解析                   | -                       |      | 応力解析 | 鉛直      | FEMモデル                  | 鉛直   | -                 |                         | 応力解析                     | 鉛直                | -                                                                                 |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
| ベント管        | 既工認                                   | 応答解析 | 時刻歴解析                  | 既工認                     | 応答解析 | 水平   | 多質点系モデル | 鉛直                      | 0.5% | 既工認               | 応答解析                    | 水平                       | -                 | 建設工認 第3回<br>添付書類Ⅲ-3-1「申請設備に係る耐震設計の基本方針」<br>添付書類Ⅲ-3-2「申請設備の耐震性についての計算書」            | (解析手法)<br>○<br>(減衰定数)<br>○<br>応答解析：○                                   | 同設備を参照                                | ○              | -    |      |      |   |
|             |                                       | 応力解析 | 公式等による評価               |                         | 応力解析 | 水平   | -       | 鉛直                      | -    |                   | 応力解析                    | 水平                       | -                 |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
|             | 今回工認                                  | 応答解析 | スペクトルモーダル解析            | 今回工認                    | 応答解析 | 水平   | ビームモデル  | 鉛直                      | 0.5% | 今回工認              | 応答解析                    | 水平                       | 0.5%              |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      | 今回工認 | -    |   |
|             |                                       | 応力解析 | 公式等による評価               |                         | 応力解析 | 水平   | -       | 鉛直                      | -    |                   | 応力解析                    | 水平                       | -                 |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
|             |                                       | 応答解析 | -                      |                         | 応力解析 | 鉛直   | -       | 鉛直                      | -    |                   | 応力解析                    | 鉛直                       | -                 |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
|             |                                       | 応力解析 | -                      |                         | 応力解析 | 鉛直   | -       | 鉛直                      | -    |                   | 応力解析                    | 鉛直                       | -                 |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
| 格納容器スプレイヘッド | 既工認                                   | 応答解析 | スペクトルモーダル解析            | 既工認                     | 応答解析 | 水平   | ビームモデル  | 鉛直                      | 0.5% | 既工認               | 応答解析                    | 水平                       | -                 | 建設工認 第3回<br>添付書類Ⅲ-3-1「申請設備に係る耐震設計の基本方針」<br>添付書類Ⅲ-3-2「申請設備の耐震性についての計算書」            | (解析モデル)<br>○<br>(減衰定数)<br>○<br>応答解析：○                                  | 同設備を参照                                | ○              | -    |      |      |   |
|             |                                       | 応力解析 | 公式等による評価               |                         | 応力解析 | 水平   | -       | 鉛直                      | -    |                   | 応力解析                    | 水平                       | -                 |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
|             | 今回工認                                  | 応答解析 | スペクトルモーダル解析            | 今回工認                    | 応答解析 | 水平   | ビームモデル  | 鉛直                      | 0.5% | 今回工認              | 応答解析                    | 水平                       | 0.5%              |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      | 今回工認 | -    |   |
|             |                                       | 応力解析 | 公式等による評価               |                         | 応力解析 | 水平   | -       | 鉛直                      | -    |                   | 応力解析                    | 水平                       | -                 |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
|             |                                       | 応答解析 | -                      |                         | 応力解析 | 鉛直   | -       | 鉛直                      | -    |                   | 応力解析                    | 鉛直                       | -                 |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
|             |                                       | 応力解析 | -                      |                         | 応力解析 | 鉛直   | -       | 鉛直                      | -    |                   | 応力解析                    | 鉛直                       | -                 |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
| 再結合装置フロア    | 既工認                                   | 応答解析 | 各設備の固有周期に基づく応答加速度による評価 | 既工認                     | 応答解析 | 水平   | -       | 鉛直                      | -    | 既工認               | 応答解析                    | 水平                       | -                 | 建設工認 第24回<br>添付書類Ⅲ-2-1「申請設備に係る耐震設計の基本方針」<br>添付書類Ⅲ-2-3「可燃性ガス濃度制御系機器配管の耐震性についての計算書」 | -                                                                      | -                                     | -              | ○    |      |      |   |
|             |                                       | 応力解析 | 公式等による評価               |                         | 応力解析 | 水平   | -       | 鉛直                      | -    |                   | 応力解析                    | 水平                       | -                 |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
|             | 今回工認                                  | 応答解析 | 各設備の固有周期に基づく応答加速度による評価 | 今回工認                    | 応答解析 | 水平   | -       | 鉛直                      | -    | 今回工認              | 応答解析                    | 水平                       | -                 |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      | 今回工認 | -    |   |
|             |                                       | 応力解析 | 公式等による評価               |                         | 応力解析 | 水平   | -       | 鉛直                      | -    |                   | 応力解析                    | 水平                       | -                 |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
|             |                                       | 応答解析 | -                      |                         | 応力解析 | 鉛直   | -       | 鉛直                      | -    |                   | 応力解析                    | 鉛直                       | -                 |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
|             |                                       | 応力解析 | -                      |                         | 応力解析 | 鉛直   | -       | 鉛直                      | -    |                   | 応力解析                    | 鉛直                       | -                 |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
| 再結合装置       | 既工認                                   | 応答解析 | 各設備の固有周期に基づく応答加速度による評価 | 既工認                     | 応答解析 | 水平   | -       | 鉛直                      | -    | 既工認               | 応答解析                    | 水平                       | -                 | 建設工認 第24回<br>添付書類Ⅲ-2-1「申請設備に係る耐震設計の基本方針」<br>添付書類Ⅲ-2-3「可燃性ガス濃度制御系機器配管の耐震性についての計算書」 | -                                                                      | -                                     | -              | ○    |      |      |   |
|             |                                       | 応力解析 | 公式等による評価               |                         | 応力解析 | 水平   | -       | 鉛直                      | -    |                   | 応力解析                    | 水平                       | -                 |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
|             | 今回工認                                  | 応答解析 | 各設備の固有周期に基づく応答加速度による評価 | 今回工認                    | 応答解析 | 水平   | -       | 鉛直                      | -    | 今回工認              | 応答解析                    | 水平                       | -                 |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      | 今回工認 | -    |   |
|             |                                       | 応力解析 | 公式等による評価               |                         | 応力解析 | 水平   | -       | 鉛直                      | -    |                   | 応力解析                    | 水平                       | -                 |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
|             |                                       | 応答解析 | -                      |                         | 応力解析 | 鉛直   | -       | 鉛直                      | -    |                   | 応力解析                    | 鉛直                       | -                 |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |
|             |                                       | 応力解析 | -                      |                         | 応力解析 | 鉛直   | -       | 鉛直                      | -    |                   | 応力解析                    | 鉛直                       | -                 |                                                                                   |                                                                        |                                       |                |      |      |      |   |

## 今回工認と建設工認時との応答加速度等の比較

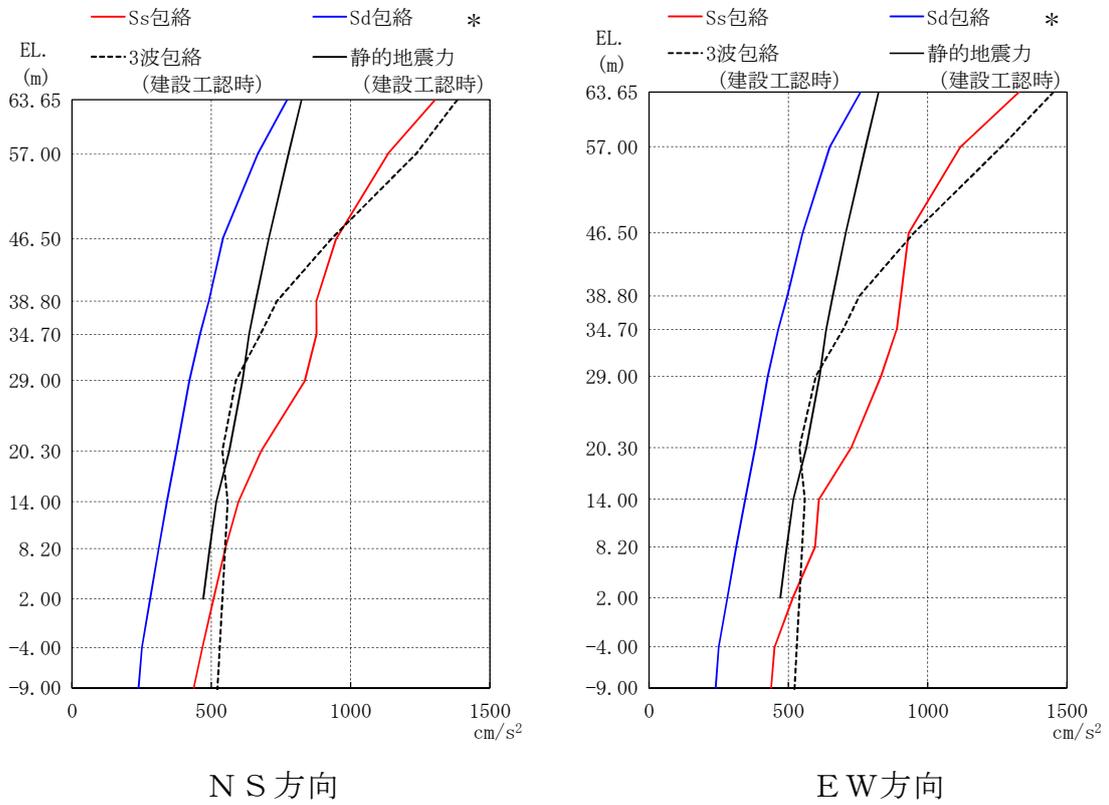
今回工認と建設工認時との評価用地震動に対する応答の比較を整理する。第 1 表に、建設工認及び今回工認における評価用地震動の比較を示す。

原子炉建屋における基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  に基づく今回工認モデルによる最大応答加速度と建設工認時の設計波に基づく最大応答加速度及び静的地震力による震度との比較を第 1 図に、最大応答せん断力についての比較を第 2 図に示す。また、床応答曲線について、基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  と、建設工認時の評価条件及び格納容器、制御棒駆動装置等一部設備に適用した 1.5 倍した評価条件との比較を第 3 図に示す。

第 1 表 建設工認及び今回工認における評価用地震動の比較

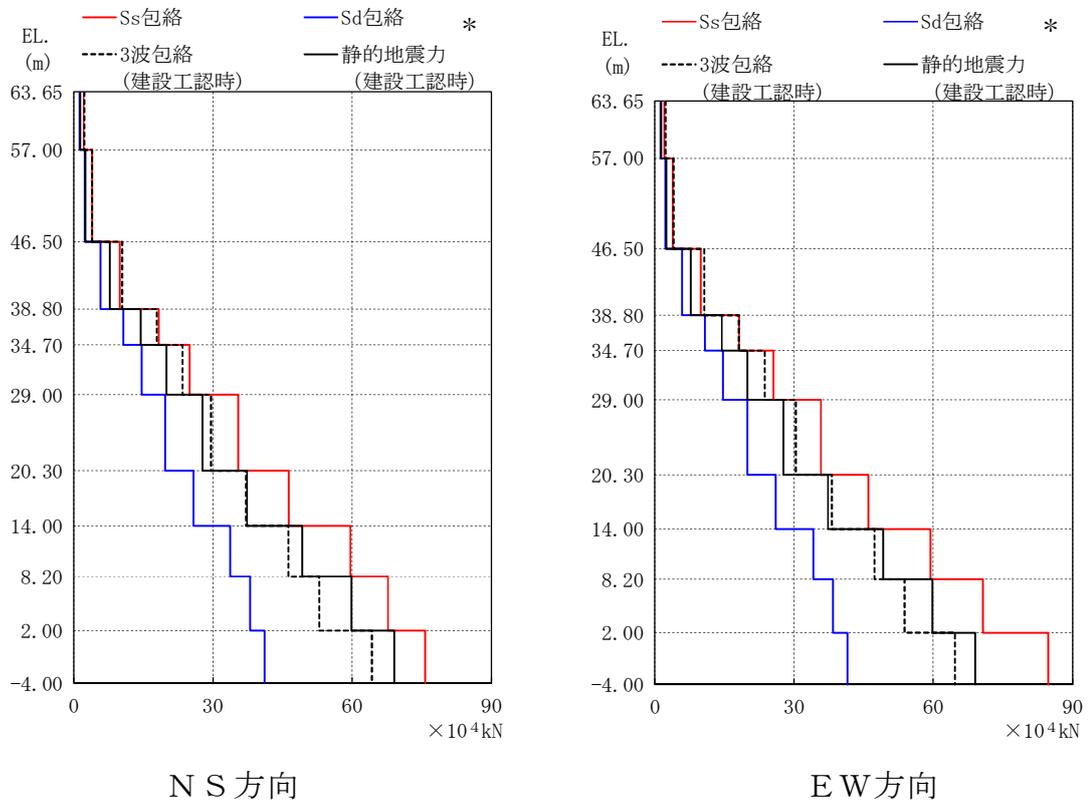
| 設計方針       | 建設工認                                                                     | 今回工認           |
|------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 弾性状態に留まる設計 | EL CENTRO 波 (1940/3/18) * 1<br>TAFT 波 (1952/7/21)<br>IBARGI 波 (1963/5/8) | 弾性設計用地震動 $S_d$ |
| 機能維持に対する設計 | 上記応答を 1.5 倍                                                              | 基準地震動 $S_s$    |

\* 1 : 床応答曲線 (第 3 図) の作成において、機器・配管系評価の影響を踏まえて EL CENTRO 波及び TAFT 波の 2 波を選定している。



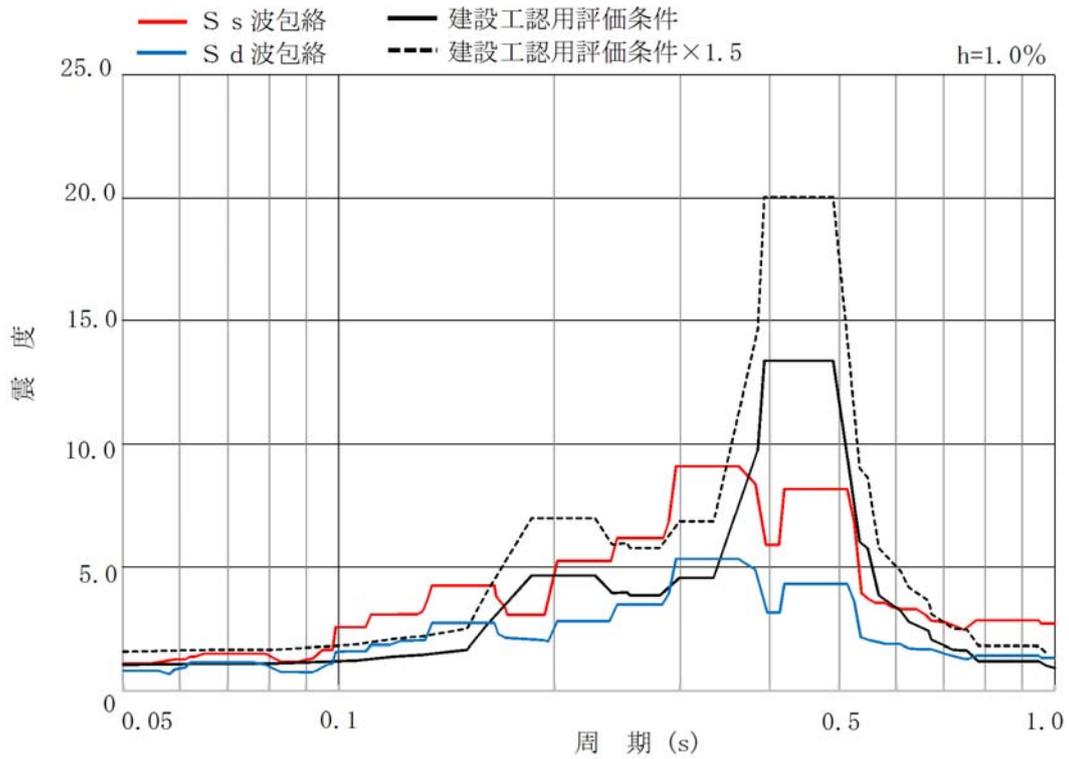
\* : S<sub>s</sub>包絡 : 今回工認における基準地震動 S<sub>s</sub> 8 波による最大応答の包絡値  
 S<sub>d</sub>包絡 : 今回工認における基準地震動 S<sub>d</sub> 8 波による最大応答の包絡値  
 3波包絡 : 建設工認における設計用地震動 3 波による最大応答の包絡値  
 静的地震力 : 建設工認における静的地震力

第 1 図 原子炉建屋における 応答最大加速度の比較

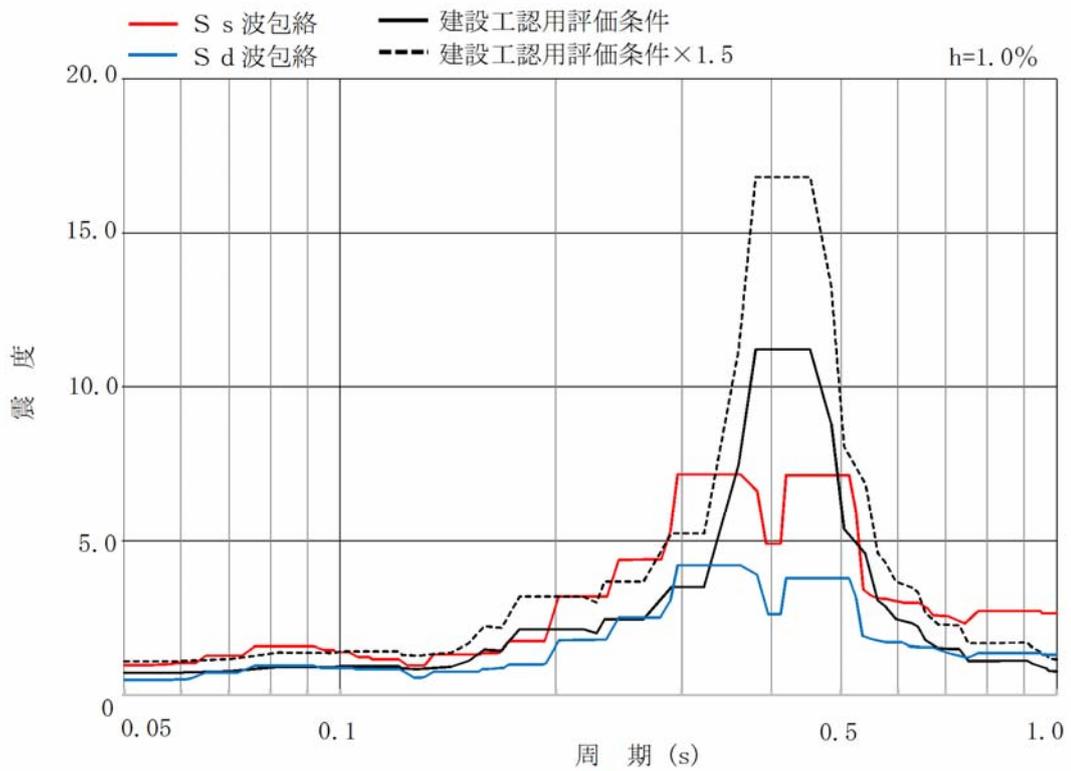


\* :  $S_s$  包絡 : 今回工認における基準地震動  $S_s$  8 波による最大応答の包絡値  
 $S_d$  包絡 : 今回工認における基準地震動  $S_d$  8 波による最大応答の包絡値  
 3 波包絡 : 建設工認における設計用地震動 3 波による最大応答の包絡値  
 静的地震力 : 建設工認における静的地震力

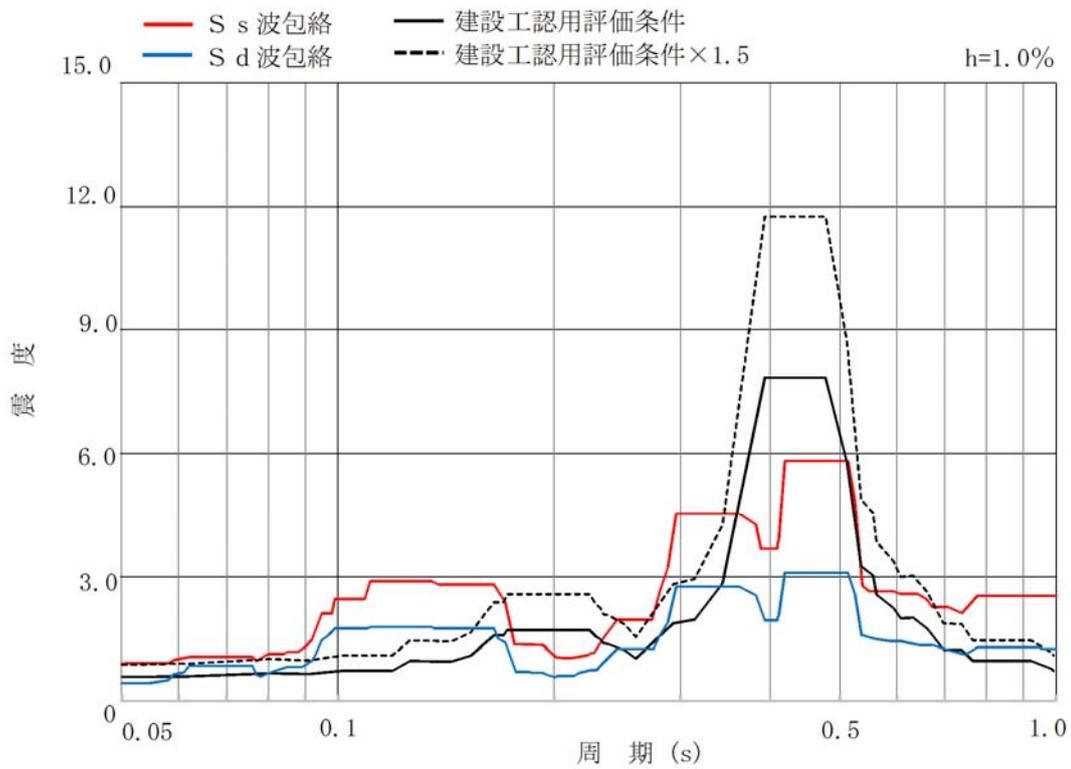
第 2 図 原子炉建屋における最大応答せん断力の比較



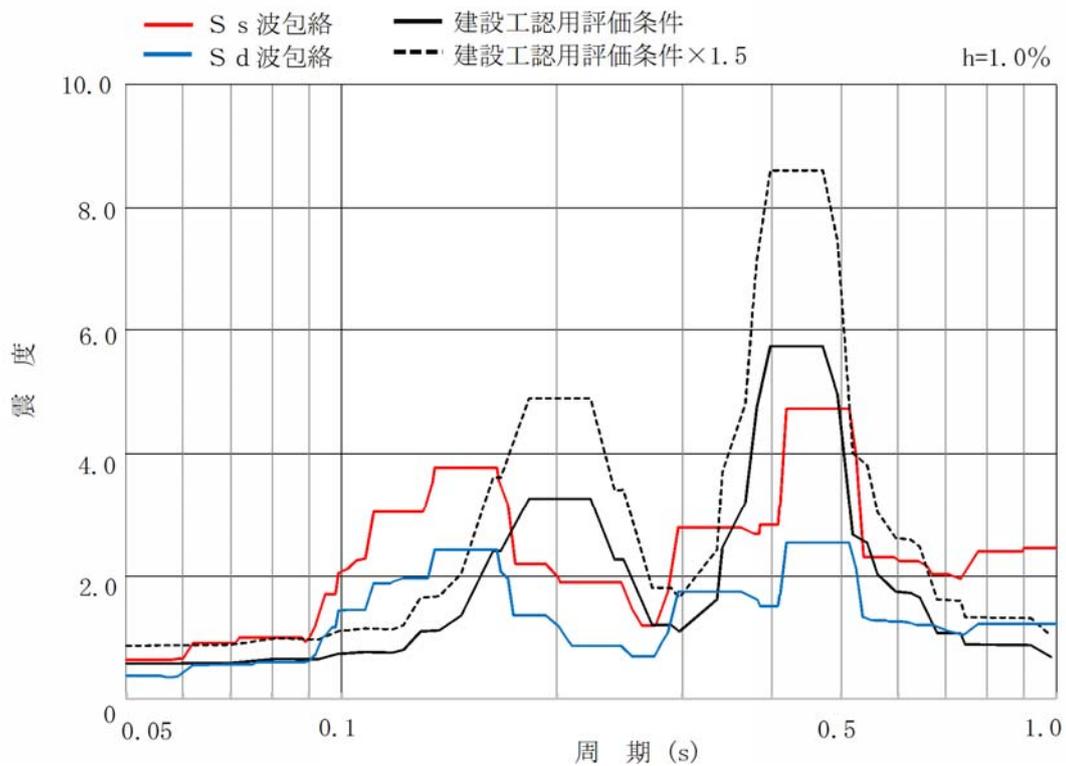
第3図(1) 床応答曲線の比較 (原子炉建屋 EL. +46.5m)



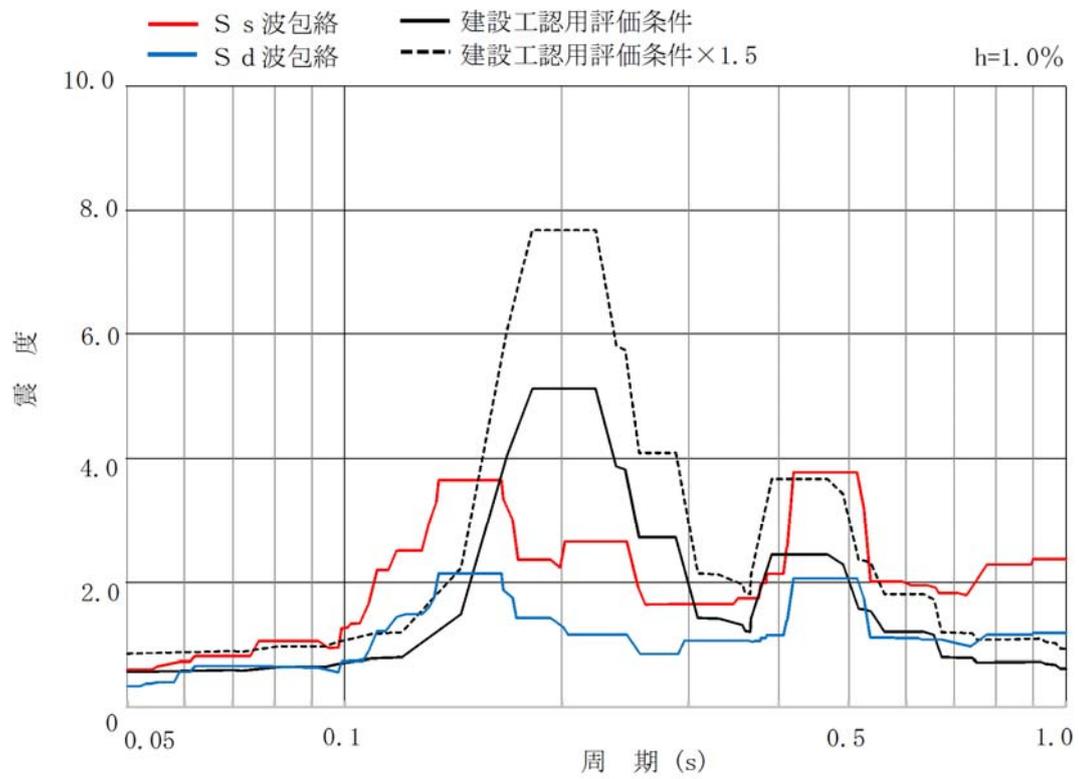
第3図(2) 床応答曲線の比較 (原子炉建屋 EL. +34.7m)



第3図(3) 床応答曲線の比較 (原子炉建屋 EL. +20.3m)



第3図(4) 床応答曲線の比較 (原子炉建屋 EL. +8.2m)



第3図(5) 床応答曲線の比較 (原子炉建屋 EL. -4.0m)

## 既工認での適用例を確認する他プラントについて

### 1. はじめに

既工認との手法の相違点の整理において、今回工認に適用する評価手法が既工認で適用した評価手法と異なる場合、他プラント既工認での適用実績を確認することとし、東海第二発電所では、以下に示す項目を除いて基本的にH18年9月の耐震設計審査指針改訂後のプラントとして大間1号炉を比較対象としている。

一方で、大間1号炉はABWRであり、炉型として大きく異なる原子炉格納容器及びその他関連設備については、その参照を適切に考慮する必要がある。このため、既工認での適用例を参照するプラントについて整理する。

### 2. 他プラントでの適用例を参照するプラント及びその説明

原子炉格納容器及びその他関連設備について、東海第二発電所における既工認の手法と今回工認の手法との相違点に対して、他プラントでの適用例を参考とする項目を記載するとともに、参照するプラント名及びその説明を第1表に整理した。

第1表 原子炉格納容器及びその他関連設備において参照するプラント及びその説明

| No.     | 評価対象項目         | 他プラントでの適用例を参考する項目             | 参照するプラント | 説明                                                                                                                      |
|---------|----------------|-------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 原子炉格納容器 |                |                               |          |                                                                                                                         |
| 1       | ドライウエル         | 応答解析<br>解析モデル(鉛直)<br>減衰定数(鉛直) | 大間1号     | 鉛直方向のドライウエル本体の地震力の算定として、鉛直方向の解析モデルを用いた建屋-機器連成解析を実施する。<br>鉛直方向の解析モデルを用いた建屋-機器連成解析を適用しているプラントとして、大間1号を参照している。             |
| 2       | サブプレッションチェンバ   | 応答解析<br>解析モデル(鉛直)<br>減衰定数(鉛直) | 大間1号     | 鉛直方向のサブプレッションチェンバ本体の地震力の算定として、鉛直方向の解析モデルを用いた建屋-機器連成解析を実施する。<br>鉛直方向の解析モデルを用いた建屋-機器連成解析を適用しているプラントとして、大間1号を参照している。       |
| 3       | 上部シアラグ及びスラビライザ | 応答解析<br>解析モデル(鉛直)<br>減衰定数(鉛直) | 大間1号     | 上部シアラグ及びスラビライザが取り付く格納容器本体の地震力の算定として、鉛直方向の解析モデルを用いた建屋-機器連成解析を実施する。<br>鉛直方向の解析モデルを用いた建屋-機器連成解析を適用しているプラントとして、大間1号を参照している。 |
|         |                | 応答解析<br>解析手法<br>解析モデル         | 柏崎刈羽5号   | 格納容器構造(MARK-II型)が同じ柏崎刈羽5号を参照する。                                                                                         |

| No. | 評価対象項目             | 他プラントでの適用例を参考する項目 | 参照するプラント | 説明                                                                                                                                        |
|-----|--------------------|-------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4   | 下部シアラグとダイヤフラムフラケット | 応答解析              | 大間1号     | 下部シアラグが取付く格納容器本体の地震力の算定として、鉛直方向の解析モデルを用いた建屋-機器連成解析を実施する。<br>鉛直方向の解析モデルを用いた建屋-機器連成解析を適用しているプラントとして、大間1号を参照している。                            |
|     |                    | 減衰定数 (鉛直)         |          |                                                                                                                                           |
| 5   | 胴アンカー部             | 応力解析              | 柏崎刈羽5号   | 格納容器構造 (MARK-II型) が同じ柏崎刈羽5号を参照する。<br>格納容器基部の地震力の算定として、鉛直方向の解析モデルを用いた建屋-機器連成解析を実施する。<br>鉛直方向の解析モデルを用いた建屋-機器連成解析を適用しているプラントとして、大間1号を参照している。 |
|     |                    | 減衰定数 (鉛直)         | 大間1号     |                                                                                                                                           |
| 6   | イクイPMENTハッチ        | 応力解析              | -        | 鋼製円筒状である基本構造は同じであることから、大間1号を参照する。<br>また、大間1号はコンクリート製格納容器であるが、鋼板を介してハッチを取り付けており、東海第二発電所と同様の形状を有している。                                       |
|     |                    | 応答解析              | -        |                                                                                                                                           |
|     |                    | 応力解析              | 大間1号     |                                                                                                                                           |
| 7   | パーソナルエアロック         | 応力解析              | -        | 鋼製円筒状である基本構造は同じであることから、大間1号を参照する。<br>また、大間1号はコンクリート製格納容器であるが、鋼板を介してエアロックを取り付けており、東海第二発電所と同様の形状を有している。                                     |
|     |                    | 応答解析              | 大間1号     |                                                                                                                                           |

| No.              | 評価対象項目              | 他プラントでの適用例を参考する項目     | 参照するプラント                     | 説明                                                                                                              |
|------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8                | サブプレシジョンチェンバアクセスハッチ | 応答解析                  | —                            | 鋼製円筒状である基本構造は同じであることから、大間1号を参照する。                                                                               |
|                  |                     | 応力解析<br>解析手法<br>解析モデル | 大間1号                         |                                                                                                                 |
| 9                | 配管貫通部               | 応答解析                  | 大間1号                         | 配管貫通部に発生する反力を算定するための配管解析であり、配管設計は炉型に関係なく同様にあるため大間1号を参照する。                                                       |
|                  |                     | 応力解析<br>解析手法<br>解析モデル | 東通1号                         |                                                                                                                 |
| 10               | 電気配線貫通部             | 応答解析                  | 福島第一<br>4号<br>(H22年<br>改造工認) | 東海第二発電所と同手法*を適用した実績を有する当該プラントを参照する。<br>* 電気配線貫通部に発生する地震外力を用いたFEM解析の実施                                           |
|                  |                     | 応力解析<br>解析手法<br>解析モデル | 福島第一<br>4号<br>(H22年<br>改造工認) |                                                                                                                 |
| 圧力低減装置その他関連の安全設備 |                     |                       |                              |                                                                                                                 |
| 11               | ダイヤフラムフロア           | 応答解析                  | 大間1号                         | ダイヤフラムフロア設置位置の鉛直方向加速度の算定として、鉛直方向の解析モデルを用いた建屋-機器連成解析を実施する。<br>鉛直方向の解析モデルを用いた建屋-機器連成解析を適用しているプラントとして、大間1号を参照している。 |
|                  |                     | 応力解析                  | —                            |                                                                                                                 |

| No.  | 評価対象項目      | 他プラントでの適用例を参考する項目 | 参照するプラント | 説明                                 |
|------|-------------|-------------------|----------|------------------------------------|
| 12   | ベント管        | 応答解析              | 柏崎刈羽5号   | 格納容器構造 (MARK-II 型) が同じ柏崎刈羽5号を参照する。 |
|      |             | 解析手法<br>解析モデル     | —        |                                    |
| 13   | 格納容器スプレイヘッド | 応力解析              | —        | —                                  |
|      |             | 応答解析              | 大間1号     | 一般的な配管解析であるため、大間1号を参照する。           |
|      |             | 減衰定数              | —        |                                    |
| 応力解析 | —           | —                 |          |                                    |



## 東海第二発電所

土木構造物の解析手法及び解析モデルの  
精緻化について  
(耐震)

## 1. 屋外重要土木構造物の評価手法の概要

屋外重要土木構造物の耐震評価について、今回申請では、屋外重要土木構造物の変位や変形をより実状に近い応答に適正化することを目的に、評価手法の高度化として、解析手法と減衰定数の変更を予定している。ここで、既工認は、東海第二発電所の工事計画認可（昭和49年7月22日及び昭和49年10月30日）をいう。既工認と今回工認との手法の比較を第4-1表に示す。

既工認との相違点のうち、解析手法として適用している「時刻歴応答解析、限界状態設計法」は、新規制基準対応工認にて適用例がある手法である。

なお、土木構造物の地震時の挙動は、地盤の影響を受けることを踏まえると、地盤特性を適切にモデル化することにより、実応答に近い形で評価できるものと考えられる。このため、コンクリート強度は、既工認と同じく設計基準強度を採用する方針とする。

第4-1(1)表 既工認と今回工認の手法の比較（取水構造物）

|      | 解析手法                | 解析モデル               | 減衰定数                     | コンクリート強度 |
|------|---------------------|---------------------|--------------------------|----------|
| 既工認  | 時刻歴モーダル解析<br>許容応力度法 | 質点系モデル              | コンクリート：5%                | 設計基準強度   |
| 今回工認 | 時刻歴応答解析<br>限界状態設計法  | 地質データに基づく<br>FEMモデル | コンクリート：5%<br>あるいは1%+履歴減衰 | 設計基準強度   |
| 比較結果 | ●異なる                | ●異なる                | ●異なる                     | ○同じ      |
| 適用例  | ○あり                 | ○あり                 | ○あり                      | ○あり      |

第 4-1(2)表 既工認と今回工認の手法の比較（屋外二重管）

|      | 解析手法              | 解析モデル               | 減衰定数                 | 鋼管の許容限界 |
|------|-------------------|---------------------|----------------------|---------|
| 既工認  | 波動論<br>許容応力度法     | 地質データに基づく<br>地盤モデル  | —                    | 許容応力度   |
| 今回工認 | 時刻歴応答解析<br>許容応力度法 | 地質データに基づく<br>FEMモデル | 鋼材：3%<br>あるいは1%+履歴減衰 | 許容応力度   |
| 比較結果 | ●異なる              | ●異なる                | ●異なる                 | ○同じ     |
| 適用例  | ○あり               | ○あり                 | ○あり                  | ○あり     |

## 2. 解析手法

取水構造物の耐震安全性評価については、既工認では、地震応答解析手法として時刻歴モーダル解析を採用し、許容応力度法による設計として、壁のせん断については許容応力度、杭については設計水平力に対して妥当な安全余裕を持つことを確認することを基本としていた。また、屋外二重管の耐震安全性評価については、既工認では、地震応答解析手法として波動論を採用し、許容応力度法による設計として、管の円周方向応力及び軸方向応力について許容応力度に対して妥当な安全余裕を持つことを確認していた。

今回工認では、屋外重要土木構造物の地震応答解析手法に時刻歴応答解析を適用した、限界状態設計法による設計を採用する。減衰定数は、構造物を線形で扱う場合は、コンクリートは5%、鋼材は3%、履歴モデルにより構造物の履歴減衰を用いる場合は1%とする。コンクリートの構造部材の曲げについては限界層間変形角又は終局曲率、せん断についてはせん断耐力、鋼管杭の曲げについては終局曲率、せん断についてはせん断耐力を許容限界とし、妥当な安全余裕を持たせることとする。また、各設備の要求性能（支持性能、通水性能、貯水性能）及び構造物が間接支持する機器・配管の機能維持のための与条件（変位や傾斜等）を踏まえて照査項目・内容を追加する。

屋外二重管の今回工認での耐震評価は、地震応答解析モデルに当該鋼管を

モデル化し、地震応答解析結果から得られた地震力を用いた許容応力度法による設計として、管の円周方向応力及び軸方向応力について許容応力度を許容限界とする。

以下では、今回工認で採用する限界状態設計法のうち、コンクリートの構造部材の曲げ照査に係る土木学会マニュアルの適用性及びせん断照査に係る土木学会マニュアルの適用性について検討を行う。

## 2.1 曲げ照査に係る土木学会マニュアルの適用性について

今回の工認申請における曲げに対する照査は、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005）」（以下、「土木学会マニュアル」という。）に基づき、照査用層間変形角が限界層間変形角を超えないことを確認する。

コンクリート標準示方書では、構造部材の終局変位は、部材の荷重－変位関係の骨格曲線において、荷重が降伏荷重を下回らない最大の変位として求めてよいとしている。コンクリート標準示方書による構造部材の終局変位の考え方を第4-2-1図に示す。

一方、土木学会マニュアルでは、以下の考え方に基づいている。

屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験の結果より、かぶりコンクリートが剥落すると荷重が低下し始める。層間変形角  $1/100$  に至る状態は、かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることを確認しており<sup>(1), (2)</sup>、荷重が低下しない範囲にある。当該限界値を限界状態とすることで、構造全体としての安定性が確保できるものとして設定されたものである。ラーメン構造の破壊実験の例を第4-2-2図に示す。

従って、土木学会マニュアルによる曲げ照査手法は、コンクリート標準示方書による照査よりも安全側の評価を与えるため、適用性を有している。

更に、土木学会マニュアルでは、日本建築学会「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針（案）・同解説（1997）」にて記載されている設計限界変形  $1/100$ 、終局限界変形  $1/80$  等を基準値として参照している。

対象は同じラーメン構造であり、軸力比（軸応力度／コンクリート圧縮強度比）は建築物よりも屋外重要土木構造物の方が小さいと考えられることから、変形性能がより大きくなる傾向にあり、層間変形角  $1/100$  は安全側であると考える。機能維持確保の観点からも耐荷性能が確保されることが担保できるため限界値として適切である。

参考に、建築学会における曲げ降伏先行型の部材について、復元力特性と限界状態（損傷度）の関係の概念図を第 4-2-3 図に、土木学会マニュアルにおける鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図を第 4-2-4 図に示す。建築学会と土木学会マニュアルにおいて概ね対応が取れており、土木学会マニュアルの各損傷状態の設定は妥当であると考えられる。第 4-2-4 図において層間変形角  $1/100$  は第 4 折れ点よりも手前にあり、屋外重要土木構造物の限界状態に至っていないと考えられる。また、第 3 折れ点は層間変形角  $1/100$  よりもさらに手前にある。

耐震安全性評価では、当該許容限界値に対して、妥当な安全裕度を確保するため、構造部材の照査の過程において複数の安全係数を考慮する。安全係数は、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数及び構造物係数の 5 種に分けられる。それぞれの安全係数の考え方を第 4-2-5 図に示す。

曲げに対する照査において考慮している安全係数は第 4-2-1 表に示すとおり、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数、構造物係数がある。これらの安全係数は土木学会マニュアルにおいて以下の考えにより定められている。

#### (1) 材料係数

コンクリート強度の特性値は、製造において、その値を下回る強度が発現する確率が5%以内となるように設定する。また、鉄筋の機械的性質の特性値に関しても、日本工業規格（JIS）の規格範囲の下限值を設定してよいとしている。このように、双方とも特性値の段階で実強度に対して小さい値を設定しており、応答値・限界値ともに安全側の照査がなされているため、材料係数は1.0としている。

#### (2) 部材係数

安全側に配慮した設定を行っていることから、部材係数は1.0としている。

#### (3) 荷重係数

地震の影響以外の荷重の評価精度は、かなり高いものと考えられ、地震の影響については入力地震動そのものが最近の研究成果に基づいて設定されるため、荷重係数は1.0としている。

#### (4) 構造解析係数

限られた条件での実験であること、地盤パラメータの設定が応答解析結果に及ぼす影響などを考え併せて、構造解析係数は1.2以上を標準としている。

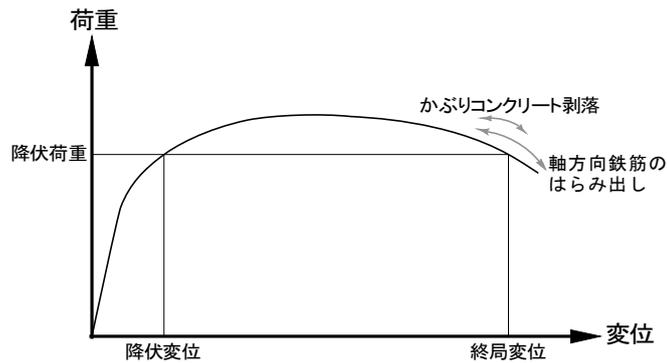
#### (5) 構造物係数

屋外重要土木構造物は重要度毎に適切な地震動が設定される。従って、構造物係数によりさらに構造物の重要性を考慮する必要はなく、耐震性能照査における構造係数は1.0としている。

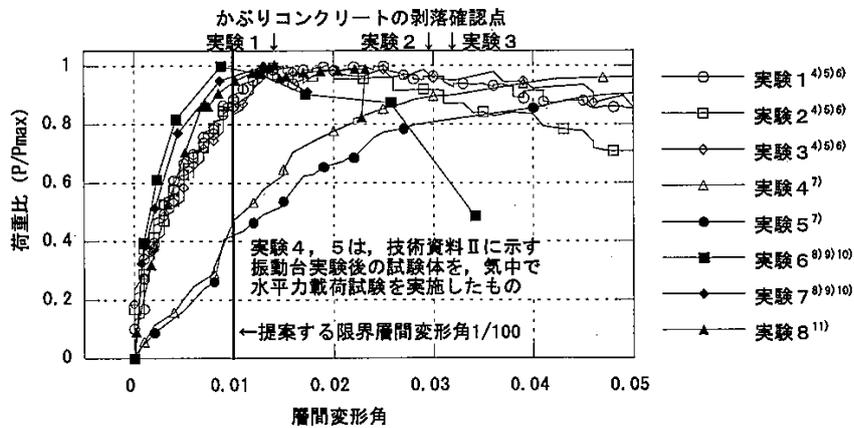
以上のことから、土木学会マニュアルによる曲げ照査手法は、コンクリート標準示方書による照査よりも安全側の評価を与えるため、技術的妥当性及び適用性を有するとともに適切な余裕が確保されていると判断できる。

第4-2-1表 曲げ評価において考慮している安全係数

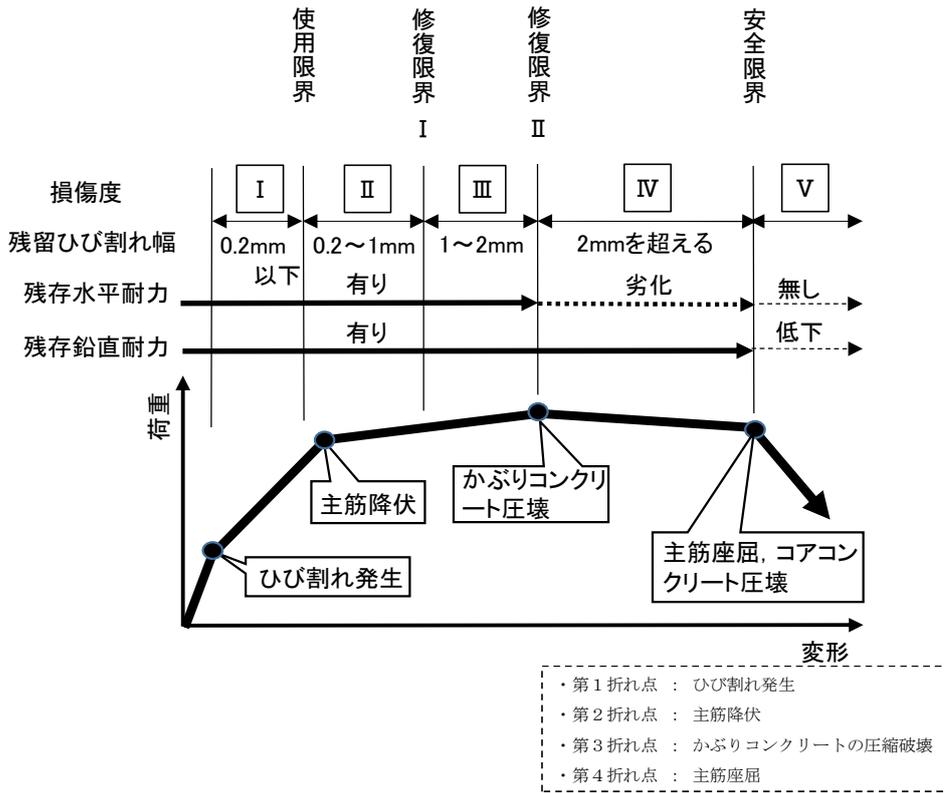
| 安全係数   |        | 曲げ照査  |       |
|--------|--------|-------|-------|
|        |        | 応答値算定 | 限界値算定 |
| 材料係数   | コンクリート | 1.0   | 1.0   |
|        | 鉄筋     | 1.0   | 1.0   |
|        | 地盤     | 1.0   | —     |
| 部材係数   |        | —     | 1.0   |
| 荷重係数   |        | 1.0   | —     |
| 構造解析係数 |        | 1.2   | —     |
| 構造物係数  |        | 1.0   |       |



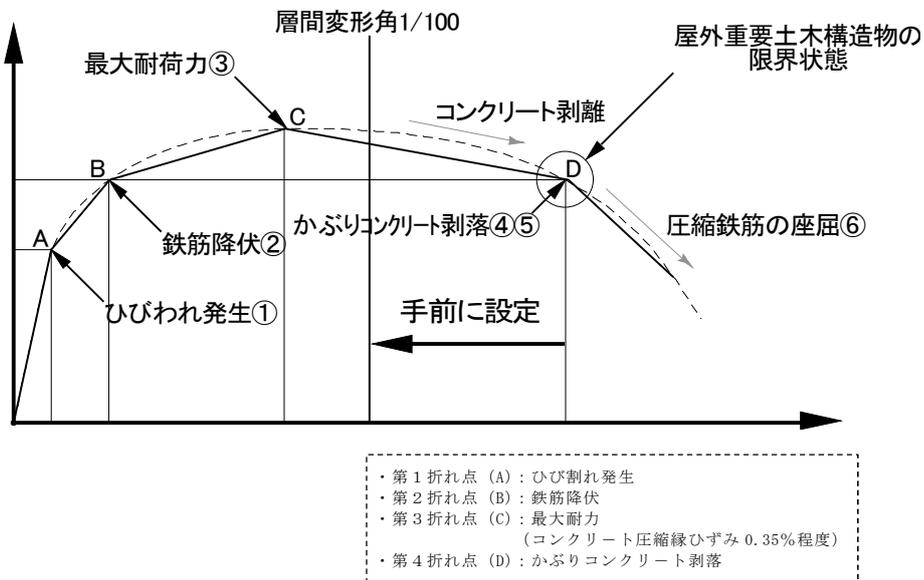
第4-2-1図 コンクリート標準示方書による構造部材の終局変位の考え方



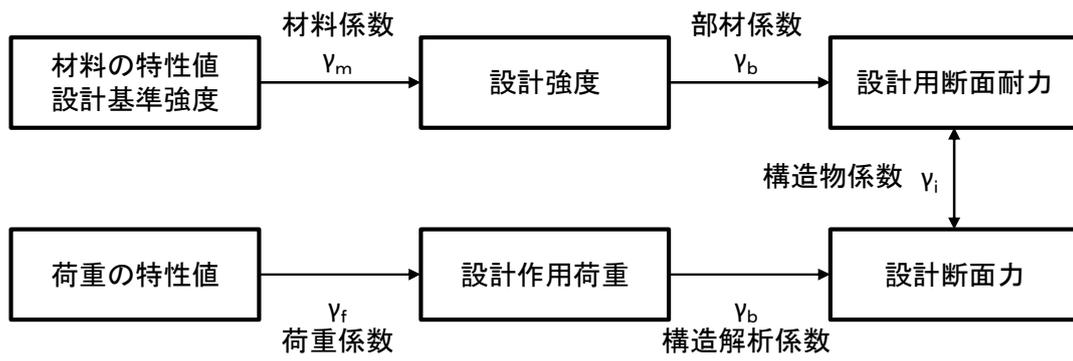
第4-2-2図 鉄筋コンクリート製ラーメン構造の破壊実験<sup>(1), (2)</sup>



第4-2-3図 曲げ降伏先行型の部材の復元力特性と限界状態（損傷度）の関係の概念図（建築学会）



第4-2-4図 鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図（土木学会マニュアル）



第 4-2-5 図 安全係数の考え方

## 2.2 せん断照査に係る土木学会マニュアルの適用性について

今回の工認申請におけるせん断に対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、照査用せん断力が、せん断耐力を下回ることを確認する。

コンクリート標準示方書では、棒部材及びディープビームについて第4-2-2表に示すとおり of のせん断耐力式を定義している。このうち、ディープビームについては、コンクリート標準示方書及び土木学会マニュアルにおいて同様の評価式となっている。

土木学会マニュアルでは、コンクリート標準示方書におけるせん断耐力式のうち棒部材式において、等価せん断スパンにより設定可能な係数 $\beta_a$ を考慮している。これは屋外重要土木構造物が地中に埋設されたラーメン構造で、土圧、水圧、地震時慣性力等の多数の分布荷重が作用していることによる分布荷重が卓越し、スパン内に反曲点が存在する等の載荷形態にある条件下では、せん断耐力が増大するという実験的知見を踏まえ、より合理的なせん断耐力を与えるよう、コンクリート標準示方書のせん断耐力式を精緻化したものである。当該せん断耐力式は、第4-2-6図に示すとおり、屋外重要土木構造物を模した破壊試験より得られるせん断耐力と整合的であり、合理的な評価が可能であることを確認されている<sup>(3), (4)</sup>。

また、これら多数の荷重の複合作用を個々に分解することは困難であることから、せん断耐力の算定時に個々の荷重作用を区分せず最終的な設計用断面力分布を用いて合理的なせん断耐力を算定することとしている<sup>(3)</sup>。

せん断に対する照査において考慮している安全係数は第4-2-3表に示すとおり、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数、構造物係数がある。これらの安全係数は土木学会マニュアルにおいて以下の考えにより定められている。

#### (1) 材料係数

限界値算定時に適用する材料係数はコンクリート標準示方書に準拠して、コンクリートに対して 1.3、鉄筋に対して 1.0 としている。応答値算定時に適用する材料係数は、コンクリートと鉄筋の物性値が、特性値の段階で実強度に対して小さい値を設定していることから安全側の照査がなされているため、材料係数は 1.0 としている。

#### (2) 部材係数

コンクリート標準示方書に準拠して、コンクリート寄与分に対して 1.3、鉄筋寄与分に対して 1.1 としている。

#### (3) 荷重係数

地震の影響以外の荷重の評価精度は、かなり高いものと考えられ、地震の影響については入力地震動そのものが最近の研究成果に基づいて設定されるため、荷重係数は 1.0 としている。

#### (4) 構造解析係数

変形に関する応答値の評価精度に比較して、断面力に関する応答値の評価精度は高いと考えられることから、変形照査の場合より低減させて 1.05 としている。

#### (5) 構造物係数

基準地震動は地点毎にサイト特性を考慮して設定され、重要度分類に対応して入力地震動が選定される。従って、構造物係数よりさらに構造物の重要性を考慮する必要はなく、耐震性能照査における構造係数は 1.0 としている。

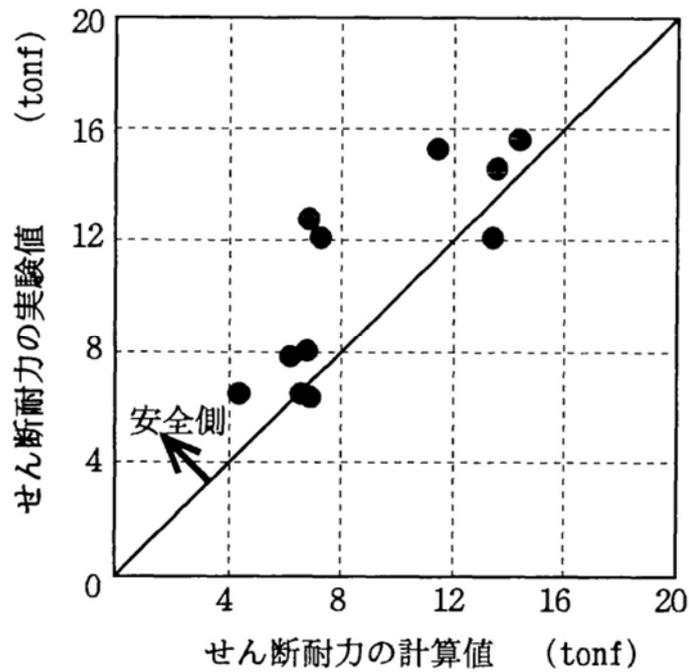
以上のことから、土木学会マニュアルによるせん断照査手法は、屋外重要土木構造物の構造的特徴を踏まえ設定された手法であるため、技術的妥当性及び適用性を有すると判断できる。

第 4-2-2 表 せん断耐力式の比較表

|         | コンクリート標準示方書                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 土木学会マニュアル                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 棒部材     | $V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$<br>$V_{yd}$ : せん断耐力<br>$V_{cd}$ : コンクリート負担<br>$V_{sd}$ : せん断補強筋負担<br>$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$<br>$\beta_d, \beta_p$ : 構造寸法や鉄筋量で決まる係数<br>$\beta_n$ : 発生曲げモーメントで決まる係数<br>$f_{vcd}$ : 設計基準強度, 安全係数等で決まる<br>$b_w$ : 腹部の幅<br>$d$ : 有効高さ<br>$\gamma_b$ : 安全係数 | $V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$<br>$V_{yd}$ : せん断耐力<br>$V_{cd}$ : コンクリート負担<br>$V_{sd}$ : せん断補強筋負担<br>$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$<br>$\beta_d, \beta_p$ : 構造寸法や鉄筋量で決まる係数<br>$\beta_n$ : 発生曲げモーメントで決まる係数<br>$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$<br>$a$ : せん断スパン長<br>$f_{vcd}$ : 設計基準強度, 安全係数等で決まる<br>$b_w$ : 腹部の幅<br>$d$ : 有効高さ<br>$\gamma_b$ : 安全係数 |
|         | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">             せん断スパンより設定される係数を考慮し,<br/>             コンクリート標準示方書のせん断耐力式を精緻化           </div>                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| デーパービーム | $V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$<br>$V_{ydd}$ : せん断耐力<br>$V_{cdd}$ : コンクリート負担<br>$V_{sdd}$ : せん断補強筋負担<br>$V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$<br>$\beta_a = \frac{5}{1+(a_v/d)^2}$<br>$a_v$ : 荷重作用点から支承前面までの距離<br>$f_{dd}$ : 設計基準強度, 安全係数等で決まる                                      | $V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$<br>$V_{ydd}$ : せん断耐力<br>$V_{cdd}$ : コンクリート負担<br>$V_{sdd}$ : せん断補強筋負担<br>$V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$<br>$\beta_a = \frac{5}{1+(a_v/d)^2}$<br>$a_v$ : 荷重作用点から支承前面までの距離<br>$f_{dd}$ : 設計基準強度, 安全係数等で決まる                                                                                                           |
|         | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">             コンクリート標準示方書と土木学会マニュアルにおいて同一の評価式となっている           </div>                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

第 4-2-3 表 せん断耐力評価において考慮している安全係数

| 安全係数   |        | せん断照査 |       |
|--------|--------|-------|-------|
|        |        | 応答値算定 | 限界値算定 |
| 材料係数   | コンクリート | 1.0   | 1.3   |
|        | 鉄筋     | 1.0   | 1.0   |
|        | 地盤     | 1.0   | —     |
| 部材係数   | コンクリート | —     | 1.3   |
|        | 鉄筋     | —     | 1.1   |
| 荷重係数   |        | 1.0   | —     |
| 構造解析係数 |        | 1.05  | —     |
| 構造物係数  |        | 1.0   |       |



第 4-2-6 図 せん断耐力算定法の妥当性の検証

### 3. 屋外重要土木構造物の減衰定数

#### 3.1 減衰定数の設定について

今回工認で採用している時刻歴応答解析において、地盤及び構造物の減衰定数は、粘性減衰と履歴減衰とで考慮している。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる固有周期及び減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰にて与える。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C]：減衰係数マトリックス，[M]：質量マトリックス，

[K]：剛性マトリックス， $\alpha$ ， $\beta$ ：係数

係数 $\alpha$ ， $\beta$ は以下のように求めている。

構造体を線形要素でモデル化する場合は、固有値解析により求められた一次固有振動数、二次固有振動数の2点で Rayleigh 減衰がコンクリート部材については5%に、鋼構造部材については3%に一致する $\alpha$ ， $\beta$ を設定する。履歴モデルにより構造物の履歴減衰を用いる場合は、固有値解析により求められた一次固有振動数、二次固有振動数の2点で Rayleigh 減衰が1%に一致する $\alpha$ ， $\beta$ を設定する。

#### 3.2 既工認と今回工認の相違について

今回の工認における構造物の粘性減衰は、履歴モデルにより構造物の履歴減衰を用いる場合は、履歴減衰が生じない状態等における解析上の安定のためになるべく小さい値として一次固有振動数及び二次固有振動数に対して1%となる Rayleigh 減衰を採用している。

既工認では、時刻歴モーダル解析におけるコンクリート構造物の減衰定数として5%を採用した。

時刻歴非線形解析における粘性減衰の値は、道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（平成 14 年）<sup>(5)</sup>において、構造部材の非線形性として履歴モデルを用いる場合には、この部材の履歴減衰は履歴モデルによって自動的に解析に取り入れられるため、履歴モデルにより構造物の履歴減衰を用いる場合には、コンクリート部材は 2%（0.02）程度、鋼構造部材は 1%（0.01）程度とするのがよいとされている。

最新の道路橋示方書・同解説（平成 24 年）<sup>(6)</sup>においても、履歴モデルにより構造物の履歴減衰を用いる場合の粘性減衰について、鉄筋コンクリート橋脚は 2%（0.02）とされている。

以上のように、粘性減衰は、履歴減衰が生じない状態等における解析上の安定のために設定される値であるため、履歴減衰を用いる場合においては、なるべく小さい値として 1%を採用している。

#### 4. 参考文献

- (1) 松尾ら：コンクリート製地中構造物の合理的な耐震性能評価指標に関する検討，土木学会地震工学論文集，2003
- (2) 石川ら：鉄筋コンクリート製地中構造物の変形性状と損傷状態に関わる実験的考察，第26回地震工学研究発表会講演論文集，pp885－888
- (3) 原子力土木委員会・限界状態設計部会：原子力発電所・鉄筋コンクリート製屋外重要土木構造物への限界状態設計法の適用・安全性照査マニュアルの提案，土木学会論文集 No. 442/V－16
- (4) 遠藤ら：鉄筋コンクリート製地中構造物の限界状態に用いるせん断耐力評価法，電力中央研究所報告
- (5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 平成14年3月
- (6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 平成24年3月

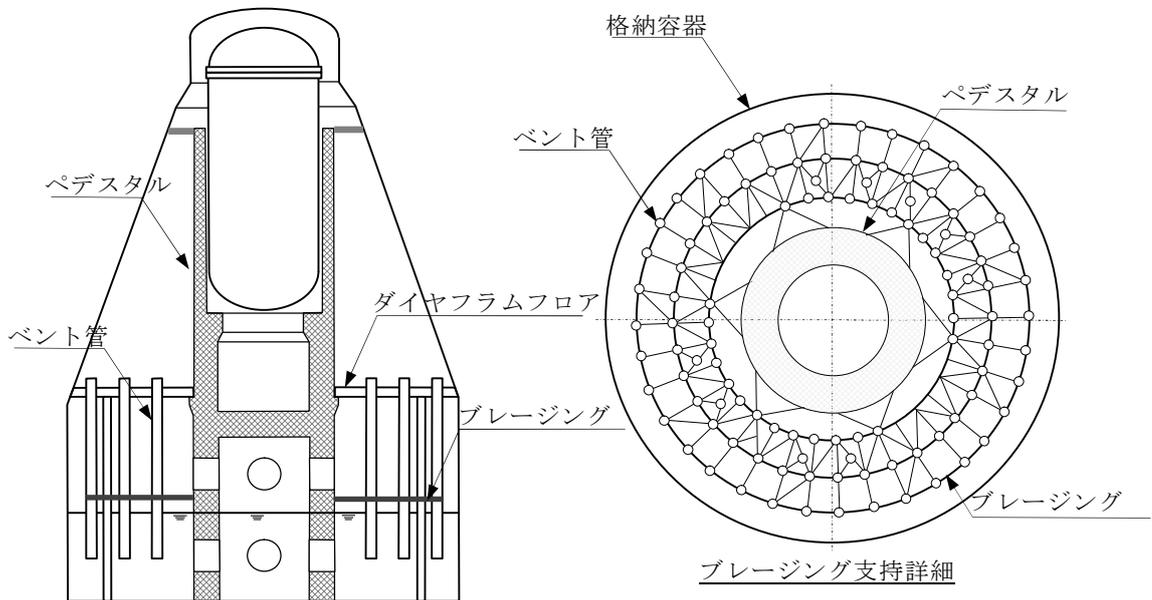
## 東海第二発電所

機器・配管系における手法の変更点について  
(耐震)

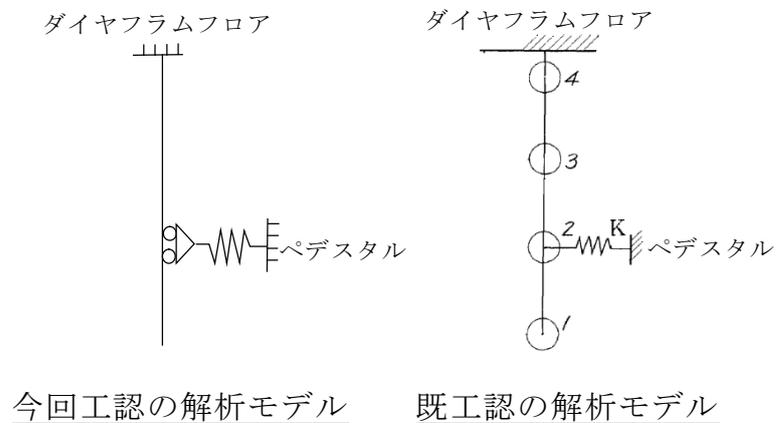
### 3. 格納容器ベント管の解析モデルの精緻化

格納容器のベント管の支持構造図を第 2-5 図に示す。ベント管はダイヤフラムフロアにより支持され、ブレイジングにて水平方向を拘束されている。

第 2-6 図にベント管の解析モデル図を示す。今回工認においては、**柏崎刈羽 5 号**の既工認実績を踏まえて、集中質量を用いる質点モデルから等分布質量としたビーム要素に変更した解析モデルを用いた地震応答解析により評価を行う。



第 2-5 図 ベント管概要図



第 2-6 図 ベント管解析モデル図

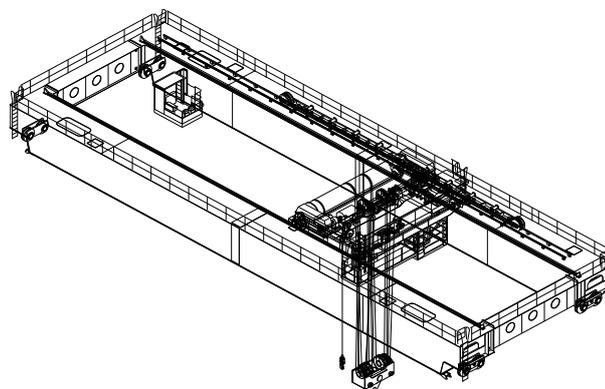
## 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について

## 1. 概要

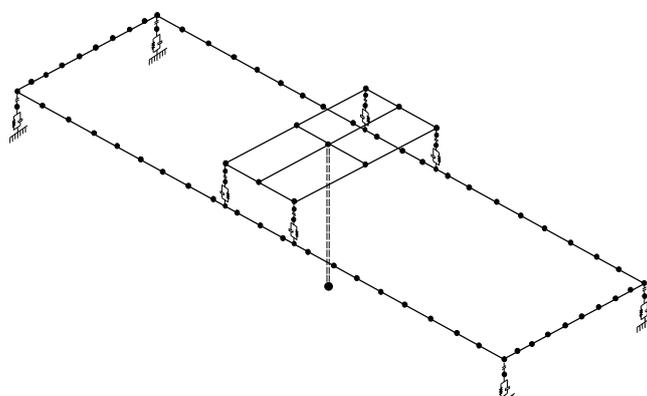
原子炉建屋クレーン（第 1-1 図）の耐震評価は、既工認では鉛直方向は静的地震力のみであったことから簡便に手計算により実施していた。

今回工認では、鉛直方向の動的地震力を考慮する必要があること及びクレーンの車輪部がレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ、鉛直方向の地震力に対する車輪部の浮き上がり挙動を考慮した解析モデル（第 1-2 図）を用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。

なお、本モデル及び評価手法は大間 1 号炉の建設工認にて適用例があり、大間 1 号炉と東海第二発電所の原子炉建屋クレーンは類似構造であることから、東海第二発電所の原子炉建屋クレーンにも適用可能である。



第 1-1 図 原子炉建屋クレーン構造概要図



第 1-2 図 今回工認の解析モデル

## 2. 原子炉建屋クレーンの構造

大間1号炉と東海第二発電所の原子炉建屋クレーンは、第1-3図に示すとおり原子炉建屋に設置された走行レール上をガーダ及びサドルが走行し、ガーダ上に設置された横行レールをトロリが横行する構造であり、いずれも同様の構造（別紙1参照）となっており、地震力に対し以下の挙動を示す。

### (1) 走行方向の水平力

- a. クレーンは走行レール上に乗っているだけで固定されていないため、走行方向の水平力がクレーンに加わっても、クレーンはレール上をすべるだけで、クレーン自身にはレールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。
- b. クレーンの走行車輪は、駆動輪又は従動輪である。
- c. 駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度が車輪部に加わると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる。

### (2) 横行方向の水平力

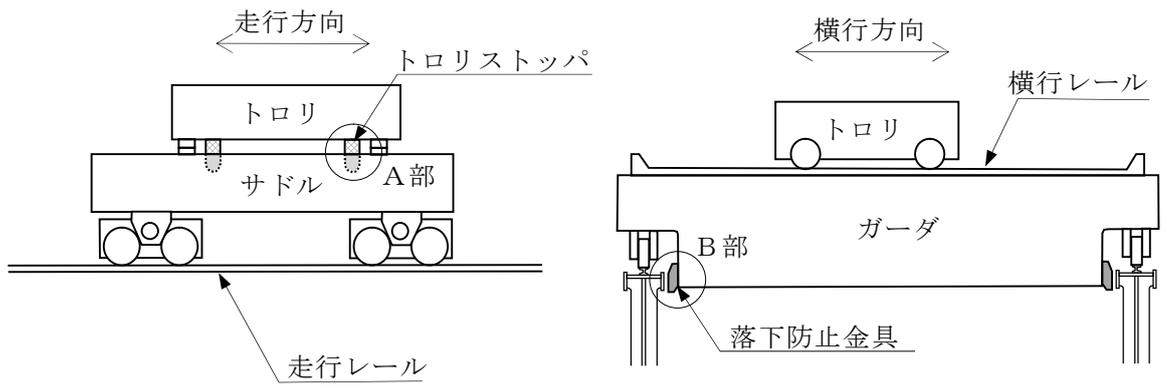
- a. ガーダ関係
  - (a) 横行方向は、走行レールに対して直角方向であるため、ガーダは建屋と固定されているものとし、水平力がそのままガーダに作用する。
- b. トロリ関係
  - (a) トロリはガーダの上に乗っているだけでガーダとは固定されていないため、水平力がトロリに加わっても、トロリはレール上をすべるだけで、トロリ自身にはレールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。
  - (b) トロリの横行車輪は、駆動輪又は従動輪である。

(c) トロリの駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度が車輪部に加わると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる。

(3) 鉛直力

ガーダ及びトロリは、レールと固定されていないことから、鉛直方向の地震力によってレールから浮き上がる可能性がある。

また、東海第二発電所の原子炉建屋クレーンは、今後実施する耐震補強工事により、大間1号炉のトロリストッパ及び脱線防止ラグと同様な構造変更を行うことにより、車輪まわりのトロリストッパ及び落下防止金具とレールの間を取り合い構造は、認可実績のある大間1号炉の原子炉建屋クレーンと同様の構造となることから、車輪まわりを含めた地震応答解析モデルは大間1号炉と同様にモデル化することができる（構造変更の概要は別紙2参照）。



|    | 大間1号炉 | 東海第二発電所 |
|----|-------|---------|
| A部 |       |         |
| B部 |       |         |

第1-3図 車輪まわりの構造比較

### 3. 解析評価方針

#### (1) 評価方法

既工認と今回工認の評価方法を第 1-1 表に示す。今回工認では、鉛直方向の動的地震力を考慮する必要があること及びクレーンの車輪部の構造を変更しておりレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ、鉛直方向の地震力に対する車輪部の浮き上がり、衝突の挙動を考慮した 3 次元 FEM 解析モデルを用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。

第 1-1 表 既工認と今回工認の評価方法の比較

| 項 目          | 東海第二発電所      |                         | 大間 1 号炉 |
|--------------|--------------|-------------------------|---------|
|              | 既工認          | 今回工認                    |         |
| 解析手法         | 公式等による<br>評価 | 非線形時刻歴<br>応答解析          | 同左      |
| 解析モデル        | —            | 3 次元 F E M<br>解析モデル     | 同左      |
| 車輪－レール間の境界条件 | すべり考慮        | すべり，浮き上がり，衝突考慮          | 同左      |
| 地震力          | 水平           | 動的地震力                   | 同左      |
|              | 鉛直           | 静的地震力                   | 同左      |
| 減衰定数         | 水平           | —※ <sup>1</sup>         | 同左      |
|              | 鉛直           | —                       | 同左      |
| 解析プログラム      | —            | Abaqus<br>(Ver. 6. 5-4) | 同左      |

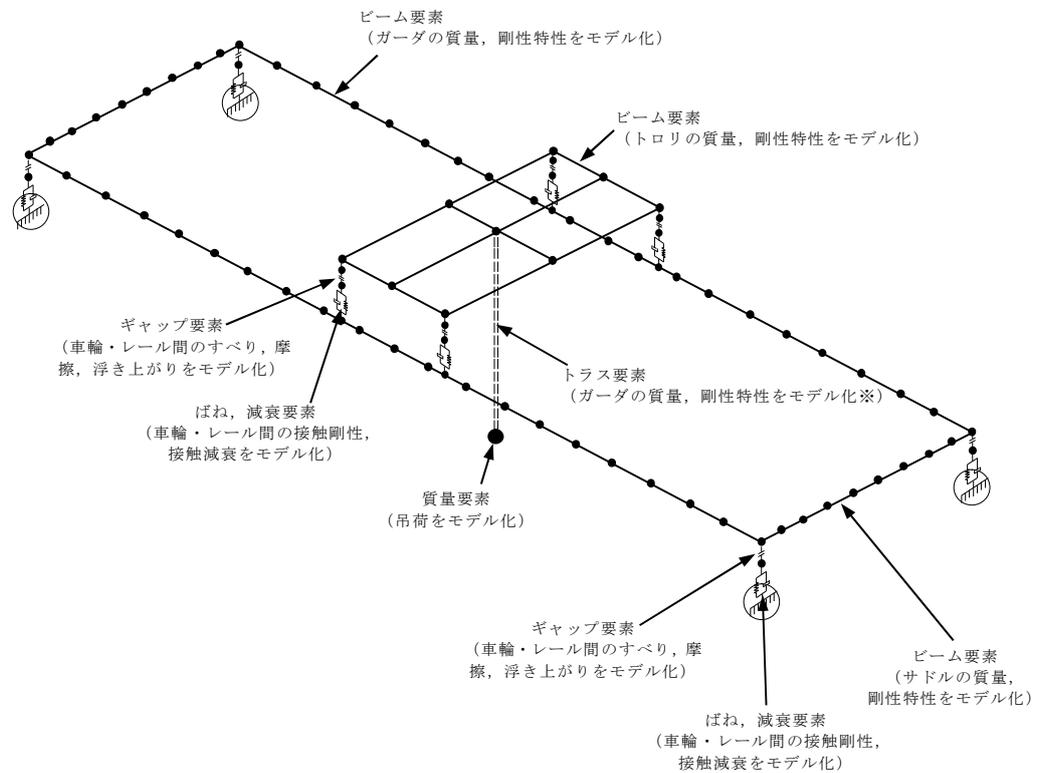
※ 1 : 既工認では剛として耐震評価を実施しているため減衰定数は使用していない。

※ 2 : 添付資料 5 にて適用性を説明。

(2) 地震応答解析モデル

クレーンを構成する主要部材をビーム要素でモデル化し、車輪部はレール上に乗っており固定されておらず、すべり、浮き上がり及び衝突の挙動を示す構造であることから、ギャップ要素、ばね要素及び減衰要素でモデル化する。クレーンの解析モデルを第 1-4 図に示す。

なお、今回工認の原子炉建屋クレーンのモデル化は、大間 1 号炉と同一の設定方法とする（車輪部の非線形要素については別紙 3 参照）。



○ 原子炉建屋におけるクレーン設置フロアの床応答加速度時刻歴の入力位置

※ ワイヤロープ長さは、最大吊荷荷重を取扱う際の実運用を踏まえて、クレーン本体の評価が保守的になるように設定する。

第 1-4 図 原子炉建屋クレーン地震応答解析モデル

### (3) 地盤物性等の不確かさに対する検討方針

スペクトルモーダル解析等では、床応答加速度は地盤物性等の不確かさによる固有周期のシフトを考慮して周期方向に±10%拡幅したものをを用いている。

本評価では設計用床応答スペクトルを用いない時刻歴応答解析を採用することから、地盤物性等の不確かさに対する考慮を適切に考慮した上で、評価を行う。

なお、今回工認では地盤物性等の不確かさによる建屋固有周期のシフトの影響も考慮し、機器評価への影響が大きい地震動に対し ASME Boiler Pressure Vessel Code SECTION III , DIVISION1-NONMANDATORY APPENDIX N-1222.3 Time History Broadening) に規定された設計用床応答スペクトルで考慮されている拡幅±10%に相当するゆらぎを仮定する手法による検討を行う予定である。また、ゆらぎを考慮した設計用床応答スペクトルの谷間にクレーンの固有周期が存在する場合は、ASME の規程に基づきピーク位置が固有周期にあたるようにゆらぎを考慮した評価も行う。本検討方針に対する東海第二発電所の原子炉建屋クレーンへの適用性については詳細設計段階で説明する。

## 4. 別紙

- (1) 原子炉建屋クレーンの主要諸元
- (2) 原子炉建屋クレーンの耐震補強工事による構造変更
- (3) クレーン車輪部の非線形要素（摩擦・接触・減衰）
- (4) 原子炉建屋クレーンの地震時挙動に関する補足説明

## 5. 参考文献

- (1) 平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査動的上下動耐震試験(クレーン類)に関わる報告書(08 耐部報-0021, (独)原子力安全基盤機構)
- (2) 平成 20 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査動的上下動耐震試験(クレーン類)に関わる報告書(08 耐部報-0021, (独)原子力安全基盤機構)

## 鉛直方向応答解析モデルの追加について

## 1. 概要

今回工認では、鉛直方向の地震動及び地震力に対して動的な取扱いが必要となるため、鉛直方向の応答に対して動的な取扱いが必要となる設備については、応答を適切に模擬できる解析モデルを適用したうえで評価を行う。

また、鉛直方向の応答解析モデルの代表例として、原子炉建屋－炉内構造物系連成の地震応答解析モデルの適用方針を示す。

## 2. 原子炉建屋－炉内構造物系連成の地震応答解析モデルの適用方針

格納容器内の原子炉压力容器等の大型機器は、一般機器や配管等に比べて質量が大きく、原子炉建屋との相互作用を考慮した地震応答の算定が必要である。そのため、既工認において、原子炉压力容器（炉心支持構造物及び炉内構造物含む）、原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎等の大型機器・構造物の耐震設計では、水平方向の動的地震力については原子炉建屋と大型機器を連成させた多質点モデルによる時刻歴応答解析を行うことで動的地震力を算定し、鉛直方向については静的震度による地震荷重を算定していた。

今回工認においては、新たに鉛直方向の動的地震力に対する考慮が必要となったことから、鉛直方向についても水平方向と同様に動的地震力の算定を行う。鉛直方向の地震応答解析モデルについては、鉛直方向の各応力評価点における軸力を算定するため、従来の水平方向モデルをベースに新たに多質点モデルを作成する。

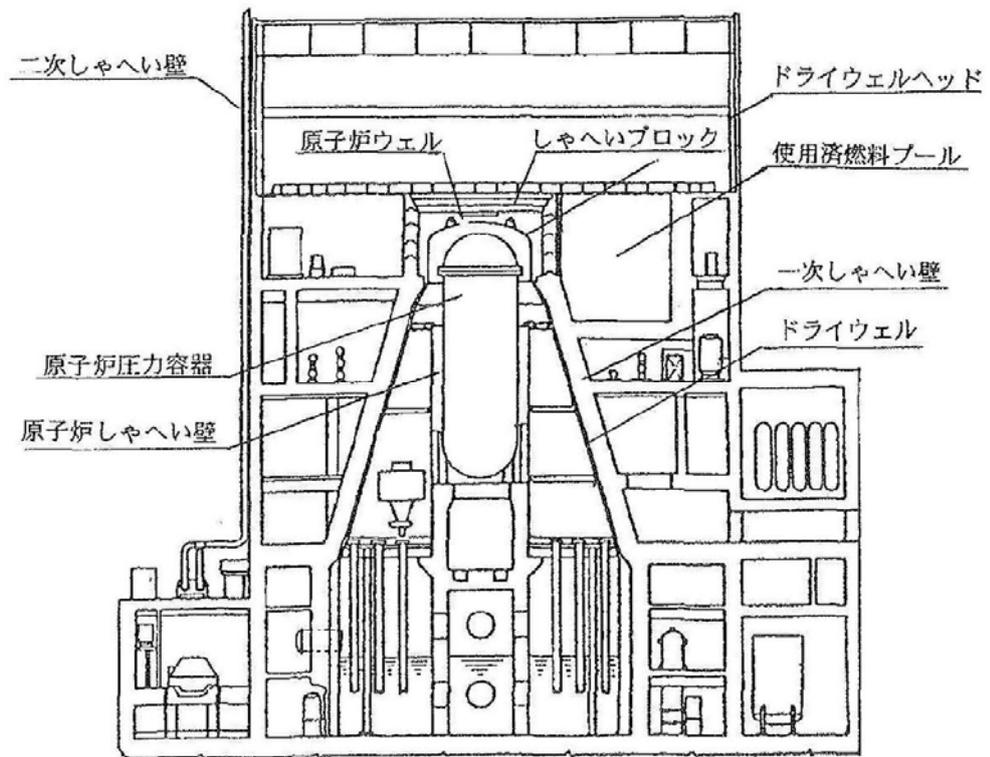
なお、鉛直方向の地震応答解析モデルは、大間 1 号炉の建設工認において適用例がある。

### 3. 地震応答解析モデルについて

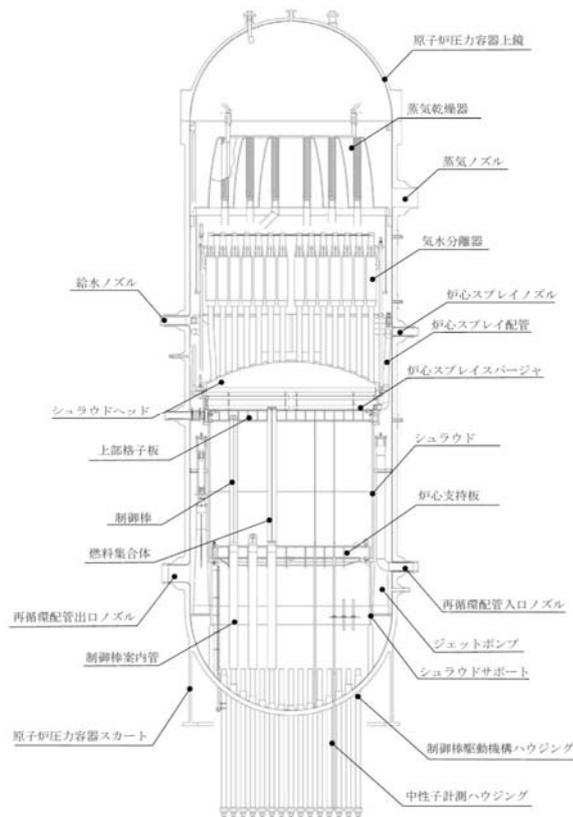
原子炉建屋，格納容器の概略断面図を第 7-1 図，原子炉压力容器内部構造物の構造図を第 7-2 図に示す。

水平方向の解析モデルにおいては，原子炉压力容器，原子炉遮蔽壁，原子炉本体基礎は第 7-3 図に示すような多質点モデルにてモデル化する。原子炉压力容器は原子炉压力容器スタビライザと等価なばねで原子炉遮蔽壁と結ばれ，原子炉本体基礎と剛に結合される。原子炉本体基礎はその下端において原子炉建屋基礎版上端と剛に結合され，さらにダイヤフラムフロアの剛性と等価なばねにより原子炉格納容器を介して原子炉建屋に支持される。

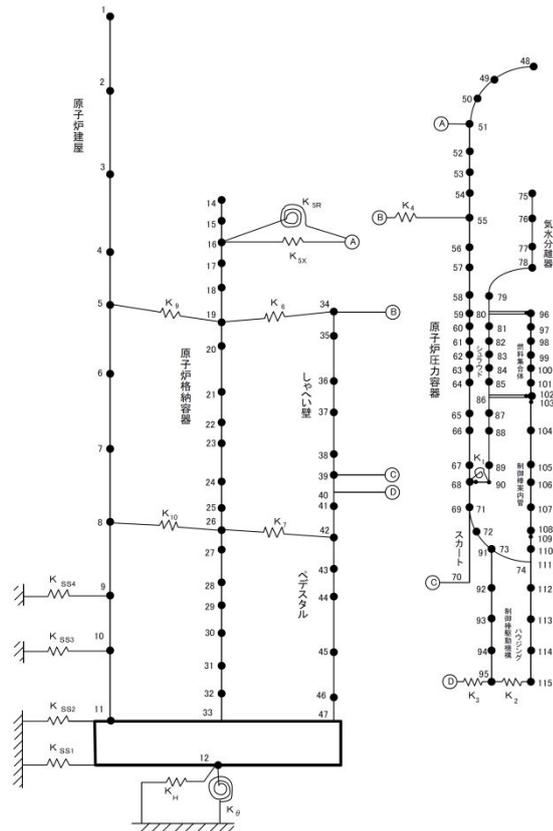
鉛直方向の解析モデルにおいても水平方向の解析モデルと同様に第 7-4 図に示すような多質点モデルにてモデル化する。原子炉压力容器は，原子炉本体基礎と剛に結合される。原子炉本体基礎は，その下端において原子炉建屋基礎版上端と剛に結合され，原子炉建屋に支持される。



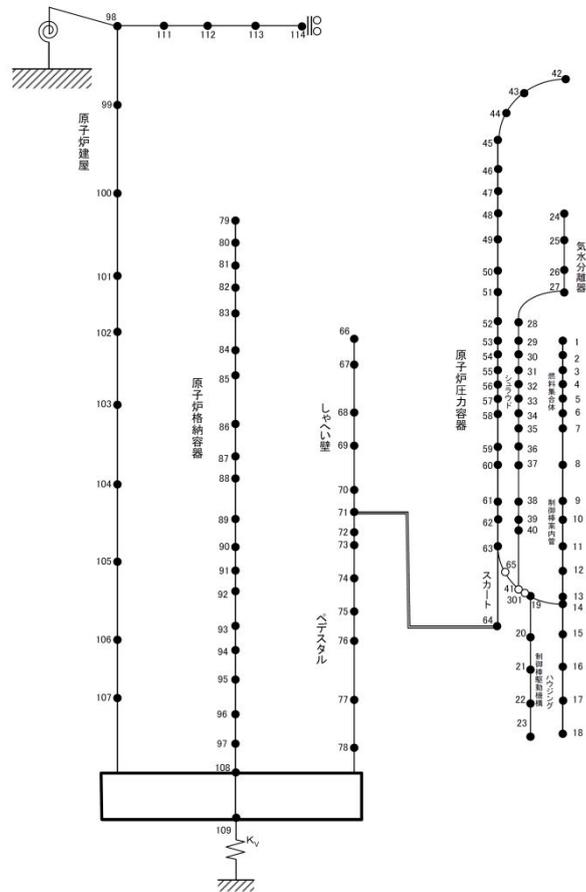
第 7-1 図 原子炉建屋，格納容器 概略断面図



第 7-2 図 原子炉压力容器内部構造物 構造図



第 7-3 図 原子炉建屋－炉内構造物系連成 地震応答解析モデル（水平方向）



第 7-4 図 原子炉建屋－炉内構造物系連成 地震応答解析モデル（鉛直方向）

## 東海第二発電所

下位クラス施設の波及的影響の検討について  
(耐震)

第6-1-1-2表 建屋外施設の評価結果（地盤の不等沈下による影響）

| 建屋外上位クラス施設 | 波及的影響を及ぼすおそれのある<br>下位クラス施設                                               | 評価方針又は評価結果                                                                                                                                   | 備考                                                   |
|------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 原子炉建屋      | タービン建屋<br>サービスマン建屋<br>ベアラ建屋<br>サンプルーム建屋<br>ヘパフィルタールーム<br>大物搬入口建屋<br>連絡通路 | 原子炉建屋への波及的影響確認として、下位クラス施設が設置された地盤が不等沈下しないことの確認又は不等沈下した場合でも離隔距離が十分であることを確認する。<br>また、原子炉建屋に対して建屋規模から小さい施設については、接触したとしても原子炉建屋の耐震性を損なわないことを確認する。 | 支持構造については添付資料4 参照<br>大物搬入口建屋の耐震重要度分類を含めた取扱いは添付資料5 参照 |

## 大物搬入口建屋の耐震重要度分類について

大物搬入口建屋の耐震重要度分類について、以下の通り整理した。

二次格納施設の範囲を示した原子炉建屋概略平面図を第1図に示す。

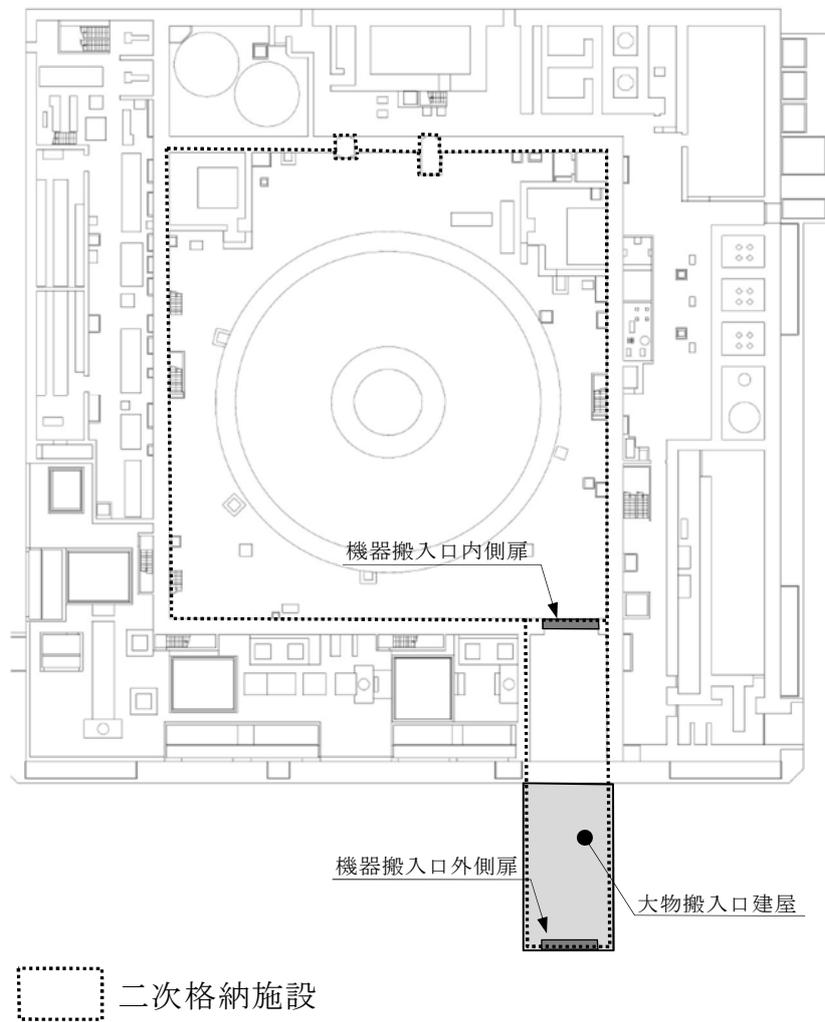
二次格納施設を負圧に維持するため、機器搬入口内側扉（以下「内側扉」という。）又は機器搬入口外側扉（以下「外側扉」という。）のどちらか一方の扉は閉鎖状態であることが要求される。

このため、プラント運転時は、原則、内側扉及び外側扉とも閉鎖状態としている。また、機器の搬出入等に伴い一時的に内側扉を開放する場合においても、外側扉は閉鎖状態を維持し、原子炉棟の気密性は確保することとしている。

以上より、一時的な機器搬出入時を除いて閉鎖状態とする内側扉までは耐震Sクラスとし、大物搬入口建屋を含む外側扉については耐震Cクラスとしている。

ただし、大物搬入口建屋は原子炉建屋に隣接していることから、基準地震動 $S_s$ に対して波及的影響を及ぼさないことの確認を行う。

なお、大物搬入口建屋を含む外側扉を耐震Cクラスとしているが、内側扉の開放時間は短いため開放時に地震が発生することは考えにくく、また、地震が発生したとしても耐震Sクラス設備及び常設耐震重要重大事故防止設備は、基準地震動 $S_s$ に対して健全性が確保され、設計基準事故及び重大事故等に至ることはなく、地震後に速やかに内側扉の閉鎖作業を実施することで問題ないものとする。



第1図 原子炉建屋概略平面図 (EL. 8.2m)

## 東海第二発電所

水平 2 方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について  
(耐震)

## 添付 1 補足説明資料

### 目 次

1. 水平2方向同時加振の影響評価について（原子炉圧力容器スタビライザ及び格納容器スタビライザ）
2. 水平2方向同時加振の影響評価について（蒸気乾燥器支持ブラケット）
3. 水平2方向同時加振の影響評価について（円筒形容器）
4. 水平2方向同時加振の影響評価について（ダイヤフラムフロア）
5. 水平2方向同時加振の影響評価について（燃料取替機）
6. 水平2方向同時加振の影響評価について（矩形配置されたボルト）
7. 水平2方向同時加振の影響評価について（電気盤）

## 6. 水平2方向入力時の影響評価について（矩形配置されたボルト）

### 6.1 はじめに

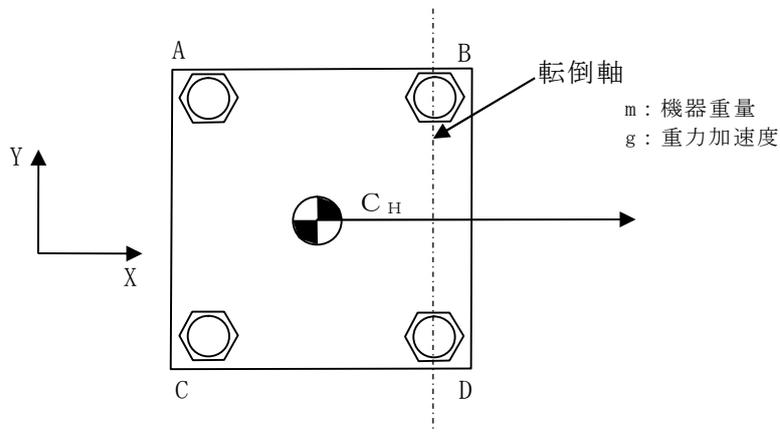
本項は、水平2方向に地震力が作用した場合の矩形配置されたボルトに対する影響検討結果をまとめたものである。強軸・弱軸が明確なものについては、弱軸方向に応答し水平2方向地震力による影響が軽微であるため、機器の形状を正方形として検討を行った。

### 6.2 引張応力への影響

水平1方向に地震力が作用する場合と水平2方向に地震力が作用する場合のボルトへの引張力の違いを考察する。なお、簡単のため機器の振動による影響は考えないこととする。

#### (1) 水平1方向に地震力が作用する場合

第6-1図のようにX方向に震度 $C_H$ が与えられる場合を考慮する。



第6-1図 水平1方向の地震力による応答（概要）

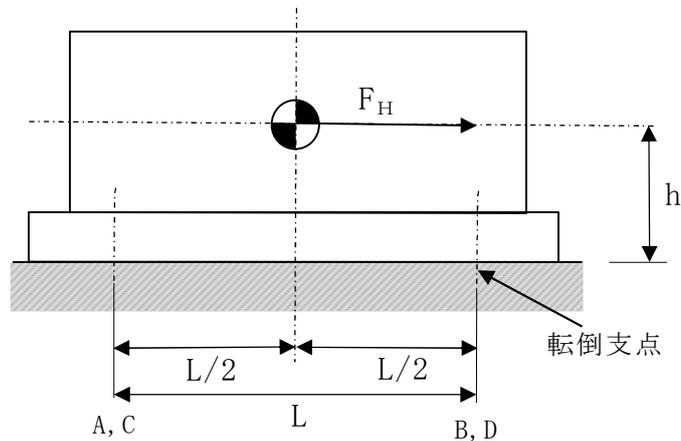
この場合、対象としている系の重心に作用する水平方向の力 $F_H$ は、

$$F_H = mg C_H$$

と表せ、 $F_H$ によるボルトBとボルトDの中心を結んだ軸を中心に転倒

モーメントを生じる。この転倒モーメントはボルト A, C により負担される。

このとき、系の重心に生じる力は、第 6-2 図に示すとおりである。



第 6-2 図 水平 1 方向の地震力による力

第 6-2 図より、水平方向地震動による引張力は

$$F_b = \frac{1}{L} (mgC_H h)$$

である。

ボルトに発生する引張応力  $\sigma_b$  は全引張力を断面積  $A_b$  のボルト  $n_f$  本で受けると考え、

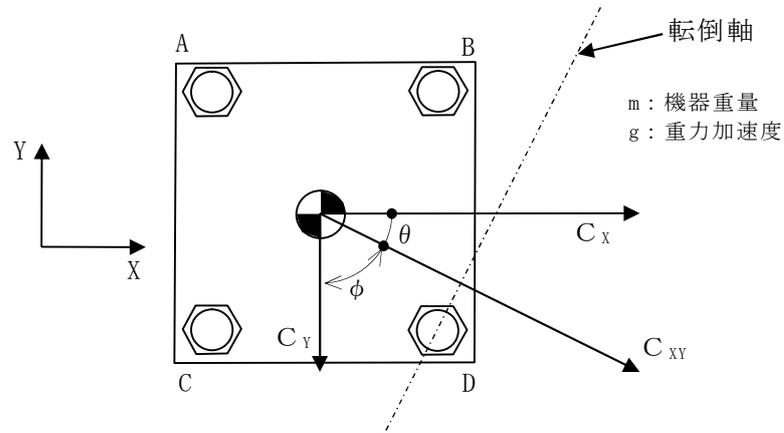
$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

となる。

(2) 水平 2 方向に地震力が作用する場合

第 6-3 図のように X 方向と Y 方向にそれぞれ震度  $C_X$ ,  $C_Y$  が作用する場合を考慮する。なお、本検討においては、X 方向と Y 方向に同時に最大

震度が発生する可能性は低いと考え、X方向の震度とY方向の震度を1:0.4  
 ( $0.4C_X = C_Y$ )と仮定する。



第6-3図 水平2方向の地震力による応答（概要）

この時  $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{4}{10}\right)$  であることから、水平方向の震度  $C_{XY}$  は

$$\begin{aligned} C_{XY} &= C_X \cos \theta + C_Y \cos \phi \\ &= \frac{5}{\sqrt{29}} C_X + 0.4 \times \frac{2}{\sqrt{29}} C_Y \\ &= \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X \end{aligned}$$

と表される。この時、対象としている系の重心に作用する水平方向の力  $F_H$  は、

$$F_H = mg C_{XY} = mg \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X$$

となる。この  $F_H$  により、転倒軸を中心に転倒モーメントが生じ、ボルト A, B, C により負担される。

水平2方向の地震力を受け対角方向に応答する場合、各ボルトにかかる引

張力を  $F_A$ ,  $F_B$ ,  $F_C$  とし、第 6-4 図に示すようにボルト D の中心を通る直線を転倒軸とすると、

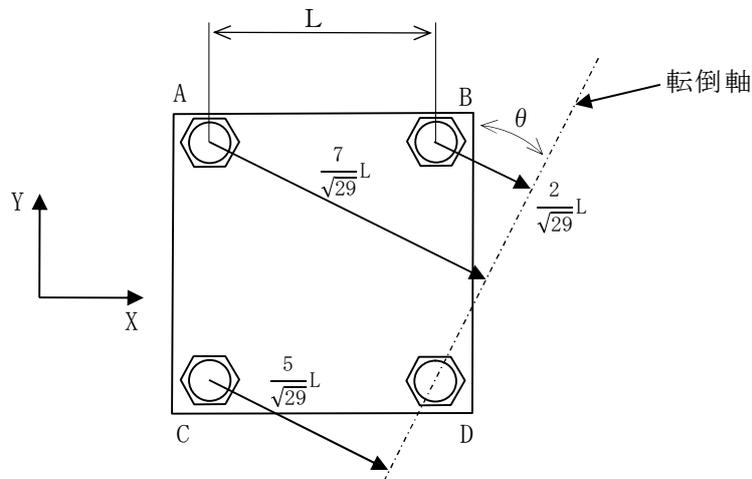
転倒軸からの距離により、

$$F_A : F_B : F_C = 7 : 2 : 5$$

であり、転倒軸周りのボルトの軸力により発生するモーメント  $M$  は、

$$\begin{aligned} M &= \frac{7}{\sqrt{29}}LF_A + \frac{2}{\sqrt{29}}LF_B + \frac{5}{\sqrt{29}}LF_C \\ &= \frac{7}{\sqrt{29}}L \times F_A + \frac{2}{\sqrt{29}}L \times \frac{2}{7}F_A + \frac{5}{\sqrt{29}}L \times \frac{5}{7}F_A \\ &= \frac{78}{7\sqrt{29}}LF_A \end{aligned}$$

である。



第 6-4 図 対角方向に応答する場合の転倒軸から距離

転倒しない場合、転倒軸周りのボルトの軸力により発生するモーメント  $M$  と水平方向地震力モーメントが釣り合っているので、

$$mg C_{XY} h = \frac{78}{7\sqrt{29}} LF_A$$

であり、引張力  $F_A$  は以下のとおりとなる。

$$F_A = \frac{7\sqrt{29}}{78L} (mg C_{XY} h)$$

以上より、最も発生応力の大きいボルト A に発生する応力  $\sigma_b$  は

$$\sigma_b = \frac{F_A}{A_b} = \frac{7\sqrt{29}}{78A_b L} (mg C_{XY} h)$$

であり、水平 1 方向地震動を考慮した場合のボルトにかかる応力  $\sigma_b$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{2A_b} = \frac{1}{2A_b L} (mg C_H L)$$

に対して、震度  $C_{XY} = \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_H$  であることから

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{7\sqrt{29}}{39 \times 2A_b L} (mg C_{XY} h) \\ &= \frac{7\sqrt{29}}{39 \times 2A_b L} \times \frac{5.8}{\sqrt{29}} (mg C_H h) \\ &= \frac{40.6}{39} \sigma_b \\ &= 1.04 \sigma_b \end{aligned}$$

となる。したがって、水平 2 方向入力時を考慮した場合、ボルトに発生する引張応力は増加するが、その影響は軽微と**考えられる**。

### 6.3 せん断応力への影響

せん断力は全基礎ボルト断面で負担するため、全ボルトに対するせん断力  $T_b$  は、

$$T_b = F_H$$

であり、せん断応力  $\tau_b$  は断面積  $A_b$  のボルト本数  $n$  でせん断力  $T_b$  を受けるため、

$$\tau_b = \frac{T_b}{nA_b}$$

となる。

水平 1 方向の地震力を考慮した場合のせん断力  $T_b$  及び水平 2 方向の地震力を考慮した場合のせん断力  $T_b'$  はそれぞれ、

$$T_b = mg C_X$$

$$T_b' = mg \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X = 1.08 mg C_X$$

$$= 1.08 T_b$$

となる。水平 1 方向及び水平 2 方向地震時に断面積  $A_b$  及びボルト全本数  $n$  は変わらないため、水平 2 方向地震を考慮した場合、ボルトに発生するせん断応力は増加するが、その影響は軽微と考えられる。

詳細設計段階では、本検討手法の妥当性を示した上で影響軽微とした判断する基準（応力の増分の 1 割）以下であることを確認する。

## 東海第二発電所

### 液状化影響の検討方針について

## 目次

|                                                     |        |
|-----------------------------------------------------|--------|
| 1. 液状化影響評価の検討方針の概要                                  | ・・・ 3  |
| 2. 敷地の地質について                                        | ・・・ 6  |
| 3. 液状化検討対象層の抽出                                      | ・・・ 20 |
| 3.1 液状化検討対象層の抽出                                     |        |
| 3.2 Ac層の液状化強度試験結果                                   |        |
| 4. 液状化強度試験箇所とその代表性                                  | ・・・ 35 |
| 4.1 液状化強度試験箇所の選定                                    |        |
| 4.2 液状化強度試験選定箇所の代表性                                 |        |
| 4.3 室内液状化強度試験結果の $R_{L20}$ と道路橋示方書式による $R_L$ との比較検討 |        |
| 4.4 基準地震動 $S_s$ に対する液状化強度試験の有効性                     |        |
| 5. 施設毎の液状化影響検討の組合せ                                  | ・・・ 63 |
| 6. 有効応力解析の検討方針                                      | ・・・ 69 |
| 7. 液状化強度特性（豊浦標準砂）の仮定                                | ・・・ 82 |
| 8. 設置許可基準規則第三条第1項，第2項に対する条文適合方針について                 | ・・・ 86 |
| 9. 参考資料                                             |        |
| 9.1 地下水位観測データについて                                   | ・・・ 88 |
| 9.2 土槽振動実験の再現シミュレーションについて                           | ・・・ 94 |

## 1. 液状化影響評価の検討方針の概要

第 1.1.1 図に液状化影響評価のフローを示す。

東海第二発電所の液状化影響評価については道路橋示方書を基本とし、道路橋示方書では液状化検討対象外とされている G.L. - 20m 以深及び更新統についても液状化検討対象層として扱う。

原地盤の各液状化検討対象層の試験結果に基づき、液状化強度特性を設定し、有効応力解析により構造物への影響評価を実施する。設定する原地盤の各液状化検討対象層の液状化強度特性は試験データのバラツキを考慮し、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差を用いて適切に設定する。

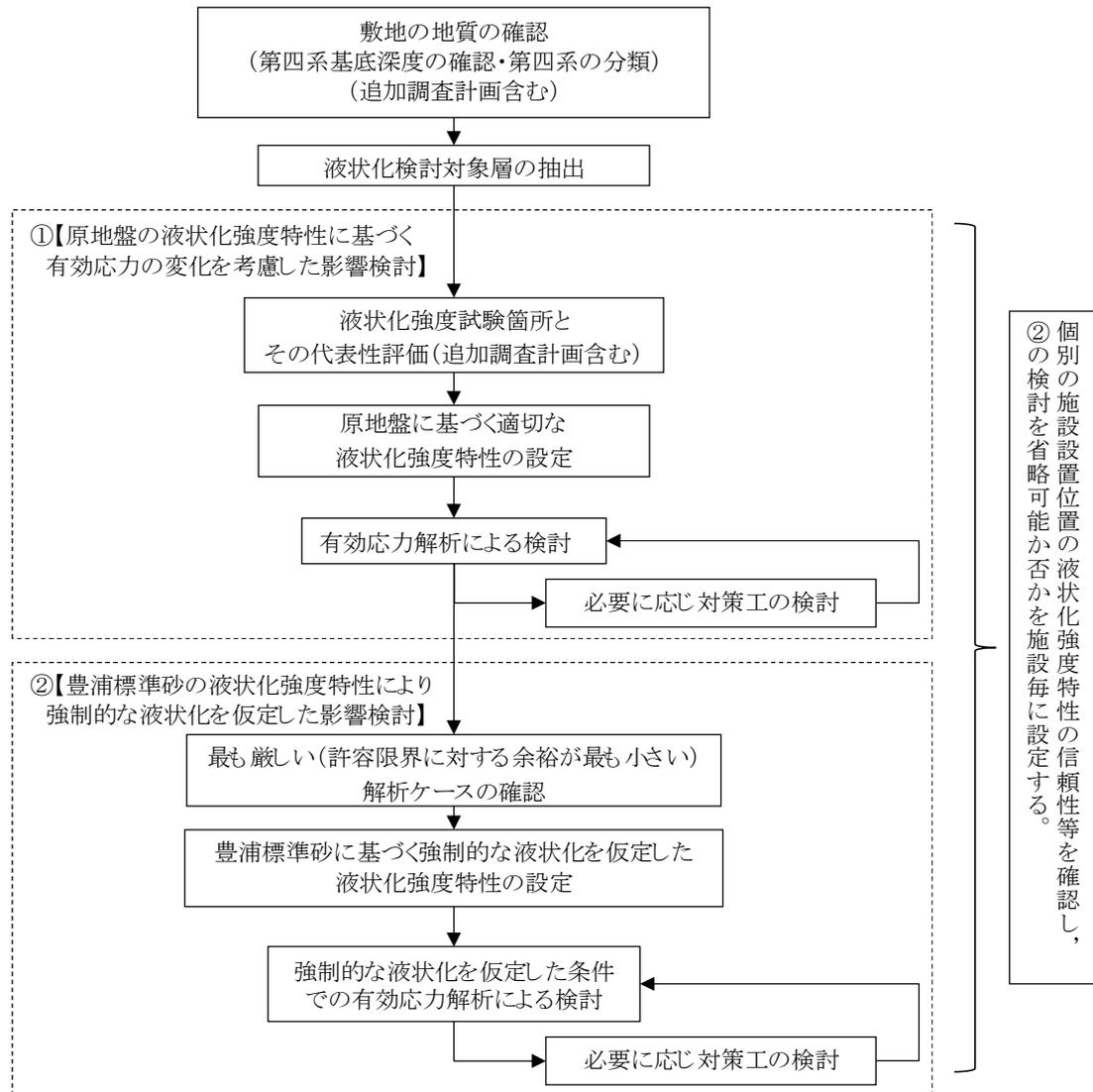
耐震重要施設等<sup>\*1</sup> 及び波及的影響の設計対象とする下位クラス施設<sup>※</sup>の耐震設計において液状化影響の検討を行う場合は、原地盤に基づく液状化強度特性を用いて基準地震動  $S_s$  に対する有効応力解析による検討(①)を行うことを基本とし、更に、当該検討において最も厳しい(許容限界に対する余裕が最も小さい)解析ケースに対して、豊浦標準砂<sup>\*2</sup>の液状化強度特性により強制的な液状化を仮定した有効応力解析による検討(②)を追加で行う。上記の検討の組合せは、個別の施設設置位置の液状化強度特性の信頼性等を確認し、施設毎に設定する。

第 1.1.2 図に原地盤に基づく液状化強度特性と豊浦標準砂を仮定した液状化強度特性の比較を示す。豊浦標準砂の液状化強度特性は原地盤に基づく液状化強度特性の全てを包含している。豊浦標準砂は、敷地に存在しないものであるが、極めて液状化しやすい液状化強度特性を有していることから、豊浦標準砂の液状化強度特性を仮

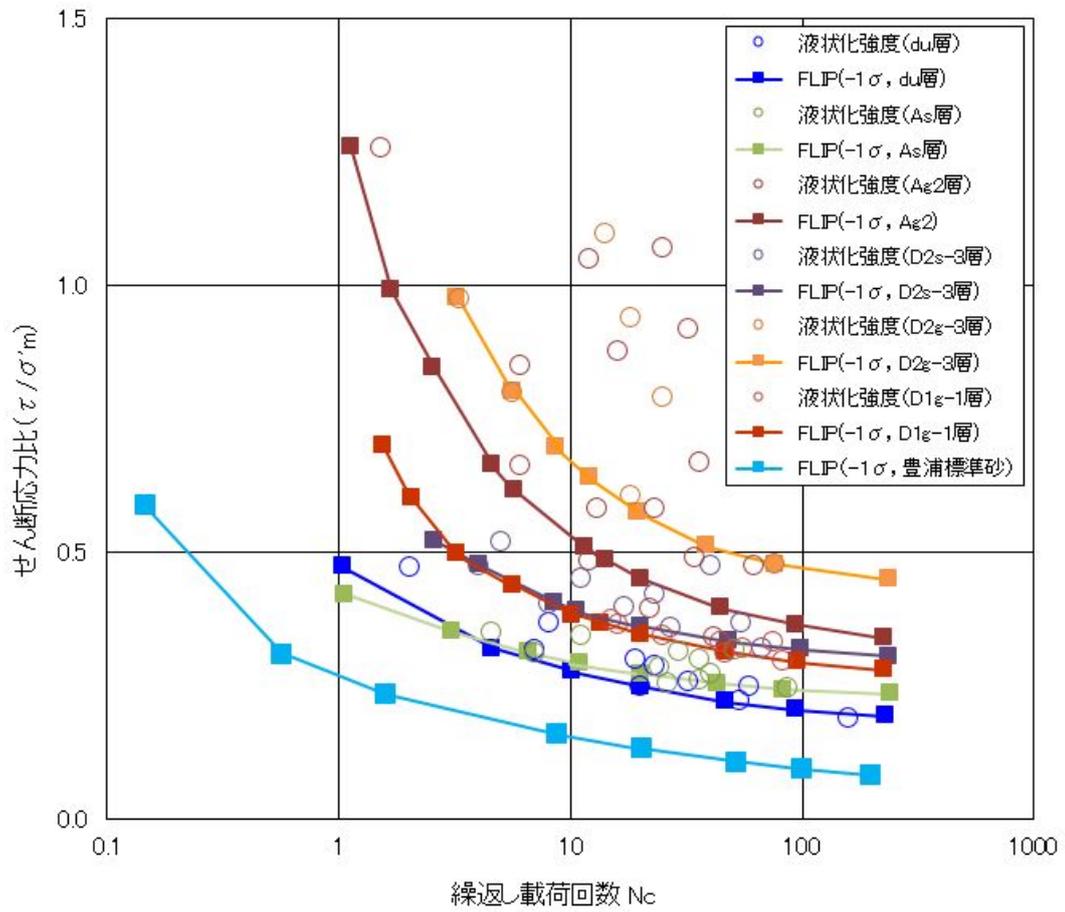
定した有効応力解析は，強制的に液状化させることを仮定した影響評価となる。

※1：常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く）

※2：豊浦標準砂は，山口県豊浦で産出される天然の珪砂であり，敷地には存在しないものである。豊浦標準砂は，淡黄色の丸みのある粒から成り，粒度が揃い均質で非常に液状化しやすい特性を有していることから，液状化強度特性に関する研究等における実験などで多く用いられている。



第 1.1.1 図 液状化影響評価のフロー



第 1.1.2 図 原地盤に基づく液状化強度特性と豊浦標準砂を仮定した液状化強度特性の比較

## 5. 施設毎の液状化影響検討の組合せ

### 1) 液状化影響検討の組合せの設定方針

液状化影響検討の組合せの設定フローを第 5.1.1 図に示す。

施設の詳細設計において，その周辺地盤に液状化検討対象層が存在しない場合は，液状化の影響検討は不要とする。

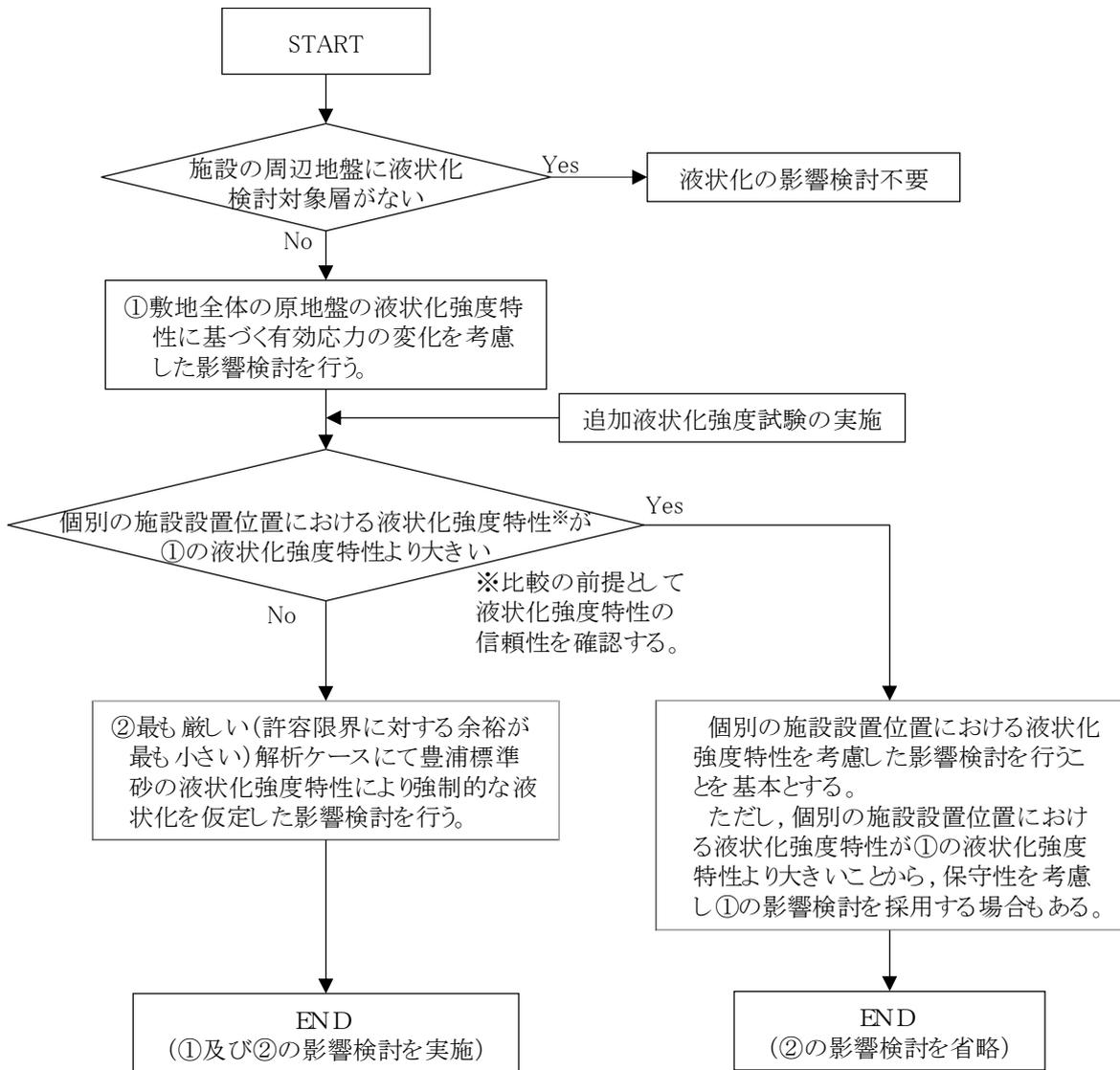
上記に該当しない施設について，基準地震動  $S_s$  に対して，敷地全体の原地盤に基づく液状化強度特性を用いた有効応力解析による影響検討を行う (①)

個別の施設設置位置の液状化強度特性について，信頼性を確認した上で，①の液状化強度特性より大きいかの確認を行う。

個別の施設設置位置の液状化強度特性が①の液状化強度特性より大きいことの確認ができない場合は，①の検討において最も厳しい（許容限界に対する余裕が最も小さい）解析ケースに対して，豊浦標準砂に基づく液状化強度特性により強制的な液状化を仮定した影響検討を追加で行う (②)。

個別の施設設置位置の液状化強度が①の液状化強度特性より大きいことの確認ができた場合は，個別の施設設置位置における液状化強度特性を考慮した影響検討を行うことを基本とする。

ただし，個別の施設設置位置の液状化強度が①の液状化強度特性より大きいことから，保守性を考慮し①の影響検討を採用する場合もある。

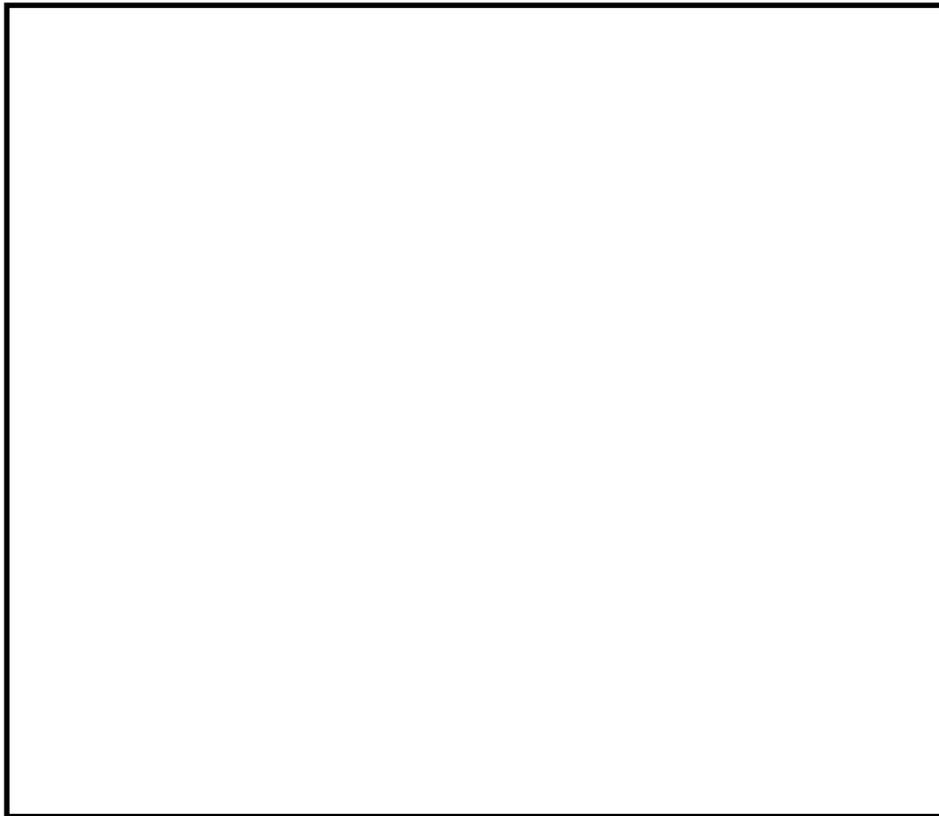
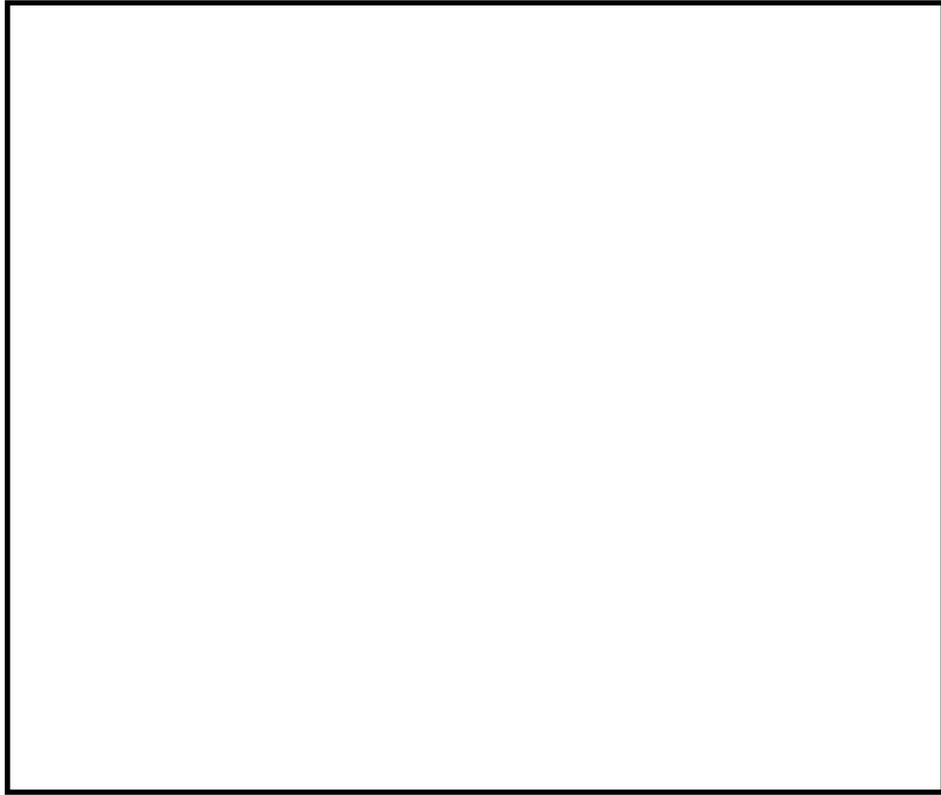


第 5.1.1 図 液化化影響検討の組合せの設定フロー

## 2) 施設毎の液状化影響検討の組合せ

対象施設の設置位置，液状化強度試験用試料採取箇所及び対象層を第 5.1.2 図に示す。また，検討フローに基づいた施設毎の液状化影響検討の組合せは第 5.1.1 表を基本とする。ただし，液状化影響検討の組合せについては，今後の液状化強度試験及び詳細設計により，その妥当性を示した上で変更する場合がある。また，波及的影響の設計対象とする下位クラス施設においても，その周辺地盤に液状化検討対象層が存在する場合は，液状化影響検討を行うことを基本とする。

第 5.1.3 図に追加液状化強度試験計画を示す。今後，当該試験結果を踏まえ，詳細設計にて用いられる液状化強度特性を精査していく。

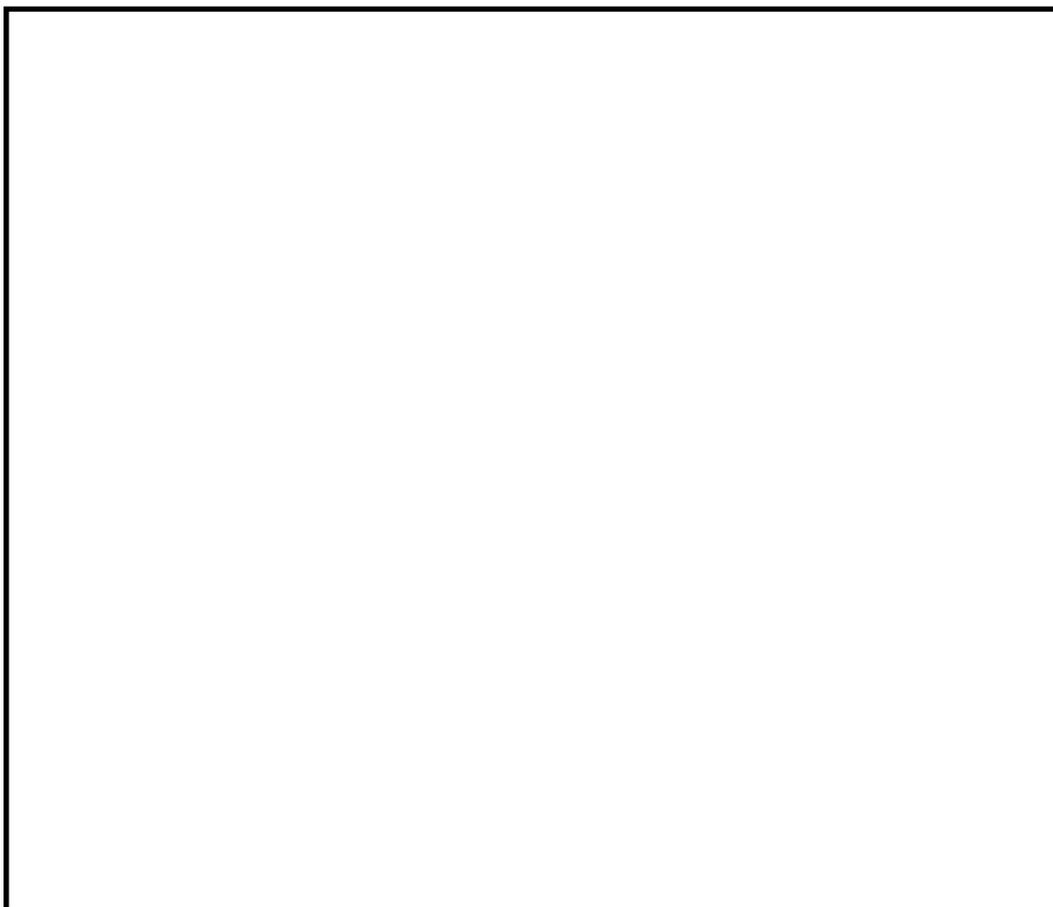


第 5.1.2 図 対象施設の設置位置，液状化強度試験用試料採取箇所及び対象層

第 5.1.1.1 表 施設毎の液状化影響検討の組合せ

| 設備分類                                      | 設備名称<br>【間接支持している設備名称】                                   | 下部工の構造                | 支持層 | 周辺地盤の地層のうち、<br>液状化検討対象層                        | 液状化の<br>影響検討<br>不要 | 敷地全体の原地盤の液状化<br>強度特性に基づく<br>影響検討を実施(D) | 敷積標準砂の液状化強度特<br>性に基づき強制的な液状化係<br>数に引き上げられた影響検討を実施(D) |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------|-----|------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 対処<br>施設<br>基準                            | 使用済燃料乾式貯蔵建屋<br>【使用済燃料乾式貯蔵容器】                             | 杭支持構造                 | 久米層 | du層, Ag2層, D2g-3層                              | ●                  | ●                                      | ●                                                    |
|                                           | 銅管杭鉄筋コンクリート防潮壁                                           | 杭支持構造                 | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層<br>D2s-3層, D2g-3層, D1-g1層 | ●                  | ●                                      | ●                                                    |
|                                           | 鋼製防護壁                                                    | 地中連続壁                 | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層                           | ●                  | ●                                      | ●                                                    |
|                                           | 鉄筋コンクリート防潮壁                                              | 地中連続壁                 | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層                           | ●                  | ●                                      | ●                                                    |
|                                           | 鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア)                                      | 地中連続壁                 | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層                           | ●                  | ●                                      | ●                                                    |
|                                           | 原子炉建屋                                                    | 人工岩盤を介して<br>岩盤に直接支持   | 久米層 | 無し*1                                           | ●                  | —                                      | —                                                    |
|                                           | 取水構造物<br>【非常用海水取水ポンプ及び非常用海水系配管】                          | 杭支持構造                 | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層                           | ●                  | ●                                      | ●                                                    |
|                                           | 主排気筒<br>【非常用ガス処理系排気筒】                                    | 杭支持構造<br>(第四系全てを地盤改良) | 久米層 | 無し(第四系全てを地盤改良)                                 | ●                  | —                                      | —                                                    |
|                                           | 屋外二重管<br>【非常用海水系配管】                                      | 杭支持構造                 | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層                           | ●                  | ●                                      | ●                                                    |
|                                           | 貯留堰                                                      | 岩盤に直接支持               | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層                           | ●                  | ●                                      | ●                                                    |
| 設計<br>重大<br>事故<br>等<br>対<br>処<br>施設<br>及び | 常設代替高圧電源装置置場<br>【常設代替高圧電源装置、西側淡水貯水設備及び軽油貯蔵タンク】           | 岩盤に直接支持               | 久米層 | du層, Ag2層, D2g-3層                              | ●                  | ●                                      | ●                                                    |
|                                           | 常設代替高圧電源装置用カルバート(トンネル部)<br>【常設代替高圧電源装置配管、燃料移送配管】         | 岩盤内に設置(トンネル)          | 久米層 | 無し(岩盤中に直接設置)                                   | ●                  | —                                      | —                                                    |
|                                           | 常設代替高圧電源装置用カルバート(立坑部)<br>【常設代替高圧電源装置配管】                  | 岩盤に直接支持               | 久米層 | 無し*1                                           | ●                  | —                                      | —                                                    |
|                                           | 常設代替高圧電源装置用カルバート(カルバート部)<br>【常設代替高圧電源装置配管、燃料移送配管】        | 地盤改良体を介して<br>岩盤に直接支持  | 久米層 | 無し*1                                           | ●                  | —                                      | —                                                    |
|                                           | 緊急時対策所建屋                                                 | 鋼管コンクリート杭             | 久米層 | du層, D2s-3層, D2g-3層                            | ●                  | ●                                      | ●                                                    |
|                                           | 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎(A, B)<br>【緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク(A, B)】 | 杭支持構造                 | 久米層 | du層, D2s-3層, D2g-3層                            | ●                  | ●                                      | ●                                                    |
|                                           | 緊急用海水ポンプピット<br>【緊急用海水ポンプ】                                | 岩盤に直接支持               | 久米層 | 無し*1                                           | ●                  | —                                      | —                                                    |
|                                           | 緊急用海水取水管                                                 | 岩盤内に設置(埋設管)           | 久米層 | 無し(岩盤中に直接設置)                                   | ●                  | —                                      | —                                                    |
|                                           | SA用海水ピット                                                 | 岩盤に直接支持               | 久米層 | du層, Ag2層, D2g-3層                              | ●                  | ●                                      | ●                                                    |
|                                           | 海水引込み管                                                   | 岩盤内に設置(埋設管)           | 久米層 | 無し(岩盤中に直接設置)                                   | ●                  | —                                      | —                                                    |
| 重大<br>事故<br>等<br>対<br>処<br>施設             | SA用海水ピット取水塔                                              | 岩盤に直接支持               | 久米層 | du層, Ag2層, D2g-3層                              | ●                  | ●                                      | ●                                                    |
|                                           | 格納容器圧力逃がし装置格納槽<br>【格納容器圧力逃がし装置】                          | 岩盤に直接支持               | 久米層 | du層, Ag2層, D2g-3層                              | ●                  | ●                                      | ●                                                    |
|                                           | 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート<br>【格納容器圧力逃がし装置用配管】                  | 人工岩盤を介して<br>岩盤に直接支持   | 久米層 | 無し*1                                           | ●                  | —                                      | —                                                    |
|                                           | 代替淡水貯槽                                                   | 岩盤に直接支持               | 久米層 | du層, du層, Ag2層, D2g-3層                         | ●                  | ●                                      | ●                                                    |
|                                           | 低圧代替注水ポンプ室<br>【低圧代替注水ポンプ】                                | 岩盤に直接支持               | 久米層 | 無し*1                                           | ●                  | —                                      | —                                                    |
|                                           | 低圧代替注水系配管カルバート                                           | 人工岩盤を介して<br>岩盤に直接支持   | 久米層 | 無し*1                                           | ●                  | —                                      | —                                                    |
|                                           | 可搬型設備用軽油タンク基礎(西側)<br>【可搬型設備用軽油タンク(西側)】                   | 杭支持構造                 | 久米層 | du層, D2s-3層, D2g-3層                            | ●                  | ●                                      | ●                                                    |
|                                           | 可搬型設備用軽油タンク基礎(南側)<br>【可搬型設備用軽油タンク(南側)】                   | 杭支持構造                 | 久米層 | du層, D1g-1層                                    | ●                  | ●                                      | ●                                                    |

\*1: 非水設備により、地下水位を久米層分布深さ以下としていることから、地下水位以下に液状化係数対処層はない。



第 5.1.3 図 追加液状化強度試験計画



## 東海第二発電所

屋外二重管の基礎構造の設計方針について

## 目次

1. 屋外二重管の概要
2. 基礎構造形式について
3. 基礎構造の設計方針
4. 鋼管杭の仕様設定
5. 鋼製梁の仕様設定
6. 鋼管杭と鋼製梁の接続部の仕様設定
7. 基礎構造の耐震設計方針（有効応力解析）

## 1. 屋外二重管の概要

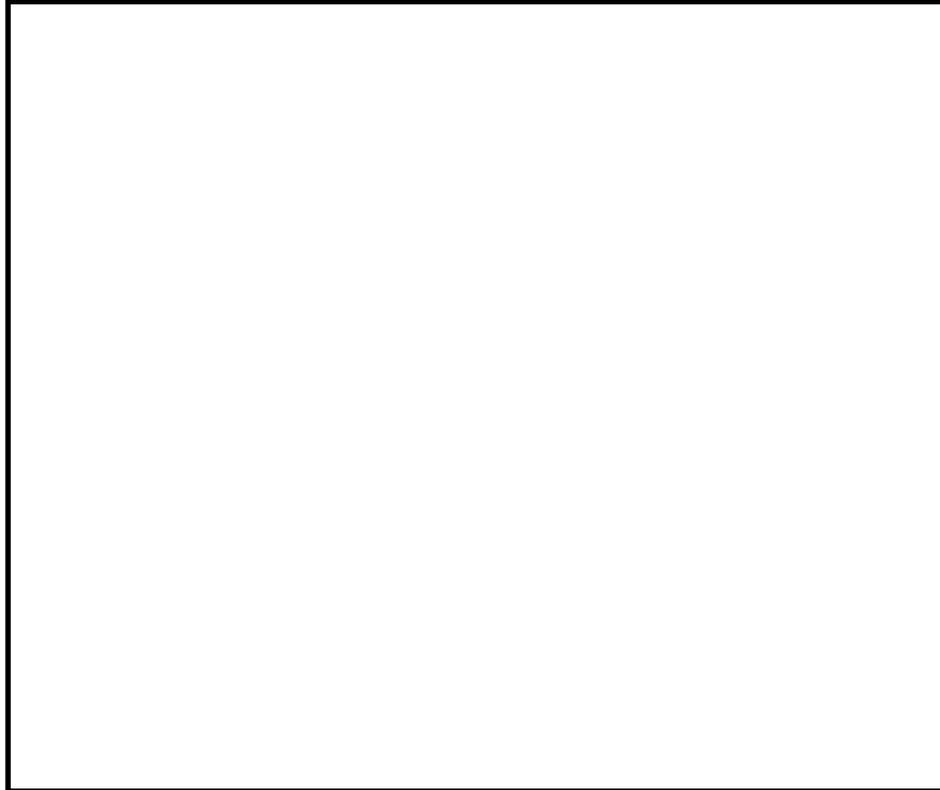
残留熱除去海水系配管及びディーゼル発電機海水系配管をポンプ室から原子炉建屋まで配置するため、屋外海水配管二重管（以下「屋外二重管」という。）を設置している。

屋外二重管は、設置許可基準規則第 3 条及び第 4 条の対象となる「耐震重要施設を支持する建物・構築物」及び設置許可基準規則第 38 条及び第 39 条の対象となる「常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く）」に該当する。

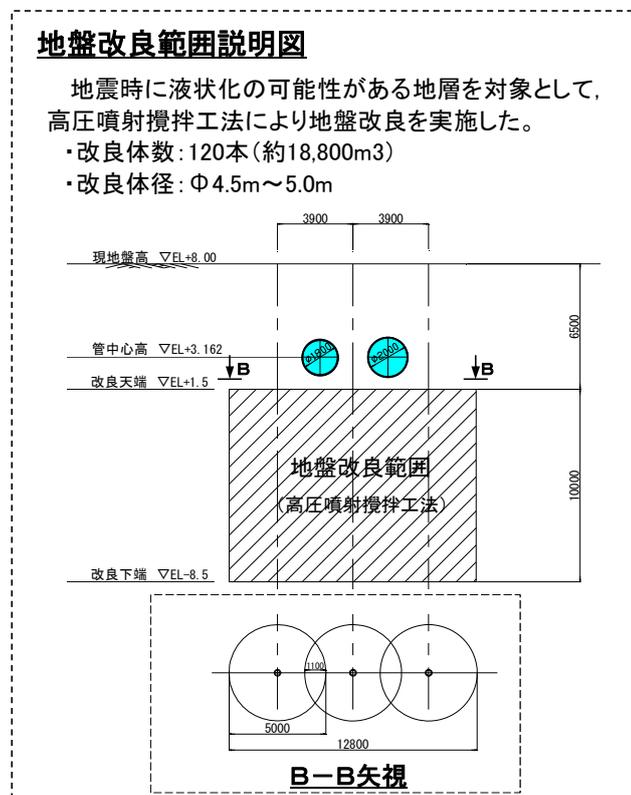
屋外二重管は、第四系地盤に直接支持している施設であり、施設直下には液状化検討対象層である As 層、Ag1 層及び Ag2 層が分布している。なお、指針改訂に伴う耐震裕度向上工事として、平成 21 年に Ag2 層を対象とした地盤改良を実施している。

設置許可基準規則第 3 条第 1 項への適合性の観点から、当該施設については杭等を介して岩盤（久米層）で支持する構造とする。

第 1 図に屋外二重管の平面図及び断面図、第 2 図に既施工の地盤改良範囲の説明図、第 3 図に地質縦断図及び横断図を示す。



第 1 図 屋外二重管の平面位置図及び断面図



第 2 図 地盤改良範囲（既施工）説明図



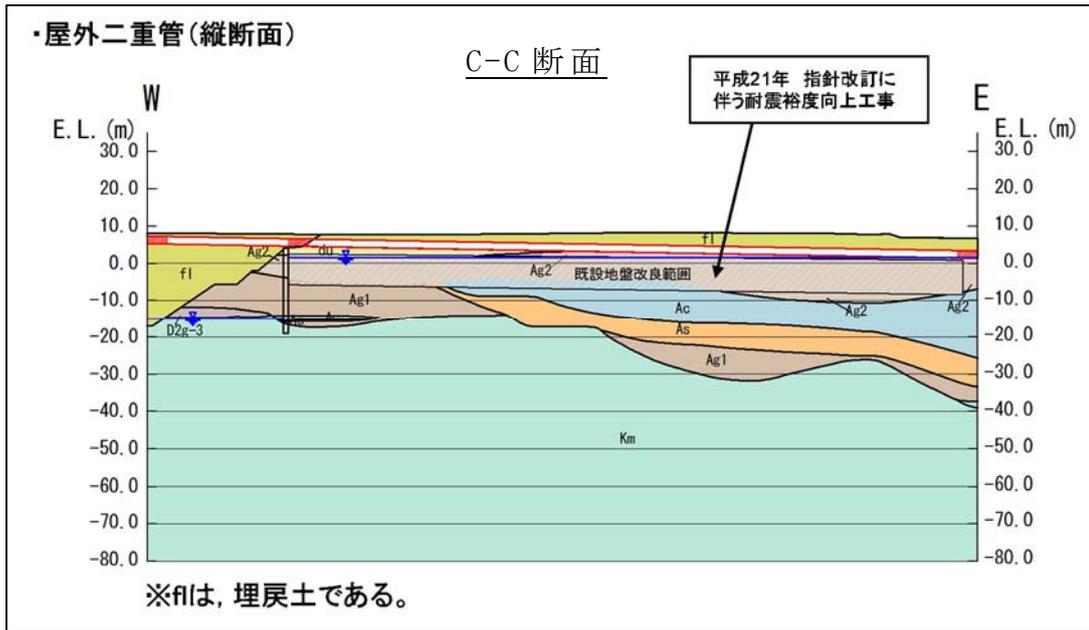
(断面位置図)

地質構成表

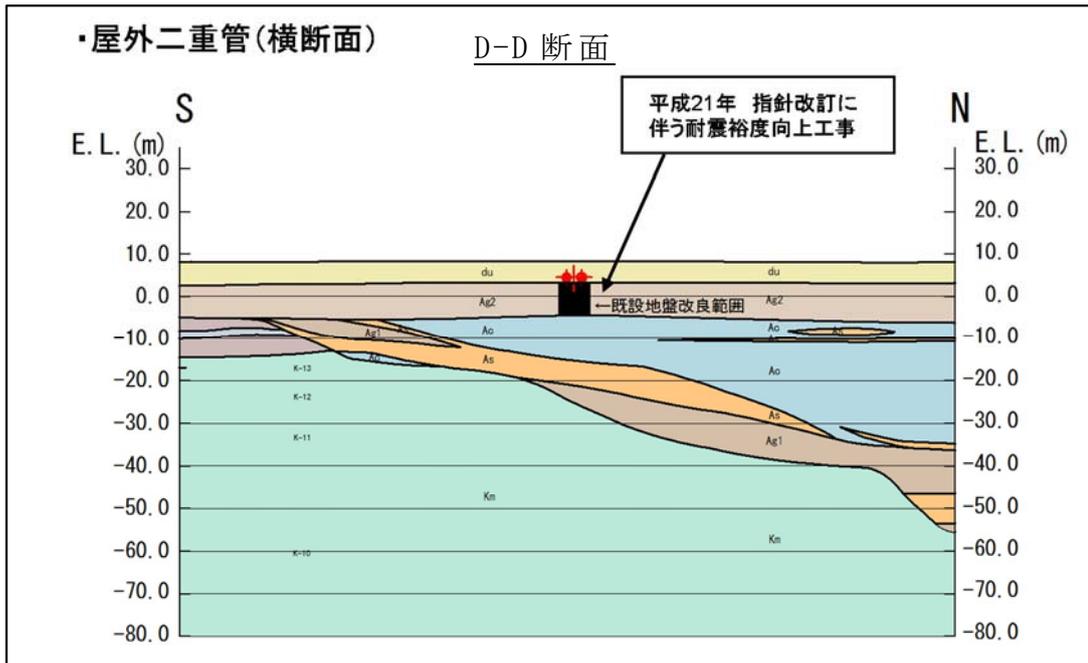
| 地質時代       | 地質区分          | 記号         | 岩相   | 備考                                 |
|------------|---------------|------------|------|------------------------------------|
| 第四紀<br>新世  | 沖積低地<br>地積層   | 砂丘層        | du   | 砂                                  |
|            |               | 久慈川<br>地積層 | Ag2  | 砂礫                                 |
|            |               |            | Ac   | 粘土                                 |
|            |               |            | As   | 砂                                  |
| 第四紀<br>更新世 | 低段段丘 I<br>地積層 | Ag1        | 砂礫   | 久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。              |
|            |               | D2g-3      | シルト  |                                    |
|            |               | D2g-3      | 砂    | 敷地南部に埋設段丘として分布する。                  |
|            |               | D2g-3      | 砂礫   |                                    |
|            |               | D2g-2      | シルト  |                                    |
|            |               | D2g-2      | 砂礫   |                                    |
| 第四紀<br>新世  | 中位段丘<br>地積層   | Im         | ローム  | 敷地の前面部に分布し、<br>いわゆる扇田段丘層を<br>構成する。 |
|            |               | D1g-1      | シルト  |                                    |
|            |               | D1g-1      | 砂礫   |                                    |
| 第三紀<br>新世  | 久米層           | Km         | 砂質泥岩 | 敷地の基盤岩である。                         |

~~~~~ 不整合

・屋外二重管(縦断面)



・屋外二重管(横断面)



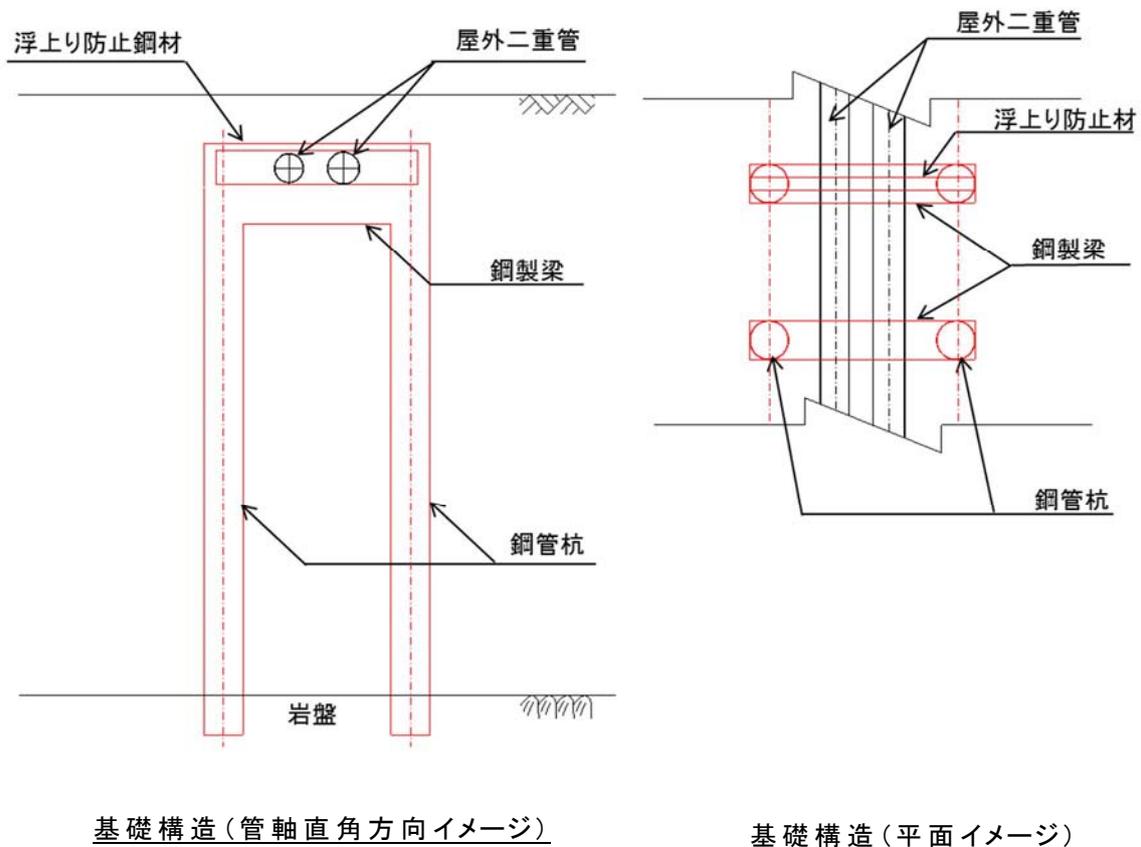
第 3 図 地質縦断面図及び横断面図

## 2. 基礎構造形式について

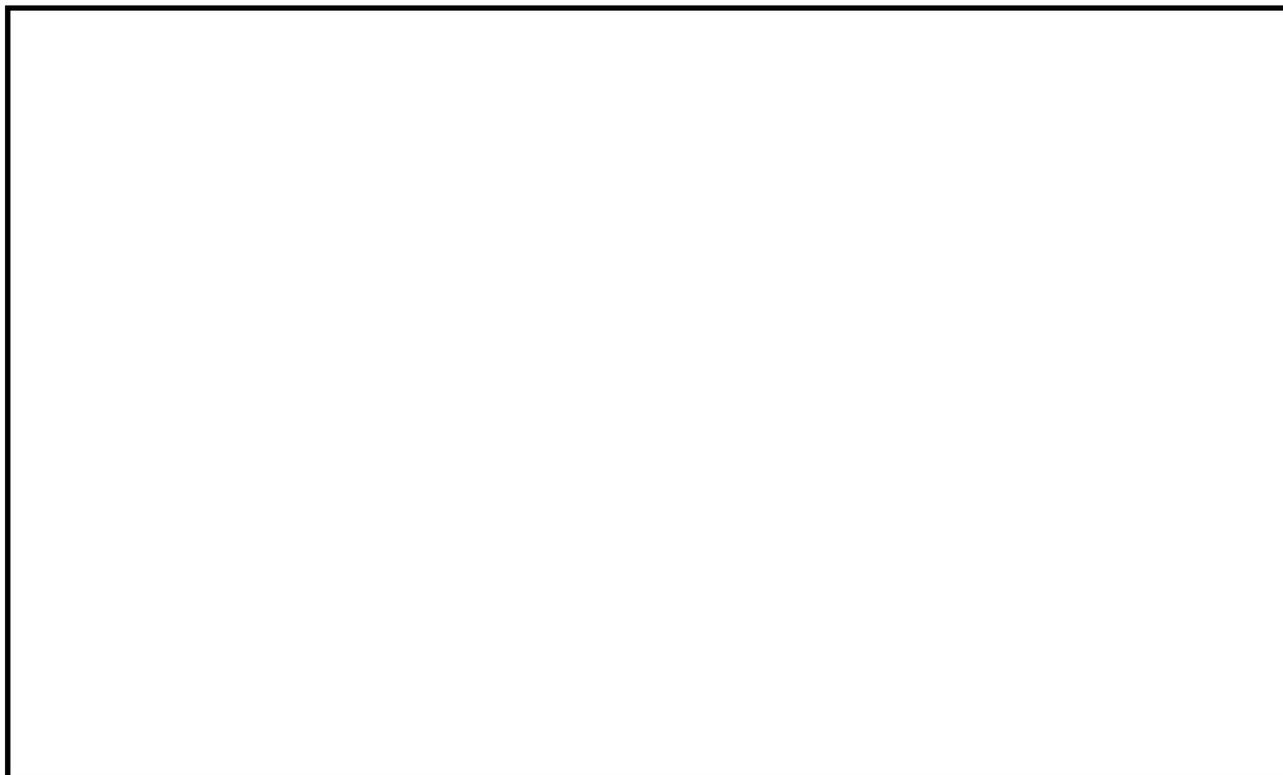
地震に伴う周辺地盤の沈下に伴って屋外二重管が沈下することを防止するため、屋外二重管の直下に沈下防止を目的とした鋼製梁を設置して、鋼管杭を介して岩盤で支持する構造とする。

原子炉建屋近傍で、移設不可能な既設構造物（排気筒基礎等）や埋設物との干渉によって鋼管杭の打設が困難な箇所については、屋外二重管直下を地盤改良（セメント固化工法等）することにより補強する地盤に支持させる検討を行う。

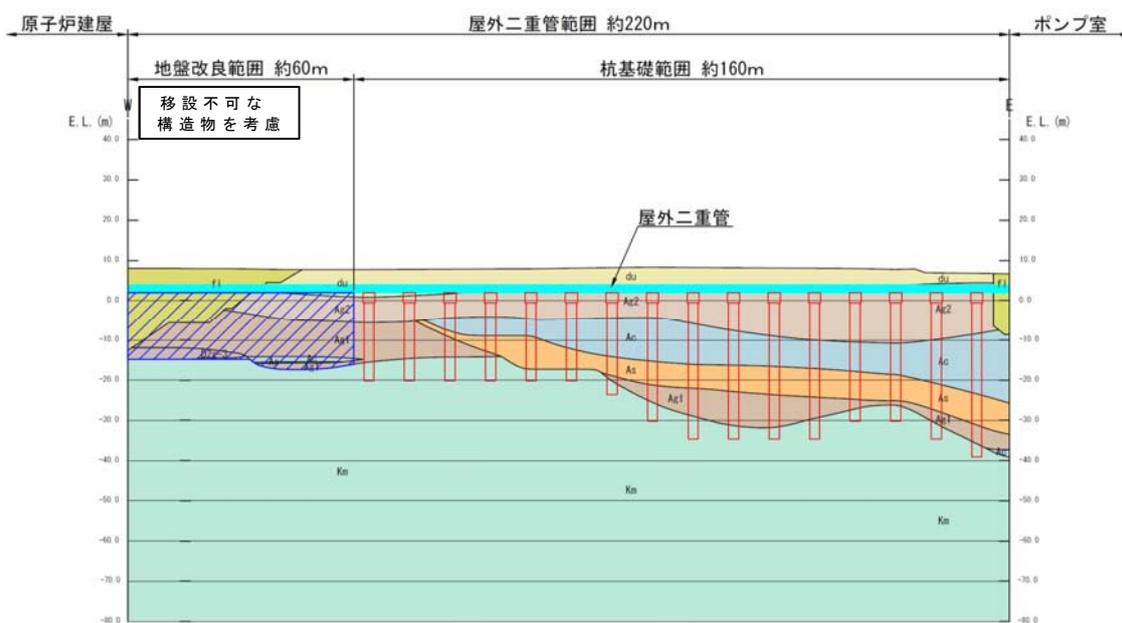
屋外二重管の基礎構造概要図を第 4 図に示す。また、基礎構造区分を第 5 図に示す。



第 4 図 屋外二重管の基礎構造概要図



平面図



縦断図

第 5 図 屋外二重管の基礎構造区分

### 3. 基礎構造の設計方針

屋外二重管の基礎構造の耐震評価は、第 1 表に示す屋外二重管の基礎構造の評価項目に基づき、各構造部材の構造健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

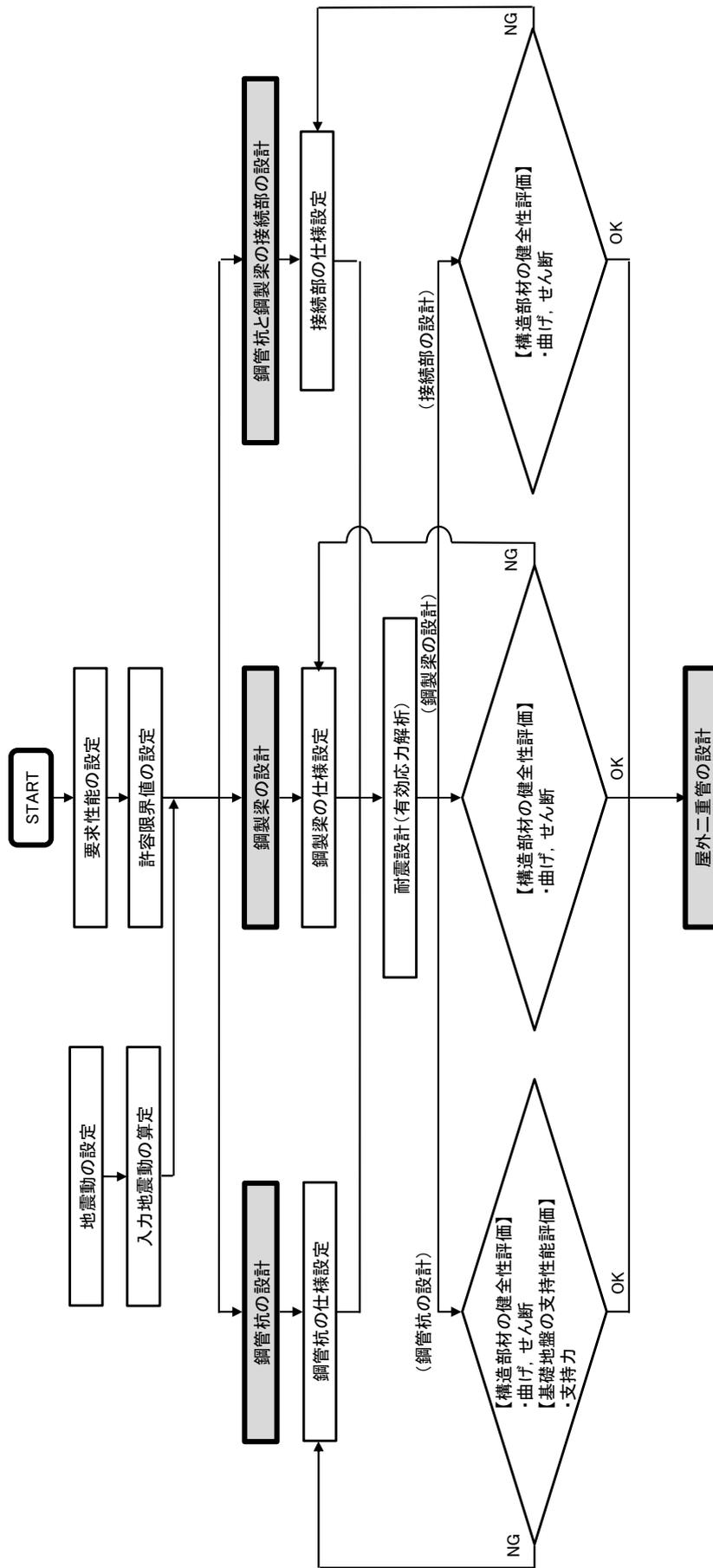
地震動は、Ss-D1（水平動及び上下動の位相反転考慮）、Ss-11、Ss-12、Ss-13、Ss-14、Ss-21、Ss-22、Ss-31（水平動の位相反転考慮）を対象とする。

また、地盤定数のばらつきを考慮して、上記の地震波のうち、屋外二重管に対して最も厳しい地震波を用いて、液状化検討対象層を強制的に液状化させるケースとして、豊浦標準砂の剛性及び液状化強度特性を仮定し、その影響を確認する。

屋外二重管の基礎構造の構造健全性及び支持性能評価の検討フローを第 6 図に示す。

第 1 表 屋外二重管の基礎構造の評価項目

| 評価方針       | 評価項目      | 部位          | 評価方法                          | 許容限界                          |
|------------|-----------|-------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 構造強度を有すること | 構造部材の健全性  | 鋼管杭         | 発生応力が許容限界に対して適切な安全裕度を有することを確認 | 短期許容応力度                       |
|            |           | 鋼製梁         | 発生応力が許容限界に対して適切な安全裕度を有することを確認 | 短期許容応力度                       |
|            |           | 鋼管杭と鋼製梁の接続部 | 発生応力が許容限界に対して適切な安全裕度を有することを確認 | 短期許容応力度                       |
|            | 基礎地盤の支持性能 | 基礎地盤        | 支持力が許容限界に対して適切な安全裕度を有することを確認  | 安全上適切と認められる規格及び基準等による地盤の極限支持力 |



(注記)鋼管杭の打設が不可能な箇所については、別途地盤改良等の検討を行う。

第6図 屋外二重管の基礎構造の構造健全性及び支持性能評価の検討フロー

#### 4. 鋼管杭の仕様設定

屋外二重管の基礎構造の鋼管杭は、岩盤で支持する構造（支持杭）とし、その支持力を確保するために杭径程度以上を岩盤に根入れする。

杭の配列については、屋外二重管の形状や寸法、杭の寸法や本数、施工条件等を考慮し決定する。

屋外二重管の基礎構造の設計においては、基準地震動  $S_s$  等による荷重及びこれらに耐え得る大口径、高強度の鋼管杭の仕様を考慮した上で、適切な杭配置を検討する。

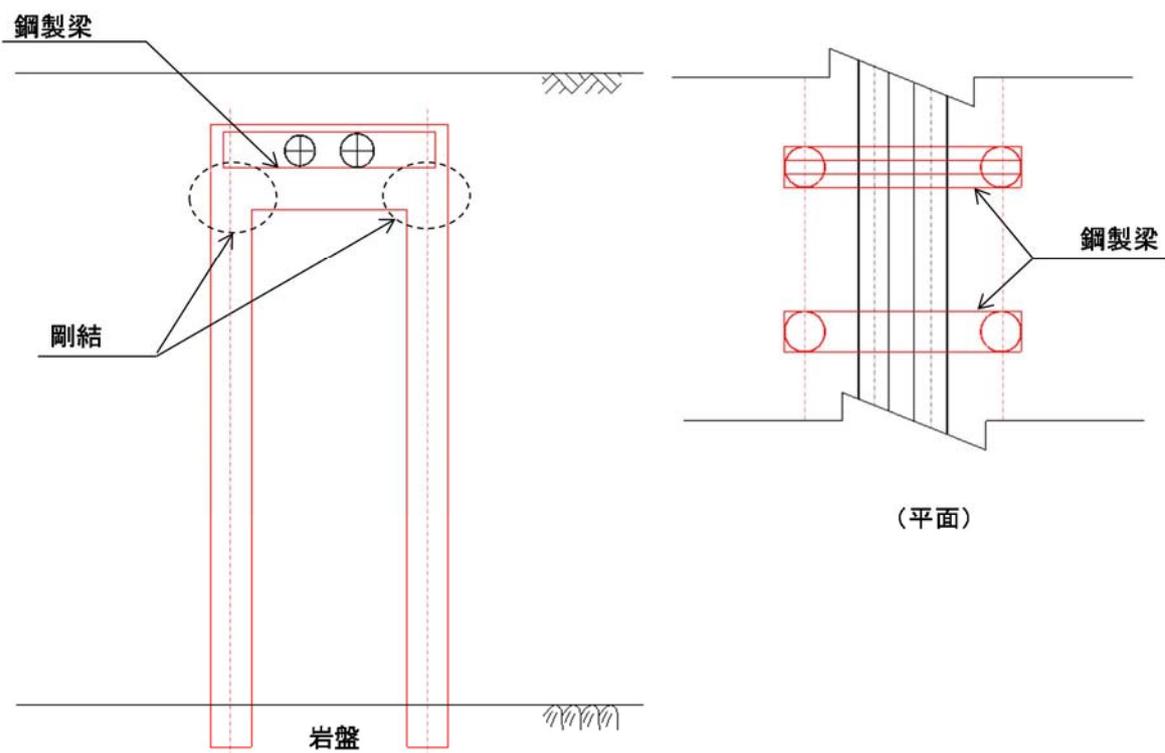
荷重ケースは地震時を想定し、長期荷重として死荷重を、短期荷重として基準地震動  $S_s$  による地震荷重を考慮する。

#### 5. 鋼製梁の仕様設定

屋外二重管の基礎構造の鋼製梁は、屋外二重管を受け、その荷重を鋼管杭で支持する構造とする。

荷重ケースは地震時を想定し、長期荷重として死荷重を、短期荷重として基準地震動  $S_s$  による地震荷重を考慮する。

また、鋼製梁は、発生応力度が短期許容応力度に十分収まる断面性能を持つ鋼材仕様とする。



第 7 図 鋼製梁イメージ図

#### 6. 鋼管杭と鋼製梁の接続部の様設定

屋外二重管の基礎構造の鋼管杭と鋼製梁の接続部は、屋外二重管を受ける鋼製梁より生じる荷重を鋼管杭に伝達するように、剛構造とする。

荷重ケースは、地震時を想定し、長期荷重として死荷重を、短期荷重として基準地震動  $S_s$  による地震荷重を考慮する。

## 7. 基礎構造の耐震設計方針（有効応力解析）

屋外二重管の基礎構造（鋼管杭，鋼製梁，鋼管杭と鋼製梁の接続部，基礎地盤）の耐震設計は，二次元地震応答解析を行い，地震時の鋼管杭，鋼製梁及び鋼管杭と鋼製梁の接続部の構造部材の健全性及び基礎地盤の支持性能について検討する。

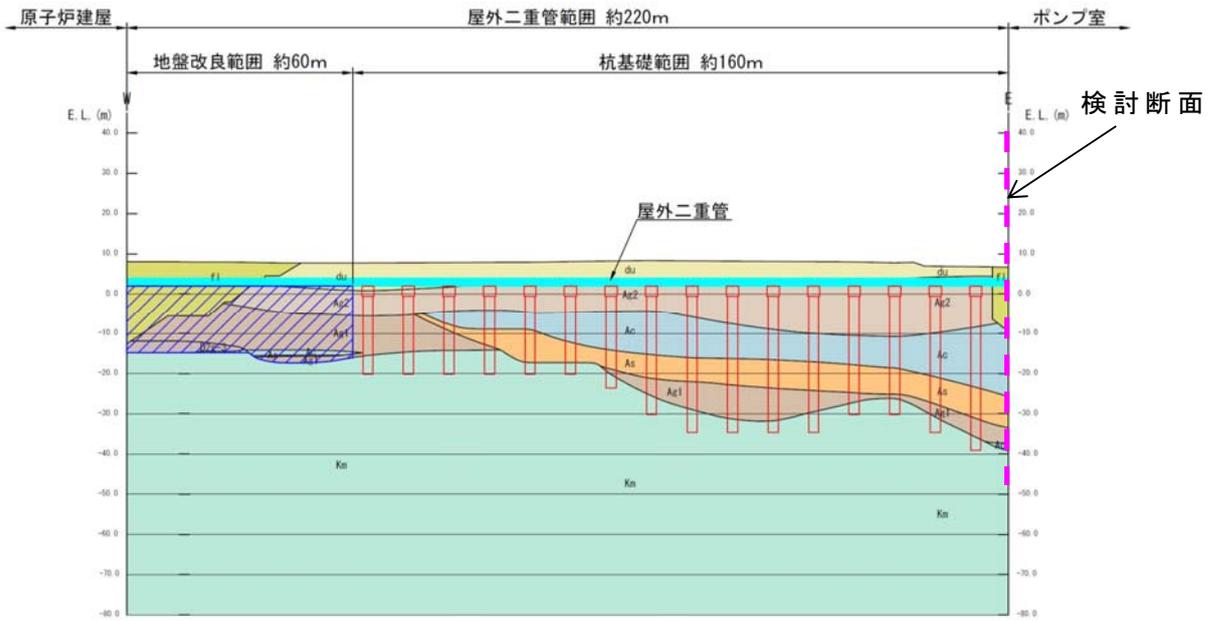
検討断面は，岩盤以浅の第四系地盤の変位が，基礎構造に与える影響を考慮するため，杭基礎範囲の中で岩盤の深いポンプ室側端部の1断面を選定する。

選定した検討断面位置を第9図に示す。

地震時応答解析は，有効応力の変化に伴う地盤の挙動の変化を考慮することができる有効応力解析を用いる。

鋼管杭，鋼製梁及び鋼管杭と鋼製梁の接続部については，地震応答解析により算定された断面力を用いて，曲げモーメント，軸力及びせん断力に対する照査を行い，許容限界以下であることを確認することで健全性評価とする。

基礎地盤については，地震応答解析より算定された支持力が許容限界以下であることを確認することで支持性能評価とする。



第 9 図 検討断面位置