

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密
又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造成立性について

平成29年6月19日

日本原子力発電株式会社

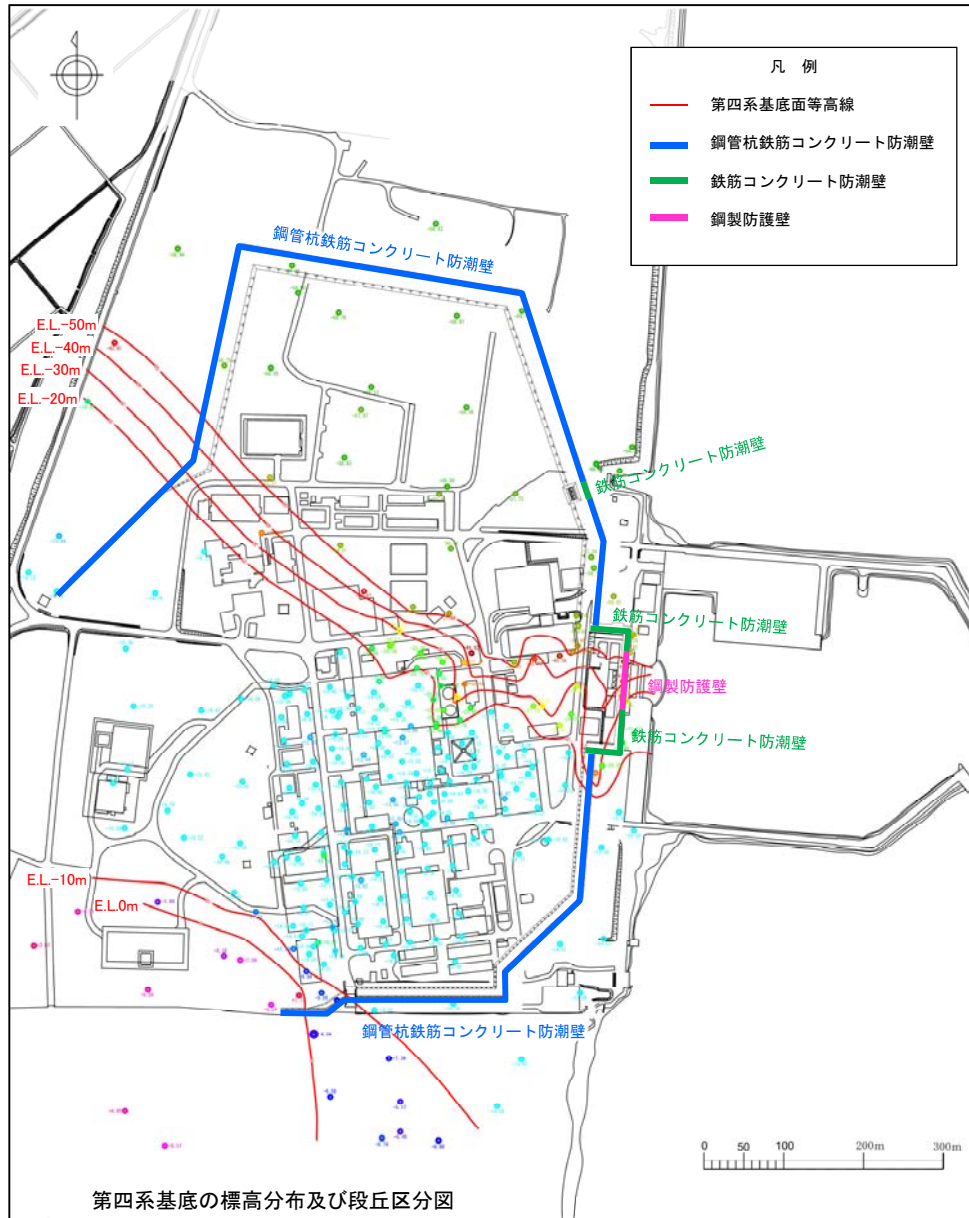
目次 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造成立性について

1. 概要
2. 防潮堤の種類について
3. 防潮堤の基礎構造について
4. 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造成立性について

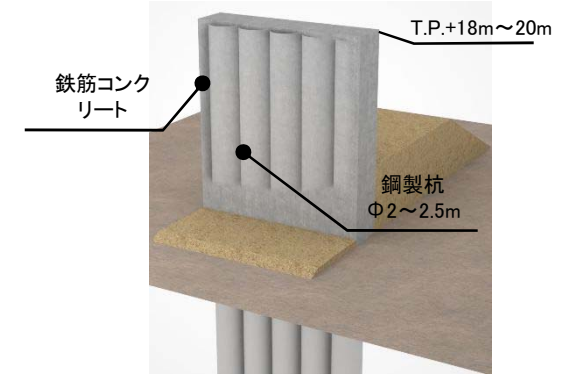
1. 概要

- 東海第二発電所の地盤は、敷地南部では岩盤が浅く、敷地北部では岩盤が深いといった特徴に加えて、北部には非液状化層であり、かつ杭を支持する摩擦力が発揮される過圧密粘土層が厚く堆積している。
- 防潮堤の計画にあたっては、敷地の大部分において鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁を配置することとしている。この鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は、大口径で厚い肉厚の鋼管杭を地盤に打設し鋼管杭5本を1ブロックとして強固な鉄筋コンクリートで束ねて地震や津波に耐え、津波による浸水を防護するものである。
- 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の杭の支持形式については、敷地の地盤の特徴を踏まえ南部では岩盤に支持させる支持杭構造を、北部は非液状化層である過圧密粘土層だけでも必要な支持力を確保できる摩擦杭構造を採用する計画としている。
- これまで実施してきた液状化強度試験結果と有効応力解析の結果によれば、敷地内に分布する液状化判定対象層である砂層や礫層には液状化発生の恐れはないが、仮に砂層や礫層が液状化したとしても、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は、南部は岩盤への支持杭構造であることから、北部は非液状化層である過圧密粘土層だけでも支持力が確保できていることから、支持性能が損なわれることのない設計となっている。
- 本資料は、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁で採用する計画である敷地北部の摩擦杭構造の成立性を確認した結果を示すものである。
- なお、岩盤が深く、基礎杭が最大級の断面仕様で非常に長尺となる北部においては、摩擦杭構造の方が支持杭構造よりも曲げ軸力に関する安全性が高い。

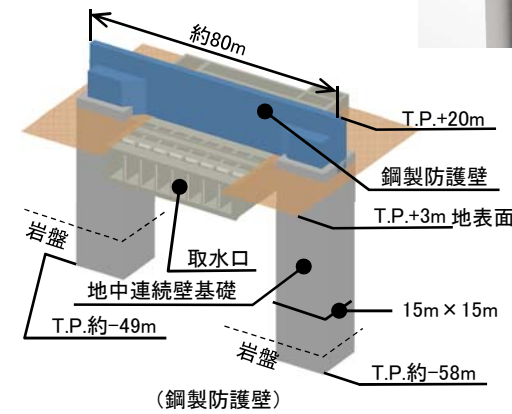
2. 防潮堤の種類について



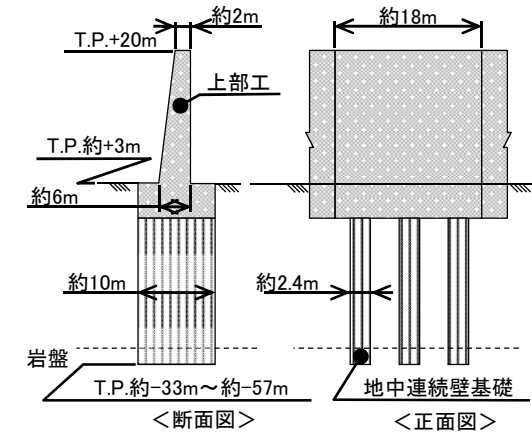
鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁



鋼製防護壁

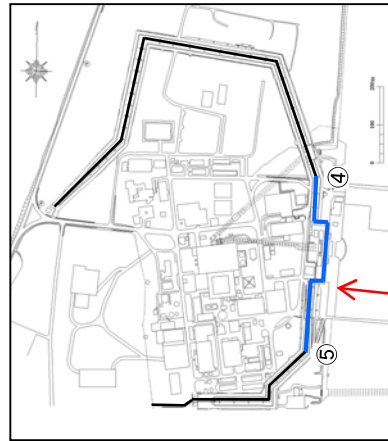


鉄筋コンクリート防潮壁

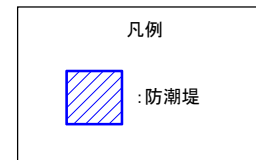


3. 防潮堤の基礎構造について(1/3)

東海第二発電所の敷地には、岩盤が浅い区間と深い区間があり、深い区間には恒久的な非液状化層でありかつ基礎杭の摩擦支持力を有する過圧密粘土層が存在する等の特長を活かし、基礎構造の選定を行う。

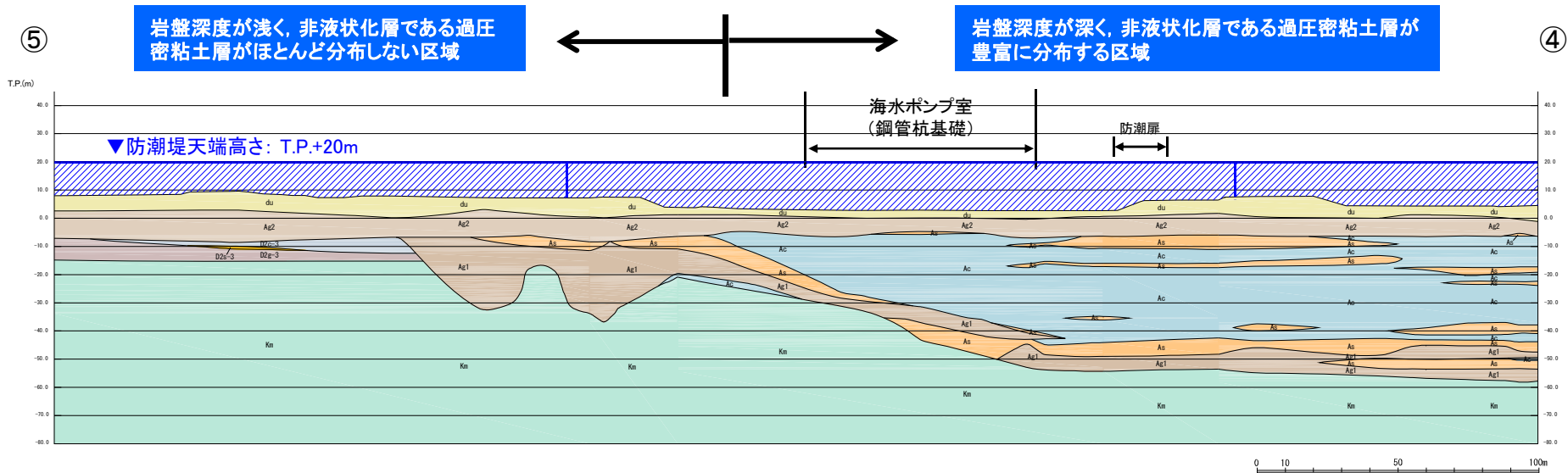


防潮堤 平面図



地質構成表				
地質時代	地質区分	記号	岩相	備考
第 3 紀 新 世	砂丘層	du	砂	敷地全体に広く分布する。
		Ag2	砂礫	敷地全体に広く分布する。
	沖積低地 堆積層	Ac	粘土	久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。
		As	砂	
		Ag1	砂礫	
第 4 紀 新 世	低位段丘 1 堆積層	D2c-3	シルト	敷地西部に埋設段丘として分布する。
		D2a-3	砂	
	低位段丘 2 堆積層	D2g-3	砂礫	
		D2c-2	シルト	
	中位段丘 堆積層	D2g-2	砂礫	
Im		ローム	敷地の南西部に分布し、いわゆる組田段丘面を構成する。	
第 3 紀 鮮新世	久米層	Kn	砂質泥岩	敷地の基盤岩である。

~~~~~ 不整合



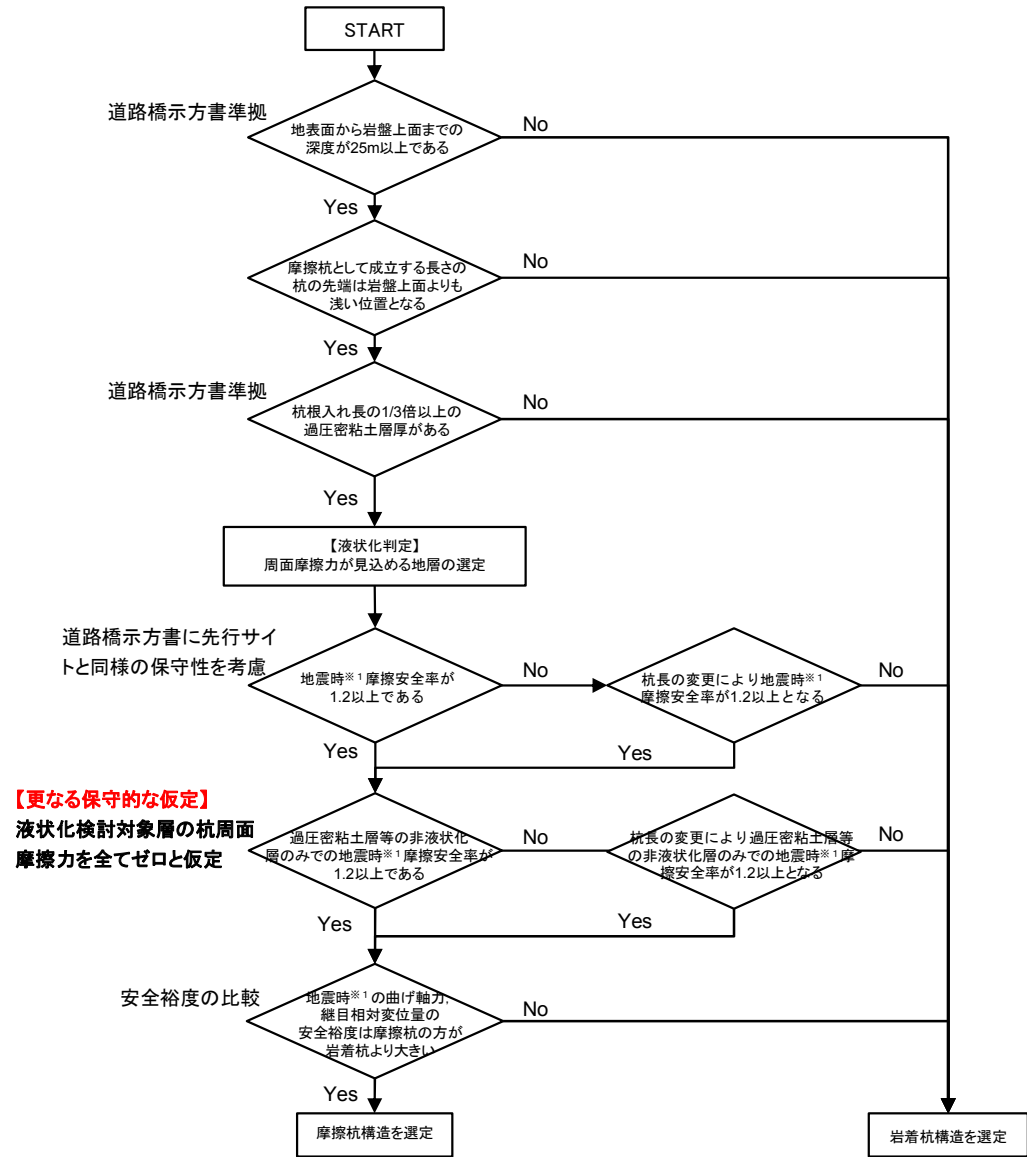
⑤-④断面図

### 3. 防潮堤の基礎構造について(2/3)

#### 【杭構造形式選定フロー】

東海第二発電所の敷地には、岩盤が浅い区間と深い区間があり、深い区間には恒久的な非液状化層でありかつ基礎杭の摩擦支持力を有する過圧密粘土層が存在する等の特長を活かし、基礎構造の選定を行う。

- 杭基礎の構造形式の選定については、杭構造形式の選定フローに基づき実施する。
- なお、摩擦杭構造を選定する最後の段階においては、有効力解析による液状化判定の結果、基礎地盤は液状化しないものと判定された場合においても、**更なる保守的な仮定**として、砂礫層の液状化状態を想定し、砂礫層の杭周面摩擦力を全てゼロとおいて、恒久的な非液状化層である過圧密粘土層のみで所要の安全率をもって鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁構造を支持可能であるか照査する。
- これにより、東海第二発電所の岩盤が深い区間については、最大限保守側に砂礫層の杭周面摩擦力を全てゼロと仮定しても、摩擦杭構造の成立性を見通せるか確認する。



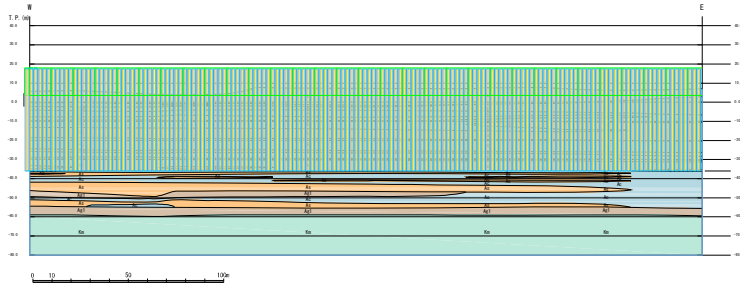
【杭構造形式選定フロー】

※1 基準地震動Ss入力時

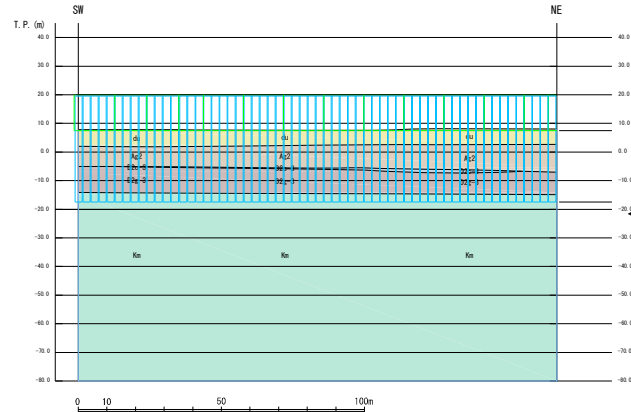


### 3. 防潮堤の基礎構造について(3/3)

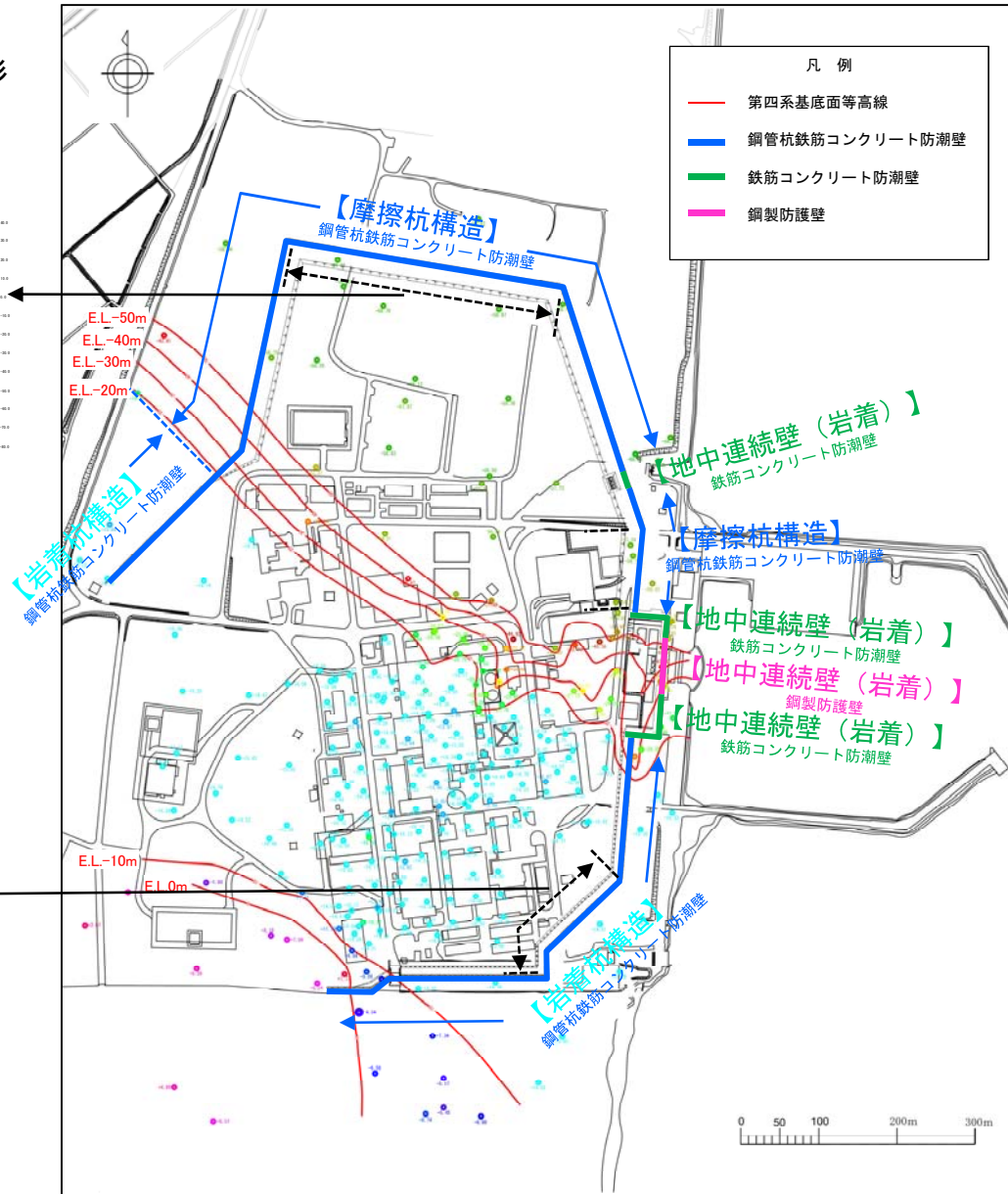
- 防潮堤の基礎構造について右図に示す。
- 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁については、杭構造形式の選定フローに基づき基礎構造を選定した。



【摩擦杭構造】  
鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁



【岩着杭構造】  
鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁



## 4. 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造成立性について(1/3)

【岩着杭構造と摩擦杭構造の地震時評価結果】

- 岩着杭構造と摩擦杭構造で有効応力解析を実施し、地震時の照査結果を比較した。
- 曲げ軸力やせん断の照査、地盤物性値のバラツキを考慮した地震時の継目相対変位については、摩擦杭構造の方が岩着杭構造より安全裕度が大きく優位であることを確認した。

| 杭構造形式                     | 岩着杭構造                                                     | 摩擦杭構造                                               |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 評価断面                      |                                                           |                                                     |
| 杭の曲げ軸力                    | 地震時の安全率：1.2                                               | 地震時の安全率：1.8                                         |
| 杭のせん断力                    | 地震時の安全率：4.8                                               | 地震時の安全率：10.3                                        |
| 杭の根入れ長                    | 根入れ全長：65.5m<br>粘性土層への根入れ長：29.0m                           | 根入れ全長：40.5m<br>粘性土層への根入れ長：26.0m                     |
| 杭の支持力                     | 地震時の安全率：<br>・ 7.5（全地層の周面摩擦力＋先端支持力）<br>・ 5.1（粘性土層のみの周面摩擦力） | 地震時の安全率：<br>・ 3.2（全地層の周面摩擦力）<br>・ 2.7（粘性土層のみの周面摩擦力） |
| 地震時水平相対変位                 | 地盤の平均物性とばらつきを考慮したケースの相対変位：0.06m                           | 地盤の平均物性とばらつきを考慮したケースの相対変位：0.05m                     |
| 地震時鉛直相対変位<br>(杭天端の最大相対変位) | 地盤の平均物性とばらつきを考慮したケースの相対変位：0.00m                           | 地盤の平均物性とばらつきを考慮したケースの相対変位：0.01m                     |



## 4. 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造成立性について(2/3)

### 【摩擦杭構造の津波時評価結果】

- 摩擦杭構造の津波時の照査結果を以下に示す。

| 杭構造形式  | 摩擦杭構造                                               |
|--------|-----------------------------------------------------|
| 評価断面   |                                                     |
| 杭の曲げ軸力 | 津波時の安全率：1.2                                         |
| 杭のせん断力 | 津波時の安全率：8.8                                         |
| 杭の根入れ長 | 根入れ全長：40.5m<br>粘性土層への根入れ長：26.0m                     |
| 杭の支持力  | 津波時の安全率：<br>・ 4.7（全地層の周面摩擦力）<br>・ 3.9（粘性土層のみの周面摩擦力） |

有効力解析による液状化判定の結果、敷地内の基礎地盤は液状化しないものと判定されたが、**更なる保守的な仮定として、砂礫層に液状化状態を想定し、砂礫層の杭周面摩擦力を全てゼロとおいたとしても、摩擦杭構造は、恒久的な非液状化層である過圧密粘土層のみで十分な安全率をもって鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁構造を支持可能であることを確認した。**

## 4. 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造成立性について(3/3)

【岩着杭構造と摩擦杭構造の地震時評価結果の比較と摩擦杭構造の成立性】

有効応力解析に基づく結果(基準地震動Ss-D1++)

### 岩着杭構造

| 項目     | 評価結果                      | 安全率                                          | 判定  |    |
|--------|---------------------------|----------------------------------------------|-----|----|
| 鋼管杭の照査 | 杭の曲げ軸力                    | $234.5\text{N/mm}^2 \leq 277.5\text{N/mm}^2$ | 1.2 | OK |
|        | 杭のせん断力                    | $32.8\text{N/mm}^2 \leq 157.5\text{N/mm}^2$  | 4.8 | OK |
|        | 杭支持力<br>(全層周面摩擦+先端支持力)    | $3,786\text{kN/本} \leq 28,492\text{kN/本}$    | 7.5 | OK |
|        | 杭支持力<br>(粘性土の周面摩擦のみ)      | $3,786\text{kN/本} \leq 19,190\text{kN/本}$    | 5.1 | OK |
|        | 地震時水平相対変位                 | 0.06m                                        | -   | -  |
|        | 地震時鉛直相対変位<br>(杭天端の最大相対変位) | 0.00m                                        | -   | -  |

### ① 摩擦杭の安全性の確認

地震時の曲げ軸力やせん断力の安全裕度は、摩擦杭の方が岩着杭より大きく、非常に長尺となる岩着杭よりも、摩擦杭構造の方が安全性に優れていることを確認した。  
(GL-70m以深への根入れで非常に長尺の岩着杭とすると、地震時の曲げモーメントが非常に大きくなることから、岩着杭の安全率はむしろ小さくなる)

有効応力解析に基づく結果(基準地震動Ss-D1++)

### 摩擦杭構造

| 項目     | 評価結果                      | 安全率                                                                                              | 判定   |    |
|--------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----|
| 鋼管杭の照査 | 杭の曲げ軸力                    | $150.5\text{N/mm}^2 \leq 277.5\text{N/mm}^2$                                                     | 1.8  | OK |
|        | 杭のせん断力                    | $15.4\text{N/mm}^2 \leq 157.5\text{N/mm}^2$                                                      | 10.3 | OK |
|        | 過圧密粘土層への根入長               | 粘性土層長25.97m > 粘性土層根入れ長13.33m<br>全層根入れ全長40.5m $\Rightarrow$ 40.5/3=13.5m ( $\Rightarrow$ 1/3*L以上) | -    | OK |
|        | 杭支持力<br>(全層周面摩擦)          | $2,806\text{kN/本} \leq 9,110\text{kN/本}$                                                         | 3.2  | OK |
|        | 杭支持力<br>(粘性土の周面摩擦のみ)      | $2,806\text{kN/本} \leq 7,670\text{kN/本}$                                                         | 2.7  | OK |
|        | 地震時水平相対変位                 | 0.05m                                                                                            | -    | -  |
|        | 地震時鉛直相対変位<br>(杭天端の最大相対変位) | 0.01m                                                                                            | -    | -  |

### ② 摩擦杭の更なる安全性の確認

有効応力解析による液状化判定の結果、基礎地盤は液状化しないものと判定されたが、**更なる保守的な仮定として、砂礫層の液状化状態を想定し、砂礫層の杭周面摩擦力を全てゼロとおいたとしても、恒久的な非液状化層である過圧密粘土層のみで十分な安全率をもって鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁構造を支持可能であることを確認した。**

以上の①、②より、東海第二発電所の岩盤が深い区間については、最大限保守側に砂礫層の杭周面摩擦力を全てゼロと仮定しても、摩擦杭構造の成立性を見通せると判断した。