

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

〔 審査会合指摘事項に対する回答 〕

平成29年10月17日

日本原子力発電株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密又は
防護情報の観点から公開できません。

指摘事項



指摘事項		説明頁
1	防潮堤の設計変更によって、安全裕度が向上する根拠を明確に説明すること。	1～3
2	既存の杭の原位置載荷試験が防潮堤設置範囲に適用できるのか根拠を示すこと。	4～5
3	摩擦杭の原位置試験による支持力確認や液状化対策工事後の性能確認試験の見通しについても説明すること。	
6	今回の変更の壁体の実現のための必要な根拠が、どれだけ準備できているのか、今後の種々の検討工程を明確に示すこと。	6～9
18	地盤の構造、有効応力解析等、個々の論点については今後の審査スケジュールについて、優先順位をつけて整理すること。また、次回の審査会合において何が提示できるかのスケジュールを示すこと。特に地質情報の信頼性を確認する計画を優先に、審査スケジュールに優先順位をつけて整理すること。	
25	資料3-1(P2)「3. 防潮堤の構造成立性に係る基本設計方針」に関して、津波時の構造成立性も網羅するよう工程表の記載内容を修正すること。	
26	資料3-1(P2～P3)「3. 防潮堤の構造成立性に係る基本設計方針」の評価結果に影響が大きな項目については、重点化項目として明示したうえで検討結果を示すこと。	
27	資料3-1(P2～3)遡上解析に関連する項目について、防潮壁の配置を変更した敷地の遡上解析やその結果を踏まえた検討の反映時期がわかるようにすること。	
16	余震と津波の組合せを評価する際に、津波の滞留によってdu層の地下水位が上昇し、液状化に伴うdu層の沈下が起因して防潮堤下から津波が流入することについても併せて検討すること。	10～13
17	本会合においては、特に第3条の要求事項を満たすための基礎データや検討が不足している。早急にできるだけのデータを集めて示すこと。また設計の方針を示すこと。	14～16
24	防潮堤のルート変更により、基準津波の選定のために用いた敷地前面の評価点における水位が変わると考えられる。基準津波の選定に影響があるので、再評価を実施すること。	17～21
28	遡上解析結果を踏まえ、敷地南西部の他事業所敷地内を含む地山に対する洗掘対策(延長、幅、深さ等)について、整理して説明すること。	22～25
29	設置許可段階で構造成立性を示すべき項目と、工認段階で設計結果を示すべき項目を明確にするとともにその理由も含めて説明すること(地質調査を含む)。工認段階で示すべき項目については、設置許可段階でその目的、手法、条件を説明すること。	26～35
30	上部工・下部工のそれぞれの部位における岩盤傾斜を模擬した解析を含むすべての検討について、荷重伝達を踏まえた荷重の受け渡しや検討条件の整合性又は包絡性について、体系的に整理するとともに、部位について厳しい条件となっているか示すこと。	36～45
32	豊浦標準砂を用いたモデルで液状化を仮定した結果が示されているが、これらの結果をどう考えるか、有効応力解析の結果に考察を加えた上で、この後の展開(工認への反映方針等)を示すこと。	46～49

【指摘事項】第460回審査会合(H29. 4. 13)

防潮堤の設計変更によって、安全裕度が向上する根拠を明確に説明すること。

【回答概要】

- 防潮壁の構造を盛土構造から鋼管杭構造に変更したことで、十分な支持性能を有する岩盤に杭を介して設置が可能となり、長期的な圧密沈下がなく、かつ材料強度が大きくなることから、確実に安全裕度が向上する。

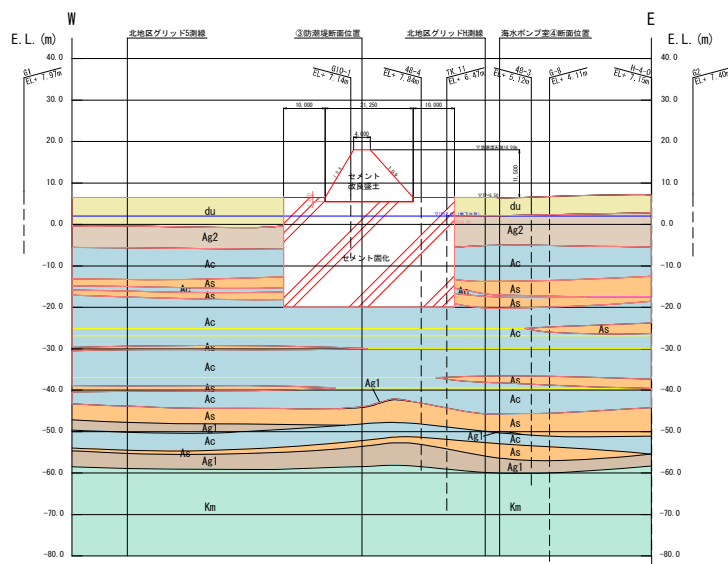
盛土構造から鋼管杭構造への変更



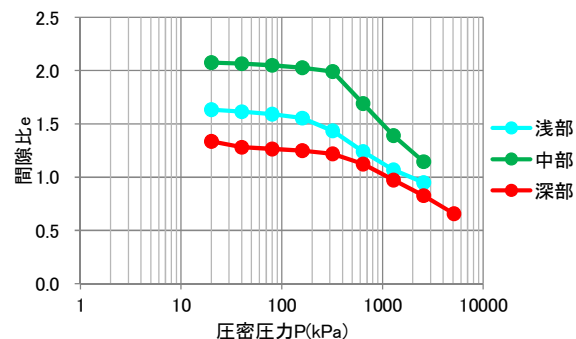
東海第二発電所敷地の北側には、完新世の粘性土が堆積している。

盛土防潮堤の設計に当たっては圧密沈下を考慮する必要があり、セメント固化盛土区間について長期的な圧密沈下を評価した結果、最終沈下量は約56cmとなった。

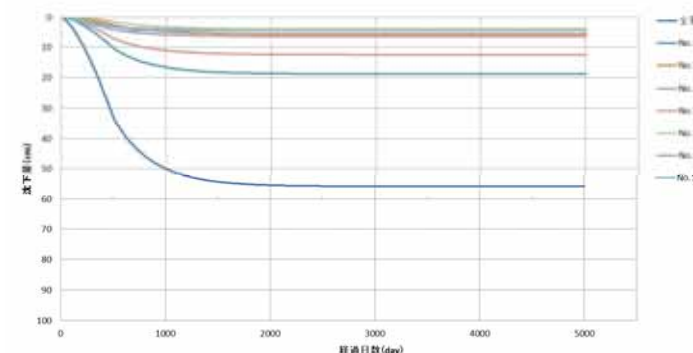
このことから、安全裕度を向上させるために、十分な支持性能を有する岩盤に杭を介して設置が可能となる、鋼管杭構造へ変更した。



圧密沈下評価断面図(粘性土最厚断面)



圧密特性(e-logP曲線)



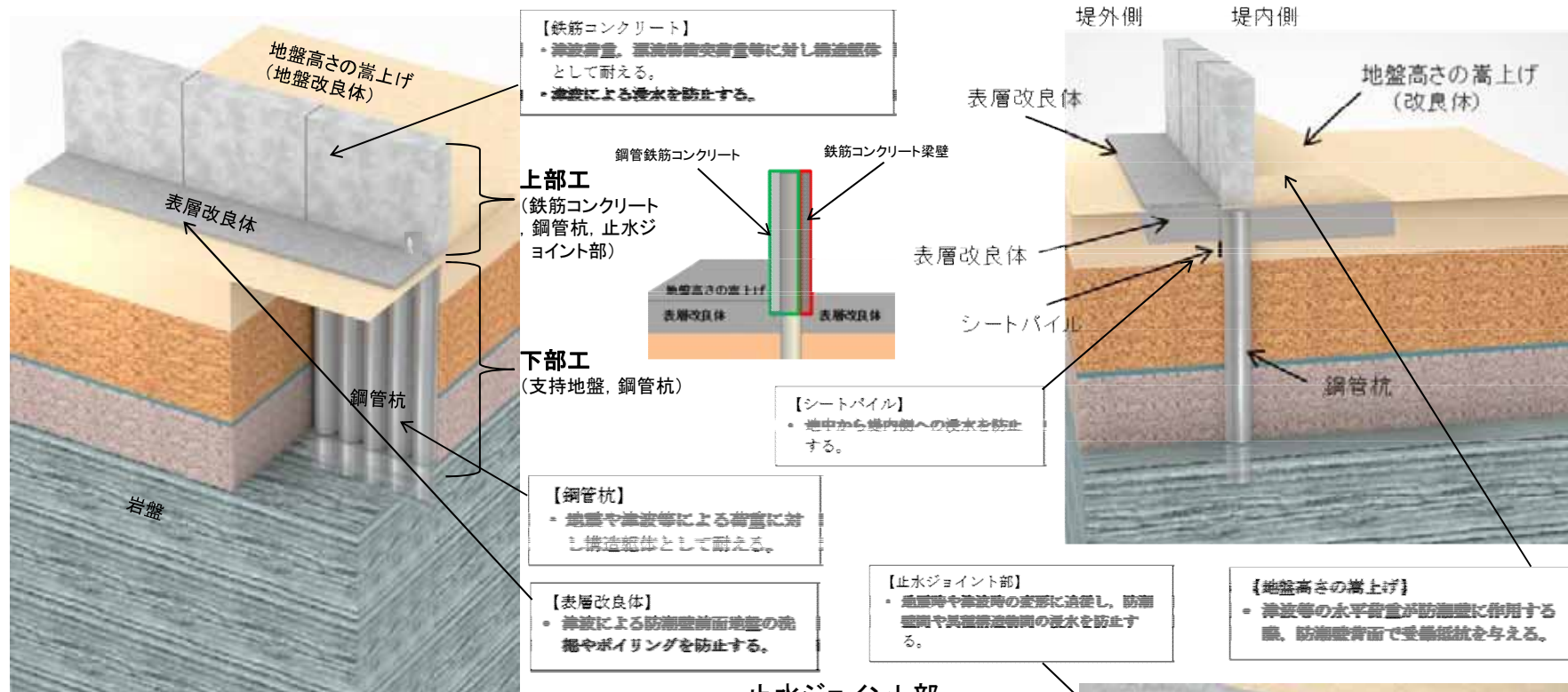
時間一沈下量曲線

	セメント固化盛土
圧密沈下量評価	・最終沈下量は約56cm 【Cc法による圧密沈下量計算】

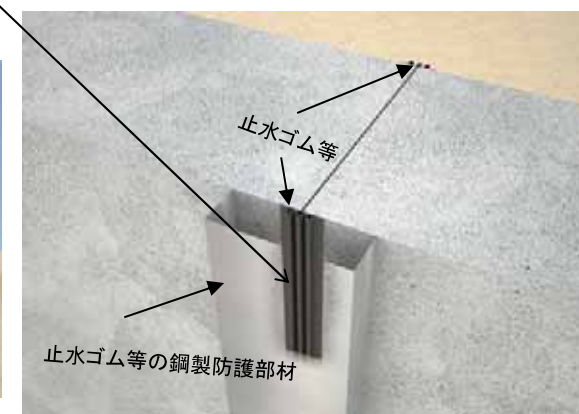
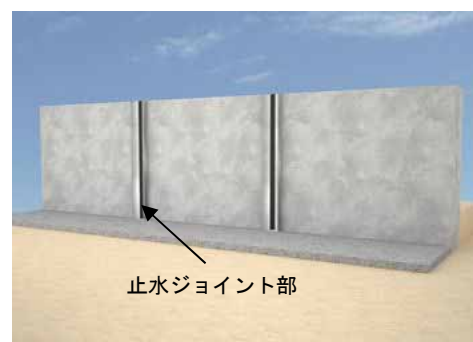
東海第二発電所固有の課題である圧密沈下への対応については、鋼管杭鉄筋コンクリート壁構造の岩着支持杭により、防潮堤の長期的な安定性を確保する。

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁 構造の概要

■ 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の評価対象部位を下图に示す。



止水ジョイント部



評価対象部位		役割
上部工	鉄筋コンクリート	止水機能の保持
	止水ジョイント部	施工ブロック間の止水機能
上部工 下部工	鋼管杭	津波・地震荷重に耐える構造躯体であり、上部工・下部工を兼ねる
表層改良体		洗掘防止、ボイリング対策
地盤高さの嵩上げ(改良体)		荷重に対する上部工の変位の抑制
シートパイル		ボイリング対策

【指摘事項】第460回審査会合(H29. 4. 13)

既存の杭の原位置載荷試験が防潮堤設置範囲に適用できるのか根拠を示すこと。

摩擦杭の原位置試験による支持力確認や液状化対策工事後の性能確認試験の見通しについても説明すること。

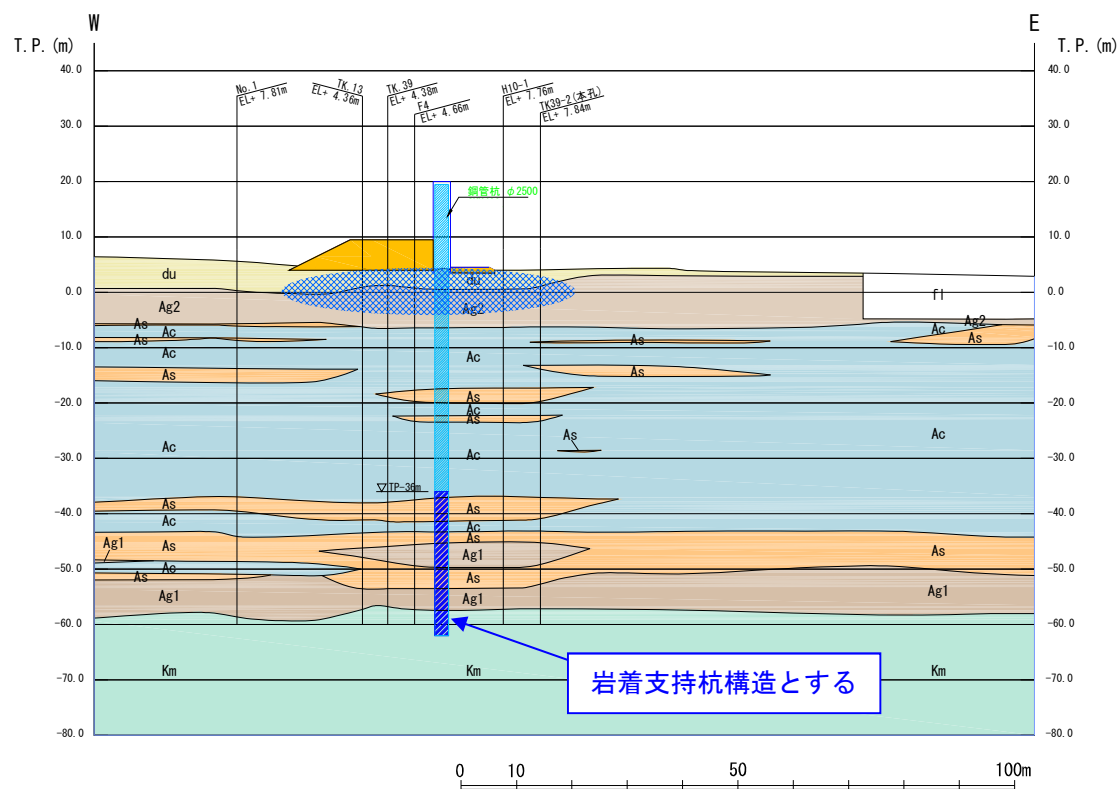
【回答概要】

- 既存の杭の原位置載荷試験(周面摩擦力)については、防潮堤設置位置とは異なる位置での試験であるため、防潮堤設置位置にて新規に杭載荷試験を実施し、摩擦杭構造の設計へ反映する方針とした。
- その後、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は、敷地北側エリアにおいて予定していた摩擦杭構造を全て岩着支持杭構造に変更し、かつ杭の岩着支持部のみでも十分な支持力を有する設計とする方針としたことから、当該試験は設計への反映は不要となった。

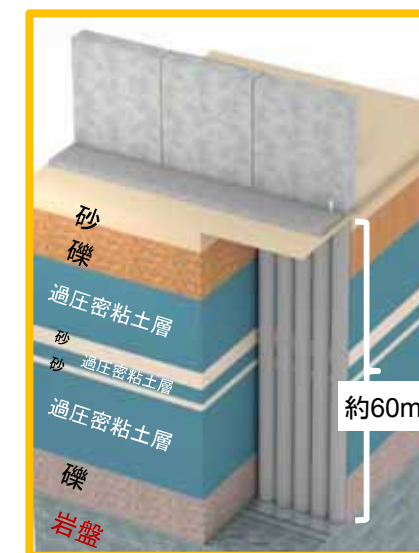
摩擦杭から岩着支持杭への変更



東海第二発電所の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は、敷地北側において摩擦杭構造を計画していたが、これを岩着支持杭構造に変更した。これにより鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は、十分な支持性能を有する岩盤に杭を介して設置することとなり、より裕度が高い支持性能が得られるものである。



地質構成表				
地質時代	地質区分	記号	岩相	備考
第四紀	砂丘層	du	砂	敷地全体に広く分布する。
	沖積低地堆積層	Ag2	砂礫	敷地全体に広く分布する。
		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	
更新世	低位段丘堆積層	D2c-3	シルト	敷地南部に埋没段丘として分布する。
		D2s-3	砂	
		D2e-3	砂礫	
		D2c-2	シルト	
	中位段丘堆積層	D2e-2	砂礫	敷地の南西部に分布し、いわゆる棚田段丘面を構成する。
		Im	ローム	
		D1c-1	シルト	
第三紀新世	久米層	D1e-1	砂礫	敷地の基盤岩である。
		Km	砂質泥岩	



鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁
概要図(岩着支持杭構造)

【指摘事項】第460回審査会合(H29. 4. 13)

今回の変更の壁体の実現のための必要な根拠が、どれだけ準備できているのか、今後の種々の検討工程を明確に示すこと。

【指摘事項】第486回審査会合(H29. 7. 13)

地盤の構造、有効応力解析等、個々の論点については今後の審査スケジュールについて、優先順位をつけて整理すること。また、次回の審査会合において何が提示できるかのスケジュールを示すこと。特に地質情報の信頼性を確認する計画を優先に、審査スケジュールに優先順位をつけて整理すること。

【指摘事項】第488回審査会合(H29. 7. 20)

資料3-1(P2)「3. 防潮堤の構造成立性に係る基本設計方針」に関して、津波時の構造成立性も網羅するよう工程表の記載内容を修正すること。

資料3-1(P2~P3)「3. 防潮堤の構造成立性に係る基本設計方針」の評価結果に影響が大きな項目については、重点化項目として明示したうえで検討結果を示すこと。

資料3-1(P2~3)遡上解析に関連する項目について、防潮壁の配置を変更した敷地の遡上解析やその結果を踏まえた検討の反映時期がわかるようにすること。

【回答概要】

- ・ 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁に関する各検討工程及び説明スケジュールを次頁以降に示す。

各種検討項目及び説明スケジュール(4月から7月)



■ 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の4月から7月までの各種検討項目及び説明スケジュールを以下に示す。

【耐津波設計方針に係る各種検討項目の説明スケジュール】(1/2)

■ 第三系関係工程 ■ 第四系、第五系関係工程 — 群杭検討工程 — クリティカル工程

項目	4月	5月	6月	7月	8月	概要
☆/★:審査可能時期/審査会合実績 (緑字は、第三系審査チームに関するものを示す)			★	☆ ☆	☆ ☆ ☆ } 合間	—
1. 耐津波設計方針に係る全体工程の提示			★			耐津波設計に関する課題、確認項目について、設置許可基準規則3条の審査担当チーム殿への説明工程を検討し、各課題同士の関連等が明確になるよう全体の説明スケジュールを示す。
2. 基礎地盤の安定性評価	全応力解析(原寸伊達)	全応力解析(その他の構造物)				地盤物性値を整理し、基礎地盤のすべり安全率、支持力、傾斜の評価結果を行う。
3. 基礎地盤の地震時評価に係る有効応力解析による液状化判定						有効応力解析の検討方針を示す。 地盤物性値(液状化強度)を整理し、有効応力解析による液状化検討対象層の地震時の液状化判定結果を示す。
4. 杭基礎の支持性能に係る摩擦杭の支持力の確認	杭の引抜き試験による地盤の周面摩擦支持力の確認 試験計画		杭打設・養生・引抜き試験			道路橋示方書に基づき、地盤の周面摩擦力等を設定し、摩擦杭の支持力の確認を行う。 また、原位置にて杭の引抜き試験を行い、地盤の周面摩擦支持力の確認を行う。
5. 基礎地盤の粘土層の過圧密比の確認	基礎地盤の過圧密比の確認					基礎地盤の粘土層の過圧密比の確認結果を示す。
6. 防潮堤の設計・評価に用いる津波荷重及び津波荷重と組み合わせる荷重の考え方	水理実験		シミュレーション等			耐津波設計において考慮する津波荷重について、サイト特性及び不確実性を考慮し、水理実験及びシミュレーション等による適切な設定を行う。
7. 防潮堤の基本構造に係る設計方針及び構造概要	要求性能の整理、基本設計方針の取り纏め、類似事例の調査、整理					防潮堤各部について要求性能を整理するとともに、防潮堤の基本構造に係る設計方針を示す。 同構造の類似事例を調査し、一般土木構造物を含む重要土木構造物の道路橋示方書に準拠した本設の群杭の適用事例及び施工実績を集約し整理する。
8. 防潮堤の鋼管杭の耐津波設計	津波荷重による鋼管杭の照査					津波荷重による設計により、鋼管杭の照査を行う。
9. 防潮堤の有効応力解析による地震時の断面力算定、応力度照査、支持力照査	有効応力解析 断面A-Eの応答		基本断面の決定 断面C-Dの応答			防潮堤の代表断面について、有効応力解析を行い、地震時の断面力算定、応力度照査、支持力照査を行う。
10. 防潮堤の鋼管杭の挙動、一体性に係る被覆鉄筋コンクリート部の照査						防潮堤の鋼管杭の挙動に応じた防潮堤上部工(鉄筋コンクリート躯体)における応力度等の照査を行う。
11. 防潮堤ジョイント部の機能確保 (構造ユニット間の相対変位に対する検討、漂流物対策)	詳細設計及び漂流物対策工設計 基本設計		相対変位 相対変位			防潮堤上部工のジョイント部に止水ゴム等の止水対策を行う。 当該ジョイント部の相対変位に基づく設計検討を行うとともに、漂流物対策工の検討を行う。

各種検討項目及び説明スケジュール(7月, 8月)



■ 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の7月, 8月の各種検討項目及び説明スケジュールを以下に示す。

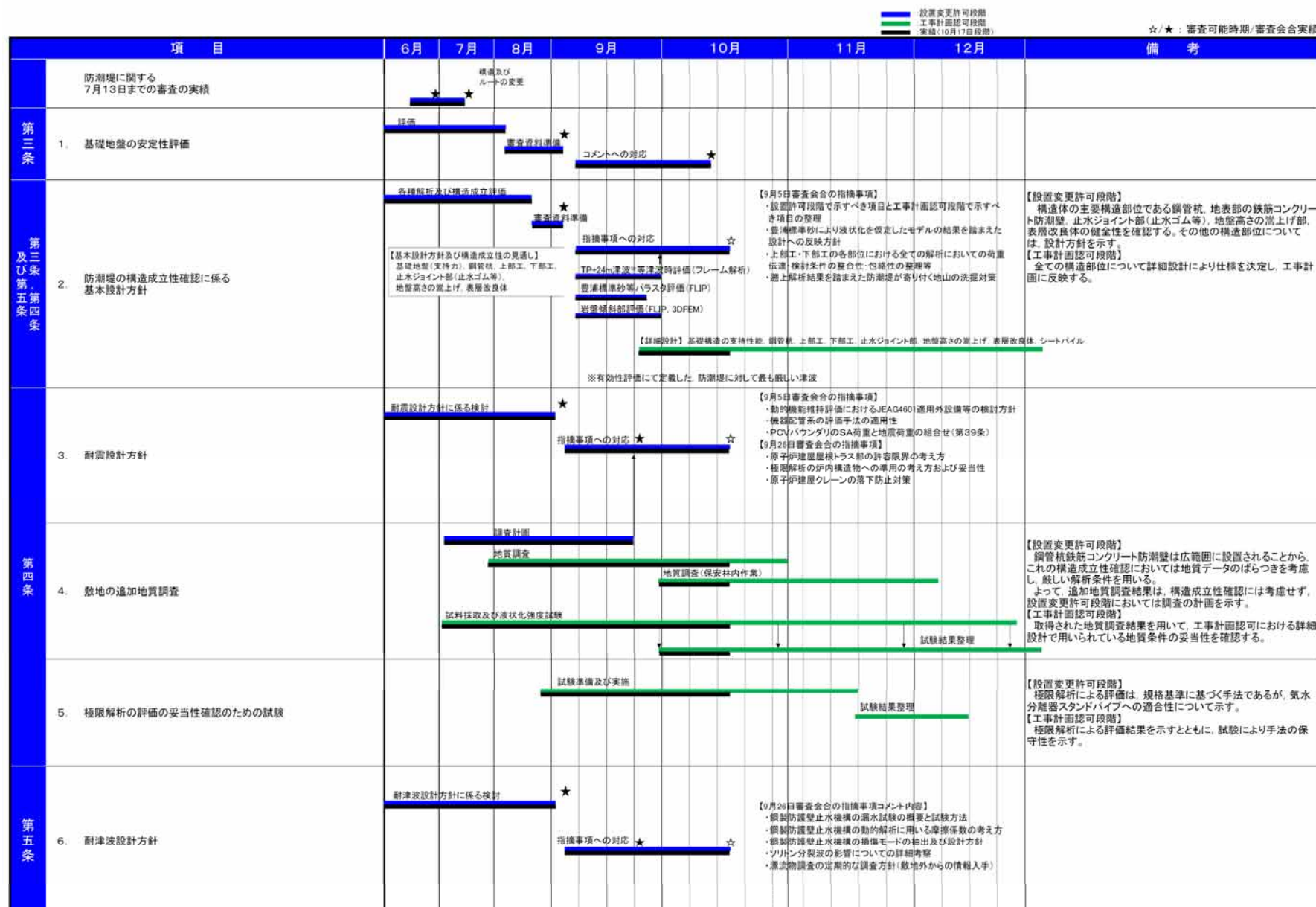
項 目		6月	7月	8月	9月	備 考
防潮壁に関する 7月13日までの審査の実績			★ 構造及び ルートの変更			
第三 条及び 第五 条	1. 基準津波の評価等		モデル化 津波解析(数値のみ) 基準津波策定位置での 年超過確率 審査資料準備 防潮壁位置の津波ハザード解析	図化 ★		○津波解析 ・防潮壁ルート変更を反映した津波解析の結果、最大水位上昇及び最大水位 下降量が最大となる津波波源の位置は防潮壁ルート変更前と同位置であり、 また、水位も有意な差は認められないことから、基準津波の津波波源を見直す 必要はないと判断。 ○年超過確率 ・最終設備形状の反映による基準津波への影響が認められないことから、津波 ハザード評価については見直す必要はないと判断。 上記について、第503回審査会「津波評価について(防潮壁ルート変更に伴う 基準津波の検討)」にて提示し、基準津波及び津波ハザード評価を変更する必要が ないことが確認された。
	2. 基礎地盤の安定性評価	評価(原子炉建屋)	評価(原子炉建屋以外)	審査資料準備	☆ コメント回答	○施設の支持形式等に基づき代表施設を選定し、基準地震動S _{ni} による 基礎地盤の安定性評価を実施した。 ○鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁(新ルート含む)の安定性評価について は、同様の杭基礎形式で重量が相対的に大きい、「海水ポンプ室」の安 定性評価にて代表させる。 [審査資料の準備中]
第三 条及び 第五 条	3. 防潮壁の構造成立性に係る基本設計方針 及び液状化に関する検討	液状化に関する検討及び防潮壁の下部工評価(有効応力解析)[代表波] 防潮壁の上部工評価(二次元プレート解析、静的三次元FEM解析)[代表波] 津波波力に対する構造成立性評価	防潮壁地盤改良検討 津波漂流物荷重	審査資料準備	☆※ コメント回答	○鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の上部工、下部工に対して最も厳しい 条件となる代表断面を選定し、この代表断面で、液状化検討対象層 に豊満標準砂の液状化特性を仮定した評価、粘性土の厚さを最大・ 最小にした評価を実施し、防潮壁の健全性に問題がないことを確認し た。 また、岩盤の傾斜については、最も傾斜が急な断面を選定し評価を实 施した結果、防潮壁の健全性に問題がないことを確認した。 [資料1-1-4: 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造成立性について]
	4. 耐震設計方針及び耐津波設計方針	耐震設計方針・耐震耐津波設計方針に係る検討 審査資料準備		☆※ コメント回答		○耐震設計方針、耐津波設計方針を取り纏めた。 [資料1-1-2: 耐津波設計方針について] [資料1-1-1: 耐震設計の基本方針について]
第四 条及び 第五 条	5. 防潮壁の設計・評価に用いる津波波圧	水理実験・シミュレーション等		審査資料準備	☆※ コメント回答	○敷地前面の海底地形を再現した実験及び解析の評価を行い、ソリトン 分裂の発生を確認したが、波圧は港湾の津波避難施設の設計ガイ ドライン(H25.10)等に示される単直線型の津波波圧算定式による波圧 と整合していることを確認した。 [資料1-1-2: 耐津波設計方針について(P.73)]
	6. 防潮壁が寄り付く地山の洗掘対策	洗掘対策検討		審査資料準備	☆※ コメント回答	○敷地南側の防潮壁が寄り付く地山について洗掘防止対策としての 地盤改良の方針を定めた。 [資料1-1-4: 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造成立性について(P.94)]
	7. 港湾の防波堤(物揚護岸含む)の基準地震動S _{ni} による 状態変化を想定した基準津波の遡上波への影響	津波遡上解析		審査資料準備	☆※ コメント回答	○有効応力解析による東海港防波堤等の港湾施設の地震後の変形 (沈下)量の評価結果を踏まえ、基準津波の水位、流速について 確認した結果、既往の評価値を上回らないことを確認した。 [資料1-1-2: 耐津波設計方針について(P.31, 32)]
	8. 港湾の防波堤の漂流による海水取水性への影響	津波時解析、地震時解析		審査資料準備	☆※ コメント回答	○港湾施設の津波時の評価を行い、漂流物化する部材を抽出し、 海水取水性への影響がないことを確認した。 [資料1-1-2: 耐津波設計方針について(P.67, 68)]

※各検討項目に対する対応状況等を説明するもので、引き続き詳細設計に向けた検討を継続し、必要に応じて検討結果について説明する。

各種検討項目及び説明スケジュール(9月以降)



■ 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の9月以降の各種検討項目及び説明スケジュールを以下に示す。



【指摘事項】第481回審査会合(H29. 6. 29)

余震と津波の組合せを評価する際に、津波の滞留によってdu層の地下水位が上昇し、液状化に伴うdu層の沈下が起因して防潮堤下から津波が流入することについても併せて検討すること。

【回答概要】

- ・ 津波時の防潮壁の内外で生じる水位差を考慮し、津波時の防潮壁の内外で生じる水位差を考慮し、地盤改良及びシートパイルを適用したボイリング、パイピング防止による対策を行う。
- ・ また、上部工の底部の根入れ長は、地震時に生じる地表面の沈下量に基づき設定する。

表層改良体の役割

防潮壁堤外側においては、津波荷重に対して十分な耐性を持ち洗掘防止としての機能を維持する。防潮壁堤内側においては、地震時における地盤高さの嵩上げ部の沈下を抑制し、防潮壁としての機能を維持する。地盤高さの嵩上げおよび表層改良体照査項目、設計で用いる許容限界を下表に示す。

対象	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
表層改良体	表層改良体のせん断	妥当な安全余裕を考慮したせん断強度以下	室内試験により確認

・ 洗掘防止対策

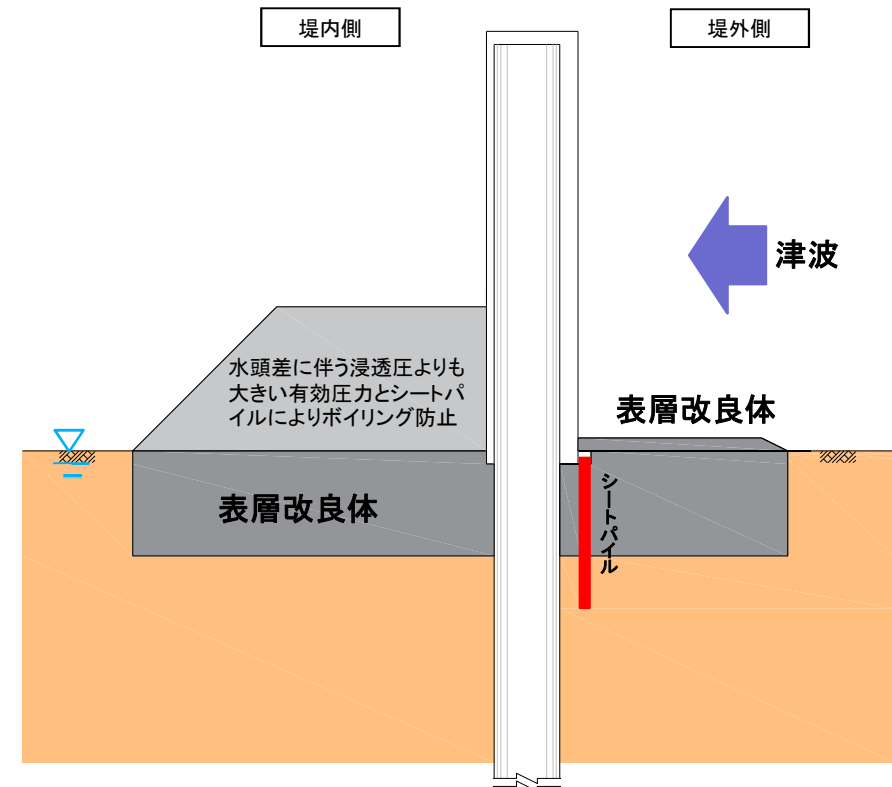
堤外地盤の表層に対して表層改良体をせっちし（セメント改良を実施し）、津波荷重よりも強度の高い地盤とすることで、洗掘防止対策とする。

$$P_{\max} < q_u / 2$$

$P_{\max}$: 津波荷重
 q_u : 改良体の一軸圧縮強度

・ ボイリング検討

表層改良体を設置し、津波に伴う堤内側との水頭差に対して抵抗する。



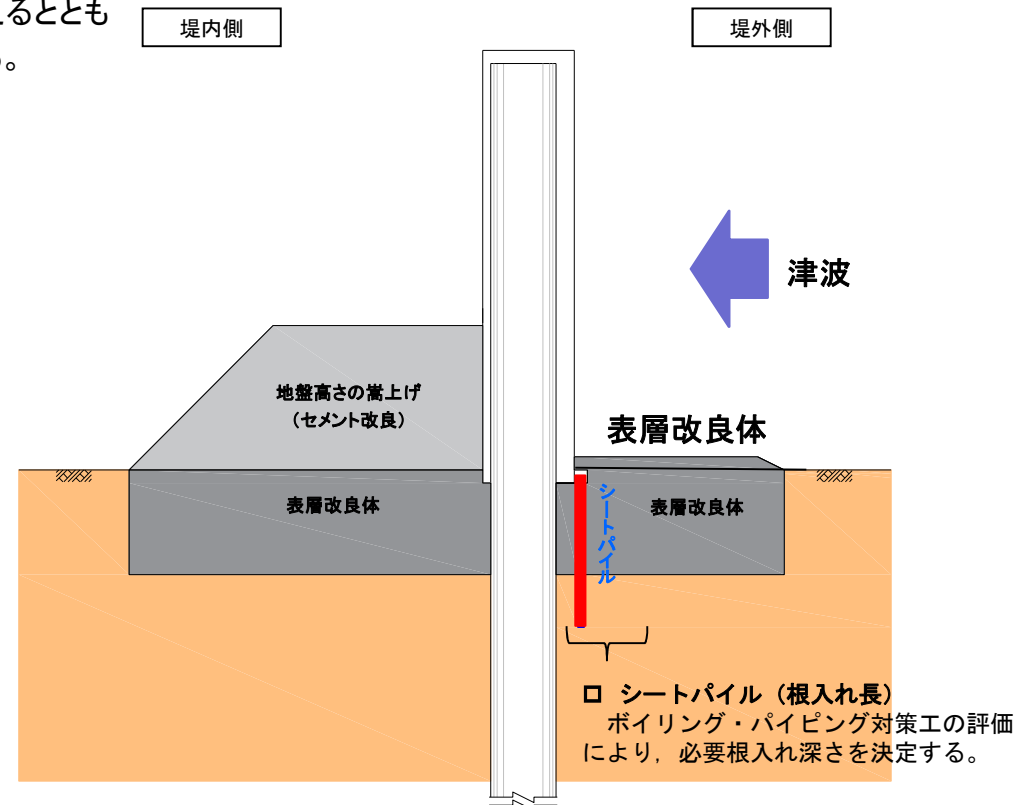
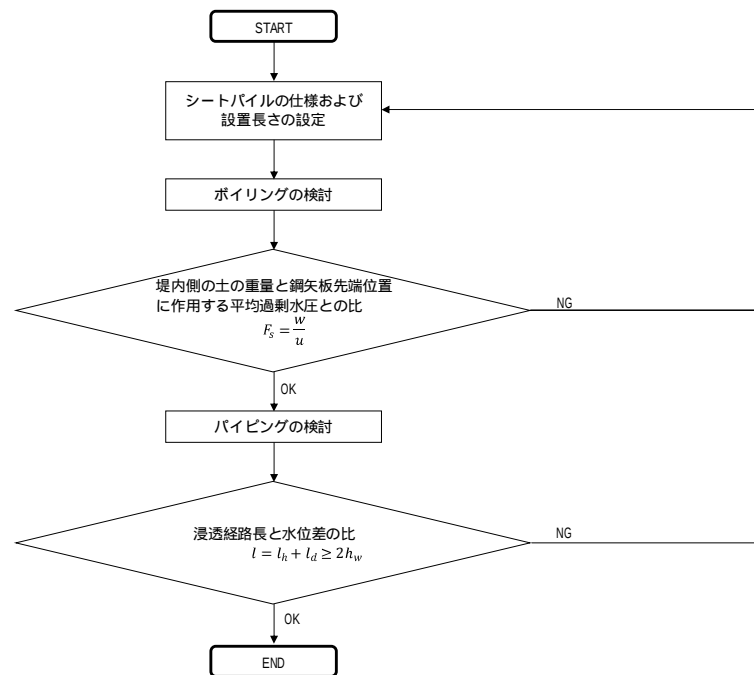
シートパイルの役割

津波時における堤外側の水位上昇を想定したボーリング対策とし、地中部から堤内側への浸水を防止する。

対象	照査項目	設計で用いる許容限界
シートパイル	シートパイルのせん断	妥当な安全余裕を考慮したせん断強度以下

・ ボーリング検討

地盤高さの嵩上げ部や表層改良体により、津波時の防潮壁内外の水頭差に伴う浸透圧よりも大きい有効圧力を与えるとともに、シートパイルを設置することで、ボーリングを防止する。

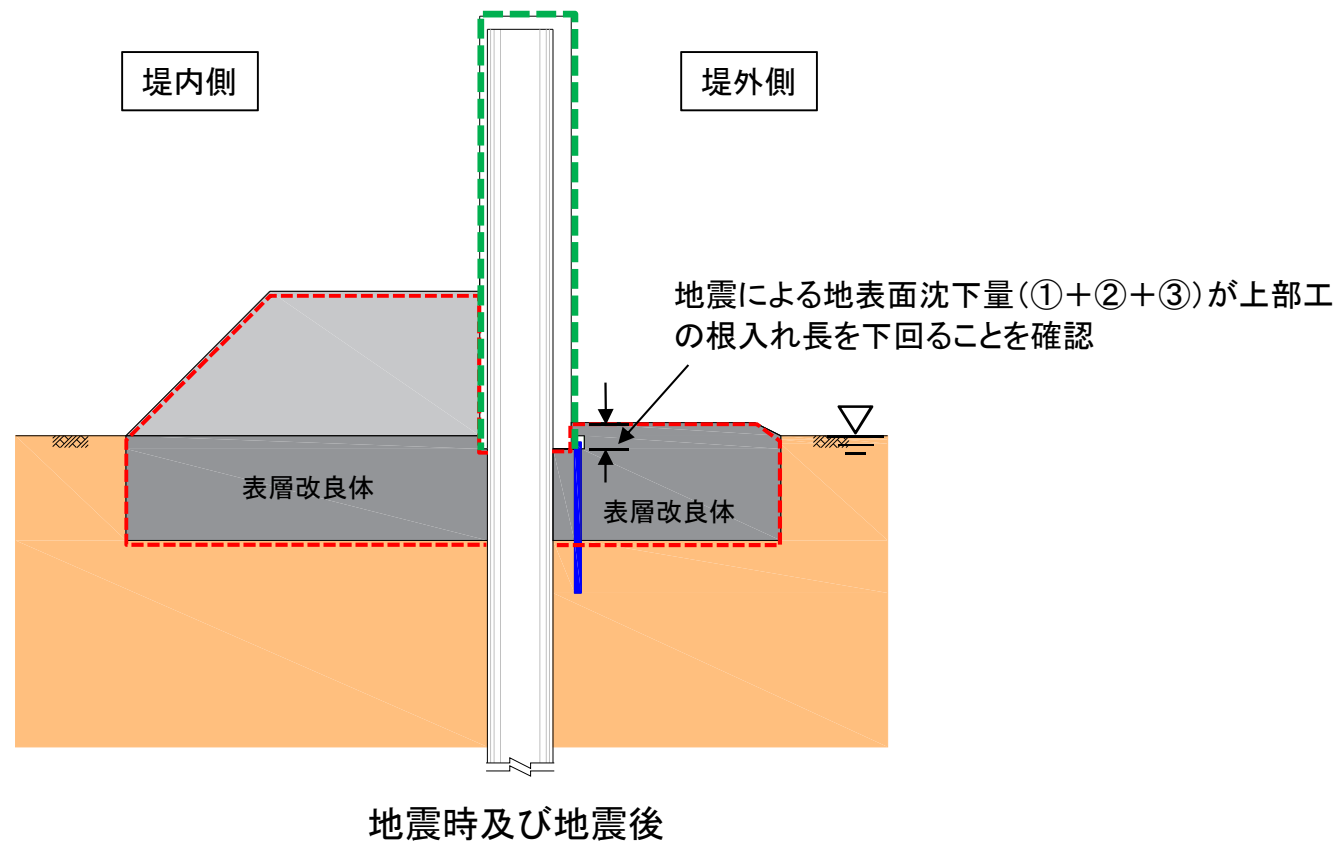


■鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁上部工底部の根入れ長は、地震時に生じる地表面の沈下量に基づき設定する。

考慮する地震時の沈下量は、

- ① 不飽和土層のゆすり込み沈下量
- ② FLIPにより算出された残留沈下量
- ③ 過剰間隙水圧の消散に伴う沈下量

上部工底部の地盤根入れ長 > 地震による地表面沈下量＝①＋②＋③



【指摘事項】第481回審査会合(H29. 6. 29)

本会合においては、特に第3条の要求事項を満たすための基礎データや検討が不足している。早急にできるだけデータを集めて示すこと。また設計の方針を示すこと。

【回答概要】

- ・ 防潮壁の構造を摩擦杭構造から岩着支持杭構造へ変更したことを踏まえた鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設置許可基準規則第3条への適合方針を示す。
- ・ なお、防潮堤基礎地盤データ拡充のための追加地質調査を現在実施中である。
- ・ 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計方針については、「鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計方針および構造成立性評価について」において説明する。

【設置許可基準規則第3条第1項、第2項に対する条文適合方針について】

- ◆ 当社における耐震重要施設等※は、直接または杭を介して十分な支持性能を有する岩盤（久米層）で支持する。（第1項適合）
- ◆ 杭基礎構造物においては、豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した場合においても、支持機能及び杭本体の構造が成立するよう設計する。また、液状化を仮定した際の地盤変状を考慮した場合においても、その安全機能が損なわれないよう、適切な対策を講ずる設計とする。（第1項及び第2項適合）



【上記の条文適合方針を踏まえた基礎地盤安定性評価及び耐震設計方針】

基礎地盤のすべり（基礎地盤安定性評価）

耐震重要施設※の杭基礎については、豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した場合においても、杭本体の構造が成立するように設計することから、基礎地盤安定性評価においては、杭体を貫通横断するような仮想すべり面は想定しない。

したがって、杭基礎構造を有する耐震重要施設※については、杭基礎の先端以深の基礎岩盤を通る仮想すべり面を対象とした安定性評価を実施する。

基礎地盤の支持力（基礎地盤安定性評価及び耐震設計）

耐震重要施設※の基礎地盤安定性評価及び杭基礎の耐震設計においては、第四紀層の杭周面摩擦力を支持力として考慮せず、杭先端の支持岩盤への最大鉛直力度（接地圧）に対する支持力評価を行う。

杭基礎の設計（耐震設計）

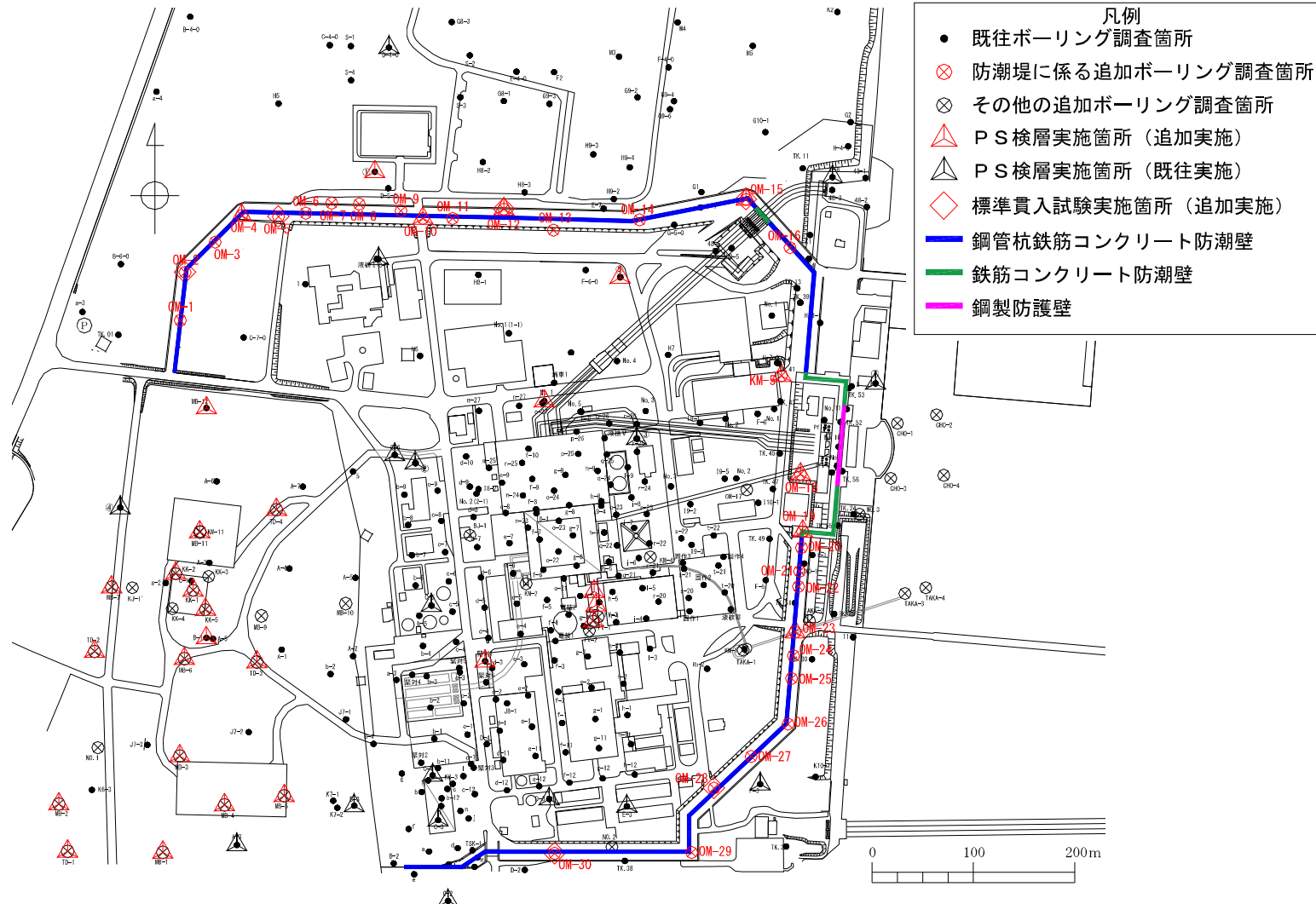
耐震重要施設※の杭基礎の耐震設計は、地震時における地盤と杭の荷重伝達を考慮し、杭体の構造が成立するよう設計する。

※ 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）

第四系の地質構造に関する追加調査について



- ・防潮堤地質縦断面図における第四系の地質構成や岩盤までの深度について、更に精度を高め設計・施工に反映させるため追加ボーリング調査(地質調査, PS検層, 標準貫入試験等)を実施中である。



※ボーリング調査位置については、干渉物等を回避するため実施時には位置が多少変更となる可能性がある

【指摘事項】第486回審査会合(H29. 7. 13)

防潮堤のルート変更により、基準津波の選定のために用いた敷地前面の評価点における水位が変わると考えられる。基準津波の選定に影響があるので、再評価を実施すること。

【回答概要】

- 第486回審査会合(H29.7.13)においてご説明した防潮堤ルートの変更を反映して、基準津波の検討を実施し、防潮堤ルートの変更が基準津波波源への影響がないことを確認した。

補足説明資料 1. 最終設備形状の反映による基準津波への影響について

第503回審査会合(H29.09.01)

【資料1-1】

2.1 モデル化の概要

- 設備形状の反映による基準津波への水位の影響を把握するため、設置変更許可申請時のモデルとの水位を比較する。
- 防潮堤線形形状の変更、貯留堰及びSA用海水ピット取水塔を追加設置したモデルに変更した。



設置変更許可申請時のモデル
(H28.1.22 第320回審査会合)



設備形状を反映したモデル
(H28.8.19 第390回審査会合)



最終設備形状を反映したモデル

補足説明資料 1. 最終設備形状の反映による基準津波への影響について

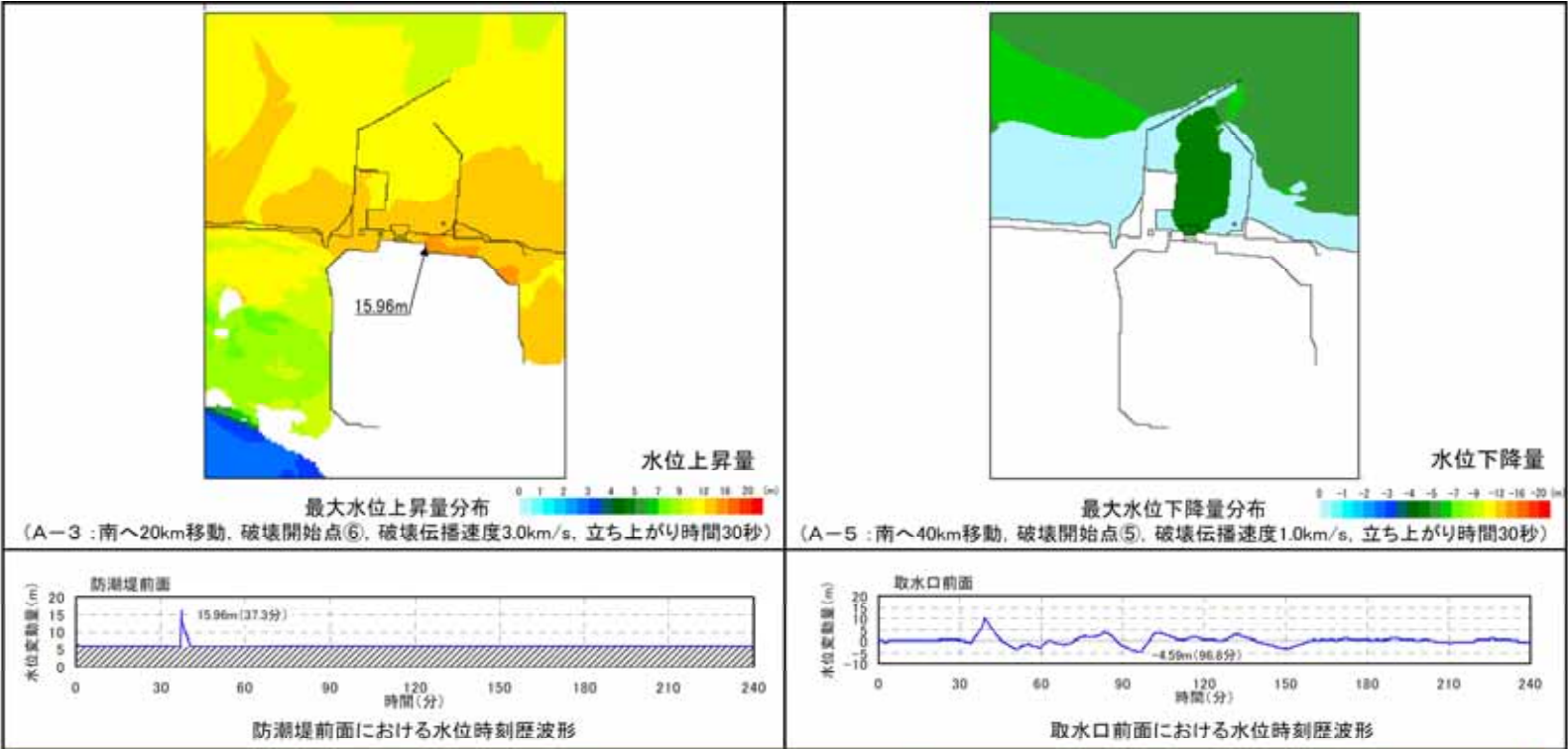
第503回審査会合(H29.09.01)
【資料1-1】

2.3 評価結果

- 最終設備形状の反映による基準津波への影響を評価した結果、水位に有意な差がないことを確認した。

名称	設置変更許可申請時モデル	設備形状反映モデル	最終設備形状反映モデル
最大水位上昇量(防潮堤前面)	16.08m	15.96m	15.96m
最大水位下降量(取水口前面)	-4.97m	-4.59m	-4.59m

【最終設備形状反映モデル】

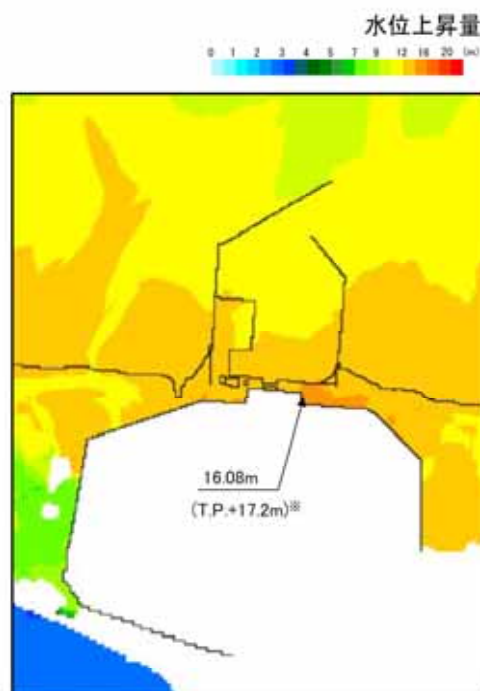


- 評価結果より、設置変更許可申請時モデルと最終設備形状反映モデルで、最大水位上昇量及び最大水位下降量が最大となる津波波源の位置は同位置である。また、設備形状反映モデルと最終設備形状反映モデルで、水位に有意な差は認められないことから、基準津波の津波波源を見直す必要はない。
- 津波ハザード評価について、最終設備形状の反映による基準津波への影響が認められないことから、見直す必要はない。

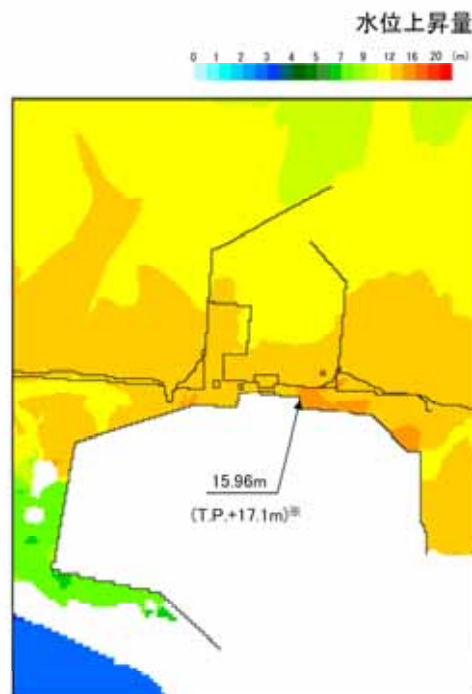
補足説明資料 1. 最終設備形状の反映による基準津波への影響について
2.3 評価結果: 水位上昇側(最大水位上昇量分布)

第503回審査会合(H29.09.01)
【資料1-1】

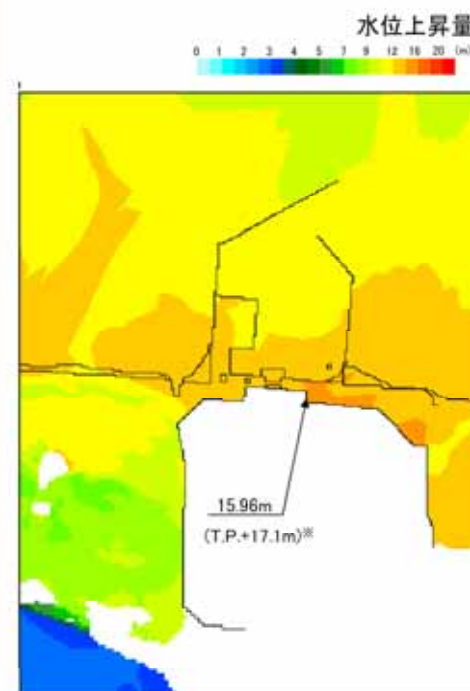
設置変更許可申請時モデル



設備形状反映モデル



最終設備形状反映モデル



最大水位上昇量分布
(A-3 : 南へ20km移動, 破壊開始点⑥, 破壊伝播速度3.0km/s, 立ち上がり時間30秒)

※ 潮位及び地殻変動量(2011年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動量も含む)を考慮

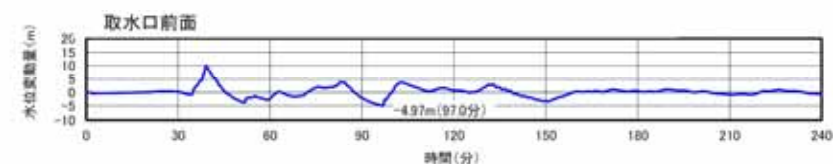
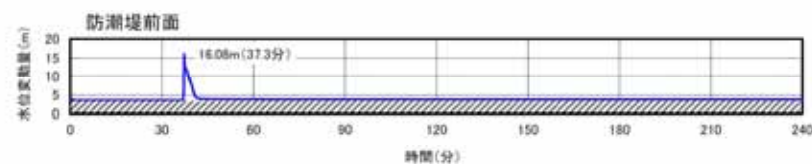
補足説明資料 1. 最終設備形状の反映による基準津波への影響について

第503回審査会合(H29.09.01)

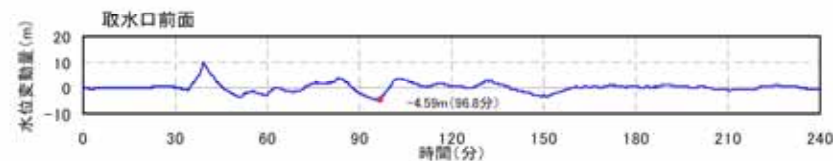
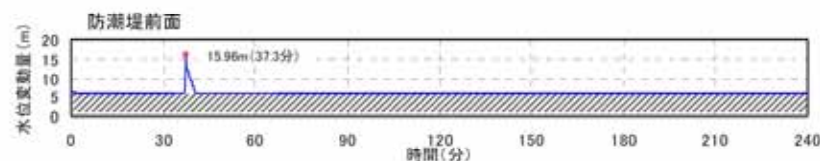
2.3 評価結果(時刻歴波形)

【資料1-1】

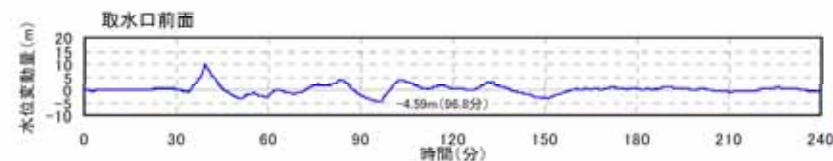
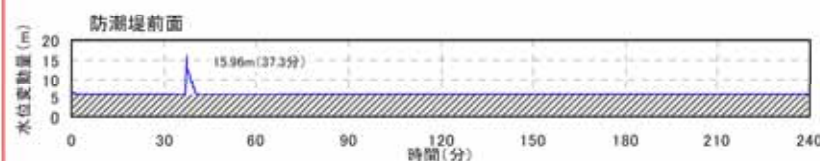
■ 設置変更許可申請時モデル



■ 設備形状反映モデル



■ 最終設備形状反映モデル



【指摘事項】第504回審査会合(H29. 9. 5)

遡上解析結果を踏まえ、敷地南西部の他事業所敷地内を含む地山に対する洗掘対策(延長、幅、深さ等)について、整理して説明すること。

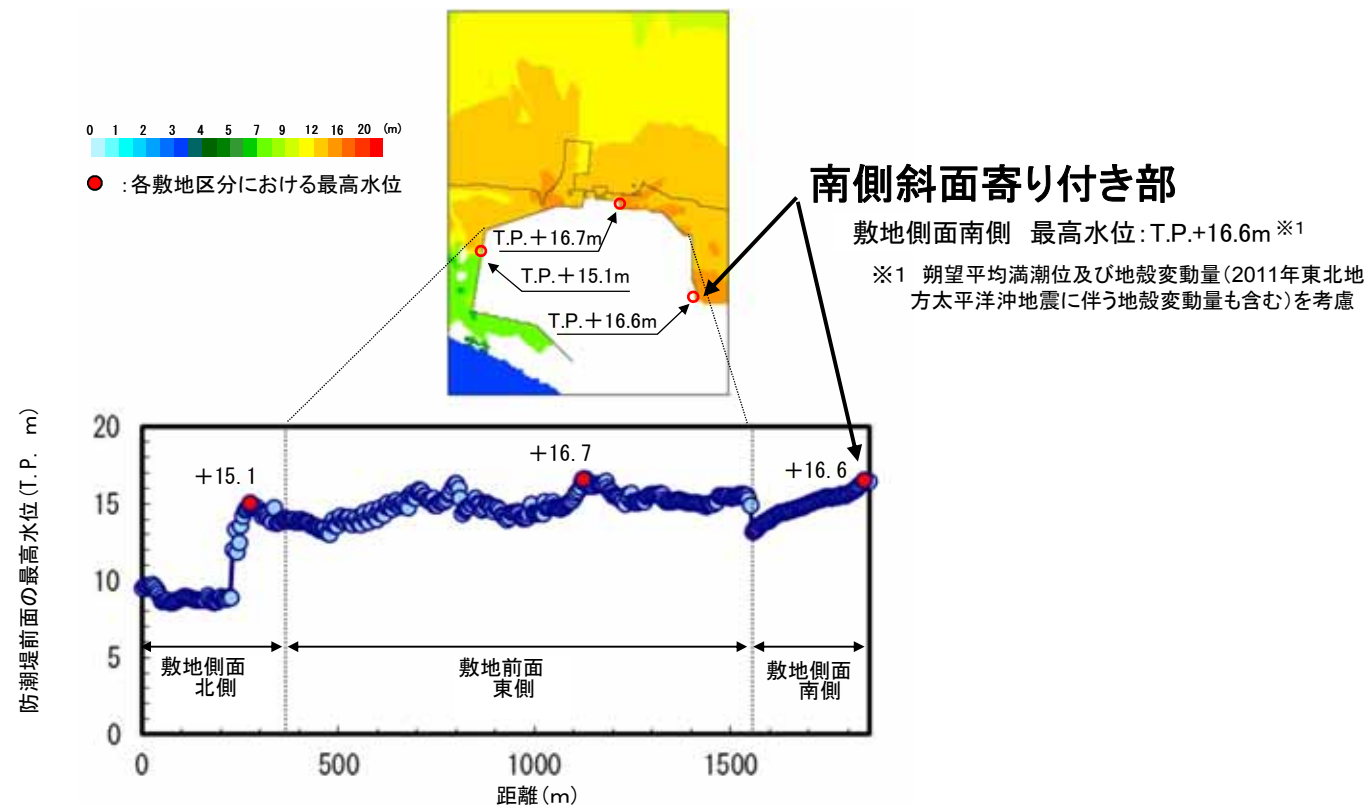
【回答概要】

- 基準津波による津波遡上解析の結果、敷地南西部の防潮堤地山寄り付き部(T.P.+18m)に遡上する津波高さはT.P.+16.6mであることを確認した。これに潮位のばらつきを考慮しても津波遡上高さはT.P.+16.8mであり、防潮堤高さを超えることはない。
- 基準津波を超え敷地に遡上する津波(T.P.+24m津波)による津波遡上解析結果では、南側斜面地山寄り付き部に遡上する津波高さがT.P.+20m程度となる。更に広域で確認すると、南側斜面地山寄り付き部の南側において、最高水位がT.P.+22m程度の範囲が確認される。
- この基準津波を超え敷地に遡上する津波(T.P.+24m津波)の広域における遡上高さを考慮し、南側斜面地山寄り付き部(T.P.+18m)の延長上にT.P.+22m付近まで地盤改良を行い、洗掘防止対策を計画した。

■ 基準津波の津波遡上解析結果(南側斜面寄り付き部)

- 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁と南側斜面寄り付き部の洗掘対策は、津波遡上解析結果を用いて範囲を決定する。
- 津波遡上解析の結果、南側斜面地山寄り付き部の最高水位はT.P.+16.6mであり、潮位のばらつきを考慮した場合でもT.P.+16.8mまで遡上することとなるが、防潮堤天端高さT.P.+18.0mには及ばない。

【地盤変状あり(防波堤なし)モデルによる最高水位】

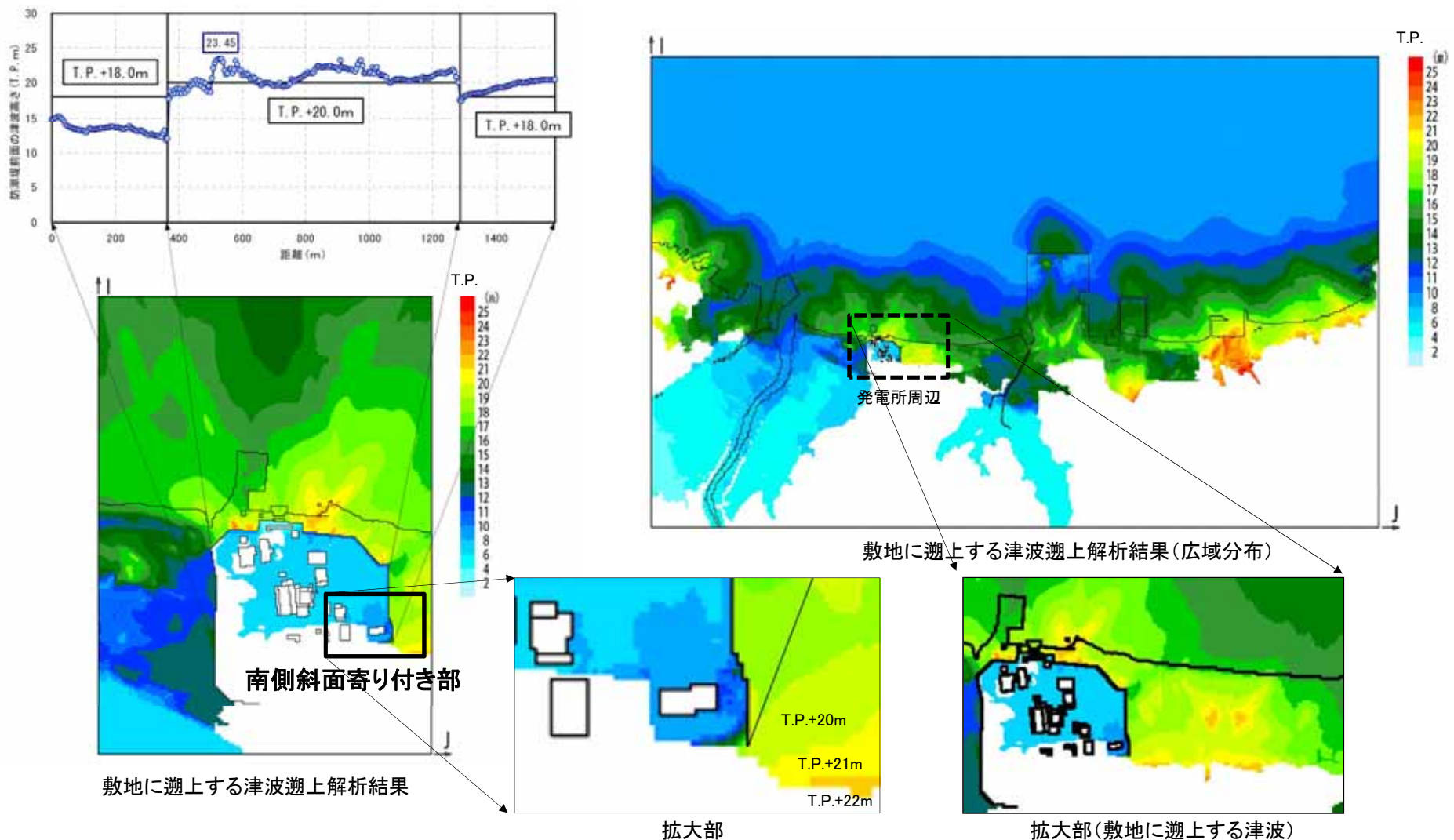


基準津波を超え敷地に遡上する津波の津波遡上解析結果



■ 基準津波を超え敷地に遡上する津波 (T.P.+24m津波) の津波遡上解析結果

- 基準津波を超え敷地に遡上する津波 (T.P.+24m津波) の津波遡上解析の結果, 南側斜面寄り付き部の最高水位はT.P.+20m程度となる。
- 更に広域を見ると, 南側斜面寄り付き部の南側において最高水位がT.P.+22m程度となる範囲が一部確認される。



 ガンダム

- ### 地質構成表
- | 地質時代 | | 地質区分 | 記号 | 岩相 |
|------|------|------|-----|-----|
| 第三紀 | 新第三紀 | 沖積層 | a1 | 砂 |
| | | | a2 | 砂礫 |
| | 第四紀 | 沖積層 | a3 | 粘土 |
| | | | a4 | 砂 |
| | | | a5 | 砂礫 |
| 第四紀 | 更新世 | 沖積層 | b1 | シルト |
| | | | b2 | 砂 |
| | 第四紀 | 沖積層 | c1 | 砂礫 |
| | | | c2 | シルト |
| | | | c3 | 砂礫 |
| 第四紀 | 沖積層 | d1 | ローム | |
| | | d2 | シルト | |
| 第四紀 | 沖積層 | e1 | 砂礫 | |
| | | e2 | 砂礫 | |
- 第三紀 第四紀 第五紀



【指摘事項】第504回審査会合（H29. 9. 5）

設置許可段階で構造成立性を示すべき項目と、工認段階で設計結果を示すべき項目を明確にするとともにその理由も含めて説明すること（地質調査を含む）。工認段階で示すべき項目については、設置許可段階でその目的、手法、条件を説明すること。

【回答概要】

- ・ 設置許可段階で構造成立性を示すべき項目と、工認段階で設計結果を示すべき項目を整理した。
- ・ 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造成立性を確認するため、「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」等に基づき、基準地震動 S_s 及び基準津波による荷重等に対して、構造体の主要構造部位である鋼管杭、地表部の鉄筋コンクリート防潮壁、止水ジョイント部、地盤高さの嵩上げ部、表層改良体の健全性を確認する。その他の構造部位については、設計方針を示し今後の詳細設計でその仕様の詳細を決定する。
- ・ なお、現在実施している追加地質調査により、今後地質分布の細部が更新になる可能性も見据え、主要構造部位の検討に当たっては、構造体に対して厳しい評価となる断面や地質条件を組み合わせた解析条件（極端な地層厚の組合せや安全側の液状化パラメータを用いた解析条件）にて評価を行い、これら条件下でも十分な構造強度であること及び止水性能を有することについて確認する。

構造成立性評価の方針



鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造成立性を確認するため、「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」等に基づき、基準地震動 S_s 及び基準津波による荷重等に対して、構造体の主要構造部位である鋼管杭、地表部の鉄筋コンクリート防潮壁、止水ジョイント部、地盤高さの嵩上げ部、表層改良体の健全性を確認する。その他の構造部位については、設計方針を示し今後の詳細設計でその仕様の詳細を決定する。

なお、現在実施している追加地質調査により、今後地質分布の細部が更新される可能性を見据え、主要構造部位の検討に当たっては、構造体に対して厳しい評価となる断面や地質条件での解析評価を行い、十分な構造強度であること及び止水性能を有することを確認する。

構造成立性評価の荷重等について

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁 の構造成立性評価	荷重ケース	荷重	安全側に設計するための配慮
代表評価断面の抽出	地震時	➤ 地震荷重 基準地震動 S_s のうち代表2波(S_s -D1波, S_s -31波)	- 全ての液状化対象層に豊浦標準砂の液状化強度特性を仮定した評価 - 粘土層の層厚の影響を考慮した評価(最大あるいは最小厚でモデル化) - 岩盤の傾斜角の影響を考慮した評価
要求機能の設定	津波時	➤ 津波荷重 以下の入力津波高さ及び設置地盤高さを考慮し朝倉式により算定した波圧以上を設定する。 ・敷地前面東側:T.P.+17.9m ・敷地側面北側:T.P.+15.4m ・敷地側面南側:T.P.+16.8m ➤ 漂流物衝突荷重:490kN (重量50tf, 津波流速10m/s)	- 本震後の地盤状況を考慮した地盤バネの設定(バネ定数及びバネの上限値を変え、下部工・上部工に最も厳しい組み合わせで評価する) - 水理模型実験等で確認した津波波力より大きな波力を用いた設計 - 鉄筋コンクリート梁壁の梁バネモデルを用いることにより断面力を保守的に算定した照査(三次元モデルによる確認)
設計方針(基本方針)の設定	重畳時 (津波+余震)	➤ 余震荷重:弾性設計用地震動 S_d -d1波 ➤ 津波荷重:津波時と同様	1ユニット内で地盤剛性の影響を考慮した設計(両端に$\pm 1\sigma$物性に相当するバネを配置) - 津波漂流物を構造体にとって最も厳しくなる位置に載荷 1ユニット内で岩盤の傾斜角の影響を考慮
評価対象部位の選定	T.P.+24m津波時	➤ 津波荷重:入力津波高さ(T.P.+24m)及び設置地盤高さを考慮し朝倉式により算定 ➤ 漂流物衝突荷重:衝突荷重736kN (重量50tf, 津波流速15m/s)	
- 鋼管杭(上・下部工) - 鉄筋コンクリート(上部工) - 止水ジョイント部(上部工) - 地盤高さの嵩上げ(改良体) - 表層改良体	重畳時 (T.P.+24m津波+余震)	➤ 余震荷重:弾性設計用地震動 S_d -d1波 ➤ 津波荷重:T.P.+24m津波時と同様	
耐震評価 (基準地震動 S_s)			
耐津波評価 (基準津波, T.P.+24m津波)			
許容限界以下の確認			
構造成立性の確認			

耐震・耐津波評価の流れ

設置許可段階での提示内容(下部工)



鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁について、設置許可段階で構造成立性の見通しを示す上で必要な確認事項と項目について整理した結果を示す。

下部工の評価について

		設置許可段階(設計方針と見通し)		工認審査段階
評価部位		代表断面③ (壁高が高く、杭長が長い断面)	代表断面④ (岩盤の傾斜角が大きい断面)	代表断面③④他一般部
下部工	基礎地盤 (岩盤:km層)	【確認事項】 基礎地盤の健全性(支持力) 設置許可基準規則第3条第一項に基づき、地質の特長を模擬した評価ケースにおいても、杭の支持層である岩盤部のみで、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力以下であることを確認する。		【確認事項】 杭の先端支持力を考慮して、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力以下であることを確認する。
		【提示内容】 (1)地震時 (二次元有効応力解析) (2)津波時 (二次元フレーム解析, T.P.+24m津波時含) (3)重畳時 (二次元フレーム解析, T.P.+24m津波時含) (安全側となる配慮) ・地質分布や地盤物性の不確かさを考慮し、液状化検討対象層に豊浦標準砂の剛性と液状化強度特性を仮定し強制的な液状化をさせるモデルなどのパラメータスタディを実施する。	【提示内容】 (1)地震時 (二次元有効応力解析) (安全側となる配慮) ・岩盤傾斜部で最も傾斜角が大きい区間をモデル化し評価を行う。	【提示内容】 (1)地震時 (二次元有効応力解析) (2)津波時 (二次元フレーム解析, T.P.+24m津波時含) (3)重畳時 (二次元フレーム解析, T.P.+24m津波時含)

設置許可段階での提示内容(下部工)



鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁について、設置許可段階で構造成立性の見通しを示す上で必要な確認事項と項目について整理した結果を示す。

下部工の評価について

		設置許可段階(設計方針と見通し)		工認審査段階
評価部位		代表断面③ (壁高が高く、杭長が長い断面)	代表断面④ (岩盤の傾斜角が大きい断面)	代表断面③④他一般部
下部工	鋼管杭 (SM570, φ2,500mm, t=35mm or t=40mm)	【確認事項】 鋼管杭の健全性(曲げ, せん断, 座屈) 鋼管杭に発生する応力が短期許容応力度以下であることを確認する(T.P.+24m津波に対しては降伏応力度, せん断強度以下とする)。 岩盤傾斜部の増幅特性及び振動特性について確認し, 1ブロック内の挙動について特異なモードがないか確認する。また, 1ユニット両端の相対変位量について確認する。		【確認事項】 鋼管杭に発生する応力が短期許容応力度以下であることを確認する。 (T.P.+24m津波に対しては降伏応力度, せん断強度以下とする)
		【提示内容】 (1)地震時 (二次元有効応力解析) (2)津波時 (二次元フレーム解析, T.P.+24m津波時含) (3)重畳時 (二次元フレーム解析, T.P.+24m津波時含) (安全側となる配慮) ・地盤バネの設定について, 地盤ばね定数, 上限値の組合せにより, 下部工に対して厳しい条件となるケースを確認する。 ・漂流物荷重は, 下部工に対して厳しくなる位置に作用させる。	【提示内容】 (1)地震時 (一次元等価線形解析, 二次元有効応力解析, 静的三次元FEM解析) (安全側となる配慮) ・岩盤傾斜部における杭の振動特性を評価する。 ・岩盤傾斜部の1ユニット両端部杭の相対変位について解析モデルでの違いを確認する。 ・岩盤傾斜部の増幅特性について確認する。	【提示内容】 (1)地震時 (二次元有効応力解析) (2)津波時 (二次元フレーム解析, T.P.+24m津波時含) (3)重畳時 (二次元フレーム解析, T.P.+24m津波時含)

設置許可段階での提示内容(上部工)



上部工の評価について

		設置許可段階(設計方針と見直し)		工認審査段階
評価部位		代表断面③ (壁高が高く、杭長が長い断面)	代表断面④ (岩盤の傾斜角が大きい断面)	代表断面③④他一般部
上部工	【梁壁部】 鉄筋コンクリート (鉄筋コンクリート梁壁)	【確認事項】 鉄筋コンクリート梁壁の健全性(曲げ, せん断) 1ユニット内で地質分布が異なる場合を想定し、鉄筋コンクリート(鉄筋コンクリート梁壁)に発生する応力が短期許容応力度以下であることを確認する(T.P.+24m津波に対しては降伏応力度, せん断強度以下とする)。	【確認事項】 鉄筋コンクリート梁壁の健全性(曲げ, せん断) 1ユニット内で基礎岩盤の傾斜を想定し、鉄筋コンクリート(鉄筋コンクリート梁壁)に与える影響について確認する(発生する応力が短期許容応力度以下であることを確認する。T.P.+24m津波に対しては降伏応力度, せん断強度以下とする)。	【確認事項】 鉄筋コンクリート梁壁に発生する応力が短期許容応力度以下であることを確認する(T.P.+24m津波に対しては降伏応力度, せん断強度以下とする)。
	コンクリート ($f'_{ck}=40\text{N/mm}^2$)	【提示内容】 (1)地震時 (二次元梁バネモデル解析, 三次元FEM解析) (2)津波時 (二次元梁バネモデル解析, 三次元FEM解析) (3)重畳時 (二次元梁バネモデル解析, 三次元FEM解析)	【提示内容】 (1)地震時 (三次元静的FEM解析)	【提示内容】 (1)地震時 (二次元梁バネモデル解析) (2)津波時 (二次元梁バネモデル解析, T.P.+24m津波時含) (3)重畳時 (二次元梁バネモデル解析) (4)最も厳しい荷重 (三次元静的FEM解析)
	鉄筋 (SD490)	(安全側となる配慮) ・1ユニット内で杭両端部の地盤バネ $\pm 1\sigma$ とするなど、上部工に対して厳しい結果となるよう考慮する。 ・地盤バネの設定について、地盤ばね定数、上限値の組合せにより、上部工に対して厳しい条件となるケースを確認する。 ・漂流物荷重は、上部工にとって厳しくなる位置に作用させる。	(安全側となる配慮) ・岩盤傾斜部で最も傾斜角が大きい区間をモデル化し評価を行う。	応答値が大きい「二次元梁バネモデル」で工認資料を提出 鋼管鉄筋コンクリート(SRC部)の配筋は、鉄筋コンクリート梁壁の主筋と同径・同ピッチで主筋を配置し、また、主筋の面積比1/3の配力筋を配置する。 これを基本構造として評価するが、三次元静的FEM解析で最も厳しいケースでも工認資料で示す。

設置許可段階での提示内容(上部工)



上部工の評価について

		設置許可段階(設計方針と見通し)		工認審査段階
評価部位		代表断面③ (壁高が高く、杭長が長い断面)	代表断面④ (岩盤の傾斜角が大きい断面)	代表断面③④他一般部
上部工	【SRC部】 鋼管杭(鋼管鉄筋コンクリート壁)	【確認事項】 鋼管鉄筋コンクリートの健全性 1ユニット内で地質分布が異なる場合を想定し、鋼管鉄筋コンクリートに与える影響について確認する(発生する応力が短期許容応力度以下であることを確認する, T.P.+24m津波に対しては降伏応力度, せん断強度以下であることを確認する)。	【確認事項】 鋼管鉄筋コンクリートの健全性 1ユニット内で基礎岩盤の傾斜を想定し、鋼管鉄筋コンクリートに与える影響について確認する(発生する応力が短期許容応力度以下であることを確認する, T.P.+24m津波に対しては降伏応力度, せん断強度以下であることを確認する)。	【確認事項】 鋼管鉄筋コンクリートの健全性 鉄筋コンクリートに発生する応力が短期許容応力度以下であることを確認する(T.P.+24m津波に対しては降伏応力度, せん断強度以下であることを確認する)。
	コンクリート ($f'_{ck}=40\text{N/mm}^2$)	【提示内容】 (1)地震時(三次元FEM解析) (2)津波時(三次元FEM解析) (3)津波時(三次元FEM解析)	【提示内容】 (1)地震時(三次元静的FEM解析)	【提示内容】 (1)地震時(二次元梁バネモデル解析) (2)津波時(二次元梁バネモデル解析, T.P.+24m津波時含) (3)重畳時(二次元梁バネモデル解析) (4)最も厳しい荷重(三次元静的FEM解析)
	鉄筋 (SD490)	(安全側となる配慮) ・地盤バネの設定について、地盤ばね定数、上限値の組合せにより、下部工に対して厳しい条件となるケースを実施する。 ・漂流物荷重は、杭体の曲げが大きくなる防潮堤天端に作用させる。	(安全側となる配慮) ・岩盤傾斜部で最も傾斜角が大きい区間をモデル化し評価を行う。	応答値が大きい「二次元梁バネモデル」で工認資料を提出 鋼管鉄筋コンクリート(SRC部)の配筋は、鉄筋コンクリート梁壁の主筋と同径・同ピッチで主筋を配置し、また、主筋の面積比1/3の配筋筋を配置する。 これを基本構造として評価するが、三次元静的FEM解析で最も厳しいケースでも工認資料で示す。
	鋼管杭 (SM570, $\phi 2,500\text{mm}$, $t=35\text{mm}$ or $t=40\text{mm}$)			

設置許可段階での提示内容(止水ジョイント部)



上部工の評価について

		設置許可段階(設計方針と見通し)		工認審査段階
評価部位		一般部(直線部)	特殊部(隅角部)	一般部, 特殊部
止水ジョイント部	止水ゴム等 (止水ゴム, 止水シート)	【確認事項】 止水ゴム等の健全性(変位, 圧力) 一般部で生じる構造物間の相対変位量に対して, 止水ゴムが許容の伸び量範囲以下であることを確認する。 津波荷重について, 止水ゴムが許容圧力以下であることを確認する。	【確認事項】 止水ゴム等の健全性(変位, 圧力) 隅角部, 異種構造物間の特殊部で生じる構造物間の相対変位量に対して, 止水シートが許容伸び量の範囲以下であることを確認する。 津波荷重について, 止水シートが許容圧力以下であることを確認する。	【確認事項】 一般部及び特殊部で生じる構造物間の相対変位量に対して, 止水シートが許容伸び量の範囲以下であることを確認する。 津波荷重について, 止水シートが許容圧力以下であることを確認する。
		【実施内容】 (1) 止水性能試験(許容変位量) (2) 止水性能試験(許容耐圧力) (3) 地震時の変形量(二次元有効応力解析) (4) 津波時の止水ゴム部に作用する津波荷重 (5) 重畳時の変形量(二次元有効応力解析) (安全側となる配慮) ・ T. P. +24m津波荷重に裕度を見込んだ水圧にて耐圧試験を実施 ・ 二次元有効応力解析から算定される変位量により確認 ・ 余震時の変位量は, 安全側に二次元有効応力解析の最大変形量の1/2とする		【提示内容】 (1) 止水性能試験(許容変位量) (2) 止水性能試験(許容耐圧力) (3) 耐候性試験 (4) 地震時の変形量(二次元有効応力解析) (5) 津波時の止水ゴム部に作用する津波波力 (6) 重畳時の変形量(二次元有効応力解析)

設置許可段階での提示内容(止水ジョイント部)



上部工の評価について

		設置許可段階(設計方針と見通し)		工認審査段階
評価部位		一般部(直線部)	特殊部(隅角部)	一般部, 特殊部
止水 ジョ イント 部	鋼製アンカー	【確認事項】 鋼製アンカーの健全性 止水ゴム等を固定する鋼製アンカーに発生する応力が短期許容応力度以下であるとする設計方針を示す※。(T.P.+24m津波に対しては降伏応力度, せん断強度以下とする) ※ 鋼製アンカーは, 設置のピッチや本数により十分な安全余裕調整が可能であることから, 工認段階での確認で問題ないと判断した。		【確認事項】 止水ゴム等を固定する鋼製アンカーに発生する応力が短期許容応力度以下であることを確認する(T.P.+24m津波に対しては降伏応力度, せん断強度以下とする)。
		【提示内容】 (設計方針) ・地震時の止水ゴム等の引張り荷重に対して耐え得る設計方針	【提示内容】 (設計方針) ・地震時の止水ゴム等の引張り荷重に対して耐え得る設計方針	【提示内容】 (1) 地震時(構造計算) (2) 津波時(構造計算)
	鋼製防護部材	【確認事項】 鋼製防護部材の健全性 止水ゴム等を津波漂流物から防護する鋼製防護部材に発生する応力が短期許容応力度以下であるとする設計方針を示す※。(T.P.+24m津波に対しては降伏応力度, せん断強度以下とする)。 ※ 止水ゴムジョイントは, 防潮堤の堤外側及び堤内側に設置されるフェールセーフ構造とすること, 防潮堤ブロック間の変位量は漂流物の幅に比べて極小さいことから基本的に漂流物は防潮堤に衝突することになる。鋼製防護部材の漂流物による損傷が直接的に防潮堤の機能に影響を与えるものでないため, 工認段階での確認で問題ないと判断した。		【確認事項】 止水ゴム等を津波漂流物から防護する鋼製防護部材に発生する応力が短期許容応力度以下であることを確認する(T.P.+24m津波に対しては降伏応力度, せん断強度以下とする)。
		【提示内容】 (設計方針) ・50tfの漂流物荷重に耐え得る構造とする設計方針 ・外部火災に対して止水ゴムジョイント部への熱対策となり得る構造とする。	【提示内容】 (設計方針) ・50tfの漂流物荷重に耐え得る構造とする設計方針	【提示内容】 (1) 地震時(構造計算) (2) 津波時(構造計算)

設置許可段階での提示内容(その他部位)



その他部位の評価について

	設置許可段階(設計方針と見通し)	工認審査段階
評価部位	代表断面③ (壁高が高く、杭長が長い断面)	代表断面③④他一般部
地盤高さの嵩上げ(改良体) セメント改良 ($q_u=1\text{N/mm}^2$)	【確認事項】 地盤高さの嵩上げ(改良体)の健全性 地盤高さの嵩上げ部の受働せん断面や底面等のせん断力が、改良体の妥当な安全余裕を考慮したせん断耐力以下であることを確認する。 【提示内容】 (1)地震時(二次元有効応力解析) (2)津波時(二次元フレーム解析) (3)重畳時(二次元フレーム解析) (安全側となる配慮) ・地質分布や地盤物性の不確かさを考慮し、液状化検討対象層に豊浦標準砂の剛性と液状化強度特性を仮定し強制的に液状化させるモデルなどのパラメータスタディを実施する。 ・地盤高さの嵩上げ部の全体の沈下量が均等になるように配慮する。	【確認事項】 地盤高さの嵩上げ部の受働せん断面や底面等のせん断力が、改良体の妥当な安全余裕を考慮したせん断耐力以下であることを確認する。 【提示内容】 (1)地震時(二次元有効応力解析) (2)津波時(二次元フレーム解析, T.P.+24m津波時含) (3)重畳時(二次元フレーム解析, T.P.+24m津波時含)
表層改良体 セメント改良 ($q_u=1\text{N/mm}^2$)	【確認事項】 表層改良体の健全性 表層改良体の受働せん断面等のせん断強度が、改良体の妥当な安全余裕を考慮したせん断耐力以下であることを確認する。 【提示内容】 (1)地震時(二次元有効応力解析) (2)津波時(二次元フレーム解析) (3)重畳時(二次元フレーム解析) (安全側となる配慮) ・地質分布や地盤物性の不確かさを考慮し、液状化検討対象層に豊浦標準砂の剛性と液状化強度特性を仮定し強制的に液状化させるモデルなどのパラメータスタディを実施する。 ・地盤高さの嵩上げ部の全体の沈下量が均等になるように配慮する。	【確認事項】 表層改良体の受働せん断面等のせん断耐力が、改良体の妥当な安全余裕を考慮したせん断強度以下であることを確認する。 【提示内容】 (1)地震時(二次元有効応力解析) (2)津波時(二次元フレーム解析, T.P.+24m津波時含) (3)重畳時(二次元フレーム解析, T.P.+24m津波時含)

設置許可段階での提示内容(その他部位)



その他部位の評価について

	設置許可段階(設計方針と見直し)	工認審査段階
評価部位	代表断面③ (壁高が高く、杭長が長い断面)	代表断面③④他一般部
シートパイル	【確認事項】 シートパイルの健全性 シートパイルが妥当な安全余裕を考慮したせん断強度以下であるとする設計方針を示す※ ※ シートパイルは表層改良体の中に設置されるものである。表層改良体は、地震時や津波時に弾性域内(せん断強度以下)であったため、シートパイルに変形等の影響が生じない目途がついていること、また、防潮堤との接続はピン結合であり、シートパイルの頭部に大きなモーメントが生じない設計とすることから、構造的な課題がなく、材料の選定にも幅があることから工認段階での設計で問題ないと判断した。	【確認事項】 シートパイルが妥当な安全余裕を考慮したせん断強度以下であることを確認する。
	【提示内容】 (設計方針のみ) ・地震時、津波時荷重に対して耐え得る設計方針とする。	【提示内容】 (1)地震時(二次元フレーム解析) (2)津波時(二次元フレーム解析) (3)重畳時(二次元フレーム解析)

【指摘事項】第504回審査会合(H29. 9. 5)

上部工・下部工のそれぞれの部位における岩盤傾斜を模擬した解析を含むすべての検討について、荷重伝達を踏まえた荷重の受け渡しや検討条件の整合性又は包絡性について、体系的に整理するとともに、部位について厳しい条件となっているか示すこと。

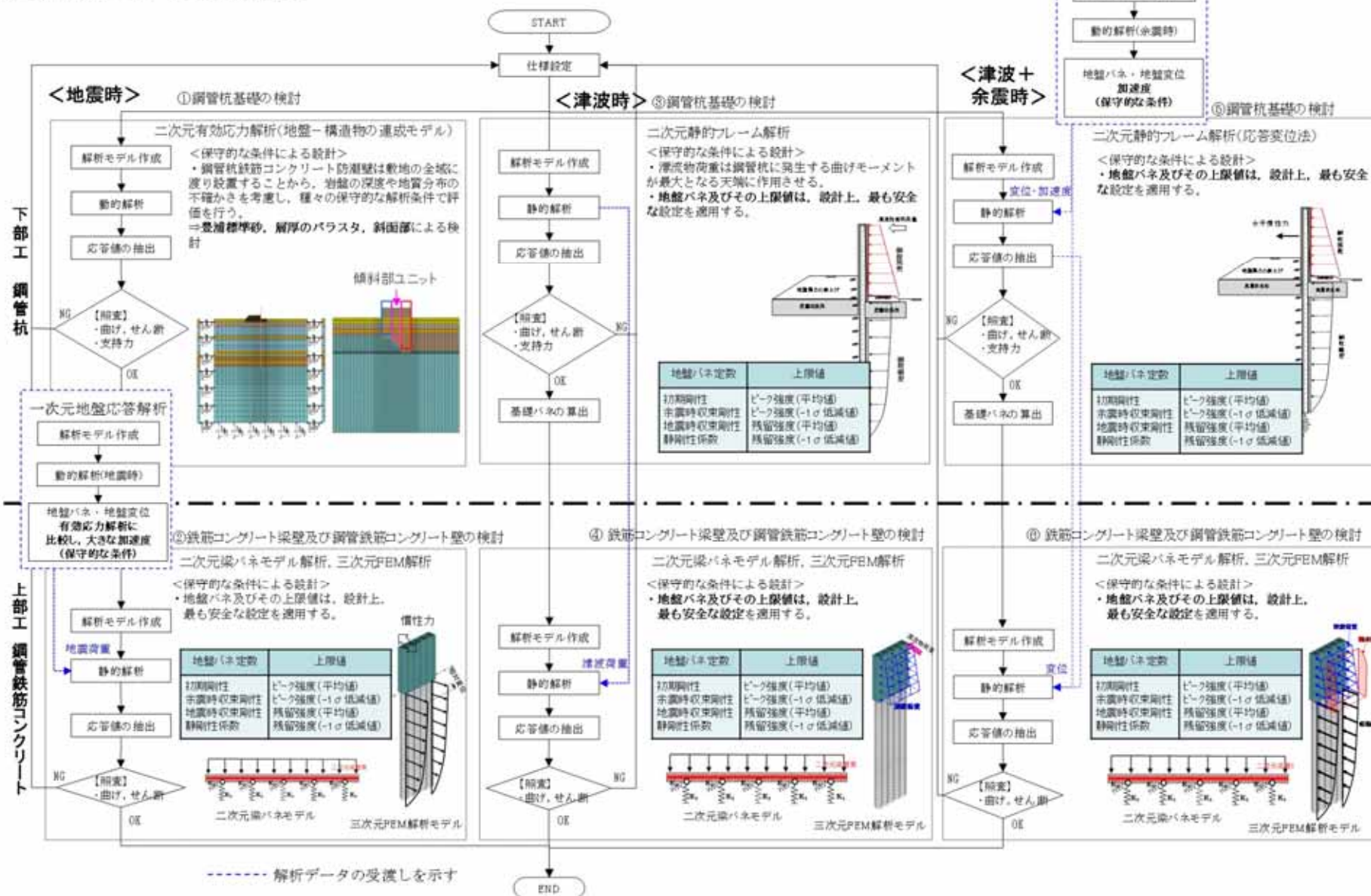
【回答概要】

- ・ 上部工・下部工のそれぞれの部位における荷重条件別の検討についてフローに整理し、荷重伝達を踏まえた荷重の受け渡しや、検討条件の整合性および包絡性について示した。
- ・ また、防潮壁の各部位に対して厳しい条件となるよう、設計条件の保守性について示した。

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計検討フロー



荷重の受け渡しや安全側に設定している地盤パネの設定、豊浦標準砂を仮定した強制的な液状化評価等を含め、設計検討フローを以下に示す。

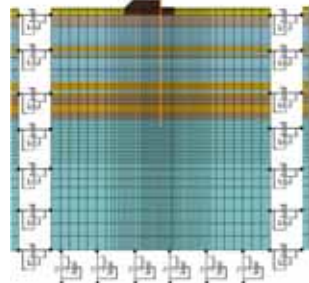


横断断面の検討

主要な荷重(地震時, 津波時, 余震+津波時及び漂流物)に対しては, 鋼管1本で抵抗する設計とする。

【二次元有効応力解析】

- ・地震時



豊浦標準砂を仮定したモデル, 層厚のバスタ, 斜面部による検討を実施し, 敷地内にある地盤条件を包絡し, 保守的な条件下で検討を実施する。

上部工における鉛直方向の曲げに対する影響については, 鋼管とコンクリート間に生じるせん断力を発生曲げモーメントから算出し, 必要なスタッドの本数を決定する。

【二次元フレーム解析】

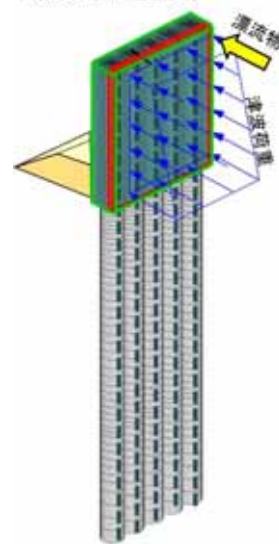
- ・津波時, 重畳時



二次元フレーム解析も同様の地盤バネで検討

【三次元FEM解析】

- ・地震時
- ・津波時, 重畳時



横断断面

縦断断面

二次元梁バネモデルでは表現できないねじれについては, 三次元FEM解析によりせん断力を算出し, それに対してコンクリートのみで抵抗可能か, あるいは, せん断補強筋の要否を確認する。

三次元FEM解析も同様の地盤バネで検討

地盤バネの保守性(最も厳しい条件を選定)

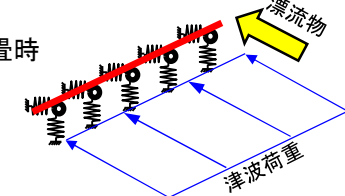
地盤バネ定数	上限値
初期剛性	ピーク強度 (平均値)
余震時収束剛性	ピーク強度 (-1σ 低減値)
地震時収束剛性	残留強度 (平均値)
静弾性係数	残留強度 (-1σ 低減値)

縦断断面の検討

主要な荷重(地震時, 津波時, 余震+津波時及び漂流物)に対して, 上部工の健全性を確保することで止水性能を保持する設計とする。

【二次元梁バネ解析】

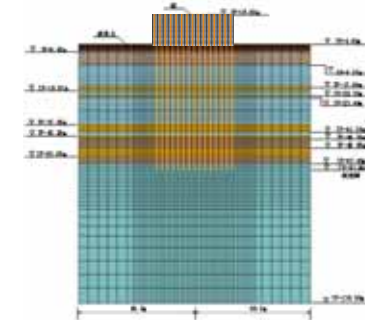
- ・地震時
- ・津波時, 重畳時



水平方向の曲げについては, 鉄筋コンクリート梁壁をモデル化した梁バネモデルを用いて照査を行い, 主鉄筋及びせん断補強筋を決定する。

【二次元有効応力解析】

- ・地震時



1ユニット上部工間の変位量を確認し, 水平方向の支圧応力から支圧破壊が生じないことを確認する。

■津波時及び津波+余震時

●下部工

⇒漂流物荷重は鋼管杭に発生する曲げモーメントが最大となる天端に作用させる。

⇒地盤バネ及びその上限値は、設計上、最も安全な設定を適用する。

- ✓ 地盤バネが最も硬くなるケースと柔らかいケースを実施して安全率の低くなる条件を設定し保守性を確保する。(地盤バネが柔らかい方が下部工では安全率が小さくなることを確認した)

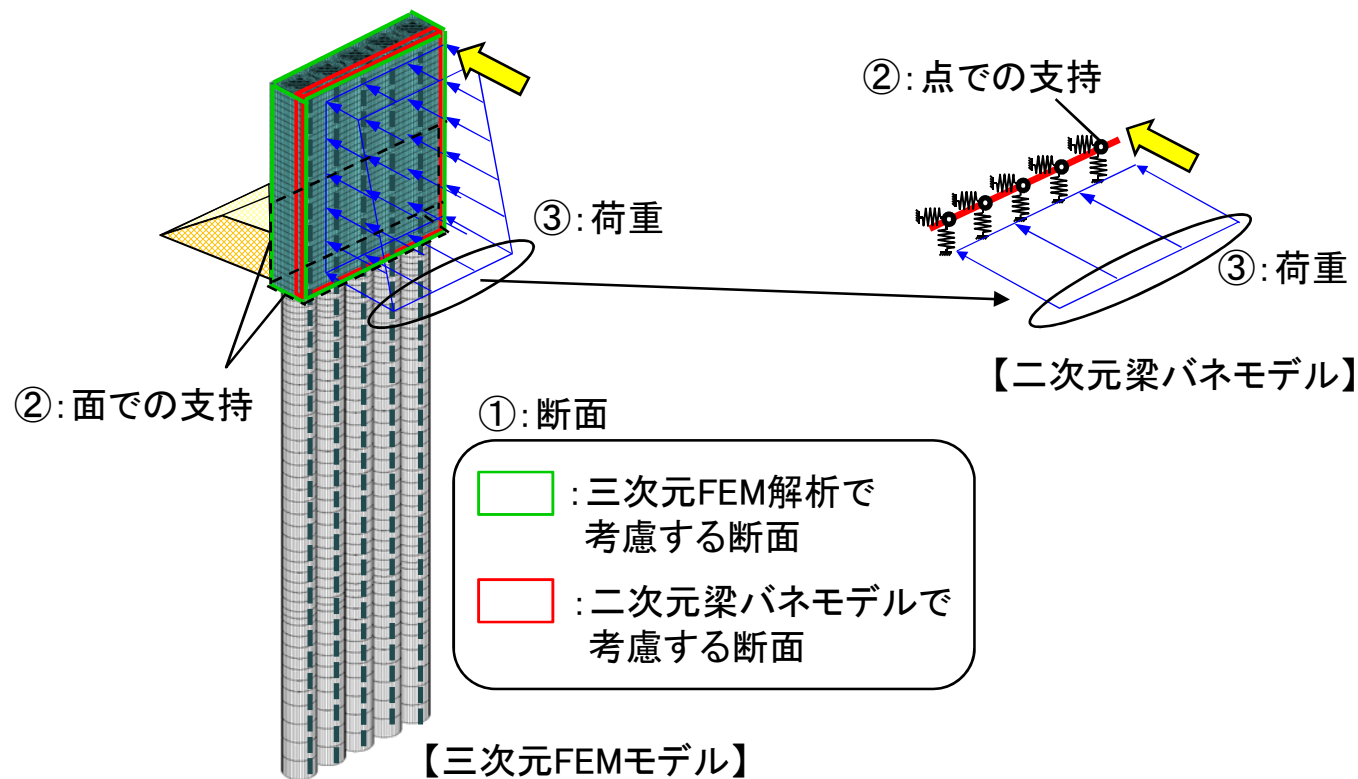
剛性高い ↑	地盤バネ定数	上限値	↑ 上限値が大きい
	初期剛性	ピーク強度(平均値)	
	余震時収束剛性	ピーク強度(-1σ低減値)	
	地震時収束剛性	残留強度(平均値)	
	静弾性係数	残留強度(-1σ低減値)	

●上部工

⇒地盤バネ及びその上限値は、設計上、最も安全な設定を適用する。

- ✓ 地盤バネが最も硬くなるケースと柔らかいケースを実施して安全率の低くなる条件を設定し保守性を確保する。

剛性高い ↑	地盤バネ定数	上限値	↑ 上限値が大きい
	初期剛性	ピーク強度(平均値)	
	余震時収束剛性	ピーク強度(-1σ低減値)	
	地震時収束剛性	残留強度(平均値)	
	静弾性係数	残留強度(-1σ低減値)	



項目	三次元FEM解析	二次元梁バネモデル
①断面	鉄筋コンクリート梁と鋼管鉄筋コンクリート部をモデル化(立体)	鉄筋コンクリート梁部分のみをモデル化(梁)
②支持条件	面での支持	点での支持
③荷重	津波荷重の深度方向分布を考慮	津波荷重の最大値を採用

二次元梁バネモデルの三次元FEMモデルに対する保守性（2 / 2）



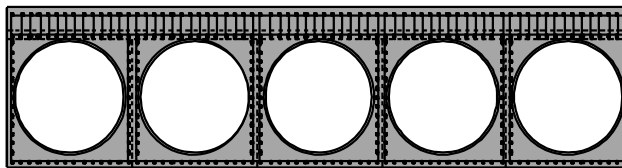
- 鉄筋の照査等を行う断面計算は、軸力、曲げモーメント、せん断力を用いて曲げ応力及びせん断応力を算出して行う。
- 応力計算は、面積と断面2次モーメントに依存するため、値が小さい方が応力は大きくなる。
- 二次元梁バネモデルで用いる断面性能(断面積、断面2次モーメント)と三次元FEMでモデル化される断面性能は、二次元梁バネモデルの方が小さくなり、発生応力度は大きくなる。

$$\text{曲げ応力 } \sigma = \frac{P}{A} + \frac{M}{Z}, \sigma = \frac{P}{A} + \frac{M}{I}y$$

$$\text{せん断応力 } \tau = \frac{S}{A}$$

P:軸力, M:曲げモーメント, S:せん断力
A:断面積, Z:断面係数, I:断面2次モーメント

鉄骨鉄筋コンクリート



津波時に発生している応力比較

二次元梁バネモデル
圧縮応力度: 9.58 N/mm²
引張応力度: 182.06 N/mm²
せん断力: 428.48 kN

三次元FEMモデル
圧縮応力度: 0.85 N/mm² (11.27)
引張応力度: 36.92 N/mm² (4.93)
せん断力: 160.99 kN (2.66)

()値は、比率を示す(梁バネモデル/三次元FEMモデル)

【二次元梁バネモデル】

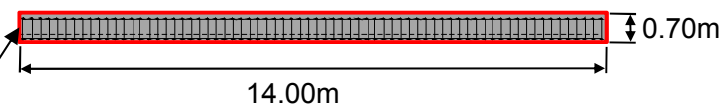
二次元梁バネモデルは鉄筋コンクリート梁壁のみをモデル化する。

断面積: $A=0.70\text{m}^2$

断面2次モーメント: $I_z=0.0286\text{m}^4$

中立軸までの距離: $y=0.35\text{m}$

断面係数: $Z=0.0817\text{m}^3$



【三次元FEM解析】

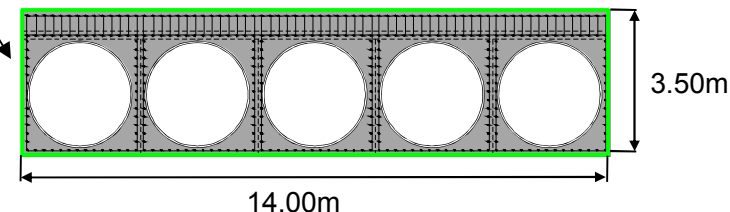
三次元FEMモデルでは全断面有効とする。

断面積: $A=3.50\text{m}^2$ (5.0)

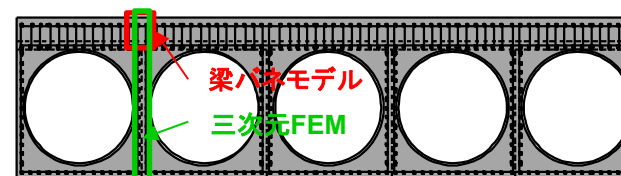
断面2次モーメント: $I_z=3.573\text{m}^4$

中立軸までの距離: $y=1.75\text{m}$

断面係数: $Z=2.042\text{m}^3$ (25.0)



断面力算出位置



二次元梁バネモデルと三次元FEMモデルによる解析結果比較



- 二次元梁バネモデルと三次元FEMモデルでの上部工の照査結果を下表に示す。
- 二次元梁バネモデルの安全率が小さくなる傾向があることから、上部工評価の解析モデルに二次元梁バネモデルを採用することは保守性があると判断される。

地震時		二次元梁バネモデル	三次元FEMモデル
圧縮応力度 $\sigma_c(\text{N/mm}^2)$	発生応力	0.66(31.82)	0.14(150.00)
	許容応力度	21.0	21.0
引張応力度 $\sigma_s(\text{N/mm}^2)$	発生応力	12.62(34.47)	9.15(47.54)
	許容応力度	435	435
せん断力※ $\tau(\text{N/mm}^2)$	発生せん断応力	0.12(6.92)	0.12(6.92)
	許容せん断応力	0.83	0.83

※コンクリートのための許容せん断応力度

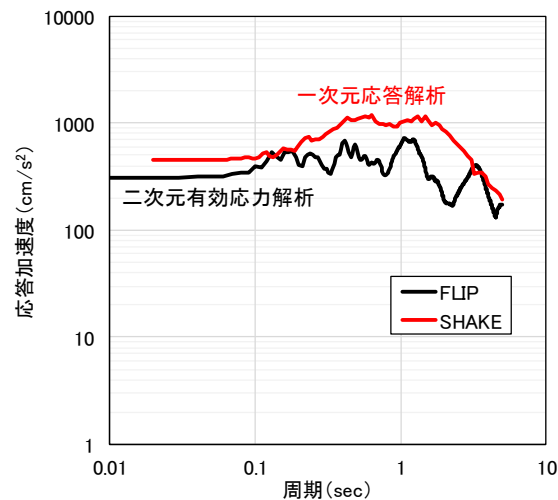
津波＋余震時		二次元梁バネモデル	三次元FEMモデル
圧縮応力度 $\sigma_c(\text{N/mm}^2)$	発生応力	14.62(1.44)	0.79(26.58)
	許容応力度	21.0	21.0
引張応力度 $\sigma_s(\text{N/mm}^2)$	発生応力	277.91(1.57)	43.69(9.96)
	許容応力度	435	435
せん断耐力 $\tau(\text{kN})$	発生せん断力	487.33(3.10)	228.78(6.60)
	許容せん断耐力	1,509	1,509

() 値は安全率を示す

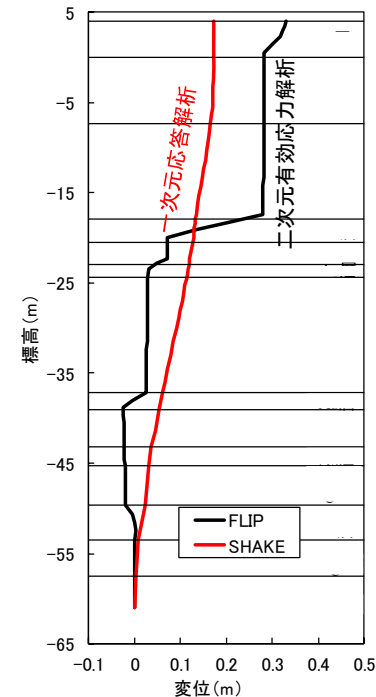
■ 二次元梁バネモデルに用いる応答加速度, 相対変位量

二次元梁バネモデルに用いる応答加速度および相対変位量については, 一次元応答解析(SHAKE)及び二次元有効応力解析(FLIP)によって抽出されるものを用いて断面力を比較し, 大きい方を採用して部材照査を行う。

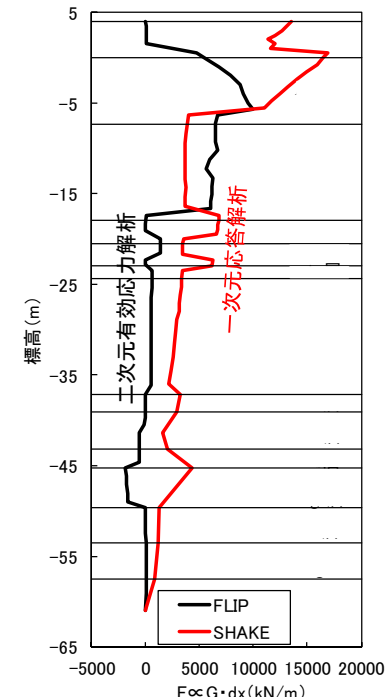
- 二次元梁バネモデルに用いる水平・鉛直応答加速度は, 一次元応答解析のものを用いる(二次元有効応力解析により算定した応答加速度よりも大きいため)。
- 地盤バネを介して梁に作用させる相対変位量については, 一次元応答解析の変位量を用いる(二次元有効応力解析よりも杭体に作用する荷重は大きくなるため)。



応答加速度(水平)



地中変位
(杭先端からの相対変位)



杭に作用する荷重
(kN/m)

地盤変位により杭に作用する力(荷重)は, 以下の式で計算され, kh と G は線形比例の関係にあるため, $F \propto G \cdot dx$ として杭に作用する力(荷重)の比較が可能である。

$$F = kh \cdot dx$$

kh : 水平地盤反力係数

dx : 地盤の応答変位

G : 地盤のせん断弾性係数

水平方向地盤バネ

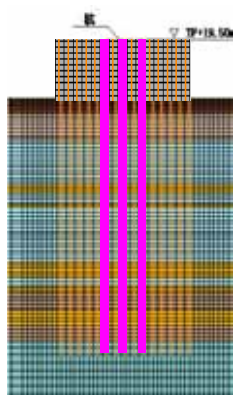
$$k_h = \mu \eta_k \alpha_k k_H D H \quad E_D = 2(1 + \nu_d)G$$

$$k_{H0} = \frac{1}{0.3} \alpha E_D$$

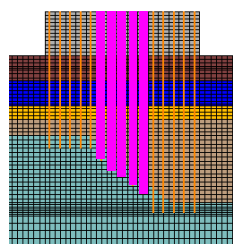
■ 解析断面の選定

- 一次元応答解析及び二次元有効応力解析の結果，岩盤傾斜部に比較して一般部の方が，1ユニット内の両端杭位置の地表面変位の差が大きく，地表面応答加速度も大きいことを確認した。

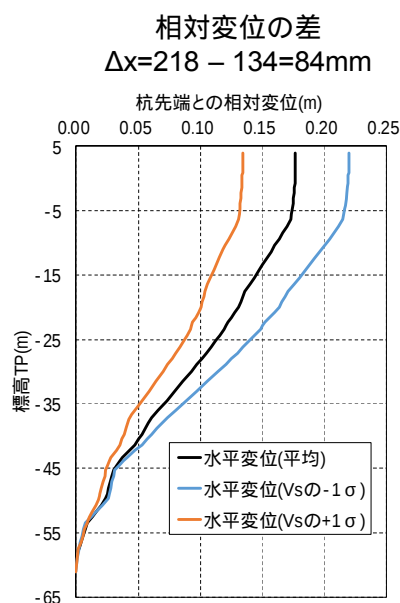
	一般部	岩盤傾斜部	備考
一次元応答解析による地表面の相対変位量	84 mm	9 mm	中央杭位置で地盤のVsを $\pm 1\sigma$ とした時刻歴相対変位量の差
二次元有効応力解析による地表面の相対変位量	103 mm	38 mm	両端杭位置でそれぞれ抽出した地表面の時刻歴相対変位量の差



一般部 (地点)

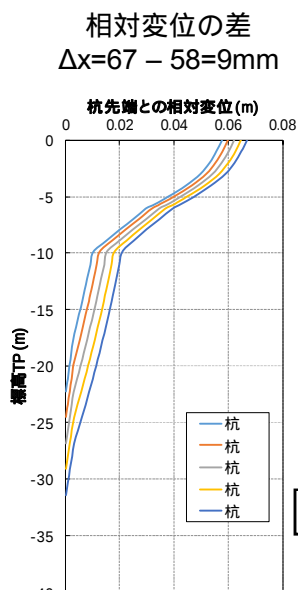


岩盤傾斜部 (地点)

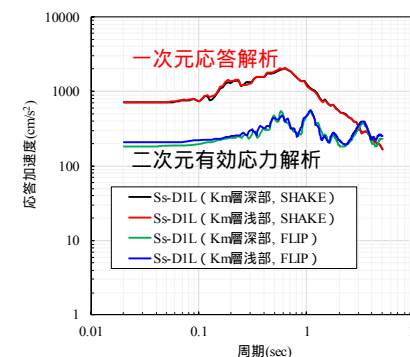


一般部 (地点)

一次元応答解析 (SHAKE) の結果



岩盤傾斜部 (地点)



岩盤傾斜部の深部と浅部モデルにおける地表面応答加速度



一般部における一次元応答解析の相対変位量は，岩盤傾斜部における相対変位量より大きく，地表面応答加速度についても一次元応答解析の方が大きいため，一般部における照査結果は安全側の評価となる。

二次元梁バネモデルによる地震時・重畳時の検討結果（一般部）



■ 検討結果

二次元有効応力解析の相対変位量を用いた二次元梁バネモデルによる上部工の照査結果

圧縮に対する照査

	発生応力度 $\sigma_c(\text{N/mm}^2)$	許容応力度 $\sigma_{ca}(\text{N/mm}^2)$ ($\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$)	安全率 σ_{ca}/σ	判定
二次元有効応力解析 の入力ケース	13.84	21	1.52	OK
(参考)津波+余震	14.62	21	1.44	OK

引張に対する照査

	発生応力度 $\sigma_s(\text{N/mm}^2)$	許容応力度 $\sigma_{sa}(\text{N/mm}^2)$ (SD490)	安全率 σ_{sa}/σ	判定
二次元有効応力解析 の入力ケース	263.04	435	1.65	OK
(参考)津波+余震	277.91	435	1.57	OK

せん断に対する照査

	発生応力度 $\tau_c(\text{N/mm}^2)$	許容応力度 $\tau_{ca}(\text{N/mm}^2)$ ($\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$)	安全率 τ_{ca}/τ	判定
二次元有効応力解析 の入力ケース	0.38	0.83	2.17	OK
(参考)津波+余震	0.79	0.83	3.10 (せん断補強筋考慮)	OK

- 二次元有効応力解析の結果を入力したケースにおいて、照査値に余裕があることを確認した。
- 今後の詳細設計では、岩盤傾斜部の三次元FEMモデルにおいて、二次元有効応力解析の相対変位量を入力した評価も念のため実施し、健全性について評価する予定。
(1ユニット5本の鋼管杭は、鉄筋コンクリートにより連結され一体となっているため地震エネルギーが分散することを考慮し、1ユニット両端杭位置の横断面におけるそれぞれの解析結果から求められる平均変位時刻歴と、1ユニット両端杭のそれぞれの横断面の解析結果から設定することを基本とする)。

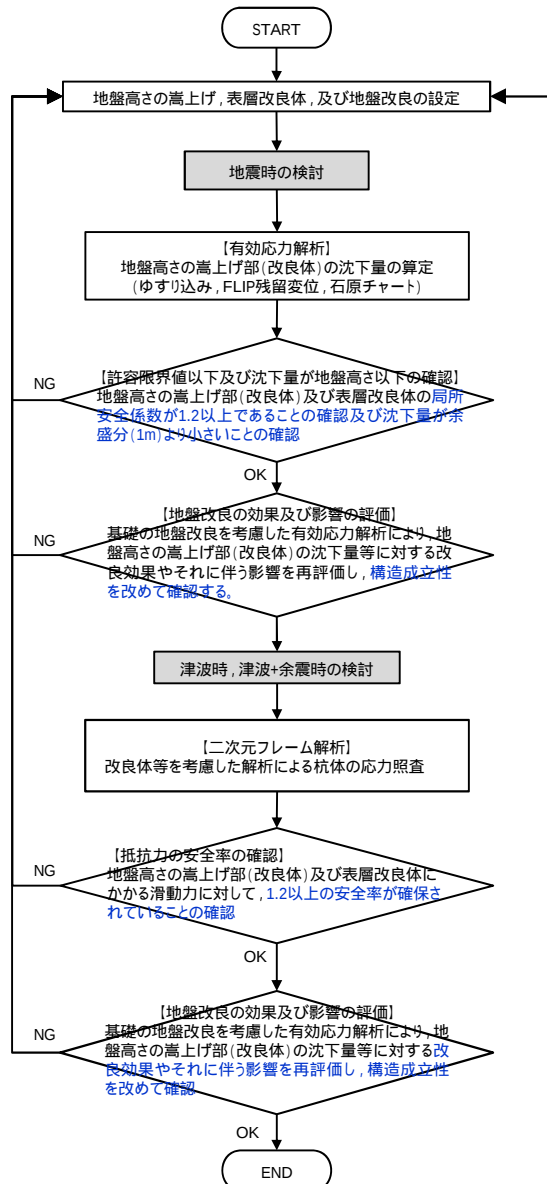
【指摘事項】第504回審査会合(H29. 9. 5)

豊浦標準砂を用いたモデルで液状化を仮定した結果が示されているが、これらの結果をどう考えるか、有効応力解析の結果に考察を加えた上で、この後の展開(工認への反映方針等)を示すこと。

【回答概要】

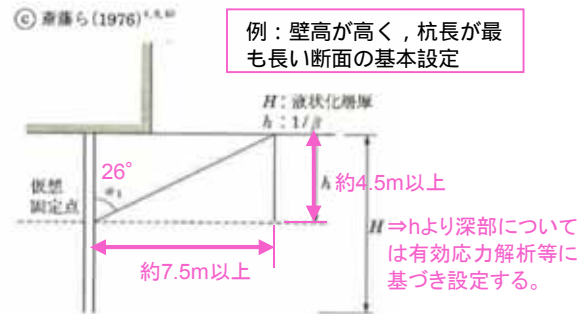
- 豊浦標準砂を仮定したモデルにより強制的な液状化をさせた評価結果についても、地盤高さの嵩上げ部(改良体)や表層改良体の範囲を決定するためのデータとして用いることとする。
- 地盤高さの嵩上げ及び表層改良体の設計フローに基づき、豊浦標準砂を仮定したモデルにて有効応力解析を行った結果、地盤高さの嵩上げ部の地盤の変状が確認されたが、地盤改良深度を深くすることで、液状化が防止され沈下量が小さくなることを確認した。
- 工認段階においても、原則、当該設計フローに基づき改良範囲の詳細を決定していく。

地盤高さの嵩上げ及び表層改良体の設計フロー



■表層改良体の範囲に係る基本設定

- (1) 鋼管杭の1/β領域下端からの受働崩壊角の領域
表層改良体の幅の設定方法は、「建築基礎構造設計指針 日本建築学会」(2001)を参考にして設定する。
杭基礎の場合、水平方向の支持力が確保されるよう、仮想固定点(1/β)から受働崩壊角を描いて改良範囲が提案されている。



仮想固定点となる深さh (= 1/β) より受働崩壊角を設定することで、地盤改良幅の範囲を設定する。なお、基礎の特性値(β)の計算等は、道路橋示方書・同解説に準拠する。

$$\beta : \text{基礎の特性値} = \sqrt[4]{\frac{k_H D}{4EI}} \quad (\text{m}^{-1})$$

ここに、 k_H : 水平方向地盤反力係数 (kN/m³)

$$k_H = k_{H0} \left(\frac{B_H}{0.3} \right)^{-3/4}$$

k_{H0} : 直径0.3mの剛体円板による平板載荷試験の値に相当する水平方向地盤反力係数

$$k_{H0} = \frac{1}{0.3} \alpha E_0 \quad (\text{kN/m}^3)$$

$\alpha = 2.0$: 津波時 (地盤改良土)

E_0 : 地盤の変形係数 (kN/m²)

EI : 基礎の曲げ剛性 (kN・m²)

D : 杭径 (m)

B_H : 荷重作用方向に直交する基礎の換算載荷幅 (m)

■地盤高さの嵩上げの範囲に係る基本設定

- (1) 地盤高さ嵩上げの界面すべり
地盤高さの嵩上げ(改良体)の幅及び高さの基本設定は、簡便に地盤高さの嵩上げが持つ受働土圧に対する滑動抵抗力を照査し設定する。

・地盤高さの嵩上げ底面のせん断抵抗力

$$H_u = C \cdot B + V \cdot \tan \varphi$$

C : 嵩上げ部(改良体)の粘着力 (kN/m²)

B : 嵩上げ部(改良体)の底面幅 (m)

V : 嵩上げ部(改良体)の重量 (kN/m³)

φ : 嵩上げ部(改良体)の内部摩擦角度 (°)

・地盤高さの嵩上げ部(改良体)の受働土圧 H_p

$$H_p = 1/2 \times K_p \cdot \gamma \cdot h^2 + 2 \cdot C \cdot h$$

K_p : 嵩上げ部(改良体)の受働土圧係数

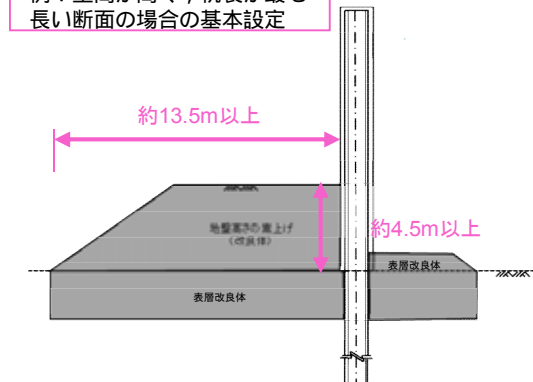
γ : 嵩上げ部(改良体)の単位体積重量 (kN/m³)

h : 嵩上げ部(改良体)の高さ (m)

C : 嵩上げ部(改良体)の粘着力 (kN/m²)

・安全率 $SF = H_u / H_p$

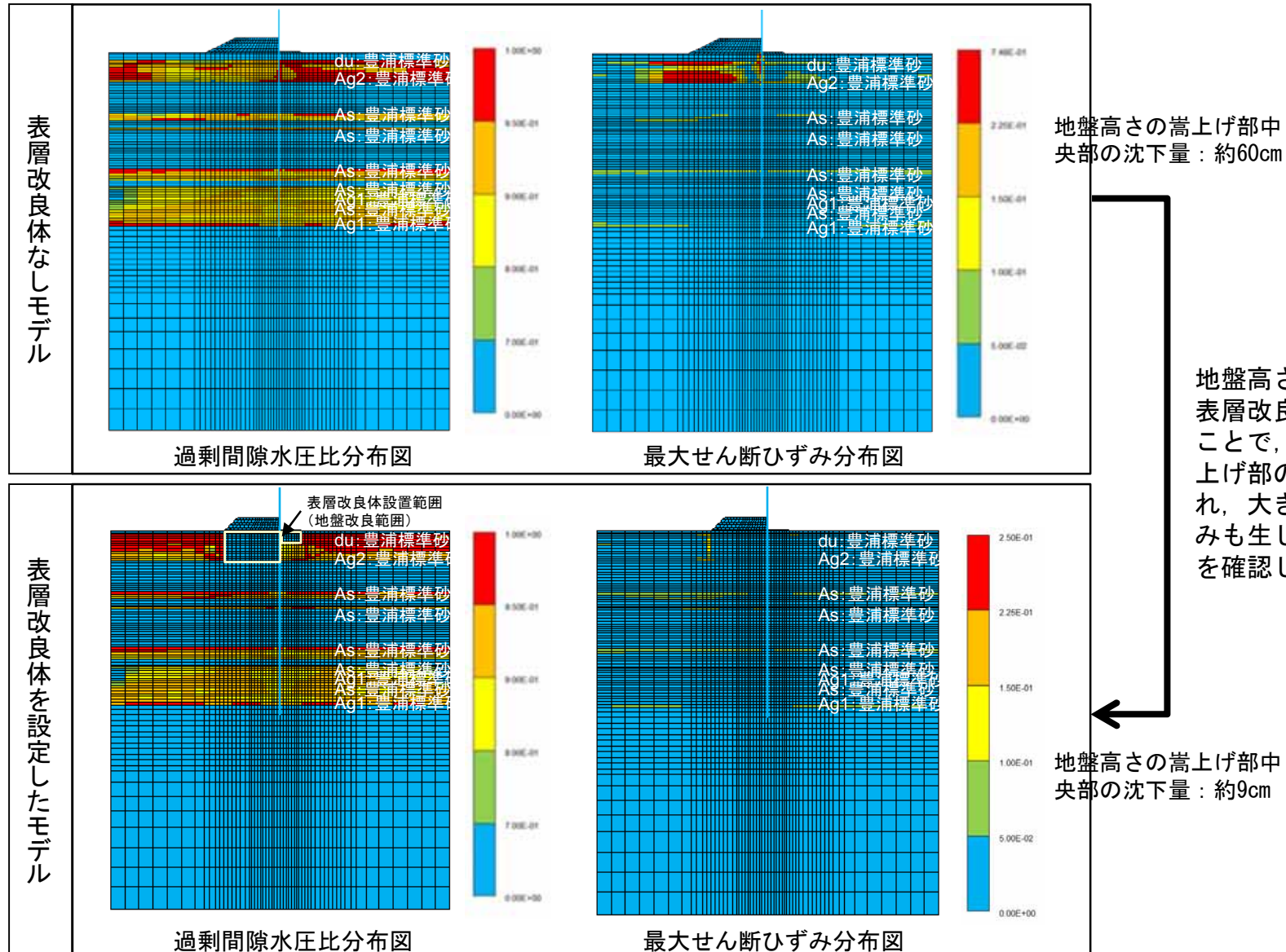
例：壁高が高く、杭長が最も長い断面の場合の基本設定



豊浦標準砂を仮定したモデルにて実施した有効応力解析結果



豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した有効応力解析において、表層改良体を設定しない場合は、地盤高さの嵩上げ部の地盤に大きめのせん断ひずみが確認されたことから、防潮壁の津波防護機能への影響を考慮し、より一層安全性の向上を図ることを目的に、地盤高さの嵩上げ部の地盤にも表層改良体を設定した。これを考慮した再度の有効応力解析を実施した結果、最大せん断ひずみ等が小さくなり、有意な効果を確認した。



地盤高さの嵩上げ部に表層改良体を設定することで、地盤高さの嵩上げ部の沈下が抑制され、大きいせん断ひずみも生じなくなることを確認した。

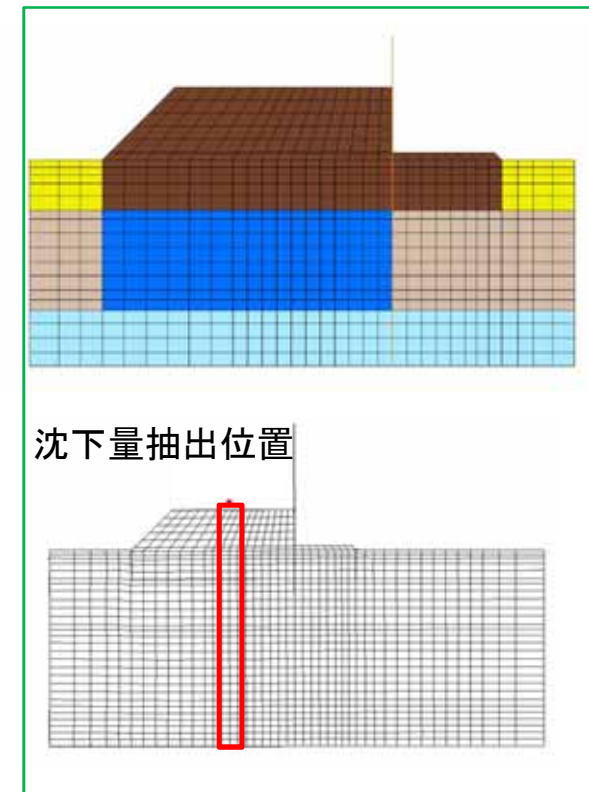
二次元有効応力解析結果



石原チャートによる沈下量の計算結果(地盤高さの嵩上げ部中央位置)

ケース1	原地盤の剛性と液状化強度特性を用いるモデル
ケース2	豊浦標準砂の剛性と液状化強度特性を仮定したモデル
ケース3	粘土層が最も厚い原地盤モデル
ケース4	粘土層が最も厚く、豊浦標準砂の剛性と液状化強度特性を仮定したモデル
ケース5	粘土層が最も薄い原地盤モデル
ケース6	粘土層が最も薄く、豊浦標準砂の剛性と液状化強度特性を仮定したモデル
ケース7	原地盤の剛性と液状化強度特性を用いるモデル(Ss-31波(留萌波))

地盤高さの嵩上げの地盤に表層改良体を設置した場合



ケース名	FLIPより 算出された 地盤沈下量 (m)	過剰間隙 水圧消散時 沈下量 (m)	不飽和部 ゆすり込み 沈下量 (m)	合計 沈下量 (m)
ケース1：原地盤の剛性と液状化強度特性を用いるモデル	0.090	0.029	0.000	0.119
ケース2：豊浦標準砂の剛性と液状化強度特性を仮定したモデル	0.110	0.064	0.000	0.174
ケース3：粘土層が最も厚い原地盤モデル	0.090	0.048	0.000	0.138
ケース4：粘土層が最も厚く、豊浦標準砂の剛性と液状化強度特性を仮定したモデル	0.090	0.053	0.000	0.143
ケース5：粘土層が最も薄い原地盤モデル	0.092	0.076	0.000	0.168
ケース6：粘土層が最も薄く、豊浦標準砂の剛性と液状化強度特性を仮定したモデル	0.114	0.107	0.000	0.221
ケース7：原地盤の剛性と液状化強度特性を用いるモデル(Ss-31波(留萌波))	0.007	0.000	0.000	0.007

各種評価ケースにおいて、地盤高さの嵩上げ部の地震時沈下量(中央位置)を確認した結果、最大でも22cm程度であり、1m分の余盛りを十分下回ることから、地盤高さの嵩上げ部について、地震に伴う沈下に対しての安全性を確認した。