

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	O2-他-F-24-0015_改0
提出年月日	2021年8月18日

女川原子力発電所第2号機
地下水位の設定,
耐震評価における断面選定について
(指摘事項に対する回答)

2021年8月18日
東北電力株式会社

目次

1. 本日のご説明内容
2. 地下水位低下設備の耐震評価結果と屋外アクセスルートの浮上り評価結果
3. 面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb工法の適用性
4. 有効応力解析の妥当性と液状化強度特性の保守性
5. 解析手法選定フロー④の施設に対する
液状化影響の定量評価結果
6. 解析手法選定フロー⑤の施設に対する
補強効果を踏まえた耐震評価結果及び浮上り評価結果
7. 地下水位が低い場合の影響確認結果
8. まとめ

(参考資料)

- 参考1. 揚水井戸の評価対象断面
- 参考2. 浮上り評価の評価フロー
- 参考3. 後施工せん断補強筋(CCb工法)の室内模型実験

1. 本日のご説明内容

第876回審査会合からの流れ

- 第876回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合(令和2年7月14日)において主な説明事項として説明した「No.2-1 地下水位の設定, 耐震評価における断面選定」及び「No.2-7 後施工せん断補強筋(CCb工法)の適用性」について説明する。(下表の赤枠部分)
- No.2-1については, 第952回審査会合(令和3年3月2日)及び第979回審査会合(令和3年6月1日)で一部説明しており, 未説明の地下水位低下設備の耐震性やアクセスルート評価について説明する。

詳細設計申送り事項(第876回審査会合資料抜粋)

主な説明事項 No.	項目	概要	説明頁	目次
2-1	地下水位の設定, 耐震評価における断面選定	女川特有の地下水位低下設備の設備構成, 設計用地下水位の設定結果, 設計用地下水位を踏まえた各施設の解析手法及び地震応答解析断面の選定結果について説明する*。なお, 地下水位低下設備の耐震性やアクセスルート評価については今後説明する。	p.4~9	2. 地下水位低下設備の耐震評価結果と屋外アクセスルートの浮上り評価結果
2-7	後施工せん断補強筋(CCb工法)の適用性	設置許可段階において, 詳細設計段階における設計方針を説明しているCCb工法について, 面内・面外荷重作用時の影響を数値実験の結果に基づき説明する。	p.10~13	3. 面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb工法の適用性

注記* : 第952回審査委員会(令和3年3月2日)及び第979回審査会合(令和3年6月1日)において説明(p3参照)

1. 本日のご説明内容

第979回審査会合の指摘事項に対する回答

- 第952回審査委員会合(令和3年3月2日)及び第979回審査会合(令和3年6月1日)において、「No.2-1 地下水位の設定, 耐震評価における断面選定」について説明し, 以下の指摘があったことから, 指摘事項に対する回答内容を説明する。

指摘事項一覧

指摘事項No.	審査会合	指摘事項	回答頁	目次
1	第979回審査会合 (令和3年6月1日)	3.11地震による護岸の水平変位を踏まえ, 有効応力解析の妥当性及び液状化強度特性の保守性の検証結果を説明すること。	p.14~17	4. 有効応力解析の妥当性と液状化強度特性の保守性
2	第979回審査会合 (令和3年6月1日)	解析手法選定フロー④で液状化等の影響を受けないことを定量的に確認した根拠を示し, 全応力解析で代表できる要因を分析し, 評価結果を説明すること。	p.18~24	5. 解析手法選定フロー④の施設に対する液状化影響の定量評価結果
3	第979回審査会合 (令和3年6月1日)	解析手法選定フロー⑤で示す施設について, 地盤改良及び後施工せん断補強筋等の効果を踏まえた耐震評価の結果並びに浮上りの評価及び地下水位が低い場合の影響評価の結果を説明すること。	p.25~32 p.33~37	6. 解析手法選定フロー⑤の施設に対する補強効果を踏まえた耐震評価結果及び浮上り評価結果 7. 地下水位が低い場合の影響確認結果
4	第952回 審査会合 (令和3年3月2日)	設計用地下水位を高め設定していることを踏まえ, 地下水位が低い場合の影響を整理して説明すること。	p.33~37	7. 地下水位が低い場合の影響確認結果(検討結果を説明)*

注記* : 第979回審査委員会合において検討方針を説明

■ 主な説明事項2-1

女川特有の地下水位低下設備の設備構成，設計用地下水位の設定結果，設計用地下水位を踏まえた各施設の解析手法及び地震応答解析断面の選定結果について説明する*。なお，地下水位低下設備の耐震性やアクセスルート評価については今後説明する。

注記* : 第952回審査委員会合(令和3年3月2日)及び第979回審査会合(令和3年6月1日)において説明

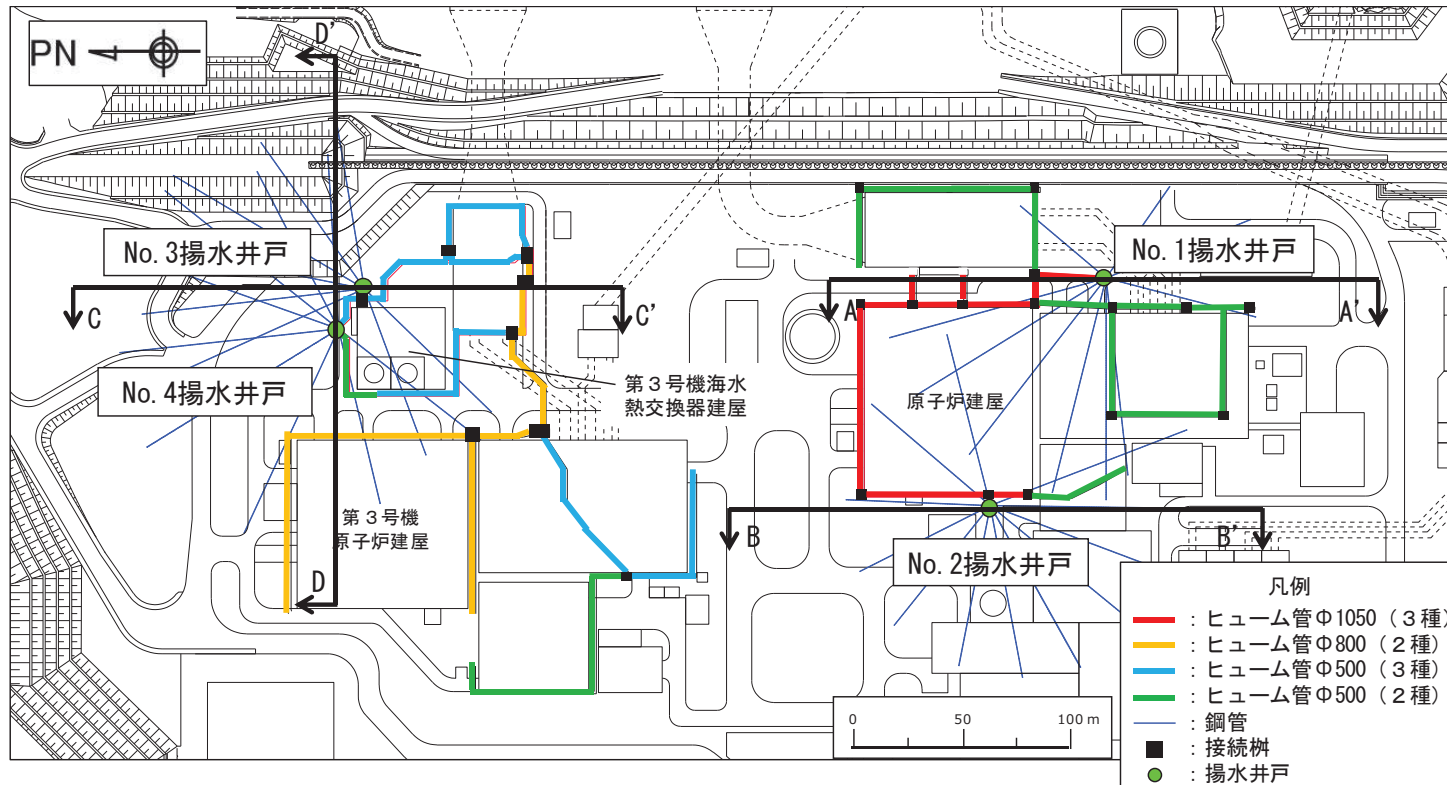


■ 説明要旨

- これまでの審査会合で未説明となっている，地下水位低下設備の耐震性と地下水位に起因する屋外アクセスルートの浮上り評価について説明する。
- 地下水位低下設備の耐震性について，各機能を構成する多数の設備について，設備毎に耐震性の評価を実施し，基準地震動 S_s に対し機能が損なわれないことを確認した。
- 多数の設備のうち，地下水位の影響を踏まえて全応力解析と有効応力解析により耐震評価を実施している揚水井戸を代表として説明する。評価の結果，液状化の発生範囲は局所的で，両手法による照査値は同等か，有効応力解析の方が厳しい結果が得られたが，いずれの手法においても安全機能が維持されることを確認した。
- 屋外アクセスルートの浮上り評価について，アクセスルート直下にある構造物が，地震による地盤の液状化の影響を受け，浮上り，アクセスルートの機能に影響を及ぼさないことを確認した。
- T-10(B部)は，地盤が液状化し，浮上る結果となったことから，上載土の施工により浮上り対策を実施することとした。

2. 地下水位低下設備の耐震評価結果と屋外アクセスルートの浮上り評価結果 地下水位低下設備の配置および設備構成

- 地下水位低下設備は、集水機能や排水機能等、多くの機能を有するため、各機能に対し多種の設備から構成される。
- 設備毎に耐震評価を行い、基準地震動 S_s に対し機能が維持されることを確認している。



地下水位低下設備の要求機能及び構成

機能	設備構成
集水機能	ドレーン (ヒューム管, 鋼管)
	接続樹
支持・閉塞 防止機能	揚水井戸
	蓋
排水機能	揚水ポンプ
	配管
監視・制御 機能	水位計
	制御盤
電源機能	電源盤

2. 地下水位低下設備の耐震評価結果と屋外アクセスルートの浮上り評価結果 揚水井戸の耐震性評価結果

- 設計用地下水位が最も高く地下水位の影響を受けやすいNo.2揚水井戸を代表として、耐震評価結果を説明する。
- 揚水井戸は、基準地震動Ssに対して十分な耐震性を有していることを確認した。

＜耐震評価結果＞

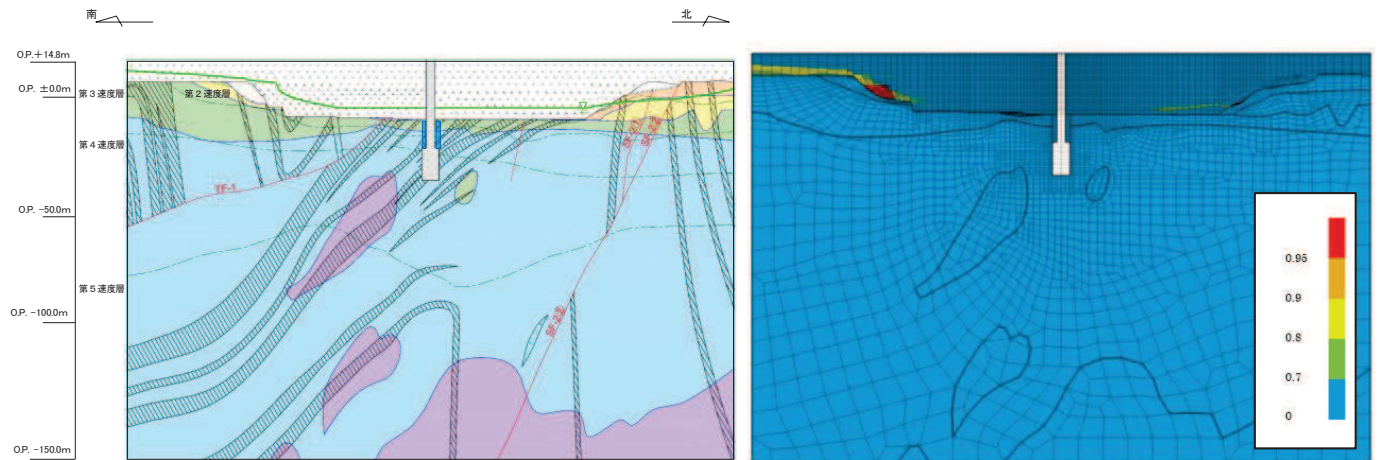
- 揚水井戸は、解析手法の選定フロー⑤に該当することから、全応力解析及び有効応力解析による評価を実施した。
- 評価の結果、解析手法の違いによる照査値は同等もしくは有効応力解析の方がやや厳しい傾向がみられたが、最大でも0.6程度であり、十分な耐震性を有していることを確認した。(No.1～4揚水井戸共通の傾向)

＜評価手法による照査値の相違に関する考察＞

- 排水シャフトは盛土内に配置されており、地盤変位の影響を直接受けるため、有効応力解析による照査値の方が厳しい傾向が確認された。
- 接合部も、排水シャフトを介して地盤変位の影響を間接的に受けるため有効応力解析による照査値の方が厳しい傾向が確認された。
- 集水ピットについては岩盤内の深い位置に設置されるため、解析手法による差は小さく照査値は同等となった。

No.2揚水井戸最大照査値一覧

部位	照査項目	解析手法	照査値
排水シャフト	曲げ軸力	有効応力解析	0.57
		全応力解析	0.43
	せん断	有効応力解析	0.17
		全応力解析	0.15
接合部	曲げ軸力	有効応力解析	0.36
		全応力解析	0.30
	せん断	有効応力解析	0.25
		全応力解析	0.23
集水ピット	曲げ軸力	有効応力解析	0.57
		全応力解析	0.59
	せん断	有効応力解析	0.48
		全応力解析	0.50
	支持力	有効応力解析	0.09
		全応力解析	0.09

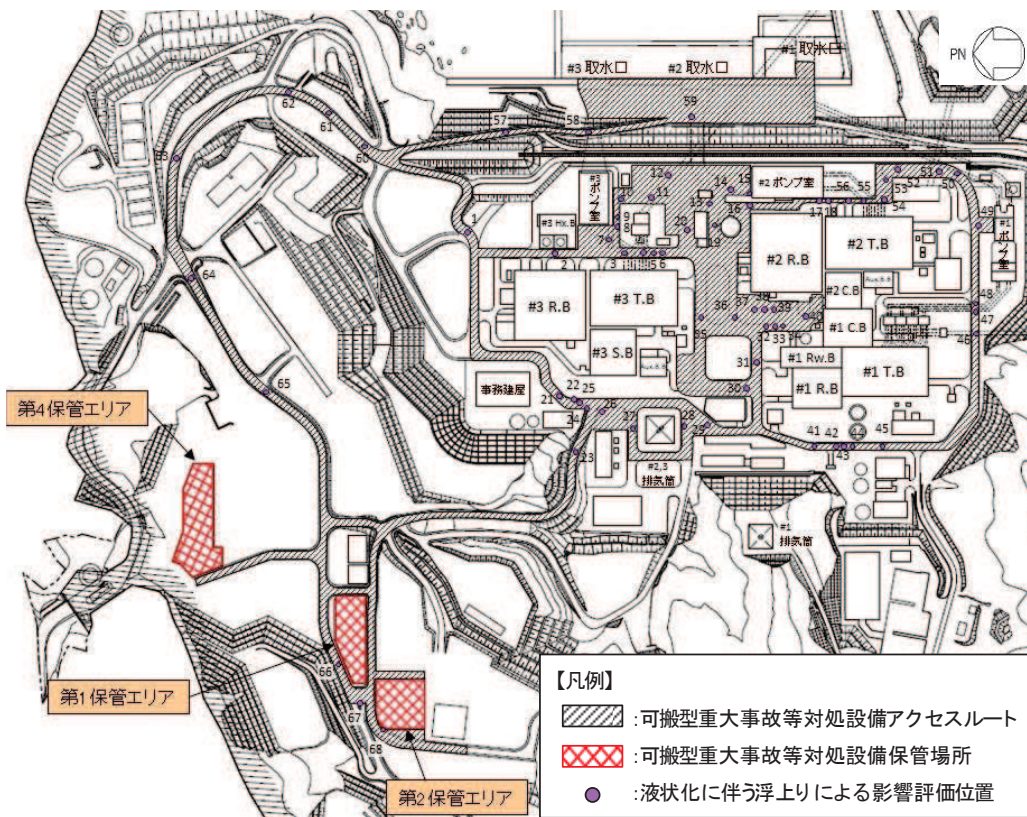


No.2揚水井戸評価対象断面図(左)及び最大過剰間隙水圧比分布(右)
(排水シャフト照査値最大ケース)

2. 地下水位低下設備の耐震評価結果と屋外アクセスルートの浮上り評価結果 屋外アクセスルートの浮上り評価

- 屋外アクセスルート下の地中埋設構造物が地震時に液状化の影響を受けて浮上りが発生しないことを確認した。
- 評価手順は、まず、地下水位以深の地盤は液状化するとの保守的な仮定のもと、トンネル標準示方書に基づく簡易評価を行い、評価基準値を超過する場合は、詳細評価として、一次元有効応力解析により液状化発生の有無と過剰間隙水圧比を確認した。
- 詳細評価において液状化が発生した構造物は、浮上り対策を実施し、それ以外の構造物は、過剰間隙水圧比を考慮した浮上り評価を行い、浮上りに対する安全性を確認した。

浮上り評価対象構造物



浮上り評価位置

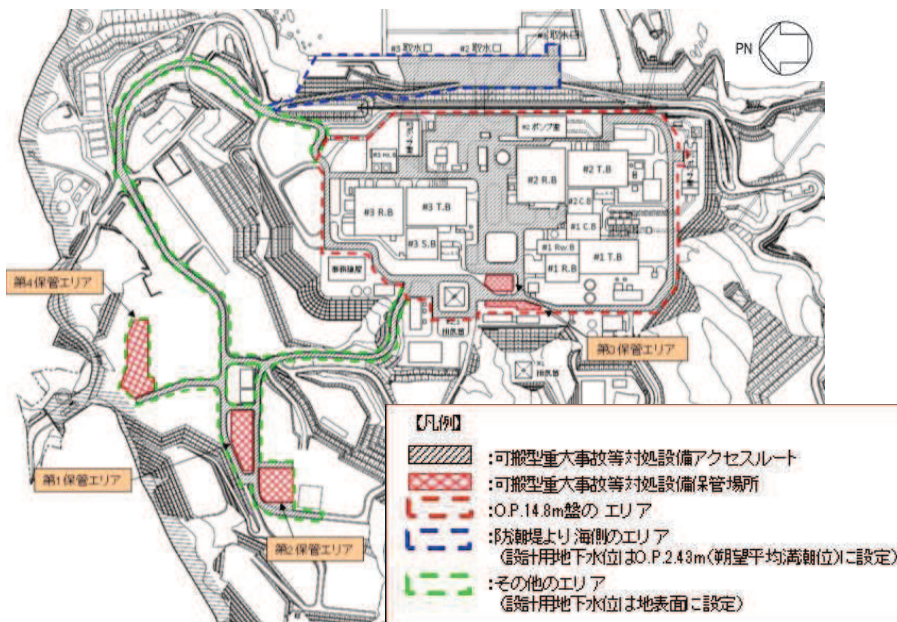
No.	名称	No.	名称
1	北側排水路(A部)	32	第2号機排気筒連絡ダクト(E部)
2	3T-9	39	第2号機排気筒連絡ダクト(F部)
3	第3号機取水管路(1号)	41	275kV開閉所連絡洞道
4	第3号機放水管路(2号)	42	2T-6(C部)
7	第3号機取水管路(A部)	43	第1号機排気筒連絡ダクト
14	第2号機取水路(B部)	44	T-10(A部)
15	第2号機取水路(A部)	45	T-10(B部)
21	3T-2	47	T-8
22	第3号機排気筒連絡ダクト(A部)	48	第1号機取水管路
24	第3号機排気筒連絡ダクト(B部)	54	第2号機放水管路
25	電源ケーブルダクト	55	第2号機取水管路
26	CVケーブル洞道	58	第3号機取水路
27	第3号機排気筒連絡ダクト(C部)	59	第2号機取水路
28	第2号機排気筒連絡ダクト(A部)		

2. 地下水位低下設備の耐震評価結果と屋外アクセスルートの浮上り評価結果 屋外アクセスルートの設計用地下水位

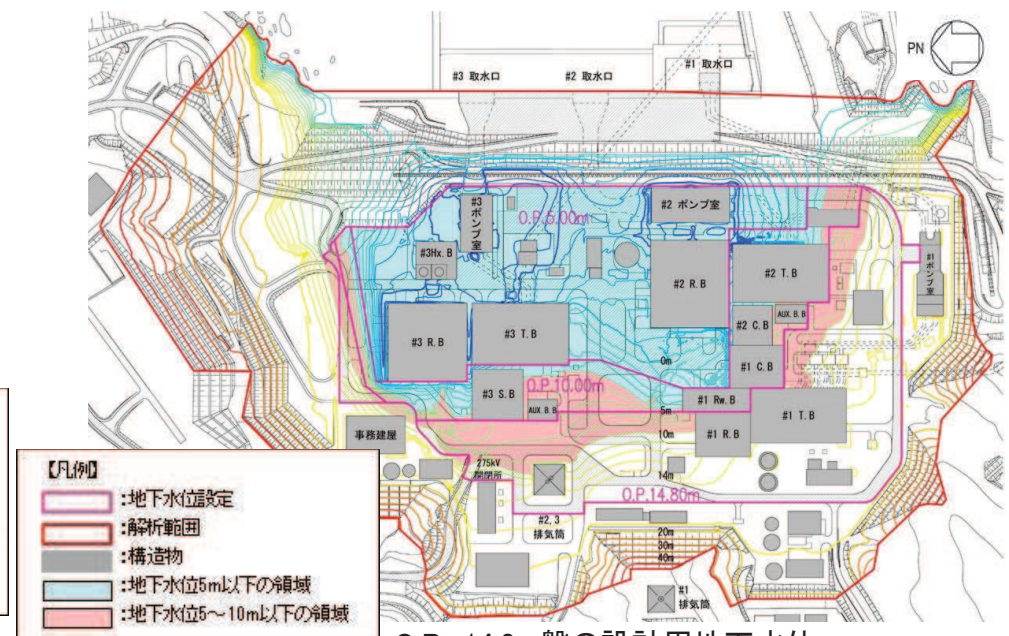
- 屋外アクセスルートの設計用地下水位は、①O.P.+14.8m盤、②防潮堤より海側のエリア、③その他のエリアに区分し地下水位を設定する。
- O.P.+14.8m盤の設計用地下水位は、第988回審査会合(令和3年7月6日)で説明のとおり、浸透流解析により、地下水位低下設備の機能喪失から2ヵ月後の水位上昇を考慮した地下水位分布に対して、エリア毎に設定した。

屋外アクセスルートの設計用地下水位の設定

エリア区分	設計用地下水位の設定	
	設置許可段階	詳細設計段階
① O.P.+14.8m盤	<ul style="list-style-type: none"> O.P.+5.0m 工事計画認可段階で行う浸透流解析結果を反映する 	<ul style="list-style-type: none"> 浸透流解析により設定 解析水位分布に応じて設計用地下水位をO.P.+5.0m, O.P.+10.0m, O.P.+14.8mの領域に設定
② 防潮堤より海側のエリア	<ul style="list-style-type: none"> O.P.+2.43m(朔望平均満潮位) 	<ul style="list-style-type: none"> 設置許可段階を踏襲
③ その他のエリア	<ul style="list-style-type: none"> 地表面 	<ul style="list-style-type: none"> 設置許可段階を踏襲



設計用地下水位のエリア区分



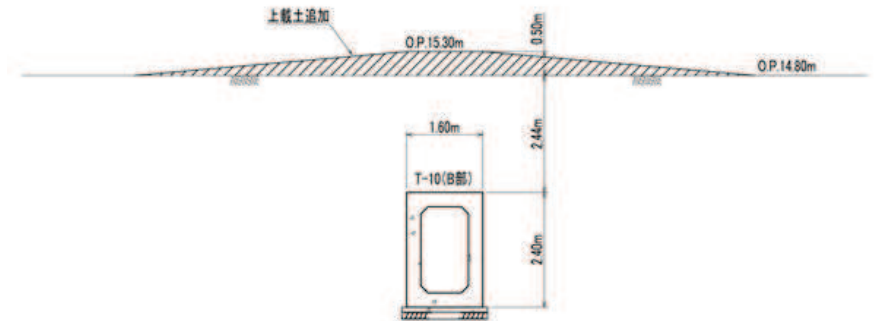
O.P.+14.8m盤の設計用地下水位

2. 地下水位低下設備の耐震評価結果と屋外アクセスルートの浮上り評価結果 浮上り評価結果

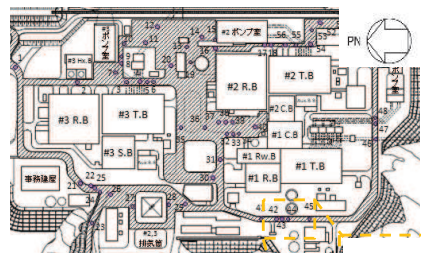
- トンネル標準示方書に基づく浮上り評価により、評価基準値を超過した3構造物について、一次元有効応力解析により詳細評価を実施した。
- T-10(B部)については、液状化が発生する結果となったことから、浮上り対策を実施する。浮上り対策として、屋外アクセスルートに高さ0.5mの上載土を施工する。浮上り対策として、屋外アクセスルートに高さ0.5mの上載土を施工する。対策後の浮上り安全率は、0.71であり、浮上りは発生しない。
- 2T-6(C部)及びT-10(A部)は液状化が発生しないことから、過剰間隙水圧比を考慮した浮上り安全率により、浮上らない評価結果を得た。

トンネル標準示方書に基づく浮上り評価において評価基準値1.0を超える構造物の評価結果

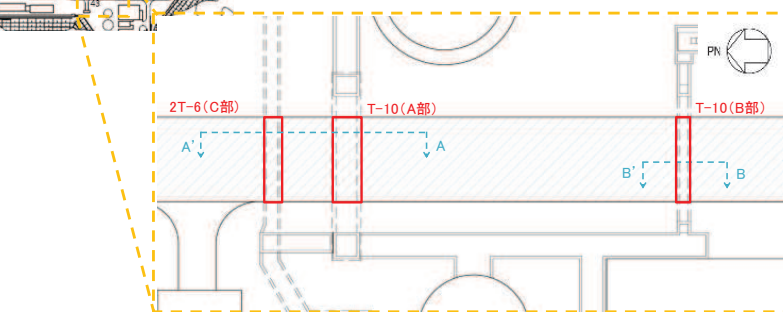
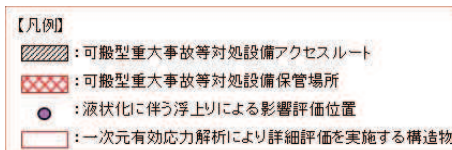
No.	名称	構造物底面 周辺の過剰 間隙水圧比	過剰間隙水圧 比を考慮した 浮上り安全率*	評価結果
42	2T-6(C部)	0.05	0.67	浮上りは発生しない
44	T-10(A部)	0.05	0.68	浮上りは発生しない
45	T-10(B部)	1.00	—	浮上り対策を実施



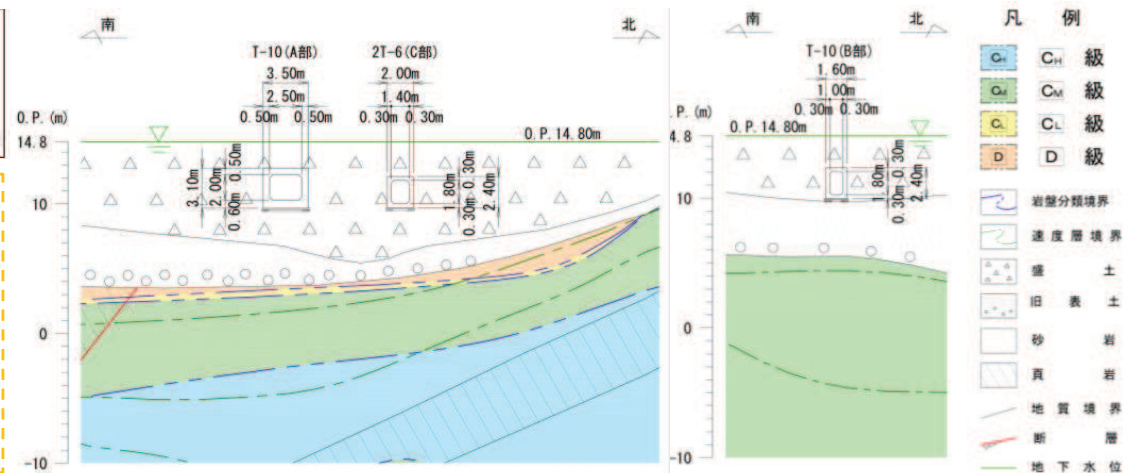
T-10(B部)における浮上り対策



注記*: 浮上りの評価フローを参考2に示す。



一次元有効応力解析により詳細評価を実施する構造物



A-A' 断面

B-B' 断面



■ 主な説明事項2-7

設置許可段階において、詳細設計段階における設計方針を説明しているCCb工法について、面内・面外荷重作用時の影響を数値実験の結果に基づき説明する。




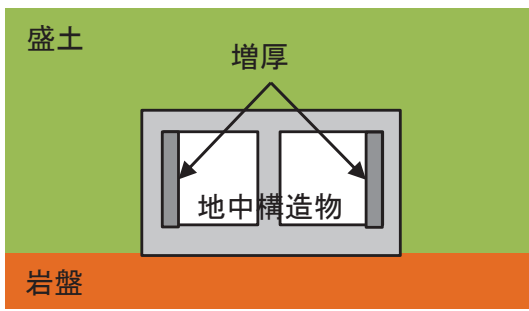
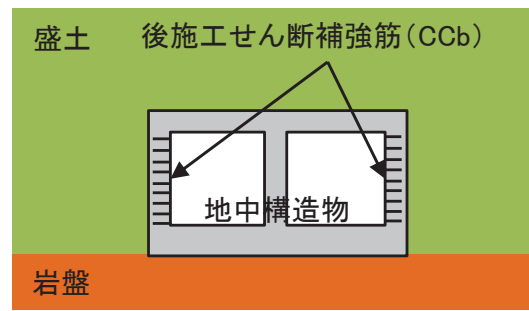
■ 説明要旨

- 後施工せん断補強筋工法(CCb工法, セラミックキャップバー工法)(以下, 「CCb工法」という。)は, 面外荷重(壁面に垂直に作用する荷重)に対する耐震裕度向上を目的に適用する。
- 面外荷重として土圧が作用する軽油タンク室の壁を対象とした数値実験により, 面内荷重(壁面に並行方向に作用する荷重)が重畳した場合の, CCb工法の効果への影響について検討した。
- 面外荷重を作用させた状態を模擬し, 次に面内荷重を面内せん断ひずみ 750μ まで載荷させたところ, CCbの軸力等への影響は生じなかった。(検証①)
- 面内荷重を面内せん断ひずみ 750μ まで作用させた状態を模擬し, 次に面外荷重を作用させたところ, 面外荷重のみを載荷した場合と同等のせん断耐力が確認できた。(検証②)
- 以上の2つの検証により, 面内せん断ひずみ 750μ までは面外荷重と面内荷重が作用しても, CCb工法の効果に影響が無いこと確認した。したがって, CCb工法の適用条件として, 面内せん断ひずみを 750μ に抑える方針とした。
- CCb工法に関連して, 室内模型実験によりディープビーム的な破壊形態を模擬し, 棒部材式によるせん断耐力より大きな耐力が得られることを確認している。(参考3参照)

3. 面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb工法の適用性 女川の土木構造物に対する耐震補強方法

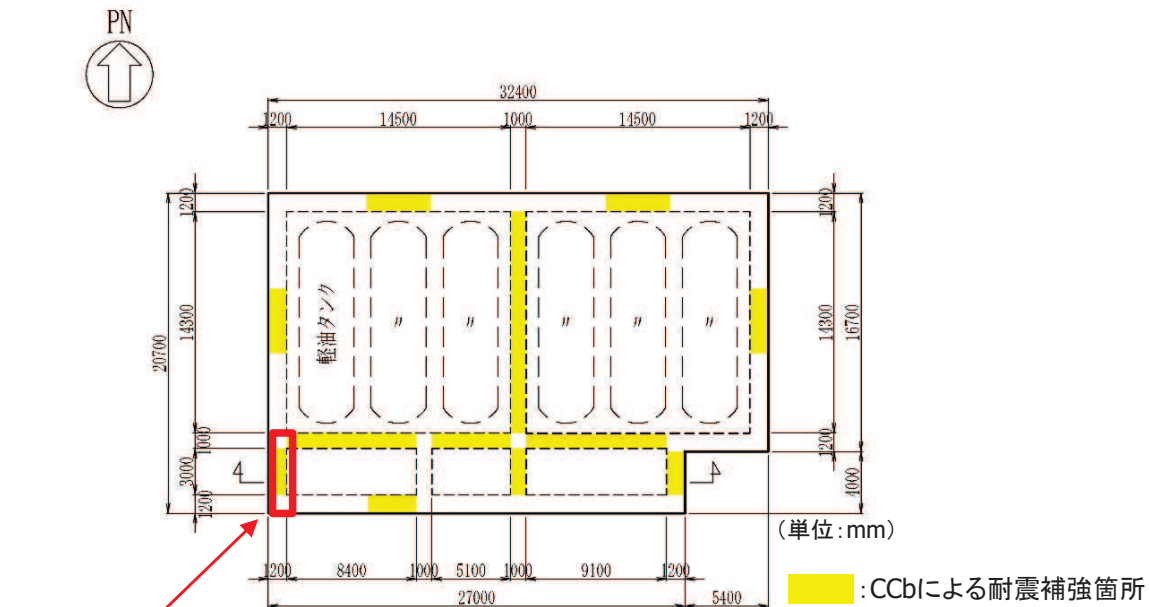
- 耐震裕度向上を目的に実施した耐震補強は、地盤改良、増厚補強、後施工せん断補強筋工法がある。
- 後施工せん断補強筋工法は、先行プラントにおいてPHb工法(ポストヘッドバー工法)の実績があるが、CCb工法は実績がないことから、設置許可段階において、面外荷重と面内荷重が作用する部材への適用性とディープビーム部材に対する室内模型実験を詳細設計段階で説明することとなっていた。

女川の土木構造物に対する耐震補強方法

	地盤改良	増厚補強	後施工せん断補強筋工法
概要	<p>セメントミルクを高圧攪拌することで、地中にセメント改良体を造成し、地盤の剛性を高めることにより、構造物側面の地盤の地震時の変形を抑制し、構造物に作用する土圧を低減する。</p> 	<p>既設の鉄筋コンクリート部材表面にコンクリートを追加することにより、断面厚さを増やし、地震時の曲げ変形を抑制する。また、せん断耐力の向上にも寄与する。</p> 	<p>既設の鉄筋コンクリート部材を削孔してせん断補強鉄筋を設置(後施工)し、部材のせん断耐力を向上する工法。 CCb工法は、付着性能を向上させるために、鉄筋端部にセラミックを付けている。</p> 
先行プラントでの実績	多くの先行プラントで採用されており、実績は多数ある。	玄海3号や柏崎6号で地中構造物に対する実績がある。	美浜3号や柏崎6/7号でPHb(ポストヘッドバー)工法の実績がある。 CCb工法とはせん断補強筋の形式が異なる。
女川2号機の設置許可審査での説明	特になし。	特になし。	PHb工法と同様にCCb工法の適用性・妥当性を説明。 詳細設計段階で、面内・面外荷重が作用する部材の数値実験とディープビーム部材の模型実験を実施し、CCb工法の適用性について説明することとした。

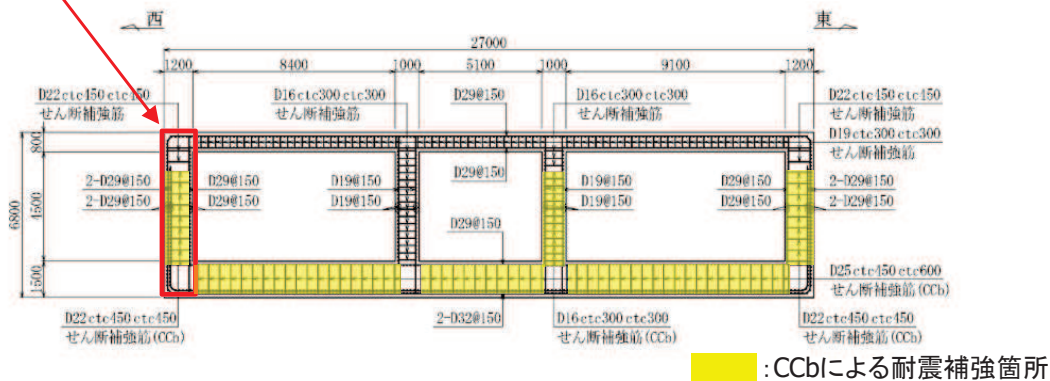
3. 面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb工法の適用性 数値実験の条件

- 数値実験の対象部材は、部材の全面にCCb工法を適用しており、かつ比較的大きな面外荷重として土圧が直接作用する軽油タンク室の側壁を対象とした。
- 設置許可段階に検討したCCbのモデル化方法に基づき、部材厚さ方向に3区間に分類して数値解析モデルを作成した。

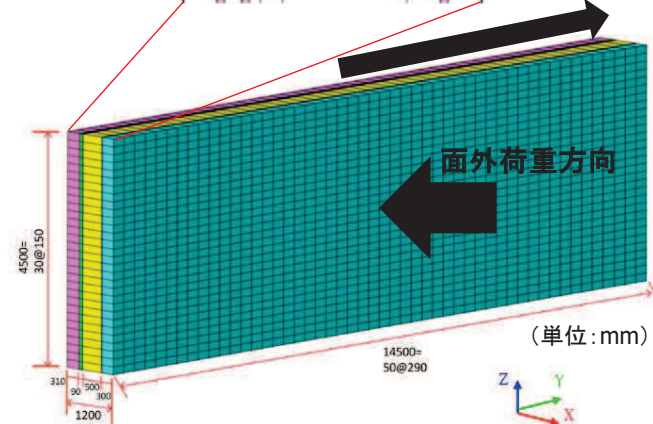
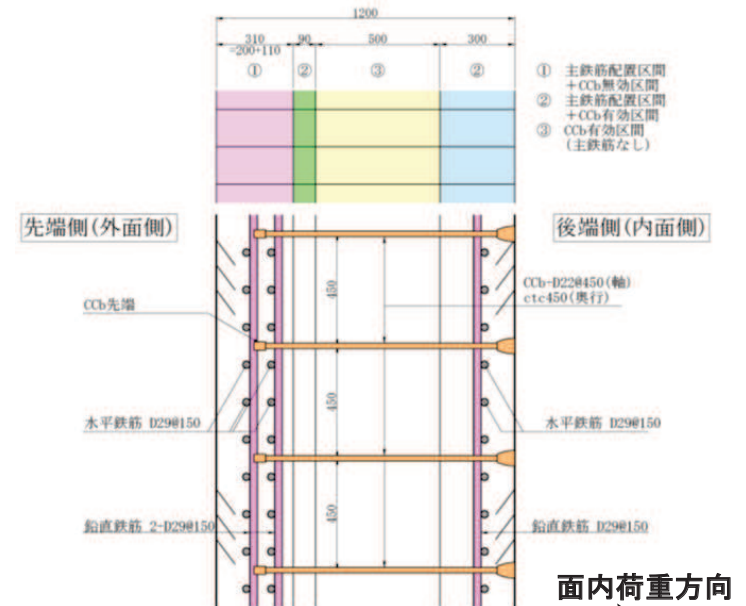


数値実験対象部材

軽油タンク室平面図とCcB補強箇所



軽油タンク室縦断面図とCcB補強箇所 (単位: mm)

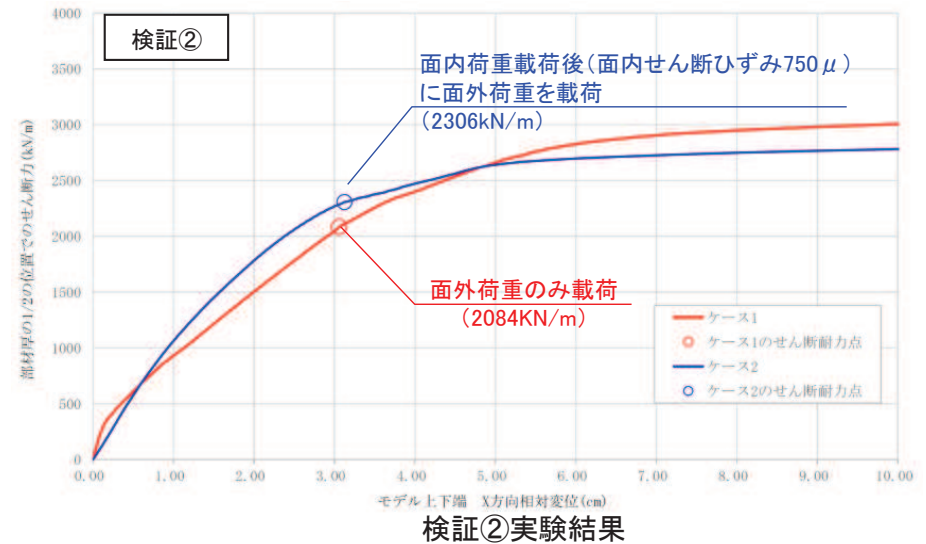
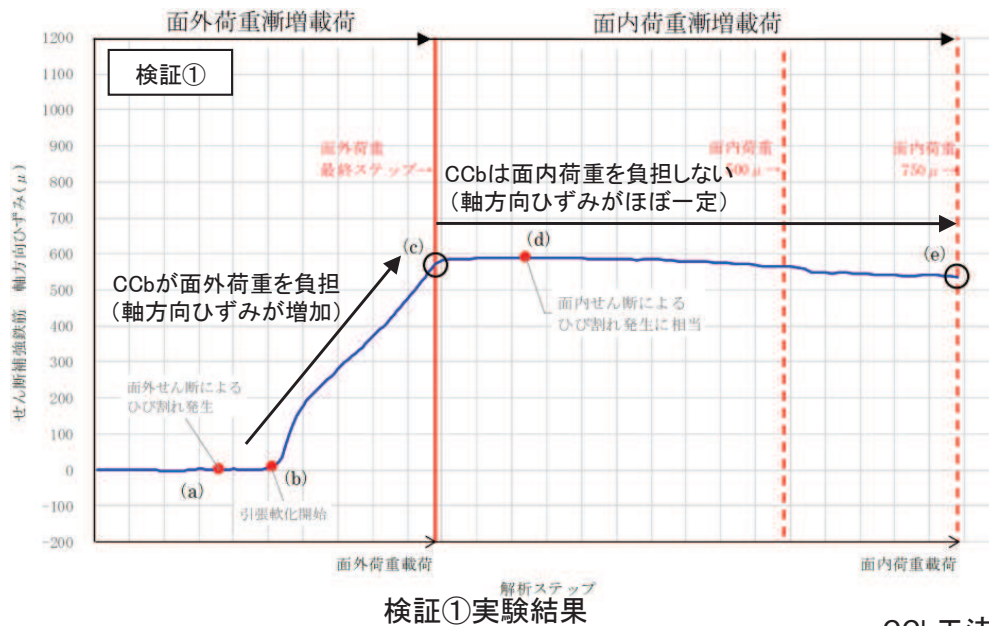


数値解析モデル

3. 面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb工法の適用性 数値実験の結果

- 数値実験は、面外荷重と面内荷重の载荷順序を考慮し、「検証①：面外荷重(ピーク時相当荷重*の80%程度)载荷後に面内荷重(面内せん断ひずみ 750μ)を载荷」と、「検証②：面内荷重(面内せん断ひずみ 750μ)载荷後に面外荷重载荷」の2ケースを実施した。
- 検証①の結果、面内せん断ひずみを作用させても、CCbが負担する荷重に変化は無く、面内荷重の影響が及ばないことを確認した。
- 検証②の結果、面外荷重のみを载荷したせん断耐力と同等の耐力を得たことから、面内荷重の影響が及ばないことを確認した。
- 数値実験の結果、面内荷重が作用しても、CCb工法の効果に影響は無いことが確認された。数値実験の結果を踏まえて、詳細設計段階においては、面外荷重と面内荷重が作用する部材については、面内せん断ひずみを 750μ に抑える設計とすることとした。

注記*：荷重漸増解析(荷重制御)による荷重-変位関係において、変位が急増するときの荷重



CCb工法の適用条件

No.	適用条件	備考
1	曲げひび割れの進展により鉄筋の定着が弱まる可能性を考慮し、CCb適用部材は おおむね弾性範囲 となるよう設計する。	設置許可段階に設定
2	ディープビーム形態の部材に対しても、せん断耐力は保守的に 棒部材形態のせん断耐力 を用いる。	同上
3	施工精度によるばらつきを考慮し、発生せん断力は、許容限界である せん断耐力のおおむね8割 に抑える。	同上
4	面外荷重と面内荷重が同時に作用する部材については、面内荷重により生じるひび割れの影響を考慮し、 面内せん断ひずみを750μに抑える 。	詳細設計段階で設定

■ 指摘事項No.1

3.11地震による護岸の水平変位を踏まえ、有効応力解析の妥当性及び液状化強度特性の保守性の検証結果を説明すること。

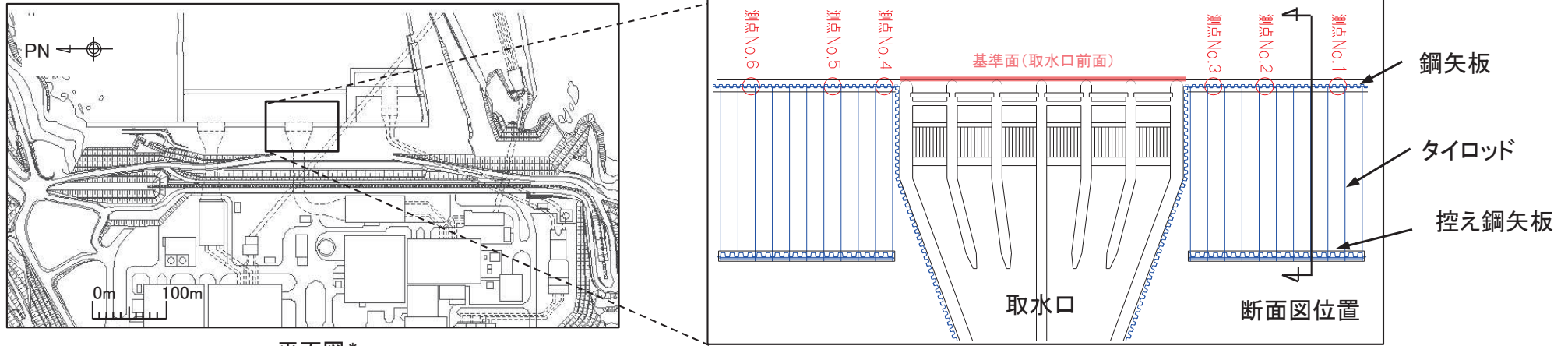


■ 回答1

- 2011年東北地方太平洋沖地震(以下、「3.11地震」という。)による取水口付近の液状化の痕跡は、地震後の津波の襲来により確認されていないが、液状化が原因と推察される変状として、取水口側面の矢板護岸の海側への変形が確認されている。
- 有効応力解析の妥当性の確認として、有効応力解析を用いて3.11地震に対する矢板護岸の検証解析を実施し、矢板護岸の変形を確認した。
- 検証解析の結果、地盤の液状化の影響により矢板護岸の変形が表現され、地震後に実測された変位の傾向を解析上表現できていることから、有効応力解析の妥当性を確認した。
- また、液状化強度特性を、液状化強度試験の下限値とした矢板護岸の変位量は、実測値を大きく上回ることから、耐震評価上、側方流動の影響を考慮する観点も踏まえ、女川の液状化強度特性の設定が保守性を有していることを確認した。

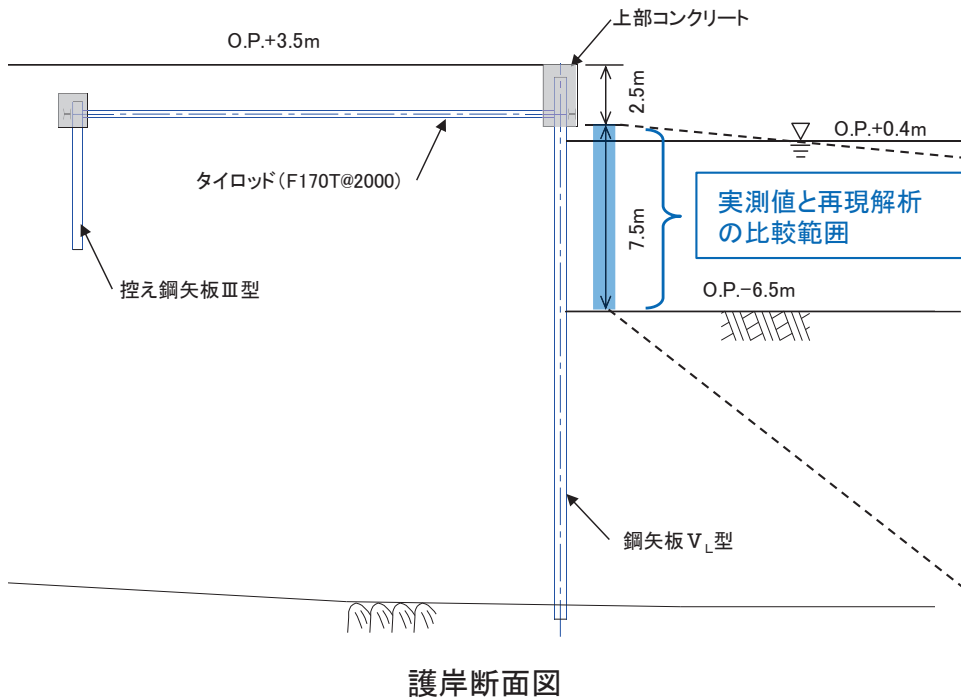
4. 有効応力解析の妥当性と液状化強度特性の保守性 護岸の水平変位実測値

➤ 3.11地震による取水口側面の矢板護岸の水平変位計測箇所及び水平変位量の実測値を以下に示す。

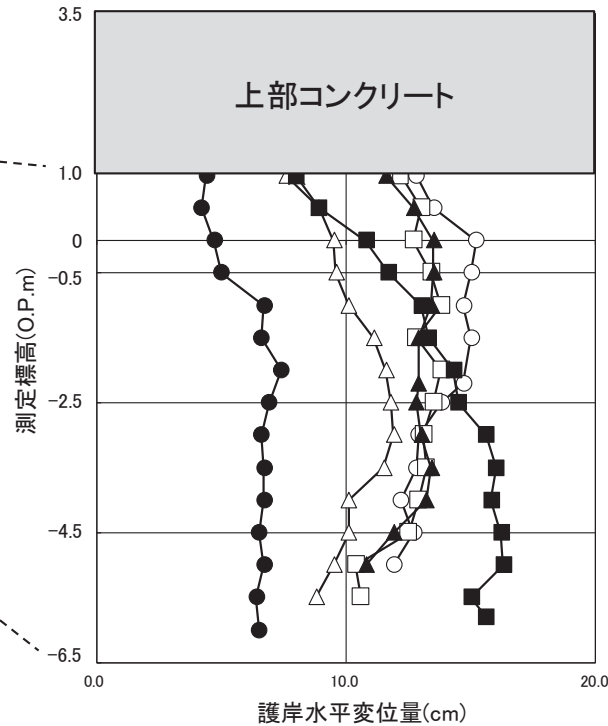


平面図*

注記*: 平面図は防潮堤を含めた安全対策工事完了後を示す



護岸断面図

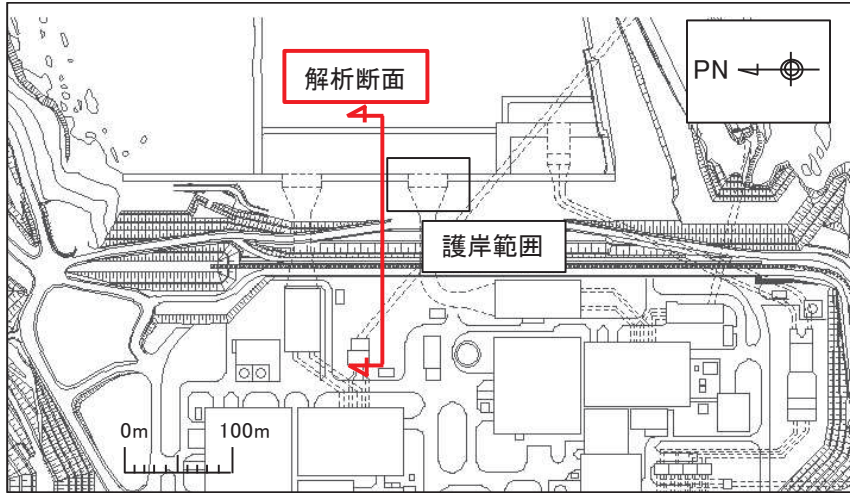


測定箇所	6箇所
測定結果	最大16.3cm (測点No.5)

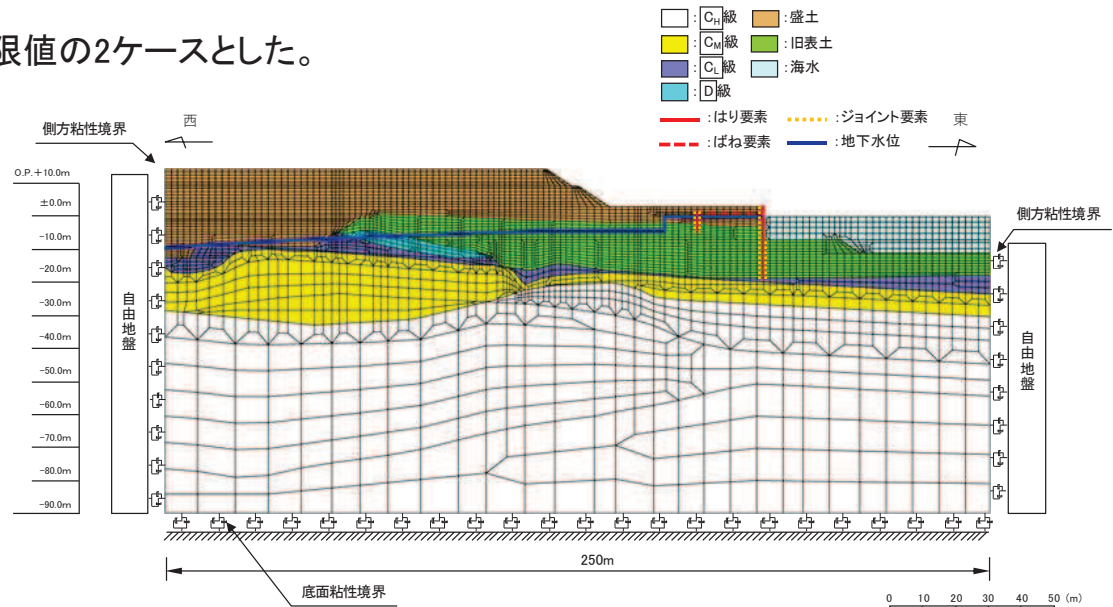


4. 有効応力解析の妥当性と液状化強度特性の保守性 検証解析条件

- 3.11地震の検証解析条件を以下に示す。
- 液状化強度特性は液状化強度試験結果の平均値及び下限値の2ケースとした。



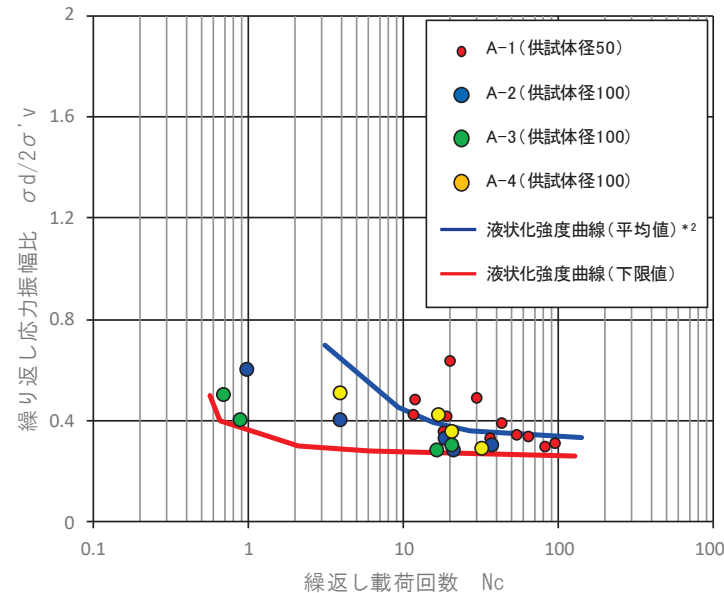
平面図*1



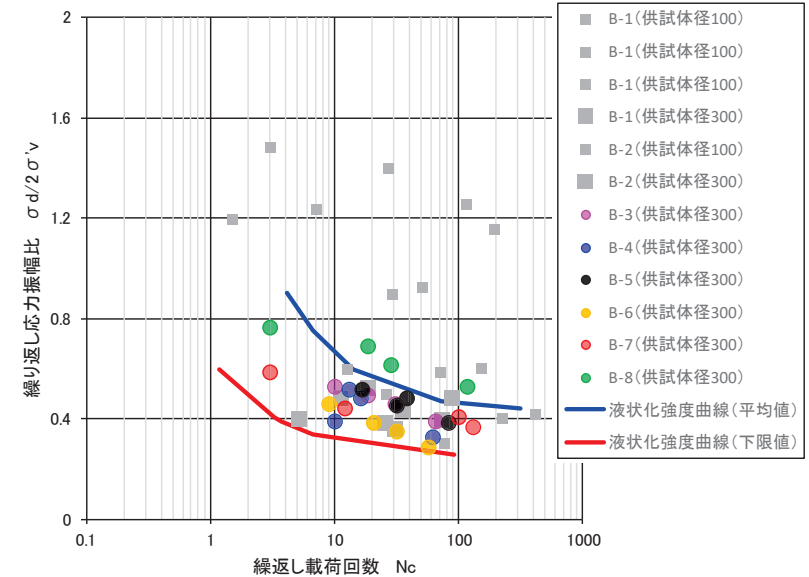
解析モデル(3.11地震時点での地質状況)

解析条件

項目	解析条件
解析断面	・ 取水口護岸近傍断面
対象地震動	・ 3.11地震観測波 (東西方向, 鉛直方向)
地下水位	・ 観測記録を基に設定
液状化強度特性	・ 平均値 ・ 下限値(工認設計の条件)



液状化強度特性(旧表土)



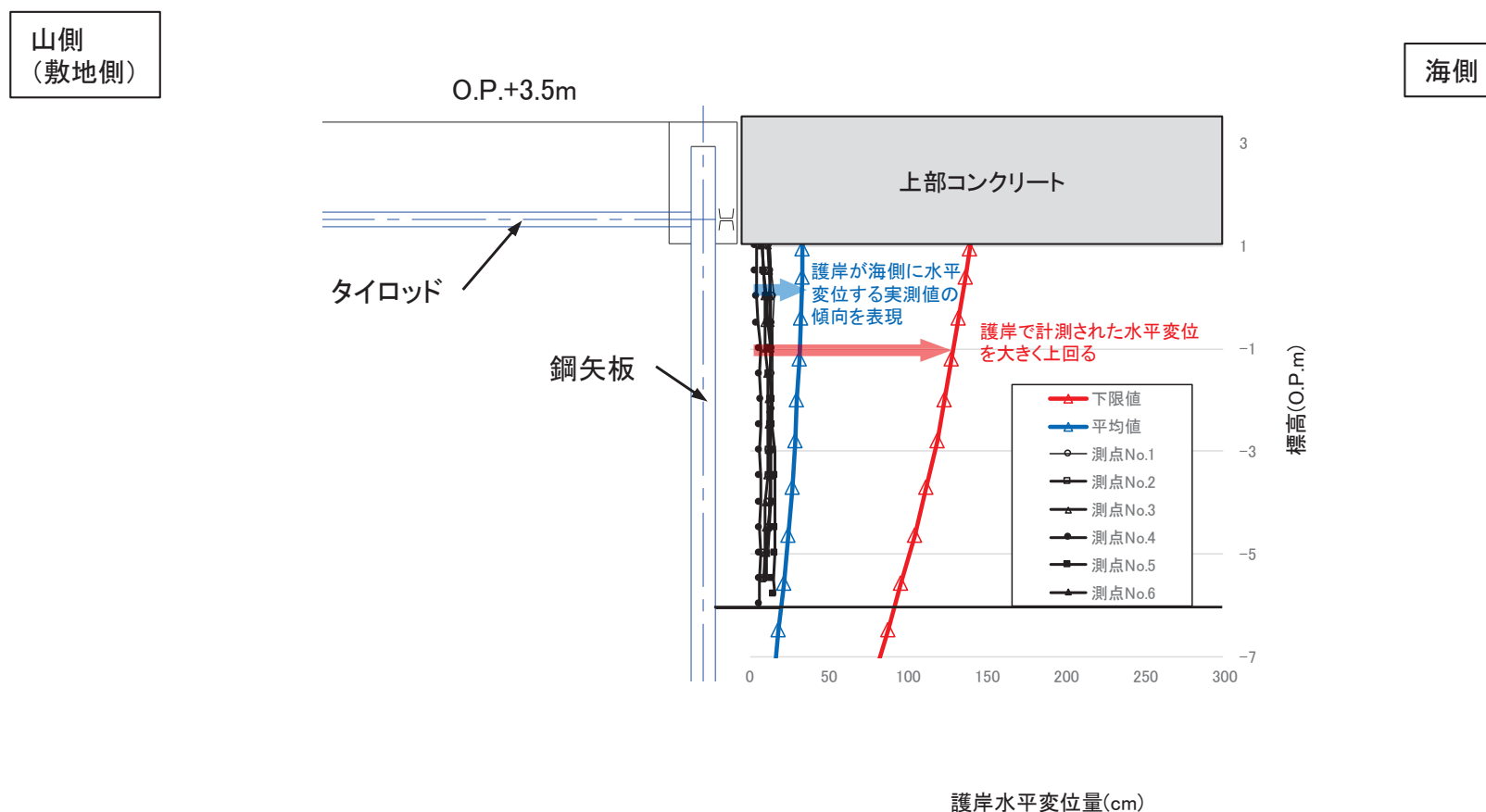
液状化強度特性(盛土)

注記*1: 平面図は防潮堤を含めた安全対策工完了後を示す

*2: 液状化強度特性平均値はA-1及びA-3供試体データより設定

4. 有効応力解析の妥当性と液状化強度特性の保守性 検証解析結果と実測値の比較

- 液状化強度特性を平均値としたケースにおいては、前面護岸が海側へ水平変位を生じる実測値の傾向を解析上で表現できていることから、有効応力解析を用いた評価は妥当であると判断した。
- 液状化強度特性を下限值としたケースにおいては、耐震評価上、側方流動の影響を考慮する観点において、前面護岸の残留水平変位実測値を大きく上回る結果が得られていることから、女川の液状化強度特性の設定(液状化強度試験の下限值)は保守的な設定であると判断した。



3.11地震の検証解析結果と護岸の水平変位実測値の比較

■ 指摘事項No.2

解析手法選定フロー④における液状化等の影響を受けないことを定量的に確認できた施設について、影響を受けなかった要因を分析した上で、評価結果を説明すること。

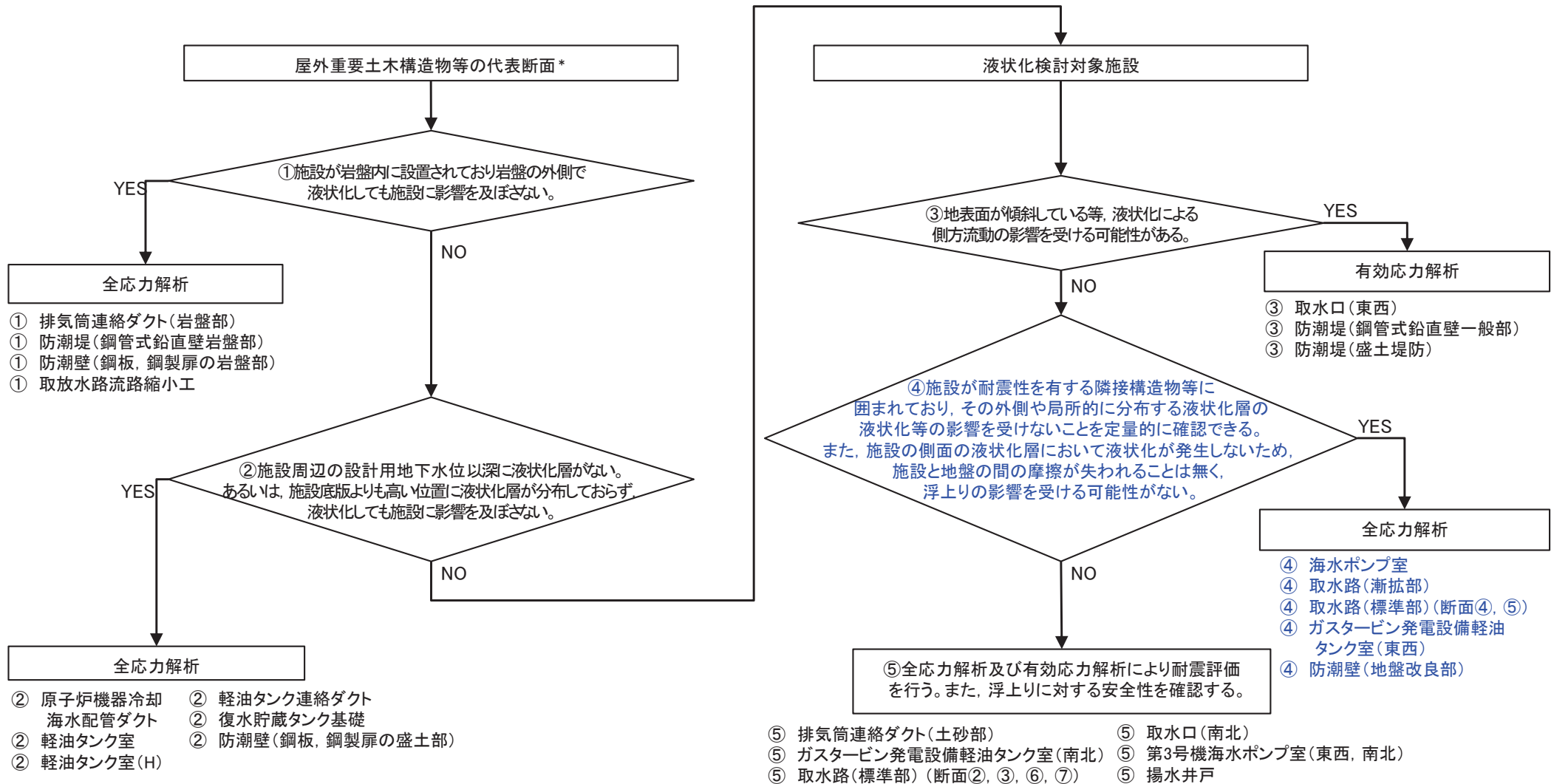
**■ 回答2**

- 解析手法選定フロー④の施設のうち、評価断面に地表面の傾斜が含まれることで、液状化による側方流動の影響が考えられ、かつ、施設周辺に液状化検討対象層が局所的に分布している海水ポンプ室を代表として、液状化の影響に対する定量的な確認内容を説明する。
- 防潮堤を対象とした二次元有効応力解析の結果を引用し、海側護岸(O.P.+3.5m盤)が液状化して地表面の傾斜部にも残留変位が生じるものの、海水ポンプ室が設置されているO.P.+14.8m盤には影響が及ばないことを確認した。
- 海水ポンプ室近傍の盛土地点(O.P.+14.8m盤)に対する一次元有効応力解析の結果、液状化は発生しないことから、海水ポンプ室が地盤の液状化の影響や浮上りの影響を受ける可能性がないことを確認した。
- したがって、海水ポンプ室には地盤の液状化の影響が及ばず、全応力解析による耐震評価が可能であると判断した。
- 海水ポンプ室周辺の盛土が液状化しない要因については、締固め度の高い密詰め状態であり、繰返し荷重に対する有効応力の減少が少しずつしか進まないことや、地下水位低下設備により地下水位が下げられており、液状化対象層の上載土圧が大きく有効拘束圧が大きいことから、液状化抵抗が大きいことが原因と推察した。

5. 解析手法選定フロー④の施設に対する液状化影響の定量評価結果 解析手法の選定フロー

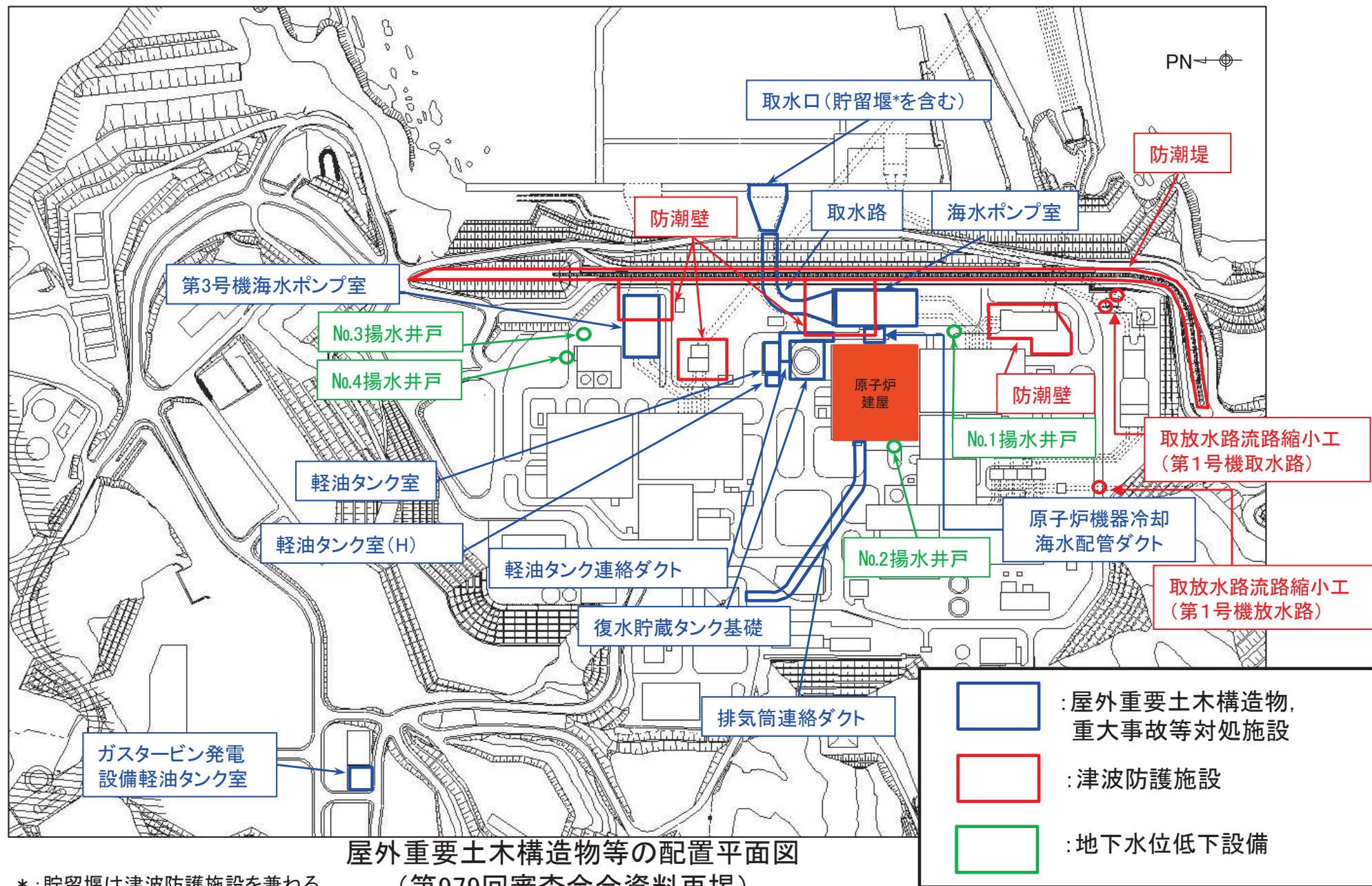
- 第979回審査会合において、地盤の液状化が施設の耐震性に影響を及ぼす可能性のある断面は有効応力解析を採用することとし、解析手法の選定フローにより耐震評価断面毎の解析手法を選定した。
- 本章では、解析手法の選定フロー④の構造物に対し、液状化等の影響を受けないことを定量的に確認し、全応力解析で耐震評価可能と判断した内容について説明する。

解析手法の選定フロー
(第979回審査会合資料再掲)



5. 解析手法選定フロー④の施設に対する液状化影響の定量評価結果 屋外重要土木構造物等配置平面図

➤ 屋外重要土木構造物等の配置平面図を以下に示す。



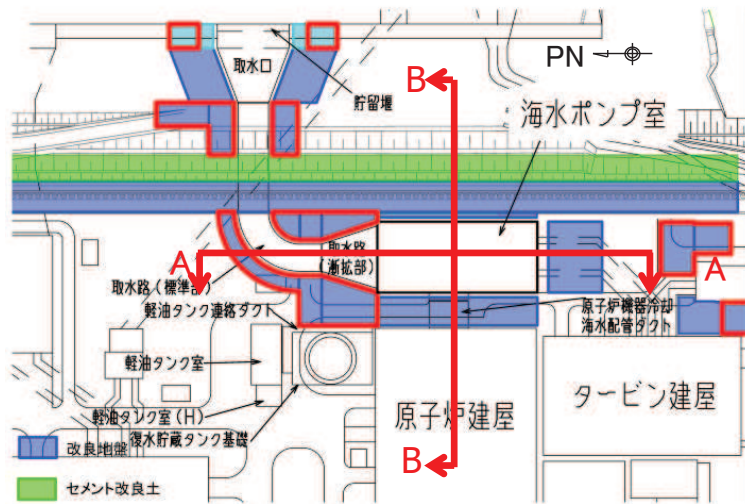
屋外重要土木構造物等の配置平面図

(第979回審査会合資料再掲)

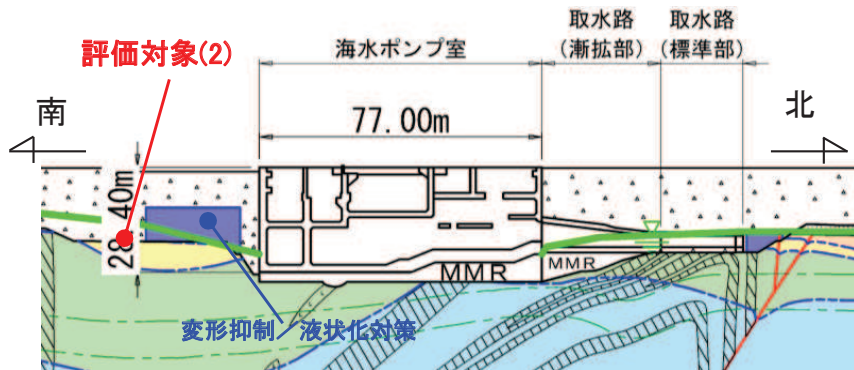
注記 * : 貯留堰は津波防護施設を兼ねる。

5. 解析手法選定フロー④の施設に対する液状化影響の定量評価結果 液状化影響の評価対象

- 解析手法選定フロー④の施設のうち、海水ポンプ室の評価断面には以下の2項目の液状化に対する評価対象が含まれることから、海水ポンプ室を代表として説明する。
- 評価対象(1): 海水ポンプ室の横断面には地表面の傾斜があり、液状化により傾斜が側方流動し、海水ポンプ室に影響が及ぶ可能性がある。
- 評価対象(2): 海水ポンプ室近傍の局所的な盛土が液状化し、海水ポンプ室の地震応答や浮上りに影響を及ぼす可能性がある。

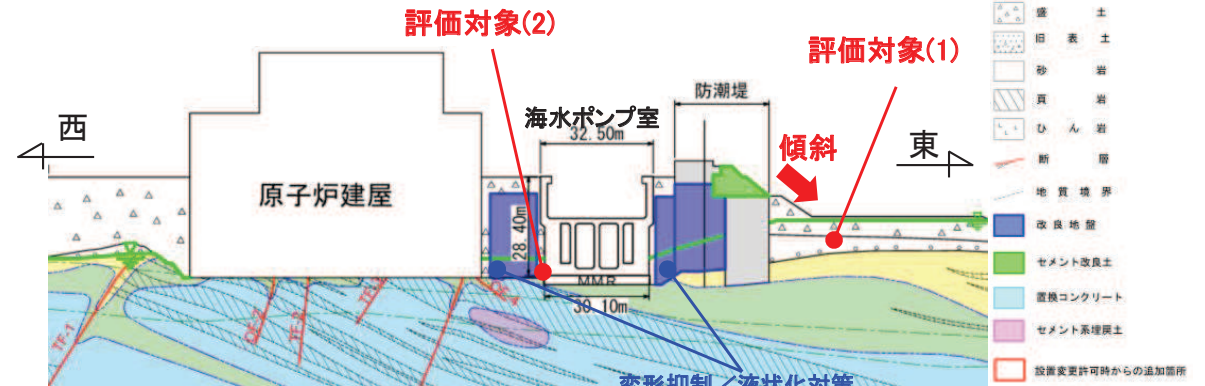


海水ポンプ室の配置図と地盤改良範囲



縦断面(A-A断面)

液状化影響の評価対象	
	液状化による影響
評価対象(1)	海側護岸(O.P.+3.5m盤)の盛土・旧表土が液状化し、傾斜部が側方流動すると、防潮堤等の変形が海水ポンプ室に及ぶ可能性がある。
評価対象(2)	海水ポンプ室近傍の局所的な盛土が液状化し、海水ポンプ室の地震時応答や浮上りに影響が及ぶ可能性がある。



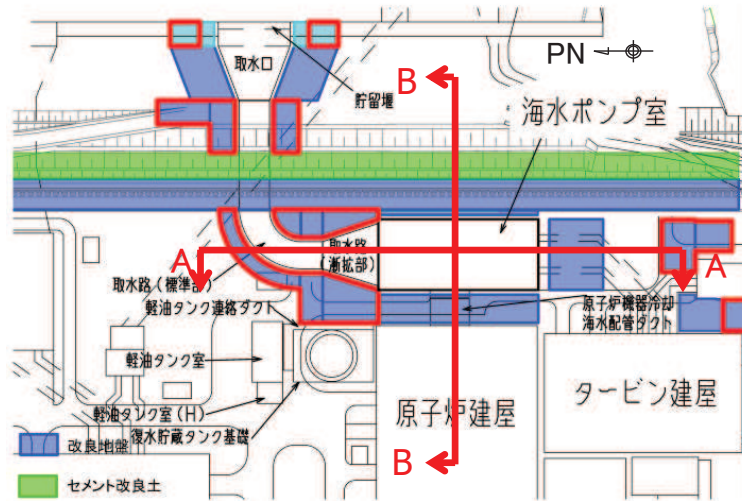
横断面(B-B断面)

凡例

- B B級
- C₁ C₁級
- C₂ C₂級
- D C₁級
- D D級
- 層別境界
- 速度層境界
- 盛土
- 旧表土
- 砂
- 岩
- 頁岩
- ひん岩
- 断層
- 地質境界
- 改良地盤
- セメント改良土
- 置換コンクリート
- セメント系埋戻土
- 設置変更許可時の追加箇所
- 地下水位

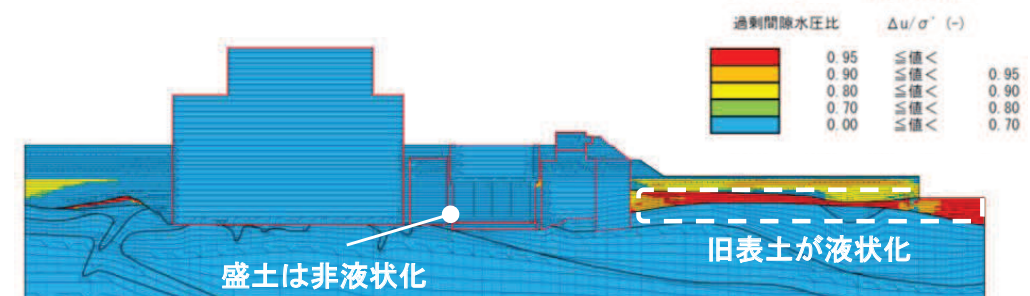
5. 解析手法選定フロー④の施設に対する液状化影響の定量評価結果 評価対象(1)の評価結果

- 評価対象(1)であるO.P.+3.5m盤の液状化の影響を確認するため、防潮堤を対象とした海水ポンプ室を通るB-B断面の有効応力解析結果を引用する。
- O.P.+3.5m盤では、旧表土が液状化し、残留変位が認められたが、海水ポンプ室が設置されるO.P.+14.8m盤では、残留変位が認められず、O.P.+3.5m盤の液状化の影響は及ばないと判断した。



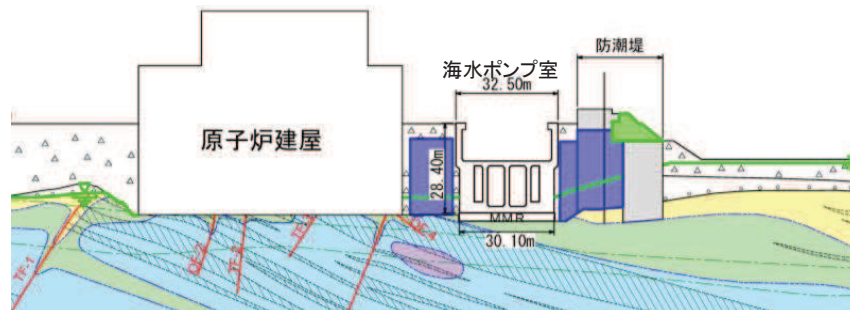
解析断面位置図(B-B断面)

海水ポンプ室及び原子炉建屋を簡易にモデル化したB-B断面の有効応力解析による過剰間隙水圧比分布では、傾斜部の下方を含むO.P.+3.5m盤の旧表土が液状化している。
海水ポンプ室近傍の盛土は液状化していない。

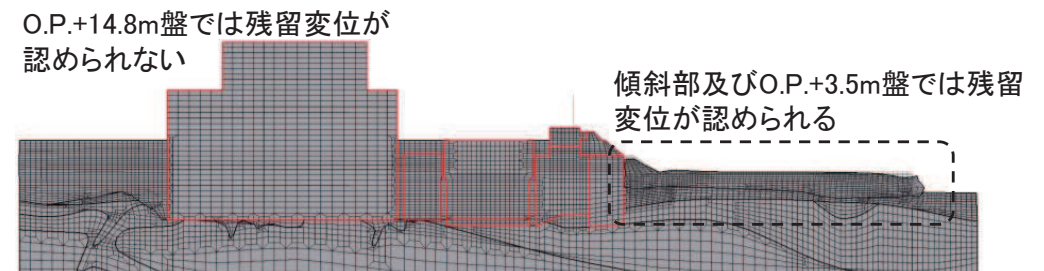


注記: O.P.+14.8m盤の地下水位は保守的にO.P.+2.43mとしている。

B-B断面の最大過剰間隙水圧比分布(Ss-D1(++))



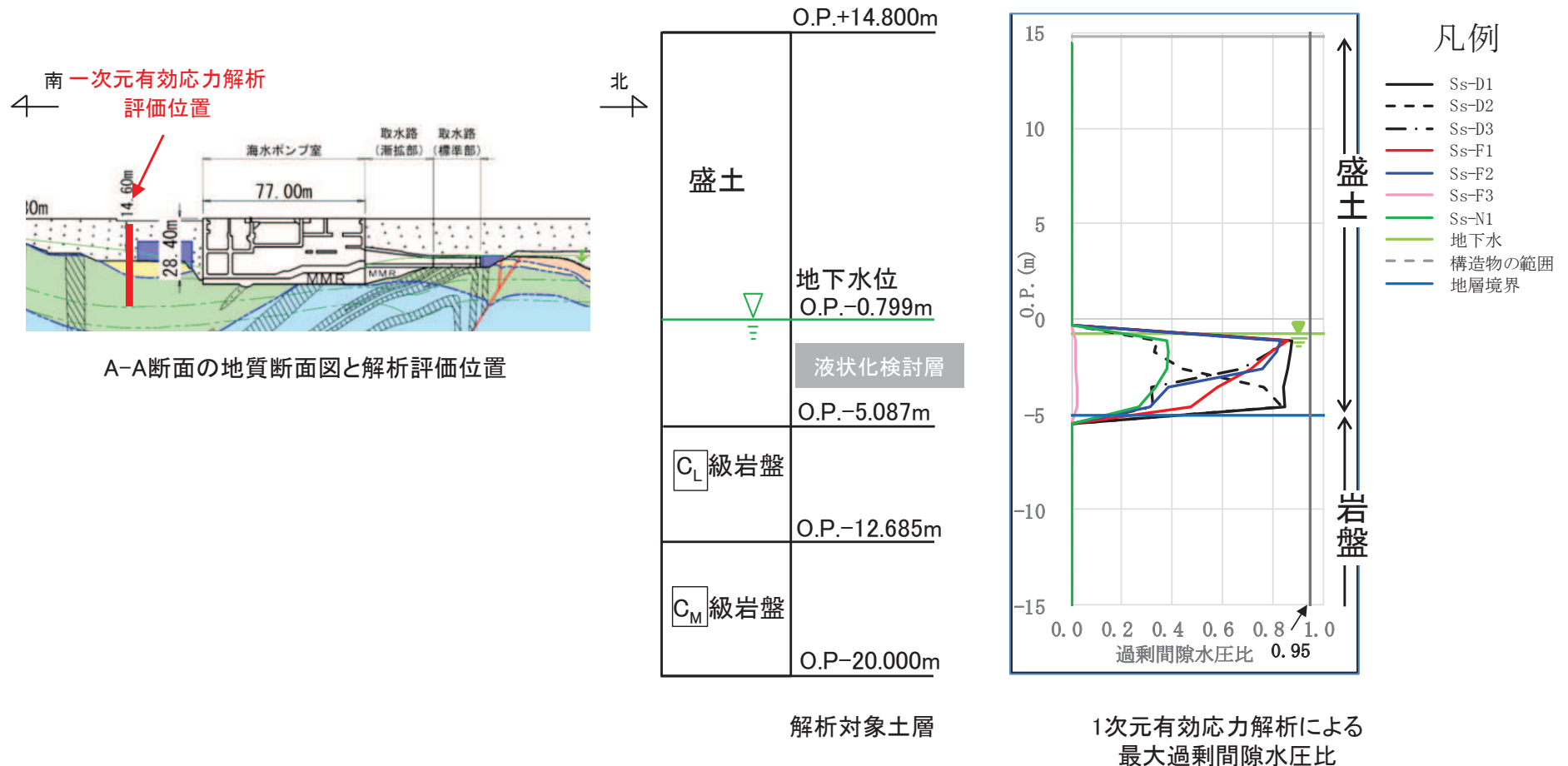
B-B断面の地質断面図



B-B断面の残留変形図(Ss-D1(++) , 変形倍率2倍)

5. 解析手法選定フロー④の施設に対する液状化影響の定量評価結果 評価対象(2)の評価結果

- 評価対象(2)のうち海水ポンプ室側面の盛土は、前頁の有効応力解析の結果において、液状化は認められなかった。
- 海水ポンプ室側面より地下水位が高く、液状化しやすいと考えられる海水ポンプ室南側の盛土を対象に、地盤の応答が保守的に評価される一次元有効応力解析を実施した結果、液状化は発生しない結果が得られた。
- したがって、海水ポンプ室近傍の評価対象(2)の盛土は液状化せず、海水ポンプ室の耐震性や浮上りに影響を及ぼさないと判断した。
- 評価対象(1)及び(2)の結果、液状化検討対象層は、地震時に海水ポンプ室に液状化による影響を与えないことから、海水ポンプ室の耐震評価は、全応力解析で実施できると判断した。



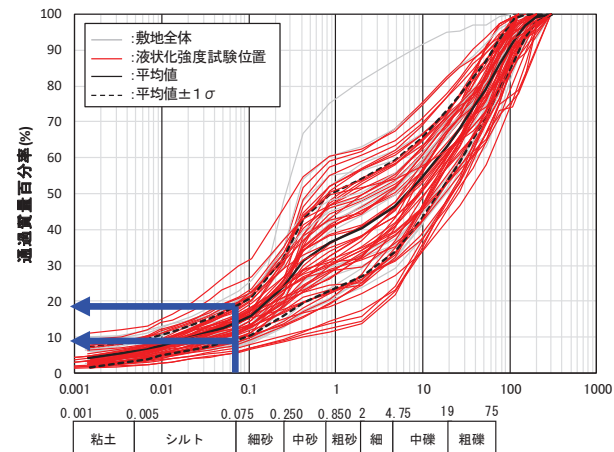
5. 解析手法選定フロー④の施設に対する液状化影響の定量評価結果

O.P.+14.8m盤の盛土が液状化しない要因

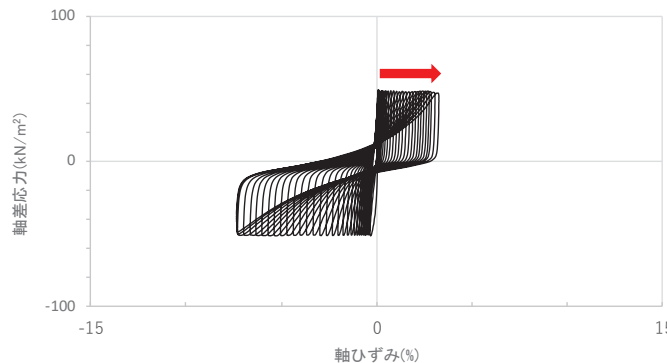
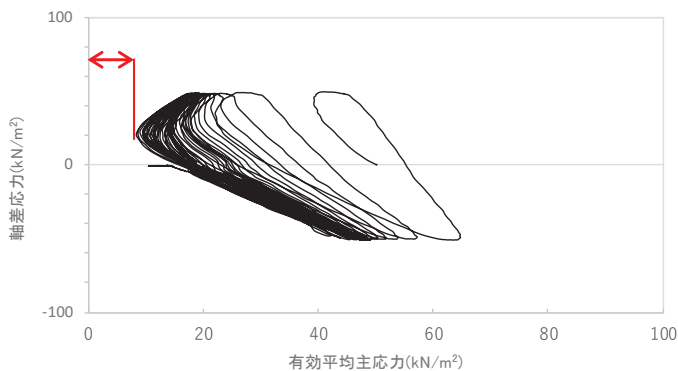
- 海水ポンプ室近傍のO.P.+14.8m盤の盛土が液状化しない要因について、考察を行った。
- 盛土は施工管理により密詰め地盤となっており、繰返し荷重に対して、有効応力が少しずつしか低下しないこととや、地下水位低下設備により地下水位が低下しており、有効拘束圧が大きいことから、液状化抵抗が強いことが、液状化が発生しない要因と推察される。

O.P.+14.8m盤の盛土の液状化特性

- 締固め度90%以上の密詰め地盤
- 液状化強度試験では繰返し载荷を受けても、有効平均主応力が少しずつしか低下せず、ゼロにはならない。かつ、せん断を受けるとサイクリックモビリティを示す。
- 地下水位低下設備により地下水位が低下しており、液状化対象層の拘束圧(上載土圧)が大きい。
- 粘土やシルト等の細粒分を8-18%含む。
- 液状化強度試験の結果、液状化強度が大きく、累積損傷度理論に基づく基準地震動 S_s により発生するせん断応力レベルは、液状化強度に達しない。



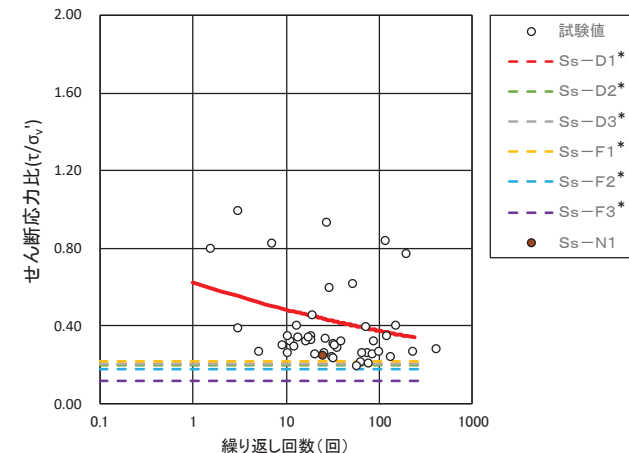
粒径加積曲線*



繰返し荷重を载荷しても、有効応力がゼロになることはなく、液体状になることはない。また、せん断応力(軸差応力)作用時に、有効応力は回復し、ねばり強い挙動を示す。

ひずみは徐々に大きくなるが、急に増大しないため、脆性的な破壊は生じず、ねばり強い挙動を示す。

液状化強度試験の結果*



累積損傷度理論に基づくせん断応力レベルと液状化強度曲線 (O.P.+14.8m盤の盛土層)

注記* : 第979回審査会合(令和3年6月1日)資料再掲

6. 解析手法選定フロー⑤の施設に対する 補強効果を踏まえた耐震評価結果及び浮上り評価結果

■ 指摘事項No.3

解析手法選定フロー⑤で示す施設について、地盤改良及び後施工せん断補強筋等の効果を踏まえた耐震評価の結果並びに浮上りの評価及び地下水位が低い場合の影響評価の結果を説明すること。

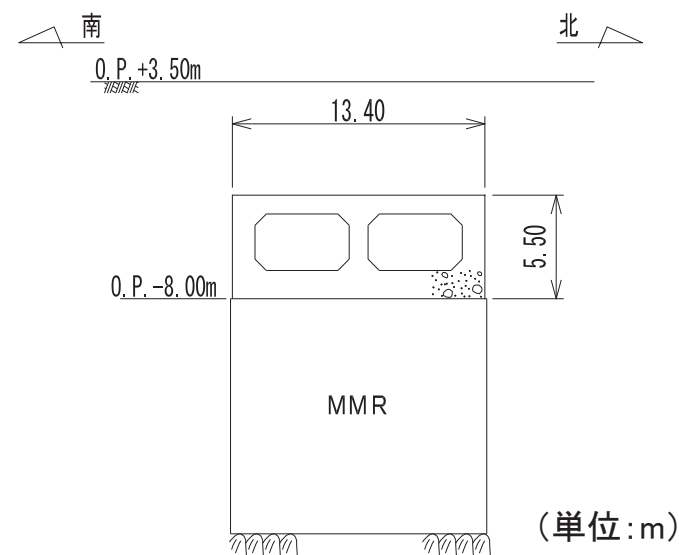
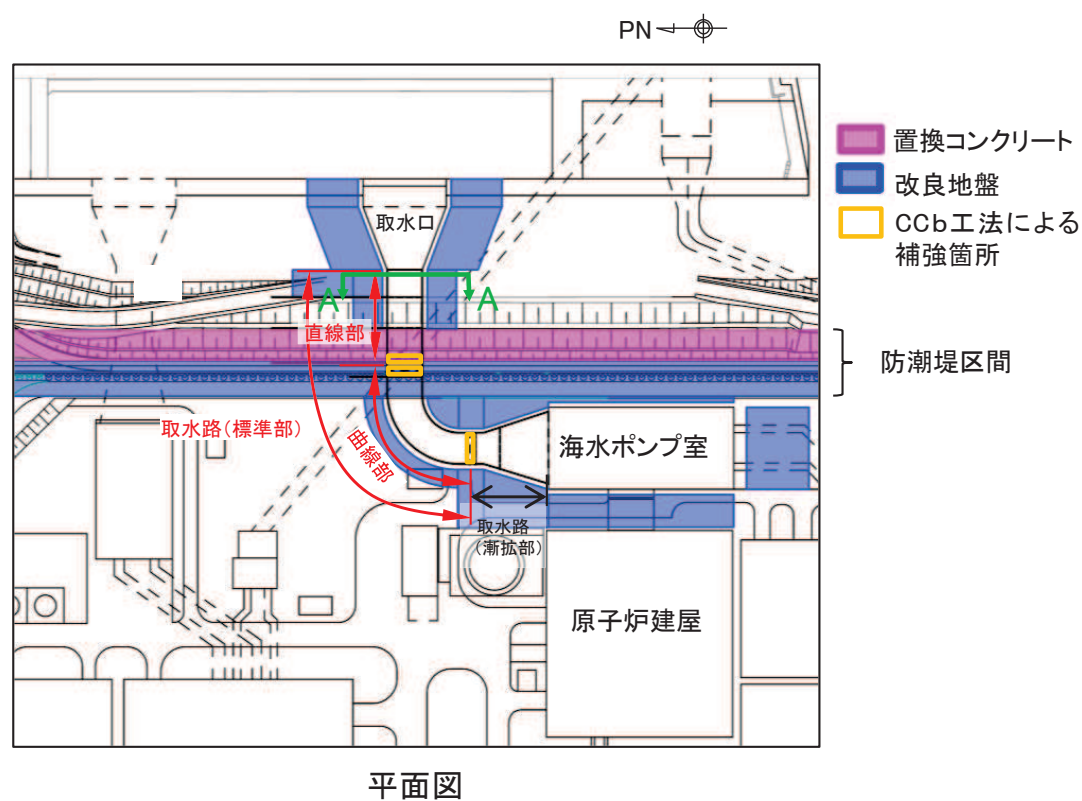


■ 回答3

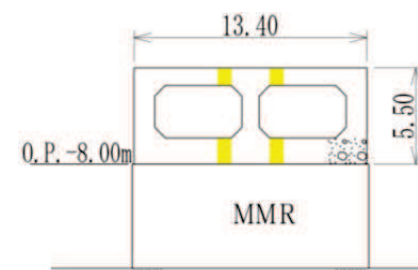
- 解析手法選定フロー⑤の施設のうち、改良地盤及びCCb工法による補強を実施していて、構造が比較的単純な取水路(標準部)を代表として、補強の効果を踏まえた耐震評価結果を説明する。
- 取水路(標準部)の耐震評価の結果、改良地盤外側の旧表土が液状化したが、全応力解析と有効応力解析の照査値は同等の結果となり、いずれも取水路の要求機能を満足する結果となった。照査値が同等となったことから、改良地盤が有効に機能し、施設に液状化の影響が及ばないことが確認できた。また、CCb工法適用部材についても、適用条件を満足することを確認した。
- 浮上りの評価については、周囲に地盤改良がなく、土被り厚の小さい部分を含む排気筒連絡ダクト(土砂部)を代表として説明する。
- 排気筒連絡ダクト(土砂部)は、地下水位以深の盛土が液状化し抵抗力を失うと仮定しても、浮上りに対する安全性が確保できる結果となった。なお、有効応力解析の結果、排気筒連絡ダクト(土砂部)の側面において液状化は発生しないことを確認している。
- 地下水位が低い場合の影響評価については、次章で他の施設と合わせて説明する。

6. 解析手法選定フロー⑤の施設に対する 補強効果を踏まえた耐震評価結果及び浮上り評価結果 構造及び耐震補強の概要

- 取水路(標準部)は、取水口と取水路(漸拡部)を結ぶ鉄筋コンクリート造二連ボックスカルバート構造で延長方向に断面が一様な地中構造物であり、直線部(取水口～防潮堤)と曲線部(防潮堤～取水路(漸拡部))から構成され、いずれも直接又はMMR を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。
- 通水機能は全部材に、貯水機能は貯留堰天端標高(O.P.+5.30m)以下の側壁及び底版に要求される。
- 地盤改良やCCb工法の耐震補強の効果を踏まえた耐震評価結果として、比較的単純な構造である直線部を代表として説明する。

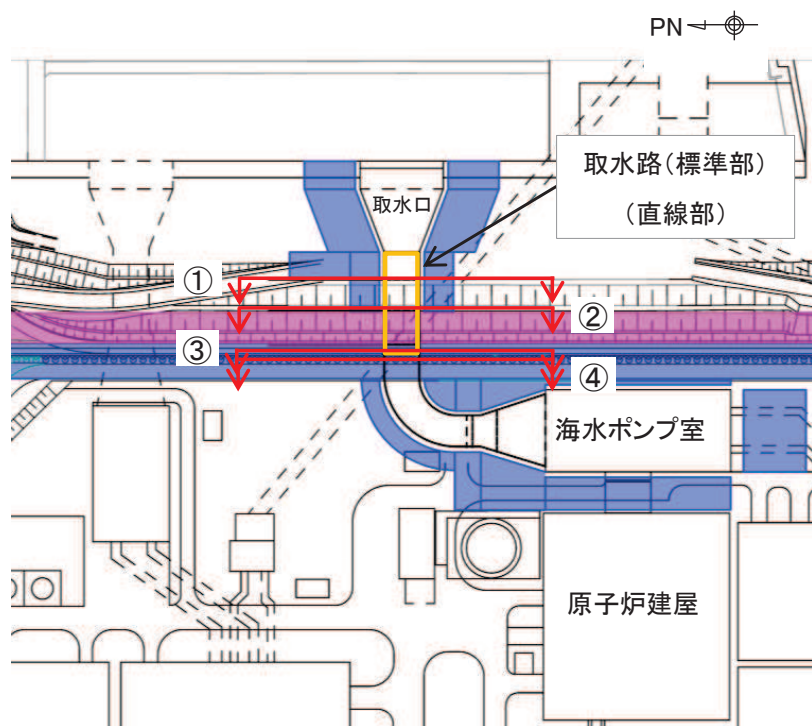


A-A断面(構造図)

CCb工法による耐震補強箇所
(直線部)

6. 解析手法選定フロー⑤の施設に対する 補強効果を踏まえた耐震評価結果及び浮上り評価結果 構造及び耐震補強の概要(改良地盤)

- 取水路の側面は、断面①及び断面②に示すとおり、地盤の変形抑制及び液状化対策を目的として地盤改良を行っている。
- 断面③及び断面④は、防潮堤直下の断面であり、取水路の周囲は、防潮堤の置換コンクリートや改良地盤で囲まれており、液状化が発生するおそれは無い。

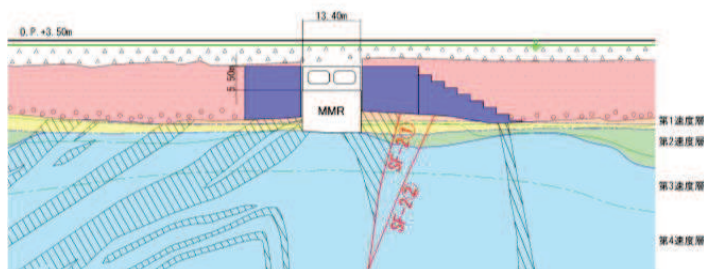


平面図

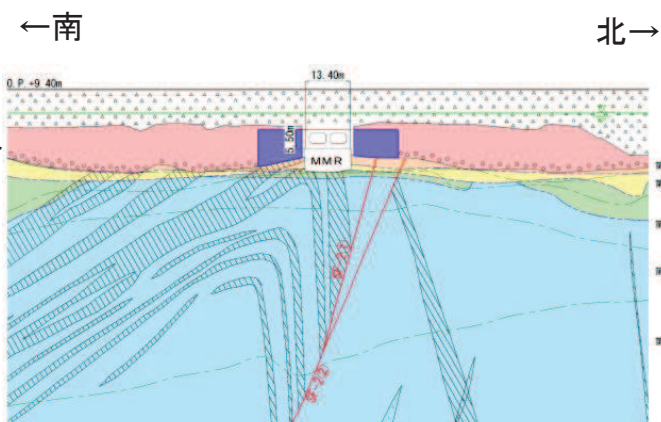
置換コンクリート
改良地盤

防潮堤区間

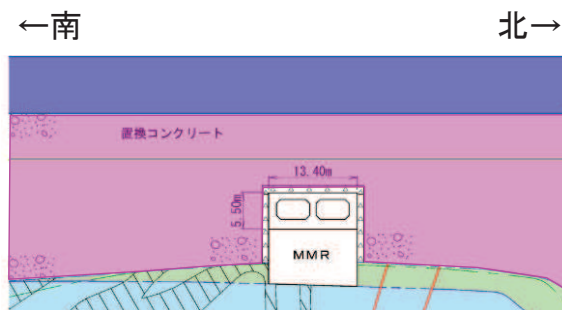
←南 北→



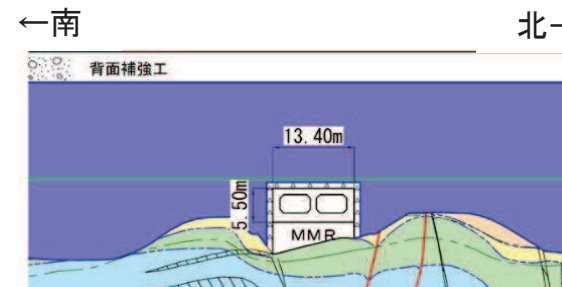
断面①



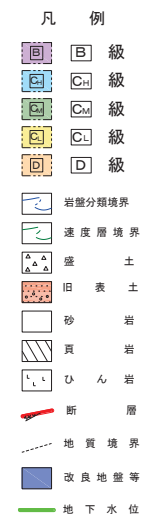
断面②



断面③

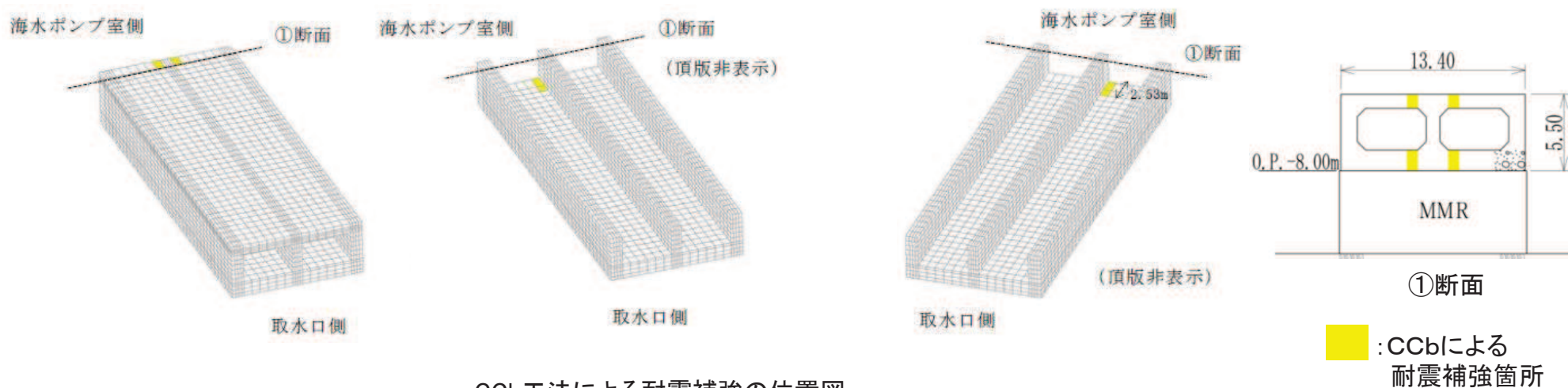


断面④



6. 解析手法選定フロー⑤の施設に対する 補強効果を踏まえた耐震評価結果及び浮上り評価結果 構造及び耐震補強の概要

- せん断破壊に対する耐震補強として、直線部の一部の区間*（直線部と曲線部の境界付近）において、CCb工法を適用した。

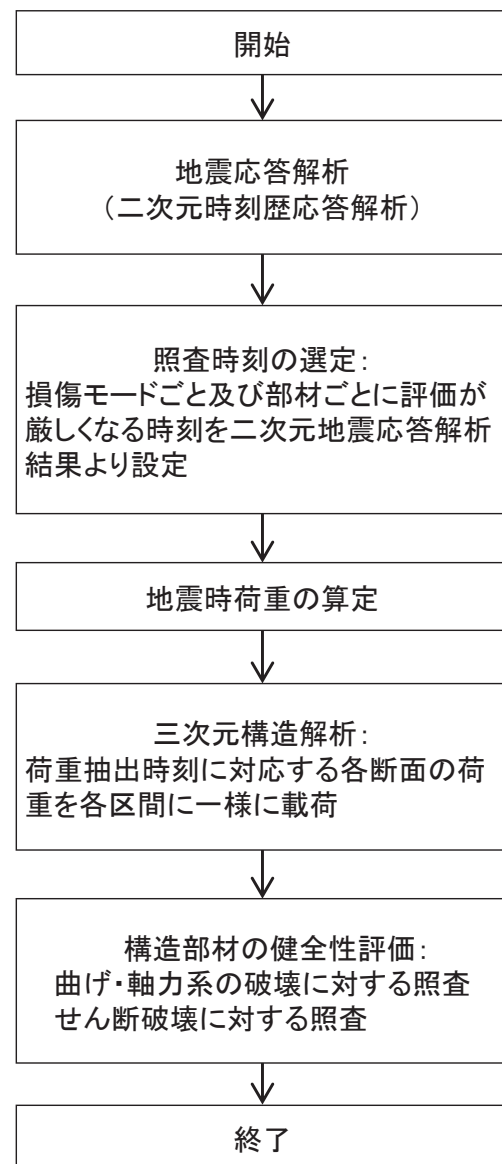





CCb工法による耐震補強の位置図

注記*： 構造細目に則り、計算上、CCb補強が必要となる区間の外側にも、部材の有効高さ分の範囲にCCbを配置する。

6. 解析手法選定フロー⑤の施設に対する 補強効果を踏まえた耐震評価結果及び浮上り評価結果 耐震評価フロー

- 取水路(標準部)直線部の地震応答解析断面は、構造及び補強の概要(改良地盤)で示した断面①～断面④の4断面とする。
- 地震応答解析断面ごとに、損傷モード及び部材の評価が厳しくなる時刻を選定し、地震時荷重を算出する。
- 三次元構造解析においては、各照査時刻から得られる地震時荷重を断面①～断面④のそれぞれの区間ごとに一様に作用させ、基準地震動 S_s ごとに耐震評価を行う。



照査時刻			
照査時刻	損傷モード	着目部位	荷重抽出時刻
時刻1	曲げ・軸力系の破壊	壁(面外) 	各断面において頂底板間の 層間変位が最大となる時刻
時刻2	せん断破壊(面外)	壁(面外) 	各断面において総水平荷重が 最大となる時刻
時刻3	曲げ・軸力系の破壊	壁(面外) 	地震時荷重算出断面間 (剛性変化部)の相対変位が 最大となる時刻

6. 解析手法選定フロー⑤の施設に対する 補強効果を踏まえた耐震評価結果及び浮上り評価結果 耐震評価結果

- 全応力解析と有効応力解析の照査値を比較すると、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊の照査とも、ほぼ同等の結果となった。
- 両解析手法において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊の照査ともに、各要求機能の応じた許容限界を下回ることを確認した。また、CCb工法の全ての適用条件を満足することを確認した。

【最大照査値の一覧】

解析手法	要求機能	曲げ・軸力系の破壊に対する照査				せん断破壊に対する照査				
		部材	照査用ひずみ(μ)	限界ひずみ(μ)	照査値	部材	照査用せん断力(kN/m)	せん断耐力(kN/m)	照査値	
全応力解析	構造強度を有すること、通水機能を有すること	隔壁		632	10000	0.07	底版	1847	2060	0.90
	貯水機能を損なわないこと	コンクリートの圧縮ひずみ	側壁	326	2000	0.17	底版	1847	2060	0.90
		主筋ひずみ	底版	297	1725	0.18				
有効応力解析*	構造強度を有すること、通水機能を有すること	隔壁		567	10000	0.06	底版	1851	2043	0.91
	貯水機能を損なわないこと	コンクリートの圧縮ひずみ	側壁	310	2000	0.16	底版	1851	2043	0.91
		主筋ひずみ	側壁	310	1725	0.16				

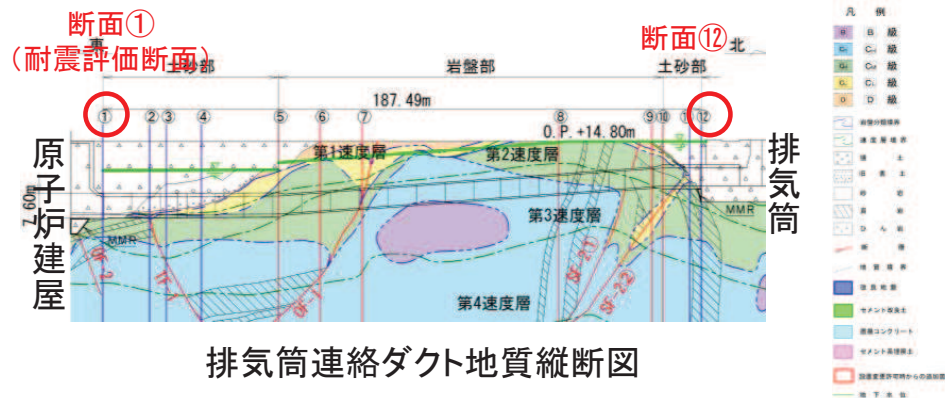
注記*：断面③、④は周辺が防潮堤の置換コンクリート及び改良地盤に囲まれており、液状化の影響はないことから、断面③、④の地震時荷重算出は全応力解析で実施する。

【CCb工法の適用性の確認】

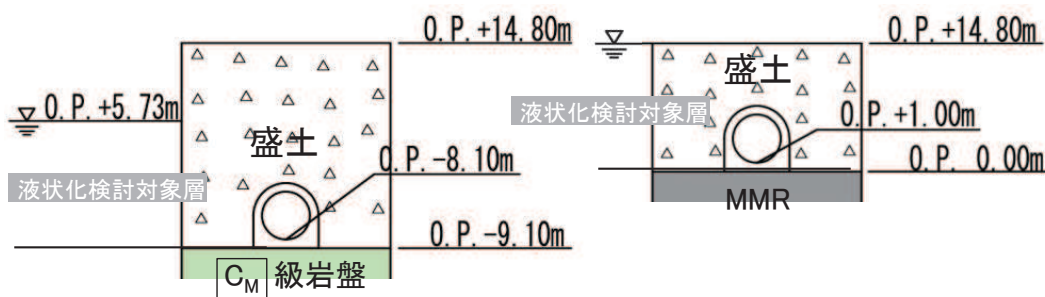
No.	適用条件	確認結果
1	曲げひび割れの進展により鉄筋の定着が弱まる可能性を考慮し、CCb適用部材は <u>おおむね弾性範囲</u> となるよう設計する。 (部材降伏に相当する限界ひずみ(コンクリートの圧縮ひずみ2000μ、主筋ひずみ1725μ)を下回ること)	照査用コンクリート圧縮ひずみは最大で338μ、照査用主筋ひずみは最大で498μであり、おおむね弾性範囲であることを確認した。
2	ディープビーム形態の部材に対しても、せん断耐力は保守的に <u>棒部材形態のせん断耐力を用いる</u> 。	取水路はディープビーム形式の部材が無いため、対象外。
3	施工精度によるばらつきを考慮し、発生せん断力は、許容限界である <u>せん断耐力のおおむね8割に抑える</u> 。	CCb工法を用いる部材の照査値は0.80であり、8割程度に抑えていることを確認した。
4	面外荷重と面内荷重が同時に作用する部材については、面内荷重により生じるひび割れの影響を考慮し、 <u>面内せん断ひずみを750μに抑える</u> 。	取水路は面内せん断を受ける部材ではないことから、対象外。

6. 解析手法選定フロー⑤の施設に対する補強効果を踏まえた耐震評価結果及び浮上り評価結果 浮上りに対する評価結果

- 浮上りに対する評価は、施設周囲が地盤改良されておらず、比較的地下水位が高い排気筒連絡ダクトを代表に説明する。
- 浮上りの評価は、耐震評価断面である断面①，及び上載土の荷重等が小さく、浮上り評価において厳しい断面となる断面⑫の2断面を評価断面とし、トンネル標準示方書に基づき行い、保守的な設定として、地下水位以深は液状化するものとして地盤のせん断抵抗及び構造物側面の摩擦抵抗を考慮しない評価条件とする。
- 浮上り評価の結果、いずれの評価断面も、許容限界を満足し、浮上りが発生しない結果となった。また、有効応力解析の結果、施設側面には液状化が発生しないことを確認した。



排気筒連絡ダクト地質縦断図



断面①

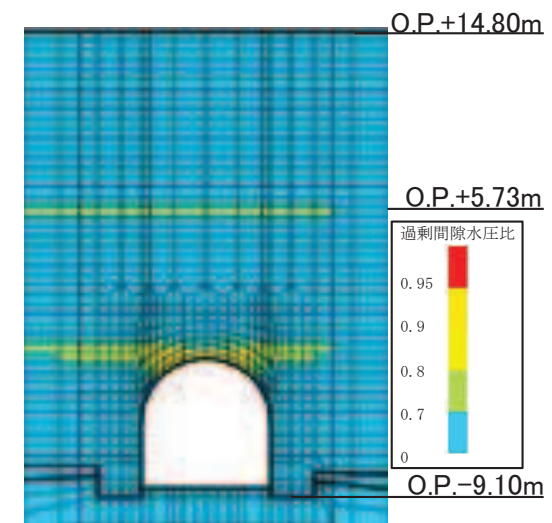
断面⑫

浮上り評価地質図

浮上りの評価結果

浮上り評価断面	浮上り安全率 F_s	判定 $F_s \geq 1.1^*$
断面①	4.99	○
断面⑫	1.72	○

注記*: 許容限界は保守的に設定している共同溝設計指針を用いる。
浮上りの評価フローを参考2に示す。



断面①

最大過剰間隙水圧比分布図

■ 指摘事項No.4

設計用地下水位を高めを設定していることを踏まえ、地下水位が低い場合の影響を整理して説明すること。



■ 回答4

- 第979回審査会合(令和3年6月1日)において、地下水位が低い場合の影響をパターンA～Cの3つに分類し、パターンごとに検討対象施設と検討条件を説明した。
- 今回、影響検討結果として、パターンA(構造物(基礎版等)に作用する水圧が減少する)に対する原子炉建屋、パターンB(地盤応答が変化する)とパターンC(構造物周辺に水位差が生じる)に対する排気筒連絡ダクト(土砂部)、パターンC(構造物周辺に水位差が生じる)に対する防潮堤の結果を説明する。
- 影響検討の結果、いずれも地下水位の変化が、施設の耐震性に及ぼす影響は小さく、施設の安全機能に影響を及ぼすことは無いことを確認した。

7. 地下水水位が低い場合の影響確認結果 検討対象施設と影響検討内容

- 第979回審査会合(令和3年6月1日)において、地下水水位が低い場合に耐震性へ影響を与える事象としてパターンA～Cを整理し、パターンごとに検討対象施設及び検討条件を説明した。

検討対象施設(第979回審査会合資料抜粋, 一部加筆)

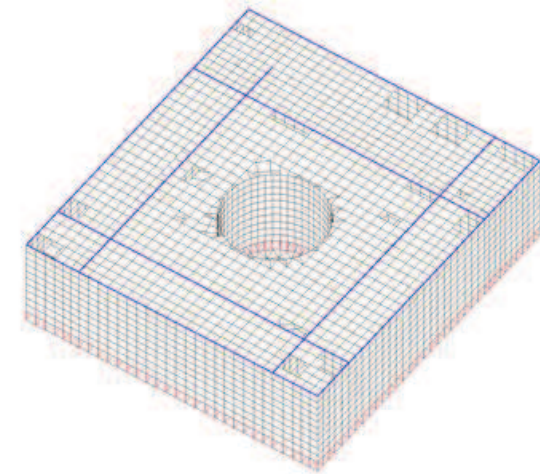
パターン	耐震性への影響	耐震設計に影響する可能性がある施設(赤枠は検討対象施設)	検討対象施設の選定理由	検討条件
パターンA	構造物(基礎版等)に作用する水圧が減少する	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 制御建屋 第3号機海水熱交換器建屋 緊急時対策建屋 緊急用電気品建屋 	<ul style="list-style-type: none"> 設計用揚圧力と浸透流解析結果の差が大きい。 建屋直下のドレーン新設により平常時の建屋基礎版に作用する揚圧力が大きく低減する。 	<ul style="list-style-type: none"> 揚圧力を0とした場合の地震力下向きの解析を実施して応力分布等への影響を確認する。
パターンB	地盤応答が変化する(単位体積重量, 液状化を含めた周辺地盤の挙動)	<ul style="list-style-type: none"> 排気筒連絡ダクト(土砂部) 防潮堤 地下水位低下設備 No.1～No.4揚水井戸 浸水防止蓋の間接支持揚水井戸(第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内) 	<ul style="list-style-type: none"> ダクト縦断方向の水位分布も考慮して設計用地下水水位を設定するため, 断面によって設計用地下水水位と浸透流解析結果の差が大きい。 	<ul style="list-style-type: none"> 地下水水位を岩盤表面まで下げた解析を実施する。
パターンC	構造物周辺に水位差が生じる	<ul style="list-style-type: none"> 排気筒連絡ダクト(土砂部) 防潮堤 鋼管式鉛直壁(一般部) 盛土堤防 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤上に設置した線状構造物であり, 地下水をせき止め偏水圧が生じる可能性がある。 設計用地下水水位は設置変更許可段階の方針を踏襲し, 山側・海側ともに朔望平均満潮位としているが, 山側において浸透流解析結果との差が大きい。 	<ul style="list-style-type: none"> 構造物片側の地下水水位を頂版高さ, もう一方の地下水水位を岩盤表面とした解析を実施する。 山側水位を岩盤表面まで下げた解析を実施する。

7. 地下水水位が低い場合の影響確認結果 パターンA 原子炉建屋基礎版

- 原子炉建屋基礎版の評価において、浮力の算定にあたっては、既工認実績も踏まえて、地下水水位を基礎版中央レベルに設定している。一方で、浸透流解析の結果は原子炉建屋基礎版よりも低い位置であることから、パターンAとして地下水水位を基礎版下レベルに設定した場合の影響を検討した。
- 検討の結果、鉛直方向上向きの場合では発生値は減少傾向にあり、鉛直方向下向きの場合では発生値は変わらない結果となった。いずれの場合でも発生値は許容値を下回っており、地下水水位の変化が原子炉建屋基礎版が有する耐震性への影響は無いことを確認した。

地下水水位を基礎版下レベルとした場合(パターンA)

評価項目		組合せケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直方向上向き	0.592	3.00
		鉛直方向下向き	0.0779	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直方向上向き	0.354	5.00
		鉛直方向下向き	0.0575	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直方向上向き	1.92	2.42
		鉛直方向下向き	1.16	2.42



原子炉建屋基礎版 解析モデル

地下水水位を基礎版中央レベルとした場合(工認設計)

評価項目		組合せケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直方向上向き	0.690	3.00
		鉛直方向下向き	0.0779	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直方向上向き	0.472	5.00
		鉛直方向下向き	0.0575	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直方向上向き	2.36	2.42
		鉛直方向下向き	1.16	2.42

パターンAの解析条件

項目	解析条件
解析手法	<ul style="list-style-type: none"> 静的弾塑性解析
地震動 及び解析ケース	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動Ss7波の包絡荷重 荷重組合せケース4(鉛直上向き)及びケース11(鉛直下向き):鉛直上向きおよび下向きでそれぞれ検定比が最も大きいケースを選定
地下水水位	<ul style="list-style-type: none"> 基礎版下端レベルO.P.-14.1m (設計用地下水水位:基礎版中央レベル O.P.-11.1m)

7. 地下水位が低い場合の影響確認結果 パターンB&C 排気筒連絡ダクト(土砂部)

- 設計用地下水位は、高めに評価される浸透流解析の結果に基づき設定するが、実際には地下水位が低い場合(パターンB)や施設の左右で地下水位が異なる場合(パターンC)があることから、耐震性に及ぼす影響を検討した。
- 評価の結果、地下水位の違いによる施設の耐震性への影響は小さく、地下水位の変化が施設の安全性に影響を及ぼさないことを確認した。

評価結果

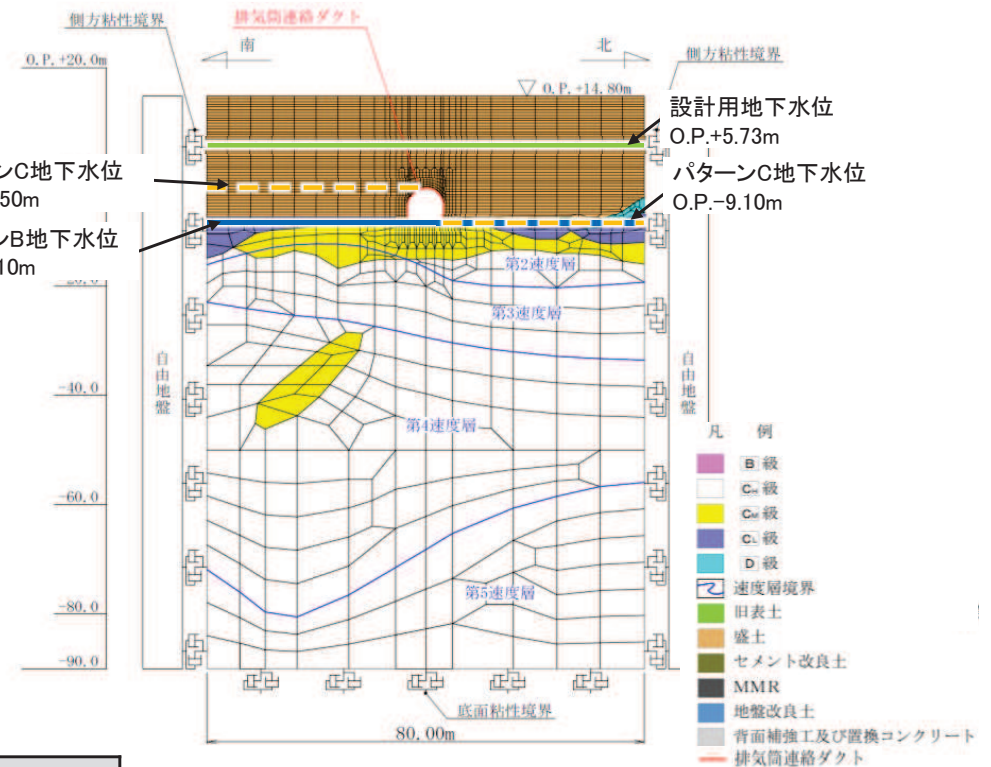
照査項目	水位条件	発生値	許容限界	照査値
曲げ・軸力	設計水位	1353 μ	1725 μ	0.79
	パターンB	1201 μ		0.70
	パターンC	1204 μ		0.70
せん断	設計水位	2239kN	1640kN	1.37 【0.87】*1
	パターンB	2062kN	1641kN	1.26*2
	パターンC	2159kN	1640kN	1.32*2
支持性能	設計水位	3.2N/mm ²	13.7N/mm ²	0.24
	パターンB	3.0N/mm ²		0.22
	パターンC	3.0N/mm ²		0.22

注記*1: 詳細評価に基づく許容限界に対する値。

*2: 簡易評価式に基づく許容限界に対する値であり、設計水位の照査値より小さいことから、詳細評価を行えば照査値1.0未満となる。

解析条件

項目	解析条件	備考
評価断面	・ 断面①	設計用地下水位と浸透流解析の差が最大となる断面
解析手法	・ 全応力解析	有効応力解析と全応力解析で評価が厳しかった解析手法により影響検討を実施
地震動及び解析ケース	<ul style="list-style-type: none"> ・ Ss-D2(++) : 曲げ・軸力 ・ Ss-N1(++) : せん断, 支持性能 	



解析モデルと地下水位

7. 地下水位が低い場合の影響確認結果 パターンC 防潮堤鋼管式鉛直壁(一般部)

- 設計用地下水位は、高めに評価される浸透流解析の結果に基づき設定するが、実際には施設の前後で地下水位が異なる場合(パターンC)があることから、耐震性に及ぼす影響を検討した。
- 評価の結果、施設前後の地下水位差が大きくなる場合の施設の耐震性への影響は小さく、地下水位の変化が施設の安全性に影響を及ぼさないことを確認した。

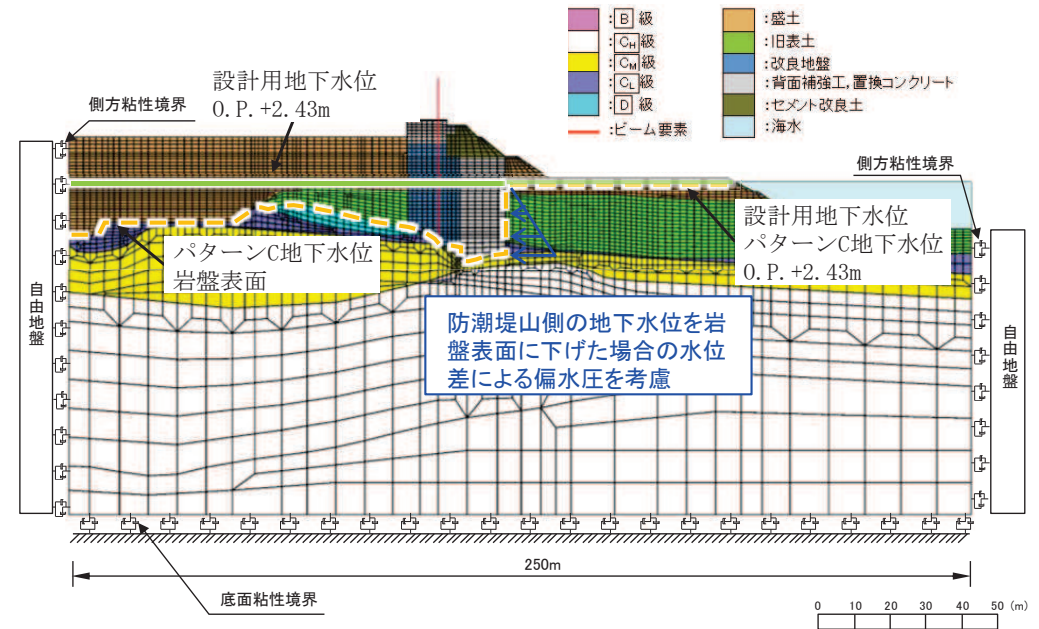
評価結果

部位	照査項目	水位条件	応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
鋼管杭	曲げ・軸力	設計水位	123	247	0.50
		パターンC	130	247	0.53
	せん断	設計水位	61	217	0.29
		パターンC	64	217	0.30

部位	照査項目	水位条件	許容限界	すべり安全率
背面補強工	すべり安全率	設計水位	1.2以上	21.0
		パターンC		19.8
置換コンクリート		設計水位		5.3
		パターンC		5.5
改良地盤	設計水位	3.7		
	パターンC	3.3		
セメント改良土	設計水位	3.7		
	パターンC	3.6		

解析条件

項目	解析条件	備考
評価断面	・ 断面②	設計用地下水位と浸透流解析の差が最大となる断面
解析手法	・ 有効応力解析	
地震動及び解析ケース	・ Ss-D2(---)	



解析モデルと地下水位

主な説明事項に係るまとめ

➤ 第876回審査会合(令和2年7月14日)において主な説明事項としていた2項目について説明した。

主な説明事項	説明要旨
No.2-1 地下水位低下設備の耐震評価結果と屋外アクセスルートの浮上り評価結果	<ul style="list-style-type: none">• 地下水位低下設備を構成する設備について、基準地震動S_sに対し機能が損なわれないことを確認した。• 屋外アクセスルート直下の構造物を対象として、地震時に周辺地盤の液状化が生じ、浮上りが発生しないことを確認し、屋外アクセスルートの機能に影響を及ぼさないことを確認した。なお、T-10トレンチ(B部)は、浮上り対策として上載土を施工することにより、アクセスルートの機能は維持されることを確認した。
No.2-7 面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb工法の適用性	<ul style="list-style-type: none">• 面外荷重に対する裕度向上を目的に適用する後施工せん断補強筋工法(CCb工法)について、面外荷重と面内荷重が作用する場合のCCb工法に及ぼす影響を数値実験により確認した。• 数値解析の結果、面外荷重と面内荷重の作用順序に係わらず、面内せん断ひずみ750μまでは面内荷重が作用してもCCb工法による効果へ影響を及ぼさないことを確認した。• 詳細設計においては、面外荷重と面内荷重が作用する部材については、面内せん断ひずみを750μに抑える方針とした。

8. まとめ

指摘事項に係るまとめ

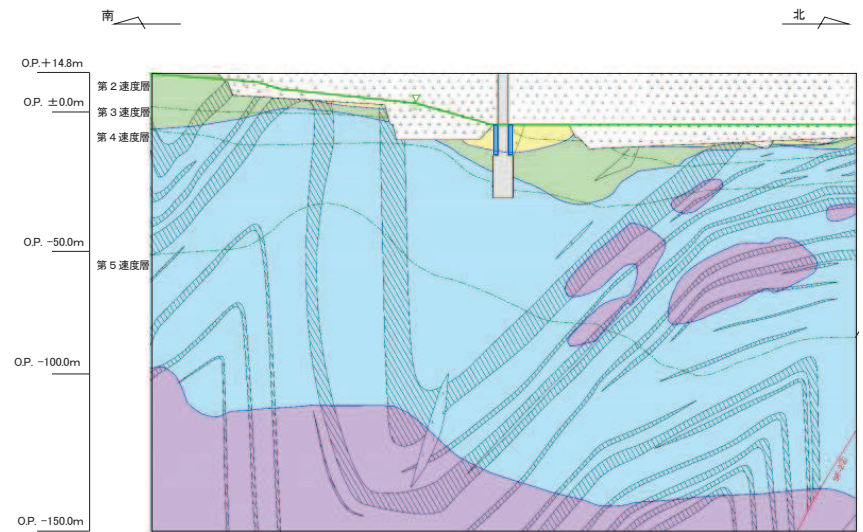
- 第952回審査会合(令和3年3月2日)及び第979回審査会合(令和3年6月1日)に説明した、「N0.2-1 地下水位の設定, 耐震評価における断面選定」に対してされた指摘事項に対して以下を回答した。

指摘事項	回答要旨
No.1 有効応力解析の妥当性と液状化強度特性の保守性	<ul style="list-style-type: none"> 3.11地震時に確認された取水口側面の護岸の海側への変形を対象として, 有効応力解析を用いた検証解析を実施した。 有効応力解析の結果, 概ね護岸の変形を表現できたことから, 有効応力解析の妥当性を確認した。 液状化強度特性を工認設計値として評価した護岸の変位量は, 実測値を大きく上回ることから, 液状化強度特性の保守性を確認した。
No.2 解析手法選定フロー④の施設に対する液状化影響の定量評価結果	<ul style="list-style-type: none"> 解析断面に地表面の傾斜を含み, かつ, 施設の周囲に液状化検討対象層が局所的に分布する海水ポンプ室を代表として, 施設への液状化の影響の定量評価を実施した。 護岸(O.P.+3.5m盤)及び傾斜部分で液状化が発生し, 残留変位を生じるが, 施設の設置される地盤(O.P.+14.8m盤)には残留変位が生じず, 施設に液状化の影響を及ぼさないことを確認した。 施設周辺の盛土は液状化せず, 施設の浮上りの影響がないことを確認した。 したがって, 施設には液状化の影響が及ばず, 全応力解析による耐震評価が可能であると判断した。 海水ポンプ室周辺の盛土が液状化しない原因として, 締固め管理された密詰めであることと, 地下水位が低く拘束圧が大きいことにより, 液状化抵抗が強いためと推察した。
No.3 解析手法選定フロー⑤の施設に対する補強効果を踏まえた耐震評価結果及び浮上り評価結果	<p>(補強効果を踏まえた耐震評価結果)</p> <ul style="list-style-type: none"> 地盤改良とCCb工法で補強を実施した取水路を代表として, 基準地震動S_sに対し, 耐震性を有し, 要求機能を満足することを確認した。 周辺地盤で広く液状化が発生したが, 耐震評価の結果は, 全応力解析と有効応力解析で同等であることから, 改良地盤が効果を発揮し, 液状化の影響が施設に及んでいないことを確認した。 CCb工法を適用した部材についても, 適用条件を満足していることを確認した。 <p>(浮上り評価結果)</p> <ul style="list-style-type: none"> 施設周囲を地盤改良しておらず, 土被り厚の小さい部分も有する排気筒連絡ダクト(土砂部)を代表として, 地下水位以深は液状化するものと仮定しても, 浮上りは生じないことを確認した。
No.4 地下水位が低い場合の影響確認結果	<ul style="list-style-type: none"> 地下水が低い場合の影響について, パターンA(基礎版に作用する水圧が減少する), パターンB(地盤の応答が変化する), パターンC(施設の左右で地下水位レベルが異なる)の, いずれのパターンも耐震評価結果に与える影響は小さく, 施設の安全機能に影響を及ぼすことは無いことを確認した。

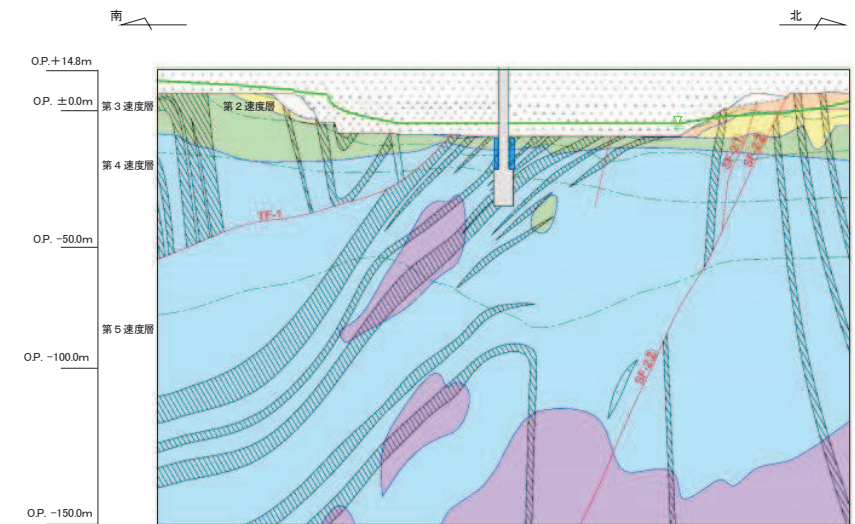
参考資料

- 参考1. 揚水井戸の評価対象断面
- 参考2. 浮上り評価のフロー
- 参考3. 後施工せん断補強筋(CCb工法)の室内模型実験

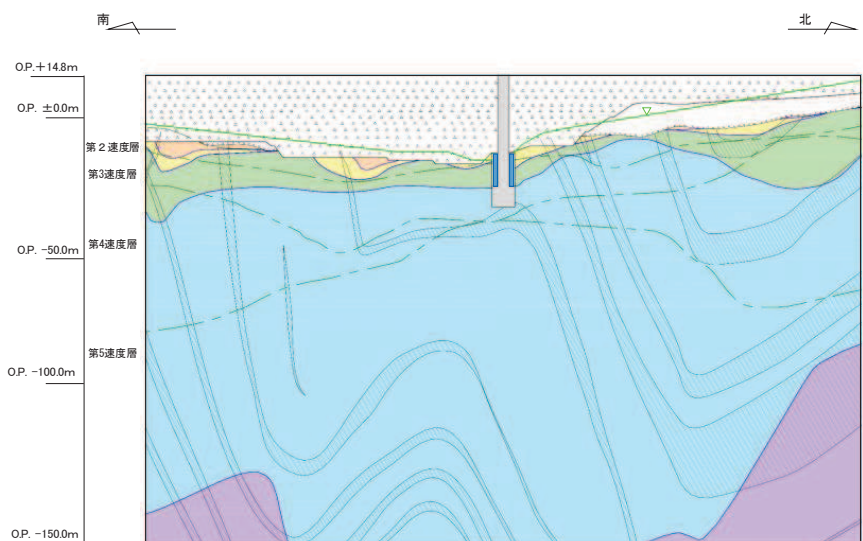
- 揚水井戸は岩盤・盛土内に設置されており、特に排水シャフト周辺の盛土の変形の影響を受ける構造であることを踏まえ、周辺構造物による変形抑制が小さく、より盛土の広がりがある断面を評価対象断面として選定した。
- No.1～4揚水井戸の地質断面図を以下に示す。



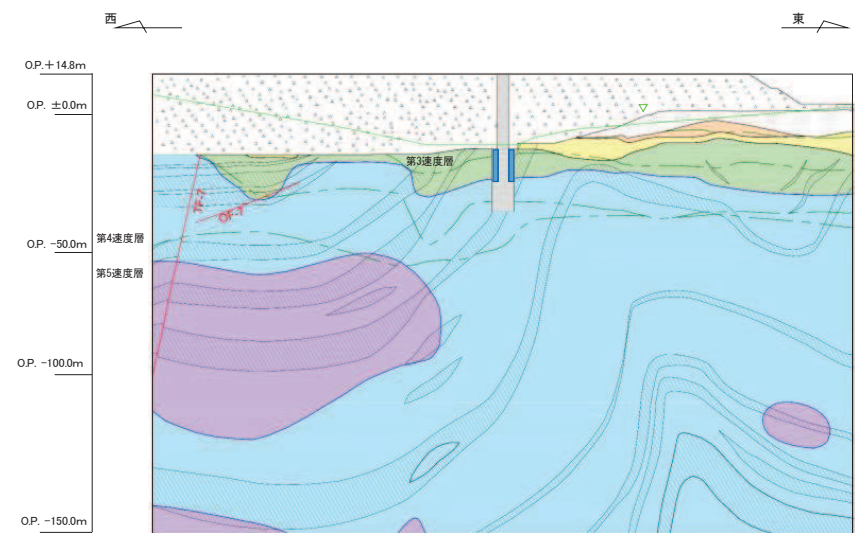
No.1揚水井戸 評価対象断面図(A-A' 断面)



No.2揚水井戸 評価対象断面図(B-B' 断面)



No.3揚水井戸 評価対象断面図(C-C' 断面)

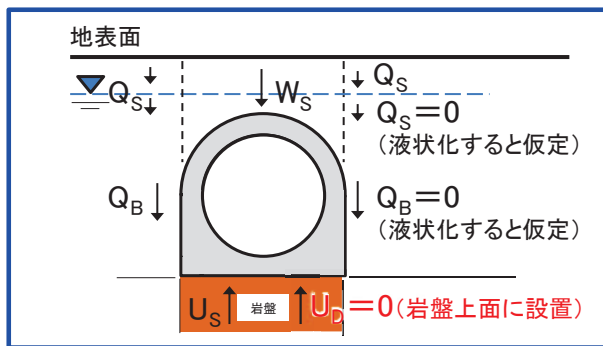
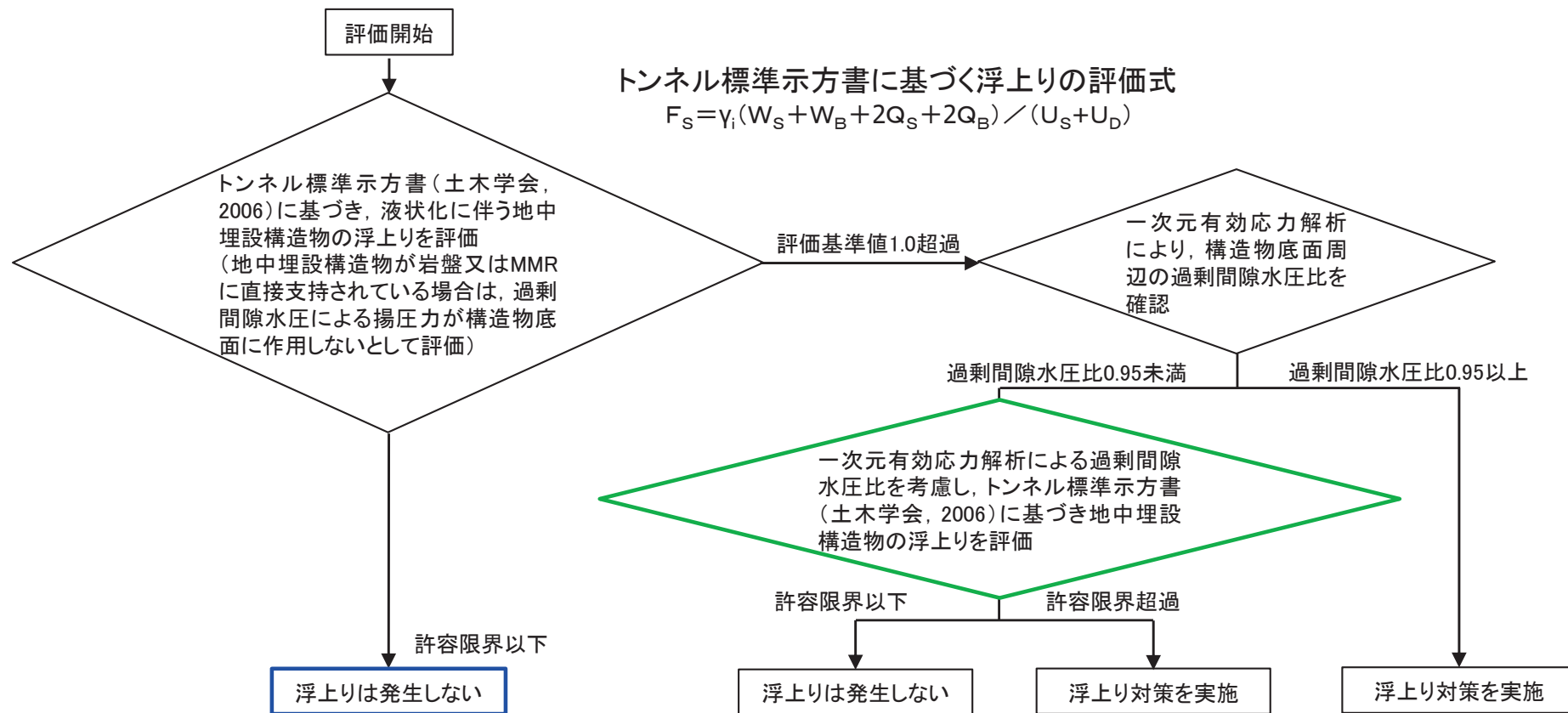


No.4揚水井戸 評価対象断面図(D-D' 断面)

凡例

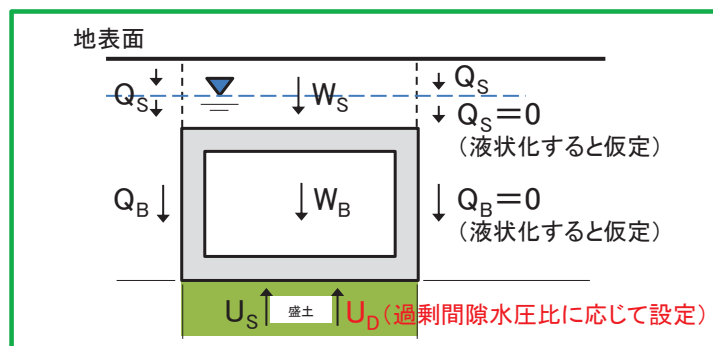
	B 級		土
	C1 級		第四系(砂・礫)
	C2 級		砂
	C3 級		礫
	D 級		シルト
	E 級		粘土
	F 級		断層
	G 級		地質境界
	速度層境界		揚水井戸
	設計用地下水位		セメント改良土

➤ 以下に示す評価フローにとおり、排気筒連絡ダクト及び屋外アクセスルートにおける地中埋設構造物の浮上り評価を行う。



浮上り評価の概念図

(排気筒連絡ダクト断面①, 断面②)



浮上り評価の概念図

(アクセスルートA部, B部, C部)

設置許可段階において、詳細設計段階における設計方針を説明しているCCb工法について、ディープビーム的な破壊形態が想定される部材のせん断耐力を棒部材式により算定することの保守性を、室内模型実験の結果に基づき説明する。



■ 説明要旨

- CCb工法を適用したディープビームとなる部材を対象として、せん断スパン比、せん断補強鉄筋比を変化させて室内模型実験を行い、せん断耐力を計測した。
- 室内模型実験から得られるせん断耐力と設計で用いている棒部材式によるせん断耐力を比較し、棒部材式によるせん断耐力よりも大きなせん断耐力が得られることを確認した。
- ディープビームとなる部材のせん断耐力を、棒部材式により算定することの保守性を確認した。

参考3. 後施工せん断補強筋(CCb工法)の室内模型実験

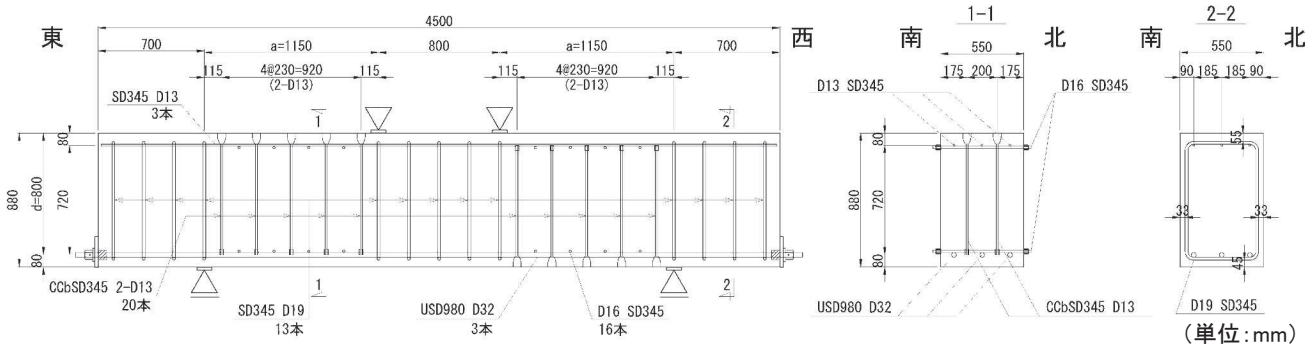
室内模型実験のケース

- CCb工法を適用した部材については、ディープビーム形式の部材の耐力も保守的に棒部材式によるせん断耐力を適用することとしているが、ディープビーム形式の室内実験を実施し、その耐力と棒部材式によるせん断耐力の比較を行い、その妥当性を確認した。
- 室内模型実験の実施ケースは、下表に示すとおり、せん断スパン比とせん断補強筋比に対するパラスタを含めた3ケースの実験を実施した。

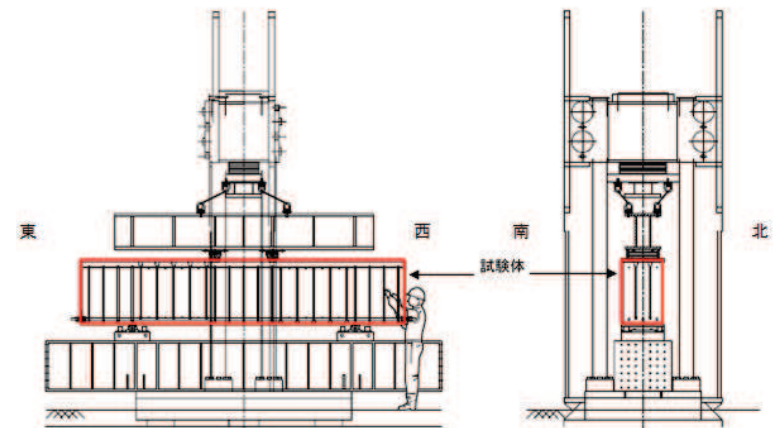
実験ケースの概要

ケースの概要	せん断補強鉄筋の種類	せん断スパン比 (a/d)	せん断補強鉄筋比 (p_w)	検討目的
CASE1 基本ケース	CCb	1.44	0.20	CCbによりせん断補強を行った構造物のうちディープビームとなる部材の適用性を確認
CASE2 せん断スパン比 (a/d) の違い	CCb	<u>1.00</u> *	0.20	CASE1 (a/d=1.44) との比較により、せん断スパン比の違いによるCCbのせん断補強効果を確認
CASE3 せん断補強鉄筋比 (p_w) の違い	CCb	1.44	<u>0.55</u> *	CASE1 ($p_w=0.20\%$) との比較により、せん断補強鉄筋比の違いによるCCbのせん断補強効果を確認

注記* : 下線は、CASE1(基本ケース)との違いを示す。



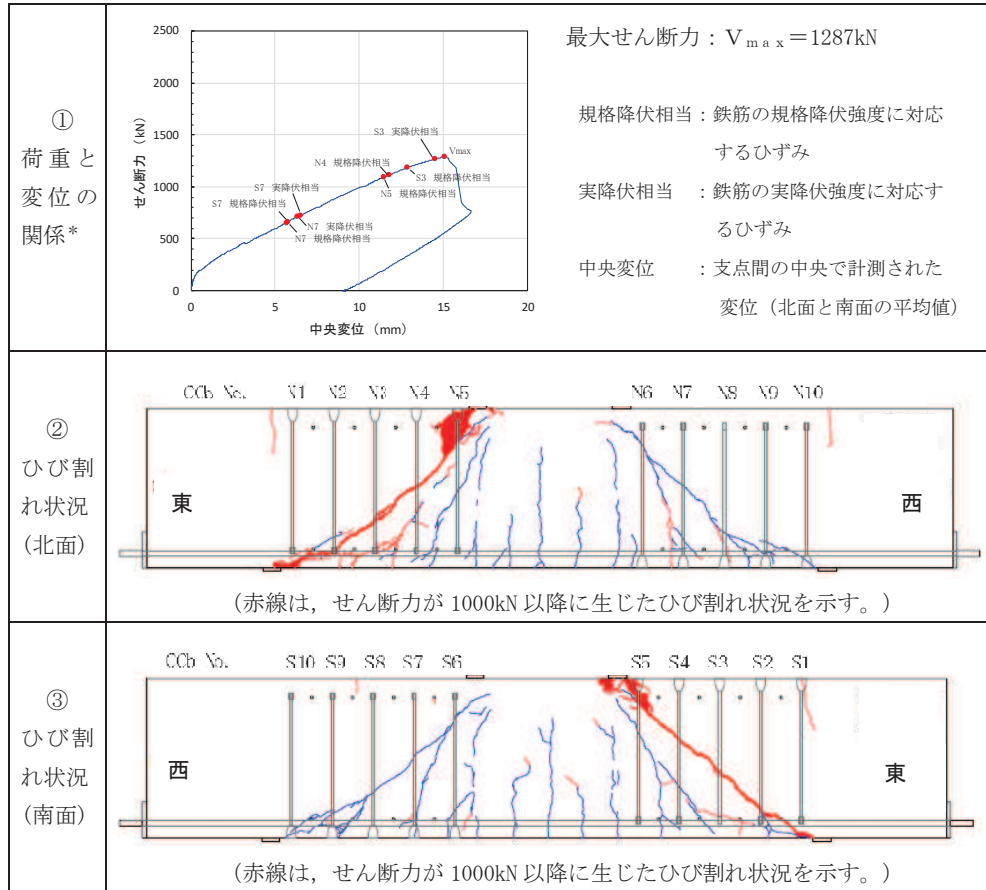
試験体概要 (CASE1の例)



試験装置概要

参考3. 後施工せん断補強筋(CCb工法)の室内模型実験 室内模型実験のケース

- 室内模型実験結果の代表として, CASE1(基本ケース)の結果を示す。
- 載荷に伴い, 載荷点と支点を結ぶ圧縮ストラットの下方に発生した斜めひび割れが進展し, 最大せん断力に到達後, 載荷点近傍の圧縮破壊により急激に耐力が低下するディープビーム的な破壊が確認された。
- 実験の結果, 設計に用いる棒部材式によるせん断耐力は, 実験結果に対し37%以上の保守性を有することが確認できた。



注記*: グラフ中の記号及び番号 (N7, S3 等) は, ひび割れ状況 (②・③) に示す北面及び南面それぞれの CcB の No. を表す。

荷重-変位の関係及び実験終了時のひび割れ状況
(CASE1 (CcB, $a/d=1.44$, $p_w=0.20\%$))

せん断耐力の比較(実験式と棒部材式)

No	ケースの概要	せん断スパン比 (a/d)	せん断補強鉄筋比 (p_w)	せん断耐力 (kN)		
				実験	せん断耐力評価式*1,2	
					棒部材式*3	ディープビーム式*3
CASE1	基本ケース	1.44	0.20	1287	583 (2.21)	777 (1.66)
CASE2	せん断スパン比 (a/d) の違い	1.00	0.20	1972	663 (2.97)	1053 (1.87)
CASE3	せん断補強鉄筋比 (p_w) の違い	1.44	0.55	1396	1021 (1.37)	1122 (1.24)

注記*1: 土木学会マニュアル2005による評価式

*2: 安全係数を $\gamma_c=1.3$, $\gamma_s=1.0$, $\gamma_{bc}=1.3$, $\gamma_{bs}=1.1$ として算出

ここに, γ_c : 材料係数 (コンクリート)

γ_s : 材料係数 (鉄筋)

γ_{bc} : 部材係数 (コンクリート)

γ_{bs} : 部材係数 (鉄筋)

*3: 各ケースの括弧内の数値は, せん断耐力評価式によるせん断耐力に対する実験値の比率を示す。