

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-24-0009_改0
提出年月日	2021年4月28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

2021年4月28日
東北電力株式会社

目次

1. はじめに
2. 地下水位が低い場合の影響
3. 地盤の液状化強度特性
4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

1. はじめに

1.1 本日のご説明内容(1)

- 第952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3年3月2日)において示した, 地下水位の設定に係る今後の説明事項のうち『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。

3. 地下水位の設定に係る今後の説明事項

■ 地下水位低下設備の設備構成

- 浸透流解析による地下水流入量の評価^{*1}を踏まえた地下水位低下設備の設備構成(揚水ポンプ, 配管, 水位計等)を説明する。

*1 浸透流解析による地下水流入量の評価においては, 水位評価モデルをベースとして, 流入量が大きめに評価されるような条件を設定

■ 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

- 屋外重要土木構造物等の耐震評価^{*2}を行うための評価対象断面の選定, 地盤の液状化特性及びそれを踏まえた解析手法の選定の方針を説明する。

*2 設計用地下水位を高めに設定することを踏まえ, 地下水位が設計用地下水位より低い場合の影響についても考慮

1. はじめに

1.1 本日のご説明内容(2)

- 併せて、第952回審査会合における指摘事項に対して回答する。

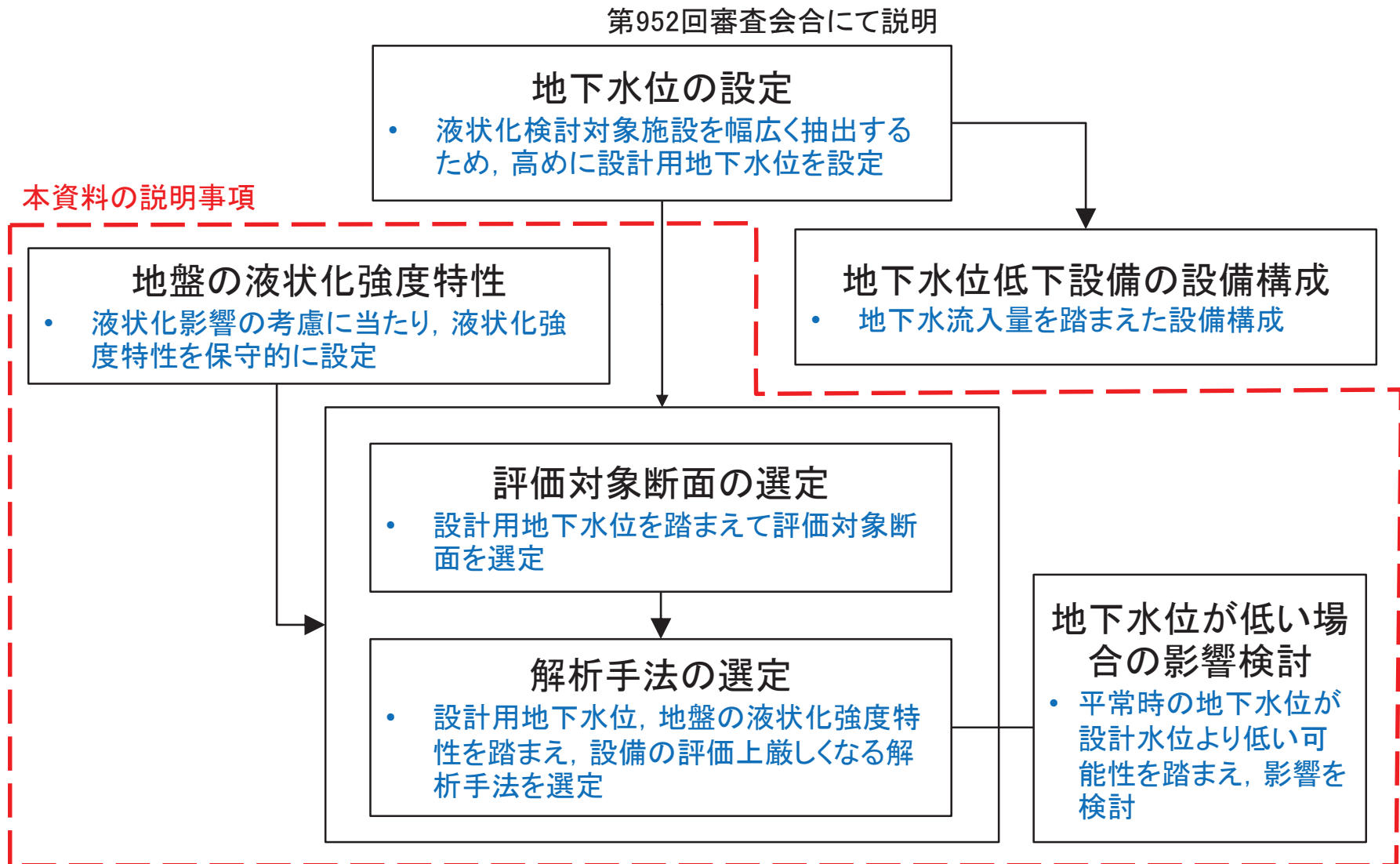
原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合の指摘事項に対する回答

No.	実施日	指摘事項	回答概要	回答箇所
1	令和3年3月2日 第952回 審査会合	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。	地下水位が低い場合に起こる現象を想定した上で、耐震評価に影響を与える可能性がある事象を3パターン抽出し、各パターンにおける検討対象施設と影響検討内容を整理した内容について説明する。	第2章で 説明
2	令和3年3月2日 第952回 審査会合	各施設の解析手法の選定について、液状化や浮き上がりの評価を踏まえて説明すること。	液状化強度特性の設定を含めた、液状化影響評価の方針について説明した上で、液状化や浮き上がりを考慮した解析手法の選定方針及び結果を説明する。	第3章及び 第4章で 説明
3	令和3年3月2日 第952回 審査会合	設置変更許可時からの設計進捗を踏まえて、地盤改良の効果を整理して説明すること。	詳細設計の結果として地盤改良の目的と施工範囲を示した上で、地盤の液状化に対して改良地盤の効果を評価できる解析手法の選定方針及び結果を説明する。	第4章で 説明

1. はじめに

1.2 地下水位に関連する検討フロー

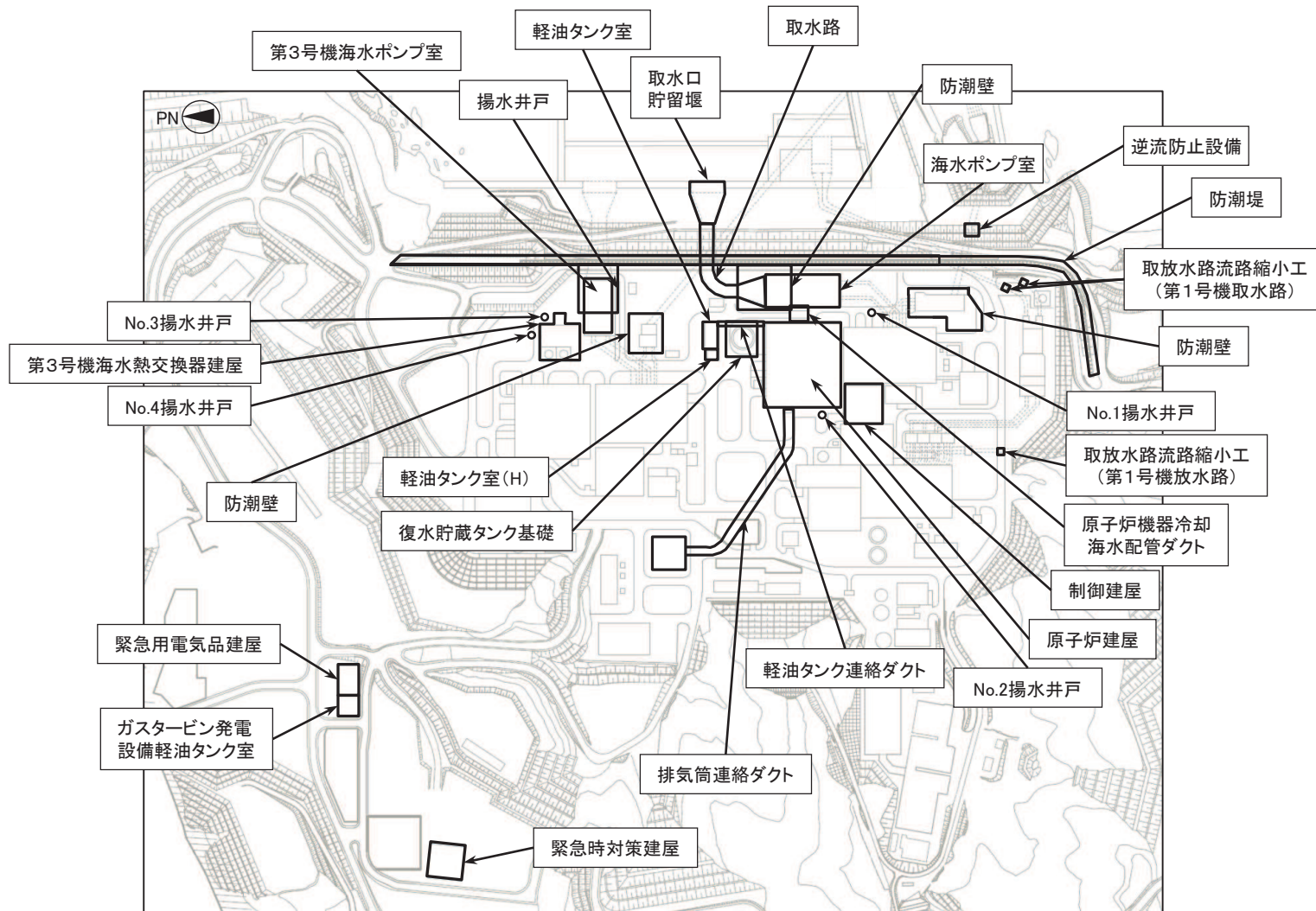
- 地下水位に関連する検討の全体フローと本資料における説明事項を下図に示す。



1. はじめに

1.3 対象施設

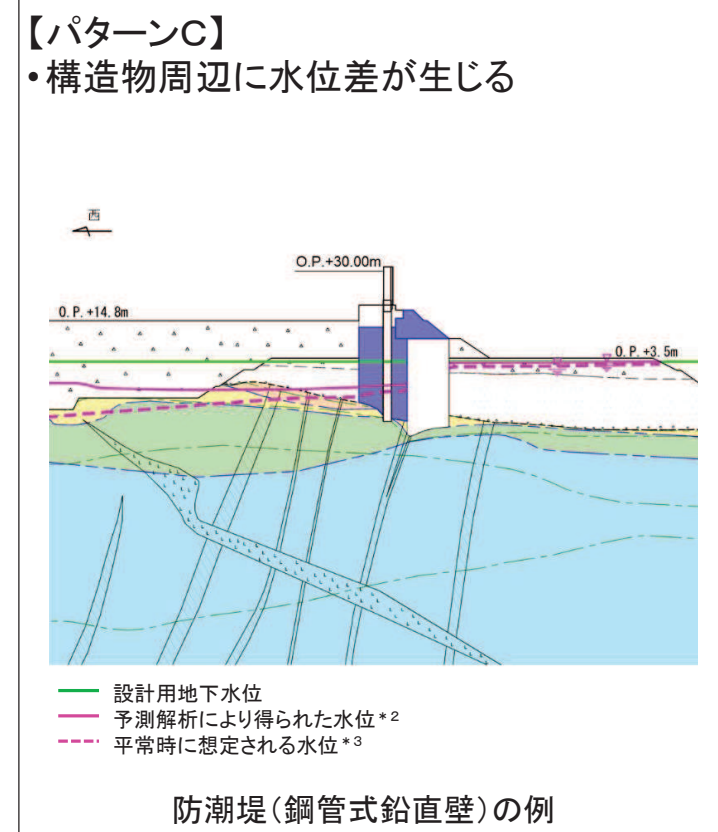
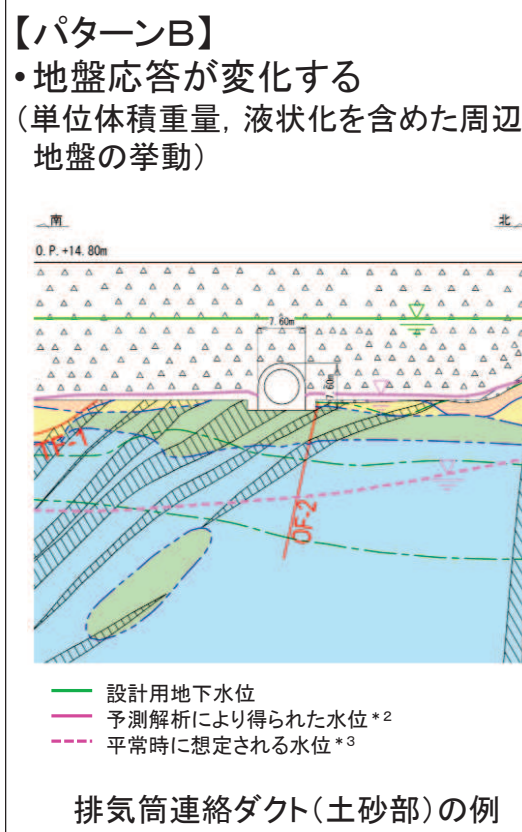
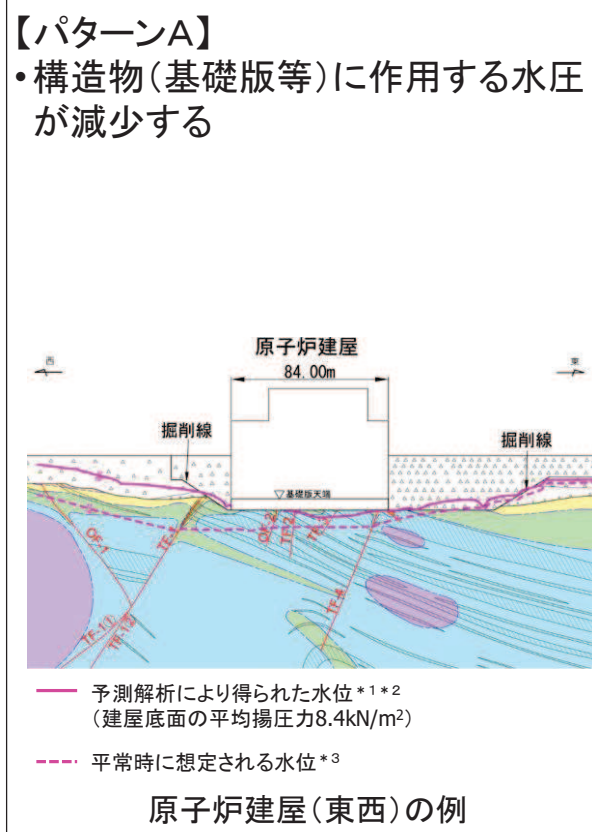
■ 本資料で説明する対象施設の配置図を下図に示す。



評価対象施設の全体配置図

2. 地下水位が低い場合の影響

- 耐震設計の前提となる設計用地下水位の設定においては、液状化検討対象施設を幅広く抽出するため、水位が高めに評価される条件にて浸透流解析を実施している。
(第952回審査会合 資料1-1 女川原子力発電所第2号機 地下水位の設定について)
- 平常時の地下水位が設計用地下水位より低くなることにより耐震性へ影響を与えうる事象として、以下のパターンA～Cが考えられる。



- *1 原子炉建屋は、予測解析で得られた揚圧力を上回る建設時工事計画認可時の設計用揚圧力と同値(29.4kN/m²)に設定。
- *2 予測解析では浅部岩盤の透水係数を平均値-1σに設定する等、水位を高めに評価するよう解析条件を設定。
- *3 平常時の想定は年平均降雨を付与した場合の浸透流解析により推定。

2. 地下水位が低い場合の影響

- 前頁で抽出したパターン毎に検討対象施設と影響検討内容を整理した。
- 検討対象施設における水位が低い場合の影響は、各施設の耐震評価において確認する。

パターン	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	<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	<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位を設定するため、断面によって設計用地下水位と浸透流解析結果の差が大きい。 	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位を岩盤表面まで下げた解析を実施する。
パターンC	<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位を頂版高さ、もう一方の地下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。

3. 地盤の液状化強度特性

3.1 液状化影響評価方針

- 液状化検討対象層として、設置変更許可における方針と同様、未固結の地盤（盛土及び旧表土）すべてを液状化検討対象層として抽出した。
- 盛土について、液状化強度試験の試料採取箇所を6箇所追加し、計8箇所とした。
- 液状化強度特性の設定について、設置変更許可における方針と同様、試験結果の下限值相当とする。今回、追加試験も含めて評価し、設置変更許可時と変更ないことを確認した。

液状化影響評価方針に係る各審査段階の説明

	設置変更許可	工事計画認可
液状化検討対象層の抽出	<ul style="list-style-type: none"> • 未固結の地盤（盛土及び旧表土）すべてを液状化検討対象層として抽出 	<ul style="list-style-type: none"> • 設置変更許可の内容を踏襲
液状化強度試験試料採取箇所	<ul style="list-style-type: none"> • 盛土：2箇所 • 旧表土：7箇所 	<ul style="list-style-type: none"> • 盛土：6箇所追加し、計8箇所 • 旧表土：設置変更許可から変更なし
液状化強度試験位置の代表性	<ul style="list-style-type: none"> • 粒度分布、細粒分含有率、N値及び相対密度（盛土において指標）により代表性を確認 	<ul style="list-style-type: none"> • 設置変更許可の内容を踏襲し、同様に代表性を確認 • 局所的にN値が低い箇所が設計結果に及ぼす影響を考察
液状化強度試験結果	<ul style="list-style-type: none"> • 有効応力がゼロになることはなく、ねばり強い挙動を示すことを確認 	<ul style="list-style-type: none"> • 設置変更許可の内容と同様
液状化強度特性の設定	<ul style="list-style-type: none"> • 試験結果の下限值相当の液状化強度特性を設定 	<ul style="list-style-type: none"> • 設置変更許可の内容を踏襲し、設定結果も同様

3. 地盤の液状化強度特性

3.1 液状化影響評価方針

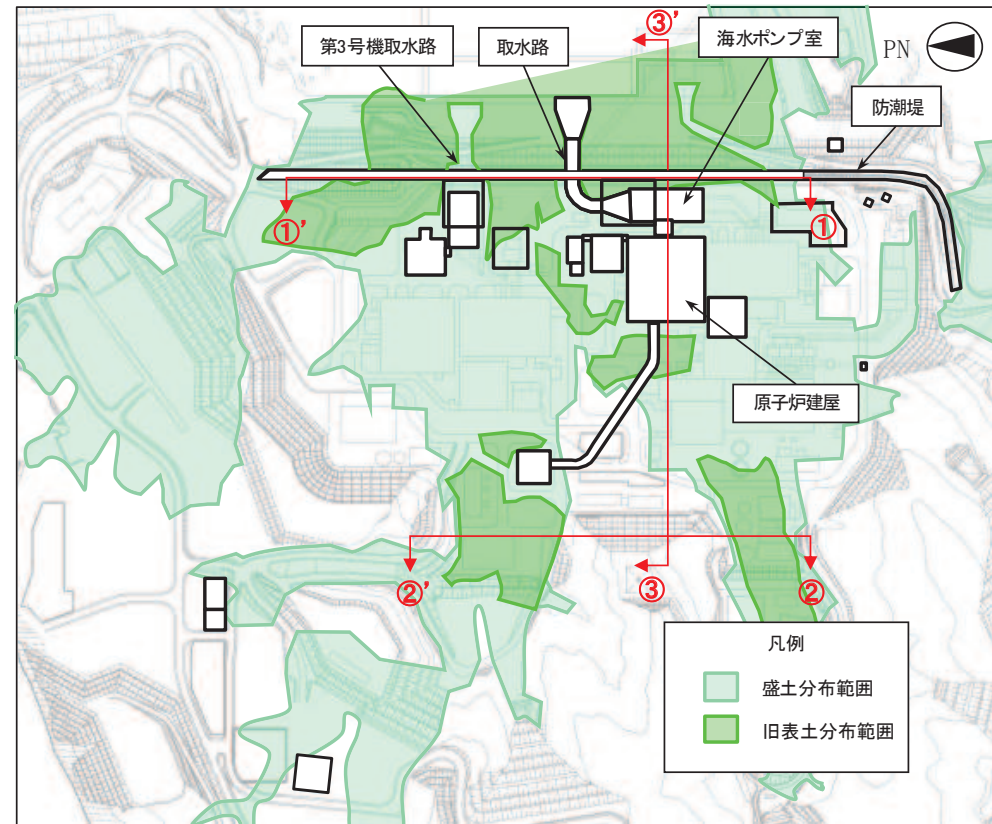
■ 【敷地地盤の概要】

■ 敷地の地盤は、岩盤、盛土及び旧表土に分類され、液状化の可能性を考慮すべき未固結の地盤は、盛土及び旧表土が該当。

■ 盛土は建設時に発生した岩砕を締固め管理した人工地盤であり、敷地の整地地盤のほぼ全域に分布。

■ 旧表土は、発電所設置の際の掘削により、その多くが取り除かれており、現在は盛土下部の岩盤上面に分布しているのみ。

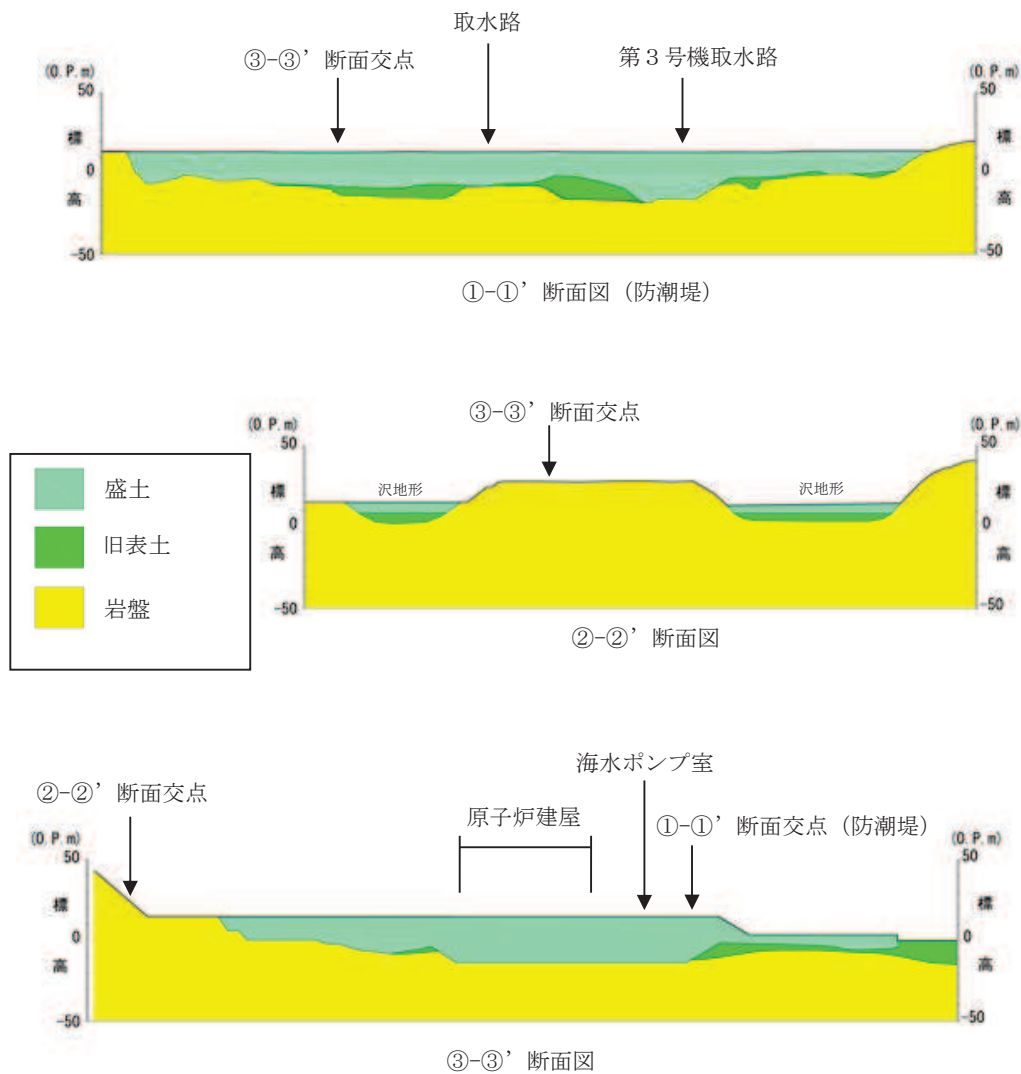
■ 盛土及び旧表土の分布断面図を次頁に示す。



盛土及び旧表土の分布平面図

3. 地盤の液状化強度特性

3.1 液状化影響評価方針



盛土及び旧表土の分布断面図

3. 地盤の液状化強度特性

3.1 液状化影響評価方針

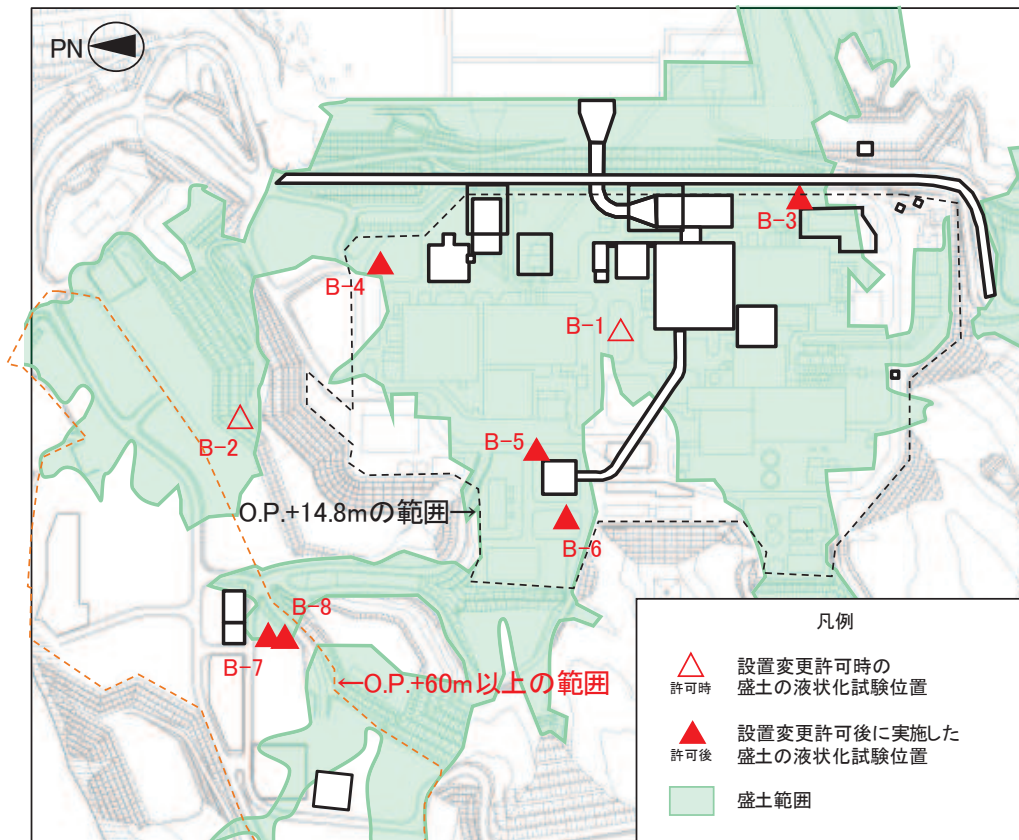
【液状化影響評価の基本方針(設置変更許可時から変更無し)】

- 道路橋示方書・同解説(V耐震設計編)に基づき、液状化検討対象層を抽出。
- 保守的な配慮として、道路橋示方書・同解説(V耐震設計編)では液状化評価の対象外とされるG.L.-20m以深の飽和土層、細粒分含有率が35%以上の飽和土層及び平均粒径が10mm以上の飽和土層についても液状化検討対象層として抽出。
- その結果、地下水位以深の未固結の地盤(盛土及び旧表土)はすべて液状化検討対象層。
- これにより抽出した液状化検討対象層(盛土及び旧表土)の物理的性質及び力学的性質について、地質調査及び室内試験を実施し、有効応力解析に必要な物性値を設定して解析を行う。
- 液状化強度特性の設定に当たっては、物性のばらつきを考慮し、液状化強度試験結果の下限値に設定。

3. 地盤の液状化強度特性

3.2 液状化強度試験(盛土試験位置)

- 盛土について、設置変更許可では2箇所(B-1, B-2)から試料採取して液状化強度試験を行い、地質の連続性や土質材料の性状を比較し、代表性を確認した上で、液状化強度特性を設定。
- 工事計画認可においては、設置変更許可で示した調査・試験結果に加え、盛土のデータ拡充の観点から、追加液状化強度試験を実施。



盛土の液状化強度試験箇所

【盛土の試料採取箇所選定方針】

各施設・設備は、O.P.+14.8m以下の範囲とO.P.+60.0m以上の範囲の2つのエリアに分散して設置されていることを踏まえ、各施設・設備を網羅できるように選定する。



試料採取箇所

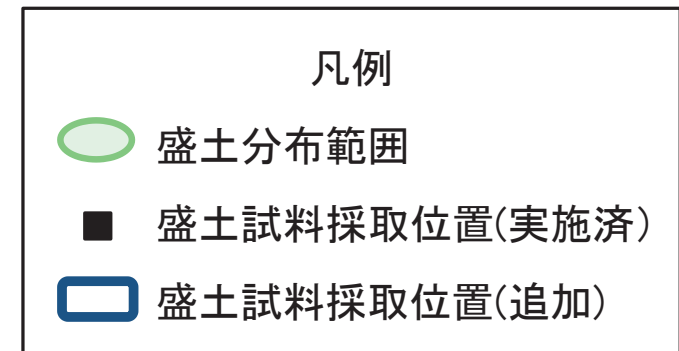
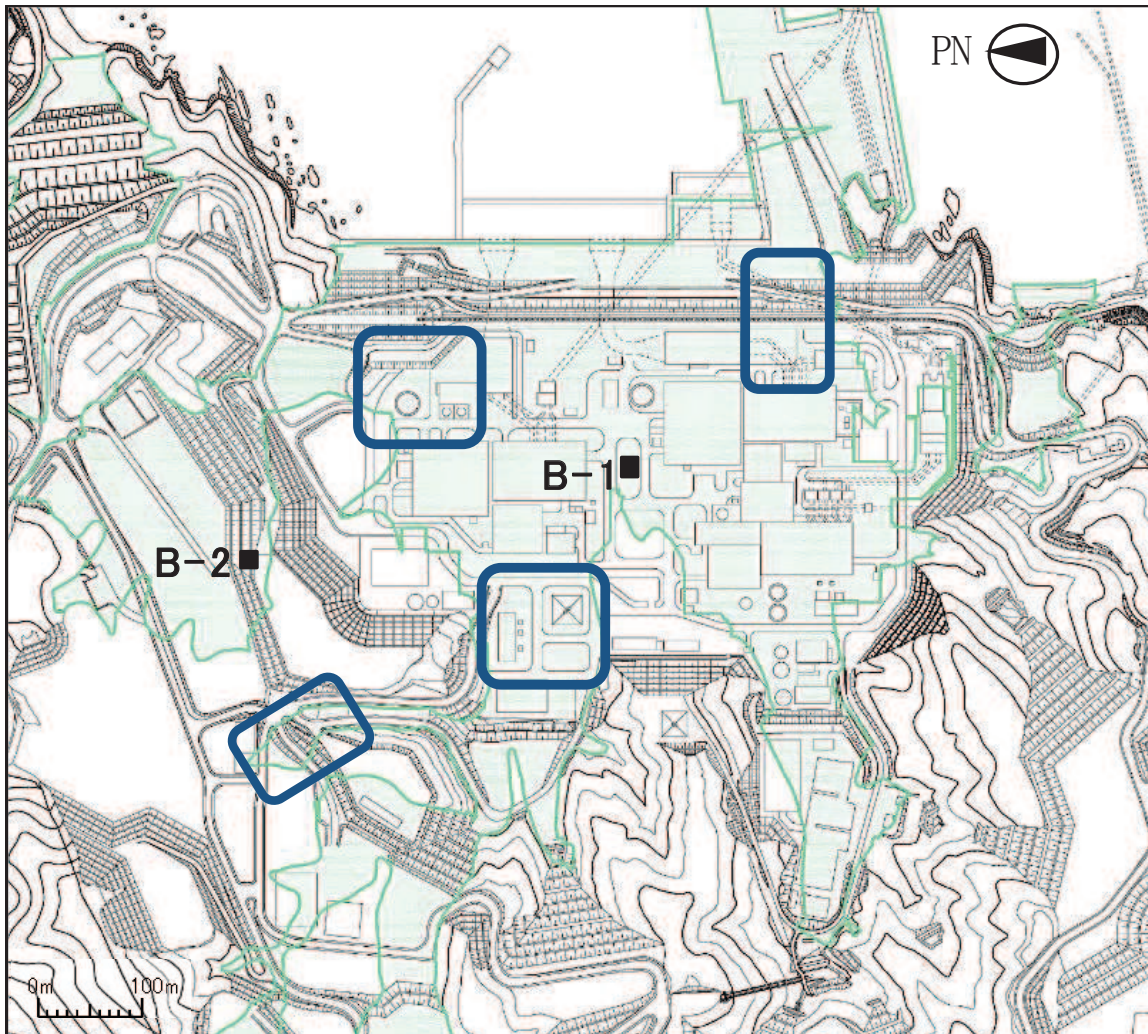
設置変更許可	:2箇所
工事計画認可(追加)	:6箇所
計	:8箇所

試料採取位置の詳細を参考1に記載

3. 地盤の液状化強度特性

3.2 液状化強度試験(盛土試験位置)

- 設置変更許可段階では、下図のとおり盛土の追加液状化強度試験の位置を計画しており、工事計画認可段階で実施した試験位置(前頁)は計画どおりとなっている。

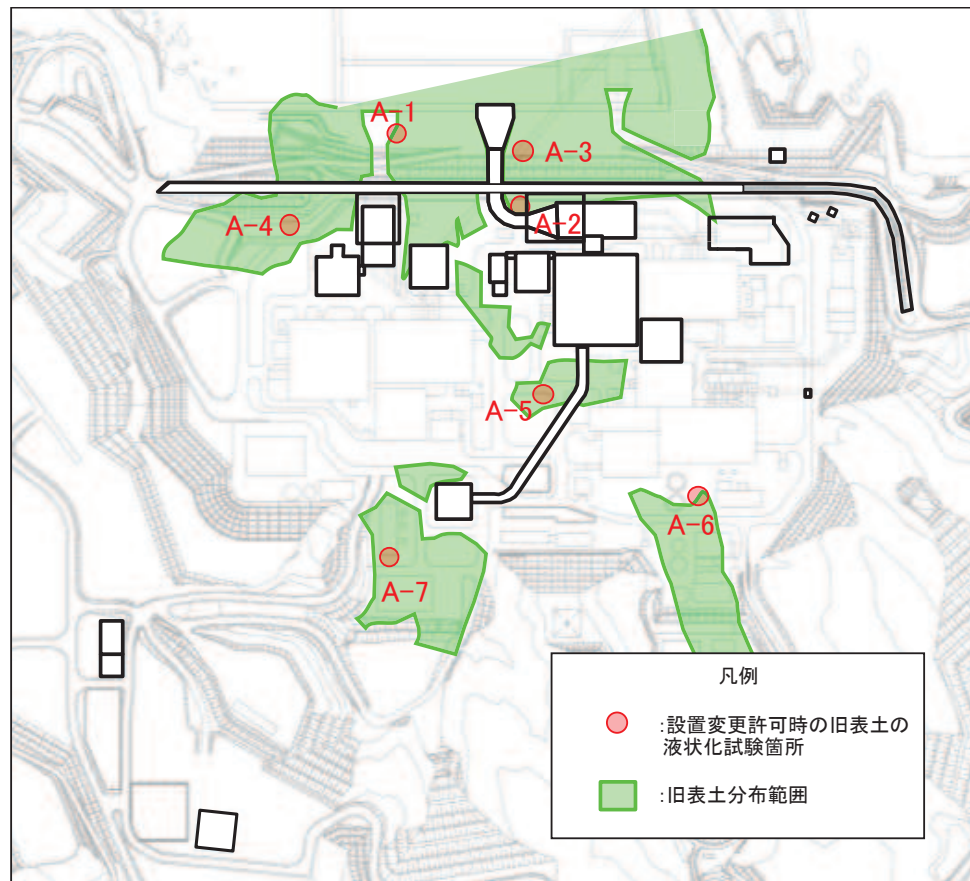


盛土の追加液状化強度試験試料採取位置(計画)

3. 地盤の液状化強度特性

3.2 液状化強度試験(旧表土試験位置)

- 旧表土は、発電所建設の際の掘削により、その多くが取り除かれており、現在は盛土下部の岩盤上面に分布しているのみである。
- 上記の分布状況を踏まえ、旧表土が多く残る海側を中心に、各分布範囲から網羅的に試料採取して液状化強度試験を行い、液状化強度特性を設定(設置変更許可時から変更無し)。



【旧表土の試料採取箇所選定方針】

分布範囲が限られていることを踏まえ、旧表土が多く残る海側を中心に、各分布範囲から網羅的に選定する。



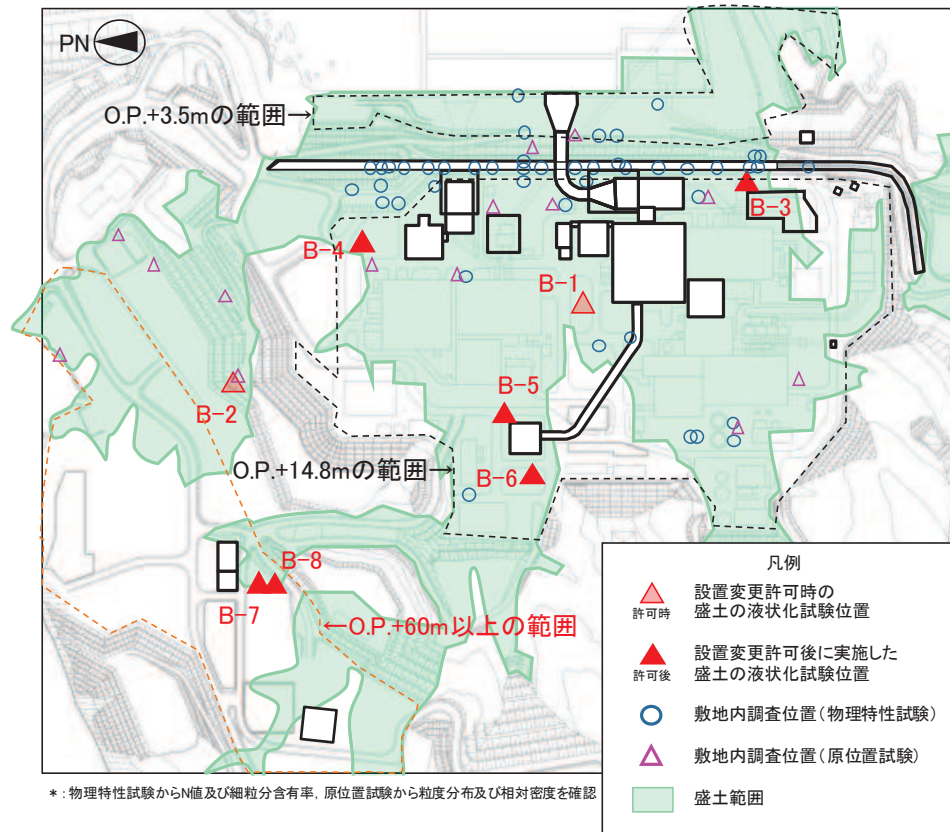
試料採取箇所:7箇所

試料採取位置の詳細を参考1に記載

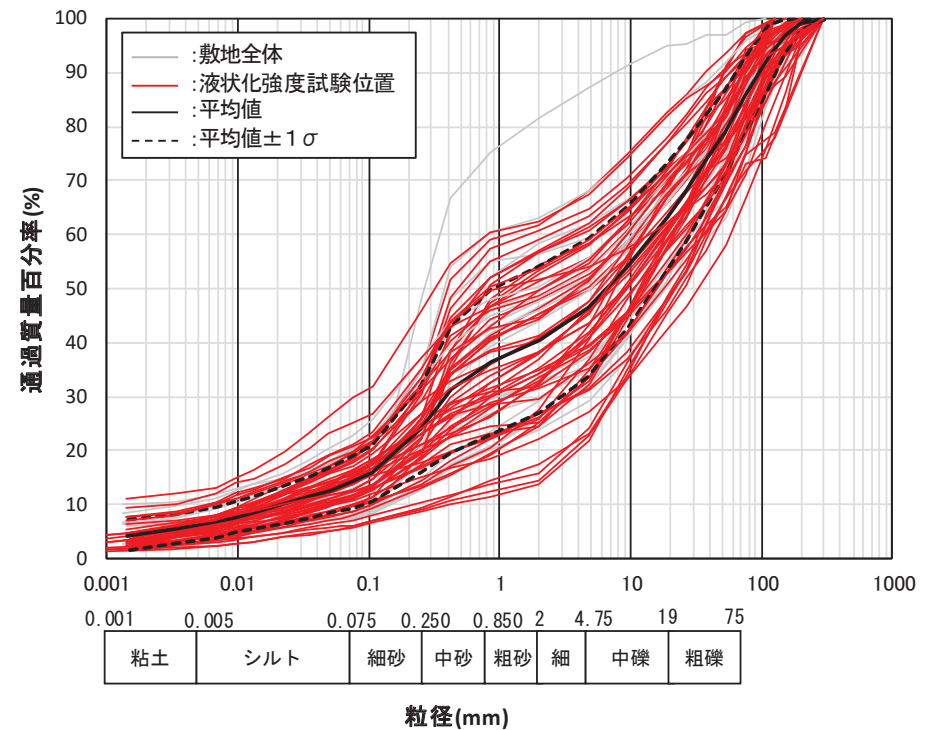
3. 地盤の液状化強度特性

3.2 液状化強度試験(盛土試験位置の代表性)

- 追加で実施した試験を含め、盛土の液状化強度試験に用いた供試体と、敷地全体から採取した盛土の粒度分布、細粒分含有率、相対密度及びN値を比較することにより、液状化強度試験の代表性及び網羅性を確認(設置変更許可時から変更無し)。
- 粒度分布については、液状化強度試験に用いた供試体は敷地全体から採取した盛土の供試体のばらつきの範囲内にあることを確認。



盛土の液状化強度試験の試料採取位置

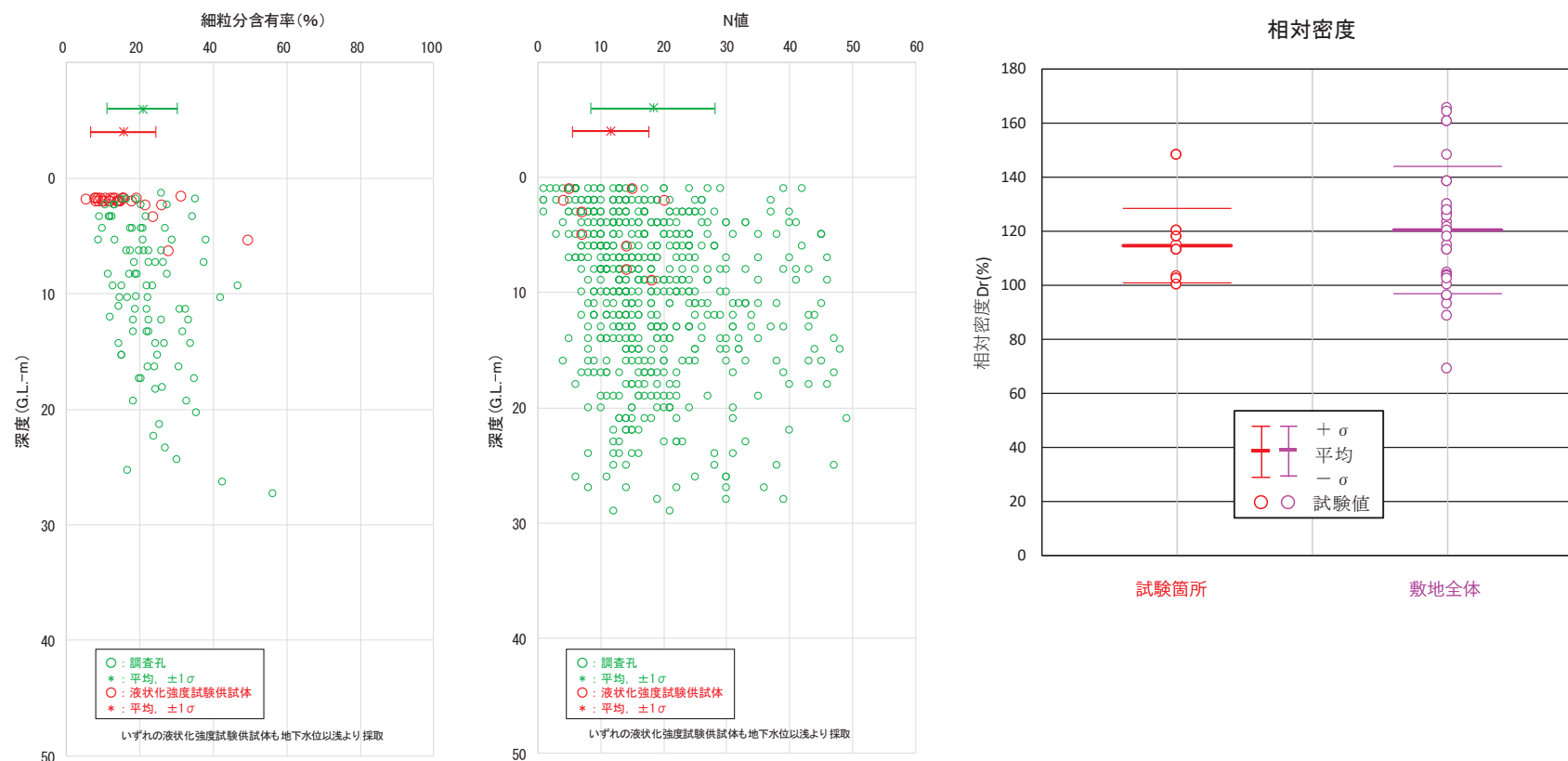


粒度分布の確認結果

3. 地盤の液状化強度特性

3.2 液状化強度試験(盛土試験位置の代表性)

- 細粒分含有率, N値及び相対密度については, 液状化強度試験に用いた盛土の供試体は敷地全体から採取した盛土の供試体よりも低い範囲にあることを確認。
- これらの結果は, 敷地全体から採取した盛土の供試体に比べ, 液状化強度試験に用いた盛土の供試体が同程度あるいはやや液状化しやすい傾向があることを示す。
- 以上から, 液状化強度試験に用いた盛土の供試体は, 追加実施した液状化強度試験の結果を含めても敷地内の盛土に対して代表性及び網羅性を有すると判断できる。

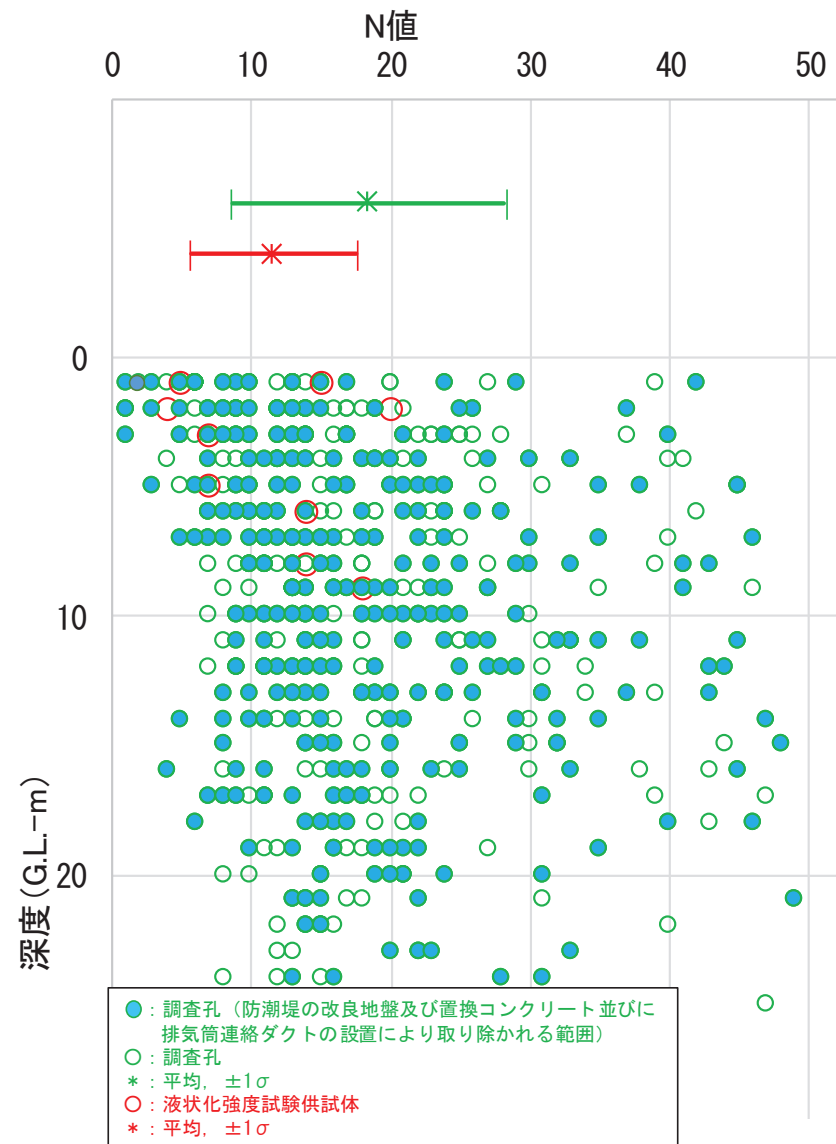


細粒分含有率, N値及び相対密度の確認結果

3. 地盤の液状化強度特性

3.2 液状化強度試験(盛土試験位置の代表性)

- 前頁の図のうちN値について、液状化強度試験位置のN値よりも低い箇所が確認されているが、これらは右図に示すように、採取位置が浅部で地下水位以浅であること及び防潮堤や排気筒連絡ダクト設置に伴い取り除かれている箇所であることを確認した。また、残存している箇所は試験箇所と同等のN値であり、試験結果に網羅されていることを確認した(N値が低い箇所の詳細については参考2に記載)。
- 以上から、N値が低い箇所の存在を考慮しても、敷地内の盛土に対する代表性及び網羅性を有する。
- 盛土の液状化強度特性の設定に当たっては下限値にて設定することにより保守性を考慮(設置変更許可時から変更無し)。

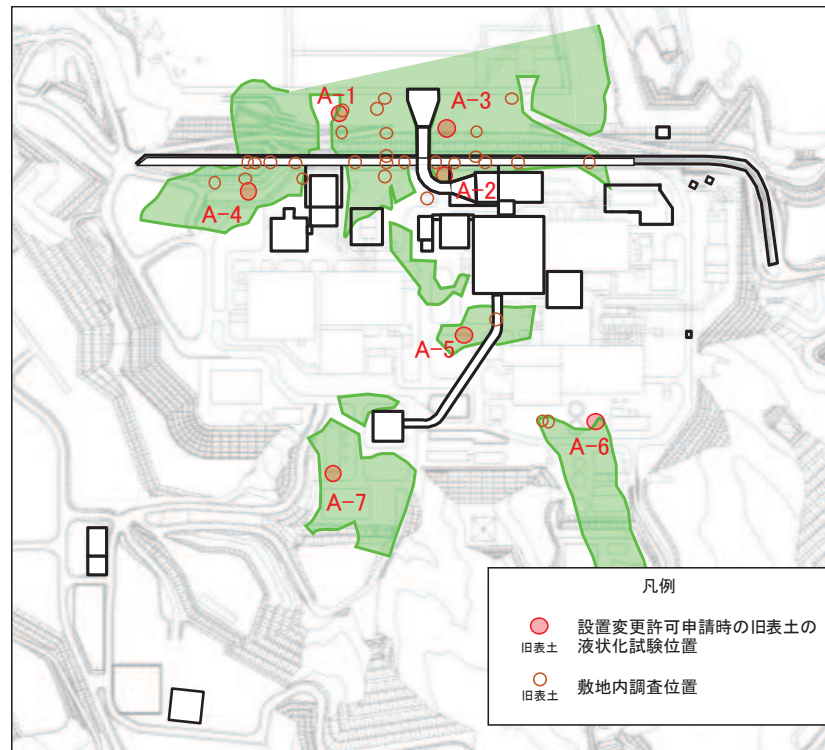


盛土の液状化強度試験供試体と敷地内調査個所のN値

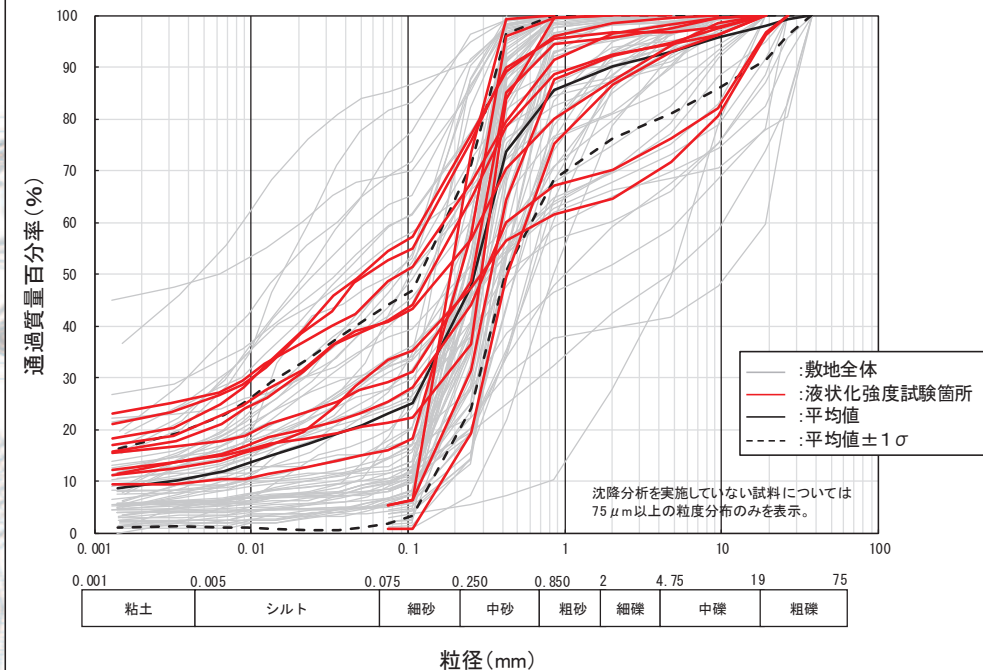
3. 地盤の液状化強度特性

3.2 液状化強度試験(旧表土試験位置の代表性)

- 旧表土の液状化強度試験に用いた供試体と、敷地全体から採取した旧表土の粒度分布、細粒分含有率及びN値を比較することにより、液状化強度試験の代表性及び網羅性を確認(設置変更許可時から変更無し)。
- 粒度分布については、液状化強度試験に用いた供試体は敷地全体から採取した旧表土の供試体のばらつきの範囲内にあることを確認。



旧表土の液状化強度試験の試料採取位置



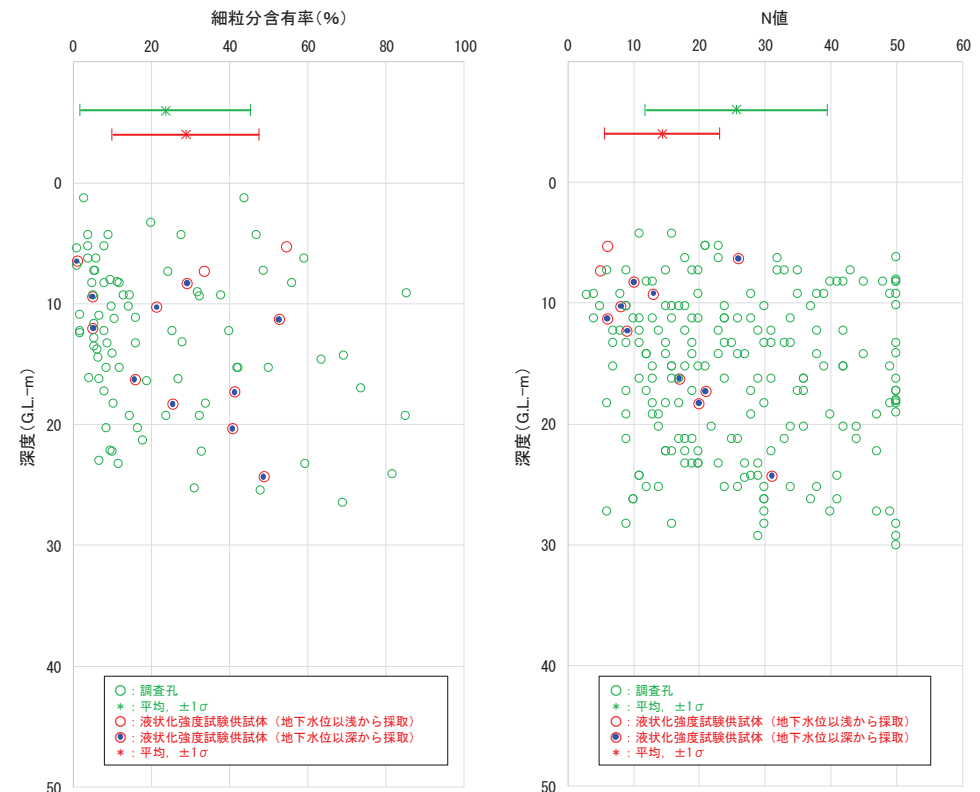
粒度分布の確認結果

3. 地盤の液状化強度特性

3.2 液状化強度試験(旧表土試験位置の代表性)

- 細粒分含有率及びN値については、液状化強度試験に用いた旧表土の供試体は敷地全体から採取した旧表土の供試体よりも低い範囲にあることを確認。
- これらの結果は、敷地全体から採取した旧表土の供試体に比べ、液状化強度試験に用いた旧表土の供試体が同程度あるいはやや液状化しやすい傾向があることを示す。
- 以上から、液状化強度試験に用いた旧表土の供試体は、敷地内の旧表土に対して代表性及び網羅性を有すると判断できる。

- 旧表土の液状化強度特性の設定に当たっては下限値にて設定することにより保守性を考慮(設置変更許可時から変更無し)。

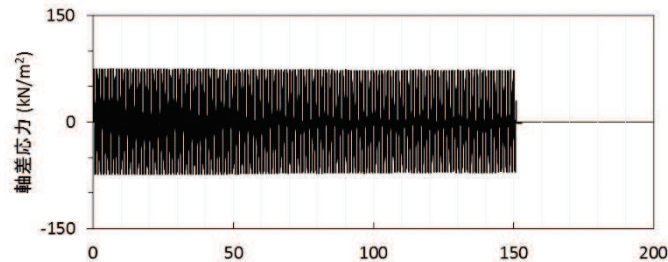
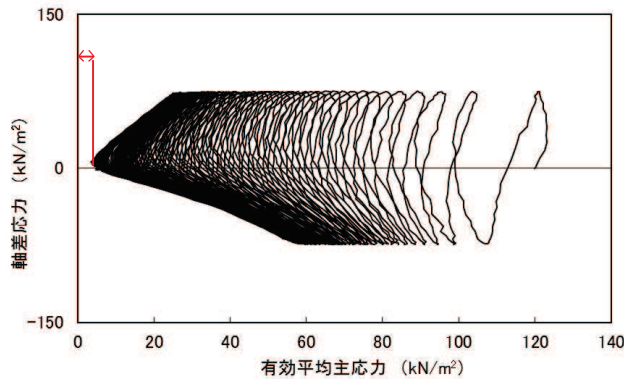


細粒分含有率及びN値の確認結果

3. 地盤の液状化強度特性

3.2 液状化強度試験(盛土試験結果:設置変更許可時)

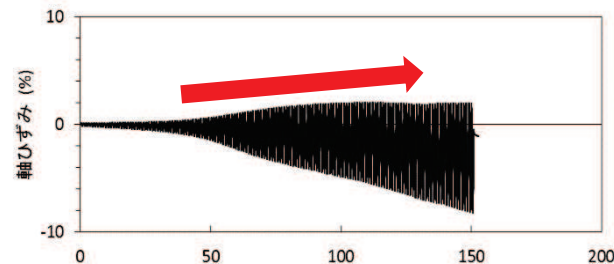
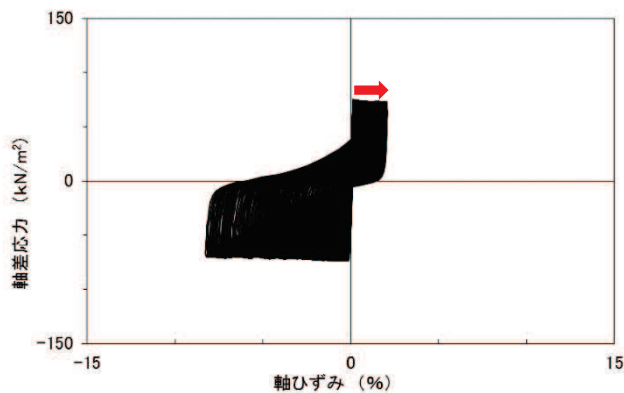
- 盛土の液状化強度試験結果の例を示す(B-1-2試料, 供試体No.1: ϕ 100mm, 深度地表から5.00~6.95m)。
- 有効応力がゼロになることはなく, ねばり強い挙動を示し, 繰返し軟化に分類されることを確認(液状化強度試験結果の分類については参考3に記載)。



供試体が試験前後とも自立するほどの強度がある。

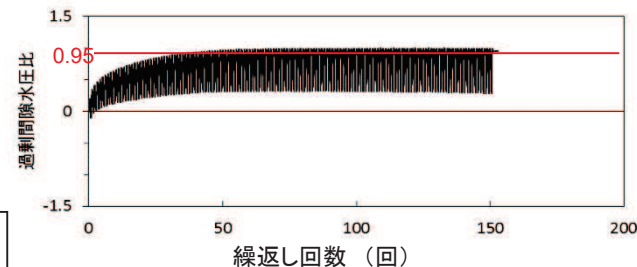
試験後の供試体

繰返し荷重を載荷しても, 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。

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。

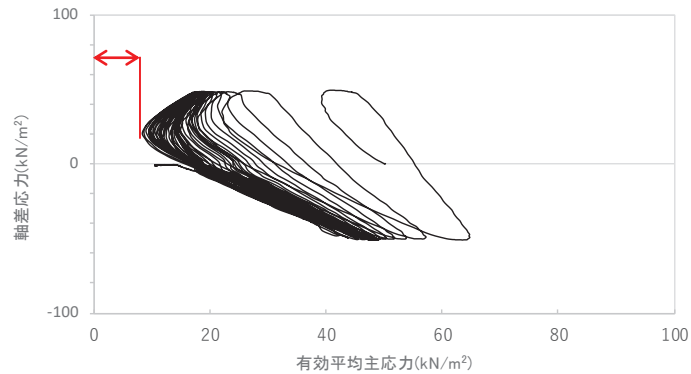


過剰間隙水圧比は95%を超過するものの, 頭打ちとなり, 100%にはならず, せん断応力作用時には, 正のダイレイタンス効果により, 過剰間隙水圧は低下し(さらに負になる), 有効応力が回復する。

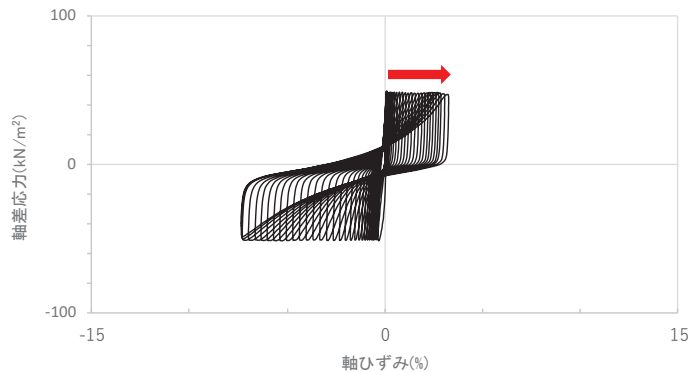
3. 地盤の液状化強度特性

3.2 液状化強度試験(盛土追加試験結果)

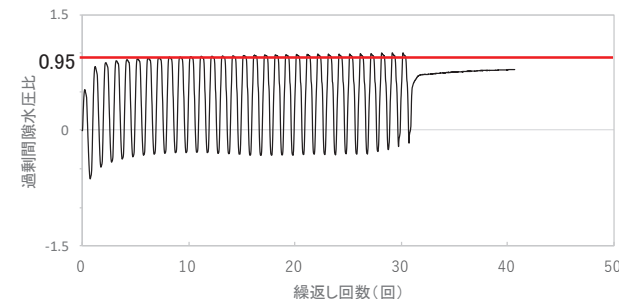
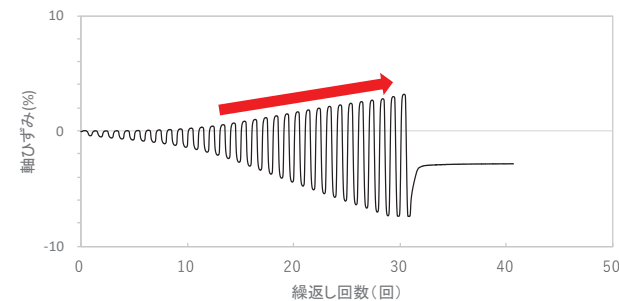
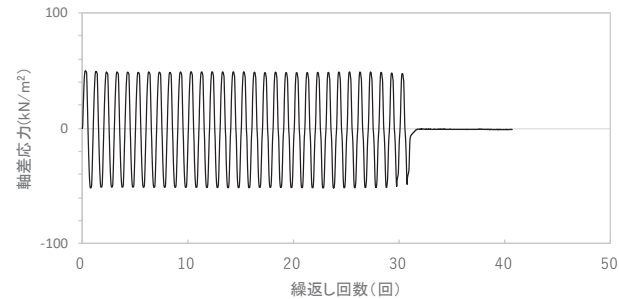
- 盛土の追加液状化強度試験結果の例を示す(B-3試料, 供試体No.3: ϕ 300mm, 深度地表から1.50~2.50m)。
- 有効応力がゼロになることはなく, ねばり強い挙動を示し, 繰返し軟化に分類されることを確認(設置変更許可時の試験結果と同様)。



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。



試験後の供試体

供試体が試験前後とも自立するほどの強度がある。

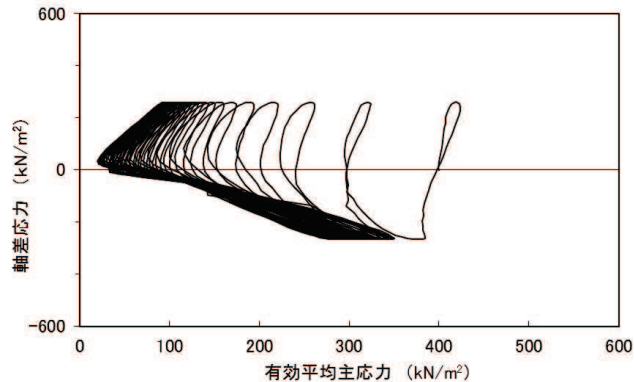
ひずみは徐々に大きくなるが, 急に増大しないため, 脆性的な破壊は生じず, ねばり強い挙動を示す。

過剰間隙水圧比は95%を超過するものの, 頭打ちとなり, 100%にはならず, せん断応力作用時には, 正のダイレイタンス効果により, 過剰間隙水圧は低下し(さらに負になる), 有効応力が回復する。

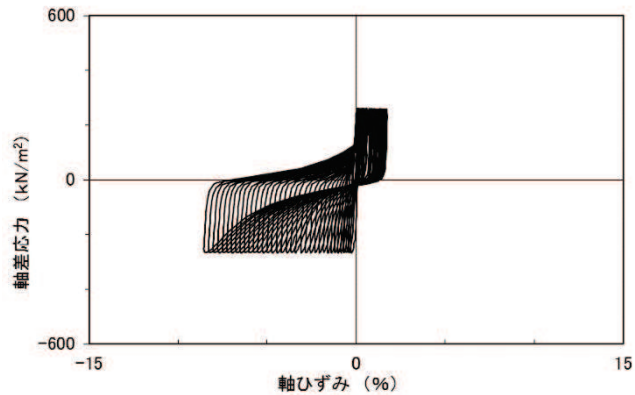
3. 地盤の液状化強度特性

3.2 液状化強度試験(旧表土試験結果)

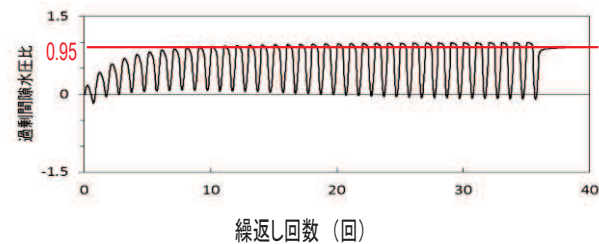
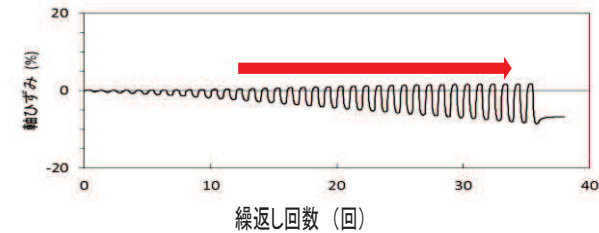
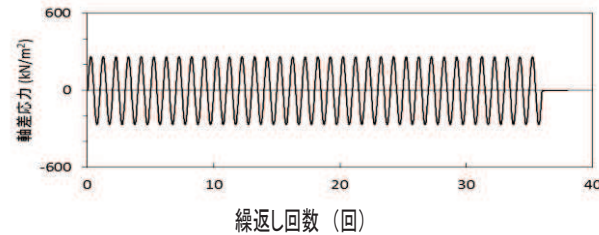
- 旧表土の液状化強度試験結果の例を示す(A-2試料, 供試体No.4; ϕ 100mm, 深度地表から18.00~20.95m)。
- 有効応力がゼロになることはなく, ねばり強い挙動を示し, 繰返し軟化に分類されることを確認(設置変更許可時から変更無し)。



繰返し荷重を載荷しても, 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。



試験後の供試体

供試体が試験前後とも自立するほどの強度がある。

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。

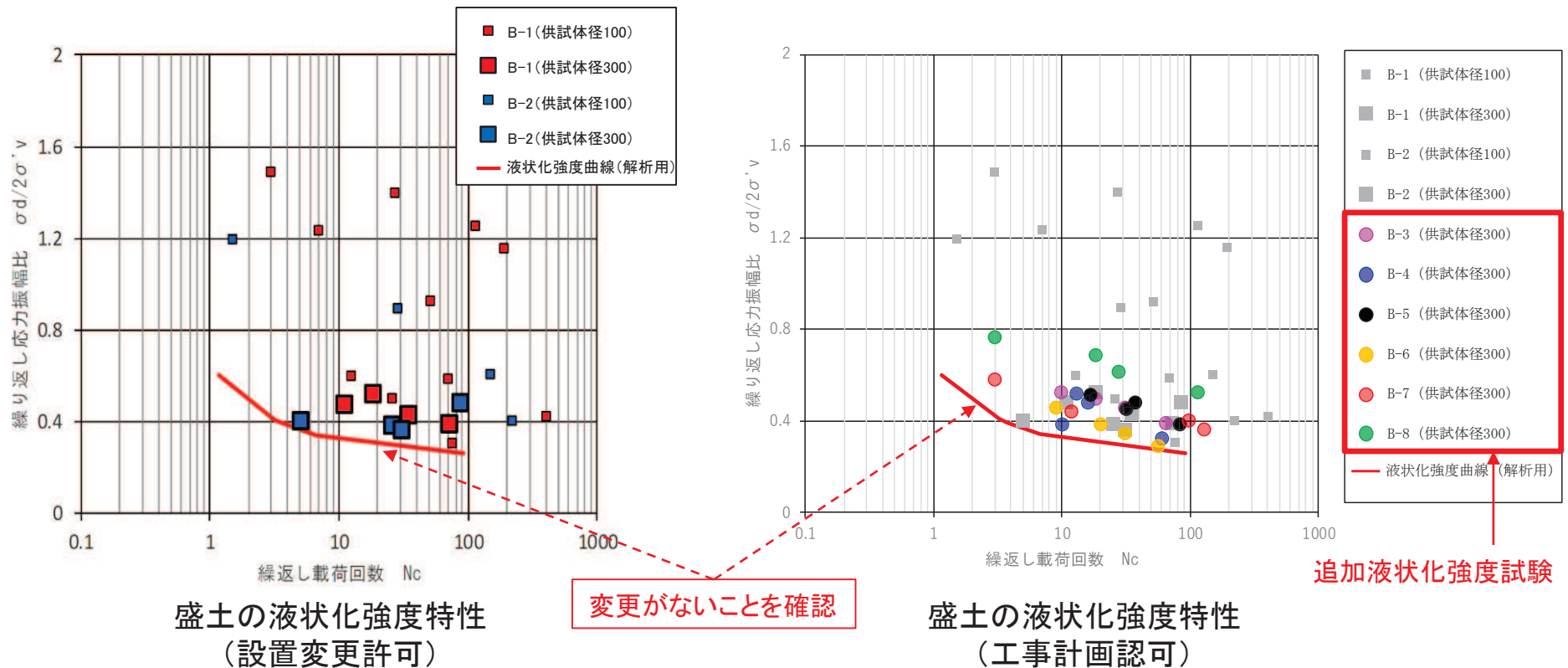
過剰間隙水圧比は95%を超過するものの, 頭打ちとなり, 100%にはならない。
せん断応力作用時には, 正のダイレイタンス効果により, 過剰間隙水圧は低下し(さらに負になる。), 有効応力が回復する。

3. 地盤の液状化強度特性

3.3 液状化強度特性の設定(盛土)

【盛土の液状化強度特性の設定】

- 設置変更許可の液状化強度特性は、得られた液状化強度試験結果の下限値に設定。
- 工事計画認可の液状化強度特性は、設置変更許可の設定方針と同様に、追加の液状化強度試験を含めた盛土の液状化強度試験結果の下限値に設定。
- その結果、追加実施した盛土の液状化強度試験結果を考慮しても、設置変更許可の液状化強度特性から変更がないことを確認。

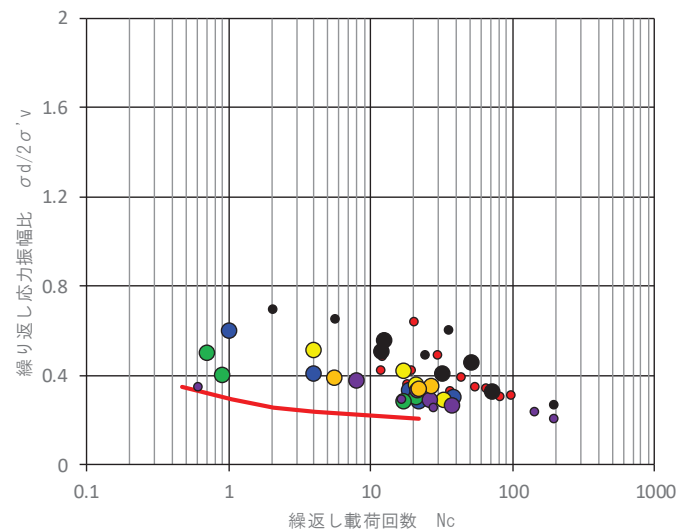


3. 地盤の液状化強度特性

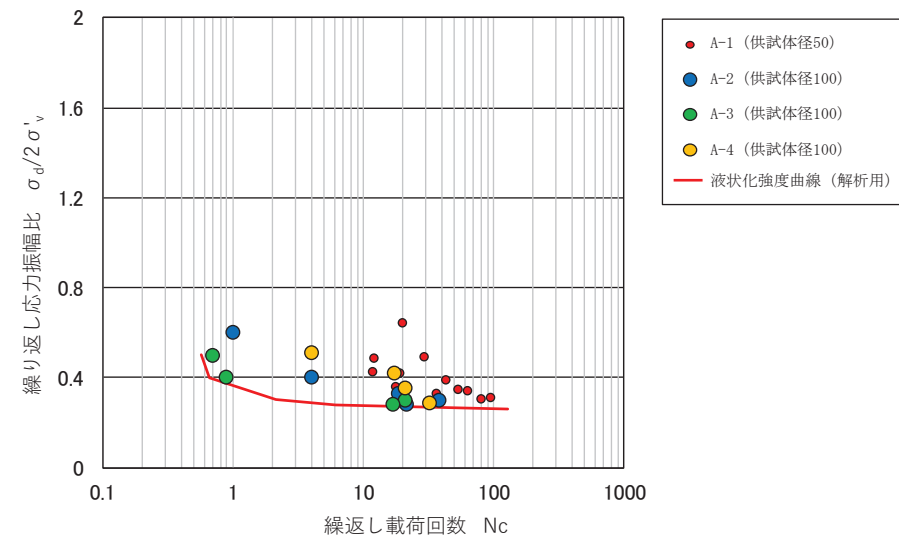
3.3 液状化強度特性の設定(旧表土)

【旧表土の液状化強度特性の設定】

- 液状化強度特性は、得られた液状化強度試験結果の下限値に設定（設置変更許可時から変更無し）。
- 防潮堤における旧表土の液状化強度特性については、施設近傍の液状化強度試験結果を使用し、その試験結果の下限値に設定（設置変更許可時から変更無し）。



旧表土の液状化強度特性



旧表土の液状化強度特性
(防潮堤)

3. 地盤の液状化強度特性

3.3 液状化強度特性の設定

- 以上の検討を踏まえ、液状化強度特性を設定（設置変更許可時から変更無し）。

液状化検討対象層の液状化強度特性

	ϕ_p (°)	W1	p1	p2	c1	s1
旧表土	28	1.0	1.4	1.5	2.0	0.005
旧表土 (防潮堤)	28	1.3	1.2	0.8	2.75	0.005
盛土	28	14	1.0	0.6	2.8	0.005

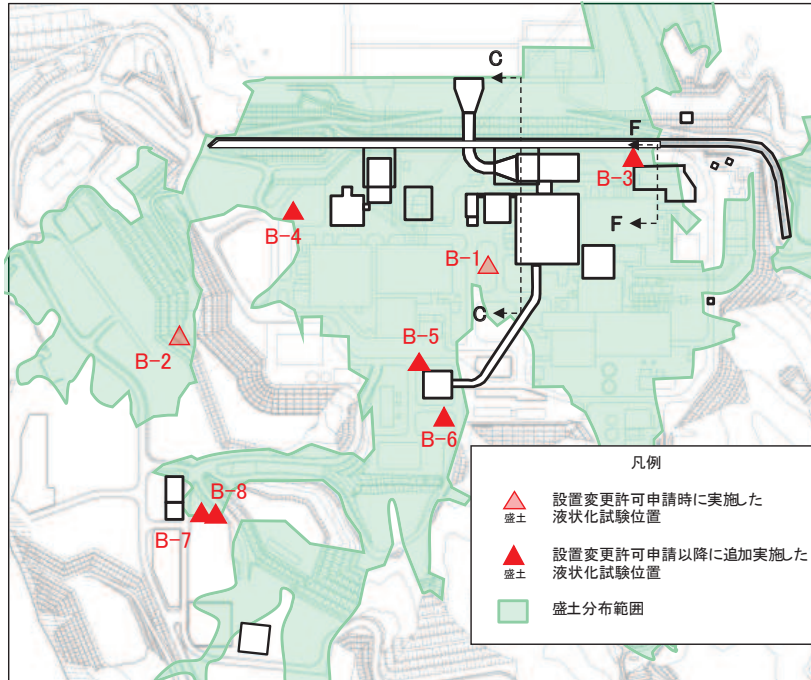
3. 地盤の液状化強度特性

3.4 まとめ

	まとめ	設置変更許可段階との比較
液状化検討対象層の抽出	<ul style="list-style-type: none">液状化検討対象層は未固結の地盤すべて(盛土及び旧表土)とする	<ul style="list-style-type: none">設置変更許可段階と同様
液状化強度試験試料採取箇所	<ul style="list-style-type: none">盛土において6箇所追加し, 計8箇所を実施旧表土において7箇所を実施	<ul style="list-style-type: none">盛土についてデータを拡充(設置変更許可段階で示した計画どおり)
液状化強度試験位置の代表性	<ul style="list-style-type: none">粒度分布, 細粒分含有率, N値及び相対密度(盛土において指標)により代表性を確認局所的にN値が低い箇所が設計結果に及ぼす影響を考察	<ul style="list-style-type: none">設置変更許可段階と同様の代表性確認に加え, N値が低い箇所についての考察を加え説明性を向上
液状化強度試験結果	<ul style="list-style-type: none">試験結果は, 有効応力がゼロになることはなく, ねばり強い挙動を示し, 繰返し軟化に分類されることを確認	<ul style="list-style-type: none">設置変更許可段階と同様
液状化強度特性の設定	<ul style="list-style-type: none">液状化強度特性は, 液状化強度試験結果の下限值に設定	<ul style="list-style-type: none">設置変更許可段階と同様設定結果も変更なし

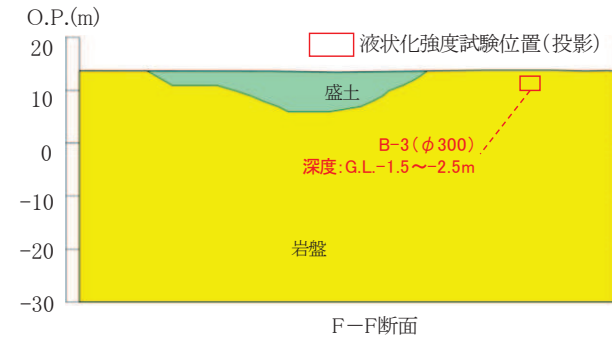
3. 地盤の液状化強度特性

参考1. 液状化強度試験試料採取位置

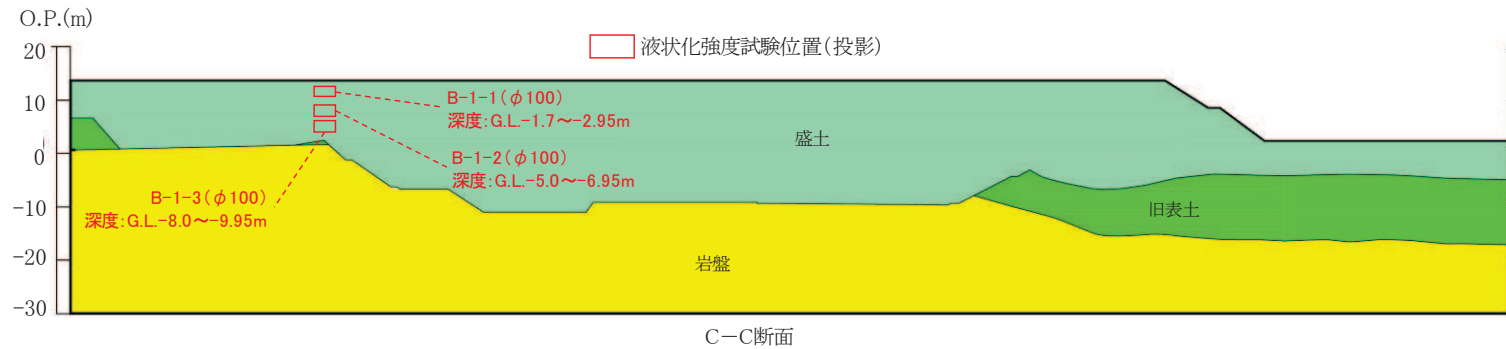


盛土分布範囲と液状化強度試験位置

* : 各断面図は液状化強度試験当時のものであり、その後掘削・整地しているから、平面図と断面図の形状は異なる。



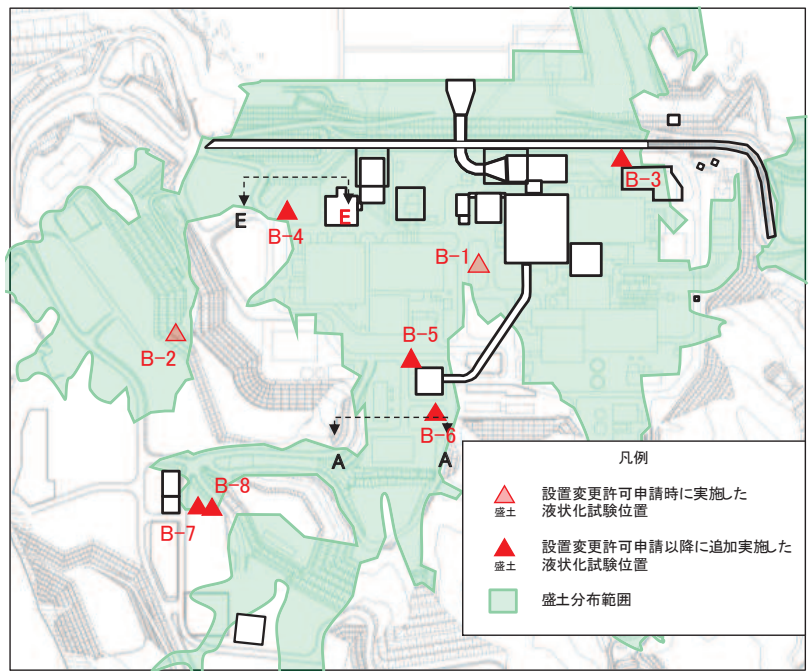
本断面図において、B-3は位置投影して表示させているため、B-3は岩盤から採取しているようにみえるが、実際は盛土から採取している。



盛土の液状化強度試験の試料採取位置(1/3)

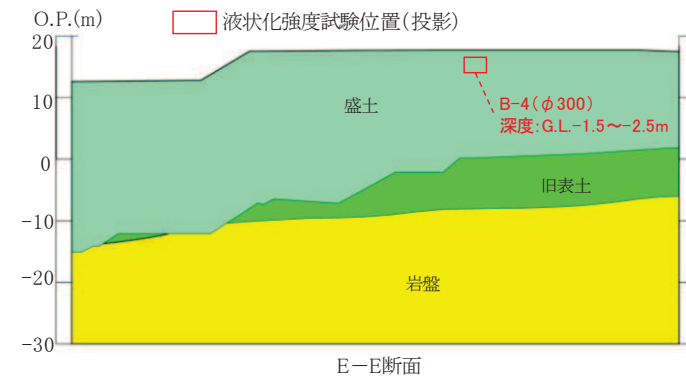
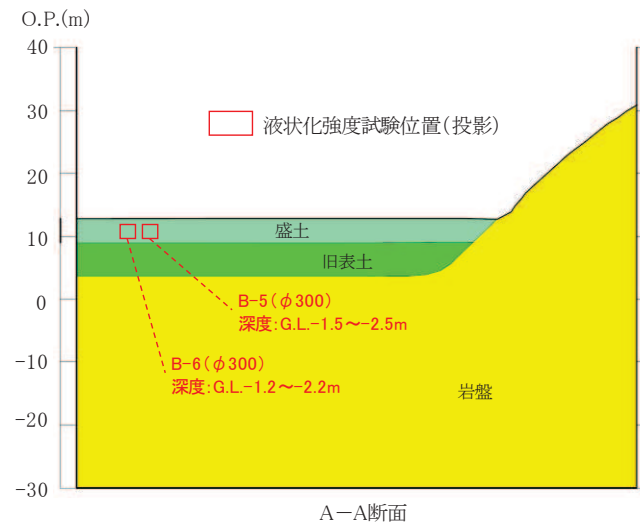
3. 地盤の液状化強度特性

参考1. 液状化強度試験試料採取位置



盛土分布範囲と液状化強度試験位置

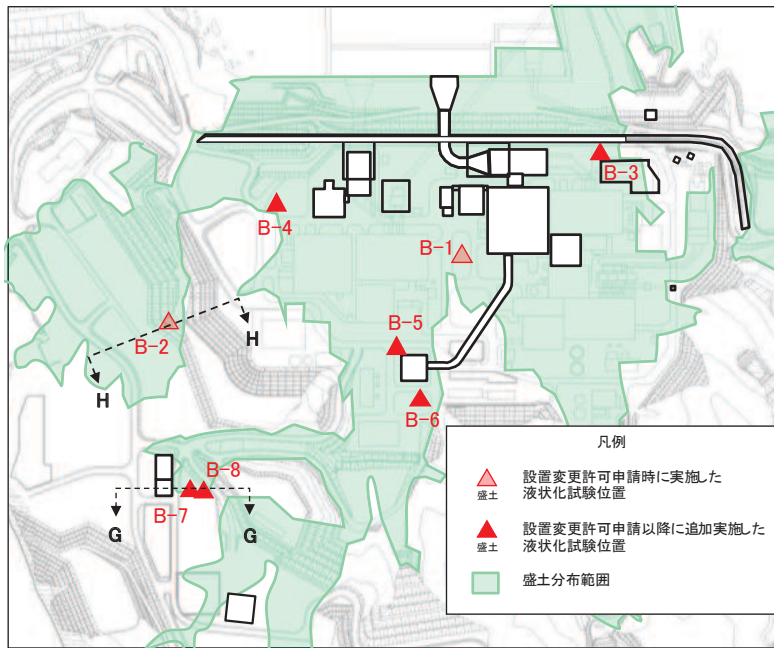
* : 各断面図は液状化強度試験当時のものであり、その後掘削・整地しているから、平面図と断面図の形状は異なる。



盛土の液状化強度試験の試料採取位置(2/3)

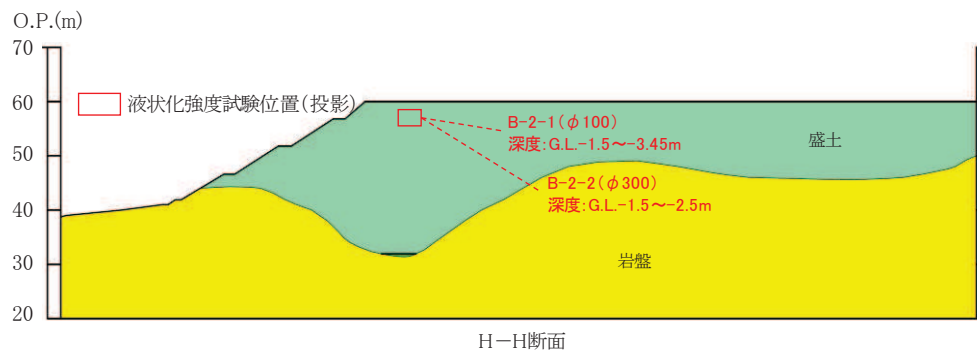
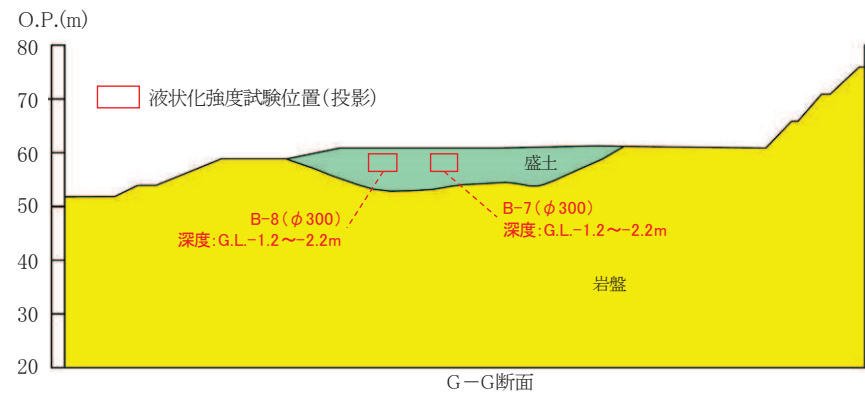
3. 地盤の液状化強度特性

参考1. 液状化強度試験試料採取位置



盛土分布範囲と液状化強度試験位置

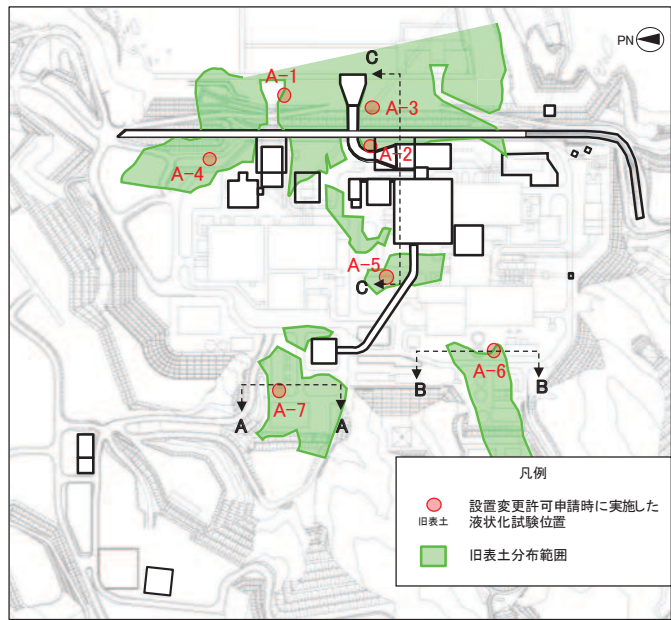
* :各断面図は液状化強度試験当時のものであり、その後掘削・整地しているから、平面図と断面図の形状は異なる。



盛土の液状化強度試験の試料採取位置(3/3)

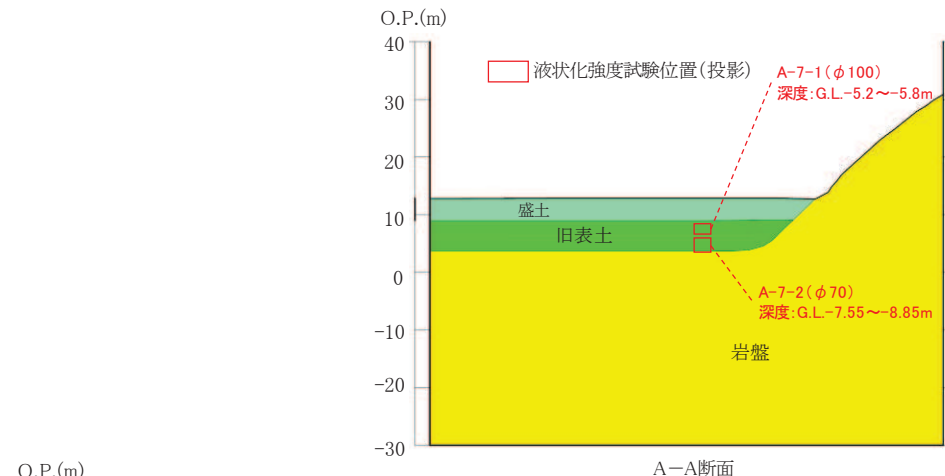
3. 地盤の液状化強度特性

参考1. 液状化強度試験試料採取位置

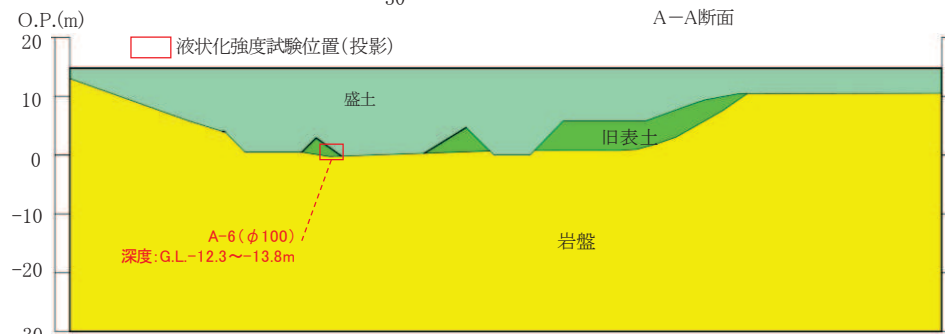


旧表土分布範囲と液状化強度試験位置

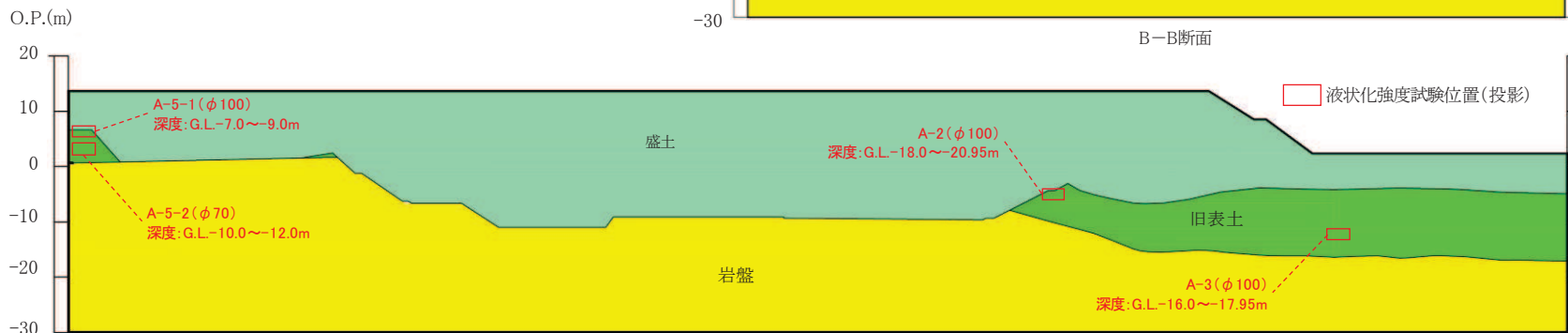
* :各断面図は液状化強度試験当時のものであり、その後掘削・整地しているから、平面図と断面図の形状は異なる。



A-A断面



B-B断面

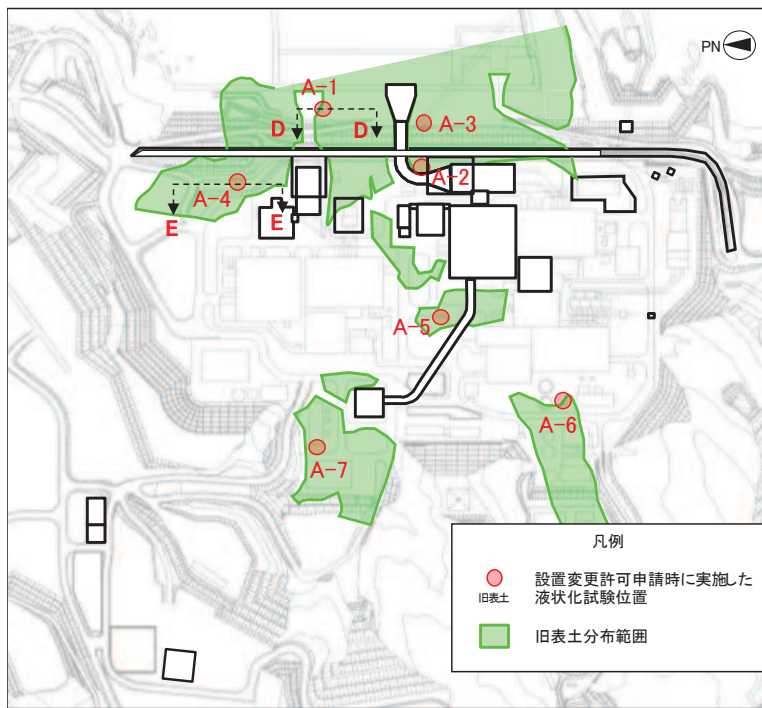


C-C断面

旧表土の液状化強度試験の試料採取位置(1/2)

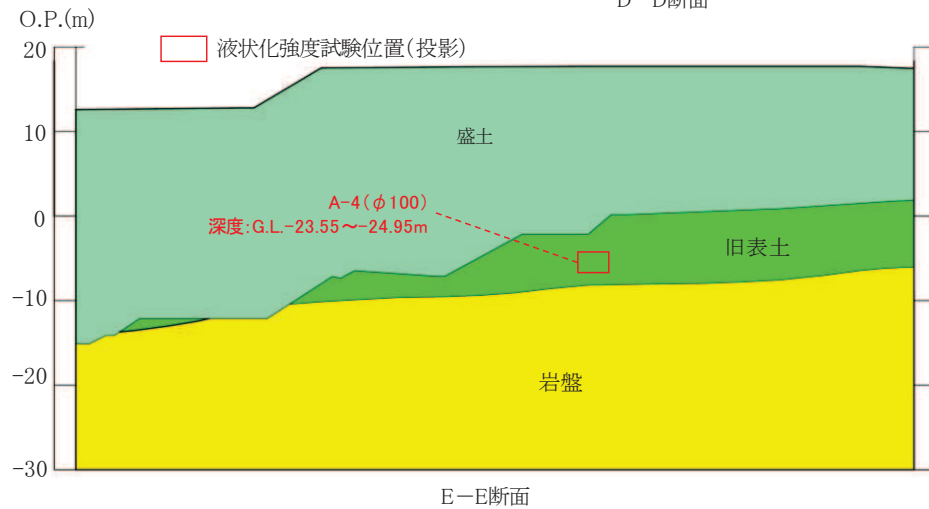
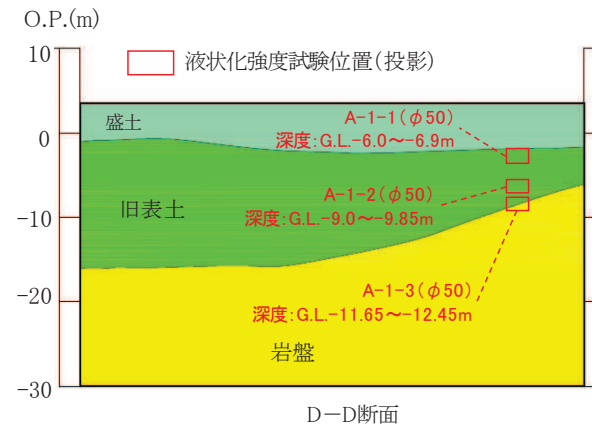
3. 地盤の液状化強度特性

参考1. 液状化強度試験試料採取位置



旧表土分布範囲と液状化強度試験位置

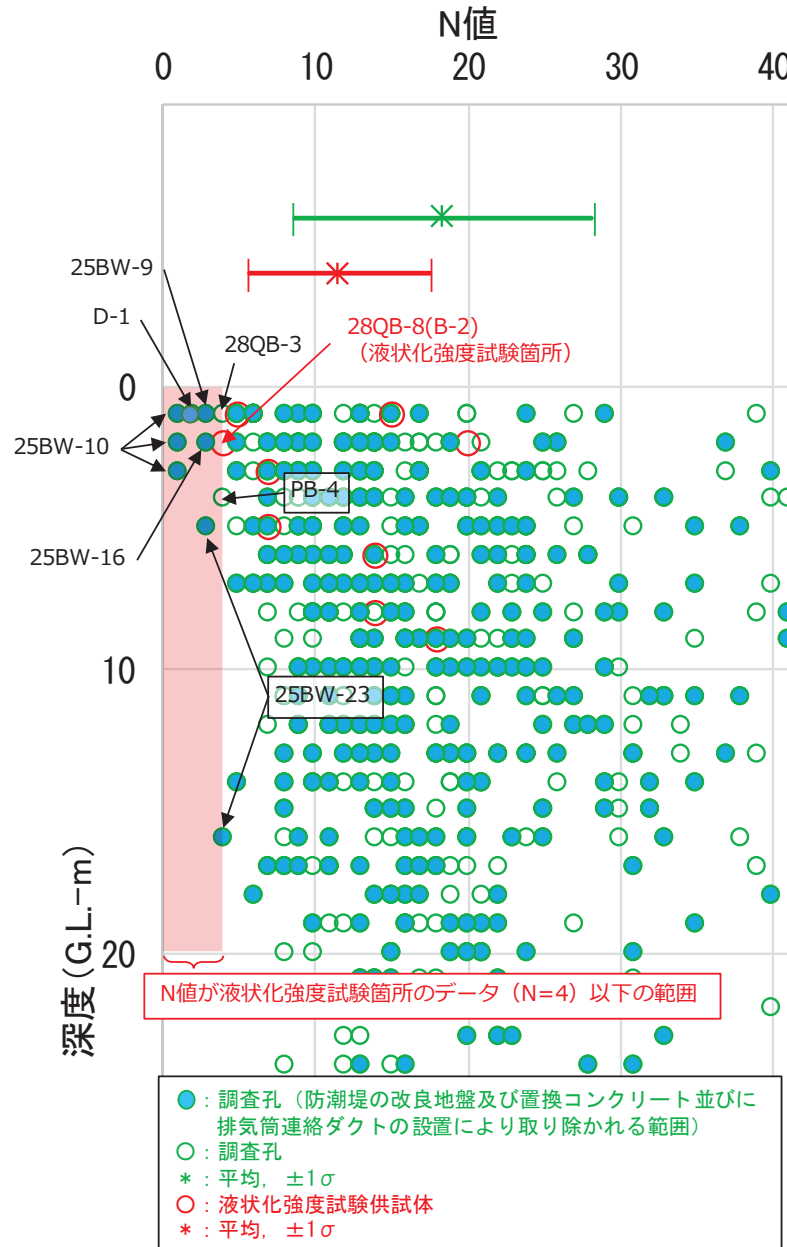
* :各断面図は液状化強度試験当時のものであり、その後掘削・整地しているから、平面図と断面図の形状は異なる。



旧表土の液状化強度試験の試料採取位置 (2/2)

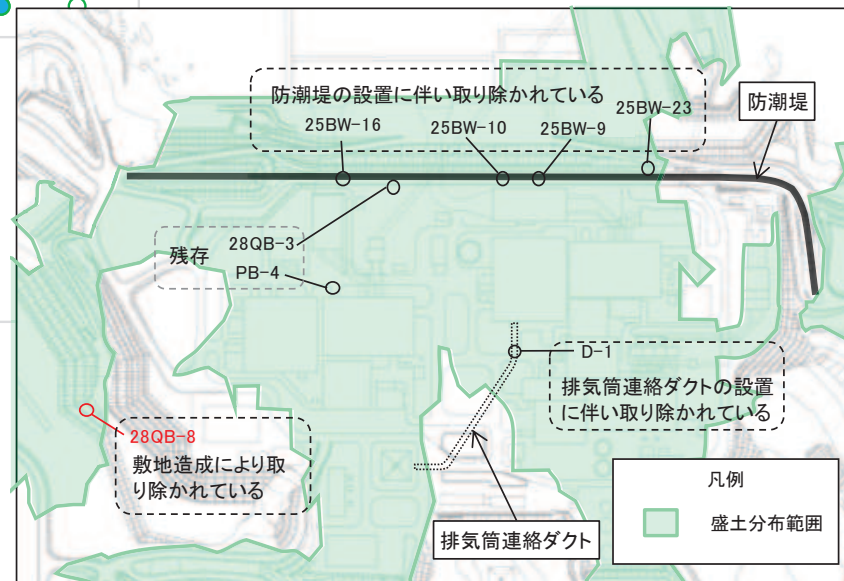
3. 地盤の液状化強度特性

参考2. 盛土の液状化強度試験箇所のN値以下となっている箇所の整理



N値が液状化強度試験データ (B-2 : N=4) 以下の整理

孔名	N値	深度 (G.L.-m)	地下水位との関係	現在の状況
25BW-10	1	1~3	地下水位以浅	防潮堤の設置に伴い取り除かれている。
D-1	2	1	地下水位以浅	排気筒連絡ダクトの設置に伴い取り除かれている。
25BW-9	3	1	地下水位以浅	防潮堤の設置に伴い取り除かれている。
25BW-16	3	2	地下水位以浅	
25BW-23	3	5	地下水位以浅	
28QB-3	4	1	地下水位以浅	残存
PB-4	4	4	地下水位以浅	残存
25BW-23	4	16	地下水位以深	防潮堤の設置に伴い取り除かれている。
28QB-8 (B-2)	4	2	地下水位以浅	敷地造成により取り除かれている。



N値が液状化強度試験データ (B-2 : N=4) 以下の調査箇所

3. 地盤の液状化強度特性

参考3. 液状化強度試験結果の分類の考え方

- 液状化強度試験の結果は、有効応力が低下する影響を広義に分類・定義している土木学会地震工学委員会の報告書に基づき分類する。
- 液状化しなくとも、間隙水圧の上昇による剛性の低下が生じる場合、構造物の設計で考慮する必要があると考えることから、「繰返し軟化」についても分類する。ただし、「サイクリック・モビリティ」は「繰返し軟化」のうち、有効応力がゼロ（せん断抵抗が小さくなる）まで低下するケースと考えられることから「繰返し軟化」に含める。

土木学会地震工学委員会「レベル2地震動による液状化研究小委員会」活動成果報告書

女川の液状化強度試験結果の分類

液状化：

地震の繰返しせん断力などによって、飽和した砂や砂礫などの緩い非粘性土からなる地盤内で間隙水圧が上昇・蓄積し、有効応力がゼロまで低下し液体状となり、その後地盤の「流動」をともなう現象。



液状化

広義の液状化：

緩い砂地盤や砂礫地盤に限定せず、密な砂地盤や密な砂礫地盤さらに粘性土地盤でも地震などを含む種々の外力によって有効応力が低下し、地盤の強度または剛性の低下により有害な沈下や変形などが起こる現象。

繰返し軟化、サイクリック・ソフトニング：

繰返し荷重による間隙水圧上昇と剛性低下によりせん断ひずみが発生し、それが繰返し回数とともに徐々に増大するが、土のもつダイレイタンスー特性や粘性のためにひずみは有限の大きさとどまり、大きなひずみ範囲にいたるまでの流動は起きない。



繰返し軟化

サイクリック・モビリティ：

繰返し荷重において土が「繰返し軟化」する過程で、限られたひずみ範囲ではせん断抵抗が小さくなくても、ひずみが大きく成長しようとする、正のダイレイタンスー特性のためにせん断抵抗が急激に作用し、せん断ひずみの成長に歯止めがかかる現象。



非液状化

液状化、繰返し軟化以外を非液状化に分類する。

3. 地盤の液状化強度特性

参考3. 液状化強度試験結果の分類の考え方

- 土木学会地震工学委員会の定義に基づき、以下の判定項目から、「液状化」、「繰返し軟化」及び「非液状化」に分類する。
- 「繰返し軟化」と「サイクリック・モビリティ」は、合わせて「繰返し軟化」に分類する。

液状化強度試験結果の判定項目と分類

○:該当する, ×:該当しない

判定項目*1	液状化	繰返し軟化		非液状化
			サイクリック モビリティ	
<ul style="list-style-type: none"> 間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。) 	○	○	○	×
<ul style="list-style-type: none"> 有効応力がゼロまで低下する。 	○	×	○	×
<ul style="list-style-type: none"> 液体状となり流動する。 (ひずみが急増する。) 	○	×	×	×
<ul style="list-style-type: none"> 正のダイレイタンスー特性によりせん断抵抗が作用する。 (有効応力が回復する。) 	×	○	○	○ or ×*2

注記*1:土木学会地震工学委員会の定義に基づき判定項目を策定したが、液状化強度試験の結果に対して判定できるよう、括弧内の判断項目を補足した。

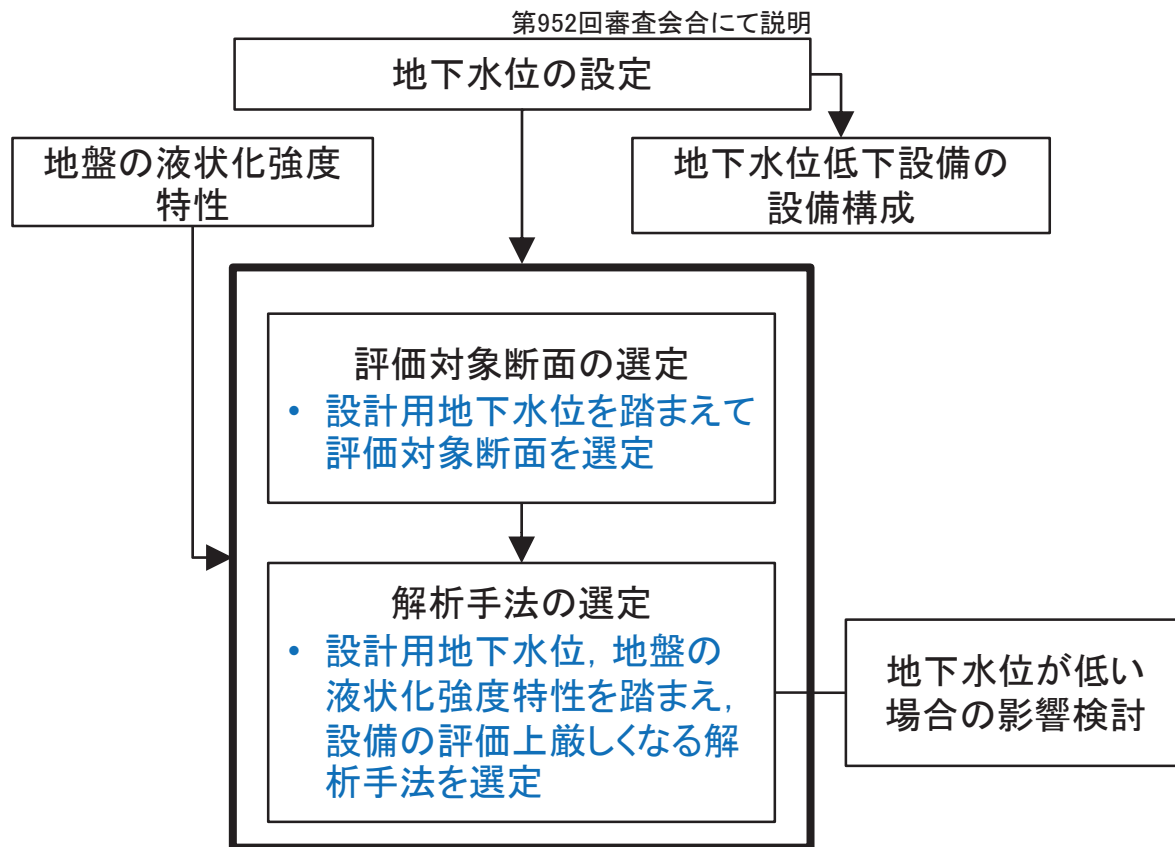
*2:項目の判定はするものの、「非液状化」の分類に影響は及ぼさない。

4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

4.1 はじめに

- 本章では、高めに設定された設計用地下水位、及び2章に記載の現実的な地下水位の影響、更には3章に記載の敷地の盛土・旧表土の液状化強度特性を踏まえ、屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定、及び液状化の評価を考慮に入れた解析手法の選定について、方針と結果について説明する。

【地下水位に関連する検討フロー】



【屋外重要土木構造物等の断面選定の説明内容】

4.2 屋外重要土木構造物等の概要

- ・対象構造物／配置平面図
- ・地盤改良の目的と施工範囲
- ・線状構造物の特徴
- ・箱形構造物の特徴
- ・津波防護施設の特徴

4.3 評価対象断面の選定

- ・断面選定の基本方針
- ・線状構造物の選定例
- ・箱形構造物の選定例
- ・津波防護施設の選定例

4.4 解析手法の選定

- ・選定手法選定フロー
- ・解析手法選定ケース

4.5 まとめ

4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

4.2 屋外重要土木構造物等の概要【①対象構造物】

- 本資料の対象とする構造物は、屋外重要土木構造物、重大事故等対処施設*¹、津波防護施設、地下水位低下設備であり、本資料では総称して「屋外重要土木構造物等」という。
- 屋外重要土木構造物等の構造は、線状構造物、箱形構造物、津波防護施設及び筒状構造物に分類される。

主な屋外重要土木構造物等一覧

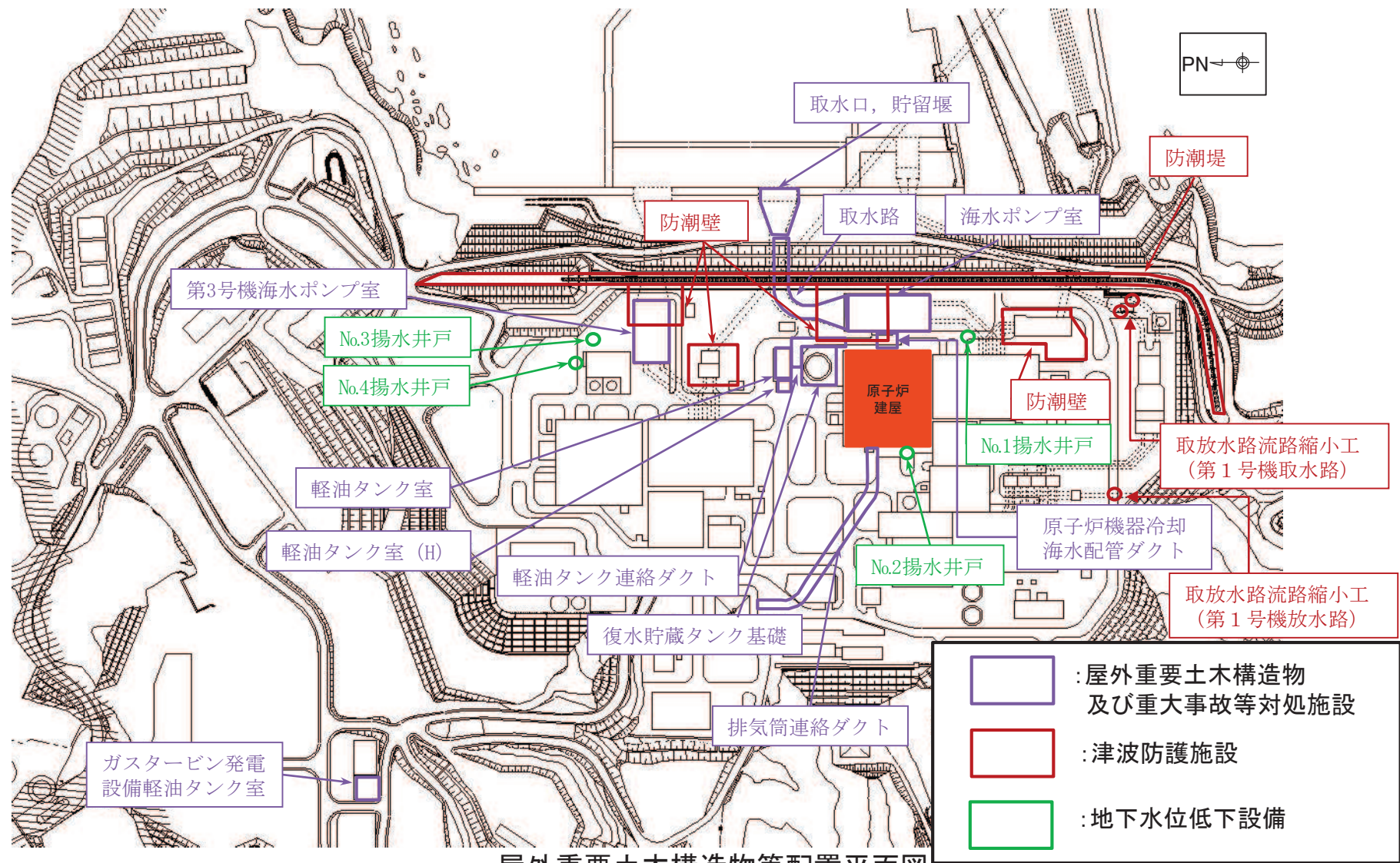
番号	分類* ²	設備名称	構造分類
1	屋重／重大	軽油タンク連絡ダクト	線状構造物
2	屋重／重大	排気筒連絡ダクト	
3	屋重／重大	原子炉機器冷却海水配管ダクト	
4	屋重／重大	取水路	
5	屋重／重大	軽油タンク室	箱形構造物
6	屋重／重大	軽油タンク室(H)	
7	屋重／重大	海水ポンプ室	
8	屋重／重大／津波	取水口(貯留堰を含む)	
9	重大	復水貯蔵タンク基礎	
10	重大	ガスタービン発電設備軽油タンク室	
11	屋重	第3号機海水ポンプ室	津波防護施設 構造が多岐に渡り、設置範囲も広い (耐津波評価も実施)
12	津波	防潮堤	
13	津波	防潮壁	
14	津波	取放水路流路縮小工	筒状構造物
15	地下水	揚水井戸	

注記 *1: 重大事故等対処施設は、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)のうち土木構造物を言う。

*2: 屋重: 屋外重要土木構造物, 重大: 重大事故等対処施設, 津波: 津波防護施設, 地下水: 地下水位低下設備

4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

4.2 屋外重要土木構造物等の概要【②配置平面図】



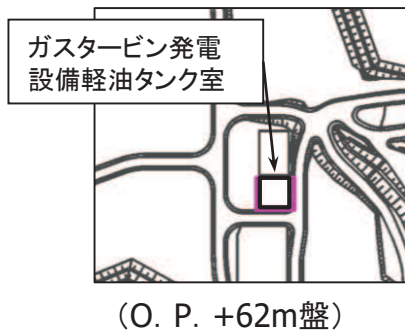
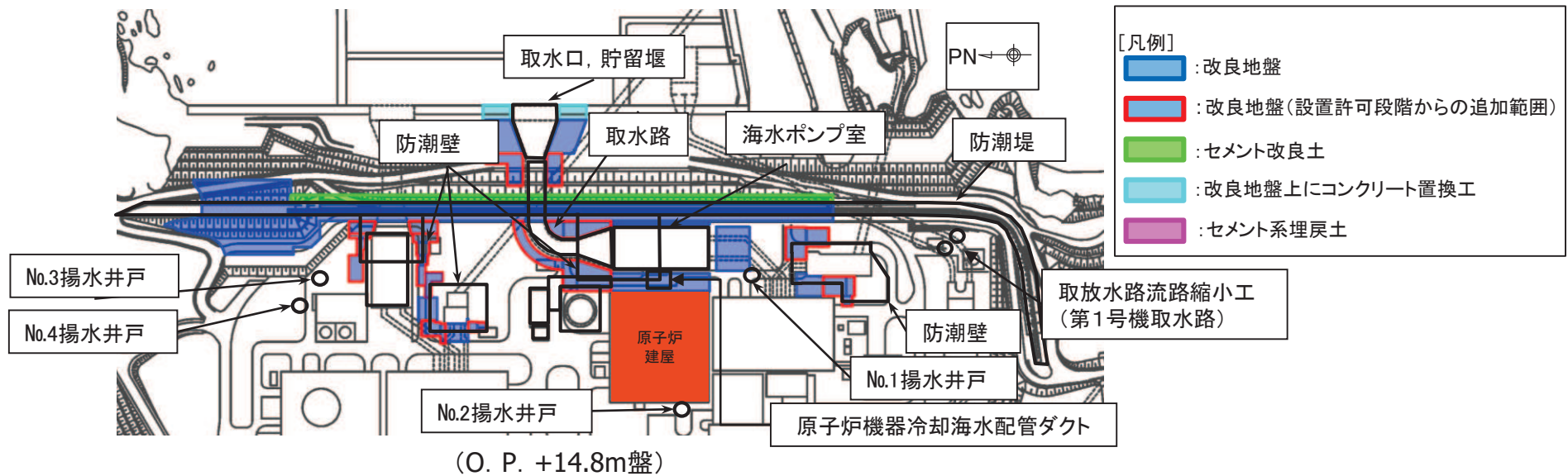
屋外重要土木構造物等配置平面図

- : 屋外重要土木構造物
及び重大事故等対処施設
- : 津波防護施設
- : 地下水位低下設備

4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

4.2 屋外重要土木構造物等の概要【③地盤改良の目的と施工範囲】

- 屋外重要土木構造物等の周辺地盤は、地震時の地盤の変形抑制、液状化対策等の目的で地盤改良しており、解析手法の選定においては液状化に対する改良地盤の効果を確認する。



施設毎の地盤改良の目的

	変形抑制	液状化対策	支持地盤	止水性に寄与	埋戻し材
原子炉機器冷却海水配管ダクト	○				
取水路	○	○			
海水ポンプ室	○	○			
取水口, 貯留堰	○	○			
ガスタービン発電設備軽油タンク室		○			○
防潮堤	○		○	○	
防潮壁	○	○			
揚水井戸					○

注) 構造物毎の地盤改良は、参考資料に示す。

4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

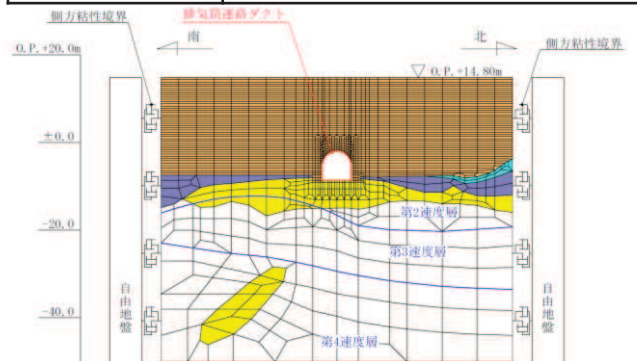
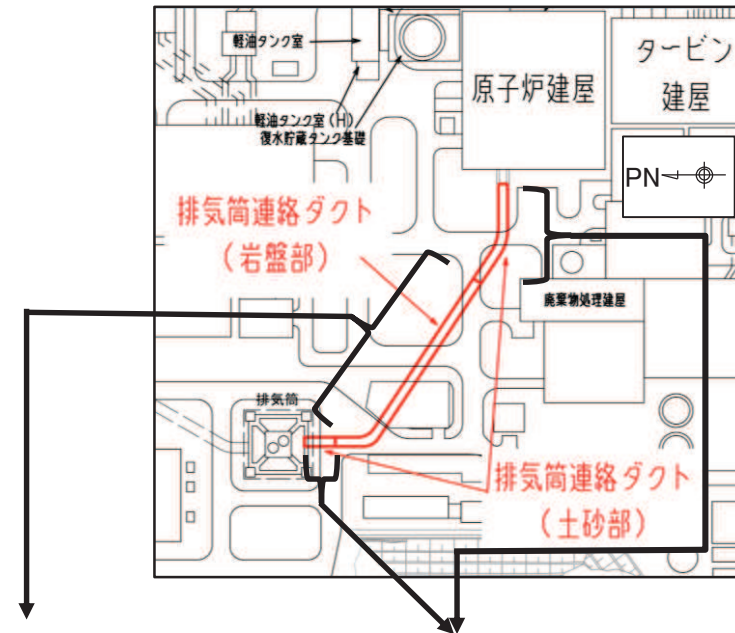
4.2 屋外重要土木構造物等の概要【④線状構造物の特徴】

- 線状構造物は、弱軸が明確で延長方向に断面変化の少ない構造物であり、排気筒連絡ダクトを代表に構造物の特徴と耐震評価方法を説明する。
- 排気筒連絡ダクトの耐震評価の断面は、岩盤部と土砂部それぞれから、代表断面を選定する。

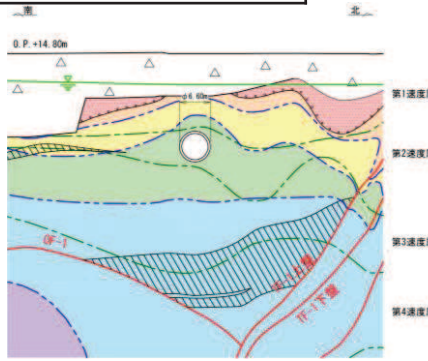
排気筒連絡ダクトの構造概要

名称	排気筒連絡ダクト
機能	・非常用ガス処理系配管の間接支持
構造	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋と排気筒を結ぶ、延長187mの鉄筋コンクリート造のトンネル構造物 ・躯体形状は、幌形の土砂部と円形の岩盤部の区間がある。 ・鉄筋の配筋はそれぞれの区間で同一 ・縦断勾配があり、原子炉建屋側が深い。 ・横断方向が弱軸
周辺地盤	周辺の地質や地下水位は延長方向で異なる。
耐震評価	選定断面に対する二次元動的有限要素解析を行い、部材の照査を行う。

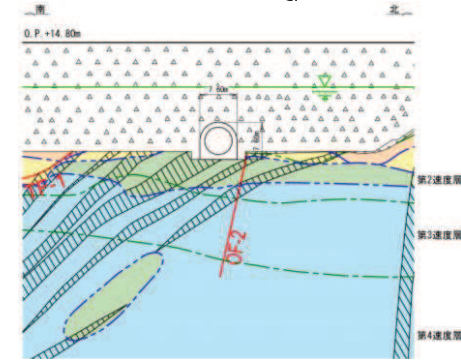
排気筒連絡ダクト配置平面図



排気筒連絡ダクト(土砂部)の解析モデル



排気筒連絡ダクト(岩盤部)



排気筒連絡ダクト(土砂部)

4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

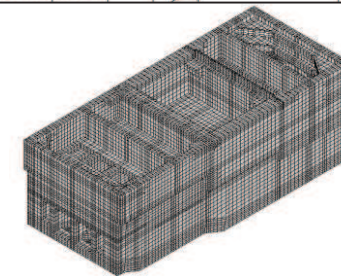
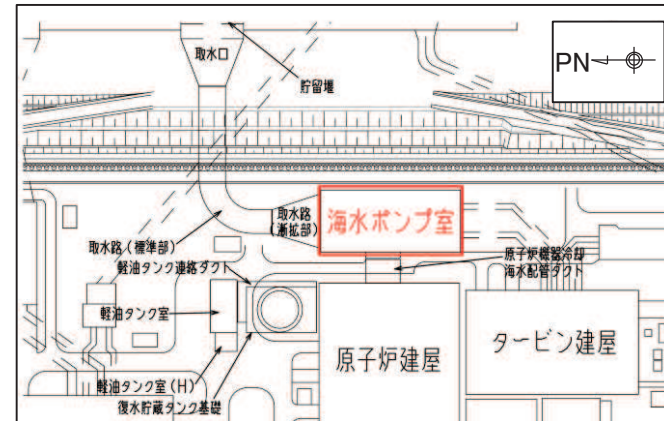
4.2 屋外重要土木構造物等の概要【⑤箱形構造物の特徴】

- 箱形構造物は、加震方向に平行な妻壁等を耐震部材として見込む箱形の構造物であり、海水ポンプ室を代表に構造物の特徴と耐震評価方法を説明する。
- 海水ポンプ室の耐震評価は、三次元モデルを用いた構造解析を実施する。三次元モデルに作用させる地震力を評価する断面は、縦断面と横断面から選定する。

海水ポンプ室の構造概要

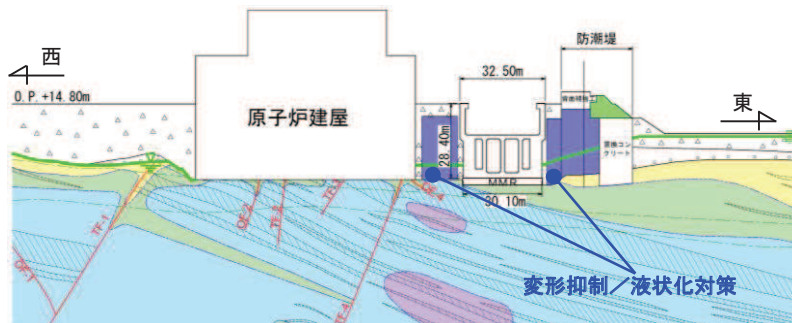
名称	海水ポンプ室
機能	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉補機冷却海水ポンプ等の間接支持 非常用取水設備(非常時の海水の通水・貯水機能) 浸水防止のための止水機能
構造	<ul style="list-style-type: none"> 延長77m, 幅32.5m, 高さ28.4mの鉄筋コンクリート造の地中構造物 上部は開放され、3つのエリアから構成される。 横断方向が弱軸
周辺地盤	周辺の地質や地下水位は延長方向で大差ない。
耐震評価	代表断面の二次元有限要素解析により躯体に作用する地震力(土圧, 慣性力)を算出し、三次元構造解析モデルに作用させて、部材の照査を行う。

海水ポンプ室配置平面図

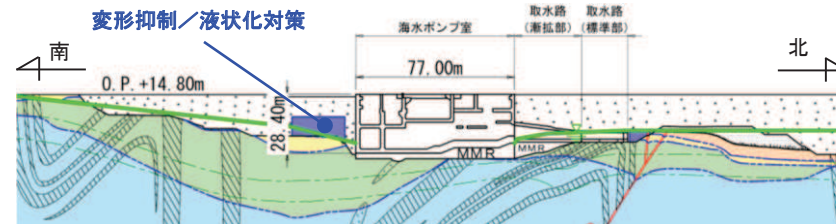


海水ポンプ室の解析モデル

- 凡 例
- B 級
 - C 級
 - C1 級
 - C2 級
 - D 級
 - 岩盤分類境界
 - 速度層境界
 - 盛土
 - 旧表土
 - 砂
 - 頁岩
 - ひん岩
 - 断層
 - 地質境界
 - 改良地盤
 - セメント改良土
 - セメント系埋戻土
 - 地下水位



海水ポンプ室(横断面)



海水ポンプ室(縦断面)

4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

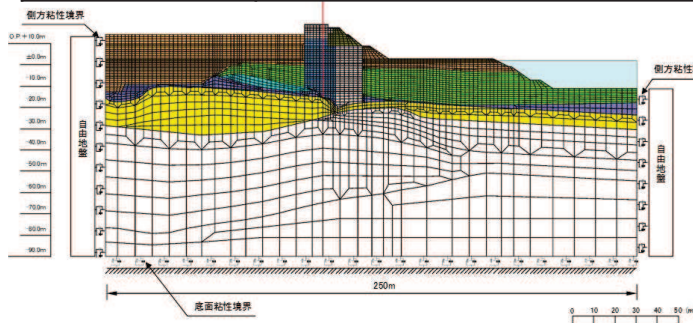
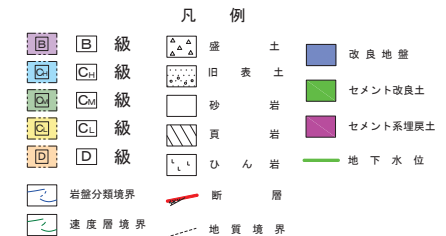
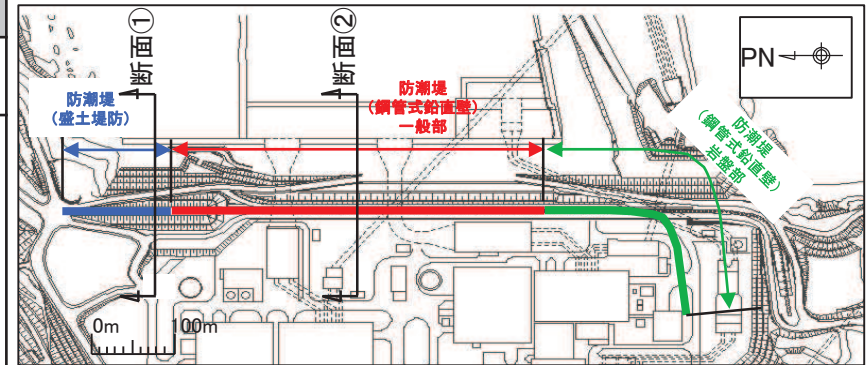
4.2 屋外重要土木構造物等の概要【⑥津波防護施設の特徴】

- 津波防護施設の特徴について、防潮堤を代表に構造物の特徴と耐震・耐津波評価方法を説明する。
- 防潮堤の耐震・耐津波評価の断面は、鋼管式鉛直壁(一般部), 鋼管式鉛直壁(岩盤部), 盛土堤防それぞれから、代表断面を選定する。

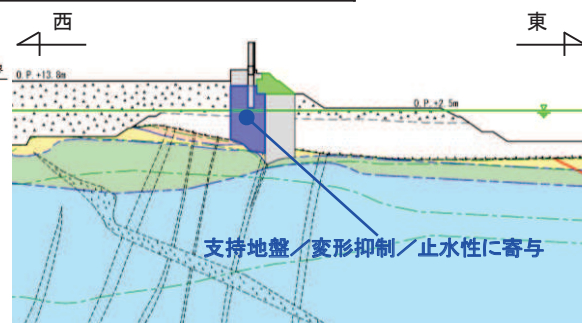
防潮堤の構造概要

名称	防潮堤
機能	・津波による浸水を防止すること
構造	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管式鉛直壁(一般部), 鋼管式鉛直壁(岩盤部), 盛土堤防に区分され, それぞれで構造が大きく異なる ・天端高さはO.P.+29.0mで一定 ・鋼管式鉛直壁は, 鋼管杭, 鋼製遮水壁, RC遮水壁, 背面補強工, 置換コンクリート(一般部のみ), 漂流物防護工及び止水ジョイントで構成される ・盛土堤防は, セメント改良土, 置換コンクリートで構成される ・横断方向が弱軸
周辺地盤	<ul style="list-style-type: none"> ・周辺の地質は延長方向で異なる。 ・鋼管式鉛直壁(一般部)の設計用地下水位はO.P.+2.43mで一定
耐震・耐津波評価	耐震・耐津波評価が厳しくなる断面の二次元有限要素モデルを作成し, 応答解析を行い, 部材の照査を行う

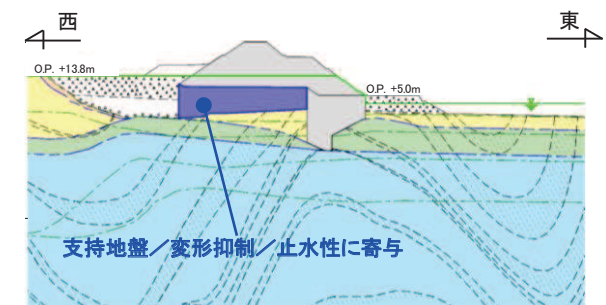
防潮堤配置平面図



鋼管式鉛直壁(一般部, 断面②)の解析モデル



鋼管式鉛直壁(一般部, 断面②)



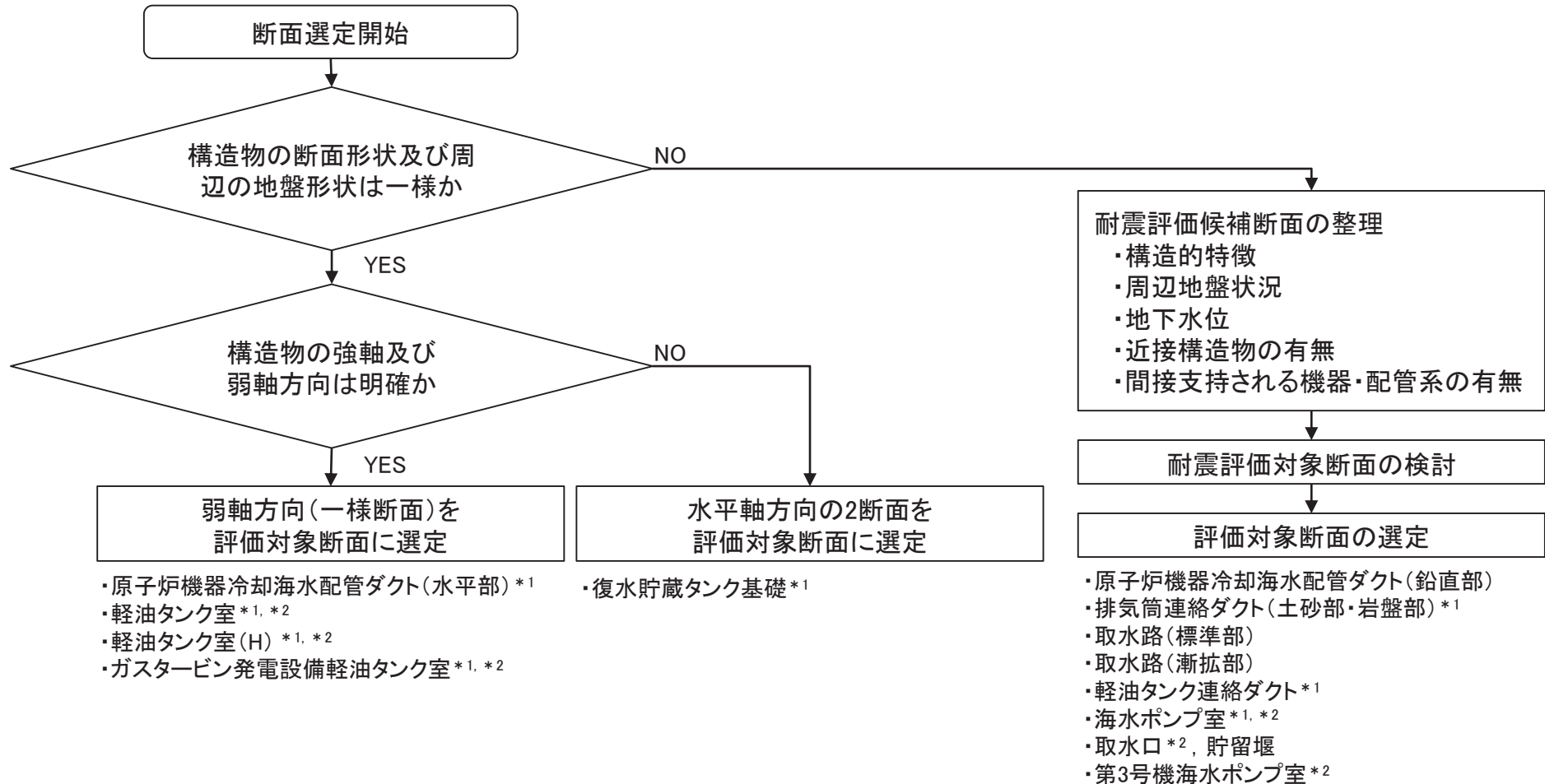
盛土堤防(断面①)

4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

4.3 評価対象断面の選定【①断面選定の基本方針(屋外重要土木構造物他)】

- 屋外重要土木構造物及び重大事故等対処施設の耐震評価における断面は、構造的特徴、周辺地盤状況、地下水水位等を考慮し、耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を選定する。
- 揚水井戸は全4か所の耐震評価を実施することから断面選定の対象外とする。

耐震評価の断面選定フロー



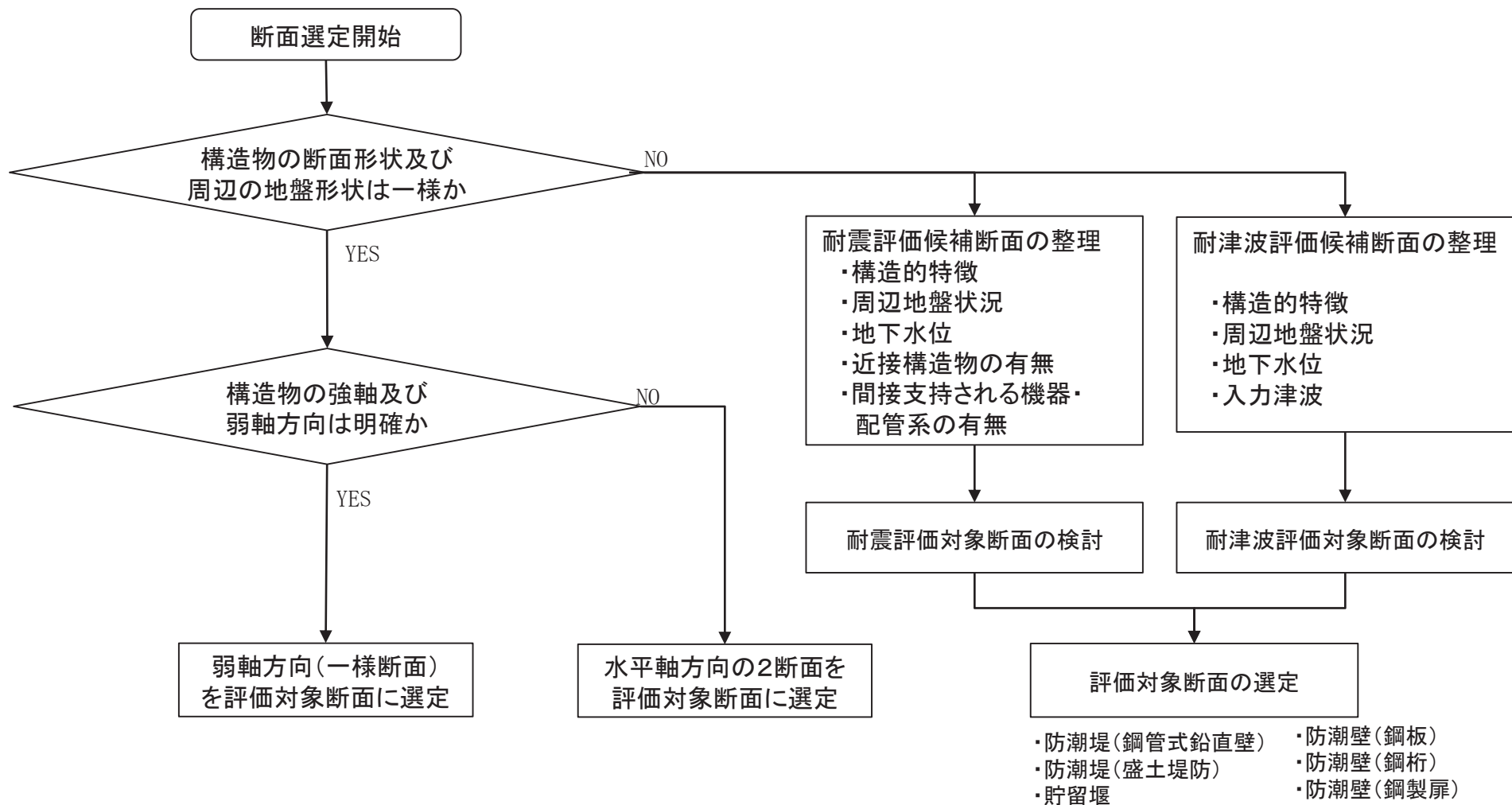
注記 *1: 必要に応じ機器・配管系への応答加速度及び応答変位の観点から評価対象断面を選定
*2: 三次元構造解析で耐震評価するため、強軸方向荷重算定用の断面選定も実施

4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

4.3 評価対象断面の選定【②断面選定の基本方針(津波防護施設)】

- 津波防護施設の耐震・耐津波評価における断面は、構造物の形状、周辺地盤状況、地下水位等を考慮し、耐震・耐津波評価上最も厳しくなると考えられる断面を選定する。
- 取放水路流路縮小工は、各箇所において、耐震評価は躯体の変形を考慮し弱軸方向である横断面を選定し、耐津波評価は津波による流水圧等を考慮し縦断面を選定する。

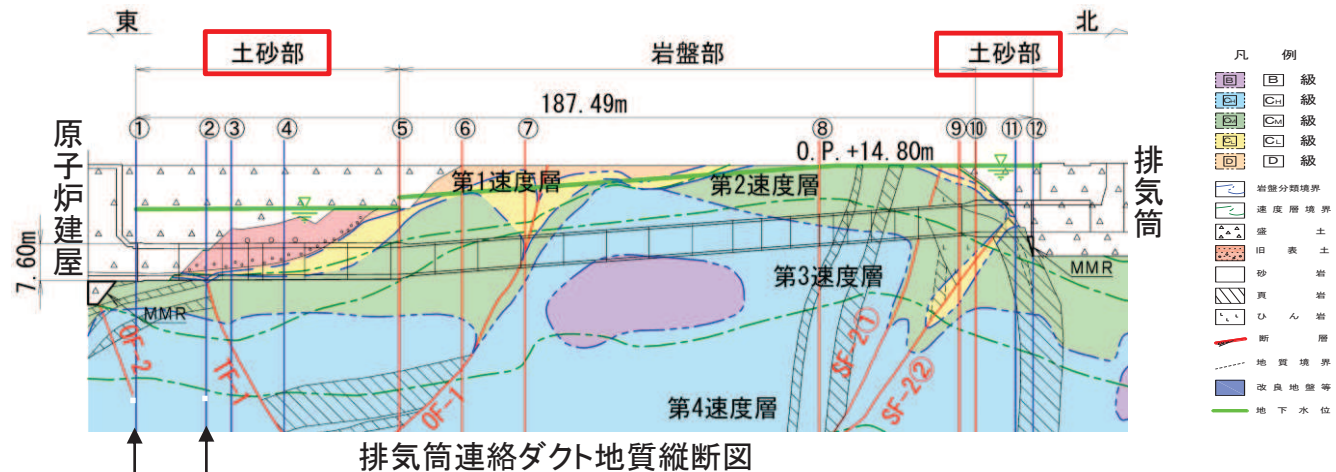
耐震・耐津波評価の断面選定フロー



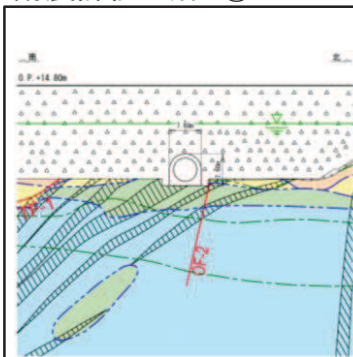
4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

4.3 評価対象断面の選定【③線状構造物の選定例】

- 排気筒連絡ダクト(土砂部)の耐震評価断面は、上載土厚さが最大となる断面①を選定し、交差する断層の影響評価断面としてTF-1断層が交差する断面②を選定した。
- 機器・配管への床応答の観点から、一次元地震応答解析により加速度が最大となる断面③を選定した。
- 断面①は設計用地下水位に比べ現実的な地下水位が低いことから、地下水位が低い場合(低い場合、偏水圧の場合)の耐震評価も実施する。



耐震評価: 断面①



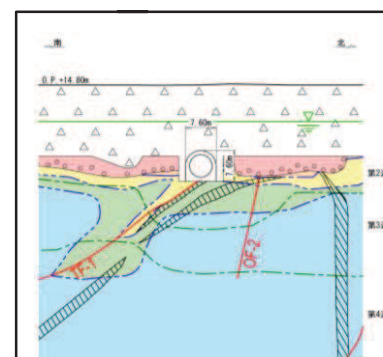
断面①

設置標高が最も低く、上載土が最も厚く、地震時土圧が大きくなるため、耐震評価が厳しくなると想定して選定
地下水が低い場合の評価も実施

耐震評価候補断面の整理に係る以下の項目は、全区間で同一。

- 機能: 非常用ガス処理系配管の支持機能
- 構造: 幌型トンネル(形状, 配筋は一様)
- 地下水位: 頂版との離隔は一定
- 近接構造物: なし

断層影響評価: 断面②



断面②

特殊部として、TF-1断層の変形の影響を評価

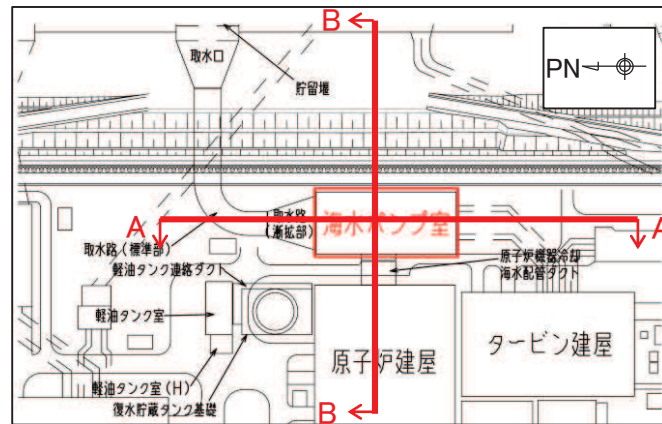
断面①①でSF-2②と交差するが断層規模の大きいTF-1断層で代表する。

4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

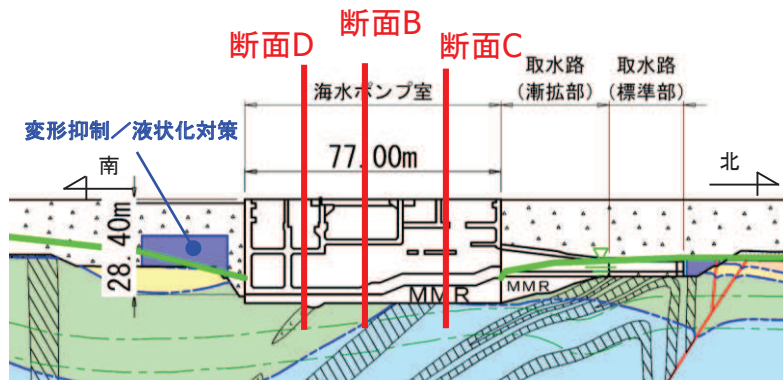
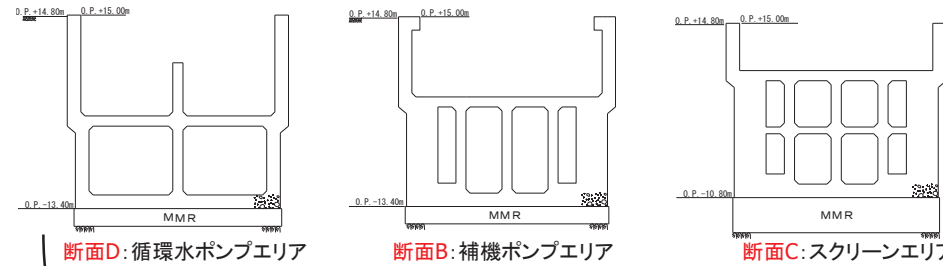
4.3 評価対象断面の選定【④箱形構造物の選定例】

- 海水ポンプ室の周辺地盤は地盤改良されており、ほぼ一様であるものの、躯体構造が断面位置により異なることから、耐震評価断面は、横断面を3断面、縦断面を1断面選定した。
- 躯体形状をモデル化した横断面の地震応答解析により算定された地震時荷重をエリア毎に三次元構造解析モデルへ作用させる。

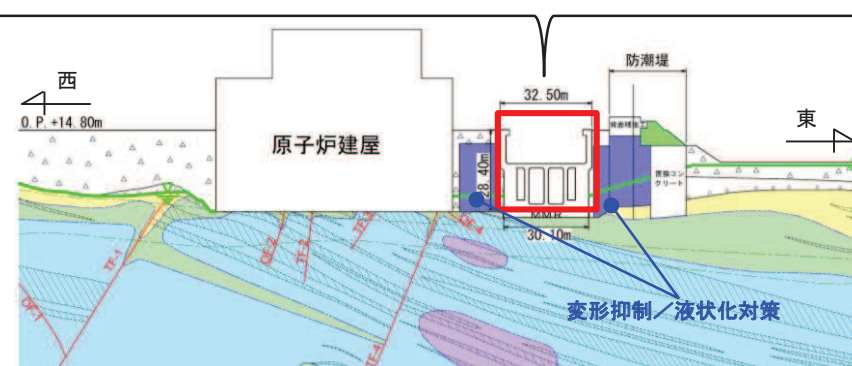
海水ポンプ室の掘削図と地盤改良範囲



- 海水ポンプ室の東西は原子炉建屋と防潮堤に挟まれており、間は地盤改良されていることから、延長方向で地質状況は一様である。
- 躯体構造は、中床版や隔壁の配置構造が延長方向で異なる。
- 躯体構造の違いによる地震時荷重(土圧・慣性力)の差異を考慮し、横断面の耐震評価断面は3断面とする。ただし、周辺地質状況等は大差ないため、躯体以外の解析モデルは同一とする。



縦断面(A-A断面)と横断面評価位置



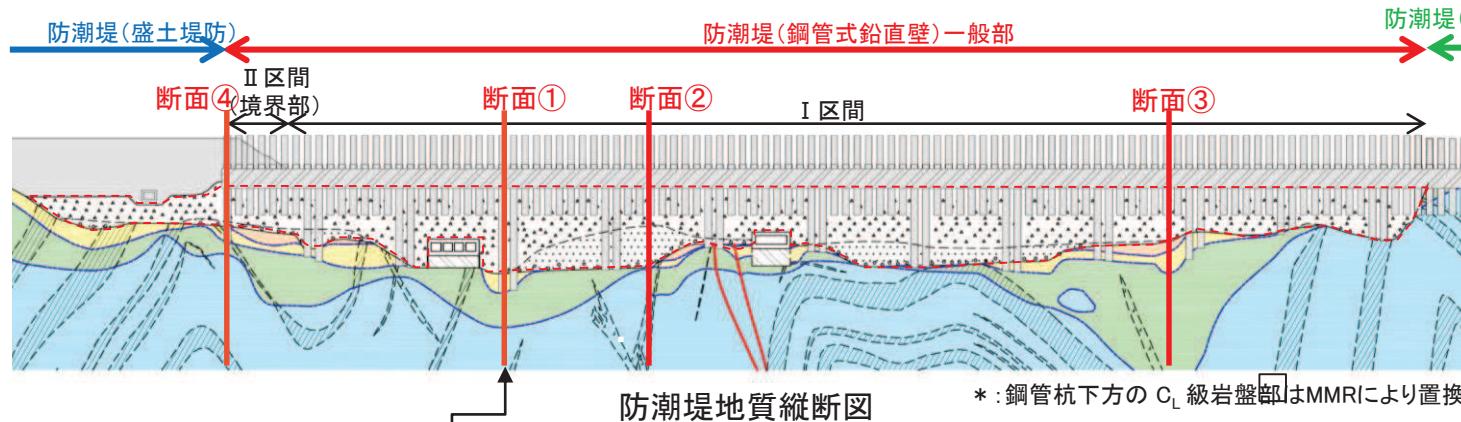
横断面(B-B断面)

凡 例	
	B 級
	C1 級
	C2 級
	C3 級
	D 級
	岩盤分類境界
	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 セメント系埋戻土
	地下水位

4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

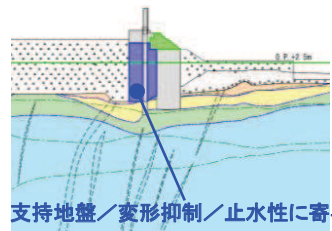
4.3 評価対象断面の選定【⑤津波防護施設の選定例】

- 防潮堤(鋼管式鉛直壁)一般部の耐震・耐津波評価断面は、評価候補断面の整理における観点を踏まえ、断面①～断面④の計4断面を選定した。
- 近接構造物や断層横断部については、別途影響検討を実施する。



耐震・耐津波評価: 断面①の例

岩盤上面深さが最も深く、かつC_M級岩盤深さが最も深いことから、地震時応答加速度及び地盤変位に影響することで、耐震評価が厳しくなると想定し選定



断面①

評価候補断面の整理に係る以下の項目は、全区間で同一。

- 機能: 津波防護機能
- 構造: 部材幅及び材質は一定
- 地下水位: 設計用地下水位 O.P.+2.43m一定
- 近接構造物: なし

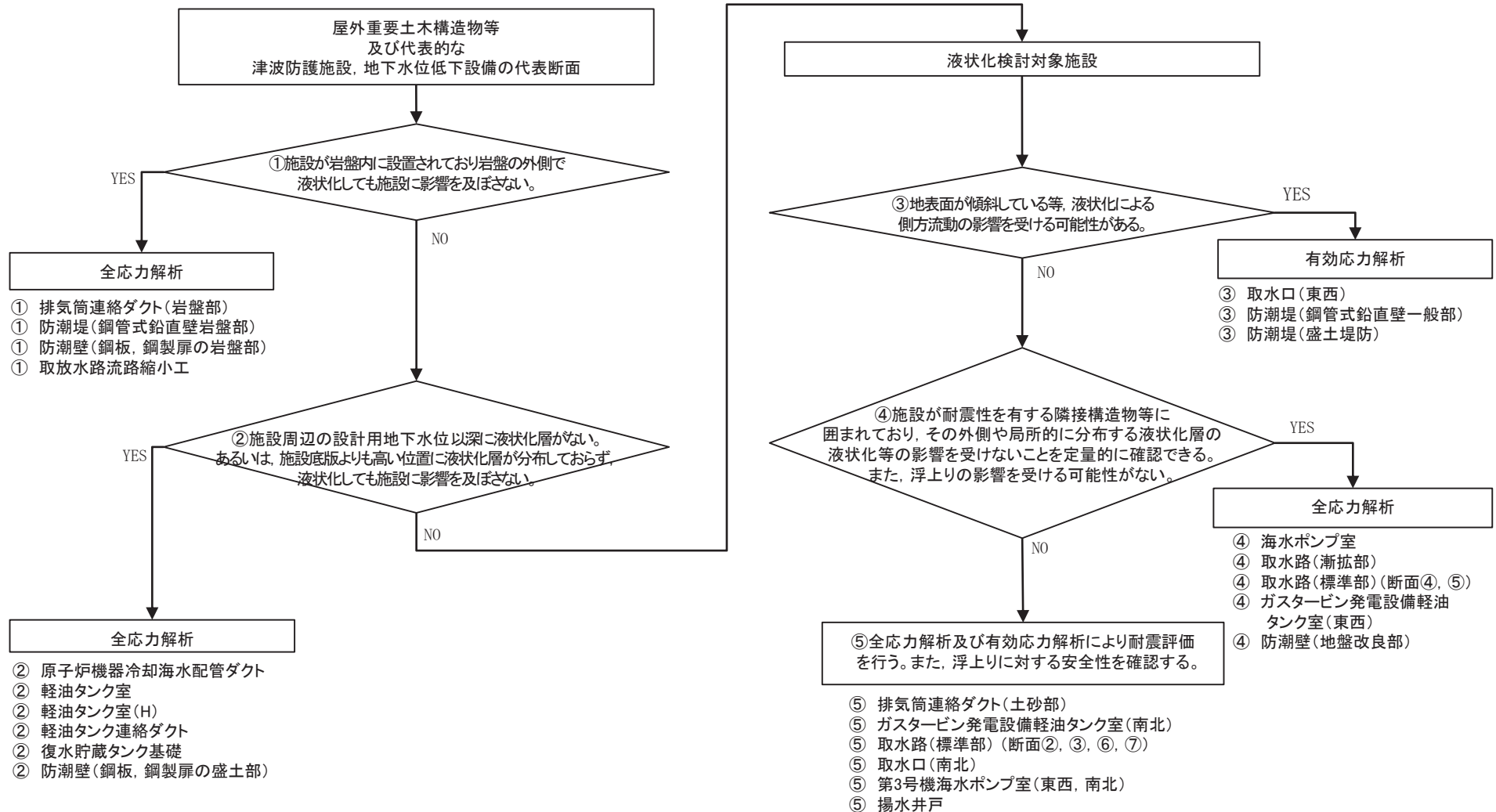
評価対象断面	岩盤上面深さ (盛土+旧表土厚さ)	D級+C _L 級 岩盤厚さ	C _M 級岩盤上 面深さ	旧表土厚さ
I区間 断面①*1	○: 岩盤上面が最も深い	—	○: C _M 級岩盤上面が最も深い	—
I区間 断面②*2	—	○: D級, C _L 級岩盤が分布しない	—	○: 旧表土が最も厚い
I区間 断面③	—	○: D級+C _L 級岩盤が最も厚い	—	—
II区間 断面④	<ul style="list-style-type: none"> • II区間の地質状況については、区間の長さが短く、縦断方向の地質状況が大きく変わらないこと及びI区間の地質状況と大きく変わらないことから、選定上の観点としない。 • 評価対象断面としては、背面補強工上のセメント改良土厚さが最も厚く、耐震・耐津波評価に影響を及ぼすことが想定される断面を選定。 			

注記*1: 設置変更許可段階における基礎地盤の安定性評価で示した断面
*2: 設置変更許可段階における構造成立性評価で示した断面

4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

4.4 解析手法の選定【①解析手法選定フロー】

- 液状化強度試験の結果，敷地の盛土・旧表土は，液状化（過剰間隙水圧比95%以上）して，繰返し軟化を示す可能性があるため，側方流動や浮上りの影響を保守的に評価できる解析手法を選定する。
- 液状化が施設に及ぼす影響を考慮した解析手法選定フローに基づき，全応力解析と有効応力解析の解析手法を選定する。



4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

4.4 解析手法の選定【②解析手法選定ケース】

- ケース①及びケース②は、地質断面図の確認により施設に液状化の影響は及ばないと判断されることから、全応力解析により耐震評価を行う。

	ケース①	ケース②
周辺地盤の状況	施設が岩盤内に設置されている。	施設周辺の設計用地下水位以深に液状化層がない。 あるいは、施設底版よりも高い位置に液状化層が分布していない。
選定する解析手法	岩盤より浅い盛土等が液状化したとしても、岩盤により液状化の影響は施設に及ばないことから、施設の耐震評価においては液状化を考慮する必要がないことから、 全応力解析により耐震評価を実施。	施設周辺で液状化が発生する可能性がない。 あるいは、施設より深部の地盤で液状化が発生しても、浅部の施設に悪影響が及ばないことから、 全応力解析により耐震評価を実施。
補足検討事項	特になし	特になし
代表的な耐震評価断面	<p>(横断面) (縦断面)</p> <p>排気筒連絡ダクト(岩盤部) 取放水路流路縮小工(取水路)</p>	<p>変形抑制/液状化対策</p> <p>復水貯蔵タンク基礎及び軽油タンク連絡ダクト</p>

代表的な耐震評価断面

- 凡 例
- 級 頁 岩
 - 級 ひん 岩
 - 級 断 層
 - 級 地 質 境 界
 - 級 改 良 地 盤
 - 岩盤分類境界
 - 速度層境界
 - 盛 土
 - 旧 表 土
 - 砂 岩
 - セメント改良土
 - セメント系埋戻土
 - 地 下 水 位

4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

4.4 解析手法の選定【③解析手法選定ケース】

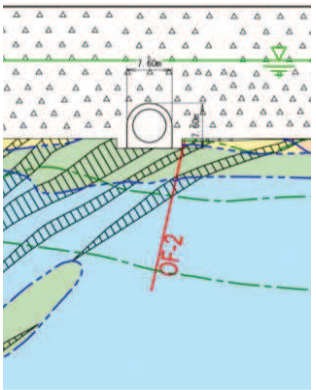
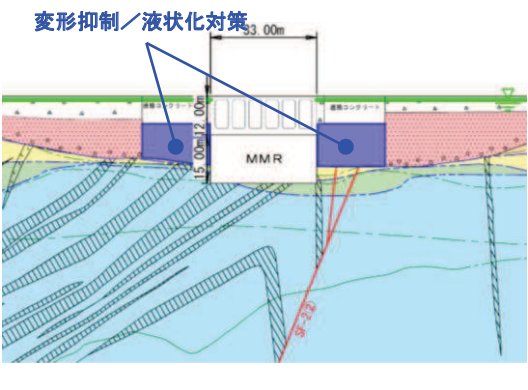
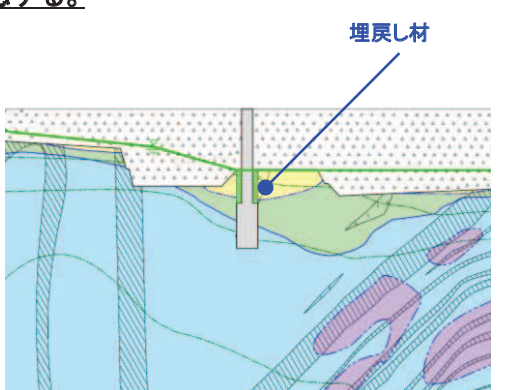
- ケース③は、液状化が発生すると、側方流動の影響が及ぶため有効応力解析により耐震評価を行う。
- ケース④は、局所的な液状化の可能性について、有効応力解析等により定量的に悪影響がないことを確認のうえ、全応力解析により耐震評価を行う。

	ケース③	ケース④
周辺地盤の状況	地下水位以深の液状化層近傍の地表面が傾斜している。 あるいは、液状化層下部の岩盤が傾斜している。	施設が耐震性を確認された隣接構造物等に囲まれており、構造物間も地盤改良されている。 また、浮上りの影響を受けない可能性がない。
選定する解析手法	液状化が発生した場合、地表面や岩盤の傾斜により、側方流動が発生し、一方向に変位・荷重が作用することから、 有効応力解析により耐震評価を実施。	施設の周辺で液状化は発生しないと定量的に判断されるため、 全応力解析により耐震評価を実施。
補足検討事項	液状化が発生しない場合の影響確認を実施。	施設周辺に局所的に分布する液状化層や、隣接構造物等の外側で液状化が発生しても施設に影響を及ぼさないことを有効応力解析等により定量的に確認する。
代表的な耐震評価断面	<p>下層地盤の液状化により、地表面傾斜部分が側方流動した場合の施設への影響を確認する。</p> <p>防潮堤(鋼管式鉛直壁)一般部:断面②</p>	<p>施設周辺や解析領域に局所的に分布する液状化層の液状化が施設に悪影響を及ぼさないことを定量的に補足検討により確認する。</p> <p>海水ポンプ室</p>

4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

4.4 解析手法の選定【④解析手法選定ケース】

- ケース⑤は、施設周辺、又は改良地盤の外側に液状化検討対象層が分布するため、液状化を考慮したうえで耐震性を評価する。あわせて浮上りに対する評価を実施する。
- 一方、液状化が発生しない場合、全応力解析の方が耐震性が厳しい可能性もあるため、全応力解析と有効応力解析の両解析により実施する。

		ケース⑤		
周辺地盤の状況	施設周辺に地下水位以深の盛土・旧表土が分布する。 または、施設周辺に改良地盤等があるが、その外側の液状化層の液状化等の影響について判断がつかない。 また、 <u>浮上りの影響を受ける可能性がある。</u>			
選定する解析手法	施設周辺で液状化発生の有無やその影響について判断がつかないことから、 <u>全応力解析と有効応力解析の両解析により耐震評価を実施。</u>			
補足検討事項	特になし			
代表的な耐震評価断面	<p>液状化や浮上りの可能性を確認する。</p>  <p>排気筒連絡ダクト(土砂部)</p>	<p>液状化に対して改良地盤が機能し、耐震性が確保されるか確認する。</p>  <p>取水口</p>	<p>施設より遠方で地下水位が高くなるため、液状化により施設に悪影響がないことを確認する。</p>  <p>揚水井戸</p>	

代表的な耐震評価断面

- 凡 例
- B級 頁岩
 - C₁級 ひん岩
 - C₂級 断層
 - C₃級 地質境界
 - D₁級 改良地盤
 - 岩盤分類境界
 - 速度層境界
 - 盛土
 - 旧表土
 - 砂岩
 - セメント改良土
 - セメント系埋戻土
 - 地下水位

4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

4.5 まとめ

- 屋外重要土木構造物等の構造形式は、線状構造物、箱形構造物、津波防護施設及び筒状構造物に大別され、耐震評価にあたっては、断面選定フローに基づき、保守的な評価となる断面を選定する。
- 断面選定は、構造物の形状、周辺地盤状況、地下水位、隣接する構造物の有無、要求機能を考慮し、耐震評価上最も厳しくなると考えられる断面を選定する。
- 津波防護施設の断面選定は、耐震評価上の観点に加え、構造的特徴や入力津波等の耐津波評価上の観点を考慮して評価断面を選定する。
- 敷地に分布する盛土及び旧表土は、基準地震動が作用した場合、液状化が発生し、繰返し軟化を示すことが液状化強度試験で確認されていることから、耐震評価においては液状化の影響を保守的に考慮するため、解析手法の選定フローに基づき、全応力解析と有効応力解析を選定する。また、局所的な液状化の可能性や、非液状化の可能性も定量的に補足検討により評価する。
- 施設の耐震性確保のために周辺地盤を改良している場合においても、解析手法の選定フローで④及び⑤に分類された施設については、液状化に対し改良地盤が機能して施設の耐震性に影響を及ぼさないことを有効応力解析により確認する。
- 施設の底版付近に地下水位以深の液状化層が分布する場合は、定量的に浮上りが発生しないことを有効応力解析により確認する。

4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

参考. 屋外重要土木構造物等の解析手法選定結果

■ 個別施設毎の解析手法選定結果を以下に示す。

【屋外重要土木構造物及び重大事故等対処施設(1/2)】

丸囲いの数字は、解析手法選定フローの番号を示す。

構造物	断面	弱軸	① 岩盤	② 水位低	③ 傾斜 あり	④ 定量評価に より液状化 影響なし	⑤ 全応力と有 効応力によ る評価	解析手法	備考
原子炉機器 冷却海水 配管ダクト	水平部	○	NO	YES	NO	YES	—	全応力	
	鉛直部	○	NO	YES	NO	YES	—	全応力	
排気筒連絡 ダクト	岩盤部	○	YES	NO	NO	NO	—	全応力	
	土砂部 断面①	○	NO	NO	NO	NO	○	全応力及び 有効応力	・設計水位と実水位の差が大きくなる可能性のある断面①において地下水位が低い場合の影響検討を実施
軽油タンク連絡ダクト		○	NO	YES	NO	NO	—	全応力	
取水路	標準部 断面②, ③, ⑥, ⑦	○	NO	NO	NO	NO	○	全応力及び 有効応力	
	標準部 断面④, ⑤	○	NO	NO	NO	YES	—	全応力	
	漸拡部	○	NO	NO	NO	YES	—	全応力	・施設周辺の局所的な盛土が液状化しないことを評価
海水 ポンプ室	横断	○	NO	NO	NO	YES	—	全応力	・施設周辺の局所的な盛土が液状化しないことを評価
	縦断		NO	NO	NO	YES	—	全応力	・施設周辺の局所的な盛土が液状化しないことを評価

4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

参考. 屋外重要土木構造物等の解析手法選定結果

【屋外重要土木構造物及び重大事故等対処施設(2/2)】

丸囲いの数字は、解析手法選定フローの番号を示す。

構造物	断面	弱軸	① 岩盤	② 水位低	③ 傾斜 あり	④ 定量評価に より液状化 影響なし	⑤ 全応力と有 効応力によ る評価	解析手法	備 考
軽油 タンク室	南北	○	NO	YES	NO	NO	—	全応力	
	東西		NO	YES	NO	NO	—	全応力	
軽油 タンク室(H)	南北		NO	YES	NO	NO	—	全応力	
	東西	○	NO	YES	NO	NO	—	全応力	
取水口	南北	○	NO	NO	NO	NO	○	全応力及び 有効応力	
	東西		NO	NO	YES	NO	—	有効応力	・ 14.8m盤と3.5m盤の傾斜による側 方流動を考慮
復水貯蔵 タンク基礎	南北	○	NO	YES	NO	NO	—	全応力	
	東西	○	NO	YES	NO	NO	—	全応力	
ガスタービン 発電設備軽 油タンク室	南北		NO	NO	NO	NO	○	全応力及び 有効応力	
	東西	○	NO	NO	NO	YES	—	全応力	・ 施設周辺の局所的な盛土が液状 化しないことを評価
第3号機 海水ポンプ室	南北	○	NO	NO	NO	NO	○	全応力及び 有効応力	
	東西		NO	NO	NO	NO	○	全応力及び 有効応力	

4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

参考. 屋外重要土木構造物等の解析手法選定結果

【津波防護施設】

構造物	断面	弱軸	① 岩盤	② 水位低	③ 傾斜 あり	④ 定量評価に より液状化 影響なし	⑤ 全応力と有 効応力によ る評価	解析手法	備 考
防潮堤	鋼管式鉛直壁 (一般部)	○	NO	NO	YES	—	—	有効応力	・地下水位が低い場合の影響検討を実施
	鋼管式鉛直壁 (岩盤部)	○	YES	—	—	—	—	全応力	
	盛土堤防	○	NO	NO	YES	—	—	有効応力	・地下水位が低い場合の影響検討を実施 (鋼管式鉛直壁(一般部)で代表)
防潮壁	鋼板(岩盤部)	○	YES	—	—	—	—	全応力	
	鋼板(盛土部 <地下水位 岩盤内>)	○	NO	YES	—	—	—	全応力	
	鋼板(盛土部 <地盤改良>)	○	NO	NO	—	YES	—	全応力	・液状化の影響を受けないことの確認を実施
	鋼桁		NO	NO	—	YES	—	全応力	・液状化の影響を受けないことの確認を実施
	鋼製扉(岩盤部)	○	YES	—	—	—	—	全応力	
	鋼製扉(盛土部 <地下水位 岩盤内>)	○	NO	YES	—	—	—	全応力	
	鋼製扉(盛土部 <地盤改良>)	○	NO	NO	—	YES	—	全応力	・液状化の影響を受けないことの確認を実施

4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

参考. 屋外重要土木構造物等の解析手法選定結果

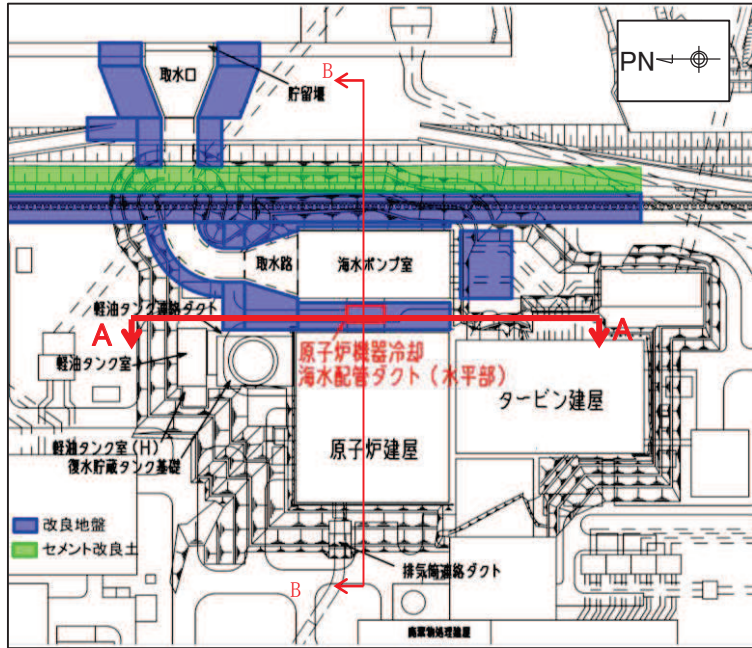
【津波防護施設等／地下水位低下設備】

構造物	断面	弱軸	① 岩盤	② 水位低	③ 傾斜 あり	④ 定量評価に より液状化 影響なし	⑤ 全応力と有 効応力によ る評価	解析手法	備 考	
取放水 路流路 縮小工	第1号機取水路	○	YES	—	—	—	—	全応力		
	第1号機放水路	○	YES	—	—	—	—	全応力		
地下水 位低下 設備	NO.1～NO.4 揚水井戸		NO	NO	NO	NO	○	全応力及び 有効応力		
	ドレーン(ヒューム 管)	○	YES	—	—	—	—	全応力		
	ドレーン(鋼管)	○	YES	—	—	—	—	全応力		
	接続柵		YES	—	—	—	—	全応力		
浸水防 止蓋の 間接支 持	揚水井戸(第3号 機海水ポンプ室 防潮壁区内)	○	NO	NO	—	YES	—	全応力		
	第3号 機補 機冷 却海 水系 放水 ビット	南北	○	NO	YES	—	—	—	全応力	
		東西		NO	YES	—	—	—	全応力	

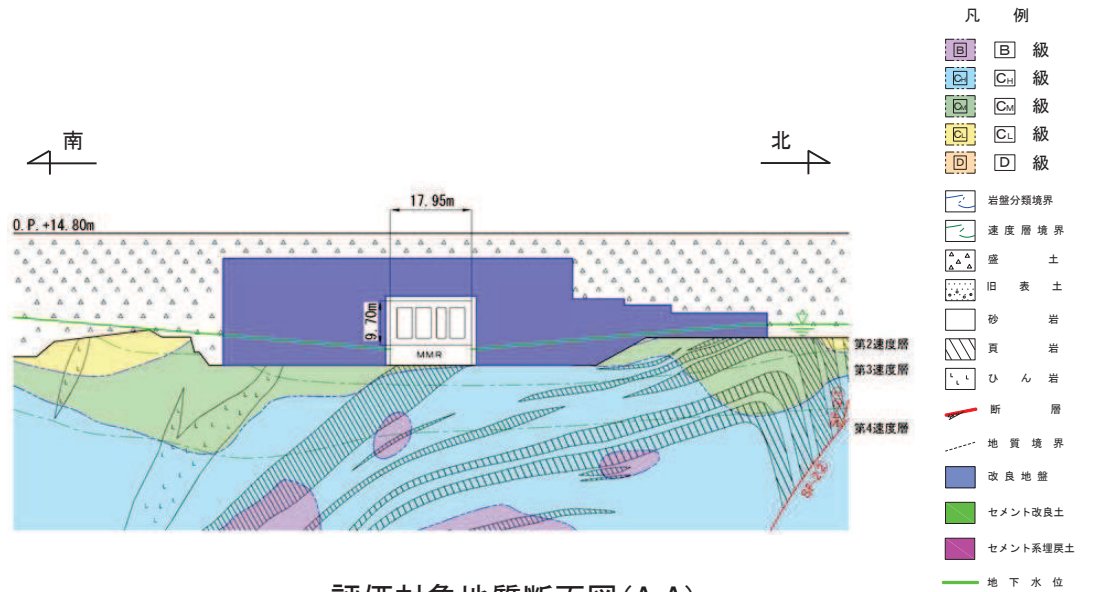
4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

参考. 構造物毎の断面選定結果

【原子炉機器冷却海水配管ダクト】



掘削図

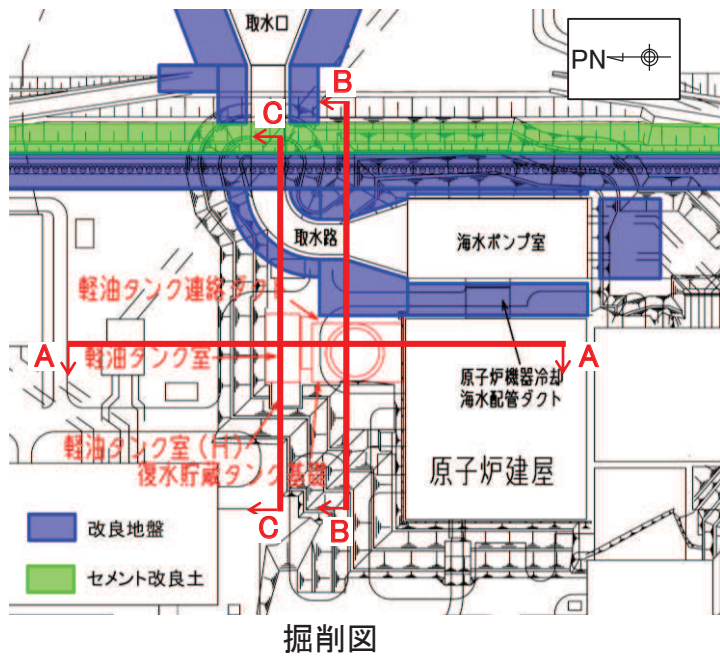


評価対象地質断面図(A-A)

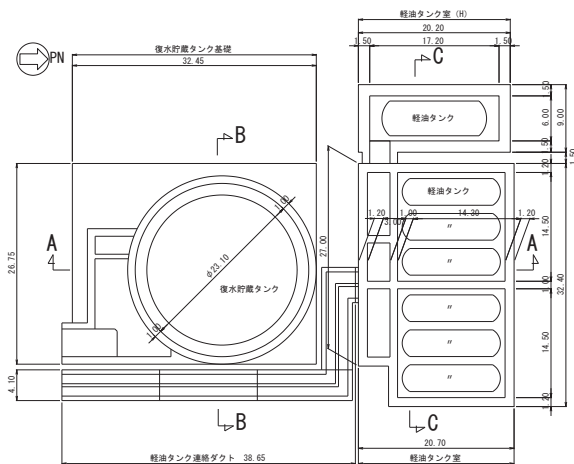
4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

参考. 構造物毎の断面選定結果

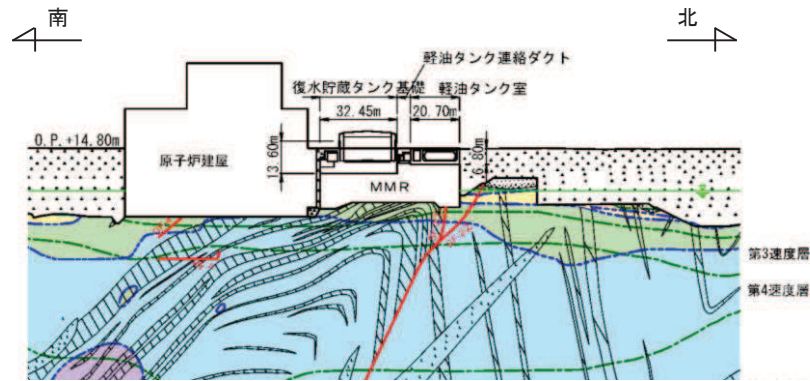
【軽油タンク室／軽油タンク連絡ダクト／軽油タンク室(H)／復水貯蔵タンク基礎】



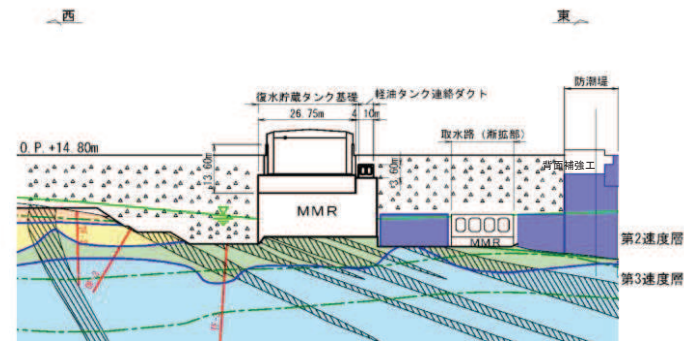
掘削図



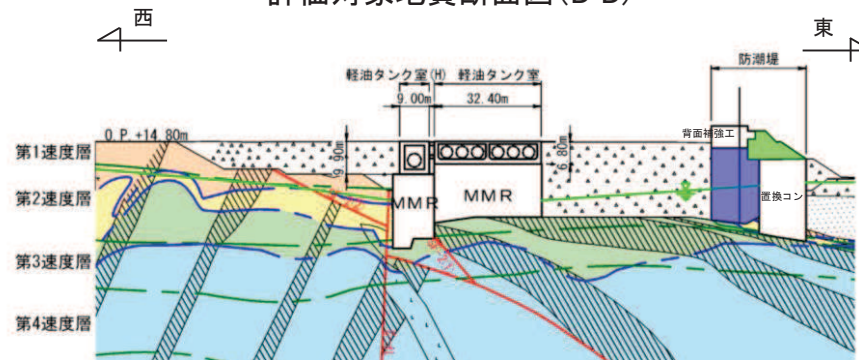
平面図



評価対象地質断面図(A-A)



評価対象地質断面図(B-B)



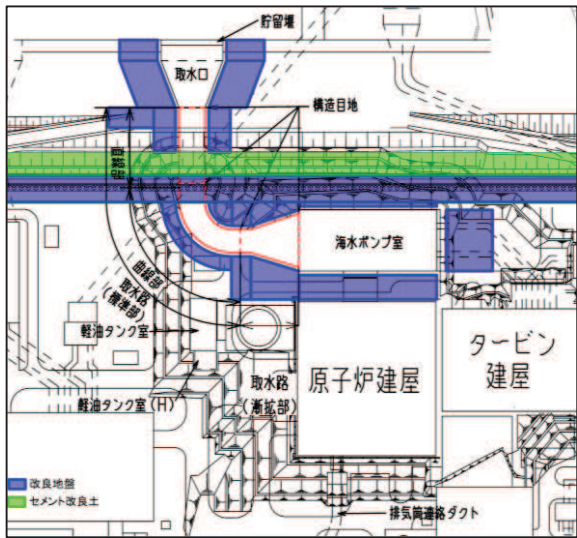
評価対象地質断面図(C-C)

- 凡例
- B級
 - C₁級
 - C₂級
 - C₃級
 - D級
 - 岩盤分類境界
 - 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
 - セメント系埋戻土
 - 地下水位

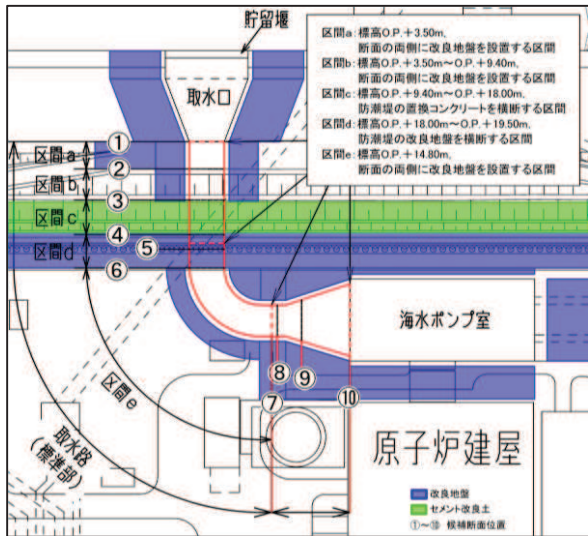
4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

参考. 構造物毎の断面選定結果

【取水路(標準部)】

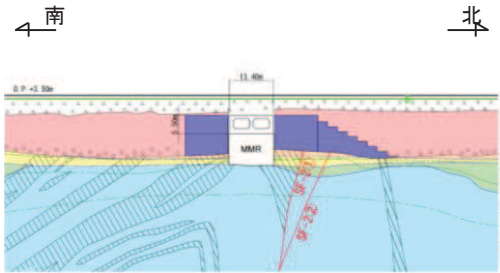


掘削図

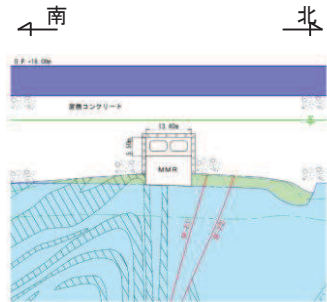


平面図

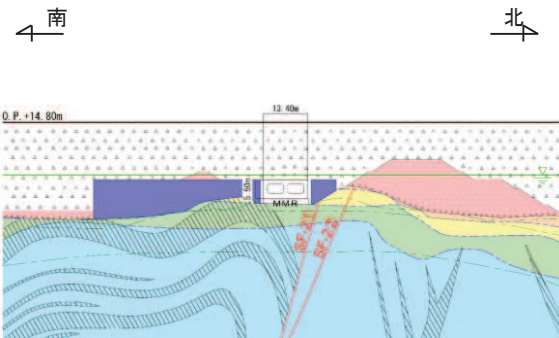
区間a: 標高O.P.+3.50m.
 断面の両側に改良地盤を設置する区間
 区間b: 標高O.P.+3.50m~O.P.+9.40m.
 断面の両側に改良地盤を設置する区間
 区間c: 標高O.P.+9.40m~O.P.+18.00m.
 防漏堤の面換コンクリートを横断する区間
 区間d: 標高O.P.+18.00m~O.P.+19.50m.
 防漏堤の改良地盤を横断する区間
 区間e: 標高O.P.+14.80m.
 断面の両側に改良地盤を設置する区間



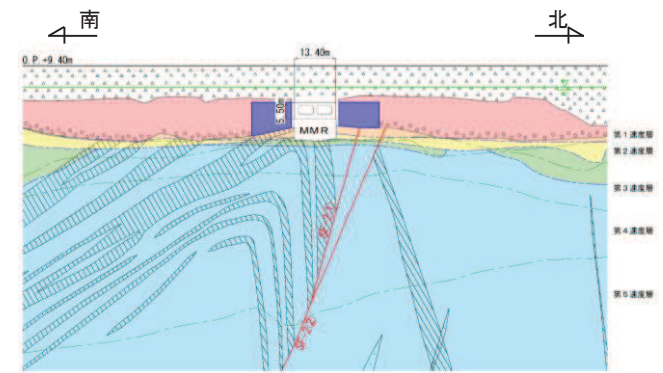
断面②



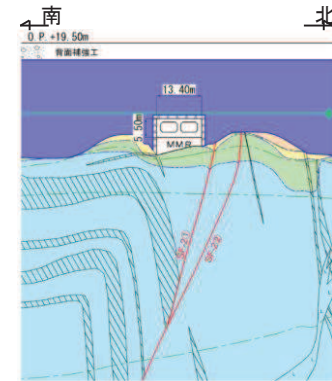
断面④



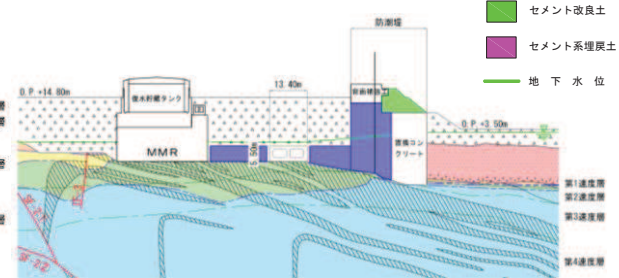
断面⑥



断面③



断面⑤



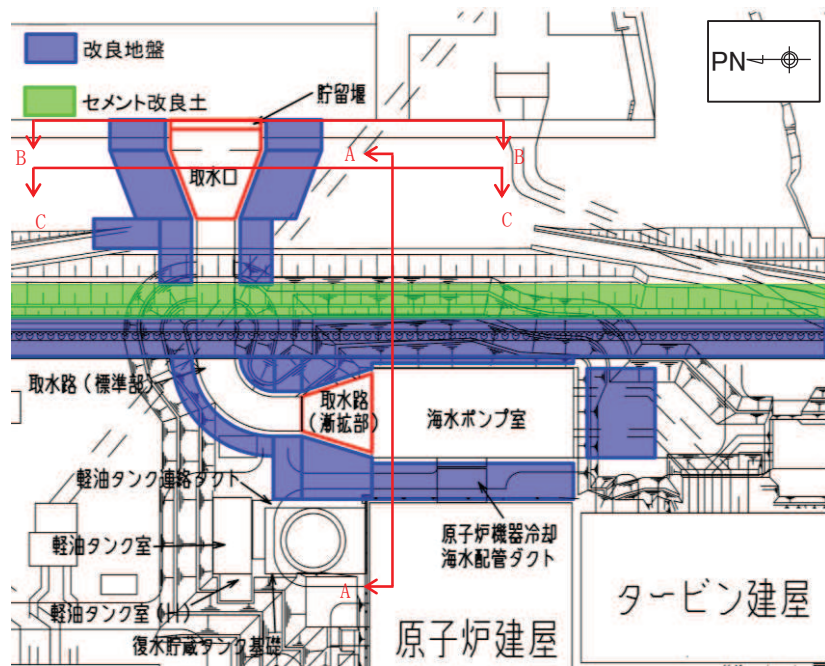
断面⑦

- 凡例
- B 級
 - C 級
 - Cx 級
 - D 級
 - 岩盤分類境界
 - 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
 - セメント系埋戻土
 - 地下水位

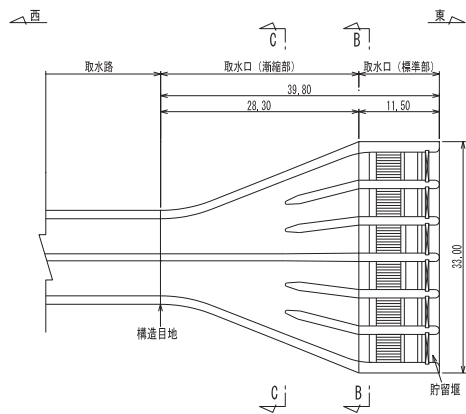
4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

参考. 構造物毎の断面選定結果

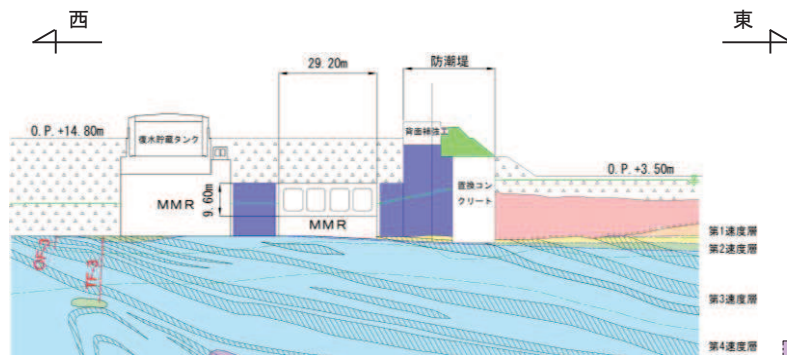
【取水路(漸拡部)／取水口】



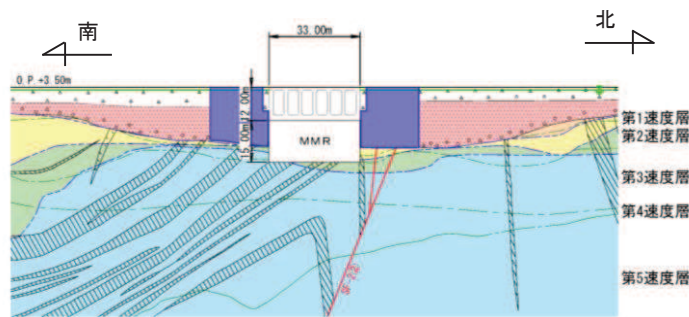
掘削図



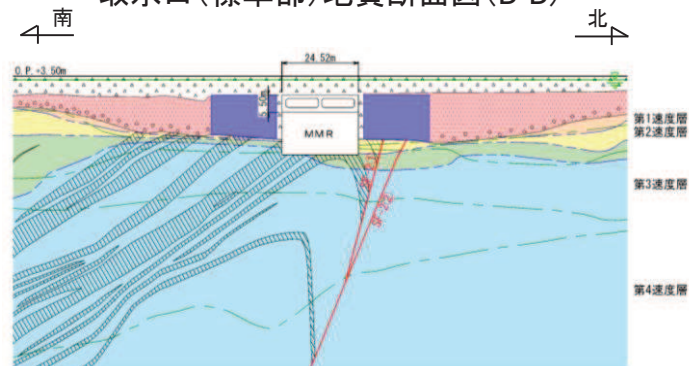
取水口平面図



取水路(漸拡部)地質断面図(A-A)



取水口(標準部)地質断面図(B-B)



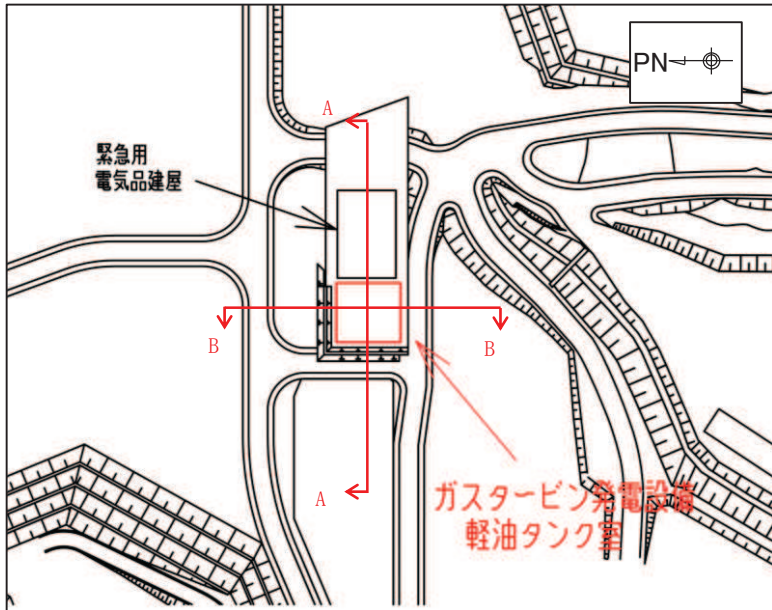
取水口(漸縮部)地質断面図(C-C)

- 凡例
- ② B級
 - ③ C₁級
 - ④ C₂級
 - ⑤ C₃級
 - ⑥ D級
 - 岩盤分類境界
 - 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
 - セメント系埋戻土
 - 地下水位

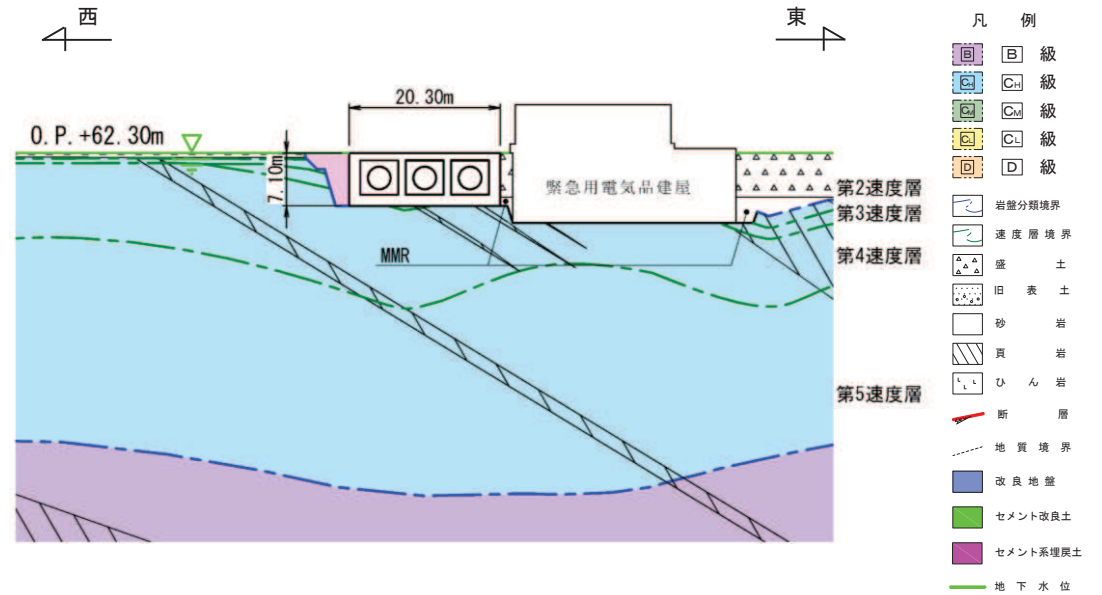
4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

参考. 構造物毎の断面選定結果

【ガスタービン発電設備軽油タンク室】



掘削図

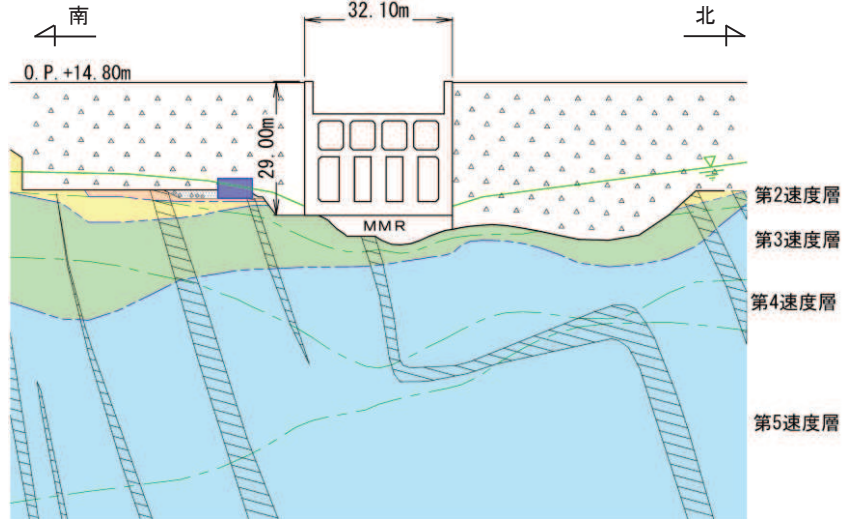
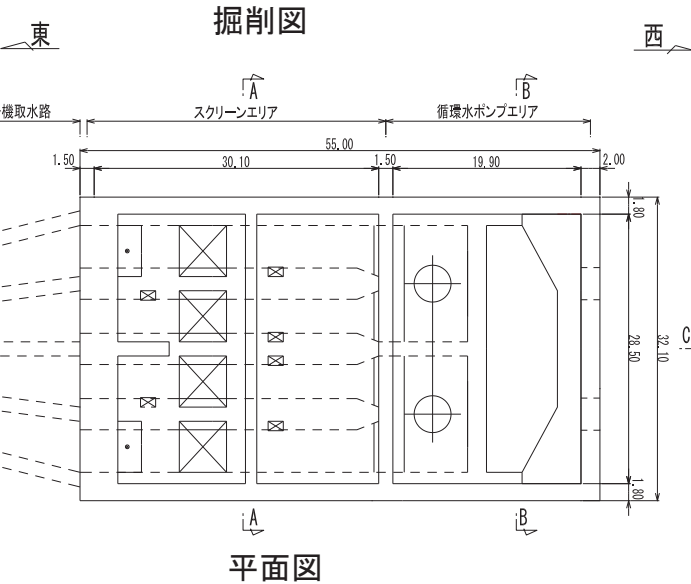
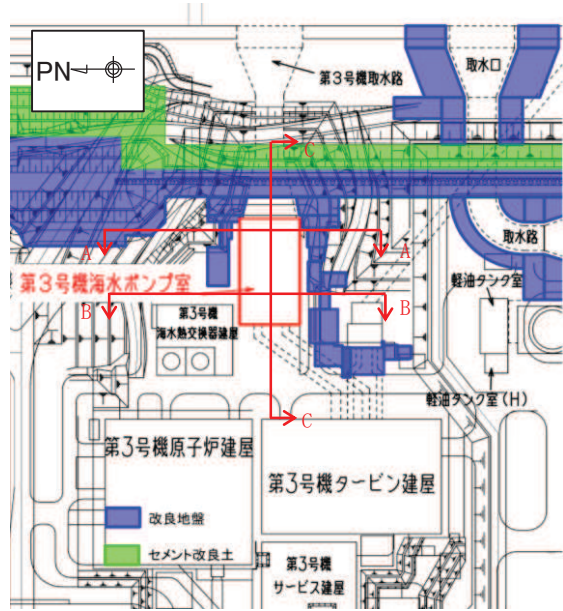


地震時荷重用地質断面図(A-A)

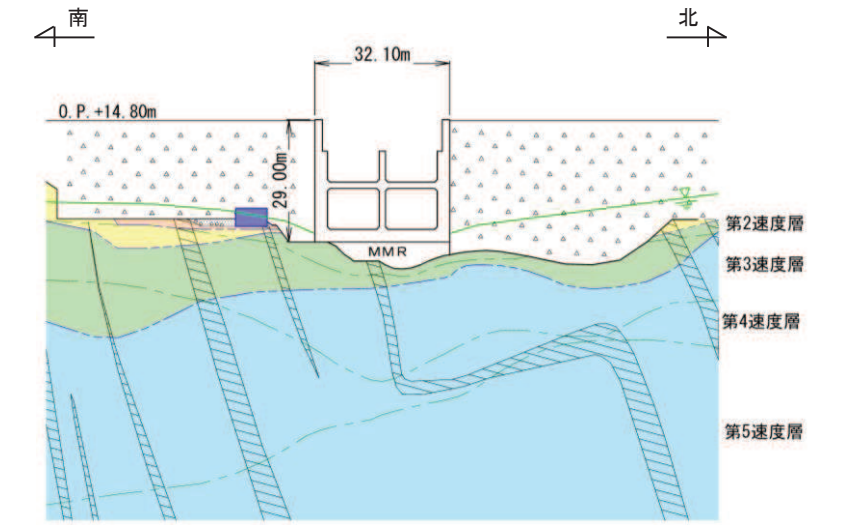
4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

参考. 構造物毎の断面選定結果

【第3号機海水ポンプ室】



スクリーンエリア(A-A)



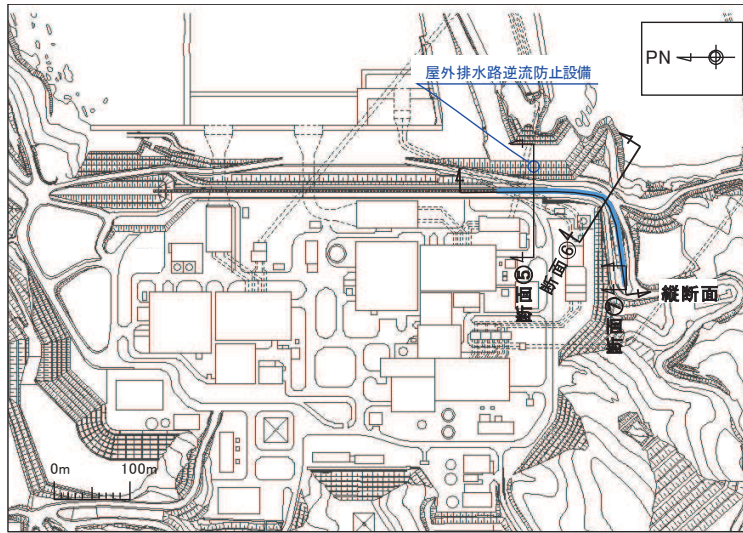
循環水ポンプエリア(B-B)

地震時荷重用地質断面図

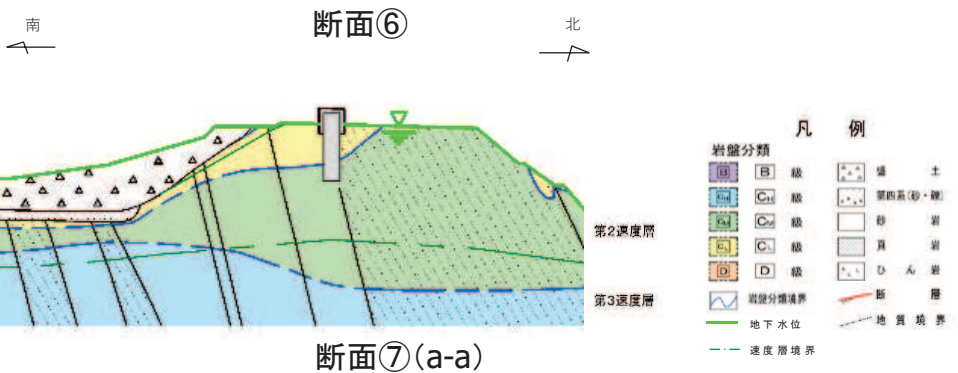
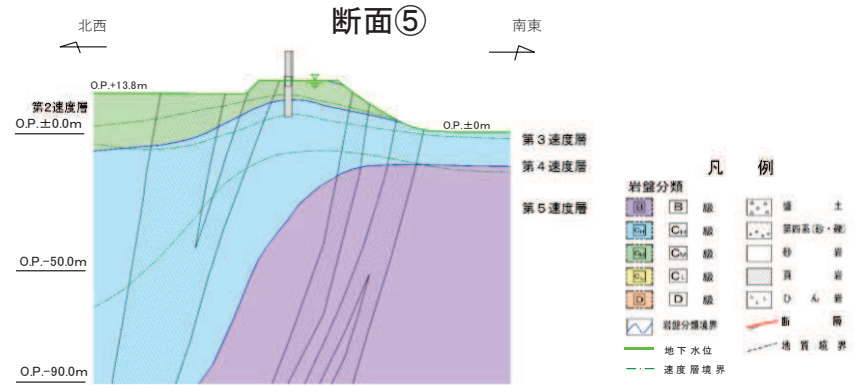
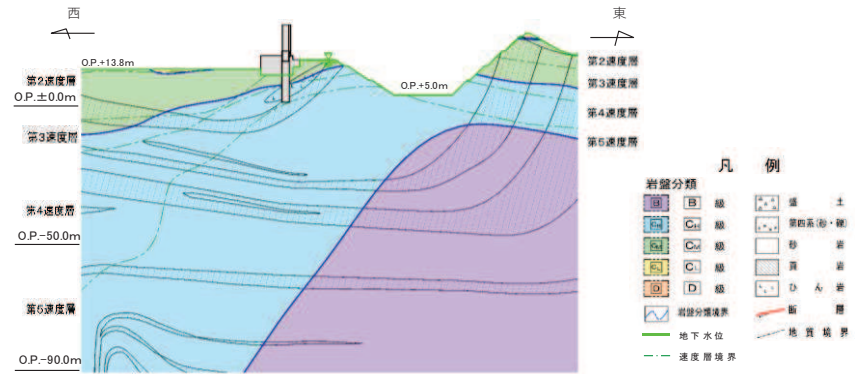
4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

参考. 構造物毎の断面選定結果

【防潮堤(鋼管式鉛直壁)岩盤部】



平面図



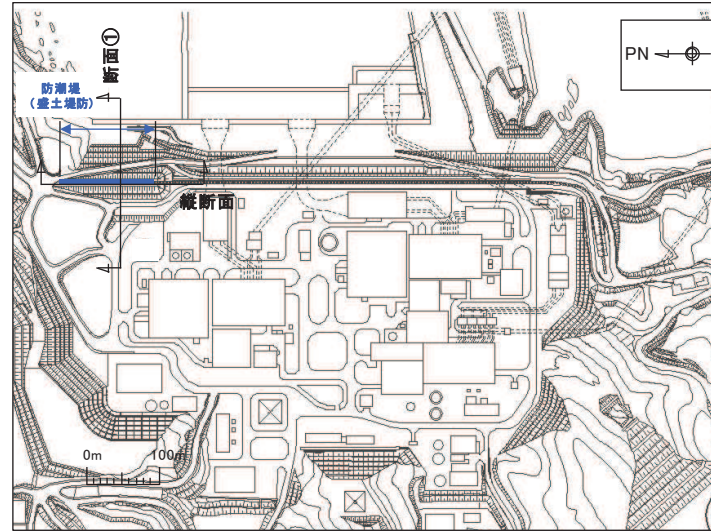
断面⑦

断面⑦(a-a)

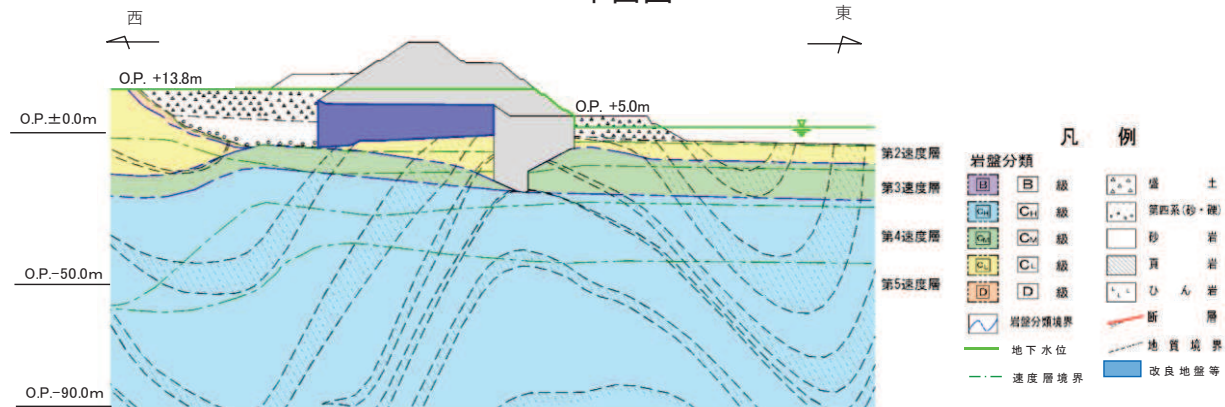
評価対象地質断面図

参考. 構造物毎の断面選定結果

【防潮堤(盛土堤防)】



平面図

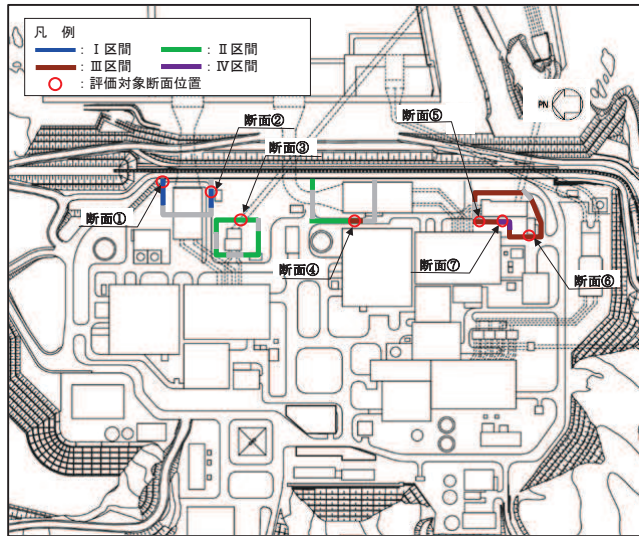


評価対象断面図(断面①)

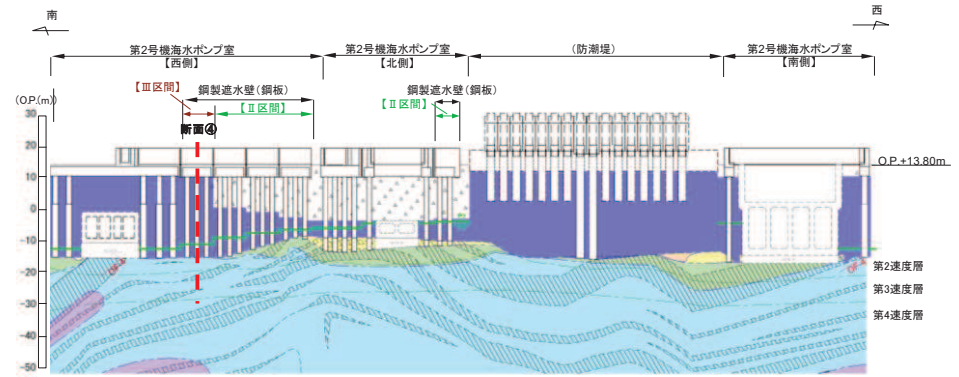
4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

参考. 構造物毎の断面選定結果

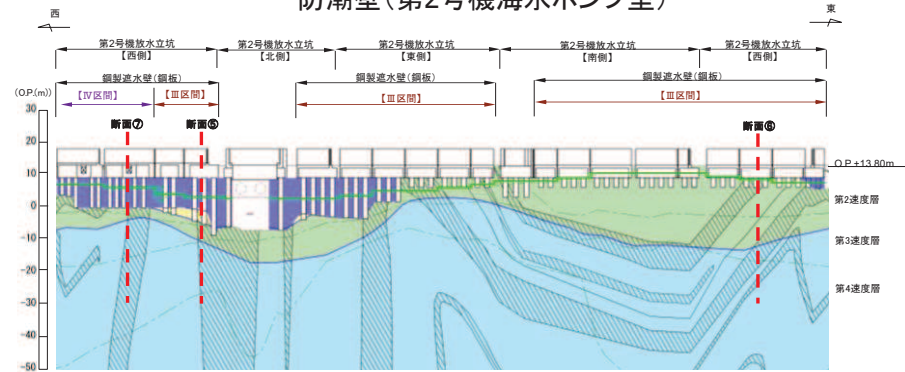
【防潮壁(鋼板)】



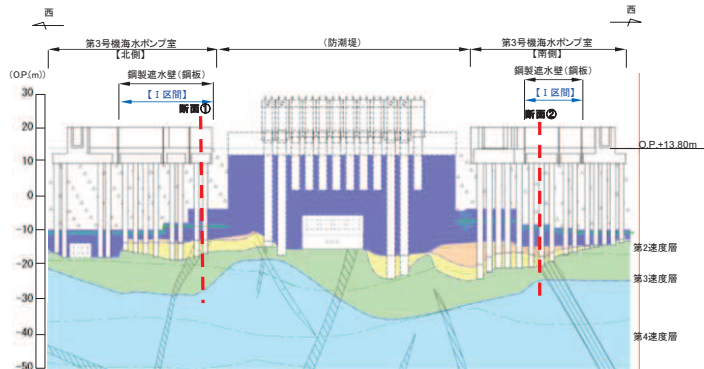
平面図



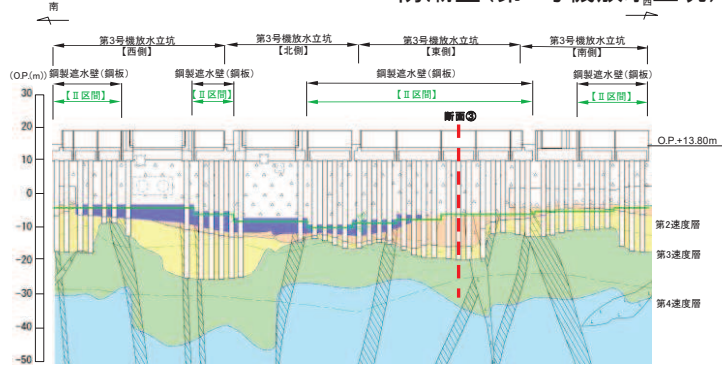
防潮壁(第2号機海水ポンプ室)



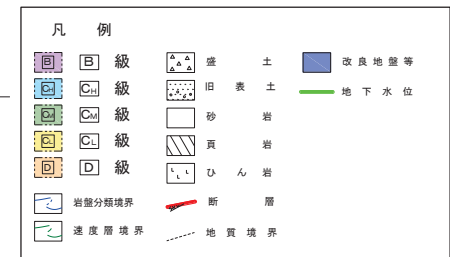
防潮壁(第2号機放水立坑)



防潮壁(第3号機海水ポンプ室)



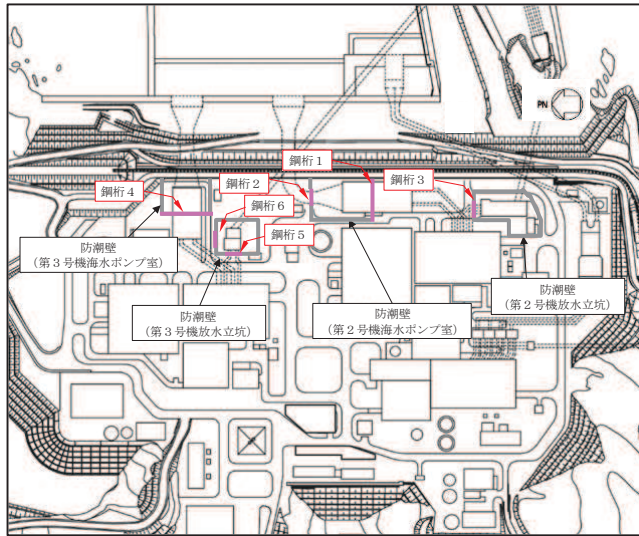
防潮壁(第3号機放水立坑)



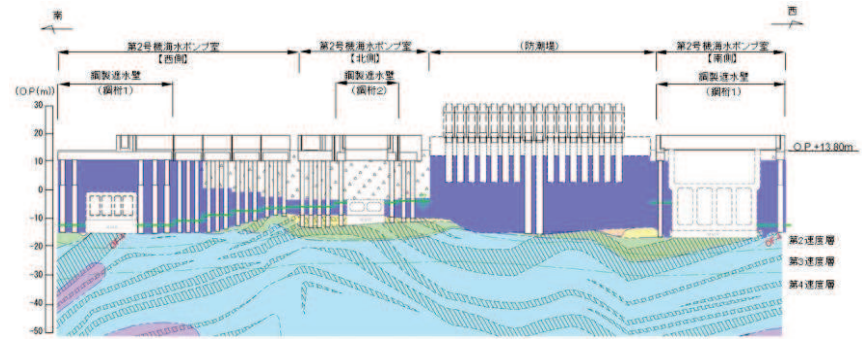
4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

参考. 構造物毎の断面選定結果

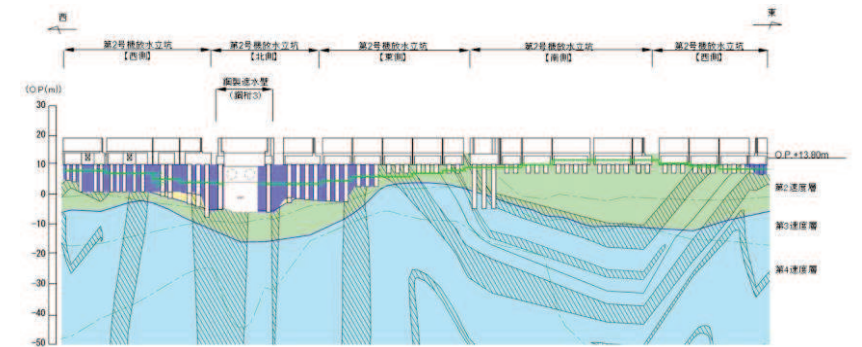
【防潮壁(鋼桁)】



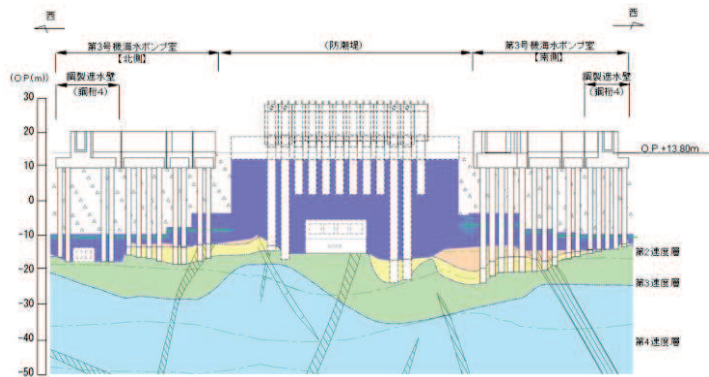
平面図



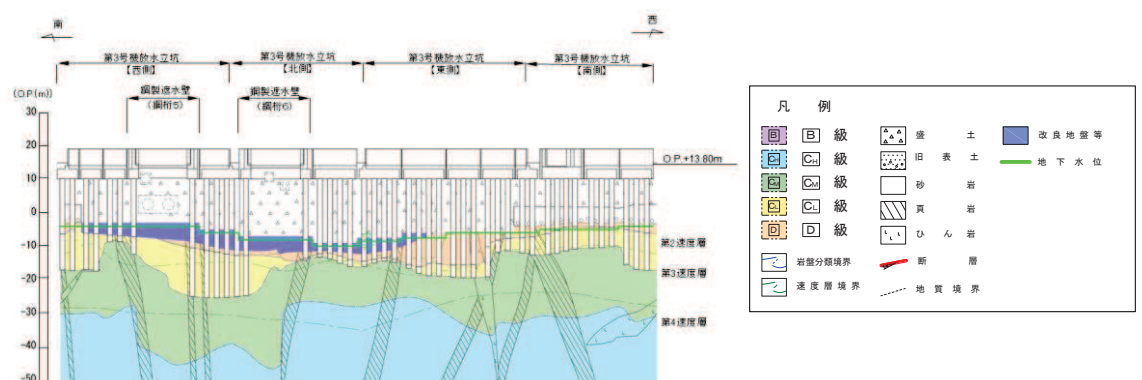
防潮壁(第2号機海水ポンプ室)



防潮壁(第2号機放水立坑)



防潮壁(第3号機海水ポンプ室)



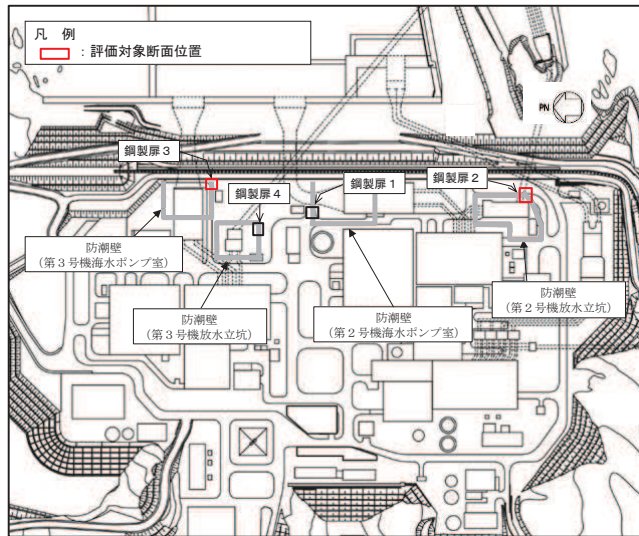
防潮壁(第3号機放水立坑)

凡 例			
	Ⅰ 級		旧表土
	Ⅱ 級		砂岩
	Ⅲ 級		珪岩
	Ⅳ 級		ひん岩
	岩盤分類境界		層
	透皮層境界		地質境界
	改良地盤等		地下水位

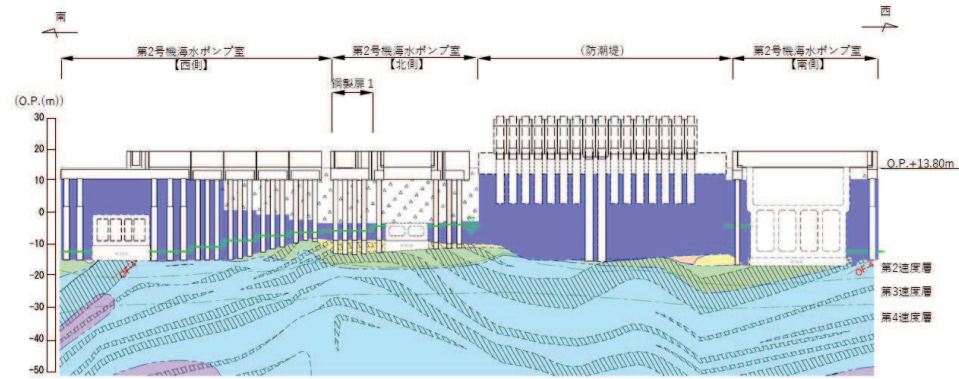
4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

参考. 構造物毎の断面選定結果

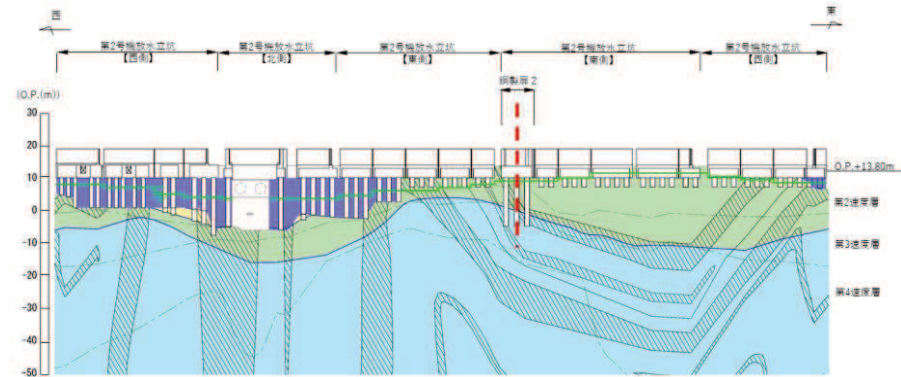
【防潮壁(鋼製扉)】



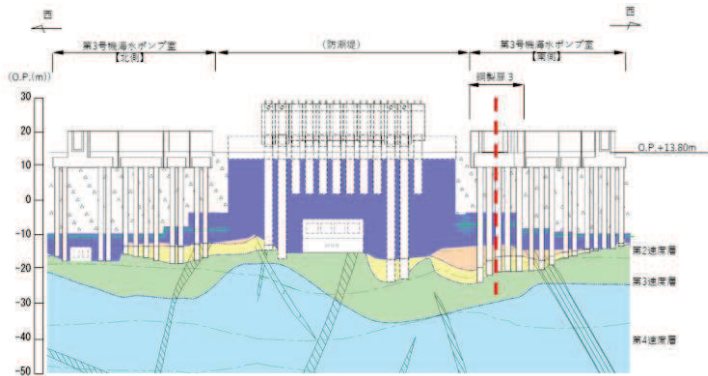
平面図



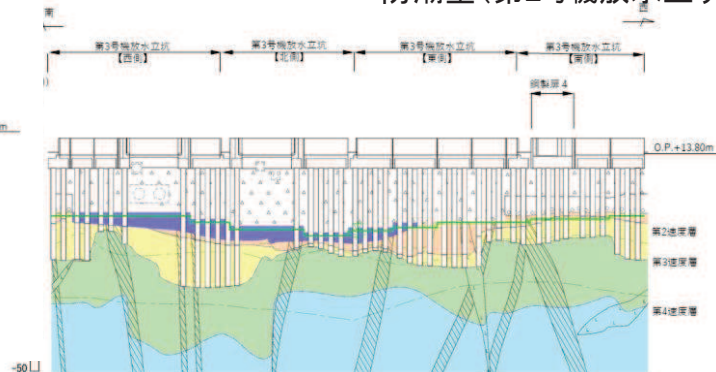
防潮壁(第2号機海水ポンプ室)



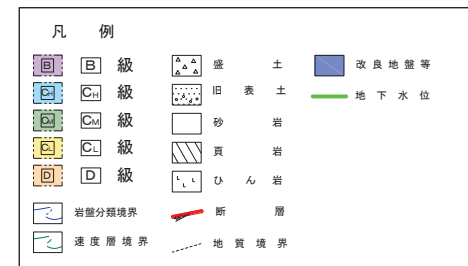
防潮壁(第2号機放水立坑)



防潮壁(第3号機海水ポンプ室)

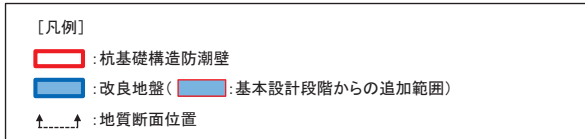
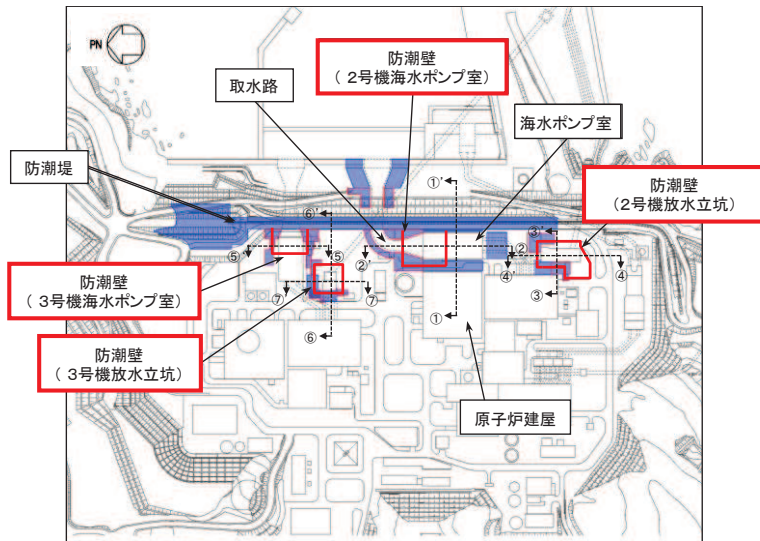


防潮壁(第3号機放水立坑)

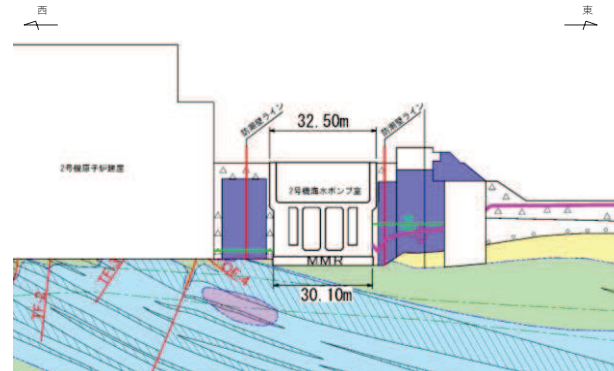


参考. 構造物毎の断面選定結果

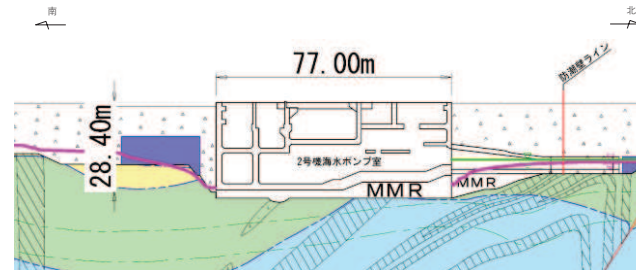
【防潮壁(横断方向の地質分布) - 第2号機海水ポンプ室・第2号機放水立坑】



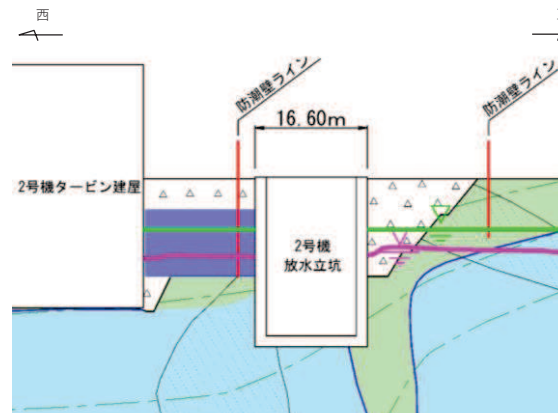
平面図



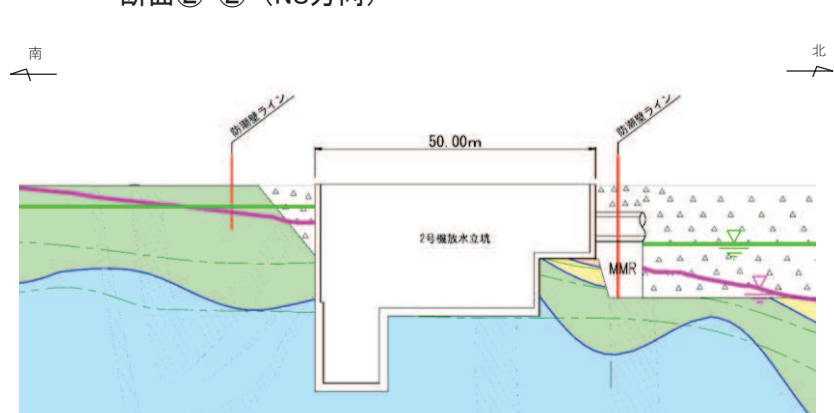
防潮壁(第2号機海水ポンプ室)
断面①-①'(EW方向)



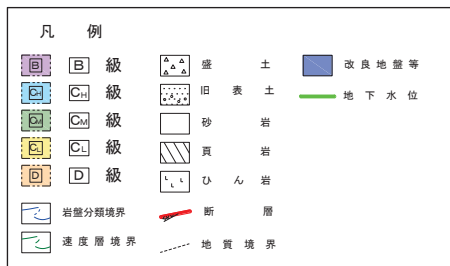
防潮壁(第2号機海水ポンプ室)
断面②-②'(NS方向)



防潮壁(第2号機放水立坑)
断面③-③'(EW方向)

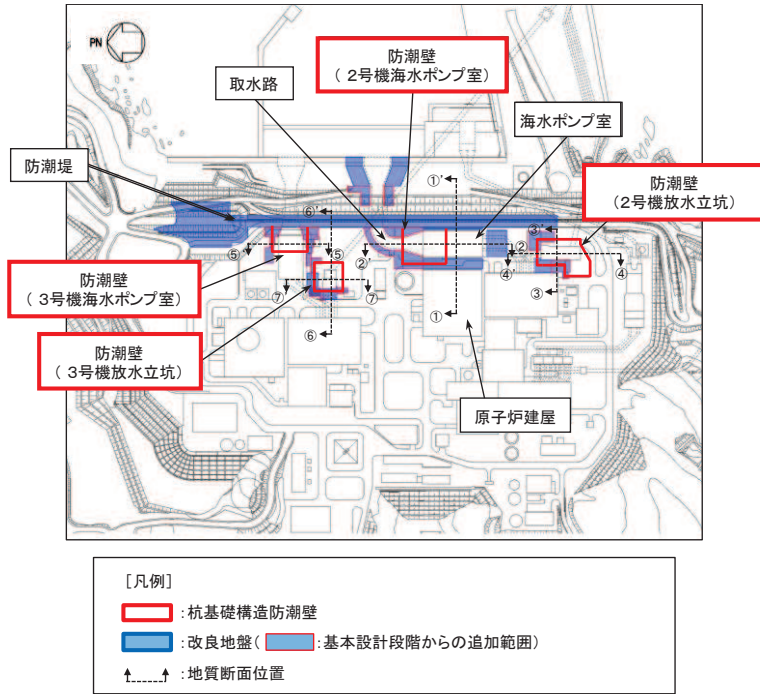


防潮壁(第2号機放水立坑)
断面④-④'(NS方向)

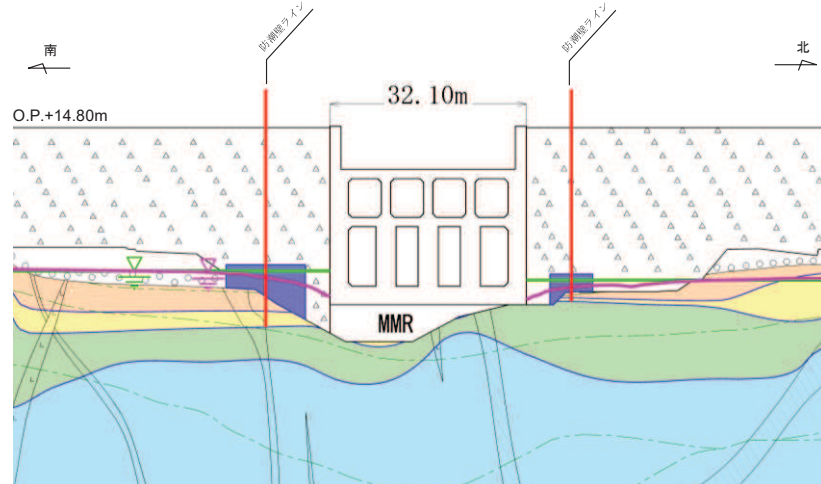


参考. 構造物毎の断面選定結果

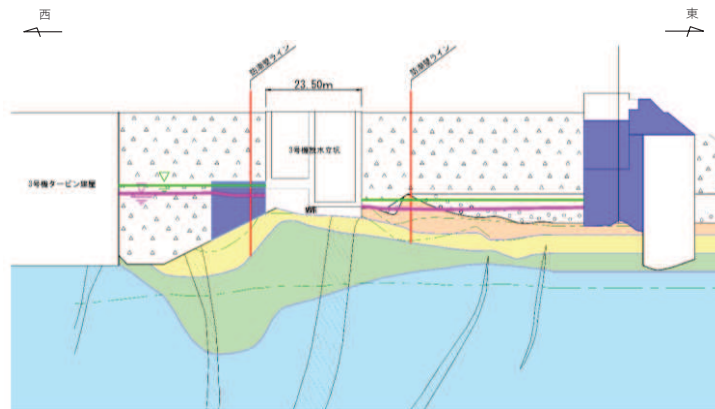
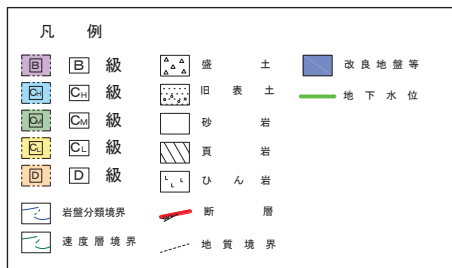
【防潮壁(横断方向の地質分布)－第3号機海水ポンプ室・第3号機放水立坑】



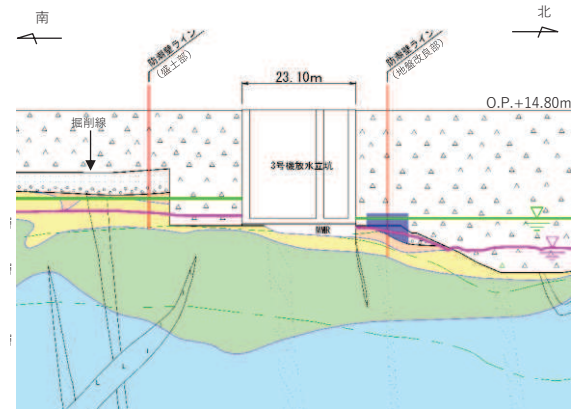
平面図



防潮壁(第3号機海水ポンプ室)
断面⑤-⑤' (NS方向)



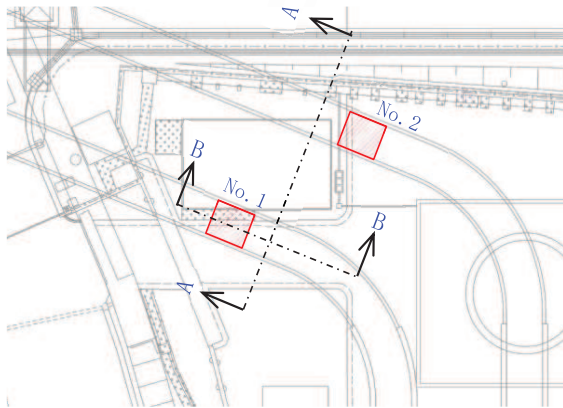
防潮壁(第3号機放水立坑)
断面⑥-⑥' (EW方向)



防潮壁(第3号機放水立坑)
断面⑦-⑦' (NS方向)

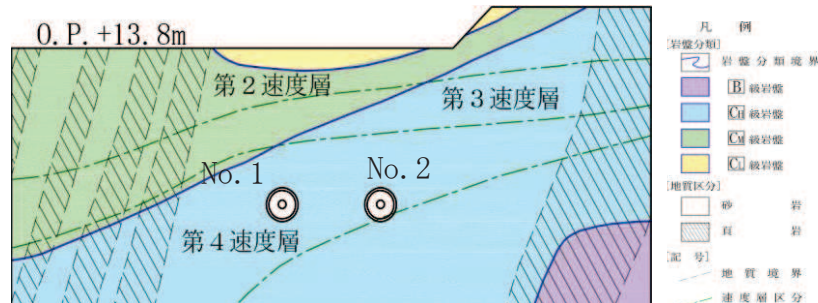
参考. 構造物毎の断面選定結果

【取放水路流路縮小工】

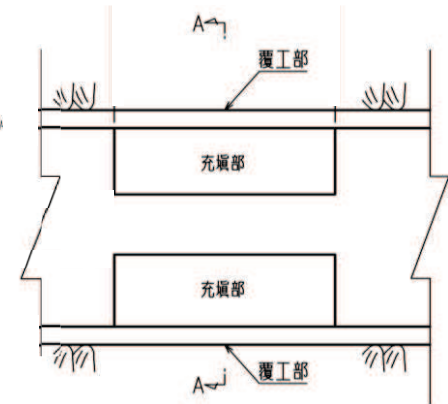


平面図

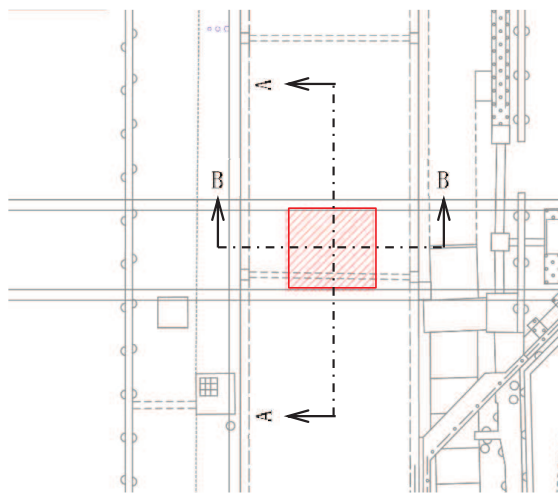
(取放水路流路縮小工(第1号機取水路))



評価対象地質断面図(A-A断面)

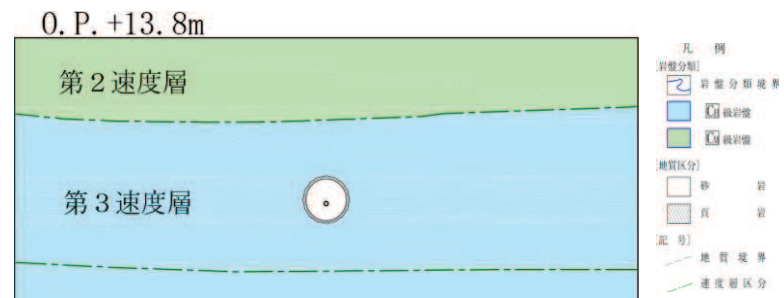


縦断面図(B-B断面)

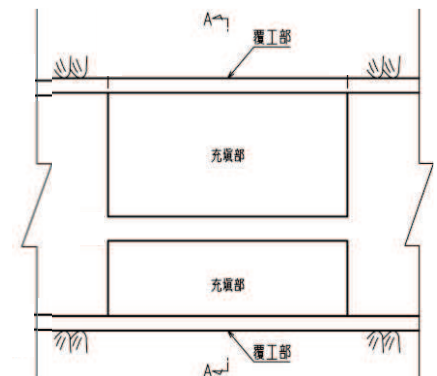


平面図

(取放水路流路縮小工(第1号機放水路))



評価対象地質断面図(A-A断面)

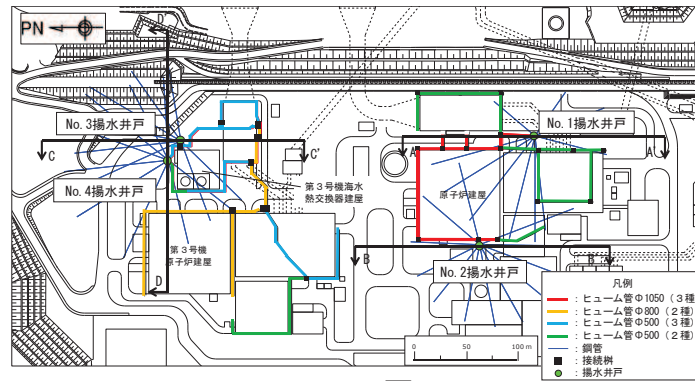


縦断面図(B-B断面)

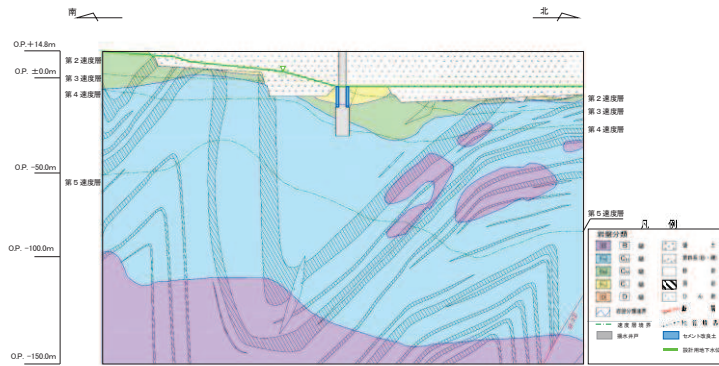
4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

参考. 構造物毎の断面選定結果

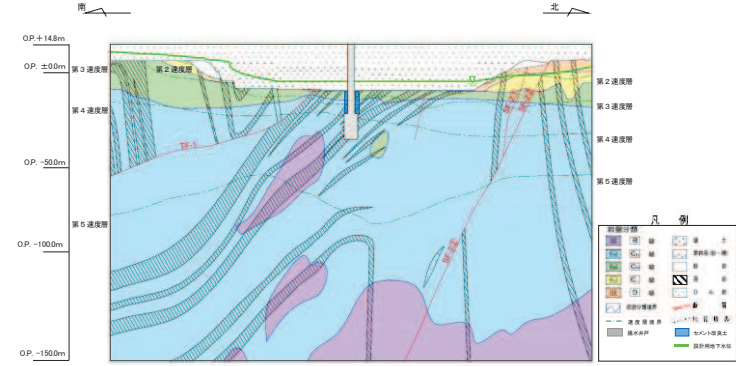
【地下水低設備(揚水井戸)】



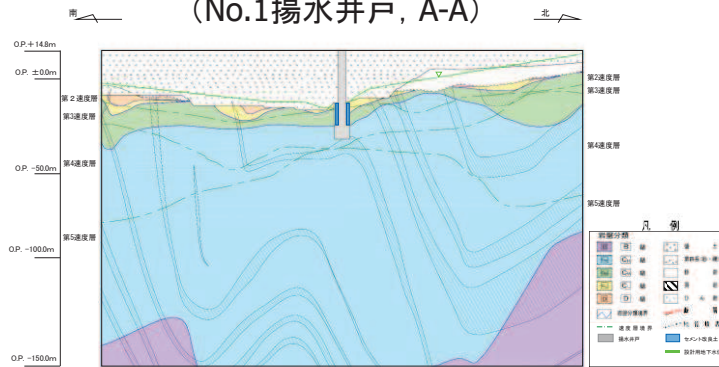
平面図



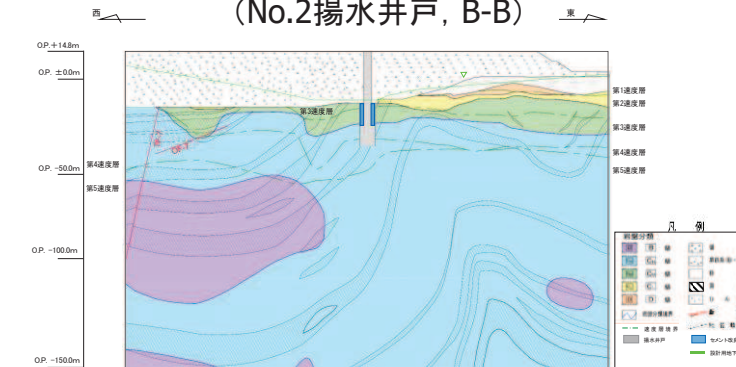
(No.1揚水井戸, A-A)



(No.2揚水井戸, B-B)



(No.3揚水井戸, C-C)

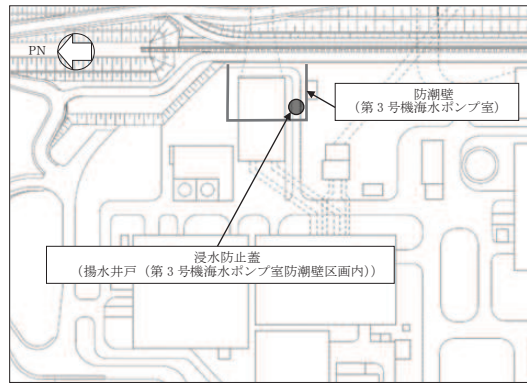


(No.4揚水井戸, D-D)

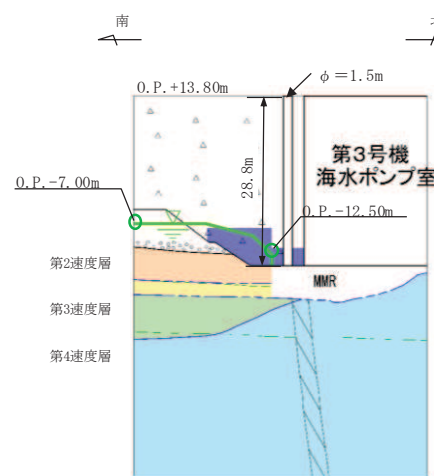
4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

参考. 構造物毎の断面選定結果

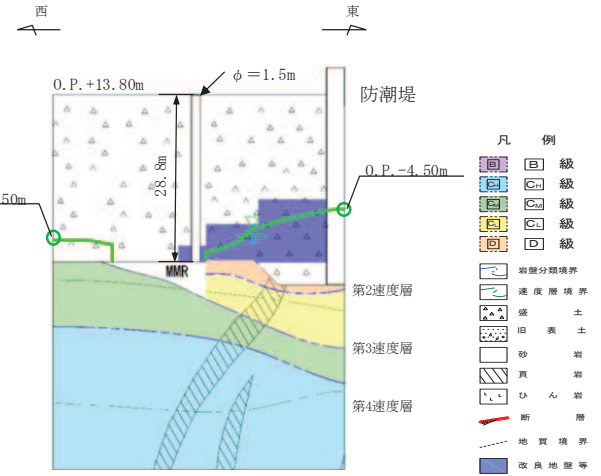
【浸水防止蓋の間接支持】



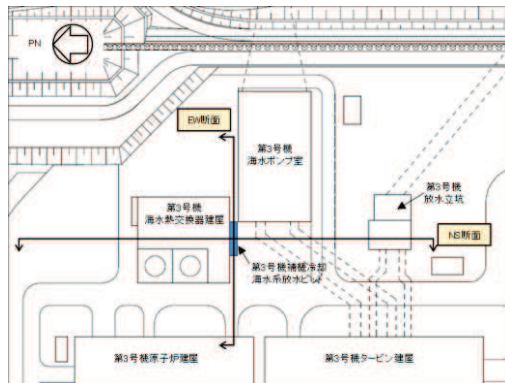
(揚水井戸(第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内))



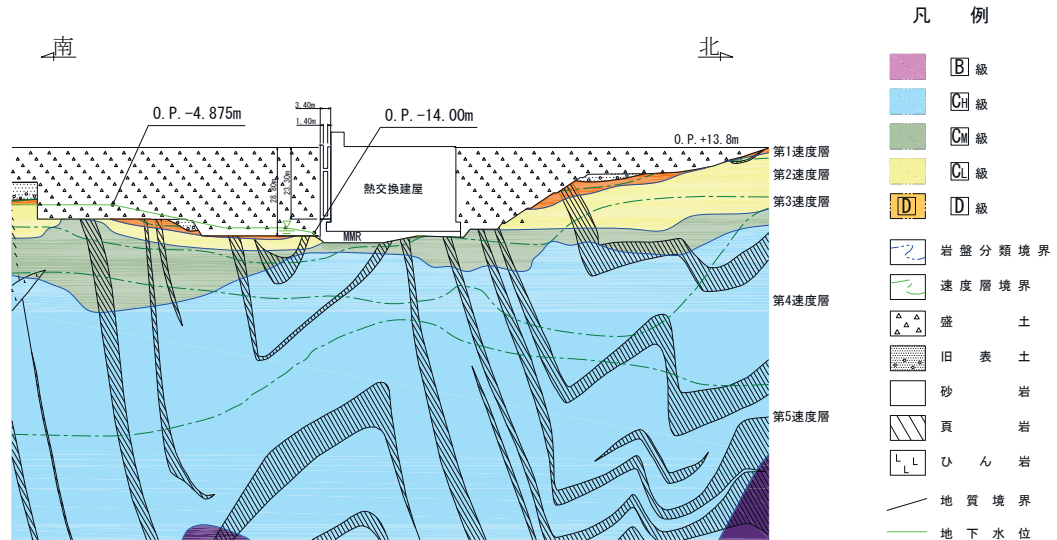
(揚水井戸(第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内))



(揚水井戸(第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内))



(第3号機補機冷却海水系放水ピット)



(第3号機補機冷却海水系放水ピット)