

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6月1日
東北電力株式会社

目次

1. 本日のご説明内容
2. 地盤の液状化強度特性
3. 地盤の液状化を考慮した屋外重要土木構造物等の解析手法の選定
4. 屋外重要土木構造物等の断面選定
5. 地下水位が低い場合の影響についての確認方針

(参考資料)

- 参考1. 液状化強度試験試料採取位置
- 参考2. 液状化強度試験箇所とのN値以下となっている調査箇所の整理
- 参考3. 液状化強度試験結果の分類の考え方
- 参考4. 各種地盤改良の仕様
- 参考5. 解析手法を選定した主な断面図

1. 本日のご説明内容

第952回審査会合からの流れ

- 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。

注記 * : 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)において説明した主要説明項目における「詳細設計申送り事項No.2-1 地下水位の設定, 耐震評価における断面選定」のうち, 設計用地下水位の設定結果として, 浸透流解析を用いた設計用地下水位の設定プロセス及び設定結果を説明。

3. 地下水位の設定に係る今後の説明事項 18

- 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. 本日のご説明内容 指摘事項に対する回答

■ あわせて、第952回審査会合の指摘事項に対する回答について説明する。

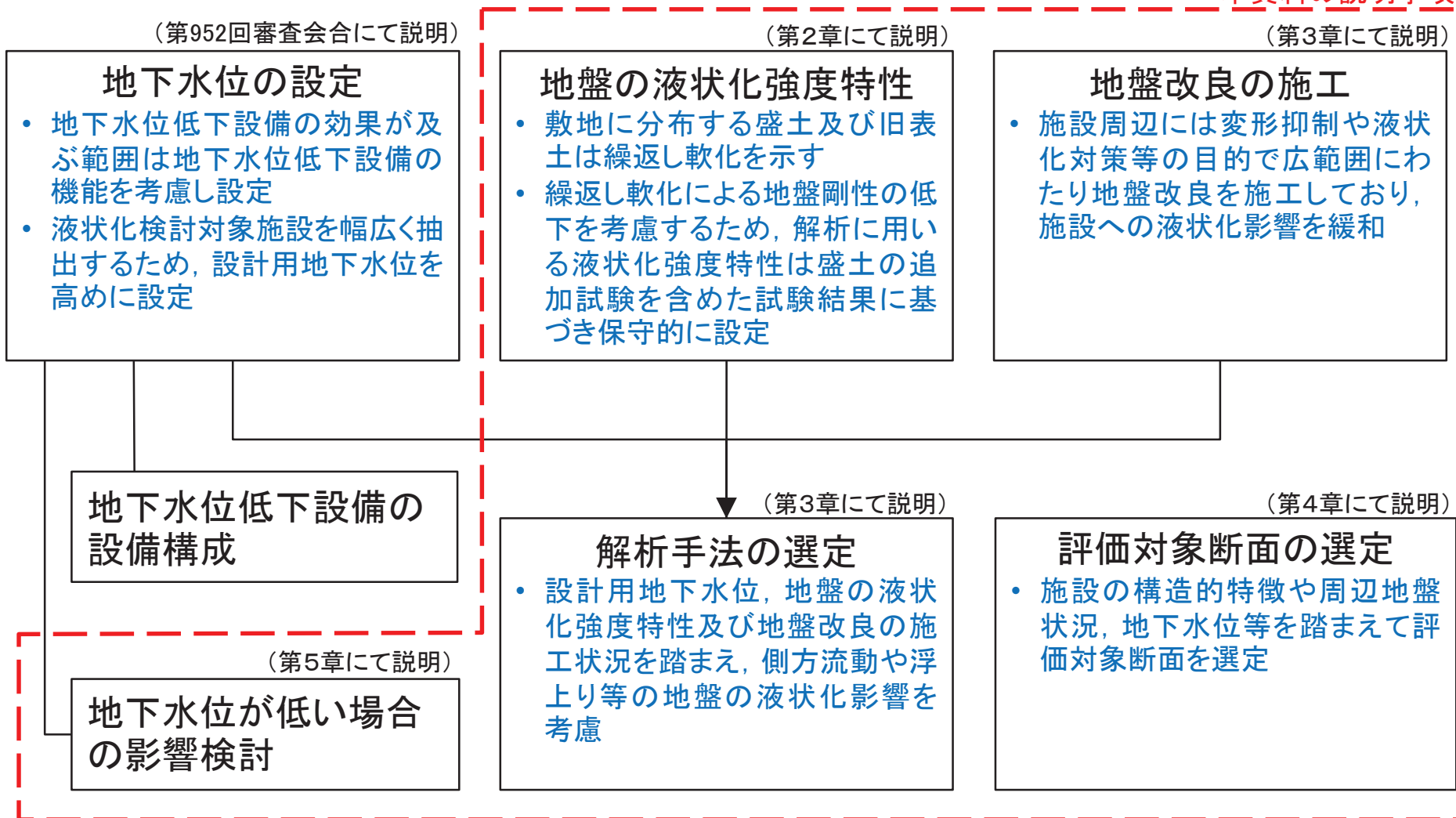
No.	実施日	指摘事項	回答頁	目次
1	令和3年3月2日 第952回 審査会合	設置変更許可時からの設計進捗を踏まえて、地盤改良の効果を整理して説明すること。	p.29～32	3. 地盤の液状化を考慮した屋外重要土木構造物等の解析手法の選定
2	令和3年3月2日 第952回 審査会合	各施設の解析手法の選定について、液状化や浮き上がりの評価を踏まえて説明すること。	p.33～40	3. 地盤の液状化を考慮した屋外重要土木構造物等の解析手法の選定
3	令和3年3月2日 第952回 審査会合	設計用地下水位を高め設定していることを踏まえ、地下水位が低い場合の影響を整理して説明すること。	p.44～46	5. 地下水位が低い場合の影響についての確認方針 (検討方針を説明)

1. 本日のご説明内容

地下水位に関連する検討全体概要

- 女川のサイト特性を踏まえた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。

本資料の説明事項



2. 地盤の液状化強度特性 液状化影響評価方針の概要

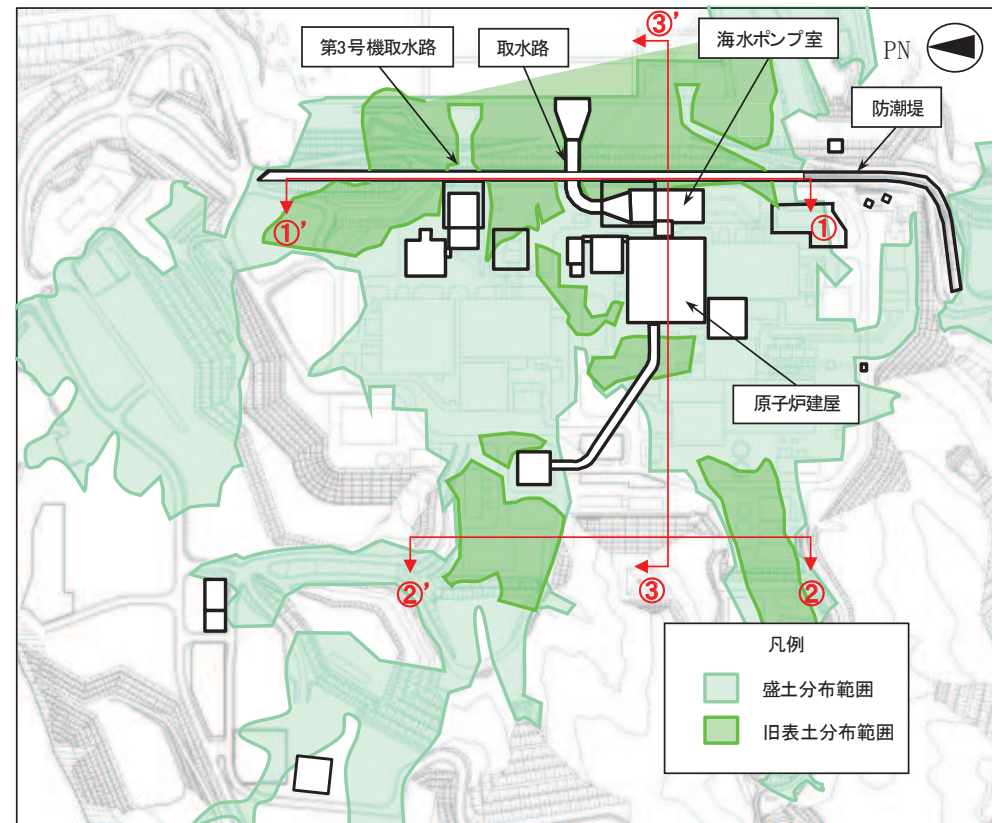
- 本章では、敷地に分布する未固結の地盤（盛土及び旧表土）の液状化強度特性の設定について説明する。
- 液状化検討対象層として、設置変更許可における方針と同様、未固結の地盤（盛土及び旧表土）すべてを液状化検討対象層として抽出した。
- 盛土について、液状化強度試験の試料採取箇所を6箇所追加し、計8箇所とした。
- 液状化強度特性の設定について、設置変更許可における方針と同様、試験結果の下限値に設定する。今回、追加試験も含めて評価し、設置変更許可時と変更ないことを確認した。

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"> • 設置変更許可と同様
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（盛土における指標）により代表性を確認 	<ul style="list-style-type: none"> • 設置変更許可と同様の方法で代表性を確認 • 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"> • 試験結果の下限値に液状化強度特性を設定 	<ul style="list-style-type: none"> • 設置変更許可と同様 • 設定結果も設置変更許可から変更なし

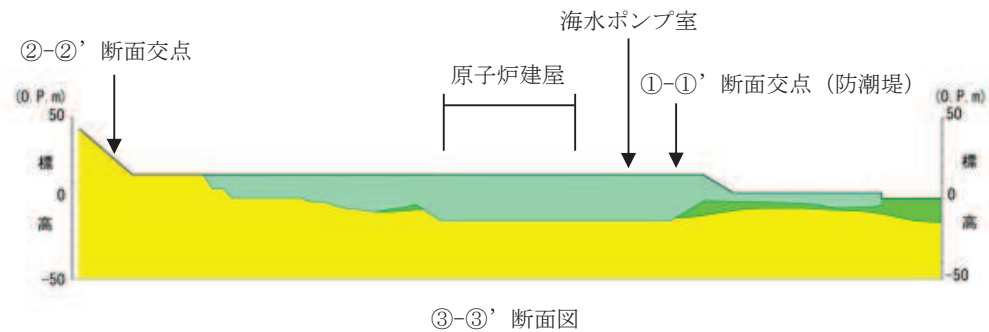
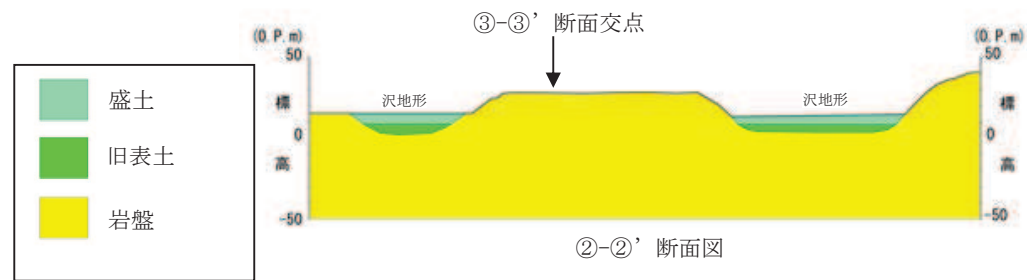
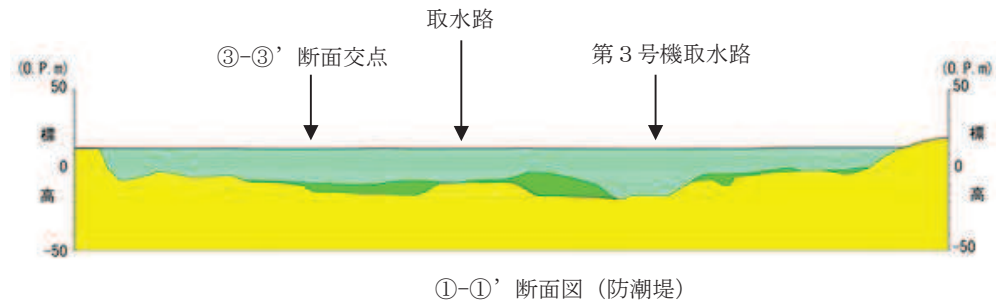
2. 地盤の液状化強度特性 敷地地盤の概要

- 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

2. 地盤の液状化強度特性 敷地地盤の概要



盛土及び旧表土の分布断面図

2. 地盤の液状化強度特性 液状化影響評価の基本方針

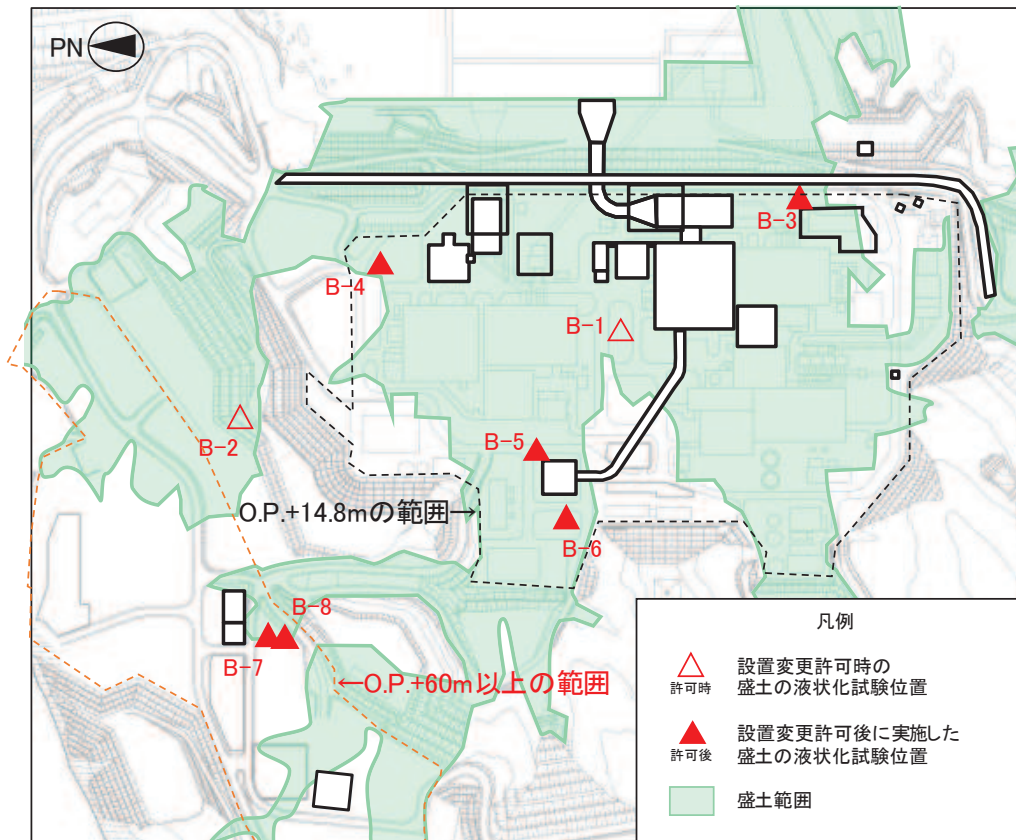
【液状化影響評価の基本方針(設置変更許可時から変更無し)】

- 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地表面-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として抽出。
- 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。

2. 地盤の液状化強度特性

液状化強度試験の試料採取箇所(盛土)

- 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*

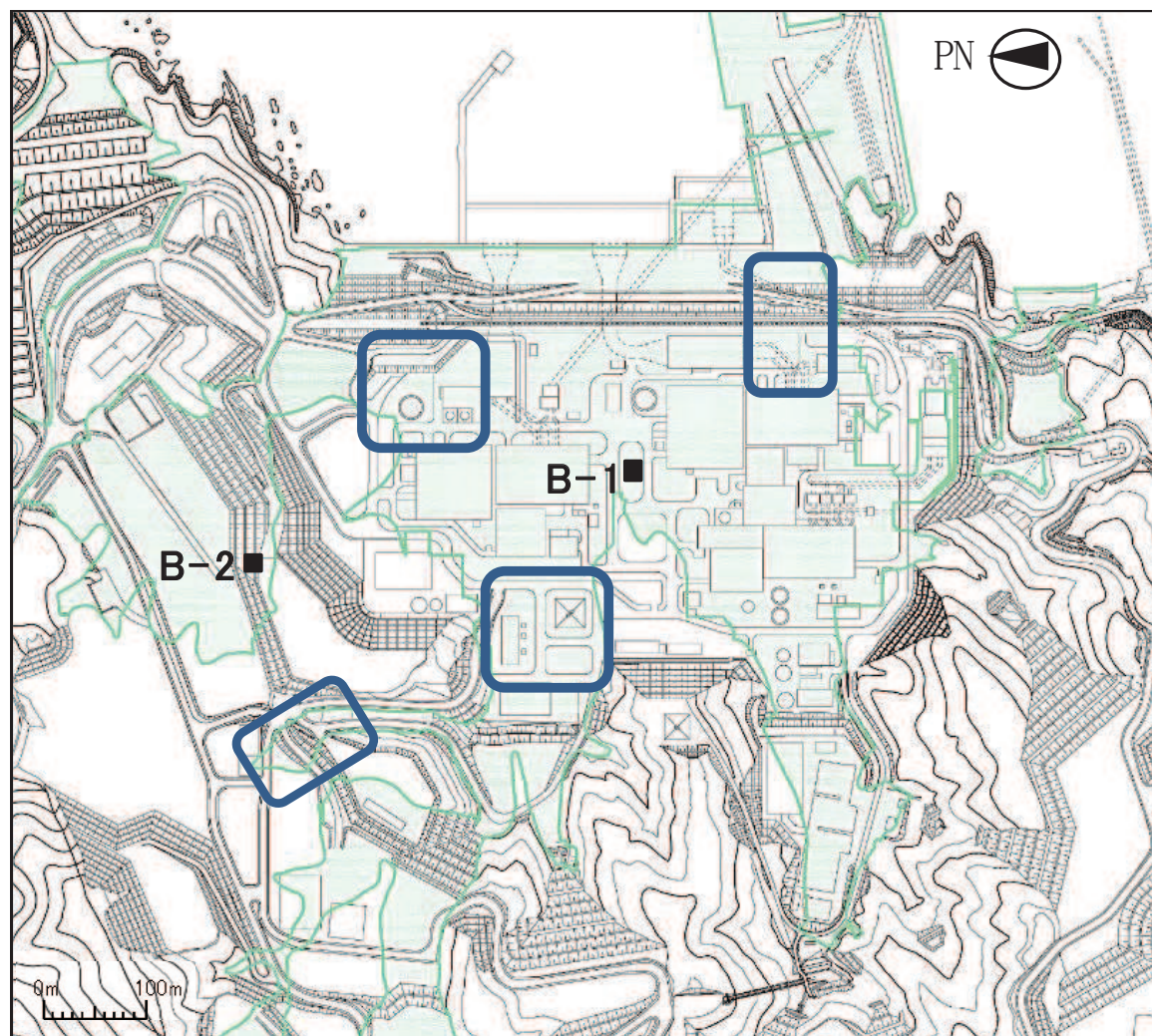
設置変更許可	:2箇所
工事計画認可(追加)	:6箇所
計	:8箇所

注記 * : 試料採取位置の詳細を参考1に記載。

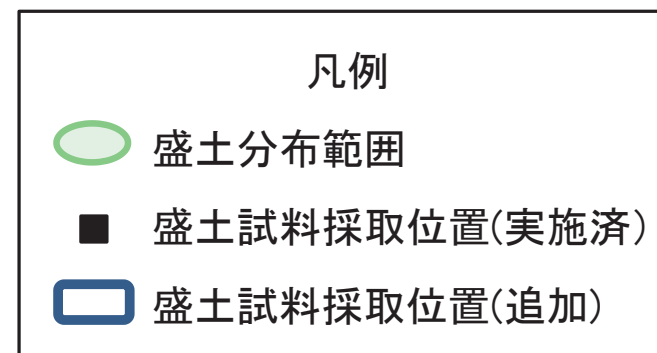
2. 地盤の液状化強度特性

液状化強度試験の試料採取箇所(盛土)

- 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。



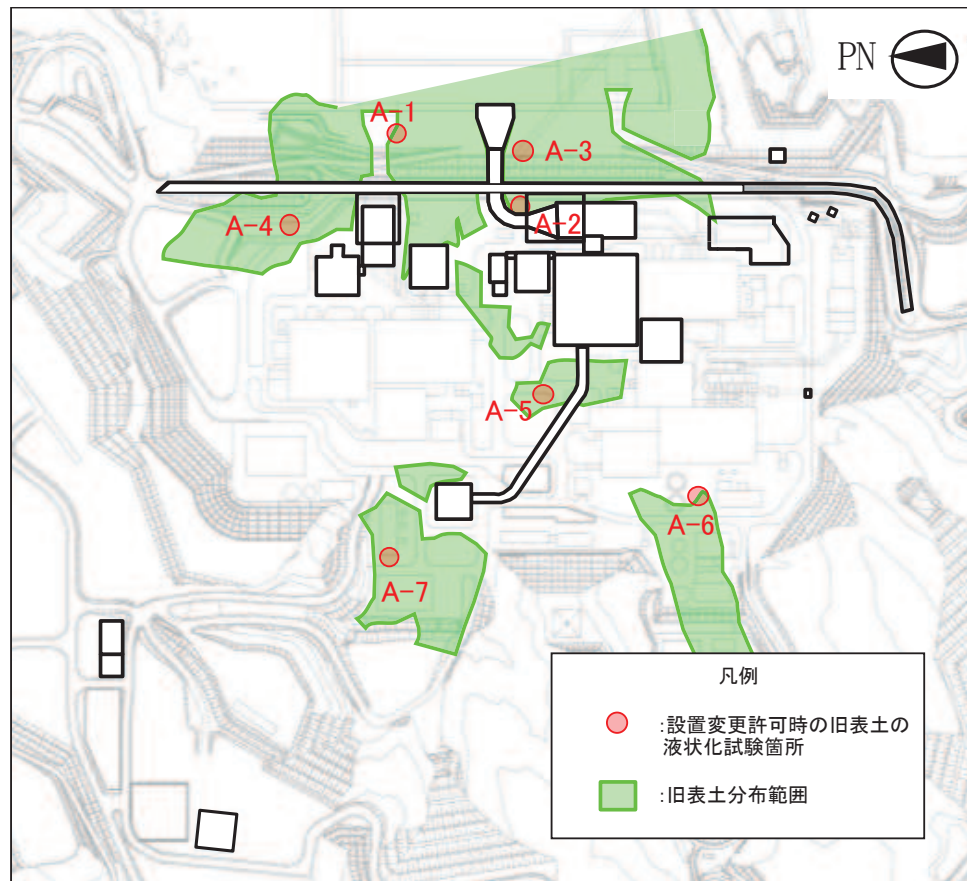
盛土の追加液状化強度試験試料採取位置(計画)



2. 地盤の液状化強度特性

液状化強度試験の試料採取箇所(旧表土)

- 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)。



旧表土の液状化強度試験箇所

【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。

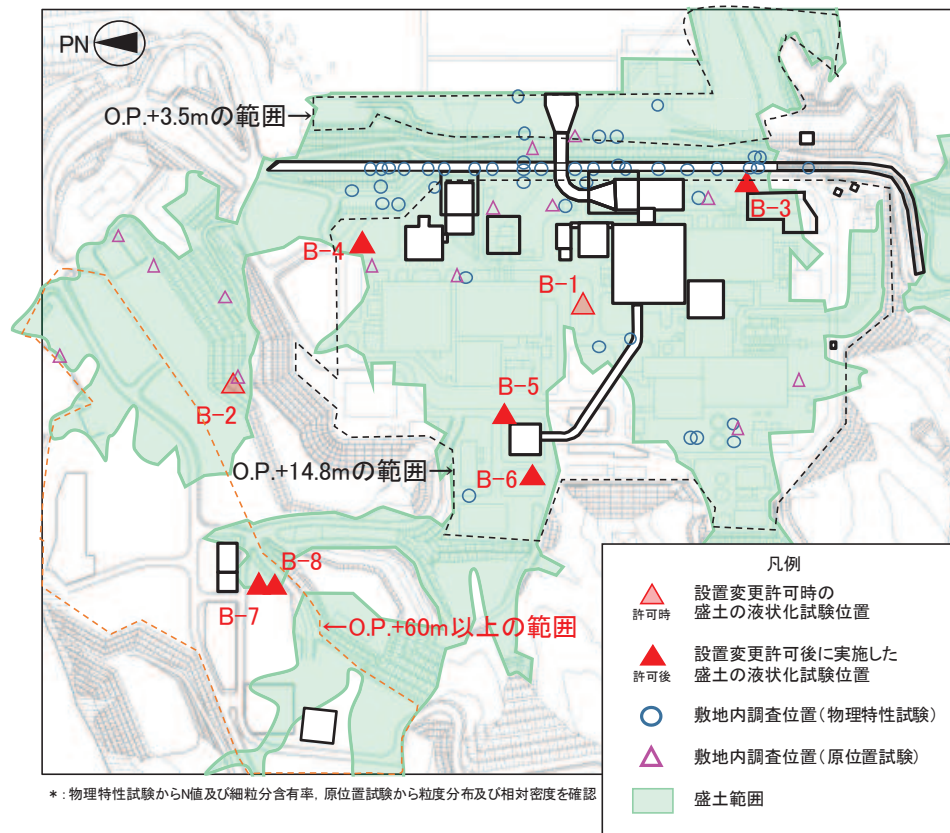


試料採取箇所* : 7箇所

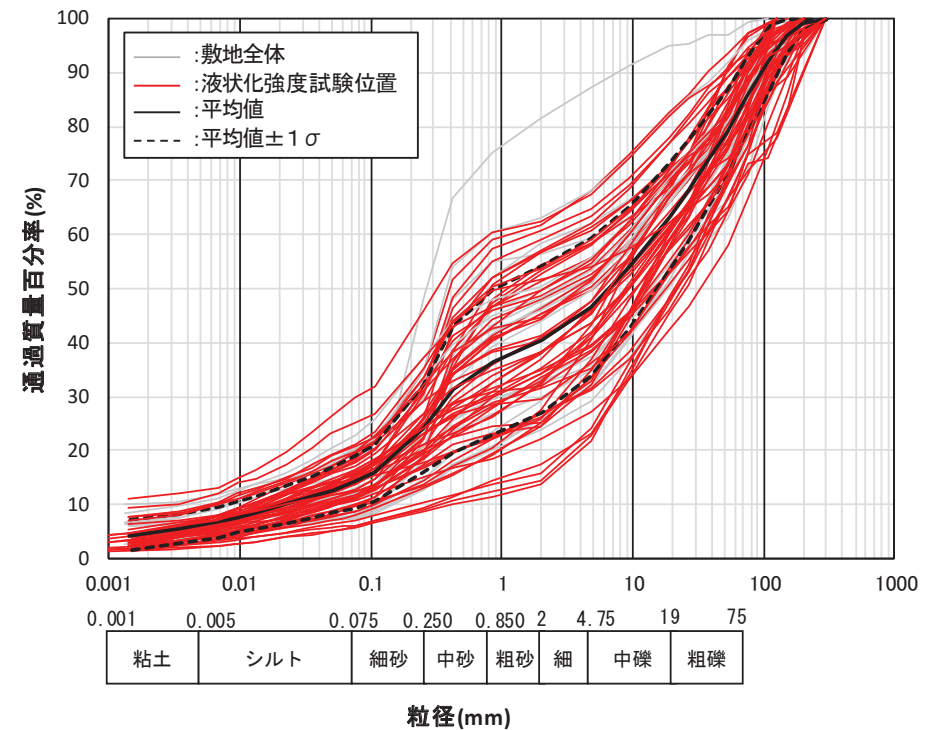
注記 * : 試料採取位置の詳細を参考1に記載。

2. 地盤の液状化強度特性 試験位置の代表性(盛土)

- 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)。
- 盛土は締固め管理して施工された人工地盤であり、敷地の粒度分布の範囲をおおむね網羅する箇所で試験できていることを確認した。



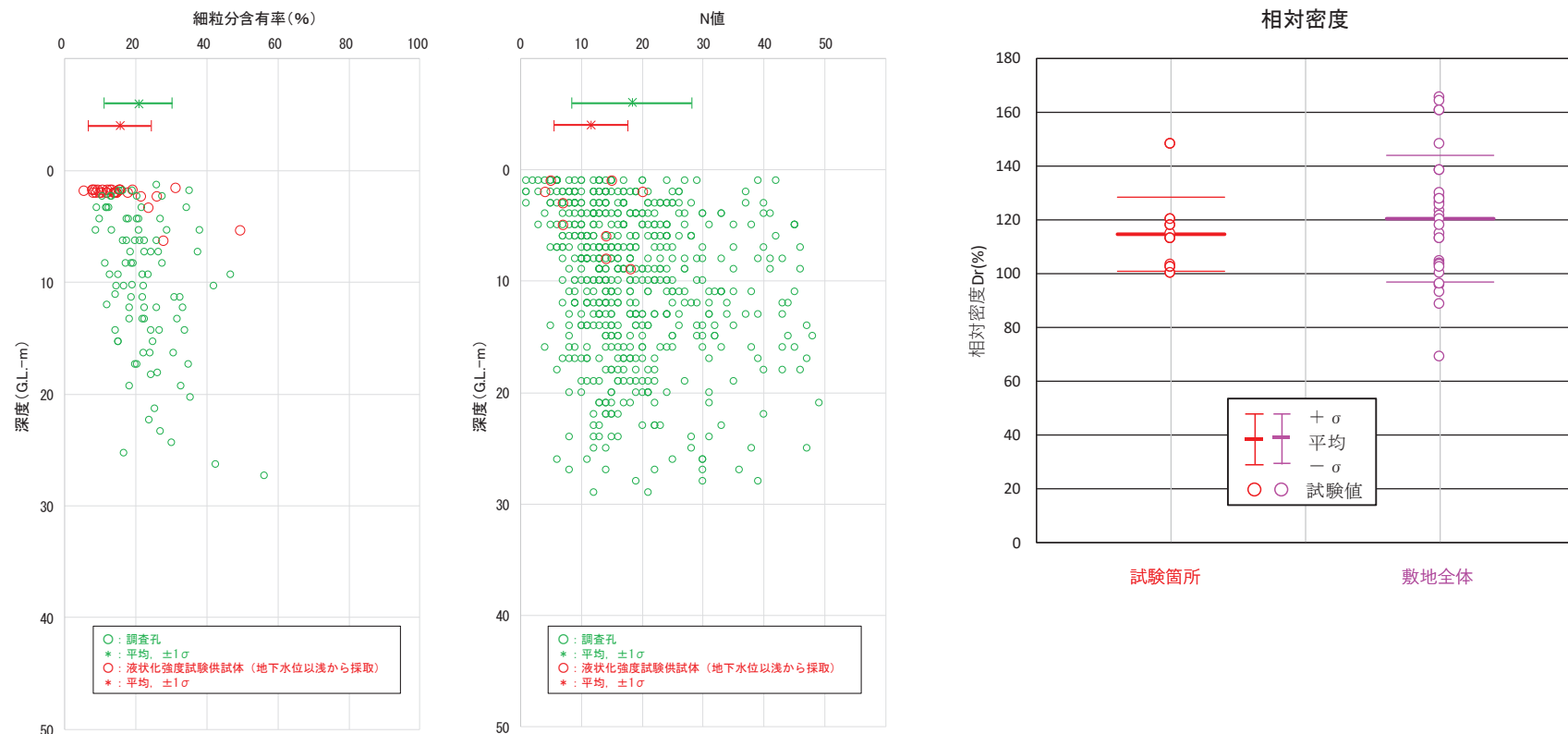
盛土の液状化強度試験の試料採取位置



粒度分布の確認結果

2. 地盤の液状化強度特性 試験位置の代表性(盛土)

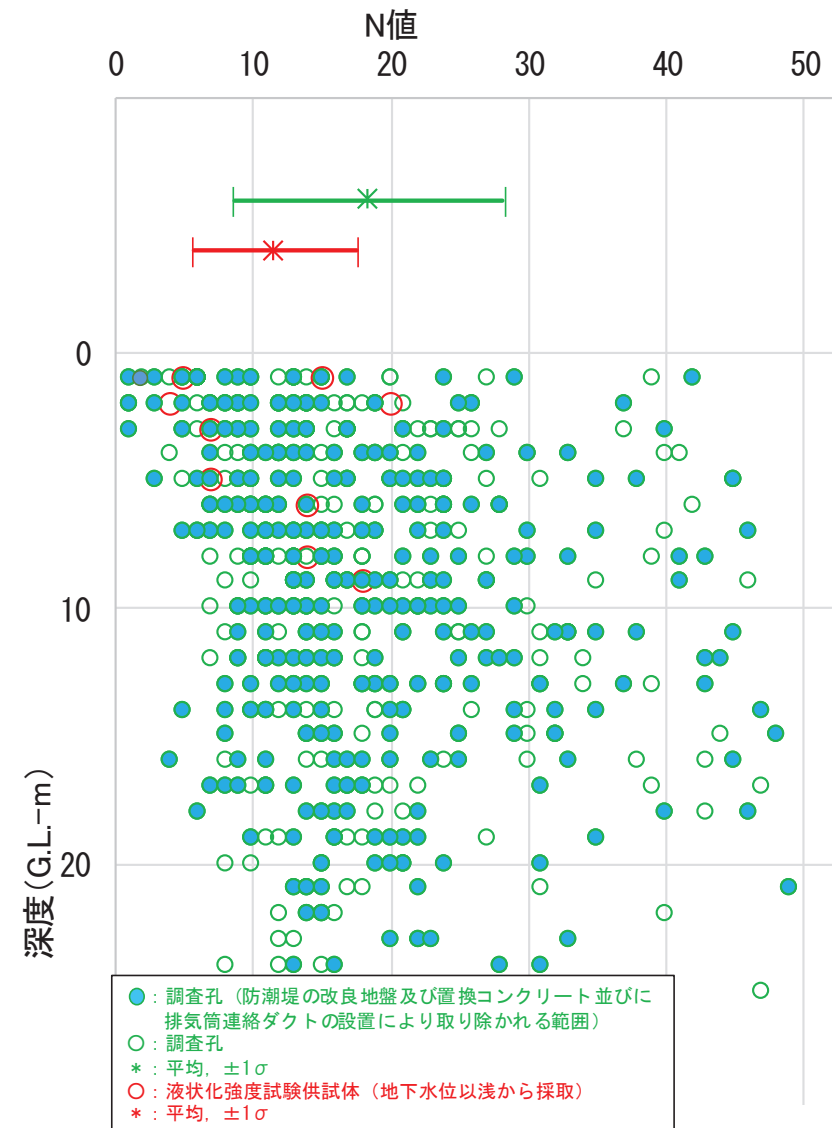
- 細粒分含有率, N値及び相対密度については, 液状化強度試験に用いた盛土の供試体は敷地全体から採取した盛土の供試体よりも低い範囲にあることを確認。
- これらの結果は, 敷地全体から採取した盛土の供試体に比べ, 液状化強度試験に用いた盛土の供試体が同程度あるいはやや液状化しやすい傾向があることを示す。
- 以上から, 液状化強度試験に用いた盛土の供試体は, 追加実施した液状化強度試験の結果を含めても敷地内の盛土に対して代表性及び網羅性を有すると判断できる。



細粒分含有率, N値及び相対密度の確認結果

2. 地盤の液状化強度特性 試験位置の代表性(盛土)

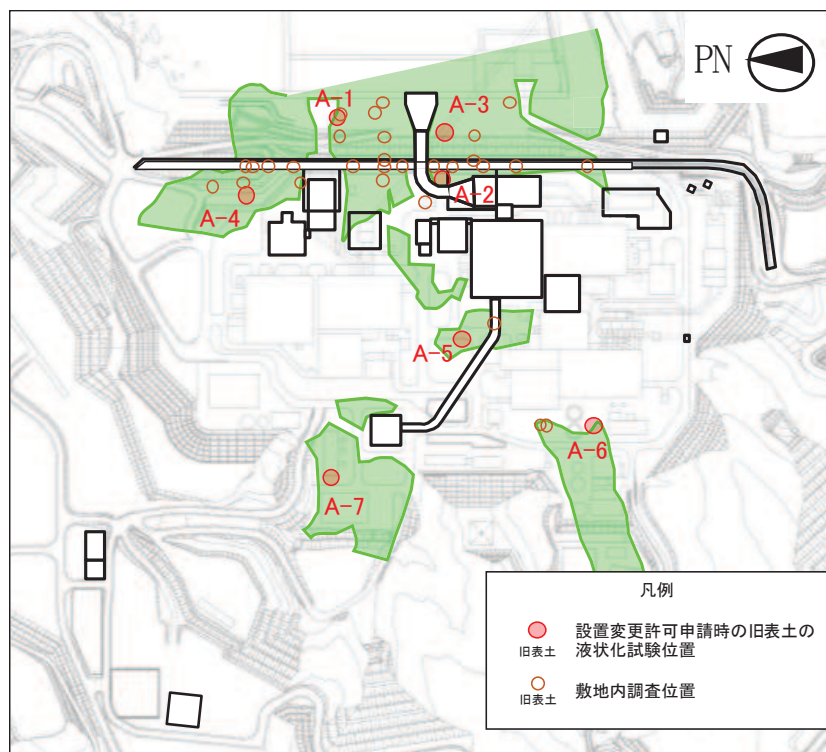
- 前頁の図において，液状化強度試験位置よりもN値が低い箇所があった。
- N値が低い箇所は右図に示すように7箇所あるが，いずれも採取位置が浅部で地下水位以浅の箇所又は防潮堤や排気筒連絡ダクト設置に伴い取り除かれている箇所であることを確認した(N値が低い箇所の詳細については参考2に記載)。
- 以上から，N値が低い箇所の存在を考慮しても，敷地内の盛土に対する代表性及び網羅性を有する。
- 盛土の液状化強度特性の設定に当たっては下限値にて設定することにより保守性を考慮(設置変更許可時から変更無し)。



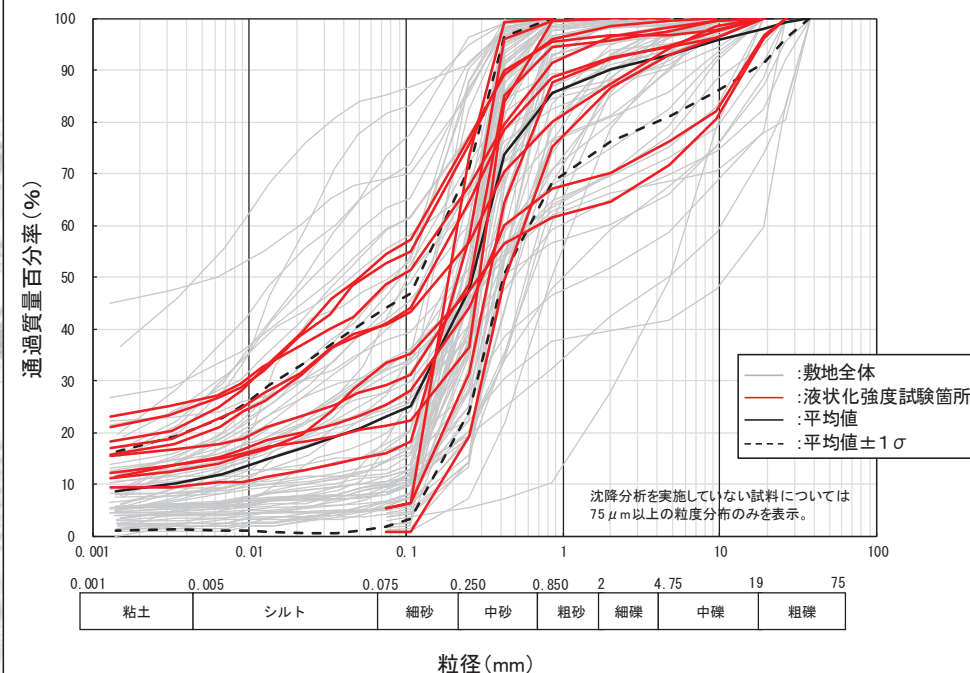
盛土の液状化強度試験供試体と敷地内調査個所のN値

2. 地盤の液状化強度特性 試験位置の代表性(旧表土)

- 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おおむねばらつきの範囲内にあることを確認。



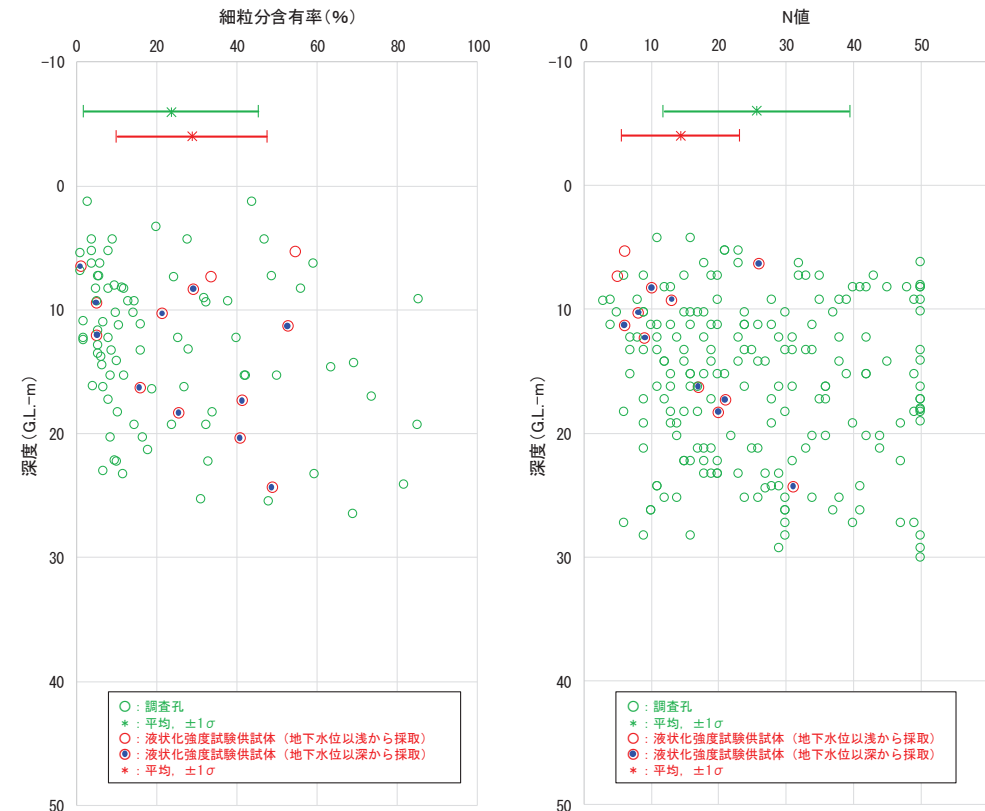
旧表土の液状化強度試験の試料採取位置



粒度分布の確認結果

2. 地盤の液状化強度特性 試験位置の代表性(旧表土)

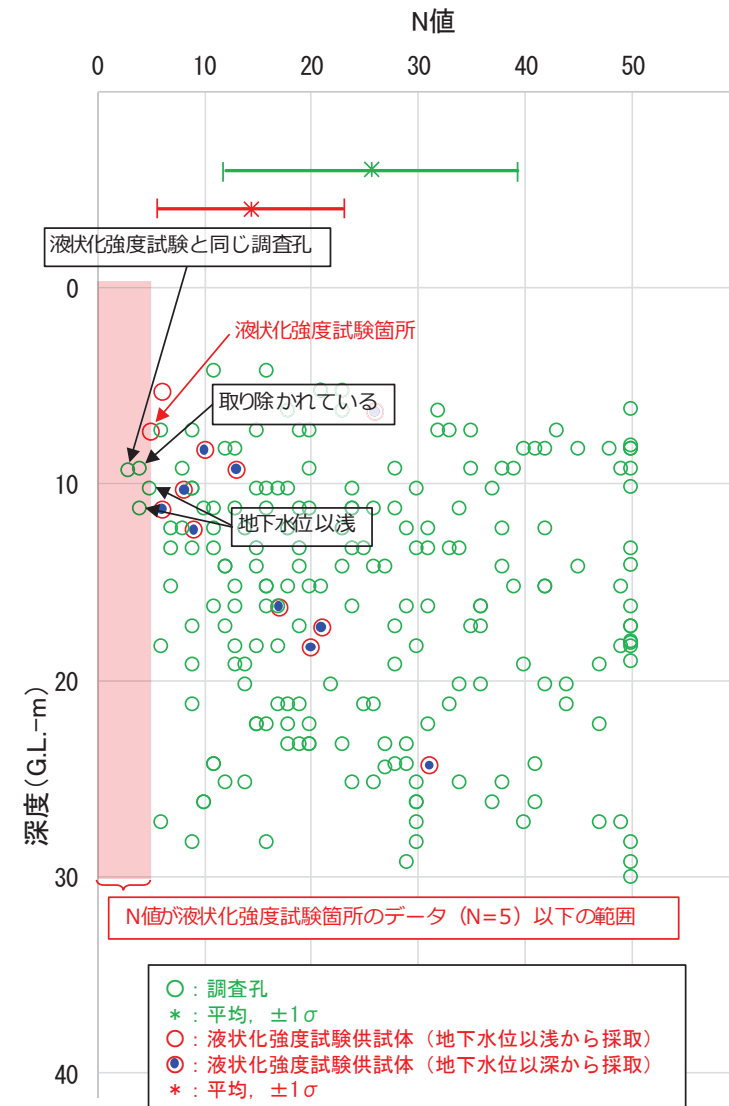
- 細粒分含有率については、液状化強度試験に用いた旧表土の供試体は敷地全体から採取した旧表土の供試体のおおむね平均的な範囲にあることを確認。
- N値については、液状化強度試験に用いた旧表土の供試体は敷地全体から採取した旧表土の供試体よりも低い範囲にあることを確認。
- これらの結果は、敷地全体から採取した旧表土の供試体に比べ、液状化強度試験に用いた旧表土の供試体が同程度あるいはやや液状化しやすい傾向があることを示す。
- 以上から、液状化強度試験に用いた旧表土の供試体は、敷地内の旧表土に対して代表性及び網羅性を有すると判断できる。



細粒分含有率及びN値の確認結果

2. 地盤の液状化強度特性 試験位置の代表性(旧表土)

- 前頁の図において、液状化強度試験位置よりもN値が低い箇所があった。
- N値が低い箇所は右図に示すように3箇所あり、1箇所は採取位置が浅部で地下水位以浅の箇所、1箇所は防潮堤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。残る1箇所については、液状化強度試験位置と同じボーリング孔で一連の地質であることを確認した(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、敷地内の旧表土に対する代表性及び網羅性を有する。
- 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)。

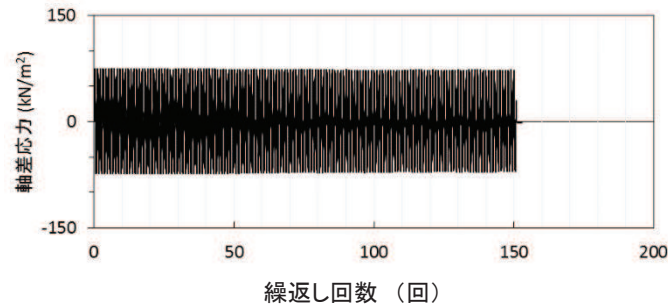
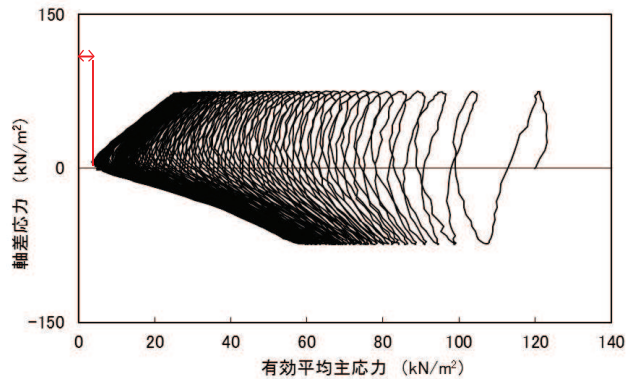


旧表土の液状化強度試験供試体と敷地内調査個所のN値

2. 地盤の液状化強度特性

液状化強度試験結果(盛土:設置変更許可時)

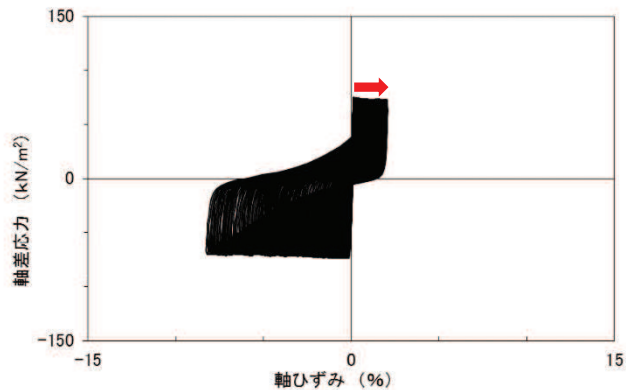
- 盛土の液状化強度試験結果の例を示す(B-1-2試料, 供試体No.1: ϕ 100mm, 深度: 地表から5.00~6.95m)。
- 有効応力がゼロになることはなく, ねばり強い挙動を示し, 繰返し軟化に分類される(液状化強度試験結果の分類については参考3に記載)。



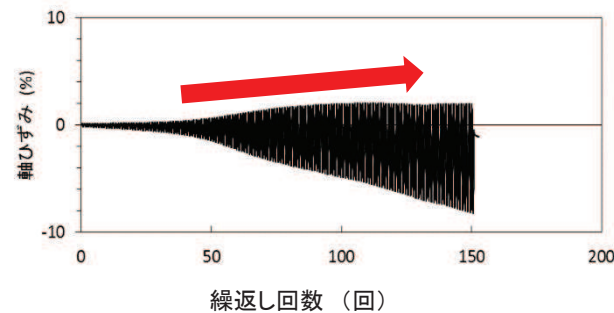
供試体が試験前後とも自立するほどの強度がある。

試験後の供試体

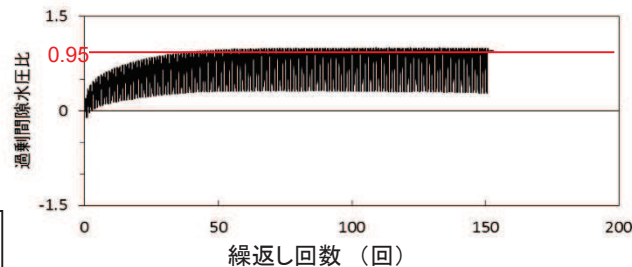
繰返し荷重を载荷しても, 有効応力がゼロになることはなく, 液体状になることはない。また, せん断応力(軸差応力)作用時に, 有効応力は回復し, ねばり強い挙動を示す。



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。



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。

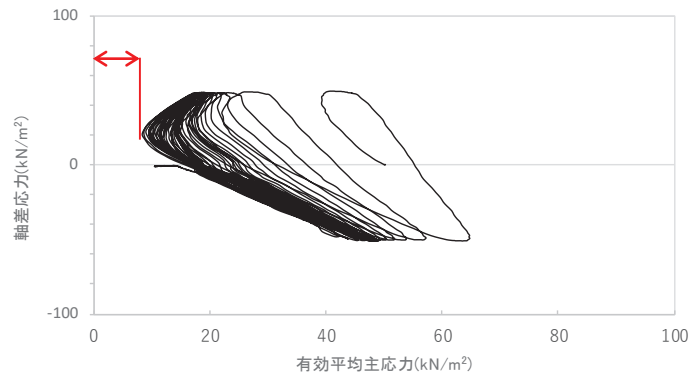


過剰間隙水圧比は95%を超過するものの, 頭打ちとなり, 100%にはならず, せん断応力作用時には, 正のダイレイタンスー効果により, 過剰間隙水圧は低下し(さらに負になる), 有効応力が回復する。

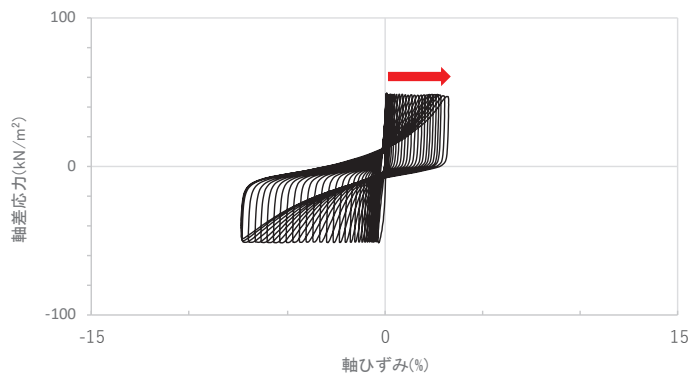
2. 地盤の液状化強度特性

液状化強度試験結果(盛土:追加試験)

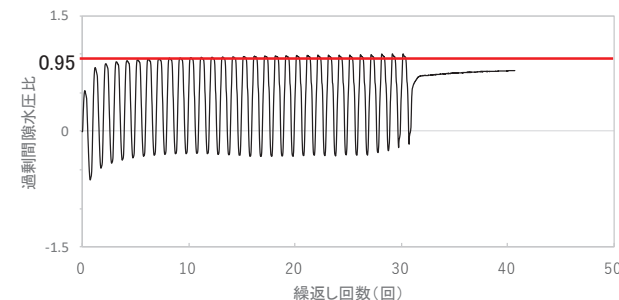
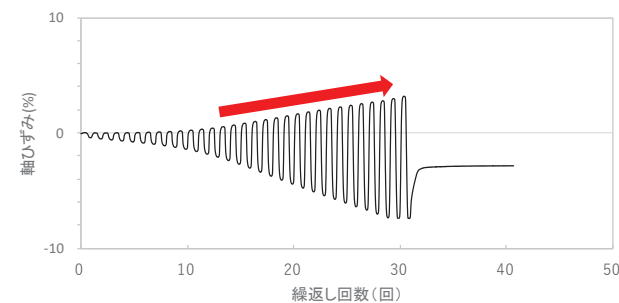
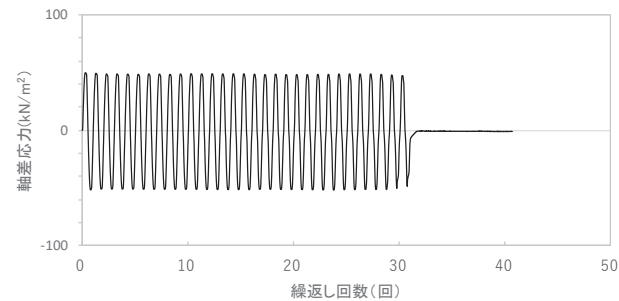
- 盛土の追加液状化強度試験結果の例を示す(B-3試料, 供試体No.3: ϕ 300mm, 深度:地表から1.50~2.50m)。
- 有効応力がゼロになることはなく, ねばり強い挙動を示し, 繰返し軟化に分類される(設置変更許可時の試験結果と同様)。



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

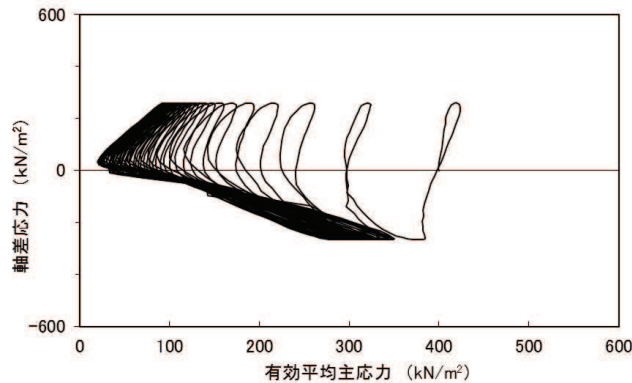
供試体が試験前後とも自立するほどの強度がある。

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。

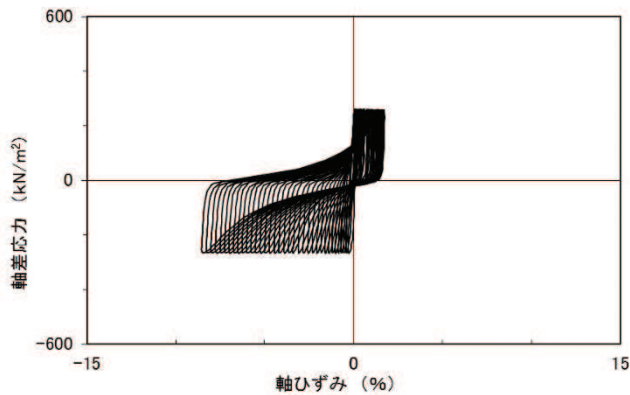
過剰間隙水圧比は95%を超過するものの, 頭打ちとなり, 100%にはならず, せん断応力作用時には, 正のダイレイタンス効果により, 過剰間隙水圧は低下し(さらに負になる), 有効応力が回復する。

2. 地盤の液状化強度特性 液状化強度試験結果(旧表土)

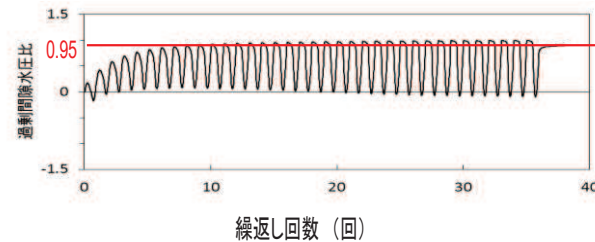
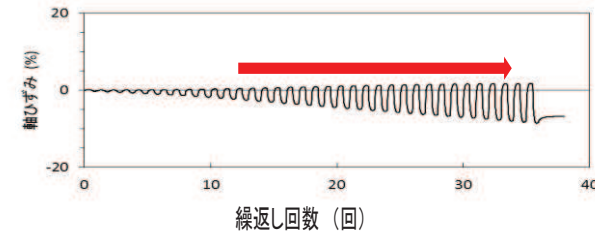
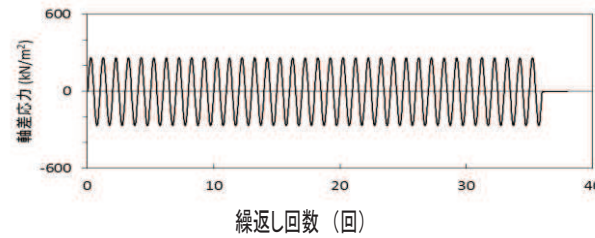
- 旧表土の液状化強度試験結果の例を示す(A-2試料, 供試体No.4: ϕ 100mm, 深度: 地表から18.00~20.95m)。
- 有効応力がゼロになることはなく, ねばり強い挙動を示し, 繰返し軟化に分類される(設置変更許可時から変更無し)。



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。

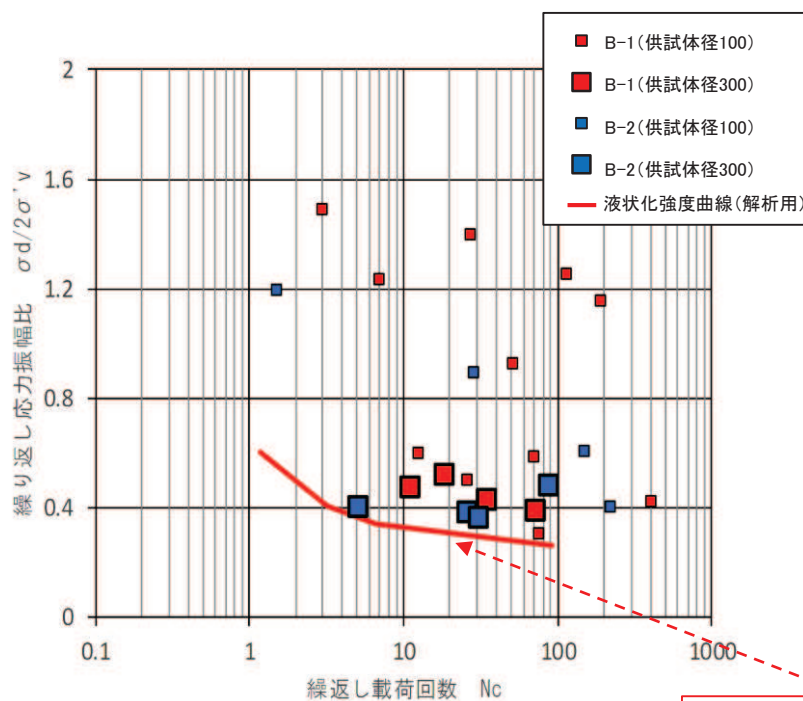
ひずみは徐々に大きくなるが, 急に増大しないため, 脆性的な破壊は生じず, ねばり強い挙動を示す。

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。

2. 地盤の液状化強度特性 液状化強度特性の設定(盛土)

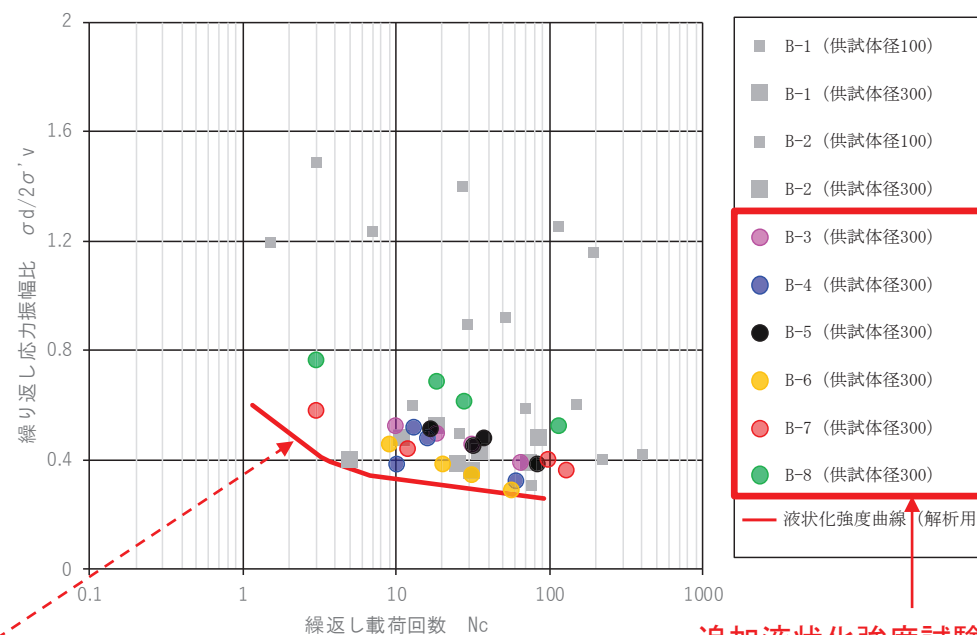
【盛土の液状化強度特性の設定】

- 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。



盛土の液状化強度特性
(設置変更許可)

変更がないことを確認



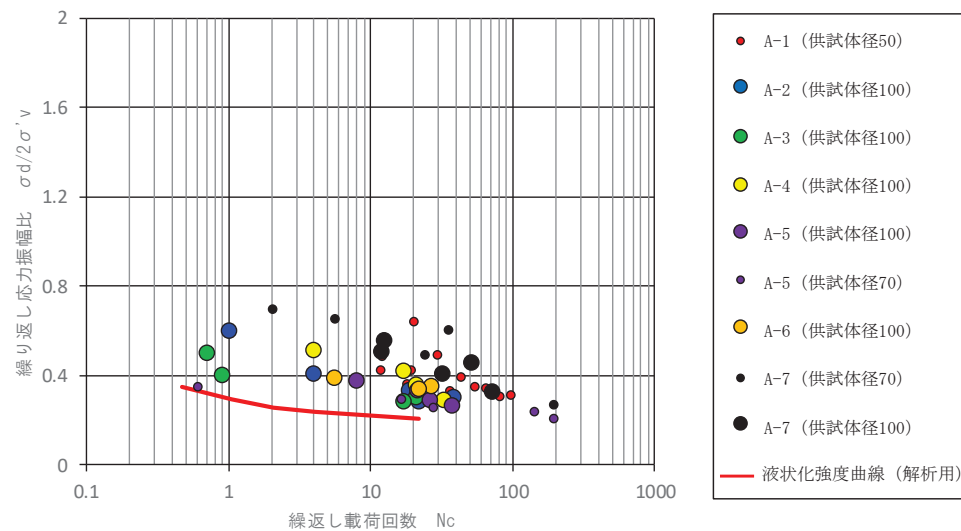
追加液状化強度試験

盛土の液状化強度特性
(工事計画認可)

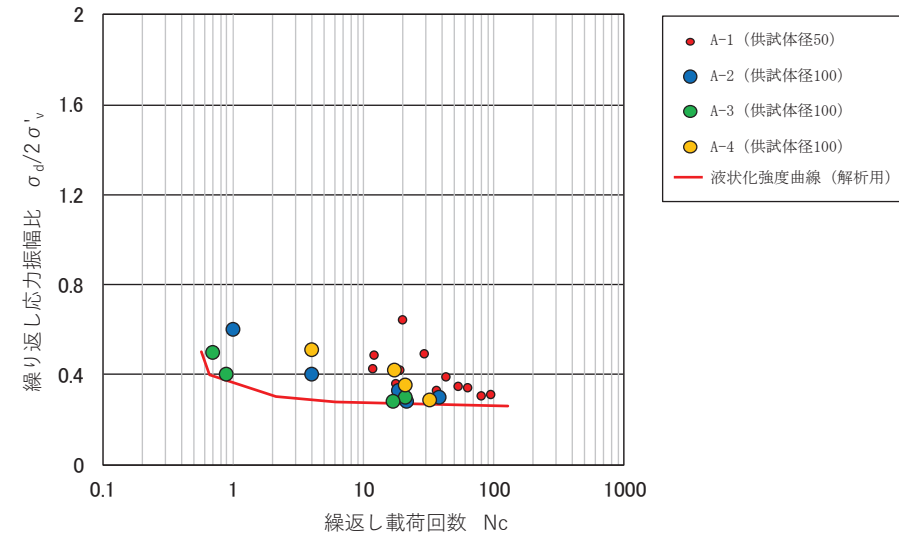
2. 地盤の液状化強度特性 液状化強度特性の設定(旧表土)

【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)

2. 地盤の液状化強度特性 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

	$\phi_p(^{\circ})$	w_1	p_1	p_2	c_1	S_1
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

2. 地盤の液状化強度特性 まとめ

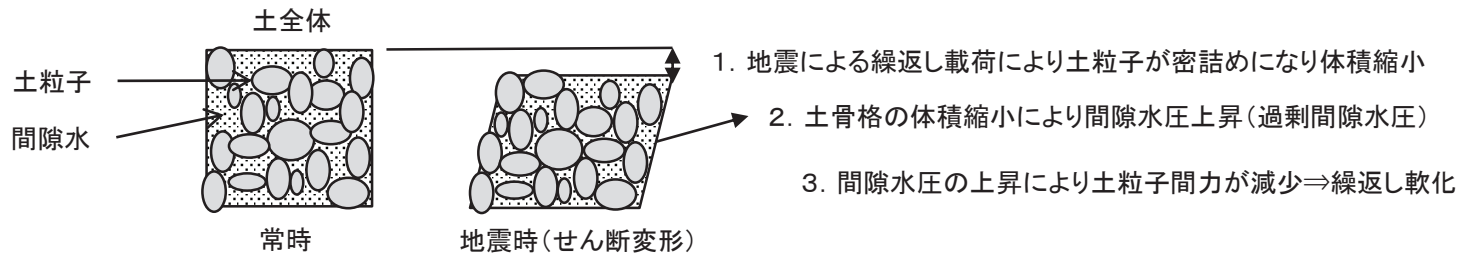
	まとめ	設置変更許可段階との比較
液状化検討対象層の抽出	<ul style="list-style-type: none"> 液状化検討対象層は未固結の地盤すべて（盛土及び旧表土）とする 	<ul style="list-style-type: none"> 設置変更許可段階と同様
液状化強度試験試料採取箇所	<ul style="list-style-type: none"> 盛土において6箇所追加し，計8箇所を実施 旧表土において7箇所を実施 	<ul style="list-style-type: none"> 盛土についてデータを拡充（設置変更許可段階で示した計画どおり）
液状化強度試験位置の代表性	<ul style="list-style-type: none"> 粒度分布，細粒分含有率，N値及び相対密度（盛土における指標）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行い説明性を向上
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 	<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値に設定 	<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

注記：平成23年東北地方太平洋沖地震の際，発電所構内の斜面については，一部で肌落ちや亀裂が認められる状況もあったが，斜面が大規模にすべるような事象はなかった。

3. 地盤の液状化を考慮した屋外重要土木構造物等の解析手法の選定 はじめに

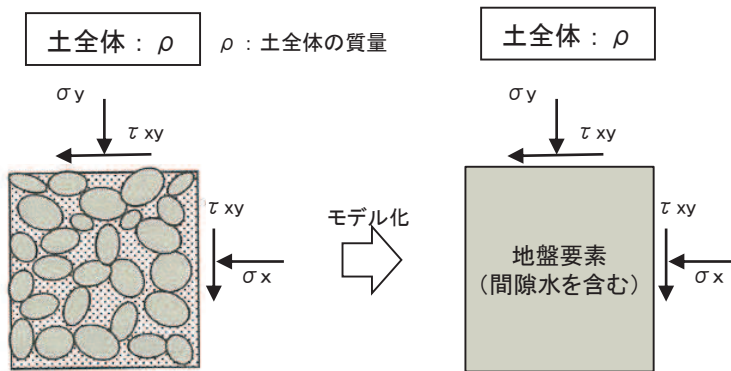
- 液状化が発生する地盤は、土粒子からなる土骨格と、土粒子の間隙を満たす間隙水の2相構造である。
- 地盤の液状化は、地震動に伴う土骨格の変形(体積変化を含む)と間隙水の相互作用により生じることから、地震応答解析で液状化の影響を評価するためには、土骨格と間隙水を個別にモデル化する有効応力解析を選定する必要がある。

液状化の概念



全応力解析による地震応答解析

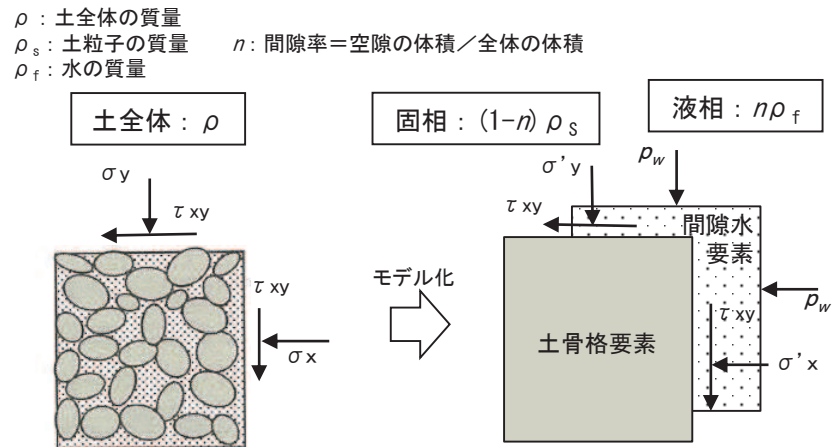
地盤を構成する土骨格と間隙水を一体としてモデル化



応力 ($\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$) は全て全応力

有効応力解析による地震応答解析

地盤を構成する土骨格と間隙水を個別にモデル化

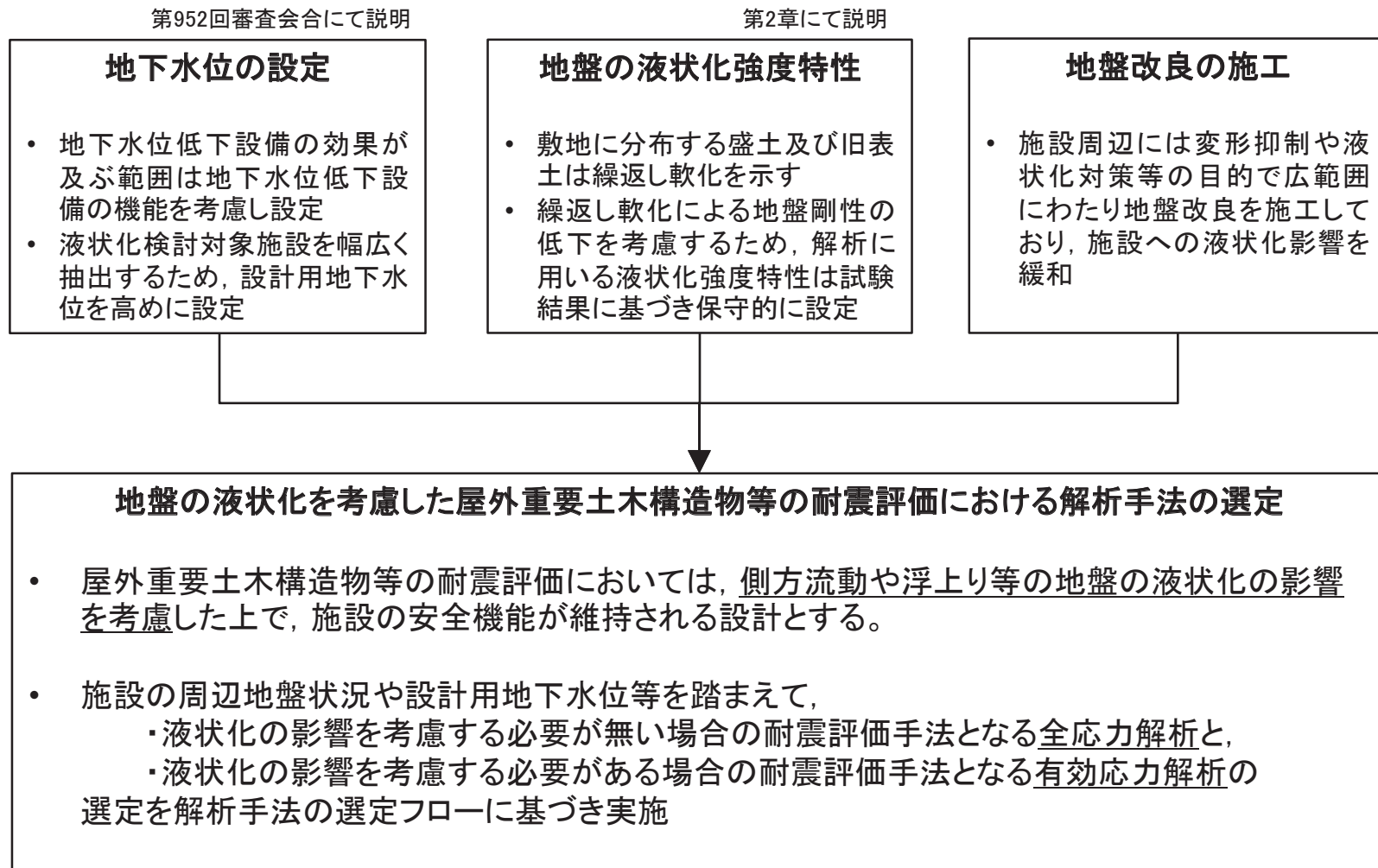


$$\sigma_x = \sigma'_x + p_w, \quad \sigma_y = \sigma'_y + p_w$$

ここで、 σ : 全応力, σ' : 土骨格が受け持つ応力(有効応力), p_w : 間隙水圧
(間隙水はせん断応力には寄与しないので、 τ_{xy} は全応力=有効応力)

3. 地盤の液状化を考慮した屋外重要土木構造物等の解析手法の選定 液状化を考慮した解析手法の選定方針

- 高めに設定された設計用地下水位、敷地の盛土及び旧表土の液状化強度特性、更には地盤改良の施工状況を踏まえ、屋外重要土木構造物等の耐震評価において、側方流動や浮上り等の地盤の液状化の影響を受ける可能性のある施設については、有効応力解析を選定する。
- 一方、地盤の液状化の影響を受ける可能性のない施設については、全応力解析を選定する。



3. 地盤の液状化を考慮した屋外重要土木構造物等の解析手法の選定 屋外重要土木構造物等一覧(1)

■ 本資料で対象とする構造物*1は、耐震評価において、地盤の液状化の影響が直接及ぶ土圧が支配的要因であり、液状化影響を考慮するために解析手法を選定する必要がある地中構造物とし、具体的には、屋外重要土木構造物、重大事故等対処施設*2、津波防護施設、地下水位低下設備である。以下、総称して「屋外重要土木構造物等」という。

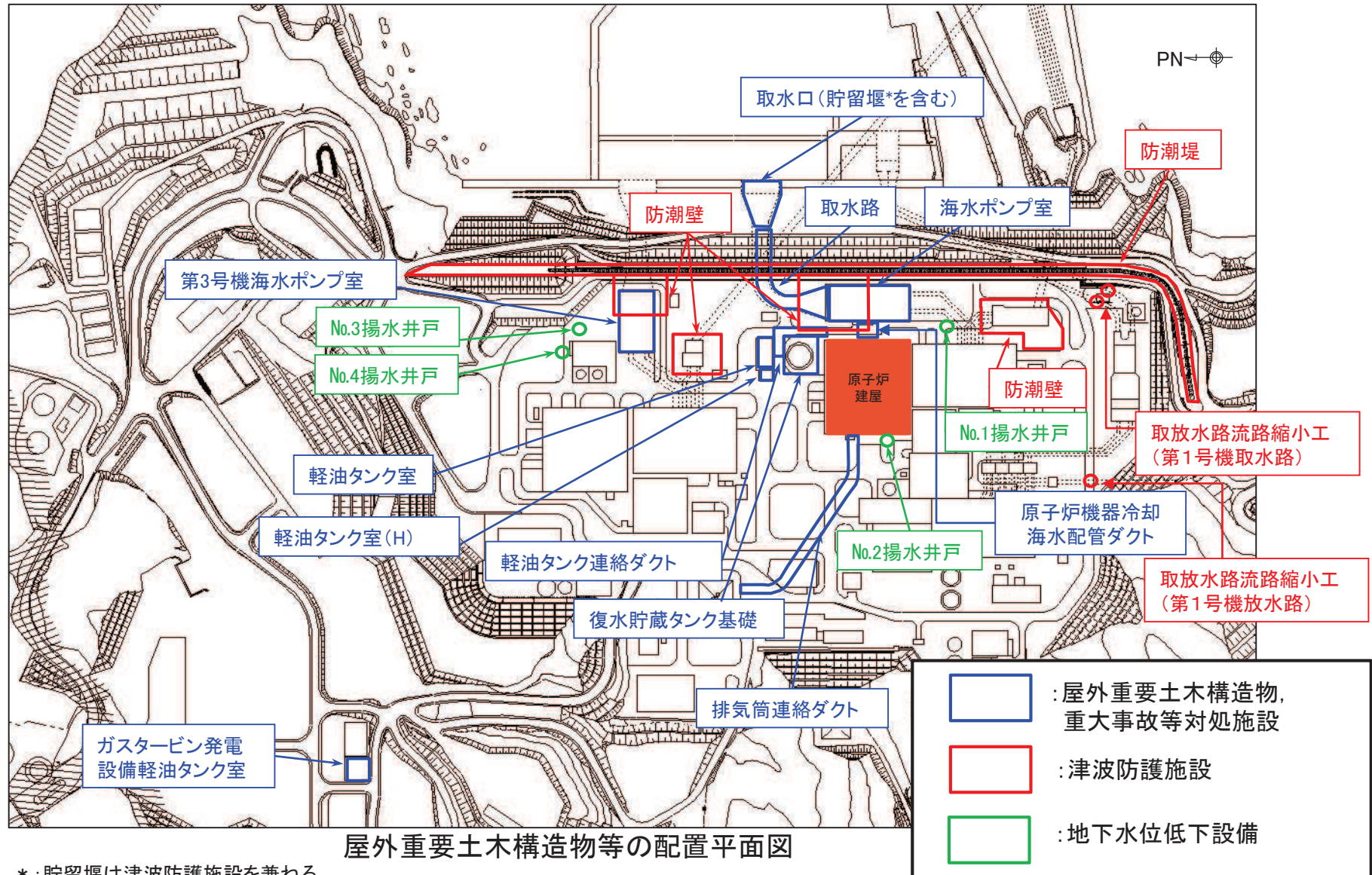
主な屋外重要土木構造物等

番号	分類*3	設備名称	岩盤支持方法	地盤改良	構造分類
1	屋重/重大	軽油タンク連絡ダクト	直接基礎(MMR)	—	線状構造物
2	屋重/重大	排気筒連絡ダクト	トンネル	—	
3	屋重/重大	原子炉機器冷却海水配管ダクト	直接基礎(MMR)	○	
4	屋重/重大	取水路	直接基礎(MMR)	○	
5	屋重/重大	軽油タンク室	直接基礎(MMR)	—	箱形構造物
6	屋重/重大	軽油タンク室(H)	直接基礎(MMR)	—	
7	屋重/重大	海水ポンプ室	直接基礎(MMR)	○	
8	屋重/重大/津波	取水口(貯留堰を含む)	直接基礎(MMR)	○	
9	重大	復水貯蔵タンク基礎	直接基礎(MMR)	—	
10	重大	ガスタービン発電設備軽油タンク室	直接基礎	○	
11	屋重	第3号機海水ポンプ室	直接基礎(MMR)	—	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	杭基礎(改良地盤)	○(支持地盤)	
13	津波	防潮壁	杭基礎	○	
14	津波	取放水路流路縮小工	トンネル	—	
15	地下水	揚水井戸	直接基礎	○	筒状構造物

注記 *1: 建屋や排気筒等の地上構造物は、慣性力が耐震評価の支配的要因であり、地中構造物のように地盤の液状化を考慮して解析手法を選定する必要はないことから本資料の対象外とする。なお、施設毎に設置状況を踏まえ液状化の影響を検討する。
 *2: 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。
 *3: 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

3. 地盤の液状化を考慮した屋外重要土木構造物等の解析手法の選定 屋外重要土木構造物等一覧(2)

■ 屋外重要土木構造物等の配置平面図を以下に示す。



注記 * :貯留堰は津波防護施設を兼ねる。

3. 地盤の液状化を考慮した屋外重要土木構造物等の解析手法の選定 審査会合での指摘事項

■ 指摘事項1

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。

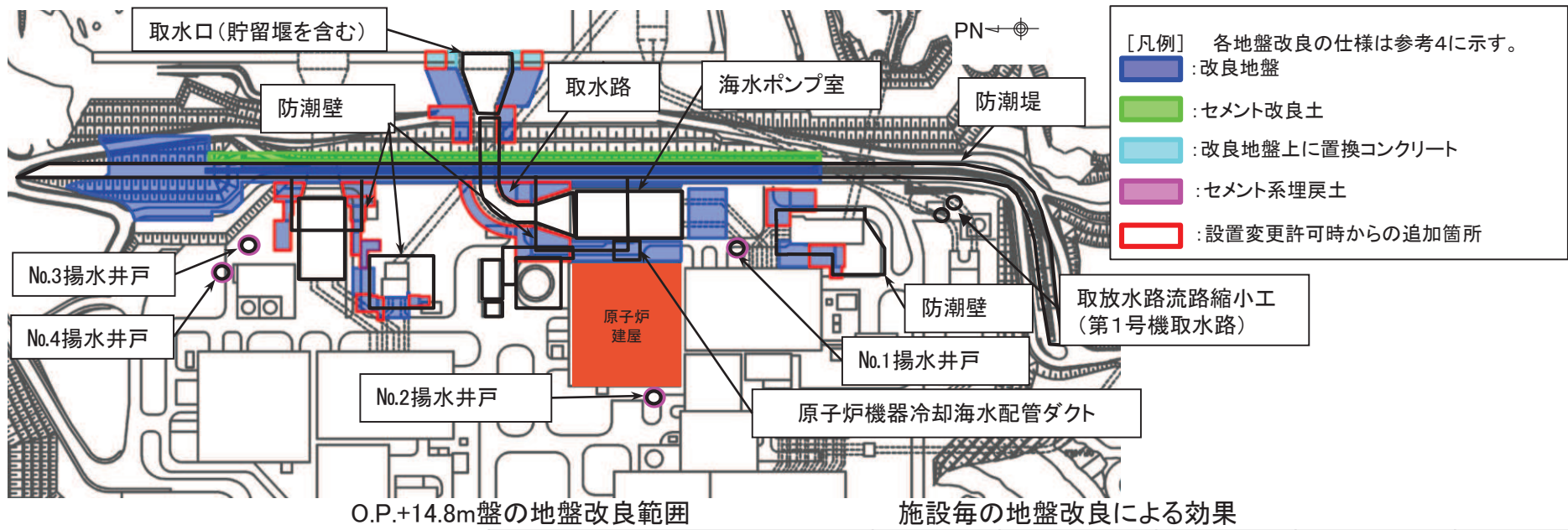


■ 回答1

- 詳細設計の結果、設置変更許可時から地盤改良を追加施工することにより、地盤の変形抑制や、液状化影響の緩和により耐震裕度の向上を図っている。
- 施設毎に地盤改良を施工した範囲を示し、それにより得られる効果を整理した。
(p.30～32)

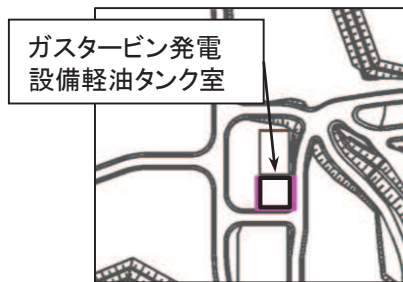
3. 地盤の液状化を考慮した屋外重要土木構造物等の解析手法の選定 地盤改良の施工範囲と効果(1)

- 屋外重要土木構造物等の周辺地盤の地盤改良の施工により、地盤の変形抑制や液状化対策等の効果を得ている。
- 設置変更許可段階から、設計の進捗を踏まえ、取水路や防潮壁において地盤改良を追加施工している。



O.P.+14.8m盤の地盤改良範囲

施設毎の地盤改良による効果

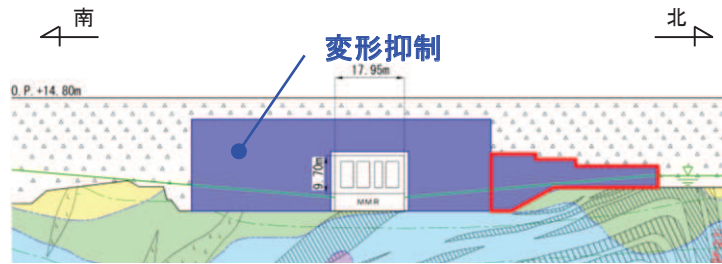


O.P.+62m盤の地盤改良範囲

	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(貯留堰を含む)	○	○			
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					○

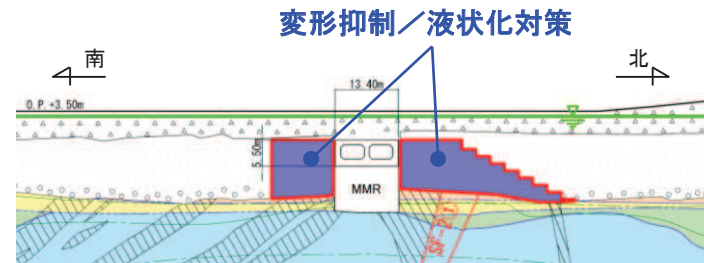
3. 地盤の液状化を考慮した屋外重要土木構造物等の解析手法の選定 地盤改良の施工範囲と効果(2)

- 原子炉機器冷却海水配管ダクトの地盤改良により、地盤の変形抑制効果が得られる。
- 海水ポンプ室、取水路及び取水口の地盤改良により、地盤の変形抑制及び液状化対策効果が得られる。



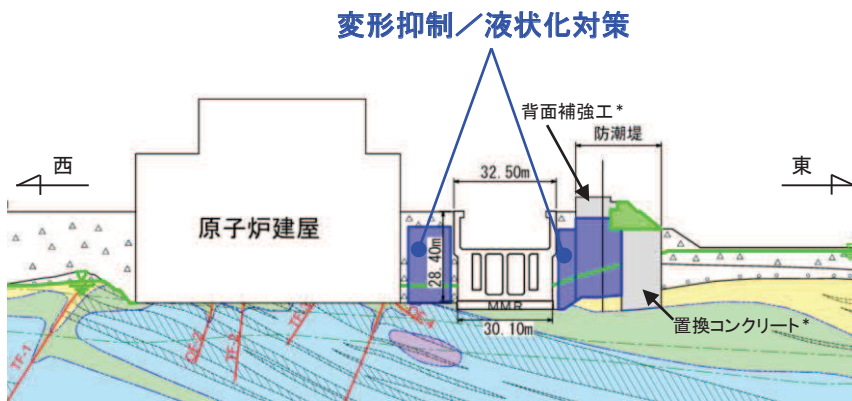
注記: 赤枠部は、取水路に対する変形抑制を目的に設置変更許可後に追加。

原子炉機器冷却海水配管ダクト



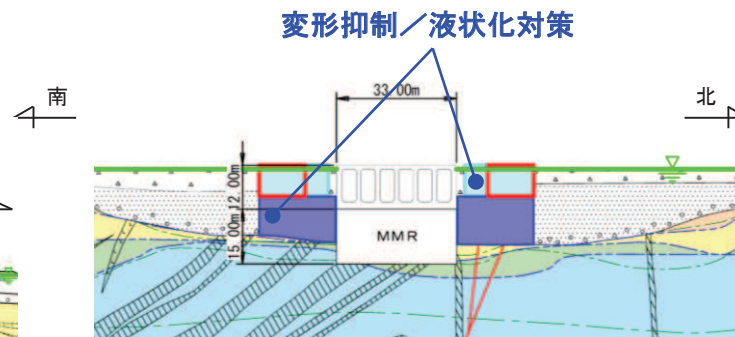
注記: 赤枠部は、取水路に対する変形抑制及び液状化対策を目的に設置変更許可後に追加。

取水路(断面②: O.P.+3.5m盤)



注記 * : 背面補強工及び置換コンクリートは施設として整理。

海水ポンプ室



注記: 赤枠部は、取水口に対する変形抑制及び液状化対策を目的に設置変更許可後に追加。

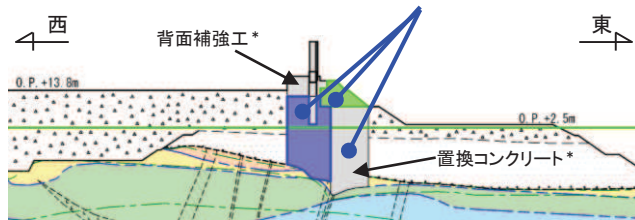
取水口(貯留堰を含む)

凡 例	
B	B 級
C ₁	C ₁ 級
C ₂	C ₂ 級
C ₃	C ₃ 級
D	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
	置換コンクリート
	セメント系埋戻土
	設置変更許可時からの追加箇所
	地 下 水 位

3. 地盤の液状化を考慮した屋外重要土木構造物等の解析手法の選定 地盤改良の施工範囲と効果(3)

- 防潮堤の地盤改良により、沈下対策のための地盤の支持性能と変形抑制、液状化対策、津波に対する止水性への寄与の効果が得られる。
- 防潮壁の地盤改良により、杭周辺地盤の液状化対策と変形抑制の効果が得られる。
- ガスタービン発電設備軽油タンク室や揚水井戸では、沈下対策としての埋戻し効果や液状化対策効果が得られる。

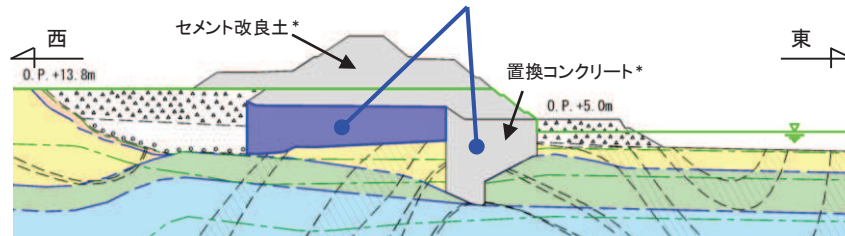
支持地盤／変形抑制／液状化対策／止水性に寄与



注記 * : 背面補強工及び置換コンクリートは施設として整理。
東北地方太平洋沖地震による約1mの沈降を考慮した標高

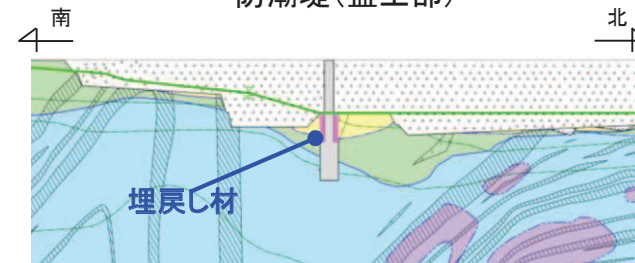
防潮堤(鋼管式鉛直壁一般部)

支持地盤／変形抑制／液状化対策／止水性に寄与

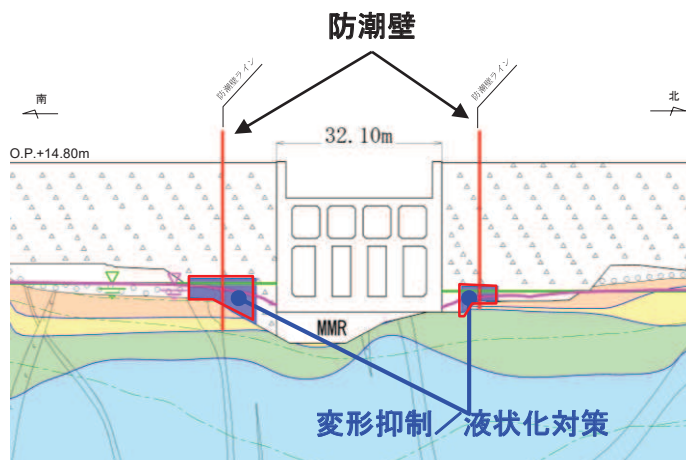


注記 * : セメント改良土及び置換コンクリートは施設として整理。
東北地方太平洋沖地震による約1mの沈降を考慮した標高

防潮堤(盛土部)



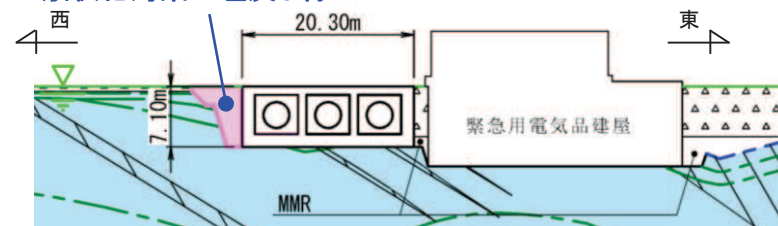
No.1揚水井戸



注記: 赤枠部は、防潮壁に対する変形抑制及び液状化対策を目的に設置変更許可後に追加。

防潮壁(第3号機海水ポンプ室)

液状化対策／埋戻し材



ガスタービン発電設備軽油タンク室(東西)

凡 例

B	B 級
C ₁	C ₁ 級
C ₂	C ₂ 級
C _L	C _L 級
D	D 級
(Symbol)	岩盤分類境界
(Symbol)	速度層境界
(Symbol)	盛土
(Symbol)	旧表土
(Symbol)	砂岩
(Symbol)	頁岩
(Symbol)	ひん岩
(Symbol)	断層
(Symbol)	地質境界
(Symbol)	改良地盤
(Symbol)	セメント改良土
(Symbol)	置換コンクリート
(Symbol)	セメント系埋戻土
(Symbol)	設置変更許可からの追加箇所
(Symbol)	地下水位

3. 地盤の液状化を考慮した屋外重要土木構造物等の解析手法の選定 審査会合での指摘事項

■ 指摘事項2

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。



■ 回答2

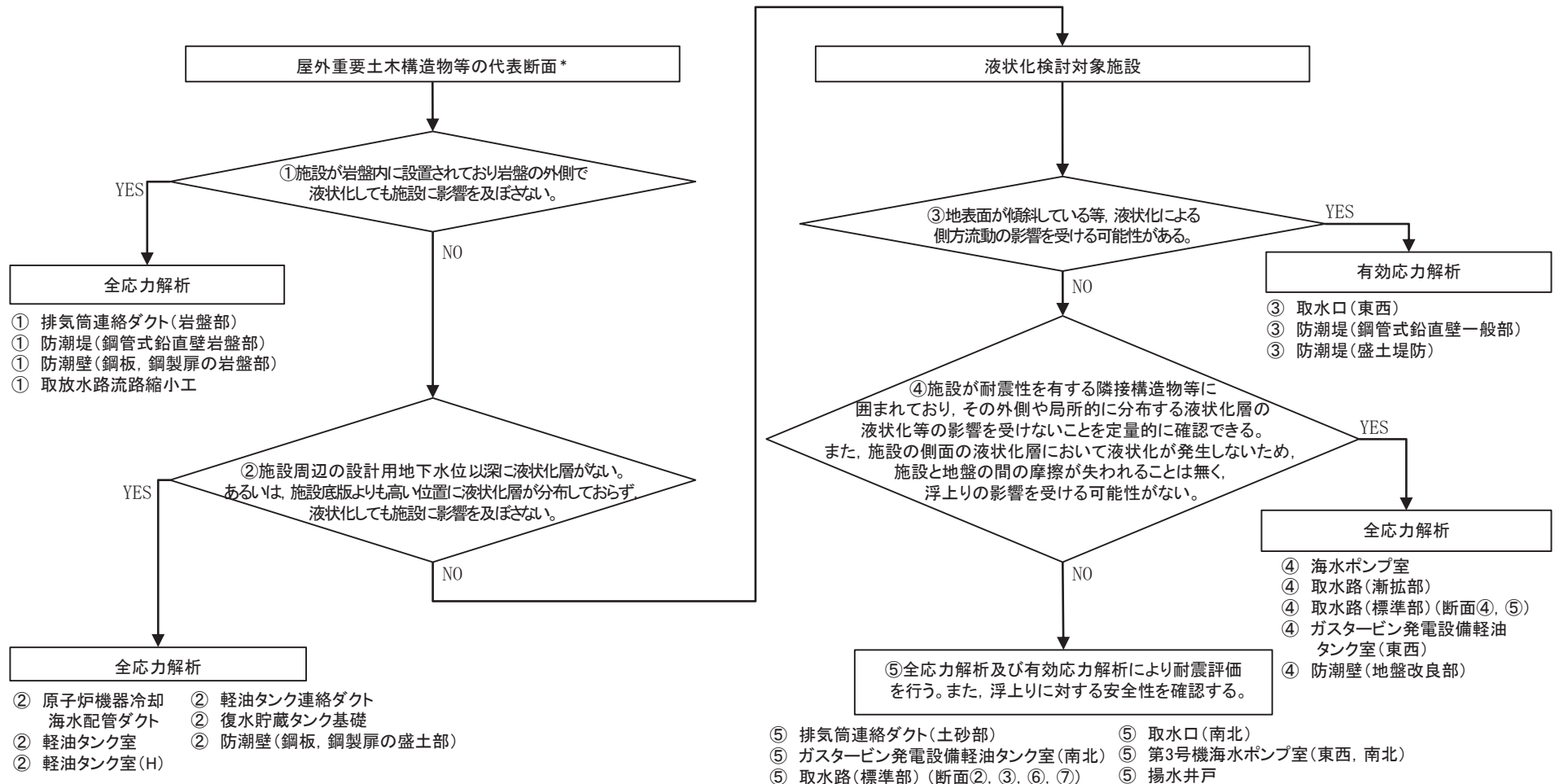
- 敷地の盛土及び旧表土が繰返し軟化することを踏まえ、地盤の側方流動や浮上り等の液状化による施設への影響が考えられる場合や、地盤改良による液状化の影響緩和効果の確認が必要な場合には、有効応力解析が選定されるように作成した「解析手法の選定フロー」に基づき、解析手法を選定する方針と各施設の解析手法の選定結果を示した。

(p.34～40)

3. 地盤の液状化を考慮した屋外重要土木構造物等の解析手法の選定 解析手法の選定フロー

- 岩盤中に施設が設置されていたり、施設より地下水位が十分低いなど、液状化が発生しても施設に影響を及ぼす可能性が無い場合は、全応力解析により耐震評価を実施する。
- 地盤の液状化による側方流動や浮上りによる施設への影響が考えられる場合や判断がつかない場合には、有効応力解析を選定する。また、液状化が生じなかった場合についても、全応力解析で確認する。

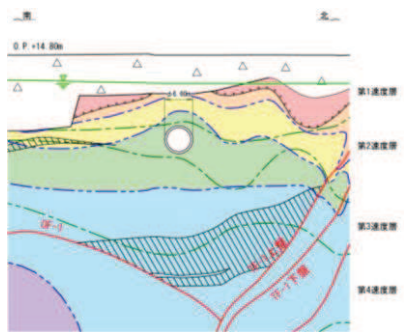
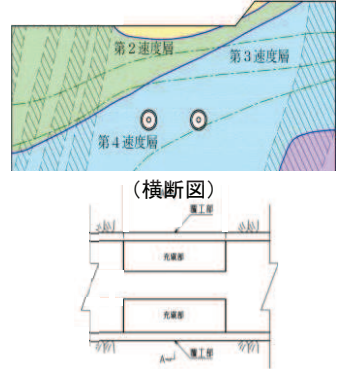
解析手法の選定フロー



注記 * :解析手法を選定した断面図を参考5に示す。

3. 地盤の液状化を考慮した屋外重要土木構造物等の解析手法の選定 解析手法の選定結果(1)

■ フロー①及びフロー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。

	フロー①	フロー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ず、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>凡 例</p> <ul style="list-style-type: none"> B 級 頁岩 C₁ 級 ひん岩 C₂ 級 断層 C₃ 級 地質境界 C₄ 級 不良地盤 D 級 岩盤分層境界 速度層境界 盛土 田舎土 砂 頁岩 ひん岩 断層 地質境界 不良地盤 セメント改良土 両端コンクリート セメント高強度土 設置業許可持からの追加箇所 地下水位 <p>排气筒連絡ダクト(岩盤部)</p>	 <p>(横断面)</p> <p>(縦断面)</p> <p>取水路流路縮小工 (第1号機取水路)</p> <p>取水路(漸拡部)に対する 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>

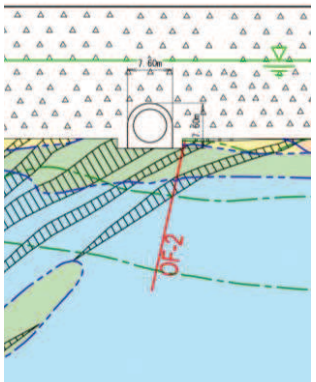
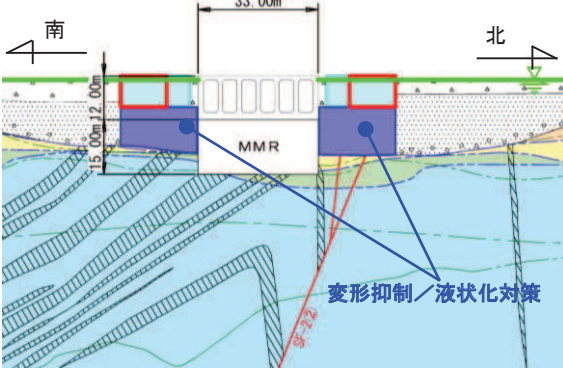
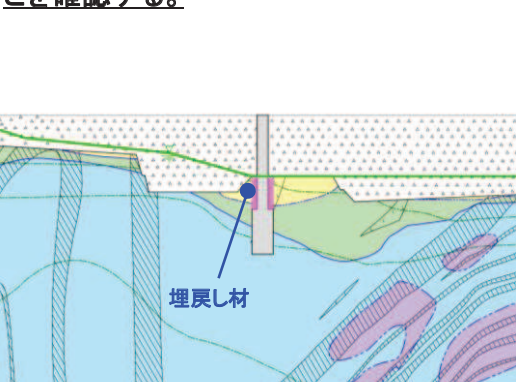
3. 地盤の液状化を考慮した屋外重要土木構造物等の解析手法の選定 解析手法の選定結果(2)

- フロー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。
- フロー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。

	フロー③	フロー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、施設の側面の液状化層において液状化が発生しないため、施設と地盤の間の摩擦が失われることは無く、浮上りの影響を受けない可能性がある。
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>注記：東北地方太平洋沖地震による約1mの沈降を考慮した標高</p> <p>防潮堤(鋼管式鉛直壁一般部)</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する。</p> <p>補足検討</p> <p>海水ポンプ室</p>

3. 地盤の液状化を考慮した屋外重要土木構造物等の解析手法の選定 解析手法の選定結果(3)

- フロー⑤は、施設周辺や改良地盤の外側に液状化検討対象層が分布し、液状化の影響について判断がつかないため、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の方が耐震性が厳しい可能性を考慮し、全応力解析による評価も実施することとし、全応力解析と有効応力解析の両手法により実施する。

		フロー⑤		
周辺地盤の状況	施設周辺に地下水位以深の盛土又は旧表土が分布する。 施設周辺に改良地盤等があるが、その外側の液状化に対する有効性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手法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>凡 例</p> <ul style="list-style-type: none"> B 級 頁岩 C₁ 級 ひん岩 C₂ 級 断層 C₃ 級 地質境界 D 級 改良地盤 岩盤分層境界 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 固相コンクリート セメント高強度土 設置業許可持からの追加箇所 地下水位 	<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>南 北</p> <p>33.00m</p> <p>15.00m 12.00m</p> <p>MMR</p> <p>変形抑制/液状化対策</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を及ぼさないことを確認する。</p>  <p>埋戻し材</p>	<p>排気筒連絡ダクト(土砂部)</p> <p>取水口(貯留堰を含む)</p> <p>揚水井戸</p>

3. 地盤の液状化を考慮した屋外重要土木構造物等の解析手法の選定 まとめ(1)

■ 個別施設毎に解析手法の選定フローに基づき、以下の通り解析手法を選定した。

【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	—	—	—	②全応力	
	鉛直部	○	NO	YES	—	—	—	②全応力	
排気筒連絡 ダクト	岩盤部	○	YES	—	—	—	—	①全応力	
	土砂部	○	NO	NO	NO	NO	○	⑤全応力及 び有効応力	
軽油タンク連絡ダクト		○	NO	YES	—	—	—	②全応力	
取水路	標準部 断面②, ③, ⑥, ⑦	○	NO	NO	NO	NO	○	⑤全応力及 び有効応力	
	標準部 断面④, ⑤	○	NO	NO	NO	YES	—	④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
	漸拡部	○	NO	NO	NO	YES	—	④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	—	④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	—	④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

3. 地盤の液状化を考慮した屋外重要土木構造物等の解析手法の選定 まとめ(2)

【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	—	—	—	②全応力	
	東西		NO	YES	—	—	—	②全応力	
軽油 タンク室(H)	南北		NO	YES	—	—	—	②全応力	
	東西	○	NO	YES	—	—	—	②全応力	
取水口 (貯留堰を含 む)	南北	○	NO	NO	NO	NO	○	⑤全応力及 び有効応力	
	東西		NO	NO	YES	—	—	③有効応力	・ O.P.+14.8m盤とO.P.+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	—	—	—	②全応力	
	東西	○	NO	YES	—	—	—	②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	○	⑤全応力及 び有効応力	
	東西	○	NO	NO	NO	YES	—	④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	○	⑤全応力及 び有効応力	
	東西		NO	NO	NO	NO	○	⑤全応力及 び有効応力	

3. 地盤の液状化を考慮した屋外重要土木構造物等の解析手法の選定 まとめ(3)

【津波防護施設／地下水位低下設備】

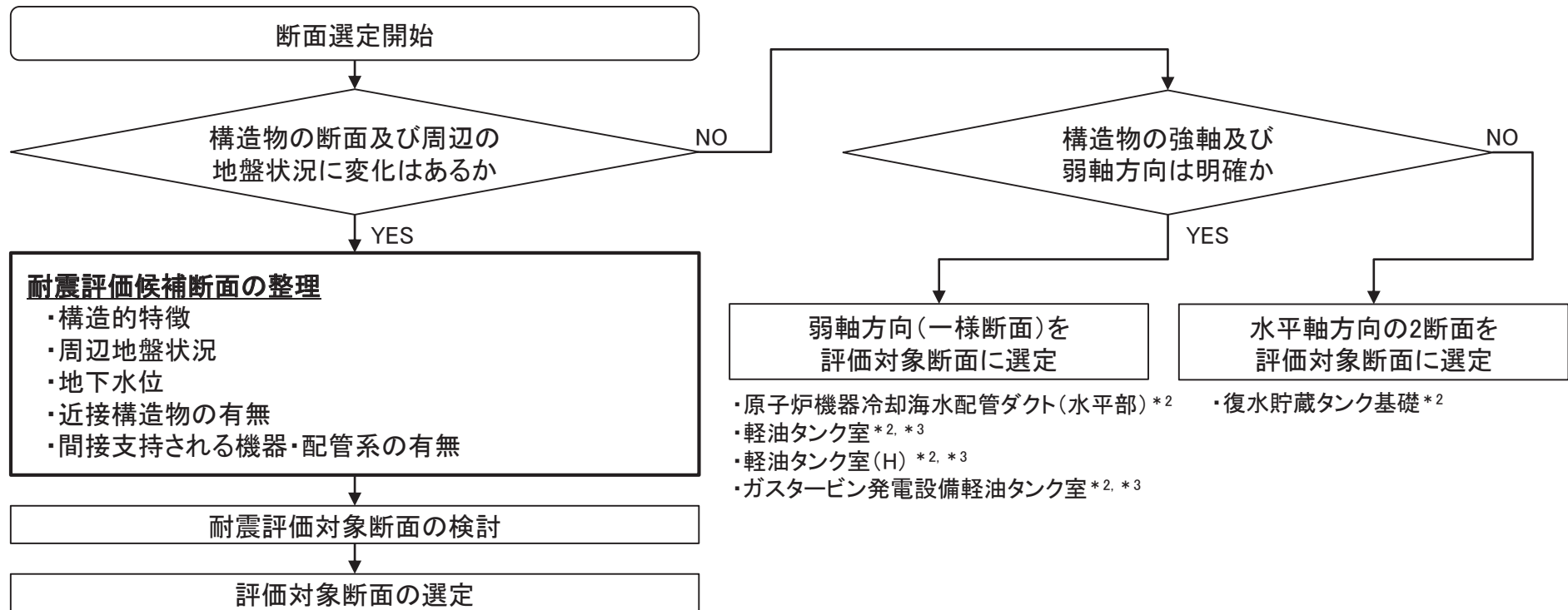
丸囲いの数字は、解析手法選定フローの番号を示す。

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
防潮堤	鋼管式鉛直壁 (一般部)	○	NO	NO	YES	—	—	③有効応力	・ O.P.+14.8m盤とO.P.+3.5m盤の傾斜 による側方流動を考慮
	鋼管式鉛直壁 (岩盤部)	○	YES	—	—	—	—	①全応力	
	盛土堤防	○	NO	NO	YES	—	—	③有効応力	・ O.P.+14.8m盤とO.P.+3.5m盤の傾斜 による側方流動を考慮
防潮壁	鋼板(岩盤部)	○	YES	—	—	—	—	①全応力	
	鋼板(盛土部)	○	NO	YES	—	—	—	②全応力	
	鋼板 (地盤改良部)	○	NO	NO	NO	YES	—	④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	—	—	—	—	①全応力	
	鋼製扉(盛土部)	○	NO	YES	—	—	—	②全応力	
取放水 路流路 縮小工	第1号機取水路	○	YES	—	—	—	—	①全応力	
	第1号機放水路	○	YES	—	—	—	—	①全応力	
地下水位低下 設備	No.1～No.4 揚水井戸	—	NO	NO	NO	NO	○	⑤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 評価対象断面の選定方針

■ 屋外重要土木構造物等の耐震評価断面は、構造的特徴、周辺地盤状況、地下水位等を考慮し、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。

耐震評価の断面選定フロー*1



- 耐震評価候補断面の整理**
- ・構造的特徴
 - ・周辺地盤状況
 - ・地下水位
 - ・近接構造物の有無
 - ・間接支持される機器・配管系の有無

- 弱軸方向(一様断面)を
評価対象断面に選定
- ・原子炉機器冷却海水配管ダクト(水平部)*2
 - ・軽油タンク室*2,*3
 - ・軽油タンク室(H)*2,*3
 - ・ガスタービン発電設備軽油タンク室*2,*3

- 水平軸方向の2断面を
評価対象断面に選定
- ・復水貯蔵タンク基礎*2

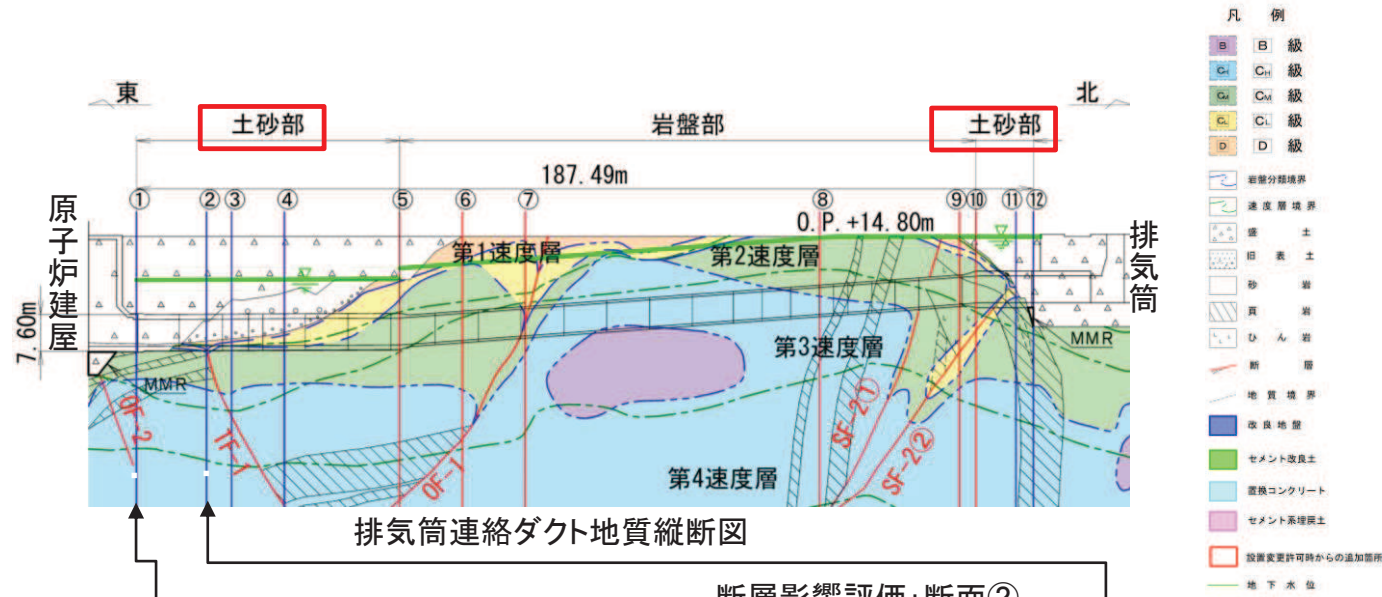
- ・原子炉機器冷却海水配管ダクト(鉛直部)
- ・排気筒連絡ダクト(土砂部・岩盤部)*2
- ・取水路(標準部)
- ・取水路(漸拡部)
- ・軽油タンク連絡ダクト*2
- ・海水ポンプ室*2,*3
- ・取水口*3
- ・第3号機海水ポンプ室*2,*3
- ・防潮堤(鋼管式鉛直壁)*4
- ・防潮堤(盛土堤防)*2,*4
- ・貯留堰*4
- ・防潮壁(鋼板)*4
- ・防潮壁(鋼桁)*4
- ・防潮壁(鋼製扉)*4
- ・No.1~No.4揚水井戸

注記*1: 取放水路流路縮小工は、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。
 *2: 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。
 *3: 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: 津波防護施設の断面選定においては、耐津波評価の観点を考慮。

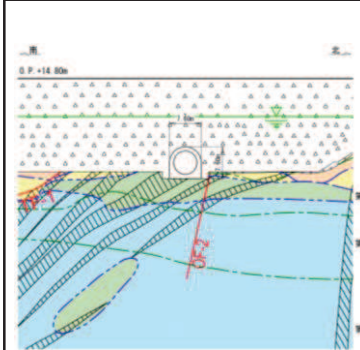
4. 屋外重要土木構造物等の断面選定

線状構造物の断面選定例： 排気筒連絡ダクト(土砂部)

- 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。



耐震評価: 断面①

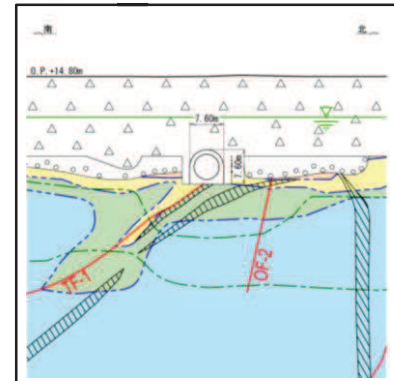


断面①

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

- 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



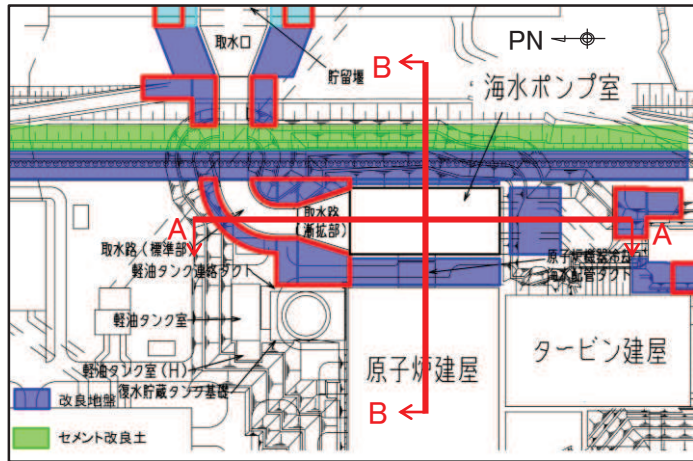
断面②

特殊部として、TF-1断層の変形の影響を評価

断面①でSF-2②断層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 箱形構造物の断面選定例： 海水ポンプ室

- 海水ポンプ室の周辺地盤状況は地盤改良されており、ほぼ一様である。一方、構造的特徴は、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。

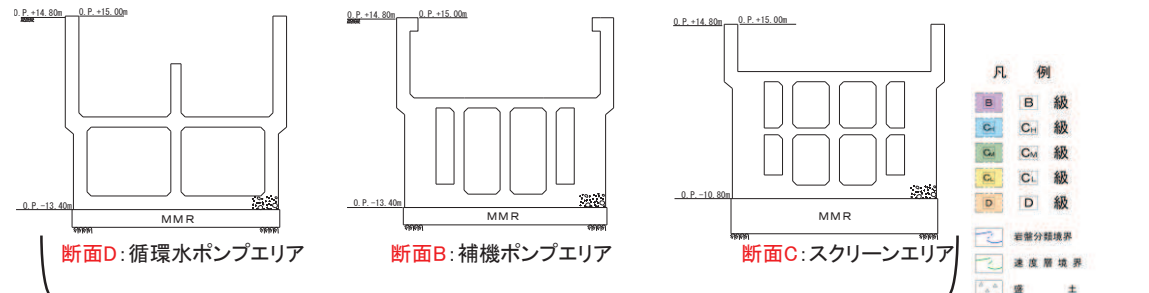


海水ポンプ室の掘削図と地盤改良範囲

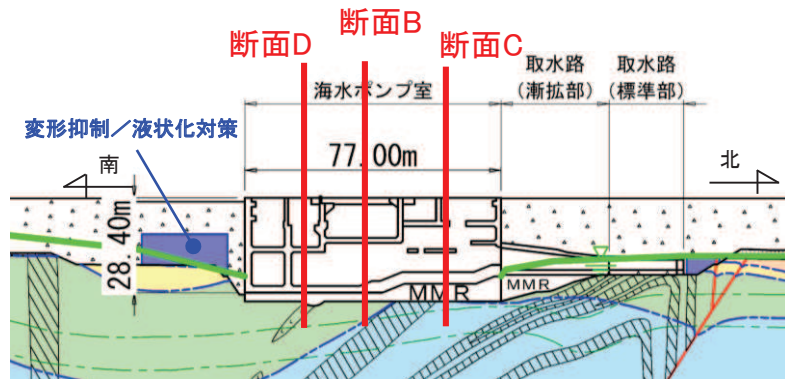
- 海水ポンプ室の東西方向は原子炉建屋と防潮堤に挟まれており、間は地盤改良されていることから、延長方向で周辺地盤状況は一様である。
- 構造は、中床版や隔壁の配置が延長方向で異なる。



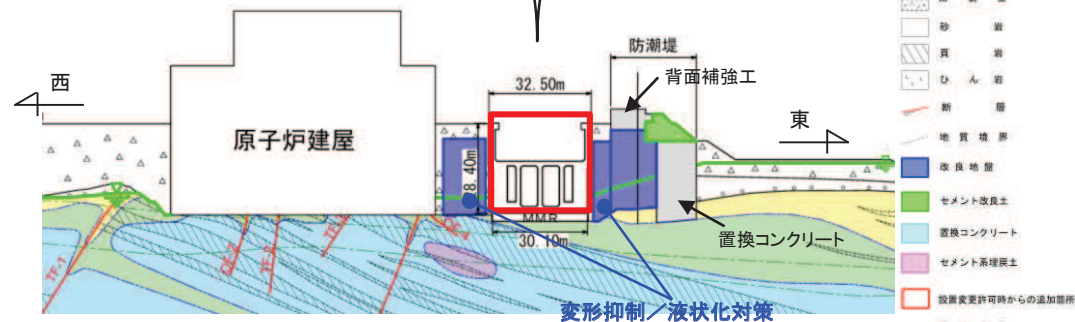
- 構造的特徴の違いによる地震時荷重(土圧・慣性力)の差異を考慮し、横断面の耐震評価断面は3断面とする。ただし、周辺地盤状況等は一様であるため、躯体以外の解析モデルは同一とする。



断面D:循環水ポンプエリア 断面B:補機ポンプエリア 断面C:スクリーンエリア



縦断面(A-A断面)と横断面評価位置



横断面(B-B断面)

5. 地下水位が低い場合の影響についての確認方針 審査会合での指摘事項

■ 指摘事項3

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3

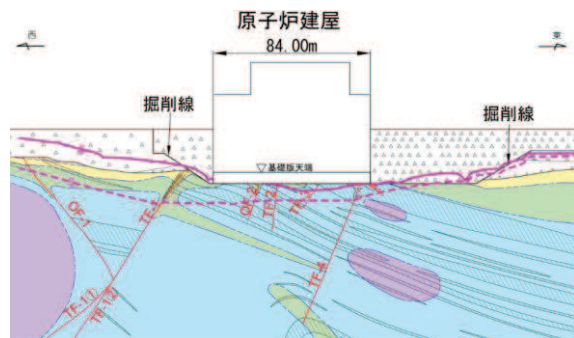
- 平常時の地下水位として、設計用地下水位より低い場合に、耐震評価に影響を与える可能性があるパターンを抽出し、各パターンにおける検討対象施設と影響検討を実施する内容を整理した。
- 今後、影響について確認する。
(p.45～46)

5. 地下水位が低い場合の影響についての確認方針 耐震性へ影響を与える事象抽出

- 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。

【パターンA】

- 構造物(基礎版等)に作用する水圧が減少する

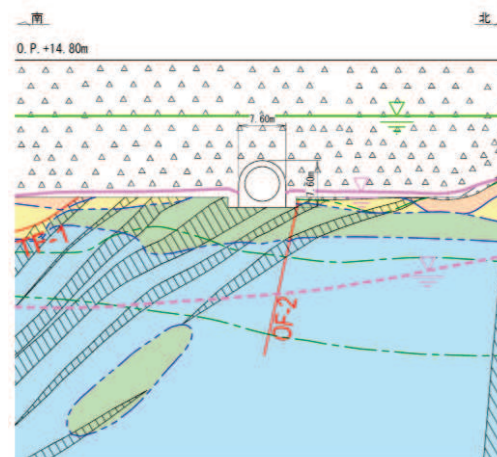


- 予測解析により得られた水位 *1*2
(建屋底面の平均揚圧力8.4kN/m²)
- - - 平常時に想定される水位 *3

原子炉建屋(東西)の例

【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)

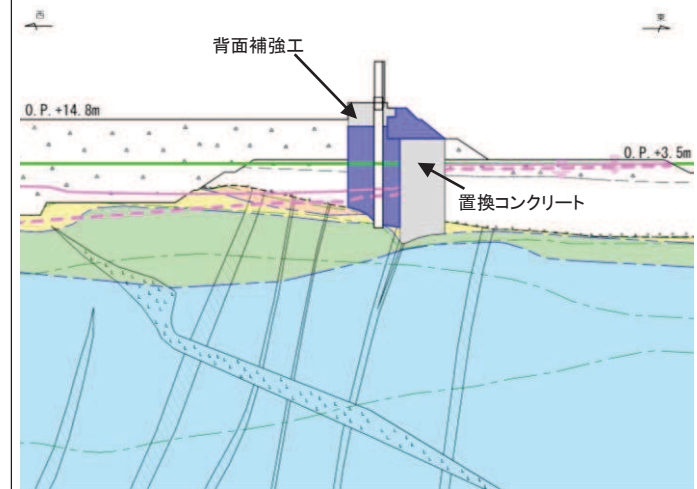


- 設計用地下水位
- 予測解析により得られた水位 *2
- - - 平常時に想定される水位 *3

排気筒連絡ダクト(土砂部)の例

【パターンC】

- 構造物周辺に水位差が生じる



- 設計用地下水位
- 予測解析により得られた水位 *2
- - - 平常時に想定される水位 *3

防潮堤(鋼管式鉛直壁)の例

注記 *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。

5. 地下水位が低い場合の影響についての確認方針 検討対象施設と影響検討内容

- 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。

(参考資料)

参考1. 液状化強度試験試料採取位置

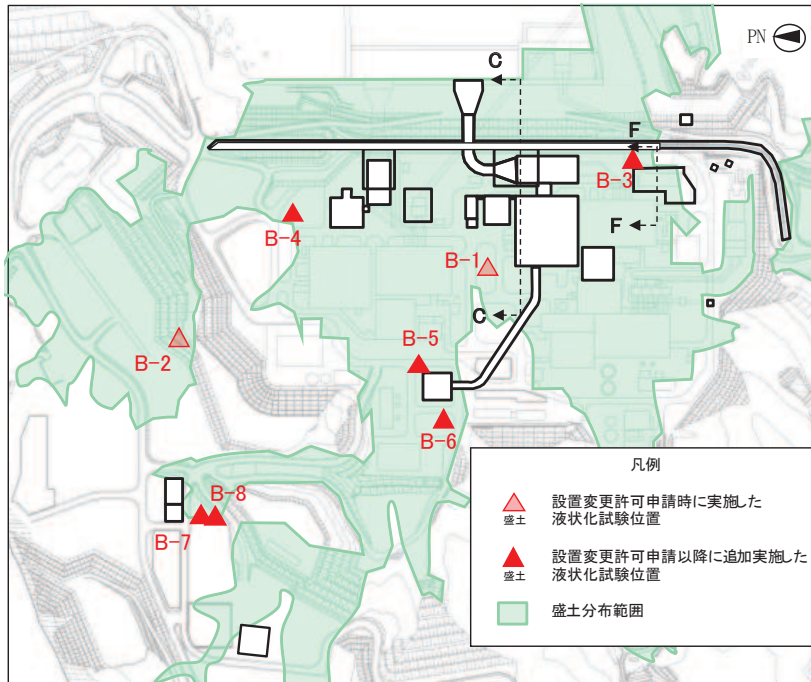
参考2. 液状化強度試験箇所のN値以下となっている調査箇所の整理

参考3. 液状化強度試験結果の分類の考え方

参考4. 各種地盤改良の仕様

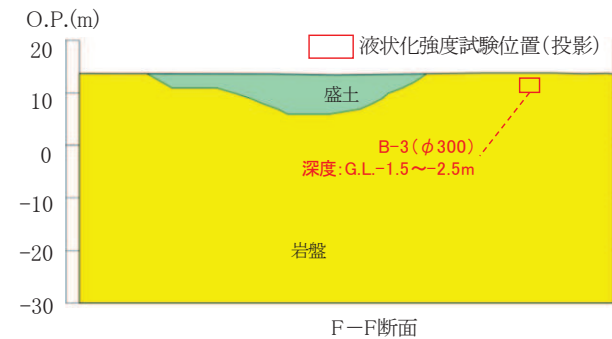
参考5. 解析手法を選定した主な断面図

参考1. 液状化強度試験試料採取位置

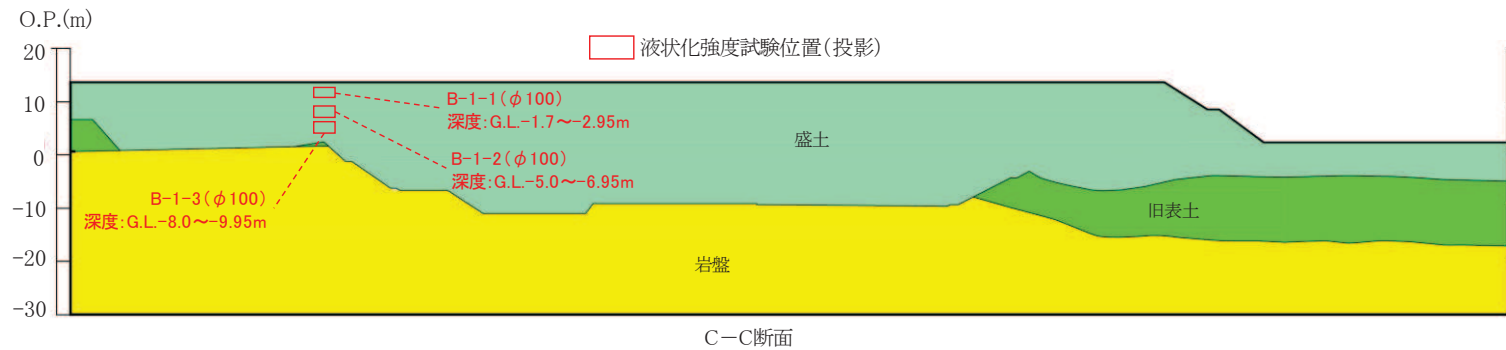


盛土分布範囲と液状化強度試験位置

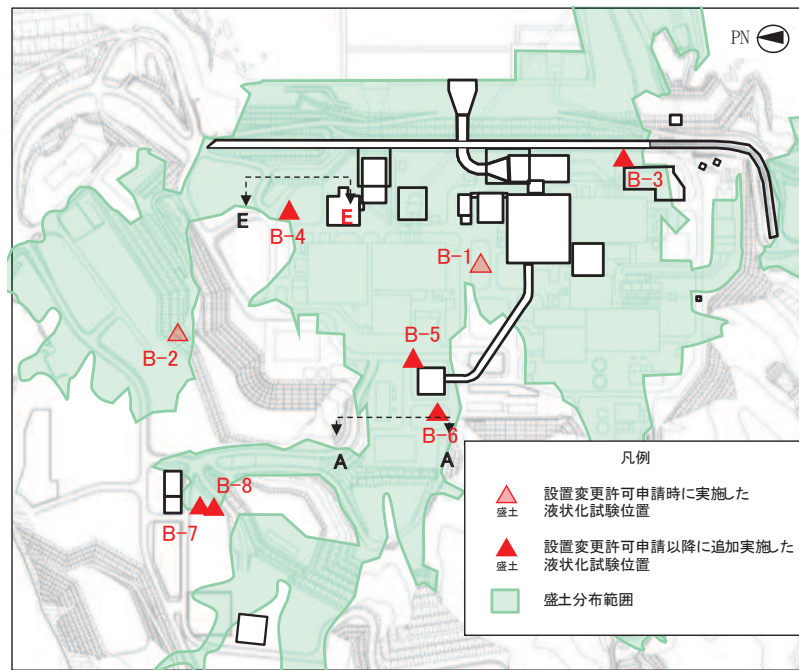
* : 各断面図は液状化強度試験当時のものであり、その後掘削・整地しているから、平面図と断面図の形状は異なる。



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。

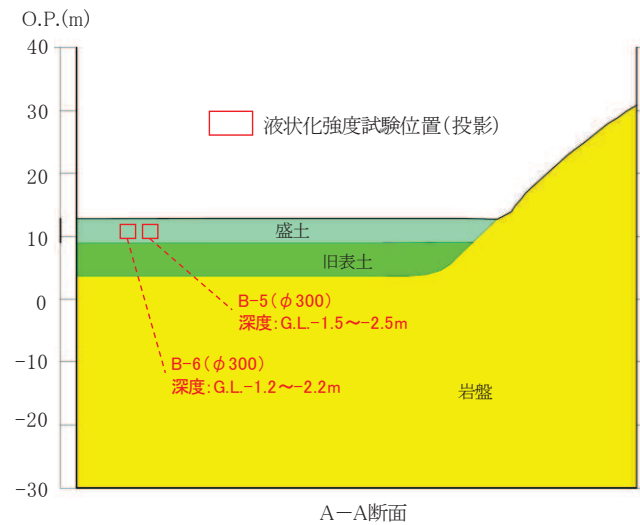


盛土の液状化強度試験の試料採取位置(1/3)

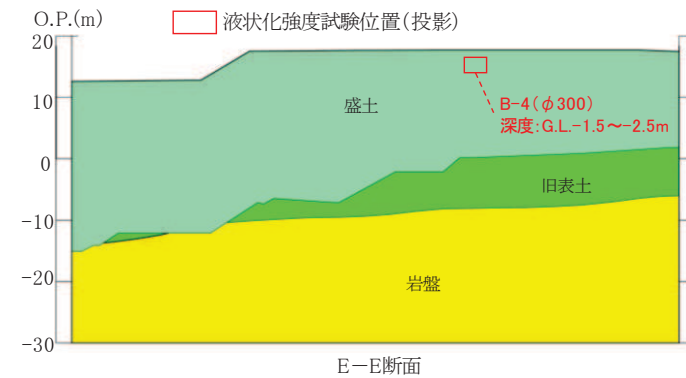


盛土分布範囲と液状化強度試験位置

* : 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。

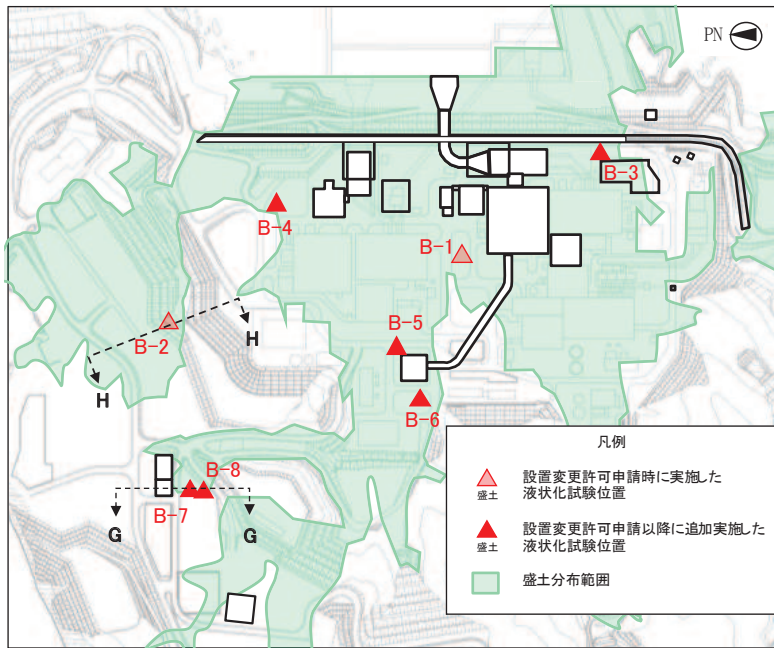


A-A断面



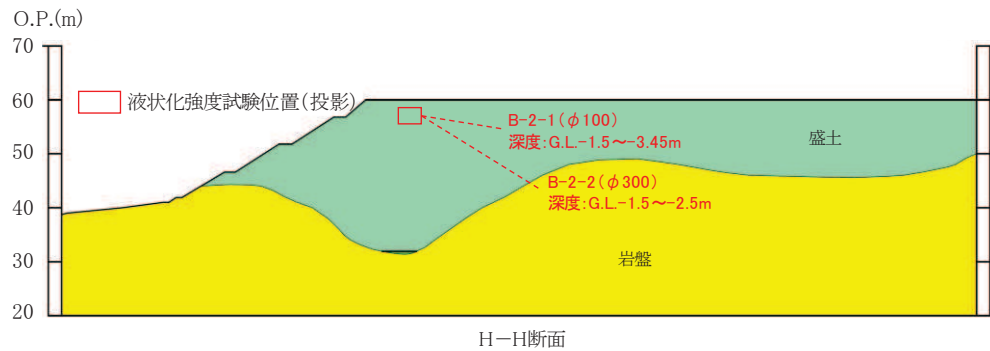
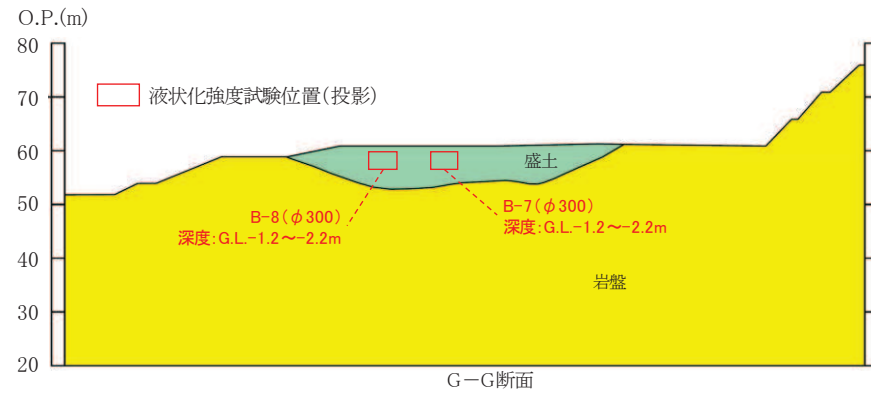
E-E断面

盛土の液状化強度試験の試料採取位置 (2/3)



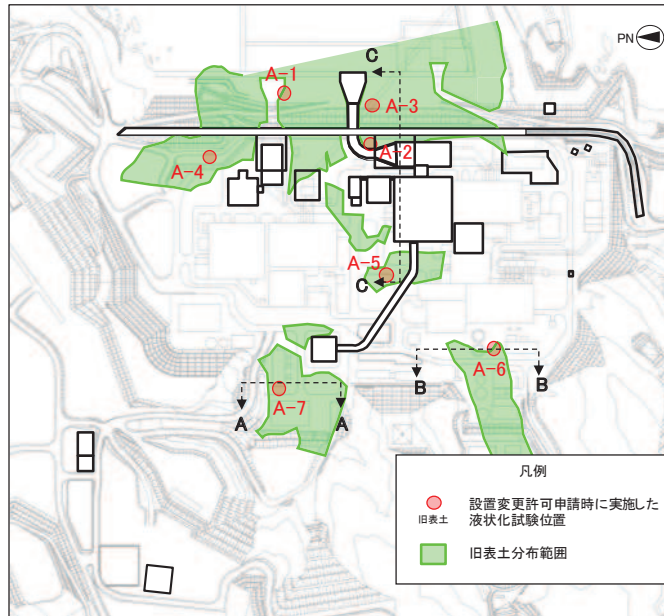
盛土分布範囲と液状化強度試験位置

* :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。



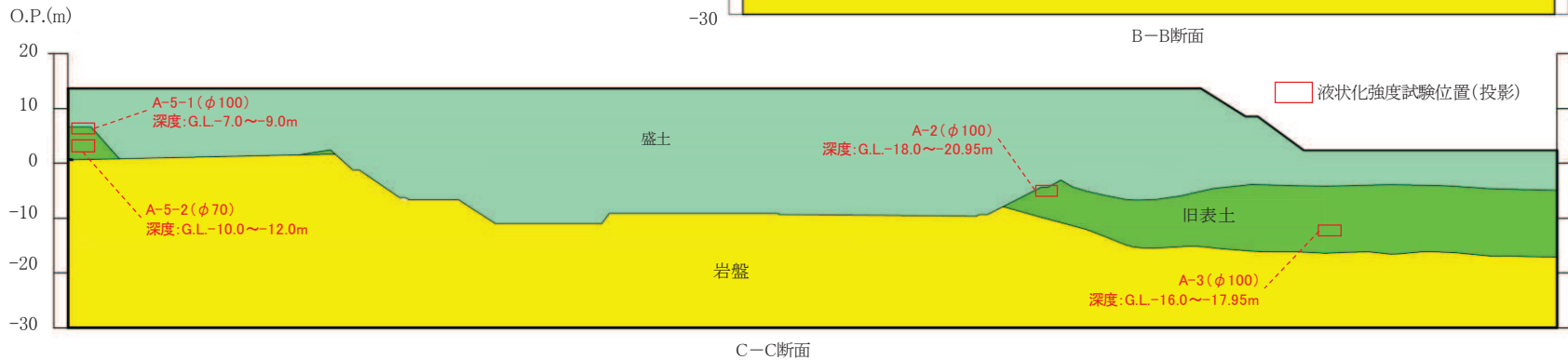
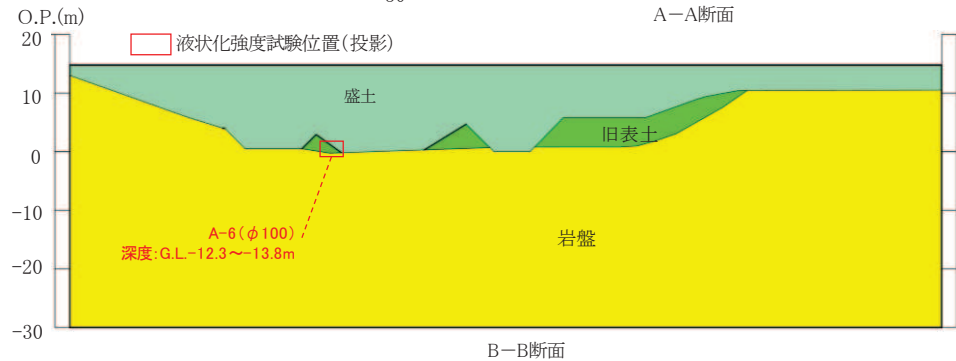
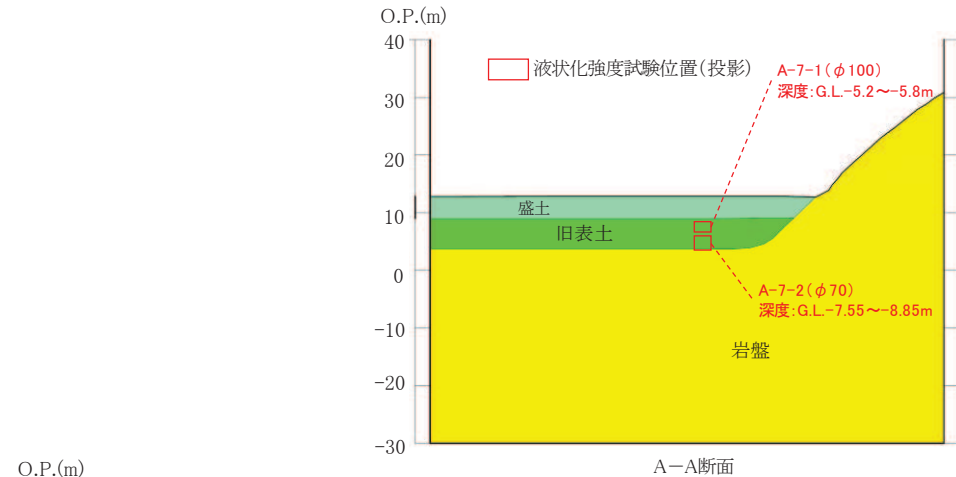
盛土の液状化強度試験の試料採取位置(3/3)

参考1. 液状化強度試験試料採取位置

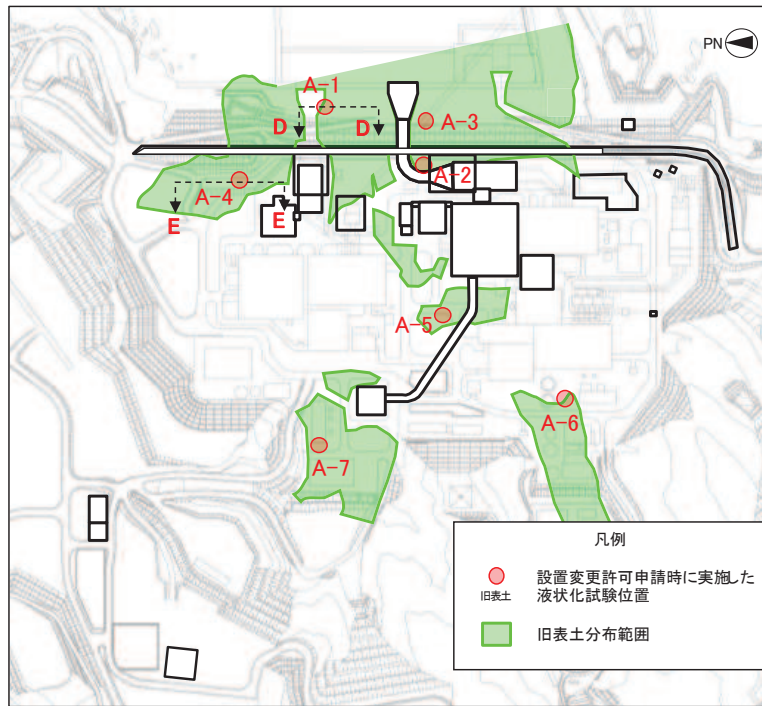


旧表土分布範囲と液状化強度試験位置

* :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。

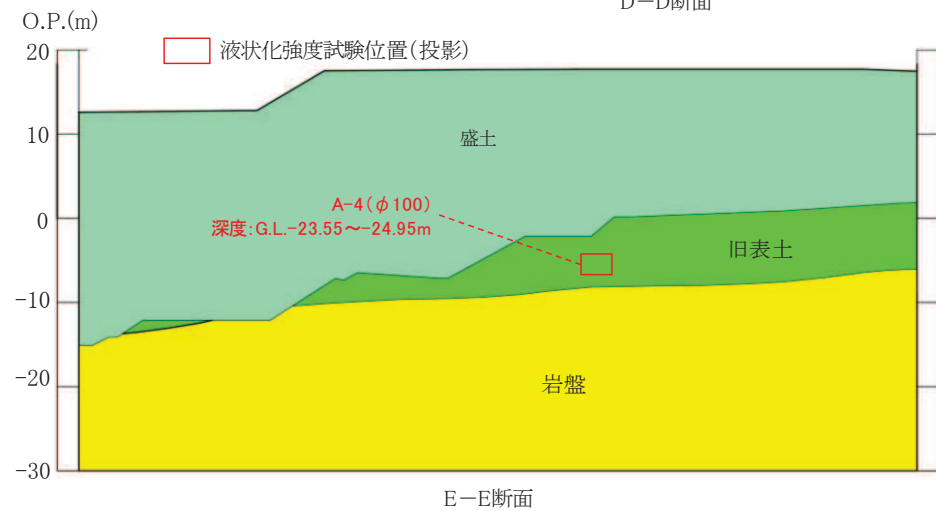
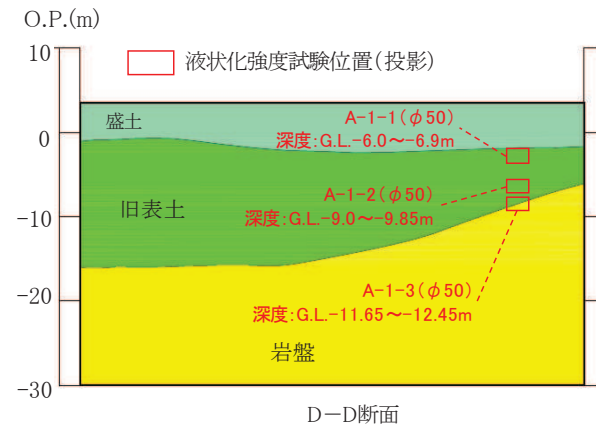


旧表土の液状化強度試験の試料採取位置(1/2)



旧表土分布範囲と液状化強度試験位置

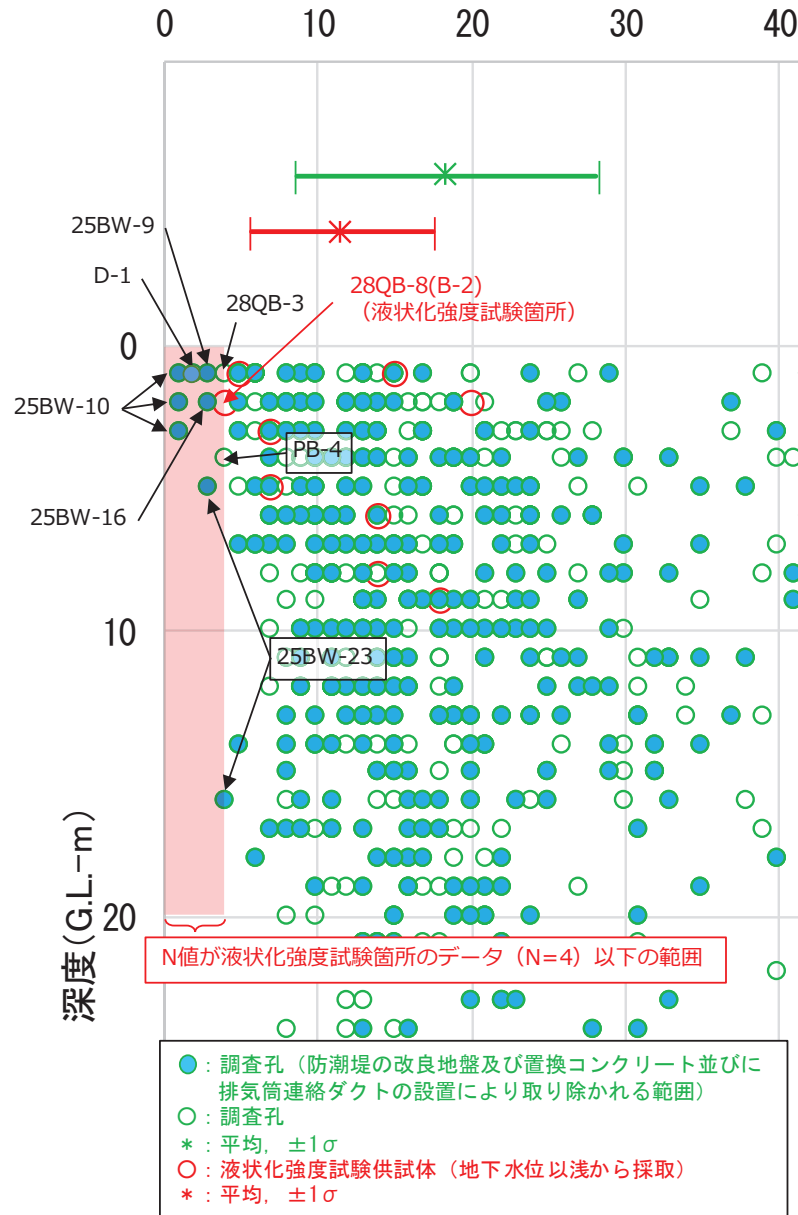
* :各断面図は液状化強度試験当時のものであり、その後掘削・整地しているから、平面図と断面図の形状は異なる。



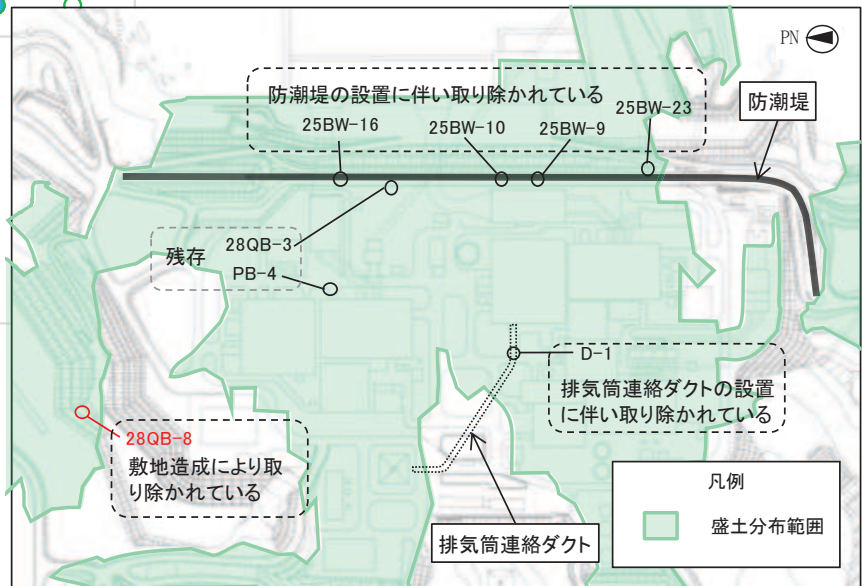
旧表土の液状化強度試験の試料採取位置 (2/2)

参考2. 液状化強度試験箇所でのN値以下となっている調査箇所の整理 (盛土)

N値が液状化強度試験データ (B-2 : N=4) 以下の整理

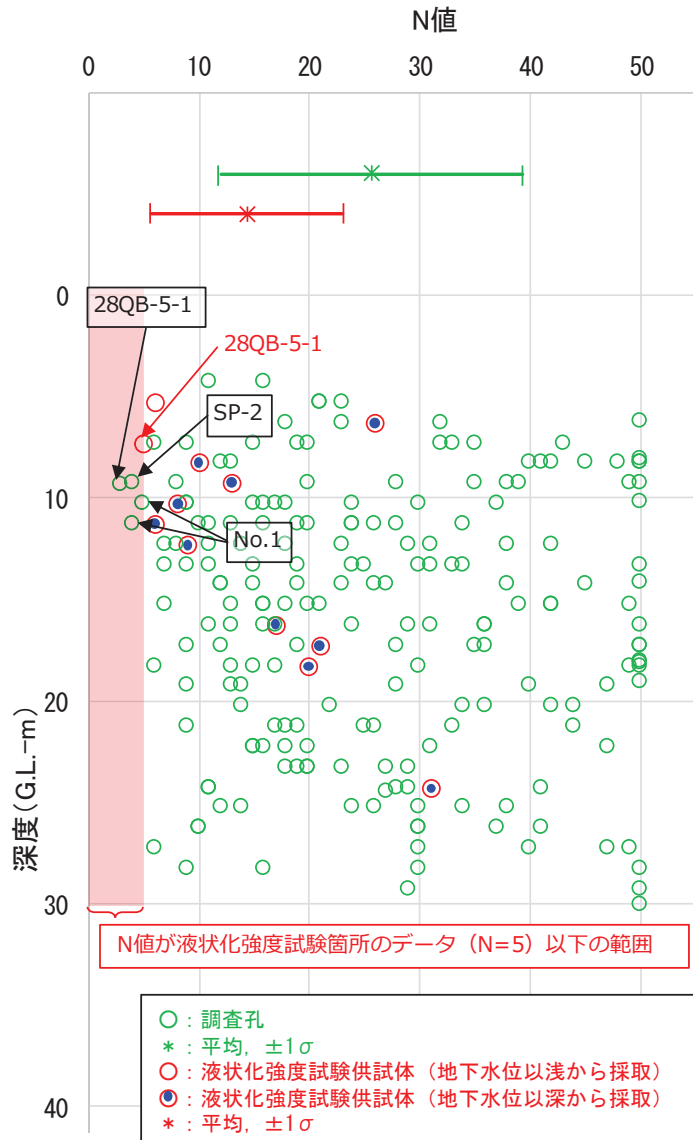


孔名	N値	深度 (G.L.-m)	地下水位との関係	現在の状況
25BW-10	1	1~3	地下水位以浅	防潮堤の設置に伴い取り除かれている。
D-1	2	1	地下水位以浅	排気筒連絡ダクトの設置に伴い取り除かれている。
25BW-9	3	1	地下水位以浅	防潮堤の設置に伴い取り除かれている。
25BW-16	3	2	地下水位以浅	
25BW-23	3	5	地下水位以浅	残存
28QB-3	4	1	地下水位以浅	
PB-4	4	4	地下水位以浅	残存
25BW-23	4	16	地下水位以深	防潮堤の設置に伴い取り除かれている。
28QB-8 (B-2)	4	2	地下水位以浅	敷地造成により取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



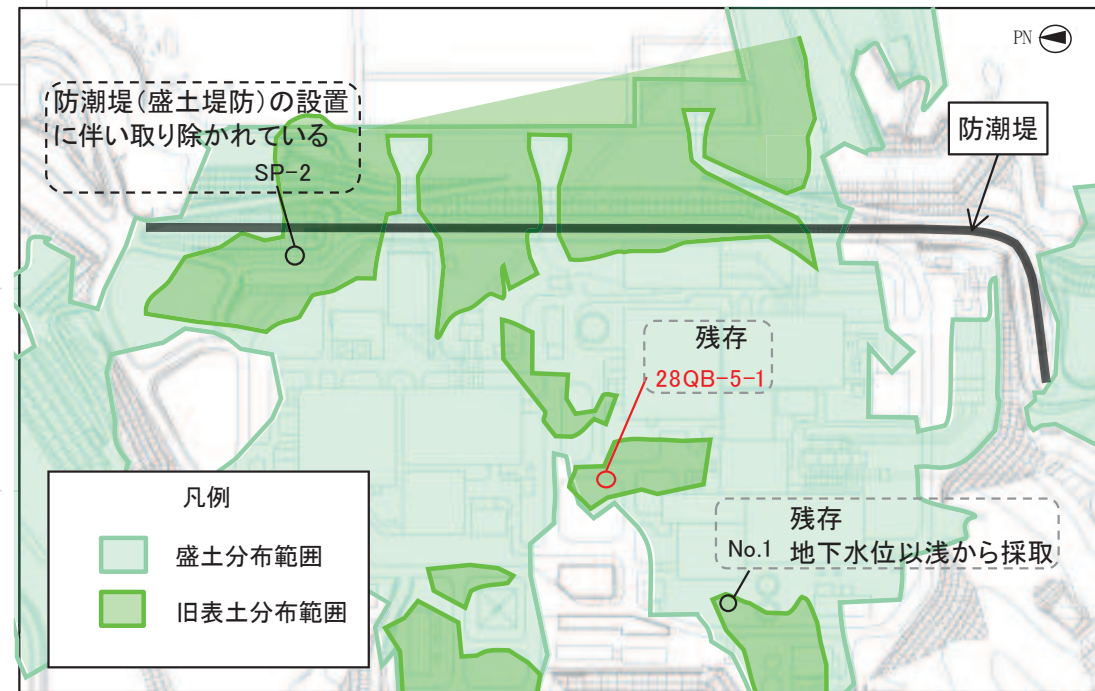
N値が液状化強度試験データ (B-2 : N=4) 以下の調査箇所

参考2. 液状化強度試験箇所のN値以下となっている調査箇所の整理 (旧表土)



N値が液状化強度試験データ (A-5 : 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
28QB-5-1	3	9.33	地下水位以深	残存
SP-2	4	9.3	地下水位以深	防潮堤の設置に伴い取り除かれている。
No.1	4	11.3	地下水位以浅	残存
No.1	5	10.3	地下水位以浅	残存
28QB-5-1 (A-5)	5	7.3	地下水位以深	残存



N値が液状化強度試験データ (A-5 : N=4) 以下の調査箇所

- 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：

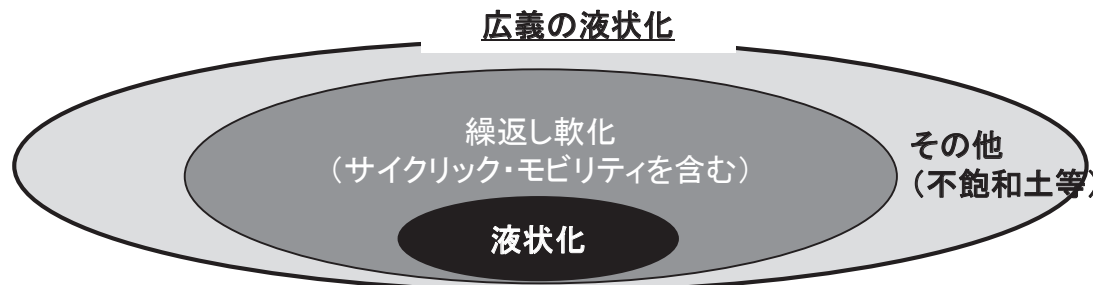
繰返し荷重による間隙水圧上昇と剛性低下によりせん断ひずみが発生し、それが繰返し回数とともに徐々に増大するが、土のもつダイレイタンスー特性や粘性のためにひずみは有限の大きさとどまり、大きなひずみ範囲にいたるまでの流動は起きない。



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。

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

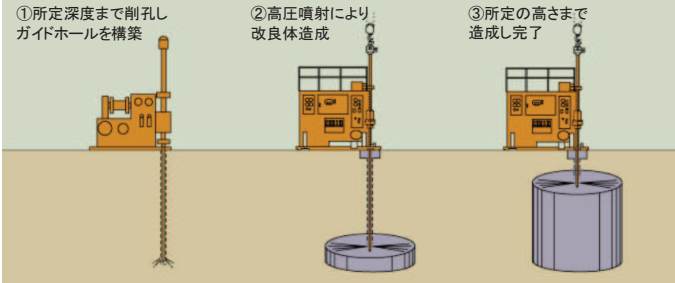

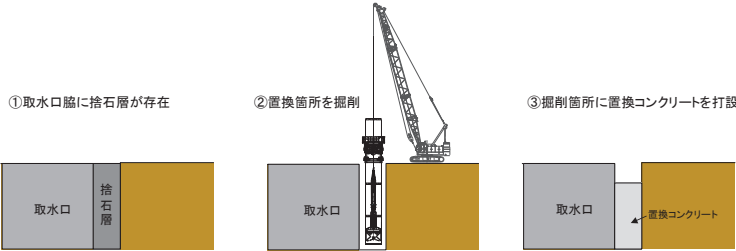
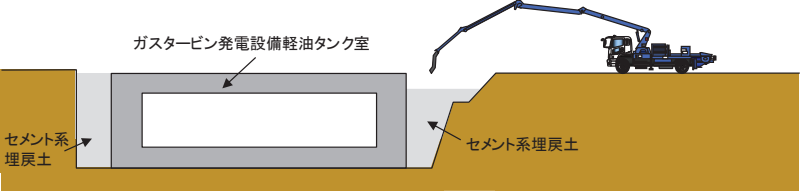
判定項目*1	液状化	繰返し軟化		非液状化
			サイクリック・モビリティ	
<ul style="list-style-type: none"> 間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。) 	○	○	○	×
<ul style="list-style-type: none"> 有効応力がゼロまで低下する。 	○	×	○	×
<ul style="list-style-type: none"> 液体状となり流動する。 (ひずみが急増する。) 	○	×	×	×
<ul style="list-style-type: none"> 正のダイレイタンスー特性によりせん断抵抗が作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

参考4. 各種地盤改良の仕様

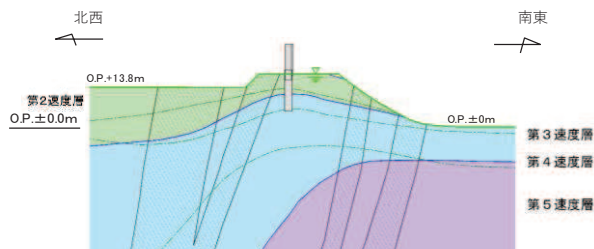
- ▶ 本資料では、改良地盤、セメント改良土、置換コンクリート、セメント系埋戻土を総称して、「地盤改良」と称しており、個別の仕様は以下に示す通り。

改良地盤	セメント改良土
<ul style="list-style-type: none"> • 高圧でセメントミルクを吐出し、原地盤を切削・攪拌することで改良体を造成する工法（高圧噴射攪拌工法）。 • 地上構造物及び埋設構造物がある、開削が困難な箇所にて採用。  <p style="text-align: center;">出典：SUPERJET研究会HP</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 発電所構内で採取した掘削土にセメントを混合して製造したセメント改良土により造成する工法。  <p style="text-align: center;">セメント改良土</p>
置換コンクリート（取水口）	セメント系埋戻土
<ul style="list-style-type: none"> • 原地盤を開削後に置換コンクリートを構築することで改良体を造成する工法。 • 構造物周辺に捨石層が存在する等、高圧噴射攪拌工法では改良が困難な箇所にて採用。 	<ul style="list-style-type: none"> • 細骨材、セメント、水を混合して製造したセメント系埋戻土により造成する工法。  <p style="text-align: center;">セメント系埋戻土</p>

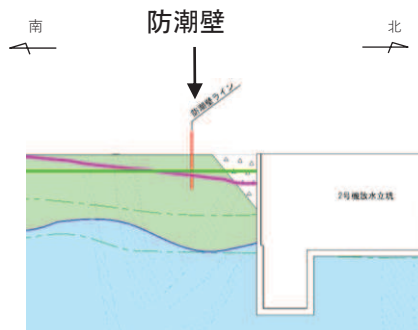
参考5. 解析手法を選定した主な断面図 フロー①～フロー③

■ 解析手法の選定フロー(p.34)で分類した構造物のうち、本文に記載のない断面を以下に示す。

フロー①(全応力解析)

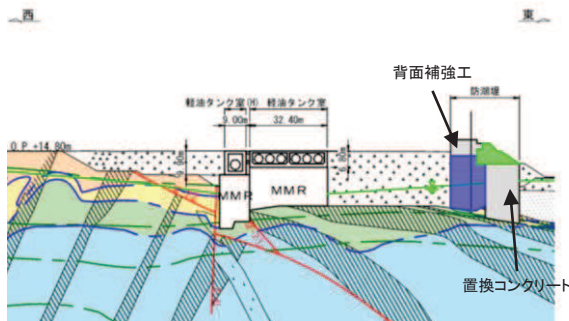


防潮堤(鋼管式鉛直壁岩盤部)

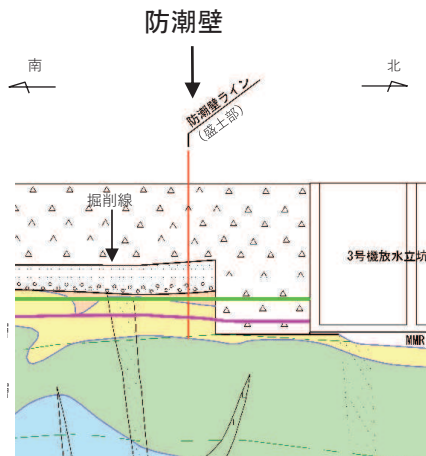


防潮壁(鋼板, 鋼製扉の岩盤部)

フロー②(全応力解析)

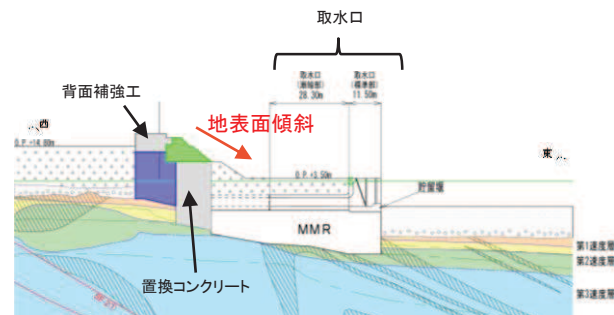


軽油タンク室, 軽油タンク室(H)



防潮壁(鋼板, 鋼製扉の盛土部)

フロー③(有効応力解析)



取水口(東西)

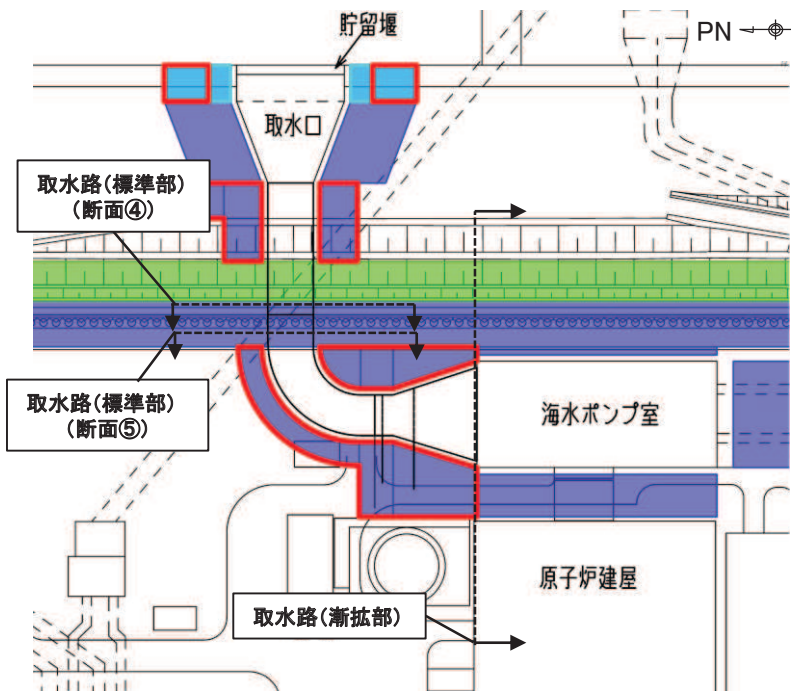
凡 例

B 級	改良地盤
C 級	セメント改良土
C _u 級	置換コンクリート
C _s 級	セメント系埋戻土
D 級	設置変更許可時からの追加箇所
岩盤分類境界	地下水位
速度層境界	
盛土	
田表土	
砂	
頁岩	
ひん岩	
新層	
地質境界	

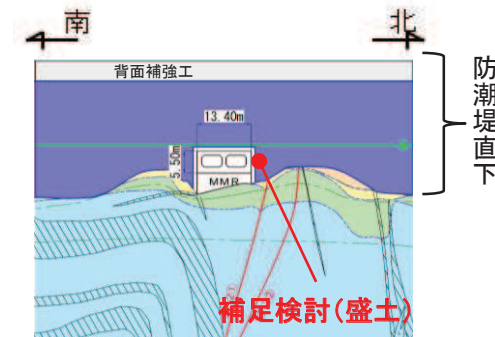
参考5. 解析手法を選定した主な断面図 フロー④

■ 解析手法の選定フロー(p.34)で分類した構造物のうち、本文に記載のない断面を以下に示す。

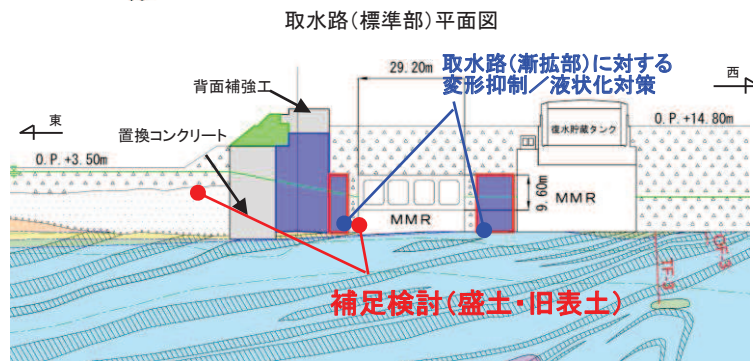
フロー④(全応力解析)



取水路(標準部) (断面④)



取水路(標準部) (断面⑤)



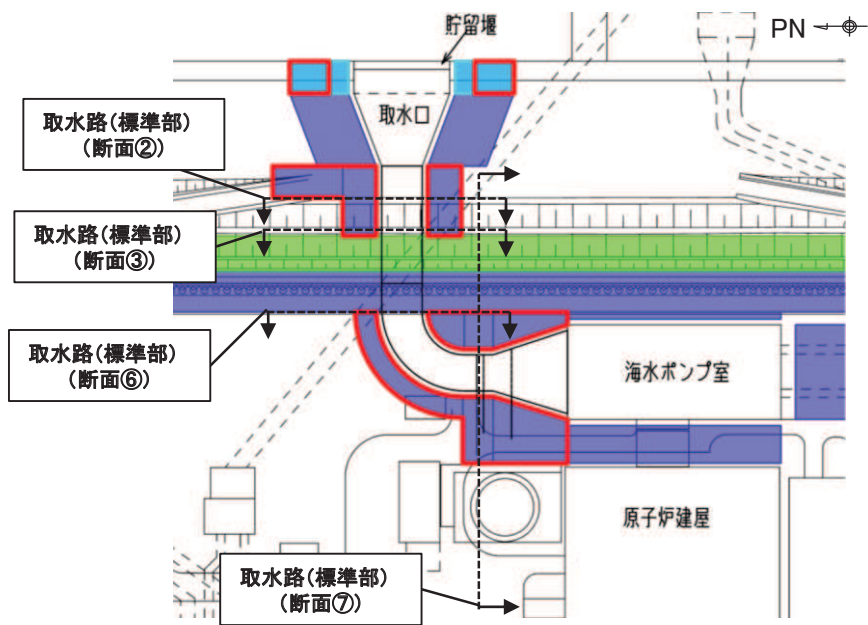
取水路(漸拡部)

凡 例	
B 級	改良地盤
C 級	セメント改良土
C _u 級	置換コンクリート
C _L 級	セメント系堆積土
D 級	設置変更許可時の追加箇所
断面分類境界	地下水位
速度層境界	
盛土	
旧表土	
砂 岩	
頁 岩	
ひん 岩	
断 層	
地質境界	

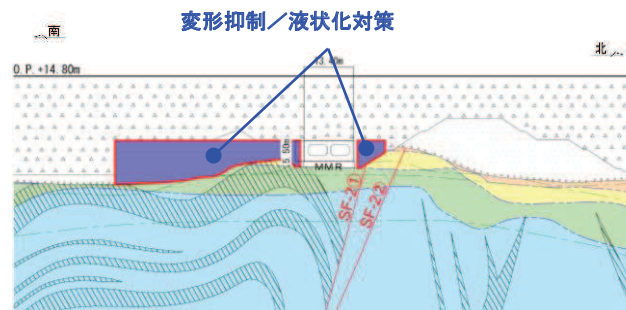
参考5. 解析手法を選定した主な断面図 フロー⑤

■ 解析手法の選定フロー(p.34)で分類した構造物のうち、本文に記載のない断面を以下に示す。

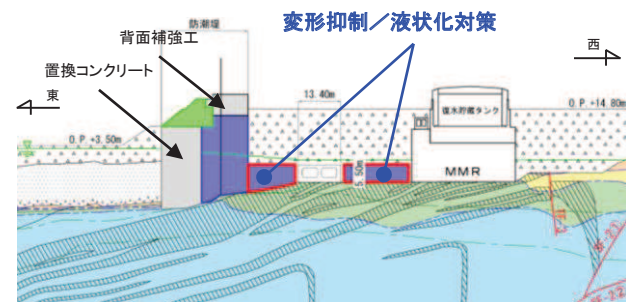
フロー⑤(全応力解析及び有効応力解析)



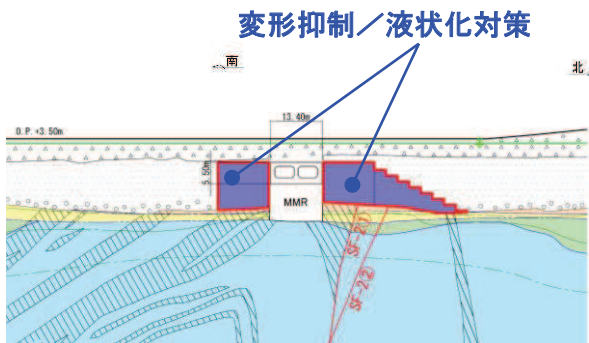
取水路(標準部)平面図



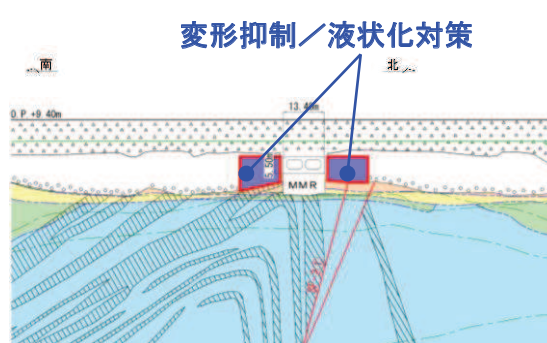
取水路(標準部)(断面⑥)



取水路(標準部)(断面⑦)



取水路(標準部)(断面②)



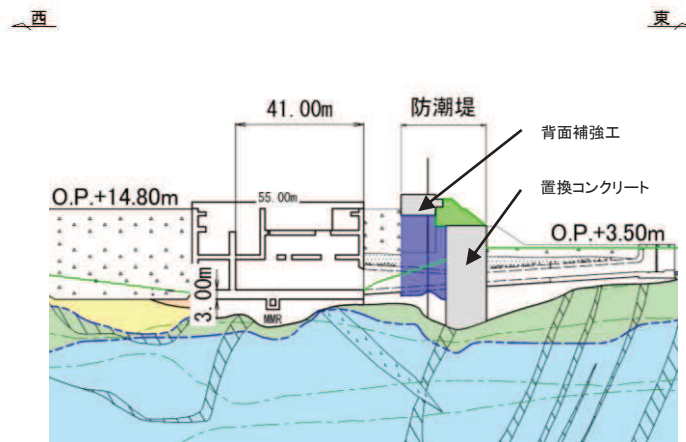
取水路(標準部)(断面③)

凡 例	
B 級	改良地盤
C 級	セメント改良土
C _u 級	置換コンクリート
C _l 級	セメント系埋戻土
D 級	設置変更許可からの追加箇所
岩盤分類境界	地下水位
速度層境界	
盛土	
田表土	
砂	
頁岩	
ひん岩	
断層	
地質境界	

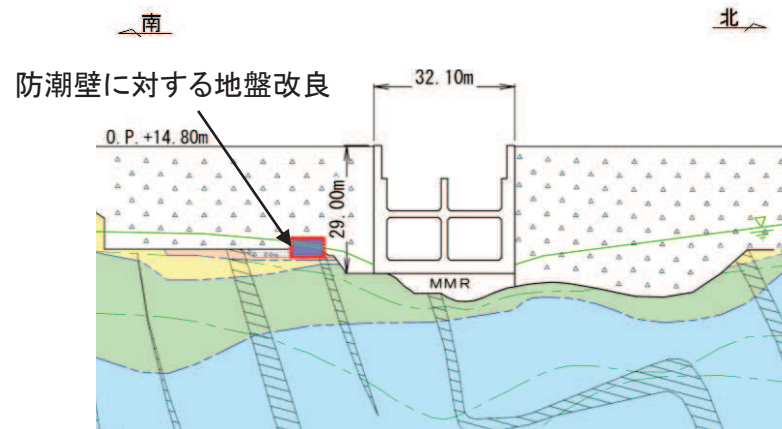
参考5. 解析手法を選定した主な断面図 フロー⑤

■ 解析手法の選定フロー(p.34)で分類した構造物のうち、本文に記載のない断面を以下に示す。

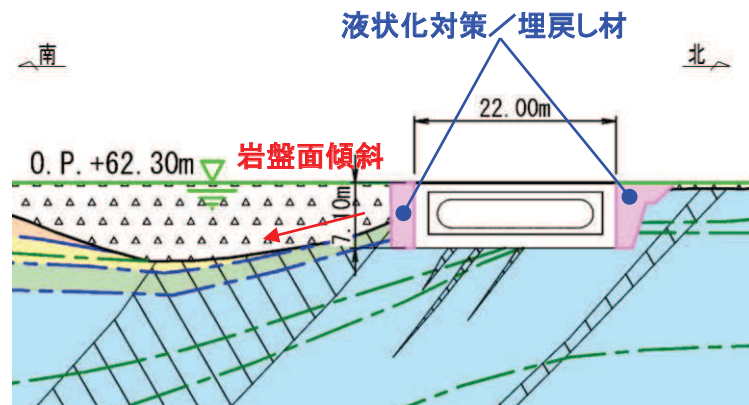
フロー⑤(全応力解析及び有効応力解析)



第3号機海水ポンプ室(東西)



第3号機海水ポンプ室(南北)



ガスタービン発電設備軽油タンク室(南北)

凡 例		
B	B 級	改良地盤
C ₁	C ₁ 級	セメント改良土
C ₂	C ₂ 級	置換コンクリート
C ₃	C ₃ 級	セメント系埋戻土
D	D 級	設置変更許可からの追加箇所
		地下水位
	岩盤分類境界	
	速度層境界	
	盛土	
	旧表土	
	砂	
	真岩	
	ひん岩	
	断層	
	地質境界	