

泊発電所3号炉

施設の耐震評価に用いる地盤の液状化の評価方針

令和5年6月5日
北海道電力株式会社

本資料中の[4条-別紙9-〇]は、当該記載の抜粋元として、まとめ資料のページ番号を示している。

: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

無断複製・転載等禁止

目次

経緯と説明概要	2
本日の説明事項	3
審査会合における指摘事項に対する回答	5
(参考)施設の耐震評価に用いる地盤の液状化の評価方針	15
1. 液状化評価の基本方針	16
2. 液状化検討対象層の抽出	17
3. 液状化検討対象施設の抽出	20
4. 液状化強度試験の試料採取位置選定とその代表性	24
5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定	32
6. 液状化影響の検討方針	33
参考文献	34

経緯と説明概要

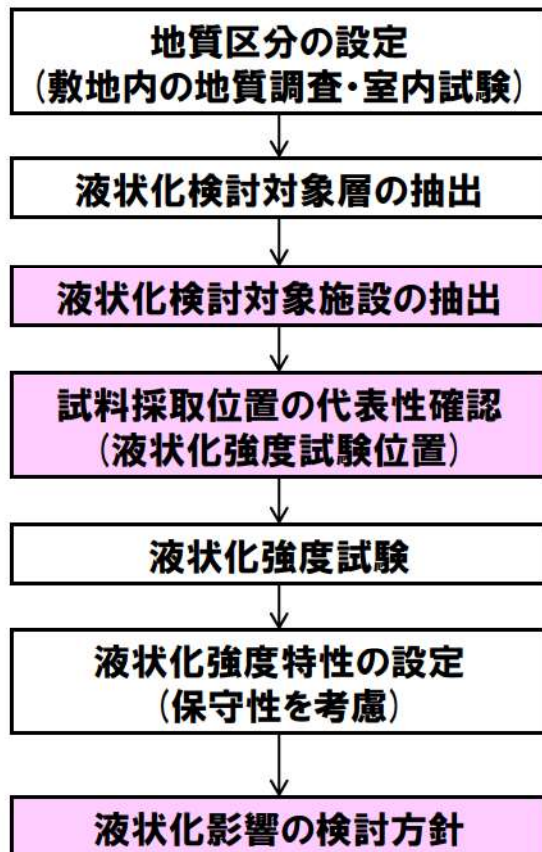
○第1098回審査会合(令和4年12月6日)において、地盤の液状化影響の評価結果として、施設の耐震評価の解析手法、試料採取位置の代表性確認結果、液状化強度特性の設定方針等について、主に以下に示す内容を説明した。
○本資料では、下表に示す審査会合における指摘事項(221206-7~221206-10)に対する回答(①~④)及び⑤「液状化影響の検討方針」について説明する。

前回審査会合までの説明内容		説明項目	今回の説明内容
解析手法の選定	施設の耐震評価の解析手法について、液状化の影響を受ける可能性がある液状化検討対象施設に対して、有効応力解析を実施する。	指摘事項に対するコメント回答	①液状化検討対象施設の抽出と解析手法の選定 ・液状化検討対象施設及び解析手法選定における具体的な判断基準を説明する。 ・有効応力解析を行う際の全応力解析の位置付けを説明する。
試料採取位置の代表性	現状の液状化強度試験の試料採取位置は代表性を有している。		②液状化強度試験の試料採取位置の代表性 ・試料採取位置の代表性について再検討した結果、現状の埋戻土の調査位置では液状化検討対象施設近傍等での試料採取の観点から十分なデータが得られていないと判断したため、追加調査を計画し、その内容について説明する。
	液状化強度試験の試料採取位置の代表性確認指標として、埋戻土の粒度分布を用いることは妥当である。		③埋戻土の粒度分布による代表性確認 ・埋戻土の粒度分布と液状化強度の相関関係を再整理し、代表性確認指標として用いることの妥当性を再度説明する。
	液状化強度試験の試料採取位置の代表性確認指標として、埋戻土のせん断波速度を用いることは妥当である。		④埋戻土のせん断波速度による代表性確認 ・埋戻土のせん断波速度と液状化強度には明確な相関関係は認められないことから、せん断波速度は代表性確認指標に選定しないことを説明する。
液状化強度特性の設定	現状の液状化強度試験結果に基づく1,2号埋戻土、3号埋戻土及び砂層(As1層及びAs2層)の下限値で設定する。	⑤液状化影響の検討方針 ・設置許可段階における液状化強度特性の設定方針及び施設の耐震評価における液状化影響の検討方針について説明する。	

本日の説明事項 (1/2)

- 液状化影響の検討フロー及び主な説明項目における検討方針を以下に示す(検討フローの赤で着色した項目は本資料で説明する主な検討項目)。
- 指摘事項に対する回答及び液状化影響の検討方針に関する説明事項の概要を示す。

【液状化影響の検討フロー】



【説明項目①】

指摘事項221206-10の回答で詳述

【液状化検討対象施設の抽出】

- 地下水位や基礎地盤及び周辺地盤の状況に応じて、液状化の影響がないと判断される施設は液状化検討対象外とする。

【解析手法の選定の考え方】

- 液状化検討対象施設の、周辺状況による液状化の影響を踏まえ、解析手法を選定する。
- 有効応力解析を選定する場合、全応力解析により液状化が発生しない場合の耐震評価を行う。
- 全応力解析を選定する場合、有効応力解析により施設に液状化の影響が及ばないことを確認する。

※有効応力解析及び全応力解析の解析ケース選定の詳細な考え方については、設工認段階において説明する。

【説明項目②】

指摘事項221206-09の回答で詳述

- 埋戻土の液状化強度試験の試料採取位置の代表性確認に当たっては、すべての液状化検討対象施設の近傍及び施工時期の異なるエリアで試料採取する方針とし、追加調査を計画する。
- 設工認段階では、追加調査結果を踏まえ、埋戻土の相対密度等により、敷地を同様の性状を示すエリアに分割して、液状化強度試験の試料採取位置の代表性を確認する。
- 埋戻土の代表性確認指標に相対密度を追加する。

本日の説明事項 (2/2)

【液状化影響の検討フロー】



【説明項目③】

検討方針 (指摘事項221206-07の回答で詳述)

- 埋戻土の粒度分布と液状化強度の相関関係を再整理した結果、粒度分布を代表性確認指標として用いる。

【説明項目④】

検討方針 (指摘事項221206-08の回答で詳述)

- 埋戻土のせん断波速度と液状化強度には明確な相関関係は認められないことから、せん断波速度は代表性確認指標に選定しない。

※設置許可段階における埋戻土の代表性確認指標は粒度分布及び細粒分含有率を用いるものとする。
※設工認段階において、代表性確認指標として相対密度を追加して説明する。

【説明項目⑤】

検討方針 (本資料p14で詳述)

- 設置許可段階においては、現在の敷地全体の液状化強度試験結果を用いて、保守的(下限値)に設定した液状化強度特性を施設の構造成立性評価に用いる。
- 設工認段階における液状化強度特性は、代表性確認を行ったエリアごとに設定することを基本とする。

審査会合における指摘事項に対するコメント回答

説明項目①

審査会合における指摘事項に対する回答【指摘事項 221206-10】(1/2)

【指摘事項 221206-10】

液状化検討対象施設が改良地盤等に囲まれている場合における地盤の液状化等を考慮しない耐震評価手法を選定する際の考え方については、以下に示す内容を踏まえて説明すること。

- 改良地盤等が耐震性を有していること。
- 液状化検討対象施設について、改良地盤等の外側の地盤に液状化等が生じる場合及び液状化等が生じない場合のいずれの場合においても、それぞれの評価が可能な解析の結果同士の比較によって、当該施設の安全機能が損なわれるおそれがないことを定量的に示す方針であること。
- 液状化検討対象施設が改良地盤等の内側に局所的に分布する地盤の液状化等による浮上りの影響を受けないこと。

【回答】

- 液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定フロー（屋外重要土木構造物及び津波防護施設等※¹）を、以下に示す考え方に基づき、見直した（修正後の液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定フローをp7に示す）。
- 構造物周辺に配置される無筋コンクリートを以下のとおり定義し※²、解析手法選定フローでは、健全性を確認する無筋コンクリートを「置換コンクリート」と記載した。
 - 置換コンクリートの外側に液状化検討対象層が広範囲に分布する場合、有効応力解析を選定するフローとし、全応力解析により液状化が発生しない場合の耐震評価を行うことを記載した（p7に示す解析手法選定フローの⑤でYesと判定するケース）。
 - 施設と岩盤又は隣接構造物の間の埋戻土等が局所的に分布する場合、かつ、地下水位以深の液状化検討対象層が広範囲に分布しない場合は、全応力解析を選定するフローとし、有効応力解析により施設に液状化の影響（浮上り等）が及ばないことを確認することを記載した（p7に示す解析手法選定フローの④でNo、⑤でNoと判定するケース）。

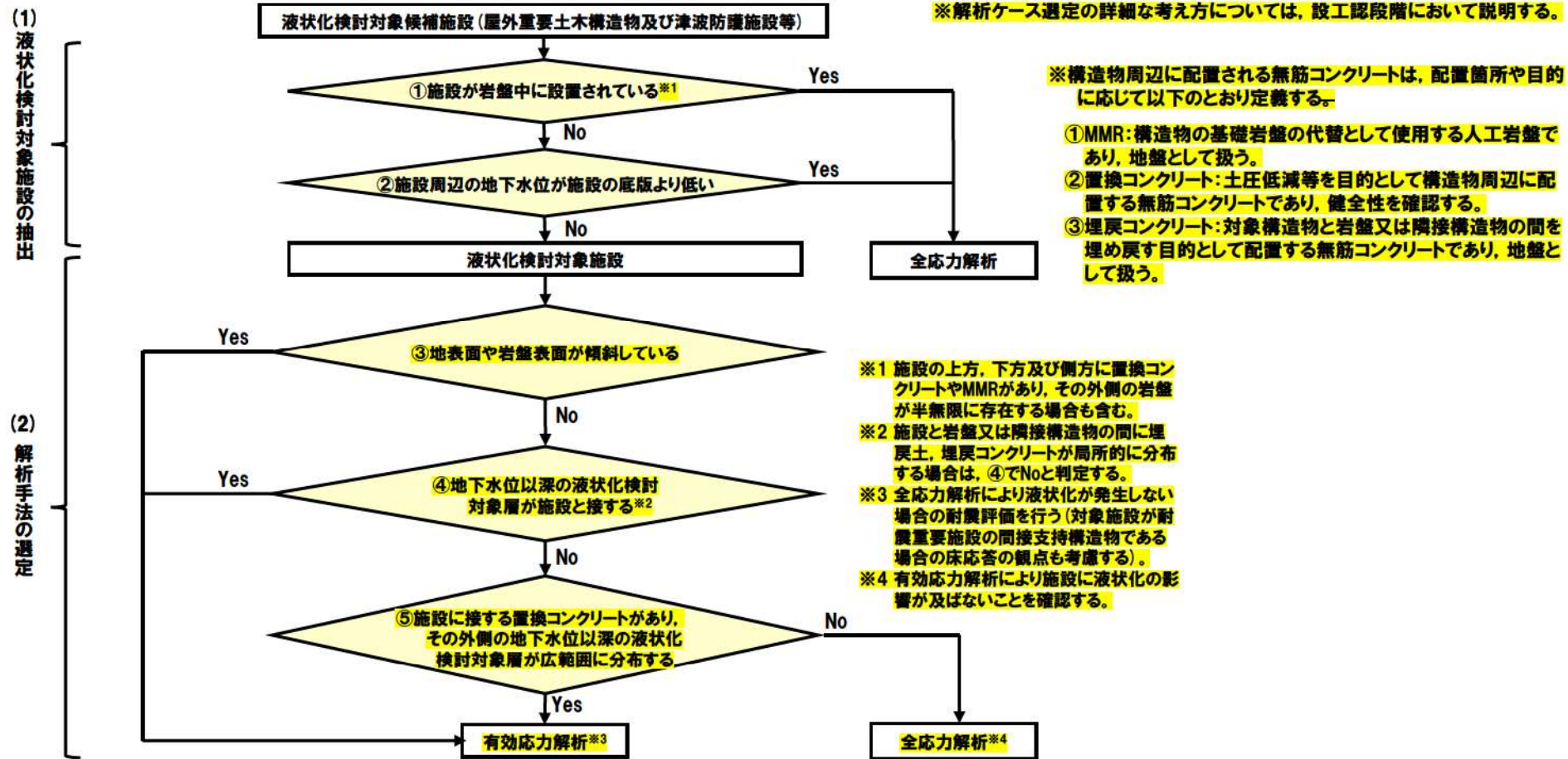
※¹ 本資料においては、「屋外重要土木構造物及び津波防護施設等」とは、屋外重要土木構造物、津波防護施設、浸水防止設備及び重大事故等対処施設を指す。

※² 構造物周辺に配置される無筋コンクリートは、配置箇所や目的に応じて以下のとおり定義する。

- ①MMR： 構造物の基礎岩盤の代替として使用する人工岩盤であり、地盤として扱う。
- ②置換コンクリート：土圧低減等を目的として構造物周辺に配置する無筋コンクリートであり、健全性を確認する。
- ③埋戻コンクリート：対象構造物と岩盤又は隣接構造物の間を埋戻す目的として配置する無筋コンクリートであり、地盤として扱う。

審査会合における指摘事項に対する回答【指摘事項 221206-10】(2/2)

液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定フロー



液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定フロー(屋外重要土木構造物及び津波防護施設等)

説明項目②

審査会合における指摘事項に対する回答【指摘事項 221206-09】(1/2)

【指摘事項 221206-09】

液状化強度試験の試料採取位置の代表性について、例えば以下に示す施設であって施設周りにおいて液状化強度試験を実施していない施設に関して、追加の液状化強度試験による確認の必要性を検討して説明すること。

- 1,2号炉埋戻土近傍の防潮堤
- 取水ピットポンプ室
- 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ室
- 原子炉補機冷却海水管ダクト
- B1,B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ
- 3号炉放水ピット流路縮小工
- アクセスルートのうち盛土構造による道路部

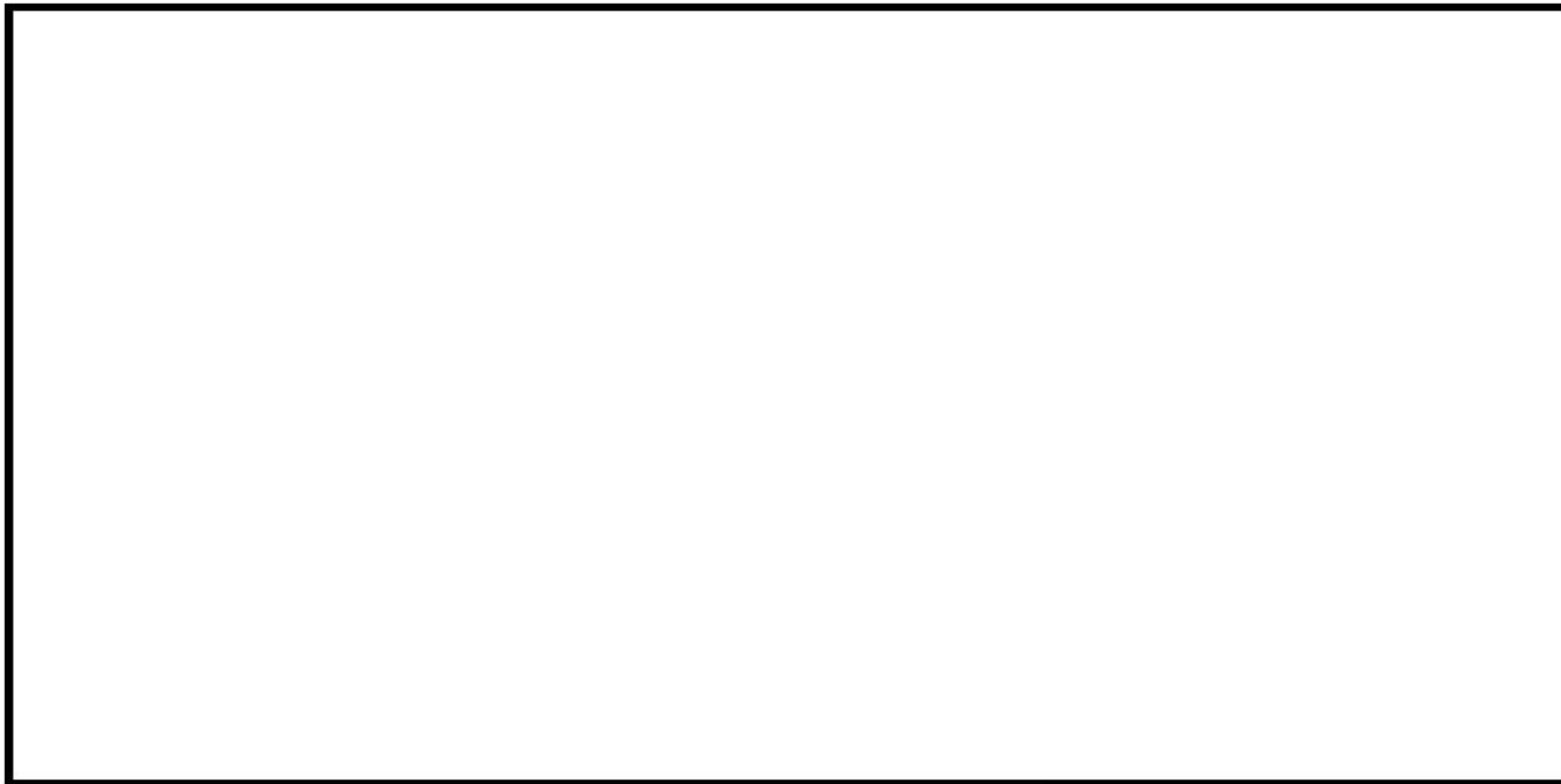
【回答】

- 液状化強度試験の試料採取位置の代表性について検討した結果、現状の埋戻土の調査位置では施設近傍等での試料採取の観点から十分なデータが取得できていないと判断したため、p9に示す施設（施設名に黄色の着色をした施設）において、データ拡充を目的とした追加調査を実施する（追加調査位置等に関する詳細は[4条-別紙9-56]を参照）。

審査会合における指摘事項に対する回答【指摘事項 221206-09】(2/2)

追加調査位置

○ 追加調査位置は、施工時期の違い、液状化検討対象施設近傍での現状の試験結果の有無及び1,2号炉と3号炉の埋立整地工事及び取放水設備工事における施工範囲を考慮して、下図に示す①～⑩の10地点を設定した。



追加調査位置

: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

説明項目③

審査会合における指摘事項に対する回答【指摘事項 221206-07】(1/3)

【指摘事項 221206-07】

埋戻土の粒度分布について、以下に示す内容を整理した上で、埋戻土の複数の粒径加積曲線の敷地内における分布の傾向を分析して説明すること。また、当該分析結果を用いて、液状化強度試験の試料採取位置の代表性確認の指標としての妥当性を説明すること。

- 粒度試験に用いた試料の採取位置、標高及びボーリング柱状図における地質
- 建設時における埋戻土の施工及び品質管理

【回答】

○ 埋戻土の粒度分布に用いた試料の採取位置等※1と品質管理等※2を整理した結果及び敷地内の埋戻土における液状化強度試験位置の粒度分布の傾向を分析した結果を以下に示す（詳細は[4条-別紙9-添付資料-8]を参照）。

整理・分析項目	整理・分析結果
粒度試験に用いた試料の採取位置、標高及びボーリング柱状図における地質の整理	○埋戻土の液状化強度試験に用いた供試体の多くは礫質土に分類され、一部、砂質土に分類される（土層の分類は、地盤工学会JGS0051に基づく地盤材料の工学的分類（以下、「三角座標による分類」という）に基づくものである）。 ○砂質土に分類される埋戻土の供試体採取位置について、平面分布及び深度分布の一定の傾向は認められない。
埋戻土の施工及び品質管理の整理	○1,2号埋戻土は、砂質土に分類される供試体が3号埋戻土に比べて多い。 ○1,2号炉の埋立整地工事の範囲は、ブルドーザによりまき出し厚や転圧回数等の品質管理規定がない施工が行われたため、供試体を採取する位置により粒度の小さい埋戻土が出現し易くなっていることが要因であると考えられる（埋戻土の品質管理の詳細は[4条-別紙9-添付資料-5]を参照）。
液状化強度試験に用いた砂質土の供試体の分析	○砂質土に分類される埋戻土の供試体写真を確認した結果、比較的粒径の小さい砂分主体で構成されている。
粒度分布の傾向分析 (分析結果はp11を参照)	○液状化強度試験の供試体の粒径加積曲線は、礫質土が多くを占め、一部砂質土が存在する。 ○液状化強度試験の供試体の粒度分布はばらつきがあるものの、礫質土及び砂質土ともに概ね粒度試験結果全体の範囲に含まれている。
液状化強度試験結果の傾向分析 (分析結果はp12を参照)	○砂質土に分類される埋戻土の液状化強度は、液状化強度試験結果全体の中で最も低い値を示している。 ○礫質土に分類される埋戻土の液状化強度は、砂質土と比較すると高い値を示す傾向がある。

- 埋戻土は三角座標による分類では砂質土及び礫質土で構成され、液状化強度は砂質土で低い値、礫質土で高い値を示す傾向がある。
- 粒度分布と液状化強度には相関が認められることから、埋戻土の試料採取位置の代表性確認指標として粒度分布を用いることは妥当であると判断する。

※1 粒度試験に用いた試料の採取位置、標高及びボーリング柱状図における地質

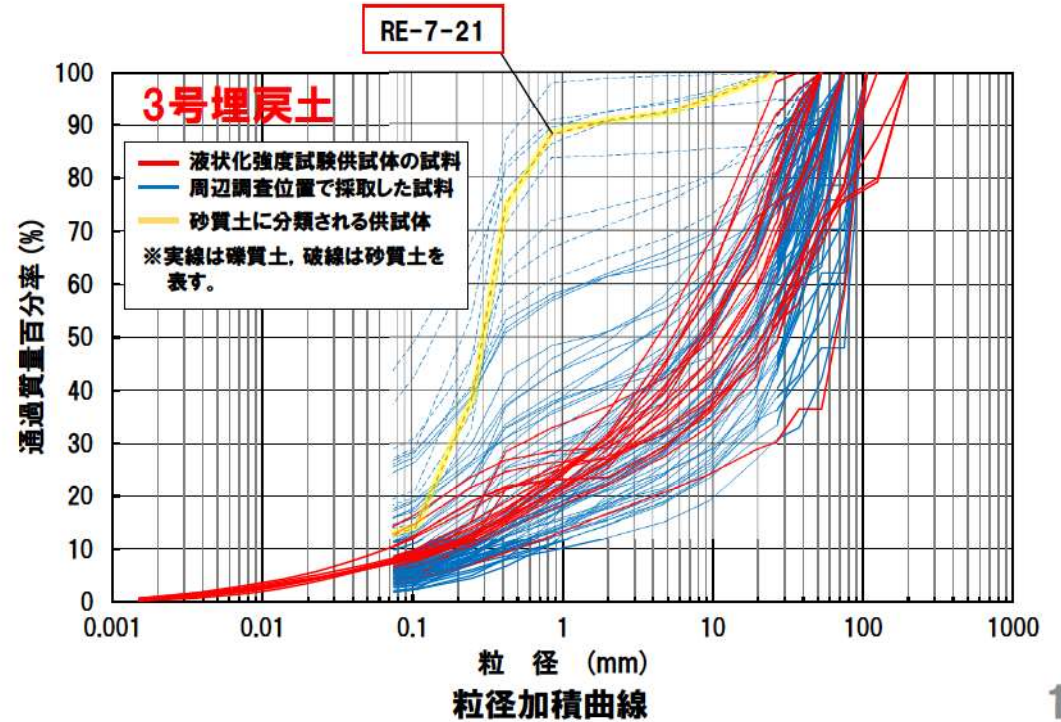
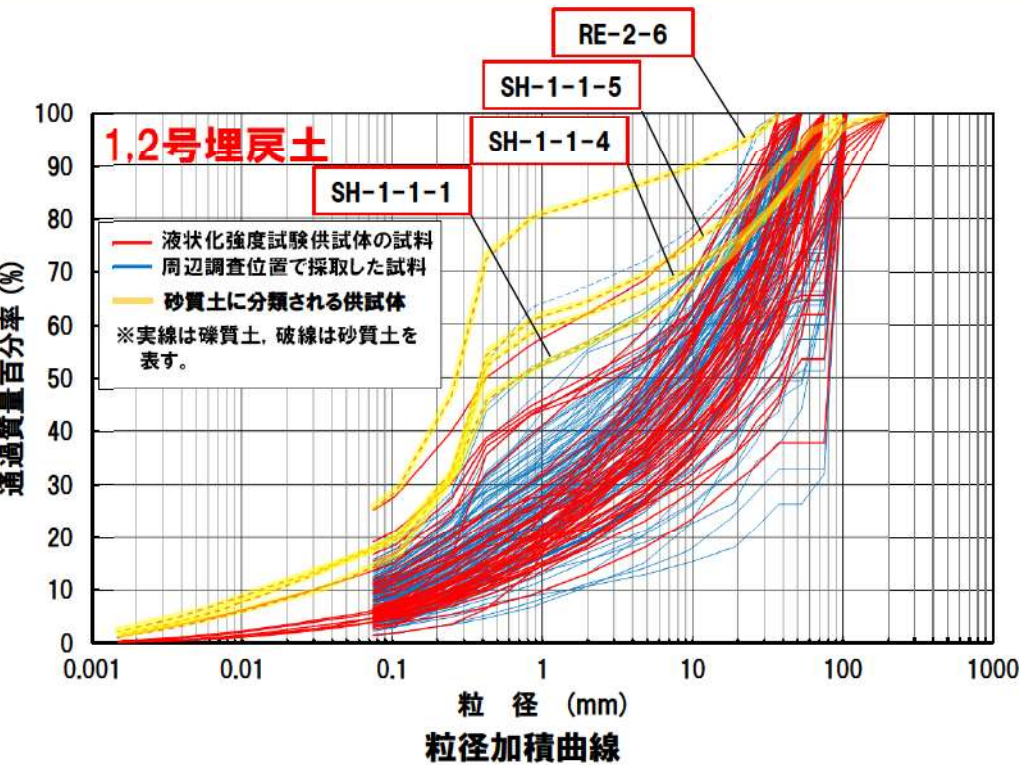
※2 建設時における埋戻土の施工及び品質管理

審査会合における指摘事項に対する回答【指摘事項 221206-07】(2/3) 液状化強度試験位置における粒度分布の傾向分析

○ 液状化強度試験位置における粒度分布を分析した結果、グラフ中の黄色線が液状化強度試験位置のうち砂質土に分類されることを確認した。



- 液状化強度試験の供試体の粒度分布は、礫質土が多くを占め、一部砂質土が存在する。
- 液状化強度試験の供試体の粒度分布はばらつきがあるものの、礫質土及び砂質土ともに概ね粒度試験結果全体の範囲に含まれている。



説明項目④

審査会合における指摘事項に対する回答【指摘事項 221206-08】

【指摘事項 221206-08】

液状化強度試験の試料採取位置の代表性確認の指標として埋戻土の液状化強度とせん断波速度との相関を用いることについて、当該相関の根拠としている各種文献の適用範囲に対する埋戻土の適用性を確認した上で、妥当性を説明すること。なお、妥当性の説明においては、少なくとも、すべての液状化検討対象施設の近傍で測定したせん断波速度と、当該せん断波速度測定位置で実施した液状化強度試験結果との相関を示すこと。

【回答】

- 埋戻土の液状化強度とせん断波速度との相関について、泊発電所の埋戻土と各種文献の適用性を確認した結果、一定の関係性は認められるものの、完全に一致するものではないことを確認した。
- 敷地内の埋戻土のせん断波速度と液状化強度との相関については、データのばらつきが大きく明確な相関関係は認められないと判断した。
- 埋戻土のせん断波速度と液状化強度には明確な相関関係は認められないことから、せん断波速度は代表性確認指標に選定しない。
- 設工認段階において、代表性確認指標として相対密度を追加して説明する。

説明項目⑤

液状化影響の検討方針

○施設の耐震評価に用いる地盤の液状化影響の検討方針は、以下のとおりである。

【設置許可段階】

- 埋戻土の代表性確認指標は粒度分布と細粒分含有率を用いる。
- 液状化検討対象施設の解析手法は、施設の周辺状況による液状化の影響を踏まえて選定する。
- 有効応力解析を選定する場合、全応力解析により液状化が発生しない場合の耐震評価を行う。また、全応力解析を選定する場合、有効応力解析により施設に液状化の影響が及ばないことを確認する（解析ケース選定の詳細な考え方については、設工認段階において説明する）。
- 有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地全体の液状化強度試験から得られる液状化強度特性を保守的（下限値）に設定することを基本とし、1,2号埋戻土、3号埋戻土及び砂層（As1層及びAs2層）の各層の下限値を設定する。
- すべての液状化検討対象施設近傍と施工時期の異なるエリアにおけるデータ取得を目的として、液状化強度試験等の追加調査を計画する。

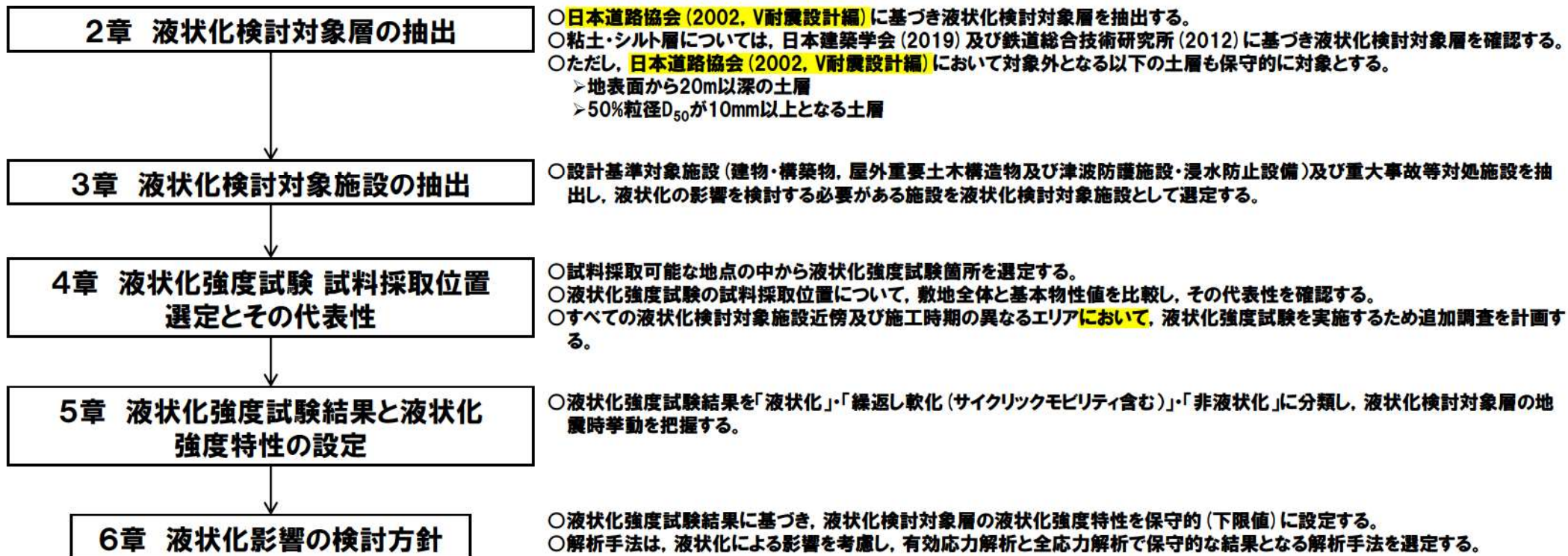
【設工認段階】

- 埋戻土の液状化強度試験の試料採取位置について、代表性確認指標として相対密度を追加した上で代表性確認を行うとともに、設置許可段階における粒度分布と細粒分含有率による代表性確認結果の妥当性を説明する。
- 代表性確認に当たっては、相対密度や粒度分布により、敷地を同様の性状を示すエリアに分割し、各エリアに含まれる複数の試験結果を用いて説明する。
- 有効応力解析に用いる液状化強度特性は、代表性を確認したエリアごとに設定することを基本とする。
- 設定した液状化強度特性が設置許可段階における下限値と同程度の場合や、敷地を明確に同様の性状を示すエリアに分割できない場合は、敷地全体の液状化強度試験から得られる液状化強度特性を保守的（下限値）に設定する。
- 「液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定フロー」にしたがって、液状化検討対象施設の耐震評価に用いる解析手法を選定し、各解析手法に適用する解析ケースを選定する。

(参考)施設の耐震評価に用いる地盤の液状化の評価方針

1. 液状化評価の基本方針

- 本資料では、耐震設計における液状化影響の検討方針を示すものとし、液状化影響に関する検討は以下のフローに従い実施する。
- 耐震重要施設^{※1}及び常設重大事故等対処施設^{※2}においては、液状化、揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状を考慮した場合においても、当該施設の安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。



※1: 耐震設計上の重要度分類Sクラスの機器・系統及びそれらを支持する建物・構築物

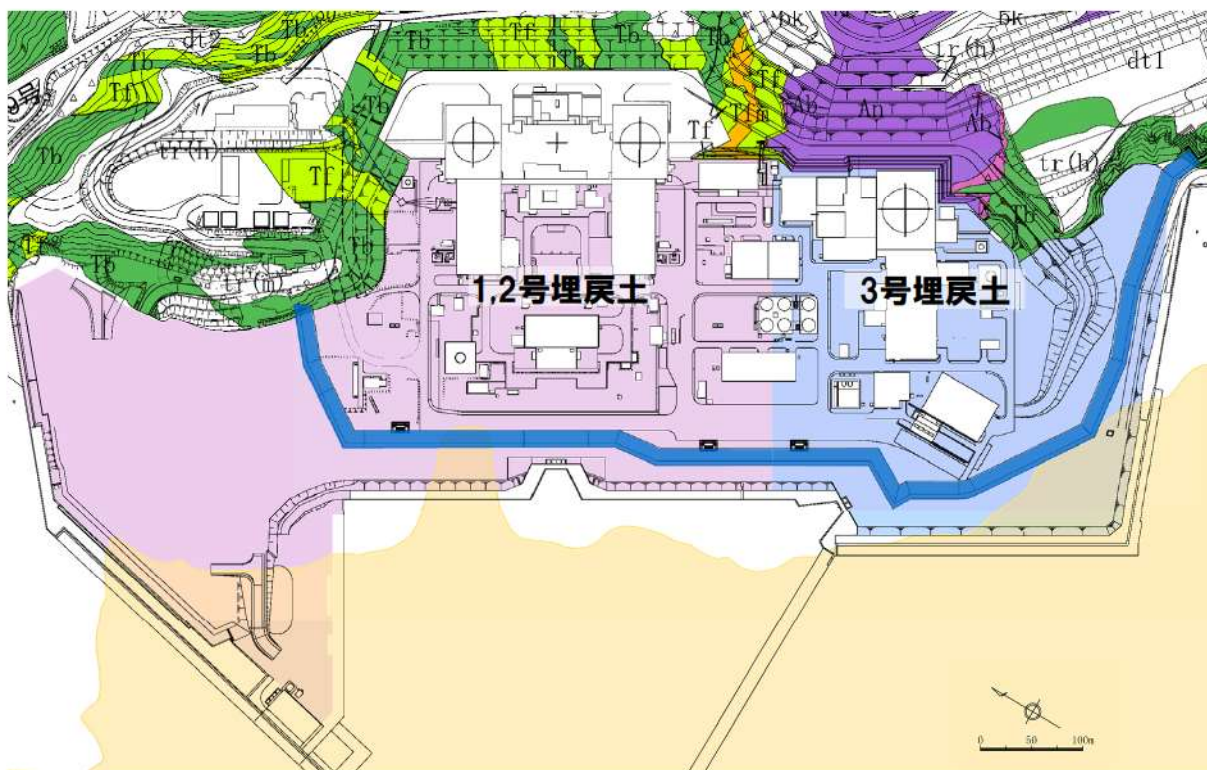
※2: 常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設 (特定重大事故等対処施設を除く)

2. 液状化検討対象層の抽出

2.1 埋戻土・砂層の分布 (1/2)

- 泊発電所の埋立地盤については、敷地造成時に発生した掘削岩砕からなる埋立地盤が主体である。
- 埋立地盤は、施工時期、材料により、1,2号埋戻土（火砕岩主体の岩砕地盤）、3号埋戻土（安山岩主体の岩砕地盤）に区分される。
- 岸壁及び津波防護施設前面には、沖積層に相当する砂層（As1層及びAs2層）、砂礫層（Ag層）及び粘土・シルト層（Ac層）が分布している。
- 砂層※については、N値の大きさによりAs1層（ $N < 30$ ）とAs2層（ $30 \leq N$ ）と分類し、As1層、As2層のそれぞれで解析用物性値を設定する。

※砂層のN値による分類は、日本道路協会（2012、IV下部構造編）の支持層の考え方、地盤工学会（1998）の相対密度との関係を参考に分類した（詳細は[4条-別紙9-3]を参照）。



地質平面図

- :1,2号埋戻土
- :3号埋戻土
- :砂層

凡例

地質時代	地層名	記号	主な岩相	
第四紀	完新世	盛土	bk	礫・砂・粘土
	更新世	沖積層	al	礫・砂・粘土
		屋簷II堆積物	dt2	礫・砂・粘土
		中位段丘堆積物	lr(m)	礫・砂・粘土
	屋簷I堆積物	dt1		
	更新世	高位段丘堆積物	lr(h)	礫・砂
新第三紀	中新世	岩内層※		礫・砂
		Ab	角礫質安山岩	
		An	安山岩	
		TIm	含泥岩礫凝灰岩	
		Tf	凝灰岩	
		Tb	凝灰角礫岩	
		Ms	凝灰質泥岩	

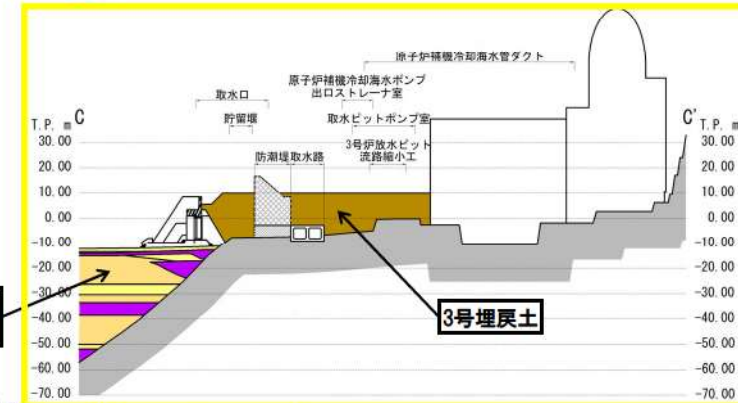
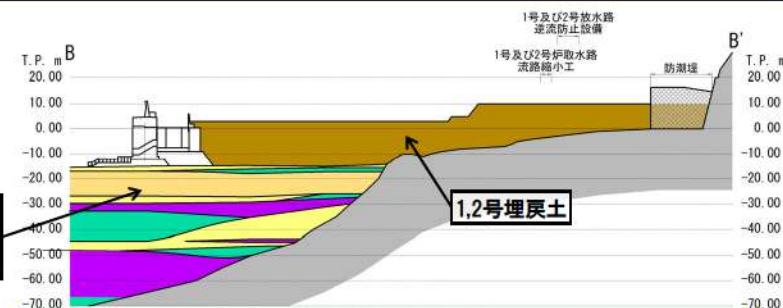
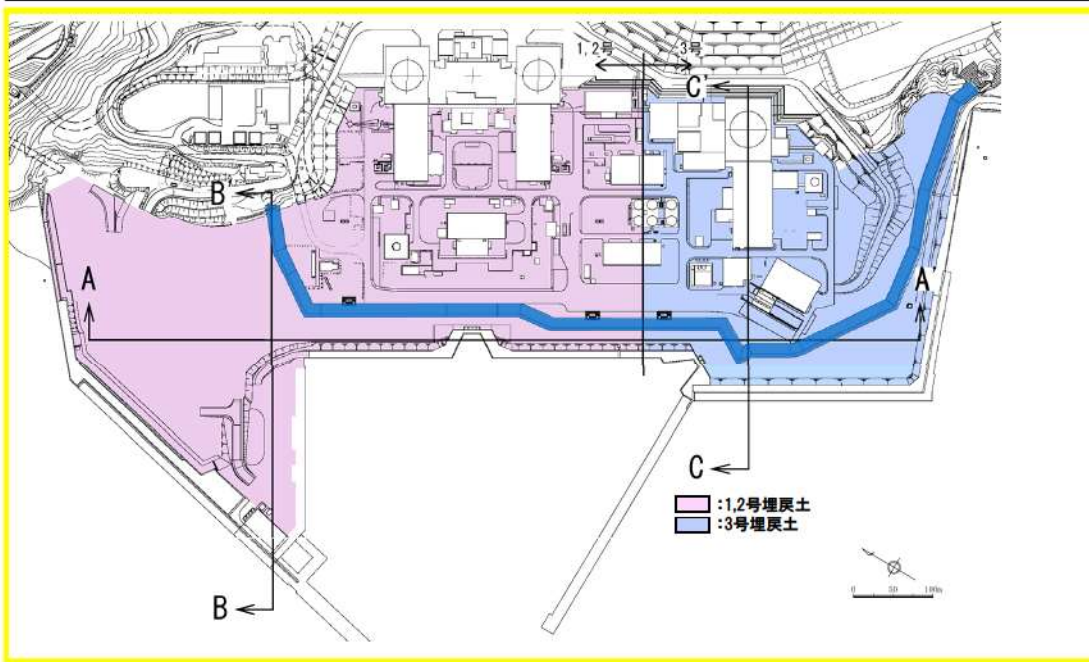
- 地質境界
- 部層境界
- 断層
- 50°/36 地層の走向傾斜

※ 敷地に認められる層厚が厚い海成堆積物等については、岩内平野との対比から第四系下部～中部更新統岩内層に区分していたが、敷地が位置する積丹半島と岩内平野は地形発達史が異なること等を踏まえ、地層区分の見直しを実施し、第四紀中期更新世以前の海成堆積物に区分している。

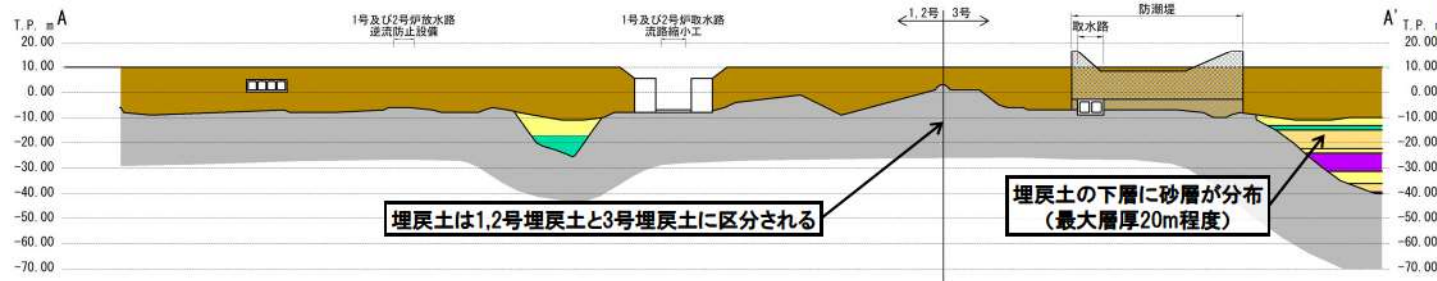
2. 液状化検討対象層の抽出

2.1 埋戻土・砂層の分布 (2/2)

○ 埋戻土及び砂層の分布について地質断面図を示す。



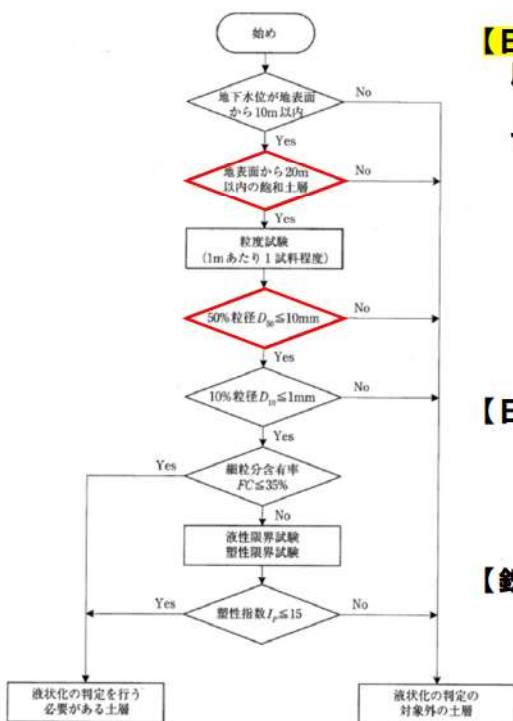
- 凡例
- 防潮堤
 - コンクリート
 - 埋戻土
 - 砂 (As1)
 - 砂 (As2)
 - 砂礫
 - 粘土・シルト
 - 岩盤



2. 液状化検討対象層の抽出

2.2 液状化検討対象層の選定

- 敷地の埋立地盤である埋戻土、砂層 (As1層及びAs2層)、砂礫層 (Ag層)、粘土・シルト層 (Ac層) について、日本道路協会 (2002, V耐震設計編) に基づき液状化検討対象層を抽出し、液状化検討対象層として、地下水位以深の1,2号埋戻土、3号埋戻土、砂層 (As1層及びAs2層) 及び砂礫層 (Ag層) を選定する。
- また、泊サイトの基準地震動の特徴 (最大加速度が大きい、継続時間が長い) から、日本道路協会 (2002, V耐震設計編) において対象外となる「G.L.-20m以深の飽和土層」及び「平均粒径が10mm以上の飽和土層」についても評価対象とする。
- 粘土・シルト層 (Ac) は、日本建築学会 (2019) 及び鉄道総合技術研究所 (2012) による液状化検討対象層の考え方も確認し、液状化検討の対象外とする。



液状化検討対象層の抽出フロー

(日本道路協会 (2012, V耐震設計編) に一部加筆)

【日本道路協会 (2002, V耐震設計編) における液状化検討対象層】

沖積層の土層で次の3つの条件すべてに該当する場合には、地震時に影響を与える液状化が生じる可能性がある。

- 1) 地下水位がG.L.-10m 以内であり、かつG.L.-20m 以内の飽和土層
- 2) 細粒分含有率が35%以下、又は細粒分含有率が35%を超えても塑性指数が15以下の土層
- 3) 平均粒径が10mm 以下で、かつ10%粒径が1mm 以下である土層

【日本建築学会 (2019) における液状化検討対象層※1】

- 1) 粘土分 (0.005mm以下の粒径を持つ土粒子) 含有率が10%以下、または塑性指数が15以下の埋立地盤あるいは盛土地盤

【鉄道総合技術研究所 (2012) における液状化検討対象層※1】

- 1) 細粒分含有率Fcが35%を超えても粘土分含有率Pcが15%以下の土層

※1 道路橋示方書 (2002) と内容が異なる粘土・シルト層 (Ac) に関する箇所のみ記載 (粘土・シルト層 (Ac) を液状化検討の対象外とした考え方については[4条-別紙9-添付資料-2]を参照)。

液状化検討対象層の選定結果

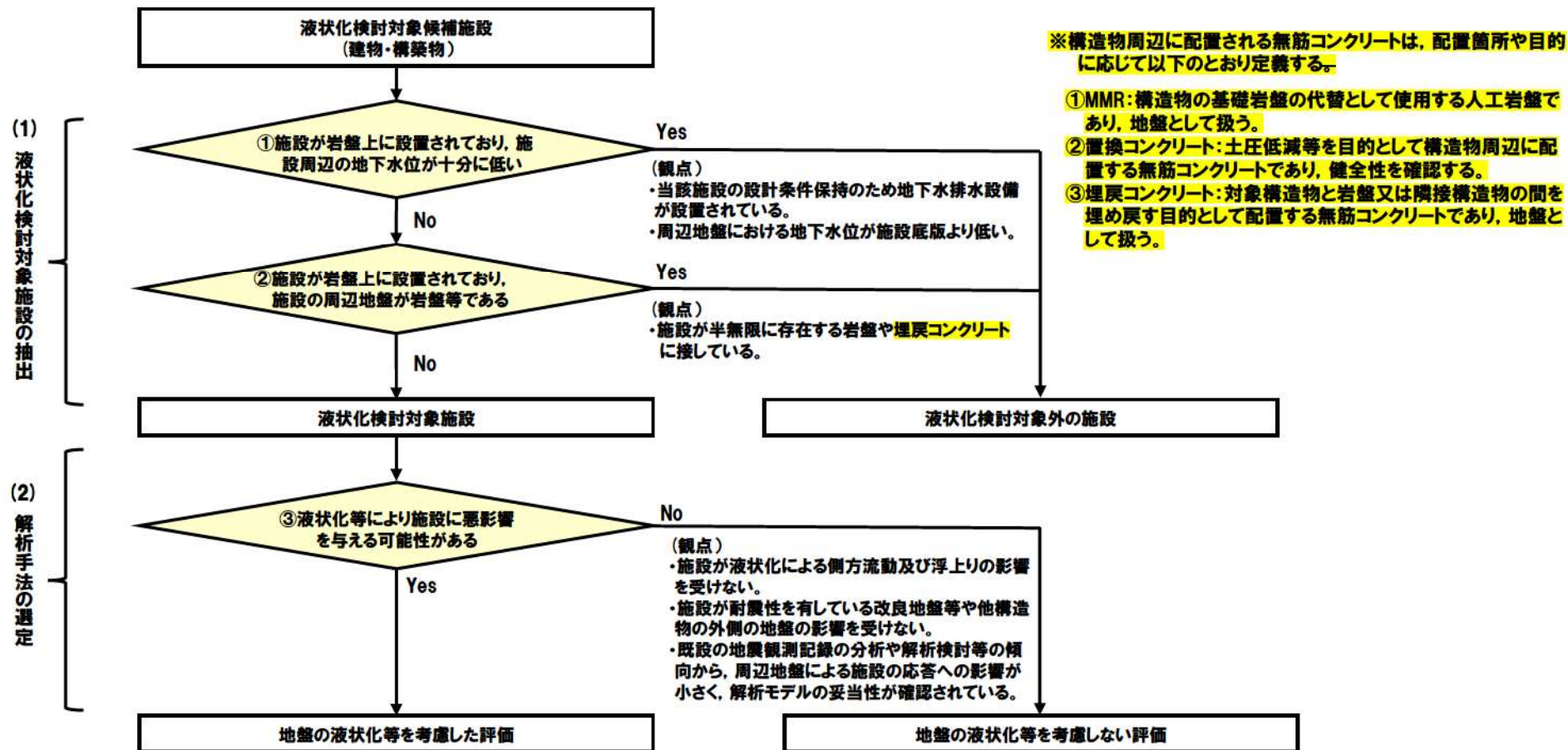
地層名	日本道路協会 (2002, V耐震設計編)		泊サイトの 液状化検討 対象層	備考
	深度	粒度分布		
1,2号埋戻土	○	○ (一部×)	○	・粒度分布により非液状化層と判定されるものもあるが、保守的に評価対象とする。
3号埋戻土	○	○ (一部×)	○	・粒度分布により非液状化層と判定されるものもあるが、保守的に評価対象とする。
As1	×	○	○	・20m以深に分布する範囲についても保守的に評価対象とする。
As2	×	○	○	・20m以深に分布する範囲についても保守的に評価対象とする。
Ag	×	○ (一部×)	○	・20m以深に分布する範囲についても保守的に評価対象とする。 ・粒度分布により非液状化層と判定されるものもあるが、保守的に評価対象とする。 ・解析用物性値はAs2層に準拠。
Ac	×	×	×	・細粒分含有率Fc>35%かつ塑性指数I _p >15より、評価対象外とする。 ・粘土分含有率Pc>10%以下及び粘土分含有率Pc>15%以下を満足することも確認し、評価対象外とする。

○: 液状化検討対象 ×: 液状化検討対象外

3. 液状化検討対象施設の抽出

3.1 液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定の観点(1/2)

- 液状化検討対象施設は、施設の設置状況(基礎型式等)や地下水位の状況(地下水排水設備有無を含む)に応じて選定する。
- 解析手法は、液状化検討対象施設に対し、周辺地盤や隣接構造物の状況等による液状化影響を考慮して選定する。



※構造物周辺に配置される無筋コンクリートは、配置箇所や目的に応じて以下のとおり定義する。

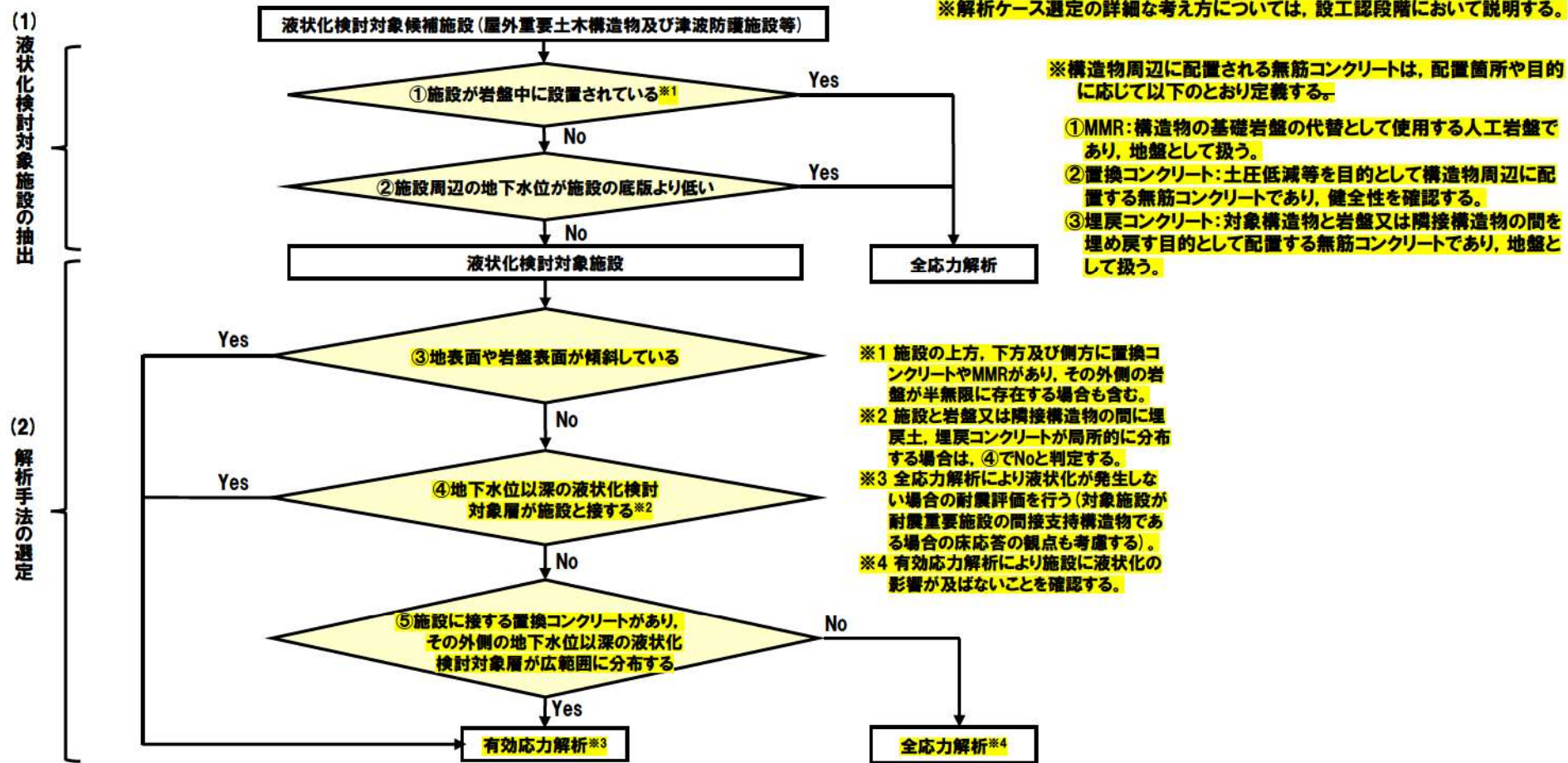
- ①MMR: 構造物の基礎岩盤の代替として使用する人工岩盤であり、地盤として扱う。
- ②置換コンクリート: 土圧低減等を目的として構造物周辺に配置する無筋コンクリートであり、健全性を確認する。
- ③埋戻コンクリート: 対象構造物と岩盤又は隣接構造物の間を埋め戻す目的として配置する無筋コンクリートであり、地盤として扱う。

液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定フロー(建物・構築物)

3. 液状化検討対象施設の抽出

3.1 液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定の観点(2/2)

○ 液状化検討対象候補施設(屋外重要土木構造物及び津波防護施設等)について、液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定フローを以下に示す。



液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定フロー(屋外重要土木構造物及び津波防護施設等)

3. 液状化検討対象施設の抽出

3.2 液状化検討対象施設及び解析手法の選定結果

○ 建物・構築物の液状化検討対象施設の選定結果は以下のとおりであり、すべての施設を液状化検討対象外とする。

液状化検討対象施設の解析手法選定結果(例)(建物・構築物)

施設分類	施設名称	液状化検討対象施設の選定			解析手法の選定	
		①施設が岩盤上に設置されており、施設周辺の地下水位が十分に低い※1	②施設が岩盤上に設置されており、施設の周辺地盤が岩盤等である		液状化検討対象施設 ○:対象×:対象外	③液状化等により施設に悪影響を与える可能性がある
設計基準対象施設 建物・構築物	原子炉建屋	Yes	—	—	×	液状化検討対象外
	原子炉補助建屋	Yes	—	—	×	
	ディーゼル発電機建屋	Yes	—	—	×	
	A1,A2-燃料油貯油槽タンク室	Yes	—	—	×	
	B1,B2-燃料油貯油槽タンク室	No	Yes	施設に耐震性を有する改良地盤が接している	×	

※1 MMR等を介して岩盤に支持される施設についても、岩盤に支持されているとする。

※2 液状化検討対象候補施設一覧、各液状化検討対象施設の位置図及び設置状況(断面図)は[4条-別紙9-10, 4条-別紙9-19]を参照。

3. 液状化検討対象施設の抽出

3.2 液状化検討対象施設及び解析手法の選定結果

- 建物・構築物以外の液状化検討対象施設の選定結果は以下のとおりであり、屋外重要土木構造物、津波防護施設・浸水防止設備を選定する。
- 液状化検討対象施設の解析手法については、液状化による側方流動及び浮上りの影響を受けるとし、有効応力解析を選定する。

液状化検討対象施設の解析手法選定結果(例)(屋外重要土木構造物及び津波防護施設等)

施設分類	施設名称	液状化検討対象施設の選定				解析手法の選定				
		①施設が岩盤中に設置されている※2	②施設周辺の地下水位が施設の底版より低い	液状化検討対象施設 ○:対象×:対象外	③地表面や岩盤表面が傾斜している	④地下水位以深の液状化検討対象層が施設と接する※5	⑤施設に接する置換コンクリートがあり、その外側の地下水位以深の液状化検討対象層が広範囲に分布する	解析手法の選定結果		
設計基準対象施設	屋外重要土木構造物	取水口	No	No	T.P.0.55mに設計地下水位を設定する※3	○	No	Yes	—	有効応力解析
		取水路	No	No	地表面に設計地下水位を設定する※4	○	No	Yes	—	有効応力解析
		取水ビットスクリーン室	No	No	地表面に設計地下水位を設定する	○	No	No	Yes	有効応力解析
		取水ビットポンプ室	No	No	地表面に設計地下水位を設定する	○	No	Yes	—	有効応力解析
		原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレナ室	No	No	地表面に設計地下水位を設定する	○	No	Yes	—	有効応力解析
		原子炉補機冷却海水管ダクト	No	No	地表面に設計地下水位を設定する	○	No	Yes	—	有効応力解析
		B1,B2-ディーゼル発電機燃料油貯槽トレンチ	No	No	地表面に設計地下水位を設定する	○	No	Yes	—	有効応力解析
	津波防護施設・浸水防止設備※1	防潮堤	No	No	地表面に設計地下水位を設定する※4	○	No	Yes	—	有効応力解析
		3号炉取水ビットスクリーン室防水壁	No	No	地表面に設計地下水位を設定する	○	No	Yes	—	有効応力解析
		3号炉放水ビット流路縮小工	No	No	地表面に設計地下水位を設定する	○	No	Yes	—	有効応力解析
		屋外排水路逆流防止設備	No	No	地表面に設計地下水位を設定する※4	○	No	Yes	—	有効応力解析
		1号及び2号炉取水流路縮小工	No	No	地表面に設計地下水位を設定する※4	○	No	Yes	—	有効応力解析
		1号及び2号炉放水路逆流防止設備	No	No	地表面に設計地下水位を設定する※4	○	No	Yes	—	有効応力解析
		貯留堰	No	No	地表面に設計地下水位を設定する※4	○	No	No	Yes	有効応力解析
重大事故等対処施設	緊急時対策所(指揮所,待機所)	No	Yes	地下水位が施設底版より低い	×	液状化検討対象外				
	代替非常用発電機	No	Yes	地下水位が施設の設置地盤より低い	×					

※1 浸水防止設備については、屋外に設置される施設を対象に検討する。

※2 MMR等を介して岩盤に支持される施設についても、岩盤に支持されているとする。

※3 防潮堤より海側の設計地下水位は、日本港湾協会(2007)の残留水位の設定方法に基づき、T.P.0.55mに設定する(防潮堤より山側は地表面に設計地下水位を設定する)。

※4 防潮堤より海側の設計地下水位は、期望平均満潮位T.P.0.26mに設定する(防潮堤より山側は地表面に設計地下水位を設定する)。

※5 施設と岩盤又は隣接構造物の間に埋戻土、埋戻コンクリートが局所的に分布する場合は、④でNoと判定する。

※ 液状化検討対象候補施設一覧、各液状化検討対象施設的位置図及び設置状況(断面図)は[4条-別紙9-10, 4条-別紙9-19]を参照。

4. 液状化強度試験 試料採取位置選定とその代表性

4.1 埋戻土 液状化強度試験箇所の選定 (1/2)

- 埋戻土の液状化強度試験の試料採取位置は、「ボーリングが実施可能であること」、「試料採取が可能な位置及び深度であること」を条件に、埋戻土が分布する範囲から、1,2号埋戻土で10地点、3号埋戻土で7地点を選定する。



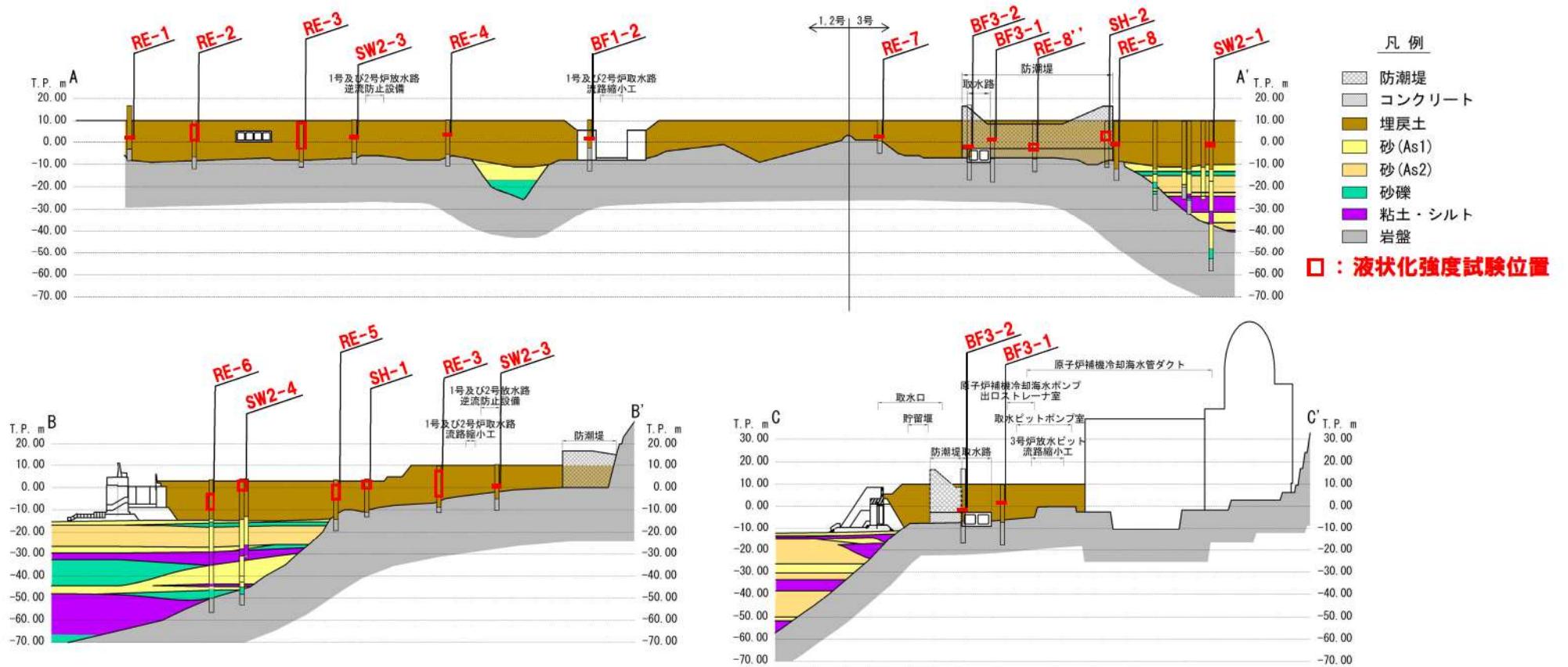
調査位置

: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

4. 液状化強度試験 試料採取位置選定とその代表性

4.1 埋戻土 液状化強度試験箇所の選定 (2/2)

- 埋戻土の液状化強度試験位置を以下に示す(1,2号埋戻土で10地点, 3号埋戻土で7地点を選定)。
- 供試体は, 埋戻土の地下水位前後からサンプリングする(埋戻土の基本物性については[4条-別紙9-添付資料-3]を参照)。



液状化強度試験位置図 (埋戻土)

4. 液状化強度試験 試料採取位置選定とその代表性

4.1 埋戻土 液状化強度試験位置の代表性確認

■ 代表性確認指標の選定

- 液状化強度試験の試料採取位置と周辺調査位置の物理特性を比較して、試料採取位置の代表性を確認する。
- 設置許可段階において、代表性確認の指標として用いる物理特性は、以下の観点で選定する。
 - 粒度分布 : 基本的な土の物性値であり、各基準類における液状化判定に平均粒径、10%粒径が用いられており、液状化強度比 R_L との相関が高い。
 - 細粒分含有率 : 各基準類の液状化判定における液状化強度比 R_L の算定式において、 R_L を補正するパラメータとして用いられており、 R_L との相関が高い。
- 埋戻土のN値は、以下の理由から、代表性確認指標に選定しない(埋戻土のN値の取扱いは[4条-別紙9-添付資料-4]を参照)。
 - 標準貫入試験を行った際、礫自体を打撃することによりN値が著しく大きくなる。
 - 空隙箇所を含めて標準貫入試験を行った際には空打ち状態となり、N値を過小評価してしまう。
- せん断波速度は、泊発電所の埋戻土において液状化強度との明確な相関関係が認められないことから、代表性確認指標に選定しない。



- 試料採取位置の代表性確認指標として、設置許可段階では粒度分布、細粒分含有率を選定する。
- また、設工認段階においては、ダイレイタンスー特性(繰返しせん断に伴う体積変化)と直接関連し、液状化強度比 R_L との相関が高い相対密度を、代表性確認指標に追加して説明する。

■ 代表性確認結果

- 各指標に対する代表性の確認結果は以下のとおりである(1,2号埋戻土と3号埋戻土は同じ結果である)[4条-別紙9-45]を参照。
 - 粒度分布について、礫質土及び砂質土の特性が認められるが、液状化強度試験位置は概ね試験結果全体の範囲に含まれている。
 - 細粒分含有率について、液状化強度試験位置は周辺調査位置と同程度の範囲である。
- ただし、現状の液状化強度試験の試料採取位置では、液状化検討対象施設等の近傍で十分にデータが取得できていないため、追加調査が必要であると判断した。

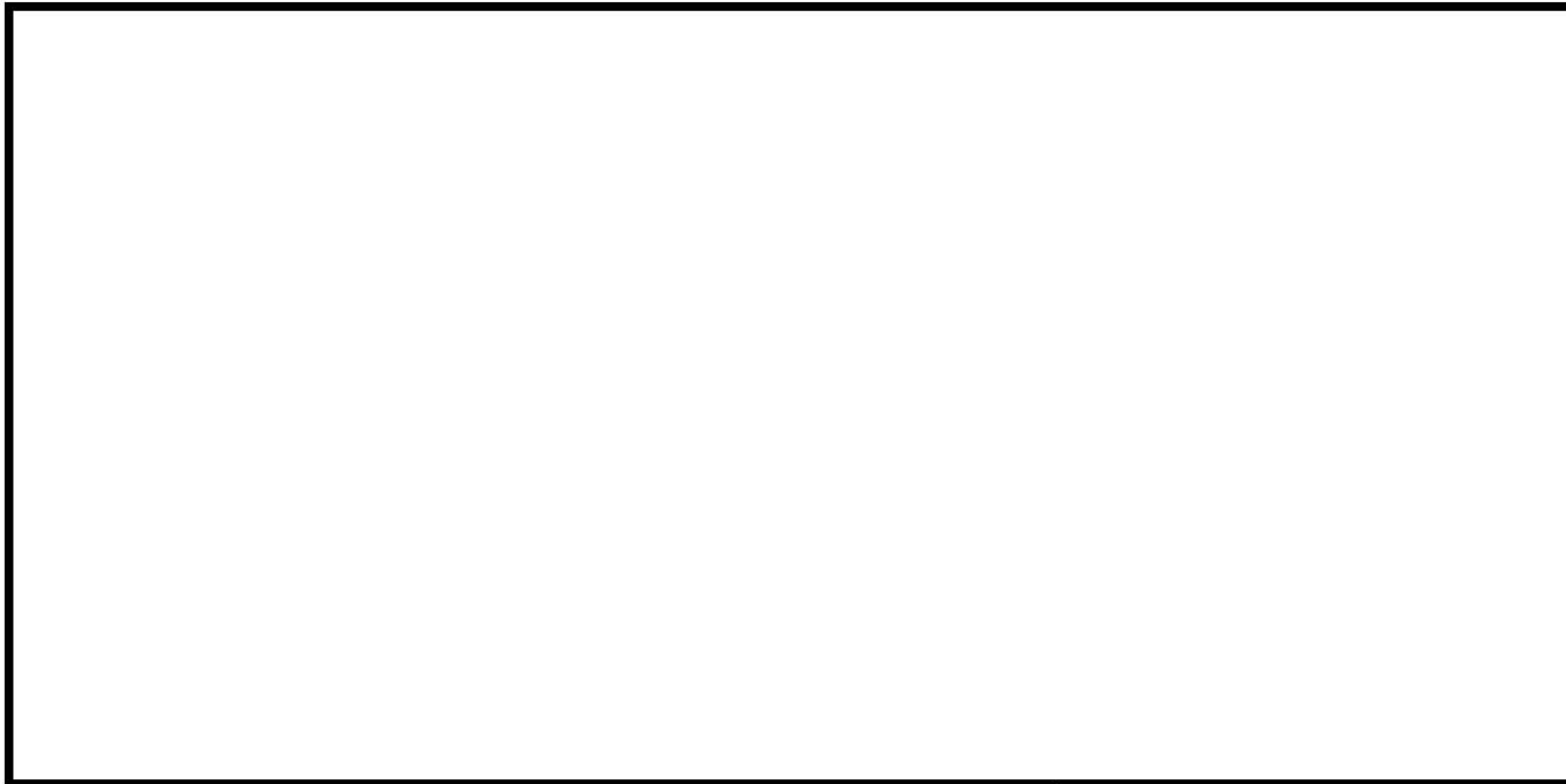


- 液状化検討対象施設等の近傍で追加調査を実施し、代表性確認結果については設工認段階で説明する。
- また、設置許可段階における粒度分布と細粒分含有率による代表性確認結果の妥当性を説明する。

4. 液状化強度試験 試料採取位置選定とその代表性

4.2 砂層 液状化強度試験箇所の選定 (1/2)

- 砂層の液状化強度試験の試料採取位置は、「ボーリングが実施可能であること」、「試料採取が可能な位置及び深度であること」及び「試料採取可能な層厚を有していること」を条件に、砂層が分布する範囲から7地点を選定する。



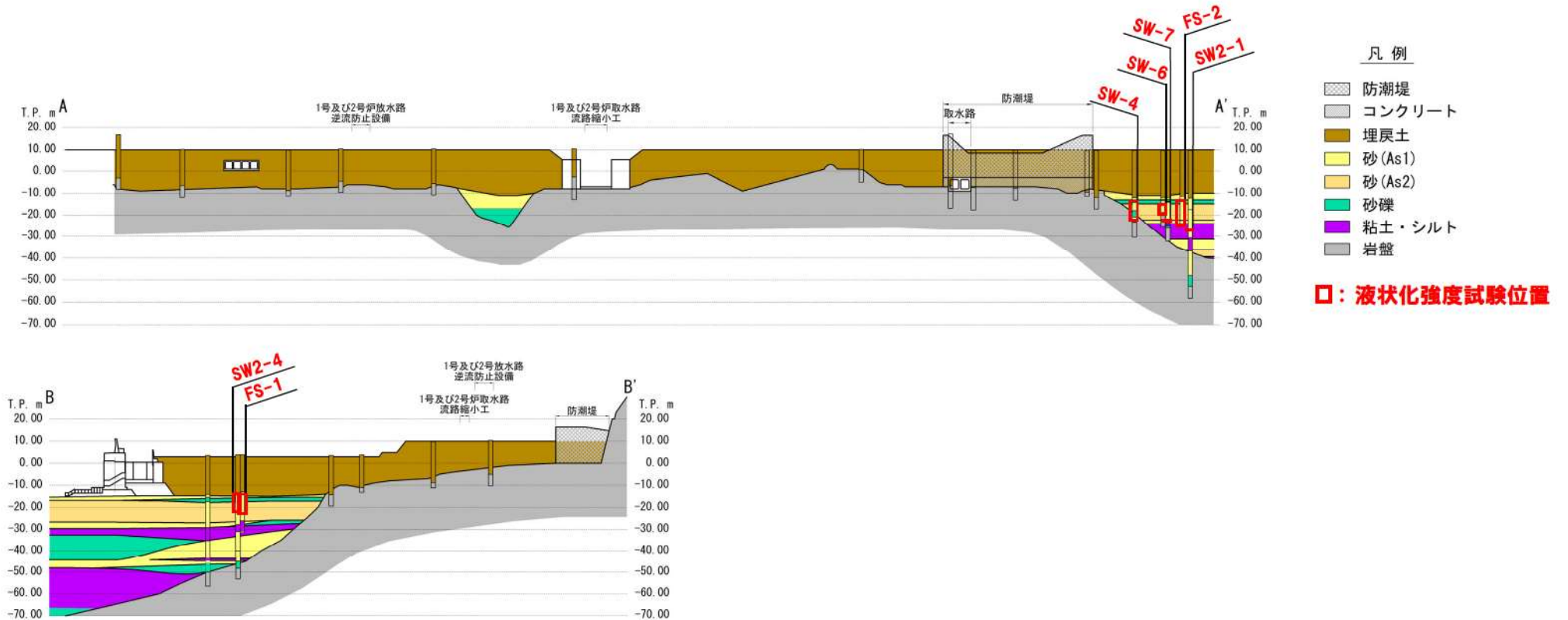
調査位置

: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

4. 液状化強度試験 試料採取位置選定とその代表性

4.2 砂層 液状化強度試験箇所を選定 (2/2)

○ 砂層の液状化強度試験位置を以下に示す (砂層の基本物性は[4条-別紙9-添付資料-3]を参照)。



液状化強度試験位置図 (砂層)

4. 液状化強度試験 試料採取位置選定とその代表性

4.2 砂層 液状化強度試験位置の代表性確認

■ 代表性確認指標の選定

- 液状化強度試験の試料採取位置と周辺調査位置の物理特性を比較して、試料採取位置の代表性を確認する。
- 代表性確認の指標として用いる物理特性は、以下の観点で選定する。
 - 粒度分布 : 基本的な土の物性値であり、各基準類における液状化判定に平均粒径、10%粒径が用いられており、液状化強度比 R_L との相関が高い。
 - 細粒分含有率 : 各基準類の液状化判定における液状化強度比 R_L の算定式において、 R_L を補正するパラメータとして用いられており、 R_L との相関が高い。
 - N値 : 各基準類の液状化判定における液状化強度比 R_L の算定式がいずれもN値をパラメータとした式であり、また、有効応力解析 (FLIP) の簡易パラメータ設定法にN値が用いられており、液状化強度比 R_L との相関が高い。



- 試料採取位置の代表性確認指標として、粒度分布、細粒分含有率、N値を選定する。

■ 代表性確認結果

- 各指標に対する代表性の確認結果は以下のとおりである (As1層及びAs2層は同じ結果である) [4条-別紙9-51]を参照。
 - 粒度分布について、液状化強度試験位置は周辺調査位置と同程度の範囲である。
 - 細粒分含有率について、液状化強度試験位置は周辺調査位置と同程度の範囲である。
 - N値について、液状化強度試験位置は周辺調査位置と同程度の範囲である。



- 試料採取位置は代表性を有していると評価する。

4. 液状化強度試験 試料採取位置選定とその代表性

4.3 追加調査位置(1/2)

- 液状化強度試験の試料採取位置の代表性について検討した結果、現状の埋戻土の調査位置では施設近傍等での試料採取の観点から十分なデータが取得できていないと判断し、データ拡充を目的とした追加調査を行うものとする。
- 追加調査位置は、施工時期の違い、液状化検討対象施設近傍での現状の試験結果の有無及び1,2号炉と3号炉の埋立整地工事及び取放水設備工事における施工範囲を考慮して設定する。

施設名称	施設近傍の液状化強度試験	追加調査の必要性検討結果	追加調査候補位置
取水口	-	対象施設建設時(3号機建設時)の施工範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	①
取水路	BF3-2	対象施設近傍で液状化強度試験を実施しているため不要。	-
取水ビットスクリーン室 3号炉取水ビットスクリーン室防水壁	BF3-1	対象施設近傍で液状化強度試験を実施しているため不要。	-
取水ビットポンプ室	-	対象施設建設時(3号機建設時)の施工範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	②
原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレナ室	-	対象施設建設時(3号機建設時)の施工範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	②
原子炉補機冷却海水管ダクト	-	対象施設建設時(3号機建設時)の施工範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	③, ④, ⑤
B1,B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ	-	対象施設建設時(3号機建設時)の施工範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	⑤
1,2号埋戻土近傍の防潮堤	SW2-3, RE-4	対象施設近傍で液状化強度試験を実施しているが、1,2号埋戻土の施工時期が異なる範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	⑥, ⑦
3号埋戻土近傍の防潮堤	BF3-2, RE-8, RE-8", SH-2, RE-7, BF3-1	対象施設近傍で液状化強度試験を実施しているが、3号埋戻土の施工時期が異なる範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	⑧
3号炉放水ビット流路縮小工	-	対象施設建設時(3号機建設時)の施工範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	⑨
屋外排水路逆流防止設備	RE-4, RE-7	1号炉系統及び3号炉系統の近傍で液状化強度試験を実施しているが、2号炉系統近傍に対し、1,2号埋戻土の施工時期が既に試験を実施している箇所と異なる範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	⑦
1号及び2号炉取水路流路縮小工	-	対象施設建設時(1,2号機建設時)の施工範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	⑥
1号及び2号炉放水路逆流防止設備	SW2-3	対象施設近傍で液状化強度試験を実施しているため不要。	-
貯留堰	-	対象施設建設時(3号機建設時)の施工範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	①
アクセスルートのうち盛土構造による道路部	-	対象施設直下において、データ拡充を目的とした追加が必要。	⑩

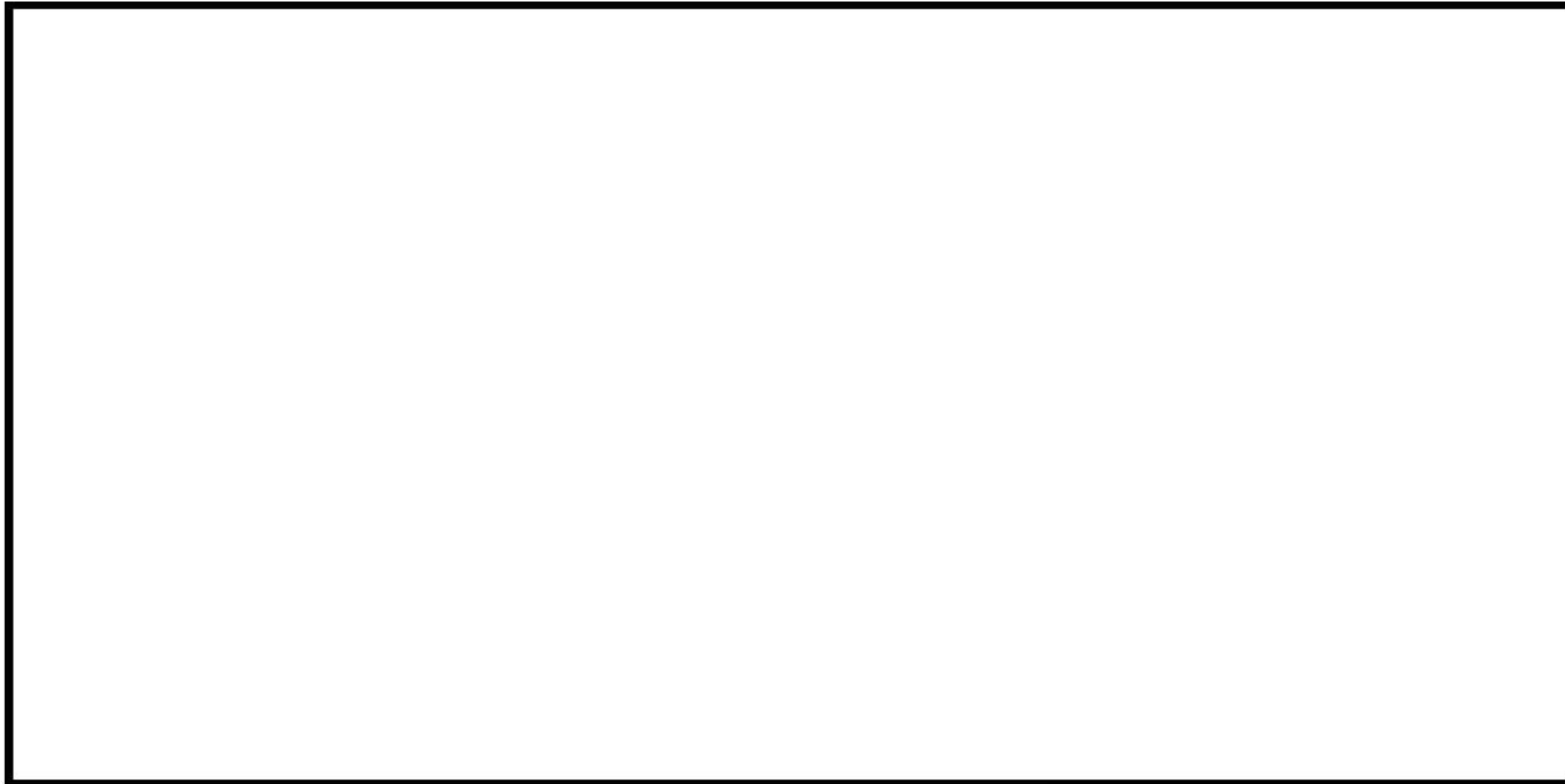
■ : 追加の液状化強度試験を必要と判断した施設

※詳細な施工範囲の区分については[4条-別紙9-添付資料-5]を参照。

4. 液状化強度試験 試料採取位置選定とその代表性

4.3 追加調査位置(2/2)

- 追加の液状化強度試験の試料採取位置は、下図に示す①～⑩の10地点を選定する。
- 試料採取位置は、液状化検討対象施設の近傍、かつ、採取可能な箇所を選定することを基本とする。
- 埋戻土の代表性確認指標の設定及び代表性確認のため、相対密度を確認するための調査を実施する。

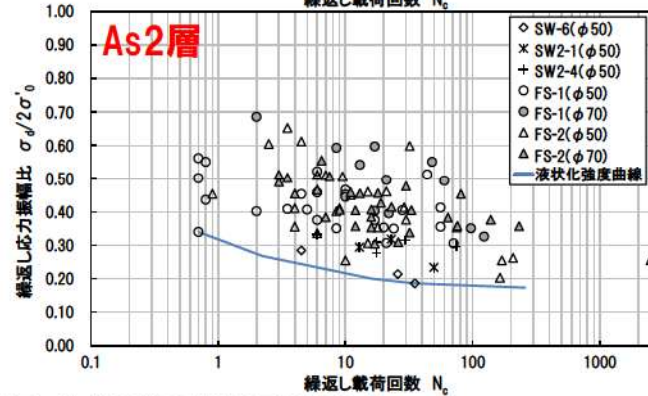
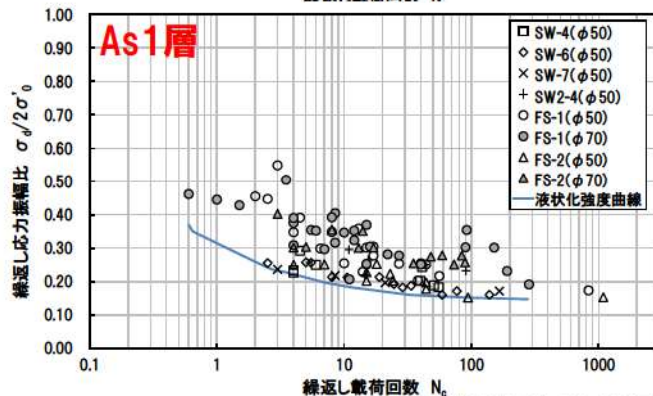
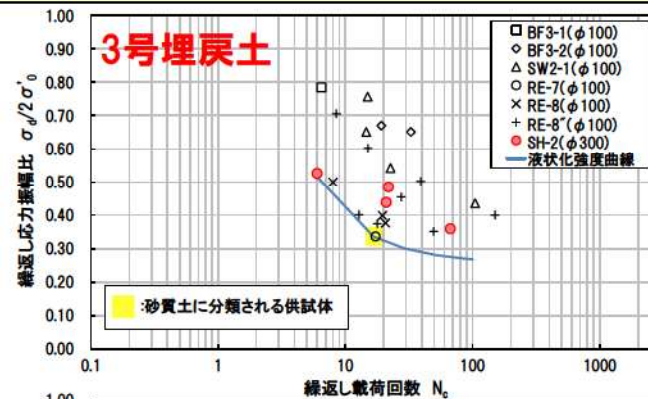
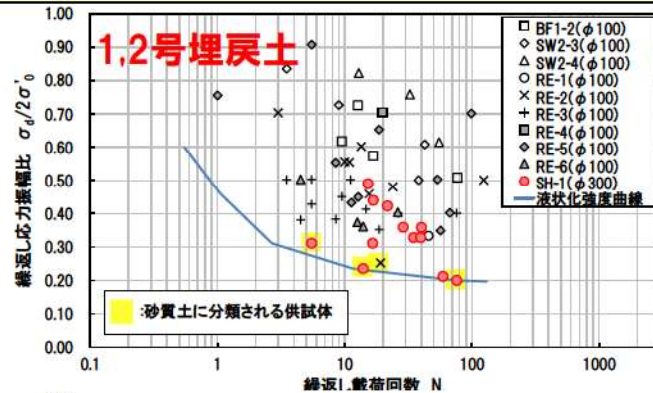


追加調査位置

: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定

- 1,2号埋戻土, 3号埋戻土, As1層及びAs2層の液状化強度試験結果を以下に示す。
- 埋戻土の液状化強度は, 礫の入り方のばらつきによる影響により供試体径 $\phi 100\text{mm}$ より $\phi 300\text{mm}$ の試験結果の方がばらつきが小さい。
- 砂質土に分類される埋戻土の液状化強度特性は低く, 礫質土に分類される埋戻土の液状化強度は砂質土より高い値を示す傾向がある。
- 砂層は対象施設に近い陸側で試料採取しているものの採取可能範囲が限定的である。
- 設置許可段階における液状化強度特性は, 各土層(1,2号埋戻土, 3号埋戻土並びにAs1層及びAs2層)の下限値で設定し, 施設の耐震評価に用いることを基本とする。



液状化強度試験結果に基づく埋戻土及び砂層の液状化強度曲線(下限値設定)

※ 設工認段階において設定する液状化強度特性については, 今後の追加調査結果を踏まえて改めて説明する。

6. 液状化影響の検討方針

○ 施設の耐震評価に用いる地盤の液状化影響の検討方針は、以下のとおりである。

	設置許可段階	設工認段階
代表性確認	○埋戻土の液状化強度試験の試料採取位置の代表性確認指標は粒度分布と細粒分含有率を用いる。	○埋戻土の液状化強度試験の試料採取位置の代表性確認指標は粒度分布、細粒分含有率及び相対密度を用いる。
	○液状化検討対象施設近傍における液状化強度試験等の追加調査を計画する。	○追加調査結果を踏まえ、相対密度等の性状が同様のエリアに含まれる、複数の試験結果を用いて代表性を説明する。
液状化強度特性の設定	○液状化強度特性は、各土層（1,2号埋戻土、3号埋戻土並びにAs1層及びAs2層）の下限値で設定する。	○液状化強度特性は、代表性を確認したエリアごとに設定することを基本とする※1。
解析手法及び解析ケースの選定※2	○耐震評価に用いる解析手法選定の考え方を示す。	○「液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定フロー」にしたがって、耐震評価に用いる解析手法を選定し、各解析手法に適用する解析ケースを選定する※3。

※1 設定した液状化強度特性が設置許可段階における下限値と同程度の場合や、敷地を明確なエリアに分割できない場合は、敷地全体の液状化強度試験から得られる液状化強度特性を保守的（下限値）に設定する。

※2 耐震評価は、解析コード「FLIP」を用いるものとし、解析に用いる液状化パラメータは保守的に設定した液状化強度を満足するように設定する。

※3 設工認段階における設計地下水位は、防潮堤設置後における地下水排水設備が機能しない状態が継続した場合の定常的な地下水位分布を予測した三次元浸透流解析の予測解析結果に基づく地下水位を使用する。

参考文献

- (1) 日本道路協会(2002, V耐震設計編): 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 平成14年3月.
- (2) 日本建築学会(2019): 建築基礎構造設計指針, pp.54-55.
- (3) 鉄道総合技術研究所(2012): 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計 平成24年9月, 国土交通省鉄道局監修.
- (4) 日本道路協会(2012, IV下部構造編): 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 平成24年3月.
- (5) 地盤工学会(1998): 地盤調査・土質試験結果の解釈と適用例, p.328.
- (6) 日本道路協会(2012, V耐震設計編): 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 平成24年3月.
- (7) 日本港湾協会(2007): 港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月