

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6年2月15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
基準地震動に対する液状化強度試験の妥当性確認	4
審査会合における指摘事項に対する回答	6
（参考）施設の耐震評価に用いる地盤の液状化の評価方針	12
1. 液状化評価の基本方針	13
2. 液状化検討対象層の抽出	14
3. 液状化検討対象施設の抽出	17
4. 液状化強度試験の試料採取位置選定とその代表性	21
5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定	29
6. 液状化影響の検討方針	35
参考文献	

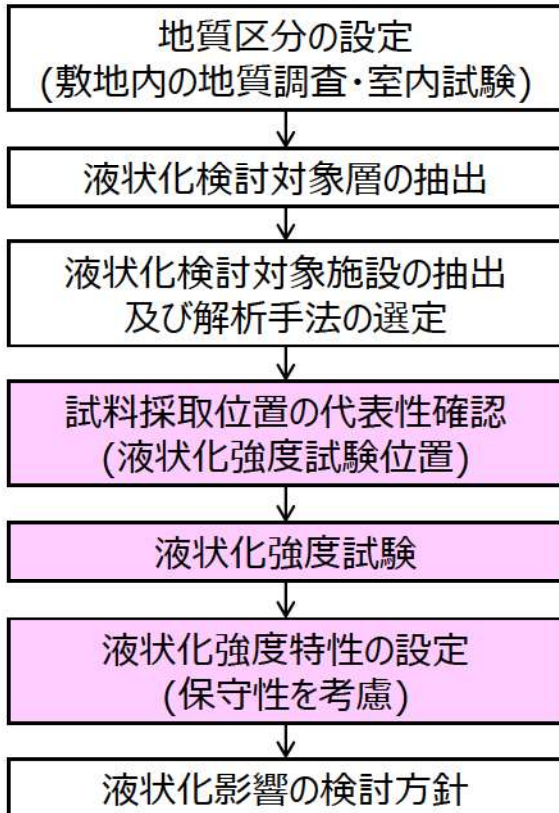
経緯と説明概要

- 第1164回審査会合(令和5年7月4日)において、地盤の液状化の評価方針として、液状化強度特性の設定方針、試料採取位置の代表性、施設の耐震評価の解析手法等について説明した(評価方針の詳細は本資料p33を参照)。
- 本資料では、基準地震動に対する液状化強度試験の妥当性確認について説明する。
- また、審査会合における指摘事項(230704-01, 230704-02)に対する回答について説明する。

本日の説明事項

- 本資料では、以下に示す検討フローのうち液状化強度試験に関わる「基準地震動に対する液状化強度試験の妥当性確認」(説明項目①)について説明する。
- また、審査会合における指摘事項である「取水口近傍での追加調査の必要性の検討」(説明項目②)及び「埋戻土のエリア分けの検討方針」(説明項目③)について説明する。

【液状化影響の検討フロー】



【説明項目①】 基準地震動に対する液状化強度試験の妥当性確認

本資料p5で詳述

- 液状化強度試験による繰返し回数は、基準地震動による等価繰返し回数と同程度であり、概ね基準地震動相当の試験が実施できていることを確認した。

【説明項目②】 取水口近傍での追加調査の必要性の検討

指摘事項230704-01の回答で詳述

- RE-7と取水口の間にも砂質土が分布している可能性があるため、取水口に対する液状化強度試験位置として、追加調査候補位置①に加えてRE-7と取水口の間で追加調査位置①※を設定した。

※ 追加調査候補位置については、本資料p7を参照。

【説明項目③】 埋戻土のエリア分けの検討方針

指摘事項230704-02の回答で詳述

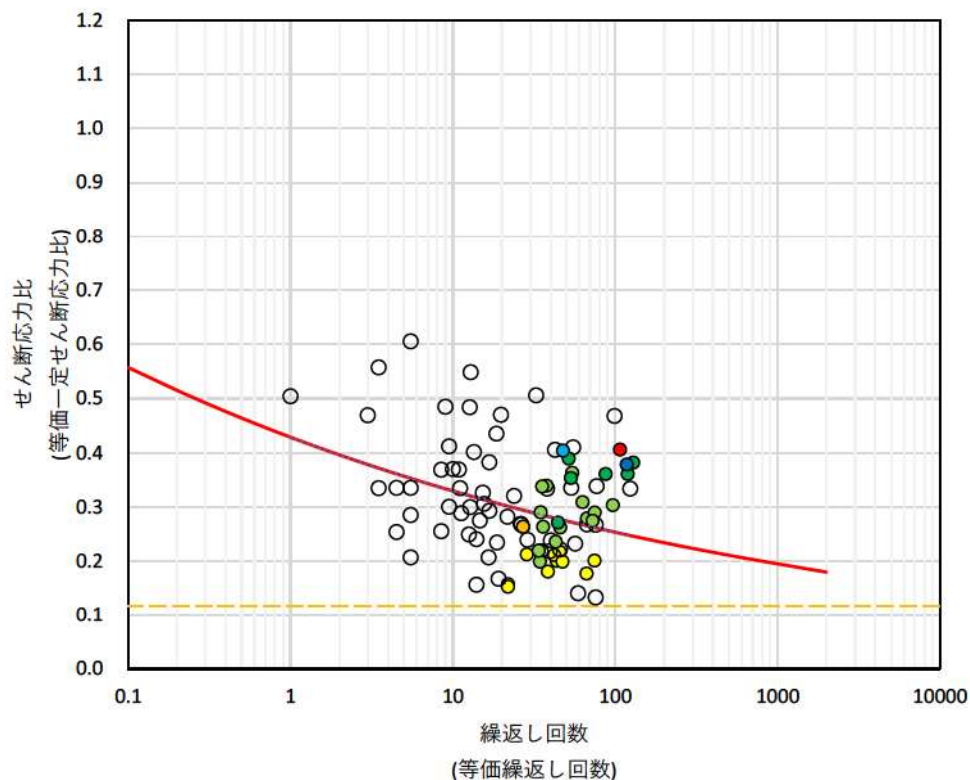
- 液状化強度特性について、1,2号埋戻土と3号埋戻土に分け、設工認段階においては、それぞれの埋戻土を取放水設備工事によって埋戻仕様が規定されたエリアとそれ以外のエリアに細分化することが可能か検討する。
- 液状化強度と相対密度に相関があることを確認した上で、取放水設備工事によって埋戻仕様が規定されたエリアとそれ以外のエリアの液状化強度に差が確認できる場合、液状化強度特性をエリアごとに設定する。

基準地震動に対する液状化強度試験の妥当性確認

説明項目①

基準地震動に対する液状化強度試験の妥当性確認

- 液状化強度試験による繰返し回数と基準地震動による等価繰返し回数を比較し、液状化強度試験の妥当性を確認する(詳細は[4条-別紙9-88]を参照)。
- 液状化強度試験による繰返し回数は、基準地震動による等価繰返し回数と同程度であり、概ね基準地震動相当の試験が実施できていることを確認した。
- また、最大加速度が比較的小さい一部の基準地震動によるせん断応力は小さく、等価繰返し回数は評価対象外となるものの、液状化強度試験はこの基準地震動による等価一定せん断応力比(図中の破線※1)を上回るレベルで実施できていることを確認した。



- 液状化強度試験結果
- 近似曲線(液状化強度試験)※2
- 現行Ss (Ss1)
- 尻別川断層による地震 (Ss2-1)
- Fs-10断層～岩内堆東撓曲～岩内南方背斜による地震 (Ss2-2～Ss2-6)
- 積丹半島北西沖の断層による地震 (Ss2-7～Ss2-13)
- 2008年岩手・宮城内陸地震 (Ss3-1～Ss3-3)
- 2004年北海道 留萌支庁南部の地震 (Ss3-4)
- 標準応答スペクトルを考慮した地震 (Ss3-5)

※1 T_{max} が R_{200} に対応するせん断応力以下の解析結果であり、等価繰返し回数を算出できないため、参考として等価一定せん断応力比を破線で示している。

※2 近似曲線(液状化強度試験)は、等方応力状態の液状化強度試験と異方応力状態の地震応答解析結果を比較するため、静止土圧係数($K_0=0.5$)を用い、下式により液状化強度試験から得られる近似曲線を補正したものである。

$$\tau = R \times (1 + 2K_0) / 3 \times \sigma_v'$$

(R: 液状化強度比, σ_v' : 有効土被り圧)

液状化強度試験の妥当性確認結果(1,2号埋戻土(平均層厚)の例※)

※その他のケースの評価結果は、本資料p31を参照。

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② 取水口近傍での追加調査の必要性の検討

審査会合における指摘事項に対する回答【指摘事項 230704-01】

ともに輝く明日のために。
Light up your future.

7



【指摘事項 230704-01】

取水口に対する追加の液状化強度試験位置について、近傍に液状化強度の低い「RE-7」が位置することを踏まえ、「追加調査候補位置①」に加えて追加の調査が必要か検討し、当該追加調査の要否を説明すること。また、追加調査が不要と判断する場合は、その根拠を説明すること。

【回答】

- 液状化強度の低いRE-7の液状化強度試験供試体は砂質土であることを確認した。
- RE-7と取水口の間にも砂質土が分布している可能性があるため、取水口に対する液状化強度試験位置として、追加調査候補位置①に加えてRE-7と取水口の間で追加調査位置⑩を設定した。
- また、BF3-2は路盤材として使用した礫混じりシルトを採取した可能性があることを踏まえ、その代替として追加調査位置⑫を設定した。

: 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 埋戻土のエリア分けの検討方針

審査会合における指摘事項に対する回答【指摘事項 230704-02】(1/2)

【指摘事項 230704-02】

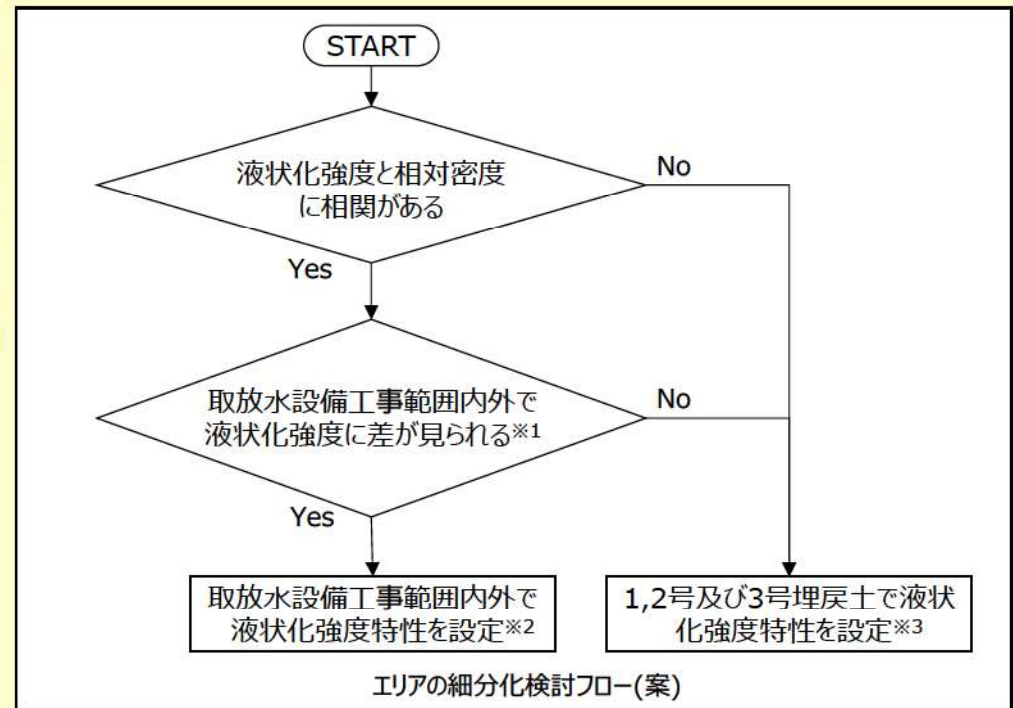
設工認段階における液状化強度特性について、「耐震評価を行う施設周辺の埋戻土のエリア分けが可能である場合は、そのエリアごとの液状化強度試験結果の下限値に設定することを検討する」と説明していることに関し、エリア分けに用いる指標を示した上で、どのような考え方にに基づきエリア分けを行う方針であるか説明すること。

【回答】

- 発電所敷地の液状化強度特性については、敷地造成時期と埋戻材料が1,2号建設時と3号建設時で異なることから1,2号埋戻土と3号埋戻土に分ける。
- 設工認段階における液状化強度特性を設定するエリアは、1,2号埋戻土及び3号埋戻土それぞれの中で、取放水設備工事によって埋戻仕様が規定されたエリアとそれ以外のエリアに細分化することが可能か検討する(取放水設備工事範囲は本資料p9を参照)。
- 相対密度を指標に用いて液状化強度との相関があることを確認した上で、取放水設備工事によって埋戻仕様が規定されたエリアとそれ以外のエリアの液状化強度に差が確認できる場合、エリアを細分化して液状化強度特性を設定する。

埋戻土の液状化強度特性設定のエリア区分

		1,2号埋戻土	
		エリアを細分化する	エリアを細分化しない
3号埋戻土	細分化する エリアを	1,2号埋戻土及び3号埋戻土それぞれで取放水設備工事範囲の内外に区分(敷地全体を4エリアに区分)。	3号埋戻土のみ取放水設備工事範囲の内外に区分(敷地全体を3エリアに区分)。
	細分化しない エリアを	1,2号埋戻土のみ取放水設備工事範囲の内外に区分(敷地全体を3エリアに区分)。	1,2号埋戻土及び3号埋戻土の区分のみ(敷地全体を2エリアに区分)。



※1 液状化強度に明確な差が確認できない場合はエリアの細分化は行わない(フローの「No」に進む)。
 ※2 液状化強度特性は、エリア毎の液状化強度試験結果の下限値に設定する。
 ※3 追加の液状化強度試験結果が設置許可段階の下限値を下回らなければ、設置許可段階の液状化強度特性を用いる。

説明項目③ 埋戻土のエリア分けの検討方針

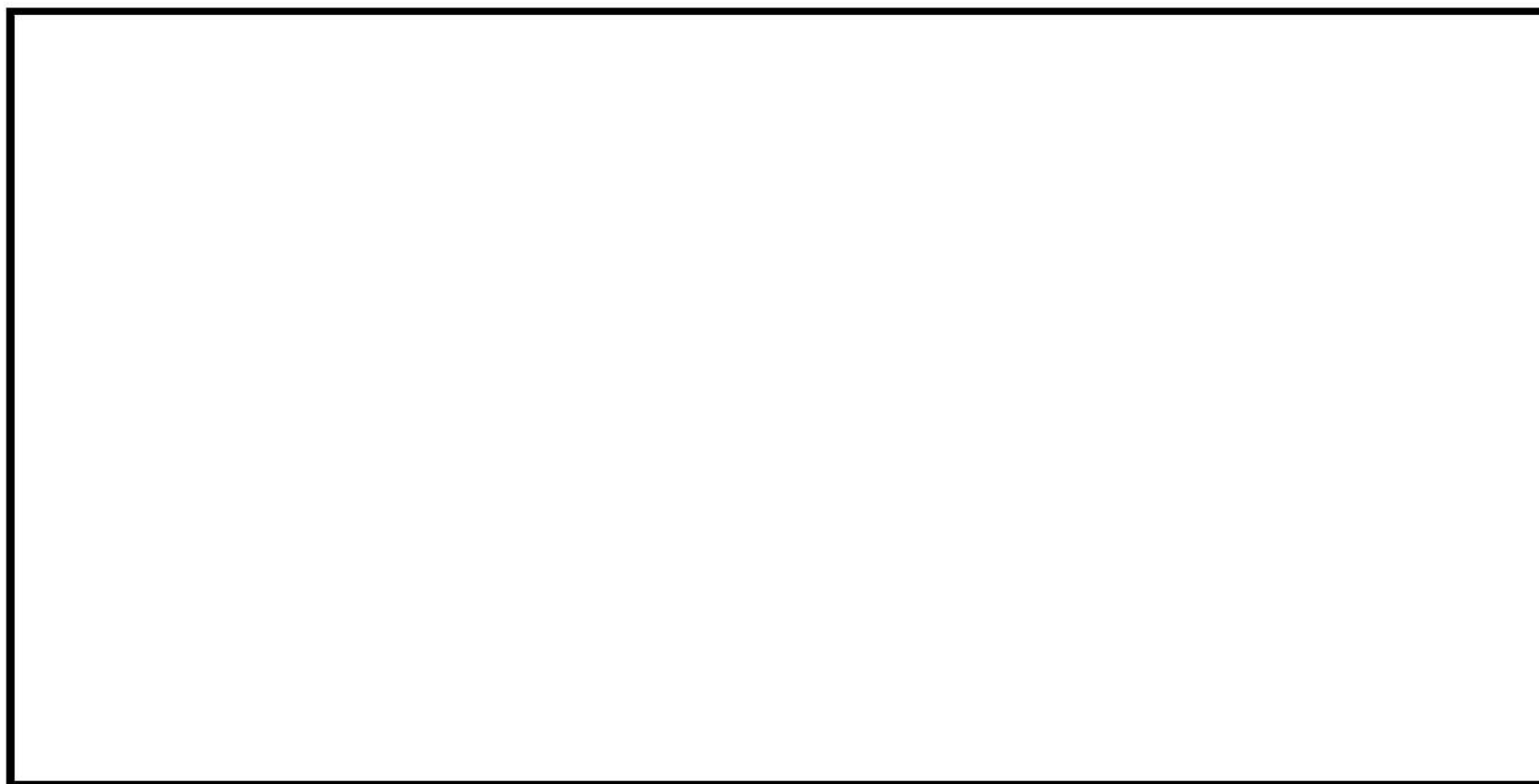
審査会合における指摘事項に対する回答【指摘事項 230704-02】(2/2)

ともに輝く明日のために。
Light up your future.

9



○ 設工認段階における液状化強度特性は、1,2号埋戻土及び3号埋戻土それぞれの中で、下図に示す取放水設備工事によって埋戻仕様が規定されたエリアとそれ以外のエリアに細分化することが可能かを検討する。



調査位置平面図

: 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。

- エリアを細分化することが可能か検討するため、液状化強度と相対密度に相関があることを確認する※1。
- 既往の液状化強度試験位置における液状化強度 R_{L20} と相対密度の相関分析の結果、液状化強度と相対密度には相関がある見通しを得た※2。

※1 本検討は、p8に示す「エリアの細分化検討フロー(案)」の1つ目の判定項目である液状化強度と相対密度の相関確認結果を示すものである(2つ目の判定項目である取放水設備工事範囲内外における液状化強度の差の確認結果については設工認段階で説明する)。

※2 設工認段階では追加の液状化強度試験を加えた相関分析結果を説明する。

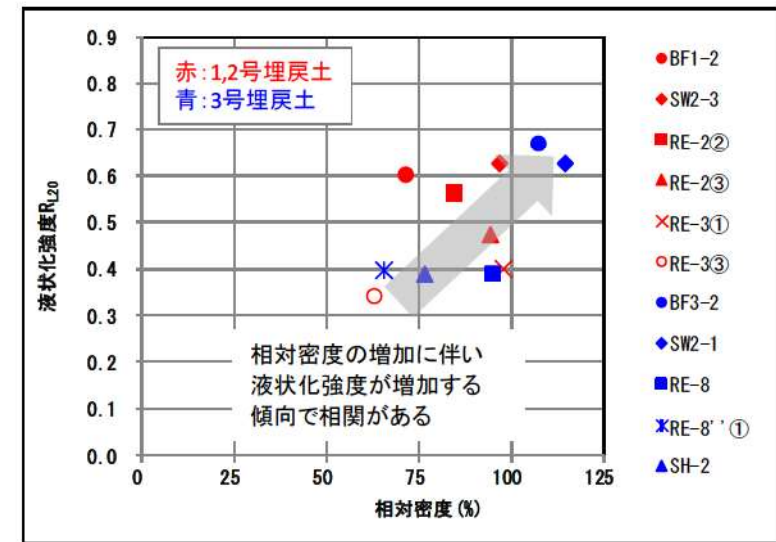
【埋戻土の液状化強度と相対密度の相関分析結果】

- 埋戻土の液状化強度と相対密度※1の相関分析結果は右図に示すとおりであり、相対密度の増加に伴い液状化強度 R_{L20} が増加する傾向を示し、液状化強度と相対密度には相関があることを確認した。
- 相関分析に当たっては、液状化強度 R_{L20} と相対密度が物性が同等の供試体により実施された試験結果を用いる必要があることから、液状化強度試験と最小・最大密度試験の供試体の粒度特性※2が同等の試験値を対象データとして分析を行った※3。

※1 相対密度は液状化強度試験に用いた各供試体の相対密度の平均値で示す。

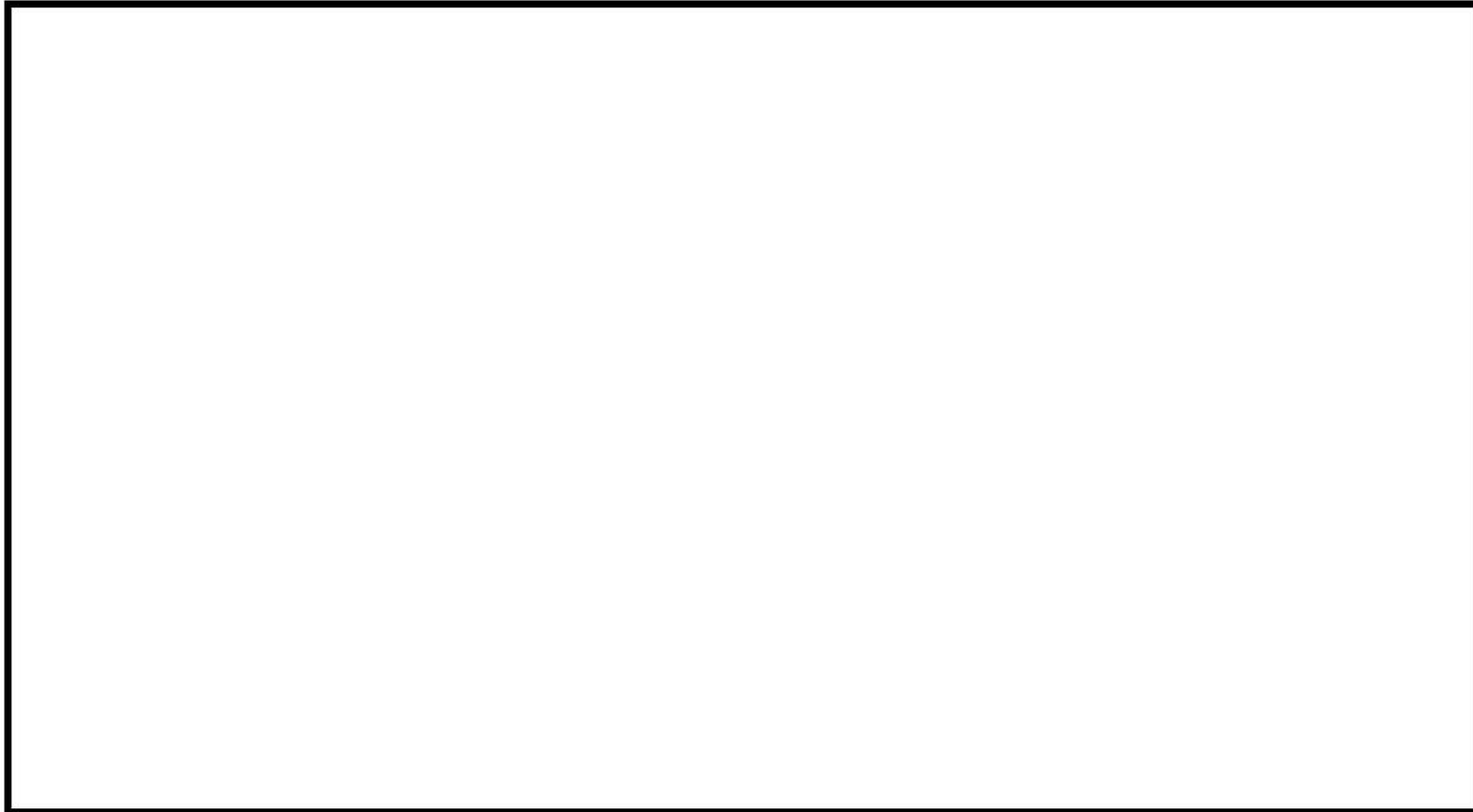
※2 液状化強度試験及び最小・最大密度試験の供試体で実施している粒度試験結果より、土質分類及び細粒分含有率を用いて相関分析の対象データを抽出した。

※3 相関分析の対象データの抽出手順等の詳細は「4条-別紙9-添付資料-9」を参照。相関分析の対象外とするデータは以下のとおりである。



液状化強度 R_{L20} と相対密度の相関分析結果

○ 相関分析の対象データの液状化強度試験及び最小・最大密度試験の試料採取位置を下図に示す。



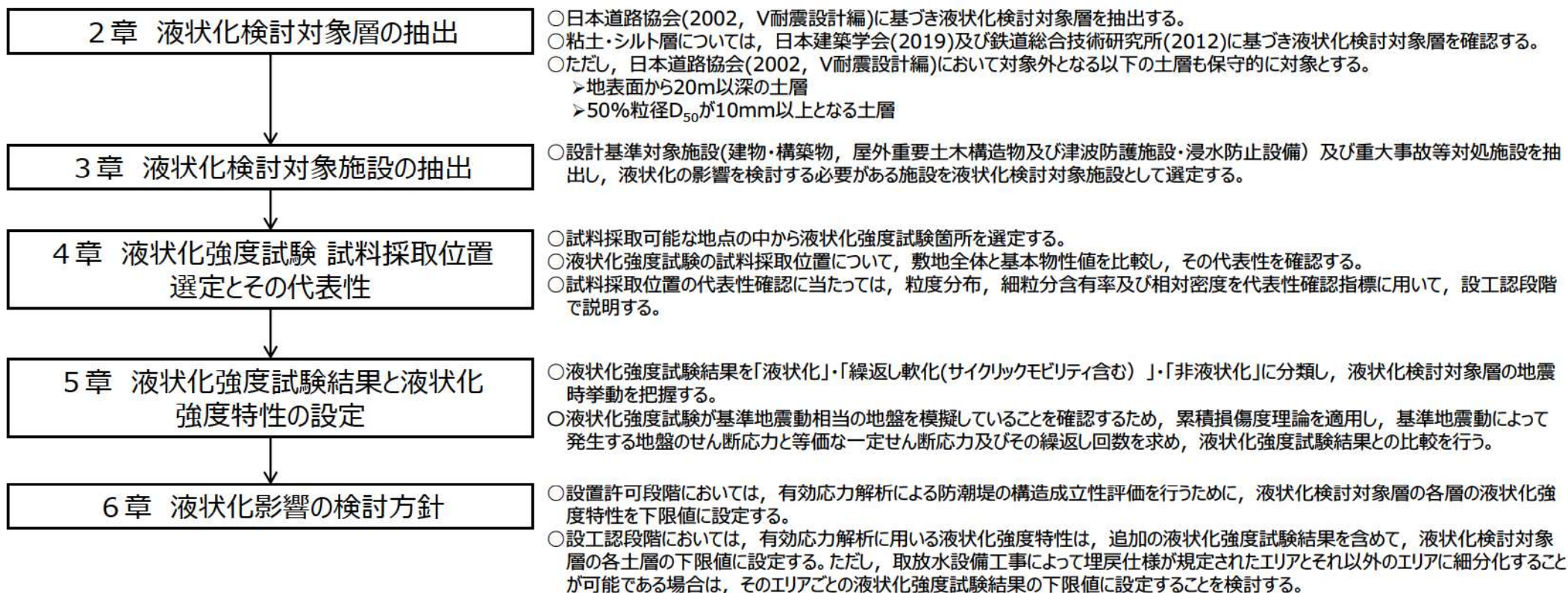
□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

液状化強度試験及び最小・最大密度試験の試料採取位置（本補足説明資料における既往の液状化強度試験位置のみ表示）

(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

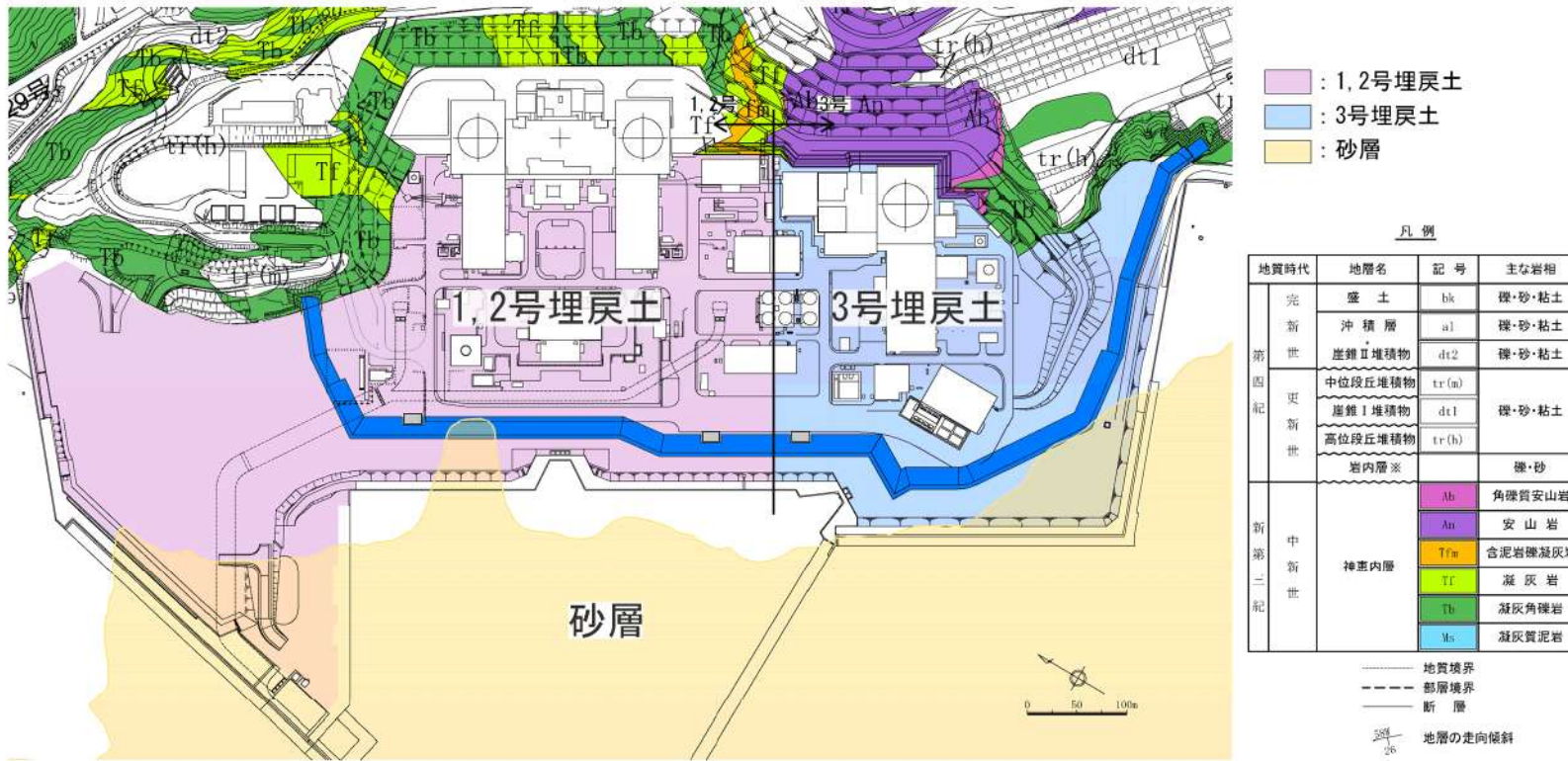
※2：常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設(特定重大事故等対処施設を除く)

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)。



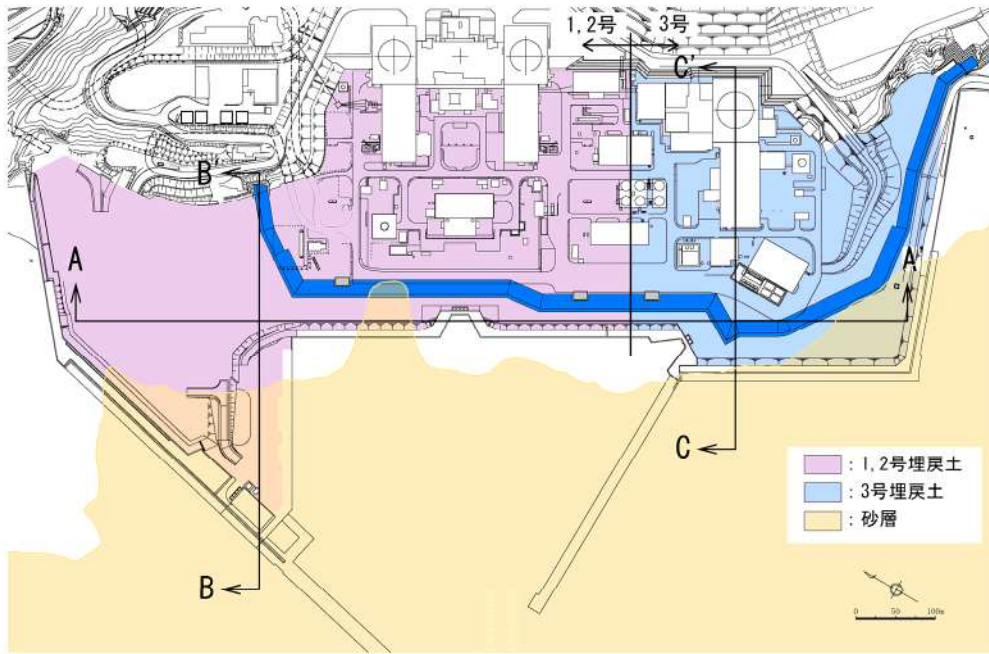
※ 敷地に認められる層厚が厚い海成堆積物等については、岩内平野との対比から第四系下部～中部更新統岩内層に区分していたが、敷地が位置する積丹半島と岩内平野は地形発達史が異なること等を踏まえ、地層区分の見直しを実施し、第四紀中期更新世以前の海成堆積物に区分している。

地質平面図

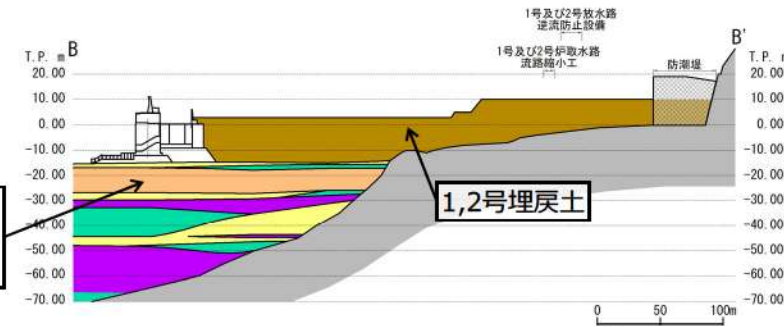
2. 液状化検討対象層の抽出

2.1 埋戻土・砂層の分布(2/2)

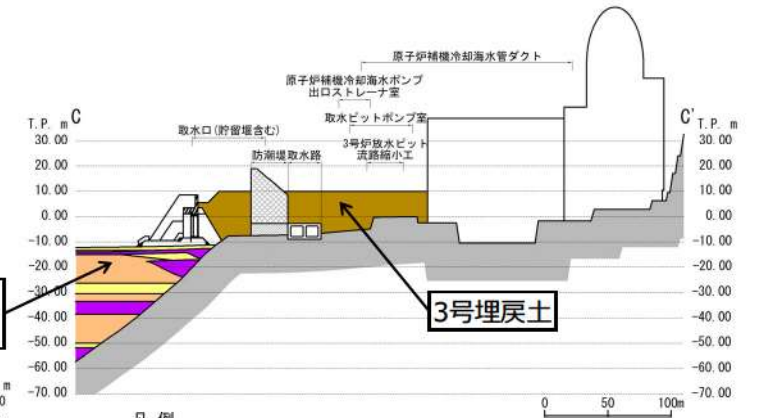
○ 埋戻土及び砂層の分布について地質断面図を示す。



防潮堤外側の埋戻土の下層に砂層が分布 (最大層厚23m程度)



防潮堤外側に砂層が分布 (最大層厚33m程度)

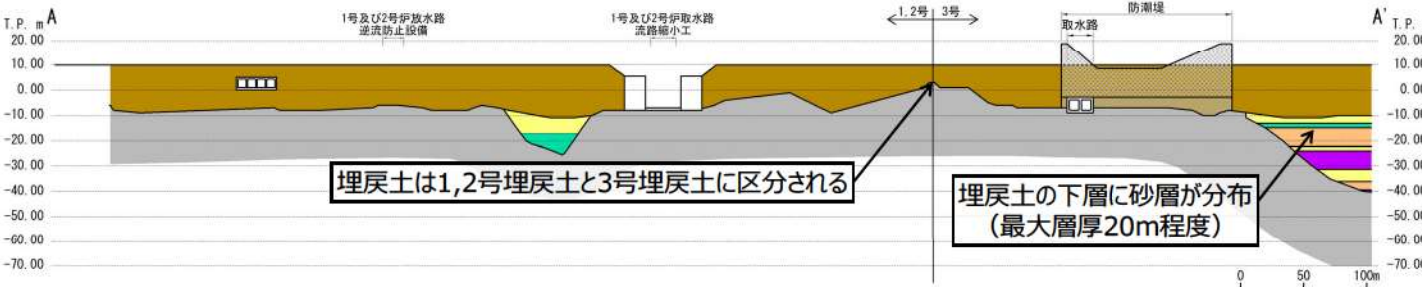


凡例

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

埋戻土は1,2号埋戻土と3号埋戻土に区分される

埋戻土の下層に砂層が分布 (最大層厚20m程度)



2. 液状化検討対象層の抽出

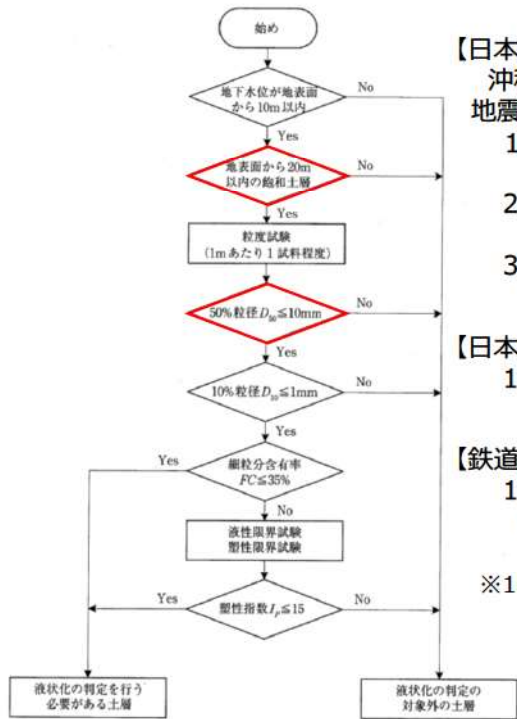
2. 2 液状化検討対象層の選定

- 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 $P_c > 10\%$ 以下及び粘土分含有率 $P_c > 15\%$ 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



【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%を越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)。

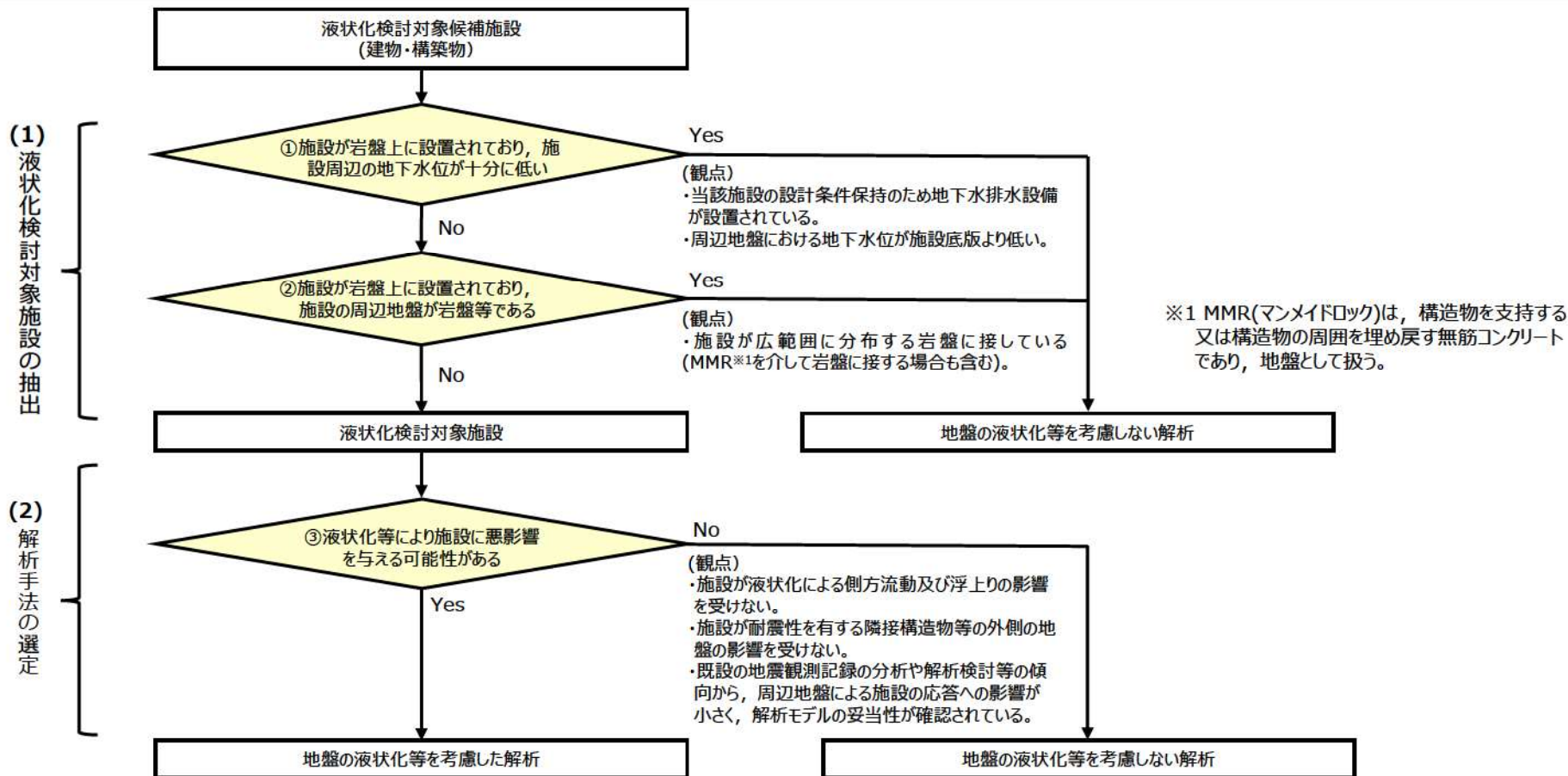
液状化検討対象層の抽出フロー

(日本道路協会(2012, V耐震設計編)に一部加筆)

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抽出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)に応じて抽出する。
○ 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。

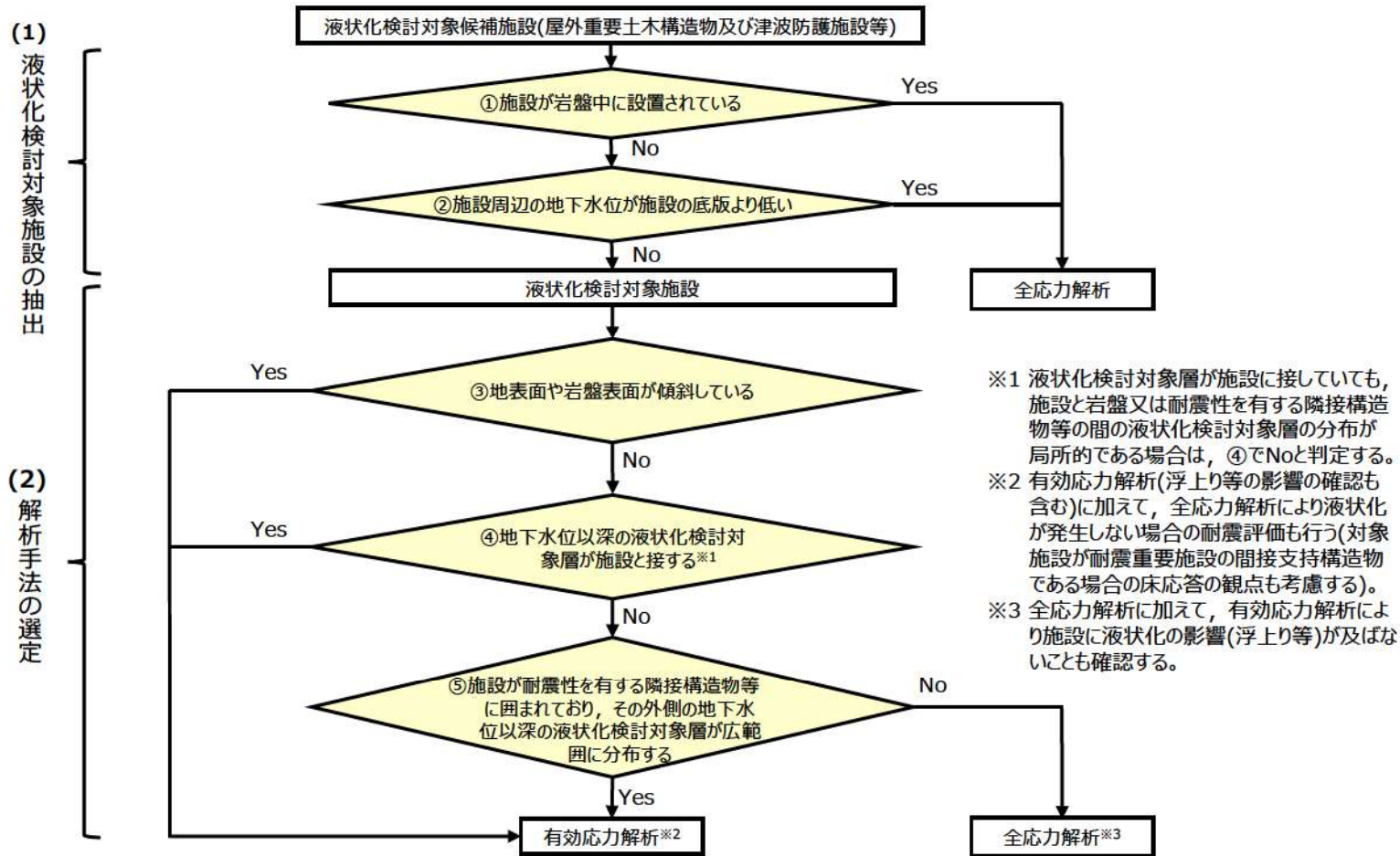


液状化検討対象施設の抽出及び解析手法選定フロー(建物・構築物)

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抽出及び解析手法選定の観点(2/2)

○ 液状化検討対象施設の抽出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)を以下に示す。



液状化検討対象施設の抽出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の抽出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解析手法選定結果(例)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し、地盤の液状化等を考慮しない解析を選定する。

液状化検討対象施設の解析手法選定結果(例)(建物・構築物)

施設分類	施設名称	液状化検討対象施設の抽出			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	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	原子炉建屋	Yes	—	—	×	地盤の液状化等を考慮しない解析
	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	施設がMMRを介して、広範囲に分布する岩盤に接している	×	
重大事故等対処施設	緊急時対策所	Yes	—	—	×	
	空調上屋	Yes	—	—	×	
	燃料タンク(SA)室	Yes	—	—	×	

3. 液状化検討対象施設の抽出

3. 2 液状化検討対象施設の抽出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解析手法選定結果(例)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・浸水防止設備が対象となり、解析手法については、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抽出				解析手法の選定				
		①施設が岩盤中に設置されている	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*4	⑤施設が耐震性を有する隣接構造物等に囲まれており、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*2	○	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*3	○	No	Yes	—	有効応力解析
		取水ピットスクリーン室	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
		取水ピットポンプ室	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
		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	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油槽トレンチ	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*3	○	Yes	—	—	有効応力解析
		3号炉取水ピ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号炉放水ピット流路縮小工	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
		3号炉原子炉補機冷却海水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	○	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*3	○	Yes	—	—	有効応力解析
		1号及び2号炉取水路流路縮小工	No	No	地表面に設計地下水位を設定する*3	○	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*3	○	No	No	Yes	有効応力解析		

*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 取水口の設計地下水位は、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。

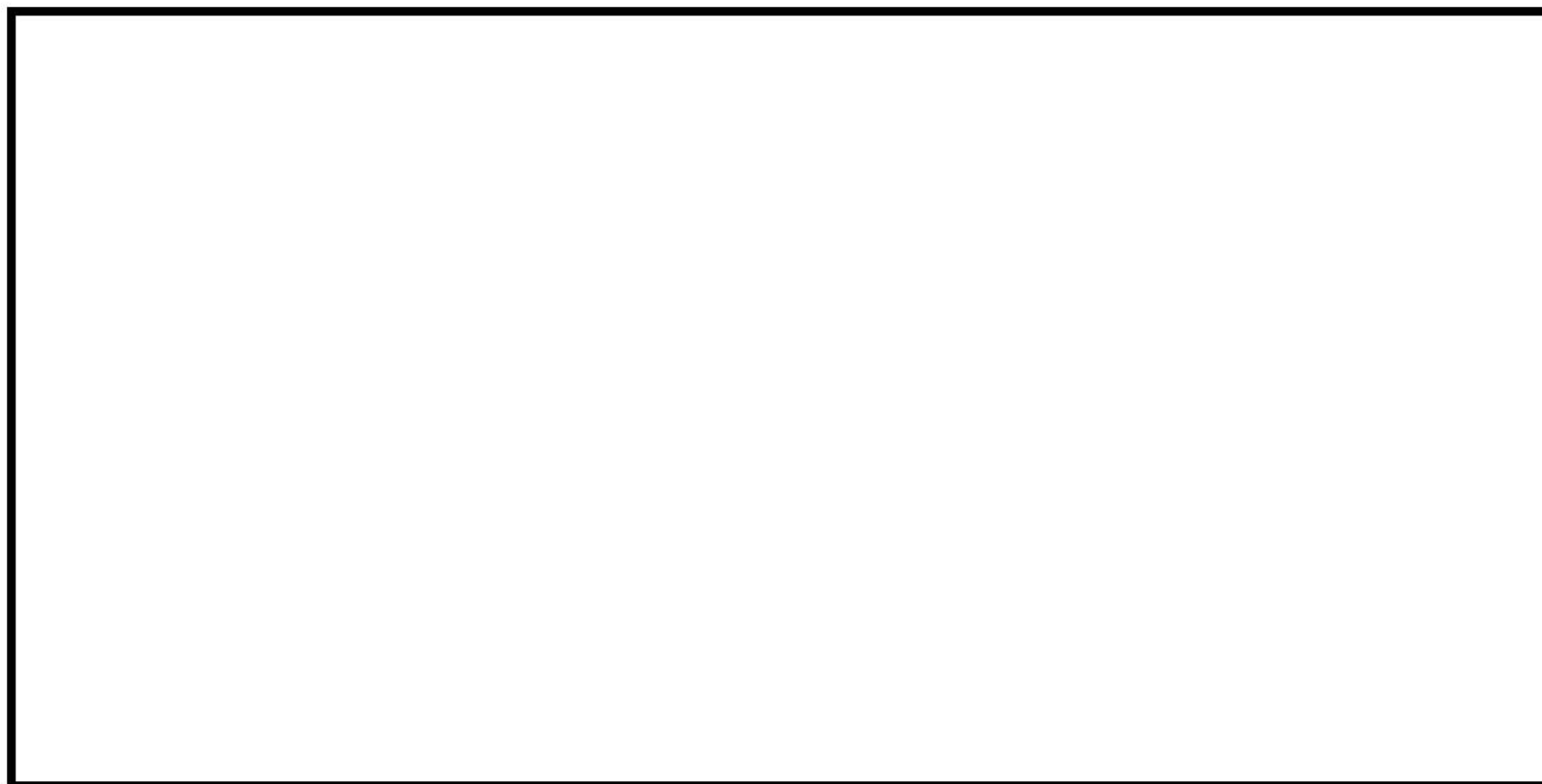
*3 防潮堤より海側の設計地下水位は、朔望平均満潮位T.P.0.26mに設定する(防潮堤より山側は地表面に設計地下水位を設定する)。

*4 液状化検討対象層が施設に接していても、施設と岩盤又は耐震性を有する隣接構造物等の間の液状化検討対象層の分布が局所的である場合は、④でNoと判定する。

4. 液状化強度試験 試料採取位置選定とその代表性

4. 1 埋戻土 液状化強度試験箇所を選定(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地点を選定した。



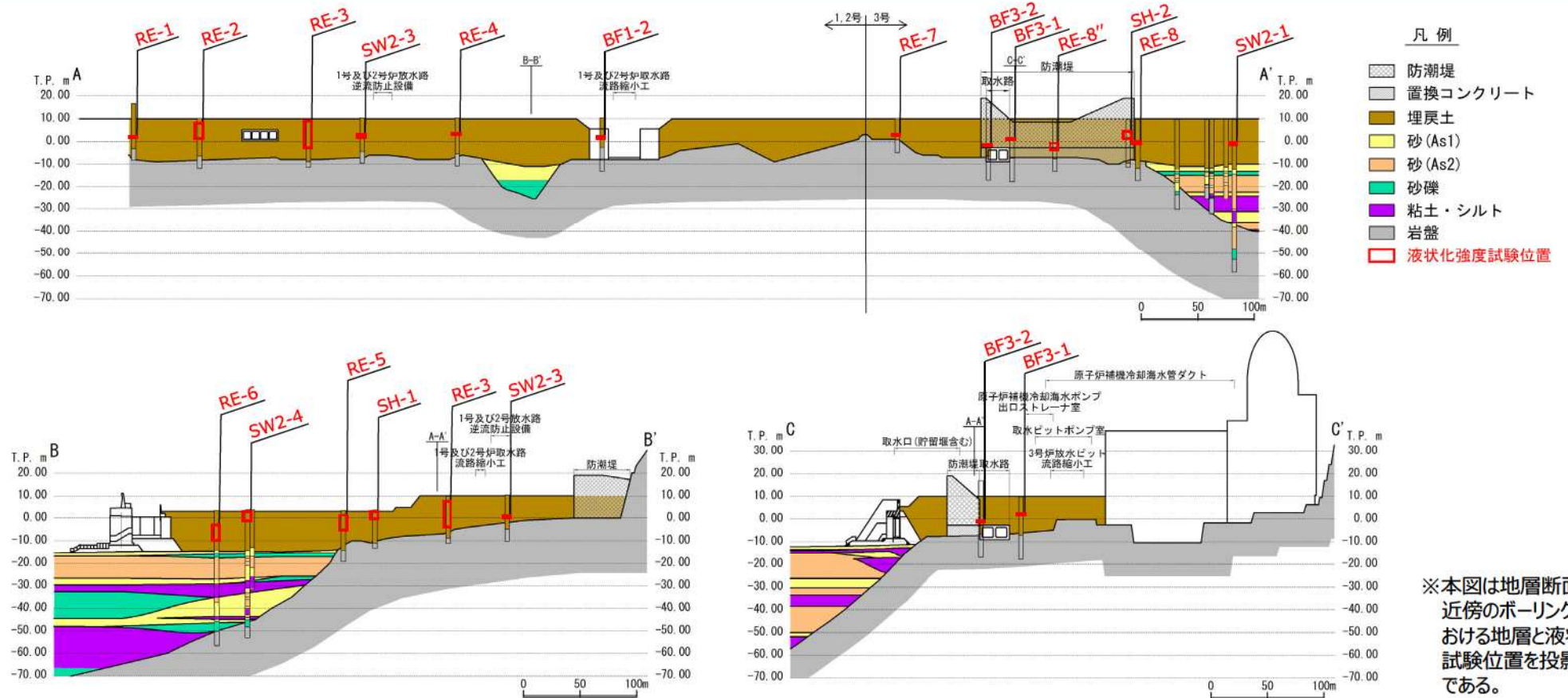
調査位置

: 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を選定(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)。



※本図は地層断面図に、
近隣のボーリング位置に
おける地層と液状化強度
試験位置を投影したもの
である。

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について

■ 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は、液状化強度と相関のある粒度分布及び細粒分含有率を代表性確認指標に用いる。
- 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、泊発電所の埋戻土が各種文献の適用範囲と必ずしも一致しないことから、代表性確認指標に選定しない。



- 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。

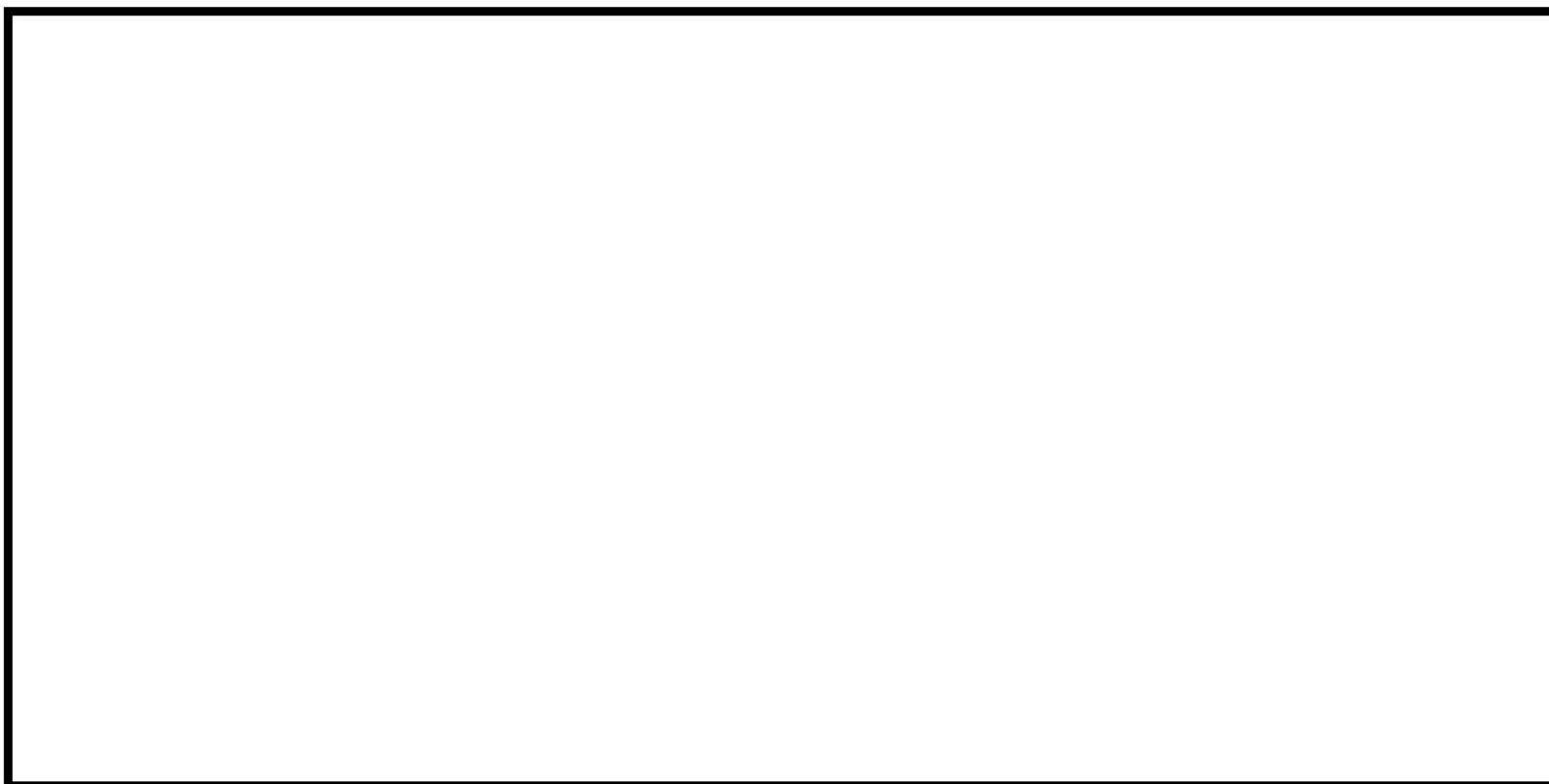
■ 代表性の確認状況

- 設置許可段階では、現時点の液状化強度試験結果を用いて、1,2号埋戻土と3号埋戻土に分けて液状化強度特性を整理する。
- 各指標に対する代表性の確認状況は以下のとおりである([4条-別紙9-44, 4条-別紙9-46] を参照)。
 - 粒度分布については、礫質土及び砂質土が認められ、液状化強度試験位置は概ね周辺調査位置の範囲に含まれている。
 - 細粒分含有率については、液状化強度試験位置と周辺調査位置と範囲が同程度である。
- ただし、現状の液状化強度試験位置では、液状化検討対象施設近傍が網羅されていないと判断したため、追加調査を実施する。
- 試料採取位置の代表性確認に当たっては、粒度分布、細粒分含有率及び相対密度を代表性確認指標に用いて、設工認段階で説明する。

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を選定(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。



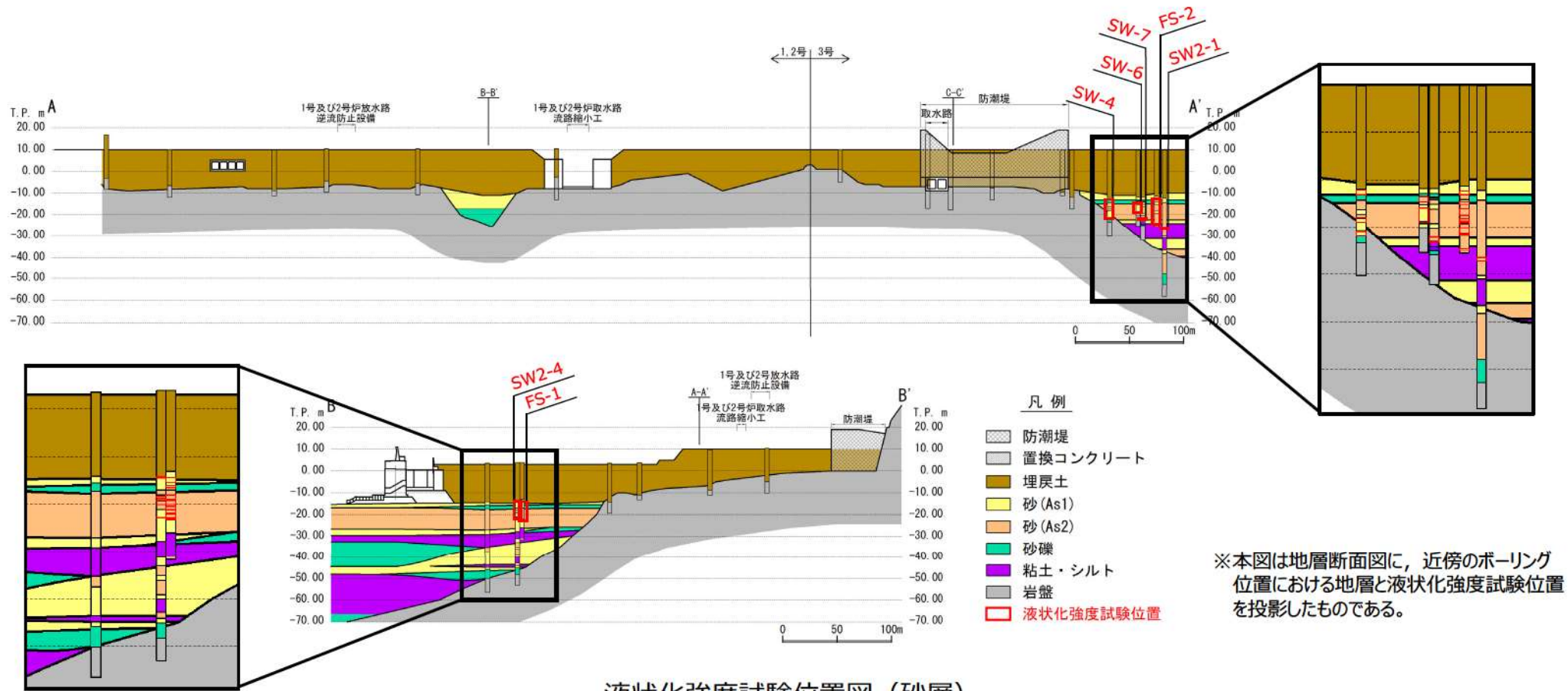
調査位置

: 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)。



※本図は地層断面図に、近傍のボーリング位置における地層と液状化強度試験位置を投影したものである。

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9-48] 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。

4. 液状化強度試験 試料採取位置選定とその代表性

4. 3 追加調査の必要性検討 (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近傍が網羅されていないと判断し、追加調査を実施する。

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号炉建設時)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。	①⑪⑫
取水路	(BF3-2)*	対象施設建設時(3号炉建設時)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。	①⑫
取水ピットスクリーン室 3号炉取水ピ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。	-
取水ピットポンプ室	-	対象施設建設時(3号炉建設時)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号炉建設時)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号炉建設時)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。	③④⑤
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号炉建設時)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。	⑥⑦
3号埋戻土近傍の防潮堤	RE-8, RE-8", SH-2, BF3-1, RE-7	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号炉放水ピット流路縮小工	-	対象施設建設時(3号炉建設時)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
3号炉原子炉補機冷却海水放水路逆流防止設備	-	対象施設建設時(3号炉建設時)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, 3号炉系統近傍で液状化強度試験を実施しているが、2号炉系統近傍において、データ拡充を目的とした追加が必要。	⑦⑪
1号及び2号炉取水路流路縮小工	-	対象施設建設時(1,2号炉建設時)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号炉建設時)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。	①⑫
アクセス路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

*BF3-2の液状化強度試験の試料については、3号炉建設時に路盤材として使用した礫混じりシルトを採取した可能性があることを踏まえ参考値とし、BF3-2の代替として追加調査候補位置⑫を追加する。

4. 液状化強度試験 試料採取位置選定とその代表性

4. 3 追加調査の必要性検討 (2/2)

- 追加調査位置は、以下に示す考え方を踏まえ、下図に示す①～⑫の12地点を選定した。
 - 液状化検討対象施設近傍から試料採取すること
 - 埋戻方法や埋立材料の違いを考慮すること
- 追加調査では、液状化強度を取得する。また、代表性確認指標に用いる粒度分布、細粒分含有率及び相対密度を取得する。



追加調査位置

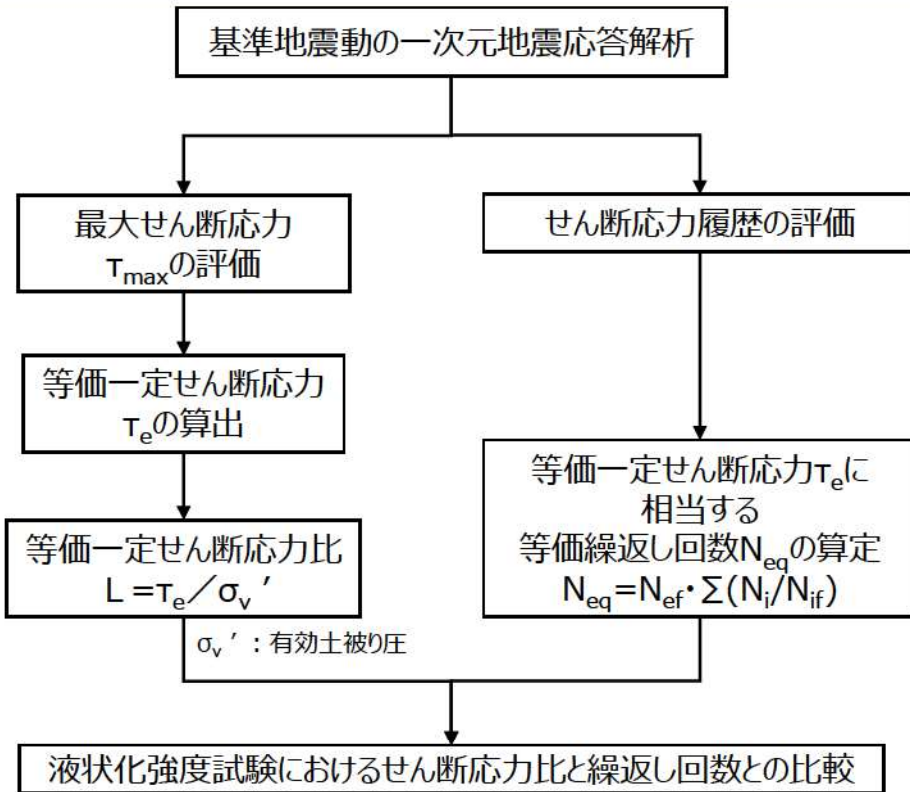
□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

※BF3-2の液状化強度試験の試料については、3号炉建設時に路盤材として使用した礫混じりシルトを採取した可能性があることを踏まえ参考値とし、BF3-2の代替として追加調査候補位置⑫を追加する。

5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定

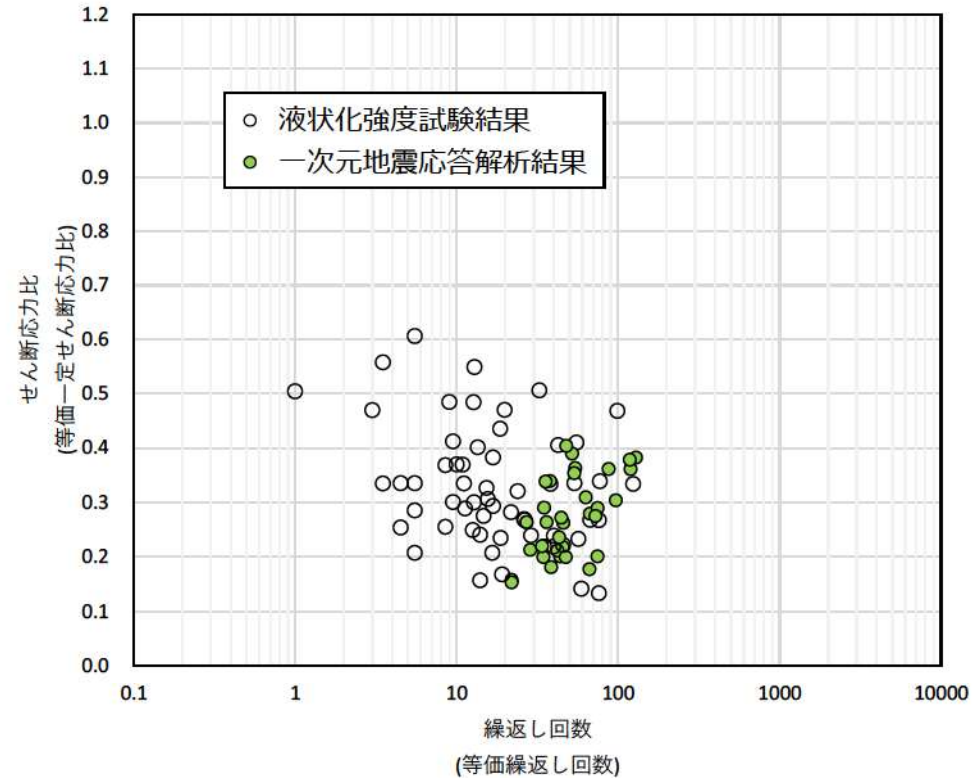
5. 1 基準地震動に対する液状化強度試験の妥当性確認

○ 液状化強度試験による繰返し回数と、基準地震動による等価繰返し回数を比較し、同程度であれば試験条件が妥当であると判断する。



累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価フロー

※等価繰返し回数の算出手順の詳細は、
[4条-別紙9-90,91] を参照。

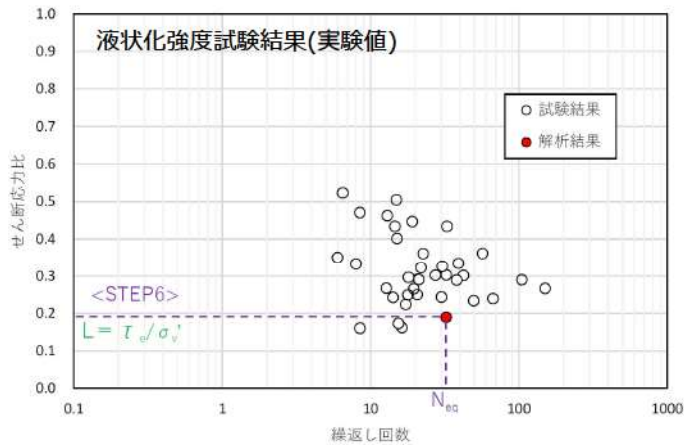
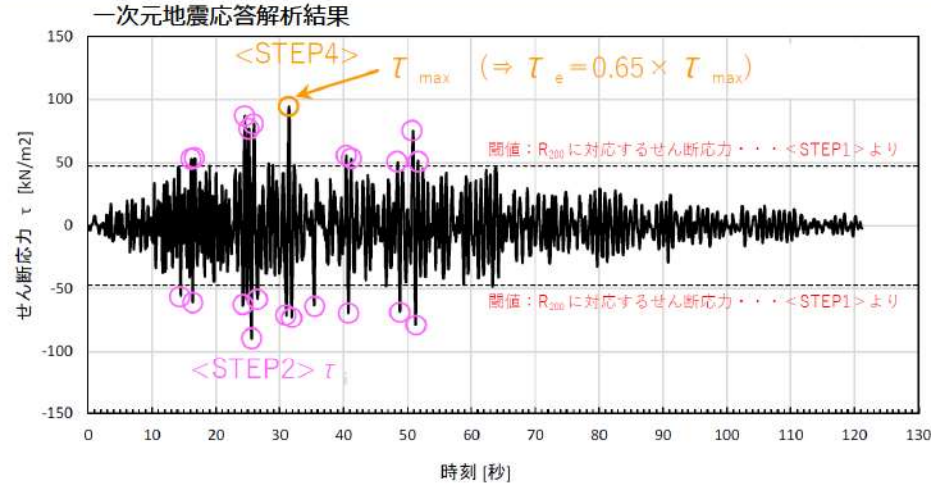
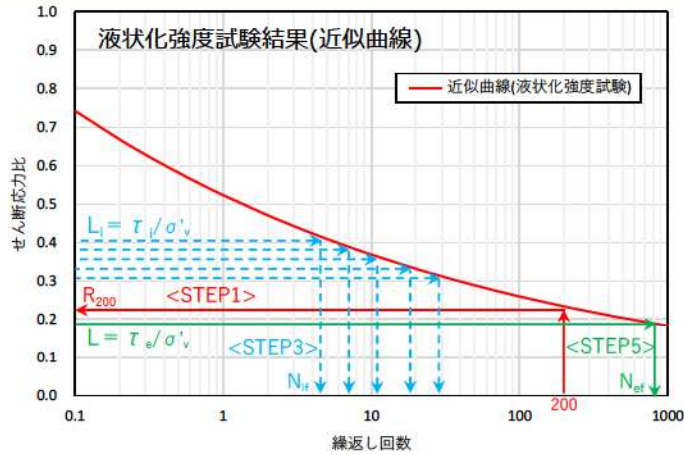


(例) 液状化強度試験結果と一次元地震応答解析結果の比較

5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定

5. 1 基準地震動に対する液状化強度試験の妥当性確認

○ 基準地震動による等価繰返し回数は、累積損傷度理論を適用し液状化強度試験結果及び一次元地震応答解析結果を用いて以下のとおり算出する。



- <STEP1> 液状化強度試験(近似曲線)のせん断応力比と繰返し回数の関係から求まる繰返し回数200回のせん断応力比 R_{200} を求める。
- <STEP2> 一次元地震応答解析のせん断応力時刻歴から、 R_{200} に対応するせん断応力以上となるせん断応力 τ を求める。
- <STEP3> せん断応力比 $L_i = \tau_i / \sigma'_v$ を求め、液状化強度試験結果(近似曲線)からせん断応力比 L_i に対する回数 N_{if} を求める。
- <STEP4> せん断応力時刻歴の最大せん断応力 τ_{max} から等価一定せん断応力 τ_e を求める($\tau_e = 0.65 \times \tau_{max}$)。
- <STEP5> 等価一定せん断応力比 $L = \tau_e / \sigma'_v$ を求め、液状化強度試験結果(近似曲線)から等価一定せん断応力比 L に対する回数 N_{ef} を求める。
- <STEP6> N_{ef} 、 N_{if} を用いて、等価繰返し回数 N_{eq} を算出し、液状化強度試験結果(実験値)に重ねてプロットする($N_{eq} = N_{ef} \cdot \sum (N_i / N_{if})$)。

累積損傷度理論による等価繰返し回数算出手順

5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定

5. 1 基準地震動に対する液状化強度試験の妥当性確認

○ 基準地震動の一次元地震応答解析を実施する位置は、1,2号埋戻土及び3号埋戻土それぞれから選定し、一次元地震応答解析を実施することを踏まえて、埋戻土が水平成層に分布した場合の層厚(平均層厚)となる断面及び、せん断応力が大きくなる埋戻土が最大層厚となる断面を下図に示すとおり選定する。



□ : 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。

※埋戻土の平均層厚(下端標高)は以下に示すとおり算出する。

1,2号埋戻土 : $8,666\text{m}^2(\text{埋戻土, As1の面積}) / 570\text{m}(\text{埋戻土地表面延長}) = 15.2\text{m}(\text{埋戻土の下端標高TP}-5.2\text{m})$

3号埋戻土 : $1,456\text{m}^2(\text{埋戻土, D級岩盤, As2の面積}) / 654\text{m}(\text{埋戻土地表面延長}) = 16.0\text{m}(\text{埋戻土の下端標高TP}-6.0\text{m})$



5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定

5. 1 基準地震動に対する液状化強度試験の妥当性確認

○ 基準地震動の一次元地震応答解析を実施する各ケースの解析モデルを以下に示す。

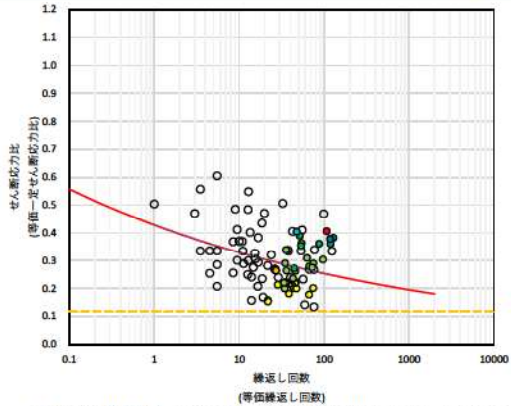
ケース名	Case1-1	Case1-2	Case2-1	Case2-2
埋戻土物性	1,2号埋戻土		3号埋戻土	
埋戻土層厚	平均層厚 (下端標高 T.P.-5.2m)	最大層厚 (下端標高 T.P.-18.9m)	平均層厚 (下端標高 T.P.-6.0m)	最大層厚 (下端標高 T.P.-15.0m)
解析モデル				

※Case1-2及びCase2-2の解析モデルについては、せん断剛性が大きい土層の方が加速度が減衰せず応答が大きくなることを踏まえ、埋戻土の応答が大きくなるようにB級岩盤上に分布する砂層(p31の地層断面図に示す埋戻土下部のAs1層及びAs2層)を埋戻土でモデル化した。

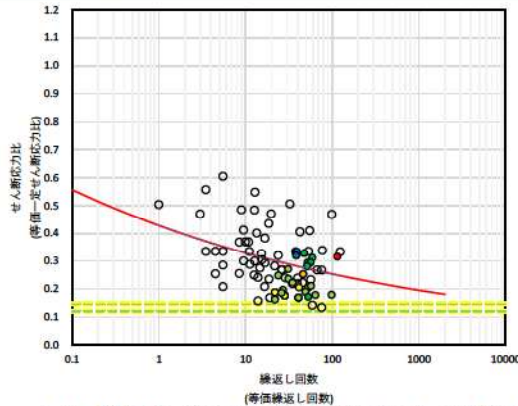
5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定

5. 1 基準地震動に対する液状化強度試験の妥当性確認

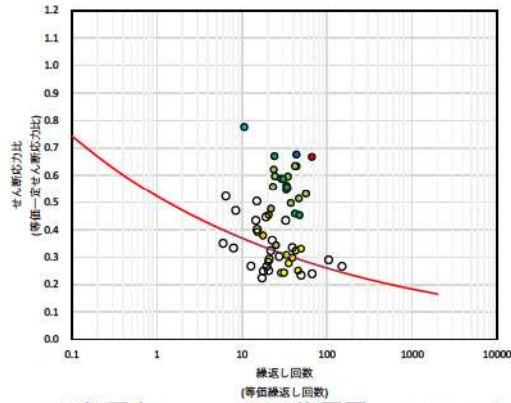
- 各ケース毎の液状化強度試験による繰返し回数と、基準地震動による等価繰返し回数の比較結果を下図に示す。
- 液状化強度試験による繰返し回数は、基準地震動による等価繰返し回数と同程度であり、概ね基準地震動相当の試験が実施できていることを確認した。
- また、最大加速度が比較的小さい一部の基準地震動によるせん断応力は小さく、等価繰返し回数は評価対象外となるものの、液状化強度試験はこの基準地震動による等価一定せん断応力比(図中の破線※1)を上回るレベルで実施できていることを確認した。



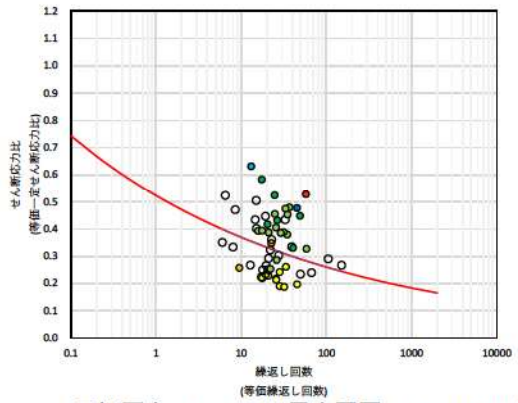
1,2号埋戻土 Case1-1(平均層厚 T.P.-5.2m)



1,2号埋戻土 Case1-2(最大層厚 T.P.-18.9m)



3号埋戻土 Case2-1(平均層厚 T.P.-6.0m)



3号埋戻土 Case2-2(最大層厚 T.P.-15.0m)

- 液状化強度試験結果
- 近似曲線(液状化強度試験)※2
- 現行Ss (Ss1)
- 尻別川断層による地震 (Ss2-1)
- Fs-10断層～岩内堆東撓曲～岩内南方背斜による地震 (Ss2-2～Ss2-6)
- 積丹半島北西沖の断層による地震 (Ss2-7～Ss2-13)
- 2008年岩手・宮城内陸地震 (Ss3-1～Ss3-3)
- 2004年北海道 留萌支庁南部の地震 (Ss3-4)
- 標準応答スペクトルを考慮した地震 (Ss3-5)

※1 T_{max} が R_{200} に対応するせん断応力以下の解析結果であり、等価繰返し回数を算出できないため、参考として等価一定せん断応力比を破線で示している。

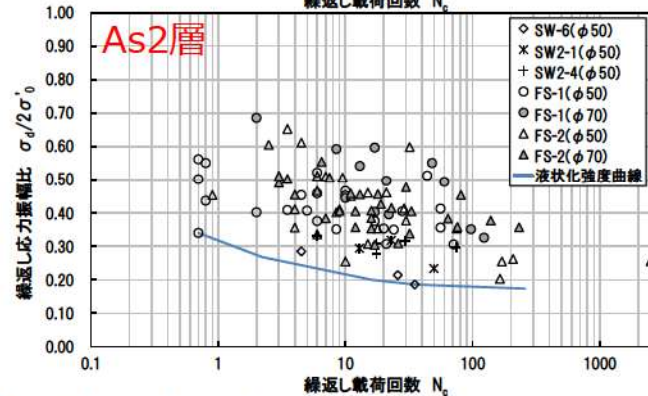
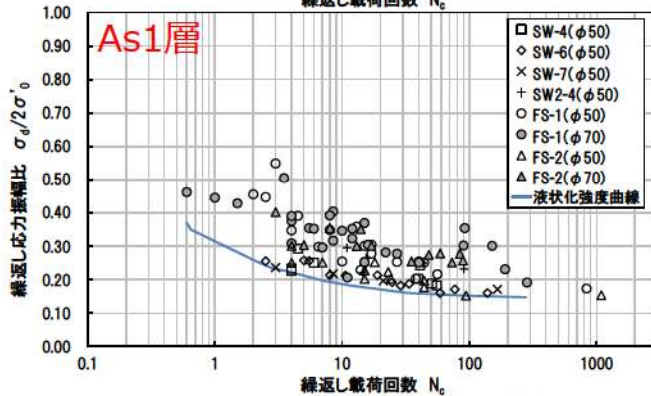
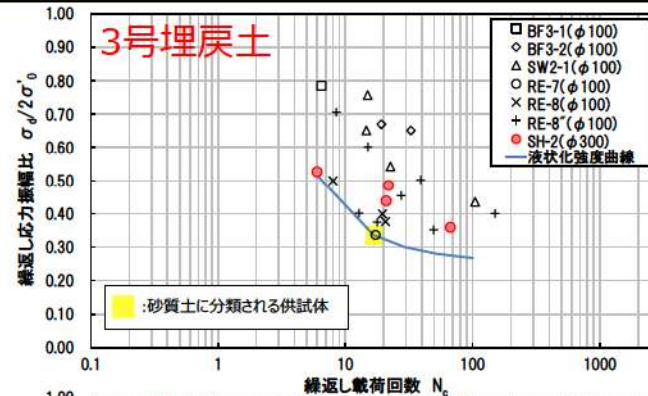
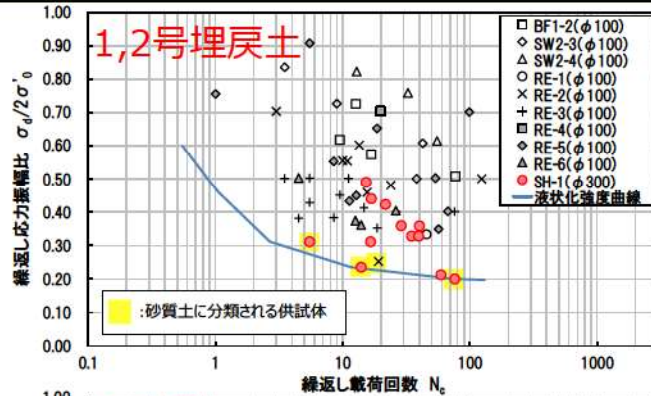
※2 近似曲線(液状化強度試験)は、等方応力状態の液状化強度試験と異方応力状態の地震応答解析結果を比較するため、静止土圧係数($K_0=0.5$)を用い、下式により液状化強度試験から得られる近似曲線を補正したものである。

$$\tau = R \times (1 + 2K_0) / 3 \times \sigma'_v \quad (R: \text{液状化強度比}, \sigma'_v: \text{有効土被り圧})$$

5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定

5. 2 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。
- 設置許可段階においては, 有効応力解析による防潮堤の構造成立性評価を行うため, 現時点の液状化強度試験結果を用いて, 1,2号埋戻土, 3号埋戻土及び砂層(As1層及びAs2層)に分け, 液状化強度特性を各層の下限値に設定する。



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
試料採取位置の 代表性確認	○液状化強度試験位置が液状化検討対象施設近傍を網羅していないため、液状化検討対象施設近傍での液状化強度試験等の追加調査を実施する。	○追加する液状化強度試験等を考慮した粒度分布、細粒分含有率及び相対密度を代表性確認指標に用いて、試料採取位置の代表性を説明する。
液状化強度特性 の設定	○液状化強度特性の設定は保守的に、各土層(1,2号埋戻土, 3号埋戻土並びにAs1層及びAs2層)の下限値に設定する。 ○防潮堤の構造成立性評価を行うための液状化強度特性は保守的に、液状化強度が低い1,2号埋戻土を用いる。	○有効応力解析に用いる液状化強度特性は、追加の液状化強度試験結果を含めて、各土層の下限値に設定する。ただし、取放水設備工事によって埋戻仕様が規定されたエリアとそれ以外のエリアに細分化することが可能である場合は、そのエリアごとの液状化強度試験結果の下限値に設定することを検討し説明する。
施設の耐震評価 の解析手法	○耐震評価に用いる解析手法選定の考え方を示す。 ○防潮堤の構造成立性評価は有効応力解析※1により実施する。	○「液状化検討対象施設の抽出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する※2。 ○有効応力解析を選定する場合は、有効応力解析(浮上り等の影響の確認も含む)に加え、液状化が発生しない場合の影響を確認するために全応力解析での耐震評価も実施する。 ○液状化検討対象施設の耐震評価において、全応力解析を選定する場合は、全応力解析に加え、有効応力解析により液状化の影響(浮上り等)が施設に及ばないことも確認する。

※1 有効応力解析においては、解析コード「FLIP」を用いることとし、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。

※2 緊急時対策所、空調上屋及び燃料タンク(SA)室の設計地下水位は、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。

- (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.