

資料 1 - 1 - 3

泊発電所 3 号炉審査資料	
資料番号	DB04 r. 3. 37
提出年月日	令和6年2月29日

泊発電所 3 号炉

設置許可基準規則等への適合状況について
(設計基準対象施設等)

第4条 地震による損傷の防止

令和6年2月
北海道電力株式会社

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。

第4条：地震による損傷の防止

<目 次>

第1部

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項の整理
 - 1.2 追加要求事項に対する適合性
 - (1) 位置，構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
 - 1.3 気象等
 - 1.4 設備等
 - 1.5 手順等

第2部

1. 耐震設計の基本方針
 - 1.1 基本方針
 - 1.2 適用規格
2. 耐震設計上の重要度分類
 - 2.1 重要度分類の基本方針
 - 2.2 耐震重要度分類
3. 設計用地震力
 - 3.1 地震力の算定法
 - 3.2 設計用地震力
4. 荷重の組合せと許容限界
 - 4.1 基本方針
5. 地震応答解析の方針
 - 5.1 建物・構築物
 - 5.2 機器・配管系
 - 5.3 屋外重要土木構造物
 - 5.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備並びにこれらが設置された建物・構築物
6. 設計用減衰定数
7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響

8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針
9. 構造計画と配置計画

(別 添)

- 別添—1 設計用地震力
- 別添—2 動的機能維持の評価
- 別添—3 弾性設計用地震動・静的地震力による評価
- 別添—4 入力地震動について
- 別添—5 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定の考え方
- 別添—6 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別添—7 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針
- 別添—8 主要建屋の構造概要について

(別 紙)

- 別紙—1 設置変更許可申請における既許可からの変更点及び既工認との手法の相違点の整理について
資料提出時期：2023年6月8日 審査会合 2023年9月7日 審査会合
- 別紙—2 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討
資料提出時期：2023年9月7日 審査会合 2024年2月5日 ヒアリング
- 別紙—3 水平2方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する検討について
資料提出時期：2023年9月7日 審査会合
- 別紙—4 動的機能維持評価の検討方針について
資料提出時期：2023年9月7日 審査会合
- 別紙—5 地震時における燃料被覆管の閉じ込め機能の維持について
資料提出時期：2023年9月7日 審査会合
- 別紙—6 土木構造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について
資料提出時期：2023年9月7日 審査会合
- 別紙—7 後施工せん断補強筋による耐震補強について
資料提出時期：2023年9月7日 審査会合
- 別紙—8 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定について
資料提出時期：2023年9月7日 審査会合
- 別紙—9 施設の耐震評価に用いる地盤の液状化の評価方針
資料提出時期：2023年7月4日 審査会合 2024年1月29日 ヒアリング

別紙—10 設計地下水位の設定方針について

資料提出時期：2022年6月23日 審査会合

別紙—11 地下水排水設備について

資料提出時期：2023年2月28日 審査会合 2024年1月18日 ヒアリング

別紙—12 一関東評価用地震動（鉛直方向）を用いた施設の評価方針について

資料提出時期：2023年9月7日 審査会合 2024年2月5日 ヒアリング

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

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化検討対象層の抽出
 - 2.1 敷地の地質概況
 - 2.2 埋戻土の分布
 - 2.3 砂層の分布
 - 2.4 液状化検討対象層の選定方針
 - 2.5 液状化検討対象層の選定結果
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方針
 - 3.2 液状化検討対象施設の抽出及び解析手法選定の観点
4. 液状化強度試験の試料採取位置選定とその代表性
 - 4.1 試料採取位置の選定及び代表性確認の方針
 - 4.2 試料採取位置の選定
 - 4.3 試料採取位置の代表性確認
 - 4.3.1 埋戻土の代表性確認
 - 4.3.2 砂層の代表性確認
 - 4.3.3 液状化強度試験 試料採取位置の代表性のまとめ
 - 4.4 追加調査位置
 - 4.4.1 追加調査の必要性検討
5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定
 - 5.1 液状化強度試験方法
 - 5.2 液状化強度試験結果の分類に対する基本的考え方
 - 5.3 液状化強度試験結果
 - 5.3.1 埋戻土の液状化強度試験結果
 - 5.3.2 砂層の液状化強度試験結果
 - 5.4 基準地震動に対する液状化強度試験の妥当性確認
 - 5.5 液状化強度特性の設定
6. 液状化影響の検討方針

- 添付資料 1 埋戻土・砂層のボーリング柱状図・コア写真及び液状化強度試験結果データ集
- 添付資料 2 液状化検討対象層の選定について(Ac 層)
- 添付資料 3 埋戻土・砂層の基本物性
- 添付資料 4 埋戻土の N 値について
- 添付資料 5 建設時における埋戻土の施工及び品質管理について
- 添付資料 6 液状化に関連する基本物性の補足
- 添付資料 7 1, 2 号埋戻土及び 3 号埋戻土の区分けについて
- 添付資料 8 粒度分布の代表性確認指標としての妥当性確認
- 添付資料 9 設工認段階におけるエリア分けの検討方針(案)

1. 液状化評価の基本方針

本資料では、施設の耐震評価に用いる地盤の液状化影響の検討方針を示す。

耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設においては、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。

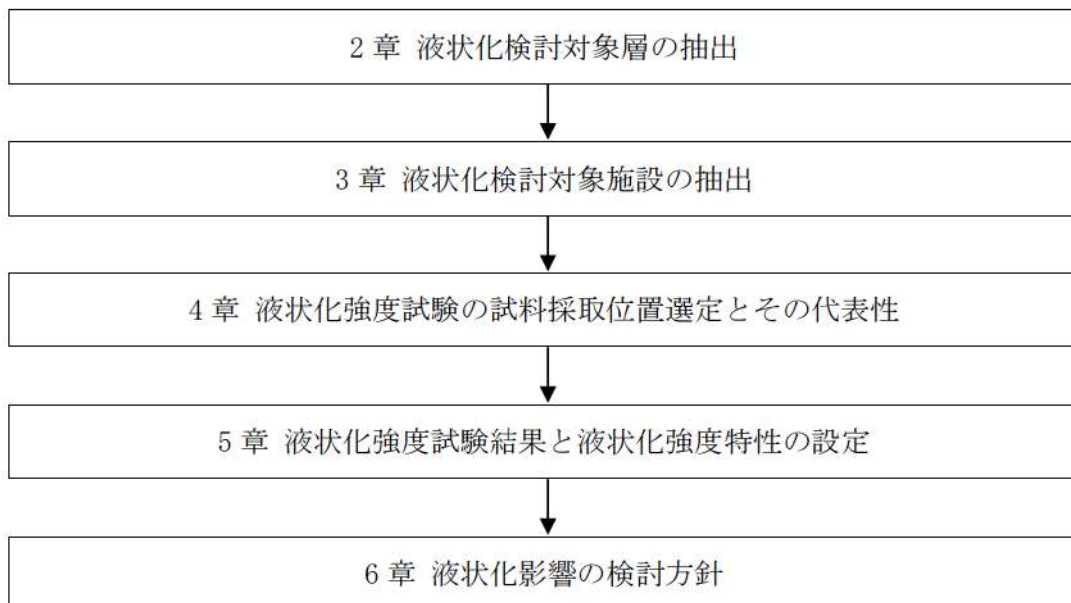
耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の設計に当たり、地下水排水設備の機能に期待する施設においては、その機能を考慮した設計地下水位を設定する。地下水排水設備の機能に期待しない施設においては、自然水位に基づき設定した水位又は地表面にて設計地下水位の影響を考慮する。

なお、各施設の設計地下水位は設計及び工事計画認可段階(以下、「設工認段階」という)において設定するものとする。

泊発電所における液状化影響評価のフローを第1.1-1図に示す。

- ・液状化影響評価については、道路橋示方書・同解説V 耐震設計編(2002)(以下、「日本道路協会(2002, V耐震設計編)」という)の評価方法を基本とするが、日本道路協会(2002, V耐震設計編)においては対象外とされているG.L. -20m 以深の土層等についても液状化強度試験を実施し、すべての埋戻土及び砂層を液状化検討対象層とすることで保守的な評価とする(2. 液状化検討対象層の抽出)。
- ・屋外の耐震重要施設(建物・構築物, 屋外重要土木構造物, 津波防護施設等)を対象に、液状化検討対象施設の抽出及び解析手法選定の方針を示す(3. 液状化検討対象施設の抽出)。
- ・液状化検討対象層として抽出した埋戻土及び砂層の液状化強度試験の試料採取位置について、その周辺で実施したボーリング調査位置の物理特性と比較し、その代表性を確認する(4. 液状化強度試験の試料採取位置選定とその代表性)。
- ・現時点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、液状化検討対象施設近傍での施工範囲を考慮して液状化強度試験等の追加調査を実施する(4. 液状化強度試験の試料採取位置選定とその代表性)。
- ・液状化強度試験結果に基づいて、地震時の地盤の状態を「液状化」、「繰返し軟化」及び「非液状化」と分類し、液状化検討対象層が「液状化」とならないこと(支持力を喪失しない、又は急激な流動変位が発生しない地盤であること)を把握する。また、累積損傷度理論を適用し、基準地震動相当の地盤の状態を模擬して液状化強度試験が実施できていることを確認する(5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定)。

- ・設置許可段階における施設の有効応力解析に用いる液状化強度特性は、現時点の液状化強度試験結果を用いて、液状化強度特性を保守的(下限値)に設定する(5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定)。
- ・設工認段階においては、追加の液状化強度試験結果を含めて、液状化強度特性を液状化検討対象層の各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する(6. 液状化影響の検討方針)。
- ・液状化検討対象施設の解析手法は、施設の周辺状況に応じた液状化の影響を踏まえて選定し、有効応力解析を選定する場合は有効応力解析に加え、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(6. 液状化影響の検討方針)。



第 1.1-1 図 液状化影響評価フロー

2. 液状化検討対象層の抽出

2.1 敷地の地質概況

敷地の地質平面図を第 2.1-1 図に示す。敷地の基盤をなす地層は、新第三系上部中新統神恵内層であり、神恵内層を覆って第四紀中期更新世以前の海成堆積物、後期更新世の段丘堆積物及び崖錐Ⅰ堆積物、完新世の崖錐Ⅱ堆積物及び沖積層が分布する。敷地の基盤をなす地層である神恵内層は、岩相の特徴から凝灰質泥岩と火砕岩層に大別される。神恵内層の凝灰質泥岩層は、敷地北部の茶津川付近に分布し、火砕岩層は敷地全域に広く分布しており、3号原子炉建屋設置位置付近には安山岩が認められる。

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り、施工時期、材料により 1,2号埋戻土、3号埋戻土に区分される。1,2号埋戻土は、1,2号建設時の埋戻土で火砕岩主体の岩砕地盤であり、3号埋戻土は、3号建設時の埋戻土で安山岩主体の岩砕地盤である。

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。

道路橋示方書・同解説 IV下部構造編(2012) (以下、「日本道路協会(2012, IV下部構造編)」という)では、「砂層、砂礫層はN値が30程度以上あれば良質な支持層と考えてよい。」とされている(以下参照)。

また、地盤調査・土質試験結果の解釈と適用例では、N値と相対密度の関係が示されており、30未満は「中位の～非常に緩い」、30以上は「密な～非常に密な」ものとされている(以下参照)。

以上に基づき、砂層については、N値<30をAs1層、N値≥30をAs2層と分類し、それぞれの解析用物性値を設定する。

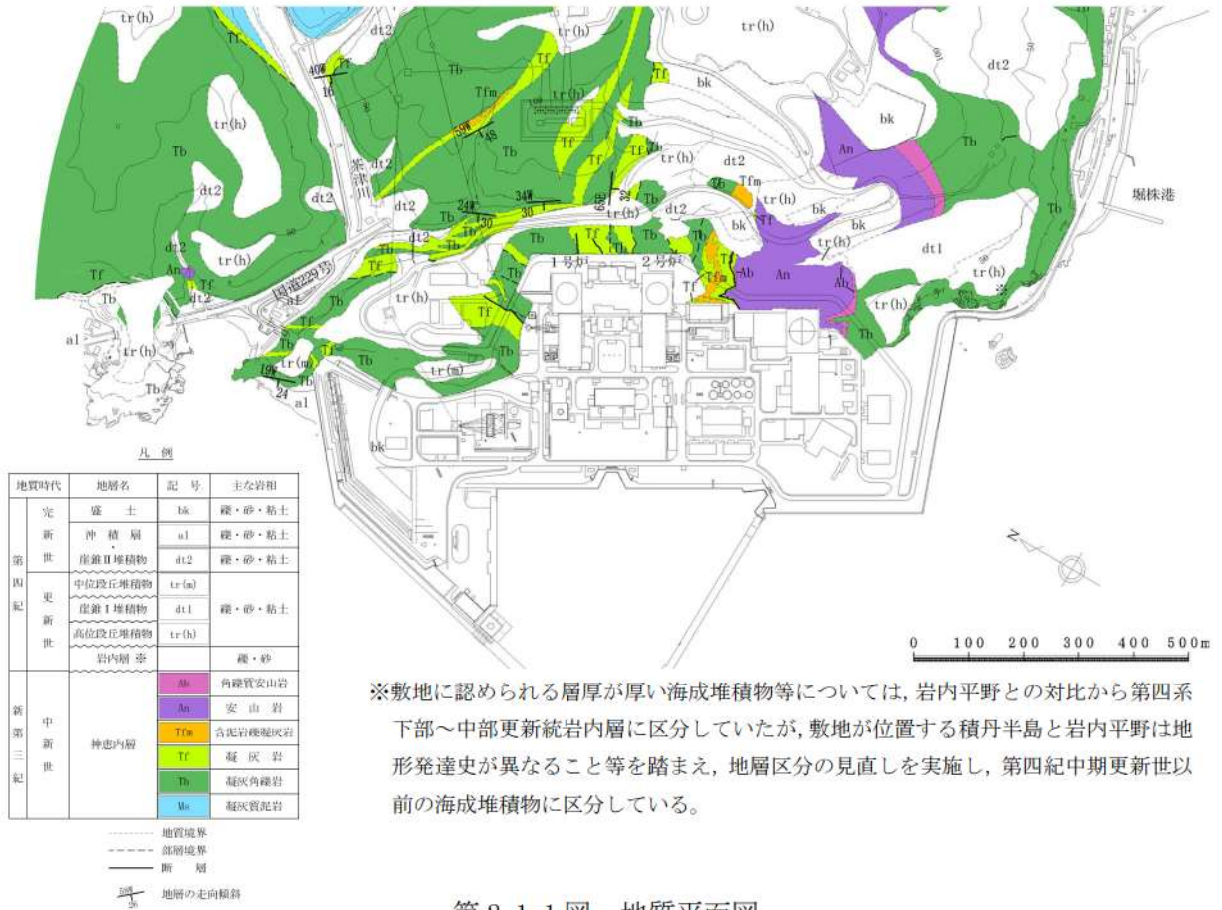
【地盤調査・土質試験結果の解釈と適用例】

N値	相 対 密 度
0～4	非常に緩い (very loose)
4～10	緩 い (loose)
10～30	中 位 の (medium)
30～50	密 な (dense)
50以上	非常に密な (very dense)

【日本道路協会(2012, IV下部構造編)に一部加筆】

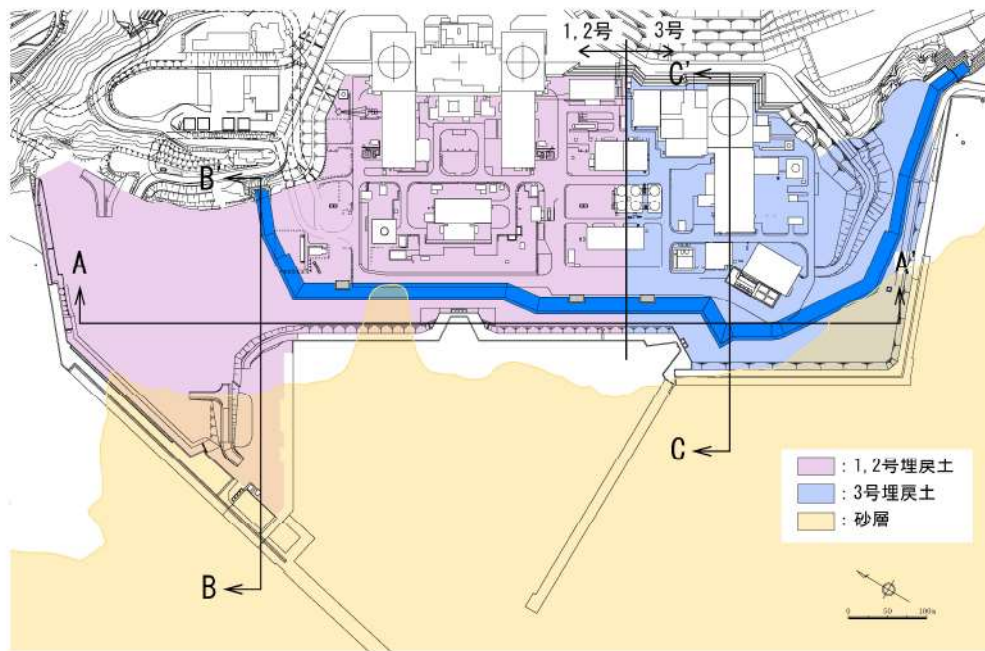
ii) 砂層、砂れき層はN値が30程度以上あれば良質な支持層と考えてよい。ただし、砂れき層ではれきをたたいてN値が過大に出る傾向があるので、支持層の決定には十分な注意が必要である。

埋戻土の分布状況について平面図を第 2.1-2 図に、地質断面位置図を第 2.1-3 図に、埋戻土及び砂層のボーリング柱状図及びコア写真を添付資料 1 に示す。

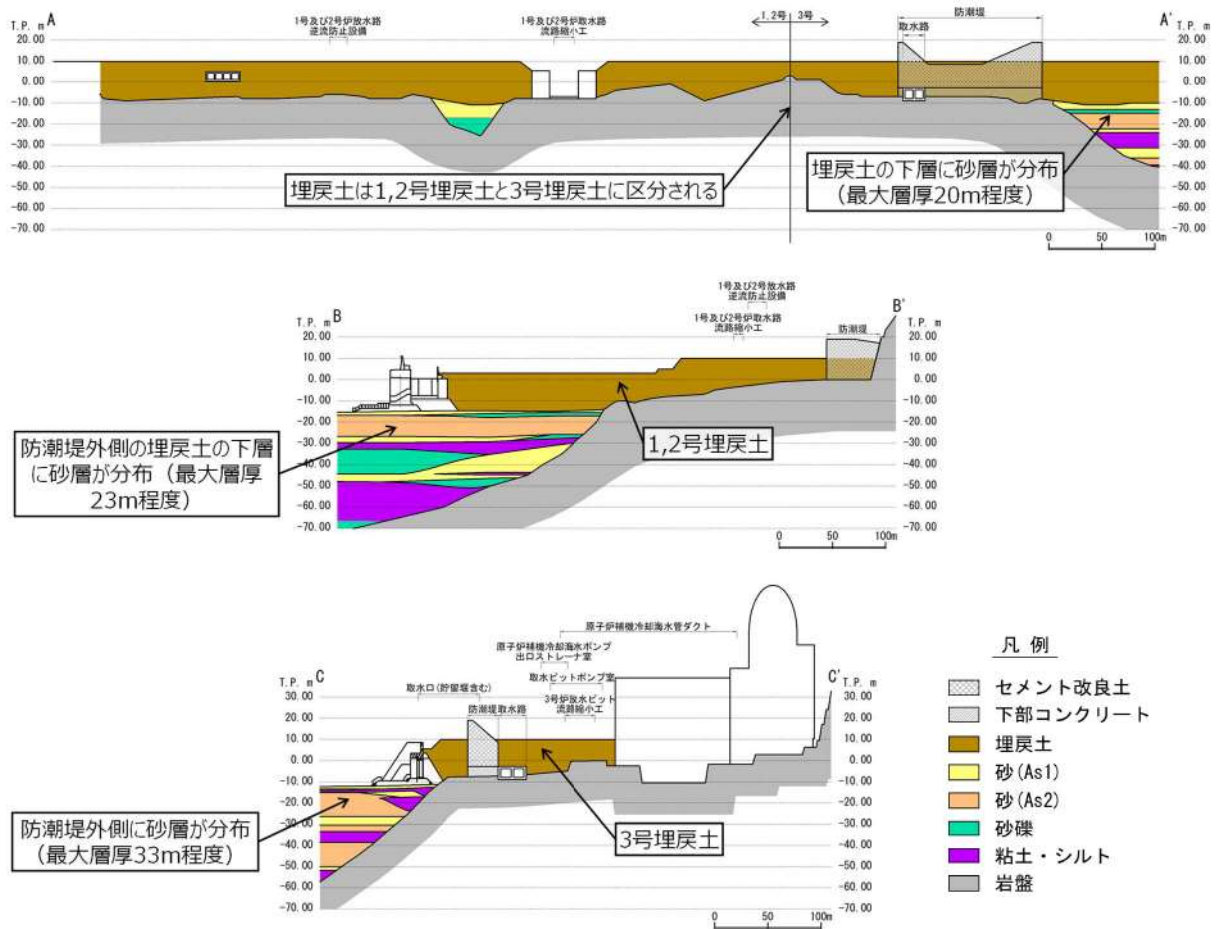


※敷地に認められる層厚が厚い海成堆積物等については、岩内平野との対比から第四系下部～中部更新統岩内層に区分していたが、敷地が位置する積丹半島と岩内平野は地形発達史が異なること等を踏まえ、地層区分の見直しを実施し、第四紀中期更新世以前の海成堆積物に区分している。

第 2.1-1 図 地質平面図



第 2.1-2 図 埋戻土の分布範囲並びに地質断面位置図



第 2.1-3 図 地質断面図

2.2 埋戻土の分布

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。

泊発電所の埋立地盤は、施工時期、材料により、1,2号埋戻土、3号埋戻土に区分される。

1,2号埋戻土は、1,2号建設時の埋戻土で火砕岩主体の岩砕地盤であり、3号埋戻土は、3号建設時の埋戻土で安山岩主体の岩砕地盤である。

2.3 砂層の分布

各断面位置における砂層の分布の特徴は以下のとおりである。

・A-A' 断面

防潮堤付近にわずかに砂層が分布している。埋戻土の下層に砂層が分布しており、その層厚は最大20m程度である。

・B-B' 断面

1,2号側の防潮堤外側に一部砂層が分布している。埋戻土の下層に砂層が分布しており、その層厚は最大23m程度である。

・C-C' 断面

3号側の防潮堤外側に砂層が分布しており、その層厚は最大33m程度である。

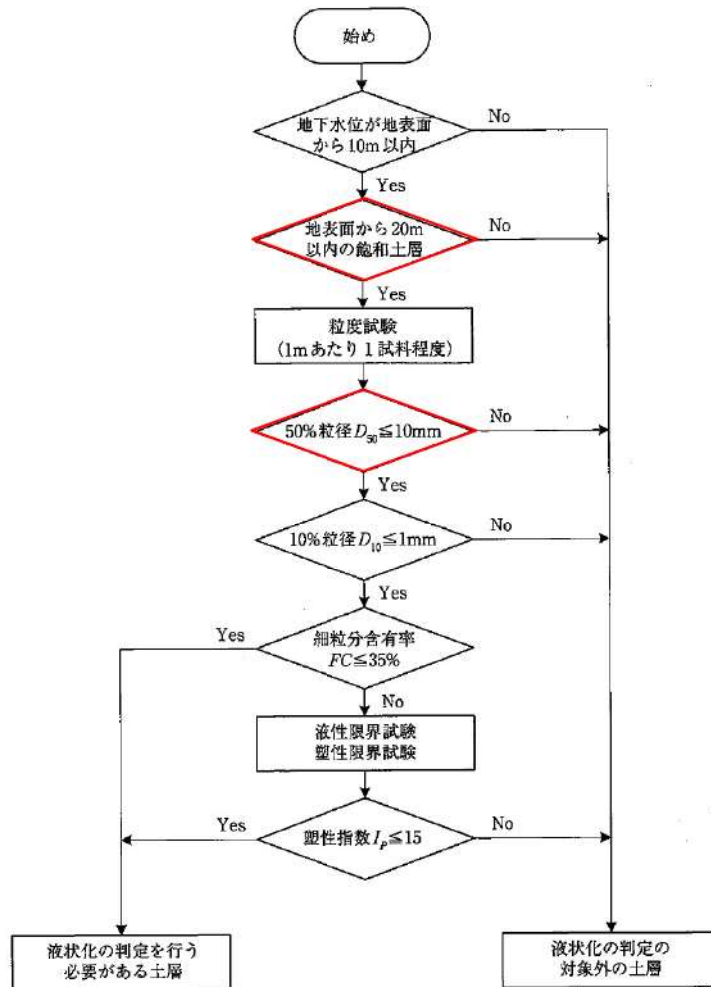
2.4 液状化検討対象層の選定方針

敷地の埋立地盤である埋戻土と砂層(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、第2.4-1図に示す手順で液状化検討対象層を抽出する。

日本道路協会(2002, V耐震設計編)では、地震時に影響を与える液状化が生じる可能性がある液状化検討対象層として、次の3つの条件すべてに該当する土層と定めている。

- 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

液状化影響評価については、日本道路協会(2002, V耐震設計編)の評価方法を基本とするが、日本道路協会(2002, V耐震設計編)においては対象外とされている G. L. -20m 以深の飽和土層及び平均粒径が 10 mm以上の飽和土層についても液状化強度試験を実施し、すべての埋戻土、砂層を液状化検討対象層とすることで保守的な構造物の評価を実施する。



※本評価では、日本道路協会(2002, V耐震設計編)において対象外となる以下の土層も評価対象とする

- ・ G. L. -20m 以深の飽和土層
- ・ 平均粒径が 10mm 以上の飽和土層

第 2.4-1 図 液状化検討対象層の抽出フロー

(道路橋示方書・同解説 V耐震設計編(2012)に一部加筆)

2.5 液状化検討対象層の選定結果

液状化検討対象層の選定結果を第 2.5-1 表に示す。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)を選定した。粘土・シルト層(Ac 層)については、「細粒分含有率 $F_c > 35\%$, かつ塑性指数 $I_p > 15$ 」を満足しているため液状化検討の対象外とした。

また、粘土・シルト層(Ac 層)については、建築基礎構造設計指針及び鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計(平成 24 年 9 月)に基づき、「粘土分含有率 $P_c > 10\%$ 」及び「粘土分含有率 $P_c > 15\%$ 」を満足し、液状化検討の対象外とした。

なお、液状化検討対象層の選定について(Ac 層)を添付資料 2 に示す。

第 2.5-1 表 液状化検討対象層の選定結果

地質名	層相	道路橋示方書(2002) における 液状化検討対象層		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	岩碎 (火砕岩類系)	○	○ (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	岩碎 (安山岩系)	○	○ (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	砂 (N 値 < 30)	×	○	○	・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	砂 (30 ≤ N 値)	×	○	○	・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	砂礫	×	○ (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 層に準拠する。
Ac	粘土・シルト	×	×	×	・細粒分含有率 $F_c > 35\%$ 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

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方針

屋外の耐震重要施設、常設重大事故等対処施設等の設置状況及び地下水位を考慮し、液状化の影響を検討する必要がある液状化検討対象候補施設を抽出する。液状化検討対象候補施設の抽出対象としては、すべての屋外の耐震重要施設(建物・構築物、屋外重要土木構造物、津波防護施設・浸水防止設備)、常設重大事故等対処施設を対象候補として検討する。ただし、代替非常用発電機については、周囲に液状化検討対象層が分布しないこと及び岩盤上に直接設置されることから、液状化検討対象候補施設の抽出対象外とする。

液状化検討対象候補施設の一覧を第 3.1-1 表に、液状化検討対象候補施設、可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルートの配置図を第 3.1-1 図に示す。また、建物・構築物と屋外重要土木構造物、津波防護施設・浸水防止設備(以下、「屋外重要土木構造物及び津波防護施設等」という)について、液状化検討対象施設の抽出及び解析手法選定フローを第 3.1-2 図に示す。

緊急時対策所、空調上屋及び燃料タンク(SA)室の設計地下水位について、設工認段階の液状化検討対象施設の抽出においては、第 3.1-3 図に示す例のような、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結果を使用する。

なお、可搬型重大事故等対処設備による重大事故等への対応に必要なアクセスルートは、地震時の液状化に伴う地下構造物の浮き上がりの影響を受けることなく通行性を確保する設計とする。

ここでは、液状化検討対象施設の抽出の考え方を示し、設工認段階において、改めて設定した設計地下水位に基づき液状化検討対象施設の抽出を行う。

第 3. 1-1 表 液状化検討対象候補施設 一覧

施設分類	施設名称	基礎形式	支持層 ^{※2}	基礎下端高さ ^{※3} (T. P. m)	地下水位の設定方針		
設計基準対象施設	建物・構築物	原子炉建屋	直接基礎	岩盤	2. 8	地下水排水設備の機能に期待して、設計地下水位を設定 (建屋基礎底面下に設計地下水位を設定)	
		原子炉補助建屋	直接基礎	岩盤	0. 3		
		ディーゼル発電機建屋	直接基礎	岩盤	4. 2		
		A1, A2-燃料油貯油槽タンク室	直接基礎	岩盤	2. 1		
		B1, B2-燃料油貯油槽タンク室	直接基礎	岩盤	2. 0	地表面に設定	
	屋外重要土木構造物	取水口	直接基礎	岩盤	-11. 5	T. P. 0. 55m に設定 ^{※4}	
		取水路	直接基礎	岩盤	-9. 0	地表面に設定 ^{※5}	
		取水ピットスクリーン室	直接基礎	岩盤	-10. 0	地表面に設定	
		取水ピットポンプ室	直接基礎	岩盤	-12. 6	地表面に設定	
		原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ室	直接基礎	岩盤	-6. 0	地表面に設定	
		原子炉補機冷却海水管ダクト	直接基礎	岩盤	-5. 0	地表面に設定	
		B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ	直接基礎	岩盤	8. 3	地表面に設定	
	津波防護施設・浸水防止設備 ^{※1}	防潮堤	直接基礎	岩盤	追而	地表面に設定 ^{※5}	
		3号炉取水ピットスクリーン室防水壁	直接基礎	岩盤	0. 5	地表面に設定	
		3号炉放水ピット流路縮小工	直接基礎	岩盤	-3. 0	地表面に設定	
		3号炉原子炉補機冷却海水放水路逆流防止設備	直接基礎	岩盤	追而	地表面に設定	
		屋外排水路逆流防止設備	直接基礎	岩盤	3. 1	地表面に設定 ^{※5}	
		1号及び2号炉取水路流路縮小工	直接基礎	岩盤	追而	地表面に設定 ^{※5}	
		1号及び2号炉放水路逆流防止設備	直接基礎	岩盤	追而	地表面に設定 ^{※5}	
		貯留堰	直接基礎	岩盤	-12. 0	地表面に設定 ^{※5}	
	重大事故等対処施設	建物・構築物	緊急時対策所	直接基礎	岩盤	37. 7	自然水位 ^{※6} に基づき設定
			空調上屋	直接基礎	岩盤	37. 7	自然水位 ^{※6} に基づき設定
			燃料タンク(SA)室	直接基礎	岩盤	37. 7	自然水位 ^{※6} に基づき設定

※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^{※7}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 各施設の代表的な基礎下端高さを示す。

※4 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。

※5 防潮堤よりも海側の設計地下水位は、朔望平均満潮位 T. P. 0. 26m に設定し、防潮堤よりも山側の設計地下水位は、地表面に設定する。

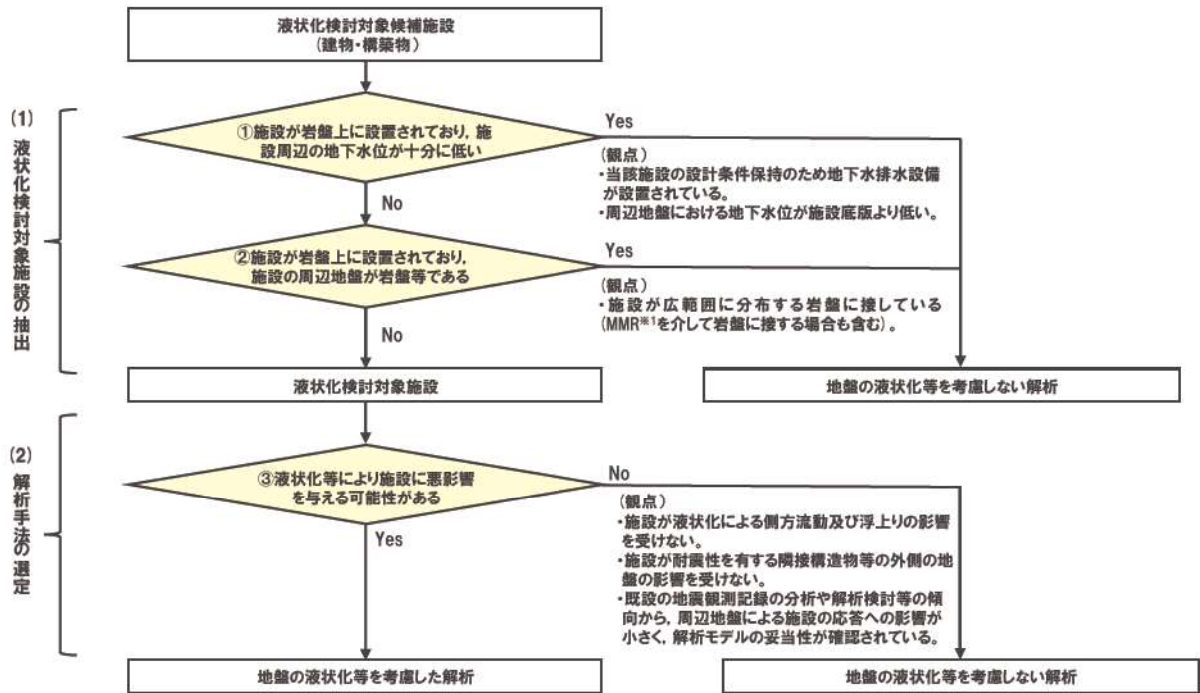
※6 解析条件を保守的に設定した三次元浸透流解析の予測解析水位。

※7 MMR(マンメイドロック)は、構造物を支持する又は構造物の周囲を埋め戻す無筋コンクリートであり、地盤として扱う。

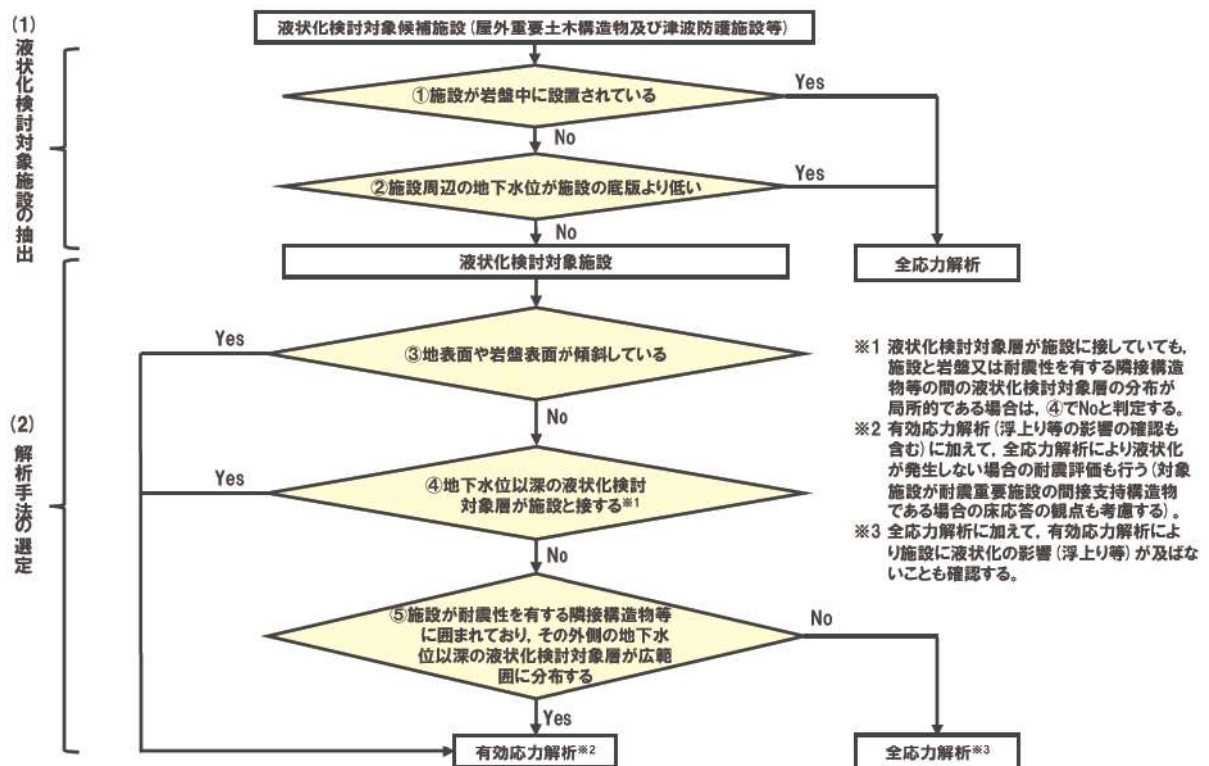


:枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

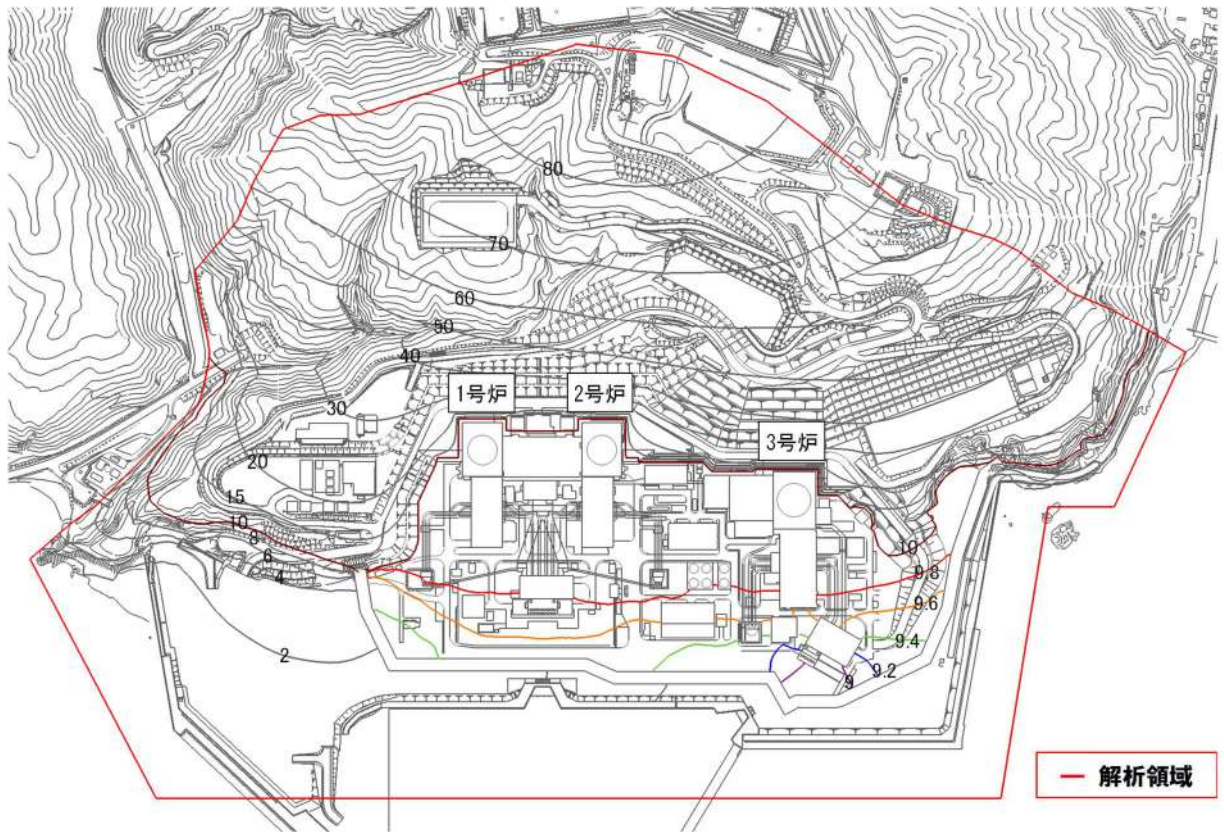
第 3.1-1 図 液状化検討対象候補施設，可搬型重大事故等対処設備
保管場所及びアクセスルート 配置図



第 3.1-2 図(1) 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)



第 3.1-2 図(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)



※図中の数値が記載されたコンターは地下水位を示す。

第 3.1-3 図 地下水排水設備の機能に期待せずに設定した定常的な地下水位分布算定結果(例)

3.2 液状化検討対象施設の抽出及び解析手法選定の観点

液状化検討対象施設の抽出及び解析手法選定における観点を以下に示す。

(1) 液状化検討対象施設の抽出

a. 屋外の耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設(建物・構築物)

液状化検討対象施設の抽出においては以下の項目を判断基準とする。

(第 3.1-2 図(1)の判定①, ②)

- ・施設が岩盤上に設置されており、かつ、施設周辺の地下水位が十分に低いか
- ・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か

(観点)：当該施設の設計条件保持のため地下水排水設備が設置されている。

周辺地盤における地下水位が施設底版より低い。

施設が広範囲に分布する岩盤に接している(MMRを介して岩盤に接している場合も含む)。

b. 屋外の耐震重要施設(屋外重要土木構造物及び津波防護施設等)

液状化検討対象施設の抽出においては以下の項目を判断基準とする。

(第 3.1-2 図(2)の判定①, ②)

- ・施設が岩盤中に設置されているか
- ・施設周辺の地下水位が施設の底版より低いか

(観点)：施設の上方、下方及び側方が岩盤に囲まれている。

周辺地盤における地下水位が施設底版より低い。

(2) 液状化検討対象施設の解析手法の選定

a. 屋外の耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設(建物・構築物)

上記(1)a.にて液状化検討対象施設として抽出された施設について、以下に示す観点より液状化等により施設に悪影響を与えるおそれがあるか判断する。

(第 3.1-2 図(1)の判定③)。

(観点)：施設が液状化による側方流動及び浮上りの影響を受けない。

施設が耐震性を有する隣接構造物等の外側の地盤の影響を受けない。

既設の地震観測記録の分析や解析検討等の傾向から、解析モデルの妥当性が確認されているか。

液状化等により施設に影響を与える可能性がある場合は、地盤の液状化等の影響を考慮した解析を行う。

また、対象施設が耐震重要施設の間接支持構造物である場合は、床応答の観点も考慮して解析手法を選定するものとする。

b. 屋外の耐震重要施設(屋外重要土木構造物及び津波防護施設等)

上記(1)b.にて液状化検討対象施設として抽出された施設について、以下の1)～3)に示す観点により、解析手法を選定する。

- 1) 地表面や岩盤表面が傾斜している(第3.1-2図(2)の判定③)。

施設周辺で液状化が発生した場合、地表面や岩盤表面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、有効応力解析を選定する。

- 2) 地下水位以深の液状化検討対象層が施設と接する(第3.1-2図(2)の判定④)。

施設に接する地盤で液状化が発生すること、及び液状化により浮上りの影響を受け可能性があることから、有効応力解析を選定する。

- 3) 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(第3.1-2図(2)の判定⑤)。

施設に接する液状化検討対象層はないが、施設側方の耐震性を有する隣接構造物等の外側の地盤の液状化による影響を判断できないことから、有効応力解析を選定する。

上記の1)～3)においては、有効応力解析に加え、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ものとする。

上記の1)～3)のいずれにも該当しない場合は、施設周辺の液状化検討対象層が局所的に分布する状況であり、施設に液状化の影響が及ばないことから全応力解析を選定するが、全応力解析に加え、有効応力解析により施設に液状化の影響(浮上り等)が及ばないことも確認する。

また、対象施設が耐震重要施設の間接支持構造物である場合は、床応答の観点も考慮して解析手法を選定するものとする。

以上を踏まえ、設工認段階で設定する設計地下水位に対する液状化検討対象施設の抽出及び解析手法選定の考え方を確認する目的で、液状化検討対象施設を抽出した結果(例)を第3.2-1表に、抽出した液状化検討対象施設(例)の解析手法について検討した結果(例)を第3.2-2表に、各施設の設置状況を第3.2-1図～第3.2-20図に示す。

建物・構築物では、原子炉建屋、原子炉補助建屋、ディーゼル発電機建屋、A1、A2-燃料油貯油槽タンク室、緊急時対策所、空調上屋及び燃料タンク(SA)室では、施設が岩盤上に設置され、地下水排水設備又は自然水位により施設周辺の地下水位が施設底版より低くなることから、液状化検討対象外の施設として、地盤の液状化を考慮しない解析を選定する。B1、B2-燃料油貯油槽タンク室は、地下水位が施設底版より高いものの、岩盤上に設置され、かつ、施設側方はMMRに接しその外側には岩盤が広く分布することから、液状化検討対象外の施設として、地盤の液状化を考慮しない解析を選定する。

屋外重要土木構造物及び津波防護施設等では、すべての施設が岩盤中に設置される施設ではなく、地下水位が施設底版より高いことから、液状化検討対象施設とし、解析手法は、防潮堤及び屋外排水路逆流防止設備では岩盤表面が傾斜していることから有効応力解析を選定し、取水ピットスクリーン室、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及び貯留堰では施設が液状化検討対象層に接していないものの、MMR や取水口の外側の液状化検討対象層が広範囲に分布することから有効応力解析を選定する。防潮堤、取水ピットスクリーン室、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及び貯留堰以外の施設については、施設に液状化検討対象層が接することから有効応力解析を選定する。

設工認段階においては、すべての屋外の耐震重要施設(建物・構築物、屋外重要土木構造物及び津波防護施設等)を対象に、確定した設計地下水位を踏まえ、改めて網羅的に液状化検討対象施設を抽出し、その上で解析手法を選定する。

なお、第 3.1-2 図のフローにより抽出した液状化検討対象施設のうち、地下水位が施設底版より高く、施設と地下水が接する場合は、間隙水圧の上昇により浮き上がりのおそれが有ることから、浮き上がりに対する安全性を確認する。

また、波及的影響評価において抽出される屋外下位クラス施設に対する検討方針は本資料に基づき整理を行う。

※液状化と繰返し軟化(サイクリックモビリティ含む)の区分については「5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定」にて後述する。

第 3.2-1 表(1) 液状化検討対象施設の抽出結果の例

(第 3.1-2 図(1)の①, ②)

施設分類	施設名称	項目			液状化検討 対象施設 ○：対象 ×：対象外	
		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			
設計基準 対象施設	建物・ 構築物	原子炉建屋	Yes	—	—	×
		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	—	—	×

第 3.2-1 表(2) 液状化検討対象施設の抽出結果の例
(第 3.1-2 図(2)の①, ②)

施設分類	施設名称	項目			液状化検討 対象施設 ○：対象 ×：対象外	
		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			
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}	○
		取水路	No	No	地表面に設計地下水位を設定する。 ^{※3}	○
		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。	○
		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。	○
		原子炉補機冷却海水ポンプ出口 ストレーナ室	No	No	地表面に設計地下水位を設定する。	○
		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。	○
		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。	○
	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}	○
		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。	○
		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。	○
		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。	○
		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}	○
		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}	○
		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。 ^{※3}	○
		貯留堰	No	No	地表面に設計地下水位を設定する。 ^{※3}	○

※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。

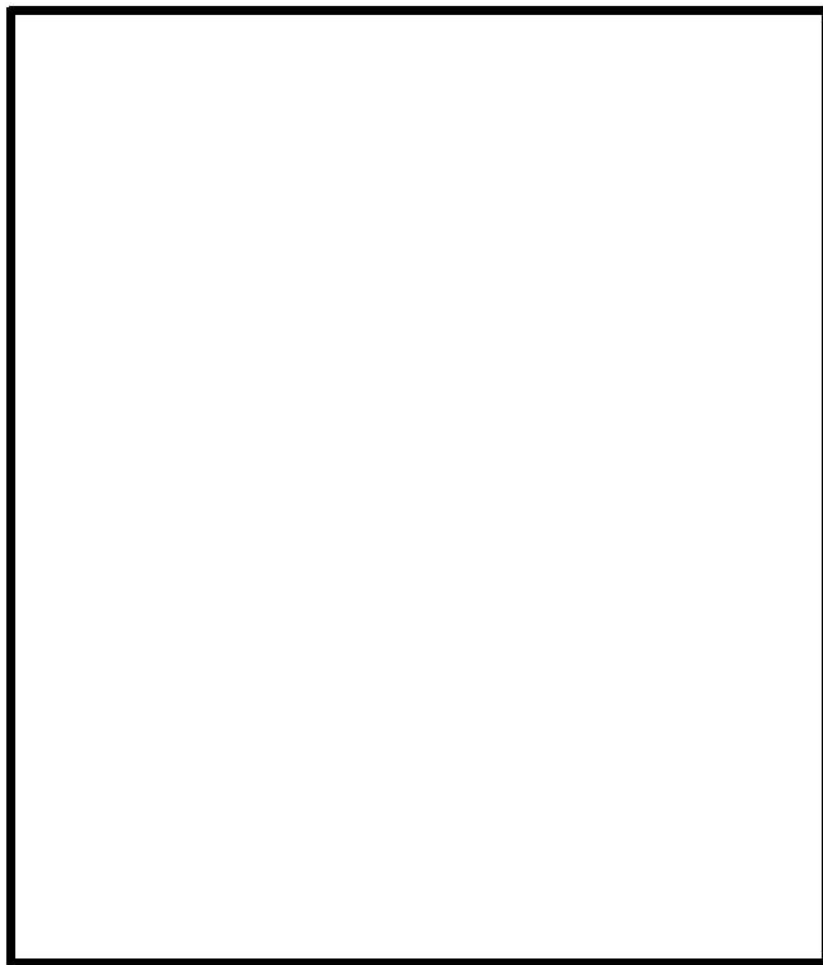
※2 取水口の設計地下水位は、日本港湾協会(2007)の残留水位の設定方法に基づき T.P. 0.55m に設定する。

※3 防潮堤よりも海側の設計地下水位は、朔望平均満潮位 T.P. 0.26m に設定し、防潮堤よりも山側の設計地下水位は、地表面に設定する。

第 3. 2-2 表 液状化検討対象施設の解析手法選定結果の例
 (屋外重要土木構造物及び津波防護施設等)
 (第 3. 1-2 図(2)の③, ④, ⑤)

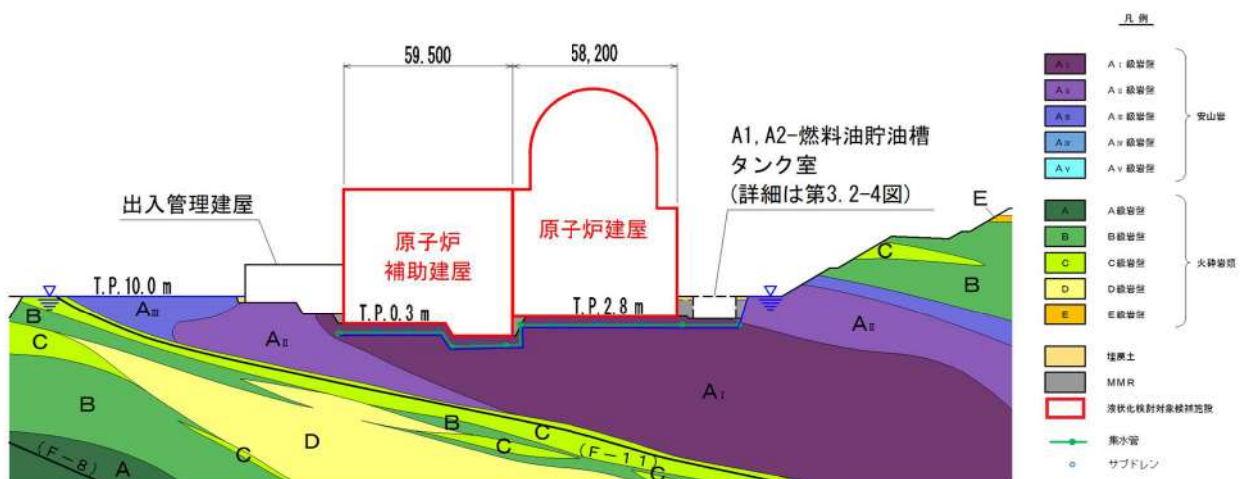
施設分類	施設名称	項目			解析手法の選定結果	
		③地表面や岩盤表面が傾斜している	④地下水位以深の液状化検討対象層が施設と接する※1	⑤施設が耐震性を有する隣接構造物等に囲まれており、その外側の地下水位以深の液状化検討対象層が広範囲に分布する		
設計基準対象施設	屋外重要土木構造物	取水口	No	Yes	—	有効応力解析
		取水路	No	Yes	—	有効応力解析
		取水ピットスクリーン室	No	No	Yes	有効応力解析
		取水ピットポンプ室	No	No	Yes	有効応力解析
		原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ室	No	No	Yes	有効応力解析
		原子炉補機冷却海水管ダクト	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	Yes	—	有効応力解析
	津波防護施設・浸水防止設備	防潮堤	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	Yes	—	有効応力解析
		3号炉放水ピット流路縮小工	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	Yes	—	有効応力解析
		屋外排水路逆流防止設備	Yes	—	—	有効応力解析
		1号及び2号炉取水路流路縮小工	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	Yes	—	有効応力解析
		貯留堰	No	No	Yes	有効応力解析

※1 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と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。

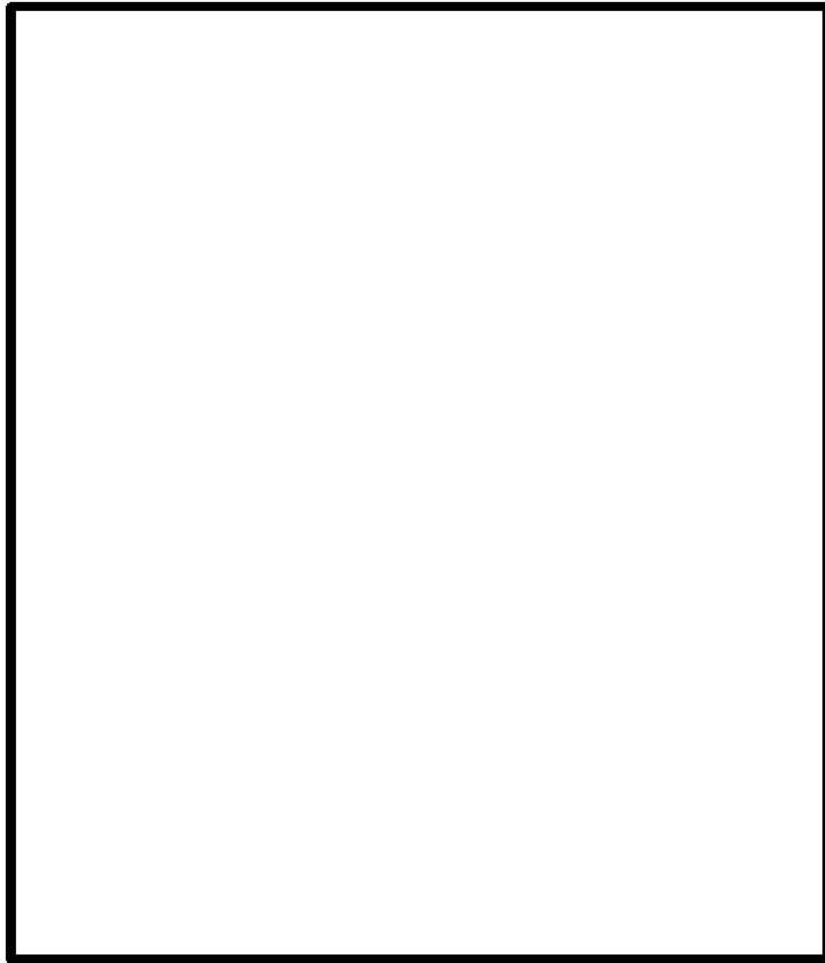


□:枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

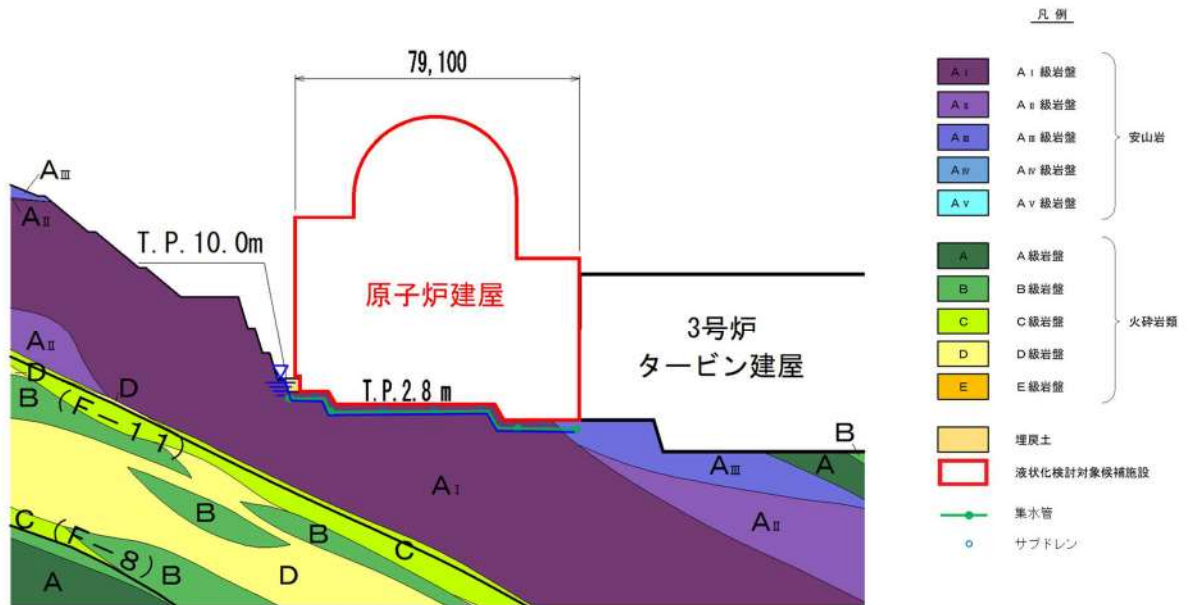


第 3.2-1 図 原子炉建屋，原子炉補助建屋，A1, A2-燃料油貯油槽タンク室断面図(①-①')

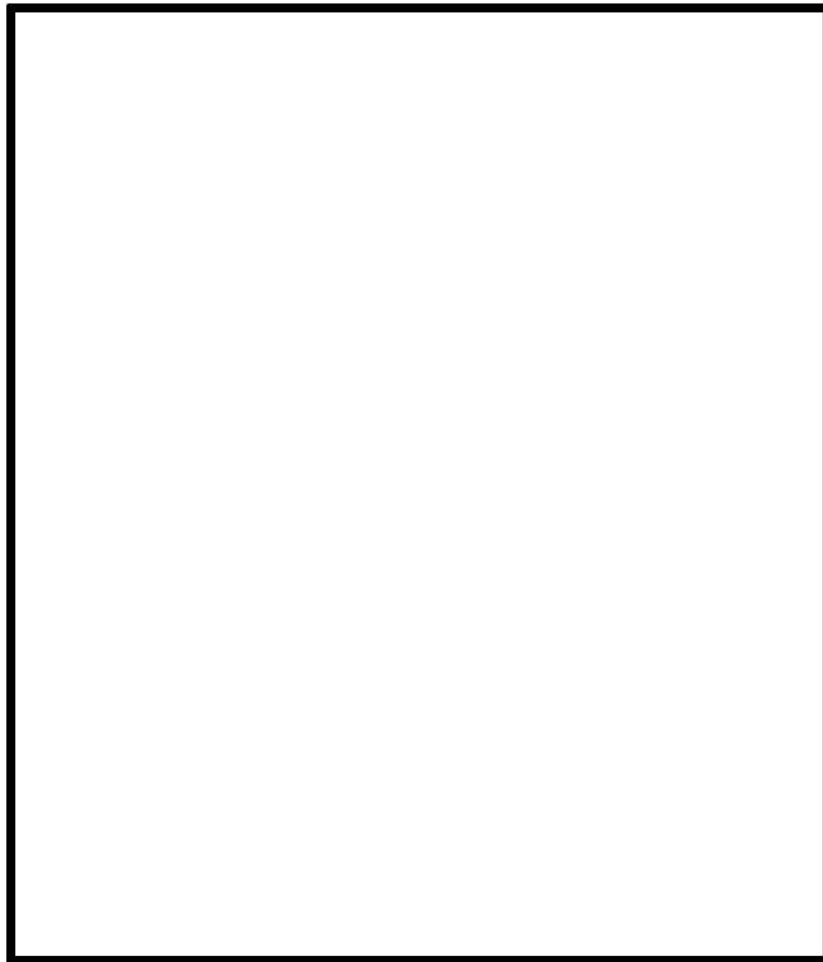


□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

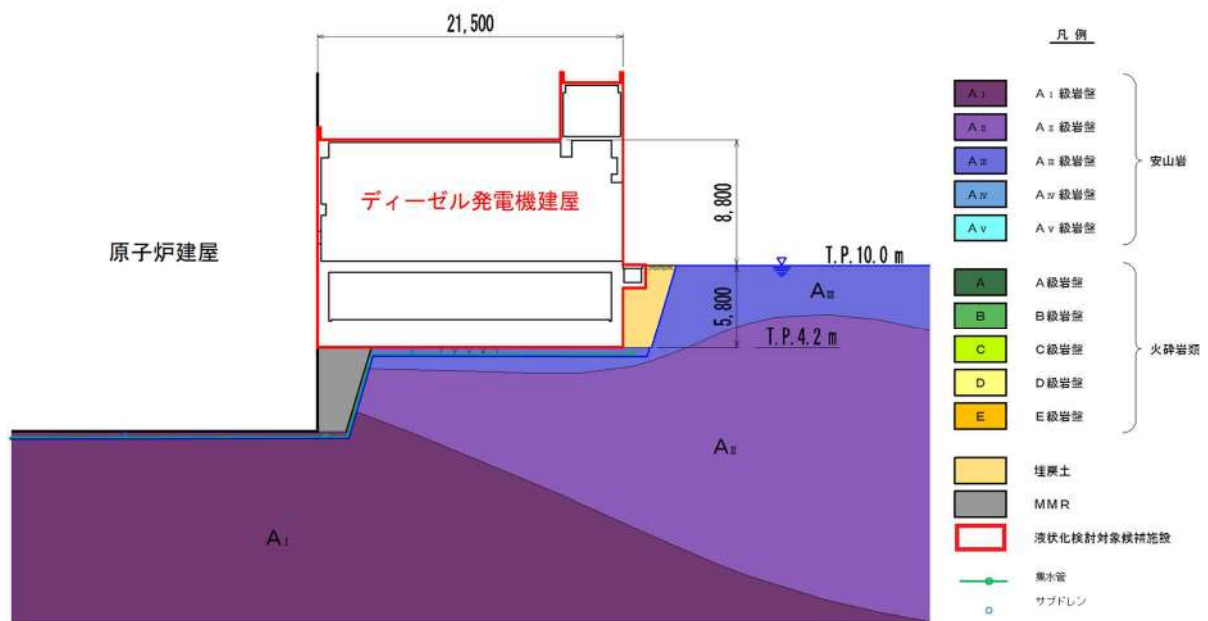


第 3.2-2 図 原子炉建屋断面図(②-②')

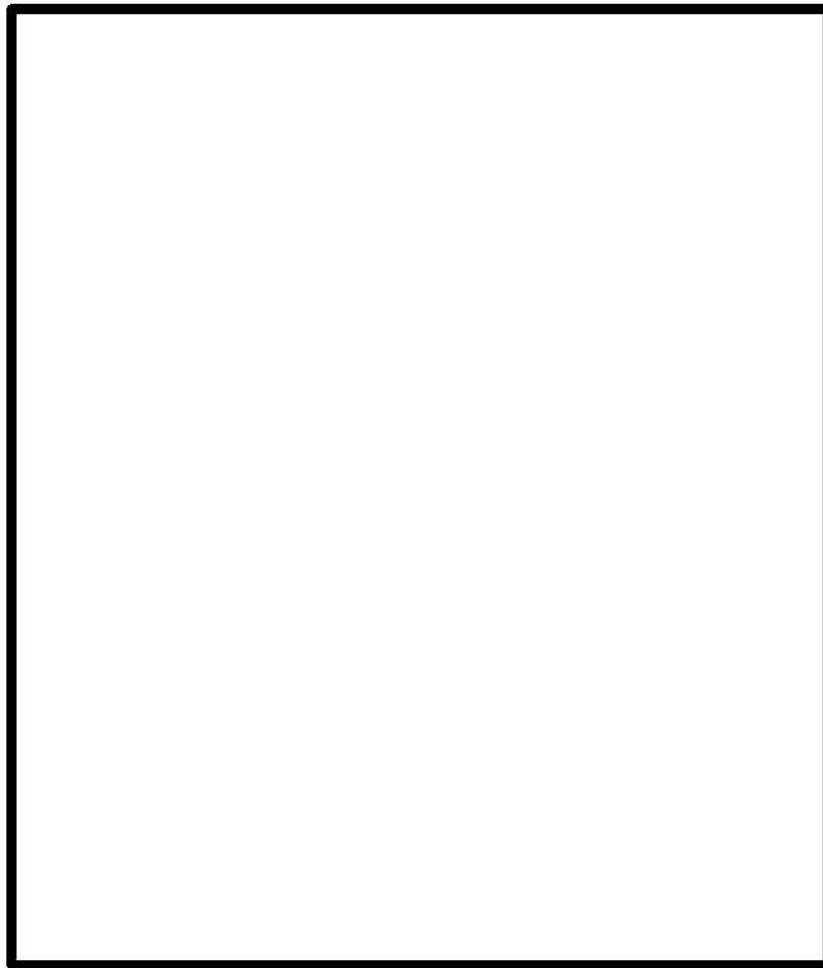


□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

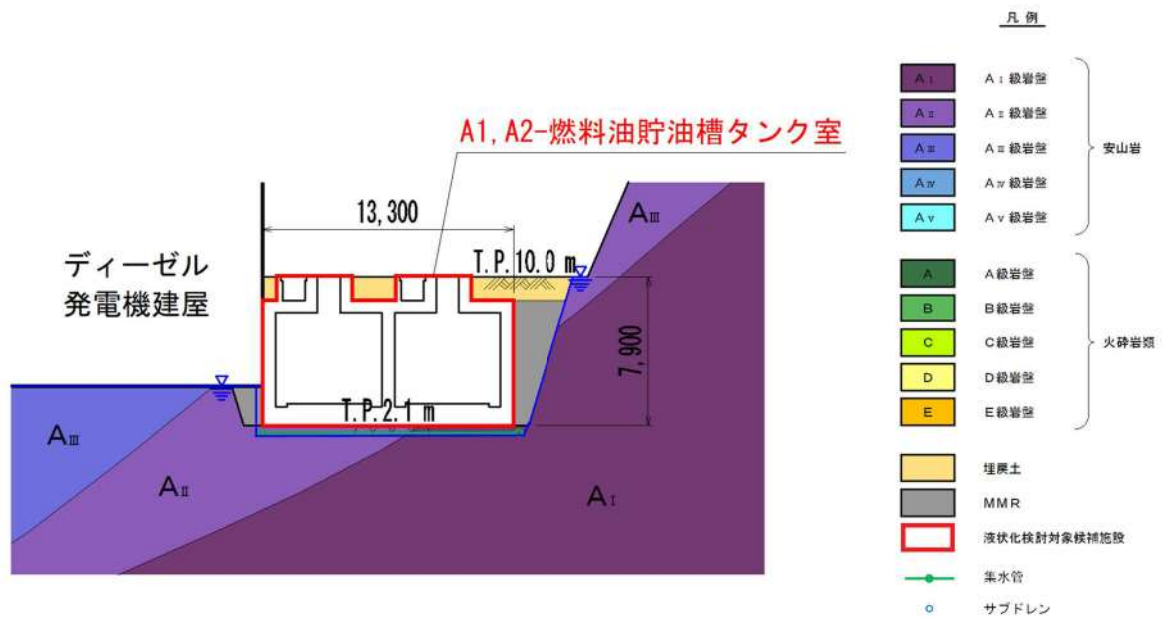


第 3.2-3 図 ディーゼル発電機建屋断面図

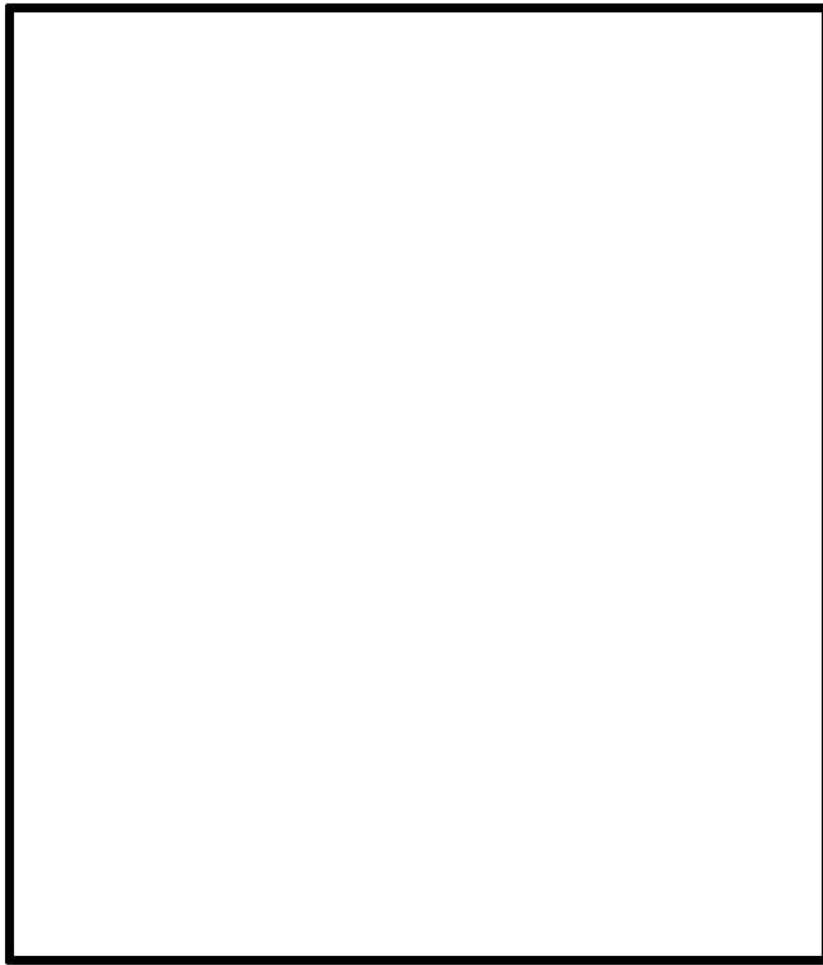


□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

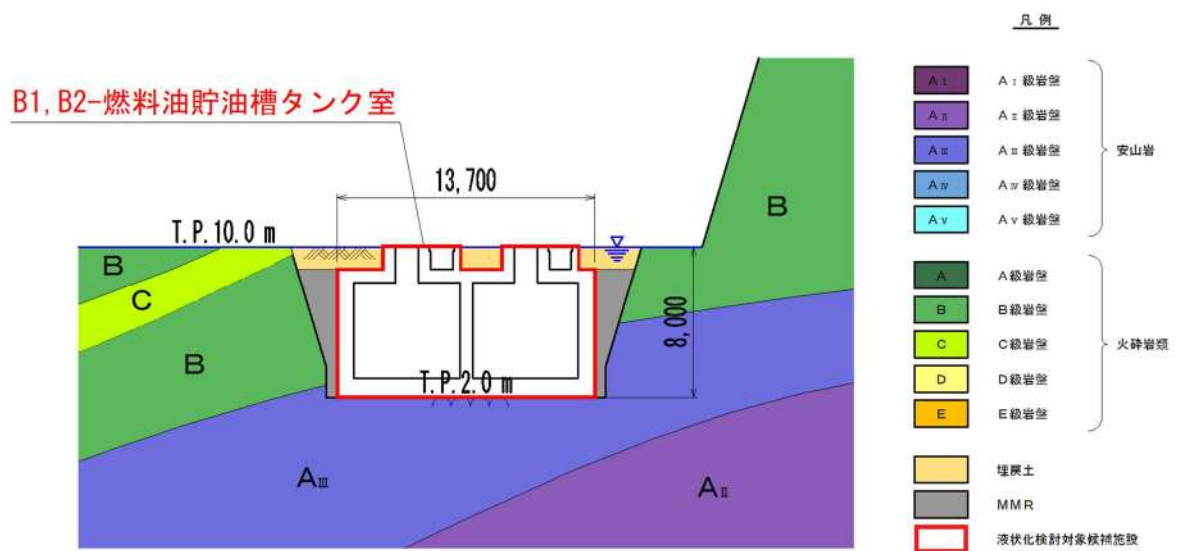


第 3.2-4 図 A1, A2-燃料油貯油槽タンク室断面図

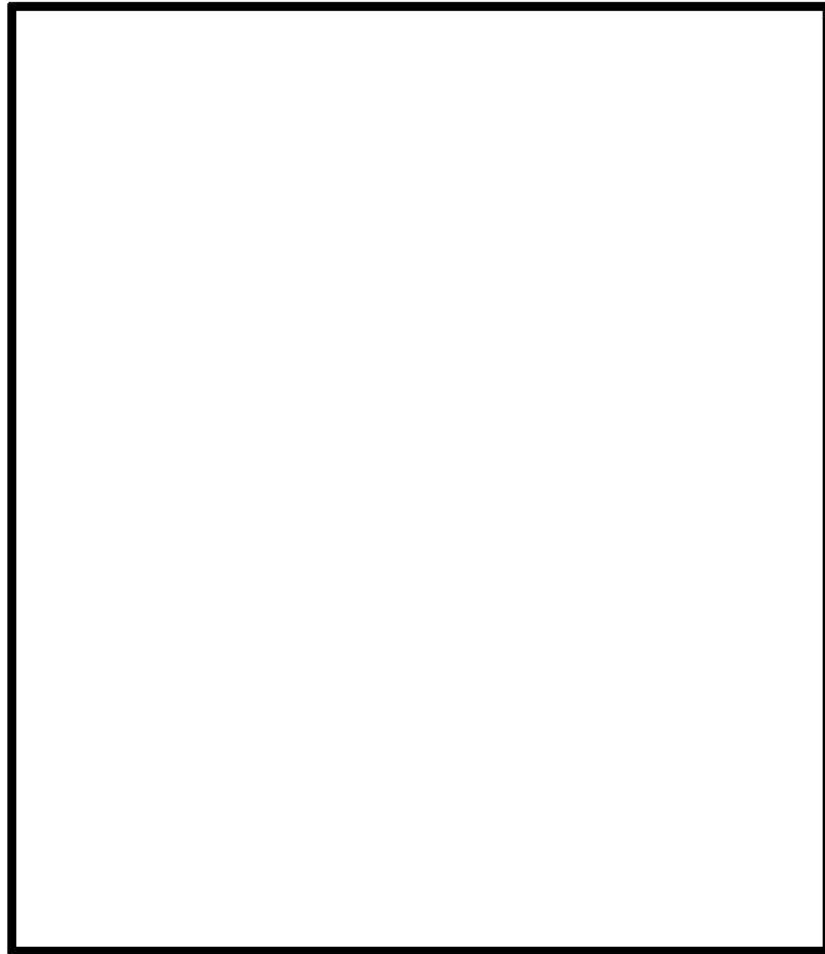


□: 枠図みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

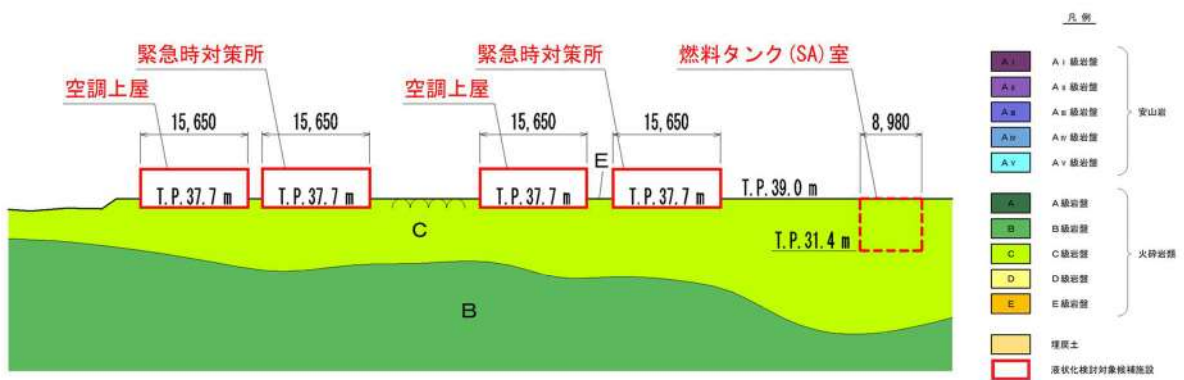


第 3.2-5 図 B1, B2-燃料油貯油槽タンク室断面図



□: 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。

対象施設位置図

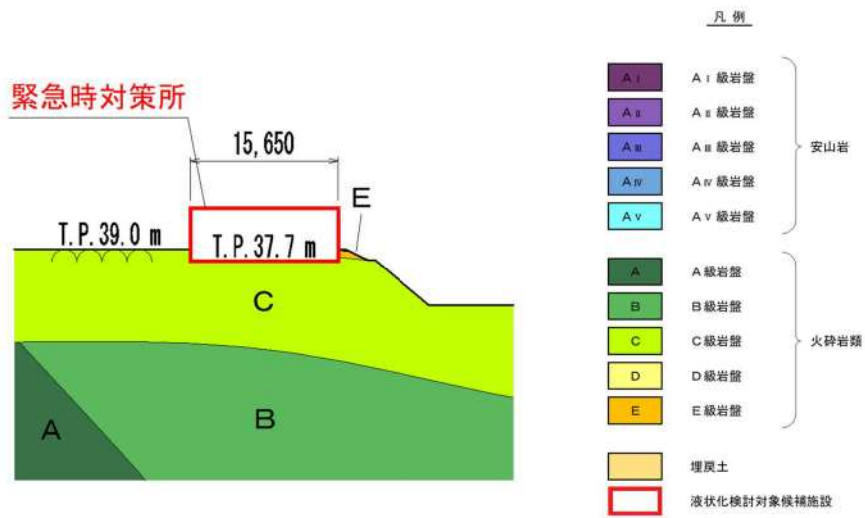


第 3.2-6 図(1/2) 緊急時対策所, 空調上屋断面図(③-③')

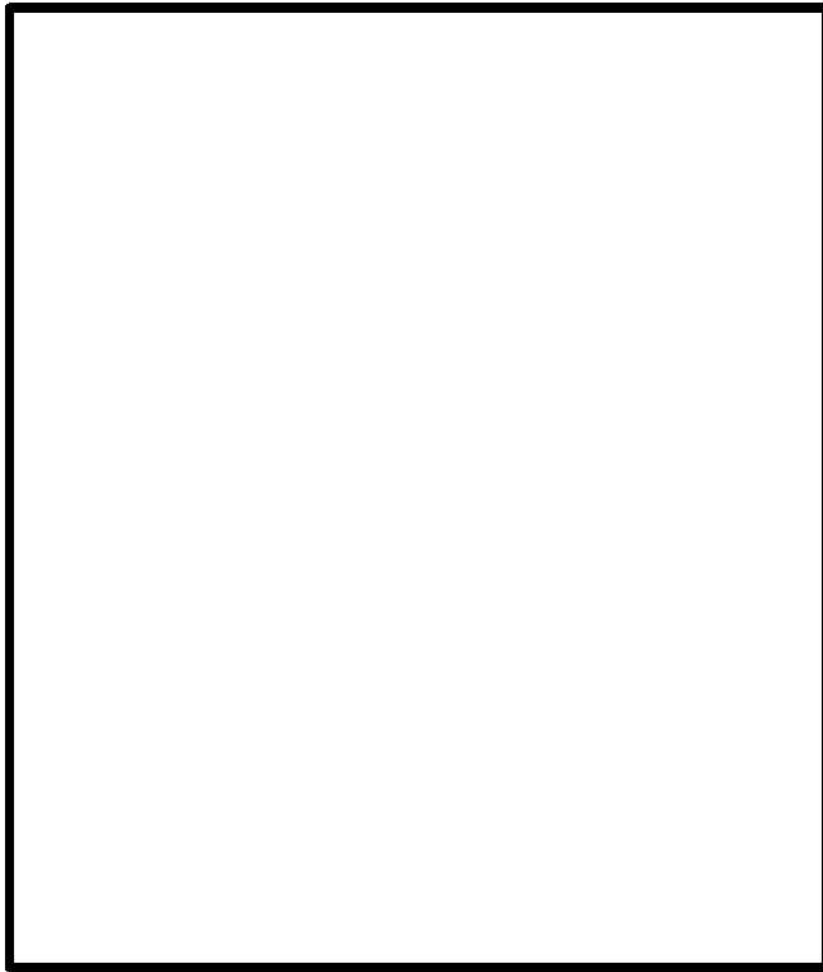


□:枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

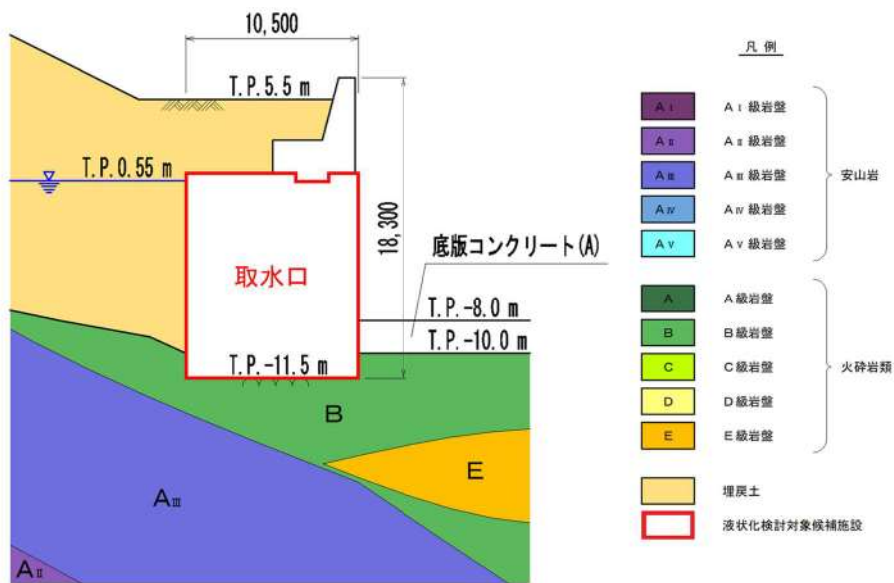


第 3.2-6 図 (2/2) 緊急時対策所断面図(④-④')

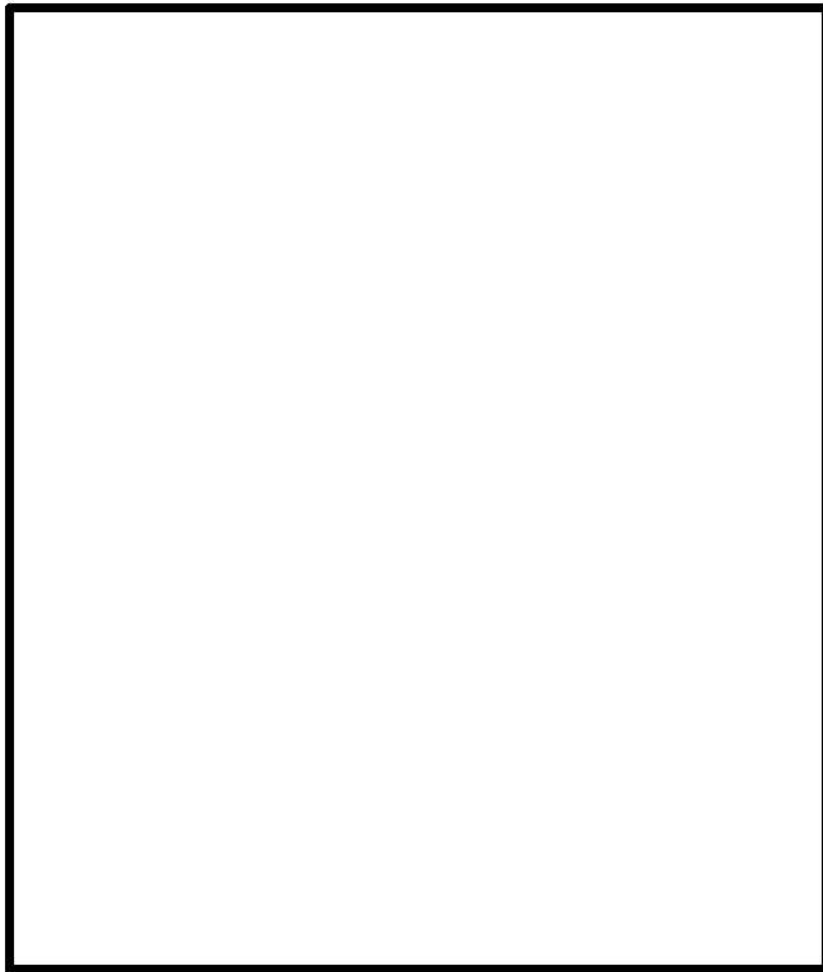


□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

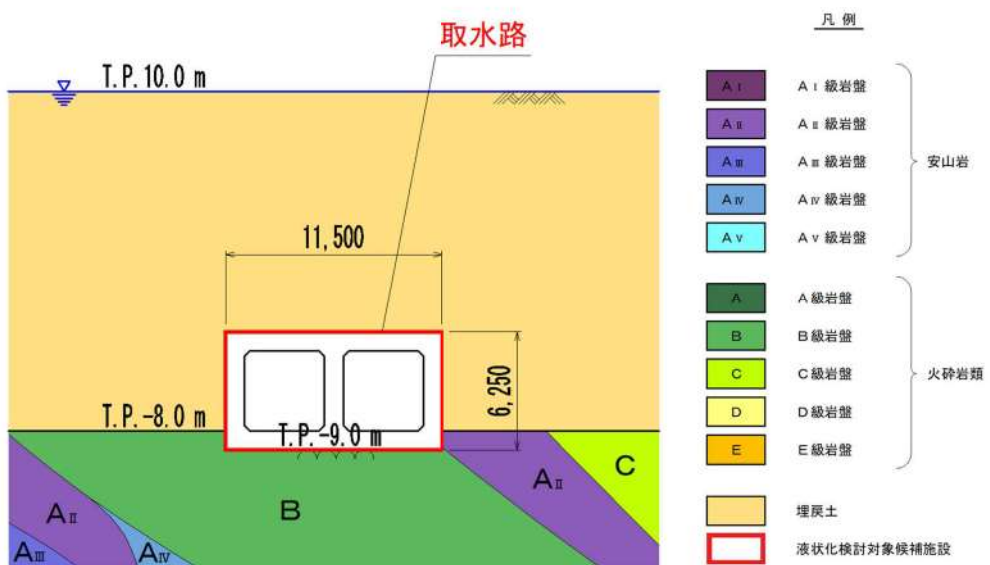


第 3.2-7 図 取水口断面図



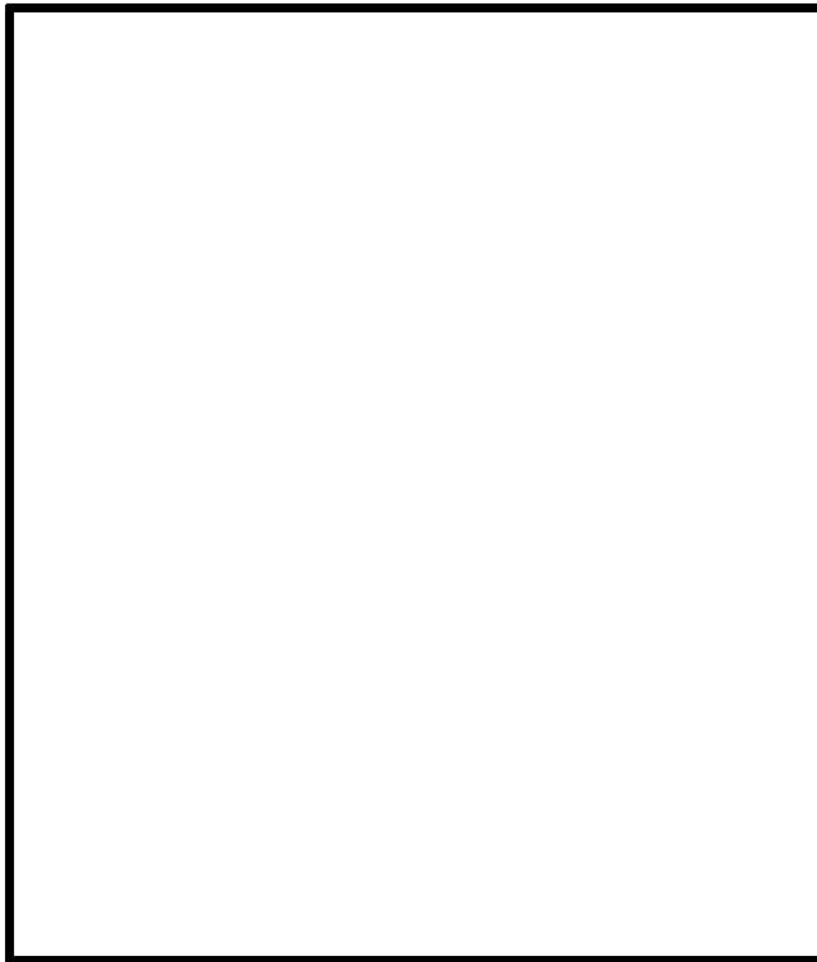
□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図



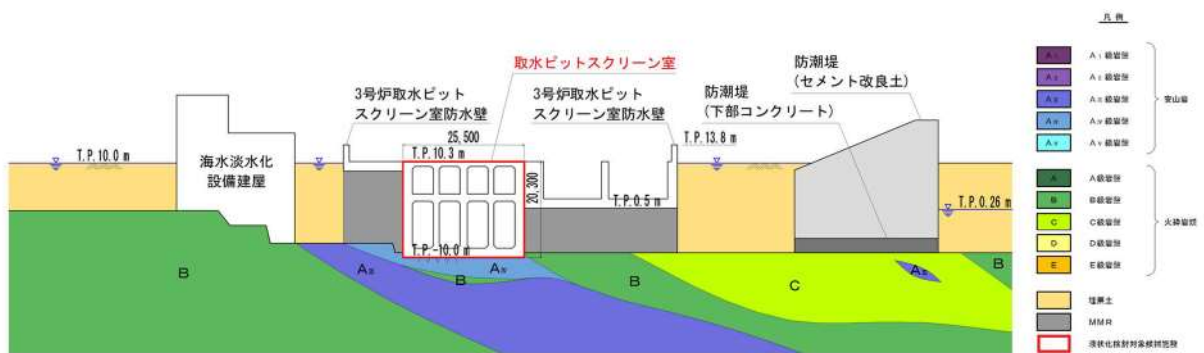
第 3.2-8 図 取水路断面図

4 条-別紙 9-28

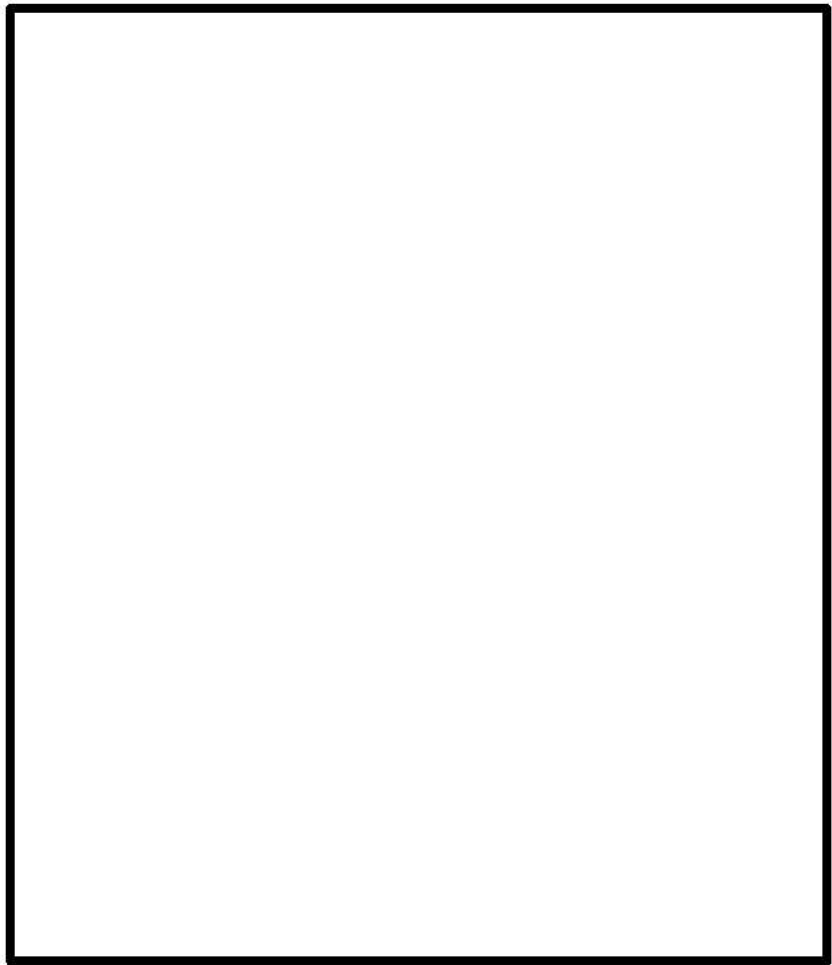


□:枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

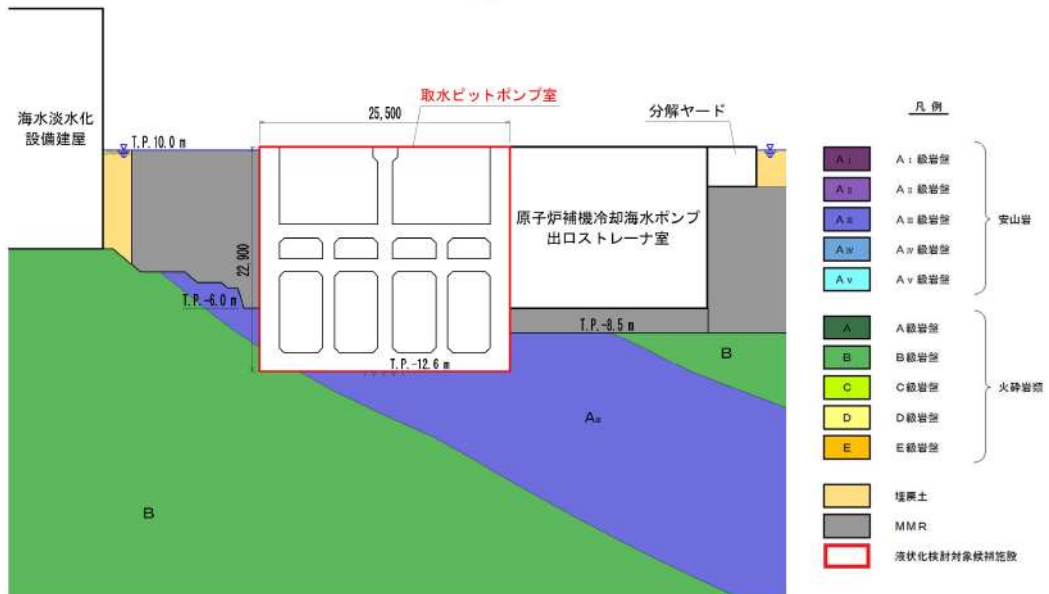


第 3.2-9 図 取水ピットスクリーン室断面図



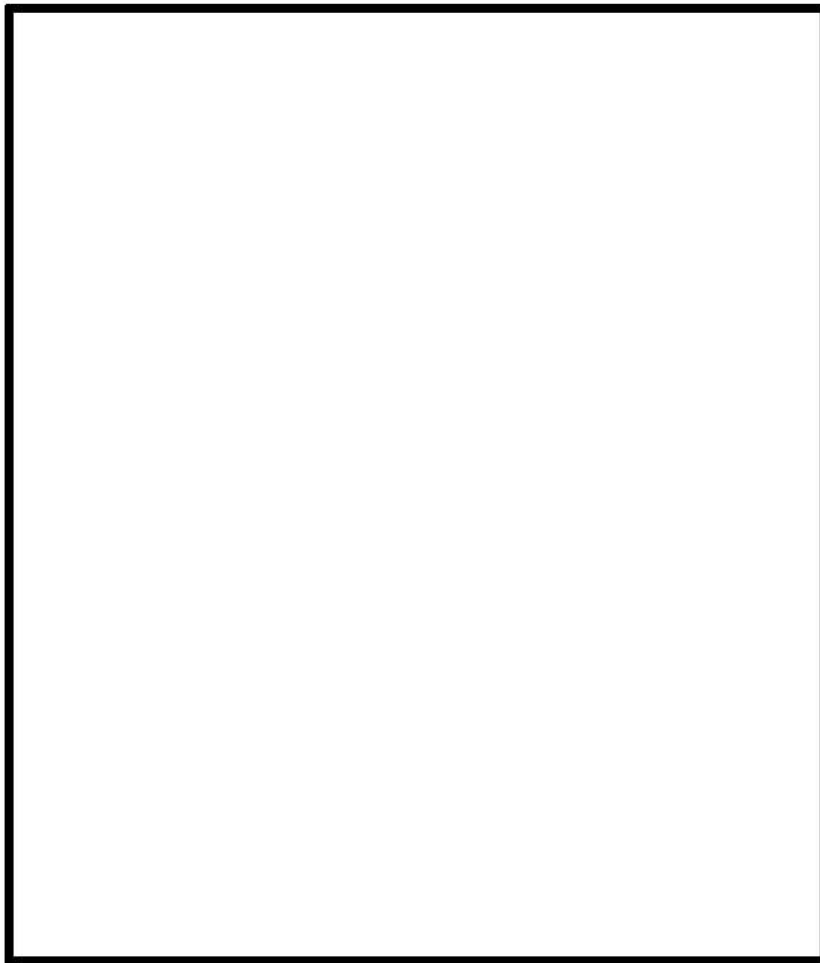
□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図



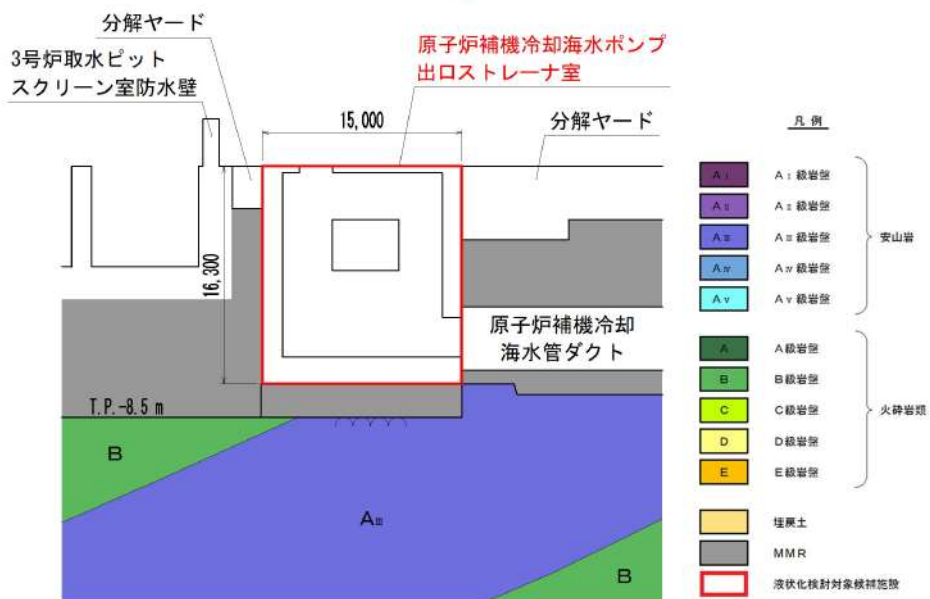
※分解ヤード下を含む取水ピットポンプ室周辺の地盤については、MMR 置換による耐震補強を検討中。

第 3.2-10 図 取水ピットポンプ室断面図



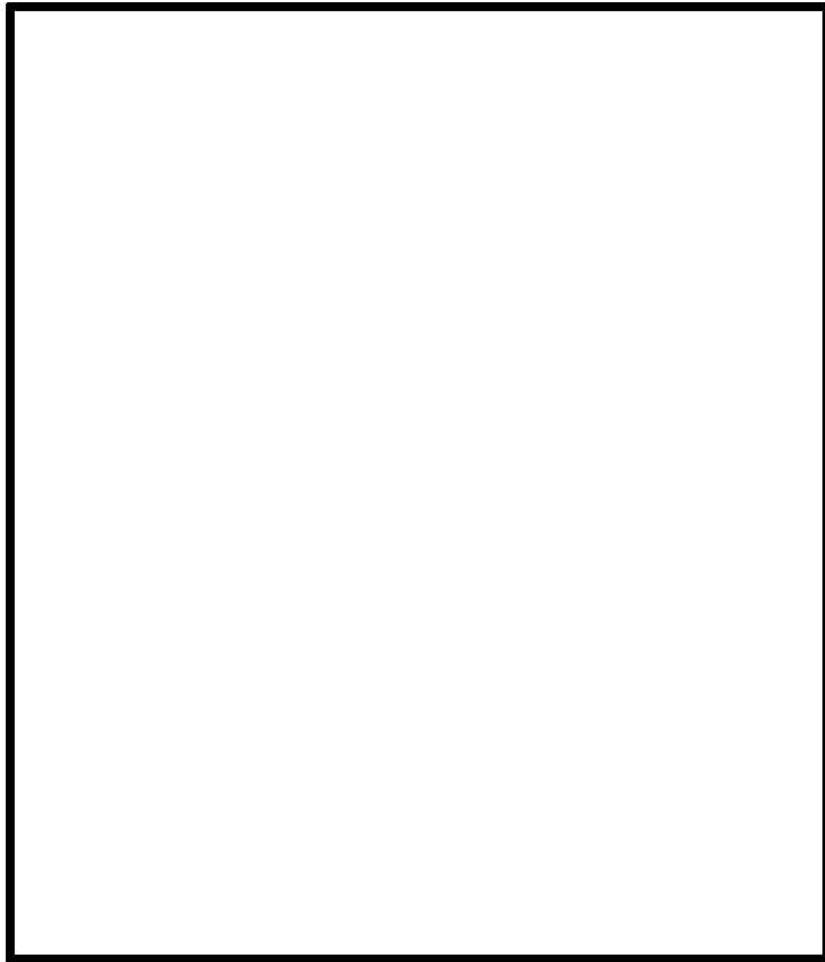
□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図



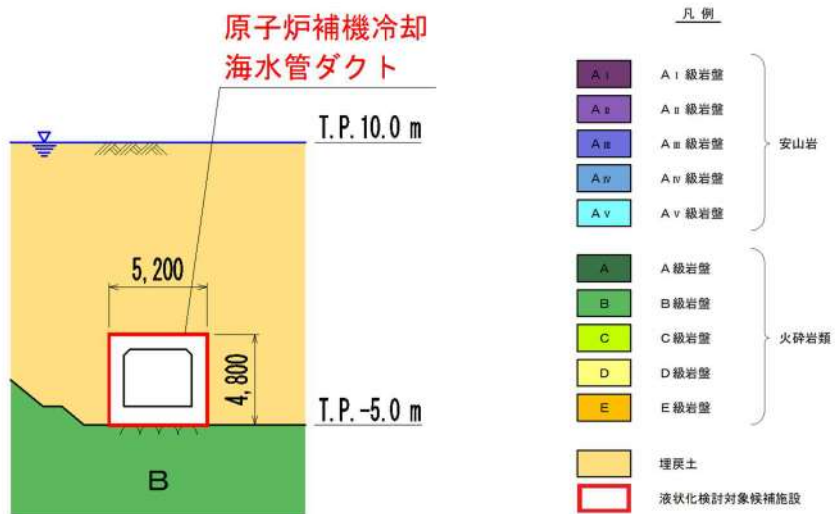
※分解ヤード下を含む取水ピットポンプ室周辺の地盤については、MMR 置換による耐震補強を検討中。

第 3. 2-11 図 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ室断面図

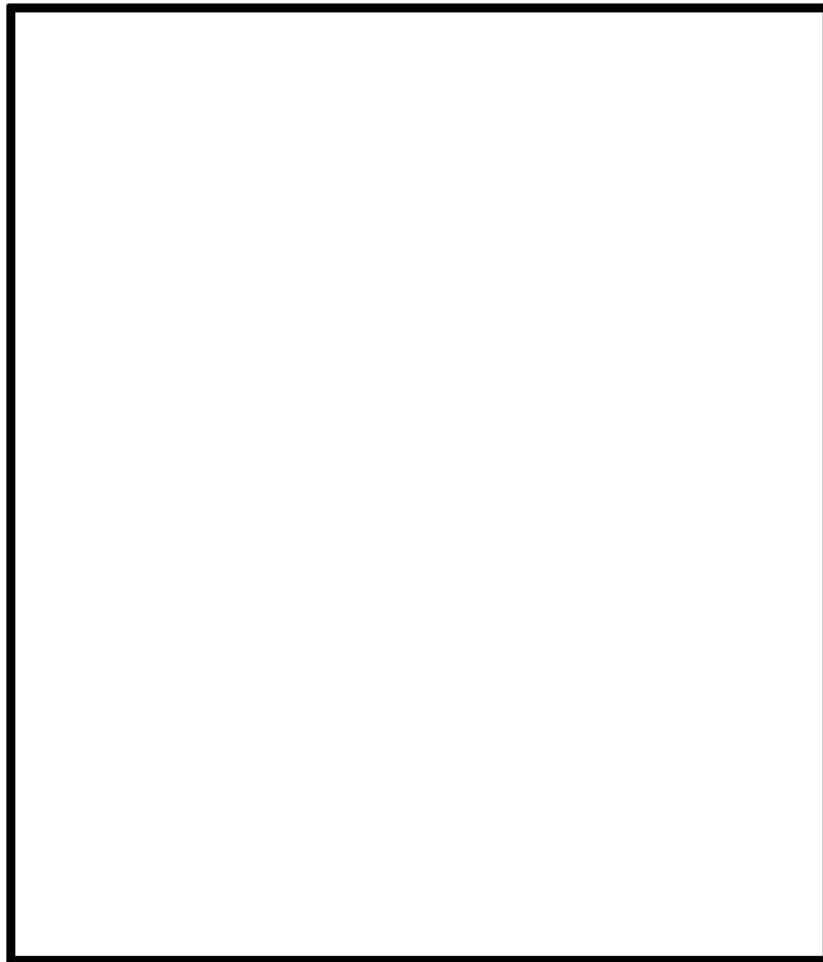


□:枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

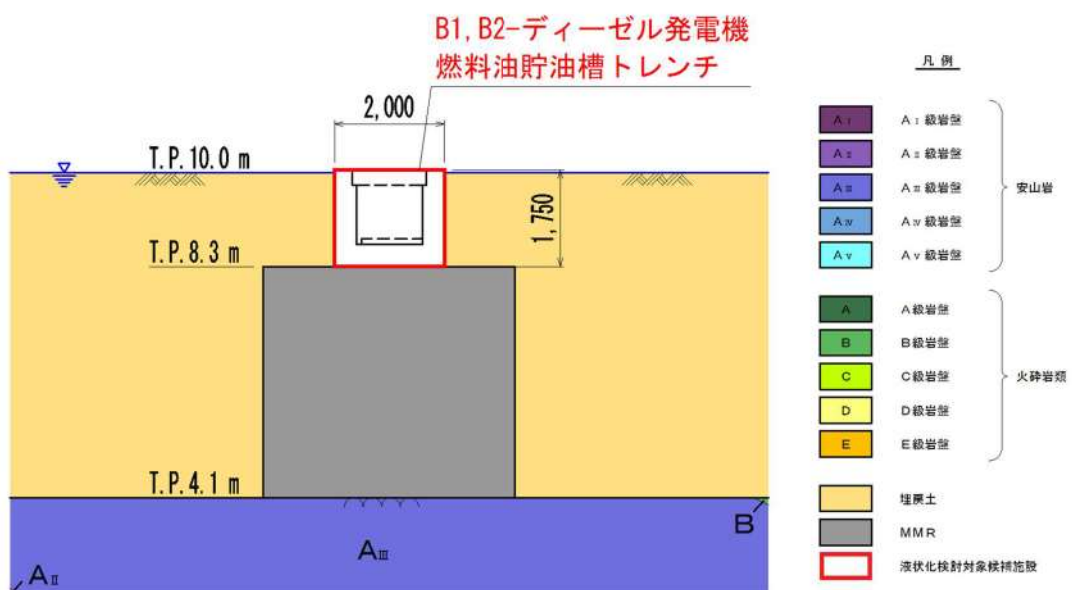


第 3.2-12 図 原子炉補機冷却海水管ダクト断面図

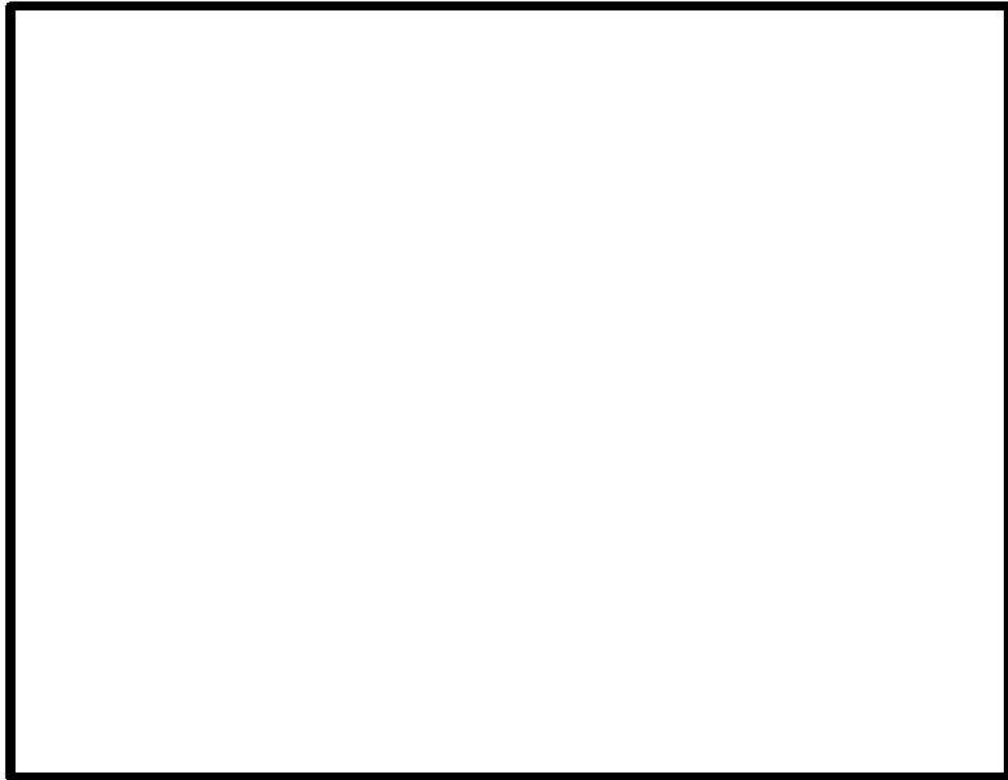


□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

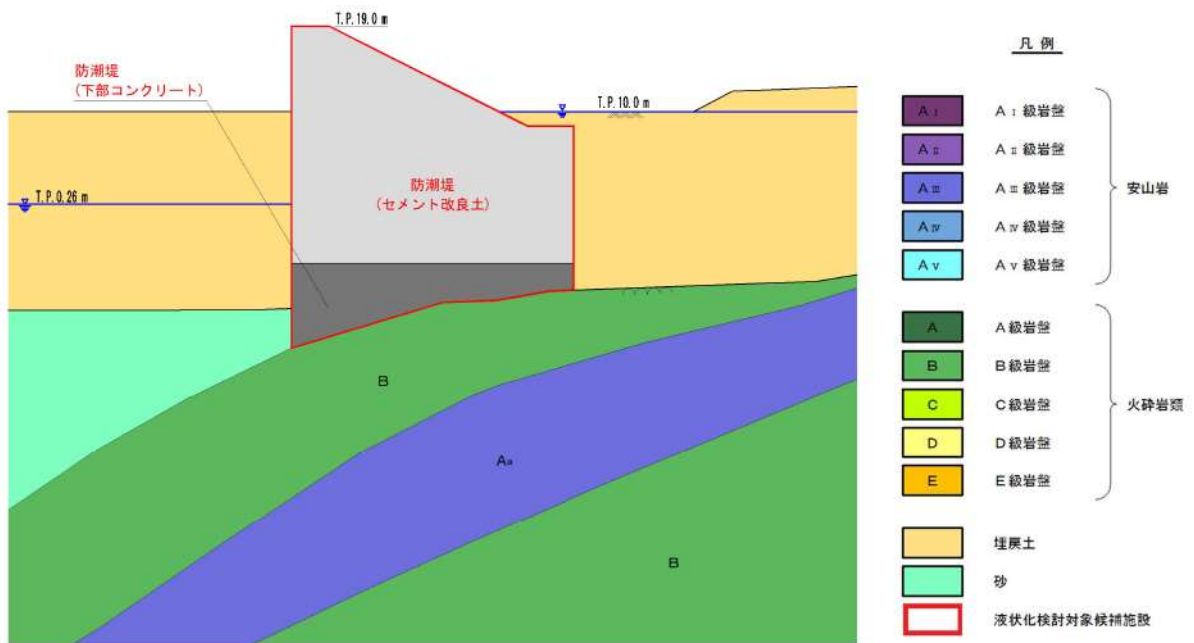


第 3.2-13 図 B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ断面図



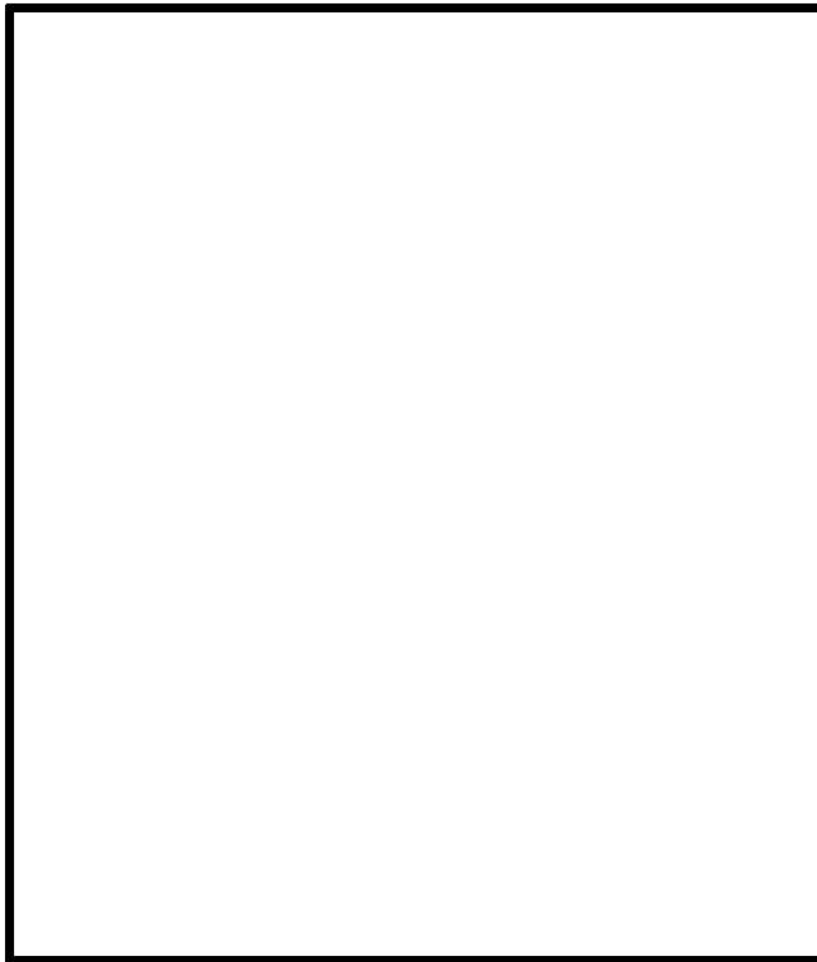
□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図



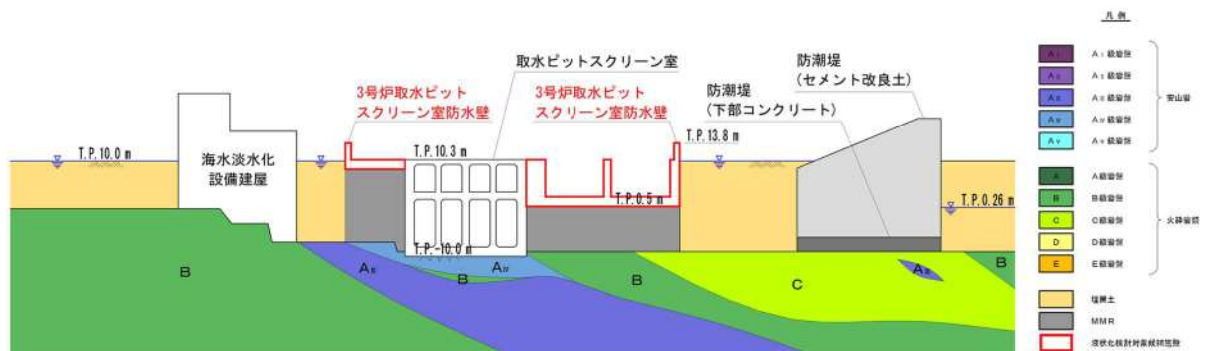
※下部コンクリートは、防潮堤の高さ・止水性維持を目的として設置する無筋コンクリートであり、施設として扱う。

第 3. 2-14 図 防潮堤断面図

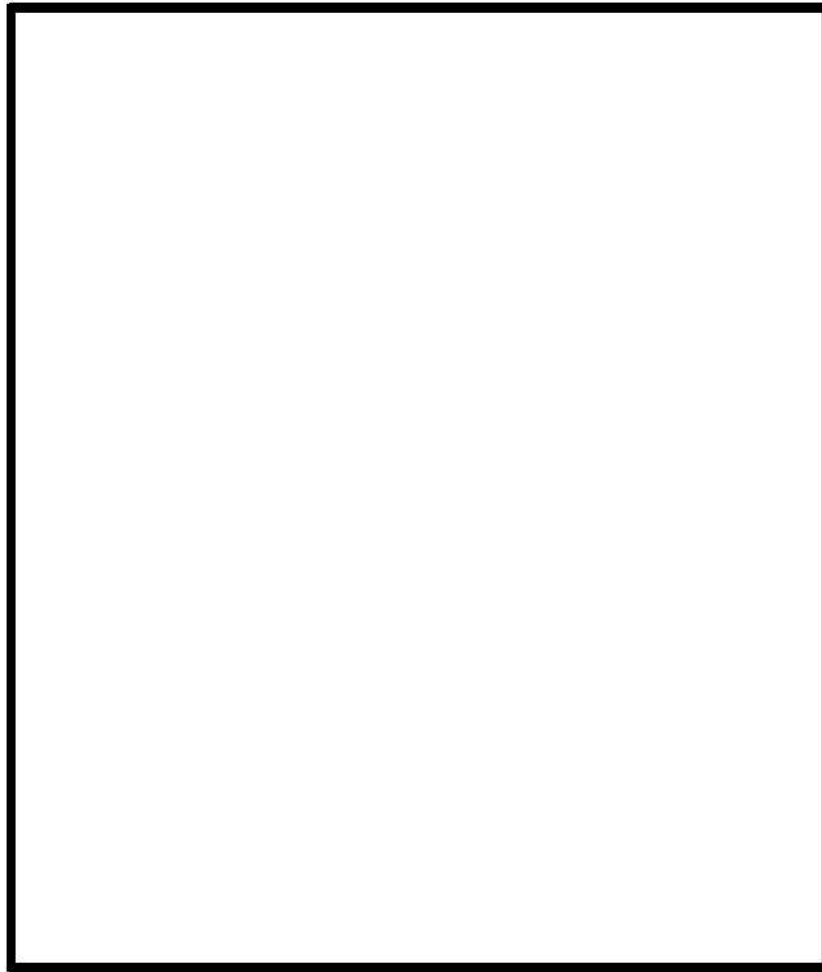


□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

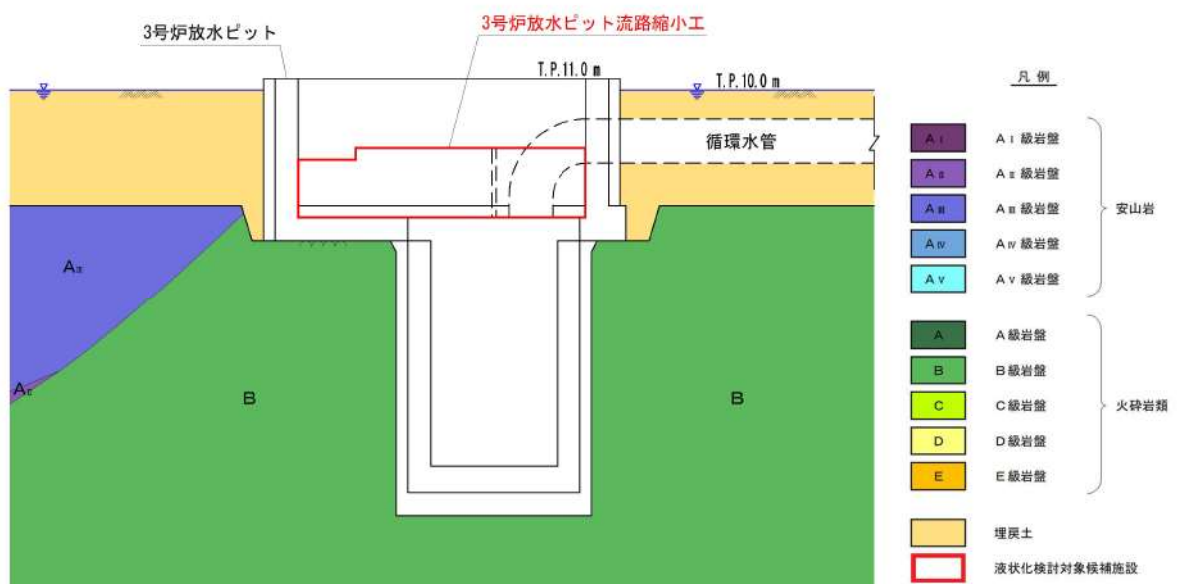


第 3. 2-15 図 3 号炉取水ピットスクリーン室防水壁断面図

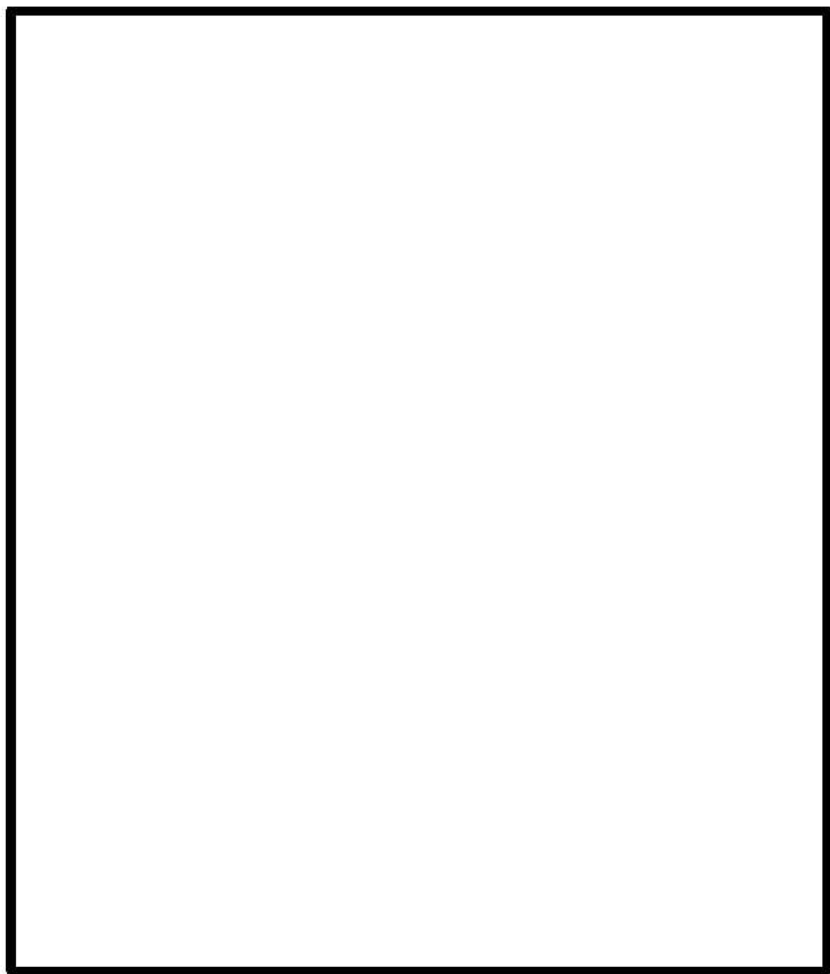


□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

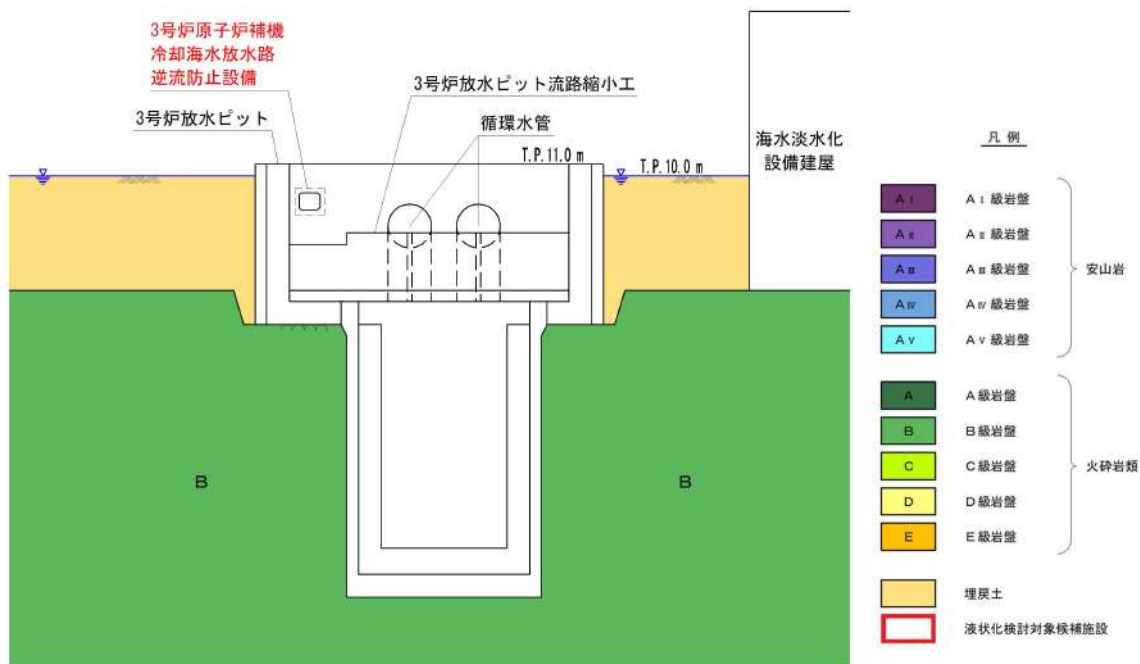


第 3.2-16 図 3 号炉放水ピット流路縮小工断面図

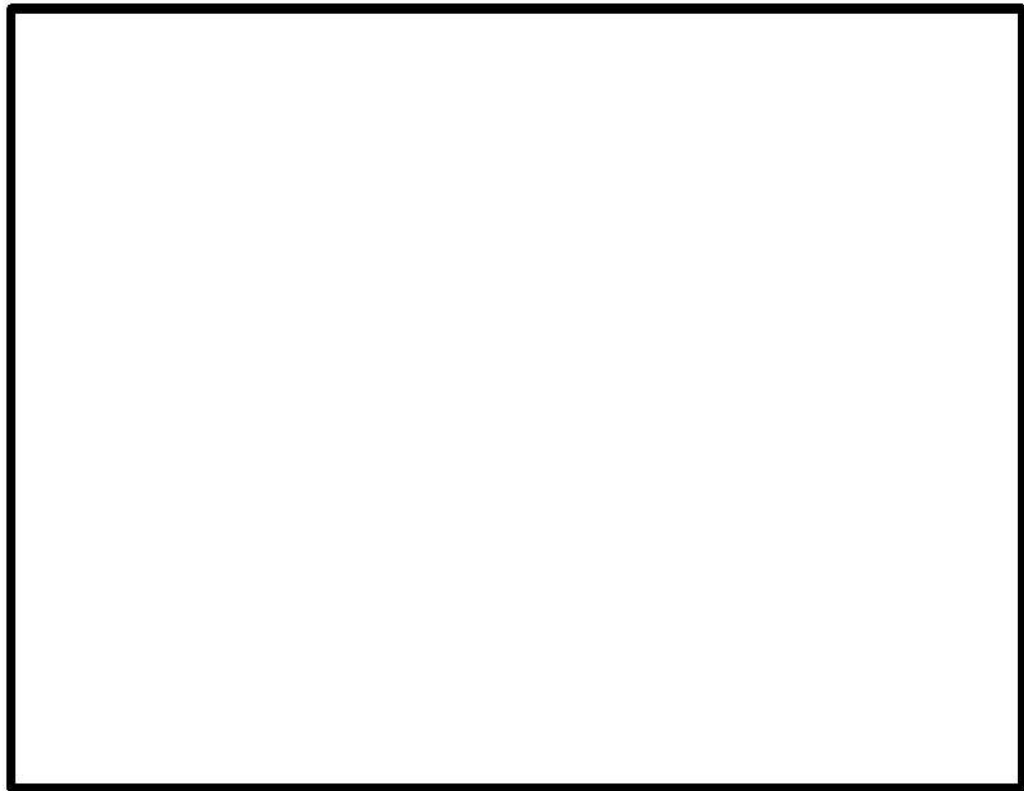


□:枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

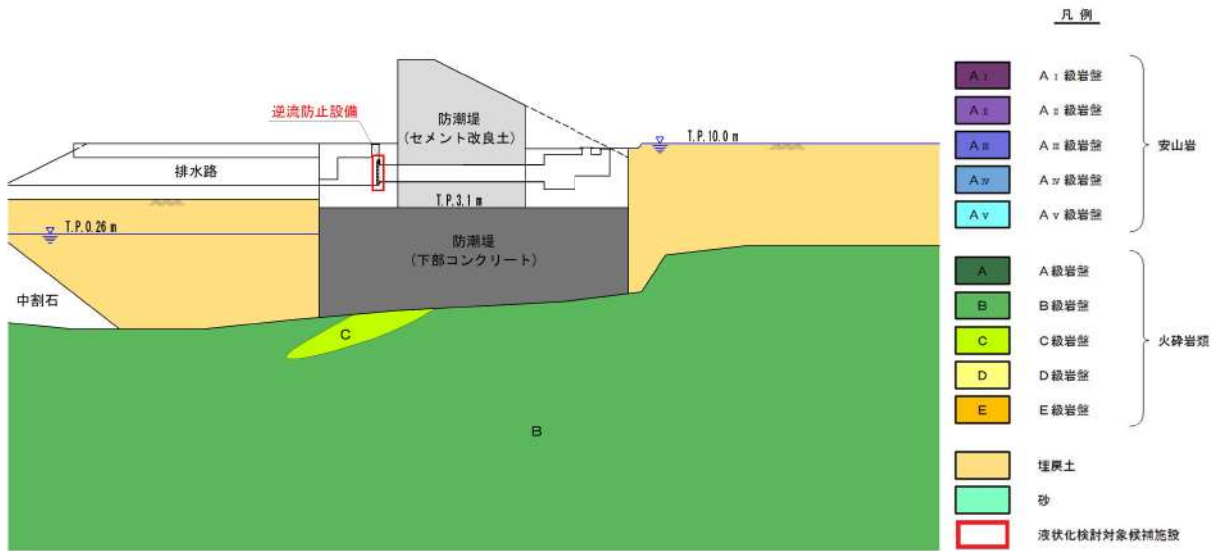


第 3.2-17 図 3 号炉原子炉補機冷却海水放水路逆流防止設備断面図



□: 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。

対象施設位置図



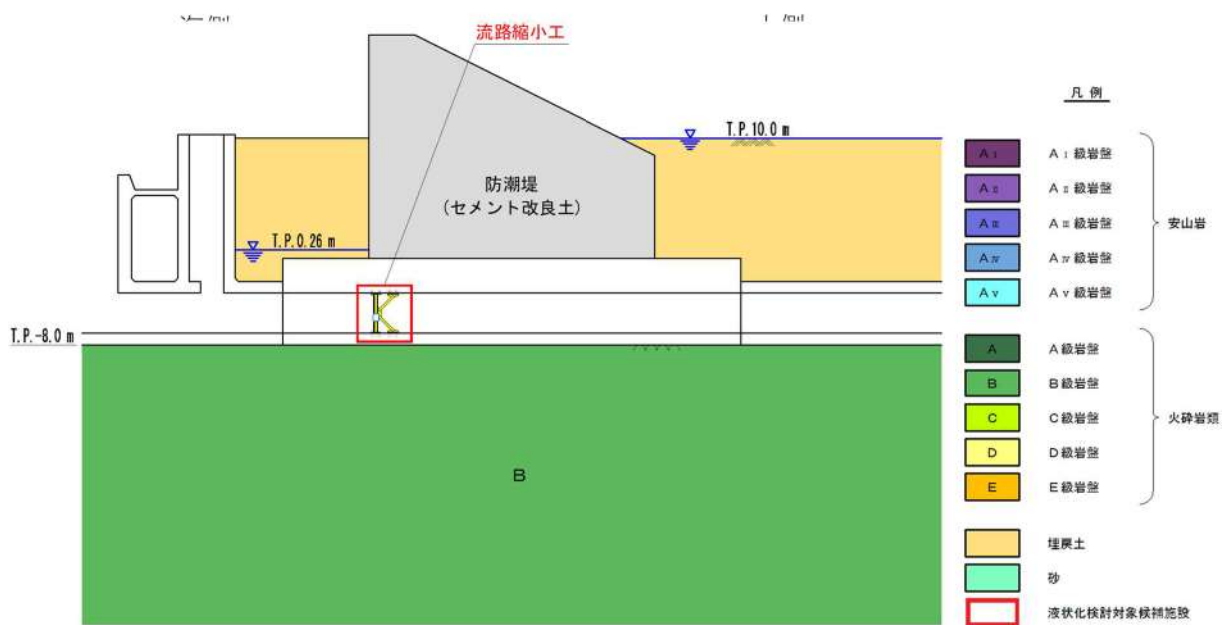
※下部コンクリートは、防潮堤の高さ・止水性維持を目的として設置する無筋コンクリートであり、施設として扱う。

第 3.2-18 図 屋外排水路逆流防止設備断面図

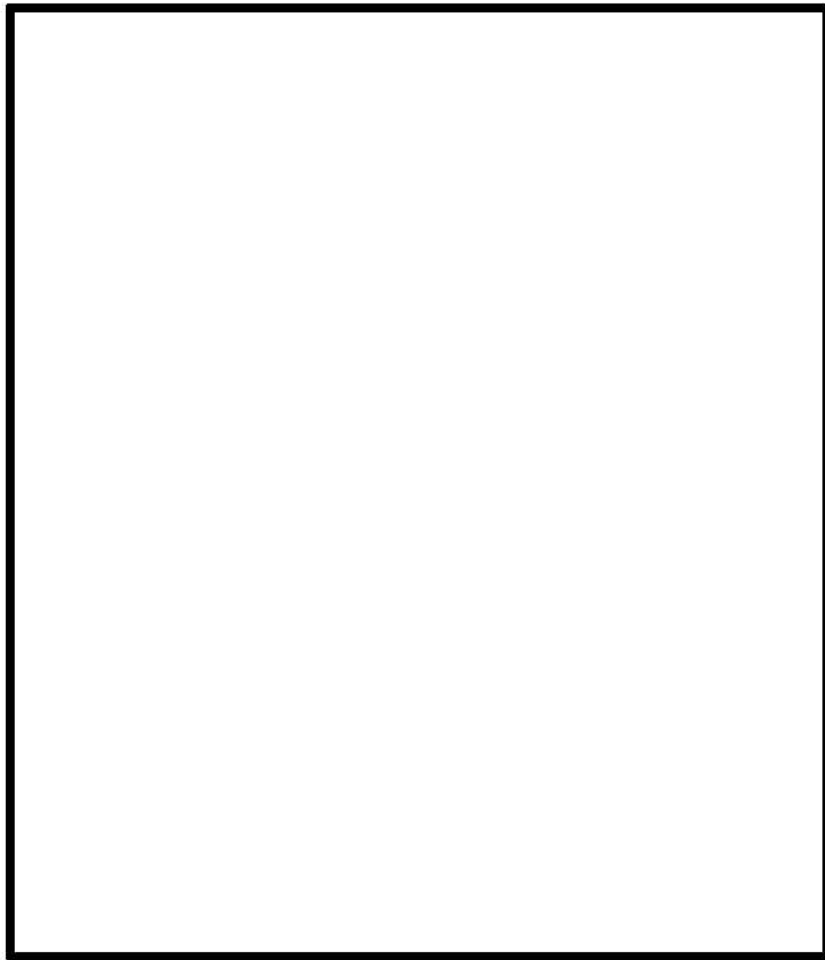


□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

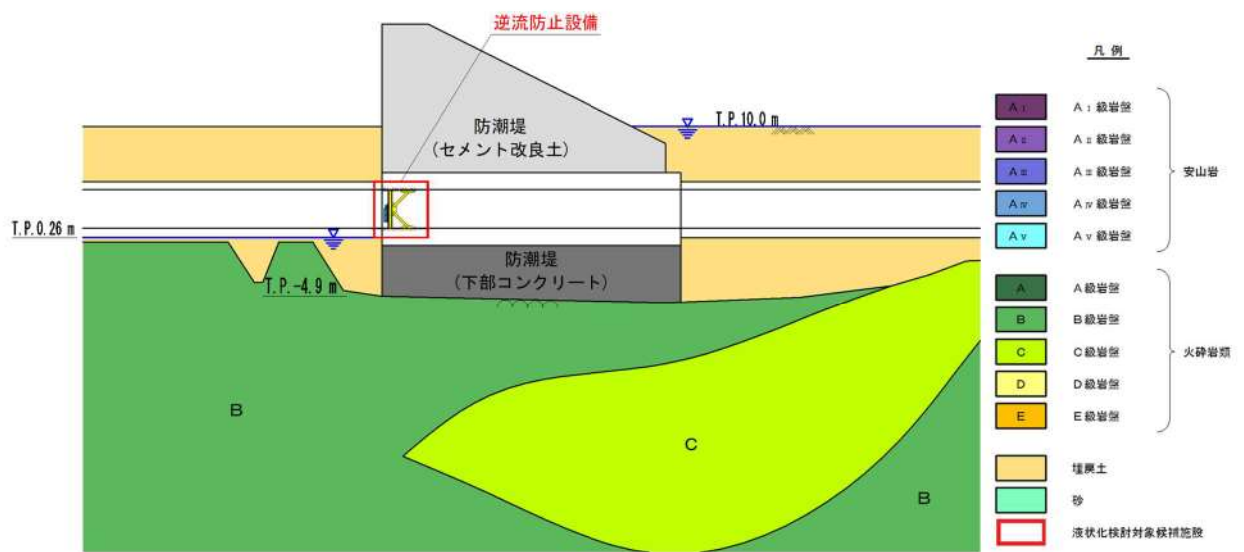


第 3.2-19 図 1 号及び 2 号炉取水路流路縮小工断面図



□ : 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。

対象施設位置図



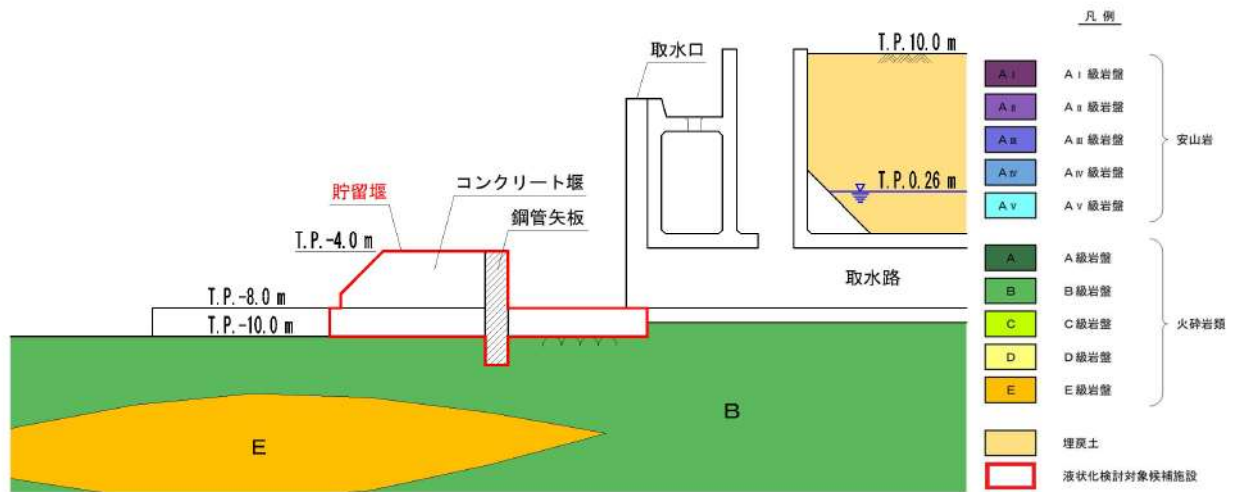
※下部コンクリートは、防潮堤の高さ・止水性維持を目的として設置する無筋コンクリートであり、施設として扱う。

第 3.2-20 図 1 号及び 2 号炉放水路逆流防止設備断面図



□ : 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。

対象施設位置図



※貯留堰は構造検討中であり、今後変更となる可能性がある。

第 3.2-21 図 貯留堰部断面図

4. 液状化強度試験の試料採取位置選定とその代表性

4.1 試料採取位置の選定及び代表性確認の方針

液状化強度試験位置の代表性については、以下の方針に基づいて確認する。

- ・液状化強度試験の試料採取位置とその周辺で実施したボーリング調査位置(以下「周辺調査位置」という)の物理特性の比較により代表性を確認する。
- ・代表性確認の対象土層は、液状化検討対象層である 1, 2 号埋戻土, 3 号埋戻土並びに As1 層及び As2 層とする。
- ・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される場合は、追加調査を実施する。

4.2 試料採取位置の選定

敷地内に残存する液状化検討対象層(埋戻土・砂層)について、採取可能な試料採取位置の選定を行った。

埋戻土の液状化強度試験に用いる試料採取位置は、第 4.2-1 図～第 4.2-3 図に示すとおり、「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、飽和した埋戻土が分布する範囲を網羅する 10 地点(1, 2 号埋戻土)と 7 地点(3 号埋戻土)を選定した。供試体は 1, 2 号埋戻土及び 3 号埋戻土の地下水位前後からサンプリングしている。

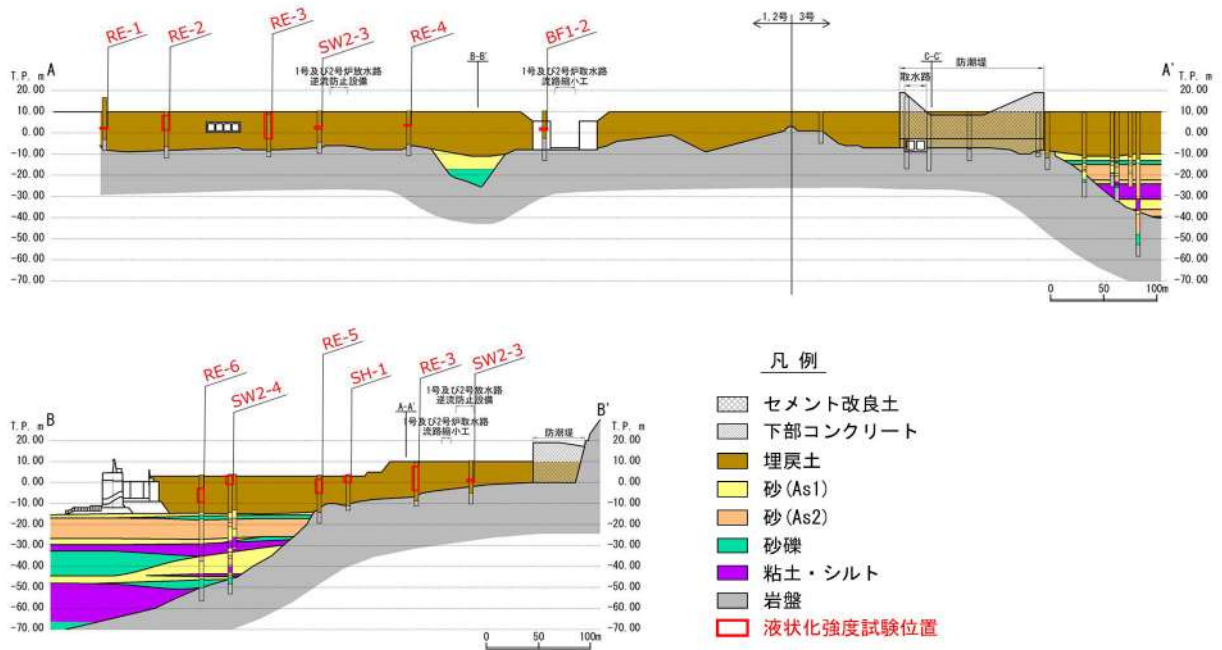
埋戻土及び砂層の周辺調査位置の物理特性に関する評価は添付資料 3 に示す。

砂層については、第 4.2-4 図及び第 4.2-5 図に示すとおり、「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」、「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を網羅する 7 地点を選定した。



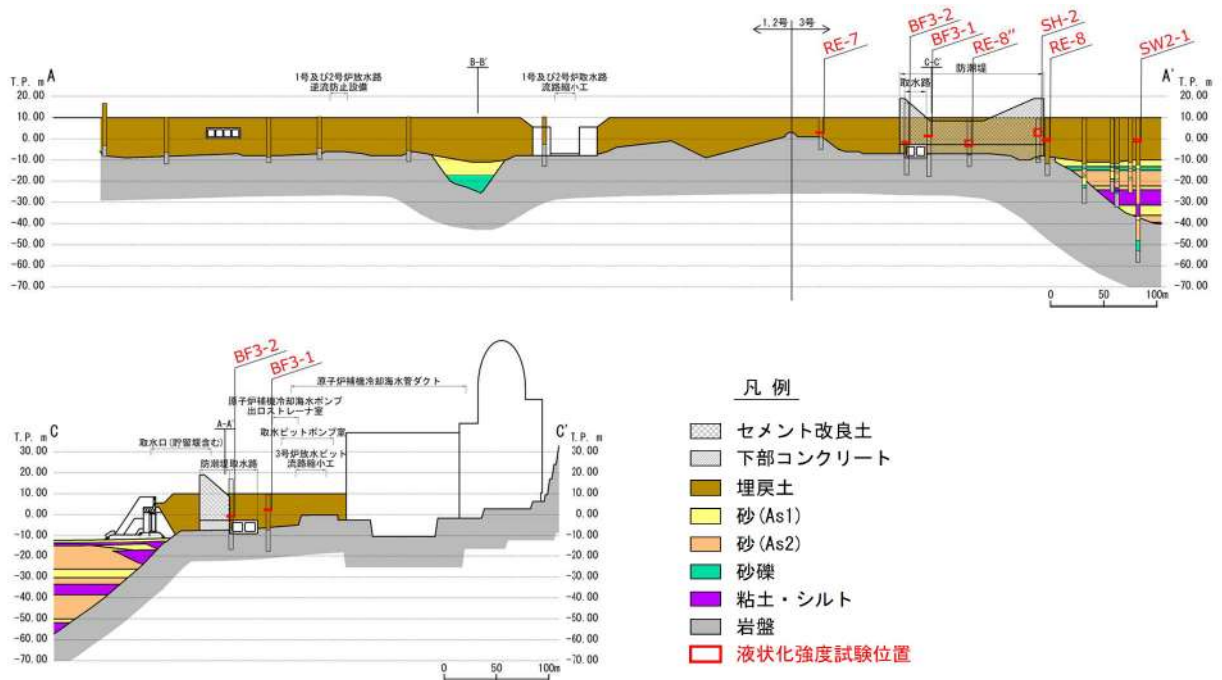
: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第 4.2-1 図 液状化強度試験に用いる試料採取位置平面図(埋戻土)



※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。

第 4. 2-2 図 液状化強度試験に用いる試料採取位置断面図(1, 2号埋戻土)



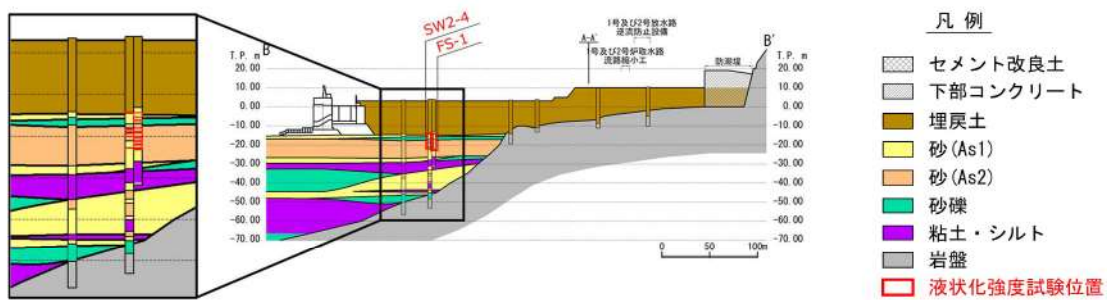
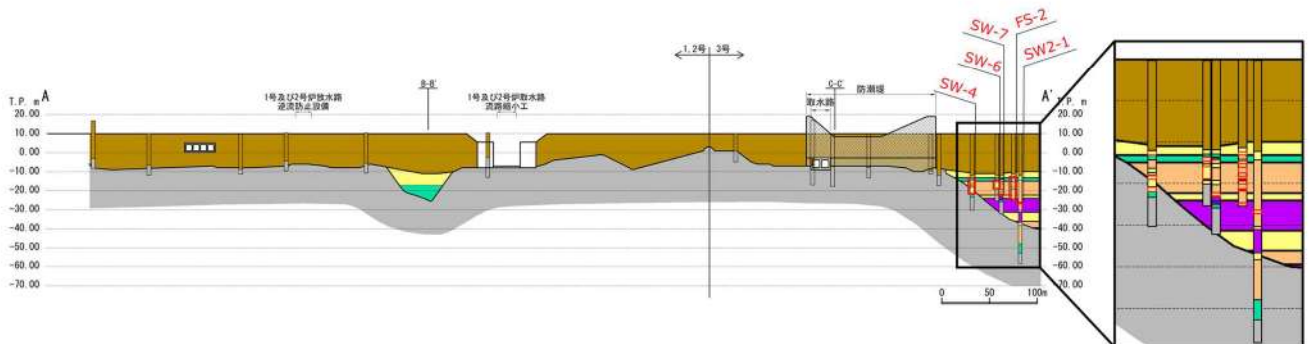
※本図は地層断面図に近傍のボーリング位置における地層と液状化強度試験位置を投影したものである。

第 4. 2-3 図 液状化強度試験に用いる試料採取位置断面図(3号埋戻土)



□ : 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。

第 4.2-4 図 液状化強度試験に用いる試料採取位置平面図(砂層)



凡例

- セメント改良土
- 下部コンクリート
- 埋戻土
- 砂 (As1)
- 砂 (As2)
- 砂礫
- 粘土・シルト
- 岩盤
- 液状化強度試験位置

※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。

第 4.2-5 図 液状化強度試験に用いる試料採取位置断面図(砂層)

4.3 試料採取位置の代表性について

選定した埋戻土と砂層の液状化強度試験試料の採取位置が発電所敷地内の液状化強度を代表できることを示す。

埋戻土及び砂層について、液状化強度比 R_L と相関性のある指標を抽出の上、液状化強度試験位置と敷地全体における指標の比較を行うことにより、その妥当性を確認した。

4.3.1 埋戻土の代表性について

埋戻土については、建設時に発生した岩砕が主体であり、締固め管理して施工した地盤である。

1, 2 号埋戻土及び 3 号埋戻土の埋戻仕様を第 4.3-1 表に示す(詳細は添付資料 5 に示す)。

第 4.3-1 表 1, 2 号埋戻土及び 3 号埋戻土の埋戻仕様

	埋立整地工事による範囲	取放水設備工事による範囲
1, 2 号埋戻土	<ul style="list-style-type: none"> ブルドーザにより押土, 敷均し, 転圧を行った。(埋戻仕様の規定なし) 	<ul style="list-style-type: none"> 締固め機械: 振動ローラ 4t~8t まき出し厚: 30cm 転圧回数: 6 回以上
3 号埋戻土	<ul style="list-style-type: none"> 締固め機械: ブルドーザ まき出し厚: 50cm 転圧回数: 3 回以上 	<p>【一般部】</p> <ul style="list-style-type: none"> 締固め機械: 振動ローラ 10t まき出し厚: 30cm 転圧回数: 6 回以上 <p>【狭隘部】</p> <ul style="list-style-type: none"> 締固め機械: 振動ローラ 1t まき出し厚: 30cm 転圧回数: 8 回以上

埋戻土の液状化強度試験位置の代表性を確認することを目的として、液状化強度試験位置と敷地全体における指標を比較し検討を行った。

代表性確認において比較する指標として、液状化強度比 R_L と相関性のある (a) 粒度分布、(b) 細粒分含有率、(c) 相対密度を選定した。

ただし、代表性確認指標に相対密度を用いた代表性確認結果は設工認段階で説明する。

なお、N 値については、標準貫入試験用サンプラーの径を上回る礫が埋戻土に多く含まれているため、標準貫入試験では適正な評価が困難であることから、代表性確認指標に選定しない(詳細は添付資料 4 に示す)。

指標の選定理由を以下に示す。また、各基準類における液状化強度比 R_L と粒度分布、N 値及び細粒分含有率の相関性を第 4.3-2 表に示す。

(a) 粒度分布

粒径加積曲線から求められる粒度分布は、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用いられており、液状化強度比の相関が高いことから選定した。

(b) 細粒分含有率

細粒分含有率は、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、液状化強度比 R_L を補正するパラメータとして用いられており、液状化強度比 R_L との相関が高いことから選定した。

(c) 相対密度

ダイレイタンシー特性（繰返しせん断に伴う体積変化）に直接関連する指標であり、液状化強度比 R_L との相関が高いことから選定した。

第 4.3-2 表 各基準類における液状化強度比 R_L と基本物性の相関性

基準類名	液状化判定に用いる物性値	R_L 算定に用いる主物性	R_L 補正に用いる物性
道路橋示方書 (V 耐震設計編)・同解説, (社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月	平均粒径 D_{50} 10% 粒径 D_{10} 細粒分含有率 F_c	N 値 (有効上載圧を考慮した補正を行う)	細粒分含有率 F_c
港湾の施設の耐震設計に係る当面の措置 (その 2), (社) 日本港湾協会, 2007 (部分改訂, 2012)	粒度分布		
建築基礎構造設計指針, (社) 日本建築学会, 2001	細粒分含有率 F_c 粘土分含有率 P_c 塑性指数 I_p		
鉄道構造物等設計標準・同解説耐震設計, (財) 鉄道総合技術研究所, 2012	平均粒径 D_{50} 10% 粒径 D_{10} 細粒分含有率 F_c 粘土分含有率 P_c		
港湾の施設の技術上の基準・同解説 (社) 日本港湾協会, 2007	粒度分布		

(1) 1, 2号埋戻土の代表性確認状況

1, 2号埋戻土の液状化強度試験位置並びに周辺調査位置を第4.3-1図に示す。

1, 2号埋戻土の液状化強度試験位置での各指標（粒度分布，細粒分含有率）に対する代表性の確認状況は以下のとおりである（第4.3-2図）。

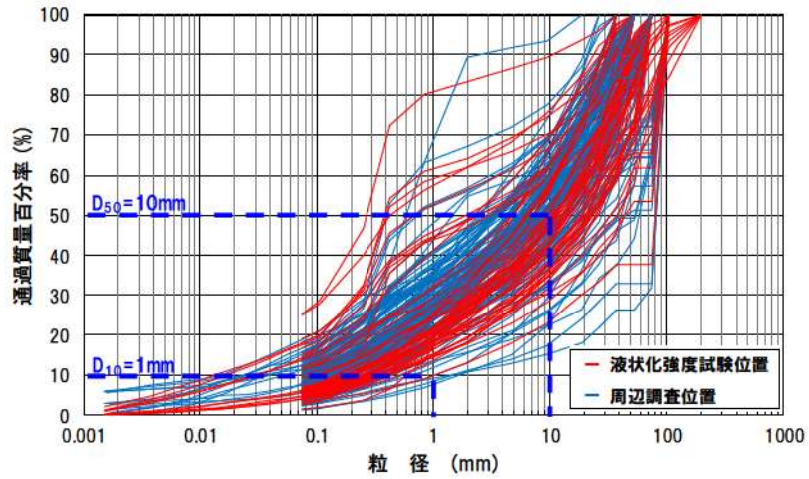
- ・液状化強度試験位置の粒度分布については，礫質土及び砂質土が認められ，液状化強度試験位置は概ね周辺調査位置の範囲に含まれている。
- ・液状化強度試験位置の細粒分含有率については，液状化強度試験位置と周辺調査位置と範囲が同程度である。

ただし，1, 2号埋戻土の液状化強度試験の試料採取位置については，現状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ため，追加調査が必要であると判断した。

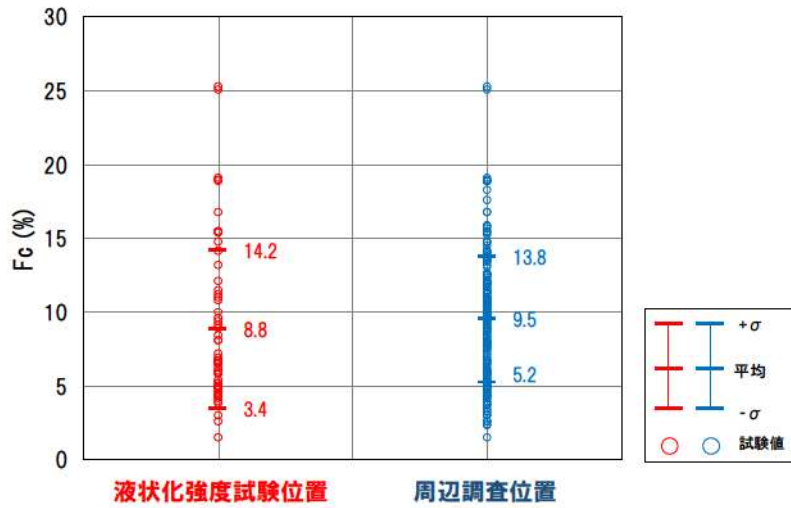


□：枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第4.3-1図 液状化強度試験位置並びに周辺調査位置(1, 2号埋戻土)



(a) 粒度分布



(b) 細粒分含有率

第 4.3-2 図 液化強度試験位置の基本物性の比較(1, 2 号埋戻土)

(2) 3号埋戻土の代表性確認状況

3号埋戻土の液状化強度試験位置並びに周辺調査位置を第4.3-3図に示す。

3号埋戻土の液状化強度試験位置での各指標(粒度分布, 細粒分含有率)に対する代表性の確認状況は以下のとおりである(第4.3-4図)。

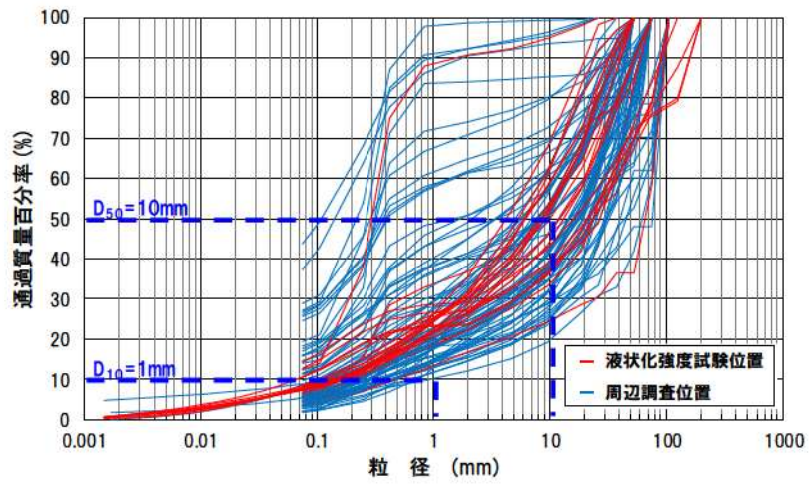
- ・液状化強度試験位置の粒度分布については, 礫質土及び砂質土が認められ, 液状化強度試験位置は概ね周辺調査位置の範囲に含まれている。
- ・液状化強度試験位置の細粒分含有率については, 液状化強度試験位置と周辺調査位置と範囲が同程度である。

ただし, 3号埋戻土の液状化強度試験の試料採取位置については, 現状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ため, 追加調査が必要であると判断した。

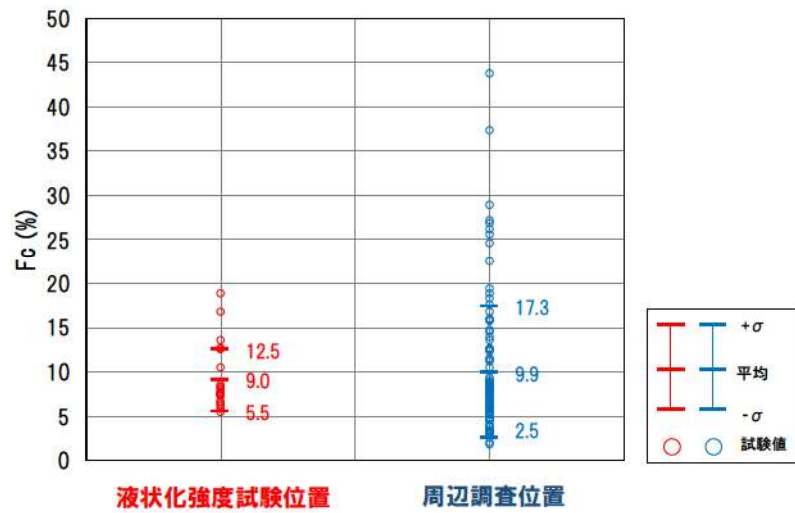


□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第4.3-3図 液状化強度試験位置並びに周辺調査位置(3号埋戻土)



(a) 粒度分布



(b) 細粒分含有率

第 4.3-4 図 液状化強度試験位置の基本物性の比較(3号埋戻土)

4.3.2 砂層の代表性確認

砂層の液状化強度試験位置の代表性を確認することを目的として、液状化強度試験位置と敷地全体における指標を比較し検討を行った。

代表性確認において比較する指標として、(a)粒度分布、(b)細粒分含有率、(c)N値を選定した。

なお、各種試験は、JISに基づき実施した。

各指標の選定理由を以下に示す。

(a) 粒度分布

粒径加積曲線から求められる粒度分布は、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おいて平均粒径、10%粒径が用いられており、液状化強度比との相関が高いことから選定した。

(b) 細粒分含有率

細粒分含有率は、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、液状化強度比 R_L を補正するパラメータとして用いられており、液状化強度比 R_L との相関が高いことから選定した。

(c) N 値

N 値は、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、有効応力解析コード (FLIP) の簡易パラメータ設定法に N 値が用いられており、液状化強度比との相関が高いことから選定した。

砂層の液状化強度試験位置並びに周辺調査位置を第 4.3-5 図に示す。

砂層の液状化強度試験位置での各指標(粒度分布, 細粒分含有率及び N 値) に対する代表性の確認結果は以下のとおりである(第 4.3-6 図, 第 4.3-7 図)。

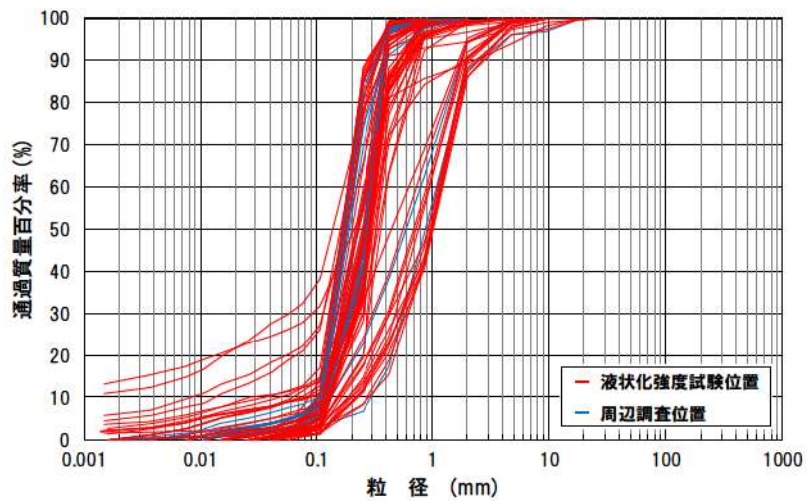
- ・液状化強度試験位置の粒度分布は, 概ね周辺調査位置の範囲と同程度の範囲にある。
- ・液状化強度試験位置の細粒分含有率は, 概ね周辺調査位置の範囲と同程度の範囲にある。
- ・液状化強度試験位置の N 値は, 概ね周辺調査位置の範囲と同程度の範囲にある。

上記の結果から, 砂層の液状化強度試験の試料採取位置は, 敷地に対して代表性を有していると評価した。

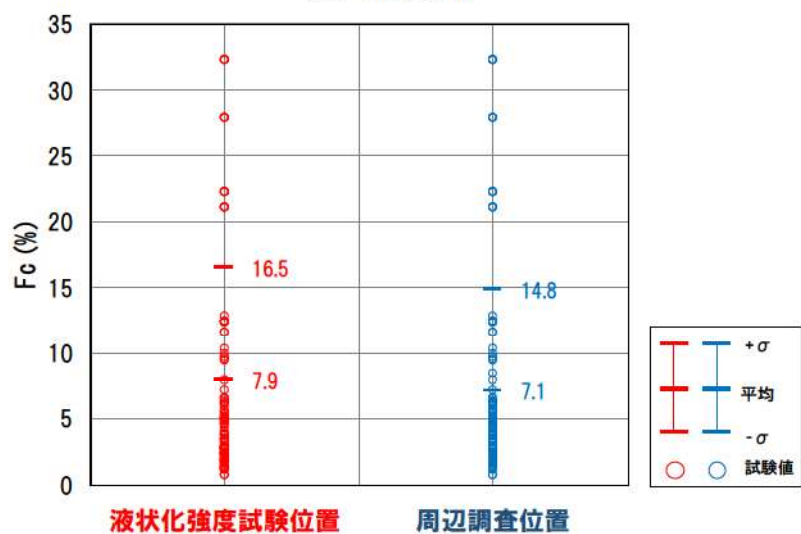


: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

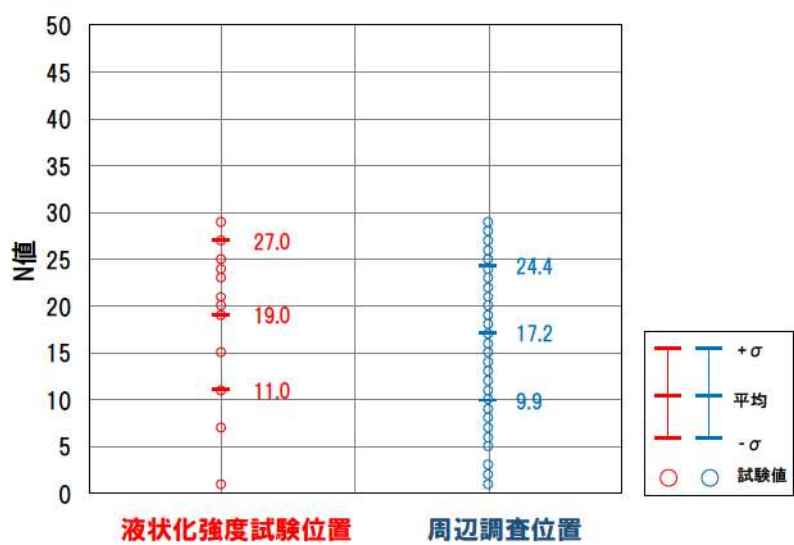
第 4.3-5 図 液状化強度試験位置並びに周辺調査位置(砂層)



(a) 粒度分布

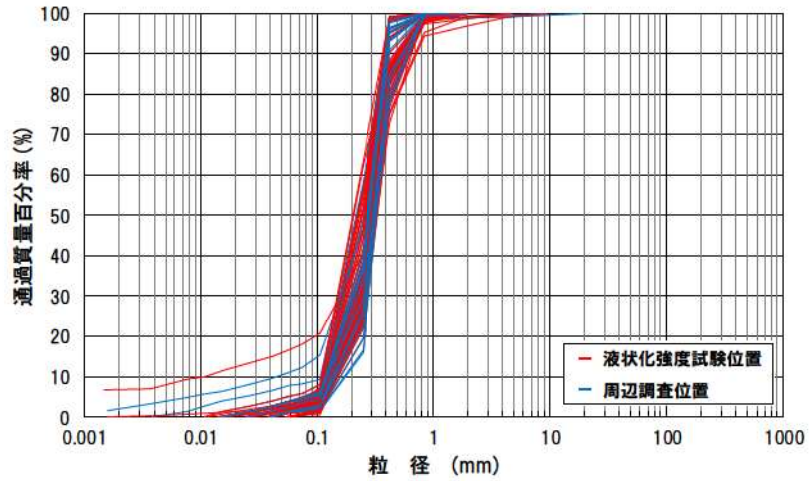


(b) 細粒分含有率

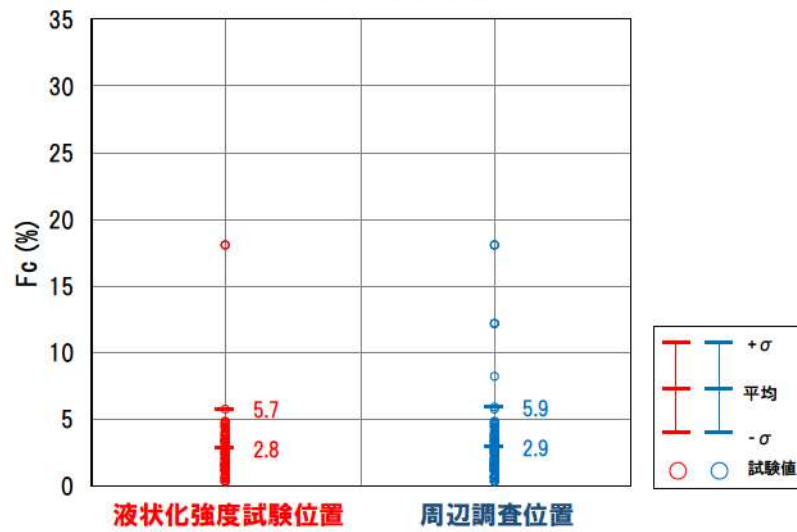


(c) N 値

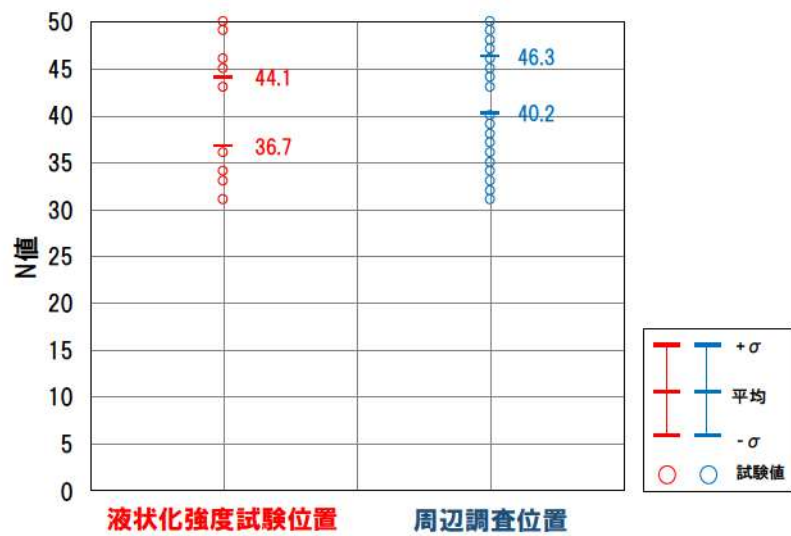
第 4.3-6 図 液化強度試験位置の基本物性の比較 (As1 層)



(a) 粒度分布



(b) 細粒分含有率



(c) N 値

第 4.3-7 図 液化強度試験位置の基本物性の比較 (As2 層)

4.3.3 試料採取位置の代表性のまとめ

埋戻土及び砂層の液状化強度試験の試料採取位置の代表性について確認を行った結果を以下に示す。

① 埋戻土

【粒度分布】

液状化強度試験位置の粒度分布は、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ある。

【細粒分含有率】

液状化強度試験位置の細粒分含有率は、概ね周辺調査位置の範囲と同程度の範囲にある。

ただし、埋戻土の液状化強度試験の試料採取位置については、現状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ため、追加調査が必要であると判断した。

② 砂層

【粒度分布】

液状化強度試験位置の粒度分布は、概ね周辺調査位置の範囲と同程度の範囲にある。

【細粒分含有率】

液状化強度試験位置の細粒分含有率は、概ね周辺調査位置の範囲と同程度の範囲にある。

【N値】

液状化強度試験位置のN値は、概ね周辺調査位置の範囲と同程度の範囲にある。

以上より、砂層の液状化強度試験の試料採取位置は、敷地に対して代表性を有していると評価した。

なお、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、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。

4.4 追加調査の必要性検討

液状化強度試験の試料採取が、液状化検討対象施設近傍を網羅していないと判断したことから、追加調査を実施するものとし、追加調査の候補位置は、液状化検討対象施設の近傍から採取すること及び埋戻方法や埋立材料の違いを考慮して選定する。

既往の液状化強度試験の試料採取位置を第 4.4-1 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。

第 4.4-1 図 既往の液状化強度試験の試料採取位置及び液状化検討対象施設

追加調査候補位置の選定に当たり、液状化検討対象施設近傍の液状化強度試験の実施状況を確認し、追加調査を実施する施設を第 4.4-1 表に整理した。

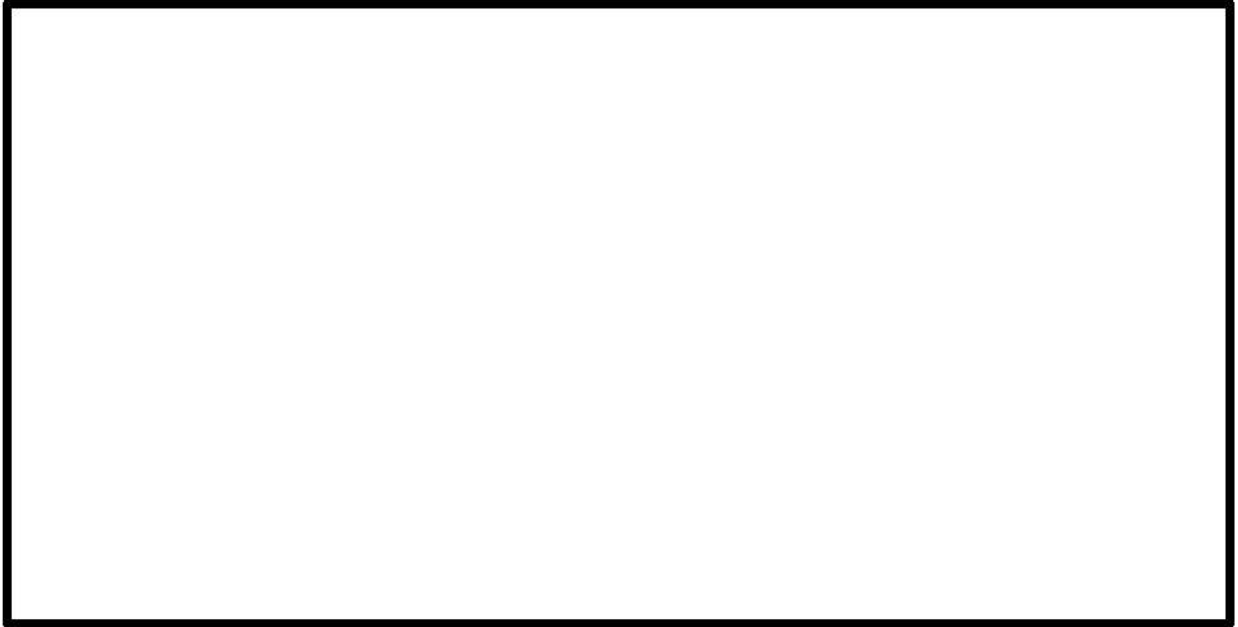
現状で既に液状化強度試験を実施している施設は追加調査は不要とし、施設近傍で液状化強度試験が実施されていない施設及び防潮堤のように施設延長が長く埋戻施工の時期が異なる範囲が存在する施設に対してデータ拡充を目的とした追加調査を実施することとし、追加調査の候補位置は、第 4.4-2 図に示す 12 地点を選定した。

第 4.4-1 表 液状化検討対象施設近傍の液状化強度試験の実施状況と追加調査候補位置

施設名称	施設近傍の液状化強度試験の実施状況	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

■ : 追加調査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。



: 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。

第 4.4-2 図 追加調査候補位置

5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定

5.1 液状化強度試験方法

埋戻土及び砂層に対し、地盤工学会が定める「土の繰返し非排水三軸試験方法(JGS0541)」及び「土の変形特性を求めるための中空ねじりせん断試験方法(JGS0543)」に基づき試験を実施する。試料採取は、試料の乱れを抑制するためにゲルプッシュ・サンプリングやトリプルチューブサンプリング、凍結サンプリングにより実施した。

繰返し非排水三軸試験装置及び中空ねじりせん断試験装置の概要を第 5.1-1 図、第 5.1-2 図に示す。

【埋戻土】

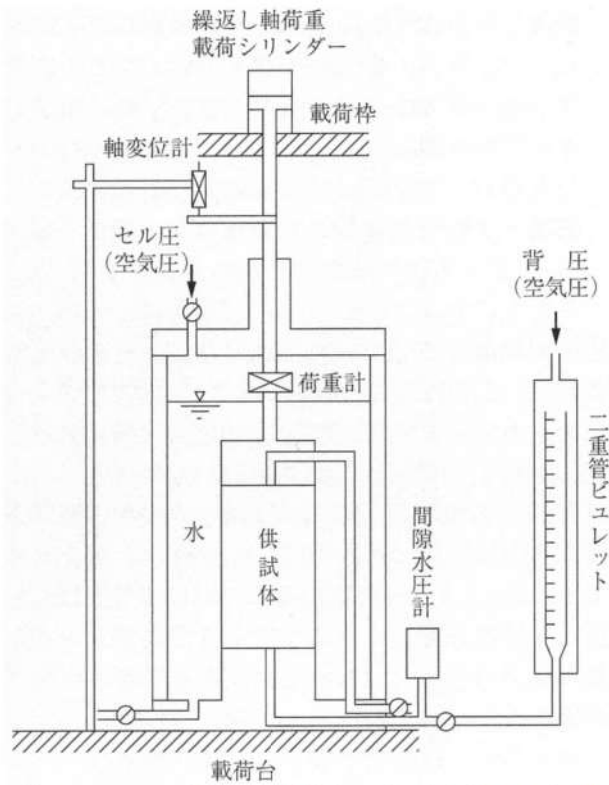
- ・液状化強度試験方法：繰返し非排水三軸試験
- ・試料採取方法：GP サンプリング
- ・供試体寸法：①直径 100mm, 高さ 200mm ②直径 300mm, 高さ 600mm
- ・載荷波形：正弦波(0.1Hz)
- ・圧密応力：200kPa(埋戻土の地下水位位置における拘束圧)

供試体は、保守的に地下水位以深の埋戻土の中で最も拘束圧が小さい地下水位付近から採取しており、拘束圧は地表面(T. P. 10m)及び地下水位(T. P. 0.26m)、並びに埋戻土の単位体積重量約 20kN/m³(1, 2 号埋戻土(17.6520kN/m³), 3 号埋戻土(23.0456kN/m³))から一律に設定。

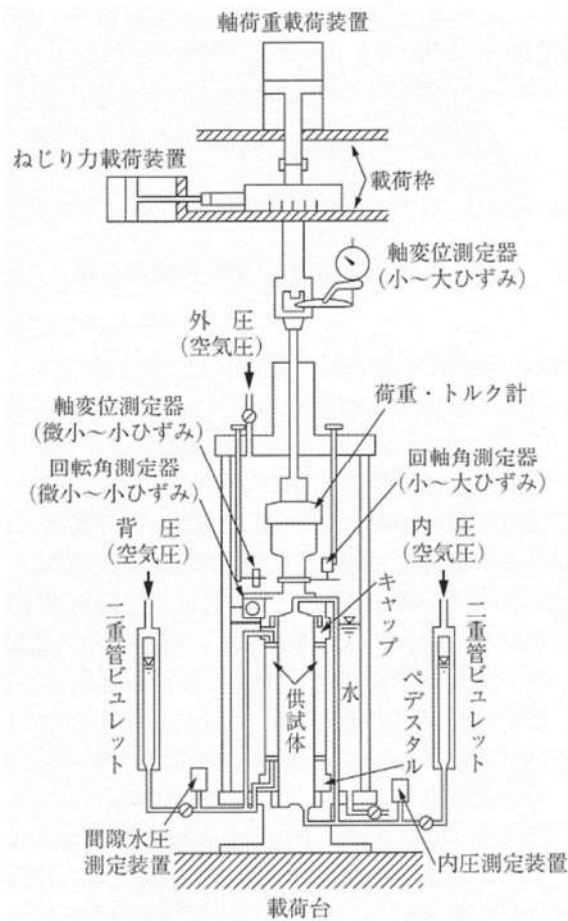
- ・その他：「地盤材料試験の方法と解説」に基づき、繰返し回数 200 回を上限として、両振幅軸ひずみ 10%に達するまで試験を実施。せん断応力比を 0.200～0.908 の間で設定。

【砂層】

- ・液状化強度試験方法：繰返し非排水三軸試験，中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験
- ・試料採取方法：GP サンプリング，トリプルチューブサンプリング，凍結サンプリング
- ・供試体寸法：(三軸)直径 50mm, 高さ 100mm(ねじり)外径 70mm, 内径 30mm, 高さ 100mm
- ・載荷波形：正弦波(0.1Hz, 0.2Hz)
- ・圧密応力：190～450kPa(液状化試験ごとに供試体採取平均深度の有効上載圧を考慮して設定)
- ・その他：「地盤材料試験の方法と解説」に基づき、繰返し回数 200 回を上限として、両振幅軸ひずみ 10%(ねじりせん断試験は両振幅せん断ひずみ 15%)に達するまで試験を実施。せん断応力比を 0.152～0.686 の間で設定。



第 5.1-1 図 繰返し非排水三軸試験装置の概要



第 5.1-2 図 中空ねじりせん断試験装置の概要

5.2 液状化強度試験結果の分類に対する基本的考え方

泊発電所の敷地地盤は掘削岩砕を埋め戻して造成しており、液状化に対する抵抗性が比較的高いと考えられる。

また、砂層のうち特にAs2層についてはN値が30以上と比較的大きい。

以上から泊発電所の液状化検討対象層は液状化によってせん断振幅が急増し、地盤全体が泥水状態となり噴砂や噴水を伴う「ゆるい砂」や「埋立地盤」とは異なり、ひずみの増大に伴って体積膨張を起し、ある程度の剛性と強度を回復する「ねばり」をもった挙動をされると考えられる。

そこで、泊発電所の液状化検討対象層が地震時にどのような挙動をするかを把握する目的で、液状化強度試験結果を「液状化」、「繰返し軟化(サイクリックモビリティを含む)」、「非液状化」に分類した。

液状化強度試験結果は、「①間隙水圧が上昇・蓄積する。(過剰間隙水圧比 95%を超える。）」、「②有効応力がゼロまで低下する。」、「③液体状となり流動する。(ひずみが急増する。）」、「④正のダイレイタンス特性によりせん断抵抗が作用する。(有効応力が回復する。）」の4項目に該当するかどうかを判定し、第5.2-1表に基づいて分類する。

第5.2-1表 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	
① 間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	○	○	○	×
② 有効応力がゼロまで低下する。	○	×	○	×
③ 液体状となり流動する。 (ひずみが急増する。)	○	×	×	×
④ 正のダイレイタンス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}

※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。

なお、液状化強度試験結果は以下に示すとおり、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」活動成果報告書を参考に分類した。

【土木学会地震工学委員会(2003)の報告書より】

(狭義の)液状化

地震の繰返しせん断力等によって、飽和した砂や砂礫等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」とともなる現象、又は「流動ポテンシャル」をもった地盤となる現象。

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等を含む種々の外力によって有効応力が低下し、地盤の強度又は剛性の低下により有害な沈下や変形等が起こる現象。一般に飽和地盤が多いが、不飽和地盤においても起こる類似の現象(ただし、そのメカニズムは必ずしも解明されていない)も含むものとする。

繰返し軟化

繰返し载荷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にとどまり、大きなひずみ範囲にいたるまでの流動は起きない。

サイクリック・モビリティ

繰返し载荷において土が「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っても、ひずみが大きく成長しようとする時、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。主に、密な砂や礫質土、過圧密粘土のように正のダイレイタンスー特性が著しい土において顕著に現れる。



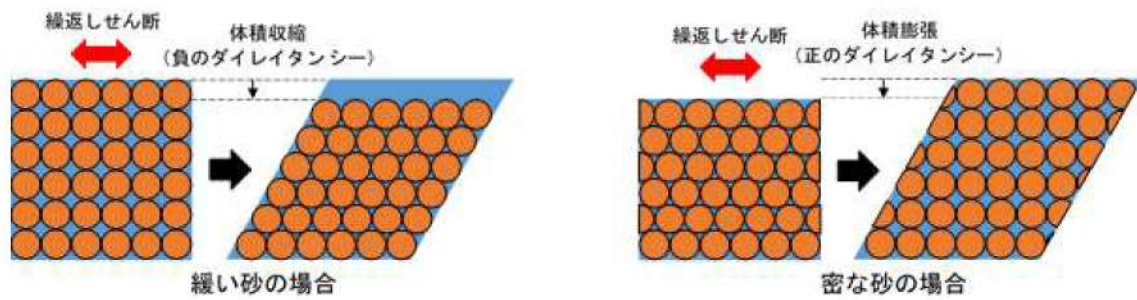
第 5.2-1 図 液状化に関連する言葉の定義
(土木学会地震工学委員会(2003)の報告書より引用)

既往文献による液状化に関する記述を第 5. 2-2 表に示す。

第 5. 2-2 表 既往文献による液状化に関する記述

文献	液状化に関する記載内容(抜粋)
土質工学用語辞典 (1985)	間隙水圧が上昇して有効応力が減少する結果、飽和砂質土がせん断強さを失うことを液状化という。
地盤工学会(2006)	砂などの繰返し载荷において、有効拘束圧がゼロに近づいてから、载荷時にせん断剛性の回復、除荷時に有効応力の減少を繰り返していくが、ひずみは有限の大きさにとどまる現象をサイクリックモビリティといい、液状化とは区別して用いられることがある。
安田(1991)	密詰めの場合には大ひずみは生じない。一時的に有効拘束圧が0になっても、その後せん断力を加えると負の過剰間隙水圧が発生して有効拘束圧が増加(回復)し、有限の小さなひずみ振幅しか発生しない。この現象を“サイクリックモビリティ”と呼んで液状化と区別することもある。
石原(2017)	間隙水圧は徐々に上昇しているが、最終的にこれが初期の拘束圧力 σ'_{v0} に等しくなっている時点が厳密な意味で液状化の発生ということになる。 砂質土は、その密度や細粒分の含有率によって同じ振幅の繰返し軸荷重を加えても、間隙水圧の上昇そして軸ひずみ発生の様相が多少変わってくる。 細粒分が多い場合、軸ひずみは増大しても間隙水圧は100%上昇しないことが多い。しかし、土は著しく軟化し、繰返し強度が低下しているため、実用上この場合も液状化とみなすことが多い。本来は“繰返し軟化”というべき。
井合(2008)	密な砂地盤が繰返しせん断を受け、過剰間隙水圧の増加に伴って、せん断ひずみ振幅が徐々に増大する現象である。 地盤の液状化は、ゆるい砂地盤が繰返しせん断を受け、せん断振幅が急増し、地盤全体が泥水状態となり、噴砂や噴水を伴うことが多いので、現象的にサイクリックモビリティとは異なる。
吉見(1991)	ゆるい砂の液状化と異なる点は、密な砂では、せん断ひずみがある限度を超えると、せん断によって体積が膨張しようとする傾向(正のダイレイタンス)が現れるので、非排水条件のもとでは、せん断ひずみが大きくなると間隙水圧が減少し、したがって有効応力が回復することである。 有効応力がゼロになるのは、せん断応力がゼロになる瞬間だけであり、せん断応力が作用している間は有効応力が存在するので、間隙水圧比が100%に達した後でも、繰返しせん断に対して相当な剛性を保持する。 密な砂では、ゆるい砂でみられるような破局的なクイックサンドは起こらず、有限なひずみ振幅を持つせん断変形が繰り返されるにすぎない。

なお、地盤のダイレイタンス特性の概要を第 5.2-2 図に示す。



第 5.2-2 図 地盤のダイレイタンス特性の概要

液状化となる試験結果の例を第 5.2-3 図に、繰返し軟化(サイクリックモビリティ)となる試験結果の例を第 5.2-4 図に示す。

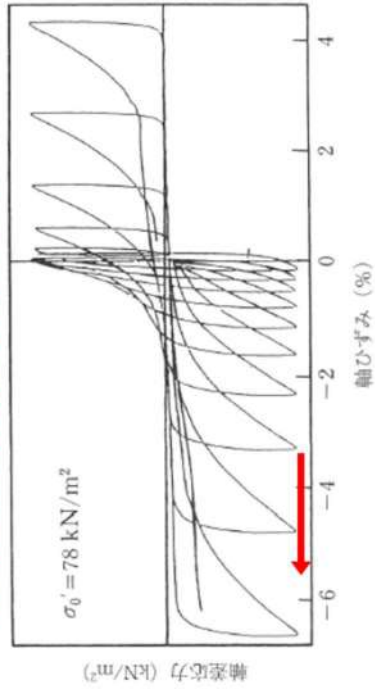
液状化に分類される事例

試験結果		液状化の判断
①	間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	○
②	有効応力がゼロまで低下する。	○
③	液体状となり流動する。 (ひずみが増す。)	○
④	正のダイレイタンス特性によりせん断抵抗が作用する。 (有効応力が回復する。)	×

※1 地盤工学会 (2009) : 地盤材料試験の方法と解説

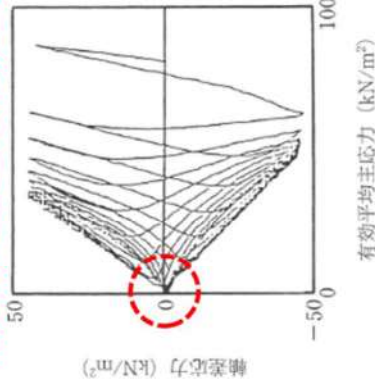
※2 井合 (2008) : サイクリックモビリティ, 地盤工学会誌

ひずみが急に増大し、脆性的な破壊が生じる。



③④ 軸差応力-軸ひずみ関係※1

有効応力がゼロになり、液体状になる。



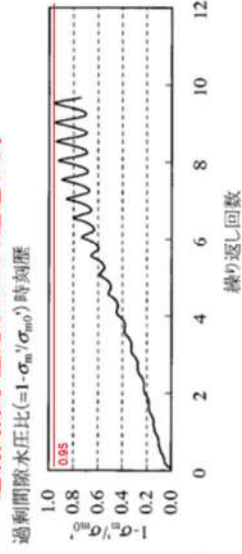
② 有効応力経路※1

過剰間隙水圧比の95%超過に伴い、急激に増加



③④ せん断ひずみ-繰返し回数関係※2

過剰間隙水圧比は95%を超過する。



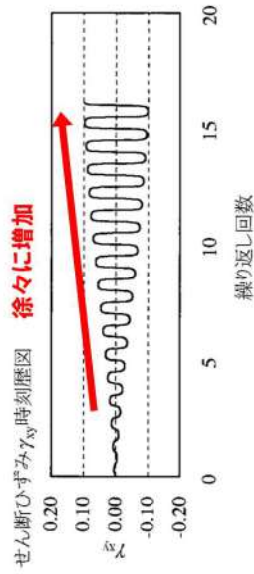
① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係※2

繰返し軟化(サイクリックモビリティ)に分類される事例

試験結果	液状化の判断
① 間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	○
② 有効応力がゼロまで低下する。	○
③ 液体状となり流動する。 (ひずみが増す。)	×
④ 正のダイレイタンス特性により せん断抵抗が作用する。 (有効応力が回復する。)	○

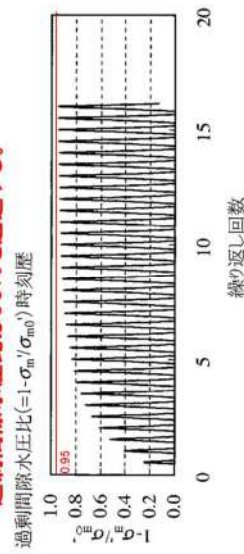
※1 地盤工学会(2009):地盤材料試験の方法と解説

※2 井合(2008):サイクリックモビリティ, 地盤工学会誌



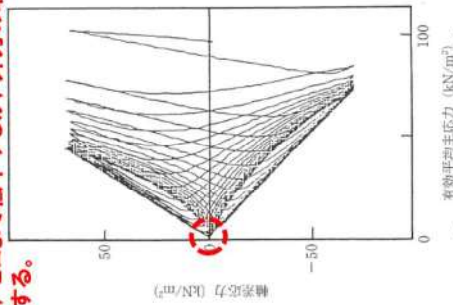
③④ せん断ひずみ-繰返し回数関係

過剰間隙水圧比は95%を超える。

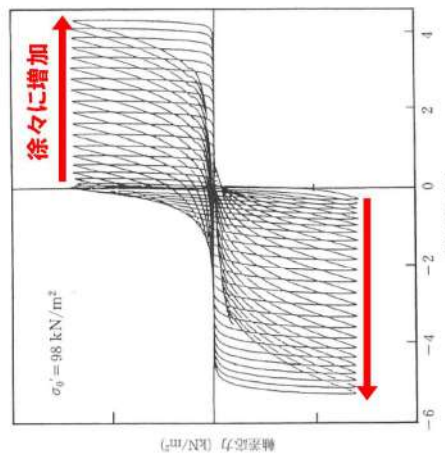


① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係

一時的に、ゼロまで低下するが、外力の増加とともに回復する。



② 有効応力経路



③④ 軸差応力-軸ひずみ関係

第 5.2-4 図 繰返し軟化(サイクリックモビリティ)に分類される事例

5.3 液状化強度試験結果

埋戻土及び砂層の液状化強度試験箇所平面図を第 5.3-1 図，第 5.3-2 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。

第 5.3-1 図 液状化強度試験箇所平面図(埋戻土)



: 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。

第 5.3-2 図 液状化強度試験箇所平面図(砂層)

5.3.1 埋戻土の液状化強度試験結果

1, 2 号埋戻土及び 3 号埋戻土に対する液状化強度試験の試験ケース，試験結果を第 5.3-1 表，第 5.3-2 表に示す。

なお，各試験ケースの個別データについては，添付資料 1 液状化強度試験結果データ集に示す。

埋戻土の液状化強度試験の結果は，すべての試験ケース(81 ケース)において，有効応力がゼロとなり液体状になるケースは無かった。また，繰返し载荷に伴い，ひずみは徐々に大きくなるが，急には増大せず，脆性的な破壊は生じなかった。繰返し载荷に伴い過剰間隙水圧が蓄積する傾向は見られたものの，せん断応力の作用によって有効応力は回復した。また，過剰間隙水圧比は，95%を超過しないケースと超過するケースが確認された。

埋戻土に対する液状化強度試験の結果は，多くのケースが「繰返し軟化」に分類されることから，液体状となり支持力を完全に喪失するような事象は発生せず，ひずみが漸増するねばり強い挙動を示すことを確認した。

埋戻土の液状化強度試験結果の代表例として，RE-3(2) 試料の供試体 No. 7 及び RE-7 試料の供試体 No. 21 の試験結果を第 5.3-3 図，第 5.3-4 図に示す。

RE-3(2) 試料の No. 7 供試体は，有効応力がゼロになることはなく，地盤が支持力を失い液状化するような事象は発生しなかった。繰返し荷重により，ひずみは漸増するものの，急に増大することはなく，脆性的な破壊は生じていないと考えられる。また，過剰間隙水圧は 95%を超過せず，せん断応力作用時には正のダイレイタンシーの効果により，過剰間隙水圧は低下し，有効応力が回復していることから非液状化と判断される。

RE-7 試料の No. 21 供試体は，有効応力がゼロになることはなく，地盤が支持力を失い液状化するような事象は発生しなかった。繰返し荷重により，ひずみは漸増するものの，急に増大することはなく，脆性的な破壊は生じていないと考えられる。また，過剰間隙水圧は 95%を超過するものの，頭打ちとなり 100%に達しない。せん断応力作用時には正のダイレイタンシーの効果により，過剰間隙水圧は低下し，有効応力が回復していることから繰返し軟化と判断される。

埋戻土の液状化強度試験結果に基づく繰返し応力振幅比と繰返し载荷回数との関係を第 5.3-5 図に示す。

第 5.3-1 表(1/2) 液状化強度試験結果(1, 2 号埋戻土)

試料番号		SW2-3 (φ100)				SW2-4 (φ100)				BF1-2 (φ100)			
サンプリング方法		GPサンプリング				GPサンプリング				GPサンプリング			
地表からの深度 (m)		9.90~11.15				3.03~4.45				10.45~11.25			
有効上載圧 (kN/m ²)		207				74				210			
標高 T.P. (m)		0.5~0.75				0.87~0.55				-0.05~-0.85			
供試体No.		16	17	18	19	5	7	8	25	26	27	28	
地盤材料の工学的分類		礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.681				2.741				2.706			
圧密応力 σ ^c (kN/m ²)		200				200				200			
繰返応力振幅比 σ _d /2σ ^c		0.608	0.836	0.727	0.501	0.759	0.615	0.823	0.726	0.508	0.618	0.574	
繰返し 両振幅 幅の 繰返し 回数	DA = 1%	12.9	0.4	0.9	6.0	2.0	9.0	0.7	1.5	19.8	2.0	3.5	
	DA = 2%	27.7	0.9	2.5	13.8	12.9	28.8	3.0	5.0	39.4	4.5	8.0	
	DA = 5%	42.6	3.5	9.0	38.1	32.6	55.2	12.9	12.7	77.1	9.5	16.8	
	DA = 10%	—	7.5	18.9	98.7	33.8	67.7	26.0	20.6	98.9	12.8	23.6	
	過剰間隙水圧比95% N _{US}	11.0	2.0	2.0	6.0	6.0	6.0	2.0	3.0	23.0	3.0	6.0	

試料番号		RE-1 (φ100)	RE-2 (1) (φ100)	RE-2 (2) (φ100)			RE-2 (3) (φ100)			
サンプリング方法		GPサンプリング	GPサンプリング	GPサンプリング			GPサンプリング			
地表からの深度 (m)		17.35~17.55	4.80~5.00	8.73~10.73			10.73~11.73			
有効上載圧 (kN/m ²)		353	98	195			211			
標高 T.P. (m)		-0.65~-0.85	5.30~5.10	1.37~-0.63			-0.63~-1.63			
供試体No.		25	6	9	13	14	15	16	17	18
地盤材料の工学的分類		礫質土	砂質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.652	2.781	2.704	2.667	2.717	2.725	2.740	2.738	2.735
圧密応力 σ ^c (kN/m ²)		200	200	200			200			
繰返応力振幅比 σ _d /2σ ^c		0.333	0.252	0.501	0.602	0.554	0.704	0.555	0.481	0.459
繰返し 両振幅 幅の 繰返し 回数	DA = 1%	17.6	9.5	68.9	1.5	0.9	0.5	0.9	2.5	3.0
	DA = 2%	30.5	13.8	99.3	5.0	3.5	0.9	3.0	7.5	6.5
	DA = 5%	45.7	19.1	123.9	13.5	10.9	3.0	10.0	23.9	15.6
	DA = 10%	—	23.7	—	—	—	—	—	—	—
	過剰間隙水圧比95% N _{US}	22.0	19.0	38.0	4.0	2.0	2.0	3.0	6.0	5.0

試料番号		RE-3 (1) (φ100)				RE-3 (2) (φ100)			RE-3 (3) (φ100)			
サンプリング方法		GPサンプリング				GPサンプリング			GPサンプリング			
地表からの深度 (m)		2.80~4.23				4.40~5.70			7.45~15.56			
有効上載圧 (kN/m ²)		71				101			210			
標高 T.P. (m)		7.00~5.57				5.40~4.10			2.35~-5.76			
供試体No.		3	5	1'	2'	6	7	8	9	11	14	18
地盤材料の工学的分類		礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.706	2.688	2.708	2.698	2.703	2.765	2.756	2.750	2.709	2.717	2.728
圧密応力 σ ^c (kN/m ²)		200				200			200			
繰返応力振幅比 σ _d /2σ ^c		0.503	0.428	0.401	0.383	0.401	0.502	0.451	0.413	0.502	0.381	0.352
繰返し 両振幅 幅の 繰返し 回数	DA = 1%	1.0	0.9	4.0	2.0	18.7	1.0	1.5	2.0	0.7	0.8	3.5
	DA = 2%	3.0	2.5	10.0	4.5	45.5	4.0	3.5	5.0	1.5	2.0	7.5
	DA = 5%	5.5	5.5	26.4	8.5	75.9	11.1	9.5	14.7	3.5	4.5	18.7
	DA = 10%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	過剰間隙水圧比95% N _{US}	4.0	2.0	10.0	4.0	—	—	—	—	—	5.0	6.0

□: 試験結果を例示したケース

第 5.3-1 表(2/2) 液状化強度試験結果(1, 2 号埋戻土)

試料番号		RE-4 (φ100)		RE-5 (1) (φ100)			RE-5 (2) (φ100)				RE-5 (3) (φ100)				
サンプリング方法		GPサンプリング		GPサンプリング			GPサンプリング				GPサンプリング				
地表からの深度 (m)		9.75~9.95		3.03~3.43			3.43~10.05				4.15~6.60				
有効上載圧 (kN/m ²)		197		65			100				86				
標高 T.P. (m)		0.55~0.35		0.47~0.07			0.07~-6.55				-0.65~-3.1				
供試体No.		17		6	7		8	9	18		20	10	13	16	17
地盤材料の工学的分類		礫質土		礫質土	礫質土		礫質土	礫質土	礫質土		礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.691		2.787	2.791		2.665	2.670	2.728		2.748	2.663	2.677	2.792	2.785
圧密応力 σ [~] c (kN/m ²)		200		200			200				200				
繰返応力振幅比 σ _d /2σ [~] o		0.705		0.702	0.908		0.349	0.503	0.653		0.756	0.402	0.553	0.450	0.433
繰返し載荷回数	繰返す際の両振幅	DA = 1%		1.5	11.8	0.5	25.7	9.5	0.9	0.2	10.5	0.8	2.0	2.0	
		DA = 2%		7.5	49.8	1.5	39.8	27.7	4.0	0.4	27.2	2.5	5.0	4.5	
		DA = 5%		19.8	99.0	5.5	56.7	53.6	18.6	1.0	67.1	8.5	12.8	11.3	
		DA = 10%		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		過剰間隙水圧比95% N ₉₅		5.0	—	2.0	35.0	48.0	1.0	1.0	15.0	3.0	3.0	4.0	

試料番号		RE-6 (φ100)				SH-1 (1) (φ300)				SH-1 (2) (φ300)					
サンプリング方法		GPサンプリング				GPサンプリング				GPサンプリング					
地表からの深度 (m)		7.50~14.15				1.55~2.15				2.90~3.55					
有効上載圧 (kN/m ²)		141				37				65					
標高 T.P. (m)		-4.00~-10.65				2.25~1.65				0.90~0.25					
供試体No.		16	17	18	20	1-1	1-4	1-5	1-6	2-2	2-3	2-4	2-6		
地盤材料の工学的分類		礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	砂質土	砂質土	砂質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土		
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.751	2.639	2.618	2.724	2.745	2.761	2.760	2.736	2.725	2.711	2.716	2.712		
圧密応力 σ [~] c (kN/m ²)		200				200				200					
繰返応力振幅比 σ _d /2σ [~] o		0.404	0.503	0.374	0.361	0.311	0.235	0.200	0.212	0.311	0.359	0.440	0.328		
繰返し載荷回数	繰返す際の両振幅	DA = 1%		3.5	0.5	2.5	2.0	2.0	9.0	61.9	45.9	8.0	15.9	6.0	23.6
		DA = 2%		10.0	1.5	5.5	5.0	3.5	11.0	69.7	52.7	11.6	22.8	11.6	29.2
		DA = 5%		26.2	4.5	12.6	14.0	5.5	14.0	76.0	59.2	16.6	28.9	16.8	34.8
		DA = 10%		45.0	9.5	20.6	24.6	6.5	16.8	80.9	64.9	19.8	—	—	37.9
		過剰間隙水圧比95% N ₉₅		10.0	2.0	5.0	6.0	—	—	64.0	55.0	15.0	22.0	—	28.0

試料番号		SH-1 (3) (φ300)					
サンプリング方法		GPサンプリング					
地表からの深度 (m)		4.40~5.00					
有効上載圧 (kN/m ²)		82					
標高 T.P. (m)		-0.6~-1.2					
供試体No.		3-2	3-3	3-4	3-5		
地盤材料の工学的分類		礫質土	礫質土	礫質土	礫質土		
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.750	2.757	2.744	2.774		
圧密応力 σ [~] c (kN/m ²)		200					
繰返応力振幅比 σ _d /2σ [~] o		0.358	0.423	0.490	0.328		
繰返し載荷回数	繰返す際の両振幅	DA = 1%		10.9	4.0	1.5	14.9
		DA = 2%		21.1	10.0	5.5	24.5
		DA = 5%		40.1	21.7	15.3	39.6
		DA = 10%		60.7	—	27.9	61.8
		過剰間隙水圧比95% N ₉₅		19.0	12.0	—	23.0

第 5.3-2 表 液状化強度試験結果(3号埋戻土)

試料番号		SW2-1 (φ100)				BF3-1 (φ100)	BF3-2 (φ100)		RE-7 (φ100)	RE-8 (φ100)			
サンプリング方法		GPサンプリング				GPサンプリング	GPサンプリング		GPサンプリング	GPサンプリング			
地表からの深度 (m)		10.05~11.30				8.60~8.80	18.65~19.05		8.05~8.25	9.78~10.48			
有効上載圧 (kN/m ²)		201				174	367		163	196			
標高 T.P. (m)		-0.35~-1.60				1.20~1.00	-1.95~-2.35		2.05~1.85	-0.08~-0.78			
供試体No.		12	13	14	15	11	21	22	21	19'	20'	21'	
地盤材料の工学的分類		礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	砂質土	礫質土	礫質土	礫質土	
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.761				2.779	2.688		2.947	2.681	2.659	2.700	
圧密応力 σ ⁻ c (kN/m ²)		200				200	200		200	200			
繰返応力振幅比 σ _d /2σ ⁻ o		0.757	0.651	0.542	0.435	0.785	0.670	0.651	0.336	0.500	0.399	0.376	
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	DA = 1%	1.0	0.9	3.5	48.8	0.4	1.5	4.5	5.5	0.9	3.0	4.0
		DA = 2%	5.5	4.0	8.5	65.7	0.9	9.5	14.8	10.7	3.0	7.5	9.0
		DA = 5%	15.0	14.6	22.7	104.9	6.5	19.2	32.8	17.3	8.0	19.6	20.7
		DA = 10%	28.7	42.8	44.8	—	13.7	25.4	55.5	21.8	—	—	—
	過剰間隙水圧比95% N ₉₅	4.0	9.0	8.0	67.0	2.0	17.0	30.0	11.0	5.0	5.0	9.0	

試料番号		RE-8'' (1) (φ100)				RE-8'' (2) (φ100)				SH-2 (φ300)				
サンプリング方法		GPサンプリング				GPサンプリング				GPサンプリング				
地表からの深度 (m)		11.12~11.80				12.25~13.45				4.77~8.40				
有効上載圧 (kN/m ²)		210				224				132				
標高 T.P. (m)		-1.32~-2.00				-2.45~-3.65				4.98~1.30				
供試体No.		3	4	1'	3'	5	6	4'	5'	1-5	1-6	3-1	3-4	
地盤材料の工学的分類		礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.633	2.651	2.628	2.626	2.633	2.654	2.622	2.655	2.738	2.751	2.683	2.675	
圧密応力 σ ⁻ c (kN/m ²)		200				200				200				
繰返応力振幅比 σ _d /2σ ⁻ o		0.401	0.351	0.374	0.454	0.400	0.502	0.602	0.706	0.438	0.485	0.526	0.359	
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	DA = 1%	1.5	2.0	3.5	1.5	9.5	2.0	0.8	0.7	11.8	13.7	0.6	49.6
		DA = 2%	5.0	10.0	8.5	6.5	42.8	10.5	3.0	2.0	16.6	17.7	2.0	57.0
		DA = 5%	12.8	49.6	17.9	27.5	150.4	39.2	15.1	8.5	21.0	21.9	6.0	67.0
		DA = 10%	22.0	82.8	33.2	50.8	—	74.9	36.9	—	—	24.9	—	—
	過剰間隙水圧比95% N ₉₅	8.0	5.0	8.0	7.0	18.0	6.0	3.0	2.0	22.0	20.0	—	52.0	

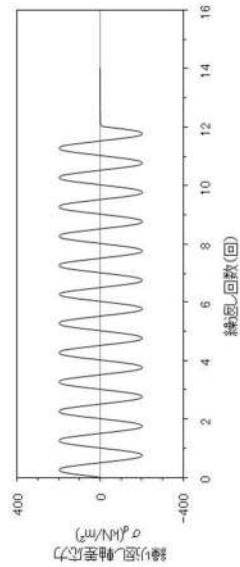
□: 試験結果を例示したケース

液状化強度試験結果(1, 2号埋戻土の非液状化の例)

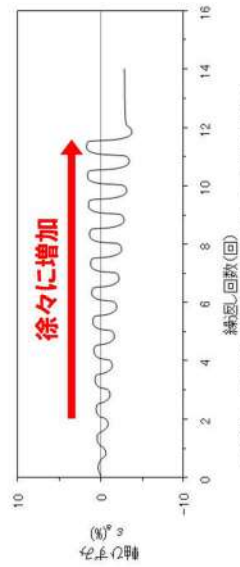
試験条件	
供試体	No.7
地表からの深度 (m)	4.40~5.70
有効上載圧 (kN/m ²)	101
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)	200
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$	0.502
試験結果	
間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	×
有効応力がゼロまで低下する。	×
液体状となり流動する。 (ひずみが増す。)	×
正のダイレイタンシー特性により せん断抵抗が作用する。 (有効応力が回復する。)	○
液状化の判断	
非液状化	



試験後の供試体

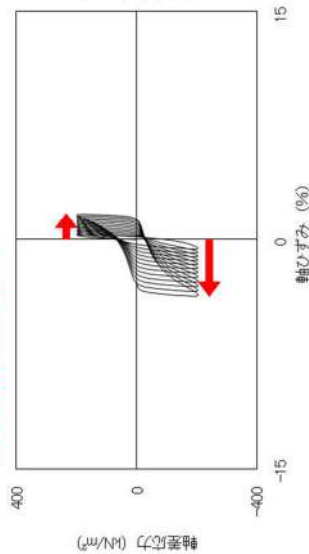


軸差応力-繰返し回数関係



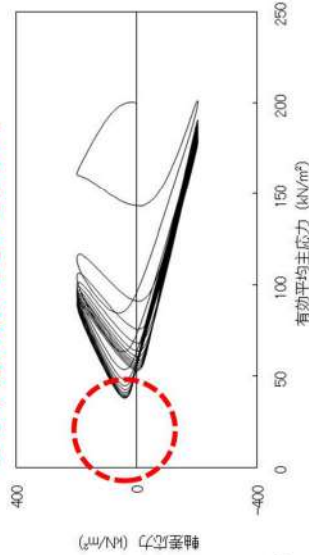
③④ 軸ひずみ-繰返し回数関係

せん断剛性が保持され、ひずみが急激に進行することがない。



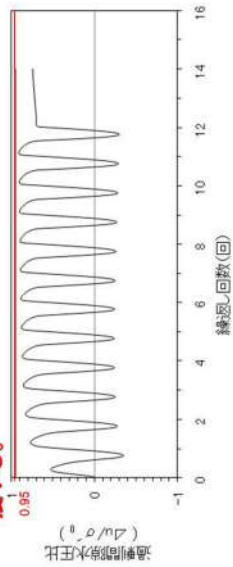
③④ 軸差応力-軸ひずみ関係

繰返し載荷しても、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。



② 有効応力経路

過剰間隙水圧比は95%を超えない。
せん断応力作用時には、正のダイレイタンシー効果により、過剰間隙水圧は低下し、有効応力が回復する。



① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係

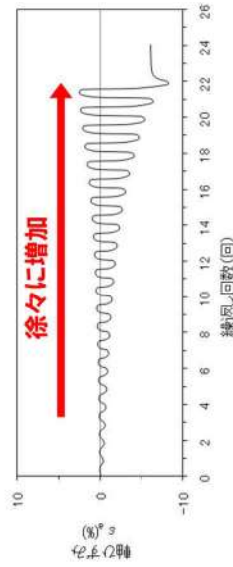
液状化強度試験結果(3号埋戻土の繰返し軟化の例)

試験条件	
供試体	No.21
地表からの深度 (m)	8.05~8.25
有効上載圧 (kN/m ²)	163
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)	200
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$	0.336
試験結果	
間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	○
有効応力がゼロまで低下する。	×
液体状となり流動する。 (ひずみが増す。)	×
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。)	○
液状化の判断	
繰返し軟化	



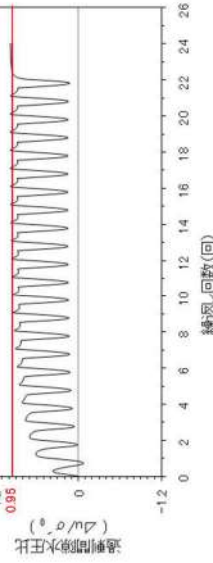
試験後の供試体

軸差応力-繰返し回数関係



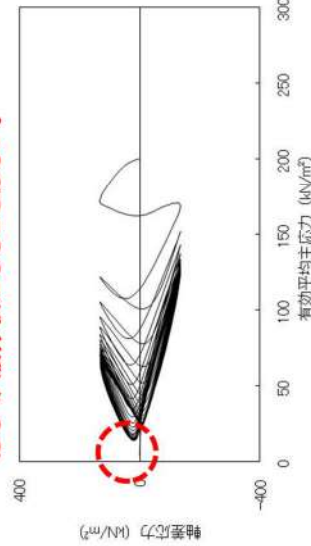
③④ 軸ひずみ-繰返し回数関係

過剰間隙水圧比は95%を超過する。
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、有効応力が回復する。



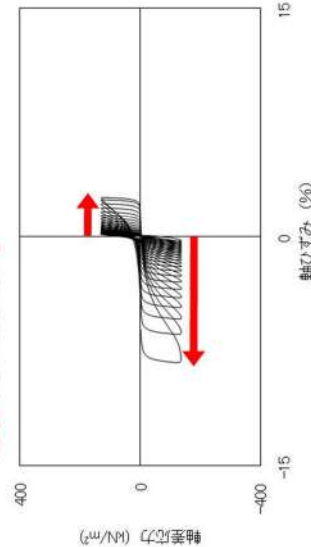
① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係

繰返し載荷しても、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。



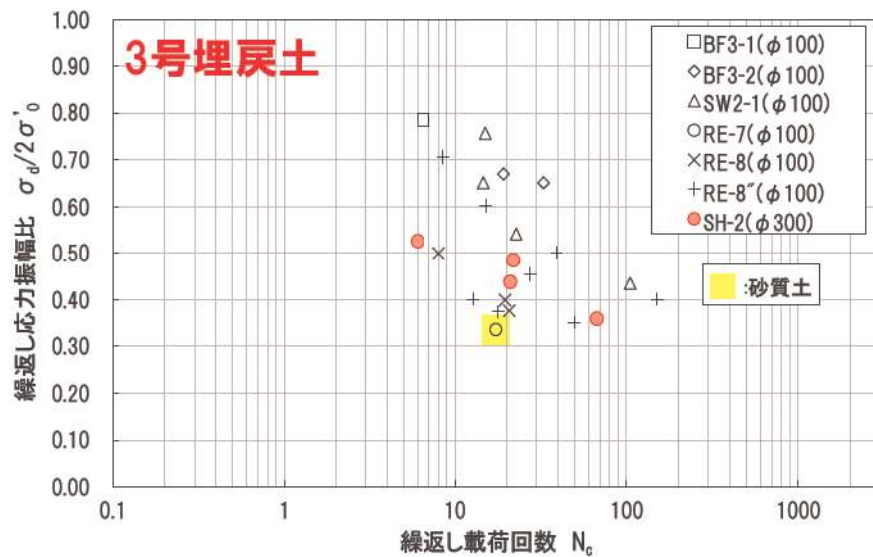
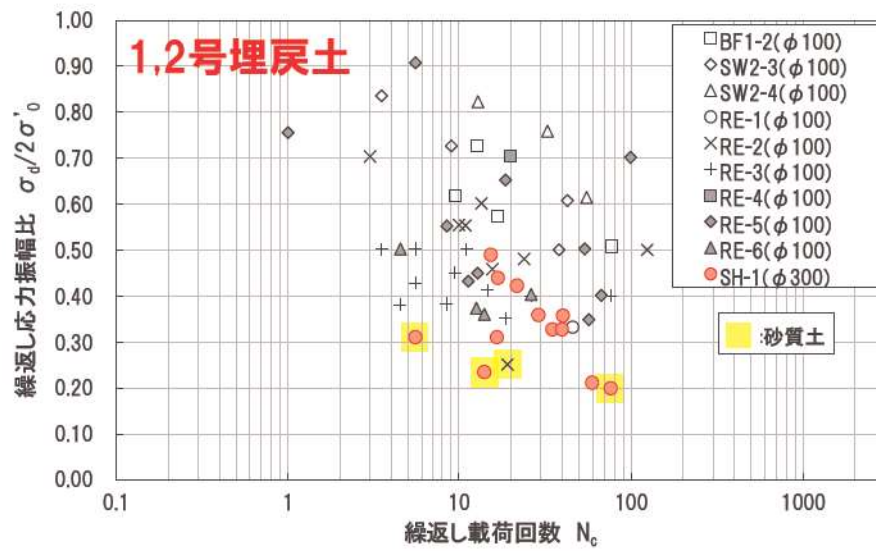
② 有効応力経路

せん断剛性が保持され、ひずみが急激に進行することがない。



③④ 軸差応力-軸ひずみ関係

第 5.3-4 図 3号埋戻土の液状化強度試験結果(RE-7 試料, 供試体 No. 21)



第 5.3-5 図 埋戻土の液状化強度試験結果

5.3.2 砂層の液状化強度試験結果

砂層に対する液状化強度試験の試験ケース，試験結果を第 5.3-3 表，第 5.3-4 表に示す。

なお，各試験ケースの個別データについては，添付資料 1 液状化強度試験結果データ集に示す。

砂層の液状化強度試験の結果は，すべての試験ケース(203 ケース)のうち，有効応力がゼロとなり液体状になるケースはほとんど無かった。また，繰返し载荷に伴い，ひずみは徐々に大きくなるが，急には増大せず，脆性的な破壊は生じなかった。繰返し载荷に伴い過剰間隙水圧が蓄積する傾向は見られたものの，せん断応力の作用によって有効応力は回復した。また，過剰間隙水圧比は，95%を超過しないケースと超過するケースが確認された。

砂層に対する液状化強度試験の結果は，一部が「液状化」に分類されるものの大部分が「繰返し軟化」に分類されることから，全体としては液体状となり支持力を完全に喪失するような事象は発生せず，ひずみが漸増するねばり強い挙動を示すことを確認した。

砂層の液状化強度試験結果の代表例として，FS-1-④ (A-2) 三軸試料の供試体 No. 1-38-7 図，第 5.3-8 図に示す。

FS-1-④ (A-2) 三軸試料の No. 1-38 供試体は，有効応力がゼロになることはなく，地盤が支持力を失い液状化するような事象は発生しなかった。繰返し荷重により，ひずみは漸増するものの，急に増大することはないと考えられる。また，過剰間隙水圧は 95%を超過せず，せん断応力作用時には正のダイレイタンスーの効果により，過剰間隙水圧は低下し，有効応力が回復していることから非液状化と判断される。

SW2-4' (1) 試料の No. 21 供試体は，有効応力がゼロになることはなく，地盤が支持力を失い液状化するような事象は発生しなかった。繰返し荷重により，ひずみは漸増するものの，急に増大することはないと考えられる。また，過剰間隙水圧は 95%を超過するものの，頭打ちとなり 100%に達しない。せん断応力作用時には正のダイレイタンスーの効果により，過剰間隙水圧は低下し，有効応力が回復していることから繰返し軟化と判断される。

SW-7-10 試料の No. 4 供試体は，過剰間隙水圧が 95%を超え，有効応力がほぼゼロとなり，繰返し荷重によりひずみが急に増大していることから液状化と判断される。

砂層の液状化強度試験結果に基づく繰返し応力振幅比と繰返し载荷回数の関係を第 5.3-9 図に示す。

第 5.3-3 表(1/3) 液状化強度試験結果(As1 層)

試料番号		SW-4-1 (φ50)		SW-4-7 (φ50)		SW-4-10 (φ50)				SW-6-5 (φ50)			
サンプリング方法		トリプルチューブサンプリング		トリプルチューブサンプリング		トリプルチューブサンプリング				トリプルチューブサンプリング			
地表からの深度 (m)		21.90~22.80		27.65~28.65		30.65~31.65				25.70~26.70			
有効上載圧 (kN/m ²)		311		373		400				354			
標高 T.P. (m)		-12.20~-13.10		-17.95~-18.95		-20.95~-21.95				-16.00~-17.00			
供試体No.		2	4	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.719		2.754		2.789				2.749			
圧密応力 σ ^c (kN/m ²)		310		370		400				350			
繰返し振幅比 σ _d /2σ ^c		0.292	0.243	0.188	0.233	0.250	0.226	0.182	0.202	0.257	0.213	0.192	0.171
繰返し 振幅 の 範囲 の 繰 返 し 回 数	DA = 1%	0.9	17.0	40.7	0.4	2.5	1.5	41.7	27.7	0.8	10.8	19.7	66.8
	DA = 2%	2.0	28.8	44.9	0.9	4.0	2.5	48.7	33.0	2.0	13.6	21.6	70.7
	DA = 5%	4.5	40.9	50.9	4.0	6.0	4.0	55.5	39.7	5.0	18.9	24.7	76.8
	DA = 10%	7.5	43.9	57.1	10.3	8.5	6.0	59.7	43.5	11.6	35.6	28.9	90.3
	過剰間隙水圧比95% N ₉₅	5.0	37.0	49.0	4.0	6.0	4.0	52.0	33.0	5.0	17.0	24.0	73.0

試料番号		SW-6-6 (φ50)				SW-6-7 (φ50)			
サンプリング方法		トリプルチューブサンプリング				トリプルチューブサンプリング			
地表からの深度 (m)		26.70~27.70				27.70~28.70			
有効上載圧 (kN/m ²)		363				372			
標高 T.P. (m)		-17.00~-18.00				-18.00~-19.00			
供試体No.		1	2	3	4	1	2	3	4
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.743				2.744			
圧密応力 σ ^c (kN/m ²)		360				370			
繰返し振幅比 σ _d /2σ ^c		0.256	0.213	0.160	0.182	0.255	0.212	0.160	0.187
繰返し 振幅 の 範囲 の 繰 返 し 回 数	DA = 1%	1.5	4.5	125.9	22.9	0.6	5.5	48.6	24.5
	DA = 2%	3.0	5.5	131.9	25.5	1.5	7.5	53.5	27.8
	DA = 5%	5.5	8.0	138.7	28.8	2.5	10.6	58.8	33.6
	DA = 10%	10.0	10.5	144.7	31.5	4.0	13.8	63.7	40.9
	過剰間隙水圧比95% N ₉₅	5.0	7.0	135.0	27.0	3.0	10.0	55.0	31.0

試料番号		SW-7-10 (φ50)				SW2-4 (2) (φ50)				SW2-4 (4) (φ50)
サンプリング方法		トリプルチューブサンプリング				GPサンプリング				GPサンプリング
地表からの深度 (m)		32.00~33.00				22.15~22.55				26.63~26.73
有効上載圧 (kN/m ²)		412				259				298
標高 T.P. (m)		-22.20~-23.20				-18.25~-18.65				-22.73~-22.83
供試体No.		1	2	3	4	37	38	39	40	55
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.718				2.704				2.738
圧密応力 σ ^c (kN/m ²)		410				260				300
繰返し振幅比 σ _d /2σ ^c		0.236	0.196	0.218	0.171	0.295	0.264	0.232	0.250	0.220
繰返し 振幅 の 範囲 の 繰 返 し 回 数	DA = 1%	0.7	13.6	3.0	144.7	3.0	2.0	55.6	18.0	8.5
	DA = 2%	1.5	16.6	4.5	153.8	5.0	4.0	70.6	24.3	10.8
	DA = 5%	3.0	21.0	8.5	166.0	10.9	15.4	90.6	43.0	14.6
	DA = 10%	5.0	27.7	17.5	179.6	11.6	69.9	90.7	48.6	18.6
	過剰間隙水圧比95% N ₉₅	3.0	19.0	7.0	157.0	6.0	9.0	64.0	27.0	14.0

□: 試験結果を例示したケース

第 5.3-3 表(2/3) 液状化強度試験結果(As1 層)

試料番号		FS-1-② (1) 三軸 (φ50)				FS-1-② (2) 三軸 (φ50)				FS-1-② (3) 三軸 (φ50)			
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング			
地表からの深度 (m)		18.21~18.41				18.36~18.56				18.51~18.71			
有効上載圧 (kN/m ²)		185				185				185			
標高 T.P. (m)		-14.41~-14.61				-14.56~-14.76				-14.71~-14.91			
供試体No.		1-7	2-6	3-6	4-6	1-8	2-7	3-7	4-7	1-9	2-8	3-8	4-8
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.669	2.681	2.692	2.658	2.687	2.687	2.653	2.662	2.626	2.640	2.686	2.659
圧密応力 σ ⁻ c (kN/m ²)		190				190				190			
繰返応力振幅比 σ _a /2σ ⁻ _o		0.251	0.216	0.298	0.391	0.253	0.301	0.447	0.348	0.455	0.254	0.358	0.549
繰返し 両振幅 幅の 割合 回数	DA = 1%	5.5	39.0	1.5	0.5	9.5	3.5	0.3	1.5	0.3	20.0	1.5	0.3
	DA = 2%	8.5	45.0	3.0	1.5	14.0	7.5	0.7	3.0	0.6	27.0	4.5	0.7
	DA = 5%	14.0	56.0	6.0	4.5	28.0	15.0	2.5	8.0	2.0	40.0	13.0	3.0
	DA = 10%	24.0	62.0	11.0	7.5	41.0	25.0	4.5	13.0	4.5	61.0	17.0	6.5
	過剰間隙水圧比95% N ₉₅	15.0	52.0	8.5	-	25.0	15.0	-	11.0	-	37.0	-	-
試料番号		FS-1-② (A-1) 三軸 (φ50)				FS-1-② (A-2) 三軸 (φ50)				FS-1-④ (A-2) 三軸 (φ50)			
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング			
地表からの深度 (m)		19.95~20.21				20.20~20.42				26.85~27.11			
有効上載圧 (kN/m ²)		200				200				260			
標高 T.P. (m)		-16.15~-16.41				-16.4~-16.62				-23.05~-23.31			
供試体No.		2-13	3-14	1-15	4-14	2-14	3-15	4-15	1-16	4-41	1-38	3-40	2-40
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.670	2.677	2.689	2.659	2.675	2.674	2.652	2.670	2.713	2.720	2.724	2.720
圧密応力 σ ⁻ c (kN/m ²)		190				190				250			
繰返応力振幅比 σ _a /2σ ⁻ _o		0.254	0.203	0.229	0.173	0.251	0.304	0.347	0.277	0.462	0.375	0.308	0.206
繰返し 両振幅 幅の 割合 回数	DA = 1%	4.0	26.0	6.0	813.0	21.0	4.0	0.4	5.0	0.1	0.4	0.8	0.8
	DA = 2%	5.5	30.0	9.0	823.0	29.0	8.0	0.8	9.0	0.2	0.7	2.0	4.0
	DA = 5%	10.0	38.0	14.0	835.0	44.0	17.0	4.0	17.0	0.6	4.0	4.0	11.0
	DA = 10%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	過剰間隙水圧比95% N ₉₅	9.0	35.0	13.0	827.0	37.0	14.0	4.0	14.0	-	-	-	9.0
試料番号		FS-1-② (1) 中空 (φ70)				FS-1-② (2) 中空 (φ70)				FS-1-② (3) 中空 (φ70)			
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング			
地表からの深度 (m)		18.70~19.26				18.81~19.01				18.96~19.20			
有効上載圧 (kN/m ²)		188				188				188			
標高 T.P. (m)		-14.90~-15.46				-15.01~-15.21				-15.16~-15.40			
供試体No.		4-12	1-10	2-9	3-9	4-10	1-11	2-10	3-10	4-11	1-12	3-11	2-11
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.652	2.671	2.688	2.705	2.684	2.694	2.662	2.658	2.682	2.746	2.689	2.676
圧密応力 σ ⁻ c (kN/m ²)		190				190				190			
繰返応力振幅比 σ _a /2σ ⁻ _o		0.354	0.505	0.302	0.404	0.352	0.304	0.231	0.277	0.281	0.352	0.251	0.316
繰返し 両振幅 幅の 割合 回数	DA = 1%	1.5	0.6	69.0	1.5	2.5	6.5	173.0	14.0	13.0	2.0	29.0	3.5
	DA = 2%	3.0	1.5	77.0	2.5	6.0	8.5	181.0	17.0	16.0	3.0	33.0	5.0
	DA = 5%	5.5	3.5	90.0	8.5	12.0	16.0	191.0	27.0	22.0	6.0	40.0	8.5
	DA = 10%	11.0	11.0	112.0	26.0	22.0	32.0	205.0	48.0	32.0	13.0	54.0	15.0
	過剰間隙水圧比95% N ₉₅	6.0	5.0	87.0	7.0	10.0	13.0	186.0	22.0	20.0	6.0	37.0	8.0

□: 試験結果を例示したケース

第 5.3-3 表(3/3) 液状化強度試験結果(As1 層)

試料番号		FS-1-④ (1) 中空 (φ70)				FS-1-④ (2) 中空 (φ70)				FS-1-④ (3) 中空 (φ70)			
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング			
地表からの深度 (m)		26.06~26.36				26.21~26.51				26.44~26.68			
有効上載圧 (kN/m ²)		255				255				255			
標高 T.P. (m)		-22.26~-22.56				-22.41~-22.71				-22.64~-22.88			
供試体No.		2-36	1-34	4-37	3-36	2-37	1-35	4-38	3-37	1-36	4-39	3-38	2-38
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.647	2.706	2.724	2.680	2.674	2.684	2.695	2.730	2.678	2.706	2.719	2.696
圧密応力 σ ⁻ c (kN/m ²)		250				250				250			
繰返し応力振幅比 σ _a /2σ ⁻ _o		0.301	0.390	0.346	0.323	0.354	0.428	0.392	0.369	0.296	0.445	0.252	0.191
繰返し 両振幅 軸すみの 繰返し 載荷回数	DA = 1%	117.0	1.0	4.0	4.5	46.0	0.2	3.0	4.0	4.0	0.2	10.0	272.0
	DA = 2%	132.0	2.5	6.5	7.0	62.0	0.6	5.0	7.0	5.0	0.4	13.0	279.0
	DA = 5%	151.0	4.0	10.0	12.0	92.0	1.5	8.0	15.0	7.0	1.0	15.0	284.0
	DA = 10%	175.0	6.5	15.0	20.0	136.0	3.5	12.0	33.0	9.0	2.0	18.0	288.0
	過剰間隙水圧比95% N ₉₅	147.0	5.0	11.0	12.0	87.0	3.0	10.0	16.0	8.0	-	15.0	282.0
試料番号		FS-2-③ (1) 三軸 (φ50)				FS-2-③ (2) 三軸 (φ50)				FS-2-③ (3) 三軸 (φ50)			
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング			
地表からの深度 (m)		22.19~22.46				22.39~22.70				22.59~22.90			
有効上載圧 (kN/m ²)		326				326				326			
標高 T.P. (m)		-12.39~-12.66				-12.59~-12.90				-12.79~-13.10			
供試体No.		1-7	2-5	3-5	4-8	1-8	2-6	4-9	3-6	1-9	2-7	4-10	3-7
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.710	2.723	2.711	2.702	2.675	2.689	2.675	2.695	2.682	2.688	2.702	2.694
圧密応力 σ ⁻ c (kN/m ²)		330				330				330			
繰返し応力振幅比 σ _a /2σ ⁻ _o		0.301	0.252	0.197	0.227	0.251	0.153	0.202	0.223	0.250	0.202	0.152	0.177
繰返し 両振幅 軸すみの 繰返し 載荷回数	DA = 1%	0.5	10.0	35.0	8.0	2.0	1062.0	15.0	14.0	2.0	10.0	87.0	37.0
	DA = 2%	1.0	13.0	38.0	11.0	3.0	1071.0	18.0	17.0	2.5	12.0	90.0	40.0
	DA = 5%	4.0	18.0	44.0	15.0	7.0	1088.0	24.0	23.0	4.0	15.0	94.0	44.0
	DA = 10%	8.0	23.0	53.0	21.0	14.0	1104.0	30.0	27.0	7.0	18.0	101.0	53.0
	過剰間隙水圧比95% N ₉₅	4.0	15.0	39.0	12.0	6.0	1073.0	20.0	20.0	4.0	13.0	90.0	41.0
試料番号		FS-2-⑤ (1) 中空 (φ70)				FS-2-⑤ (1) 中空 (φ70)				FS-2-⑤ (2) 中空 (φ70)			
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング			
地表からの深度 (m)		24.42~24.95				27.98~28.23				28.13~28.48			
有効上載圧 (kN/m ²)		345				379				379			
標高 T.P. (m)		-14.62~-15.15				-18.18~-18.43				-18.33~-18.68			
供試体No.		1-16	1-15	4-16	3-13	4-32	3-30	2-31	1-32	4-33	3-31	1-33	2-33
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.749	2.735	2.720	2.755	2.698	2.741	2.719	2.737	2.750	2.695	2.737	2.736
圧密応力 σ ⁻ c (kN/m ²)		330				380				380			
繰返し応力振幅比 σ _a /2σ ⁻ _o		0.351	0.301	0.254	0.277	0.300	0.251	0.278	0.402	0.257	0.354	0.303	0.274
繰返し 両振幅 軸すみの 繰返し 載荷回数	DA = 1%	6.0	8.0	25.0	58.0	6.5	42.0	44.0	0.6	79.0	2.5	2.0	43.0
	DA = 2%	8.5	11.0	29.0	68.0	8.5	52.0	50.0	1.5	84.0	4.0	3.0	45.0
	DA = 5%	14.0	17.0	35.0	84.0	13.0	73.0	59.0	3.0	89.0	8.0	5.0	48.0
	DA = 10%	26.0	30.0	44.0	116.0	18.0	118.0	68.0	5.0	94.0	18.0	6.5	50.0
	過剰間隙水圧比95% N ₉₅	16.0	17.0	34.0	80.0	14.0	66.0	58.0	4.0	90.0	10.0	6.0	49.0

第 5.3-4 表(1/3) 液状化強度試験結果(As2 層)

試料番号		SW-6-2 (φ 50)			SW2-1 (T5) (φ 50)			SW2-4 (1) (φ 50)		SW2-4 (3) (φ 50)		
サンプリング方法		GPサンプリング			トリプルチューブサンプリング			GPサンプリング		GPサンプリング		
地表からの深度 (m)		23.40~24.40			36.00~37.00			18.15~18.35		23.05~24.03		
有効上載圧 (kN/m ²)		334			448			223		255		
標高 T.P. (m)		-13.70~-14.70			-26.30~-27.30			-14.25~-14.45		-19.15~-20.13		
供試体No.		2	3	4	1	2	3	20	21	42	43	44
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.729			2.794			2.746		2.728		
圧密応力 σ ^c (kN/m ²)		330			450			220		260		
繰返応力振幅比 σ _a /2σ ^c		0.214	0.285	0.186	0.294	0.318	0.234	0.309	0.277	0.332	0.297	0.316
繰返し 両振幅 幅 の 繰返 し 載 荷 回 数	DA = 1%	16.6	1.5	25.0	0.8	0.9	30.7	4.5	6.5	0.8	5.0	5.0
	DA = 2%	19.9	2.5	28.7	3.5	5.0	42.8	8.0	10.0	2.5	18.4	13.0
	DA = 5%	25.8	4.5	35.1	12.9	22.9	49.6	17.6	17.5	6.0	74.2	29.7
	DA = 10%	-	6.5	46.2	-	57.6	49.7	-	26.7	11.5	-	39.6
	過剰間隙水圧比95% N ₉₅	21.0	4.0	31.0	8.0	11.0	50.0	10.0	12.0	5.0	46.0	17.0

試料番号		FS-1-③ (1) 三軸 (φ 50)			FS-1-③ (2) 三軸 (φ 50)			FS-1-③ (3) 三軸 (φ 50)		
サンプリング方法		凍結サンプリング			凍結サンプリング			凍結サンプリング		
地表からの深度 (m)		21.99~22.44			22.47~22.70			22.62~22.85		
有効上載圧 (kN/m ²)		221			221			221		
標高 T.P. (m)		-18.29~-18.74			-18.44~-19.00			-18.92~-19.15		
供試体No.		1-18	3-17		1-19	2-18		1-20	2-19	
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.692	2.694		2.681	2.678		2.682	2.668	
圧密応力 σ ^c (kN/m ²)		220			220			220		
繰返応力振幅比 σ _a /2σ ^c		0.551	0.453		0.437	0.356		0.376	0.340	
繰返し 両振幅 幅 の 繰返 し 載 荷 回 数	DA = 1%	0.6	0.6		0.6	7.0		0.6	0.6	
	DA = 2%	0.6	0.7		0.6	21.0		0.7	0.6	
	DA = 5%	0.8	10.0		0.8	56.0		6.0	0.7	
	DA = 10%	6.0	16.0		7.0	62.0		21.0	3.0	
	過剰間隙水圧比95% N ₉₅	-	-		4.0	49.0		8.0	2.0	

試料番号		FS-1-④ (1) 三軸 (φ 50)				FS-1-④ (2) 三軸 (φ 50)				FS-1-④ (3) 三軸 (φ 50)	
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング	
地表からの深度 (m)		25.12~25.49				25.27~25.64				25.42~25.79	
有効上載圧 (kN/m ²)		247				247				247	
標高 T.P. (m)		-21.42~-21.79				-21.57~-21.94				-21.72~-22.09	
供試体No.		1-30	2-32	3-31	4-32	1-31	2-33	3-32	4-33	1-32	3-33
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.712	2.690	2.718	2.712	2.701	2.708	2.697	2.786	2.764	2.690
圧密応力 σ ^c (kN/m ²)		250				250				250	
繰返応力振幅比 σ _a /2σ ^c		0.405	0.454	0.376	0.502	0.409	0.306	0.562	0.351	0.353	0.402
繰返し 両振幅 幅 の 繰返 し 載 荷 回 数	DA = 1%	1.0	0.5	0.8	0.1	0.4	34.0	0.1	0.6	2.5	0.3
	DA = 2%	8.5	0.9	4.5	0.3	0.8	50.0	0.3	1.5	8.5	0.6
	DA = 5%	28.0	4.5	17.0	0.7	3.5	71.0	0.7	8.5	20.0	2.0
	DA = 10%	31.0	11.0	34.0	2.5	5.5	96.0	2.0	20.0	38.0	5.0
	過剰間隙水圧比95% N ₉₅	-	-	20.0	2.5	-	63.0	2.5	8.5	20.0	4.0

試料番号		FS-1-③ (A-1) 三軸 (φ 50)				FS-1-④ (A-1) 三軸 (φ 50)			
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング			
地表からの深度 (m)		22.06~22.55				24.34~24.95			
有効上載圧 (kN/m ²)		215				238			
標高 T.P. (m)		-18.36~-18.85				-20.64~-21.25			
供試体No.		2-17	1-17	3-28	4-27	1-25	2-27	4-30	4-29
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.670	2.659	2.696	2.750	2.719	2.726	2.729	2.723
圧密応力 σ ^c (kN/m ²)		220				250			
繰返応力振幅比 σ _a /2σ ^c		0.467	0.522	0.307	0.350	0.413	0.513	0.407	0.459
繰返し 両振幅 幅 の 繰返 し 載 荷 回 数	DA = 1%	0.5	0.3	0.7	0.7	0.7	0.8	0.4	0.4
	DA = 2%	1.0	0.6	5.0	8.0	10.0	10.0	0.8	0.8
	DA = 5%	10.0	6.0	21.0	24.0	56.0	44.0	5.0	6.0
	DA = 10%	-	-	-	-	-	-	-	-
	過剰間隙水圧比95% N ₉₅	-	-	18.0	19.0	51.0	43.0	-	-

□: 試験結果を例示したケース

第 5.3-4 表(2/3) 液状化強度試験結果(As2 層)

試料番号		FS-1-③ (1) 中空(φ70)				FS-1-③ (2) 中空(φ70)				FS-1-③ (3) 中空(φ70)				
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング				
地表からの深度(m)		23.06~23.36				23.29~23.81				23.70~23.96				
有効上載圧(kN/m ²)		231				231				231				
標高 T.P.(m)		-19.36~-19.66				-19.59~-20.11				-20.00~-20.26				
供試体No.		4-22	2-21	3-21	2-20	3-23	2-22	3-22	2-24	4-23	1-21	3-25	2-25	
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.751	2.715	2.716	2.718	2.737	2.746	2.724	2.737	2.742	2.750	2.741	2.730	
圧密応力 σ ⁻ c(kN/m ²)		220				220				220				
繰返応力振幅比 σ _d /2σ ⁻ _o		0.497	0.593	0.396	0.351	0.542	0.326	0.403	0.445	0.494	0.597	0.551	0.686	
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	DA = 1%	3.0	0.7	4.0	60.0	0.6	81.0	4.0	1.5	8.5	0.6	2.0	0.2
		DA = 2%	8.0	2.0	8.5	75.0	2.0	97.0	8.0	4.0	23.0	1.5	8.0	0.6
		DA = 5%	21.0	8.5	22.0	97.0	13.0	123.0	17.0	10.0	60.0	17.0	48.0	2.0
		DA = 10%	52.0	24.0	48.0	130.0	99.0	199.0	32.0	26.0	-	91.0	142.0	4.5
		過剰間隙水圧比95% N _{US}	26.0	16.0	22.0	95.0	23.0	120.0	18.0	13.0	61.0	30.0	56.0	4.0

試料番号		FS-2-④ (1) 三軸(φ50)			FS-2-④ (2) 三軸(φ50)			FS-2-④ (3) 三軸(φ50)			
サンプリング方法		凍結サンプリング			凍結サンプリング			凍結サンプリング			
地表からの深度(m)		26.53~26.75			26.65~26.90			26.98~27.13			
有効上載圧(kN/m ²)		366			366			369			
標高 T.P.(m)		-16.73~-16.95			-16.85~-17.10			-17.18~-17.33			
供試体No.		1-23	3-21	1-24	2-23	3-22	4-26				
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.728	2.733	2.790	2.930	2.911	3.007				
圧密応力 σ ⁻ c(kN/m ²)		360			360			360			
繰返応力振幅比 σ _d /2σ ⁻ _o		0.203	0.507	0.512	0.402	0.653	0.599				
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	DA = 1%	147.0	0.4	0.4	0.3	0.2	0.7			
		DA = 2%	154.0	0.8	0.8	0.7	0.5	3.5			
		DA = 5%	164.0	9.5	6.0	8.5	3.5	32.0			
		DA = 10%	168.0	11.0	12.0	17.0	4.5	44.0			
		過剰間隙水圧比95% N _{US}	161.0	-	12.0	12.0	-	38.0			

試料番号		FS-2-⑥ (1) 三軸(φ50)			FS-2-⑥ (2) 三軸(φ50)			FS-2-⑥ (3) 三軸(φ50)		
サンプリング方法		凍結サンプリング			凍結サンプリング			凍結サンプリング		
地表からの深度(m)		30.43~30.60			30.58~30.90			30.73~31.05		
有効上載圧(kN/m ²)		403			403			403		
標高 T.P.(m)		-20.63~-20.80			-20.78~-21.10			-20.93~-21.25		
供試体No.		1-47	3-43	1-48	3-44	3-45	1-49	3-46	4-48	
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.813	2.750	2.836	2.767	2.730	2.702	2.721	2.691	
圧密応力 σ ⁻ c(kN/m ²)		400			400			400		
繰返応力振幅比 σ _d /2σ ⁻ _o		0.255	0.353	0.377	0.612	0.454	0.255	0.605	0.451	
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	DA = 1%	8.5	0.6	0.6	0.3	0.2	3.5	0.2	0.4
		DA = 2%	40.0	2.5	3.5	0.6	0.4	5.5	0.5	0.8
		DA = 5%	170.0	18.0	30.0	4.5	0.6	10.0	2.5	11.0
		DA = 10%	-	20.0	36.0	11.0	4.0	14.0	7.0	13.0
		過剰間隙水圧比95% N _{US}	108.0	-	-	9.5	-	12.0	-	-

試料番号		FS-2-④ (A-1) 三軸(φ50)			FS-2-⑤ (A-1) 三軸(φ50)			FS-2-⑥ (A-1) 三軸(φ50)			
サンプリング方法		凍結サンプリング			凍結サンプリング			凍結サンプリング			
地表からの深度(m)		26.98~27.23			28.83~29.13			31.35~31.62			
有効上載圧(kN/m ²)		369			385			409			
標高 T.P.(m)		-17.18~-17.43			-19.03~19.33			-21.55~-21.82			
供試体No.		1-26	3-24	2-25	1-37	3-35	4-38	4-50	1-53	3-48	
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.826	2.793	2.739	2.748	2.760	2.689	2.750	2.692	2.806	
圧密応力 σ ⁻ c(kN/m ²)		360			380			400			
繰返応力振幅比 σ _d /2σ ⁻ _o		0.511	0.414	0.462	0.461	0.307	0.262	0.411	0.356	0.336	
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	DA = 1%	0.4	0.8	0.5	0.6	0.9	127.0	0.3	0.3	0.3
		DA = 2%	0.9	12.0	3.0	3.0	5.0	166.0	0.6	0.5	0.7
		DA = 5%	7.0	29.0	21.0	15.0	15.0	208.0	4.0	4.0	6.0
		DA = 10%	-	-	-	-	-	208.0	-	-	-
		過剰間隙水圧比95% N _{US}	-	-	-	-	15.0	-	-	-	-

第 5.3-4 表(3/3) 液状化強度試験結果(As2 層)

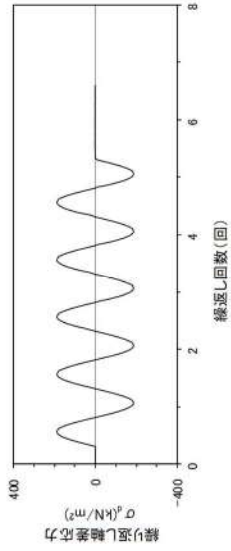
試料番号		FS-2-④ (1) 中空 (φ70)				FS-2-④ (2) 中空 (φ70)				FS-2-④ (3) 中空 (φ70)				
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング				
地表からの深度 (m)		26.01~26.23				26.16~26.45				25.90~26.60				
有効上載圧 (kN/m ²)		362				362				362				
標高 T.P. (m)		-16.21~-16.43				-16.36~-16.65				-16.10~-16.80				
供試体No.		4-21	2-19	3-18	1-20	4-22	2-20	1-21	3-19	2-21	3-17	4-23	3-20	
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.708	2.723	2.743	2.713	2.736	2.717	2.746	2.707	2.732	2.696	2.710	2.715	
圧密応力 σ ^c (kN/m ²)		360				360				360				
繰返応力振幅比 σ _a /2σ ^c		0.503	0.415	0.457	0.353	0.454	0.555	0.507	0.478	0.512	0.427	0.455	0.405	
繰返し載荷回数	繰返し振幅の幅	DA = 1%	0.6	3.5	1.5	7.5	9.0	0.8	0.8	2.0	0.5	4.0	0.9	21.0
		DA = 2%	1.5	8.0	4.0	11.0	30.0	2.0	2.0	7.5	1.0	8.0	1.5	26.0
		DA = 5%	3.5	23.0	18.0	16.0	81.0	6.5	8.0	30.0	3.0	19.0	4.0	33.0
		DA = 10%	8.0	58.0	58.0	22.0	168.0	18.0	31.0	-	6.0	45.0	6.5	43.0
		過剰間隙水圧比95% N ₉₅	7.0	29.0	25.0	17.0	88.0	11.0	14.0	41.0	-	23.0	6.0	35.0
試料番号		FS-2-⑥ (1) 中空 (φ70)				FS-2-⑥ (2) 中空 (φ70)				FS-2-⑥ (3) 中空 (φ70)				
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング				
地表からの深度 (m)		29.98~30.18				30.13~30.33				30.28~30.56				
有効上載圧 (kN/m ²)		398				398				398				
標高 T.P. (m)		-20.18~-20.38				-20.33~-20.53				-20.48~-20.76				
供試体No.		1-44	3-40	4-44	2-43	1-45	3-41	4-45	2-44	1-46	3-42	2-45	4-46	
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.723	2.755	2.696	2.748	2.709	2.714	2.747	2.773	2.730	2.764	2.769	2.740	
圧密応力 σ ^c (kN/m ²)		400				400				400				
繰返応力振幅比 σ _a /2σ ^c		0.407	0.353	0.383	0.456	0.405	0.358	0.385	0.459	0.406	0.338	0.377	0.467	
繰返し載荷回数	繰返し振幅の幅	DA = 1%	2.5	30.0	10.0	2.0	2.0	28.0	3.0	1.5	2.0	14.0	56.0	0.7
		DA = 2%	6.0	44.0	25.0	5.0	5.5	43.0	6.5	4.0	4.0	20.0	86.0	2.0
		DA = 5%	16.0	75.0	64.0	13.0	12.0	76.0	16.0	11.0	9.0	32.0	139.0	6.0
		DA = 10%	34.0	121.0	136.0	30.0	24.0	135.0	40.0	28.0	19.0	50.0	-	19.0
		過剰間隙水圧比95% N ₉₅	22.0	74.0	68.0	19.0	17.0	79.0	21.0	16.0	12.0	34.0	140.0	11.0
試料番号		FS-2-⑥ (4) 中空 (φ70)				FS-2-⑥ (5) 中空 (φ70)								
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング								
地表からの深度 (m)		34.35~34.55				34.50~34.70								
有効上載圧 (kN/m ²)		437				437								
標高 T.P. (m)		-24.55~-24.75				-24.70~-24.90								
供試体No.		4-68	2-70	3-66	1-71	4-69	2-71	3-67	1-72					
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.739	2.827	2.796	2.762	2.709	2.768	2.693	2.793					
圧密応力 σ ^c (kN/m ²)		440				440								
繰返応力振幅比 σ _a /2σ ^c		0.411	0.357	0.384	0.309	0.357	0.305	0.256	0.491					
繰返し載荷回数	繰返し振幅の幅	DA = 1%	2.0	74.0	1.5	9.5	2.5	6.0	2041.0	0.5				
		DA = 2%	4.5	117.0	3.5	14.0	5.0	9.0	2290.0	0.9				
		DA = 5%	9.0	232.0	7.0	26.0	12.0	17.0	2511.0	3.0				
		DA = 10%	21.0	344.0	13.0	55.0	34.0	30.0	-	8.0				
		過剰間隙水圧比95% N ₉₅	14.0	204.0	10.0	28.0	17.0	19.0	2407.0	6.0				

液状化強度試験結果 (As1 層の非液状化の例)

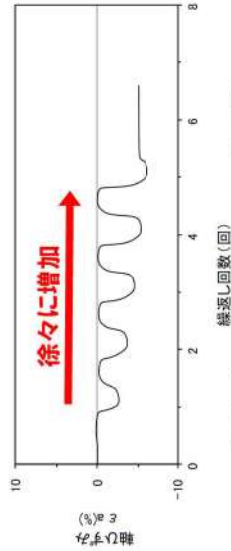
試験条件	
供試体	No.1-38
地表からの深度 (m)	26.85~27.11
有効上載圧 (kN/m ²)	260
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)	250
繰返し応力振幅比 $\sigma_d / 2\sigma'_0$	0.375
試験結果	
液状化の判断	
間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	X
有効応力がゼロまで低下する。 液体状となり流動する。 (ひずみが増す。)	X
正のダイレイタンシー特性により せん断抵抗が作用する。 (有効応力が回復する。)	O
	非液状化



試験後の供試体

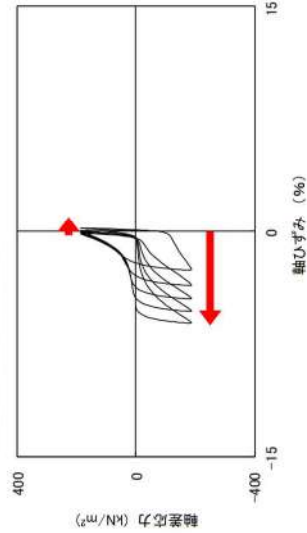


軸差応力-繰返し回数関係



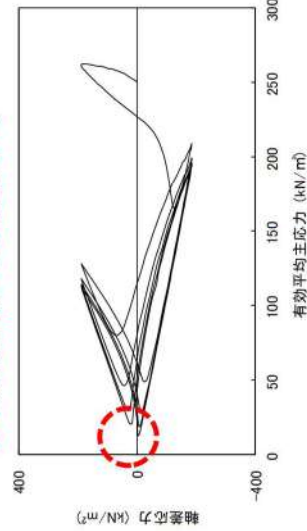
③④ 軸ひずみ-繰返し回数関係

せん断剛性が保持され、ひずみが急激に進行することがない。



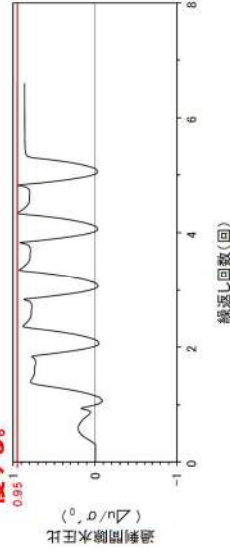
③④ 軸差応力-軸ひずみ関係

繰返し載荷しても、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。



② 有効応力経路

過剰間隙水圧比は95%を超過しない。
せん断応力作用時には、正のダイレイタンシー効果により、過剰間隙水圧は低下し、有効応力が回復する。



① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係

液状化強度試験結果 (As1 層の液状化の例)

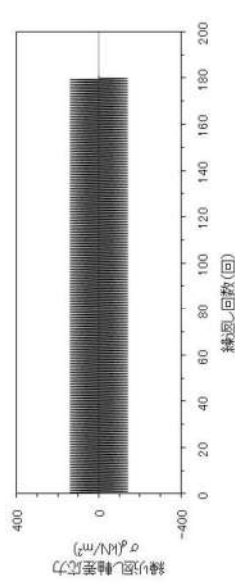
試験条件	
供試体	No.4
地表からの深度 (m)	32.00~33.00
有効上載圧 (kN/m ²)	412
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)	410
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$	0.171
試験結果	
液状化の判断	液状化
間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	○
有効応力がゼロまで低下する。	×
液体状となり流動する。 (ひずみが急増する。)	○
正のダイレイタンシー特性によりせん断抵抗が作用する。 (有効応力が回復する。)	×



試験後の供試体

※有効応力がゼロまで低下していないが保守的に液状化に区分した。

4 条-別紙 9-85



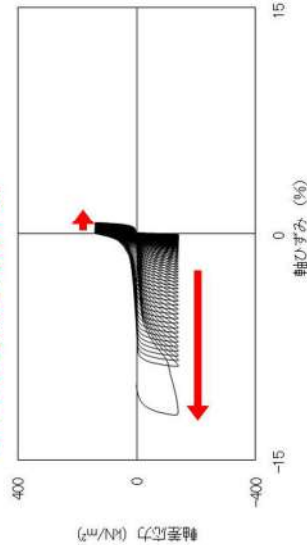
③④ 軸差応力-繰返し回数関係

過剰間隙水圧比の
95%超過に伴い、
急激に増加



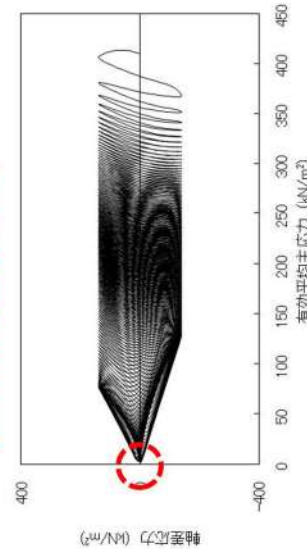
③④ 軸ひずみ-繰返し回数関係

ひずみが急激に進行する。



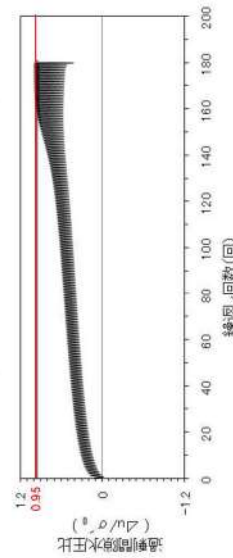
③④ 軸差応力-軸ひずみ関係

有効応力がほぼゼロになる。



② 有効応力経路

過剰間隙水圧比は95%を超過する。



① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係

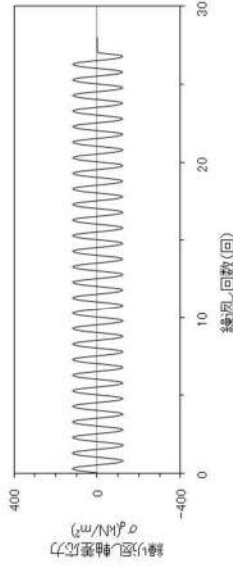
第 5.3-7 図 As1 層の液状化強度試験結果 (SW7-10, 供試体 No. 4)

液状化強度試験結果 (As2 層の繰返し軟化の例)

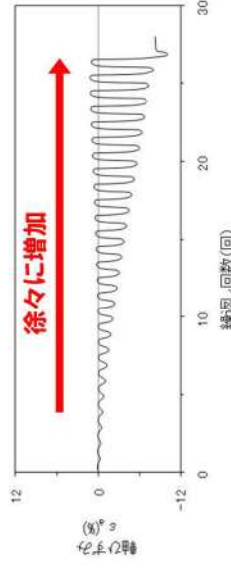
試験条件	
供試体	No.21
地表からの深度 (m)	18.15~18.35
有効上載圧 (kN/m ²)	223
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)	220
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$	0.277
試験結果	
間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	○
有効応力がゼロまで低下する。	×
液体状となり流動する。 (ひずみが増加する。)	×
正のダイレイタンシー特性によりせん断抵抗が作用する。 (有効応力が回復する。)	○
液状化の判断	
繰返し軟化	



試験後の供試体

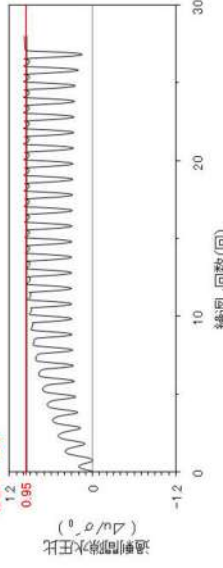


軸差応力-繰返し回数関係



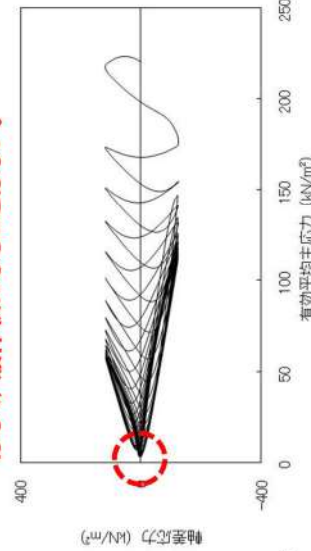
③④ 軸ひずみ-繰返し回数関係

過剰間隙水圧比は95%を超過する。せん断応力作用時には、正のダイレイタンシー効果により、過剰間隙水圧は低下し、有効応力が回復する。



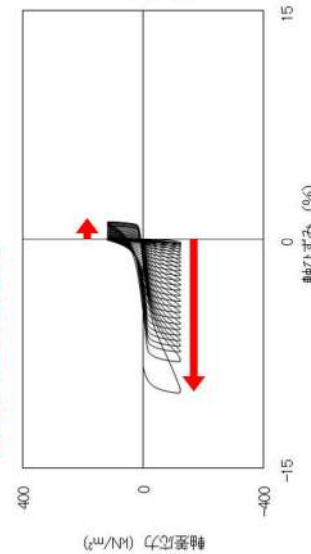
① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係

繰返し載荷しても、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。

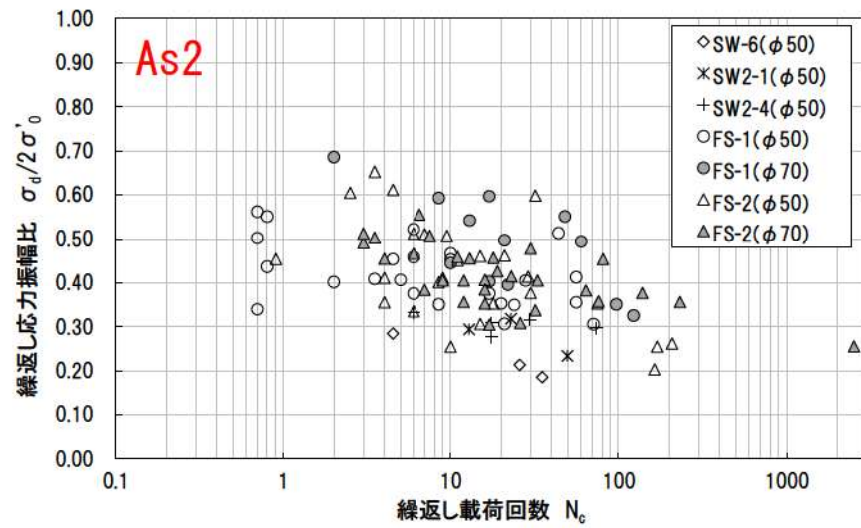
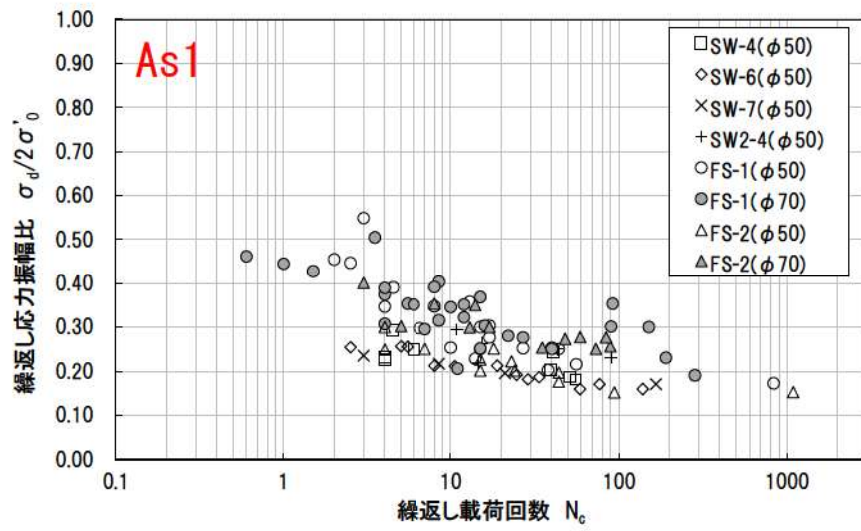


② 有効応力経路

せん断剛性が保持され、ひずみが急激に進行することがない。



③④ 軸差応力-軸ひずみ関係



第 5.3-9 図 砂層の液状化強度試験結果

5.4 基準地震動に対する液状化強度試験の妥当性確認

敷地内の埋戻土は、試験結果が液状化を示さないことから、埋戻土の液状化強度試験が基準地震動相当の地盤の状態(繰返し回数)を模擬していることを確認するため、累積損傷度理論を適用し、不規則波である基準地震動によって発生する地盤のせん断応力と等価な一定せん断応力及びその繰返し回数を求め、試験結果との比較を実施した。

累積損傷度理論に基づく評価フローを第 5.4-1 図に示す。

また、累積損傷度理論による等価繰返し回数算出手順を以下に示し、各 STEP の作業手順に対応した図を第 5.4-2 図に示す。

基準地震動の一次元地震応答解析を実施する位置については、防潮堤位置の土層縦断面図より設定するものとし、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 1, 2 号埋戻土及び 3 号埋戻土のそれぞれから設定する(第 5.4-3 図参照)。

選定した位置での地盤モデルを用いて一次元地震応答解析を実施し、各位置における等価一定せん断応力と等価繰返し回数を算出した。一次元地震応答解析の解析モデルを第 5.4-1 表に、算出結果を第 5.4-2 表、第 5.4-3 表及び第 5.4-4 図～第 5.4-7 図に示す。第 5.4-1 表に示す解析モデルのうち、Case1-2 及び Case2-2 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(第 5.4-3 図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。

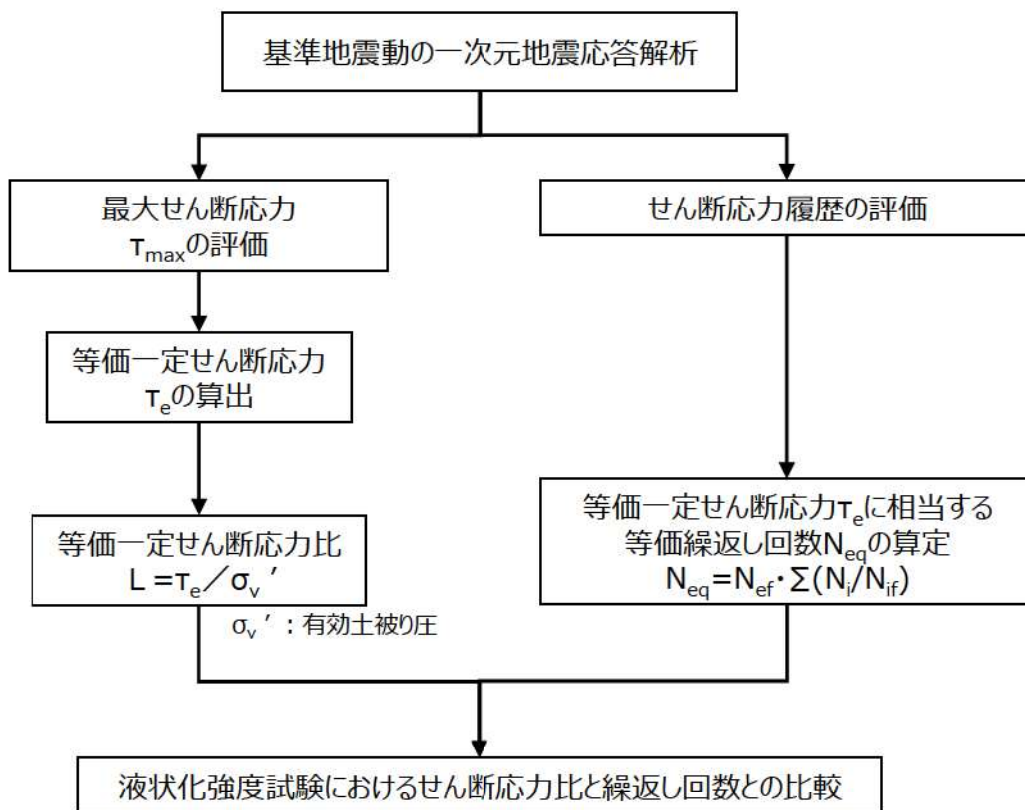
なお、液状化強度試験は等方応力状態であり、実地盤(異方応力状態)で算出される応答解析と比較するため、静止土圧係数(K_0 : 一般値 0.5)を用いて、液状化強度試験から得られるせん断応力を補正した。

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

R: 液状化強度比, σ_v' : 有効土被り圧

評価結果より、基準地震動による等価繰返し回数は、すべての位置において液状化強度試験による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で地盤に発生するせん断応力は、液状化強度試験の繰返し回数の上限值である 200 回に対応するせん断応力以下となっている。この程度のせん断応力比はほとんど破壊に寄与しないため、非液状化と判断され、等価繰返し回数の評価対象外であるが、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を上回るレベルで実施できていることを確認した。



第 5. 4-1 図 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価フロー

<STEP1>

液状化強度試験における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における評価対象要素で抽出したせん断応力時刻歴から、STEP1 で求めた R_{200} に対応するせん断応力以上となるせん断応力 τ_i とその回数 N_i を求める。

<STEP3>

STEP2 で求めたせん断応力 τ_i に対応するせん断応力比 $L_i = \tau_i / \sigma_v'$ を求め、液状化強度試験におけるせん断応力比と繰返し回数の関係から、せん断応力比 L_i に対する回数 N_{if} を求める。

<STEP4>

一次元地震応答解析における評価対象要素で抽出したせん断応力時刻歴から、評価対象層の最大せん断応力 τ_{max} を求め、不規則波である基準地震動によって発生する地盤のせん断応力と等価な一定せん断応力 τ_e を求める。 $(\tau_e = 0.65 \times \tau_{max})$

<STEP5>

液状化強度試験におけるせん断応力比と繰返し回数の関係から、基準地震動によって発生する地盤のせん断応力と等価な一定せん断応力比 $L = \tau_e / \sigma_v'$ の繰返し回数 N_{ef} を求める。

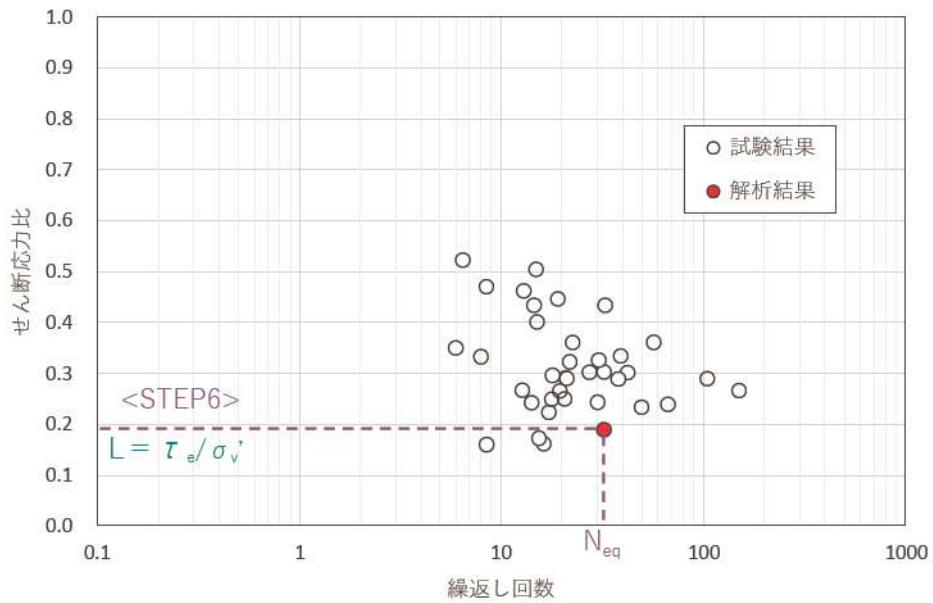
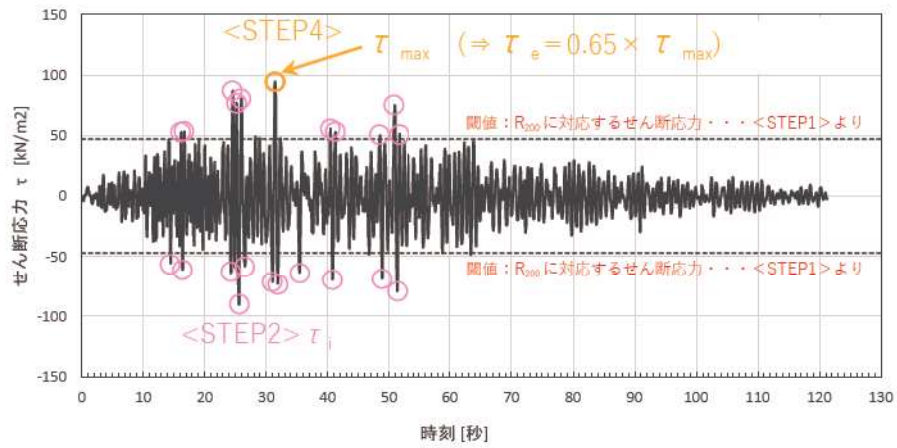
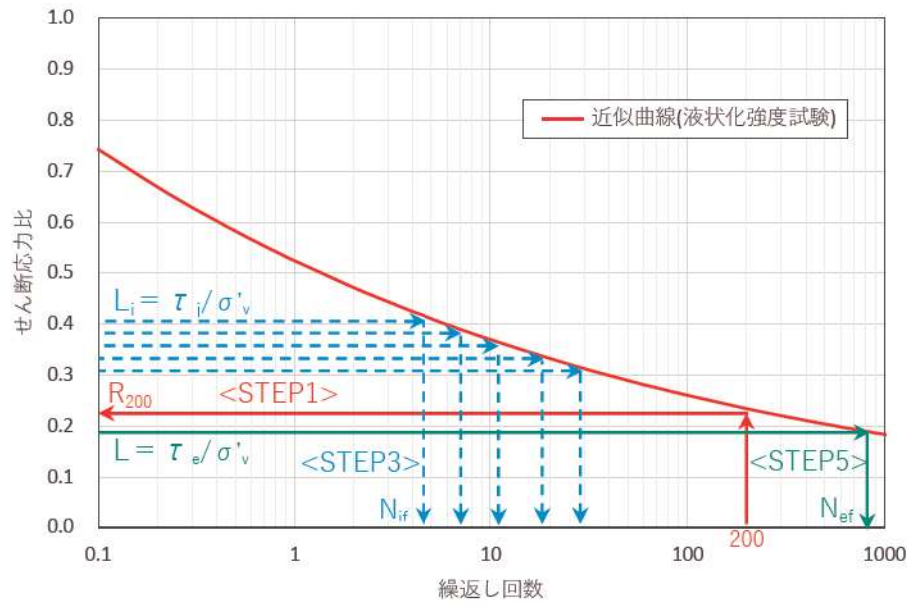
<STEP6>

N_{ef} 、 N_i 及び N_{if} を用いて、下式より等価繰返し回数 N_{eq} を算出し、液状化強度試験結果に重ねてプロットする。

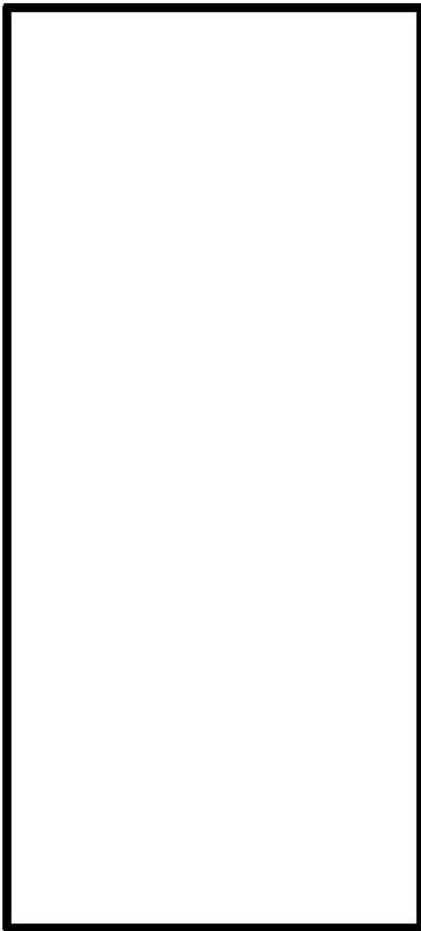
$$N_{eq} = N_{ef} \cdot \sum (N_i / N_{if})$$

ここで、 $N_i = 0.5$ (各ピークは半サイクルのため) とすると、

$$N_{eq} = N_{ef} \cdot \sum (1 / N_{if}) \cdot 0.5$$

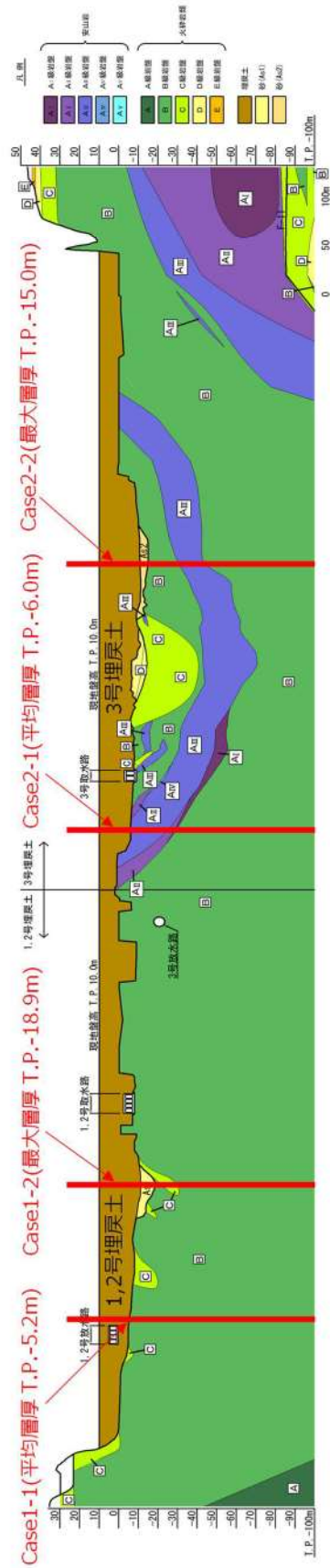


第 5.4-2 図 累積損傷度理論による等価繰返し回数算出手順



□: 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: 8,666m²(埋戻土, As1の面積) / 570m(埋戻土地表面延長)
 = 15.2m(埋戻土の下端標高TP-5.2m)
 3号埋戻土: 1,456m²(埋戻土, D級岩盤, As2の面積) / 654m(埋戻土地表
 面延長) = 16.0m(埋戻土の下端標高TP-6.0m)



第5.4-3 図 一次元地震応答解析実施位置図

第 5.4-1 表 一次元地震応答解析の解析モデル

ケース名	Case1-1	Case1-2	Case2-1	Case2-2
埋戻土物性	1,2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。

第 5.4-2 表 一次元地震応答解析による等価一定せん断応力比と等価繰返し回数(1, 2 号埋戻土)

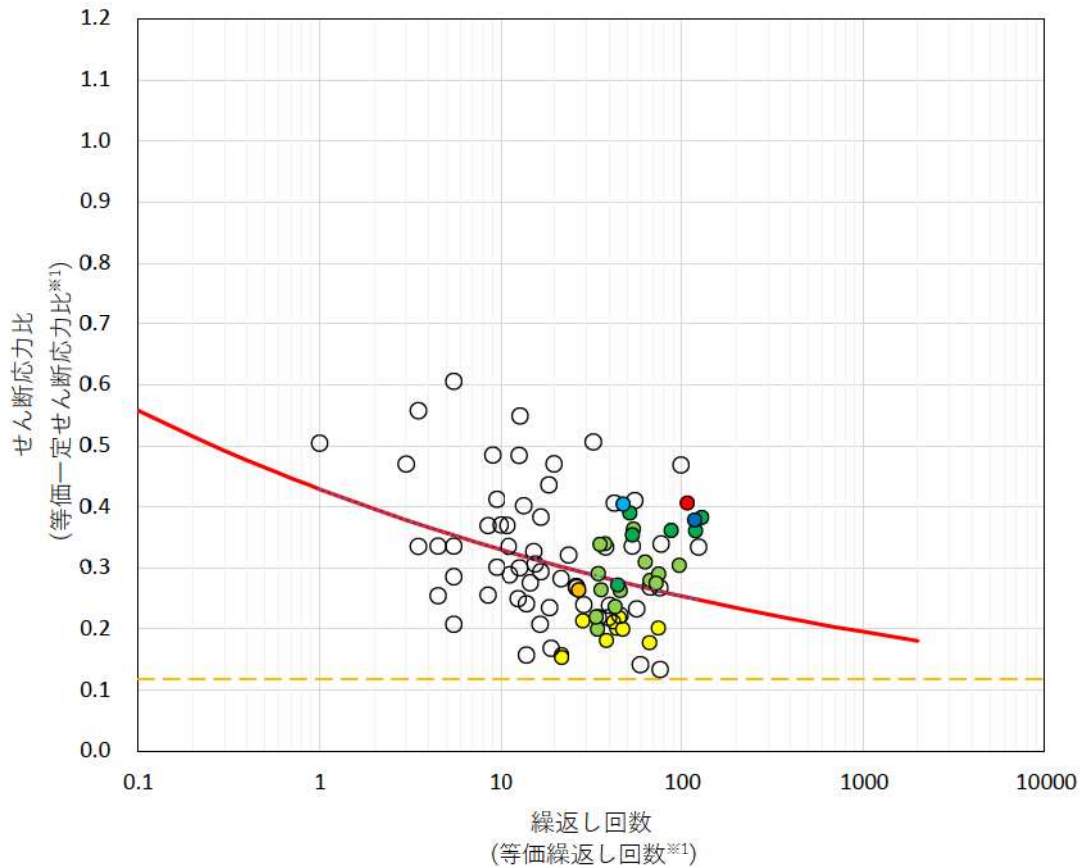
ケース名	Case1-1		Case1-2	
埋戻土物性	1, 2 号埋戻土		1, 2 号埋戻土	
岩盤標高	T. P. -5. 2m		T. P. -18. 9m	
基準地震動	L	N _{eq}	L	N _{eq}
	τ_e / σ_v'		τ_e / σ_v'	
Ss1-H	0. 41	107. 25	0. 32	114. 66
Ss2-1-NS	0. 26	27. 12	0. 25	46. 39
Ss2-1-EW	0. 12	—*	0. 15	—*
Ss2-2-NS	0. 22	45. 43	0. 18	28. 38
Ss2-2-EW	0. 16	21. 88	0. 14	—*
Ss2-3-NS	0. 20	74. 64	0. 15	—*
Ss2-3-EW	0. 15	21. 88	0. 12	—*
Ss2-4-NS	0. 20	43. 75	0. 20	53. 29
Ss2-4-EW	0. 21	28. 55	0. 15	—*
Ss2-5-NS	0. 18	66. 58	0. 16	21. 88
Ss2-5-EW	0. 21	42. 12	0. 20	41. 61
Ss2-6-NS	0. 20	47. 37	0. 19	21. 88
Ss2-6-EW	0. 18	38. 53	0. 12	—*
Ss2-7-NS	0. 34	37. 87	0. 24	31. 22
Ss2-7-EW	0. 31	63. 00	0. 22	35. 03
Ss2-8-NS	0. 36	54. 26	0. 27	31. 18
Ss2-8-EW	0. 28	67. 06	0. 18	98. 68
Ss2-9-NS	0. 30	96. 89	0. 21	57. 18
Ss2-9-EW	0. 27	72. 54	0. 20	27. 15
Ss2-10-NS	0. 34	35. 54	0. 25	24. 01
Ss2-10-EW	0. 29	74. 75	0. 19	49. 17
Ss2-11-NS	0. 29	34. 74	0. 18	64. 22
Ss2-11-EW	0. 26	45. 85	0. 19	26. 07
Ss2-12-NS	0. 26	36. 04	0. 17	41. 02
Ss2-12-EW	0. 20	34. 40	0. 14	—*
Ss2-13-NS	0. 22	33. 79	0. 12	—*
Ss2-13-EW	0. 24	43. 10	0. 16	21. 88
Ss3-1-X	0. 27	44. 51	0. 17	53. 03
Ss3-1-Y	0. 35	53. 48	0. 33	47. 61
Ss3-2-NS	0. 38	129. 07	0. 31	59. 22
Ss3-2-EW	0. 36	119. 36	0. 29	52. 28
Ss3-3-NS	0. 36	87. 48	0. 29	56. 54
Ss3-3-EW	0. 39	51. 82	0. 28	51. 52
Ss3-4-H	0. 40	47. 70	0. 33	39. 19
Ss3-5-H	0. 38	118. 05	0. 32	38. 51

※液状化強度試験の繰返し回数 200 回に相当するせん断応力比 (R_{200}) から求められるせん断応力を閾値とし、そのせん断応力以下は評価対象外とするが、解析から得られる最大せん断応力 (τ_{max}) が閾値を下回る場合、当該地震動は地盤の破壊にほとんど寄与しないと判断し、その等価一定せん断応力比 (τ_e / σ_v') に相当する等価繰返し回数 (N_{eq}) は「—」と示した。

第 5.4-3 表 一次元地震応答解析による等価一定せん断応力比と等価繰返し回数(3号埋戻土)

ケース名	Case2-1		Case2-2	
埋戻土物性	3号埋戻土		3号埋戻土	
岩盤標高	T.P. -6.0m		T.P. -15.0m	
基準地震動	L	N _{eq}	L	N _{eq}
	τ_e/σ_v'		τ_e/σ_v'	
Ss1-H	0.67	66.64	0.53	57.43
Ss2-1-NS	0.45	20.67	0.35	22.55
Ss2-1-EW	0.38	17.75	0.26	9.52
Ss2-2-NS	0.39	15.20	0.26	33.43
Ss2-2-EW	0.24	31.43	0.19	32.01
Ss2-3-NS	0.32	42.84	0.24	28.38
Ss2-3-EW	0.24	28.92	0.19	28.26
Ss2-4-NS	0.31	33.42	0.22	17.63
Ss2-4-EW	0.28	35.55	0.23	20.83
Ss2-5-NS	0.33	49.47	0.22	25.52
Ss2-5-EW	0.25	45.73	0.21	25.75
Ss2-6-NS	0.30	39.38	0.20	45.16
Ss2-6-EW	0.28	20.46	0.23	19.40
Ss2-7-NS	0.60	34.85	0.48	36.77
Ss2-7-EW	0.50	37.64	0.33	58.32
Ss2-8-NS	0.63	43.78	0.47	33.07
Ss2-8-EW	0.51	46.80	0.38	34.72
Ss2-9-NS	0.63	42.19	0.45	35.00
Ss2-9-EW	0.59	28.79	0.41	25.64
Ss2-10-NS	0.62	23.71	0.46	24.85
Ss2-10-EW	0.60	24.47	0.39	20.95
Ss2-11-NS	0.53	56.76	0.39	31.38
Ss2-11-EW	0.56	33.36	0.39	29.07
Ss2-12-NS	0.55	34.52	0.39	15.80
Ss2-12-EW	0.34	25.17	0.25	21.98
Ss2-13-NS	0.48	21.99	0.29	26.08
Ss2-13-EW	0.56	23.23	0.39	17.60
Ss3-1-X	0.46	42.05	0.33	40.57
Ss3-1-Y	0.45	47.66	0.42	20.31
Ss3-2-NS	0.55	33.25	0.43	26.46
Ss3-2-EW	0.56	33.98	0.52	24.65
Ss3-3-NS	0.59	30.51	0.45	48.83
Ss3-3-EW	0.67	24.15	0.58	17.41
Ss3-4-H	0.78	10.66	0.63	13.09
Ss3-5-H	0.68	43.83	0.48	45.14

※液化強度試験の繰返し回数 200 回に相当するせん断応力比 (R_{200}) から求められるせん断応力を閾値とし、そのせん断応力以下は評価対象外とするが、解析から得られる最大せん断応力 (τ_{max}) が閾値を下回る場合、当該地震動は地盤の破壊にほとんど寄与しないと判断し、その等価一定せん断応力比 (τ_e/σ_v') に相当する等価繰返し回数 (N_{eq}) は「-」と示した。

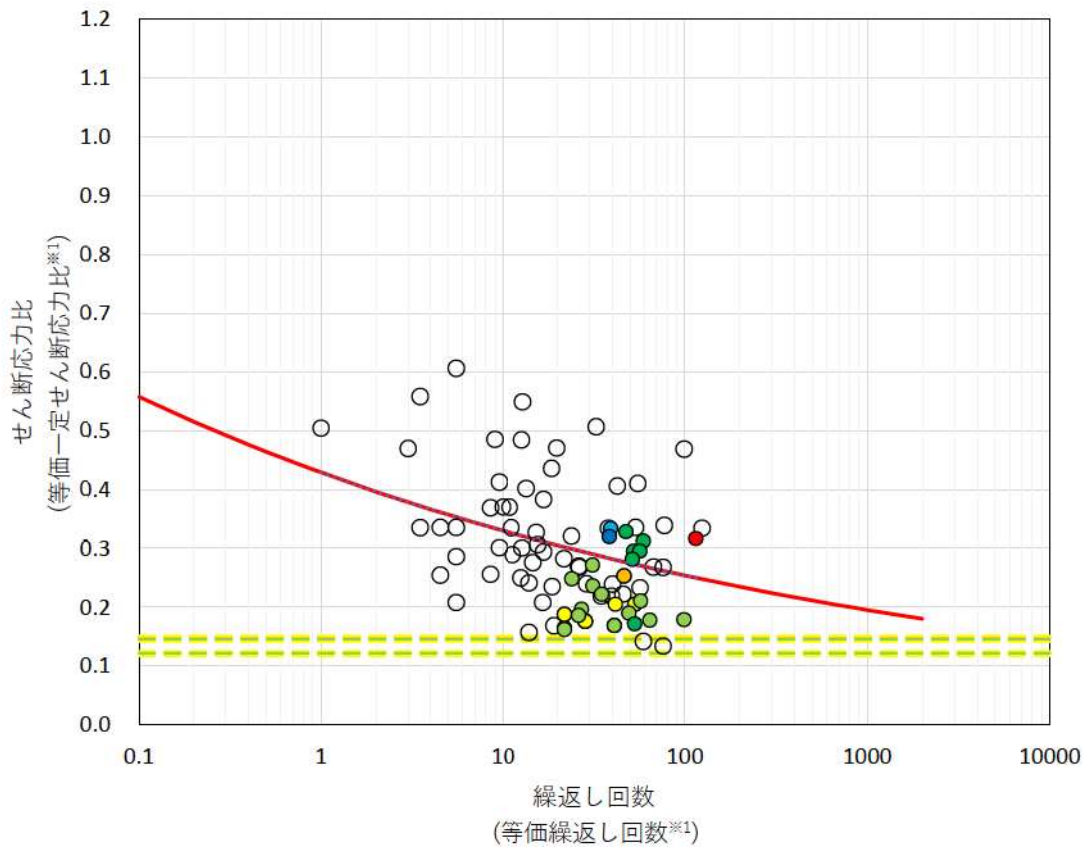


※1 解析によって求まる等価一定せん断応力比及び等価繰返し回数を，液状化強度試験結果と重ね合わせている。

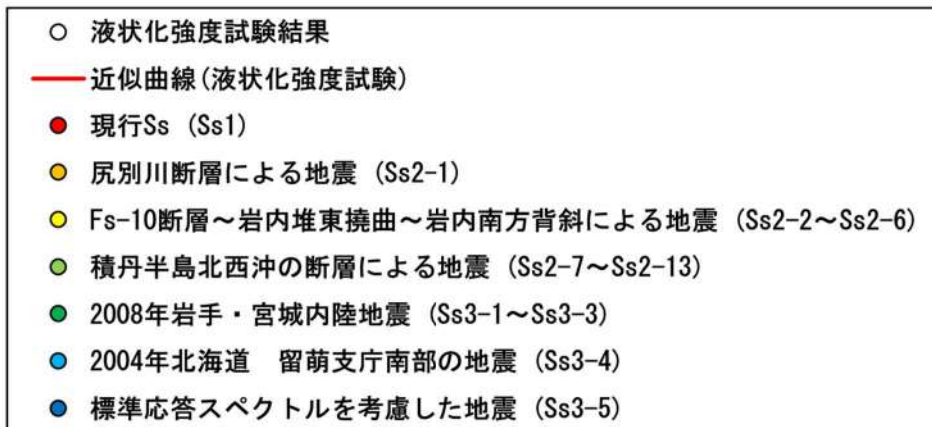
- 液状化強度試験結果
- 近似曲線(液状化強度試験)
- 現行Ss (Ss1)
- 尻別川断層による地震 (Ss2-1)
- Fs-10断層～岩内堆東撓曲～岩内南方背斜による地震 (Ss2-2～Ss2-6)
- 積丹半島北西沖の断層による地震 (Ss2-7～Ss2-13)
- 2008年岩手・宮城内陸地震 (Ss3-1～Ss3-3)
- 2004年北海道 留萌支庁南部の地震 (Ss3-4)
- 標準応答スペクトルを考慮した地震 (Ss3-5)

※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，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。
 ※等価一定せん断応力比の破線は，液状化強度試験における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 回のせん断応力比に対して，地震応答解析結果から得られる最大せん断応力 τ_{max} が小さい場合の結果を示す。

第 5.4-4 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (Case1-1 : 1, 2 号埋戻土 T.P. -5.2m)

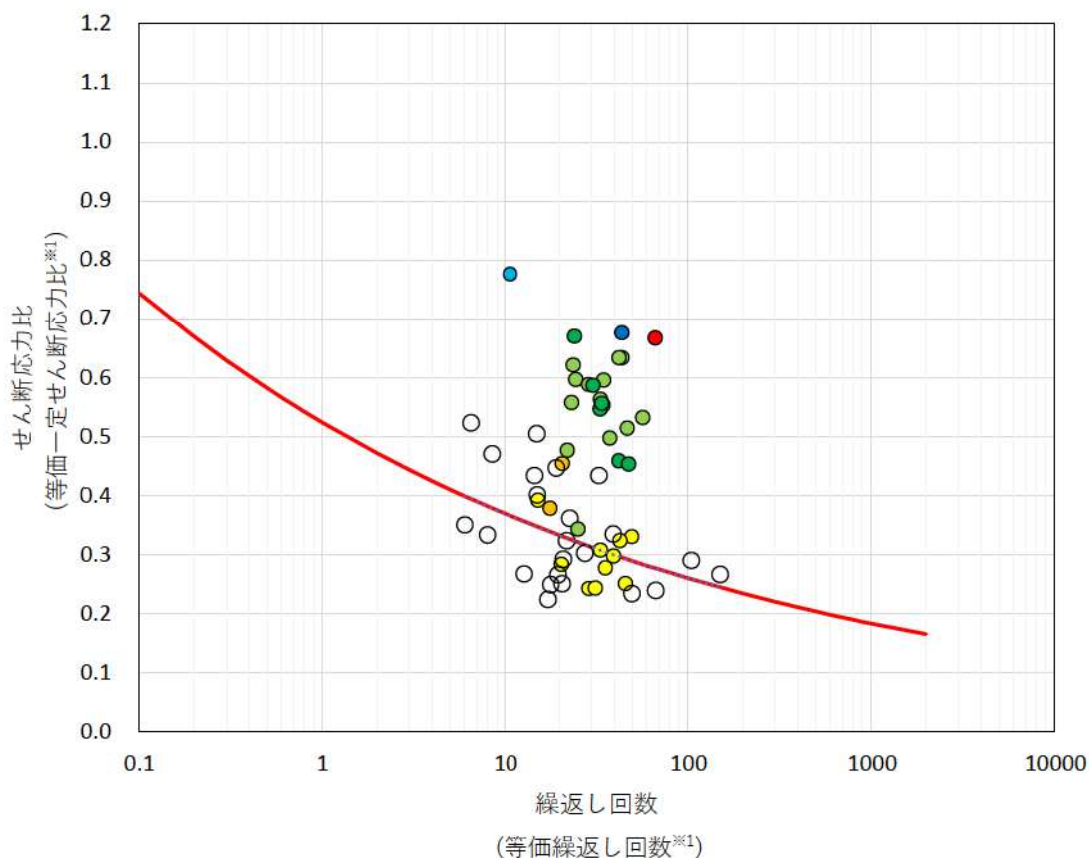


※1 解析によって求まる等価一定せん断応力比及び等価繰返し回数を，液状化強度試験結果と重ね合わせている。



※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，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。
 ※等価一定せん断応力比の破線は，液状化強度試験における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 回のせん断応力比に対して，地震応答解析結果から得られる最大せん断応力 τ_{max} が小さい場合の結果を示す。

第 5.4-5 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (Case1-2 : 1, 2 号埋戻土 T.P. -18.9m)

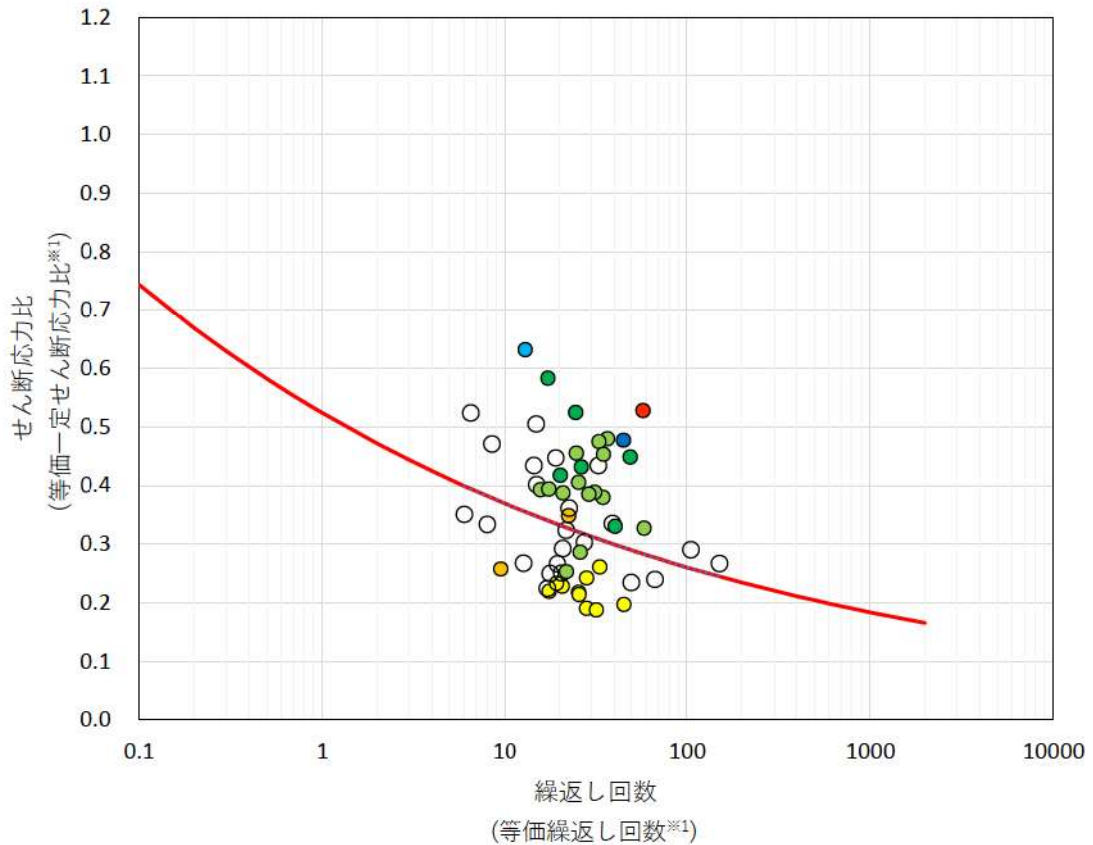


※1 解析によって求まる等価一定せん断応力比及び等価繰返し回数を，液状化強度試験結果と重ね合わせている。

- 液状化強度試験結果
- 近似曲線(液状化強度試験)
- 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)

※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，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。
 ※等価一定せん断応力比の破線は，液状化強度試験における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 回のせん断応力比に対して，地震応答解析結果から得られる最大せん断応力 τ_{max} が小さい場合の結果を示す。

第 5.4-6 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (Case2-1 : 3号埋戻土 T.P. -6.0m)



※1 解析によって求まる等価一定せん断応力比及び等価繰返し回数を，液状化強度試験結果と重ね合わせている。

- 液状化強度試験結果
- 近似曲線(液状化強度試験)
- 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)

※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，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。
 ※等価一定せん断応力比の破線は，液状化強度試験におけるせん断応力比と繰返し回数から求まる繰返し回数 200 回のせん断応力比に対して，地震応答解析結果から得られる最大せん断応力 τ_{max} が小さい場合の結果を示す。

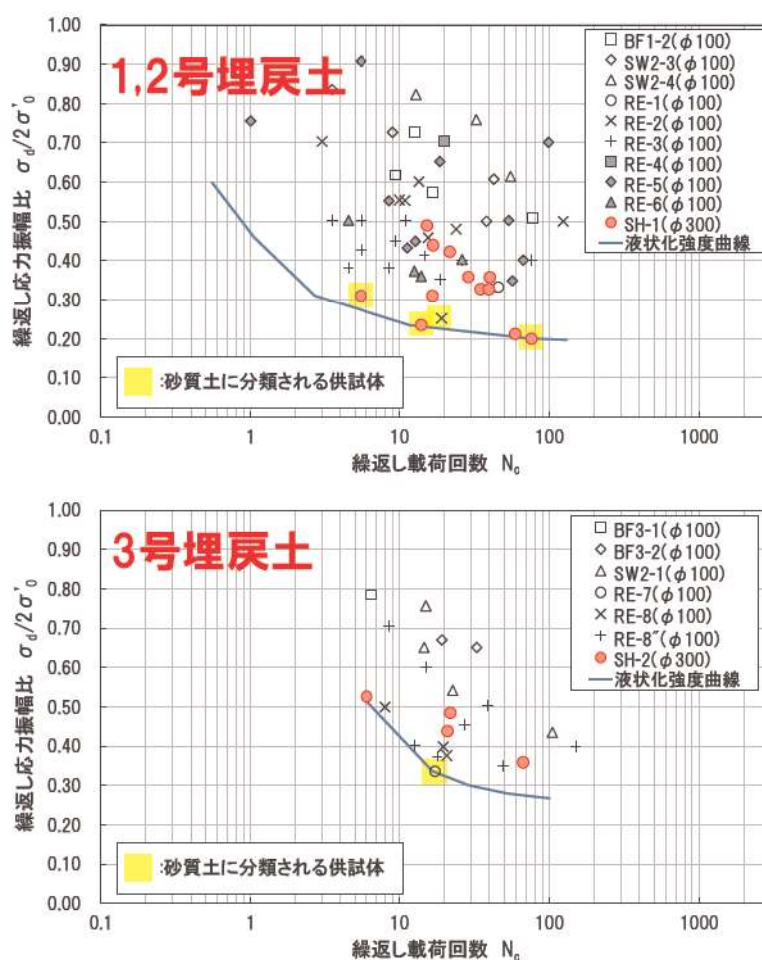
第 5.4-7 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (Case2-2 : 3 号埋戻土 T.P. -15.0m)

5.5 液状化強度特性の設定

液状化強度試験結果に基づく繰返し応力振幅比と繰返し载荷回数との関係を第 5.5-1 図、第 5.5-2 図に示す。

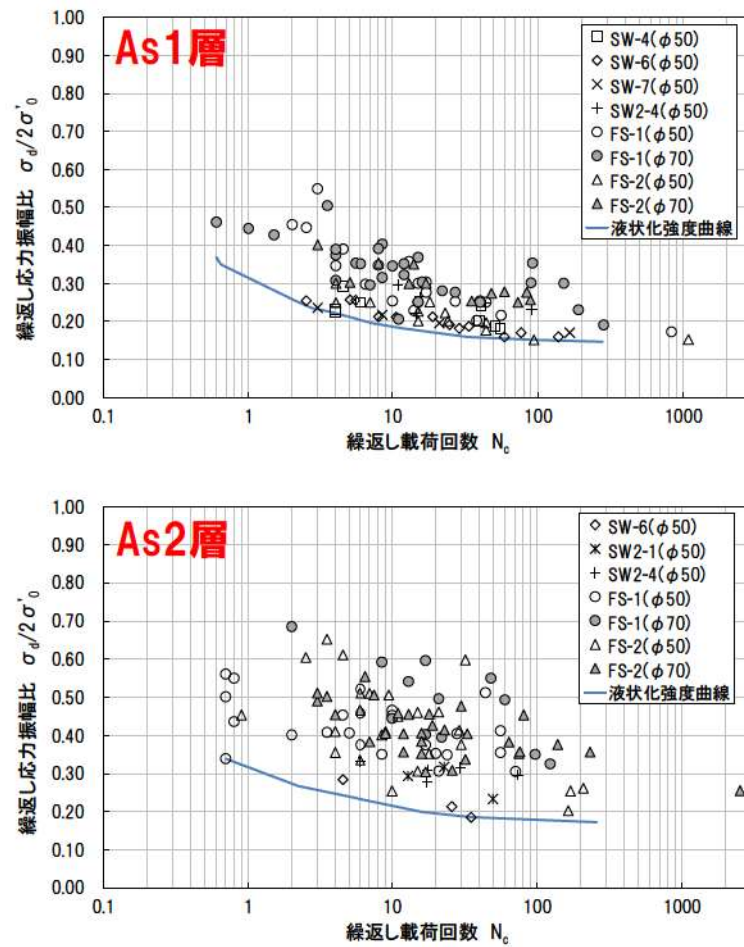
液状化強度試験結果の特徴として、埋戻土では第 5.5-1 図に示すとおり、供試体径 $\phi 100\text{mm}$ の試験結果はばらつきが大きく、 $\phi 300\text{mm}$ の試験結果はばらつきが小さい結果となっている。これは、径の小さい供試体 ($\phi 100\text{mm}$) は礫の占める比率が大きくなりやすく、液状化強度に与える影響も大きくなるため、 $\phi 100\text{mm}$ の試験は $\phi 300\text{mm}$ の試験と比較して礫の入り方のばらつきによる影響が大きいことが要因であると考えられる。また、砂質土に分類される埋戻土の液状化強度特性は低く、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。

砂層については、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。



第 5.5-1 図 液状化強度試験結果に基づく埋戻土の液状化強度曲線(下限値設定)

以上より、設置許可段階における液状化強度特性は、埋戻土の液状化検討対象施設近傍の試料採取が網羅されていないことも踏まえ、現時点の液状化強度試験結果を用いて保守的に設定することとし、1,2号埋戻土、3号埋戻土及び砂層(As1層及びAs2層)の各土層の下限値に設定する。なお、埋戻土の液状化強度特性については、有効応力解析による防潮堤の構造成立性を評価するために、保守的な評価となるように、1,2号埋戻土の液状化強度特性を用いることとする。



第 5.5-2 図 液状化強度試験結果に基づく砂層の液状化強度曲線(下限値設定)

6. 液状化影響の検討方針

設置許可段階における施設の耐震評価は、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と判断し追加調査を実施中であることを踏まえて、以下に基づき液状化影響を保守的に評価する。

- ・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、相対密度については、現時点の液状化強度試験位置での液状化強度との相関分析により、代表性確認指標に用いることが妥当である見通しを得ている。
- ・砂層の代表性確認指標はN値、粒度分布及び細粒分含有率を用いる。
- ・設置許可段階における施設の有効応力解析に用いる液状化強度特性は、現時点の液状化強度試験結果を用いて保守的に設定するものとし、1,2号埋戻土、3号埋戻土及び砂層(As1層及びAs2層)の各土層の下限值に設定する。
- ・埋戻土の液状化強度特性については、有効応力解析による防潮堤の構造成立性を評価するため、保守的な評価となるように、液状化強度が低い1,2号埋戻土の液状化強度特性を用いる。

なお、設工認段階においては以下の検討結果に基づく液状化影響の評価を実施する。

- ・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結果を使用する。
- ・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説明する。また、液状化検討対象施設近傍の液状化強度試験結果を含めて、代表性確認指標に相対密度を用いる妥当性について再確認する。
- ・有効応力解析に用いる液状化強度特性は、液状化検討対象施設近傍で実施した追加の液状化強度試験結果を含めて、液状化検討対象層の各土層の下限值に設定する。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值に設定することを検討する。
- ・施設の耐震評価に用いる解析手法は、「液状化検討対象施設の抽出及び解析手法選定フロー」にしたがい、施設の周辺状況に応じた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。

添付資料9 設工認段階におけるエリア分け
の検討方針(案)

1. 埋戻土のエリア分けの検討方針(案)

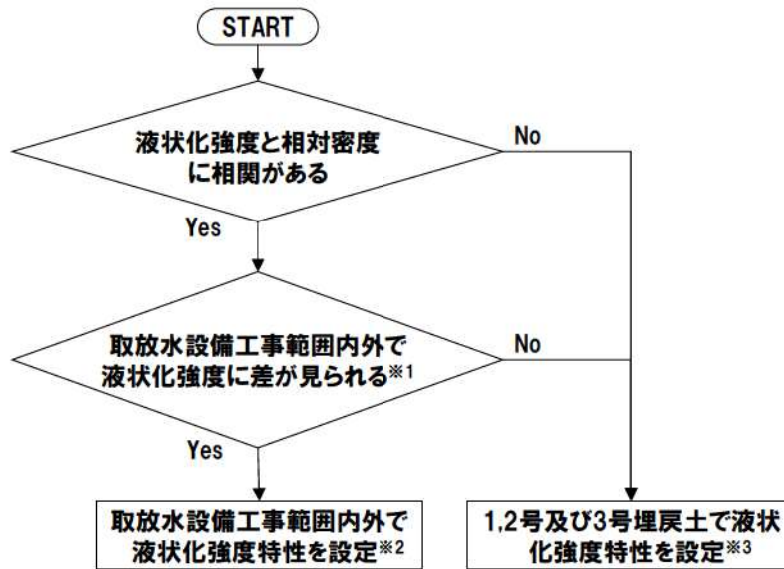
施設の耐震評価における液状化強度特性の設定方針において、設工認段階における有効応力解析に用いる液状化強度特性は、追加の液状化強度試験結果を含めて、取放水設備工事によって埋戻仕様が規定されたエリアとそれ以外のエリアに細分化することが可能かを検討することとしている(エリアを細分化しない場合は、設置許可段階と同様の液状化検討対象層の各層の下限値に設定する)。

本添付資料は、設工認段階で行う埋戻土のエリア分けの検討方針(案)を示すものであり、エリアの細分化に用いる指標やエリアの細分化の検討結果に応じた液状化強度特性設定の考え方を示すものである。

以下に、埋戻土のエリア分けの検討方針を示す。

【埋戻土のエリア分けの検討方針(案)】

- ・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は、添付9-1図に示す検討フローにしたがい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(添付9-2図参照)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。
- ・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、液状化強度特性をエリアごとに設定する。
- ・エリア分けの検討結果より、埋戻土の液状化強度特性は添付9-1表に示すエリア区分により設定する。



- ※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。

添付 9-1 図 エリアの細分化検討フロー(案)



□ : 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。

添付 9-2 図 調査位置平面図

添付 9-1 表 埋戻土の液状化強度特性のエリア区分

		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号埋戻土とも取放水設備工事範囲内外に区分する(敷地全体で4エリアに区分)。	1, 2号埋戻土は区分せず, 3号埋戻土は取放水設備工事範囲内外に区分する(敷地全体で3エリアに区分)。
	細分化しない エリアを	1, 2号埋戻土は取放水設備工事範囲内外に区分, 3号埋戻土は区分しない(敷地全体で3エリアに区分)。	1, 2号埋戻土及び3号埋戻土とも取放水設備工事範囲内外の区分はしない(敷地全体で2エリアに区分)。

2. 液状化強度と相対密度の相関確認

エリア分けの検討において、エリアを細分化するかを判定するために液状化強度と相対密度に相関があることを確認する。本検討は、液状化強度と相対密度に相関があることを確認するため、埋戻土の液状化強度特性と相対密度の相関分析を行うものである。

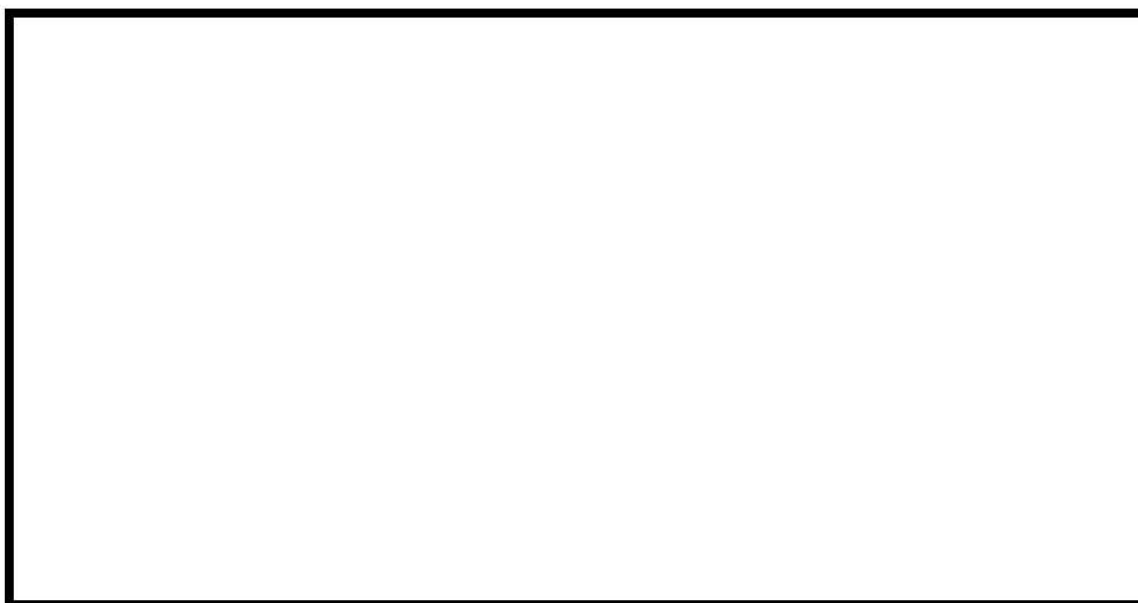
2.1 検討方法

液状化強度特性と相対密度の相関分析は、敷地内の埋戻土を対象に、液状化強度特性を示す指標として R_{L20} を用い、最小・最大密度試験結果から求められる相対密度との相関を確認するものである。

相関分析の検討対象位置は、液状化強度試験の試料採取位置とし、設置許可段階では、既往の液状化強度試験位置を対象に検討を行い、設工認段階で、施設近傍の追加の液状化強度試験位置の相対密度も含めて検討を行う。

なお、相関分析に当たっては、屋外重要土木構造物等の液状化検討対象施設周辺の敷地と利用状況が異なる専用港周辺のデータは相関分析の対象外とする。

また、既往の液状化強度試験位置の最小・最大密度試験の供試体は、液状化強度試験の試料採取位置の近傍で追加採取した供試体であり、相関分析に当たっては、液状化強度試験と最小・最大密度試験の供試体の物性が同等である必要があることから、両試験の供試体で実施している粒度試験結果を比較し、粒度特性が同等であることを確認する(詳細は「2.2 相関分析対象データの抽出」を参照)。



: 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。

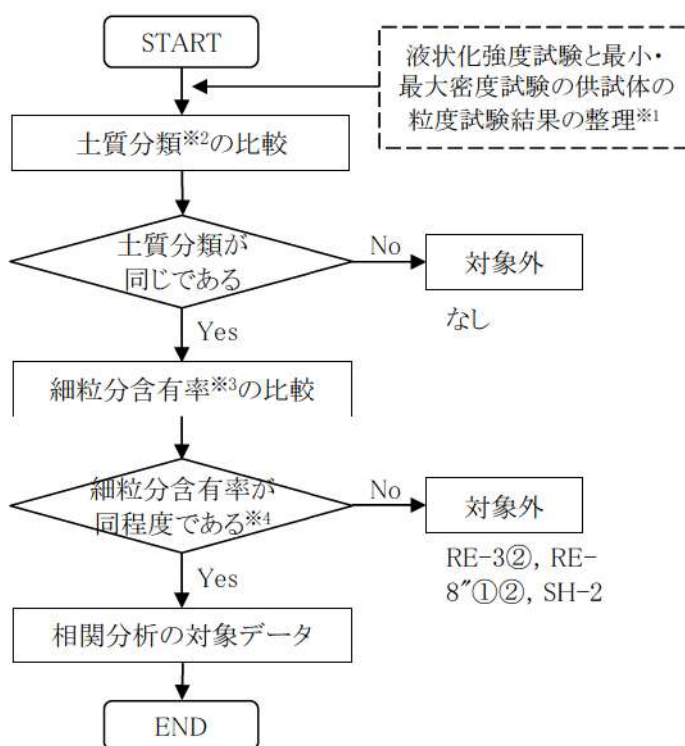
添付 9-1 図 液状化強度試験の試料採取位置

2.2 相関分析対象データの抽出

2.2.1 分析対象データの抽出手順

相関分析に当たり、液状化強度試験と最小・最大密度試験の供試体の物性が同等であるデータを抽出するため、液状化強度試験と最小・最大密度試験の供試体の粒度試験結果を用いて、添付 9-2 図に示す手順により相関分析の対象データを抽出する。

なお、専用港周辺のデータ (RE-5①～③, RE-6, SW2-4, SH-1①～③) 及び液状強度試験結果より 1 供試体しか試験値が得られず R_{L20} が算定できない調査位置のデータは相関分析の対象外とする (添付 9-3 図より RE-1, RE-2①, RE-4, BF3-1, RE-7 を対象外とする)。



※1 最小・最大密度試験は最大粒径を 37.5mm に粒度調整して実施しているため、液状化強度試験の供試体の粒度試験結果を最大粒径 37.5mm に調整した粒度分布により試験結果を整理する。

※2 地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類に基づいて分類する。

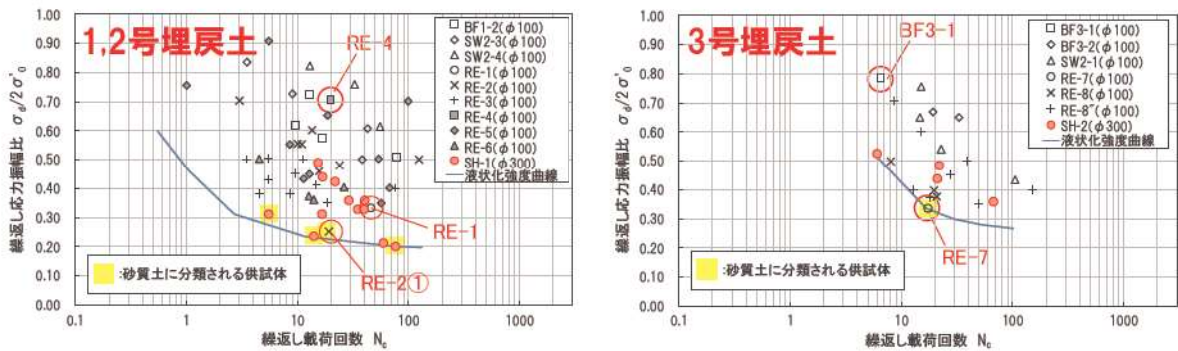
※3 粒度特性に関する物性値のうち、液状化強度と相関が高い細粒分含有率を指標とする。

※4 液状化強度試験と最小・最大密度試験の供試体の細粒分含有率の試験値の比を算定し、各試験値の比がその比の平均値より小さいデータを対象データとする (試験値の比の平均値は、添付 9-1 表より 1.55 とする)。

添付 9-2 図 相関分析の対象データの抽出手順

【相関分析の対象データの抽出手順】

- ・相対密度，液状化強度 R_{L20} とともに，液状化強度試験の供試体と最小・最大密度試験の供試体で実施した粒度試験結果から，それぞれの粒度分布，土質分類，細粒分含有率を整理する(添付 9-1 表及び添付 9-4 図)。
- ・液状化強度試験の供試体と最小・最大密度試験の供試体の土質分類が同じ試験値を相関分析の対象データとする。
- ・細粒分含有率を指標とし，液状化強度試験の供試体と最小・最大密度試験の供試体の試験値の比を算定する。
- ・細粒分含有率の試験値の比の平均値を算定し，各試験値の比がその比の平均値より小さいデータは，液状化強度試験と最小・最大密度試験の供試体が概ね同等の物性とみなせると判断し，相関分析の対象データとする(各試験値の比の平均値は，添付 9-1 表より 1.55 とする)。



(液状化強度試験結果で1供試体しか試験値が得られず R_{L20} が算定できない調査位置)

添付 9-3 図 液状化強度試験結果

2.2.2 分析対象データの抽出結果

「2.2.1 分析対象データの抽出手順」に基づき土質分類及び細粒分含有率の比較を行い、
相関分析の対象データを抽出した結果を添付 9-1 表に示す。また、添付 9-4 図に液状化
強度と最小・最大密度試験の供試体の粒度分布を示す(図中の引出し線で示す粒度分布が
砂質土に分類される供試体の粒度分布である)。

【分析対象データの抽出結果】

- ・専用港周辺のデータ(RE-5①～③, RE-6, SW2-4, SH-1①～③)及び液状強度試験結果より 1 供試体しか試験値が得られず RL_{20} が算定できない調査位置のデータ(RE-1, RE-2①, RE-4, BF3-1, RE-7)は相関分析の対象外とする(添付 9-1 表の灰色ハッチングのデータが対象外となる)。
- ・土質分類の比較では対象外とするデータはない。
- ・液状化強度試験及び最小・最大密度試験の供試体の細粒分含有率の比較により、細粒分含有率の比が 1.55 以上となる調査位置は、RE-3②, RE-8” ①, RE-8” ②及び SH-2 であるが、RE-8” ①及び SH-2 は液状化強度が比較的低い値を示すことから、これらを含めた相関分析を行うものとし、RE-3②及び RE-8” ②を対象外とする(添付 9-1 表の青色ハッチングのデータが対象外となる)。
- ・以上より、相関分析の対象データを添付 9-1 表に示すとおり抽出する(赤囲いのデータを対象データとする)。

なお、添付 9-4 図で砂質土に分類される供試体については以下のとおりとし、SH-1①, RE-2 及び RE-7 は相関分析の対象外とし、RE-3②及び RE-3③については調査位置全体の土質としては礫質土として細粒分含有率の比較対象とする。

- ・SH-1①は専用港周辺のデータで対象外とする。
- ・RE-2①及び RE-7 は RL_{20} が算定できない調査位置として対象外とする(添付 9-3 図参照)。
- ・RE-3②及び RE-3③の砂質土に分類される供試体は、液状化強度試験の 4 供試体のうちの 1 供試体のみであるため、調査位置全体の土質としては礫質土とする。

添付 9-1 表 各調査位置の相対密度及び液状化強度 R_{L20} と粒度試験結果の比較

調査位置	相対密度 %	液状化試験		A: 粒度試験 (最小・最大密度試験)		B: 粒度試験 (液状化強度試験)		細粒分含有率の比 (A/B又はB/Aの 大きい方の値)	備考
		RL20	土質分類	細粒分含有率	土質分類	細粒分含有率			
1,2号 埋戻土	BF1-2	71.8	0.600	礫質土	11.1	礫質土	8.7	1.28	
	SW2-3	96.8	0.624	礫質土	12.7	礫質土	8.2	1.55	
	RE-2②	84.8	0.560	礫質土	7.7	礫質土	9.6	1.25	
	RE-2③	94.5	0.473	礫質土	7.7	礫質土	7.0	1.10	
	RE-3①	97.9	0.398	礫質土	11.1	礫質土	13.1	1.18	
	RE-3②	82.8	0.437	礫質土	11.1	礫質土	20.0	1.80	細粒分含有率相違
	RE-3③	63.1	0.341	礫質土	11.1	礫質土	12.4	1.12	
3号 埋戻土	BF3-2	107.7	0.668	礫質土	6.4	礫質土	7.3	1.14	
	SW2-1	114.8	0.625	礫質土	7.1	礫質土	10.1	1.42	
	RE-8	95.0	0.387	礫質土	6.0	礫質土	9.0	1.51	
	RE-8"①	65.5	0.397	礫質土	5.3	礫質土	9.2	1.73	細粒分含有率相違
	RE-8"②	75.6	0.625	礫質土	5.3	礫質土	8.5	1.60	細粒分含有率相違
	SH-2	76.8	0.387	礫質土	5.6	礫質土	19.4	3.46	細粒分含有率相違
1,2号 埋戻土	SW2-4	98.3	0.778	礫質土	7.2	礫質土	8.3	1.16	専用港周辺
	RE-1	65.8	0.366	礫質土	13.2	礫質土	9.7	1.36	RL20算定不可
	RE-2①	54.5	0.251	礫質土	13.0	砂質土	25.3	1.95	RL20算定不可
	RE-4	63.2	0.704	礫質土	14.6	礫質土	6.0	2.43	RL20算定不可
	RE-5①	110.3	0.809	礫質土	7.7	礫質土	10.6	1.38	専用港周辺
	RE-5②	33.6	0.523	礫質土	6.2	礫質土	8.6	1.39	専用港周辺
	RE-5③	59.6	0.448	礫質土	7.7	礫質土	6.8	1.13	専用港周辺
	RE-6	90.5	0.377	礫質土	12.5	礫質土	3.8	3.27	専用港周辺
	SH-1①	83.6	0.243	礫質土	9.9	砂質土	19.3	1.95	専用港周辺
	SH-1②(φ 300)	104.6	0.363	礫質土	9.9	礫質土	7.2	1.38	専用港周辺
	SH-1③(φ 300)	90.8	0.441	礫質土	9.9	礫質土	13.4	1.35	専用港周辺
3号 埋戻土	BF3-1	130.8	0.664	礫質土	9.1	礫質土	7.5	1.21	RL20算定不可
	RE-7	36.8	0.329	礫質土	12.1	砂質土	12.6	1.04	RL20算定不可
試験値の比の平均								1.55	

□ : 相関分析対象データ

■ : 土質分類及び細粒分含有率の比較により対象外となるデータ

※細粒分含有率の比較において細粒分含有率の比が 1.55 以上となる調査位置のうち、RE-8" ①及び SH-2 は液状化強度が比較的低い値を示すことから、これらを含めた相関分析を行うものとし、RE-3②及び RE-8" ②を対象外とする。

※灰色ハッチングは、専用港周辺のデータ及び液状強度試験結果で 1 供試体しか試験値が得られず R_{L20} が算定できない調査位置のデータであり、相関分析の対象外とする。

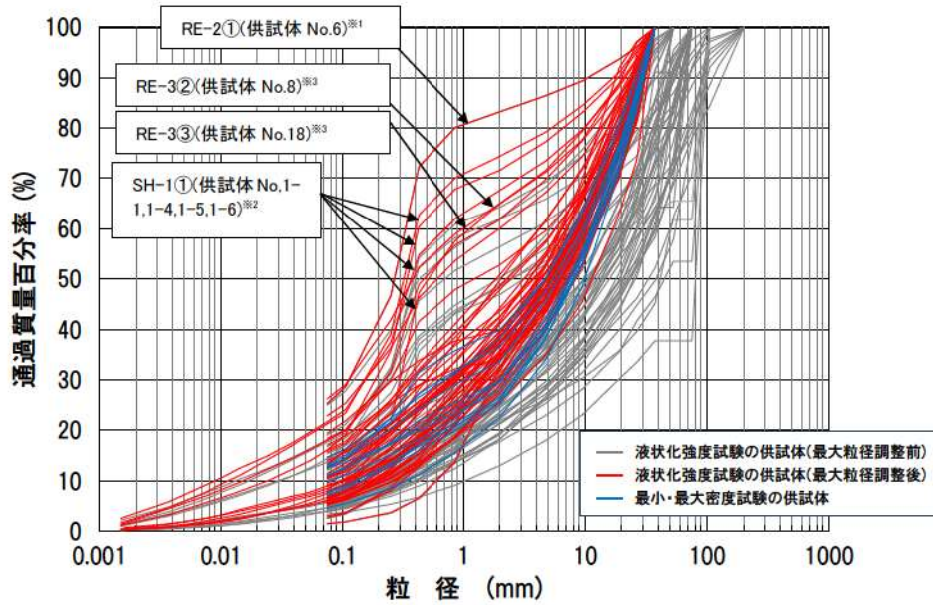
※各物性値は、液状化強度試験結果の各供試体(最大 4 供試体)の試験値の平均値を示す。

※液状化強度試験の供試体の細粒分含有率は、最大粒径を 37.5mm に調整した粒度分布から求めた値である。

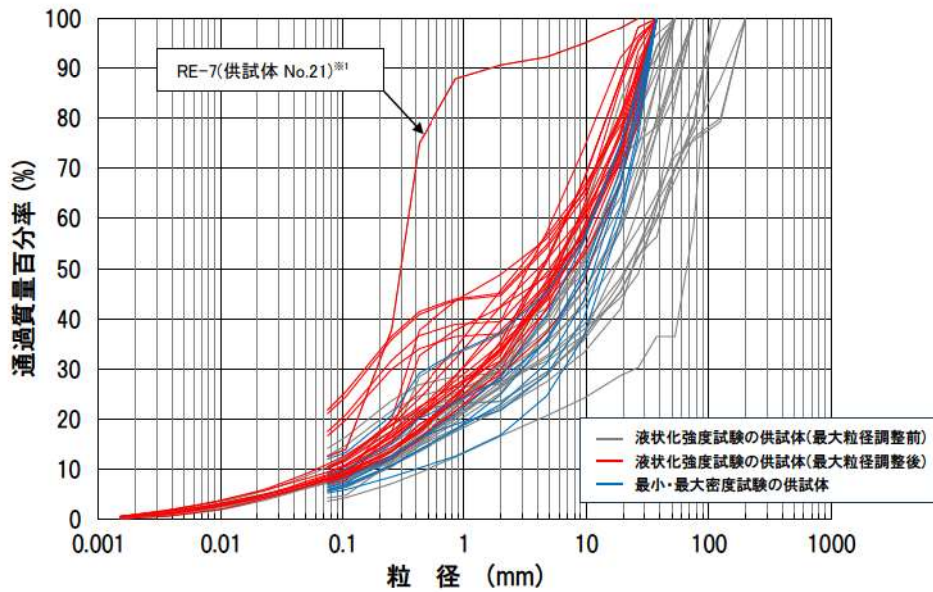
※調査位置に示す丸数字は、同じ調査位置でも異なる深度から試料を採取している場合のそれぞれの調査位置を示す。

※RE-3②及び RE-3③には砂質土に分類される供試体があるが、液状化強度試験の 4 供試体のうちの 1 供試体のみであるため、調査位置毎の分類としては礫質土とする。

※既往の液状化強度試験位置の最小・最大密度試験の供試体が、液状化強度試験の試料採取位置の近傍で追加採取(添付 9-5 図参照)した供試体であることから、両試験の供試体の細粒分含有率(表中の A, B の値)を用いて液状化強度試験と最小・最大密度試験の供試体の物性が同等のデータを相関分析の対象データとして抽出する(表中の細粒分含有率の比が 1.55 以下のデータを対象データとする)。



【1, 2号埋戻土】



【3号埋戻土】

※1 RE-2①及びRE-7は液状強度試験結果より1供試体しか試験値が得られず R_{L20} が算定できない調査位置のデータとして対象外とする。

※2 SH-1①は専用港周辺のデータとして対象外とする。

※3 RE-3②及びRE-3③は砂質土に分類される供試体であるが、液状化強度試験の4供試体のうちの1供試体のみであるため、調査位置毎の分類としては礫質土とする。

添付 9-4 図 液状化強度試験及び最小・最大密度試験の供試体の粒度分布

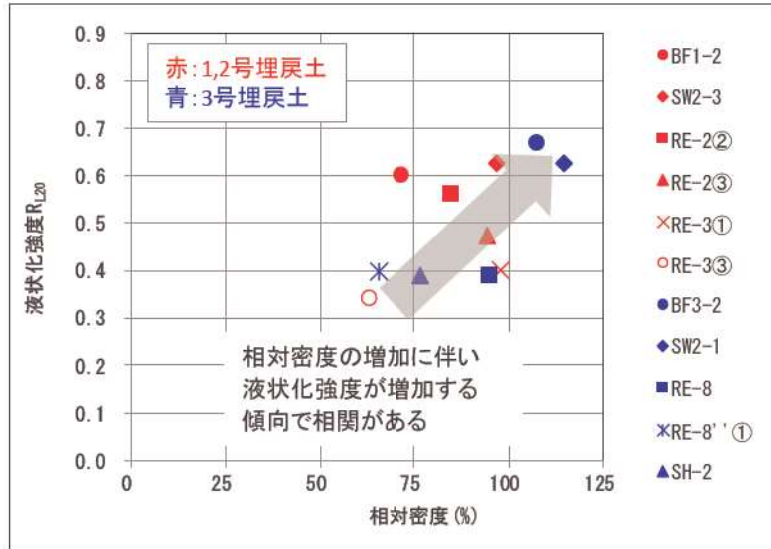


: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

添付 9-5 図 液状化強度試験及び最小・最大密度試験の試料採取位置
(本添付資料における既往の液状化強度試験位置のみ表示)

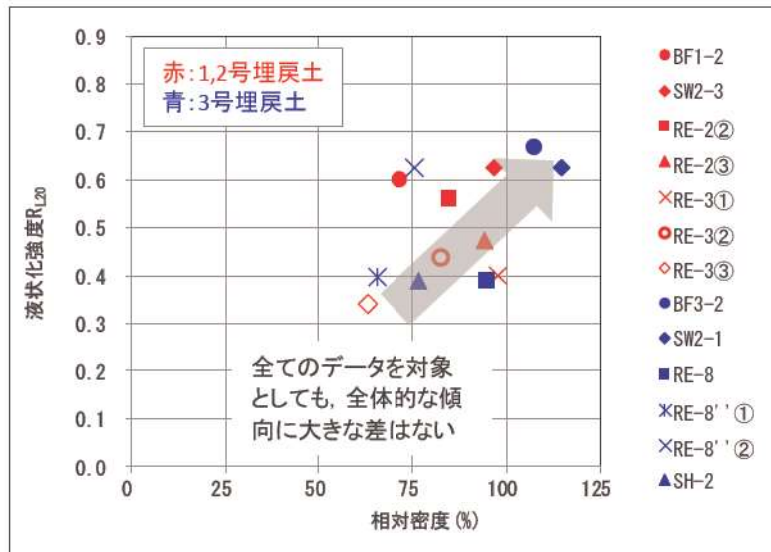
2.3 相関分析結果

抽出した対象データを用いて液状化強度特性と相対密度の相関分析を行った結果は添付 9-6 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} が増加する傾向であり、液状化強度と相対密度には相関がある見通しを得た。



添付 9-6 図 液状化強度と相対密度の相関分析結果

また、参考として、細粒分含有率の相違により対象外としたデータを含めた相関分析結果を添付 9-7 図に示すが、液状化強度特性と相対密度の関係は添付 9-6 図に示す傾向と大きな差は認められない。



添付 9-7 図 細粒分含有率の相違により対象外としたデータを含めた相関分析結果(参考)

泊発電所3号炉

地下水排水設備について

目 次

1. はじめに	1
2. 施設等の設計地下水位の設定方針について	3
3. 地下水排水設備と設置許可基準規則の関連性	4
4. 地下水排水設備の設備要件	5
4.1 供用期間中における機能維持に必要な耐性の分析	5
4.2 排水能力	19
4.3 試験又は検査	20
4.4 施設区分	20
5. 地下水排水設備（既設）に対する設備要件の適用検討	21
5.1 設備要件の適用	21
5.2 湧水ピットポンプの排水能力	24
5.3 試験又は検査の実施例	24
5.4 施設区分で定まる要求事項の適用	25
6. 運用管理・保守管理上の方針	26
6.1 運用管理の方針	26
6.2 保守管理の方針	27
7. 地下水の排水経路	28
8. まとめ	28
添付資料 1	既設の地下水排水設備の概要
添付資料 2	原子炉建屋等の主要建屋の設置断面図
添付資料 3	防潮堤を設置した先行炉との比較
添付資料 4	重要度分類上の位置付けの整理
添付資料 5	集水管及びサブドレンの信頼性確保にかかわる検討
添付資料 6	地下水排水機能喪失後の猶予時間について
添付資料 7	地下水の排水経路について

1. はじめに

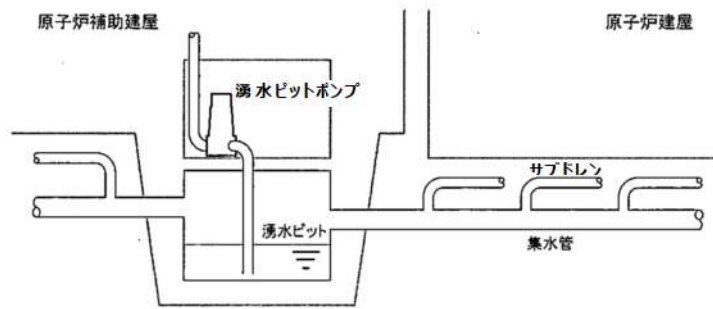
泊発電所3号炉では発電所建設時、敷地の岩盤状況等を踏まえ、旧汀線より海側においては朔望平均満潮位 H. W. L. (既工認時 T. P. 0. 26m) に設計地下水位を設定し、耐震設計の条件とした。旧汀線より山側においては、土地造成前の地下水位観測記録 (1998年1月～1999年12月) の最大値 (T. P. 2. 82m) を基に、建屋基礎掘削による地下水位の低下を考慮し、屋外重要土木構造物は T. P. 2. 8m に設計地下水位を設定し、原子炉建屋等は地下水位を考慮しないことを耐震設計の条件とした。

原子炉建屋等の建屋基礎直下及びその周囲には、地下水排水設備 (別紙 11-1 図) を設置していた (添付資料 1)。

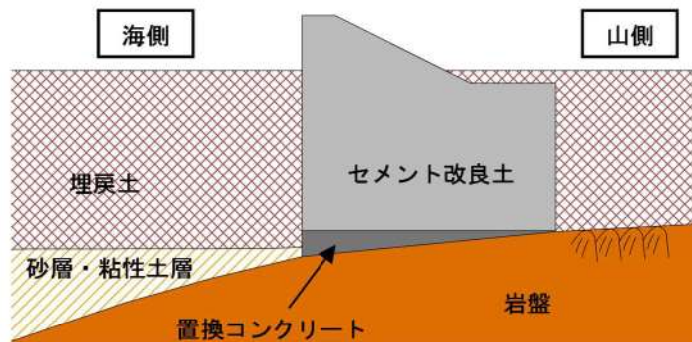
今後、岩着構造の防潮堤設置 (別紙 11-2 図) に伴い、地下水の流れが遮断されるため、地下水が山から海へ向かう従来の流動場が変化する可能性がある。したがって、泊発電所3号炉における施設等 (別紙 11-1 表) の耐震設計においては、地下水の流動場の変化を確認した上で、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」 (以下「設置許可基準規則」という。) に対する基準適合性を確認する必要がある。その際、敷地に滞水する地下水の排水機能が、防潮堤の設置が考慮されていない建設時と比べて重要になるものの、地下水の排水機能に対しては規則や指針、規格基準類において、具体的な信頼性確保の考え方が定められていない。そのため、泊発電所3号炉と同様に津波防護施設として岩着構造の防潮堤等を設置した先行他社では、地下水の排水機能を担う地下水位低下設備の設置目的として、「地下水位低下設備に期待して耐震評価を行う施設」、「地下水位低下設備に排除/低減を期待する地下水位の影響」及び「地下水位低下設備の機能に期待する期間」を特定した上で、地下水位低下設備にどの程度の信頼性が必要であるか、基準適合性の観点から事業者が達成すべき性能を分析して各社ごとに設備仕様を定めており、泊発電所3号炉においても地下水の排水機能を担う設備に対して同様の検討を行うこととする。

次項以降では、泊発電所3号炉の施設等の耐震設計で用いる設計地下水位の設定方針 (別紙-10「設計地下水位の設定方針について」に詳述) において、原子炉建屋、原子炉補助建屋、ディーゼル発電機建屋及び A 1, A 2 - 燃料油貯油槽タンク室 (以下「原子炉建屋等の主要建屋」という。) における設計地下水位を建屋基礎底面下に設定することを踏まえ、防潮堤の設置以降に地下水位を建屋基礎底面下に保持するために地下水の集水及び排水機能を担う設備 (以下「地下水排水設備」という。) に課すべき設備要件を検討した結果を取り纏めた。また、既存の地下水排水設備 (以下「地下水排水設備 (既設)」 という。) の設備仕様と、新たに定めた地下水排水設備の設備要件を比較し、基準適合性を確保するために必要な対策を抽出した結果、それらの対策には成立性があり地下水排水設備 (既設) によって基準適合性を確保できる見通しを得た。

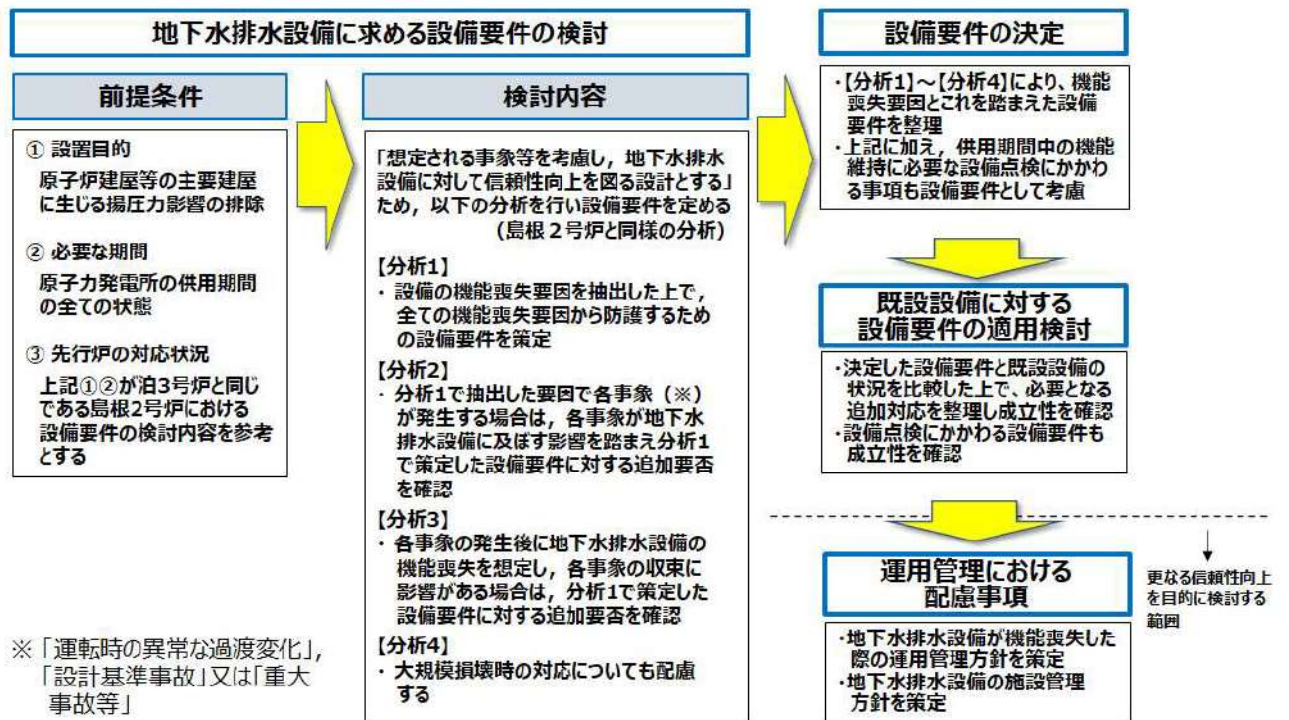
別紙 11-3 図には、4 項で地下水排水設備の設備要件を検討し、5 項で既設設備への適用を確認した結果を踏まえ、6 項で運用管理における配慮事項を策定するまでの論旨展開を示す。



別紙 11-1 図 地下水排水設備（既設）の概念図



別紙 11-2 図 岩着構造の防潮堤概要図



別紙 11-3 図 設備要件の検討から運用管理における配慮事項に至る論旨展開

2. 施設等の設計地下水位の設定方針について

別紙-10「設計地下水位の設定方針について」では、施設等の設計地下水位の設定方針を別紙 11-1 表のとおりとしている。

別紙 11-1 表 施設等の設計地下水位の設定方針

設備分類	設備名称	設計地下水位の設定方針
基礎地盤・周辺斜面 (安定性評価)	基礎地盤	地表面に設定
	周辺斜面 (保管場所・アクセスルートにおいて安定性評価を実施する斜面も含む)	
建物・構築物	原子炉建屋	地下水排水設備の機能に期待して、設計地下水位を設定 (建屋基礎底面下に設計地下水位を設定)
	原子炉補助建屋	
	ディーゼル発電機建屋	
	A 1, A 2 - 燃料油貯油槽タンク室	
	B 1, B 2 - 燃料油貯油槽タンク室	
屋外重要 土木構造物	取水路	地表面に設定
	取水ピットスクリーン室	
	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	
	B 1, B 2 - ディーゼル発電機燃料油貯油槽 トレンチ	
	防潮堤	
3号炉取水ピットスクリーン室防水壁		
3号炉放水ピット流路縮小工		
1, 2号炉取水ピットスクリーン室防水壁		
重大事故等 対処施設	緊急時対策所 (指揮所, 待機所)	自然水位※2に基づき設定
	代替非常用発電機	
保管場所・ アクセスルート (段差評価等が対象で あり周辺斜面は除く)	保管場所 (T.P.10.0m盤より高標高)	地表面に設定
	アクセスルート (T.P.10.0m盤より高標高)	
	保管場所 (T.P.10.0m盤)	
	アクセスルート (T.P.10.0m盤)	

※1 津波防護施設は今後、変更となる可能性がある。

※2 解析条件を保守的に設定した三次元浸透流解析の予測解析水位

別紙 11-1 表では原子炉建屋等の主要建屋における設計地下水位の設定方針を「地下水排水設備の機能に期待して、設計地下水位を設定」としている。1項で述べたように、原子炉建屋等の主要建屋基礎下には建設時から地下水排水設備（既設）が設置されているものの、これまでは地下水排水設備（既設）の機能に期待せずとも、敷地の地下水は地下部で外海に流れ込む前提としており、原子炉建屋等の主要建屋の施設設計では地下水位を考慮していなかった。しかし、防潮堤の設置後には、外海への地下水の流れが遮断されることを考慮し、建屋基礎底面下の地下水を排水する機能に期待して設計地下水位の設定が必要となるため、4項において地下水排水設備に課すべき設備要件を明らかにする。

3. 地下水排水設備と設置許可基準規則の関連性

別紙-10「設計地下水位の設定方針について」では原子炉建屋等の主要建屋の設計の基本方針を「地下水排水設備の機能に期待し、建屋基礎底面下に地下水位を保持することで、揚圧力を考慮せず設計する方針とする。」としている。

ここで、泊発電所3号炉の原子炉建屋等の主要建屋は、主に岩盤や他構造物に囲まれており液状化影響は生じないことから、上記の基本方針は地下水排水設備に期待する機能として、「揚圧力影響の排除」に限定した記載としている（添付資料2）。

揚圧力影響は建屋の耐震評価で考慮すべき評価条件であるため、泊発電所3号炉では揚圧力影響の排除に期待する目的で設置される地下水排水設備を設置許可基準規則第4条への適合のために必要な設備と位置付ける。また、設置許可基準規則第39条は第4条と同様の要求であり、第4条への適合をもって第39条への適合性を確認する。

以上より、次項以降では第4条（第39条）への基準適合の観点で地下水排水設備に課すべき設備要件を定めることとする。

4. 地下水排水設備の設備要件

4.1 供用期間中における機能維持に必要な耐性の分析

本項では、地下水排水設備の供用期間中における機能維持に必要な耐性の分析を行う。まず、分析項目を決めるために必要な前提条件を整理した上で、整理結果を踏まえた分析を実施する。さらに、分析結果から地下水排水設備に課すべき設備要件を定める。

(1) 前提条件

a. 地下水排水設備の目的及び機能

- 地下水排水設備の機能は、原子炉建屋等の主要建屋に適用する設計の前提が確保されるよう、「地下水位を建屋基礎底面下に保持する」ことである。
- 地下水排水設備が機能することにより、原子炉建屋等の主要建屋の基礎底面下に地下水位が保持され、建屋に生じる揚圧力影響が排除される。この地下水排水設備の機能を考慮した設計地下水位を設定し、原子炉建屋等の主要建屋の耐震性が損なわれないよう設計する。

b. 機能維持を要求する期間

原子炉建屋等の主要建屋には、多数の重要安全施設や重大事故等対処施設が設置されており、各々がその機能を必要とされる通常運転時から重大事故等時まで、原子力発電所の供用期間のすべての状態において機能維持が必要である。

具体的には、原子力発電所の以下の状態において、地下水排水設備の機能を維持する必要がある。

- 通常運転時（起動時，停止時含む）
- 運転時の異常な過渡変化時
- 設計基準事故時
- 重大事故等時

また、プラント供用期間中において発生を想定する大規模損壊についても、その発生要因とプラントの損壊状況を踏まえ、地下水排水設備の設計を行う上で配慮する。

c. 先行炉の対応状況

泊発電所3号炉と同様に地下水の流れを遮断する防潮堤等を設置した女川原子力発電所2号炉及び島根原子力発電所2号炉を対象に、地下水位低下設備にかかわる審査実績を比較した結果、女川原子力発電所2号炉では主要建屋及び敷地広範囲の施設等に生じる液状化影響及び揚圧力影響を確実に排除する設計方針とするため、静的設備である揚水井戸を含むすべての構成要素を多重化する等、設備に安全重要度クラス1相当の設計を適用している。

これに対し、島根原子力発電所2号炉では敷地内の主要建屋を対象とした揚圧力影響を排除する設計方針とし、想定される事象等を考慮した上で、地下水位低下設備に対して信頼性向上を図る設計としている（添付資料3）。

また、女川原子力発電所2号炉、島根原子力発電所2号炉の両炉において、地下水位低下設備に対して基準適合性の観点から事業者が達成すべき性能について、「地下水位低下設備の機能に期待して耐震評価を行う施設」、「地下水位低下設備に排除／低減を期待する地下水位の影響」及び「地下水位低下設備の機能に期待する期間」を考慮し、地下水位低下設備にどの程度の信頼性が必要なのかを分析して設備要件（設備仕様）を定めている。

そのため、泊発電所3号炉でも地下水排水設備にどの程度の信頼性が必要であるか分析を行って設備要件を定めることとし、その際、泊発電所3号炉の地下水排水設備には原子炉建屋等の主要建屋を対象とした揚圧力影響の排除を期待していることを踏まえ、島根原子力発電所2号炉と同様に想定される事象等を考慮し、地下水排水設備に対して信頼性向上を図る設計とすることを基本方針とした。

(2) 分析項目

(1)の前提条件を踏まえ、供用期間中における機能維持に必要な耐性の分析を行う。

【分析1：想定する機能喪失要因の抽出】

地下水排水設備の機能を供用期間のすべての状態において維持するため、(1)の前提条件を考慮の上、対処すべき機能喪失要因を網羅的に抽出し、必要な対策について整理する。

- ▶ 地下水排水設備の機能ごとに、想定される単一の機器故障を考慮する。
- ▶ 地下水排水設備の機能ごとに、設置許可基準規則第3条から第13条までにおいて考慮することが要求される事象を抽出し、上記の機器故障と合わせて「想定する機能喪失要因」とする。
- ▶ なお、設置許可基準規則第14条から第36条までに対しては、別紙11-2表のとおり、地下水排水設備に対する機能について影響するものではないので機能喪失要因の対象とはならない。
- ▶ 標準的な地下水排水設備の構成部位を設定（別紙11-3表）した上で、地下水排水設備の構成部位が想定する機能喪失要因により機能喪失するかを分析（別紙11-4表）する。
- ▶ 分析結果を踏まえ、地下水排水設備の機能維持の観点から必要な対策について整理する。

【分析 2：想定する機能喪失要因で生じる各事象の抽出】

- ▶ 分析 1 から抽出された，地下水排水設備の機能喪失要因となる事象が発生した場合に，同時に「運転時の異常な過渡変化」，「設計基準事故」又は「重大事故等」（以下「各事象」という。）が発生するかについて分析（別紙 11-5 表）する。
- ▶ 分析結果を踏まえ，地下水排水設備の機能維持の対策に加え，追加の対策が必要であるかについて整理する。

【分析 3：各事象と排水機能喪失の重畳に伴う影響確認】

- ▶ 各事象の発生後に，何らかの原因により地下水排水設備が機能喪失した場合を想定し，運転時の異常な過渡変化等の事象収束に対して影響があるかを分析（別紙 11-6 表）する。
- ▶ 分析結果を踏まえ，地下水排水設備の機能維持の対策に加え，追加の対策が必要であるかについて整理する。

【分析 4：大規模損壊の考慮】

- ▶ プラント供用期間中において発生を想定する大規模損壊時の対応についても，地下水排水設備の設計を行う上で配慮する。

(3) 想定する機能喪失要因の抽出（分析 1）

a. 関係する条文の抽出

地下水排水設備の各構成部位が機能喪失する可能性のある事象として，機器の故障に加え，設置許可基準規則第 3 条から第 13 条までの要求事項を踏まえ，地震（第 4 条），津波（第 5 条），外部事象（地震，津波以外）（第 6 条），内部火災（第 8 条），内部溢水（第 9 条）及び誤操作の防止（第 10 条）が考えられるため要因として抽出した（別紙 11-2 表）。

これ以外の設置許可基準規則における設計基準対象施設に対する要求は，個別設備に対する設計要求である等の理由から地下水排水設備の各構成部位が機能喪失する可能性のある事象から除外した。

別紙 11-2 表 地下水排水設備の機能喪失要因と設置許可基準規則との関係

設置許可基準規則の要求事項		分析対象	対象外とした理由		備考
地盤	地震		● 本文の要求事項への適合に際し、地下水排水設備に期待していないことから、分析の対象外	● 本文は、個別設備の設置要求であり、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、対象外	
第3条	地震	-	-	-	-
第4条	地震	○	-	-	-
第5条	津波	○	-	-	-
第6条	風(台風)、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、火山、生物学的事象、森林火災(外部火災)	○	-	-	泊発電所3号炉で想定する外部事象として抽出した事象
第7条	不法な侵入	-	-	-	-
第8条	内部火災	○	-	-	-
第9条	内部溢水	○	-	-	-
第10条	誤操作の防止	○	-	-	-
第11条	安全避難通路等	-	-	-	-
第12条	安全施設	-	-	-	-
第13条	運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止	-	-	-	-
第14条	全交流動力電源喪失対策設備	-	-	-	-
第15条	炉心等	-	-	-	-
第16条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	-	-	-	-
第17条	原子炉冷却材圧力バウンダリ	-	-	-	-
第18条	蒸気タービン	-	-	-	-
第19条	非常用炉心冷却設備	-	-	-	-
第20条	一次冷却材の減少分を補給する設備	-	-	-	-
第21条	残留熱を除去することができる設備	-	-	-	-
第22条	最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備	-	-	-	-
第23条	計測制御系統施設	-	-	-	-
第24条	安全保護回路	-	-	-	-
第25条	反応度制御系統及び原子炉停止系統	-	-	-	-
第26条	原子炉制御室等	-	-	-	-
第27条	放射性廃棄物の処理施設	-	-	-	-
第28条	放射性廃棄物の貯蔵施設	-	-	-	-
第29条	工場等周辺における直接ガンマ線等からの防護	-	-	-	-
第30条	放射線からの放射線業務従事者の防護	-	-	-	-
第31条	監視設備	-	-	-	-
第32条	原子炉格納施設	-	-	-	-
第33条	保安電源設備	-	-	-	-
第34条	緊急時対策所	-	-	-	-
第35条	通信連絡設備	-	-	-	-
第36条	補助ボイラー	-	-	-	-

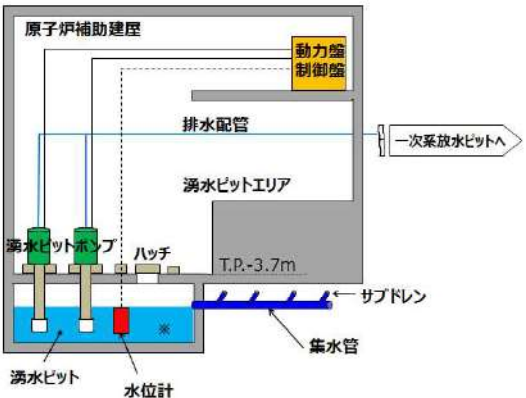
b. 各構成部位の機能喪失要因の分析

標準的な地下水排水設備の構成部位として、地下水排水設備（既設）の構成部位を参考に、別紙 11-3 表のとおり設定する。その上で、地下水排水設備の各構成部位が、抽出した機能喪失要因により機能喪失するかについて分析する。

分析の前提条件と分析結果は下記のとおり。

別紙 11-3 表 地下水排水設備の構成部位

機能	地下水排水設備の構成部位	参考：地下水排水設備（既設）
集水機能	集水管類	集水管 サブドレン
支持機能	ピット ピットエリア	湧水ピット 湧水ピット エリア
排水機能	排水配管	排水配管
	排水ポンプ	湧水 ピットポンプ
監視・ 制御機能	動力盤 制御盤	動力盤 制御盤
	水位計	水位計
電源機能	電源	電源



※ 現状、設備点検時のバックアップとして湧水ピット内に水中ポンプ設置しているが、地震時に湧水ピットポンプ等へ及ぼす波及影響も考慮した上で、水中ポンプの撤去も含めて今後の取扱いを検討する。

<分析 1 の前提条件>

- 機能喪失有無の判定においては、地下水排水設備に必要な設備要件を抽出する観点から、すべての構成部位について、機能喪失要因に対する設計上の配慮が講じられていない状態を前提とする。
- 外部事象に対する分析では、地下水排水設備の構成部位のすべてが、地下水排水設備（既設）と同様に屋内設置されている状態を前提とする。

<分析結果>

- 分析の結果、地下水排水設備の各構成部位に対する機能喪失要因として別紙 11-4 表のとおりの結果を得た。
- これらの機能喪失要因を踏まえ、地下水排水設備の設計上の信頼性を向上させる観点から、別紙 11-7 表のとおり設計上の配慮を行う。

別紙 11-4 表 地下水排水設備の機能喪失要因と設置許可基準規則との関係

機能	構成部位	機器故障及び設置許可基準規則の要求を踏まえた機能喪失要因														
		機器故障 (故障モード)	地震 (4条)	津波 (5条)	風(台風) (6条)	竜巻 (6条)	凍結 (6条)	降水 (6条)	積雪 (6条)	落雷 (6条)	火山 (6条)	生物学的 事象 (6条)	森林火災 (外部火災) (6条)	内部火災 (8条)	内部溢水 (9条)	誤操作防止 (10条)
集水機能	集水管類	○*2	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			耐震性無し													
支持機能	ピット・ ピットエリア	○*3	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			耐震性無し													
排水機能	排水配管	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		リーク・ 閉塞	耐震性無し													
	排水ポンプ	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×
		継続運転 失敗・ 起動失敗	耐震性無し													
監視・制御 機能	制御盤 動力盤	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×
		不動作・ 誤動作	耐震性無し													
電源機能	水位計	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		不動作・ 誤動作	耐震性無し													
電源機能	電源*1 (ダイゼン 発電機)	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		起動失敗														

* 1 : 外部電源はSs未満の地震により機能喪失する可能性があるため、機能喪失状態を前提とする

* 2 : 集水管類は岩盤内部に設置しており、管内への土砂供給が非常に少なく、原子炉建屋等の主要建屋基礎下の集水管すべてを点検可能とするためのアクセス開口を設置することと、管内に僅かな土砂の堆積があった場合でも定期的な清掃作業の実施により除去可能であり、供用期間における閉塞を防止できることから「○」としている (添付資料5参照)

* 3 : ピットは集水管類からの土砂供給が非常に少なく、ピット内に僅かな土砂の堆積があった場合でも定期的な清掃作業の実施により除去可能であり、供用期間における閉塞を防止できることから「○」としている

* 4 : 分析1では誤操作による機能喪失は機器の故障に含めた取扱いとします

凡例 ○ : 事象に対し設備が影響を受けない

× : 事象に対し設備が影響を受ける可能性あり

— : 評価対象外

(4) 想定する機能喪失要因で生じる各事象の抽出（分析2）

地下水排水設備の機能喪失要因により、同時に各事象が発生するかについて分析を行い、事象収束にあたり追加の対策が必要かについて確認する。分析の前提条件と分析結果は以下のとおり。

<分析2の前提条件>

- ▶ 地下水排水設備の機能喪失要因として、分析1により抽出された項目を前提とし、ここでの分析を行う。
- ▶ 地下水排水設備のすべての構成部位について、機能喪失要因に対する設計上の配慮が講じられていない状態を前提とする。
- ▶ 電源に関して、内部事象と外部事象に対する防護対策が施されている非常用DGの共通要因による機能喪失は考慮しない。また、非常用DGの状態について、プラント運転中は2系列が待機状態にあることとする。
- ▶ 外部電源は基準地震動未満の地震により機能喪失する可能性があるため、機能喪失状態を前提とする。さらに、プラント停止中は非常用DG本体又は海水系片系が点検のために待機除外である状態を想定する。また、プラント停止中の非常用DGに対しては、起動失敗等の機器の故障を考慮する。

<分析結果>

- ▶ 別紙11-5表（1/3）に示すとおり、地下水排水設備が機能喪失する事象発生時には、当該事象により敷地外の送変電設備が損傷し、「運転時の異常な過渡変化（外部電源喪失）」が発生する可能性がある。
- ▶ これを防止するために、地下水排水設備には、外部電源喪失に配慮した設計が必要となる。
- ▶ また、各事象が収束した以降も収束状態を維持する観点から、原子炉建屋等の主要建屋の基礎底面下に地下水位を保持し、建屋に生じる揚圧力影響を排除することで、建屋の耐震性の継続的な確保が必要である。
- ▶ このため、地下水排水設備の各機能喪失要因に対する設計上の配慮を行うことで、「地下水排水設備の機能喪失により地下水位が上昇した状態で基準地震動規模の地震が発生する」という状況を回避でき、建屋の耐震性が確保されることとなる。
- ▶ 上記の配慮を行うことで、通常運転中の安全施設（異常発生防止系及び異常影響緩和系）への影響を防止することができている。
- ▶ 別紙11-5表（3/3）に示すとおり、地下水排水設備が機能喪失する事象発生時には、同時に「全交流動力電源喪失（停止時）」が発生する。
- ▶ このことから、地下水排水設備の機能喪失要因に配慮した対策及び非常用電源に関する信頼性向上の観点で代替電源設備からも電源供給可能な設計とすることにより、地下水排水設備の信頼性を向上させることができる。

別紙 11-5 表 地下水排水設備の機能喪失と同時に発生する事象の可能性がある事象の分析 (1/3)

		運転時の異常な過渡変化														
		原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き	出力運転中の制御棒の異常な引き抜き	制御棒の落下及び不整合	原子炉冷却材中のほう素の異常な希釈	原子炉冷却材流量の偏り	原子炉冷却材の停止ループの誤起動	原子炉冷却材の停止ループの誤起動	主給水流量の喪失	蒸気負荷の異常な増加	2次冷却系の異常な減圧	蒸気発生器への過剰給水	蒸気発生器の負荷の喪失	原子炉冷却材系の異常な減圧	出力運転中の非常用心動機	外部電源喪失
地下水排水設備の機能喪失要因	機器故障	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×
	地震	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	*1
	内部火災	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×
	内部溢水	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	*1

凡例△：地下水排水設備の機能喪失は起きない。 ×：地下水排水設備の機能喪失あり、かつ、過渡事象が起きる。
 *1：外部電源は発電所外の設備も含まれており、地下水排水設備の機能喪失要因に対して耐性の確認・確保が困難であるため、すべての機能喪失要因に対して発生すると整理した。

別紙 11-5 表 地下水排水設備の機能喪失と同時に発生する事象の可能性がある事象の分析 (2/3)

		設計基準事故									
		原子炉冷却材喪失	原子炉冷却材流量の喪失	原子炉冷却材ポンプの軸着	主給水管破断	主蒸気管破断	制御棒飛び出し	放射性気体廃棄物処理施設の破損	蒸気発生器伝熱管破損	燃料集合体の落下	可燃性ガスの発生
地下水排水設備の機能喪失要因	機器故障	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	地震	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	内部火災	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	内部溢水	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△

凡例△：地下水排水設備の機能喪失は起きない。 ×：地下水排水設備の機能喪失あり、かつ、設計基準事故が起きる。

別紙 11-5 表 地下水排水設備の機能喪失と同時に発生の可能性がある事象の分析 (3/3)

重大事故等																			
2次冷却系からの熱機能喪失	全交流動力源喪失	原子炉補機冷却機能喪失	原子炉格納容器の熱機能喪失	原子炉停止機能喪失	ECCS注水機能喪失	ECCS再循環機能喪失	格納容器バイパス	炉内圧力・温度静的負荷過剰(格納容器過圧破損)	炉内圧力・温度静的負荷過剰(格納容器過温破損)	高圧溶融物納容器閉塞/加熱	原子炉圧力容器外の溶融燃料/冷却材相互作用	水素燃焼	溶融炉心・クォーター相互作用	想定事故1	想定事故2	崩壊熱除去機能喪失(余熱除去系の故障による停止時冷却機能喪失)	原子炉冷却材の流出	反応度の誤入	全交流動力源喪失(停止時)
△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×
地下水排水設備は機能喪失するが、地下水排水設備の機能喪失要因により重大事故防止設備がその機能を喪失しないため、上記の重大事故等は発生しない																			
△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
地下水排水設備は機能喪失するが、地下水排水設備の機能喪失要因により重大事故防止設備がその機能を喪失しないため、上記の重大事故等は発生しない																			
△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
地下水排水設備は機能喪失するが、地下水排水設備の機能喪失要因により重大事故防止設備がその機能を喪失しないため、上記の重大事故等は発生しない																			
△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
地下水排水設備は機能喪失するが、地下水排水設備の機能喪失要因により重大事故防止設備がその機能を喪失しないため、上記の重大事故等は発生しない																			

凡例△：地下水排水設備の機能喪失あり，ただし，重大事故は起きない。 ×：地下水排水設備の機能喪失あり，かつ，重大事故が起きる。
*：待機中の非常用 DG が起動失敗等の機器の故障により機能喪失すること

(5) 各事象と排水機能喪失の重畳に伴う影響確認（分析3）

各事象が発生した状態で、地下水排水設備が機能喪失した場合を想定し、事象収束にあたり追加の対策が必要かについて確認する。分析の前提条件と分析結果は以下のとおり。

<分析3の前提条件>

- ▶ 各事象の発生後に地下水排水設備が機能喪失する状態及び地下水排水設備の機能喪失後に、さらに、基準地震動規模の地震が発生する状態に対し分析する。
- ▶ 地下水排水設備のすべての構成部位について、機能喪失要因に対する設計上の配慮が講じられていない状態を前提とする。

<分析結果>

- ▶ 別紙11-6表に示すとおり、地下水排水設備は、事象収束に必要な緩和機能を有していないため、事象の収束に直接は影響しない。
- ▶ しかしながら、地下水排水設備の機能喪失により地下水位が上昇している状態で、同時に基準地震動規模の地震の発生を想定した場合には、原子炉建屋等の主要建屋が地下水による揚圧力影響を受けた状態で地震力が作用するため、建屋の耐震性に影響が及ぶ可能性があることから、事象の収束に対する影響の懸念がある。
- ▶ このため、地下水排水設備の各機能喪失要因に対する設計上の配慮を行うことで、「地下水排水設備の機能喪失により地下水位が上昇した状態で基準地震動規模の地震が発生する」という状況を回避でき、建屋の耐震性が確保されることとなる。

別紙 11-6 表 「運転時の異常な過渡変化」, 「設計基準事故」又は「重大事故等」が発生した状態で
地下水排水設備が機能喪失した場合の影響 (1/2)

運転時の異常な過渡変化													
原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き	出力運転中の制御棒の異常な引き抜き	制御棒の落下及び不整合	原子炉中の冷却材のほう素の異常な希釈	原子炉冷却材流量喪失の部分喪失	原子炉冷却材停止プログラムの誤起動	主給水量喪失	蒸気負荷の異常な増加	2次冷却系の異常な減圧	蒸気発生器への過剰給水	負荷の喪失	原子炉冷却材系の異常な減圧	出力運転中の炉心冷却系の誤起動	外部電源喪失
○ (影響なし)													
地下水排水設備は、事象収束に必要な緩和機能を有していないため、事象の収束に影響しない													
× (影響あり)													
建屋の耐震性に影響があることから、事象の収束に対する影響の懸念あり													

設計基準事故									
原子炉冷却材喪失	原子炉冷却材流量喪失	原子炉冷却ポンプの軸着	主給水管断	主蒸気管破断	制御棒飛び出し	放射性気体廃棄物処理施設の破損	蒸気発生器伝熱管破損	燃料集合体の落下	可燃性ガスの発生
○ (影響なし)									
地下水排水設備は、事象収束に必要な緩和機能を有していないため、事象の収束に影響しない									
× (影響あり)									
建屋の耐震性に影響があることから、事象の収束に対する影響の懸念あり									

別紙 11-6 表 「運転時の異常な過渡変化」, 「設計基準事故」又は「重大事故等」が発生した状態で
地下水排水設備が機能喪失した場合の影響 (2/2)

重大事故等																			
2次冷却系の熱除去機能喪失	全動力源喪失	原子炉補冷却機能喪失	原子炉格納熱除去機能喪失	原子炉停止機能喪失	ECCS注水機能喪失	ECCS再循環機能喪失	格納器バイパス	蒸汽圧力・温度による静的負荷(格納器破損)	蒸汽圧力・温度による静的負荷(格納器破損)	高圧溶融物放出/格納器直接加熱	原子炉压力容器の溶融/冷却材相互作用	水素燃焼	溶解炉心・クロー相互作用	想定事故 1	想定事故 2	崩壊熱除去機能喪失(余熱除去故障による停止時機能喪失)	原子炉冷却材の流出	反応度の投入	全動力源喪失
地下水排水設備の機能喪失のみの場合	○ (影響なし)																		
	地下水排水設備は、事象収束に必要な緩和機能を有していないため、事象の収束に影響しない																		
地下水排水設備が地下水位が上昇した状態で地震が発生する場合	× (影響あり)																		
	建屋の耐震性に影響があることから、事象の収束に対する影響の懸念あり																		

(6) 分析結果を踏まえた信頼性向上のための設備要件

分析1から分析3までの整理を踏まえ、原子力発電所の供用期間のすべての状態において、地下水排水設備を機能維持する観点から、地下水排水設備の設計にかかわる信頼性向上のための設備要件は以下のとおりとなった。

なお、分析4における具体的なプラント損壊状態と設備要件については、「技術的能力2.1まとめ資料 別冊I. 具体的対応の共通事項」にて、大規模損壊に対する対応として別途説明する。

分析1の結果から、地下水排水設備に対して配慮すべき機能喪失要因が抽出されており、これに対する個々の設備要件を別紙11-7表のとおり整理した。

別紙 11-7 表 機能喪失要因とこれを踏まえた設備要件

機能	構成部位	機能喪失要因	設備要件
集水機能	集水管類	地震	• Ss 機能維持することにより集水機能を確保
支持機能	ピット・ピットエリア	地震	• Ss 機能維持することにより支持機能を確保
排水機能	排水配管	機器故障 (リーク・閉塞)	• 配管の多重化による機能維持
		地震	• Ss 機能維持することにより排水機能を確保
	排水ポンプ	機器故障 (継続運転失敗・起動失敗)	• 機器類の多重化による機能維持
		地震	• Ss 機能維持することにより機器類の機能を確保
		内部火災	• 内部火災影響を考慮した設計による機能維持
		内部溢水	• 内部溢水影響を考慮した設計による機能維持
監視・制御機能	制御盤 動力盤	(機能喪失要因と対策は、上述の排水ポンプと同じ)	
	水位計	機器故障 (不動作・誤操作)	• 多重化による機能維持
		地震	• Ss 機能維持することにより監視・制御機能を確保
電源機能	電源 (ディーゼル発電機)	機器故障 (起動失敗)	• 多重化による機能維持

分析2の結果からは分析1と同様の対策(別紙 11-7 表)が必要という結果を得た。また、これに加えて、プラント停止時における全交流動力電源喪失への配慮として、代替電源設備からの電源供給が可能な設計とする。

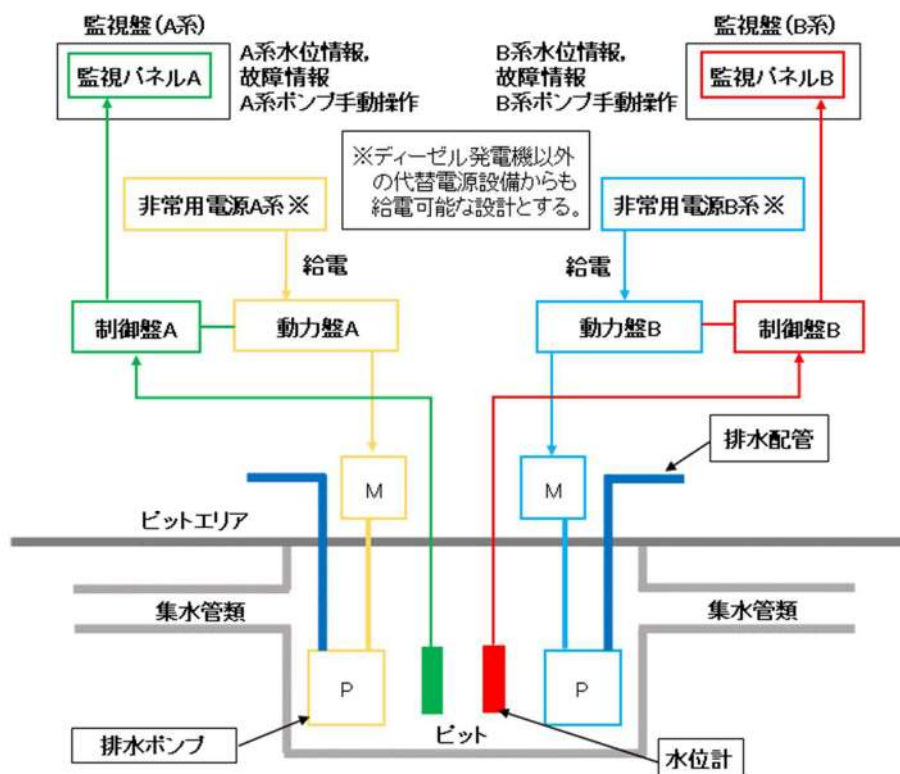
分析3の結果からは、分析1と同様の対策(別紙 11-7 表)が必要という結果を得た。

以上のとおり、分析1から分析3の結果を踏まえ、地下水排水設備の信頼性向上の観点から対策を講じることとする。

なお、分析4については、分析1から分析3での対策により、設計上の配慮を行うことができる。

(7) 監視・制御機能及び電源接続の系統構成

別紙 11-7 表に示す地下水排水設備に対する設備要件を反映した電源系，監視・制御系の系統構成概要を別紙 11-4 図に示す。排水ポンプ，水位計，現場における監視・制御系，中央制御室の監視盤及び非常用電源からの電源供給については信頼性の向上を考慮した設計とする。



別紙 11-4 図 設備要件を反映した電源系，監視・制御系の系統構成概要

4.2 排水能力

地下水排水設備の排水能力は，工事計画認可段階（以下「詳細設計段階」という。）で今後設置する津波防護施設やMMR等の状況を反映して三次元浸透流解析の予測解析を実施し，地下水排水設備に集水される湧水量を予測した結果を踏まえ，必要な排水能力を確認した上でポンプ容量を設定する。予測解析モデルについては，ポンプ容量の設定に用いる解析モデルとして保守的なモデルとなっていることを確認する（別紙-10「設計地下水位の設定方針について」参照）。また，詳細設計段階で行うポンプ容量の設定においては，過去に降水等によって湧水ピットへの集水量が一時的に増加した実績も考慮する。

4.3 試験又は検査

前述のとおり、地下水排水設備は原子力発電所の供用期間のすべての状態において機能維持が必要である。そのため、プラント運転中に設備の健全性を確認するため、地下水の排水機能を維持したまま、試験又は検査ができることが求められる。また、6項で示すように地下水排水設備は「予防保全」の対象であり、設備点検後にも地下水の排水機能を維持した状態で、試験又は検査が必要となる。これらの試験又は検査については、排水機能を維持している設備に影響を与えないように、独立して実施できることを設備要件とする。

4.4 施設区分

(1) 耐震重要度について

設計基準対象施設の耐震重要度は、設置許可基準規則上、その重要度に応じたクラス分類（S，B，C），また、それらに該当する施設が示されており、地下水排水設備はSクラス設備及びBクラス設備のいずれにも該当しないため、耐震重要度はCクラスに分類される（添付資料4）。

(2) 安全重要度について

3項で述べたとおり、地下水排水設備は設置許可基準規則第4条（第39条）への適合に当たり、原子炉建屋等の設計の前提条件となる地下水位を建屋基礎底面下に保持するために必要であることから、地下水排水設備を設計基準対象施設と位置付ける。地下水排水設備は重大事故等に対処するための機能は有していないため、重大事故等対処施設には位置付けない。

地下水排水設備は設置許可基準規則第2条に示されている「安全機能」を直接果たす構築物、系統及び機器ではなく、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」（以下「重要度分類審査指針」という。）の「Ⅲ．安全機能の重要度分類」に定められた「安全機能を有する構築物、系統及び機器」のいずれにも分類されていない（添付資料4）ものの、岩着構造の防潮堤を設置する影響を考慮し、地下水排水設備にどの程度の信頼性が必要であるか4.1項で分析した結果から得られた設備要件を満足する仕様とする。

5. 地下水排水設備（既設）に対する設備要件の適用検討

5.1 設備要件の適用

ここでは、4項で整理した地下水排水設備の設備要件を地下水排水設備（既設）に適用する場合に必要な信頼性向上対策を整理した結果を示す。

別紙 11-8 表では、4項で抽出した設備要件(別紙 11-7 表)と地下水排水設備（既設）の設備仕様を比較し、基準適合性を確保するために必要な対策を抽出した結果及び対策の成立性を確認した結果を示す。

別紙 11-8 表 地下水排水設備（既設）に適用が必要となる設備要件と追加対策の要否

機能	構成部位	建設時点の設備仕様 (右記の設備要件に対応する項目を記載)	今後適用する設備要件 (別紙 11-7 表より転記)	対策要否 (○：実施， ×：不要)	対策の成立性 (○：有， ×：無)
集水機能	集水管 サブドレン	—	Ss 機能維持*1 することにより集水機能を確保	○*2	○*2
支持機能	湧水ピット 湧水ピットエリア 電気建屋地下部 (T.P. 10.3m 以下)	耐震 A クラスの間接支持機能確保	Ss 機能維持することにより支持機能を確保 (耐震 S クラスの間接支持機能確保)	× (耐震性を有する 建屋の躯体の一部 として設置されて いる)	—
排水機能	排水配管	S ₁ 機能維持 / ポンプ出口で合流し単一配管	Ss 機能維持*1 することにより排水機能を確保 / 配管の多重化による機能維持	○*3	○*3
	湧水ピット ポンプ	S ₁ 機能維持 / 多重化	Ss 機能維持*1 することにより機器類の機能を確保 / 機器類の多重化による機能維持 / 内部火災・溢水影響を考慮した設計による機能維持	○*4	○*4
監視・ 制御機能	動力盤	S ₁ 機能維持 / 多重化	Ss 機能維持*1 することにより機器類の機能を確保 / 機器類の多重化による機能維持 / 内部火災・溢水影響を考慮した設計による機能維持	○*5	○*5
	制御盤	S ₁ 機能維持		○*6	○*6
	水位計	S ₁ 機能維持		○*6	○*6
電源機能	ディーゼル 発電機	多重化	多重化による機能維持	× (建設時から多重 化されている)	—
	代替電源設備	—	代替非常用発電機からも給電可能な設計	○*7	○*7
(対策前後の設備概要図)				—	—

- *1 耐震重要度は耐震 C クラスであり建設時も同じ。(4.4 項参照) 詳細設計段階における Ss 機能維持の確認方法を別紙 11-9 表に示す。
- *2 地震時に埋戻土による荷重が集水管に作用しない構造への改造又は埋戻土による荷重が集水管に作用した場合でも十分な強度を確保できる仕様へ変更。(添付資料 5 参照)
- *3 現状はポンプ出口で合流している排水配管を分離して多重化。
- *4 ポンプ電動機の設置される湧水ピットエリアを火災区画及び溢水防護区画に設定した上で、必要な対策を施す。
- *5 制御盤(監視パネル)を多重化。盤類が設置されるエリア(詳細設計段階で決定)を火災区画及び溢水防護区画に設定した上で、必要な対策を施す。
- *6 多重化する制御盤の各々に水位計 1 台を接続する。
- *7 電源機能としては代替非常用発電機にも接続する。

別紙 11-9 表 地下水排水設備の各構成部位における
Ss 機能維持の確認方法と設計方法

機能	構成部位	Ss 機能維持の確認方法	
		分類	具体的な方法
集水機能	集水管 サブドレン	解析 及び評価	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動に対し地下水の集水機能を維持する設計とする。 (地盤安定性評価において算出される当該部位の岩盤の局所安全率の結果から得られる岩盤のせん断破壊の状況については、2024年6月を目途に許可段階で説明する)
支持機能	湧水ピット 湧水ピットリア 電気建屋地下部 (T.P. 10.3m 以下)	解析	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動に対し地下水の排水機能、監視・制御機能の支持機能を維持する設計とする。
排水機能	排水配管	解析	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動に対して湧水ピットポンプで汲み上げた地下水の排水経路を維持する設計とする。 支持金物は基準地震動に対し機能（配管の支持機能）を維持する設計とする。
	湧水ピット ポンプ	解析	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動に対し機能（地下水の排水機能）を維持する設計とする。 支持金物は、基準地震動に対し機能（湧水ピットポンプの支持機能）を維持する設計とする。
監視・ 制御機能	動力盤 制御盤	解析及び 加振試験	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動に対し機能（湧水ピットポンプの制御機能）を維持する設計とする。
	水位計	解析及び 加振試験	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動に対し機能（ピット内に継続的に流入する地下水位監視機能、湧水ピットポンプの起動停止の制御機能）を維持する設計とする。 支持金物は基準地震動に対し機能（水位計の支持機能）を維持する設計とする。

5.2 湧水ピットポンプの排水能力

4.2項で述べたとおり，地下水排水設備の排水能力は，詳細設計段階で三次元浸透流解析の予測解析を実施し，必要な排水能力を確認した上でポンプ容量を設定する。また，防潮堤が設置される過程及び設置後において，湧水量を継続的に測定し，上記方針で設定したポンプ容量が，十分な排水能力の余裕を確保できているか確認を行う。

なお，別紙11-10表に示すように，設置許可段階で「設計地下水位の設定方針」の策定を目的に行った暫定の予測解析で用いた解析モデルを流用し，想定湧水量を導出した結果と，既存の湧水ピットポンプ排水能力の比較では，湧水ピットポンプが十分な排水能力の余裕を有する結果となっている。

別紙 11-10 表 浸透流解析に基づく暫定の想定湧水量と湧水ピットポンプ排水能力

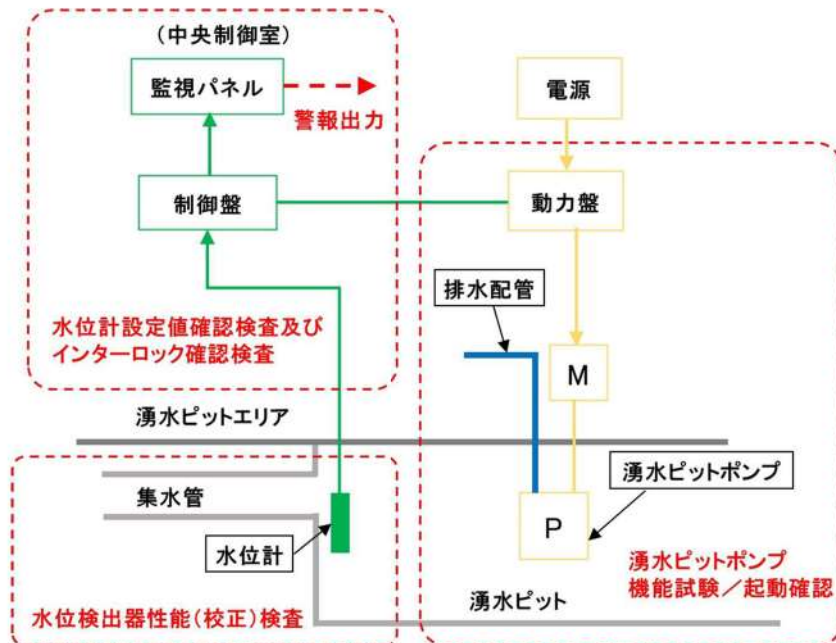
想定湧水量（暫定の解析結果）	湧水ピットポンプ能力
172.1 m ³ /日	600 m ³ /日（1台当たり） （湧水ピットポンプは2台設置）

5.3 試験又は検査の実施例

地下水排水設備（既設）に対する設備要件の適用により多重化した系統及び機器にあつては，各々が独立した試験又は検査が実施可能となる。以下，別紙 11-11 表に試験又は検査の例を，別紙 11-5 図には検査項目と範囲を示す。

別紙 11-11 表 地下水排水設備にかかわる試験又は検査の例

項目	内容	頻度
水位検出器性能(校正)検査	水位検出器の校正を行い，適切な値が伝送されることを確認する。	定期事業者検査ごと
水位計設定値確認検査及びインターロック確認検査	水位計設定値が適切な値であること，インターロックが作動することを確認する。	定期事業者検査ごと
湧水ピットポンプ機能検査	インターロックの入力信号によりポンプが起動・停止することを確認する。	定期事業者検査ごと
湧水ピットポンプ起動確認	湧水ピットポンプが起動することを確認する。	1回/月
湧水ピット点検	ひび割れ等の変状が発生していないことを確認する。	1回/年
集水管類点検	集水管にカメラ等を挿入し，通水面積が保持されていることを確認する。（添付資料5）	別途，保全計画にて定める



別紙 11-5 図 地下水排水設備の試験又は検査項目と範囲

5.4 施設区分で定まる要求事項の適用

(1) 耐震重要度

地下水排水設備は耐震Cクラスであるものの、別紙 11-7 表で示した設備要件を踏まえ Ss 機能維持を満足する設計とする。

(2) 安全重要度について

地下水排水設備は重要度分類審査指針に定められた「安全機能を有する構築物、系統及び機器」のいずれにも分類されていないことから、重要度分類審査指針から適用すべき要求事項はない。しかし、地下水排水設備は原子炉建屋等の主要建屋の耐震性を確保するために必要な設備であり、同建屋内に設置されている重要安全施設や重大事故等対処施設の機能遂行に直接必要はないが、その信頼性を維持し、又は担保するために必要な設備であるため、別紙 11-7 表で示した設備要件を満足する設計とする。

6. 運用管理・保守管理上の方針

地下水排水設備の運用管理，保守管理にかかわる事項を以下のとおり保安規定の添付及びQMS（品質管理システム）2次文書に定める。

6.1 運用管理の方針

(1) 可搬型水中ポンプの配備について

今後，4項で定めた設備要件を地下水排水設備（既設）に適用し，地下水の集水及び排水機能を担う設備とする場合，5項で述べたように供用期間のすべての状態において地下水排水設備が機能喪失しない設計が可能であることを確認した。

一方，地下水排水設備の機能喪失時に建屋の設計条件を逸脱するまでの時間について，建屋基礎底面の直下の集水管で地下水を集水する泊発電所3号炉と，敷地深部に新規に敷設される集水管で地下水を集水する島根原子力発電所2号炉を比べると，泊発電所3号炉で建屋の設計条件を逸脱するまでの時間が約3時間と短いことが確認された。（添付資料3，6）

前述のとおり，設備要件を既設の地下水排水設備に適用することで，機能喪失しない設計は実現できているものの，万一，地下水排水設備の機能が喪失した際，建屋の設計条件を逸脱するまでの時間が約3時間と短いことを踏まえ，運用の追加によって更なる信頼性向上を図ることとした。

具体的には，地下水排水設備の運用管理にかかわる事項として，可搬型水中ポンプ（別紙11-12表）によって地下水位を主要建屋の設計条件を満足する範囲に維持する運用等について，(2)項のとおり保安規定の添付及びQMS2次文書に定める。

別紙11-12表 可搬型水中ポンプの配備数

項目		配備数
可搬型水中ポンプ	・揚水ポンプ ・発電機等	一式

(2) 文書に定める事項

a. 保安規定の添付

- 地下水排水設備が機能喪失した場合に復旧作業を行うための資機材として可搬型水中ポンプを可搬型重大事故等対処設備保管場所に配備すること
- 地下水排水設備の復旧作業に的確かつ柔軟に対処できるように，手順及び必要な体制を整備すること
- プラント運転中，主要建屋の耐震性を維持できる時間内に可搬型水中ポンプ等の排水による地下水位の低下を確認できなかった場合にはプラントを停止すること

b. QMS 2次文書

① 地下水排水設備の運転管理

- 地下水排水設備の定期的な確認と具体的確認項目，確認の頻度
- 地下水排水設備が動作不能となった場合の体制，可搬型水中ポンプによる機動的な対応による復旧を行うための手順
- 可搬型水中ポンプによる排水に関する教育訓練

② ピット水位上昇時の対応

- 水位高警報の発報以降に中央制御室の水位計でピット水位の挙動を確認し，引き続き水位上昇傾向が確認された場合に可搬型水中ポンプによる排水作業に着手すること

6.2 保守管理の方針

(1) 文書に定める事項

a. QMS 2次文書

- 5.4(2)項で述べたように，地下水排水設備は原子炉建屋等の主要建屋の耐震性を確保するために必要な設備であり，同建屋内に設置されている重要安全施設や重大事故等対処施設の機能遂行に直接必要はないが，その信頼性を維持し，又は担保するために必要な設備であることを踏まえ，安全施設と同様に「予防保全」の対象と位置付け管理すること
- 地下水排水設備一列の機器故障時には，もう一列で排水を維持しつつ，バックアップとして可搬型水中ポンプ等を確保した上で，故障の原因調査を行い補修すること

(2) 既設集水管の保守管理について

- 今後，基準適合性を確保するために必要な対策を地下水排水設備（既設）に施し，地下水の集水及び排水機能を担う設備とする場合，上記方針の適用により既設集水管も「予防保全」の対象となるが，現時点では湧水ピットと集水管の接続箇所だけが集水管内部にアクセス可能な開口であるため，すべての集水管を内部点検することができない。
- そのため，原子炉建屋等の主要建屋周囲の埋戻土部に，集水管に直接アクセス可能な点検口を複数箇所設けることで，すべての集水管を定期的に内部点検し，必要に応じて水流や吸引等による管内清掃を行う。
- サブドレンは合成繊維管であり，直接的な目視点検は集水管との接続部に限られるが，岩盤からサブドレンに流入する湧水は清浄であること，埋戻土由来の土砂類の持ち込みが否定できない集水管に比べて，サブドレンは

設置レベルが 150mm 高い（添付資料 1）ことを踏まえると，流路を全閉塞するような堆積物が生じることは考え難い。

- 地下水排水設備（既設）の集水管及びサブドレンの信頼性確保にかかわる検討については，添付資料 5 に詳細を示す。

7. 地下水の排水経路

原子炉補助建屋内の湧水ピットに集水した地下水は，湧水ピットポンプで汲み上げ，地下水排水配管により建屋内を送水し，一次系放水ピットに排水される。一次系放水ピットからは，原子炉補機冷却海水放水路，放水ピット，放水路を経て放水池に導かれ，放水口から外海へ放出される。

上記，地下水の排水経路について，地震時も地下水の排水に必要な通水断面を確保し，排水機能を維持する設計としている（添付資料 7）。

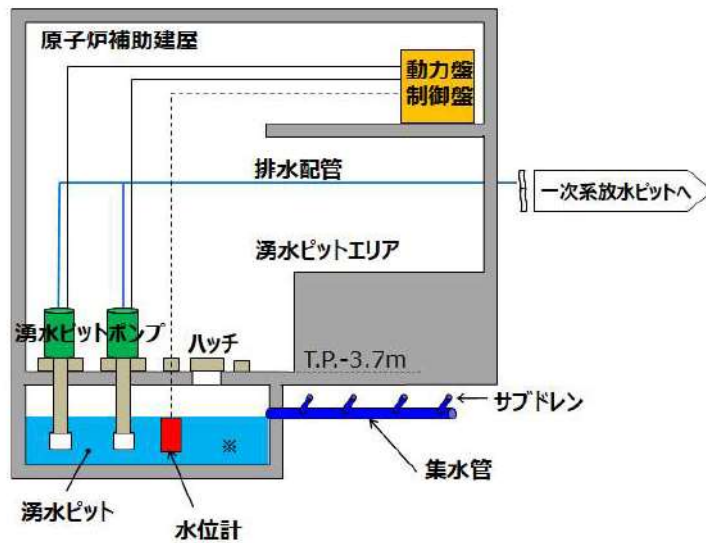
8. まとめ

- 泊発電所 3 号炉では，先行審査事例を確認の上，地下水排水設備に対してどの程度の信頼性が必要であるか分析を行って設備要件を定めることとし，「想定される事象等を考慮し，地下水排水設備に対して信頼性を向上するための対策を施す」ことを地下水位上昇への対応の基本方針とした。（島根 2 号炉の審査実績を参考とした）
- 基本方針に従い必要な設備要件を整理するため，標準的な地下水排水設備の構成要素を設定した上で，各構成要素に適用が必要な設備要件を定めた。
- 上記の設備要件について，既設の地下水排水設備に適用が可能であることを確認した。
- 以上により，供用期間のすべての状態において地下水排水設備が機能喪失しない設計を満足するものの，万一，地下水排水設備の機能が喪失し，建屋の設計条件を逸脱する場合には，可搬型水中ポンプにより地下水の排水を行うための体制等をあらかじめ整備することで，更なる信頼性向上を図ることとした。
- 詳細設計段階では，必要な排水能力を確認した上でポンプ容量を設定する等，地下水排水設備の具体的な仕様をお示しした上で，設備の基準適合性について説明する。

既設の地下水排水設備の概要

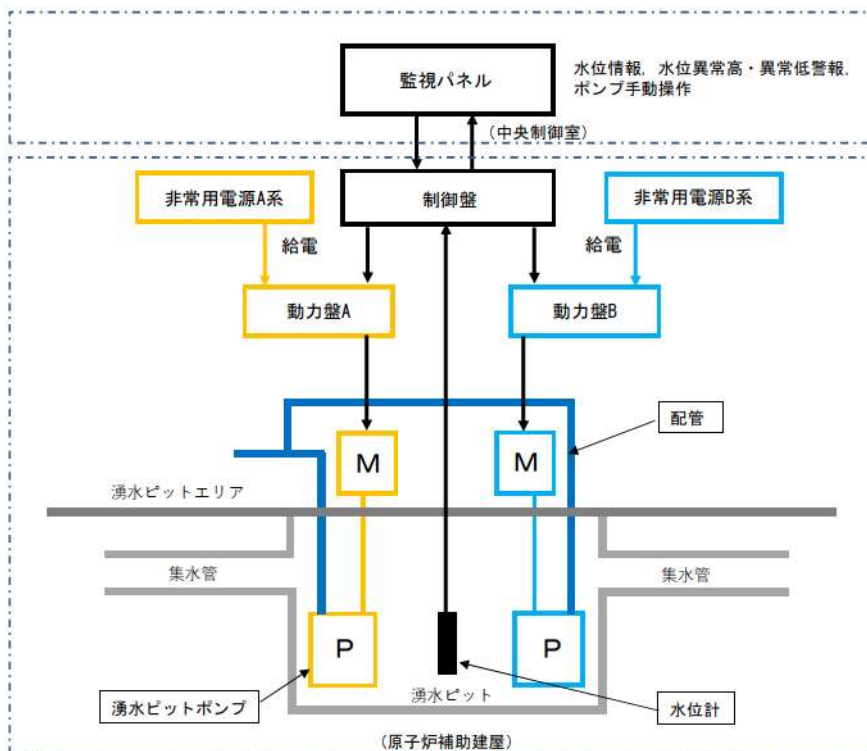
既設の地下水排水設備は、集水機能（集水管及びサブドレン）、支持機能（湧水ピット及び湧水ピットエリア）、排水機能（湧水ピットポンプ及び排水配管）、監視制御機能（制御盤及び水位計）及び電源機能（電源）を有する設備である。原子炉建屋等の主要建屋の直下及びその周囲に敷設された集水管（硬質ポリ塩化ビニル製有孔管：φ200mm）とサブドレン（ポリプロピレン樹脂製合成繊維管：φ100mm）を介して地下水を湧水ピットに集水し、湧水ピットポンプ・配管を介して、外海につながる放水路へ導く構造となっている。湧水ピット水位が、通常運転範囲の水位を超える T.P. -4.85m 以上に上昇すると、水位センサーが検知して湧水ピットポンプを起動し、T.P. -5.35m まで湧水ピット水位を低下させる。湧水ピットポンプ等の機電設備は、保守点検のルールを定めて運用しており、定期的な巡視・点検を行っている。また、泊発電所 3 号炉の建設時、地下水排水設備は基準地震動による地震力に対し耐震性を確保する設計ではなく、地震後は速やかに状況を確認し必要に応じて設備点検することとしている。

地下水排水設備の設備構成イメージを添付 1-1 図に、電源系、監視・制御系の系統構成概要を添付 1-2 図に、配置を添付 1-3 図に、集水管及びサブドレンの配置と建屋基礎底面のレベルを添付 1-4 図に、敷設断面図を添付 1-5 図に、敷設状況写真を添付 1-6 図に、湧水ピット断面図を添付 1-7 図に示す。

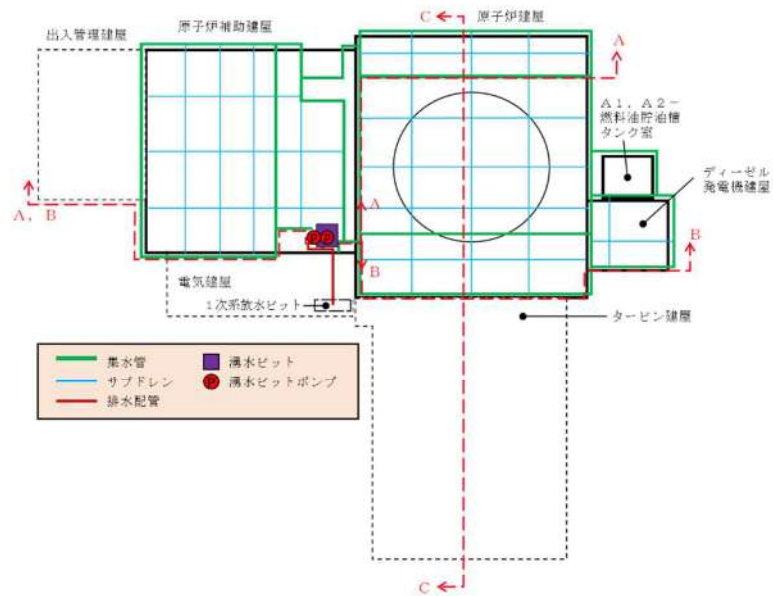


※ 現状，設備点検時のバックアップとして湧水ピット内に水中ポンプ設置しているが，地震時に湧水ピットポンプ等へ及ぼす波及影響も考慮した上で，水中ポンプの撤去も含めて今後の取扱いを検討する。

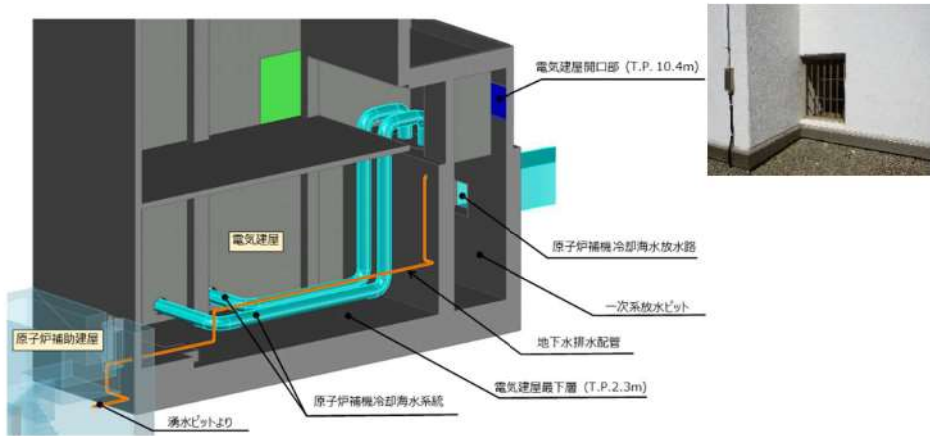
添付 1-1 図 設備構成イメージ



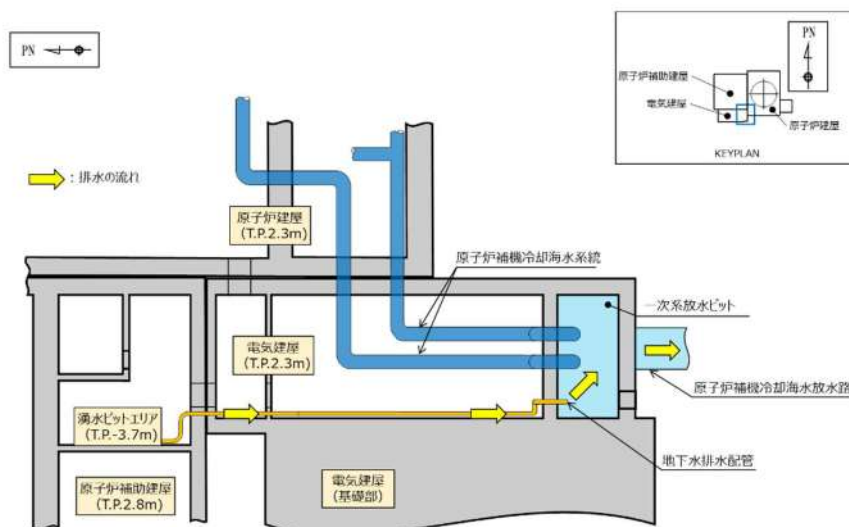
添付 1-2 図 電源系，監視・制御系の系統構成概要



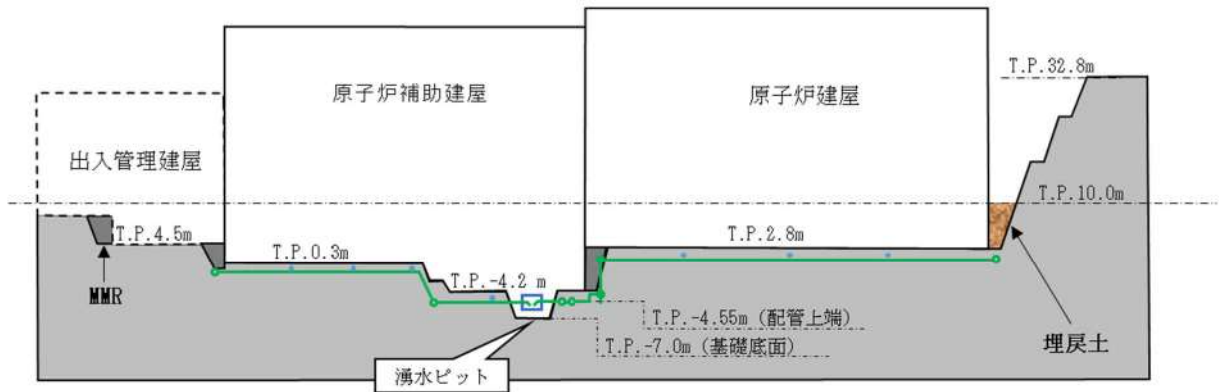
添付 1-3 (1) 図 地下水排水設備の配置



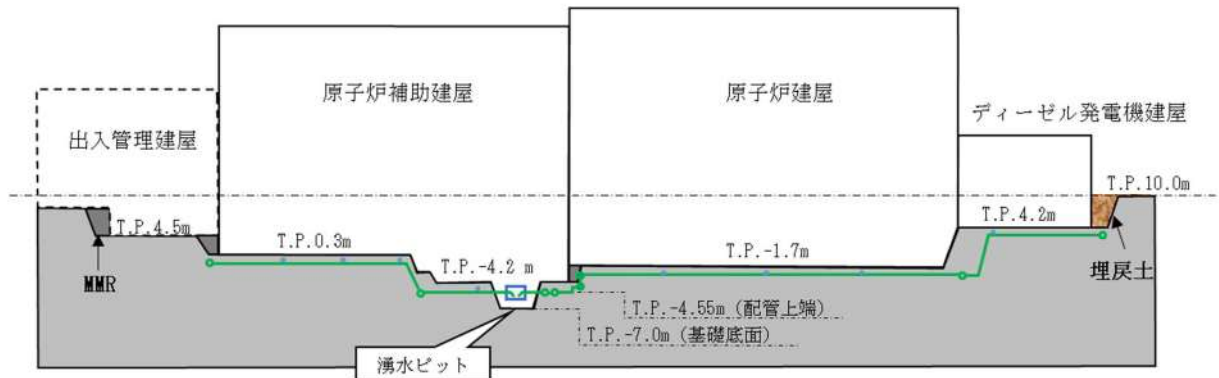
添付 1-3 (2) 図 地下水排水設備の配置 (電気建屋内の排水配管①)



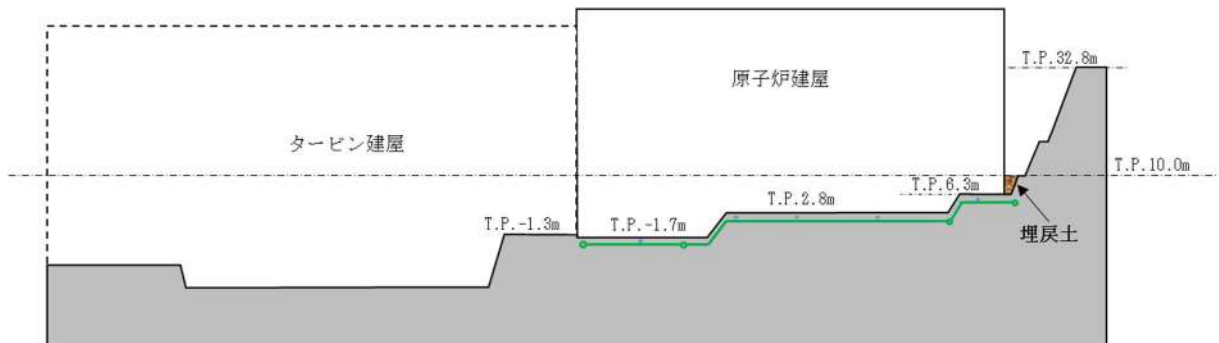
添付 1-3 (3) 図 地下水排水設備の配置 (電気建屋内の排水配管②)



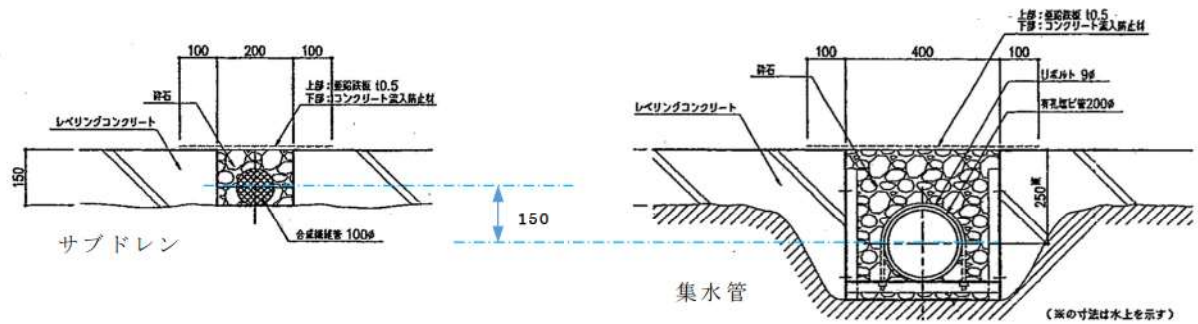
添付 1-4(1)図 集水管及びサブドレンの配置と建屋基礎底面のレベル
(添付 1-3(1)図の A - A)



添付 1-4(2)図 集水管及びサブドレンの配置と建屋基礎底面のレベル
(添付 1-3(1)図の B - B)



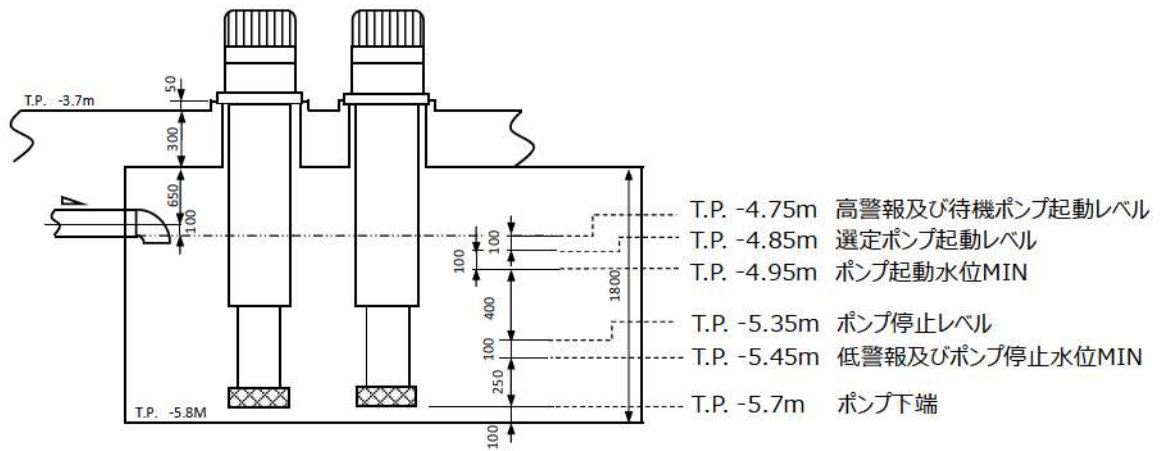
添付 1-4(3)図 集水管及びサブドレンの配置と建屋基礎底面のレベル
(添付 1-3(1)図の C - C)



添付 1-5 図 集水管及びサブドレンの敷設断面図



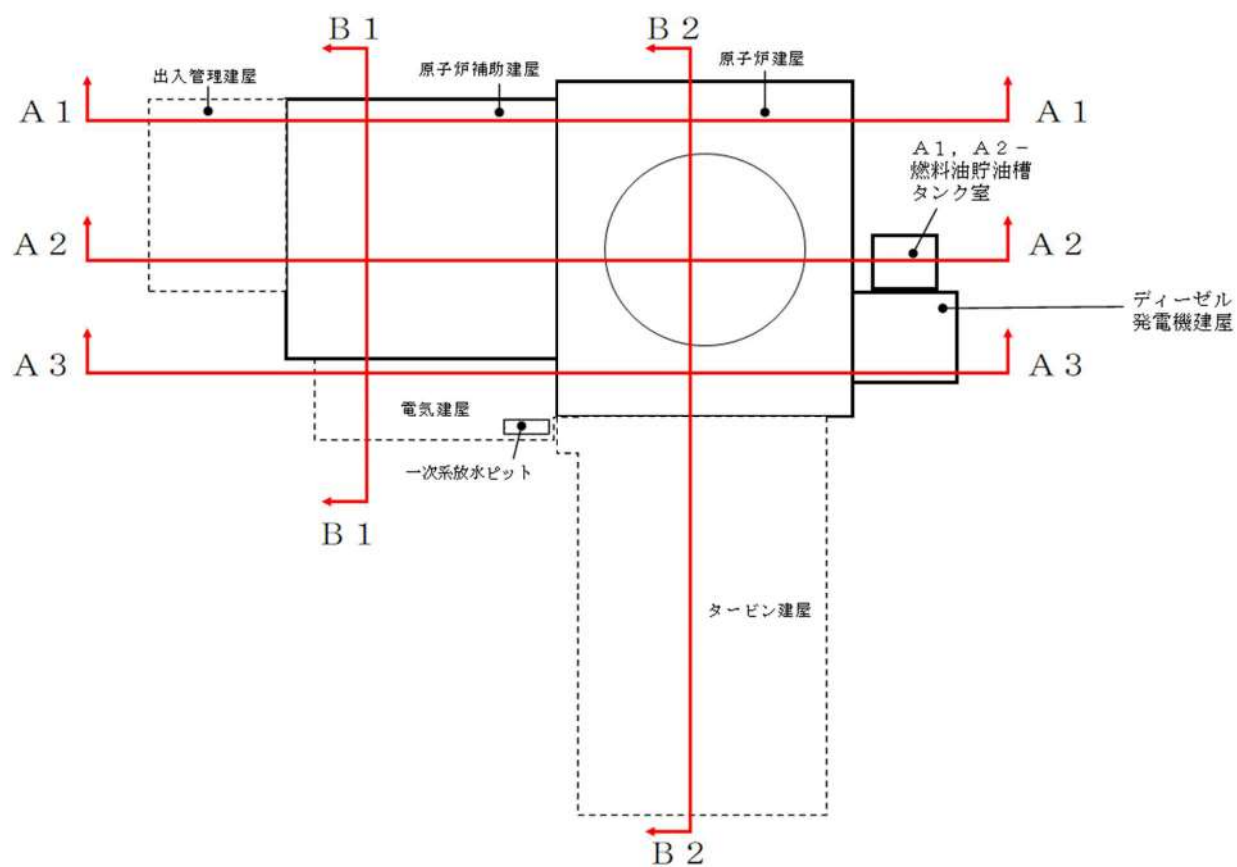
添付 1-6 図 集水管及びサブドレンの敷設状況写真（泊発電所 3 号炉建設時）



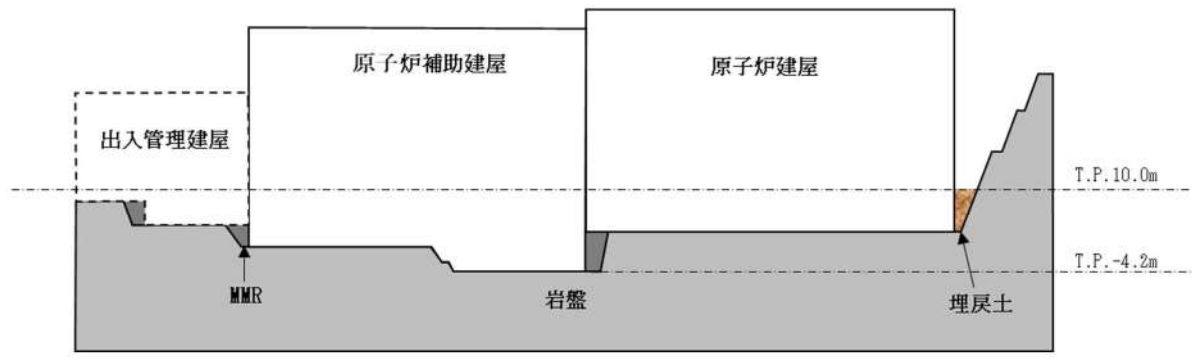
添付 1-7 図 湧水ピット断面図

原子炉建屋等の主要建屋の設置断面図

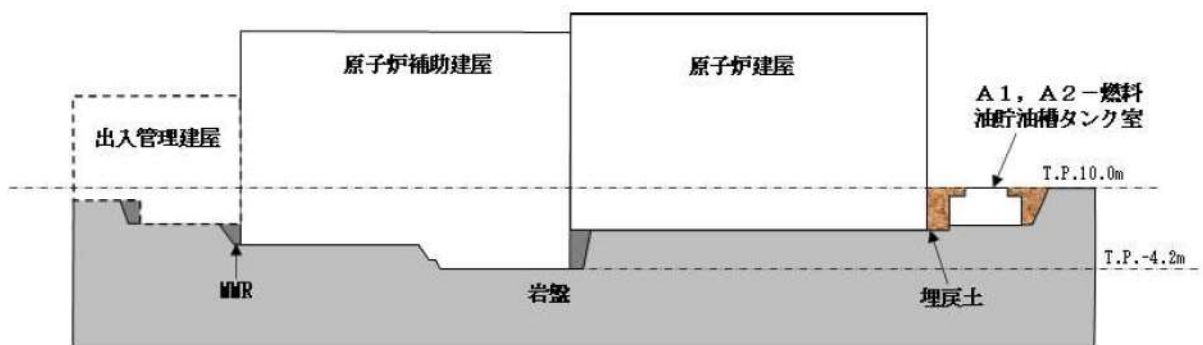
泊発電所 3 号炉の原子炉建屋等の主要建屋は、建設時に岩盤を掘削し設置されており、建屋地下部の側方は主に岩盤や他構造物に囲まれている。添付 2-1 図の断面指示図による各断面図を、添付 2-2 図～添付 2-6 図に示す。



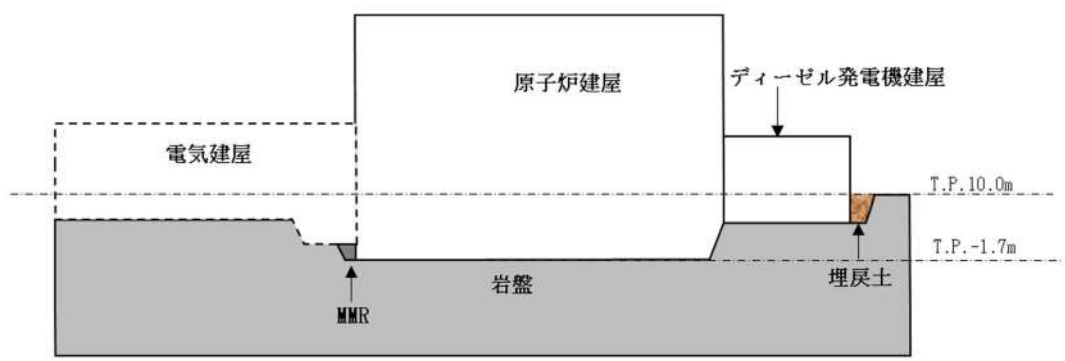
添付 2-1 図 断面指示図



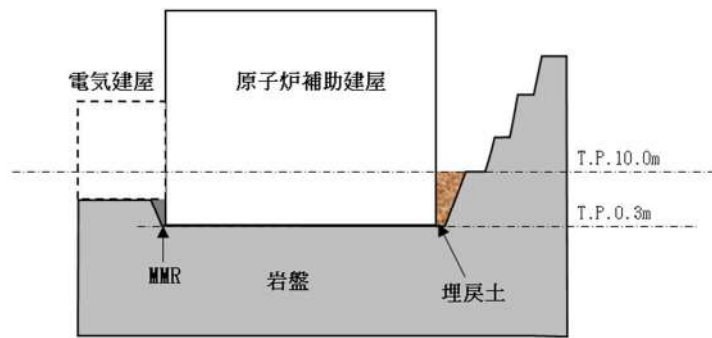
添付 2-2 図 A 1 - A 1 断面図



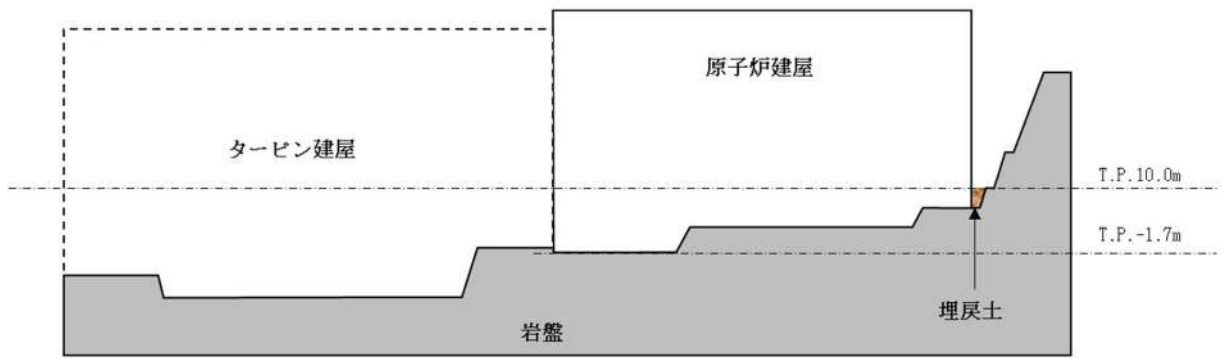
添付 2-3 図 A 2 - A 2 断面図



添付 2-4 図 A 3 - A 3 断面図



添付 2-5 図 B 1 - B 1 断面図



添付 2-6 図 B 2 - B 2 断面図

防潮堤を設置した先行炉との比較

津波防護を目的に岩着構造の防潮堤等を設置した先行炉のうち、女川原子力発電所 2 号炉，島根原子力発電所 2 号炉では，敷地の地下水を排水する設備を新たに設け信頼性向上を図っている。

添付 3-1 表では，泊発電所 3 号炉で信頼性向上対策を施した状態を想定した地下水排水設備と先行炉で地下水を排水する機能に期待する設備を，設備仕様，設置環境，湧水量等の観点で比較した結果を示す。

比較結果より，泊発電所 3 号炉の地下水排水設備に対して信頼性向上対策を施し，集水機能維持のために集水管の点検口を設けて保守管理性を確保することにより，泊発電所 3 号炉の地下水排水設備は，比較項目のうち「地下水排水設備／地下水位低下設備の機能に期待して耐震評価を行う施設」，「地下水排水設備／地下水位低下設備に排除／低減を期待する地下水位の影響」及び「地下水排水設備／地下水位低下設備の機能に期待する期間」が一致する島根原子力発電所 2 号炉と同等の信頼性を確保できていることを確認した。

添付 3-1 表 先行炉との比較 ※1

比較項目	泊発電所3号炉 (信頼性向上対策を施す場合)	女川原子力発電所2号炉	島根原子力発電所2号炉
地表面から原子炉建屋基礎下までの深さ	原子炉建屋：約10m 原子炉補助建屋：約15m	約30m	約20m
原子炉建屋基礎地盤のせん断波速度	平均2.1km/s	平均約1.4km/s	平均1.64km/s
集水ピットの配置	原子炉補助建屋内に湧水ピットを設置	・建屋基礎下より深部に揚水井戸を設置(既設) ・既設より深部に揚水井戸を設置(新設)	・建屋基礎下より深部に揚水井戸を設置(既設) ・既設より深部に揚水井戸を設置(新設)
地下水排水設備/地下水水位低下設備の機能に期待して耐震評価を行う施設	☆ 原子炉建屋等の主要建屋(原子炉建屋, 原子炉補助建屋, ディーゼル発電機建屋及びA1, A2-燃料油貯油槽タンク室)	◇ 建物・構築物(原子炉建屋, 制御建屋, 3号炉海水熱交換器建屋, 排気筒) □ 液状化影響を受ける「敷地広範囲」のアクセスルート, 屋外重要土木構築物等	◎ 建物, 構築物 (原子炉建屋, タービン建物, 廃棄物処理建物, 制御室建物, 排気筒)
地下水排水設備/地下水水位低下設備に期待して耐震評価を行う施設	「☆」に生じる揚圧力影響 ※2	「◇」と「□」の一部に生じる揚圧力影響及び液状化影響	「◎」に生じる揚圧力影響
地下水排水設備/地下水水位低下設備の機能に期待する期間	原子力発電所の供用期間の全ての状態	原子力発電所の供用期間の全ての状態	原子力発電所の供用期間の全ての状態
設計地下水水位	・地下水排水設備の機能に期待する原子炉建屋等の主要建屋は, 建屋基礎底面に設計地下水水位を設定 ・上記以外の施設等については, 地表面又は自然水位に基づき設計地下水水位を設定	・地下水水位低下設備(新設)の機能に期待する施設等については, その機能を考慮した設計地下水水位を設定 ・上記以外の施設等については, 地表面又は自然水位より保守的に設計地下水水位を設定	・地下水水位低下設備の機能に期待する建物, 構築物は基礎底面に設計地下水水位を設定 ・上記以外の施設等については, 地表面又は自然水位より保守的に設計地下水水位を設定
湧水量 (防潮堤等の設置前)	40~200m ³ /日 (実績) 年平均だと約80m ³ /日	500~2,000m ³ /日	約1,000m ³ /日
耐震重要度	耐震Cクラス	耐震Cクラス	耐震Cクラス
安全重要度	(設計基準対象施設)	(設計基準対象施設)	(設計基準対象施設)
設計上の要求	・Ss機能維持 ・湧水ピットを除く多重化, 外部事象への配慮, 非常用電源確保等	・Ss機能維持 ・揚水井戸を含む多重化, 外部事象への配慮, 非常用電源確保等	・Ss機能維持 ・揚水井戸を除く多重化, 外部事象への配慮, 非常用電源確保等
機能喪失時に建屋の設計条件を逸脱するまでの時間	約3時間	約24時間	24時間以上
保守管理性	・点検用アクセス開口の設置により原子炉建屋等の主要建屋基礎下の集水管全てを点検可能とする ・サブドレンは合成繊維管であり直接的な目視点検は集水管との接続部に限られるが, 岩盤からサブドレンに流入する湧水は清浄であり, 埋戻土由来の土砂類の持ち込みが否定できない集水管に比べて設置レベルが高いことを踏まえると, 流路を全閉塞するような堆積物が生じることは考え難い	新設揚水井戸の集水管は直管のみで構成されており, 設備構成部位の全てが保守管理性に優れる	新設揚水井戸の集水管は直管のみで構成されており, 設備構成部位の全てが保守管理性に優れる
地下水排水機能/地下水水位低下設備のイメージ図 (既設)			
地下水排水機能/地下水水位低下設備のイメージ図 (対策後)			

※1 先行炉である女川, 島根の情報にかかわる記載内容については, 公開資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものである

※2 主要建屋は岩盤を掘削して設置していることから, その側方は基本的に岩盤又は建屋が存在しており, 一部, 施工上の取り合いにより埋戻土が存在するものその範囲は僅かなことから, 液状化による影響は極めて小さいと考えられる。また, 主要建屋の地震応答解析では, 上記の設置状況を踏まえて保守的に, 解放基礎表面で設定した基準地震動をそのまま建屋モデルに直接入力する等, 入力地震動の算定(地盤応答解析)において埋戻土の影響は考慮していないことから, 詳細設計における建屋評価においても液状化による影響はないものと考えられる。なお, 主要建屋の揚圧力影響を低減させる目的で設置する地下水排水設備の効果により, 主要建屋周辺における地下水水位は建屋基礎底面に維持されることから, この観点においても主要建屋周辺の埋戻土の液状化は発生しないと考えられる。

重要度分類上の位置付けの整理

1. 設置許可基準規則における耐震重要度分類

耐震重要度分類指針の観点から地下水排水設備に関する信頼性向上について以下のとおり整理を行った。

設置許可基準規則における耐震重要度分類の考え方を添付 4-1 表に示す。

- ・ 設計基準対象施設の耐震重要度は、設置許可基準規則上、その重要度に応じたクラス分類（S，B，C），また，それらに該当する施設が示されており，地下水排水設備は，Sクラス設備及びBクラス設備のいずれにも該当しないため，Cクラスに分類できる。
- ・ 本編 4 項に示した地下水排水設備の設備要件にかかわる分析結果を踏まえ，原子炉建屋基礎等の間接支持構造物としての機能を確保する観点から，地下水排水設備の耐震性については，間接支持構造物に要求される耐震性（Ss 機能維持）を考慮する。
- ・ 以上より，地下水排水設備の耐震重要度分類については，耐震Cクラスに分類し，基準地震動に対して機能維持させる設計とする。

添付 4-1 表 設置許可基準規則における耐震重要度分類の考え方

耐震クラス	定義	対象とする施設の例	該当
S	地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいもの	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器、配管系 ・ 使用済燃料を貯蔵するための施設 ・ 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設 ・ 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設等 	×
B	安全性能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラス施設と比べ小さい施設	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設 ・ 放射性廃棄物を内蔵している施設（ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（昭和 53 年通商産業省令第 77 号）第 2 条第 2 項第 6 号に規定する「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。）等 	×
C	Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設	—	○

2. 設置許可基準規則における安全機能

設置許可基準規則第2条の観点から、地下水排水設備について以下のとおり整理を行った。

- ・地下水排水設備は、設置許可基準規則第2条に示されている安全機能を直接果たす構築物、系統及び機器ではない。

実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準
に関する規則における定義

第二条

五「安全機能」とは、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能であって、次に掲げるものをいう。

- イ その機能の喪失により発電用原子炉施設に運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生し、これにより公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがある機能
- ロ 発電用原子炉施設の運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の拡大を防止し、又は速やかにその事故を収束させることにより、公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止し、及び放射性物質が発電用原子炉を設置する工場又は事業所（以下「工場等」という。）外へ放出されることを抑制し、又は防止する機能

3. 安全機能の重要度分類

地下水排水設備が有する機能に着目し、設備の位置付けについての観点から発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針（以下「重要度分類審査指針」という。）に基づく整理を行った。

- ・地下水排水設備が有する機能について安全機能の重要度分類審査指針における位置付けを確認した結果、以降に示すとおり、「安全機能を有する構築物、系統及び機器」のいずれにも分類されていないことを確認した。

(1) 安全機能の区分

安全機能を有する構築物、系統及び機器は、それが果たす安全機能の性質に応じて、次の2種に分類される。

- ①その機能の喪失により、原子炉施設を異常状態に陥れ、もって一般公衆ないし従事者に過度の放射線被ばくを及ぼすおそれのあるもの（異常発生防止系、以下「PS」という。）。
 - ②原子炉施設の異常状態において、この拡大を防止し、又はこれを速やかに収束せしめ、もって一般公衆ないし従事者に及ぼすおそれのある過度の放射線被ばくを防止し、又は緩和する機能を有するもの（異常影響緩和系、以下「MS」という。）。

(2) 重要度分類

重要度分類審査指針では、PS及びMSのそれぞれに属する構築物、系統及び機器を、その有する安全機能の重要度に応じ、それぞれクラス1、クラス2及びクラス3に分類している。安全上の機能別重要度分類を添付4-2表に示す。

添付4-2表 安全上の機能別重要度分類

重要度による分類	機能による分類	安全機能を有する構築物、系統及び機器		安全機能を有しない構築物、系統及び機器
		異常の発生防止の機能を有するもの(PS)	異常の影響緩和の機能を有するもの(MS)	
安全に関連する構築物、系統及び機器	クラス1	PS-1	MS-1	—
	クラス2	PS-2	MS-2	
	クラス3	PS-3	MS-3	
安全に関連しない構築物、系統及び機器		—	—	安全機能以外の機能のみを行うもの

(3) 地下水排水設備の重要度分類上の位置付け

重要度分類審査指針の分類に基づき、地下水排水設備の位置付けを整理した結果、「安全機能を有する構築物、系統及び機器」のいずれにも分類されていない。

安全上の機能別重要度分類にかかわる定義及び機能と地下水排水設備の位置付けを添付 4-3 表～添付 4-5 表に示す。

添付 4-3 表 安全上の機能別重要度分類にかかわる定義及び機能と
地下水排水設備の位置付け

分類		定義	機能	地下水排水設備の位置付け
クラス 1	PS-1	その損傷又は故障により発生する事象によって、(a)炉心の著しい損傷、又は(b)燃料の大量の破損を引き起こすおそれのある構築物、系統及び機器	(1)原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	該当しない
			(2)過剰反応度の印加防止機能	該当しない
			(3)炉心形状の維持機能	該当しない
	MS-1	(1)異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	(1)原子炉の緊急停止機能	該当しない
			(2)未臨界維持機能	該当しない
			(3)原子炉冷却材圧力バウンダリの加圧防止機能	該当しない
			(4)原子炉停止後の除熱機能	該当しない
			(5)炉心冷却機能	該当しない
			(6)放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	該当しない
	安全上必須なその他の構築物、系統及び機器	(1)工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	該当しない	
(2)安全上特に重要な関連機能		該当しない		

添付 4-4 表 安全上の機能別重要度分類にかかわる定義及び機能と
地下水排水設備の位置付け

分類	定義	機能	地下水排水設備の位置付け	
クラス 2	PS-2 (1) その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物、系統及び機器	(1) 原子炉冷却材を内蔵する機能（ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。）	該当しない	
		(2) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	該当しない	
		(3) 燃料を安全に取り扱う機能	該当しない	
	(2) 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって、その故障により、炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物、系統及び機器	(1) 安全弁及び逃がし弁の吹き止り機能	該当しない	
	MS-2	(1) PS-2 の構築物、系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構築物、系統及び機器	(1) 燃料プール水の補給機能	該当しない
			(2) 放射性物質放出の防止機能	該当しない
		(2) 異常状態への対応上特に重要な構築物、系統及び機器	(1) 事故時のプラント状態の把握機能	該当しない
(2) 異常状態の緩和機能			該当しない	
		(3) 制御室外からの安全停止機能	該当しない	

添付 4-5 表 安全上の機能別重要度分類にかかわる定義及び機能と
地下水排水設備の位置付け

分類	定義	機能	地下水排水設備の位置付け	
クラス 3	PS-3 (1) 異常状態の起因事象となるものであって、PS-1 及び PS-2 以外の構築物、系統及び機器	(1) 原子炉冷却材保持機能 (PS-1, PS-2 以外のもの。)	該当しない	
		(2) 原子炉冷却材の循環機能	該当しない	
		(3) 放射性物質の貯蔵機能	該当しない	
		(4) 電源供給機能 (非常用を除く。)	該当しない	
		(5) プラント計測・制御機能 (安全保護機能を除く。)	該当しない	
		(6) プラント運転補助機能	該当しない	
	(2) 原子炉冷却材中放射性物質濃度を通常運転に支障のない程度に低く抑える構築物、系統及び機器	(1) 核分裂生成物の原子炉冷却材中への放散防止機能	該当しない	
		(2) 原子炉冷却材の浄化機能	該当しない	
	MS-3	(1) 運転時の異常な過度変化があっても、MS-1, MS-2 とあいまって、事象を緩和する構築物、系統及び機器	(1) 原子炉圧力の上昇の緩和機能	該当しない
			(2) 出力上昇の抑制機能	該当しない
(3) 原子炉冷却材の補給機能			該当しない	
(2) 異常状態への対応上必要な構築物、系統及び機器		緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	該当しない	

(4) 安全重要度の程度について

上述のとおり，地下水排水設備は設置許可基準規則第2条に示されている「安全機能」を直接果たす構築物，系統及び機器ではなく，重要度分類審査指針に定められた「安全機能を有する構築物，系統及び機器」のいずれにも分類されていない。

しかしながら，原子炉建屋等の主要建屋に多数の重要安全施設や重大事故等対処施設が設置されており，各々がその機能を必要とされる通常運転時から重大事故等時まで，原子力発電所の供用期間のすべての状態において，地下水排水設備の機能維持が必要であることを踏まえ，重要度分類審査指針を参照し，地下水排水設備の重要度の程度を確認する。

重要度分類審査指針の「IV. 分類の適用の原則」では，所要の安全機能を直接果たす構築物，系統及び機器を「当該系」，当該系が機能を果たすのに必要な構築物，系統及び機器を「関連系」とし，関連系については「当該系の機能遂行に直接必要となる関連系」と「当該系の機能遂行に直接必要はないが，その信頼性を維持し，又は担保するために必要な関連系」に分類した上で，後者の関連系は「当該系より下位の重要度を有するものとみなす」とされている。

ここで，地下水排水設備は，原子炉建屋等の主要建屋の耐震性を確保するために必要な設備であり，同建屋内に設置されている重要安全施設や重大事故等対処施設の機能遂行に直接必要はないが，その信頼性を維持し，又は担保するために必要な設備である。

以上を踏まえ，地下水排水設備は重要度分類審査指針にある「当該系の機能遂行に直接必要はないが，その信頼性を維持し，又は担保するために必要な関連系」と同位の設備と位置付ける。

集水管及びサブドレンの信頼性確保にかかわる検討

1. はじめに

集水機能を担う集水管（硬質ポリ塩化ビニル製有孔管：φ200mm）及びサブドレン（ポリプロピレン樹脂製合成繊維管：φ100mm）は、通水面積の減少等による機能喪失リスクを考慮する必要がある。そのため、集水管及びサブドレンの設置状況や保守管理性を踏まえ、機能喪失に至る可能性のある事象を挙げ、それらに対する対応の考え方を添付 5-1 表に整理した。

添付 5-1 表 集水機能の喪失要因と対応の考え方（1/2）

機能喪失への影響が想定される事象	設計・保守管理における対応の考え方と取扱い
<p>経年劣化や地震により損傷し、断面形状を保持できなくなる。</p>	<p>《耐久性》</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 集水管、サブドレン共に紫外線や高熱環境にない建屋基礎下において、劣化しない材料を選定している。 ● また、両者共に疎水性の材料特性を有しており、腐食性の水質を示す泊発電所の地下水によって劣化することはない（3項参照）。 <p>《耐震性》</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 泊発電所 3 号炉に敷設されている集水管及びサブドレンの製品は、土中深部に直接埋設し、管上土圧を受けた状態で継続使用する前提で設計・製造されている。 ● これに対し、原子炉建屋等の主要建屋に設置された集水管及びサブドレンは、岩盤と建屋基礎底面等に囲まれた範囲に設置されており、地震時（Ss）にも設置空間が保持され、地震時に作用する荷重は自重と管周囲に充填された碎石起因によるものに限られることから、地震時に損傷することはない。 ● 一方、埋戻土下に敷設された集水管については、地震時に管上の埋戻土によって生じる荷重も考慮し、地震時に埋戻土による荷重が集水管に作用しない構造への改造又は埋戻土による荷重が集水管に作用した場合でも十分な強度を確保できる仕様への変更を行う。 ● 具体的には、埋戻土下の集水管上部を有孔鋼板で覆う対策が考えられ、この対策により埋戻土下の集水管も、建屋基礎下の集水管と同様に、地震時に自重と碎石による荷重のみを考慮すればよい使用環境とする。また、埋戻土下の集水管を有孔鋼管に仕様変更し、集水管自体の強度を増す対策も考えられることから、施工性や対策後の保守管理性も考慮し、詳細設計段階で対策仕様を決定する。その際、地下水が腐食性を示す水質であることも考慮した設計とする（3項参照）。 ● 集水管及びサブドレンが設置される岩盤については、地盤安定性評価において算出される局所安全率の結果から得られる岩盤のせん断破壊の状況を踏まえても、集水機能を確保できることを確認する。

添付 5-1 表 集水機能の喪失要因と対応の考え方 (2/2)

機能喪失への影響が想定される事象	設計・保守管理における対応の考え方と取扱い
<p>集水管及びサブドレンの有効範囲以外からの雨水流入，その他想定以上の雨水流入により，集水能力が不足する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 泊発電所の敷地に降る雨は，構内排水路や敷地表面を介して，防潮堤下に設置する構内排水設備に導く設計としており，構内排水設備は設計基準降水量（57.5mm/h）に対して十分な保守性を有する排水機能を有しているため，長期間に渡って降水が敷地に滞留し続けることで，集水管及びサブドレンに流入する湧水（雨水）が著しく増加することはない。 ● 泊発電所 3 号炉において，過去の降雨時に湧水量が増加した最大実績値は約 200m³/日であり，これは集水管 1 本の許容流量（1,000m³/日以上）を十分に下回っている。 ● 今後，防潮堤が設置される過程及び設置以降において，湧水量を継続的に測定し，集水能力を超えていないことを確認する。
<p>土砂流入により通水面積が減少し，集水機能を喪失する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 湧水量に対し十分な余裕を有する断面となる管径を設定するとともに，定期的な点検，集水管については土砂排除等の清掃を実施する。（2 項 (1) (2) 参照） ● 集水管については，原子炉建屋等の主要建屋の基礎直下及びその周囲に敷設される範囲全域を目視点検及び清掃可能とするため，地上部からアクセス可能な開口を新たに設ける（2 項 (3) 参照）。 ● 集水管の有孔部から管内への土砂流入は微量であり，有孔部に対し管径が十分大きく，土砂堆積による通水断面の減少は非常に緩慢に進行することから，十分な余裕を有する断面をもつことで，短期間で機能喪失には至らない。 ● サブドレンは集水管に比べて設置レベルが 150mm 高いことに加え，埋戻土下部には敷設されないことを踏まえると，サブドレンが全閉塞するような土砂堆積が生じることは考え難い（添付資料 1 参照）。
<p>地下水に含まれる不純物の析出により通水面積が減少し，集水機能を喪失する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 主要建屋周囲の地下水位観測孔から採水した地下水を水質分析した結果によると，地下水は清浄（電気伝導率：約 50～500 mS/m）であり，腐食性を示す水質であるため，各種スケールが大量に生成される水質ではないことを確認している。（3 項参照）
<p>点検口設置工事等による目詰まりにより集水・排水機能を喪失する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 施工時の規制を行う（施工方法の検討）。

以上より，土砂流入をはじめとして，機能喪失への影響が想定される事象は，設計（耐久性・耐震性の確保）並びに保守管理により対処し集水管及びサブドレンの機能を維持することが可能である。

2. 集水管の保守管理手法

前項に示す機能喪失事象の整理により，集水管の保守管理の重要性が抽出されたことから，集水管の敷設状況等を踏まえた保守管理手法を検討した。

(1) 内部点検及び管内清掃

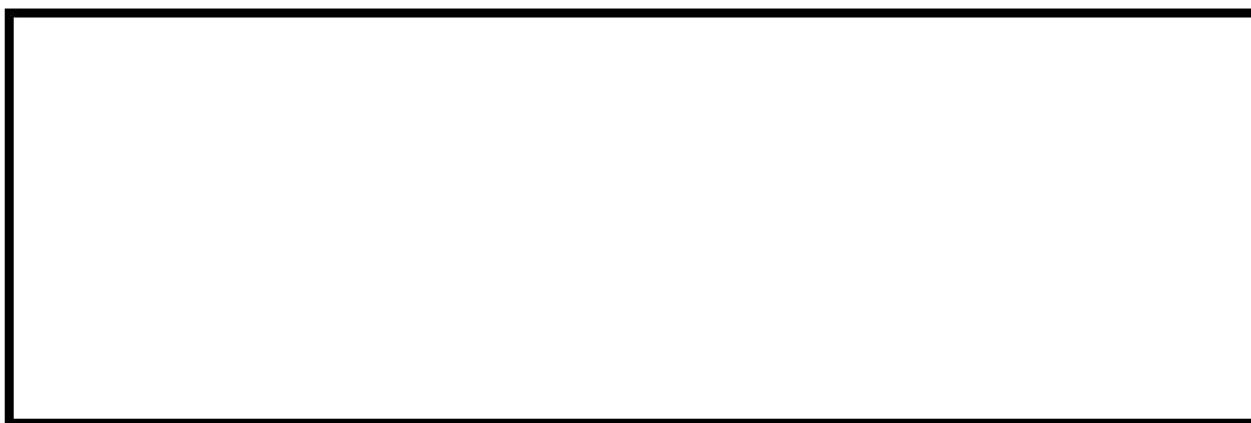
現在，泊発電所3号炉では集水管の内部点検と管内清掃を実施する装置として，農業用の暗渠管向けに開発された管内清掃装置の採用を検討している。装置の概略を以下に示す。

①装置の構成

装置は高圧ポンプユニット，耐圧ホース（ホースリール），カメラ付噴射ノズルにて構成され，先端のノズル後方から噴射される高圧水によって装置の推進力を生むと同時に噴射された高圧水により管内清掃を行う構造である。

②カメラ付噴射ノズル

カメラ付噴射ノズルの首を振ることで進入方向を選択できることが特徴であり，曲がり易さを優先して噴射ノズルを設計している。



: 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。

添付 5-1 図 カメラ付噴射ノズル

③推進距離

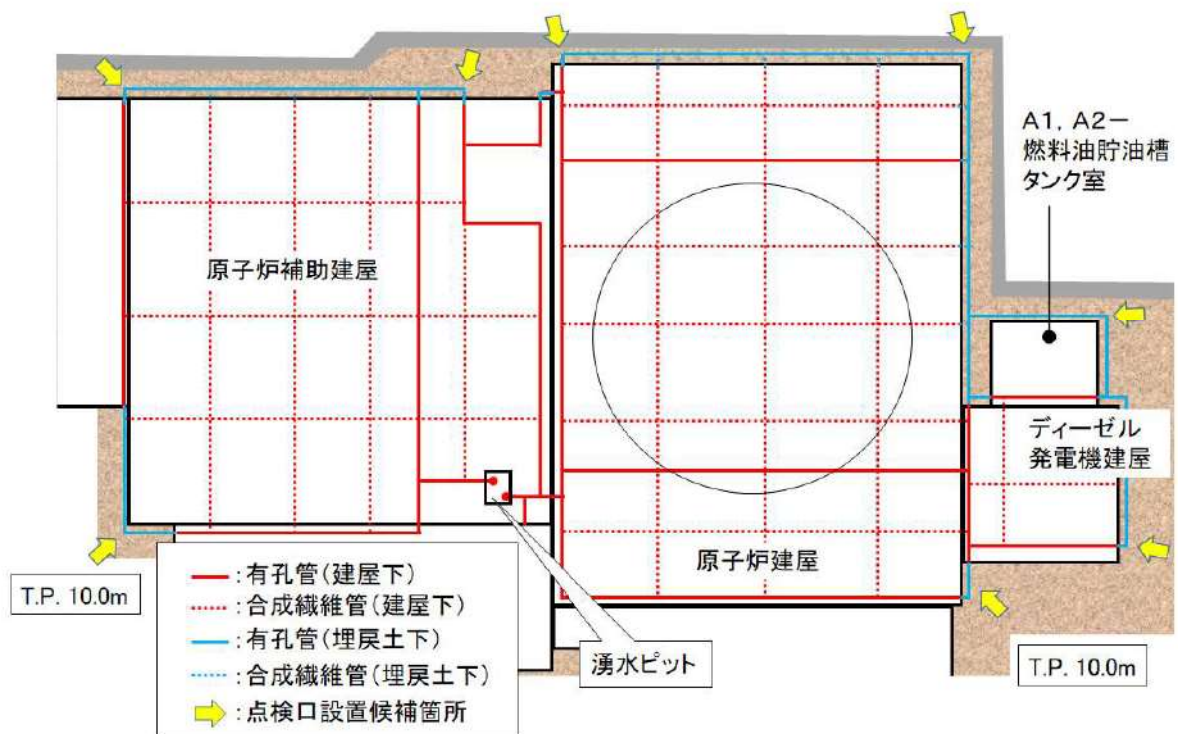
噴射ノズル外径との遊びが少ない場合（配管系φ100mm）に，直管に対して推進距離が300mまでの実績がある。遊びが少なければ噴射の反力が推進力として効率的に利用されるが，配管径が大きくなると遊びも大きくなるため挿入距離は変わる。

(2) 点検頻度

今後、定期事業者検査ごとに管内清掃装置を用いた集水管内部点検を計画し、清掃の実績を踏まえて適宜点検頻度を検討する。

(3) 集水管の点検口

管内清掃装置による集水管の清掃を確実にするため、カメラ付噴射ノズルを挿入するためのアクセス開口（点検口）を複数設ける計画である。点検口は添付 5-2 図に示す埋戻土下部の集水管敷設範囲角部（曲り部）に設けることを検討している。

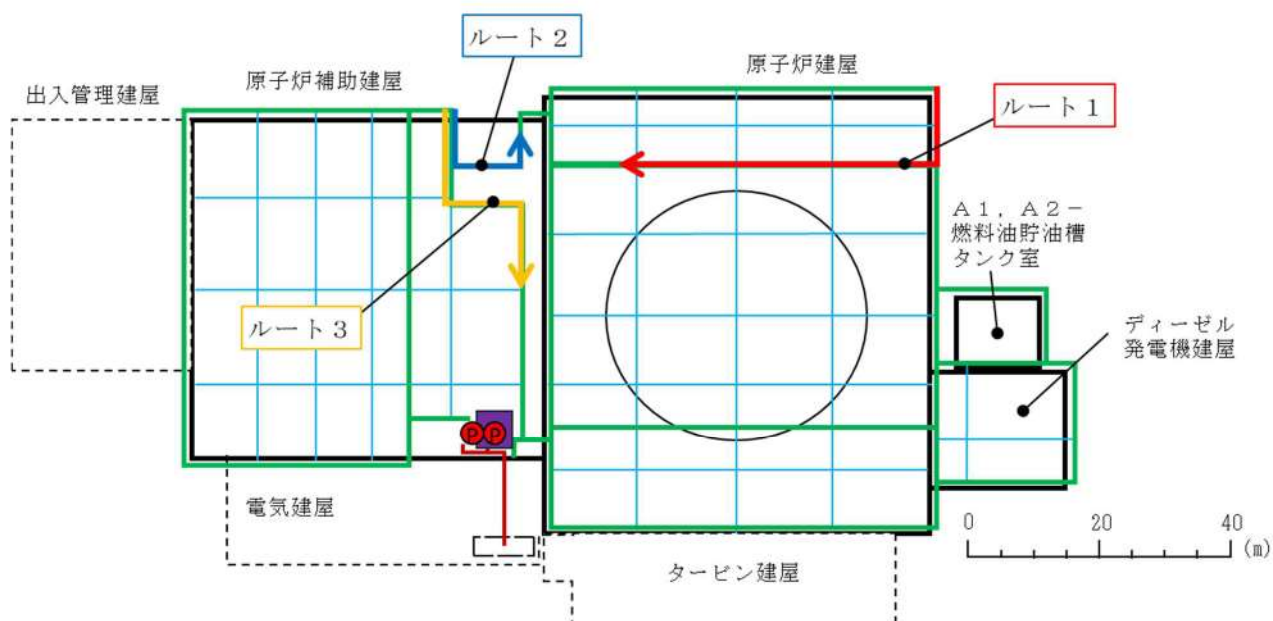


添付 5-2 図 点検口の設置候補箇所

④モックアップによる検証

管内清掃装置を挿入するためのアクセス開口（点検口）から集水管の全域を内部点検及び管内清掃が可能かを確認するため、地下水の集水管敷設ルートを模擬したモックアップ検証を実施した。集水管の曲がり部や管路の長さは管内清掃装置を挿入する際の抵抗となることから、計画するアクセス開口の位置や集水管の高低差も考慮し、管路の抵抗が大きくなると考えられる集水管ルートを選定した。選定した集水管内ルートを添付 5-3 図に示す。

ルート1は曲がり数が多く管路の総延長が最大となるルート、ルート2及びルート3はコの字形状とクランク形状であり曲がりのパターンが異なるルートとして選定した。添付5-4図の試験装置を用いて管内清掃装置の実機適用性を確認した結果、モックアップ検証で設定したルートで模擬集水管の全範囲に亘る内部確認及び清掃、管内清掃装置の回収が可能であることを確認できたため、実機に適用した場合においても管内清掃装置による点検及び清掃が確実に実施できる。

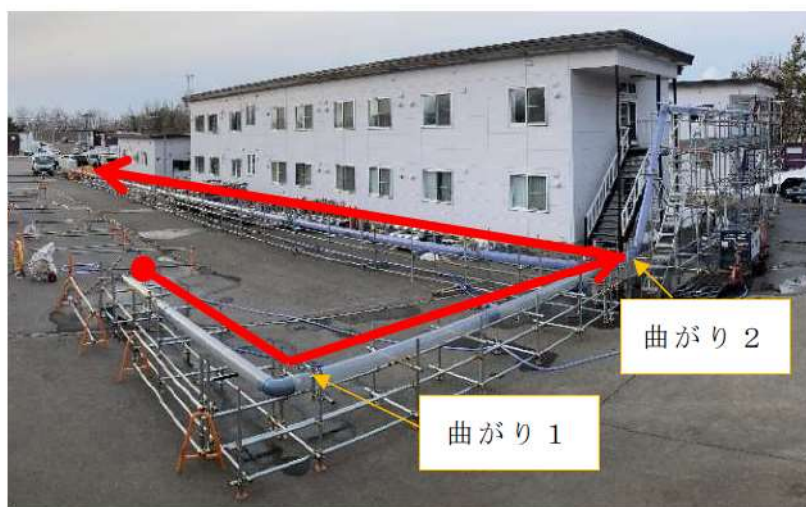


添付5-3図 モックアップ試験装置の集水管想定範囲



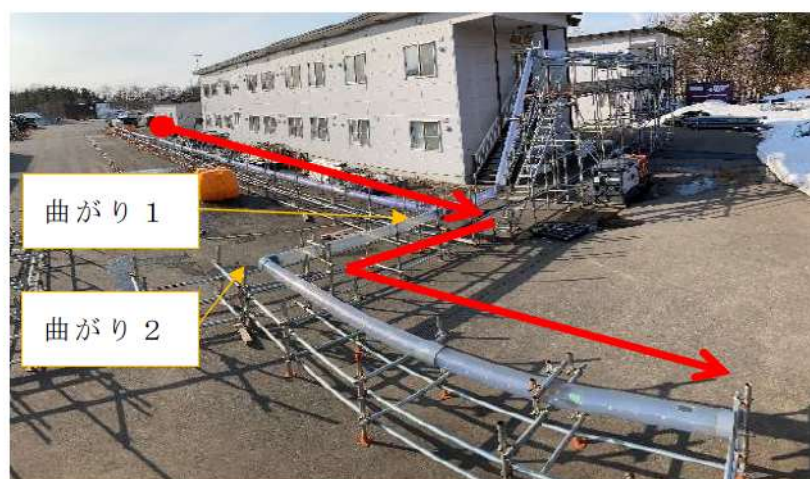
曲がり数：3，管路の長さ：約70m

添付5-4(1)図 モックアップ試験装置の全景（ルート1）



曲がり数：2，管路の長さ：約 70m

添付 5-4(2) 図 モックアップ試験装置の全景（ルート 2）



曲がり数：2，管路の長さ：約 70m

添付 5-4(3) 図 モックアップ試験装置の全景（ルート 3）



添付 5-4(4) 図 管内清掃装置進行時の様子

3. 地下水の水質分析結果

泊発電所3号炉周辺の地下水位観測孔から地下水を採取し、水質を確認した結果、地下水は清浄であり、腐食性を示す水質であるため、現時点において集水管及びサブドレン内に各種スケールが大量に生成される水質ではないことを確認している。

次項以降に、採水を行った地下水位観測孔や採水方法、確認項目ごとの水質分析結果を示す。

(1) 採水位置

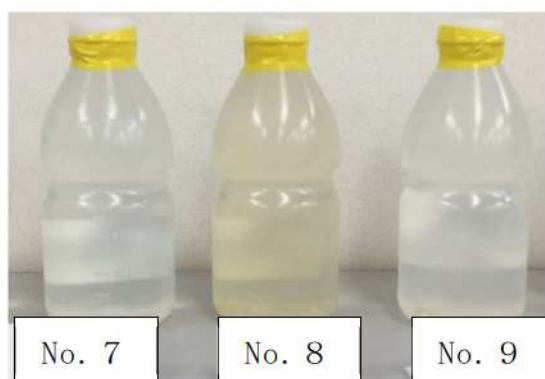
泊発電所3号炉の地下水位観測孔のうち、集水管及びサブドレンに近接している3箇所から地下水を採水し水質分析を実施した。



添付 5-5 図 採水位置図

(2) 採水方法

地下水位観測孔の地下水は、極力地山中の新鮮な地下水を汲み上げるため、採水する前日にあらかじめ孔内に溜まっている水を汲み上げておき、新たに流入してきた地下水を汲み上げるようにした。



添付5-6図 採水した試料

(3) 水質分析試験結果

地下水の水質分析結果を添付5-2表に示す。水質分析の試料となった地下水は清浄であり、腐食性を示す水質であるため、現時点において各種スケールが大量に生成される水質ではないことを確認した。No. 9の電気伝導率が大きい原因は、外海からの水しぶき等により敷地に飛散した塩分を含有しているためと推定される。

添付5-2表 地下水の水質分析結果（令和3年2月25日 採水）

項目	試料名	No. 7	No. 8	No. 9
pH	—	7.3	7.5	6.8
電気伝導率	mS/m	51.5	68.4	526
ランゲリア指数※	—	-0.86（腐食）	-0.64（腐食）	-0.91（腐食）

※ ランゲリア指数とは、水の実際のpHと理論的pH（pHs：水中の炭酸カルシウムが溶解も析出もしない平衡状態にある時のpH）との差のことであり、炭酸カルシウムスケール形成のされやすさの目安となる。ランゲリア指数が正の値で絶対値が大きいほど炭酸カルシウムの析出が起りやすく、ゼロであれば平衡状態にあり、負の値では炭酸カルシウムの被膜は形成されないことを示す。

なお、地下水位観測孔から採水し、ランゲリア指数を分析したのは添付5-2表で示した令和3年2月が初めてであったことから、一定時間経過後にも結果が著しく変化しないことを確認するため、令和4年2月に同じ箇所から採水した試料に対する水質分析結果は添付5-3表のとおりであり、令和3年2月の分析結果と同様に、ランゲリア指数は腐食性を示す結果となっている。

添付5-3表 地下水の水質分析結果（令和4年2月16日 採水）

項目	試料名	No. 7	No. 8	No. 9
pH	—	7.0	7.1	6.2
電気伝導率	mS/m	46.6	63.5	807
ランゲリア指数※	—	-1.38（腐食）	-1.01（腐食）	-1.58（腐食）

地下水排水機能喪失後の猶予時間について

1. はじめに

泊発電所 3 号炉の地下水排水設備に対しては、「地下水排水設備に安全重要度クラス 1 相当の要求は課さないものの、供用期間のすべての状態において機能喪失しない設計とする」ことを基本方針とし、設備に課すべき設備要件を検討した。検討結果として整理した設備要件を既設の地下水排水設備に適用すると共に、集水管へのアクセス開口の設置等の保守管理上の配慮も行うことで、供用期間のすべての状態において地下水排水設備が機能喪失しない設計が可能であることを確認している。

一方、添付資料 3 に示す泊発電所 3 号炉と島根原子力発電所 2 号炉の比較結果では、万一の地下水排水設備の機能喪失時には、建屋の設計条件を逸脱するまでの時間について、建屋基礎底面の直下の集水管で地下水を集水する泊発電所 3 号炉と、敷地深部に新規に敷設される集水管で地下水を集水する島根原子力発電所 2 号炉を比べると、泊発電所 3 号炉で建屋の設計条件を逸脱するまでの時間が約 3 時間と短いことが確認されている。

次項以降では、地下水排水設備（既設）の供用時に、地下水の排水機能を全喪失した想定で、排水機能に期待できない時間がどの程度継続すると原子炉建屋等の主要建屋の耐震性を損なう可能性があるかを「猶予時間」として算出した結果、約 3 時間となった根拠とその妥当性を示す。

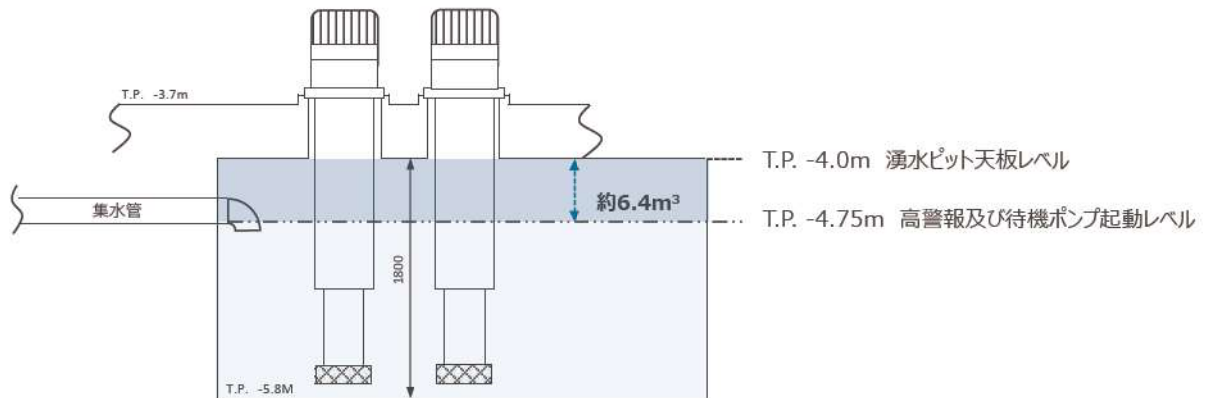
2. 猶予時間の算出

猶予時間の算出は、建屋の耐震性を維持できると想定される地下水位の上限を設定し、当該の地下水位より深部に設置される湧水ピットと集水管で地下水を貯留できる容量（下記 a.）を想定湧水量（下記 b.）で除して算出する。

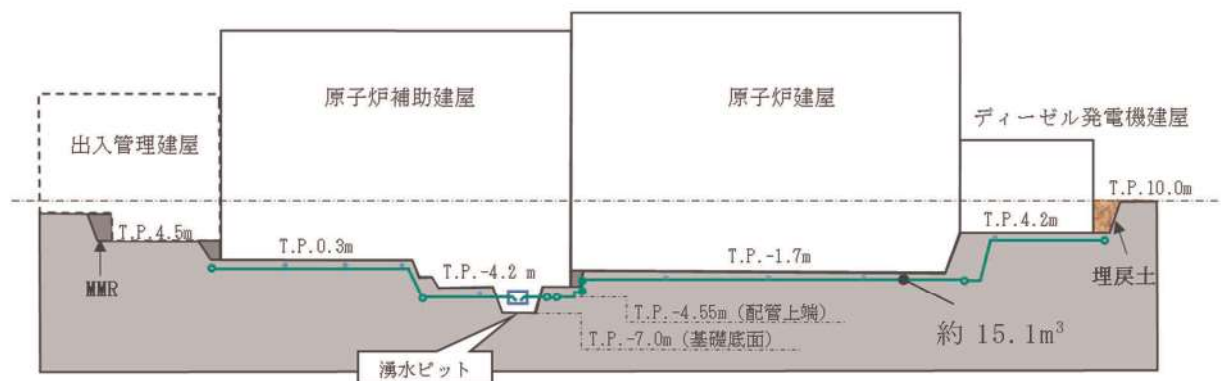
a. 湧水ピットと集水管による貯留可能量

貯留可能量は、地下水排水設備（既設）により地下水の排水機能が維持された状態において、想定される最も高い湧水ピット水位を初期水位とし、初期水位で地下水の排水機能を期待できなくなった以降の水位上昇時に、原子炉建屋等の主要建屋の耐震性を維持できると想定される地下水位より深部において、確実に貯留を見込める容量として算出する。

具体的には、初期水位として湧水ピット水位高警報の発報水位である T.P. -4.75m を想定し、原子炉補助建屋の基礎下端レベルである T.P. -4.2m までの範囲で確実に貯留を見込める容量に加え、建屋の耐震性を維持できると想定される地下水位（3. 項参照）として、T.P. 0m 付近までの範囲で貯留を見込める容量も考慮して算出した。これにより、湧水ピット内容量（約 6.4m³）と集水管内容積（約 15.1m³）の合計 21.5m³ を貯留可能量として設定した。



添付 6-1 図 貯留を考慮する範囲（湧水ピット）



添付 6-2 図 貯留を考慮する範囲（集水管）

b. 想定湧水量（暫定の解析結果）

想定湧水量は、設置許可段階で「設計地下水位の設定方針」の策定を目的に行った暫定の三次元浸透流解析の予測解析で用いた解析モデル（別紙-10「設計地下水位の設定方針について」に詳述）を流用して導出した結果である172.1m³/日を用いる。

添付6-1表に示すとおり、猶予時間の算出結果は約3時間となった。

添付 6-1 表 猶予時間の算出結果

a. 貯留可能量	b. 想定湧水量 (暫定の解析結果)	猶予時間 (a. / b.)
21.5 m ³	172.1 m ³ /日	2 時間 59 分

3. 建屋の耐震性を維持できると想定される地下水位について

原子炉建屋等の主要建屋の設計においては、地下水位による影響は考慮していないものの、仮に揚圧力が作用したとしても、ただちに耐震性が損なわれることはないと考えられる。ここでは、地下水位が上昇した場合の耐震性への影響について検討した。

仮に T.P. 0m まで地下水位が上昇すると想定した場合に揚圧力の影響を受ける範囲は、添付 6-3 図に示すとおり原子炉建屋及び原子炉補助建屋の基礎版の一部範囲と限定的であり、この場合に生じる揚圧力は建屋重量に対して非常に小さいものとなる。

各建屋重量と、T.P. 0m まで地下水位が上昇した場合に想定される揚圧力との割合を添付 6-2 表に示す。

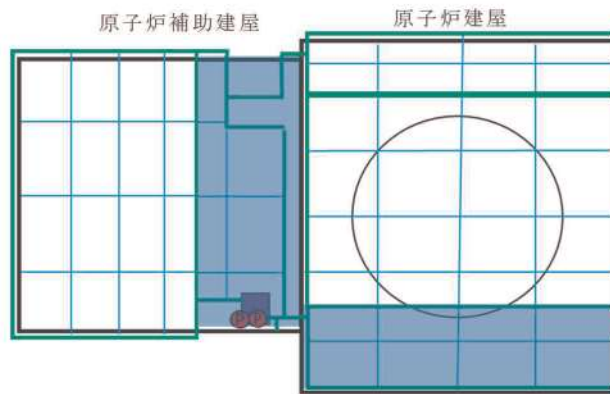
添付 6-2 表 建屋重量と揚圧力 (T.P. 0m 水位) の割合

	①建屋重量	②想定される揚圧力	割合 (②/①)
原子炉建屋	2,343,496 kN	20,382 kN	0.9 %
原子炉補助建屋	1,188,470 kN	58,604 kN	4.9 %

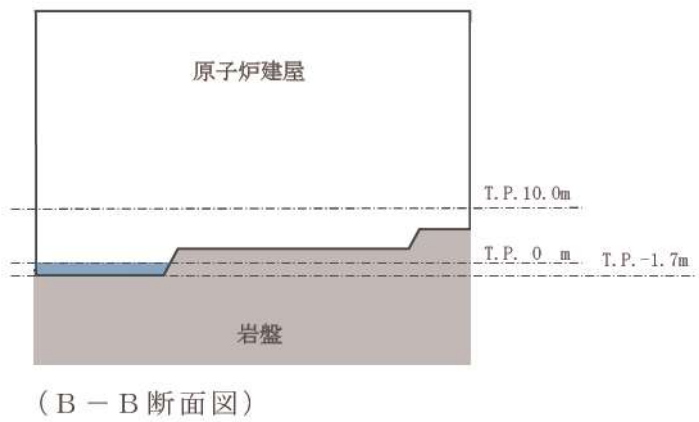
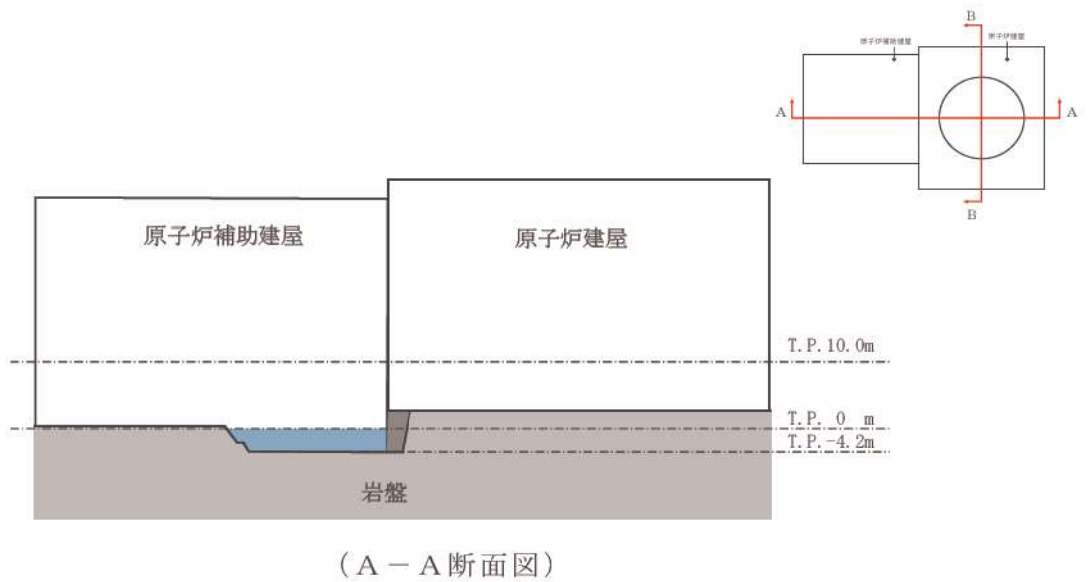
添付 6-2 表に示すとおり、建屋重量に対する揚圧力の割合は、原子炉補助建屋で 5%程度である。

一方、設計時における原子炉補助建屋基礎版の耐震裕度 (必要配筋量/設計配筋量) は、最大で 0.8 程度であることから、仮に T.P. 0m 水位での揚圧力が作用しても、耐震性への影響は小さいものと考えられる。

以上より、地下水位が T.P. 0m 付近まで上昇したとしても、建屋の耐震性は維持できると判断した。



添付 6-3 図 T.P. 0m 水位において揚圧力の影響を受ける範囲 (1/2)



添付 6-3 図 T.P. 0m 水位において揚圧力の影響を受ける範囲 (2/2)

地下水の排水経路について

1. 概要

本資料は、地下水排水設備による地下水の排水経路について、湧水ピットポンプから最終的な排水先である外海までの排水経路を示すとともに、地震影響を考慮した場合においても、排水経路により地下水が排水可能であることを説明するものである。

2. 排水経路の排水能力

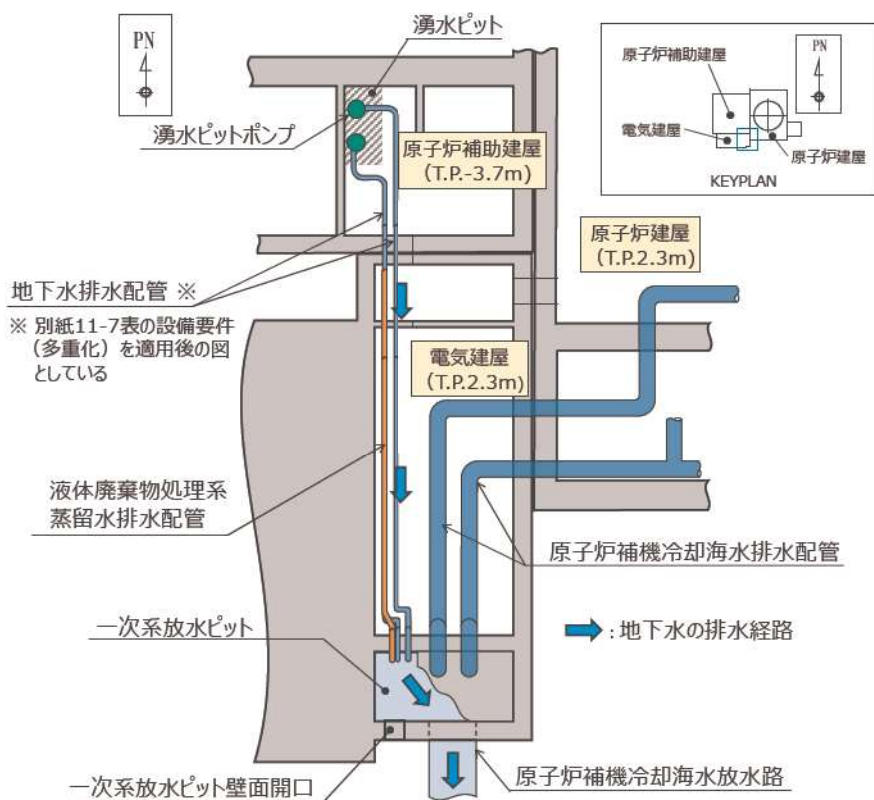
排水経路の排水能力は、詳細設計段階で今後設置する津波防護施設や MMR 等の状況を反映して三次元浸透流解析の予測解析を実施し、排水が必要な湧水量を確認した上で、その湧水量を上回る排水能力とする。

本資料における検討としては、別紙 11-10 表で示した通り、暫定の想定湧水量 $172.1\text{m}^3/\text{日}$ を踏まえ、既存の湧水ピットポンプの排水能力 $25\text{m}^3/\text{h}$ ($600\text{m}^3/\text{日}$) を必要な排水能力として検討する。

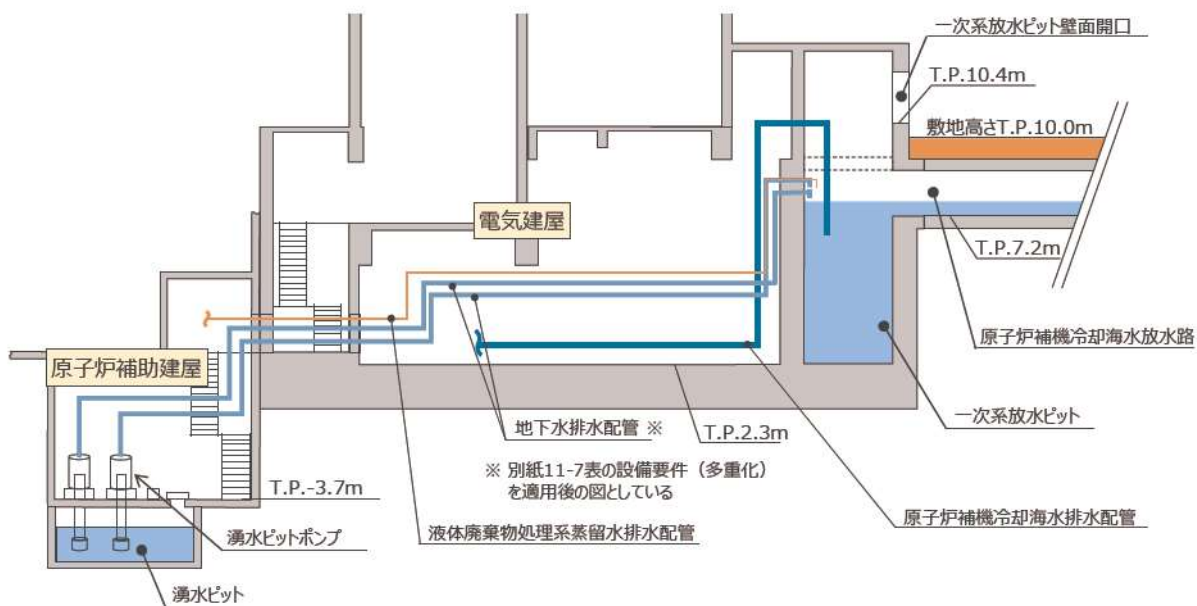
3. 地下水の排水経路

原子炉補助建屋内の湧水ピットに集水した地下水は、湧水ピットポンプで汲み上げ、地下水排水配管により建屋内を送水し、一次系放水ピットに排水される。一次系放水ピットからは、原子炉補機冷却海水放水路、放水ピット、放水路を経て放水池に導かれ、放水口から外海へ放出される。

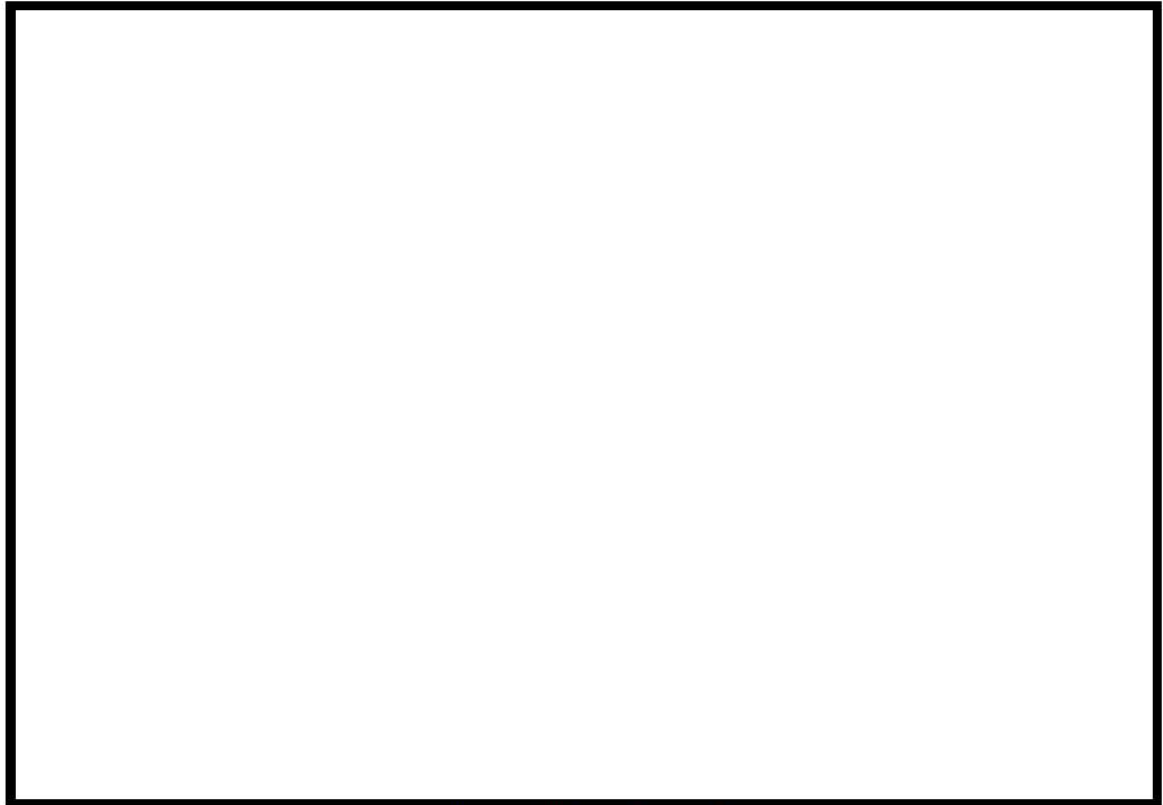
地下水の排水経路について、湧水ピットから一次系放水ピットまでの建屋内の排水経路を添付 7-1 図、添付 7-2 図に示す。また、一次系放水ピットから放水口までの建屋外の排水経路を添付 7-3 図、添付 7-4 図に示す。



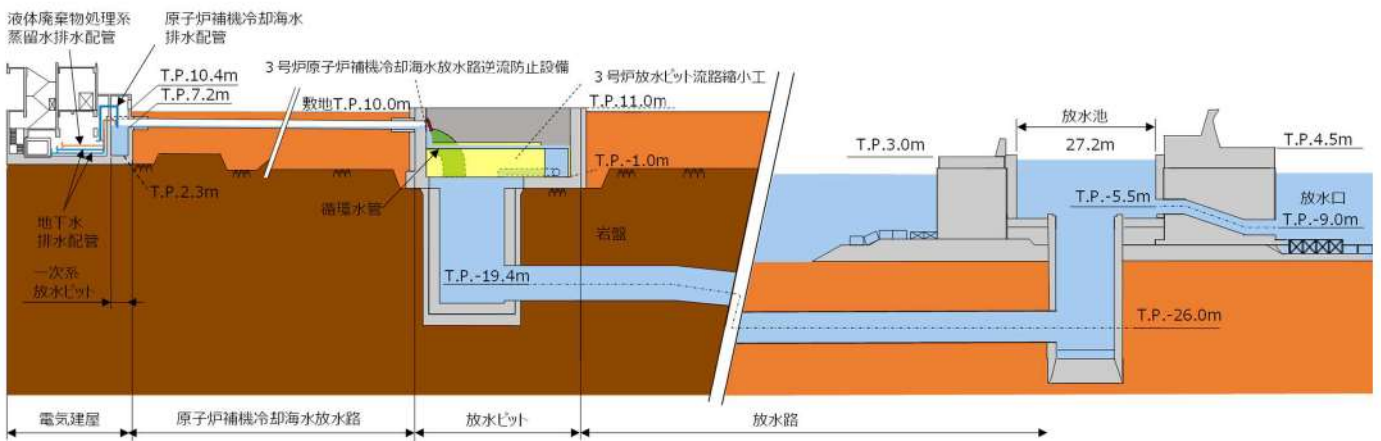
添付 7-1 図 地下水排水経路（建屋内平面図）



添付 7-2 図 地下水排水経路（建屋内断面図）



添付 7-3 図 地下水排水経路（建屋外平面図）



添付 7-4 図 地下水排水経路（建屋外断面図）

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。

4. 地下水の排水経路を構成する施設の概要

(1) 湧水ピットポンプ（地下水排水設備の構成部位）

湧水ピットポンプは耐震Cクラスの縦置うず巻式ポンプであり，湧水ピットに2台設置されている（添付 7-5 図）。湧水ピットポンプ 1 台の定格流量は 25m³/h である。



添付 7-5 図 湧水ピットポンプ写真

(2) 地下水排水配管（地下水排水設備の構成部位）

地下水排水配管は耐震Cクラスの炭素鋼配管（既設は内径約 50mm）であり，湧水ピットポンプ出口から一次系放水ピットまで地下水を移送するため，原子炉補助建屋及び電気建屋を間接支持構造物とし同建屋内に敷設される（添付 7-6 図）。現状，2 台の湧水ピットポンプ出口に接続した地下水排水配管は，原子炉補助建屋内で合流し電気建屋に導かれているが，今後，地下水排水設備の信頼性向上を図る目的で別紙 11-7 表で示した設備要件を適用し，2 台の湧水ピットポンプ各々から一次系放水ピットまで地下水排水配管を敷設する。

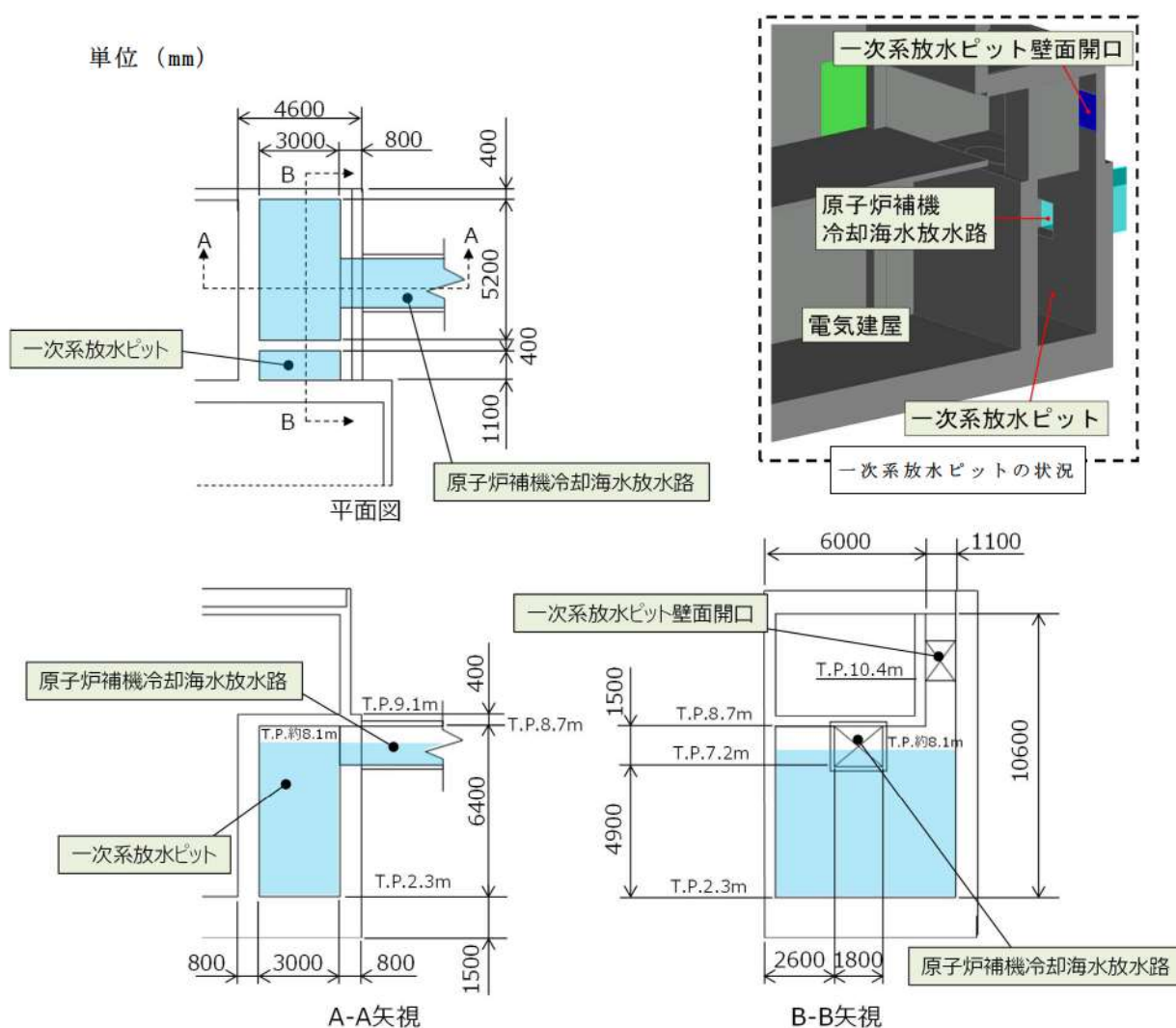


添付 7-6 図 地下水排水配管写真（電気建屋）

(3) 一次系放水ピット

一次系放水ピットは電気建屋と一体構造であり、電気建屋の地下部に設置されている（添付 7-7 図）。ピット底面の T.P. 2.3m から原子炉補機冷却海水放水路の接続部上端である T.P. 8.7m までのピット容積は約 120m³ であり、ピット水位は、添付 7-1 表で示す各系からの排水を受け入れた場合でも最大 T.P. 約 8.1m（原子炉補機冷却海水ポンプの 4 台起動時）となる。

なお、防潮堤設置以前の泊発電所 3 号炉では、排水経路のうち基準地震動に対する構造強度を確保する施設を一次系放水ピットまでとし、原子炉補機冷却海水放水路が地震によって損傷（閉塞）した際には、敷地（T.P. 10m 盤）に設置した一次系放水ピット壁面開口から排水し、敷地全体を流れて護岸から外海へ導く設計としていた（別紙参照：4 条-別紙 11-添付 7-35, 36）。



添付 7-7 図 一次系放水ピット断面図

添付 7-1 表 一次系放水ピットへの排水流量一覧

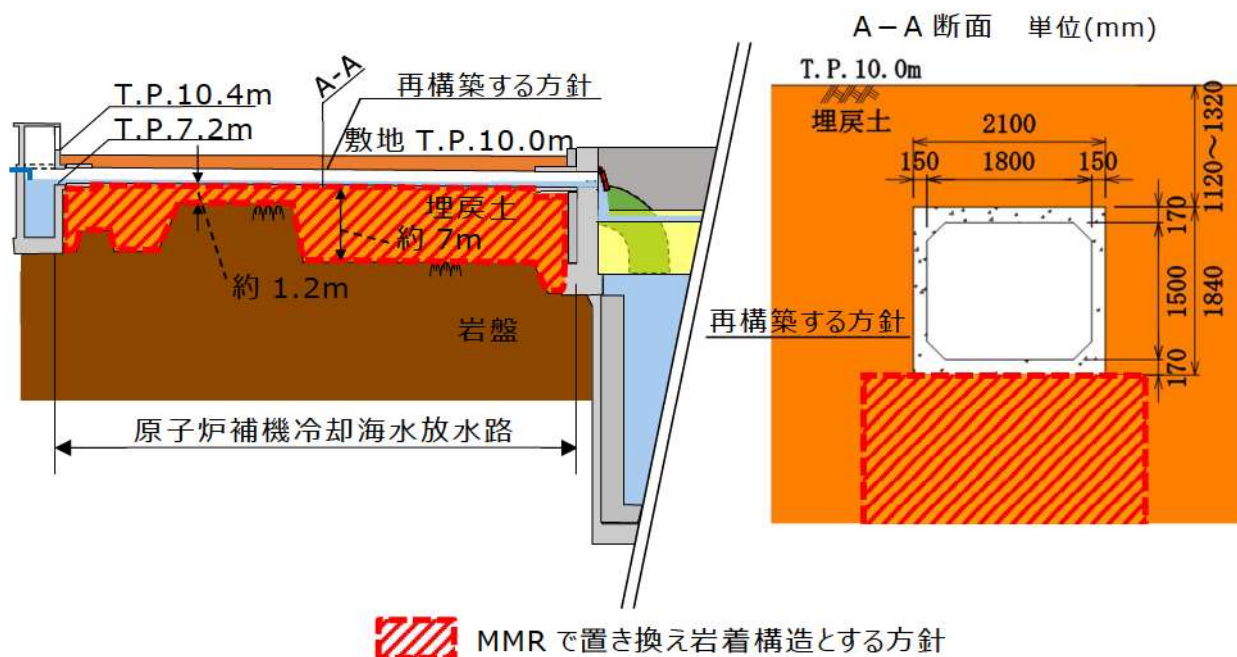
	排水流量 (m ³ /h)	備 考
地下水排水系	25	湧水ピットポンプ定格容量※
原子炉補機冷却海水系	6,800 (3,400)	外部電源喪失に伴う B0 シーケンス作動等による原子炉補機冷却海水ポンプの 4 台起動時 (通常の運転状態である原子炉補機冷却海水ポンプの 2 台起動時)
液体廃棄物処理系	30	廃液蒸留水ポンプ定格容量

※ 詳細設計段階では、湧水量の評価に対して保守性を確認したモデルで予測解析を行うこととしており、その場合でも想定湧水量は湧水ピットポンプ 1 台の定格容量である 25m³/h を超えない見通しである。

(4) 原子炉補機冷却海水放水路

原子炉補機冷却海水放水路は一次系放水ピットと放水ピットを接続している全長約 140m、内空 1.8m×1.5m、内空断面積約 2.6m²のボックスカルバートの RC 構造物である。現状は埋戻土によって支持されているが、今後岩着構造に再構築する計画※である（添付 7-8 図）。

※ 後述する 5. (1) d. 原子炉補機冷却海水放水路にて詳細を記載する。



添付 7-8 図 原子炉補機冷却海水放水路（縦断面図及び横断面図）【現状】

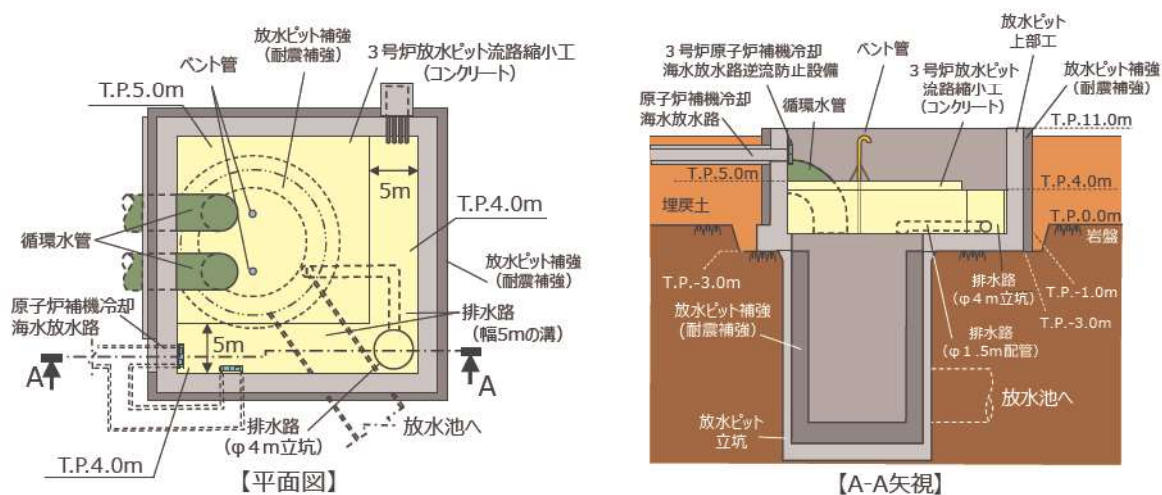
(5) 放水ピット

放水ピットは、原子炉補機冷却海水放水路が接続される放水ピット上部工と、放水路に接続する放水ピット立坑部で構成される（添付 7-9 図）。

放水ピット上部工は、岩盤により支持される貯水ピットであり、添付 7-1 表で示す各系からの排水に加え、大流量である循環水系（228,000 m³/h）の排水等を集水し、放水ピット立坑部に通水する。

放水ピット立坑部は、放水ピット上部工の下部の岩盤内に設置され、添付 7-1 表で示す各系からの排水や循環水等を放水路へ導水する。

放水ピットには津波防護施設として 3 号炉放水ピット流路縮小工（耐震 S クラス）及び浸水防止設備として 3 号炉原子炉補機冷却海水放水路逆流防止設備（耐震 S クラス）を設置予定であり、放水ピットは耐震 S クラス施設の間接支持構造物となる。3 号炉放水ピット流路縮小工については、原子炉補機冷却海水等を排水するため最小 φ 1.0m（約 0.875m² 詳細設計中）の排水路を設置する予定である。

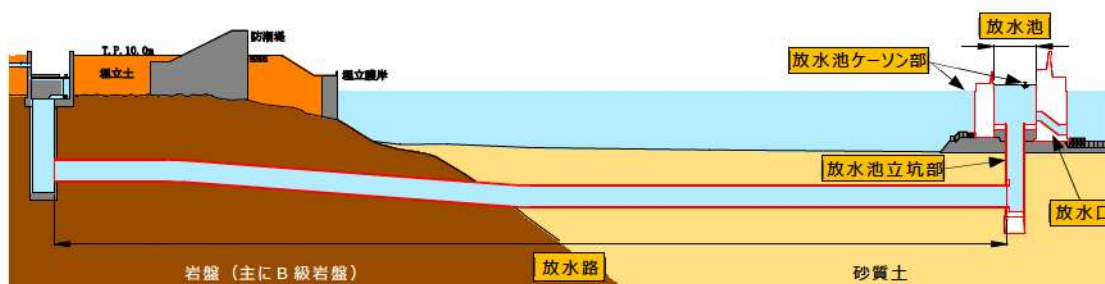


添付 7-9 図 放水ピット（平面図及び A-A 矢視）

(6) 放水路

放水路は、放水ピット立坑部と放水池を接続している、延長 609m の全線に亘りシールド工法により海底地盤中に構築された [] 躯体厚さ 0.225m [] のトンネル構造物である（添付 7-10 図）。

放水路が設置される地盤には、放水路の上流側（放水ピット側）では岩盤、放水路の下流側（放水池側）では砂質土が分布している。

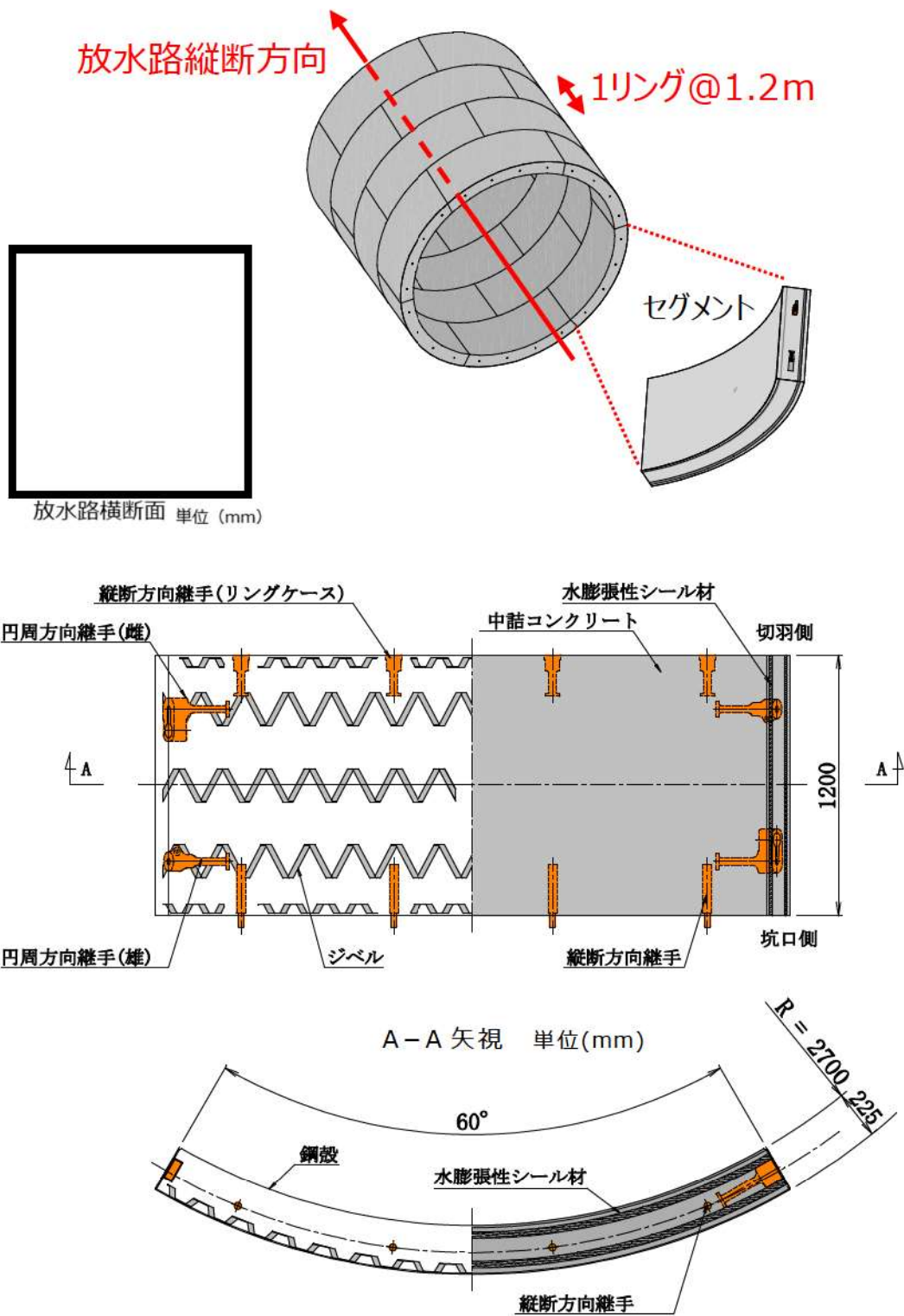


添付 7-10 図 地下水排水経路（縦断面図：放水路～放水口）

放水路は 6 つのセグメントで構成される 1.2m のリングが縦断方向に連結される円形トンネル構造である。セグメントは鋼とコンクリートを一体化させた構造の鋼殻セグメントを採用しており、高い靱性を有し、急激な耐力低下を起こしにくい粘り強い特性を持っていることから、耐震性に優れた構造である。セグメント間の継手は、円周方向は機械式継手、縦断方向はピン式継手を設置しており、周辺地盤の変位に対して追従可能なフレキシブルな構造である。また、セグメント全周には 2 条の水膨張性シールを配置している（添付 7-11 図、添付 7-12 図）。

放水路と放水池立坑部の接続部においては、止水ゴムにより可とう性を持たせた可とうセグメント（添付 7-13 図、添付 7-14 図）を 1 リング配置している。

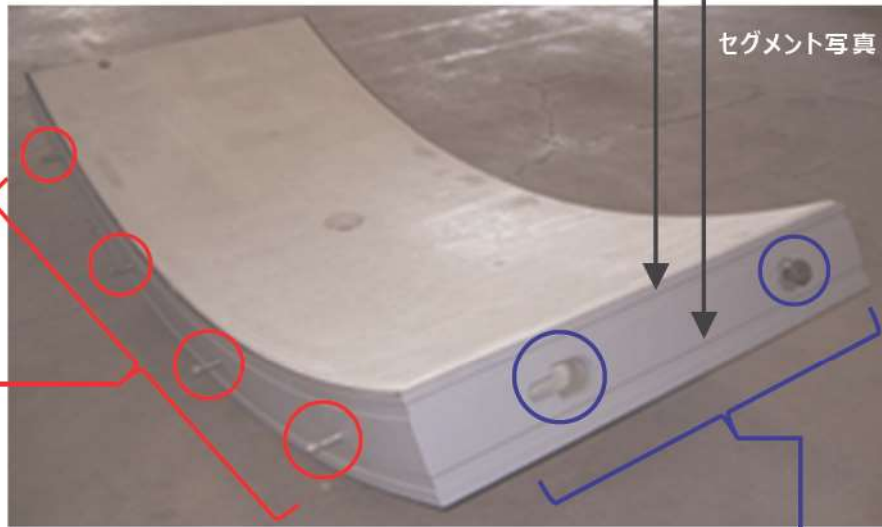
[] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



添付 7-11 図 セグメント構造概要図

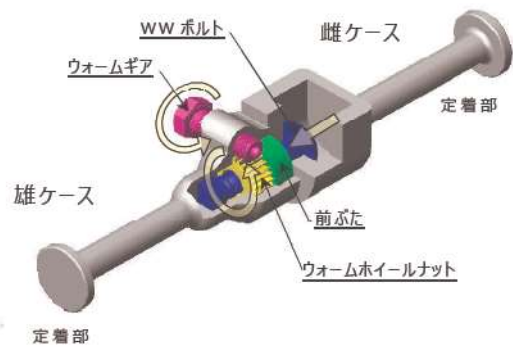
□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

水膨張性シール設置箇所
(写真はシール設置前)



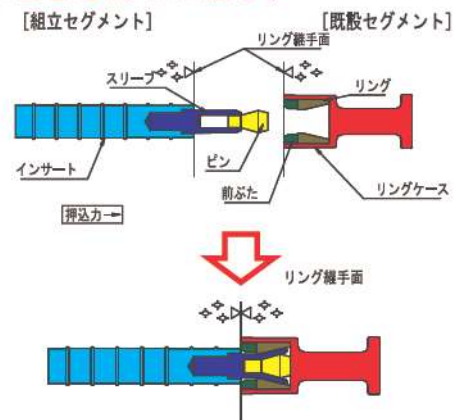
● 円周方向継手：機械式継手 (WW 継手：ウォームホイール継手)

雄側 WW ボルトを雌側ケースに挿入・スライドさせて結合し、セグメント組立後にウォームギアを回転させることで締結力を導入する。

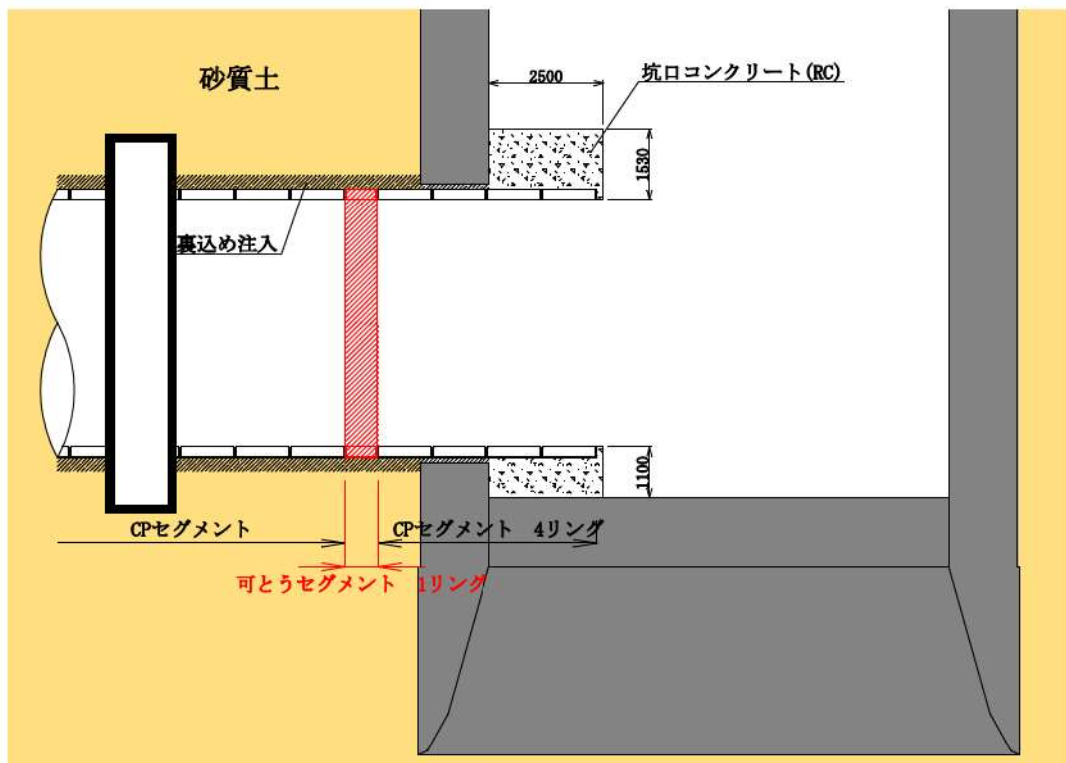


● 縦断方向継手：ピン式継手 (楔の原理を応用した継手)

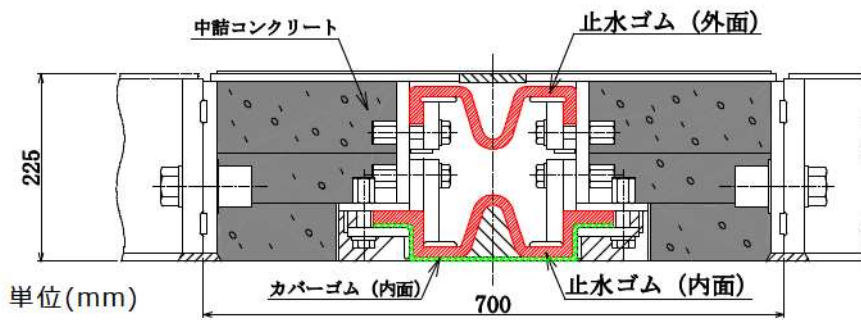
凸金具を凹型金具に押し込み、スリーブが押し広げられると、リング側と楔結合して定着する。



添付 7-12 図 セグメント継手構造概要図



添付 7-13 図 坑口部構造概要図 (放水池立坑)



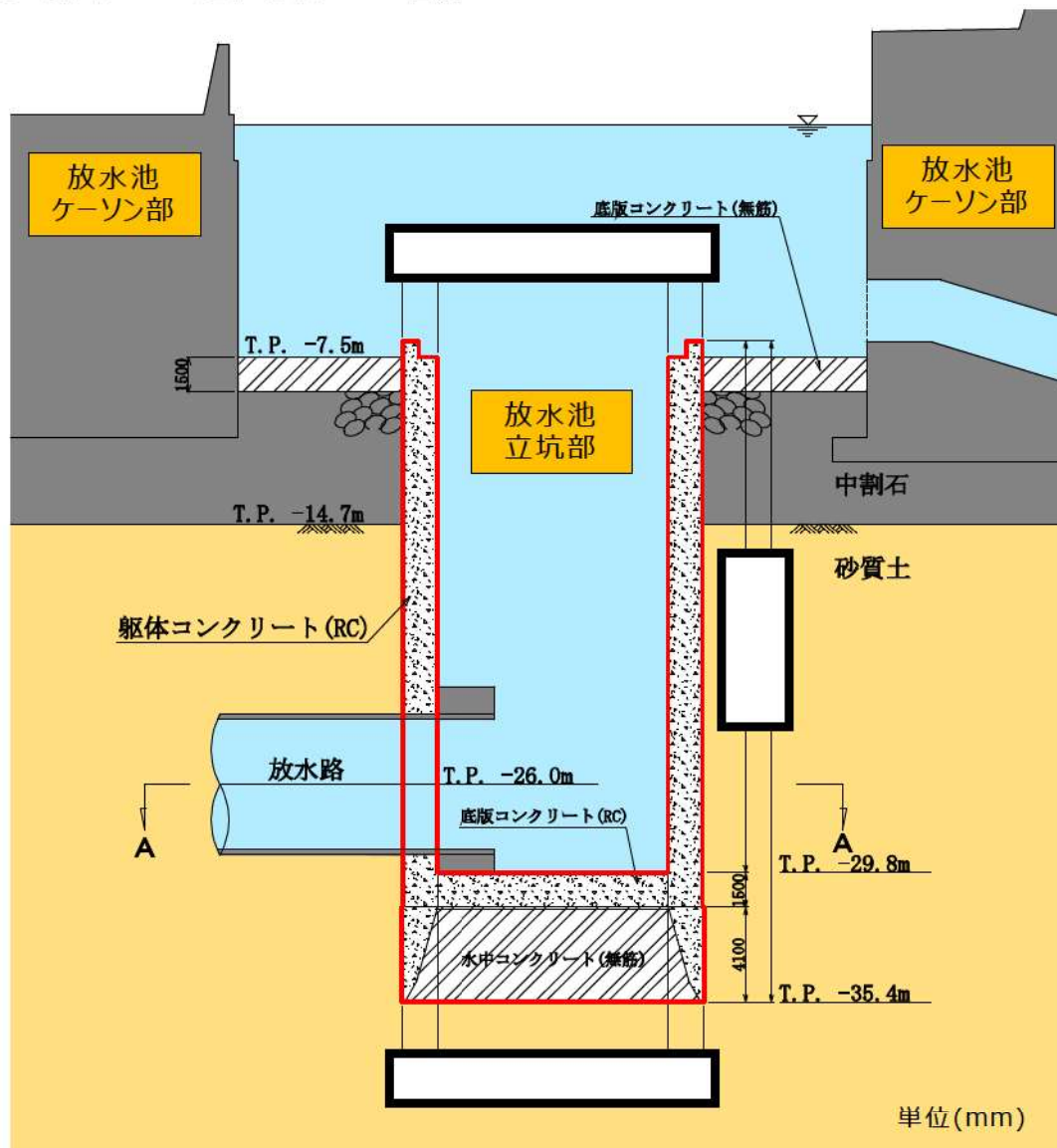
添付 7-14 図 可とうセグメント構造概要図 (縦断面図)

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。

(7) 放水池

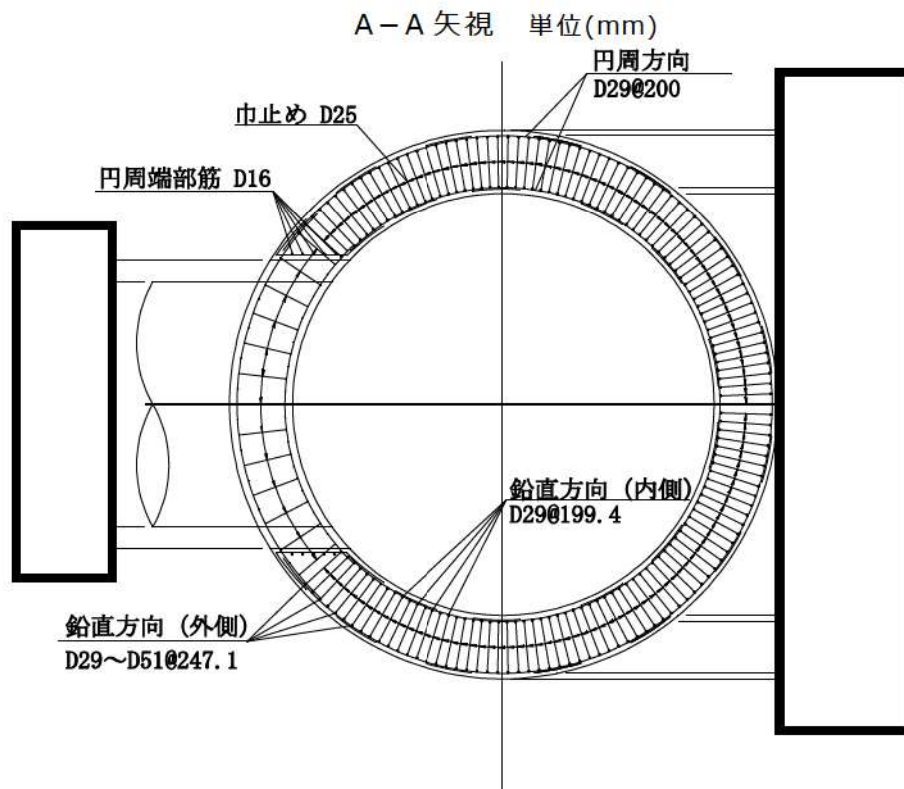
放水池は、放水路が接続される放水池立坑部と放水池ケーソン部で構成される。

放水池立坑部は、砂質土内に圧入オープンケーソン工法により設置された [] 躯体厚さ 1.5m、 [] の円筒形 RC 構造物である（添付 7-15 図，添付 7-16 図）。



添付 7-15 図 放水池立坑部（縦断面図）

[] 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。

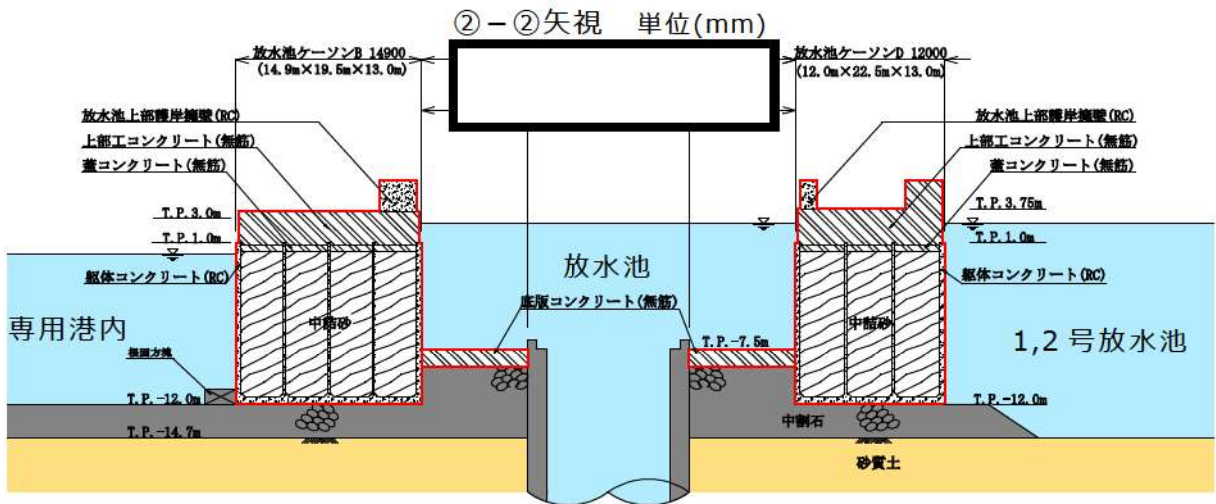
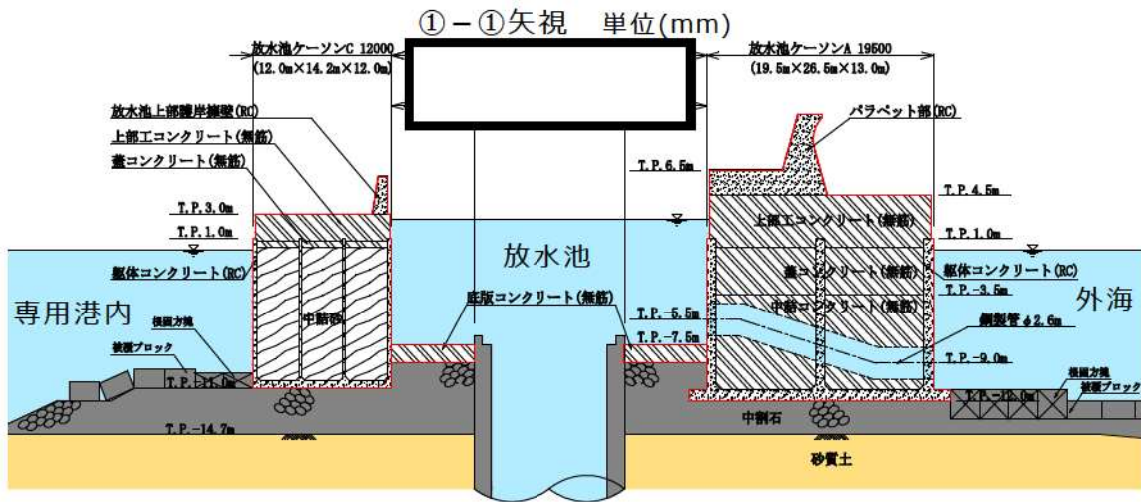
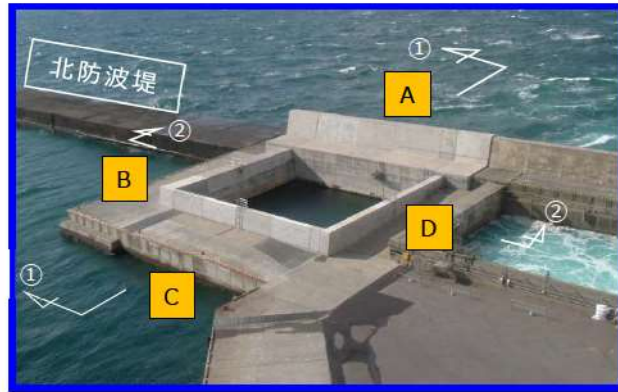


添付 7-16 図 放水池立坑部 (平面図)

放水池ケーソン部は、ケーソン式混成堤で構成される構造物である（添付 7-17 図，添付 7-18 図）。

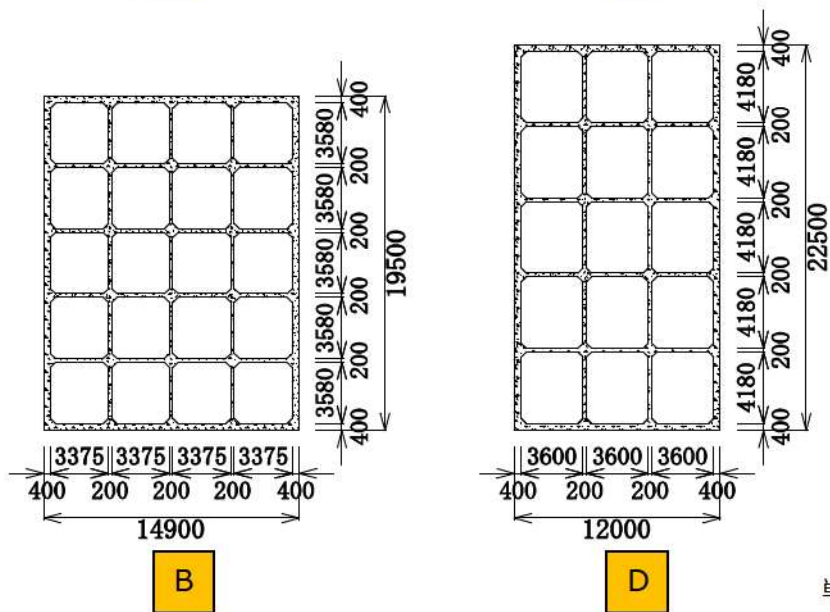
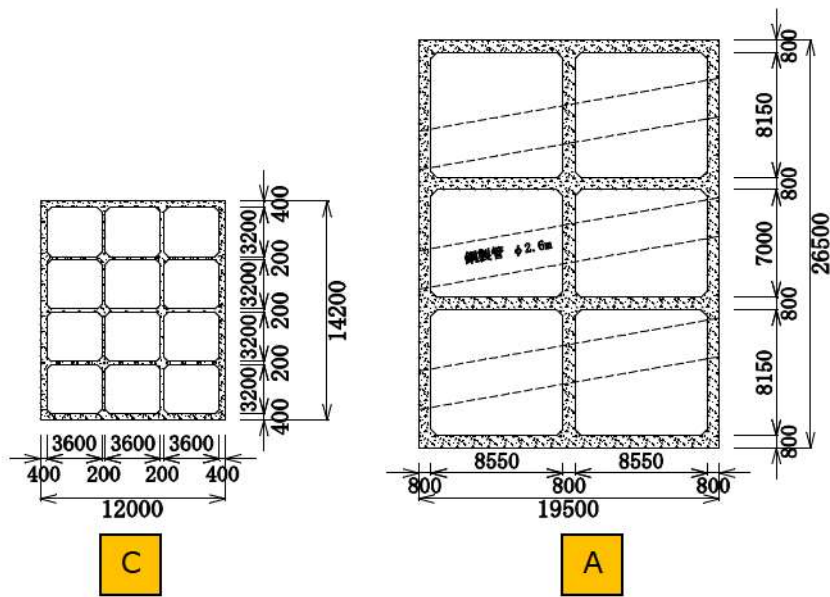
なお、ケーソンは RC 造であり、中詰め材はコンクリート（A 部），砂（B，C，D 部）を使用している。

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。



添付 7-17 図 放水池ケーソン部 (縦断面図)

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。



単位(mm)

添付 7-18 図 放水池ケーソン部 (平面図)

(8) 放水口

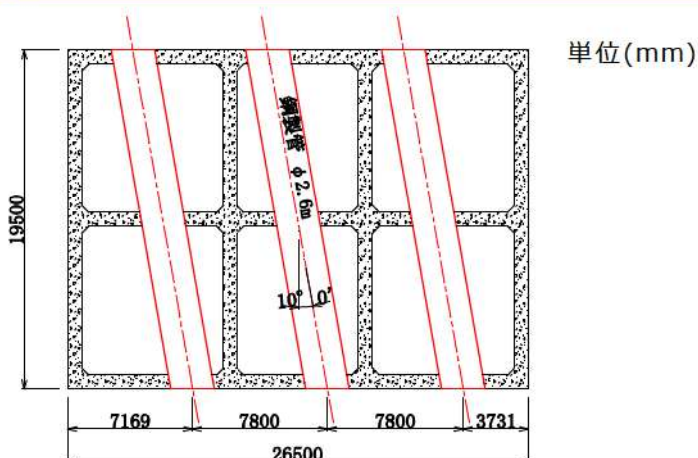
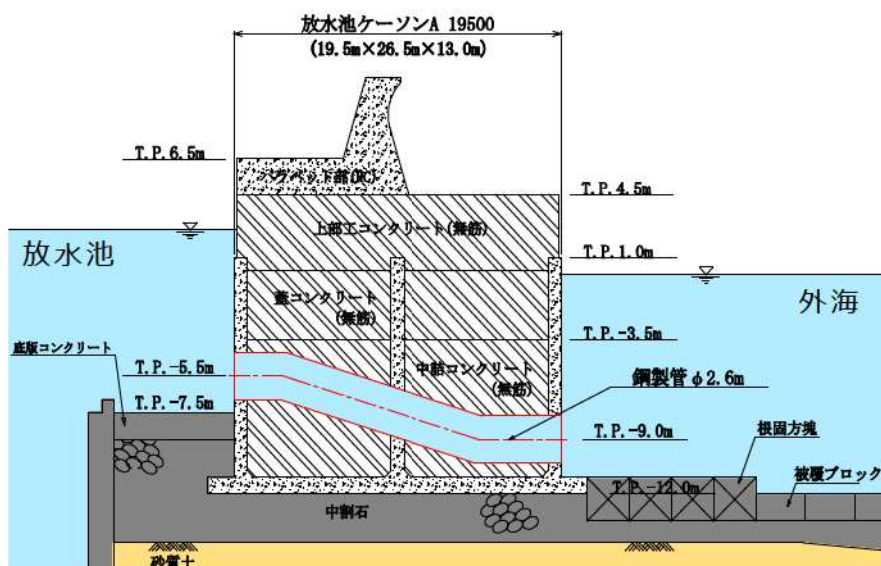
放水口は、放水池ケーソンに内蔵される鋼製管（内径 2.6m，管厚 12 mm，内空断面積約 5.3m²）3 条で構成され，コンクリートで巻き立てられている（添付 7-19 図）。放水池を経て導水された排水は放水口から外海へ放出される。



【建設時（曳航前）】鋼製管全景（コンクリート巻き立て前）



【建設時（曳航前）】放水池ケーソン部に内蔵された放水口



添付 7-19 図 放水口（縦断面図及び平面図）

5. 排水経路の排水機能維持について

前項で示した地下水の排水経路を構成する施設は、以下のとおり基準地震動に対して排水機能を維持する。

(1) Ss 機能維持とする範囲

湧水ピットポンプ～放水ピットについては、下記に示す設計を適用し、基準地震動に対して排水機能を維持する。

a. 湧水ピットポンプ

湧水ピットポンプは、基準地震動による地震力によって生じる応力等が許容値に収まることを確認することで構造強度を確保する設計とする。また、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認することで、基準地震動に対してポンプが動的機能維持できる設計とする。以上により、地下水を湧水ピットから地下水排水配管へ送水する機能を維持できる。

b. 地下水排水配管

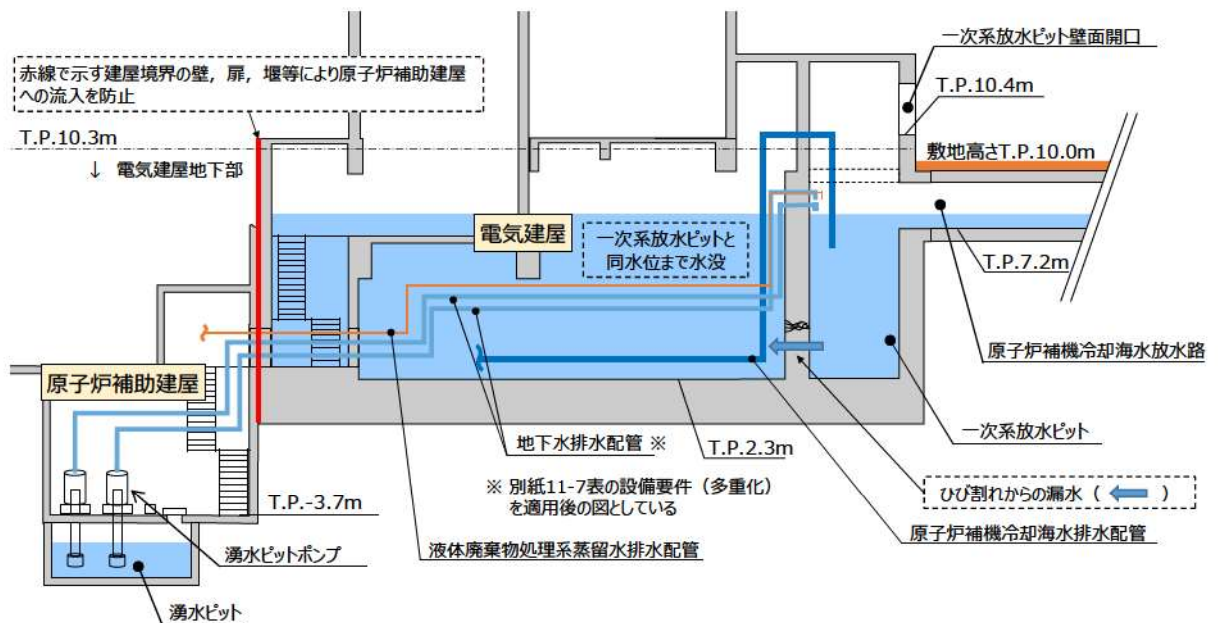
地下水排水配管は、基準地震動による地震力によって生じる応力等が許容値に収まることを確認することで構造強度を確保する設計とする。また、地下水排水配管の間接支持構造物のうち電気建屋地下部については、基準地震動を用いた地震応答解析に基づいて、最大せん断ひずみが耐震Sクラスの間接支持構造物に要求される許容限界である $2,000\mu$ を超えないことを確認する。

c. 一次系放水ピット

一次系放水ピットは電気建屋地下部（T.P. 10.3m 以下）と一体構造のため、b. において地下部の最大せん断ひずみが 2,000 μ を超えないことを確認していることにより、一次系放水ピット隔壁の構造強度は確保され、原子炉補機冷却海水放水路への排水機能は維持される。電気建屋地上部については、原子炉建屋等の主要建屋に対する波及的影響評価の対象として、基準地震動に対して倒壊しないことを確認することから、一次系放水ピットの排水機能に影響を及ぼすことはない。

また、基準地震動によって一次系放水ピット隔壁にひび割れが生じ、ピット内包水が電気建屋内に漏水した場合には、添付 7-20 図に示すように電気建屋内が一次系放水ピットの水位まで水没する可能性があるものの、その場合でも一次系放水ピットの通水断面は維持されることから、一次系放水ピットから原子炉補機冷却海水放水路への排水機能に影響を及ぼすことはない。

なお、電気建屋と隣接する原子炉建屋及び原子炉補助建屋には、設置許可基準規則第 9 条（溢水による損傷の防止等）の要求で溢水から防護すべき系統設備（溢水防護対象設備）が設置されていることから、壁、扉、堰等により電気建屋内の漏水を原子炉建屋及び原子炉補助建屋に伝播させないことで、溢水防護対象設備が安全機能を損なわない設計としている。



添付 7-20 図 一次系放水ピットひび割れ時の影響（概要図）

d. 原子炉補機冷却海水放水路（添付 7-8 図参照）

原子炉補機冷却海水放水路については、現状は埋戻土によって支持されている RC 造の地下構造物である。

原子炉補機冷却海水放水路は、建屋外の排水経路の中で比較すると断面が小規模であり土被りが浅いことから、地震時においても「断面閉塞」及び「地表面への溢水」が発生することが無いよう岩着構造で再構築し、基準地震動による地震力に対して構造強度を確保する設計とする。

具体的には、基準地震動を用いた地震応答解析に基づいて構造部材の照査を実施し、発生応力度が許容応力度を超えないことを確認する。

これにより、地震後においても地下水排水及び原子炉補機冷却海水系からの排水（以下「補機排水」という。）を確実に放水ピットまで導き、原子炉建屋等の主要建屋近傍に設置された一次系放水ピット壁面開口から補機排水等が敷地（T.P. 10m 盤）へ排出されることがない設計とすることで、屋外溢水防護（建屋への流入防止）の信頼性を強化すると共に、原子炉建屋等の主要建屋周囲の地下水位上昇も防止する（別紙参照：4 条-別紙 11-添付 7-35, 36）。

e. 放水ピット

放水ピットは耐震 S クラスの津波防護施設（3 号炉放水ピット流路縮小工）の間接支持構造物となるため、基準地震動による地震力に対して構造強度を確保し、排水経路を維持する設計とする。

具体的には、放水ピットは間接支持部材として終局状態に至らないことを目標性能とし、曲げ破壊については終局モーメント、せん断破壊についてはせん断耐力に対し妥当な安全余裕を考慮する。

また、耐震 S クラスの津波防護施設（3 号炉放水ピット流路縮小工）及び浸水防止設備（3 号炉原子炉補機冷却海水放水路逆流防止設備）が有する通水断面は、耐震 S クラスにて設計することから基準地震動においても通水機能は維持される。

(2) Ss 機能維持としない範囲

前項で示した地下水の排水経路を構成する施設のうち、放水路、放水池及び放水口については、構造的特徴（地下水排水量に対して十分な通水断面を有していること、放水路は追従性に優れたフレキシブルな構造であること等）や大規模地震を受けた先行サイトにおける放水設備の被害状況及び一般産業施設の地震被災事例を踏まえると、軽微な変形やひび割れが生じる可能性はあるものの、閉塞する可能性は低く、排水機能は維持できるものと考えている。

以下に放水路、放水池及び放水口の構造的特徴、大規模地震を受けた先行サイトにおける放水設備の被害状況、一般産業施設における大規模地震時の被災事例を示す。

a. 構造的特徴

添付 7-2 表に泊発電所 3 号炉の放水設備の諸元概要を示す。

添付 7-2 表 泊発電所 3 号炉の放水設備の諸元概要

構造物		構造・寸法	内空断面積	【参考】 原子炉補機冷却海水放水路 内空断面積に対する倍率
放水路		シールドトンネル 鋼殻セグメント構造		
放水池	立坑部	円筒形 RC 造		
	ケーソン部	ケーソン式混成堤 函形 RC 造		
放水口		鋼製管		

原子炉補機冷却海水放水路
内空断面積=2.6m²を基準
とする

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。

(a) 放水路（添付 7-10 図～添付 7-14 図参照）

放水路は、砂質土及び岩盤が分布する地盤に設置されるシールドトンネルであり、砂質土部で放水池立坑部と接続される。

放水路横断面は外力に対して強い円形構造であり、リングを構成する 6 つの鋼殻セグメントも高い靱性を有していることから、地震による損傷を受けにくい構造である。砂質土及び岩盤の地質境界部においては、地震時に放水路縦断方向において変位が発生することが想定されるものの、ピン式継手によりリングが 1.2m 毎に連結されているため、地盤変位に追従するようなフレキシブルな挙動をすると想定しており、リング間のずれがセグメント厚さ相当に至らない限り、放水路内部への土砂の流入は起こりにくいと考えられる。

また、セグメント間・リング間に隙間が生じた場合に備え、放水路外面からの土砂流入抑制を目的にセグメント全周に 2 条の水膨張性シールを配置している。

放水路と放水池立坑部の接続部において、地震時に放水路と放水池立坑部の相対的な挙動（伸び縮み、せん断変位）が生じた場合に備え、相対的な挙動の吸収を目的に可とうセグメントを配置している。

(b) 放水池（添付 7-15 図～添付 7-18 図参照）

放水池立坑部及び放水池ケーソン部は RC 構造物であり、十分な通水断面を有している。また、放水池ケーソン部は、放水池側が外海側より約 3 m 高く中割石と底版コンクリートが敷き詰められていることから、放水池側（通水断面を閉塞する方向）に倒れにくい構造である。

(c) 放水口（添付 7-19 図参照）

放水口は、放水池ケーソン部に内蔵され、コンクリートで巻き立てられた 3 条の鋼製管（3 条分の内空断面積約 15.9m²）で構成されており、十分な通水断面を有している。

b. 大規模地震を受けた先行サイトにおける放水設備の被害状況

泊発電所3号炉の放水設備について、大規模地震による被災を想定した場合の通水機能について検討するため、大規模地震を経験した先行サイトの放水設備の構造と地質状況、及び地震時の被害状況を確認した。

例として、添付7-3表に各先行サイトの放水設備のうち放水路について確認した比較表を示す。

各先行サイトの放水路の構造は、カルバート構造や円形圧力トンネルであり、大規模地震を受けた際にも通水断面が完全に閉塞するような通水機能を喪失する被害は受けておらず、ひび割れが発生した程度である。

一方、泊発電所3号炉の放水路の構造は、一般的にカルバート構造よりも外力に対して構造的に優位な円形のトンネルであり、かつ追従性に優れたフレキシブルな特徴を有しているシールドトンネルであることを踏まえると、泊発電所3号炉の放水路は地震による損傷を受けにくい構造であると考えられる。

添付 7-3 表 先行サイト及び泊発電所 3 号炉の放水設備のうち放水路の構造と被害状況

サイト名	女川 1, 2, 3号炉	柏崎刈羽 6, 7号炉	東海第二	泊 3号炉
放水路構造	鉄筋コンクリート造 円形圧力トンネル	RCボックス カルバート	RCボックス カルバート	シールドトンネル 鋼殻セグメント構造
構造寸法				
地質状況	CM 級岩盤	砂質土・粘性土	砂礫・砂質土	岩盤 (主に B 級岩盤) ・砂質土
大規模地震	東北地方太平洋沖地震 1号機原子炉建屋地下2階 水平 567.5Gal 鉛直 316.5Gal	新潟県中越沖地震 7号機原子炉建屋基礎上 水平 356gal 鉛直 355gal	東北地方太平洋沖地震 原子炉建屋地下2階基礎版上端 水平 262gal 鉛直 189gal	—
被害状況	躯体が崩壊する等の損傷なし	躯体が崩壊する等の損傷なし	躯体が崩壊する等の損傷なし	—

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。

c. 一般産業施設における大規模地震時の被災事例

泊発電所3号炉の放水設備について、大規模地震による被災を想定した場合の通水機能について検討するため、一般産業施設における地中構造物等の大規模地震での被災状況について確認した。

代表例として、泊発電所3号炉の放水路・放水池・放水口の構造に類似する、シールドトンネル及び港湾施設についての確認結果・考察を添付7-4表に示す。

一般産業施設のシールドトンネルにおいては、地震による損傷として確認された事例はいずれも軽微であり、内空断面が完全に閉塞した事例は確認されていないことから、シールドトンネルは地震の影響を受けにくい構造物であると考えられる。参考として、大規模地震におけるシールドトンネルの被災報告数を添付7-5表に示す。

また、港湾施設においても地震による大規模な変状が発生した事例は確認されていない。

以上のことから、泊発電所3号炉の放水設備は地震による損傷を受けにくい構造であると考えられる。

添付 7-4 表 一般産業施設の被災事例のうち代表例

種別	地震名	名称	諸元	被災内容	確認結果・考察
シールドトンネル	兵庫県南部地震	六甲アライアント連絡放水幹線 (下水道)	RCセグメント 外径 2.75m セグメント厚 (RC) 0.175m 可撓セグメント許容変位 50 mm 地質 粘性土 砂礫土	RCセグメント：漏水、リング間継手で若干の目開き 可撓セグメント：変位 8 mm (発進側)、変位 47 mm (到達側)	泊 3 号炉の放水路の構造に類似するシールドトンネルにおいて接続部や目地での相対変位、ひび割れなどの小規模な被災事例があるが、内空の完全閉塞に至る事例は確認されていないため、泊 3 号炉の放水設備のうち放水路においても閉塞に至る可能性は低いと考えられる。
	新潟県中越沖地震	長崎排水路	RCセグメント 掘削径 4.5m セグメント幅 0.9m、厚さ 0.2m 二次覆工厚 (無筋) 0.2m 地質 粘性土 砂質土	クラック (二次覆工)：20~50 mm (円周方向)、1~5 mm (軸方向) リング継手破断による内空変形：約 50 mm 扁平に広がる トンネル頂部の沈下：20~80 mm	
港湾施設	兵庫県南部地震	西宮防波堤	重力式ケーソン 延長 4,429.7m 幅 8.7m 高さ 11.4m 中詰材：砂 地質 粘性土 砂質土	沈下：0.64~1.73m ケーソンのズレ：0~0.3m	泊 3 号炉の放水地・放水口に類似する港湾施設において地震による大規模な変状、移動の事例は確認されていないため、泊 3 号炉の放水設備のうち放水地・放水口においても大規模変状が発生する可能性は低いと考えられる。
	兵庫県南部地震	神戸港第 7 防波堤	重力式ケーソン 延長 4,180.0m 幅 8.7m 高さ 11.2m 中詰材：砂 地質 粘性土 砂礫土	沈下：1.4~2.6m ケーソンのズレ：0~0.6m	

添付 7-5 表 大規模地震におけるシールドトンネルの被災報告数

地震名	震度5以上を記録した都道府県におけるシールドトンネル設置数※1	確認したシールドトンネル被災報告数※2	報告された主な被災内容	(確認結果・考察)
兵庫県南部地震	345	7	ひび割れ・剥離・漏水等	シールドトンネル設置数に対して、今回確認した被災報告数は極めて少なく、いづれも軽微であり、内空断面が完全に閉塞した事例は確認されていないことから、シールドトンネルは、地震の影響を受けにくい構造物であると考えられる。
新潟県中越沖地震	62	1	ひび割れ・漏水・頂部の沈下	
東北地方太平洋沖地震	723	1	ひび割れ	

※1 シールド工法技術協会「シールド工事実績表【1983年～2022年度】」より、地震発生時に竣工している実績を集計

※2 添付 7-6 表に示す文献から確認した被災数

添付 7-6 表 一般産業施設の被災事例調査文献一覧

No.	対象地震	文献名	著作者	発行日	主な記載
1	兵庫県南部地震	阪神・淡路大震災調査報告 土木構造物の被害 (第2章 トンネル・地下構造物)	阪神・淡路大震災調査報告編集委員会	1998年6月	トンネル, カルバート
2	兵庫県南部地震	阪神・淡路大震災調査報告 土木構造物の被害 (第5章 港湾・海岸構造物)	阪神・淡路大震災調査報告編集委員会	1997年12月	ケーソン
3	兵庫県南部地震	阪神・淡路大震災調査報告 土木構造物の被害原因の分析 (第7章 港湾・海岸構造物)	阪神・淡路大震災調査報告編集委員会	1998年8月	ケーソン
4	兵庫県南部地震	神戸港震災復興誌 港湾施設の復旧記録	運輸省第三港湾建設局震災復興建設部	1998年11月	ケーソン
5	兵庫県南部地震	神戸港震災復興誌 港湾施設の復旧記録【資料編】	運輸省第三港湾建設局震災復興建設部	1998年3月	ケーソン
6	新潟県中越沖地震	平成19年(2007年)新潟県中越沖地震 現地調査報告写真集	(財)北海道道路管理技術センター	2007年10月	護岸
7	東北地方太平洋沖地震	東日本大震災合同調査報告 共通編2 津波の特性と被害	東日本大震災合同調査報告編集委員会	2014年6月	
8	東北地方太平洋沖地震	東日本大震災合同調査報告 土木編1 土木構造物の地震被害と復旧	東日本大震災合同調査報告編集委員会	2016年9月	全般
9	東北地方太平洋沖地震	東日本大震災合同調査報告 土木編2 土木構造物の津波被害と復旧	東日本大震災合同調査報告編集委員会	2015年3月	ケーソン, 護岸
10	東北地方太平洋沖地震	東日本大震災合同調査報告 土木編3 ライフライン施設の被害と復旧	東日本大震災合同調査報告編集委員会	2015年3月	全般
11	東北地方太平洋沖地震	東日本大震災合同調査報告 土木編4 交通施設の被害と復旧	東日本大震災合同調査報告編集委員会	2018年3月	全般
12	東北地方太平洋沖地震	東日本大震災合同調査報告 土木編5 原子力施設の被害とその影響	東日本大震災合同調査報告編集委員会	2014年8月	全般
13	東北地方太平洋沖地震	東日本大震災合同調査報告 土木編8 復興概要編	東日本大震災合同調査報告編集委員会	2019年7月	全般
14	東北地方太平洋沖地震	東日本大震災合同調査報告 地盤編1 地盤構造物の被害、復旧	東日本大震災合同調査報告編集委員会	2015年3月	トンネル, 盛土など
15	東北地方太平洋沖地震	原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針<技術資料>2021	土木学会 原子力土木委員会	2021年10月	
16	新潟県中越沖地震 ・東北地方太平洋沖地震	原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針<技術資料>2018	土木学会 原子力土木委員会	2018年10月	
17	釧路沖地震	1993年釧路沖地震・能登半島沖地震調査報告書	土質工学会	1994年6月	
18	北海道西沖地震	1993年北海道西沖地震調査報告書	地盤工学会	1997年11月	
19	北海道東方沖地震	1994年北海道東方沖地震調査報告書	地盤工学会	1998年4月	
20	新潟県中越沖地震	2007年新潟県中越沖地震調査報告書	地盤工学会	2009年2月	
21	北海道胆振東部地震	2018年北海道胆振東部地震・大阪府北部の地震被害調査報告書	土木学会	2018年9月	
22	東北地方太平洋沖地震	東日本大震災の教訓 土木編 インフラ被害の全貌	日経コンストラクション	2011年6月	
23	新潟県中越沖地震	土木学会論文集A Vol.66 No.1,56-67 中越沖地震におけるトンネルの被災事例	谷 ほか	2010年1月	
24	東北地方太平洋沖地震	東日本大震災におけるエネルギー施設(火力・水力・送変配電・ガス)の被害状況と今後への展開について 報告書(最終報告)	土木学会 エネルギー委員会	2014年8月	

6. Ss 機能維持としない範囲が閉塞した場合の排水経路

(1) 排水経路の概要

Ss 機能維持としない範囲である放水路、放水池及び放水口については、5項(2)で述べたように、地震時に閉塞する可能性は低く、排水機能は維持できるものと考えているものの、基準地震動による地震力に対して構造強度が確保可能であることを定量的に評価することが困難であり、閉塞の可能性を完全に排除できない。

本項では、当該範囲が閉塞した場合においても、排水を放水ピット上部開口から排出し、敷地の標高差 (T.P. 10.0m～T.P. 9.5m) による自然流下によって構内排水設備に導かれ、最終的に外海へ排水可能であることを示す。

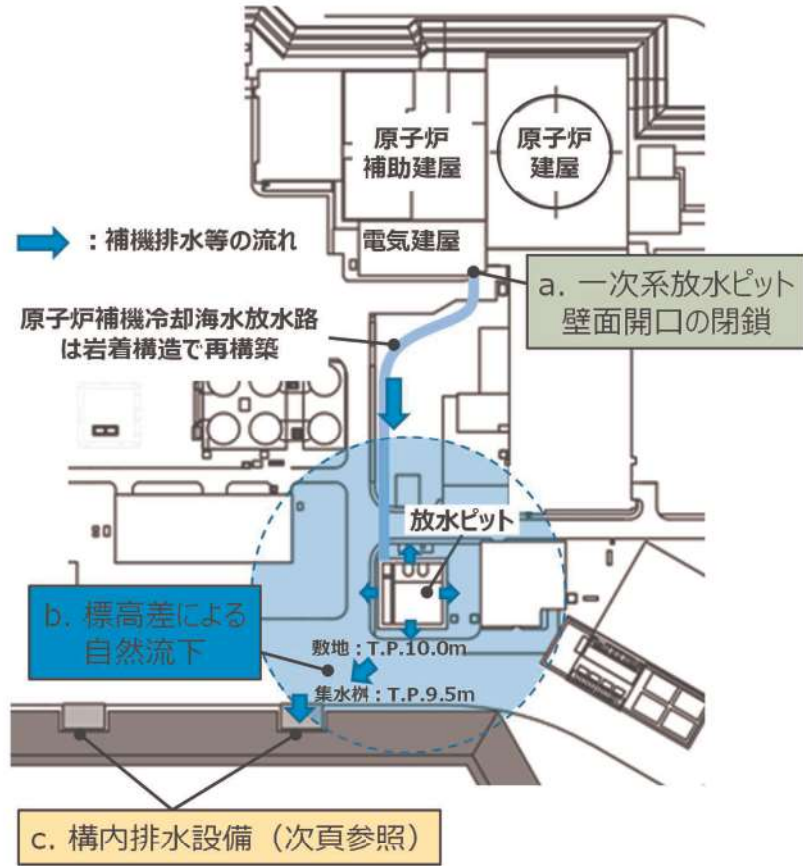
a. 一次系放水ピット壁面開口の閉鎖

一次系放水ピットは T.P. 10.4m で敷地に開口 (添付 7-2 図, 添付 7-7 図参照) しており、これは、防潮堤設置以前の設計として、原子炉補機冷却海水放水路が地震時に閉塞した場合でも、補機排水等を敷地に排水し補機冷却等の系統機能を維持するために設けられた開口である (別紙参照: 4 条-別紙 11-添付 7-35, 36)。

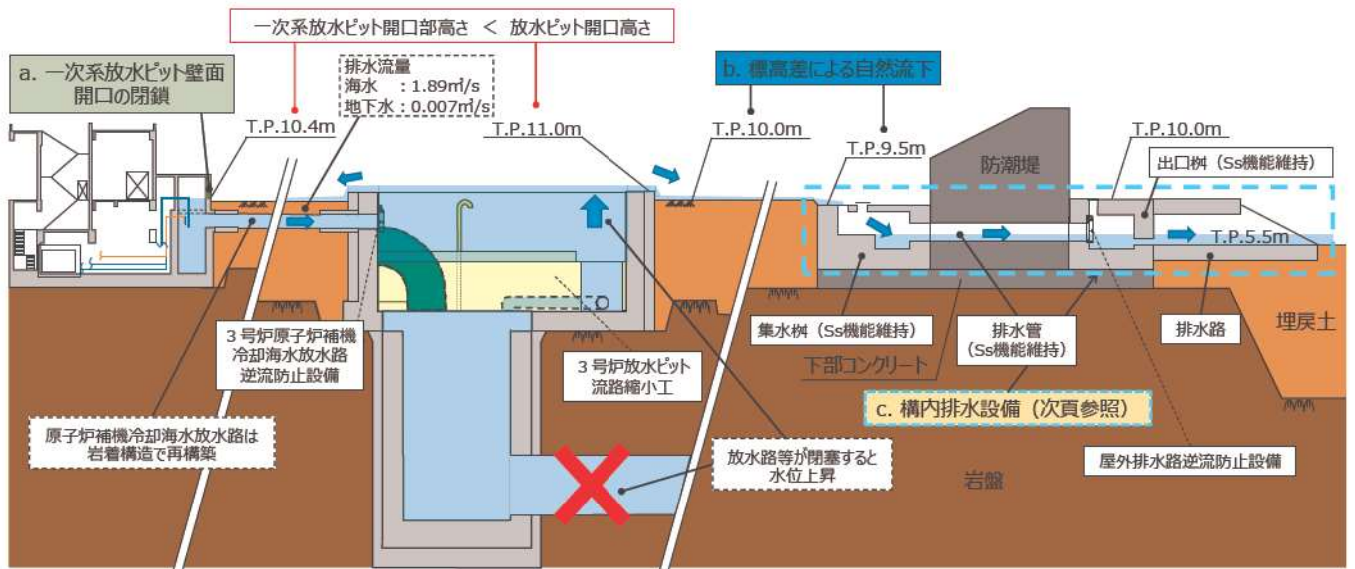
これに対し放水ピットの上端高さは T.P. 11.0m であり、今後も一次系放水ピット壁面開口を据え置くと、放水路が閉塞した場合に、補機排水等は放水ピットより先に当該開口から敷地へ排水される。そのため、一次系放水ピット壁面開口を閉鎖し、敷地への排水が放水ピット経由でのみ起こるように制限する (添付 7-21 図, 添付 7-22 図参照)。

b. 標高差による自然流下

放水ピット上部開口から構内排水設備までの経路においては、排水は敷地の標高差 (T.P. 10.0m～T.P. 9.5m) による自然流下によって構内排水設備 (集水枥) に導かれる。



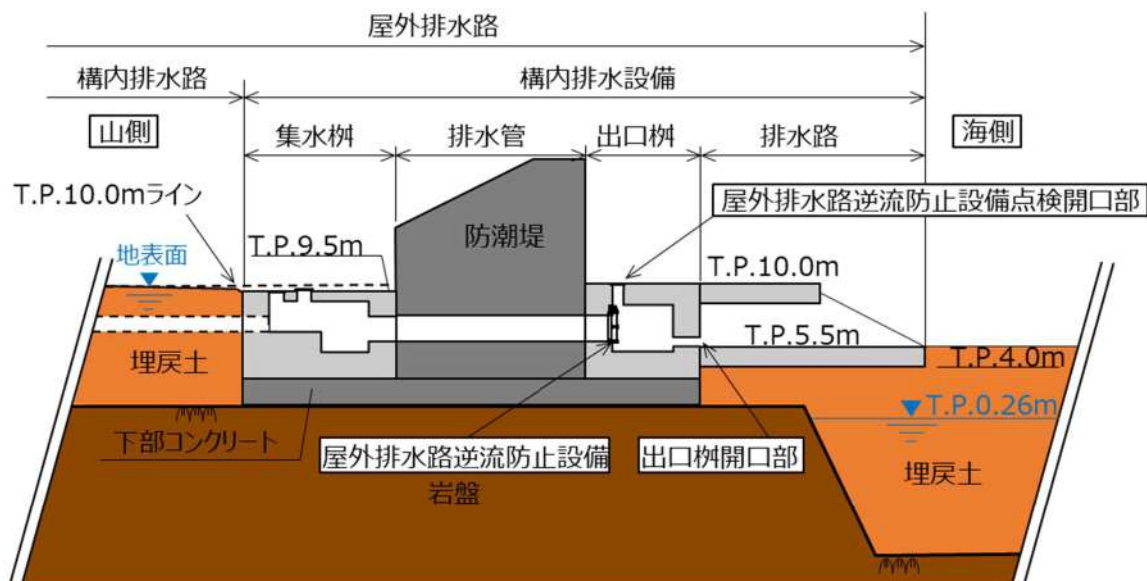
添付 7-21 図 Ss 機能維持としない範囲が閉塞した場合の排水経路 (平面図)



添付 7-22 図 Ss 機能維持としない範囲が閉塞した場合の排水経路 (断面図)

c. 構内排水設備

構内排水設備は、防潮堤を設置した以降も敷地に雨水等が滞水しないように設置される施設であり、集水枳、排水管、出口枳及び排水路で構成される。集水枳から出口枳までは防潮堤の下部コンクリートを介した岩着構造であり、排水路は埋戻土に支持される。構内排水設備 1 基あたり $3.89\text{m}^3/\text{s}$ の排水能力を有し、これは設計基準降水量 ($57.5\text{mm}/\text{h}$) を基準に設計されたものである。



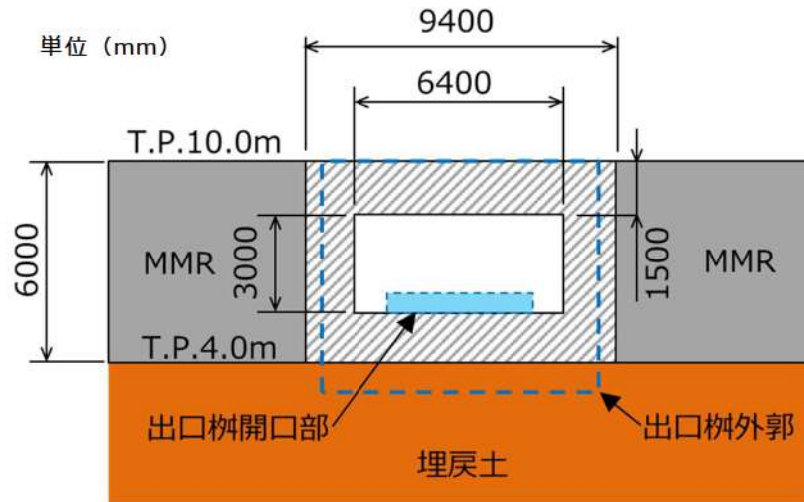
添付 7-23 図 構内排水設備断面図

構内排水設備の集水枳、排水管及び出口枳は岩着構造であり、基準地震動による地震力に対して構造強度を確保するため、地震後も通水機能が維持される。

一方、排水路は埋戻土で支持されているため、地震時に沈降が生じる可能性があるものの、排水路は $6.4\text{m} \times 3.0\text{m}$ の内空断面を有し、基準地震動による地震力に対して構造強度を確保することから、海側埋戻土の最大沈下量 0.5m 未満（基準地震動による有効応力解析から算出される鉛直変位と、沈下対象層の揺すり込み沈下及び過剰間隙水圧の消散に伴う沈下との総和）を考慮した場合でも、出口枳開口部が閉塞することがない設計としている。

また、排水路は防潮堤より海側に位置し、設計地下水位は T.P. 0.26m であり、排水路躯体底面標高 (T.P. 4.0m) より十分低いことから、液状化による浮き上がりが発生することはない。排水路の浮き上がりによって排水経路が閉塞することはない。

以上より、構内排水設備は地震後も通水機能が維持されることから、構内排水設備に導かれた排水は外海へ排水可能である。



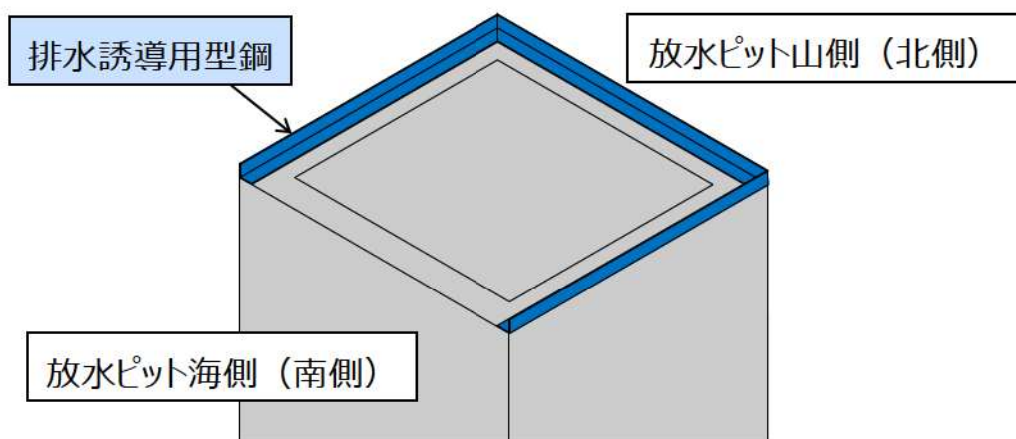
添付 7-24 図 排水路断面図

(2) 排水誘導対策

排水をより確実に構内排水設備へ誘導するための自主的な対応として、下記の排水誘導対策を施す。

a. 排水誘導用型鋼の設置

放水ピット上部工の上端 (T.P. 11.0m) のうち、海側を除く三辺に排水誘導用型鋼を敷設する。この構造により、放水ピットから溢れる排水を海側へ限定する (添付 7-25 図参照)。

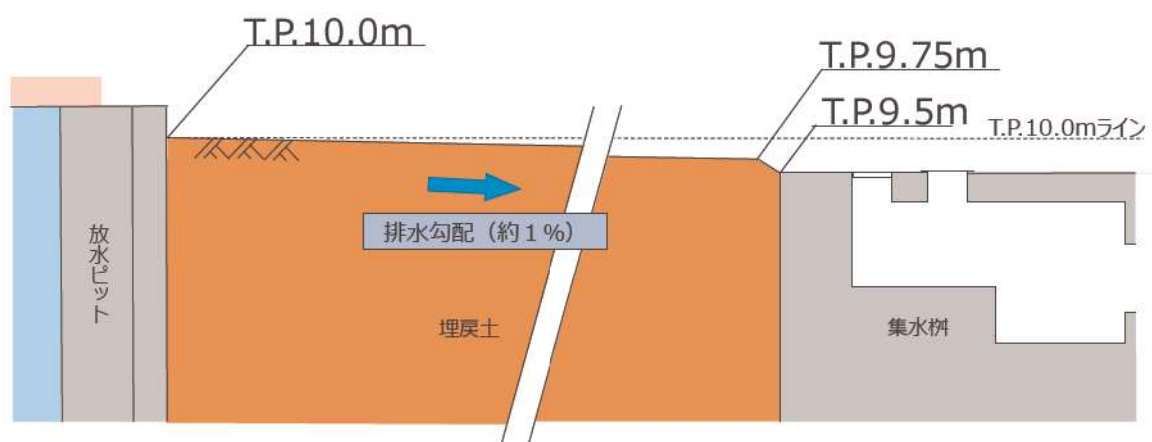


添付 7-25 図 排水誘導用型鋼のイメージ図

b. 排水勾配の設定

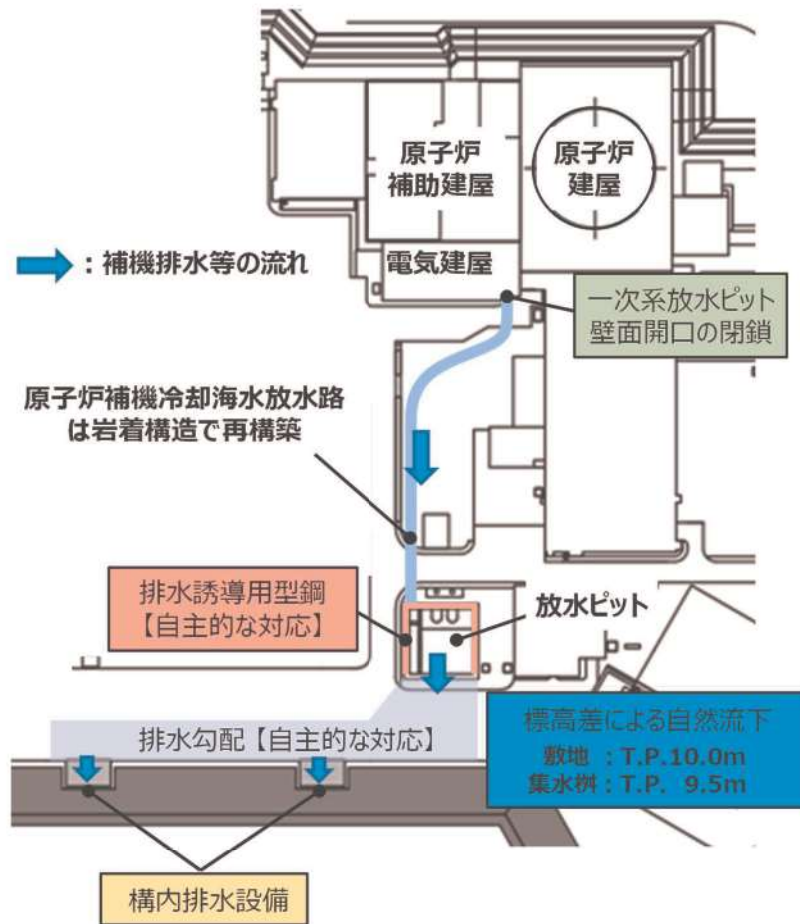
放水ピット上部開口海側から流下した排水を誘導し、構内排水設備（集水桝）までの流路を限定するための対応として、排水経路に排水勾配を設ける。具体的には、放水ピットの海側側面から近接する構内排水設備（集水桝）2箇所を含む範囲に排水勾配を設けることで、標高差による排水の自然流下を確保しつつ、流路の限定を図る。

なお、放水ピットから構内排水設備までの排水経路範囲に想定される最大沈下量 0.25m 程度（基準地震動による有効応力解析から算出される鉛直変位と、沈下対象層の揺すり込み沈下及び過剰間隙水圧の消散に伴う沈下との総和）を考慮した場合でも、排水が滞水することなく構内排水設備まで導水されるように、構内排水設備側端部の地盤標高を T.P. 9.75m とする（添付 7-26 図参照）。

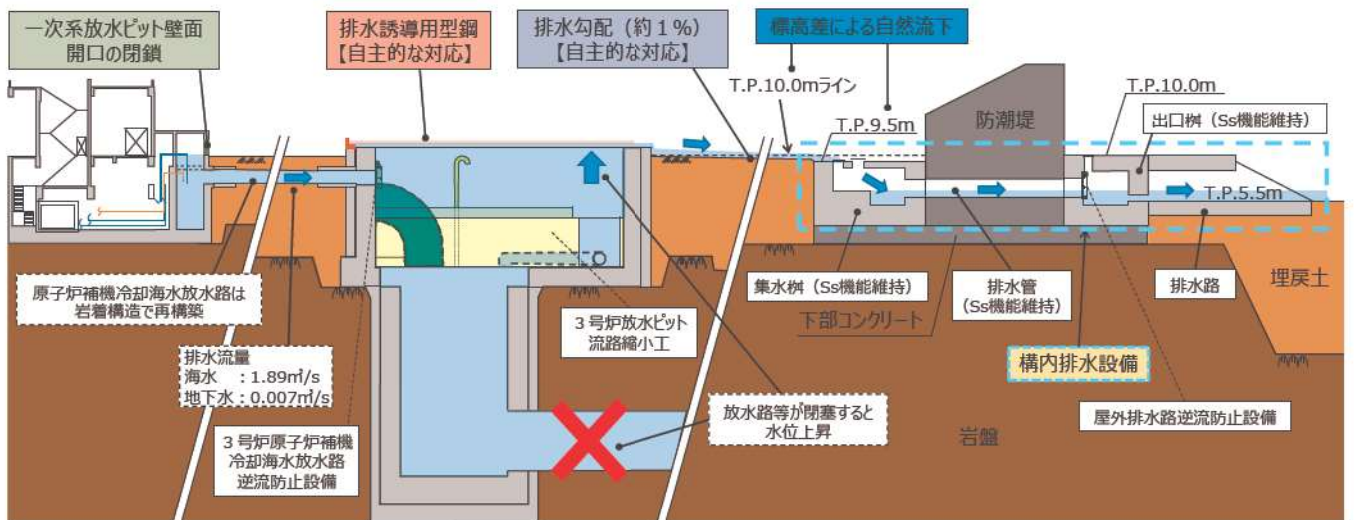


添付 7-26 図 排水勾配設定のイメージ図

上記 a. 及び b. の排水誘導対策を考慮した排水経路の平面図及び断面図を、次頁の添付 7-27 図及び添付 7-28 図に示す。



添付 7-27 図 構内排水設備への排水誘導対策を考慮した排水経路（平面図）



添付 7-28 図 構内排水設備への排水誘導対策を考慮した排水経路（断面図）

7. 地下水の排水経路の排水機能維持に関するまとめ

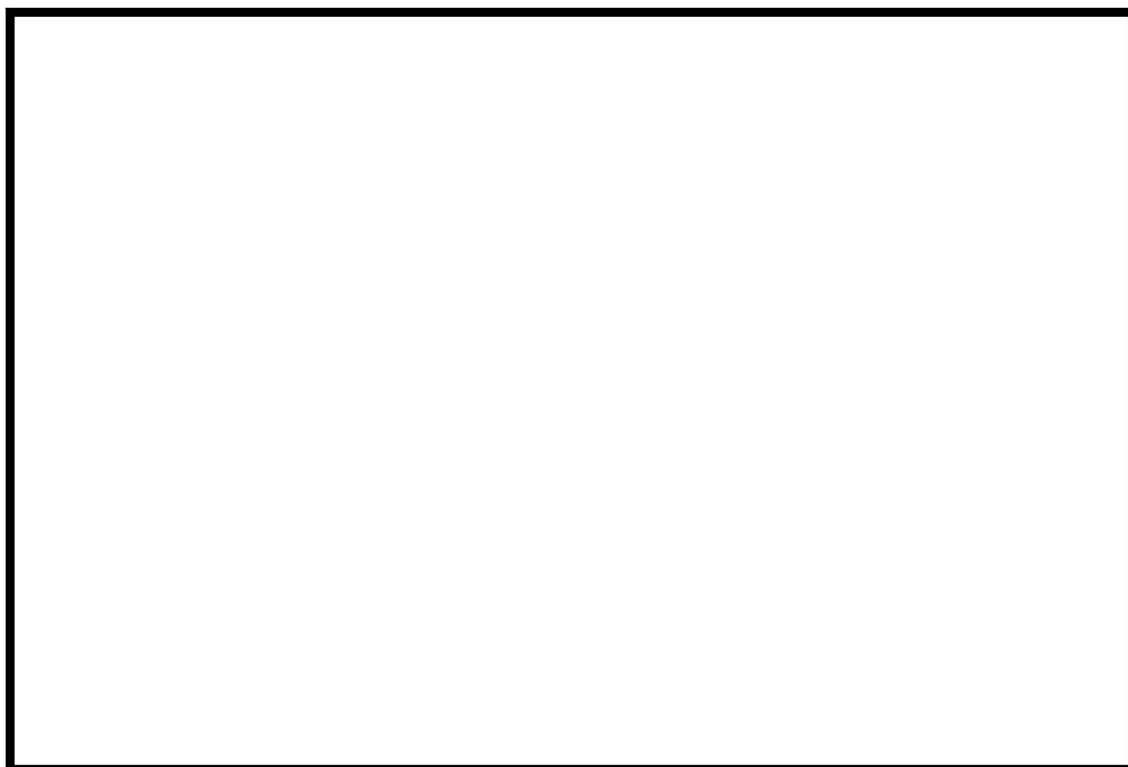
地下水の排水経路のうち、湧水ピットポンプから放水ピットまでは、Ss 機能維持とすることで排水機能は維持可能である。

放水路、放水池及び放水口は、構造的特徴や大規模地震を受けた先行サイトにおける放水設備の被害状況及び一般産業施設の地震被災事例を踏まえると、閉塞する可能性は低く、排水機能は維持できるものと考えている。

ただし、放水路、放水池及び放水口は閉塞の可能性を完全に排除できないため、当該範囲が閉塞した場合においても、敷地への排水が放水ピット上部開口からのみ起こるように制限するため、放水ピット上流で敷地への流下経路となり得る一次系放水ピット壁面開口を閉鎖する。放水ピット以降の排水については、標高差により構内排水設備を介して外海まで自然流下させる設計とする。

以上より、地下水排水設備による地下水の排水経路については、湧水ピットポンプから最終的な排水先である外海まで確実に排水可能な経路である。

なお、Ss 機能維持としない範囲が閉塞した場合の排水によるアクセスルート確保への影響については、可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルートに係る審査にて確認する。



添付 7-29 図 排水経路の排水機能維持とする考え方

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。

原子炉補機冷却海水放水路が損傷した場合の排水経路に関する
建設時の設計方針と防潮堤設置の影響

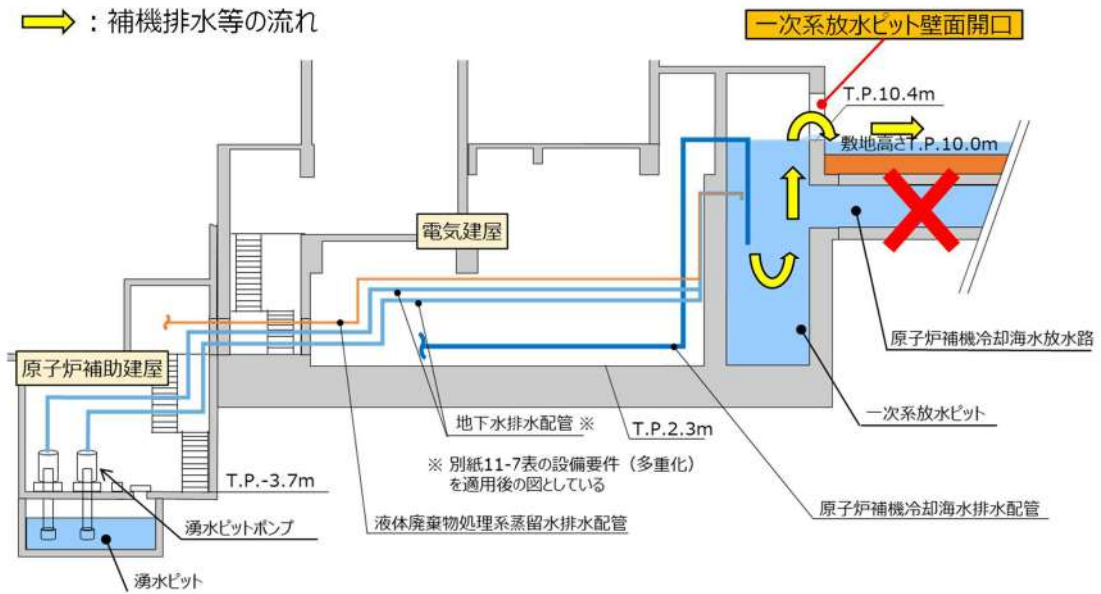
防潮堤設置以前の泊発電所3号炉では、排水経路のうち基準地震動に対する構造強度を確保する施設を一次系放水ピットまでとし、原子炉補機冷却海水放水路が地震によって損傷（閉塞）した際には、敷地（T.P. 10m 盤）に設置した一次系放水ピット壁面開口から排水し、敷地全体を流れて護岸から外海へ導く設計としていた（添付7別紙-1 図参照）。

防潮堤の設置以降は、地震時に埋戻土に支持された原子炉補機冷却海水放水路が損傷した場合に下記の影響が生じる。

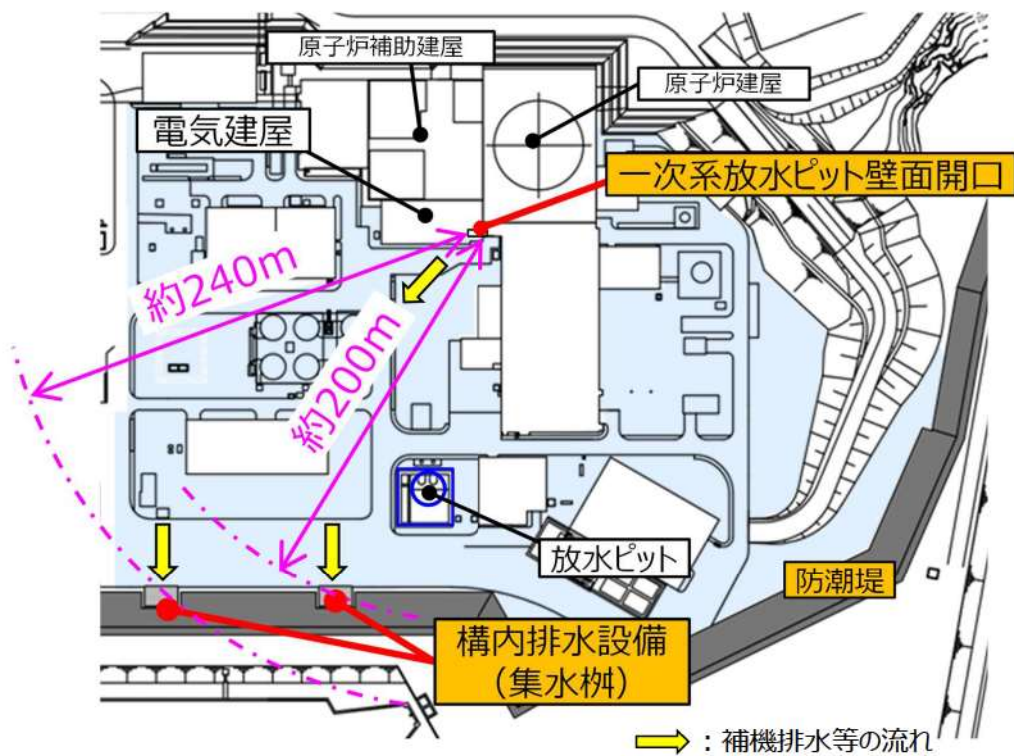
- ① 一次系放水ピットには原子炉補機冷却海水系からも最大 $1.89\text{m}^3/\text{s}$ の海水が連続的に排水（以下「補機排水」という。）されており、主要建屋近傍の一次系放水ピット壁面開口から地下水排水や補機排水が敷地に排出された場合、排水経路が構内排水設備に限定され、構内排水設備まで距離があることから敷地広範囲に滞水し易くなり、屋外溢水防護（建屋への流入防止）の信頼性に問題が発生する可能性がある（添付7別紙-2 図参照）。
- ② 主要建屋近傍で敷地（T.P. 10m 盤）へ排出した補機排水等が埋戻土に浸透すると、原子炉建屋等の主要建屋周囲の地下水位の上昇が起こり得る。その結果、建屋に対して揚圧力が作用し、耐震性に悪影響を与える可能性がある。

そのため、原子炉補機冷却海水放水路は岩着構造で再構築し、基準地震動による地震力に対して構造強度を確保する。

これにより、地震後においても地下水排水及び補機排水を確実に放水ピットまで導き、原子炉建屋等の主要建屋近傍に設置された一次系放水ピット壁面開口から補機排水等が敷地（T.P. 10m 盤）へ排出されることがない設計とすることで、屋外溢水防護（建屋への流入防止）の信頼性を強化すると共に、原子炉建屋等の主要建屋周囲の地下水位上昇も防止する。



添付 7 別紙-1 図 原子炉補機冷却海水放水路閉塞時の補機排水等の流れ
(発電所建設時の設計)



添付 7 別紙-2 図 一次系放水ピット壁面開口と構内排水設備の位置関係
(防潮堤設置後に原子炉補機冷却海水放水路が閉塞した場合)