

島根原子力発電所 2号炉 地震による損傷の防止 (コメント回答)

[地盤の液状化強度特性]

令和 2 年 7 月
中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません

No.	審査会合日	コメント要旨	回答頁
論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく論点			
113	R2.3.17	<p>[論点Ⅱ－29：地盤の液状化強度特性]</p> <p>・液状化検討対象施設について，液状化による影響に対する基本的な設計方針を説明すること。その際，液状化検討対象施設から対象外とする観点も踏まえて説明すること。</p>	P6

審査会合における指摘事項に対する回答【No. 10】

■ 指摘事項（第850回審査会合 令和2年3月17日）


【No. 113（論点Ⅱ－29）地盤の液状化強度特性】

○液状化検討対象施設について、液状化による影響に対する基本的な設計方針を説明すること。その際、液状化検討対象施設から対象外とする観点も踏まえて説明すること。

■ 回答まとめ

- ・液状化評価の基本設計方針として、設計基準対象施設及び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の影響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恐れがないように設計する。（P6）
- ・防波壁の設置及び地盤改良を実施したことにより地下水の流れが遮断され地下水位が上昇する恐れがあることから、地下水位を一定の範囲に保持する地下水位低下設備を設置することを踏まえ、設計基準対象施設（建物、構築物）である原子炉建物等においては、地下水位低下設備の機能に期待して設計地下水位を設定する。また、設計基準対象施設（屋外重要土木構造物及び津波防護施設）及び重大事故等対処施設においては、地下水位低下設備の機能に期待せず、自然水位より保守的に設定した水位を設計地下水位として設定する。（P6）
- ・設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の動的解析において、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮する場合には、有効応力解析等を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で実施した液状化強度試験結果よりも保守的な簡易設定法による液状化強度特性を設定する。（P6）
- ・液状化検討対象施設の選定方針として、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設においては、設置状況を考慮し、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。液状化検討対象施設については、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十分に低いかの観点から選定する。（P6）

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化強度特性の網羅性，代表性
 - 3.1 液状化試験試料採取位置とその代表性
 - 3.2 液状化試験結果
 - 3.3 基準地震動 S_s に対する液状化試験の妥当性確認
 - 3.4 簡易設定法
 - 3.5 液状化強度特性の設定方針
4. 液状化影響の評価方針
5. 参考文献

 : 本日は説明範囲

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化強度特性の網羅性，代表性
 - 3.1 液状化試験試料採取位置とその代表性
 - 3.2 液状化試験結果
 - 3.3 基準地震動 S_s に対する液状化試験の妥当性確認
 - 3.4 簡易設定法
 - 3.5 液状化強度特性の設定方針
4. 液状化影響の評価方針
5. 参考文献

1. 液状化評価の基本方針

新規制基準における液状化について

- 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
(設計基準対象施設の地盤)

第三条 設計基準対象施設は，次条第二項の規定により算定する地震力が作用した場合においても当該設計基準対象施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。

2 耐震重要施設は，変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。

- 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（別記1）

第3条（設計基準対象施設の地盤）

1 第3条第1項に規定する「設計基準対象施設を十分に支持することができる」とは，設計基準対象施設について，自重及び運転時の荷重等に加え，耐震重要度分類の各クラスに応じて算定する地震力が作用した場合においても，接地圧に対する十分な支持力を有する設計であることをいう。

2 第3条第2項に規定する「変形」とは，地震発生に伴う地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及び撓み並びに地震発生に伴う建物・構築物間の不等沈下，液状化及び揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状をいう。

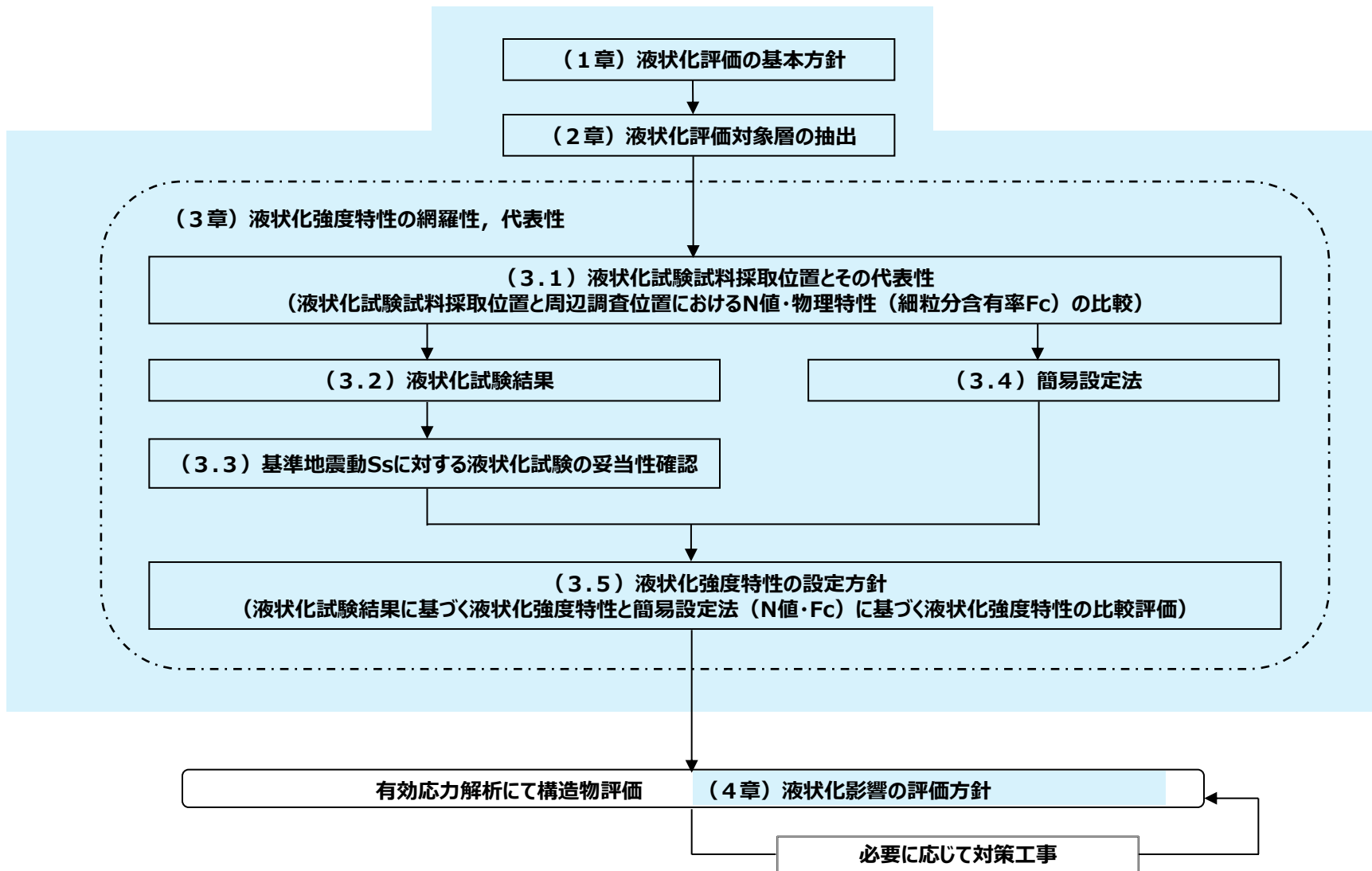
1. 液状化評価の基本方針

液状化評価の基本方針

- 設計基準対象施設及び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の影響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恐れがないように設計する。
- 設計基準対象施設は、防波壁の設置及び地盤改良を実施したことにより地下水の流れが遮断され地下水位が上昇する恐れがあることを踏まえ、地下水位を一定の範囲に保持する地下水位低下設備を設置する。
- 設計基準対象施設（建物、構築物）である原子炉建物等においては、地下水位低下設備の機能に期待して設計地下水位を設定する。また、設計基準対象施設（屋外重要土木構造物及び津波防護施設）及び重大事故等対処施設においては、地下水位低下設備の機能に期待せず、自然水位より保守的に設定した水位を設計地下水位として設定する。なお、各施設の設計地下水位は詳細設計段階において設定する。
- 設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の動的解析において、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮する場合には、有効応力解析等を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で実施した液状化強度試験結果よりも保守的な簡易設定法による液状化強度特性を設定する。
- 設計基準対象施設及び重大事故等対処施設においては、設置状況を考慮し、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。液状化検討対象施設については、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十分に低いかの観点から選定する。

1. 液状化評価の基本方針

液状化評価の流れ



1. 液状化評価の基本方針

液状化評価の基本方針

- 液状化評価については、道路橋示方書・同解説（V耐震設計編）（（社）日本道路協会，H24.3）（以下、「道路橋示方書」という）に基づく液状化判定の対象となる土層に加え、液状化判定の対象外となる50%粒径が10mmを超過する、または、10mm以下であっても10%粒径が1mmを超過する土層については、粒径2mm未満の砂を含む場合は念のため液状化試験を実施し、液状化の有無を確認することで保守的な評価を実施し、粒径2mm未満の砂を含まない場合は土質性状等を踏まえて液状化の有無を確認する。また、島根原子力発電所の津波防護施設や護岸等は、港湾の施設の技術上の基準・同解説（（社）日本港湾協会，H19）（以下、「港湾基準」という）に基づき設計していることを踏まえ、港湾基準に基づいた液状化評価も行うが、土の粒径加積曲線が「液状化の可能性あり」の範囲内に含まれない土層については、粒径2mm未満の砂を含む場合は念のため液状化試験を実施し、液状化の有無を確認することで保守的な評価を実施し、粒径2mm未満の砂を含まない場合は土質性状等を踏まえて液状化の有無を確認する。なお、島根原子力発電所の設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に該当する建物、構築物、屋外重要土木構造物及び津波防護施設は、堅固な地盤上に設置されていることから、液状化の影響検討を行う地盤は構造物の「周辺地盤」を対象とする。
- 液状化試験により、地震時の地盤の状態を判定し、それを踏まえた液状化強度特性の設定について検討を行う。
- 液状化強度特性は、港湾基準に基づく詳細な計算例をまとめた港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター，H19）（以下、「設計事例集」という）に準拠し、有効応力解析（FLIP）の簡易パラメータ設定法（以下、「簡易設定法」という）により設定する。なお、液状化試験結果が繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）、若しくは非液状化となる土層も、念のため液状化強度特性を設定して保守的な構造物評価を実施する。また、簡易設定法より設定した液状化強度特性は、液状化試験結果による液状化強度特性よりも保守的であることを確認する。

液状化評価の基本方針

本検討の対象土層			道路橋示方書 及び港湾基準 における液状 化評価の対象	当社評価				
地層名	堆積年代	調査地点名 土層名		液状化試験 による判定	液状化強度特性 の設定の考え方	液状化強度特性 の保守性		
被 覆 層	盛土	完新世	E-2～E-8, A～E 埋戻土 (掘削入り)	×	対象外	「非液状化」 若しくは 「繰返し軟化(サイ クリックモビリティ含む)」	設計事例集に準拠 し、FLIPの簡易設 定法に基づき設定する。	簡易設定法に基づき設定 した液状化強度特性 が、液状化試験結果 による液状化強度特 性とは比べ保守的であ ることを確認する。
	崖錐・海底堆積物	完新世	E-1, E-7, E-8 砂礫層	○	対象	「繰返し軟化(サイ クリックモビリティ含む)」		

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化強度特性の網羅性，代表性
 - 3.1 液状化試験試料採取位置とその代表性
 - 3.2 液状化試験結果
 - 3.3 基準地震動 S_s に対する液状化試験の妥当性確認
 - 3.4 簡易設定法
 - 3.5 液状化強度特性の設定方針
4. 液状化影響の評価方針
5. 参考文献

4. 液状化影響の評価方針

液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定の観点（1）

- 設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の設置状況を考慮し、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。抽出に当たっては、設計基準対象施設（建物、構築物、屋外重要土木構造物及び津波防護施設）及び重大事故等対処施設を対象に検討する。なお、海中や岩盤上に設置される取水口、取水管及び1号放水連絡通路防波扉については、周囲に液状化評価対象層が分布しないことから、抽出対象外とする。
- 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中埋設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選定の考え方を示し、詳細設計段階において、設定した設計地下水位に基づき液状化検討対象施設の選定を行う。

液状化検討対象候補施設 一覧

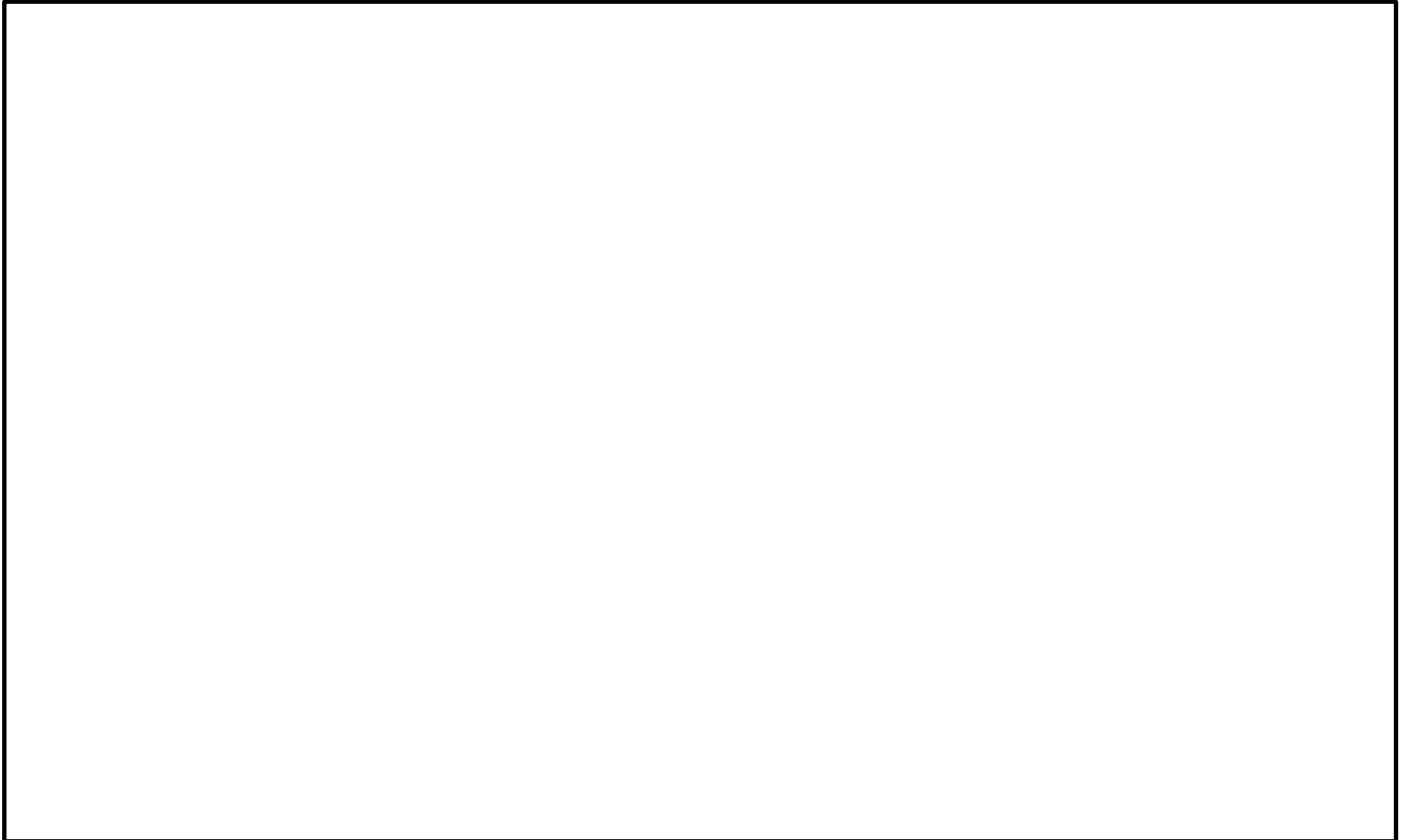
施設分類	施設名称	基礎形式	支持層	基礎下端高さ ^{※1} (EL. m)	地下水位の設定方針	
設計基準対象施設	建物、構築物	原子炉建物	直接基礎	岩盤	-4.7	地下水位低下設備の機能に期待して、設計地下水位を設定する
		タービン建物	直接基礎	岩盤	0.0	
		廃棄物処理建物	直接基礎	岩盤	0.0	
		制御室建物	直接基礎	岩盤	+0.1	
		排気筒	直接基礎	岩盤	+2.0	
	屋外重要土木構造物	取水槽	直接基礎	岩盤	-11.7	自然水位 ^{※2} より保守的に設定した水位
		屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	直接基礎	岩盤	+4.9	
		ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	直接基礎	岩盤	+8.35	
		屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）	直接基礎	岩盤	+10.4	
	津波防護施設	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	杭基礎	岩盤	-19.1	
		防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）	杭基礎	岩盤	-10.65	
		防波壁（波返重力擁壁）	直接基礎	岩盤・改良地盤	-13.0	
		1号炉取水槽流路縮小工	直接基礎	岩盤	-7.1	
		防波扉（防波壁通路防波扉）	杭基礎	岩盤	-15.9	
重大事故等対処施設	第1ベントフィルタ格納槽	直接基礎	岩盤	+0.7		
	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	直接基礎	岩盤	-1.3		
	緊急時対策所建物 ^{※3}	直接基礎	岩盤	+48.25		
	緊急時対策所用燃料地下タンク	直接基礎	岩盤	+46.6		
	ガスタービン発電機建物 ^{※3}	直接基礎	岩盤	+44.0		
	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	直接基礎	岩盤	+45.8		
	屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）	直接基礎	岩盤	+45.45		

※1 各施設の代表的な基礎下端高さを示す。 ※2 地下水位低下設備を考慮しない場合の地下水位 ※3 重大事故等対処施設のうち建物、構築物

4. 液状化影響の評価方針

液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定の観点（2）

- 設計基準対象施設，重大事故等対処施設，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以下に示す。

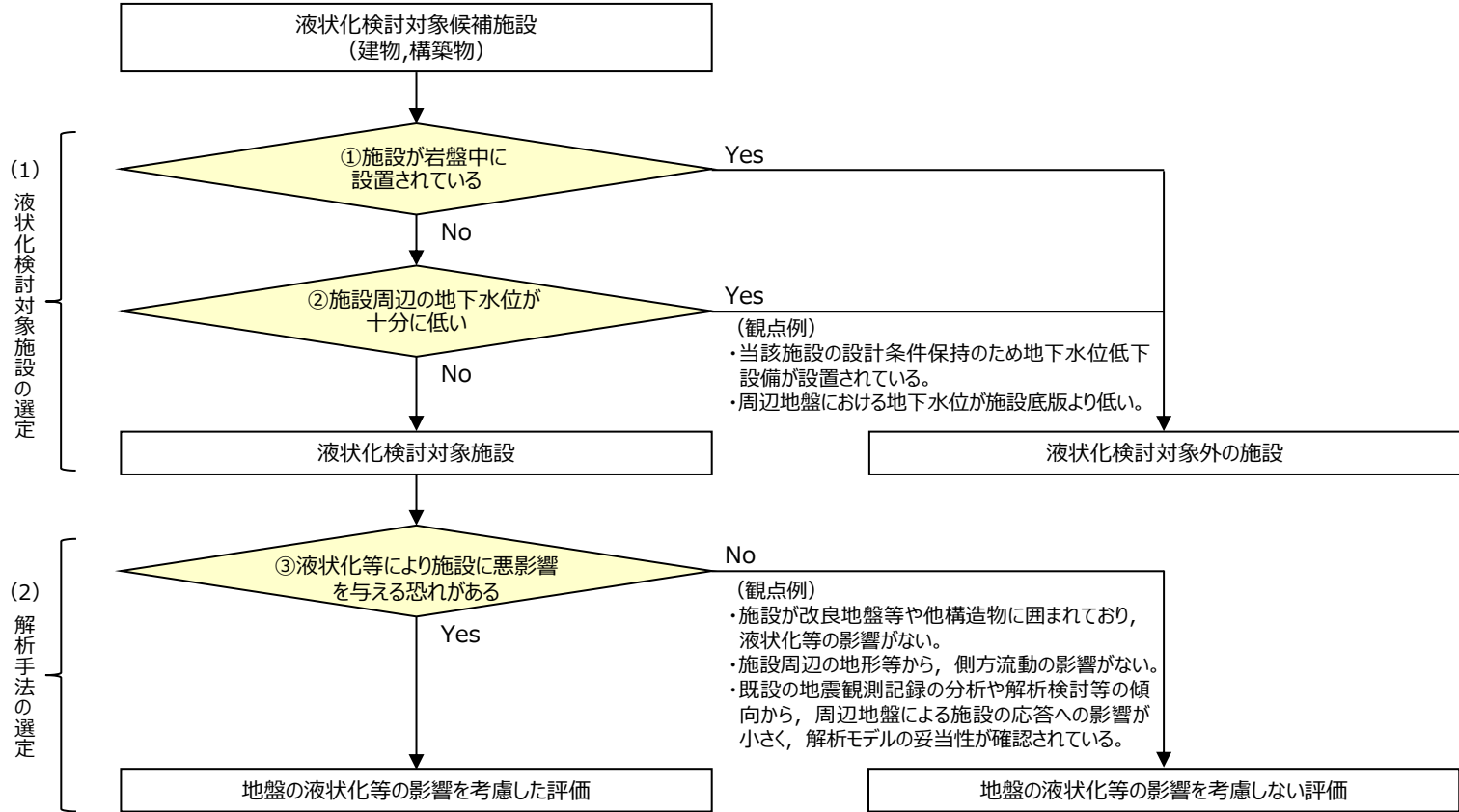


設計基準対象施設，重大事故等対処施設，可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルート 配置図

4. 液状化影響の評価方針

液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定の観点（3）

■ 液状化検討対象候補施設（建物,構築物）について，液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定フローを以下に示す。

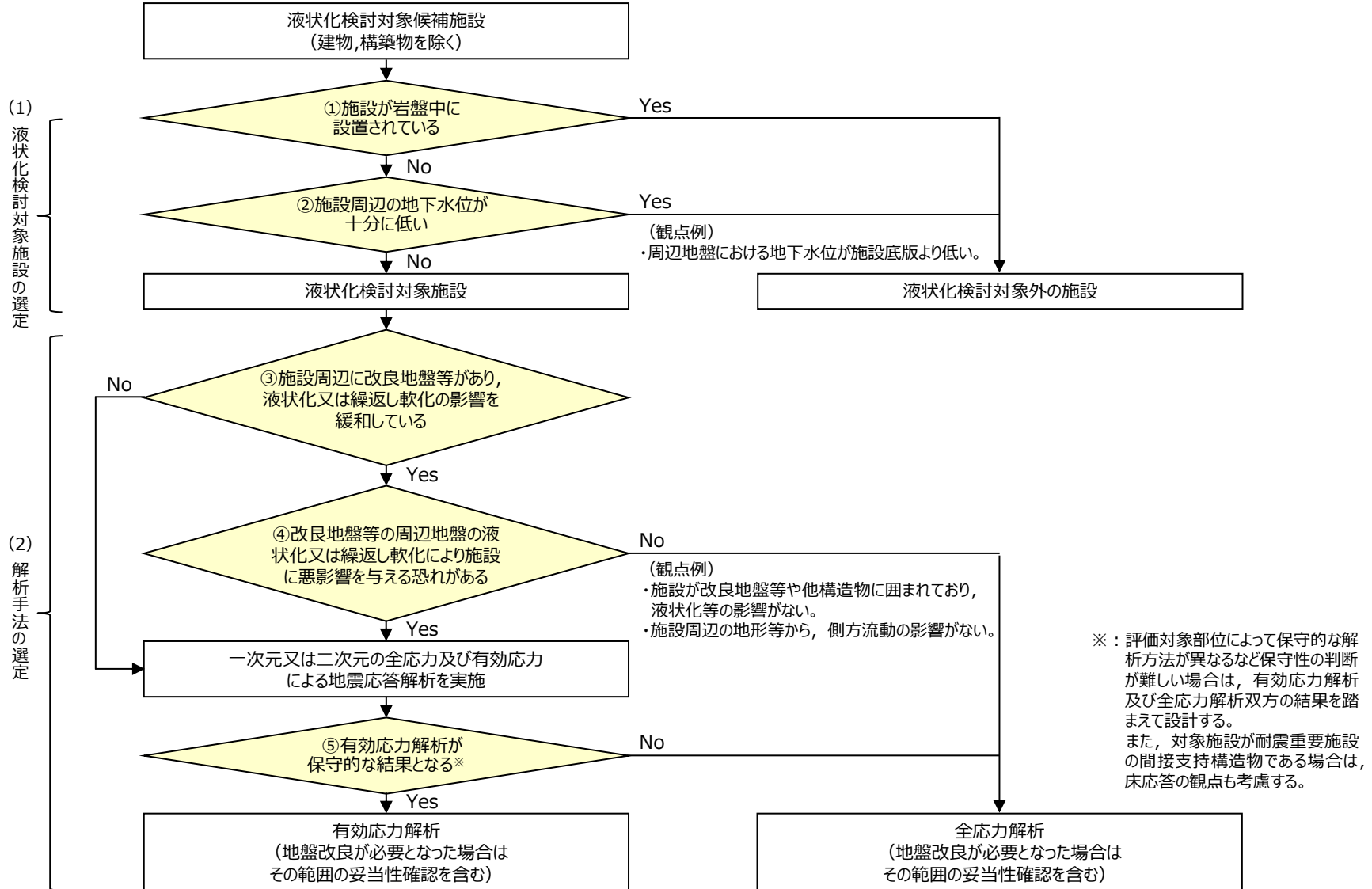


液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定フロー（建物,構築物）

4. 液状化影響の評価方針

液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定の観点（4）

■ 液状化検討対象候補施設（建物、構築物を除く）について、液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定フローを以下に示す。

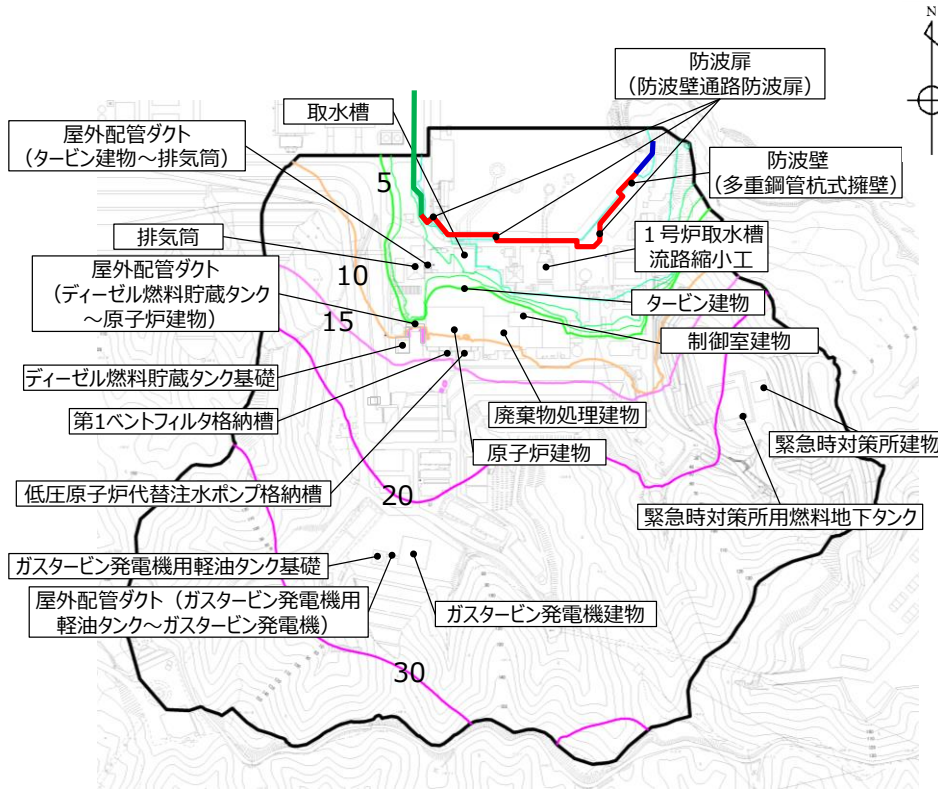


液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定フロー（建物、構築物を除く）

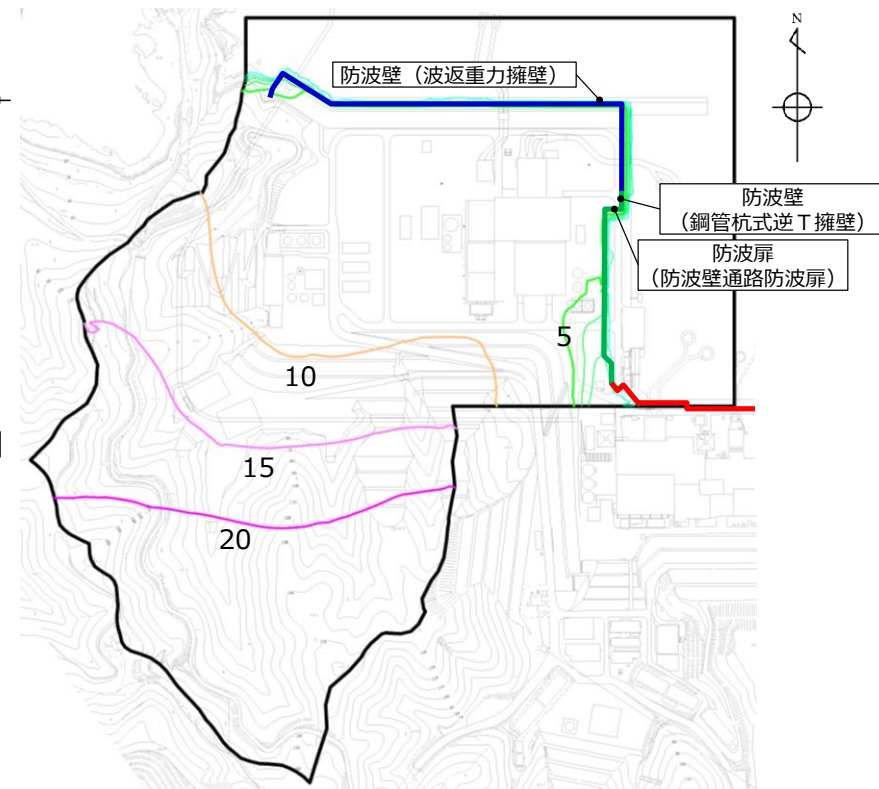
4. 液状化影響の評価方針

液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定の観点（5）

- 詳細設計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選定等に当たって、以下に示す地下水位低下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浸透流解析の結果を使用する。なお、原子炉建物等の建物、構築物については、地下水位低下設備の機能に期待した浸透流解析の結果を使用する。
- 地下水位の設定方針において、自然水位（地下水位低下設備を考慮しない場合の地下水位）より保守的に設定した水位とする施設については、以下に示す浸透流解析の結果を踏まえ、液状化検討対象施設の選定フローのうち「②施設周辺の地下水位が十分に低い」の判定を行う。



1, 2号炉エリア



3号炉エリア

地下水位低下設備が機能しない場合の地下水位分布算定結果（例）

4. 液状化影響の評価方針

液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定の観点（6）

■ 液状化検討対象施設を選定した結果（例）を以下に示す。

液状化検討対象施設の選定結果（例）

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十分に低い			
設計基準対象施設	建物, 構築物	原子炉建物	No	Yes	設計条件保持のため地下水位低下設備を設置することから、施設周辺の地下水位が十分に低い。	×
		タービン建物	No	Yes	設計条件保持のため地下水位低下設備を設置することから、施設周辺の地下水位が十分に低い。	×
		廃棄物処理建物	No	Yes	設計条件保持のため地下水位低下設備を設置することから、施設周辺の地下水位が十分に低い。	×
		制御室建物	No	Yes	設計条件保持のため地下水位低下設備を設置することから、施設周辺の地下水位が十分に低い。	×
		排気筒	No	Yes	設計条件保持のため地下水位低下設備を設置することから、施設周辺の地下水位が十分に低い。	×
	屋外重要土木構築物	取水槽	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
	津波防護施設	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		防波壁（波返重力擁壁）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		1号炉取水槽流路縮小工	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		防波扉（防波壁通路防波扉）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
	重大事故等対処施設	第1バントフィルタ格納槽	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽		No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○	
緊急時対策所建物		No	Yes	周辺地盤における地下水位が施設底版より低い。	×	
緊急時対策所用燃料地下タンク		No	Yes	周辺地盤における地下水位が施設底版より低い。	×	
ガスタービン発電機建物		No	Yes	周辺地盤における地下水位が施設底版より低い。	×	
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎		No	Yes	周辺地盤における地下水位が施設底版より低い。	×	
屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）		No	Yes	周辺地盤における地下水位が施設底版より低い。	×	

※ 詳細設計段階で実施する地下水位低下設備を考慮した浸透流解析の結果を踏まえ、改めて液状化検討対象施設の選定を行う。

4. 液状化影響の評価方針

液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定の観点（7）

- 選定した液状化検討対象施設（例）に対し、設計基準対象施設・重大事故等対処施設の解析手法を選定した結果（例）を以下に示す。
- ③で施設周辺に改良地盤等がない場合、又は④で悪影響を与える恐れがある場合は、液状化考慮と液状化非考慮で耐震安全性評価上どちらが保守的になるかを確認するため、一次元又は二次元の全応力及び有効応力による地震応答解析を実施した上で、保守的となる解析手法を選定する。④で悪影響を与える恐れがない場合は、全応力解析を実施する。
- 液状化検討対象施設の選定結果（例）において対象とした施設の設置状況を次頁以降に示す。

液状化検討対象施設の解析手法選定結果（例）

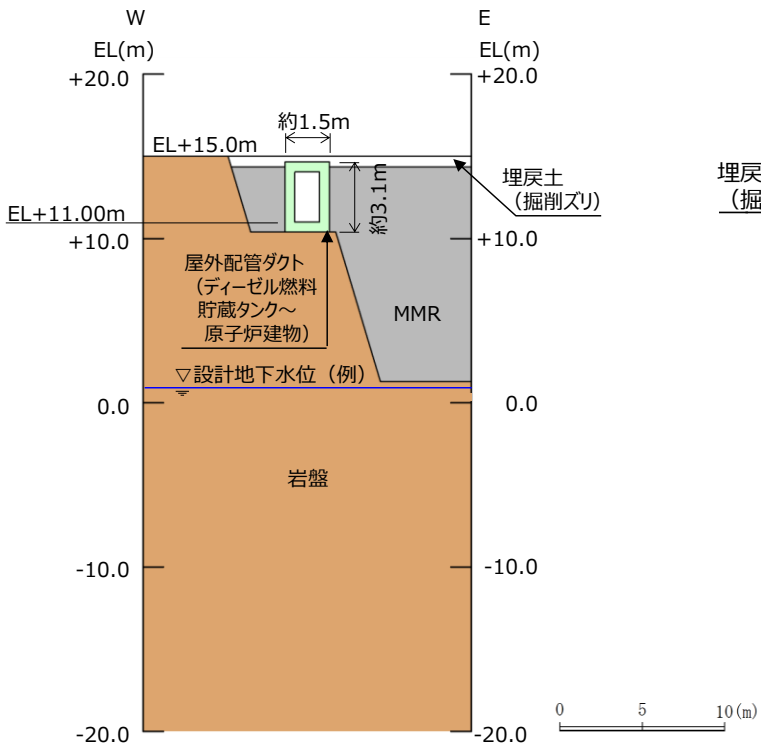
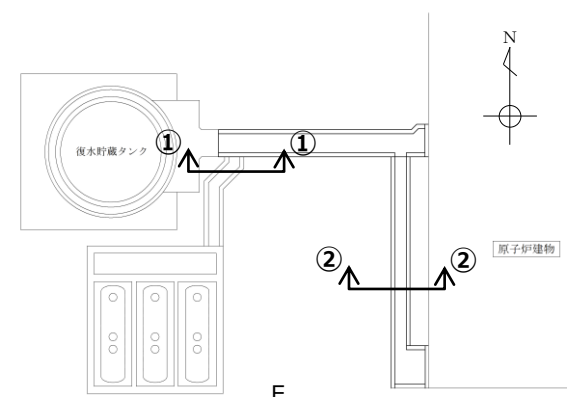
施設分類	施設名称	項目			一次元又は二次元の全応力及び有効応力による地震応答解析を実施し、解析手法を選定※ ○：対象 ×：対象外		
		③施設周辺に改良地盤等がある	④改良地盤等の周辺地盤の液状化又は繰返し軟化により施設に悪影響を与える恐れがある				
設計基準対象施設	屋外重要土木構造物	取水槽	No	-		○	
		屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	No	-		○	
		ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	Yes	No	施設が改良地盤等に囲まれ、その外側に液状化検討対象層がないことから、液状化の影響はない。		×
		屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）	Yes	Yes	施設側方に改良地盤等があるが、液状化検討対象層とも接している。また、改良地盤等の外側の液状化検討対象層の影響を無視できない。		○
	津波防護施設	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	No	-		○	
		防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）	Yes	Yes	施設下部は改良地盤等に囲まれるが、その外側の液状化検討対象層の影響を無視できない。		○
		防波壁（波返重力擁壁）	No	-		○	
		1号炉取水槽流路縮小工	No	-		○	
		防波扉（防波壁通路防波扉）	Yes	Yes	施設下部は改良地盤等に囲まれるが、その外側の液状化検討対象層の影響を無視できない。		○
	重大事故等対処施設	第1ベントフィルタ格納槽	Yes	Yes	施設は改良地盤等に囲まれるが、その外側の液状化検討対象層の影響を無視できない。		○
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽		Yes	No	施設が改良地盤等に囲まれ、その外側に液状化検討対象層がないことから、液状化の影響はない。		×	

※ 詳細設計段階で実施する地下水位低下設備を考慮した浸透流解析の結果を踏まえ、改めて液状化検討対象施設を選定した上で解析手法の選定を行う。

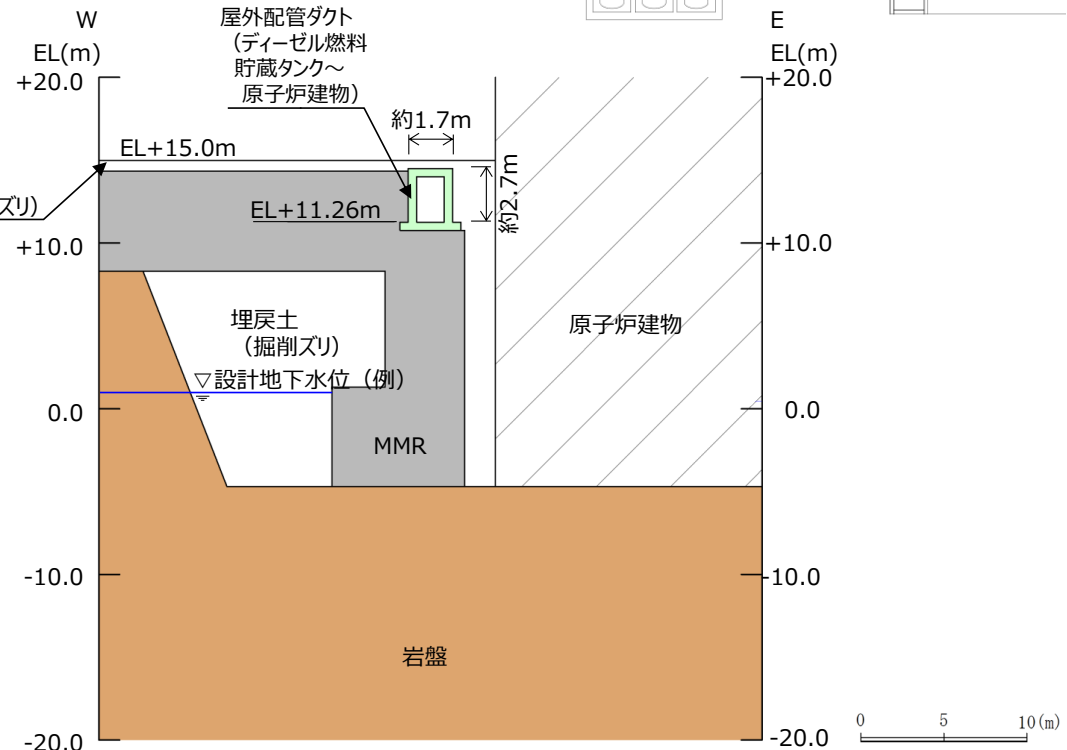
4. 液状化影響の評価方針

液状化検討対象施設【屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）】

- 屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の設置状況を以下に示す。
- 屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）は岩盤上及びMMRを介して岩盤上に設置されており，周辺はMMR及び埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）
 ①－①断面図

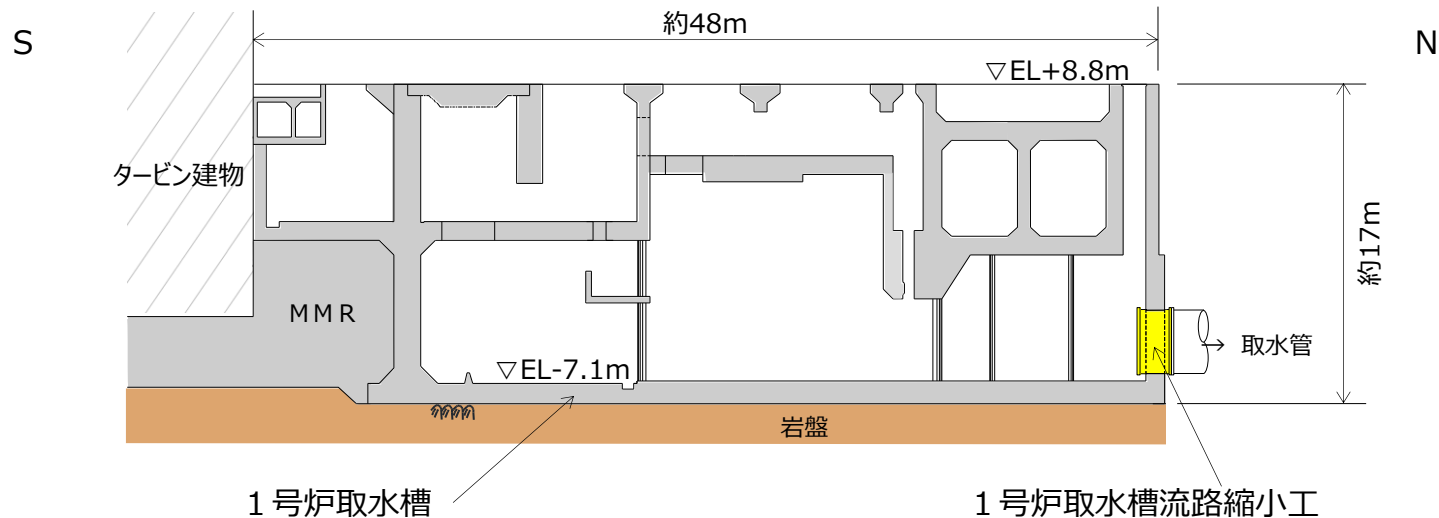
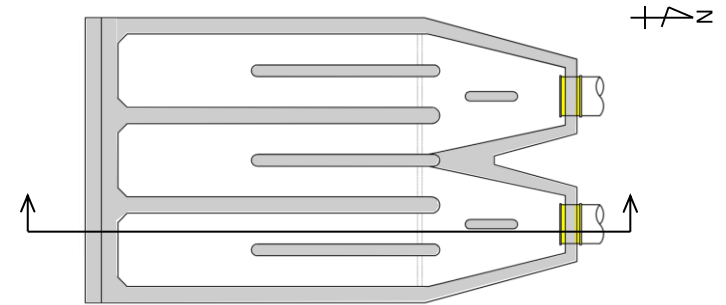


屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）
 ②－②断面図

4. 液状化影響の評価方針

液状化検討対象施設 【1号炉取水槽流路縮小工】

- 1号炉取水槽流路縮小工の設置状況を以下に示す。
- 1号炉取水槽流路縮小工は1号炉取水槽北側壁を介して岩盤上に設置されており、周辺はMMR、埋戻土（掘削ズリ）及び埋戻土（粘性土）が分布している。



1号炉取水槽流路縮小工 断面図