実線・・設備運用又は体制等の相違（設計方針の相違）
波線・・記載表現，設備名称の相違（実質的な相違なし）

まとめ資料比較表　〔第４条　地震による損傷の防止　別紙－11〕

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
別紙－11　液状化影響の検討方針について これまでの経緯及び本検討の位置づけ 「柏崎刈羽原子力発電所６号及び７号炉原子炉建屋等の基礎地盤及び周辺斜面の安定性について」において，取水路等を支持する古安田層※に対する支持性能の補足として，以下のように説明をしている。 ・支持地盤（古安田層）は，シルト主体の地層であり，液状化が懸念される地盤ではないと判断できる。 ・道路橋示方書・同解説（H14）や建築基礎構造設計指針（2001）では，地表面から20m以浅の沖積層を液状化判定が必要な土層としており，古安田層の一部に分布する砂層は，中期更新世の地層かつ深度20m 以深の非常に密な地盤であることから，その対象とはならない。 ・ただし，この古安田層の砂層については，詳細設計段階において基準地震動Ss に対する液状化に関する詳細な検討を行う。 本検討は，耐震設計・耐津波設計基本方針における液状化の構造物への影響評価の考え方についてとりまとめたものである。また，構造物影響評価の考え方を説明する上で，詳細設計段階における評価の前提となる液状化試験結果について併せて説明する。なお，液状化に対する構造物への影響評価の見通しについても説明する。 ※ 安田層下部層のMIS10～MIS7 とMIS6 の境界付近の堆積物については，本資料では『古安田層』と仮称する。 ※ 本資料では，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）で用いられている『洪積層』という用語を使用する。なお，道路橋示方書では，洪積層について「第四紀のうち古い地質時代（更新世）における堆積物による土層に概ね対応すると考えてよい」とされている。	別紙－ 17　液状化影響の検討方針について	別紙-11　液状化影響の検討方針について	・資料構成の相違 【柏崎6/7】 柏崎6/7は他資料における液状化の記載内容について説明している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
目次	目 次		
１．液状化評価の基本方針 ・・・ 3	１．液状化影響評価の基本方針 ..... 1 １．１ 設置許可基準規則第三条第1 項，第2 項及び第三十八条第1項，　第2 項に対する条文適合方針 ..... 1 １．２ 液状化影響評価の基本方針 1	1.　液状化評価の基本方針	
２．液状化評価対象層の抽出 ・・・ 7	２．液状化検討対象層の抽出 ..... 3 ２．１ 敷地の地質概況 ..... 3 ２．２ 旧表土の分布 ..... 6 ２．３ 盛土の分布 ..... 6 ２．４ 液状化検討対象層 6	2.　液状化評価対象層の抽出	
	３．液状化検討対象施設の抽出 ..... 7 ３．１ 液状化検討対象施設の抽出及び解析手法選定の観点 7		・資料構成の相違 【女川２】 島根２号炉では4.2章で液状化検討対象施設の選定について説明している
３．液状化試験位置とその代表性		3.液状化強度特性の網羅性，代表性	
	４．液状化強度試験 試料採取位置選定とその代表性 37	3.1 液状化試験試料採取位置とその代表性	
３．１ 液状化試験位置の選定 ・・・ 19	４．１ 液状化強度試験 試料採取位置の選定 37	3.1.1 液状化試験試料採取位置の選定	
３．２ 液状化試験選定個所の代表性確認 ・・・ 25	４．２ 液状化強度試験 試料採取位置の代表性確認 40	3.1.2 液状化試験試料採取位置の代表性確認	
３．３ 追加調査位置 ・・・ 50			・資料構成の相違 【柏崎6/7】 柏崎6/7では追加調査について説明している
４．液状化試験結果	５．液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定 51	3.2 液状化試験結果	
４．１ 液状化試験方法 ・・・ 54	５．１ 液状化強度試験方法 51	3.2.1 液状化試験方法	
４．２ 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方 ・・・ 58	５．２ 液状化強度試験結果の分類に対する基本的考え方.. 52	3.2.2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方	
４．３ 試験結果の分類 ・・・ 63	５．３ 液状化強度試験結果 57	3.2.3 試験結果の分類	
５．基準地震動Ss に対する液状化判定（FL 法） ・・・ 83			・資料構成の相違 【柏崎6/7】 柏崎6/7では「液状化」を示す土層について説明している
６．基準地震動Ss に対する液状化試験の妥当性確認 ・・・ 89	５．４ 基準地震動Ss に対する液状化強度試験の妥当性確認 69	3.3 基準地震動Ｓｓに対する液状化試験の妥当性確認	
		3.4 簡易設定法	・資料構成の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉では有効応力解析のパラメータ設定に使用する簡易設定法について説明している
７．液状化強度特性の設定 ・・・104	５．５ 液状化強度特性の設定 85	3.5 液状化強度特性の設定方針	
８．液状化影響の検討方針 ・・・113	６．液状化影響の検討方針 ..... 87 ６．１ 液状化影響の検討方針 87	4．液状化影響の評価方針 4.1 液状化影響の検討方針 4.2 液状化検討対象施設の選定 4.2.1 液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定の観点	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	６．２ 解析コード「FLIP」の構成則と特徴 ..... 87 ６．３ 有効応力解析に用いる地下水位設定について 89		・資料構成の相違 【女川２】 女川２では解析コード及地下水位設定について説明している
９．設置許可段階における構造物評価の見通し ９．１ 代表構造物の抽出 ・・・115 ９．２ 取水路 ・・・117 ９．３ 常設代替交流電源設備基礎 ・・・149			・資料構成の相違 【柏崎6/7】 柏崎6/7では構造物評価の見通しについて説明している
１０．参考文献 ・・・171		5. 参考文献	
１１．参考資料 １１．１ 評価対象構造物の断面図 ・・・172 １１．２ 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足 ・・・181 １１．３ 液状化に関連する基本物性に関する補足 ・・・191 １１．４ 液状化関連の文献整理 ・・・198 １１．５ 新潟県中越沖地震時の地盤変状 ・・・217	（参考資料） １．盛土・旧表土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 ２．盛土の均一性について ３．液状化に関連する基本物性の補足 ４．N 値とＦｃの関係について ５．盛土のN 値について ６．2011 年東北地方太平洋沖地震における沈下実績について ７．盛土の追加液状化強度試験について		・資料構成の相違 【柏崎6/7，女川２】 柏崎6/7，女川２では参考資料を添付している（敷地の地質の補足データであるため，記載を省略）

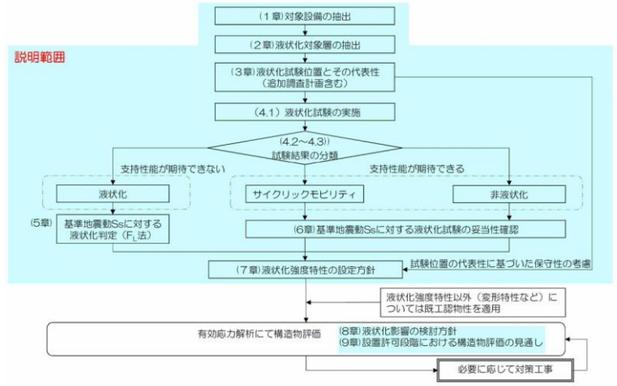
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
1.　液状化評価の基本方針	1.　液状化影響評価の基本方針 1.1 設置許可基準規則第三条第1 項，第2 項及び第三十八条第1 項，第2 項に対する条文適合方針 女川原子力発電所における耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設は，直接又は杭を介して十分な支持性能を有する岩盤又は改良地盤で支持する （第三条及び第三十八条第1 項適合）。 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設のうち杭基礎構造物においては，液状化影響を考慮した場合においても，支持機能及び杭本体の構造が成立するよう設計する。また，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，当該施設の機能が損なわれるおそれがないように設計する（第三条及び第三十八条第1 項及び第2 項適合）。 1.2 液状化影響評価の基本方針 本資料では，1.1 に示す条文適合方針に基づき，耐震設計における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おいては，地下水位低下設備の効果が及ぶ範囲においてはその機能を考慮した設計用地下水位を設定し水圧の影響を考慮する。地下水位低下設備の効果が及ばない範囲においては，自然水位より保守的に設定した水位又は地表面にて設計用地下水位を設定する。なお，各施設の設計用地下水位は工認段階において設定するものとする。	1.　液状化評価の基本方針 本資料では，耐震設計における液状化影響の検討方針を示す。 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うえ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。	・資料構成の相違 【女川２】 女川２では条文適合方針及び基本方針について説明している ・記載の相違 【柏崎6/7】 島根２号炉，女川2号炉では，基本設計方針を記載している。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		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。	
第11-1-1 図に液状化評価の流れ，第11-1-1 表に液状化評価の基本方針を示す。 液状化評価については道路橋示方書を基本として，道路橋示方書において液状化評価の対象外となっている洪積層についても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する。	女川原子力発電所における液状化影響評価のフローを第1.2-1 図に示す。 ・液状化評価については，道路橋示方書の液状化評価方法を基本とするが，液状化評価の対象外とされる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，保守的に盛土及び旧表土を液状化検討対象層とする（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），常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盛土及び旧表土の液状化強度試験の試料採取位置について，敷地全体に分布する盛土及び旧表土の基本物性値と比較し，その代表性を確認する（４．液状化強度試験試料採取位置選定とその代表性）。	第1-1図に液状化評価の流れ，第1-1表に液状化評価の基本方針を示す。 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）を基本とするが，液状化評価の対象外となっている50％粒径が10㎜を超過する，又は，10㎜以下であっても10％粒径が１㎜を超過する土層については，粒径２㎜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２㎜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年版）（以下，「港湾基準」という）に基づき設計され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２㎜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２㎜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おり，液状化の影響検討を行う地盤は構造物の「周辺地盤」である。	・液状化評価方法の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉では，粒径に着目し液状化評価を実施する
液状化試験に基づいて，地震時の地盤の状態を『液状化』，『サイクリックモビリティ』及び『非液状化』と判定する。	・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Ss 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）。 ・耐震設計において，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	液状化試験に基づいて，地震時の地盤の状態を『液状化』又は『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』と判定する。	
それぞれの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定し，構造物への影響評価を実施する。なお，試験結果が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。設定した液状化強度特性については，試験結果を基本に設定するが，基本物性のばらつきも考慮して保守的な設定とする。 液状化評価の対象となる施設は，屋外の設計基準対象施設（屋		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年版）（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	・液状化強度特性の設定方法の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉では，液状化特性を港湾構造物設計事例集に準拠し設定する

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

外重要土木構造物，津波防護施設）及び重大事故等対処施設を対象に抽出した。第11-1-2 表に液状化評価の対象設備を示す。また，荒浜側には液状化評価の対象となる施設はないが，津波評価の前提となる液状化に伴う地盤の沈下等を評価するために，荒浜側に分布する砂層については，荒浜側防潮堤の縦断方向の地質断面図を代表例として，液状化対象層の抽出を行った。

なお，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基本方針は，波及的影響評価の中で整理を行う。



第11-1-1 図 液状化評価の流れ

第11-1-1 表 液状化評価の基本方針

本検討の対象砂層				道路橋示方書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
埋戻土層	－		A-1 埋戻土層	○ 対象	液状化	試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。	試験結果を基本として，基本物性のばらつきも考慮して保守的な設定とする。
新期砂層・沖積層	完新世（沖積層）		A-3 新期砂層・沖積層		サイクリックモビリティ		
古安田層（古安田層中の砂層が対象）	更新世（洪積層）	新しい	A-1 洪積砂層Ⅰ 洪積砂層Ⅱ	× 対象外			
			A-2 洪積砂層Ⅰ			※	
		古い	A-2 洪積砂層Ⅱ		非液状化	非液状化であると考えられるが，保守的な構造物評価を実施するため，液状化強度特性を設定する。	
			O-1 洪積砂質土層Ⅰ 洪積砂質土層Ⅱ				

※ A-2 地点の洪積砂層Ⅰについては非液状化であると考えられるが，A-1 地点の洪積砂層Ⅰ・Ⅱと同時代に堆積した地層であること，N 値が A-1 地点の洪積砂層Ⅱと同程度であることを踏まえ，A-1 地点の洪積砂層Ⅱの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。

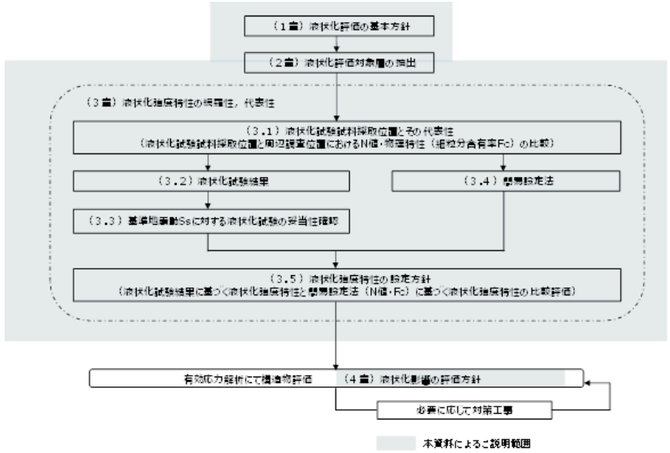


第1.2-1 図 液状化影響評価フロー

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。

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，設計地下水位以深の周辺地盤において埋戻土（掘削ズリ）又は砂礫層が分布している構造物の中から，工認段階において液状化影響評価対象施設を選定する。

なお，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基本方針は，波及的影響評価の中で整理を行う。



第1-1 図　液状化評価の流れ

第1-1 表 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 （掘削ｽﾞﾘ）	× 対象外	「非液状化」 若しくは 「繰返し軟化(ｻｲｸﾘｯｸﾓﾋﾞﾘﾃｨ含む)」	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(ｻｲｸﾘｯｸﾓﾋﾞﾘﾃｨ含む)」		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第11-1-2 表 液状化評価の対象設備

設備分類		設備名称	構造概要	支持層
設計基準対象施設	屋外重要土木構造物	スクリーン室	鉄筋コンクリート構造	古安田層
		取水路	鉄筋コンクリート構造	古安田層
		補機冷却用海水取水路※1	鉄筋コンクリート構造	西山層
		海水貯留堰※2	鋼管矢板構造	古安田層，西山層
		軽油タンク基礎	鉄筋コンクリート ＋ 杭基礎構造	西山層
		燃料移送系配管ダクト	鉄筋コンクリート ＋ 杭基礎構造	西山層
	津波防護施設	海水貯留堰※2	鋼管矢板構造	古安田層，西山層
重大事故等対処施設		常設代替交流電源設備基礎	鉄筋コンクリート ＋ 杭基礎構造	西山層
		格納容器圧力逃がし装置基礎	鉄筋コンクリート ＋ 杭基礎構造	西山層

※1：マンメイドロックを介して西山層に直接支持，※2：海水貯留堰は屋外重要土木構造物と津波防護施設の兼用。海水貯留堰の周辺には液状化評価対象層は存在しないことから，液状化評価対象設備からは除外する。

・資料構成の相違
【柏崎6/7】
島根２号炉では対象設備について4.2章で説明している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
2. 液状化評価対象層の抽出 第11-2-1 表に敷地の地質層序表を示す。敷地の地質は，下位から新第三系の寺泊層及び椎谷層，新第三系鮮新統～第四系下部更新統の西山層，下部更新統の灰爪層，それらを不整合で覆う中部更新統の古安田層，上部更新統の大湊砂層及び番神砂層，完新統の新期砂層・沖積層からなる。 評価対象範囲の地盤に分布する砂層としては，古安田層中の砂層，新期砂層・沖積層，埋戻土層がある。 古安田層は，敷地のほぼ全域にわたって分布し，主に粘土～シルトからなり，砂，砂礫等を挟在する。また，本層は，MIS10～MIS7とMIS6 との境界付近の海進，海退に伴う堆積物を含むものと推定され，中部更新統と判断される。 敷地の古安田層は全域に広く分布しており，古安田層中の砂層は，主にAta-Th テフラを含むシルト主体のMIS7 の地層に挟在している。また，MIS7 の堆積物の基底には砂礫層が分布している。第11-2-1 図に古安田層上限面図及びボーリング柱状図を示す。 新期砂層・沖積層は，敷地のほぼ全域にわたって下位層を覆って分布している。下位層上限面に刻まれた谷を埋めるように堆積したため，場所により層厚が大きく変化している。本層は，主に未固結の淘汰の良い細粒～中粒砂からなる。現在の海浜，砂丘を形成しており，下位層を不整合に覆う。 液状化評価対象層については，道路橋示方書に基づいて対象層を抽出した。第11-2-2 図に液状化評価対象層の抽出フローを示す。 道路橋示方書では，沖積層を液状化評価対象層としているが，本評価では洪積層（古安田層）についても，同様に抽出対象とした。また，地表面から20m 以深は対象外となっているが，本評価では地表から20m 以深の砂層も抽出対象とした。 対象設備のうち，スクリーン室，取水路，軽油タンク基礎，燃料移送系配管ダクト，常設代替交流電源設備基礎の地盤には砂層が分布している。これらの施設に着目して地質断面図を作成し，砂層の分布状況について第11-2-3 図に整理した。 6 号及び7 号炉の取水路及び常設代替交流電源設備基礎の周辺地盤については，シルト主体の古安田層中に挟在する砂層が広く分布している。この砂層が挟在するシルト層内の上部にはAta-Th テフラが同程度の標高で広く確認されること，その下部には砂層が同程度の標高に分布していることから，MIS7 の同時期に堆積し	2. 液状化検討対象層の抽出 2.1 敷地の地質概況 敷地の地質層序表を第2.1-1 表に示す。敷地の地質は，中生界ジュラ系と，これを覆う第四系等によって構成されており，敷地のジュラ系は，牡鹿層群月の浦累層及び荻の浜累層に区分される砂岩，頁岩及び砂岩頁岩互層の堆積岩類であり，敷地に広く分布し，部分的にこれらを貫いてひん岩が分布する。また，第四系として，一部海岸付近及び低地周辺に，未固結～半固結の堆積物が分布する。 敷地の地盤は，岩盤，盛土及び旧表土に分類され，液状化の可能性を考慮するべき未固結の地盤は，盛土及び旧表土が該当する。なお，旧表土は，第四系の沖積層に該当し，粘性土～粘土質砂質土～砂質土を主体とし，海浜砂に比べ粒径が比較的幅広い特徴を有する。 旧表土は，敷地のほぼ全域にわたり牡鹿層群を覆って分布する。旧表土は，地層の連続性からみて同時代に堆積したものと考えられ，かつては敷地のほぼ全域に分布していたが，発電所設置の際の掘削により，その多くが取り除かれている。 盛土は建設時に発生した岩砕を締固め管理※した人工地盤であり，敷地のほぼ全域の整地地盤に分布している。 盛土及び旧表土の分布状況について，平面図を第2.1-1 図，地質断面図を第2.1-2 図に示す。また，盛土及び旧表土を確認したボーリング柱状図及びコア写真を参考資料１に示す。 ※撒き出し厚30cm とし，振動ローラー等で締固めを実施。施工後，現場密度試験を行い，室内試験（突固め試験）結果と比較して十分締固められていることを確認した。	2.　液状化評価対象層の抽出 第2-1表に敷地の地質層序表を示す。敷地の地質は，新第三紀中新世の堆積岩類からなる成相寺層及び貫入岩類，並びにそれらを覆う被覆層から構成される。成相寺層は海成層で，下位より下部頁岩部層，火砕岩部層及び上部頁岩部層に区分される。 被覆層は，崖錐・海底堆積物及び盛土からなる。崖錐・海底堆積物は主に礫混じり砂質土及び礫混じり粘性土からなり，約２ｍ～５ｍの厚さで，斜面中腹や裾部，あるいは谷部等の傾斜面に分布する。また，盛土は１号炉，２号炉及び３号炉建設時の埋立地等に分布する。 敷地の被覆層である盛土は，埋戻土（掘削ズリ）と埋戻土（粘性土）に分類している。 埋戻土（掘削ズリ）は，発電所建設時の敷地造成において発生した新第三紀中新世の成相寺層の岩砕が主体となっており，広く分布する。 埋戻土（粘性土）は，護岸建設時に，背面の止水性を担保するために幅20m程度にわたり裏込めしたものである。第2-1図に被覆層のボーリング柱状図を示す。 敷地の被覆層である崖錐・海底堆積物は，砂礫層として分類している。 液状化評価対象層については，道路橋示方書及び港湾基準に基づいて対象層を抽出した。第2－2 図に道路橋示方書の液状化評価対象層の抽出フローを示す。 また，第2-3 図に港湾基準の液状化判定に用いる粒度分布図を示す。 第2-4図に発電所建設前の地形立体図を示す。１号炉，２号炉及び３号炉の建設に当たり，周辺の山を掘削して敷地を造成し，原子炉建物，取水槽等の施設を岩盤上に設置した。敷地の前面（北側）に護岸を設置し，敷地造成において発生した岩砕を主体とする埋戻土（掘削ズリ）により埋戻した。なお，護岸背面の止水性を担保するための埋戻土（粘性土）が１，２号炉北側に分布し，砂礫層として分類した崖錐・海底堆積物が１号炉東側，３号炉北側及び輪谷湾周辺において局所的に分布する。 対象設備周辺の地層の分布状況について第2-5図，第2-6図及び第2-7図に整理した。 埋戻土（掘削ズリ），敷地全体において概ね全域にわたって	・敷地の地質の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉の地質について詳細に説明している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
た地層である。 常設代替交流電源設備及び7 号炉軽油タンク基礎等の周辺地盤には，細粒～中粒砂からなる新期砂層・沖積層が分布している。 6 号炉軽油タンク基礎等の周辺地盤には，古安田層中の砂層が一部分布している。この砂層は，取水路付近の砂層からは西山層の高まり等により連続していないものの，古安田層中に挟在する砂層が同様に分布していることから，取水路付近の砂層と同様にMIS7 の同時期に堆積した地層である。 6 号及び7 号炉の取水路の地盤については，シルト主体の古安田層中に挟在する砂層が広く分布している。この砂層が挟在するシルト層内の上部にはAta-Th テフラが同程度の標高で広く確認されること，その下部には砂層が同程度の標高に分布していることから，MIS7の同時期に堆積した地層である。		広範囲に分布する。 埋戻土（粘性土）は，１，２号炉北側護岸背面にのみ分布する。 砂礫層は，１号炉東側のEL.＋15m以下の敷地，３号炉北側のEL.＋8.5m以下の敷地及び輪谷湾周辺において局所的に分布する。 敷地内における購入地盤材料の使用箇所を第2-8図に示す。取水管，３号炉東側護岸・岸壁，１，２号炉北側護岸，防波堤等において，砕石，基礎捨石，被覆石を使用している。 購入地盤材料は天然石材であり，粒度調整されたものである。 敷地内でEL.＋15m以下に分布する地盤材料の抽出結果を第2-2表に示す。 埋戻土（粘性土）は，護岸建設時に，背面の止水性を担保するために施工している。埋戻土（粘性土）の分布状況，試験に用いた試料の採取位置を第2-9図に，採取した埋戻土（粘性土）の写真を第2-10図に示す。また，塑性図による粘性土の分類を第2-11図に示す。 第2-11図より，埋戻土（粘性土）は，土の液性限界・塑性限界試験（JIS A 1205）より，低液性限界の粘土（CL）に分類される。Ａ線より下側の場合はシルトに分類されるが，埋戻土（粘性土）は塑性指数Ipが大きいため粘土に分類される。 基礎捨石は，１，２号炉北側護岸，防波堤等に使用している。寸法200㎜から250㎜程度の材料を使用しているため間隙が大きく，十分な透水性を有する。基礎捨石の設置状況の写真を第2-12図に示す。 被覆石は，１，２号炉北側護岸等に使用している。寸法700㎜から800㎜程度の材料を使用しているため間隙が大きく，十分な透水性を有する。被覆石の寸法及び設置状況の写真を第2-13図に示す。 道路橋示方書に基づき液状化評価対象層を抽出した結果を第2-14図に示す。液状化の判定を行う必要がある土層は砂礫層のみである。 港湾基準に基づき液状化評価対象層を抽出した結果を第2-15図に示す。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ため，液状化の判定を行う必要がある土層はない。 道路橋示方書では，50％粒径が10㎜以下で，かつ，10％粒径が１㎜以下である土層について液状化評価対象層としているが，本評価では50％粒径が10㎜を超過する，又は，50％粒径が10㎜以下であっても10％粒径が１㎜を超過する土層についても，同様に抽出対象とする。	・敷地の地質の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉の地質について詳細に説明している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
以上より，大湊側の液状化評価対象層として，砂層の分布状況から，古安田層中の砂層，新期砂層・沖積層及び埋戻土層を抽出した。 荒浜側に分布する砂層については，荒浜側防潮堤の縦断方向の地質断面図を代表例として，砂層の分布状況について第11-2-4 図に整理した。 3 号炉及び4 号炉海側の地盤には，シルト主体の古安田層中に挟在する砂層が広く分布している。この砂層が挟在するシルト層内の上部にはAta-Th テフラが広く確認されること，その下部には砂層が同程度の標高に分布していることから，大湊側と同様にMIS7 の同時期に堆積した地層である。 4 号炉海側には，古安田層の上位に新期砂層・沖積層が連続して分布している。 1 号炉及び2 号炉海側の地盤には，3 号炉及び4 号炉海側から連続するシルト主体の地層の上位に位置する砂層がおおむね10m 以上の厚さで連続して分布していることから，この砂層は同時期に堆積した砂層である。なお，古安田層の基底に一部分布する砂層は，3 号炉及び４号炉海側に分布するMIS7 の砂層と同じ地層と想定される。 1 号炉海側の防潮堤端部には，4 号炉海側と同様に新期砂層・沖積層が分布している。 以上より，荒浜側の液状化評価対象層として，砂層の分布状況から，主に3 号炉及び4 号炉海側に分布する古安田層中の砂層，主に1 号炉及び2 号炉海側に分布する古安田層中の砂層，新期砂層・沖積層及び埋戻土層を抽出した。		港湾基準では，粒度による土の分類を行い，粒径加積曲線が「液状化の可能性あり」の範囲内に含まれる土を液状化評価対象層としているが，範囲以外に含まれる土についても同様に抽出対象とする。 以上より，敷地内の液状化評価対象層として，被覆層の分布状況，道路橋示方書及び港湾基準に基づく液状化評価対象層の抽出結果を踏まえ，保守的に埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層を抽出した。	・敷地の地質の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉の地質について詳細に説明している ・液状化評価対象層の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉では，埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層を抽出している 。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

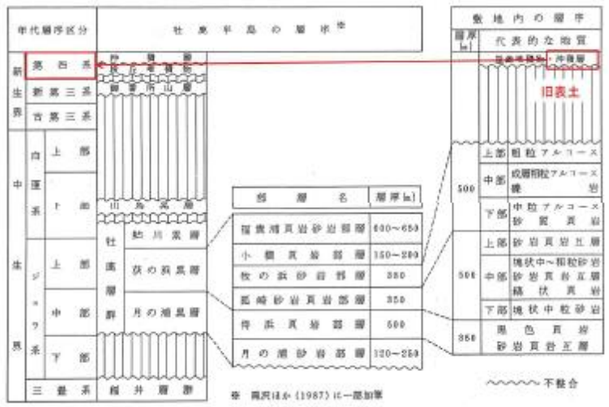
第11-2-1 表 敷地の地質層序表

時代			地層名		主な層相・岩質	テフラ・放射年代
第四紀	完新世		新期砂層・沖積層		上部は灰白色の細～中粒砂 下部は茶褐色の細～中粒砂，腐植物を含む	← 腐植（6,150±170年）
	更新世	後期	番神砂層		灰白色～赤褐色の中～粗粒砂	
			大湊砂層		褐色～黄褐色の中～粗粒砂， シルトの薄層を含む	← NG（約13万年前） ← y-1（約20万年前）
		中期	古安田層	A_3部層	最上部は砂 粘土～シルト，砂を多く挟む	
				A_2部層	粘土～シルト 縞状粘土，有機物，砂を伴う，貝化石を含む	
				A_1部層	粘土～シルト 砂，薄い砂礫，有機物を挟む	← Ata-Th（約24万年前）
					粘土～シルト 砂，砂礫を挟む	← Kkt（約33-34万年前）
		前期	灰爪層		凝灰質泥岩，凝灰質砂岩，凝灰岩	← Iz（約1.5Ma）
			西山層	N_3部層	砂質泥岩 砂岩，凝灰岩，ノジュールを挟む 貝化石を含む	← Fup（約2.2Ma） ← Tsp（約2.3Ma） ← Az'（約2.4Ma）
				N_2部層	シルト質泥岩 縞状泥岩，凝灰岩，ノジュールを多く挟む	
新第三紀	鮮新世	後期		N_1部層	シルト質～粘土質泥岩 砂岩，凝灰岩，ノジュールを挟む 珪質海綿化石を含む	← Nt-17（340±20万年） ← Nt-7（350±20万年）
		前期				
	中新世	後期	椎谷層		砂岩，砂岩・泥岩互層，細礫岩等を挟む	
		中期	寺泊層		黒色泥岩，砂岩・泥岩互層	

不整合

※ MIS：海洋酸素同位体ステージ（Marine oxygen Isotope Stage）

第2.1-1 表 敷地の地質層序表

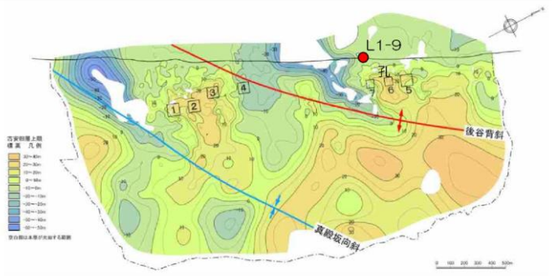


部層名	層厚[m]
福貴浦頁岩砂岩部層	600～650
小積頁岩部層	150～200
牧の浜砂岩部層	350
鮎崎砂岩頁岩部層	350
侍浜頁岩部層	500
月の浦砂岩部層	120～250

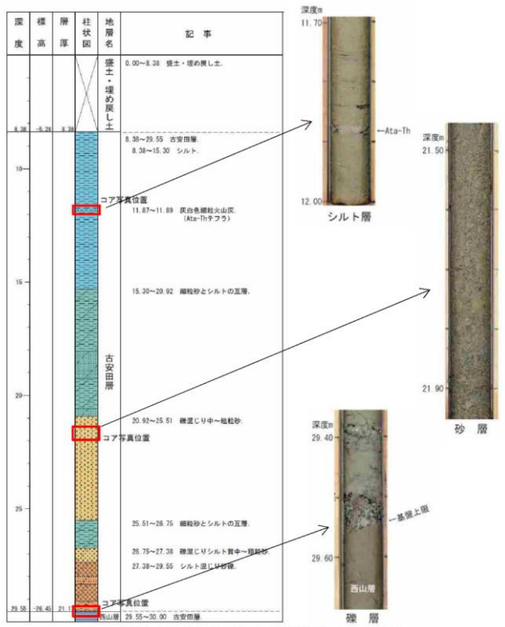
第2-1 表　敷地の地質層序表

地質時代			地層名		主要構成地質
新生代	第四紀	完新世	被覆層	盛土	埋戻土(掘削ズリ)・埋戻土(粘性土)
				崖錐・海底堆積物	礫混じり砂質土・礫混じり粘性土
	新第三紀	中新世	貫入岩類		ドレライト・安山岩
			成相寺層	上部頁岩部層	黒色頁岩
				火砕岩部層	凝灰岩・凝灰角礫岩
				下部頁岩部層	黒色頁岩・凝灰質頁岩

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

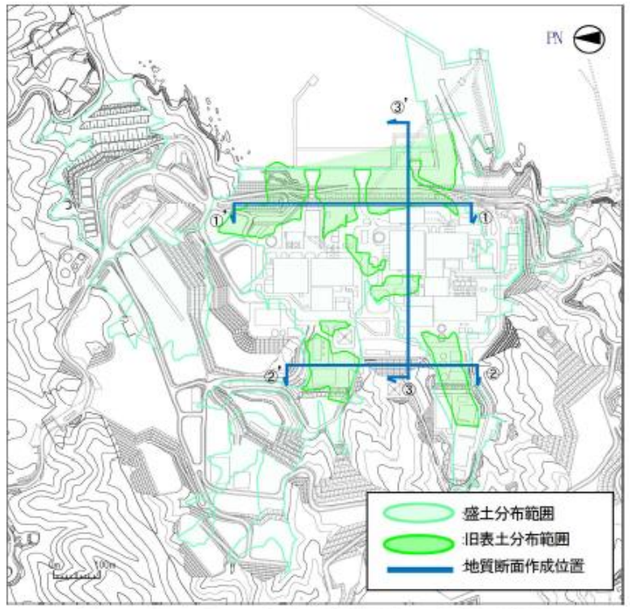


(a)古安田層上限面図

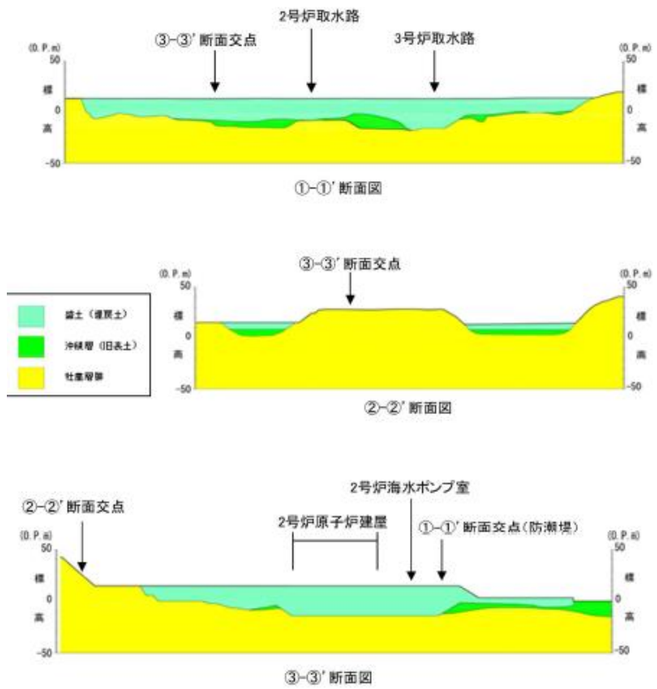


(b)古安田層ボーリング柱状図（L1-9 孔）

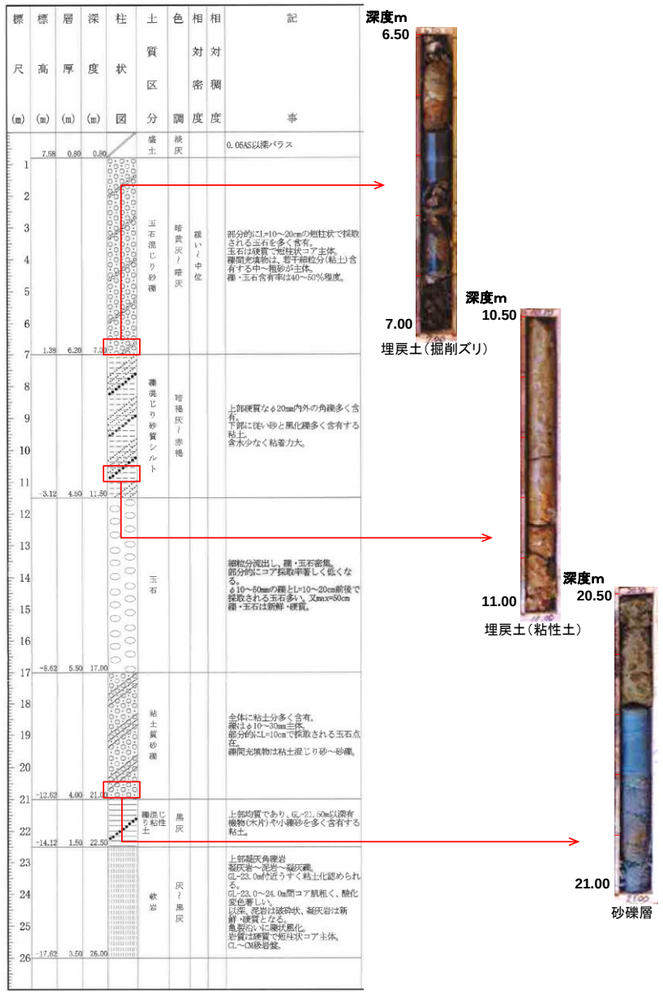
第11-2-1 図　古安田層中の砂層について



第2.1-1 図　盛土及び旧表土の分布範囲並びに地質断面位置図



第2.1-2 図　地質断面図



第2-1 図　敷地内の被覆層について

・敷地の地質の相違
【柏崎6/7，女川２】
島根２号炉の地質について説明している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

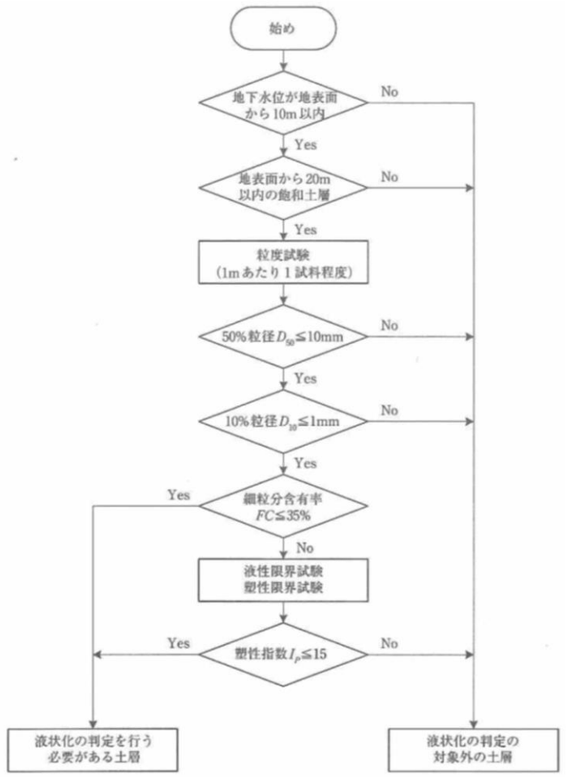
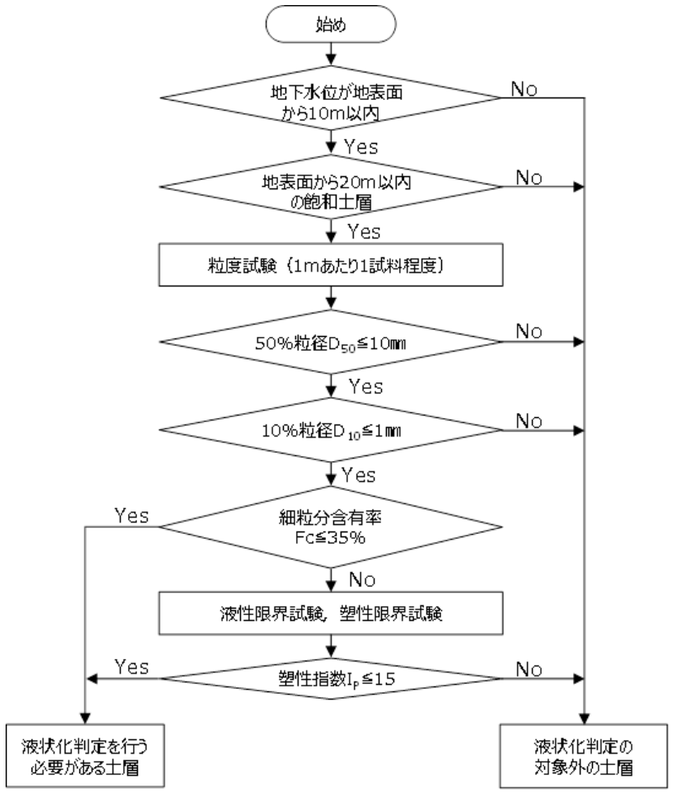
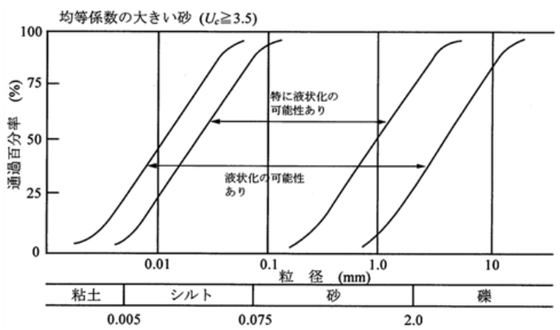


図-解8.2.1　液状化の判定を行う必要がある土層の評価の手順

第11-2-2 図 液状化評価の対象層の抽出フロー
道路橋示方書・同解説（Ⅴ耐震設計編）（(社)日本道路協会，H24.3 ）

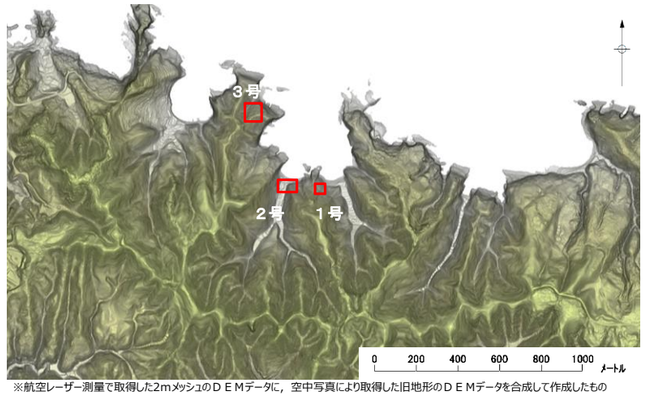
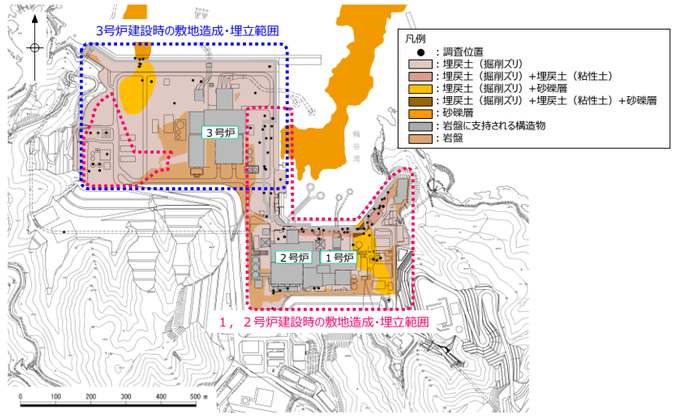


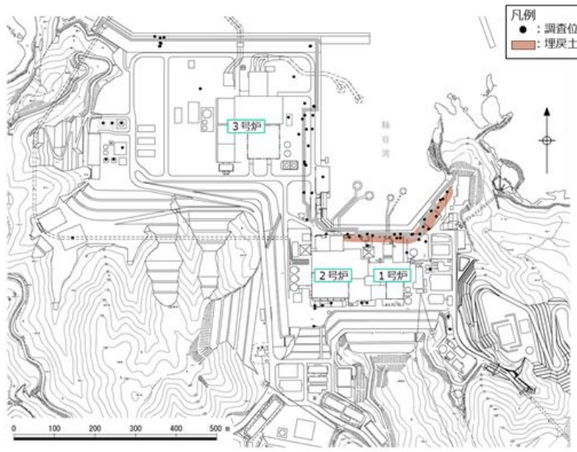
第2-2 図　液状化評価の対象層の抽出フロー　道路橋示方書

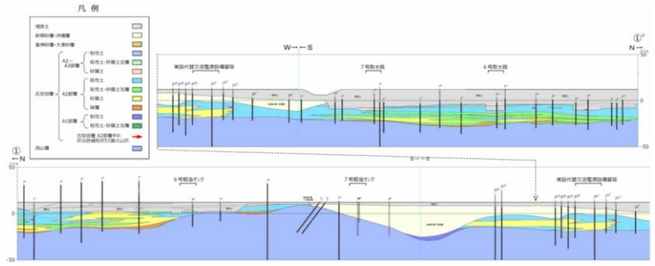
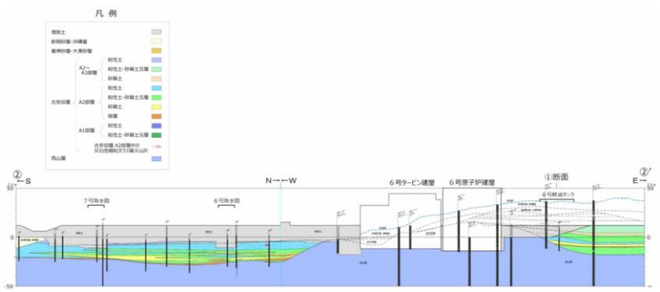
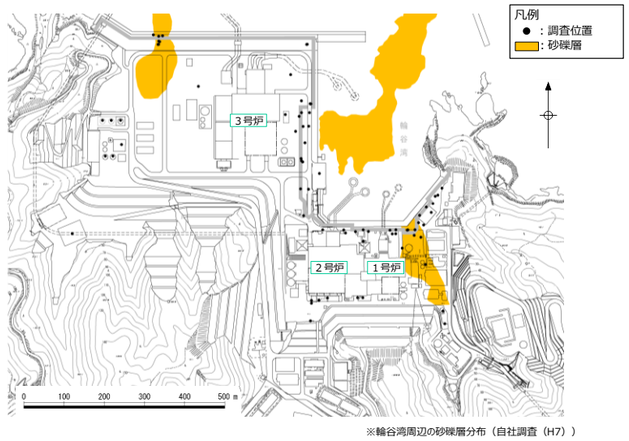


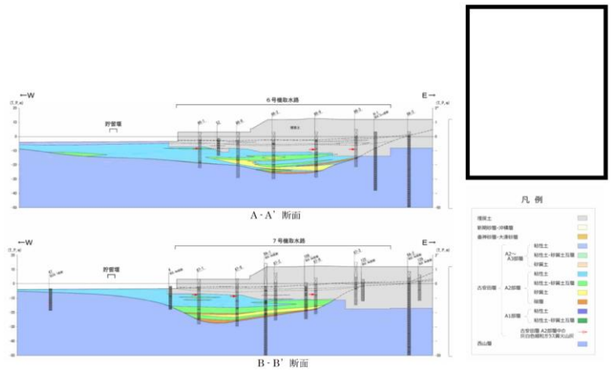
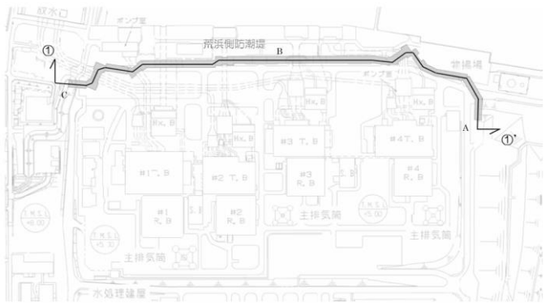
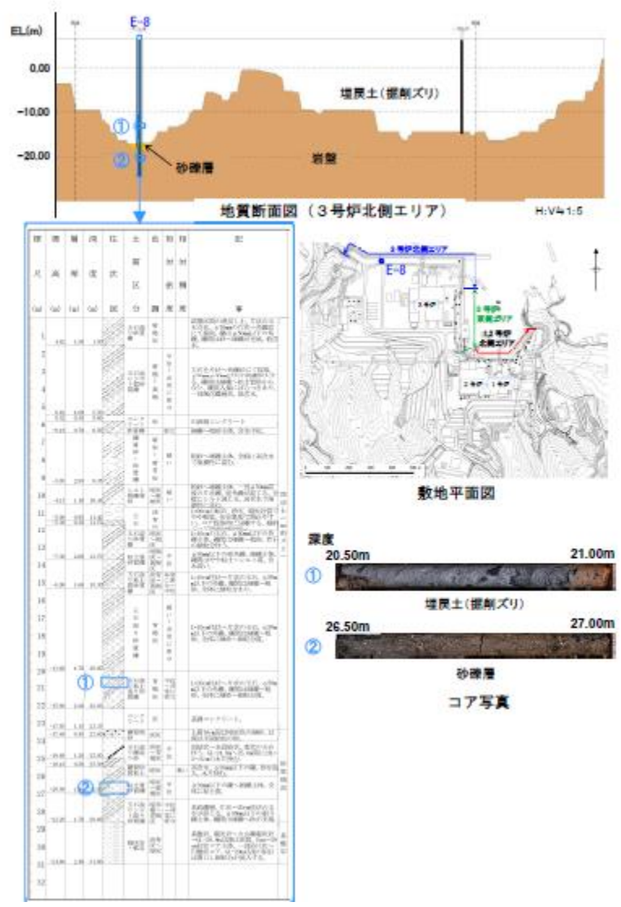
第2-3 図　粒度による液状化判定　港湾基準

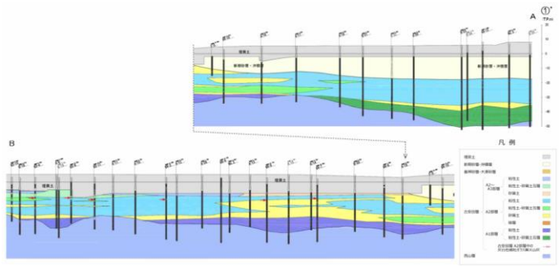
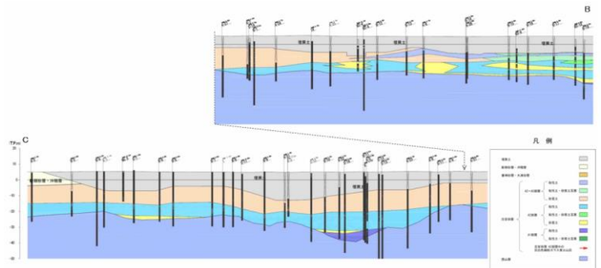
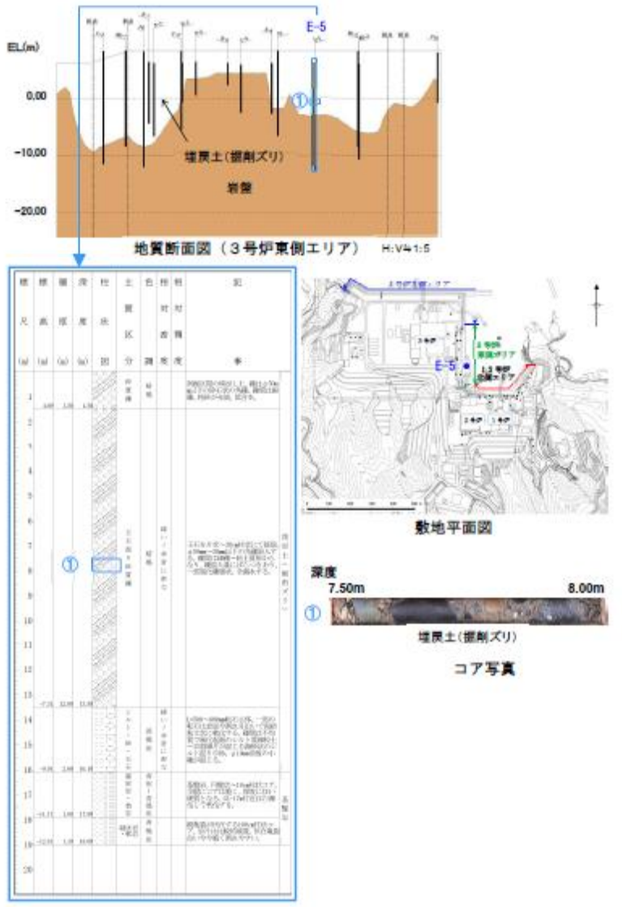
・説明の充実
【柏崎 6/7，女川２】
島根２号炉では港湾基準による液状化判定を記載している

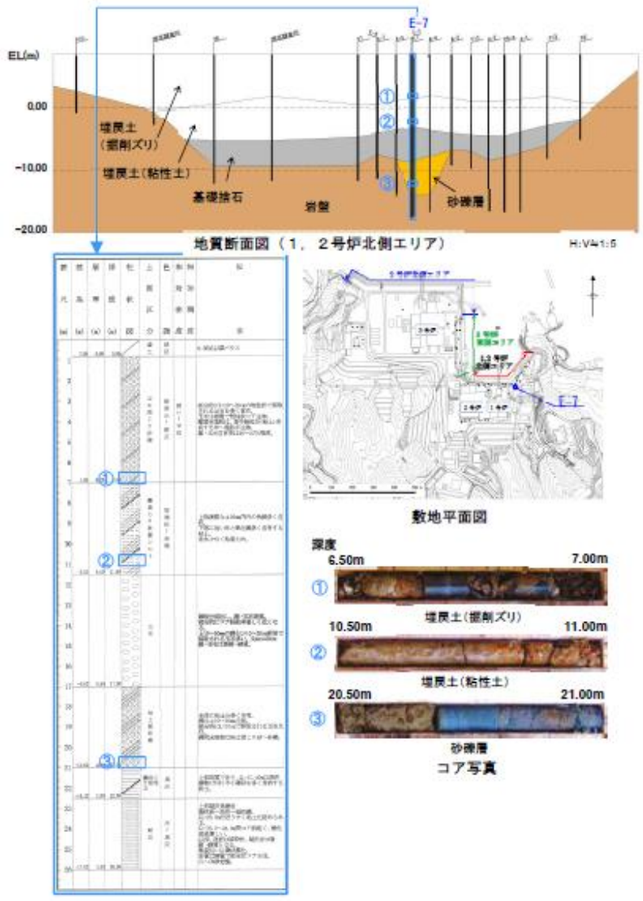
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 ※航空レーザー測量で取得した2mメッシュのＤＥＭデータに，空中写真により取得した旧地形のＤＥＭデータを合成して作成したもの 第2-4 図　発電所建設前の地形立体図  第2-5 図　敷地の被覆層（平面図）	・説明の充実 【柏崎 6/7，女川２】 島根２号炉では発電所建設前の地形立体図を記載している ・敷地の地質の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉の地質について説明している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第2-6 図　敷地の地層分布状況（平面図） (a)　埋戻土（掘削ズリ）分布図	・敷地の地質の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉の地質について説明している
		 第2-6 図　敷地の地層分布状況（平面図） (b)　埋戻土（粘性土）分布図	・敷地の地質の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉の地質について説明している

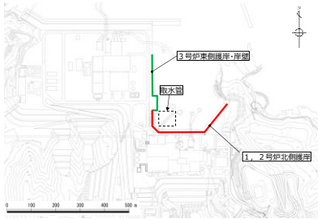
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
第11-2-3 図 大湊側の砂層分布 (a) 大湊側 全体平面図  第11-2-3 図 大湊側の砂層分布 (b) 地質断面図 ① － ①’断面  第11-2-3 図 大湊側の砂層分布 (c) 地質断面図 ② － ②’断面		 第2-6 図　敷地の地層分布状況（平面図） (c)　砂礫層分布図	・敷地の地質の相違【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉の地質について説明している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第11-2-3 図 大湊側の砂層分布（d）地質断面図 取水路縦断面  第11-2-4 図 荒浜側の砂層分布 （a）荒浜側 全体平面図		 第2-7 図　敷地の地層分布状況（断面図） （a）　３号炉北側エリア分布図	・敷地の地質の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉の地質について説明している

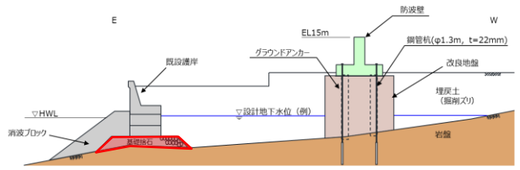
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第11-2-4 図 荒浜側の砂層分布 (b) ① － ①’（A～B）断面  第11-2-4 図 荒浜側の砂層分布 (c) ① － ①’（B～C）断面		 第2-7 図　敷地の地層分布状況（断面図） (b)　３号炉東側エリア分布図	・敷地の地質の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉の地質について説明している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 地質断面図（１，２号炉北側エリア） 第2-7 図　敷地の地層分布状況（断面図） (c)　１，２号炉北側エリア分布図	・敷地の地質の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉の地質について説明している

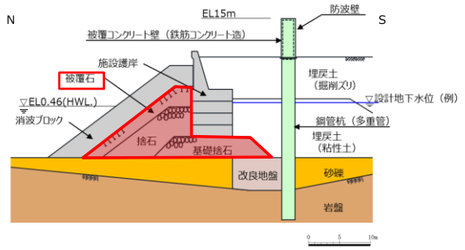
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



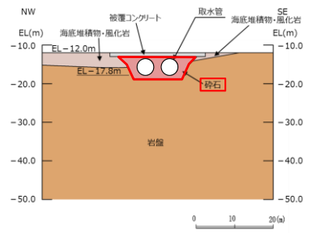
敷地平面図



３号炉東側護岸



１，２号炉北側護岸



取水管

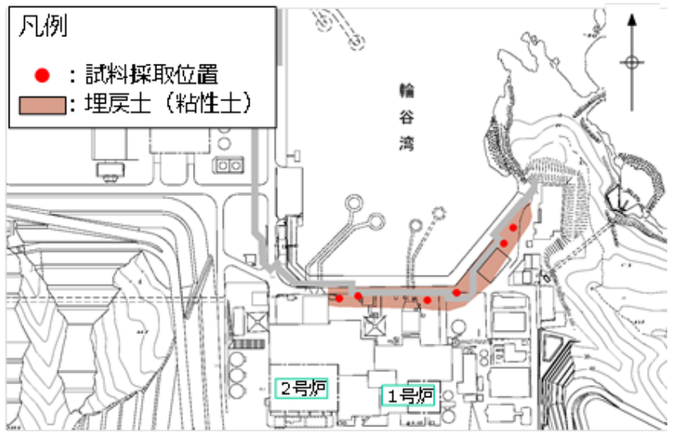
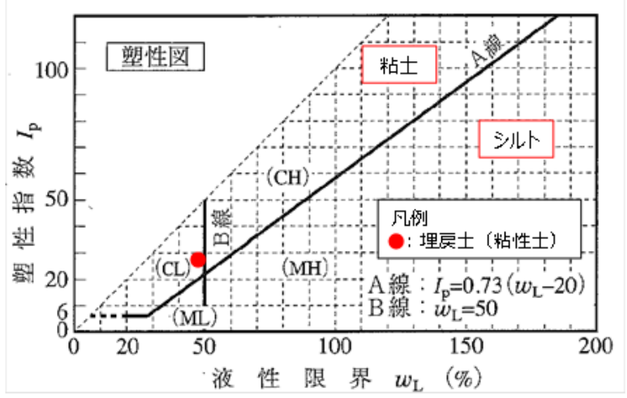
第2-8 図　購入地盤材料の使用箇所

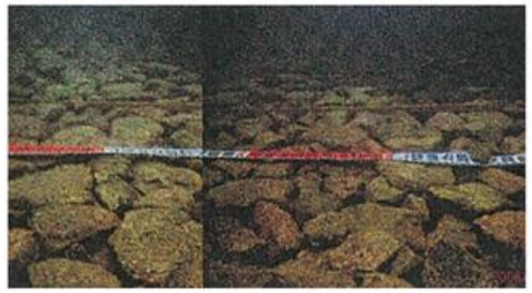
第2-2 表　地盤材料の液状化判定の要否（EL.＋15m以下）

地盤材料	規 格	分布場所・使用場所	液状化判定の要否
埋戻土 (掘削ズリ)	－	・概ね全域に分布	粒径2mm未満の砂を含むため，道路橋示方書に基づき液状化判定を実施する。
埋戻土 （粘性土）	－	・１，２号炉北側護岸 背面に分布	粘土質であるため対象外とする（土の液性限界・塑性限界試験（JIS A 1205）結果：I_p=27.3）。
砂礫層 (崖錐・海底堆積物)	－	・１号炉東側に局所的に分布 ・３号炉北側に局所的に分布 ・輪谷湾内に分布	粒径2mm未満の砂を含むため，道路橋示方書に基づき液状化判定を実施する。
砕石	20～80mm (底部のみ5～20mm)	・取水管	粒径の大きい地盤材料であるため港湾基準の「液状化の可能性あり」の範囲外であること，十分な透水性を有することから，対象外とする。
基礎捨石	200～250mm程度 （30kg/個以上）	・１，２号炉北側護岸 ・３号炉東側護岸・岸壁	粒径の大きい地盤材料であるため港湾基準の「液状化の可能性あり」の範囲外であること，十分な透水性を有することから，対象外とする。
被覆石	700～800mm程度 (1.5t/個)	・１，２号炉北側護岸	粒径の大きい地盤材料であるため港湾基準の「液状化の可能性あり」の範囲外であること，十分な透水性を有することから，対象外とする。

・敷地の地質の相違
【柏崎6/7，女川２】
島根２号炉の地質について説明している

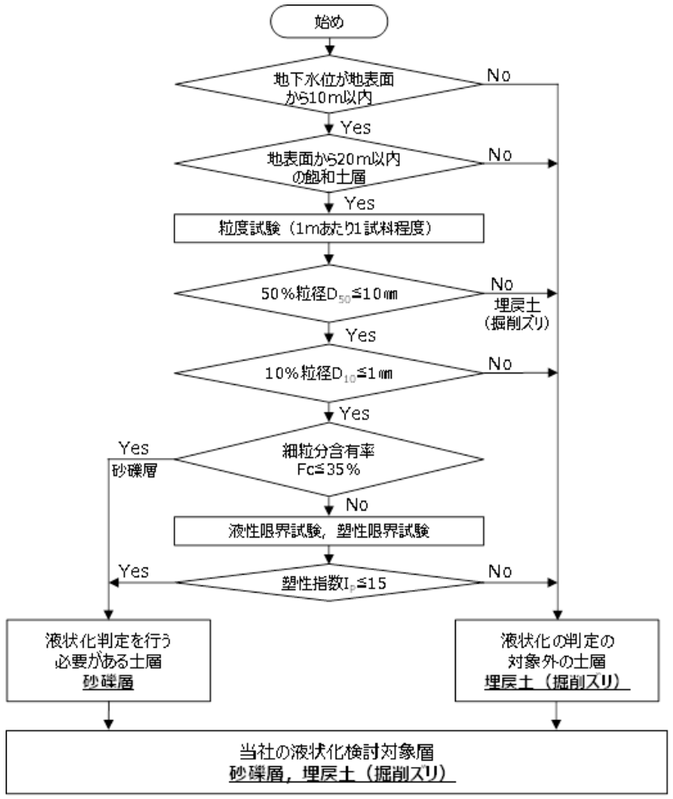
・説明の充実
【柏崎 6/7，女川２】
島根２号炉では地盤材料の液状化判定の要否について説明している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第2-9 図　埋戻土（粘性土）の分布状況及び試料採取位置  第2-10 図　採取した埋戻土（粘性土） 液性限界 w_L（%）／塑性限界 w_p（%）／塑性指数 I_p 埋戻土（粘性土）（平均値，試験数：22）：48.5／21.2／27.3  ※ 地盤工学会，H22：土質試験 基本と手引き に加筆 第2-11 図　塑性図による粘性土の分類	・敷地の地質の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉の地質について説明している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 基礎捨石設置状況（防波堤） 第2-12 図　基礎捨石の設置状況  被覆石寸法（１，２号炉北側護岸）  被覆石設置状況（１，２号炉北側護岸） 第2-13 図　被覆石の寸法及び設置状況	・敷地の地質の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉の地質について説明している

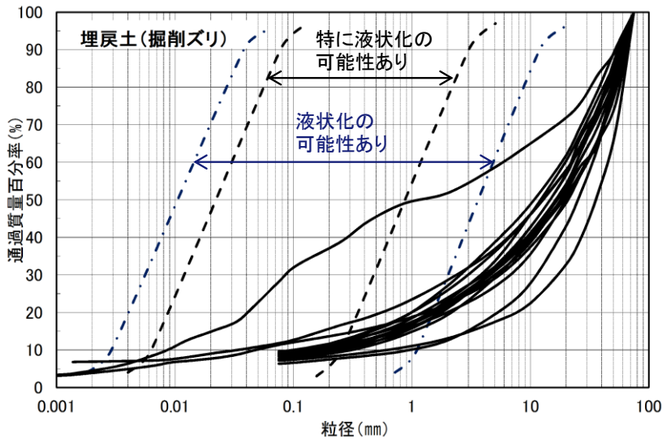
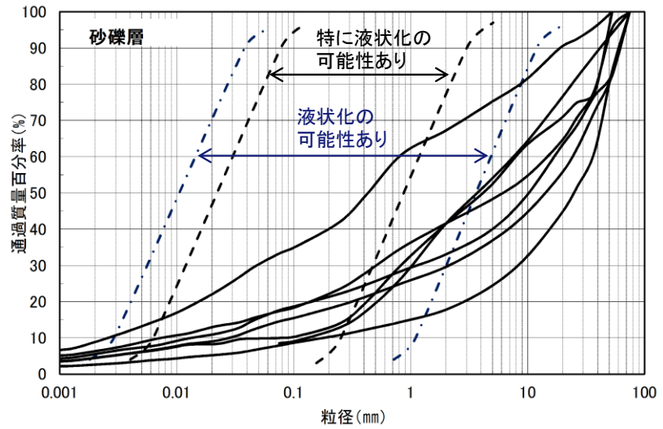
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

地層名	50%粒径（平均）（mm）	10%粒径（平均）（mm）	細粒分含有率（平均）(%)
埋戻土（掘削ズリ）	16.5	－	－
砂礫層	9.1	0.0651	15.6



第2-14 図　道路橋示方書に基づく抽出結果

・敷地の地質の相違
【柏崎6/7，女川２】
島根２号炉の地質について説明している

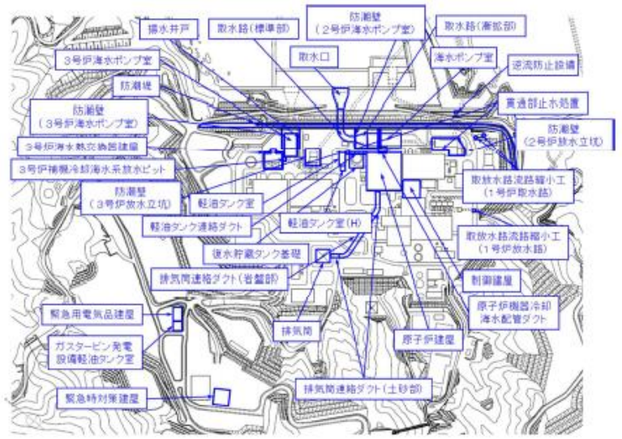
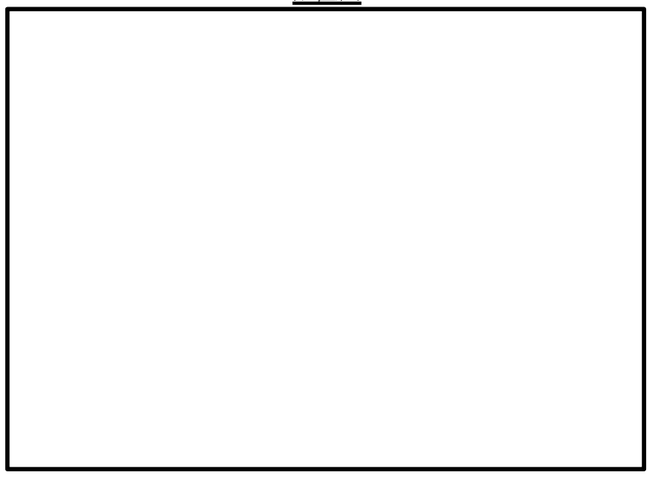
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 埋戻土（掘削ズリ）の粒度による液状化判定  砂礫層の粒度による液状化判定 第2-15 図　港湾基準に基づく抽出結果	・敷地の地質の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉の地質について説明している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	2.2 旧表土の分布 各断面位置における旧表土の分布の特徴は以下のとおりである。 ・①－①’断面 防潮堤付近に旧表土が広く分布している。2 号炉取水路と3 号炉取水路の中間付近で旧表土が最も厚くなり，その層厚は最大14m 程度である。 ・②－②’断面 山側の沢地形部に旧表土が分布している。盛土の下層に旧表土が分布しており，その層厚は，最大7m 程度である。 ・③－③’断面 建屋周辺には発電所建設時に掘削範囲外であった旧表土がわずかに分布しており，その層厚は最大3m 程度である。港湾部分にも旧表土が分布しており，その層厚は最大9m 程度である。		・敷地の地質の相違 【女川２】 女川２では旧表土について説明している
	2.3 盛土の分布 盛土については，発電所建設時の敷地造成及び構造物建設時の埋戻しにより，敷地のほぼ全域にわたって分布している。盛土は人工地盤として締固め管理して施工されており，盛土材料は建設時に発生した岩砕（最大粒径300㎜）が主体となっている（盛土の均一性については，参考資料２に示す）。		・敷地の地質の相違 【女川２】 女川２では盛土について説明している
	2.4 液状化検討対象層 基準地震動Ss により液状化する可能性を否定できず，液状化評価を行う対象土質である液状化検討対象層として，道路橋示方書・同解説（Ⅴ耐震設計編）（(社）日本道路協会，H14.3）（以下，「道路橋示方書」という）では，以下の条件全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 上記の条件は指針類（鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計編（平成24 年9 月），港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成19 年））でほぼ共通している。 液状化検討対象層の抽出は，道路橋示方書で対象としている地		・資料構成の相違 【女川２】 女川２では道路橋示方書の方法について説明している

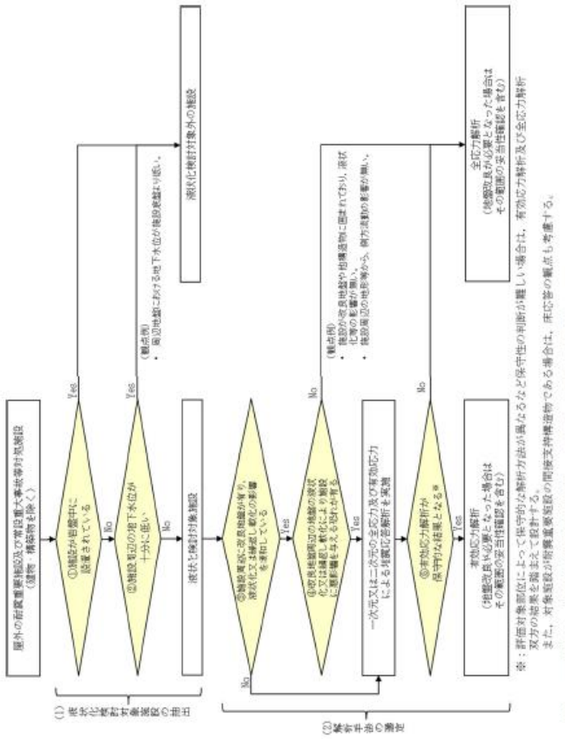
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	層を基本とし，比較的浅部の地盤等が液状化検討対象層となるが，以下の場合も含め液状化検討対象層として抽出する。 ・G.L.-20m 以深の飽和土層 ・細粒分含有率が35%以上の飽和土層 ・平均粒径が10 mm以上の飽和土層 以上より，液状化検討対象層として盛土及び旧表土を抽出する。		・液状化評価対象層の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉では，埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層を抽出している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3. 液状化検討対象施設の抽出 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施設を抽出する。抽出に当たっては，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，津波防護施設等），常設重大事故等対処施設等を対象に，網羅的に検討する。 屋外の耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の配置図を第3.1-1 図に，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3.1-2 図に示す。また，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）及び常設重大事故等対処施設について，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3.1-3 図に，設計用地下水位の設定の考え方を第3.1-4 図に示す。 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，工認段階において，改めて設定した設計用地下水位に基づき液状化検討対象施設の抽出を行う。 3.1 液状化検討対象施設の抽出及び解析手法選定の観点 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 液状化検討対象施設は以下の項目で抽出する。 ①施設が岩盤中に設置されているか ②施設周辺の地下水位が十分に低いか 観点例：周辺地盤における地下水位が施設底盤より低い。 （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・構築物を除く） 上記（1）にて抽出された施設について，施設周辺に改良地盤，セメント改良土，置換コンクリート，マンメイドロック（MMR）及び他構造物（以下，「改良地盤等」という。）が有り，液状化又は繰返し軟化※の影響を緩和している場合，その改良地盤等周辺の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有るか判断する。 ③施設周辺に改良地盤等が有り，液状化又は繰返し軟化の影響		・資料構成の相違 【女川２】 島根２号炉では4.2章で液状化検討対象施設の選定について説明している （以下，女川２の３章はすべて同じ理由である）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	を緩和しているか ④改良地盤等周辺の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有るか 観点例：施設が改良地盤や他構造物に囲まれており，液状化等の影響が無い。 施設周辺の地形等から，側方流動の影響が無い。 ③で施設周辺に改良地盤等が無い場合又は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，全応力解析と有効応力解析それぞれの結果から構造物上下端の層間変位を比較するなどして，保守的となる解析手法を選定する（⑤）。なお，地盤改良が必要となった場合は，上記で選定した解析手法により，その範囲の妥当性を確認する。 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。 b．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）にて抽出された施設について，液状化等により施設に悪影響を与える恐れが有る場合は，地盤の液状化等の影響を考慮した評価を行う（③）。 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，工認段階で設定する設計用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3.1-1 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3.1-2 表に，各施設の断面図と設計用地下水位（例）を第3.1-5 図～第3.1-40 図に示す。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，津波防護施設等）及び常設重大事故等対処施設を対象に，確定した地下水位を踏まえ，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3.1-3 図のフローにより抽出した液状化検討対象施設のうち，地下水位が施設底盤より高く，施設と地下水が接する場		。

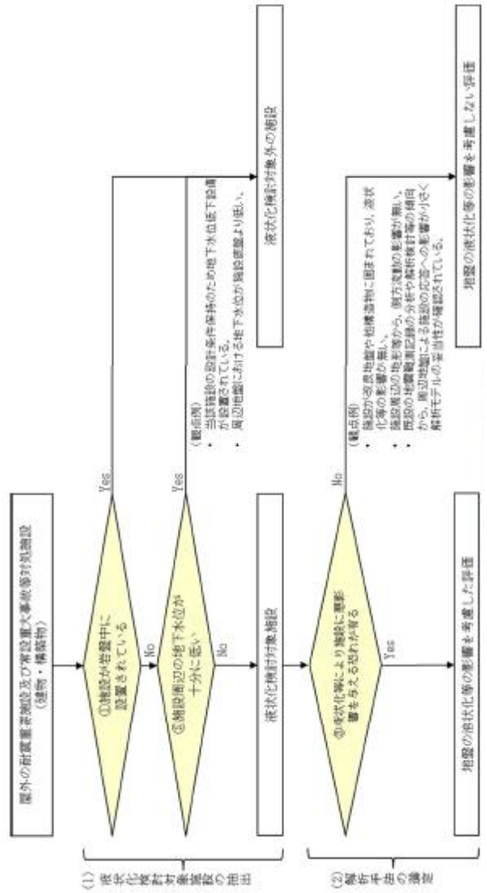
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	合は，間隙水圧の上昇により浮き上がりの恐れが有ることから，浮き上がりに対する安全性を確認する。 　また，波及的影響評価において抽出される屋外下位クラス施設に対する検討方針は本資料に基づき整理を行う。 ※：液状化と繰返し軟化の区分については「５．液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定」にて後述する。  第3．１－１ 図 屋外の耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設配置図  第3.1-2 図 可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルート配置図		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



第3.1-3 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・構築物を除く）

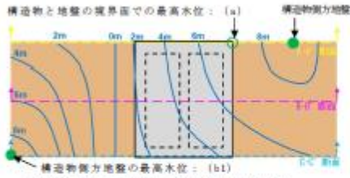
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



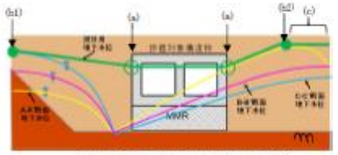
第3.1-3 図(2) 液状化検討対象施設の抽出及び解析手法選定フロー（建物・構築物）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

設計用地下水位は，解析断面で参照する地下水位のうち，構造物側面や解析断面境界等の各点での最高水位を結んで保守的な設定とする。



評価対象構造物周辺の地下水位分布図（例）（平面図）



評価対象構造物断面における地下水位（例）

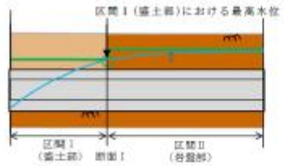
箱形構造物の設計用地下水位は以下の方針にて保守的に設定する。

(a) 三次元浸透流解析より，評価対象構造物と地盤の境界面における最高水位を読み取り，構造物側面の水位とする。

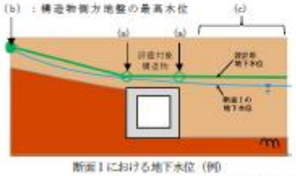
(b) 構造物周辺の水位は，構造物側面の水位とその側方地盤の最高水位を結ぶ。

(c) 側方地盤の地下水位が構造物から離れる方向に低下しても設計用地下水位は最高水位で一定とする。

（1）箱形構造物の設定例



評価対象構造物縦断図における地下水位分布図（例）



断面Ⅰにおける地下水位（例）

長尺な線状構造物の設計用地下水位は以下の方針にて保守的に設定する（左図区間Ⅰでの設定例）。

(a) 三次元浸透流解析より，縦断図において断面選定を行う区間毎に最高水位を読み取り，同区間の構造物位置の水位とする。なお，区間の設定に当たっては，耐震評価断面選定を行う過程において，部材厚や内空断面等の構造的特徴がほぼ同一な区間について，周辺地質や隣接構造物等の周辺状況の観点等を踏まえて設定する。詳細は「4条　地震による損傷の防止　別添－6 屋外重要土木構造物等及び津波防護施設の耐震評価における断面選定の考え方」に示す。

(b) 構造物周辺の水位は，横断面における構造物位置の水位とその側方地盤の最高水位を結ぶ。

(c) 周辺地盤の地下水位が構造物から離れる方向に低下しても設計用地下水位は最高水位で一定とする。

（2）線状構造物の設定例

第3.1-4 図 設計用地下水位設定の考え方

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第3.1-1 表 液状化検討対象施設の抽出結果の例（１／２）

（第3.1-3 図(1)の①，②）

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		
排気筒連絡ダクト	岩盤部	Yes	－		×
	土砂部	No	No	施設より高い位置に地下水位を設定する。	○
原子炉機器冷却海水配管ダクト		No	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。	×
海水ポンプ室	横断	No	No	施設から離れた位置で地下水位が上昇する。	○
	縦断	No	No	施設から離れた位置で地下水位が上昇する。	○
軽油タンク室	南北	No	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。	×
	東西	No	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。	×
軽油タンク室（H）	南北	No	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。	×
	東西	No	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。	×
軽油タンク連絡ダクト		No	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。	×
復水貯蔵タンク基礎	南北	No	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。	×
	東西	No	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。	×
ガスタービン発電設備軽油タンク室	南北	No	No	施設周辺の地下水位を地表面に設定する。	○
	東西	No	No	施設周辺の地下水位を地表面に設定する。	○
取水路	標準部（改良地盤に囲まれる箇所）	No	No	施設より高い位置に地下水位を設定する。	○
	標準部（改良地盤に囲まれる箇所以外）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
	漸拡部	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
取水口（貯留堰）	標準部（横断）	No	No	施設より高い位置に地下水位を設定する。	○
	漸縮部（横断）	No	No	施設より高い位置に地下水位を設定する。	○
	縦断	No	No	施設より高い位置又は接する高さに地下水位を設定する。	○
防潮堤	鋼管式鉛直壁（一般部）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
	鋼管式鉛直壁（岩盤部）	Yes	－		×
	盛土堤防	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○

※：工認段階で地下水位低下設備を考慮した浸透流解析を実施し，その結果に基づき対象施設の設計において参照する設計用地下水位を設定した上で，改めて液状化検討対象施設の抽出を行う。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第3.1-1 表 液状化検討対象施設の抽出結果の例（２／２）

（第3.1-3 図(1)，(2)の①，②）

施設名称		項目 ①施設が岩盤中に設置されている	項目 ②施設周辺の地下水位が十分に低い		液状化検討対象施設※1 ○：対象 ×：対象外
防潮壁	岩盤に囲まれる箇所	Yes	－		×
	改良地盤に囲まれる箇所	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
	岩盤・改良地盤に囲まれる箇所以外	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
取放水路流路縮小工	１号炉取水路	Yes	－		×
	１号炉放水路	Yes	－		×
貫通部止水処置	防潮壁（２号炉放水立坑）横断部	No	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。	×
	防潮壁（３号炉放水立坑）横断部	No	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。	×
３号炉海水ポンプ室	横断	No	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。	×
	縦断	No	No	施設東側の防潮堤外側において地下水位が上昇する。	○
揚水井戸（浸水防止蓋：３号炉海水ポンプ室防潮壁区画内）		No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
３号炉補機冷却海水系放水ピット（浸水防止蓋）		No	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。	×
逆流防止設備		Yes	－		×
原子炉建屋		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。	×※2
制御建屋		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。	×
３号炉海水熱交換器建屋		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。	×
緊急時対策建屋		No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
緊急用電気品建屋		No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○

※1：工認段階で地下水位低下設備を考慮した浸透流解析を実施し，その結果に基づき対象施設の設計において参照する設計用地下水位を設定した上で，改めて液状化検討対象施設の抽出を行う。
※2：原子炉建屋の大物搬入口については，周辺地盤の液状化影響の有無を含めた基礎躯体部分と周辺地盤の相互作用の影響について考慮する。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第3.1-2 表 液状化検討対象施設の解析手法選定の例（１／２）

（第3.1-3 図(1)の③，④）

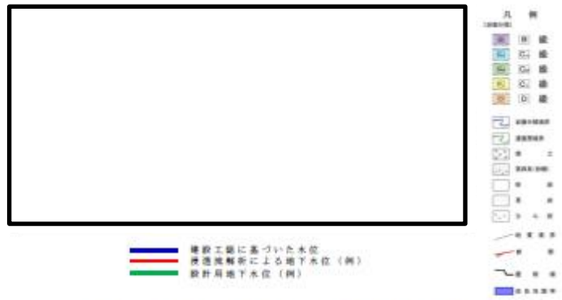
施設名称		項目		
		③施設周辺に改良地盤が有る	④改良地盤周辺の地盤の液状化又は繰返し軟化により施設に悪影響を与える恐れが有る	
排気筒連絡ダクト	土砂部	No	－	
海水ポンプ室	横断	Yes	No	施設が改良地盤に囲まれ，液状化の影響は無い。
	縦断	Yes	No	施設が改良地盤及び他構造物（取水路）に囲まれ，液状化の影響は無い。
ガスタービン発電設備軽油タンク室	南北	Yes	No	施設が改良地盤に囲まれる。 施設南側の岩盤面は南側に下り勾配であり施設への側方流動の影響は無い。
	東西	Yes	No	施設が改良地盤及び他構造物（電気品棟屋）に囲まれ，液状化の影響は無い。
取水路	標準部 （改良地盤に囲まれる箇所）	Yes	No	施設が改良地盤に囲まれ，液状化の影響は無い。
	標準部 （改良地盤に囲まれる箇所以外）	No	－	
	漸拡部	Yes	Yes	施設周辺に液状化検討対象層が分布する。
取水口（貯留堰）	標準部（横断）	Yes	Yes	施設は改良地盤等に囲まれるが，その外側の土圧の影響を無視できない。
	漸縮部（横断）	Yes	Yes	施設両方に改良地盤が有るが，液状化検討対象層とも接している。また，改良地盤の外側の土圧の影響を無視できない。
	縦断	No	－	
防潮堤	鋼管式鉛直壁（一般部）	Yes	Yes	山側から海側への側方流動の影響が有る。
	盛土堤防	Yes	Yes	山側から海側への側方流動の影響が有る。
防潮壁	改良地盤に囲まれる箇所	Yes	No	施設が改良地盤に囲まれ，液状化の影響は無い。
	岩盤，改良地盤に囲まれる箇所以外	No	－	
３号炉海水ポンプ室	縦断	Yes	No	地下水位が上昇する東側において，施設が改良地盤及び他構造物（取水路）に囲まれ，液状化の影響は無い。
揚水井戸（浸水防止蓋：３号炉海水ポンプ室防潮壁区画内）		No	－	

第3.1-2 表 液状化検討対象施設の解析手法選定の例（２／２）

（第3.1-3 図(2)の③）

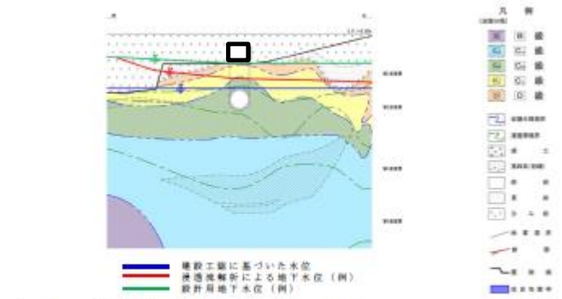
施設名称	項目	
	③液状化等により施設に悪影響を与える恐れが有る	
緊急時対策建屋	No	施設が岩盤，改良地盤等に囲まれており，液状化等の影響は無い。
緊急用電気品建屋	No	施設北側及び西側は岩盤や他構造物に囲まれている。施設南側の岩盤面は南側に下り勾配であり施設への側方流動の影響は無い。施設東側上部に一部盛土があるものの，既設の地震観測記録の分析や解析検討等の傾向から，周辺地盤による施設の応答への影響が小さく，側方地盤を考慮しない解析モデルの妥当性が確認されている。以上より，液状化等により施設に悪影響を与える恐れはない。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



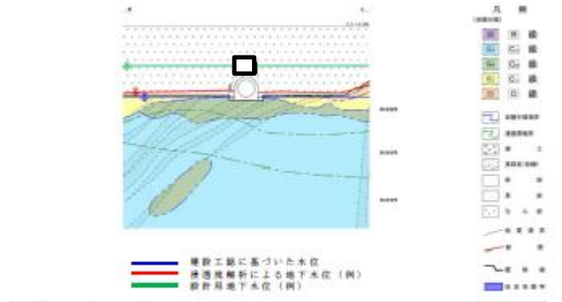
第 3.1-5 図　排気筒連絡ダクト地質断面図（縦断）

第3.1-5 図 排気筒連絡ダクト地質断面図（縦断）



項目	判定	観点
①	Yes	施設が岩盤中に設置されている。
②	－	－

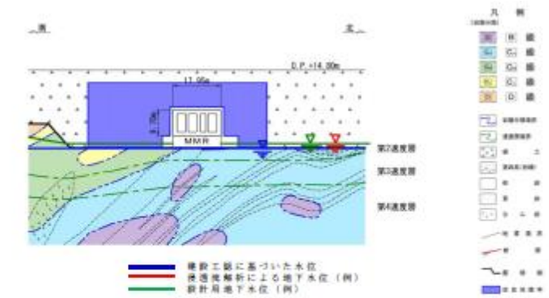
第3.1-6図 排気筒連絡ダクト（岩盤部） 地質断面図



項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設より高い位置に地下水位を設定する。
③	No	施設周辺に改良地盤が無い。

第3.1-7図 排気筒連絡ダクト（土砂部） 地質断面図

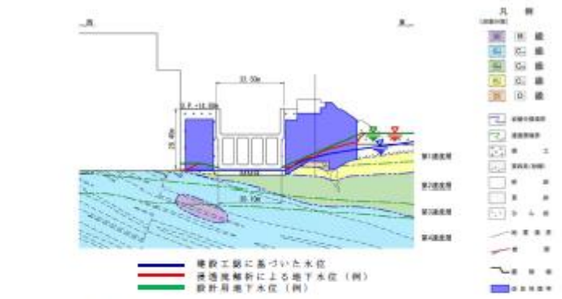
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



※：改良地盤の範囲は今後の設計進捗で変更の可能性がある

項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	Yes	周辺地盤において施設底盤より地下水位が低い。

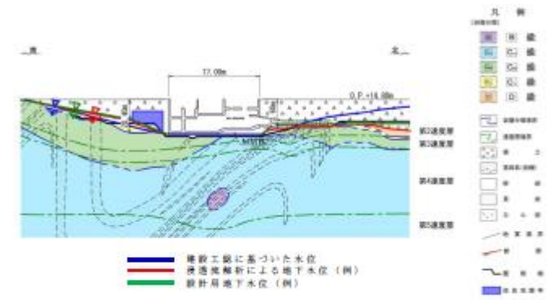
第3.1-8図 原子炉機器冷却海水配管ダクト地質断面図



※：改良地盤の範囲は今後の設計進捗で変更の可能性がある

項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設から離れた位置で地下水位が上昇する。
③	Yes	防潮堤との間及び原子炉建屋との間の地盤改良を実施する。
④	No	施設が改良地盤に囲まれ，その外側も防潮堤及び原子炉建屋に囲まれることから，施設への液状化影響が無い。

第3.1-9図 海水ポンプ室地質断面図（横断）

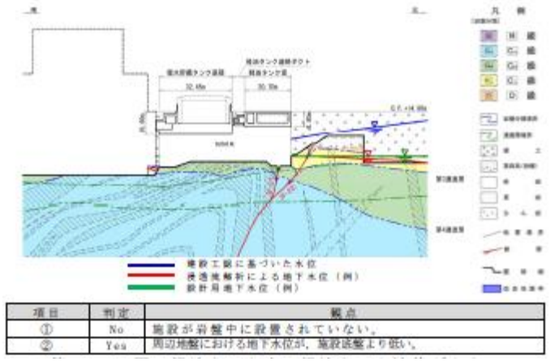


※：改良地盤の範囲は今後の設計進捗で変更の可能性がある

項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設から離れた位置で地下水位が上昇する。
③	Yes	施設南側の地盤改良を実施する。
④	No	施設南側及び北側において地下水位が上昇するが，南側は施設近傍に改良地盤が有り，北側には取水路が存在するため，液状化の影響は無い。

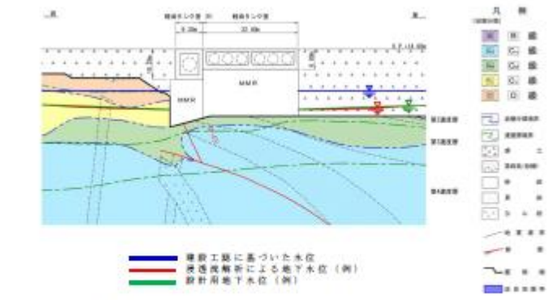
第3.1-10図 海水ポンプ室地質断面図（縦断）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



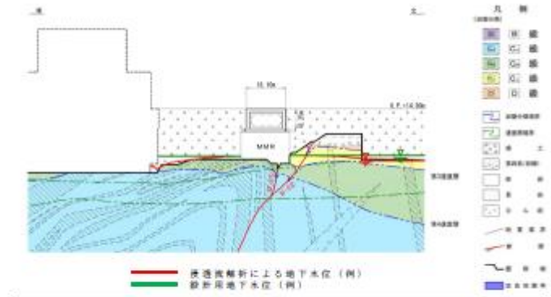
項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。

第3.1-11図 軽油タンク室，　軽油タンク連絡ダクト，
復水貯蔵タンク基礎地質断面図（南北）



項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。

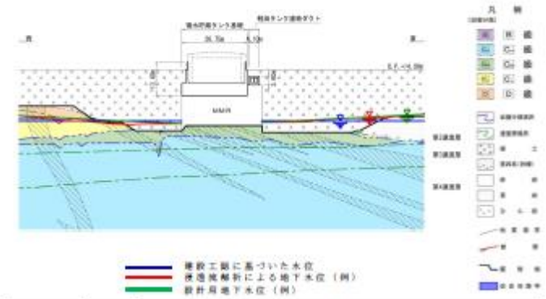
第3.1-12図 軽油タンク室，　軽油タンク室（ Ｈ ）
地質断面図（東西）



項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。

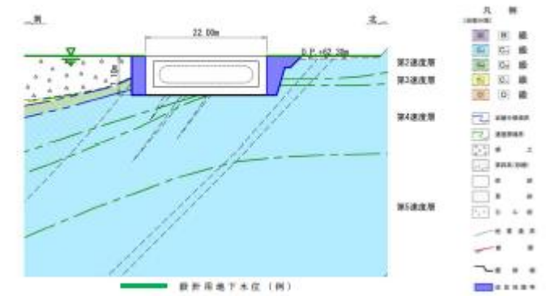
第3.1-13図 軽油タンク室（ Ｈ ）　地質断面図（南北）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



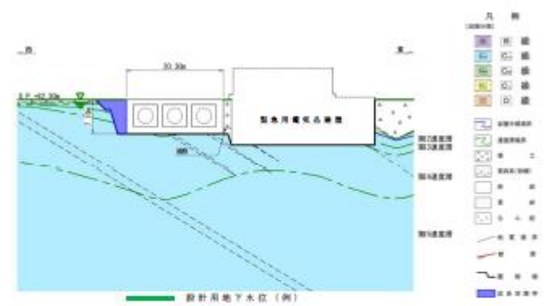
項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。

第3.1-14 図　軽油タンク連絡ダクト，　復水貯蔵タンク基礎
地質断面図（東西）



項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設周辺の地下水位を地表面に設定する。
③	Yes	施設南側及び北側の地盤改良を実施する。
④	No	施設が改良地盤に囲まれ，北側はその外側も岩盤に囲まれる。南側は岩盤面が南側に向かって下り勾配で傾斜することから施設への側方流動の影響は無い。

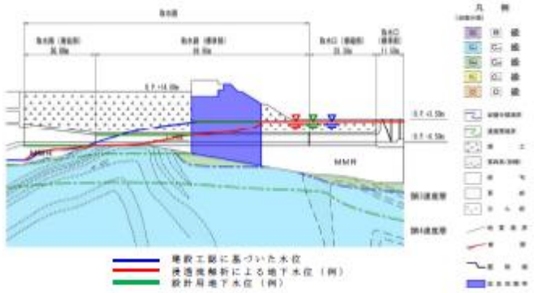
第3.1-15 図　ガスタービン発電設備軽油タンク室
地質断面図（南北）



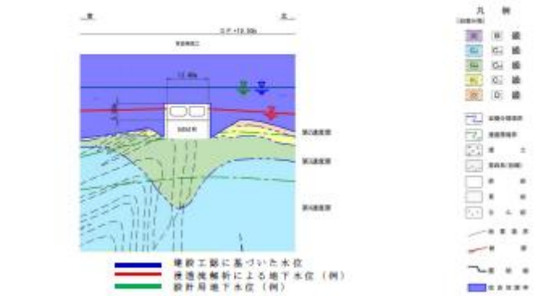
項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設周辺の地下水位を地表面に設定する。
③	Yes	施設西側の地盤改良を実施する。
④	No	施設西側は改良地盤とその外側の岩盤に囲まれる。東側は緊急用電気品建屋に囲まれることから液状化の影響は無い。

第3.1-16 図　ガスタービン発電設備軽油タンク室
地質断面図（東西）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

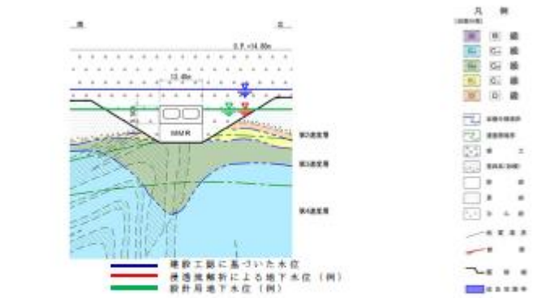


第3.1-17図 取水路地質断面図（縦断）



項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設より高い位置に地下水位を設定する。
③	Yes	施設周辺は防潮堤の沈下対策として地盤改良を実施する。
④	No	施設が改良地盤に囲まれ，液状化の影響は無い。

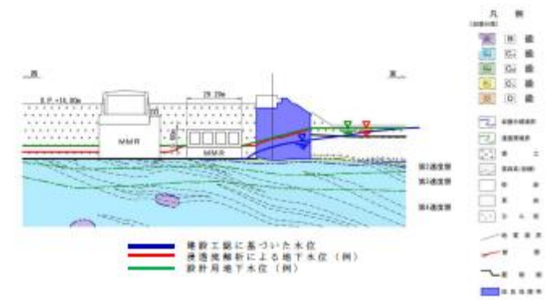
第3.1-18 図 取水路（標準部（改良地盤に囲まれる箇所））地質断面図



項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。
③	No	施設周辺に改良地盤が無い。

第3.1-19図 取水路（標準部（改良地盤に囲まれる箇所以外））地質断面図

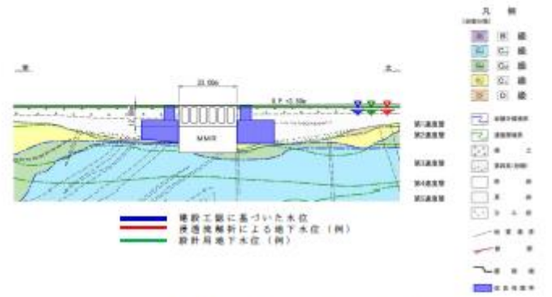
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



※：改良地盤の範囲は今後の設計進捗で変更の可能性がある。

項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。
③	Yes	東側に防潮堤沈下対策の改良地盤が有る。
④	Yes	施設周辺に液状化影響検討層が分布するため，液状化等により施設に悪影響を与える恐れが有る。

第3.1-20図 取水路（漸拡部） 地質断面図

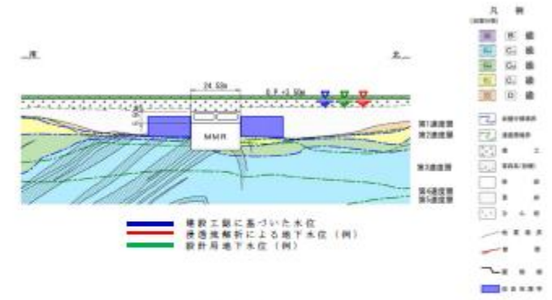


※：改良地盤の範囲は今後の設計進捗で変更の可能性がある。

項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設より高い位置に地下水位を設定する。
③	Yes	施設周辺の地盤改良を実施する。
④	Yes	施設は改良地盤等に囲まれるが，その外側の土圧の影響を無視できない。

第3.1-21図 取水口（標準部） 地質断面図（横断）

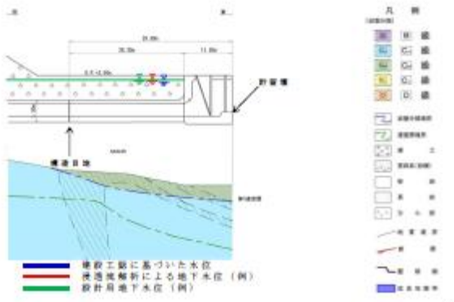
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



注：改良地盤の範囲は今後の設計進捗で変更の可能性がある。

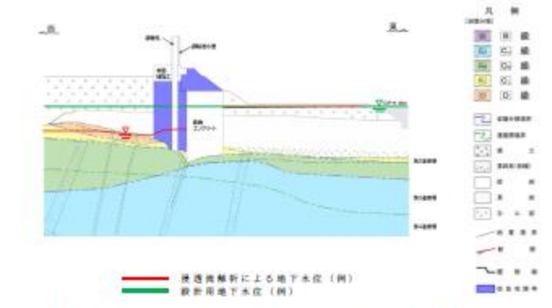
項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設より高い位置に地下水位を設定する。
③	Yes	施設周辺の地盤改良を実施する。
④	Yes	施設側方に改良地盤が有るが、液状化検討対象層とも接している。また、改良地盤の外側の土圧の影響を無視できない。

第3.1-22図 取水口（漸縮部） 地質断面図（横断）



項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設より高い位置又は接する高さに地下水位を設定する。
③	No	縦断方向には改良地盤が無い。

第3.1-23図 取水口地質断面図（縦断）

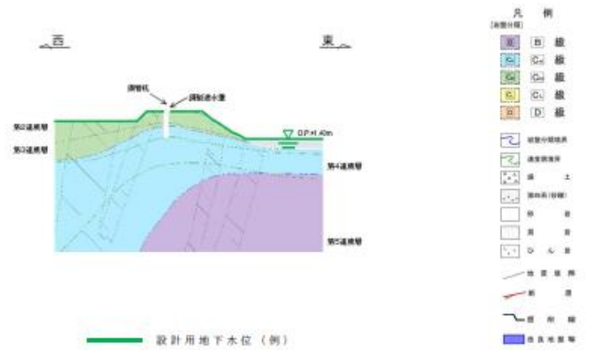


注：防潮堤の断面図は、敷地地方太平洋沿岸地震による約１ｍの沈降を考慮した標高とする。

項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。
③	Yes	杭周辺の地盤改良を実施する。
④	Yes	山側から海側への側方流動の影響が有り，施設に悪影響を与える恐れが有る。

第3.1-24 図 防潮堤（ 鋼管式鉛直壁（一般部）） 地質断面図

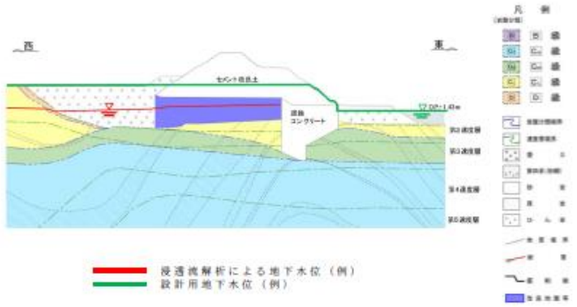
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



※：防潮堤の断面図は，東北地方太平洋沖地震による約１ｍの沈降を考慮した標高とする。

項目	判定	観点
①	Yes	施設が岩盤中に設置されている。
②	－	－

第3.1-25図 防潮堤（ 鋼管式鉛直壁（岩盤部）） 地質断面図

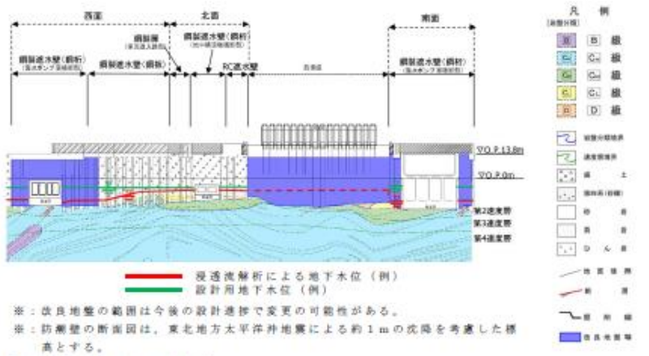


※：防潮堤の断面図は，東北地方太平洋沖地震による約１ｍの沈降を考慮した標高とする。

項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。
③	Yes	セメント改良土直下の地盤改良を実施する。
④	Yes	山側から海側への側方流動の影響が有り，施設に悪影響を与える恐れが有る。

第3.1-26図 防潮堤（盛土堤防） 地質断面図

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



※：改良地盤の範囲は今後の設計進捗で変更の可能性がある。
※：防潮壁の断面図は，東北地方太平洋沖地震による約１ｍの沈降を考慮した標高とする。

【改良地盤に囲まれる箇所】

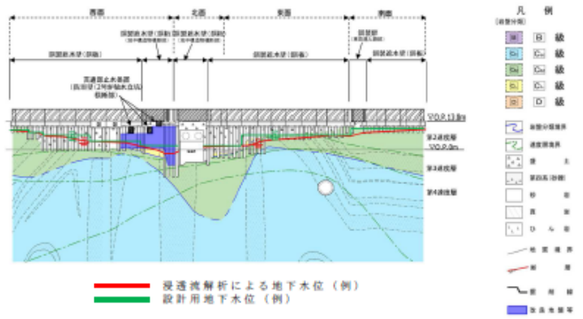
項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。
③	Yes	杭周辺の地盤改良を実施する箇所がある。
④	No	施設が改良地盤に囲まれ，液状化の影響は無い。

【改良地盤に囲まれる箇所以外】

項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。
③	No	施設周辺に改良地盤が無い。

第3.1-27図 防潮壁（ ２ 号炉海水ポンプ室） 地質縦断図

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



※：改良地盤の範囲は今後の設計進捗で変更の可能性がある。
※：防潮壁の断面図は，東北地方太平洋沖地震による約１ｍの沈降を考慮した標高とする。

・防潮壁（２号炉放水立坑）

【岩盤に囲まれる箇所】

項目	判定	観点
①	Yes	施設が岩盤中に設置されている。
②	－	－

【改良地盤に囲まれる箇所】

項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。
③	Yes	杭周辺の地盤改良を実施する箇所がある。
④	No	施設が改良地盤に囲まれ，液状化の影響は無い。

【岩盤及び改良地盤に囲まれる箇所以外】

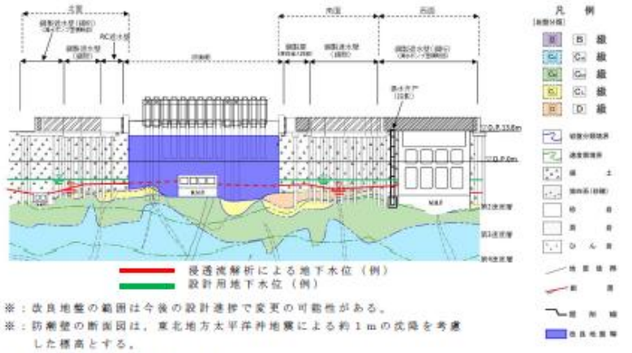
項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。
③	No	施設周辺に改良地盤が無い。

・貫通部止水処置（防潮壁（２号炉放水立坑）横断部）

項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。

第3.1-28図 防潮壁（２号炉放水立坑），　貫通部止水処置
（防潮壁（２号炉放水立坑）横断部）　地質縦断図

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



※：改良地盤の範囲は今後の設計進捗で変更の可能性がある。
※：防潮壁の断面図は，東北地方太平洋沖地震による約１ｍの沈降を考慮した標高とする。

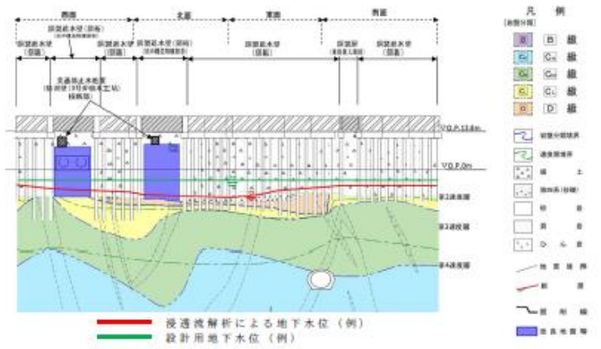
・防潮壁（３号炉海水ポンプ室）

項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。
③	No	施設周辺に改良地盤が無い（防潮堤直下を除く）。

・揚水井戸

項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。
③	No	施設周辺に改良地盤が無い（防潮堤直下を除く）。

第3.1-29図 防潮壁（３号炉海水ポンプ室），揚水井戸
地質縦断図



※：改良地盤の範囲は今後の設計進捗で変更の可能性がある。
※：防潮壁の断面図は，東北地方太平洋沖地震による約１ｍの沈降を考慮した標高とする。

・防潮壁（３号炉放水立坑）

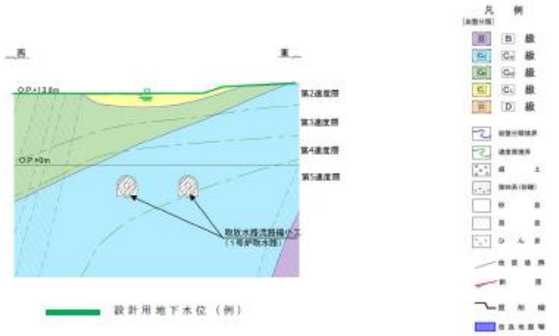
項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。
③	No	施設周辺に改良地盤が無い。

・貫通部止水処置（防潮壁（３号炉放水立坑）横断部）

項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。

第3.1-30図 防潮壁（３号炉放水立坑），貫通部止水処置（防潮壁（３号炉放水立坑）横断部） 地質縦断図

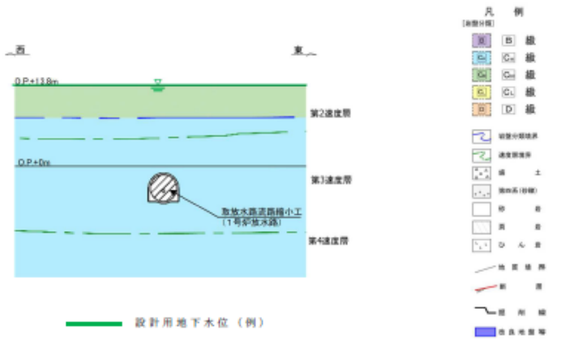
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



※：取放水路流路縮小工の断面図は，東北地方太平洋沖地震による約１ｍの沈降を考慮した標高とする。

項目	判定	観点
①	Yes	施設が岩盤中に設置されている。
②	－	－

第3.1-31図 取放水路流路縮小工（ １ 号炉取水路） 地質断面図

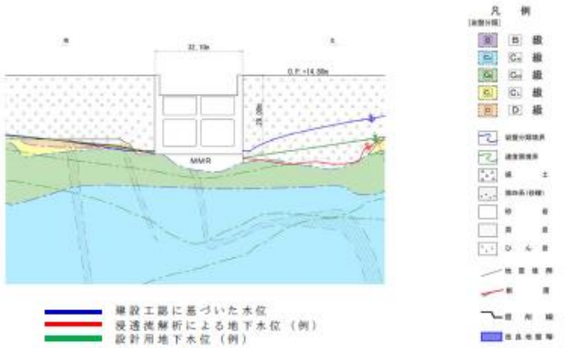


※：取放水路流路縮小工の断面図は，東北地方太平洋沖地震による約１ｍの沈降を考慮した標高とする。

項目	判定	観点
①	Yes	施設が岩盤中に設置されている。
②	－	－

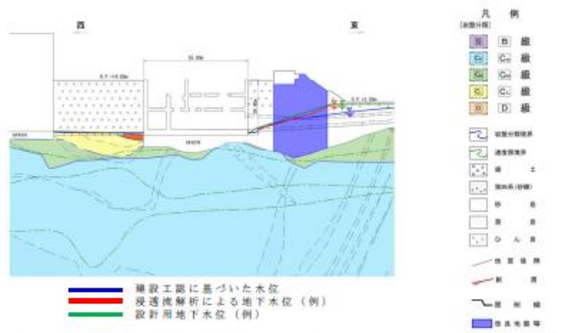
第3.1-32図 取放水路流路縮小工（１号炉放水路） 地質断面図

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。

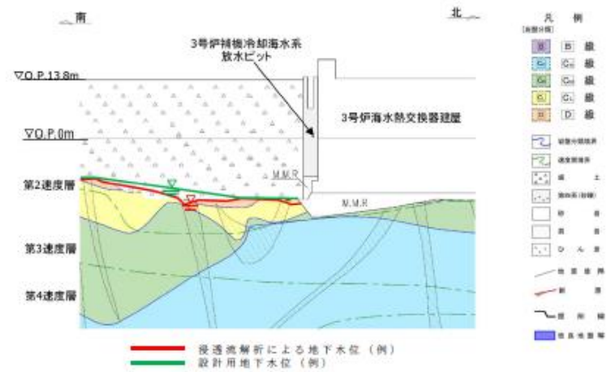
第3.1-33図　３号炉海水ポンプ室地質断面図（横断）



項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設東側の防潮堤外側において地下水位が上昇する。
③	Yes	東側に防潮堤沈下対策の改良地盤が有る。
④	No	施設東側において地下水位が上昇するが，東側には取水路及び防潮堤の改良地盤等が存在するため，液状化の影響は無い。

第3.1-34図　３号炉海水ポンプ室地質断面図（縦断）

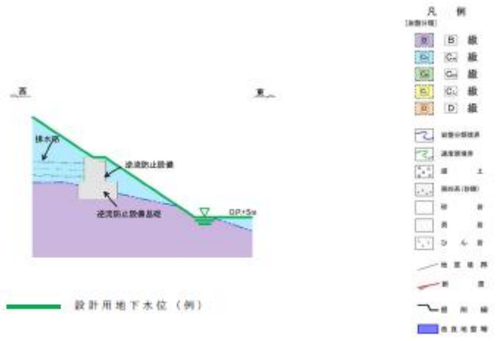
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



※：３号炉補機冷却海水系放水ピットの断面図は，東北地方太平洋沖地震による約１ｍの沈降を考慮した標高とする。

項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	Yes	周辺地盤における地下水位が，施設底盤より低い。

第3.1-35図　3号炉補機冷却海水系放水ピット地質断面図

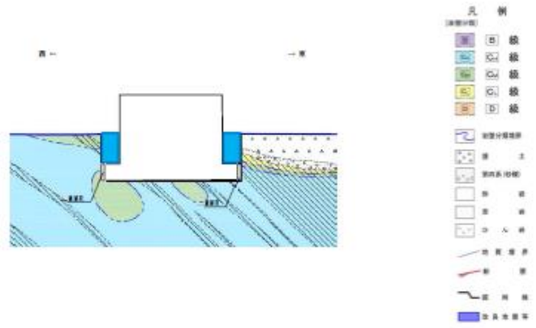


※：逆流防止設備の断面図は，東北地方太平洋沖地震による約１ｍの沈降を考慮した標高とする。

項目	判定	観点
①	Yes	施設が岩盤中に設置されている。
②	－	－

第3.1-36図　逆流防止設備地質断面図

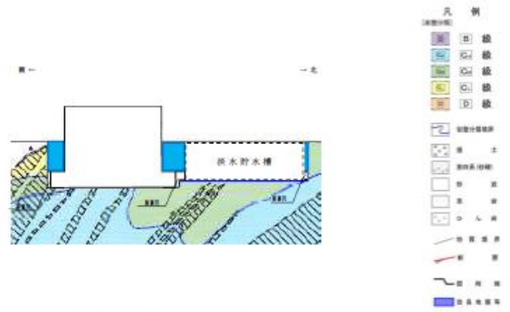
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



※：設計用地下水位は，地下水位低下設備に期待しない設定とする。

項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。
③	No	施設が岩盤，ＭＭＲ，改良地盤に囲まれており，液状化等の影響がない。

第3.1-37図 緊急時対策建屋地質断面図（東西）

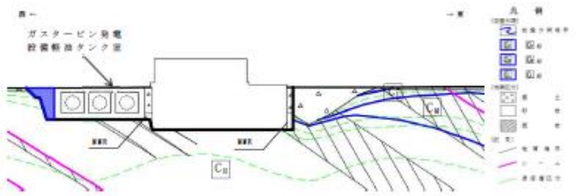


※：設計用地下水位は，地下水位低下設備に期待しない設定とする。

項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。
③	No	施設が岩盤，ＭＭＲ，改良地盤に囲まれており，液状化等の影響がない。

第3.1-38図 緊急時対策建屋地質断面図（ 南北）

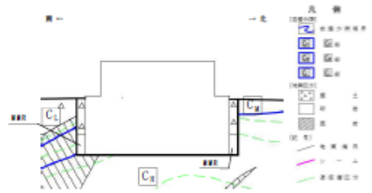
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



※：設計用地下水位は，地下水位低下設備に期待しない設定とする。

項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。
③	No	施設西側は他構造物に囲まれている。施設東側上部に一部盛土があるものの，既設の地震観測記録の分析や解析検討等の結果から，周辺地盤による施設の応答への影響が小さく，側方地盤を考慮しない解析モデルの妥当性が確認されている。

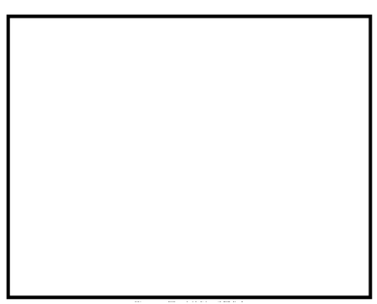
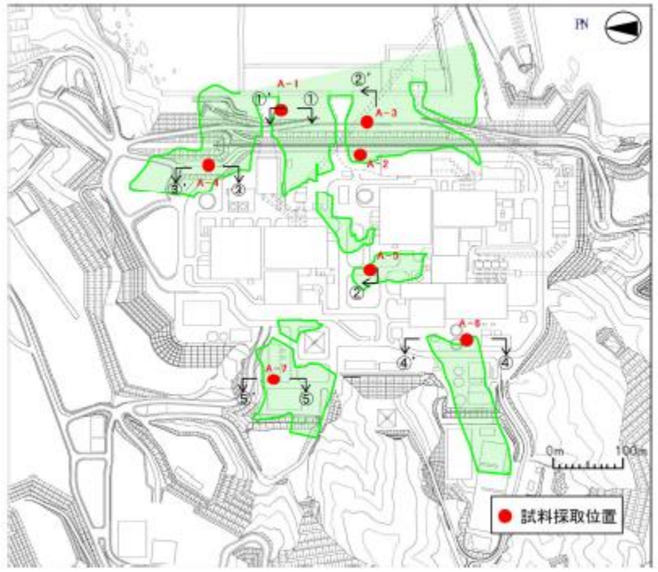
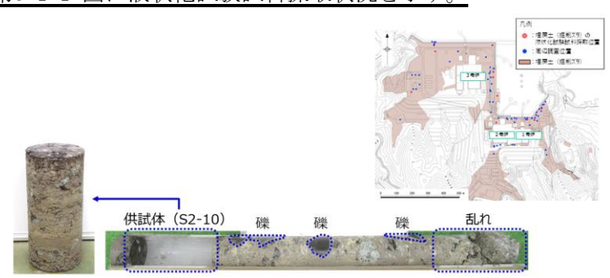
第3.1-39図 緊急用電気品建屋地質断面図（東西）

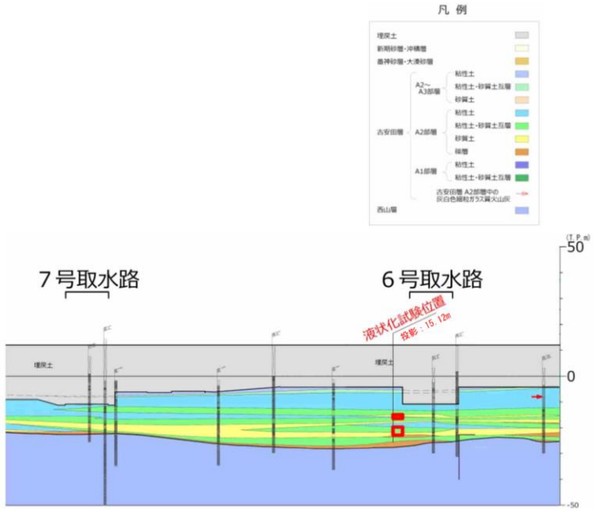
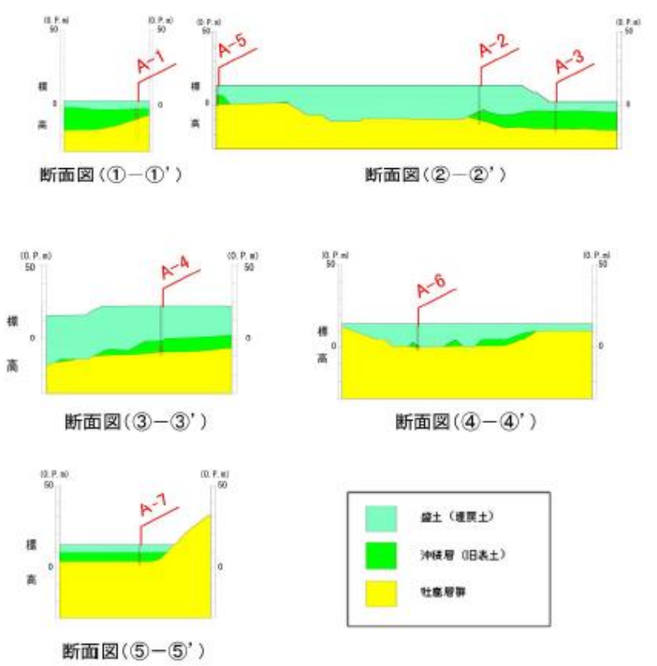
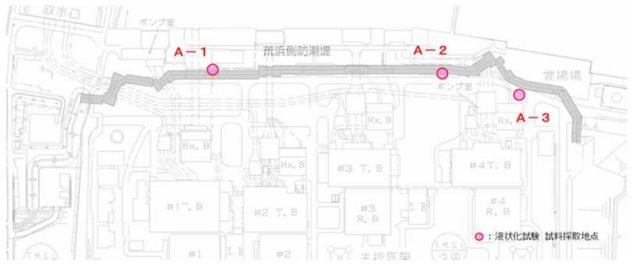
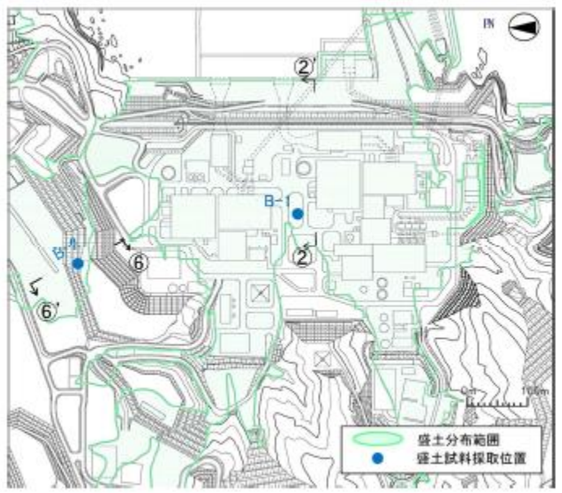


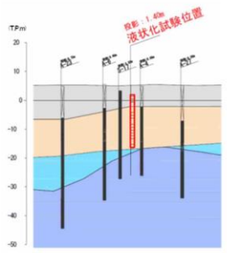
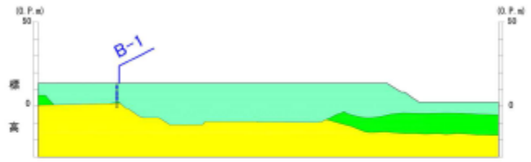
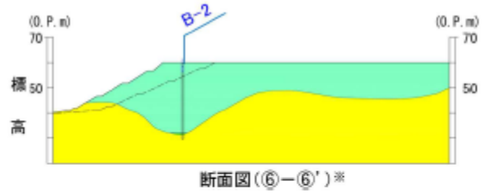
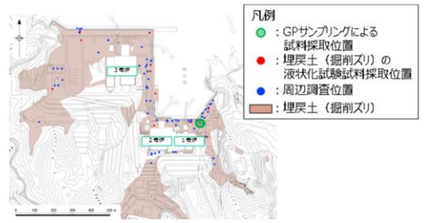
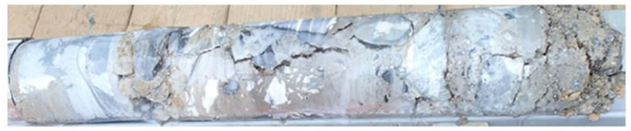
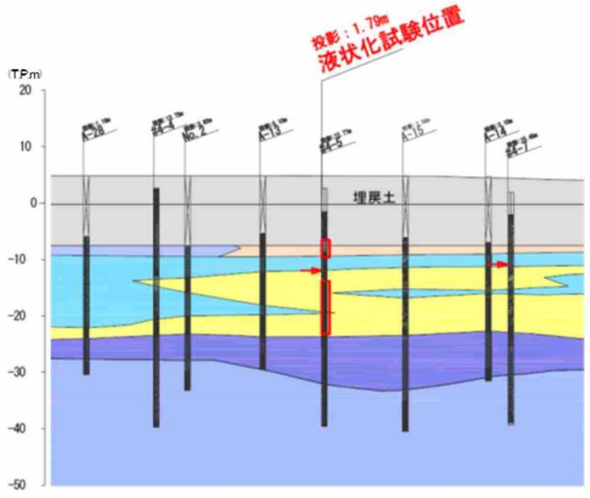
※：設計用地下水位は，地下水位低下設備に期待しない設定とする。

項目	判定	観点
①	No	施設が岩盤中に設置されていない。
②	No	地下水位低下設備に期待しないため，施設周辺の地下水位は低下しない。
③	No	施設北側は岩盤に囲まれている。施設南側の岩盤面は南側に下り勾配であり施設への側方流動の影響は無い。

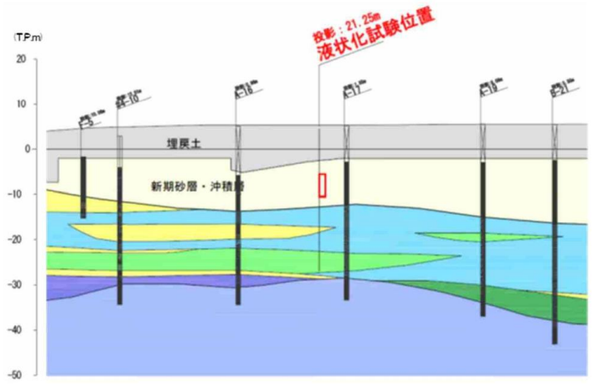
第3.1-40図 緊急用電気品建屋地質断面図（南北）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
3.液状化試験位置とその代表性 3.1 液状化試験位置の選定 大湊側の液状化評価対象層として，砂層の分布状況から，古安田層中の砂層，新期砂層・沖積層及び埋戻土層を抽出した。 液状化試験については，砂層の分布状況から比較的砂層が厚く堆積している６号炉取水路付近の地点を選定し（Ｏ－１），試料を採取して液状化試験を実施した。 常設代替交流電源設備基礎や７号炉軽油タンク基礎等の周辺地盤に分布している新期砂層・沖積層については，敷地の全域に分布していることから４号炉で確認している新期砂層・沖積層と連続する地層であると想定される。 第11-3-1 図に大湊側の試料採取地点位置図（Ｏ－１）を示す。 荒浜側の液状化評価対象層として，砂層の分布状況から，主に３～４号炉海側に分布する古安田層中の砂層，主に１～２号炉海側に分布する古安田層中の砂層，新期砂層・沖積層及び埋戻土層を抽出した。 荒浜側については，砂層の分布状況から以下のとおり地点を選定し，試料を採取して液状化試験を実施した。 ・１～２号炉海側の古安田層中の砂層は，３～４号炉海側から連続するシルト主体の地層の上位に位置する砂層が連続して分布していることから，１号側の比較的砂層が厚く堆積している地点を選定した（Ａ－１）。 ・３～４号炉海側の古安田層中の砂層は，その分布状況から４号側の比較的砂層が厚く堆積している地点を選定した（Ａ－２）。 ・新期砂層・沖積層は，10m 以上の層厚で連続して分布していることから，比較的砂層が厚く堆積している地点を選定した（Ａ－３）。  (a) 平面図 第11-3-1 図 大湊側 試料採取地点位置図（Ｏ－１）	4. 液状化強度試験 試料採取位置選定とその代表性 4.1 液状化強度試験 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（旧表土・盛土）について，採取可能な試料採取位置の選定を行った。 旧表土の液状化強度試験に用いる試料採取位置は，第4.1-1 図及び第4.1-2 図に示すとおり，敷地内に残存する旧表土から網羅的に採取する観点から，A-1～A-7 の７点を選定した。 盛土については，敷地内全域において均一な施工がなされているが，耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設が0.P.+14m 盤及び0.P.約+60m 盤の２エリアに設置されることを踏まえ，第4.1-3 図及び第4.1-4 図に示すとおり，液状化強度試験に用いる試料採取位置はそれぞれのエリアから１地点ずつ計２地点を選定した。  第4.1-1図 液状化強度試験に用いる試料採取位置平面図（旧表土）	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 3.1.1 液状化試験試料採取位置の選定 液状化試験試料の採取方法としては，先行他サイトの審査実績及び審査状況を踏まえると，ロータリー式三重管サンプラー，ＧＰサンプリング，凍結サンプリング及び表層試料採取の４種類（①～④）がある。各試料採取方法の概要及び試料採取結果等を以下に示す。 ①ロータリー式三重管サンプラー ロータリー式三重管サンプラーは，アウターチューブ，インナーチューブ及びライナーからなる三重管構造である。ボーリングロッドの回転がアウターチューブに伝わるがインナーチューブは回転しない機構を有しており，試料はインナーチューブ内側のライナーに収納される。乱れの少ない試料を採取できるサンプリング方法である。 埋戻土（掘削ズリ）の採取にあたり，ロータリー式三重管サンプラーにより試料採取（Φ88㎜）を実施した。採取した試料は，局所的に発生する乱れを除いて乱れの少ない試料であった。一方，埋戻土（掘削ズリ）は150㎜程度の玉石を伴うため，土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520），及び粗粒土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0530）を踏まえると液状化試験に採用可能な区間は限定的であり，約110mの掘進長に対して供試体として使用可能なものは４体（約１m）であった。 土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520），及び粗粒土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0530）に基づき，供試体直径がΦ300㎜の場合，試料の最大粒径は60㎜程度まで許容されるが，埋戻土（掘削ズリ）は150㎜程度の玉石も含むことから，採取数（液状化試験に採用可能な供試体数）の改善は困難である。 第3-1-1 図に液状化試験試料採取状況を示す。  第3-1-1 図　Ｅ－２地点の液状化試験試料採取状況（供試体（S2-10）抜き出し後）	・説明の充実 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉では液状化試験結果の信頼性向上を図るため，ＧＰサンプリング及び表層試料採取により試料を採取し，液状化試験データを拡充している （以下，島根２号炉の3.1.1 章はすべて同じ理由である）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 (b) 断面図 第11-3-1 図 大湊側 試料採取地点位置図（Ｏ－１）	 第4.1-2図 液状化強度試験に用いる試料採取位置断面図（旧表土）	②ＧＰサンプリング ＧＰサンプリングは，コアチューブの中にポリマー溶液を内封する単管構造である。サンプリング時に取り込んだ試料がポリマー溶液をサンプラー先端から押し出すことによりポリマー溶液が潤滑剤の役割を果たし，乱れの原因である試料とコアチューブとの摩擦を低減することにより，乱れの少ない試料を採取できるサンプリング方法である。 ロータリー式三重管サンプラーによる埋戻土（掘削ズリ）の採取に合わせ，１地点のみＧＰサンプリングにより試料採取（Φ100㎜）を実施したが，回転切削に伴う礫間の緩みによりコアが動いてコア詰まり（コアチューブ内のコアが自立せずに詰まる）を起こして掘進が不能となること，コアチューブ引き上げ時に掘削したコアがコアリフターをすり抜けて孔底に脱落することから，以降の試料採取を取り止めた。 また，採取されたコアは，掘進時に発生した不連続面に沿って乱れているもの，自立しないもので占められていたことから，供試体として採用可能なものは得られなかった。また，埋戻土（掘削ズリ）は150㎜程度の玉石を伴うため，土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520），及び粗粒土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0530）を踏まえると液状化試験に採用可能な区間は限定的であった。 土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520），及び粗粒土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0530）に基づき，供試体直径がΦ300㎜の場合，試料の最大粒径は60㎜程度まで許容されるが，埋戻土（掘削ズリ）は150㎜程度の玉石も含むことから，採取数（液状化試験に採用可能な供試体数）の改善は困難である。 第3-1-2 図にＧＰサンプリングにより採取した埋戻土（掘削ズリ）を示す。	
 (a) 平面図 第11-3-2 図 荒浜側 試料採取地点位置図（A－１，２，３）	 第4.1-3図 液状化強度試験に用いる試料採取位置平面図（盛土）		

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
  (b) 断面図（A－１） 第11-3-2 図 荒浜側 試料採取地点位置図（A－１，２，３）	 断面図（②－②'）  断面図（⑥－⑥'）※ ※ 断面図（⑥－⑥'）は液状化強度試験当時のものであり，その後点線のとおり掘削・整地したことから，地質断面位置図の標高とは整合していない。（平面図は掘削・整地後の形状を示す）  第4.1-4図 液状化強度試験に用いる試料採取位置断面図（盛土）	  第3-1-2 図　ＧＰサンプリングにより採取した埋戻土（掘削ズリ） ③凍結サンプリング 凍結サンプリングは，原位置で地盤を凍結させ，その状態で試料を採取する方法であるため，乱れの少ない試料を採取できるサンプリング方法である。 凍結サンプリングの適用地盤は凍結に必要な飽和度の高い地盤であることから，埋戻土（掘削ズリ）のうち地下水位以浅の採取には適用不可と判断した。 乱れの少ない試料を採取した場合，埋戻土（掘削ズリ）は150mm程度の玉石を伴うため，土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520），及び粗粒土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0530）に基づき，液状化試験に採用可能な区間は限定的である。 ④表層試料採取 表層試料採取は，地表付近の埋戻土（掘削ズリ）を対象として試料の採取を行う方法である。 採取した試料について，土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520），及び粗粒土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0530）に準拠し，供試体寸法に対して適合しない礫を除くことにより，試験基準を満足する供試体を作製可能である。 敷地の被覆層（埋戻土（掘削ズリ））は敷地造成において発生した岩砕を主体とする材料により埋戻した人工地盤であることから，既往の埋戻土（掘削ズリ）の粒径加積曲線となるよう粒度調整を行った。また，敷地の埋立工事における施工管理基準値となるよう密度調整を行った。	
 (c) 断面図（A－２） 第11-3-2 図 荒浜側 試料採取地点位置図（A－１，２，３）			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



（d）断面図（A－３）

第11-3-2 図 荒浜側 試料採取地点位置図（A－１，２，３）

今回，既往のロータリー式三重管サンプラー及びＧＰサンプリングによる採取実績を踏まえ，液状化試験データ数を確実に増やす観点から，表層試料採取により追加試料を採取した。

液状化試験試料採取方法及び採取結果を第3-1-1 表に示す。

第3-1-1 表　液状化試験試料採取方法及び採取結果

	① ロータリー式 三重管サンプラー	② GPサンプリング	③ 凍結サンプリング	④ 表層試料採取
構造	三重管	単管（GP-D）	凍結管による地盤凍結	－
特徴	乱れの少ない試料を採取可能。	乱れの少ない試料を採取可能。	乱れの少ない試料を採取可能。	試料の寸法調整，粒度調整，密度調整が可能。
適用範囲	粘性土，砂質土，礫混り土	粘性土，砂質土，礫混り土	砂質土，礫混り土 ※凍結に必要な飽和度の高い地盤に適する。	表層に分布する試料
実施有無	○	○	× （適用不可のため実施しない）	○ （第730回審査会合以降，追加実施）
試料採取結果	約110mの掘進長に対して供試体として採用可能なものは4体（約1m）であった。 乱れの少ない試料を採取したが，埋戻土（掘削ズリ）は150mm程度の玉石も含むため試験に採用可能な区間は限定的であった。	掘進時にコア詰まり及びコアの脱落が発生した。 採取されたコアは，掘進時に発生した不連続面に沿って乱れているもの，自立しないものでとめられていたことから，供試体として採用可能なものは得られなかった。	－	採取した試料の寸法調整により，試験基準に適合する供試体を作製した。 粒度調整，密度調整により，現地地盤を再現した供試体を作製した。
	供試体：4体	供試体：0体	－	供試体：10体

第3-1-3 図に敷地内の試料採取地点位置図を示す。

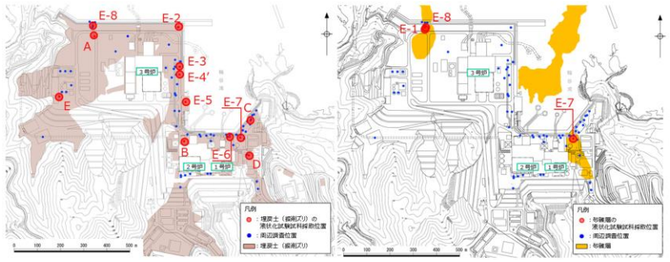
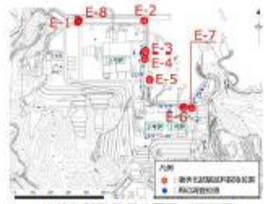
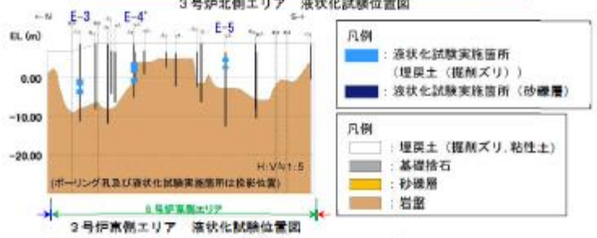
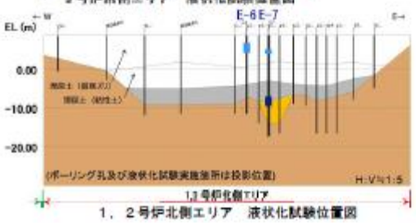
敷地内の液状化評価対象層として，埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層の分布状況から以下のとおり地点を選定し，試料を採取して液状化試験を実施する。

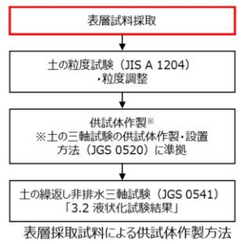
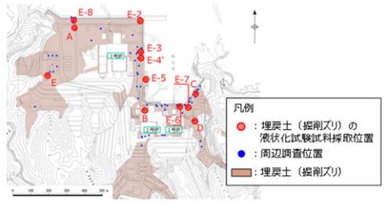
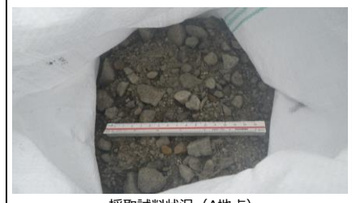
埋戻土（掘削ズリ）は３号炉西側から１，２号炉東側に広く分布している。このうち，地下水位以下で埋戻土（掘削ズリ）が厚く分布している護岸法線に沿った地点を広範囲に選定し，ロータリー式三重管サンプラーにより試料採取した（Ｅ－２～Ｅ－８）。なお，埋戻土（掘削ズリ）に対する液状化試験の位置及びデータ数について，代表性・網羅性の確保及び保守的な液状化強度の設定の観点から，これまで液状化試験データが得られていない位置を選定し，表層試料採取を追加実施した（Ａ～Ｅ）。

砂礫層は局所的に分布していることから，分布箇所である３号炉北側西端及び１，２号炉北側東端の地点を選定し，ロータリー式三重管サンプラーにより試料採取した（Ｅ－１，Ｅ－７，Ｅ－８）。

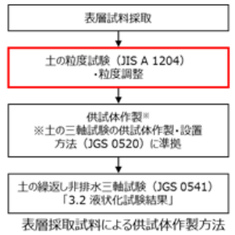
ロータリー式三重管サンプラーにより，地表から岩盤まで不攪乱試料の採取を実施した。供試体作製が可能な試料（巨礫の有無，必要高さ，自立性等）を確認し，液状化試験を実施した。

併せて，近傍においてボーリング調査を実施し，標準貫入試験及び粒度試験用の試料採取を実施した。ロータリー式三重管サンプラーによる液状化試験実施箇所を第3-1-4 図に示す。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第3-1-3 図　試料採取地点位置図  液状化試験箇所位置図（平面図）  ３号炉北側エリア　液状化試験位置図  ２号炉東側エリア　液状化試験位置図  １，２号炉北側エリア　液状化試験位置図 第3-1-4 図　ロータリー式三重管サンプラーによる液状化試験実施箇所	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		敷地の被覆層（埋戻土（掘削ズリ））は敷地造成において発生した岩砕を主体とする材料により埋戻した人工地盤であることから，埋戻土（掘削ズリ）の粒径加積曲線となるように粒度調整行い，敷地の埋立工事における施工管理基準値となるよう密度調整を行うことにより，人工地盤である敷地の被覆層（埋戻土（掘削ズリ））を再現した供試体を作製する。 路盤材以深の埋戻土（掘削ズリ）を対象として表層試料採取を実施した（Ａ～Ｅ地点）。また，表層試料採取にあたり，巨礫を除いて採取した。 第3-1-5 図に採取試料状況及び巨礫の例を示す。  表層採取試料による供試体作製方法  表層試料採取による液状化試験試料採取位置  採取試料状況（A地点）  巨礫の例 第3-1-5 図　採取状況及び巨礫の例 既往の試料採取位置の粒径加積曲線と同等になるよう，最大粒径53㎜として表層採取試料の粒度調整を実施した。粒度調整後の表層採取試料の粒径加積曲線及び細粒分含有率を第3-1-6 図に示す。 表層採取試料の細粒分含有率の平均値は，既往の試料採取位置の細粒分含有率の平均値及び平均値-1σ値の範囲内である。 土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520）に基づき，表層採取試料による供試体を作製した。	

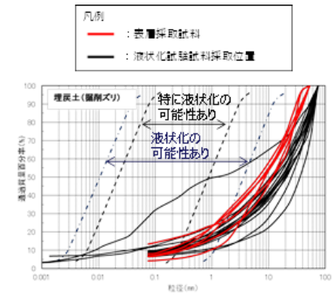
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



表層採取試料による供試体作製方法

表層採取試料の細粒分含有率

	細粒分含有率（%）
A	6.6/6.5
B	13.3
C	4.2
D	8.0
E	6.9
平均値	7.6



表層採取試料の粒径加積曲線

液状化試験試料採取位置の細粒分含有率

	細粒分含有率（%）
平均値	9.8
平均値-σ	4.7

第3-1-6 図　表層採取試料と既往の試料採取位置の粒径加積曲線及び細粒分含有率

３号炉建設時の敷地の埋戻しに当たり，大型締固め試験により乾燥密度 ρ_d を算出した（締固めエネルギー1.0E$_0$の乾燥密度 ρ_d＝1.874g/cm^3）。乾燥密度 ρ_d＝1.874g/cm^{3}を踏まえ，礫補正後乾燥密度 ρ_d’＝1.95g/cm^{3}を算出し，施工管理基準値とした。

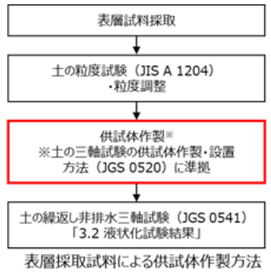
礫補正後乾燥密度とは，粒径53mm以下の材料を対象に実施した大型締固め試験結果に対し，53mm以上の礫を含む実際の埋戻土（掘削ズリ）の乾燥密度を算出するための補正である。したがって，表層採取試料の最大粒径は53mmであることから，表層採取試料による供試体作製に当たっては，乾燥密度 ρ_d＝1.874g/cm^{3}を目標値とした。

供試体作製は，土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520）に準拠して実施した。試料を５層に分けてモールド（直径100mm）に入れ，静的締固め法により作製した。

以上の方法により表層採取試料による供試体を作製し，土の繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541）を実施した。

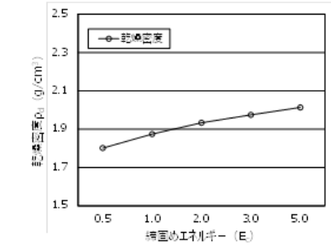
第3-1-7 図に表層採取試料による供試体の乾燥密度を示す。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



表層採取試料による供試体作製方法

締固めエネルギー（E）	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0
乾燥密度 ρ_d（g/cm³）	1.801	1.874	1.933	1.974	2.013



締固めエネルギーと乾燥密度の関係図

表層採取試料による供試体の乾燥密度

	乾燥密度 (g/cm^3)		乾燥密度 (g/cm^3)
A①	1.866	C②	1.873
A②	1.877	C③	1.873
B①	1.868	C④	1.877
B②	1.871	D①	1.872
C①	1.875	E①	1.875

第3-1-7図　表層採取試料による供試体の乾燥密度

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
3.2 液状化試験選定個所の代表性確認 液状化試験個所における基本物性（粒径加積曲線，Ｎ値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度）について，第11-3-3～6 図に示す。 これらの基本物性について，液状化試験選定個所の代表性確認を目的に，液状化試験個所と周辺調査個所の比較，検討を行った。比較する指標としては，Ｎ値，細粒分含有率を選定し，参考指標として粒径加積曲線及び密度（相対密度，乾燥密度）を選定した。第11-3-1 表に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を示す。 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（FLIP）の簡易パラメータ設定法にＮ値がパラメータとして用いられており，液状化強度比との相関が最も高いと考えられることから，指標として選定した。 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，液状化強度比との相関が高いと考えられることから，指標として選定した。 粒径加積曲線や密度（相対密度，乾燥密度）は，基本的な土の物性値であることから，参考指標として選定した。	4.2 液状化強度試験 試料採取位置の代表性確認 選定した旧表土と盛土の液状化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。 旧表土については，液状化強度比RL と相関性のある指標（基本物性）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。 盛土については，盛土材料及び施工管理の観点から均一であることを示した上で，旧表土と同様に液状化強度比RL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。 4.2.1 旧表土の代表性確認 旧表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，(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。また，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を第4.2-1 表に示す。	3.1.2　液状化試験試料採取位置の代表性確認 液状化試験試料採取位置における基本物性（粒径加積曲線，Ｎ値・細粒分含有率）について，第3-1-8～17 図に示す。 液状化試験試料採取位置の代表性確認を目的に，液状化試験試料採取位置と周辺調査位置を含めた敷地全体との比較，検討を行った。比較する指標としては，Ｎ値，細粒分含有率を選定する。第3-1-2 表に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を示す。 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（ＦＬＩＰ）の簡易設定法にＮ値がパラメータとして用いられており，液状化強度比R_Lとの相関が最も高いと考えられることから，指標として選定する。 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との相関が高いと考えられることから，指標として選定する。 Ｅ－２～Ｅ－８の埋戻土層の基本物性に関する評価は以下のとおり。 【Ｅ－２の埋戻土（掘削ズリ）】 ・Ｅ－２は３号炉北側エリアのEL.＋6.5m盤上の地点であり，地表面から岩盤（約EL.－15m）まではすべて埋戻土（掘削ズリ）である。 ・Ｅ－２の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布について，D_{50}は10mm以上となっており，道路橋示方書及び港湾基準のいずれにおいても液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。 ・Ｎ値は概ね20程度である。また，細粒分含有率は概ね10％程度である。 【Ｅ－３の埋戻土（掘削ズリ）】 ・Ｅ－３は３号炉東側エリアのEL.＋8.5m盤上の地点であり，地表面から岩盤（約EL.－10m）まではすべて埋戻土（掘削ズリ）である。 ・Ｅ－３の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布について，D_{50}は10mm以	・比較指標の相違 【柏崎 6/7】 柏崎 6/7 では乾燥密度及び相対密度を参考指標として比較している ・敷地の地質の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉の地質について詳細に説明している （以下，島根２号炉の 3.1.2 章はすべて同じ理由である）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

なお，液状化に関連する基本物性の補足を参考資料３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RL 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RL 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RL 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。

第4.2-1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	液状化強度比 R_L の算定に用いる主物性	液状化強度比 R_L の補正に用いる物性
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	N値（有効上載圧を考慮した補正を行う）	細粒分含有率　Fc
港湾の施設の耐震設計に係る当面の措置（その２），日本港湾協会，2007（部分改訂，2012）		
建築基礎構造設計指針，日本建築学会，2001		
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		

(1)敷地全体との比較

旧表土の液状化強度試験位置並びに標準貫入試験及び物理特性試験採取位置を第4.2-1 図に示す。旧表土の液状化強度試験の試料採取位置での各指標（粒度分布，細粒分含有率及びN 値）は，標準貫入試験及び物理特性試験採取位置を含めた敷地全体での指標と比較した結果，同程度あるいは旧表土の液状化強度試験位置の方がやや液状化しやすい傾向があるため，旧表土の液状化強度試験位置には代表性があると考えられる（第4.2-2 図）。

上となっており，道路橋示方書及び港湾基準のいずれにおいても液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。

・Ｎ値は概ね20程度である。また，細粒分含有率は概ね10％程度である。

【Ｅ－４’の埋戻土（掘削ズリ）】

・Ｅ－４’は３号炉東側エリアのEL.＋8.5m盤上の地点であり，地表面から岩盤（約EL.0m）まではすべて埋戻土（掘削ズリ）である。

・Ｅ－４’の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布は，D_{50}は10㎜以上となっており，道路橋示方書及び港湾基準のいずれにおいても液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。

・Ｎ値は概ね30程度である。また，細粒分含有率は概ね10％程度である。

【Ｅ－５の埋戻土（掘削ズリ）】

・Ｅ－５は３号炉東側エリアのEL.＋6.0m盤上の地点であり，地表面から岩盤（約EL.－３m）まではすべて埋戻土（掘削ズリ）である。

・Ｅ－５の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布は，D_{50}は10㎜以上となっており，道路橋示方書及び港湾基準のいずれにおいても液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。

・Ｎ値は概ね10程度である。また，細粒分含有率は概ね10％程度である。

【Ｅ－６の埋戻土（掘削ズリ）】

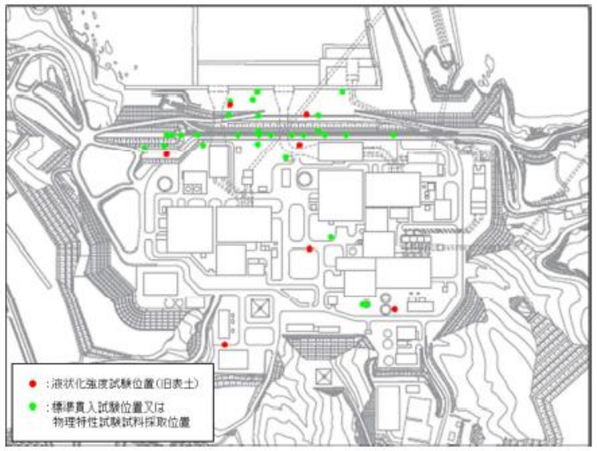
・Ｅ－６は１，２号炉北側エリアのEL.＋8.5m盤上の地点であり，地表面から岩盤（約EL.－10m）にかけて，上から順に埋戻土（掘削ズリ），埋戻土（粘性土），基礎捨石が存在する。

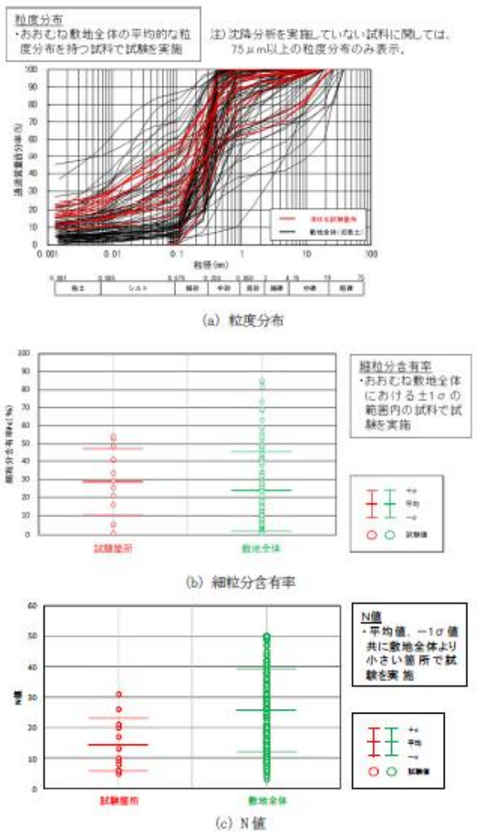
・そのうち，Ｅ－６の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布は，D_{50}は10㎜以上となっており，道路橋示方書及び港湾基準のいずれにおいても液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。

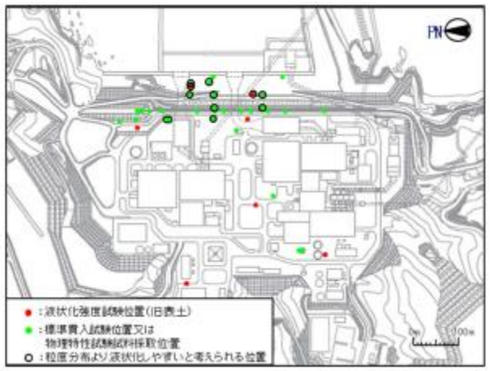
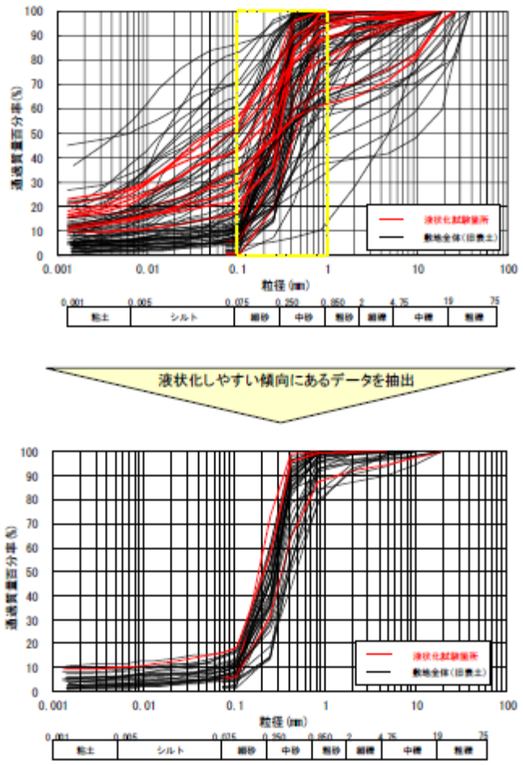
・Ｎ値は概ね20程度である。また，細粒分含有率は概ね10％程度である。

【Ｅ－７の埋戻土（掘削ズリ）】

・Ｅ－７は１，２号炉北側エリアのEL.＋8.5m盤上の地点であり，地表面から岩盤（約EL.－10m）にかけて，上から順に埋戻土（掘

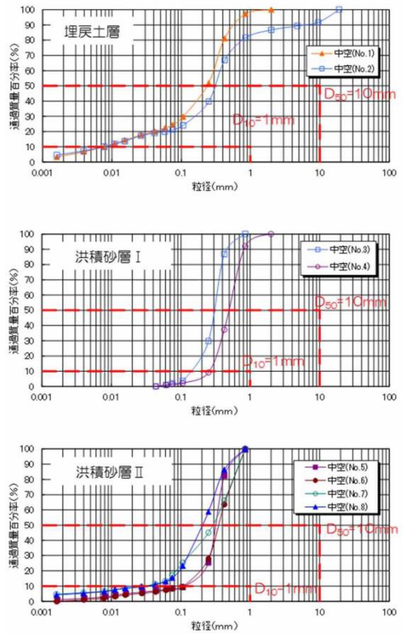
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	なお，N 値と細粒分含有率（Fc)の関係について整理したものを参考に参考資料４に示す。 ・液状化強度試験位置の粒度分布は，おおむね敷地全体の粒度分布の平均的な範囲にある。 ・液状化試験位置の細粒分含有率は，敷地全体の±1σ の範囲であり，おおむね敷地全体の平均的な範囲にある。 ・液状化試験位置のＮ値は，敷地全体よりもやや小さい値である。  第4.2-1図 旧表土の液状化強度試験位置並びに標準貫入試験及び物理特性試験採取位置の平面図	削ズリ），埋戻土（粘性土），基礎捨石，砂礫層が存在する。 ・そのうち，Ｅ－７の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布は，港湾基準において，液状化の可能性がある土層には該当しない。 また，D50は10㎜以下，D_{10}は１㎜以下であるが，I_Pが15以上であるため，道路橋示方書において液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。 ・Ｎ値は概ね10程度である。また，細粒分含有率は概ね10％程度である。 【Ｅ－８の埋戻土（掘削ズリ）】 ・Ｅ－８は３号炉北側エリアのEL.＋6.5m盤上の地点であり，地表面から岩盤（約EL.－20m）にかけて，上方に埋戻土（掘削ズリ）が存在し，岩盤上に厚さ最大5m程度の砂礫層が存在する。 ・そのうち，Ｅ－８の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布は，D_{50}は10㎜以上となっており，道路橋示方書及び港湾基準のいずれにおいても液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。 ・Ｎ値は概ね20程度である。また，細粒分含有率は概ね10％程度である。 次に，砂礫層の基本物性に関する評価は以下のとおり。 【Ｅ－１の砂礫層】 ・Ｅ－１は３号炉北側エリアのEL.＋6.5m盤上の地点であり，地表面から岩盤（約EL.－20m）にかけて，上方に埋戻土（掘削ズリ）が存在し，岩盤上に厚さ最大5m程度の砂礫層が存在する。 ・そのうち，Ｅ－１の砂礫層の粒度分布は，港湾基準において，液状化の可能性がある土層には該当しない。 また，D_{50}が10㎜以下，D_{10}が１㎜以下及び細粒分含有率が35％以下である試料があるため，道路橋示方書において液状化の判定を行う必要がある土層に該当する。 ・Ｎ値は概ね20程度である。また，細粒分含有率は概ね20％程度である。 【Ｅ－７の砂礫層】 ・Ｅ－７は１，２号炉北側エリアのEL.＋8.5m盤上の地点であり，地表面から岩盤（約EL.－10m）にかけて，上から順に埋戻土（掘削ズリ），埋戻土（粘性土），基礎捨石，砂礫層が存在する。 ・そのうち，Ｅ－７の砂礫層の粒度分布は，港湾基準において，	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
各基準のおける設計で設定する地盤物性値のばらつきに対する考え方は，「地盤工学会基準JGS4001：性能設計概念に基づいた基礎構造物等に関する設計原則（2006）」や「港湾の施設の技術上の基準・同解説（2007）」，道路橋示方書によると，平均値を原則とし，ばらつきを考慮する場合は変動係数等に応じて設定するという考え方が示されている。 液状化試験個所と周辺調査個所のＮ値等の比較に際しては，各基準における地盤物性値のばらつきに対する考え方を参考に，「平均値」及び平均値から標準偏差σを減じた「平均値-1σ（以下「-1σ値」と称す）」について整理した。 【地盤工学会基準JGS4001：性能設計概念に基づいた基礎構造物等に関する設計原則（2006）】 ・設計に用いる「特性値」の決定にあたっては，過去の経験にもとづき，地盤パラメータのばらつきや単純化したモデルの適用性に十分留意しなければならない。 ・この特性値は，原則として導出値の平均値（期待値）である。この平均値は単なる機械的な平均値ではなく，統計的な平均値の推定誤差を勘案したものでなければならない。 ・特性値を示すにあたっては，地盤の特性を記述するために，特性値に加えて，導出値のばらつきの指標（たとえば標準誤差や変動係数）を含めることが望ましい。	 (a) 粒度分布 (b) 細粒分含有率 (c) N値 第4.2-2図 液状化強度試験位置の基本物性の比較（旧表土） (2) 液状化のしやすさに関する検討 液状化強度試験位置並びに標準貫入試験及び物理特性試験試料採取位置のすべての粒度分布から液状化しやすい傾向にある試料（細粒分含有率が小さく，0.1～1mm の範囲で急激な立ち上がりとなっている試料）を抽出し，その平面的な分布について確認した（第4.2-3 図）。 その結果，海側（図面上部の防潮堤近傍）から採取した旧表土が液状化しやすい傾向となっていることを確認した（第4.2-3 図及び第4.2-4図）。 なお，旧表土の液状化強度試験は，上記の海側からも試料を採取していることから，敷地に対して代表性があるといえる。 以上より，旧表土における液状化強度試験の試料採取位置は，敷地全体に対し代表性を有していると評価した。	液状化の可能性がある土層には該当しない。 また，D_{50}が10mm以下，D_{10}が１mm以下及び細粒分含有率が35%以下である試料があるため，道路橋示方書において液状化の判定を行う必要がある土層に該当する。 ・Ｎ値は概ね10程度である。また，細粒分含有率は概ね10%程度である。 【Ｅ－８の砂礫層】 ・Ｅ－８は３号炉北側エリアのEL.＋6.5m盤上の地点であり，地表面から岩盤（約EL.－20m）にかけて，上方に埋戻土（掘削ズリ）が存在し，岩盤上に厚さ最大5m程度の砂礫層が存在する。 ・そのうち，Ｅ－８の砂礫層の粒度分布は，港湾基準において，液状化の可能性がある土層には該当しない。 また，D_{50}が10mm以下，D_{10}が１mm以下及び細粒分含有率が35%以下である試料があるため，道路橋示方書において液状化の判定を行う必要がある土層に該当する。 ・Ｎ値は概ね20程度である。また，細粒分含有率は概ね20%程度とばらつきが大きい。 各基準における設計で設定する地盤物性値のばらつきに対する考え方は，「地盤工学会基準 JGS 4001：性能設計概念に基づいた基礎構造物等に関する設計原則（2006）」や「港湾基準」，「道路橋示方書」によると，平均値を原則とし，ばらつきを考慮する場合は変動係数等などに応じて設定するという考え方が示されている。 液状化試験試料採取位置と周辺調査位置を含めた敷地全体とのＮ値等の比較に際しては，各基準における地盤物性値のばらつきに対する考え方を参考に，「平均値」及び平均値から標準偏差σを減じた「平均値-1σ（以下「-1σ値」という）」について整理した。第3-1-3 表に各基準類における地盤物性値のばらつきに対する考え方を示す。 【地盤工学会基準 JGS 4001：性能設計概念に基づいた基礎構造物等に関する設計原則（2006）】 ・設計に用いる「特性値」の決定にあたっては，過去の経験にもとづき，地盤パラメータのばらつきや単純化したモデルの適用性に十分留意しなければならない。 ・この特性値は，原則として導出値の平均値（期待値）である。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
【港湾の施設の技術上の基準・同解説（2007）】 ・性能照査に用いる地盤定数の設計用値は，原則として地盤工学会基準JGS4001 に基づき，推定する。 ・地盤定数の代表値である特性値は，データ数が十分かつ導出値のばらつきが小さい場合には，原則として導出値の平均値をもって算定することができる。ただし，データ数が不足している場合（10 個未満）及び導出値のばらつきが大きい場合には，導出値の平均値を補正した上で，特性値を設定する必要がある。 ・特性値は，導出値のばらつきに関する補正係数b1 を標準偏差として定義される変動係数に応じて設定することにする。 【道路橋示方書】 ・地盤は複雑でばらつきの大きい材料であるが，設計に用いる地盤定数は，基礎に作用する荷重に対して，その条件下で最も高い確率で起こり得る基礎の挙動を推定するものである。したがって，地盤定数は，計算式の精度や特性を顧慮した上で，当該地盤の平均的な値と考えられるものを求めることが原則である。 ・自然地盤から得られる計測データは多様で，しかもばらつくのがふつうである。データのばらつきだけでなく，データ数を合理的に評価して設計に用いる地盤定数を定める必要がある。 各液状化試験個所とその対象地層の周辺調査個所における基本物性を整理した。第11-3-7 図に液状化試験個所と周辺調査個所の位置図，第11-3.8～14 図に各土層の基本物性の比較結果を示す。なお，各種試験は，JIS に基づき実施した。 Ａ－１地点の洪積砂層Ⅰは，周辺調査個所と比べて，Ｎ値が同程度であり細粒分含有率が小さいこと，Ａ－１の洪積砂層Ⅱは，細粒分含有率が若干大きいもののＮ値が小さいことから，代表性を有していると評価した。ただし，当該地層は層厚が厚く分布範囲が広いことを踏まえ，データ拡充を目的とした追加調査を実施する。 Ａ－２地点の洪積砂層Ⅰは，周辺調査個所と比べて，Ｎ値及び細粒分含有率の-1σ値が大きいものの，液状化強度との相関が最も高いＮ値の平均値は小さいことから，代表性を有していると評価した。ただし，Ａ－２地点の洪積砂層Ⅰは，Ａ－１地点の洪積	 第4.2-3図 粒度分布から液状化しやすいと考えられる試験位置の平面図（旧表土）  第4.2-4図 液状化のしやすさに関する検討結果（旧表土）	この平均値は単なる機械的な平均値ではなく，統計的な平均値の推定誤差を勘案したものでなければならない。 ・特性値を示すにあたっては，地盤の特性を記述するために，特性値に加えて，導出値のばらつきの指標（たとえば標準誤差や変動係数）を含めることが望ましい。 【港湾基準】 ・性能照査に用いる地盤定数の設計用値は，原則として地盤工学会基準 JGS 4001に基づき，推定する。 ・地盤定数の代表値である特性値は，データ数が十分かつ導出値のばらつきが小さい場合には，原則として導出値の平均値をもって算定することができる。ただし，データ数が不足している場合（10個未満）及び導出値のばらつきが大きい場合には，導出値の平均値を補正したうえで，特性値を設定する必要がある。 ・特性値は，導出値のばらつきに関する補正係数b1を標準偏差として定義される変動係数に応じて設定することにする。 【道路橋示方書】 ・地盤は複雑でばらつきの大きい材料であるが，設計に用いる地盤定数は，基礎に作用する荷重に対して，その条件下で最も高い確率で起こり得る基礎の挙動を推定するものである。したがって，地盤定数は，計算式の精度や特性を考慮したうえで，当該地盤の平均的な値と考えられるものを求めることが原則である。 ・自然地盤から得られる計測データは多様で，しかもばらつくのが普通である。データのばらつきだけでなく，データ数を合理的に評価して設計に用いる地盤定数を定める必要がある。 液状化試験を実施した箇所のうち，埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層の液状化試験試料採取位置と周辺調査位置を含めた敷地全体や防波壁近傍におけるＮ値や物理特性（細粒分含有率）の比較を行い，代表性を確認した。第3-1-18 図に比較対象位置図を，第3-1-19 図に各土層の基本物性の比較結果を示す。なお，各種試験は，JIS に基づき実施した。 Ｅ－２～Ｅ－８地点の埋戻土（掘削ズリ）は，敷地全体と比べて，Ｎ値及び細粒分含有率ともに，液状化試験試料採取位置の平均値及び-1σ値が，敷地全体のばらつき（±1σ）の範囲内であることから，液状化試験試料採取位置は代表性を有していると評価	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
砂層Ⅰ，Ⅱと同時代に堆積した地層であること，Ｎ値がＡ－１地点の洪積砂層Ⅱと同程度であることを踏まえ，後述する液状化試験結果から非液状化層と評価しているものの，物性設定においては保守的にサイクリックモビリティを示すＡ－１地点の洪積砂層Ⅱの試験結果を用いる方針とする。 Ａ－２地点の洪積砂層Ⅱは，周辺調査個所と比べて，Ｎ値及び細粒分含有率が同程度若しくは小さいことから，代表性を有していると評価した。なお，後述する液状化試験結果から非液状化層と評価しているＡ－２地点の洪積砂層Ⅱは，主にサイクリックモビリティを示すＡ－１地点の洪積砂層Ⅰ，Ⅱ及びＡ－２地点の洪積砂層Ⅰの下位に分布する砂層であり，より古い時代に堆積した砂層である。 Ｏ－１地点の洪積砂質土層Ⅰ，Ⅱは，周辺調査個所と比べて，細粒分含有率の大きい試料が１試料あることで平均値が若干大きいもののＮ値が同程度であることから，代表性を有していると評価した。ただし，液状化試験個所の粒径加積曲線が周辺調査個所よりばらつきが大きいこと，６，７号炉の申請であることも踏まえ，Ｎ値のデータが少ない７号取水路周辺でデータ拡充を目的とした追加調査を実施する。 Ａ－３地点の新期砂層・沖積層は，荒浜側の周辺調査個所と比べて，Ｎ値及び細粒分含有率がいずれも小さく下限付近であることから，試験は保守的な個所で実施していると評価した。 Ａ－３地点の新期砂層・沖積層は，大湊側の周辺調査個所と比べて，細粒分含有率が小さいものの，Ｎ値が大きいことから，大湊側の新期砂層・沖積層の液状化強度を確認することを目的とした追加調査を実施する。 Ａ－１地点の埋戻土層は，N 値のみの比較ではあるものの，液状化強度との相関が最も高いN 値が周辺調査個所と比べて小さく下限付近であることから，試験は保守的な個所で実施していると評価した。	4.2.2 盛土の代表性確認 盛土については，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された人工地盤である（盛土の均一性については参考資料２に示す。）。 盛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ため，液状化強度比RL と相関性のある指標として(a)粒度分布，(b)細粒分含有率，(c)相対密度を選定した。なお，各種試験は，JIS 及びJGS に基づき実施した。 各指標の選定理由を以下に示す。なお，液状化に関連する基本物性の補足について，参考資料３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RL 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。 なお，盛土を構成する岩砕の最大粒径は300㎜ であり，岩砕が多く含まれることから標準貫入試験が適正に実施できないこと及び通常の小口径ボーリングコア試料では物理特性を把握することができないことから，N 値を使用せず原位置における粒度分布や細粒分含有率及び現場密度試験に基づく相対密度を指標に採用した。盛土のN 値については，参考資料５に示す。 盛土の液状化強度試験位置並びに原位置試験及び物理特性試験採取位置を第4.2-5 図に示す。	した。また，埋戻土（掘削ズリ）は敷地全体に分布するため，場所によって埋戻土（掘削ズリ）の性状が異なる懸念があることから，敷地の広範囲にわたって設置された防波壁に着目して，液状化試験試料採取位置と３つの構造形式の防波壁近傍の基本物性を比較したところ，Ｎ値及び細粒分含有率ともに，液状化試験試料採取位置の平均値が，防波壁近傍のばらつき（±1σ）の範囲内であることから，液状化試験試料採取位置は代表性を有していると評価した。 Ｅ－１，Ｅ－７，Ｅ－８地点の砂礫層の細粒分含有率は，液状化試験試料採取位置の平均値及び-1σ値が，敷地全体のばらつき（±1σ）の範囲内であった。また，Ｎ値は，液状化試験試料採取位置の平均値は敷地全体のばらつき（±1σ）の範囲内であり，液状化試験試料採取位置の-1σ値は敷地全体のばらつき（±1σ）の範囲から僅かに外れているものの概ね一致していることから，液状化試験試料採取位置は代表性を有していると評価した。なお，砂礫層は敷地の局所的な範囲で確認されており，液状化試験試料採取位置と敷地全体の調査位置とは近接している。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



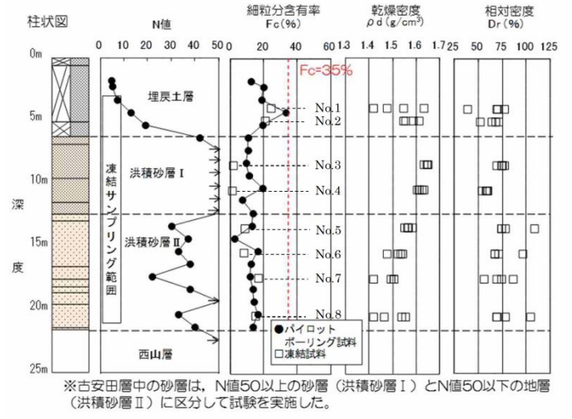
(a) 粒径加積曲線

第11-3-3 図 液状化試験個所の基本物性（Ａ－１）

細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

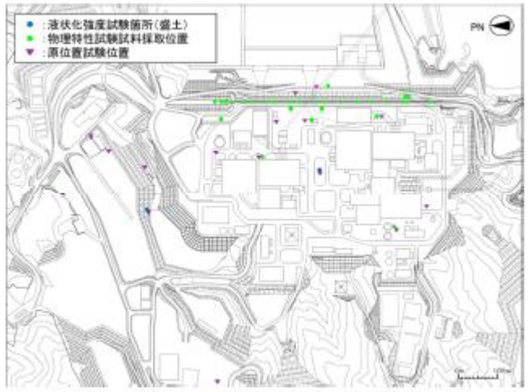
相対密度：$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$，$e_{max}$：最大間隙比，$e_{min}$：最小間隙比，

e：間隙比（間隙の体積÷土粒子の体積）



(b) 基本物性（Ｎ値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度）の深度分布

第11-3-3 図 液状化試験個所の基本物性（Ａ－１）



第4.2-5図 盛土の液状化強度試験位置並びに原位置試験及び物理特性試験採取位置の平面図

液状化強度試験位置と敷地全体における基本物性値の比較結果を第4.2-6 図に示す。

盛土の液状化強度試験の試料採取位置での各指標は，敷地全体との比較から，以下に示すとおり敷地全体の平均に近いかやや小さかった。そのため，試験結果から得た盛土の液状化強度特性には代表性があると考えられる。

・粒度分布より，試験位置と敷地全体の盛土の粒度分布は類似しており，敷地全体のばらつきの範囲内に分布している。

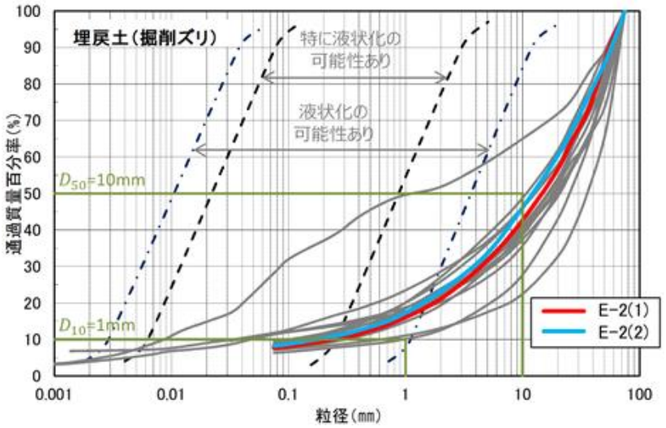
・細粒分含有率に関する試験位置と敷地全体の比較から，試験位置の細粒分含有率は概ね敷地全体の範囲と同程度の範囲である。

・相対密度に関する試験位置と敷地全体の比較から，試験位置の相対密度は敷地全体の平均に近いか又はやや小さい範囲である。

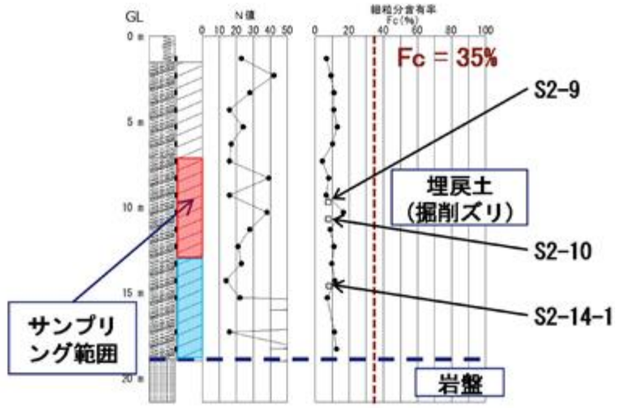
なお，盛土のN 値については，上述のとおり代表性確認の指標には用いていないが，念のため液状化強度試験位置と敷地全体におけるN 値の比較を行った（第4.2-6 図）。その結果，参考資料５に示すとおり，敷地全体ではN 値が小さい箇所が確認されるものの，平均値及び−１σ値ともに試験位置の方が小さくなることを確認した。さらに，後述のとおり液状化強度特性は保守的に下限値設定する方針である。

以上より，盛土における液状化強度試験の試料採取位置は敷地全体に対して代表性を有していると評価した。

また，今後，盛土の液状化強度試験を追加する計画であることか



Ｅ－２地点の液状化試験試料の粒径加積曲線



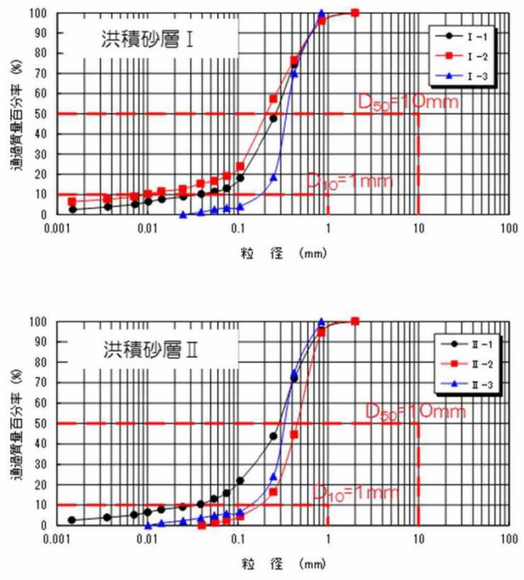
細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

●：ボーリング調査試料の試験結果
□：液状化試験試料の試験結果
■：E-2(1)の採取深度
■：E-2(2)の採取深度

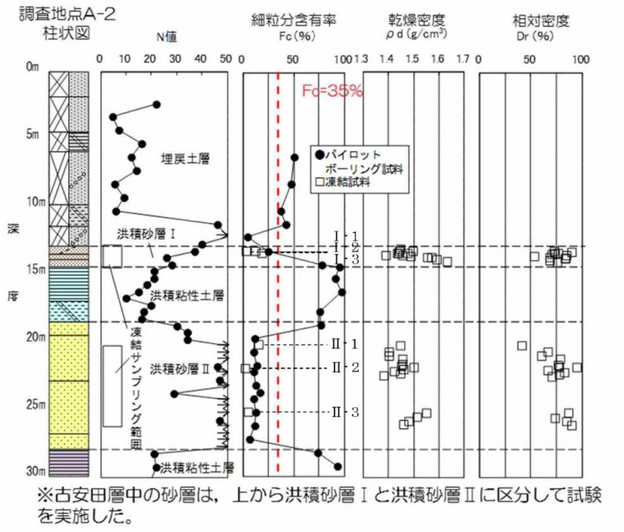
Ｅ－２地点のボーリング調査試料及び液状化試験試料の試験結果

第3-1-8 図　液状化試験試料採取位置の基本物性（Ｅ－２の埋戻土（掘削ズリ））

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



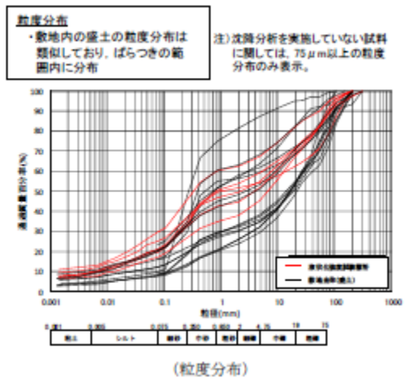
（a）粒径加積曲線



（b）基本物性（Ｎ値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度）の深度分布

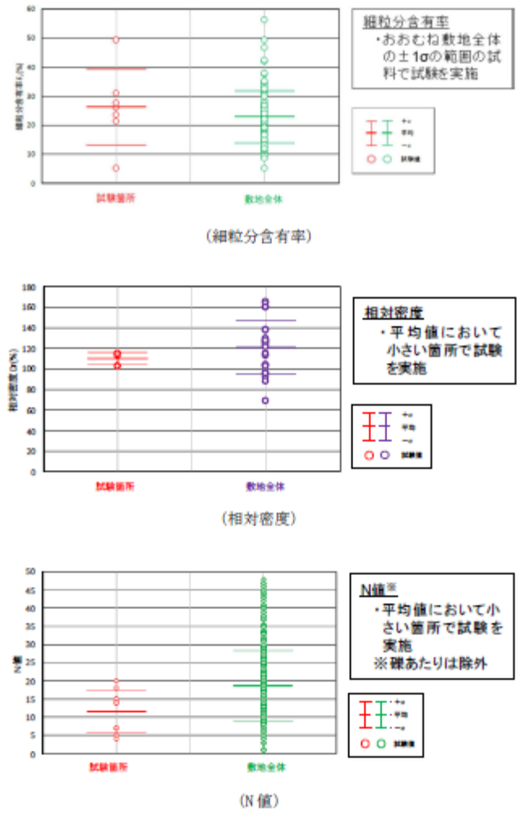
第11-3-4 図 液状化試験個所の基本物性（Ａ－２）

ら，工認段階で改めて各指標に基づく代表性を確認する（試料採取位置及び実施方針を参考資料７に示す）。

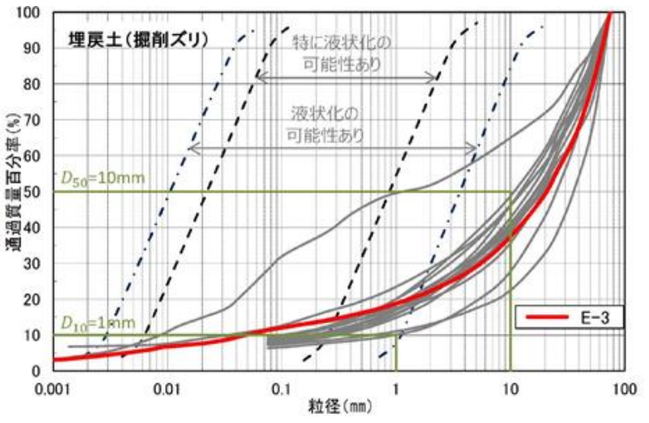


（粒度分布）

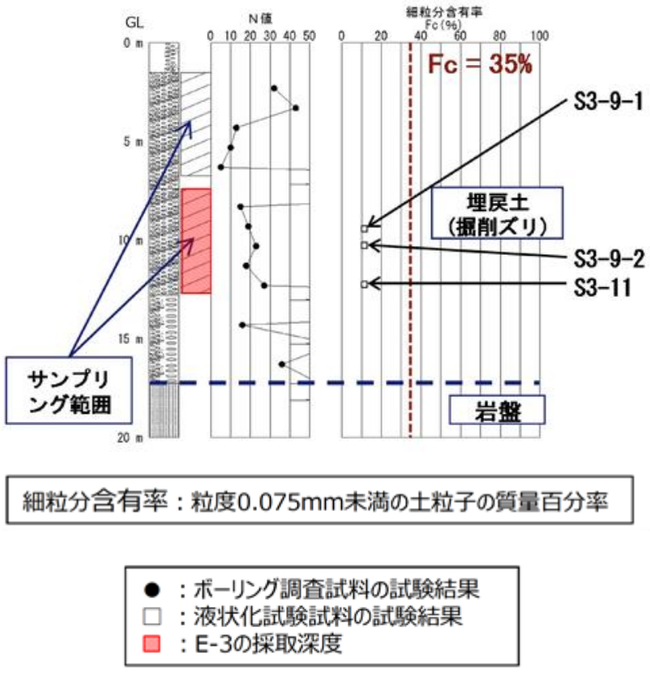
第4.2-6図(1) 液状化強度試験位置の基本物性の比較（盛土）



第4.2-6図(2) 液状化強度試験位置の基本物性の比較（盛土）

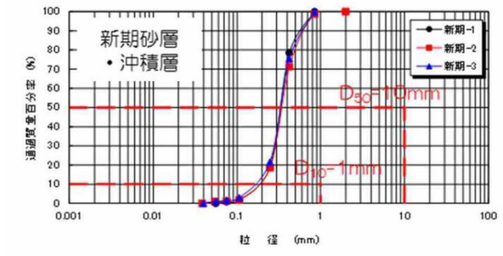
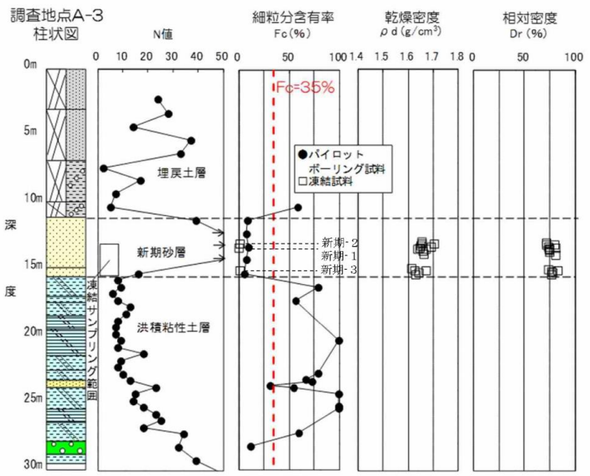
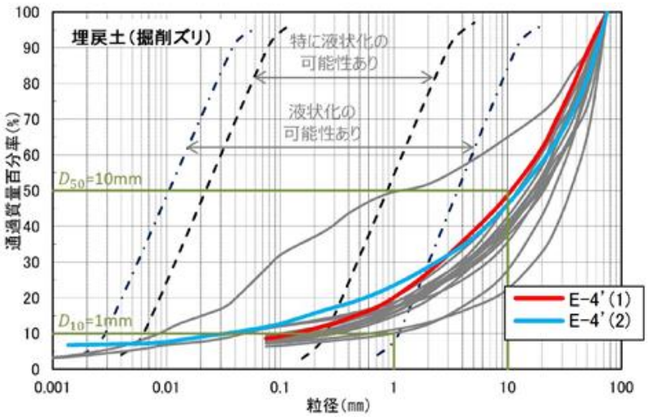
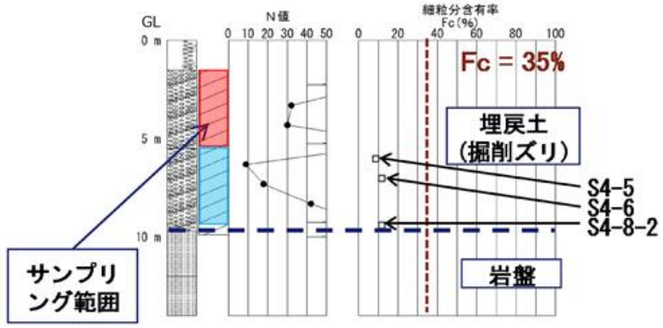
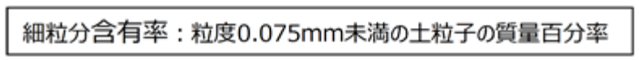
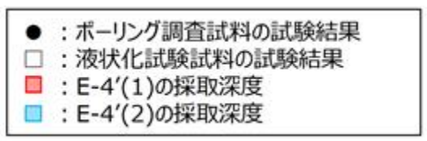


Ｅ－３地点の液状化試験試料の粒径加積曲線

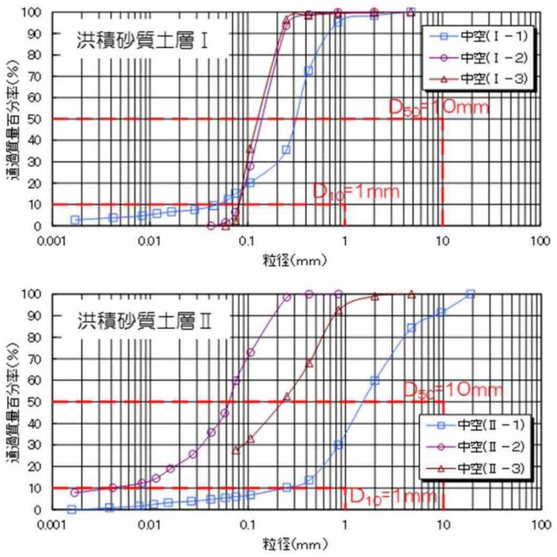


Ｅ－３地点のボーリング調査試料及び液状化試験試料の試験結果

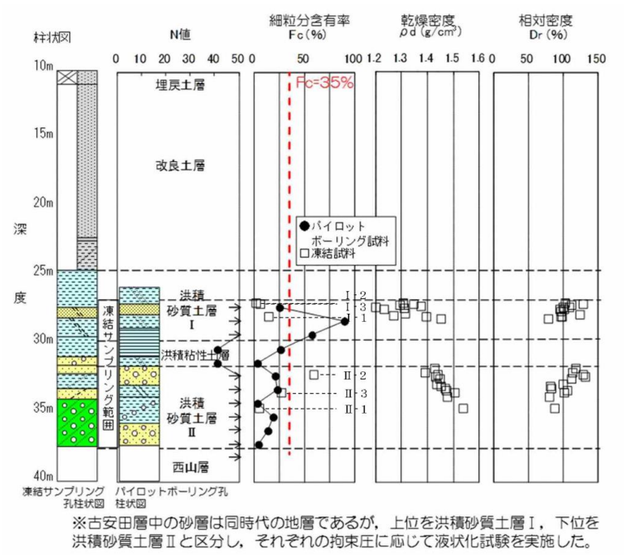
第3-1-9 図　液状化試験試料採取位置の基本物性（Ｅ－３の埋戻土（掘削ズリ））

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 (a) 粒径加積曲線  (b) 基本物性（Ｎ値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度）の深度分布 第11-3-5 図 液状化試験個所の基本物性（Ａ－３）	4.2.3 液状化強度試験試料採取位置の代表性のまとめ 旧表土及び盛土の液状化強度試験試料採取位置の代表性について確認を行った結果，以下のとおり旧表土及び盛土の液状化試験位置は敷地に対して代表性を有していると評価した。 ①旧表土 【粒度分布】 おおむね敷地全体の平均的な粒度分布を持つ試料で試験を実施 【細粒分含有率】 おおむね敷地全体における±1σ の範囲内の試料で試験を実施 【Ｎ値】 平均値，－1σ 値共に敷地全体より小さい位置で試験を実施 ②盛土 【粒度分布】 敷地内の盛土の粒度分布は類似しており，ばらつきの範囲内に分布 【細粒分含有率】 おおむね敷地全体の±1σ の範囲内の試料で試験を実施 【相対密度】 平均値において敷地全体より小さい位置で試験を実施	 Ｅ－４’地点の液状化試験試料の粒径加積曲線    Ｅ－４’地点のボーリング調査試料及び液状化試験試料の試験結果 第3-1-10図　液状化試験試料採取位置の基本物性（Ｅ－４’の埋戻土（掘削ズリ））	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

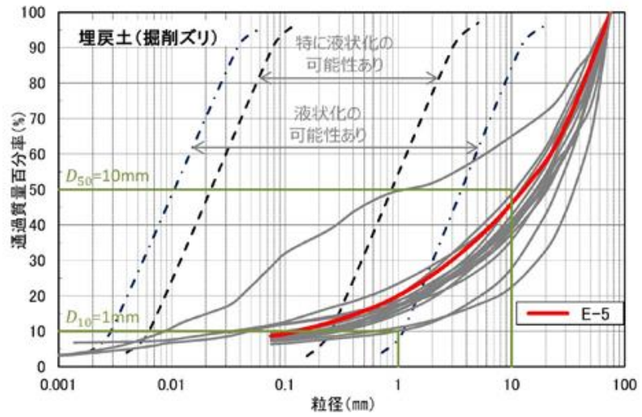


(a) 粒径加積曲線

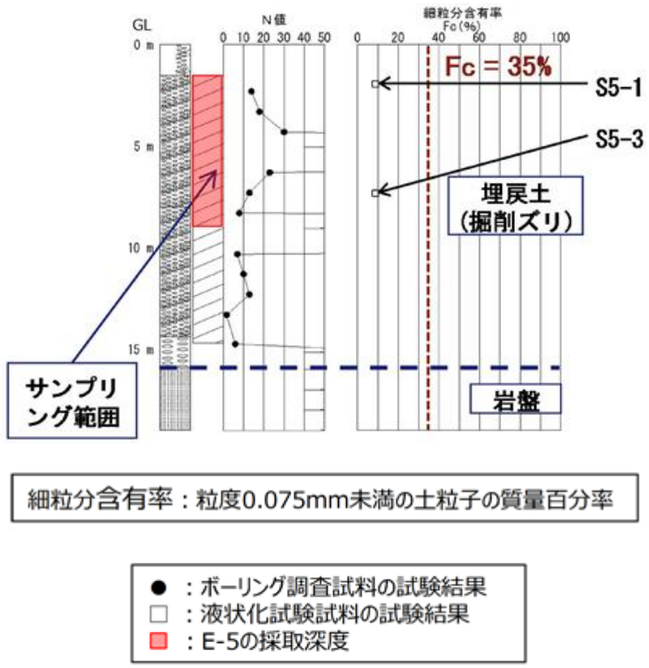


(b) 基本物性（Ｎ値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度）の深度分布

第11-3-6 図 液状化試験個所の基本物性（Ｏ－１）



Ｅ－５地点の液状化試験試料の粒径加積曲線



Ｅ－５地点のボーリング調査試料及び液状化試験試料の試験結果

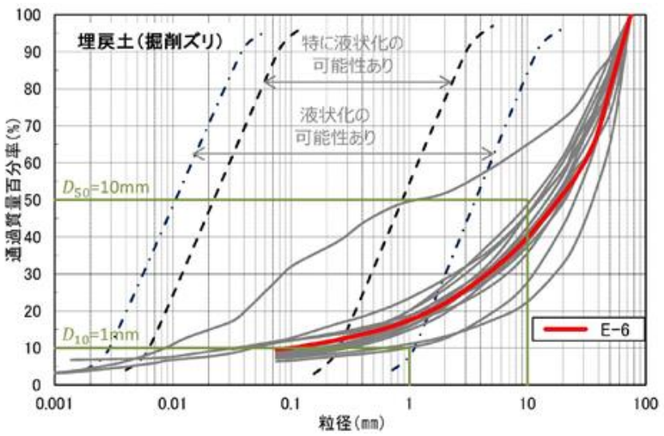
第3-1-11 図　液状化試験試料採取位置の基本物性（Ｅ－５の埋戻土（掘削ズリ））

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

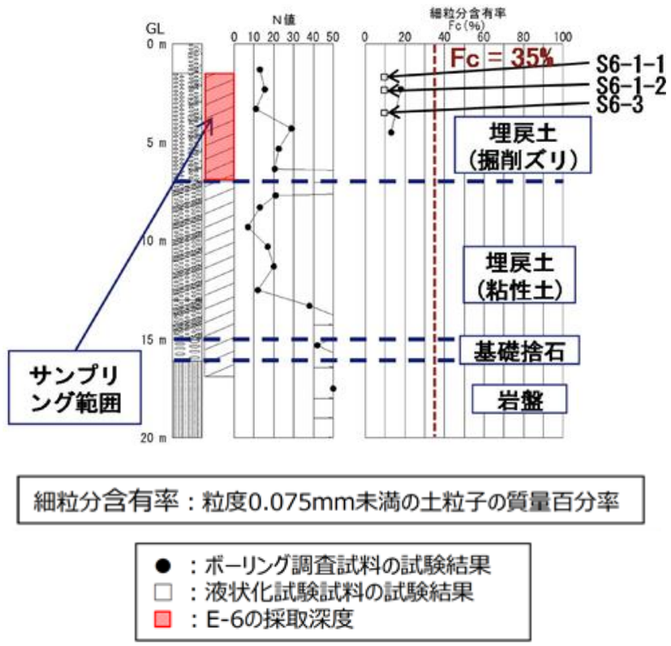
第11-3-1 表 各基準類における液状化強度比R_lと基本物性の相関性

基準類名	液状化強度比 R_l の算定に用いる主物性	液状化強度比の補正に用いる物性
道路橋示方書 （下水道施設の耐震対策指針と解説，日本下水道協会，2006） （河川砂防技術基準（案）同解説 設計編，日本河川協会編，1997） （高圧ガス設備等耐震設計指針，高圧ガス保安協会，2000）	N値 （有効上載圧を考慮した補正を行う）	細粒分含有率 Fc
港湾の施設の耐震設計に係る当面の措置（その２），日本港湾協会，2007 （部分改訂，2012）		細粒分含有率 Fc
建築基礎構造設計指針，日本建築学会，2001 （水道施設耐震工法指針・同解説，日本水道協会，1997）		細粒分含有率 Fc
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		細粒分含有率 Fc 平均粒径 D_{50}

（a）荒浜側

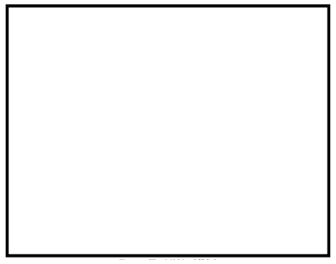
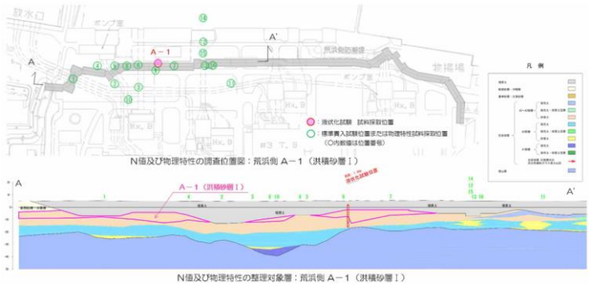
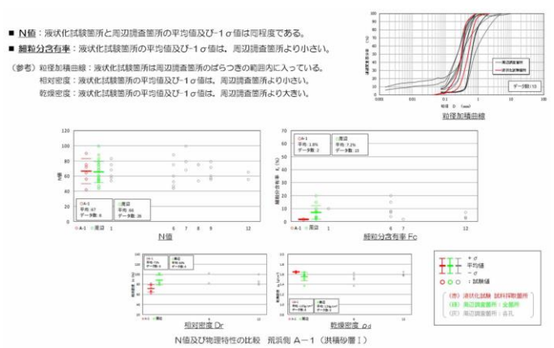
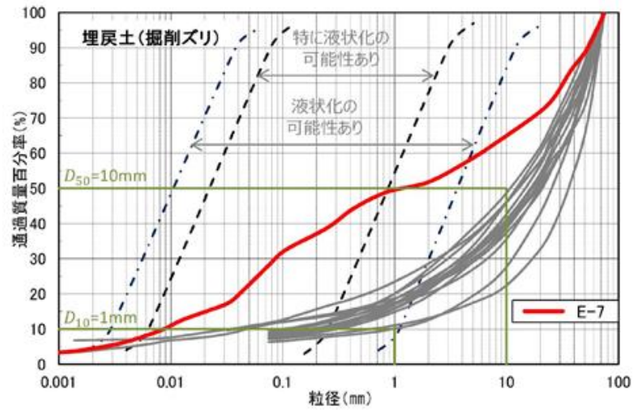
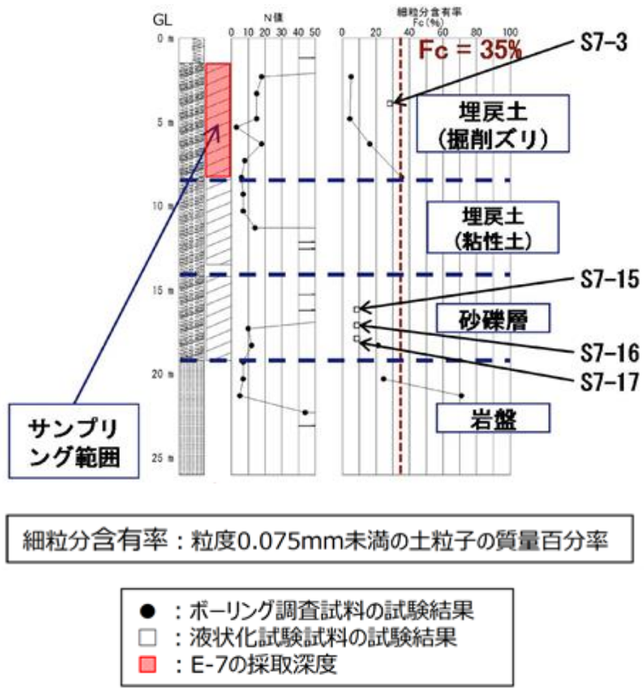


Ｅ－６地点の液状化試験試料の粒径加積曲線

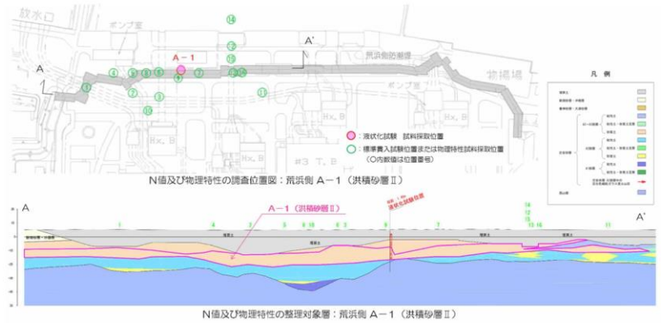


Ｅ－６地点のボーリング調査試料及び液状化試験試料の試験結果

第3-1-12 図　液状化試験試料採取位置の基本物性（Ｅ－６の埋戻土（掘削ズリ））

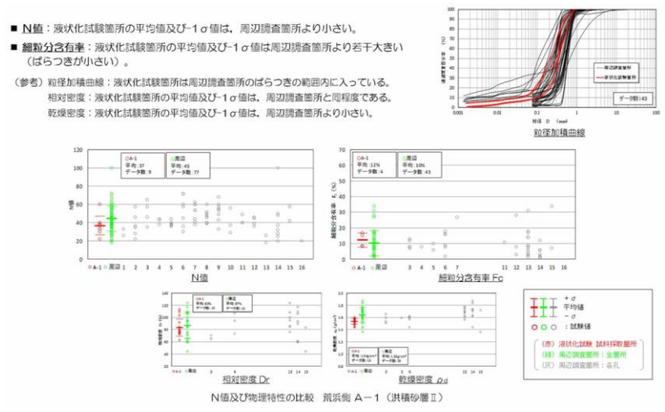
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 (b) 大湊側 第11-3-7 図 液状化試験個所と周辺調査個所の位置図  (a) 比較対象位置図 第11-3-8 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（Ａ－１地点の洪積砂層Ⅰ）  (b) 基本物性比較 第11-3-8 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（Ａ－１地点の洪積砂層Ⅰ）		 Ｅ－７地点の液状化試験試料の粒径加積曲線  Ｅ－７地点のボーリング調査試料及び液状化試験試料の試験結果 第3-1-13 図　液状化試験試料採取位置の基本物性（Ｅ－７の埋戻土（掘削ズリ））	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



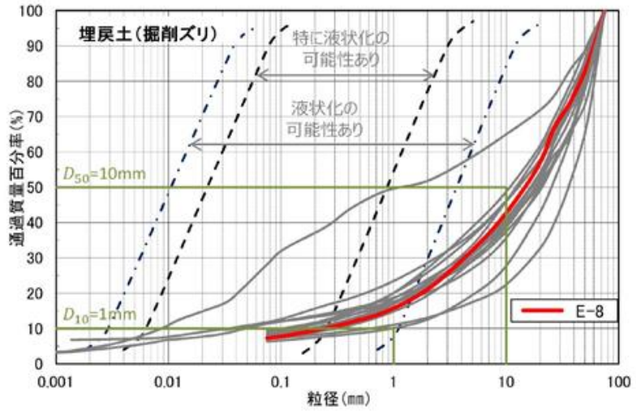
（a）比較対象位置図

第11-3-9 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（A－１地点の洪積砂層Ⅱ）

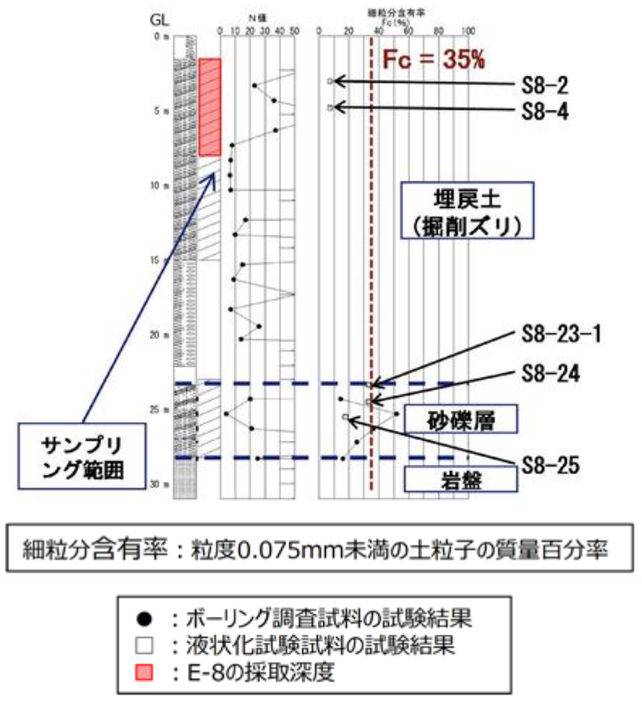


（b）基本物性比較

第11-3-9 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（A－１地点の洪積砂層Ⅱ）



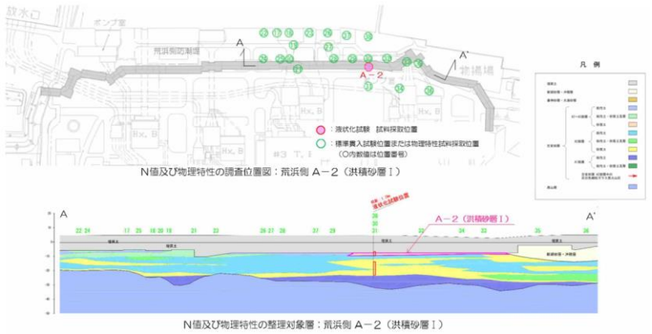
Ｅ－８地点の液状化試験試料の粒径加積曲線



Ｅ－８地点のボーリング調査試料及び液状化試験試料の試験結果

第3-1-14 図　液状化試験試料採取位置の基本物性（Ｅ－８の埋戻土（掘削ズリ））

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

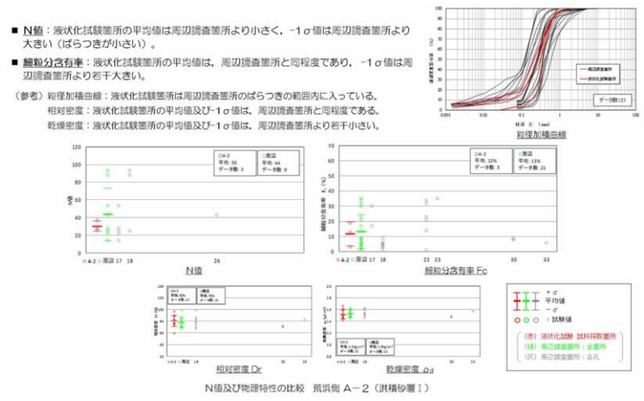


N値及び物理特性の調査位置図：荒浜側 A－2（洪積砂層Ⅰ）

N値及び物理特性の整理対象層：荒浜側 A－2（洪積砂層Ⅰ）

（a）比較対象位置図

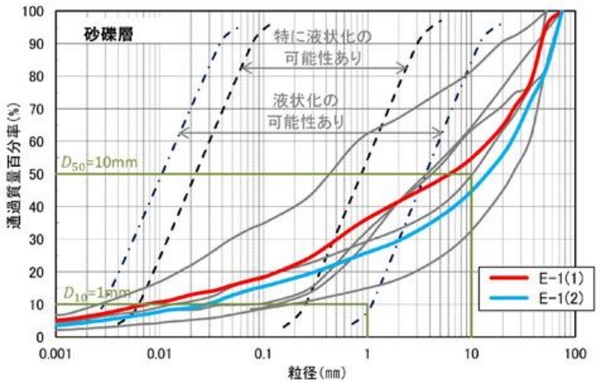
第11-3-10 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（A－２地点の洪積砂層Ⅰ）



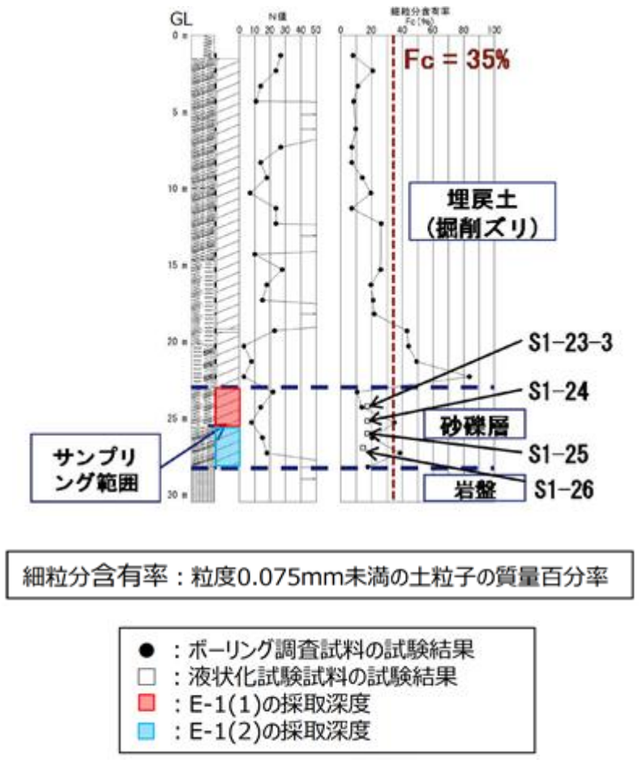
N値及び物理特性の比較　荒浜側 A－2（洪積砂層Ⅰ）

（b）基本物性比較

第11-3-10 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（A－２地点の洪積砂層Ⅰ）



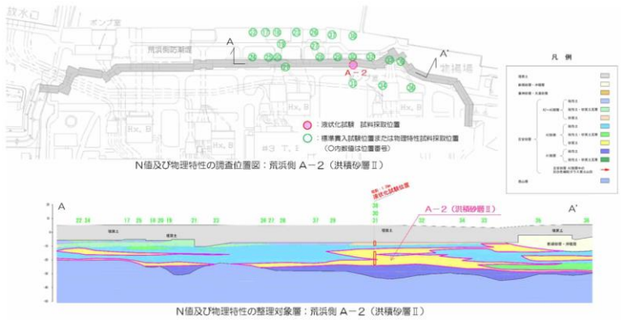
Ｅ－１地点の液状化試験試料の粒径加積曲線



Ｅ－１地点のボーリング調査試料及び液状化試験試料の試験結果

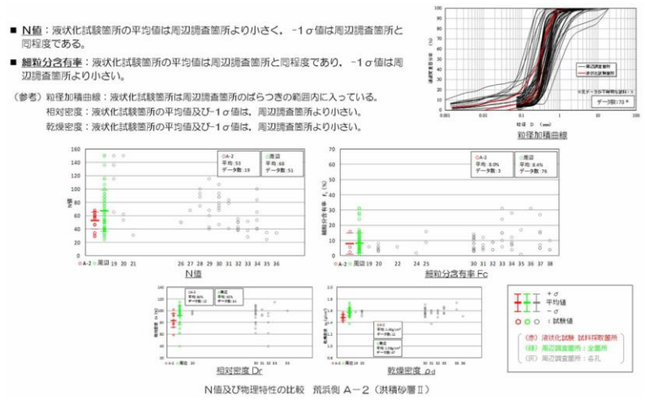
第3-1-15 図　液状化試験試料採取位置の基本物性（Ｅ－１の砂礫層）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



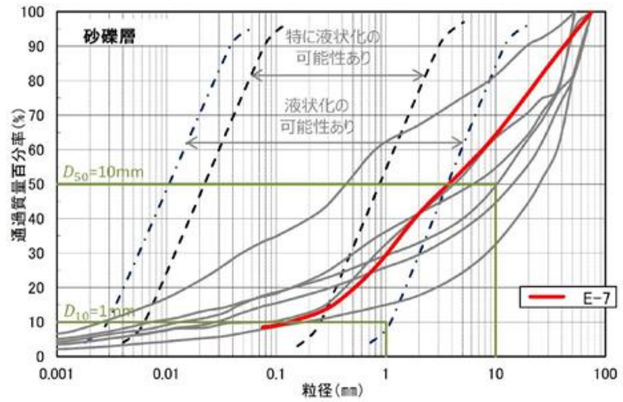
(a) 比較対象位置図

第11-3-11 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（A－２地点の洪積砂層Ⅱ）

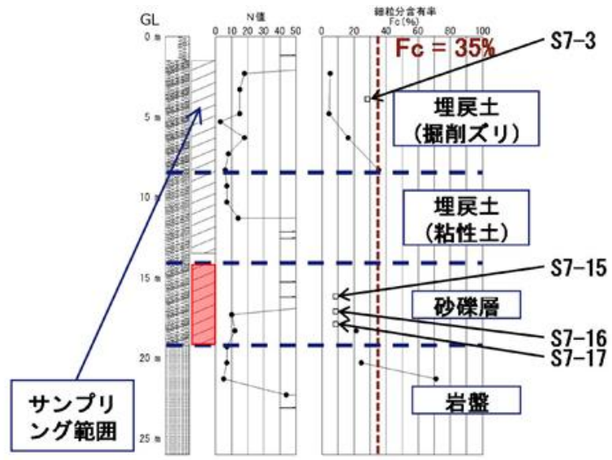


(b) 基本物性比較

第11-3-11 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（A－２地点の洪積砂層Ⅱ）

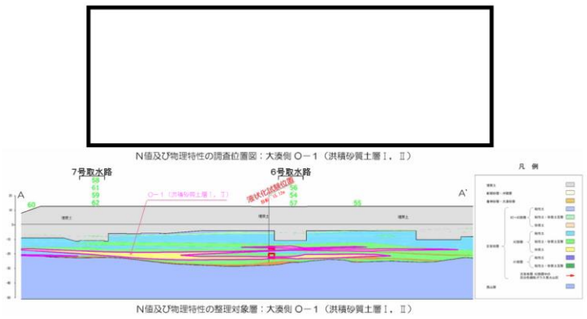
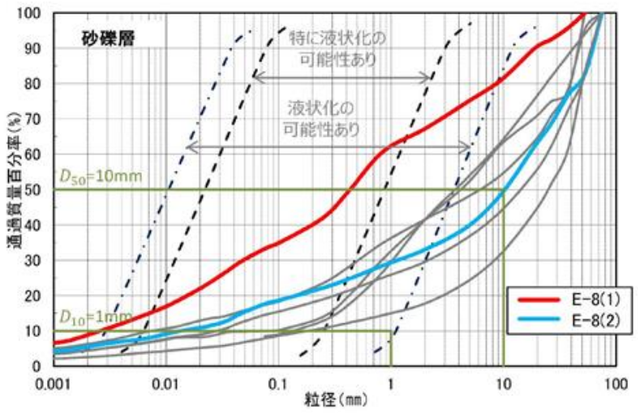
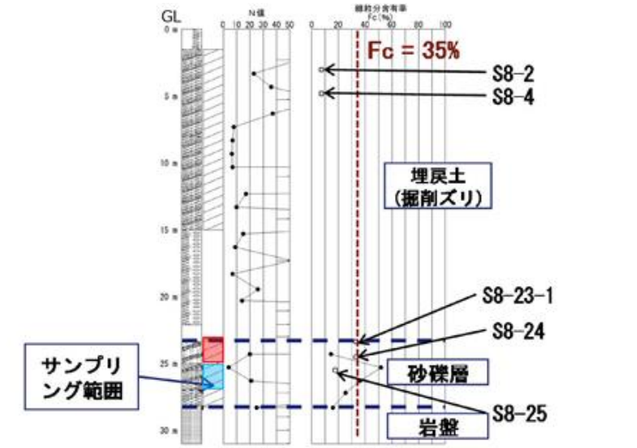
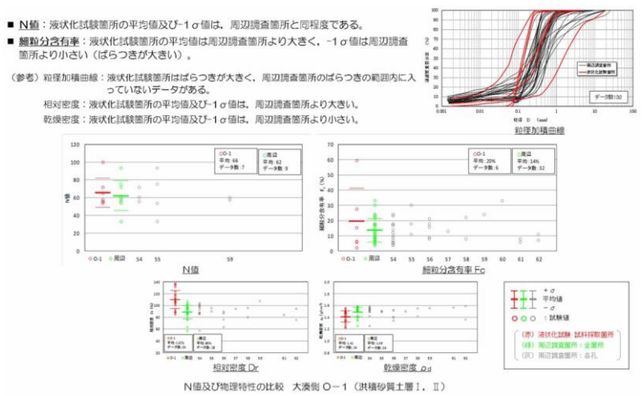


Ｅ－７地点の液状化試験試料の粒径加積曲線

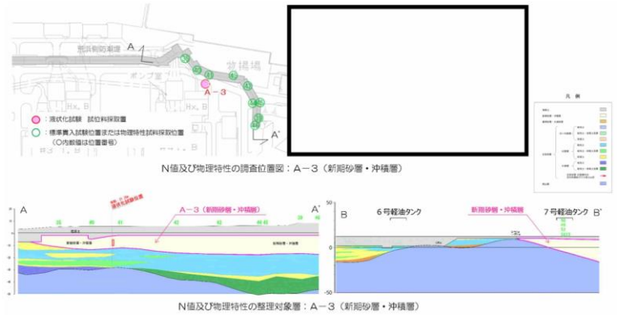


Ｅ－７地点のボーリング調査試料及び液状化試験試料の試験結果

第3-1-16 図　液状化試験試料採取位置の基本物性（Ｅ－７の砂礫層）

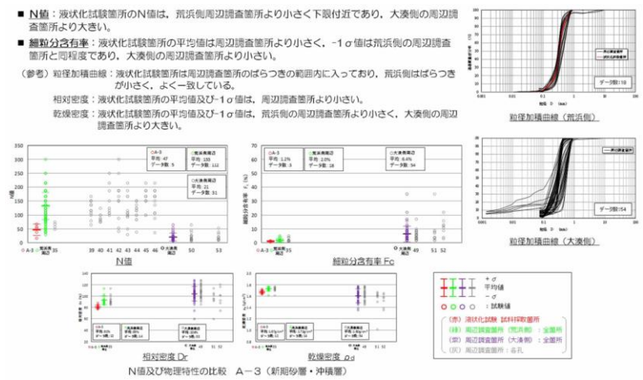
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 （a）比較対象位置図 第11-3-12 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（O－１地点の洪積砂質土層Ⅰ，Ⅱ）		 Ｅ－８地点の液状化試験試料の粒径加積曲線  Ｅ－８地点のボーリング調査試料及び液状化試験試料の試験結果 第3-1-17 図　液状化試験試料採取位置の基本物性（Ｅ－８の砂礫層）	
 （b）基本物性比較 第11-3-12 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（O－１地点の洪積砂質土層Ⅰ，Ⅱ）			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



（a）比較対象位置図

第11-3-13 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（A－３地点の新期砂層・沖積層）



（b）基本物性比較

第11-3-13 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（A－３地点の新期砂層・沖積層）

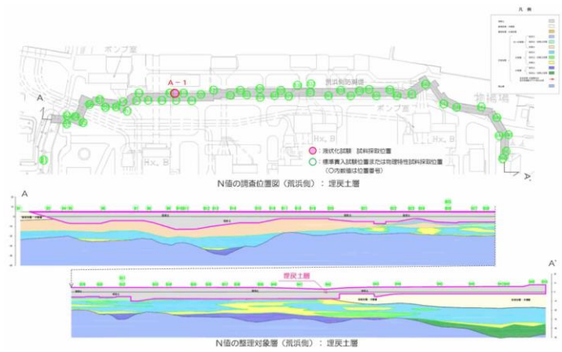
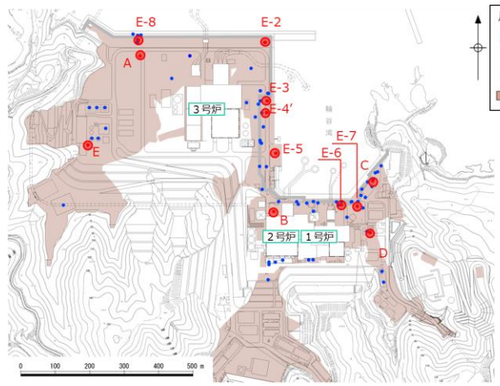
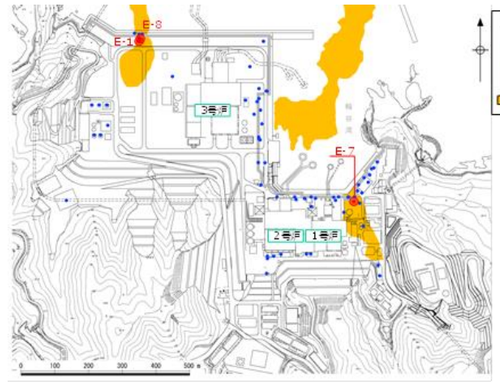
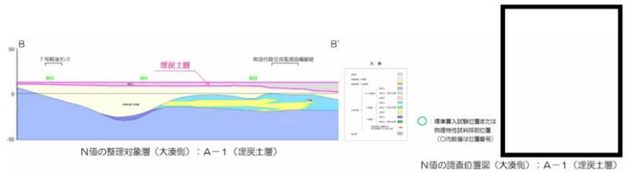
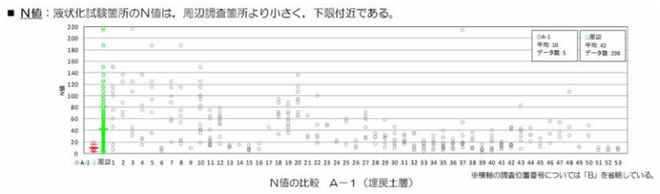
第3-1-2 表　各基準類における液状化強度比R_lと基本物性の相関性

基準類名	液状化強度比R_Lの算定に用いる主物性	液状化強度比R_Lの補正に用いる物性
道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，日本道路協会，H24 （下水道施設の耐震対策指針と解説，日本下水道協会，H18） （河川砂防技術基準（案）同解説 設計編，日本河川協会編，H9） （高圧ガス設備等耐震設計指針，高圧ガス保安協会，H12）	N値 （有効上載圧を考慮した補正を行う）	細粒分含有率Fc
港湾の施設の耐震設計に係る当面の措置（その2），日本港湾協会，H19 （部分改訂，H24）		細粒分含有率Fc
建築基礎構造設計指針，日本建築学会，H13 （水道施設耐震工法指針・同解説，日本水道協会，H9）		細粒分含有率Fc
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，H24		細粒分含有率Fc 平均粒径D_{50}
港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会，H19 埋立地の液状化対策ハンドブック（改訂版），運輸省港湾局監修，H9		細粒分含有率Fc

第3-1-3 表　各基準類における地盤物性値のばらつきに対する考え方

基準類名	地盤物性値のばらつきに対する考え方
地盤工学会基準 JGS4001	・設計に用いる「特性値」の決定にあたっては，過去の経験にもとづき，地盤パラメータのばらつきや単純化したモデルの適用性に十分留意しなければならない。 ・この特性値は，原則として導出値の平均値（期待値）である。この平均値は単なる機械的な平均値ではなく，統計的な平均値の推定誤差を勘案したものでなければならない。 ・特性値を示すにあたっては，地盤の特性を記述するために，特性値に加えて，導出値のばらつきの指標（たとえば標準誤差や変動係数）を含めることが望ましい。
港湾基準	・性能照査に用いる地盤定数の設計用値は，原則として地盤工学会基準JGS4001に基づき，推定する。 ・地盤定数の代表値である特性値は，データ数が十分かつ導出値のばらつきが小さい場合には，原則として導出値の平均値をもって算定することができる。ただし，データ数が不足している場合（10個未満）及び導出値のばらつきが大きい場合には，導出値の平均値を補正した上で，特性値を設定する必要がある。 ・特性値は，導出値のばらつきに関する補正係数b1を標準偏差として定義される変動係数に応じて設定することにする。
道路橋示方書	・地盤は複雑でばらつきの大きい材料であるが，設計に用いる地盤定数は，基礎に作用する荷重に対して，その条件下で最も高い確率で起こり得る基礎の挙動を推定するものである。したがって，地盤定数は，計算式の精度や特性を考慮したうえで，当該地盤の平均的な値と考えられるものを求めることが原則である。 ・自然地盤から得られる計測データは多様で，しかもばらつくのがふつうである。データのばらつきだけでなく，データ数を合理的に評価して設計に用いる地盤定数を定める必要がある。

※σ：標準偏差

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 （a）比較対象位置図（荒浜側） 第11-3-14 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（Ａ－１の埋戻土層）		 埋戻土（掘削ズリ）  砂礫層 第3-1-18 図　比較対象位置図	
 （b）比較対象位置図（大湊側）			
 （b）基本物性比較 第11-3-14 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（Ａ－１の埋戻土層）			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第11-3-2 表 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較のまとめ

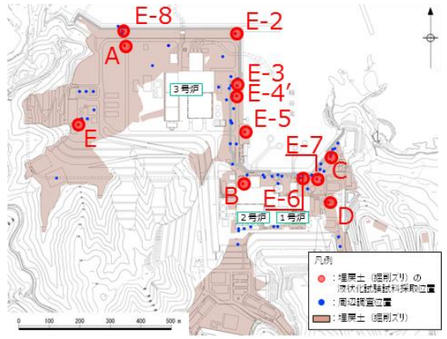
地層区分		N値	細粒分含有率	追加調査実施
A－1 洪積砂層Ⅰ	平均値			○
	−1σ値			
A－1 洪積砂層Ⅱ	平均値			○
	−1σ値			
A－2 洪積砂層Ⅰ	平均値			※
	−1σ値			
A－2 洪積砂層Ⅱ	平均値			－
	−1σ値			
O－1 洪積砂質土層Ⅰ，Ⅱ	平均値			○
	−1σ値			
A－3 新期砂層・沖積層（荒浜側）	平均値			－
	−1σ値			
A－3 新期砂層・沖積層（大湊側）	平均値			○
	−1σ値			
A－1 埋戻土層	平均値		－	○
	−1σ値		－	

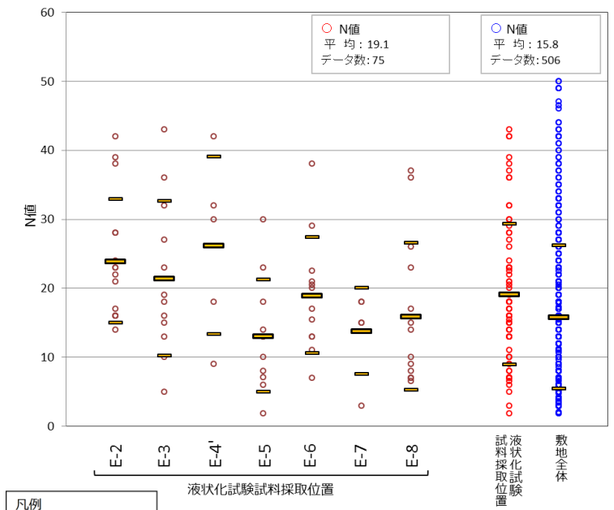
：周辺調査箇所に対して液状化試験箇所が小さい（変動率＜ −10%）

：周辺調査箇所と液状化試験箇所が同程度（−10% ≦ 変動率 ≦ 10%）

：周辺調査箇所に対して液状化試験箇所が大きい（変動率＞ 10%）

※ 液状化強度特性の設定は，保守的にＡ－１（洪積砂層Ⅱ）の液状化試験結果を用いる。

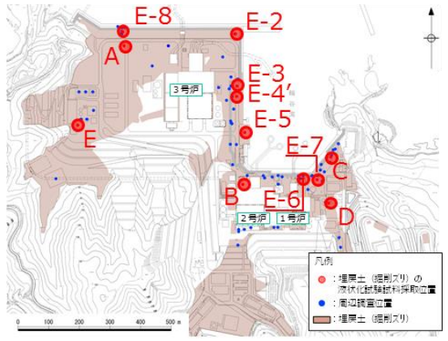
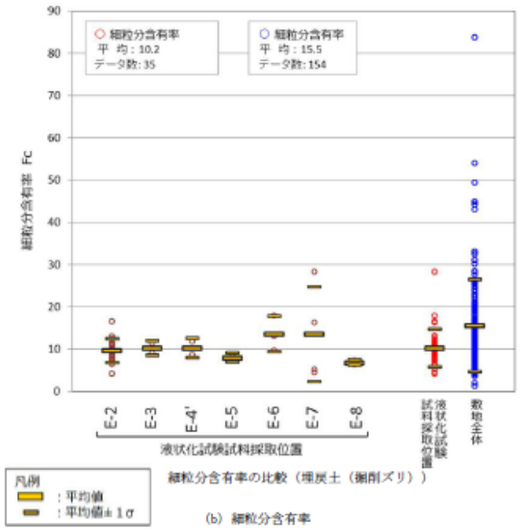




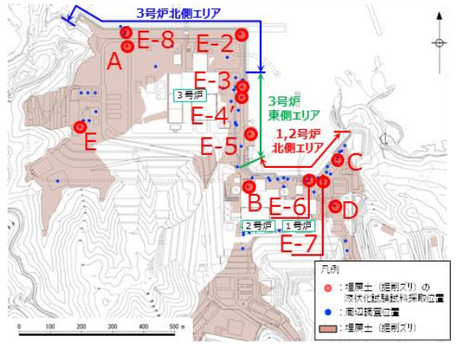
N値の比較（埋戻土（掘削ズリ））

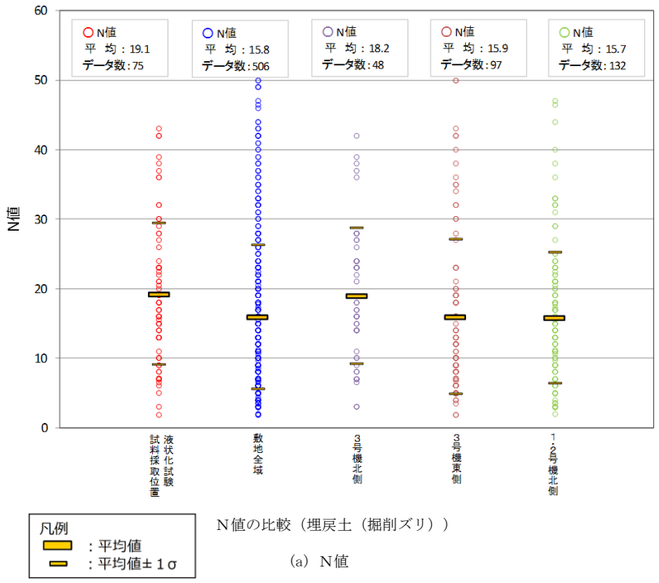
(a) N値

第3-1-19 図　液状化試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較（埋戻土(掘削ズリ)）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		  第3-1-19 図　液状化試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較（埋戻土(掘削ズリ)）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



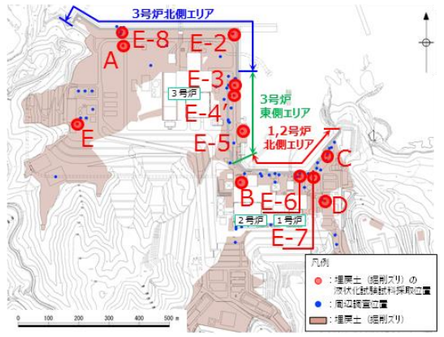


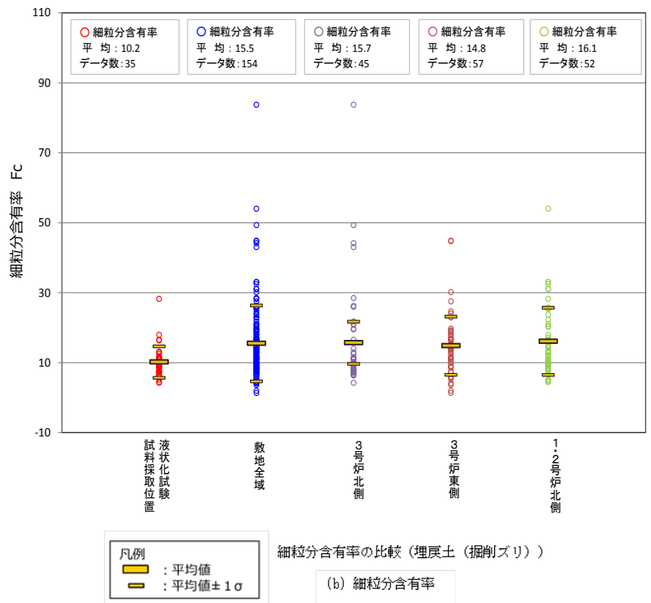
Ｎ値の比較（埋戻土（掘削ズリ））

（a）Ｎ値

第3-1-19図　液状化試験試料採取位置と防波壁近傍の基本物性比較（埋戻土（掘削ズリ））

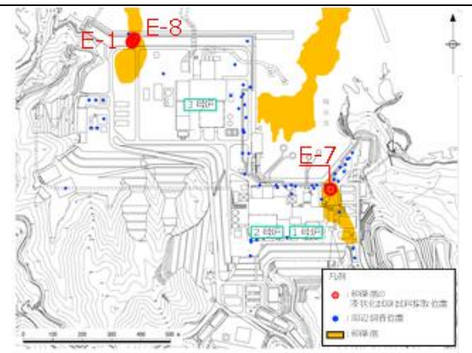
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

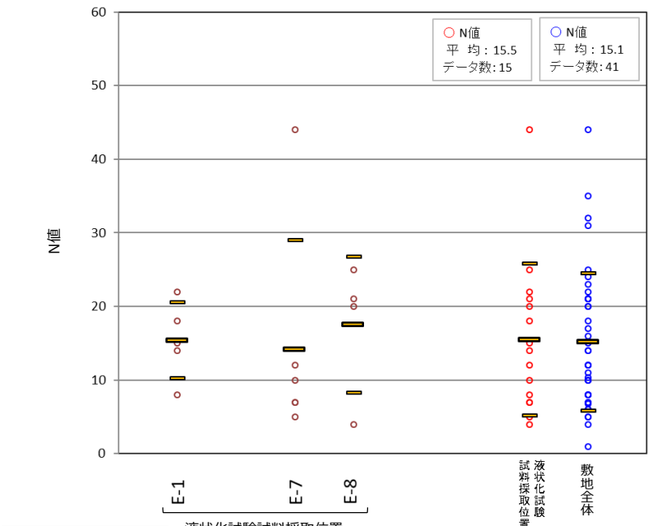




第3-1-19図　液状化試験試料採取位置と防波壁近傍の基本物性比較（埋戻土（掘削ズリ））

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

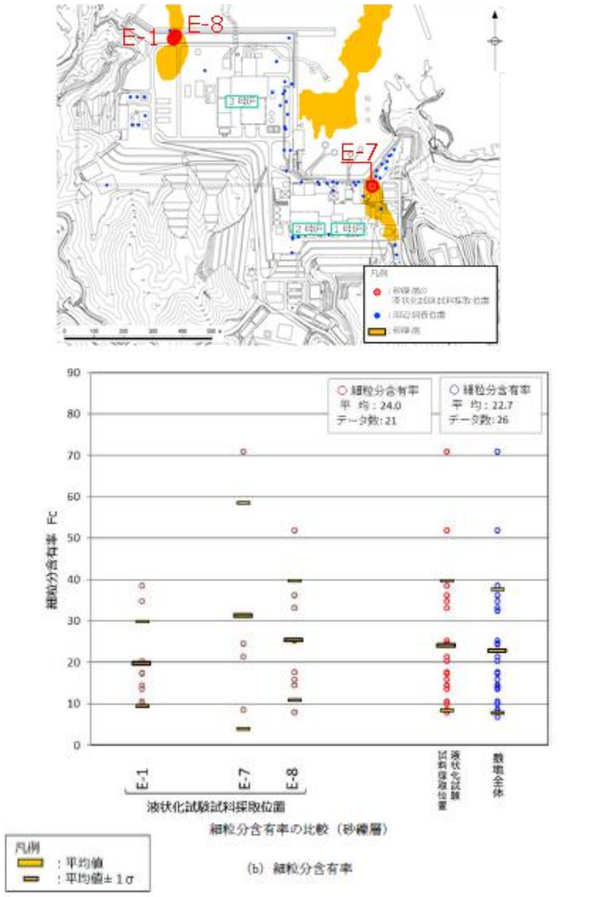




（a） Ｎ値

第3-1-19 図　液状化試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較（砂礫層）

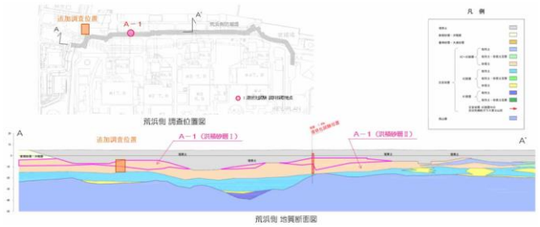
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



第3-1-19 図　液状化試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較（砂礫層）

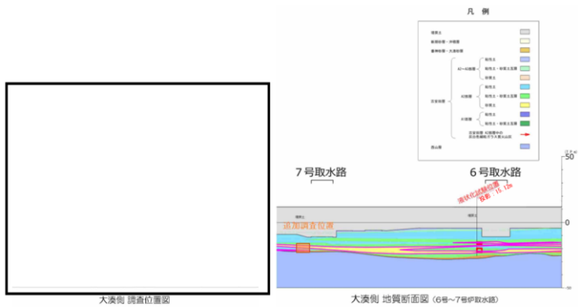
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
3.3 追加調査位置 3.1 及び3.2 の検討結果を踏まえて，第11-3-15 図に追加調査実施予定地を示す。 荒浜側におけるＡ－１地点の洪積砂層Ⅰ，Ⅱ及びＡ－２地点の洪積砂層Ⅰは，地質の連続性等の評価や周辺調査個所のＮ値や細粒分含有率の比較から代表性を有していると評価した。ただし，層厚が厚く分布範囲が広いことを踏まえ，データ拡充を目的とした追加調査を実施する。なお，Ａ－２地点の洪積砂層Ⅰは，Ａ－１地点の洪積砂層Ⅰ，Ⅱと同時代に堆積した地層であること，Ｎ値がＡ－１地点の洪積砂層Ⅱと同程度であることを踏まえ，物性設定においては保守的にＡ－１地点の洪積砂層Ⅱの試験結果を用いる方針とする。追加調査位置は，事前調査を実施し，A－１地点の洪積砂層Ⅰ，Ⅱの両層を採取できる場所を選定する。 Ｏ－１地点の洪積砂質土層Ⅰ，Ⅱは，地質の連続性等の評価や周辺調査個所のＮ値や細粒分含有率の比較から代表性を有していると評価した。ただし，６，７号炉の申請であることを踏まえ，７号取水路周辺でデータ拡充を目的とした追加調査を実施する。追加調査位置は，事前調査を実施し，古安田層中に挟在する砂層から試料が確実に採取できる場所を選定する。 Ａ－３地点の新期砂層・沖積層は，大湊側の周辺調査個所と比べて，細粒分含有率が小さいものの，Ｎ値が大きいことから，大湊側の新期砂層・沖積層の液状化強度を確認することを目的とした追加調査を実施する。追加調査位置は，事前調査を実施し，新期砂層・沖積層から試料が確実に採取できる場所を選定する。 埋戻土層については，液状化試験を実施したＡ－１地点のN 値が周辺調査個所に比べて小さく下限付近であることから，試験は保守的な個所で実施している評価した。ただし，大湊側でのN 値のデータが少ないことから，大湊側の埋戻土層の液状化強度を確認することを目的とした追加調査を実施する。追加調査位置は，事前調査を実施し，埋戻土層から試料が確実に採取できる場所を選定する。			・資料構成の相違 【柏崎6/7】 柏崎6/7では追加調査位置について説明している （以下，柏崎 6/7 の 3.3 章はすべて同じ理由である）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



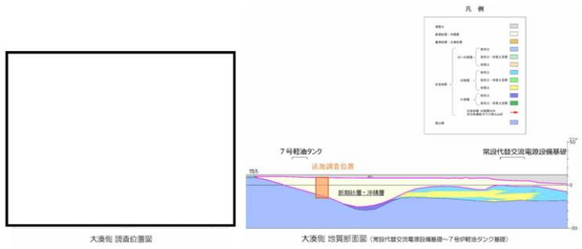
(a) 荒浜側：Ａ－１地点の洪積砂層Ⅰ，Ⅱ及びＡ－２地点の洪積砂層Ⅰ

第11-3-15 図 追加調査実施予定地



(b) 大湊側：Ｏ－１地点の洪積砂質土層Ⅰ，Ⅱ及び大湊側の埋戻土層

第11-3-15 図 追加調査実施予定地

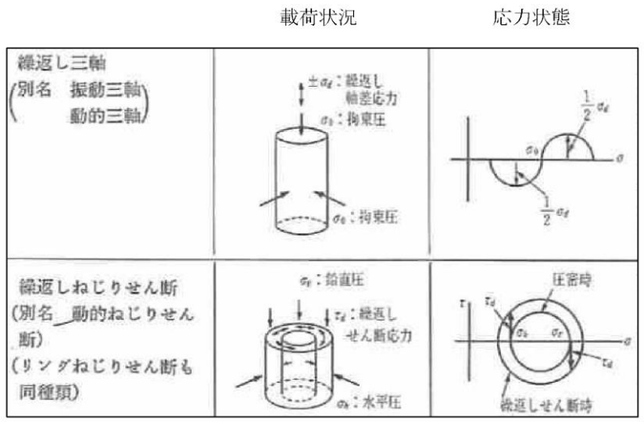


(c) 大湊側：新期砂層・沖積層

第11-3-15 図 追加調査実施予定地

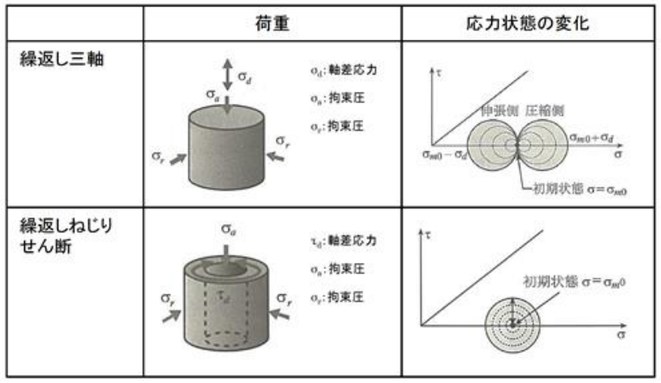
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
4.　液状化試験結果 4.1 液状化試験方法 地盤工学会では，地盤の液状化強度特性を求めるための繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541）が規程されている。実務的には，地盤の液状化強度特性を求める試験方法として，繰返し非排水三軸試験のほかに，中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験等が用いられる。（安田，1991） 第11-4-1 図に一般的な液状化試験方法の例を示す。 三軸試験に代表される間接型せん断試験と比較して，ねじりせん断試験は比較的広範囲な応力経路又はひずみ経路を供試体に与えられる。（地盤工学会，2009）　三軸試験では圧縮側と引張側で挙動が異なり，応力経路は上下では対称ではないし，ひずみの発生量も異なる。これに対してねじり試験では応力-ひずみ関係，応力経路ともほぼ対称な形をしている。（土木学会，2003：第11-4-2 図） 以上を踏まえ，洪積層である古安田層中の砂層やN 値の比較的大きい新期砂層・沖積層を対象とした試験を実施するにあたり，高せん断応力比の液状化試験を実施する必要があることから，中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験を採用した。 実施した中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験の概要を第11-4-3 図に，試料採取に用いた凍結サンプリングの概要を第11-4-4 図に示す。	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 旧表土及び盛土に対し，地盤工学会が定める地盤の液状化強度特性を求めるための「土の繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541）」に基づき試験を実施する。試料採取は，原位置の地盤を乱さないよう，凍結サンプリングやゲルプッシュ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の概要を第5.1-1 図に示す。	3.2　液状化試験結果 3.2.1　液状化試験方法 地盤工学会では，地盤の液状化強度特性を求めるための繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541）（地盤工学会，H21）が規定されている。実務的には，地盤の液状化強度特性を求める試験方法として，繰返し非排水三軸試験のほかに，中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験等が用いられる。（安田,H3） 第3-2-1図に一般的な液状化試験方法の例を，第3-2-2 図に液状化試験結果の例を示す。 繰返し非排水三軸試験では，等方に拘束圧をかけた状態で軸方向に外力を繰返し与えて液状化させるので，圧縮側と引張側で応力経路やひずみの生じ方が異なる。一方，繰返しねじりせん断試験では，円周方向に回転させるように外力を加える。原地盤の拘束圧に近い異方応力状態での試験も可能である。また，応力経路も原地盤に近い挙動となる。 ただし，実務では装置や操作が比較的容易であり，実績の多い繰返し非排水三軸試験が用いられることが多い。また，繰返しねじりせん断試験では中空の円筒状の供試体を用いるので，粒径が大きい試料には適用が困難である。 以上を踏まえ，埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層を対象とした液状化試験を実施するに当たり，繰返し非排水三軸試験を採用した。実施した繰返し非排水三軸試験の概要を第3-2-3 図に示す。	・試験方法及び液状化対象層の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉では繰返し非排水三軸試験を採用し，埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層を対象としている （以下，島根２号炉の3.2.1 章はすべて同じ理由である）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



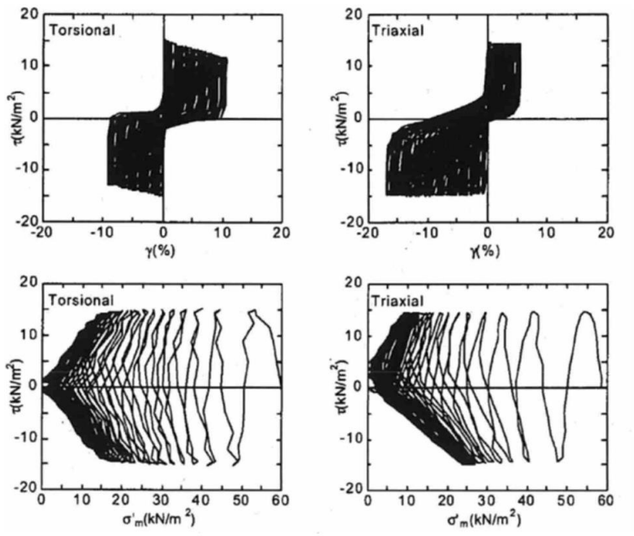
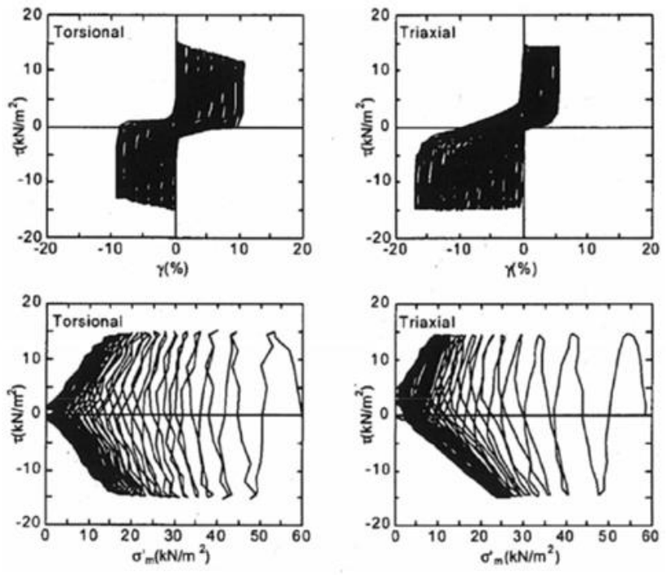
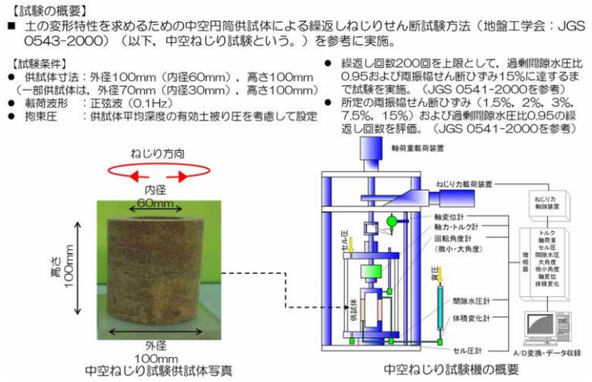
第11-4-1 図 一般的な液状化試験方法の例

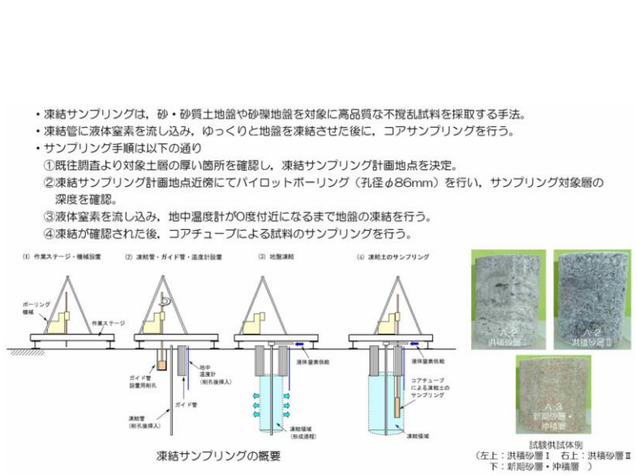
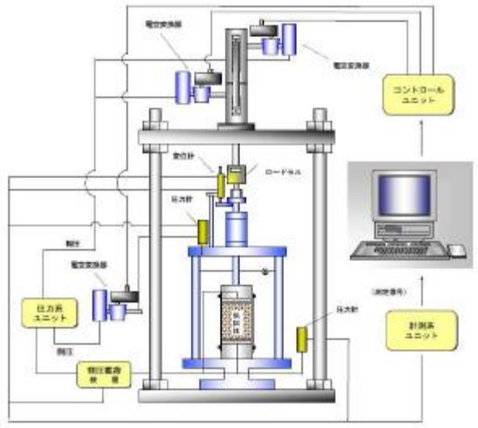
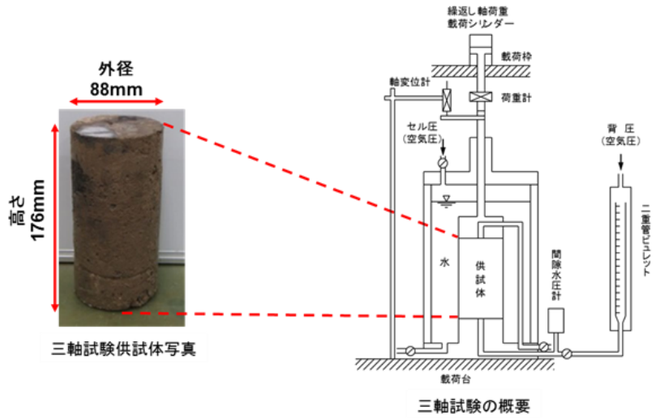
（安田，1991 抜粋）

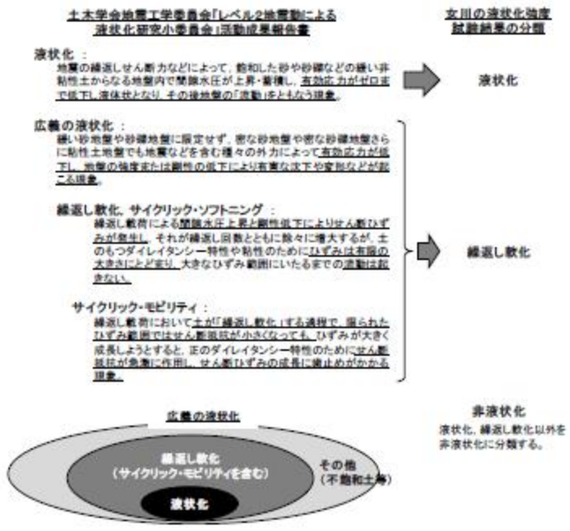


第3-2-1 図　一般的な液状化試験方法の例

（吉田，H22）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 (a)繰返しねじりせん断試験　(b)繰返し三軸試験 第11-4-2 図 液状化試験結果の例 ［上図：応力-ひずみ関係，下図：応力経路］ （土木学会，2003）		 (a) 繰返しねじりせん断試験　(b)繰返し非排水三軸試験 第3-2-2 図　液状化試験結果の例 ［上図：応力-ひずみ関係，下図：応力経路］ （土木学会，H15）	
 第11-4-3 図 中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験の概要	【試験条件】 ・供試体寸法（旧表土）：外径50㎜・高さ100㎜，外径70㎜・高さ140㎜ ・供試体寸法（盛土・旧表土）：外径100㎜・高さ200㎜ ・供試体寸法（盛土）：外径300㎜・高さ600㎜ ・載荷波形：正弦波（0.1～0.2Hz） ・拘束圧：供試体平均深度の有効土被り圧を考慮して設定 ・軸ひずみ10%に達するまで試験を実施 ・所定の軸ひずみ（1%，2%，5%，10%）及び過剰間隙水圧比0.95 の繰返し回数を評価	試験の概要 ・土の繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541-2009）を参考に実施。なお，供試体はロータリー式三重管サンプラー及び表層試料採取により採取した試料とした。 【試験概要】 ・供試体寸法　：外径88㎜，高さ176㎜ ・載荷波形　　：正弦波（0.1Hz） ・拘束圧　　：供試体平均深度の有効土被り圧を考慮して設定 ・両振幅軸ひずみ10%に達するまで試験を実施する。 ・所定の両振幅軸ひずみ（１，２，５，10%）及び過剰間隙水圧比0.95の繰返し回数を評価。	

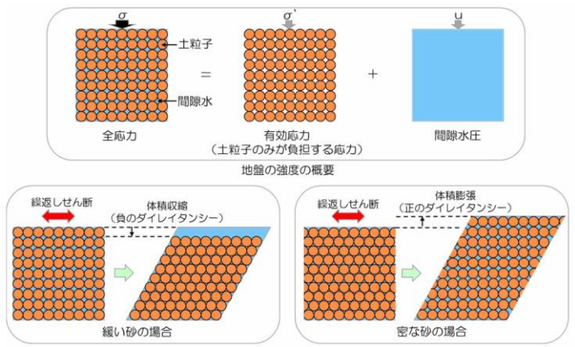
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第11-4-4 図 凍結サンプリングの概要	 第5.1-1図 繰返し非排水三軸試験装置の概要	 第3-2-3 図　繰返し非排水三軸試験の概要	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
4.2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方 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（土木学会，2003）では，地盤の液状化及びそれに関連する事象の定義として，以下のように記載されている。第11-4-5 図に地盤の強度とダイレイタンシー特性の概要を示す。 【液状化】 地震の繰返しせん断力などによって，飽和した砂や砂礫などの緩い非粘性土からなる地盤内での間隙水圧が上昇・蓄積し，有効応力がゼロまで低下し液体状となり，その後地盤の流動を伴う現象。 【サイクリックモビリティ】 繰返し載荷において土が「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と，正のダイレイタンシ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シー特性が著しい土において顕著に現れる。 【繰返し軟化】 繰返し載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シ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。 これらの事象のうちサイクリックモビリティは，その現象の違いから一般的に液状化とは区別されている。以下に既往文献におけるサイクリックモビリティの記述を示す。また，第11-4-6 図及び第11-4-7 図に緩い砂と密な砂の液状化試験結果の比較を示し，液状化とサイクリックモビリティの違いを整理した。 ・サイクリックモビリティとは，砂などの繰返し載荷において，有効拘束圧がゼロに近づいてから，載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であり，液状化とは区別して用いられることがある。（地盤工学会，2006） ・地盤の液状化は，ゆるい砂地盤が繰り返しせん断を受け，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。（井合，2008）	5.2 液状化強度試験結果の分類に対する基本的考え方 液状化強度試験の結果は，第5.2-1 図に示すとおり，有効応力が低下する影響を広義に分類・定義している土木学会地震工学委員会の報告書に基づき分類する。  第5.2-1図 液状化強度試験結果の分類に対する基本的考え方 液状化しなくとも，間隙水圧の上昇による剛性の低下が生じる場合，構造物の設計で考慮する必要があることから，「繰返し軟化」についても分類する。ただし，「サイクリック・モビリティ」は「繰返し軟化」のうち，有効応力がゼロ（せん断抵抗が小さくなる）まで低下するケースと考えられることから「繰返し軟化」に含めることとする。	3.2.2　液状化試験結果の分類に対する基本的考え方 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（土木学会，H15）では，地盤の液状化及びそれに関連する事象の定義として，以下のように記載されている。第3-2-4 図に地盤の強度とダイレイタンシー特性の概要を示す。 【液状化】 地震の繰返しせん断力などによって，飽和した砂や砂礫などの緩い非粘性土からなる地盤内での間隙水圧が上昇・蓄積し，有効応力がゼロまで低下し液体状となり，その後地盤の流動を伴う現象。 【サイクリックモビリティ】 繰返し載荷において土が「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と，正のダイレイタンシ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シー特性が著しい土において顕著に現れる。 【繰返し軟化】 繰返し載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，土の持つダイレイタンシ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。 これらの事象のうちサイクリックモビリティは，その現象の違いから一般的に液状化とは区別されている（第3-2-1 表参照）。以下に既往文献におけるサイクリックモビリティの記述を示す。また，第3-2-5 図及び第3-2-6 図に緩い砂と密な砂の液状化試験結果の比較を示し，液状化とサイクリックモビリティの違いを整理した。 ・サイクリックモビリティとは，砂などの繰返し載荷において，有効拘束圧がゼロに近づいてから，載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であり，液状化とは区別して用いられることがある。（地盤工学会，H18） ・地盤の液状化は，緩い砂地盤が繰り返しせん断を受け，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。（井合，H20）	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

・サイクリックモビリティにおいて，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。（吉見，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，その後に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ー”と呼んで液状化と区別することもある。（安田，1991）

これらの知見を踏まえて，液状化試験結果を，「液状化」，「サイクリックモビリティ」及び「非液状化」の３つに大別することとした。



第11-4-5 図 地盤の強度とダイレイタンシー特性の概要

女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）

以上を踏まえ，第5.2-1 表に示すとおり，「液状化」，「繰返し軟化」及び「非液状化」に分類し，「繰返し軟化」と「サイクリック・モビリティ」は，合わせて「繰返し軟化」に分類する。

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

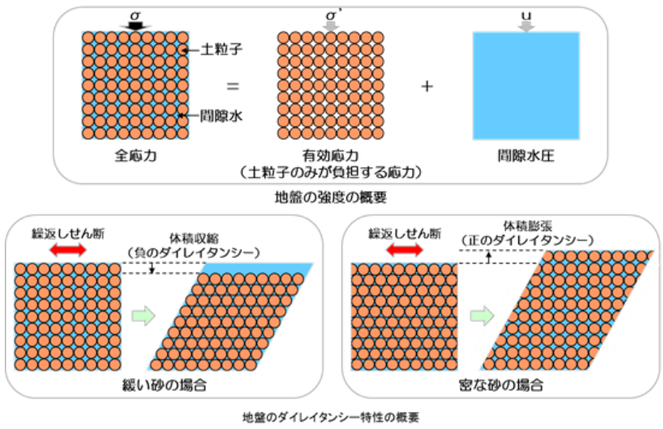
判定項目※1	液状化	繰返し軟化		非液状化
			サイクリックモビリティ	
間隙水圧が上昇・蓄積する。（過剰間隙水圧比 95%を超える。）	○	○	○	×
有効応力がゼロまで低下する。	○	×※2	○	×
液体状となり流動する。（ひずみが急増する。）	○	×	×	×
正のダイレイタンシー特性によりせん断抵抗が作用する。（有効応力が回復する。）	×	○	○	○ or ×※3

※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　旧妻土の試験のうちA-1 シリーズは有効応力経路のデータを取得しておらず，「繰返し軟化」と「サイクリックモビリティ」の判定ができないため，「－」で表示し，「繰返し軟化」に整理する。
※3　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。

島根原子力発電所　２号炉

・サイクリックモビリティにおいて，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。（吉見，H3）
・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，その後に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ー”と呼んで液状化と区別することもある。（安田，H3）

これらの知見を踏まえて，液状化試験結果を，「液状化」，「繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）」及び「非液状化」の３つに大別することとした。



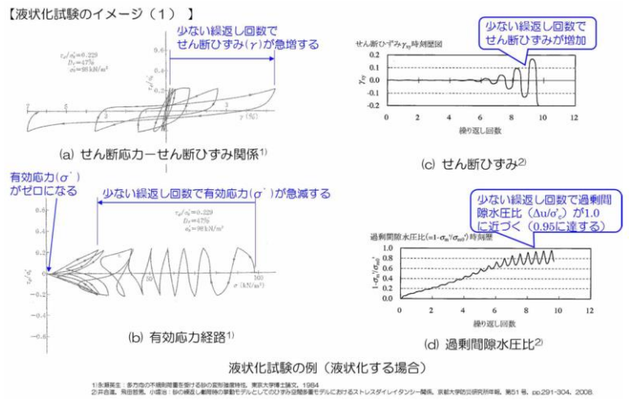
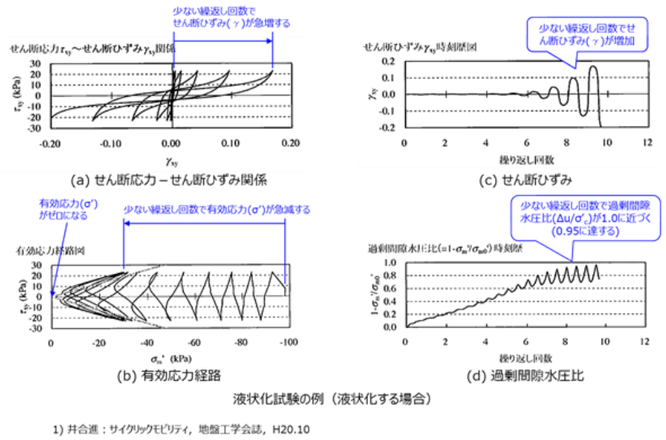
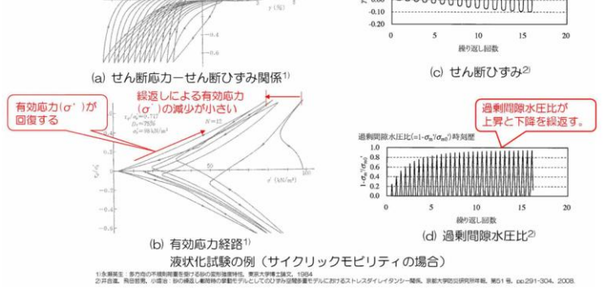
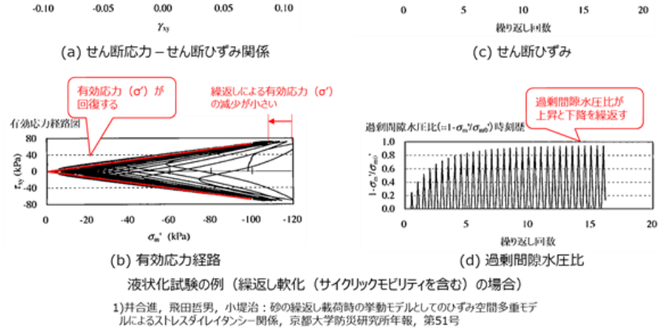
第3-2-4 図　地盤の強度とダイレイタンシー特性の概要

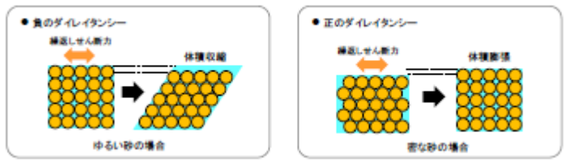
第3-2-1 表　液状化試験結果の分類

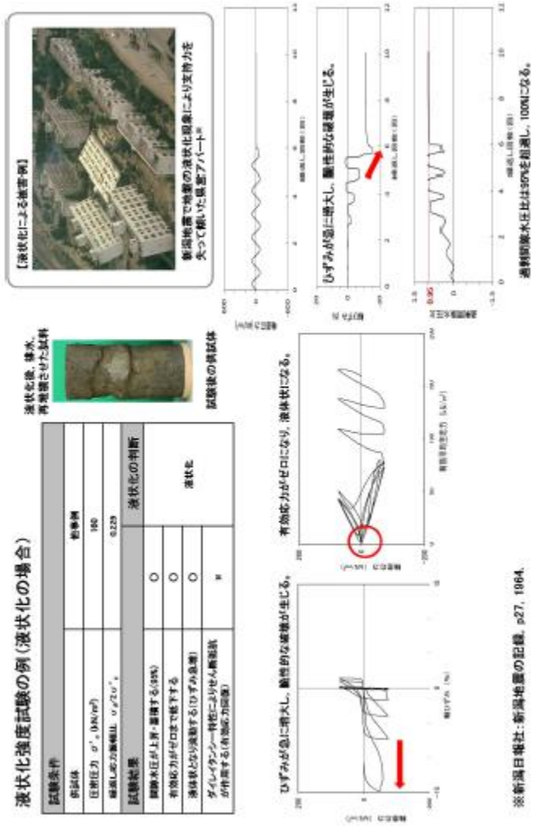
○:該当する　×:該当しない

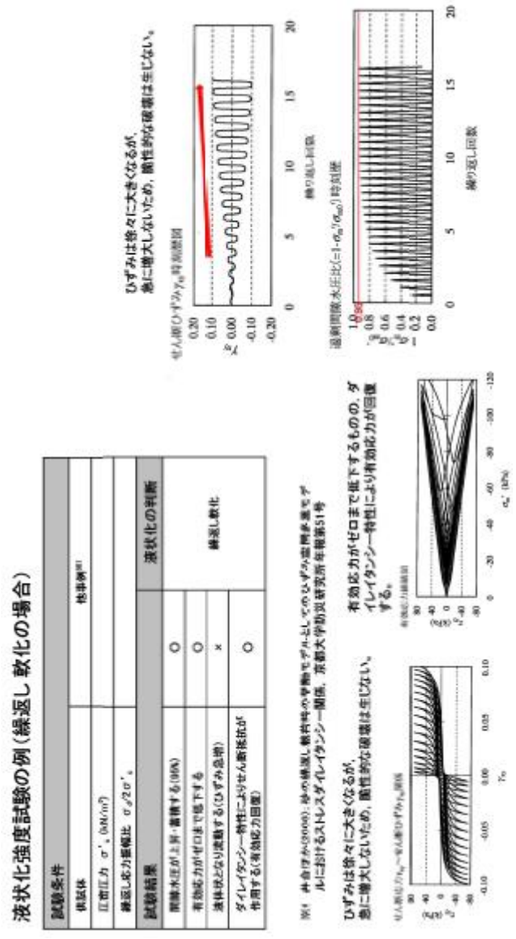
判定項目	液状化	繰返し軟化		非液状化
			サイクリックモビリティ	
・間隙水圧が上昇・蓄積する。（過剰間隙水圧比95%を超える。）	○	○	○	×
・有効応力がゼロまで低下する。	○	×	○	×
・液体状となり流動する。（ひずみが急増する。）	○	×	×	×
・正のダイレイタンシー特性によりせん断抵抗が作用する。（有効応力が回復する。）	×	○	○	○

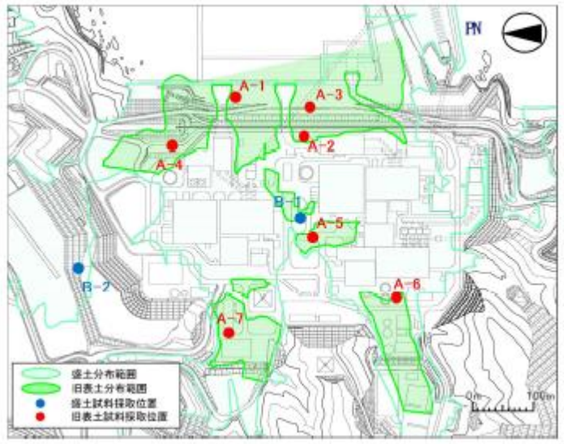
備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第11-4-6 図 緩い砂の液状化試験結果	また，既往文献による液状化に関する記載は以下のとおりである。 【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。 【社団法人地盤工学会（2006）】 砂などの繰返し載荷において，有効拘束圧がゼロに近づいてから，載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。 【安田ほか（1991）】 密詰めの砂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，その後に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’0 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模様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ので，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。 【井合ほか（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（正のダイレイタンシー）が現れるので，非排水条件のもとで	 第3-2-5 図　緩い砂の液状化試験結果	・資料構成の相違 【女川２】 女川２は既往文献による液状化に関して説明している
 第11-4-7 図 密な砂の液状化試験結果		 第3-2-6 図　密な砂の液状化試験結果	・試験結果の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉では液状化試験結果について詳細に説明している （以下，島根２号炉の3.2.3 章はすべて同じ理由である）
4.3 試験結果の分類 第11-4-1～8 表に各土層の液状化試験結果を，第11-4-8～15 図に各土層の液状化試験結果の例を，第11-4-9 表に液状化試験結果のまとめを，第11-4-16 図に液状化試験後の供試体状況を示す。 A-1 地点の埋戻土層の液状化試験結果は，過剰間隙水圧比が1.0に近づき（0.95 を上回り），有効応力がゼロとなる。また，その繰り返しせん断を受けても，有効応力の回復はみられず，せん断		3.2.3　試験結果の分類 第3-2-2～16 表に各土層の液状化試験結果を，第3-2-7～21 図に各土層の液状化試験結果の例を，第3-2-17 表に液状化試験結果のまとめを示す。 【Ｅ－２地点（埋戻土(掘削ズリ)）】 ・いずれの試料においても，過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返	・試験結果の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉では液状化試験結果について詳細に説明している （以下，島根２号炉の3.2.3 章はすべて同じ理由である）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
ひずみが急激に上昇する。これらの状況から，この試験結果は液状化していると判断した。 A-3 地点の新期砂層・沖積層及びA-1 地点の洪積砂層Ⅰ・Ⅱの液状化試験結果は，過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0 に近づく（0.95 を上回る）。これに伴って，有効応力は減少するが，繰り返しせん断を受けることで回復する。また，せん断ひずみは緩やかに上昇する。これらの状況から，この試験結果はサイクリックモビリティであると判断した。 A-2 地点の洪積砂層Ⅰ・Ⅱ及びO-1 地点の洪積砂質土層Ⅰ・Ⅱの液状化試験結果は，過剰間隙水圧比が0.95 を上回ることがなく，試験実施の間，有効応力を保持している。また，せん断ひずみが緩やかに上昇し，試験終了直前で急激にせん断ひずみが増大する傾向である。A-2 地点の洪積砂層Ⅰ・Ⅱの液状化試験後の供試体状況をみると，明確なせん断破壊が確認され，このせん断ひずみの増大はせん断破壊によって発生したものと考えられる。これらの状況から，この試験結果は非液状化であると判断した。	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シー特性の概要を第5.2-2 図に示す。  第5.2-2図 地盤のダイレイタンシー特性の概要 液状化となる試験結果の例を第5.2-3 図に，繰返し軟化となる試験結果の例を第5.2-4 図に示す。	し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇した。また，有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。 【Ｅ－３地点（埋戻土(掘削ズリ)）】 ・いずれの試料においても，過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇した。また，有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。 【Ｅ－４’地点（埋戻土(掘削ズリ)）】 ・S4-5は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇した。また，有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。 ・S4-6，S4-8-2は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返すが，0.95を上回らなかった。 【Ｅ－５地点（埋戻土(掘削ズリ)）】 ・過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇した。また，有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。 【Ｅ－６地点（埋戻土(掘削ズリ)）】 ・S6-1-2は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇した。また，有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。 ・S6-1-1，S6-3は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇した。また，有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。 【Ｅ－７地点（埋戻土(掘削ズリ)）】 ・過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇した。また，有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第5.2-3図 液状化試験の例（液状化の場合）	や粘性により回復した。 【Ｅ－８地点（埋戻土(掘削ズリ)）】 ・S8-4 ③は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇した。また，有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。 ・S8-2，S8-4 ④は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇した。また，有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。 【Ａ地点（埋戻土(掘削ズリ)）】 ・Ａ①は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇した。また，有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。 ・Ａ②は過剰間隙水圧比が0.95を上回る前に両振幅軸ひずみＤＡが10%を上回った。 【Ｂ地点（埋戻土(掘削ズリ)）】 ・Ｂ①は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇した。また，有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。 ・Ｂ②は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返すが，0.95を上回らなかった。 【Ｃ地点（埋戻土(掘削ズリ)）】 ・Ｃ①～④は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇した。また，有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。 【Ｄ地点（埋戻土(掘削ズリ)）】 ・Ｄ①は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返すが，0.95を上回らなかった。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第5.2-4図 液状化試験の例（繰返し軟化の場合） 5.3 液状化強度試験結果 旧表土及び盛土の液状化強度試験位置並びに旧表土及び盛土の分布範囲を重ねた平面図を第5.3-1 図に示す。	【Ｅ地点（埋戻土(掘削ズリ)）】 ・Ｅ①は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇した。また，有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。 【Ｅ－１地点（砂礫層）】 ・S1-23-3，S1-24及びS1-25は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇した。また，有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。 ・S1-26は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇した。また，有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。 【Ｅ－７地点（砂礫層）】 ・S7-15及びS7-17は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇した。また，有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。 ・S7-16は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇した。また，有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。 【Ｅ－８地点（砂礫層）】 ・S8-23-1及びS8-25は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇した。また，有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。 ・S8-24は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇した。また，有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。 埋戻土（掘削ズリ）の液状化試験は，土の繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541）に準拠し実施した。	

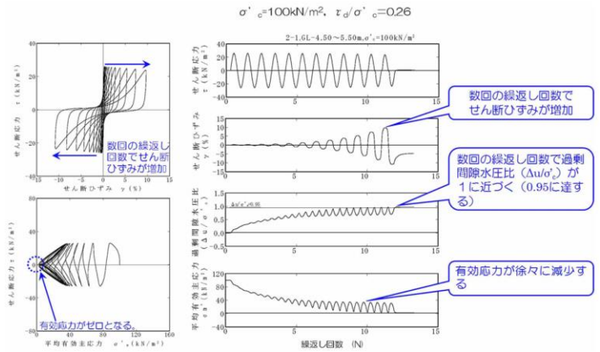
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
これらの区分を整理して，第11-4-10 表に示す。 埋戻土層以外の土層は，比較的N 値が高く，液状化試験結果はサイクリックモビリティあるいは非液状化を示している。このことは，道路橋示方書において，一般にN 値が高く，続成作用を受けている洪積層等は，液状化に対する抵抗が高いため，一般には液状化の可能性は低いという記載に整合する。 埋戻土層については試験結果が液状化を示していることから道路橋示方書の液状化判定法（ FL 法）を実施し，基準地震動Ss 作用時の液状化の有無を判定する。埋戻土層以外の土層については液状化を示さず，道路橋示方書の液状化判定方法が適用できないと考えられることから，液状化試験が基準地震動Ss 相当の地盤の状態を模擬していることを確認する。	 第5.3-1図 旧表土及び盛土の液状化強度試験位置並びに旧表土及び盛土の分布範囲の平面図 5.3.1 旧表土の液状化強度試験結果 旧表土に対する液状化強度試験の試験ケース及び結果を第5.3-1 表に示す。なお，各試験ケースの個別データについては，参考資料１．液状化強度試験結果データ集に示す。 旧表土の液状化強度試験の結果は，全ての試験ケース（50 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，繰返し載荷に伴い，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。繰返し載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。 旧表土に対する液状化強度試験の結果は，非液状化又は繰返し軟化を示すものであり，地震時の旧表土の挙動は，新潟地震の液状化被害例（第5.2-3 図）のように支持力を失う液状化事象は発生せず，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。 上記を踏まえ，施設の耐震性評価に当たっては，有効応力解析により過剰間隙水圧の上昇に伴う旧表土の剛性低下を考慮した変形量等の評価を行う方針とする。 旧表土の液状化強度試験結果の代表例として，防潮堤近傍から採取したA-2試料の供試体No.2 及びNo.4 の試験結果を第5.3-2 図，第5.3-3 図にそれぞれ示す。A-2 試料のNo.2 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	試験結果は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0 に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇する。また，有効応力は保持している，若しくは減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。一方，Ｅ－４’地点及びＤ地点では過剰間隙水圧比が0.95を上回らなかった。これらの状況から，埋戻土（掘削ズリ）は非液状化，若しくは繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）であると判断した。 供試体直径の１／５を超える礫を含む供試体については，土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520）を満足しないため，試験結果を参考値とし，以降の評価には採用しない。埋戻土（掘削ズリ）の液状化試験結果のうち，供試体直径の１／５を超える礫を含む供試体について，液状化試験後の写真を第3-2-18 表に示す。 砂礫層の液状化試験は，土の繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541）に準拠し実施した。試験結果は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り），せん断ひずみは緩やかに上昇する。また，有効応力は保持している，若しくは減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。これらの状況から，砂礫層は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）であると判断した。 これらの区分を整理して，第3-2-19 表に示す。 すべての土層で，液状化試験結果は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）あるいは非液状化を示している。このことは，50%粒径が10㎜超過，又は，10%粒径が１㎜超過である，粗粒で均等係数が低い礫質土では透水係数が高く液状化しにくいという道路橋示方書の記載に整合する。 埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層は液状化を示さず，道路橋示方書の液状化判定法（ＦＬ法）が適用できないと考えられることから，埋戻土（掘削ズリ）について，液状化試験が基準地震動Ｓｓ 相当の地盤の状態を模擬していることを確認する。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第11-4-1 表 液状化試験結果（A-1 地点の埋戻土層）

試料番号			#1-0-1				#1-0-2			
深度 GL- (m)			3.50~4.50				4.50~5.50			
土質材料			埋戻土層				埋戻土層			
供試体 No.			1	2	3	4	1	2	3	4
土粒子の密度 ρ_s (g/cm³)			2.710				2.720			
圧密圧力 σ_c' (kN/m²)			50				100			
せん断応力比 τ_d/σ_c'			0.25	0.30	0.20	0.35	0.26	0.21	0.24	0.29
繰返回数	せん断ひずみ両振幅	γ_{DA}=1.5%	7.5	5.5	103	3.5	4.5	54	29	5.5
		γ_{DA}=2.0%	8.5	7	106	5	5	56	32	6.5
		γ_{DA}=3.0%	10	9	111	7.5	6	59	36	8
		γ_{DA}=7.5%	16	15	119	27	8	64	46	12
		γ_{DA}=15%	21	23	127	109	10	68	54	15
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		15	16	116	35	9	64	45	14

：最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を越えるもの）
下線：次ページに例示する試験結果



第11-4-8 図 液状化試験結果の例（A-1 地点の埋戻土層）

第11-4-2 表 液状化試験結果（A-1 地点の洪積砂層Ⅰ）

試料番号			#1-1-1				#1-1-2			
深度 GL- (m)			8.00~9.00				10.00~11.00			
土質材料			洪積砂層Ⅰ				洪積砂層Ⅰ			
供試体 No.			1	2	3	4	1	2	3	4
土粒子の密度 ρ_s (g/cm³)			2.739				2.732			
圧密圧力 σ_c' (kN/m²)			100				150			
せん断応力比 τ_d/σ_c'			0.47	0.59	0.79	0.97	0.48	0.61	0.44	0.39
繰返回数	せん断ひずみ両振幅	γ_{DA}=1.5%	4	0.9	0.5	0.3	1.5	0.5	0.9	3
		γ_{DA}=2.0%	6.5	2	0.7	0.5	2.5	0.6	1.5	5
		γ_{DA}=3.0%	14	6.5	1	0.7	5	0.9	4	8.5
		γ_{DA}=7.5%	48	32	14	9	18	7.5	17	25
		γ_{DA}=15%	102	96	－	41	53	23	41	48
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		40	31	18	19	21	15	22	25

：最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を越えるもの）
下線：次ページに例示する試験結果

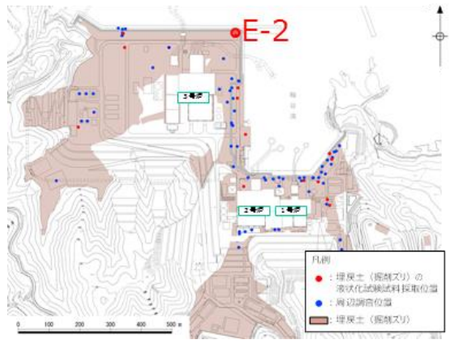
るものの，急に増大することはなく，脆性的な破壊は生じていないと考えられる。また，過剰間隙水圧比は95%を超過せず，せん断応力作用時には正のダイレイタンシーの効果により，過剰間隙水圧は低下し，有効応力が回復していることから非液状化と判断される。

A-2 試料のNo.4 供試体は，有効応力は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，過剰間隙水圧比は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。

ねばり強い挙動の定量的評価の試みとして，有効応力の低下が収まった状態における軸ひずみ増分の平均値を算定した結果，繰返しせん断応力比がおおむね0.4 以下では，１回当りの平均軸ひずみの増分はわずかに約0.3%以下であり，旧表土に対する液状化強度試験で見られた，ねばり強い挙動と同様の傾向を定量的に確認した（第5.3-4 図）。

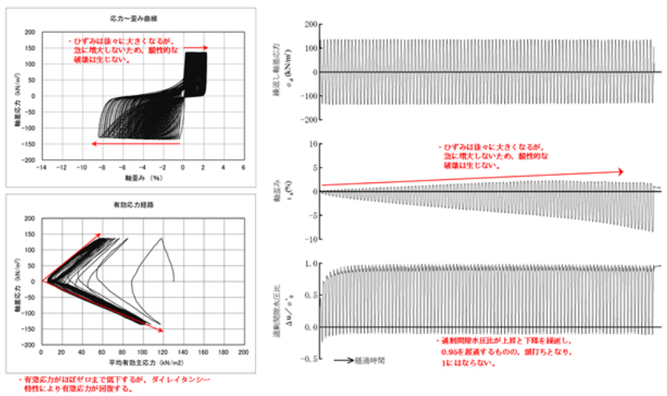
旧表土の液状化強度試験結果から，繰返し載荷回数20 回に該当する液状化強度比R_{L20}を算出すると，R_{L20}=0.374 である（第5.3-5 図）。

第3-2-2 表　液状化試験結果（Ｅ－２地点の埋戻土（掘削ズリ））



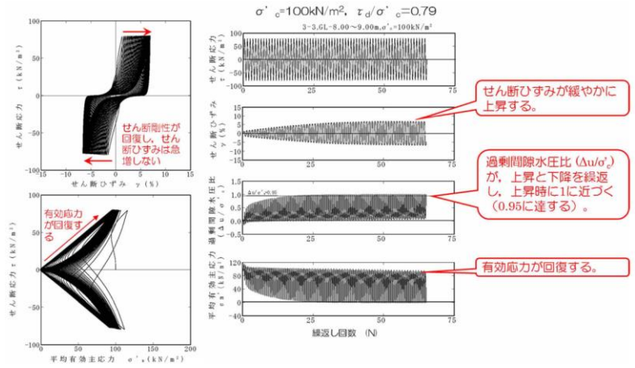
試料番号			S2-9	S2-10	S2-14-1
深度（m）			9.20～10.20	10.20～11.20	14.12～15.12
土質材料			埋戻土（掘削ズリ）		
供試体 No.			1	1	1
土粒子の密度 ρ_s(g/cm³)			2.714	2.716	2.723
圧密応力 σ'_c(kN/m²)			130	130	130
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$			0.463	0.522	0.551
繰返回数	軸ひずみ両振幅	DA = 1%	1.5	2.5	0.6
		DA = 2%	2.5	9.5	1.5
		DA = 5%	6.0	37.6	5.0
		DA = 10%	－	92.9	7.0
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		3.0	7.0	3.0

：最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)
：DA=5%の値を繰り返し回数 N とする
下線：下図に例示する試験結果



第3-2-7 図　液状化試験結果の例（Ｅ－２地点の埋戻土（掘削ズリ））

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

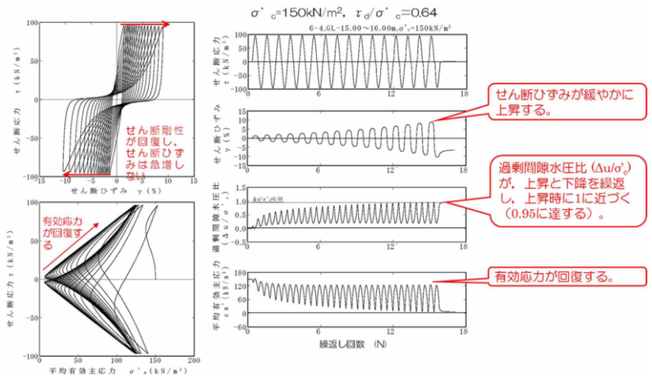


第11-4-9 図 液状化試験結果の例（A-1 地点の洪積砂層Ⅰ）

第11-4-3 表 液状化試験結果（A-1 地点の洪積砂層Ⅱ）

試料番号		#1-2-1				#1-2-2				#1-2-3				#1-2-4			
深度 GL-（m）		13.00～14.00				15.00～16.00				17.00～18.00				20.00～21.00			
土質材料		洪積砂層Ⅱ				洪積砂層Ⅱ				洪積砂層Ⅱ				洪積砂層Ⅱ			
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
土粒子の密度 ρ_s (g/cm³)		2.714				2.688				2.684				2.685			
圧密圧力 σ'_c (kN/m²)		150				150				200				200			
せん断応力比 τ_d/σ'_c		0.51	0.41	0.46	0.36	0.39	0.45	0.50	0.64	0.40	0.35	0.48	0.38	0.40	0.46	0.50	0.62
繰返回数	せん断ひずみ両振幅 γ_{DA}=1.5%	0.4	0.8	1	10	2	1.5	0.8	0.5	2	4.5	0.6	7	2	0.9	0.8	0.6
	γ_{DA}=2.0%	0.6	1	2	11	2.5	3.5	1	0.7	3.5	7.5	0.8	12	3.5	1.5	1.5	0.7
	γ_{DA}=3.0%	0.9	4	2.5	20	6	7	4	1	6.5	14	2	20	7	4.5	5	1.5
	γ_{DA}=7.5%	7	30	17	65	26	20	18	7	15	30	7	39	27	16	19	9
	γ_{DA}=15%	16	56	32	102	48	37	33	13	22	43	13	56	52	25	31	18
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}	16	40	22	61	31	27	24	14	19	33	13	42	31	22	30	–

：最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を越えるもの）
下線：次ページに例示する試験結果



第11-4-10 図 液状化試験結果の例（A-1 地点の洪積砂層Ⅱ）

女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）

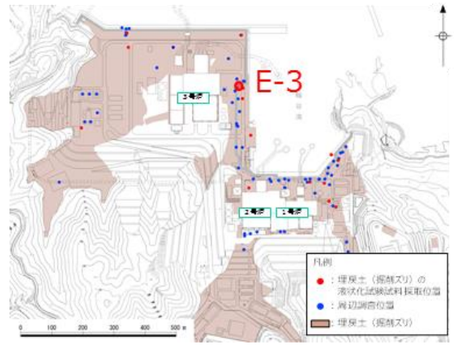
第5.3-1 表 液状化強度試験結果（旧表土）

試料番号		A-1-1				A-1-2				A-1-3			
深度GL-(m)		8.00～8.90				9.00～9.85				11.85～12.45			
土質材料		旧表土（洪積層）				旧表土（洪積層）				旧表土（洪積層）			
供試体No.		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
土粒子の密度 ρs(g/cm³)		2.693				2.695				2.698			
圧密圧力 σ'c(kN/m²)		78.5				98.1				127.5			
繰返し応力振幅比 σd/2σ'c		0.247	0.291	0.491	0.841	0.233	0.263	0.423	0.213	0.304	0.242	0.422	0.485
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅 DA=1%	18.2	14.1	3.5	0.9	12.1	4.0	1.0	38.7	40.0	28.0	8.0	0.8
	DA=2%	30.0	24.2	12.2	4.7	24.1	10.0	4.8	70.1	80.4	43.9	8.0	3.2
	DA=5%	53.6	43.0	29.5	20.1	38.1	18.0	11.7	95.7	81.0	94.0	19.1	12.0
	DA=10%	–	–	–	–	45.9	25.5	18.9	118.3	104.2	85.3	34.2	25.0
	過剰間隙水圧比95% N_{u95}	41	32	24	17	34	18	13	94	75	59	19	12
試料番号		A-2					A-2						
深度GL-(m)		16.00～20.95					16.00～17.95						
土質材料		旧表土（洪積層）					旧表土（洪積層）						
供試体No.		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
土粒子の密度 ρs(g/cm³)		2.696					2.695						
圧密圧力 σ'c(kN/m²)		400.0					220.0						
繰返し応力振幅比 σd/2σ'c		0.169	0.402	0.302	0.229	0.282	0.201	0.400	0.506	0.279	0.247		
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅 DA=1%	0.2	0.7	12.0	5.5	10.6	3.0	0.2	0.1	4.5	16.7		
	DA=2%	0.4	2.0	19.7	9.5	15.6	7.5	0.4	0.3	9.5	–		
	DA=5%	1.0	4.0	39.2	18.8	21.7	20.8	0.9	0.7	16.9	–		
	DA=10%	2.0	7.0	89.0	35.0	26.9	40.9	2.5	1.5	23.3	–		
	過剰間隙水圧比95% N_{u95}	–	–	49	14	18	9	–	1	12	–		
試料番号		A-4				A-5-1							
深度GL-(m)		23.55～24.95				7.00～9.00							
土質材料		旧表土（洪積層）				旧表土（洪積層）							
供試体No.		1	2	3	4	1	2	3	4	5			
土粒子の密度 ρs(g/cm³)		2.701				2.681							
圧密圧力 σ'c(kN/m²)		450.0				180.0							
繰返し応力振幅比 σd/2σ'c		0.290	0.509	0.420	0.355	0.377	0.332	0.289	0.269	0.285			
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅 DA=1%	0.5	0.8	2.0	3.5	1.5	7.0	10.8	222.4	9.0			
	DA=2%	18.4	1.5	8.0	9.0	4.0	12.7	17.1	–	18.9			
	DA=5%	32.6	4.0	17.2	21.0	8.0	21.4	26.4	–	37.2			
	DA=10%	59.0	8.0	42.6	44.8	12.7	29.7	–	–	–			
	過剰間隙水圧比95% N_{u95}	22	6	11	23	8	11	14	–	16			
試料番号		A-5-2					A-6[※]						
深度GL-(m)		10.00～12.00					12.30～13.80						
土質材料		旧表土（洪積層）					旧表土（洪積層）						
供試体No.		1	2	3	4	5	1	2	3	4			
土粒子の密度 ρs(g/cm³)		2.681					2.698						
圧密圧力 σ'c(kN/m²)		210.0					270.0						
繰返し応力振幅比 σd/2σ'c		0.260	0.254	0.293	0.237	0.204	0.398	–	0.350	0.334			
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅 DA=1%	0.1	8.5	4.5	71.1	126.8	0.6	–	10.7	8.0			
	DA=2%	0.3	14.7	9.0	106.5	182.9	1.5	–	17.8	13.9			
	DA=5%	0.8	27.5	18.2	140.0	190.5	5.5	–	28.9	21.8			
	DA=10%	1.5	42.4	22.7	157.0	202.3	9.0	–	–	–			
	過剰間隙水圧比95% N_{u95}	1	24	16	124	177	6	–	19	–			
試料番号		A-7-1					A-7-2						
深度GL-(m)		5.20～5.90					7.55～8.85						
土質材料		旧表土（洪積層）					旧表土（洪積層）						
供試体No.		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
土粒子の密度 ρs(g/cm³)		2.697					2.718						
圧密圧力 σ'c(kN/m²)		110.0					150.0						
繰返し応力振幅比 σd/2σ'c		0.402	0.454	0.555	0.305	0.222	0.489	0.897	0.805	0.854	0.286		
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅 DA=1%	2.0	2.0	0.8	0.8	1.0	5.0	0.3	18.1	0.8	147.5		
	DA=2%	9.5	12.1	2.8	2.5	8.5	11.0	0.7	28.9	2.5	169.8		
	DA=5%	31.7	50.8	12.5	11.8	71.8	23.8	2.0	34.7	5.5	194.8		
	DA=10%	73.8	147.2	34.8	23.8	219.8	28.9	3.0	–	8.3	–		
	過剰間隙水圧比95% N_{u95}	19	12	6	6	38	5	3	4	4	153		

※A-6 試料（供試体 No. 2）は，繰返し回数 300 回でも軸ひずみが 1%に達しなかったことから試験を終了した。

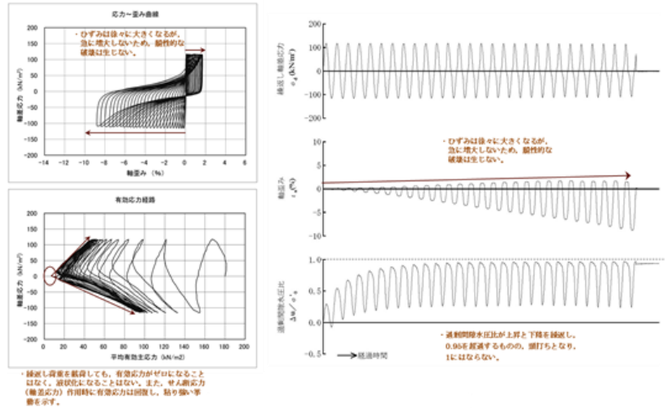
島根原子力発電所　２号炉

第3-2-3 表　液状化試験結果（Ｅ－３　地点の埋戻土（掘削ズリ））



試料番号			S3-9-1	S3-9-2	S3-11
深度（m）			9.10～9.75	9.85～10.65	11.80～12.70
土質材料			埋戻土（掘削ズリ）		
供試体 No.			1	1	1
土粒子の密度 ρ_s(g/cm³)			2.641	2.619	2.685
圧密応力 σ'_c(kN/m²)			180	180	180
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_o$			0.258	0.323	0.357
繰返回数	軸ひずみ両振幅	DA = 1%	20.9	4.5	3.5
		DA = 2%	28.9	7.5	5.5
		DA = 5%	49.8	14.1	10.0
		DA = 10%	97.9	26.9	–
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		40.0	12.0	9.0

：最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)
：DA=5%の値を繰り返し回数 N とする
下線：下図に例示する試験結果



第3-2-8 図　液状化試験結果の例（Ｅ－３　地点の埋戻土（掘削ズリ））

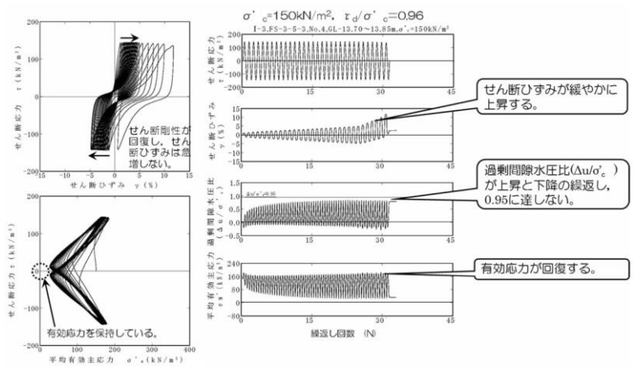
備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第11-4-4 表 液状化試験結果（A-2 地点の洪積砂層Ⅰ）

試料番号		#4-1-1				#4-1-2				#4-1-3			
深度 G.L.- (m)		13.20～14.14				13.36～13.99				13.21～13.85			
土質材料		洪積砂層Ⅰ				洪積砂層Ⅰ				洪積砂層Ⅰ			
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
土粒子の密度 ρ_s (g/cm³)		2.665				2.656				2.754			
圧密圧力 σ_c (kN/m²)		150				150				150			
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.60	0.43	0.92	1.18	0.79	1.03	1.20	0.61	1.01	0.71	0.81	0.96
繰返し回数 せん断ひずみ両振幅	γ_{DA}=1.5%	10	5	0.7	0.4	0.9	0.5	0.4	9	0.5	0.9	0.6	0.6
	γ_{DA}=2.0%	23	9	1	0.5	3	0.6	0.6	18	0.7	2	0.8	0.9
	γ_{DA}=3.0%	44	21	4	0.7	13	0.9	0.9	37	1	8	2	2.5
	γ_{DA}=7.5%	60	56	23	5	51	4.5	6.5	91	5	43	17	18
	γ_{DA}=15%	71	62	35	－	63	7	9	－	7	－	29	－
過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－

下線：次ページに例示する試験結果

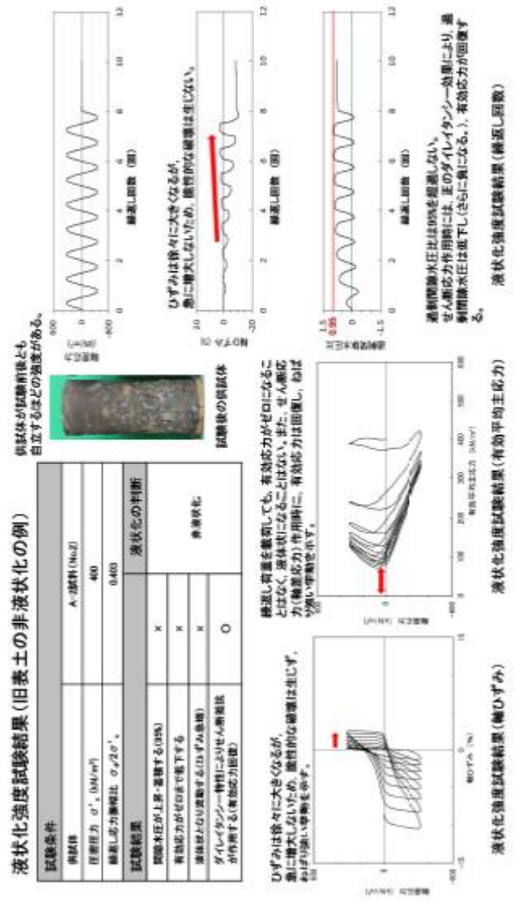


第11-4-11 図 液状化試験結果の例（A-2 地点の洪積砂層Ⅰ）

第11-4-5 表 液状化試験結果（A-2 地点の洪積砂層Ⅱ）

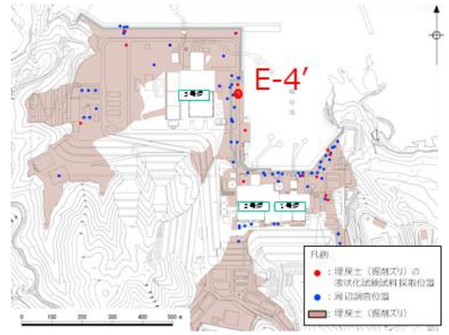
試料番号		#4-2-1				#4-2-2				#4-2-3			
深度 G.L.- (m)		20.20～21.96				21.96～22.62				25.15～26.23			
土質材料		洪積砂層Ⅱ				洪積砂層Ⅱ				洪積砂層Ⅱ			
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
土粒子の密度 ρ_s (g/cm³)		2.680				2.679				2.721			
圧密圧力 σ_c (kN/m²)		230				230				230			
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.42	0.80	0.63	0.36	0.57	0.66	0.80	0.70	0.71	0.86	0.81	0.76
繰返し回数 せん断ひずみ両振幅	γ_{DA}=1.5%	1.5	0.3	0.8	200	2.5	0.9	0.3	0.3	2	0.8	0.7	0.9
	γ_{DA}=2.0%	3.5	0.4	1.5	－	6	2	0.5	0.4	5.5	1.5	1	2.5
	γ_{DA}=3.0%	7	0.7	3.5	－	14	5.5	0.7	0.6	17	4.5	3	6
	γ_{DA}=7.5%	20	3	15	－	46	22	3.5	2	74	17	14	22
	γ_{DA}=15%	－	7.5	－	－	78	－	6.5	4.5	110	－	24	36
過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		－	－	－	－	61	－	－	－	87	－	－	－

：最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を越えるもの）
下線：次ページに例示する試験結果



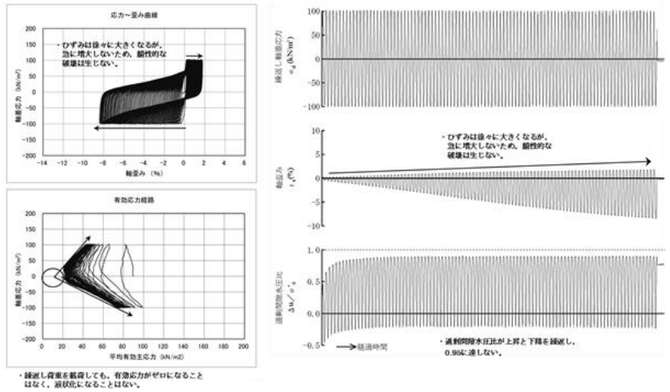
第5.3-2図 旧表土の液状化強度試験結果（A-2 試料，供試体No.2）

第3-2-4 表　液状化試験結果（Ｅ－４’地点の埋戻土（掘削ズリ））



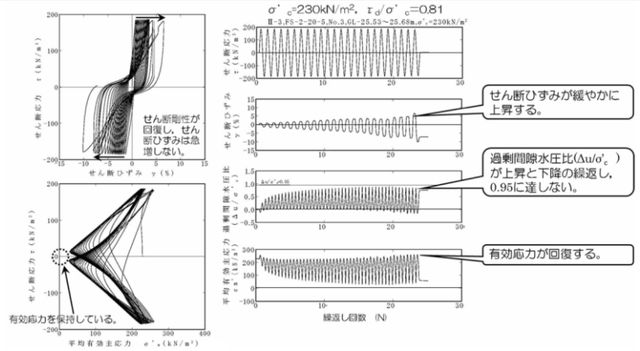
試料番号			S4-5		S4-6	S4-8-2
深度（m）			5.50～6.50		6.50～7.50	8.90～9.90
土質材料			埋戻土（掘削ズリ）			
供試体 No.			1	2	1	1
土粒子の密度 ρ_s (g/cm³)			2.746		2.733	2.648
圧密応力 σ'_c (kN/m²)			90		90	90
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$			0.336	0.435	0.560	0.636
繰返し回数	両振幅せん断ひずみ	DA = 1%	9.5	10.6	4.0	0.5
		DA = 2%	14.9	21.2	13.6	0.9
		DA = 5%	27.7	45.9	38.7	2.5
		DA = 10%	49.8	90.4	94.7	5.5
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		20.0	52.0	―	―

：最大間隙水圧比が 1.0 に近づく（0.95 を超えるもの）
：DA=5%の値を繰り返し回数 N とする
下線：下図に例示する試験結果



第3-2-9 図　液状化試験結果の例（Ｅ－４’地点の埋戻土（掘削ズリ））

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

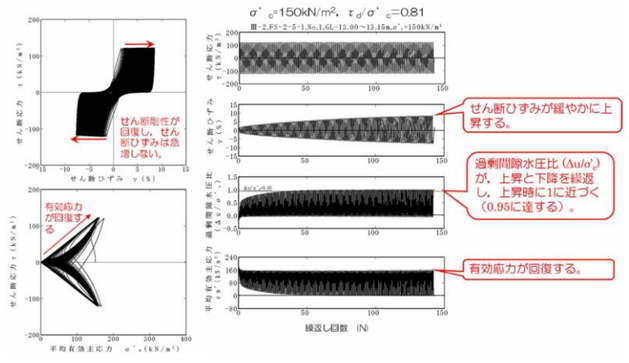


第11-4-12 図 液状化試験結果の例（A-2 地点の洪積砂層Ⅱ）

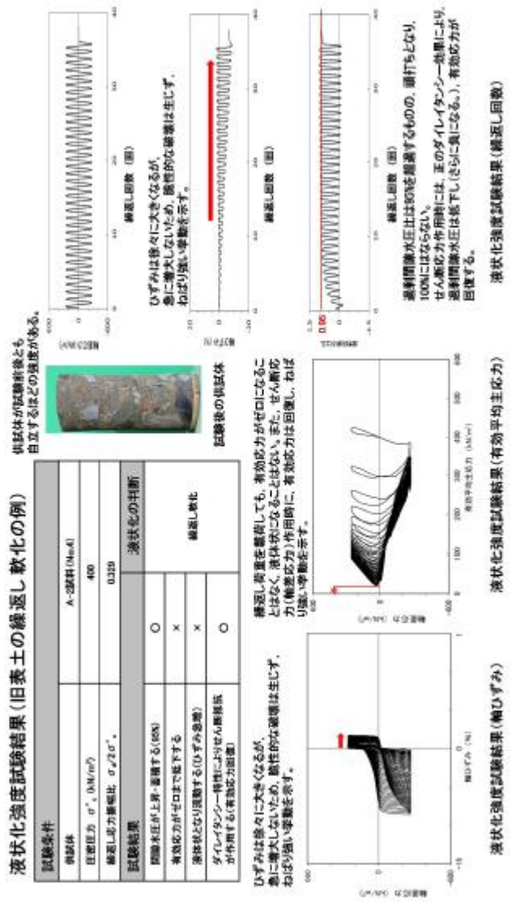
第11-4-6 表 液状化試験結果（A-3 地点の新期砂層・沖積層）

試料番号			#4-3-1			#4-3-2			#4-3-3		
深度 GL-（m）			13.04～13.51			13.00～13.68			14.96～15.43		
土質材料			新期砂層・沖積層			新期砂層・沖積層			新期砂層・沖積層		
供試体 No.			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
土粒子の密度 ρ_s (g/cm³)			2.719				2.780				2.685			
圧密圧力 σ_c (kN/m²)			150				150				150			
せん断応力比 τ_d/σ_c'			0.81	0.70	0.62	0.49	0.81	0.91	0.72	0.54	0.60	0.81	0.70	1.02
繰返し回数	せん断ひずみ両振幅	γ_{DA}=1.5%	0.5	0.6	0.7	2	0.5	0.3	0.6	0.9	0.8	0.3	0.7	0.3
		γ_{DA}=2.0%	0.6	0.8	0.9	3.5	0.7	0.4	0.8	1.5	1.5	0.5	0.9	0.4
		γ_{DA}=3.0%	0.9	2	2	8.5	1	0.6	2	4	5	0.7	3	0.5
		γ_{DA}=7.5%	15	19	18	50	24	9	24	21	32	9	22	8
		γ_{DA}=15%	76	96	53	146	112	91	77	65	94	43	60	77
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		28	28	30	40	38	44	34	24	38	25	28	39

：最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を越えるもの）
下線：次ページに例示する試験結果

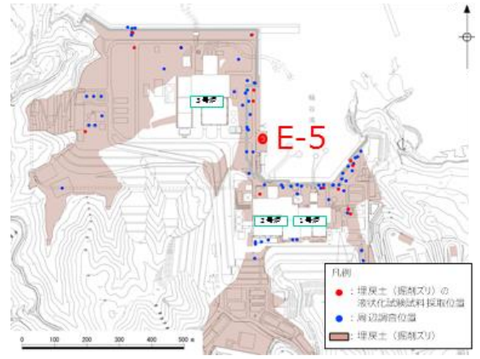


第11-4-13 図 液状化試験結果の例（A-3 地点の新期砂層・沖積層）



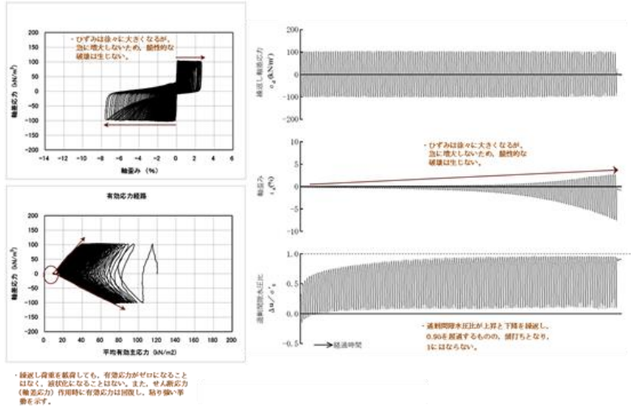
第5.3-3図 旧表土の液状化強度試験結果（A-2 試料，供試体No.4）

第3-2-5 表　液状化試験結果（Ｅ－５地点の埋戻土（掘削ズリ））



試料番号			S5-1	S5-3
深度（m）			1.50～2.35	3.35～3.98
土質材料			埋戻土（掘削ズリ）	
供試体 No.			1	1
土粒子の密度 ρ_s(g/cm³)			2.687	2.705
圧密応力 σ'_c(kN/m²)			120	120
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$			0.426	0.647
繰返回数	両振幅軸ひずみ	DA＝1%	66.9	15.8
		DA＝2%	94.6	29.2
		DA＝5%	121.6	62.2
		DA＝10%	145.0	115.0
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		91.0	41.0

：最大間隙水圧比が 1.0 に近づく（0.95 を超えるもの）
：DA=5%の値を繰り返し回数 N とする
下線：下図に例示する試験結果



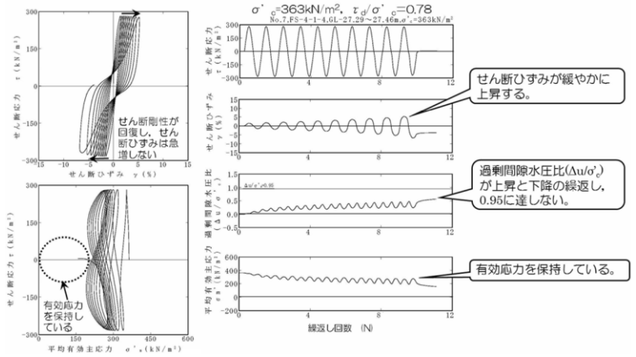
第3-2-10 図　液状化試験結果の例（Ｅ－５地点の埋戻土（掘削ズリ））

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

第11-4-7 表 液状化試験結果（0-1 地点の洪積砂質土層Ⅰ）

試料番号			#6-1-1				#6-1-2				#6-1-3			
深度 GL.- (m)			27.68~28.16				26.95~27.63				26.88~27.48			
土質材料			洪積砂質土層Ⅰ				洪積砂質土層Ⅰ				洪積砂質土層Ⅰ			
供試体 No.			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
土粒子の密度 ρ_s (g/cm³)			2.649				2.677				2.669			
圧密圧力 σ_c' (kN/m²)			363				363				363			
せん断応力比 τ_d/σ_c'			0.51	0.60	0.78	0.64	0.51	0.61	0.78	0.68	0.51	0.46	0.35	0.64
繰返し回数	せん断ひずみ両振幅	γ_{DA}=1.5%	8.5	0.9	0.5	0.7	0.9	0.7	0.5	0.5	0.5	42	200〉	0.9
		γ_{DA}=2.0%	18	5.5	0.7	0.9	6	1	0.7	0.7	0.7	200〉	-	3.5
		γ_{DA}=3.0%	30	26	1.5	2	35	12	1	1	1	-	-	15
		γ_{DA}=7.5%	54	71	5	7	121	46	7	6	8.5	-	-	45
		γ_{DA}=15%	-	-	-	-	127	53	-	-	12	-	-	-
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

：最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を越えるもの）
下線：次ページに例示する試験結果



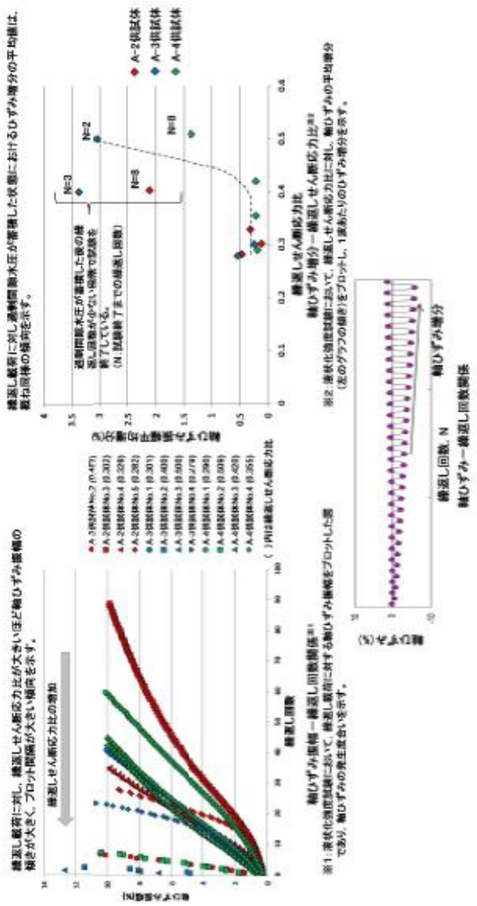
第11-4-14 図 液状化試験結果の例（0-1 地点の洪積砂質土層Ⅰ）

第11-4-8 表 液状化試験結果（0-1 地点の洪積砂質土層Ⅱ）

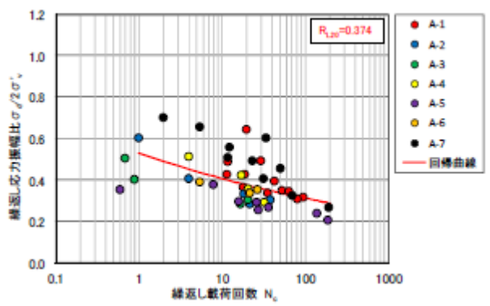
試料番号			#6-2-1				#6-2-2				#6-2-3			
深度 GL.- (m)			31.65~34.75				32.10~32.95				32.95~33.55			
土質材料			洪積砂質土層Ⅱ				洪積砂質土層Ⅱ				洪積砂質土層Ⅱ			
供試体 No.			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
土粒子の密度 ρ_s (g/cm³)			2.664				2.646				2.672			
圧密圧力 σ_c' (kN/m²)			412				412				412			
せん断応力比 τ_d/σ_c'			0.59	0.52	0.79	0.72	0.51	0.58	0.69	0.64	0.57	0.53	0.70	0.65
繰返し回数	せん断ひずみ両振幅	γ_{DA}=1.5%	1.5	6.5	0.3	0.7	5.5	0.8	0.6	1	1	2	0.7	0.9
		γ_{DA}=2.0%	5	11	0.5	1	24	1.5	0.9	5.5	4	6	1	2
		γ_{DA}=3.0%	13	19	1	5	61	7	2.5	17	14	15	3.5	5
		γ_{DA}=7.5%	36	38	2	17	111	25	8.5	38	37	34	9.5	16
		γ_{DA}=15%	-	-	-	-	116	30	-	-	43	43	11	-
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

：最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を越えるもの）
下線：次ページに例示する試験結果

女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）



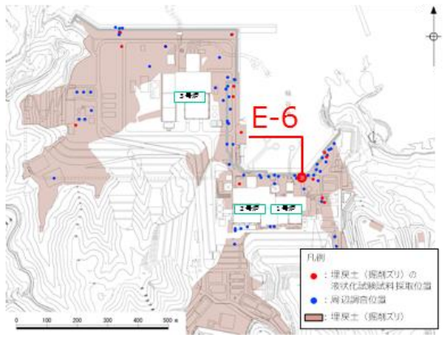
第5.3-4図 旧表土の変形特性の整理（ねばり強い挙動に対する定量評価）



第5.3-5図 旧表土の液状化強度試験結果及びR_{L20}

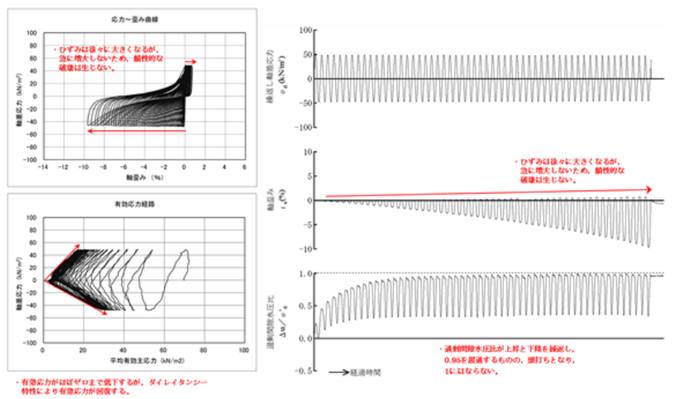
島根原子力発電所　２号炉

第3-2-6 表　液状化試験結果（Ｅ－６地点の埋戻土（掘削ズリ））



試料番号			S6-1-1	S6-1-2	S6-3
深度（m）			1.50～1.86	1.86～2.86	3.00～4.00
土質材料			埋戻土（掘削ズリ）		
供試体 No.			1	1	1
土粒子の密度 ρ_s(g/cm³)			2.663	2.685	2.695
圧密応力 σ'_c(kN/m²)			70	70	70
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$			0.276	0.461	0.345
繰返し回数	軸ひずみ両振幅	DA = 1%	30.6	8.0	10.0
		DA = 2%	41.9	17.8	16.9
		DA = 5%	69.9	34.7	35.6
		DA = 10%	118.7	47.9	54.0
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		43.0	30.0	17.0

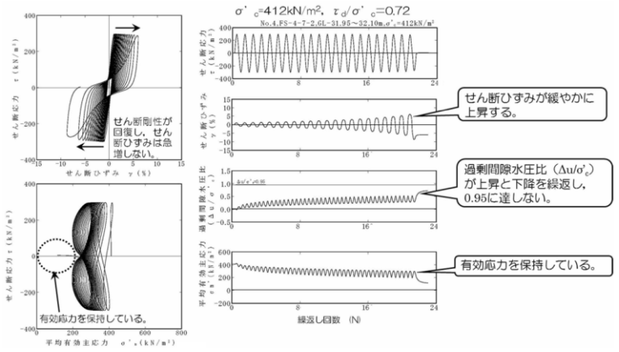
：最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)
：DA=5%の値を繰り返し回数 N とする
下線：下図に例示する試験結果



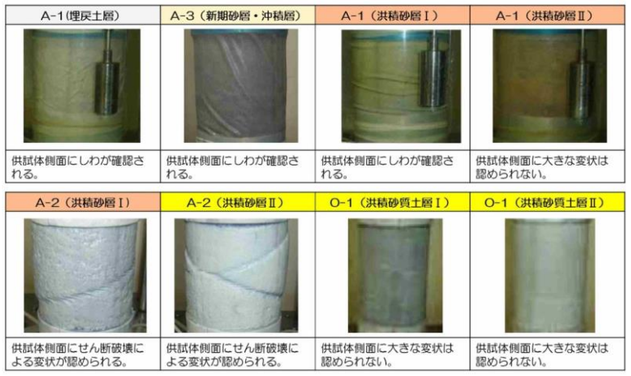
第3-2-11 図　液状化試験結果の例（Ｅ－６地点の埋戻土（掘削ズリ））

備考

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）



第11-4-15 図 液状化試験結果の例（0-1 地点の洪積砂質土層Ⅱ）



第11-4-16 図 液状化試験後の供試体状況

女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）

5.3.2 盛土の液状化強度試験結果

盛土に対する液状化強度試験の試験ケース及び結果を第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，参考資料１．液状化強度試験結果データ集に示す。

盛土の液状化強度試験の結果は，全ての試験ケース（24 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，繰返し載荷に伴い，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。繰返し載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。

盛土に対する液状化強度試験の結果は，非液状化又は繰返し軟化を示すものであり，地震時の盛土の挙動は，新潟地震の液状化被害例（第5.2-3 図）のように支持力を失う液状化事象は発生せず，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。

上記を踏まえ，施設の耐震性評価に当たっては，有効応力解析により過剰間隙水圧の上昇に伴う盛土の剛性低下を考慮した変形量等の評価を行う方針とする。

盛土の液状化強度試験結果の代表例として，O.P.+14m 盤で採取したB-1-2 試料の供試体No.１ の試験結果を第5.3-6 図に示す。B-1-2 試料のNo.１ 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，過剰間隙水圧比は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。

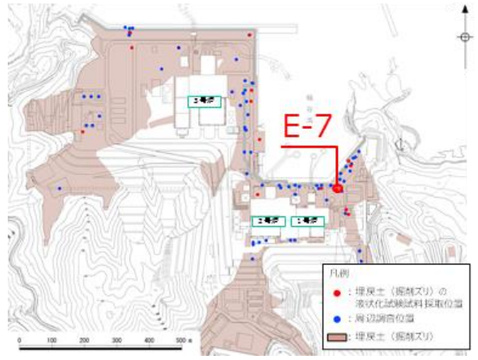
ねばり強い挙動の定量的評価の試みとして，有効応力の低下が収まった状態における軸ひずみ増分の平均値を算定した結果，繰返しせん断応力比がおおむね1.0 以下では，１回当りの平均軸ひずみの増分はわずかに約0.2%以下であり，盛土に対する液状化強度試験で見られた，ねばり強い挙動と同様の傾向を定量的に確認した（第5.3-7 図）。

盛土の液状化強度試験結果から，繰返し載荷回数20 回に該当する液状化強度比R_{L20}を算出すると，R_{L20}=0.673 である（第5.3-8 図）。

なお，2011 年東北地方太平洋沖地震において，構内の盛土に沈

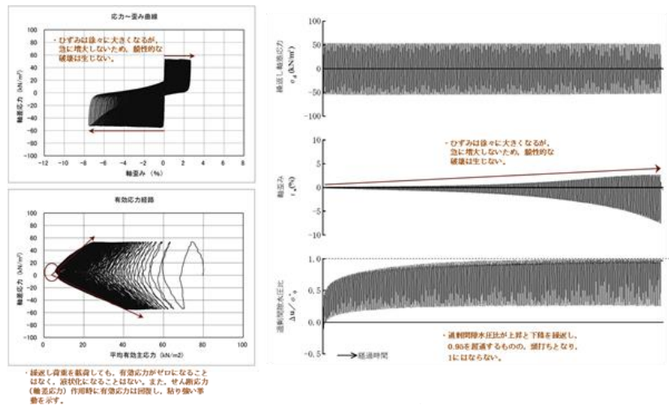
島根原子力発電所　２号炉

第3-2-7 表　液状化試験結果（Ｅ－７地点の埋戻土（掘削ズリ））



試料番号			S7-3		
深度（m）			3.40～4.40	3.40～4.40	3.40～4.40
土質材料			埋戻土（掘削ズリ）		
供試体 No.			1	3	4
土粒子の密度 ρ_s(g/cm³)			2.701		
圧密応力 σ'c(kN/m²)			80		
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_c$			0.336	0.457	0.366
繰返回数	軸ひずみ両振幅	DA = 1%	96.6	0.8	9.0
		DA = 2%	167.7	2.5	21.3
		DA = 5%	252.8	10.9	52.9
		DA = 10%	324.6	24.8	99.3
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		127.0	14.0	38.0

：最大間隙水圧比が 1.0 に近づく（0.95 を超えるもの）
：DA=5%の値を繰り返し回数 N とする
下線：下図に例示する試験結果



第3-2-12 図　液状化試験結果の例（Ｅ－７地点の埋戻土（掘削ズリ））

備考

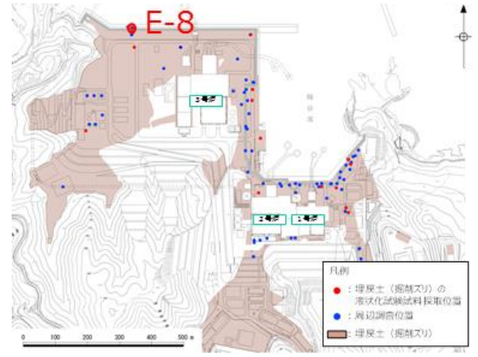
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.６版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

下が生じており，その実績を整理した結果及び液状化の可能性も含めた要因について考察した結果を参考資料６に示す。

第5.3-2表 液状化強度試験結果（盛土）

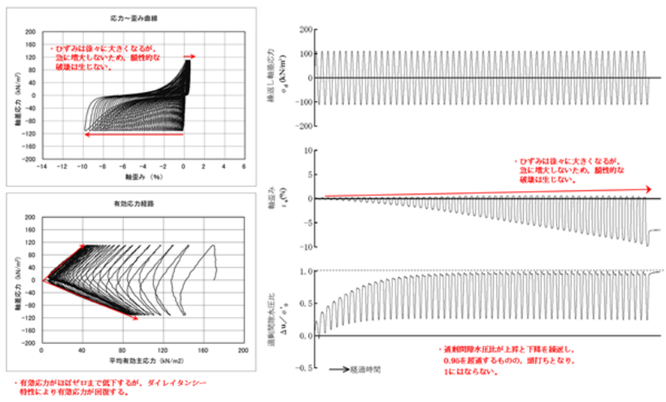
試料番号			B-1-1				B-1-2				B-1-3			
深度(GL-(m))			1.70-2.95				5.00-6.95				6.00-9.95			
土質材料			盛土(埋戻土)				盛土(埋戻土)				盛土(埋戻土)			
供試体No.			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
土粒子の密度ρs(g/cm³)			2.693				2.693				2.712			
圧密応力σ'c(kN/m²)			50.0				120.0				180.0			
繰返し応力振幅比 σd/2σ'c			0.591	0.706	0.809	1.228	0.309	0.501	0.663	0.424	1.160	1.402	1.257	1.489
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	DA=1%	31.5	14.7	3.8	0.7	93.8	4.8	0.7	16.7	3.0	1.8	0.7	0.3
		DA=2%	46.5	47.8	17.7	2.5	49.3	11.8	3.5	41.8	22.7	14.8	11.7	0.8
		DA=5%	89.4	-	51.0	7.0	75.7	25.8	12.8	405.8	181.9	28.8	113.8	3.0
		DA=10%	130.4	-	105.7	11.9	146.5	49.8	89.0	-	-	-	148.1	4.0
	過剰間隙水圧比95% N_{u95}		55	77	25	4	44	12	14	58	-	-	147	4
試料番号			B-1-4				B-2-1				B-2-2			
深度(GL-(m))			1.50-2.50				1.50-2.45				1.50-2.50			
土質材料			盛土(埋戻土)				盛土(埋戻土)				盛土(埋戻土)			
供試体No.			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
土粒子の密度ρs(g/cm³)			2.705				2.710				2.699			
圧密応力σ'c(kN/m²)			50.0				50.0				50.0			
繰返し応力振幅比 σd/2σ'c			0.463	0.397	0.437	0.528	1.199	0.406	0.669	0.897	0.407	0.290	0.367	0.485
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	DA=1%	2.0	16.7	8.5	2.5	0.2	97.6	25.3	2.0	0.8	5.0	11.8	23.2
		DA=2%	5.0	22.1	16.0	7.5	0.5	138.4	47.6	8.5	2.0	11.7	18.2	40.4
		DA=5%	18.9	71.7	34.4	18.3	1.5	221.0	149.1	28.8	5.0	25.0	38.8	85.2
		DA=10%	22.0	-	86.4	42.8	3.0	-	-	58.9	11.8	83.2	-	-
	過剰間隙水圧比95% N_{u95}		-	53	-	28	-	167	26	14	5	22	40	90

第3-2-8 表　液状化試験結果（Ｅ－８地点の埋戻土（掘削ズリ））



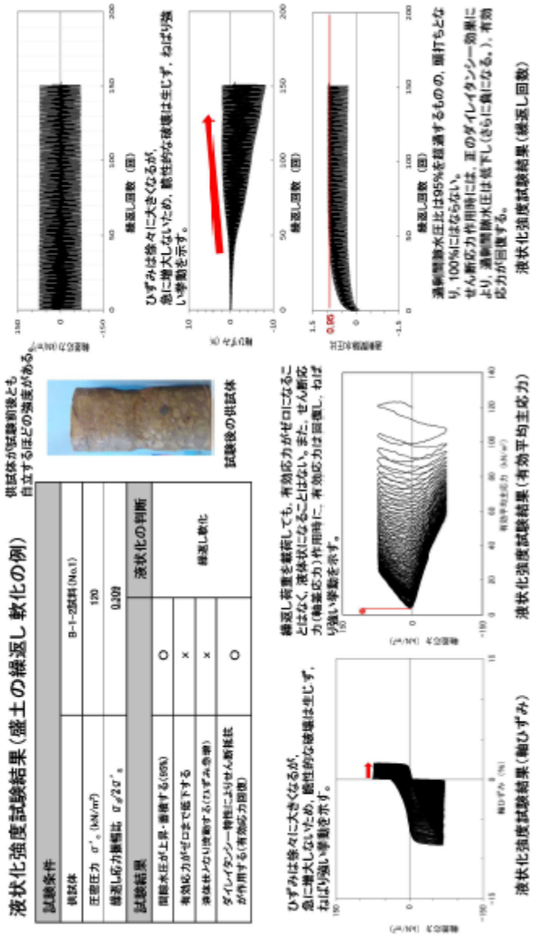
試料番号			S8-2	S8-4	
深度（m）			2.50～3.50	4.50～5.00	
土質材料			埋戻土（掘削ズリ）		
供試体 No.			2	3	4
土粒子の密度 ρ_s(g/cm³)			2.672	2.670	
圧密応力 σ'_c(kN/m²)			170	170	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$			0.327	0.351	0.403
繰返回数	軸ひずみ両振幅	DA = 1%	9.5	5.5	2.0
		DA = 2%	16.8	10.9	5.5
		DA = 5%	31.6	23.6	22.8
		DA = 10%	55.8	34.8	66.8
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		19.0	6.0	3.0

：最大間隙水圧比が 1.0 に近づく（0.95 を超えるもの）
：DA=5%の値を繰り返し回数 N とする
下線：下図に例示する試験結果



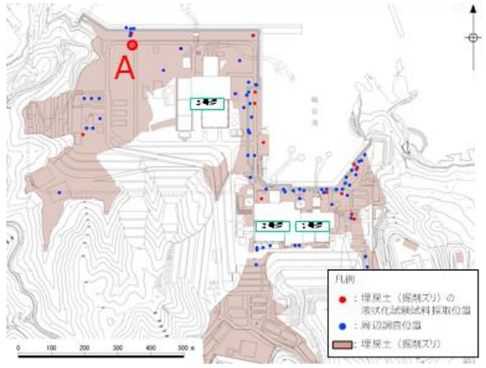
第3-2-13 図　液状化試験結果の例（Ｅ－８地点の埋戻土（掘削ズリ））

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



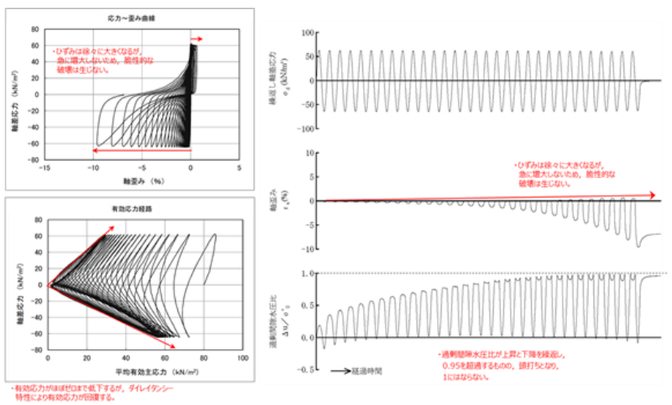
第5.3-6図 盛土の液状化強度試験結果（B-1-2 試料，供試体No.1）

第3-2-9 表　液状化試験結果（Ａ地点の埋戻土（掘削ズリ））



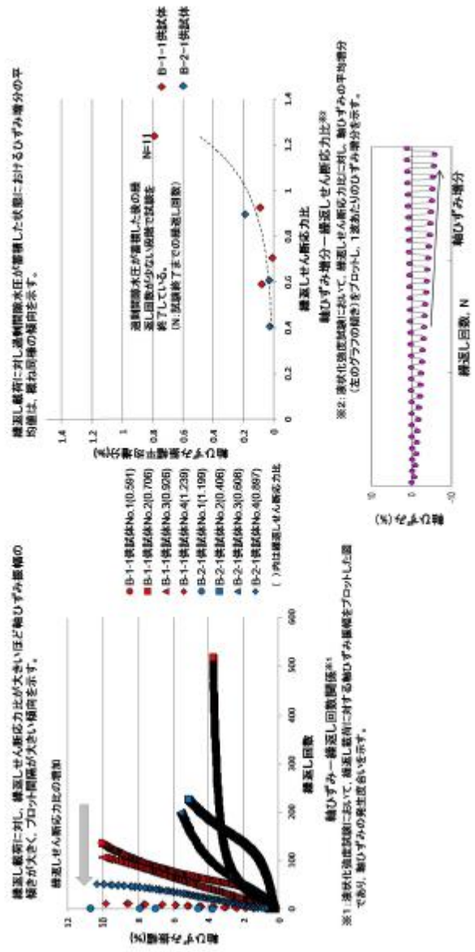
試料番号			A	
深度（m）			0.30～0.70	0.30～0.70
土質材料			埋戻土（掘削ズリ）	
供試体 No.			1	2
土粒子の密度 ρ_s(g/cm³)			2.647	2.647
圧密応力 σ'_c(kN/m²)			80	80
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$			0.395	0.498
繰返回数	両振幅軸ひずみ	DA = 1%	14.9	7.0
		DA = 2%	20.5	10.0
		DA = 5%	26.2	13.0
		DA = 10%	31.0	16.0
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		22.0	–

：最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)
：DA=5%の値を繰り返し回数 N とする
下線：下図に例示する試験結果

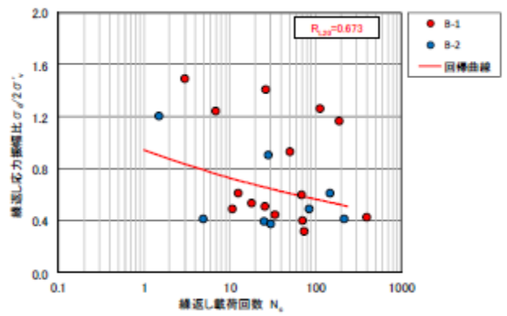


第3-2-14 図　液状化試験結果の例（Ａ地点の埋戻土（掘削ズリ））

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

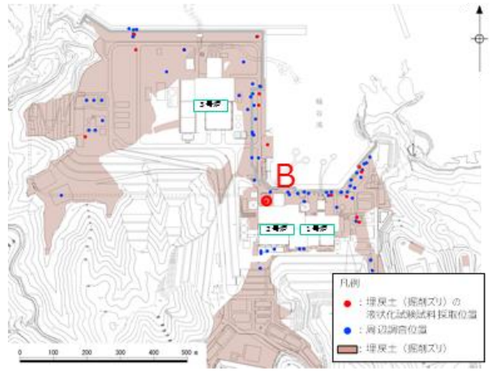


第5.3-7図 盛土の変形特性の整理（ねばり強い挙動に対する定量評価）



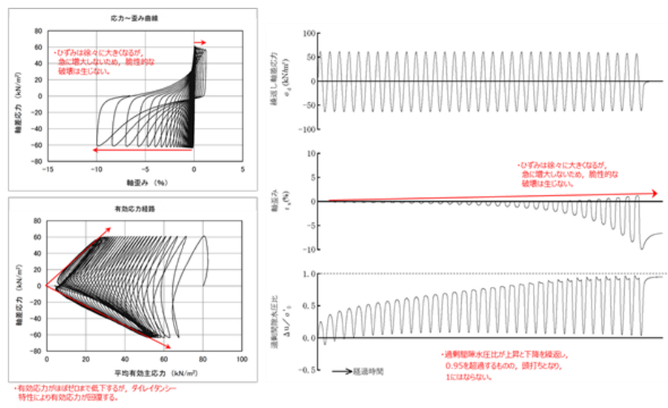
第5.3-8図 盛土の液状化強度試験結果及びRL20

第3-2-10 表　液状化試験結果（Ｂ地点の埋戻土（掘削ズリ））



試料番号			B	
深度（m）			0.30～0.90	0.30～0.90
土質材料			埋戻土（掘削ズリ）	
供試体 No.			1	2
土粒子の密度 ρ_s(g/cm^3)			2.684	2.684
圧密応力 σ'_c(kN/m^2)			80	80
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$			0.388	0.452
繰返回数	軸ひずみ両振幅	DA = 1%	18.9	12.0
		DA = 2%	24.7	15.0
		DA = 5%	29.8	17.0
		DA = 10%	33.6	19.0
	過剰間隙水圧比　95% N_{u95}		29.0	－

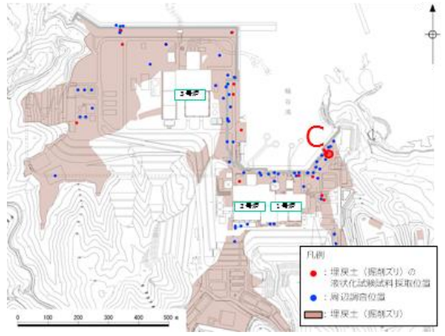
：最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)
：DA=5%の値を繰り返し回数 N とする
下線：下図に例示する試験結果



第3-2-15 図　液状化試験結果の例（Ｂ地点の埋戻土（掘削ズリ））

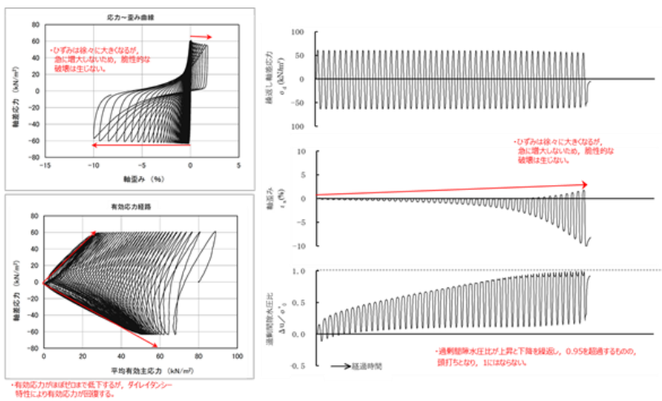
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 3-2-11 表　液状化試験結果（C地点の埋戻土（掘削ズリ））



試料番号			C			
深度（m）			0.30～0.90	0.30～0.90	0.30～0.90	0.30～0.90
土質材料			埋戻土（掘削ズリ）			
供試体 No.			1	2	3	4
土粒子の密度 ρ_s(g/cm^3)			2.659	2.659	2.659	2.659
圧密応力 σ'_c(kN/m^2)			120	80	80	80
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$			0.350	0.391	0.514	0.655
繰返し回数	両振幅軸ひずみ	DA = 1%	28.0	24.0	6.5	1.5
		DA = 2%	36.0	33.0	11.0	4.5
		DA = 5%	42.0	40.0	17.0	8.0
		DA = 10%	47.0	46.0	21.0	10.0
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		43.0	39.0	18.0	9.5

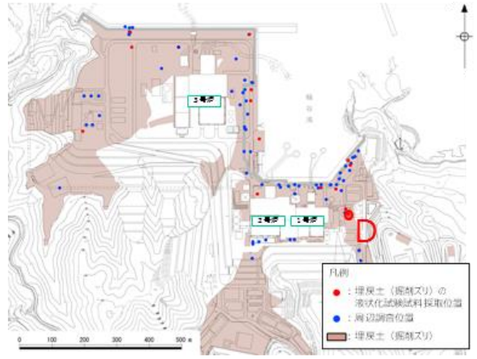
：最大間隙水圧比が 1.0 に近づく（0.95 を超えるもの）
：DA=5%の値を繰り返し回数 N とする
下線：下図に例示する試験結果



第3-2-16 図　液状化試験結果の例（C地点の埋戻土（掘削ズリ））

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第3-2-12 表　液状化試験結果（D地点の埋戻土（掘削ズリ））

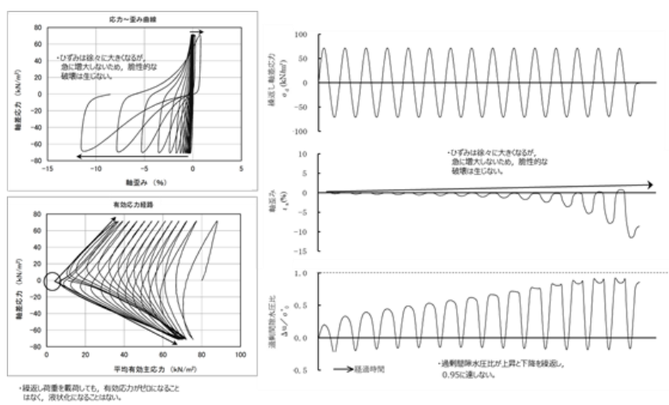


試料番号			D
深度（m）			0.30～0.50
土質材料			埋戻土（掘削ズリ）
供試体　No.			1
土粒子の密度 ρ_s(g/cm^3)			2.653
圧密応力 σ'_c(kN/m^2)			80
繰返し応力振幅比　$\sigma_d/2\sigma'_0$			0.446
繰返回数	軸ひずみ両振幅	DA = 1%	8.5
		DA = 2%	11.0
		DA = 5%	13.0
		DA = 10%	15.0
	過剰間隙水圧比　95% N_{u95}		－

：最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)

：DA=5%の値を繰り返し回数 N とする

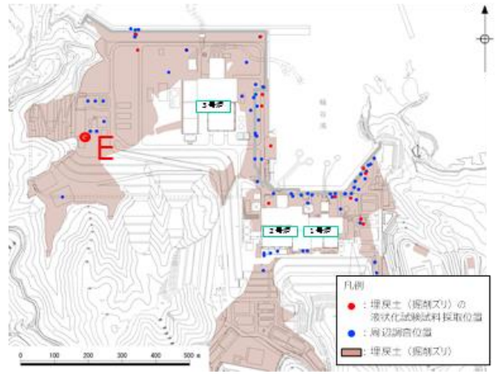
下線：下図に例示する試験結果



第3-2-17 図　液状化試験結果の例（D地点の埋戻土（掘削ズリ））

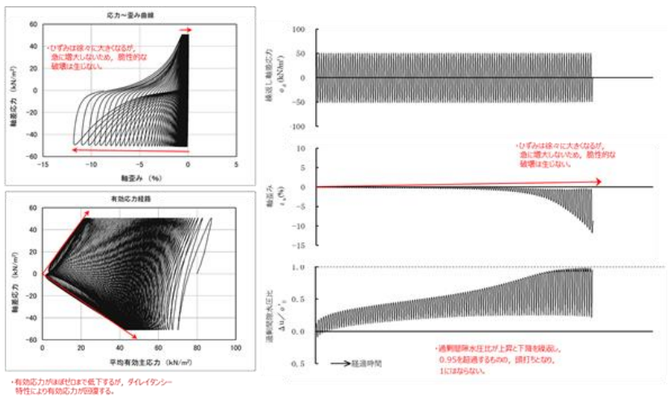
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第 3-2-13 表　液状化試験結果（Ｅ地点の埋戻土（掘削ズリ））



試料番号			E
深度（m）			0.30～0.70
土質材料			埋戻土（掘削ズリ）
供試体 No.			1
土粒子の密度 ρ_s(g/cm^3)			2.678
圧密応力 σ'_c(kN/m^2)			80
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$			0.317
繰返回数	軸ひずみ両振幅	DA = 1%	84.0
		DA = 2%	94.0
		DA = 5%	104.0
		DA = 10%	114.0
	過剰間隙水圧比　95% N_{u95}		100.0

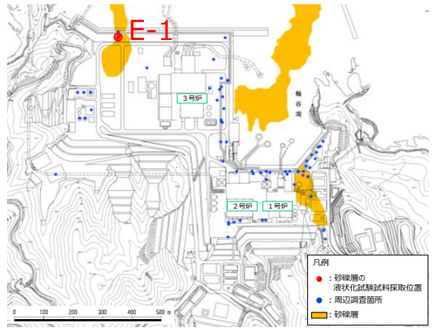
：最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)
：DA=5%の値を繰り返し回数 N とする
下線：下図に例示する試験結果



第3-2-18 図　液状化試験結果の例（Ｅ地点の埋戻土（掘削ズリ））

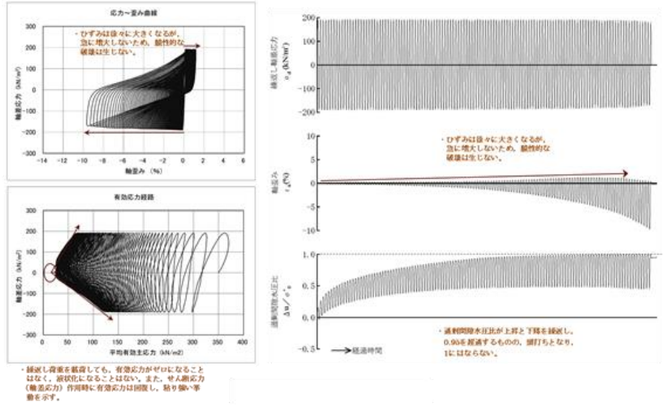
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第3-2-14 表　液状化試験結果（Ｅ－１地点の砂礫層）



試料番号			S1-23-3		S1-24	S1-25	S1-26
深度（m）			23.93～24.55		24.85～25.55	25.55～26.50	26.50～27.40
土質材料			砂礫層				
供試体 No.			1	2	1	1	1
土粒子の密度 ρ_s(g/cm^3)			2.690		2.685	2.724	2.730
圧密応力 σ'_c(kN/m^2)			350		350	350	350
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$			0.301	0.273	0.381	0.281	0.323
繰返回数	軸ひずみ両振幅	DA = 1%	4.5	44.7	1.5	15.1	3.0
		DA = 2%	9.5	66.7	4.5	22.7	5.0
		DA = 5%	18.6	95.0	10.8	33.6	8.5
		DA = 10%	30.6	122.8	19.5	44.7	－
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		16.0	64.0	9.0	29.0	4.0

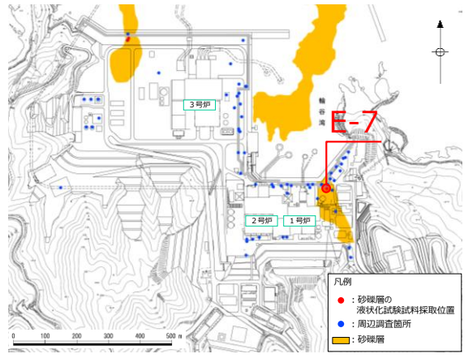
：最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)
：DA=5%の値を繰り返し回数 N とする
下線：下図に例示する試験結果



第3-2-19 図　液状化試験結果の例（Ｅ－１地点の砂礫層）

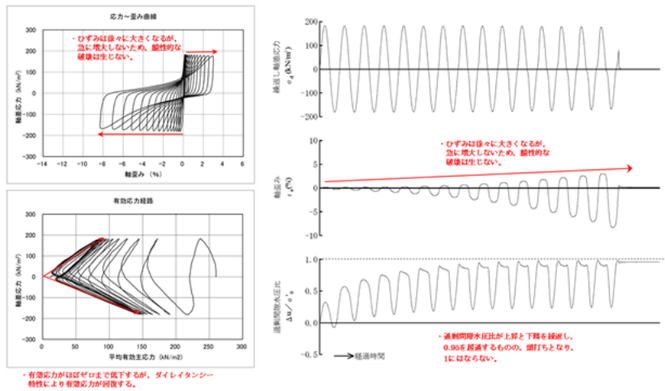
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第3-2-15 表　液状化試験結果（Ｅ－７地点の砂礫層）



試料番号			S7-15	S7-16		S7-17
深度（m）			15.70～16.60	16.00～16.80		17.60～18.60
土質材料			砂礫層			
供試体 No.			1	1	2	1
土粒子の密度 ρ_s(g/cm^3)			2.702	2.707		2.709
圧密応力 σ'_c(kN/m^2)			260	260		260
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$			0.401	0.300	0.350	0.324
繰返回数	両振幅軸ひずみ	DA = 1%	0.7	21.0	3.5	5.5
		DA = 2%	2.0	28.7	6.0	8.0
		DA = 5%	6.0	39.6	10.4	12.3
		DA = 10%	11.8	48.6	14.4	16.4
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		6.0	27.0	9.0	9.0

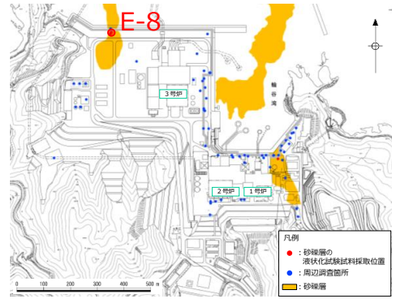
：最大間隙水圧比が 1.0 に近づく（0.95 を超えるもの）
：DA=5%の値を繰り返し回数 N とする
下線：下図に例示する試験結果



第3-2-20 図　液状化試験結果の例（Ｅ－７地点の砂礫層）

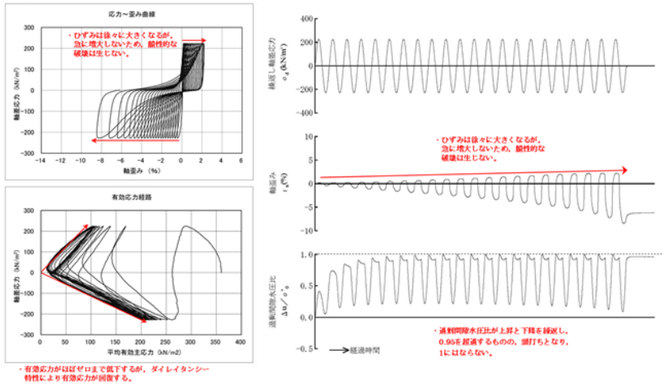
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第3-2-16 表　液状化試験結果（Ｅ－８地点の砂礫層）



試料番号		S8-23-1	S8-24		S8-25		
深度（m）		23.00～23.70	24.00～25.00		25.00～26.00		
土質材料		砂礫層					
供試体 No.		1	1	2	1	2	3
土粒子の密度 ρ_s(g/cm^3)		2.700	2.647		2.706		
圧密応力 σ'_c(kN/m^2)		360	360		360		
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$		0.302	0.314	0.276	0.301	0.352	0.251
繰返回数	両振幅軸ひずみ DA = 1%	1.0	2.5	3.0	5.5	0.8	24.7
	両振幅軸ひずみ DA = 2%	3.5	5.5	7.5	10.0	3.0	38.0
	両振幅軸ひずみ DA = 5%	10.5	13.7	16.0	17.5	7.5	56.7
	両振幅軸ひずみ DA = 10%	19.7	21.7	24.5	25.6	13.6	67.9
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}	12.0	5.0	11.0	9.0	5.0	34.0

：最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)
：DA=5%の値を繰り返し回数 N とする
下線：下図に例示する試験結果



第3-2-21 図　液状化試験結果の例（Ｅ－８地点の砂礫層）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第11-4-9 表 液状化試験結果のまとめ

	A-1 埋戻土層	A-3 新期砂層・沖積層	A-1 洪積砂層Ⅰ	A-1 洪積砂層Ⅱ	A-2 洪積砂層Ⅰ	A-2 洪積砂層Ⅱ	O-1 洪積砂質土層Ⅰ	O-2 洪積砂質土層Ⅱ
形成時期	-	新しい ―― 古い						
		沖積層	洪積層					
N値おおむね50以上	×	○	○	×	×	○	○	○
平均相対密度80%以上	×	○	○	○	○	○	○	○
液状化試験試料採取深度(GL m)	-3.5～-5.5	-13.0～-15.4	-8.0～-11.0	-13.0～-21.0	-13.2～-14.1	-20.2～-26.2	-26.9～-28.2	-31.7～-34.8
過剰間隙水圧比が0.95※を上回らない。	×	×	×	×	○	○	○	○
過剰間隙水圧比が回復する。	×	○	○	○	○	○	○	○
せん断破壊発生の有無	×	×	×	×	○	○	○	○
現象の整理	液状化	サイクリックモビリティ	サイクリックモビリティ	サイクリックモビリティ	非液状化	非液状化	非液状化	非液状化

※JGS 0541-2000において過剰間隙水圧比0.95を液状化の目安としていることによる。

第3-2-17 表　液状化試験結果のまとめ

(a) 埋戻土（掘削ズリ）(1)

	E-2			E-3		
	埋戻土（掘削ズリ）					
試料番号	S2-9※2	S2-10	S2-14-1※2	S3-9-1※2	S3-9-2※2	S3-11※2
過剰間隙水圧比95%を超えない。※1	×	×	×	×	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	×	×	×	○	○	○
液体状となり流動しない。（ひずみが急増しない。）	○	○	○	○	○	○
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。）	○	○	○	○	○	○
現象の整理	ｻｲｸﾘｯｸ ﾓﾋﾞﾘﾃｨ	ｻｲｸﾘｯｸ ﾓﾋﾞﾘﾃｨ	ｻｲｸﾘｯｸ ﾓﾋﾞﾘﾃｨ	繰返し軟化	繰返し軟化	繰返し軟化

	E-4'			E-5		
	埋戻土（掘削ズリ）					
試料番号	S4-5①※2	S4-5②※2	S4-6	S4-8-2※2	S5-1	S5-3※2
過剰間隙水圧比95%を超えない。※1	×	×	○	○	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	○	○	○	○	○	○
液体状となり流動しない。（ひずみが急増しない。）	○	○	○	○	○	○
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。）	○	○	○	○	○	○
現象の整理	繰返し軟化	繰返し軟化	非液状化	非液状化	繰返し軟化	繰返し軟化

	E-6			E-7		
	埋戻土（掘削ズリ）					
試料番号	S6-1-1※2	S6-1-2※2	S6-3①※2	S7-3①	S7-3③※2	S7-3④※2
過剰間隙水圧比95%を超えない。※1	×	×	×	×	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	×	○	×	○	○	○
液体状となり流動しない。（ひずみが急増しない。）	○	○	○	○	○	○
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。）	○	○	○	○	○	○
現象の整理	ｻｲｸﾘｯｸ ﾓﾋﾞﾘﾃｨ	繰返し軟化	ｻｲｸﾘｯｸ ﾓﾋﾞﾘﾃｨ	繰返し軟化	繰返し軟化	繰返し軟化

	E-8		
	埋戻土（掘削ズリ）		
試料番号	S8-2※2	S8-4③※2	S8-4④※2
過剰間隙水圧比95%を超えない。※1	×	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	×	○	×
液体状となり流動しない。（ひずみが急増しない。）	○	○	○
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。）	○	○	○
現象の整理	ｻｲｸﾘｯｸ ﾓﾋﾞﾘﾃｨ	繰返し軟化	ｻｲｸﾘｯｸ ﾓﾋﾞﾘﾃｨ

※1:JGS 0541-2009において過剰間隙水圧比0.95を液状化の目安としている。
※2:供試体直径の1/5を超える礫を含む一部の供試体についても試験を実施し，液状化判定の参考とした。

第3-2-17 表　液状化試験結果のまとめ

(a) 埋戻土（掘削ズリ）(2)

	A		B		C	
	埋戻土（掘削ズリ）					
試料番号	A①	A②	B①	B②	C①	C②
過剰間隙水圧比95%を超えない。※	×	○	×	○	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	×	○	×	○	×	×
液体状となり流動しない。（ひずみが急増しない。）	○	○	○	○	○	○
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。）	○	○	○	○	○	○
現象の整理	ｻｲｸﾘｯｸ ﾓﾋﾞﾘﾃｨ	非液状化	ｻｲｸﾘｯｸ ﾓﾋﾞﾘﾃｨ	非液状化	ｻｲｸﾘｯｸ ﾓﾋﾞﾘﾃｨ	ｻｲｸﾘｯｸ ﾓﾋﾞﾘﾃｨ

	C		D	E
	埋戻土（掘削ズリ）			
試料番号	C③	C④	D①	E①
過剰間隙水圧比95%を超えない。※	×	×	○	×
有効応力がゼロまで低下しない。	×	×	○	×
液体状となり流動しない。（ひずみが急増しない。）	○	○	○	○
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。）	○	○	○	○
現象の整理	ｻｲｸﾘｯｸ ﾓﾋﾞﾘﾃｨ	ｻｲｸﾘｯｸ ﾓﾋﾞﾘﾃｨ	非液状化	ｻｲｸﾘｯｸ ﾓﾋﾞﾘﾃｨ

※:JGS 0541-2009において過剰間隙水圧比0.95を液状化の目安としている。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第11-4-10 表 液状化試験結果の分類

対象層	A-1（埋戻土層）	A-1（洪積砂層Ⅰ） A-1（洪積砂層Ⅱ） A-3（新期砂層・沖積層）	A-2（洪積砂層Ⅰ） A-2（洪積砂層Ⅱ） O-1（洪積砂質土層Ⅰ） O-1（洪積砂質土層Ⅱ）
液状化試験の状況	• 過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を上回る）。 • 有効応力がゼロになる。 • ひずみが急激に上昇する。	• 過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づく（0.95を上回る）。 • 有効応力が減少するが，回復する。 • ひずみが緩やかに上昇する。	• 過剰間隙水圧比が0.95を上回らない。 • 有効応力を保持している。 • ひずみが緩やかに上昇する。
試験結果の分類	試験結果は，液状化である。	• 試験結果は，サイクリックモビリティである。 • 有効応力が回復するため支持力が期待できる。	試験結果は，非液状化である。
基準地震動Ssに対する液状化判定	基準地震動Ssに対する液状化判定（F_L法）を実施	基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認	

第3-2-17 表　液状化試験結果のまとめ

(b) 砂礫層

	E-1					E-7
	砂礫層					
試料番号	S1-23-3①※2	S1-23-3②	S1-24	S1-25※2	S1-26※2	S7-15
過剰間隙水圧比95%を超えない。※1	×	×	×	×	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	○	○	○	○	×	○
液体状となり流動しない。（ひずみが急増しない。）	○	○	○	○	○	○
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。）	○	○	○	○	○	○
現象の整理	繰返し軟化	繰返し軟化	繰返し軟化	繰返し軟化	ｻｲｸﾘｯｸﾓﾋﾞﾘﾃｨ	繰返し軟化

	E-7		E-8			
	砂礫層					
試料番号	S7-16①※2	S7-16②	S7-17	S8-23-1	S8-24①	S8-24②
過剰間隙水圧比95%を超えない。※1	×	×	×	×	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	×	×	○	○	×	×
液体状となり流動しない。（ひずみが急増しない。）	○	○	○	○	○	○
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。）	○	○	○	○	○	○
現象の整理	ｻｲｸﾘｯｸﾓﾋﾞﾘﾃｨ	ｻｲｸﾘｯｸﾓﾋﾞﾘﾃｨ	繰返し軟化	繰返し軟化	ｻｲｸﾘｯｸﾓﾋﾞﾘﾃｨ	ｻｲｸﾘｯｸﾓﾋﾞﾘﾃｨ

	E-8		
	砂礫層		
試料番号	S8-25①※2	S8-25②	S8-25③
過剰間隙水圧比95%を超えない。※1	×	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	○	○	○
液体状となり流動しない。（ひずみが急増しない。）	○	○	○
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。）	○	○	○
現象の整理	繰返し軟化	繰返し軟化	繰返し軟化

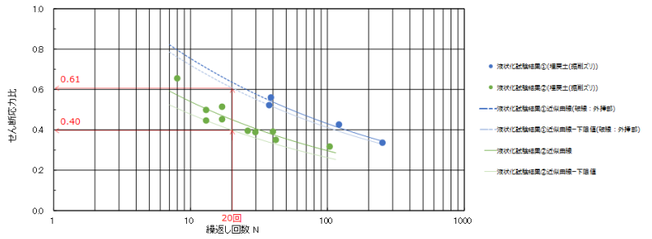
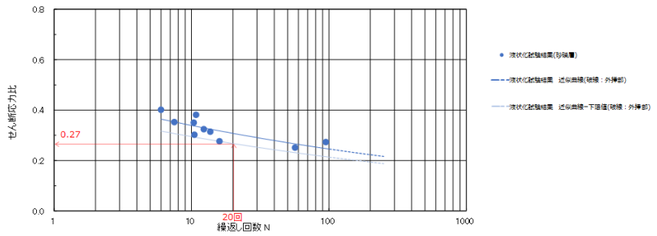
※1:JGS 0541-2009において過剰間隙水圧比0.95を液状化の目安としている。
※2:供試体直径の1/5を超える礫を含む一部の供試体についても試験を実施し，液状化判定の参考とした。

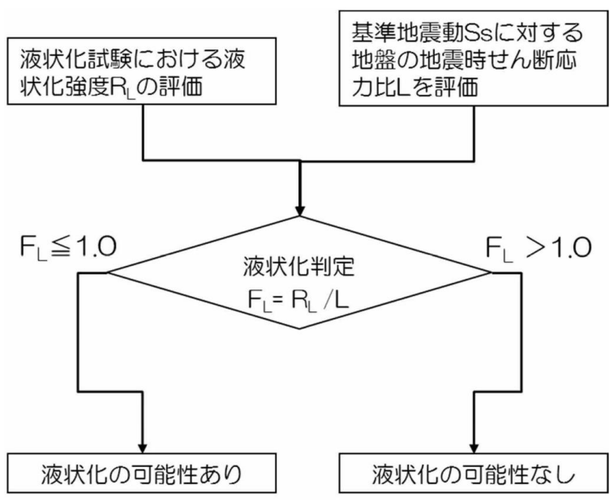
第3-2-18 表　埋戻土（掘削ズリ）の液状化試験結果（参考値）

	E-3	E-6	E-8
試料番号	S3-9-2	S6-3	S8-2
写真			

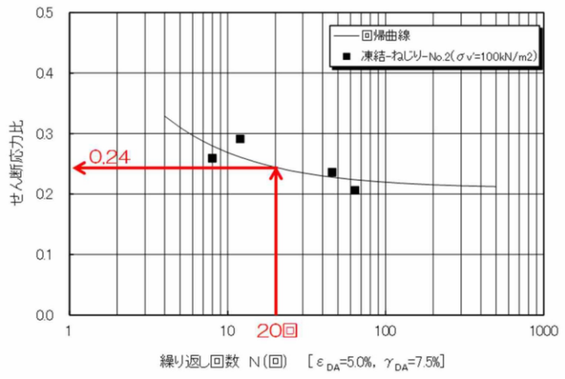
第3-2-19 表　液状化試験結果の分類

対象層	埋戻土（掘削ズリ）	砂礫層
液状化試験の状況	• 過剰間隙水圧比が0.95を上回るが，有効応力は0にならない。 なお，一部の供試体では，過剰間隙水圧比が0.95を下回る。 • 有効応力は減少するが，回復する。 • ひずみが緩やかに上昇する。	• 過剰間隙水圧比が0.95を上回るが，有効応力は0にならない。 • 有効応力は減少するが，回復する。 • ひずみが緩やかに上昇する。
試験結果の分類	• 試験結果は，非液状化又は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）であり，液状化ではない。 • 有効応力は維持又は回復するため，支持力が期待できる。	• 試験結果は，繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）であり，液状化ではない。 • 有効応力は維持又は回復するため，支持力が期待できる。
基準地震動Ssに対する液状化判定	基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認	

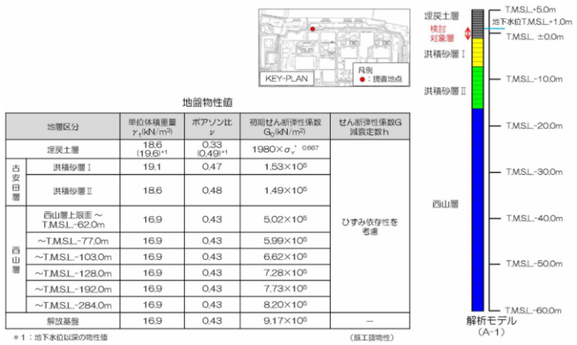
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		液状化試験結果（埋戻土（掘削ズリ））による液状化強度曲線を第3-2-22 図に示す。液状化強度曲線は，試験結果から得られる近似曲線が試験結果の下限値を通るように保守的に設定する。 表層採取試料による供試体は，人工地盤である敷地の被覆層（埋戻土（掘削ズリ））を再現するため粒度調整及び密度調整を行い作製した。一方，敷地の埋立工事から１，２号炉エリアで30年以上，３号炉エリアで10年以上経過しており，被覆層（埋戻土（掘削ズリ））は経年的な圧密を受けていることから，液状化試験結果①（ロータリー式三重管サンプラー）は液状化試験結果②（表層試料採取）の上側に位置する。 上記と同様に，液状化試験結果（砂礫層）による液状化強度曲線を第3-2-23 図に示す。  第3-2-22 図　埋戻土（掘削ズリ）の液状化強度曲線  第3-2-23図　砂礫層の液状化強度曲線	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
5. 基準地震動Ss に対する液状化判定（FL 法） A-1 地点の埋戻土層については液状化試験結果が液状化を示していることから道路橋示方書の液状化判定（F_L 法）を実施し，基準地震動Ss 作用時の液状化の有無を判定する。第11-5-1 図にFL 法による液状化判定のフローを示す。 液状化判定（F_L 法）に用いるA-1 地点の埋戻土層の液状化強度R_L は，先述の液状化試験結果に基づいて設定する。第11-5-2 図に液状化試験結果に基づく液状化強度R_L を示す。 基準地震動Ss が作用した際のA-1 地点の埋戻土層に発生するせん断応力比を一次元逐次非線形解析より求める。第11-5-3 図に解析用物性値及び解析モデルを，第11-5-4 図に地震応答解析結果を示す。 地震応答解析結果における最大せん断応力と液状化試験から求まる液状化強度R_L を比較し，第11-5-1 表に示す。液状化判定（F_L 法）の結果，A-1 地点の埋戻土層は，全ての基準地震動Ss に対して液状化する可能性があると判断される。  第11-5-1 図 F_L 法による液状化判定のフロー			・資料構成の相違 【柏崎6/7】 柏崎6/7では「液状化」を示す土層があるため，ＦＬ法による液状化判定を行っている （以下，柏崎 6/7 の 5 章はすべて同じ理由である）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

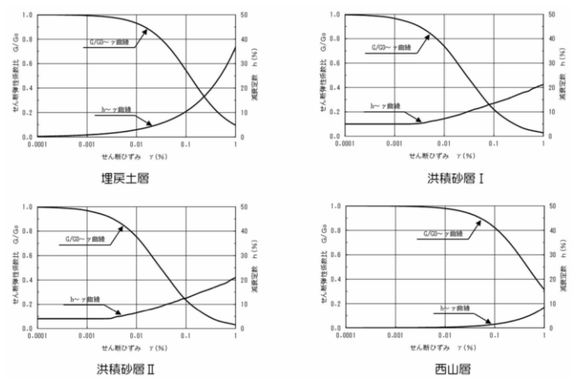


第11-5-2 図 液状化試験結果に基づく液状化強度R_l（埋戻土層）



(a) 基本物性

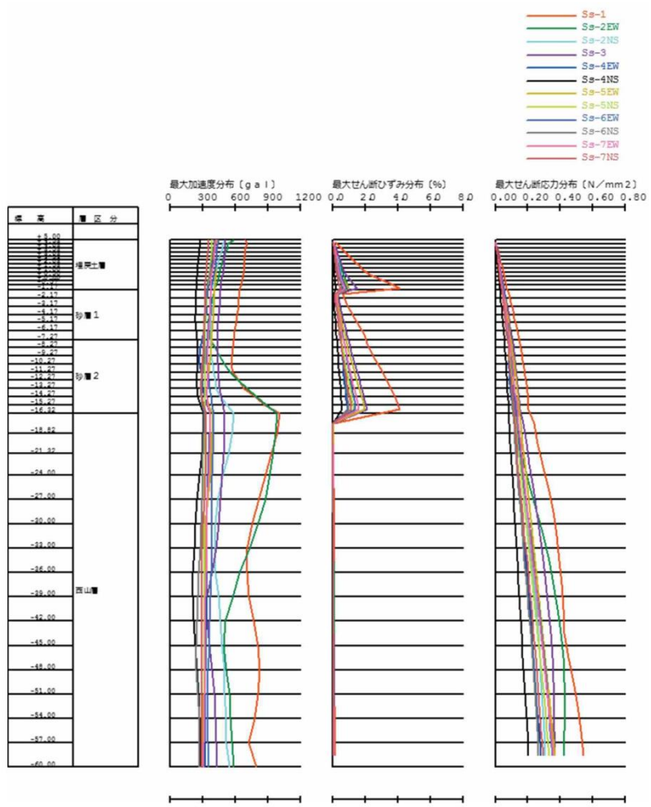
第11-5-3 図 解析用物性値及び解析モデル（A-1 地点）



(b) せん断剛性及び減衰のひずみ依存性

第11-5-3 図 解析用物性値及び解析モデル（A-1 地点）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



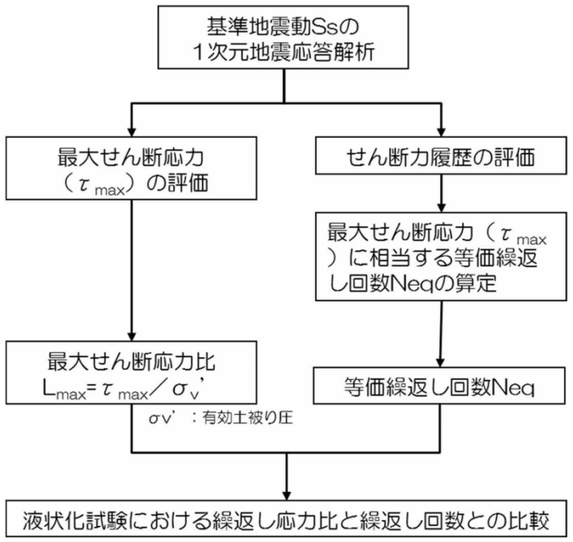
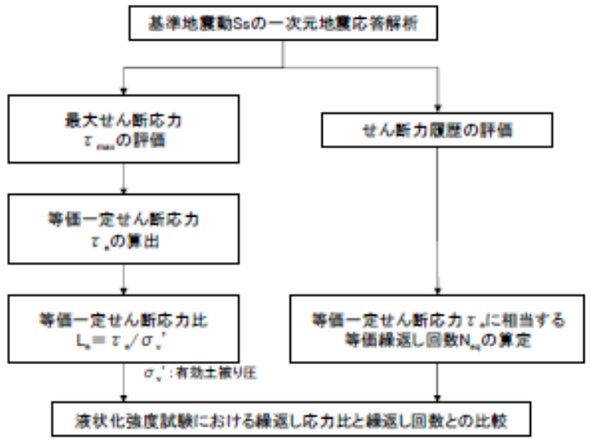
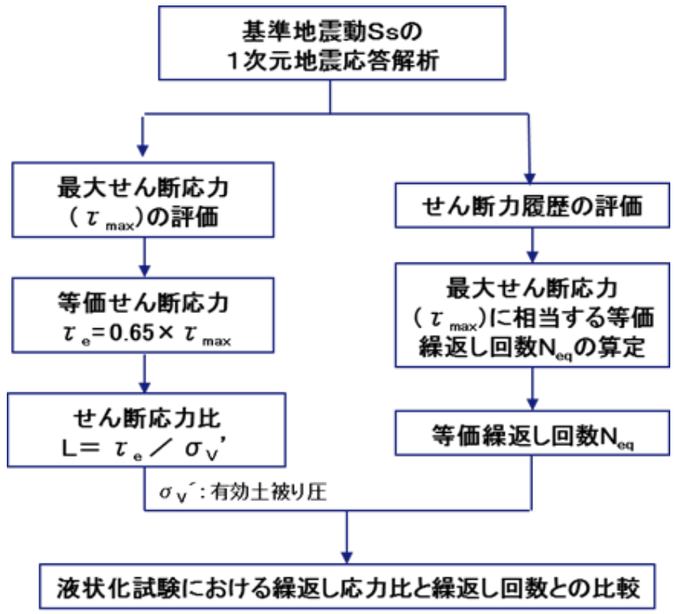
第11-5-4 図 地震応答解析結果（A-1 地点）

第11-5-1 表 埋戻土層の液状化判定（F_L 法）結果

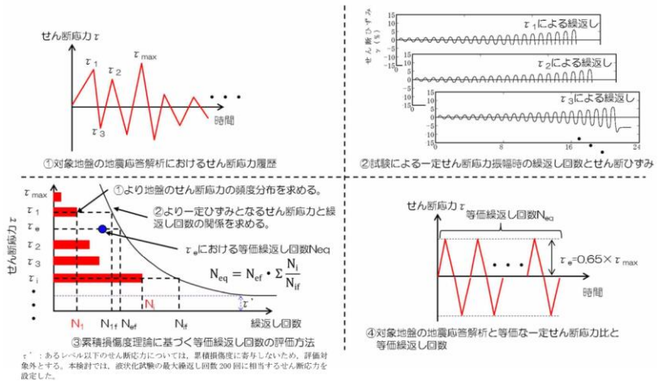
基準 地震動 Ss	最大せん断応力比 L	液状化強度 R_L	F_L 値 $=R_L/L$	評価
Ss1	0.76	0.24	0.32	液状化
Ss2EW	0.51		0.47	液状化
Ss2NS	0.47		0.51	液状化
Ss3	0.57		0.42	液状化
Ss4EW	0.44		0.55	液状化
Ss4NS	0.30		0.80	液状化
Ss5EW	0.51		0.47	液状化
Ss5NS	0.44		0.55	液状化
Ss6EW	0.49		0.49	液状化
Ss6NS	0.43		0.56	液状化
Ss7EW	0.47		0.51	液状化
Ss7NS	0.40		0.60	液状化

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
6. 基準地震動Ss に対する液状化試験の妥当性確認 新期砂層・沖積層及び古安田層中の砂層については，試験結果が液状化を示さず，道路橋示方書の液状化判定方法が適用できないと考えられる。このため，液状化試験が基準地震動Ss 相当の地盤の状態（繰返し応力及び繰返し回数）を模擬していることを確認する。第11-6-1 図に累積損傷度理論に基づく評価のフローを，第11-6-2 図に累積損傷度理論に基づく等価繰り返し回数の評価方法を示す。 なお，埋戻土層においては，５章に示したFL 法の判定結果から，基準地震動Ss において地盤に発生するせん断応力比よりも小さいせん断応力比で液状化する結果となっている。 評価にあって，液状化試験個所であるA-1 地点，A-2 地点，A-3 地点及びO-1 地点の地盤モデルを用いて，一次元逐次非線形解析を実施した。第11-5-3 図，第11-6-3 図及び第11-6-4 図に各地点の解析用物性値及び解析モデルを示す。また，評価結果を第11-6-1 表及び第11-6-5～11 図に示す。 A-1 地点の洪積砂層Ⅰについて，解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は，試験で実施したせん断応力及び繰返し回数と同程度であり，おおむね基準地震動Ss 相当の試験が実施できていると考える。低拘束圧部の基準地震動Ss-4NS で地盤に発生するせん断応力比は，試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数200 回のせん断応力比）以下となっており，等価繰返し回数の評価対象外であるが，液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施できている。（第11-6-5 図参照） A-1 地点の洪積砂層Ⅱについて，解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は，試験で実施したせん断応力及び繰返し回数と同程度であり，おおむね基準地震動Ss 相当の試験が実施できていると考える。（第11-6-6 図参照） A-2 地点の洪積砂層Ⅰについて，解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は，試験で実施したせん断応力及び繰返し回数と同程度であり，おおむね基準地震動Ss 相当の試験が実施できていると考える。Ss-1，Ss-3 及びSs-5EW 以外の基準地震動Ssで地盤に発生するせん断応力比は，試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数200 回のせん断応力比）以下となっており，等価繰返し回数の評価対象外であるが，液状化試験はこのせん断	5.4 基準地震動 Ss に対する液状化強度試験の妥当性確認 敷地で採取された試料を用いて実施した液状化強度試験が基準地震動Ss相当の地盤の状態（繰返し応力及び繰返し回数）を模擬していることを確認するため，累積損傷度理論（吉見（1991））を適用し，不規則波である基準地震動Ss 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，累積損傷度理論による等価繰返し回数の評価方法を第5.4-2 図に示す。 基準地震動Ss の一次元地震応答解析を実施する位置については，地下水位が比較的高く液状化検討対象層が分布する敷地海側の防潮堤近傍から選定する。選定に当たっては，拘束圧が大きいO.P.+14m 盤と拘束圧が小さいO.P.+2.5m 盤から盛土の厚さ，旧表土の厚さの大小を考慮して10 点を選定した。選定した一次元地震応答解析実施位置を第5.4-3 図に示す。 拘束圧が大きいO.P.+14m 盤では，地下水位が高く液状化検討対象施設である防潮堤直下のA-1，B-1～B-4 を選定した。A-1 は盛土堤防直下で最も拘束圧が大きく，盛土・旧表土が分布する。B-2 は旧表土が最も厚く，B-3，4は盛土・旧表土の厚さが平均的であり，B-1 は盛土のみ分布する位置である。 拘束圧が小さいO.P.+2.5m 盤では，地下水位が高いC-1，D-1～D-4 を選定した。C-1 は盛土堤防近傍で盛土のみ分布する。D-2 は旧表土が厚く分布しており，D-1，3，4 は盛土・旧表土の厚さが平均的な位置である。 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。算出結果を第5.4-1 表～第5.4-2 表及び第5.4-4 図～第5.4-13 図に示す。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，σv’：有効土被り圧 評価結果より，せん断応力比と等価繰返し回数は，すべての位置において液状化強度試験で実施したせん断応力比及び繰返し回数と同程度であり，おおむね基準地震動Ss 相当の試験が実施でき	3.3 基準地震動Ｓｓに対する液状化試験の妥当性確認 敷地内の埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層は，試験結果が液状化を示さず，道路橋示方書の液状化判定方法が適用できないと考えられる。このため，液状化試験実施箇所が多い埋戻土（掘削ズリ）について，液状化試験が基準地震動Ｓｓ相当の地盤の状態（繰返し応力及び繰返し回数）を模擬していることを確認する。第3-3-1 図に累積損傷度理論に基づく評価のフローを，第3-3-2 図に累積損傷度理論に基づく等価繰り返し回数の評価方法を示す。 液状化試験が基準地震動Ｓｓ相当の地盤の状態（繰返し応力及び繰返し回数）を模擬していることについて，地震応答解析によって確認するに当たり，代表地震動を使用する。第3-3-3 図に基準地震動Ｓｓの加速度時刻歴波形（水平方向）を示す。 なお，敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動（Ｓｓ－Ｄ，Ｓｓ－Ｆ１，Ｓｓ－Ｆ２）においては，繰返し応力及び繰返し回数に着目し，水平最大加速度が大きく，継続時間が長い地震動が液状化評価において最も厳しいと考えられることから，Ｓｓ-Ｄを選定する。 液状化試験選定箇所を第3-3-4 図に示す。 埋戻土（掘削ズリ）に対する液状化試験は，埋戻土（掘削ズリ）が３号炉北側西端から１，２号炉北側東端までの全域に分布していることから，網羅性を確保するため，広い範囲において実施した。一方，砂礫層に対する液状化試験は，砂礫層が局所的に分布していることから，分布箇所である３号炉北側西端及び１，２号炉北側東端の地点を選定し実施した。 液状化試験の妥当性確認に当たって，液状化試験箇所が多い埋戻土（掘削ズリ）に対して行った液状化試験を敷地全体の代表として，妥当性確認を行う。なお，妥当性確認を行う地点として，防波壁沿い全線において比較地点①～⑧を選定する。 第3-3-5 図に各地点の解析用物性値及び解析モデルを示す。また，評価結果を第3-3-1 表及び第3-3-6 図に示す。 液状化評価対象層のうち埋戻土（掘削ズリ）について，液状化試験結果①（ロータリー式三重管サンプラー）及び液状化試験結果②（表層試料採取）から各せん断応力比に対して所定のせん断ひずみとなる繰返し回数を整理し，１次元地震応答解析の結果を累積損傷度理論に基づいて整理したせん断応力比及び等価繰返し回数と比較した。 基準地震動Ｓｓ－Ｄ，Ｓｓ－Ｎ１，Ｓｓ－Ｎ２による最大せん断応力比は0.4～0.7程度であり，また，等価繰返し回数は地震動	・液状化評価対象層の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉では，埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層を抽出している ・妥当性確認方法の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉では液状化試験の妥当性確認方法について詳細に説明している （以下，島根２号炉の3.3 章はすべて同じ理由である）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
応力比を上回るレベルで実施できている。（第11-6-7 図参照） A-2 地点の洪積砂層Ⅱについて，解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は，試験で実施したせん断応力及び繰返し回数と同程度であり，おおむね基準地震動Ss 相当の試験が実施できていると考える。Ss-2NS，Ss-4EW，Ss-4NS，Ss-5NS，Ss-6EW，Ss-6NS及びSs-7NS で地盤に発生するせん断応力比は，試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数200 回のせん断応力比）以下となっており，等価繰返し回数の評価対象外であるが，液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施できている。（第11-6-8 図参照） A-3 地点の新期砂層・沖積層について，解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は，試験で実施したせん断応力及び繰返し回数と同程度であり，おおむね基準地震動Ss相当の試験が実施できていると考える。Ss-4NS で地盤に発生するせん断応力比は，試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数200 回のせん断応力比）以下となっており，等価繰返し回数の評価対象外であるが，液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施できている。（第11-6-9 図参照） 0-1 地点の洪積砂質土層Ⅰについて，全ての基準地震動Ss で地盤に発生するせん断応力比は，試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数200 回のせん断応力比）以下となっており，等価繰返し回数の評価対象外であるが，液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施できている。（第11-6-10 図参照） 0-1 地点の洪積砂質土層Ⅱについて，全ての基準地震動Ss で地盤に発生するせん断応力比は，試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数200 回のせん断応力比）以下となっており，等価繰返し回数の評価対象外であるが，液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施できている。（第11-6-11 図参照） 新期砂層・沖積層及び古安田層中の砂層における液状化試験の結果は，基準地震動Ss 時の最大せん断応力比及び等価繰返し回数と同程度である。よって，今回実施した試験は，当該地盤に基準地震動Ss 相当が作用した状態をおおむね再現できていると判断される。	ていることを確認した。また，拘束圧が大きい0.P.+14m 盤のA-1，B-1，3，4 の特に盛土においては，ほとんどの基準地震動Ss で地盤に発生するせん断応力比は，液状化強度試験の繰返し回数の上限値である200 回に対応するせん断応力比以下となっている。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，液状化試験はこの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。	継続時間の長いＳｓ－Ｄを除き数10～300回程度であり，液状化試験と同程度であることから，今回実施した液状化試験は，当該地盤の基準地震動Ｓｓ相当が作用した状態を概ね再現できていると判断した。 なお，Ｓｓ－Ｄによる等価繰返し回数は地震動継続時間が長いため500～1,000回程度となるが，一方で液状化試験においてＳｓ－Ｄによるせん断応力比を作用させた場合，両振幅ひずみが５％となる繰返し回数は，近似曲線から５～30回程度となる。埋戻土（掘削ズリ）は液状化試験結果から，非液状化又は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）を示すため，繰返し回数による直接的な比較が難しい材料であるが，Ｓｓ－Ｄのせん断応力比に相当する試験を実施していることから概ね再現できていると判断した。	

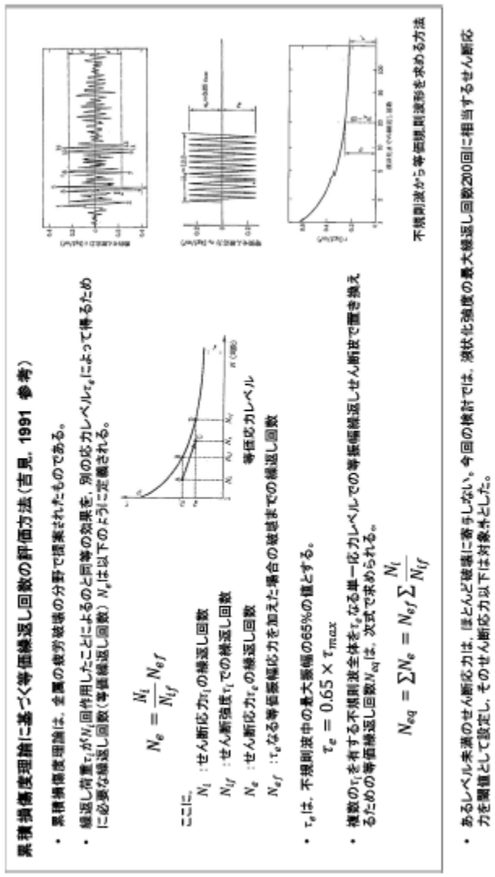
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第11-6-1 図 累積損傷度理論に基づく等価繰り返し回数の評価のフロー	 第5.4-1図 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価フロー	 第3-3-1 図　累積損傷度理論に基づく等価繰り返し回数の評価のフロー	引用文献の相違 【柏崎 6/7，女川２】 島根２号炉では「埋立地の液状化対策ハンドブック（改訂版），運輸省港湾局監修，1997」に準拠したフロー図としている

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

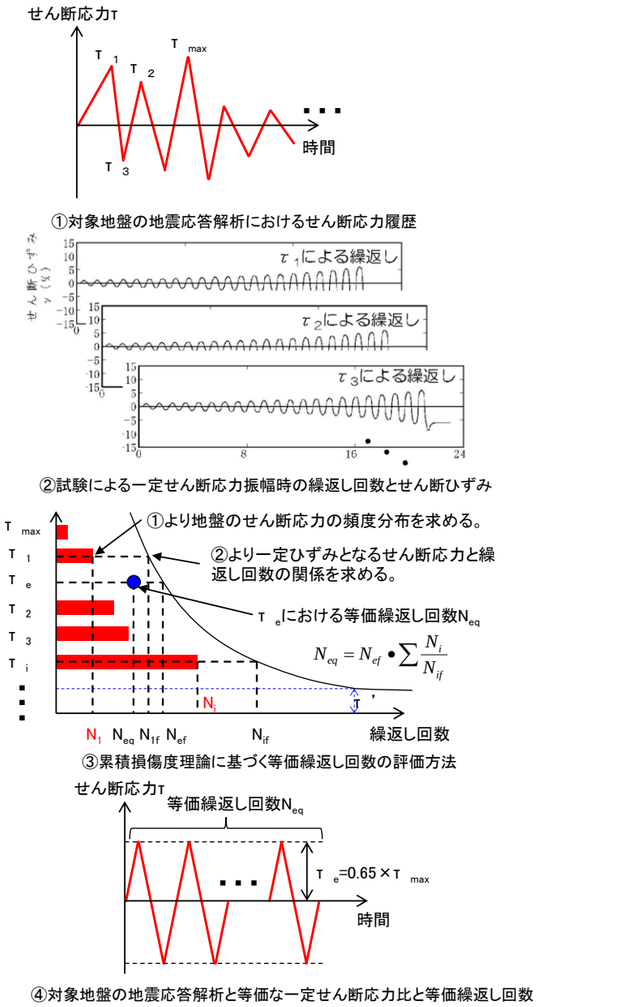


τ'：あるレベル以下のせん断応力については，累積損傷度に寄与しないため，評価対象外とする。本検討では，疲労化試験の最大繰返し回数 200 回に相当するせん断応力を設定した。

第11-6-2 図 累積損傷度理論に基づく等価繰り返し回数の評価方法

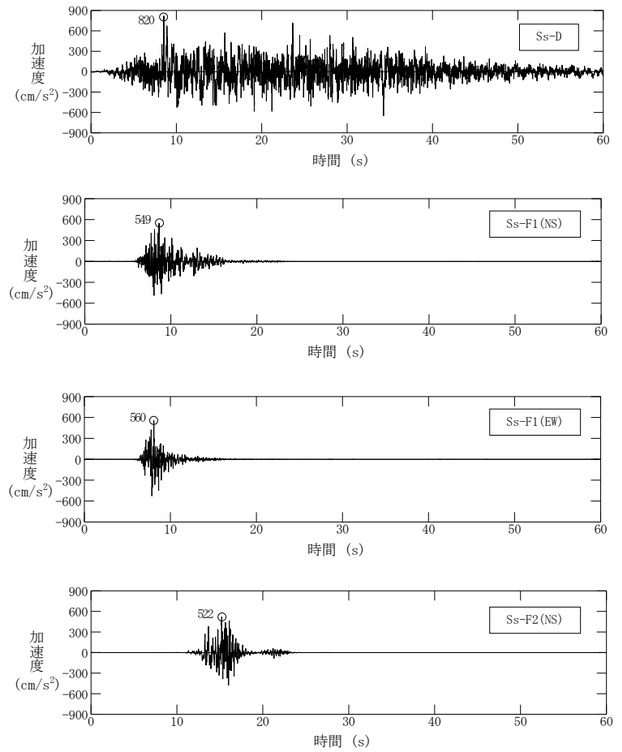


第5.4-2図 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法



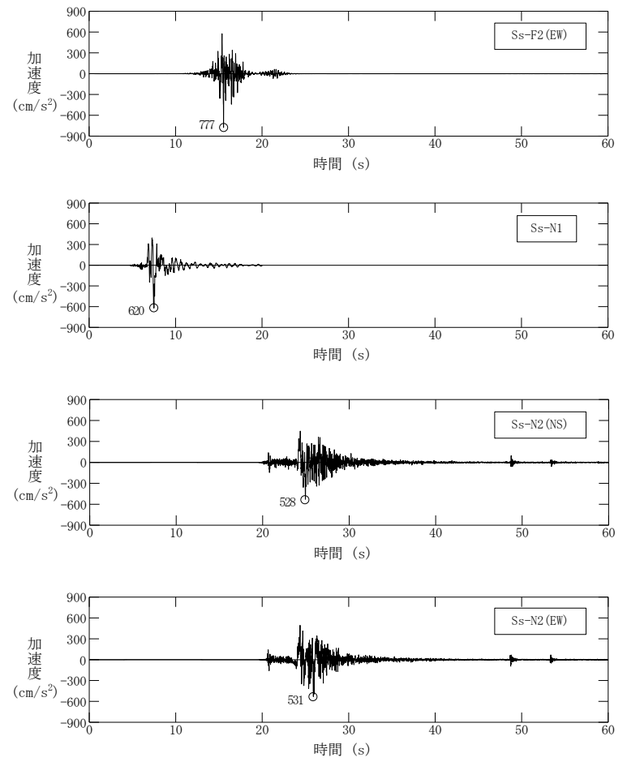
第3-3-2 図　累積損傷度理論に基づく等価繰り返し回数の評価方法

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



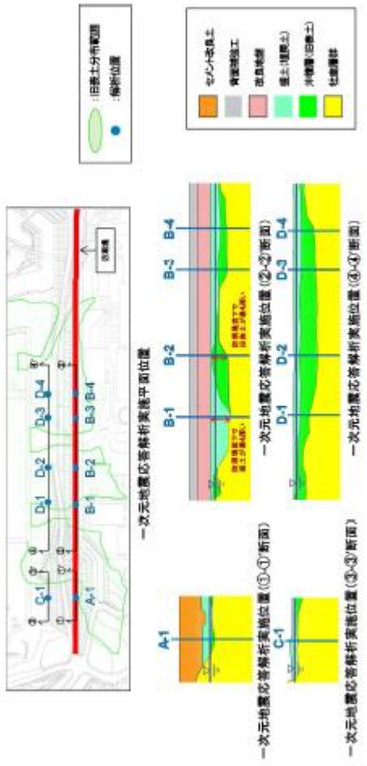
第3-3-3 図　基準地震動の加速度時刻歴波形（水平方向）（Ｓｓ－Ｄ，Ｓｓ－Ｆ１(ＮＳ)，Ｓｓ－Ｆ１(ＥＷ)，Ｓｓ－Ｆ２(ＮＳ)）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

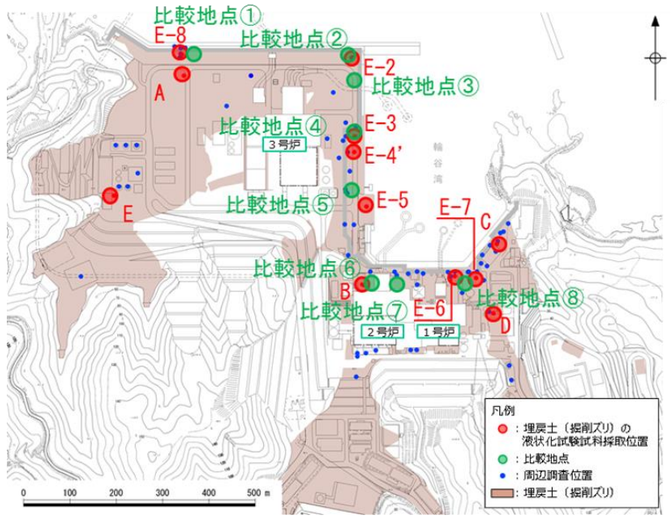


第3-3-3 図　基準地震動の加速度時刻歴波形（水平方向）（Ｓｓ－Ｆ２（ＥＷ），Ｓｓ－Ｎ１，Ｓｓ－Ｎ２（ＮＳ），Ｓｓ－Ｎ２（ＥＷ））

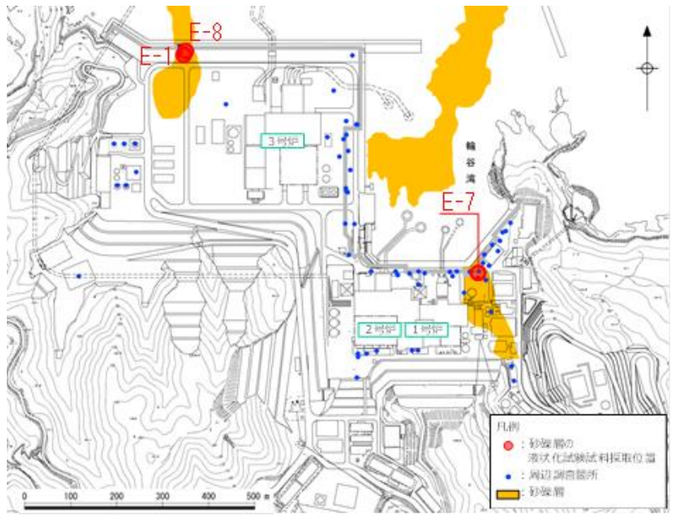
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



第5.4-3図　一次元地震応答解析実施位置図



埋戻土（掘削ズリ）



砂礫層

第3-3-4 図　液状化試験試料採取位置

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



地盤物性値

地層区分		単位体積重量 γ_t(kN/m³)	ポアソン比 ν	初期せん断弾性係数 G_0(kN/m²)	せん断弾性係数G減衰定数h
埋戻土層		18.6 (19.6)*1	0.33 (0.49)*1	$1980\times\sigma_v'^{\,0.667}$	ひずみ依存性を考慮
古安田層	洪積砂層Ⅰ	18.3	0.47	2.29×10^5	
	洪積粘性土層Ⅰ	17.8	0.48	1.24×10^5	
	洪積砂層Ⅱ	18.5	0.48	2.06×10^5	
	洪積粘性土層Ⅱ	17.8	0.48	1.74×10^5	
西山層	西山層上限面～T.M.S.L.-66.0m	15.6	0.46	3.23×10^5	
	～T.M.S.L.-103.0m	15.8	0.45	3.86×10^5	
	～T.M.S.L.-150.0m	16.9	0.44	5.39×10^5	
	～T.M.S.L.-248.0m	17.4	0.43	6.81×10^5	
	～T.M.S.L.-285.0m	17.3	0.42	7.90×10^5	
解放基盤		17.8	0.41	9.18×10^5	－

＊1：地下水位以深の物性値　　（原工諸物性）

（a）基本物性（A-2 地点）

第11-6-3 図 解析用物性値及び解析モデル



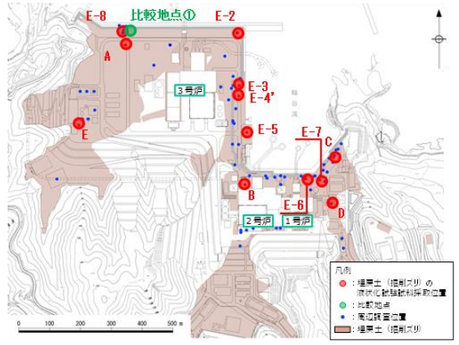
地盤物性値

地層区分		単位体積重量 γ_t(kN/m³)	ポアソン比 ν	初期せん断弾性係数 G_0(kN/m²)	せん断弾性係数G減衰定数h
埋戻土層		18.6 (19.6)*1	0.33 (0.49)*1	$1980\times\sigma_v'^{\,0.667}$	ひずみ依存性を考慮
新期砂層・沖積層		19.9	0.48	1.82×10^5	
古安田層	洪積粘性土層Ⅲ	17.8	0.49	8.82×10^4	
	洪積粘性土層Ⅱ	17.8	0.48	1.74×10^5	
西山層	西山層上限面～T.M.S.L.-66.0m	15.6	0.46	3.23×10^5	
	～T.M.S.L.-103.0m	15.8	0.45	3.86×10^5	
	～T.M.S.L.-150.0m	16.9	0.44	5.39×10^5	
	～T.M.S.L.-248.0m	17.4	0.43	6.81×10^5	
	～T.M.S.L.-285.0m	17.3	0.42	7.90×10^5	
解放基盤		17.8	0.41	9.18×10^5	－

＊1：地下水位以深の物性値　　（原工諸物性）

（b）基本物性（A-3 地点）

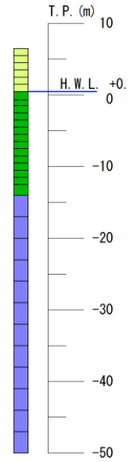
第11-6-3 図 解析用物性値及び解析モデル



地盤物性値

土層	標高 (T.P.m)		深度 (G.L.-m)	有効上載荷重 σ_v' (kN/m²)	単位体積重量 飽和、湿潤 γ_{sat},γ_t (kN/m³)	単位体積重量 水中 γ' (kN/m³)	せん断波速度 V_s (m/s)	初期せん断弾性係数 G_0*1 (kN/m²)
埋戻土（気中）	6.500	～ 5.500	1.000	9.800	19.6	--	--	35370
	5.500	～ 4.500	2.000	29.400	19.6	--	--	73050
	4.500	～ 3.500	3.000	49.000	19.6	--	--	102300
	3.500	～ 2.500	4.000	68.600	19.6	--	--	127800
	2.500	～ 1.500	5.000	88.200	19.6	--	--	150800
	1.500	～ 0.460	6.040	108.192	19.6	--	--	172600
埋戻土（水中）	0.460	～ -0.700	7.200	124.532	20.7	10.6	--	189400
	-0.700	～ -1.500	8.000	134.920	20.7	10.6	--	199700
	-1.500	～ -2.500	9.000	144.460	20.7	10.6	--	208900
	-2.500	～ -3.500	10.000	155.060	20.7	10.6	--	218900
	-3.500	～ -4.500	11.000	165.660	20.7	10.6	--	228600
	-4.500	～ -5.500	12.000	176.260	20.7	10.6	--	238200
	-5.500	～ -6.500	13.000	186.860	20.7	10.6	--	247600
	-6.500	～ -7.500	14.000	197.460	20.7	10.6	--	256700
	-7.500	～ -8.500	15.000	208.060	20.7	10.6	--	265800
	-8.500	～ -9.500	16.000	218.660	20.7	10.6	--	274600
	-9.500	～ -10.500	17.000	229.260	20.7	10.6	--	283300
	-10.500	～ -11.500	18.000	239.860	20.7	10.6	--	291900
	-11.500	～ -12.500	19.000	250.460	20.7	10.6	--	300400
	-12.500	～ -14.000	20.500	263.710	20.7	10.6	--	310800
岩盤（第④速度層）	-14.000	～ -17.000	23.500	293.260	24.5	14.4	1520	--
	-17.000	～ -20.000	26.500	336.460	24.5	14.4	1520	--
	-20.000	～ -23.000	29.500	379.660	24.5	14.4	1520	--
	-23.000	～ -26.000	32.500	422.860	24.5	14.4	1520	--
	-26.000	～ -29.000	35.500	466.060	24.5	14.4	1520	--
	-29.000	～ -32.000	38.500	509.260	24.5	14.4	1520	--
	-32.000	～ -35.000	41.500	552.460	24.5	14.4	1520	--
	-35.000	～ -38.000	44.500	595.660	24.5	14.4	1520	--
	-38.000	～ -41.000	47.500	638.860	24.5	14.4	1520	--
	-41.000	～ -44.000	50.500	682.060	24.5	14.4	1520	--
	-44.000	～ -47.000	53.500	725.260	24.5	14.4	1520	--
	-47.000	～ -50.000	56.500	768.460	24.5	14.4	1520	--

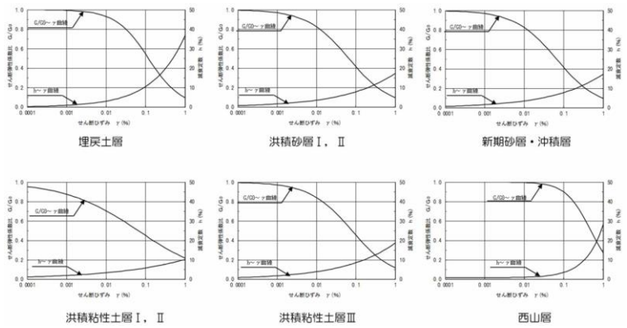
※1 掘削ズリ：$G_0=749\sigma_c'^{0.66}$ (N/mm²)



（a）基本物性（比較地点①）

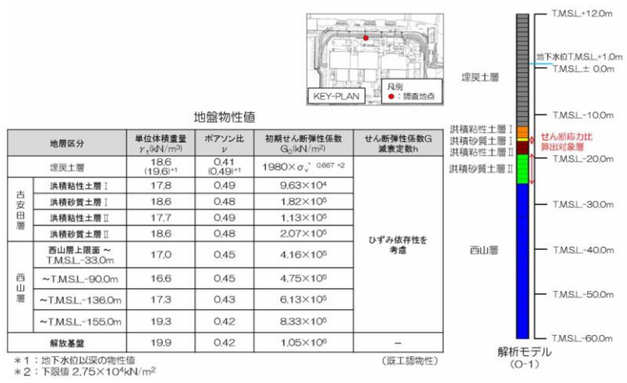
第3-3-5 図　解析用物性値及び解析モデル

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



（c）せん断剛性及び減衰のひずみ依存性（A-2 及びA-3 地点）

第11-6-3 図 解析用物性値及び解析モデル



地盤物性値

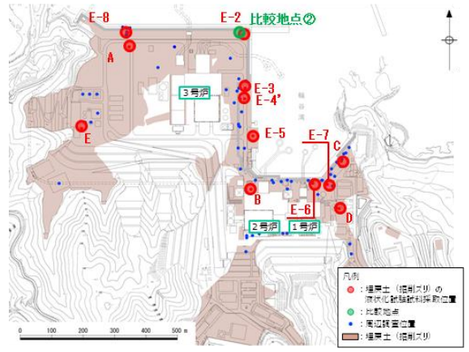
地層区分		単位体積重量 γ_t (kN/m³)	ポアソン比 ν	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m²)	せん断弾性係数G減衰定数h
埋戻土層		18.6 (19.6*1)	0.41 (0.49*1)	$1980\times\sigma_v'^{0.667}$ *2	ひずみ依存性を考慮
古安田層	洪積粘性土層Ⅰ	17.8	0.49	9.63×10^4	
	洪積砂質土層Ⅰ	18.6	0.48	1.82×10^5	
	洪積粘性土層Ⅱ	17.7	0.49	1.13×10^5	
	洪積砂質土層Ⅱ	18.6	0.48	2.07×10^5	
西山層	西山層上限面～T.M.S.L.-33.0m	17.0	0.45	4.16×10^5	
	～T.M.S.L.-90.0m	16.6	0.45	4.75×10^5	
	～T.M.S.L.-136.0m	17.3	0.43	6.13×10^5	
	～T.M.S.L.-155.0m	19.3	0.42	8.33×10^5	
解放基盤		19.9	0.42	1.05×10^6	－

＊1：地下水位以深の物性値
＊2：下限値 2.75×10^4kN/m²

（原工認物性）

（a）基本物性（0-1 地点）

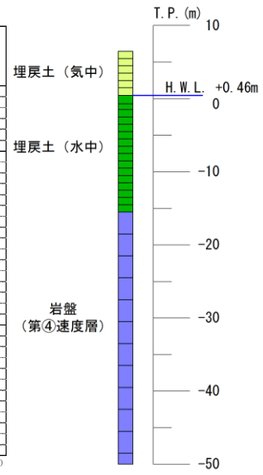
第11-6-4 図 解析用物性値及び解析モデル



地盤物性値

土層	標高 (T.P.m)		深度 (G.L.-m)	有効上載荷重 σ_v' (kN/m²)	単位体積重量 飽和，湿潤 γ_{sat},γ_t (kN/m³)	単位体積重量 水中 γ' (kN/m³)	せん断波速度 V_s (m/s)	初期せん断弾性係数 G_0*1 (kN/m²)
埋戻土(気中)	6.500	～ 5.500	1.000	9.800	19.6	--	--	35370
	5.500	～ 4.500	2.000	29.400	19.6	--	--	73050
	4.500	～ 3.500	3.000	49.000	19.6	--	--	102300
	3.500	～ 2.500	4.000	68.600	19.6	--	--	127800
	2.500	～ 1.500	5.000	88.200	19.6	--	--	150800
	1.500	～ 0.460	6.040	108.192	19.6	--	--	172600
埋戻土(水中)	0.460	～ -0.700	7.200	124.532	20.7	10.6	--	189400
	-0.700	～ -1.500	8.000	134.920	20.7	10.6	--	199700
	-1.500	～ -2.500	9.000	144.460	20.7	10.6	--	208900
	-2.500	～ -3.500	10.000	155.060	20.7	10.6	--	218900
	-3.500	～ -4.500	11.000	165.660	20.7	10.6	--	228600
	-4.500	～ -5.500	12.000	176.260	20.7	10.6	--	238200
	-5.500	～ -6.500	13.000	186.860	20.7	10.6	--	247600
	-6.500	～ -7.500	14.000	197.460	20.7	10.6	--	256700
	-7.500	～ -8.500	15.000	208.060	20.7	10.6	--	265800
	-8.500	～ -9.500	16.000	218.660	20.7	10.6	--	274600
	-9.500	～ -10.500	17.000	229.260	20.7	10.6	--	283300
	-10.500	～ -11.500	18.000	239.860	20.7	10.6	--	291900
	-11.500	～ -12.500	19.000	250.460	20.7	10.6	--	300400
	-12.500	～ -13.500	20.000	261.060	20.7	10.6	--	308700
	-13.500	～ -14.500	21.000	271.660	20.7	10.6	--	316900
	-14.500	～ -15.500	22.000	282.260	20.7	10.6	--	325000
岩盤 (第④速度層)	-15.500	～ -18.500	25.000	309.160	24.5	14.4	1520	--
	-18.500	～ -21.500	28.000	352.360	24.5	14.4	1520	--
	-21.500	～ -24.500	31.000	395.560	24.5	14.4	1520	--
	-24.500	～ -27.500	34.000	438.760	24.5	14.4	1520	--
	-27.500	～ -30.500	37.000	481.960	24.5	14.4	1520	--
	-30.500	～ -33.500	40.000	525.160	24.5	14.4	1520	--
	-33.500	～ -36.500	43.000	568.360	24.5	14.4	1520	--
	-36.500	～ -39.500	46.000	611.560	24.5	14.4	1520	--
	-39.500	～ -42.500	49.000	654.760	24.5	14.4	1520	--
	-42.500	～ -45.500	52.000	697.960	24.5	14.4	1520	--
	-45.500	～ -48.500	55.000	741.160	24.5	14.4	1520	--
	-48.500	～ -50.000	56.500	773.560	24.5	14.4	1520	--

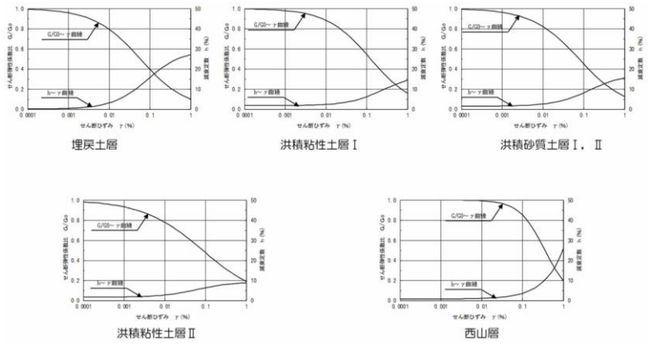
※1 掘削ズリ：G_0=749$\sigma_m'^{0.66}$ (N/mm²)



（b）基本物性（比較地点②）

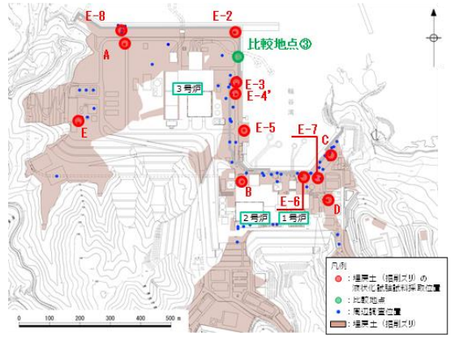
第3-3-5 図　解析用物性値及び解析モデル

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



（b）せん断剛性及び減衰のひずみ依存性（0-1 地点）

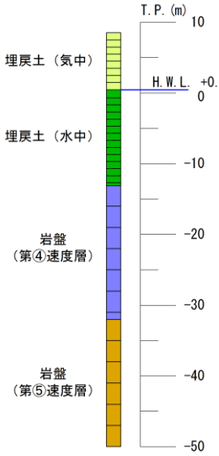
第11-6-4 図 解析用物性値及び解析モデル



地盤物性値

土層	標高 (T.P.m)		深度 (G.L.-m)	有効上載荷重 σ_v' (kN/m²)	単位体積重量 飽和，湿潤 γ_{sat},γ_t (kN/m³)	単位体積重量 水中 γ' (kN/m³)	せん断波速度 V_s (m/s)	初期せん断弾性係数 $G_0^{※1}$ (kN/m²)
埋戻土(気中)	8.500	～ 7.500	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	7.500	～ 6.500	2.000	29.400	19.6	—	—	73050
	6.500	～ 5.500	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	5.500	～ 4.500	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	4.500	～ 3.500	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
	3.500	～ 2.500	6.000	107.800	19.6	—	—	172200
	2.500	～ 1.500	7.000	127.400	19.6	—	—	192300
	1.500	～ 0.460	8.040	147.392	19.6	—	—	211700
埋戻土(水中)	0.460	～ -0.700	9.200	163.732	20.7	10.6	—	226900
	-0.700	～ -1.700	10.200	175.180	20.7	10.6	—	237200
	-1.700	～ -2.700	11.200	185.780	20.7	10.6	—	246600
	-2.700	～ -3.700	12.200	196.380	20.7	10.6	—	255800
	-3.700	～ -4.700	13.200	206.980	20.7	10.6	—	264800
	-4.700	～ -5.700	14.200	217.580	20.7	10.6	—	273700
	-5.700	～ -6.700	15.200	228.180	20.7	10.6	—	282500
	-6.700	～ -7.700	16.200	238.780	20.7	10.6	—	291000
	-7.700	～ -8.700	17.200	249.380	20.7	10.6	—	299500
	-8.700	～ -9.700	18.200	259.980	20.7	10.6	—	307900
	-9.700	～ -10.700	19.200	270.580	20.7	10.6	—	316100
	-10.700	～ -11.700	20.200	281.180	20.7	10.6	—	324200
	-11.700	～ -12.700	21.200	291.780	20.7	10.6	—	332200
	-12.700	～ -13.125	21.625	299.333	20.7	10.6	—	337900
岩盤（第③速度層）	-13.125	～ -16.000	24.500	322.285	24.5	14.4	1520	—
	-16.000	～ -19.000	27.500	364.585	24.5	14.4	1520	—
	-19.000	～ -22.000	30.500	407.785	24.5	14.4	1520	—
	-22.000	～ -25.000	33.500	450.985	24.5	14.4	1520	—
	-25.000	～ -28.000	36.500	494.185	24.5	14.4	1520	—
	-28.000	～ -31.000	39.500	537.385	24.5	14.4	1520	—
	-31.000	～ -32.000	40.500	566.185	24.5	14.4	1520	—
岩盤（第⑤速度層）	-32.000	～ -35.000	43.500	596.035	25.2	15.1	1900	—
	-35.000	～ -38.000	46.500	641.335	25.2	15.1	1900	—
	-38.000	～ -41.000	49.500	686.635	25.2	15.1	1900	—
	-41.000	～ -44.000	52.500	731.935	25.2	15.1	1900	—
	-44.000	～ -47.000	55.500	777.235	25.2	15.1	1900	—
	-47.000	～ -50.000	58.500	822.535	25.2	15.1	1900	—

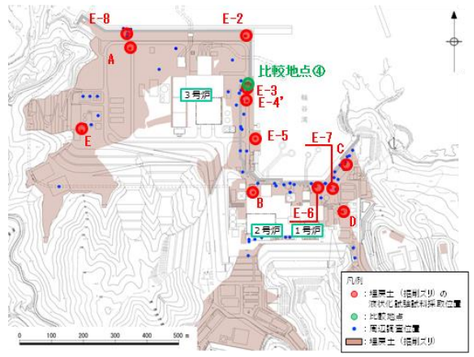
※1 掘削ズリ：$G_0=749\sigma_m'^{0.66}$ (N/mm²)



（c）基本物性（比較地点③）

第3-3-5 図　解析用物性値及び解析モデル

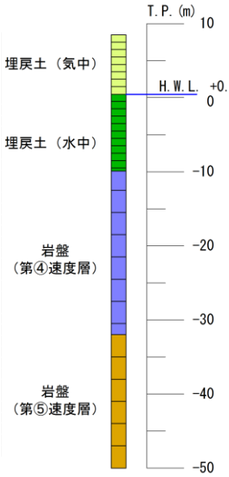
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



地盤物性値

土層	標高 (T.P.m)		深度 (G.L.-m)	有効上載荷重 σ_v' (kN/m²)	単位体積重量 飽和，湿潤 γ_{sat},γ_t (kN/m³)	単位体積重量 水中 γ' (kN/m³)	せん断波速度 V_s (m/s)	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m²)
埋戻土(気中)	8.500	7.500	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	7.500	6.500	2.000	29.400	19.6	—	—	73950
	6.500	5.500	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	5.500	4.500	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	4.500	3.500	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
	3.500	2.500	6.000	107.800	19.6	—	—	172200
	2.500	1.500	7.000	127.400	19.6	—	—	192300
	1.500	0.460	8.040	147.392	19.6	—	—	211700
埋戻土(水中)	0.460	-0.500	9.000	162.672	20.7	10.6	—	225900
	-0.500	-1.500	10.000	173.060	20.7	10.6	—	235300
	-1.500	-2.500	11.000	183.660	20.7	10.6	—	244800
	-2.500	-3.500	12.000	194.260	20.7	10.6	—	254000
	-3.500	-4.500	13.000	204.860	20.7	10.6	—	263100
	-4.500	-5.500	14.000	215.460	20.7	10.6	—	272000
	-5.500	-6.500	15.000	226.060	20.7	10.6	—	280700
	-6.500	-7.500	16.000	236.660	20.7	10.6	—	289300
	-7.500	-8.500	17.000	247.260	20.7	10.6	—	297800
	-8.500	-9.500	18.000	257.860	20.7	10.6	—	306200
	-9.500	-9.892	18.392	265.238	20.7	10.6	—	311900
岩盤（第④速度層）	-9.892	-12.500	21.000	286.093	24.5	14.4	1520	—
	-12.500	-15.500	24.000	326.470	24.5	14.4	1520	—
	-15.500	-18.500	27.000	369.670	24.5	14.4	1520	—
	-18.500	-21.500	30.000	412.870	24.5	14.4	1520	—
	-21.500	-24.500	33.000	456.070	24.5	14.4	1520	—
	-24.500	-27.500	36.000	499.270	24.5	14.4	1520	—
	-27.500	-30.500	39.000	542.470	24.5	14.4	1520	—
	-30.500	-32.000	40.500	574.870	24.5	14.4	1520	—
岩盤（第⑤速度層）	-32.000	-35.000	43.500	688.320	25.2	15.1	1900	—
	-35.000	-38.000	46.500	653.620	25.2	15.1	1900	—
	-38.000	-41.000	49.500	698.920	25.2	15.1	1900	—
	-41.000	-44.000	52.500	744.220	25.2	15.1	1900	—
	-44.000	-47.000	55.500	789.520	25.2	15.1	1900	—
	-47.000	-50.000	58.500	834.820	25.2	15.1	1900	—

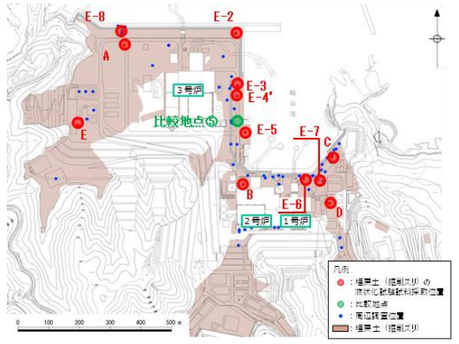
※1 掘削ズリ：G_0=749$\sigma_v'^{0.66}$(N/mm²)



（d）基本物性（比較地点④）

第3-3-5 図　解析用物性値及び解析モデル

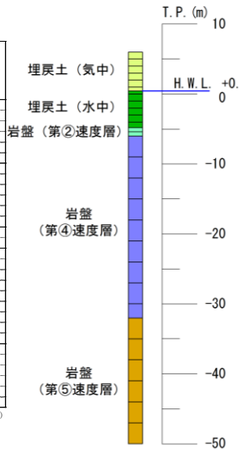
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



地盤物性値

土層	標高（T.P.m）		深度（G.L.-m）	有効上載荷重 σ_v' (kN/m²)	単位体積重量 飽和，湿潤 γ_{sat},γ_t (kN/m³)	単位体積重量 水中 γ' (kN/m³)	せん断波速度 V_s (m/s)	初期せん断弾性係数 G_0※1 (kN/m²)
埋戻土(気中)	6.000	～ 5.000	1.000	9.800	19.6	--	--	35370
	5.000	～ 4.000	2.000	29.400	19.6	--	--	73050
	4.000	～ 3.000	3.000	49.000	19.6	--	--	102300
	3.000	～ 2.000	4.000	68.600	19.6	--	--	127800
	2.000	～ 1.000	5.000	88.200	19.6	--	--	150800
	1.000	～ 0.460	5.540	103.292	19.6	--	--	167400
埋戻土(水中)	0.460	～ 0.000	6.000	111.022	20.7	10.6	--	175600
	0.000	～ -1.000	7.000	118.760	20.7	10.6	--	183600
	-1.000	～ -2.000	8.000	129.360	20.7	10.6	--	194200
	-2.000	～ -3.000	9.000	139.960	20.7	10.6	--	204600
	-3.000	～ -4.000	10.000	150.560	20.7	10.6	--	214700
	-4.000	～ -4.804	10.804	160.121	20.7	10.6	--	223600
岩盤（第②速度層）	-4.804	～ -5.400	11.400	168.316	23.3	13.2	620	--
	-5.400	～ -6.000	12.000	176.210	23.3	13.2	620	--
岩盤（第④速度層）	-6.000	～ -9.000	15.000	201.770	24.5	14.4	1520	--
	-9.000	～ -12.000	18.000	244.970	24.5	14.4	1520	--
	-12.000	～ -15.000	21.000	288.170	24.5	14.4	1520	--
	-15.000	～ -18.000	24.000	331.370	24.5	14.4	1520	--
	-18.000	～ -21.000	27.000	374.570	24.5	14.4	1520	--
	-21.000	～ -24.000	30.000	417.770	24.5	14.4	1520	--
	-24.000	～ -27.000	33.000	460.970	24.5	14.4	1520	--
	-27.000	～ -30.000	36.000	504.170	24.5	14.4	1520	--
	-30.000	～ -32.000	38.000	540.170	24.5	14.4	1520	--
岩盤（第⑤速度層）	-32.000	～ -35.000	41.000	577.220	25.2	15.1	1900	--
	-35.000	～ -38.000	44.000	622.520	25.2	15.1	1900	--
	-38.000	～ -41.000	47.000	667.820	25.2	15.1	1900	--
	-41.000	～ -44.000	50.000	713.120	25.2	15.1	1900	--
	-44.000	～ -47.000	53.000	758.420	25.2	15.1	1900	--
	-47.000	～ -50.000	56.000	803.720	25.2	15.1	1900	--

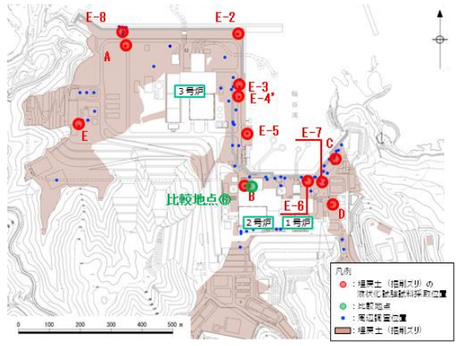
※1 掘削ズリ：$G_0=749\sigma_v^{0.605}$(N/mm²)



（e）基本物性（比較地点⑤）

第3-3-5 図　解析用物性値及び解析モデル

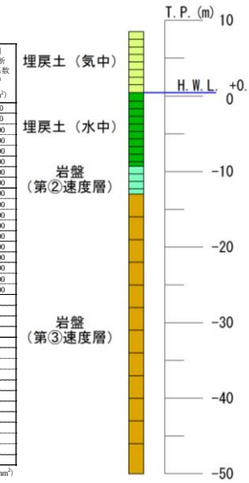
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



地盤物性値

土層	標高 (T.P.m)	深度 (G.L.-m)	有効上載荷重 σ_v' (kN/m²)	単位体積重量 飽和，湿潤 γ_{sat},γ_t (kN/m³)	単位体積重量 水中 γ' (kN/m³)	せん断波速度 V_s (m/s)	初期せん断弾性係数 G_0※1 (kN/m²)
埋戻土(気中)	8.500 ～ 7.500	1.000	9.800	19.6	--	--	35370
	7.500 ～ 6.500	2.000	29.400	19.6	--	--	73050
	6.500 ～ 5.500	3.000	49.000	19.6	--	--	102300
	5.500 ～ 4.500	4.000	68.600	19.6	--	--	127800
	4.500 ～ 3.500	5.000	88.200	19.6	--	--	150800
	3.500 ～ 2.500	6.000	107.800	19.6	--	--	172200
	2.500 ～ 1.500	7.000	127.400	19.6	--	--	192300
	1.500 ～ 0.460	8.040	147.392	19.6	--	--	211700
埋戻土(水中)	0.460 ～ -0.700	9.200	163.732	20.7	10.6	--	226900
	-0.700 ～ -1.700	10.200	175.180	20.7	10.6	--	237200
	-1.700 ～ -2.700	11.200	185.780	20.7	10.6	--	246600
	-2.700 ～ -3.700	12.200	196.380	20.7	10.6	--	255800
	-3.700 ～ -4.700	13.200	206.980	20.7	10.6	--	264800
	-4.700 ～ -5.700	14.200	217.580	20.7	10.6	--	273700
	-5.700 ～ -6.700	15.200	228.180	20.7	10.6	--	282500
	-6.700 ～ -7.700	16.200	238.780	20.7	10.6	--	291000
	-7.700 ～ -8.700	17.200	249.380	20.7	10.6	--	299500
	-8.700 ～ -9.300	17.800	257.860	20.7	10.6	--	306200
岩盤（第②速度層）	-9.300 ～ -10.300	18.800	267.490	23.0	12.9	900	--
	-10.300 ～ -11.300	19.800	280.390	23.0	12.9	900	--
	-11.300 ～ -12.300	20.800	293.290	23.0	12.9	900	--
	-12.300 ～ -13.000	21.500	304.255	23.0	12.9	900	--
岩盤（第②速度層）	-13.000 ～ -16.000	24.500	330.370	24.5	14.4	1600	--
	-16.000 ～ -19.000	27.500	373.570	24.5	14.4	1600	--
	-19.000 ～ -22.000	30.500	416.770	24.5	14.4	1600	--
	-22.000 ～ -25.000	33.500	459.970	24.5	14.4	1600	--
	-25.000 ～ -28.000	36.500	503.170	24.5	14.4	1600	--
	-28.000 ～ -31.000	39.500	546.370	24.5	14.4	1600	--
	-31.000 ～ -34.000	42.500	589.570	24.5	14.4	1600	--
	-34.000 ～ -37.000	45.500	632.770	24.5	14.4	1600	--
	-37.000 ～ -40.000	48.500	675.970	24.5	14.4	1600	--
	-40.000 ～ -43.000	51.500	719.170	24.5	14.4	1600	--
	-43.000 ～ -46.000	54.500	762.370	24.5	14.4	1600	--
	-46.000 ～ -50.000	58.500	812.770	24.5	14.4	1600	--

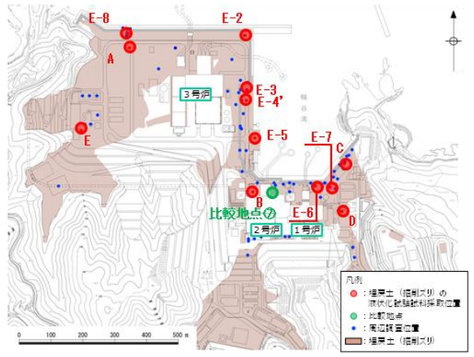
※1 掘削ズリ：$G_0=749\sigma_v'^{0.68}$ (N/mm²)



（f）基本物性（比較地点⑥）

第3-3-5 図　解析用物性値及び解析モデル

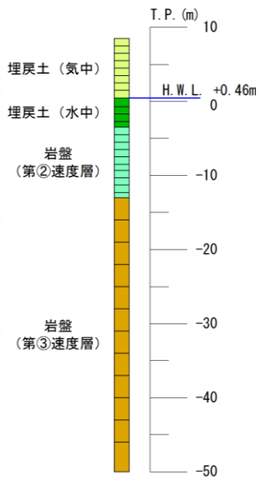
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



地盤物性値

土層	標高（T.P.m）	深度（GL.-m）	有効上載荷重 σ_v'（kN/m²）	単位体積重量 飽和，湿潤 γ_{sat},γ_t（kN/m³）	単位体積重量 水中 γ'（kN/m³）	せん断波速度 V_s（m/s）	初期せん断弾性係数 G_0※1（kN/m²）
埋戻土(気中)	8.500 ～ 7.500	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	7.500 ～ 6.500	2.000	29.400	19.6	—	—	73050
	6.500 ～ 5.500	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	5.500 ～ 4.500	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	4.500 ～ 3.500	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
	3.500 ～ 2.500	6.000	107.800	19.6	—	—	172200
	2.500 ～ 1.500	7.000	127.400	19.6	—	—	192300
	1.500 ～ 0.460	8.040	147.392	19.6	—	—	211700
埋戻土(水中)	0.460 ～ -0.700	9.200	163.732	20.7	10.6	—	226900
	-0.700 ～ -1.700	10.200	175.180	20.7	10.6	—	237200
	-1.700 ～ -2.700	11.200	185.780	20.7	10.6	—	246600
	-2.700 ～ -3.498	11.998	195.309	20.7	10.6	—	254900
岩盤（第②速度層）	-3.498 ～ -4.500	13.000	206.002	23.0	12.9	900	—
	-4.500 ～ -5.500	14.000	218.915	23.0	12.9	900	—
	-5.500 ～ -6.500	15.000	231.815	23.0	12.9	900	—
	-6.500 ～ -7.500	16.000	244.715	23.0	12.9	900	—
	-7.500 ～ -8.500	17.000	257.615	23.0	12.9	900	—
	-8.500 ～ -9.300	17.800	269.225	23.0	12.9	900	—
	-9.300 ～ -10.300	18.800	280.835	23.0	12.9	900	—
	-10.300 ～ -11.300	19.800	293.735	23.0	12.9	900	—
	-11.300 ～ -12.300	20.800	306.635	23.0	12.9	900	—
	-12.300 ～ -13.000	21.500	317.600	23.0	12.9	900	—
岩盤（第③速度層）	-13.000 ～ -16.000	24.500	343.715	24.5	14.4	1600	—
	-16.000 ～ -19.000	27.500	386.915	24.5	14.4	1600	—
	-19.000 ～ -22.000	30.500	430.115	24.5	14.4	1600	—
	-22.000 ～ -25.000	33.500	473.315	24.5	14.4	1600	—
	-25.000 ～ -28.000	36.500	516.515	24.5	14.4	1600	—
	-28.000 ～ -31.000	39.500	559.715	24.5	14.4	1600	—
	-31.000 ～ -34.000	42.500	602.915	24.5	14.4	1600	—
	-34.000 ～ -37.000	45.500	646.115	24.5	14.4	1600	—
	-37.000 ～ -40.000	48.500	689.315	24.5	14.4	1600	—
	-40.000 ～ -43.000	51.500	732.515	24.5	14.4	1600	—
	-43.000 ～ -46.000	54.500	775.715	24.5	14.4	1600	—
	-46.000 ～ -50.000	58.500	826.115	24.5	14.4	1600	—

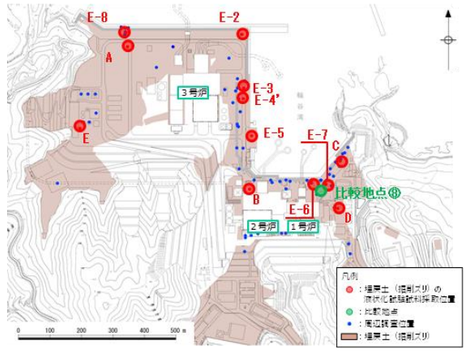
※1 掘削ズリ：$G_0=749\sigma_v'^{0.66}$（N/mm²）



（g）基本物性（比較地点⑦）

第3-3-5 図　解析用物性値及び解析モデル

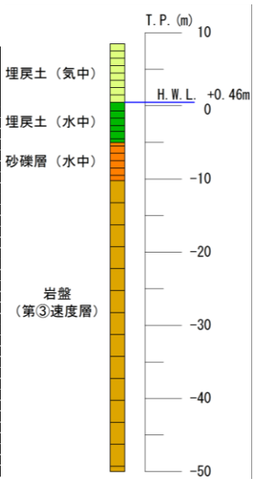
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



地盤物性値

土層	標高（T.P.m）		深度（G.L.-m）	有効上載荷重 σ_v' (kN/m²)	単位体積重量 飽和，湿潤 γ_{sat},γ_t (kN/m³)	単位体積重量 水中 γ' (kN/m³)	せん断波速度 V_s (m/s)	初期せん断弾性係数 $G_0^{※1}$ (kN/m²)
埋戻土(気中)	8.500	～ 7.500	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	7.500	～ 6.500	2.000	29.400	19.6	—	—	73050
	6.500	～ 5.500	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	5.500	～ 4.500	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	4.500	～ 3.500	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
	3.500	～ 2.500	6.000	107.800	19.6	—	—	172200
	2.500	～ 1.500	7.000	127.400	19.6	—	—	192300
	1.500	～ 0.460	8.040	147.392	19.6	—	—	211700
埋戻土(水中)	0.460	～ -0.700	9.200	163.732	20.7	10.6	—	226900
	-0.700	～ -1.700	10.200	175.180	20.7	10.6	—	237200
	-1.700	～ -2.700	11.200	185.780	20.7	10.6	—	246600
	-2.700	～ -3.500	12.000	195.320	20.7	10.6	—	254900
	-3.500	～ -4.500	13.000	204.860	20.7	10.6	—	263100
	-4.500	～ -5.012	13.512	212.874	20.7	10.6	—	269800
砂礫層（水中）	-5.012	～ -5.500	14.000	218.174	20.7	10.6	—	94820
	-5.500	～ -6.500	15.000	226.060	20.7	10.6	—	96890
	-6.500	～ -7.500	16.000	236.660	20.7	10.6	—	99640
	-7.500	～ -8.500	17.000	247.260	20.7	10.6	—	102300
	-8.500	～ -9.500	18.000	257.860	20.7	10.6	—	105000
	-9.500	～ -10.249	18.749	267.130	20.7	10.6	—	107300
岩盤（第③速度層）	-10.249	～ -13.249	21.749	292.699	24.5	14.4	1600	—
	-13.249	～ -16.249	24.749	335.899	24.5	14.4	1600	—
	-16.249	～ -19.249	27.749	379.099	24.5	14.4	1600	—
	-19.249	～ -22.249	30.749	422.299	24.5	14.4	1600	—
	-22.249	～ -25.249	33.749	465.499	24.5	14.4	1600	—
	-25.249	～ -28.249	36.749	508.699	24.5	14.4	1600	—
	-28.249	～ -31.249	39.749	551.899	24.5	14.4	1600	—
	-31.249	～ -34.249	42.749	595.099	24.5	14.4	1600	—
	-34.249	～ -37.249	45.749	638.299	24.5	14.4	1600	—
	-37.249	～ -40.249	48.749	681.499	24.5	14.4	1600	—
	-40.249	～ -43.249	51.749	724.699	24.5	14.4	1600	—
	-43.249	～ -46.249	54.749	767.899	24.5	14.4	1600	—
	-46.249	～ -49.249	57.749	811.099	24.5	14.4	1600	—
	-49.249	～ -50.000	58.500	838.107	24.5	14.4	1600	—

※1 掘削ズリ：G_0=749$\sigma_v'^{0.66}$ (N/mm²)，砂礫：G_0=240$\sigma_v'^{0.63}$ (N/mm²)



（h）基本物性（比較地点⑧）

第3-3-5 図　解析用物性値及び解析モデル

柏崎刈羽原子力発電所 6／7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉（2019.11.6版）	島根原子力発電所 2号炉	備考

柏崎刈羽原子力発電所 6／7号炉 (2017.12.20版)

第11-6-1 表 地震応答解析における最大せん断応力と等価繰返し回数

基準地震動Ss	A-1								A-2				A-3		O-1			
	洪積砂層Ⅰ（土被り圧100kN/m²相当）		洪積砂層Ⅰ（土被り圧150kN/m²相当）		洪積砂層Ⅱ（土被り圧150kN/m²相当）		洪積砂層Ⅱ（土被り圧200kN/m²相当）		洪積砂層Ⅰ		洪積砂層Ⅱ		新期砂層・沖積層		洪積砂質土層Ⅰ		洪積砂質土層Ⅱ	
	L_{max}	N_{eq}	L_{max}	N_{eq}	L_{max}	N_{eq}	L_{max}	N_{eq}	L_{max}	N_{eq}	L_{max}	N_{eq}	L_{max}	N_{eq}	L_{max}	N_{eq}	L_{max}	N_{eq}
Ss1	0.90	8.7	0.94	9.0	0.96	7.4	0.95	7.2	0.88	6.1	0.91	8.2	0.98	6.0	0.43	－※1	0.46	－※1
Ss2EW	0.55	15.0	0.55	17.6	0.52	19.1	0.47	24.2	0.53	－※1	0.64	126.8	0.55	20.4	0.32	－※1	0.34	－※1
Ss2NS	0.52	17.8	0.53	17.9	0.53	19.1	0.51	20.3	0.53	－※1	0.60	－※1	0.56	20.9	0.25	－※1	0.25	－※1
Ss3	0.64	13.3	0.67	15.1	0.68	12.6	0.69	12.5	0.68	22.1	0.72	16.6	0.73	11.2	0.43	－※1	0.44	－※1
Ss4EW	0.49	20.9	0.50	20.7	0.50	22.1	0.47	25.1	0.48	－※1	0.53	－※1	0.48	60.9	0.34	－※1	0.37	－※1
Ss4NS	0.34	－※1	0.36	23.9	0.37	40.9	0.37	31.3	0.39	－※1	0.42	－※1	0.40	－※1	0.22	－※1	0.23	－※1
Ss5EW	0.58	10.1	0.62	10.6	0.64	9.2	0.65	8.6	0.64	53.1	0.70	13.5	0.68	8.2	0.44	－※1	0.48	－※1
Ss5NS	0.49	3.7	0.51	5.1	0.53	4.7	0.53	4.9	0.52	－※1	0.61	－※1	0.54	4.4	0.24	－※1	0.25	－※1
Ss6EW	0.54	22.5	0.57	22.7	0.57	20.4	0.57	20.3	0.57	－※1	0.62	－※1	0.59	22.6	0.40	－※1	0.44	－※1
Ss6NS	0.48	12.8	0.50	16.5	0.50	14.8	0.49	14.7	0.52	－※1	0.57	－※1	0.53	10.8	0.27	－※1	0.27	－※1
Ss7EW	0.53	18.8	0.56	17.3	0.58	15.3	0.59	14.2	0.58	－※1	0.67	38.7	0.62	15.1	0.48	－※1	0.51	－※1
Ss7NS	0.45	5.0	0.48	6.8	0.50	5.3	0.50	5.5	0.51	－※1	0.56	－※1	0.52	7.1	0.29	－※1	0.31	－※1
Ss8															0.33	－※1	0.35	－※1

最大せん断応力比：$L_{max}=\tau_{max}/\sigma_v'$，$\tau_{max}$：最大せん断応力，$\sigma_v'$：有効土被り圧，$N_{eq}$：等価繰返し回数

※1 解析から得られる最大せん断応力比（L_{max}）が，試験結果から設定した回帰曲線の繰返し回数200回の値よりも小さいものについては，累積損傷度理論にも基づく等価繰り返し回数の評価対象外であるため「－」と表記

※2 試験は等方等圧試験であり，実地盤と応答解析を比較するため，静止土圧係数（K_0：一般値0.5）により，等価せん断応力を補正して最大せん断応力を等価繰返し回数と対比する。$\tau_e\times3/(1+2K_0)=0.65\times3/2\times\tau_{max}\fallingdotseq\tau_{max}$，$\tau_e$：等価せん断応力

女川原子力発電所 2号炉（2019.11.6版）

第5.4-1表 一次元地震応答解析による等価一定せん断応力と等価繰返し回数（旧表土）

位置	防潮堤直下										O.P.+2.5m盤									
	A-1		B-1		B-2		B-3		B-4		C-1		D-1		D-2		D-3		D-4	
有効土被り圧(kN/m²)	579.7		—		531.8		540.2		555.3		—		107.1		134.9		132.4		128.1	
基準地震動Ss	τ/σ_v'	N_{eq}	τ/σ_v'	N_{eq}	τ/σ_v'	N_{eq}	τ/σ_v'	N_{eq}	τ/σ_v'	N_{eq}	τ/σ_v'	N_{eq}	τ/σ_v'	N_{eq}	τ/σ_v'	N_{eq}	τ/σ_v'	N_{eq}	τ/σ_v'	N_{eq}
Ss-D1	0.17	39.17	対象層なし		0.18	58.78	0.18	49.27	0.18	42.98	対象層なし		0.49	76.32	0.42	44.56	0.42	49.50	0.43	63.32
Ss-D2	0.16	48.42			0.17	53.85	0.17	45.35	0.17	37.66			0.48	49.94	0.38	68.82	0.40	43.78	0.42	41.29
Ss-D3	0.15	43.98			0.17	56.01	0.16	43.42	0.16	40.66			0.46	51.81	0.36	107.11	0.36	93.21	0.37	72.98
Ss-F1	0.16	99.43			0.17	73.51	0.17	72.57	0.17	64.20			0.48	75.00	0.39	80.74	0.40	92.34	0.42	77.11
Ss-F2	0.14	67.73			0.18	30.82	0.17	33.30	0.17	37.71			0.48	25.22	0.40	29.05	0.41	28.24	0.43	28.19
Ss-F3	0.12	0.10			0.14	20.50	0.12	200※1	0.11	200※1			0.40	50.08	0.30	46.62	0.30	44.78	0.31	46.20
Ss-N1	0.20	24.53			0.20	29.99	0.20	28.51	0.20	28.61			0.52	20.95	0.45	22.11	0.46	21.40	0.46	20.98

※1 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_{L20})に対して，解析から得られる等価一定せん断応力比(L_e)が小さい場合は，その等価一定せん断応力比に相当する等価繰返し回数(N_{eq})を200回とした。

島根原子力発電所 2号炉

第3-3-1 表 地震応答解析における最大せん断応力と等価繰返し回数（埋戻土（掘削ズリ））

基準地震動Ｓｓ	Ss-D		Ss-N1		Ss-N2(NS)		Ss-N2(EW)	
	L	N_{eq}	L	N_{eq}	L	N_{eq}	L	N_{eq}
比較地点①	0.67	801.1	0.51	73.2	0.51	266.5	0.44	256.1
比較地点②	0.69	713.1	0.53	48.1	0.53	202.6	0.44	278.3
比較地点③	0.63	834.0	0.40	96.9	0.46	260.8	0.43	290.9
比較地点④	0.64	384.5	0.46	28.7	0.47	164.1	0.44	142.7
比較地点⑤	0.66	879.2	0.65	42.9	0.47	230.9	0.50	205.4
比較地点⑥	0.61	728.6	0.46	62.7	0.46	223.4	0.41	210.9
比較地点⑦	0.62	998.0	0.57	45.9	0.44	356.9	0.46	225.7
比較地点⑧	0.57	544.4	0.56	22.4	0.42	127.2	0.51	59.4

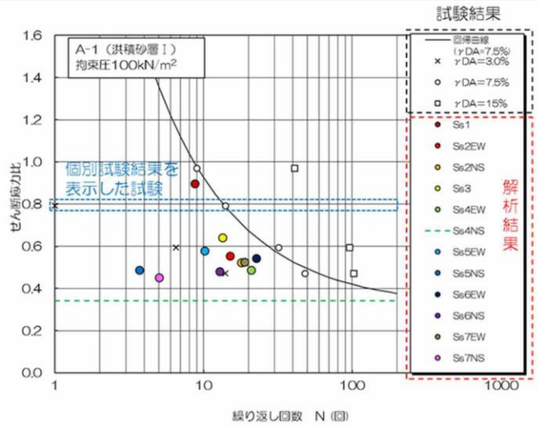
最大せん断応力比：$L=\tau_e/\sigma_v'$
τ_e：等価せん断応力（$=0.65\times\tau_{max}$），
σv´：有効土被り圧
N_{eq}：等価繰返し回数

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	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と等価繰返し回数（盛土）		

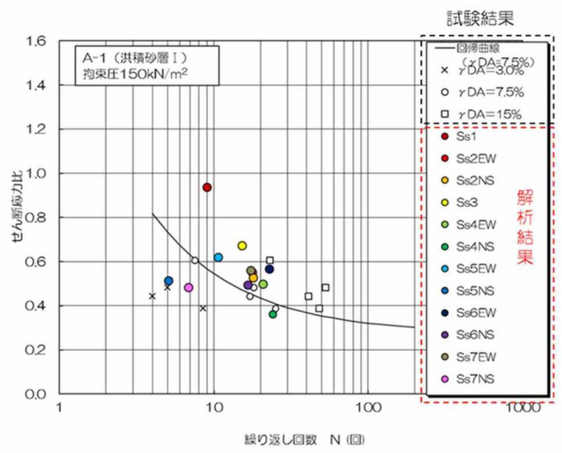
位置	防潮堤直下										O.P. +2.5m盤									
	A-1		B-1		B-2		B-3		B-4		C-1		D-1		D-2		D-3		D-4	
有効土被り圧 (kN/m²)	564.6		551.8		—		496.7		511.3		36.1		39.8		40.7		50.3		50.6	
基準地震動Ss	τ_e/σ_c'	N_{eq}	τ_e/σ_c'	N_{eq}	τ_e/σ_c'	N_{eq}	τ_e/σ_c'	N_{eq}	τ_e/σ_c'	N_{eq}	τ_e/σ_c'	N_{eq}	τ_e/σ_c'	N_{eq}	τ_e/σ_c'	N_{eq}	τ_e/σ_c'	N_{eq}	τ_e/σ_c'	N_{eq}
Ss-D1	0.18	200※1	0.17	200※1	対象層なし		0.17	200※1	0.18	200※1	0.86	50.33	0.56	94.30	0.46	72.83	0.50	67.62	0.53	64.27
Ss-D2	0.16	200※1	0.16	200※1			0.17	200※1	0.17	200※1	0.88	55.10	0.64	59.68	0.47	61.09	0.47	67.68	0.54	42.34
Ss-D3	0.16	200※1	0.17	200※1			0.16	200※1	0.15	200※1	0.64	105.36	0.48	120.87	0.45	71.79	0.45	83.29	0.46	86.31
Ss-F1	0.15	200※1	0.16	200※1			0.17	200※1	0.17	200※1	0.61	87.30	0.49	100.58	0.45	59.08	0.45	84.31	0.45	94.97
Ss-F2	0.14	200※1	0.14	200※1			0.18	200※1	0.18	200※1	0.70	74.97	0.59	39.65	0.64	22.42	0.67	22.22	0.66	22.41
Ss-F3	0.11	200※1	0.09	200※1			0.12	200※1	0.11	200※1	0.81	37.15	0.57	38.18	0.58	23.00	0.53	21.96	0.54	22.07
Ss-N1	0.21	200※1	0.23	20.50			0.21	200※1	0.22	200※1	0.92	22.43	0.56	21.42	0.63	20.73	0.62	20.80	0.60	20.96

※1 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}）に対して，解析から得られる等価一定せん断応力比（L_e）が小さい場合は，その等価一定せん断応力比に相当する等価繰返し回数（N_{eq}）を200回とした。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

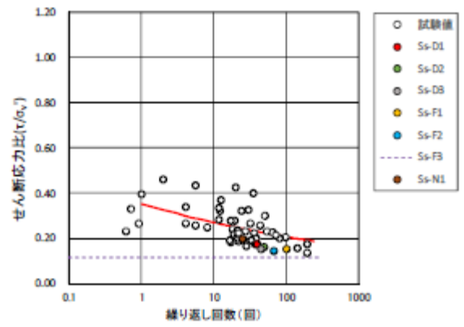


(a) 拘束圧100kN/m^2

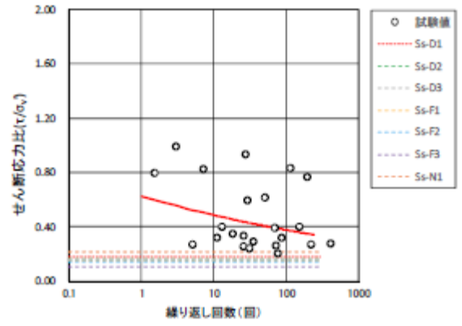


(b) 拘束圧150kN/m^2

第11-6-5 図 累積損傷度理論に基づく評価結果（A-1 地点の洪積砂層Ⅰ）

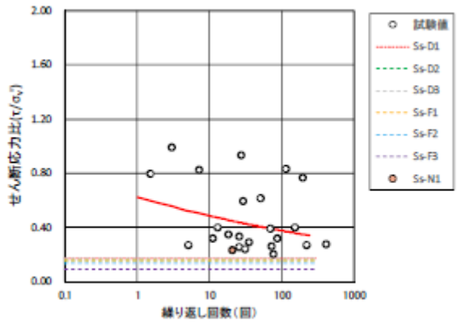


(a) 旧表土



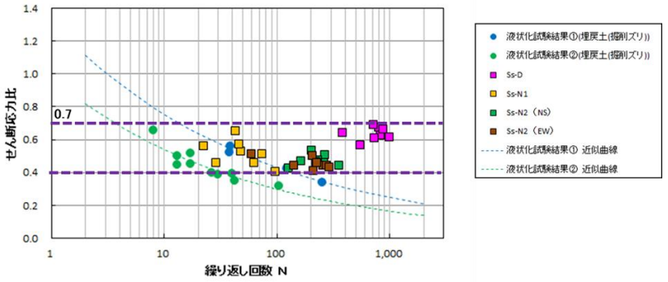
(b) 盛土

第5.4-4図 累積損傷度理論に基づく評価結果（A-1）



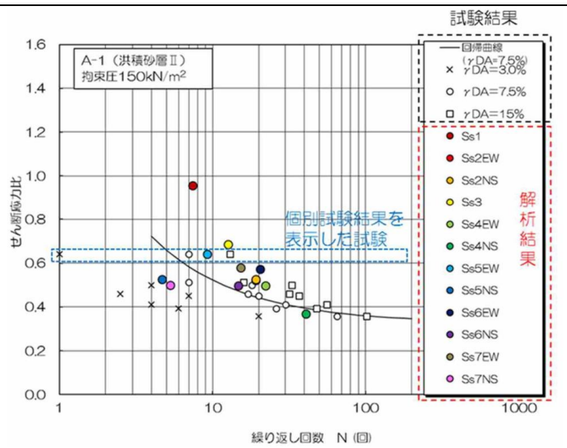
(a) 盛土

第5.4-5図 累積損傷度理論に基づく評価結果（B-1）

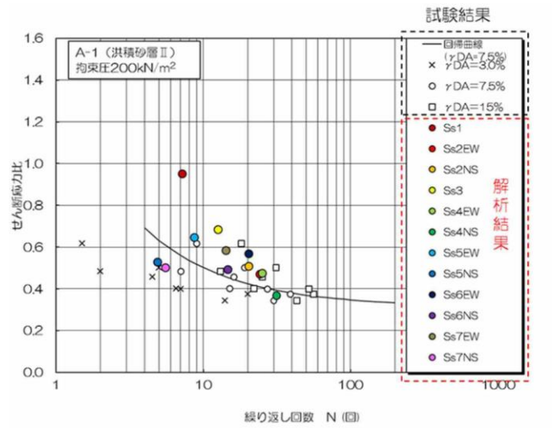


第3-3-6 図　累積損傷度理論に基づく評価結果（埋戻土（掘削ズリ））

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

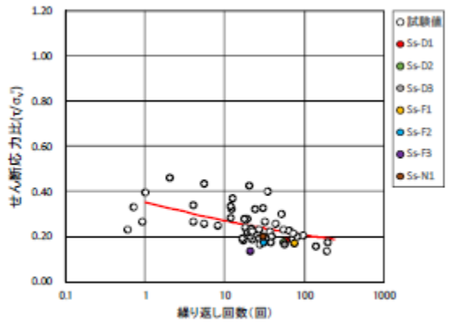


(a) 拘束圧150kN/m²



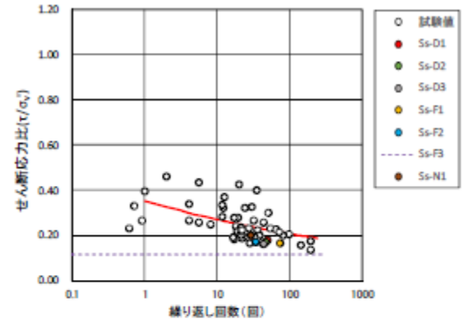
(b) 拘束圧200kN/m²

第11-6-6 図 累積損傷度理論に基づく評価結果（A-1 地点の洪積砂層Ⅱ）

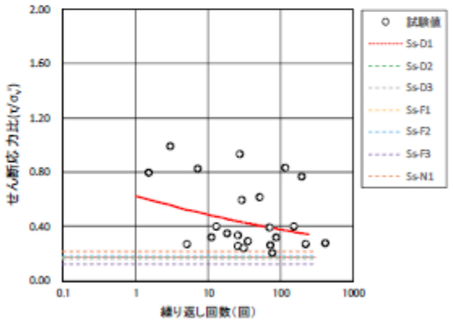


(a) 旧表土

第5.4-6図 累積損傷度理論に基づく評価結果（B-2）



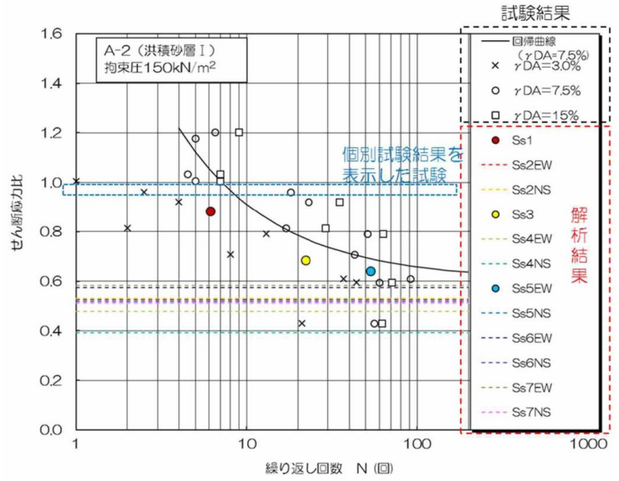
(a) 旧表土



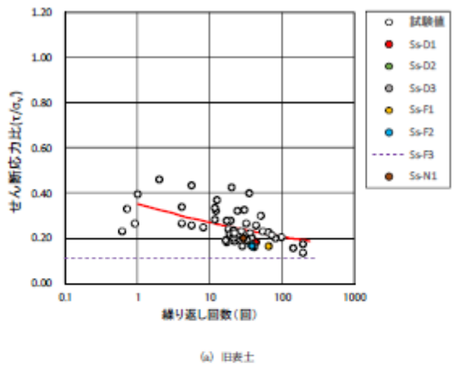
(b) 盛土

第5.4-7図 累積損傷度理論に基づく評価結果（B-3）

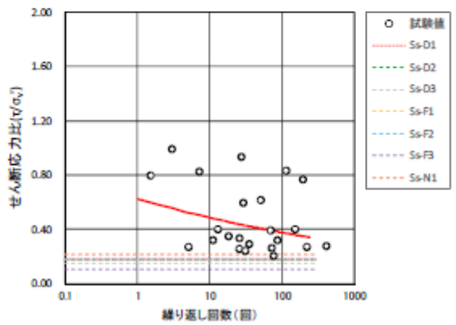
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



第11-6-7 図 累積損傷度理論に基づく評価結果（A-2 地点の洪積砂層Ⅰ）

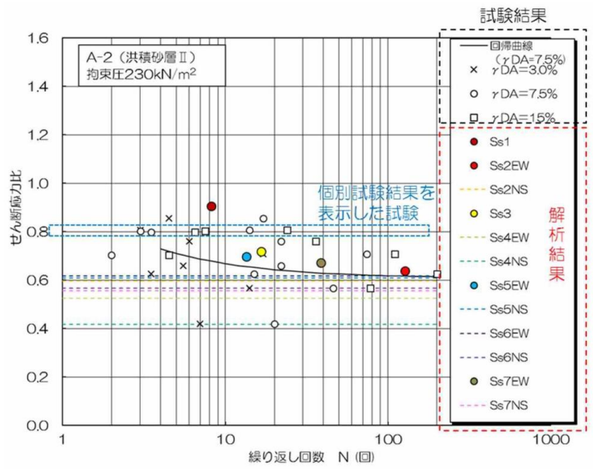


(a) 旧表土

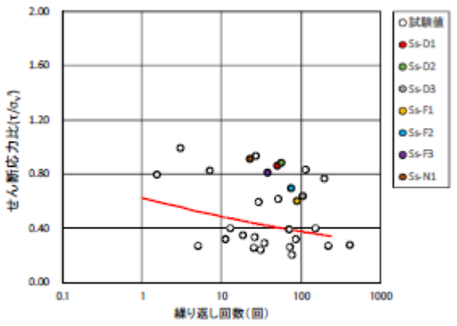


(b) 盛土

第5.4-8図 累積損傷度理論に基づく評価結果（B-4）



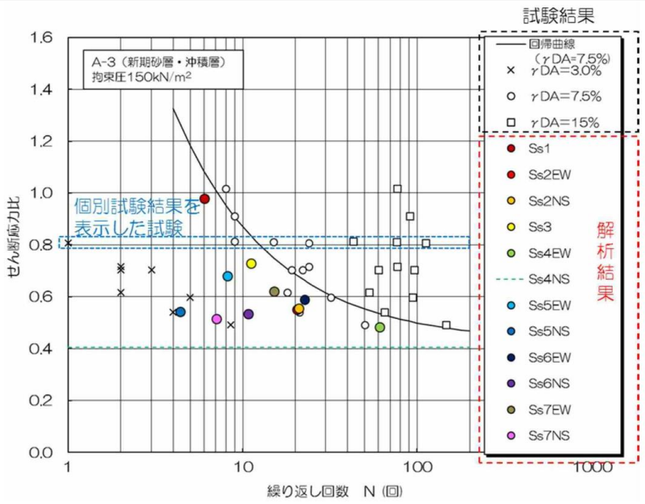
第11-6-8 図 累積損傷度理論に基づく評価結果（A-2 地点の洪積砂層Ⅱ）



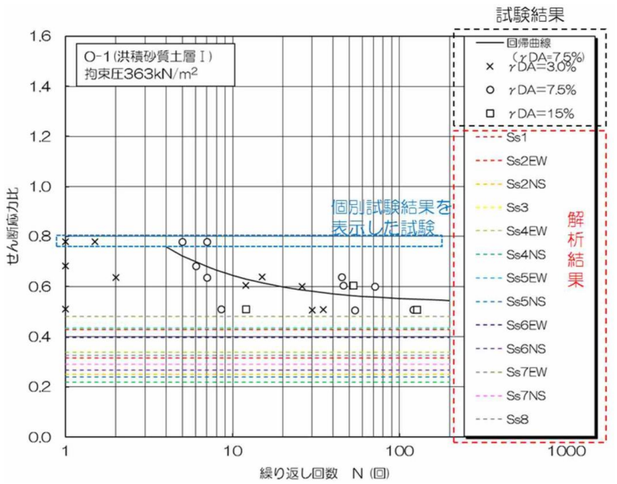
(a) 盛土

第5.4-9図 累積損傷度理論に基づく評価結果（C-1）

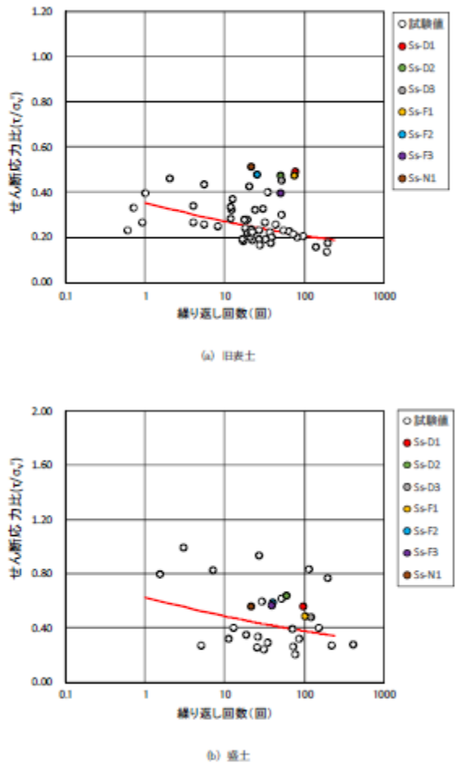
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



第11-6-9 図 累積損傷度理論に基づく評価結果（A-3 地点の新期砂層・沖積層）

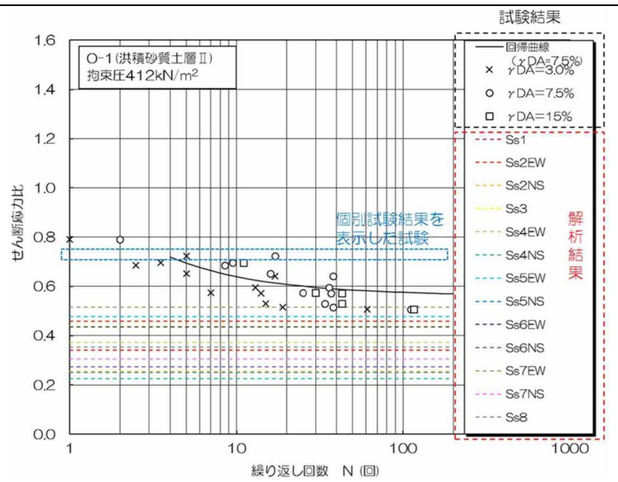


第11-6-10 図 累積損傷度理論に基づく評価結果（O-1 地点の洪積砂質土層Ⅰ）

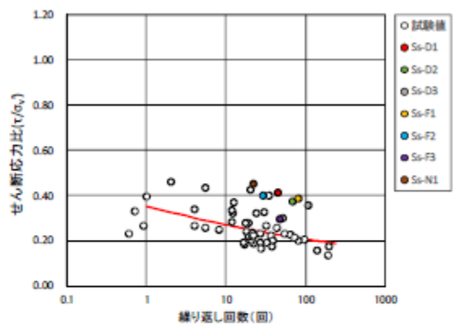


第5.4-10図 累積損傷度理論に基づく評価結果（D-1）

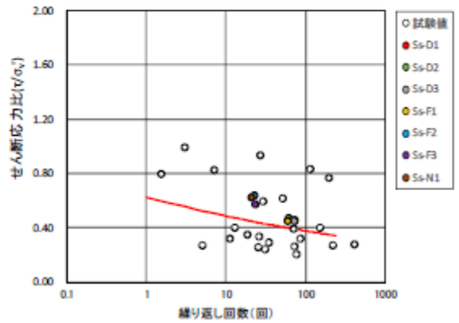
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



第11-6-11 図 累積損傷度理論に基づく評価結果（O-1 地点の洪積砂質土層Ⅱ）



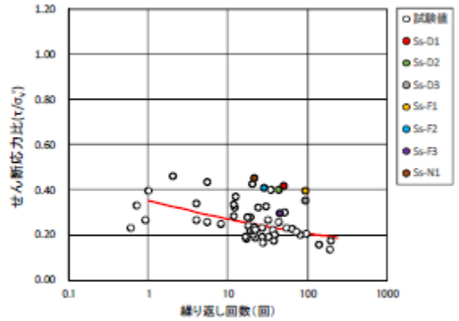
(a) 旧表土



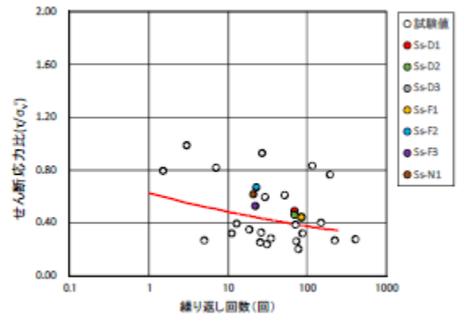
(b) 盛土

第5.4-11図 累積損傷度理論に基づく評価結果（D-2）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



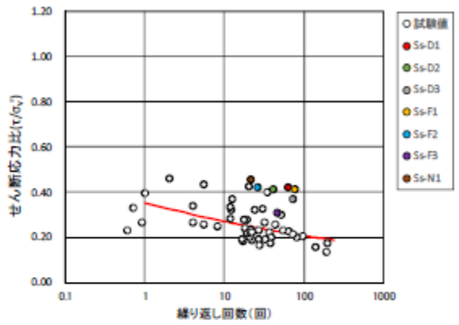
(a) 旧表土



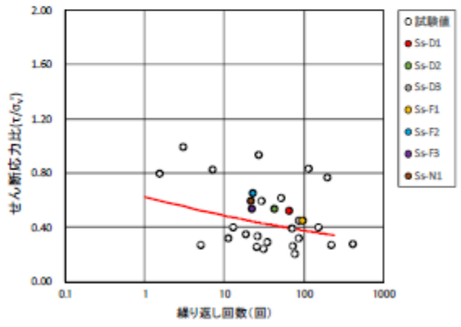
(b) 盛土

第5.4-12図 累積損傷度理論に基づく評価結果（D-3）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



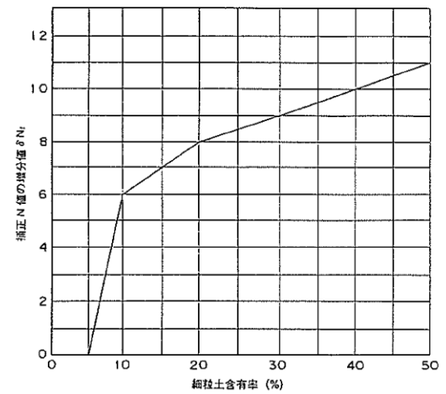
(a) 旧表土



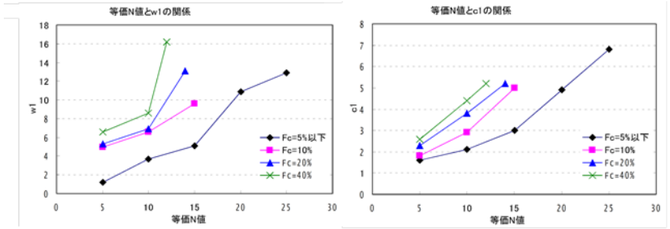
(b) 盛土

第5.4-13図 累積損傷度理論に基づく評価結果（D-4）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		3.4　簡易設定法 港湾基準では，有効応力解析（ＦＬＩＰ）に使用する地盤の物性に関するパラメータの設定方法について，原位置で行われた詳細な土質データを用いて検討することを基本としているが，簡易設定法による方法も明記されている。 簡易設定法は，港湾基準に基づく詳細な計算例をまとめた設計事例集に準拠し，液状化強度比R_lと相関が高いＮ値，有効上載圧及び細粒分含有率を用いて，有効応力解析（ＦＬＩＰ）の解析理論に則った液状化強度特性を設定することができる。 有効応力解析（ＦＬＩＰ）は，解析において土粒子と間隙水の両方を取り扱うことによって，過剰間隙水圧の上昇を模擬できるとともに，過剰間隙水圧の上昇に伴う土要素の剛性及び強度の低下，すなわち液状化現象を模擬することができる解析コードである。さらに，地盤の液状化に伴う構造物の変形等，地盤と構造物の相互作用を模擬することができる。 有効応力解析（ＦＬＩＰ）で用いる有効応力モデルのパラメータのうち，液状化特性（過剰間隙水圧の発生）を設定するパラメータを第3-4-1表に示す。 第3-4-1表　有効応力解析（ＦＬＩＰ）で用いる有効応力モデルの主なパラメータ <table><tr><th>分類</th><th colspan="2">モデルパラメータ</th></tr><tr><td rowspan="6">液状化特性</td><td>Φ_p</td><td>変相角</td></tr><tr><td>w_1</td><td>過剰間隙水圧上昇の全体を規定するパラメータ</td></tr><tr><td>p_1</td><td>過剰間隙水圧上昇の前半を規定するパラメータ</td></tr><tr><td>p_2</td><td>過剰間隙水圧上昇の後半を規定するパラメータ</td></tr><tr><td>c_1</td><td>液状化強度の下限値を規定するパラメータ</td></tr><tr><td>S_1</td><td>液状化の終局状態を規定するパラメータ</td></tr></table> 液状化特性を設定するパラメータは，繰返し非排水三軸試験結果を踏まえ，ＦＬＩＰで試行的な繰返し計算を行い，全てのせん断応力比における整合性を確認して設定する方法が標準的とされている。 一方，簡易設定法は標準的な液状化パラメータ設定法を基に，これらのパラメータを，通常の地盤調査で比較的入手しやすい標準貫入試験のＮ値等と関連付けて設定する方法である。	・資料構成の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉では有効応力解析のパラメータ設定に使用する簡易設定法について説明している （以下，島根２号炉の3.4 章はすべて同じ理由である）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		簡易設定法では，原位置のＮ値及び有効上載圧より求まる等価Ｎ値をもとに簡易的に求めた液状化強度曲線が，ＦＬＩＰを用いた繰返し三軸試験のシミュレーション結果に合うように求める。その液状化パラメータのうちp2については，以下の式で算出する。 $(N)_{0.66}=(N-1.828(\sigma_v'-0.66))/(0.399(\sigma_v'-0.66)+1)$ $N_a=(1/0.66)^{0.5}\times(N)_{0.66}+dNt$　※dNt は森田ら（1997）の右図から求める ここに，$(N)_{0.66}$：等価Ｎ値 σ_v'：有効上載圧 $p_2=-0.0166N_a+1.215$  第3-4-1図　細粒分含有率に応じた補正Ｎ値の増分値 w1，c1については，最新の研究成果に基づき第3-4-2図から算出する。なお，変相角φp=28度，　p1=0.5，s1=0.005については，「液状化による構造物被害予測プログラムＦＬＩＰにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法（森田ら）」に基づき固定値とする。 今回，保守的に液状化強度特性を設定するため，標準貫入試験で求めたＮ値については，次頁のとおり取り扱う。 上述の方法等で求まる液状化パラメータに基づき，ＦＬＩＰにおいて各せん断応力比に対する繰返し回数を計算すると，第3-4-4～5図に示す簡易設定法に基づく液状化強度曲線が設定される。なお，敷地全体としての評価を行うことにより代表性・網羅性を確保する観点から，埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層のＮ値及び細粒分含有率については，敷地全体の平均値を用いる。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



第 3-4-2 図　等価Ｎ値と液状化パラメータ w1 及び c1 の関係

標準貫入試験（JIS A 1219）※により得られたＮ値について，今回，以下のとおり扱うことにより，保守的に液状化強度特性を設定する。

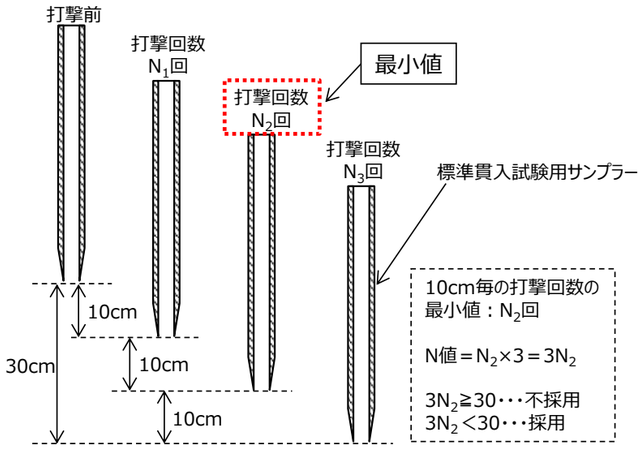
①Ｎ値=50以上：非常に密な地盤であるため，液状化強度特性の設定に使用しない。

②Ｎ値=30以上：密な地盤であるため，保守的に補正し，以下のとおり扱う。

・10cm毎の打撃回数の最小値を３倍した値とし，その値が30以上の場合，結果を液状化強度特性の設定に使用しない。

・10cm毎の打撃回数の最小値を３倍した値とし，その値が30未満の場合，結果を液状化強度特性の設定に使用する。

③Ｎ値=30未満：液状化強度特性の設定にそのまま使用する。



※標準貫入試験（JIS A 1219）は，標準貫入試験用サンプラーを動的貫入することによって原位置における地盤の硬軟，締まり具合又は土層の構成を判定するためのＮ値を得るために行う。試験は，質量 63.5kg のハンマーを 76cm の高さから自由落下させ，標準貫入試験用サンプラーを打ち込む。Ｎ値は，標準貫入試験用サンプラーを 30cm 打ち込むために必要な打撃回数である。

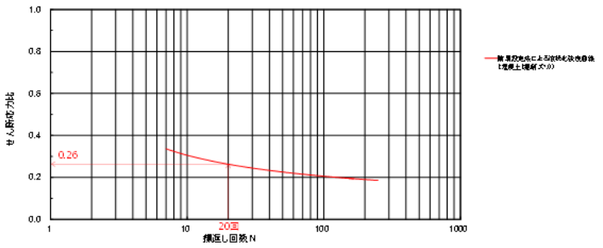
第 3-4-3 図　Ｎ値の評価概要図（②Ｎ値=30 以上）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

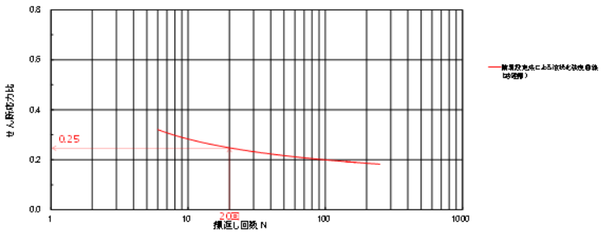
第 3-4-2 表　簡易設定法におけるＮ値の考え方

	打撃回数			N値 (JIS A 1219) ($N_1+N_2+N_3$)	N値（補正） (最小値の3倍)	評価結果 (今回)
	N_1	N_2	N_3			
①	50	-	-	50	-	使用しない
	17	33	-	50	-	使用しない
	17	11	22	50	-	使用しない
②	15	12	18	45	36	使用しない
	15	9	18	42	27	27
③	8	10	5	23	-	23

簡易設定法による液状化パラメータで計算した液状化強度曲線を第3-4-4～5 図に示す。



3-4-4 図　埋戻土（掘削ズリ）の液状化強度曲線



第3-4-5 図　砂礫層の液状化強度曲線

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

・簡易設定法の適用範囲

「液状化による構造物被害予測プログラムＦＬＩＰにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法（森田ら）」では，ＦＬＩＰを用いて解析を行う場合の種々のパラメータの設定方法として標準貫入試験のＮ値から簡易的に設定する方法が示されており，この検討で用いられているせん断応力比は，0.2～0.9程度（Fc=10～20%）と幅の広い値としている。

島根２号炉における埋戻土（掘削ズリ）の累積損傷度理論に基づく評価において，基準地震動Ｓｓでの最大せん断応力比は0.4～0.7程度である。

島根２号炉における埋戻土（掘削ズリ）の最大せん断応力比は，森田らの検討で使用されているせん断応力比に包含されていることから，簡易設定法が適用できると考えられる。

表－６　等価Ｎ値$(N)_{0.66}$に対するせん断応力比τ_1/σ_m'（細粒分含有率$F_c \geqq 10\%$の場合）

(a) F_c＝10％の場合

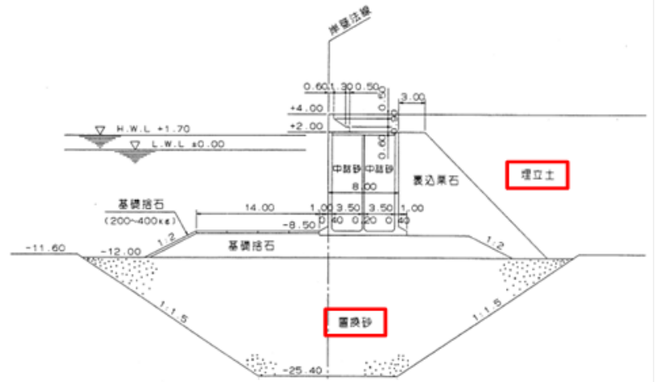
$(N)_{0.66}$	N_a	10回	15回	26回
				最小
5	12	0.24	0.22	0.21
10	18	0.35	0.31	0.28
15	24	0.69	0.54	0.43

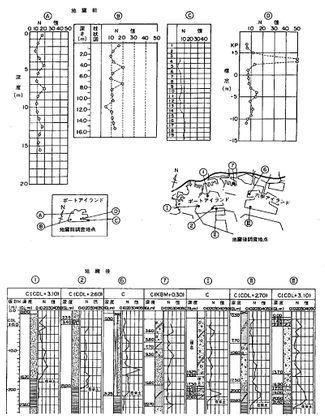
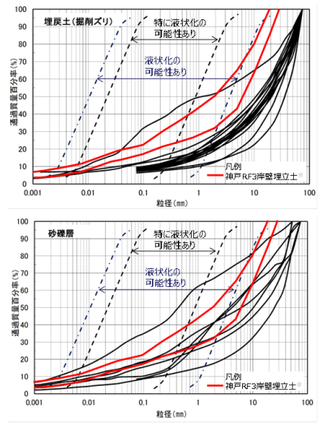
(b) F_c＝20％の場合

$(N)_{0.66}$	N_a	10回	15回	26回
5	14	0.26	0.24	0.22
10	20	0.41	0.36	0.32
14	25	0.85	0.66	0.51
		最大		

液状化による構造物被害予測プログラムＦＬＩＰにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法（森田ら）より引用

第3-4-6 図　簡易設定法の根拠資料

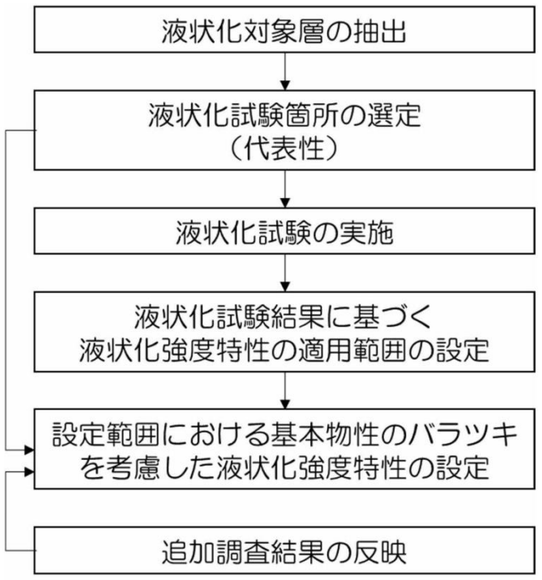
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		・簡易設定法の実績 「液状化解析プログラムＦＬＩＰによる動的解析の実務（財団法人沿岸技術研究センター）」では，兵庫県南部地震における神戸RF３岸壁及び神戸港Ｔ桟橋の被災状況に対して，簡易設定法により液状化パラメータを設定した再現解析にて検証を行った実績が示されている。 「神戸RF３岸壁」は重力式構造物を，「神戸港Ｔ桟橋」は杭式構造物を対象としており，「神戸RF３岸壁」においては，埋立土及び置換砂の液状化パラメータを簡易設定法で設定し，概ね被災状況を再現できている。 以上の実績を踏まえ，島根２号炉における防波壁等に対する液状化影響評価において簡易設定法が適用できると判断した。  第3-4-7 図　神戸RF３岸壁　標準断面図 第3-4-3 表　液状化パラメータの簡易設定法の実績 地震名：平成7年 兵庫県南部地震 対象施設：神戸 RF3岸壁 被災状況：水平変位 3.7m 再現解析：水平変位 3.09m 対象施設：神戸港 T桟橋 被災状況：水平変位 1.4～1.5m 再現解析：水平変位 2.01m 液状化解析プログラムＦＬＩＰによる動的解析の実務（財団法人沿岸技術研究センター）より引用	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		Ｎ値及び粒径加積曲線について，島根２号炉の埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層と，神戸港の埋立土との比較を第3-4-8 図に示す。 神戸港の埋立土のＮ値は，いずれも５～10前後，最大20程度を示しており，島根２号炉と同程度である。神戸港の埋立土の粒径は，島根２号炉の埋戻土（掘削ズリ）より小さく，砂礫層と同程度であるが，両者とも粒径が広い範囲にわたって分布し，礫を含む土層である。 以上より，簡易設定法により液状化パラメータを設定した再現解析にて検証を行った実績のある神戸港の埋立土に対し，島根２号炉の埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層の土質性状は類似していることから，簡易設定法の適用は妥当であると判断した。  神戸港の埋立土のＮ値 兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察（運輸省港湾技術研究所，港湾技研資料）より引用  粒径加積曲線の比較 ※兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察（運輸省港湾技術研究所，港湾技研資料）より引用 第3-4-8 図　島根２号炉の埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層と神戸港埋立土の比較	

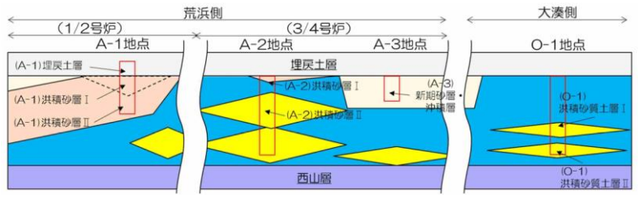
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
7. 液状化強度特性の設定 第2 章で示した地層の同一性及び第3 章で示した液状化試験個所の保守性・代表性の結果に基づいて，各土層で実施した液状化試験結果をそれぞれに適用し，各土層の液状化強度特性を設定して，構造物の影響評価を実施する。第11-7-1 図に液状化強度特性の設定のフローを，第11-7-2 図に地質断面の概要と調査位置の概要を，第11-7-1 表に液状化強度特性を設定する土層と設定の基となる液状化試験個所の関係を示す。 なお，試験結果が非液状化となる土層についても，念のため試験結果に基づいて液状化強度特性を設定し，保守的な構造物影響評価を実施する。3/4 号炉側の古安田層中の砂層のうち比較的新しい砂層（A-2 地点の洪積砂層Ⅰ）については，試験結果が非液状化であるが，地層の同一性を考慮して，A-1 地点の洪積砂層Ⅱの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。古安田層中の砂層のうち比較的古い砂層（A-2 地点の洪積砂層Ⅱ及びO-1 地点の洪積砂質土層Ⅰ・Ⅱ）については，試験結果が非液状化であるが，それぞれの試験で得られたせん断ひずみと繰り返し回数の関係に基づいて，液状化強度特性を設定する。 各土層での液状化強度特性は，液状化試験を基本として，各土層で得られた基本物性のばらつきも考慮することで，保守的な設定とする。設定の方法について，第3 章の液状化試験個所の代表性の結果に基づいて，液状化試験個所が周辺調査個所に対して保守的な個所で実施していると考えられる土層（埋戻土層，新期砂層・沖積層（荒浜側））と，液状化試験個所が周辺調査個所に対する代表性を有していると考えられる土層（古安田層中の砂層）に大別して設定する。 液状化試験個所が周辺調査個所に対して保守的な個所で実施していると考えられる土層（埋戻土層，新期砂層・沖積層（荒浜側））については，液状化試験個所の基本物性が，周辺調査個所の下限相当となっていることから，試験結果を各土層の代表値とすることが保守的と考えられる。ただし，試験結果の下限に相当する液状化強度R_L を評価して，これを満足する液状化強度特性を設定することで，さらに保守的な設定とする。具体的には，試験結果においてせん断ひずみ両振幅が7.5%となる点に対して回帰曲線を評価し，この回帰曲線を下方に移動し，試験値の下限を通る曲線と，繰返し回数20 回との交点を求め，液状化試験の下限値に相当する液状化強度R_L として評価する。なお，道路橋示方書では，繰り返し回数20 回で軸ひずみ両振幅が５％（せん断ひずみ両振幅7.5%）	5.5 液状化強度特性の設定 液状化強度特性の設定に当たっては，敷地全体の液状化強度試験から得られる液状化強度特性を保守的に下限値設定することを基本とし，各施設近傍に試験結果がある場合には，その試験結果から液状化強度特性を保守的に下限値設定する。 敷地全体の液状化強度試験結果から設定した旧表土及び盛土の液状化強度特性（下限値設定）を第5.5-1 図に，液状化パラメータを第5.5-1表に示す。 ここで，液状化強度特性を下限値とした液状化パラメータについては，旧表土及び盛土のすべての液状化試験結果を下回るようにFLIP の要素シミュレーションを繰返し実施して設定した。 なお，今後，盛土の液状化強度試験を追加する計画であることから，工認段階で改めて試験結果を確認し，必要に応じて液状化強度特性の設定に反映する。	3.5 液状化強度特性の設定方針 液状化試験結果より，液状化を示す土層はないが，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（埋戻土（掘削ズリ），砂礫層）については，念のため液状化強度特性を設定し，保守的に構造物への影響評価を実施する。 各土層での液状化強度特性は，液状化試験を踏まえ，港湾基準に基づく詳細な計算例をまとめた設計事例集に準拠し，有効応力解析（ＦＬＩＰ）の簡易設定法により設定する。簡易設定法は，液状化強度比R_Lと相関が高いＮ値，有効上載圧及び細粒分含有率を用いて有効応力解析（ＦＬＩＰ）の解析理論に則った液状化強度特性を設定することができる。なお，簡易設定法で用いるＮ値は保守的な設定値（Ｎ値が30以上の場合は，10cm毎の打撃回数の最小値を３倍した値とし，その値が30以上の場合は不採用とする）とする。 また，簡易設定法により設定された液状化強度特性は，液状化試験結果下限値の液状化強度特性よりも保守的であることを確認する。 第3-5-1 図に簡易設定法による液状化強度曲線と液状化試験結果による液状化強度曲線を示す。 簡易設定法により設定した液状化強度曲線（埋戻土（掘削ズリ））は，液状化試験結果①（ロータリー式三重管サンプラー）及び液状化試験結果②（表層試料採取）による液状化強度曲線の下側に位置する。そのため，簡易設定法による液状化強度比R_L（0.26）は，液状化試験①（ロータリー式三重管サンプラー）による液状化強度比R_L（0.61）及び液状化試験結果②（表層試料採取）による液状化強度比R_L（0.40）を下回り，保守的であることを確認した。また，簡易設定法により設定した液状化強度曲線（砂礫層）は液状化試験結果による液状化強度曲線の下側に位置し，簡易設定法による液状化強度比R_L（0.25）は液状化試験による液状化強度比R_L（0.27）を下回り，保守的であることを確認した。	・設定方針の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉では液状化強度特性の設定方針について詳細に説明している （以下，島根２号炉の3.5 章はすべて同じ理由である）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
に達するのに要するせん断応力振幅を初期有効拘束圧で除した値を液状化強度R_L として定義している。第11-7-3図に液状化試験結果の下限に相当する液状化強度R_L の評価結果を示す。 液状化試験の下限値に相当する液状化強度RL は，A-1 地点の埋戻土層で0.19，A-3 地点の新期砂層・沖積層で0.55 となり，構造物影響評価の解析においては，これを満足するように液状化強度特性を設定する。 液状化試験個所が周辺調査個所に対する代表性を有していると考えられる土層（古安田層中の砂層）については，液状化試験個所の基本物性が，周辺調査個所と同程度になっているとこから，試験結果を各土層の代表値とすることは妥当であると考えられる。ただし，N値のばらつきを液状化試験のばらつきと仮定して液状化強度RL を保守的に低減させ，これを満足する液状化強度特性を設定する。具体的には，試験結果においてせん断ひずみ両振幅が7.5%となる点に対して回帰曲線を求め，繰返し回数20 回とせん断応力比を評価し，当該地層のN 値の平均値に対する平均値-1σの値の比を乗して，N 値のばらつきに基づいて低減した液状化強度R_L として評価する。第11-7-4 図にN 値のばらつきに基づいて低減した液状化強度R_L の評価結果を示す。 N 値のばらつきに基づいて低減した液状化強度R_L は，A-1 地点の洪積砂層Ⅰで0.53（拘束圧100kN/m^2）及び0.34 （拘束圧150kN/m^2），A-1 地点の洪積砂層Ⅱで0.30（拘束圧150kN/m^2）及び0.29 （拘束圧200kN/m^2），A-2 地点の洪積砂層Ⅱで0.36，O-1 地点の洪積砂質土層Ⅰで0.45，O-1 地点の洪積砂質土層Ⅱで0.45 となり，構造物影響評価の解析においては，これを満足するように液状化強度特性を設定する。 なお，第３章で述べるように追加試験を計画しており，追加調査の結果を適切に反映し，設定した液状化強度特性の保守性を確認する。また，必要に応じて液状化強度特性の見直しを実施する。			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



第11-7-1 図 液状化強度特性の設定のフロー



第11-7-2 図 地質断面の概要と調査位置の概要

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

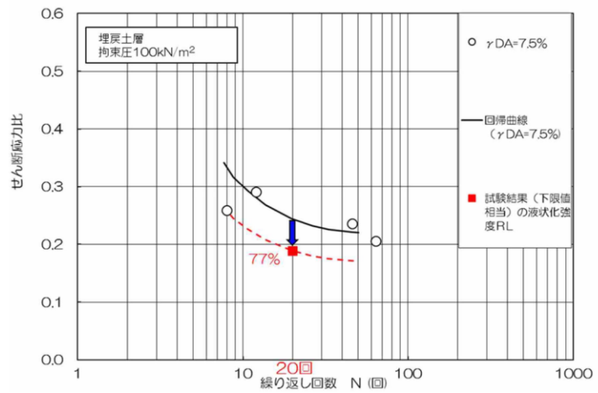
第11-7-1 表 液状化強度特性を設定する土層と設定の基となる液状化試験個所の関係

<table>
<tr><td colspan="3">今回対象構造物</td><td>(1 号炉)</td><td>(2 号炉側)</td><td>(3/4 号炉側)</td><td>6/7 号炉
取水路・軽油タンク基礎・GTG 基礎等</td></tr>
<tr><td rowspan="7">対象土層</td><td colspan="2">埋戻土層</td><td colspan="4">A-1
埋戻土層</td></tr>
<tr><td colspan="2">新期砂層・沖積層</td><td colspan="3">A-3
新期砂層・沖積層</td><td>[追加調査]
新期砂層・沖積層</td></tr>
<tr><td rowspan="3">古安田層</td><td rowspan="2">比較的新しい砂層</td><td>N 値
平均 50 以上</td><td colspan="2">A-1
洪積砂層Ⅰ</td><td colspan="2" rowspan="2">(出現しない)</td></tr>
<tr><td>N 値
平均 50 以下</td><td colspan="2">A-1
洪積砂層Ⅱ</td><td>(※１)</td></tr>
<tr><td colspan="2">比較的古い砂層</td><td colspan="3">A-2
洪積砂層Ⅱ（※２）</td><td>0-1
洪積砂質土層Ⅰ・Ⅱ（※２）</td></tr>
<tr><td colspan="2">洪積粘性土層</td><td colspan="4">(非液状化層)</td></tr>
<tr><td colspan="2">西山層</td><td colspan="4">(非液状化層)</td></tr>
</table>

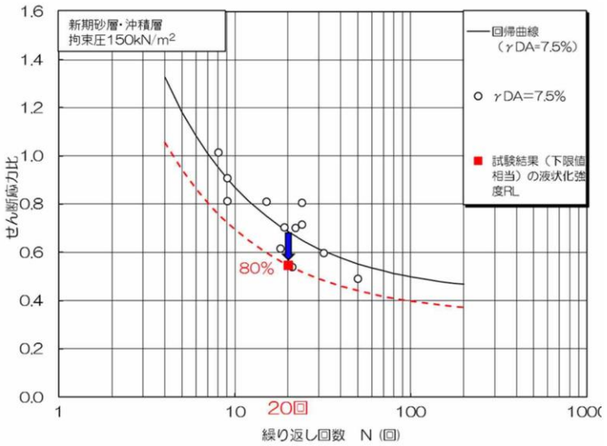
※１：3/4 号炉側の古安田層中の砂層のうち比較的新しい砂層については，試験結果が非液状化であるが，地層の同一性を考慮して，A-1 地点の洪積砂層Ⅱの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。

※２：古安田層中の砂層のうち比較的古い砂層については，試験結果が非液状化であるが，念のため液状化強度特性を設定した構造物影響評価を実施する。液状化強度特性は，荒浜側については A-2 地点の洪積砂層Ⅱ，大湊側については 0-1 地点の洪積砂質土層Ⅰ・Ⅱの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



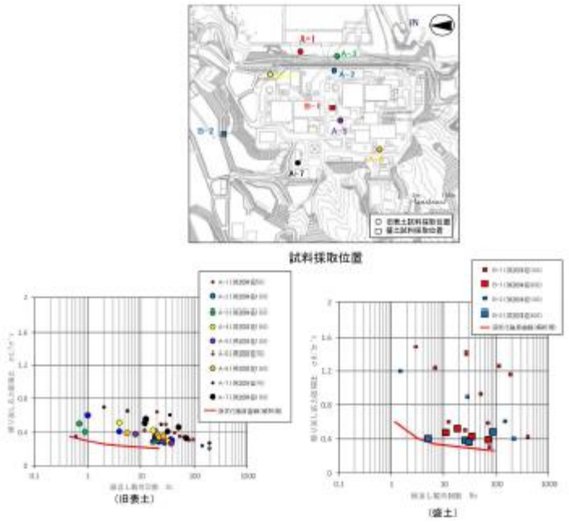
（a）埋戻土層（拘束圧100kN/m²）



（b）新期砂層・沖積層（拘束圧150kN/m²）

第11-7-3 図 液状化強度特性の設定

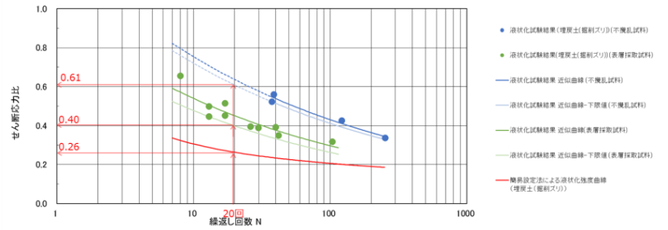
（液状化試験結果の下限に相当する液状化強度R_L）



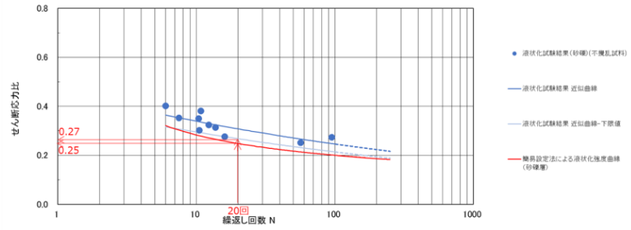
第5.5-1図 液状化強度試験結果に基づく旧表土及び盛土の液状化強度曲線（下限値設定）

第5.5-1表 旧表土及び盛土の液状化パラメータ

	ϕ_p (°)	w1	p1	p2	c1	s1
旧表土	28	1.0	1.4	1.5	2.0	0.005
盛土	28	14	1.0	0.6	2.8	0.005



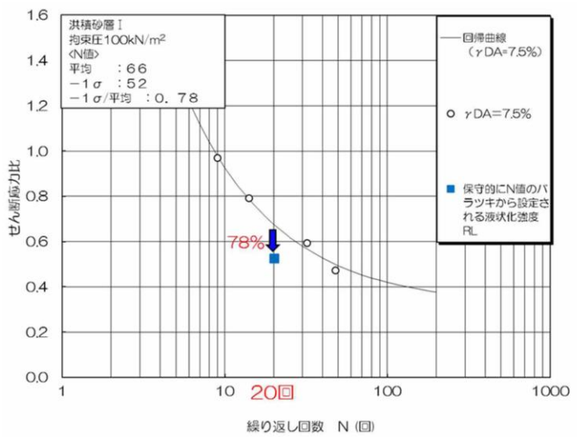
(a)埋戻土（掘削ズリ）



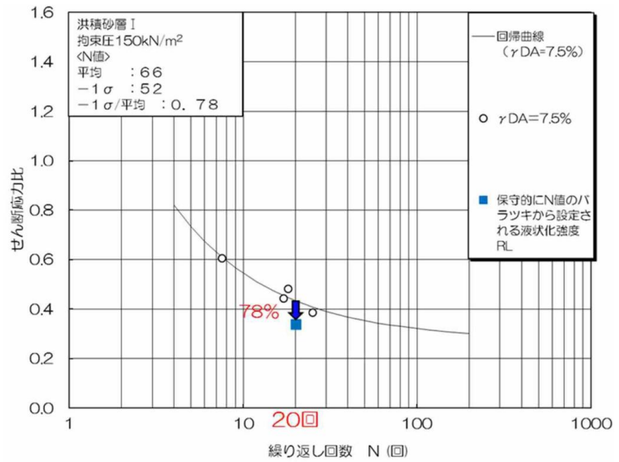
(b)砂礫層

第3-5-1 図　簡易設定法及び液状化試験結果による液状化強度曲線の比較

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



(a) A-1 地点の洪積砂層Ⅰ（拘束圧100kN/m²）

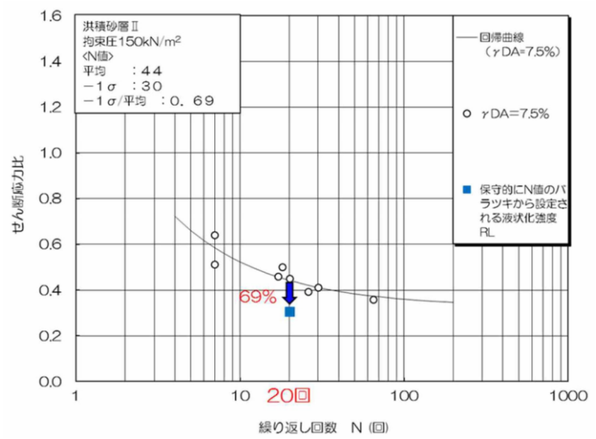


(b) A-1 地点の洪積砂層Ⅰ（拘束圧150kN/m²）

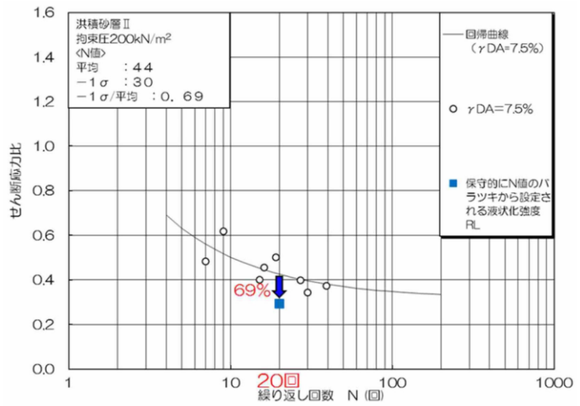
第11-7-4 図 液状化強度特性の設定

（N 値のばらつきに基づいて低減した液状化強度R_L）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



（c）A-1 地点の洪積砂層Ⅱ（拘束圧150kN/m²）

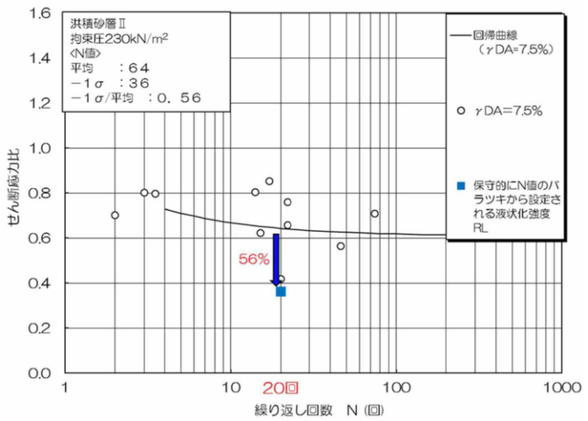


（d）A-1 地点の洪積砂層Ⅱ（拘束圧200kN/m²）

第11-7-4 図 液状化強度特性の設定

（N 値のばらつきに基づいて低減した液状化強度R_l）

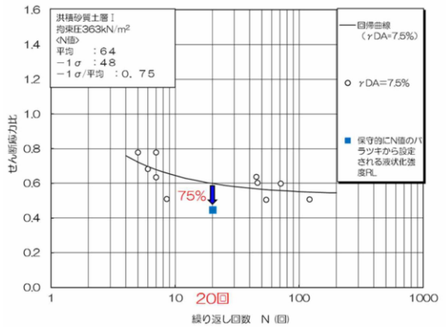
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



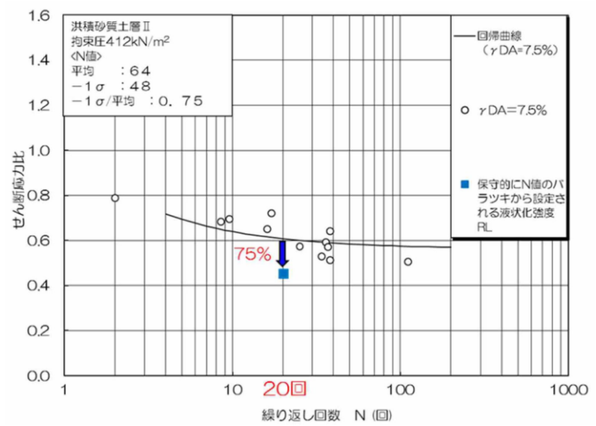
（e）A-2 地点の洪積砂層Ⅱ（拘束圧230kN/m²）

第11-7-4 図 液状化強度特性の設定

（N 値のばらつきに基づいて低減した液状化強度R_l）



（f）O-1 地点の洪積砂質土層Ⅰ（拘束圧363kN/m²）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 （g）O-1 地点の洪積砂質土層Ⅱ（拘束圧412kN/m²） 第11-7-4 図 液状化強度特性の設定 （N 値のばらつきに基づいて低減した液状化強度R_l）			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
8. 液状化影響の検討方針 液状化評価については道路橋示方書を基本として，道路橋示方書において液状化評価の対象外となっている洪積層についても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た。液状化試験に基づいて，地震時の地盤の状態を『液状化』，『サイクリックモビリティ』及び『非液状化』と判定した。それぞれの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定し，構造物への影響評価を実施する。なお，試験結果が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。設定した液状化強度特性については，試験結果を基本に設定するが，基本物性のばらつきも考慮して保守的な設定とする。 構造物の影響評価については，液状化に伴う影響を考慮するため，有効応力解析を実施する。有効応力解析においては，解析コード「FLIP」等を用いる。液状化試験結果に基づいて保守的に設定した液状化強度R_lを満足するように，有効応力解析の液状化パラメータを設定し，構造物の影響評価を実施する。解析コード「FLIP」については，Iai et.al(1992) 及びIai et.al(1995)において，液状化及びサイクリックモビリティを示す地層についての適用性が検証されている。Iai et.al(1992)においては，サイクリックモビリティが観察された砂の繰返しねじり試験結果に対して，解析コード「FLIP」を用いた解析を実施し，解析結果が室内試験結果と良い対応を示したと報告している。Iai et.al(1995)においては，解析コード「FLIP」を用いて，1993 年釧路沖地震の再現解析を実施している。1993 年釧路沖地震の観測波はサイクリックモビリティの影響を示すスパイク状の地震波となっており，解析コード「FLIP」において地震観測値の密な地盤の液状化パラメータを設定することで，サイクリックモビリティの影響を示す	6. 液状化影響の検討方針 6.1 液状化影響の検討方針 女川原子力発電所における液状化影響評価については，道路橋示方書の評価方法を参考に，道路橋示方書においては液状化評価の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，全ての盛土，旧表土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。 また，施設ごとに，地下水位低下設備を考慮の上設定した地下水位及び液状化検討対象層の分布状況を踏まえて，検討の必要性を判断する。液状化を考慮する場合は，構造物と地盤の動的相互作用を考慮できる有効応力解析等※を用いて地震時の応答を算定する。 有効応力解析に用いる液状化強度特性については，敷地全体の液状化強度試験から得られる液状化強度特性を保守的に設定（下限値）することを基本とし，各施設近傍に試験結果がある場合には，その試験結果から液状化強度特性を保守的に設定（下限値）する。 なお，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な評価となるかを確認するため，全応力解析と有効応力解析の結果を比較して，解析手法を選定する※。 有効応力解析においては，解析コード「FLIP」を用いることとし，解析に用いる液状化パラメータは保守的に設定した液状化強度を満足するように設定する。 ※：建物・構築物については，地盤の液状化の影響を考慮した評価を別途検討する。	4. 液状化影響の評価方針 4.1 液状化影響の検討方針 液状化評価については道路橋示方書を基本として，道路橋示方書において液状化評価の対象となっている砂礫層に加えて，液状化評価の対象外となっている埋戻土（掘削ズリ）についても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た。液状化試験に基づいて，地震時の地盤の状態を『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』と判定した。それぞれの試験結果及び，港湾基準に基づく詳細な計算例をまとめた設計事例集に準拠した有効応力解析（ＦＬＩＰ）の簡易設定法を踏まえ，液状化強度特性を設定し，構造物への影響評価を実施する。なお，試験結果が『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。 液状化強度特性については，簡易設定法により設定するが，これにより設定される液状化強度特性が，液状化試験結果下限値の液状化強度特性よりも保守的であることを確認している。また，簡易設定法で用いるＮ値は保守的な設定値としている。 以上を踏まえ，有効応力解析（ＦＬＩＰ）の実施に当たっては，簡易設定法に基づき設定した液状化強度特性を適用する。 構造物の影響評価については，液状化に伴う影響を考慮するため，有効応力解析を実施する。有効応力解析においては，解析コード「ＦＬＩＰ」等を用いる。液状化試験結果に比べて保守的な簡易設定法により有効応力解析の液状化パラメータを設定し，構造物の影響評価を実施する。解析コード「ＦＬＩＰ」については，Iai et.al(1992) 及びIai et.al(1995)において，液状化及びサイクリックモビリティを示す地層についての適用性が検証されている。Iai et.al(1992)においては，サイクリックモビリティが観察された砂の繰返しねじり試験結果に対して，解析コード「ＦＬＩＰ」を用いた解析を実施し，解析結果が室内試験結果と良い対応を示したと報告している。Iai et.al(1995)においては，解析コード「ＦＬＩＰ」を用いて，1993 年釧路沖地震の再現解析を実施している。1993 年釧路沖地震の観測波はサイクリックモビリティの影響を示すスパイク状の地震波となっており，解析コード「ＦＬＩＰ」において地震観測値の密な地盤の液状化パラメータを設定することで，サイクリックモビリティの影響を示す観測値を再現	・対象地層の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉では砂礫層及び埋戻土（掘削ズリ）について液状化試験を実施している ・液状化強度特性設定方針の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉では試験結果及び簡易設定法を踏まえて設定することとしている ・液状化強度特性の設定方法の相違 【柏崎6/7，女川２】 島根２号炉では簡易設定法に基づき設定している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
観測値を再現することができたと報告している。よって，設置許可段階における構造物評価の見通しについては，解析コード「FLIP」を用いることとした。 　なお，工事認可段階における構造物評価に当たっては，今回説明した液状化強度特性の妥当性及び採用した解析コードの適用性について，2007 年新潟県中越沖地震における取水路の鉛直変位等構造物の被害状況の再現性を検証することで確認する。また，構造物評価よっては，必要に応じて追加対策を実施する。 第11-9-1 表 液状化評価の基本方針  ※ A-2 地点の洪積砂層Ⅰについては非液状化であると考えられるが，A-1 地点の洪積砂層Ⅰ・Ⅱと同時代に堆積した地層であること，N 値が A-1 地点の洪積砂層Ⅱと同程度であることを踏まえ，A-1 地点の洪積砂層Ⅱの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する		することができたと報告している。よって，設置許可段階における構造物評価の見通しについては，解析コード「ＦＬＩＰ」を用いることとした。 　なお，工事認可段階における構造物評価に当たっては，今回説明した液状化強度特性の妥当性及び採用した解析コードの適用性について，設計事例集で兵庫県南部地震における港湾施設の被災状況の再現性を検証することで確認されている。 第4-1-1 表 液状化評価の基本方針 	・妥当性及び採用した解析コードの適用性の確認方法の相違 【柏崎6/7】 　島根２号炉では，設計事例集において再現性が確認されている神戸港の埋立土と島根２号炉の土質性状を比較し，妥当性及び適用性を確認している（3.4章で説明）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		4.2 液状化検討対象施設の選定 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及び取水管については，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。 液状化検討対象候補施設の一覧を第4-2-1 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4-2-1 図に示す。また，液状化検討対象候補施設について，液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定フローを第4-2-2 図に示す。 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，第4-2-3 図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。 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。	・資料構成の相違 【柏崎6/7，女川２】 柏崎6/7では3章で液状化検討対象施設の抽出について説明している （以下，島根２号炉の4.2 章はすべて同じ理由である）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		4.2.1 液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定の観点 液状化検討対象施設の選定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選定 液状化検討対象施設は以下の項目で抽出する。 ①施設が岩盤中に設置されているか ②施設周辺の地下水位が十分に低いか 観点例：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．液状化検討対象施設（建物，構築物） 上記（1）にて選定された施設について，液状化等により施設に悪影響を与える恐れがある場合は，地盤の液状化等の影響を考慮した評価を行う（③）。 また，対象施設が機器・配管系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．液状化検討対象施設（建物，構築物を除く） 上記（1）にて選定された施設について，施設周辺に改良地盤，マンメイドロック（MMR）及び他構造物（以下，「改良地盤等」という。）があり，液状化又は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）※の影響を緩和している場合，その改良地盤等周辺の地盤の液状化又は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）により施設に悪影響を与える恐れがあるか判断する。 ③施設周辺に改良地盤等があり，液状化又は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）の影響を緩和しているか ④改良地盤等周辺の地盤の液状化又は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）により施設に悪影響を与える恐れがあるか 観点例：施設が改良地盤等に囲まれており，液状化等の影響がない。 施設周辺の地形等から，側方流動の影響がない。 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うえで，全応力解析と有効応力解析それぞれの結果から構造物上下端の層間変位を比較するなどして，保守的となる解析手法を選定する（⑤）。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

なお，地盤改良が必要となった場合は，上記で選定した解析手法により，その範囲の妥当性を確認する。

また，対象施設が機器・配管系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，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選定した結果（例）を第4-2-2 表に，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について検討した結果（例）を第4-2-3 表に，各施設の設置状況を第4-2-4 図～第4-2-15 図に示す。なお，詳細設計段階で実施する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及び選定解析手法の選定を行う。

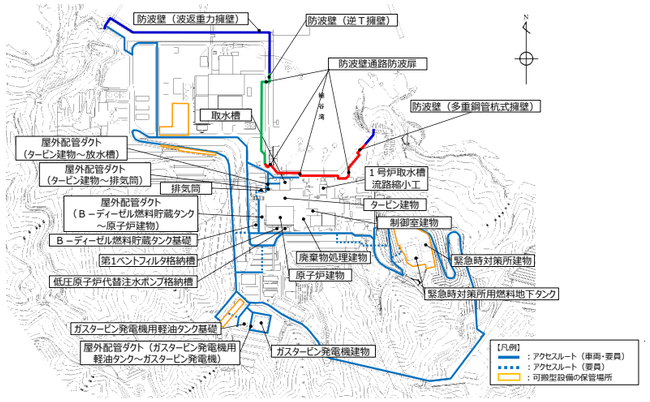
※液状化と繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）の区分については「３．液状化強度特性の網羅性，代表性」にて説明。

第4-2-1 表　液状化検討対象候補施設　一覧

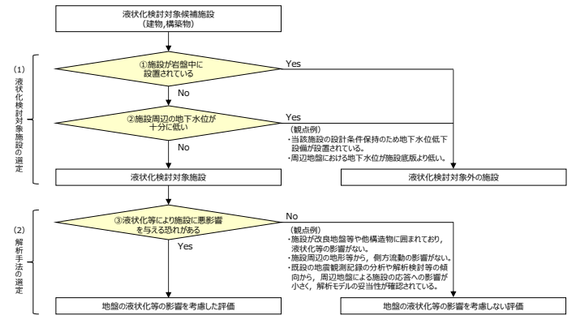
施設分類		施設名称	基礎形式	支持層	基礎下端高さ※1 (EL　m)	地下水位の設定方針
設計基準対象施設	建物，構築物	原子炉建物	直接基礎	岩盤	－4.7	地下水位低下設備の機能に期待して，設計地下水位を設定する
		タービン建物	直接基礎	岩盤	0.0	
		廃棄物処理建物	直接基礎	岩盤	0.0	
		制御室建物	直接基礎	岩盤	+0.1	
		排気筒	直接基礎	岩盤	+2.0	
	屋外重要土木構造物	取水槽	直接基礎	岩盤	－11.7	自然水位※2より保守的に設定した水位
		屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	直接基礎	岩盤	＋4.9	
		屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）	直接基礎	岩盤	＋1.0	
		Ｂ－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（Ｂ－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（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	
		屋外配管ﾀﾞｸﾄ（ｶﾞｽﾀｰﾋﾞﾝ発電機用軽油ﾀﾝｸ～ｶﾞｽﾀｰﾋﾞﾝ発電機）	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

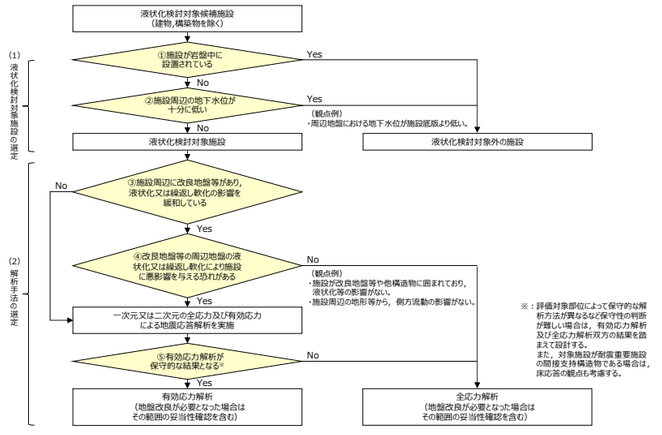
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



第4-2-1 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

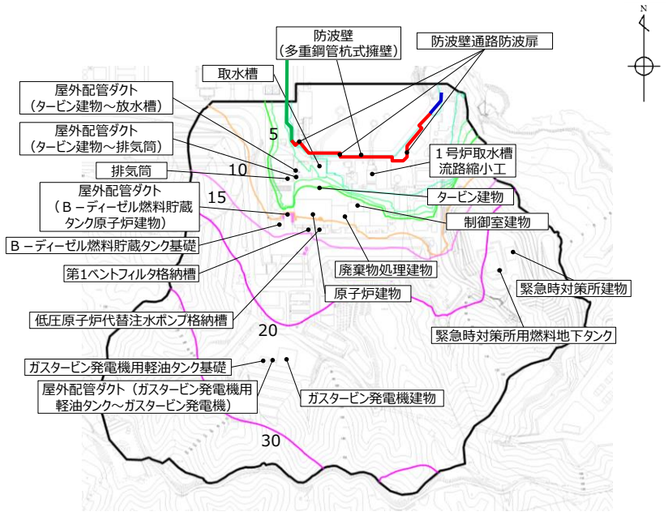


第4-2-2 図(1)　液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定フロー（建物,構築物）

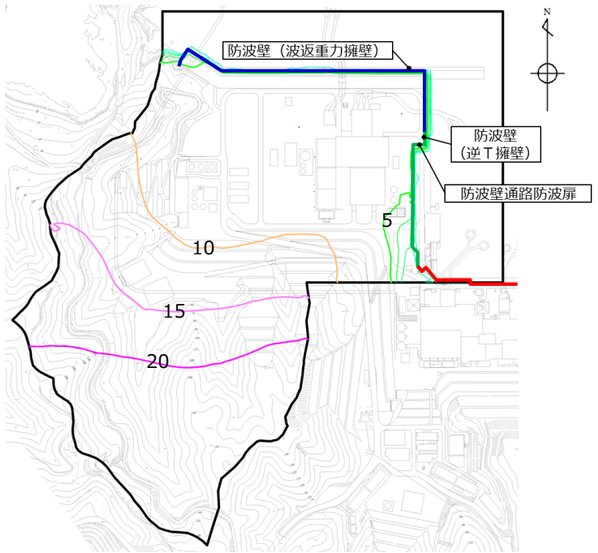


第4-2-2 図(2)　液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定フロー（建物,構築物を除く）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



１，２号炉エリア



３号炉エリア

第4-2-3 図　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）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第4-2-2 表　液状化検討対象施設の選定結果（例）

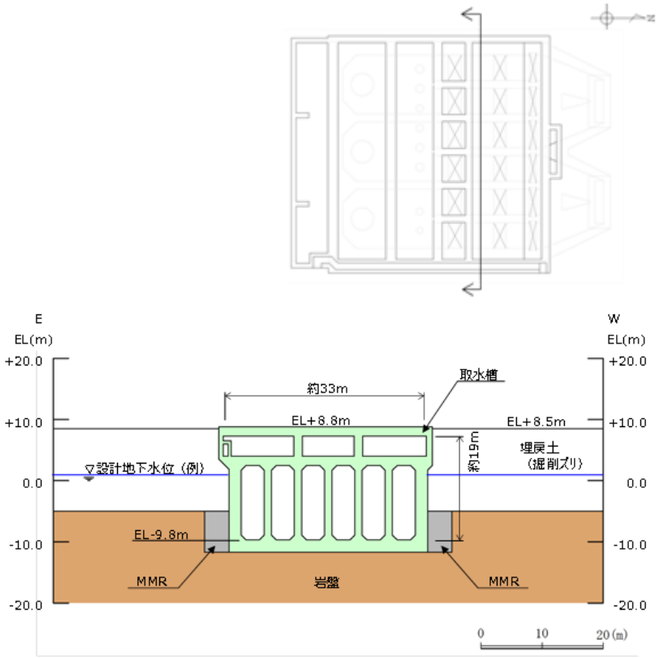
施設分類		施設名称	項目			液状化検討対象施設※ ○：対象 ×：対象外
			①施設が岩盤中に設置されている	②施設周辺の地下水位が十分に低い		
設計基準対象施設	建物，構築物	原子炉建物	No	Yes	設計条件保持のため地下水位低下設備を設置することから，施設周辺の地下水位が十分に低い。	×
		タービン建物	No	Yes	設計条件保持のため地下水位低下設備を設置することから，施設周辺の地下水位が十分に低い。	×
		廃棄物処理建物	No	Yes	設計条件保持のため地下水位低下設備を設置することから，施設周辺の地下水位が十分に低い。	×
		制御室建物	No	Yes	設計条件保持のため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。	×
	屋外重要土木構造物	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。	○
		屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		Ｂ－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（Ｂ－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（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ベ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。	×
		屋外配管ﾀﾞｸﾄ（ｶﾞｽﾀｰﾋﾞﾝ発電機用軽油ﾀﾝｸ～ｶﾞｽﾀｰﾋﾞﾝ発電機）	No	Yes	周辺地盤における地下水位が施設底版より低い。	×

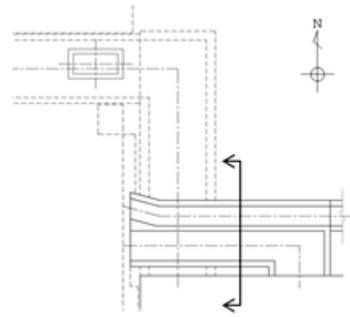
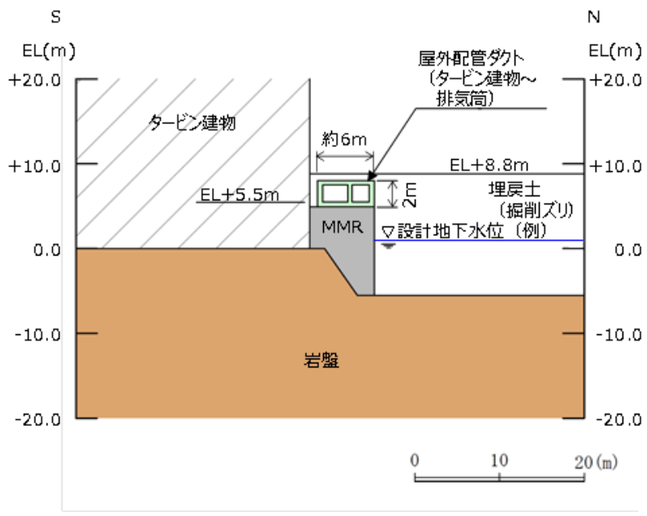
※　詳細設計段階で実施する浸透流解析の結果を踏まえ，改めて液状化検討対象施設の選定を行う。

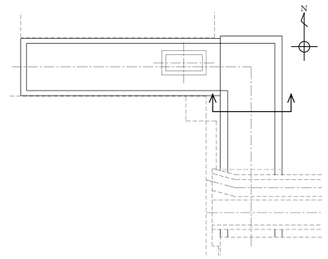
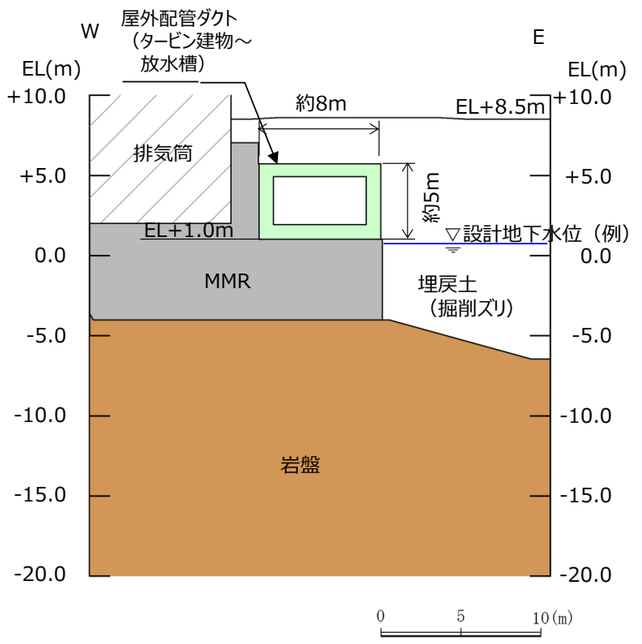
第4-2-3表　液状化検討対象施設の解析手法選定結果（例）

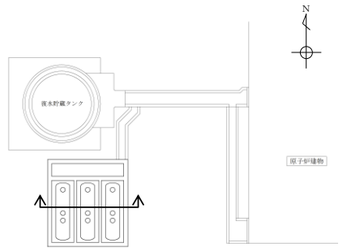
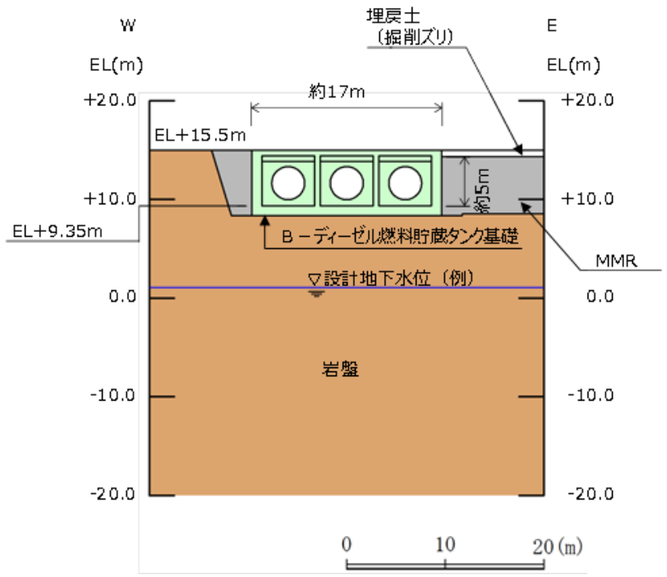
施設分類		施設名称	項目			一次元又は二次元の全応力及び有効応力による地震応答解析を実施し，解析手法を選定※ ○：対象 ×：対象外
			③施設周辺に改良地盤等がある	④改良地盤等の周辺地盤の液状化又は繰返し軟化により施設に悪影響を与える恐れがある		
設計基準対象施設	屋外重要土木構造物	取水槽	No	－		○
		屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	No	－		○
		屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）	No	－		○
		Ｂ－ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	Yes	No	施設が改良地盤等に囲まれ，その外側に液状化検討対象層がないことから，液状化の影響はない。	×
		屋外配管ダクト（Ｂ－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（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。	×

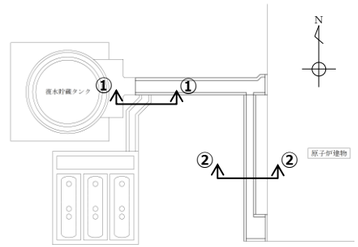
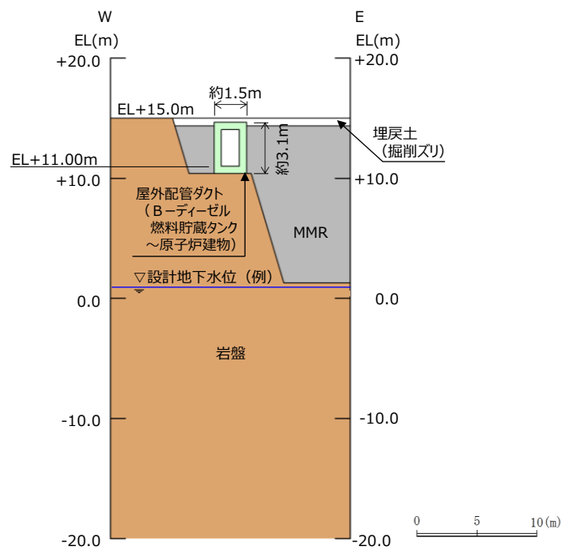
※　詳細設計段階で実施する浸透流解析の結果を踏まえ，改めて液状化検討対象施設を選定した上で解析手法の選定を行う。

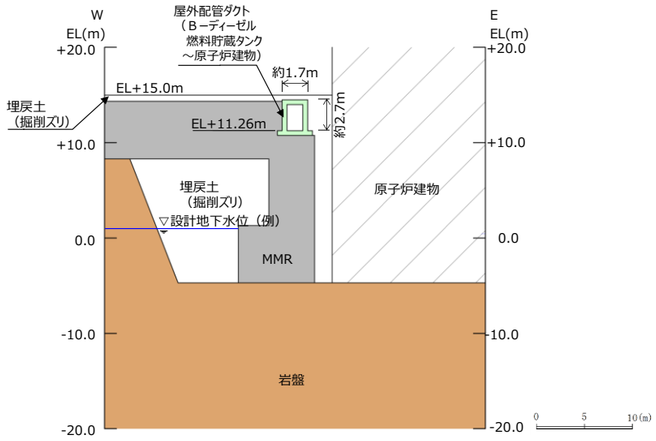
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		・取水槽 取水槽の設置状況を第4-2-4 図に示す。取水槽は岩盤上に設置されており，周辺はMMR及び埋戻土（掘削ズリ）が分布している。  第4-2-4 図　取水槽　断面図	

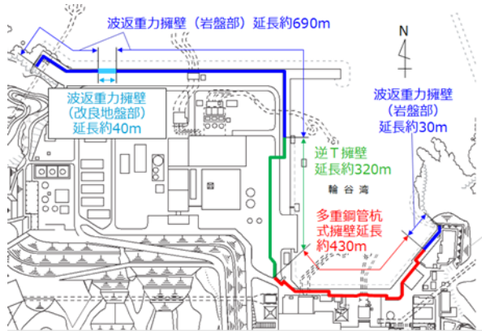
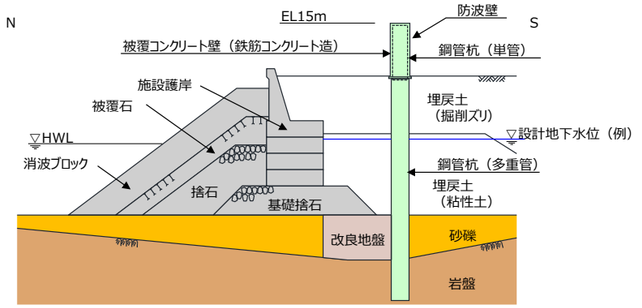
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		・屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の設置状況を第4-2-5図に示す。屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）はMMRを介して岩盤上に設置されており，周辺は埋戻土（掘削ズリ）が分布している。   第4-2-5 図　屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）　断面図	

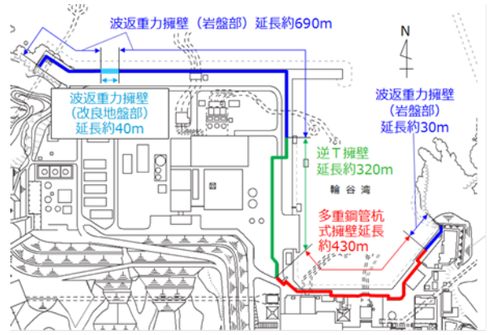
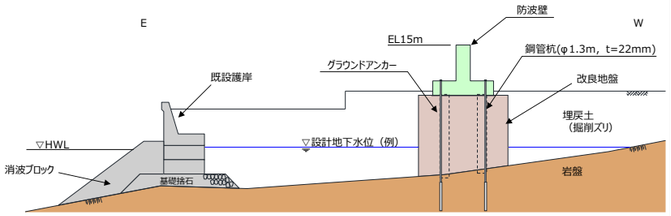
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		・屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽） 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の設置状況を第4-2-6図に示す。屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）はMMRを介して岩盤上に設置されており，周辺は埋戻土（掘削ズリ）が分布している。   第4-2-6 図　屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）　断面図	

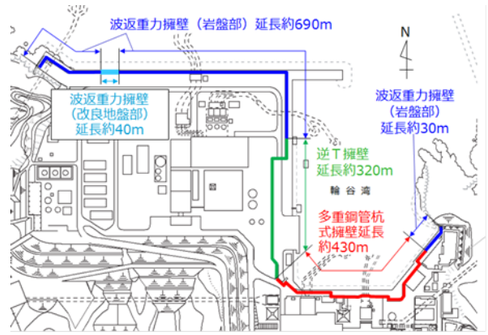
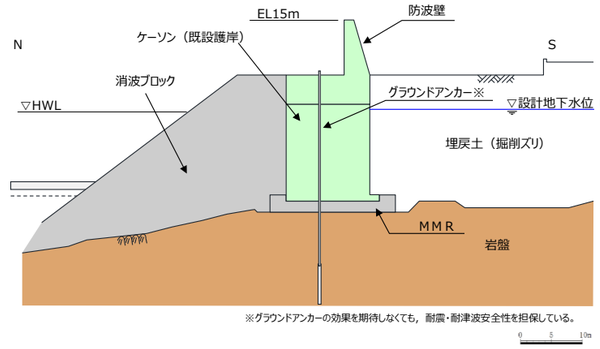
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		・Ｂ－ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 Ｂ－ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎の設置状況を第4-2-7 図に示す。Ｂ－ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎は岩盤上に設置されており，周辺はMMＲが分布している。   第4-2-7 図　Ｂ－ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎　断面図	

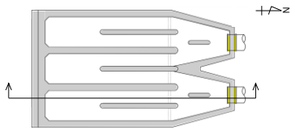
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		・屋外配管ダクト（Ｂ－ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物） 屋外配管ダクト（Ｂ－ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の設置状況を第4-2-8 図及び第4-2-9 図に示す。屋外配管ダクト（Ｂ－ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）は岩盤上及びＭＭＲを介して岩盤上に設置されており，周辺はＭＭＲ及び埋戻土（掘削ズリ）が分布している。   第4-2-8 図　屋外配管ダクト（Ｂ－ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）①－①断面図	

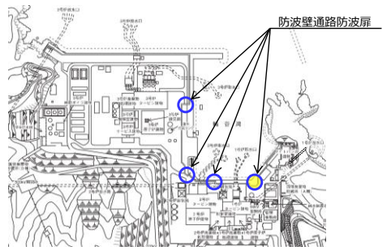
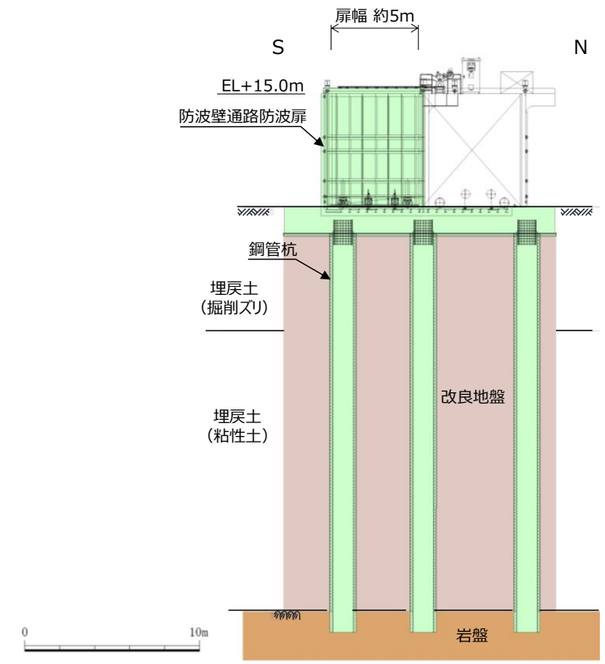
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 第4-2-9 図　屋外配管ダクト（Ｂ－ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）②－②断面図	

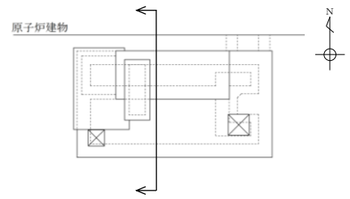
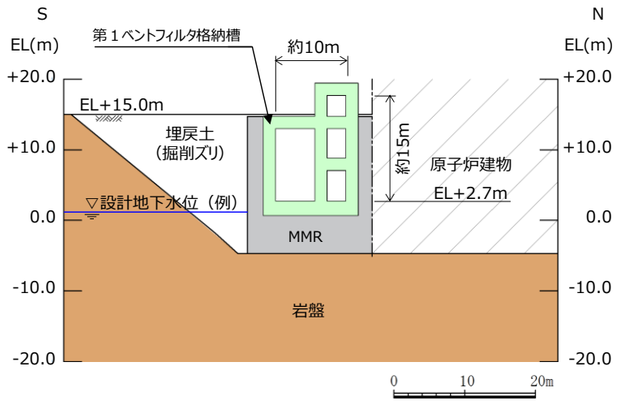
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		・防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における地下水位・設備の設置状況を第4-2-10 図に示す。防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は鋼管杭（多重管）により岩盤支持されており，周辺は埋戻土（掘削ズリ），埋戻土（粘性土）及び砂礫層が分布している。   第4-2-10 図　防波壁（多重鋼管杭式擁壁）　断面図	

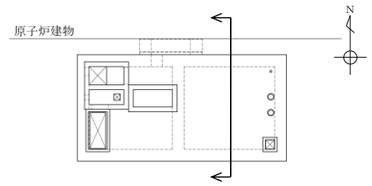
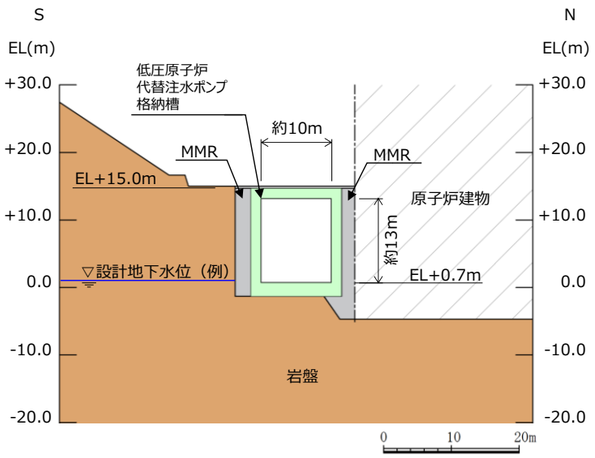
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		・防波壁（逆Ｔ擁壁） 防波壁（逆Ｔ擁壁）の設置状況を第4-2-11 図に示す。防波壁（逆Ｔ擁壁）は改良地盤により岩盤支持されており，周辺は埋戻土（掘削ズリ）が分布している。   第4-2-11 図　防波壁（逆Ｔ擁壁）　断面図	

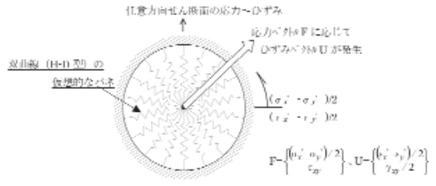
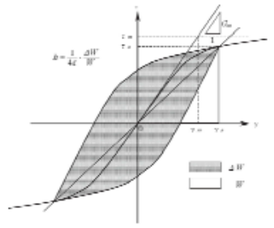
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		・防波壁（波返重力擁壁） 防波壁（波返重力擁壁）の設置状況を第4-2-12 図に示す。防波壁（波返重力擁壁）はMMＲを介して岩盤上に設置されており，周辺は埋戻土（掘削ズリ）が分布している。   第4-2-12 図　防波壁（波返重力擁壁（岩盤部））　断面図	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		・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第4-2-13 図に示す。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。  第4-2-13 図　１号炉取水槽流路縮小　断面図	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		・防波壁通路防波扉 防波壁通路防波扉（１，２号炉北側）の設置状況を第4-2-14 図に示す。防波壁通路防波扉（１，２号炉北側）は鋼管杭により岩盤支持されており，周辺は改良地盤，埋戻土（掘削ズリ）及び埋戻土（粘性土）が分布している。   第4-2-14 図　防波壁通路防波扉（１，２北側）　正面図	

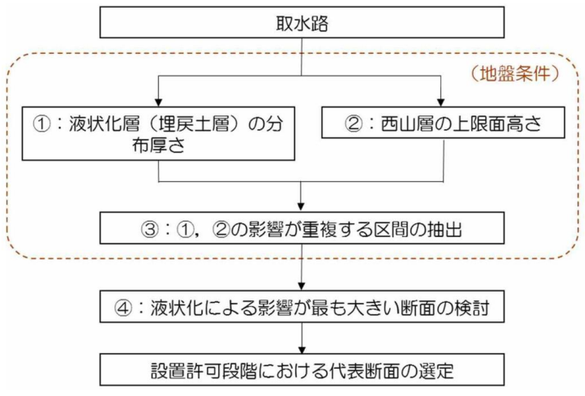
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		・第１ベントフィルタ格納槽 第１ベントフィルタ格納槽の設置状況を第4-2-15 図に示す。第１ベントフィルタ格納槽はMMRを介して岩盤上に設置されており，周辺はMMR及び埋戻土（掘削ズリ）が分布している。   第4-2-15 図　第１ベントフィルタ格納槽　断面図	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		・低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の設置状況を第4-2-16 図に示す。低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は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。   第4-2-16 図　低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽　断面図	

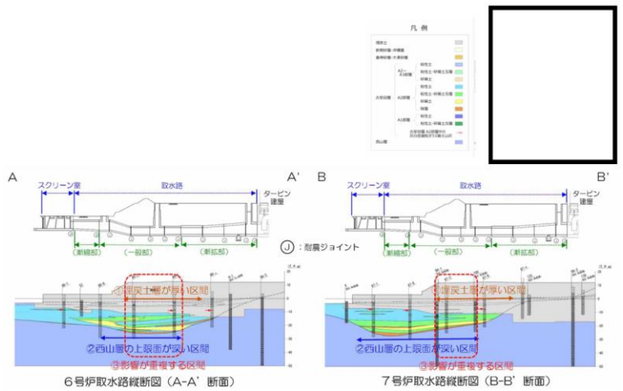
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	6.2 解析コード「FLIP」の構成則と特徴 FLIP（Finite element analysis of Liquefaction Program）は，1988 年に運輸省港湾技術研究所（現，(独)港湾空港技術研究所）において開発された平面ひずみ状態を対象とする有効応力解析法に基づく，2 次元地震応答解析プログラムである。 FLIP の主な特徴として，以下の①～⑤を挙げることが出来る。 ①有限要素法に基づくプログラムである。 ②平面ひずみ状態を解析対象とする。 ③地盤の液状化を考慮した地震応答解析を行い，部材断面力や残留変形等を計算する。 ④土の応力－ひずみモデルとして，マルチスプリングモデルを採用している。 ⑤液状化現象は有効応力法により考慮する。そのために必要な過剰間隙水圧発生モデルとして井合モデルを用いている。 砂の変形特性を規定するマルチスプリングモデルは，任意方向のせん断面において仮想的な単純せん断バネの作用があるものとし，これらのせん断バネの作用により，土全体のせん断抵抗が発揮されるものである。 土の応力－ひずみ関係は，このせん断バネの特性によって種々の表現が可能であるが，「FLIP」では双曲線(Hardin-Drnevich)型モデルを適用している。また，履歴ループについては，その大きさを任意に調整可能なように拡張したMasing 則を用いている。 マルチスプリングモデルの概念図を第6.2-1 図に，排水条件での土の応力－ひずみ関係の概念図を第6.2-2 図に示す。  第6.2-1図 マルチスプリングモデルの概念図  第6.2-2図 排水条件での土の応力－ひずみ関係の概念図		・資料構成の相違 【女川２】 女川２では解析コードについて説明している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	6.3 有効応力解析に用いる地下水位設定について 設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の設計においては，防潮堤下部の地盤改良等により地下水が遮断され，地下水位が地表面付近まで上昇するおそ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し，この効果が及ぶ範囲においてはその機能を考慮した設計用地下水位を設定する。地下水位低下設備の効果が及ばない範囲においては，自然水位より保守的に設定した水位又は地表面にて設計用地下水位を設定する。		・資料構成の相違 【女川２】 女川２では地下水位設定について説明している

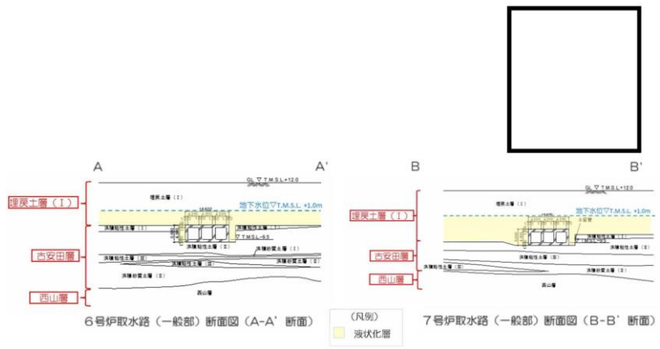
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し 9.1 代表構造物の抽出 設置許可段階における構造物評価の見通しについて，代表構造物を選定した。第11-9-1 表に設置許可段階における構造物評価の見通しを検討する代表構造物の選定を示す。 地盤の液状化による構造物評価への影響としては，地中に埋設した構造物への影響が考えられることから，代表構造物の選定に当たっては基礎形式に着目し，直接基礎形式及び杭基礎形式のそれぞれから選定する。 直接基礎構造物には，取水路・スクリーン室，補機冷却用海水取水路がある。補機冷却用海水取水路はマンメイドロックを介して西山層に支持しているため，直接基礎の代表構造物としては，支持地盤が古安田層である「取水路・スクリーン室」を抽出する。 杭基礎構造物には，軽油タンク基礎，燃料移送系配管ダクト，常設代替交流電源設備基礎及び格納容器圧力逃がし装置基礎がある。地盤が液状化した場合には変形が大きくなる傾向となることから，杭基礎構造物が地盤の変形の影響を受ける程度に着目すると，杭部は杭長が長いほど，鉄筋コンクリート部は地中部の側面高さが高いほど影響が大きくなると考えられる。このため，杭基礎の代表構造物としては，杭長が他の構造物よりも長く，鉄筋コンクリート部の地中高さが高い「常設代替交流電源設備基礎」を抽出する。 選定した代表構造物について代表断面を選定し，代表断面について構造物影響評価を実施する。構造物評価の成立性及び必要に応じた追加対策は，代表断面における構造物評価の結果をそれ以外の位置・構造物の見通しに展開する。 第11-9-1 表 設置許可段階における構造物評価の見通しを検討する代表構造物の選定 <table><tr><th colspan="2">設備分類</th><th>設備名称</th><th>基礎形式（杭長）</th><th>支持地盤</th><th>鉄筋コンクリート部の地中部の側面高さ</th><th>構造概要</th></tr><tr><td rowspan="6">設計基準対象施設</td><td rowspan="4">屋外重要土木構造物</td><td>取水路・スクリーン室</td><td>直接基礎</td><td>古安田層</td><td>－</td><td>鉄筋コンクリート構造</td></tr><tr><td>補機冷却用海水取水路</td><td>直接基礎</td><td>西山層※1</td><td>－</td><td>鉄筋コンクリート構造</td></tr><tr><td>軽油タンク基礎</td><td>杭基礎（約 20m）</td><td>西山層</td><td>約 1.5m</td><td>鉄筋コンクリート構造</td></tr><tr><td>燃料移送系配管ダクト</td><td>杭基礎（約 25m）</td><td>西山層</td><td>約 3m</td><td>鉄筋コンクリート構造</td></tr><tr><td rowspan="2">重大事故等対処施設</td><td>常設代替交流電源設備基礎</td><td>杭基礎（約 30m）</td><td>西山層</td><td>約 8m</td><td>鉄筋コンクリート構造</td></tr><tr><td>格納容器圧力逃がし装置基礎</td><td>杭基礎（約 30m）</td><td>西山層</td><td>約 2.5m</td><td>鉄筋コンクリート構造</td></tr></table>※1：マンメイドロックを介して西山層に支持			・資料構成の相違 【柏崎6/7】 柏崎6/7では構造物評価の見通しについて説明している （以下，柏崎 6/7 の 9 章はすべて同じ理由である）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
9.2 取水路 9.2.1 構造概要及び評価断面 「取水路・スクリーン室」について液状化による設備への影響の見通しとして，液状化現象の影響が最も大きいと考えられる断面を選定し，構造物の評価を実施する。第11-9-1 図に取水路における代表断面の選定フローを示す。 構造物評価への液状化の影響として，地盤条件の観点から①液状化層（埋戻土層）の分布厚さ，西山層より浅部の地盤での地震動増幅特性の観点から②西山層の上限面の高さに着目し，代表断面を選定する。 液状化層（埋戻土層）の分布厚さは，6/7 号炉ともに取水路（一般部）から取水路（漸拡部）にかけて厚くなっている。西山層の上限面高さは，6 号炉では取水路（一般部）において，7 号炉ではスクリーン室から取水路（一般部）にかけて，深くなっている。両者の影響が重複する区間として，6/7 号炉ともに取水路のうち一般部の区間が抽出される。詳細を第11-9-2 図に示す。 6/7 号炉の取水路（一般部）を比較すると，双方ともに取水路（一般部）の断面は古安田層を掘り込んでいるものの，7 号炉の南側の側方は埋戻土層となっている。構造物側方に分布する古安田層の変形抑制効果を考慮すると，取水路（一般部）は，６号炉よりも７号炉の方が，液状化現象が構造物の耐震性に与える影響が大きいと考えられる。詳細を第11-9-3図に示す。 以上のことから，代表断面として，７号炉取水路（一般部）を選定し，２次元有効応力解析（FLIP）による評価を実施する。  第11-9-1 図 取水路における代表断面の選定フロー			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



第11-9-2 図 取水路における代表断面



第11-9-3 図 取水路における代表断面

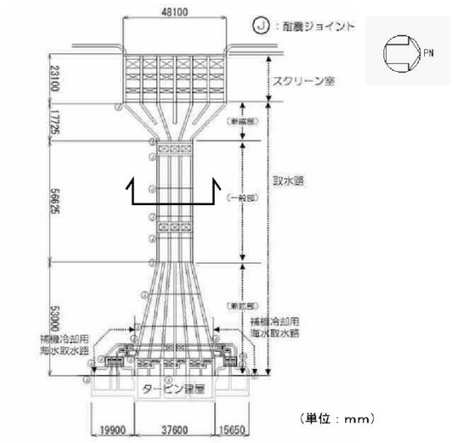
9.2.2 評価方針

取水路は，設計基準対象施設のうち屋外重要土木構造物に分類される鉄筋コンクリート製の地中埋設構造物である。7 号炉取水路の平面図を第11-9-4 図に，一般部の断面図を第11-9-5 図に示す。

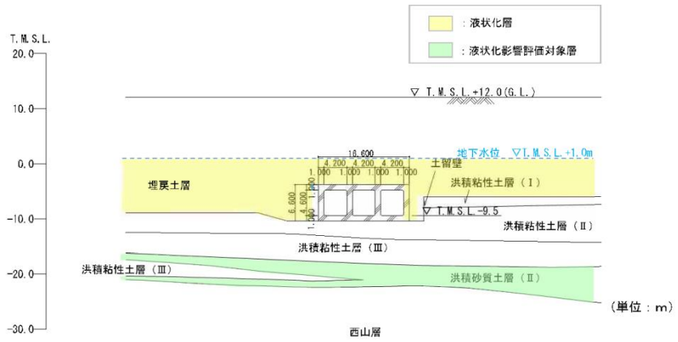
取水路の耐震評価では，設計基準対象施設として第11-9-2 表の項目に示す評価を行う。

構造部材の健全性評価については，地震応答解析に基づく鉄筋コンクリートの発生応力等が許容限界を超えないことを確認する。また，基礎地盤の支持性能については，鉛直方向の最大合力（最大鉛直力）が許容限界を超えないことを確認する。取水路の評価フローを第11-9-6 図に示す。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



第11-9-4 図 7 号炉取水路平面図

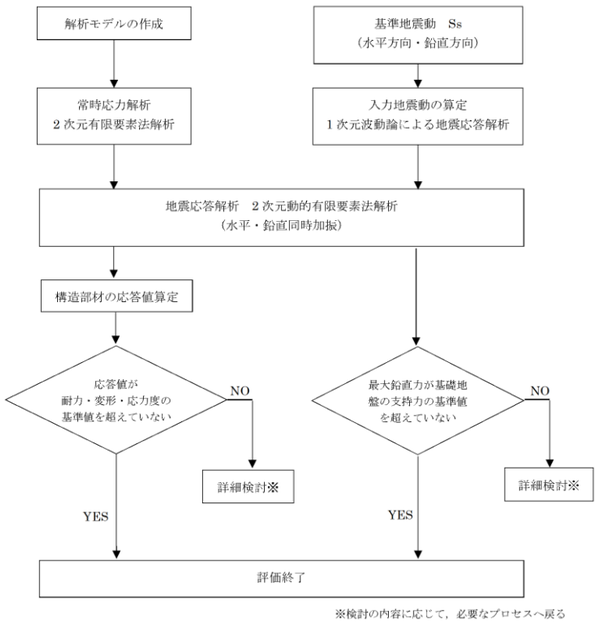


第11-9-5 図 7 号炉取水路（一般部）断面図

第11-9-2 表 取水路の評価項目

評価方針	評価項目	地震力	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	基準地震動 Ss	鉄筋コンクリート	発生応力等が許容限界を超えないことを確認	限界層間変形角，せん断耐力
	基礎地盤の支持性能	基準地震動 Ss	基礎地盤	鉛直方向の最大合力が許容限界を超えないことを確認	極限支持力

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



第11-9-6 図 取水路の評価フロー

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
9.2.3 適用規格 適用する規格，基準等を以下に示す。 ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル，土木学会原子力土木委員会，2005 年6 月 ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（(社) 土木学会，2002 年制定） ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（(社) 日本道路協会，平成14年3 月） ・港湾の施設の技術上の基準・同解説（(社) 日本港湾協会，2007 年版） 9.2.4. 評価条件 9.2.4.1 解析方法 地震応答解析は，構造物と地盤の動的相互作用を考慮できる2 次元動的有限要素法解析を用いて，基準地震動Ss に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴非線形応答解析を行う。取水路の側方及び上方は埋戻土層で囲まれていることから，過剰間隙水圧の上昇を適切に評価するため，有効応力モデルを用いる。 地震応答解析は，埋戻土層の液状化の影響を考慮する必要があるため，解析コード「FLIP Ver.7.2.3_5」を使用する。 (1) 構造部材 取水路の構造部材は，非線形はり要素でモデル化し，曲げモーメント－曲率関係の非線形性を修正武田モデルで考慮する。 (2) 地盤 地盤は，Hardin-Drnevich モデルを適用し，動せん断弾性係数及び減衰定数の非線形特性を考慮する。 (3) 減衰定数 減衰特性は，固有値解析にて求まる固有振動数及び減衰比に基づくRayleigh 減衰と，地盤及び構造物の履歴減衰を考慮する。 9.2.4.2 荷重及び荷重の組合せ 荷重及び荷重の組合せは，以下のとおり設定する。 (1) 耐震安全性評価上考慮する状態 取水路の耐震安全性評価において，地震以外に考慮する状態を以下に示す。 a．運転時の状態 発電用原子炉施設が運転状態にあり，通常の条件下におかれ			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

ている状態とする。

ただし，運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

ｂ．設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

ｃ．設計用自然条件

地中埋設構造物であることから，積雪及び風は考慮しない。

ｄ．重大事故時の状態

重大事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 荷重

地震応答解析において考慮する荷重を以下に示す。

ａ．固定荷重（G）

固定荷重として，構造物及び内水の自重を考慮する。

ｂ．地震荷重（K_{Ss}）

地震荷重として，基準地震動Ss による地震力を考慮する。

(3) 荷重の組合せ

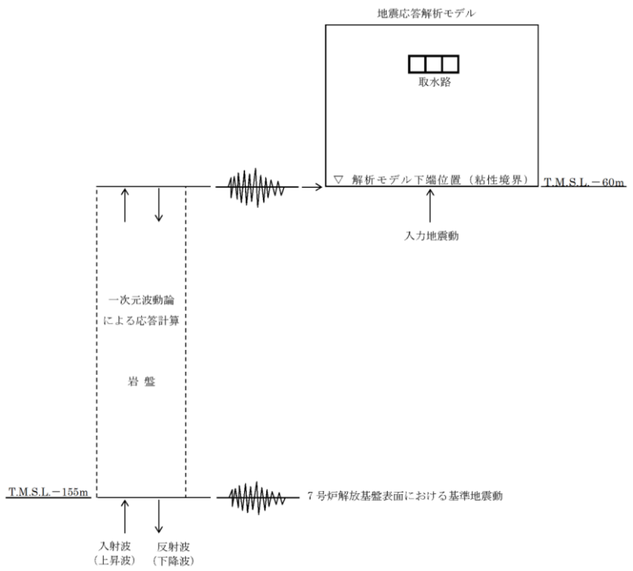
荷重の組合せを第11-9-3 表に示す。

第11-9-3 表 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時（Ss）	G+ K_{Ss}

ここで，G　　：固定荷重

K_{Ss}　　：地震荷重

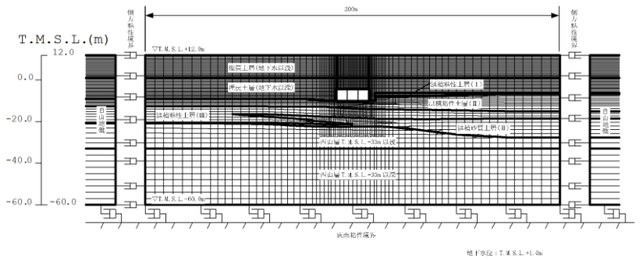
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
9.2.4.3 入力地震動 地震応答解析に用いる入力地震動は，解放基盤表面で定義される基準地震動Ss を，1次元波動論によって地震応答解析モデルの下端位置で評価したものを用いる。 入力地震動の算定には，解析コード「SLOK Ver2.0」を使用する。入力地震動算定の概念図を第11-9-7 図に示す。  第11-9-7 図 入力地震動算定の概念図 9.2.4.4 解析モデル 地震応答解析モデルを第11-9-8 図に示す。 (1) 解析領域 解析領域は，側面境界及び底面境界が，構造物の応答に影響しないよう，構造物と側面境界及び底面境界との距離を十分に広く設定する。 (2) 境界条件 解析領域の側面及び底面には，エネルギーの逸散効果を評価するため，粘性境界を設ける。 (3) 構造物のモデル化 構造物は，非線形はり要素でモデル化する。 (4) 地盤のモデル化 地盤は，地質区分に基づき，平面ひずみ要素でモデル化する。 (5) ジョイント要素			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

構造物と地盤の境界部にジョイント要素を設けることにより，構造物と地盤の剥離・すべりを考慮する。

(6) 水位条件

取水路周辺の残留水位は，地震荷重に伴う液状化による変形を保守的に考慮するために，朔望平均満潮位（T.M.S.L.+0.49m）に余裕を考慮したT.M.S.L.+1.00m とする。



第11-9-8 図 地震応答解析モデル

9.2.4.5 使用材料及び材料の物性値

(1) 構造物の物性値

使用材料を第11-9-4 表に，材料の物性値を第11-9-5 表に示す。

第11-9-4 表 使用材料

材料	諸元
コンクリート	設計基準強度　23.5N/mm²（240kgf/cm²）
鉄筋	SD345 相当（SD35）

第11-9-5 表 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m³)	ヤング係数 (kN/mm²)	ポアソン比
コンクリート	24※1	25※2	0.2※2
鉄筋		200※2	0.3※2

※1 鉄筋コンクリートとしての単位体積重量

※2 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（(社) 土木学会，2002 年制定）」に基づき設定する

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

(2) 地盤の物性値

a．液状化試験の結果

液状化層と判定する埋戻土層と非液状化層と判定するが念のため液状化強度特性を設定する洪積砂質土層（Ⅱ）の有効応力解析に用いる液状化パラメータは，繰返しねじりせん断試験結果より設定する。

埋戻土層及び洪積砂質土層（Ⅱ）の物性値を第11-9-6 表に示す。

試験結果から設定した解析上の液状化強度曲線を第11-9-9 図に，液状化パラメータを第11-9-7 表に示す。なお，液状化特性が保守的（液状化しやすい）に評価されるように，液状化パラメータを設定する（試験結果より繰返し回数が少ない状態で同程度のひずみが発生するように設定することから，液状化が発生しやすい設定となっている）。

第11-9-6 表 試験結果

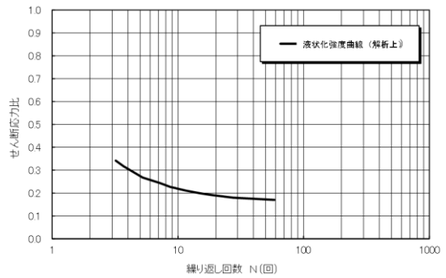
（埋戻土層）

	必要とする物性値			物性値
	名称	記号	単位	
物理的性質	単位体積重量	ρ	t/m^3	2.00
	間隙率	n	－	0.41
力学的性質	液状化強度曲線（液状化パラメータ）	－	－	第11-9-9図参照
	せん断弾性係数	G_{ma}	kN/m^2	5.11E+04
	内部摩擦角	φ	°	41.1
	粘着力	C	kN/m^2	0.0
	履歴減衰上限値	h_{max}	－	0.271

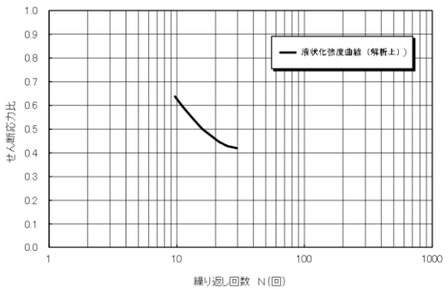
（洪積砂質土層（Ⅱ））

	必要とする物性値			物性値
	名称	記号	単位	
物理的性質	単位体積重量	ρ	t/m^3	1.90
	間隙率	n	－	0.53
力学的性質	液状化強度曲線（液状化パラメータ）	－	－	第11-9-9図参照
	せん断弾性係数	G_{ma}	kN/m^2	2.07E+05
	内部摩擦角	φ	°	45.0
	粘着力	C	kN/m^2	0.0
	履歴減衰上限値	h_{max}	－	0.155

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



（埋戻土層）



（洪積砂質土層（Ⅱ））

第11-9-9 図 液状化強度曲線

第11-9-7 表 液状化パラメータ

液状化パラメータ	φ_p(°)	w_1	p_1	p_2	c_1	S_1
埋戻土層	28.0	2.400	0.500	0.800	1.920	0.005
洪積砂質土層(Ⅱ)	28.0	4.600	0.500	0.600	3.910	0.005

b．解析用地盤物性値

地盤の物性値を第11-9-8 表に示す。埋戻土層及び洪積砂質土層（Ⅱ）の物性値については，地震時における過剰間隙水圧の上昇を適切に評価するため，繰返しねじりせん断試験を基に設定した液状化特性を設定する。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第11-9-8 表 地盤の物性値

パラメータ			埋戻土層（地下水以浅）	埋戻土層（地下水以深）	#67洪積粘性土層 I	#67洪積粘性土層 II	#67洪積粘性土層 III	#67洪積砂質土層 II	西田層TMSL -33m以浅	西田層TMSL -33m以深
動的変形特性	単位体積重量	ρ (t/m³)	1.90	2.00	1.82	1.80	1.86	1.90	1.73	1.69
	間隙率	n	0.41	0.41	0.51	0.51	0.48	0.53	0.56	0.56
	せん断波速度	Vs (m/sec)	—	—	230	250	290	330	490	530
	せん断弾性係数	G_{ma} (kN/m²)	5.11E+04	5.11E+04	9.63E+04	1.13E+05	1.56E+05	2.07E+05	4.15E+05	4.75E+05
	体積弾性係数	K_{ma} (kN/m²)	1.33E+05	1.33E+05	2.51E+05	2.95E+05	4.07E+05	5.40E+05	1.08E+06	1.24E+06
	基準化拘束圧	σ_{ma}' (kN/m²)	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	190.0	98.0	98.0
	拘束圧依存の係数	m_G, m_K	0.667	0.667	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000
	ポアソン比	ν	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
	粘着力	C (kN/m²)	10.8	0.0	0.0	191.0	218.0	0.0	Cu=1370-5.04Z	Cu=1370-5.04Z
	内部摩擦角	φ (°)	33.8	41.1	33.0	27.3	27.9	45.0		
	履歴減衰上限値	h_{max}	0.271	0.271	0.144	0.087	0.087	0.155	0.257	0.257
液状化特性	変相角	φ_p (°)	—	28.0	—	—	—	28.0	—	—
	液状化パラメータ	w_1	—	2.400	—	—	—	4.600	—	—
		p_1	—	0.500	—	—	—	0.500	—	—
		p_2	—	0.800	—	—	—	0.600	—	—
		c_1	—	1.920	—	—	—	3.910	—	—
		S_1	—	0.005	—	—	—	0.005	—	—

ｃ．ジョイント要素の設定

構造物と地盤の境界部にジョイント要素を設けることにより，構造物と地盤の剥離・すべりを考慮する。ジョイント要素の特性は法線方向，接線方向に分けて設定する。法線方向では，常時状態における鉛直応力以上の引張が生じた場合，剛性及び応力をゼロとして剥離を考慮する。接線方向では，構造物と地盤のせん断抵抗力以上のせん断応力が発生した場合，剛性をゼロとし，すべりを考慮する。静止摩擦力 τ_f はMohr-Coulomb 式により規定される。C，φは「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（(社)日本道路協会，平成14 年3 月）」（第11-9-9 表）に基づき，第11-9-10 表に示すとおり設定する。

第11-9-9 表 摩擦角と付着力（日本道路協会）

条　　件	摩擦角 ϕ_B（摩擦係数 $\tan\phi_B$）	付着力 c_B
土とコンクリート	$\phi_B = \frac{2}{3}\phi$	$c_B = 0$
土とコンクリートの間に栗石を敷く場合	$\left.\begin{array}{l}\tan\phi_B = 0.6 \\ \phi_B = \phi\end{array}\right\}$ の小さい方	$c_B = 0$
岩とコンクリート	$\tan\phi_B = 0.6$	$c_B = 0$
土と土又は岩と岩	$\phi_B = \phi$	$c_B = c$

ただし，ϕ：支持地盤のせん断抵抗角（°）　c：支持地盤の粘着力（kN/m²）

第11-9-10 表 ジョイント要素の強度特性

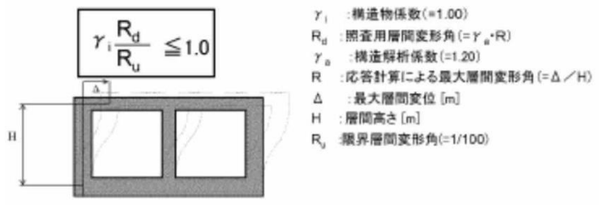
	粘着力 C （kN/m²）	内部摩擦角（°）
埋戻土層	0	27.4
洪積粘性土層（Ⅱ）	0	18.2

ジョイント要素のばね定数は，数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分に大きな値として，港湾構造物設計事例集（沿岸開発技術センター）に従い，kn=ks=1.0×10⁶(kN/m³)とする。

(3) 荷重の入力方法

ａ．固定荷重

固定荷重である自重は，鉄筋コンクリートの単位体積重量を踏まえ，構造物の断面の大きさに応じて算定する。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
b．地震荷重 地震荷重である地震力は9.2.4.3 章にて設定している入力地震動をモデル底面に入力する。 9.2.4.6 許容限界 (1) 曲げに対する許容限界 曲げに対する照査は第11-9-10 図に示すとおり，「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル，土木学会原子力土木委員会，2005 年6 月」（以下「土木学会マニュアル」とする）に基づき，照査用層間変形角が限界層間変形角を下回ることを確認する。 土木学会マニュアルでは，曲げ系の破壊に対する限界状態は，コンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされている。 圧縮縁コンクリートひずみが1%の状態及び層間変形角1/100 に至る状態は，かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることが，屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。これらの状態を限界値とすることで構造全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。土木学会マニュアルに従い，層間変形角が1/100 以下であれば，圧縮縁コンクリートひずみが1%の状態以下であると判断できるため，許容限界を1/100 と設定する。 また，曲げ照査に用いる照査用層間変形角は，地震応答解析により得られた層間変形角に安全係数（構造物解析係数）1.2 を乗じる。したがって，当該値を許容限界として設定することで，曲げ破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施することが可能である。 なお，曲げに対する照査については，最大の水平相対変位が生じる時刻について，層間変形角による評価を実施する。  第11-9-10 図 層間変形角による曲げ照査			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

(2) せん断に対する許容限界

せん断に対する許容限界は，土木学会マニュアルに基づき，「せん断耐力評価式（等価せん断スパン比）を用いた方法」により算定する。

ａ．せん断耐力評価式を用いたせん断耐力評価

1) 棒部材式

$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$

ここに，　V_{cd}：コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sd}：せん断補強筋が分担するせん断耐力

$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$

$f_{vcd} = 0.20\sqrt[3]{f'_{cd}}$

ただし，$f_{vcd} > 0.72(\mathrm{N/mm^2})$となる場合は$f_{vcd} = 0.72(\mathrm{N/mm^2})$

$\beta_d = \sqrt[4]{1/d}$　　ただし，$\beta_d > 1.5$となる場合は$\beta_d = 1.5$

$\beta_p = \sqrt[3]{100P_v}$　　ただし，$\beta_p > 1.5$となる場合は$\beta_p = 1.5$

$\beta_n = 1 + M_o/M_d (N'_d \geq 0)$　　ただし，$\beta_n > 2.0$となる場合は$\beta_n = 2.0$

$= 1 + 2M_o/M_d (N'_d < 0)$　　ただし，$\beta_n < 0$となる場合は$\beta_n = 0$

$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$　　ただし，$\beta_a < 1.0$となる場合は$\beta_a = 1.0$

f'_{cd}：コンクリート圧縮強度の設計用値$(\mathrm{N/mm^2})$で設計基準強度f'_{ck}を材料係数$\gamma_{mc}(1.3)$で除したもの

$p_v = A_s/(b_w \cdot d)$　：引張鉄筋比

A_s　：引張側鋼材の断面積

b_w　：部材の有効幅

d　：部材の有効高さ

N'_d：設計軸圧縮力

M_d　：設計曲げモーメント

$M_o = N'_d \cdot \mathrm{D}/6$　：M_dに対する引張縁において，軸方向力によって発生する応力を打消すのに必要なモーメント（デコンプレッションモーメント）

D　：断面高さ

a/d　：せん断スパン比

γ_{bc}　：部材係数(1.3)

$V_{sd} = \{A_w f_{wyd}(\sin\alpha + \cos\alpha)/s\}z/\gamma_{bs}$

A_w　：区間 s におけるせん断補強鉄筋の総断面積

f_{wyd}：せん断補強鉄筋の降伏強度を材料係数$\gamma_{ms}(1.0)$で除したもので，400N/

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

㎟以下とする。ただし，コンクリートの圧縮強度の特性値f'_{ck}が 60N/㎟以上のときは，800N/㎟以下とする。

α　：せん断補強鉄筋と部材軸のなす角

s　：せん断補強鉄筋の配置間隔

z　：圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で d/1.15 とする。

γ_{bs}　：部材係数(1.1)

2) ディープビーム式

$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$

ここに，　V_{cdd}　：コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sdd}　：せん断補強筋が分担するせん断耐力

$V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d/\gamma_{bc}$

$f_{dd} = 0.19\sqrt{f'_{cd}}$

$\beta_d = \sqrt[4]{1/d}$　　ただし，β_d＞1.5となる場合は$\beta_d = 1.5$

$\beta_p = \sqrt[3]{100P_v}$　　ただし，β_p＞1.5となる場合は$\beta_p = 1.5$

$\beta_a = \frac{5}{1+(\alpha/d)^2}$

γ_{bc}　：部材係数(1.3)

$V_{sdd} = \varphi \cdot V_{sd}$

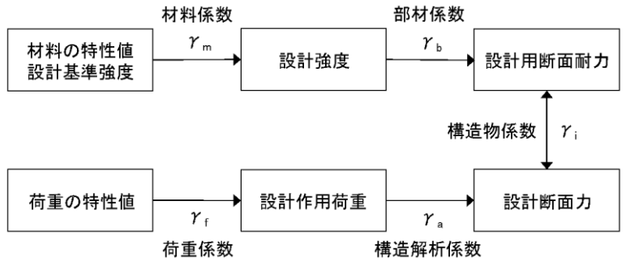
$\varphi = -0.17 + 0.3a\ /d + 0.33/p_{wb}$　ただし，0 ≤ φ ≤ 1

p_{wb}　：せん断補強鉄筋比(%)

土木学会マニュアルでは，コンクリート標準示方書におけるせん断耐力式のうち棒部材式において等価せん断スパンにより設定可能なβａを考慮している。これは，地中に埋設されたラーメン構造で，分布荷重が卓越，スパン内に曲げモーメントの反曲点が存在する等の載荷形態にある条件下では，せん断耐力が増大するという実験的知見を踏まえ，より合理的なせん断耐力を与えるよう，コンクリート標準示方書のせん断耐力式を精緻化したものである。

また，土木学会マニュアルにおけるせん断耐力式における評価においては，複数の安全係数（部材係数，構造解析係数）を見込む。

なお，せん断に対する照査については，地震応答解析において部材のせん断照査が厳しくなる時刻（層間変形角最大時刻）について，土木学会マニュアルに基づき，等価せん断スパンを考慮した照査手法を用いて評価を実施する。層間変形角が最大となる時刻と，せん断力が最大となる時刻の整合性は，補足確認する。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
(3) 安全係数の考え方 耐震安全性評価に当たっては，構造部材の曲げ照査については限界層間変形角を，構造部材のせん断照査についてはせん断耐力を許容限界値とした終局状態を想定した評価を実施する。 耐震安全性評価では，当該許容限界値に対して，妥当な安全余裕を確保するため，構造部材の照査の過程において複数の安全係数を考慮する。 安全係数は，材料係数，部材係数，荷重係数，構造解析係数及び構造物係数の5 種に分けられる。それぞれの安全係数の考え方を第11-9-11 図に示す。 安全係数の設定については，取水路の構造的な特徴を踏まえ，その適用性を判断した上で参考とする規格・基準類を9.2.3 章から選定した。 第11-9-11 表に，曲げ及びせん断照査に用いる安全係数とその設定の考え方を示す。 安全係数については，各規格・基準類で，必ずしも一定の値が定められているわけではないことから，取水路の特徴，耐震評価における解析手法及び物性値の設定根拠等を考慮し，第11-9-11 表に示すとおり設定する。 また，地盤物性のばらつきの考慮として，周辺地盤の変形特性について，平均値を基本ケースとした場合に，平均値±1.0×標準偏差（σ）のケースにおける影響の程度を安全係数として考慮した照査を，工事計画認可段階において実施する。  ※上記に加えて，地盤物性のばらつきに関する安全係数を考慮する 第11-9-11 図 安全係数の考え方			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第11-9-11 表(1) 曲げ評価において考慮する安全係数

安全係数		値	設定根拠
材料係数	γ_m	1.00	地震応答解析により応答値を求めていることから，照査手法に整合する適用規格より設定
部材係数	γ_b	1.00	適用規格に基づき，限界層間変形角の設定に当たっては保守的な配慮が行われていることから設定
構造物係数	γ_i	1.00	適用規格に基づき，基準地震動 Ss による地震力を適用することで十分に考慮されていることから設定
荷重係数	γ_f	1.00	適用規格より設定
構造解析係数	γ_a	1.20	適用規格より設定

第11-9-11 表(2) せん断評価において考慮する安全係数

安全係数			値	設定根拠
材料係数 γ_m	ｺﾝｸﾘｰﾄ	γ_{mc}	1.30	適用規格より設定
	鉄筋	γ_{ms}	1.00	適用規格より設定
部材係数 γ_b	ｺﾝｸﾘｰﾄ	γ_{bc}	1.30	適用規格より設定
	鉄筋	γ_{bs}	1.10	適用規格より設定
構造物係数		γ_i	1.00	適用規格に基づき，基準地震動 Ss による地震力を適用することで十分に考慮されているとして設定
荷重係数		γ_f	1.00	適用規格より設定
構造解析係数		γ_a	1.05	適用規格より設定

(4) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤の支持性能に対する照査は，取水路底版下の地盤に作用する鉛直方向の最大合力（最大鉛直力）が「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（(社）日本道路協会，平成14 年3 月）」に基づき算定した極限支持力を下回ることを確認する。

極限支持力算定式（直接基礎）

$$Q_u = A_e\left\{\alpha\kappa c N_c S_c + \kappa q N_q S_q + \frac{1}{2}\gamma_1 \beta B_e N_\gamma S_\gamma\right\}$$

ここに，

Q_u：荷重の偏心傾斜，支持力係数の寸法効果を考慮した地盤の極限支持力（kN）

c：地盤の粘着力（kN/㎡）

q：上載荷重（kN/㎡）で，$q=\gamma_2 D_f$

A_e：有効載荷面積（㎡）

γ_1, γ_2：支持地盤及び根入れ地盤の単位体積重量（kN/㎥）
ただし，地下水位以下では水中単位体積重量を用いる。

B_e：荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅（m）
$B_e = B - 2e_B$

B：基礎幅（m）

e_B：荷重の偏心量（m）

D_f：基礎の有効根入れ深さ（m）

α，β：基礎の形状係数（=1，帯状基礎の係数を適用）

κ：根入れ効果に対する割増係数（=1）

N_c, N_q, N_γ：荷重の傾斜を考慮した支持力係数

S_c, S_q, S_γ：支持力係数の寸法効果に関する補正係数

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

9.2.5. 評価結果

9.2.5.1 曲げに対する照査結果

曲げに対する照査結果を第11-9-12 表に示す。取水路（一般部）の照査用層間変形角は，いずれも許容限界値（限界層間変形角）以下である。

第11-9-12 表 曲げに対する照査結果

基準地震動	評価位置	照査用層間変形角 R_d※1	限界層間変形角 R_u	照査値 R_d/R_u
Ss-1	頂版～底版	0.25/100	1/100	0.25
Ss-2	頂版～底版	0.15/100	1/100	0.15
Ss-3	頂版～底版	0.30/100	1/100	0.30
Ss-4	頂版～底版	0.13/100	1/100	0.13
Ss-5	頂版～底版	0.23/100	1/100	0.23
Ss-6	頂版～底版	0.22/100	1/100	0.22
Ss-7	頂版～底版	0.27/100	1/100	0.27
Ss-8	頂版～底版	0.18/100	1/100	0.18

※1　照査用層間変形角R_d＝最大層間変形角Ｒ×構造解析係数γa
地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

9.2.5.2 せん断に対する照査結果

せん断に対する照査結果を第11-9-13 表に示す。取水路（一般部）の照査用せん断力は，いずれもせん断耐力評価式を用いた方法による許容限界値（せん断耐力）以下である。

なお，照査用せん断力がせん断耐力評価式を用いた方法によるせん断耐力を上回る場合は，「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル，土木学会原子力土木委員会，2005年6 月」に基づき，構造部材の形状，作用荷重及び鉄筋コンクリートの非線形特性を踏まえた材料非線形解析を実施することにより，より高い精度で求めたせん断耐力で照査を行うと，せん断に対する照査結果は，十分な裕度を有している。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第11-9-13 表 せん断に対する照査結果

基準地震動	評価位置	照査用せん断力 V_d(kN)※1	せん断耐力 V_{yd}(kN)	照査値 V_d / V_{yd}
Ss-1	頂版	1032	2758	0.37
	底版	1172	3085	0.38
	側壁	1177	1708	0.69
	隔壁	725	898	0.81
Ss-2	頂版	759	2776	0.27
	底版	832	2894	0.29
	側壁	750	1588	0.47
	隔壁	556	913	0.61
Ss-3	頂版	864	2683	0.32
	底版	1005	3008	0.33
	側壁	1077	1574	0.68
	隔壁	829(833)※2	875(1941)※2	0.95(0.43)※2
Ss-4	頂版	735	2749	0.27
	底版	833	2941	0.28
	側壁	717	1571	0.46
	隔壁	498	920	0.54
Ss-5	頂版	836	2646	0.32
	底版	1003	2952	0.34
	側壁	739	1389	0.53
	隔壁	689	891	0.77
Ss-6	頂版	825	2741	0.30
	底版	946	2993	0.32
	側壁	1050	1689	0.62
	隔壁	652	891	0.73
Ss-7	頂版	802	2680	0.30
	底版	956	3016	0.32
	側壁	1048	1625	0.64
	隔壁	766	871	0.88
Ss-8	頂版	755	2685	0.28
	底版	838	2858	0.29
	側壁	648	1400	0.46
	隔壁	607	878	0.69

※1　照査用せん断力V_d＝発生せん断力×構造解析係数γ_a
　　地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

※2　材料非線形解析を用いた方法による結果を（　　）内に示す

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

9.2.5.3 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を第11-9-14 表に示す。最大鉛直力は，いずれも許容限界値（極限支持力）以下である。

第11-9-14 表 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

基準地震動	最大鉛直力 V(kN) ※1	極限支持力 Q_u(kN)	照査値 V/Q_u
Ss-1	5750	24000	0.24
Ss-2	5120	29600	0.17
Ss-3	5690	25800	0.22
Ss-4	4880	52900	0.09
Ss-5	4890	48400	0.10
Ss-6	5130	24200	0.21
Ss-7	5200	19000	0.27
Ss-8	5080	29300	0.17

※1　地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

9.2.6 まとめ

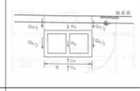
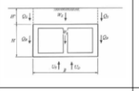
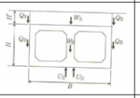
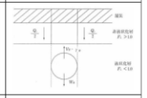
設置許可段階において液状化に伴う構造物の影響を検討する代表構造物として選定した7 号炉取水路（一般部）の基準地震動Ssに対する構造物評価の見通しについて確認した。

地震応答解析（有効応力解析）の結果，取水路（一般部）は，基準地震動Ss に対し，構造部材の曲げ，せん断及び基礎地盤に作用する最大鉛直力が許容限界値以下であることから，十分な構造強度を有している見通しを得た。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
補足資料１ 構造物の浮き上がりに係る評価方針について 本資料では，中空断面を有する構造物における液状化発生時の浮き上がりについて，評価の方針を示す。 地盤の液状化に伴う構造物の浮き上がりに対する主な簡易評価手法としては，浮き上がり計算法がある。 浮き上がり計算法は，液状化による過剰間隙水圧の上昇に伴う揚圧力の増加を考慮した，力の釣り合いに基づく方法であり，共同溝設計指針（日本道路協会，1986），トンネル標準示方書（土木学会，2006），鉄道構造物等設計標準・同解説（鉄道総合技術研究所，2012）及び水道施設耐震工法指針・解説（1997）に示されている。 各指針の概要を第11-9-15 表に整理する。 浮き上がりに対する安全率F_Sの算定は，共同溝設計指針，トンネル標準示方書及び鉄道構造物等設計標準・同解説では，いずれも同じ評価方法が採用されている。これは，水道施設耐震工法指針・解説は円形の管路を対象としており，他３者は矩形構造物を対象としているためと考えられる。柏崎刈羽地点の評価対象構造物は，矩形のボックスカルバート構造であることから，共同溝設計指針，トンネル標準示方書及び鉄道構造物等設計標準・同解説に示される以下の式を用いて評価を実施する。 $F_S = (W_S + W_B + Q_S + Q_B) / (U_S + U_D)$ W_S：上載土の荷重（水の重量を含む） W_B：構造物の自重 Q_S：上載土のせん断抵抗 Q_B：構造物側面の摩擦抵抗 U_S：構造物底面に作用する静水圧による揚圧力 U_D：構造物底面に作用する過剰間隙水圧による揚圧力			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第11-9-15 表 浮き上がり計算法の比較

	共同溝設計指針 （日本道路協会，1986）	トンネル標準示方書 （土木学会，2006）	鉄道構造物等 設計標準・同解説 （鉄道総合技術研究所，2012）	水道施設耐震工法 指針・解説 （日本水道協会，1997）
安全率F_sの算定式※	$\frac{W_s+W_h+Q_s+Q_h}{U_s+U_h}$	$\frac{W_s+W_h+2Q_s+2Q_h}{\gamma_i\ (U_s+U_h)}$	$\frac{W_s+W_h+2Q_s+2Q_h}{\gamma_i\ (U_s+U_h)}$	$\frac{W_h+Q_1}{V_0\cdot\gamma_s}$
力の定義※				
適用構造物	共同溝（矩形）	開削トンネル（矩形）	開削トンネル（矩形）	管路（円形）
所要安全率	1.1	1.0	1.0	1.0

γ_i：構造物係数

※共同溝設計指針とトンネル標準示方書，鉄道構造物等設計標準・同解説の算定式の相違は，力の定義におけるせん断抵抗Q_s・摩擦抵抗Q_Bを，片側で「Q」とするか「Q／2」とするかの表記上の相違であり，算定内容は同一。

非液状化層におけるせん断抵抗Q_S及び摩擦抵抗Q_Bの算定は，柏崎刈羽地点の評価対象地盤は，砂質土に限らず粘性土や地盤改良層が分布しており，せん断抵抗角ϕと粘着力cを用いた回帰式が最も適していること，地盤改良の効果は主に粘着力cとして表現されることから，トンネル標準示方書に示される以下の式を用いて評価を実施する。

$Q_S = f_{uw}(c + K_0 \cdot \sigma'_v \cdot \tan\phi) H'$

$Q_B = f_{us}(c + K_0 \cdot \sigma'_v \cdot \tan\phi) H$

c：粘着力

ϕ：せん断抵抗角

K_0：静止土圧定数

σ'_v：有効上載圧

H'：上載土の厚さ

H：構造物の高さ

f_{uw}，f_{us}：液状化時の浮き上がりに関する安全係数

（f_{uw}=1.0，f_{us}=1.0 が示されている）

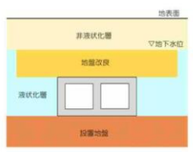
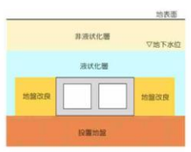
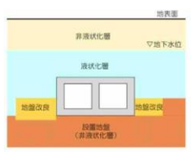
所要安全率は，最も保守的な設定としている共同溝設計指針を踏まえ，1.1 とする。

また，評価の結果を踏まえ，必要に応じて構造物周辺の地盤改良等の浮き上がり防止対策を実施する。

浮き上がり防止対策の設計方針を第11-9-16 表に示す。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第11-9-16 表 浮き上がり防止対策の設計方針

	上載土のせん断抵抗Q_Sの増加	構造物側面の摩擦抵抗Q_{fl}の増加	1m を超える根入れ※
概念図			

※共同溝設計指針において，粘性土層への根入れが 1m 以下の場合には安全側の配慮から過剰間隙水圧による揚圧力を底面に作用させること，粘性土層への根入れが 1m を越える場合には浮き上がりの検討の対象外とすること，とされている。

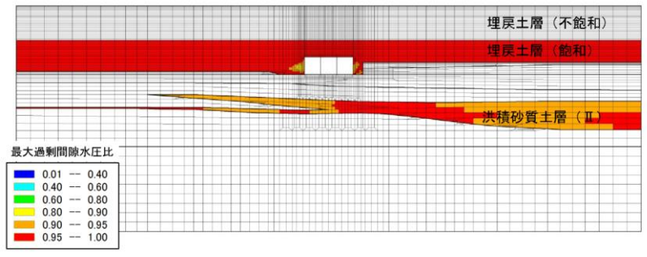
【参考文献】

・日本道路協会：共同溝設計指針，1986.

・土木学会：トンネル標準示方書 開削工法・同解説，2006.

・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，2012.

・日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 1997 年版，1997.

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
補足資料２ 洪積砂質土層の液状化の有無について ７ 号炉取水路（一般部）の基準地震動Ss に対する地震応答解析（有効応力解析FLIP）の結果から，洪積砂質土層の液状化の有無について示す。 本検討における液状化パラメータは，液状化層と判定する埋戻土層と，非液状化層と判定するが念のため液状化強度特性を設定する洪積砂質土層（Ⅱ）とに設定する。さらに，液状化特性が保守的に評価されるよう，液状化パラメータを設定している。（9.2.4.5 章参照） 最大過剰間隙水圧比について，曲げ及びせん断の照査が最も厳しい結果となった基準地震動Ss-3 の解析結果を第11-9-12 図に示す。埋戻土層においては，構造物周辺以外の領域では最大過剰間隙水圧比が0.95 を超えていることから，液状化が生じる解析結果となっている。洪積砂質土層（Ⅱ）においても，最大過剰間隙水圧比が0.95 を超える領域があることから，部分的に液状化が生じる解析結果となっている。 以上のことから，保守的な液状化パラメータにおける結果としては，洪積砂質土層は部分的に液状化が生じる評価となる見通しである。  第11-9-12 図 ７ 号炉取水路（一般部）の最大過剰間隙水圧比（Ss-3）			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

補足資料３

取水路の沈下量について

7 号炉取水路（一般部）の基準地震動Ss に対する地震応答解析（有効応力解析FLIP）の結果から，取水路の沈下量について示す。

本検討における液状化パラメータは，液状化層と判定する埋戻土層と，非液状化層と判定するが念のため液状化強度特性を設定する洪積砂質土層（Ⅱ）とに設定する。さらに，液状化特性が保守的に評価されるよう，液状化パラメータを設定している。（9.2.4.5 章参照）

取水路の変位量について，曲げ及びせん断の照査が最も厳しい結果となった基準地震動Ss-3 の解析結果を第11-9-17 表に示す。沈下量は，時刻歴最大で約2cm，残留で約1cm 程度となっている。また，水平変位量は，時刻歴最大で約20cm，残留で1cm 以下程度となっている。

なお，上述の変位量は，評価断面における対象ブロック単体の変位量であるが，耐震ジョイントの健全性評価に当たっては，隣接ブロックとの相対変位量により評価を実施する。

第11-9-17 表 7 号炉取水路（一般部）の変位量（Ss-3）

(1) 鉛直変位量（沈下量）

地震動	算定位置	時刻歴最大（cm）	残留（cm）
Ss-3	底版中央	2.07	0.86

(2) 水平変位量

地震動	変位方向	時刻歴最大（cm）	残留（cm）
Ss-3	右変形時（北向き）	11.6	－
	左変形時（南向き）	20.6	0.54

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

補足資料４

取水路の取水機能維持に関する評価方針

取水路の取水機能に係る基本設計方針として，検討項目を第11-9-18 表に示す。検討に際しては，地盤の液状化の影響を考慮する。

構造部材の健全性及び基礎地盤の支持性能に係る評価は，本編資料に示した見通しのとおりである。

耐震ジョイントの健全性は，工事計画認可の段階において，隣接ブロックとの相対変位として確認を行う方針としている。耐震ジョイントの限界変位量は，モックアップ試験による変形許容限界の確認を行う方針としている。

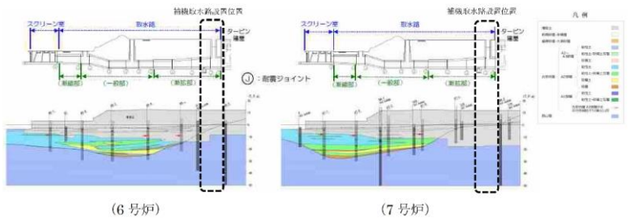
発生変位量（水平変位，沈下）は，補足資料3 に示すとおり，基準地震動Ss に対する地震応答解析（有効応力解析FLIP）の結果を参照する。

浮き上がり量は，補足資料１に示すとおり，浮き上がりが発生しないことを確認することから，変位量は小さい見通しである。

以上のとおり，構造部材の健全性，基礎地盤の支持性能に加えて，発生変位量（水平，沈下，浮き上がり）がジョイント変形許容限界を超えないことを確認することにより，取水機能維持を確認する方針としている。

第11-9-18 表 取水路の取水機能に係る検討項目

評価方針	評価項目	地震力	部位	評価方法	許容限界
通水断面を維持すること	構造部材の健全性	基準地震動Ss	鉄筋コンクリート	発生応力等が許容限界を超えないことを確認	限界層間変形角，せん断耐力
	基礎地盤の支持性能	基準地震動Ss	基礎地盤	鉛直方向の最大合力が許容限界を超えないことを確認	極限支持力
	耐震ジョイントの健全性	基準地震動Ss	ジョイント	ブロック間の相対変位量（水平，沈下，浮き上がり）がジョイント変形許容限界を超えないことを確認	変形許容限界

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
なお，取水路ブロック間の相対変位に伴い取水路に勾配が生じる可能性については，第11-9-18 表に示す通水断面を維持することを確認することにより，取水機能に影響がないことを確認できる見通しである。 津波水位低下時については，原子炉補機冷却海水ポンプの継続運転が可能となるよう，ポンプの取水可能水位が6 号炉 T.M.S.L.-5.24m，7 号炉T.M.S.L.-4.92m に対して，設置高さ T.M.S.L.-3.5m の海水貯留堰を設置し，十分な量の海水を貯留する。（第11-9-13 図） また，補機冷却用海水取水路は，西山層又はMMR（マンメイドロック）に設置していることから，タービン建屋との相対変位量は小さい見通しである。（第11-9-14 図）  第11-9-13 図 取水路の概要（６号炉の例）  第11-9-14 図 取水路の地質縦断図 9.3 常設代替交流電源設備基礎 9.3.1 構造概要及び評価断面 常設代替交流電源設備基礎について液状化による設備への影響の見通しとして，液状化現象の影響が最も大きいと考えられる断面を選定し，構造物の評価を実施する。			

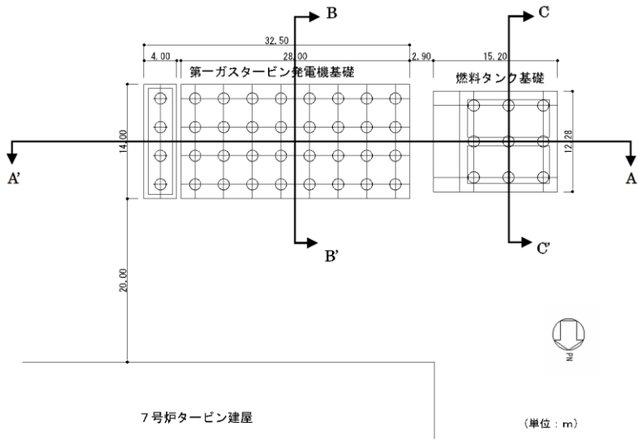
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

常設代替交流電源設備基礎は，第一ガスタービン発電機基礎と燃料タンク基礎で構成され，鉄筋コンクリート構造の躯体（基礎版及びタンク格納槽）と，それを支持する鋼管杭からなる。常設代替交流電源設備基礎の平面図を第11-9-15 図に，常設代替交流電源設備基礎のうち第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の断面図（NS 断面）を第11-9-16 図に示す。

常設代替交流電源設備基礎は基礎構造物であり，各断面で地盤条件に大きな差異はないことから，近接構造物に着目し，代表断面を選定する。

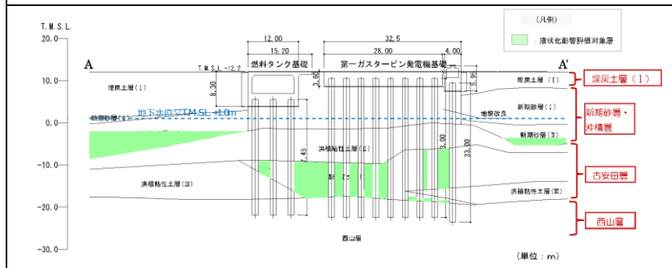
第一ガスタービン発電機基礎と燃料タンク基礎は東西方向に隣接して配置されており，EW断面では，互いの変形抑制効果が期待できる。第一ガスタービン発電機基礎の北側に7 号炉タービン建屋があることから，NS 断面の評価ではこの変形抑制効果が期待できるが，燃料タンク基礎の北側はタービン建屋よりも海側のエリアとなるため，NS 断面の評価ではタービン建屋の変形抑制効果が期待できない。

以上のことから，代表断面として，第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎NS 断面を選定し，2 次元有効応力解析（FLIP）による評価を実施する。評価は，基準地震動Ssに対して第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎に要求される機能の維持を確認するために，地震応答解析（有効応力解析）に基づき実施する。

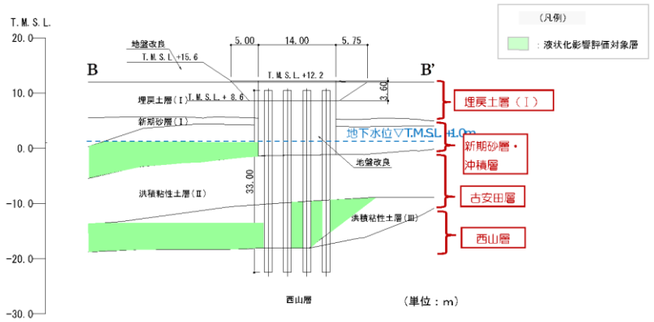


第11-9-15 図 常設代替交流電源設備基礎 平面図

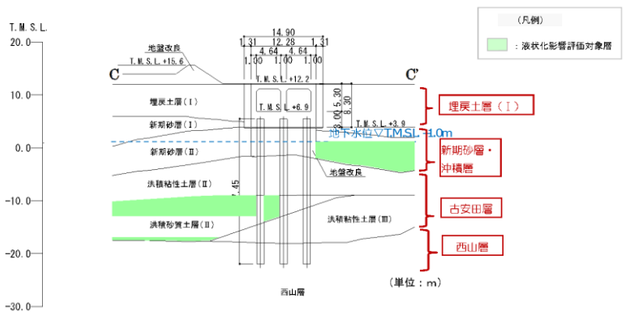
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



(1) 第一ガスタービン発電機基礎及び燃料タンク基礎（EW 断面）



(2) 第一ガスタービン発電機基礎（NS 断面）



(3) 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎（NS 断面）

第11-9-16 図 常設代替交流電源設備基礎断面図

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

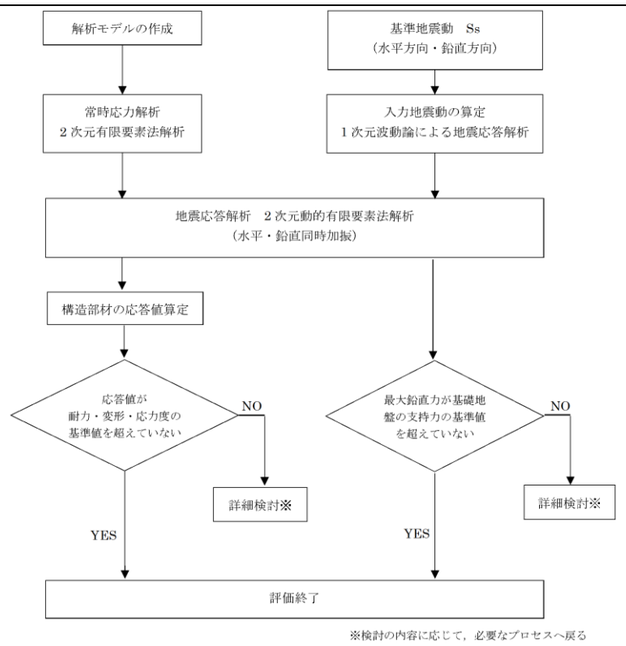
9.3.2 評価方針

第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の耐震評価では，基礎構造物として第11-9-19 表の項目に示す評価を行う。

構造部材の健全性評価については，地震応答解析に基づく鉄筋コンクリート及び鋼管杭の発生応力等が許容限界を超えないことを確認する。また，基礎地盤の支持性能については，最大鉛直力が許容限界を超えないことを確認する。第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の評価フローを第11-9-17 図に示す。

第11-9-19 表 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の評価項目

評価方針	評価項目	地震力	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	基準地震動 Ss	鉄筋コンクリート（躯体）	発生応力等が許容限界を超えないことを確認	限界層間変形角，せん断耐力
		基準地震動 Ss	鋼管杭	発生応力等が許容限界を超えないことを確認	終局曲げ強度，終局せん断強度
	基礎地盤の支持性能	基準地震動 Ss	基礎地盤	最大鉛直力が許容限界を超えないことを確認	極限支持力

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
 第11-9-17 図 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の評価フロー 9.3.3 適用規格 適用する規格，基準等を以下に示す。 ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル，土木学会原子力土木委員会，2005 年6 月 ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（(社) 土木学会，2002 年制定） ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（(社) 日本建築学会，1999 改訂） ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（(社) 日本建築学会，2010 改訂） ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（(社) 日本道路協会，平成14年3 月） ・港湾の施設の技術上の基準・同解説（(社) 日本港湾協会，2007 年版） ・乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 JEAC4616-2009，日本電気協会原子力規格委員会，2009 年12 月			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
9.3.4 評価条件 9.3.4.1 解析方法 地震応答解析は，構造物と地盤の動的相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法解析を用いて，基準地震動Ss に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴非線形応答解析を行う。第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎周辺には埋戻土層，新期砂層及び洪積砂質土層が存在することから，過剰間隙水圧の上昇を適切に評価するため，有効応力モデルを用いる。 地震応答解析は，埋戻土層，新期砂層及び洪積砂質土層の液状化の影響を考慮する必要があるため，解析コード「FLIP Ver.7.2.3_5」を使用する。 (1) 構造部材 箱形構造である鉄筋コンクリート構造の躯体及び前背面の妻壁は等価剛性の平面ひずみ要素で，鋼管杭は非線形はり要素でモデル化する。 (2) 地盤 地盤は，Hardin-Drnevich モデルを適用し，動せん断弾性係数及び減衰定数の非線形特性を考慮する。 (3) 減衰定数 減衰特性は，固有値解析にて求まる固有振動数及び減衰比に基づくRayleigh 減衰と，地盤及び構造物の履歴減衰を考慮する。 9.3.4.2 荷重及び荷重の組合せ 荷重及び荷重の組合せは，以下のとおり設定する。 (1) 耐震安全性評価上考慮する状態 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の耐震安全性評価において，地震以外に考慮する状態を以下に示す。 ａ．運転時の状態 発電用原子炉施設が運転状態にあり，通常の条件下におかれている状態とする。ただし，運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。 ｂ．設計基準事故時の状態 設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

ｃ．設計用自然条件

地中埋設構造物であることから，積雪及び風は考慮しない。

ｄ．重大事故時の状態

重大事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 荷重

地震応答解析において考慮する荷重を以下に示す。

ａ．固定荷重（G）

固定荷重として，構造物の自重及び機器荷重を考慮する。

ｂ．地震荷重（K_{Ss}）

地震荷重として，基準地震動Ss による地震力を考慮する。

(3) 荷重の組合せ

荷重の組合せを第11-9-20 表に示す。

第11-9-20 表 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時（Ss）	G+ K_{Ss}

ここで，G　　：固定荷重

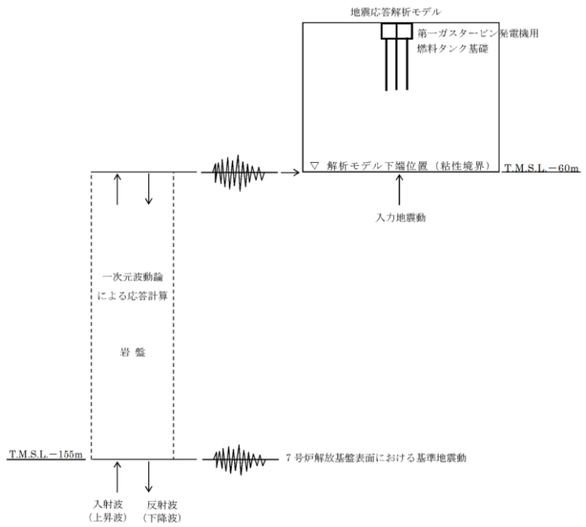
K_{Ss}　　：地震荷重

9.3.4.3 入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動は，解放基盤表面で定義される基準地震動Ss を，1次元波動論によって地震応答解析モデルの下端位置で評価したものを用いる。

入力地震動の算定には，解析コード「SLOK Ver2.0」を使用する。入力地震動算定の概念図を第11-9-18 図に示す。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考



第11-9-18 図 入力地震動算定の概念図

9.3.4.4 解析モデル

地震応答解析モデルを第11-9-19 図に示す。

(1) 解析領域

解析領域は，側面境界及び底面境界が，構造物の応答に影響しないよう，構造物と側面境界及び底面境界との距離を十分に広く設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側面及び底面には，エネルギーの逸散効果を評価するため，粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

鉄筋コンクリート構造の躯体は平面ひずみ要素で，鋼管杭は非線形はり要素でモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

地盤は，地質区分に基づき，平面ひずみ要素でモデル化する。

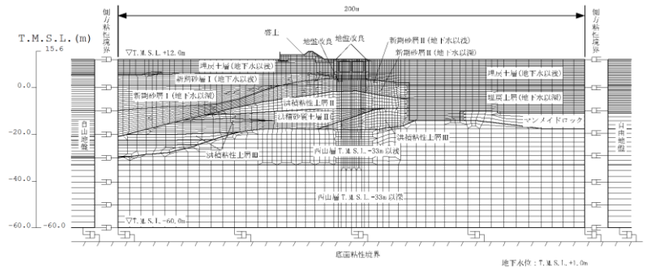
(5) ジョイント要素

構造物と地盤改良の境界部及び地盤改良と地盤の境界部にジョイント要素を設けることを基本とし，境界部での剥離・すべりを考慮する。

(6) 水位条件

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎周辺の地下水位は，地震荷重に伴う液状化による変形を保守的に考慮するために，朔望平均満潮位（T.M.S.L.+0.49m）に余裕を考慮したT.M.S.L.+1.00mとする。



第11-9-19 図 地震応答解析モデル

9.3.4.5 使用材料及び材料の物性値

(1) 構造物の物性値

使用材料を第11-9-21 表に，材料の物性値を第11-9-22 表に示す。

第11-9-21 表 使用材料

材料	諸元
コンクリート	設計基準強度　30N/mm^2
鉄筋	SD490
鋼管杭	SKK490

第11-9-22 表 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m^3)	ヤング係数 (kN/mm^2)	ポアソン比
コンクリート	24※1	28※2	0.2※2
鉄筋		200※2	0.3※2
鋼管杭	77	200	0.3

※1 鉄筋コンクリートとしての単位体積重量

※2 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（(社) 土木学会，2002 年制定）」に基づき設定する

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

(2) 地盤の物性値

ａ．液状化試験の結果

液状化層と判定する埋戻土層と非液状化層と判定するが念のため液状化強度特性を設定する洪積砂質土層（Ⅱ）の有効応力解析に用いる液状化パラメータは，繰返しねじりせん断試験結果より設定する。

新期砂層（Ⅰ）（Ⅱ）の有効応力解析に用いる液状化パラメータ及び地盤物性値は，追加調査を実施することとしているため，設置許可段階における見通しを得るための構造物評価においては，埋戻土層の値を用いる。

埋戻土層及び洪積砂質土層（Ⅱ）の物性値を第11-9-23 表に示す。

試験結果から設定した解析上の液状化強度曲線を第11-9-20 図に，液状化パラメータを第11-9-24 表に示す。なお，液状化特性が保守的（液状化しやすい）に評価されるように，液状化パラメータを設定する（試験結果より繰返し回数が少ない状態で同程度のひずみが発生するように設定することから，液状化が発生しやすい設定となっている）。

第11-9-23 表 試験結果

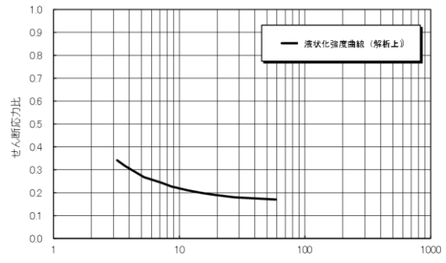
（埋戻土層）

	必要とする物性値			物性値
	名称	記号	単位	
物理的性質	単位体積重量	ρ	t/m^3	2.00
	間隙率	n	－	0.41
力学的性質	液状化強度曲線（液状化パラメータ）	－	－	第11-9-20図参照
	せん断弾性係数	G_{ma}	kN/m^2	5.11E+04
	内部摩擦角	φ	°	41.1
	粘着力	C	kN/m^2	0.0
	履歴減衰上限値	h_{max}	－	0.271

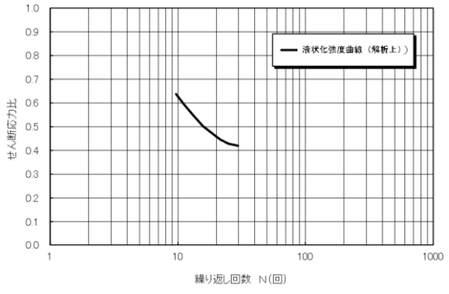
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

（洪積砂質土層（Ⅱ））

	必要とする物性値			物性値
	名称	記号	単位	
物理的性質	単位体積重量	ρ	t/m^3	1.90
	間隙率	n	－	0.53
力学的性質	液状化強度曲線（液状化パラメータ）	－	－	第11-9-20図参照
	せん断弾性係数	G_{ma}	kN/m^2	2.07E+05
	内部摩擦角	φ	°	45.0
	粘着力	C	kN/m^2	0.0
	履歴減衰上限値	h_{max}	－	0.155



（埋戻土層）



（洪積砂質土層（Ⅱ））

第11-9-20 図 液状化強度曲線

第11-9-24 表 液状化パラメータ

液状化パラメータ	φ_p(°)	w_1	p_1	p_2	c_1	S_1
埋戻土層	28.0	2.400	0.500	0.800	1.920	0.005
洪積砂質土層(Ⅱ)	28.0	4.600	0.500	0.600	3.910	0.005

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

ｂ．解析用地盤物性値

地盤の物性値を第11-9-25 表に示す。埋戻土層及び洪積砂質土層（Ⅱ）の物性値については，地震時における過剰間隙水圧の上昇を適切に評価するため，繰返しねじりせん断試験結果を基に設定した液状化特性を設定する。

第11-9-25 表 地盤の物性値

パラメータ			埋戻土層（表土含む層）	埋戻土層（表土含む層）	改良体（岩片混り砂質土）	改良体（砂質土）	改良体（粘性土）	改良体（砂質土）	改良体（粘性土）	改良体（砂質土）	マンメイドロック	基礎岩盤	置換コンクリート
物理特性	湿潤密度	ρ_t (g/cm³)	1.90	2.00	1.82	1.80	1.86	1.90	1.75	1.69	1.75	1.98	1.82
	間隙率	n	0.41	0.41	0.51	0.51	0.48	0.53	0.58	0.56	0.45	0.45	0.45
初期強度特性	せん断弾性波速度	V_s (m/s)	－	－	230	250	290	330	490	530	1040	570	1000
	初期せん断剛性係数	G_{ma} (kN/m²)	5.11E+04	5.11E+04	9.63E+04	1.13E+05	1.56E+05	2.07E+05	4.15E+05	4.78E+05	1.95E+06	6.43E+05	1.82E+06
	体積弾性係数	K_{ma} (kN/m²)	1.33E+05	1.33E+05	2.51E+05	2.95E+05	4.07E+05	5.40E+05	1.08E+06	1.24E+06	4.98E+06	1.68E+06	4.75E+06
	基準拘束圧	σ_{ma} (kN/m²)	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	190.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0
	等価粘着力定数	m_g, m_k	0.667	0.667	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	ポアソン比	ν	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
	粘着力	C (kN/m²)	10.8	0.0	0.0	191.0	218.0	0.0	Cu=1370-5.04Z	Cu=1370-5.04Z	1880.0	2530.0	1900.0
	内部摩擦角	ϕ (°)	33.8	41.1	33.0	27.3	27.9	45.0			0.0	0.0	0.0
	限界減衰上限値	h_{max}	0.271	0.271	0.144	0.087	0.087	0.155	0.257	0.257	0.190	0.061	0.083
液状化特性	変相角	ϕ_p (°)	－	28.0	－	－	－	28.0	－	－	－	－	－
	液状化パラメータ	w1	－	2.400	－	－	－	4.600	－	－	－	－	－
		p1	－	0.500	－	－	－	0.500	－	－	－	－	－
		p2	－	0.800	－	－	－	0.600	－	－	－	－	－
		c1	－	1.920	－	－	－	3.950	－	－	－	－	－
		Sl	－	0.005	－	－	－	0.005	－	－	－	－	－

ｃ．ジョイント要素の設定

構造物と地盤改良の境界部及び地盤改良と地盤の境界部にジョイント要素を設けることを基本とし，境界部での剥離・すべりを考慮する。ジョイント要素の特性は法線方向，接線方向に分けて設定する。法線方向では，引張応力が生じた場合，剛性及び応力をゼロとして剥離を考慮する。接線方向では，構造物と地盤改良の境界部及び地盤改良と地盤の境界部のせん断抵抗力以上のせん断応力が発生した場合，剛性をゼロとし，すべりを考慮する。静止摩擦力 τ_f はMohr-Coulomb 式により規定される。構造物と地盤改良との境界部のC，φは「港湾の施設の技術上の基準・同解説（(社) 日本港湾協会，2007 年版)」に基づき，C=0，φ=15° とする。また，地盤改良と地盤との境界部のC，φは「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)・同解説（(社) 日本道路協会，平成14年3月）(第11-9-26 表)」に基づき，第11-9-27 表に示すとおり設定する。

第11-9-26 表 摩擦角と付着力（日本道路協会）

条　　件	摩擦角 ϕ_B（摩擦係数 $\tan\phi_B$）	付着力 c_B
土とコンクリート	$\phi_B = \frac{2}{3}\phi$	$c_B = 0$
土とコンクリートの間に栗石を敷く場合	$\tan\phi_B = 0.6$, $\phi_B = \phi$ の小さい方	$c_B = 0$
岩とコンクリート	$\tan\phi_B = 0.6$	$c_B = 0$
土と土又は岩と岩	$\phi_B = \phi$	$c_B = c$

ただし，ϕ：支持地盤のせん断抵抗角（°）　c：支持地盤の粘着力（kN/m²）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第11-9-27 表 ジョイント要素の強度特性

	粘着力 C （kN/m²）	内部摩擦角（°）
構造物－地盤間	0	15.0
改良体－地盤間	0	41.1

ジョイント要素のばね定数は，数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分に大きな値として，港湾構造物設計事例集（沿岸開発技術センター）に従い，$kn=ks=1.0\times10^{6}(kN/m^{3})$とする。

(3) 荷重の入力方法

ａ．固定荷重

固定荷重である自重は，鉄筋コンクリート及び鋼管杭の単位体積重量を踏まえ，構造物の断面の大きさに応じて算定する。機器荷重は，機器の設置位置で付加重量として考慮する。

ｂ．地震荷重

地震荷重である地震力は9.3.4.3 章にて設定している入力地震動をモデル底面に入力する。

9.3.4.6 許容限界

(1) 鋼管杭に対する許容限界

ａ．曲げ

鋼管杭の曲げに対する許容限界は，「乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 JEAC4616-2009，日本電気協会原子力規格委員会，2009 年12 月」（以下「キャスク指針」とする）に基づき算定する終局曲げ強度に対応する曲率（終局曲率）とする。

ｂ．せん断

鋼管杭のせん断に対する許容限界は，「キャスク指針」に基づき算定する終局せん断強度とする。

(2) 躯体に対する許容限界

ａ．曲げ

躯体の曲げに対する許容限界は，「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル，土木学会原子力土木委員会，2005 年6 月」（以下「土木学会マニュアル」とする）に基づき，層間変形角1/100 とする。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
ｂ．せん断 躯体のせん断に対する許容限界は，工事計画認可における設計では，「土木学会マニュアル」に基づき算定したせん断耐力等とするが，設置許可段階における見通しを得るための構造物評価においては，コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（(社) 土木学会，2002 年制定）及び壁部材は鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（(社) 日本建築学会，1999 改訂）に基づき，保守的に鉄筋コンクリートの短期許容せん断応力度とする。 (3) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界 基礎地盤の支持性能に対する照査は，杭頭に作用する最大鉛直力が「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（(社) 日本道路協会，平成14 年3 月）」に基づき算定した極限支持力とする。 極限支持力算定式（杭基礎） $R_a = \frac{\gamma}{n}(R_u - W_s) + W_s - W$ ここに， R_a：杭頭における杭の軸方向許容押込み支持力（kN） n　：安全率（=1.2,キャスク指針に従い Ss 地震時を適用） γ　：極限支持力推定法の相違による安全率の補正係数（=1.0,支持力推定式を適用） R_u※1：地盤から決まる杭の極限支持力（kN） W_S：杭で置換えられる部分の土の有効重量（kN） W：杭及び杭内部の土の有効重量（kN） ※1　$R_u = q_d A + U\Sigma L_i f_i$ ここに， R_u：地盤から決まる杭の極限支持力（kN） A　：杭先端面積（㎡） q_d　：杭先端における単位面積当たりの極限支持力度（kN/㎡） U：杭の周長（m） L_i：周面摩擦力を考慮する層の層厚（m） （液状化影響評価対象層の周面摩擦力は考慮しない） f_i：周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度（kN/㎡）			

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

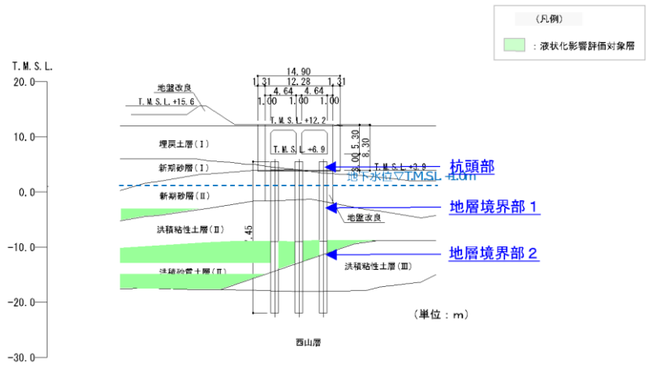
9.3.5 評価結果

9.3.5.1 鋼管杭に対する照査結果

鋼管杭の照査位置は，第11-9-21 図に示すとおり，杭頭部，地層境界部1（地盤改良と洪積粘性土層Ⅱとの境界）並びに地層境界部2（洪積砂質土層Ⅱと洪積粘性土層Ⅲとの境界）を選定する。

鋼管杭の曲げに対する照査結果を第11-9-28 表に示す。鋼管杭の照査用応答値は，いずれも許容限界値（終局曲率）以下である。

せん断に対する照査結果を第11-9-29 表に示す。鋼管杭の照査用応答値は，いずれも許容限界値（終局せん断強度）以下である。



第11-9-21 図 鋼管杭の照査位置図

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第11-9-28 表 鋼管杭の曲げに対する照査結果

基準地震動	評価位置※1	照査用曲率※2 ϕ(1/m)	終局曲率 ϕu(1/m)	照査値
Ss-1	杭頭部	3.123E-04	6.666E-03	0.05
	地層境界部 1	1.285E-03	6.627E-03	0.19
	地層境界部 2	1.339E-03	6.619E-03	0.20
Ss-2	杭頭部	1.639E-04	8.966E-03	0.02
	地層境界部 1	4.096E-04	9.150E-03	0.04
	地層境界部 2	4.570E-04	9.103E-03	0.05
Ss-3	杭頭部	4.281E-04	6.189E-03	0.07
	地層境界部 1	1.936E-03	6.462E-03	0.30
	地層境界部 2	3.365E-03	6.171E-03	0.55
Ss-4	杭頭部	2.127E-04	8.563E-03	0.02
	地層境界部 1	5.862E-04	8.021E-03	0.07
	地層境界部 2	4.283E-04	8.040E-03	0.05
Ss-5	杭頭部	2.170E-04	8.367E-03	0.03
	地層境界部 1	6.139E-04	7.840E-03	0.08
	地層境界部 2	4.892E-04	7.855E-03	0.06
Ss-6	杭頭部	2.601E-04	7.597E-03	0.03
	地層境界部 1	7.302E-04	7.582E-03	0.10
	地層境界部 2	5.358E-04	7.565E-03	0.07
Ss-7	杭頭部	2.525E-04	7.722E-03	0.03
	地層境界部 1	7.874E-04	7.712E-03	0.10
	地層境界部 2	5.255E-04	7.645E-03	0.07
Ss-8	杭頭部	2.334E-04	7.467E-03	0.03
	地層境界部 1	8.224E-04	7.452E-03	0.11
	地層境界部 2	5.352E-04	7.467E-03	0.07

※1　地層境界部 1：地盤改良と洪積粘性土層Ⅱとの境界
　　地層境界部 2：洪積砂質土層Ⅱと洪積粘性土層Ⅲとの境界

※2　地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第11-9-29 表 鋼管杭のせん断に対する照査結果

基準地震動	評価位置※1	照査用せん断力※2 Q(kN)	終局せん断強度 Qu(kN)	照査値 Q/Qu
Ss-1	杭頭部	499	9420	0.05
	地層境界部 1	3705	9420	0.39
	地層境界部 2	2802	9420	0.30
Ss-2	杭頭部	358	9420	0.04
	地層境界部 1	1745	9420	0.19
	地層境界部 2	917	9420	0.10
Ss-3	杭頭部	599	9420	0.06
	地層境界部 1	4177	9420	0.44
	地層境界部 2	3353	9420	0.36
Ss-4	杭頭部	411	9420	0.04
	地層境界部 1	2314	9420	0.25
	地層境界部 2	411	9420	0.04
Ss-5	杭頭部	423	9420	0.04
	地層境界部 1	2380	9420	0.25
	地層境界部 2	580	9420	0.06
Ss-6	杭頭部	455	9420	0.05
	地層境界部 1	2955	9420	0.31
	地層境界部 2	576	9420	0.06
Ss-7	杭頭部	428	9420	0.05
	地層境界部 1	2955	9420	0.31
	地層境界部 2	523	9420	0.06
Ss-8	杭頭部	405	9420	0.04
	地層境界部 1	2599	9420	0.28
	地層境界部 2	455	9420	0.05

※1　地層境界部 1：地盤改良と洪積粘性土層Ⅱとの境界
　　地層境界部 2：洪積砂質土層Ⅱと洪積粘性土層Ⅲとの境界

※2　地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

9.3.5.2 躯体に対する照査結果

躯体の曲げに対する照査結果を第11-9-30 表に示す。躯体の照査用応答値は，いずれも許容限界値（限界層間変形角）以下である。

せん断に対する照査結果を第11-9-31 表に示す。躯体の照査用応答値は，いずれも許容限界値（せん断耐力）以下である。

第11-9-30 表 躯体の曲げに対する照査結果

基準地震動	評価位置	照査用層間変形角 R_d※1	限界層間変形角 R_u	照査値 R_d/R_u
Ss-1	頂版～底版	0.015/100	1/100	0.02
Ss-2	頂版～底版	0.007/100	1/100	0.01
Ss-3	頂版～底版	0.015/100	1/100	0.02
Ss-4	頂版～底版	0.008/100	1/100	0.01
Ss-5	頂版～底版	0.010/100	1/100	0.01
Ss-6	頂版～底版	0.010/100	1/100	0.01
Ss-7	頂版～底版	0.010/100	1/100	0.01
Ss-8	頂版～底版	0.013/100	1/100	0.01

※1　照査用層間変形角R_d＝最大層間変形角R×構造解析係数γ_a
地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第11-9-31 表 躯体のせん断に対する照査結果（頂版，底版，側壁，隔壁）

基準地震動	評価位置	照査用せん断応力 τ_d (N/mm^2)※1	短期許容せん断応力 τ_a (N/mm^2)	照査値 τ_d/τ_a
Ss-1	頂版	0.20	1.12	0.18
	底版	1.19	2.09	0.57
	側壁	0.42	1.40	0.30
	隔壁	0.55	1.12	0.49
Ss-2	頂版	0.09	1.12	0.08
	底版	0.47	2.09	0.22
	側壁	0.34	1.40	0.24
	隔壁	0.27	1.12	0.24
Ss-3	頂版	0.22	1.12	0.20
	底版	1.36	2.09	0.65
	側壁	0.47	1.40	0.34
	隔壁	0.54	1.12	0.48
Ss-4	頂版	0.09	1.12	0.08
	底版	0.57	2.09	0.27
	側壁	0.32	1.40	0.23
	隔壁	0.33	1.12	0.29
Ss-5	頂版	0.11	1.12	0.10
	底版	0.63	2.09	0.30
	側壁	0.34	1.40	0.24
	隔壁	0.37	1.12	0.33
Ss-6	頂版	0.11	1.12	0.10
	底版	0.62	2.09	0.30
	側壁	0.37	1.40	0.26
	隔壁	0.37	1.12	0.33
Ss-7	頂版	0.12	1.12	0.11
	底版	0.67	2.09	0.32
	側壁	0.41	1.40	0.29
	隔壁	0.37	1.12	0.33
Ss-8	頂版	0.15	1.12	0.13
	底版	0.73	2.09	0.35
	側壁	0.44	1.40	0.31
	隔壁	0.48	1.12	0.43

※1　照査用せん断応力 τ_d＝発生せん断応力×構造解析係数 γ_a
地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第11-9-31 表 躯体のせん断に対する照査結果（妻壁）

基準地震動	照査用せん断応力 τ_d (N/mm²)※1	短期許容せん断応力 τ_a (N/mm²)	照査値 τ_d/τ_a
Ss-1	0.95	2.10	0.45
Ss-2	0.58	2.10	0.28
Ss-3	1.26	2.10	0.60
Ss-4	0.63	2.10	0.30
Ss-5	0.69	2.10	0.33
Ss-6	0.72	2.10	0.34
Ss-7	0.63	2.10	0.30
Ss-8	1.07	2.10	0.51

※1　地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

9.3.5.3 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を第11-9-32 表に示す。最大鉛直力は，いずれも許容限界値（極限支持力）以下である。

第11-9-32 表 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

基準地震動	最大鉛直力※1 V(kN)	極限支持力 Q_u(kN)	照査値 V/Q_u
Ss-1	15600	34100	0.46
Ss-2	5750	34100	0.17
Ss-3	19400	34100	0.57
Ss-4	7170	34100	0.21
Ss-5	8550	34100	0.25
Ss-6	10100	34100	0.30
Ss-7	9970	34100	0.29
Ss-8	10800	34100	0.32

※1　地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

9.3.6 まとめ

設置許可段階において液状化に伴う構造物の影響を検討する代表構造物として選定した第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の基準地震動Ss に対する構造物評価の見通しについて確認した。

地震応答解析（有効応力解析）の結果，第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎は，基準地震動Ss に対し，構造部材の曲げ，せん断及び基礎地盤に作用する最大鉛直力が許容限界値以下であることから，十分な構造強度を有している見通しを得た。

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
10. 参考文献 ・(社)日本道路協会（2012）：道路橋示方書・同解説（Ⅴ耐震設計編），平成24 年3 月. ・安田進(1991)：液状化の調査から対策工まで，鹿島出版会，1991 年5 月. ・地盤工学会(2009)：地盤材料試験の方法と解説，平成21 年11 月. ・土木学会(2003)：過剰間隙水圧の発生過程が地盤の地震応答に与える影響，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 レベル２地震動による液状化に関するシンポジウム論文集，pp397-400，2003 年6 月. ・地盤工学会(2000)：土質試験の方法と解説（第一回改訂版），平成12 年3 月. ・地盤工学会(2006)：地盤工学用語辞典，pp219-220，平成18 年3 月. ・井合進(2008)：サイクリックモビリティCyclic Mobility，地盤工学会誌，56-8，2008 年8 月. ・吉見吉昭(1991)：砂地盤の液状化（第二版），技報堂出版，1991 年，5 月. ・永瀬英生(1984)：多方向の不規則荷重を受ける砂の変形強度特性，東京大学博士論文，1984. ・井合進，飛田哲男，小堤治(2008)：砂の繰返し載荷時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンシー関係，京都大学防災研究所年報，第51 号，pp.291-304，2008. ・日本港湾協会(2007)：港湾の施設の技術上の基準・同解説，平成19 年7 月. ・Iai，S.，Matsunaga,Y. and Kameoka,T(1992)：STRAIN SPACE PLASTICITY MODEL FOR CYCLIC MOBILITY，SOILS AND FOUNDATIONS，Vol,32，No. 2，pp.1-15. ・Iai. S.,Morita，T.,Kameoka，T.，Matsunaga，Y. and Abiko，K.(1995):RESPONSE OF A DENSE SAND DEPOSIT DURING 1993 KUSHIRO-OKI EARTHQUAKE，SOILS AND FOUNDATIONS，Vol,35，No.1，pp.115-131. ・龍岡文夫(1980)：サイクリック・モビリティ（Cyclic Mobility），土と基礎，28-6，1980年6 月. ・国生剛治，吉田保夫，西好一，江刺靖行(1983)：密な砂地盤の地震時安定性評価法の検討（その１）密な砂の動的強度特性，電力中央研究所報告 研究報告：383025，昭和58 年10 月.		5. 参考文献 ・道路橋示方書：道路橋示方書・同解説（Ⅴ耐震設計編），（社）日本道路協会，H24.3 ・港湾基準：港湾の施設の技術上の基準・同解説，（社）日本港湾協会，H19年版 ・港湾構造物設計事例集，沿岸技術研究センター，H19年版 ・地盤工学会基準JGS4001：性能設計概念に基づいた基礎構造物等に関する設計原則（H18） ・地盤工学会,H21：地盤材料試験の方法と解説，平成21 年11 月 ・安田,H3：液状化の調査から対策工まで，安田進，鹿島出版会，H3.5 ・吉田,H22：地盤の地震応答解析，吉田望，鹿島出版会，H22.10 ・土木学会,H15：過剰間隙水圧の発生過程が地盤の地震応答に与える影響，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 レベル２地震動による液状化に関するシンポジウム論文集，pp397-400，H15.6 ・地盤工学会,H18：地盤工学用語辞典，pp219-220，H18.3 ・井合進,H20：サイクリックモビリティCyclic Mobility，地盤工学会誌，56-8，H20.3 ・吉見吉昭,H3：砂地盤の液状化（第二版），技報堂出版，H3.5 ・井合進，飛田哲男，小堤治(H20)：砂の繰返し載荷時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンシー関係，京都大学防災研究所年報，第51 号，pp.291-304，H20 ・鉄道総合技術研究所(H24)：鉄道構造物等設計標準・同解説，H24.9 ・Iai，S.，Matsunaga,Y. and Kameoka,T(1992)：STRAIN SPACE PLASTICITY MODEL FOR CYCLIC MOBILITY，SOILS AND FOUNDATIONS，Vol,32，No. 2，pp.1-15. ・Iai. S.,Morita，T.,Kameoka，T.，Matsunaga，Y. and Abiko，K.(1995):RESPONSE OF A DENSE SAND DEPOSIT DURING 1993 KUSHIRO-OKI EARTHQUAKE，SOILS AND FOUNDATIONS，Vol,35，No.1，pp.115-131. ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]，（社）土木学会，H14年制定 ・建築物荷重指針・同解説，日本建築学会，H16年版 ・建築物の構造関係技術基準解説書，国土交通省住宅局建築指導課，国土交通省国土技術政策総合研究所，独立行政法人建築研究所，日本建築行政会議 監修，H19.8 ・森田ら,H9：液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおい	・参考文献の相違 【柏崎6/7】 島根２号炉では港湾構造物設計事例集及びその他の文献を追加している

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	女川原子力発電所　２号炉（2019.11.6 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
・鉄道総合技術研究所(2012)：鉄道構造物等設計標準・同解説，平成24 年9 月. ・亀井祐聡，森本巌，安田進，清水善久，小金井健一，石田栄介（2002)：東京低地における沖積砂質土の粒度特性と細粒分が液状化強度に及ぼす影響，地盤工学会論文報告集，Vol.42，No.4，101-110. ・吉見吉昭(1994)：砂の乱さない試料の液状化抵抗～N 値～相対密度関係，土と基礎，Vol.42，No. 4，pp. 63-67，1994. ・Imai T.& Tonouchi K.（1982)：Correlation of N Value with ESOPT Ⅱ S-wave Velocity and shear Modulus.		て必要な各種パラメタの簡易設定法，運輸省港湾技術研究所，港湾技研資料，No.869，H9.6 ・第四期FLIP研究会14年間のまとめWG,H23：液状化解析プログラムFLIPによる動的解析の実務，財団法人沿岸技術研究センター，H23.8 ・地盤工学会，H22：土質試験　基本と手引き ・兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察：運輸省港湾技術研究所，港湾技研資料，No.813，H7	

実線・・設備運用又は体制等の相違（設計方針の相違）
波線・・記載表現，設備名称の相違（実質的な相違なし）

まとめ資料比較表　〔第４条 地震による損傷の防止　別紙－12〕

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
別紙－７　機器・配管系の設備の既工認からの構造変更について（耐震） １．はじめに 本資料では，柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉（以下，「柏崎刈羽6号及び7号炉」という。）の建設工認あるいは改造工認で認可されている構造からの変更点のうち，耐震性に影響のあるものをまとめている。 ２．機器・配管系の設備の既工認からの構造変更点について 既工認から構造変更実績のある設備の一覧を添付資料1に示す。 また，これらの構造変更実績のある設備について，変更点の概要を添付資料2に示す。今回の申請では，添付資料2に示した各設備の構造変更を反映し，耐震評価を行う。	別紙－１２　既設設備に対する耐震補強等について（耐震） 1.　はじめに 本資料では，今回工認の申請において耐震性を向上させる観点から今後実施する計画である既設設備に対する耐震補強等について整理する。 なお，今後の設計評価により補強対象の施設，設備の変更及び補強内容の変更の可能性がある。 2.　既設設備に対する耐震補強等について 建物・構築物，機器・配管系，屋外重要土木構造物における耐震補強等の一覧を第１表に，耐震補強の概要を第１図～第 11 図に示す。	別紙－12　既設設備に対する耐震補強等について 1.　はじめに 本資料では，建設工認あるいは改造工認（以下，併せて「既工認」という。）で認可されている構造からの変更点のうち耐震性に影響のあるものをまとめている。なお，本資料に記載している設備の構造については，詳細設計段階で追加変更が生じる可能性がある。 2.　既設設備の既工認からの構造変更点について 建物・構築物，機器・配管系，屋外重要土木構造物における既工認からの構造変更実績の一覧を添付資料１に示す。 また，これらの構造変更実績のある設備について，変更点の概要を添付資料２に示す。添付資料２に示した各設備の構造変更を反映し，耐震評価を行う。 また，既設設備の構造変更に関して，基本設計段階の設計方針等の記載への反映要否について添付資料３に整理する。	

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）

添付資料1

柏崎刈羽6号及び7号炉 既工認からの構造変更の有無の整理表

設備名称	柏崎刈羽６号及び７号炉での既工認からの構造変更の有無		備考
	○：構造変更あり ×：構造変更なし （6 号炉／7 号炉）	工事概要	
原子炉補機冷却水系（原子炉補機冷却水系熱交換器）	○／○	熱交換器の脚部に支持構造物を追加設置	
燃料取扱装置（原子炉建屋クレーン）	○／○	本体ガーダ脱線防止ラグとトロリストッパの形状変更	
燃料取扱装置（燃料取替機）	○／○	本体及びトロリの走行時の脱線を防止する措置を強化	
原子炉核計装（起動領域モニタドライチューブ）	○／○	材料及び溶接位置の変更	
非常用予備発電装置（直流 125V 蓄電池）	○／○	蓄電池の取替、支持構造の変更（ボルト本数等）	
燃料貯蔵設備（軽油タンク）	○／○	軽油タンクの取替（厚肉品に交換）、アニュラ板の材料変更	
格納容器圧力逃がし装置（フィルタベント配管及びサポート）	○／○	フィルタベント配管を追設	重大事故等対処設備（以下，SA 設備と言う）配管の追設例として示す
代替循環冷却系（代替循環冷却系配管及びサポート）	○／○	残留熱除去系熱交換器(B)から復水移送ポンプへ向かう冷却系配管を追設	SA 設備配管の追設例として示す
格納容器 pH 制御設備（pH 制御設備配管及びサポート）	○／○	薬注ラインを追設	SA 設備配管の追設例として示す
残留熱除去系（残留熱除去系配管本体及びサポート） 原子炉冷却材浄化系（原子炉冷却材浄化系配管本体及びサポート）	【配管本体】×／× 【サポート】○／○	サポート強化・追設	配管系の耐震強化の例として示す
復水補給水系（復水補給水系配管及びサポート）	○／○	注水ラインを追設	SA 設備配管の追設例として示す
可燃性ガス濃度制御系（可燃性ガス濃度制御系配管及びサポート）	○／○	可燃性ガス濃度制御系ラインを追設（二重化）	
高圧代替注水系（代替高圧注水系配管及びサポート，ポンプ）	○／○	高圧代替注水ポンプ及び注水ラインを追設	SA 設備配管の追設例として示す

東海第二発電所（2018.9.18 版）

第１表　既設設備の耐震補強等一覧

	施設・設備名称	目　的	内　容	添付図番号
建物・構築物	排気筒	排気筒の支持機能強化	鉄塔部への支持部材の追加及び地盤改良	1
機器・配管系	原子炉格納容器スタビライザ	フランジボルトの応力低減対策及び許容限界値の向上	フランジボルトの口径変更及び高強度材料適用	2
	原子炉建屋クレーン	地震時落下防止による波及的影響防止	落下防止対策の追設＊1	3
	燃料取替機	同上	ガーダ等の部材強化	4
	配管系	配管系の支持機能強化	サポートの追加及び補強	5
	残留熱除去系熱交換器	残留熱除去系熱交換器の支持機能強化	架台部への耐震補強サポート追設	6
	水圧制御ユニット	水圧制御ユニットの支持機能強化	架構部への補強梁追加	7
	格納容器シアラグ部	原子炉格納容器とシアラグ取付け部の応力低減対策	シアラグ部への補強材追加	8
屋外重要土木構造物	貯留堰取付護岸	地震時の護岸構造の健全性維持による貯留堰への波及的影響防止	地盤改良	9
	屋外二重管基礎構造	屋外二重管の支持機能強化	屋外二重管を支持する基礎構造の追設	10
	取水構造物	地震時の取水構造物の健全性維持	地盤改良	11

＊1　落下防止対策を添付１に示す。

島根原子力発電所　２号炉

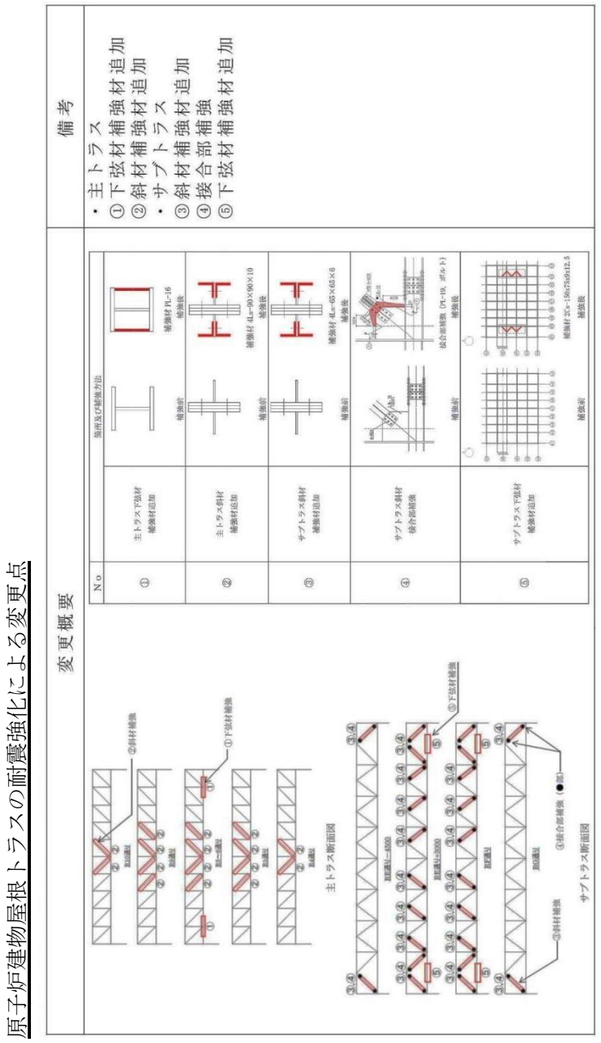
添付資料１

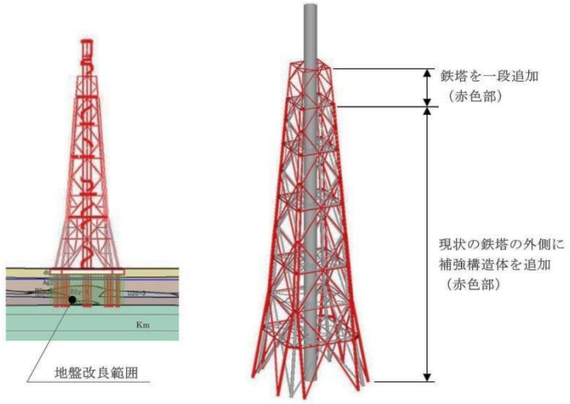
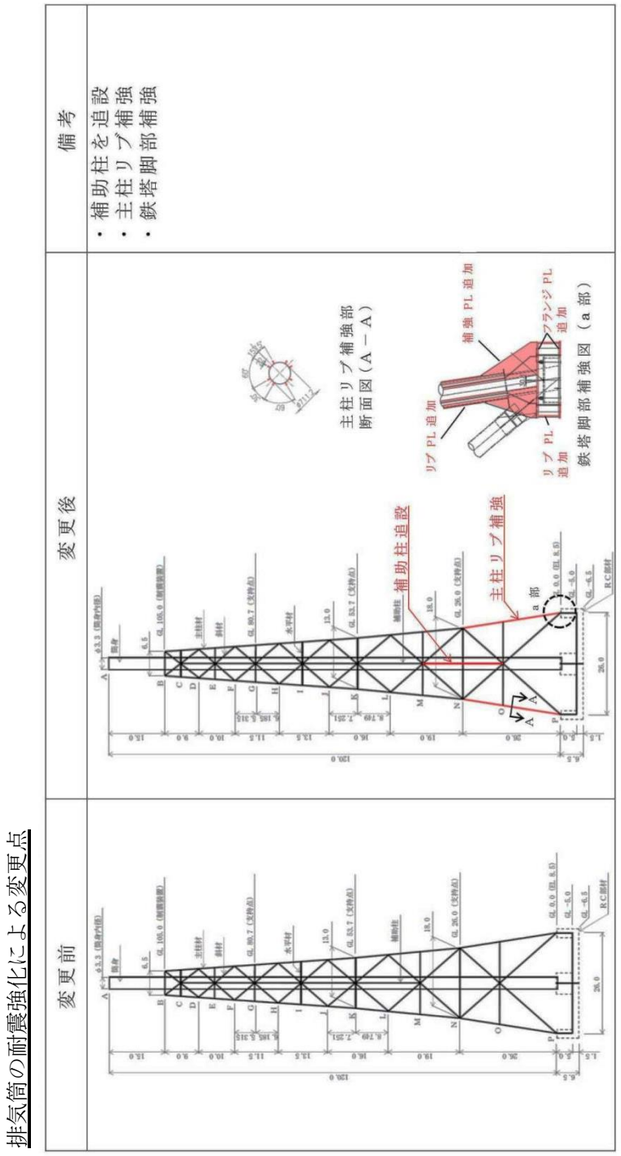
島根２号炉　既工認からの構造変更実績のある設備

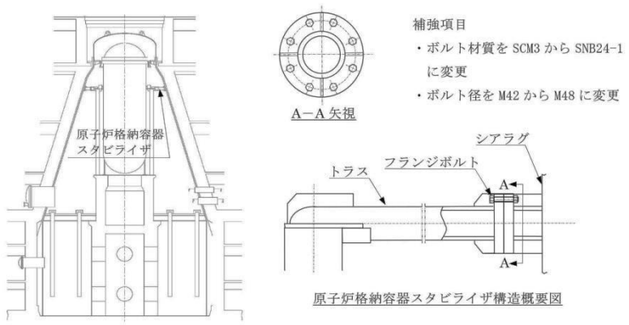
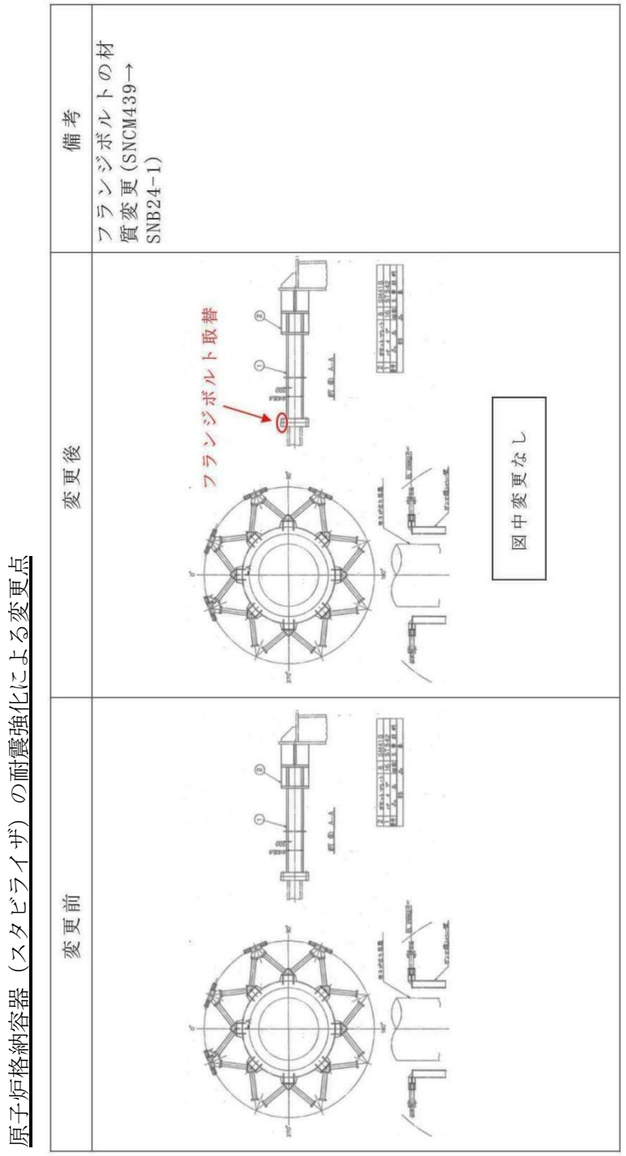
	施設・設備名称		構造変更の概要	備考
建物・構築物	原子炉建物屋根トラス		・主トラス，サブトラスに補強材を追設	
	排気筒		・補助柱を追設 ・主柱リブ補強 ・鉄塔脚部補強	
機器・配管系	原子炉格納容器	スタビライザ	・フランジボルトの材質変更	
		電気配線貫通部	・支持構造物を追設	
	残留熱除去系熱交換器		・熱交換器の下部胴板に支持構造物を追設	
	原子炉補機冷却系熱交換器		・熱交換器脚部の支持構造物に補強部材を追設	
	制御棒駆動水圧系水圧制御ユニット		・架構部に補強部材を追設	
	原子炉補機海水ポンプ		・長尺化 ・支持構造物の追設および位置変更	
	高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ		・長尺化 ・支持構造物の追設	
	圧力低減設備	ダウンカマ	・補強リブを追設	
		ベントヘッダ	・支持構造物の取替	
		ベント管	・補強リブを追設	
	燃料取替機		・トロリ補強 ・ブリッジおよびトロリ脱線防止ラグ補強 ・走行レール交換	
	原子炉建物天井クレーン		・落下防止ラグおよびトロリストッパの形状変更	
	配管系		・配管の追設	例として格納容器フィルタベント系配管を示す
			・サポートの追設および強化	例として残留熱除去系配管を示す
屋外重要土木構造物	取水槽		・スクリーン室に後施工せん断補強鉄筋を追設	

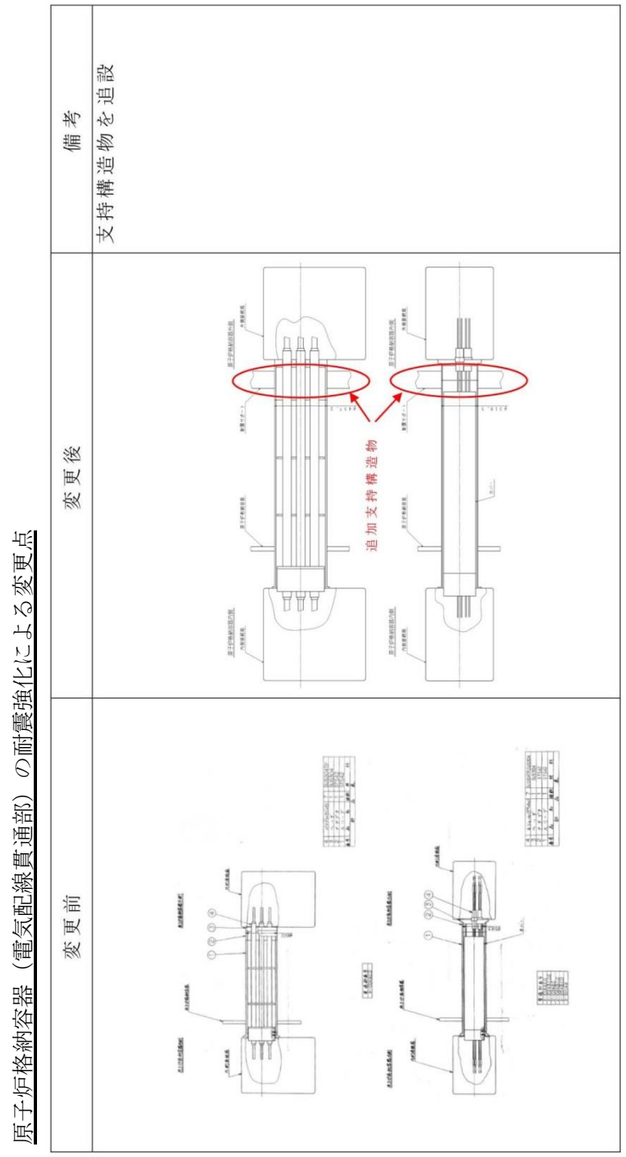
備考

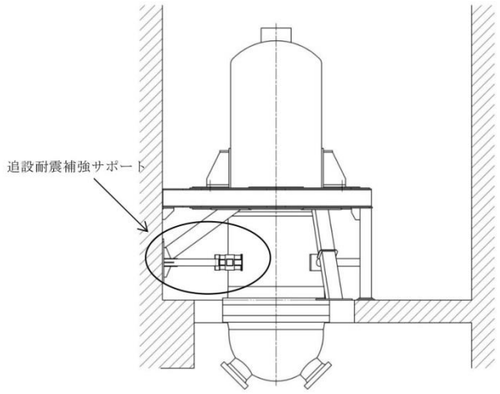
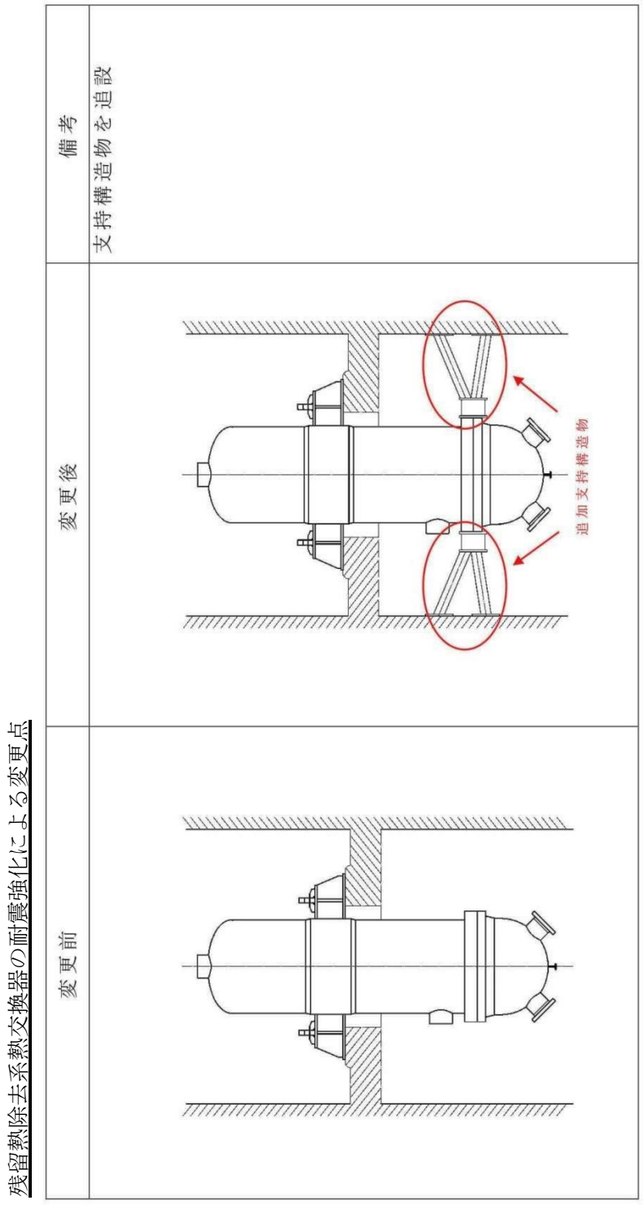
・対象設備の相違
【柏崎 6/7，東海第二】

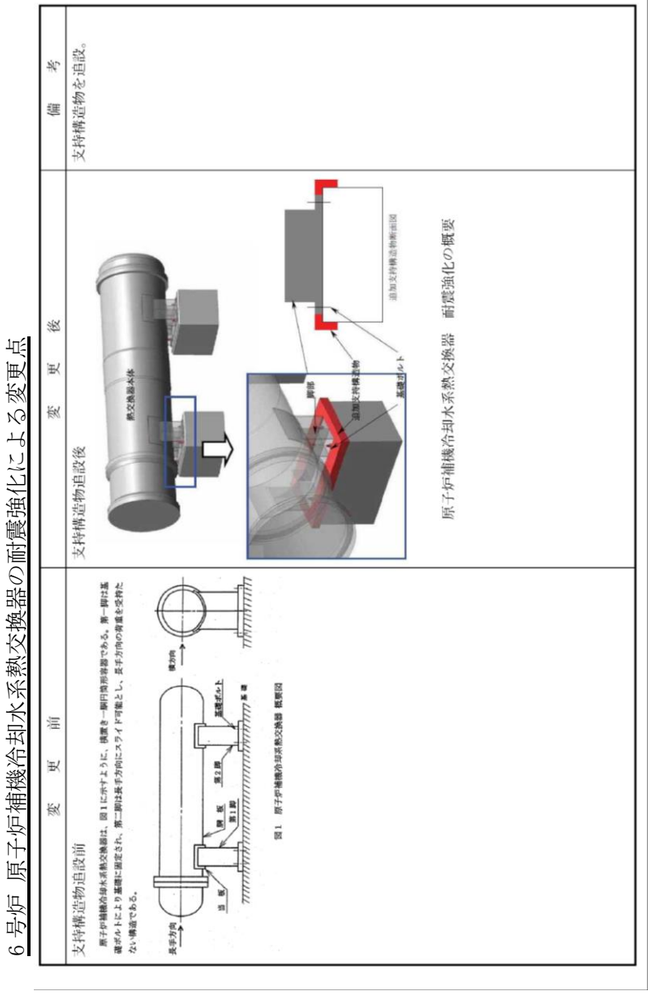
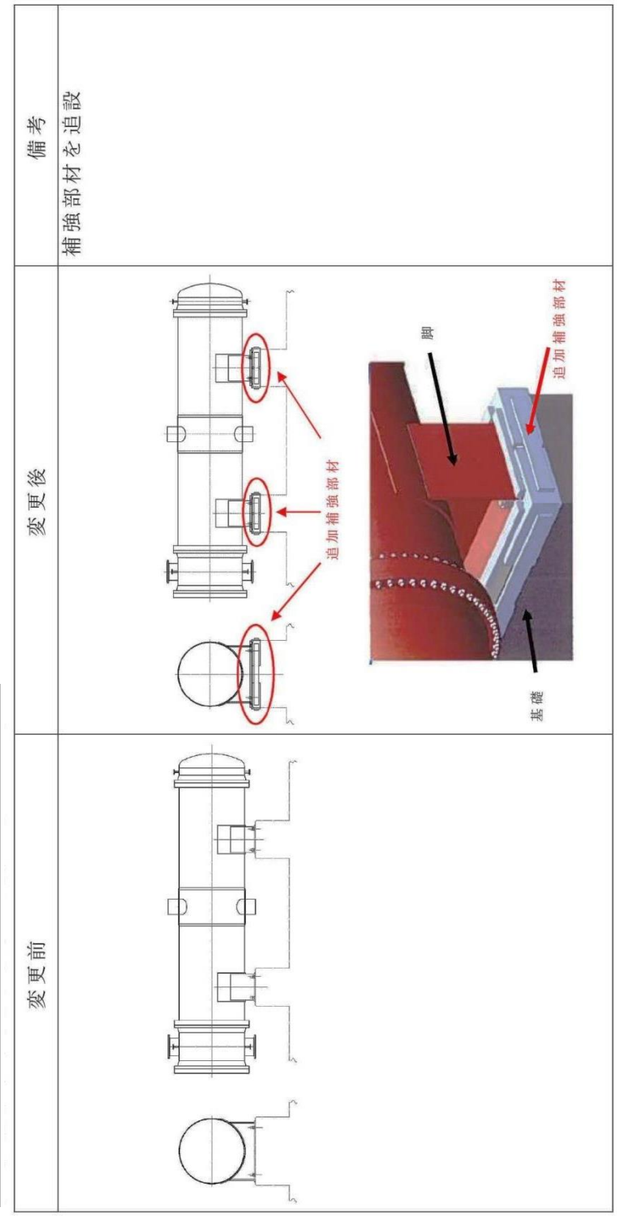
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		添付資料２  	・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

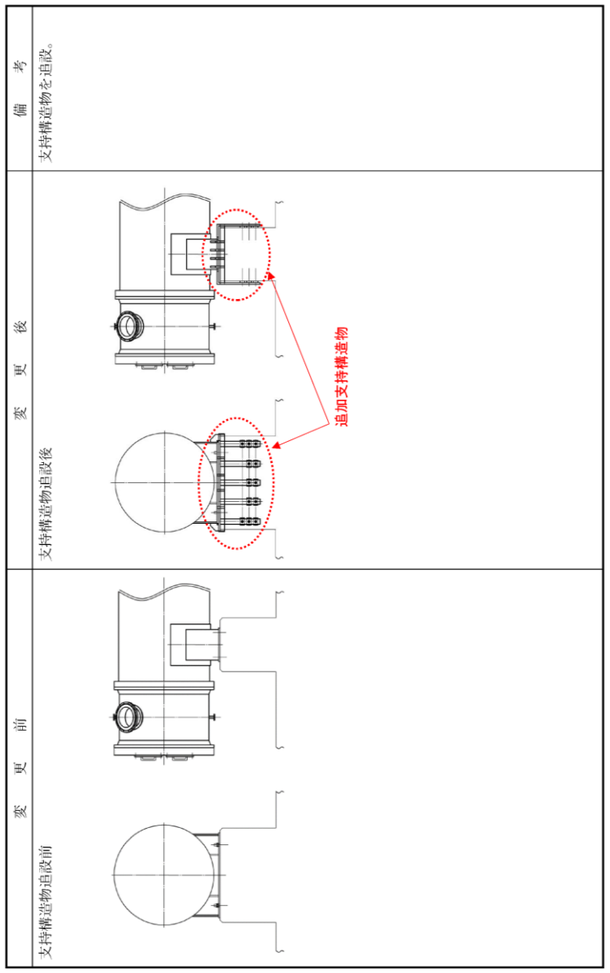
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第１図　排気筒の耐震補強概要図		・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

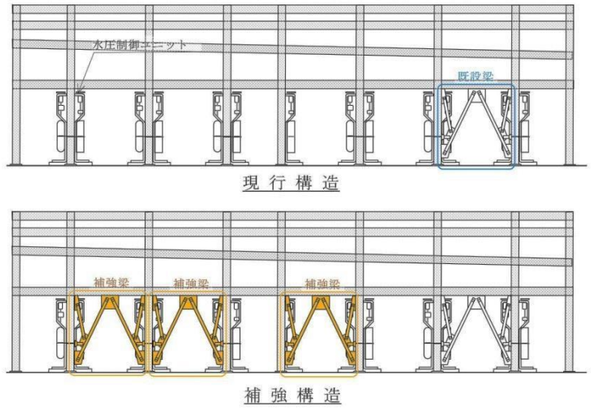
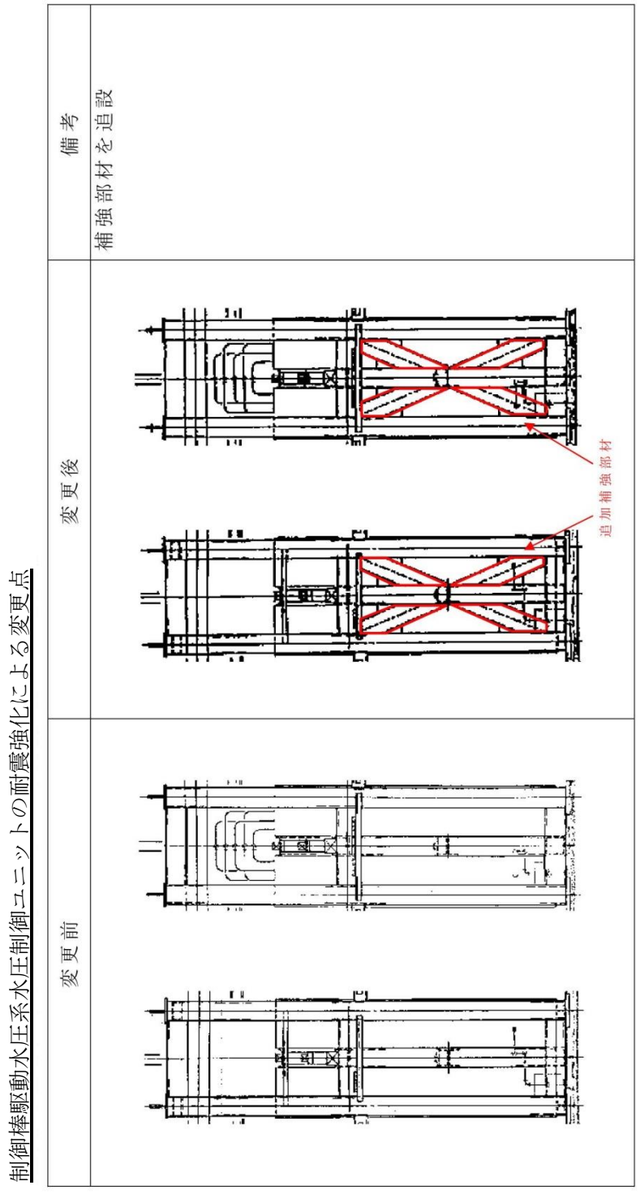
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 原子炉格納容器スタビライザ構造概要図 第２図　原子炉格納容器スタビライザの耐震補強概要図		・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

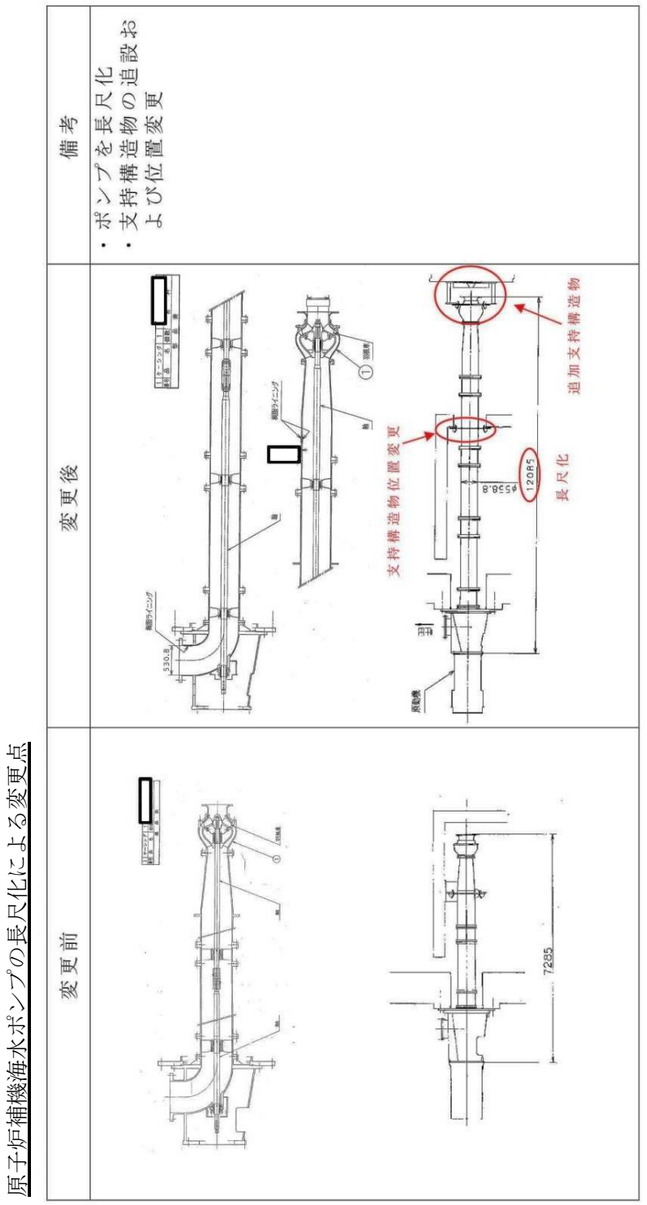
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
			・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

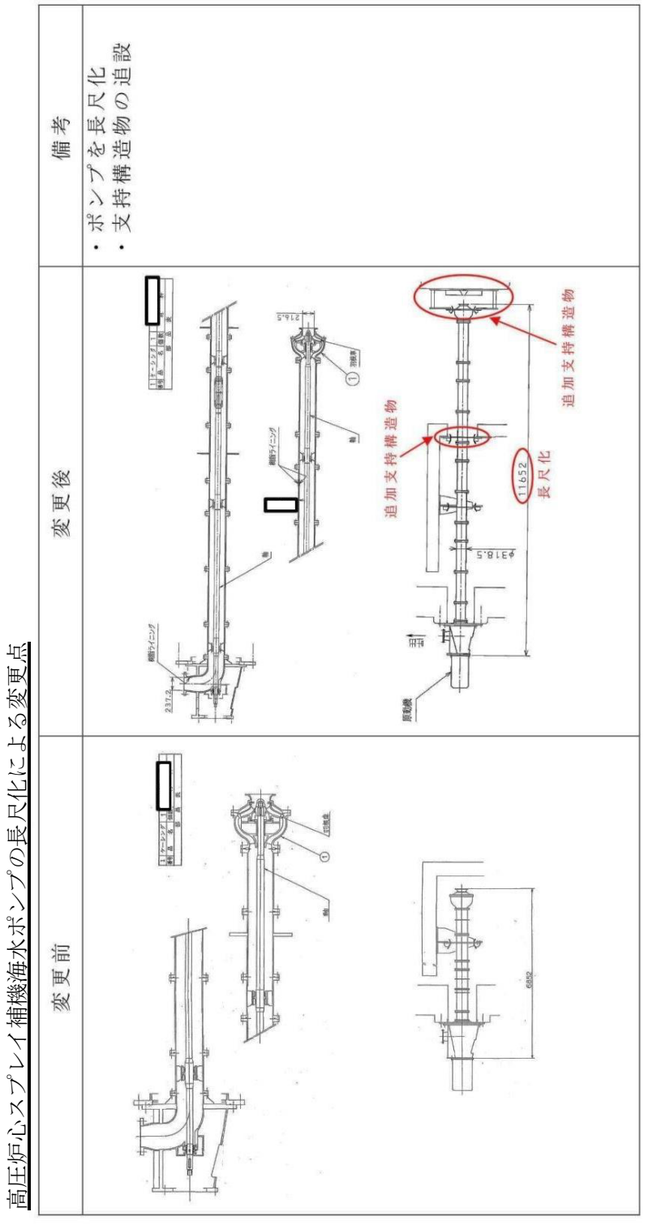
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第 6 図　残留熱除去系熱交換器の耐震補強概要図	 残留熱除去系熱交換器の耐震強化による変更点	・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

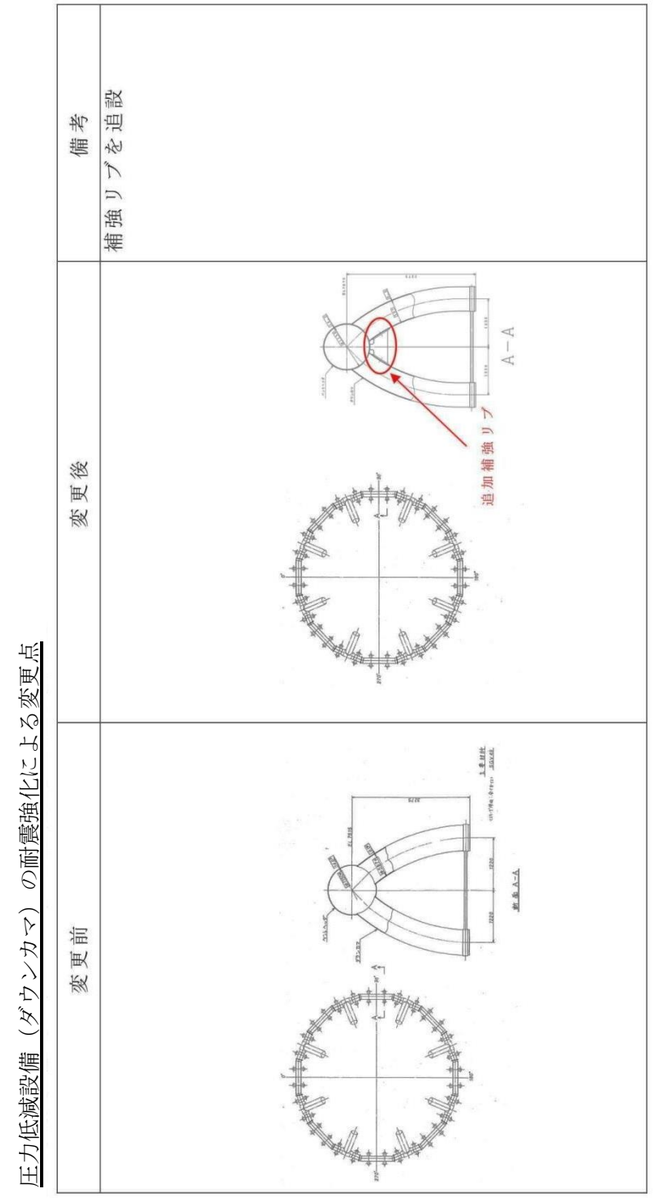
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
添付資料2 6号炉　原子炉補機冷却水系熱交換器の耐震強化による変更点  		原子炉補機冷却系熱交換器の耐震強化による変更点  	・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

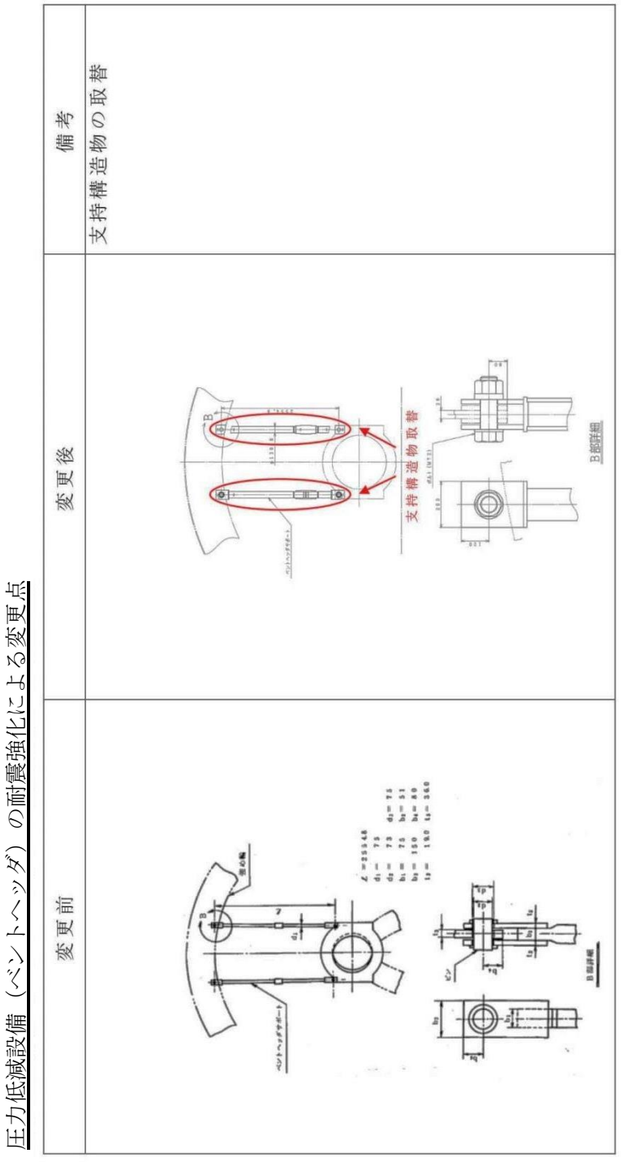
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
7 号炉　原子炉補機冷却水系熱交換器の耐震強化による変更点 			・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

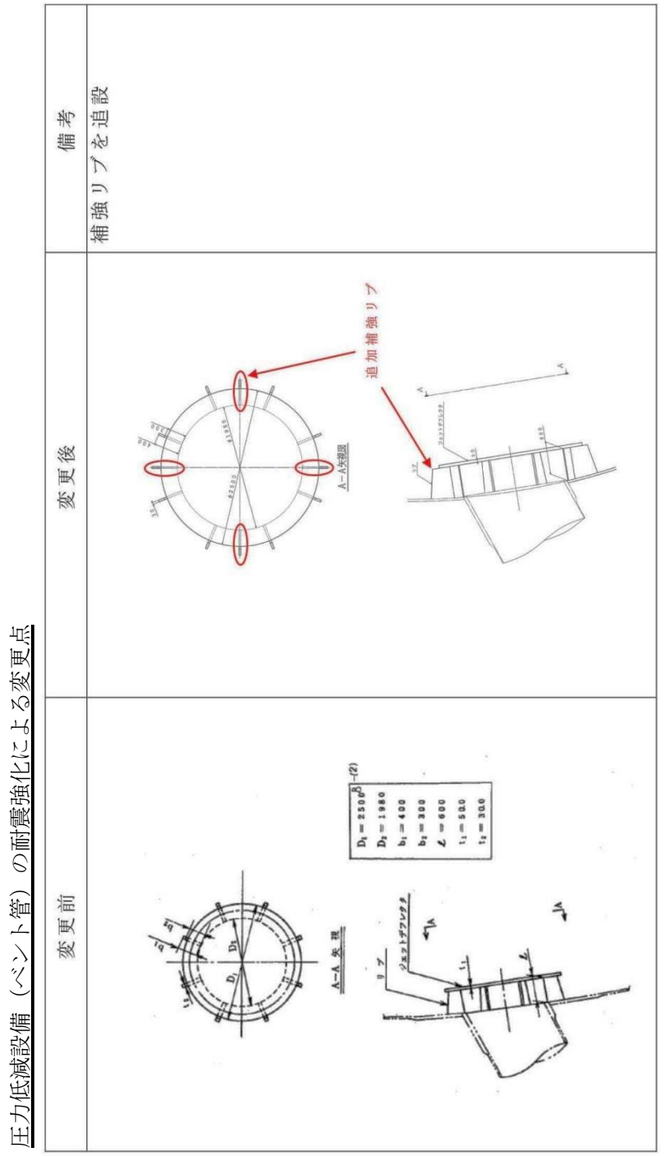
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第７図　水圧制御ユニット架構の耐震補強概要図		・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

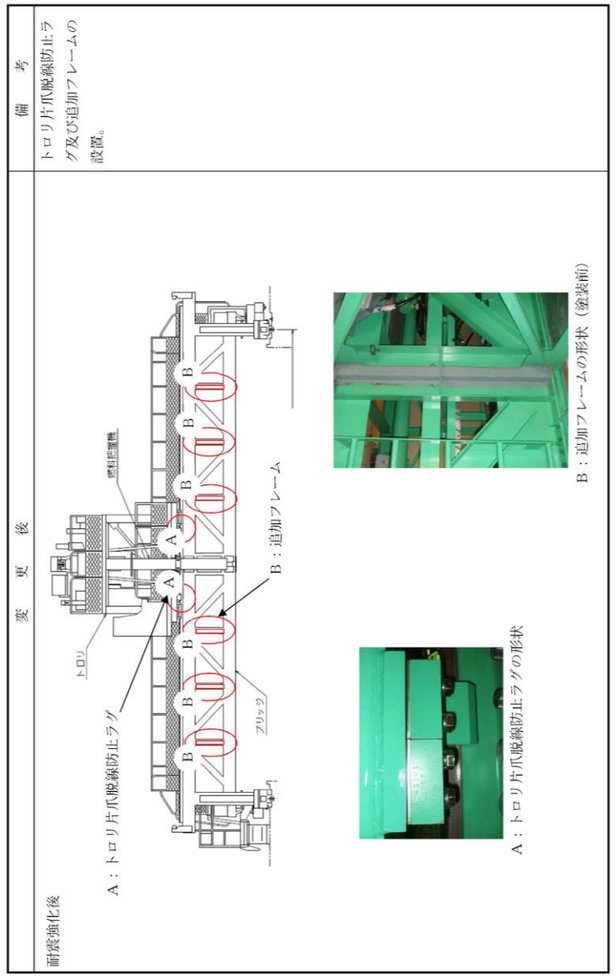
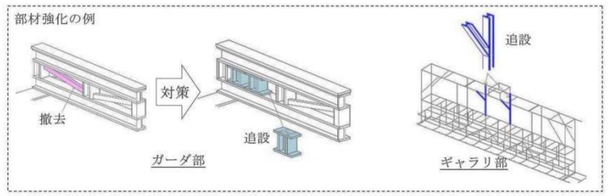
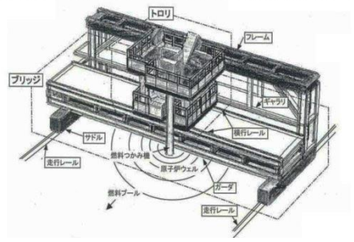
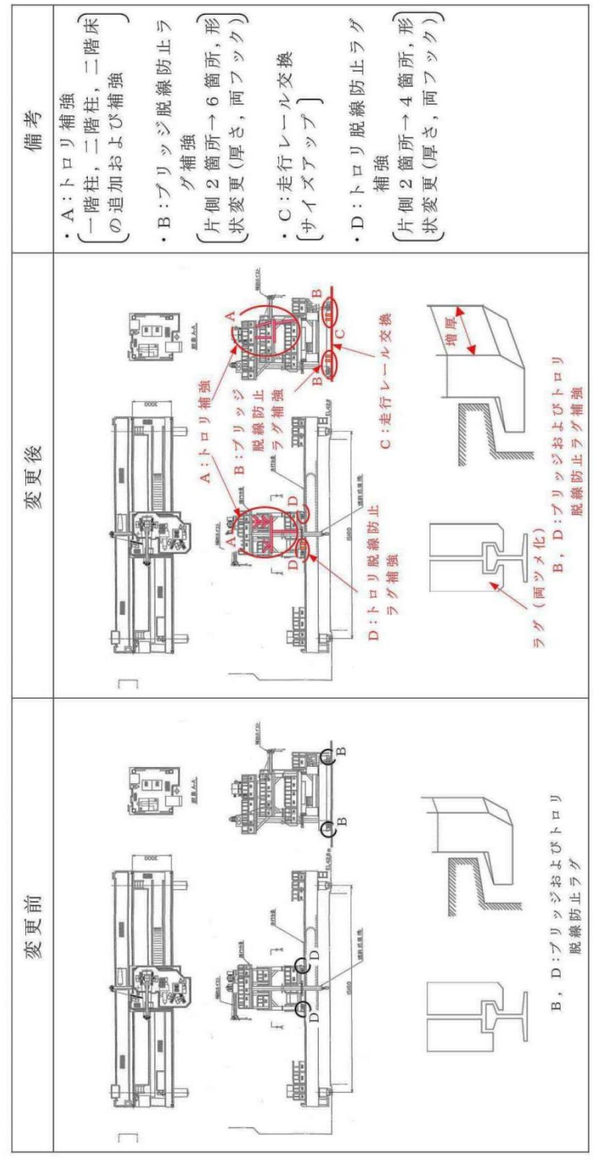
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
			・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

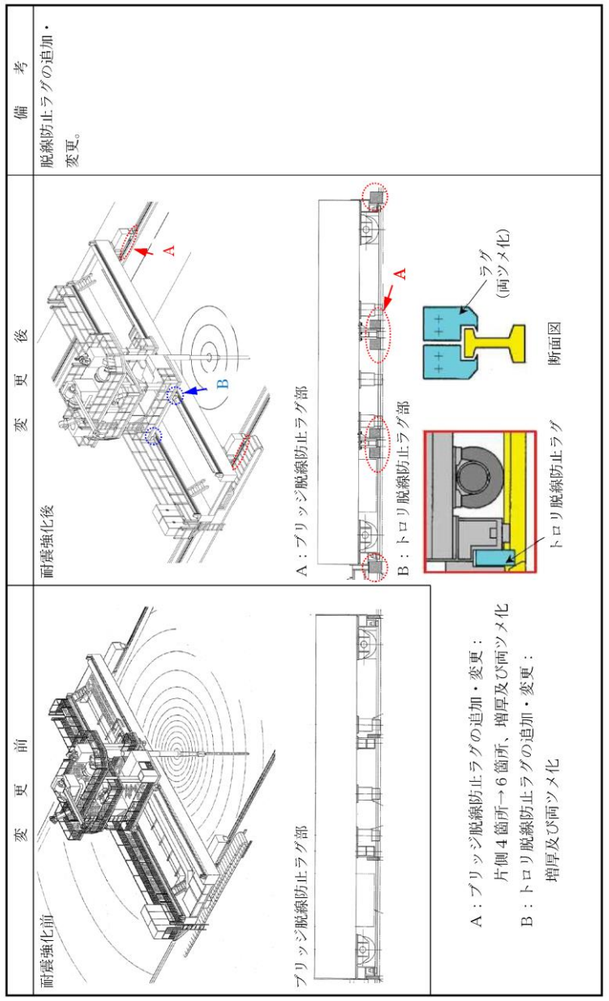
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの長尺化による変更点	・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

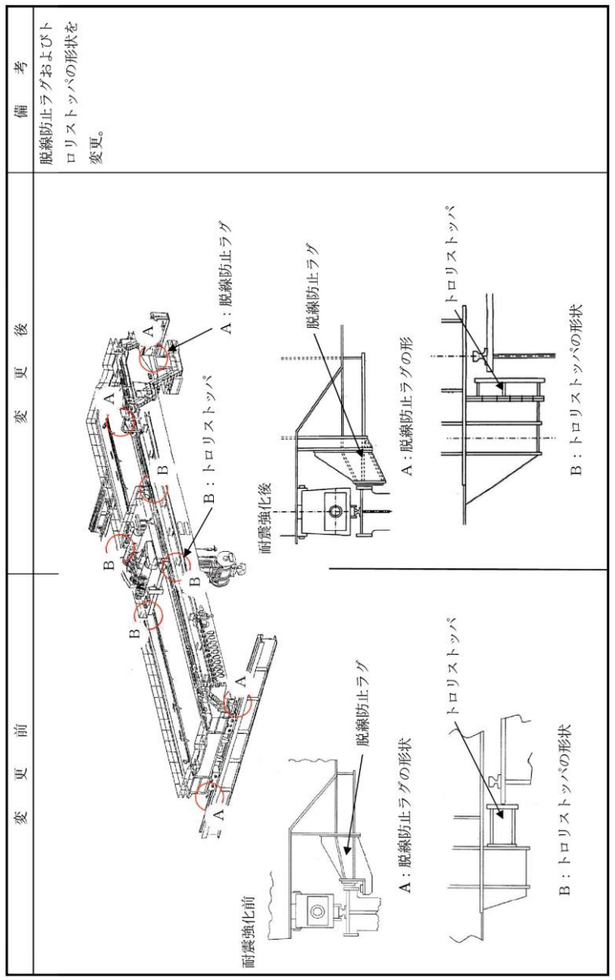
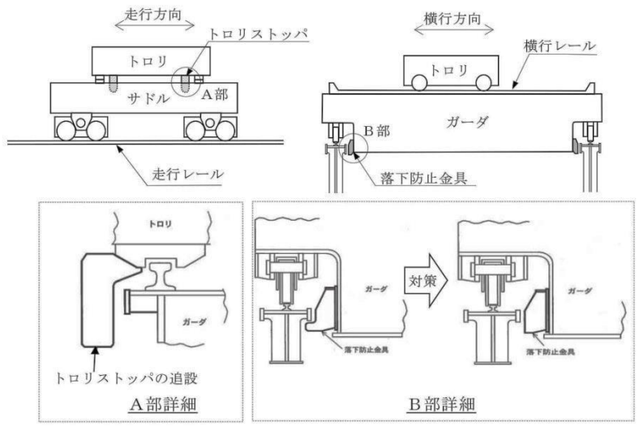
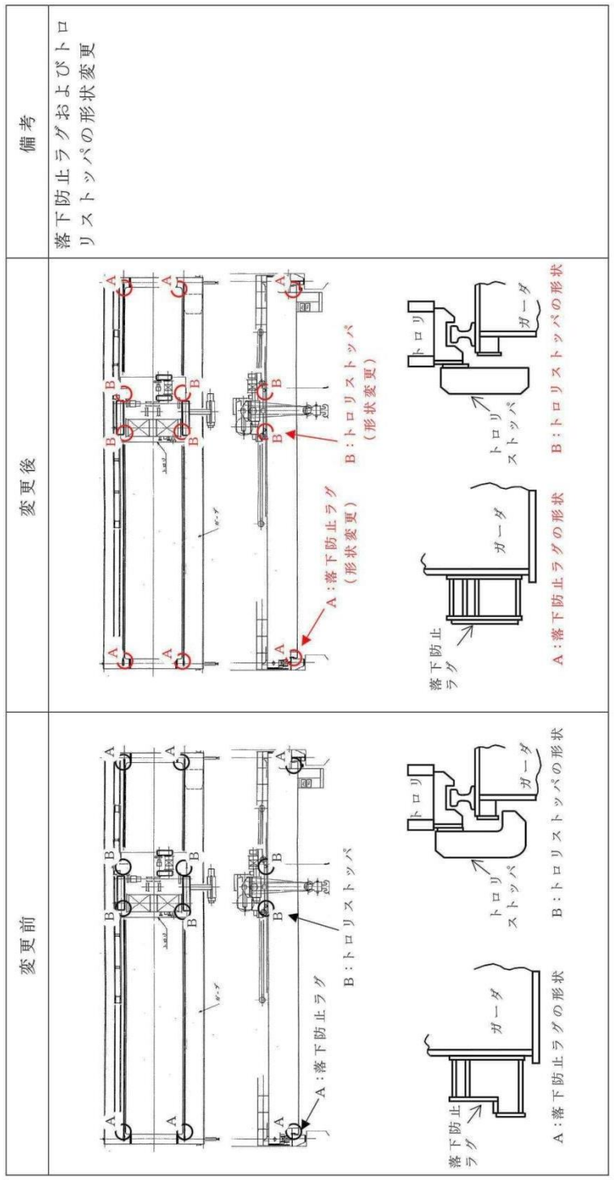
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
			・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

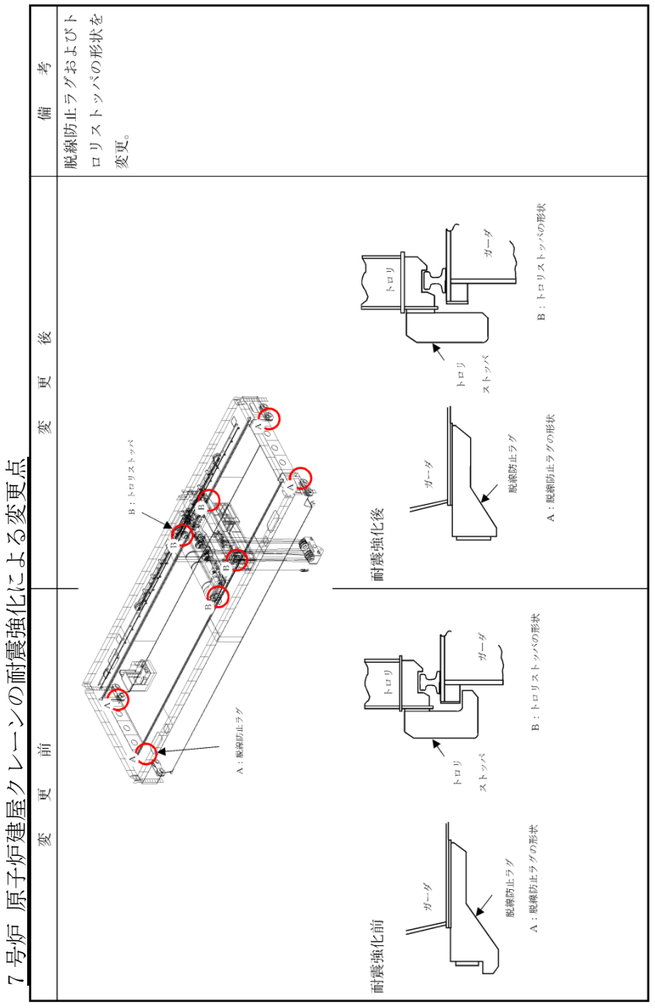
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		圧力低減設備（ベントヘッダ）の耐震強化による変更点  	・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
			・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

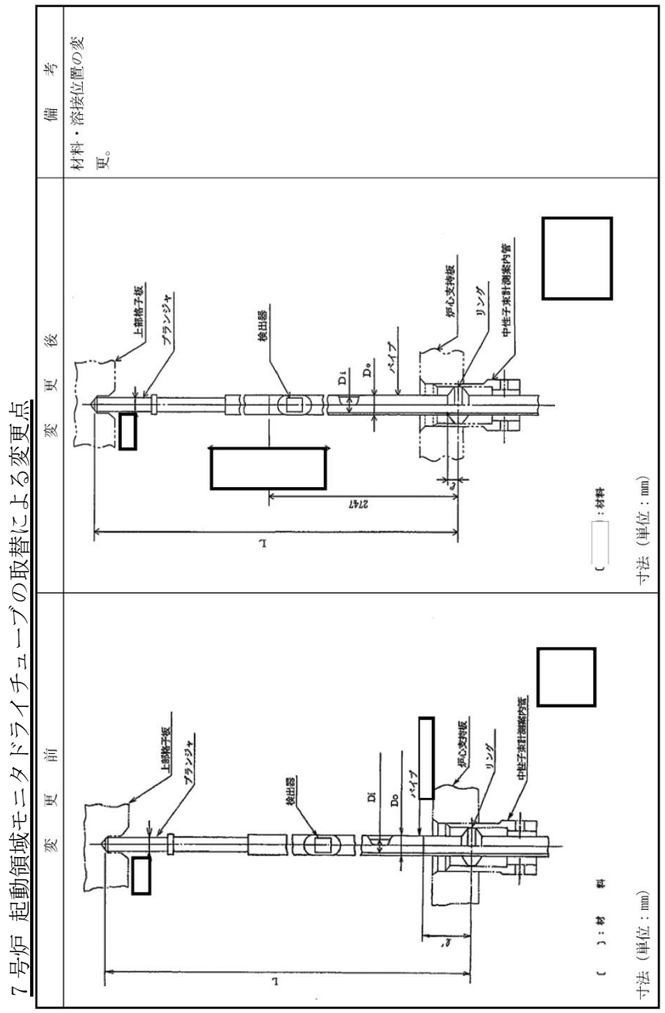
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
6号炉 燃料取替機の耐震強化による変更点 	  第４図　燃料取替機の耐震補強概要図	燃料取替機の耐震強化による変更点 	・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

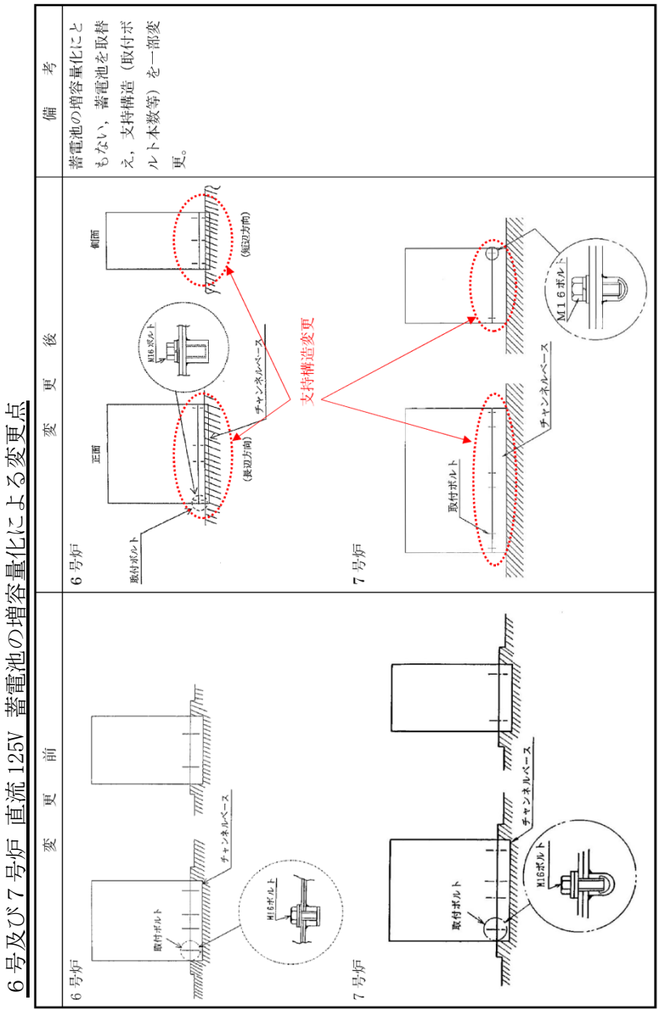
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
7 号炉　燃料取替機の耐震強化による変更点 			・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

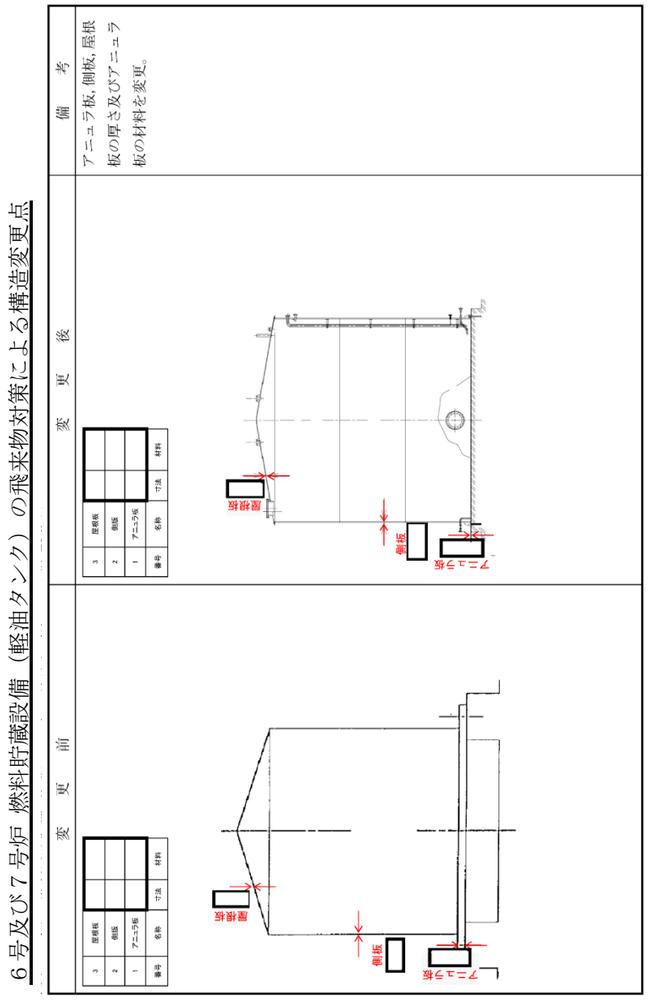
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
6号炉 原子炉建屋クレーンの耐震強化による変更点 	 第３図　原子炉建屋クレーンの落下防止対策概要図	原子炉建物天井クレーンの耐震強化による変更点 	・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

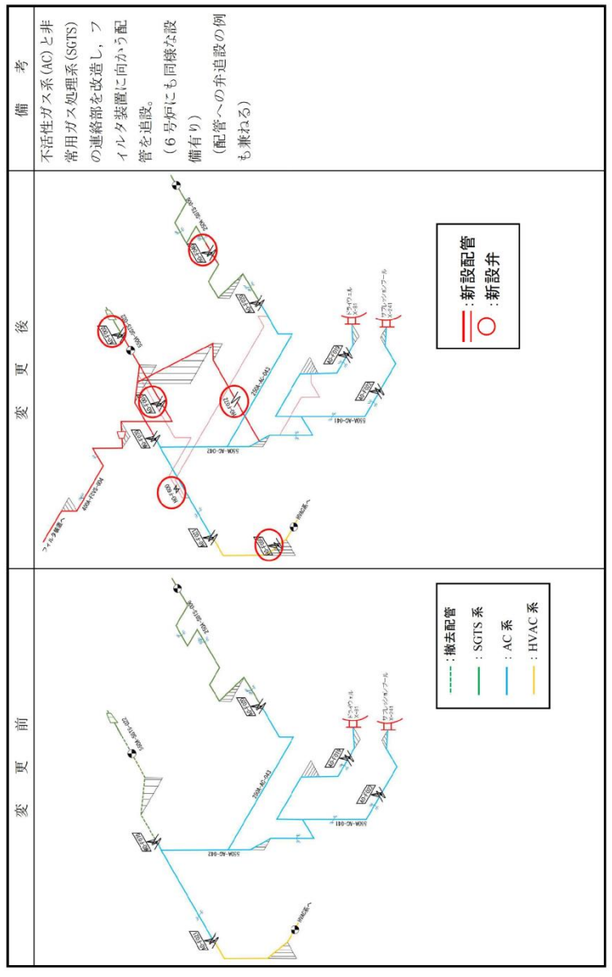
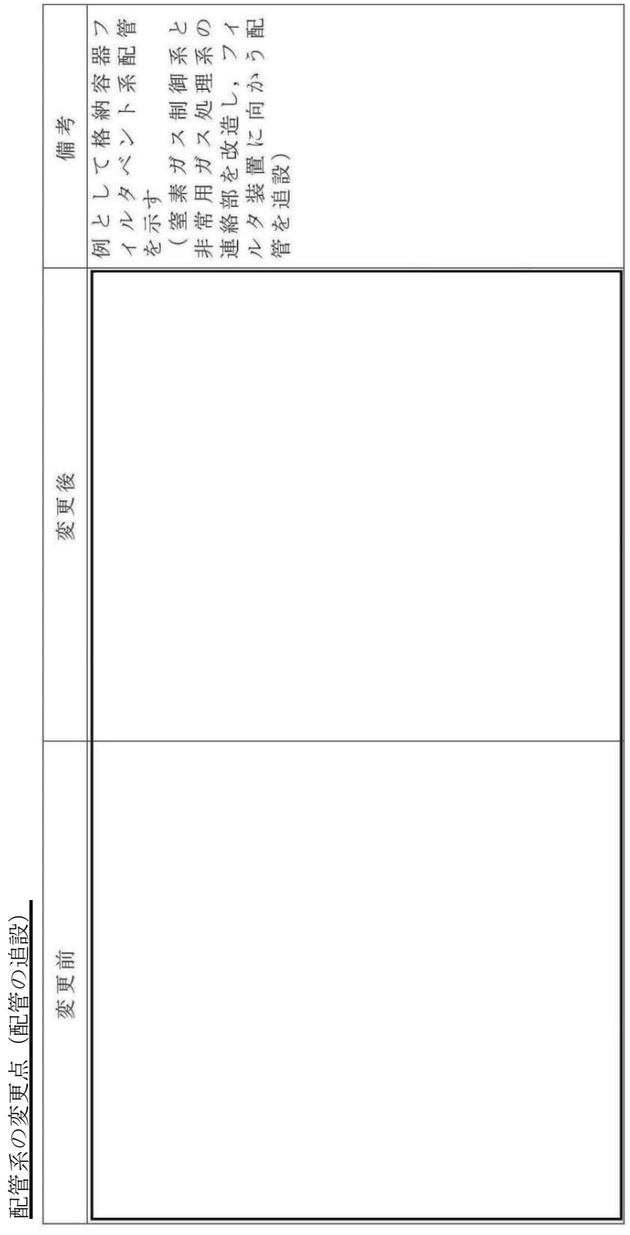
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
			・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

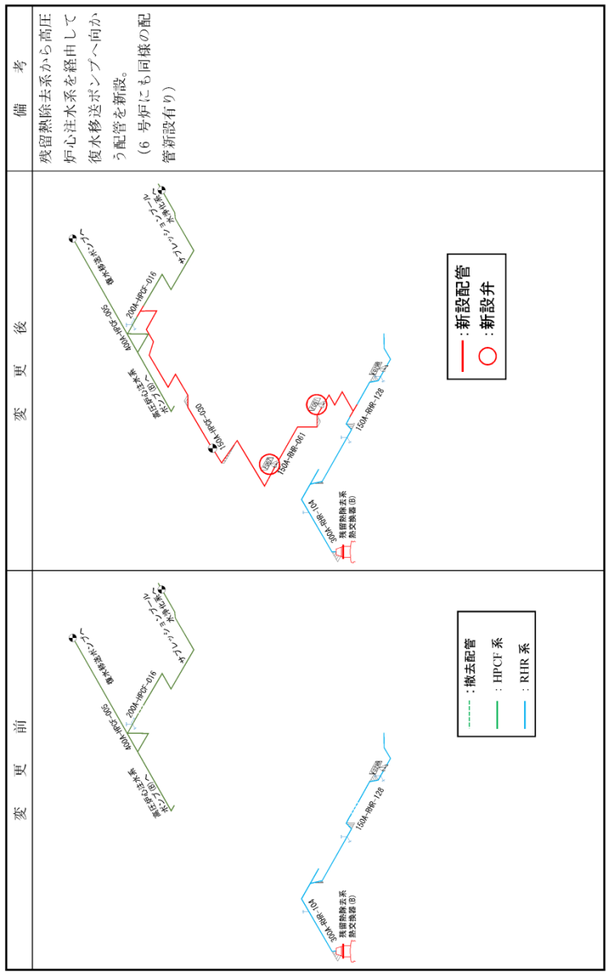
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
６号及び７号炉 起動領域モニタドライチューブの取替による変更点 変更前 変更後 備考 材料・溶接位置の変更。７号炉では全 10 基のうち２基で使用。 （　）：材料 寸法（単位：mm）			・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

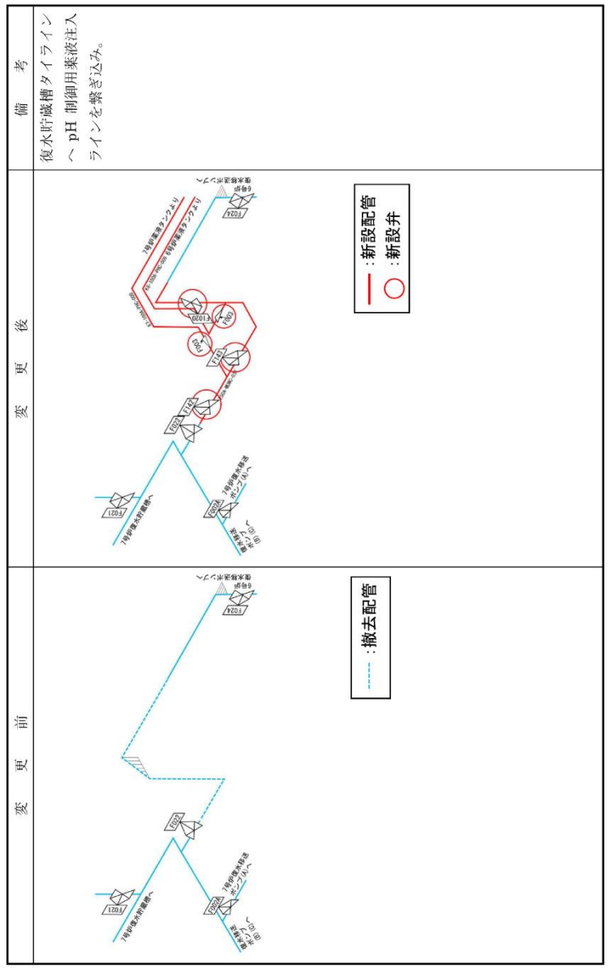
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
			・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

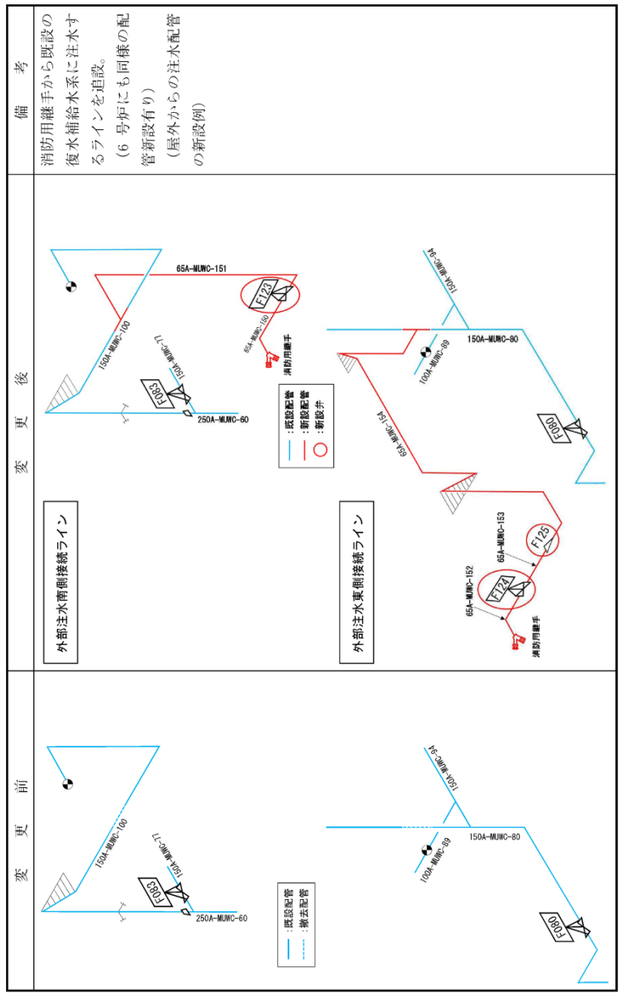
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
6号及び7号炉 直流125V 蓄電池の増容量化による変更点 			・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

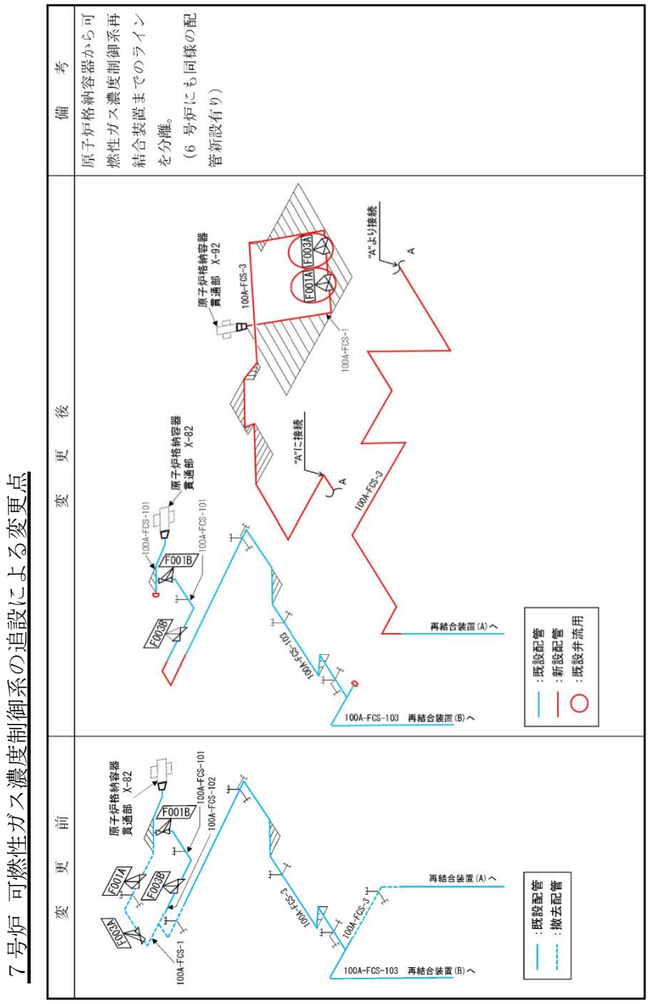
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
６号及び７号炉 燃料貯蔵設備（軽油タンク）の飛来物対策による構造変更点  			・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

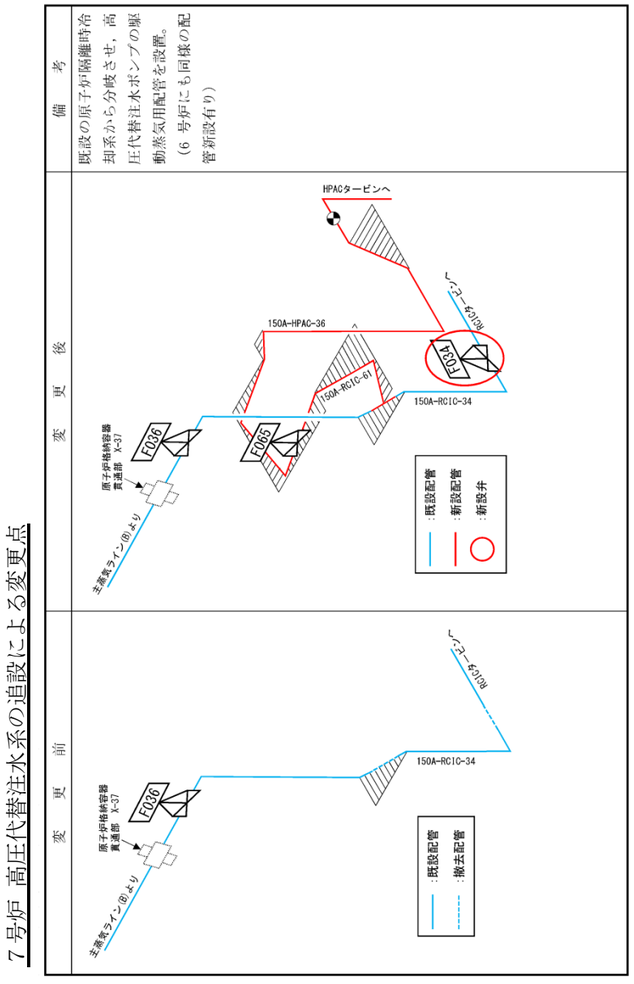
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
7 号炉 格納容器圧力逃がし装置配管の設置による変更点 		配管系の変更点（配管の追設） 	・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

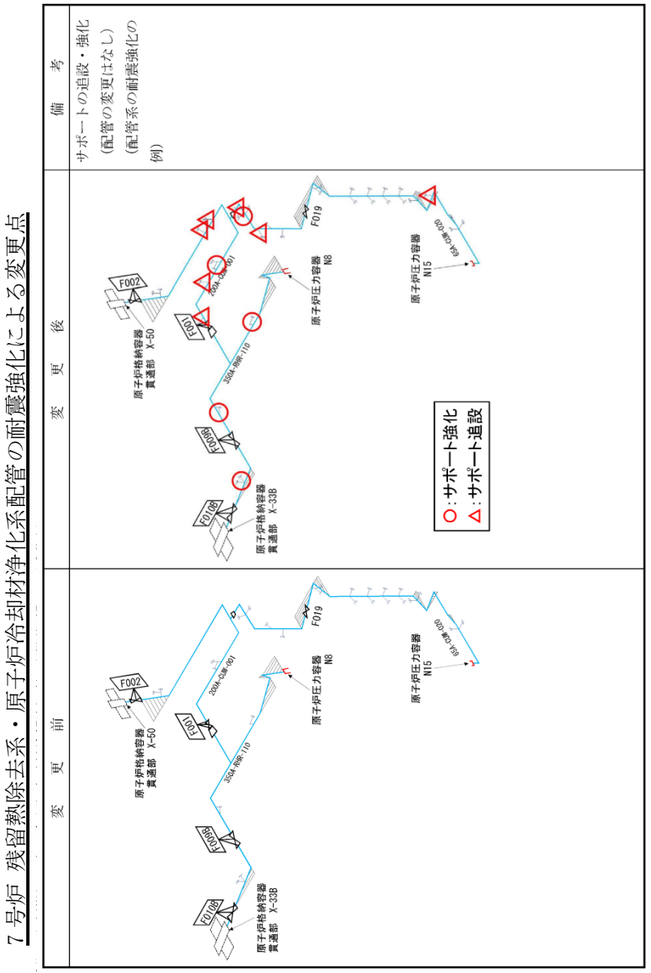
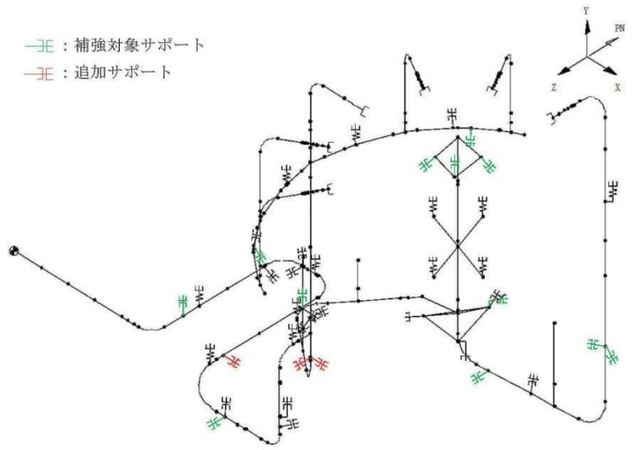
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
7 号炉　代替循環冷却系配管の新設による変更点  			・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

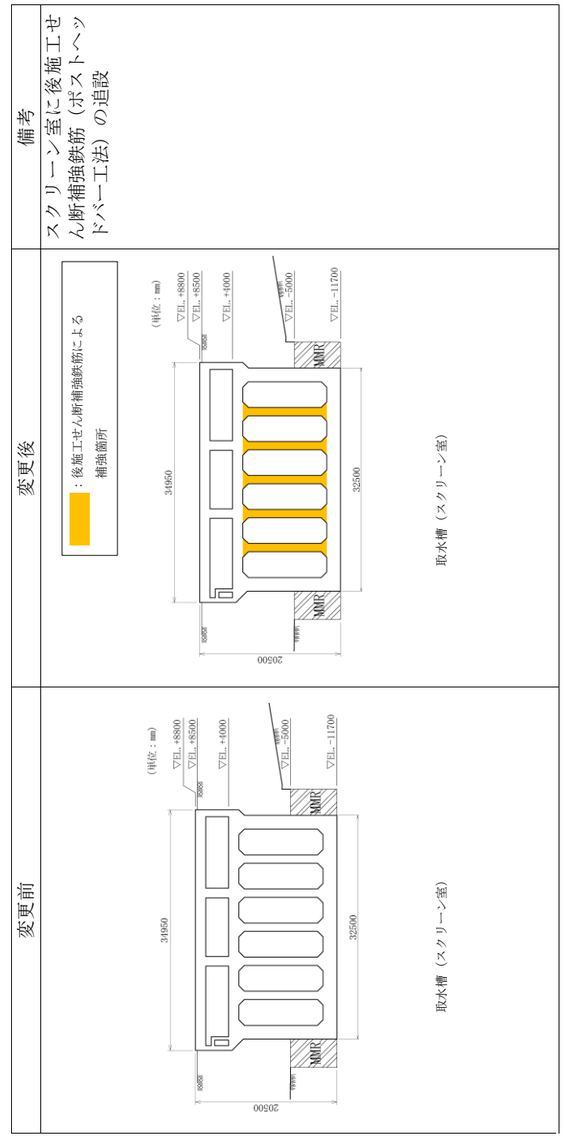
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
６号及び７号炉　格納容器 pH 制御系配管の新設による変更点  			・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

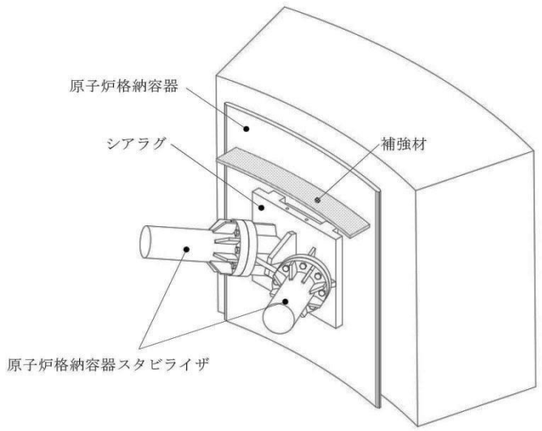
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
			・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

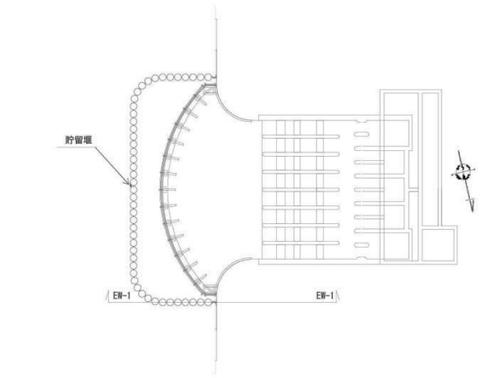
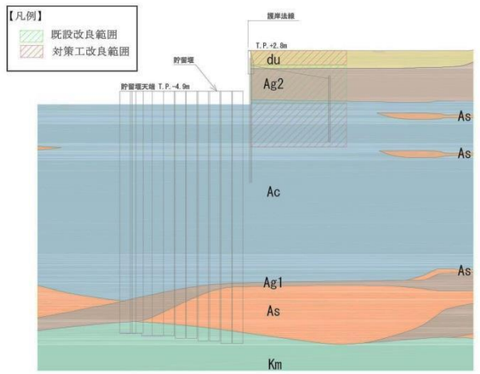
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
7号炉　可燃性ガス濃度制御系の追設による変更点  			・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

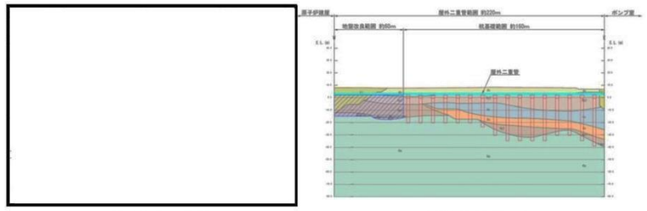
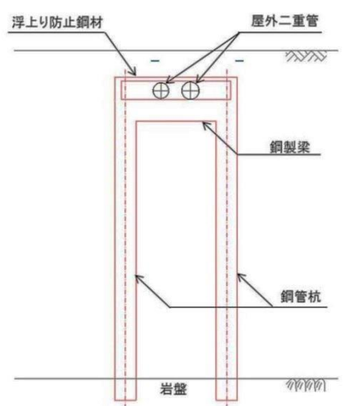
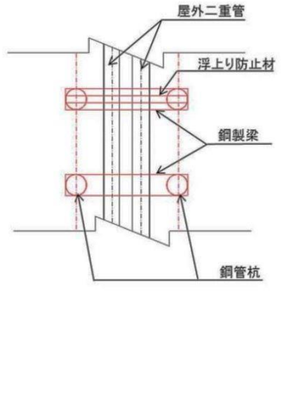
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
7 号炉　高圧代替注水系の追設による変更点  			・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

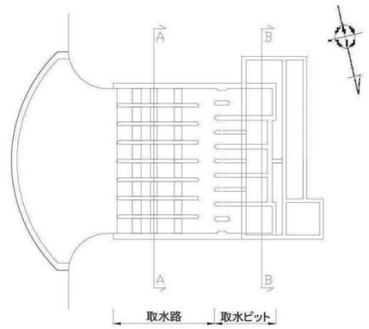
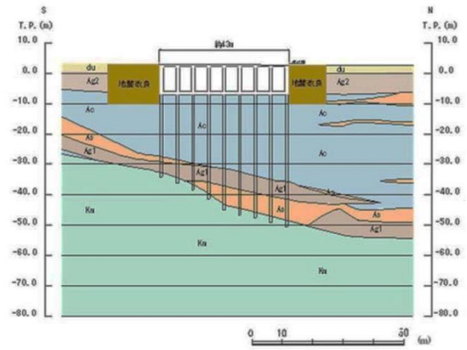
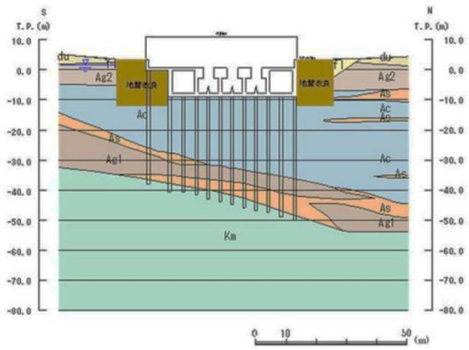
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
7 号炉 残留熱除去系・原子炉冷却材浄化系配管の耐震強化による変更点 	 原子炉再循環系配管の耐震補強の例 第 5 図　配管系の耐震補強概要図	配管系の変更点（サポートの追設および強化） 変更後 備考 例として残留熱除去系配管を示す （配管系の変更はなし） （配管系の耐震強化の例） 変更前	・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

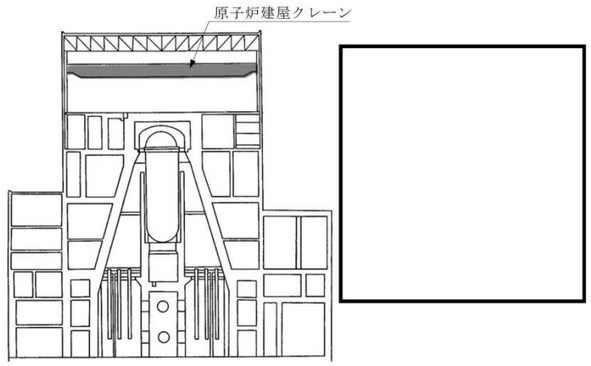
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
		取水槽の耐震強化による変更点 	・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第 8 図　格納容器シアラグ部の耐震補強概要図		・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 平面図  （注記）南側の貯留堰取付護岸についても同様に耐震補強を実施する予定 横断面図（EW1－EW1 断面） 第９図　貯留堰取付護岸の耐震補強概要図		・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

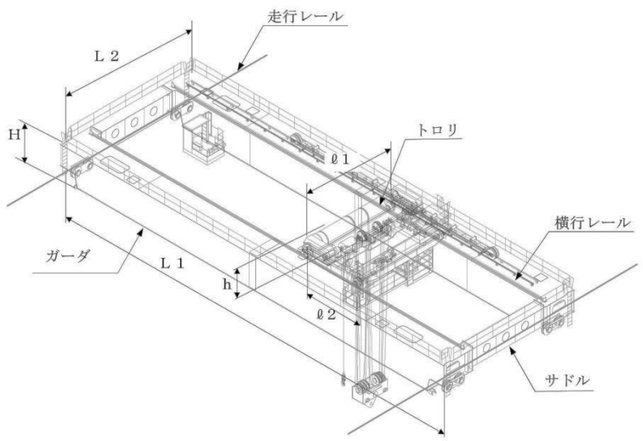
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 基礎平面配置図 基礎縦断配置図  基礎構造図（管軸直交方向断面イメージ）  基礎構造図（平面イメージ） （注記）赤色表示部は追設する基礎構造部を示す。 第 10 図　屋外二重管の耐震補強概要図		・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 平面図  横断面図（Ａ－Ａ断面：取水路）  横断面図（Ｂ－Ｂ断面：取水ピット） 第 11 図　取水構造物の耐震補強概要図		・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付１ 原子炉建屋クレーンの落下防止対策について 1.　原子炉建屋クレーンの地震時の要求事項 原子炉建屋クレーンは，耐震Ｂクラスであるが，第 1 図に示すとおり原子炉建屋 6 階面に位置し，地震時により損傷し落下することにより，使用済燃料プール等の耐震Ｓクラス設備に波及的影響を及ぼす恐れがある。 このため，耐震Ｓクラス設備への波及的影響防止の観点から基準地震動S_Sに対して落下防止を図る必要がある。  第 1 図　原子炉建屋クレーン配置図 2.　落下防止対策の計画概要 原子炉建屋クレーンの主要諸元及び構造概要図を第 2 図に示す。原子炉建屋クレーンは，原子炉建屋に設置された走行レール上をガーダ及びサドル（以下「クレーン本体」という。）が走行し，またクレーン本体上に設置された横行レールをトロリが横行する構造である。原子炉建屋クレーンの各構造として，クレーン本体及びトロリの落下防止対策について以下に述べる。		・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

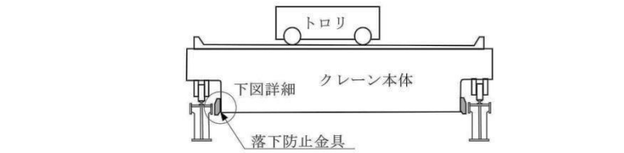
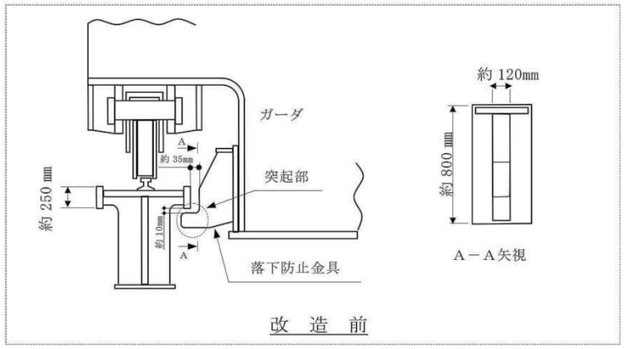
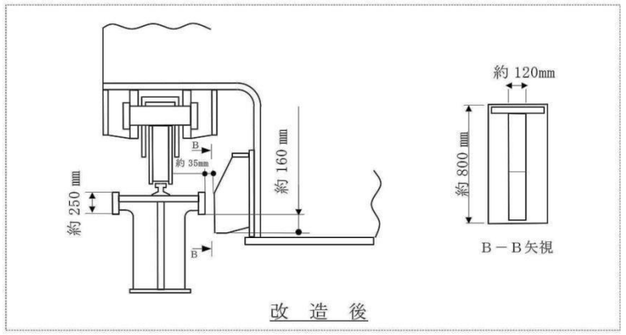
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
			・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

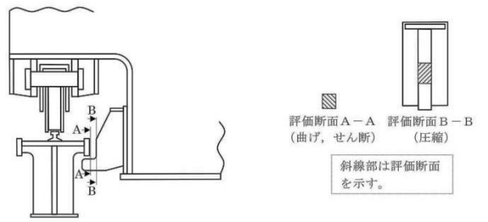
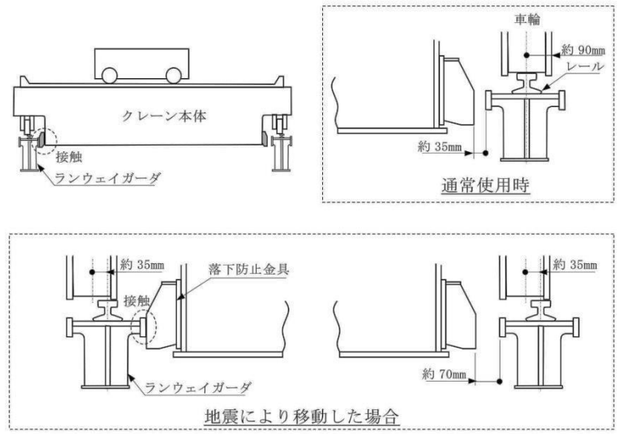
項　目		諸　元
トロリ	質量（ton）	48.0
	高さ h（m）	2.280
	スパン ℓ１（m）	5.6
	スパン ℓ２（m）	4.1
クレーン本体	質量（ton）	118.0
	高さ H（m）	1.915
	スパン Ｌ１（m）	39.5
	スパン Ｌ２（m）	6.2
定格荷重	主巻（ton）	125.0
	補巻（ton）	5.0

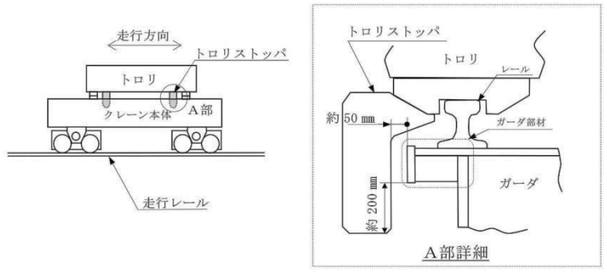


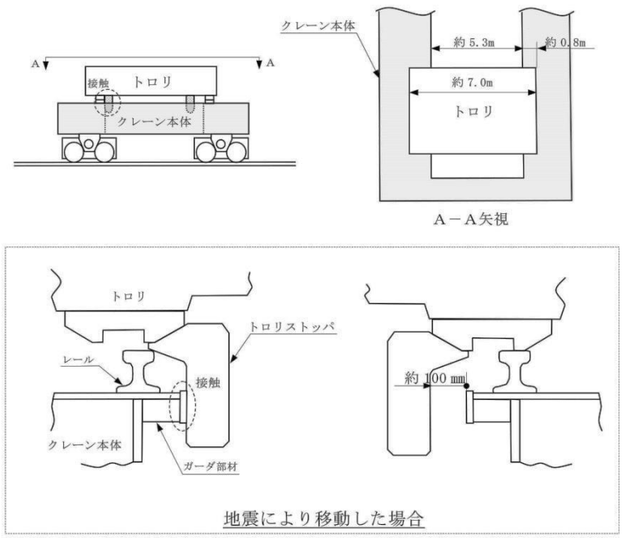
第２図　原子炉建屋クレーンの主要諸元及び構造概要図

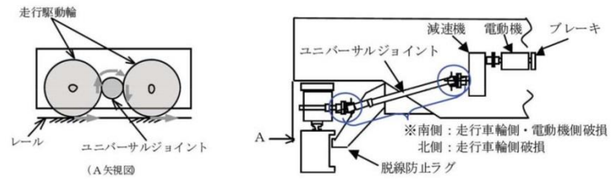
柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	(1)　クレーン本体の落下防止対策 クレーン本体の落下防止対策については，ガーダに取り付けられた落下防止金具の構造を変更することにより行う。クレーン本体の落下防止対策概要を第 3 図に示す。 旧構造は，落下防止金具の突起部をランウェイガーダの下部まで突き出すことによりクレーン本体の浮き上がりを防止する設計としていた。本設計においては，クレーン本体の浮き上がり時に，落下防止金具の突起部とランウェイガーダとの衝突により，衝突箇所に過大な荷重が生じ，突起部が落下する可能性，原子炉建屋側への荷重伝達により波及的影響を及ぼす可能性が否定できない。参考として，設置変更許可申請時における基準地震動S_s（以下「申請時S_s」という。）を用いた場合の旧構造の落下防止金具の評価結果を第 1 表に，評価断面を第 4 図に示す。 このため，落下防止金具とランウェイガーダとの関係から落下防止機能を有する長さが，クレーン本体の浮き上がり量に対して，余裕を有していることを確認することでクレーン本体の落下防止を図る設計とした。なお，審査を経て変更した基準地震動S_sにおけるクレーン本体の浮き上がり量は，約 10㎜*であり，落下防止金具がクレーン本体の落下防止機能を有する長さ約 160㎜ よりも余裕を有することを現時点で確認している。 また，改造後寸法において落下防止金具とランウェイガーダとの通常使用時の間隙は，約 35㎜ としている。地震時においてクレーン本体が移動し，落下防止金具とランウェイガーダとが接触した場合のクレーン配置を第 5 図に示す。第 5 図に示すとおり，地震時においてもクレーン本体の車輪はレール上から落下しない設計としている。 ＊：現状の評価結果であり，今後変更の可能性がある。		・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	   注記　本説明に用いる図は，落下防止対策の概要を模式的に示すものであり，構造物の寸法，間隙等の縮尺は実物と異なる（第４図～第７図も同様）。 第３図　クレーン本体の落下防止対策概要図		・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	第１表　申請時S_sを用いた旧構造の落下防止金具の評価結果 応力分類 / 応力値（ＭＰａ） / 許容値（ＭＰa） 圧縮 / 37 / 253 曲げ / 368 / 253 せん断 / 115 / 146  第４図　旧構造の評価に用いた評価断面図  第５図　地震により移動した場合のクレーン配置の概略図		・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	(2)　トロリの落下防止対策 トロリの落下防止対策概要を第 6 図に示す。旧構造は，落下防止のための構造物が設置されていないため，トロリに新たにトロリストッパを追設する。トロリストッパを追設に当たり，トロリストッパとガーダ部材との関係から落下防止機能を有する長さがトロリの浮き上がり量に対して，余裕を有していることを確認することでトロリの落下防止を図る設計とした。 なお，審査を経て変更した基準地震動Ｓ$_s$におけるトロリの浮き上がり量は，約 40㎜*であり，トロリストッパがトロリの落下防止機能を有する長さ約 200㎜ よりも余裕を有することを現時点で確認している。 また，改造後寸法においてトロリストッパとガーダ部材との通常使用時の間隙は，約 50㎜ である。地震時においてクレーン本体が移動し，トロリストッパとガーダ部材が接触した場合の配置を第 7 図に示す。第 7 図に示すとおり，クレーン本体の車輪はレール上から落下しない設計としている。 ＊：現状の評価結果であり，今後変更の可能性がある。  第 6 図　トロリの落下防止対策概要図		・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	 第７図　地震により移動した場合のトロリ配置の概略図		・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	3.　原子炉建屋クレーンの他サイト不具合事例の確認 東海第二発電所の原子炉建屋クレーン落下防止対策に対する影響の観点から他サイトの原子炉建屋クレーンの不具合事例の確認を行った。 新潟県中越沖地震において，柏崎刈羽発電所６号機の原子炉建屋天井クレーンに不具合が発生している。当不具合事例は，原子炉建屋天井クレーンの走行電動用継手部（以下「ユニバーサルジョイント」という。）の車輪側のクロスピンが，地震により損傷していた事例である。第 8 図に示すとおりユニバーサルジョイントは，電動機からの動力を車輪部に伝達する装置であり，東海第二発電所の原子炉建屋クレーン落下防止対策とは関係しないものと考えられる。  第 8 図　ユニバーサルジョイント構造概要図		・対象設備の相違 【柏崎 6/7，東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考
	添付２ 既設設備の耐震補強等に関して設計方針等への記載反映の要否について 既設設備の耐震補強等に関して設計方針等に記載を反映すべき事項の要否について整理する。検討に際しては，設計方針等への反映が必要となる項目として①～③の事項を踏まえて行い，その整理結果を第１表に示す。 ①解析手法 解析モデルの作成，地震応答解析等の地震応答解析手法として，既往設計方針の記載の範囲に加えて，新たな解析手法を採用する。 ②許容限界 評価に用いる許容限界として，構造変更により既往設計方針の記載の範囲に加えて，新たな許容限界を採用する。 ③主要構造 原子炉建屋、原子炉格納容器等の主要施設に対する基本構造の記載に対して変更が生じる。 第１表に示すとおり，設計方針等に新たに記載すべき事項は抽出されなかった。	添付資料３ 既設設備の構造変更に対する設計方針等への記載反映の要否について 既設設備の構造変更に関して，基本設計段階の設計方針等の記載への反映要否について整理する。検討に際しては，設計方針等への反映が必要となる項目として①～③の観点で確認を行い，その整理結果を表１に示す。 ①　解析手法 解析モデルの作成，地震応答解析，設計用減衰定数等の地震応答解析手法として，既往設計方針の記載の範囲に加えて，新たな解析手法を採用する。 ②　許容限界 評価に用いる許容限界として，構造変更により既往設計方針の記載の範囲に加えて，新たな許容限界を採用する。 ③　主要構造 原子炉建物、原子炉格納容器等の主要施設に対する基本構造の記載に対して変更が生じる。 表１に示すとおり，既許可の設計方針等に反映すべき事項として，機器・配管系の解析手法における非線形時刻歴応答解析の適用及び屋外重要土木構造物の解析手法における３次元 FEM モデルによる静的非線形解析の適用が抽出されたが，既に設計方針等に反映しており，新たに記載すべき事項は抽出されなかった。	・対象設備の相違 【東海第二】 ・記載の相違 【柏崎 6/7】 島根２号炉及び東海第二では，既設設備の構造変更に対する設計方針等への記載反映の要否を記載しているため相違（以下，①の相違）

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

第１表　耐震補強等に対する設計方針等への反映要否

	施設・設備名称	内　容	設計方針等への反映の要否	
建物・構築物	排気筒	鉄塔部への支持部材の追加及び地盤改良	①解析手法	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
			②許容限界	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
			③主要構造	主要構造としての記載なし
機器・配管系	原子炉格納容器スタビライザ	フランジボルトの口径変更及び高強度材料適用	①解析手法	ボルト材の取替であり解析手法に影響しない
			②許容限界	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
			③主要構造	基本構造に変更はないため，反映は不要
	原子炉建屋クレーン	落下防止対策の追設	①解析手法	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
			②許容限界	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
			③主要構造	主要構造としての記載なし
	燃料取替機	ガーダ等の部材強化	①解析手法	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
			②許容限界	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
			③主要構造	主要構造としての記載なし
	配管系	サポートの追加及び補強	①解析手法	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
			②許容限界	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
			③主要構造	基本構造に変更はないため，反映は不要
	残留熱除去系熱交換器	架台部への耐震補強サポート追設	①解析手法	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
			②許容限界	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
			③主要構造	主要構造としての記載なし

表１　構造変更に対する設計方針等への反映要否

	施設・設備名称	構造変更の概要		設計方針等への反映の要否		
				項目	要否	備考
建物・構築物	原子炉建物屋根トラス	・主トラス，サブトラスに補強材を追設		①解析手法	－	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
				②許容限界	－	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
				③主要構造	－	基本構造に変更はないため，反映は不要
	排気筒	・補助柱を追設 ・主柱リブ補強 ・鉄塔脚部補強		①解析手法	－	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
				②許容限界	－	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
				③主要構造	－	主要構造としての記載なし
機器・配管系	原子炉格納容器	スタビライザ	・フランジボルトの材質変更	①解析手法	－	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
				②許容限界	－	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
				③主要構造	－	基本構造に変更はないため，反映は不要
		電気配線貫通部	・支持構造物を追設	①解析手法	－	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
				②許容限界	－	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
				③主要構造	－	基本構造に変更はないため，反映は不要
	残留熱除去系熱交換器	・熱交換器の下部胴板に支持構造物を追設		①解析手法	－	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
				②許容限界	－	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
				③主要構造	－	主要構造としての記載なし
	原子炉補機冷却系熱交換器	・熱交換器脚部の支持構造物に補強部材を追設		①解析手法	－	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
				②許容限界	－	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
				③主要構造	－	主要構造としての記載なし
	制御棒駆動水圧系水圧制御ユニット	・架構部に補強部材を追設		①解析手法	－	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
				②許容限界	－	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
				③主要構造	－	主要構造としての記載なし

備考
・対象設備の相違
【東海第二】
・記載の相違
【柏崎 6/7】
①の相違

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

	施設・設備名称	内　容	設計方針等への反映の要否	
機器・配管系	水圧制御ユニット	架構部への補強梁追加	①解析手法	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
			②許容限界	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
			③主要構造	主要構造としての記載なし
	格納容器シアラグ部	シアラグ部への補強材追加	①解析手法	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
			②許容限界	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
			③主要構造	基本構造に変更はないため，反映は不要
屋外重要土木構造物	貯留堰取付護岸	地盤改良	①解析手法	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
			②許容限界	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
			③主要構造	主要構造としての記載なし
	屋外二重管基礎構造	屋外二重管を支持する基礎構造の追設	①解析手法	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
			②許容限界	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
			③主要構造	主要構造としての記載なし
	取水構造物	地盤改良	①解析手法	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
			②許容限界	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
			③主要構造	主要構造としての記載なし

	施設・設備名称	構造変更の概要		設計方針等への反映の要否		
				項目	要否	備考
機器・配管系	原子炉補機海水ポンプ	・長尺化 ・支持構造物の追設および位置変更		①解析手法	－	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
				②許容限界	－	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
				③主要構造	－	主要構造としての記載なし
	高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	・長尺化 ・支持構造物の追設		①解析手法	－	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
				②許容限界	－	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
				③主要構造	－	主要構造としての記載なし
	圧力低減設備	ダウンカマ	・補強リブを追設	①解析手法	－	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
				②許容限界	－	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
				③主要構造	－	基本構造に変更はないため，反映は不要
		ベントヘッダ	・支持構造物の取替	①解析手法	－	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
				②許容限界	－	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
				③主要構造	－	基本構造に変更はないため，反映は不要
		ベント管	・補強リブを追設	①解析手法	－	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
				②許容限界	－	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
				③主要構造	－	基本構造に変更はないため，反映は不要
	燃料取替機	・トロリ補強 ・ブリッジおよびトロリ脱線防止ラグ補強 ・走行レール交換		①解析手法	－	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
				②許容限界	－	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
				③主要構造	－	主要構造としての記載なし

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

	施設・設備名称	構造変更の概要	設計方針等への反映の要否		
			項目	要否	備考
機器・配管系	原子炉建物天井クレーン	・落下防止ラグおよびトロリストッパの形状変更	①解析手法	○	解析手法として非線形時刻歴応答解析を使用することを「第４条：地震による損傷の防止 第１部 1.基本方針 1.2　追加要求事項に対する適合性　(2) 安全設計　1.4 耐震設計 1.4.1 設計基準対象施設の耐震設計 1.4.1.3 地震力の算定方法 (2) 動的地震力」に 反映済
			②許容限界	－	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
			③主要構造	－	主要構造としての記載なし
	配管系	・配管の追設	①解析手法	－	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
			②許容限界	－	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
			③主要構造	－	基本構造に変更はないため，反映は不要
		・サポートの追設および強化	①解析手法	－	新たな解析手法を用いないため，反映は不要
			②許容限界	－	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
			③主要構造	－	基本構造に変更はないため，反映は不要

柏崎刈羽原子力発電所　６／７号炉　（2017.12.20 版）	東海第二発電所（2018.9.18 版）	島根原子力発電所　２号炉	備考

	施設・設備名称	構造変更の概要	設計方針等への反映の要否		
			項目	要否	備考
屋外重要土木構造物	取水槽	・スクリーン室に後施工せん断補強鉄筋を追設	①解析手法	○	解析手法として３次元ＦＥＭモデルによる静的非線形解析を使用することを「第４条：地震による損傷の防止 第１部 1.基本方針 1.2　追加要求事項に対する適合性　(2) 安全設計　1.4 耐震設計 1.4.1 設計基準対象施設の耐震設計 1.4.1.4 荷重の組合せと許容限界 (4)許容限界」に 反映済
			②許容限界	－	新たな許容限界を用いないため，反映は不要
			③主要構造	－	主要構造としての記載なし