

第730回審査会合
(2019. 6. 18)
資料からの抜粋

島根原子力発電所 2号炉

地震による損傷の防止 (コメント回答)

令和元年 6月
中国電力株式会社

Energia

審査会合における指摘事項に対する回答【No.1】

■ 指摘事項

【No.1（論点I-1）弹性設計用地震動Sdの設定について】

- 弹性設計用地震動 S d の設定について、基準地震動 S 1 の果たしてきた役割を適切に解釈した上で、今回的方法を選択する場合の目的と効果、選択プロセス及びその理由並びに選択肢ごとのメリット・デメリットを整理し、今回の説明でこの方法を採用するとした根拠を説明すること。また、今後、他の方法を選択する場合の妥当性についても、合理的な設計が出来なくなるとする考え方も含め総合的に整理し、説明すること。
- 弹性設計用地震動 S d の設定について、S 1 の設計根拠に関する新知見と既許可での基準地震動 S 1 を変更するものではないとする考え方は整合していないと思われるため、S 1 の設定根拠に関する新知見を持ち出した理由を説明すること。
- S d の設定に関して、S 1 の設定根拠としている「880年出雲の地震」のマグニチュードが最新知見ではM 7.4からM 7.0に変更されたとしているが、根拠としている文献の記載を見るとM = 7.0という表記の変更であり、M = 7.0へ変更したというものではない。適正な判断をすること。

■ 回答

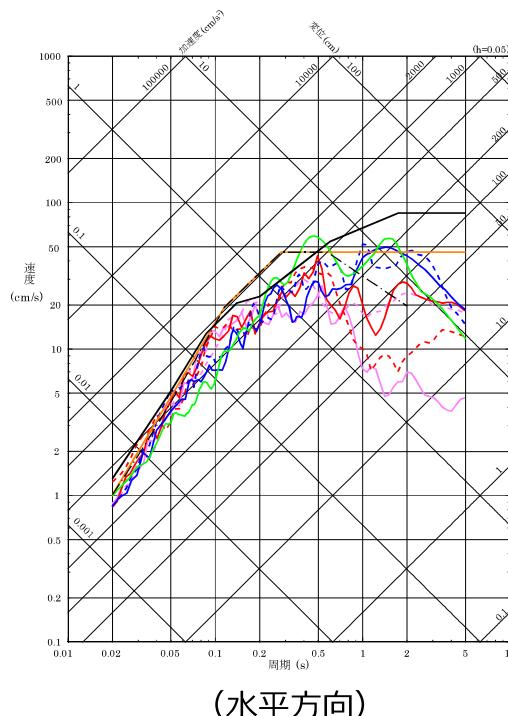
- ・ 弹性設計用地震動 S d は、設置許可基準規則及び審査ガイドの要求事項に従って、基準地震動 S s との応答スペクトルの比率が目安として0.5を下回らないよう基準地震動 S s に係数0.5を乗じて設定する。
なお、係数0.5は、工学的判断として、発電用原子炉施設の安全機能限界と弾性限界に対する入力荷重の比率が0.5程度であるという知見を踏まえて設定した。
また、基準地震動 S 1 の果たしてきた役割を踏まえ、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和56年7月20日原子力安全委員会決定、平成13年3月29日一部改訂）」における基準地震動 S 1 の応答スペクトルを概ね下回らないよう配慮した地震動も S d として設定する。（P7）
- ・ 上記設定にあたっては、設置許可基準規則及び審査ガイドの要求事項、先行プラントの審査実績等を踏まえ、その設定根拠を整理した。その際、基準地震動 S 1 の果たしてきた役割等を踏まえ、選択プロセス及びその理由並びに選択肢ごとのメリット・デメリット（「880年出雲の地震」に関する新知見の扱いを含む）に基づき、設定の考え方を総合的に整理した。（P12）

審査会合における指摘事項に対する回答【No.1】

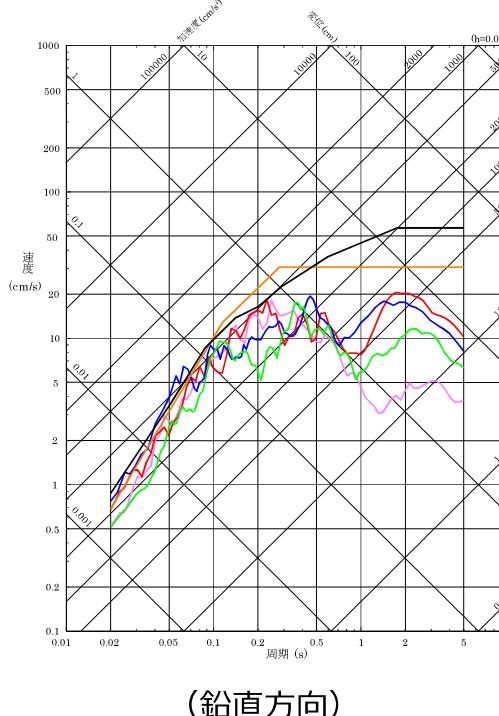
弾性設計用地震動Sdの設定（1）

【耐震設計の基本方針における弾性設計用地震動Sdの設定について】

- 弾性設計用地震動Sdは、設置許可基準規則及び審査ガイドの要求事項に従って、基準地震動Ssとの応答スペクトルの比率が目安として0.5を下回らないよう基準地震動Ssに係数0.5を乗じて設定する。
なお、係数0.5は、工学的判断として、発電用原子炉施設の安全機能限界と弾性限界に対する入力荷重の比率が0.5程度であるという知見を踏まえて設定した。
- 【Sd-D, F1, F2, N1, N2】（補足1, 2（i）参照）
- また、基準地震動S1の果たしてきた役割を踏まえ、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和56年7月20日 原子力安全委員会決定、平成13年3月29日一部改訂）」における基準地震動S1の応答スペクトルを概ね下回らないよう配慮した地震動もSdとして設定する。【Sd-1】（補足2（ii）参照）
- 弹性設計用地震動Sdの年超過確率を参考し、発生確率が妥当な範囲にあることを確認する。（補足3参照）



弾性設計用地震動Sdの応答スペクトル



※ 当初申請時（平成25年12月25日）は、Ssとの応答スペクトルの比率の値が0.5を下回らないような値として設定することを基本とし、複数の $0.5 \times Ss$ を包絡するように基準地震動Ss-1 (600gal) に係数0.6を乗じて設定していた。

※ 弹性設計用地震動Sdの加速度時刻歴波形を添付1に示す。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.1】

弾性設計用地震動Sdの設定（補足2）

9

(i) 弾性設計用地震動 Sd の役割を踏まえた設定の考え方

- a. 先行プラントの審査実績における設定方法と同じように、基準地震動 S_1 を弾性設計用地震動 S_d で包絡させる考え方とした場合、 $S_s - D$ の約0.8倍となり、弾性設計用地震動 S_d が基準地震動 S_s に近づき、 S_s に対する安全機能の保持をより高い精度で確認するという耐震設計上果たすべき役割から乖離する（ S_s に対する安全機能保持を確実にするための S_d 弹性設計ではなく、 S_d によって構造設計が決定される）。

図1に示す通り、旧指針の S_1 は、880年出雲の地震（M 7.4）に基づく大崎スペクトルにより設定されたもので、旧指針の S_2 に対する S_1 の比率も約8割～9割と大きい。また、 S_1 と $S_s - D$ （宍道断層による地震等を考慮して策定した基準地震動）のスペクトル形状は異なっており、 S_1 を包絡する $S_s - D H \times 0.8$ の短周期側は S_1 の約1.5～2倍程度になる。

- b. 日本電気協会の調査報告による弾性限界（許容限界①）、安全機能限界（許容限界②）の関係図（図2）に、許容限界②の入力加速度を0.8倍とした場合の応答値を◆で示す。これによると、設置許可基準規則解釈別記2でいう弾性設計用地震動 S_d に求められる「おおむね弹性範囲の設計」とは対応しないことから、合理的な設計が出来ない。

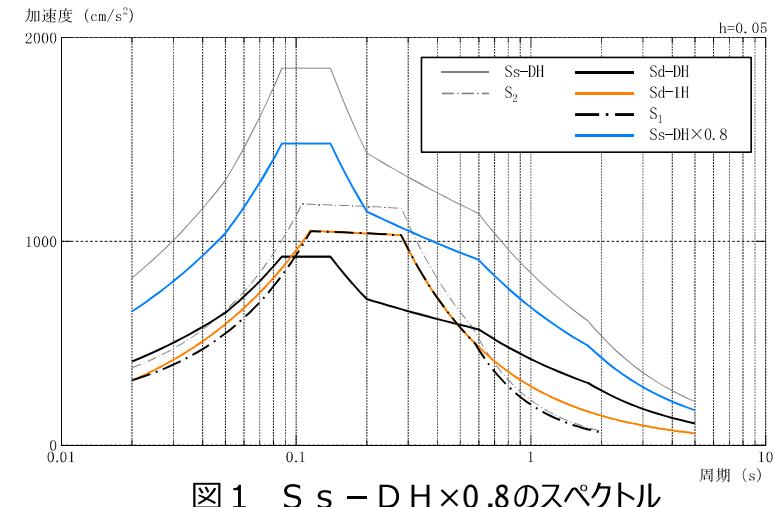


図1 $S_s - D H \times 0.8$ のスペクトル

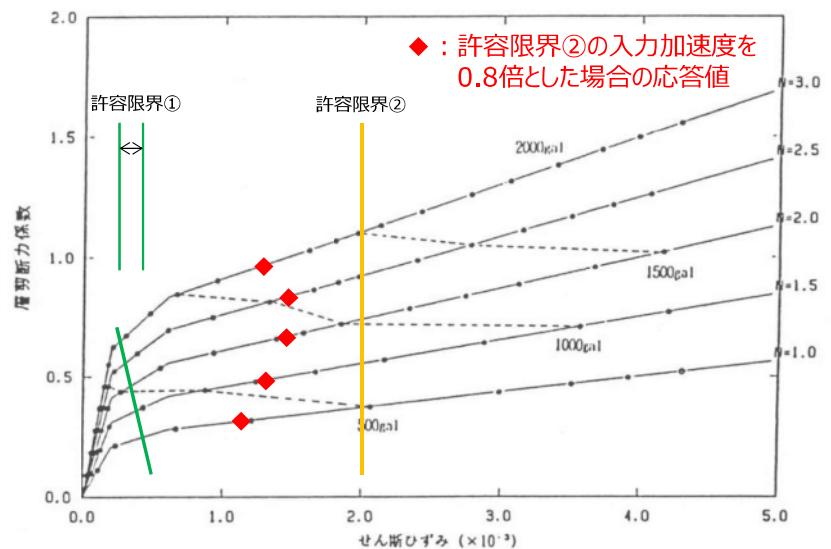


図2 弾性限界と安全機能限界の関係図

審査会合における指摘事項に対する回答【No.1】

弾性設計用地震動Sdの設定（補足2）

10

（i）弾性設計用地震動Sdの役割を踏まえた設定の考え方（続き）

- c. 仮に、 S_d を $S_s - D$ の0.8倍と設定し弾性設計を行う場合、 S_s による応答は安全機能限界以下となると考えられるが、 S_d による弾性設計を行うことで S_s に対する安全機能保持をより高い精度で確実にするという役割からすると、過大なレベルであると考えられる。

S_d を $S_s - D$ の0.8倍と設定した場合の耐震評価を、 S_s に対する安全機能が保持できる見込みの設備において概算すると、以下の表に示す通り、 $S_s - D \times 0.8$ では弾性限界の目安を超える耐震強化が困難な設備がでる見込みであり、弾性設計用地震動 S_d とするには過大なレベルで、合理的な設計が出来ないと考えている。

耐震評価の概算

代表設備	地震動	主な評価項目	判定（弾性限界）	備考
炉内構造物 (ブラケット)	$S_d - D$	一次応力	目安値以下	1次固有周期：0.11s(水平方向) ※原子炉圧力容器の1次固有周期を示す。
	$S_s - D \times 0.8$		目安値を超える見込み	
制御室建物 (中央制御室 遮蔽壁)	$S_d - D$	せん断ひずみ, 応力度	目安値以下	1次固有周期：0.14s(N-S方向) 0.12s(E-W方向)
	$S_s - D \times 0.8$		目安値を超える見込み	

⇒ 従って、単純に S_s の係数倍で S_1 を包絡した S_d を設定することは過大な地震動となり合理的な設計が出来ないことから、弾性設計用地震動 S_d は、 S_d と S_s との応答スペクトルの比率に関する知見及び弾性設計用地震動 S_d の役割を踏まえ、基準地震動 S_s に係数0.5を乗じて設定する。

（ii） S_1 の果たしてきた役割を踏まえた設定の考え方

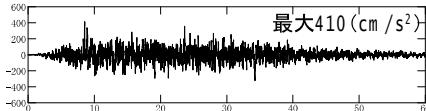
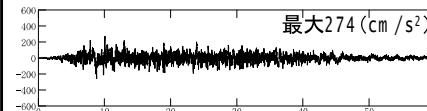
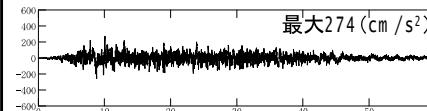
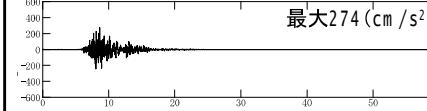
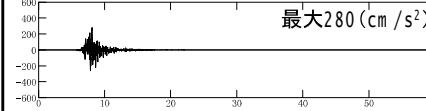
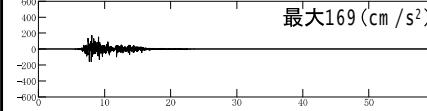
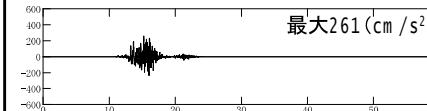
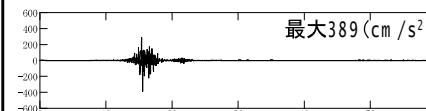
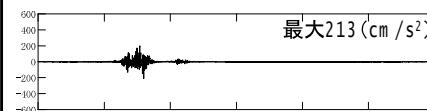
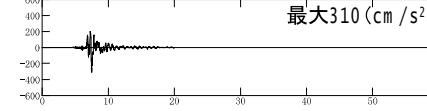
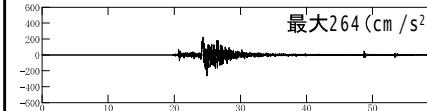
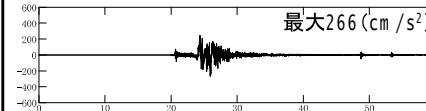
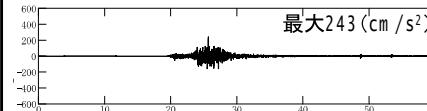
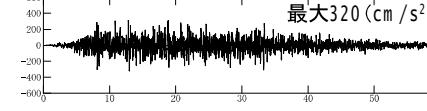
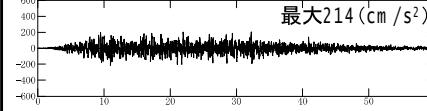
- 平成18年の耐震設計審査指針の改訂に伴いAクラスがSクラスに格上げされたことに鑑み、旧指針において、基準地震動 S_1 がAクラス施設の耐震性を担保(S_1 と組み合わせる荷重の考慮を含む)してきたことを踏まえ、基準地震動 S_1 の応答スペクトルを概ね下回らないよう配慮した地震動も弾性設計用地震動 S_d として追加設定する。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.1】

弾性設計用地震動 S_d の設定（添付 1）

13

● 弹性設計用地震動 S_d の加速度時刻歴波形

弾性設計用地震動	水平方向 (NS成分)	水平方向 (EW成分)	鉛直方向
$S_d - D$			
$S_d - F_1$			
$S_d - F_2$			
$S_d - N_1$			
$S_d - N_2$			
$S_d - 1$			

※ 弹性設計用地震動 $S_d - 1$ の加速度時

※ 表中のグラフは各弹性設計用地震動の加速度時刻歴波形 [縦軸 : 加速度 (cm / s^2) , 横軸 : 時間 (s)] 刻歴波形の作成条件等を添付 2 に示す。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.2, 10】

■ 指摘事項

【No.2 (論点I-2) 地下水位の設定について】

○地下水位の設定について、観測位置や観測期間、防波壁設置工事との関連などを含めて、観測結果に基づく根拠を詳細に説明すること。また、地下水位設定の妥当性については、観測結果だけでなく、将来的な地下水流の変化予測、地下水排水設備の影響等を踏まえて説明すること。

【No.10 (論点II-29) 地盤の液状化強度特性について】

○液状化評価対象設備の周辺地盤の土層については、防波壁周辺に限定せず全ての対象施設を包絡する敷地全体について、その分布状況や土質性状を網羅的に説明すること。その上で、抽出した液状化評価対象層の網羅性について説明すること。

○地下水位設定の妥当性と合わせて、地下水位に基づく液状化評価対象設備の選定の考え方についても詳細に説明すること。

○液状化強度特性について、液状化強度試験の選定箇所の代表性・網羅性、簡易設定法の適用性・信頼性等を踏まえて保守的な設定となっていることを説明すること。

○取水管を支持する碎石等の液状化非対象層について、対象から除外した根拠をプロセスも含めて説明すること。

■ 回答

・観測位置、観測期間、防波壁設置工事との関連等を含め、観測結果に基づく地下水位設定の根拠を示す。また、地下水位設定の妥当性について、将来的な地下水流の変化予測、地下水排水設備の影響等を説明する。（P17～35）

・敷地全体について、液状化評価対象層の分布状況や土質性状を網羅的に説明する。また、抽出した液状化対象層の網羅性について説明する。（P42～74）

・地下水位設定の妥当性と合わせて、地下水位に基づく液状化評価対象設備の選定の考え方を示す。（P22, 27～33, 158～166）

・液状化強度試験の選定箇所の代表性・網羅性及び簡易設定法の適用性・信頼性等を踏まえ、液状化強度特性の設定方針を示す。（P75～83, 136～155）

・敷地内でEL+15m以下に分布する地盤材料を抽出し、その土質性状を踏まえ、液状化判定の要否を示す。（P53～56）

審査会合における指摘事項に対する回答【N o.1 2】

■ 指摘事項

【N o.1 2（論点4）防波壁で囲まれた敷地における地下水位の設定及び液状化による影響】

- 敷地の海岸線に敷地を取り囲むように防波壁を設置し、周辺地盤を地盤改良する等して地下水の海側への流れを遮断するため、敷地における地下水位が建設工認時から変わり得る可能性について説明すること。
- また、敷地地盤は岩の掘削ズリ等による埋戻土や旧表土で構成されており、これらの液状化強度特性の設定の代表性、網羅性を説明するとともに、液状化による影響を考慮すべき施設とその設計方針についても説明すること。
- この液状化及び地下水位について、先行炉との類似性があれば、その審査状況を踏まえて、液状化と地下水位の関係性及びそれらが及ぼす施設等への影響についても整理すること。

(確認したい事項)

[地下水位の設定]

- ・防波壁の設置、支持地盤及び周辺地盤の改良が敷地内の地下水位に与える影響
- ・建物周辺の地下水ドレン設備の地下水位抑制効果の考慮の有無

[液状化による影響]

- ・液状化による影響評価の前提となる条件設定の妥当性（地下水位の分布、液状化対象層の選定と分布等）
- ・液状化強度特性の網羅性、代表性
- ・液状化影響評価に基づく液状化による影響を考慮すべき施設の選定とその設計方針

■ 回答

[地下水位の設定]

- ・敷地内で実施した地下水位観測の記録を踏まえ、防波壁の設置、支持地盤及び周辺地盤の改良が敷地内の地下水位に与える影響を確認する。また、将来的な地下水流の変化予測を確認する。（P 1 7～2 3）
- ・建物周辺の地下水ドレン設備の設置状況や地下水位観測記録等を踏まえ、地下水位設定の考え方を示す。（P 2 4～2 6）

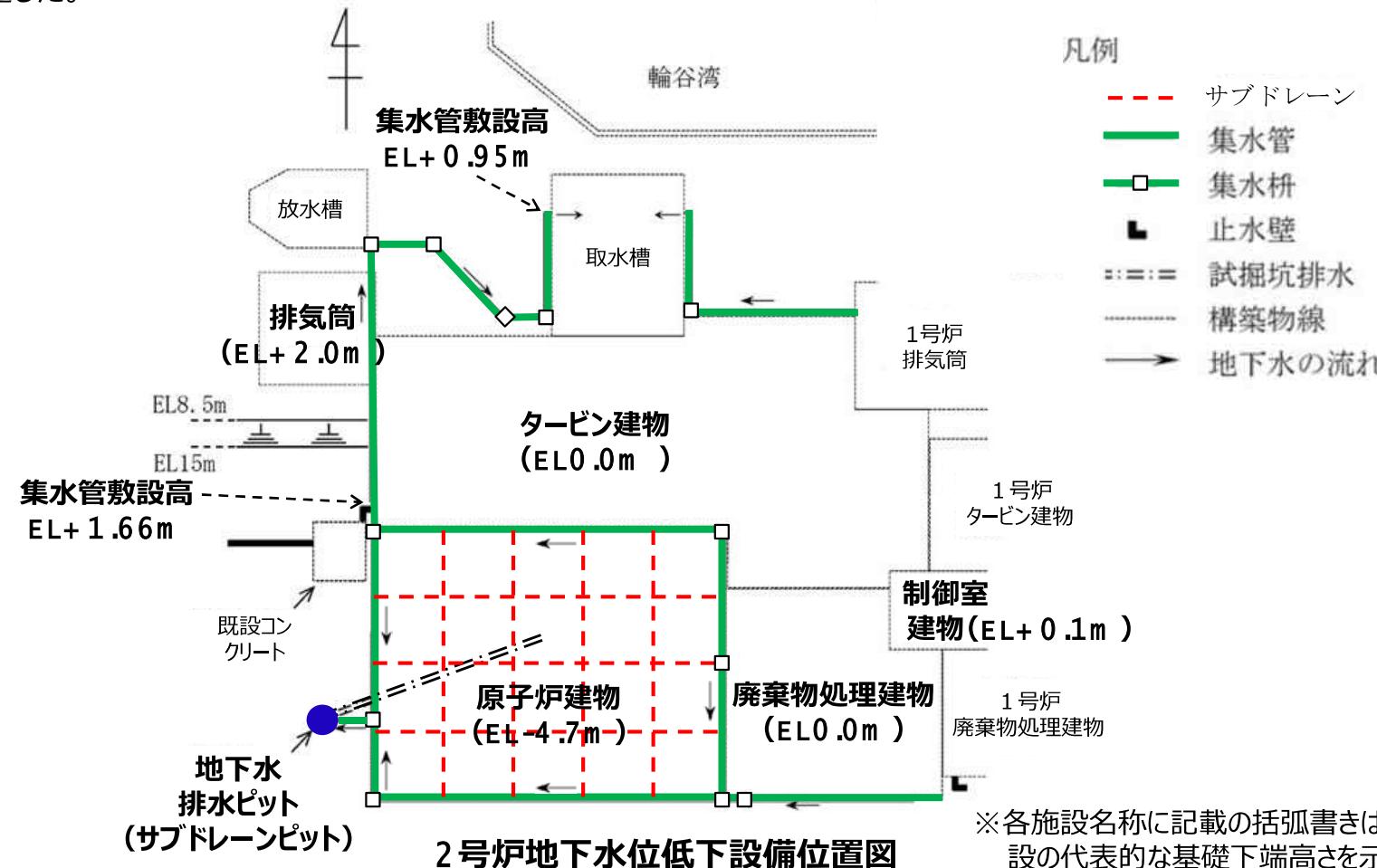
[液状化による影響]

- ・敷地内で実施した液状化調査結果及び地質調査結果、並びに購入地盤材料の土質性状を踏まえ、液状化影響評価対象層の選定を行う。（P 4 2～5 9）
- ・液状化評価対象層の液状化強度特性の網羅性、代表性を説明する。（P 6 0～8 3, 1 4 8～1 5 5）
- ・地下水位の設定及び液状化影響を考慮する施設選定に関する考え方を示す。（P 1 5 6～1 6 6）

地下水位の設定

2号炉地下水位低下設備の概要

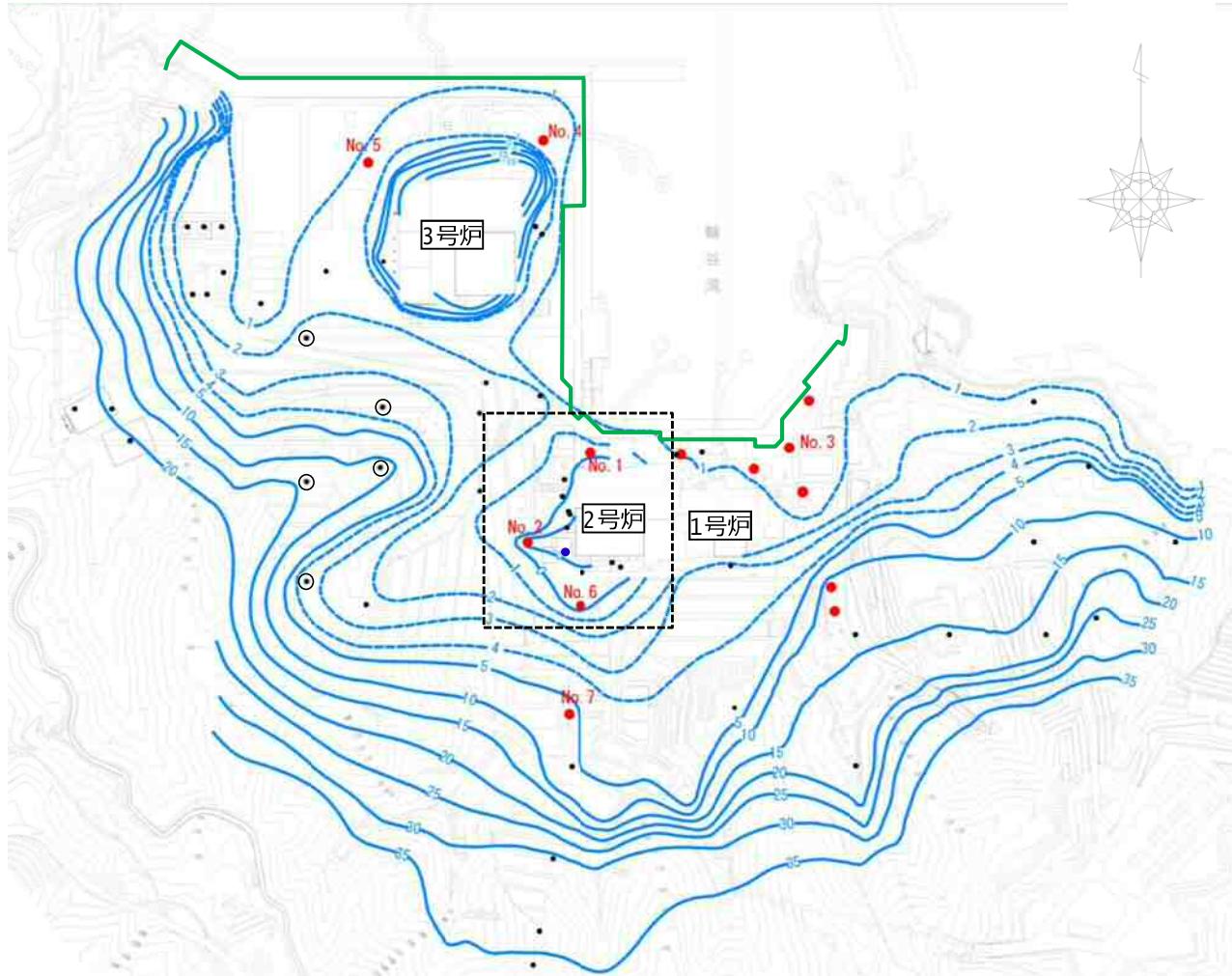
- 地下水位低下設備のうち集水管、サブドレーン及びサブドレーンピットの配置を示す。
- 原子炉建物及び廃棄物処理建物周辺に設置されたサブドレーン及び集水管は、サブドレーンピットに集水し、海水ポンプ、配管を介して排水する構造である。
- タービン建物周辺に設置された集水管（有孔ヒューム管Φ300）は、取水槽へ導水する構造である。
- 2号炉原子炉建物等については、施設周辺に地下水位低下設備を設置し、既工認においてはその効果を期待して地下水位を設定した。



地下水位の設定

地下水位観測記録（観測地下水位センター）

- 防波壁設置後の約4年間（H 26.11～H 31.1）の地下水位観測記録及び至近のボーリング調査（H 7.7～H 26.3）で確認した地下水位に基づき観測平均地下水位センター※を作成した。なお、今回の観測期間において2号炉及び3号炉の地下水位低下設備は稼働している。
- また、3号炉北側防波壁の一部（砂礫層堆積部）において地盤改良を実施中である。



- 地下水位観測孔
- ボーリング調査位置
- ボーリング調査位置
(防波壁設置後)
- 観測地下水位センター
- 防波壁

※観測平均地下水位センターは、H 27.3 時点にて観測記録の取りまとめを行い、作成した。
なお、H 27.4 以降の観測記録とも概ね一致している。

地下水位の設定

防波壁及び地盤改良による影響、将来的な地下水流の変化予測

【地下水位観測記録】

- 2号炉及び3号炉建物廻りの地下水位については、地下水位低下設備の影響により周辺の地下水位よりも低くなっている。
- 防波壁背後及び2号炉取水槽廻りの地下水位については、EL+1m程度であり、概ね一定で推移している。

【防波壁の設置、支持地盤及び周辺地盤の改良が敷地内の地下水位に与える影響】

- 防波壁設置前の1, 2号炉北側エリアは、既設護岸が基礎捨石上に設置している構造であったため、護岸背後の地下水位は潮位と連動していたと考えられ、2号炉取水槽の既工認では地下水位を朔望平均満潮位とした。
- 防波壁設置後の1, 2号炉北側エリアは、観測地下水位センターから防波壁背後及び2号炉取水槽廻りの地下水位は、EL+1m程度と若干上昇しているものの、既工認時の地下水位と概ね一致している。

【将来的な地下水流の変化予測】

- 3号炉北側の防波壁の一部において地盤改良を実施中であるが、防波壁全長に対して局所的な地盤改良であるため、1, 2号炉北側における止水対策後の地下水位の実績※を踏まえ、将来的な地下水位への影響はないと判断した。

※1、2号炉北側では、防波壁設置後に止水対策を実施し、完了しているが、止水対策近傍の地下水位観測記録（No.3）によると、観測開始からH27.7頃（止水対策前）の地下水位はEL+0.5～1.0m程度で変動していたが、止水対策完了後のH27.8以降は、概ねEL+0.8～0.9m程度で落ち着いている。

設計基準対象施設等に対する地下水位設定の考え方（1／2）

- 地下水位については、適切に揚圧力影響及び液状化影響を設計に反映する観点から、敷地における設計基準対象施設及び重大事故等対処施設のうち建物、構築物、屋外重要土木構造物（取水管、取水口を除く）及び津波防護施設（敷地に直接設置している防波壁）を対象に設定する。
- 設計基準対象施設及び重大事故等対処施設のうち建物、構築物、屋外重要土木構造物（取水管、取水口を除く）及び津波防護施設（敷地に直接設置している防波壁）の設計地下水位は、周辺の地下水位低下設備の効果や地下水位観測記録等を踏まえ、工認段階において設定する。

地下水位の設定

設計基準対象施設等に対する地下水位設定の考え方（2／2）

設備分類	設備名称	基礎形式	支持層	基礎下端高さ※1 (EL m)	観測平均地下水位 (EL m)	設計地下水位（例）※3		
						地下水位 (EL m)	設計への 反映事項	
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	-※2	-3.9	設計用揚圧力は既工認と同一の考え方で設定する
		タービン建物	直接基礎	岩盤	0.0	-※2	+2.0	
		廃棄物処理建物	直接基礎	岩盤	0.0	-※2	+2.0	
		制御室建物	直接基礎	岩盤	+0.1	-※2	+0.1	
		排気筒	直接基礎	岩盤	+2.0	+1m 以深	+2.0	
	屋外重要土木構造物	取水槽	直接基礎	岩盤	-11.7	+1m 以深	+1.0	朔望平均満潮位(EL+0.46m)に余裕を考慮して設定する
		屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	直接基礎	岩盤	+4.9	+1m 以深		
		ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	直接基礎	岩盤	+8.35	0m 以深		
		燃料移送系配管ダクト	直接基礎	岩盤	+10.4	-5m 以深		
		屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物)	直接基礎	岩盤	+10.4	0m 以深		
	津波防護施設	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	杭基礎	岩盤	-19.1	+1m 以深		
		防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）	杭基礎	岩盤	-10.0	+1m 以深		
		防波壁（波返重力擁壁）	直接基礎	岩盤 改良地盤	-13.0	+1m 以深		
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	0m 以深	基礎下端以深	基礎下端と地下水位の関係を踏まえ設定する	
	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	直接基礎	岩盤	-1.3	0m 以深			
	緊急時対策所建物	直接基礎	岩盤	+48.25	+10～+15			
	緊急時対策所用燃料地下タンク	直接基礎	岩盤	+46.6	+15～+20			
	ガスタービン発電機建物	直接基礎	岩盤	+44.0	+5～+20			
	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	+15～+25			
	屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）	直接基礎	岩盤	+45.45	+10～+25			

※1 各施設の代表的な基礎下端高さを示す。

※2 原子炉建物等については、構造物が大きく、一律に地下水位観測記録を読み取ることが困難なため、「-」と記載した。

※3 周辺の地下水位低下設備の効果や地下水位観測記録等を踏まえ、工認段階において設計地下水位を設定する。

1. 液状化評価の基本方針

液状化評価の基本方針

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

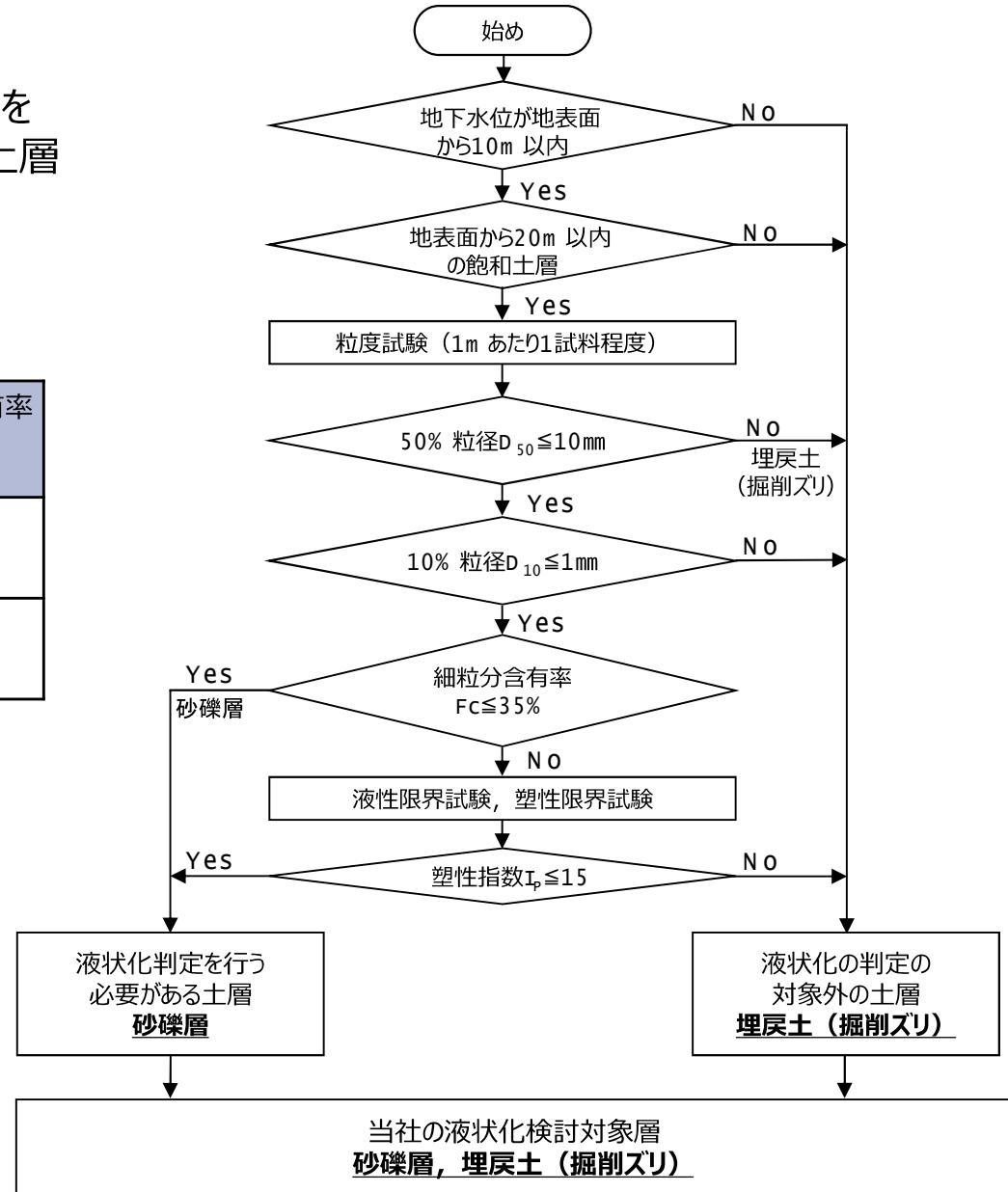
本検討の対象土層			道路橋示方書 及び港湾基準 における液状 化評価の対象	当社評価		
地層名	堆積年代	調査地点名 土層名		液状化試験 による判定	液状化強度特性 の設定の考え方	液状化強度特性 の保守性
被 覆 層	盛土	完新世	E-2～E-8 埋戻土 (掘削アリ)	× 対象外	「非液状化」 若しくは 「繰返し軟化(サイク リックモビリティ含む)」	簡易設定法に基づき設定 した液状化強度特性 が、液状化試験結果 による液状化強度特 性と比べ保守的で あることを確認する。
	崖錐・海底堆積物	完新世	E-1,E-7,E-8 砂礫層	○ 対象	「繰返し軟化(サイク リックモビリティ含む)」	

2. 液状化評価対象層の抽出 道路橋示方書に基づく抽出結果

- 道路橋示方書に基づき液状化評価対象層を抽出した。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。

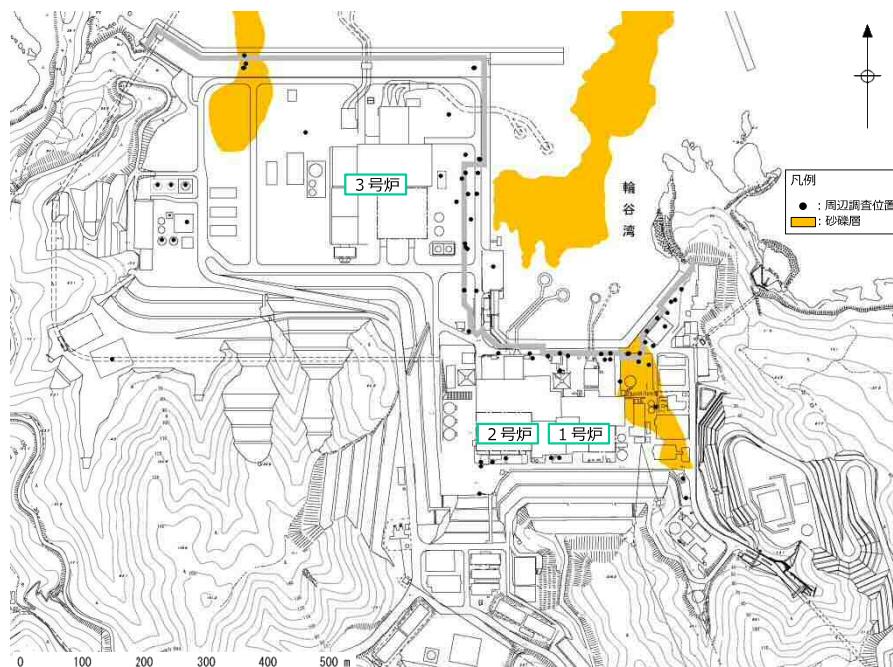
地層名	50% 粒径 (平均) (mm)	10% 粒径 (平均) (mm)	細粒分含有率 (平均) (%)
埋戻土 (掘削ズリ)	16.5	-	-
砂礫層	9.1	0.0651	15.6

液状化評価の対象層の抽出結果
道路橋示方書・同解説（V耐震設計編）
（社）日本道路協会、H24.3）



2. 液状化評価対象層の抽出 まとめ

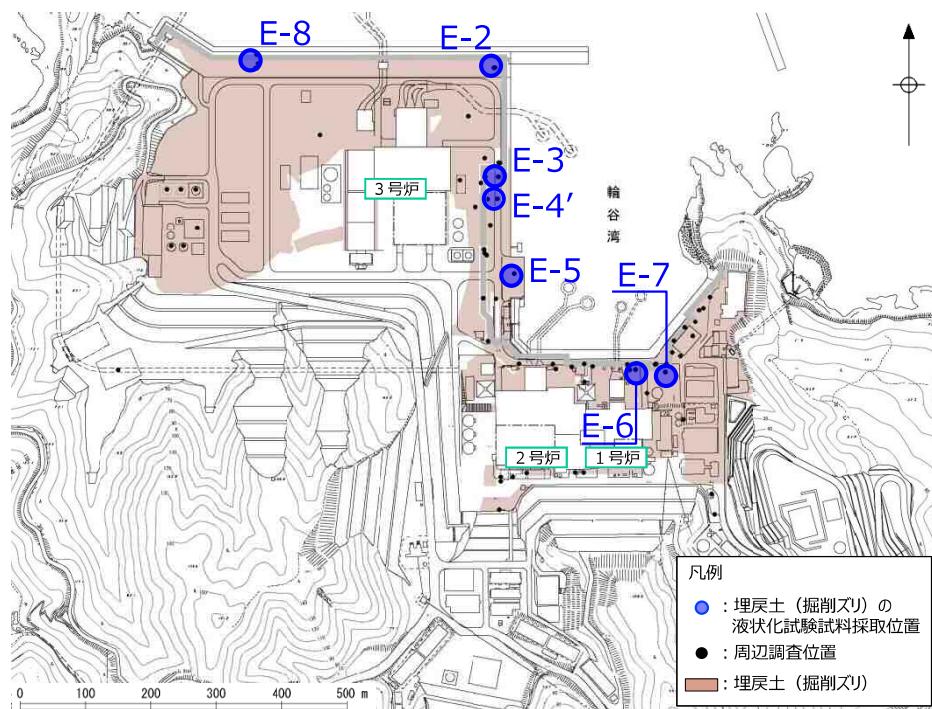
- 道路橋示方書では、50% 粒径が10mm以下で、かつ、10% 粒径が1mm以下である土層について液状化評価対象層としているが、本評価では50%粒径が10mmを超過する、または、50% 粒径が10mm以下であっても10%粒径が 1 mmを超過する土層についても、同様に抽出対象とする。
- 港湾基準では、粒度による土の分類を行い、粒径加積曲線が「液状化の可能性あり」の範囲内に含まれる土を液状化評価対象層としているが、範囲以外に含まれる土についても同様に抽出対象とする。
- 被覆層の分布状況、道路橋示方書及び港湾基準に基づく液状化評価対象層の抽出結果を踏まえ、保守的に以下の土層を液状化評価対象層として考慮する。
 - ①埋戻土（掘削ズリ）
 - ②砂礫層



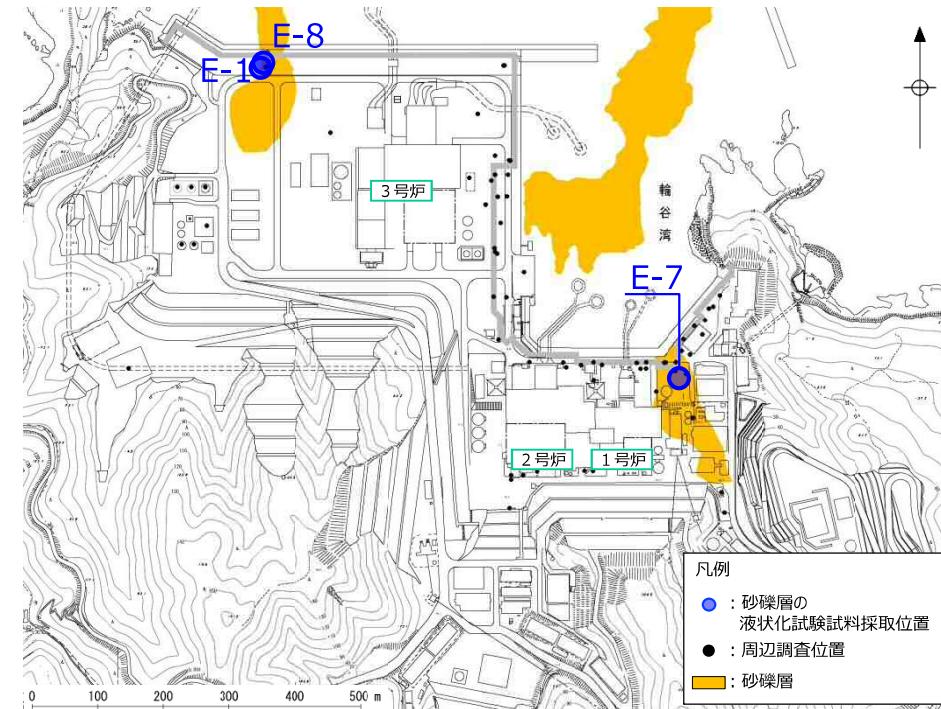
3.1 液状化試験試料採取位置とその代表性 3.1.1 液状化試験試料採取位置の選定

液状化試験試料採取位置

- 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た。
- 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た。



液状化試験試料採取位置（埋戻土（掘削ズリ））



液状化試験試料採取位置（砂礫層）

3.2 液状化試験結果 3.2.3 試験結果の分類 試験結果の整理と考察

- 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。下表に液状化試験を行った試料の結果の一部を示す。
- 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'地点では過剰間隙水圧比が0.95を上回らなかった。
- 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た。
- これらの状況から、埋戻土（掘削ズリ）は非液状化、または繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）であると判断した。

液状化試験結果（埋戻土（掘削ズリ））

	E-2	E-3	E-4'	E-5	E-6	E-7	E-8
	埋戻土（掘削ズリ）						
試料番号	S2-10	S3-9-2 ^{※2}	S4-6	S5-1	S6-3 ^{※2}	S7-3①	S8-2 ^{※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 モビリティ	繰返し 軟化	非液状化	繰返し 軟化	サイクリック モビリティ	繰返し 軟化	サイクリック モビリティ

※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。

3.2 液状化試験結果 3.2.3 試験結果の分類

試験結果の整理と考察

- 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。下表に液状化試験を行った試料の結果の一部を示す。
- 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。
- 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。

液状化試験結果（砂礫層）

	E-1	E-7	E-8
砂礫層			
試料番号	S1-23-3②	S7-16②	S8-24①
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	サイクリック モビリティ	サイクリック モビリティ

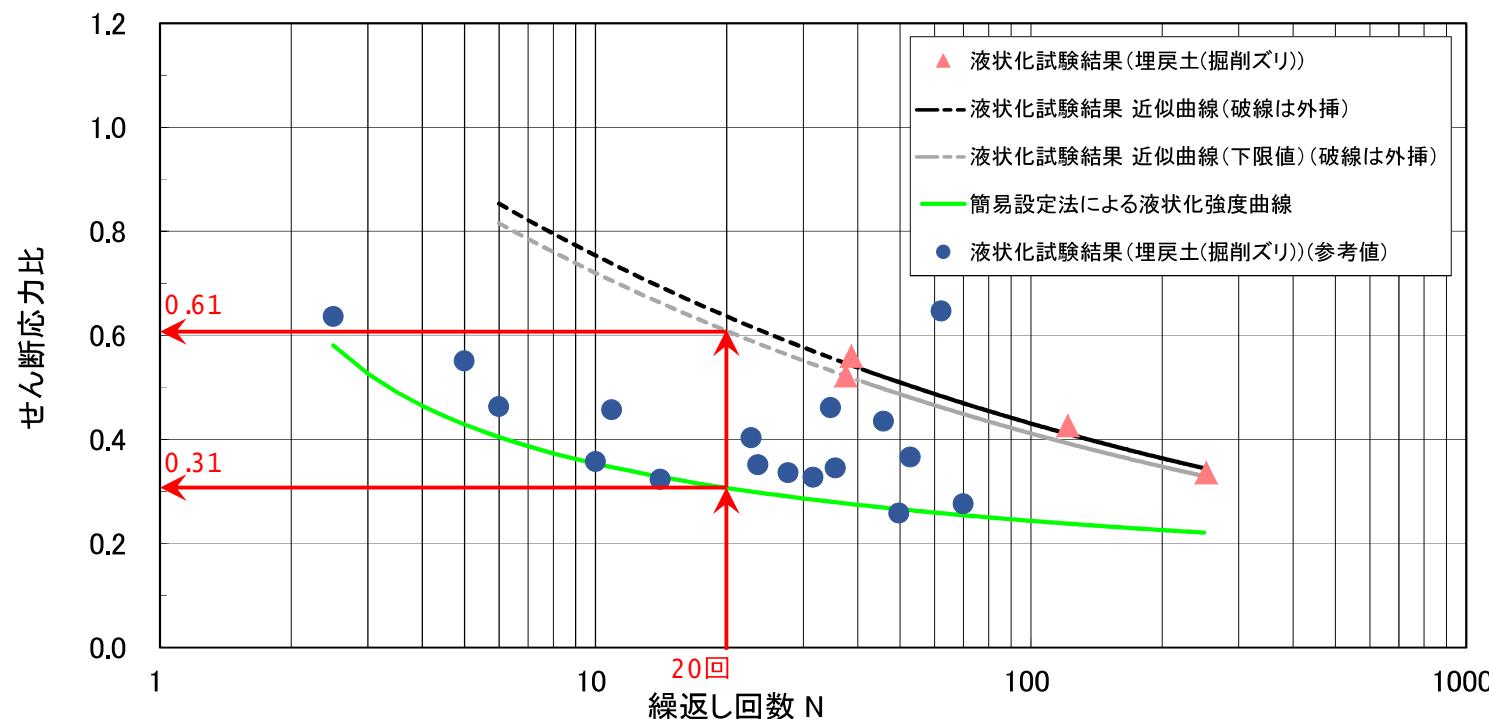
※1: JGS 0541-2009において過剰間隙水圧比0.95を液状化の目安としている。

- 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。）
- 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。

3.5 液状化強度特性の設定方針

比較評価（防波壁（多重鋼管杭式擁壁）周辺 埋戻土（掘削ズリ））

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）周辺の埋戻土（掘削ズリ）で簡易設定法により設定した液状化強度曲線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 （0.31）は液状化試験による液状化強度比 R_L （0.61）を下回り、保守的であることを確認した。
- 参考値として、供試体直径の1/5を超える礫を含む供試体についての試験結果も示す。

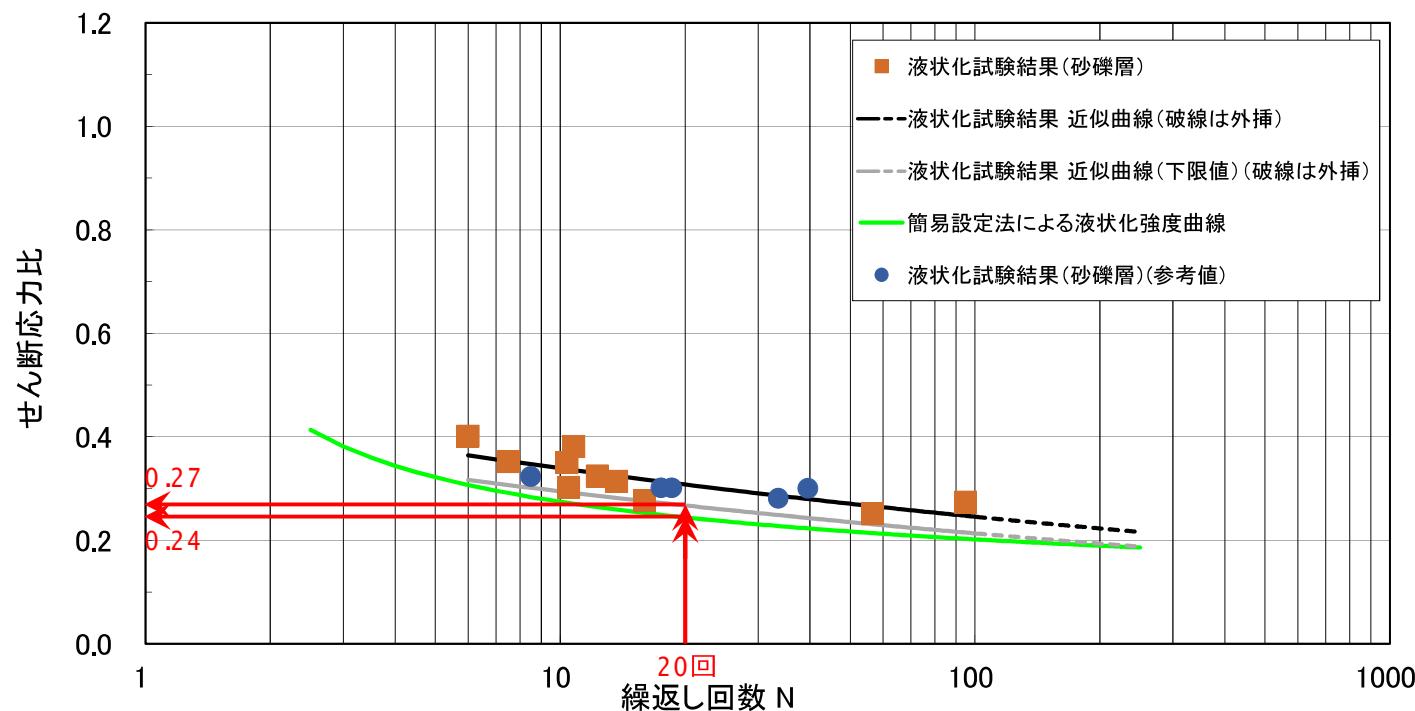


防波壁（多重鋼管杭式擁壁）周辺 埋戻土（掘削ズリ）
簡易設定法及び液状化試験結果による液状化強度曲線の比較

3.5 液状化強度特性の設定方針

比較評価（防波壁（多重鋼管杭式擁壁）周辺 砂礫層）

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）周辺の砂礫層で簡易設定法により設定した液状化強度曲線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 （0.24）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。
- 参考値として、供試体直径の1/5を超える礫を含む供試体についての試験結果も示す。



防波壁（多重鋼管杭式擁壁）周辺 砂礫層
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

4. 液状化影響の評価方針 基本方針（設計方針（液状化強度特性））

- 液状化影響の評価対象層については、道路橋示方書に基づく液状化判定の対象となる砂礫層に加えて、液状化判定の対象外となる埋戻土（掘削ズリ）も抽出して液状化試験を実施した。
- 液状化試験結果によると、地震時の地盤の状態は『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』の判定となるが、砂礫層に加え、試験結果の一部で『非液状化』となる埋戻土（掘削ズリ）についても液状化強度特性を設定した。
- 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設計事例集に準拠した有効応力解析（FLIP）の簡易設定法に基づき設定した。
- 簡易設定法に基づき設定し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した。また、簡易設定法で用いるN値は保守的な設定値とした。

液状化影響の評価方針（液状化強度特性）一覧

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 埋戻土 (掘削ズリ)	× 対象外	「非液状化」 若しくは 「繰返し軟化(サイクリックモビリティ含む)」	設計事例集に準拠し、FLIPの簡易設定法に基づき設定する。
	崖錐・海底堆積物	完新世	E-1,E-7,E-8 砂礫層	○ 対象	「繰返し軟化(サイクリックモビリティ含む)」	

4. 液状化影響の評価方針 基本方針（評価対象施設選定の考え方）

- 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。

設備分類	設備名称	基礎形式	支持層	基礎下端高さ※1 (EL m)	設計地下水位（例）※2	
					地下水位 (EL m)	設計への 反映事項
設計基準対象施設	原子炉建物	直接基礎	岩盤	-4.7	-3.9	設計用揚圧力は既工認と同一の考え方で設定する
	タービン建物	直接基礎	岩盤	0.0	+2.0	
	廃棄物処理建物	直接基礎	岩盤	0.0	+2.0	
	制御室建物	直接基礎	岩盤	+0.1	+0.1	
	排気筒	直接基礎	岩盤	+2.0	+2.0	
屋外重要土木構造物	取水槽	直接基礎	岩盤	-11.7	+1.0	朔望平均満潮位(EL+0.46m)に余裕を考慮して設定する
	屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	直接基礎	岩盤	+4.9		
	ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	直接基礎	岩盤	+8.35		
	燃料移送系配管ダクト	直接基礎	岩盤	+10.4		
	屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）	直接基礎	岩盤	+10.4		
津波防護施設	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	杭基礎	岩盤	-19.1		
	防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）	杭基礎	岩盤	-10.0		
	防波壁（波返重力擁壁）	直接基礎	岩盤・改良地盤	-13.0		
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	基礎下端以深	基礎下端と地下水位の関係を踏まえ設定する
	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	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	直接基礎	岩盤	+44.0		
	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	直接基礎	岩盤	+45.8		
	屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）	直接基礎	岩盤	+45.45		

※1 各施設の代表的な基礎下端高さを示す。 ※2 周辺の地下水位低下設備の効果や地下水位観測記録等を踏まえ、工認段階において設計地下水位を設定する。