

泊発電所3号炉

防潮堤の構造成立性確認結果及び指摘事項に対する回答

令和5年12月18日
北海道電力株式会社

: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

無断複製・転載等禁止

本日の説明主旨	3
1. 構造成立性評価結果	
1. 1 構造成立性評価の流れ	4
1. 2 構造成立性評価の流れ(防潮堤(標準部))	6
1. 3 構造成立性評価の流れ(防潮堤(端部))	8
1. 4 構造成立性評価断面の選定	9
1. 5 構造成立性評価地震波の選定	10
1. 6 防潮堤の構造概要	11
1. 7 防潮堤解析条件【2次元動的FEM解析の共通条件】	12
1. 8 防潮堤(標準部)解析モデル	14
1. 9 防潮堤(端部)解析モデル	18
1. 10 防潮堤(標準部)の評価	19
1. 11 防潮堤(端部)の評価	24
1. 12 防潮堤の構造成立性評価における裕度について	25
2. 審査会合における指摘事項に対する回答	
2. 1 【指摘事項 210930-06】	26
2. 2 【指摘事項 220303-01】	30
2. 3 【指摘事項 220303-03】	32
2. 4 【指摘事項 220929-09】	34
補足説明資料:防潮堤の構造成立性評価に用いる津波荷重の保守性について	35

- 本日の説明主旨は、防潮堤の構造成立性評価結果及び審査会合における指摘事項に対する回答である。
- 構造成立性評価結果については、全ての照査項目において許容値を満足しており構造成立性があること、構造成立性評価に用いる津波荷重の保守性の確認方針について説明する。
- 審査会合における指摘事項については、以下のとおりである。
 - 第1007回審査会合指摘事項(210930-06)「防潮堤の前面にある護岸等の構築物による波及的影響の検討」について、設計及び工事計画認可段階で示すとしていたが、設置変更許可段階で防潮堤代表断面の構造成立性を見通しを説明する。
 - 第1032回審査会合指摘事項(220303-01)「止水目地の構造成立性」について、泊発電所の設計方針を踏まえて、止水ジョイントの構造成立性を説明する。
 - 第1032回審査会合指摘事項(220303-03)「複雑な形状となる箇所を水平2方向及び鉛直方向の地震動並びに津波荷重による評価」について、屈曲部と同様に応力が集中しないように配慮して施工目地を設置する方針であることを整理したうえで、今後説明としていた代表断面における防潮堤の構造成立性があることを説明する。
 - 第1076回審査会合指摘事項(220929-09)「津波防護方針における防潮堤高さの設定の妥当性」について、防潮堤高さは、入力津波の解析結果を踏まえ、設計余裕があることを説明する。

1. 構造成立性評価結果

1.1 構造成立性評価の流れ

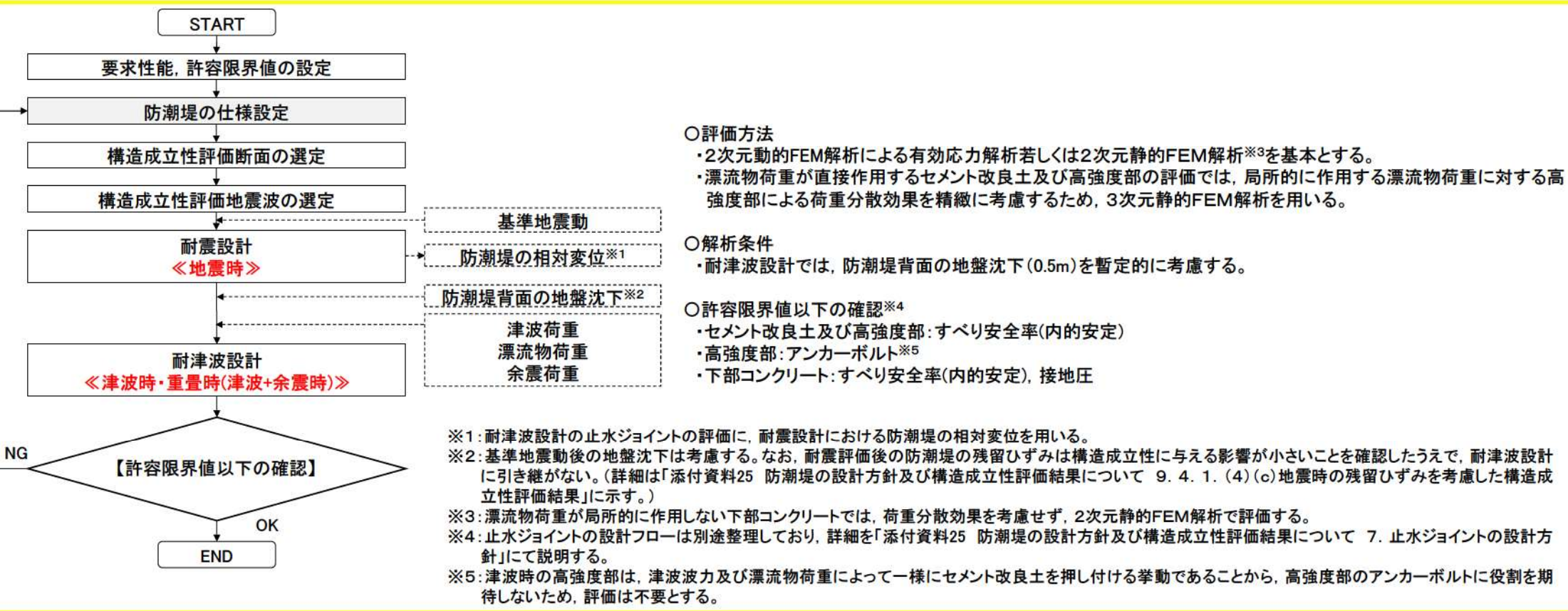
- 設置許可段階における防潮堤の構造成立性評価は、p6～8に示す構造成立性評価の設計フローのとおり実施している。
- 構造成立性評価に用いる津波荷重は、p15に示す通りとするが、泊発電所に来襲する津波のソリトン分裂波及び砕波の発生の有無、並びに流速が最大となる波源の影響を考慮した場合の津波荷重を確認し、津波荷重が大きくなる可能性がある場合には、その荷重により構造成立性評価の裕度を確認する（詳細は補足説明資料を参照）。
- 防潮堤(標準部)の構造成立性は、地震時・津波時・重畳時に最も厳しい評価となる代表断面について確認する（p9参照）。
- 防潮堤(端部)の構造成立性は以下の理由から地震時のみ確認し、津波時及び重畳時の評価結果は設計及び工事計画認可段階において示す。
 - 【地震時】
防潮堤(端部)の地震時における構造成立性は、背面の岩盤の押し出しによる影響を評価するために、防潮堤(端部)の構造成立性評価断面で確認する。
 - 【津波時，重畳時】
防潮堤(端部)の津波時及び重畳時における構造成立性は、以下の理由から、防潮堤(端部)より厳しい評価条件となる防潮堤(標準部)の構造成立性評価断面で確認する。
 - 防潮堤(標準部)の津波時及び重畳時における津波波力は、岩盤が浅い防潮堤(端部)より大きい。
 - 防潮堤(標準部)の津波波力に対する抵抗力は、背面が液状化検討対象層である埋戻土であるため、背面が岩盤である防潮堤(端部)より小さい。
 - 防潮堤(標準部)は、端部コンクリートと同じ強度である高強度部及び端部コンクリートより強度の小さいセメント改良土で構築する。また、防潮堤(端部)の部材厚は、高強度部より大きい。

余 白

1. 構造成立性評価結果

1.2 構造成立性評価の流れ(防潮堤(標準部))(1/2)

- 防潮堤(標準部)の構造成立性評価の設計フローは以下のとおりである。
- 防潮堤の評価は、防潮堤が線状構造物で、弱軸・強軸方向が明確であることから、弱軸方向の断面において2次元動的FEM解析若しくは2次元静的FEM解析を基本とし、地震時の液状化の影響を考慮するため、有効応力解析を用いる。
- 地震荷重及び津波荷重は汀線方向に一様に作用することに対し、漂流物荷重が局所的に作用する部材の評価では3次元静的FEM解析を用いる。

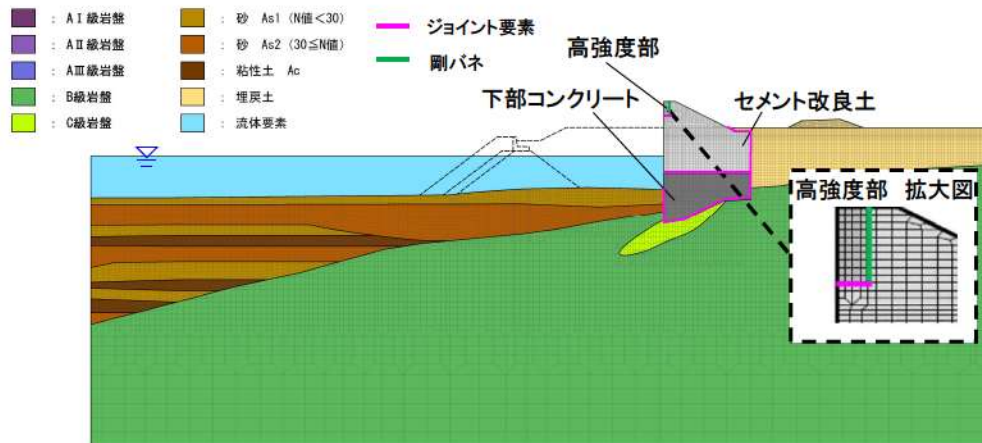


- 評価方法
 - ・2次元動的FEM解析による有効応力解析若しくは2次元静的FEM解析^{※3}を基本とする。
 - ・漂流物荷重が直接作用するセメント改良土及び高強度部の評価では、局所的に作用する漂流物荷重に対する高強度部による荷重分散効果を精緻に考慮するため、3次元静的FEM解析を用いる。
- 解析条件
 - ・耐津波設計では、防潮堤背面の地盤沈下(0.5m)を暫定的に考慮する。
- 許容限界値以下の確認^{※4}
 - ・セメント改良土及び高強度部: すべり安全率(内的安定)
 - ・高強度部: アンカーボルト^{※5}
 - ・下部コンクリート: すべり安全率(内的安定), 接地圧

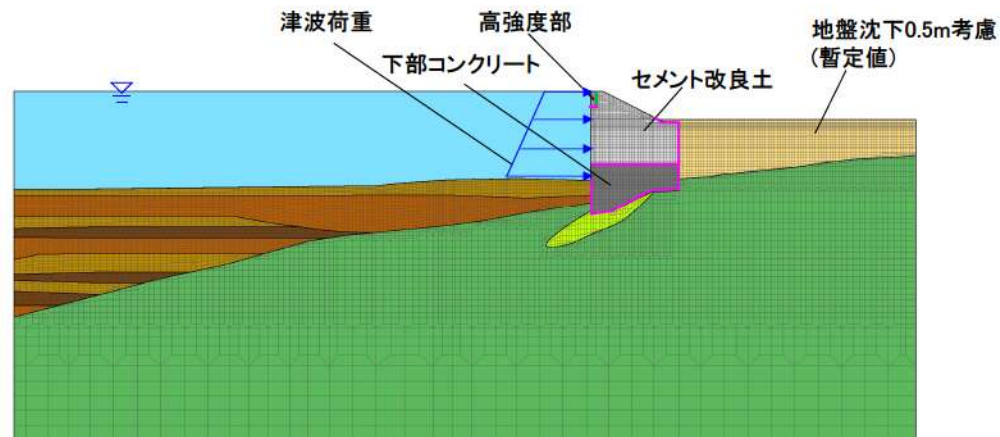
※1: 耐津波設計の止水ジョイントの評価に、耐震設計における防潮堤の相対変位を用いる。
 ※2: 基準地震動後の地盤沈下は考慮する。なお、耐震評価後の防潮堤の残留ひずみは構造成立性に与える影響が小さいことを確認したうえで、耐津波設計に引き継がない。(詳細は「添付資料25 防潮堤の設計方針及び構造成立性評価結果について 9. 4. 1. (4)(c)地震時の残留ひずみを考慮した構造成立性評価結果」に示す。)
 ※3: 漂流物荷重が局所的に作用しない下部コンクリートでは、荷重分散効果を考慮せず、2次元静的FEM解析で評価する。
 ※4: 止水ジョイントの設計フローは別途整理しており、詳細を「添付資料25 防潮堤の設計方針及び構造成立性評価結果について 7. 止水ジョイントの設計方針」にて説明する。
 ※5: 津波時の高強度部は、津波波力及び漂流物荷重によって一様にセメント改良土を押し付ける挙動であることから、高強度部のアンカーボルトに役割を期待しないため、評価は不要とする。

1. 構造成立性評価結果

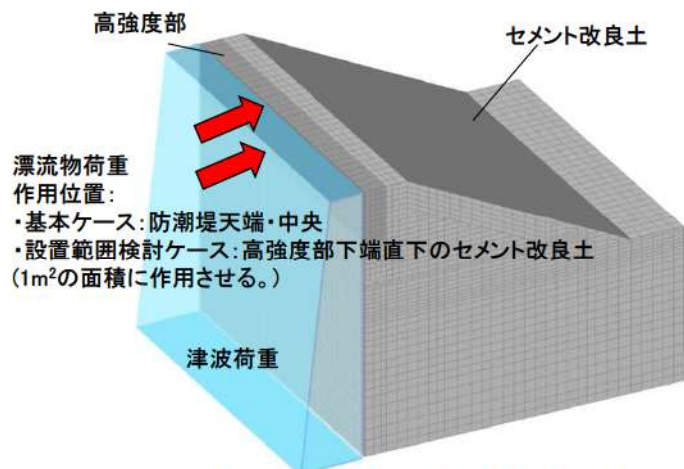
1.2 構造成立性評価の流れ(防潮堤(標準部))(2/2)



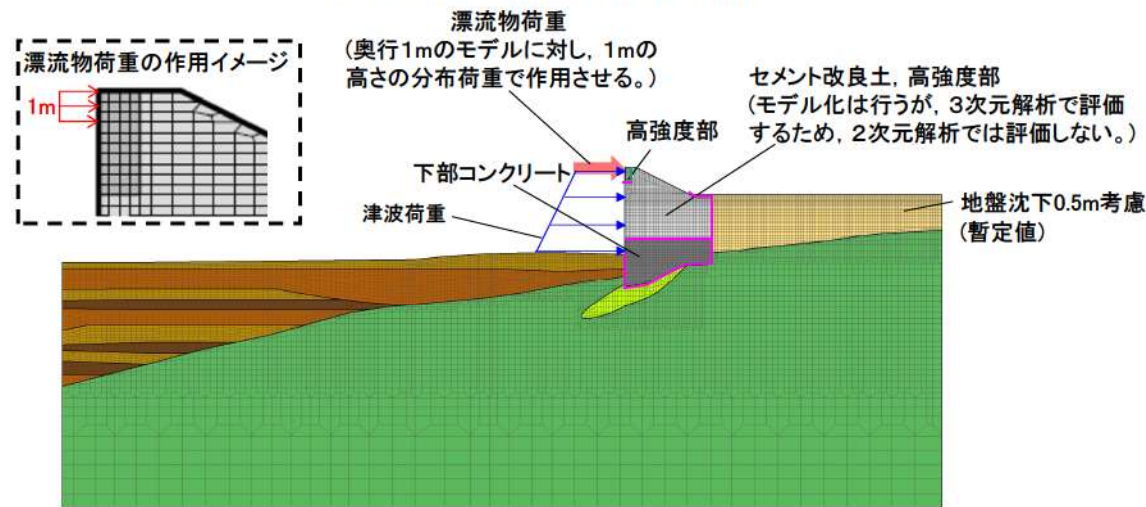
2次元動的FEM解析モデル図(地震時)



2次元動的FEM解析モデル図(重畳時)



3次元静的FEM解析モデル図(津波時)

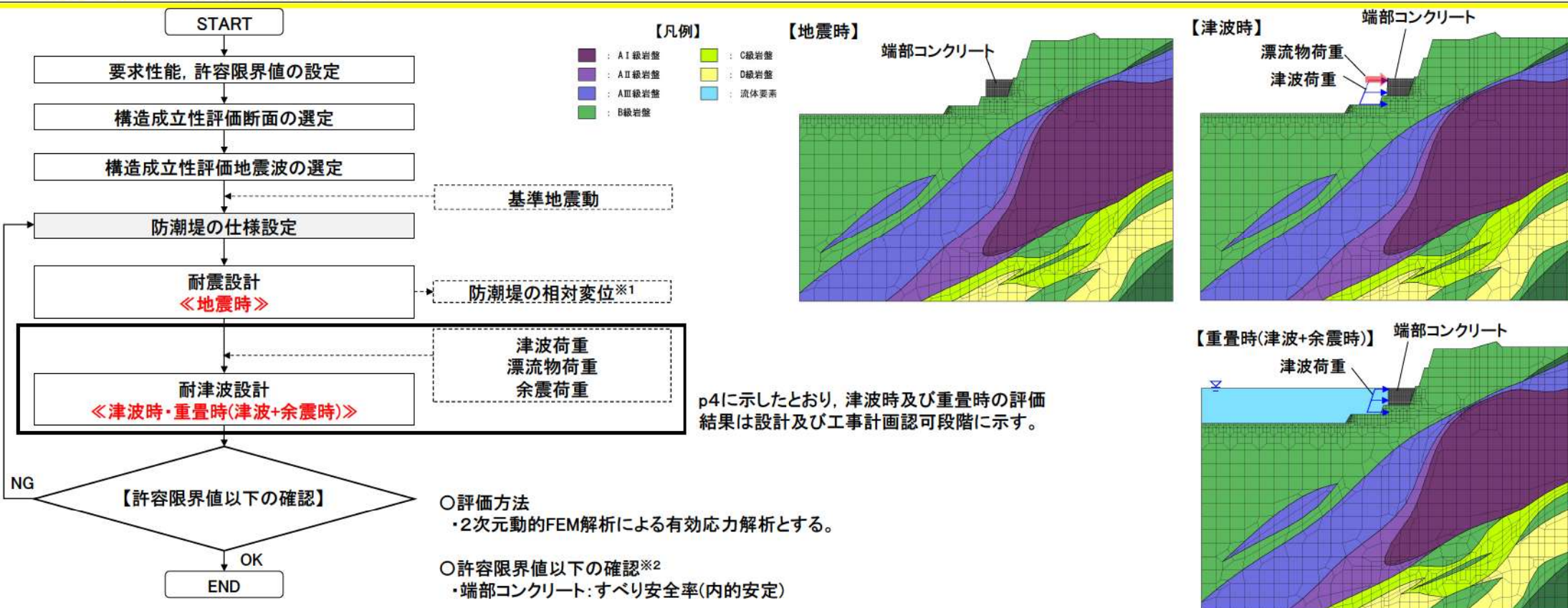


2次元静的FEM解析モデル図(津波時)

1. 構造成立性評価結果

1.3 構造成立性評価の流れ(防潮堤(端部))

○ 防潮堤(端部)の構造成立性評価の設計フローは以下のとおりであり、地震時の評価結果を設置変更許可段階に、津波時及び重畳時の評価結果を設計及び工事計画認可段階に示す。



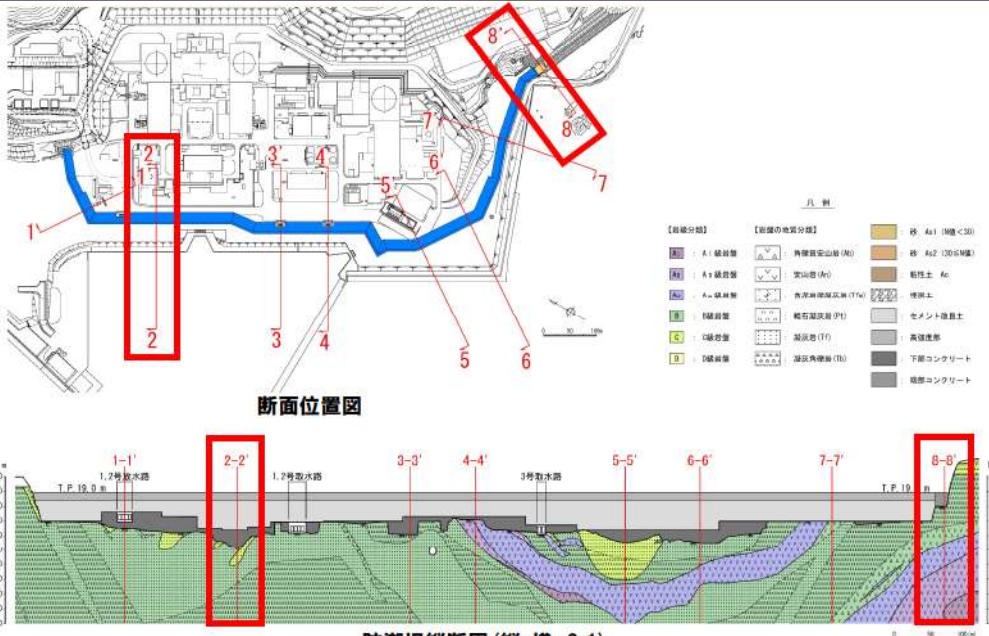
※1: 耐津波設計の止水ジョイントの評価に、耐震設計による防潮堤の相対変位を用いる。

※2: 止水ジョイントの設計フローは別途整理しており、詳細を「添付資料25 防潮堤の設計方針及び構造成立性評価結果について 7. 止水ジョイントの設計方針」にて説明する。

1. 構造成立性評価結果

1.4 構造成立性評価断面の選定

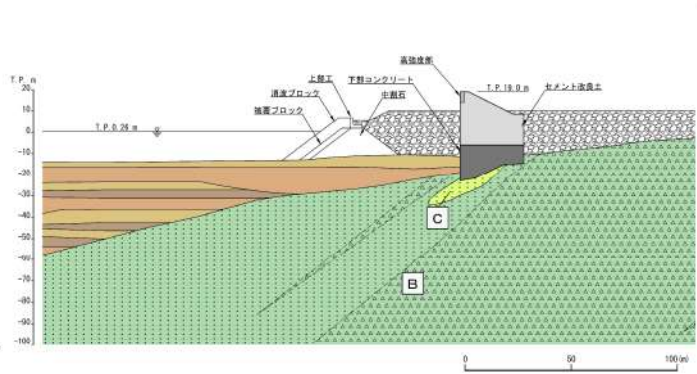
- 防潮堤(標準部)の構造成立性評価断面は、第1192回審査会合において説明したとおり、評価条件を保守的に設定することで「2-2'断面」に決定した。
 - 防潮堤天端から岩盤までの高さは、「2-2'断面」が最も高い。
 - 防潮堤前面に作用する津波荷重は、「2-2'断面」が最も大きい。
 - 防潮堤背面に作用する土圧は、「6-6'断面」の方が「2-2'断面」より大きい。このため、以下のとおり、評価条件を保守的に設定する。
 - ⇒地震時は、防潮堤背面の土圧が防潮堤を海側に押す方向に作用することから、「6-6'断面」の土圧を「2-2'断面」に保守的に作用させる。
 - ⇒津波時及び重畳時(津波+余震時)は、防潮堤背面の土圧が津波荷重を打ち消す方向に作用することから、「2-2'断面」の土圧を作用させる。
- 防潮堤(端部)の構造成立性評価断面は、第1111回審査会合 資料1-2-1「泊発電所3号炉 防潮堤の構造成立性評価方針について(指摘事項に対するコメント回答を含む)」に示したとおり、端部コンクリートの下端幅より上端幅の方が広く不安定な形状である「8-8'断面」に決定した。



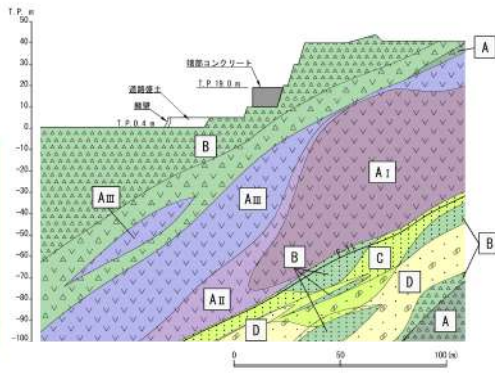
断面位置図

防潮堤縦断面(縦:横=2:1)

構造成立性評価断面位置図(上:平面図, 下:縦断面)



防潮堤(標準部)の構造成立性評価断面
(「2-2'断面」※1)



防潮堤(端部)の構造成立性評価断面
(「8-8'断面」)

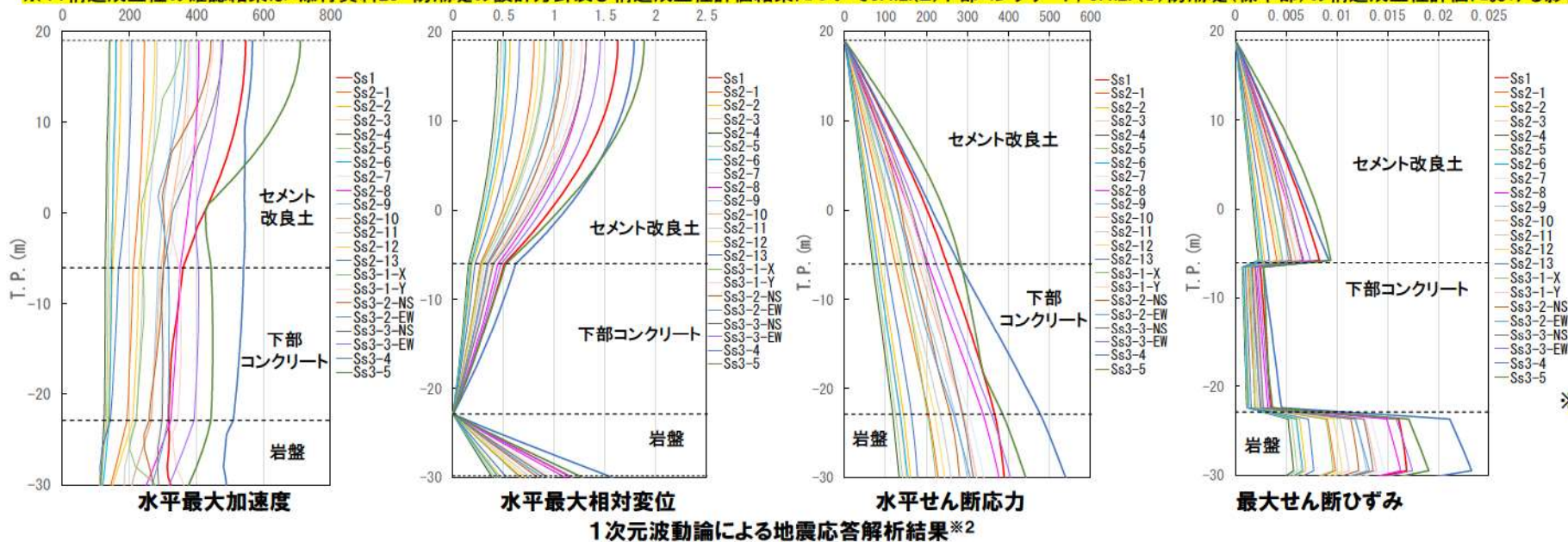
※1: 構造成立性評価において、地震時には防潮堤背面に「6-6'断面」の土圧を作用させる。

1. 構造成立性評価結果

1.5 構造成立性評価地震波の選定

- 第1157回審査会合において説明した泊発電所における基準地震動19波のうち、構造成立性評価に用いる基準地震動を1波に選定するために「2-2'断面」において1次元波動論による地震応答解析を行った。
- 地震応答解析の結果、以下の観点からSs3-5(標準応答スペクトルを考慮した地震動)を構造成立性評価地震波として選定した。
 - 水平最大加速度、水平せん断応力及び最大せん断ひずみに関して、下部コンクリートより強度の小さいセメント改良土の成立性の観点から、セメント改良土の範囲において応答が大きいSs3-5を選定する。
 - 水平最大相対変位に関して、止水ジョイントの構造成立性の観点から、防潮堤の天端において応答が大きいSs3-5を選定する。
- 下部コンクリートではSs3-5よりもSs3-4の応答が大きいため、Ss3-5による構造成立性評価の裕度を用いて下部コンクリートの構造成立性を確認する。※1
- 地震動の継続時間の観点を考慮すると、継続時間の長い方が液状化が生じやすいと考えられるが、Ss3-5による耐震評価の液状化影響検討対象層の過剰間隙水圧比から、セメント改良土及び高強度部のすべり安全率が最も厳しい時刻に周辺地盤が液状化していることを確認する。※1

※1: 構造成立性の確認結果は「添付資料25 防潮堤の設計方針及び構造成立性評価結果について9.4.2.(2)下部コンクリート, 9.4.2.(5)防潮堤(標準部)の構造成立性評価における影響検討について」で説明する。



※2: 防潮堤はセメント改良土及び下部コンクリートが主な部材であり、高強度部は部分的な部材であることから、防潮堤全体の挙動を評価するための1次元波動論による地震応答解析のモデルにおいてモデル化しない。

1. 構造成立性評価結果

1.6 防潮堤の構造概要

- 防潮堤の構造概要を以下に示す。
- 施工目地における津波による地中部の透水力に対しては、止水ジョイントの根入れ深さを延長し、地中部の透水を止水ジョイントで防ぐ構造とする。

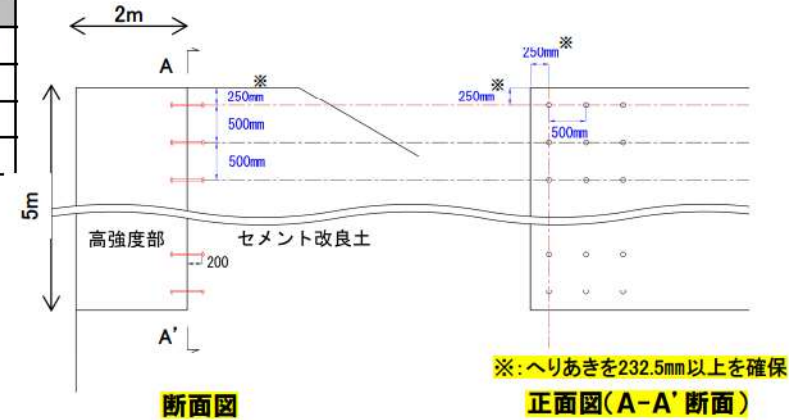
【防潮堤（標準部）の各部位の仕様】

部位		仕様
セメント改良土		設計基準強度: 6.5N/mm ²
高強度部		無筋コンクリート, 設計基準強度: 40N/mm ²
止水ジョイント	定着部材	SM400
	アンカーボルト	頭付きアンカーボルト(M24)
	ゴムジョイント	波状型止水ジョイント
下部コンクリート		無筋コンクリート, 設計基準強度: 24N/mm ²

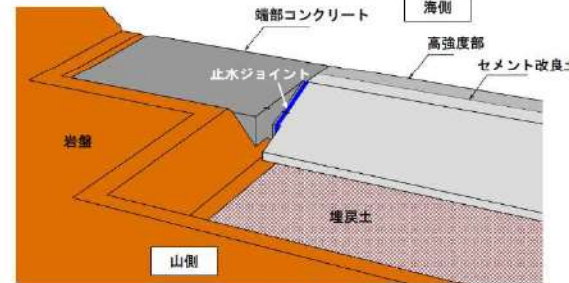
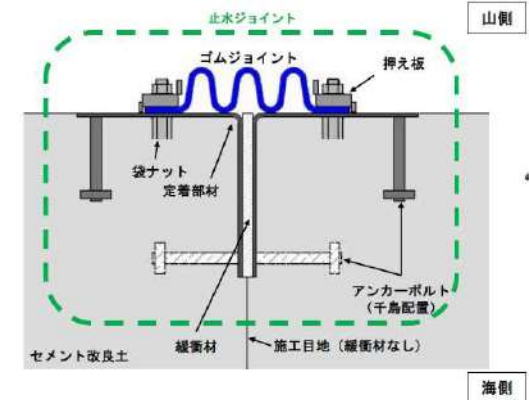
【防潮堤（端部）の各部位の仕様】

部位		仕様
端部コンクリート		無筋コンクリート, 設計基準強度: 40N/mm ²
止水ジョイント	鋼製プレート	SM400
	アンカーボルト	頭付きアンカーボルト(M13)
	ゴムジョイント	波状型止水ジョイント

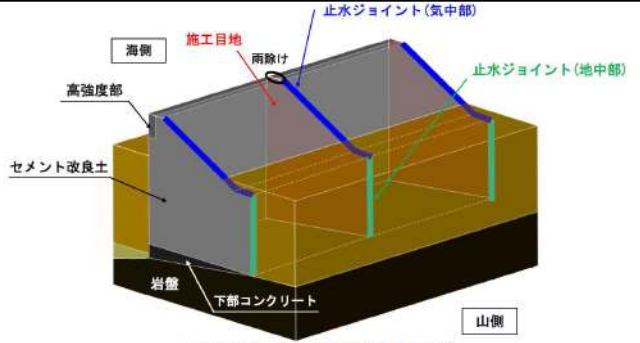
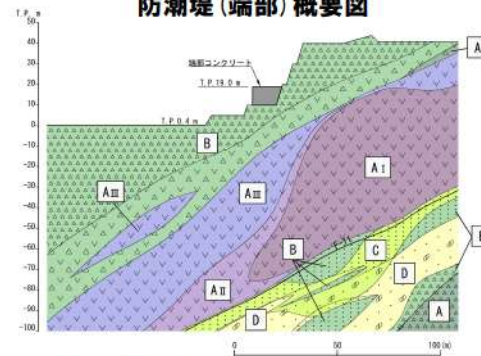
【高強度部の構造及びアンカー配置計画図】



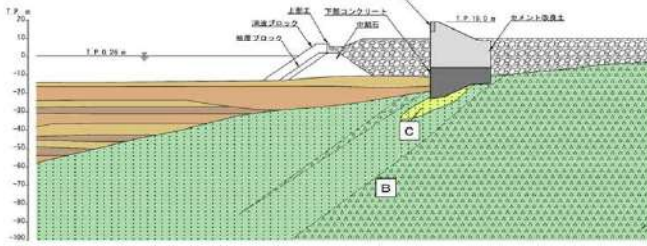
【止水ジョイントの構造（防潮堤（標準部））】



防潮堤（端部）概要図



防潮堤（標準部）概要図



1. 構造成立性評価結果

1.7 防潮堤解析条件(1/2)【二次元動的FEM解析の共通条件】

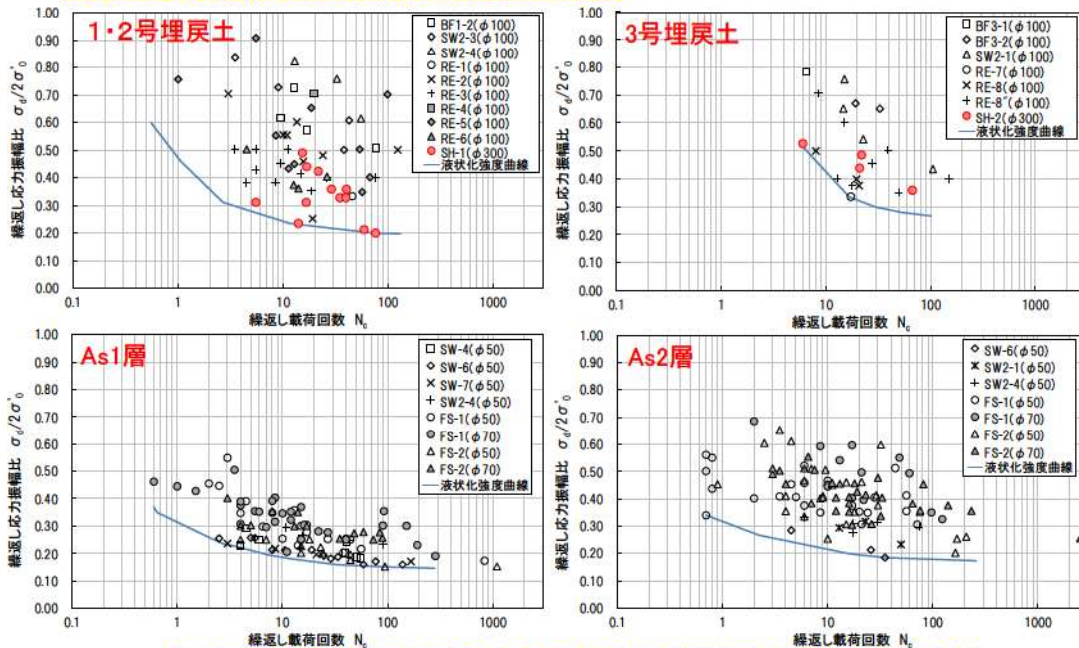
○ 防潮堤の解析条件を以下に示す。

【モデル化条件】

- セメント改良土、高強度部、下部コンクリート及び岩盤は線形平面ひずみ要素でモデル化する。
- 埋戻土、砂層、粘性土層はマルチスプリング要素でモデル化する。
- 評価に用いる液状化検討対象層である地下水位以深の埋戻土及び砂層は、液状化試験結果の下限値を網羅する液状化パラメータを暫定的に設定する※1。埋戻土の物性値は、液状化強度特性が3号埋戻土より小さい1・2号埋戻土の物性値を用いる※2。

※1: 液状化パラメータの詳細は、「第四条 地震による損傷の防止 別紙-9 施設の耐震評価に用いる地盤の液状化の評価方針」で説明する。また、液状化パラメータを含めた砂層の物性値を暫定的に設定するため、防潮堤の構造成立性に与える影響(防潮堤のすべり安全率への寄与)について確認した結果をp21に示す。

※2: 代表ケースで3号埋戻土の物性値を用いた構造成立性評価を実施し、1・2号埋戻土と3号埋戻土の物性値の違いによる影響について確認した結果をp21に示す。



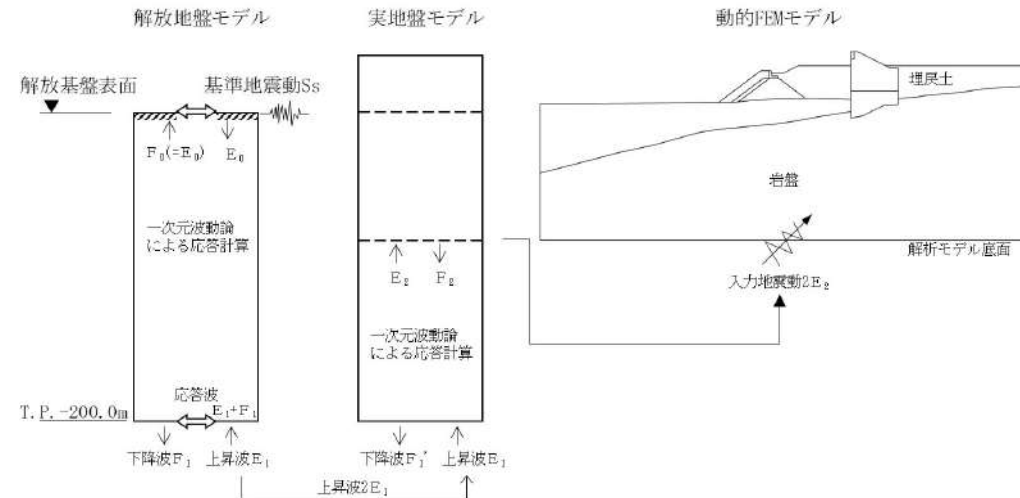
液状化強度試験結果に基づく埋戻土及び砂層の液状化強度曲線(下限値設定)

【モデル化領域】

- 鉛直方向は、下端から十分な距離を確保するため、T.P.-100mまでモデル化する。
- 水平方向は、十分な領域を確保するよう防潮堤前面位置から海側及び山側共に100m以上をモデル化する。

【入力地震動】

- 入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動を、1次元波動論により解析モデル下端で評価し、水平方向及び鉛直方向に同時に与える。



1. 構造成立性評価結果

1.7 防潮堤解析条件(2/2)【2次元動的FEM解析の共通条件】

【ジョイント要素】

- 防潮堤と周辺地盤などの滑り・剥離を考慮する箇所はジョイント要素を設定する。

【地盤要素の要素高さ】

- 地盤の要素高さは、最大周波数及び地盤のせん断波速度Vsより求まる最大要素高さを上回らないように設定する。

$$\text{最大要素高さ } h(\text{m}) = \frac{1}{5} \times \frac{\text{地盤のせん断波速度 } V_s(\text{m/s})}{\text{地盤毎の振動数 } f(\text{Hz})}$$

【セメント改良土の物性値】

- 第1111回審査会合において説明したセメント改良土の解析用物性値を用いた評価を行う。
- 解析用物性値は、文献等に基づき設定しており、室内配合試験によりセメント改良土の物性が解析用物性値を満足する見通しがあることを確認している。

【境界条件】

- 境界条件は、静的解析(常時解析)では、モデル側方を鉛直ローラー境界、モデル底面を固定境界とする。動的解析(地震時・重量時(津波時+余震時))では、半無限地盤へのエネルギー散逸を評価するため、モデル側方及び底面に粘性境界を設ける。静的解析(津波時)では、モデル側方及び底面に固定境界を設ける。

【減衰特性】

- 減衰特性は、「FLIP研究会14年間の検討成果資料、FLIP研究会、平成23年」に基づき、Rayleigh減衰による剛性比例型減衰とする。なお、地盤の非線形性を考慮するマルチスプリング要素(埋戻土、砂層、粘性土層)は履歴減衰も考慮する。

	物理特性			強度特性						変形特性				
	密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	一軸圧縮強度 q_u (N/mm ²)	引張強度 σ_t (N/mm ²)	健全		残留		静的特性		動的特性		
						せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	せん断強度 τ (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	静弾性係数 E_s (10 ³ N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_0 (10 ³ N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h (%)
物性値	2.10	1200	2400	6.50	0.65	1.30	26.0	0	37.0	8.0	0.33	3.0	0.33	3
試験値	2.10	1670	2740	16.2	1.48	2.93	47.4	0.468	49.9	13.6	0.22	5.9	-	-
試験方法	JGS 2132 岩石の密度 試験方法	JGS2110 パルス透過法による岩石の 超音波速度測定方法		JIS A 1216 土の一軸圧縮 試験方法	JGS 2551 圧裂による岩 石の引張り強 さ試験方法	JGS 2531 岩石の非圧密非排水(UU)三軸圧縮試験方法				JIS A 1216 土の一軸圧縮試験方法		$G_0 = \rho V_s^2$	静ポアソン比 と同値	岩盤相当

1. 構造成立性評価結果

1.8 防潮堤(標準部)解析モデル(1/4)【2次元動的FEM解析】

○ 防潮堤(標準部)の地震時, 津波時※1, 重畳時の解析モデル(2次元動的FEM解析)を以下に示す。

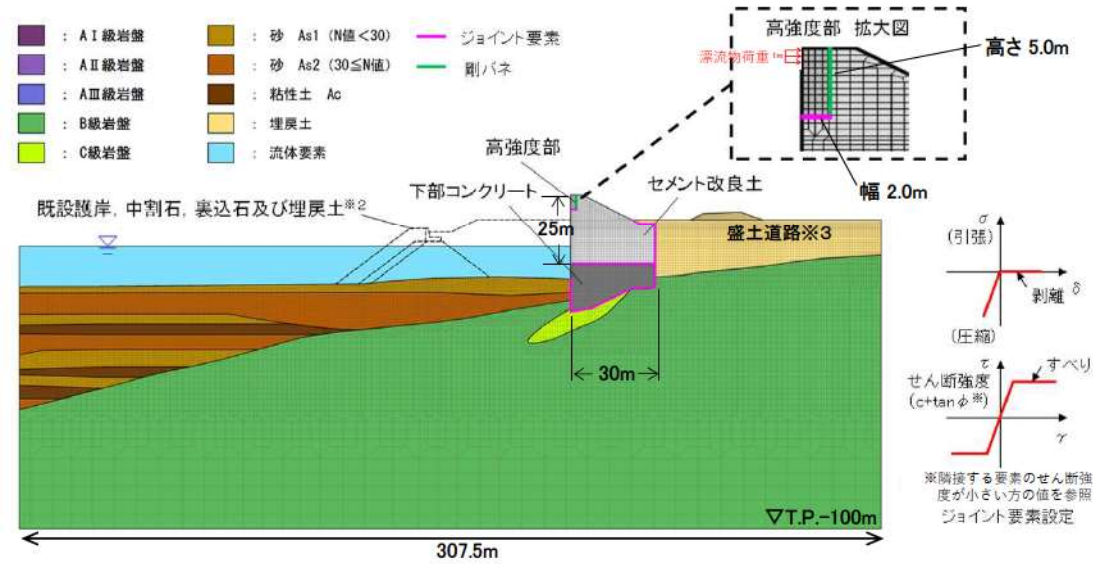
※1: セメント改良土及び高強度部は3次元静的FEM解析, 下部コンクリートは2次元静的FEM解析(2次元動的FEM解析モデルを用いて静的評価を行う)で評価する。

【セメント改良土と高強度部の境界条件】

- アンカーボルトに作用する反力を算出するために剛パネ(面直パネ及びせん断パネ)をセメント改良土と高強度部の鉛直境界面に設定する。アンカーボルトを設置しない高強度部の底面は、ジョイント要素を設定する。

【評価用地震動】

- 評価用地震動は、構造成立性評価地震波として選定されたSs3-5を用いる。なお、重畳時は弾性設計用地震動Sd1(=Ss1×0.6)を暫定的に用いる。

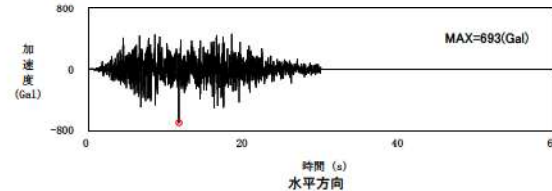


2次元動的FEM解析モデル

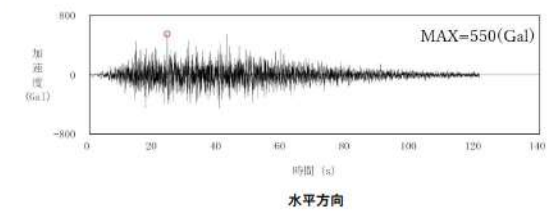
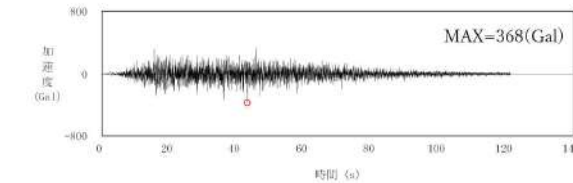
※2: 既設護岸, 中割石, 裏込石及び埋戻土は影響検討ケースにてモデル化する。
 ※3: 地震時には、保守的に「6-6'断面」の土圧を作用させる。



※隣接する要素のせん断強度が小さい方の値を参照
 ジョイント要素設定



Ss3-5



Ss1

1. 構造成立性評価結果

1.8 防潮堤(標準部)解析モデル(2/4)【2次元動的FEM解析】

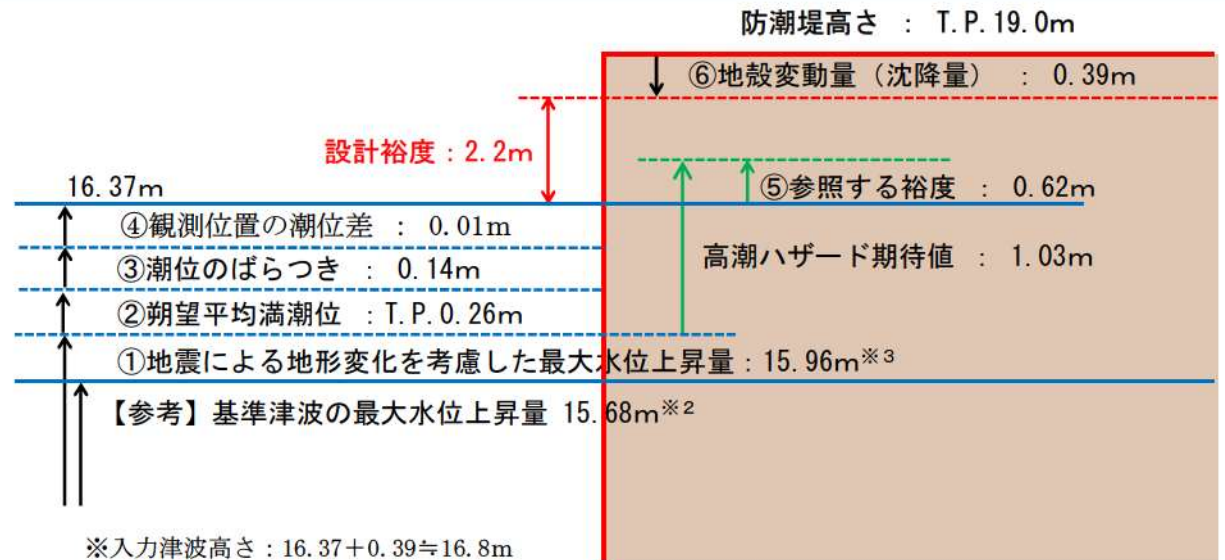
【津波荷重】

- 設置変更許可段階の構造成立性評価では、暫定的に設定した津波高さ(T.P.19.0m)とし、防潮堤前面の地盤高さとの差の1/2を津波浸水深として、朝倉式より算定した津波波力を津波荷重として、静的に200分割で漸増载荷する。
- 防潮堤の構造成立性評価において、暫定的に設定した津波高さ(T.P.19.0m)は、耐津波設計として考慮すべき潮位等も含めて評価した入力津波高さに対して、高潮による潮位変動を考慮して設定した入力津波高さ(T.P.16.8m)より保守的な設定である。

設計に用いる津波高さと防潮堤高さの関係

入力津波高さ	T.P.16.8m
防潮堤高さ※1	T.P.19.0m
設計裕度	2.2m

※1防潮堤高さは第1192回審査会合で説明したとおり



防潮堤設計裕度のイメージ

※2: 波源F 北防波堤損傷

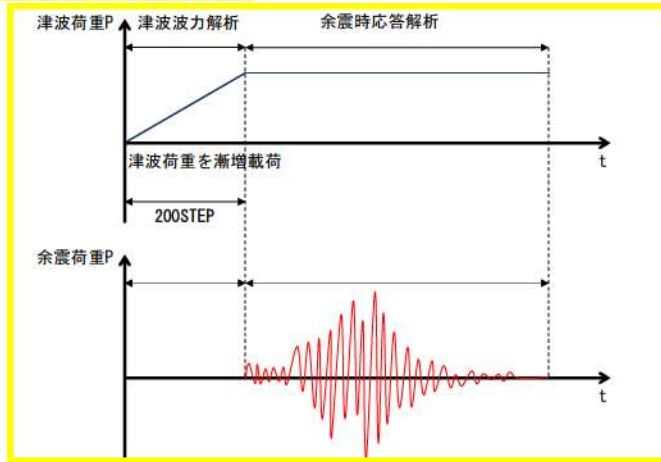
※3: 波源E 南防波堤損傷 敷地地盤(陸域)5.0m沈下

1. 構造成立性評価結果

1.8 防潮堤(標準部)解析モデル(3/4)【2次元動的FEM解析】

【余震荷重】

- 余震荷重は、弾性設計用地震動Sd1を用いることとし、津波荷重載荷用STEPを200STEP先行入力し、その後に余震荷重を載荷する。



【漂流物荷重】

- 漂流物荷重は第1111回に示したとおり、暫定的に2,000kNを設定し、載荷面積は1m²とする。

【荷重の組合せ】

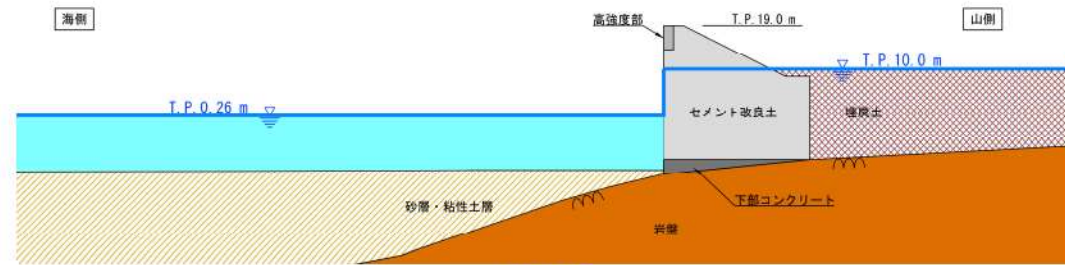
検討ケース	常時荷重			短期荷重				
	自重	上載荷重	風荷重	地震荷重	余震荷重	津波荷重	漂流物荷重	動水圧
地震時	○	○	○※1	○	—	—	—	○
津波時	○	○	—※2	—	—	○	○	—
重畳時	○	○	—※2	—	○	○	—	○

※1: 風荷重は、山側→海側に作用する。

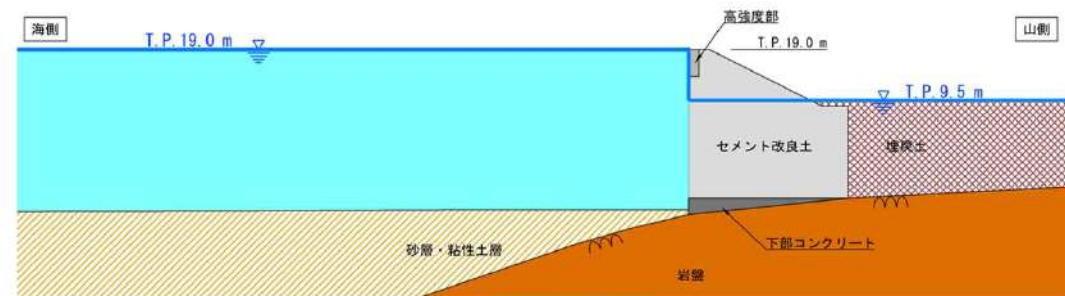
※2: 防潮堤の変形に寄与する方向(山側→海側)は津波波力を打ち消す方向であるため保守的に作用させない。

【地下水位及び地盤の条件】

- 地震時では、防潮堤から山側の水位は地表面(T.P.10.0m)を設定する。なお、防潮堤から海側の水位は、防潮堤より海側の埋戻土及び既設護岸をモデル化しないことから、朔望平均満潮位(T.P.0.26m)を設定する。
- 津波時及び重畳時では、防潮堤背面の埋戻土の敷地高さに基準地震動による地盤沈下量(0.5m)を暫定的に設定し、防潮堤から山側の水位は地表面(T.P.9.5m)を設定する。また、防潮堤から海側の水位は、防潮堤天端高さ(T.P.19.0m)を設定する。



地震時

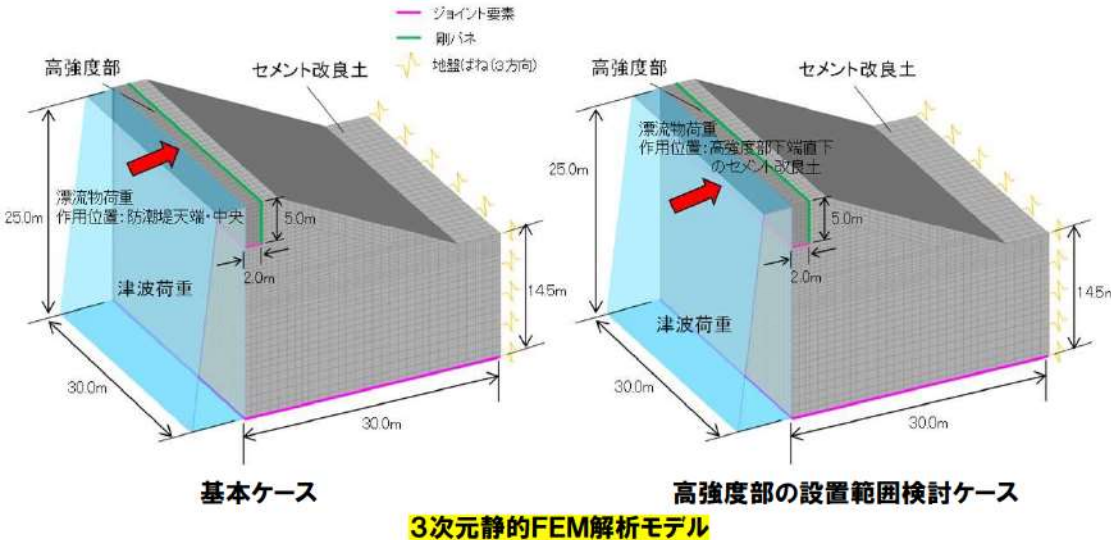


津波時・重畳時

1. 構造成立性評価結果

1.8 防潮堤(標準部)解析モデル(4/4)【3次元静的FEM解析】

○ 防潮堤(標準部)の津波時のセメント改良土及び高強度部の解析モデル(3次元静的FEM解析)を以下に示す。



3次元静的FEM解析モデル

【モデル化条件】

- 3次元静的FEM解析ではセメント改良土及び高強度部を線形ソリッド要素でモデル化し、周囲の埋戻土は地盤ばねでモデル化する。

【境界条件】

- 境界条件は、3次元静的FEM解析では、モデル側方は目地境界をモデル化するためにフリー、モデル底面はジョイント要素を設け、ジョイント要素の外側を固定境界、モデル背面は地盤ばねとする。

【セメント改良土と高強度部の境界条件】

- 3次元静的FEM解析のセメント改良土と高強度部の境界条件は地震時と同様である。

【地下水位及び地盤の条件】

- 津波時及び重畳時では、防潮堤背面の埋戻土の敷地高さに基づき準地震動による地盤沈下量(0.5m)を暫定的に設定し、防潮堤から山側の水位は地表面(T.P.9.5m)を設定する。また、防潮堤から海側の水位は、防潮堤より海側の埋戻土及び既設護岸をモデル化しないことから、防潮堤天端高さ(T.P.19.0m)を設定する。

【荷重の組合せ】

検討ケース	常時荷重			短期荷重				
	自重	上載荷重	風荷重	地震荷重	余震荷重	津波荷重	漂流物荷重	動水圧
津波時	○	○	-*	-	-	○	○	-

※: 防潮堤の変形に寄与する方向(山→海側)は津波波力を打ち消す方向であるため保守的に作用させない。

【津波荷重】

- 津波荷重について、設置変更許可段階の構造成立性評価では、暫定的に設定した津波高さ(T.P.19.0m)とし、防潮堤前面の地盤高さとの差の1/2を津波浸水深として、朝倉式より算定した津波波力を載荷する。

【漂流物荷重】

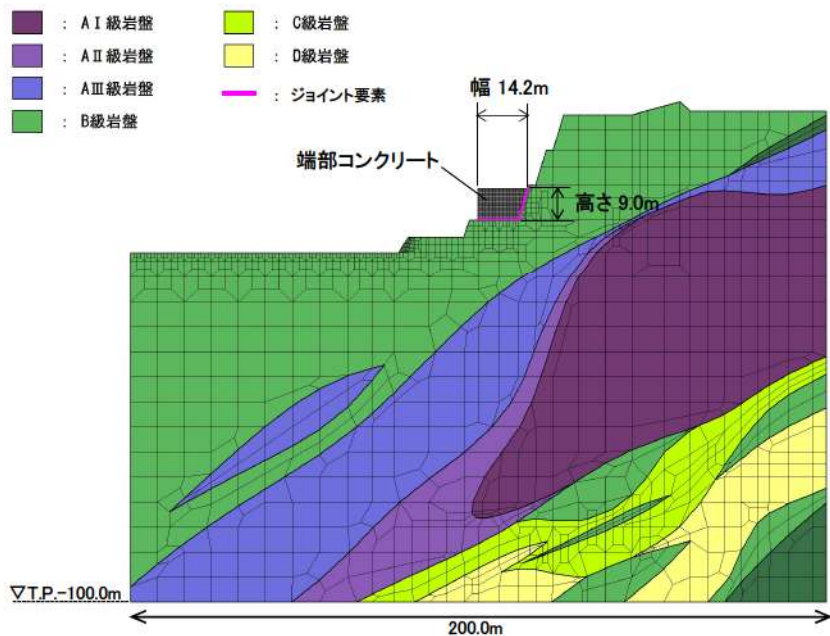
- 漂流物荷重は第1111回に示したとおり、暫定的に2,000kNを設定し、載荷面積は1m²とする。
- 漂流物荷重の作用位置は、設置変更許可段階において以下の2点とする。
 - ✓ 基本ケース: 高強度部の天端・中央に作用させたケース。この結果の裕度から、高強度部の端部に作用した場合においても成立する見通しがあることを確認する。
 - ✓ 設置範囲検討ケース: 高強度部下端直下のセメント改良土に漂流物荷重を作用させ、設定した高強度部の高さ、幅によって防潮堤が健全性、止水性を有していることを確認する。

1. 構造成立性評価結果

1.9 防潮堤(端部)解析モデル【2次元動的FEM解析】

- 防潮堤(端部)の地震時, 津波時※1, 重畳時※1の解析モデル(2次元動的FEM解析)を以下に示す。
- モデル化条件, モデル化領域, ジョイント要素, 地盤要素の高さ, 境界条件, 減衰特性については, 防潮堤(標準部)と同じである。

※1: 防潮堤(端部)の津波時, 重畳時(津波+余震時)の構造成立性評価結果については, p4に記載したとおり, 設計及び工事計画認可段階において示す。



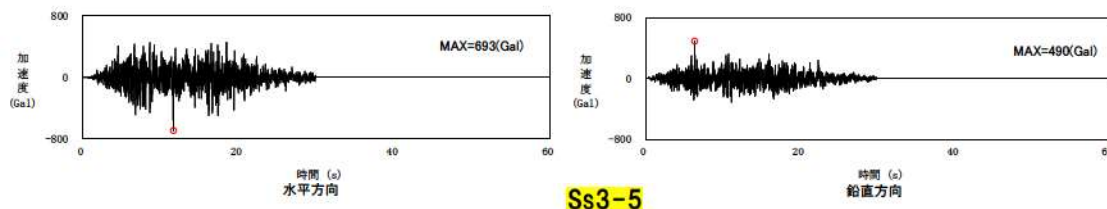
2次元動的FEM解析モデル



※隣接する要素のせん断強度が小さい方の値を参照
ジョイント要素設定

【評価用地震動】

- 評価用地震動は, 防潮堤(端部)周辺に液状化検討対象層がないため, 防潮堤に作用する慣性力の観点から, 基準地震動19波のうち加速度が最も大きいSs3-5を用いる。



【地下水位及び地盤の条件】

- 設置変更許可段階における構造成立性評価では, 防潮堤から海側, 陸側どちらも地下水位設定を地表面とする。



【荷重の組合せ】

検討 ケース	常時荷重			短期荷重				
	自重	上載荷重	風荷重	地震荷重	余震荷重	津波荷重	漂流物荷重	動水圧
地震時	○	○	-※1	○	-	-	-	-

※1: 防潮堤の変形に寄与する方向(山→海側)は防潮堤背後が岩盤と接地しているため, 作用させない。

1. 構造成立性評価結果

1.10 防潮堤(標準部)の評価(1/5)【照査項目, 許容限界】

○ 防潮堤(標準部)の照査項目, 許容限界は下表の通りである。

防潮堤(標準部)の照査項目, 許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準	
セメント改良土	地震時	2次元動的FEM解析※1	すべり安全率	すべり安全率1.2以上	耐津波設計に係る工認審査ガイド	
	津波時	3次元静的FEM解析				
	重畳時	2次元動的FEM解析※1				
高強度部	コンクリート	地震時				2次元動的FEM解析※1
		津波時				3次元静的FEM解析
		重畳時				2次元動的FEM解析※1
高強度部	アンカーボルト	地震時	2次元動的FEM解析※1	引張力 せん断力	各種合成構造設計指針・同解説, 日本建築学会, 2010年※3	
		重畳時	2次元動的FEM解析※1			
下部コンクリート	地震時	2次元動的FEM解析※1	接地圧 すべり安全率	短期許容支圧応力度 すべり安全率1.2以上	コンクリート標準示方書, 構造性能照査編, 土木学会, 2002年 耐津波設計に係る工認審査ガイド	
	津波時	2次元静的FEM解析※2				
	重畳時	2次元動的FEM解析※1				

- ※1: 液状化の影響を評価するために有効応力解析を実施する。
- ※2: 2次元動的FEM解析を使用して静的に津波荷重と漂流物荷重を作用させる。
- ※3: アンカーボルトの性能試験で確認する破壊形式及び耐力を踏まえて各種合成構造設計指針の適用性の確認並びにアンカーボルトの仕様及び許容限界を設定する。

防潮堤(標準部)のうち止水ジョイントの照査項目, 許容限界

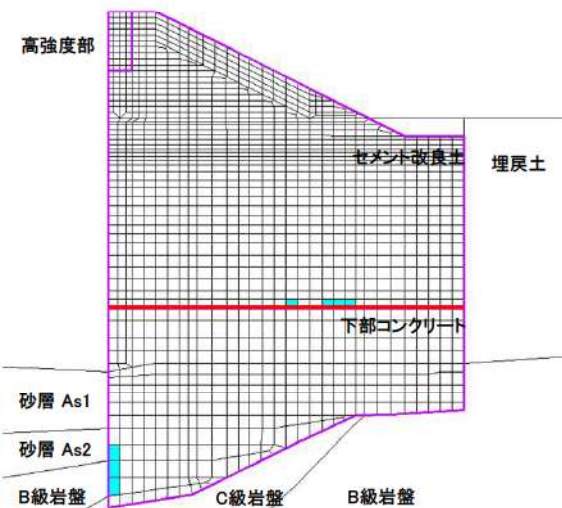
評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
定着部材	地震時※4	防潮堤の解析から得られる断面力と、ゴムジョイントの張力により生じる断面力を足し合わせた定着部材の断面力(曲げ, せん断)が、許容応力度以下であることを確認する。評価は、定着部材の長手方向と短手方向で実施する。	曲げ せん断	短期許容応力度	道路橋示方書・同解説 [I 共通編・II 鋼橋編], 日本道路協会, 平成24年
	津波時※5				
	重畳時				
アンカーボルト	地震時	防潮堤の解析から得られる荷重とゴムジョイントの張力により作用する荷重を足し合わせたアンカーボルトの発生力(引張力及びせん断力)が、許容限界以下であることを確認する。	引張力 せん断力	許容引張力 許容せん断力	※6
	津波時				
	重畳時				

- ※4: 地震時の定着部材の短手方向の照査は、地震時はゴムジョイントに作用する水圧が作用しないため、照査は不要である。
- ※5: 津波時の定着部材の短手方向の照査は、津波高さが津波時と重畳時で同じであること及び重畳時には動水圧が加わることを考慮すると、重畳時の方がゴムジョイントに作用する水圧が大きいため、重畳時に包絡される。
- ※6: アンカーボルトの設計において「各種合成構造設計指針」の耐力算定式を参考にすることの妥当性は、アンカーボルトの性能試験で確認する。

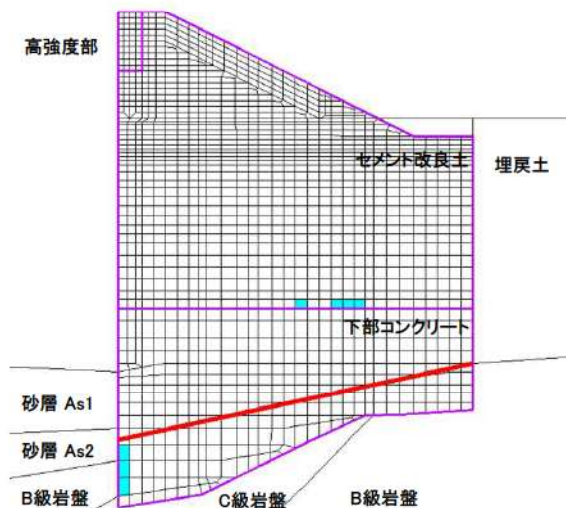
1. 構造成立性評価結果

1.10 防潮堤(標準部)の評価(2/5)【耐震評価(地震時)】

- 防潮堤(標準部)の地震時(Ss3-5)における照査結果を以下に示す。
- 各部位の照査値は、許容値を満足しており、構造成立性があることを確認した。
- なお、1次元波動論の地震応答解析における下部コンクリートの応答はSs3-4の方が大きいですが、下部コンクリートの照査値には裕度があり、Ss3-4でも構造成立性が見通しがあることを確認した。



セメント改良土及び高強度部におけるすべり安全率最小時刻時の局所安全係数分布



下部コンクリートにおけるすべり安全率最小時刻時の局所安全係数分布

防潮堤(標準部)の地震時の構造成立性評価結果

評価部位	照査項目	時刻 (s)	照査値	許容値	判定	
セメント改良土及び高強度部	すべり安全率	16.77	3.85	1.2以上	OK	
下部コンクリート	すべり安全率	16.77	7.44	1.2以上	OK	
	接地圧	16.75	0.19	1.0以下	OK	
高強度部(アンカーボルト)	引張力	—	0.35	1.0以下	OK	
	せん断力	—	0.40		OK	
止水ジョイント	定着部材(長手)	曲げ	—	1.0以下	OK	
		せん断	—		0.01	OK
	アンカーボルト	引張方向	—	0.03※1	1.0以下	OK
		せん断方向	—	0.16※2		OK

※1: 引張方向とせん断方向の組合せの照査値を考慮した上で、最厳値を示す。

※2: 縦方向と横方向のアンカーボルトのうち、最厳値を示す。

1. 構造成立性評価結果

1.10 防潮堤(標準部)の評価(3/5)【耐震評価(地震時)】

【地盤物性のばらつき及び埋戻土の物性値の違いの影響検討】

- 防潮堤(標準部)の地震時において、地盤物性のばらつき及び埋戻土の物性値の違いによる影響を評価した。
- 地盤物性のばらつきの影響について、地盤物性の剛性を -1σ 低減した場合の結果は右表に示すとおり、構造成立性への影響が小さいことを確認した。
- 埋戻土の物性値の違いの影響について、埋戻土の物性値を1・2号埋戻土の物性値を3号埋戻土の物性値に変更した場合の結果は右表に示すとおり、構造成立性への影響が小さいことを確認した。
- 埋戻土の物性値は、「添付25 防潮堤の設計方針及び構造成立性評価結果について」に記載した物性値を暫定的に設定しているものである。

地盤物性のばらつき及び埋戻土の物性値の違いの影響検討結果

検討ケース	評価部位	照査項目	時刻(s)	照査値	許容値	判定
基本ケース (地盤物性のばらつき無、 1・2号埋戻土物性)	セメント改良土 及び高強度部	すべり 安全率	16.77	3.85	1.2 以上	OK
地盤物性のばらつき (剛性 -1σ)			16.77	3.83		OK
物性値の違いによる影響 (3号埋戻土物性)			16.77	3.90		OK

【砂層の影響検討】

- 構造成立性評価に用いる砂層(As1,As2)の物性値については暫定的に設定しているものであることから、防潮堤の前面にある砂層が防潮堤の挙動(山側から海側への挙動)を抑制する影響について検討した。
- 影響検討については、砂層を考慮しない模擬評価として、防潮堤(標準部)の前面が砂層と接している箇所(山側)の面直応力を算出し、面直応力を引いた防潮堤内の抵抗力を用いてすべり安全率の評価を行った。
- 評価の結果、すべり安全率は基本ケースと概ね同じであり、防潮堤の前面にある砂層が、防潮堤の構造成立性に与える影響は小さいことを確認した。

砂層の影響検討結果

検討ケース	評価部位	照査項目	時刻(s)	滑動力(kN)	砂層面直応力(kN)	抵抗力(kN)	照査値	許容値	判定
基本ケース			16.77	19,788.7	—	147,331.2	7.44		OK
砂層非考慮 模擬	下部 コンクリート	すべり 安全率	16.77				7.25	1.2 以上	OK

【すべり安全率最小時刻時の局所安全係数分布】

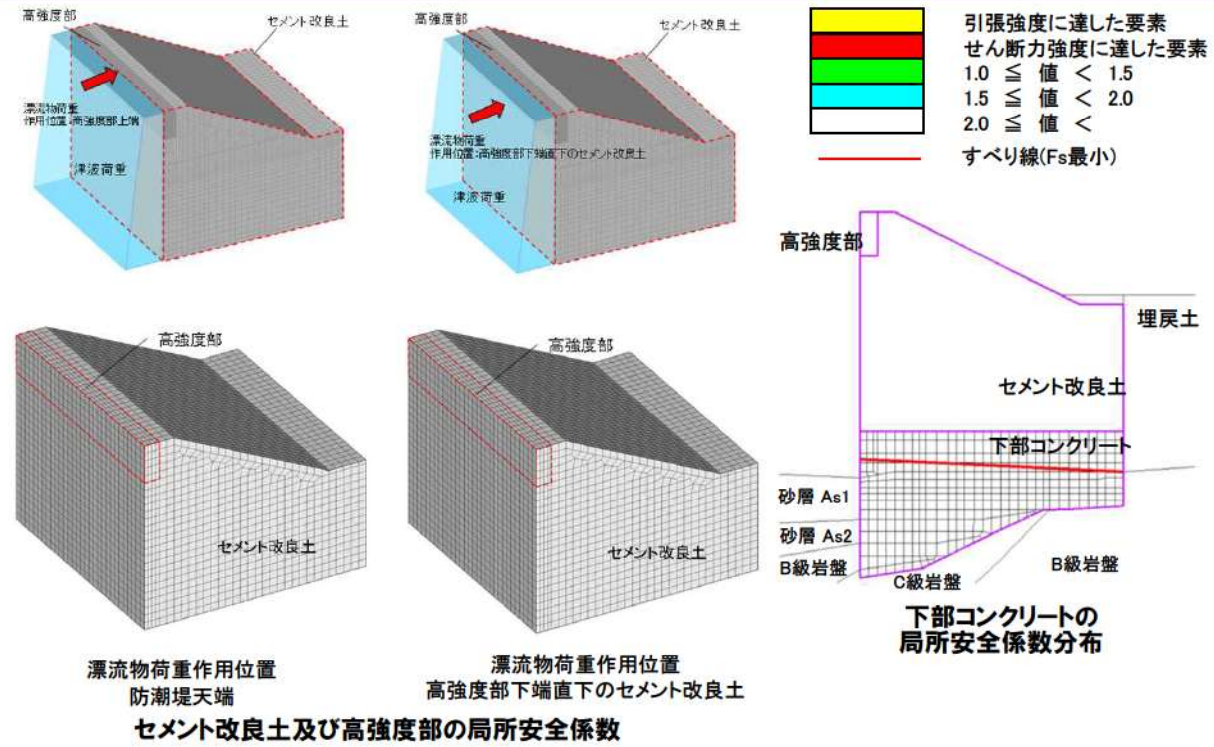
砂層面直応力: 約3,800kN
滑動力: 19,788.7kN
抵抗力: 147,331.2kN

砂層 As1, 砂層 As2, B級岩盤, C級岩盤, B級岩盤

1. 構造成立性評価結果

1.10 防潮堤(標準部)の評価(4/5)【耐津波評価(津波時)】

- 防潮堤(標準部)の津波時における照査結果は以下に示すとおりであり、各部位の照査値は許容値を満足しており、構造成立性があることを確認した。
- 高強度部の範囲については、3次元静的 F E M解析において、防潮堤天端(T.P.19.0m)又は高強度部下端(T.P.14.0m)直下のセメント改良土に漂流物荷重を作用しても、セメント改良土及び高強度部の局所安全係数 f_s がすべての要素で1.5以上かつ破壊領域が存在せず、すべり安全率1.2以上を確保しており、暫定的に設定した漂流物荷重に対して問題ないことを確認した。
- なお、基準津波確定後、設計及び工事計画認可段階では基準津波の結果を踏まえた漂流物荷重を適切な位置に作用させた評価を行う。
- 現在の津波荷重に対する裕度は、照査値が最も厳しい止水ジョイントのアンカーボルトにおいて2倍程度あるが、補足説明資料「防潮堤の構造成立性評価に用いる津波荷重の保守性について」において、構造成立性に用いる津波荷重の保守性を説明する。(追而)



防潮堤(標準部)の津波時の構造成立性評価結果

評価部位	照査項目	照査値	許容値	判定	
セメント改良土及び高強度部	すべり安全率	3.10※1	1.2以上	OK	
下部コンクリート	すべり安全率	21.40	1.2以上	OK	
	接地圧	0.12	1.0以下	OK	
止水ジョイント	定着部材(長手)	曲げ	0.13	1.0以下	OK
		せん断	0.05		OK
	アンカーボルト	引張方向	0.36※2	1.0以下	OK
		せん断方向	0.55※3		OK

※1: セメント改良土及び高強度部の局所安全係数の最小値であり、すべての要素で f_s が2.0以上かつ破壊領域が存在しないので、すべり安全率1.2以上を確保できることを確認した。
 ※2: 引張方向とせん断方向の組合せの照査値を考慮した上で、最厳値を示す。
 ※3: 縦方向と横方向のアンカーボルトのうち、最厳値を示す。

1. 構造成立性評価結果

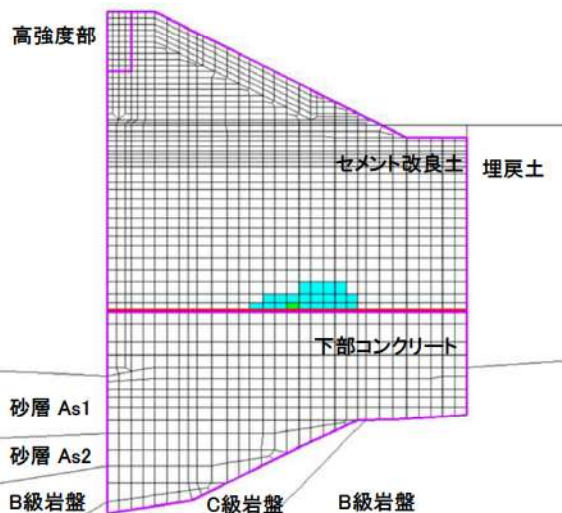
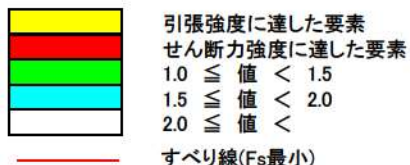
1.10 防潮堤(標準部)の評価(5/5)【耐津波評価(重畳時(津波時+余震時))】

- 防潮堤(標準部)の重畳時における照査結果を以下に示す。
- 各部位の照査値は、許容値を満足しており、構造成立性があることを確認した。

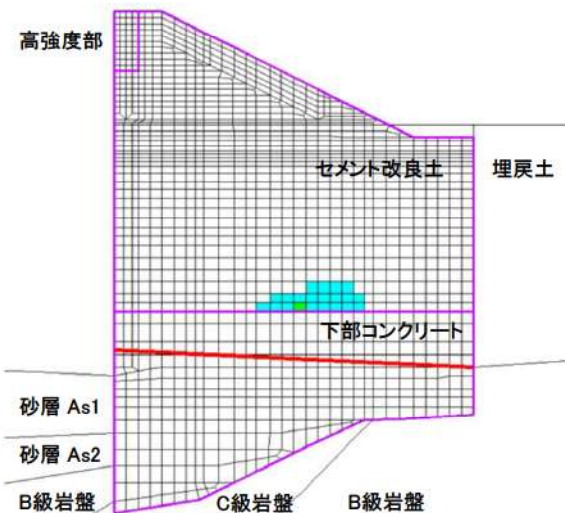
防潮堤(標準部)の重畳時の構造成立性評価結果

評価部位	照査項目	時刻 (s)	照査値	許容値	判定	
セメント改良土及び高強度部	すべり安全率	33.46	3.64	1.2以上	OK	
下部コンクリート	すべり安全率	33.46	11.14	1.2以上	OK	
	接地圧	33.47	0.19	1.0以下	OK	
高強度部 (アンカーボルト)	引張力	—	全圧縮	1.0以下	OK	
	せん断力	—	0.34		OK	
止水 ジョイント	定着部材 (長手)	曲げ	—	1.0以下	OK	
		せん断	—		0.05	OK
	定着部材 (短手)	曲げ	—	1.0以下	OK	
		せん断	—		0.13	OK
	アンカー ボルト	引張方向	—	0.37※1	1.0以下	OK
		せん断方向	—	0.54※2		OK

※1: 引張方向とせん断方向の組合せの照査値を考慮した上で、最厳値を示す。
 ※2: 縦方向と横方向のアンカーボルトのうち、最厳値を示す。



セメント改良土及び高強度部における
すべり安全率最小時刻時の局所安全係数分布



下部コンクリートにおける
すべり安全率最小時刻時の局所安全係数分布

1. 構造成立性評価結果

1.11 防潮堤(端部)の評価【照査項目, 許容限界及び耐震評価(地震時)】

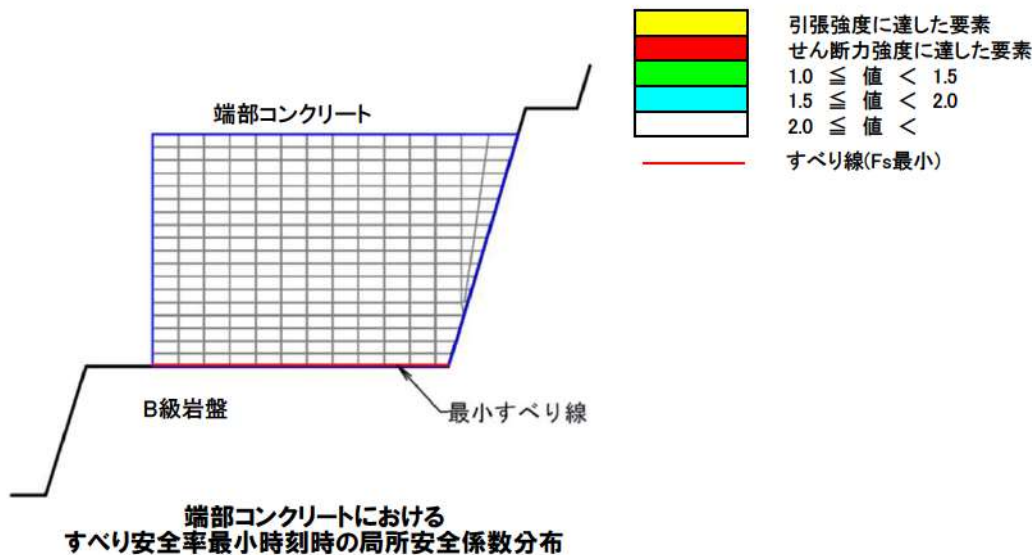
- 防潮堤(端部)の照査項目, 許容限界及び地震時における照査結果を以下に示す。
- 照査値は, 許容値を満足しており, 構造成立性があることを確認した。

防潮堤(端部)の照査項目, 許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
端部コンクリート	地震時	2次元動的FEM解析※1	すべり安全率	すべり安全率1.2以上	耐津波設計に係る工認審査ガイド
	津波時	2次元静的FEM解析※2			
	重畳時	2次元動的FEM解析※2			

※1: 防潮堤(標準部)と同様に有効応力解析を実施する。

※2: 防潮堤(標準部)の構造成立性評価結果から防潮堤(端部)の構造成立性を示し, 詳細は設計及び工事計画認可段階にて示す。



防潮堤(端部)の地震時の構造成立性評価結果

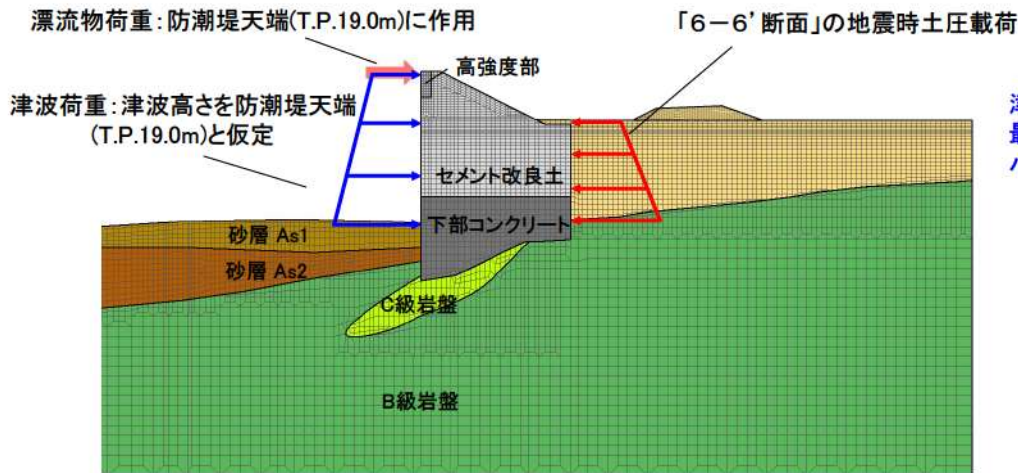
評価部位※3	照査項目	時刻(s)	照査値	許容値	判定
端部コンクリート	すべり安全率	16.10	18.26	1.2以上	OK

※3: 防潮堤(端部)は, 防潮堤(標準部)のセメント改良土($f'_{ck}=6.5 \text{ N/mm}^2$)に比べて強度の大きいコンクリート($f'_{ck}=40 \text{ N/mm}^2$)を用いることや津波荷重が防潮堤(標準部)と比較して小さいことから, 端部コンクリートの変位や端部コンクリートに作用する外力は小さい。そのため, 防潮堤(端部)に設置する止水ジョイントの評価は, 防潮堤(標準部)の評価に代表されることを踏まえて, 詳細は設計及び工事計画認可段階にて説明する。

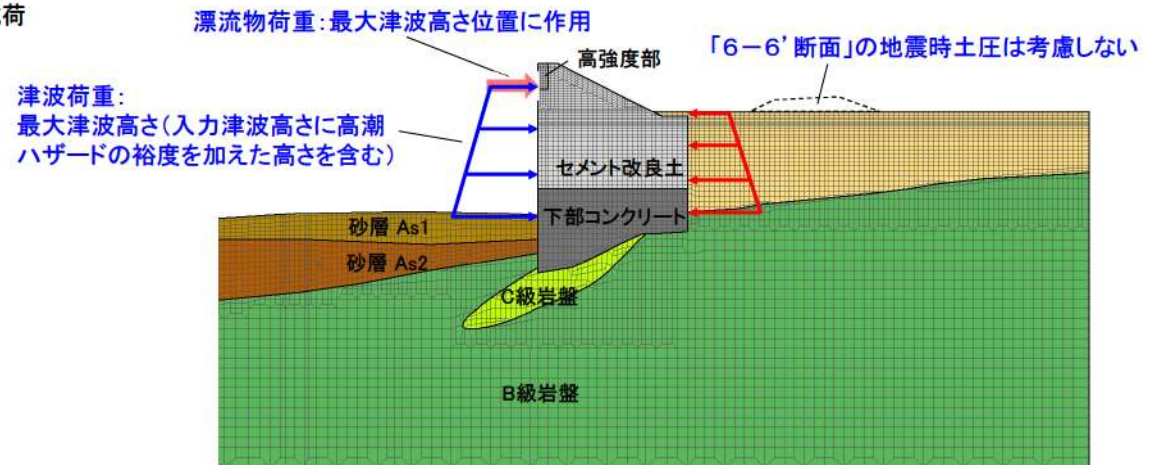
1. 構造成立性評価結果

1.12 防潮堤の構造成立性評価における裕度について

- 防潮堤の構造成立性評価について、以下に示す保守的に設定した条件において、構造成立性があることを確認した。
 - 津波荷重について、設置変更許可段階の構造成立性評価では、暫定的に設定した津波高さ (T.P.19.0m) としたこと
 - 漂流物荷重の作用位置について、防潮堤天端に作用させたこと
 - 防潮堤背面に作用する土圧について、「6-6'断面」の方が「2-2'断面」より大きいことを考慮して、断面を集約するために地震時に「6-6'断面」の土圧を「2-2'断面」に保守的に作用させたこと
- 設計及び工事計画認可段階において作用荷重が上振れした場合には、「添付資料25 防潮堤の設計方針及び構造成立性結果について」に示す安全裕度の向上対策により、基本構造を変更することなく対応が可能である。



設置変更許可段階の解析モデル



設計及び工事計画認可段階の解析モデル(「2-2'断面」)

2. 審査会合における指摘事項に対する回答

2.1 【指摘事項 210930-06】(1/4)

【指摘事項 210930-06】

防潮堤の前面にある護岸等の構築物について、防潮堤に近接している場合には、地盤の液状化による変状を考慮して波及的影響を検討し説明すること。また、地盤の液状化による変状が防潮堤に及ぼす影響について、護岸が緩和している場合は、防潮堤の耐震評価上の護岸の位置付けを検討し説明すること。

【回答】

○ 指摘事項に対する回答内容概要は以下の3点であり、本日①及び②について回答する。③については別途「第5条 耐津波設計方針」において回答する。

- ① 防潮堤に近接する構築物等の抽出結果
- ② 既設護岸の地震時の波及的影響評価結果
- ③ 既設護岸が漂流物となる可能性

① 今回、第1111回審査会合 資料3-1-2「泊発電所3号炉 設置許可基準規則等への適合状況について（設計基準対象施設等）第4条 地震による損傷の防止」において防潮堤に近接する構築物等を抽出した結果、構築物以外の周辺斜面については、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価」において評価するため、設置変更許可段階において説明することを次頁で説明する。

② 第1032回審査会合において、防潮堤前面の既設護岸(上部工, ケーソン), 消波ブロック, 被覆ブロック, 中割石, 裏込石及び埋戻土については、耐震評価上の役割を期待していないため、設置変更許可段階における防潮堤の構造成立性において基本ケースではモデル化しないこと、地震時の波及的影響については、既設護岸の形状を適切にモデル化し、有効応力解析により防潮堤の耐震性を評価することを回答し、既設護岸以外の構築物の波及的影響評価については設計及び工事計画認可段階で説明するとしていた。

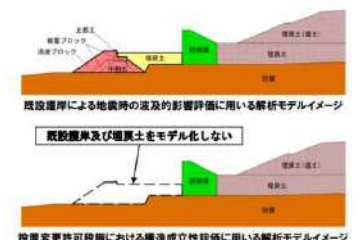
今回、構造成立性評価断面に存在する既設護岸(上部工), 中割石, 消波ブロック, 被覆ブロック及び埋戻土(以降、「既設護岸等」という。)をモデル化した際の波及的影響評価結果をp29で示す。

検討状況(通し番号 ⑤) 審査会合における指摘事項に対する回答(指摘事項No. 7)

【指摘事項No.7】
防潮堤の前面にある護岸等の構築物について、防潮堤に近接している場合には、地盤の液状化による変状を考慮して波及的影響を検討し説明すること。また、地盤の液状化による変状が防潮堤に及ぼす影響について、護岸が緩和している場合は、防潮堤の耐震評価上の護岸の位置付けを検討し説明すること。

- 【回答】
- 防潮堤の構造成立性(すべり安定性)は、防潮堤に作用する慣性力に対して必要な防潮堤幅を確保することで、成立させる方針である。
 - 防潮堤前面の既設護岸及び埋戻土は、役割を期待していないため、設置変更許可段階における防潮堤の構造成立性評価においてモデル化しない。
 - 既設護岸による防潮堤への地震時の波及的影響は、既設護岸の形状を適切にモデル化し、有効応力解析により耐震性を評価することで考慮する。
 - 防潮堤に近接する構築物のうち既設護岸以外の構築物は、「第4条 耐震設計方針」において網羅的に抽出し、抽出された構築物による防潮堤への波及的影響評価結果については、設計及び工事計画認可段階で説明する。
 - 既設護岸が地震により傾斜した場合に、漂流物となる可能性については、「第5条 耐津波設計方針」において説明する。

次頁にて回答



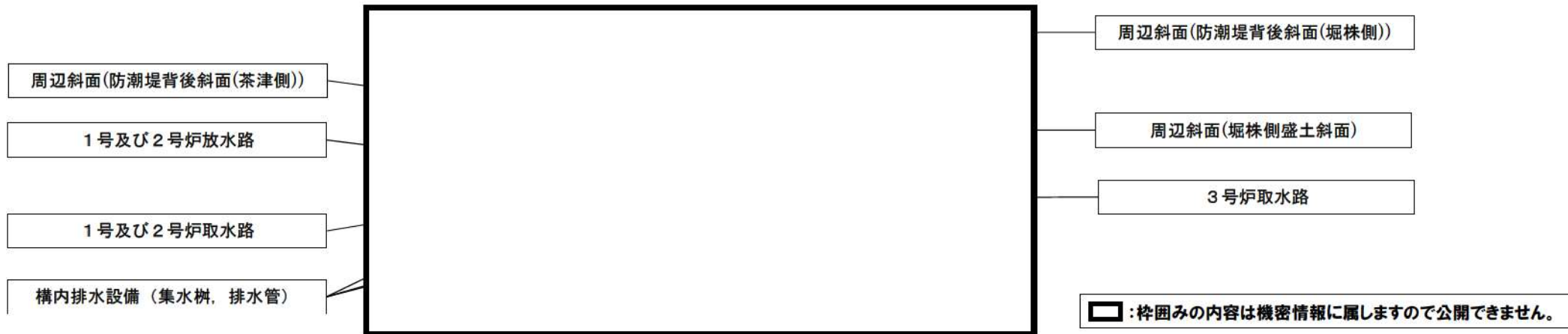
□ 枠囲みの内容は補遺情報に属しますので公開できません。

第1032回審査会合_資料2_p30 (一部加筆)

2. 審査会合における指摘事項に対する回答

2.1 【指摘事項 210930-06】(2/4) ①防潮堤に近接する構築物等の抽出結果

- 防潮堤に近接する既設護岸以外の構築物等は、周辺斜面(防潮堤背後斜面(堀株側)、堀株側盛土斜面、防潮堤背後斜面(茶津側))及び構内排水設備(集水桝、排水管)である。
 - 周辺斜面については、設置変更許可段階における「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価」において、基準地震動に対する安定解析を実施し、周辺斜面が崩壊せず防潮堤への影響がないことを確認する。
 - 構内排水設備については、構内排水設備を構成する各部位の役割を整理したうえで、設計及び工事計画認可段階において、基準地震動に対する構造健全性評価により、構内排水設備(集水桝、排水管)が損傷せず防潮堤への影響がないことを確認する。
- 上記以外の構築物等として、1号及び2号炉取水路、1号及び2号炉放水路及び3号炉取水路が防潮堤を横断するが、これらの構築物については、設計及び工事計画認可段階において、防潮堤の機能を確保するために基準地震動に対して防潮堤の間接支持機能を維持することを確認する。



2. 審査会合における指摘事項に対する回答

2.1 【指摘事項 210930-06】(3/4) ②既設護岸の地震時の波及的影響評価結果

○ 既設護岸等の波及的影響を評価する際の既設護岸等のモデル化においては、上部工は線形平面ひずみ要素、中割石をマルチスプリング要素、消波ブロック及び被覆ブロックは等分布荷重でモデル化した(中割石及び裏込石の解析用物性値は暫定的に設定しており、詳細は「添付資料3 基準津波による敷地周辺の遡上・浸水域について」に示す)。

既設護岸の影響評価ケース

	解析モデルイメージ	防潮堤前面の条件
基本ケース		既設護岸等は役割を期待しないことから、モデル化しない。
影響評価ケース		既設護岸等をモデル化する。

影響評価に用いる中割石及び裏込石の解析用物性値※1

項目	物性値	捨石のモデル化における推奨方法 (FLIP研究会検討結果(事例編))	出典
せん断強度定数	$c=20$ (kN/m ²), $\phi=35$ (°)	$c=20$ (kN/m ²), $\phi=35$ (°)	「港湾の施設の技術上の基準(公益社団法人日本港湾協会, 平成19年)」
最大減衰定数	$h_{max}=0.24$	$h_{max}=0.2\sim 0.3$	「FLIP研究会検討結果(事例編)」
初期せん断剛性	$G_0=0.18 \times 10^3$ (N/mm ²)	マウンド $V_s=300$ (m/s) 裏込石 $V_s=225$ (m/s)	「埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版)(沿岸開発技術研究センター, 平成9年)」
間隙水の体積弾性係数	$K_f=2.22 \times 10^4$ (kPa) ($=22.20 \times 10^3$ (kN/m ²))	$K_f=2.22 \times 10^4$ (kPa) 以下の小さな値	「FLIP研究会検討結果(事例編)」

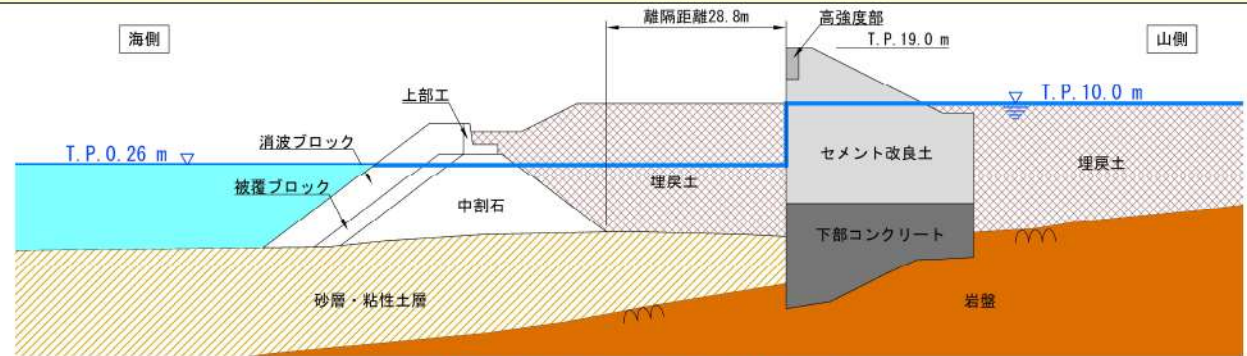
※1: 中割石及び裏込め石の解析用物性値は「添付資料3 基準津波による敷地周辺の遡上・浸水域について」に示す。

2. 審査会合における指摘事項に対する回答

2.1 【指摘事項 210930-06】(4/4) ②既設護岸の地震時の波及的影響評価結果

○ 構造成立性評価断面において、既設護岸等をモデル化した波及的影響評価を行った結果、以下について確認した。

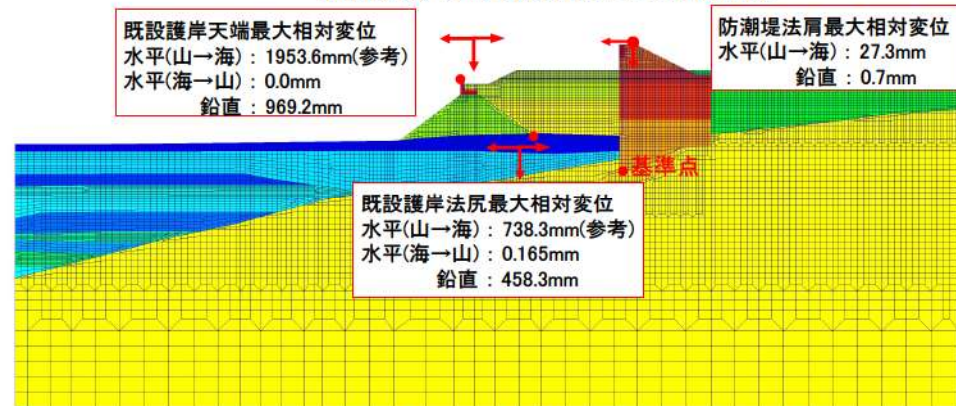
- 基本ケース及び影響評価ケースにおいて、セメント改良土及び高強度部のすべり安全率は概ね同じであり、既設護岸等の有無が防潮堤の構造成立性に与える影響は小さい。
- 既設護岸等の海側から山側方向への最大変位量(0.2mm)は、防潮堤と既設護岸の離隔距離(28.8m)以内の変位量であり、防潮堤法肩における海側から山側への最大変位量(27.3mm)を考慮しても、地震時における防潮堤への波及的影響はない。



既設護岸の影響評価結果

検討ケース	評価部位	照査項目	時刻 (s)	照査値	許容値	判定
基本ケース	セメント改良土 及び高強度部	すべり 安全率	16.77	3.85	1.2 以上	OK
影響評価 ケース			6.43	3.78	1.2 以上	OK

防潮堤(標準部)の既設護岸等の離隔距離



防潮堤(標準部)の既設護岸の全時刻最大の変位量

2. 審査会合における指摘事項に対する回答

2.2 【指摘事項 220303-01】(1/2)

【指摘事項 220303-01】

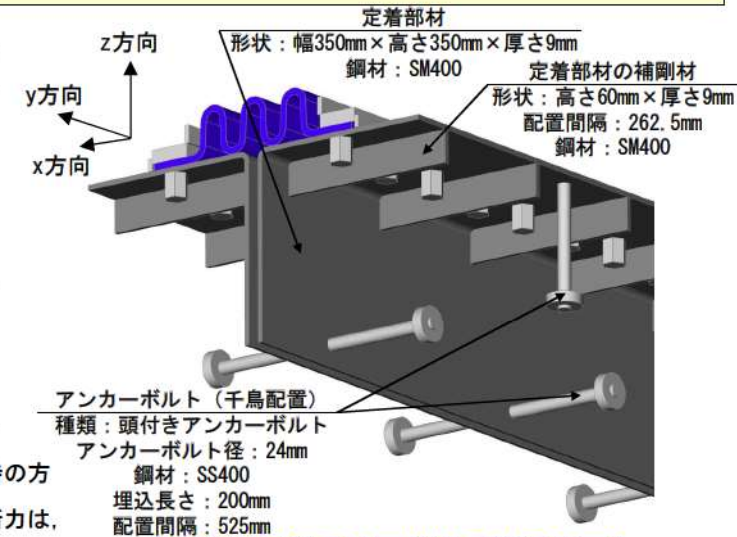
セメント改良土間の施工目地に設置される止水目地について、セメント改良土の特性を踏まえ、構造成立性を説明すること。

【回答】

- 止水ジョイントの評価について、定着部材とアンカーボルトの構造成立性を説明する。
- なお、定着部材には、短手方向の裕度を向上するため補剛材を設置する。
- 定着部材の評価は、「道路橋示方書・同解説 [I 共通編・II 鋼橋編]」に準拠して照査を実施し、構造成立性を確認した（次頁参照）。
- アンカーボルトの評価は、アンカーボルトの性能試験で「各種合成構造設計指針」を参考に設計することの妥当性を確認した上で、直交するアンカーボルトについて荷重分担を考慮して以下の照査を実施し、構造成立性を確認した（次頁参照）。
 - アンカーボルトの引張方向の照査
 - 引張方向の照査において同時にせん断力が作用することを考慮した組合せ荷重の照査
 - アンカーボルトのせん断方向の照査

止水ジョイントの照査項目及び許容限界

評価部位	検討ケース	解析方法	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
定着部材	地震時※1	防潮堤の解析から得られる断面力と、ゴムジョイントの張力により生じる断面力を足し合わせた定着部材の断面力（曲げ、せん断）が、許容応力度以下であることを確認する。評価は、定着部材の長手方向と短手方向で実施する。	曲げ せん断	短期許容応力度	道路橋示方書・同解説 [I 共通編・II 鋼橋編] , 日本道路協会, 平成24年
	津波時※2				
	重畳時				
アンカーボルト	地震時	防潮堤の解析から得られる荷重とゴムジョイントの張力により作用する荷重を足し合わせたアンカーボルトの発生力（引張力及びせん断力）が、許容限界以下であることを確認する。	引張力 せん断力	許容引張力 許容せん断力	—※3
	津波時				
	重畳時				



定着部材及びアンカーボルトの配置イメージ

※1: 地震時の定着部材の短手方向の照査は、地震時はゴムジョイントに作用する水圧が作用しないため、照査は不要である。

※2: 津波時の定着部材の短手方向の照査は、津波高さが津波時と重畳時で同じであること及び重畳時には動水圧が加わることを考慮すると、重畳時の方がゴムジョイントに作用する水圧が大きいため、重畳時に包絡される。

※3: アンカーボルトの性能試験で、「各種合成構造設計指針」の耐力算定式を参考にすることの妥当性を確認する。また、許容引張力及び許容せん断力は、アンカーボルトの降伏、並びにセメント改良土のコーン状破壊及び支圧破壊を考慮して決定する。

2. 審査会合における指摘事項に対する回答

2.2 【指摘事項 220303-01】(2/2)

○ 下表に示すとおり、止水ジョイントの構造成立性評価の結果、構造成立性が確保されることを確認した。

定着部材の照査結果(曲げ)

評価部位	検討ケース	評価項目	発生曲げ応力 (N/mm ²)	許容曲げ応力 (N/mm ²)	照査値	判定 1.0以下
定着部材 (長手方向)	地震時	曲げ	30.2	210.0	0.15	OK
	津波時		26.1	210.0	0.13	OK
	重畳時		34.1	210.0	0.17	OK
定着部材 (短手方向)	重畳時		107.5	210.0	0.52	OK

定着部材の照査結果(せん断)

評価部位	検討ケース	評価項目	発生せん断力 (N/mm ²)	許容せん断力 (N/mm ²)	照査値	判定 1.0以下
定着部材 (長手方向)	地震時	せん断	0.7	120.0	0.01	OK
	津波時		5.2	120.0	0.05	OK
	重畳時		5.3	120.0	0.05	OK
定着部材 (短手方向)	重畳時		15.6	120.0	0.13	OK

アンカーボルト(縦方向)の照査結果

評価部位	検討ケース	引張方向の照査 引張許容力: 83.0kN/本		組合せ荷重の照査 許容せん断力: 26.8kN/本			せん断方向の照査 許容せん断力: 26.8kN/本		判定 1.0以下
		引張力(z方向) $F_z + f_z$	z方向の照査値①	せん断力(y方向) $0.5F_y^{*1}$	y方向の照査値②	組合せ荷重の照査値 ^{*2}	せん断力の合力 $\sqrt{(F_x + f_x)^2 + (0.5F_y)^2}$	照査値	
アンカーボルト (縦方向)	地震時	2.2	0.03	4.1	0.16	0.03	4.1	0.16	OK
	津波時	29.8	0.36	5.1	0.20	0.17	5.1	0.20	OK
	重畳時	30.2	0.37	4.0	0.15	0.16	4.0	0.15	OK

アンカーボルト(横方向)の照査結果

評価部位	検討ケース	引張方向の照査 引張許容力: 83.0kN/本		組合せ荷重の照査 許容せん断力: 26.8kN/本			せん断方向の照査 許容せん断力: 26.8kN/本		判定 1.0以下
		引張力(x方向) $F_x + f_x$	x方向の照査値①	せん断力(y方向) $0.5F_y^{*1}$	y方向の照査値②	組合せ荷重の照査値 ^{*2}	せん断力の合力 $\sqrt{(0.454 \times (F_z + f_z))^2 + (0.5F_y)^2}$	照査値	
アンカーボルト (横方向)	地震時	-	-	4.1	0.16	0.03	4.2	0.16	OK
	津波時	0.1	0.01	5.1	0.20	0.05	14.5	0.55	OK
	重畳時	0.0	0.00	4.0	0.15	0.03	14.3	0.54	OK

※1: y方向の荷重はアンカーボルトの抵抗方向がどちらもせん断方向であることを考慮して荷重分担を50%ずつとするため、せん断力(y方向)はy方向の荷重に0.5を乗じる。
 ※2: 組合せ荷重の照査は、「各種合成構造設計指針」を参考に、(x方向若しくはz方向の照査値①)² + (y方向の照査値②)²が1.0を下回ることを確認する。

2. 審査会合における指摘事項に対する回答

2.3 【指摘事項 220303-03】(1/2)

32

【指摘事項 220303-03】

防潮堤の平面線形の形状決定の考え方により複雑な形状となる箇所について、水平2方向及び鉛直方向の地震動並びに津波荷重による応答特性並びに津波荷重の評価を含め、防潮堤の設計に与える悪影響の有無を説明すること。

【回答】

- 第1063回審査会合において、複雑な形状となる屈曲部については、水平2方向及び鉛直方向の地震動並びに津波荷重により応力が集中する悪影響が想定されるため、防潮堤屈曲部に施工目地を設置し弱軸・強軸が明確となり応力が集中しないように配慮すること、設置変更許可段階においては2次元断面で構造成立性を評価することを上記の指摘事項に対する一部回答としている。
- 第1192回審査会合において、屈曲部を含めた構造成立性評価断面は「2-2'断面」に決定した。
- 今回、防潮堤全線の施工目地について、屈曲部と同様に応力が集中しないように配慮して設置する方針を整理した(p33参照)うえで、第1111回審査会合資料1-2-2「泊発電所3号炉 審査会合における指摘事項に対する回答一覧表(第5条 津波による損傷の防止(防潮堤の設計方針))」において今後説明としていた防潮堤の構造成立性について、構造成立性評価断面において成立性があることを確認した(p20~23参照)。

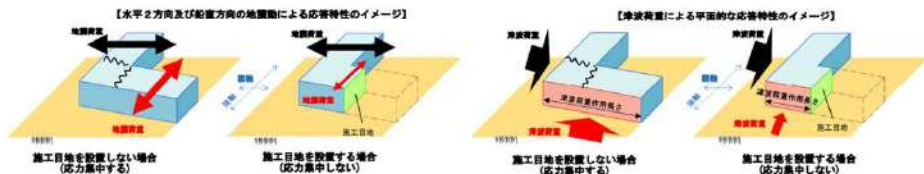
3. 審査会合指摘事項に対する回答<2> 防潮堤本体の構造設計に係る事項> (指摘事項No. 11) (1/2)

【指摘事項No.11】

防潮堤の平面線形の形状決定の考え方により複雑な形状となる箇所について、水平2方向及び鉛直方向の地震動並びに津波荷重による応答特性並びに津波荷重の評価を含め、防潮堤の設計に与える悪影響の有無を説明すること。

【回答】

- 防潮堤が複雑な形状となる屈曲部については、水平2方向及び鉛直方向の地震動並びに津波荷重により応力が集中する悪影響が想定されるため、防潮堤屈曲部に施工目地を設置し、応力が集中しないように配慮する。
- 設置変更許可段階においては、施工目地を設置することで弱軸・強軸が明確になることから、2次元断面で構造成立性を評価する。
- 設計及び工事計画認可段階においては、水平2方向及び鉛直方向の地震動並びに津波荷重による影響を見込んだ評価を実施し、応力状態を確認したうえで施工目地位置の再検討、材料強度の見直し等を行い、構造成立性を確保する。
- 施工目地を設置する箇所には、目地からの浸水を防止することを目的に止水目地を設置し、止水性を確保する。



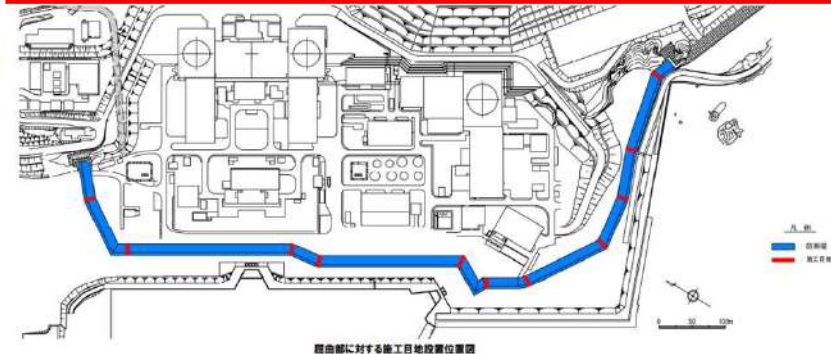
第1063回審査会合_資料2-1-1_p24 (一部加筆)

24

3. 審査会合指摘事項に対する回答<2> 防潮堤本体の構造設計に係る事項> (指摘事項No. 11) (2/2)

【回答】

- 防潮堤の屈曲部に対する施工目地は、応力集中に配慮し、下図のとおり設置する計画である。
- 屈曲部以外の施工目地は、防潮堤の高さが変化する断面、防潮堤の幅が変化する断面、水路が防潮堤を横断する断面を考慮して設置する計画であり、設置変更許可段階において施工目地の設置方針を説明する。



第1063回審査会合_資料2-1-1_p25 (一部加筆)

25

p20~23にて回答

p33にて回答

2. 審査会合における指摘事項に対する回答

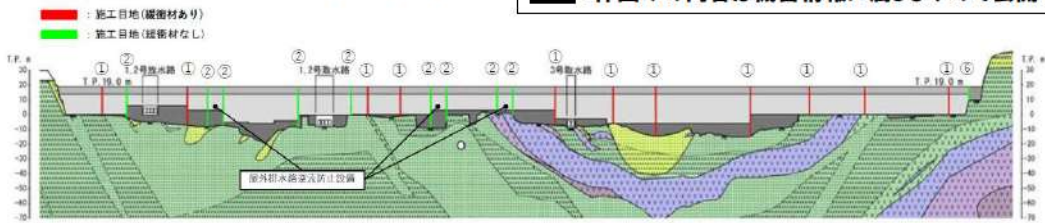
2.3 【指摘事項 220303-03】(2/2)

- 防潮堤の施工目地は、設置箇所①防潮堤が屈曲する断面（屈曲部）以外に、②水路が横断する断面、③防潮堤の幅が変化する断面、④防潮堤の高さが変化する断面、⑤施工量に基づくブロック割箇所、⑥防潮堤(標準部)と防潮堤(端部)の境界に設置する。
- 設置箇所③、④、⑤については、以下のとおり設置する方針であり、詳細は設計及び工事計画認可段階で説明する。
 - ▶ 設置箇所③：防潮堤の幅は防潮堤の基礎地盤の安定性を確保できるように設定するものであり、幅が変化する断面に設置する。
 - ▶ 設置箇所④：同一ブロック内における地震時の挙動差の影響が小さくなるよう、基礎地盤の不陸が小さくなるように配慮して設置することを基本とする。
 - ▶ 設置箇所⑤：施工時の温度応力によるひび割れ影響に配慮したうえで、1日当たりの下部コンクリート又はセメント改良土の施工能力に応じて設置する。
- 屈曲部以外の施工目地についても、屈曲部と同様に応力が集中しないように配慮し設置することから、防潮堤の構造成立性は2次元断面で評価した。
- 構造成立性評価の結果、p20～23に示すとおり、全部材において許容値以下であり、構造成立性があることを確認した。



施工目地設置位置平面図

□：枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



施工目地設置位置※縦断面図

施工目地設置断面

設置箇所	緩衝材の有無※3	詳細な設置箇所の説明時期
①防潮堤が屈曲する断面（屈曲部）	有	設置変更許可段階
②水路が横断する断面	無	設置変更許可段階
③防潮堤の幅が変化する断面※1	無	設計及び工事計画認可段階
④防潮堤の高さが変化する断面※2	無	設計及び工事計画認可段階
⑤施工量に基づくブロック割箇所	無	設計及び工事計画認可段階
⑥防潮堤（標準部）と防潮堤（端部）の境界	無	設置変更許可段階

※1: 防潮堤の幅は、防潮堤の基礎地盤の安定性を確保できるように設定するものであり、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価」において説明する。
 ※2: 防潮堤の高さは、防潮堤天端から基礎地盤の表面までの高さであり、基礎地盤の高さによって変化する。
 ※3: 緩衝材の有無の構造は「添付資料25 防潮堤の設計方針及び構造成立性評価結果について」に整理している。

※高強度部についても、セメント改良土及び下部コンクリートと同じ断面位置に施工目地を設ける。

2. 審査会合における指摘事項に対する回答

2.4 【指摘事項 220929-09】

【指摘事項 220929-09】

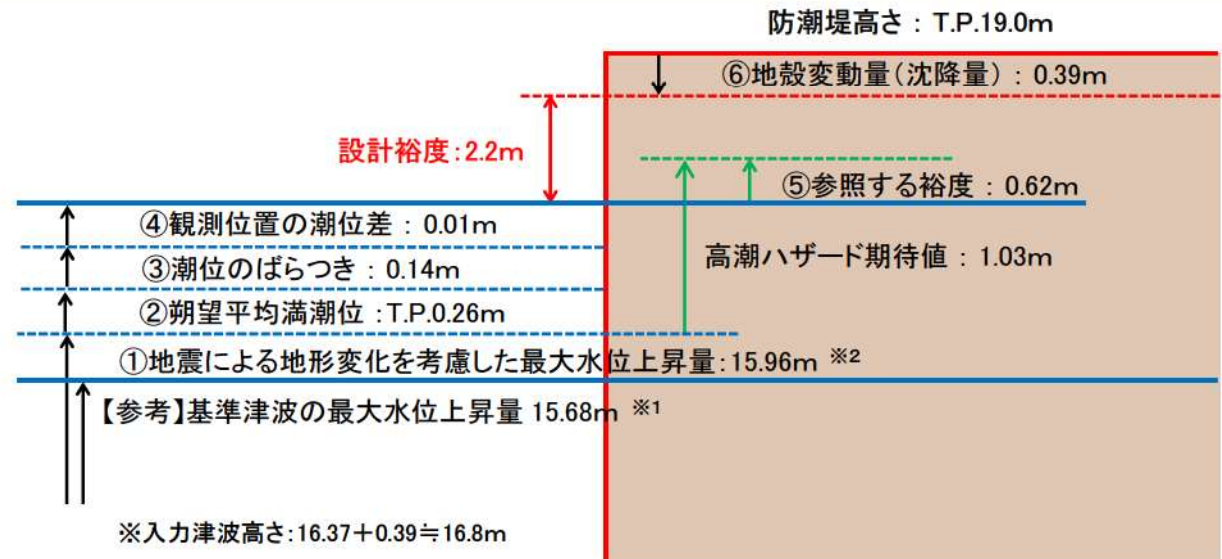
今回説明があった津波防護方針については、入力津波の解析結果が出た後、その妥当性を改めて説明すること。

【回答】

- 泊3号炉で実施する津波防護対策のうち防潮堤は、設計に用いる津波高さ(入力津波高さ)に対して余裕を持った高さを設定している。設計に用いる津波高さと防潮堤高さの関係及び設計裕度のイメージを下図に示す。
- 入力津波の解析結果を踏まえた裕度評価として、設計裕度(2.2m) > 参照する裕度(0.62m)となっていることを確認しており、防潮堤高さが入力津波高さを踏まえ、妥当であることを確認した。

設計に用いる津波高さと防潮堤高さの関係

入力津波高さ	T.P.16.8m
防潮堤高さ	T.P.19.0m
設計裕度	2.2m



※1: 波源F 北防波堤損傷

※2: 波源E 南防波堤損傷 敷地地盤(陸域)5.0m沈下

防潮堤設計裕度のイメージ

- 防潮堤の構造成立性評価に用いる津波荷重は、朝倉式に基づき水深係数 $\alpha = 3$ として算出している。
- 一方で、耐津波設計に係る設工認審査ガイドに基づけば、ソリトン分裂波若しくは砕波が生じる場合及び最大比エネルギー発生時刻におけるフルード数が「 $Fr_E > 1.24$ 」となる場合、朝倉式に基づき水深係数 $\alpha = 3$ として算出している津波荷重よりも、荷重が大きくなる可能性がある。
- そのため、以下の①、②及び③を確認し、防潮堤の構造成立性評価に用いる津波荷重が保守性を有していることを確認する。
- 確認の結果、津波荷重が大きくなる可能性がある場合には、その荷重により防潮堤の構造成立性評価結果の裕度を確認する。
 - ① 泊発電所に来襲する津波のソリトン分裂波の発生の有無
 - ② 泊発電所に来襲する津波の砕波の発生の有無
 - ③ 流速が最大となる波源の影響を考慮した場合の津波荷重

【確認結果】

① 泊発電所に来襲する津波のソリトン分裂波の発生の有無

- ソリトン分裂波については、「防波堤の耐津波設計ガイドライン」において、以下の条件①及び条件②の両方に合致する場合に発生する可能性がある。
- 泊発電所の津波高さは水深の60%以上となり、条件①には合致するものの、海底勾配は約1/80であり、条件②に合致しないため、泊発電所に来襲する津波のソリトン分裂波は発生しないと考えられる。

- 条件①：シミュレーション等による津波高さが水深の60%以上
- 条件②：海底勾配が1/100以下程度の遠浅

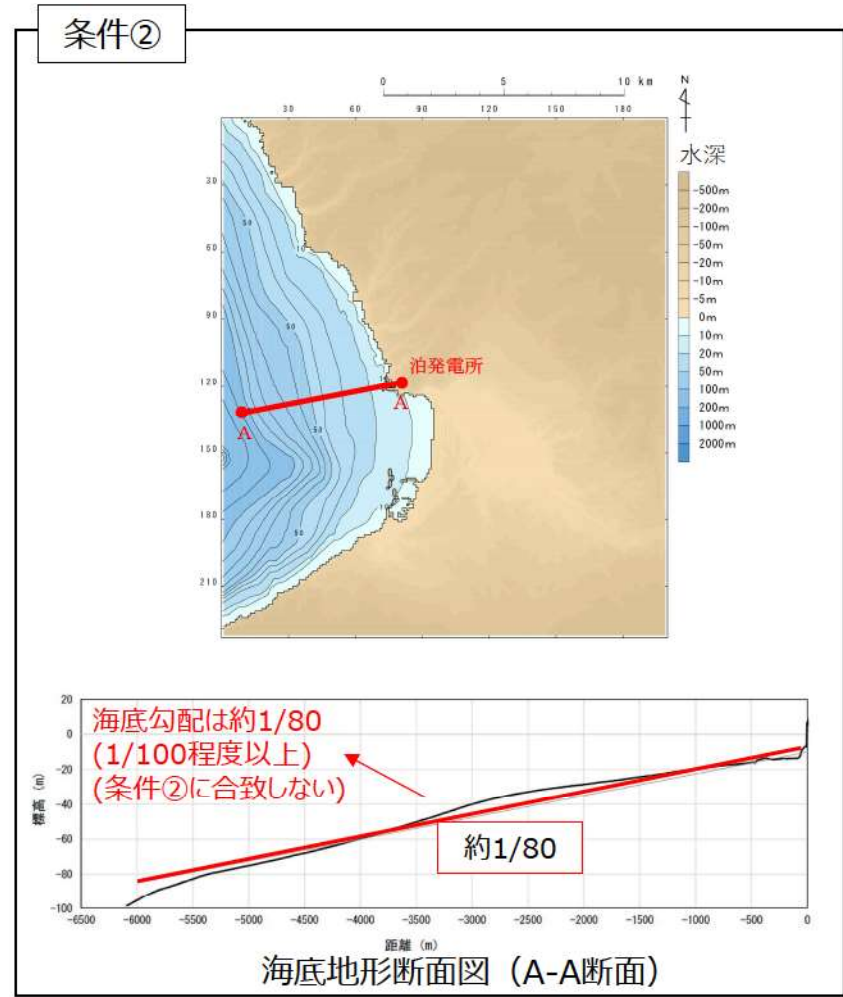
条件①

津波高さと水深の割合(基準津波 (波源F, 北防波堤損傷) の例)

基準津波	地点	(1)水深	(2)津波高さ	(2)/(1)
波源F※ (北防波堤損傷)	3号炉取水口	8.0m	12.94m	161.8%
	1, 2号炉取水口	7.0m	11.27m	161.0%
	港内中央	13.6m	8.84m	65.0%

※防潮堤前面において、水位上昇量が最大となる基準津波

津波高さが水深の60%以上となった
(条件①に合致する)



【確認結果】

② 泊発電所に来襲する津波の砕波の発生の有無

- 砕波の発生の有無については、時刻歴波形の水面勾配を以下の算定式を用いて確認した。
- 確認は、防潮堤全長に対して概ね中心に位置する1, 2号炉取水口位置の基準津波全18波の時刻歴波形に対して行った。
- 基準津波全18波の水面勾配を算定した結果、水面勾配は最大でも23°程度であり、松山ら（2005）における砕波限界である30°～40°と比較して、十分小さい結果となることを確認したため、泊発電所に来襲する津波の砕波は発生しないと考えられる。

水面勾配の算定式

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\Delta\eta}{\Delta x}$$

$$\frac{\Delta\eta}{\Delta x} = \frac{\Delta\eta}{\Delta t} \frac{1}{\sqrt{gh}}$$

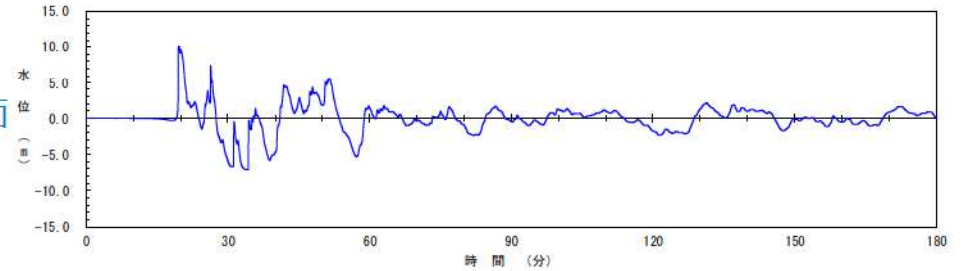
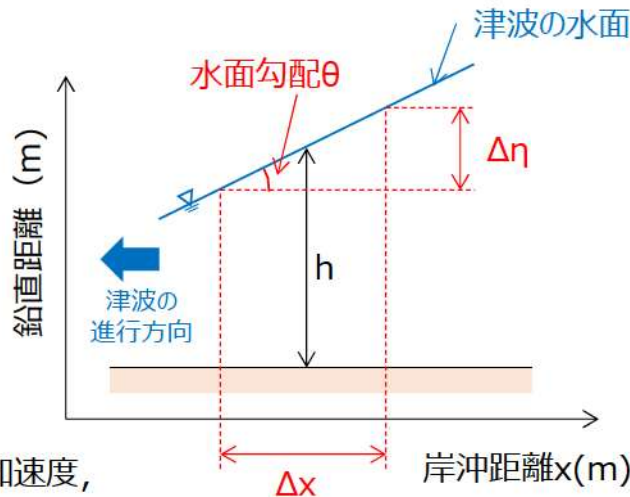
$$(\Delta x = \Delta t \cdot C = \Delta t \sqrt{gh})$$

Δx : 微小岸沖距離, Δt : 微小時間,

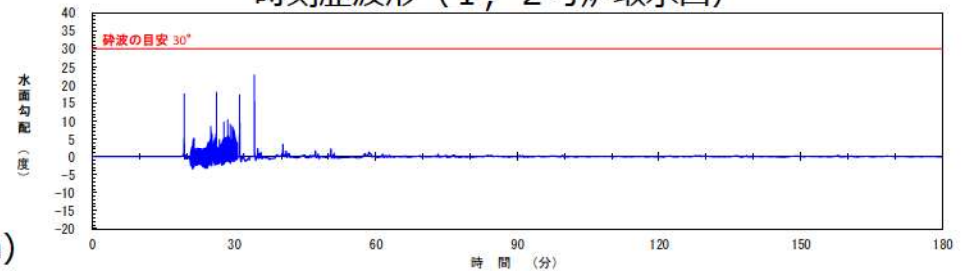
$\Delta\eta$: Δx 及び Δt で生じる水位差,

C : 波速($=\sqrt{gh} = \Delta x/\Delta t$), g : 重力加速度,

h : 水深 (海底から水面までの鉛直距離)



時刻歴波形 (1, 2号炉取水口)



水面勾配

基準津波 (波源 J, 北及び南防波堤損傷) ※
※水面勾配が最大となった結果を示す。

補足説明資料 防潮堤の構造成立性評価に用いる津波荷重の保守性について

- ③ 流速が最大となる波源の影響を考慮した場合の津波荷重（以下、「保守性確認ケース」という。）
- 防潮堤の構造成立性評価に用いる津波荷重に対して、流速が最大となる波源のフルード数より算出した津波荷重を用いた場合の裕度を確認する。
 - 確認方法は、保守性確認ケースの津波波圧より算出した津波荷重を用いて「防潮堤（標準部）の津波時の構造成立性評価結果（p22参照）」及び「防潮堤（標準部）の重畳時の構造成立性評価結果（p23参照）」における裕度を示すものとする。
 - 「耐津波設計に係る設工認審査ガイド」に示されている持続波圧の算出式を以下に示す。

$$P = \alpha \cdot \rho \cdot g \cdot \eta$$

α : 水深係数※1

ρ : 海水密度

g : 重力加速度

η : 通過波浸水深

※1 水深係数は「耐津波設計に係る設工認審査ガイド」では以下の通り設定することとされている。

① $Fr < 1$ もしくは $Fr_E \leq 1.24$ の場合

・ $\alpha = 3$

② $Fr_E > 1.24$ の場合

・ $\alpha = (0.70 \cdot Fr_E^2 + 1) + 0.93$

防潮堤の構造成立性評価に用いる津波荷重及び保守性確認ケースで設定するパラメータの比較

パラメータ	防潮堤の構造成立性評価に用いる津波荷重	保守性確認ケース	備考
水深係数	$\alpha = 3$	$\alpha = (0.70 \cdot Fr_E^2 + 1) + 0.93$ $= \boxed{\text{追而}}$	<ul style="list-style-type: none"> 保守性確認ケースにおける水深係数は、流速が最大となる波源のフルード数を考慮して設定する。 仮に3以下となった場合は、水深係数は3とする。
通過波浸水深	$\eta = 15.15\text{m}$ $\eta = (\text{防潮堤天端高さT.P.19.0m} - \text{防潮堤前面地盤高T.P.-11.3m}) \times 1/2$		<ul style="list-style-type: none"> 通過波浸水深は、保守性確認ケースにおいても $\eta = 15.15\text{m}$ を用いる。