

島根原子力発電所 2 号炉 津波による損傷の防止

「基礎底面の傾斜による防波壁の構造成立性」

(コメント回答)

令和 3 年 2 月
中国電力株式会社

審査会合における指摘事項

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
133	R3.1.29 (基礎地盤及び 周辺斜面の 安定性評価)	防波壁について、傾斜が生じた場合の各部位の構造成立性の見通しを説明すること。	P.2～21

指摘事項に対する回答【No.133】

■ 指摘事項（第940回審査会合 令和3年1月29日）

【No.133 基礎底面の傾斜による防波壁の構造成立性】

防波壁について、傾斜が生じた場合の各部位の構造成立性の見通しを説明すること。

■ 回答

- 基礎地盤の安定性評価（第940回審査会合：令和3年1月29日）において、改良地盤に支持される防波壁（逆T擁壁）は、岩盤に支持されるその他の施設に比べて、大きな傾斜を生じる結果となった。
- 設置許可基準規則第3条第2項において、耐震重要施設は変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならないことから、防波壁に要求される安全機能を担保するため、基礎底面の傾斜に対する設計方針を整理し、防波壁（逆T擁壁）の構造成立性の見通しについて確認した。
- 設計方針の整理に当たっては、防波壁（逆T擁壁）の逆T擁壁、止水目地及びグラウンドアンカーが基礎底面の傾斜により損傷して要求機能を喪失する事象を抽出した。
- 構造成立性の確認に当たっては、地盤の安定解析で用いた動的FEM解析（全応力解析）を実施した。ここで、動的FEM解析（全応力解析）は施設直下の改良地盤部分に埋戻土（掘削ズリ）の解析用物性値を流用していることに加え、グラウンドアンカーを考慮していない。そのため、解析条件に保守性があるため、基礎底面の傾斜が大きくなり易いことを踏まえ、防波壁の構造成立性で用いた動的FEM解析（有効応力解析）も実施した。
- その結果、防波壁（逆T擁壁）の各部位は許容限界を満足することから、防波壁は構造成立することを確認した。

1. 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の基礎底面の傾斜

- 基礎地盤の安定性評価（第940回審査会合：令和3年1月29日）において、評価対象施設を4つのグループに分類している（次頁）。このうち防波壁については、グループC（T.P.+15m盤以下、防波壁、杭基礎）及びグループD（T.P.+15m盤以下、防波壁、直接基礎）に分類し、それぞれ影響要因及び簡便法による最小すべり安全率を比較検討した結果、代表施設として防波壁（多重鋼管杭式擁壁）及び防波壁（逆T擁壁）を選定している。
- 代表施設について動的FEM解析（全応力解析）結果に基づいて基礎底面の傾斜を算定した結果、2号炉原子炉建物等は審査ガイドの目安値（基本設計段階の目安値：1/2,000）を下回っていることを確認している。
- しかしながら、防波壁（逆T擁壁）は岩盤に支持されるその他の施設に比べて、大きな傾斜を生じる結果となった。
- 設置許可基準規則第3条第2項において、耐震重要施設は変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならないことから、防波壁（逆T擁壁）について基礎底面の傾斜に対する設計方針を整理し、基礎底面の傾斜を考慮しても防波壁（逆T擁壁）の安全機能が損なわれないことを確認する。

地殻変動解析による最大傾斜及び地震動による最大傾斜の重ね合わせ結果

対象断層	評価施設	①地殻変動による傾斜		②地震動による最大傾斜		①+② 地殻変動及び地震動を 考慮した最大傾斜※
		最大傾斜	傾斜方向	最大傾斜	傾斜方向	
陸域活断層 (宍道断層)	2号炉原子炉建物	1/17,000 (不確かさケース(断層傾斜角))	西方向	1/22,000 (S_s-D)	北方向	1/9,000
	ガスタービン発電機建物	1/15,000 (不確かさケース(断層傾斜角))	西方向	1/28,000 (S_s-D)	北方向	1/9,000
海域活断層 (F-Ⅲ～F-V断層)	2号炉原子炉建物	1/19,000 (下降最大ケース)	東方向	1/22,000 (S_s-D)	北方向	1/10,000
	ガスタービン発電機建物	1/18,000 (下降最大ケース)	東方向	1/28,000 (S_s-D)	北方向	1/10,000
陸域活断層 (宍道断層)	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	1/22,000 (不確かさケース(すべり角))	北方向	1/39,000 (S_s-D)	北方向	1/14,000
	防波壁 (逆T擁壁)	1/17,000 (不確かさケース(断層傾斜角))	東方向	1/59 (S_s-D)	西方向	1/58
海域活断層 (F-Ⅲ～F-V断層)	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	1/22,000 (上昇最大ケース)	北方向	1/39,000 (S_s-D)	北方向	1/14,000
	防波壁 (逆T擁壁)	1/17,000 (下降最大ケース)	西方向	1/59 (S_s-D)	西方向	1/58

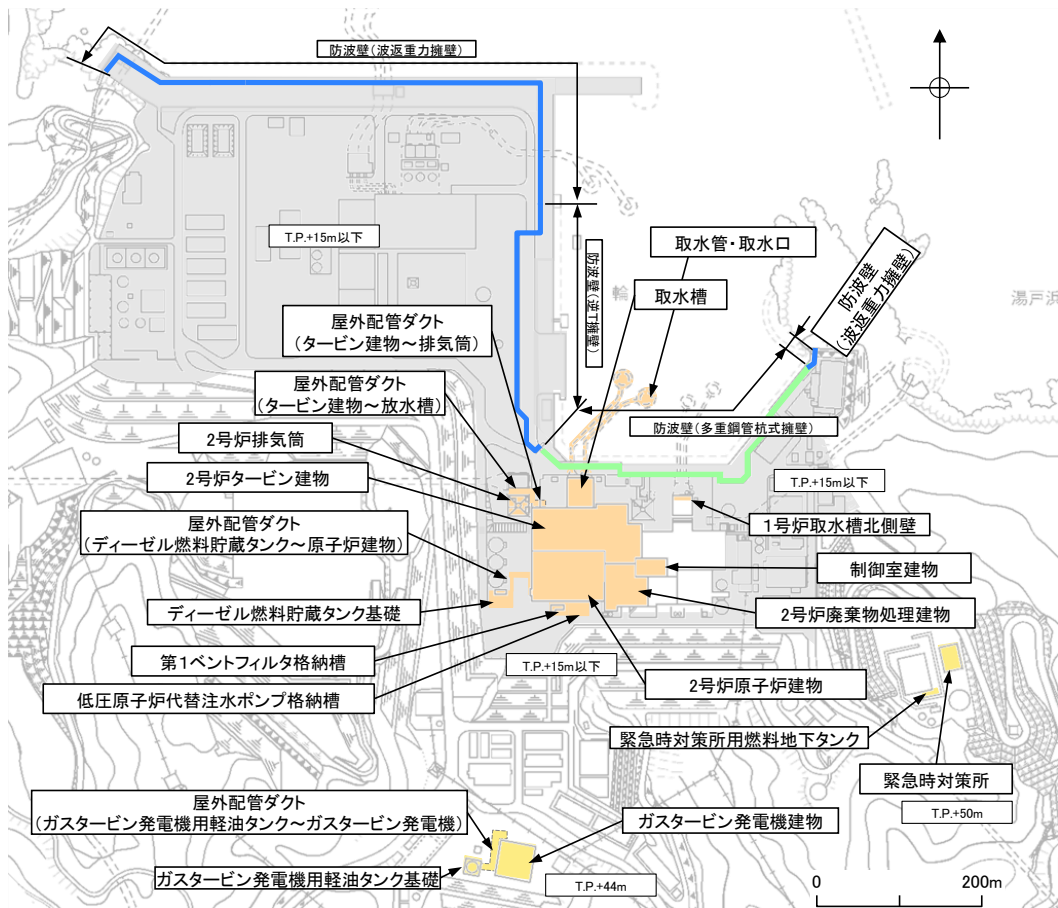
※ ①と②の傾斜方向が異なる場合も、保守的に①と②の傾斜を足し合わせることで評価を実施する。

(参考) 基礎地盤の安定性評価 評価対象施設のグループ分け

・評価対象施設は、以下の観点からグループ分けを行う。

- ①液状化範囲の検討結果及び地震増幅特性の違いを踏まえ、T.P.+8.5～15m盤に設置されている評価対象施設とT.P.+44～50m盤に設置されている評価対象施設に区分する。
- ②線状構造物の背後に埋戻土が広く分布する防波壁については、液状化の影響が大きいと考えられるため、防波壁とそれ以外に区分する。
- ③基礎形式による基礎地盤への荷重伝達メカニズムの違いを踏まえ、杭基礎と直接基礎に区分する。

・上記に従いグループ分けを行った結果、グループA(T.P.+15m盤以下、防波壁以外、直接基礎)、グループB(T.P.+44～50m盤、防波壁以外、直接基礎)、グループC(T.P.+15m盤以下、防波壁、杭基礎)、グループD(T.P.+15m盤以下、防波壁、直接基礎)の4つのグループに分類した。



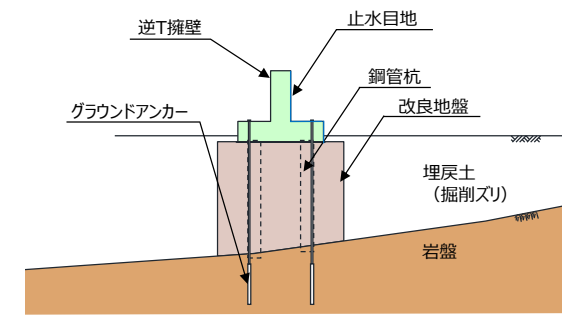
グループ分類	①設置標高	②施設区分	③基礎形式
グループA	T.P.+15m盤以下	防波壁以外	直接基礎
グループB	T.P.+44～50m盤	防波壁以外	直接基礎
グループC	T.P.+15m盤以下	防波壁	杭基礎
グループD	T.P.+15m盤以下	防波壁	直接基礎

【凡例】

- :グループA(T.P.+15m盤以下, 防波壁以外, 直接基礎)
- :グループB(T.P.+44～50m盤, 防波壁以外, 直接基礎)
- :グループC(T.P.+15m盤以下, 防波壁, 杭基礎)
- :グループD(T.P.+15m盤以下, 防波壁, 直接基礎)

2. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜に対する性能目標と設計評価方針

- 設置許可基準規則の各条文に対して、防波壁の耐震性（第4条）及び耐津波性（第5条）については第909回審査会合（令和2年10月15日）において、基礎地盤の支持力及びすべり（第3条）については第940回審査会合（令和3年1月29日）において、それぞれ説明している。
- 今回、基礎底面の傾斜（第3条）について、防波壁の要求機能を担保するため、防波壁（逆T擁壁）の各部位に対する性能目標及び設計方針（損傷モード、許容限界等）を以下のとおり整理し、逆T擁壁、止水目地及びグラウンドアンカーの構造成立性について確認する。



防波壁（逆T擁壁）

: 本資料において、構造成立性を確認する部位

要求機能	評価対象部位	傾斜による性能目標 (第3条)	応力等の状態	損傷モード	設計に用いる許容限界	
・防波壁は、地震後の繰返しの入力津波に対して、津波による漏水及び浸水を防止することが要求される。 ・防波壁（逆T擁壁）は、基準地震動 S_s に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、十分な構造強度を有した構造であることが要求される。	防波壁（逆T擁壁）	逆T擁壁 (鉄筋コンクリート造)	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書、構造性能照査編、2002年制定」を踏まえた短期許容応力度とする。	
		止水目地	止水目地	変形・水圧	有意な漏えいに至る変形・水圧	メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下とする。
			止水目地の鋼製部材			
		グラウンドアンカー	逆T擁壁及び改良地盤の転倒抑止のために、グラウンドアンカーが概ね弾性状態に留まること。	変位	グラウンドアンカーが伸張し、逆T擁壁が転倒	「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（平成24年5月）」を踏まえた弾性変位量とする。
	地盤	改良地盤	逆T擁壁を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	支持力	鉛直支持機能を喪失する状態	「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力度とする。
				すべり安全率	すべり破壊し、難透水性を喪失する状態	「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。
		岩盤	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、十分なすべり安全性を保持すること。	支持力	鉛直支持機能を喪失する状態	「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力度とする。

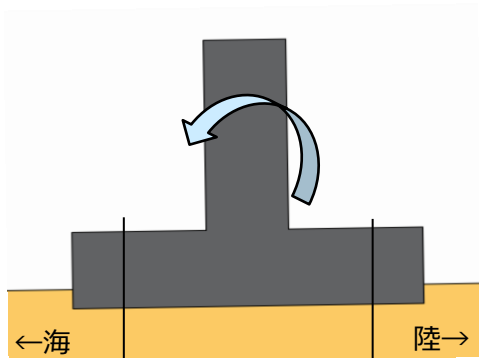
3. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜により要求機能を喪失する事象の抽出（1 / 2）

- 防波壁（逆T擁壁）の各部位が、損傷して要求機能を喪失する事象を抽出し、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。

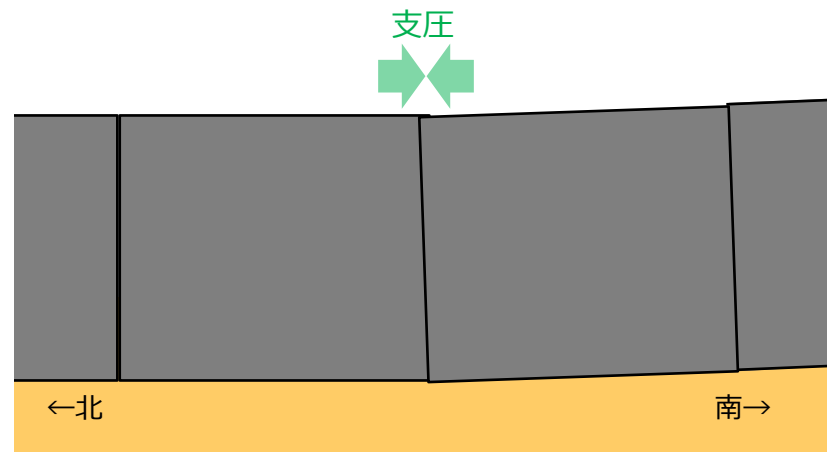
部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※	設計・施工上の配慮	照査
逆T擁壁	<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することにより曲げ・せん断破壊し、遮水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 逆T擁壁の発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することにより逆T擁壁の隣接する躯体同士が相互に支圧することにより破壊し、遮水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 隣接する躯体同士が衝突しないことを確認する。 隣接する躯体同士が衝突する場合、逆T擁壁の支圧応力度が、許容応力度以下であることを確認する。 	○

※ 喪失する事象の想定ケース

①逆T擁壁の損傷



②隣接する躯体同士の支圧による損傷

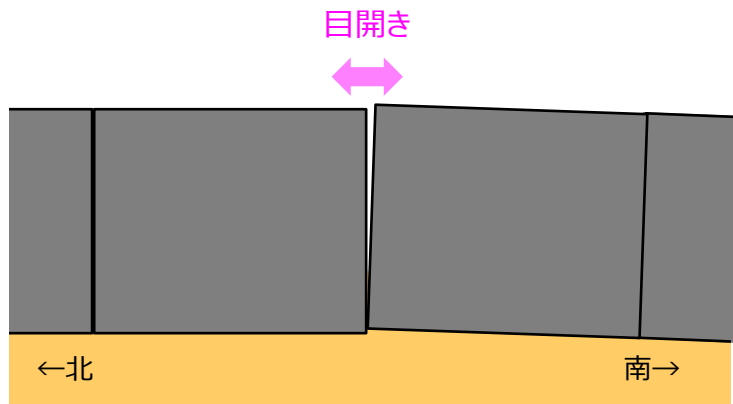


3. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜により要求機能を喪失する事象の抽出（2 / 2）

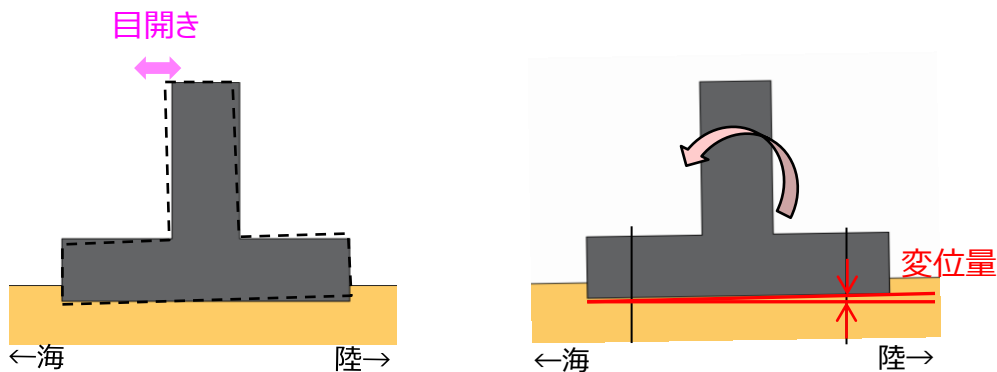
部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※	設計・施工上の配慮	照査
止水目地 （支持部含む）	<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することにより隣接する躯体間（法線方向、法線直交方向）の変形により、止水目地の許容変形量を超える変形が生じ、遮水性を喪失する。 	③	<ul style="list-style-type: none"> メーカー規格及び性能試験に基づく許容変形量以下であることを確認する。 	○
グラウンドアンカー	<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することによりグラウンドアンカーが破損し、逆T擁壁が転倒する。 	④	<ul style="list-style-type: none"> 地盤の傾斜による変位量が、グラウンドアンカーの弾性変位量以下であることを確認する。 	○

※ 喪失する事象の想定ケース

③防波壁間の変形による止水目地の損傷



④グラウンドアンカーの破損

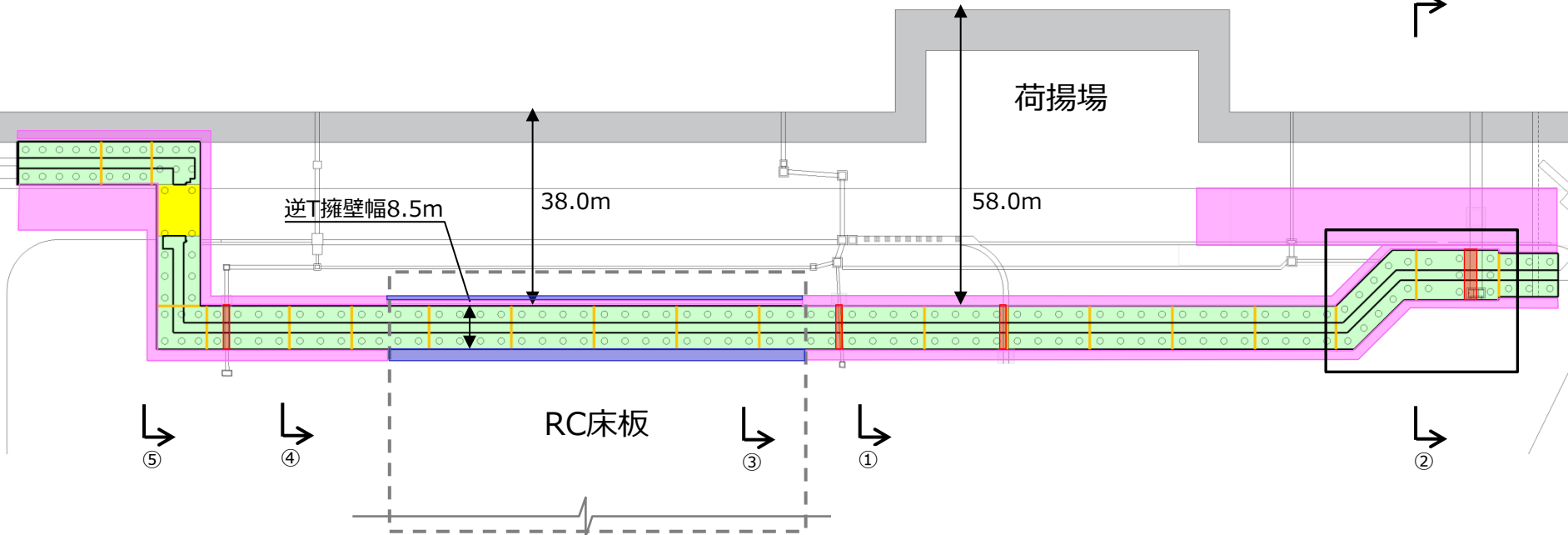
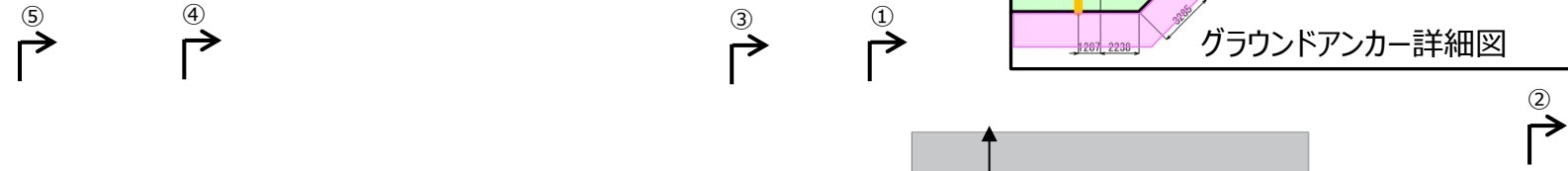
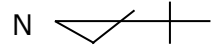
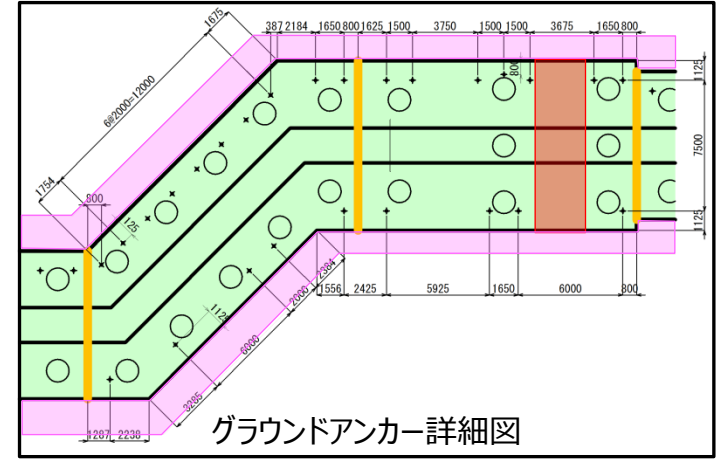


(参考) 防波壁 (逆T擁壁) の平面図

■ 防波壁 (逆T擁壁) の平面図 (止水目地位置含む) を以下に示す。

凡例

- 防波壁
- 施設護岸
- 鋼管杭
- + グラウンドアンカー
- 止水目地※
- 防波扉基礎
- 改良地盤
- 改良地盤 (追加実施)
- 屋外排水路横断面



※止水目地の設置高さ及び根入れ長については、敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

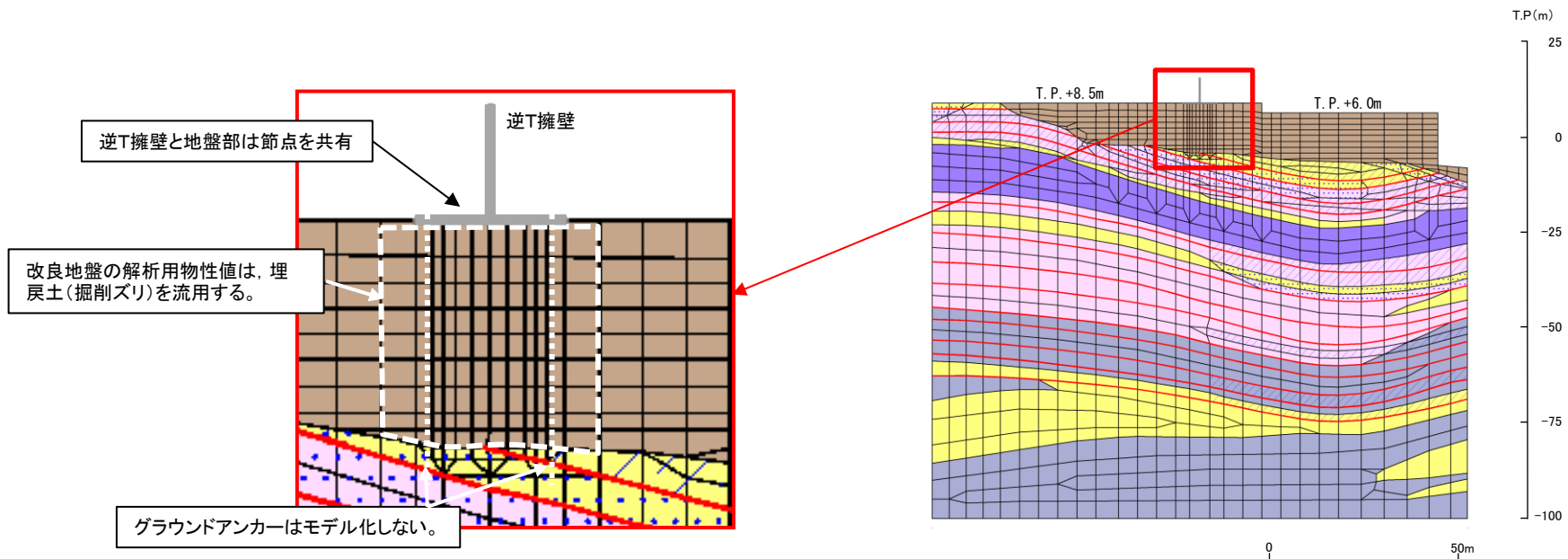
4. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討 設計方針及び検討概要

- 防波壁（逆T擁壁）における要求機能を喪失する事象に対する設計方針を下表に示す。
- 設置許可段階においては、下表の設計方針による構造成立性の見込みについて確認する。
- 構造成立性の確認に当たっては、地盤の安定解析に用いた動的FEM解析（全応力解析）に加え、防波壁の耐震性及び耐津波性に関する構造成立性の確認に用いた動的FEM解析（有効応力解析）を用いる。

施設	部位の名称	設計方針	照査項目	設置許可段階での検討方針
防波壁 (逆T擁壁)	逆T擁壁 (鉄筋コンクリート造)	<ul style="list-style-type: none"> 逆T擁壁の発生応力度が、許容応力度以下となる設計とする。 	曲げせん断	<ul style="list-style-type: none"> 逆T擁壁の発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。
		<ul style="list-style-type: none"> 隣接する躯体同士が衝突しないように離隔を設ける等の設計とする。 上記設計が困難な場合、逆T擁壁の支圧応力度が、許容応力度以下となる設計とする。 	曲げせん断	<ul style="list-style-type: none"> 隣接する躯体同士が衝突すると仮定し、支圧応力度を算定し、許容応力度以下であることを確認する。
	止水目地 (支持部含む)	<ul style="list-style-type: none"> 隣接する躯体間の相対変位量が、止水目地のメーカー規格及び性能試験に基づく許容変形量以下となる設計とする。 	変形	<ul style="list-style-type: none"> 隣接する躯体間の相対変位量を算定し、その相対変位量が止水目地の許容変形量以下であることを確認する。
	グラウンドアンカー	<ul style="list-style-type: none"> 地盤の傾斜による変位量が、グラウンドアンカーの弾性変位量以下となる設計とする。 	変位	<ul style="list-style-type: none"> 基礎底面の傾斜による変位量を算定し、その変位量がグラウンドアンカーの弾性変位量以下であることを確認する。

4. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討 動的FEM解析（全応力解析）

- 防波壁（逆T擁壁）基礎地盤の安定解析における動的FEM解析（全応力解析）では、以下のとおり解析条件を設定していることから、基礎底面の傾斜が大きくなり易い条件となっている。
- 逆T擁壁直下の改良地盤の解析用物性値については、すべり安定性に大きく寄与する強度特性の増加を見込まないようするため、保守的に埋戻土（掘削ズリ）の解析用物性値を流用していることから、有効応力解析における剛性の1/2以下となっている。
 - 逆T擁壁と改良地盤のモデル化において、両者の節点を共有させているため、改良地盤は地震時慣性力による逆T擁壁の変形の影響を受け易い。
 - 逆T擁壁及び改良地盤の転倒等を抑止する機能を有するグラウンドアンカーをモデル化していないため、逆T擁壁及び改良地盤が変形し易い。



動的FEM解析（全応力解析）解析モデル図

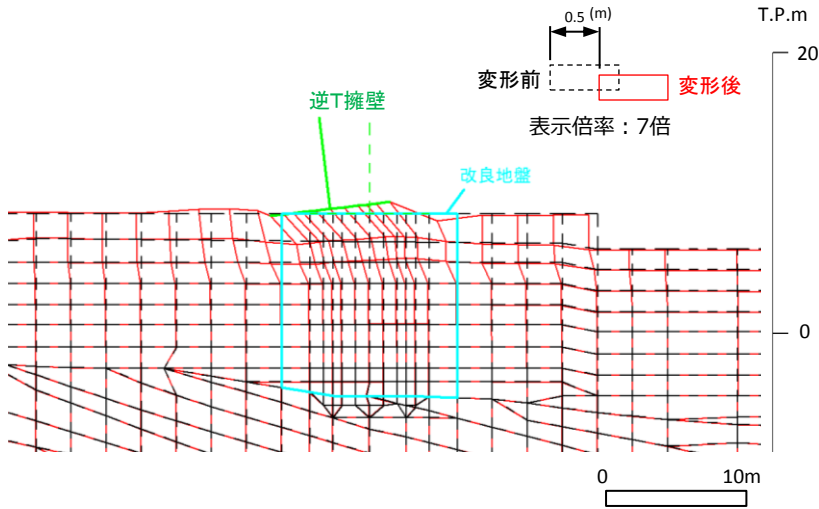
4. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討

動的FEM解析（全応力解析）における最大傾斜発生時の変形モード

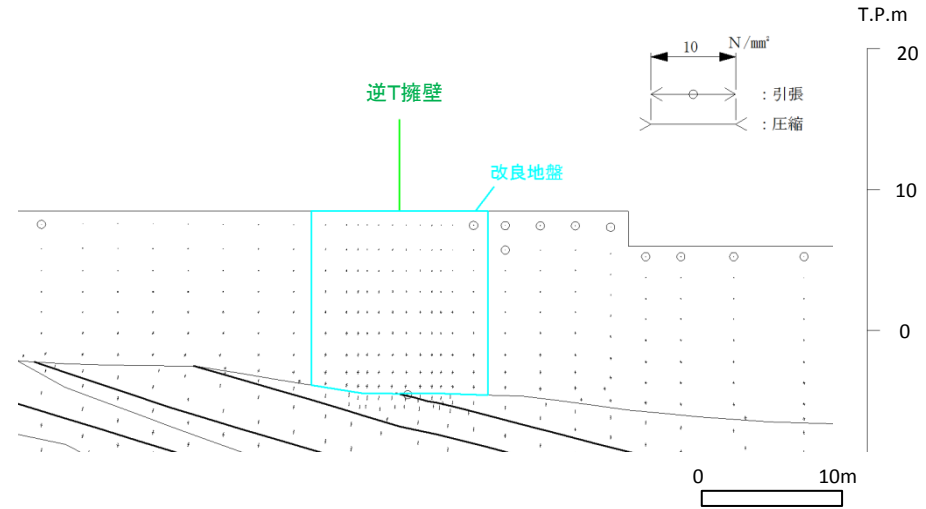
- 防波壁（逆T擁壁）基礎底面の地震時傾斜が最大となる時刻（Ss-D, 12.09秒）における変形図及び主応力図を下図に示す。
- 最大傾斜発生時には、逆T擁壁及びその直下の改良地盤部は、大きく変形しているが、その周辺の地盤には、その影響は及んでいない。
- このことから、基礎底面に生じた傾斜は、逆T擁壁に作用した地震時慣性力の作用による影響が大きいと考えられる。

地震動による最大傾斜

	全応力解析
地震動による傾斜	1/59



最大傾斜発生時の変形図（Ss-D,12.09秒）

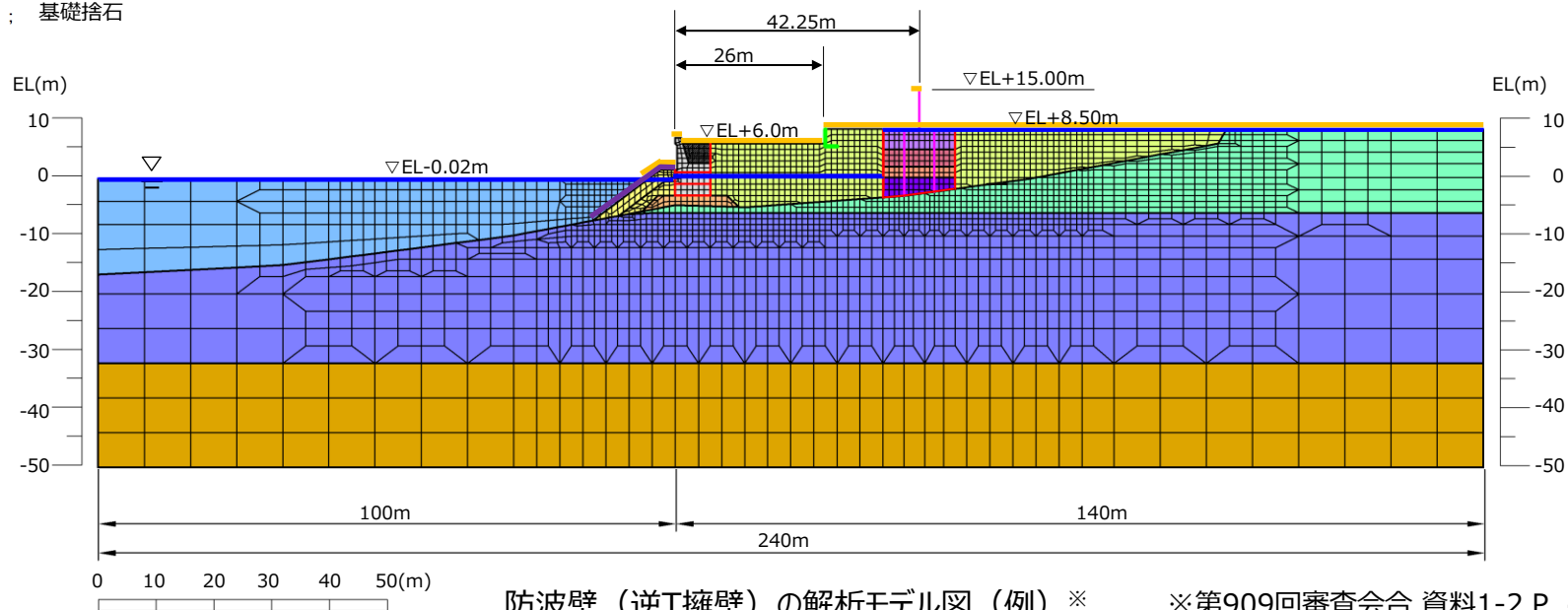
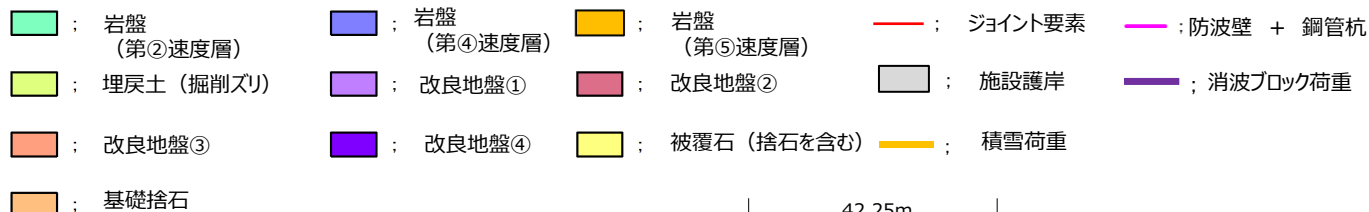


最大傾斜発生時の主応力図（Ss-D,12.09秒）

4. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討 動的FEM解析（有効応力解析）

➤ 防波壁（逆T擁壁）の構造成立性を確認した動的FEM解析（有効応力解析）の条件は以下の特徴を有しており、より現実的な応答を示すモデルとなっている。

- 逆T擁壁直下の改良地盤については、PS検層結果を踏まえた剛性を解析用物性値として設定している。
- 防波壁と周辺地盤など、要素間の滑り・剥離を考慮する箇所は、ジョイント要素でモデル化している。
- 逆T擁壁の変形抑制機能を有するグラウンドアンカーをモデル化していない。なお、グラウンドアンカーは実態に合ったモデル化を実施し、詳細設計段階において説明する。



防波壁（逆T擁壁）の解析モデル図（例）※

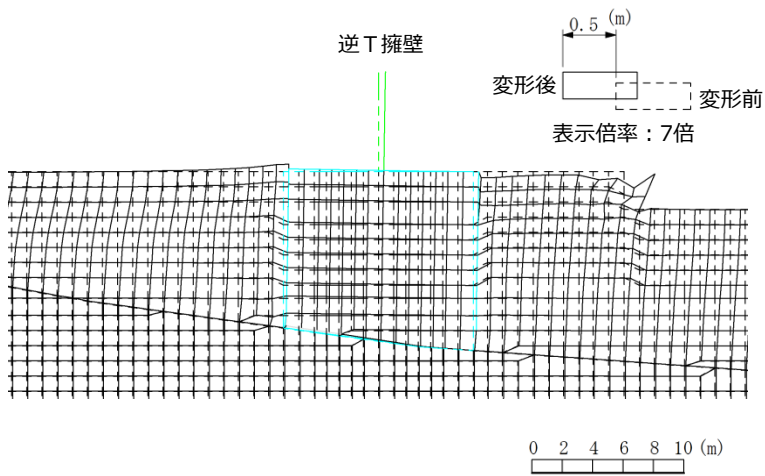
4. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討

動的FEM解析（有効応力解析）における最大傾斜発生時の変形モード

- 動的 F E M解析（有効応力解析）の最大傾斜発生時の変形図及び主応力図を下図に示す。
- 最大傾斜発生時には、逆T擁壁の直下の改良地盤部及び周辺地盤に大きな変形は生じておらず、防波壁（逆T擁壁）の基礎地盤の傾斜については、動的 F E M解析（全応力解析）と比較して小さい。

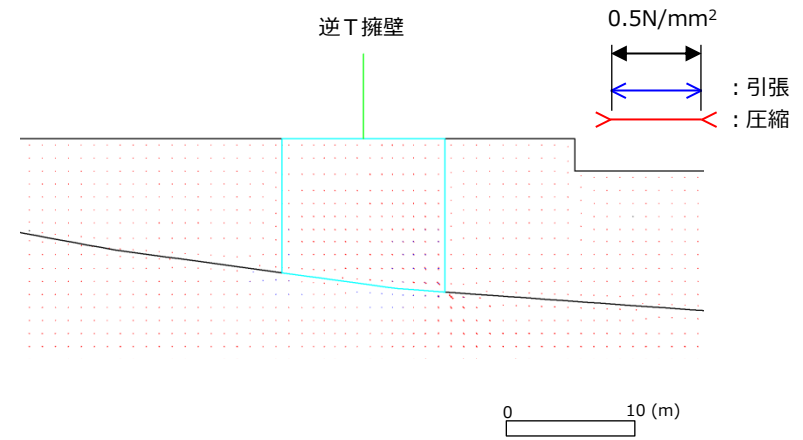
地震動による最大傾斜

	有効応力解析
地震動による傾斜	1/446



※動的 F E M解析（全応力解析）の変形図に合わせ、左右反転している。

動的 F E M解析（有効応力解析）
最大傾斜発生時の変形図



※動的 F E M解析（全応力解析）の主応力図に合わせ、左右反転している。

動的 F E M解析（有効応力解析）
最大傾斜発生時の主応力図

4. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討

動的 F E M解析結果による考察及び構造成立性検討方針

- 地盤の安定解析で用いた動的 F E M解析（全応力解析）と防波壁の構造成立性で用いた動的 F E M解析（有効応力解析）の結果を比較すると、改良地盤の解析用物性値に埋戻土（掘削ズリ）を流用する等、解析条件に保守性がある動的 F E M解析（全応力解析）の特徴により、基礎底面の傾斜が大きくなっていると判断した。
- また、防波壁基礎底面の傾斜は躯体の地震時加速度による影響が大きいと判断した。
- 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討に当たっては、地殻変動による傾斜が地震動による最大傾斜と比較して十分小さいことを踏まえ、地震時の地盤の安定解析で用いた動的 F E M解析（全応力解析）及び防波壁の構造成立性で用いた動的 F E M解析（有効応力解析）の結果を確認する。
- 詳細設計段階においては、現実的な応答を示す動的 F E M解析（有効応力解析）を用いて傾斜の影響を確認する。

4. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討

①逆T擁壁の損傷（動的FEM解析（全応力解析））

構造成立性検討方法

- 動的FEM解析における逆T擁壁の発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。

構造成立性検討結果

- 動的FEM解析（全応力解析）による結果を以下に示す。
- 逆T擁壁基礎底面に最大傾斜が発生した時刻における部材照査の結果、当該時刻において逆T擁壁に作用する曲げ・せん断は短期許容応力度以下であることを確認した。

■ 短期許容応力に対する照査（全応力解析）

評価部位	照査項目	地震動	発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)		安全率 (許容応力 / 発生応力)	判定 (> 1.0)
豎壁	曲げ・軸力	S s - D	曲げ圧縮応力度 σ_c	0.9	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	18	20.00	OK
			引張応力度 σ_s	30	許容引張応力度 σ_{sa}	323	10.76	OK
	せん断		せん断応力度 τ	0.04	許容せん断応力度 τ_a	0.9	22.50	OK
底板	曲げ・軸力		曲げ圧縮応力度 σ_c	3.2	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	18	5.62	OK
			引張応力度 σ_s	124	許容引張応力度 σ_{sa}	323	2.60	OK
	せん断		せん断応力度 τ	0.24	許容せん断応力度 τ_a	0.9	3.75	OK

4. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討

①逆T擁壁の損傷（動的FEM解析（有効応力解析））

構造成立性検討結果

- 防波壁の構造成立性で確認した動的FEM解析（有効応力解析）による結果を以下に示す。
- 逆T擁壁の部材照査（曲げ，せん断照査の最小安全率時刻）の結果，逆T擁壁に作用する曲げ・せん断は短期許容応力度以下であることを確認した。

■ 短期許容応力に対する照査（最小安全率時）

評価部位	照査項目	地震動	時刻 (s)	発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)		最小安全率 (許容応力 / 発生応力)	判定 (> 1.0)
豎壁	曲げ・軸力	S s -D	9.17	曲げ圧縮応力度 σ_c	5.6	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	18	3.21	OK
			9.17	引張応力度 σ_s	242.3	許容引張応力度 σ_{sa}	323	1.33	OK
	せん断		23.91	せん断応力度 τ	0.32	許容せん断応力度 τ_a	0.9	2.81	OK
底板	曲げ・軸力		9.17	曲げ圧縮応力度 σ_c	5.4	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	18	3.33	OK
			9.17	引張応力度 σ_s	262.8	許容引張応力度 σ_{sa}	323	1.22	OK
	せん断		23.91	せん断応力度 τ	0.46	許容せん断応力度 τ_a	0.9	1.95	OK

4. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討

②隣接する躯体同士を支圧による損傷

構造成立性検討方法

- 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討に当たっては、隣接する躯体同士は同位相で挙動すると考えているが、隣接する躯体同士が衝突すると仮定し、動的FEM解析（全応力解析）の躯体加速度から躯体間に作用する支圧応力度を算定し、許容応力度以下であることを確認する。また、動的FEM解析（有効応力解析）においても同様の確認を行う。

構造成立性検討結果

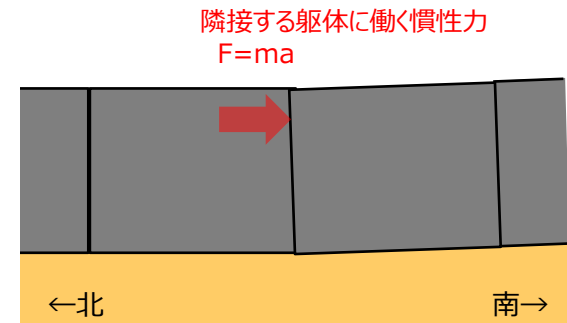
- 地盤の安定解析に用いた動的FEM解析（全応力解析）及び防波壁の構造成立性に用いた動的FEM解析（有効応力解析）における逆T擁壁に作用する支圧応力度は許容応力度以下であることを確認した。

○逆T擁壁に働く慣性力 F

$$F = ma \quad m : \text{逆T擁壁の質量} \\ a : \text{地震時加速度}$$

○逆T擁壁側の支圧応力度 σ_{cv}

$$\sigma_{cv} = F \div \sum b_i \cdot h_i \leq \sigma_{ca} \quad b_i : \text{防波壁の幅} \\ h_i : \text{防波壁の高さ} \\ \sigma_{ca} : \text{支圧応力度の許容応力度}$$



逆T擁壁の相互の支圧イメージ図

評価部位	照査項目	地震動	支圧応力度 (N/mm ²)		支圧応力度の許容応力度 (N/mm ²)		安全率 (許容応力 / 発生応力)	判定 (> 1.0)
			全応力解析	有効応力解析	圧縮応力度 σ_{ca}	圧縮応力度 σ_{ca}		
逆T擁壁	支圧	S s -D	全応力解析	0.51	圧縮応力度 σ_{ca}	10.8	21.1	OK
			有効応力解析	0.81	圧縮応力度 σ_{ca}	10.8	13.3	OK

4. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討

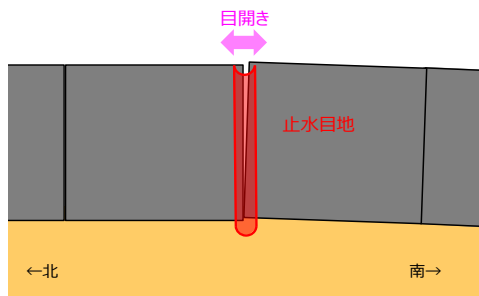
③防波壁間の変形による止水目地の損傷

構造成立性検討方法

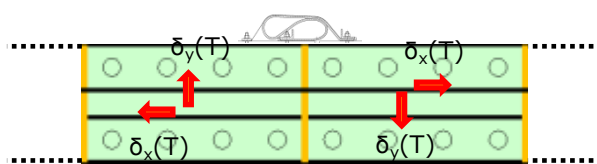
- 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討にあたっては、隣接する躯体同士は同位相で挙動すると考えているが、保守的に逆位相になった場合の変形量を算定し、先行炉で審査実績を有する止水目地に対応可能であることを確認する。
- 止水目地の変形量は、法線直交方向の動的FEM解析（全応力解析，有効応力解析）における最大傾斜から算出された防波壁（逆T擁壁）天端の相対変位と、保守的に法線方向においても同傾斜とした場合の相対変位を基に合成変形量を算出した。
- 止水目地の仕様については、現時点では、先行炉で審査実績を有する止水目地（2000mm）に余裕を考慮して1000mmとする。

構造成立性検討結果

- 地盤の安定解析に用いた動的FEM解析（全応力解析）及び防波壁の構造成立性に用いた動的FEM解析（有効応力解析）における止水目地の変形量は先行炉で審査実績を有する止水目地に対応可能であることを確認した。



逆T擁壁の目開き（法線方向）
イメージ図



逆T擁壁の変形量 概念図

【同一構造形式間での合成変形量の算出方法】

X方向の相対変位 δ_x ： $\delta_x = \text{abs}\{\delta_x(T) \times 2\}$

y方向の相対変位 δ_y ： $\delta_y = \text{abs}\{\delta_y(T) \times 2\}$

z方向の相対変位 δ_z ： $\delta_z = \text{abs}\{\delta_z(T) \times 2\}$

$\delta_x(T)$ ：X方向の最大相対変位

$\delta_y(T)$ ：y方向の最大相対変位

$\delta_z(T)$ ：z方向の最大相対変位

合成方向変位（3方向合成） $\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2 + \delta_z^2}$

評価部位	照査項目	地震動	変形量 (mm)		止水目地の仕様 (mm)		安全率 (止水目地/変形)	判定 (> 1.0)
			全応力解析	有効応力解析	変形量	変形量		
止水目地	変形	S s - D	全応力解析	640	変形量	1000	1.56	OK
			有効応力解析	90	変形量	1000	11.11	OK

4. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討

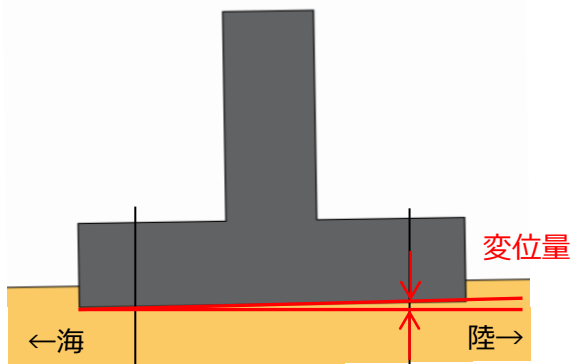
④ グラウンドアンカーの破損

構造成立性検討方法

- 防波壁（逆T擁壁）はグラウンドアンカーを設置するため、基礎底面の傾斜による顕著な変位は生じないと考えているが、動的FEM解析では、グラウンドアンカーを考慮していないことから、基礎底面の傾斜によるグラウンドアンカーの変位量は、動的FEM解析（全応力解析、有効応力解析）における初期位置からの変位量を算出し、グラウンドアンカーの弾性変位量以下であることを確認する。
- グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（平成24年5月）により算出したグラウンドアンカーの弾性変位量 u は、グラウンドアンカーの仕様から $u = \text{約}133\text{mm}$ となる。

構造成立性検討結果

- 地盤の安定解析に用いた動的FEM解析（全応力解析）及び防波壁の構造成立性に用いた動的FEM解析（有効応力解析）における最大傾斜時の変位量は弾性変位量以下であることを確認した。



逆T擁壁の傾斜イメージ図

グラウンドアンカー弾性変位量 u グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（平成24年5月）

$$u = \frac{T \cdot l_{sf}}{A_s \cdot E_s}$$

項目	記号	備考
計画最大荷重	T	2,400kN（テンドン降伏荷重）
テンドン自由長	l_{sf}	16,220mm
テンドン弾性係数	E_s	191kN/mm ²
テンドン断面積	A_s	1,525.7mm ²
弾性変位量	u	133mm

評価部位	照査項目	地震動	変位量 (mm)		弾性変位量 (mm)		安全率 (弾性変位/ 最大変位)	判定 (> 1.0)
			全応力解析		弾性変位量			
グラウンドアンカー	変位	S s-D	全応力解析	102	弾性変位量	133	1.30	OK
			有効応力解析	18	弾性変位量	133	7.38	OK

4. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討 詳細設計段階での検討方針

➤ 防波壁（逆T擁壁）における要求機能を喪失する事象における詳細設計段階での検討方針を下表に示す。

施設	部位の名称	要求機能を喪失する事象	照査項目	詳細設計段階での検討方針
防波壁 (逆T擁壁)	逆T擁壁 (鉄筋コンクリート造)	<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することにより曲げ・せん断破壊し、遮水性を喪失する。 	曲げ せん断	<ul style="list-style-type: none"> 動的FEM解析（有効応力解析）を行い、逆T擁壁が損傷しないことを確認する。
		<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することにより逆T擁壁の隣接する躯体同士が相互に支圧することにより破壊し、遮水性を喪失する。 	曲げ せん断	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁（逆T擁壁）の法線方向の動的FEM解析（有効応力解析）を行い、隣接する躯体の挙動を把握し、防波壁が損傷しないことを確認する。 逆T擁壁の支圧応力度が許容応力度を上回る場合、許容限界を満足する対策を講じる。
	止水目地 (支持部含む)	<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することにより隣接する躯体間（法線方向、法線直交方向）の変形により、止水目地の許容変形量を超える変形が生じ、遮水性を喪失する。 	変形 水圧	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁の法線直交方向及び法線方向の動的FEM解析（有効応力解析）を行い、止水目地の変形量が許容変形量以下であることを確認する。 また、止水目地にかかる水圧が許容水圧以下であることを確認する。
	グラウンドアンカー	<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することによりグラウンドアンカーが破損し、逆T擁壁が転倒する。 	引張	<ul style="list-style-type: none"> グラウンドアンカーをモデル化した動的FEM解析（有効応力解析）を行い、設計アンカー力により逆T擁壁が転倒しないことを確認する。 余裕が確保できなくなった場合には、グラウンドアンカーを追加設置する。

5. まとめ

- 基礎底面の傾斜に対して防波壁に要求される安全機能，及び防波壁（逆T擁壁）の設計方針（損傷モード，許容限界等）を整理した。
- 防波壁（逆T擁壁）の逆T擁壁，止水目地及びグラウンドアンカーが基礎底面の傾斜により損傷し，要求機能を喪失する事象を抽出した。
- 要求機能を喪失する事象に対し，動的FEM解析（全応力解析）及び動的FEM解析（有効応力解析）を用いた照査の結果，防波壁（逆T擁壁）の各部位は許容限界を満足することから，基礎底面の傾斜を考慮しても防波壁は構造成立することを確認した。