

島根原子力発電所 2 号炉 審査資料	
資料番号	EP-066 改 54
提出年月日	令和 3 年 2 月 12 日

島根原子力発電所 2 号炉

津波による損傷の防止

令和 3 年 2 月

中国電力株式会社

第5条：津波による損傷の防止

<目 次>

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項の整理
 - 1.2 追加要求事項に対する適合性
 - (1) 位置、構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
 - 1.3 気象等
 - 1.4 設備等（手順等含む）
2. 津波による損傷の防止
（別添資料1）
島根原子力発電所2号炉 耐津波設計方針について
3. 運用、手順説明
（別添資料2）
島根原子力発電所2号炉 運用、手順説明 津波による損傷の防止
4. 現場確認を要するプロセス
（別添資料3）
島根原子力発電所2号炉 耐津波設計における現場確認を要するプロセスについて

下線は、今回の提出資料を示す。

島根原子力発電所 2 号炉 耐津波設計方針について

目 次

I. はじめに

II. 耐津波設計方針

1. 基本事項

- 1.1 津波防護対象の選定
- 1.2 敷地及び敷地周辺における地形及び施設の配置等
- 1.3 基準津波による敷地周辺の遡上・浸水域
- 1.4 入力津波の設定
- 1.5 水位変動，地殻変動の考慮
- 1.6 設計または評価に用いる入力津波

2. 設計基準対象施設の津波防護方針

- 2.1 敷地の特性に応じた津波防護の基本方針
- 2.2 敷地への浸水防止（外郭防護1）
- 2.3 漏水による重要な安全機能への影響防止（外郭防護2）
- 2.4 重要な安全機能を有する施設の隔離（内郭防護）
- 2.5 水位変動に伴う取水性低下による重要な安全機能への影響防止
- 2.6 津波監視

3. 重大事故等対処施設の津波防護方針

- 3.1 敷地の特性に応じた津波防護の基本方針
- 3.2 敷地への浸水防止（外郭防護1）
- 3.3 漏水による重大事故等に対処するために必要な機能への影響防止
（外郭防護2）
- 3.4 重大事故等に対処するために必要な機能を有する施設の隔離（内郭防護）
- 3.5 水位変動に伴う取水性低下による重大事故等に対処するために必要な
機能への影響防止
- 3.6 津波監視

4. 施設・設備の設計・評価の方針及び条件

- 4.1 津波防護施設の設計
- 4.2 浸水防止設備の設計
- 4.3 津波監視設備の設計
- 4.4 施設・設備等の設計・評価に係る検討事項

(添付資料)

1. 基準津波に対して機能を維持すべき設備とその配置
2. 津波シミュレーションに用いる数値計算モデルについて
3. 地震時の地形等の変化による津波遡上経路への影響について
4. 日本海東縁部に想定される地震による発電所敷地への影響について
5. 港湾内の局所的な海面の励起について
6. 管路計算の詳細について
7. 入力津波に用いる潮位条件について
8. 入力津波に対する水位分布について
9. 津波防護対策の設備の位置付けについて
10. 内郭防護において考慮する溢水の浸水範囲、浸水量について
11. 浸水防護重点化範囲の境界における浸水対策の設置位置、実施範囲及び施工例
12. 基準津波に伴う砂移動評価について
13. 島根原子力発電所周辺海域における底質土砂の分析結果について
14. 海水ポンプ軸受の浮遊砂耐性について
15. 津波漂流物の調査要領について
16. 燃料等輸送船の係留索の耐力について
17. 燃料等輸送船の喫水高さと津波高さとの関係について
18. 漂流物の評価において考慮する津波の流速・流向について
19. 津波監視設備の監視に関する考え方
20. 耐津波設計において考慮する荷重の組合せについて
21. 基準類における衝突荷重算定式及び衝突荷重について
22. 耐津波設計における余震荷重と津波荷重の組合せについて
23. 水密扉の運用管理について
24. 審査ガイドとの整合性（耐津波設計方針）
25. 防波壁の設計方針及び構造成立性評価結果について
26. 防波壁及び防波扉における津波荷重の設定方針について
27. 浸水防護重点化範囲内に設置する海域と接続する低耐震クラス機器及び配管の津波流入防止対策について
28. タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）及び取水槽循環水ポンプエリアに設置する耐震Sクラスの設備に対する浸水影響について
29. 1号炉取水槽流路縮小工について
30. 取水槽除じん機エリア防水壁及び取水槽除じん機エリア水密扉の設計方針及び構造成立性の見通しについて
31. 施設護岸の漂流物評価における遡上域の範囲及び流速について
32. 海水ポンプの実機性能試験について
33. 海水ポンプの吸込流速が砂の沈降速度を上回る範囲について
34. 水位変動・流向ベクトルについて
35. 荷揚場作業に係る車両・資機材の漂流物評価について

36. 構外海域の漂流物が施設護岸及び取水口へ到達する可能性について
37. 津波発生時の運用対応について
38. 地震後の荷揚場の津波による影響評価について
39. 防波壁通路防波扉の設計及び運用対応について
40. 浸水防止設備のうち機器・配管系の基準地震動 S_s に対する許容限界について
41. 1号炉放水連絡通路の閉塞について
42. 総トン数10トン以上のイカ釣り漁船の操業禁止区域について
43. 島根原子力発電所の周辺海域で操業する漁船について
44. 基礎底面の傾斜による防波壁の構造成立性について

(参考資料)

- － 1 島根原子力発電所における津波評価について
- － 2 島根原子力発電所2号炉内部溢水の影響評価について(別添資料1第9章)
- － 3 島根原子力発電所2号炉内部溢水の影響評価について(別添資料1第10章)
- － 4 島根原子力発電所2号炉内部溢水の影響評価について(別添資料1補足説明資料30)
- － 5 津波防護上の地山範囲における地質調査 柱状図及びコア写真集(第762回審査会合 机上配布資料, 第802回審査会合 机上配布資料, 第841回審査会合 机上配布資料)

下線は、今回の提出資料を示す。

基礎底面の傾斜による防波壁の構造成立性について

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。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。

表1 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。

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

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）を表2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。

表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

□：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、地震後の繰返しの襲来を想定した入力津波に対して、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Ss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)	構造部材の健全性を保持するために、逆T擁壁が概ね弾性状態に留まること。	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	逆T擁壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形性能を保持すること。	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。
			止水目地の銅製部材		曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「建築基準法施行令2006年6月」を踏まえた許容応力度とする。
	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。	
			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。	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		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。	

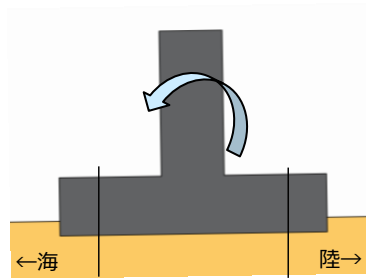
3. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜により要求機能を喪失する事象の抽出

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表3及び図1のとおり整理した。

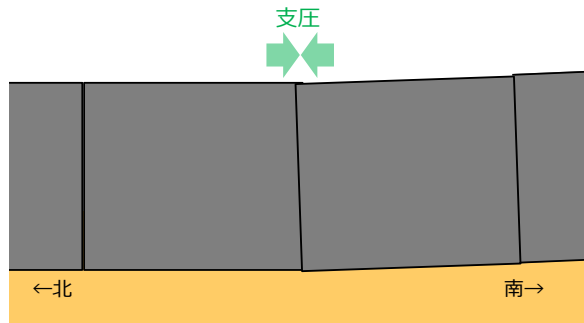
表3 防波壁（逆T擁壁）の傾斜により要求機能を喪失する事象及び設計・施工上の配慮

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。 	○
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。 	○

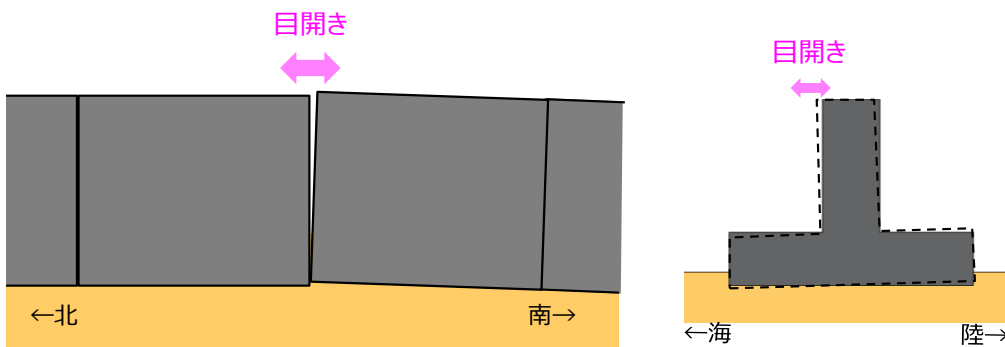
※ 喪失する事象の想定ケース



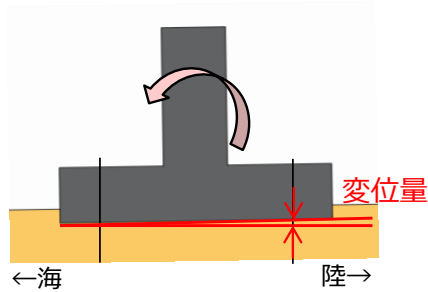
①逆T擁壁の損傷



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

図1 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による要求機能を喪失する事象

4. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討

(1) 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表4に示す。

設置許可段階においては、表4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。

表4 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

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。

ここで、動的FEM解析（全応力解析）及び動的FEM解析（有効応力解析）の概要を説明する。

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。

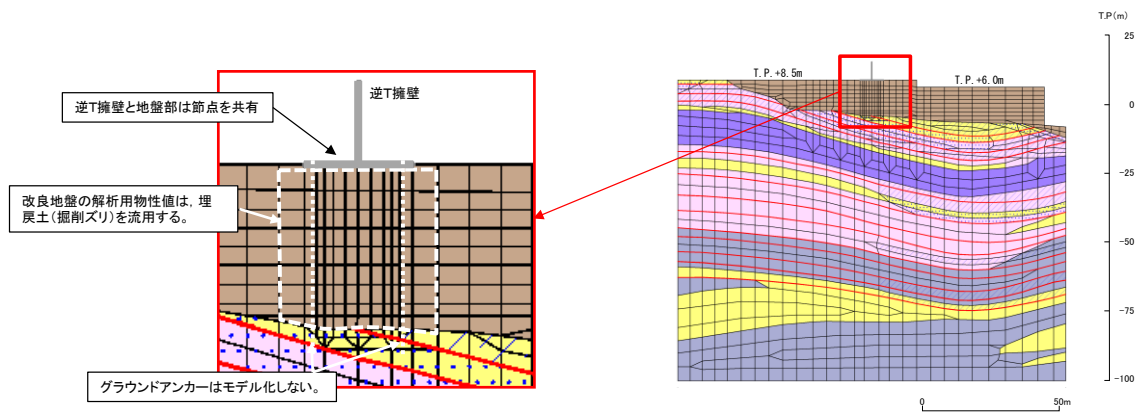


図2 動的FEM解析（全応力解析）解析モデル図

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（ $S_s - D$, 12.09秒）における変形図及び主応力図を図3，図4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。

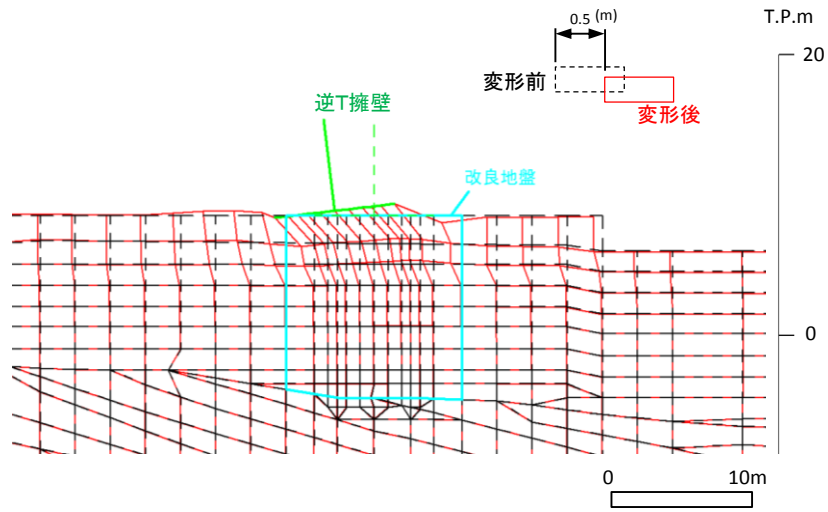


図3 最大傾斜発生時の変形図 (S s - D, 12.09 秒)
(動的FEM解析 (全応力解析))

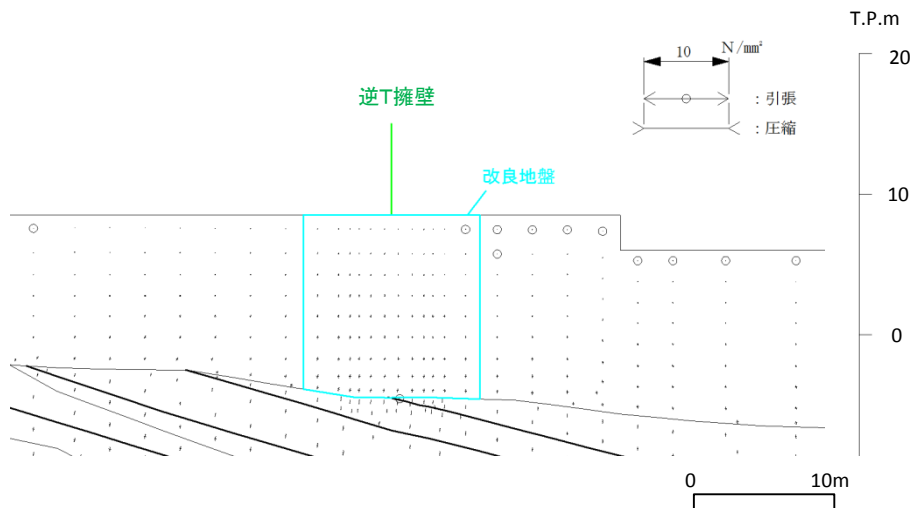


図4 最大傾斜発生時の主応力図 (S s - D, 12.09 秒)
(動的FEM解析 (全応力解析))

表5 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

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。

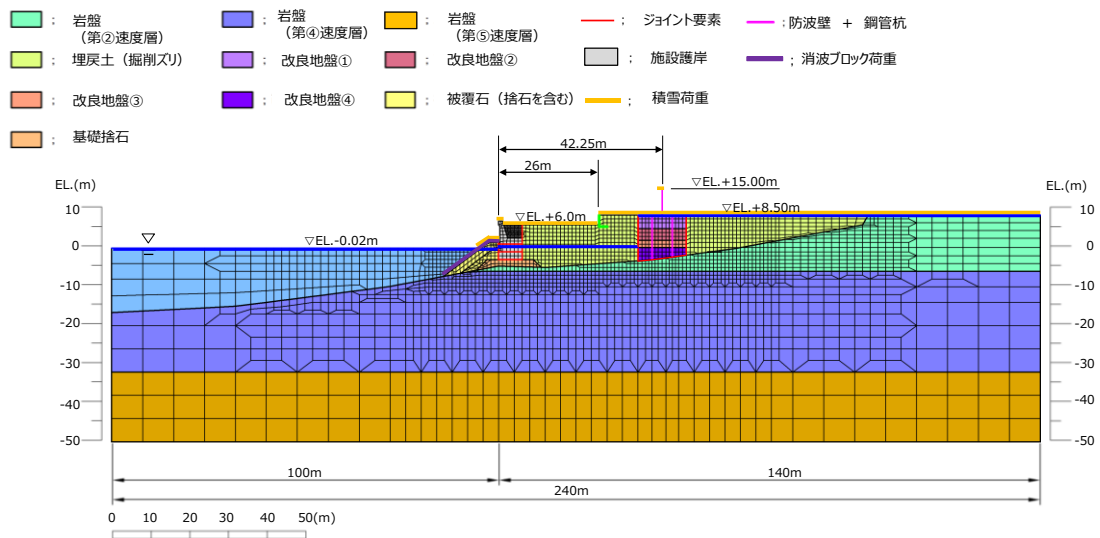
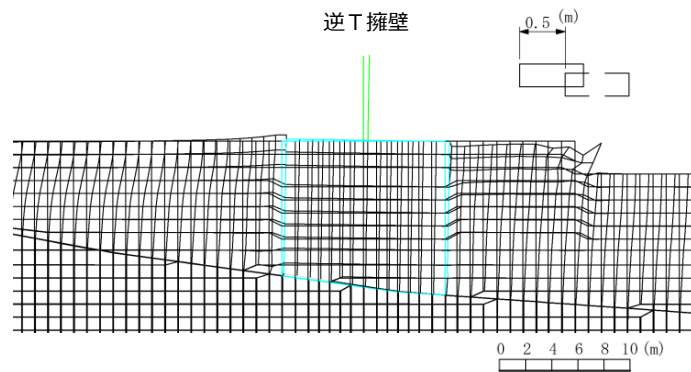


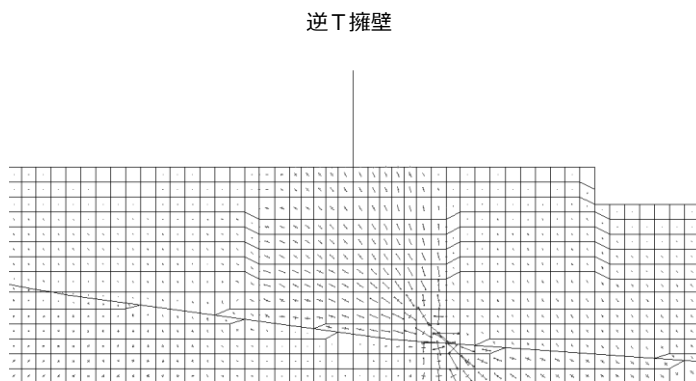
図5 防波壁（逆T擁壁）の解析モデル図（例）

動的FEM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図6，図7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FEM解析（全応力解析）と比較して小さい。



※動的FEM解析（全応力解析）の変形図に合わせ、左右反転している。

図6 最大傾斜発生時の変形図
(動的FEM解析（有効応力解析）)



※動的FEM解析（全応力解析）の変形図に合わせ、左右反転している。

図7 最大傾斜発生時の主応力図
(動的FEM解析（有効応力解析）)

表6 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

地盤の安定解析で用いた動的FEM解析（全応力解析）と防波壁の構造成立性で用いた動的FEM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FEM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FEM解析（全応力解析）及び防波壁の構造成立性で用いた動的FEM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FEM解析（有効応力解析）を用いて傾斜の影響を確認する。

(2) 構造成立性検討方法及び構造成立性検討結果

a. 逆T擁壁の損傷

(a) 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。

(b) 構造成立性検討結果

動的FEM解析（全応力解析）の結果を表7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。

表7 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)		最小安全率 (許容応力/発生応力)	判定 (> 1.0)
縦壁	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

添付資料 25「防波壁の設計方針及び構造成立性評価結果について」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。

表8 短期許容応力に対する照査（有効応力解析）

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)
縦壁	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
	23.91		せん断	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
	23.91		せん断	せん断応力度 τ	0.46	許容せん断応力度 τ_a	0.9	1.95	OK

b. 隣接する躯体同士の支圧による損傷

(a) 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。

- ・ 逆T擁壁に働く慣性力 F

$$F = ma$$

m : 逆T擁壁の質量
 a : 地震時加速度

- ・ 逆T擁壁側の支圧応力度 σ_{cv}

$$\sigma_{cv} = F \div \sum b_i \cdot h_i \leq \sigma_{ca}$$

b_i : 防波壁の幅
 h_i : 防波壁の高さ
 σ_{ca} : 支圧応力度の許容応力度

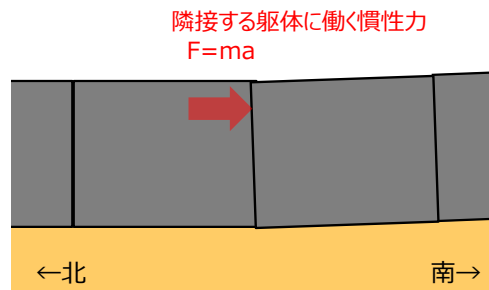


図8 逆T擁壁の相互の支圧イメージ図

(b) 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。

表9 短期許容応力度に対する照査（支圧）

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)		最小安全率 (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

c. 防波壁間の変形による止水目地の損傷

(a) 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で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、保守的に法線直交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。

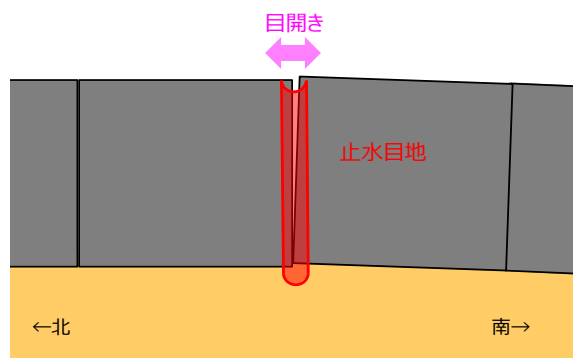
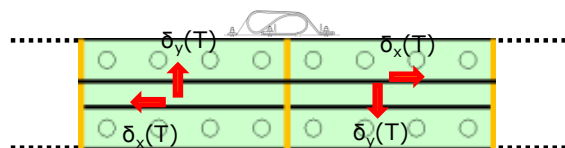


図9 逆T擁壁の目開き（法線方向）イメージ図



【同一構造形式間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） $\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2 + \delta_z^2}$

図 1 0 逆T擁壁の相対変位 概念図

(b) 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で対応可能であることを確認した。

表 1 0 止水目地の許容変形量に対する照査

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

d. グラウンドアンカーの破損

(a) 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。

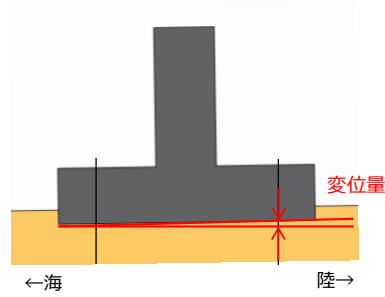


図 1 1 逆 T 擁壁の傾斜イメージ図

- ・ グラウンドアンカー弾性変位量 u

$$u = \frac{T \cdot l_{sf}}{A_s \cdot E_s} \quad \text{グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説 (平成24年5月)}$$

表 1 1 グラウンドアンカーの緒元及び弾性変位量

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

(b) 構造成立性検討結果

地盤の安定解析に用いた動的 F E M 解析 (全応力解析) 及び防波壁の構造成立性に用いた動的 F E M 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。

表 1 2 グラウンドアンカーの破損に対する照査

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	有効応力解析	全応力解析	有効応力解析		
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

(3) 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表13に示す。

表13 詳細設計段階での検討方針

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。 万一、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。 万一裕度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。