

女川原子力発電所2号炉 防潮堤の設計方針について

平成30年1月18日
東北電力株式会社

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

1. 概要
2. 設置許可基準規則への適合性について
3. 津波防護対象施設
4. 防潮堤の概要
5. 女川防潮堤の特徴と他サイト防潮堤との比較
6. 基本設計方針
7. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割
8. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮
9. 部位毎の設計方針

補足説明資料

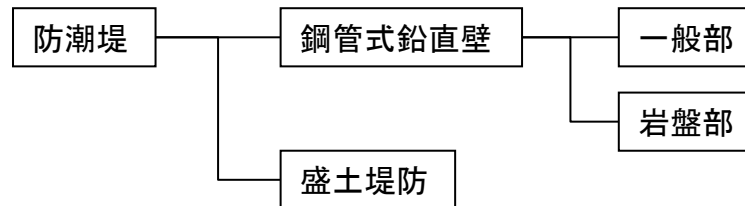
1. 一般産業施設における類似構造の設計・施工例
2. 地下水位の設定について
3. 防潮堤の点検・保守管理の考え方
4. セメント改良土の耐侵食性・耐洗掘性について
5. 防潮堤を横断する構造物の取扱いについて
6. 盛土及び旧表土の施設としての取扱いについて
7. NFシートに係る防潮堤の損傷モードの検討について

参考文献

- 津波防護施設として防潮堤に求められる要求機能は、繰返しの襲来を想定した遡上波に対して浸水を防止すること、基準地震動 S_s に対し要求される機能を損なうおそれがないよう、構造全体として変形能力について十分な余裕を有することである。
- 上記の機能を確保するための性能目標は、基準津波による遡上波に対し余裕を考慮した防潮堤高さを確保するとともに、構造体の境界部等の止水性を維持し、基準地震動 S_s に対し止水性を損なわない構造強度を有した構造物とすることである。

女川においては、入力津波O.P.+23.9m^{※1}に対して高さO.P.+29m^{※1, 2}の防潮堤を設置し、地震時の変位や変形を考慮しても十分な余裕を確保した防潮堤高さととなっている。

- 防潮堤の構造形式は、鋼管式鉛直壁及び盛土堤防に分類され、鋼管式鉛直壁は、さらに一般部と岩盤部に分類される。



- 防潮堤は、地震後及び津波後の再使用性と津波の繰返し作用を考慮し、構造物全体の変形能力に対して十分な裕度を有するよう設計する。また、津波の検討においては地震による影響を考慮したうえで評価する。

※1: O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面 (T.P.)-0.74m。

※2: 津波防護設計においては、2011年東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、一様に約1mの沈降が発生したことを考慮した値を用いる。

2. 設置許可基準規則への適合性について

2.1 防潮堤に関する設置許可基準規則と各条文に対する確認事項①

- 防潮堤に関する「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」(以下、設置許可基準規則という。)の条文と、各条文(第3条, 第4条, 第5条)に対する確認事項を以下のとおり整理した。
- 以下の事項を確認することにより、防潮堤の各条文への適合性を確認する。

設置許可基準規則	各条文に対する確認事項	本資料の説明範囲
第3条 設計基準対象施設の地盤		
設計基準対象施設は、次条第二項の規定により算定する地震力が作用した場合においても当該設計基準対象施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> 地震力が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有すること 基準地震動による地震力が作用することによって弱面上のずれ等が発生しないことを含め、基準地震動による地震力に対する支持性能が確保されていること 	○ — (基礎地盤の安定性評価にて説明予定)
2 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。	<ul style="list-style-type: none"> 地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及び撓み 液状化及び揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状を考慮しても、施設の安全機能が損なわれるおそれがないこと 	— (基礎地盤の安定性評価にて説明予定) ○
3 耐震重要施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤にずれが生じないこと 	— (敷地の地質・地質構造にて説明済み)
第4条 地震による損傷の防止		
3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> 常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重等と基準地震動による地震力の組合せに対して、構造全体として変形能力について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能を保持すること 	○

2.1 防潮堤に関する設置許可基準規則と各条文に対する確認事項②

設置許可基準規則	各条文に対する確認事項	本資料の説明範囲
第5条 津波による損傷の防止		
設計基準対象施設は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 基準津波による遡上波を地上部から到達又は流入させないこと ・ Sクラスに属する設備が基準津波による遡上波が到達する高さにある場合には、防潮堤等の津波防護施設及び浸水防止設備を設置すること 	○
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 遡上波の到達防止に当たっては、敷地及び敷地周辺の地形及びその標高、河川等の存在並びに地震による広域的な隆起・沈降を考慮して、遡上波の回込みを含め敷地への遡上の可能性を検討すること ・ 地震による変状又は繰り返し襲来する津波による洗掘・堆積により地形又は河川流路の変化等が考えられる場合は、敷地への遡上経路に及ぼす影響を検討すること 	— (耐津波設計方針にて説明予定)
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 入力津波に対して津波防護機能が保持できること ・ 津波防護施設については、その構造に応じ、波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるよう設計すること ・ 津波防護施設の外側の発電所敷地内及び近傍において建物・構築物及び設置物等が破損、倒壊及び漂流する可能性がある場合には、防潮堤等の津波防護施設に波及的影響を及ぼさないよう、漂流防止措置又は津波防護施設への影響の防止措置を施すこと ・ 耐津波設計上の十分な裕度を含めるため、各施設・設備の機能損傷モードに対応した荷重(浸水高、波力・波圧、洗掘力及び浮力等)について、入力津波から十分な余裕を考慮して設定すること ・ 余震の発生の可能性を検討した上で、必要に応じて余震による荷重と入力津波による荷重との組合せを考慮すること ・ 入力津波の時刻歴波形に基づき、津波の繰り返しの襲来による作用が津波防護機能へ及ぼす影響について検討すること 	○
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地震による敷地の隆起・沈降、地震(本震及び余震)による影響、津波の繰り返しの襲来による影響及び津波による二次的な影響(洗掘、砂移動及び漂流物等)を考慮すること 	○
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 津波防護施設の設計に当たっては、入力津波による水位変動に対して朔望平均潮位を考慮して安全側の評価を実施すること。なお、その他の要因による潮位変動についても適切に評価し考慮すること。また、地震により陸域の隆起又は沈降が想定される場合、想定される地震の震源モデルから算定される、敷地の地殻変動量を考慮して安全側の評価を実施すること 	○

2. 設置許可基準規則への適合性について

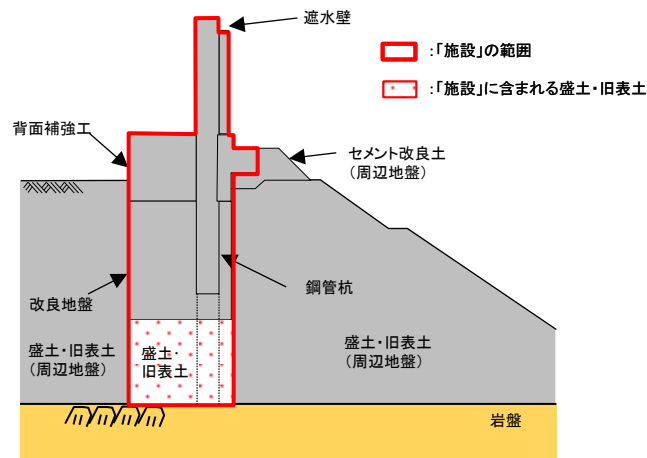
2.2 盛土・旧表土の施設としての取扱いについて

1. 盛土・旧表土の位置付け

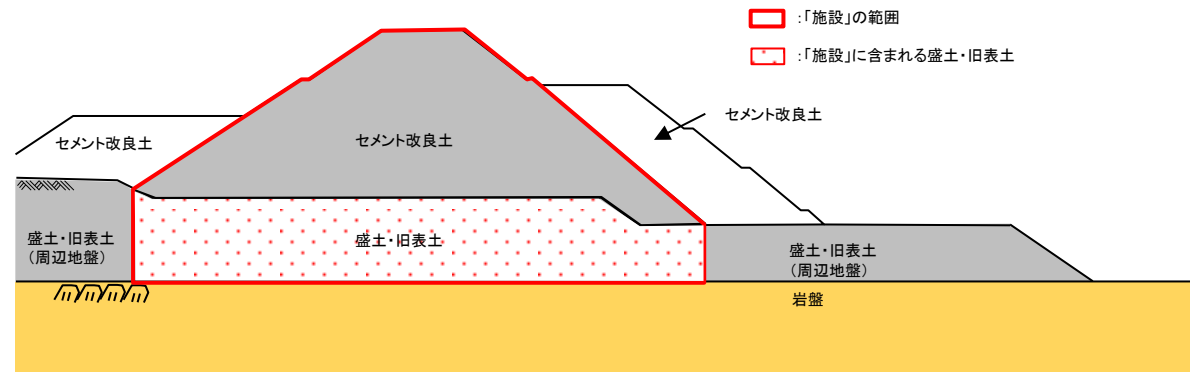
- 新規制基準への適合性検討において、設置許可基準規則第3条のうち「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」に係る事項については、基本設計（設置変更許可）段階における検討として、耐震重要施設の基礎地盤を岩盤とし、適合性を確認している。一方、防潮堤は、後段規制（工事計画認可）における設計として、基礎地盤である岩盤は安定であるとの前提の下、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」に基づき、設置許可基準規則第4条及び第5条を中心に設計しており、第3条に対しては、液状化及び揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状や、岩盤に対する支持力（接地圧や杭反力）を確認している。
- 防潮堤の工事計画認可においては、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」の「盛土構造の防潮堤」及び「杭基礎」に適合するよう設計しているが、防潮堤に作用する各種の荷重を鋼管杭周囲の改良地盤及びその直下の盛土・旧表土や、盛土堤防におけるセメント改良土直下の盛土・旧表土を介して岩盤に伝達することにより、岩盤に支持させている。
- 従来、施設周囲の盛土・旧表土は、施設との相互作用により荷重や側方抵抗となることから、設計上、周辺地盤として考慮していたが、本防潮堤においては、鋼管式鉛直壁（一般部）における改良地盤下方の盛土・旧表土や盛土堤防におけるセメント改良土下方の盛土・旧表土の健全性を前提に、津波に対する防潮堤の高さを維持する設計としていることから、鋼管式鉛直壁（一般部）における改良地盤下方の盛土・旧表土及び盛土堤防におけるセメント改良土下方の盛土・旧表土については防潮堤が機能を発揮するための一部と考えている。

2. 盛土・旧表土の取扱い

- 防潮堤が機能を発揮するための一部と考えている、以下に示す範囲の盛土・旧表土を「施設」と定義し、管理していくこととする。防潮堤の点検・保守管理の考え方を補足説明資料3に、盛土・旧表土の施設としての取扱いを補足説明資料6に示す。
- 「施設」に含まれない盛土・旧表土については、津波荷重や地震荷重に対する側方抵抗として働くものであり、周辺地盤と定義して設計に考慮する。



鋼管式鉛直壁（一般部）における
「施設」に含まれる盛土・旧表土



盛土堤防における
「施設」に含まれる盛土・旧表土

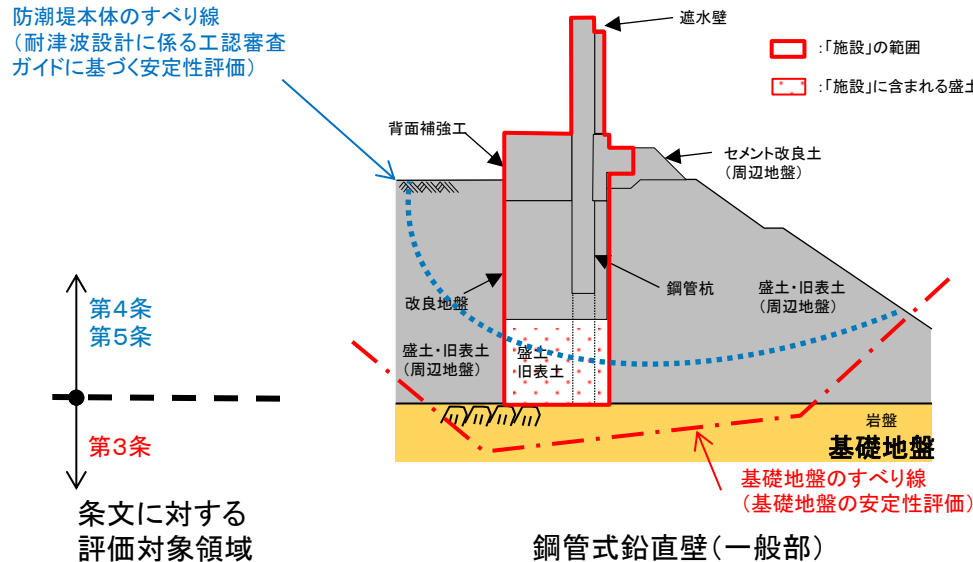
2. 設置許可基準規則への適合性について

2.3 盛土・旧表土の取扱いを踏まえた条文に対する検討要旨

- 新規制基準への適合性において、岩盤を基礎地盤とし、盛土・旧表土の一部を施設として取扱うことを踏まえ、設置許可基準規則の各条文に対する検討要旨は、下表のとおりと考えている。

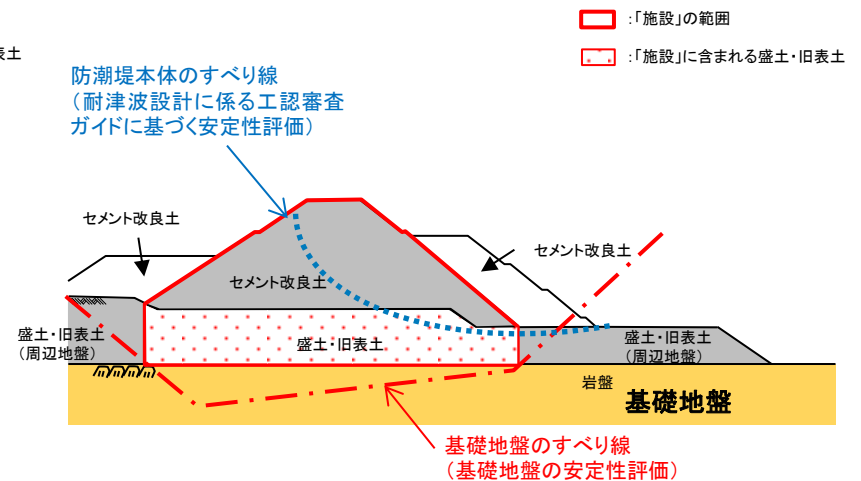
規則	検討要旨
第3条(設計基準対象施設の地盤)	<ul style="list-style-type: none"> 基礎地盤である岩盤を対象とし、岩盤内にすべり線を想定し、基礎地盤の安定性を確認する。
第4条(地震による損傷の防止)	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤より上部に設置した施設に対する耐震安全性を評価し、施設と施設の周辺地盤との動的相互作用を考慮したうえで、施設の耐震安全性を確認する。 液状化検討対象層の地震時の挙動を考慮したうえで施設の耐震安全性が維持できることや、地震時の接地圧が岩盤の支持力を下回ることを確認を含む。
第5条(津波による損傷の防止)	<ul style="list-style-type: none"> 地震(本震及び余震)による影響を考慮したうえで、機能が保持できることを確認する。 液状化検討対象層の地震時の挙動の考慮を含む。

防潮堤本体のすべり線
(耐津波設計に係る工認審査
ガイドに基づく安定性評価)



鋼管式鉛直壁(一般部)

防潮堤本体のすべり線
(耐津波設計に係る工認審査
ガイドに基づく安定性評価)






盛土堤防

3. 津波防護対象施設

- 設置許可基準規則第5条及び第40条の対象となる「津波防護対象施設」を以下に示す。



凡例

-  : 設計基準対象施設及び常設重大事故等対処施設の津波防護対象設備を内包する建屋及び区画
-  : 常設重大事故等対処施設の津波防護対象設備を内包する建屋及び区画
-  : 可搬型重大事故等対処施設の津波防護対象設備を内包する建屋及び区画

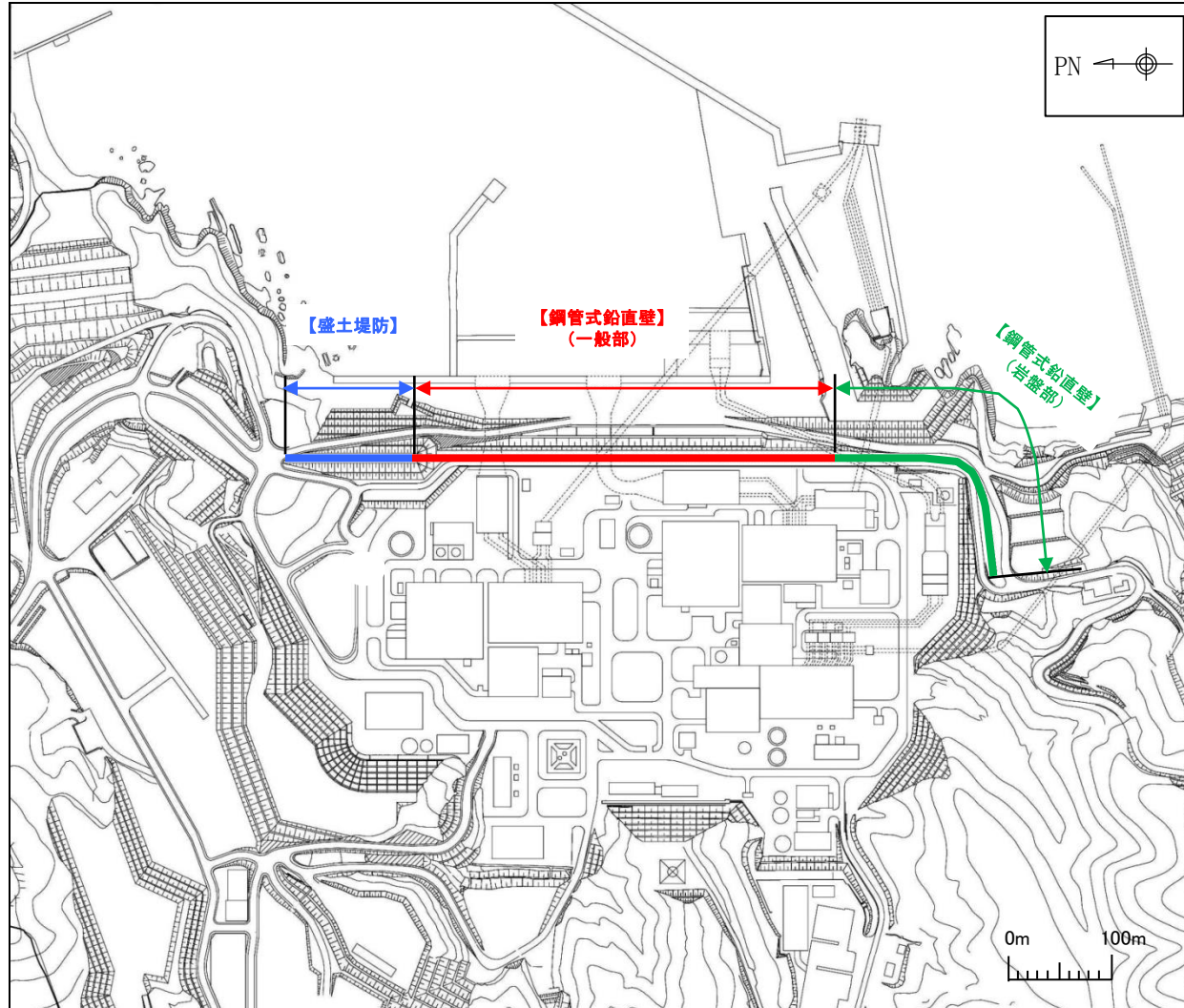
※1: O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面(T.P.)-0.74m。

※2: 津波防護設計においては、2011年東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、一様に約1mの沈降が発生したことを考慮した値を用いる。

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

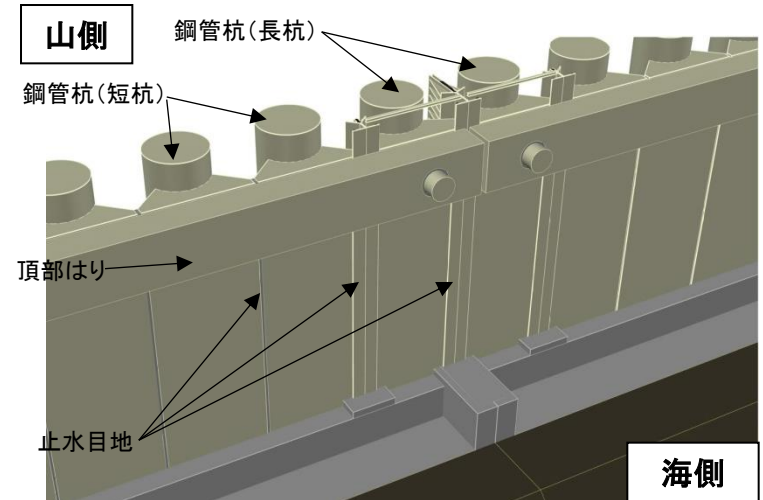
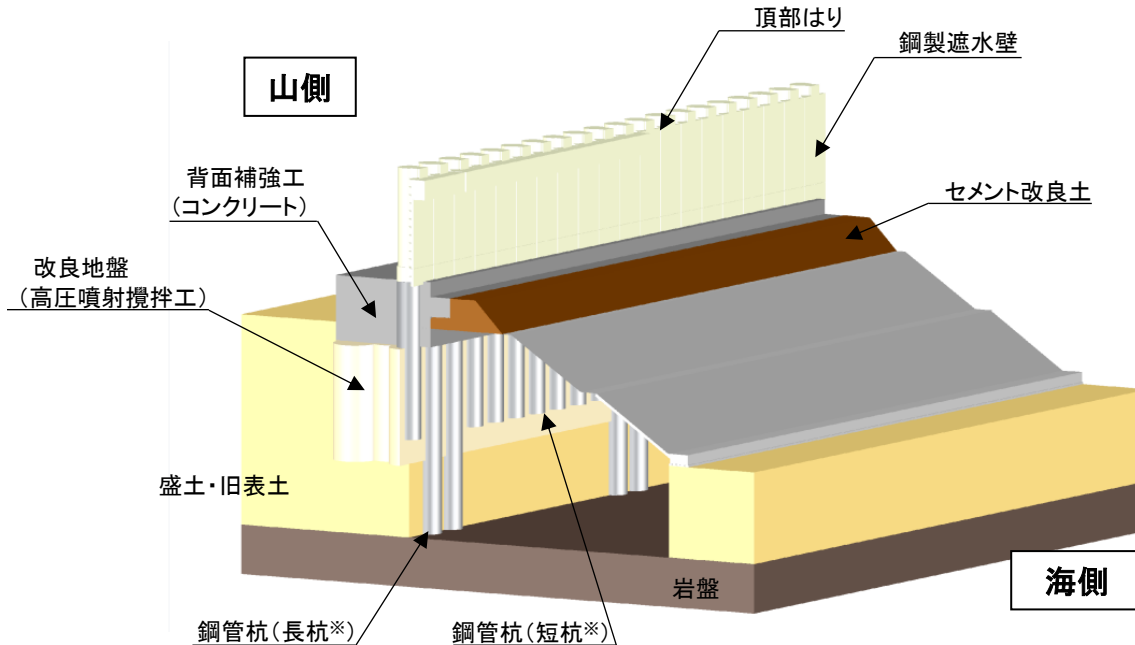
4.1 防潮堤の構造形式

- 防潮堤の構造形式は、鋼管式鉛直壁と盛土堤防の2つに分類され、鋼管式鉛直壁は、さらに一般部と岩盤部に分類される。



4.2 鋼管式鉛直壁(一般部) 構造の概要(1/4)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)の構造及び評価対象部位と役割を以下に示す。

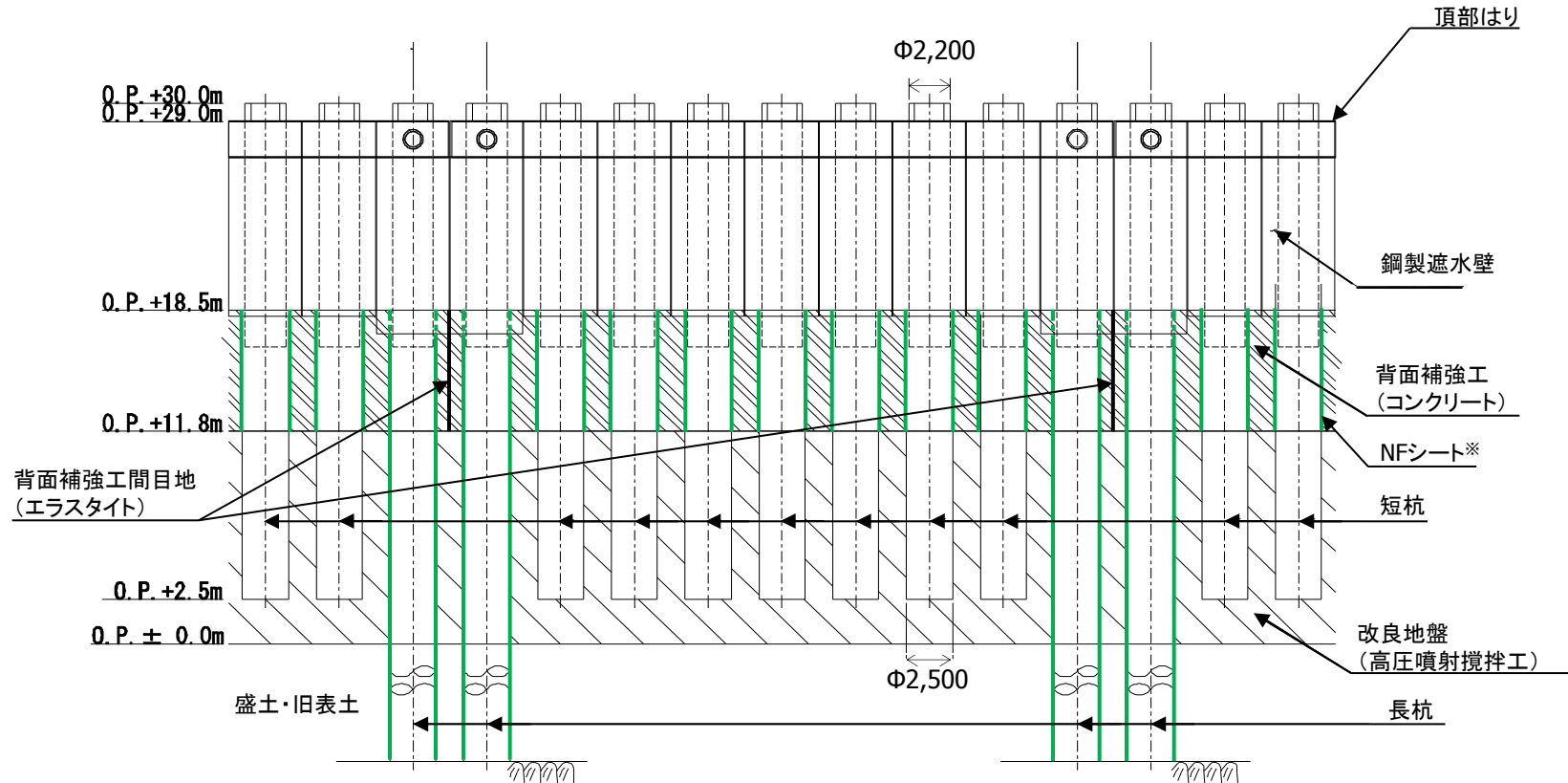


評価対象部位		役割
鋼管杭	長杭※	鋼製遮水壁及び頂部はりを支持
	短杭※	鋼製遮水壁を支持
鋼製遮水壁		止水機能の保持
止水目地		鋼製遮水壁間の止水機能の保持
頂部はり		入力津波を超える高さの津波に対して敷地への越波流量等の低減
背面補強工	改良地盤	鋼管杭の変位を抑制
改良地盤		
セメント改良土	盛土・旧表土	止水機能を保持 基礎地盤に津波時等の荷重を伝達
盛土・旧表土		
基礎地盤(岩盤)		防潮堤全体を支持

※:「長杭」,「短杭」は, 鋼管式鉛直壁(一般部)を構成する2種類の長さの鋼管杭に対して設計図書の中で付けた名称

4.2 鋼管式鉛直壁(一般部) 構造の概要(2/4)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)の鋼管杭は、長杭(岩盤に直接支持される杭)2本と長杭の間に配置する短杭(改良地盤中に構築され、盛土・旧表土を介して岩盤に支持される杭)から構成され、短杭については、改良地盤下方の盛土・旧表土の沈下に伴い、改良地盤とともに若干の沈下を許容する構造とする。
- 防潮堤の高さは、入力津波高さに対して十分な余裕を確保し、短杭が若干沈下しても防潮堤の機能は維持できる。



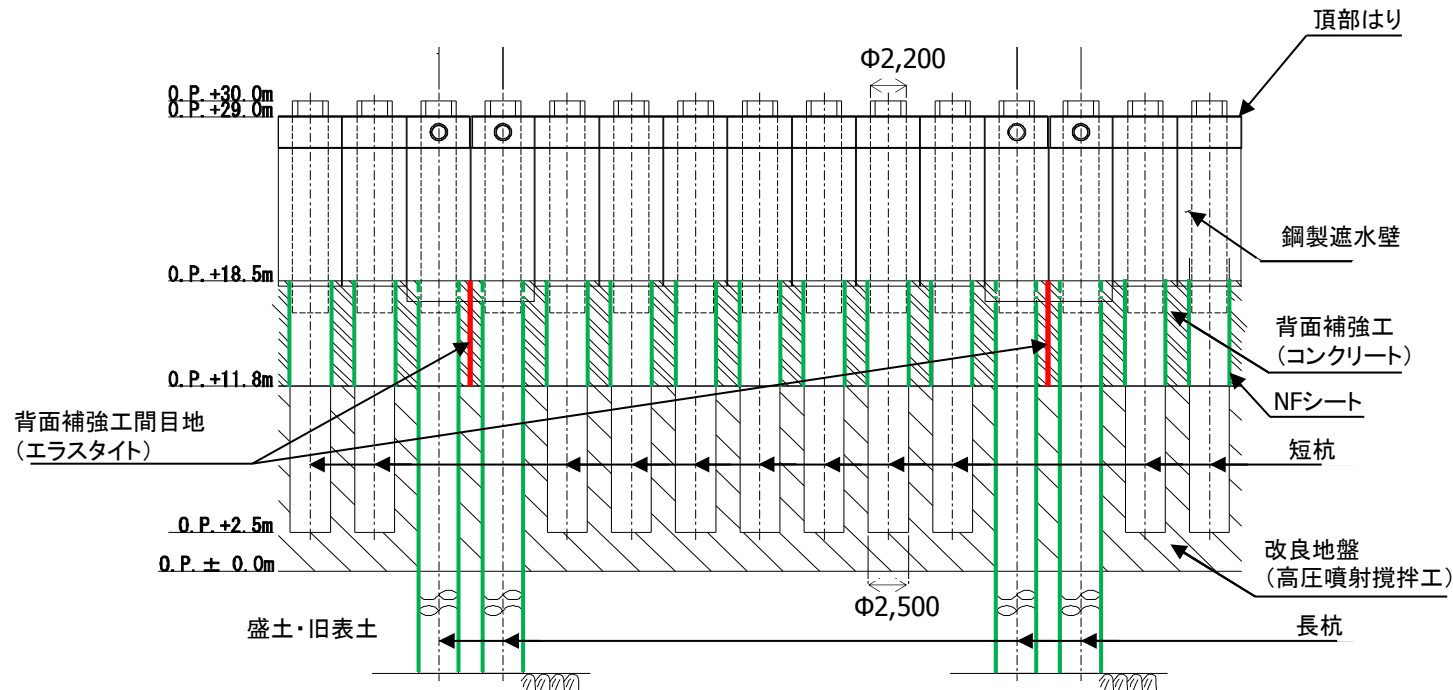
鋼管式鉛直壁(一般部)正面図

※ アスファルトをシートに成形したものであり、その粘弾性により、杭周面に作用するネガティブフリクションを低減する。
本資料では『NFシート』と呼ぶ。

4.2 鋼管式鉛直壁(一般部) 構造の概要(3/4)

《背面補強工の目地による影響》

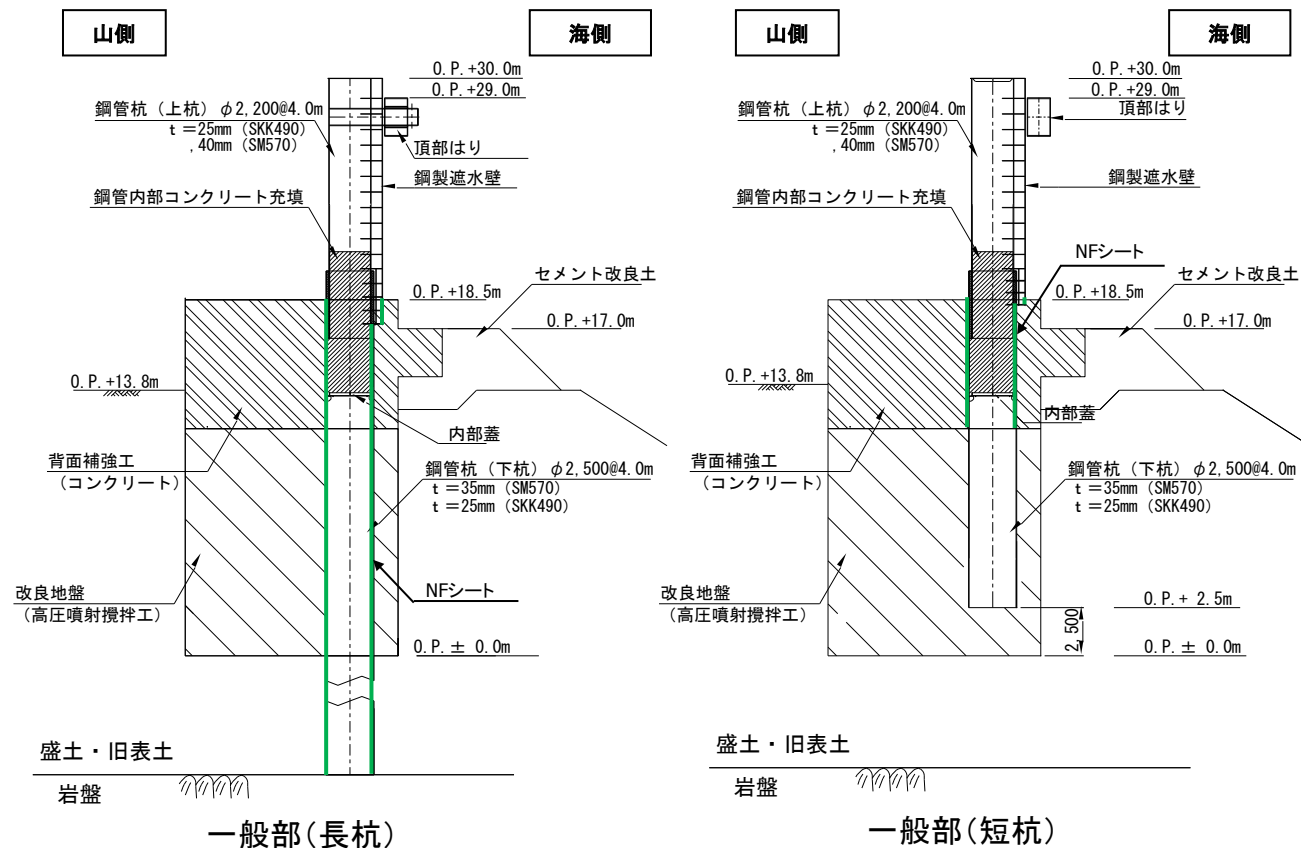
- 背面補強工(コンクリート)ブロック間には目地(エラストイト)が入っているが、その下方にある改良地盤には目地が入らない。背面補強工間目地の存在による影響について整理した。
- (メリット)
 - 背面補強工間に変位が生じた場合に、背面補強工の躯体が損傷しにくくなる。
- (デメリット)
 - 改良地盤には目地が無いいため、背面補強工間に変位が生じた場合、改良地盤にひび割れが生じる可能性がある。
 - ⇒改良地盤の引張の発生状況を考慮して評価し、改良地盤が概ね健全であること、鋼管杭が概ね弾性範囲にあることを確認する。
 - 背面補強工間で挙動が異なる可能性がある。
 - ⇒変位を保守的に設定したうえで、鋼製遮水壁間の相対変位に対応可能な止水目地を設置する。



鋼管式鉛直壁(一般部)正面図

4.2 鋼管式鉛直壁(一般部) 構造の概要(4/4)

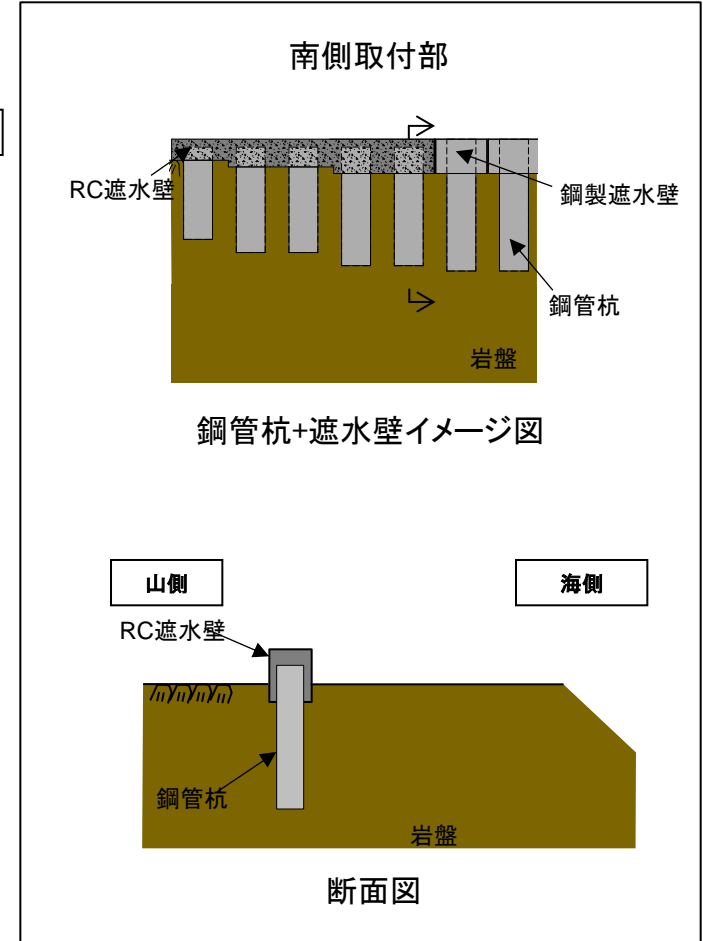
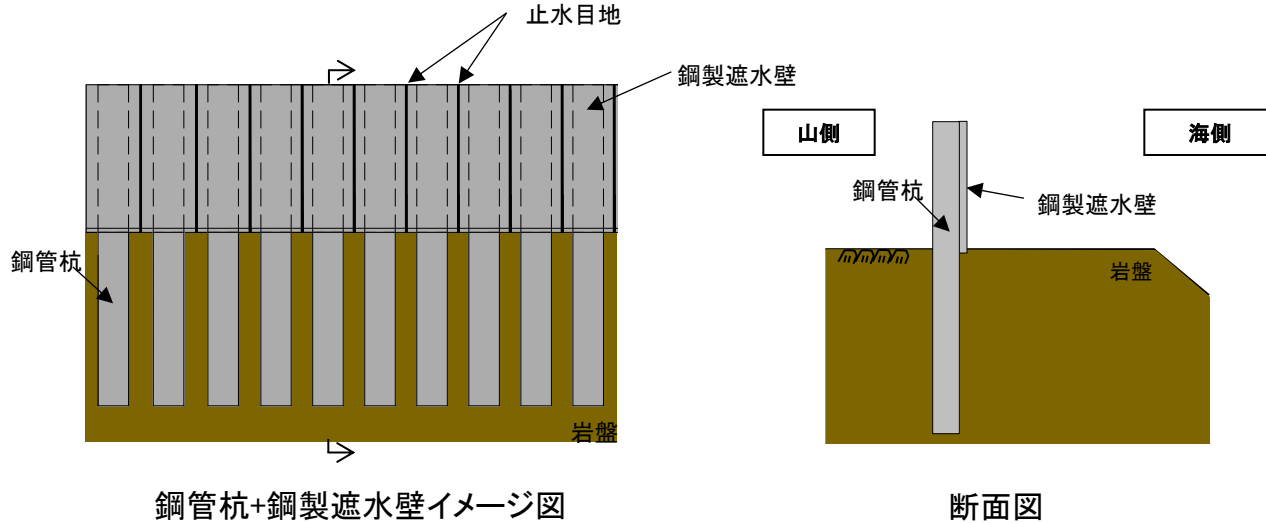
- 鋼管式鉛直壁(一般部)の鋼管杭は、長杭(岩盤に直接支持される杭)2本と、長杭の中間に配置する短杭(改良地盤中に構築され、盛土・旧表土を介して岩盤に支持される杭)から構成され、短杭については、改良地盤下方の盛土・旧表土の沈下に伴い、改良地盤とともに若干の沈下を許容する構造とする。
- 防潮堤の高さは、入力津波高さに対して十分な余裕を確保し、短杭が若干沈下しても防潮堤の機能は維持できる。
- 長杭・短杭いずれも、施工性のため上杭(Φ2,200mm)と下杭(Φ2,500mm)に分けて施工しており、接続部周辺をコンクリートで充填している。



鋼管式鉛直壁(一般部)断面図

4.3 鋼管式鉛直壁(岩盤部) 構造の概要(1/2)

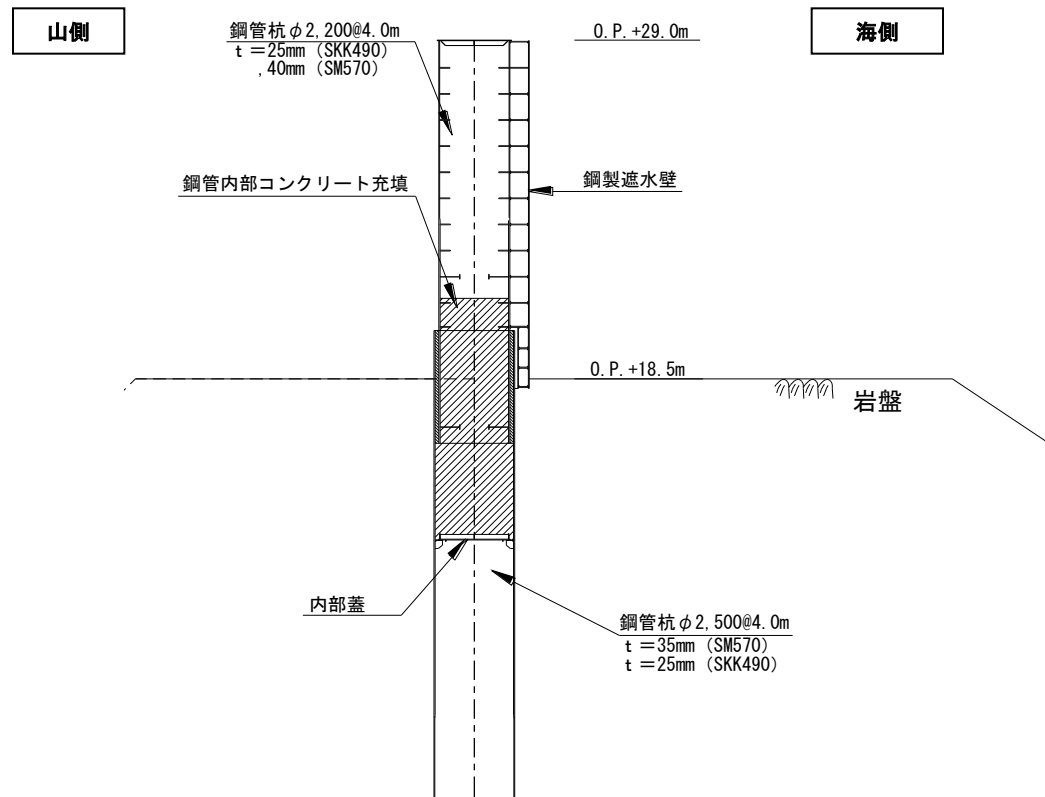
- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の構造及び評価対象部位と役割を以下に示す。



評価対象部位	役割
鋼管杭	鋼製遮水壁を支持
鋼製遮水壁 (RC遮水壁)	止水機能の保持
止水目地	鋼製遮水壁間の止水機能の保持
基礎地盤(岩盤)	鋼管杭を支持

4.3 鋼管式鉛直壁(岩盤部) 構造の概要(2/2)

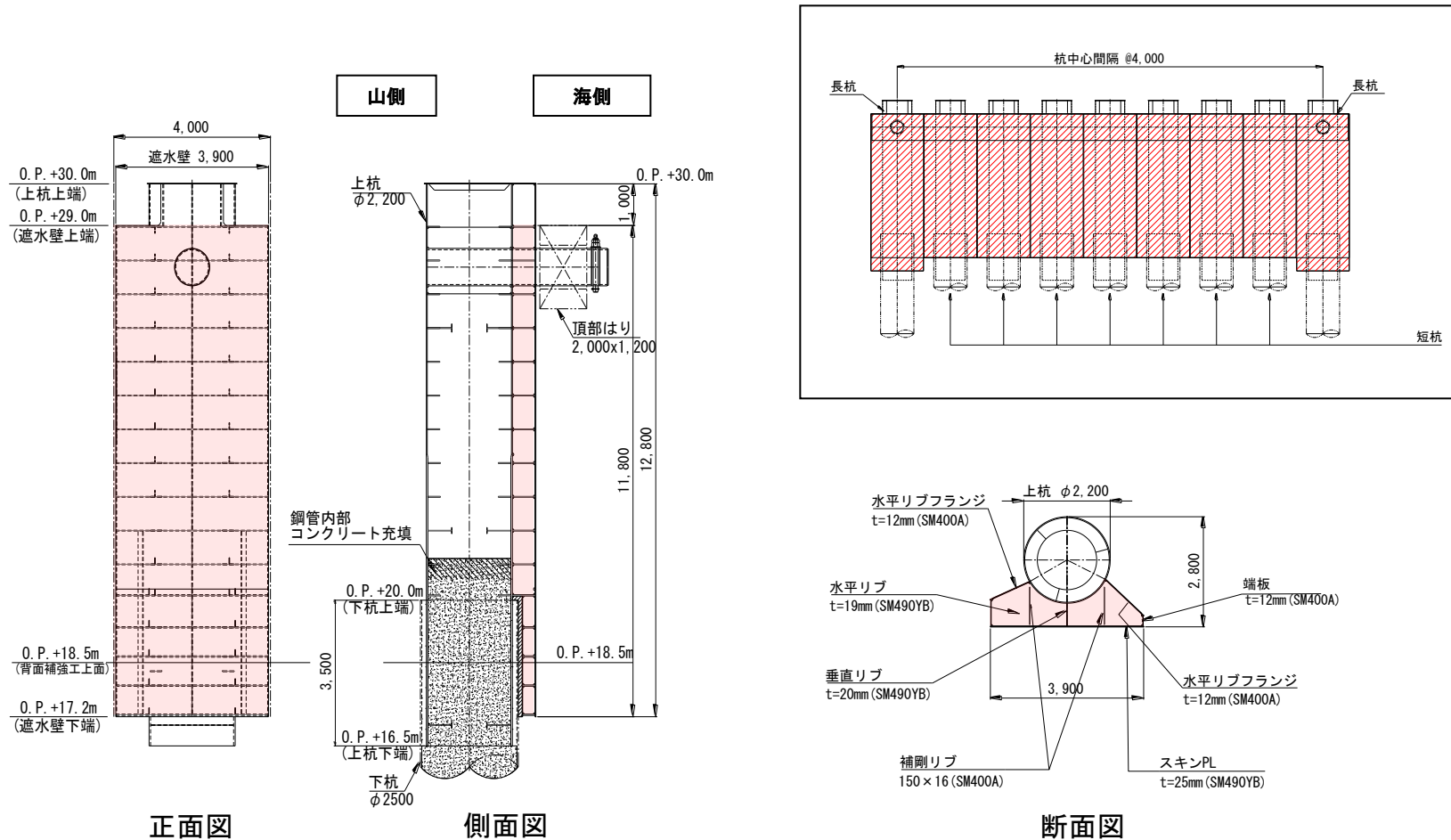
- ・岩盤部は、岩盤に支持される鋼管杭と、鋼管杭の前面に設置した鋼製遮水壁で構成される。



鋼管式鉛直壁(岩盤部)断面図

4.4 鋼管式鉛直壁 鋼製遮水壁の概要

- ・津波波圧を受ける鋼製遮水壁は、各鋼管杭の前面に設置する。
鋼製遮水壁の間は、地震時等に発生する鋼製遮水壁間の変位に追従できる止水目地を設置する。

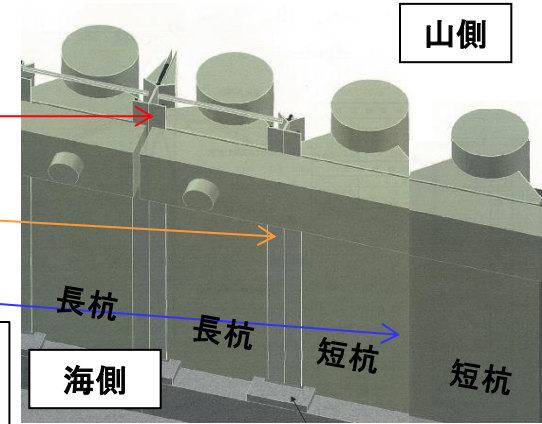


鋼製遮水壁詳細図(鋼管式鉛直壁(一般部:長杭))

4.5 鋼管式鉛直壁 止水目地の概要

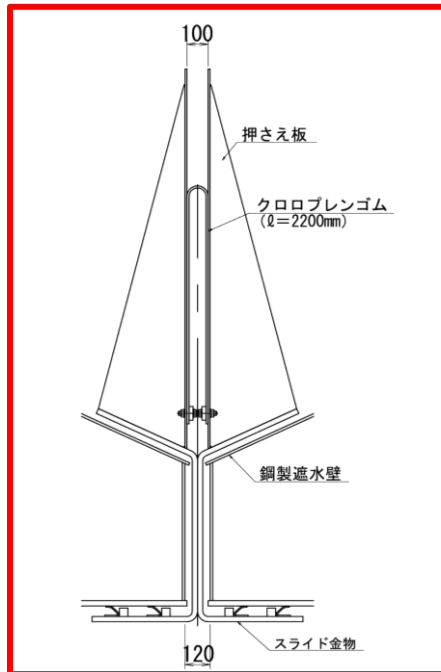
・鋼製遮水壁間の止水目地は想定される変位より3種類を考慮する。

- ・長杭—長杭間 止水目地①(大) :
- ・長杭—短杭間 止水目地①(小) :
- ・短杭—短杭間 止水目地② :

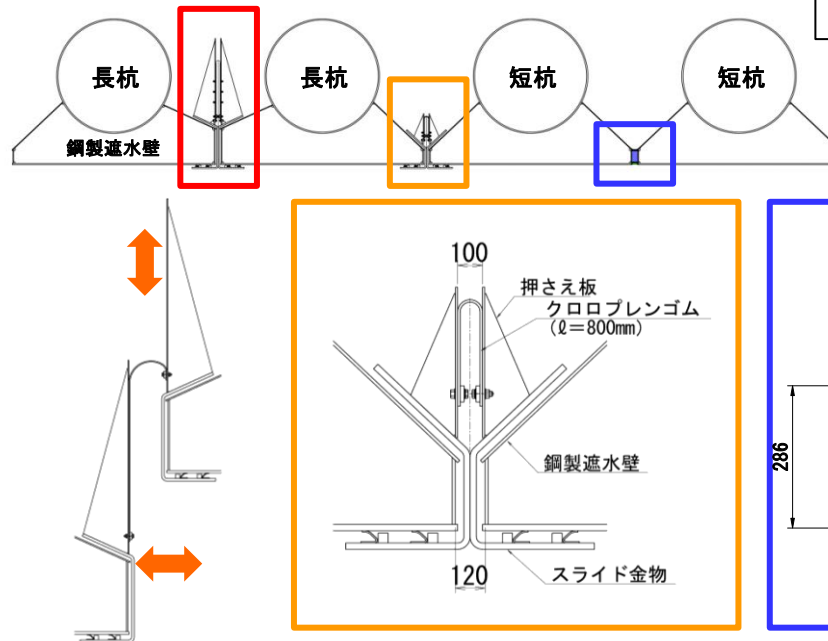


- ・長杭—長杭間の変位: 背面補強工の隣接するブロック下方の土層(盛土・旧表土)の違いにより, 相対変位が発生する可能性がある。
- ・長杭—短杭間: 杭の構造の違い及び頂部はりの支持(長杭のみ)により, 相対変位が発生する可能性がある。
- ・短杭—短杭間: 杭の構造が同様で隣接しているため, ほとんど相対変位が発生しない。

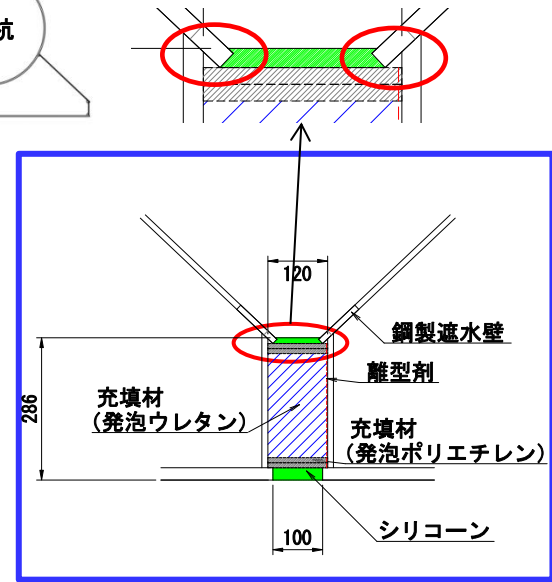
海側からの津波荷重に対し, 敷地側に抜けないよう鋼製遮水壁の突起が抵抗する。
津波荷重に対する抵抗性は, 試験にて確認する。



止水目地①(大)



止水目地①(小)

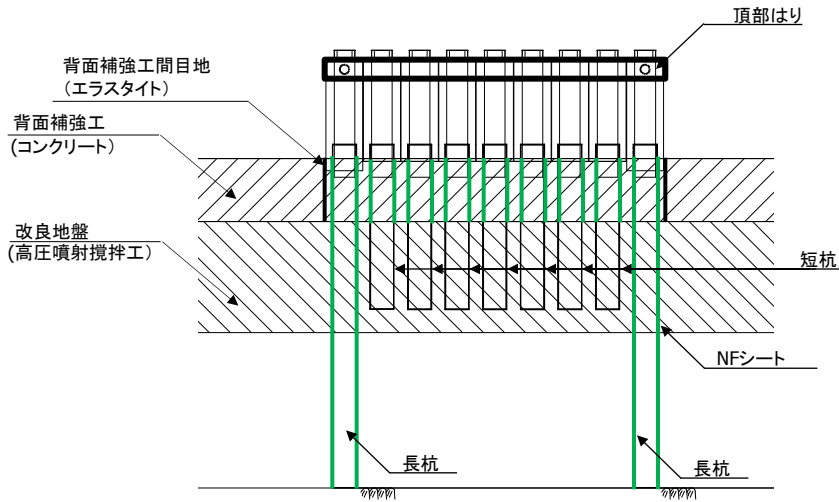


止水目地②

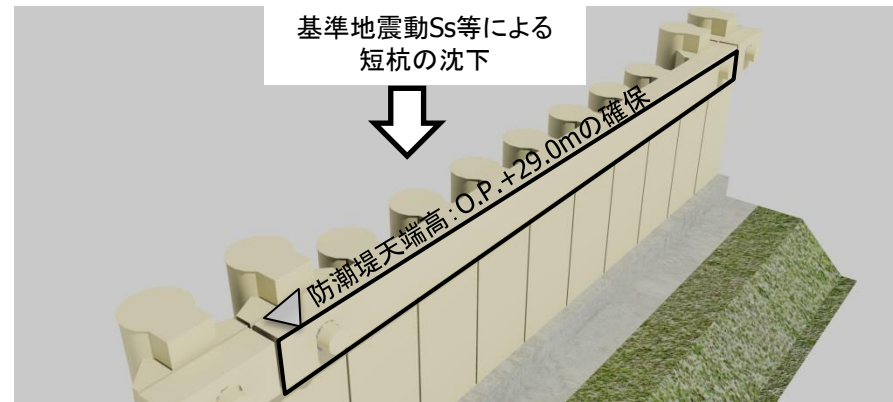
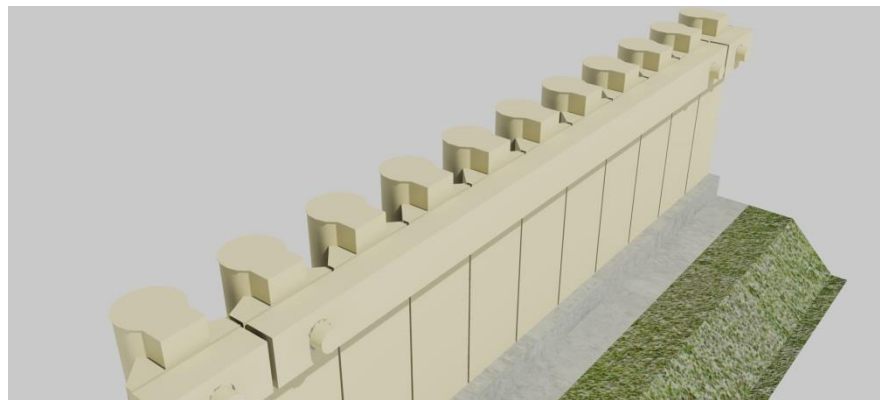
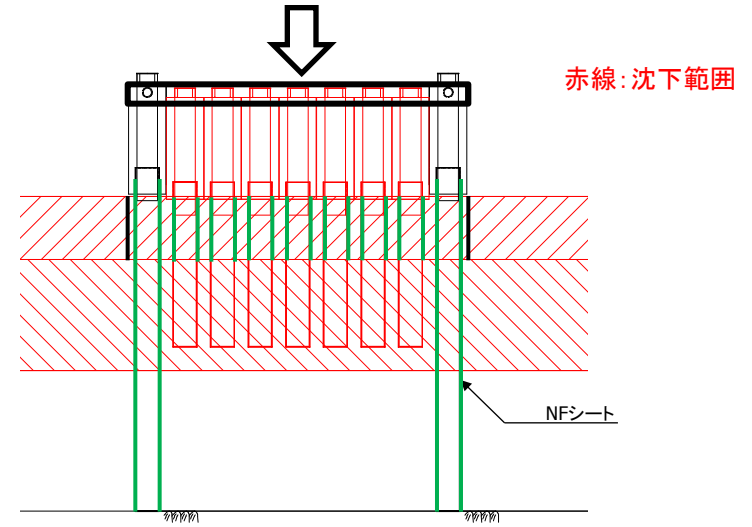
※止水目地の仕様については今後の検討で変更の可能性がある。

4.6 鋼管式鉛直壁(一般部) 頂部はりの概要(1/2)

- ・長杭に支持される頂部はりは、地震荷重等によっても沈下せず、設計高さを維持することにより、入力津波を超える高さの津波に対して、越波流量等を制限する。

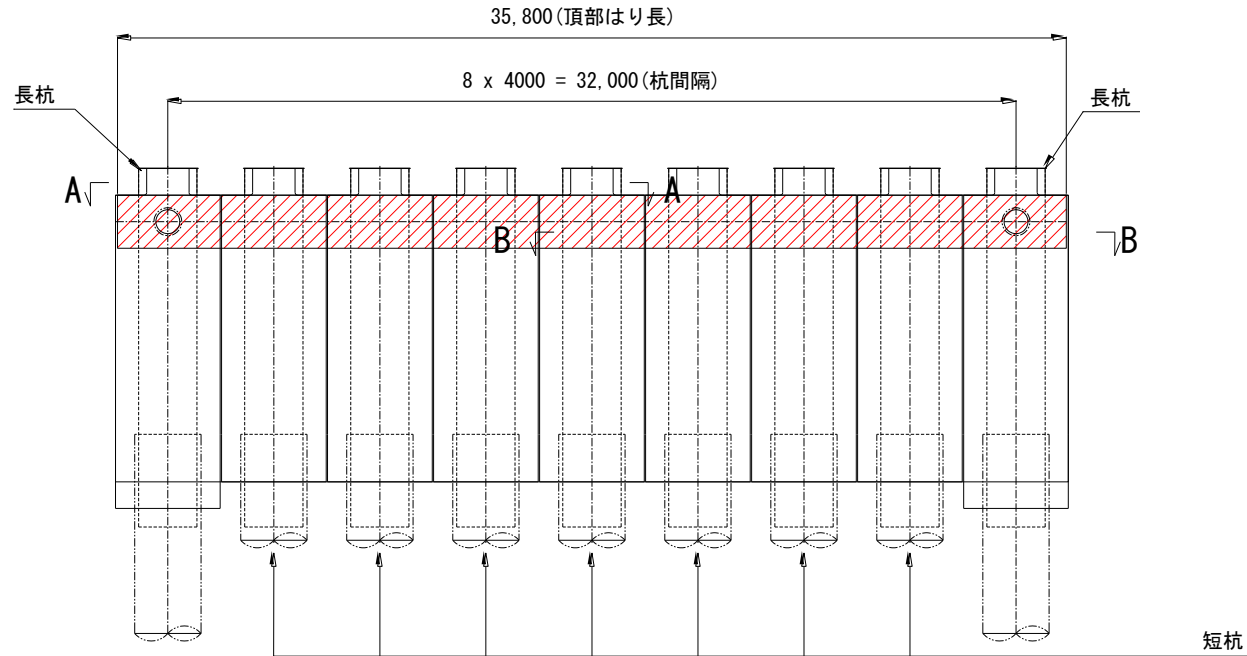


基準地震動Ss等による短杭の沈下

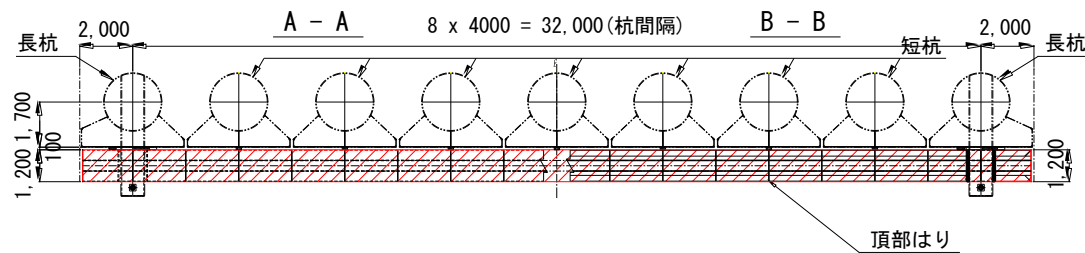


4.6 鋼管式鉛直壁(一般部) 頂部はりの概要(2/2)

- ・長杭に支持される頂部はりは、地震荷重等によっても沈下せず、設計高さを維持することにより、入力津波を超える高さの津波に対して、越波流量等を制限する。



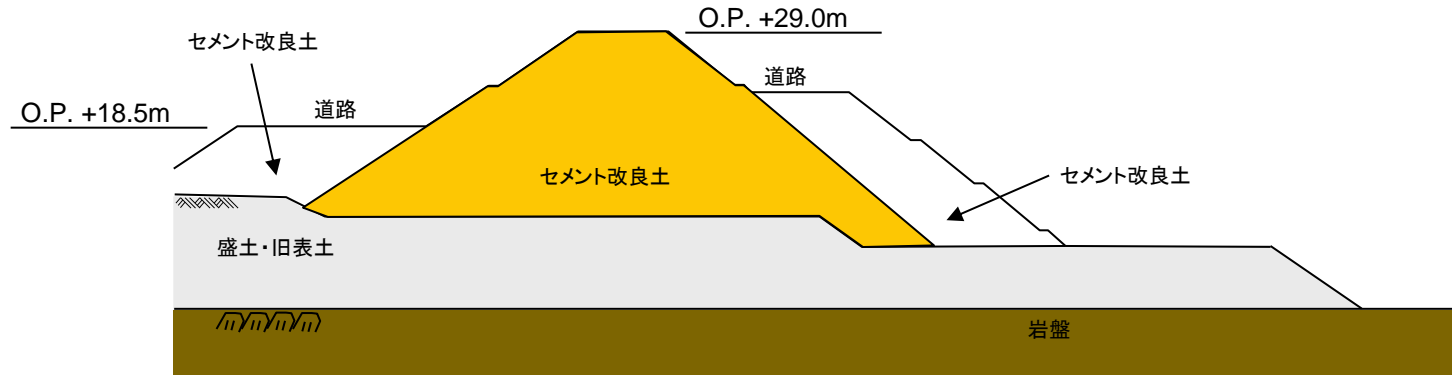
正面図



平面図

4.7 盛土堤防 構造の概要

・盛土堤防の構造及び評価対象部位と役割を以下に示す。

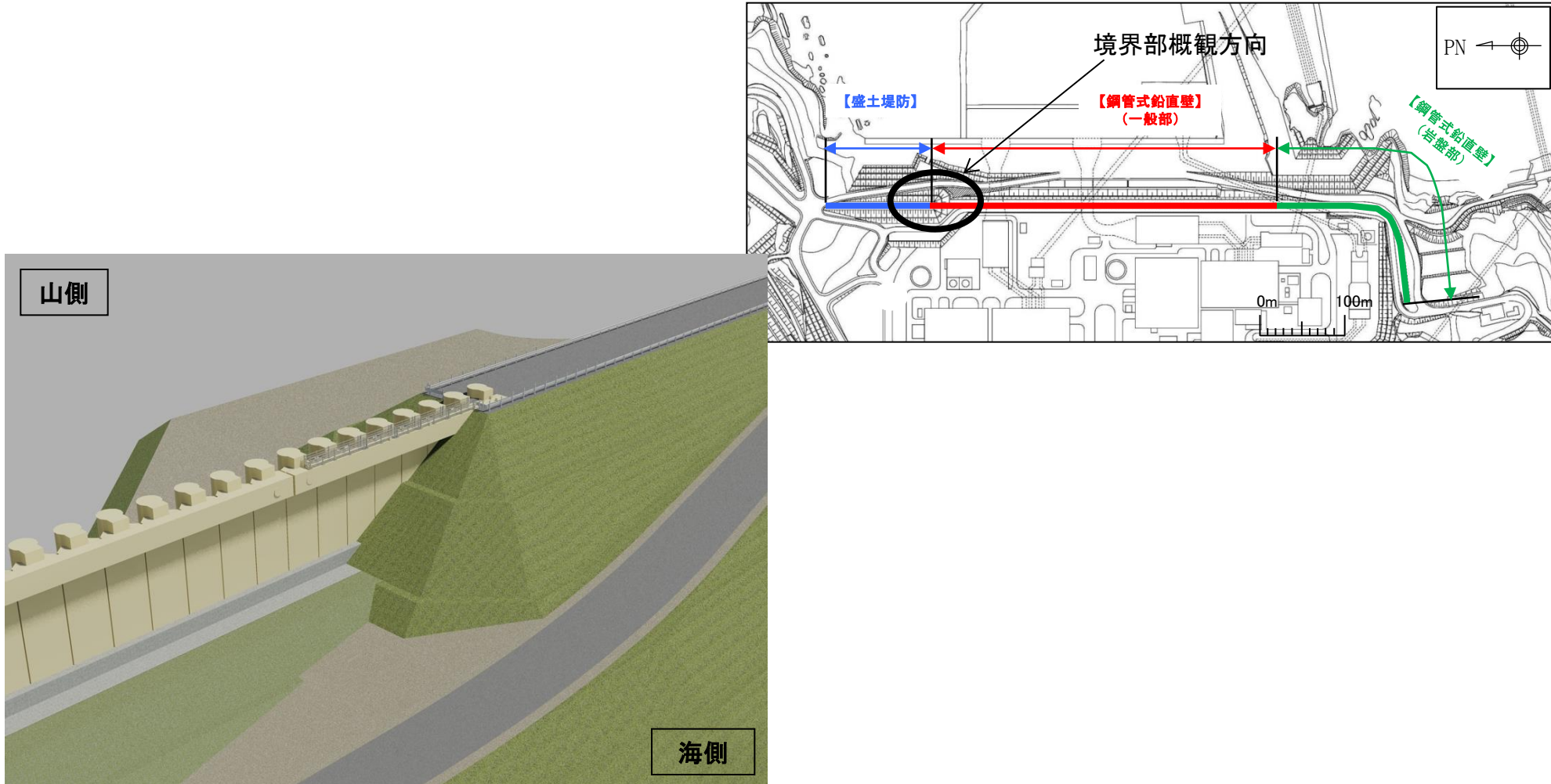


盛土堤防断面図

評価対象部位	役割
盛土堤防(セメント改良土, 盛土, 旧表土)	止水機能の保持 基礎地盤に津波時等の荷重を伝達
基礎地盤(岩盤)	盛土堤防を支持

4.8 盛土堤防と鋼管式鉛直壁の境界部 構造の概要

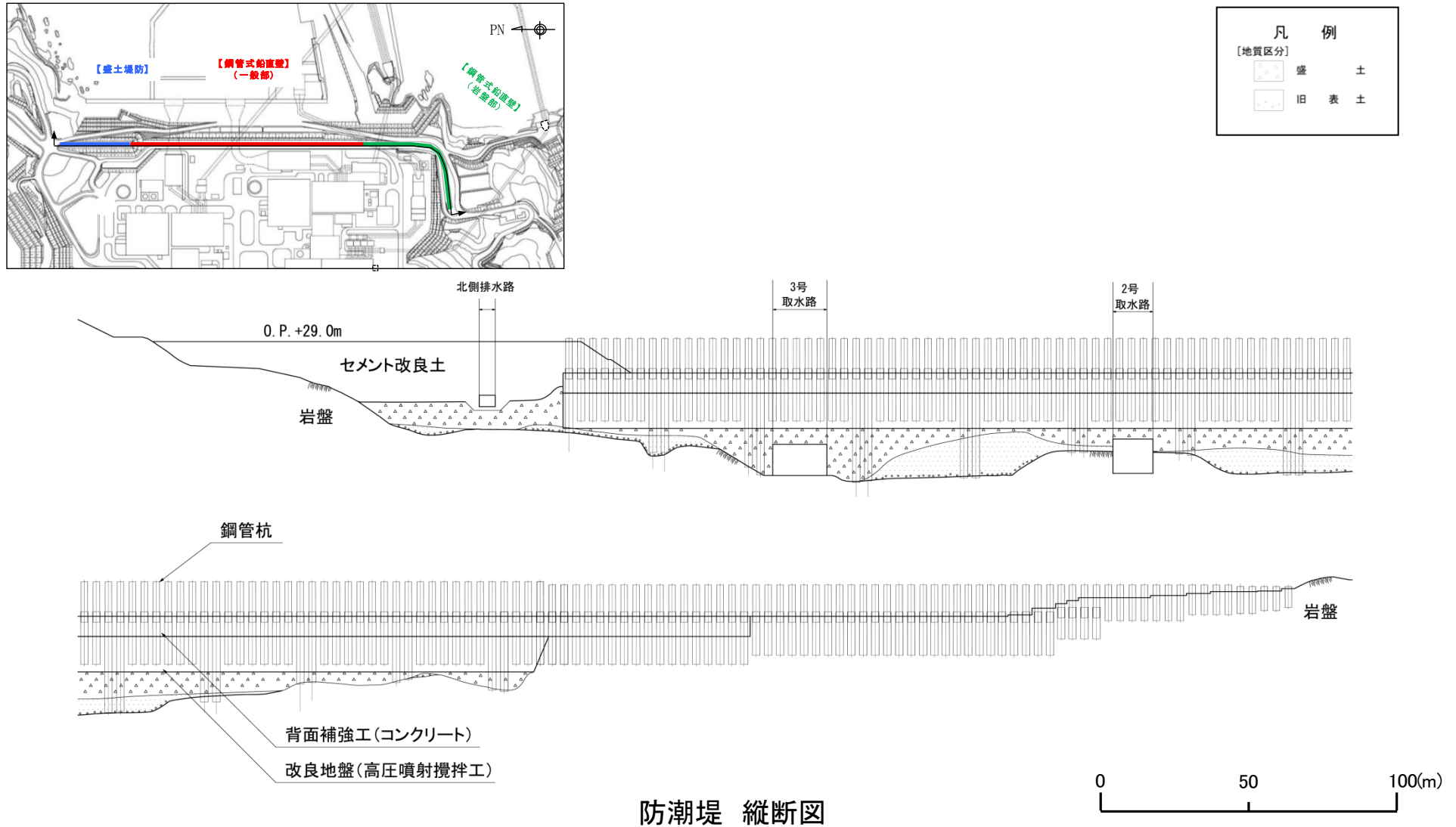
- ・盛土堤防と鋼管式鉛直壁の境界部は、盛土堤防により津波に対する遮水性を確保する。



盛土堤防と鋼管式鉛直壁の境界部概観図

4.9 防潮堤設置位置の地質構造(1/9)

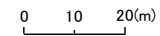
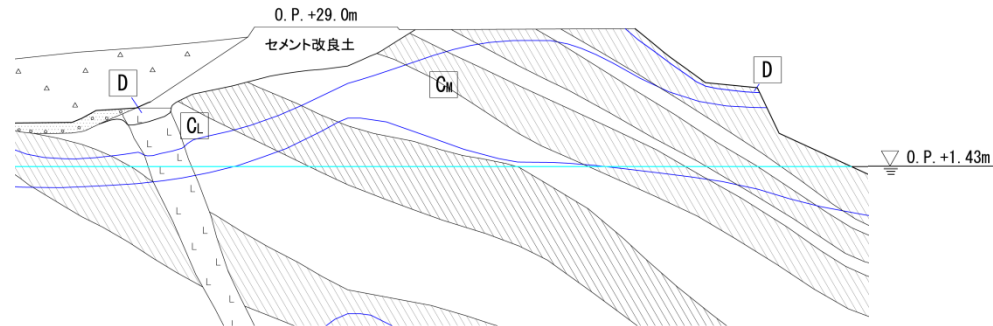
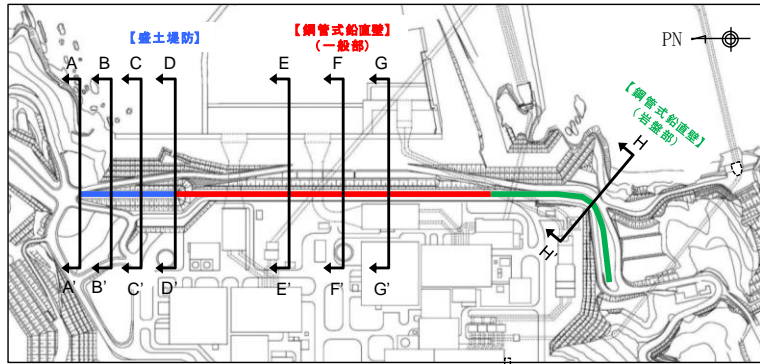
・防潮堤縦断方向の盛土・旧表土の分布を以下に示す。



4. 防潮堤の概要

4.9 防潮堤設置位置の地質構造(2/9)

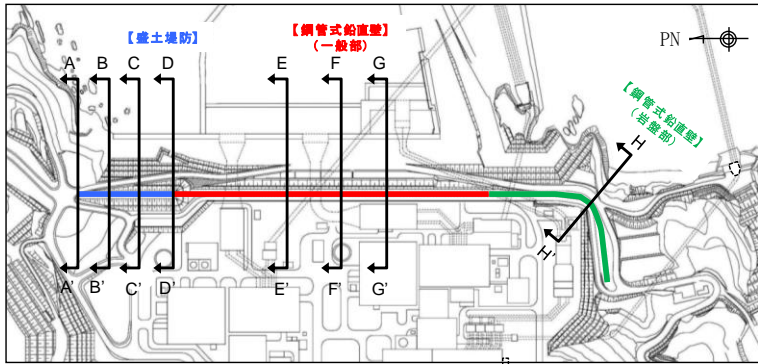
・盛土堤防A-A'断面の地質断面図を以下に示す。



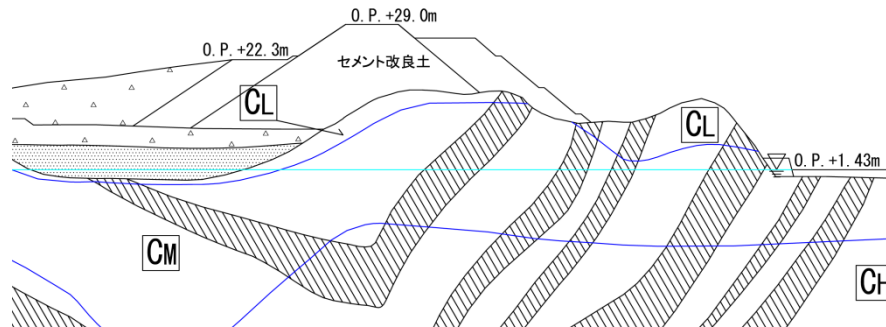
防潮堤 盛土堤防 横断面図(A-A')

4.9 防潮堤設置位置の地質構造(3/9)

・盛土堤防B-B'断面の地質断面図を以下に示す。



凡 例	
[岩盤分類]	
	岩盤分類境界
	B 級
	CH 級
	CM 級
	CL 級
	D 級
[地質区分]	
	盛 土
	旧 表 土
	砂 岩
	頁 岩
	ひ ん 岩
[記号]	地 下 水 位



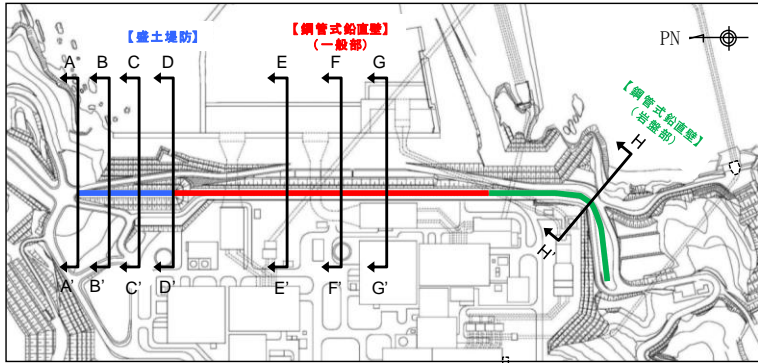
0 10 20(m)

防潮堤 盛土堤防 横断面図(B-B')

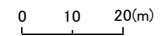
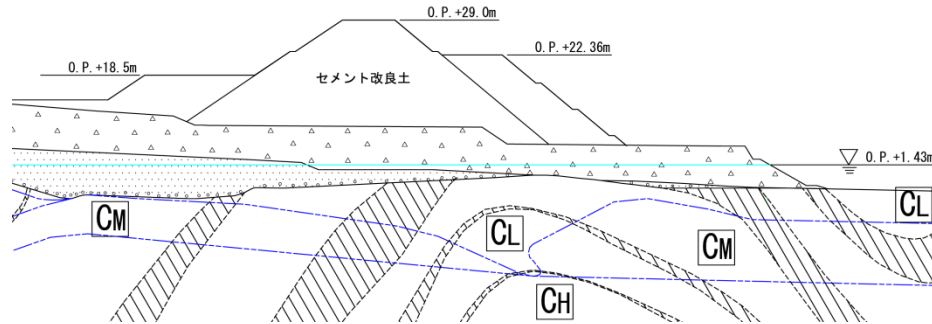
4. 防潮堤の概要

4.9 防潮堤設置位置の地質構造(4/9)

・盛土堤防C-C'断面の地質断面図を以下に示す。



凡 例	
[岩盤分類]	
	岩盤分類境界
	B 級
	CH 級
	CM 級
	CL 級
	D 級
[地質区分]	
	盛 土
	旧 表 土
	砂 岩
	頁 岩
	ひ ん 岩
[記号]	地 下 水 位

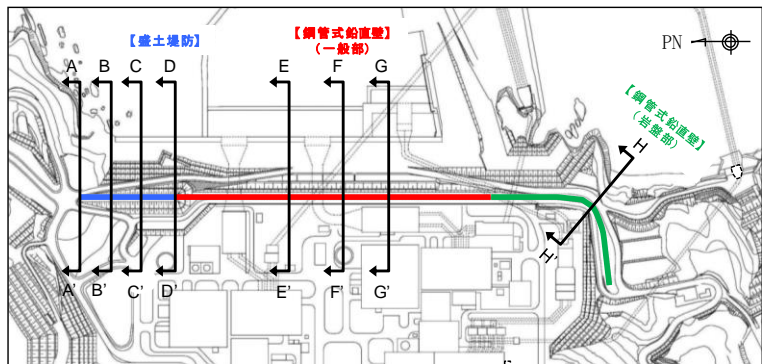


防潮堤 盛土堤防 横断面図(C-C')

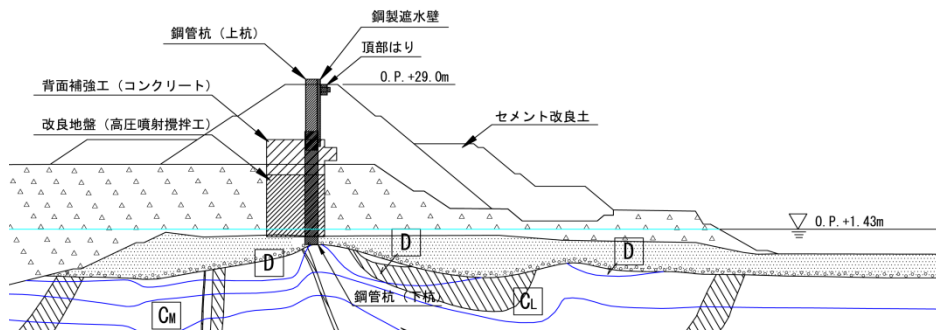
4. 防潮堤の概要

4.9 防潮堤設置位置の地質構造(5/9)

・盛土堤防及び鋼管式鉛直壁(一般部)の境界部D-D'断面の地質断面図を以下に示す。



凡 例	
[岩盤分類]	
	岩盤分類境界
	B 級
	CH 級
	CM 級
	CL 級
	D 級
[地質区分]	
	盛 土
	旧 表 土
	砂
	頁 岩
	ひ ん 岩
[記号]	地 下 水 位



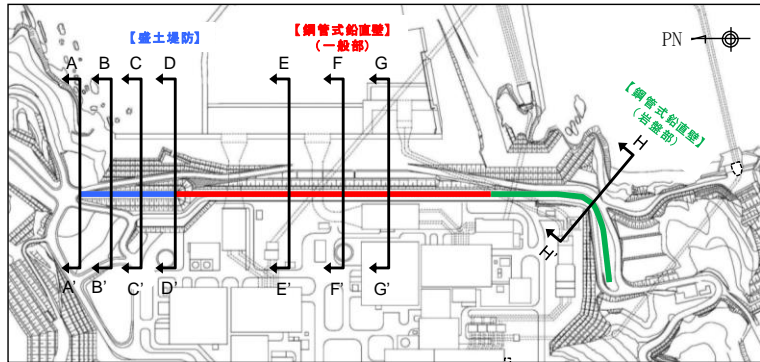
0 10 20(m)

防潮堤 盛土堤防及び鋼管式鉛直壁 横断面図(D-D')

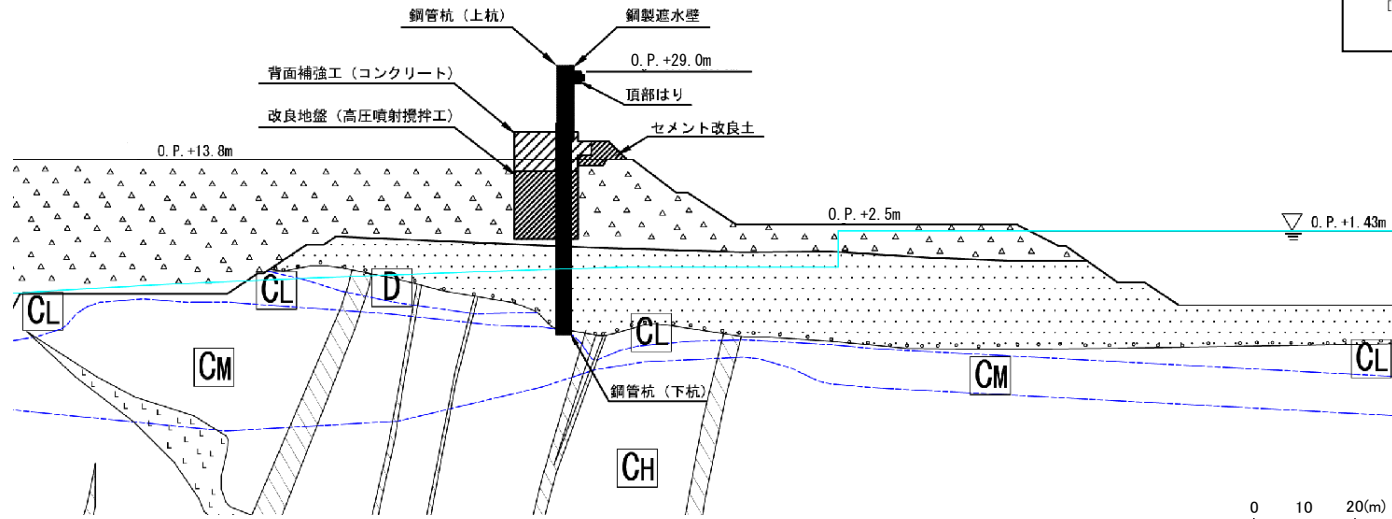
4. 防潮堤の概要

4.9 防潮堤設置位置の地質構造(6/9)

・鋼管式鉛直壁(一般部)E-E'断面の地質断面図を以下に示す。



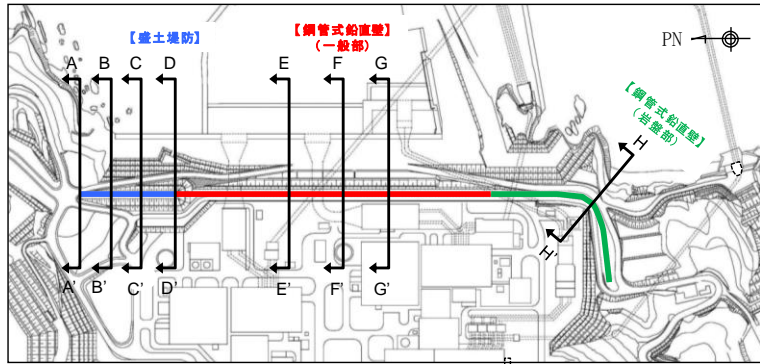
凡 例	
[岩盤分類]	
	岩盤分類境界
	B 級
	CH 級
	CM 級
	CL 級
	D 級
[地質区分]	
	盛 土
	旧 表 土
	砂
	頁 岩
	ひ ん 岩
[記号]	地 下 水 位



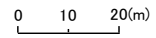
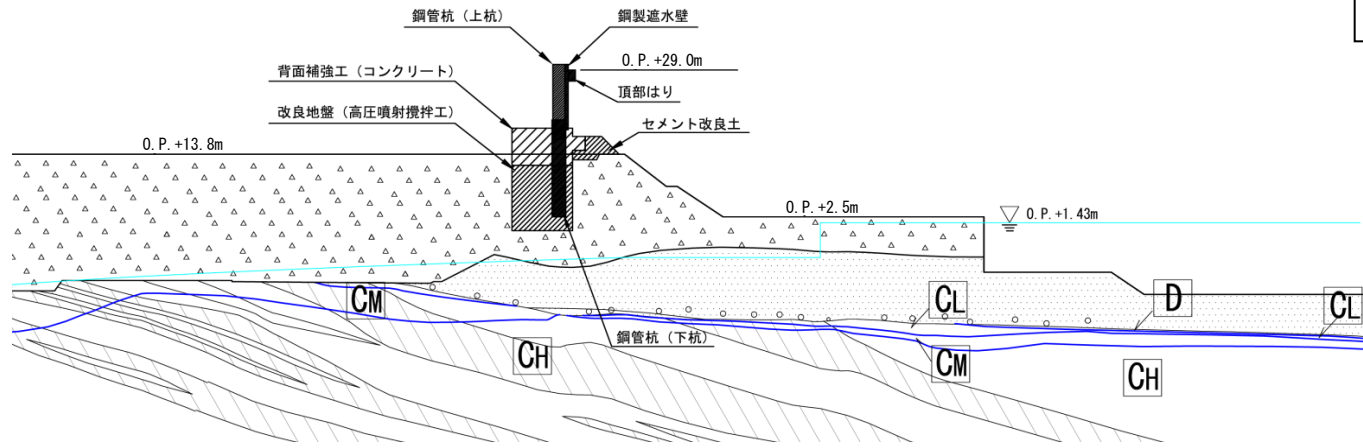
防潮堤 鋼管式鉛直壁 横断面図(E-E')

4.9 防潮堤設置位置の地質構造(7/9)

・鋼管式鉛直壁(一般部)F-F'断面の地質断面図を以下に示す。



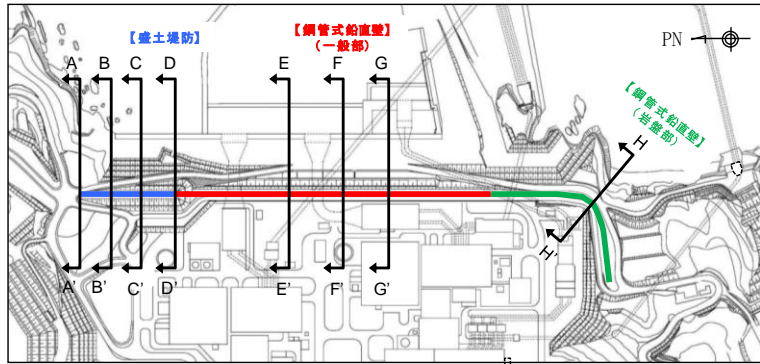
凡 例	
[岩盤分類]	
	岩盤分類境界
	B 級
	CH 級
	CM 級
	CL 級
	D 級
[地質区分]	
	盛 土
	旧 表 土
	砂
	頁 岩
	ひ ん 岩
[記号]	地 下 水 位



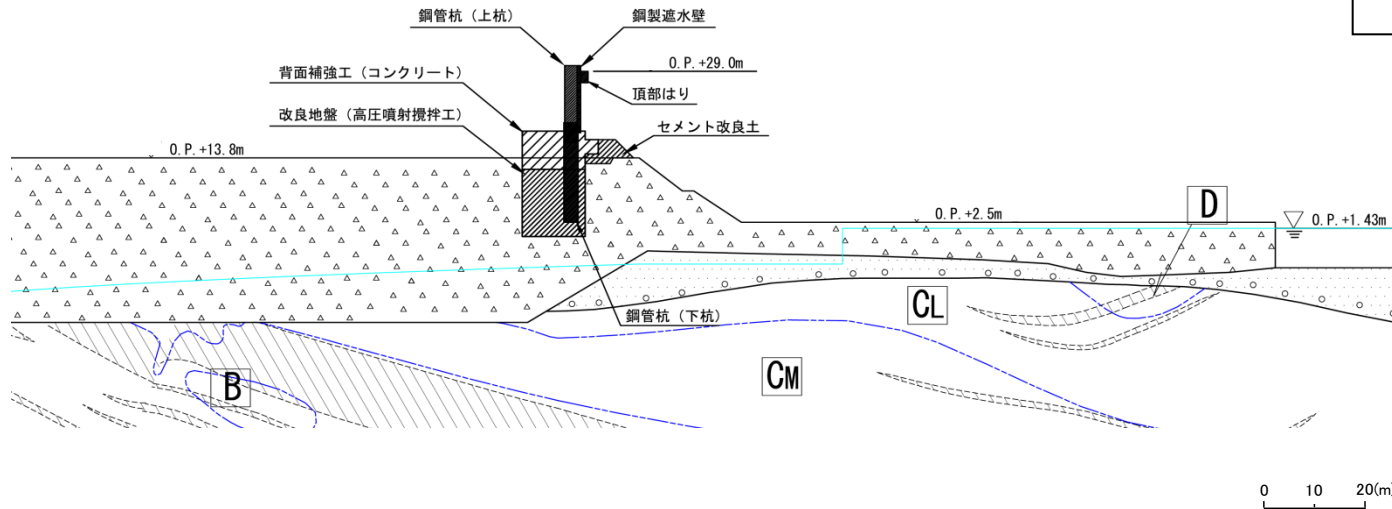
防潮堤 鋼管式鉛直壁 横断面図(F-F')

4.9 防潮堤設置位置の地質構造(8/9)

・鋼管式鉛直壁(一般部)G-G'断面の地質断面図を以下に示す。



凡 例	
[岩盤分類]	
	岩盤分類境界
	B 級
	CH 級
	CM 級
	CL 級
	D 級
[地質区分]	
	盛 土
	旧 表 土
	砂 岩
	頁 岩
	ひ ん 岩
[記号]	地 下 水 位

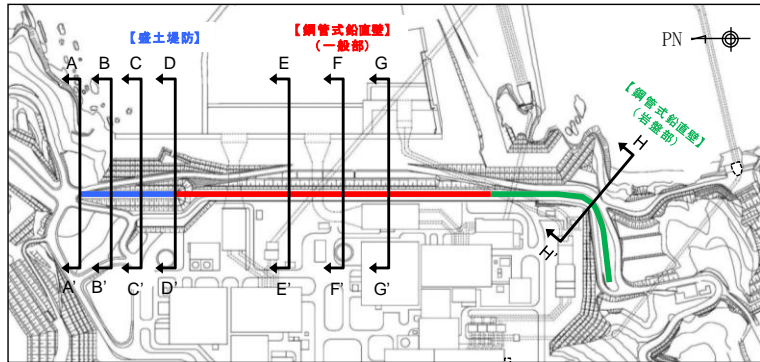


防潮堤 鋼管式鉛直壁 横断面図(G-G')

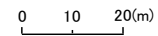
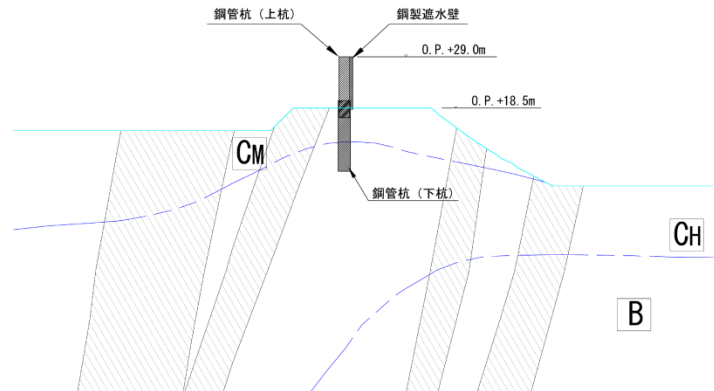
4. 防潮堤の概要

4.9 防潮堤設置位置の地質構造(9/9)

・鋼管式鉛直壁(岩盤部)H-H'断面の地質断面図を以下に示す。



凡 例	
[岩盤分類]	
	岩盤分類境界
	B 級
	CH 級
	CM 級
	CL 級
	D 級
[地質区分]	
	盛 土
	旧 表 土
	砂 岩
	頁 岩
	ひ ん 岩
[記号]	地 下 水 位

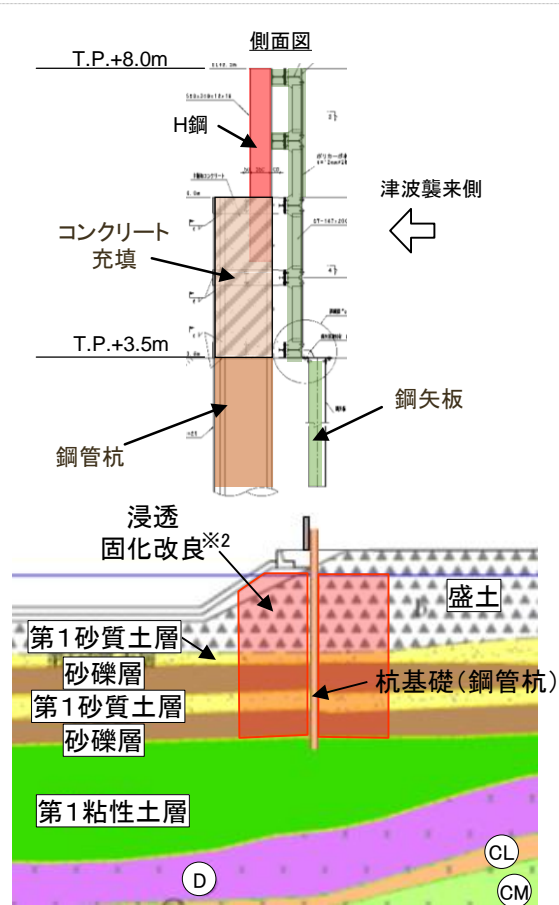


防潮堤 鋼管式鉛直壁 横断面図(H-H')

- 女川の防潮堤は、鋼管式鉛直壁(一般部)、鋼管式鉛直壁(岩盤部)及び盛土堤防の3つの構造形式に分かれている。鋼管式鉛直壁(一般部)については長杭(岩盤に直接支持されている杭)及び短杭(盛土・旧表土を介して岩盤に支持されている杭)の2つの杭仕様があり、短杭は沈下を許容する設計としている。
- 盛土堤防はセメント改良土、盛土・旧表土より成り、変位を許容した設計としている。
- このように、女川の防潮堤は構造設計で留意すべき事項が多数ある。
- このようなことから、女川と他サイト(関西電力(株)高浜発電所、日本原子力発電(株)東海第二発電所)の防潮堤について、施設構造、施設等を比較し、女川防潮堤の津波防護施設としての特徴を評価しながら、津波防護施設としての構造成立性評価の基礎情報として整理するとともに、原子力発電所以外の一般施設において女川と類似する設計事例を調査する。
- また、女川防潮堤を設計するにあたり配慮した内容、構造仕様の変更などの設計経緯について整理する。

各サイトの構造概要

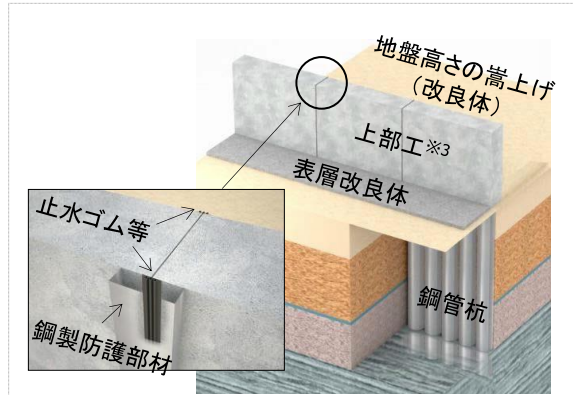
高浜発電所4号機
放水口側防潮堤※1



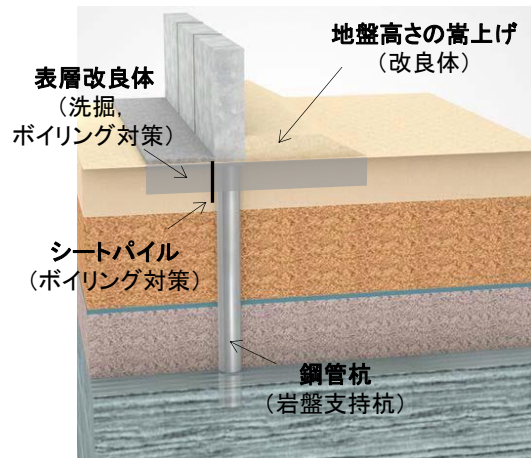
※1 2本の杭により上部工(鋼製)を支持する構造。
 ※2 液状化対策として、地下水位以深の地盤改良(浸透固化処理工法)を実施。

参考: 関西電力株式会社 高浜発電所
 平成27年12月10日審査会合資料 資料3-2-2

東海第二発電所
鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

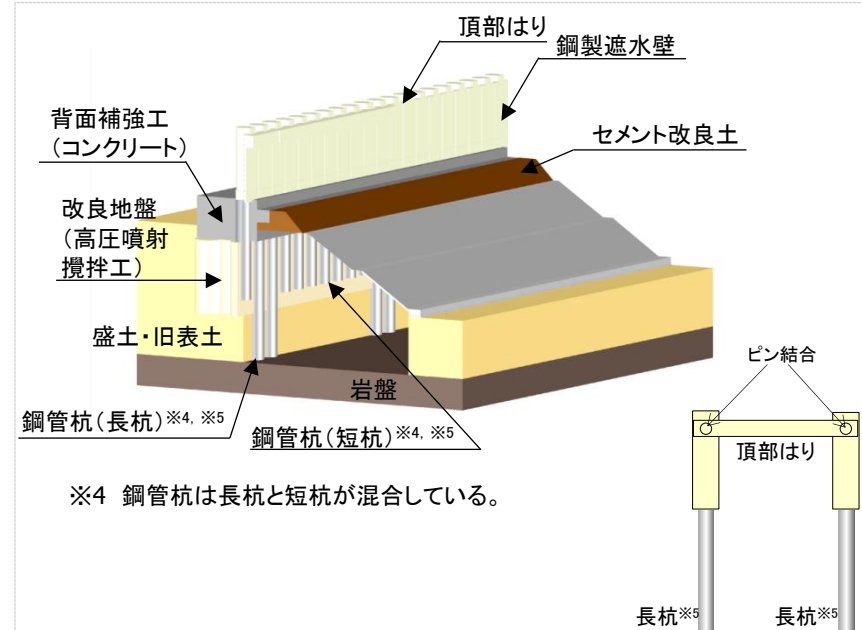


※3 上部工は、鉄筋コンクリート、鋼管杭、止水ジョイント部から成る。鉄筋コンクリートは、津波荷重、漂流物荷重等に対し構造躯体として耐え、津波による浸水を防止する。



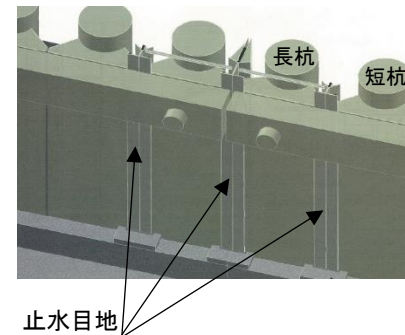
参考: 日本原子力発電株式会社 東海第二発電所
 平成29年10月26日審査会合資料 資料2-1-7

女川原子力発電所
鋼管式鉛直壁(一般部)



※4 鋼管杭は長杭と短杭が混合している。

※5 鋼管杭は一本ずつ独立している。(長杭は頂部はりピン結合構造)



※6 止水目地は海側に張り出さない構造であり、漂流物が当たりにくい配慮をしている。

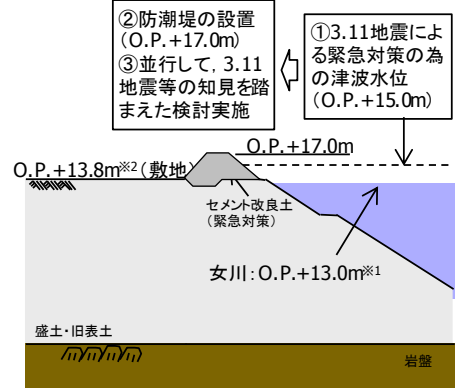
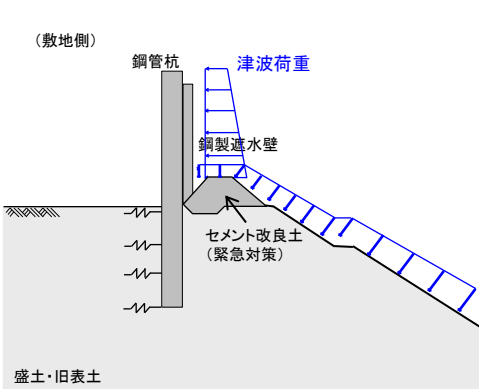
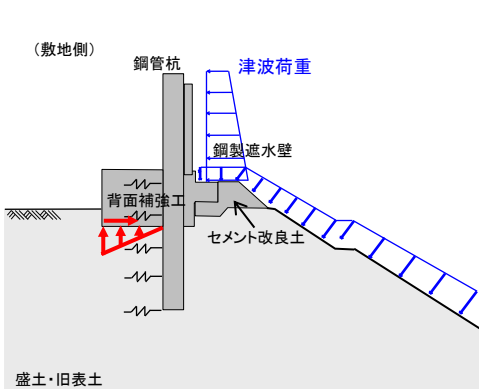
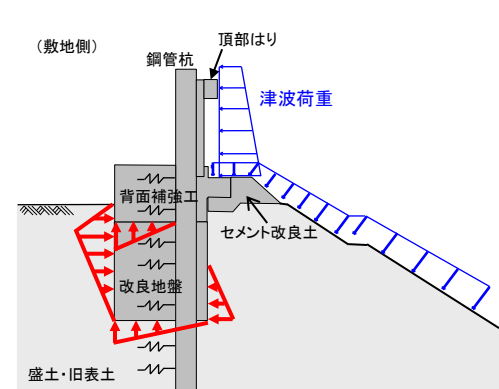
5. 女川防潮堤の特徴と他サイト防潮堤との比較(3/7)

項目	女川の特徴	先行他地点の構造		女川原子力発電所防潮堤構造における先行他地点との比較		女川のデメリットへの配慮(対策)
		関西電力㈱ 高浜発電所4号機	日本原子力発電㈱ 東海第二発電所	女川のメリット	女川のデメリット	
津波高さに対する裕度	約5m	1.3m	1.2m~2.6m	-	-	-
防潮堤の構造	<ul style="list-style-type: none"> 長杭と短杭の混合(岩着杭と中間杭の混合) 頂部はりにより天端高さを維持 	<ul style="list-style-type: none"> 非岩着の摩擦杭を主体とする。(支持力は道示より、周面摩擦力を算定、ただし、現地載荷試験も実施) 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤支持杭のみ 	<ul style="list-style-type: none"> 長杭(岩着杭)に支持される頂部はりが沈下しないため、入力津波を超える高さの津波に対して越波流量等の低減が図れる。 短杭(中間杭)により地中埋設構造物の横断部においても対応できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 短杭が周辺地盤と共に沈下する。 長杭にはネガティブフリクションが作用する。 杭-杭間に変位を生じやすい 	<ul style="list-style-type: none"> 津波高さに対する裕度確保。 頂部はりによる入力津波を超える高さの津波への配慮。 ネガティブフリクション対策としてNFシートを設置。 変位に追従する止水目地を設置し、許容変位内となる設計とする。
上部工の構造	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁が鋼管杭(長杭、短杭)それぞれに支持されており、杭は一本ずつ独立して挙動する。 (注)長杭と頂部はりはピン結合。 	<ul style="list-style-type: none"> 2本の杭により上部工(鋼製)を支持する構造。 	<ul style="list-style-type: none"> 上部工は鋼管杭鉄筋コンクリート部と鉄筋コンクリート梁壁が一体となった構造となっており、鉄筋コンクリート梁壁により漂流物衝突荷重によるひび割れの進展を起こさず、かつ、荷重を鋼管杭に伝えることで止水性を確保する設計となっている。 	<ul style="list-style-type: none"> 構造がシンプルであり、照査項目が明確である。 また、各杭を一体化していないため、杭同士の応力伝達や相互干渉の影響が少ない。 	<ul style="list-style-type: none"> 高浜、東海第二と比較して、女川は隣り合う遮水壁が独立挙動するため、遮水壁間には変位に追従する止水目地が必要である。 独立した杭なので、回転する可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 遮水壁間には変位に追従する止水目地を設けており、その止水目地の許容変位と耐水圧は性能試験を実施して確認している。 回転に対する照査を実施する。
周辺地盤対策	液状化対策	-	<ul style="list-style-type: none"> 豊浦標準砂の液状化強度特性により、強制的に液状化させざることを仮定した場合の成立性を確認。 	-	<ul style="list-style-type: none"> 短杭(及び地盤改良)直下の液状化の可能性を考慮した、防潮堤の要求性能評価が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 液状化の影響を考慮できる有効応力解析により構造成立性(過剰間隙水消散に伴う沈下量を含む)を評価する。
	地盤のかさ上げ、その他	<ul style="list-style-type: none"> 背面補強工により、原地盤をかさ上げ、4.7mかさ上げ。 	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤の海側をコンクリートで保護することにより洗掘を防止。 	<ul style="list-style-type: none"> 背面地盤を4.5m以上かさ上げ。 洗掘対策、ボイリング対策として、表層改良及びシートパイルを施工。 	<ul style="list-style-type: none"> 女川はコンクリート製の背面補強工により原地盤のかさ上げを行っており、受働抵抗(せん断耐力)が大きい。 背面補強工は耐透水性にも優れ、洗掘対策、ボイリング対策も兼ねている。また、その直下の改良地盤もボイリング対策を兼ねている。 	<ul style="list-style-type: none"> 東海第二と比較して、敷地の制約があり、背面補強工によるかさ上げが十分に幅広く実施できない。
目地	<ul style="list-style-type: none"> シリコーン目地 ゴムジョイント 	<ul style="list-style-type: none"> ゴムジョイント シートジョイント 	<ul style="list-style-type: none"> ゴムジョイント シートジョイント 	<ul style="list-style-type: none"> シリコーンは耐久性に優れる(30年の暴露試験で劣化がないことを確認)。 	<ul style="list-style-type: none"> 高浜と同様に、想定する目地変位が汀線方向、汀線直交方向、鉛直方向の3方向であり、止水目地への要求性能が高度である。 	<ul style="list-style-type: none"> 目地の性能試験を実施して、鋼製遮水壁の変位量が目地の許容変位量以下であることを確認する。
目地の衝突防止工	<ul style="list-style-type: none"> 目地が鋼製遮水壁前面よりも海側に設置されておらず、漂流物が当たりにくい構造のため、衝突防止工は設けていない。 	<ul style="list-style-type: none"> 目地が防潮堤前面よりも海側に設置されているため、衝突防止工を設置している。 	<ul style="list-style-type: none"> 目地が防潮堤前面よりも海側に設置されているため、衝突防止工(鋼製防護部材)を設置。 	<ul style="list-style-type: none"> 目地材(ゴム、シリコーン)が鋼製遮水壁前面よりも海側に設置されておらず、漂流物が当たりにくい構造である。 	-	-
盛土堤防	<ul style="list-style-type: none"> 盛土・旧表土の上にセメント改良土を構築しており、盛土・旧表土の変形を許容。 	<ul style="list-style-type: none"> (地盤改良部) 基礎岩盤までの格子状の改良体により改良盛土を支持。 	-	-	<ul style="list-style-type: none"> 盛土・旧表土の変形により、盛土堤体の高さに影響する可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 盛土・旧表土の変形を保守的に評価したうえで、変形量が許容値以内であることを確認する。

他サイトの情報に係る記載内容については、会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

5. 女川防潮堤の特徴と他サイト防潮堤との比較(4/7)

女川防潮堤 鋼管式鉛直壁(一般部)構造の設計経緯と特徴(1/2) 3.11地震以降構造検討

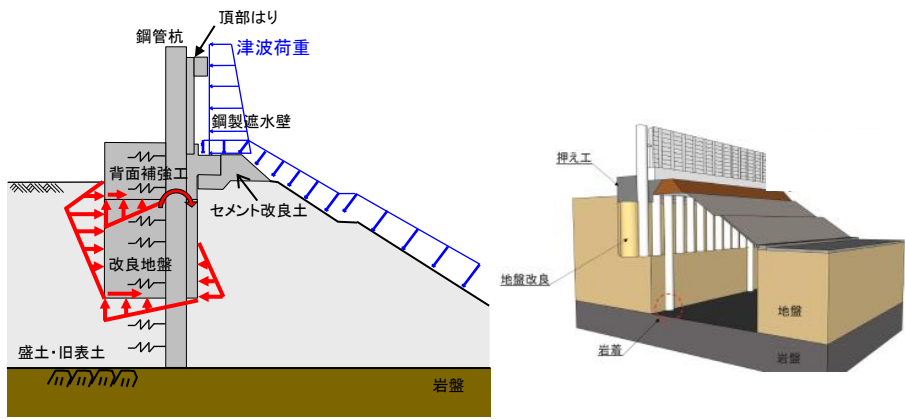
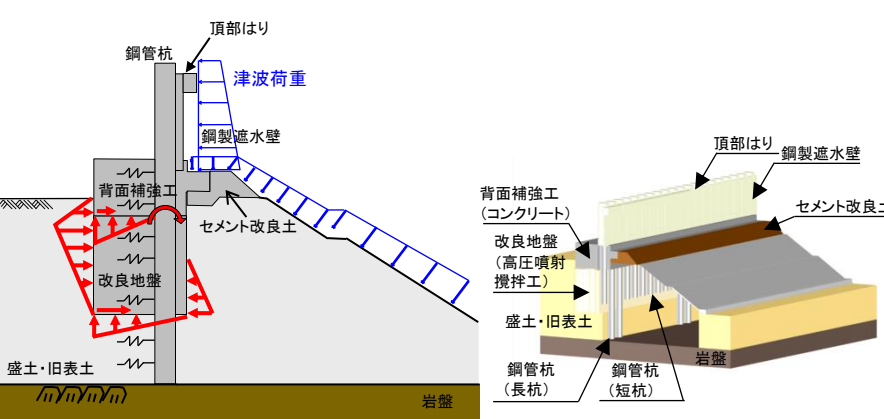
《3.11地震》	①女川当初案	②背面補強工による地盤のかさ上げ	③改良地盤の追加 ④岩着杭の追加
 <p>②防潮堤の設置 (O.P.+17.0m) ③並行して、3.11地震等の知見を踏まえた検討実施</p> <p>①3.11地震による緊急対策の為に津波水位 (O.P.+15.0m)</p> <p>O.P.+13.8m※2 (敷地)</p> <p>O.P.+17.0m</p> <p>セメント改良土 (緊急対策)</p> <p>女川: O.P.+13.0m※1</p> <p>盛土・旧表土</p> <p>岩盤</p> <p>※1: 発電所の潮位計による津波高さ ※2: 地殻変動により敷地が一様に約1m沈降</p>	 <p>(敷地側)</p> <p>鋼管杭</p> <p>津波荷重</p> <p>鋼製遮水壁</p> <p>セメント改良土 (緊急対策)</p> <p>盛土・旧表土</p> <p>岩盤</p>	 <p>(敷地側)</p> <p>鋼管杭</p> <p>津波荷重</p> <p>鋼製遮水壁</p> <p>背面補強工</p> <p>セメント改良土</p> <p>盛土・旧表土</p> <p>岩盤</p>	 <p>(敷地側)</p> <p>鋼管杭</p> <p>頂部はり</p> <p>津波荷重</p> <p>背面補強工</p> <p>改良地盤</p> <p>セメント改良土</p> <p>盛土・旧表土</p> <p>岩盤</p>
<ul style="list-style-type: none"> 平成23年3月の東北地方太平洋沖地震(以下『3.11地震』)による津波では敷地においてO.P.約13mの津波を観測したが、敷地を越えず安全性を確保することができた。 3.11地震を踏まえた緊急安全対策として、セメント改良土による防潮堤(O.P.+17.0m)を設置。 3.11地震の復旧対策と並行して、3.11地震による知見を踏まえた新たな津波対策のための検討に着手。 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭の横抵抗で波力に抵抗する構造。 	<ul style="list-style-type: none"> 上部工前面の波力を低減するために、セメント改良土と杭の間に背面補強工を追加。 杭の突出長を短くし、杭の断面力を小さくするために、敷地側にも背面補強工による地盤のかさ上げを追加。 また、背面補強工は洗掘、ボイリング対策にも配慮。 	<ul style="list-style-type: none"> 敷地の制約上、背面補強工によるかさ上げを十分に幅広く実施することができないため、鉛直方向に改良地盤を追加することで、背面補強工と改良地盤による仮想ケーソンとして波力に抵抗する構造。 長杭(岩着杭)により支持する頂部はりにより、入力津波を超える高さの津波に対して、敷地への越波流量等の低減を図る配慮。 背面補強工は洗掘やボイリング対策にも配慮しており、その直下の改良地盤はボイリング対策にも配慮。 セメント改良土は洗掘防止と、浸水に対する罅止めの効果が期待可能。 ネガティブフリクション対策として、NFシートを設置。
<p>防潮堤高さO.P.+17.0m</p>	<p>防潮堤高さO.P.+20数m</p>	<p>防潮堤高さO.P.約+29m</p>	<p>防潮堤高さO.P.+29m</p>
<p>3.11地震を踏まえた津波対策の検討を開始</p>	<p>盛土堤防では既存設備と干渉することから、鋼管式鉛直壁の設計を開始</p>	<p>津波に対する裕度確保のため、防潮堤高さを上げ背面補強を追加</p>	<p>成立可能な最高高さを目指した防潮堤を設置するため、地盤改良を追加</p>

H23~24年度

防潮堤の高さをなるべく高くするという観点で検討を開始。検討用地震力としては安全確認用地震動(580gal)に3.11地震及び4.7地震の影響を考慮していたが、津波波力が支配的であり、津波波力に対する検討を先行していた。

5. 女川防潮堤の特徴と他サイト防潮堤との比較(5/7)

女川防潮堤 鋼管式鉛直壁(一般部)構造の設計経緯と特徴(2/2) 設計確定以降～現在

⑤設計の確定と工事着手	⑥新規制基準施行	⑦新規制基準適合性審査の申請
 <p data-bbox="155 785 383 821">〔構造確定(④と同じ)〕</p> <p data-bbox="631 771 880 821">〔H25.5.14工事概要のプレス発表〕</p>	<p data-bbox="1025 592 1056 606">—</p>	 <p data-bbox="1149 892 2040 949">・新規制基準への適合性の社内評価をしたうえで、H25.12.27に「女川2号炉 設置変更許可申請、工事計画認可申請」</p>
<p data-bbox="20 892 922 949">・防潮堤構造の社内設計を確定し、H25.5.14に防潮堤かさ上げ工事のプレス発表を行い、工事に着手</p>	<p data-bbox="1025 921 1056 935">—</p>	<p data-bbox="1481 1056 1709 1085">防潮堤高さO.P.+29m</p>
<p data-bbox="20 1113 580 1142">設計確定にあわせて工事開始の準備を行いプレス発表</p> <div data-bbox="41 1178 901 1320" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p data-bbox="372 1185 569 1213">H25.4 ~ H25.5</p> <p data-bbox="51 1220 880 1313">津波の最大遡上範囲をO.P.約+23mと評価し、自主的な対策として防潮堤高さをO.P.+29mとした。検討用地震力としては、これまで同様、安全確認用地震動(580gal)に3.11地震及び4.7地震の影響を考慮。</p> </div>	<p data-bbox="963 1113 1108 1199">H25.7.8 新規制基準施行</p> <div data-bbox="963 1220 1129 1278" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p data-bbox="1004 1235 1087 1263">H25.7</p> </div>	<p data-bbox="1481 1056 1709 1085">防潮堤高さO.P.+29m</p> <p data-bbox="1149 1113 2020 1170">設置許可申請後にも先行プラントの審査における知見、女川2号炉の審査進捗状況を詳細設計に反映し、施工進捗中</p> <div data-bbox="1160 1178 2020 1320" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p data-bbox="1491 1185 1688 1213">H25.12 ~ 現在</p> <p data-bbox="1170 1220 2009 1313">申請時の基準地震動(Ss-1, Ss-2)により耐震性の確認を実施。その後、追加・変更された基準地震動に対し随時耐震性の確認を実施。その間、設計のクライテリアは変更していない。</p> </div>

地震時の敷地地盤の沈下に対する女川防潮堤の考え方

<先行他サイトの場合>

地震時の周辺地盤の沈下に対して、防潮壁(遮水壁)の下に隙間ができないような対策(防潮壁の埋込み長さを必要長だけ確保、地盤改良による止水対策など)を実施している。

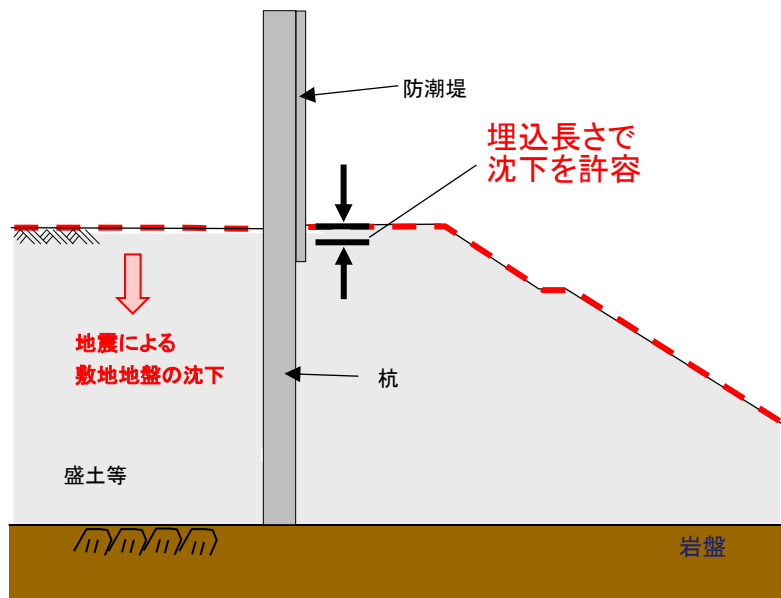
<女川防潮堤の場合>

長杭は岩着しており、長杭に支持されている頂部はりとは鋼製遮水壁は沈下しない。そのため鋼製遮水壁の下に隙間ができないような対策として、他サイトと同様に、遮水壁の埋込み長を必要長だけ確保している。

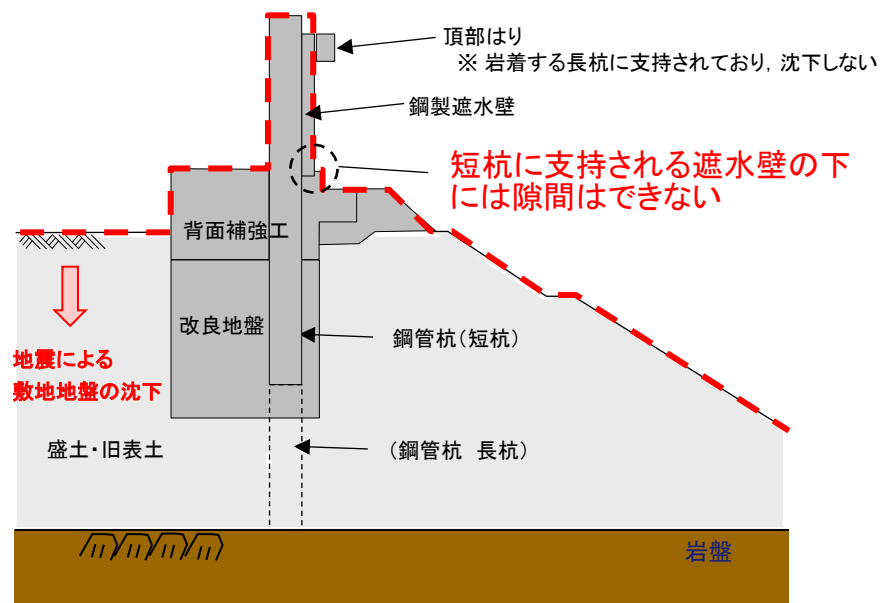
短杭は、背面補強工、改良地盤と共に、敷地周辺地盤の沈下に追従する構造であり、短杭に支持される遮水壁の下には隙間ができないような配慮をしている。防潮堤の高さを入力津波に対して裕度を確保することにより、沈下を許容している。

また、長杭及び頂部はりにより、入力津波を超える高さの津波に対して敷地への越波流量等を低減できるよう配慮している。

<先行他サイトの場合>



<女川防潮堤の場合>



5. 女川防潮堤の特徴と他サイト防潮堤との比較(7/7)

女川の防潮堤の構造並びに設計の考え方の特徴は次のとおりであり、類似する一般産業施設の施工例は表のとおりである。

<女川の防潮堤の特徴>

特徴1: 単杭から構成される構造

特徴2: 長い杭と短い杭を組み合わせた構造

特徴3: 構造物の沈下を考慮した構造

なお、施工例の詳細について補足説明資料1に示す。

特徴	設計・施工例		
	施設・工事名称	施設の概要	備考
特徴1	釜石港海岸大平地区災害復旧工事	<ul style="list-style-type: none"> ・東日本大震災の護岸復旧工事 ・延長約530mの防潮堤としてΦ800mm×長さ8.5～17mの鋼管杭262本を施工した基礎構造とし、砂・砂礫地盤中に施工 ・前面(海側)はコンクリートブロック・捨石傾斜堤、背面(陸側)は砂・砂礫地盤、杭下端は在来の砂地盤 ・鋼管杭上部に遮水壁としてプレキャスト壁体を構築し防波機能を確保 	
	石巻港東浜海岸防潮堤災害復旧工事	<ul style="list-style-type: none"> ・東日本大震災の護岸復旧工事 ・延長約1,540mの防潮堤としてφ1,100mmの鋼管杭1,010本(杭長:22.6m)を基本構造とし、砂地盤中に施工 ・背面を盛土とし、コンクリートや遮水シートで被覆 	
	両石漁港海岸災害復旧工事 大船渡港永浜地区海岸防潮堤工事等(インプラント堤防)	<ul style="list-style-type: none"> ・日本圧入学会がインプラント構造を推進しており、躯体部と基礎部が一体となった許容構造部材を地盤に挿し込む ・株式会社技研製作所が開発した本工法は左記の施工実績の他にも事例が多い 	
特徴2	熊本県緑川海路口下流地区築堤工事	<ul style="list-style-type: none"> ・圧密沈下層が40～50mと厚い河川堤防の構築において、数枚に1枚の鋼矢板を支持層まで打設(着底鋼矢板) ・着底鋼矢板間を必要最低限の長さで軟弱地盤の途中で止めるフローティング鋼矢板を組み合わせている 	
	大分臨海工業地帯 沿岸の液状化対策事例	<ul style="list-style-type: none"> ・堤防の陸地側の地盤に鋼矢板を並べて打ち込み ・数本おきに非液状化層まで到達する長い鋼矢板を組み込んだ「くし」型の対策工を採用 	
特徴3	パイルド・ラフト基礎	<ul style="list-style-type: none"> ・直接基礎(ラフト)と杭基礎(パイル)を複合して1つの構造物に用いる基礎形式 ・沈下量に対する制約条件を満たした場合に、基礎底面における地盤の抵抗力を利用して基礎の合理化を図る 	<ul style="list-style-type: none"> ・建築基礎構造物設計指針(日本建築学会)
	関西国際空港 不同沈下対策	<ul style="list-style-type: none"> ・ベタ基礎 ・ターミナルビルのジャッキアップ 等 	
	鉄道基準の盛土の設計	<ul style="list-style-type: none"> ・ニューマーク法によるすべり土塊の滑動変位量の計算 	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計(鉄道総合技術研究所)

設計・施工例の情報に係る記載内容については、公開情報をもとに弊社の責任において独自に整理したものです。

6. 基本設計方針

6.1.1 防潮堤(鋼管式鉛直壁)(一般部)に関する要求機能と設計評価方針

- 津波防護に関する施設は、津波の発生に伴い、津波防護対象設備がその安全性又は重大事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないような設計とする。

赤字: 荷重条件
 緑字: 要求機能
 青字: 対応方針

施設名	要求機能		機能設計			構造強度設計				設計に用いる許容限界	
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計(評価方針)	評価対象部位	応力等の状態	損傷モード		
防潮堤 鋼管式鉛直壁 (一般部)	基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド 5.1 津波防護施設的设计 津波防護施設については、その構造に心し、波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性を並べつり及び転倒に対する安定性を評価し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるように設計すること。 (1) 要求事項に適合する設計方針であることを確認する。 (2) 設計方針の確認に加え、入力津波に対して津波防護機能が十分に保持できる設計がなされることの見通しを得るため、以下の項目について、設定の考え方を確認する。確認内容を以下に例示する。 ① 荷重組合せ a) 余震が考慮されていること。耐津波設計における荷重組合せ: 常時+津波、常時+津波+地震(余震) ② 荷重の設定 a) 津波による荷重(波圧、衝力)の設計に関して、考慮する荷重(例えば、国交省の暫定指針等)及びその適用性。 b) 余震による荷重として、サイト特性(余震の震源、ハザード)が考慮され、合理的な頻度、荷重レベルが設定される。 c) 地震より周辺地盤に液化が発生する場合は、防潮堤基礎杭に作用する側方流動力等の可能性を考慮すること。 ③ 許容限界 a) 津波防護機能に対する機能保持限界として、当該構造物全体の変形能力(終局耐力時の変形)に対して十分な余裕を有し、津波防護機能を保持すること。(なお、機能損傷に至った場合、補修に要する期間が重要となることから、地震、津波後の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。)	防潮堤鋼管式鉛直壁(一般部)は、地震後の繰返しの変来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波の高さに余裕を確保した防潮堤高さの設計とすることを機能設計上の性能目標とする。 ・防潮堤鋼管式鉛直壁(一般部)は、基準地震動Ssに対する、津波防護施設が要求される性能を損なう恐れがないよう、構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)に対して十分な余裕を有し、津波時の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。	・防潮堤鋼管式鉛直壁(一般部)は、地震後の繰返しの変来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波の高さに余裕を確保した防潮堤高さの設計とすることを機能設計上の性能目標とする。 ・防潮堤鋼管式鉛直壁(一般部)は、基準地震動Ssに対する、津波防護施設が要求される性能を損なう恐れがないよう、構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)に対して十分な余裕を有し、津波時の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。	・防潮堤鋼管式鉛直壁(一般部)は、地震後の繰返しの変来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波の高さに余裕を確保した防潮堤高さの設計とすることを機能設計上の性能目標とする。 ・防潮堤鋼管式鉛直壁(一般部)は、基準地震動Ssに対する、津波防護施設が要求される性能を損なう恐れがないよう、構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)に対して十分な余裕を有し、津波時の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。	・防潮堤鋼管式鉛直壁(一般部)は、地震後の繰返しの変来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波の高さに余裕を確保した防潮堤高さの設計とすることを機能設計上の性能目標とする。 ・防潮堤鋼管式鉛直壁(一般部)は、基準地震動Ssに対する、津波防護施設が要求される性能を損なう恐れがないよう、構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)に対して十分な余裕を有し、津波時の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。	・防潮堤鋼管式鉛直壁(一般部)は、地震後の繰返しの変来を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波の高さに余裕を確保した防潮堤高さの設計とすることを機能設計上の性能目標とする。 ・防潮堤鋼管式鉛直壁(一般部)は、基準地震動Ssに対する、津波防護施設が要求される性能を損なう恐れがないよう、構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)に対して十分な余裕を有し、津波時の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。	基準地震動Ssによる地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため、作用する押し込み力が許容値以下に留まることを確認する。 基準地震動Ssによる地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため、作用する押し込み力が許容値以下に留まることを確認する。 基準地震動Ssによる地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため、作用する押し込み力が許容値以下に留まることを確認する。 基準地震動Ssによる地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため、作用する押し込み力が許容値以下に留まることを確認する。 基準地震動Ssによる地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため、作用する押し込み力が許容値以下に留まることを確認する。 基準地震動Ssによる地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため、作用する押し込み力が許容値以下に留まることを確認する。 基準地震動Ssによる地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため、作用する押し込み力が許容値以下に留まることを確認する。	基礎地盤	支持力	支持機能を喪失した状態	「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力以下とする。
							鋼管杭(長杭下部*)	曲げ・せん断	支持機能を喪失した状態	「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)」を踏まえた許容塑性率、せん断強度以下とする。	
							鋼管杭(長杭上部*、短杭)	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編・Ⅳ下部構造編)」を踏まえた短期許容応力度以下とする。	
							鋼製水壁	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編・Ⅳ下部構造編)」を踏まえた短期許容応力度以下とする。	
							止水目地	変形・水圧	有意な漏えいに至る変形・水圧	メーカー規格及び基準並びに必要に応じて実施する性能試験を参考に定める許容変形量及び許容圧以下とする。	
							止水目地の鋼製部材	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編)」を踏まえた短期許容応力度以下とする。	
							頂部はり	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編・Ⅳ下部構造編)」を踏まえた短期許容応力度以下とする。	
							背面補強工及び改良地盤	せん断	せん断破壊に至る状態	「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)」及び「耐津波設計に係る工事審査ガイド」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮したせん断強度以内とする。	
							セメント改良土、盛土及び旧表土	変形	防潮堤機能に有害となる変形	防潮堤機能に有害となる変形を起こしていない状態とする。	

※1 短杭よりも深い範囲
 ※2 短杭と同じ深さまでの範囲

6. 基本設計方針

6.1.2 防潮堤(鋼管式鉛直壁)(岩盤部)に関する要求機能と設計評価方針

- 津波防護に関する施設は、津波の発生に伴い、津波防護対象設備がその安全性又は重大事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないような設計とする。

赤字:荷重条件
緑字:要求機能
青字:対応方針

施設名	要求機能		機能設計			構造強度設計				設計に用いる許容限界	
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計(評価方針)	評価対象部位	応力等の状態	損傷モード		
防潮堤 鋼管式鉛直壁(岩盤部)	<p>基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド</p> <p>5.1 津波防護施設的设计</p> <p>津波防護施設については、その構造に応じ、波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性を十分に確保し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるように設計すること。</p> <p>(1) 要求事項に適合する設計方針であることを確認する。</p> <p>(2) 設計方針の確認に加え、入力津波に対して津波防護機能が十分保持できる設計がなされることの見直しを得るため、以下の項目について、設定の考え方を確認する。確認内容を以下に例示する。</p> <p>① 荷重組合せ</p> <p>a) 余震が考慮されていること、耐津波設計における荷重組合せ：常時+津波、常時+津波+地震(余震)</p> <p>② 荷重の設定</p> <p>a) 津波による荷重(波圧、衝撃力)の設定に関して、考慮する知見(例えば、国交省の暫定指針等)及びそれらの適用性。</p> <p>b) 余震による荷重として、サイト特性(余震の震源、ハザード)が考慮され、合理的な頻度、荷重レベルが設定されること。</p> <p>c) 地震により周辺地盤に液状化が発生する場合、防潮堤基礎杭に作用する側方流動力等の可能性を考慮すること。</p> <p>③ 許容限界</p> <p>a) 津波防護機能に対する機能保持限界として、当該構造物全体の变形能力(終局耐力時の变形)に対して十分な余裕を有し、津波防護機能を保持すること。(なお、機能損傷に至った場合、補修にある程度の期間が必要となることから、地震、津波後の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。)</p> <p>基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド</p> <p>6.3 津波防護施設、浸水防止設備等津波防護機能を有する施設、浸水防止機能を有する設備及び敷地における津波監視機能を有する設備のうち建物及び構築物は、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力(終局耐力時の变形)について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能(津波防護機能、浸水防止機能)を保持すること</p>	<p>防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、地震後の繰返しを想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、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、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。</p> <p>・防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)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、構造物全体としての変形能力(終局耐力時の变形)に対し、十分な構造強度を有した構造であることが要求される。</p>	<p>・防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、地震後の繰返しを想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を有した防潮堤高さを設定し、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。</p> <p>・防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)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、構造物全体としての変形能力(終局耐力時の变形)に対し、十分な構造強度を有した構造であることが要求される。</p>	<p>・防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、地震後の繰返しを想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を有した防潮堤高さを設定し、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。</p> <p>① 想定される津波高さに余裕を有した防潮堤高さを設定し、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。</p> <p>② 防潮堤の上部構造は、鋼管杭の前面に設置する鋼製止水壁及び止水目地により止水性を保持する設計とする。</p> <p>③ 鋼製止水壁間は、波圧による変形に追随する、止水性を確認した止水ゴム、シリコン等による止水処置を講ずる設計とする。</p>	<p>・防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、地震後の繰返しを想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、想定される津波高さに余裕を有した防潮堤高さを設定し、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。</p> <p>① 想定される津波高さに余裕を有した防潮堤高さを設定し、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。</p> <p>② 防潮堤の上部構造は、鋼管杭の前面に設置する鋼製止水壁及び止水目地により止水性を保持する設計とする。</p> <p>③ 鋼製止水壁間は、波圧による変形に追随する、止水性を確認した止水ゴム、シリコン等による止水処置を講ずる設計とする。</p>	<p>・防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、地震後の繰返しを想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に設計し、十分な支持機能を有する地盤に設置する設計とする。</p> <p>・防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、基準地震動 Ss による地震時荷重に設計し、鋼管杭、鋼製止水壁の上部構造で構成し、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし、十分な支持機能を有する地盤に設置する設計とする。</p> <p>・防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、基準地震動 Ss による地震時荷重に設計し、鋼管杭、鋼製止水壁の上部構造で構成し、津波時においても主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし、十分な支持機能を有する地盤に設置する設計とする。</p>	<p>基準地震動 Ss による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に設計し、十分な支持機能を有する地盤に設置する設計とする。</p> <p>基準地震動 Ss による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に設計し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。</p> <p>基準地震動 Ss による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に設計し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。</p> <p>基準地震動 Ss による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に設計し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。</p>	<p>基礎地盤</p> <p>鋼管杭</p> <p>鋼製止水壁</p> <p>止水目地</p> <p>止水目地の鋼製部材</p>	<p>支持力</p> <p>曲げ・せん断</p> <p>曲げ・せん断</p> <p>変形・水圧</p> <p>曲げ・せん断</p>	<p>支持機能を喪失する状態</p> <p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p> <p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p> <p>有意な漏えいに至る変形・水圧</p> <p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p>	<p>「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力以下とする。</p> <p>「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編・Ⅳ下部構造編)」を踏まえた短期許容応力度以下とする。</p> <p>「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編・Ⅳ下部構造編)」を踏まえた短期許容応力度以下とする。</p> <p>「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編・Ⅳ下部構造編)」を踏まえた短期許容応力度以下とする。</p> <p>「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編)」を踏まえた短期許容応力度以下とする。</p>

6. 基本設計方針

6.1.3 防潮堤(盛土堤防)に関する要求機能と設計評価方針

- 津波防護に関する施設は、津波の発生に伴い、津波防護対象設備がその安全性又は重大事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないような設計とする。

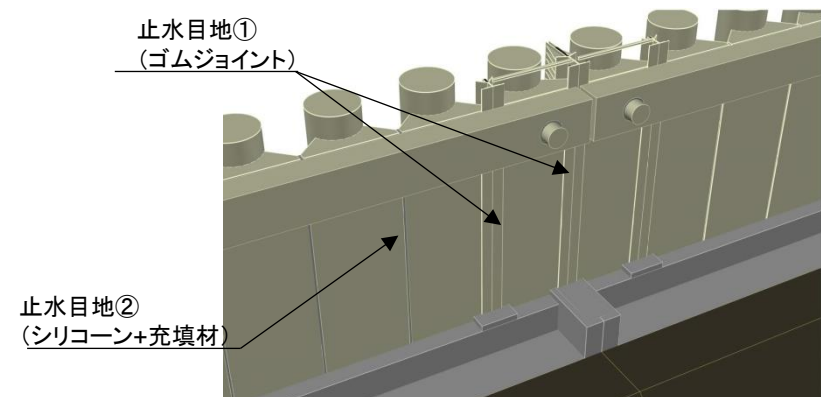
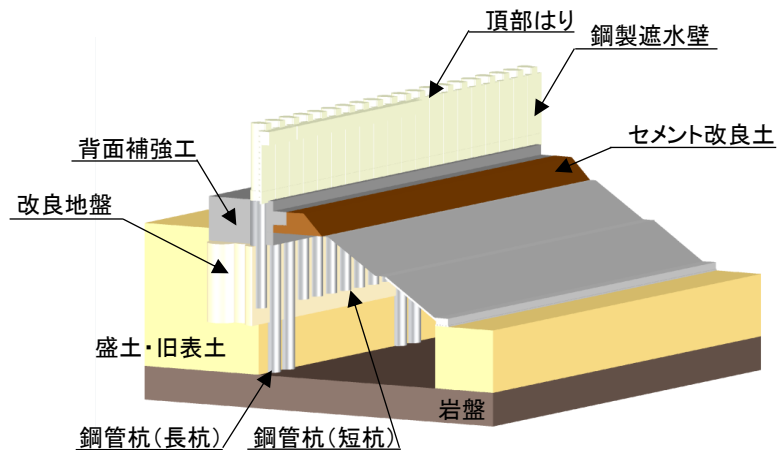
赤字: 荷重条件
 緑字: 要求機能
 青字: 対応方針

施設名	要求機能		機能設計		構造強度設計				設計に用いる許容限界
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計 (評価方針)	評価対象部位	応力等の状態	
防潮堤 盛土堤防	<p><u>基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド</u> 5.1 津波防護施設設計 津波防護施設については、その構造に応じ、波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し、越浪時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるように設計すること。 (1) 要求事項に適合する設計方針であることを確認する。 (2) 設計方針の確認に加え、入力津波に対して津波防護機能が十分保持できる設計がなされることの見直しを得るため、以下の項目について、設定の考え方を確認する。確認内容を以下に例示する。 ① 荷重組合せ a) 余震が考慮されていること。耐津波設計における荷重組合せ: 常時+津波、常時+津波+地震(余震) ② 荷重の設定 a) 津波による荷重(波圧、衝撃力)の設定に関して、考慮する知見(例えば、国交省の暫定指針等)及びそれらの適用性。 b) 余震による荷重として、サイト特性(余震の震源、ハザード)が考慮され、合理的な頻度、荷重レベルが設定される。 c) 地震により周辺地盤に液状化が発生する場合、防潮堤基礎杭に作用する側方流動力等の可能性を考慮すること。 ③ 許容限界 a) 津波防護機能に対する機能保持限界として、当該構造物全体の変形能力(終局耐力時の変形)に対して十分な余裕を有し、津波防護機能を保持すること。(なお、機能損傷に至った場合、補修にある程度が必要となることから、地震、津波後の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。)</p> <p><u>基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド</u> 6.3 津波防護施設、浸水防止設備等 津波防護機能を有する施設、浸水防止機能を有する設備及び敷地における津波監視機能を有する設備のうち建物及び構築物は、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能(津波防護機能、浸水防止機能)を保持すること</p>	<p>防潮堤盛土堤防は、地震後の繰返しの変位を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、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、津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。</p> <p>・防潮堤盛土堤防は、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、構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)に対し、十分な構造強度を有した構造であることが要求される。</p>	<p>・防潮堤盛土堤防は、地震後の繰返しの変位を想定した津波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、 ① 想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さ(浸水高さ T.P.+23.9mに余裕を考慮した天端高さ T.P.+29.0m)の設定により、敷地前面に設置する設計とする。 ② 防潮堤の盛土堤防部は、セメント改良土、盛土及び旧表土から構成され、十分に透水性の低い材料により止水性を保持する設計とする。</p> <p>・防潮堤盛土堤防は、基準地震動 S_s に対し、盛土堤防の構造健全性を維持することで、津波時の止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。</p> <p>・防潮堤盛土堤防は、基準地震動 S_s に対し、 ③ 防潮堤は、十分な支持性能を有する地盤に支持する設計とする。 ④ 津波の波力による浸食や洗掘、地盤内からの浸水に対しては、十分に透水係数の低い地盤により止水性を保持する設計とする。</p> <p>・防潮堤盛土堤防は、基準地震動 S_s に対し、 ⑤ 盛土堤防部が地震時に滑動・内部すべりを起こさない幅や強度を確保することで、津波時における止水性能を保持する設計とする。</p>	<p>・防潮堤盛土堤防は、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、セメント改良土、盛土及び旧表土で構成し、津波後の再使用性を考慮し、盛土堤防の構造健全性を保持する設計とし、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とともに、十分に低い透水性の材料とすることにより、有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p> <p>・防潮堤盛土堤防は、基準地震動 S_s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため、作用する接地圧が許容値以下に留まることを確認する。</p>	基礎地盤	支持力	支持機能を喪失する状態	「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力以下とする。	
					<p>・防潮堤盛土堤防は、基準地震動 S_s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、盛土堤防として滑動しない抵抗性を保持する設定とするため、堤体内部にすべりが生じないことを確認する。</p>	すべり安全率	堤体内にすべりが発生する状態	「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ、妥当な安全裕度を考慮したすべり安全率以上とする。	
					<p>・防潮堤盛土堤防は、基準地震動 S_s による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、盛土堤防の構造健全性を保持する設計とすることにより、有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p>	盛土堤防 (セメント改良土、盛土及び旧表土)	残留沈下	天端高さが津波高さを下回る状態	妥当な安全裕度を考慮した許容沈下量以下とする。

6.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)を構成する各部位の仕様

- 鋼管式鉛直壁(一般部)を構成する各部位は以下の仕様とした。

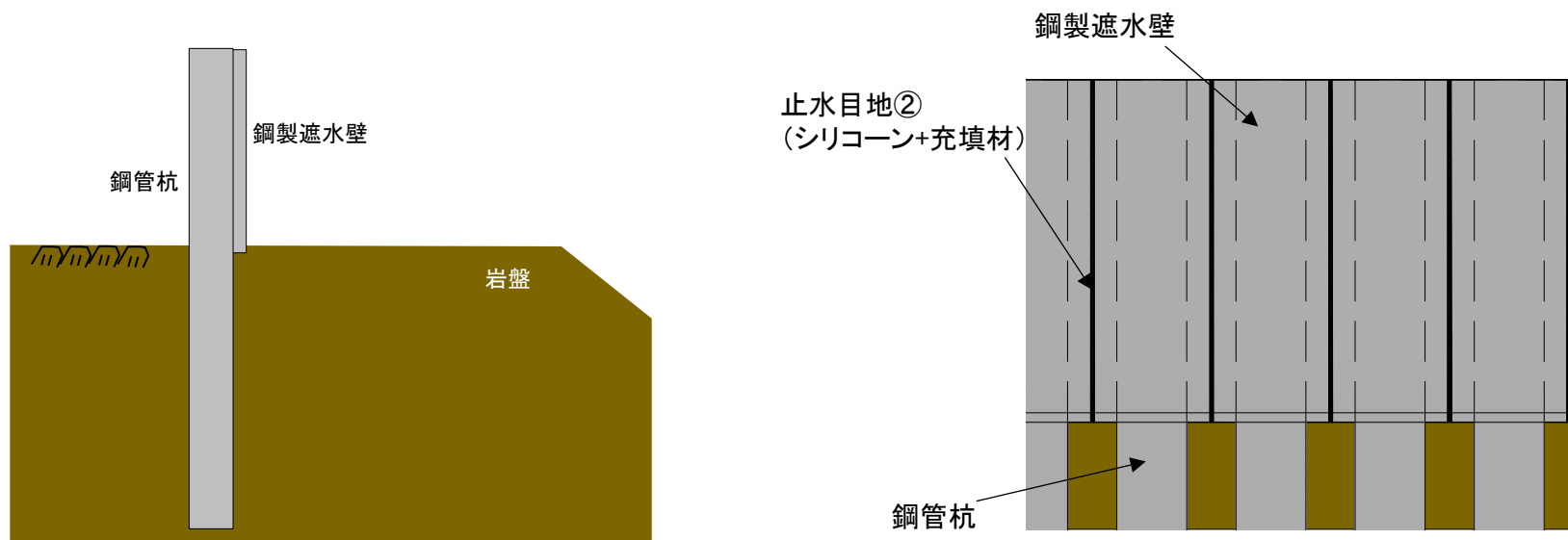
	部位	仕様
1	鋼管杭	上杭: $\phi 2,200\text{mm}$ $t=25\text{mm}$ (SKK490), $t=40\text{mm}$ (SM570) 下杭: $\phi 2,500\text{mm}$ $t=25\text{mm}$ (SKK490), $t=35\text{mm}$ (SM570)
2	鋼製遮水壁	SM570, SM490YB, SM490YA, SM400A
3	止水目地①(大), (小)	クロロプレンゴム
4	止水目地②	シリコーン, 充填材(発泡ウレタン, 発泡ポリエチレン)
5	頂部はり	SM520C-H, SM490YB, SM490YA, SM400A
6	背面補強工	コンクリート : $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$ 鉄筋 : SD345
7	改良地盤	高圧噴射攪拌工法 : $\Phi 4.5\text{m}$ $q_u=3.0\text{N/mm}^2$
8	セメント改良土	セメント混合処理土 : $q_u=2.7\text{N/mm}^2$
9	盛土	建設時の掘削岩砕を主体
10	旧表土	砂・砂礫層



6.2.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)を構成する各部位の仕様

- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)を構成する各部位は以下の仕様とした。

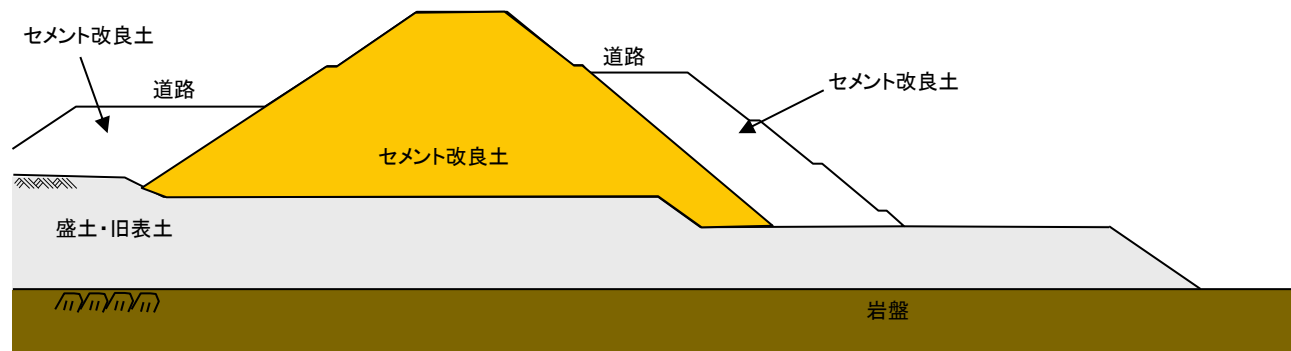
部位	仕様
1 鋼管杭	上杭: $\phi 2,200\text{mm}$ $t=25\text{mm}$ (SKK490), $t=40\text{mm}$ (SM570) 下杭: $\phi 2,500\text{mm}$ $t=25\text{mm}$ (SKK490), $t=35\text{mm}$ (SM570)
2 鋼製遮水壁	SM570, SM490YB, SM490YA, SM400A
3 RC遮水壁(南端1本目~5本目)	コンクリート : $f_{ck}=40\text{N/mm}^2$ 鉄筋 : SD345
4 止水目地②	シリコーン 充填材(発泡ウレタン, 発泡ポリエチレン)



6.2.3 盛土堤防を構成する各部位の仕様

- 盛土堤防を構成する各部位は以下の仕様とした。

	部位	仕様
1	セメント改良土	セメント混合処理土 $q_u=2.7\text{N/mm}^2$
2	盛土	建設時の掘削岩砕を主体
3	旧表土	砂・砂礫層



6.3 防潮堤高さの設定方針

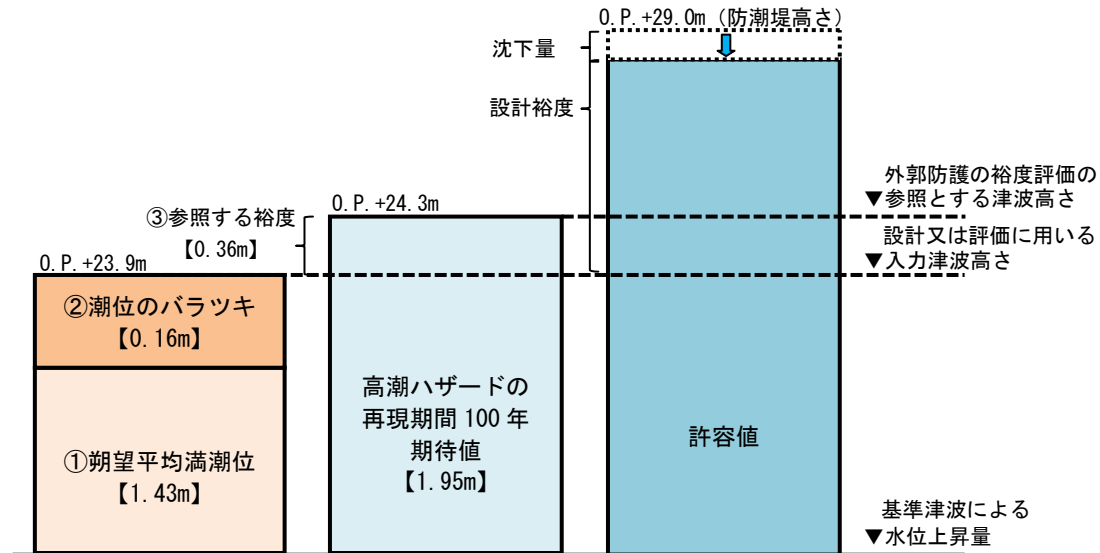
- 防潮堤の高さは、設計に用いる津波高さ(入力津波高さ)に対して余裕をもって設定する。

入力津波高さと防潮堤高さの関係

設計又は評価に用いる入力津波高さ(①+②)	O.P.+23.9m
外郭防護の裕度評価の参照とする津波高さ(①+②+③)	O.P.+24.3m
防潮堤高さ	O.P.+29.0m - 沈下(変形)量※
設計裕度	5.1m - 沈下(変形)量※

※ 地盤や防潮堤の変形により防潮堤高さは若干(数十cm程度)沈下する可能性がある。

防潮堤設計裕度のイメージ



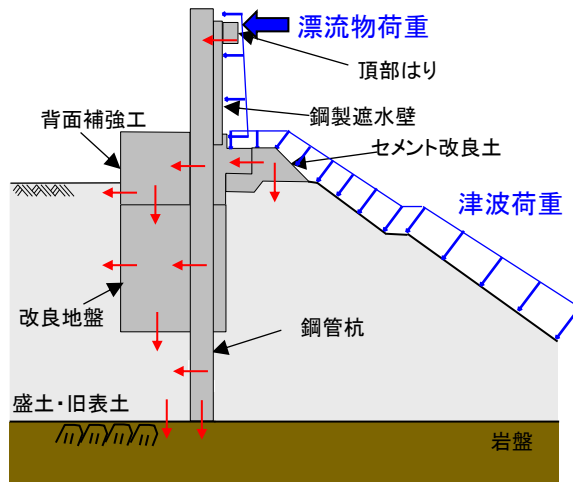
6.4 検討ケース及び荷重の組合せ

- 検討ケースは、荷重の組合せを考慮し、以下のケースを実施する。防潮堤は、地震後及び津波後の再使用性と津波の繰返し作用を考慮し、構造物全体の変形能力に対して十分な裕度を有するよう設計する。
- 津波時の検討においては、基準地震動 S_s による影響を考慮したうえで評価する。
- 具体的には、津波時の検討において、基準地震動 S_s 後の応力状態及び残留過剰間隙水圧による地盤の剛性低下を考慮する。

検討ケース	荷重の組合せ
地震時	常時荷重 + 地震荷重
津波時	常時荷重 + 基準津波荷重 + 漂流物荷重
重畳時 (津波+余震時)	常時荷重 + 基準津波荷重(静水圧) + 余震荷重

荷重	内容
常時荷重	構造物の自重及び積雪荷重
基準津波荷重	入力津波高さ(防潮堤前面の地盤高さ(O.P.+2.5m)の差の1/2を津波浸水深とし、朝倉式より津波波力を算定し、作用させる。*
漂流物荷重	重量15t(漁船)、防潮堤近傍の津波流速を用いて、道路橋示方書式により荷重を算定し、O.P.+29.0mの高さに集中荷重として作用させる。
余震荷重	防潮堤前面に入力津波高さに相当する液体要素を設定したうえで余震の地震動を作用させる。
基準津波荷重 (重畳時)	余震作用時に、防潮堤前面に入力津波高さの海水が存在することを想定して、静水圧を作用させる。

※: 基準地震動 S_s の影響を考慮する。



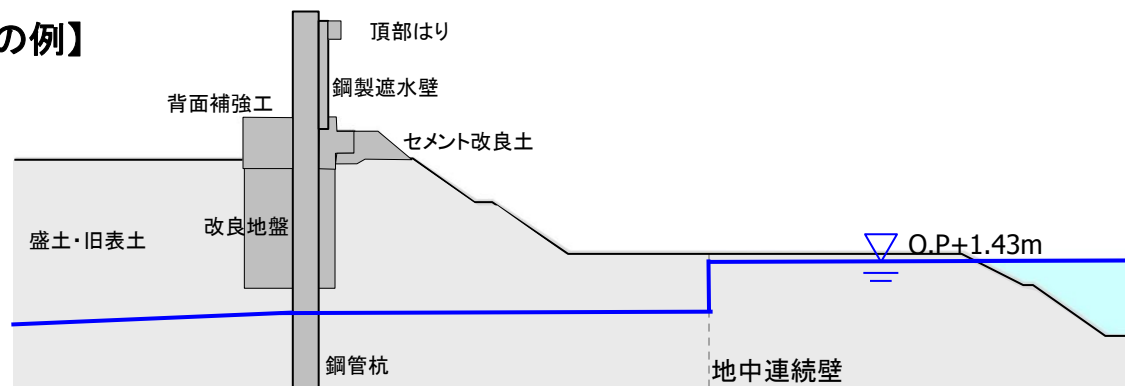
例: 津波荷重+漂流物荷重
(鋼管式鉛直壁(一般部))

6.5 地下水位の設定方針

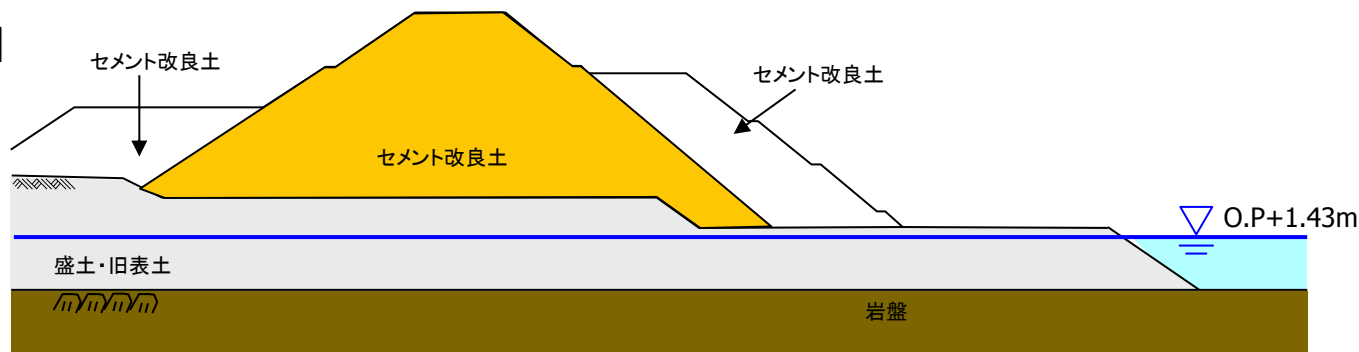
- 地下水位については、断面ごとに保守的な設定になるよう以下の方針に基づき設定し、観測水位により妥当性を確認する。地下水位の設定の詳細については、補足説明資料2に示す。

鋼管式鉛直壁(一般部)	地中連続壁の海側: 朔望平均満潮位(O.P.+1.43m)として設定 地中連続壁の山側: 主要建屋周辺の地下水位低下設備及び海側の低透水層(地中連続壁)の効果による地下水位低下を考慮し、暗渠の地下水位公式により設定
鋼管式鉛直壁(岩盤部)	周辺に水位観測孔がないため、保守的に地表面に設定
盛土堤防	地下水位低下設備との位置関係等を考慮し、保守的に朔望平均満潮位(O.P.+1.43m)として設定

【鋼管式鉛直壁(一般部)の例】



【盛土堤防の例】



地下水位イメージ図

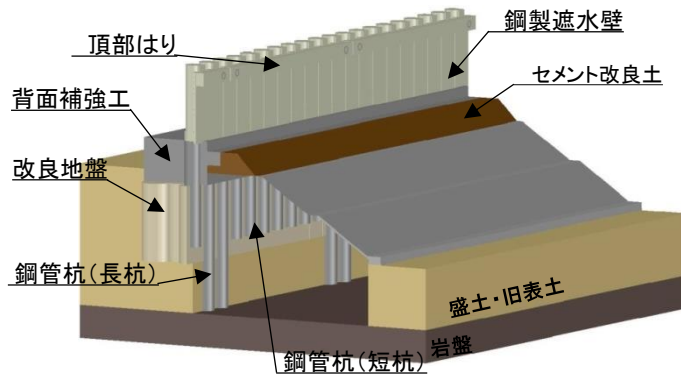
7.1 防潮堤に作用する荷重と部位の役割の概要

- 防潮堤は、鋼管式鉛直壁(一般部)、鋼管式鉛直壁(岩盤部)及び盛土堤防部の3つの構造形式に分かれている。鋼管式鉛直壁(一般部)については長杭(岩盤に直接支持されている杭)及び短杭(盛土・旧表土を介して岩盤に支持されている杭)の2つの杭仕様があり、短杭は沈下を許容する設計としている。
- 盛土堤防はセメント改良土、盛土・旧表土より成り、変位を許容した設計としている。
- このように、防潮堤は構造設計で留意すべき事項が多数ある。
- この防潮堤の構造成立性には、このような構造に作用する荷重に対し各部位が所要の機能を発揮して安全であることが必要である。
- このような観点から、作用する荷重、荷重の伝達経路、構造体の変形モード及び各部位の役割について整理する。

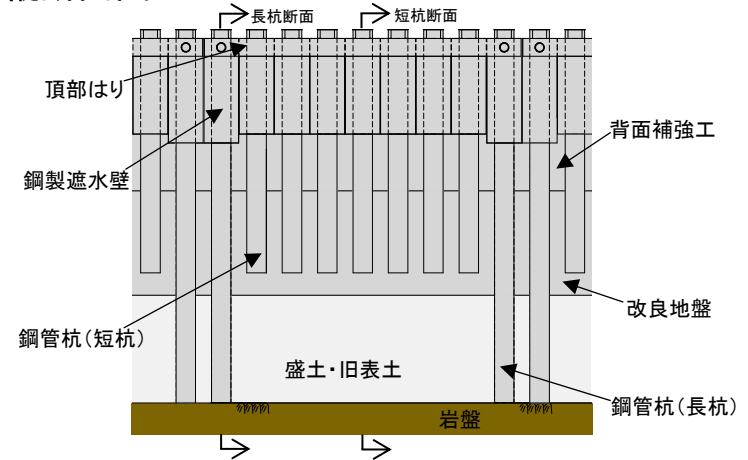
7.2.1 津波時 鋼管式鉛直壁(一般部)(1/3)

- 津波時に作用する荷重と基礎地盤への荷重の伝達経路を以下に示す。

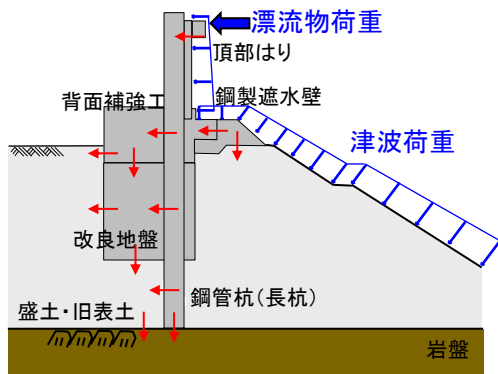
鳥瞰図



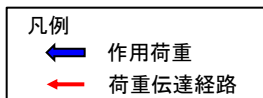
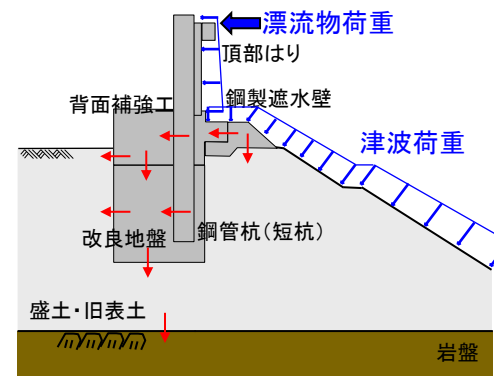
縦断面図



横断面図(長杭)



横断面図(短杭)

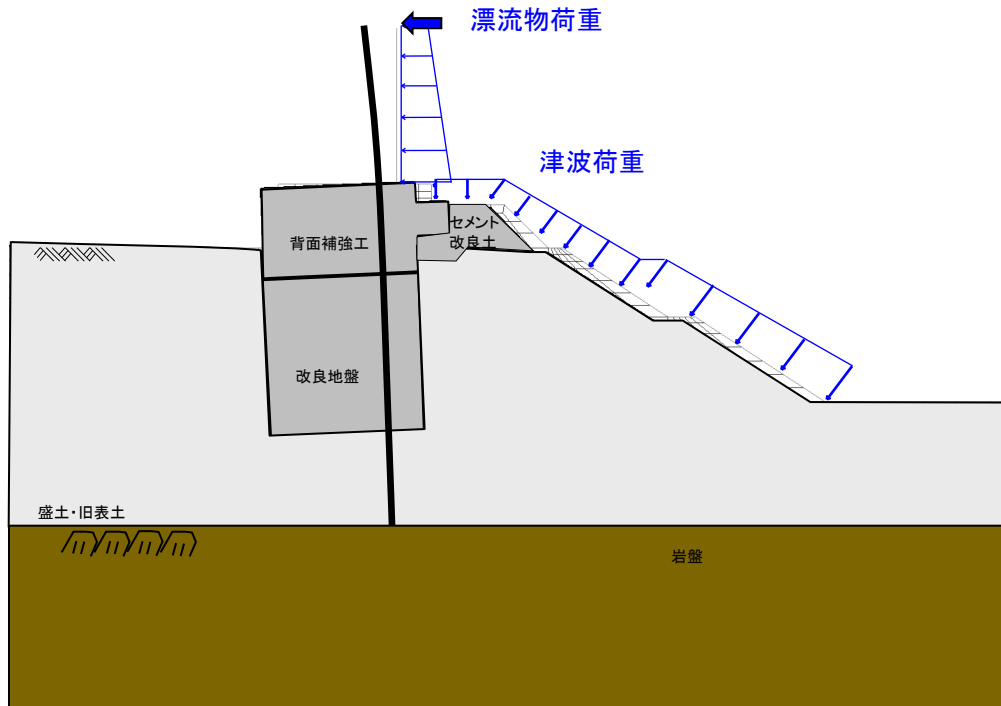


7. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

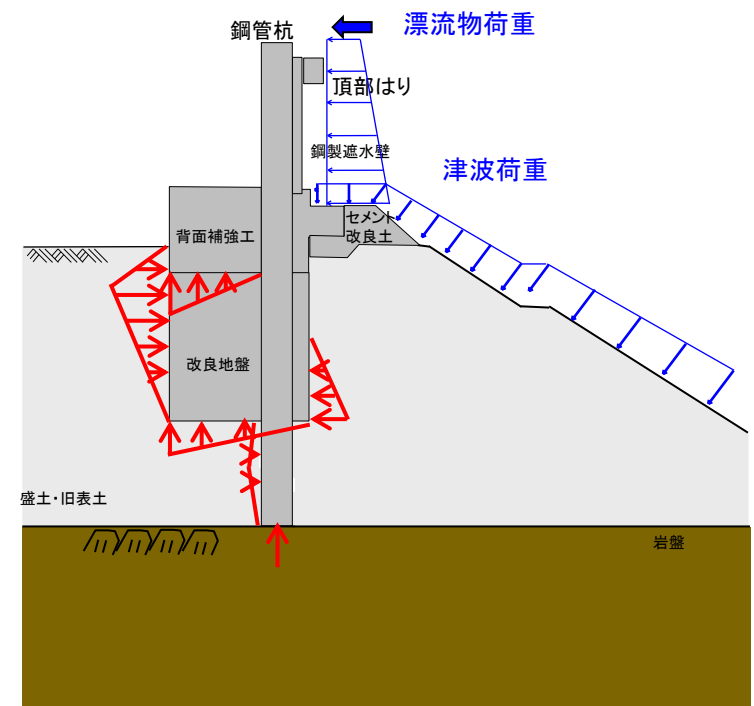
7.2.1 津波時 鋼管式鉛直壁(一般部)(2/3)

- 津波時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。

変形モード



荷重図



7.2.1 津波時 鋼管式鉛直壁(一般部)(3/3)

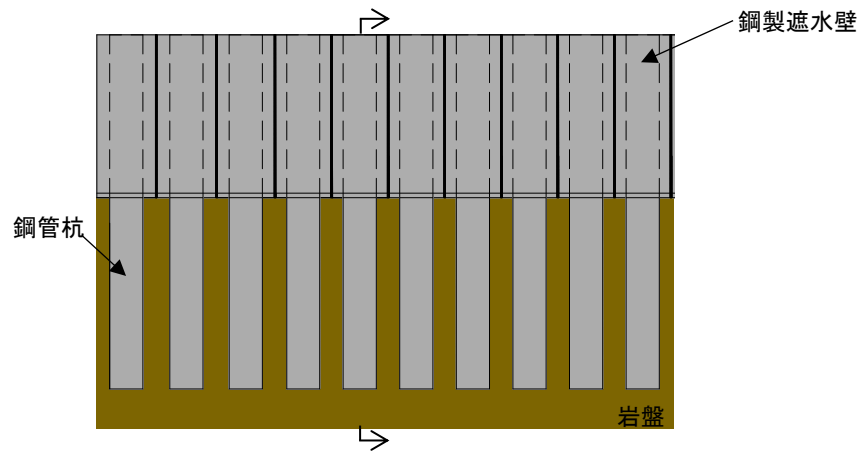
- 津波時において、各部位は津波荷重を周辺の部位に伝達する他、以下の役割を有する。

部位の名称	津波時の役割
鋼管杭(長杭)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁及び頂部はりを支持し、鋼管杭が損傷しない。
鋼管杭(短杭)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を支持し、鋼管杭が損傷しない。
鋼製遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地を支持し、止水機能を保持して、鋼製遮水壁が損傷しない。
止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 遮水壁間の変位に追従し、止水機能を保持して、止水目地が損傷しない。
頂部はり	<ul style="list-style-type: none"> 想定される津波高さに余裕を考慮した高さを維持し、入力津波を超える高さの津波に対して敷地への越波流量等を低減して、頂部はりが損傷しない。
背面補強工	<ul style="list-style-type: none"> 津波荷重に対して鋼管杭の変位を抑制する。 止水機能を保持して、背面補強工が損傷しない。 津波による侵食や洗掘、地盤内からの浸水に対して、止水機能を保持する。
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> 津波荷重に対して鋼管杭の変位を抑制する。 背面補強工を支持する。 津波による侵食や洗掘、地盤内からの浸水に対して、止水機能を保持する。
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤機能に有害となる変形を起こさない。 津波による侵食や洗掘、地盤内からの浸水に対して、止水機能を保持する。
盛土・旧表土	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤機能に有害となる変形を起こさない。 津波による侵食や洗掘、地盤内からの浸水に対して、止水機能を保持する。
基礎地盤	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤全体を支持する。

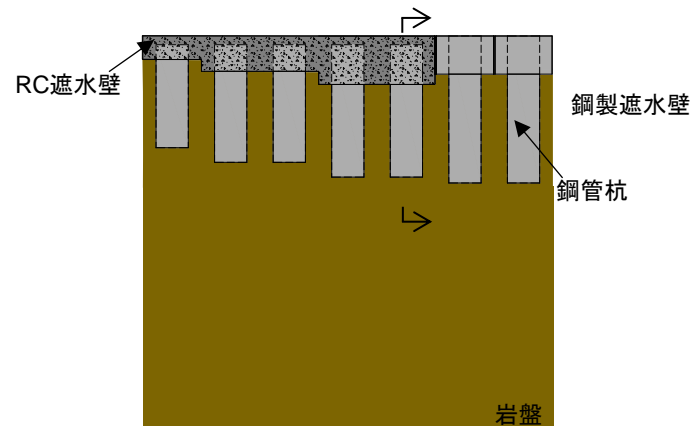
7.2.2 津波時 鋼管式鉛直壁(岩盤部) (1/3)

- 津波時に作用する荷重と基礎地盤への荷重の伝達経路を以下に示す。

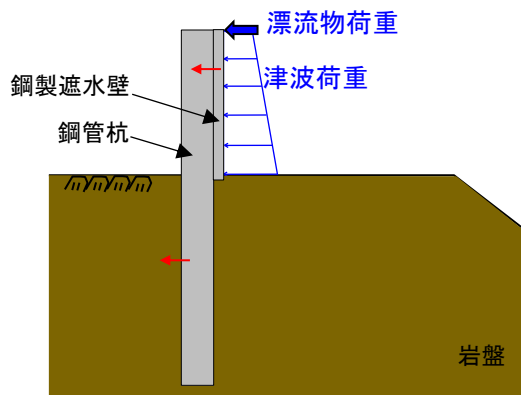
縦断面図(鋼製遮水壁)



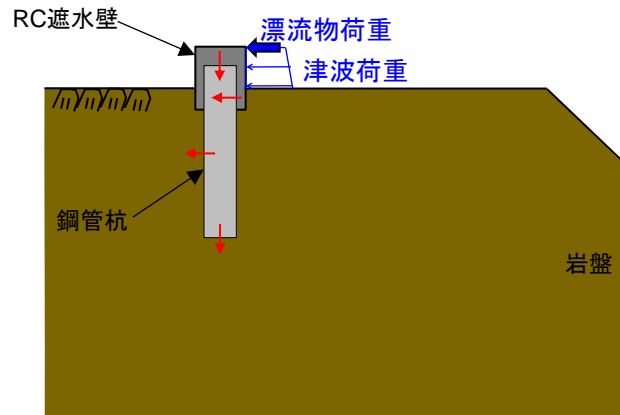
縦断面図(RC遮水壁)



横断面図(鋼製遮水壁)



横断面図(RC遮水壁)

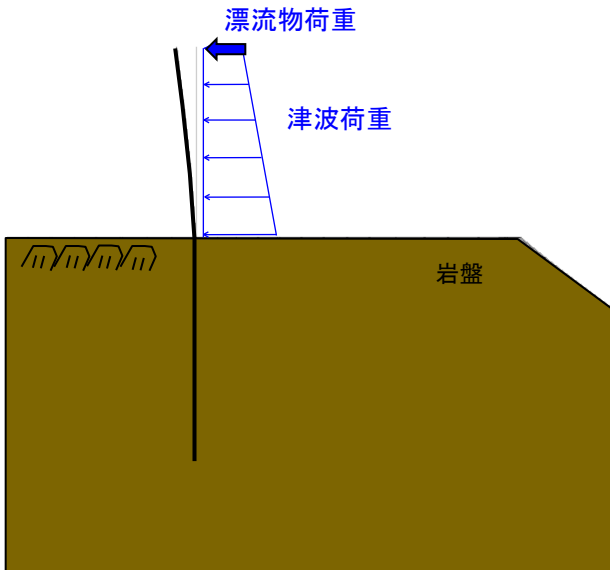


7. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

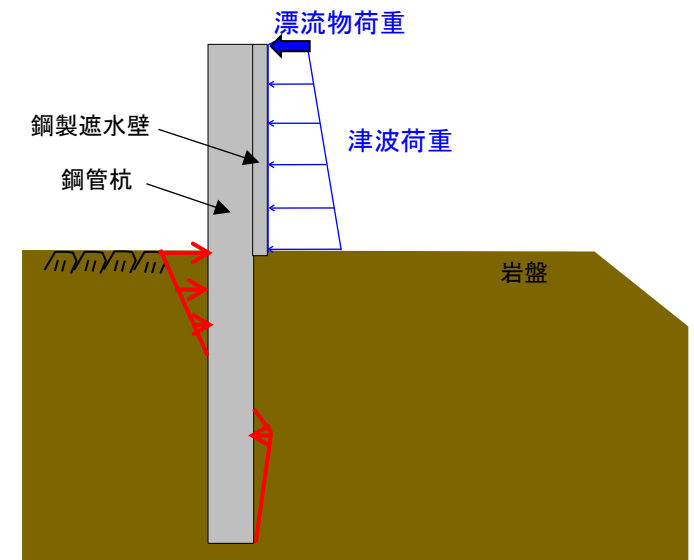
7.2.2 津波時 鋼管式鉛直壁(岩盤部) (2/3)

- 津波時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。

変形モード



荷重図



7.2.2 津波時 鋼管式鉛直壁(岩盤部) (3/3)

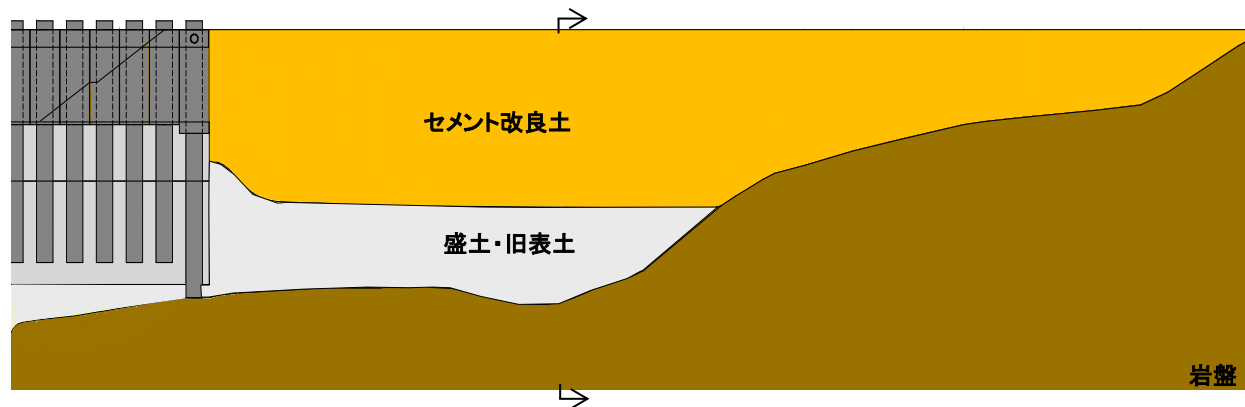
- 津波時において、各部位は津波荷重を周辺の部位に伝達する他、以下の役割を有する。

部位の名称	津波時の役割
鋼管杭	• 鋼製遮水壁を支持し、鋼管杭が損傷しない。
鋼製遮水壁	• 止水目地を支持し、止水機能を保持して、鋼製遮水壁が損傷しない。
RC遮水壁(南端1本目～5本目)	• 津波時の止水機能を保持し、RC遮水壁が損傷しない。
止水目地	• 遮水壁間の変位に追従し、止水機能を保持して、止水目地が損傷しない。
基礎地盤	• 鋼管杭を支持する。

7.2.3 津波時 盛土堤防(1/3)

- 津波時に作用する荷重と基礎地盤への荷重の伝達経路を以下に示す。

縦断面図

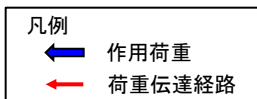
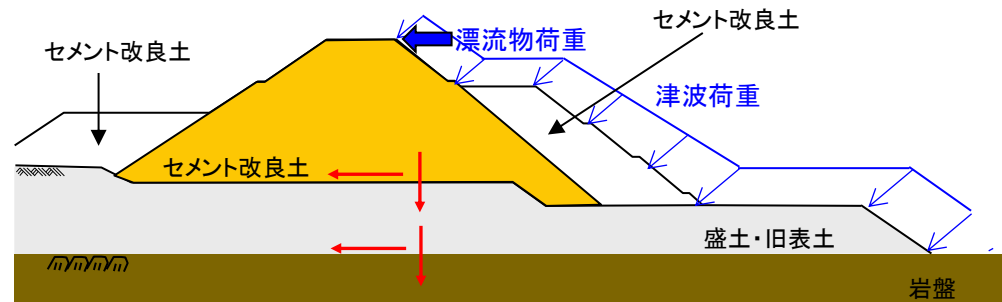


鳥瞰図

横断面図



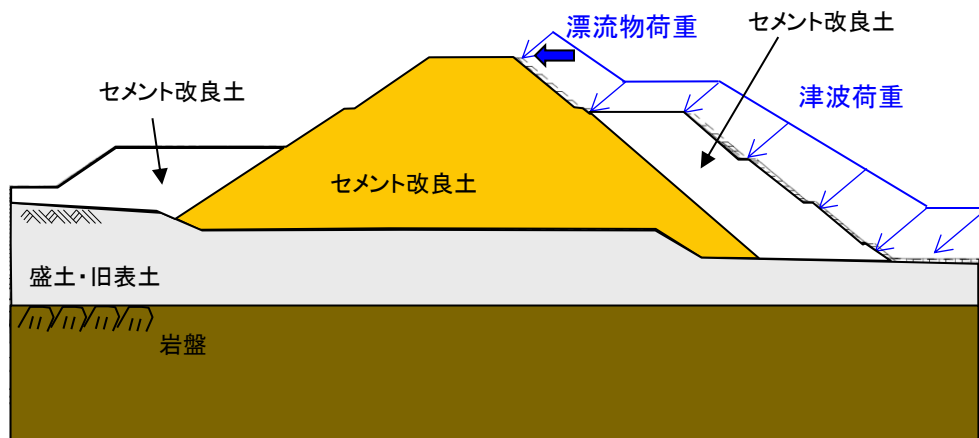
(鋼管式鉛直壁と盛土堤防の境界部周辺)



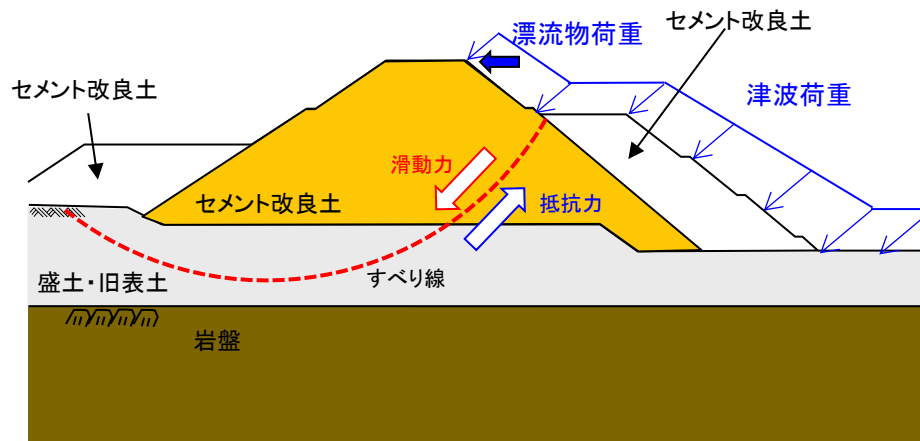
7.2.3 津波時 盛土堤防(2/3)

- 津波時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。

変形モード



荷重図



7.2.3 津波時 盛土堤防(3/3)

- 津波時において、各部位は津波荷重を周辺の部位に伝達する他、以下の役割を有する。

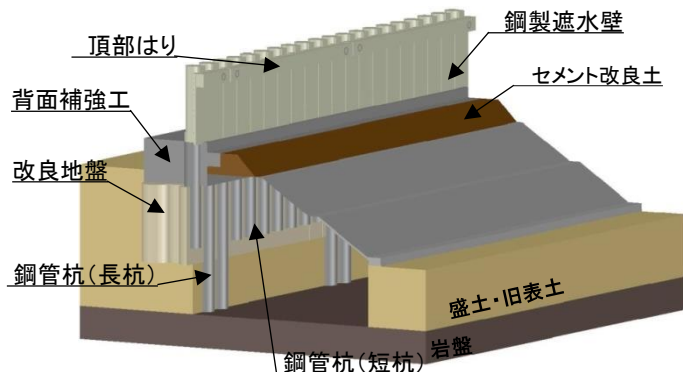
部位の名称	津波時の役割
セメント改良土	・ 想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さを維持し、津波時の止水機能を保持して、セメント改良土が損傷しない。
盛土・旧表土	・ セメント改良土を支持し、防潮堤に有害となる変形を起こさない。
基礎地盤	・ 防潮堤全体を支持する。

7. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

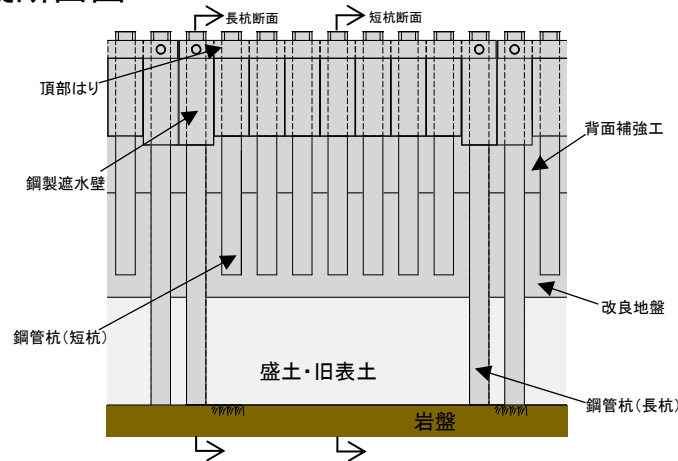
7.3.1 地震時 鋼管式鉛直壁(一般部)(1/3)

- 地震時に作用する荷重と基礎地盤への荷重の伝達経路を以下に示す。

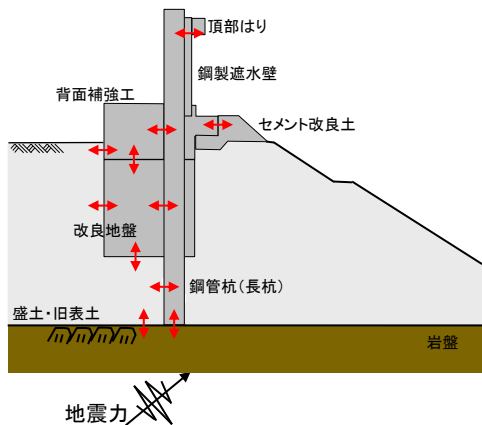
鳥瞰図



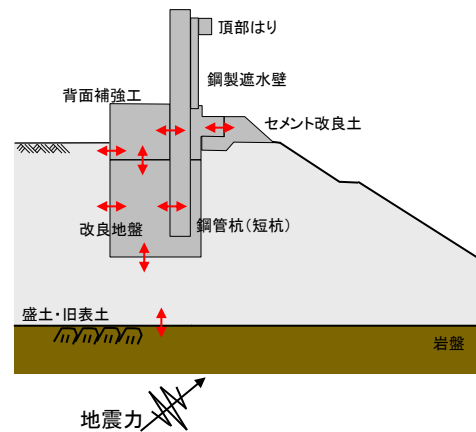
縦断面図



横断面図(長杭)



横断面図(短杭)

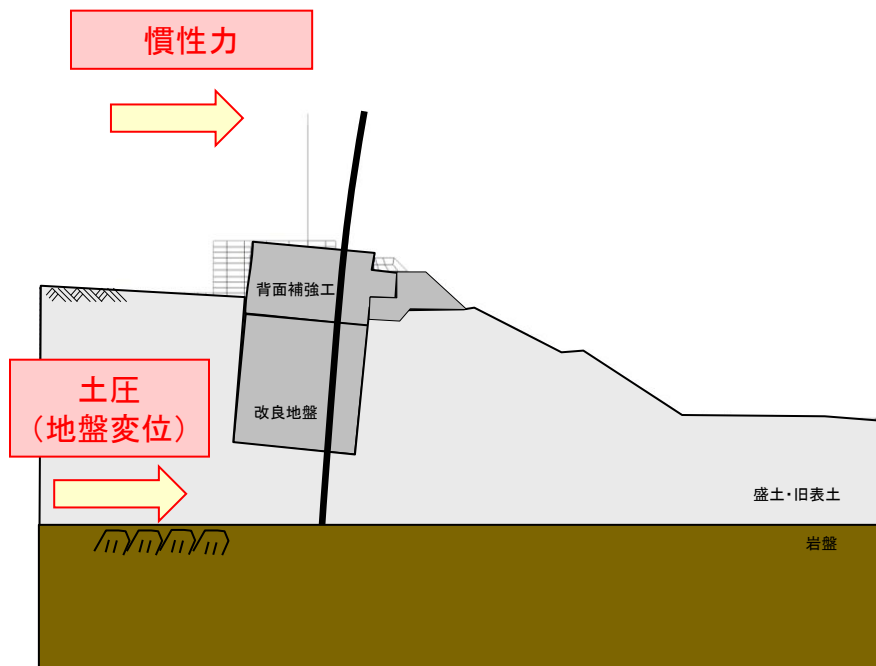


凡例
 ◀▶ 荷重伝達経路

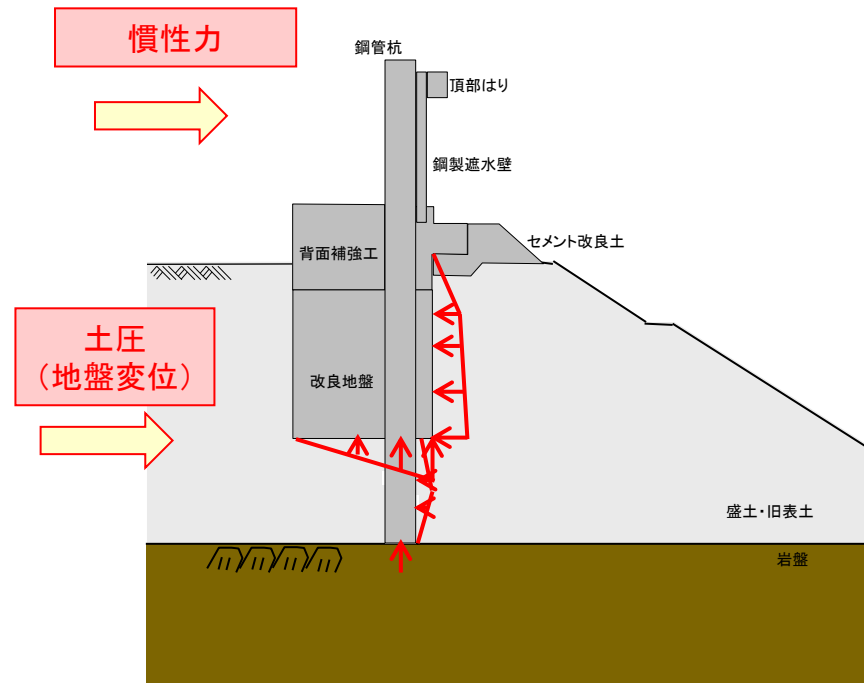
7.3.1 地震時 鋼管式鉛直壁(一般部)(2/3)

- 地震時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。

変形モード



荷重図



7. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

7.3.1 地震時 鋼管式鉛直壁(一般部)(3/3)

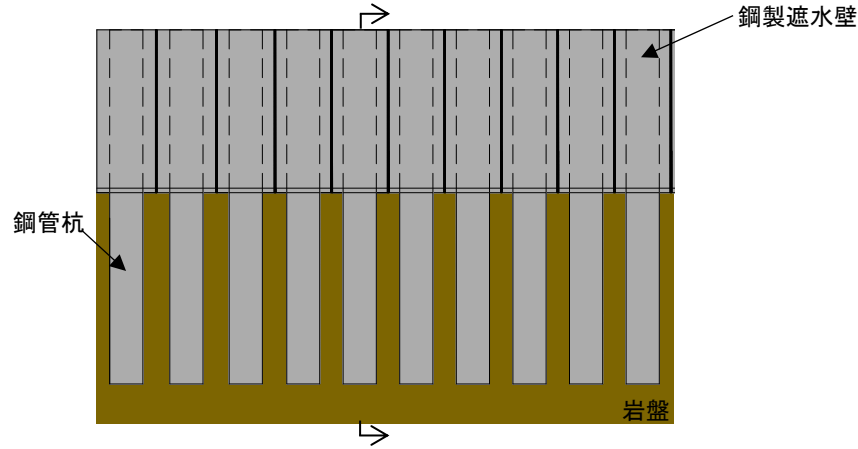
- 地震時において、各部位は地震荷重を周辺の部位に伝達する他、地震後に来る津波に対して防潮堤の機能(津波に対する健全性、止水性)を維持するため、以下の役割を有する。

部位の名称	地震時の役割
鋼管杭(長杭)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁及び頂部はりを支持し、鋼管杭が損傷しない。
鋼管杭(短杭)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を支持し、鋼管杭が損傷しない。
鋼製遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地を支持し、津波時の止水機能を保持して、鋼製遮水壁が損傷しない。
止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 遮水壁間の変位に追従し、津波時の止水機能を保持して、止水目地が損傷しない。
頂部はり	<ul style="list-style-type: none"> 想定される津波高さに余裕を考慮した高さを維持し、頂部はりが損傷しない。
背面補強工	<ul style="list-style-type: none"> 地震荷重に対して鋼管杭の変位を抑制する。 津波時の止水機能を保持して、背面補強工が損傷しない。
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> 地震荷重に対して鋼管杭の変位を抑制する。 背面補強工を支持する。 鋼管杭(短杭)の周囲を固め、沈下を抑制する。 地震荷重に対して損傷しない。
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤機能に有害となる変形を起こさない。
盛土・旧表土	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤機能に有害となる変形を起こさない。
基礎地盤	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤全体を支持する。

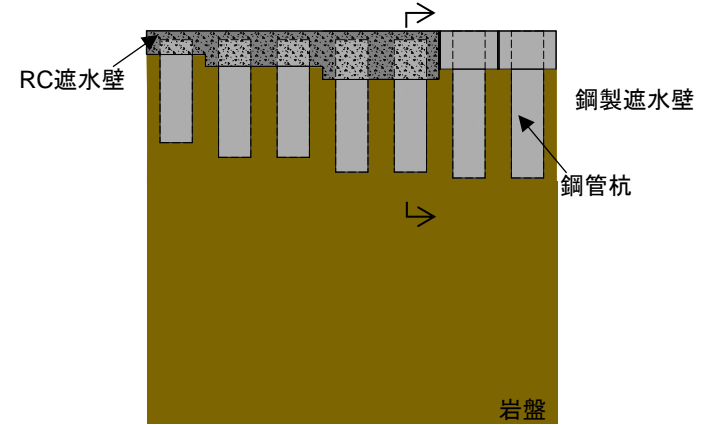
7.3.2 地震時 鋼管式鉛直壁(岩盤部)(1/3)

- 地震時に作用する荷重と基礎地盤への荷重の伝達経路を以下に示す。

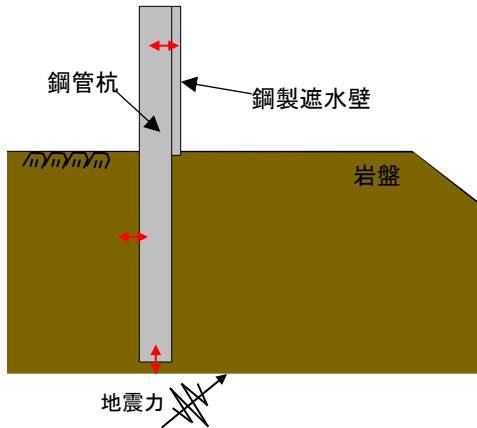
縦断面図(鋼製遮水壁)



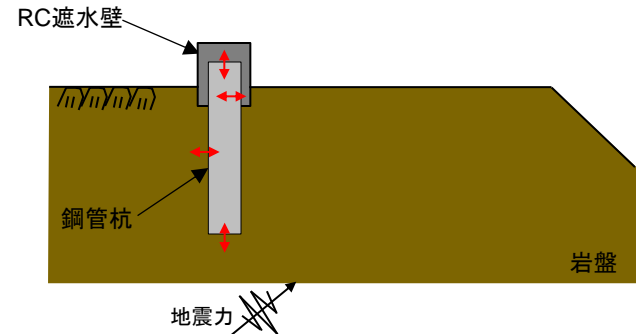
縦断面図(RC遮水壁)



横断面図(鋼製遮水壁)



横断面図(RC遮水壁)

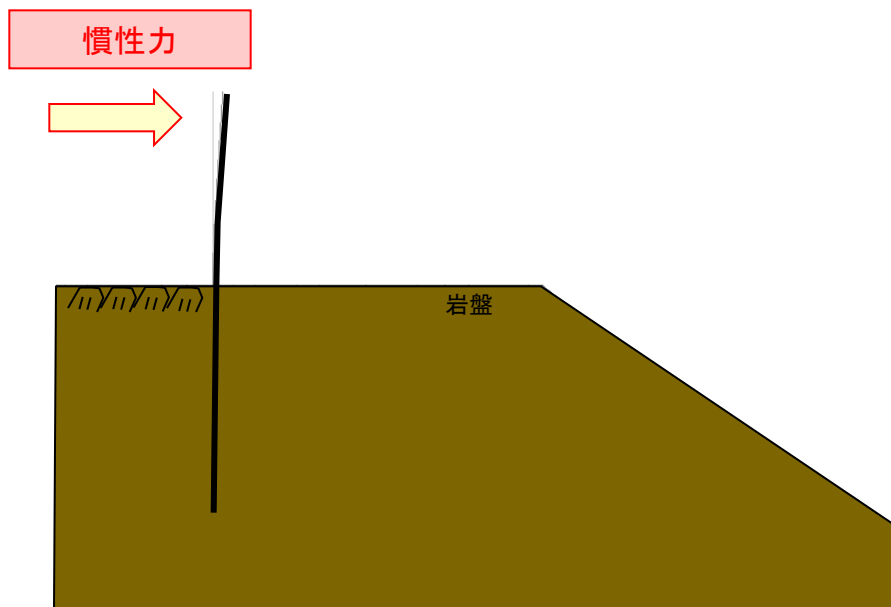


凡例
 ↔ 荷重伝達経路

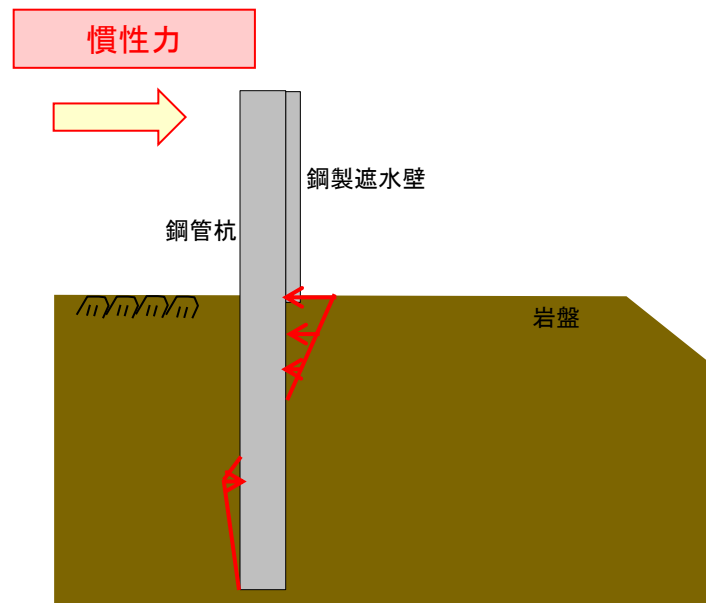
7.3.2 地震時 鋼管式鉛直壁(岩盤部) (2/3)

- 地震時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。

変形モード



荷重図



7.3.2 地震時 鋼管式鉛直壁(岩盤部)(3/3)

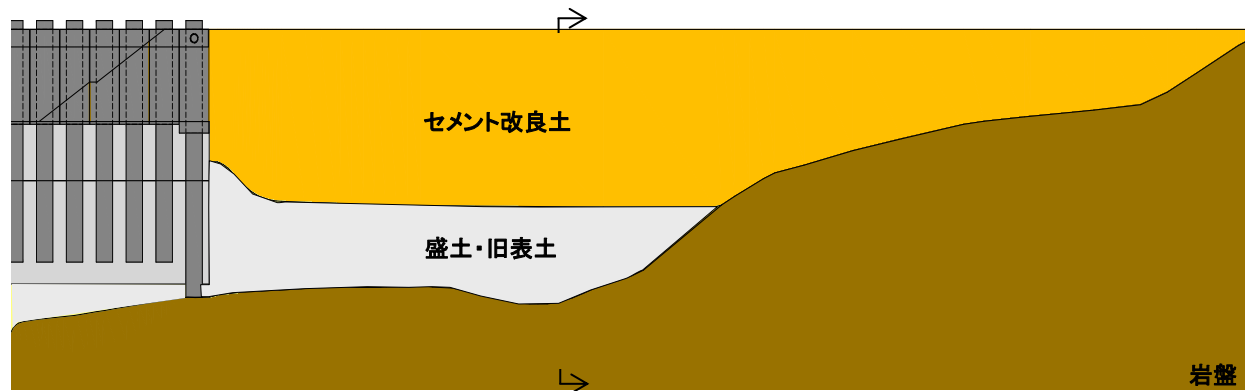
- 地震時において、各部位は地震荷重を周辺の部位に伝達する他、地震後に来る津波に対して防潮堤の機能(津波に対する健全性、止水性)を維持するため、以下の役割を有する。

部位の名称	地震時の役割
鋼管杭	• 鋼製遮水壁を支持し、鋼管杭が損傷しない。
鋼製遮水壁	• 止水目地を支持し、津波時の止水機能を保持して、鋼製遮水壁が損傷しない。
RC遮水壁(南端1本目～5本目)	• 津波時の止水機能を保持し、RC遮水壁が損傷しない。
止水目地	• 遮水壁間の変位に追従し、津波時の止水機能を保持して、止水目地が損傷しない。
基礎地盤	• 鋼管杭を支持する。

7.3.3 地震時 盛土堤防(1/3)

- 地震時に作用する荷重と基礎地盤への荷重の伝達経路を以下に示す。

縦断面図

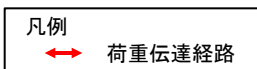
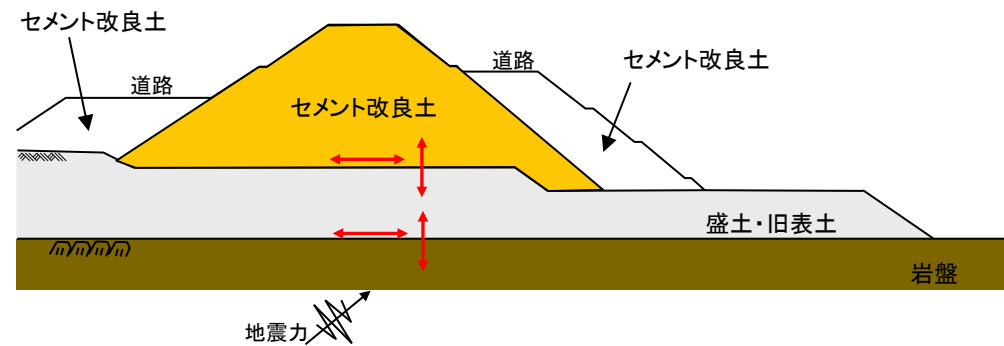


鳥瞰図



(鋼管式鉛直壁と盛土堤防の境界部周辺)

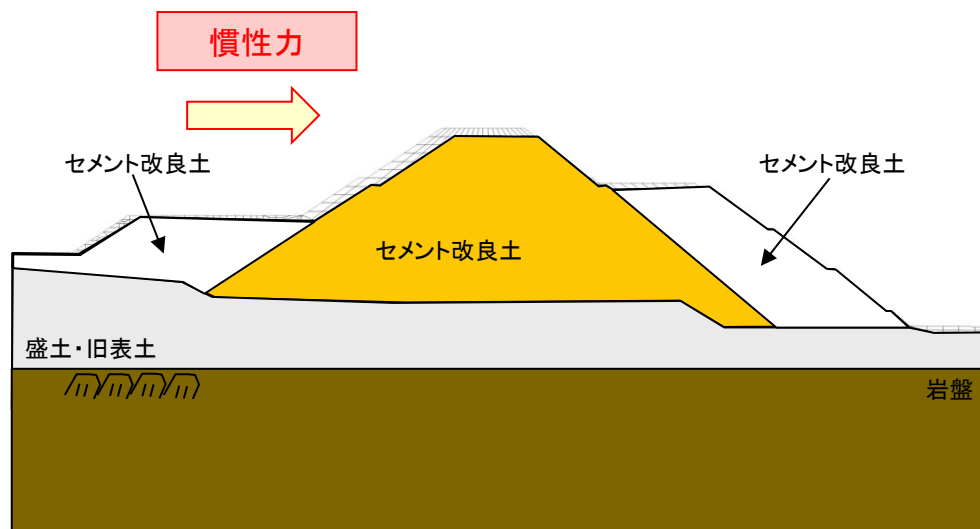
横断面図



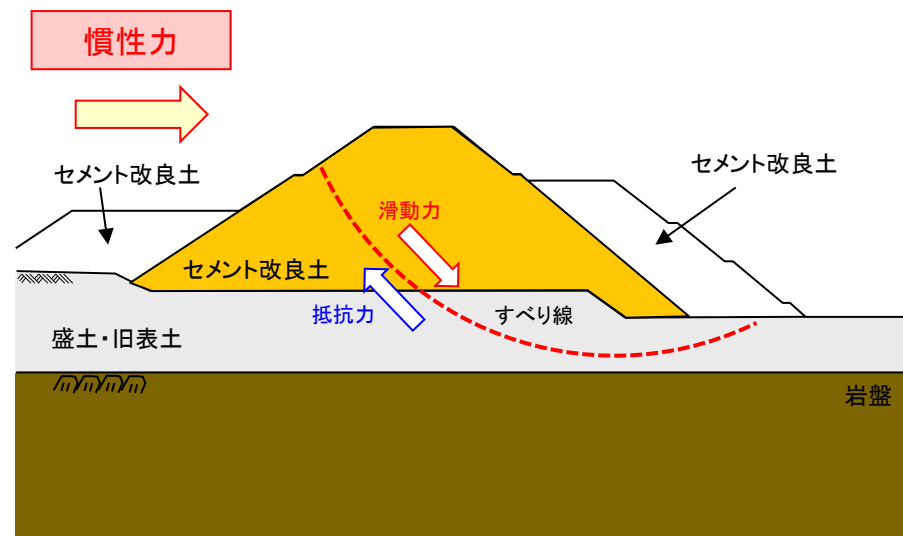
7.3.3 地震時 盛土堤防(2/3)

- 地震時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。

変形モード



荷重図



7.3.3 地震時 盛土堤防(3/3)

- 地震時において、各部位は地震荷重を周辺の部位に伝達する他、地震後に来る津波に対して防潮堤の機能(津波に対する健全性、止水性)を維持するため、以下の役割を有する。

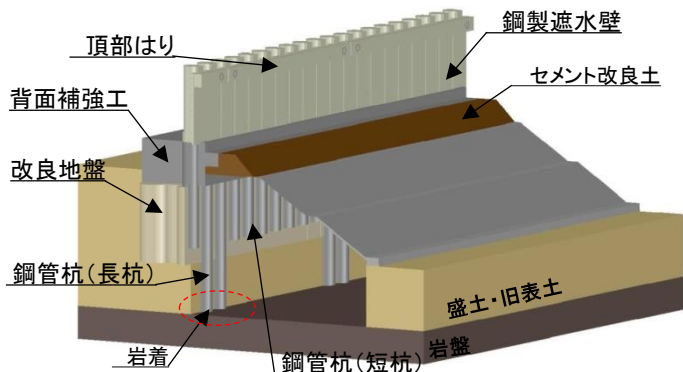
部位の名称	地震時の役割
セメント改良土	• 想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さを維持し、津波時の止水機能を保持して、セメント改良土が損傷しない。
盛土・旧表土	• セメント改良土を支持し、防潮堤機能に有害となる変形を起こさない。
基礎地盤	• 防潮堤全体を支持する。

7. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

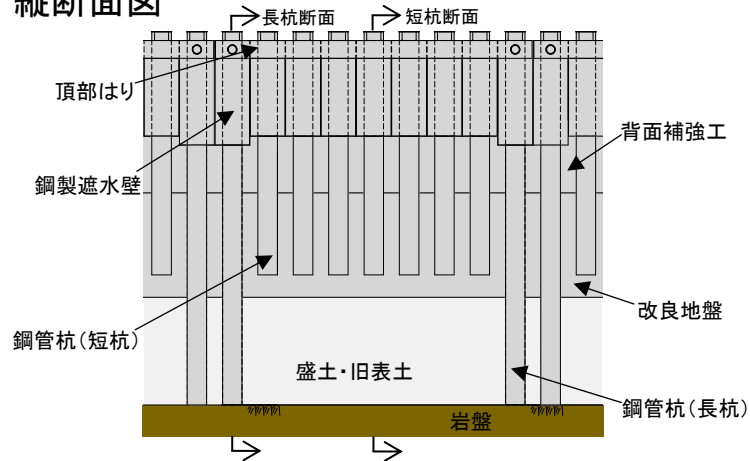
7.4.1 津波+余震時 鋼管式鉛直壁(一般部)(1/3)

- 津波+余震時に作用する荷重と基礎地盤への荷重の伝達経路を以下に示す。

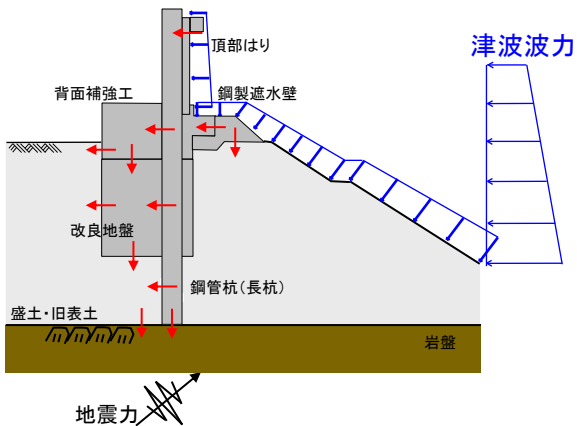
鳥瞰図



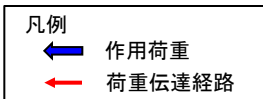
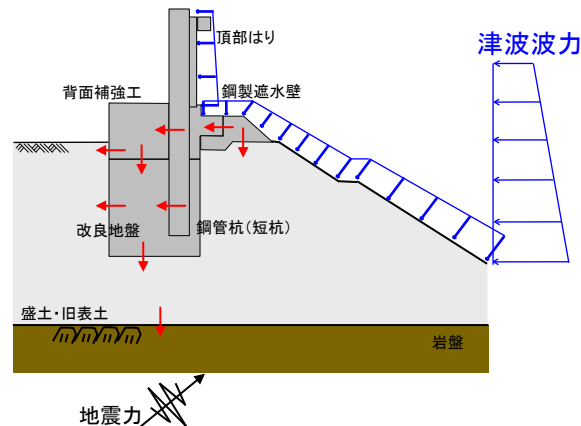
縦断面図



横断面図(長杭)



横断面図(短杭)

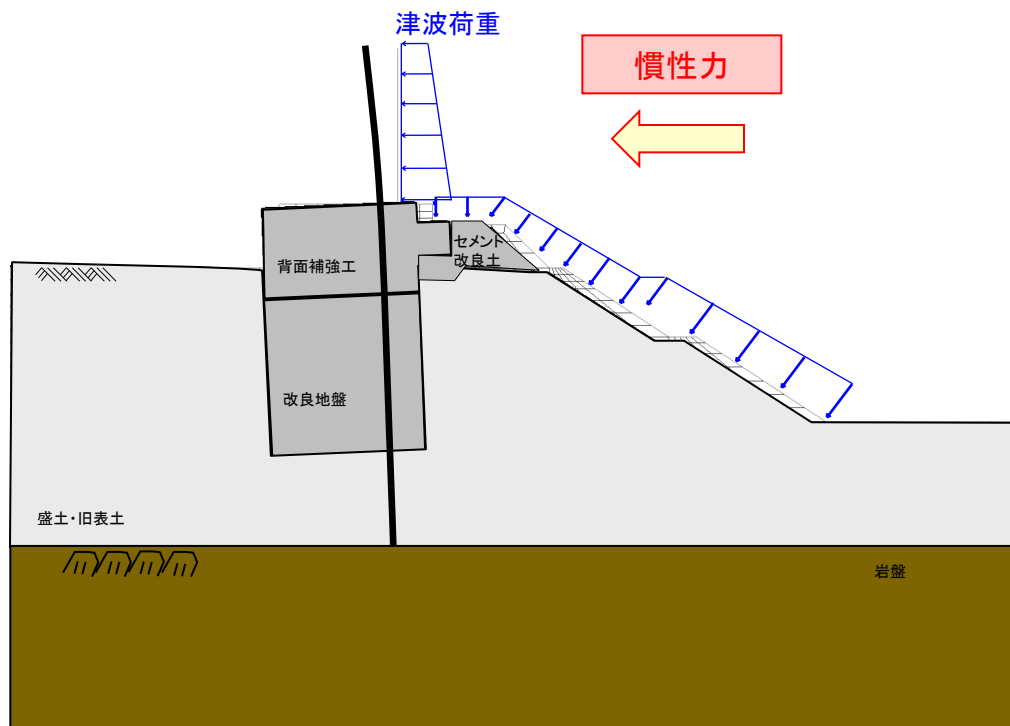


7. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

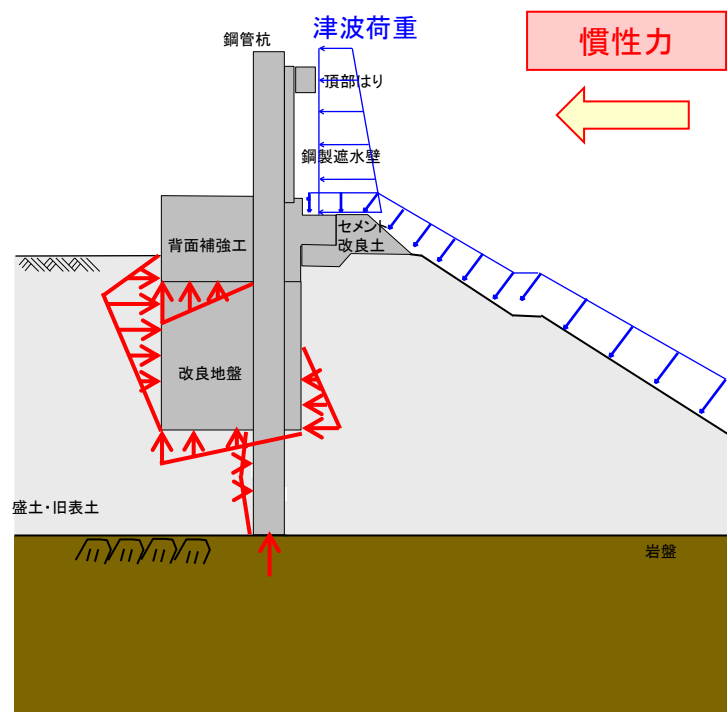
7.4.1 津波+余震時 鋼管式鉛直壁(一般部)(2/3)

- 津波+余震時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。

変形モード



荷重図



7. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

7.4.1 津波+余震時 鋼管式鉛直壁(一般部)(3/3)

- 津波+余震時において、各部位は荷重を周辺の部位に伝達する他、以下の役割を有する。

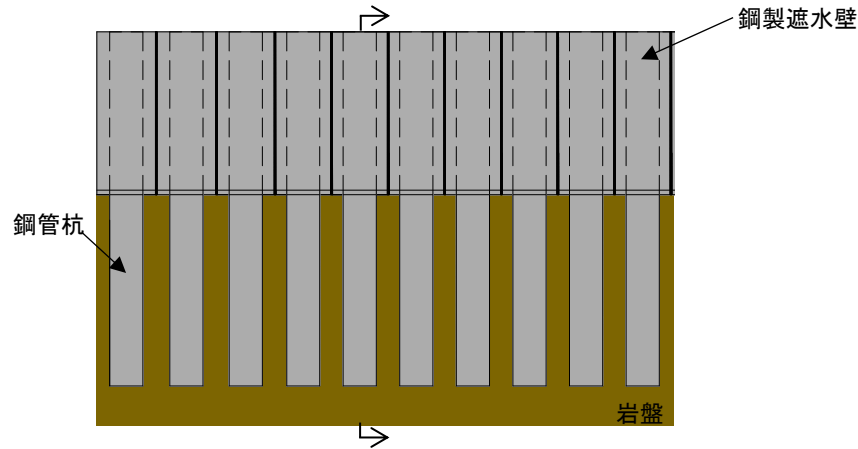
部位の名称	津波+余震時の役割
鋼管杭(長杭)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁及び頂部はりを支持し、鋼管杭が損傷しない。
鋼管杭(短杭)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を支持し、鋼管杭が損傷しない。
鋼製遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地を支持し、止水機能を保持して、鋼製遮水壁が損傷しない。
止水目地	<ul style="list-style-type: none"> 遮水壁間の変位に追従し、止水機能を保持して、止水目地が損傷しない。
頂部はり	<ul style="list-style-type: none"> 想定される津波高さに余裕を考慮した高さを維持し、入力津波を超える高さの津波に対して敷地への越波流量等を低減して、頂部はりが損傷しない。
背面補強工	<ul style="list-style-type: none"> 津波+余震荷重に対して鋼管杭の変位を抑制する。 止水機能を保持して、背面補強工が損傷しない。 津波波力による侵食や洗掘、地盤内からの浸水に対して、止水機能を保持する。
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> 津波+余震荷重に対して鋼管杭の変位を抑制する。 背面補強工を支持して、改良地盤が損傷しない。 鋼管杭(短杭)の周囲を固め、沈下を抑制する。 津波波力による侵食や洗掘、地盤内からの浸水に対して、止水機能を保持する。
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤機能に有害となる変形を起こさない。 津波波力による侵食や洗掘、地盤内からの浸水に対して、止水機能を保持する。
盛土・旧表土	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤機能に有害となる変形を起こさない。 津波波力による侵食や洗掘、地盤内からの浸水に対して、止水機能を保持する。
基礎地盤	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤全体を支持する。

7. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

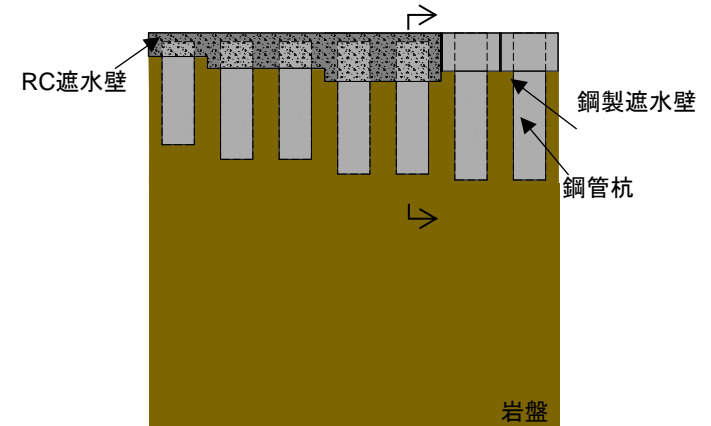
7.4.2 津波+余震時 鋼管式鉛直壁(岩盤部)(1/3)

- 津波+余震時に作用する荷重と基礎地盤への荷重の伝達経路を以下に示す。

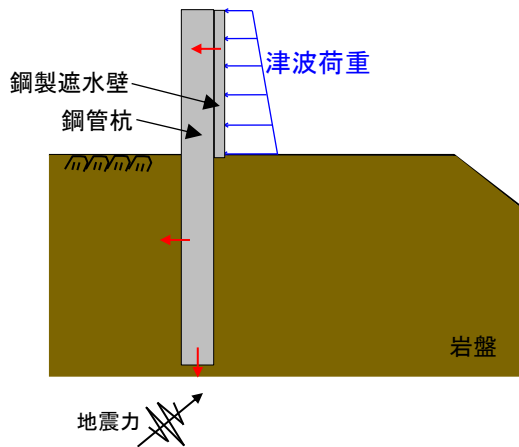
縦断面図(鋼製遮水壁)



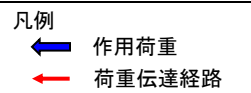
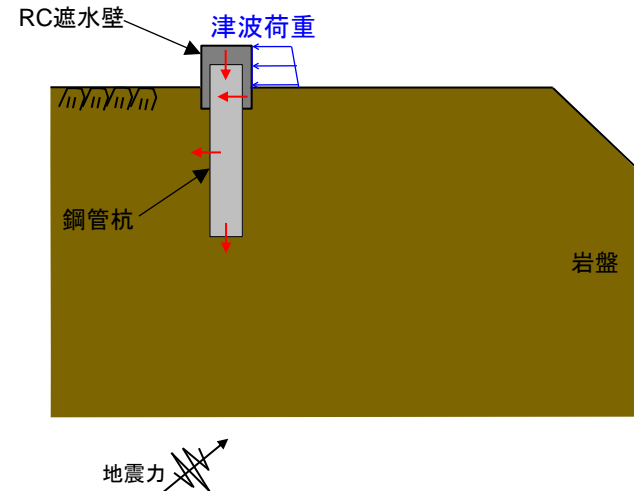
縦断面図(RC遮水壁)



横断面図(鋼製遮水壁)



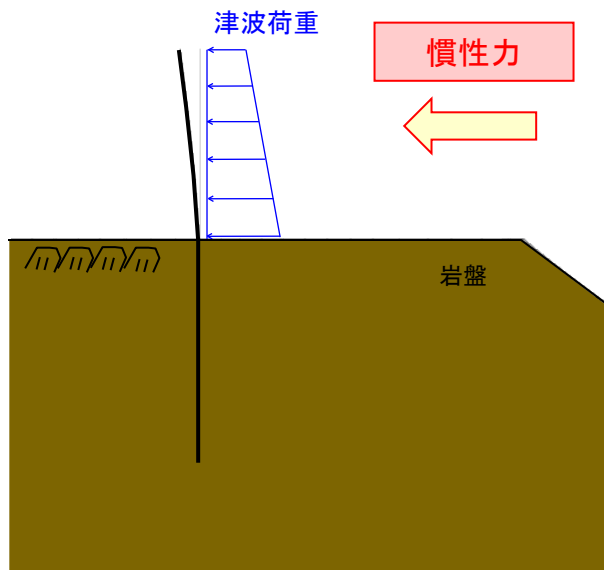
横断面図(RC遮水壁)



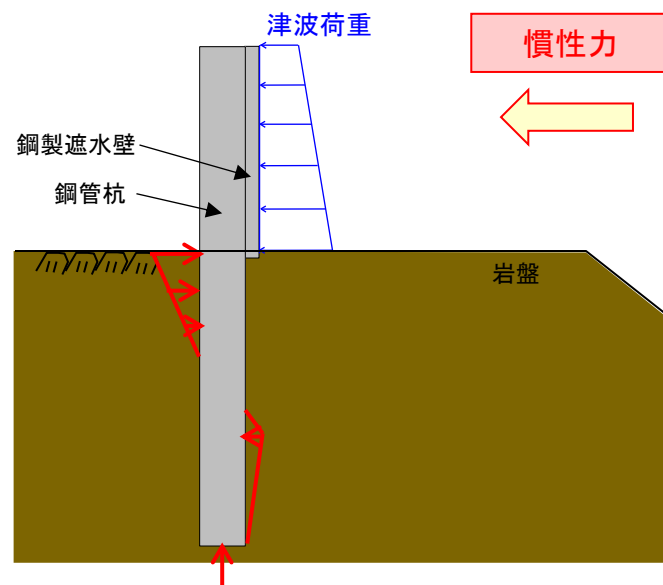
7.4.2 津波+余震時 鋼管式鉛直壁(岩盤部)(2/3)

- 津波+余震時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。

変形モード



荷重図



7.4.2 津波+余震時 鋼管式鉛直壁(岩盤部)(3/3)

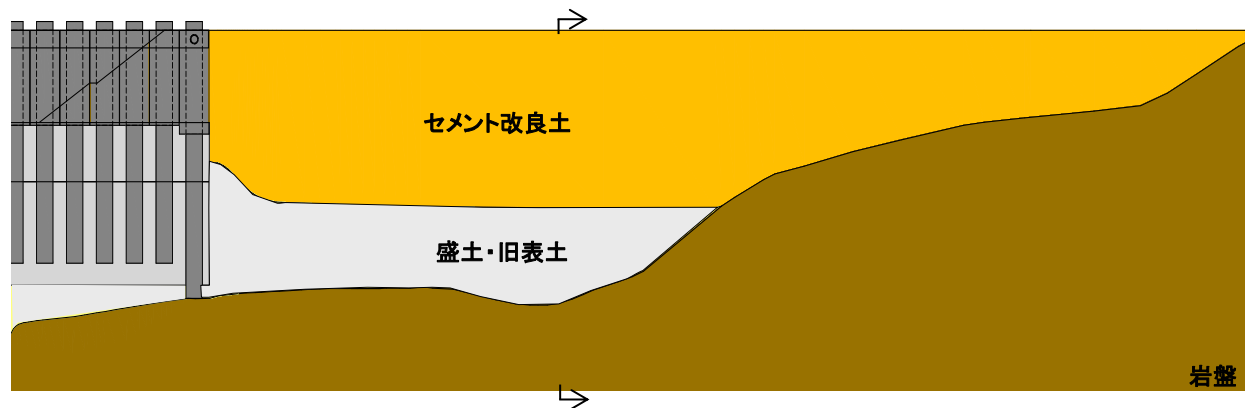
- 津波+余震時において、各部位は荷重を周辺の部位に伝達する他、以下の役割を有する。

部位の名称	津波+余震時の役割
鋼管杭	・ 鋼製遮水壁を支持し、鋼管杭が損傷しない。
鋼製遮水壁	・ 止水目地を支持し、止水機能を保持して、鋼製遮水壁が損傷しない。
RC遮水壁(南端1本目～5本目)	・ 津波時の止水機能を保持し、RC遮水壁が損傷しない。
止水目地	・ 遮水壁間の変位に追従し、止水機能を保持して、止水目地が損傷しない。
基礎地盤	・ 鋼管杭を支持する。

7.4.3 津波+余震時 盛土堤防(1/3)

- 津波+余震時に作用する荷重と基礎地盤への荷重の伝達経路を以下に示す。

縦断面図

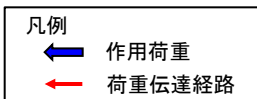
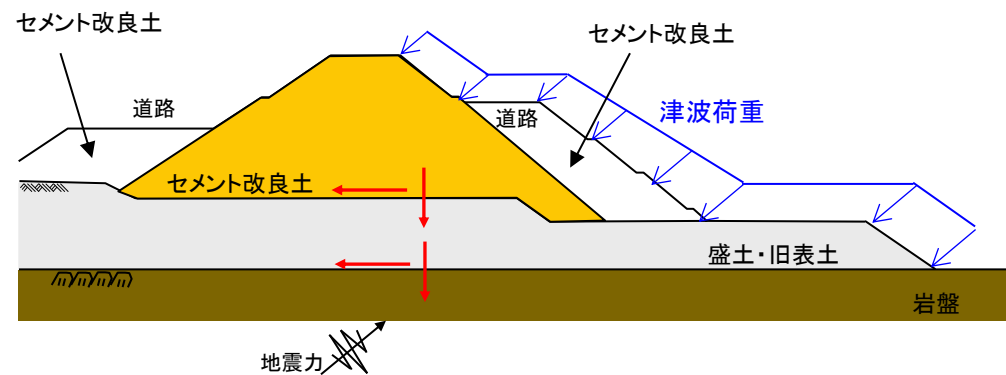


鳥瞰図

横断面図



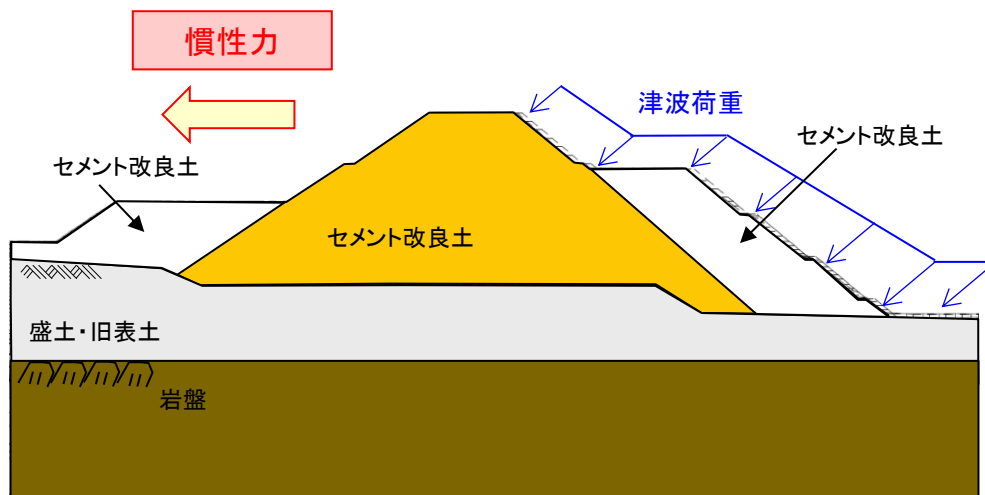
(鋼管式鉛直壁と盛土堤防の境界部周辺)



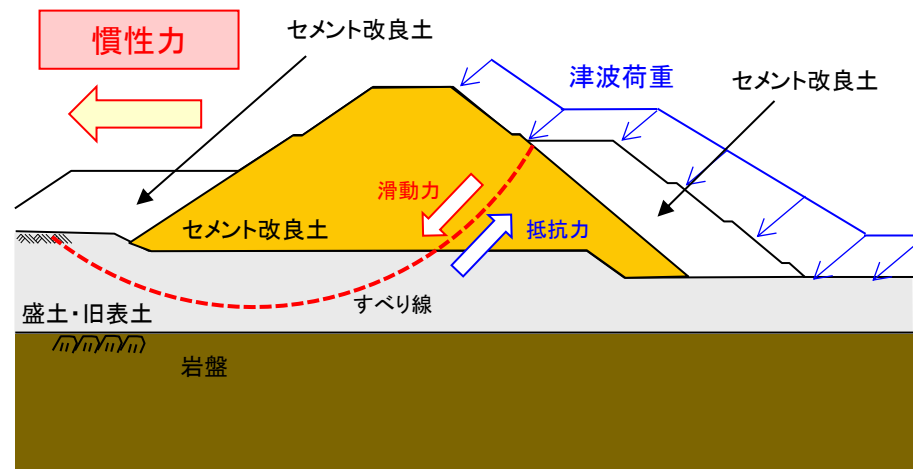
7.4.3 津波+余震時 盛土堤防(2/3)

- 津波+余震時の変形モードと荷重図についてイメージ図を示す。

変形モード



荷重図



7.4.3 津波+余震時 盛土堤防(3/3)

- 津波+余震時において、各部位は津波荷重を周辺の部位に伝達する他、以下の役割を有する。

部位の名称	津波+余震時の役割
セメント改良土	・ 想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さを維持し、津波時の止水機能を保持して、セメント改良土が損傷しない。
盛土・旧表土	・ セメント改良土を支持し、防潮堤機能に有害となる変形を起こさない。
基礎地盤	・ 防潮堤全体を支持する。

8.1 概要

- 防潮堤は、鋼管式鉛直壁(一般部)、鋼管式鉛直壁(岩盤部)及び盛土堤防の3つの構造形式に分かれている。鋼管式鉛直壁(一般部)については長杭(岩盤に直接支持されている杭)及び短杭(盛土・旧表土を介して岩盤に支持されている杭)の2つの杭仕様があり、短杭は沈下を許容する設計としている。
- 盛土堤防はセメント改良土、盛土・旧表土より成り、変位を許容した設計としている。
- このように、防潮堤は構造設計で留意すべき事項が多数ある。
- このことから、各部位が津波時、地震時及び津波＋余震時に、津波防護施設としての機能を発揮し得るかどうか、その成立性を確認する必要がある。
- ここでは、防潮堤の設計方針について、2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた設計経緯、サイト特性を踏まえた構造の特異性及び設計の保守性を整理したうえで、津波時、地震時及び津波＋余震時に、防潮堤が維持すべき機能を喪失してしまう事象(損傷モード)を仮定し、その損傷モードに対し設計・施工上どのような配慮がなされているか整理した。

8. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.1 3.11地震を踏まえた設計の経緯

【3.11地震の津波被害並びに地震被害】

- 3.11地震では、太平洋側沿岸に津波による甚大な被害がもたらされた。
- 女川原子力発電所においても、O.P.約+13mの津波が来襲し、敷地高さがO.P.+14.8mから地震による地殻変動で約1m沈降したものの、津波が敷地を越えて重要施設に到達することはなく大きな被害を免れた。
- また、地震による影響については、地盤の揺すり込み沈下により構造物周辺に小規模な不陸や段差が発生したが、敷地全般にわたって大規模な地盤変状は発生していない。
- 敷地内の構造物についても崩壊等の被害は発生しておらず、岩盤に直接設置している施設では地震による不等沈下等は確認されていない。
- 一方、東京電力福島第一原子力発電所においては、津波が敷地を越え、電源が喪失したことにより甚大な被害がもたらされた。



【防潮堤の設計の経緯】

- 建設時における耐津波設計の基本方針は、想定される津波高さよりも敷地高さを盛土で十分に高く造成することにより津波に対する耐性を確保することであり、このことにより3.11地震においても重大事故を回避することができた。
- 上記被害や経験を踏まえ、津波被害を防ぐためには、重要な施設を設置している敷地(O.P.+14.8m)に津波を流入させないことが最も効果的であると考え、平成8年に実施した液状化試験による液状化強度から仮に敷地の一部が液状化しても変位が限定的であると判断し、耐津波設計に係る工認審査ガイドに従って、すべり安全率を確保する前提で変位に追従することにより遮水性能を保持しやすい盛土構造を基本として防潮堤の高さを可能な限り高くすることを基本思想とした。
- 一方、取水路等の地中構造物への上載荷重の作用の配慮や防潮堤周辺の狭隘な敷地に施設が配置され防潮堤構築のエリアが限定されていることを勘案して、多くの場所では鋼管式鉛直壁(一般部及び岩盤部)を採用する必要があり、結果として盛土構造の堤防と組み合わせることとなった。
- 鋼管式鉛直壁(一般部)においては、津波に対しての横抵抗を十分にとるために、背面補強工(コンクリート)を設置し、背面補強工の下は改良地盤を設置することとした。また、盛土堤防においては、全体の安定性を増すとともに津波に対する洗掘防止のため、かさ上げする部分についてはセメント改良土とした。

8.2.2 サイト特性・制約条件を踏まえた構造の特異性

【防潮堤設計から見たサイト特性・制約条件等】

《サイト特性》

- ・津波高さが高い [a]
- ・敷地が狭隘なため近接施設が多い [b]
- ・敷地レベルが高い [c]

《制約条件等》

- ・海側へのアクセス性確保 [d]
- ・取水路を跨ぐ構造 [e]

《その他》

- ・3.11地震の経験 [f]
- ・盛土の耐震性・耐津波性 [g]

【防潮堤の構造の特異性】

《各構造共通》

- ・設計津波高さに対して地震の沈下を考慮しても十分な裕度を確保

[a, f, g]



- ・構造上の裕度確認
- ・盛土の強度に期待

《鋼管式鉛直壁（一般部）》

- ・長杭と短杭の混合（沈下を許容） [c, e, g]
- ・独立する杭一本一本に鋼製遮水壁を設置し、遮水壁間を目地で止水する構造 [b, e]
- ・背面補強工（コンクリート）の設置 [a, b, c]



- ・盛土の強度に期待
- ・止水目地に発生する変位の確認
- ・鋼管杭及び背面補強工の健全性確認

《盛土堤防》

- ・土層（盛土・旧表土）の上にセメント改良土を構築（沈下を許容） [c, g]

《鋼管式鉛直壁と盛土堤防の境界部》

- ・鋼管杭構造～盛土構造接続部の存在 [b, c, d]



- ・盛土堤防の安定性の確認
- ・盛土の強度に期待
- ・境界部の止水性の確認

注： []はサイト特性・制約条件等との関連を示す

【特に確認すべき項目】

《鋼管式鉛直壁（一般部）》

- ・鋼管杭の健全性
- ・背面補強工の健全性
- ・止水性の保持（止水目地に生じる変位等）

《盛土堤防》

- ・安定性（盛土・旧表土の変形による影響を含む）

《鋼管式鉛直壁と盛土堤防の境界部》

- ・盛土堤防の挙動による鋼管式鉛直壁への影響
- ・止水性の保持

《関連する項目の例》

- ・液状化パラメータの設定
- ・地下水位の設定
- ・荷重の組合せ
- ・地盤沈下

8.2.3 設計の保守性

【津波高さに対する裕度】

- 入力津波高さO.P.+23.9mに対しO.P.+29mの高さの防潮堤を設置しており、地震時や津波時に若干の変形や沈下が発生したとしても、津波を防ぐ防潮堤の機能を維持できる設計
- 防潮堤天端高さにまで津波が遡上したとしても、防潮堤の健全性が維持できる構造上の裕度を確保

【止水性に対する裕度】

- 鋼管式鉛直壁(一般部)の下部構造の止水性に関して、津波の水位が高い時間を考慮すると、盛土・旧表土で十分な止水性があるが(津波時の浸透流解析により止水性能を確認する)、背面補強工や改良地盤を設置することで、より止水性に対する裕度を向上

【想定を超える事象に対する配慮】

- 鋼管式鉛直壁(一般部)の短杭が沈下した場合でも、津波高さに対して十分な裕度を確保していることから、入力津波に対する防潮堤の機能は維持でき、さらに、沈下しない長杭に支持される頂部はりを設置することにより、入力津波を超える高さの津波に対して敷地への越波流量等を低減
- 鋼管式鉛直壁(一般部)の長杭に施工したNFシートが地震時に機能しない場合でも、短杭と同じ深さより上方は健全であり、津波に対して防潮堤の機能は維持できる構造
- 背面補強工と周辺地盤の間に目開きが生じた場合でも、背面補強工前面のコーベル状の形状(鰻止め)により、浸水しにくい形状
- 鋼管式鉛直壁(一般部)と盛土堤防の境界部に隙間が生じた場合でも、水みちとなる経路に可撓性目地シール材(ケーソンシール)を設置し、浸水しないよう配慮
- 想定を上回り防潮堤を越波した場合でも、防潮堤背面に背面補強工(コンクリート)あるいはセメント改良土により侵食対策を配慮

8.2.4 特に留意すべき損傷モードへの対応方針(1/5)

【特に留意すべき損傷モードの抽出と対応の目的】

- 次項(8.3.1)より, 地震時, 津波時及び津波＋余震時に想定した損傷モードとその損傷モードに対し設計・施工上どのような配慮がなされているかを整理するが, 防潮堤の構造による特に留意すべき損傷モードについて下表のとおり抽出し, 「9. 部位毎の設計方針」で示す評価に加え, より実現象を詳細に考慮した解析により安全性を確認する。
- 各損傷モード①②の具体的な対応方針を示す。

	部位	損傷モードの内容
損傷モード①	鋼管式鉛直壁 (一般部)	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管式鉛直壁(一般部)において, 汀線方向(防潮堤縦断方向)の地震荷重により, 鋼管杭が損傷する。 ・短杭に作用する荷重が長杭に伝達し, 長杭が曲げ・せん断破壊する。 ・地震荷重や盛土・旧表土の不等沈下により背面補強工が損傷して, 杭の変形を抑制する機能が維持できない。あるいは, 盛土レベルより上部の部分にひび割れが貫通し水みちを形成し止水性が確保できない。
損傷モード②	盛土堤防及び鋼管式鉛直壁	<ul style="list-style-type: none"> ・盛土堤防において, 防潮堤の下部及び端部の岩盤形状の傾斜, 盛土・旧表土の層厚の不均一性等により, 地震時に盛土・旧表土の沈下を含めた3次元的な挙動により損傷する。 ・境界部において鋼管式鉛直壁(一般部)に盛土堤防からの荷重が伝達し, 鋼管杭が損傷する。

8. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.4 特に留意すべき損傷モードへの対応方針(2/5)

【損傷モード①】

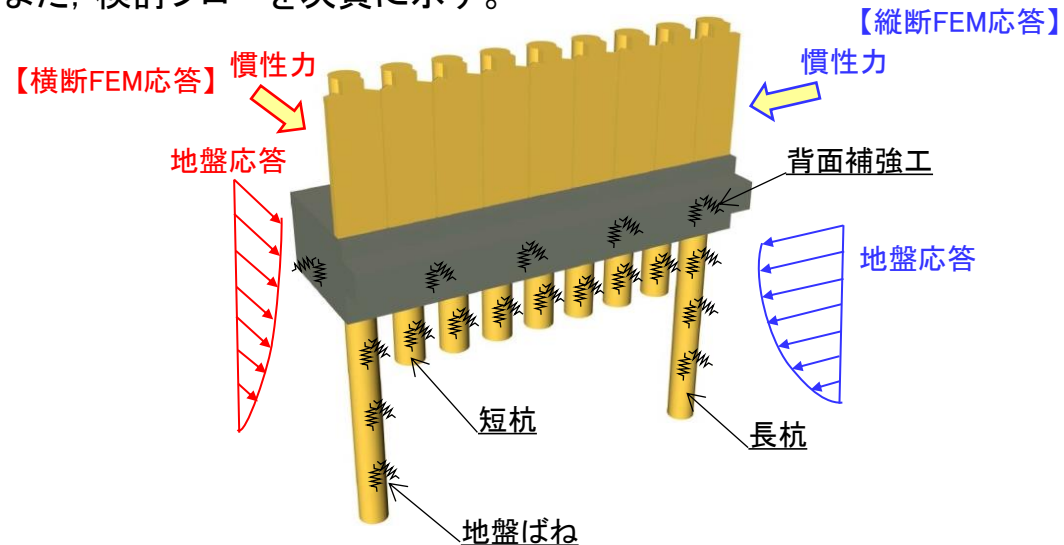
- ・鋼管式鉛直壁(一般部)において、汀線方向(防潮堤縦断方向)の地震荷重により、鋼管杭が損傷する。
- ・短杭に作用する荷重が長杭に伝達し、長杭が曲げ・せん断破壊する。
- ・地震荷重や盛土・旧表土の不等沈下により背面補強工が損傷して、杭の変形を抑制する機能が維持できない。あるいは、盛土レベルより上部の部分にひび割れが貫通し水みちを形成し止水性が確保できない。



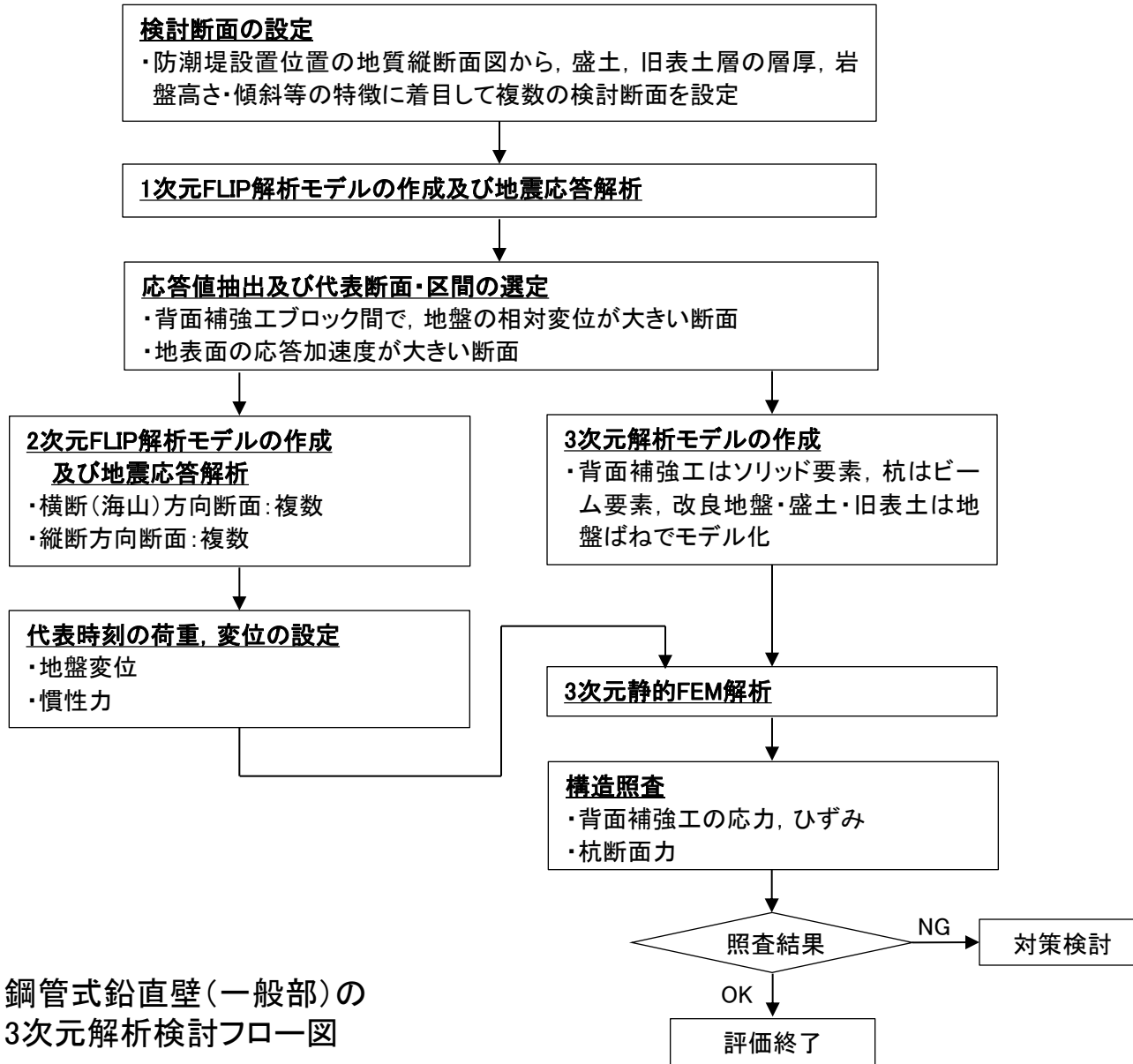
【対応方針】

- ・鋼管杭鉛直壁(一般部)の3次元静的解析モデルを作成し、鋼管杭及び背面補強工の照査を実施する。
- ・地震荷重については、汀線方向、汀線直角方向あるいはその双方を考慮する。
- ・改良地盤については、背面補強工への影響を考慮できるように地盤ばねによりモデル化し、沈下も考慮する。
- ・沈下については、有効応力解析結果による変形に加え、揺すり込み沈下及び過剰間隙水圧の消散による沈下を考慮し、また、地盤のばらつきを考慮して上部の構造に対して保守的な評価となるような鉛直変位を与える。
- ・解析モデルのイメージを下図に示す。また、検討フローを次頁に示す。

鋼管式鉛直壁(一般部)の
3次元解析モデル(イメージ)



8.2.4 特に留意すべき損傷モードへの対応方針(3/5)



鋼管式鉛直壁(一般部)の
3次元解析検討フロー図

8. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.2.4 特に留意すべき損傷モードへの対応方針(4/5)

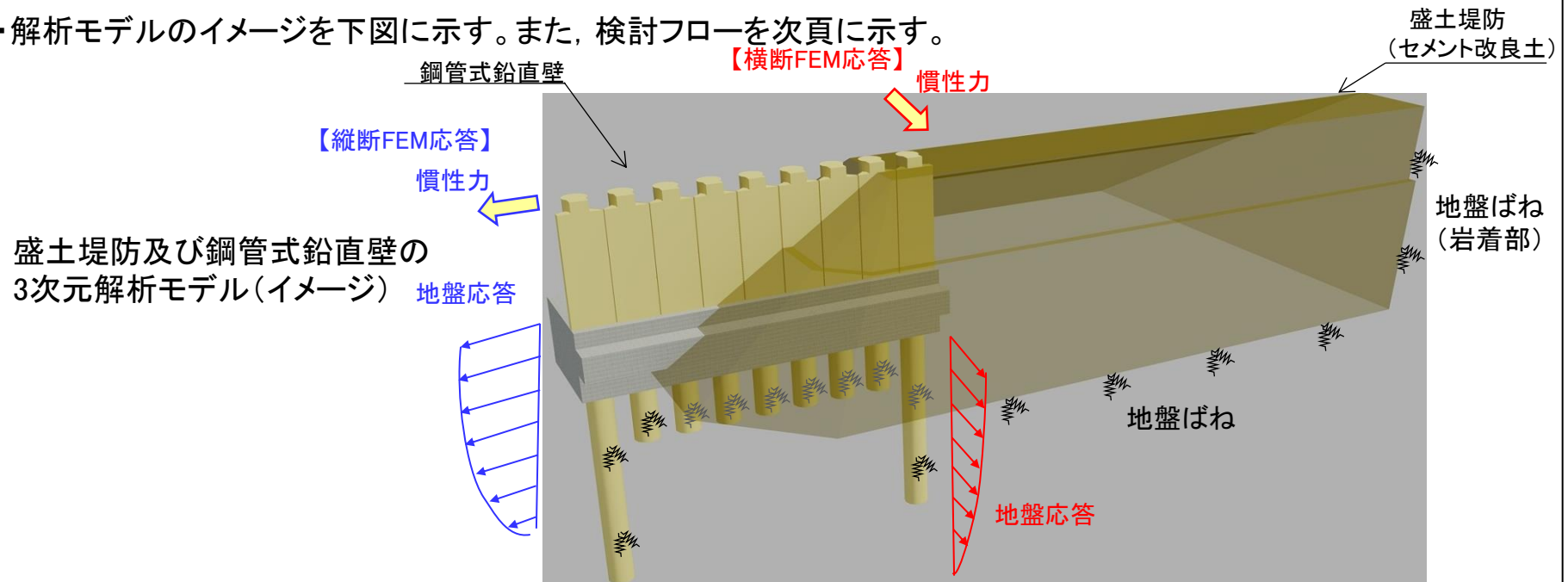
【損傷モード②】

- ・盛土堤防において、防潮堤の下部及び端部の岩盤形状の傾斜、盛土・旧表土の層厚の不均一性等により、地震時に盛土・旧表土の沈下を含めた3次元的な挙動により損傷する。
- ・境界部において鋼管式鉛直壁(一般部)に盛土堤防からの荷重が伝達し、鋼管杭が損傷する。

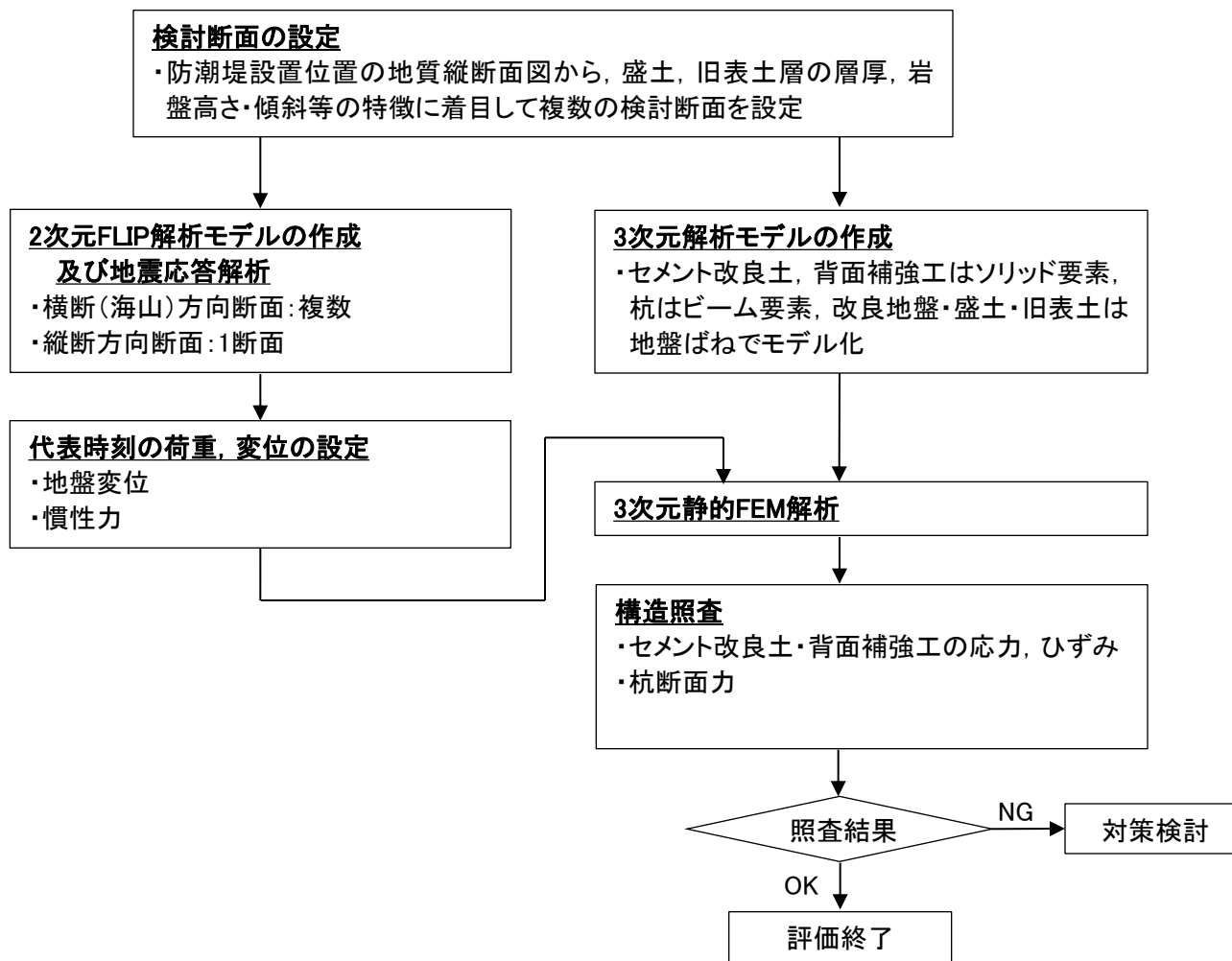


【対応方針】

- ・盛土堤防及び鋼管式鉛直壁の3次元静的解析モデルを作成し、盛土堤防及び鋼管杭の照査を実施する。
- ・地震荷重については、汀線方向、汀線直角方向あるいはその双方を考慮する。
- ・盛土・旧表土については、沈下によるセメント改良土への影響を考慮できるように地盤ばねによりモデル化する。
- ・沈下については、有効応力解析結果による変形に加え、揺すり込み沈下及び過剰間隙水圧の消散による沈下を考慮し、また、地盤のばらつきを考慮して上部の構造に対して保守的な評価となるような鉛直変位を与える。
- ・解析モデルのイメージを下図に示す。また、検討フローを次頁に示す。



8.2.4 特に留意すべき損傷モードへの対応方針(5/5)



盛土堤防及び鋼管式鉛直壁の3次元解析検討フロー図

8. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(1/12)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)における, 各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
鋼管杭 (長杭・短杭 共通)	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し, 鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	①, ②	<p>地震時の慣性力や地盤変位, 津波時の影響(繰返しの津波)を考慮して, 鋼製遮水壁や止水目地の変位を許容限界以下に留めて止水性を確保するために必要な杭長は短杭の深さであるため, 以下を確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 短杭は許容応力度以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により背面補強工-改良地盤間, 改良地盤-盛土-旧表土間に相対変位が生じ, せん断力が鋼管杭に作用し, 鋼管杭が損傷し, 鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 長杭は短杭と同じ深さまでは許容応力度以下であることを確認し, それよりも深い位置では, 頂部はりの鉛直支持機能を確保するために, 杭の塑性率が許容塑性率以下であることを確認する。また, せん断応力がせん断強度以下であることを確認する。 長杭の下部の許容限界として許容塑性率を適用することの考え方を次頁に示す。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により, 上杭と下杭の接合部で破損し, 鋼管杭が損傷し, 鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 上杭と下杭の接合部は, 複合構造標準示方書(土木学会)に準拠したソケット方式の接合とし, 接合部の安全性照査は, 隣接する一般部に対して1.2倍の裕度を確保する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 汀線方向の地震荷重により, 曲げ・せん断破壊し, 鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 3次元静的解析を実施して照査を実施する。3次元静的解析の詳細は『8.2.4特に留意すべき損傷モードへの対応方針』に記載。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に, 短杭に作用する荷重が長杭に伝達し, 曲げ・せん断破壊し, 鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	①		
	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻の風荷重や飛来物荷重により, 鋼管杭が損傷し, 鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	—	<ul style="list-style-type: none"> 万一, 竜巻及びその随件事象により損傷した場合には, 津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。ただし, 施設の重要性に鑑み, 機能維持のための自主的な配慮を行う。 	—

※1:①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定

※2:照査を実施している場合は○, 照査不要と判断している場合は(—)

8. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(2/12) 塑性率①

- 鋼管杭(長杭)の下部の許容限界として許容塑性率を適用することの考え方について、整理した。

①長杭の役割

- 鋼製遮水壁の支持(短杭と同様)(繰返しの津波荷重に対して損傷しない)
- 頂部はりの支持(地震時に沈下しない)⇒入力津波を超え、防潮堤を越流する津波への配慮

②役割から求められる性能及び許容限界

- 防潮堤(津波防護施設)については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して、当該施設及び建物・構築物が構造全体として変形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能(津波防護機能)を保持することが求められる。
- 繰返しの津波荷重に対して損傷しないため、津波荷重に対して抵抗する範囲(短杭の深さ)については、津波の繰返しを考慮して弾性範囲内であることを確認し、許容限界を短期許容応力度以内とする。
- 長杭の下部(短杭の深さより下の部分)については、入力津波を超え、防潮堤を越流する津波への配慮として設置する頂部はりを鉛直支持する機能を確保するものであり、杭の塑性率が許容限界以内であることを確認する。許容限界は、許容塑性率2を用いる。
- 塑性率2という状態は、地震前と同等の耐荷力を持ち、鉛直支持機能を十分有する。また、荷重－変位関係における履歴ループは安定していて、終局耐力時^{*}に対して十分な余裕があり、再使用性についても問題ない。塑性率2の状態についての詳細を次頁に示す。

^{*}防潮堤は主に津波荷重(水平荷重)に抗する構造物であることから、水平変位に対する終局変位として、実験や各種基準類を参照して最大水平変位(塑性率) $\delta=4$ とする。

8. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(3/12) 塑性率②

- 松田ほか(1999)*が実施した、鋼管杭に対する水平交番载荷試験及び鉛直载荷試験の結果を以下に示す。
- 杭基部圧縮側の鋼管が降伏する時点での水平変位を降伏変位 δy として、その整数倍の変位を片振幅とした両振り交番载荷で漸次振幅を増大させている。
- また、交番载荷試験で損傷を受けた試験体を用いた鉛直载荷試験を実施している。

表-1 試験ケース

ケース	コンクリート中詰め	目標最大水平変位
Case 1	なし	損傷なし
Case 2	なし	$3 \delta y$
Case 3	なし	$5 \delta y$
Case 4	あり	$3 \delta y$
Case 5	あり	$5 \delta y$

表-2 最大荷重

試験ケース	Pmax (kN)	長期荷重比 Pmax/1831	全塑性荷重比 Pmax/8132
Case1	8642	4.72	1.063
Case2	8400	4.59	1.033
Case3	4994	2.73	0.614
Case4	8668	4.73	1.066
Case5	7059	3.86	0.868

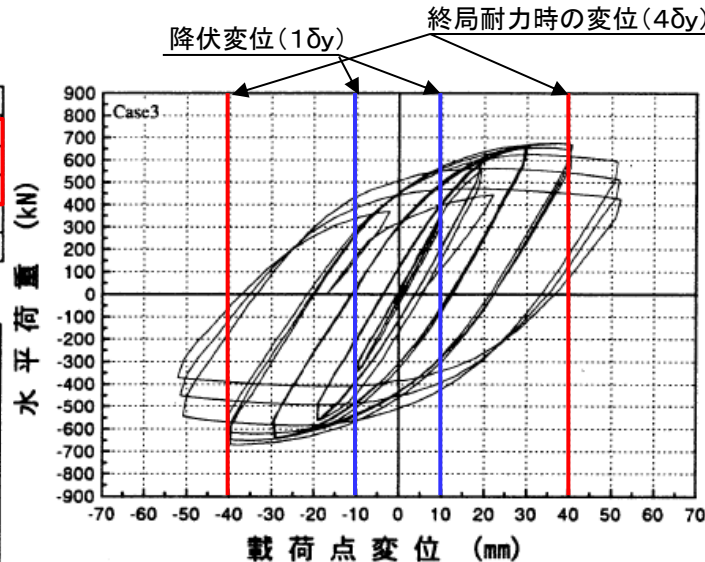


図-2 荷重～載荷点変位(Case3)

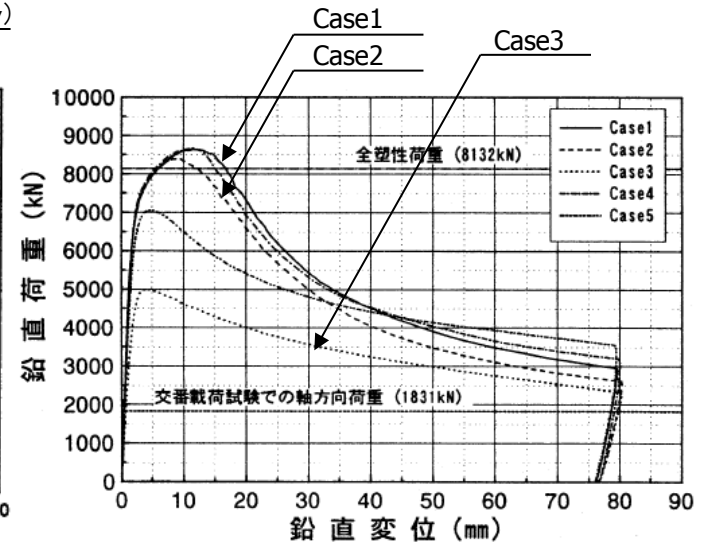


図-8 鉛直荷重～鉛直変位関係

松田ほか(1999)に加筆

- 水平交番载荷試験の結果、Case3の場合、水平荷重と載荷点変位の関係は紡錘型形状であり、 $4 \delta y$ 付近で正負両方向ともに最大荷重に達し、 $5 \delta y$ で載荷サイクルの増加に伴い荷重が徐々に低下した。
- 交番载荷試験後の鋼管杭で鉛直载荷を行った結果、 $3 \delta y$ まで載荷を行ったCase2の最大耐力は損傷を受けていないCase1とほぼ同等の耐力を有していた。また、5倍の塑性率に達したCase3においても全断面降伏荷重の61%の残留軸方向耐力を有している。

2 δy すなわち塑性率2の状態は、地震前と同等の耐荷力を持ち、終局耐力時に対して十分な余裕があると考えられる。

8. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(4/12) 塑性率③

- 土木研究所で行われた、鋼管杭(3×2列)の組杭模型を用いた正負交番载荷実験結果を以下に示す。
- 全杭が降伏した時の変位を $1\delta_y$ として、その整数倍の変位 $\pm n\delta_y$ ($n=1,2,3\cdots$)を正負交番繰返し载荷している。

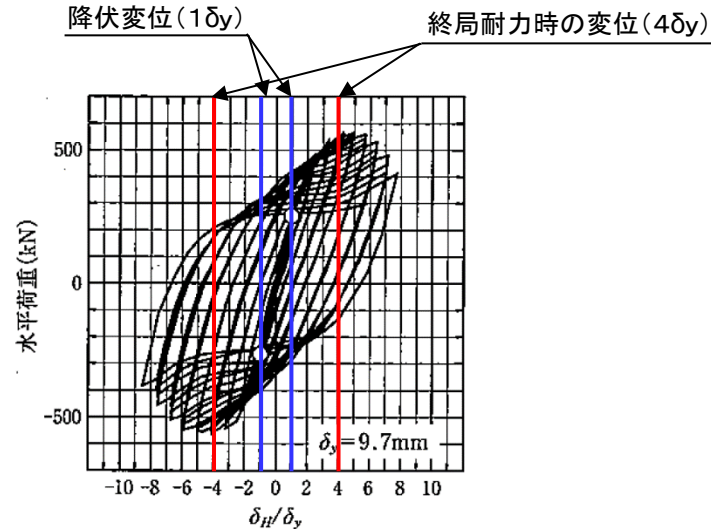
(a) 水平荷重-水平変位関係(白丸は $\pm 1\delta_y$ の点を示す)

図-参10.3 鋼管杭(3×2列)の载荷実験結果

→ $1\delta_y$:全杭が降伏した時の変位

表-参10.2 鋼管杭の損傷状況

変位レベル	杭の損傷状況
$5\delta_y$	全ての列の杭の上下端接合部付近に鋼管のわずかな膨らみを観察
$6\delta_y$	塑性座屈を確認
$7\delta_y$	各杭の下端の座屈部位が鋭角状に変形

道路橋示方書・同解説V耐震設計編に関する参考資料に加筆

- 塑性率4の状態では、繰返し载荷されても荷重の低下は見られず履歴ループは安定しており、大きな損傷も生じていない。したがって、塑性率4程度の変位であれば、地震前後で基礎の耐荷力特性やエネルギー吸収能に変化はほとんどなく、以下の条件を満たしていると考えられる。

- ①地震後直ちに修復をしなくても、地震前と同等の残存耐荷力を有する。
- ②地震後直ちに修復をしなくても、地震前と同等程度のエネルギー吸収能を有する。

2 δ_y すなわち塑性率2の状態は、地震前と同等の耐荷力を持ち、終局耐力時に対して十分な余裕があると考えられる。

8.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(5/12)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)における, 各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
鋼管杭 (長杭)	<ul style="list-style-type: none"> 盛土・旧表土が地震時に沈下し, 背面補強工の荷重が鋼管杭に鉛直荷重として作用することにより杭が損傷し, 鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭(長杭)に鉛直荷重(周面摩擦力)が作用しないように, 鋼管杭周囲にNFシートを施工する。 地震時にNFシートが効かず長杭の下部で損傷が生じたとしても, 津波荷重に抵抗する上部は健全であり, 防潮堤としての要求機能を維持できる設計とする。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 長杭が地震時に塑性化して残留変形が起こり, NFシートの効果が発揮できず, 背面補強工の荷重が鋼管杭に鉛直荷重として作用することにより杭が損傷し, 鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 地震時にNFシートが効かず長杭の下部で損傷が生じたとしても, 津波荷重に抵抗する上部は健全であり, 防潮堤としての要求機能を維持できる設計とする。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 隣接するブロックからの荷重により, 長杭が損傷し, 鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 汀線方向の検討を行い, 隣接ブロックの影響を確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 津波荷重により, 長杭の下部が転倒するようなモードが発生し, 鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 長杭が転倒しないことを確認する。 	○
鋼管杭 (短杭)	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に頂部はりとの接触により, 想定以上の荷重が発生し, 杭が損傷し, 鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭(短杭)と頂部はりとの間には100mmの離隔を有することとし, 地震時においても接触しないよう配慮する。 	—

※1: ①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定

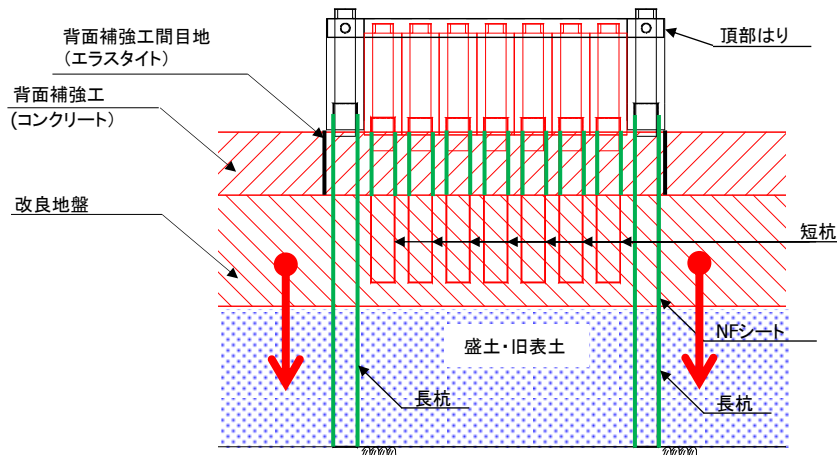
※2: 照査まで実施している場合は○, 照査まで実施していない場合は(—)

8. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

8.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(6/12)

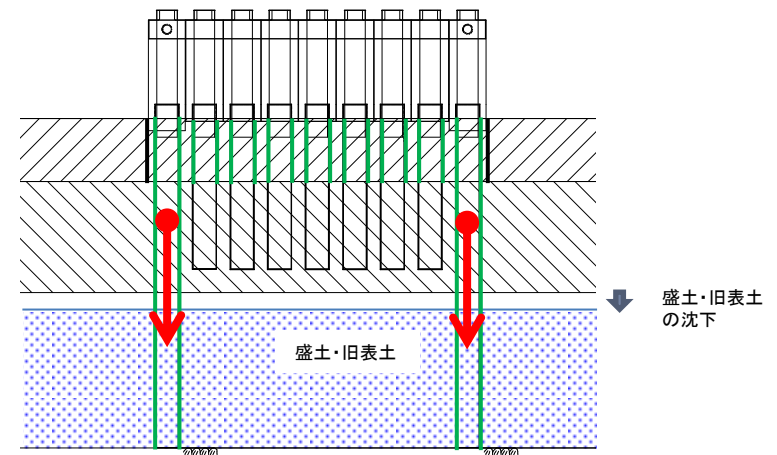
《NFシートに係る損傷モードについて》

- NFシートは、長杭のネガティブフリクションへの配慮として施工するものである。なお、短杭においては念のため背面補強工の範囲にNFシートが施工される。
- 地震時等にNFシートが効かない場合の損傷モードとして以下を想定した。
 - NFシートが効かない場合でも、背面補強工及び改良地盤の荷重はNFシートの摩擦強度を超過し、盛土・旧表土の沈下に背面補強工及び改良地盤は追従すると想定される(下図左側と同様)。
 - 万一、盛土・旧表土の沈下に背面補強工及び改良地盤が追従しない場合、短杭、背面補強工及び改良地盤の鉛直荷重が長杭に伝達される(下図右側)。
 - 短杭、背面補強工及び改良地盤の荷重が長杭に伝達され、地時荷重により仮に長杭の下部(改良地盤の下方)で損傷が生じたとしても、津波荷重に抵抗する上部は健全であり、防潮堤の機能は維持できる設計とする。
- なお、NFシートの損傷モードについて検討した内容を補足説明資料7に示す。



NFシートが効いた場合

- 盛土・旧表土の沈下に伴い、短杭、背面補強工及び改良地盤(赤線部分)が沈下する。
- 短杭、背面補強工及び改良地盤の鉛直荷重は盛土・旧表土に伝達される。



NFシートが効かず、背面補強工及び改良地盤が沈下しない場合

- 盛土・旧表土の沈下に伴い、改良地盤と盛土・旧表土の間に空隙が生じる。
- 短杭、背面補強工及び改良地盤の鉛直荷重は長杭に伝達される。

8.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(7/12)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)における, 各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
鋼製遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し, 止水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 許容応力度以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により, 鋼管杭への取り付け部に応力が集中し, 取り付け部が破損し, 鋼製遮水壁が損傷するか, 位置を保持できなくなり, 止水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭への取付部については道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編に従って, 局所的な変形を防止し, 円滑な応力の伝達を図れる設計とする。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震荷重により盛土・旧表土が沈下することに伴い, 背面補強工が沈下し, 長杭に支持される鋼製遮水壁の下部に空間が生じ, 止水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を背面補強工に根入れし, 背面補強工が沈下しても止水性を確保する。また, 止水目地下端はシリコン充填により止水性に配慮する。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により, 鋼製遮水壁の背面補強工に根入れしている部分で損傷し, 止水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 遮水壁は片持ちばりによる検討を実施し, 2辺固定の場合でも十分余裕がある設計とする。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の漂流物荷重により, 鋼製遮水壁が損傷し, 止水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 漂流物荷重による鋼製遮水壁の発生応力度が許容応力度以内であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻の風荷重や飛来物荷重により, 鋼製遮水壁が損傷する, あるいは止水目地を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	—	<ul style="list-style-type: none"> 万一, 竜巻及びその随件事象により損傷した場合には, 津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。ただし, 施設の重要性に鑑み, 機能維持のための自主的な配慮を行う。 	—

※1: ①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定

※2: 照査まで実施している場合は○, 照査まで実施していない場合は(—)

8.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(8/12)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)における, 各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
止水目地 (支持部含む)	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時の汀線直交方向の杭変位量のばらつきにより, 目地の許容変位量を超える変形が生じ, 止水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> メーカー規格及び基準並びに必要に応じて実施する性能試験を参考に定める許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。 <p>【杭間の相対変位の考え方】</p>	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に, 汀線方向圧縮側の変形により止水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 隣り合う短杭は構造が同一であるため, 杭間の相対変位はほとんど発生しないと想定。 隣り合う長杭と短杭は構造が異なり, 長杭は頂部はりを支持していることもあり, 杭間には若干の相対変位が発生すると想定。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に, 地中構造物の有無により沈下量のばらつきが生じ, 許容変位量を超える変形が生じ, 止水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 隣り合う長杭と長杭は, 背面補強工のブロックが異なるため, 下方の土層(盛土・旧表土)の違いにより, 相対変位が発生する可能性があるかと想定。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地の鋼製部材が地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し, 止水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 許容応力度以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の漂流物が目地に衝突し, 目地が破損もしくは変形に追従できず, 止水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地の幅を十分に小さくし, 遮水壁よりも海側には設置しないことにより, 漂流物が直接止水目地に衝突しない設計とする。 鋼材に漂流物が衝突することにより止水目地が損傷しないことを確認するため, 鋼材の変形を確認して止水目地に影響がないことを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の漂流物荷重により鋼管杭の回転が生じ, 目地・目地金物が破損もしくは変形に追従できず, 止水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 漂流物荷重を考慮した場合の杭の回転について荷重と抵抗を確認し, 回転しないことを確認する。抵抗力を発揮する部位について次頁に示す。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻の風荷重や飛来物荷重により, 止水目地が損傷し, 止水性を喪失する。 	—	<ul style="list-style-type: none"> 万一, 竜巻及びその随件事象により損傷した場合には, 津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。ただし, 施設の重要性に鑑み, 機能維持のための自主的な配慮を行う。 	—

※1: ①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定

※2: 照査まで実施している場合は○, 照査まで実施していない場合は(—)

8.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(9/12)

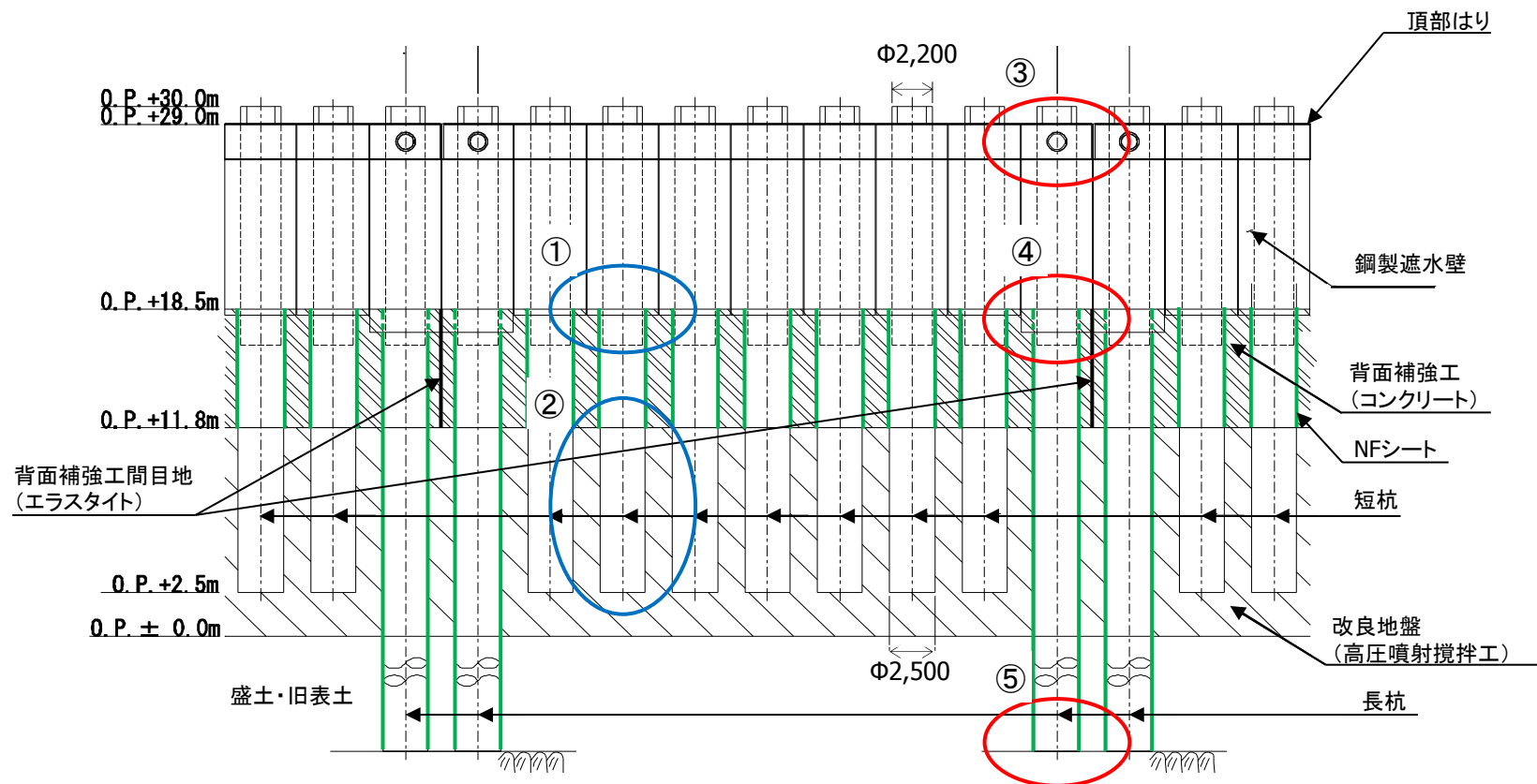
- 漂流物の衝突荷重により、鋼管杭が回転しようとした際に抵抗力を発揮する部位を以下に示す。

短杭において回転に対して抵抗力を発揮できる部位

- ①背面補強工への鋼製遮水壁の根入れ部分
- ②改良地盤

長杭において回転に対して抵抗力を発揮できる部位

- ③頂部はり
- ④背面補強工への鋼製遮水壁の根入れ部分
- ⑤長杭下端



8.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(10/12)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)における, 各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
頂部はり	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 許容応力度以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に, 鋼管杭(短杭)との接触により, 想定以上の荷重が生じ, 頂部はりが破損する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭(短杭)と頂部はりとの間には100mmの離隔を有することとし, 地震時においても接触しないよう配慮する。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に, 鉛直方向の荷重又は杭のねじれにより頂部はりが破損する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 頂部はりを支持する2本の長杭の突出長は変わらないため, 応答差は小さく, 頂部はりに発生する応力は他のケースと比較して小さいため他のケースで代表させる。 	—
背面補強工	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により, 背面補強工がせん断破壊又は引張り破壊し, 杭の横抵抗を喪失し, 杭の変形量が大きくなり, 鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 過度なひび割れにより水みちが形成される。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 2次元動的解析(有効応力解析)および3次元静的解析を実施して杭の横抵抗を維持できることを確認する。3次元静的解析の詳細は『8.2.4特に留意すべき損傷モードへの対応方針』に記載。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震により背面補強工間目地及び周辺地盤(セメント改良土含む)との目開きが発生し, 止水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤の縦断方向に連なる構造であるため, 背面補強工間目地が目開きしたとしても, その目開き量は僅かであり, また, 目開きする側と反対側は閉じる挙動となるため, 海側から敷地側まで貫通するような目開きは生じにくい設計とする。 背面補強工の形状により, 止水性に配慮する。 	—

※1:①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定

※2:照査まで実施している場合は○, 照査まで実施していない場合は(—)

8.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(11/12)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)における, 各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> 津波荷重からの杭反力により, 法面側改良地盤が破壊し, 杭の支持性能を失って止水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 改良地盤のせん断に対してせん断強度以内であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に, 改良地盤がせん断破壊し, 杭の横抵抗を喪失し, 杭の変形量が大きくなり, 鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> せん断に対してせん断強度以内であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地中構造物横断部において, 地震荷重に対する鉛直抵抗のばらつきにより, 健全性を保持できず, 沈下や杭への局所的な荷重が発生し, 止水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地に発生する変位量が許容限界以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に, 改良地盤が引張破壊し, 杭の横抵抗を喪失し, 杭の変形量が大きくなり, 鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 改良地盤に発生する引張応力の状況を確認し, 改良地盤が概ね健全であること, 鋼管杭が概ね弾性範囲にあることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に, 盛土・旧表土の不等沈下が発生し, 改良地盤が割れる等の損傷が生じて杭を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 盛土・旧表土の変形を考慮しても, 鋼管杭が概ね弾性範囲にあることを確認する。 	○
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に, セメント改良土がせん断破壊し, 背面補強工の横抵抗を喪失し, 杭の変形量が大きくなり, 鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土の破壊を考慮した検討を実施して, 防潮堤としての要求機能を維持できる設計とする。 	○

※1: ①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定

※2: 照査まで実施している場合は○, 照査まで実施していない場合は(一)

8.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(12/12)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)における, 各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
盛土 旧表土	<ul style="list-style-type: none"> 津波荷重からの杭反力に対して, 背面補強工前面の盛土が崩壊し, 止水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 盛土・旧表土の破壊を考慮した検討を実施して, 防潮堤としての要求機能を維持できる設計とする。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に, 背面補強工・改良地盤からの水平荷重による受働崩壊により, 受働抵抗を喪失し, 杭の変形量が大きくなり, 杭が鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	①, ②		—
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に, すべりにより前面斜面が欠損し, 側方抵抗を喪失し, 杭の変形量が大きくなり, 杭が鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	①		—
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時に, 洗掘により流出し, 側方抵抗を喪失し, 杭の変形量が大きくなり, 杭が鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 盛土法面が洗掘されないような表面保護工を設置する。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 取水路からの漏水により盛土等が洗掘され, 止水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 取水路は, 基準地震動に対して安全性を確保している。 構造目地には止水ジョイントを設置して漏水を防止している。 コンクリートの劣化, ひび割れ等による漏水を防止する観点から保守管理を適切に実施している。 なお, 防潮堤を横断する構造物の取扱いについて, 補足説明資料5に示す。 	—
基礎地盤	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に鋼管杭(長杭)下端底面のすべりが生じ, 杭の変形量が大きくなり, 杭が鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 杭下端の水平力が小さく, すべりによる損傷が生じない設計とする。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に鋼管杭(長杭)から基礎地盤に伝わる荷重により岩盤が破壊し, 基礎地盤が支持安定性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 極限支持力以下であることを確認する。 	○

※1:①地震時, ②津波時, なお津波十余震時は全ての事象を想定

※2:照査まで実施している場合は○, 照査まで実施していない場合は(—)

8.3.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)

- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)における, 各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
鋼管杭	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し, 鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 許容応力度以下であることを確認する。 	○
鋼製遮水壁 RC遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し, 止水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 許容応力度以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 杭の平面位置が曲線となる区間において, 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し, 止水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 許容応力度以下であることを確認する。 曲部の影響が出ないように直線部と同様の設計とする。 	○
基礎地盤	<ul style="list-style-type: none"> 地震荷重により, 周辺岩盤が受働崩壊, すべり破壊等を生じ, 杭の受働抵抗を喪失し, 杭の変形量が大きくなり, 鋼製遮水壁を支持できなくなり, 止水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> せん断応力がせん断強度以内であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に鋼管杭から基礎地盤に伝わる荷重により岩盤が破壊し, 基礎地盤が支持安定性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 極限支持力以下であることを確認する。 	○

※1:①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定

※2:照査まで実施している場合は○, 照査まで実施していない場合は(-)

8.3.3 盛土堤防(1/2)

- 盛土堤防における、各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重によりすべり破壊し、堤体高さが維持できなくなり、止水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 堤体内部に想定したすべり線に対して、すべり線上の応力状態を考慮したすべり安全率が妥当な安全裕度を有していることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震により盛土・旧表土が沈下し、引張応力によるクラックが発生し、止水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 3次元静的解析を実施して盛土堤防の照査を行い、引張応力の発生状況を確認する。詳細は『8.2.4特に留意すべき損傷モードへの対応方針』に記載。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地震により3次元的な相対変形によるねじり等が発生し、クラック等が発生し、止水性を喪失する。 	①		
	<ul style="list-style-type: none"> 津波によりセメント改良土が洗掘され、止水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土は、津波時の洗掘・侵食に対して十分な耐性をもつことを確認する(補足説明資料4に詳細を記載)。 	—

※1:①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定

※2:照査まで実施している場合は○, 照査まで実施していない場合は(—)

8.3.3 盛土堤防(2/2)

- 盛土堤防における、各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
盛土 ・旧表土	<ul style="list-style-type: none"> 地震により液状化し、セメント改良土の支持性能を喪失し、セメント改良土が沈下し、堤体高さが維持できなくなり、止水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 液状化により堤体が沈下しても、想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さを維持することを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時に通水経路となり、止水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 浸透流解析により、津波時に通水経路となるような水の浸透は発生しないことを確認する。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 津波による洗掘により空洞が生じ、セメント改良土の支持性能を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 洗掘対策として、法尻の盛土・旧表土層(深さ1m, 幅2m)をセメント改良土で置換えることで法尻補強を実施する配慮をする。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 構内排水路横断部からの漏水により盛土等が洗掘され、止水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> 構内排水路横断部は、基準地震動に対して安全性を確保する。 PC鋼線により水路縦断方向にプレストレスを導入し、排水路ブロック間の目開きを抑止する。 コンクリートの劣化、ひび割れ等による漏水を防止する観点から保守管理を適切に実施する。 なお、防潮堤を横断する構造物の取扱いについて、補足説明資料5に示す。 	—
基礎地盤	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により基礎地盤がすべり破壊し、安定性を喪失して防潮堤の高さを維持できなくなり、止水性を喪失する。 	①, ②	<ul style="list-style-type: none"> すべり安全率が許容値以上であることを確認する。 	○

※1:①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定

※2:照査まで実施している場合は○, 照査まで実施していない場合は(—)

8.3.4 境界部(1/2)

- 境界部における、各部位が損傷し要求機能を喪失する事象を抽出した。

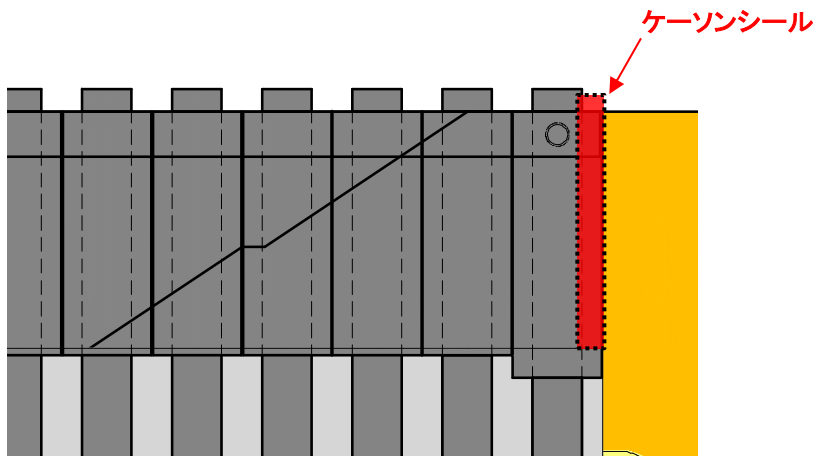
部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
鋼管式鉛直壁(岩盤部)と 端部地山の境界部 (南端部)	地震により地山が崩壊して、鋼管杭に衝突し、止水性を喪失する。	①	緩やかな丘状であり、崩壊するような斜面ではないと考えているが、鋼管杭の地上部はRC遮水壁(コンクリート)で保護する配慮をする。	—
	地震又は津波荷重により地山が崩壊して、高さが維持できなくなり、止水性を喪失する。	①, ②	入力津波高さよりも高い位置にあり、入力津波の防護に対しては影響ない設計とする。	—
鋼管式鉛直壁(一般部)と盛土堤防の境界部 (杭-盛土接合部)	地震又は津波荷重により盛土堤防のすべり等が生じ、鋼管杭及び鋼製遮水壁に荷重が作用し、鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。	①, ②	盛土堤防のラップ部を考慮した検討により、盛土の荷重を考慮した上で、鋼管式鉛直壁(一般部)と同様に各部位の健全性を確認する。	○
	地震時に、盛土堤防が鋼管式鉛直壁側にすべり、鋼製遮水壁に損傷が生じ、止水性を喪失する。	①	3次元静的解析を実施して鋼管式鉛直壁への影響を確認する。3次元静的解析の詳細は『8.2.4特に留意すべき損傷モードへの対応方針』に記載。	○
	地震又は津波荷重により鋼管杭と盛土堤防の間に、相対変位が生じ、水みちとなり、止水性を喪失する。	①, ②	鋼製遮水壁と盛土堤防の境界面には十分なラップ長を確保したうえで、さらに可撓性目地シール材(ケーソンシール)を施工することで止水性に配慮する。	—
盛土堤防と端部地山の境界部 (北側アバット部)	地震により地山が崩壊して、高さが維持できなくなり、止水性を喪失する。	①	盛土堤防の代表断面は、静的震度を用いた分割法を実施して地山斜面も含めて選定し、代表断面の安定性を確認することにより地山斜面の安定性についても確認する。	—
	津波により地山が洗掘され、高さが維持できなくなり、止水性を喪失する。	②	岩盤斜面とし洗掘されない設計とする。	—

※1:①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定

※2:照査まで実施している場合は○, 照査まで実施していない場合は(—)

8.3.4 境界部(2/2)

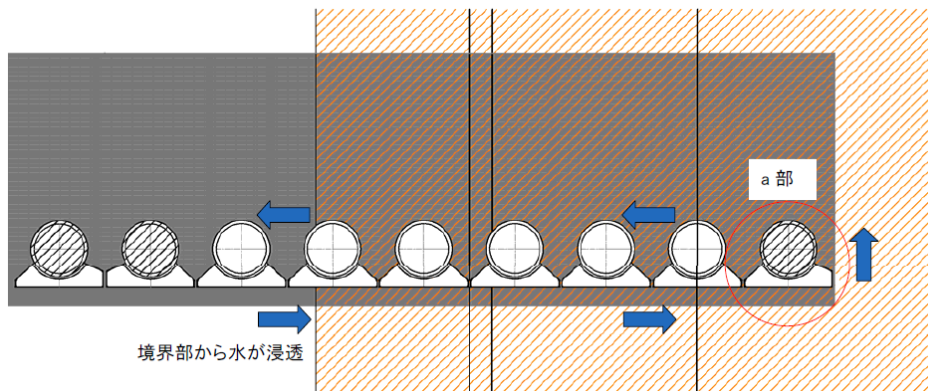
・鋼管式鉛直壁(一般部)と盛土堤防の境界部に、止水性確保のため可撓性目地シール材(ケーソンシール)を設置する。



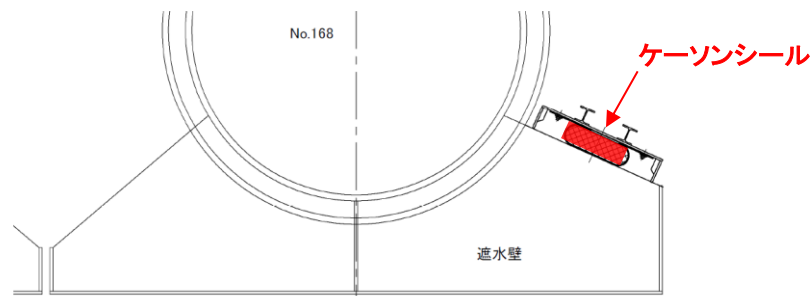
縦断面図



可撓性目地シール材(ケーソンシール)



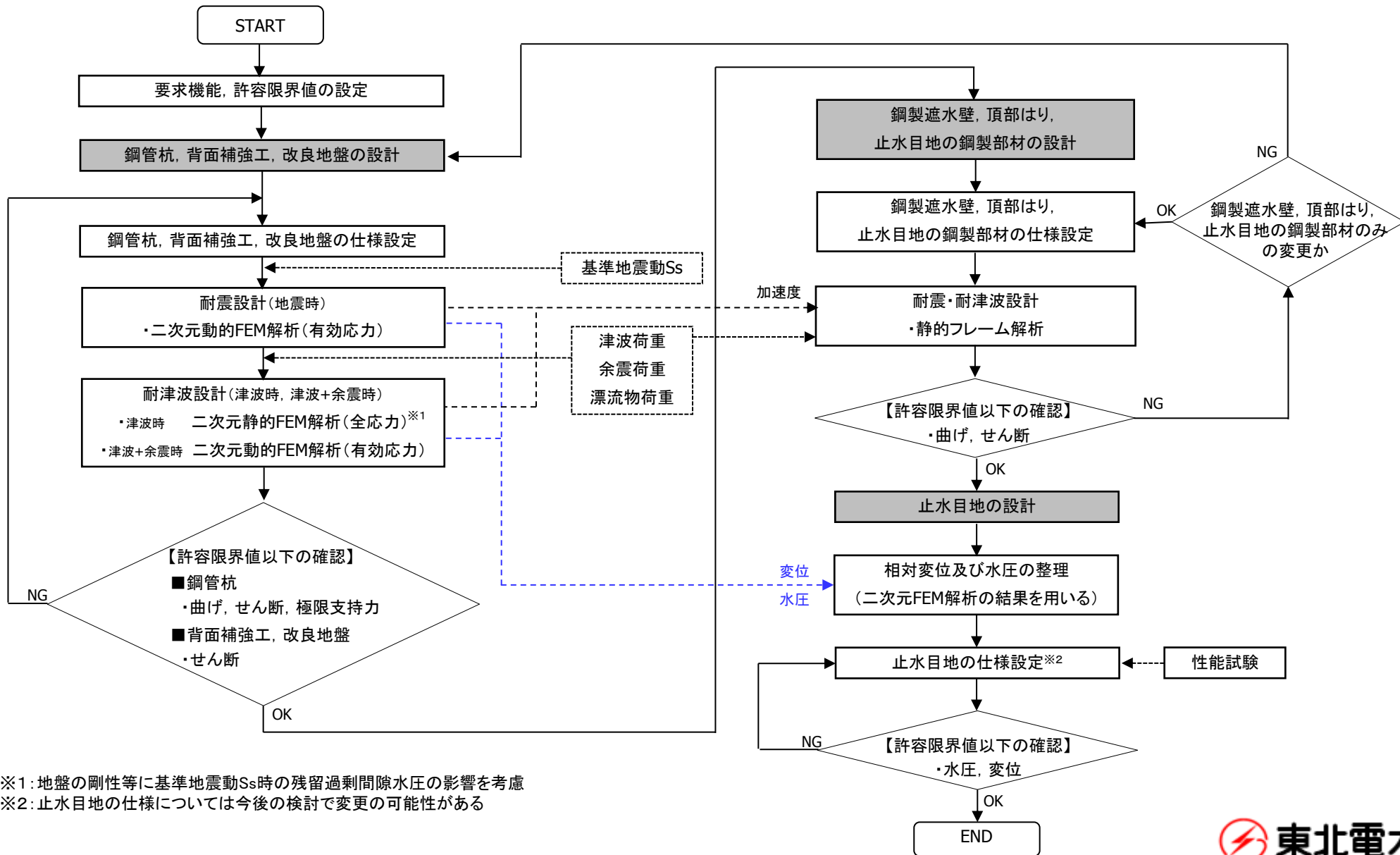
平面図



a部詳細図

9.1.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計手順(1/2)

・鋼管式鉛直壁(一般部)の設計手順を以下に示す。

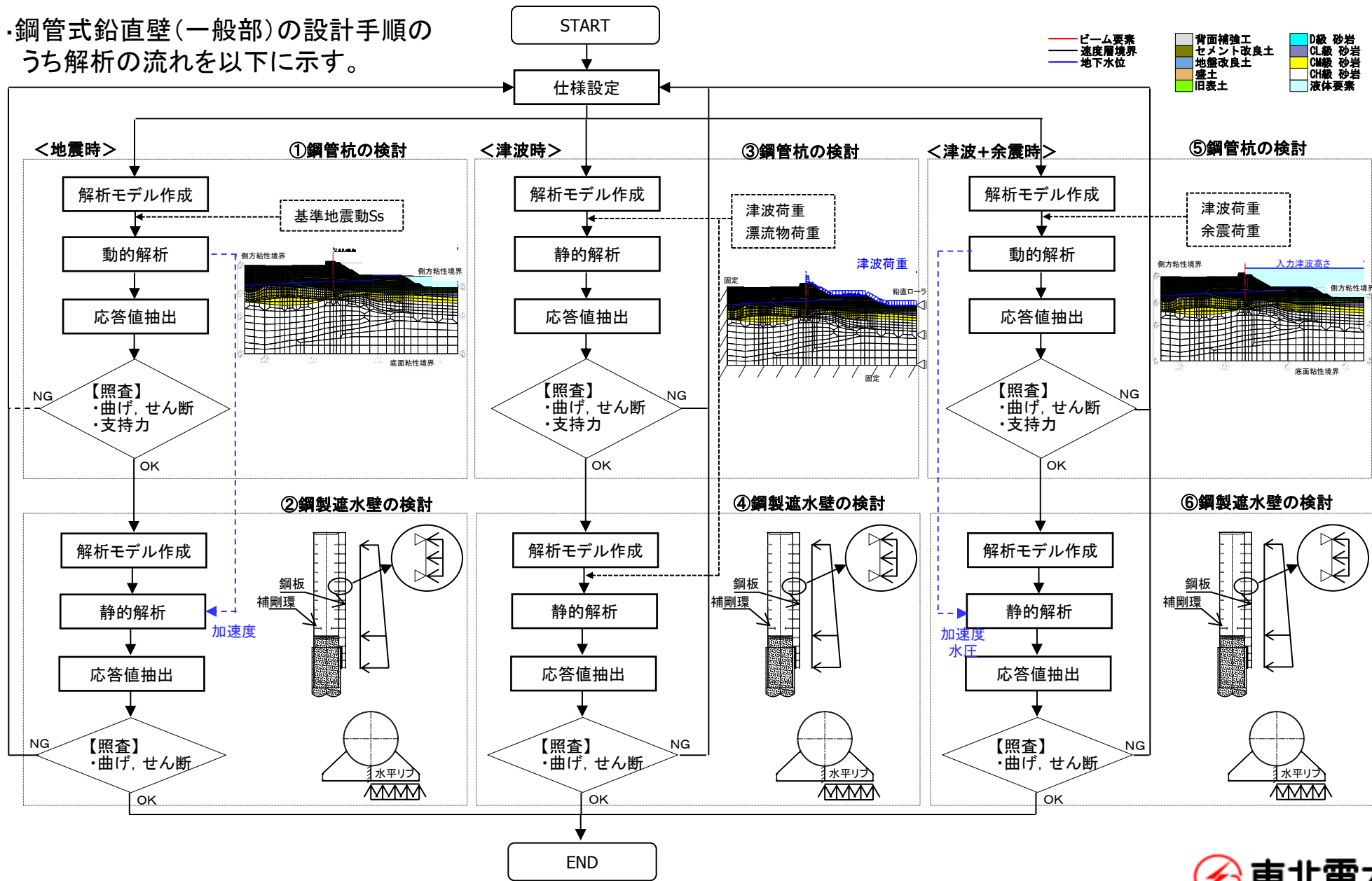


※1: 地盤の剛性等に基準地震動Ss時の残留過剰間隙水圧の影響を考慮

※2: 止水目地の仕様については今後の検討で変更の可能性がある

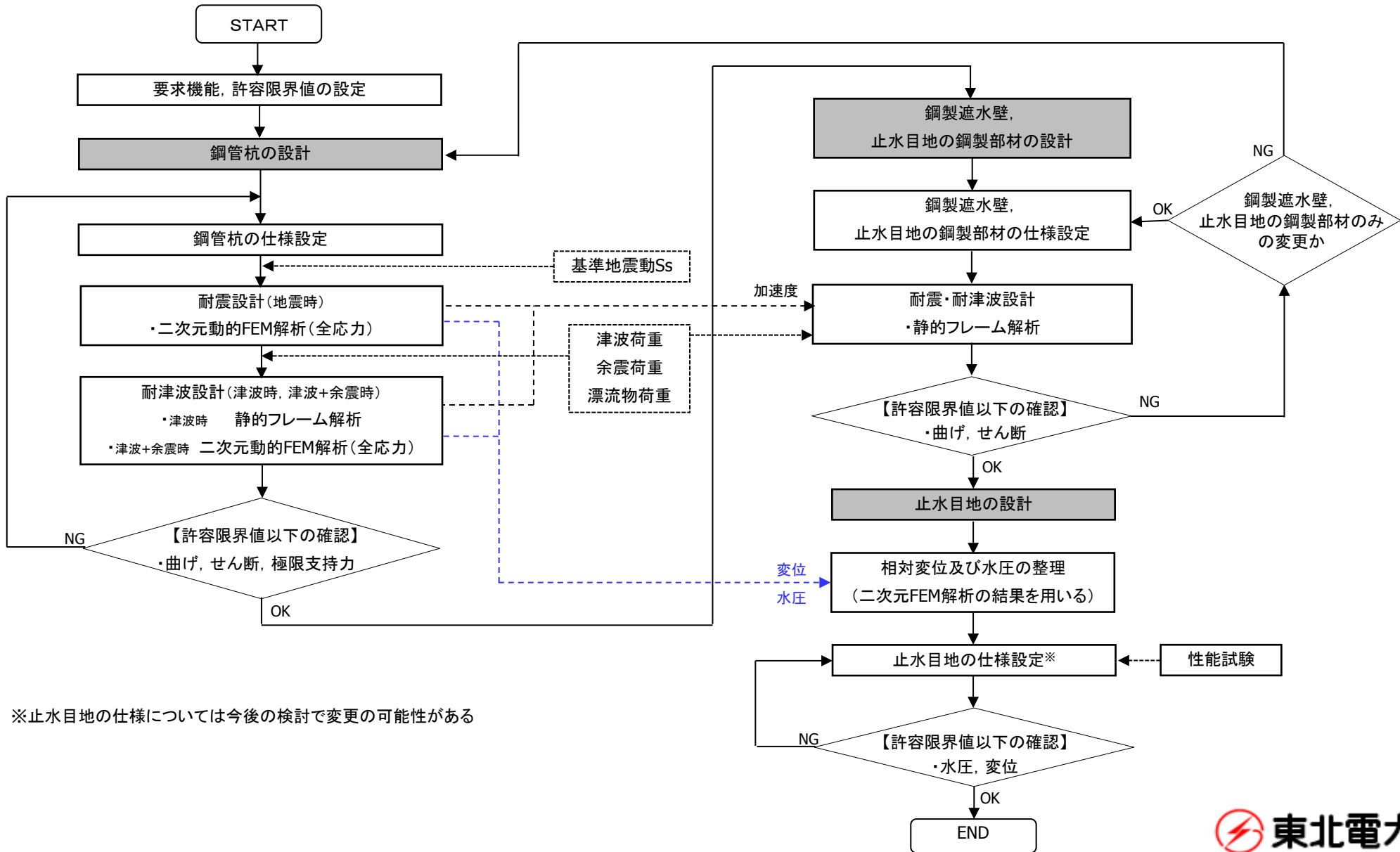
9.1.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計手順(2/2)

・鋼管式鉛直壁(一般部)の設計手順のうち解析の流れを以下に示す。



9.1.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計手順(1/2)

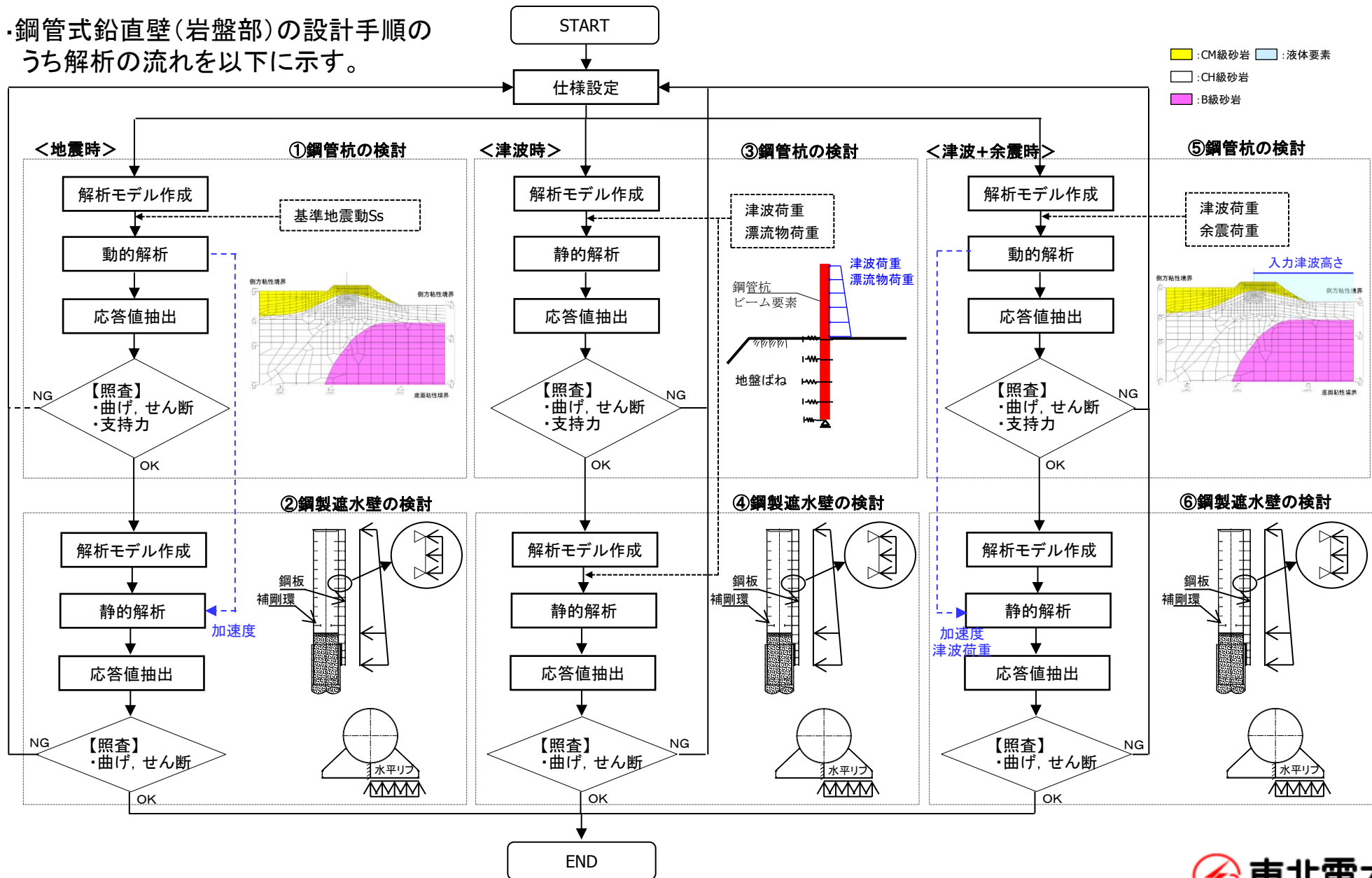
・鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計手順を以下に示す。



※止水目地の仕様については今後の検討で変更の可能性がある

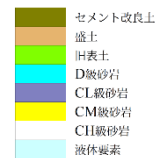
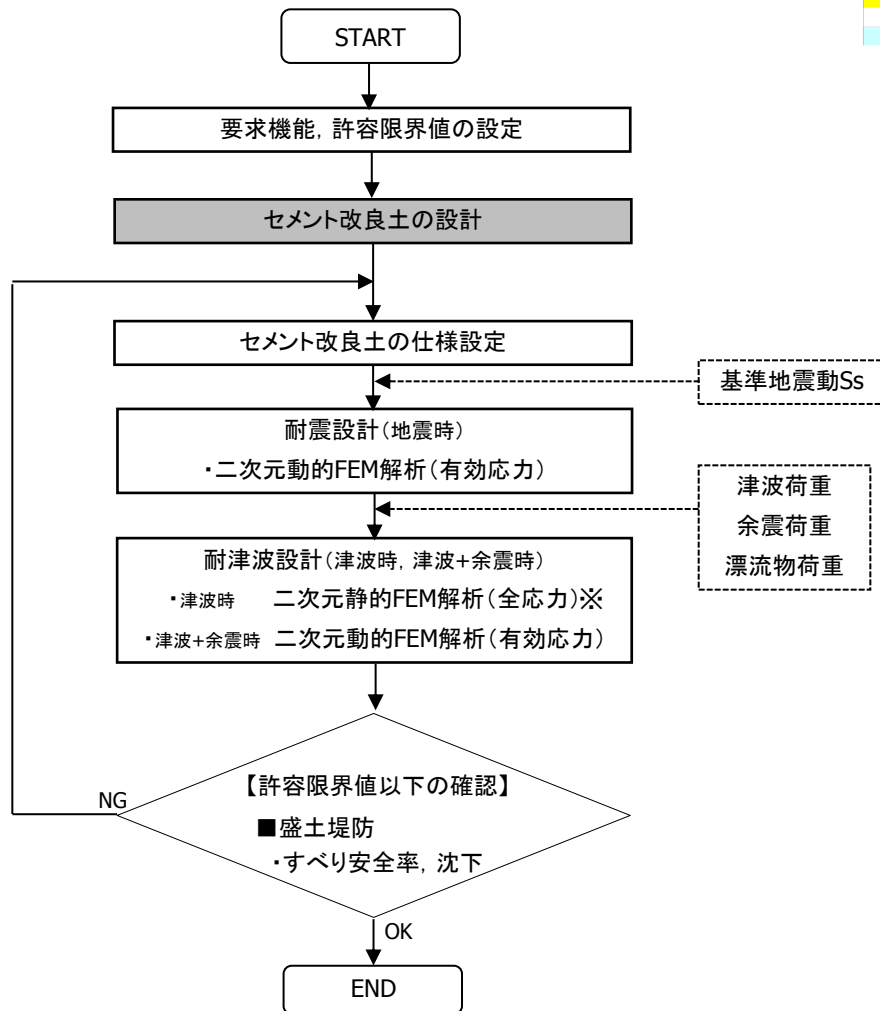
9.1.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計手順(2/2)

・鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計手順のうち解析の流れを以下に示す。

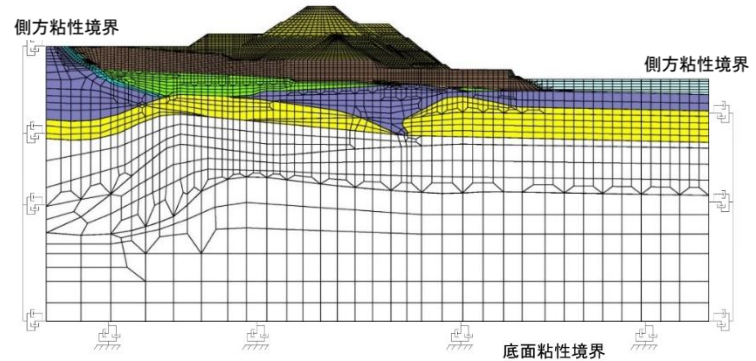


9.1.3 盛土堤防の設計手順

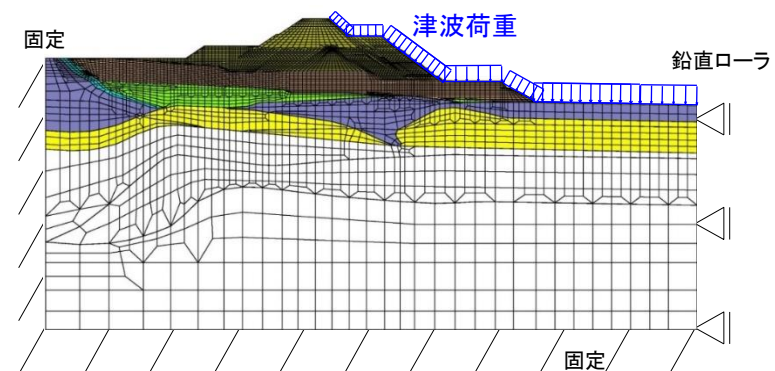
・盛土堤防の設計手順及び解析モデルのイメージを以下に示す。



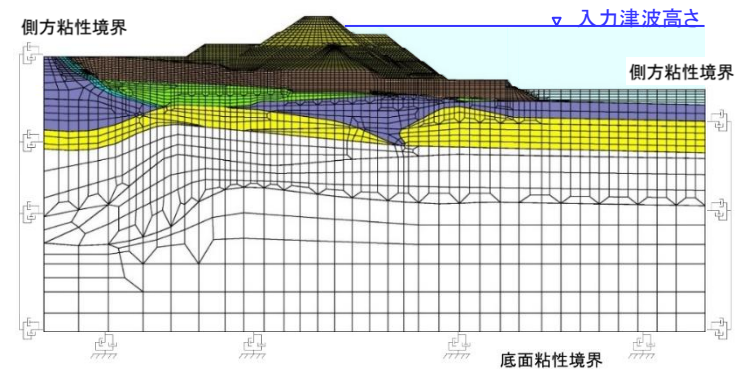
地震時



津波時



津波+余震時



※地盤の剛性等に基準地震動Ss時の残留過剰間隙水圧の影響を考慮

盛土堤防 解析モデル図

9.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計手順(1/7) (鋼管杭(長杭))

鋼管杭(長杭)の役割と設計方針概要

- 地震時及び津波時等の荷重に対して損傷しない。
- 鋼製遮水壁及び頂部はりを支持し、作用荷重を地盤(背面補強工, 改良地盤, 盛土・旧表土, 基礎地盤)に伝達する。
- 地震時及び津波時の荷重伝達を評価するため、地盤と施設を連成した2次元FEM解析により、杭の断面力を照査する。
- 2次元FEM解析にあたっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、地震時及び重畳時は有効応力解析、津波時は全応力解析を用いる。

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
鋼管杭(長杭)	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	曲げ せん断	(上部※2)短期許容応力度以下 (下部※3)許容塑性率・せん断強度以下	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・II 鋼橋編・IV 下部構造編)
	津波時	2次元静的FEM解析 (全応力解析)※1	曲げ せん断	(上部※2)短期許容応力度以下 (下部※3)許容塑性率・せん断強度以下	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・II 鋼橋編・IV 下部構造編)
	重畳時 (津波+余震時)	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	曲げ せん断	(上部※2)短期許容応力度以下 (下部※3)許容塑性率・せん断強度以下	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・II 鋼橋編・IV 下部構造編)

※1: 地盤の剛性等に基準地震動 S_s 時の残留過剰間隙水圧の影響を考慮

※2: 短杭と同じ深さまでの範囲

※3: 短杭よりも深い範囲

9.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計手順(2/7) (鋼管杭(短杭))

鋼管杭(短杭)の役割と設計方針概要

- 地震時及び津波時等の荷重に対して損傷しない。
- 鋼製遮水壁を支持し、作用荷重を地盤(背面補強工, 改良地盤)に伝達する。
- 地震時及び津波時の荷重伝達を評価するため、地盤と施設を連成した2次元FEM解析により、杭の断面力を照査する。
- 2次元FEM解析にあたっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、地震時及び重畳時は有効応力解析、津波時は全応力解析を用いる。

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
鋼管杭(短杭)	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	曲げ, せん断	短期許容応力度以下	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・II 鋼橋編・IV 下部構造編)
	津波時	2次元静的FEM解析 (全応力解析)※			
	重畳時 (津波+余震時)	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)			

※: 地盤の剛性等に基準地震動 S_s 時の残留過剰間隙水圧の影響を考慮

9.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計手順(3/7) (鋼製遮水壁)

鋼製遮水壁の役割と設計方針概要

- 地震時及び津波時等の荷重に対して損傷しない。
- 止水目地を支持し、止水機能を保持する。
- 地震時及び津波時の荷重伝達を評価するため、地盤と施設を連成した2次元FEM解析の結果の内、加速度と津波荷重を用いて、静的フレーム解析を実施して、鋼製遮水壁を照査する。

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
鋼製遮水壁	地震時	静的フレーム解析	曲げ, せん断	短期許容応力度以下	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・II 鋼橋編・IV 下部構造編)
	津波時				
	重畳時 (津波+余震時)				

9.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計手順(4/7) (止水目地)

止水目地部(止水目地及び止水目地の鋼製部材)の役割と設計方針概要

- 止水目地は、遮水壁間の変位に追従し、津波時の止水機能を保持して、損傷しない。
- 止水目地の鋼製部材は、地震時及び津波時等の荷重に対して損傷しない。
- 地震時及び津波時の荷重伝達を評価するため、地盤と施設を連成した2次元FEM解析の結果の内、変位及び水圧を抽出して、目地変位の照査を実施する。また、2次元FEM解析の結果の内、加速度と津波荷重を用いて静的フレーム解析を実施して、止水目地の鋼製部材を照査する。
- 2次元FEM解析にあたっては、地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し、地震時及び重畳時は有効応力解析、津波時は全応力解析を用いる。

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
止水目地	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	変形・水圧	メーカー規格及び基準並びに必要なに応じて実施する性能試験を参考に定める許容変形量及び許容水圧以下とする。	
	津波時	2次元静的FEM解析 (全応力解析)※			
	重畳時 (津波＋余震時)	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)			
止水目地の鋼製部材	地震時	静的フレーム解析	曲げ、せん断	短期許容応力度以下	道路橋示方書・同解説 (Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編)
	津波時				
	重畳時 (津波＋余震時)				

※：地盤の剛性等に基準地震動 S_s 時の残留過剰間隙水圧の影響を考慮

9.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計手順(5/7) (頂部はり)

頂部はりの役割と設計方針概要

- 地震時及び津波時等の荷重に対して損傷しない。
- 想定される津波高さに余裕を考慮した高さを維持し、入力津波を超える高さの津波に対して敷地への越波流量等を低減する。
- 地震時及び津波時の荷重伝達を評価するため、地盤と施設を連成した2次元FEM解析の結果の内、加速度と津波荷重を用いて、静的フレーム解析を実施して、頂部はりを照査する。

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
頂部はり	地震時	静的フレーム解析	曲げ, せん断	短期許容応力度以下	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・II 鋼橋編・IV 下部構造編)
	津波時				
	重畳時 (津波+余震時)				

9. 部位毎の設計方針

9.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計手順(6/7) (背面補強工, 改良地盤)

背面補強工, 改良地盤の役割と設計方針概要

- 地震時及び津波時等の荷重に対して損傷しない。
- 鋼管杭の変形を抑制する。
- 津波波力による侵食や洗掘, 地盤内からの浸水に対して, 止水性を保持する。
- 地震時及び津波時の荷重伝達を評価するため, 地盤と施設を連成した2次元FEM解析により, 背面補強工, 改良地盤を照査する。
- 2次元FEM解析にあたっては, 地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し, 地震時及び重畳時は有効応力解析, 津波時は全応力解析を用いる。

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
背面補強工 改良地盤	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	せん断	せん断強度以内	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV下部構造編) 及び 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 (全応力解析)※			
	重畳時 (津波+余震時)	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)			

※: 地盤の剛性等に基準地震動 S_s 時の残留過剰間隙水圧の影響を考慮

9.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計手順(7/7) (セメント改良土, 盛土・旧表土, 基礎地盤)

セメント改良土, 盛土・旧表土, 基礎地盤の役割と設計方針概要

- ・ セメント改良土, 盛土・旧表土は防潮堤機能に有害となる変形を起こさない。
- ・ 基礎地盤は防潮堤全体を支持する。
- ・ 地震時及び津波時の荷重伝達を評価するため, 地盤と施設を連成した2次元FEM解析により, 基礎地盤を照査する。
- ・ 2次元FEM解析にあたっては, 地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し, 地震時及び重畳時は有効応力解析, 津波時は全応力解析を用いる。

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
盛土・旧表土 セメント改良土	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	変形	防潮堤に有害となる変形を生じない	—
	津波時	2次元静的FEM解析 (全応力解析)*			
	重畳時 (津波+余震時)	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)			
基礎地盤	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	支持力	極限支持力以下	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV下部構造編)
	津波時	2次元静的FEM解析 (全応力解析)*			
	重畳時 (津波+余震時)	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)			

※: 地盤の剛性等に基準地震動 S_s 時の残留過剰間隙水圧の影響を考慮

9.2.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計手順(1/4) (鋼管杭)

鋼管杭の役割と設計方針概要

- 地震時及び津波時等の荷重に対して損傷しない。
- 作用荷重を周辺地盤に伝達し、鋼製遮水壁を支持する。
- 地震時及び津波時の荷重伝達を評価するため、地震時及び重畳時は地盤と施設を連成した2次元FEM解析により、杭の断面力を照査し、津波時はフレームモデルを用いた静的解析により、杭の断面力を照査する。
- 2次元FEM解析にあたっては、岩盤部の検討であり、液状化を考慮する必要がないため、地震時及び重畳時は全応力解析を用いる。

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
鋼管杭	地震時	2次元動的FEM解析 (全応力解析)	曲げ, せん断	短期許容応力度以下	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・II 鋼橋編・IV 下部構造編)
	津波時	静的フレーム解析			
	重畳時 (津波+余震時)	2次元動的FEM解析 (全応力解析)			

9.2.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計手順(2/4) (鋼製遮水壁)

鋼製遮水壁の役割と設計方針概要

- 地震時及び津波時等の荷重に対して損傷しない。
- 止水目地を支持し、止水機能を保持する。
- 地震時及び津波時の荷重伝達を評価するため、地盤と施設を連成した2次元FEM解析の結果の内、加速度と津波荷重を用いて、静的フレーム解析を実施して、鋼製遮水壁を照査する。
- 2次元FEM解析にあたっては、岩盤部の検討であり、液状化を考慮する必要がないため、地震時及び重畳時は全応力解析を用いる。

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
鋼製遮水壁	地震時	静的フレーム解析	曲げ, せん断	短期許容応力度以下	道路橋示方書・同解説 (Ⅰ 共通編・Ⅱ 鋼橋編・Ⅳ 下部構造編)
	津波時				
	重畳時 (津波+余震時)				

9.2.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計手順(3/4) (止水目地)

止水目地部(止水目地及び止水目地の鋼製部材)の役割と設計方針概要

- 止水目地は、遮水壁間の変位に追従し、津波時の止水機能を保持して、止水目地が損傷しない。
- 止水目地の鋼製部材は、地震時及び津波時等の荷重に対して損傷しない。
- 地震時及び津波時の荷重伝達を評価するため、地盤と施設を連成した2次元FEM解析の結果の内、変位及び水圧を抽出して、目地変位の照査を実施する。また、2次元FEM解析の結果の内、加速度と津波荷重を用いて静的フレーム解析を実施して、止水目地の鋼製部材を照査する。
- 2次元FEM解析にあたっては、岩盤部の検討であり、液状化を考慮する必要がないため、地震時及び重畳時は全応力解析を用いる。

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
止水目地	地震時	2次元動的FEM解析 (全応力解析)	変形・水圧	メーカー規格及び基準並びに必要な応じて実施する性能試験を参考に定める許容変形量及び許容水圧以下とする。	
	津波時	静的フレーム解析			
	重畳時 (津波＋余震時)	2次元動的FEM解析 (全応力解析)			
止水目地の鋼製部材	地震時	静的フレーム解析	曲げ、せん断	短期許容応力度以下	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・II 鋼橋編)
	津波時				
	重畳時 (津波＋余震時)				

9.2.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計手順(4/4) (基礎地盤)

基礎地盤の役割と設計方針概要

- 基礎地盤は鋼管杭を支持する。
- 地震及び津波荷重の荷重伝達を評価するため、地震時及び重畳時は地盤と施設を連成した2次元FEM解析により、基礎地盤を照査する。
- 2次元FEM解析にあたっては、岩盤部の検討であり、液状化を考慮する必要がないため、地震時及び重畳時は全応力解析を用いる。

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
基礎地盤	地震時	2次元動的FEM解析 (全応力解析)	支持力	極限支持力以下	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV下部構造 編)
	津波時	静的フレーム解析			
	重畳時 (津波+余震時)	2次元動的FEM解析 (全応力解析)			

9.2.3 盛土堤防 の設計手順

盛土堤防, 基礎地盤の役割と設計方針概要

- ・ セメント改良土は, 想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さを維持し, 津波時の止水機能を保持して, セメント改良土が損傷しない。
- ・ 盛土・旧表土は, 防潮堤に有害となる変形を生じない。
- ・ 基礎地盤は, 防潮堤全体を支持する。
- ・ 地震時及び津波時の荷重伝達を評価するため, 地盤と施設を連成した2次元FEM解析を用いる。
- ・ 2次元FEM解析にあたっては, 地下水位と地盤の関係及び地形を勘案し, 地震時及び重畳時は有効応力解析, 津波時は全応力解析を用いる。

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
盛土堤防 (セメント改良土・ 盛土・旧表土)	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	すべり安全率, 残留沈下	すべり安全率以上 許容沈下量以下	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 (全応力解析)※			
	重畳時 (津波+余震時)	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)			
基礎地盤	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	支持力	極限支持力以下	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV下部構造編)
	津波時	2次元静的FEM解析 (全応力解析)※			
	重畳時 (津波+余震時)	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)			

※: 地盤の剛性等に基準地震動 S_s 時の残留過剰間隙水圧の影響を考慮

9.3.1 2次元動的有限要素解析(有効応力解析)による検討(1/2)

解析の目的

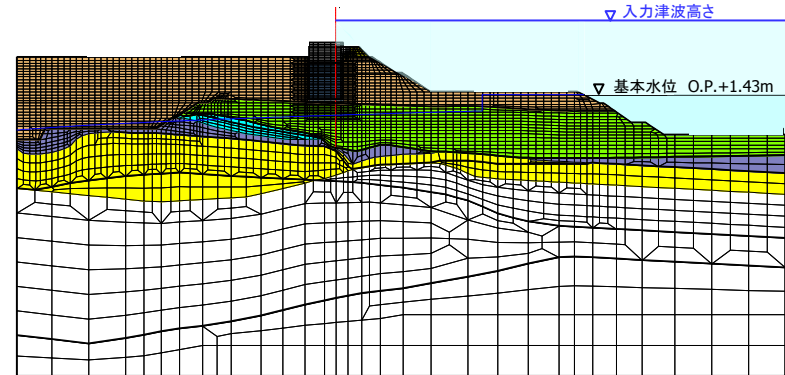
- ・鋼管杭, 背面補強工, 改良地盤, セメント改良土, 盛土・旧表土, 基礎岩盤を含めた全体の動的挙動評価 (地震時, 津波+余震時)
- ・原地盤物性, 液状化を考慮した影響評価

結果の利用

- ・鋼管杭, 背面補強工, 改良地盤, セメント改良土, 基礎岩盤の照査
- ・止水目地部の変位量

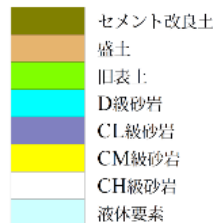
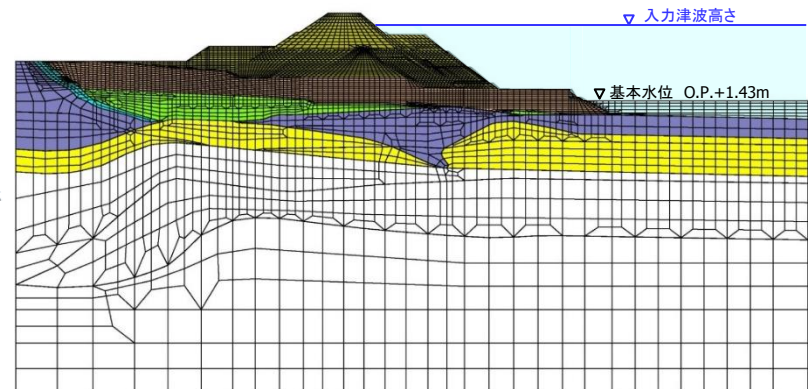
モデル化方針

- ・鋼管杭は線形はり要素(ビーム要素)でモデル化する。
- ・D級を除く岩盤, 背面補強工は線形要素でモデル化する。
- ・D級岩盤, 改良地盤, セメント改良土, 盛土・旧表土はマルチスプリング要素でモデル化する。
- ・海水は液体要素でモデル化する。



鋼管式鉛直壁(一般部) 解析モデル図

※地震時の水位は基本水位とし、津波+余震時の水位は入力津波高さとしている。

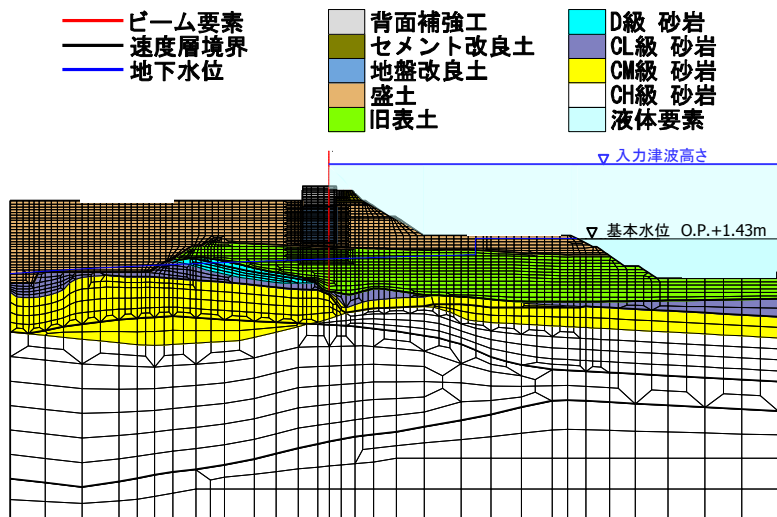


盛土堤防 解析モデル図

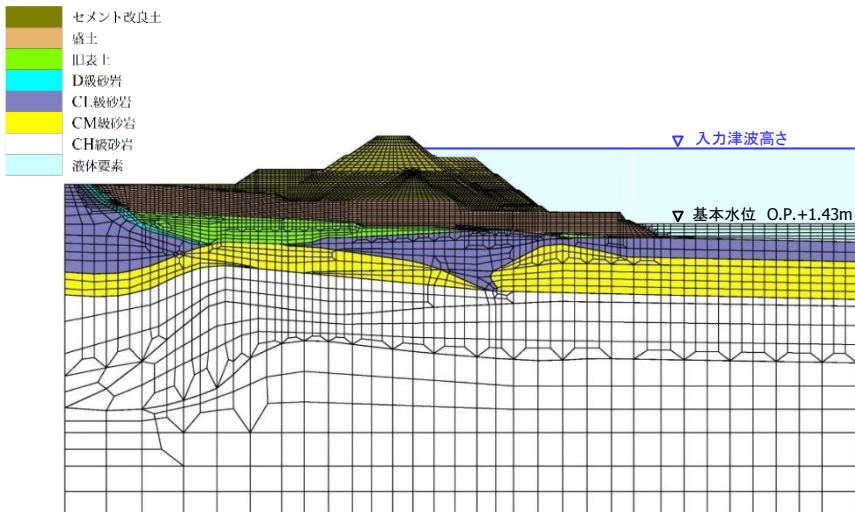
9.3.1 2次元動的有限要素解析(有効応力解析)による検討(2/2)

解析条件

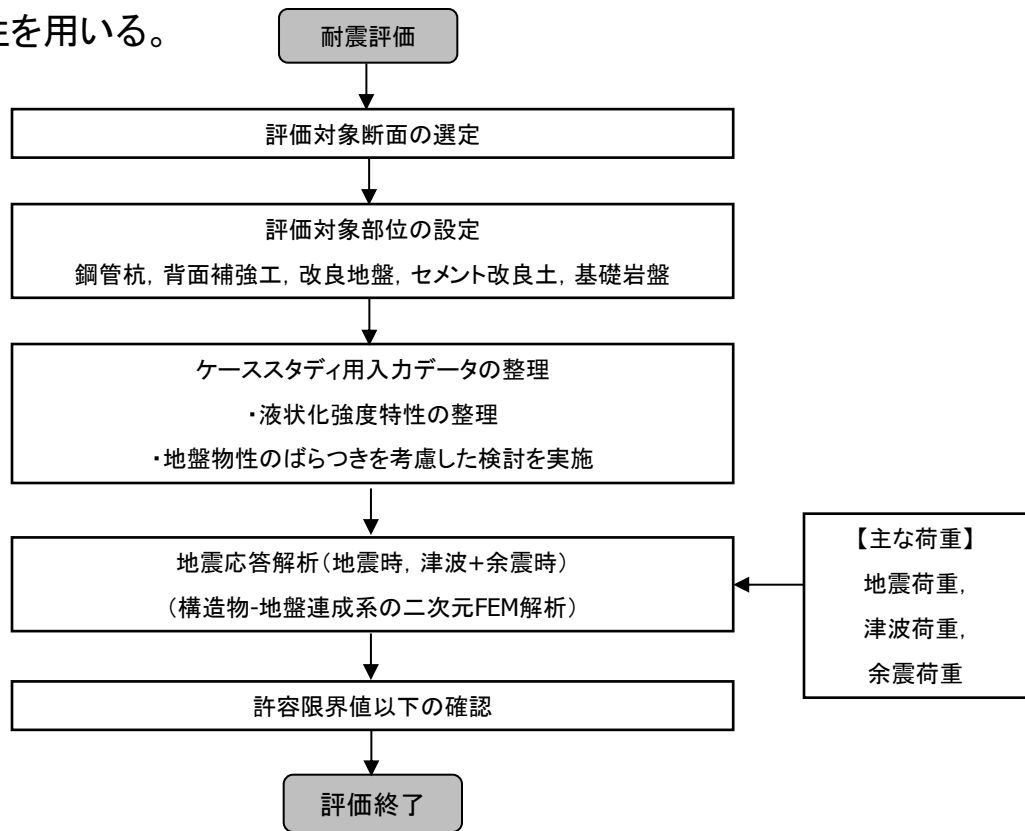
・地盤物性のばらつきを考慮し、物性は平均物性と±1σ物性を用いる。



鋼管式鉛直壁(一般部) 解析モデル図



盛土堤防 解析モデル図



着目点	概要	代表断面の設定
地質分布の不確かさ	地質分布の不確かさを考慮して、物性のばらつきを考慮した検討を実施する。	旧表土に加えて、岩ズリ主体だが盛土も液状化検討対象とし、対象層が最も厚く分布する断面を代表断面とする。

9.3.2 2次元動的有限要素解析(全応力解析)による検討

解析の目的

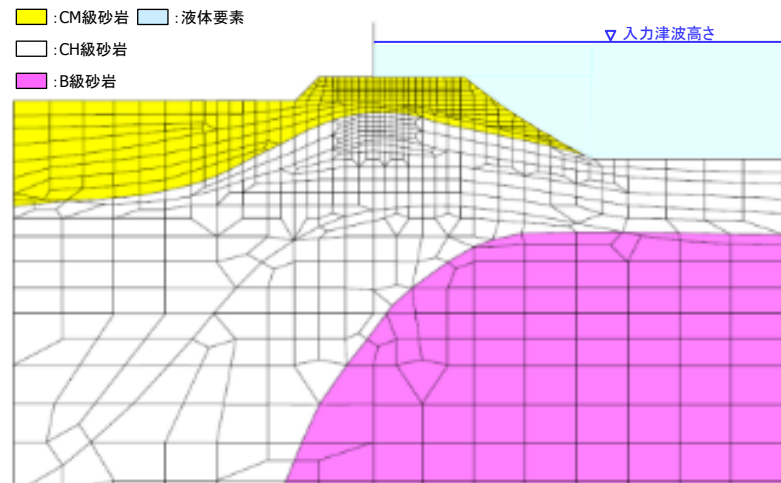
- ・鋼管杭の動的挙動評価（地震時，津波+余震時）

結果の利用

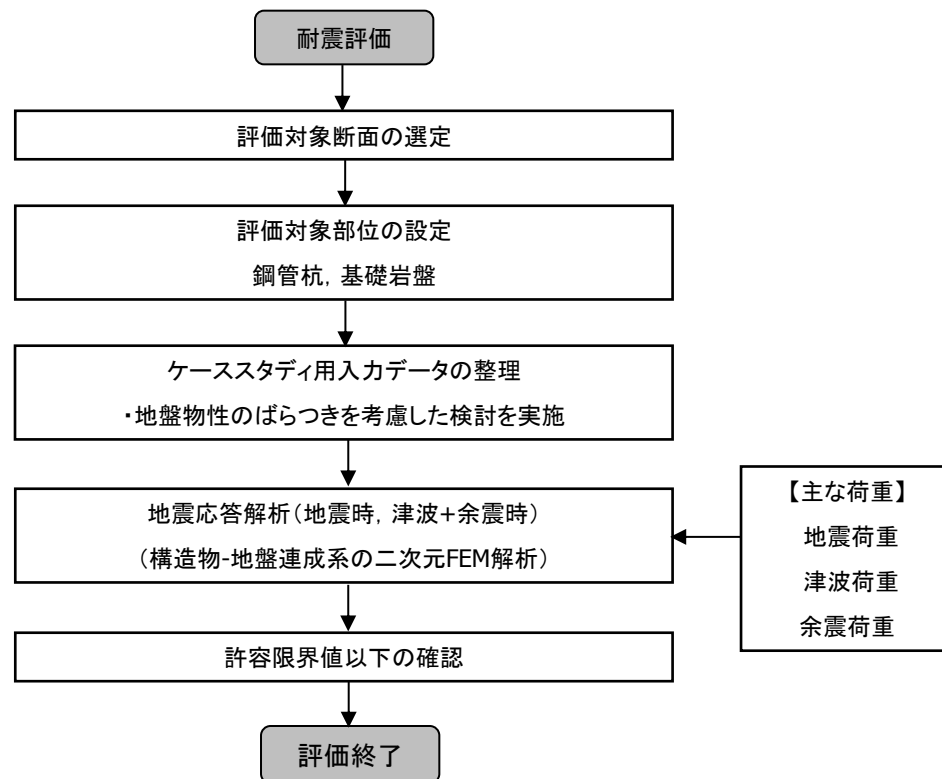
- ・鋼管杭，基礎岩盤の照査
- ・止水目地部の変位量

モデル化方針

- ・鋼管杭は線形はり要素(ビーム要素)でモデル化する。
- ・岩盤は線形要素でモデル化する。
- ・海水は液体要素でモデル化する。



鋼管式鉛直壁(岩盤部) 解析モデル図



着目点	概要	代表断面の設定
地形	周辺の地形を考慮して、代表断面を設定する。	杭の突出長が最大となり、敷地側の岩盤が狭く海側の自然斜面が急な断面を選定した。

解析条件

- ・地盤物性のばらつきを考慮し，物性は平均物性と $\pm 1\sigma$ 物性を用いる。

9.3.3 2次元静的有限要素解析(全応力解析)による検討(1/2)

解析の目的

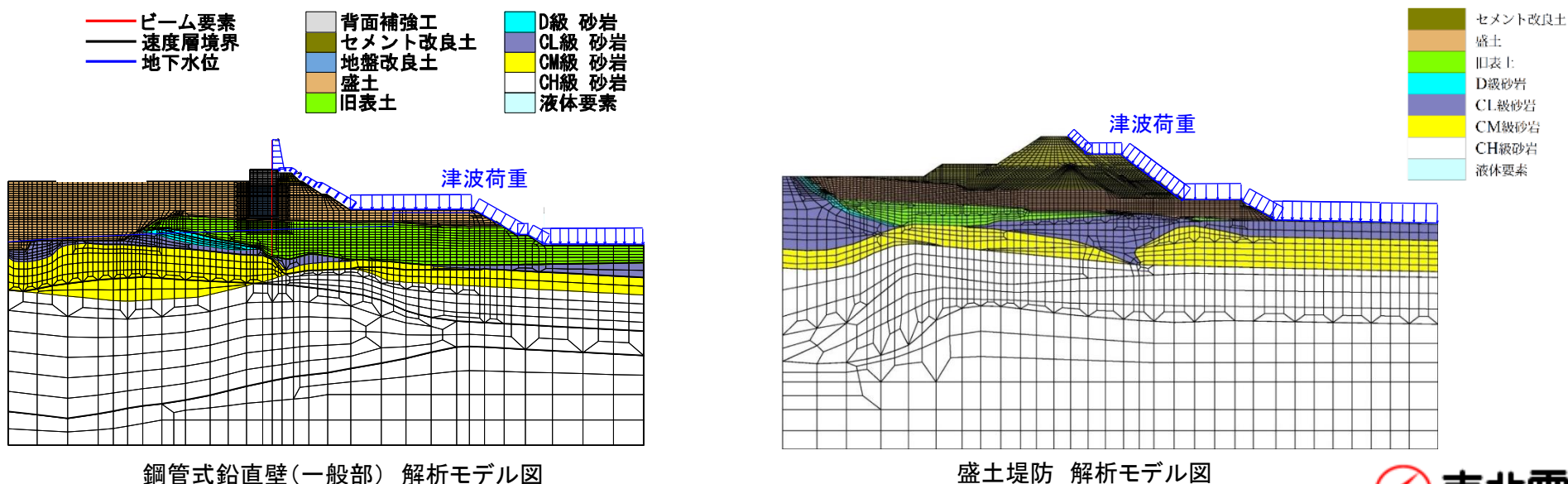
・鋼管杭, 背面補強工, 改良地盤, セメント改良土, 盛土・旧表土, 基礎岩盤を含めた全体の静的挙動評価 (津波時)

結果の利用

・鋼管杭, 背面補強工, 改良地盤, セメント改良土, 基礎岩盤の照査
 ・止水目地部の変位量

モデル化方針

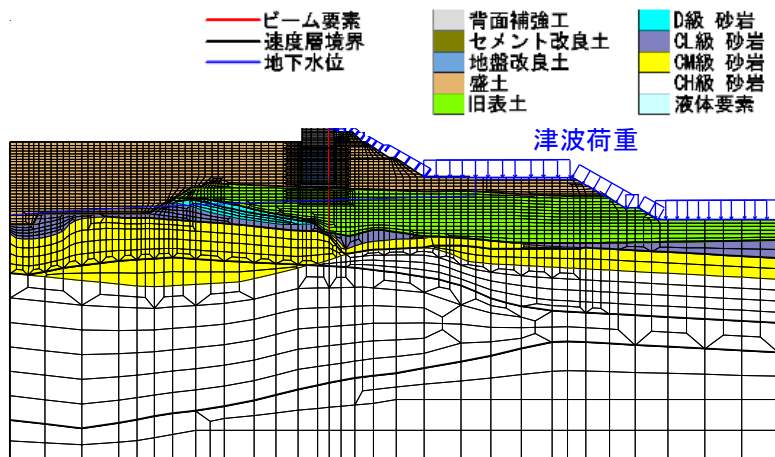
・鋼管杭は線形はり要素(ビーム要素)でモデル化する。
 ・D級を除く岩盤, 背面補強工は線形要素でモデル化する。
 ・D級岩盤, 改良地盤, セメント改良土, 盛土・旧表土はマルチスプリング要素でモデル化する。



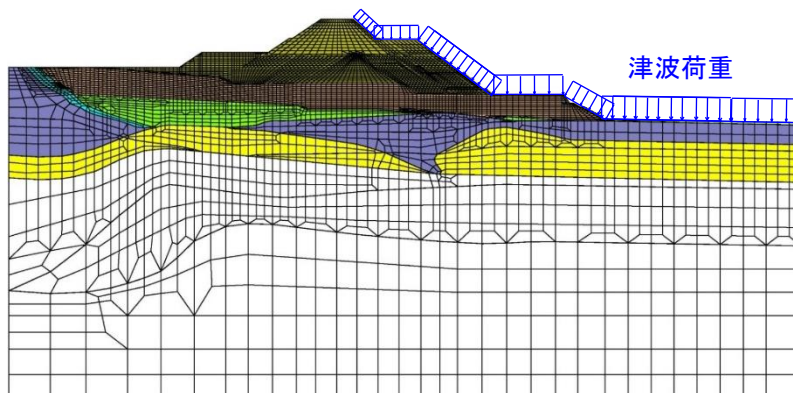
9.3.3 2次元静的有限要素解析(全応力解析)による検討(2/2)

解析条件

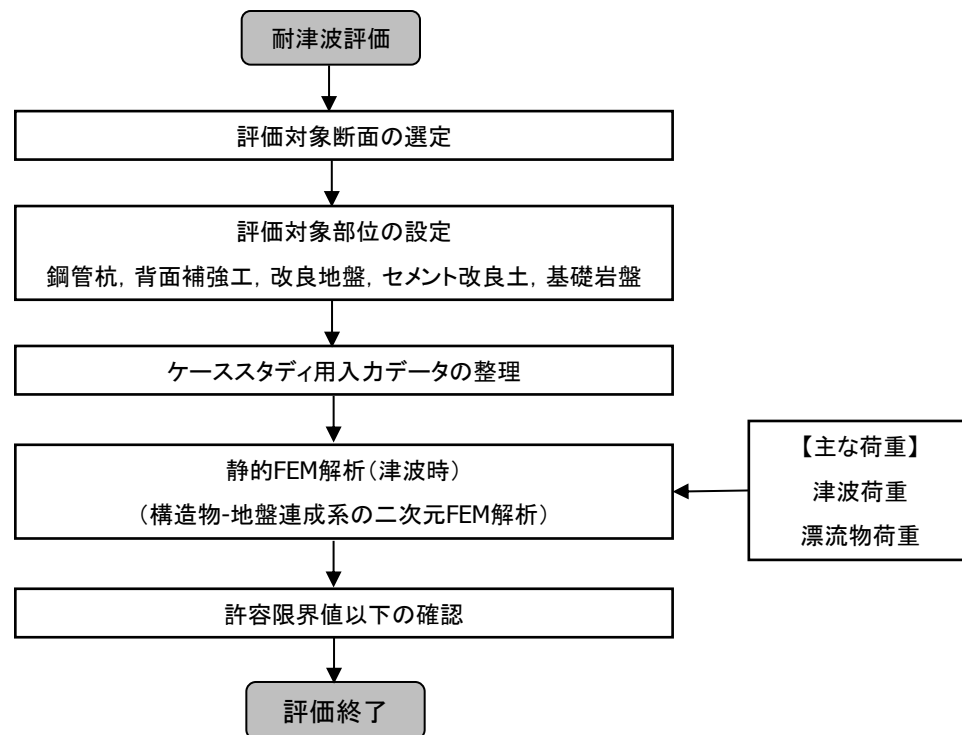
- ・平均物性, 静的物性を用いる。
- ・地盤の剛性等に基準地震動 S_s 時の残留過剰間隙水圧の影響を考慮する。



鋼管式鉛直壁(一般部) 解析モデル図



盛土堤防 解析モデル図



9.3.4 静的フレーム解析による検討

解析の目的

- ・鋼管杭の静的挙動評価（津波時）

結果の利用

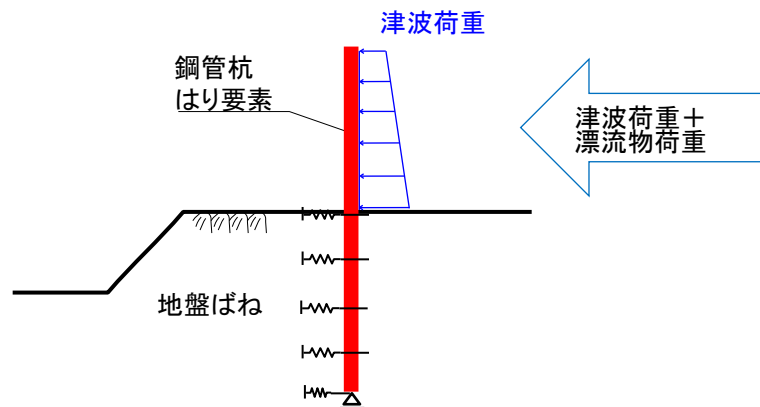
- ・鋼管杭の照査
- ・止水目地部の変位量

モデル化方針

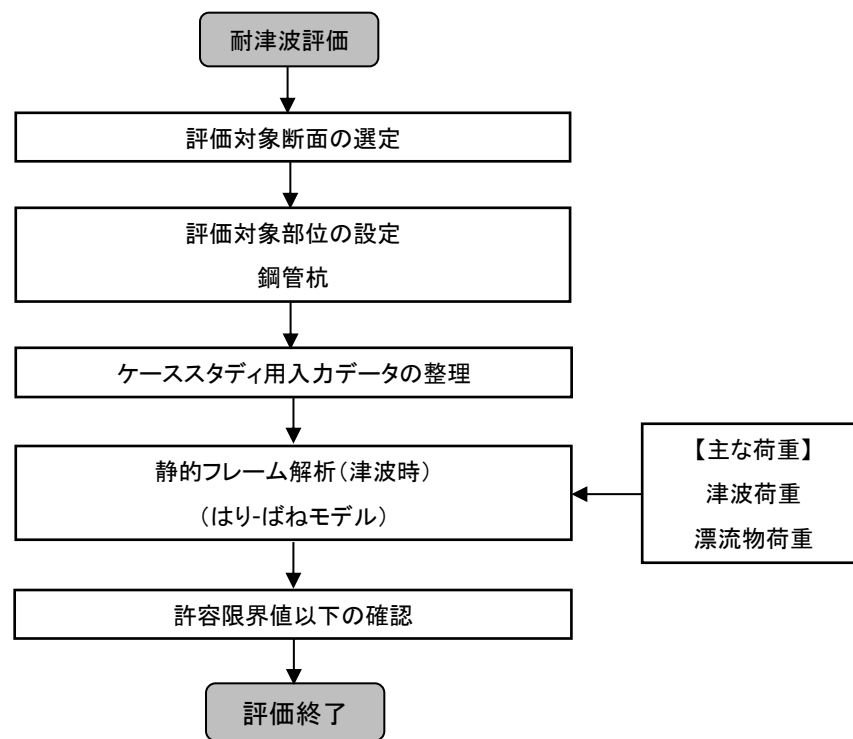
- ・鋼管杭は線形はり要素(ビーム要素)でモデル化する。
- ・岩盤は地盤ばねでモデル化する。

解析条件

- ・平均物性, 静的物性を用いる。



鋼管式鉛直壁(岩盤部) 解析モデル図



9.3.5 鋼製遮水壁の検討

解析の目的

- ・鋼製遮水壁の各部材の健全性評価（地震時，津波時）

結果の利用

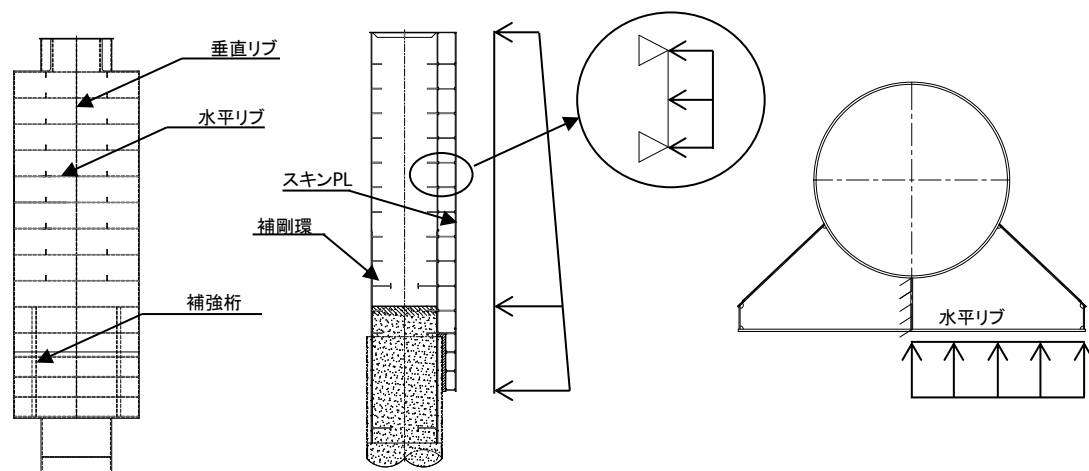
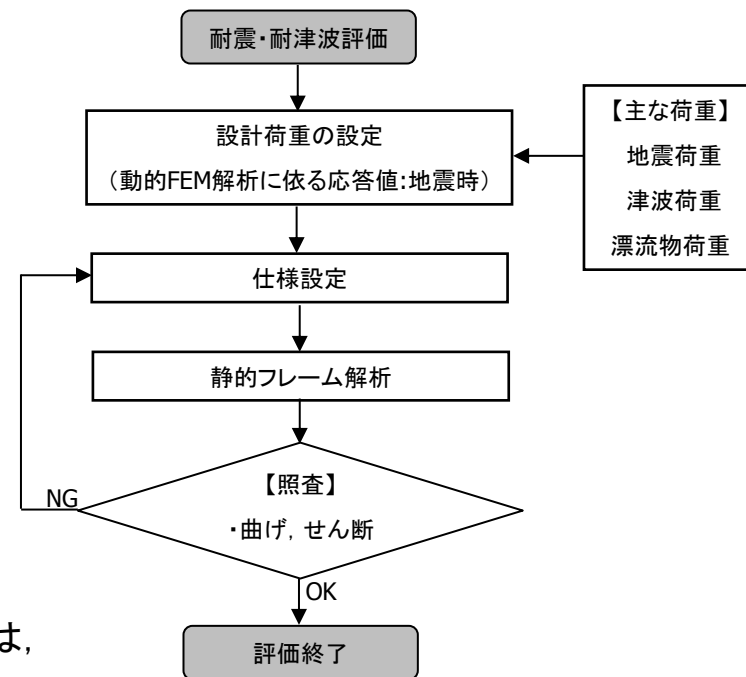
- ・鋼製遮水壁（スキンPL，リブ，補剛環，補強桁）の応力度照査

モデル化方針

- ・鋼製遮水壁は，単純ばりもしくは片持ちばりの線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。

解析条件

- ・津波荷重及び地震荷重，漂流物荷重ははり要素に作用させる。
- ・鋼製遮水壁については，津波荷重が支配的であることから汀線方向については，検討を省略する。



鋼製遮水壁の解析モデル概念図

9. 部位毎の設計方針

9.3.6 頂部はりの検討

解析の目的

- ・頂部はりの各部材の健全性評価（地震時，津波時）

結果の利用

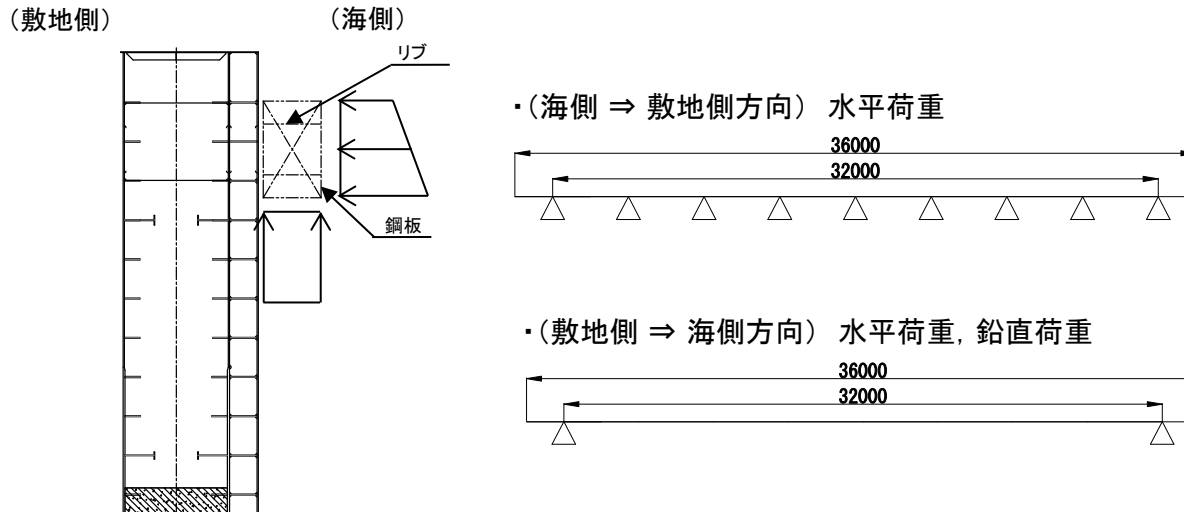
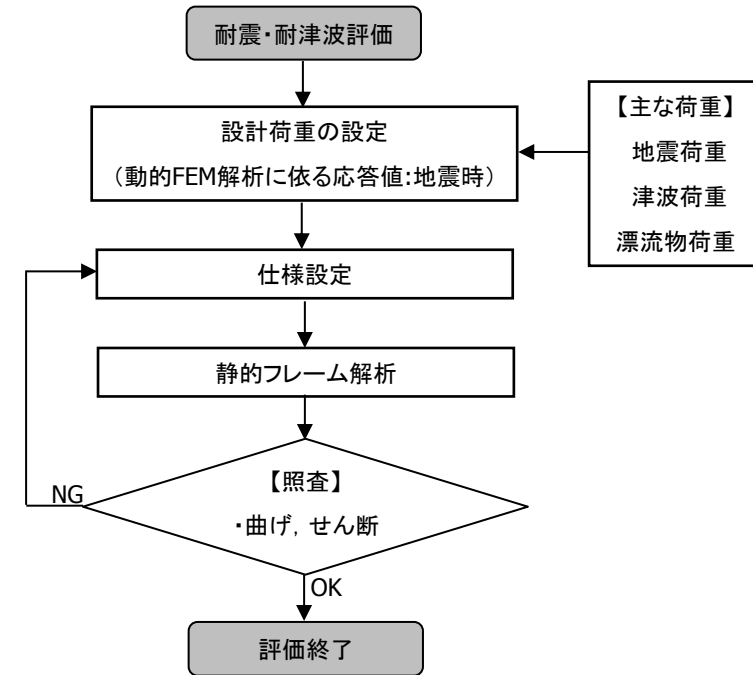
- ・頂部はり（鋼板，リブ，全体系）の健全性評価

モデル化方針

- ・頂部はりは，単純ばりの線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。

解析条件

- ・津波荷重及び地震荷重，漂流物荷重ははり要素に作用させる。
- ・頂部はりについては，津波荷重が支配的であることから汀線方向については，検討を省略する。



頂部はりの解析モデル概念図

余白

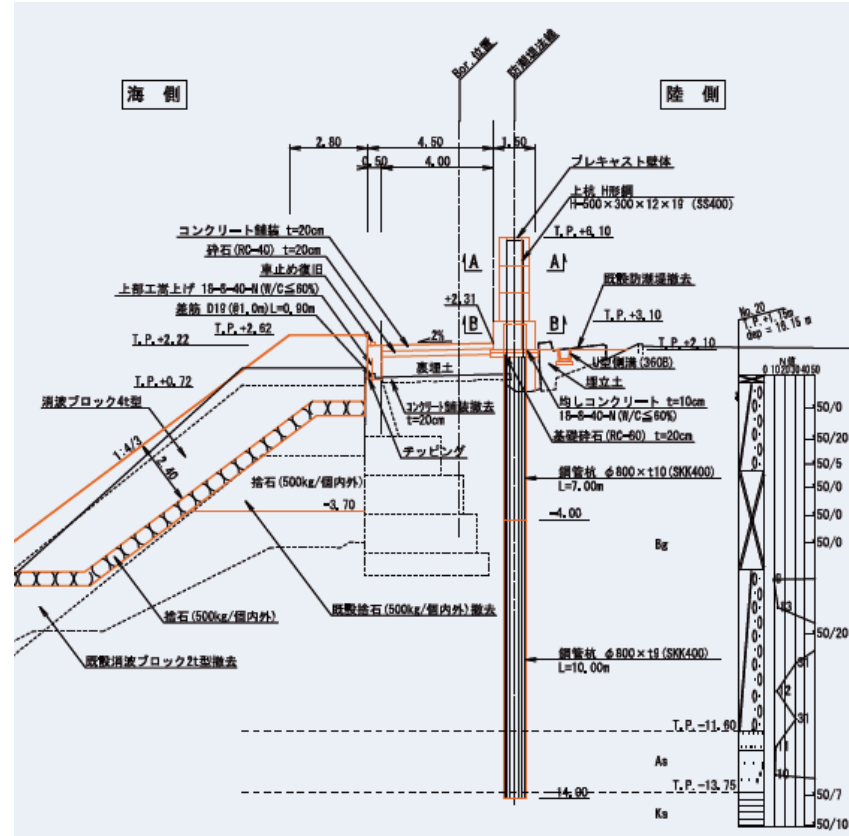
補足説明資料

1. 一般産業施設における類似構造の設計・施工例

1.1.1 釜石港海岸大平地区災害復旧工事

- 延長524.9mの防潮堤の施工において、 $\phi 800$ mmの鋼管杭262本(長さ8.5~17m)をGL+1.0mまで施工して下部工とし、杭頭にGL+4.0mまでH形鋼を立てて、プレキャストコンクリートブロック製の遮水壁を4段で積み上げている。

鋼管杭

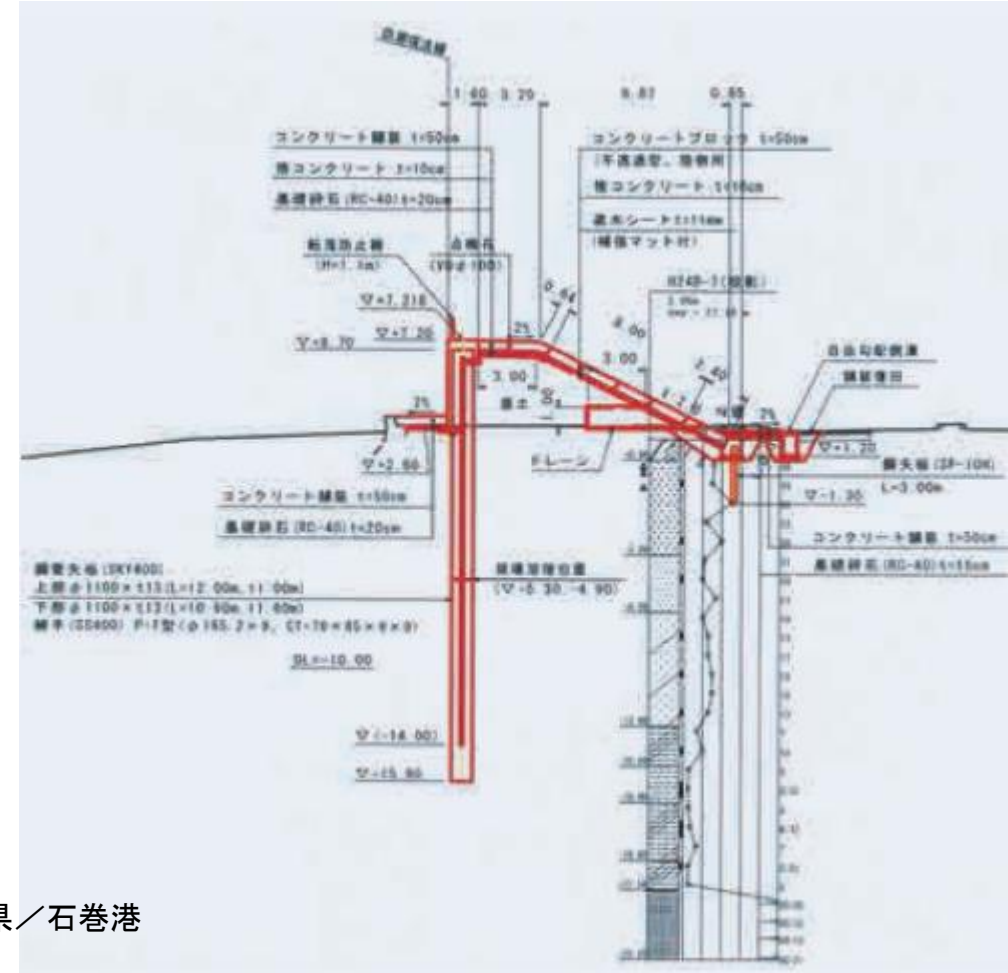


出典：鋼管杭・鋼矢板技術協会 未来フロント NO.83(H27.3) 岩手県／釜石港
http://www.jaspp.com/shiryoutomorrow/pdf/fut_no83.pdf

設計・施工例の情報に係る記載内容については、公開情報をもとに弊社の責任において独自に整理したものです。

1.1.2 石巻港東浜海岸防潮堤災害復旧工事

- 延長1544mの防潮堤の施工において、 $\phi 1100$ mmの鋼管杭1010本(長さ22.6m)をGL+4.7mまで施工して背面を盛土とする自立式鋼管矢板による連続壁を施工し、液状化の際の側方流動の抑制を図っている。

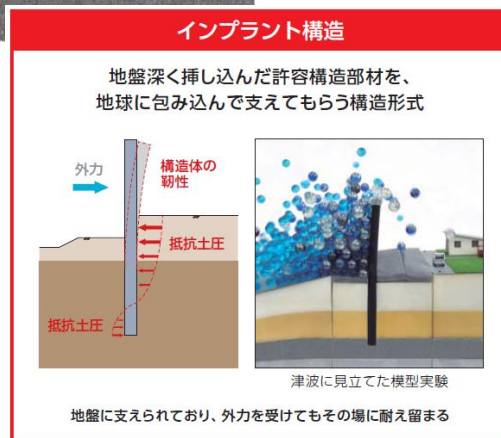
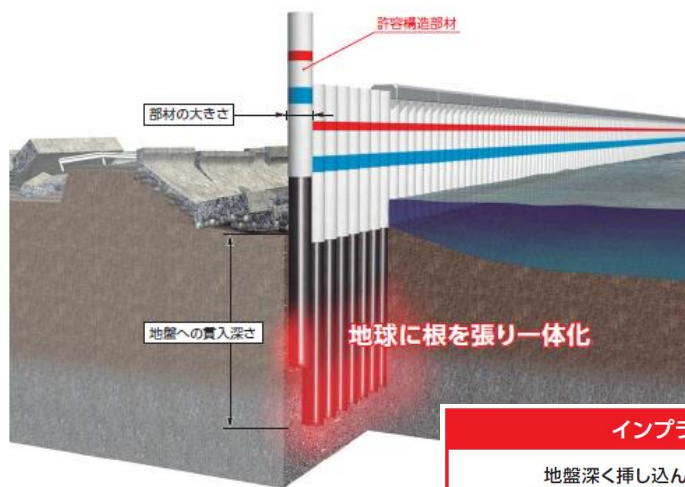


出典：鋼管杭・鋼矢板技術協会 未来フロント NO.83(H27.3) 宮城県／石巻港
http://www.jaspp.com/shiryu/tomorrow/pdf/fut_no83.pdf

設計・施工例の情報に係る記載内容については、公開情報をもとに弊社の責任において独自に整理したものです。

1.1.3 インプラント堤防(概念)

- 国際圧入学会がインプラント構造を推進しており、躯体部と基礎部が一体となった許容構造部材を地盤に挿し込み、「許容構造部材の大きさ」と「地盤への貫入深さ」で水平荷重や鉛直荷重を受け止める構造で、許容構造部材の一本一本が地球に支えられ集合体として高い耐力を発揮するとしている。
- 地震動による地盤変位や津波などの外力に対して、崩壊せずその場に耐え留まる“粘り強い” 防災インフラとして機能するとしている。



	インプラント堤防	地盤改良
平面図		
断面図		
効果	堤防内に剛性の高い鋼管杭を設置することで、地震による液状化や地盤沈降による堤防決壊を防ぐとともに、かさ上げによる高潮、洪水対策の強化も可能。被災しても鋼管杭が堤防機能を保持し、復旧活動にも活用できる。	堤防下の液状化層を地盤改良することで、液状化による被害を防ぐことができるが、堤防本体の補強とはならないため、越流、地盤沈降によって決壊が懸念される。
評価	◎	△

出典: http://press-in.org/files/pub/IPA_ImplantStructure_ver023ja03.pdf

設計・施工例の情報に係る記載内容については、公開情報をもとに弊社の責任において独自に整理したものです。

1.1.3 インプラント堤防(施工例)

- 株式会社技研製作所が開発したインプラント工法を用いた堤防は、鋼管杭連続壁による堤防であり施工実績が多い。



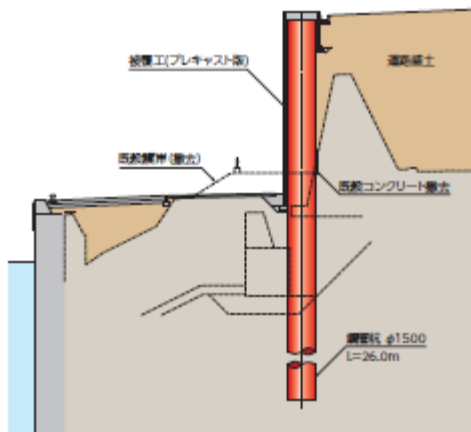
海側

陸側

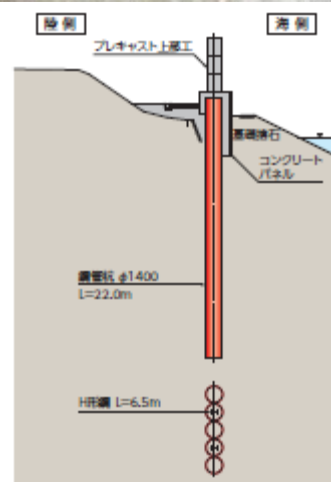


海側

陸側



両石漁港海岸災害復旧工事（岩手県釜石市）
/ 岩手県 沿岸広域振興局



大船渡港永浜地区海岸防潮堤工事（岩手県大船渡市）
/ 岩手県 沿岸広域振興局

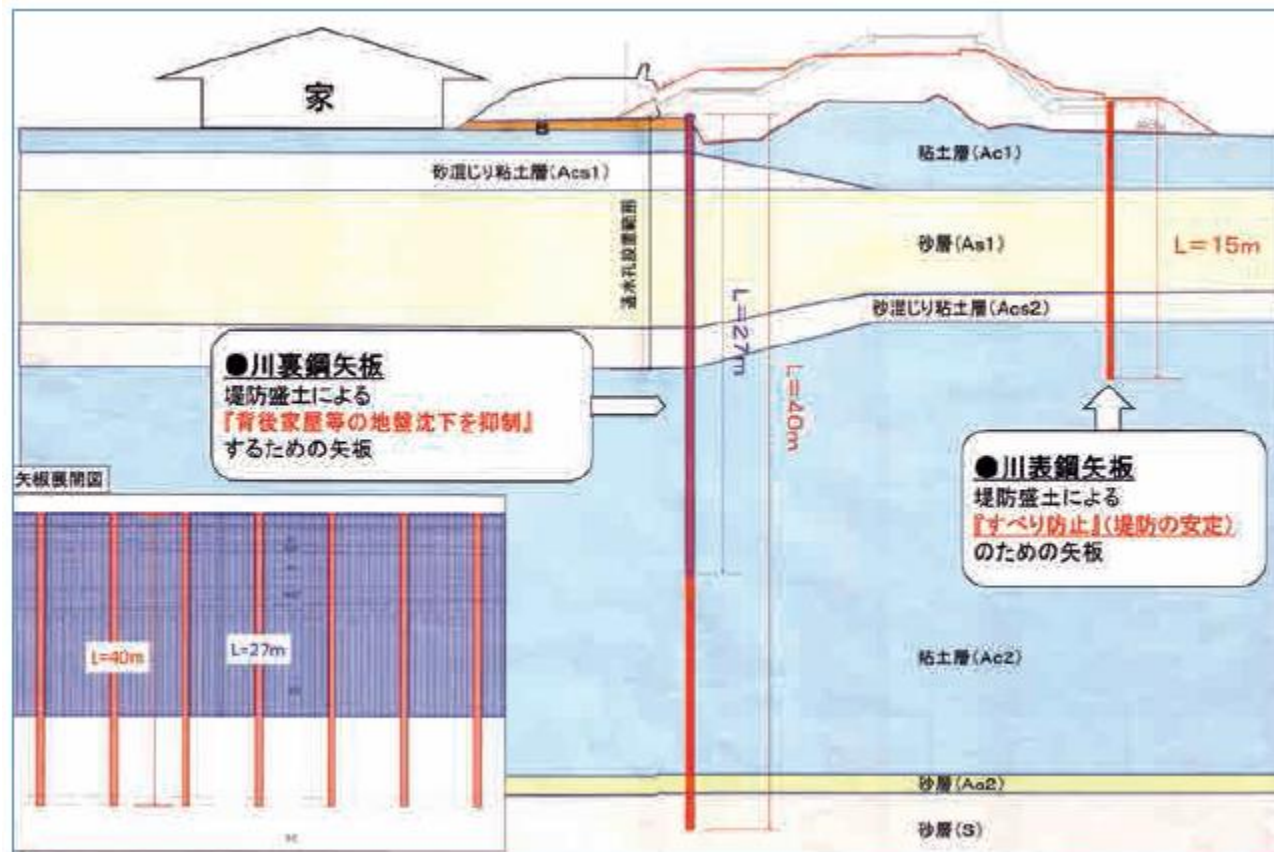
福島第一原子力発電所海側遮水壁
/ 東京電力

出典：株式会社技研製作所 : www.giken.com

東京電力株式会社 : http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2015/images/handouts_151026_06-j.pdf

1.2.1 熊本県緑川海路口下流地区築堤工事

- ・ 圧密沈下層が40~50mと厚く、敷地が狭隘なエリアにおける河川堤防の構築において、数枚に1枚の鋼矢板を支持層まで打設(支柱鋼矢板)し、その間を必要最低限の長さで軟弱地盤の途中までしか打設しないフローティング鋼矢板を組合せるPFS工法を採用している。

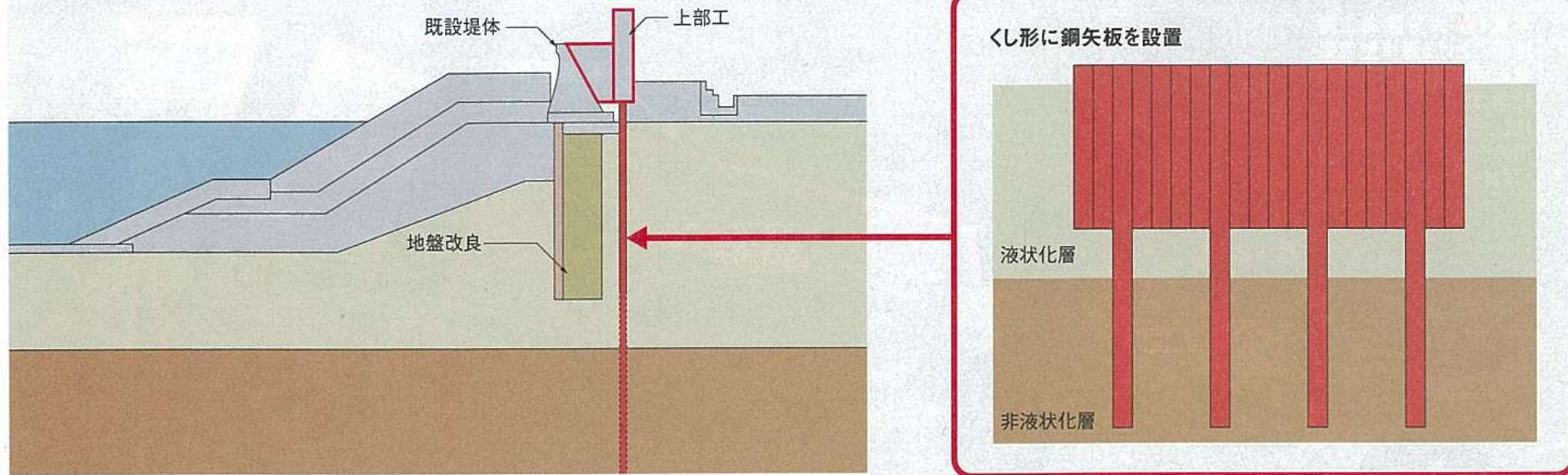


出典： 鋼管杭・鋼矢板技術協会 未来フロント NO.83(H27.3) 緑川海路口下流地区築堤工事
http://www.jaspp.com/shiryoutomorrow/pdf/fut_no83.pdf

1.2.2 大分臨海工業地帯 沿岸の液状化対策工事

- 護岸の延長が長く、さらに近接箇所に道路やパイプラインがある堤防の液状化対策として、堤防の陸地側の地盤に鋼矢板を並べて打ち込み、数本おきに非液状化層まで到達する長い鋼矢板を組み込んだ「くし」型の対策工を採用している。これにより、液状化による側方流動で鋼矢板が土圧を受けても、長い鋼矢板によって沈下を防ぐため、鋼矢板の壁が高さを保ち津波の侵入を防ぐ。

図2 ■ 鋼矢板で築いた壁による側方流動対策



堤防の背後に、鋼矢板を並べて打ち込んで壁を設ける。数本おきに非液状化層に届く長い鋼矢板を組み込んでおく。地上に出ている部分は、コンクリートを巻き立てた壁とする。国土交通省の資料を基に本誌が作成

出典： 大分臨海工業地帯 沿岸の液状化対策事例 くし形鋼矢板(日経コンストラクション2017.05.22)

1.3.1 設計例(1/3)

- 女川の防潮堤は、盛土堤防の下部や一般部の改良地盤直下に分布する盛土や旧表土(以下、盛土・旧表土と記載する。)の沈下を許容した設計を行っている。
- 構造物直下の地盤の沈下を考慮した設計は、下記の通り一般的に行われている。

パイルド・ラフト基礎

パイルド・ラフト(Piled Raft)基礎は、異なる基礎型式を併用する「併用基礎」の1つであり、直接基礎(ラフト)と杭基礎(パイル)を複合して1つの構造物に用いる基礎形式である。

杭基礎の設計では、基礎スラブ底面の地盤の抵抗力を無視するのが原則であるが、パイルド・ラフト基礎の設計の考え方は、ある程度の沈下量に対する制約条件(要求性能)を満たした場合に、基礎底面における地盤の抵抗力を積極的に利用して基礎の合理化を図ろうとする「沈下量重視の設計コンセプト」に基づく「性能設計法」の一種である。

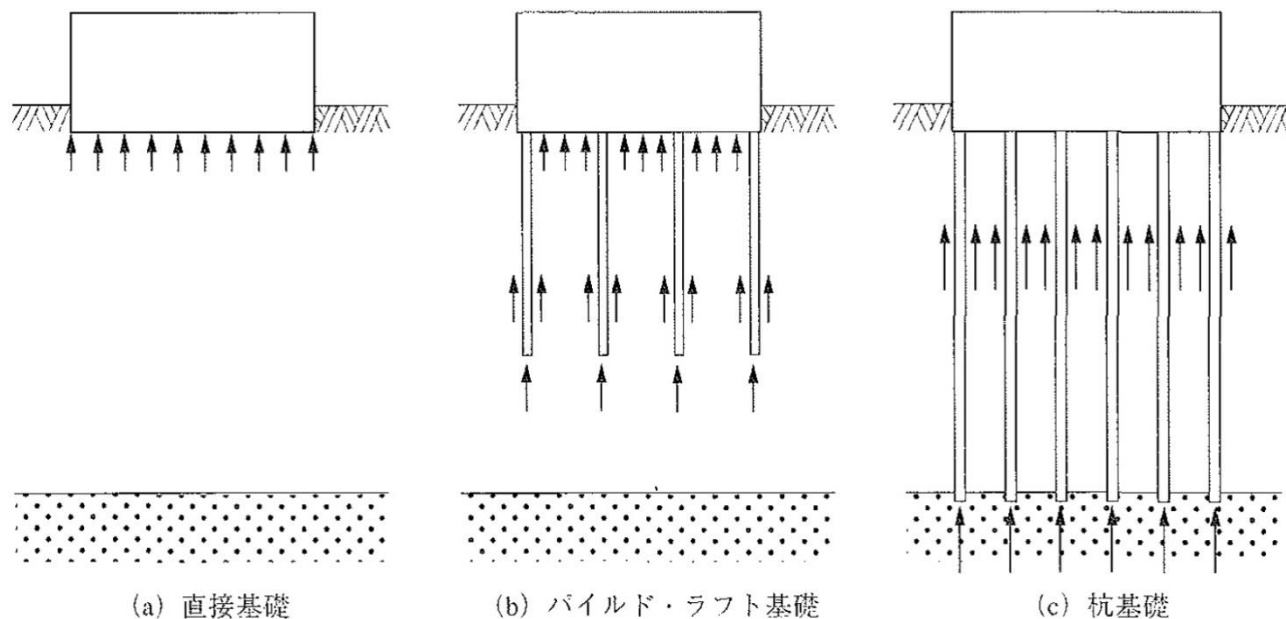


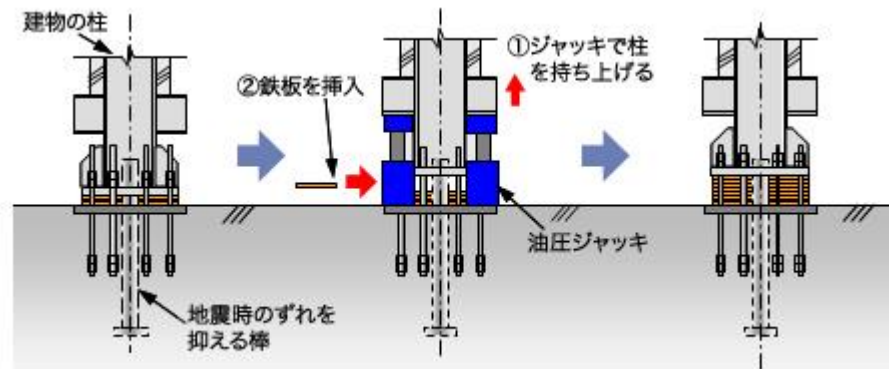
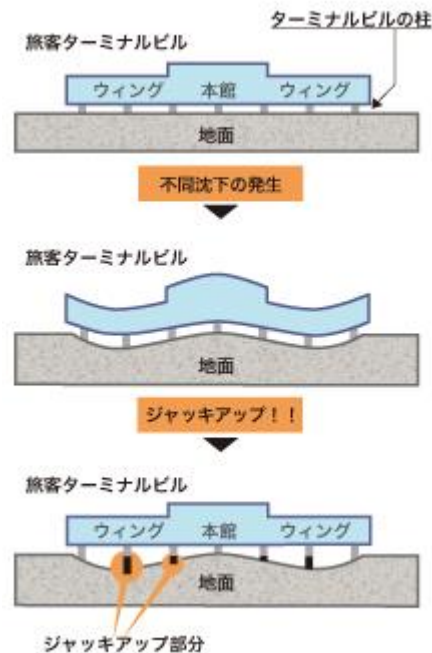
図 7.3.1 基礎形式

1.3.1 設計例(2/3)

関西国際空港 不同沈下対策(べた基礎, ターミナルビルのジャッキアップ等)

土地が均一に沈下すれば空港施設の構造や機能への影響はないが、場所によって沈下量が違う場合(不同沈下)、構造物にゆがみが出るなど問題が発生する。そこで、関西国際空港では不同沈下対策として以下のような対策を講じている。

- ・べた基礎 : コンクリートの土台を直接、地面に置くことで、不同沈下しても、建物全体が沈下するように工夫。
- ・埋立層の締め固め : 30mにも及ぶ埋立の土が、地震などで縮まないように、締め固めを実施。
- ・排土バランス : 建物が重い場合には、土を取り除いて軽くするなど、出来る限り地盤に加わる重さが周りと変わらないように工夫。
- ・ジャッキアップ : 不同沈下でわずかに建物に傾きが出てきた場合に、建物の1本1本の柱をジャッキで持ち上げて鉄板のプレートを挟み、建物の傾きを調整するしくみ。

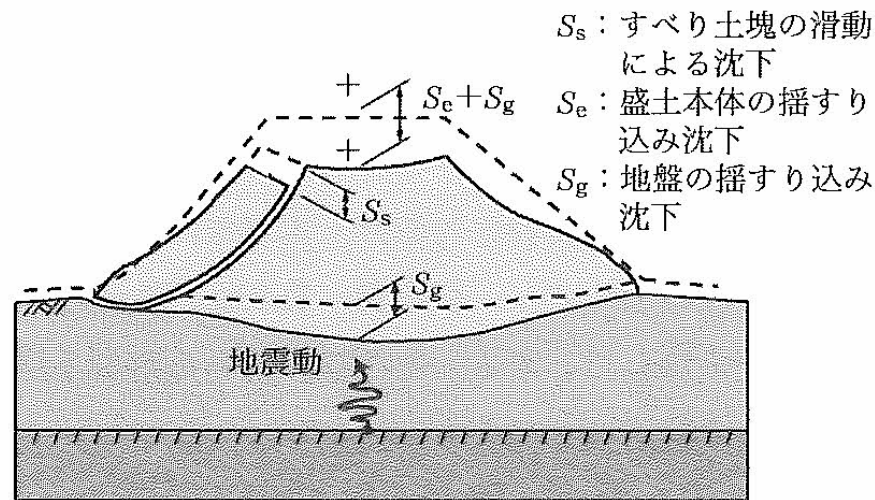


出典：関西エアポート株式会社 不同沈下対策 ~ジャッキアップ技術~
<http://www.kansai-airports.co.jp/efforts/our-tech/kix/sink/hudou.html>

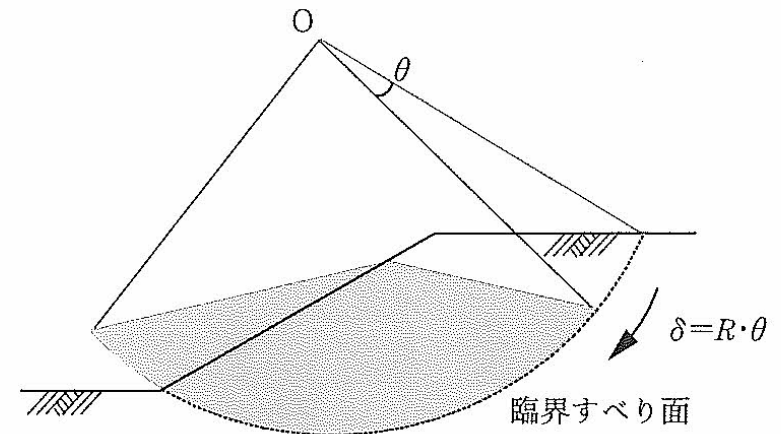
1.3.1 設計例(3/3)

鉄道基準の盛土の設計例

盛土の地震時挙動は高架橋等の他の構造物と異なり、一方向に変位が累積しやすく、一般に加速度応答の増幅の影響が少ない等の特徴を有する。そのため、盛土の地震時残留変位量は地震動の大きさだけでなく、降伏震度を超える地震動の作用回数及び継続時間の影響を大きく受ける。実務設計においては、盛土の残留変位量を算定する手法としてニューマーク法が普及している。ニューマーク法は、すべり土塊が剛体であり、すべり面における応力-ひずみ関係が剛塑性であると仮定して、すべり土塊の滑動変位量を計算する方法であり、盛土の特性を直接的に考慮できる手法である。



解説図 12.1.1 盛土の地震時沈下量の模式図



付属図 12.2.1 ニューマーク法による盛土の滑動変位の模式図

準拠基準 : 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 平成24年9月, p.165-170

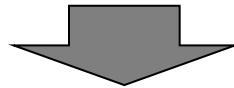
補足説明資料

2. 地下水位の設定について

2.1 地下水位の設定の考え方

代表断面の選定

- 防潮堤の地下水位は、防潮堤の構造成立性に対して最も厳しい条件となる代表断面を選定し、その断面で設定する。
- 防潮堤の代表断面は、盛土・旧表土の層厚が大きいエリアのうち、液状化の評価が厳しくなるよう、地下水位が相対的に高いと想定される位置にて選定する。また、地下水位は、保守的に高くなるよう設定する。これは、防潮堤直下の岩盤レベル及び盛土・旧表土層厚は、防潮堤延長方向に変化するが、地下水位以深の盛土・旧表土は液状化検討対象層となり、構造成立性確認においてはこの層厚が重要な検討要素となるためである。
- なお、代表断面位置の検討にあたっては、発電所構内に設置した地下水位低下設備及び防潮堤海側に存在する低透水層(地中連続壁(ソイルモルタル))の地下水位低下効果を考慮するものとした。
- 地下水位低下設備の概要を次頁『2.2 地下水位設定において考慮した事項(1/3)』、地中連続壁(ソイルモルタル)の概要を『2.2 地下水位設定において考慮した事項(3/3)』に示す。

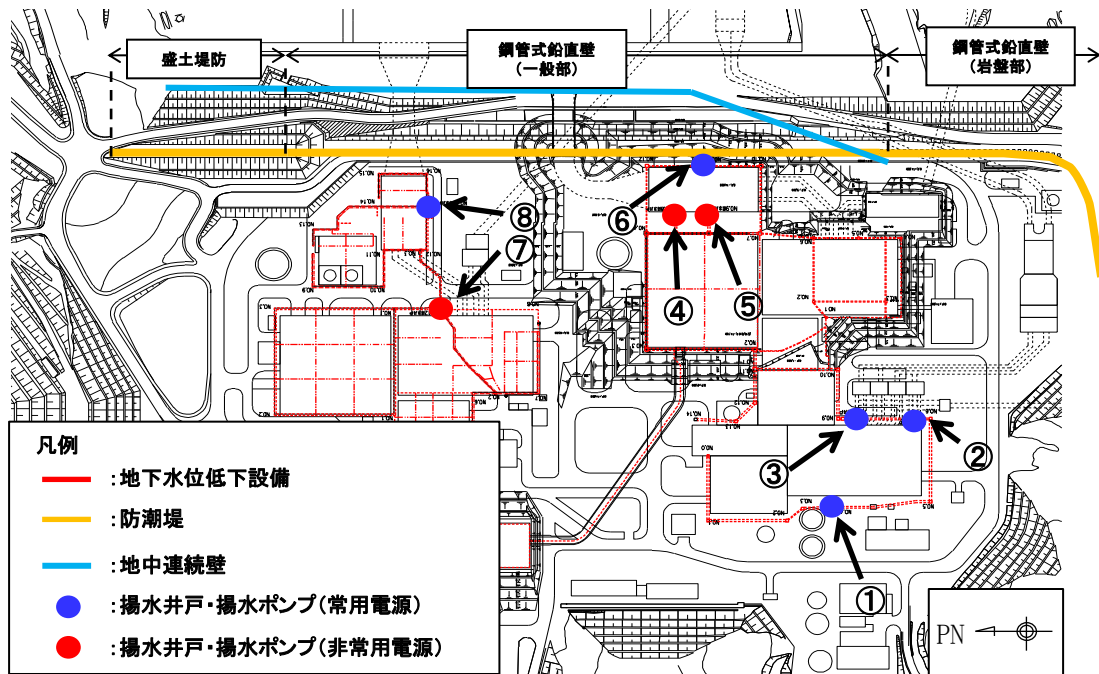


地下水位の設定と妥当性の検証

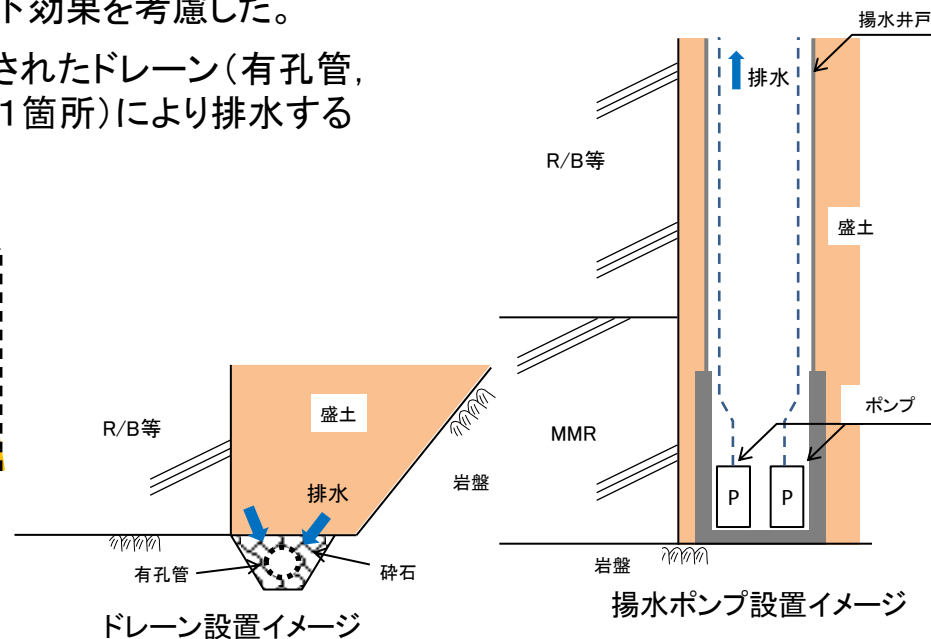
- 雨水(表面水)は排水路より流出されること、発電所敷地の地下水位低下設備で常時地下水位を制御していることから定常的な流れ場であるため、暗渠の地下水位公式(Sichardt の式(土質工学会 1991))を適用し、水位観測記録によりその妥当性を確認する。
- なお、水位観測結果がない場合や、他の要因による水位変動が懸念される場合は、別途地下水位の保守的な設定を検討する。

2.2 地下水位設定において考慮した事項(1/3)

- 地下水位の設定にあたり、地下水位低下設備による地下水位低下効果を考慮した。
- 地下水位低下設備は、各号炉に主要建屋周辺の基盤面に設置されたドレーン(有孔管, φ100mm~1,050mm)より揚水井戸に集水し、揚水ポンプ(2台/1箇所)により排水する設備である。



地下水位低下設備 設置位置図



※2号炉主要建屋周辺の地下水位低下設備による1日当たりの地下水揚水量は多いときで800m³/日程度である。全ての揚水ポンプが故障してこの量を揚水できなくなったと仮定しても、地下水位の上昇量は1時間で最大10cm程度と推定される。

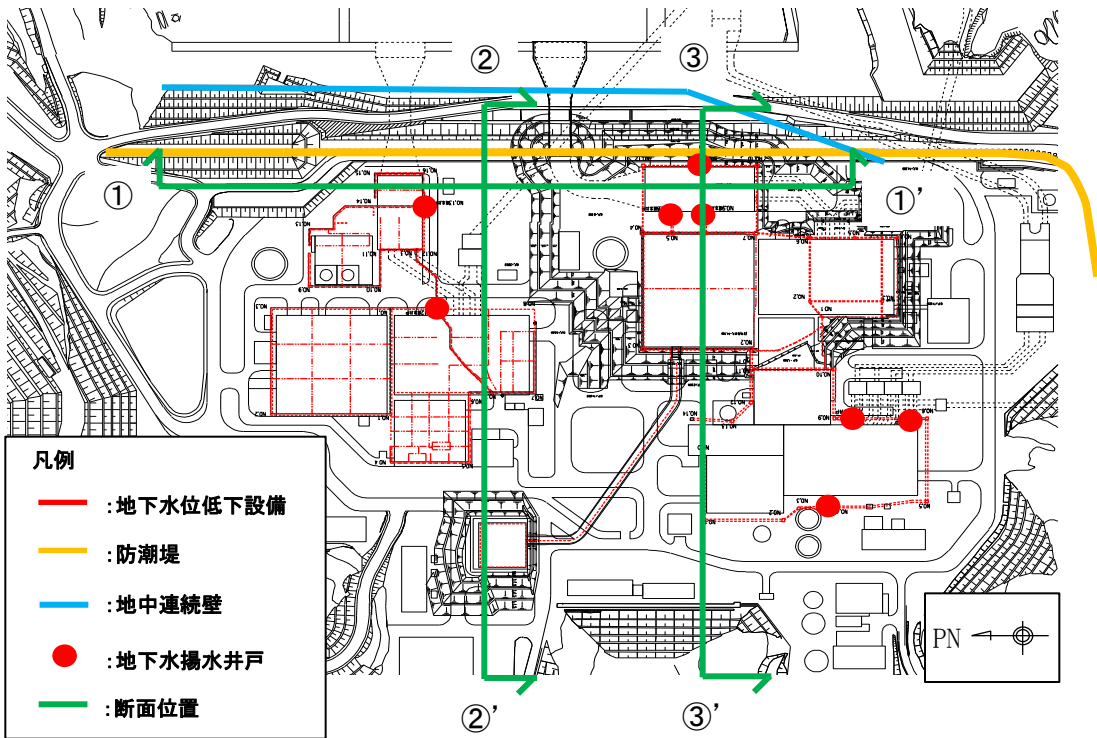
(地下水位低下設備に係る補足説明)

- 各揚水井戸には2台/1箇所のポンプを常時設置しており、設定水位以下を維持するように排水している。
- 2号炉及び3号炉の一部のポンプ(④, ⑤, ⑦)は非常用電源に接続しており、常用電源が停止した場合でもポンプが停止することはない(①~③, ⑥, ⑧のポンプは常用電源に接続)。
- 一部のポンプが故障した場合にも速やかに交換できるように、予備ポンプを配備する。
(地震や電源支障等により揚水ポンプが停止した場合でも、地下水位が急激に上昇することは考えにくい※)
- なお、地下水位低下設備は耐震Sクラスではないものの、3.11地震後においても地下水位低下設備は機能を維持した。

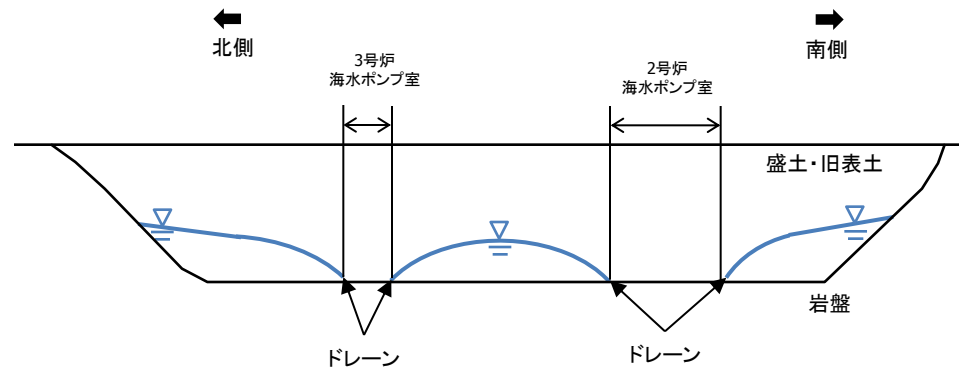
2.2 地下水位設定において考慮した事項(2/3)

地下水位低下設備

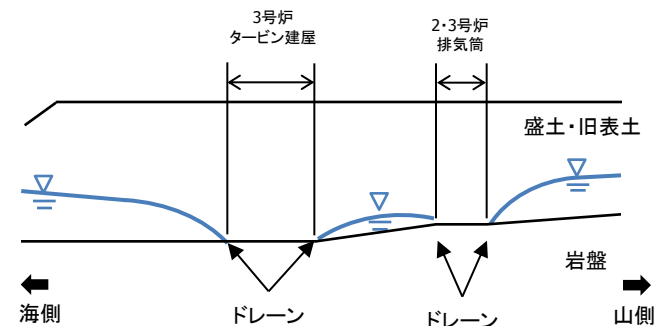
- 地下水位低下設備による地下水位低下のイメージを示す。



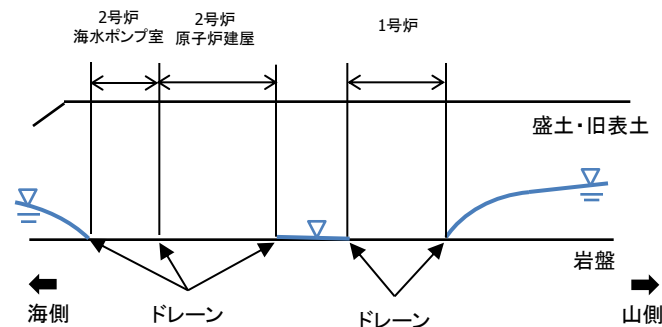
地下水位低下設備 設置位置図



地下水位イメージ図(①-①'断面)



地下水位イメージ図(②-②'断面)

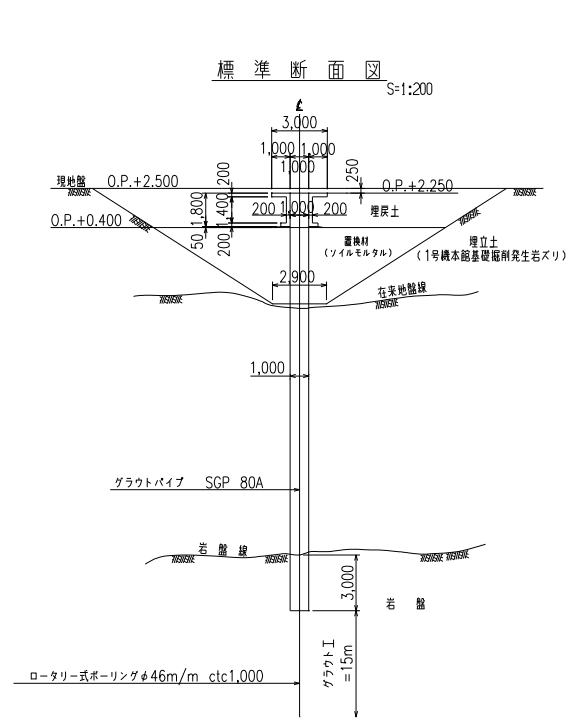
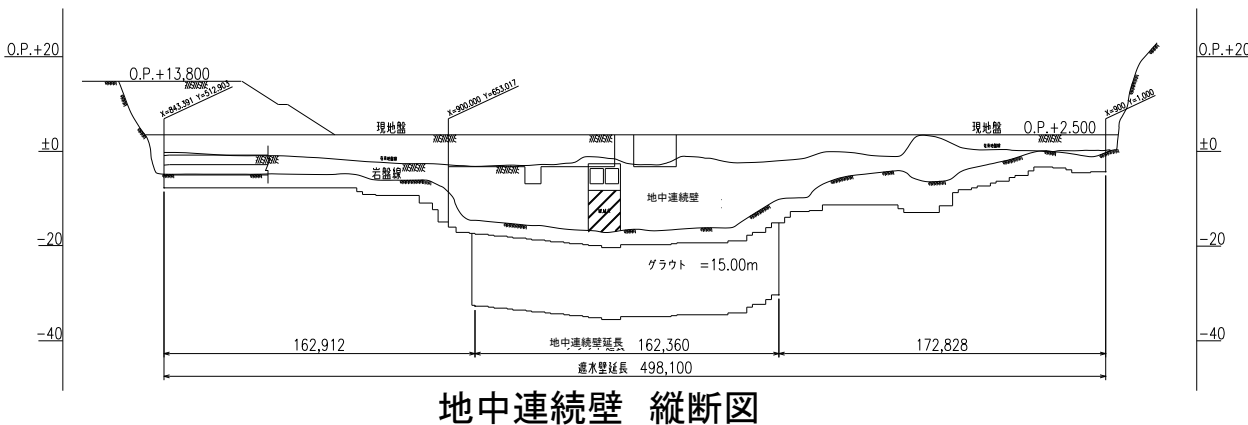


地下水位イメージ図(③-③'断面)

2.2 地下水位設定において考慮した事項(3/3)

地中連続壁(ソイルモルタル)

- 地下水位の設定にあたり, 防潮堤海側に施工した地中連続壁(ソイルモルタル)により透水性の低い層が連続的に存在し, 観測により地下水位低下効果が確認されていることから, この地中連続壁を鋼管式鉛直壁(一般部)の地下水位設定において考慮する。
- 地中連続壁(ソイルモルタル)は, 発電所建設時において, 海側から敷地側への地下水の浸透に対し, 地下水揚水量の低減, 施工性の向上(ドライワーク)を目的として敷地護岸沿いに施工したものである。



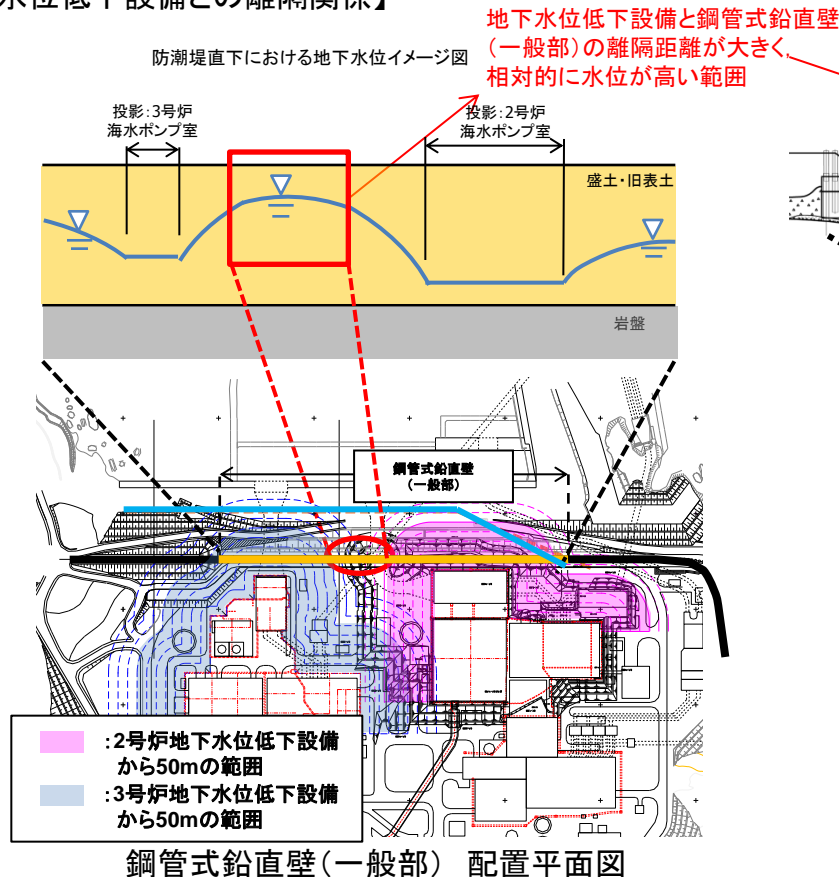
(地中連続壁(ソイルモルタル)に係る補足説明)

- 透水系数: $1 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 程度 (盛土・旧表土 $3 \times 10^{-5} \text{m/s}$)
- 配合: 土 $1,150 \text{kg/m}^3$, 水 520kg/m^3 , セメント系固化材 150kg/m^3
- 一軸圧縮強度: 0.98N/mm^2

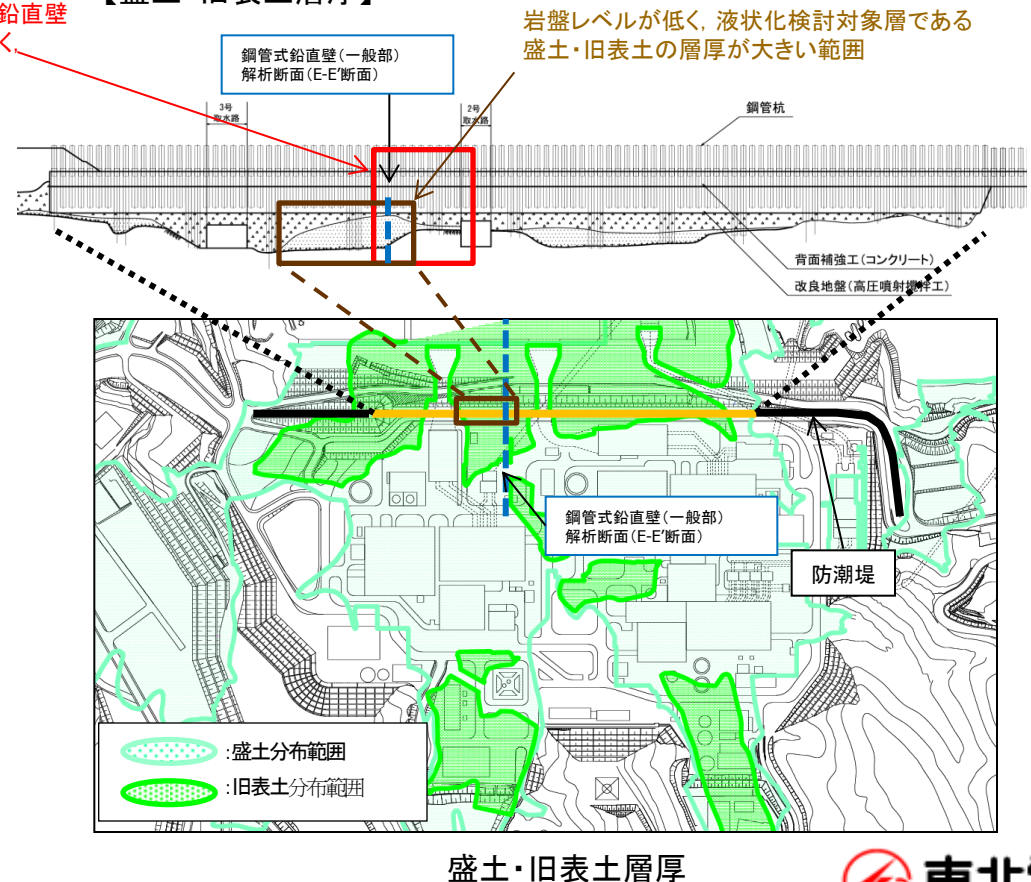
(1) 代表断面の選定(1/2)

- 地下水位低下設備と鋼管式鉛直壁(一般部)の離隔関係より, 防潮堤中央付近は地下水位低下設備からの離隔が相対的に大きく, 当該設備による水位低減効果を受けにくいエリア(相対的に地下水位が高い)と考えられる。
- 地下水位以深の盛土・旧表土は液状化検討対象層となるため, 防潮堤の構造成立性確認においては盛土・旧表土が厚くなる箇所, 特に液状化強度が小さい旧表土の厚さが大きい箇所が解析上厳しいことから, 旧表土が厚く分布するところで水位が高くなる場所を選定する。

【地下水位低下設備との離隔関係】

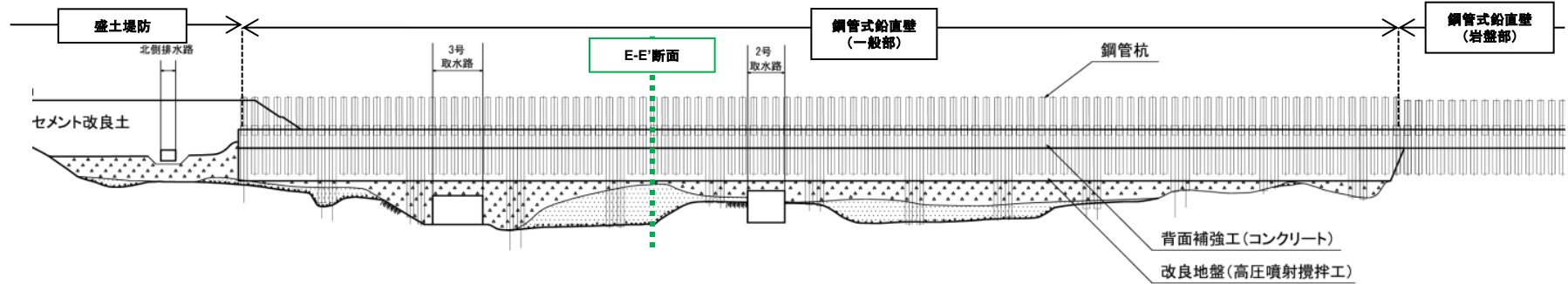


【盛土・旧表土層厚】

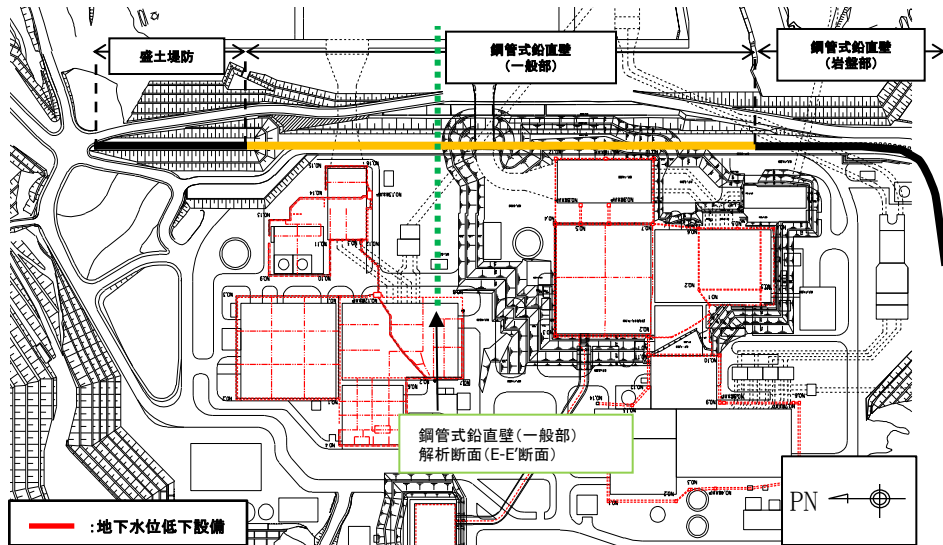


(1) 代表断面の選定(2/2)

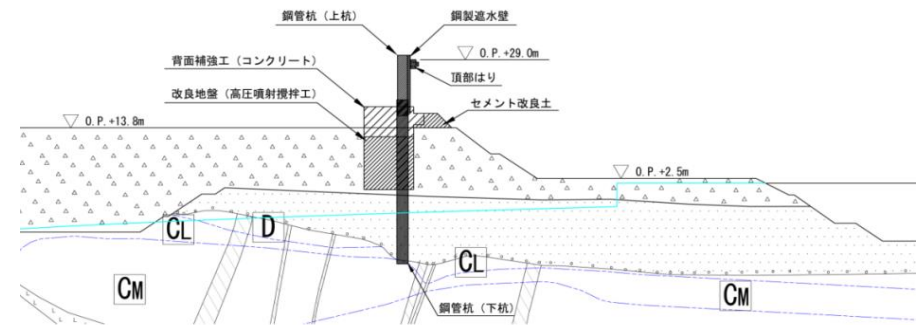
- 鋼管式鉛直壁(一般部)の代表断面は、旧表土層厚が最も大きく、かつ相対的に地下水位が最も高くなる箇所からE-E'断面を選定した。



鋼管式鉛直壁(一般部) 地質縦断面図



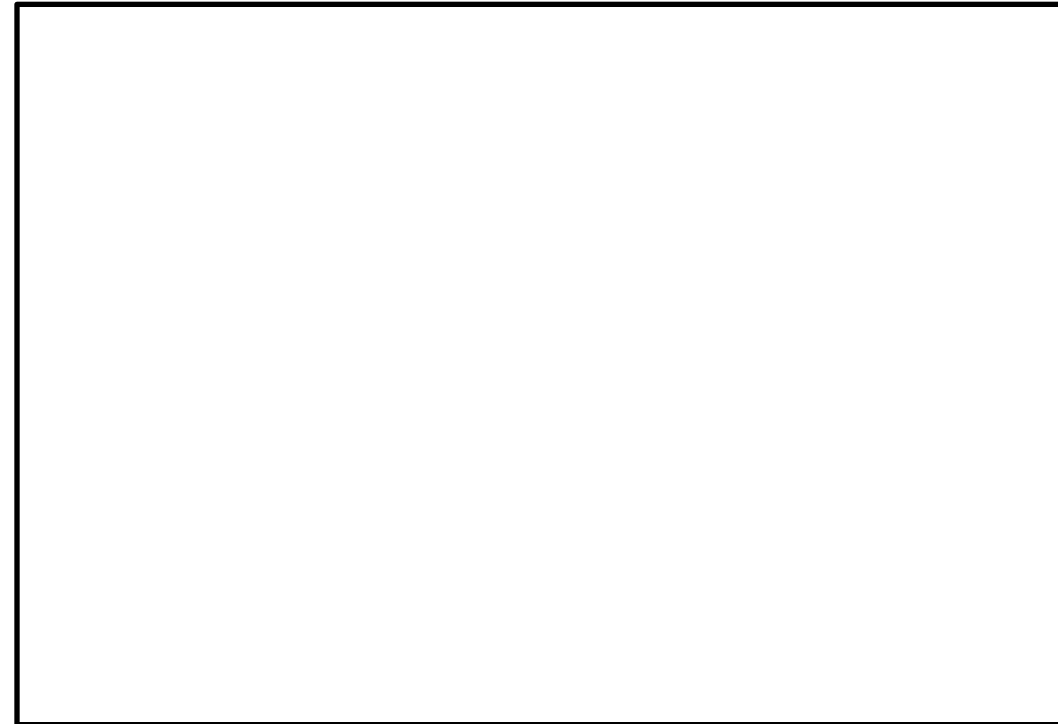
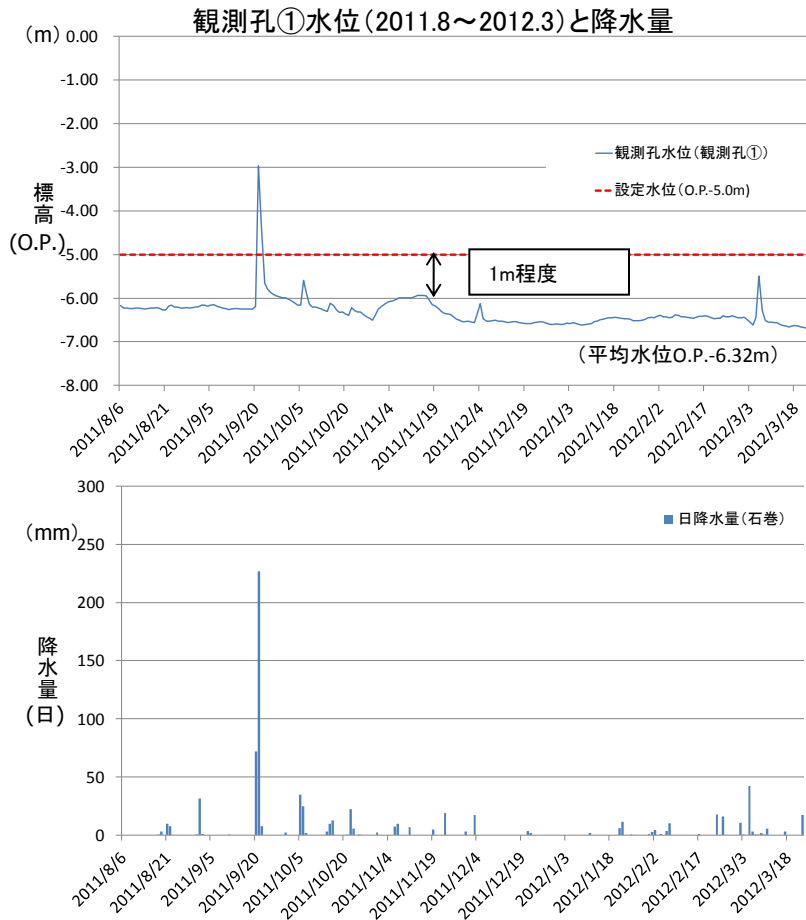
鋼管式鉛直壁(一般部) 配置平面図



E-E'断面 地質断面図

(2) 地下水位観測結果 (地下水位の設定に用いる境界条件)

- E-E' 断面上の観測孔①において、観測された水位はO.P.-6.0m前後で安定している。
- 降雨と連動した水位の変動が見られるが、水位は降雨後すぐに低下しており、その影響は小さい。また、海水面に比べて低くなっていることから、地中連続壁による地下水位低下効果と考えられる。
- なお、2011年9月に急激な水位上昇が観測されているが、観測孔への雨水流入が原因であり、地下水位の上昇に対応するものではない。
- 観測結果から、観測孔①地点での地下水位を保守的にO.P.-5.0mとし、地下水位の設定に用いる。

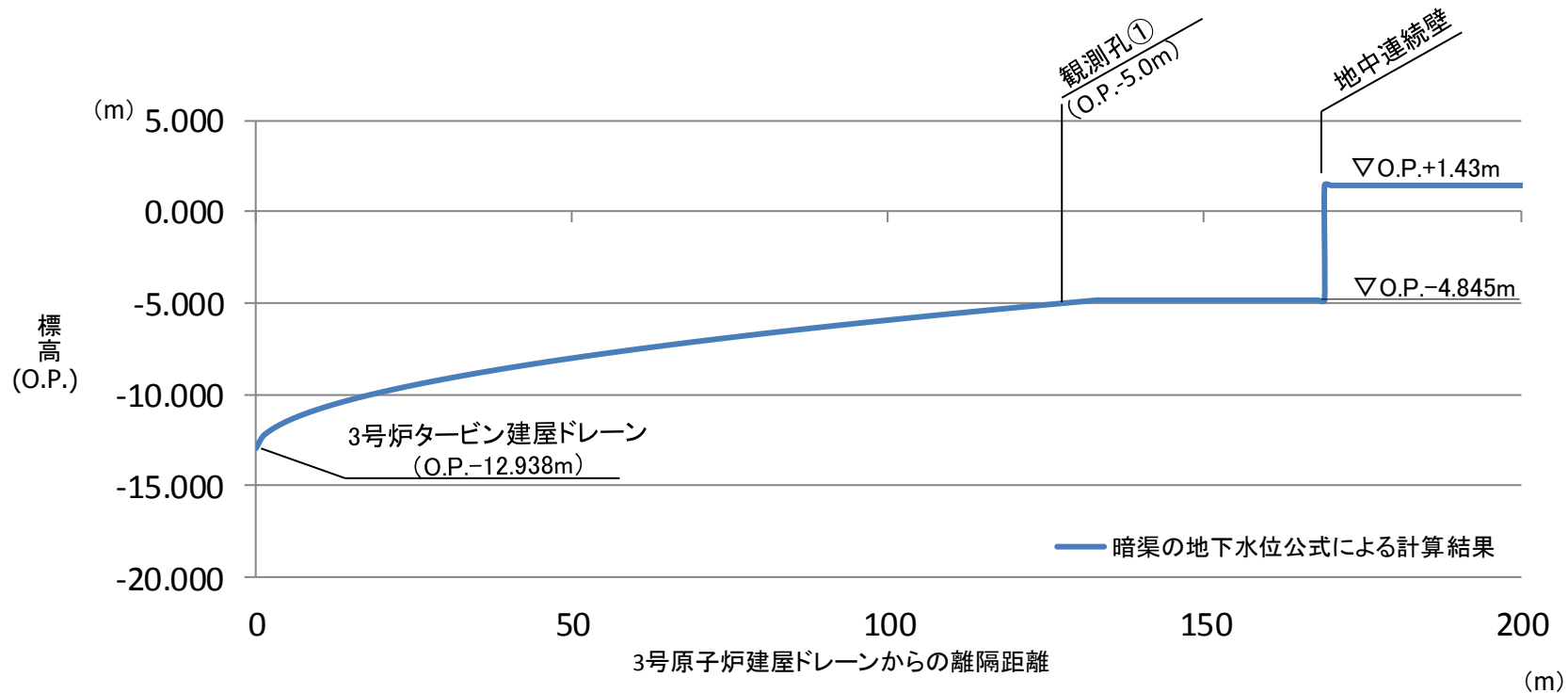


地下水位観測位置および地下水位低下設備配置図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

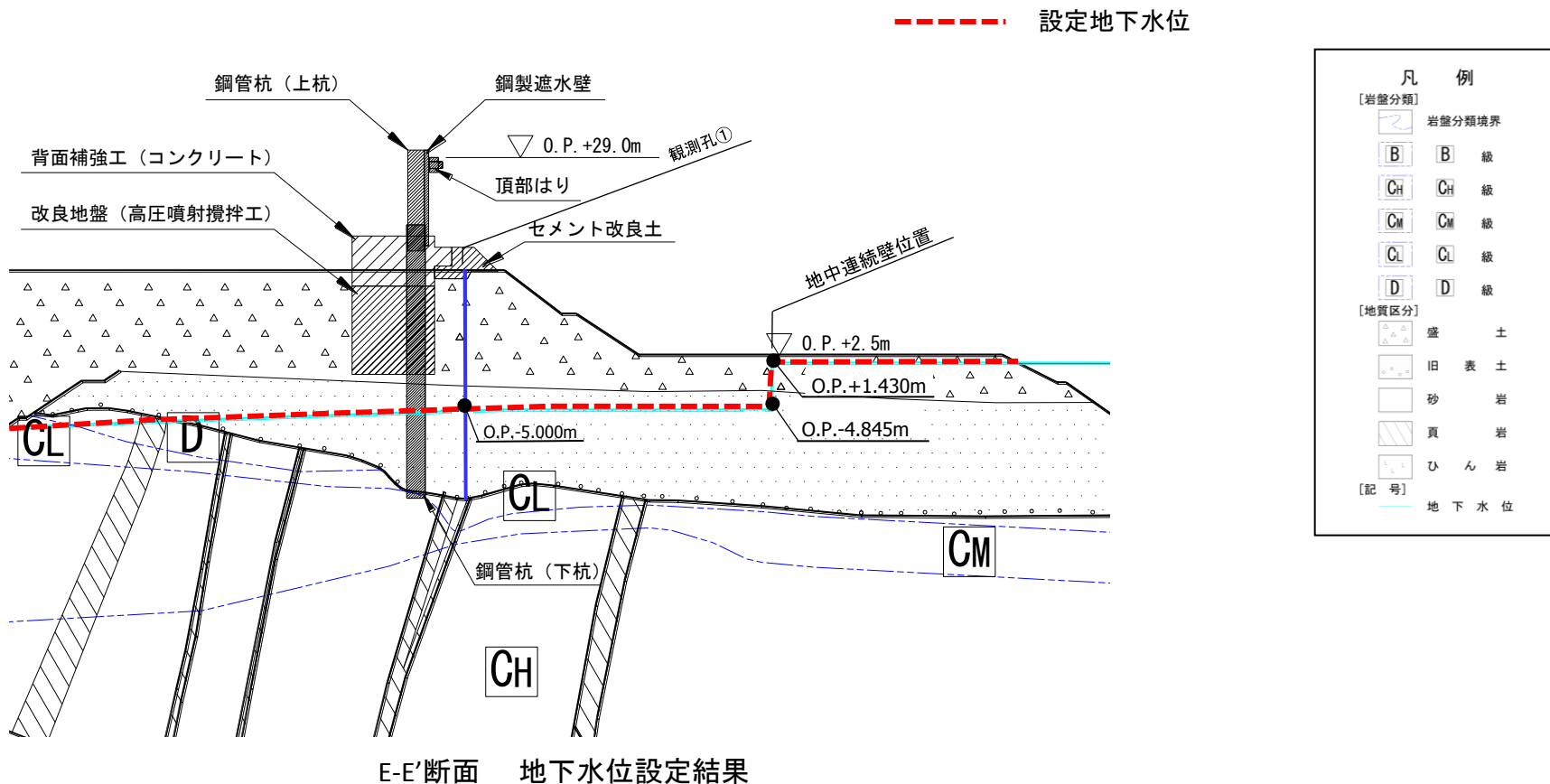
(3) 地下水位の設定(1/2)

- 暗渠の地下水位公式により, 地下水位の設定を行う。
- 前頁で設定した観測孔①の水位 (O.P.-5.0m) 及び3号炉タービン建屋の地下水位低下設備ドレーン管中心高さ (O.P.-12.938m) を境界条件として, 地中連続壁より敷地側の地下水位を設定する。
- なお, 地中連続壁より海側は保守的に朔望平均満潮位 (O.P.+1.43m) とする。



暗渠の地下水位公式 水位設定図

- 設定した地下水位を示す。次頁以降に地下水位観測記録を用いた妥当性確認結果を示す。



(4) 設定水位の妥当性確認 (1/3)

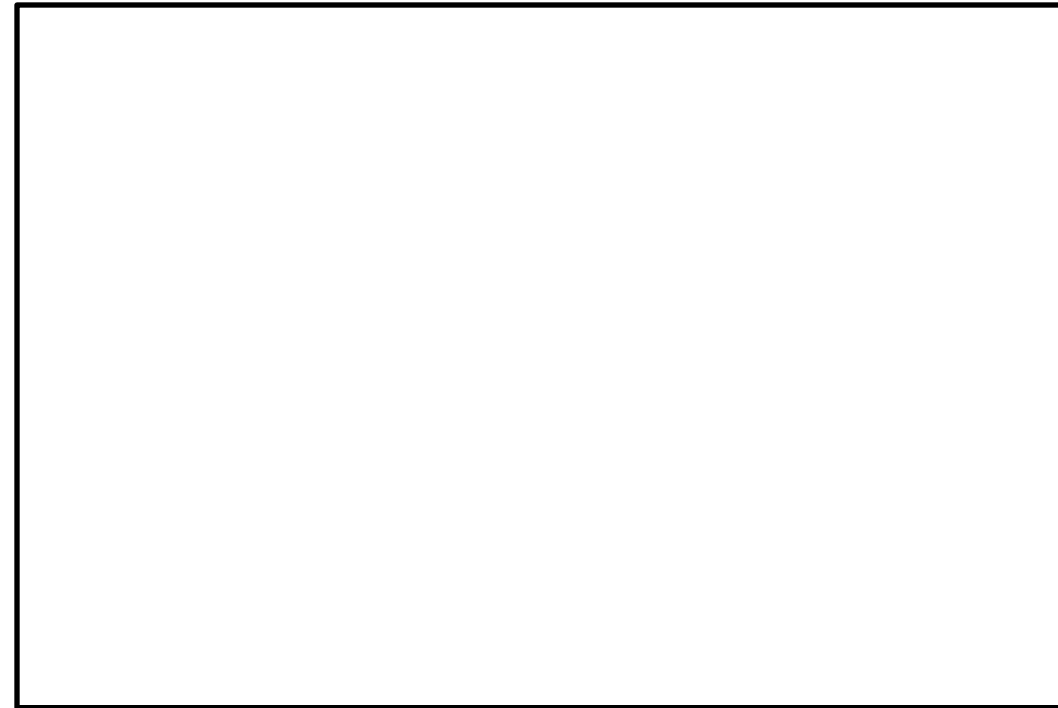
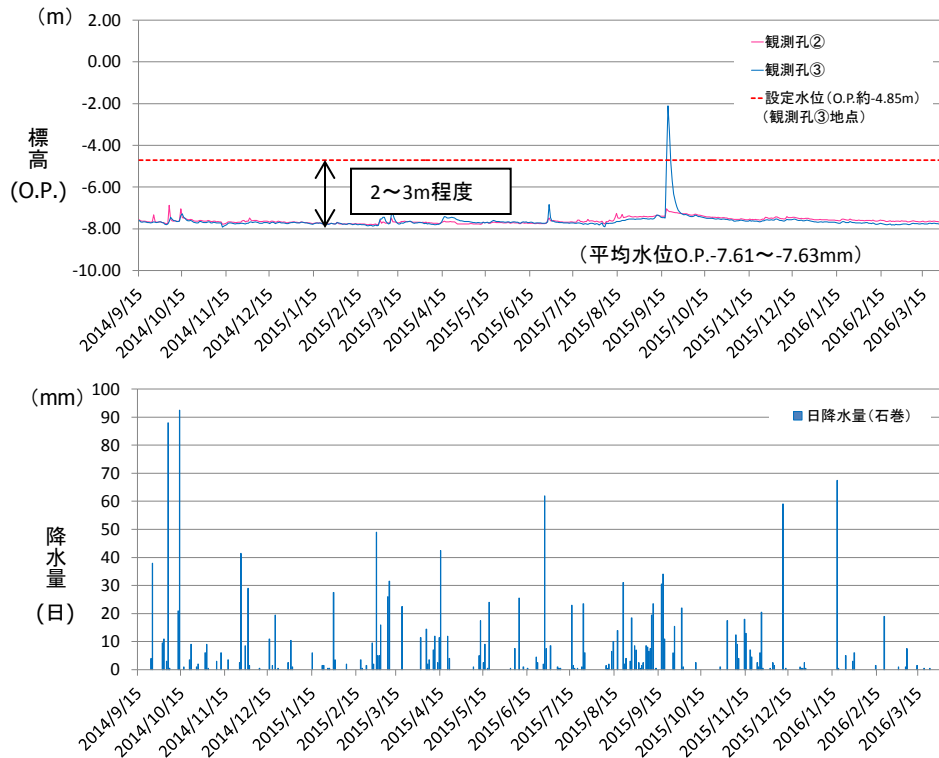
■ 検証に用いた記録

- 地中連続壁の山側(②・③)及び海側(⑥・⑦)において取得した地下水位観測記録を用いた。

■ 観測孔②・③の観測結果

- E-E'断面上の観測水位(観測孔②・③)は、O.P.約-7m~-8mで安定しており、降水と連動した水位の変動は見られない。
- 観測孔③にて、2015年9月に一時的な水位上昇が見られたが、観測孔への雨水流入が原因であり、地下水位の上昇に対応するものではない。(近傍の観測孔②では水位の上昇は見られていない)
- 以上より、設定水位は観測水位に対し裕度があり、妥当であることを確認した。
- なお、観測期間は1年半程度であるが、排水路は既往最大の時間降水量(91mm/h;石巻, 200年確率降水量に相当)を排水できる能力があり、雨水(表面水)による地下水位への影響は小さく、付近の地下水は定常的な流れの場となっており、このデータによる検証は可能である。

観測水位②・③(2014.9~2016.3)と降水量



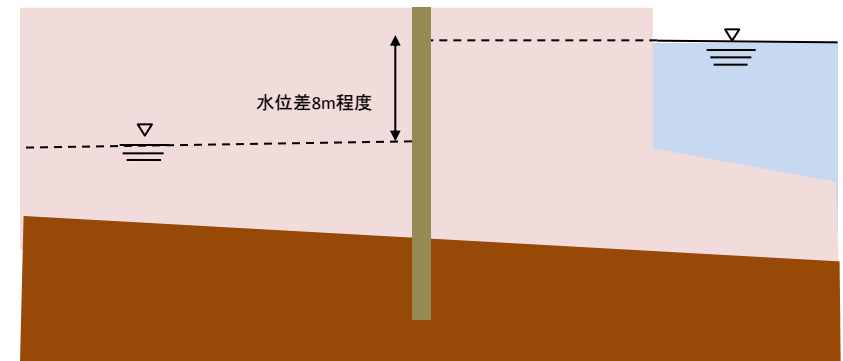
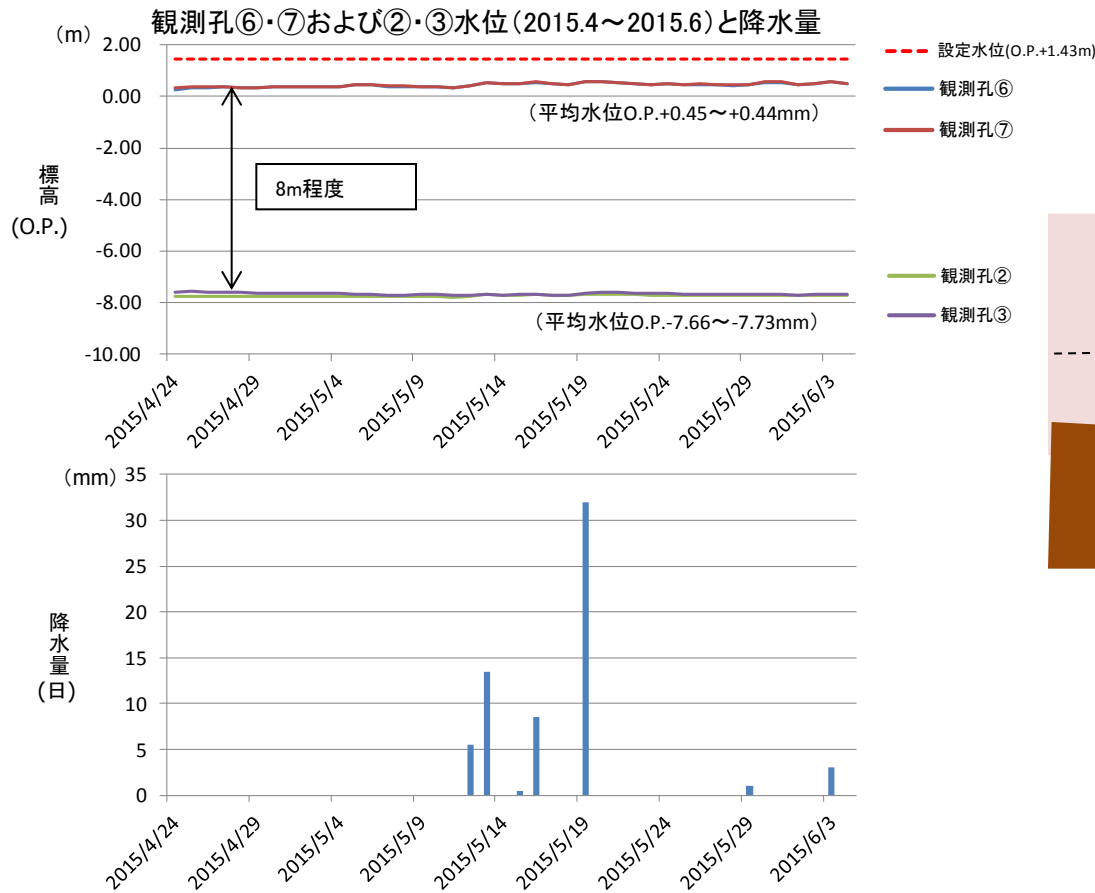
地下水位観測位置および地下水位低下設備配置図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

(4) 設定水位の妥当性確認 (2/3)

■ 観測孔⑥・⑦の観測結果

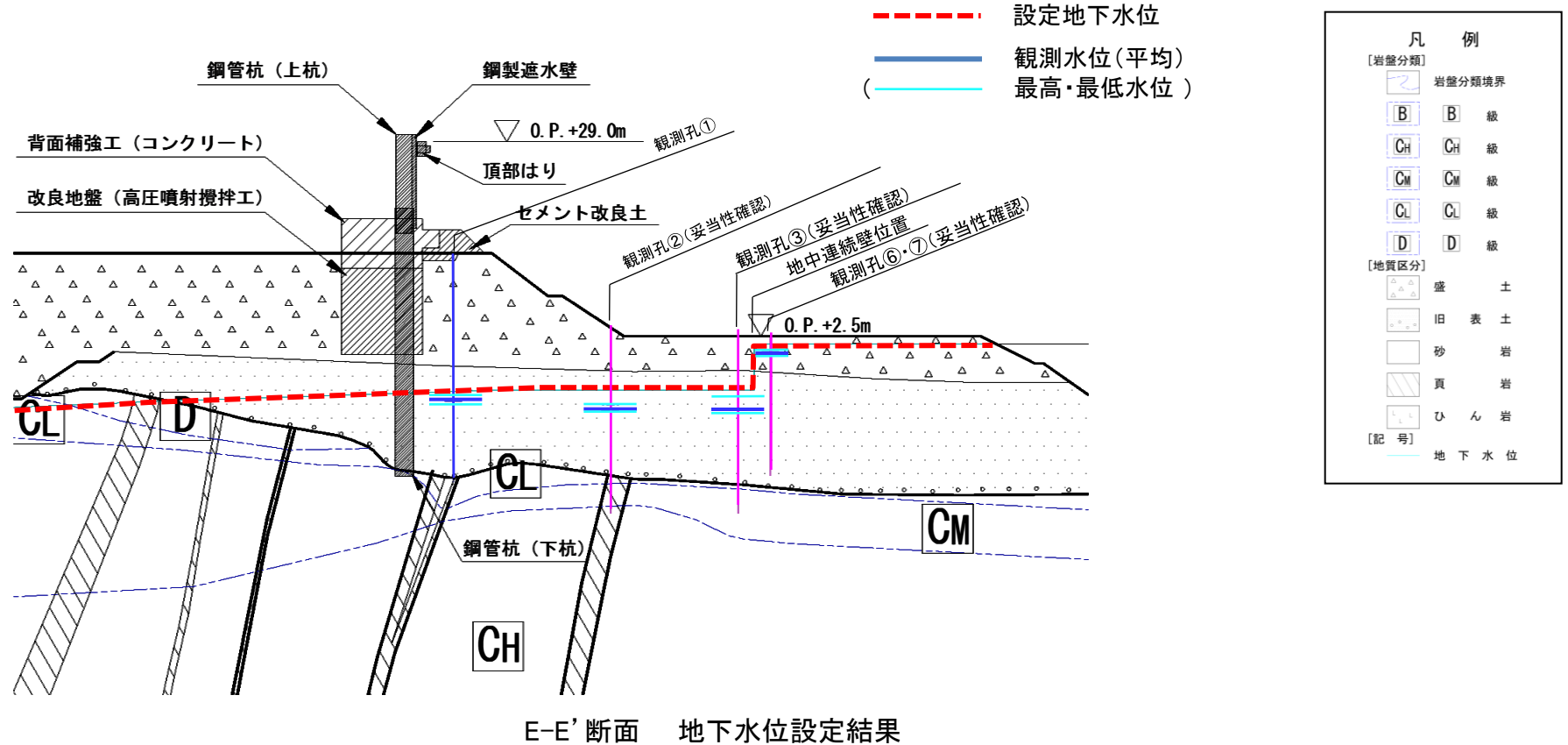
- 降雨と連動した水位の変動は見られないことから、地中連続壁より海側の地下水位は潮位による影響が支配的と考えられる。
- 地中連続壁より山側の観測水位(②・③)は、海側の観測水位(⑥・⑦)より8m程度低く、地中連続壁による水位低下効果が確認できる。



地中連続壁による地下水位低下イメージ

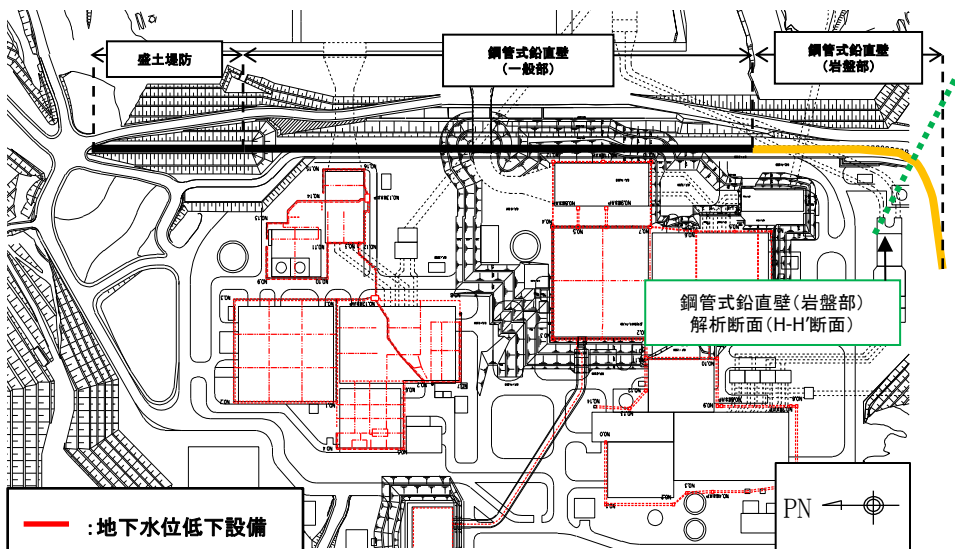
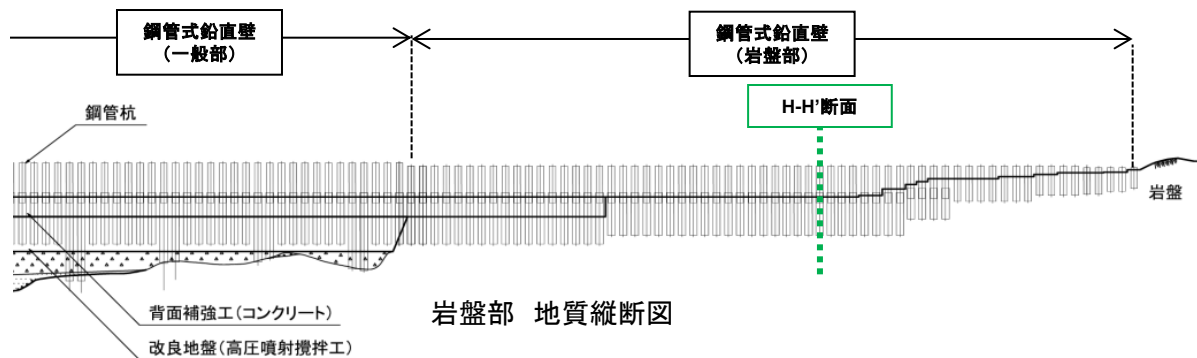
(4) 設定水位の妥当性確認 (3/3)

- 設定した地下水位と地下水位観測記録結果の比較を示す。
- 比較結果より, 設定した地下水位は地下水位観測記録結果より上回っており, 保守的な設定となっていることを確認した。

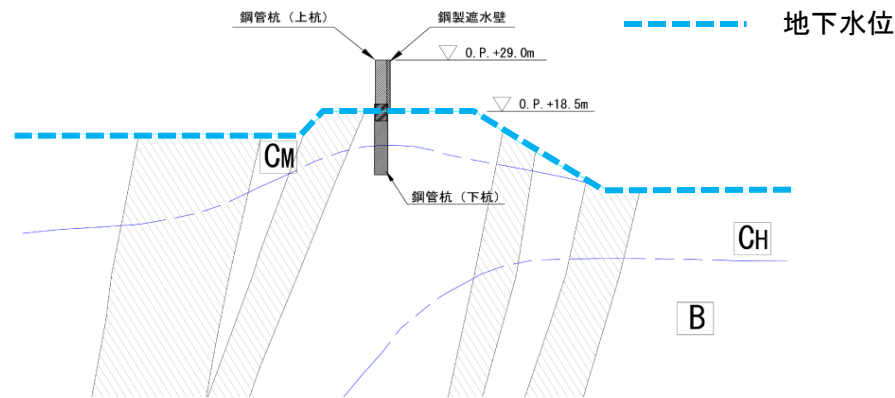


2.4 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の地下水位設定

- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、近傍に観測孔が存在せず、水位観測記録による検証が困難であることから、地下水位は保守的に地表面に設定する。
- なお、岩盤部と一般部の境界は、2号炉の地下水位低下設備(ドレーンの設置レベルはO.P.約-14m)が近接するため、鋼管式鉛直壁(一般部)で設定した地下水位を上回ることはないと考えられる。



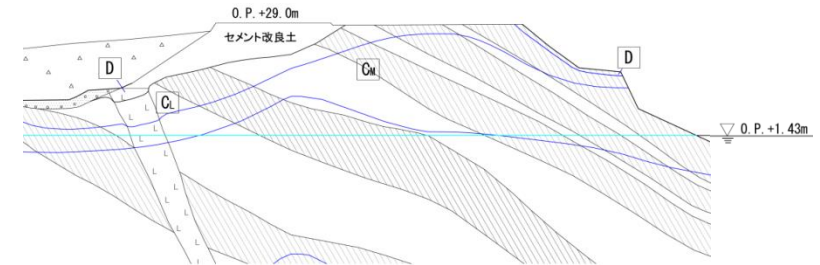
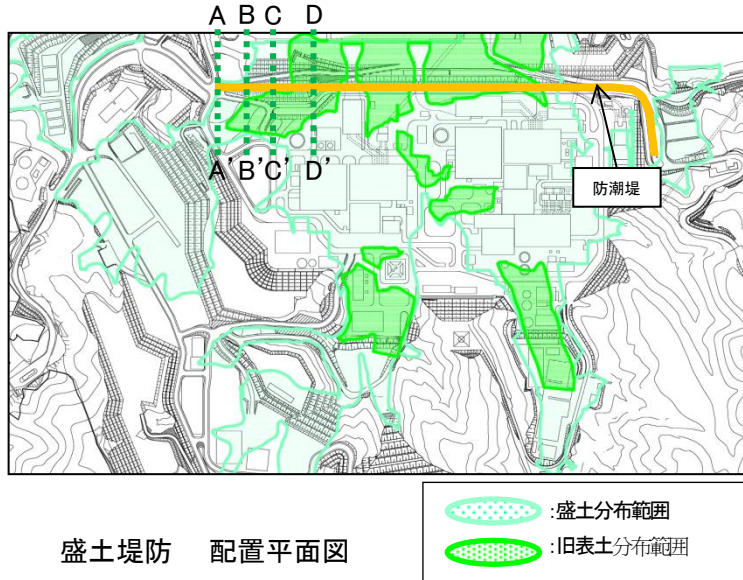
鋼管式鉛直壁(岩盤部) 配置平面図



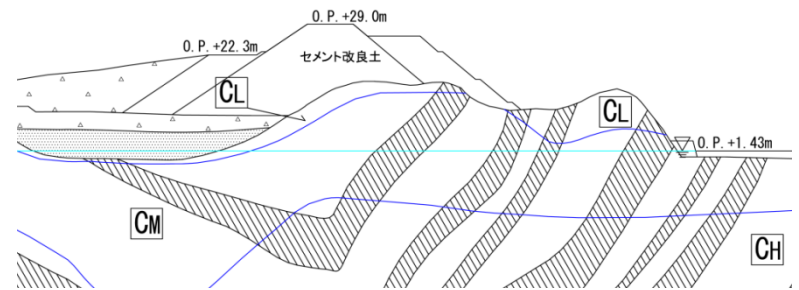
H-H'断面 地質断面図

(1) 代表断面の選定(1/2)

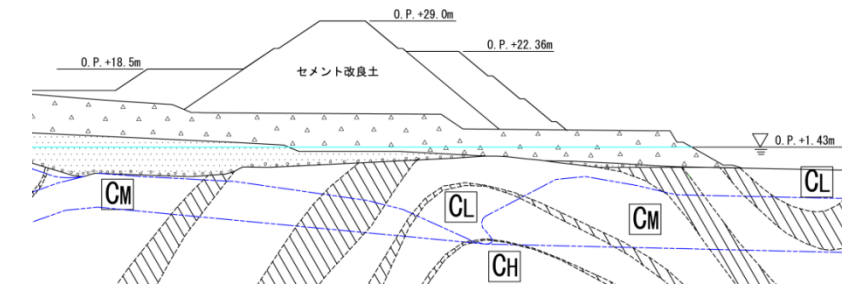
- 盛土堤防の代表断面は鋼管式鉛直壁(一般部)と同様, 地下水位以深の盛土・旧表土は液状化検討対象層となるため, 旧表土が厚く分布するところで水位が高くなる場所を選定する。
- 旧表土の層厚はC-C'断面で最も厚い。B-B'断面ではセメント改良土底面の半分以上が岩着しており, A-A'断面ではセメント改良土下方には盛土・旧表土はほとんど存在せず, 液状化の影響は小さい。
- また, D-D'断面は盛土・旧表土が厚いが, 地下水位低下設備までの距離が近く, 地下水位はC-C'断面より低い。



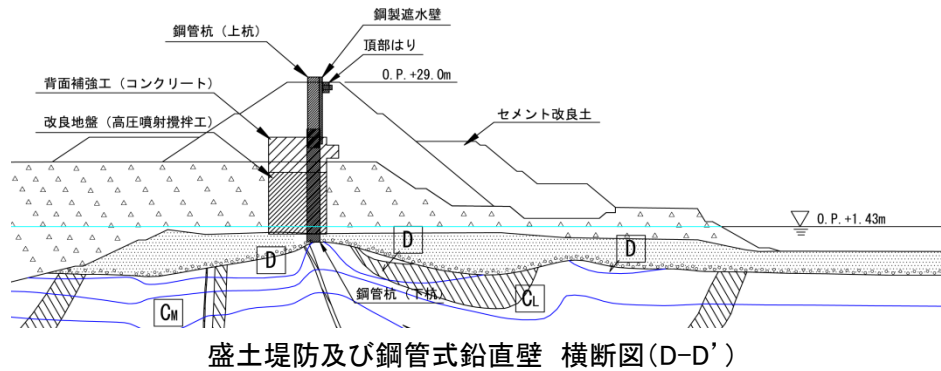
盛土堤防 横断面図(A-A')



盛土堤防 横断面図(B-B')



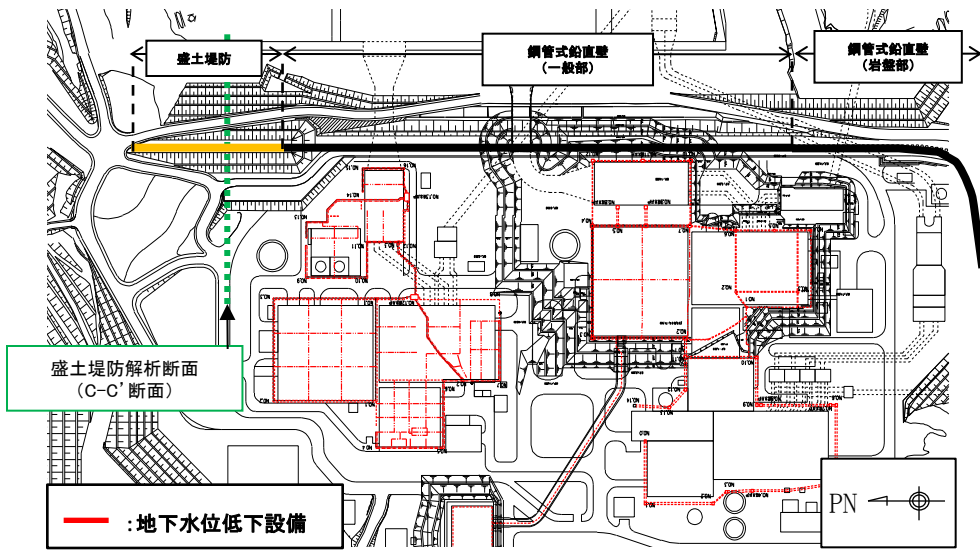
盛土堤防 横断面図(C-C')



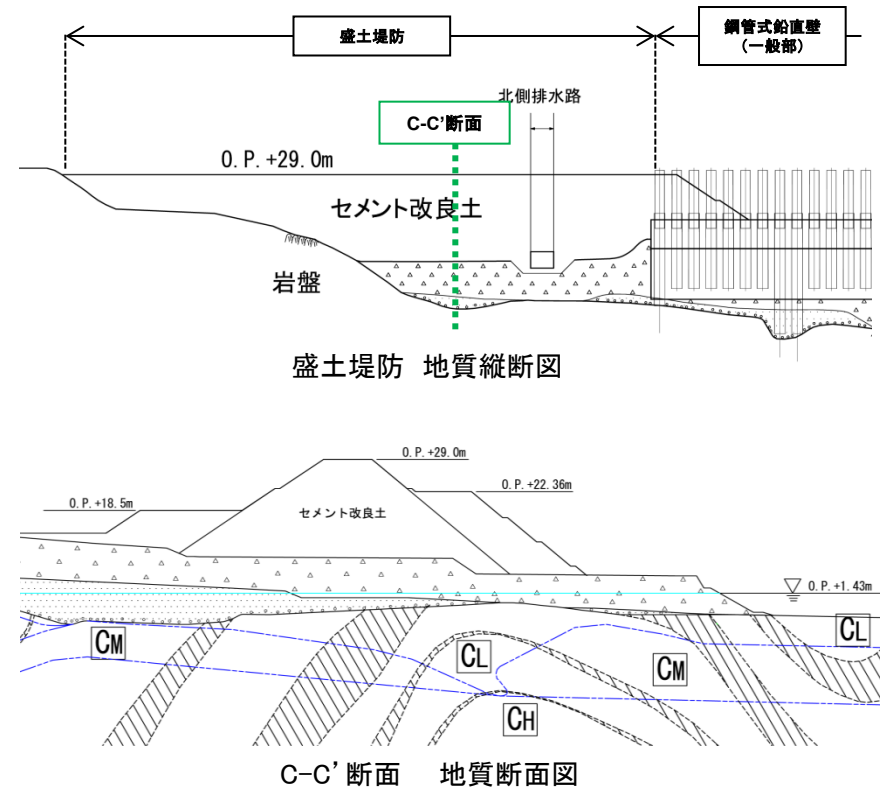
盛土堤防及び鋼管式鉛直壁 横断面図(D-D')

(1) 代表断面の選定(2/2)

- 盛土堤防の箇所は、北側に行くほど岩盤レベルが高くなっていること及び地下水位低下設備からの離隔が大きくなることから、地下水位は北側が高くなることが想定されるが、前述のとおりC-C'断面より北側では液状化の影響は小さい。
- 旧表土の層厚が大きいエリアにおいて相対的に地下水位が高いと考えられるC-C'断面を選定した。

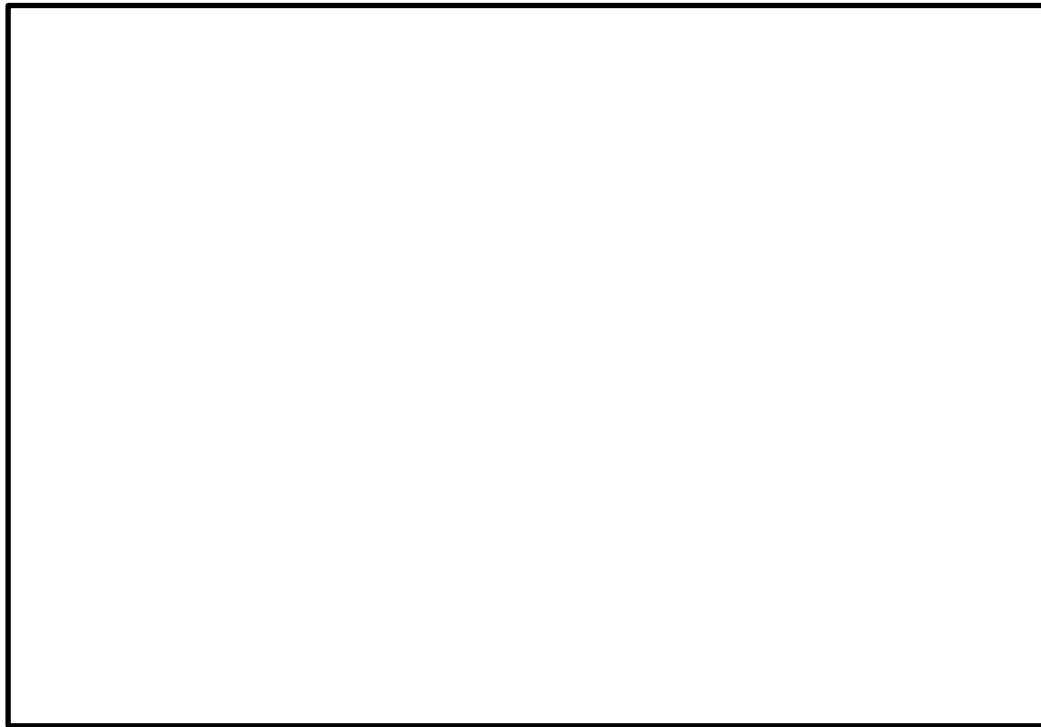


盛土堤防 配置平面図

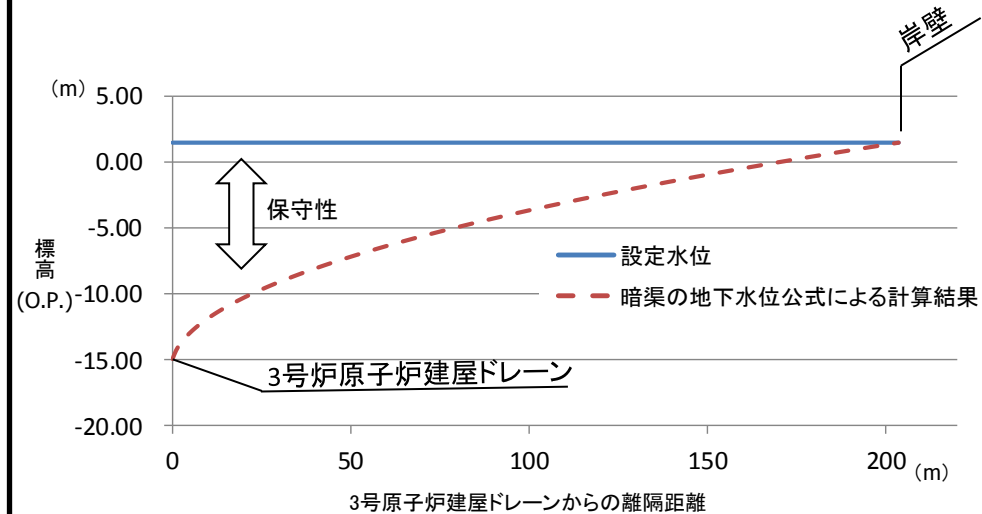


(2) 地下水位の設定(1/2)

- 盛土堤防については、地下水位の設定において暗渠の地下水位公式を適用するには条件が明確でない事項がある。
 - ①周辺に、海水面(潮位)、北側の斜面、地下水位低下設備という地下水位に影響する要素がある。
 - ②防潮堤より山側では北側からの地下水は地下水位低下設備によりその多くが排水される。
 - ③地中連続壁より海側では海水面(潮位)が支配的と考えられる。
- ここでは、地中連続壁及び地下水位低下設備の効果を見込まずに、一律朔望平均満潮位(O.P.+1.43m)と仮定し、観測水位により妥当性を確認する。



地下水設定断面位置図

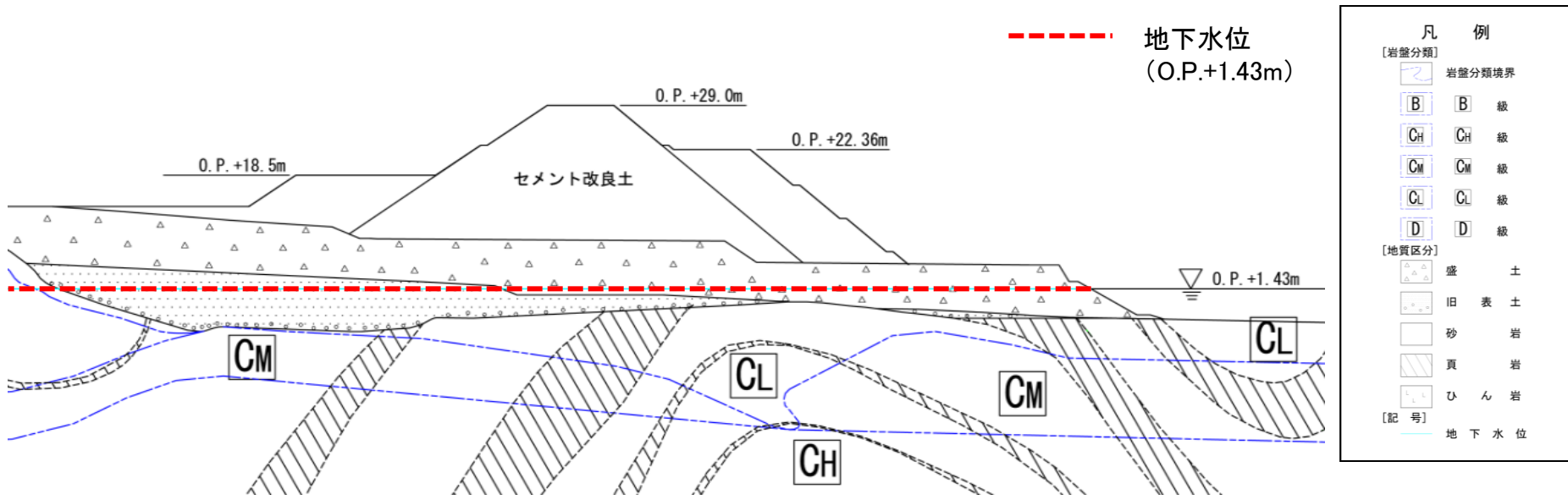


地下水位の設定

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

(2) 地下水位の設定(2/2)

- 設定した地下水位を示す。次頁以降に地下水位観測記録を用いた妥当性確認結果を示す。



C-C' 断面 地下水位設定結果

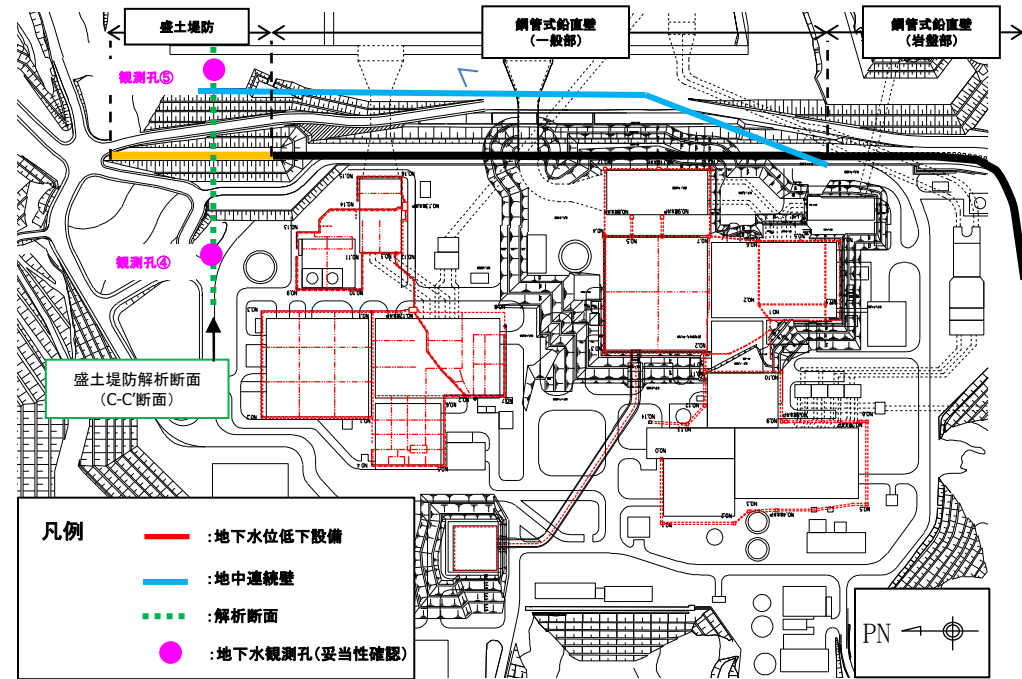
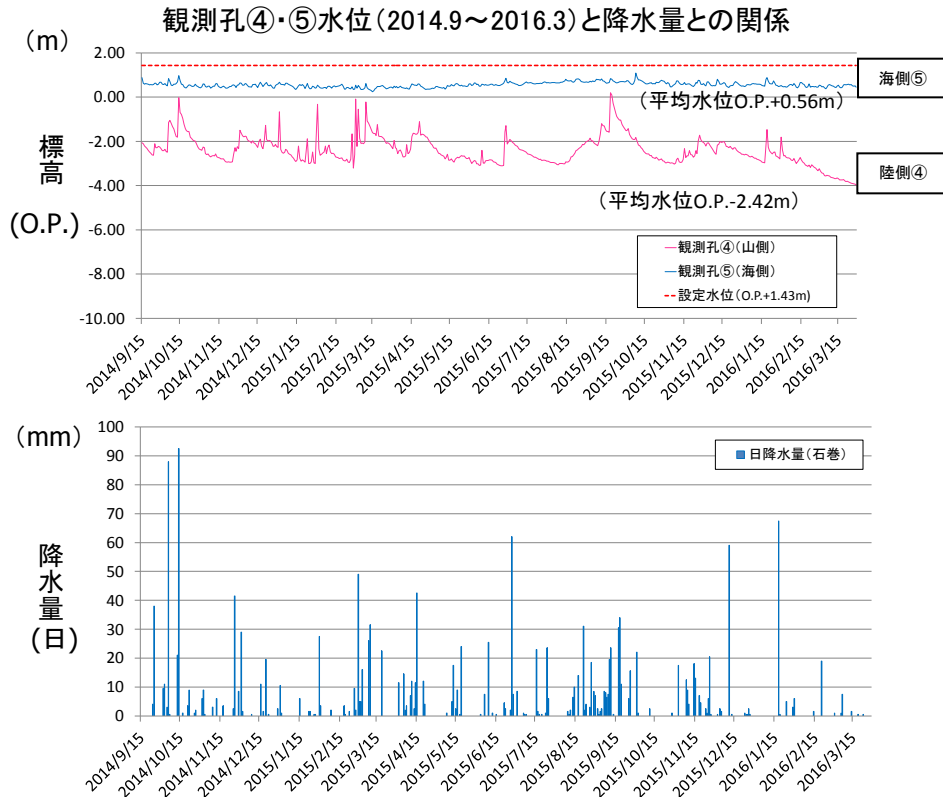
(3) 設定水位の妥当性確認(1/2)

■ 検証に用いた記録

- 盛土堤防の海側(観測孔⑤)及び山側(観測孔④)において取得した地下水位観測記録を用いた。

■ 観測孔④・⑤の観測結果

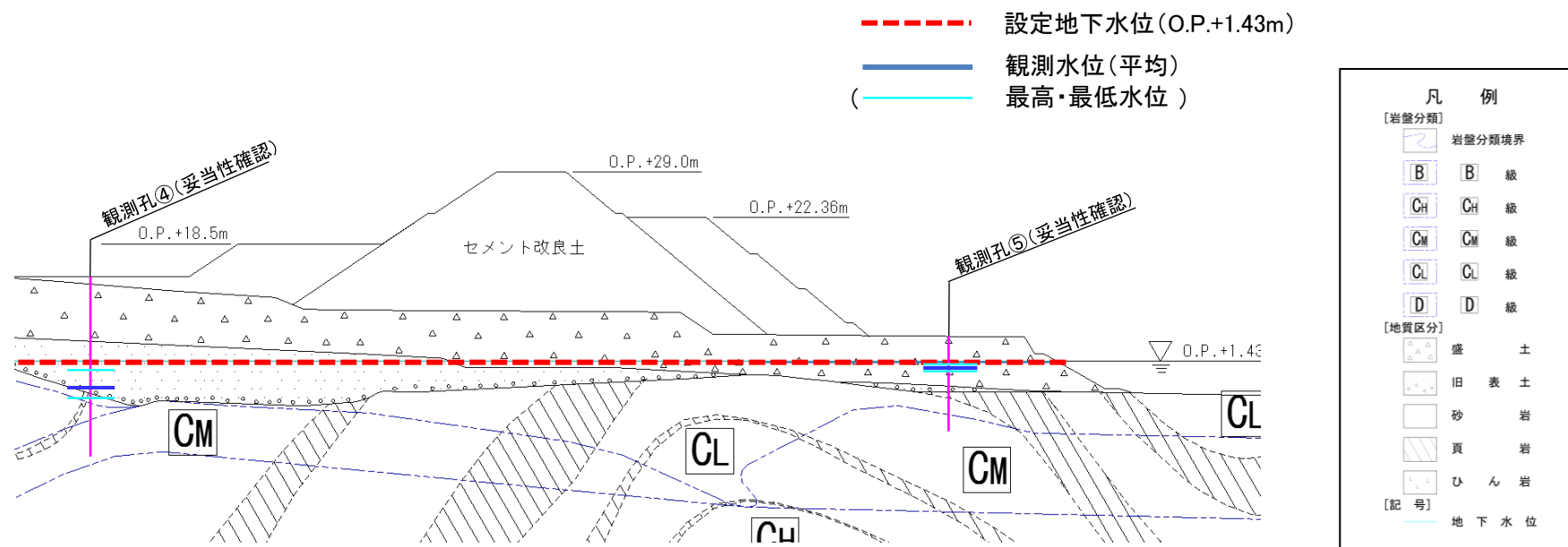
- C-C'断面上の観測水位は、O.P.約+0.5m(⑤孔), O.P.約-2.5m(④孔)で安定している。
- 海側(観測孔⑤)は、降雨と連動した水位の変動は見られず、概ね一定の水位で変動しており潮位による影響が支配的と推察され、朔望平均満潮位とした水位設定は妥当と考えられる。
- 山側(観測孔④)は、降雨と連動した水位の変動が認められるが、海側(観測孔⑤)より低い水位となっていることから、地下水位低下設備により水位低下しているものと考えられる。
- 以上より、設定水位は観測水位に対し裕度があり、妥当であることを確認した。



地下水観測位置および地下水水位低下設備配置図

(3) 設定水位の妥当性確認(2/2)

- 設定した地下水位と地下水位観測記録結果の比較を示す。
- 比較結果より, 設定した地下水位は地下水位観測記録結果より上回っており, 保守的な設定となっていることを確認した。



C-C' 断面 地下水位設定結果

2.6 地下水位の設定の考え方 まとめ

鋼管式鉛直壁(一般部)

(代表断面の選定)

- 旧表土の層厚が大きいエリアにおいて、相対的に地下水位が高い E-E' 断面を選定

(地下水位の設定と妥当性の検証)

- 暗渠の地下水位公式により設定
- 地下水位低下設備や構内排水により、降雨等による水位変動が小さく水位が定常的であること及び設定水位の妥当性を観測水位により確認

鋼管式鉛直壁(岩盤部): 地表面に設定

(地下水位の設定と妥当性の検証)

- 周辺に水位観測孔がないため、保守的に地表面に設定

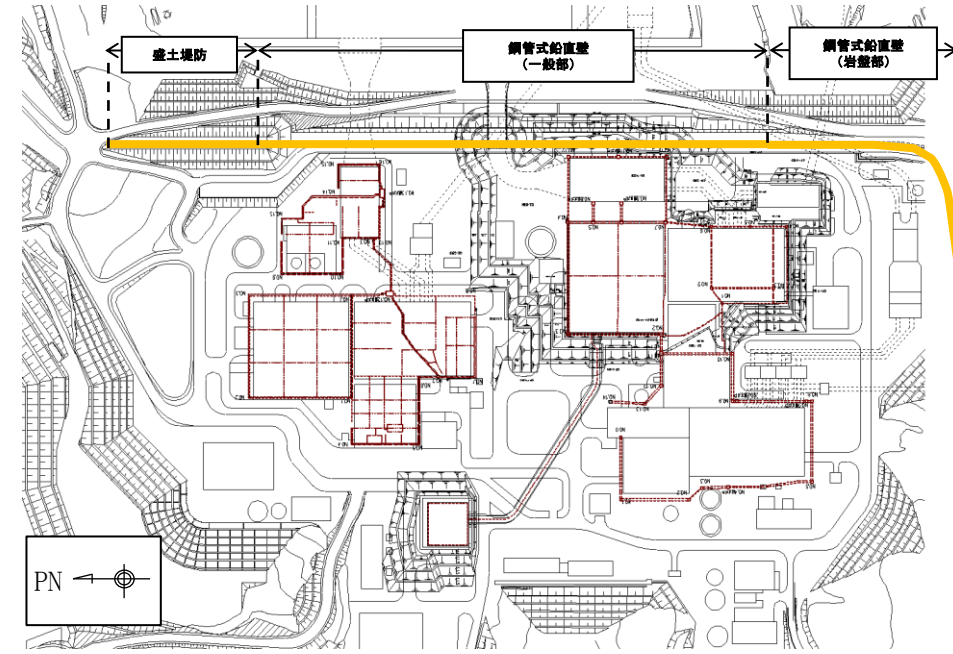
盛土堤防: 港湾岸壁の地下水位(潮位)と同等と設定

(代表断面の選定)

- 旧表土の層厚が大きいエリアにおいて、相対的に地下水位が高い C-C' 断面を選定

(地下水位の設定と妥当性の検証)

- 地下水位に影響する要素として、周辺に海水面(潮位)、北側の斜面、地下水位低下設備が存在することから、保守的に地中連続壁と地下水位低下設備の効果を見込まずに潮位と同等と仮定し、観測水位により妥当性を確認



防潮堤 配置平面図

2.7 地殻変動による地下水位への影響

- 敷地は、3.11地震による地殻変動に伴い約1m沈降したが、その後約30cm隆起し、現在も隆起傾向にある。
- 本検討では隆起傾向について考慮しておらず、水位観測により設定水位の保守性を確認しているが、実際には観測以降の隆起量も設計余裕に加算される。（設計余裕＝「設計と観測の水位差」＋「隆起量」）
- 3.11地震による地殻変動量を把握するため、構内で測量した結果を以下に示す。
 - 平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震前後における地盤変動を把握するため、構内の基準点(3点)を対象に水準測量を実施した。測量を実施した基準点の位置図と、測量結果による構内水準点標高の経年変化を示す。
 - 敷地内の地盤変位量は、3基準点においてほぼ同値であり、不等沈下の影響はなく、一様に変位している。
 - 地震後の測量(平成23年11月)では約1m沈降していたが、至近の測量(平成29年4月)では、平成23年11月に比べ約30cm隆起している。

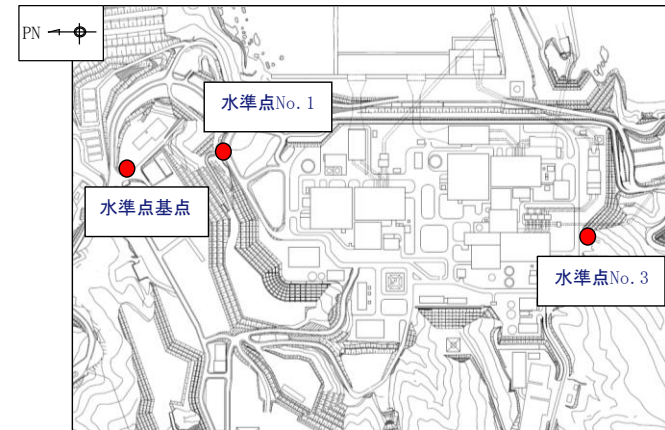


図1 水準測量実施位置図

表1 構内水準点標高の経年変化

測点	地震前(A) 平成23年2月	地震後(B) 平成23年11月	地震後(C) 平成29年4月	地盤変位量 (B-A)	地盤変位量 (C-B)
水準点 基点	O.P.58.226m (T.P.57.486m)	O.P.57.264m (T.P.56.524m)	O.P.57.6m (T.P.56.8m)	-0.962m	0.3m
水準点 No.1	O.P.27.223m (T.P.26.483m)	O.P.26.252m (T.P.25.512m)	O.P.26.6m (T.P.25.8m)	-0.971m	0.3m
水準点 No.3	O.P.16.088m (T.P.15.348m)	O.P.15.114m (T.P.14.374m)	O.P.15.4m (T.P.14.7m)	-0.974m	0.3m

注)平成29年4月の測量は速報値(未確定値)のため、小数第1位までを記載

2.8 地下水位設定の確実性向上について（今後の地下水位観測）

- 防潮堤の設計に用いる地下水位を保守的に設定した。
 - －鋼管式鉛直壁（一般部）及び盛土堤防を対象に地下水位の評価を行い、地下水位観測記録との比較により保守性を有することを確認した。
 - －鋼管式鉛直壁（岩盤部）は保守的に地表面に設定した。
- 地下水位観測記録により確認された保守性を確実に担保していくため、今後の保守管理において地中連続壁周辺の地下水位観測を行い、データを蓄積していく。

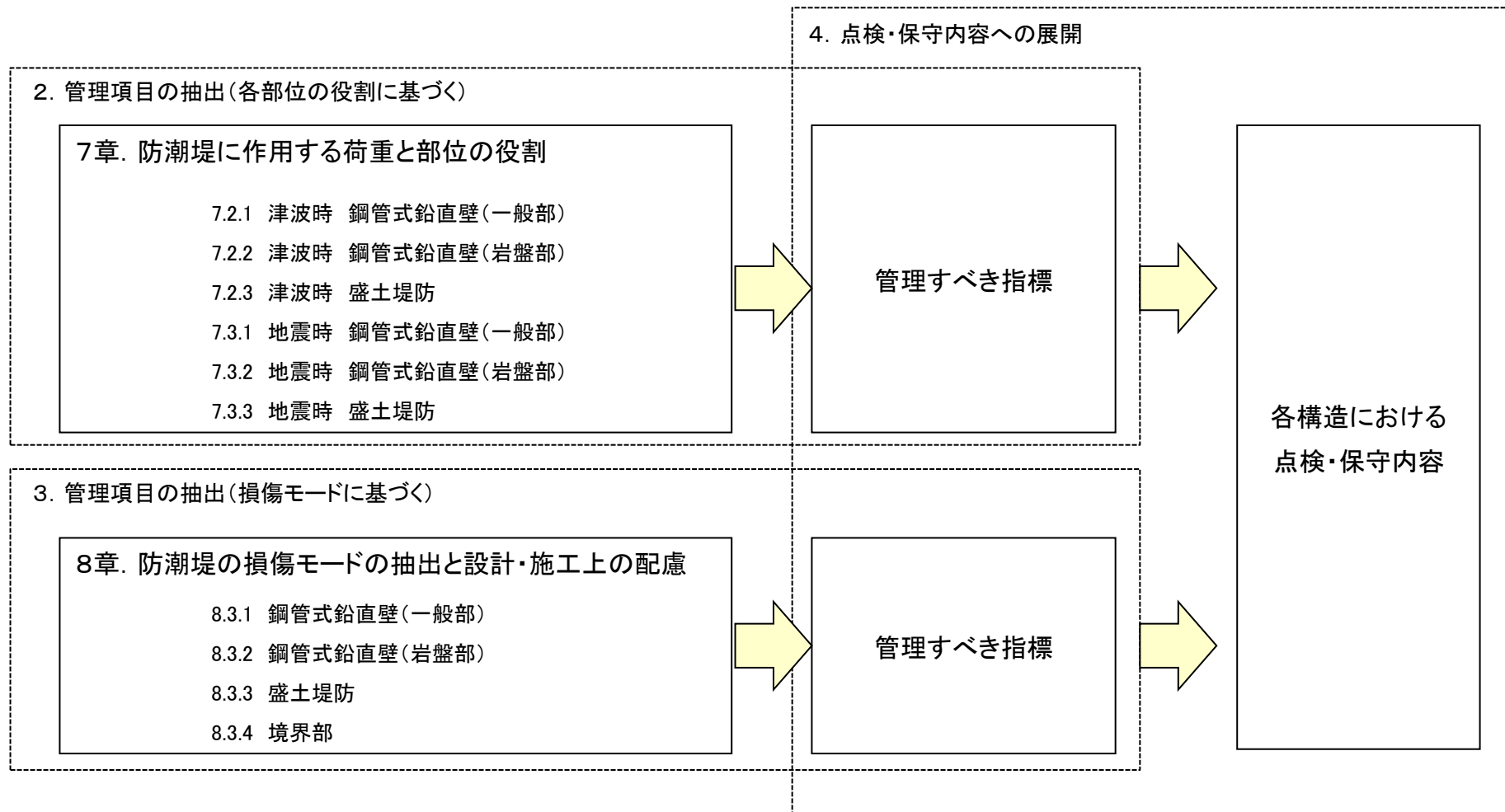
余白

補足説明資料

3. 防潮堤の点検・保守管理の考え方

3.1 防潮堤の点検・保守管理方法設定の考え方

- 防潮堤の設計方針において整理した「防潮堤に作用する荷重と部位の役割」ならびに「防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮」を踏まえ、止水性を維持するために防潮堤完成後に管理すべき事項を抽出し、点検・保守内容の具体例を検討する。



3.2.1 津波時 鋼管式鉛直壁(一般部)

- 津波時における鋼管式鉛直壁(一般部)の部位の役割から、管理すべき指標を抽出した。

部位の名称	津波時の役割	管理すべき指標	
鋼管杭(長杭)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁及び頂部はりを支持し、鋼管杭が損傷しない。 	高さ, 部材健全性(耐荷性・耐久性)	A-1
鋼管杭(短杭)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を支持し、鋼管杭が損傷しない。 	高さ※ ¹ , 部材健全性(耐荷性・耐久性)	A-2
鋼製遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地を支持し、止水機能を保持して、鋼製遮水壁が損傷しない。 	部材健全性(耐荷性・耐久性)	A-3
止水目地(支持部含む)	<ul style="list-style-type: none"> 遮水壁間の変位に追従し、止水機能を保持して、止水目地が損傷しない。 	部材健全性(耐荷性・耐久性)	A-4
頂部はり	<ul style="list-style-type: none"> 想定される津波高さに余裕を考慮した高さを維持し、入力津波を超える高さの津波に対して敷地への越波流量等を低減して、頂部はりが損傷しない。 	高さ, 部材健全性(耐荷性・耐久性)	A-5
背面補強工	<ul style="list-style-type: none"> 津波荷重に対して鋼管杭の変位を抑制する。 止水機能を保持して、背面補強工が損傷しない。 津波による侵食や洗掘、地盤内からの浸水に対して、止水機能を保持する。 	高さ※ ¹ , 部材健全性(耐荷性・耐久性)	A-6
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> 津波荷重に対して鋼管杭の変位を抑制する。 背面補強工を支持する。 津波による侵食や洗掘、地盤内からの浸水に対して、止水機能を保持する。 	高さ(沈下量)※ ¹ , 部位間の有意な空隙等の有無	A-7
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤機能に有害となる変形を起こさない。 津波による侵食や洗掘、地盤内からの浸水に対して、止水機能を保持する。 	高さ(沈下量)※ ¹ , 変状の有無, 有意な空隙等の有無	A-8
盛土・旧表土 (表面保護工)	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤機能に有害となる変形を起こさない。 津波による侵食や洗掘、地盤内からの浸水に対して、止水機能を保持する。 	高さ(沈下量)※ ¹ , 変状の有無, 有意な空隙等の有無	A-9

※¹ 鋼管杭(短杭), 背面補強工, 改良地盤, セメント改良土, 盛土・旧表土は沈下を許容しているため, 許容値内であることを確認する。

3.2.2 津波時 鋼管式鉛直壁(岩盤部)

- ・ 津波時における鋼管式鉛直壁(岩盤部)の部位の役割から、管理すべき指標を抽出した。

部位の名称	津波時の役割	管理すべき指標
鋼管杭	・ 鋼製遮水壁を支持し、鋼管杭が損傷しない。	高さ、部材健全性(耐荷性・耐久性) A-10
鋼製遮水壁	・ 止水目地を支持し、止水機能を保持して、鋼製遮水壁が損傷しない。	部材健全性(耐荷性・耐久性) A-11
RC遮水壁(南端1本目～5本目)	・ 津波時の止水機能を保持し、RC遮水壁が損傷しない。	部材健全性(耐荷性・耐久性) A-12
止水目地(支持部含む)	・ 遮水壁間の変位に追従し、止水機能を保持して、止水目地が損傷しない。	部材健全性(耐荷性・耐久性) A-13

3.2.3 津波時 盛土堤防

- 津波時における盛土堤防の部位の役割から、管理すべき指標を抽出した。

部位の名称	津波時の役割	管理すべき指標	
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さを維持し、津波時の止水機能を保持して、セメント改良土が損傷しない。 	高さ(沈下量) ^{※1} 、変状の有無、有意な空隙等の有無	A-14
盛土・旧表土	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土を支持し、防潮堤に有害となる変形を起こさない。 	高さ(沈下量) ^{※1} 、変状の有無、有意な空隙等の有無	A-15

※1 セメント改良土、盛土・旧表土は沈下を許容しているため、許容値内であることを確認する。

3.2.4 地震時 鋼管式鉛直壁(一般部)

- 地震時における鋼管式鉛直壁(一般部)の部位の役割から、管理すべき指標を抽出した。

部位の名称	地震時の役割	管理すべき指標	
鋼管杭(長杭)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁及び頂部はりを支持し、鋼管杭が損傷しない。 	高さ, 部材健全性(耐荷性・耐久性)	B-1
鋼管杭(短杭)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を支持し、鋼管杭が損傷しない。 	高さ※1, 部材健全性(耐荷性・耐久性)	B-2
鋼製遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地を支持し、津波時の止水機能を保持して、鋼製遮水壁が損傷しない。 	部材健全性(耐荷性・耐久性)	B-3
止水目地(支持部含む)	<ul style="list-style-type: none"> 遮水壁間の変位に追従し、津波時の止水機能を保持して、止水目地が損傷しない。 	部材健全性(耐荷性・耐久性)	B-4
頂部はり	<ul style="list-style-type: none"> 想定される津波高さに余裕を考慮した高さを維持し、頂部はりが損傷しない。 	高さ, 部材健全性(耐荷性・耐久性)	B-5
背面補強工	<ul style="list-style-type: none"> 地震荷重に対して鋼管杭の変位を抑制する。 津波時の止水機能を保持して、背面補強工が損傷しない。 	高さ※1, 部材健全性(耐荷性・耐久性)	B-6
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> 地震荷重に対して鋼管杭の変位を抑制する。 背面補強工を支持する。 鋼管杭(短杭)の周囲を固め、沈下を抑制する。 地震荷重に対して損傷しない。 	高さ(沈下量)※1, 有意な空隙等の有無	B-7
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤機能に有害となる変形を起こさない。 	高さ(沈下量)※1, 変状の有無, 有意な空隙等の有無	B-8
盛土・旧表土	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤機能に有害となる変形を起こさない。 	高さ(沈下量)※1, 変状の有無, 有意な空隙等の有無	B-9

※1 鋼管杭(短杭), 背面補強工, 改良地盤, セメント改良土, 盛土・旧表土は沈下を許容しているため, 許容値内であることを確認する。

3.2.5 津波時 鋼管式鉛直壁(岩盤部)

- 地震時における鋼管式鉛直壁(岩盤部)の部位の役割から、管理すべき指標を抽出した。

部位の名称	地震時の役割	管理すべき指標	
鋼管杭	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を支持し、鋼管杭が損傷しない。 	高さ、部材健全性(耐荷性・耐久性)	B-10
鋼製遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地を支持し、津波時の止水機能を保持して、鋼製遮水壁が損傷しない。 	部材健全性(耐荷性・耐久性)	B-11
RC遮水壁(南端1本目～5本目)	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の止水機能を保持し、RC遮水壁が損傷しない。 	部材健全性(耐荷性・耐久性)	B-12
止水目地(支持部含む)	<ul style="list-style-type: none"> 遮水壁間の変位に追従し、津波時の止水機能を保持して、止水目地が損傷しない。 	部材健全性(耐荷性・耐久性)	B-13

3.2.6 津波時 盛土堤防

- 地震時における盛土堤防の部位の役割から、管理すべき指標を抽出した。

部位の名称	地震時の役割	管理すべき指標	
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さを維持し、津波時の止水機能を保持して、セメント改良土が損傷しない。 	高さ(沈下量) ^{※1} , 変状の有無, 有意な空隙等の有無	B-14
盛土・旧表土	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土を支持し、防潮堤機能に有害となる変形を起こさない。 	高さ(沈下量) ^{※1} , 変状の有無, 有意な空隙等の有無	B-15

※1 セメント改良土、盛土・旧表土は沈下を許容しているため、許容値内であることを確認する。

3.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(1/7)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)において推定される損傷モードから、管理すべき指標を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象 [想定ケース※1]	設計・施工上の配慮 [照査※2]	管理すべき指標	
鋼管杭 (長杭・短杭 共通)	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し、鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。[①, ②] 	地震時の慣性力や地盤変位、津波時の影響(繰返しの津波)を考慮して、鋼製遮水壁や止水目地の変位を許容限界以下に留めて止水性を確保するために必要な杭長は短杭の深さであるため、以下を確認する。	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-1
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により背面補強工-改良地盤間、改良地盤-盛土・旧表土間に相対変位が生じ、せん断力が鋼管杭に作用し、鋼管杭が損傷し、鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> 短杭は許容応力度以下であることを確認する。 長杭は短杭と同じ深さまでは許容応力度以下であることを確認し、それよりも深い位置では、頂部はりの鉛直支持機能を確保するために、杭の塑性率が許容塑性率以下であることを確認する。また、せん断応力がせん断強度以下であることを確認する。[○] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-2
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、上杭と下杭の接合部で破損し、鋼管杭が損傷し、鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> 上杭と下杭の接合部は、複合構造標準示方書(土木学会)に準拠したソケット方式の接合とし、接合部の安全性照査は、隣接する一般部に対して1.2倍の裕度を確保する。[○] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-3
	<ul style="list-style-type: none"> 汀線方向の地震荷重により、曲げ・せん断破壊し、鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。[①] 	<ul style="list-style-type: none"> 3次元静的解析を実施して照査を実施する。[○] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-4
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に、短杭に作用する荷重が長杭に伝達し、曲げ・せん断破壊し、鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。[①] 		部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-5
	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻の風荷重や飛来物荷重により、鋼管杭が損傷し、鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。[-] 	<ul style="list-style-type: none"> 万一、竜巻及びその随件事象により損傷した場合には、津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。ただし、施設の重要性に鑑み、機能維持のための自主的な配慮を行う。[-] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-6

※1:①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定
 ※2:照査を実施している場合は○, 照査不要と判断している場合は(-)

3.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(2/7)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)において推定される損傷モードから、管理すべき指標を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象 [想定ケース※1]	設計・施工上の配慮 [照査※2]	管理すべき指標	
鋼管杭 (長杭)	<ul style="list-style-type: none"> 盛土・旧表土が地震時に沈下し、背面補強工の荷重が鋼管杭に鉛直荷重として作用することにより杭が損傷し、鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。[①] 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭(長杭)に鉛直荷重(周面摩擦力)が作用しないように、鋼管杭周囲にNFシートを施工する。 地震時にNFシートが効かず長杭の下部で損傷が生じたとしても、津波荷重に抵抗する上部は健全であり、防潮堤としての要求機能を維持できる設計とする。[-] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-7
	<ul style="list-style-type: none"> 長杭が地震時に塑性化して残留変形が起こり、NFシートの効果が発揮できず、背面補強工の荷重が鋼管杭に鉛直荷重として作用することにより杭が損傷し、鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。[①] 	<ul style="list-style-type: none"> 地震時にNFシートが効かず長杭の下部で損傷が生じたとしても、津波荷重に抵抗する上部は健全であり、防潮堤としての要求機能を維持できる設計とする。[-] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-8
	<ul style="list-style-type: none"> 隣接するブロックからの荷重により、長杭が損傷し、鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。[①] 	<ul style="list-style-type: none"> 汀線方向の検討を行い、隣接ブロックの影響を確認する。[○] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-9
	<ul style="list-style-type: none"> 津波荷重により、長杭の下部が転倒するようなモードが発生し、鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。[②] 	<ul style="list-style-type: none"> 長杭が転倒しないことを確認する。[○] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-10
鋼管杭 (短杭)	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に頂部はりとの接触により、想定以上の荷重が発生し、杭が損傷し、鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。[①] 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭(短杭)と頂部はりとの間には100mmの遊間を有することとし、地震時においても接触しないよう配慮する。[-] 	寸法(間隔)	C-11

※1:①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定

※2:照査まで実施している場合は○, 照査まで実施していない場合は(-)

3.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(3/7)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)において推定される損傷モードから、管理すべき指標を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象 [想定ケース※1]	設計・施工上の配慮 [照査※2]	管理すべき指標	
鋼製遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し、止水性を喪失する。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> 許容応力度以下であることを確認する。[○] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-12
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、鋼管杭への取り付け部に応力が集中し、取り付け部が破損し、鋼製遮水壁が損傷するか、位置を保持できなくなり、止水性を喪失する。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭への取付部については道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編に従って、局所的な変形を防止し、円滑な応力の伝達を図れる設計とする。[○] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-13
	<ul style="list-style-type: none"> 地震荷重により盛土・旧表土が沈下することに伴い、背面補強工が沈下し、長杭に支持される鋼製遮水壁の下部に空間が生じ、止水性を喪失する。[①] 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁を背面補強工に根入れし、背面補強工が沈下しても止水性を確保する。また、止水目地下端はシリコーン充填により止水性に配慮する。[-] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-14
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、鋼製遮水壁の背面補強工に根入れしている部分で損傷し、止水性を喪失する。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> 遮水壁は片持ちばりによる検討を実施し、2辺固定の場合でも十分余裕がある設計とする。「-」 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-15
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の漂流物荷重により、鋼製遮水壁が損傷し、止水性を喪失する。[②] 	<ul style="list-style-type: none"> 漂流物荷重により鋼製遮水壁の発生応力度が許容応力度以内であることを確認する。[○] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-16
	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻の風荷重や飛来物荷重により、鋼製遮水壁が損傷する、あるいは止水目地を支持できなくなり、止水性を喪失する。[-] 	<ul style="list-style-type: none"> 万一、竜巻及びその随件事象により損傷した場合には、津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。ただし、施設の重要性に鑑み、機能維持のための自主的な配慮を行う。[-] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-17

※1:①地震時、②津波時、なお津波+余震時は全ての事象を想定

※2:照査まで実施している場合は○、照査まで実施していない場合は(-)

3.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(4/7)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)において推定される損傷モードから、管理すべき指標を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象 「想定ケース※1」	設計・施工上の配慮 [照査※2]	管理すべき指標	
止水目地 (支持部含む)	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時の汀線直交方向の杭変位量のばらつきにより、目地の許容変位量を超える変形が生じ、止水性を喪失する。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> メーカー規格及び基準並びに必要なに応じて実施する性能試験を参考に定める許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。[○] <p>【杭間の相対変位の考え方】</p>	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-18
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に、汀線方向圧縮側の変形により止水性を喪失する。[①] 	<ul style="list-style-type: none"> 隣り合う短杭は構造が同一であるため、杭間の相対変位はほとんど発生しないと想定。 隣り合う長杭と短杭は構造が異なり、長杭は頂部はりを支持していることもあり、杭間には若干の相対変位が発生すると想定。 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-19
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に、地中構造物の有無により沈下量のばらつきが生じ、許容変位量を超える変形が生じ、止水性を喪失する。[①] 	<ul style="list-style-type: none"> 隣り合う長杭と長杭は、背面補強工のブロックが異なるため、下方の土層(盛土・旧表土)の違いにより、相対変位が発生する可能性があるとして想定。 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-20
	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地の鋼製部材が地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し、止水性を喪失する。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> 許容応力度以下であることを確認する。[○] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-21
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の漂流物が目地に衝突し、目地が破損もしくは変形に追従できず、止水性を喪失する。[②] 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地の幅を十分に小さくし、遮水壁よりも海側には設置しないことにより、漂流物が直接止水目地に衝突しない設計とする。 鋼材に漂流物が衝突することにより止水目地が損傷しないことを確認するため、鋼材の変形を確認して止水目地に影響がないことを確認する。[○] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-22
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の漂流物荷重により鋼管杭の回転が生じ、目地・目地金物が破損もしくは変形に追従できず、止水性を喪失する。[②] 	<ul style="list-style-type: none"> 漂流物荷重を考慮した場合の杭の回転について荷重と抵抗を確認し、回転しないことを確認する。[○] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-23
	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻の風荷重や飛来物荷重により、止水目地が損傷し、止水性を喪失する。[-] 	<ul style="list-style-type: none"> 万一、竜巻及びその随件事象により損傷した場合には、津波防護機能が必要となる前に修復等の対応を実施。ただし、施設の重要性に鑑み、機能維持のための自主的な配慮を行う。[-] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-24

※1:①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定

※2:照査まで実施している場合は○, 照査まで実施していない場合は(-)

3.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(5/7)

・ 鋼管式鉛直壁(一般部)において推定される損傷モードから、管理すべき指標を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象 [想定ケース※1]	設計・施工上の配慮 [照査※2]	管理すべき指標
頂部はり	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊する。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> 許容応力度以下であることを確認する。[○] 	部材健全性 (耐荷性, 耐久性) C-25
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に、鋼管杭(短杭)との接触により、想定以上の荷重が生じ、頂部はりが破損する。[①] 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭(短杭)と頂部はりとの間には100mmの離隔を有することとし、地震時においても接触しないよう配慮する。[-] 	寸法(間隔) C-26
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に、鉛直方向の荷重又は杭のねじれにより頂部はりが破損する。[①] 	<ul style="list-style-type: none"> 頂部はりを支持する2本の長杭の突出長は変わらないため、応答差は小さく、頂部はりに発生する応力は他のケースと比較して小さいため他のケースで代表させる。[-] 	部材健全性 (耐荷性, 耐久性) C-27
背面補強工	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により、背面補強工がせん断破壊又は引張り破壊し、杭の横抵抗を喪失し、杭の変形量が大きくなり、鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。 過度なひび割れにより水みちが形成される。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> 2次元動的解析(有効応力解析)及び3次元静的解析を実施して杭の横抵抗を維持できることを確認する。[○] 	変状の有無, 部材健全性 (耐荷性, 耐久性) C-28
	<ul style="list-style-type: none"> 地震により背面補強工間目地及び周辺地盤(セメント改良土含む)との目開きが発生し、止水性を喪失する。[①] 	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤の縦断方向に連なる構造であるため、背面補強工間目地が目開きしたとしても、その目開き量は僅かであり、また、目開きする側と反対側は閉じる挙動となるため、海側から敷地側まで貫通するような目開きは生じにくい設計とする。[-] 背面補強工の形状により、止水性に配慮する。[-] 	変状の有無, 部材健全性 (耐荷性, 耐久性) C-29

※1: ①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定
 ※2: 照査まで実施している場合は○, 照査まで実施していない場合は(-)

3.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(6/7)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)において推定される損傷モードから、管理すべき指標を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象 [想定ケース※1]	設計・施工上の配慮 [照査※2]	管理すべき指標
改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> 津波荷重からの杭反力により、法面側改良地盤が破壊し、杭の支持性能を失って止水性を喪失する。[②] 	<ul style="list-style-type: none"> 改良地盤のせん断に対してせん断強度以内であることを確認する。[○] 	部材健全性 (耐荷性, 耐久性) C-30
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に、改良地盤がせん断破壊し、杭の横抵抗を喪失し、杭の変形量が大きくなり、鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> せん断に対してせん断強度以内であることを確認する。[○] 	部材健全性 (耐荷性, 耐久性) C-31
	<ul style="list-style-type: none"> 地中構造物横断部において、地震荷重に対する鉛直抵抗のばらつきにより、健全性を保持できず、沈下や杭への局所的な荷重が発生し、止水性を喪失する。[①] 	<ul style="list-style-type: none"> 止水目地に発生する変位量が許容限界以下であることを確認する。[○] 	— (目地の管理) C-32
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に、改良地盤が引張破壊し、杭の横抵抗を喪失し、杭の変形量が大きくなり、鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> 改良地盤に発生する引張応力の状況を確認し、改良地盤が概ね健全であること、鋼管杭が概ね弾性範囲にあることを確認する。[○] 	部材健全性 (耐荷性, 耐久性) C-33
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に、盛土・旧表土の不等沈下が発生し、改良地盤が割れる等の損傷が生じて杭を支持できなくなり、止水性を喪失する。[①] 	<ul style="list-style-type: none"> 盛土・旧表土の変形を考慮しても、鋼管杭が概ね弾性範囲にあることを確認する。[○] 	— (鋼管杭の管理) C-34
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に、セメント改良土がせん断破壊し、背面補強工の横抵抗を喪失し、杭の変形量が大きくなり、鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土の破壊を考慮した検討を実施して、防潮堤としての要求機能を維持できる設計とする。[○] 	変状の有無 C-35

※1:①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定

※2:照査まで実施している場合は○, 照査まで実施していない場合は(—)

3.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(7/7)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)において推定される損傷モードから、管理すべき指標を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象 [想定ケース※1]	設計・施工上の配慮 [照査※2]	管理すべき指標	
盛土 旧表土	<ul style="list-style-type: none"> 津波荷重からの杭反力に対して、背面補強工前面の盛土が崩壊し、止水性を喪失する。[②] 	<ul style="list-style-type: none"> 盛土・旧表土の破壊を考慮した検討を実施して、防潮堤としての要求機能を維持できる設計とする。[-] 	変状の有無	C-36
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時又は津波時に、背面補強工・改良地盤からの水平荷重による受働崩壊により、受働抵抗を喪失し、杭の変形量が大きくなり、杭が鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。[①, ②] 		変状の有無	C-37
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に、すべりにより前面斜面が欠損し、側方抵抗を喪失し、杭の変形量が大きくなり、杭が鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。[①] 		変状の有無	C-38
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時に、洗掘により流出し、側方抵抗を喪失し、杭の変形量が大きくなり、杭が鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。[②] 		変状の有無	C-39
	<ul style="list-style-type: none"> 取水路からの漏水により盛土等が洗掘され、止水性を喪失する。[①, ②] 		<ul style="list-style-type: none"> 取水路は、基準地震動に対して安全性を確保している。 構造目地には止水ジョイントを設置して漏水を防止している。 コンクリートの劣化、ひび割れ等による漏水を防止する観点から保守管理を適切に実施している。[-] 	変状の有無

※1:①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定

※2:照査まで実施している場合は○, 照査まで実施していない場合は(-)

3.3.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)

- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)において推定される損傷モードから、管理すべき指標を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象 [想定ケース※1]	設計・施工上の配慮 [照査※2]	管理すべき指標	
鋼管杭	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し、鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> 許容応力度以下であることを確認する。[○] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-41
鋼製遮水壁 RC遮水壁	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し、止水性を喪失する。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> 許容応力度以下であることを確認する。[○] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-42
	<ul style="list-style-type: none"> 杭の平面位置が曲線となる区間において、地震又は津波荷重により曲げ・せん断破壊し、止水性を喪失する。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> 許容応力度以下であることを確認する。 曲部の影響が出ないように直線部と同様の設計とする。[○] 	部材健全性 (耐荷性・耐久性)	C-43

※1:①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定

※2:照査まで実施している場合は○, 照査まで実施していない場合は(-)

3.3.3 盛土堤防(1/2)

- 盛土堤防において推定される損傷モードから、管理すべき指標を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象 [想定ケース※1]	設計・施工上の配慮 [照査※2]	管理すべき指標	
セメント改良土	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重によりすべり破壊し、堤体高さが維持できなくなり、止水性を喪失する。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> 堤体内部に想定したすべり線に対して、すべり線上の応力状態を考慮したすべり安全率が妥当な安全裕度を有していることを確認する。[○] 	変状の有無	C-44
	<ul style="list-style-type: none"> 地震により盛土・旧表土が沈下し、引張応力によるクラックが発生し、止水性を喪失する。[①] 	<ul style="list-style-type: none"> 3次元静的解析を実施して盛土堤防の照査を行い、引張応力の発生状況を確認する。[○] 	変状の有無	C-45
	<ul style="list-style-type: none"> 地震により3次元的な相対変形によるねじり等が発生し、クラック等が発生し、止水性を喪失する。[①] 			
	<ul style="list-style-type: none"> 津波によりセメント改良土が洗掘され、止水性を喪失する。[②] 	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土は、津波時の洗掘・侵食に対して十分な耐性をもつことを確認する。[ー] 	変状の有無	C-46

※1:①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定

※2:照査まで実施している場合は○, 照査まで実施していない場合は(ー)

3.3.3 盛土堤防(2/2)

- 盛土堤防において推定される損傷モードから、管理すべき指標を抽出した。

部位の名称	要求機能を喪失する事象 [想定ケース※1]	設計・施工上の配慮 [照査※2]	管理すべき指標	
盛土 ・旧表土	<ul style="list-style-type: none"> 地震により液状化し、セメント改良土の支持性能を喪失し、セメント改良土が沈下し、堤体高さが維持できなくなり、止水性を喪失する。[①] 	<ul style="list-style-type: none"> 液状化により堤体高さが沈下しても、想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さを維持することを確認する。[○] 	高さ(沈下量)	C-47
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時に通水経路となり、止水性を喪失する。[②] 	<ul style="list-style-type: none"> 浸透流解析により、津波時に通水経路となるような水の浸透は発生しないことを確認する。[-] 	高さ(沈下量) 変状の有無 有意な空隙等の有無	C-48
	<ul style="list-style-type: none"> 津波による洗掘により空洞が生じ、セメント改良土の支持性能を喪失する。[②] 	<ul style="list-style-type: none"> 洗掘対策として、法尻の盛土・旧表土層(深さ1m, 幅2m)をセメント改良土で置換えることで法尻補強を実施する配慮をする。[-] 	変状の有無	C-49
	<ul style="list-style-type: none"> 構内排水路横断部からの漏水により盛土等が洗掘され、止水性を喪失する。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> 構内排水路横断部は、基準地震動に対して安全性を確保する。 PC鋼線により水路縦断方向にプレストレスを導入し、排水路ブロック間の目開きを抑止する。 コンクリートの劣化、ひび割れ等による漏水を防止する観点から保守管理を適切に実施する。[-] 	変状の有無	C-50

※1:①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定

※2:照査まで実施している場合は○, 照査まで実施していない場合は(-)

3.3.4 境界部

- 境界部において推定される損傷モードから、管理すべき指標を抽出した。

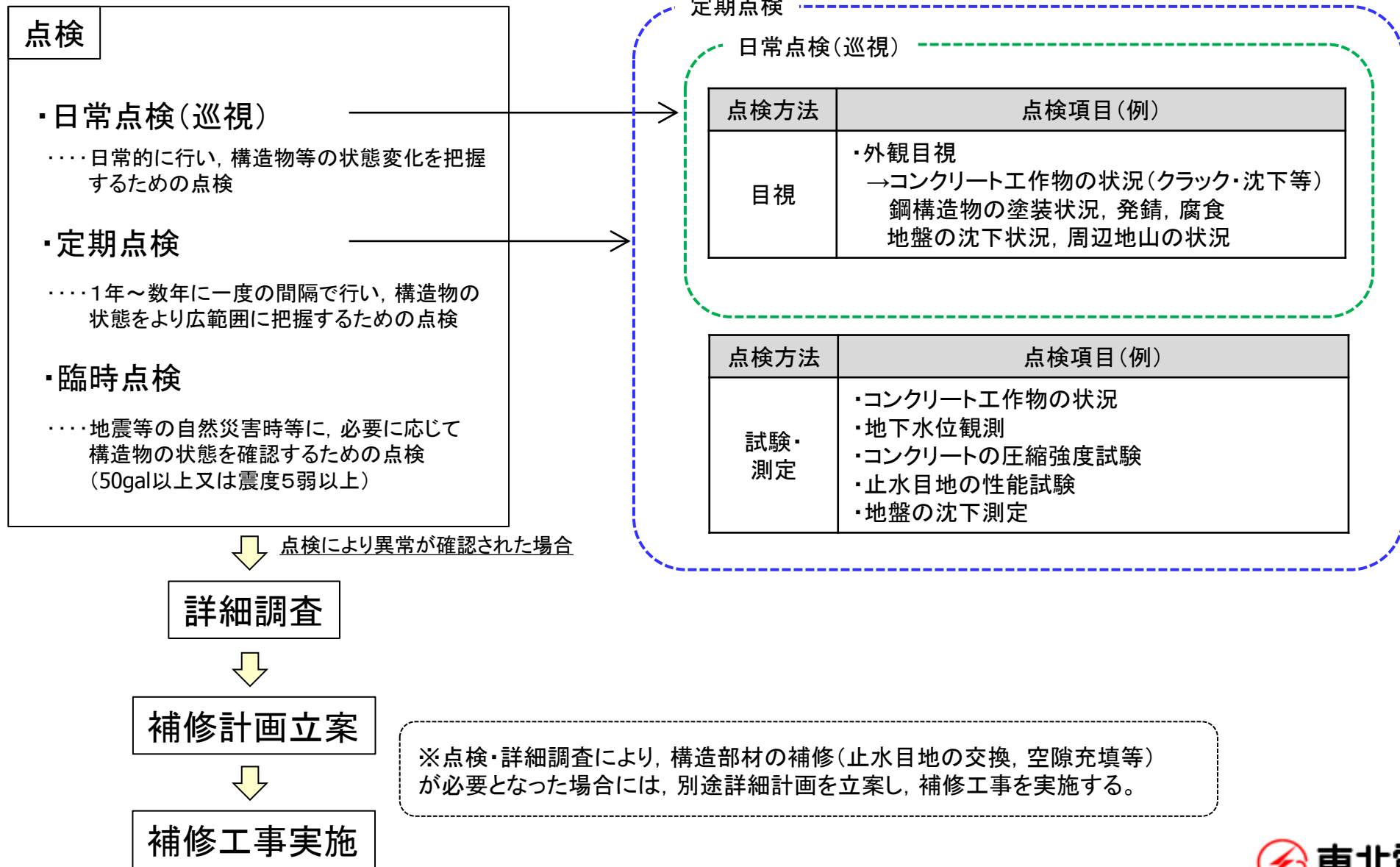
部位の名称	要求機能を喪失する事象 [想定ケース※1]	設計・施工上の配慮 [照査※2]	管理すべき指標	
鋼管式鉛直壁(岩盤部)と端部地山の境界部 (南端部)	<ul style="list-style-type: none"> 地震により地山が崩壊して、鋼管杭に衝突し、止水性を喪失する。[①] 	<ul style="list-style-type: none"> 緩やかな丘状であり、崩壊するような斜面ではないと考えているが、鋼管杭の地上部はRC遮水壁(コンクリート)で保護する配慮をする。[○] 	—	C-51
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により地山が崩壊して、高さが維持できなくなり、止水性を喪失する。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> 入力津波高さよりも高い位置にあり、入力津波の防護に対しては影響ない設計とする。[—] 	—	C-52
鋼管式鉛直壁(一般部)と盛土堤防の境界部 (杭-盛土接合部)	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により盛土堤防のすべり等が生じ、鋼管杭及び鋼製遮水壁に荷重が作用し、鋼製遮水壁を支持できなくなり、止水性を喪失する。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> 盛土堤防のラップ部を考慮した検討により、盛土の荷重を考慮した上で、鋼管式鉛直壁(一般部)と同様に各部位の健全性を確認する。[○] 	部材健全性 (耐荷性, 耐久性)	C-53
	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に、盛土堤防が鋼管式鉛直壁側にすべり、鋼製遮水壁に損傷が生じ、止水性を喪失する。[①] 	<ul style="list-style-type: none"> 3次元静的解析を実施して鋼管式鉛直壁への影響を確認する。[○] 	部材健全性 (耐荷性, 耐久性)	C-54
	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により鋼管杭と盛土堤防の間に、相対変位が生じ、水みちとなり、止水性を喪失する。[①, ②] 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製遮水壁と盛土堤防の境界面には十分なラップ長を確保したうえで、さらに可撓性目地シール材(ケーソンシール)を施工することで止水性に配慮する。[—] 	部材健全性 (耐荷性, 耐久性)	C-55
盛土堤防と端部地山の境界部 (北端部)	<ul style="list-style-type: none"> 地震により地山が崩壊して、高さが維持できなくなり、止水性を喪失する。[①] 	<ul style="list-style-type: none"> 盛土堤防の代表断面は、静的震度を用いた分割法を実施して地山斜面も含めて選定し、代表断面の安定性を確認することにより地山斜面の安定性についても確認する。[—] 	—	C-56
	<ul style="list-style-type: none"> 津波により地山が洗掘され、高さが維持できなくなり、止水性を喪失する。[②] 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤斜面とし洗掘されない設計とする。[—] 	—	C-57

※1:①地震時, ②津波時, なお津波+余震時は全ての事象を想定

※2:照査まで実施している場合は○, 照査まで実施していない場合は(—)

3.4.1 点検・保守フロー

- 点検・保守フローを以下に示す。



3.4.2 点検項目等の設定例(1/2)

- 2. 及び3. で実施した管理すべき指標の抽出結果を踏まえ、各構造における点検・保守内容(例)を整理した。

施設	部位	点検項目	点検基準	点検方法	点検頻度 (目安)	各部位の役割及び 損傷モードとの関連
鋼管式鉛直壁 (一般部・岩盤部)	鋼管杭(長杭)	高さ	許容値以内	測定	1回/年	A-1,10,B-1,10
	鋼管杭(短杭)	高さ	許容値以内	測定	1回/年	A-2,B-2
	鋼管杭(長杭, 短杭) 鋼製遮水壁 頂部はり	外観	損傷の有無	目視	1回/年	A-1,2,3,5,10,11,B-1,2,3,5,10,11 C-1~17,25~27,33,34,41~43,53,54
		塗装	剥がれ, 傷がないこと	目視	1回/年	
	RC遮水壁	外観	損傷の有無	目視	1回/年	A-12,B-12,C-42,43
		クラック	許容値以内	測定	1回/年	
	止水目地(ゴム)	外観	損傷の有無	目視	1回/年	A-4,13,B-4,13,C-18~24,32
		硬さ(硬度)	基準値以下	試験※1	1回/5年	
	止水目地(シリコーン)	外観	損傷の有無	目視	1回/年	
		引張り強さ, 伸び	基準値以上	試験※1	1回/5年	
	止水目地の鋼製部材	塗装	剥がれ・傷の無いこと	目視	1回/年	
	背面補強工 (コンクリート)	高さ・傾斜	許容値以内	測定	1回/年	A-6,B-6,C-28,29
		外観	損傷の有無	目視	1回/年	
		クラック	許容値以内	測定	1回/年	
		強度	設計値以上	試験	1回/5年	
	改良地盤	変位(鉛直)	許容値以内	測定※2	1回/年	A-7,B-7,C-30,31,33
	セメント改良土	高さ	許容値以内	測定	1回/年	A-8,B-8,C-35
外観		損傷の有無	目視	1回/年		
盛土・旧表土	変位(鉛直)	許容値以内	測定※2	1回/年	A-9,B-9,C-36,37,38,40	
	地下水位観測	概ね設定水位以下	観測	連続観測	地下水位	
盛土(表面保護工)	外観	損傷の有無	目視	1回/年	C-39	

※1: 施設同様の暴露環境下にて発電所構内に保存した供試体を使用する。点検基準を満たさない場合は施設の詳細調査を計画する。

※2: 改良地盤及び盛土・旧表土の変位(鉛直)は層別沈下計による。

3.4.2 点検項目等の設定例(2/2)

- 3.2及び3.3で実施した管理すべき指標の抽出結果を踏まえ、各構造における点検・保守内容(例)を整理した。

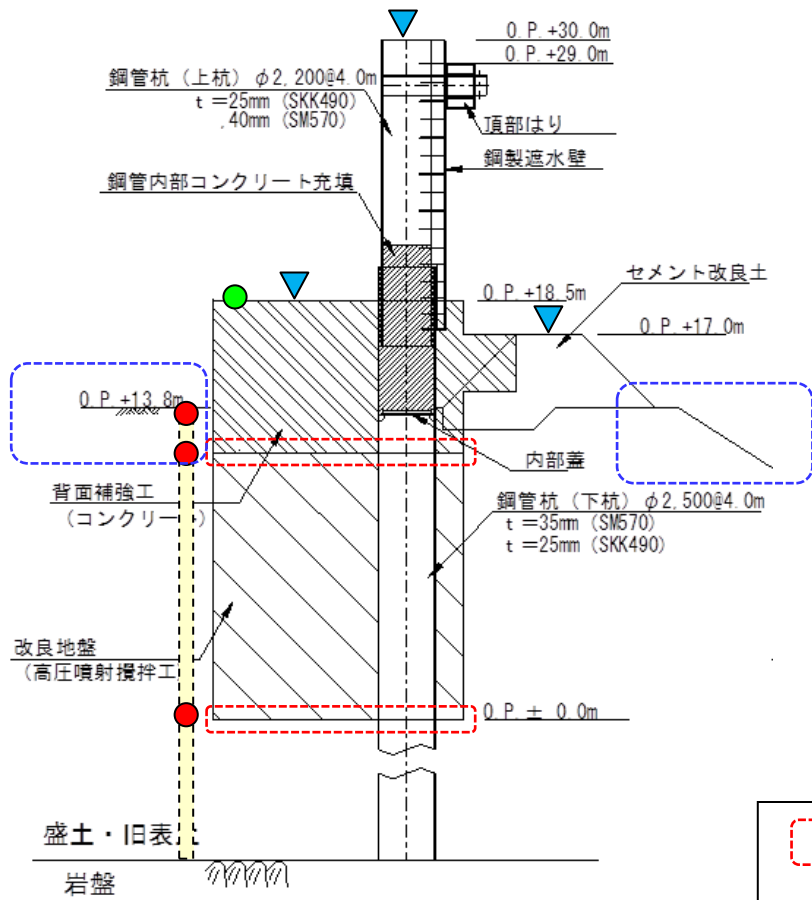
施設	部位	点検項目	点検基準	点検方法	点検頻度 (目安)	各部位の役割及び 損傷モードとの関連
盛土堤防	セメント改良土	高さ	許容値以内	測定	1回/年	A-14,B-14,C-44~46
		外観	損傷の有無	目視	1回/年	
	盛土・旧表土	変位(水平・鉛直)	許容値以内※ ¹	測定	1回/年	A-15,B-15,C-47~50
		地下水位観測	概ね設定水位以下	観測	連続観測	地下水位
境界部	可撓性目地シール材 (ケーソンシール)	外観	損傷の有無	目視	1回/年	C-55
			周囲の侵食等の有無	目視	1回/年	
		砂の充填状況※ ²	砂の充填高さがセメント改良土天端高さ以上にあること	目視	1回/年	

※1:盛土・旧表土に許容値を上回る変位があった場合は5. に示す詳細調査を計画する。

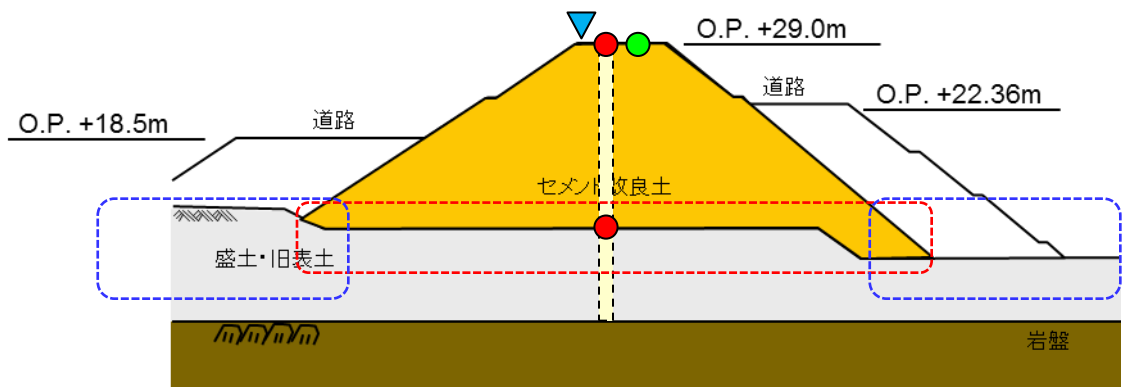
※2:可撓性目地シール材(ケーソンシール)は内部を砂で充填することにより、鋼管式鉛直壁(一般部)と盛土堤防間の変位に追従し止水性を確保する構造としている。

参考 盛土・旧表土の取扱い(1/2)

- 盛土・旧表土の沈下あるいは侵食等による浸水経路形成が考えられることから、層別沈下計及び傾斜計による観測を行う。



鋼管式鉛直壁(一般部)



盛土堤防

- 盛土・旧表土の沈下により浸水経路形成の可能性がある箇所
- 吸出し・侵食等により浸水経路形成の可能性がある箇所

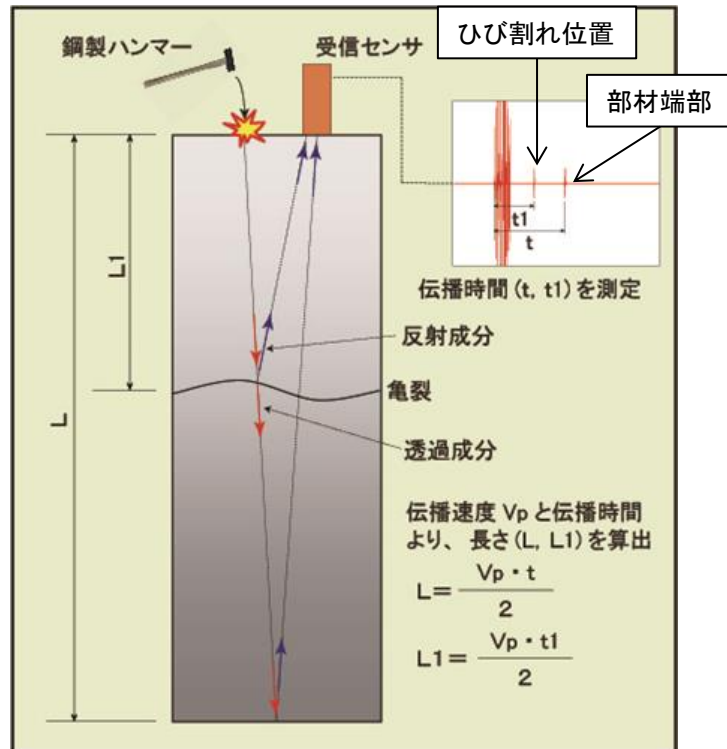
- ▼ 高さ(レベル)
- 層別沈下計
- 傾斜計

参考 盛土・旧表土の取扱い(2/2)

- 層別沈下計及び傾斜計を用いた観測により盛土・旧表土の沈下が見られた場合には、以下の手法により盛土・旧表土の沈下影響を把握する。
- 高周波衝撃弾性波法(反射法)により、盛土・旧表土沈下に起因する背面補強工ー改良地盤間の空隙(亀裂)の有無を推定。
- 弾性波トモグラフィにより、弾性波速度分布を求め、盛土・旧表土の緩み領域の有無を推定。

【高周波衝撃弾性波法(反射法)】

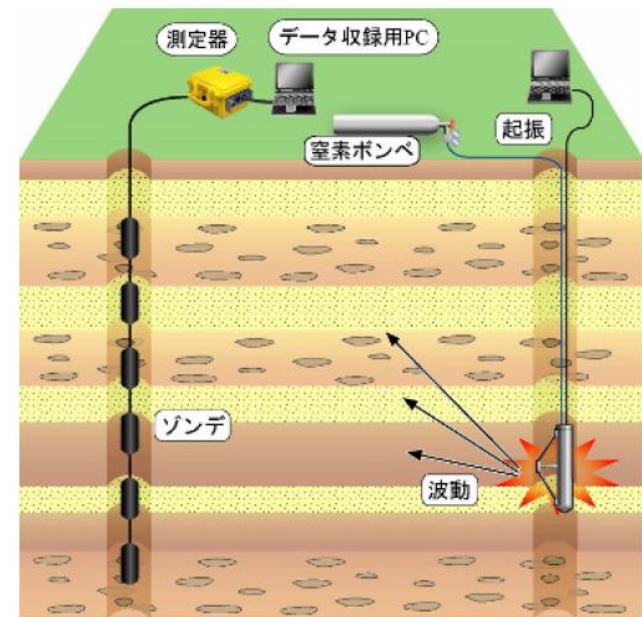
反射法は、衝撃弾性波の高周波成分がひび割れ・亀裂などの欠陥部及び打継目など調査対象物内のひび割れ・亀裂の位置や幅、端部の位置などを把握する手法である。



(株)ダイヤコンサルタントHPより

【弾性波トモグラフィ】

弾性波トモグラフィ探査は、調査対象領域を通過してきた弾性波の初動走時の情報を用いて領域内の弾性波速度分布を逆解析により求める方法である。



(株)日本地下探査HPより

参考 河川堤防における管理の例 (1/4)

- 河川管理者のための浸透・侵食に関する重点監視の手引き(案)(平成28年3月 国土交通省 水管理・国土保全局, 河川環境課 河川保全企画室)を参照し, 河川堤防において考慮される破壊モードと監視項目を整理した。
- パイピング破壊の例を示す。

- ① 河川水位が上昇し動水勾配が大きくなることにより, 基礎地盤における透水層(砂層や礫層)の浸透水の圧力が大きくなる。被覆土層の弱部から漏水が発生
- ② 高い河川水位が継続すると, 透水層の流速により細粒土砂が噴砂孔から流出が続き, 透水層の空隙・空洞が堤防下及び川側へと進行する。
- ③ ②の結果, 堤防の裏法尻又は堤体が安定を失い陥没を始める。
- ④ 陥没する箇所が拡大し, 堤防天端まで崩壊が進むと決壊に至る。

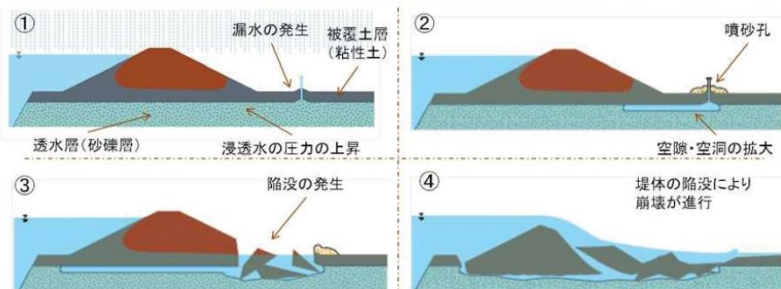


図 - 5 基礎地盤のパイピング破壊のメカニズム



(a) 砂質土の場合 (b) 礫質土の場合
写真 - 1 法尻もしくは法尻近傍の堤内地からの漏水の事例



写真 - 2 法尻からの漏水の事例

避難準備情報の目安となる判断基準に相当する変状

- パイピング破壊は, 浸透流により細粒土砂が噴砂孔から流出し, 透水層の空隙や空洞が堤防下及び川側へと進行することで生じ, 複数もしくは単独の変状として生じる。
- そのため, 漏水箇所において, 噴砂の有無を確認するとともに, 噴砂の粒径を確認することが重要である。堤体材料や基礎地盤材料に比べて小さい場合には, 堤防下の空隙や空洞が拡大していると推定され, 決壊に至る深刻な変状と判断する。

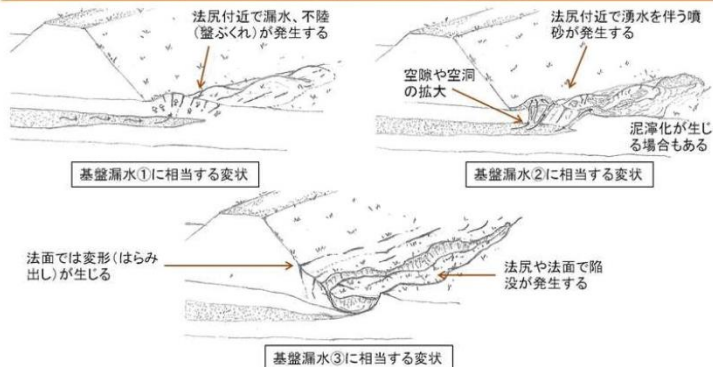


図 - 6 パイピング破壊によって堤防表面に現れる変状の特徴 (丸囲み数字は図 - 5 に対応)



(a) 直径 3m 程度の噴砂跡 (b) 法尻付近で発見された噴砂を伴う漏水
(c) 噴砂を伴う漏水の状況 (d) 堤脚水踏踏で生じた噴砂
写真 - 3 噴砂を伴う漏水の事例

避難勧告の目安となる判断基準に相当する変状

参考 河川堤防における管理の例 (2/4)

- 河川管理者のための浸透・侵食に関する重点監視の手引き(案)(平成28年3月 国土交通省 水管理・国土保全局, 河川環境課 河川保全企画室)を参照し, 河川堤防において考慮される破壊モードと監視項目を整理した。
- すべり破壊の例を示す。

- ① 降雨や河川水の浸透により堤体の飽和度が上昇し, 浸潤線が形成される。
- ② 高い河川水位が継続すると, 浸潤線はさらに上昇し, 裏法面に到達すると, 法尻付近から漏水やしみ出しが生じる。
- ③ 裏法面下の土の強度低下(有効応力の低下)が生じ, 法面に亀裂, 不陸等が生じる。
- ④ 高水位が継続し崩壊が一部でも生じると, 堤体の安定性は極端に低下し, ⑤のように堤防天端, 表法と崩壊範囲が急激に拡大し, 決壊に至る(⑥)。

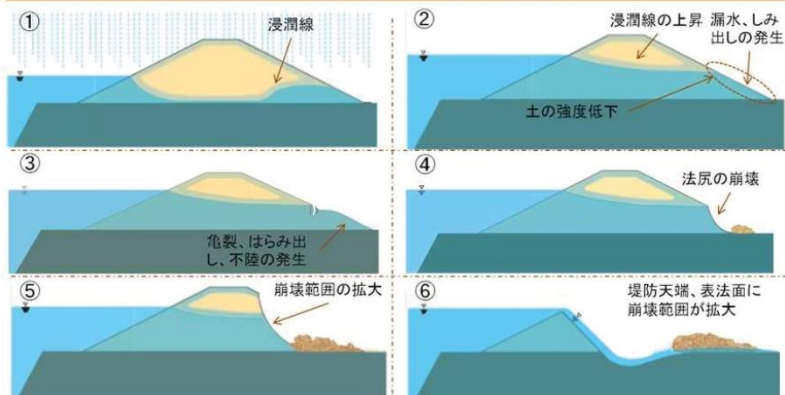


図-7 すべり破壊のメカニズム



写真-5 法尻付近まで達するすべりの事例



写真-6 すべりによって発生した亀裂の事例

○すべり破壊は, すべり面に沿って生じることから, すべり面上端部では段差が見られ, 下端部では隆起や陥没が見られることが多い。

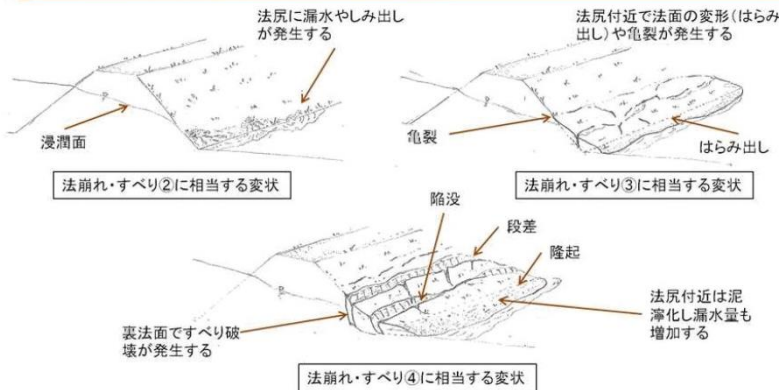


図-8 すべり破壊によって堤防表面に現れる変状の特徴 (丸囲み数字は図-7に対応)

参考 河川堤防における管理の例 (3/4)

- 河川管理者のための浸透・侵食に関する重点監視の手引き(案)(平成28年3月 国土交通省 水管理・国土保全局, 河川環境課 河川保全企画室)を参照し, 河川堤防において考慮される破壊モードと監視項目を整理した。
- 侵食破壊の例を示す。

- ① 降雨により河川水位が上昇し, 流速が増大する。河床を削る掃流力も増加する。
- ② 河川水位がさらに上昇すると, 掃流力によって法尻部周辺で侵食が始まる。
- ③ 法尻部の流失により, 法面の安定性が低下すると, 侵食範囲は法面に拡大する。
- ④ 法面が侵食されると, 土部が露出し, 天端、裏法へと侵食が急激に進む。
- ⑤ 裏法に侵食範囲が拡大すると, 越流も始まり, 裏法の侵食も助長され(⑥), 堤体が崩壊する。

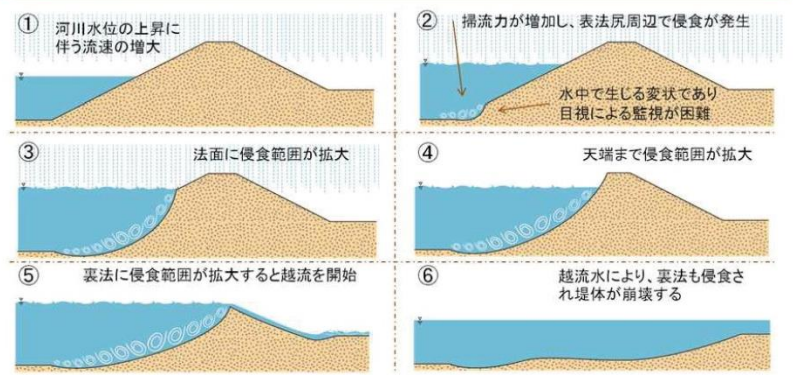


図-9 侵食破壊のメカニズム

- 侵食破壊は, 護岸基礎の洗掘から進行することが多く, 水面下で侵食が進み, 法面にその変状が現れた時には, 堤防が危険な状況まで破壊の程度が進行していることが多い。
- したがって, 侵食破壊の監視においては, 洪水流の流況にも着目することが重要である。

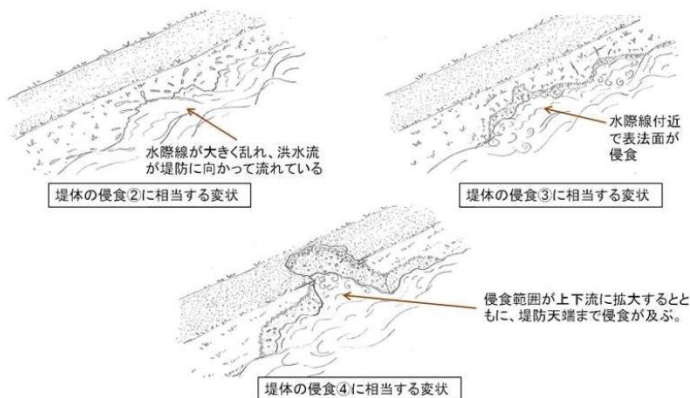


図-10 侵食破壊によって堤防表面に現れる変状の特徴 (丸囲み数字は図-9に対応)



写真-7 表法面の侵食が発生した事例



写真-9 激しく噴き上がる漏水によって天端や法面が陥没した事例

参考 河川堤防における管理の例 (4/4)

- 河川管理者のための浸透・侵食に関する重点監視の手引き(案)(平成28年3月 国土交通省 水管理・国土保全局, 河川環境課 河川保全企画室)を参照し, 河川堤防において考慮される破壊モードと監視項目を整理した。
- 河川堤防においては, 監視のポイントとして, 部位毎に侵食, 法崩れ・すべり, 基盤漏水の各現象に着目した監視項目が整理されている。
- 女川防潮堤は, 常時水圧が作用する河川堤防とは状況が異なるものの, 河川堤防において抽出されている各現象にも対応した監視項目が設定されている。

表 - 1 浸透・侵食に伴う変状を発見するための監視のポイント

部位	監視項目	対象となる現象		
		侵食	法崩れ・すべり	基盤漏水
表法面、堤防護岸	表法面の侵食はないか？	○		
	高水護岸や堤防護岸の破損はないか？	○		
	堀込河道における民地に達する侵食はないか？	○		
天端	堤防天端に亀裂、陥没等の変状はないか？		○	
裏法面	法面に变形はないか？		○	○
	法面に亀裂はないか？		○	○
裏小段、裏法尻、裏法尻周辺の堤内地	法尻周辺が泥濘化していないか？		○	
	小段、法尻、法尻近傍の堤内地に漏水、噴砂はないか？		○	○
	明らかに噴き上がる漏水はないか？			○
樋門等構造物接合部	堤体と構造物との境界から漏水、噴砂は生じていないか。			○

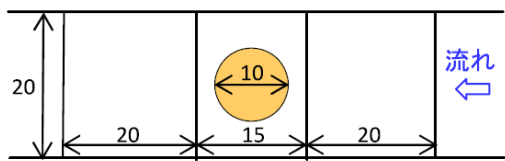
※ ある部位で変状を確認した場合には、他の部位を再度確認すること。

補足説明資料

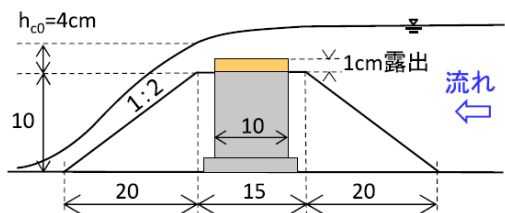
4. セメント改良土の耐侵食性・耐洗掘性について

4.1 模型実験によるコーン指数を指標とした耐侵食性確認

- 「本田隆英, 織田幸伸, 伊藤一教, 石井裕泰, 高畠知行: 貧配合セメント混合土を用いた海岸堤防の粘り強さに関する実験的研究, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.70, No.2, 1981_1985, 2014」によると, セメント混合土は, 強度がある一定($q_c=4.0\text{MPa}$)以上となると, 越流による侵食が見られないことが分かる。



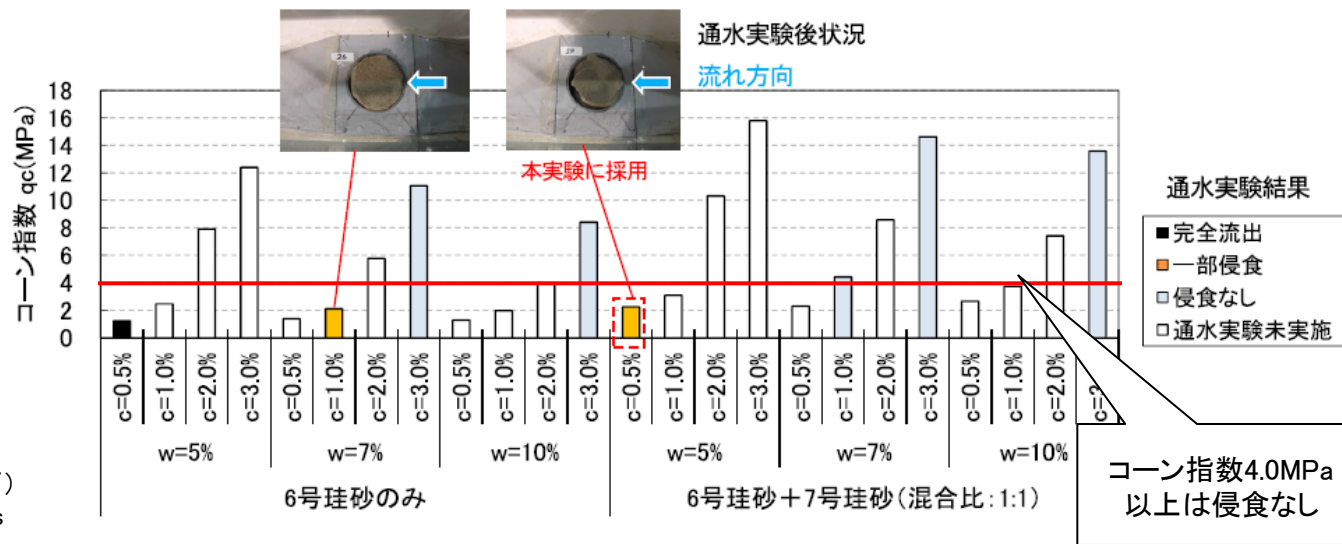
(a) 平面図



(b) 断面図

・越流条件(下流側法肩)
水深4.0cm, 流速1.0m/s

◆ 模型実験の構造断面



◆ 実験結果



・越流により侵食しない強度であるコーン指数 $q_c=4.0\text{MPa}$ は, 一軸圧縮強度 $q_u=q_c/5=0.8\text{MPa}$ 相当となる(「地盤調査の方法と解説(地盤工学会, 2004)」)。

・女川防潮堤のセメント改良土は設計基準強度 $q_u=2.7\text{MPa}$ であることから, 侵食に対して耐性を持つと考えられる。

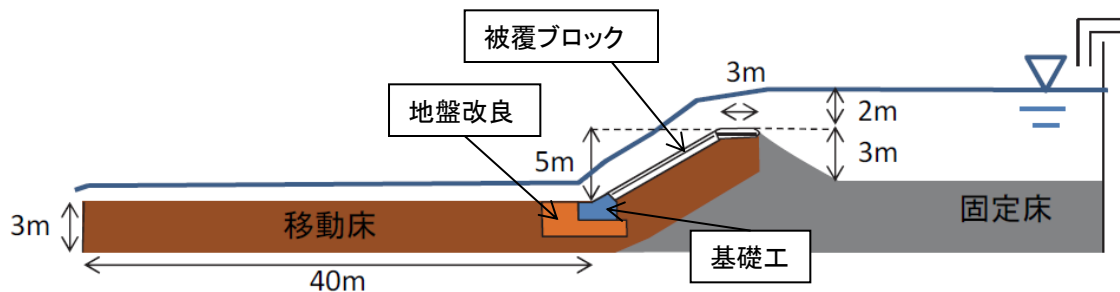
4.2 海岸堤防を模擬した大規模実験(1/2)

- 「加藤史訓, 諏訪義雄, 鳩貝聡, 藤田光一: 津波の越流に対して粘り強く減災効果を発揮する海岸堤防の構造検討, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.70, No.1, 31-49, 2014」によると, 海岸堤防を越流する津波を模擬した大規模実験において, 裏法尻の地盤改良により洗掘防止効果があることが確認されている。

■ 実験概要(模型縮尺1/2)

ケース	地盤改良	最大越流水深 (現地換算値)
5-1-2m	無し	2 m
5-2-2m	有り	2 m

(備考)

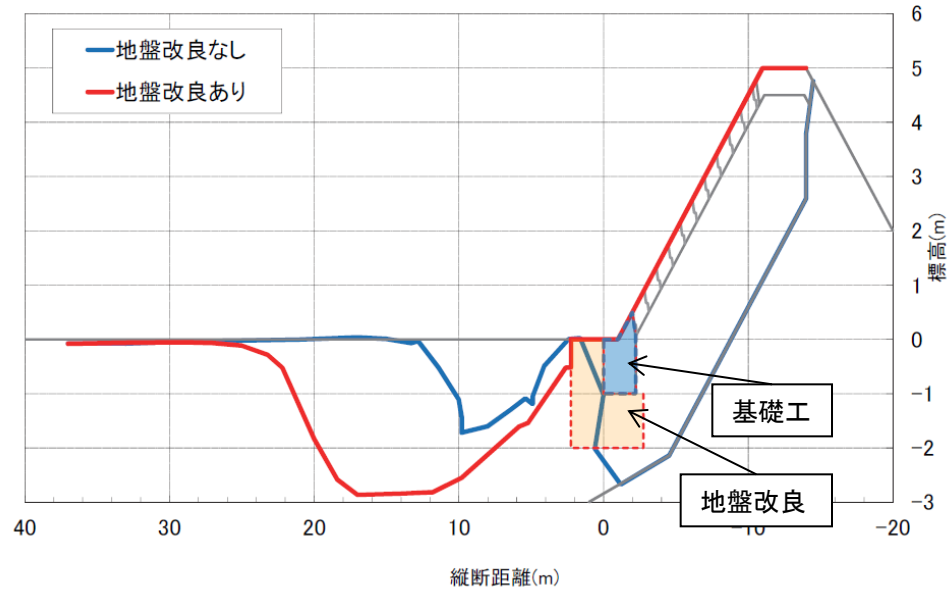
セメント改良土の引張り破壊応力 $5.9\text{N}/\text{cm}^2$ 

◆ 模型実験の構造断面



◆ 実験水路写真

4.2 海岸堤防を模擬した大規模実験(2/2)



・地盤改良を施したケースでは、地盤改良部分の下面が露出するほどの洗掘は生じず、原型を留めている。



・本実験中のセメント改良土の引張り破壊応力 $5.9\text{N}/\text{cm}^2$ に対し、女川防潮堤のセメント改良土は引張り強度 $35\text{N}/\text{cm}^2$ であるため、洗掘に対して耐性を持つと考えられる。



◆ ケース5-1-2m(地盤改良なし)の試験終了後状況



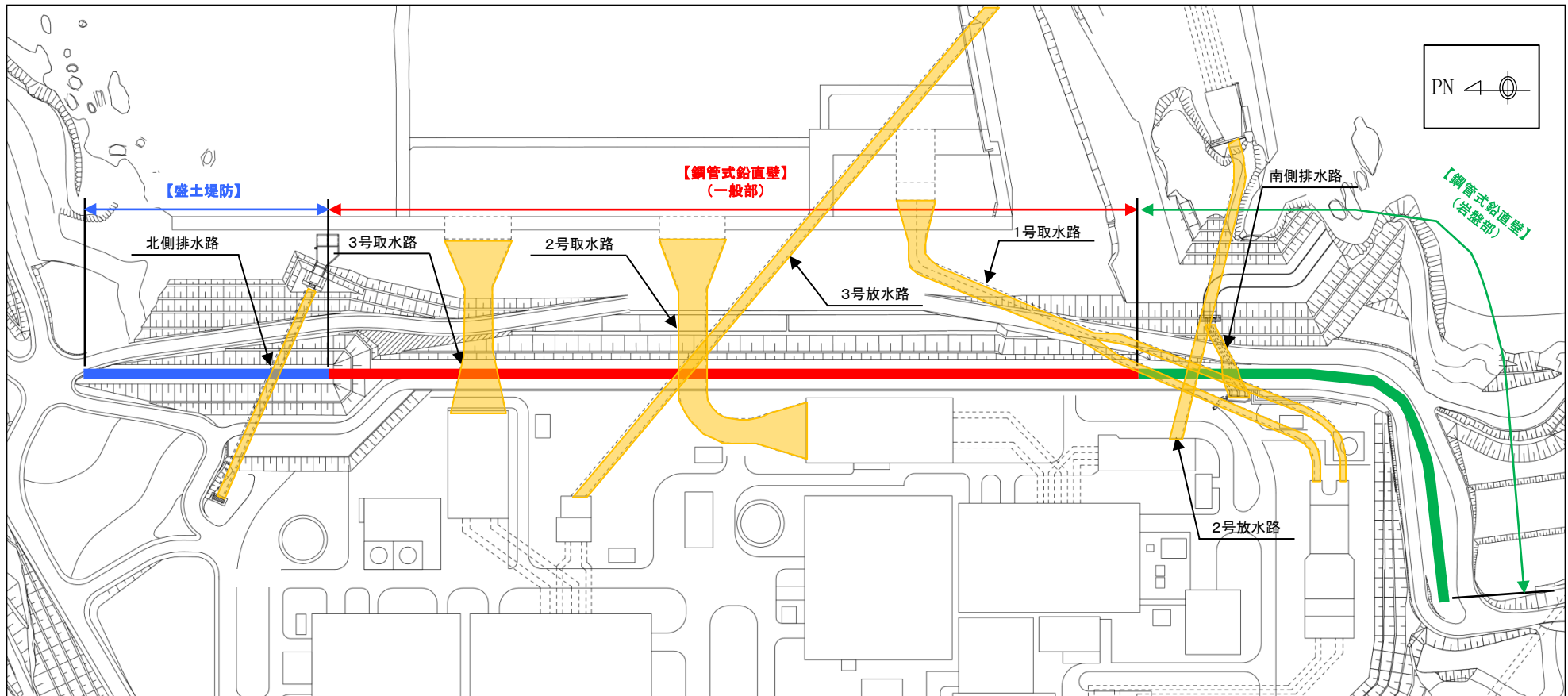
◆ ケース5-2-2m(地盤改良あり)の試験終了後状況

補足説明資料

5. 防潮堤を横断する構造物の取扱いについて

5.1 防潮堤を横断する構造物(1/2)

- 防潮堤内及び直下を横断する構造物を対象に、設置状況や地震に対する評価状況から、当該構造物の損壊等による防潮堤機能への影響の有無を確認する。
- 防潮堤を横断する構造物は、下図のとおり、発電用冷却水の取放水設備並びに構内排水設備である。

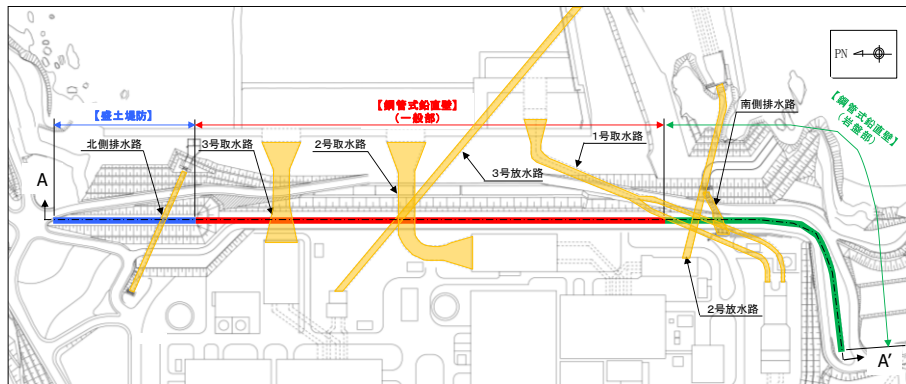


平面位置図

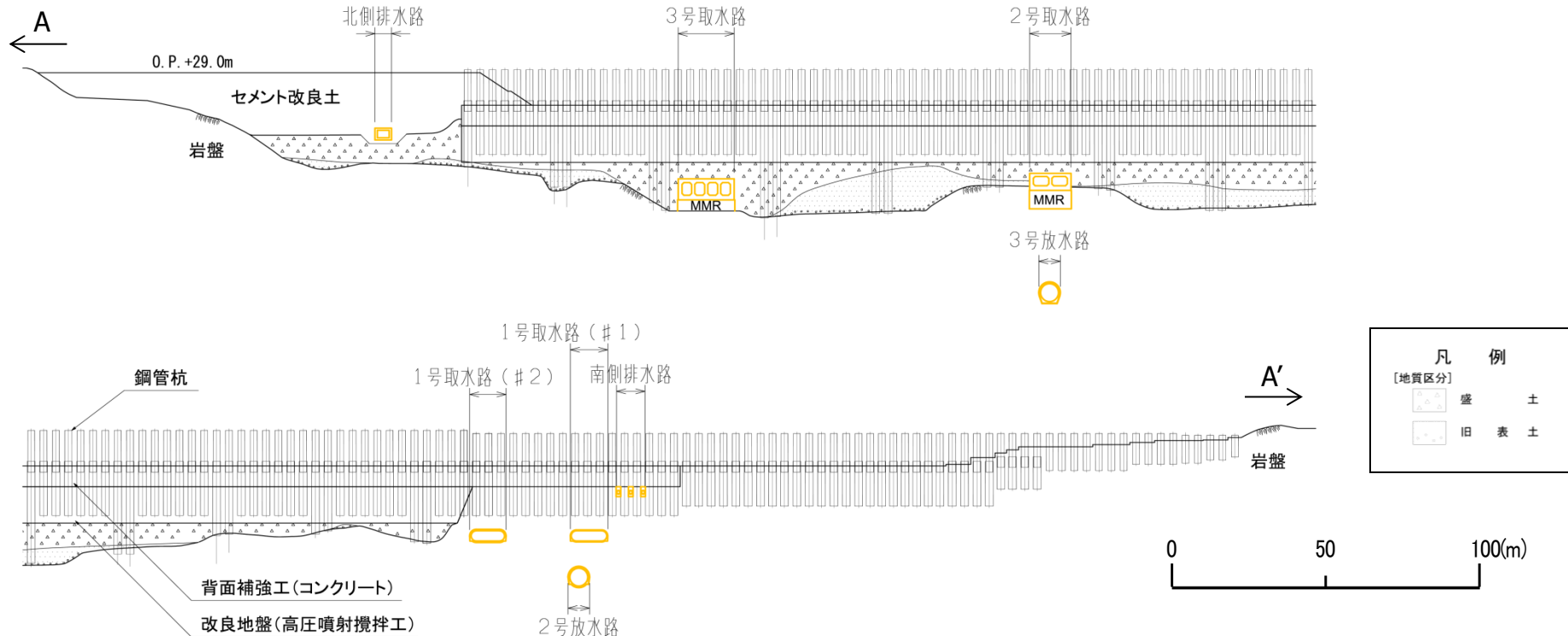
0m 100m

5.1 防潮堤を横断する構造物(2/2)

- 防潮堤を横断する構造物は、北側排水路を除き、岩盤上あるいは岩盤内に設置されている。



横断位置	構造物名	構造形式	設置状況
盛土堤防	北側排水路	鉄筋コンクリート造	セメント改良土内に設置
鋼管式鉛直壁 (一般部)	2号取水路	鉄筋コンクリート造	岩盤上に設置
	3号取水路	鉄筋コンクリート造	岩盤上に設置
	3号放水路	鉄筋コンクリート造	岩盤トンネル
鋼管式鉛直壁 (岩盤部)	1号取水路	鉄筋コンクリート造	岩盤トンネル
	2号放水路	鉄筋コンクリート造	岩盤トンネル
	南側排水路	高密度ポリエチレン製波付管	岩盤トンネル



A - A'断面図

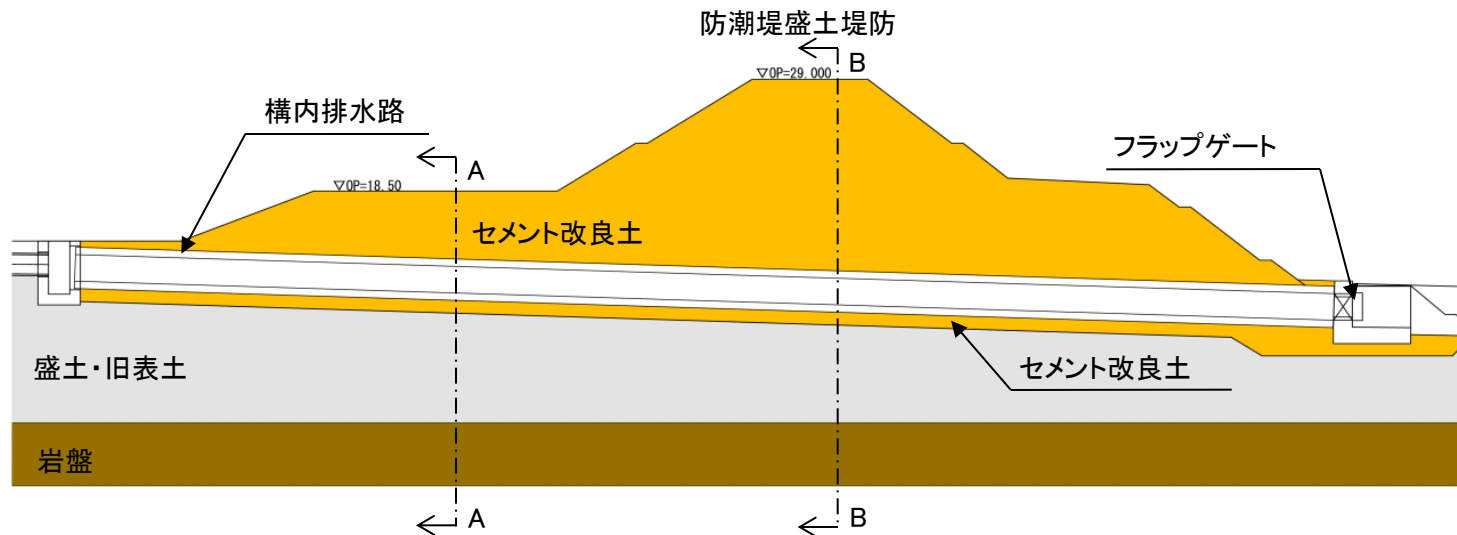
5.2 各構造物の地震に対する評価

- ・ 防潮堤を横断する各構造物はいずれも地中構造物であることから、主たる外部事象である地震に対する評価を行った。
- ・ いずれの構造物も、地震による構造物の損傷に起因する漏水(防潮堤を横断する浸水経路の形成)の可能性はないことを確認した。
- ・ また、地震による影響だけでなく、コンクリートの劣化、ひび割れ等による漏水を防止する観点からも保守管理を適切に実施することが重要である。保守管理について『5.4 各構造物の保守管理』に記載する。
- ・ なお、北側排水路のみ設置状況が異なることから、参考として詳細構造を次頁以降に示す。

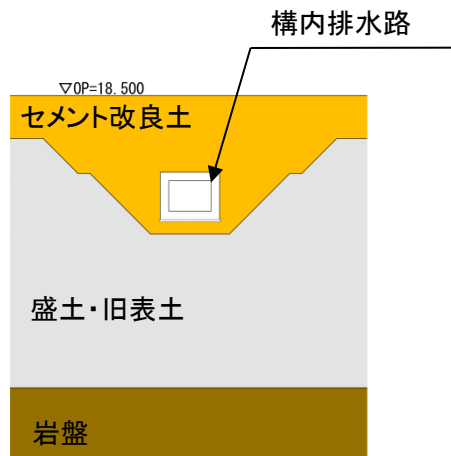
構造物名	防潮堤構造形式	設置状況	地震に対する評価	漏水の可能性の有無
北側排水路	盛土堤防	セメント改良土内に設置	基準地震動Ssに対して機能維持	無
2号取水路	鋼管式鉛直壁 (一般部)	岩盤上に設置	基準地震動Ssに対して機能維持	無
3号取水路		岩盤上に設置	基準地震動Ssに対して機能維持	無
3号放水路		岩盤トンネル	岩盤内に構築されており、十分な厚さ(構造物上面から岩盤上面までの離隔)が確保されていることから、損傷等による防潮堤への影響はない。	無
1号取水路	鋼管式鉛直壁 (岩盤部)	岩盤トンネル	岩盤内に構築されており、十分な厚さ(構造物上面から杭下端までの離隔)が確保されていることから、損傷等による防潮堤への影響はない。	無
2号放水路		岩盤トンネル	岩盤内に構築されており、十分な厚さ(構造物上面から杭下端までの離隔)が確保されていることから、損傷等による防潮堤への影響はない。	無
南側排水路		岩盤トンネル (MMR内)	岩盤(MMR)内に構築されており、十分な厚さ(構造物上面から岩盤(MMR)上面までの離隔)が確保されていることから、損傷等による防潮堤への影響はない。	無

5.3 参考 北側排水路の構造(1/2)

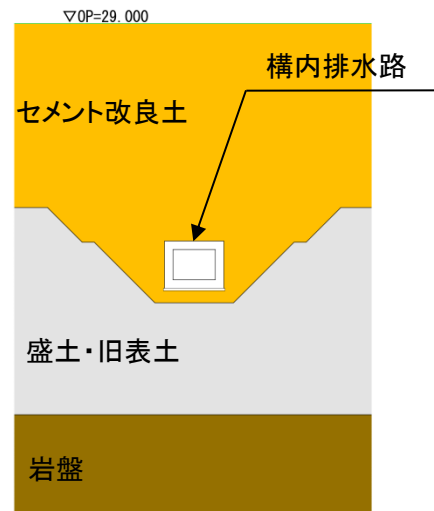
- 北側排水路は、透水性が小さく耐侵食性に優れたセメント改良土内に設置されている。
- このため、万が一排水路のひび割れやブロック間の目開きから水路外に漏水が生じたとしても、漏出箇所より侵食範囲が広がり防潮堤を横断する排水経路に進展していく可能性は低いと考えられる。



北側排水路縦断面図



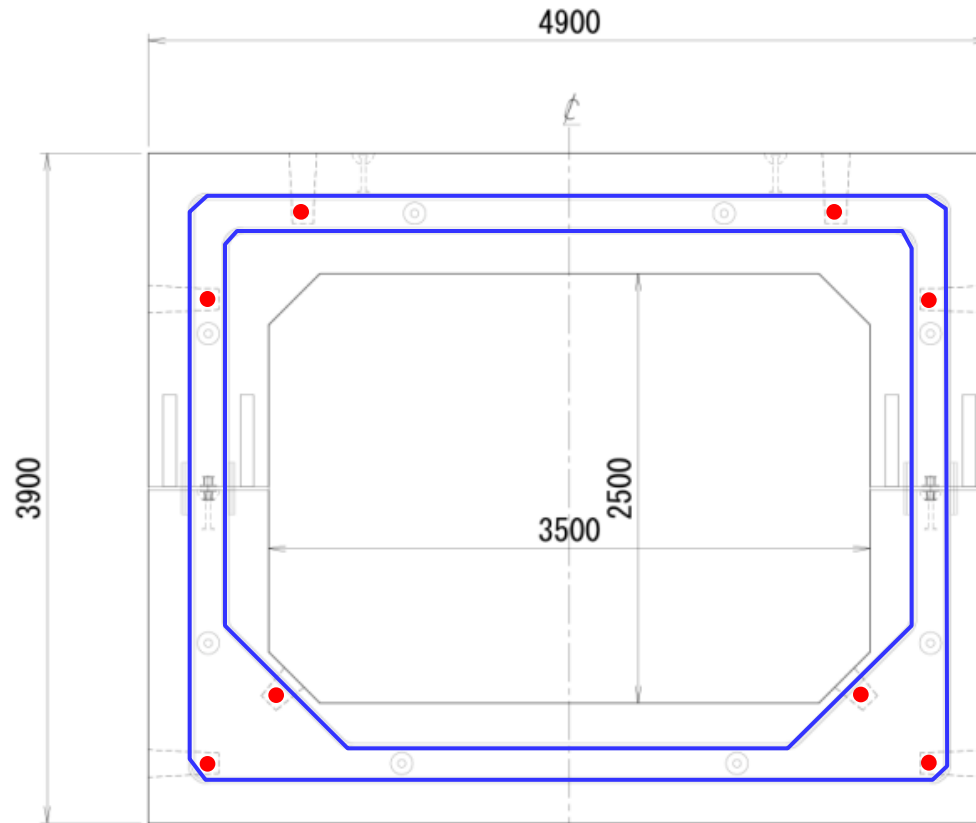
A-A断面図



B-B断面図

5.3 参考 北側排水路の構造(2/2)

- 北側排水路の標準断面図を以下に示す。
- PC鋼線により水路縦断方向にプレストレスを導入することで、排水路ブロックを一体化し、水密性に配慮した構造としている。



北側排水路断面図

凡例

- : PC鋼線 (B種1号SBPR φ17mm)
- : 水膨張パッキン (スポンジ系)

5.4 各構造物の保守管理

- 防潮堤を横断する各構造物は、地震により防潮堤の機能に影響を与えないことを確認しているが、浸水経路形成を回避する観点から、保守管理を適切に実施することが重要である。
- 防潮堤並びに防潮堤を横断する構造物の保守管理は、補足説明資料3の考え方にに基づき適切に実施していく。以下、防潮堤を横断する構造物の点検内容(例)を示す。

横断位置	構造物名	点検内容(例)	点検頻度(例)	備考
盛土堤防	北側排水路	排水状況 コンクリート工作物の亀裂, 破損, 沈下, 劣化状況等 周辺地山の変状の有無	1回/月	
鋼管式鉛直壁 (一般部)	2号取水路	構造物本体の変位, 変形, 沈下 ひび割れ, 剥離・剥落, 湧水等の有無	定期検査毎	
	3号取水路	構造物本体の変位, 変形, 沈下 ひび割れ, 剥離・剥落, 湧水等の有無	定期検査毎	
	3号放水路	ロボット活用等を含め詳細点検計画を検討	定期検査毎	
鋼管式鉛直壁 (岩盤部)	1号取水路	構造物本体の変位, 変形, 沈下 ひび割れ, 剥離・剥落, 湧水等の有無	定期検査毎	
	2号放水路	ロボット活用等を含め詳細点検計画を検討	定期検査毎	
	南側排水路	排水状況 工作物の亀裂, 破損, 沈下, 劣化状況等 周辺地山の変状の有無	1回/月	

5.4.2 参考文献(1/2)

(1)河川堤防の構造検討の手引き(改訂版) 財団法人 国土技術研究センター

・当文献では、堤体内の構造物からの漏水を防止する工法(抜本的対策)の1つに、水みちを連続させない対策として連壁工法(函体を取り囲むようにコンクリートあるいはセメント系改良体を設置し、これらの止水機能によって、構造物に沿う水の流れを遮断する)が記載されている。

対策の目的	水を入れない		水みちを連続させない		パイピングを押さえる	
対策の考え方	構造物に沿う緩みや空洞の発生は、地盤沈下が進行性であることから、避けることが出来ない。従って、最も信頼性のある漏水対策は、河川水の入り口での遮水を完全にし、構造物周辺への水の侵入を防止することである。		構造物とその周辺堤防で、漏水につながる水みちを最も形成しやすいのは構造物に沿う部分である。したがって、構造物を横断的に取り巻くように完璧な遮水壁を築造すれば水みちの発生は防止できる。		構造物沿いに水が流れても構造物自体に危険はなく、土が移動して排出されなければ堤体に対する危険な状態は生じない。従って、漏水の出口での対策により、パイピングを生じさせることなく排水することによって堤体の安全は保たれる。	
対策工法	連続矢板打設および遮水シート敷設・接合		止水板方式	連壁方式	押え盛土方式	水圧バランス方式
概念図	<p>連続矢板打設</p> <p>護岸</p> <p>空コンクリート</p> <p>連続矢板</p> <p>(堤外)</p>	<p>遮水シート敷設・接合</p> <p>護岸</p> <p>止水シート(護岸下に敷設)</p> <p>(堤外)</p>	<p>[堤防天端]</p> <p>函体</p> <p>止水鋼板</p> <p>止水シート</p> <p>(掘削線)</p>	<p>[堤防天端]</p> <p>反力材</p> <p>薬液注入</p> <p>コンクリート遮水壁=600</p>	<p>[天端]</p> <p>[小段]</p> <p>押え盛土</p> <p>(堤内)</p>	<p>[小段]</p> <p>鋼矢板</p> <p>(堤内)</p>
工法の原理	堤外側の樋門前面に、樋門を取り囲むように矢板を連続して打設し、矢板の遮水機能によって河川水の侵入を阻む。	護岸下に遮水シートを敷設すると共に、構造物と一体化し、シートの遮水機能によって河川水の侵入を抑制する。	函体を取り囲むように鋼板、鋼矢板あるいはシートを設置し、これらの遮水機能によって、構造物に沿う水の流れを遮断すると共に浸透路長を増大させる。	函体を取り囲むようにコンクリートあるいはセメント系改良体を設置し、これらの遮水機能によって、構造物に沿う水の流れを遮断すると共に浸透路長を増大させる。	堤内側の法先地盤に盛土し、盛土材の厚さ及び荷重によって、表層での動水勾配を低減あるいは上載圧を増加させてパイピング発生を阻止する。	堤内側の樋門前面に、樋門を取り囲むように矢板等で壁体を作り、洪水時には水を貯めて、水圧によってパイピングの発生を阻止する。
効果の確実性等からみた工法の長所・短所	<p>(長所)</p> <ul style="list-style-type: none"> 河川工事に対する実績が豊富であり、確実な遮水効果が期待できる 打設位置が樋門前面であることから、堤体や函体に直接の影響を与えない <p>(短所)</p> <ul style="list-style-type: none"> 地盤条件によって施工にムラがあり、遮水効果が低減する危険性がある 	<p>(長所)</p> <ul style="list-style-type: none"> 遮水シートは充分な施工実績を有し、確実な遮水効果が期待できる 遮水性が損なわれた場合の補修が容易である <p>(短所)</p> <ul style="list-style-type: none"> シートは盛土の沈下や護岸の変状に伴って容易に破断する危険性がある 	<p>(長所)</p> <ul style="list-style-type: none"> 鋼板、鋼矢板およびシートそのものの遮水性は実績があり、遮水効果が期待できる <p>(短所)</p> <ul style="list-style-type: none"> 函体との隙間が僅かでも生じた場合は遮水効果が著しく減少する 樋門の漏水対策としての施工実績がない 	<p>(長所)</p> <ul style="list-style-type: none"> 連壁工法は一般的な遮水工法としての施工実績があり、壁体の厚みによる遮水効果が確認されている 噴射改良体の場合は既設基礎杭を利用するため、遮水性は劣る 函体との隙間が僅かでも生じた場合は遮水効果が著しく減少する 	<p>(長所)</p> <ul style="list-style-type: none"> 堤防の浸透対策として一般的な工法であり、効果が確認されている 浸透流解析によって効果を精度良く把握することができる <p>(短所)</p> <ul style="list-style-type: none"> 盛土をすることで、新たに沈下が発生し、空洞が形成されるおそれがある 	<p>(長所)</p> <ul style="list-style-type: none"> 古くからの水防工法である“月の輪”を応用して恒久対策としたものであり、効果が確認されている 堤内側の水路を遮断する構造となるため、新たなゲートが必要となる 堤体土質によっては、周辺堤防の浸透面を上昇させ、不安定化させるおそれがある
施工性	<ul style="list-style-type: none"> 堤体や樋門の条件に殆ど左右されず、比較的短期間で施工できる 仮設は矢板工のためのクレーン設置のみである 振動、騒音が多い 工事のための新たな用地は不要 	<ul style="list-style-type: none"> 仮設は護岸工のためのクレーン設置のみである 既設護岸の全面張り替えを必要とする シートと構造物との接合方法に特に留意する必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> 函体の切削を必要とする シートを除き、設置には堤体の開削を必要とする 規模の大きな仮設を要する 函体との固定方法に特に留意する必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> 規模の大きな仮設を要する 壁体と同程度の排泥があるため排泥対策を必要とする 函体との密着方法に特に留意する必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> 土工のみであり施工は最も容易である 特別な仮設を必要としない 低工事費 堤内側に用地を必要とする 	<ul style="list-style-type: none"> 堤内側に用地及び施工ヤードを必要とする 平常時は壁体で囲まれた空間となるため、安全対策が必要となるなど、大がかりな対策となる可能性がある
地盤沈下が進行する場合の対策効果の持続性確保対策	盛土の外側への打設であることから沈下の影響は殆ど受けないが、翼壁・水路等の既設構造物との接合部付近については必要に応じて可換性矢板を用いる。	地盤沈下の影響は構造物との接合部に最も大きく生じることから、シートとの接合部にあらかじめ余裕を持たせることによってシートの破断を防止する。	函体との固定方法は地盤沈下を考慮したものとする。地中部分のセグメントの接合部には鋼板・鋼矢板には表面被覆を施し、シートには繊維補強を施す。	噴射改良体の場合は杭と一体化させることにより沈下を防止する。その他の場合は函体との接合部に注入ホースを埋設して、壁体築造後充填する。	盛土を追加して行うことにより対応できるが、それによって新たな沈下が発生しないように十分な検討が必要である。	盛土の外側への設置であることから、沈下の影響を受けることは殆どなく、補修等の維持管理も容易である。

5.4.2 参考文献(2/2)

(2) 柔構造物樋門設計の手引き 財団法人 国土技術研究センター

- ・当文献では、構内排水路で採用しているプレキャストブロック工法(複数の函体ブロックを一本化するために函軸方向に緊張力を導入する工法)の設計手法について記載されており、施工事例が紹介されている。

7.6.5.2 プレストレストコンクリート構造

函軸方向に緊張力を導入する場合は、緊張力の導入の目的に対応した適切な設計を行う。

【解説】

函軸方向に緊張力を導入する目的としては、次のような場合がある。

① 弾性継手材を圧縮して、函軸弾性を得るために継手部に導入する緊張力

② 複数の函体ブロックを一体化するために接合部に導入する緊張力

同時に上記の二つを目的とする緊張力を導入する場合は、原則として各々独立した緊張材を配置する。

2) 複数の函体ブロックを一体化するために函軸方向に導入する緊張力

複数の函体ブロックを一体化するために函軸方向に緊張力を導入する(プレキャストブロック工法)場合は、接合部に無収縮モルタルや接合ゴムなどを介して、設計荷重作用時に接合部に引張応力が発生しないフルプレストレスト状態(実際には、安全性を考慮して接合部力の最小値を 5 kgf/cm^2 { 0.5 N/mm^2 }とする)となる緊張力を導入することによって、函体ブロックを一体化し、接合部の水密性を確保する。一般に1スパンを対象に緊張するので単スパン緊張と呼ばれる。



プレキャスト PC 函体 (北海道開発局)



プレキャスト PC 函体 (九州地方建設局)

余白

補足説明資料

6. 盛土及び旧表土の施設としての取扱いについて

6.1 盛土及び旧表土を施設とした場合の取扱いについて

- 盛土及び旧表土を防潮堤の施設とした場合の設計～保守までの管理項目の考え方を下表に示す。
- 盛土及び旧表土の物性値は、施設として要求される特性が支持力及び変形性能であることから、新規基準に対する設置変更許可申請時に設定した強度特性及び液状化強度特性を用いる。
- 盛土及び旧表土の使用前検査時の品質確認については、盛土の施工管理基準に加え、コンクリート等の構造物の管理基準も参考に試験項目を設定して実施する。
- 盛土及び旧表土は、経時的に物性が変化(劣化)するものではないため、点検・保守の段階においては、補足説明資料3にて示した考え方にに基づき、地下の異常を感知できるような点検項目(例:変位, 地下水位)を設定して点検を実施する。

		管理項目(例)			
		設計	施工	使用前検査	点検・保守
物性値確認試験	物理特性(密度)				
	強度特性(せん断強度)	○ (各種試験により, 物性値設定)	○ (施工記録から, 盛土物性の均一性を確認)	● (試験項目は構造物の管理基準も参考に設定)	※ (変位, 地下水位の異常が認められた場合, 実施を検討)
	変形特性(液状化強度特性)				
点検項目	変位(鉛直)	—	—	● (保守用の初期値を測定)	●
	地下水位	—	—	●	●

○…既設記録による確認 ●…今後試験等により確認

※…状況により試験等で確認 —…実施無し

6.2 盛土及び旧表土の物性値

- 盛土は、堅固な岩盤を掘削した岩砕を用いて造成したものであり、施工規定により施工範囲全域にわたり一様に締め固められていることから、均一性が確保されているとともに、同様な力学特性を示す(後述)。
- 旧表土は、一部シルトを含むが、海浜砂が主体であり礫及び砂からなることから、同様な力学特性を示す(後述)。
- 防潮堤の施設としての盛土及び旧表土の物性値は、支持力及び変形特性に係る以下の物性値とする。

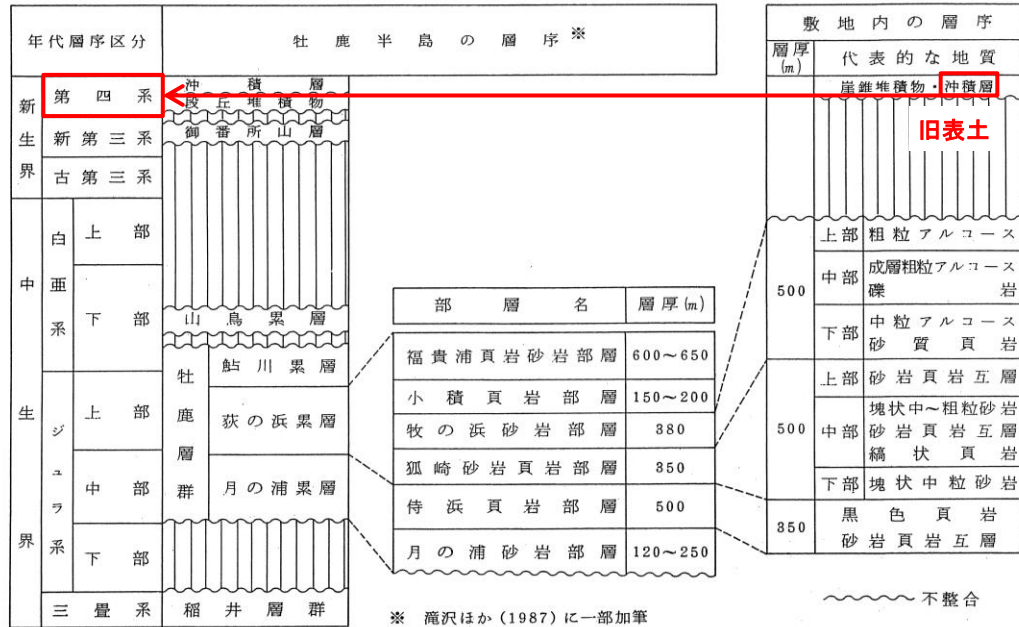
盛土及び旧表土の物性値

岩種・岩級	物理特性	強度特性			変形特性
		静的・動的特性			液状化強度特性
	単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	液状化強度比 R_{L20}
旧表土	19.0	0.08	26.2	$0.08 + \sigma \tan 26.2^\circ$	0.374
盛土	20.6	0.06	30.0	$0.06 + \sigma \tan 30.0^\circ$	0.673

6.3 敷地の概況

- 敷地には、砂岩、頁岩及び砂岩頁岩互層の堆積岩類が広く分布し、部分的にこれら貫いてひん岩が分布する。また、一部海岸付近及び低地周辺には、未固結～半固結の堆積物が分布する。
- 敷地の地質は、中生界ジュラ系、これを覆う第四系等によって構成されている。敷地のジュラ系は、牡鹿層群月の浦累層及び荻の浜累層に区分される。
- 土木構造物の設置地盤に分布する第四系は、砂層を主体とする沖積層(旧表土)である。また、整地地盤まで盛土により埋め戻されている。

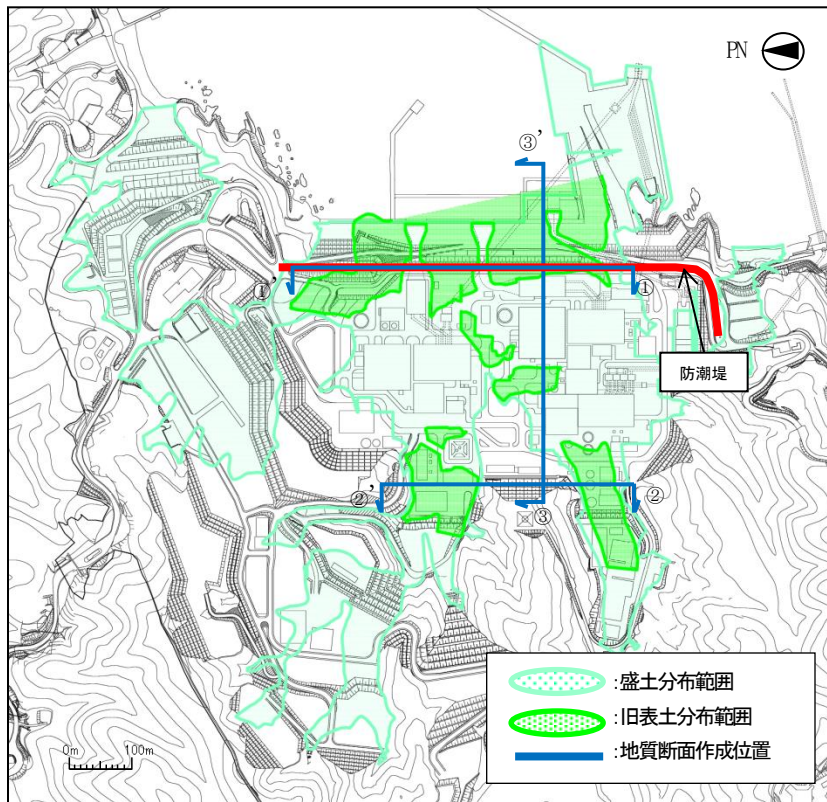
地質層序表



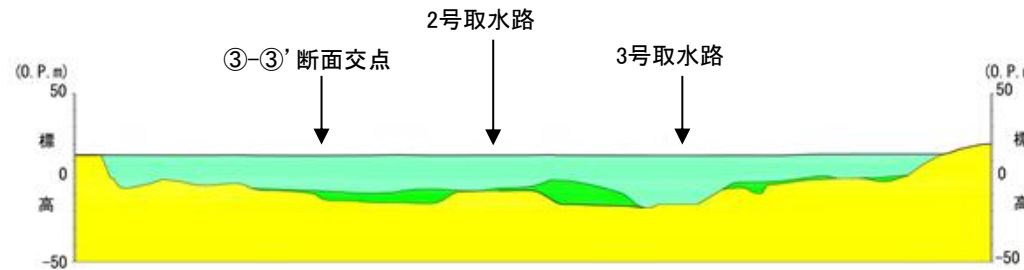
6.4 盛土及び旧表土の分布

- 敷地における旧表土の分布について、地質断面図により示す。
- 盛土は人工地盤として締固め管理※して施工されており、盛土材料は建設時に発生した岩砕(最大粒径300mm)が主体となっている。

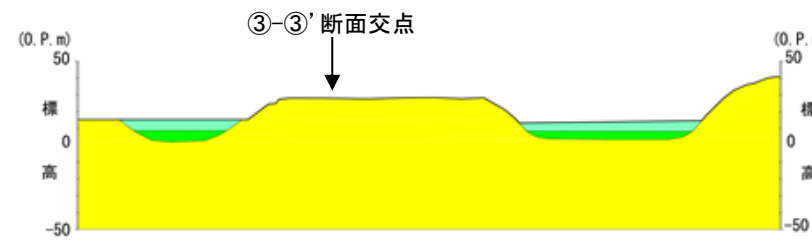
※: 撒き出し厚30cmとし、振動ローラー等で締固めを実施。施工後、現場密度試験を行い、室内試験(突固め試験)結果と比較し十分締固められていることを確認した。



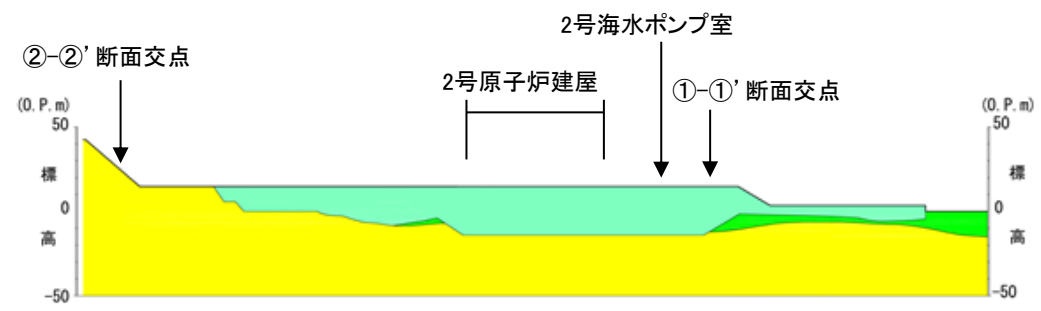
地質断面位置図



旧表土は、防潮堤付近に広く分布。2号取水路と3号取水路の中間付近で最も厚くなり、最大層厚は14m程度。



旧表土は、山側の沢地形部に分布。最大層厚は7m程度。



旧表土は、発電所建設時に掘削を行わなかった範囲に局所的に分布。層厚は最大3m程度。防潮堤海側の最大層厚は9m程度。

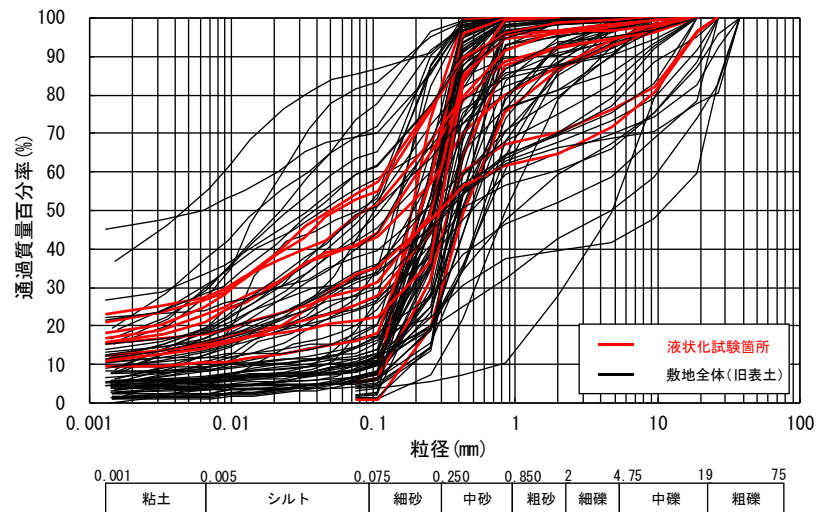


地質断面図

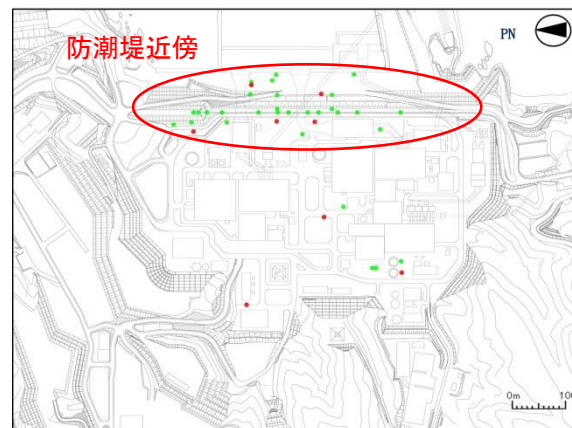
6.5.1 旧表土の基本物性

- 旧表土の基本物性(粒度分布, 細粒分含有率及びN値)を以下に示す。
- 旧表土は自然地盤であり, 基本物性にはばらつきがある。

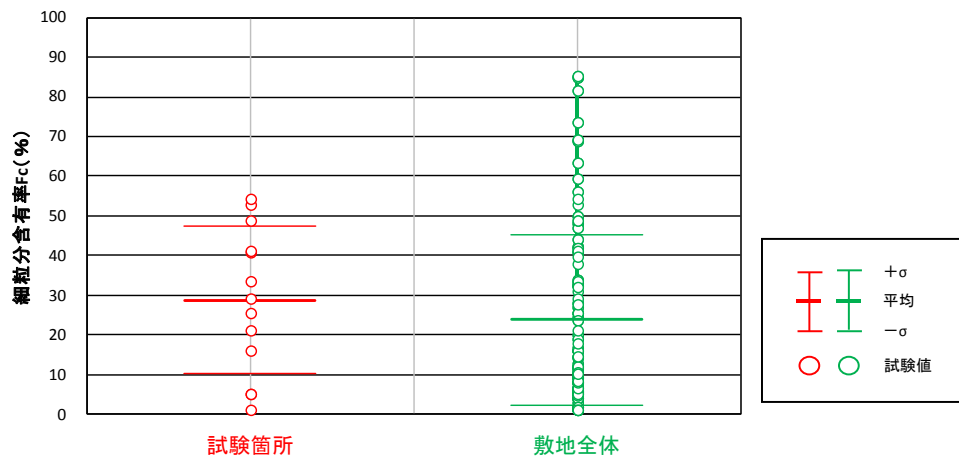
● : 液状化強度試験試料採取位置(旧表土)
 ● : 標準貫入試験位置又は物理特性試験試料採取位置



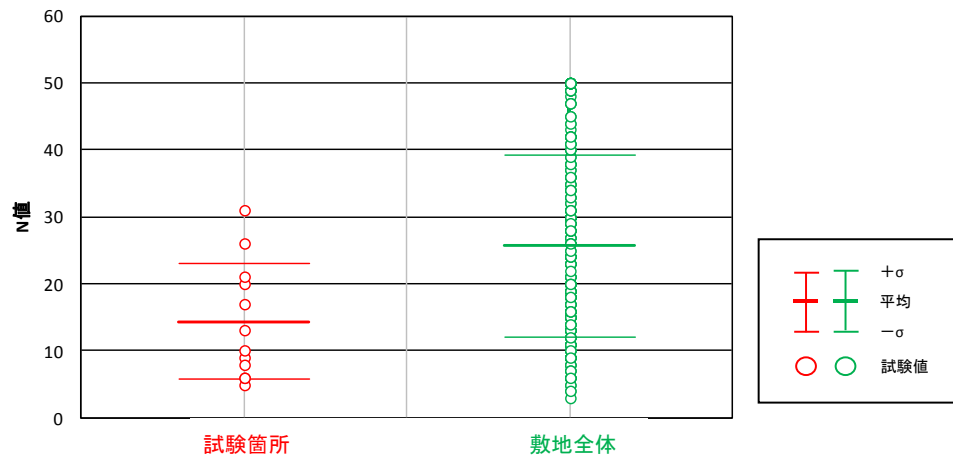
粒度分布



試験試料採取位置



細粒分含有率



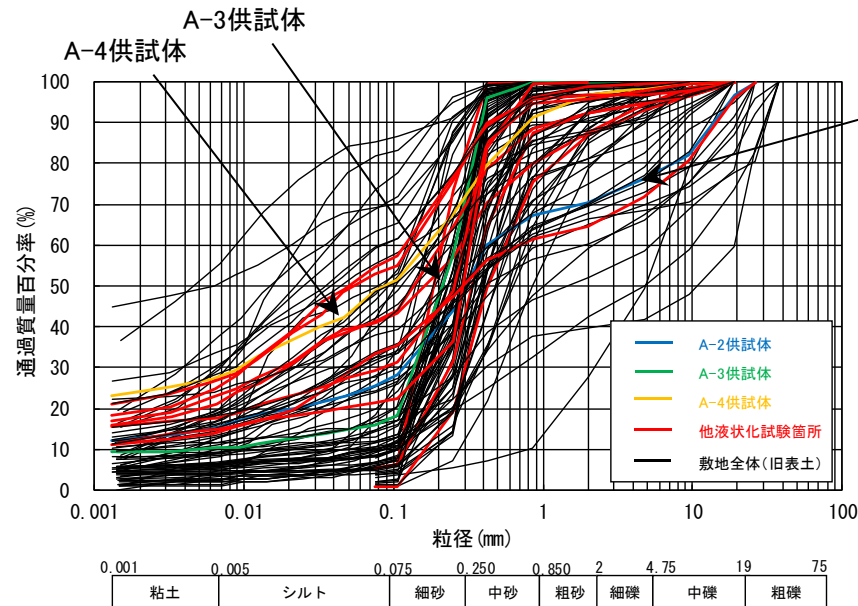
N値

6.5.2 旧表土の基本物性の比較(力学特性の確認)(1/2)

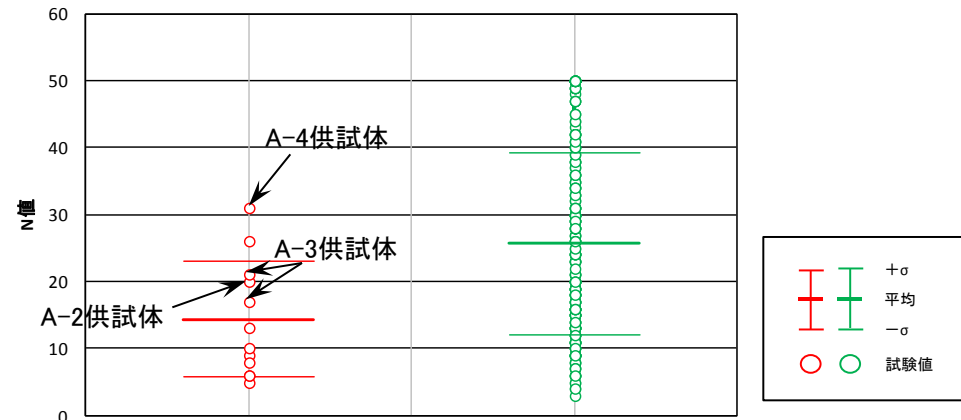
- 旧表土は基本物性にばらつきがあるものの、力学特性については同様の傾向を示すことを確認するため、粒度分布及びN値が異なる試料の液状化強度試験結果から、繰返し荷重が作用した際の変形特性を比較した。

(1) 対象試験の選択

試験ケース	選定理由	
	粒度分布	N値
A-2供試体	粒度分布が良く、礫分が多い。	平均(N=20)
A-3供試体	均一粒径	平均(N=17,21)
A-4供試体	粒度分布が良く、シルト分が多い。	大きい(N=31)



粒度分布



N値

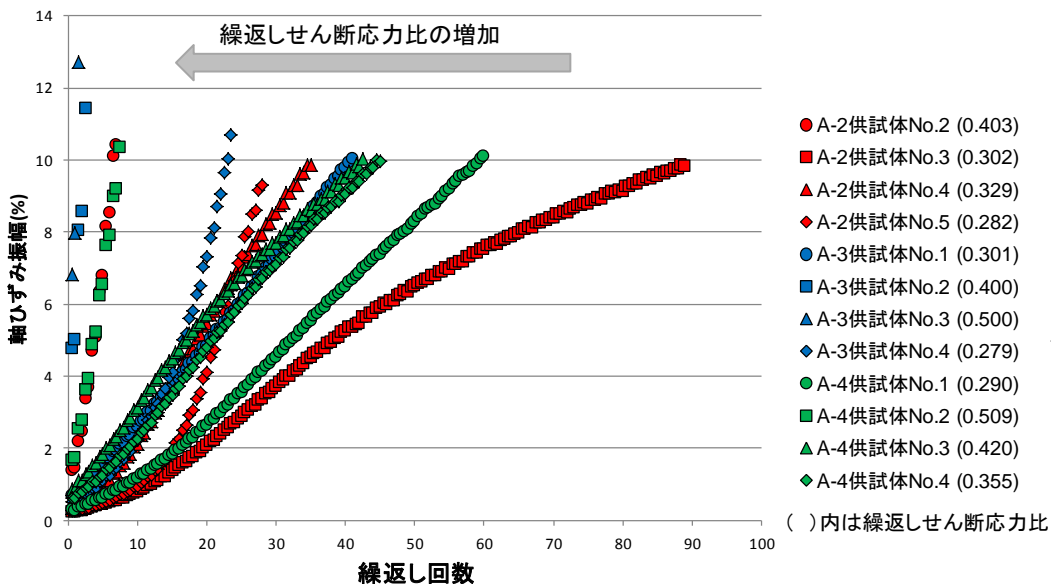
6.5.2 旧表土の基本物性の比較(力学特性の確認)(2/2)

- 旧表土は粒度分布及びN値が異なっても、地震時に繰返し荷重が作用し、過剰間隙水圧が蓄積した際の変形特性は、概ね同様の傾向を示す。

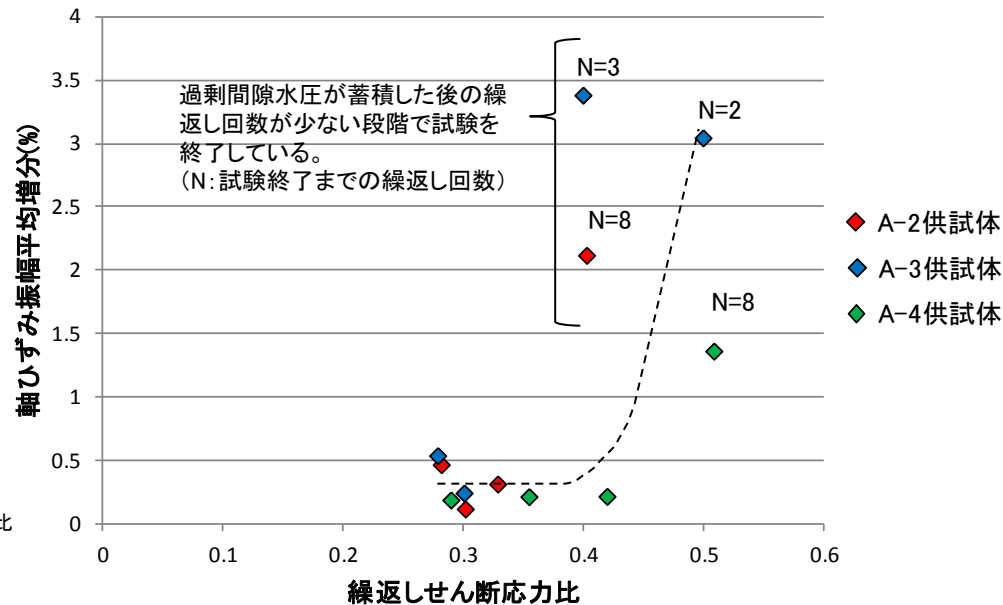
(2) 変形特性の整理

繰返し荷重に対し、概ね繰返しせん断応力比が大きいほど軸ひずみ振幅の傾きが大きく、プロット間隔が大きい傾向を示す。

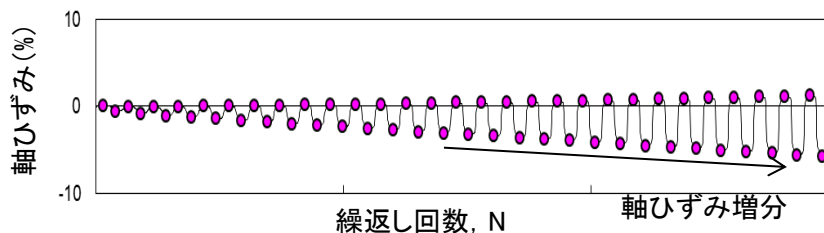
繰返し荷重に対し過剰間隙水圧が蓄積した状態におけるひずみ増分の平均値は、概ね同様の傾向を示す。



軸ひずみ振幅と繰返し回数の関係※1



軸ひずみ平均増分と繰返しせん断応力比の関係※2



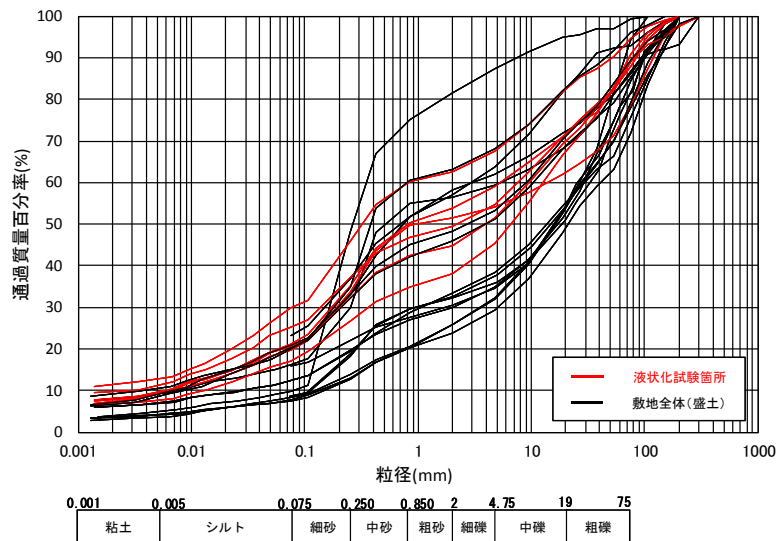
※1: 液状化強度試験において、繰返し荷重に対する軸ひずみ振幅をプロットした図であり、軸ひずみの発生度合いを示す。

※2: 液状化強度試験において、繰返しせん断応力比に対し、軸ひずみの平均増分(左のグラフの傾き)をプロットし、1波あたりのひずみ増分を示す。

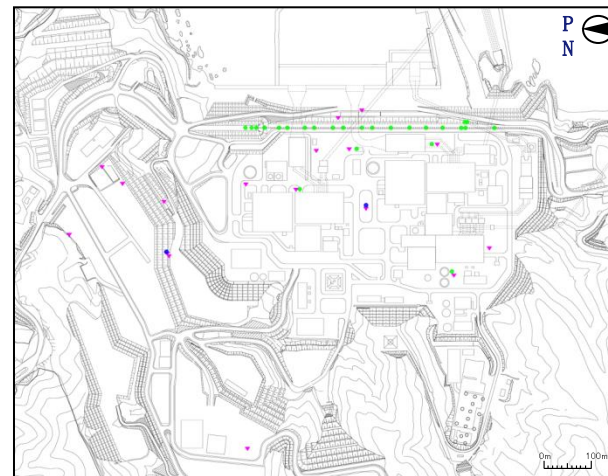
6.6.1 盛土の試料採取位置

- 盛土の基本物性(粒度分布, 細粒分含有率及び相対密度)を以下に示す。
- 盛土は人工地盤であり均一な施工を行っているが, ある程度のばらつきは存在する。

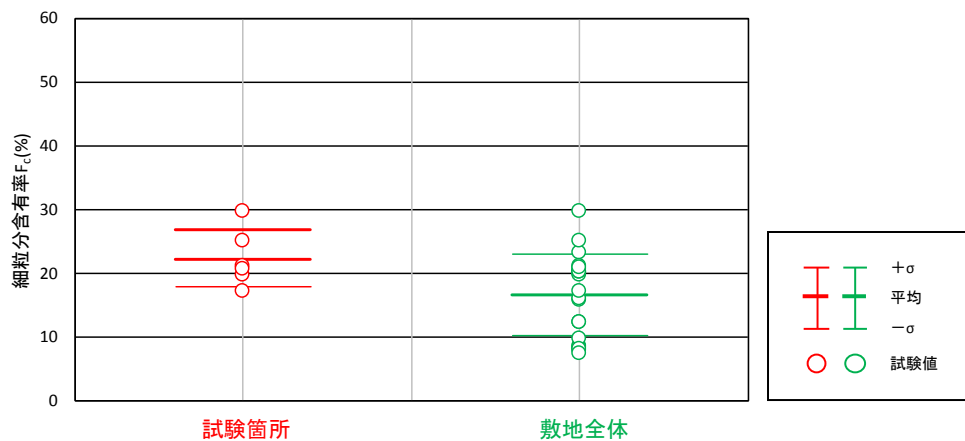
● : 液状化強度試験試料採取位置(盛土)
 ● : 物理特性試験試料採取位置
 ▼ : 原位置試験位置



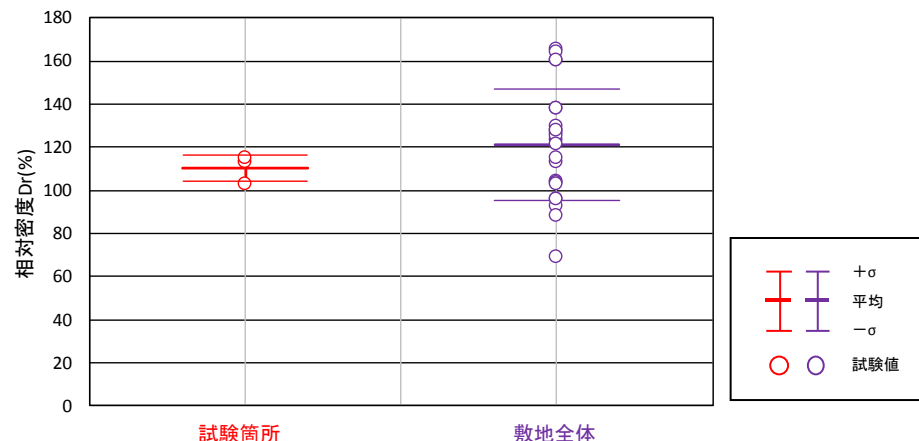
粒度分布



試験試料採取位置



細粒分含有率



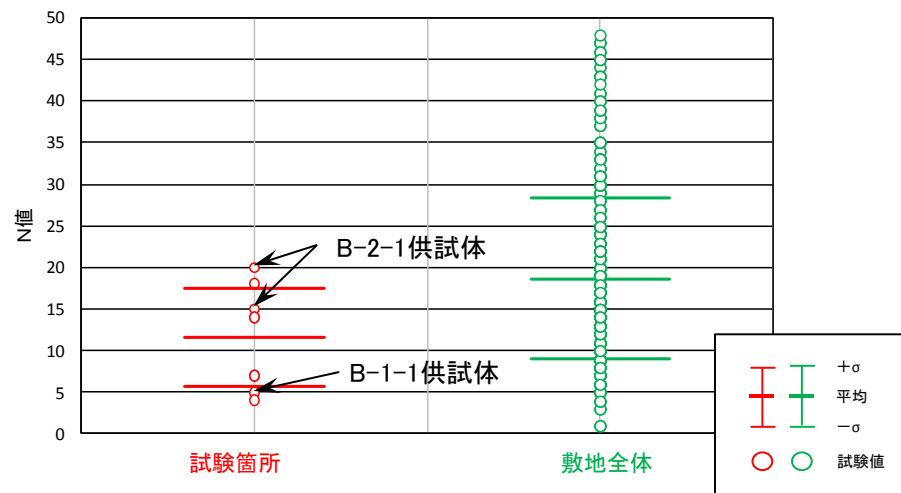
相対密度

6.6.2 盛土の基本物性の比較(力学特性の確認)(1/2)

- 盛土は基本物性にばらつきがあるものの、力学特性については同様の傾向を示すことを確認するため、N値及び標高の異なる試料に対する液状化強度試験を比較し、地震時に繰返し荷重が作用した際の変形特性を比較した。
(粒度分布は粒度調整のうえ施工を行っているため、同様の傾向を示すことから選定理由からは除外)

(1) 対象試験の選択

試験ケース	選定理由	
	N値	標高
B-1-1供試体	比較的小さい(N=5)	O.P.+14m
B-2-1供試体	比較的大きい(N=15,21)	O.P.+60m



N値

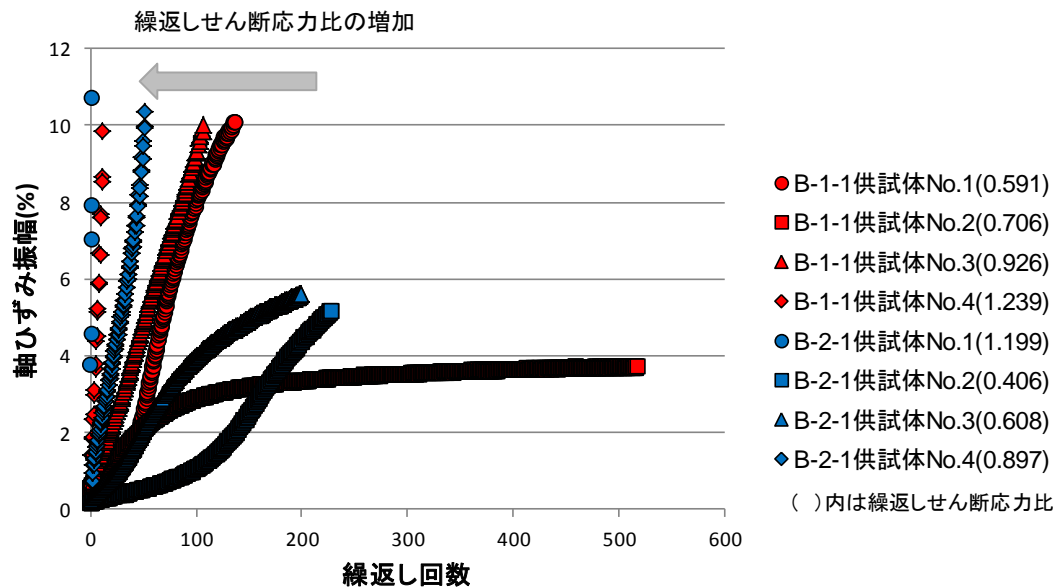
6.6.2 盛土の基本物性の比較(力学特性の確認)(2/2)

- 盛土はN値や施工場所が異なっても、地震時に繰返し荷重が作用し、過剰間隙水圧が蓄積した際の変形特性は、概ね同様の傾向を示す。

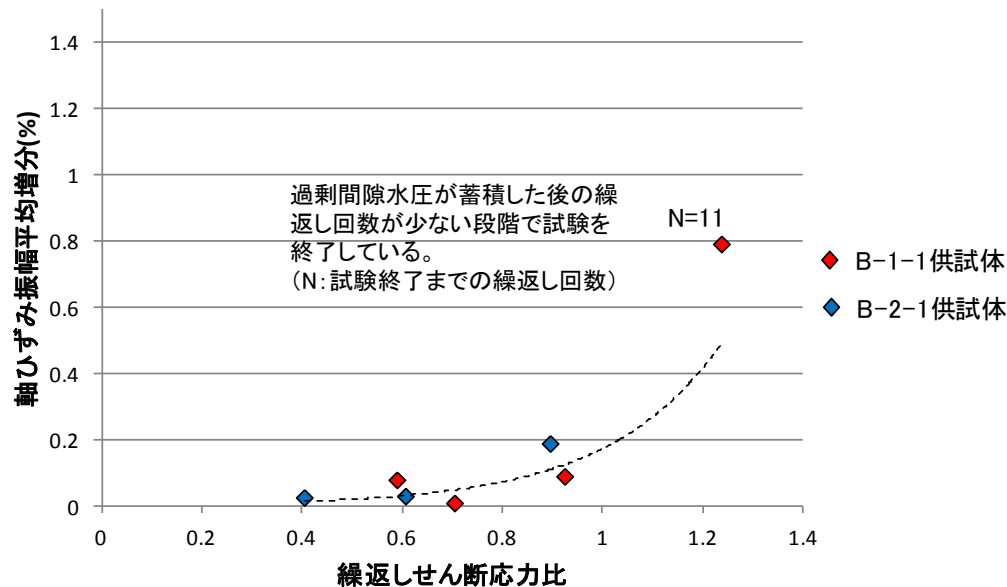
(2) 変形特性の整理

繰返し荷重に対し、概ね繰返しせん断応力比が大きいほど軸ひずみ振幅の傾きが大きく、プロット間隔が大きい傾向を示す。

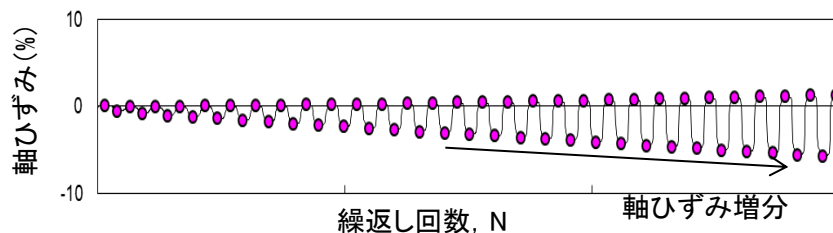
繰返し荷重に対し過剰間隙水圧が蓄積した状態におけるひずみ増分の平均値は、概ね同様の傾向を示す。



軸ひずみ振幅と繰返し回数の関係※1



軸ひずみ平均増分と繰返しせん断応力比の関係※2

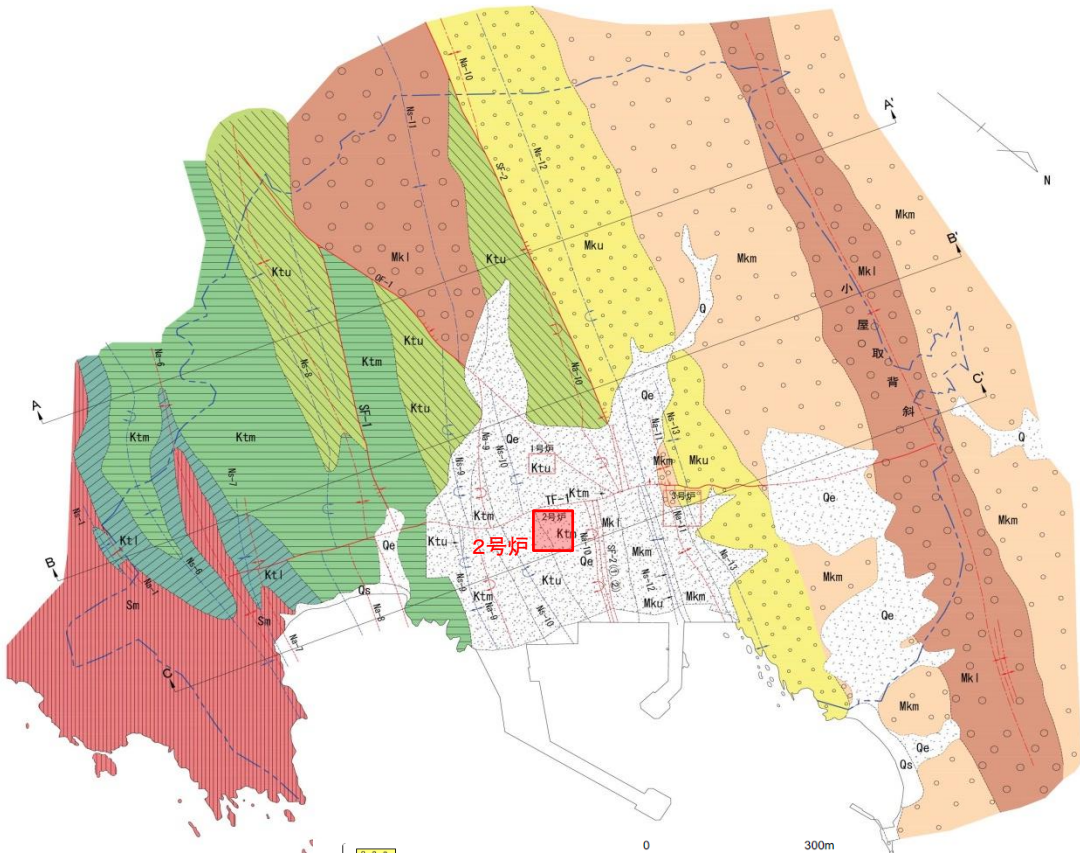


※1: 液状化強度試験において、繰返し荷重に対する軸ひずみ振幅をプロットした図であり、軸ひずみの発生度合いを示す。

※2: 液状化強度試験において、繰返しせん断応力比に対し、軸ひずみの平均増分(左のグラフの傾き)をプロットし、1波あたりのひずみ増分を示す。

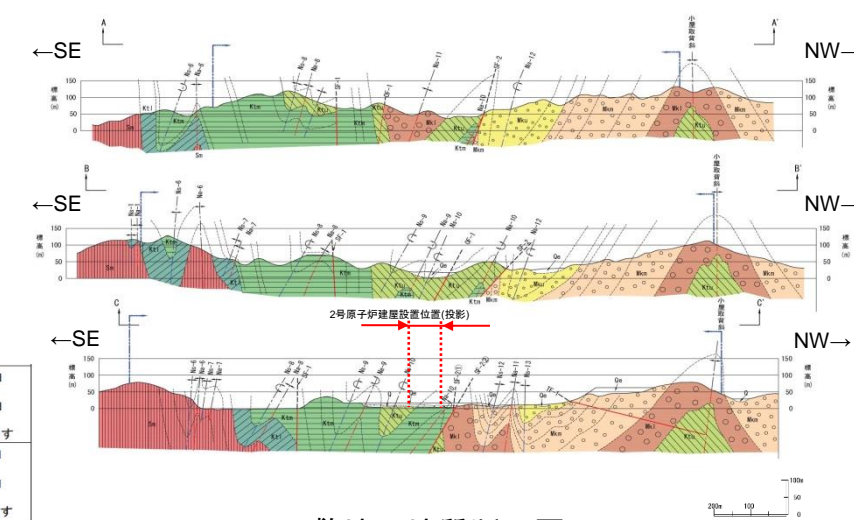
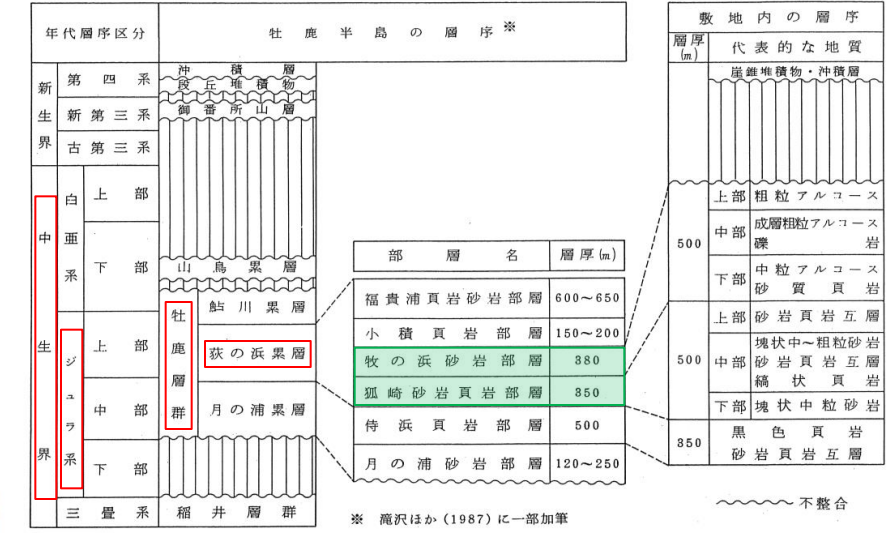
6.7.1 盛土材料(岩砕)の母材の性状(1/2)

- 盛土材料(岩砕)の母材は敷地に分布する硬岩(砂岩, 頁岩主体)であり, 発電所建設における基礎掘削において発生した岩砕を盛土材料としている。



敷地の地質平面図

敷地の地質層序表

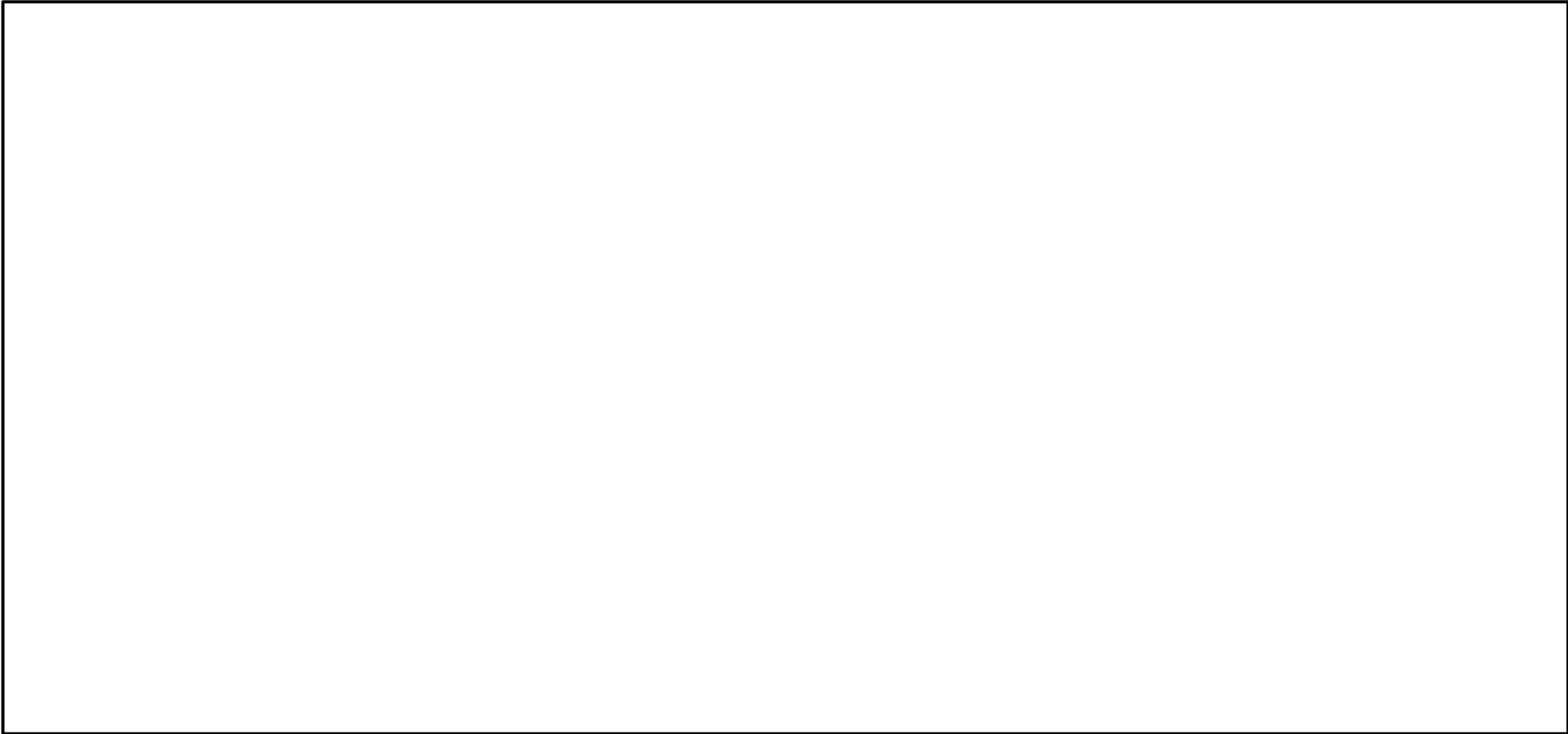


敷地の地質断面図

※地質境界, 断層線, 褶曲軸の位置は, 主にそれらと地表面との交わる線を示している。

6.7.1 盛土材料(岩砕)の母材の性状(2/2)

- 埋戻しに用いた盛土材は、発電所建設段階において、岩盤に直接設置する施設(原子炉建屋、タービン建屋、制御建屋、取水口～海水ポンプ室等)の基礎掘削の際に発生した岩砕である。
- 発生した岩砕は最大粒径300mmで調整し、発電所構内に仮置きした。その後、盛土材料として活用した。



2号炉建設時の掘削状況

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

6.7.2 盛土の施工・品質管理(1/3)

- 盛土施工にあたっては、発電所構内で共通的な施工管理基準を定め、これに基づき実施することにより、盛土エリア全域における品質の確保を図っている。

①盛土材料の選別

・盛土材料は原子炉建屋周辺の掘削岩盤を材料としており、粒径300mm以上は品質確保のため除去

②施工方法

・事前に試験施工を行い、十分な転圧・締固め※エネルギーを得られる重機を選定
(選定した重機 … 敷き均し:21tブルドーザ, 転圧:8t振動ローラー)

・撒き出し厚30cmとし、盛土施工エリア全域に同様の施工管理基準を適用

③品質管理(土質試験)

・下表のとおり、一定数量毎に密度・含水比及び沈下量を管理

※締固めの目的

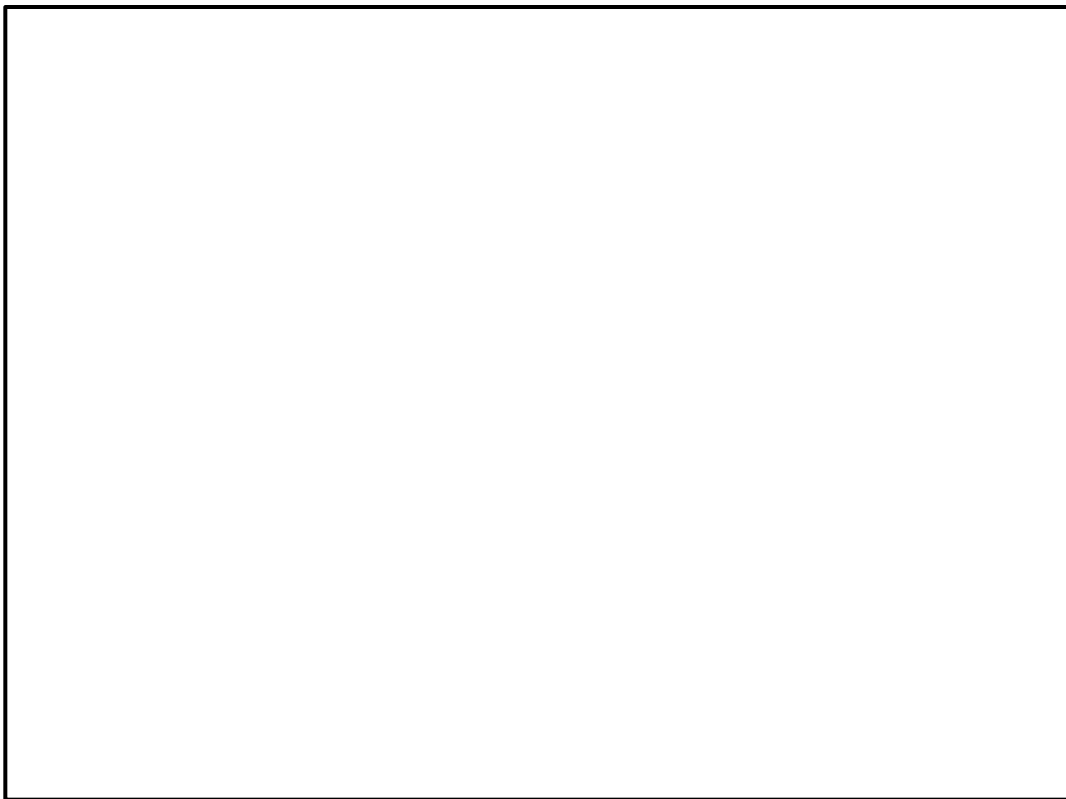
- ・密度を高め、水の浸入による軟化・膨張を防ぐ
- ・盛土の安定・支持力の増大を図る
- ・盛土完成後の圧縮沈下を小さくする

盛土品質管理 試験項目		試験頻度・管理基準値
密度試験	水置換法: JIS A 1214	・3箇所／5,000m ³ ・ γ_{dmax} ※ ¹ の90%以上(締固め度90%以上※ ²)
含水比	土の含水比試験方法: JIS A 1203	・1箇所／日 ・ γ_{dmax} 時の90%以上の密度となる含水比以内
沈下板	レベル測定	・10箇所／日 ・残留沈下50mm
突固め試験	JIS A 1210	・1回／5,000m ³
フルイ分試験		・1回／50,000m ³
比重試験	JIS A 1202	・1回／50,000m ³
三軸圧縮試験		・1回／250,000m ³

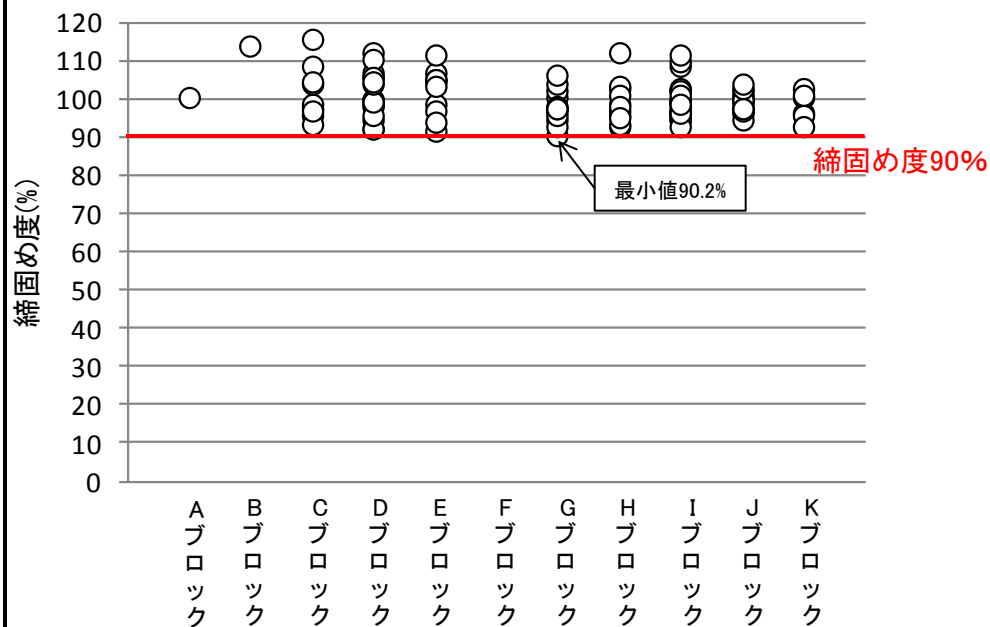
※1 γ_{dmax} :最大乾燥密度 ※2 社内基準による

6.7.2 盛土の施工・品質管理(2/3)

- 盛土の施工・品質管理に用いた指標のうち、締固め度(=乾燥密度÷最大乾燥密度(γ_{dmax}))の実績を下図に示す。
- 2号炉建設においては、約56万 m^3 の盛土施工を複数の施工ブロックに分けて施工しているが、いずれの施工ブロックにおいても検査結果は全て管理基準(90%以上)を満たしており、一定の品質を確保していることが確認できる。



盛土ブロック図

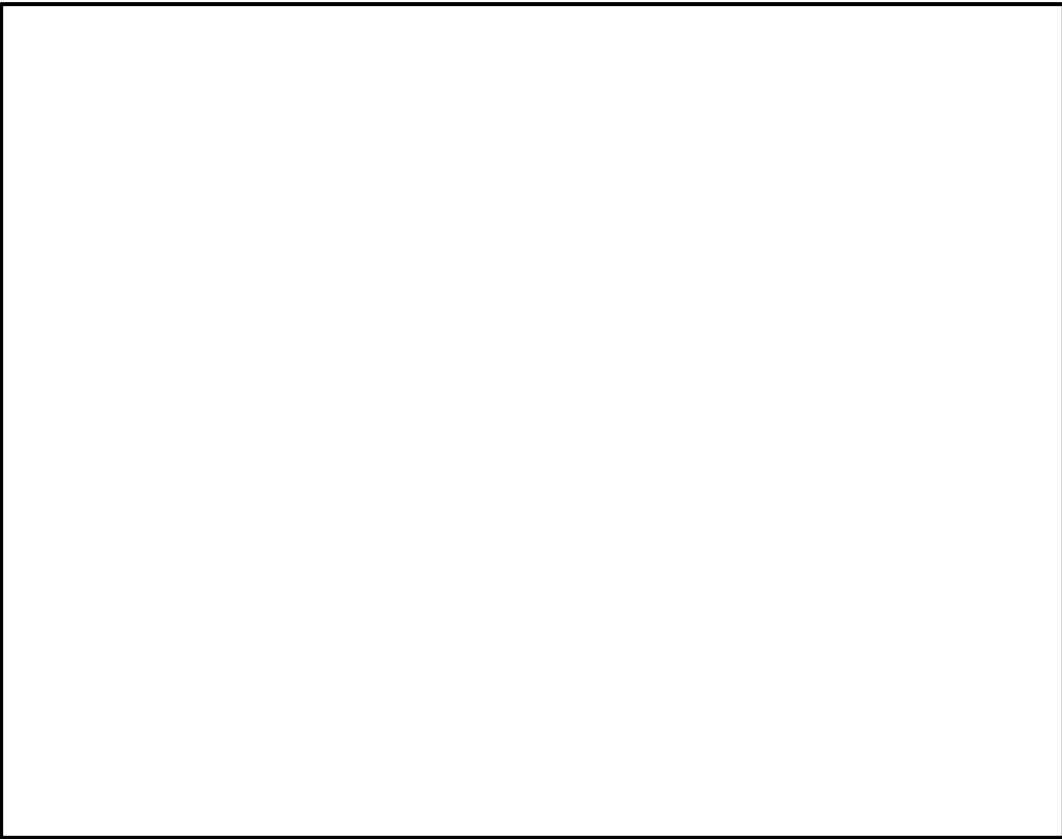


各ブロックごとの締固め度

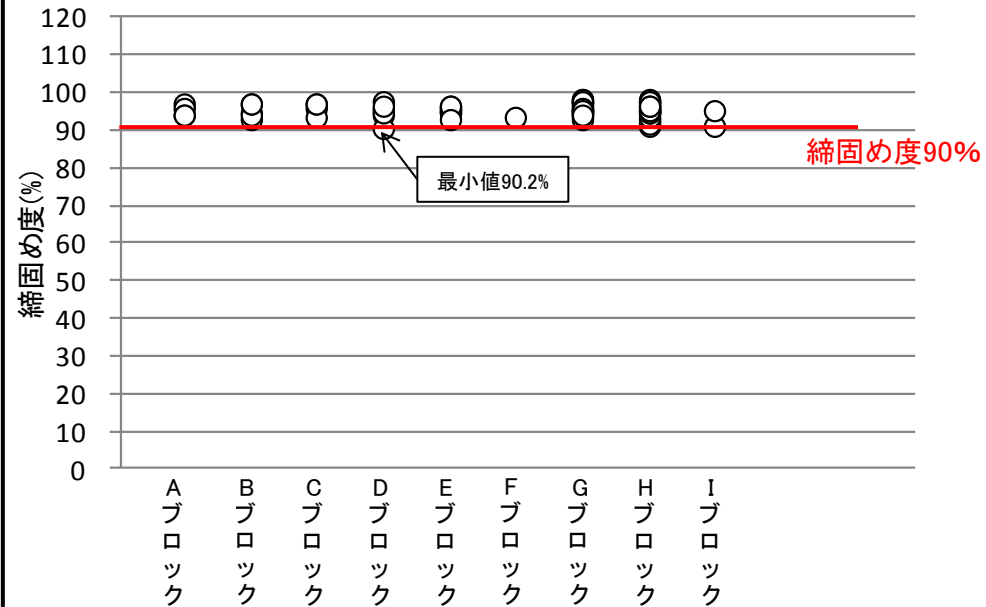
枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

6.7.2 盛土の施工・品質管理(3/3)

- 参考として, 3号炉建設段階における施工ブロック割と締固め度 (＝乾燥密度÷最大乾燥密度(γ_{dmax}))の実績を示す。
- 3号炉建設においても, 全てのブロックで検査結果は管理基準(90%以上)を満たしており, 一定の品質を確保していることが確認できる。



盛土ブロック図



各ブロックごとの締固め度

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

補足説明資料

7. NFシートに係る防潮堤の損傷モードの検討について

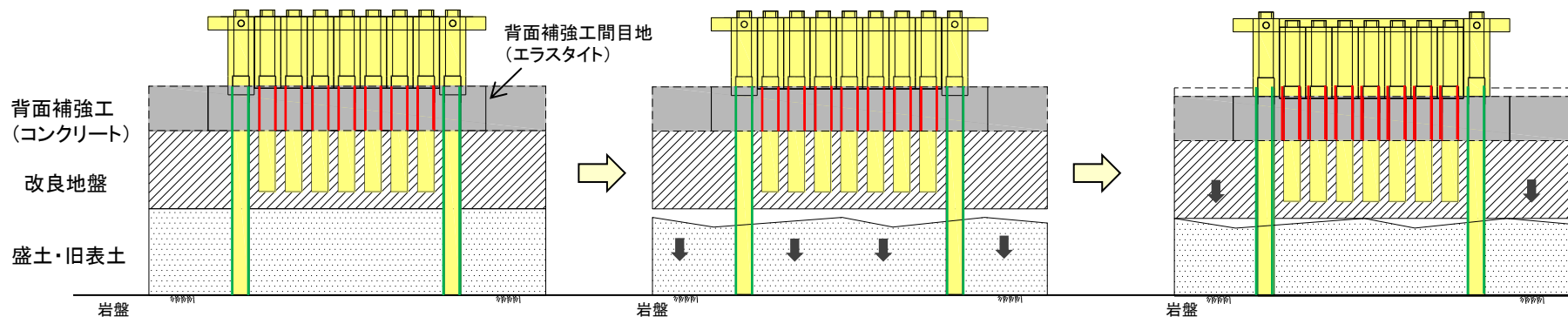
7.1 NFシートに係る防潮堤の損傷モードの検討について

- NFシートに係る損傷モードを検討するため、防潮堤のNFシートが機能しない場合の防潮堤の状態について整理した。
- 本検討においては、防潮堤の要求機能である入力津波に対して津波防護機能を保持するために必要な、短杭、短杭と同じ深さまでの長杭、鋼製遮水壁及び止水目地が機能を喪失するおそれがないことを、NFシートの効き方を網羅的に抽出し確認した。
- 短杭、短杭と同じ深さまでの長杭、鋼製遮水壁及び止水目地以外の施設（背面補強工、改良地盤、頂部はり）については、NFシートの効果の有無によらず、各部位に要求される機能（荷重の伝達機能等）が維持され、機能を損なうような損傷が発生するおそれがないことを構造成立性確認の過程で確認していく。
- 次頁以降に、損傷モードの検討結果を示す。

7.2 NFシートが機能しない場合の損傷モード検討(1/4)

■長杭のNFシートが機能し、短杭が機能しないケース

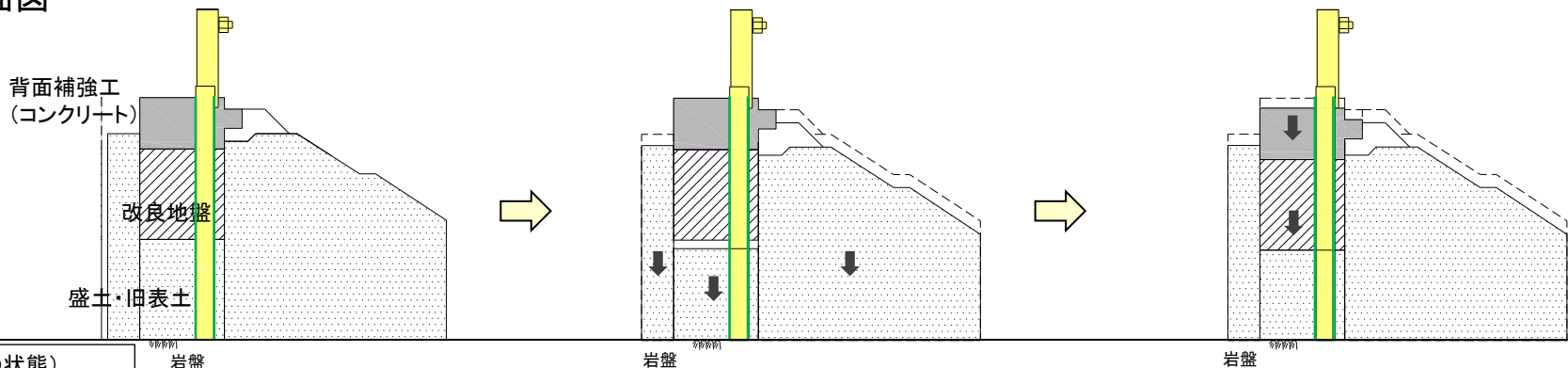
縦断面図



・盛土・旧表土が沈下

- ・NFシートが機能し、改良地盤一般部全線において沈下
⇒背面補強工はこれに追従し沈下
(短杭～背面補強間の状態によらない)
- ・局所的な空隙が残る可能性はあるが、連続した浸水経路は形成されない

横断面図



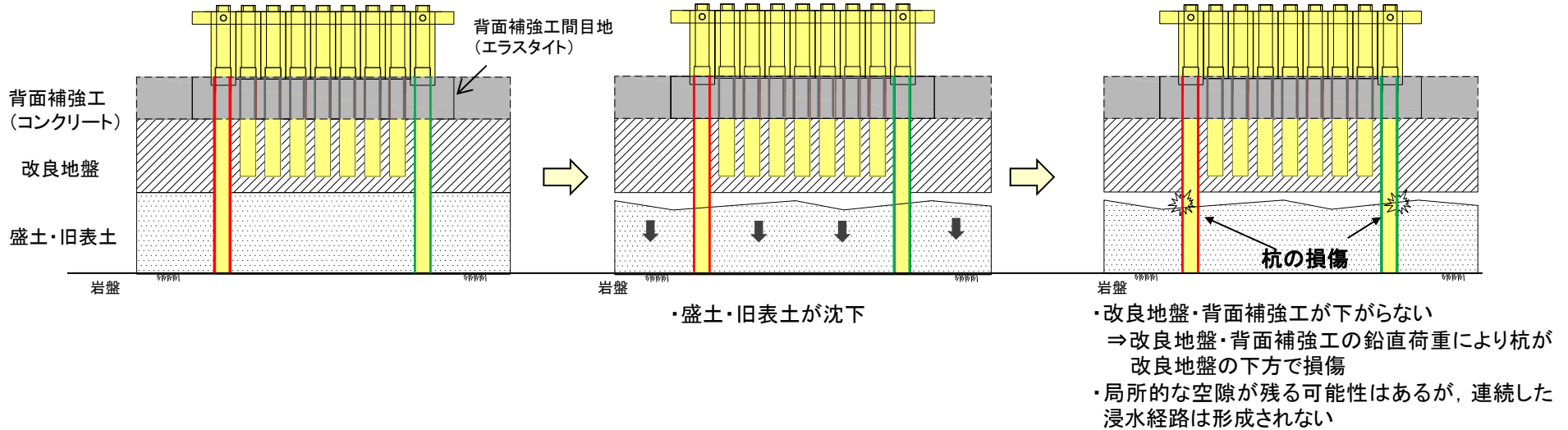
凡例 (NFシートの状態)

- NFシートが機能する
- NFシートが機能しない
- NFシートの状態が全体挙動に影響しない

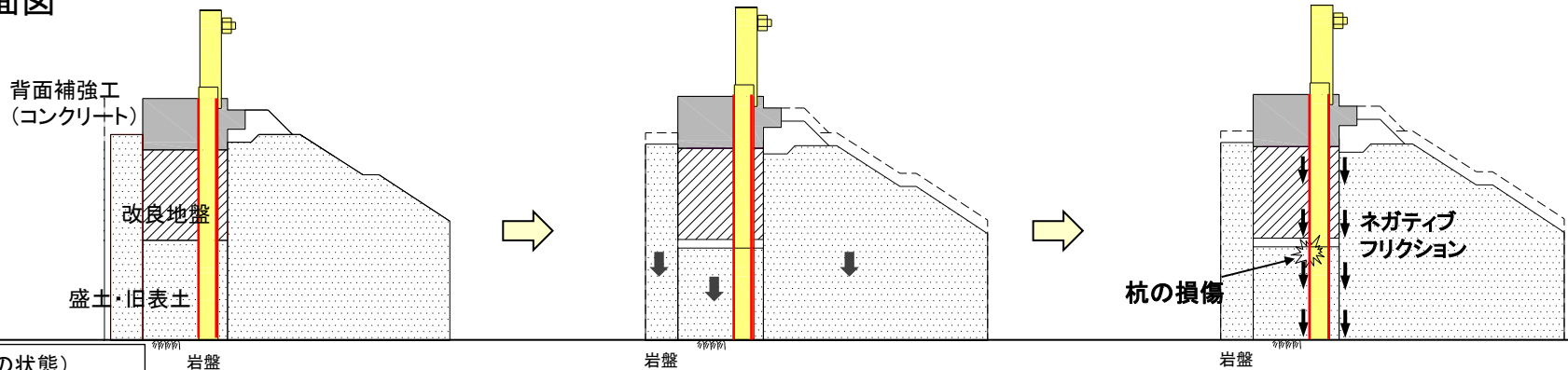
7.2 NFシートが機能しない場合の損傷モード検討(2/4)

■長杭のNFシートが一部機能しないケース①

縦断面図



横断面図



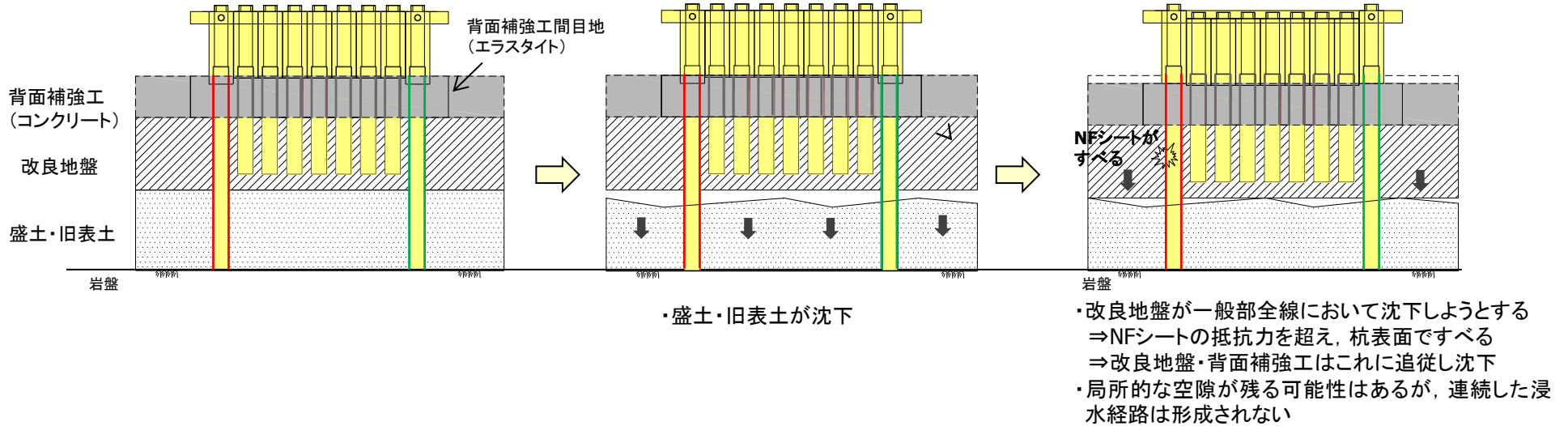
凡例 (NFシートの状態)

- NFシートが機能する
- NFシートが機能しない
- NFシートの状態が全体挙動に影響しない

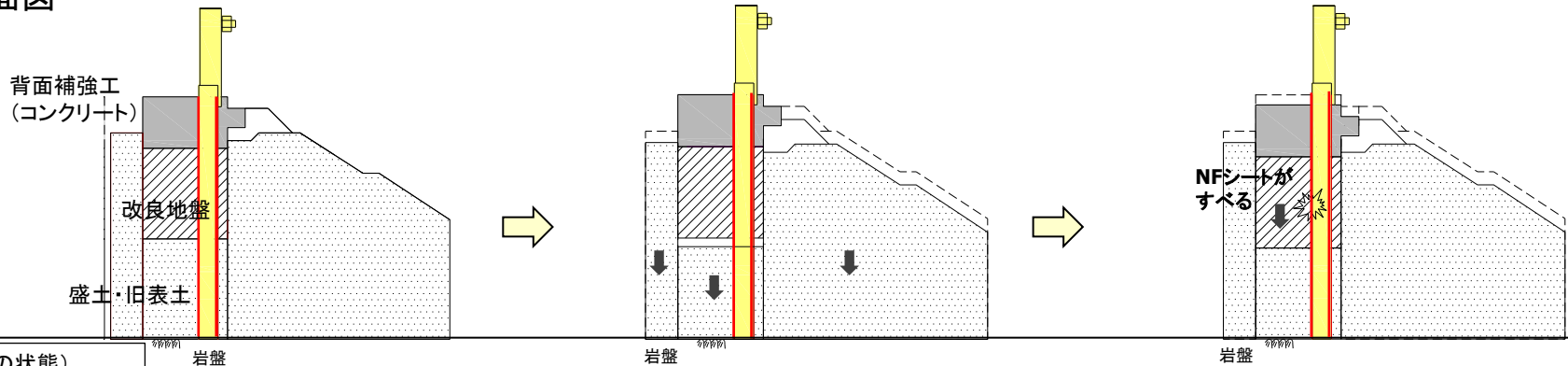
7.2 NFシートが機能しない場合の損傷モード検討(3/4)

■長杭のNFシートが一部機能しないケース②

縦断面図



横断面図



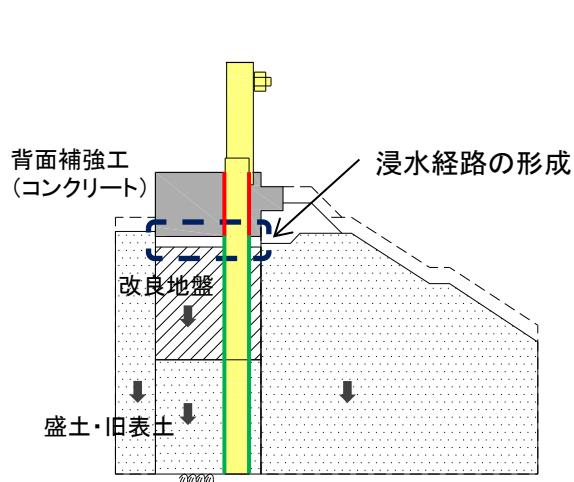
凡例 (NFシートの状態)

- NFシートが機能する
- NFシートが機能しない
- NFシートの状態が全体挙動に影響しない

7.2 NFシートが機能しない場合の損傷モード検討(4/4)

■長杭のNFシートが一部機能しないケース③(防潮堤浅部における浸水可能性について)

- 防潮堤浅部において有意な浸水経路が形成される, 改良地盤と背面補強工との間に空隙ができるケースを検討した。
- このケースは, 1本の杭の中でNFシートの効き方が異なる場合(NFシートが機能する改良地盤が沈下し, NFシートが機能しない背面補強工が沈下しない)に対応するが, NFシートは工場にて杭に貼付され検査を受けた状態で搬入・施工していることから, 均一性は確保され, 1本の杭の中でNFシートは同一の機能を発揮するものと考えられる。
- また, この挙動は鋼管式鉛直壁(一般部)の全延長において同様の状態となった場合に起こるものであるが, そのような状況は考えにくい。
- 以上のことから, NFシートの機能によらず改良地盤と背面補強工は同一の挙動を示すため, 改良地盤と背面補強工との間に空隙ができる可能性は考えられない。



凡例 (NFシートの状態)

- NFシートが機能する
- NFシートが機能しない

・浸水経路が形成されるケースとして, 1本の杭の中で, NFシートの効き方が異なるケースが考えられる
(盛土・旧表土の沈下に伴い, NFシートが機能する改良地盤は沈下するが, NFシートが機能しない背面補強工は沈下しないケース)

浸水経路形成イメージ



NFシート貼付状況

NFシート 検査項目(実績)
外観
ピンホール
被覆範囲
厚さ

1. (社)日本建築学会:建築基礎構造物設計指針, 2001, p.327-348
2. (公財)鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 平成24年9月, p.165-170
3. (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説(Ⅰ 共通編, Ⅱ 鋼橋編, Ⅳ 下部構造編), 平成14年3月
4. 朝倉良介, 岩瀬浩二, 池谷 毅, 高尾 誠, 金戸俊道, 藤井直樹, 大森政則, 護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.911-915, 2000
5. (社)土木学会:複合構造標準示方書, 2014制定
6. 松田隆, 秋山宏, 小林真:高レベル地震動履歴を受けた鋼管杭の圧縮耐力について, 第25回地震工学研究発表会公演論文集, p573-576,1999年7月
7. (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編に関する参考資料, 平成27年3月
8. (社)土質工学会:根切り工事と地下水, 1991
9. 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 河川保全企画室:河川管理者のための浸透・侵食に関する重点監視の手引き(案), 平成28年3月
10. 本田隆英, 織田幸伸, 伊藤一教, 石井裕泰, 高畠知行:貧配合セメント混合土を用いた海岸堤防の粘り強さに関する実験的研究, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.70, No.2, 1981_1985, 2014
11. (公社)地盤工学会:地盤調査の方法と解説, 2004
12. 加藤史訓, 諏訪義雄, 鳩貝聡, 藤田光一:津波の越流に対して粘り強く減災効果を発揮する海岸堤防の構造検討, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.70, No.1, 31-49, 2014
13. (財)国土技術研究センター:河川堤防の構造検討の手引き(改訂版), 平成24年2月
14. (財)国土技術研究センター:柔構造物極門設計の手引き, 平成10年11月