

女川原子力発電所2号炉 防潮堤の設計方針について

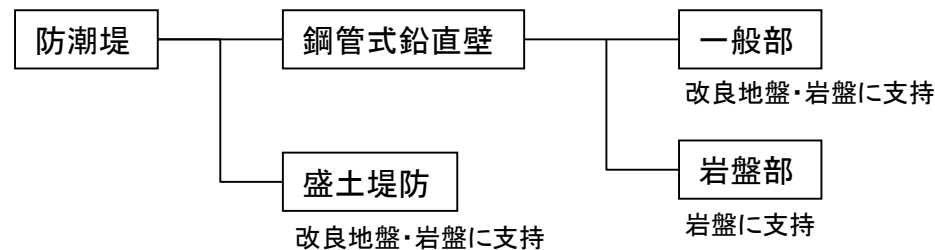
平成30年3月20日
東北電力株式会社

1. 概要	2
2. 設置許可基準規則への適合性について	4
3. 津波防護対象施設	9
4. 防潮堤の概要	11
5. 女川防潮堤の特徴と他サイト防潮堤との比較	31
6. 基本設計方針	39
7. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割	56
8. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮	76
9. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針	91
10. 部位毎の設計方針	99
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	122
2. セメント改良土の耐侵食性・耐洗掘性について	129
3. 防潮堤を横断する構造物の取扱いについて	133
4. 防潮堤の設計方針等の変更について (平成30年2月13日第548回審査会合資料再掲)	142
5. 既設防潮堤(O.P.+17m)の取扱いについて	157
6. 液状化強度試験の試料採取位置選定とその代表性について	160
7. 追加の地盤改良について	172
8. 設計変更(沈下対策)の目的・理由と期待される効果	191

参考文献

1. 概要

- 前回審査会合(第548回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合, 平成30年2月13日)において, 防潮堤直下の盛土・旧表土は沈下対策として地盤改良を行うことを説明した(補足説明資料4参照)。
- 地盤改良により鋼管式鉛直壁(一般部)は沈下しない構造となることから, 岩盤部と同様の挙動となる。また, 盛土堤防も改良地盤・岩盤に直接支持される構造となる。設計変更を実施した目的・理由と期待される効果を補足説明資料8に示す。
- 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, 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. 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を保持できること ・ 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を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 	○

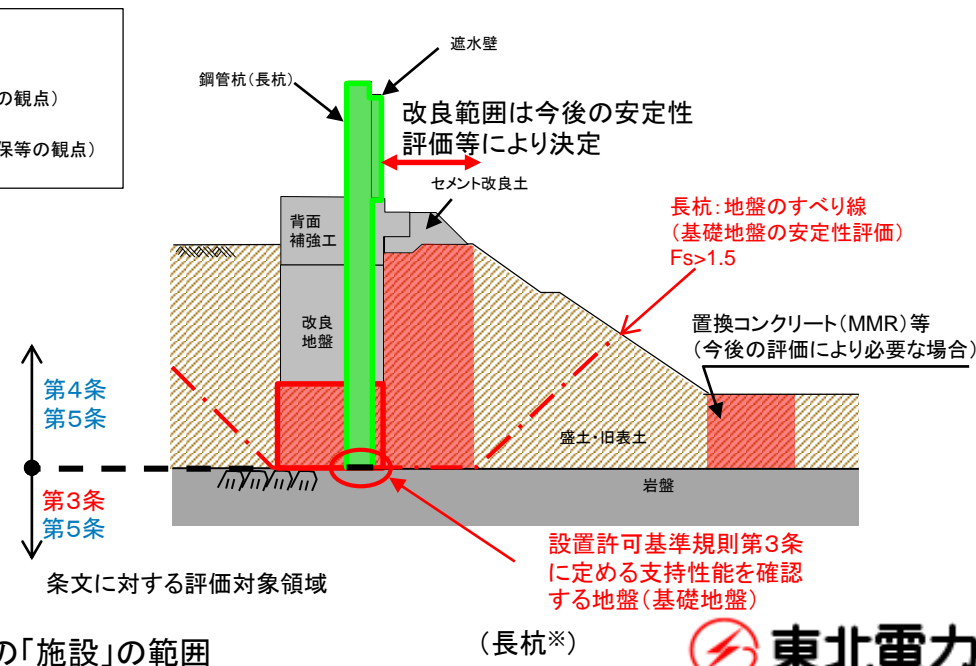
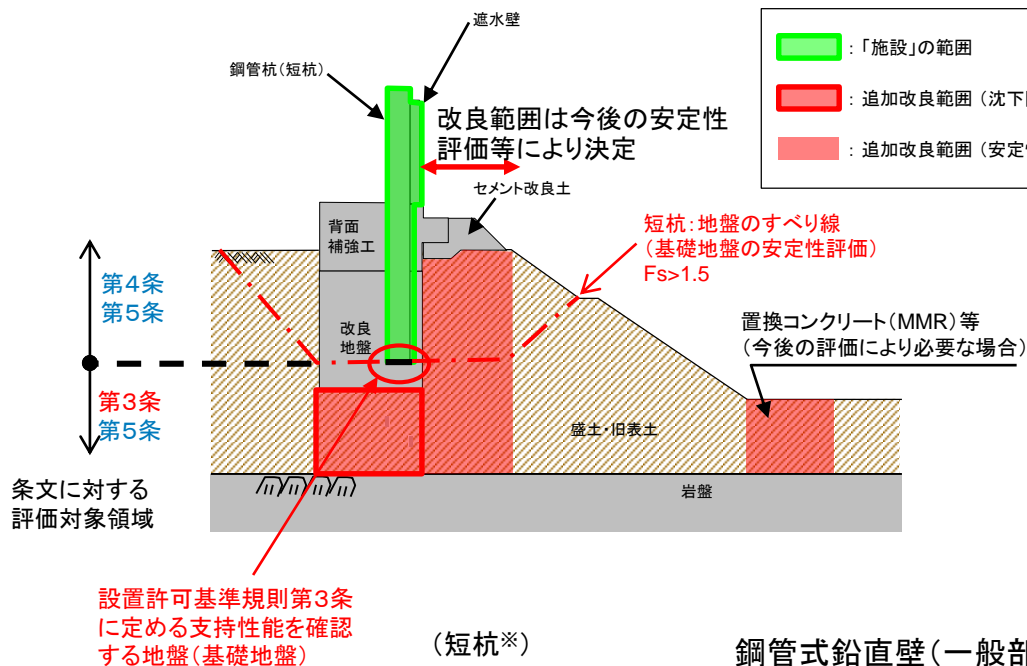
2.2 条文に対する検討要旨（鋼管式鉛直壁）

- 新規制基準への適合性において、防潮堤直下の盛土・旧表土は沈下対策として地盤改良を行うことを踏まえ、鋼管式鉛直壁における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。追加の地盤改良範囲の設定等については、補足説明資料7に示す。

鋼管式鉛直壁における検討要旨

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(短杭※:改良地盤, 長杭※:岩盤)を対象とし, 基礎地盤内にすべり線を想定し, 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"> 基礎地盤より上部に設置した施設に対し, 周辺地盤との動的相互作用や液状化検討対象層の地震時の挙動を考慮したうえで, 施設の耐震安全性を確認する。 地震時の接地圧が基礎地盤の支持力を下回ることの確認を含む。
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, 機能を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。

※:「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



鋼管式鉛直壁(一般部)の「施設」の範囲

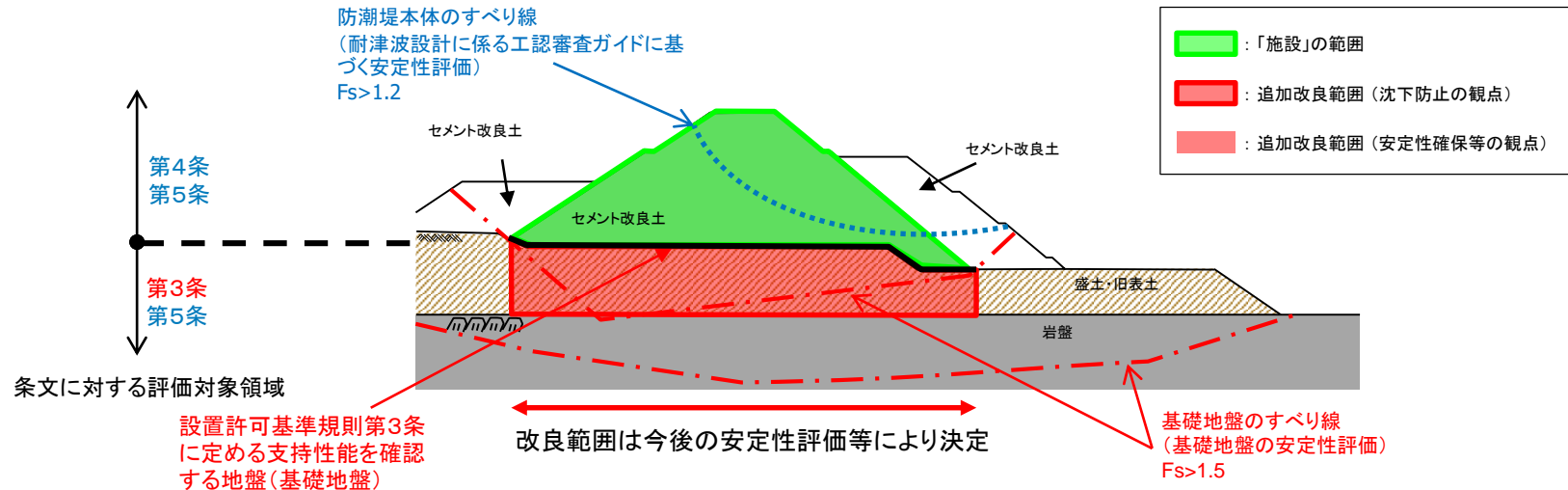
2. 設置許可基準規則への適合性について

2.2 条文に対する検討要旨（盛土堤防）

- 新規制基準への適合性において、防潮堤直下の盛土・旧表土は沈下対策として地盤改良を行うことを踏まえ、盛土堤防における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。

盛土堤防における検討要旨

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(改良地盤及び岩盤)を対象とし、基礎地盤内にすべり線を想定し、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"> 基礎地盤より上部に設置した施設に対し、周辺地盤との動的相互作用や液状化検討対象層の地震時の挙動を考慮したうえで、施設の耐震安全性を確認する。 地震時の接地圧が基礎地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、機能を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。



[参考] 耐津波設計に係る工認審査ガイドの記載

(盛土構造の防潮堤等の設計審査における留意事項)




- 盛土構造の防潮堤や河川堤防等の盛土・地山斜面に関する安定性の評価については、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」に準ずるものとする。

盛土堤防の「施設」の範囲

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。

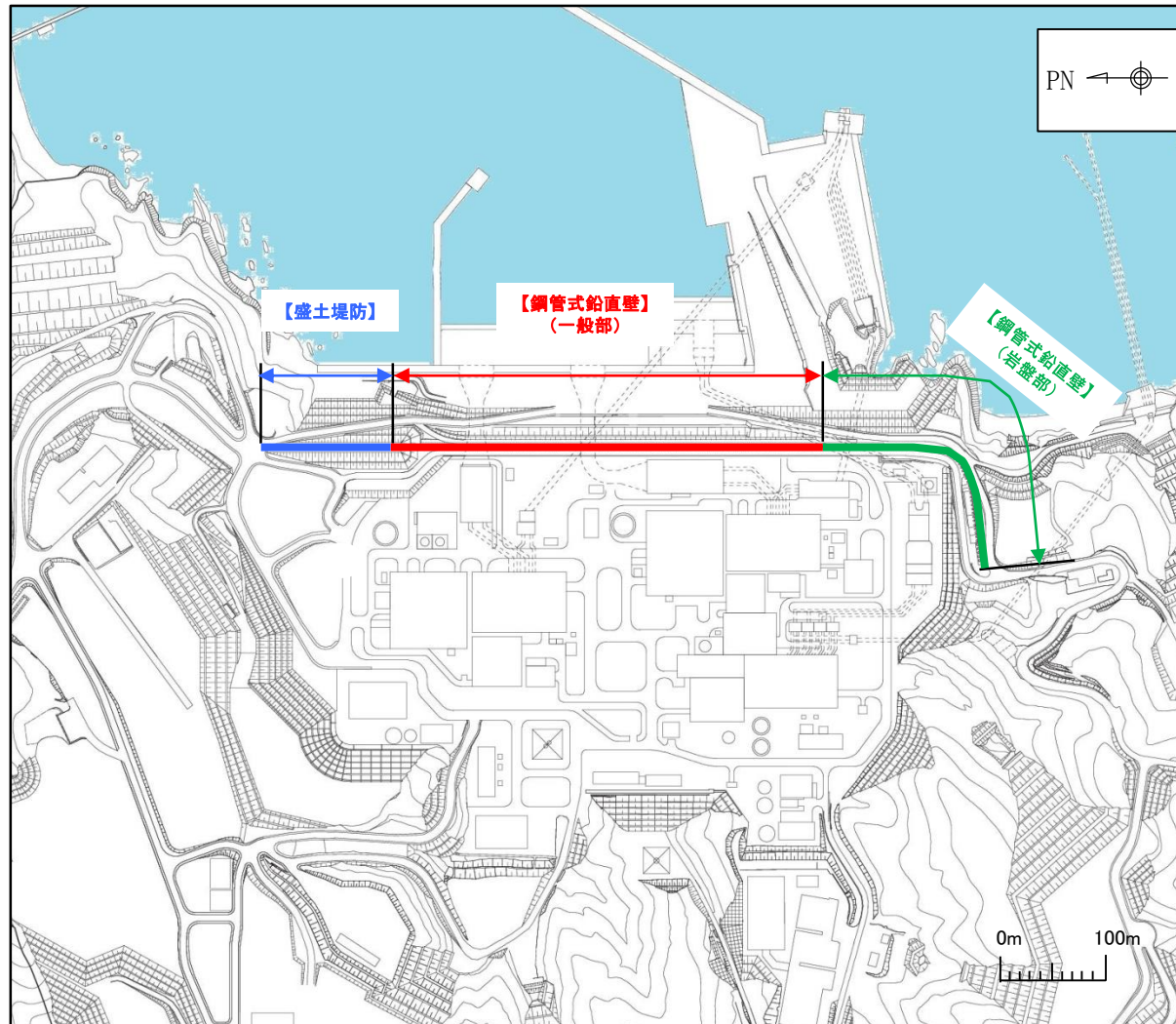
※3: 保管場所は検討中のため変更の可能性がある。

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

4. 防潮堤の概要

4.1 防潮堤の構造形式

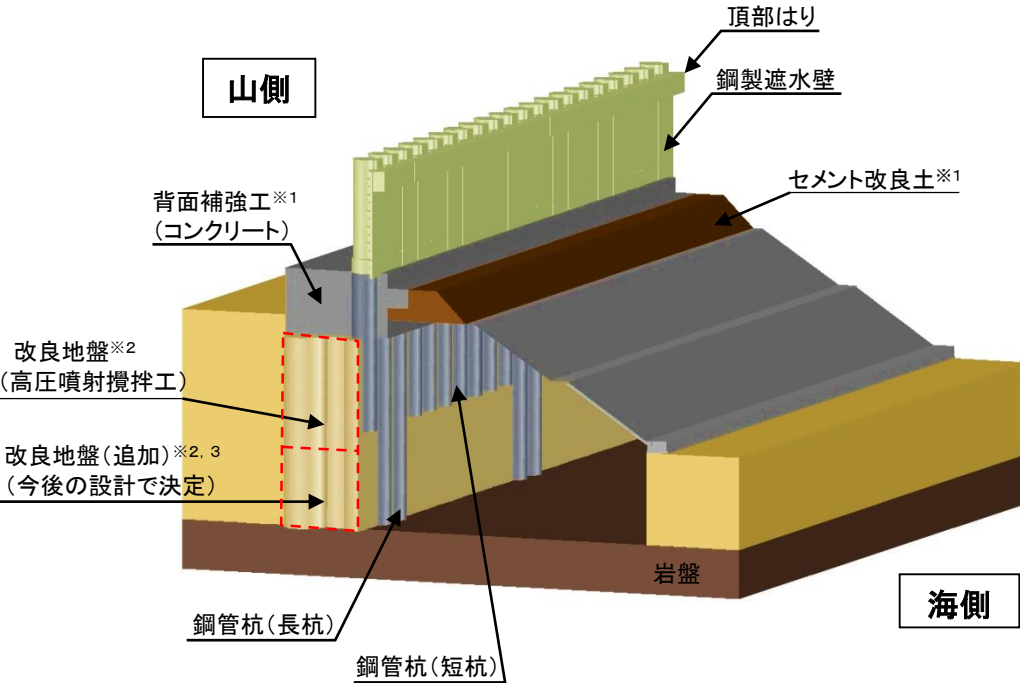
- 防潮堤の構造形式は、鋼管式鉛直壁と盛土堤防の2つに分類され、鋼管式鉛直壁は、さらに一般部と岩盤部に分類される。



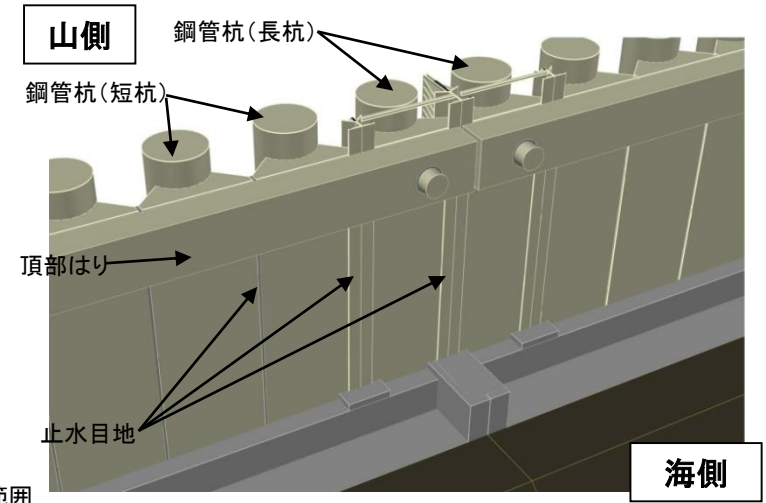
4. 防潮堤の概要

4.2 鋼管式鉛直壁(一般部) 構造の概要(1/3)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)の構造, 評価対象部位と役割並びに施設の範囲を示す。



- ※1: 周辺地盤として考慮。
- ※2: 周辺地盤及び基礎地盤。
- ※3: 改良範囲は今後の安定性評価等により決定。



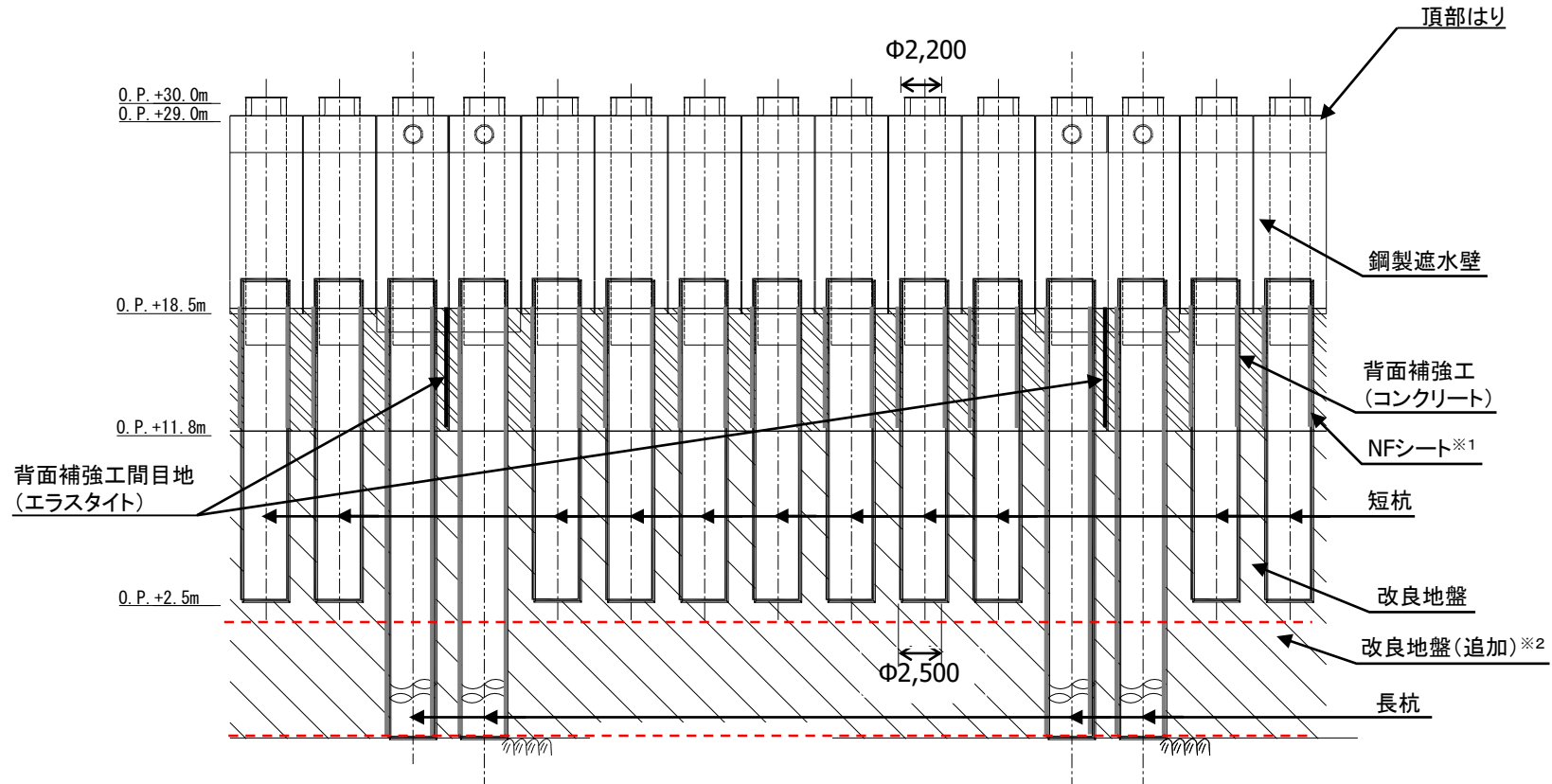
評価対象部位		役割
鋼管杭	長杭	鋼製遮水壁及び頂部はりを支持
	短杭	鋼製遮水壁を支持
鋼製遮水壁		止水機能の保持
止水目地		鋼製遮水壁間の止水機能の保持
頂部はり		—※4

【地盤】	
背面補強工	周辺地盤
改良地盤	周辺地盤(長杭及び短杭の側方), 基礎地盤(短杭の下方)
改良地盤(追加)	周辺地盤(長杭), 基礎地盤(短杭)
セメント改良土	周辺地盤
盛土・旧表土	
岩盤	基礎地盤(長杭)

※4: 沈下時に機能を期待していたが, 沈下しない設計に変更したため, 役割を期待しない。

4.2 鋼管式鉛直壁(一般部) 構造の概要(2/3)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)の鋼管杭は、長杭(岩盤に支持される杭)2本と長杭の間に配置する短杭(改良地盤に支持される杭)から構成される。



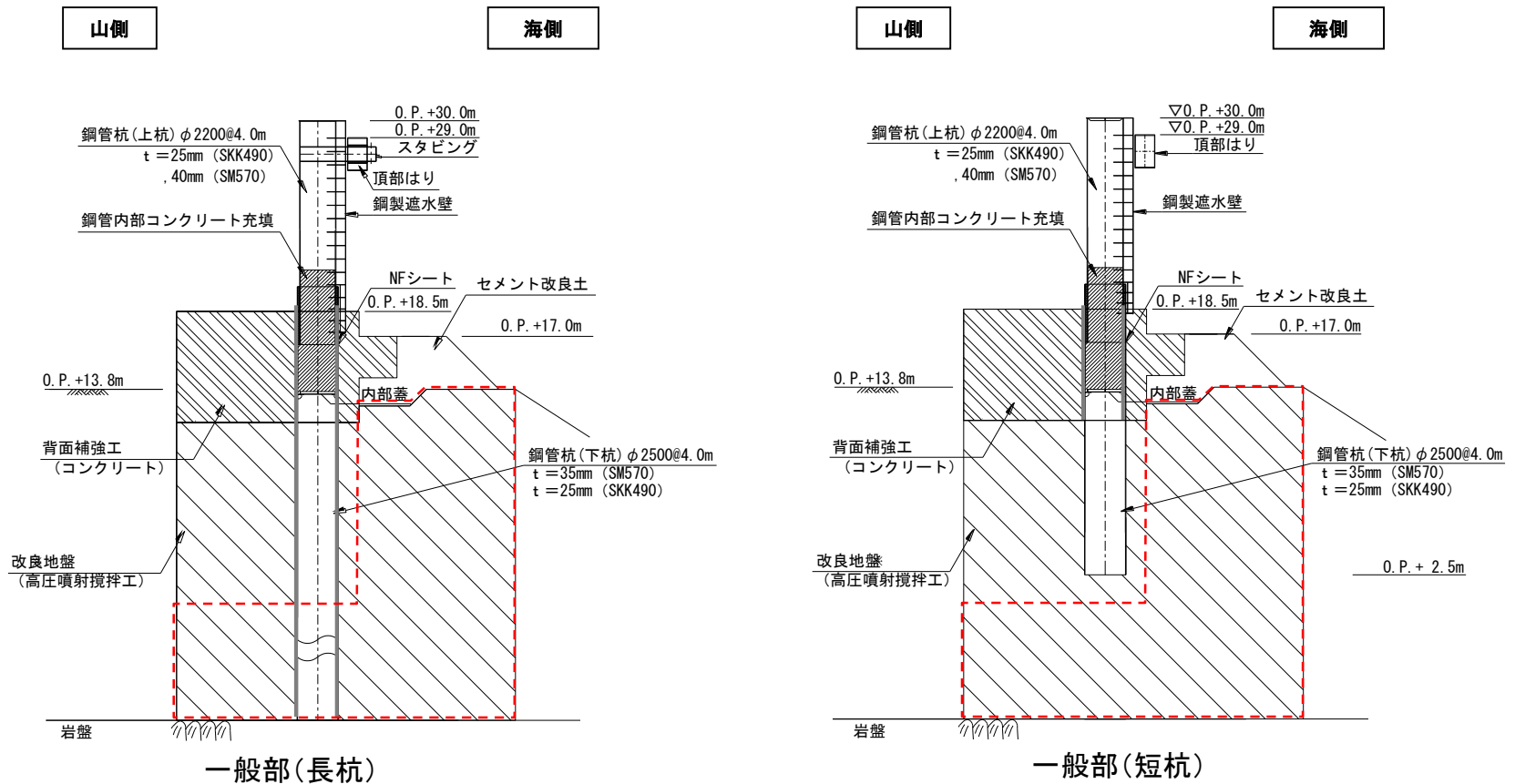
鋼管式鉛直壁(一般部)正面図

※1: アスファルトをシートに成形したものであり、本資料では『NFシート』と呼ぶ。ネガティブフリクション対策として施工したが、沈下しない設計に変更したため、役割を期待しない。

※2: 改良範囲は今後の安定性評価等により決定。

4.2 鋼管式鉛直壁(一般部) 構造の概要(3/3)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)の鋼管杭は、長杭(岩盤に支持される杭)2本と、長杭の中間に配置する短杭(改良地盤に支持される杭)から構成される。
- 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。



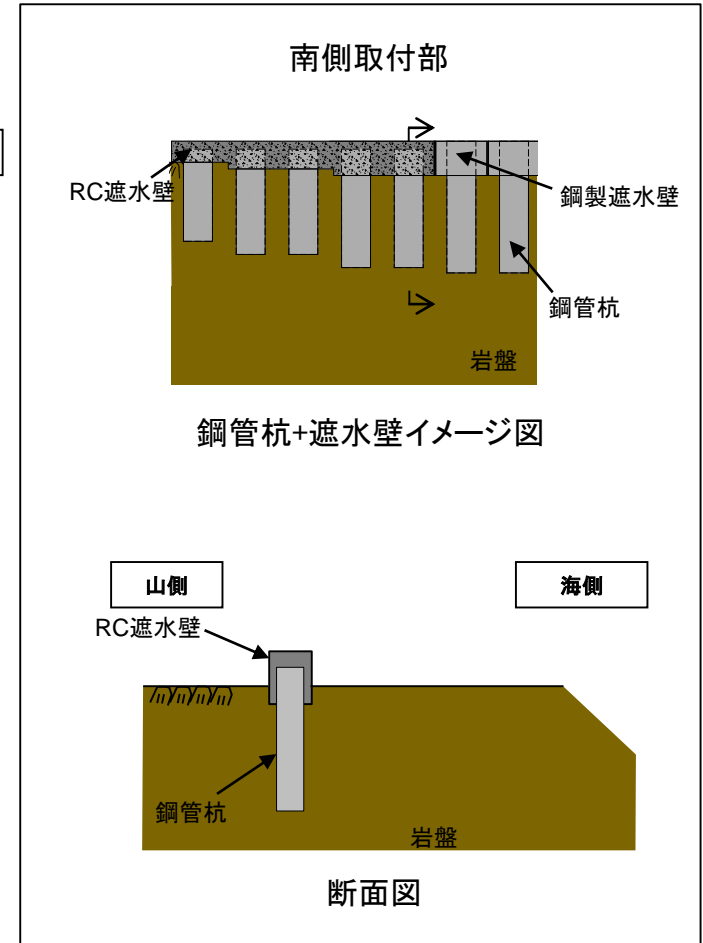
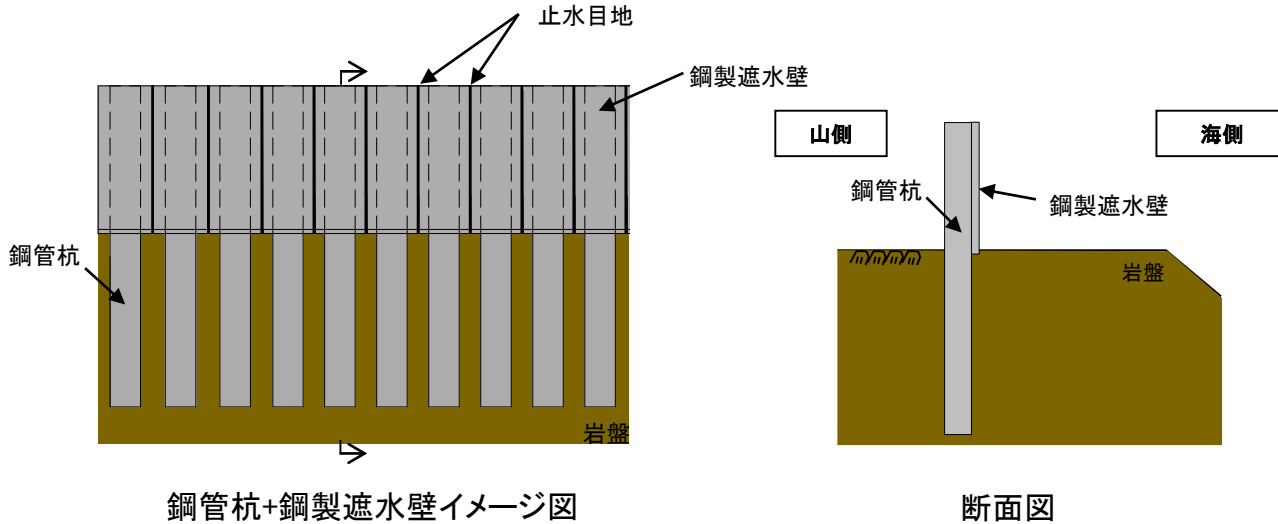
鋼管式鉛直壁(一般部)断面図

追加改良範囲*

※: 改良範囲は今後の安定性評価等により決定。
改良地盤のうち既設部は高圧噴射攪拌工であり、
新設の工法・仕様は今後の設計で決定。

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, 評価対象部位と役割並びに施設の範囲を以下に示す。



■ 施設の範囲

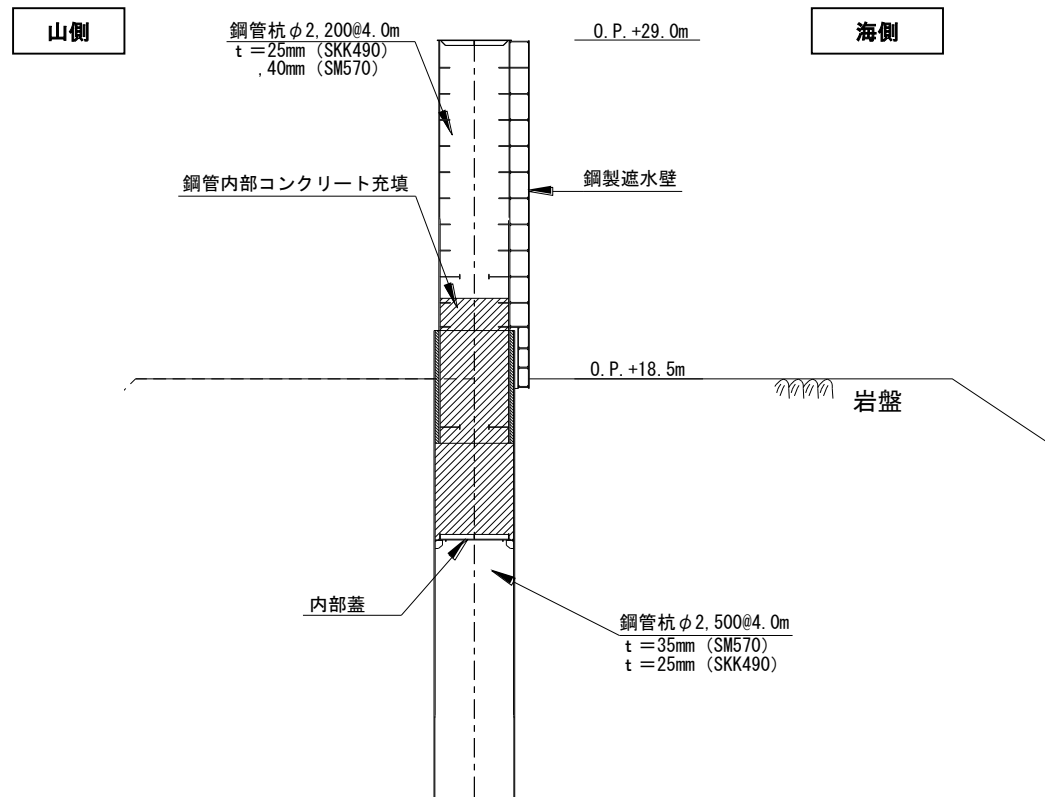
評価対象部位	役割
鋼管杭	鋼製遮水壁を支持
鋼製遮水壁	止水機能の保持
RC遮水壁	
止水目地	鋼製遮水壁間の止水機能の保持

【地盤】

岩盤	基礎地盤
----	------

4.3 鋼管式鉛直壁(岩盤部) 構造の概要(2/2)

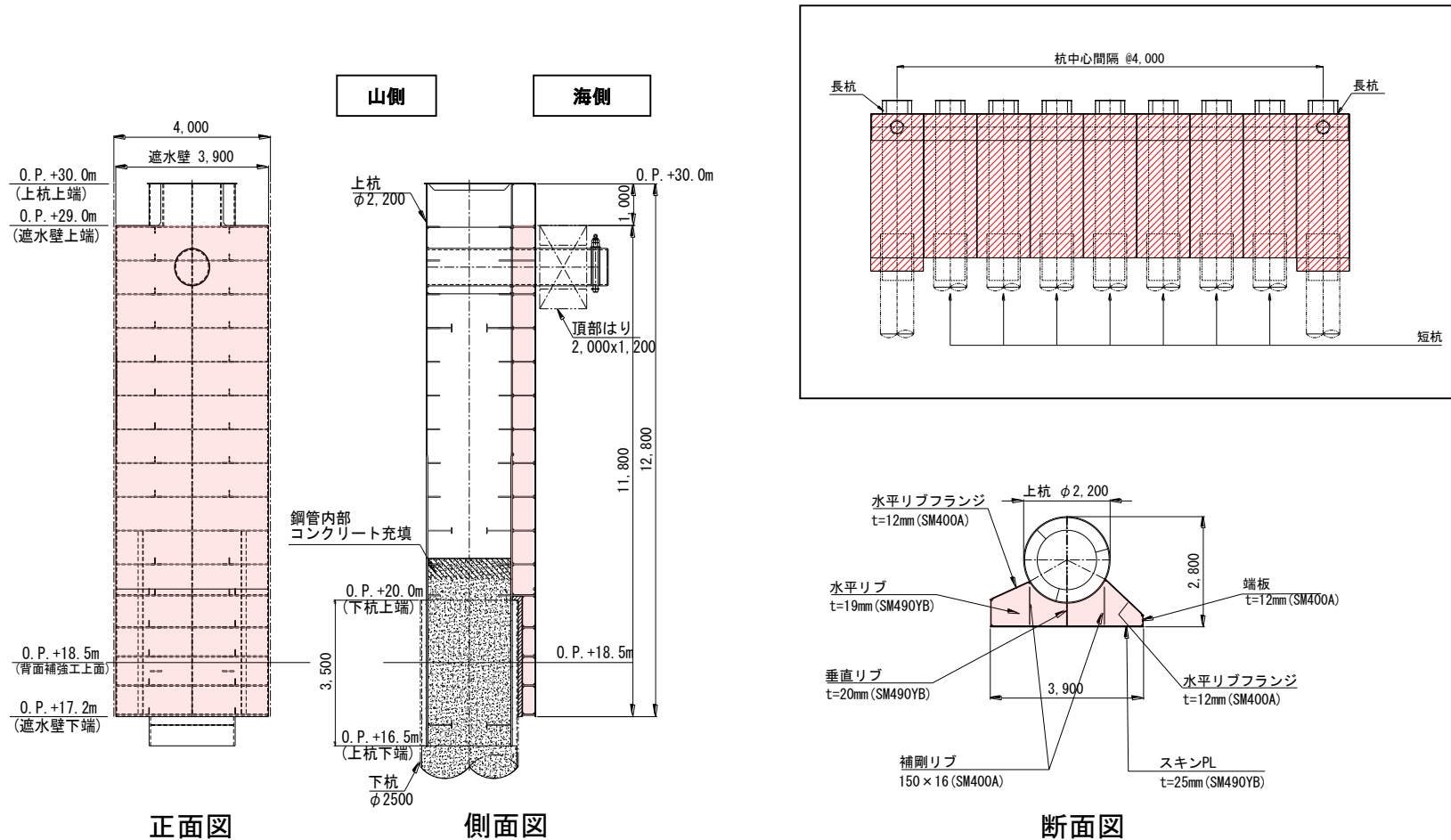
- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、岩盤に支持される鋼管杭と、鋼管杭の前面に設置した鋼製遮水壁で構成される。



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

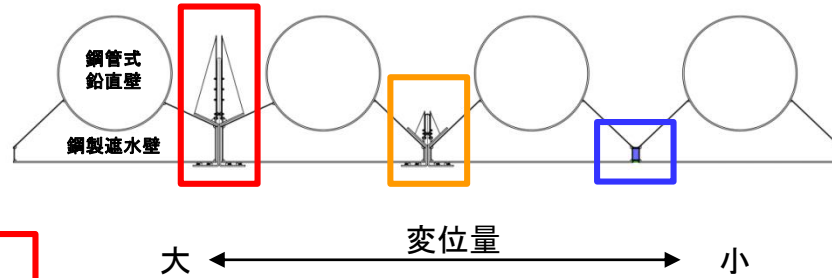
- 津波波圧を受ける鋼製遮水壁は、各鋼管杭の前面に設置する。
- 鋼製遮水壁の間は、地震時等に発生する鋼製遮水壁間の変位に追従できる止水目地を設置する。



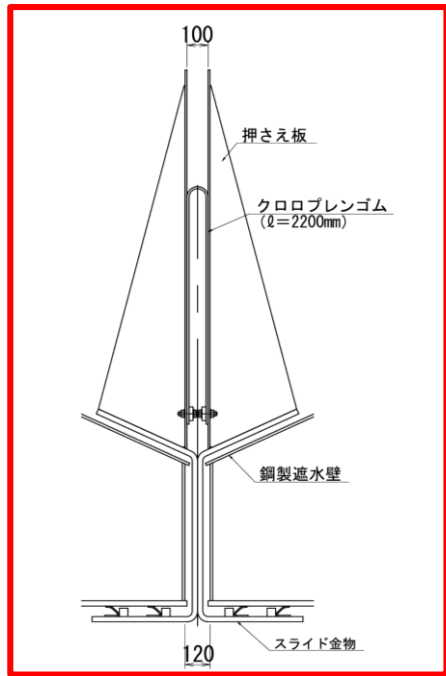
鋼製遮水壁詳細図(鋼管式鉛直壁(一般部:長杭))

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量に応じ選択する。
- ここで示す止水目地の例は、沈下対策を施工しない場合の設計例を示したものであり、沈下対策を施工する設計により止水目地に要求される変位量は大幅に小さくなることから、止水目地の仕様見直しも含め今後の設計において決定していく。



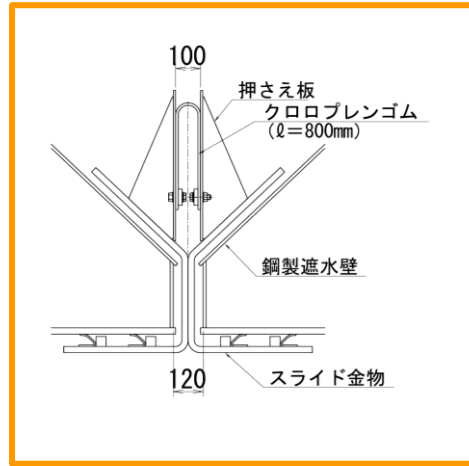
海側からの津波荷重に対し、敷地側に抜けないよう鋼製遮水壁の突起が抵抗する。津波荷重に対する抵抗性は、試験にて確認する。



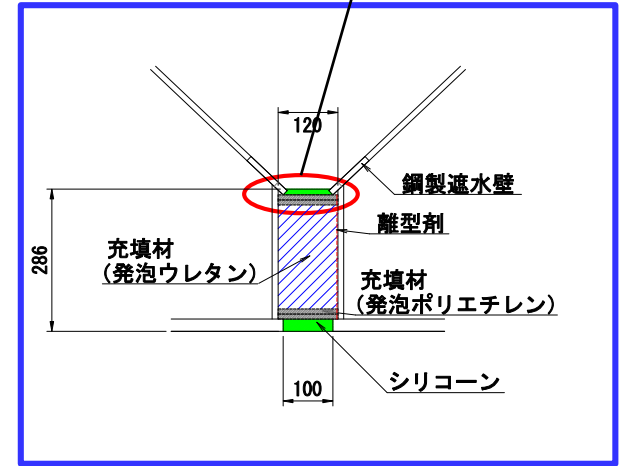
止水目地①(大)



止水目地①(大)
変形イメージ図



止水目地①(小)



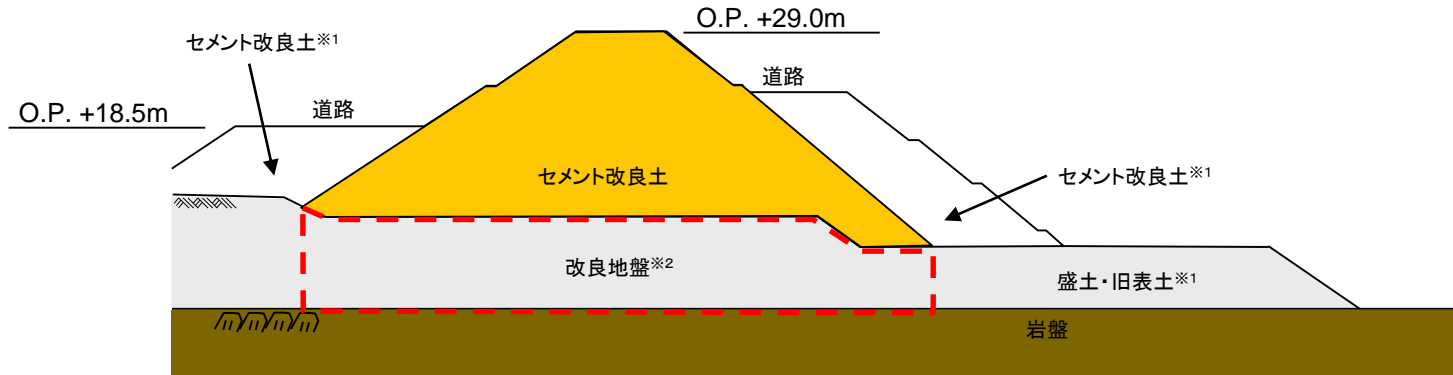
止水目地②

※：止水目地の仕様については検討中。

止水目地の設定例

4.6 盛土堤防 構造の概要

- 盛土堤防の構造, 評価対象部位と役割並びに施設の範囲を以下に示す。



※1 周辺地盤として考慮。
 ※2 改良範囲は今後の安定性評価等により決定。

盛土堤防断面図

■ 施設の範囲

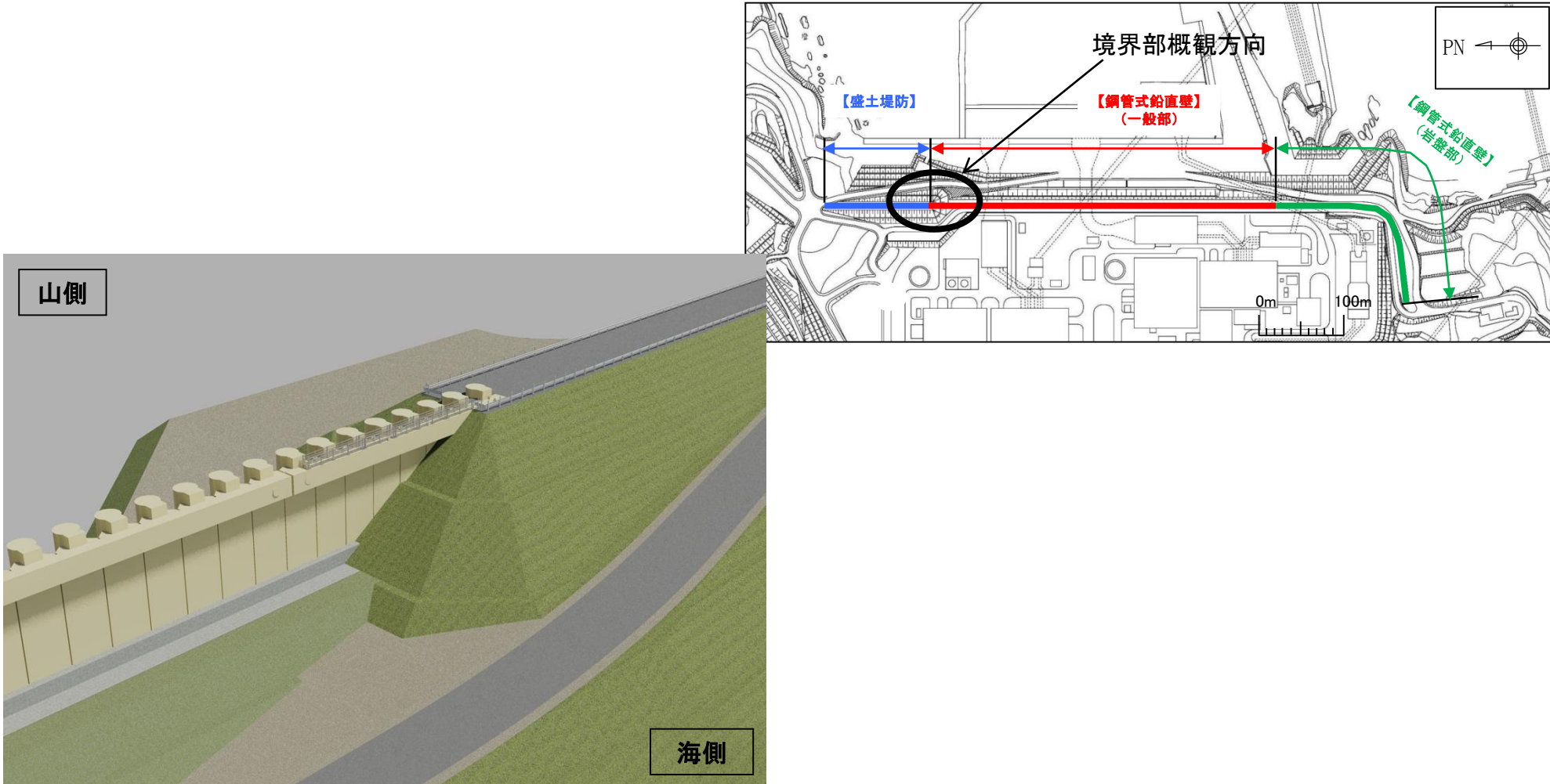
評価対象部位	役割
盛土堤防(セメント改良土)	止水機能の保持 基礎地盤に津波時等の荷重を伝達

【地盤】

岩盤, 改良地盤	基礎地盤
セメント改良土, 盛土・旧表土	周辺地盤

4.7 盛土堤防と鋼管式鉛直壁の境界部 構造の概要

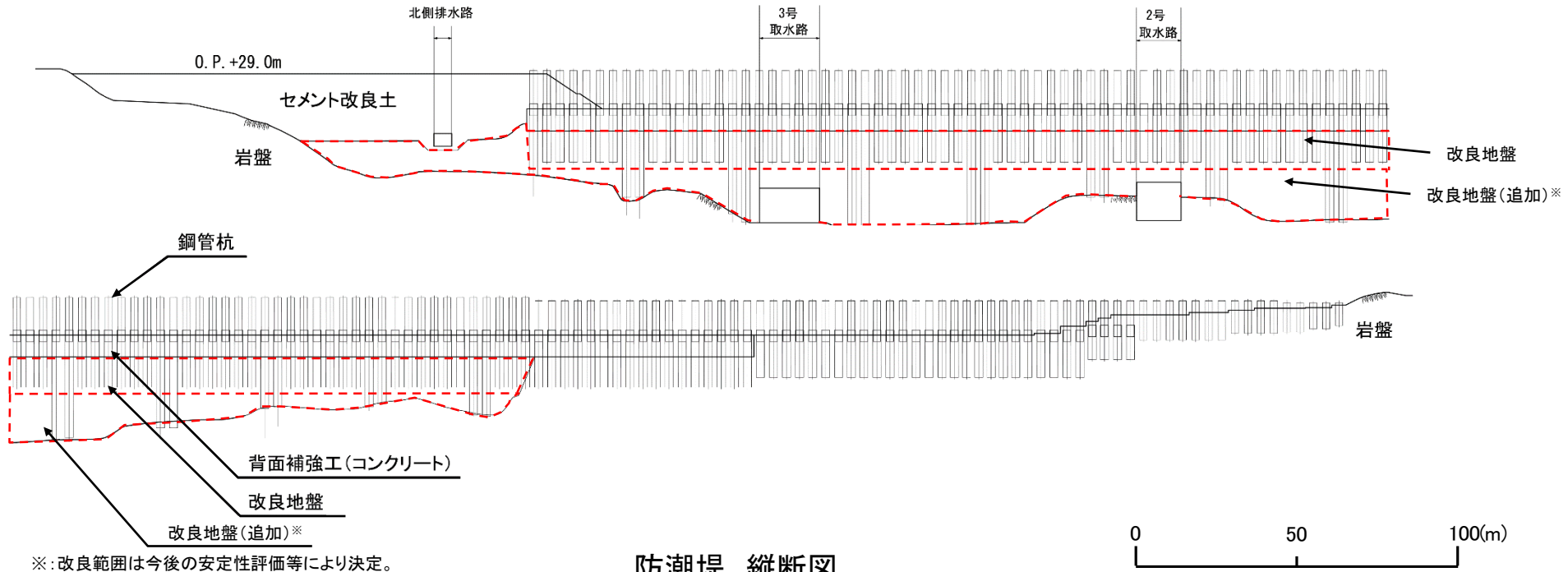
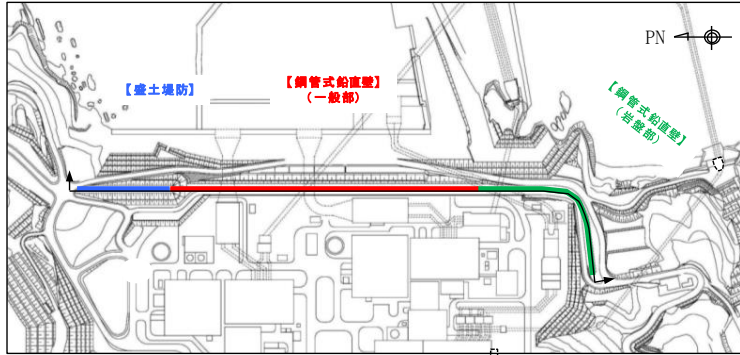
- 盛土堤防と鋼管式鉛直壁の境界部は、盛土堤防により津波に対する遮水性を確保する。



盛土堤防と鋼管式鉛直壁の境界部概観図

4.8 防潮堤設置位置の地質構造(1/9)

- 防潮堤縦断方向の地質構造の分布を以下に示す。

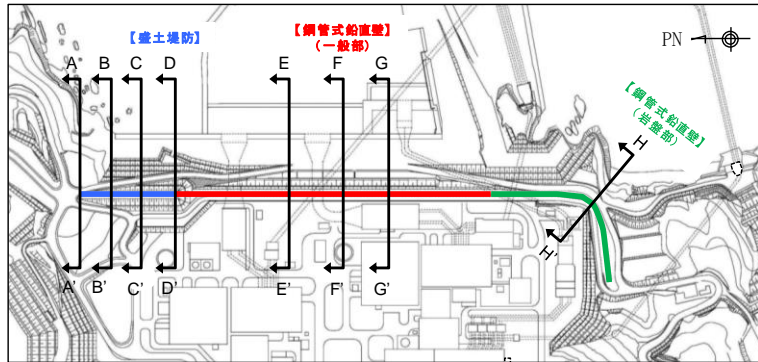


防潮堤 縦断図

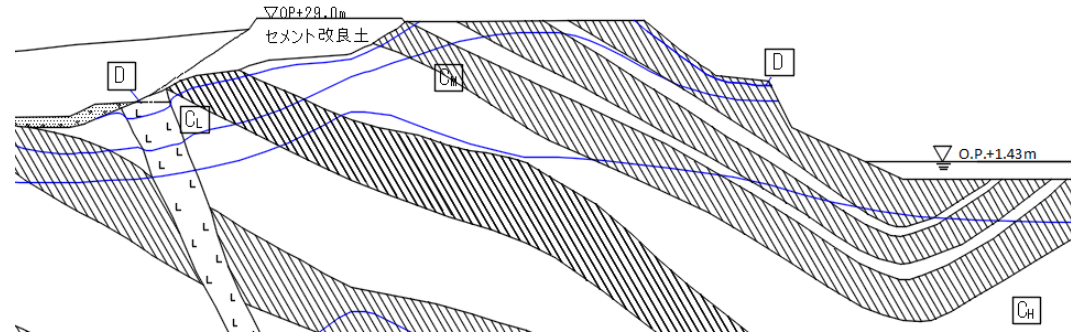
4. 防潮堤の概要

4.8 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。



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



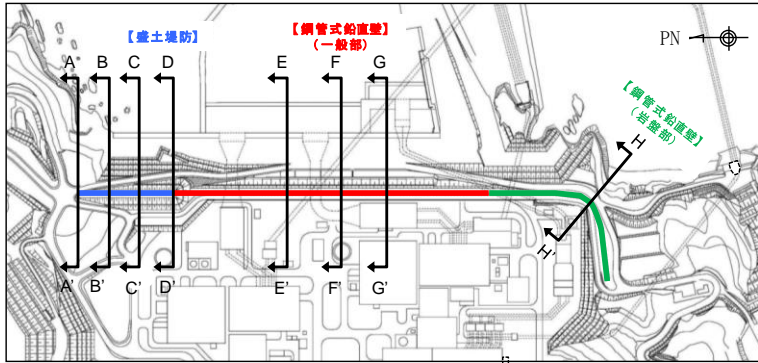
0 10 20(m)

防潮堤 盛土堤防 横断面図(A-A')

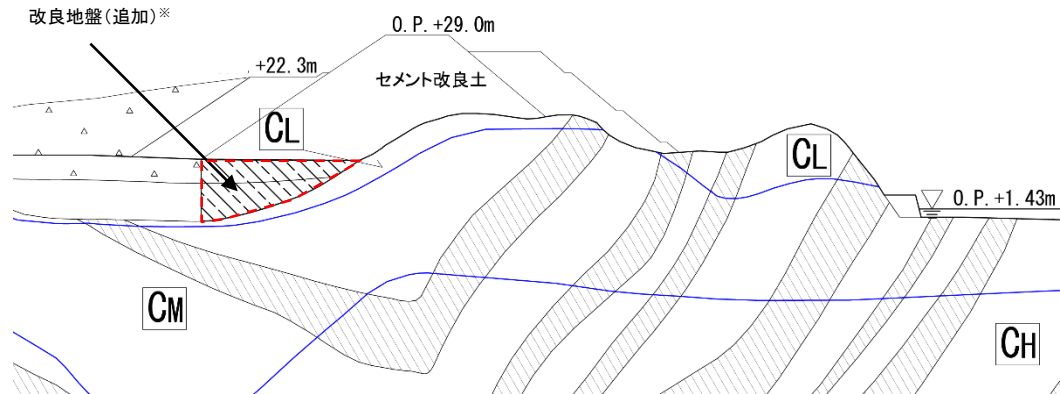
4. 防潮堤の概要

4.8 防潮堤設置位置の地質構造(3/9)

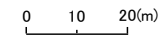
- 盛土堤防B-B'断面の地質断面図を以下に示す。



凡 例	
[岩盤分類]	
岩盤分類境界	
[B]	B 級
[CH]	CH 級
[CM]	CM 級
[CL]	CL 級
[D]	D 級
[地質区分]	
[△]	盛 土
[□]	旧 表 土
[□]	砂 岩
[□]	頁 岩
[□]	ひ ん 岩



※:改良範囲は今後の安定性評価等により決定。

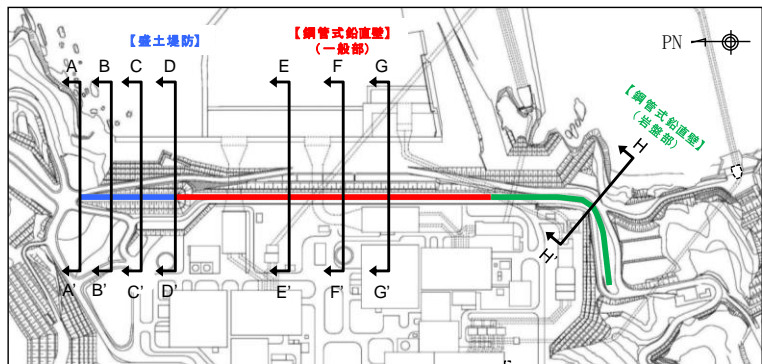


防潮堤 盛土堤防 横断面図(B-B')

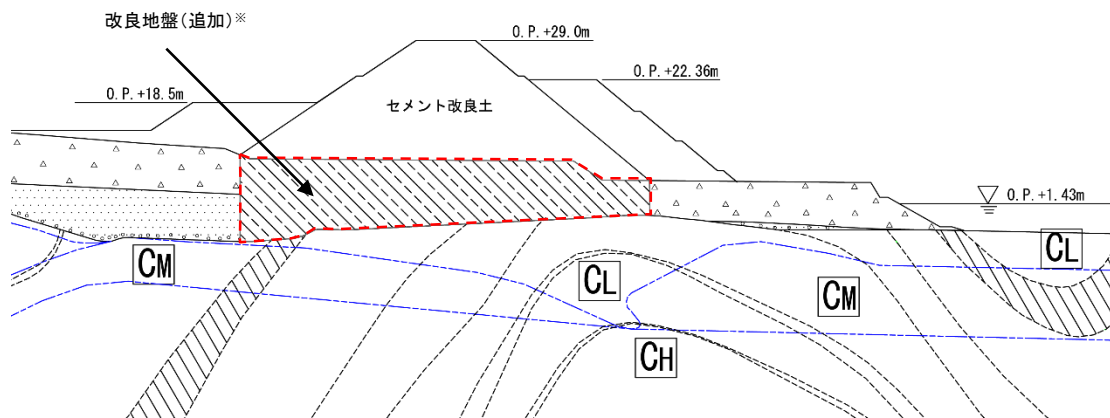
4. 防潮堤の概要

4.8 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。

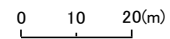


凡 例	
[岩盤分類]	
岩盤分類境界	
[B]	B 級
[CH]	CH 級
[CM]	CM 級
[CL]	CL 級
[D]	D 級
[地質区分]	
[△]	盛 土
[△]	旧 表 土
[□]	砂 岩
[//]	頁 岩
[□]	ひ ん 岩



※: 改良範囲は今後の安定性評価等により決定。

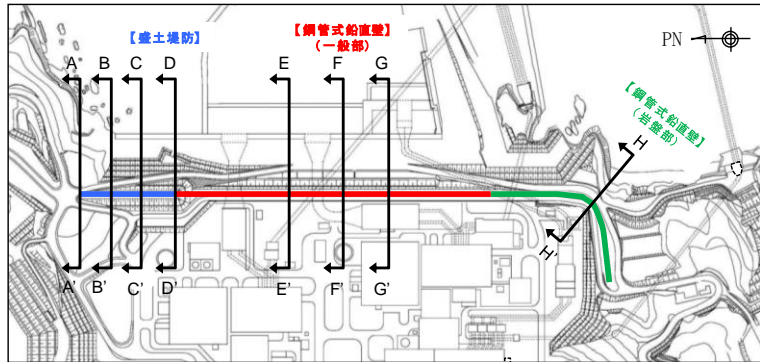
防潮堤 盛土堤防 横断面図(C-C')



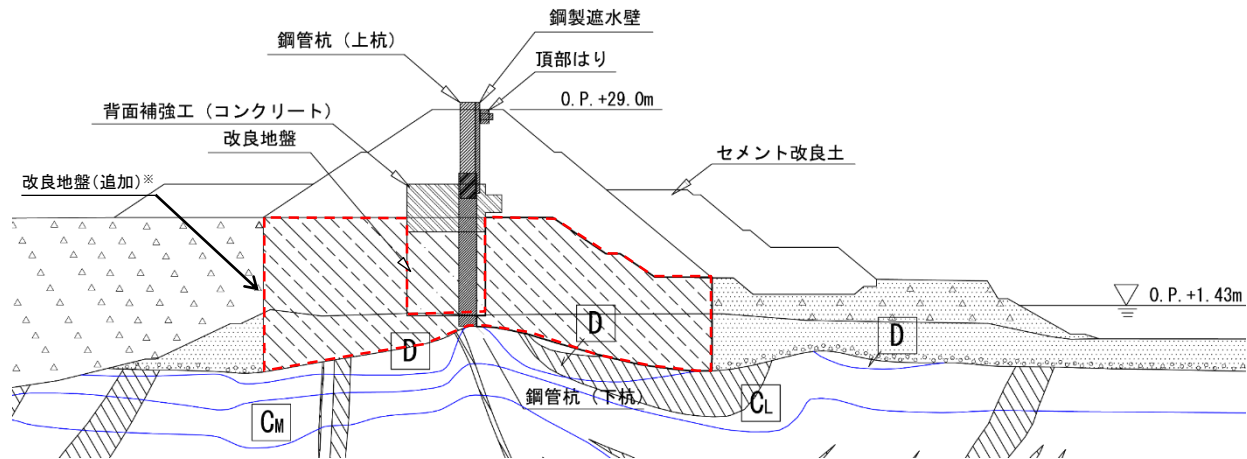
4. 防潮堤の概要

4.8 防潮堤設置位置の地質構造(5/9)

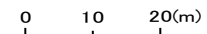
- 盛土堤防及び鋼管式鉛直壁(一般部)の境界部D-D'断面の地質断面図を以下に示す。



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 岩
	頁 岩
	ひ ん 岩



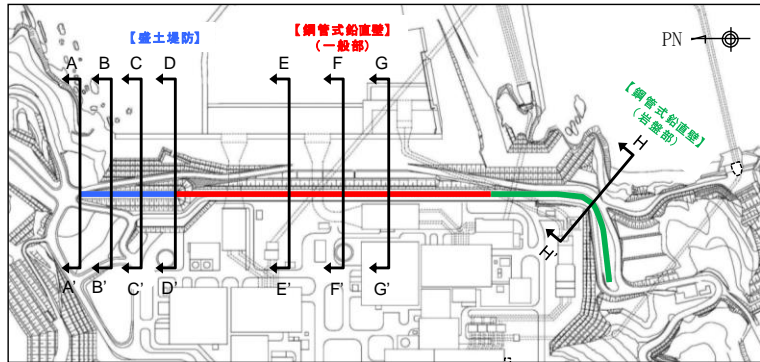
※:改良範囲は今後の安定性評価等により決定。



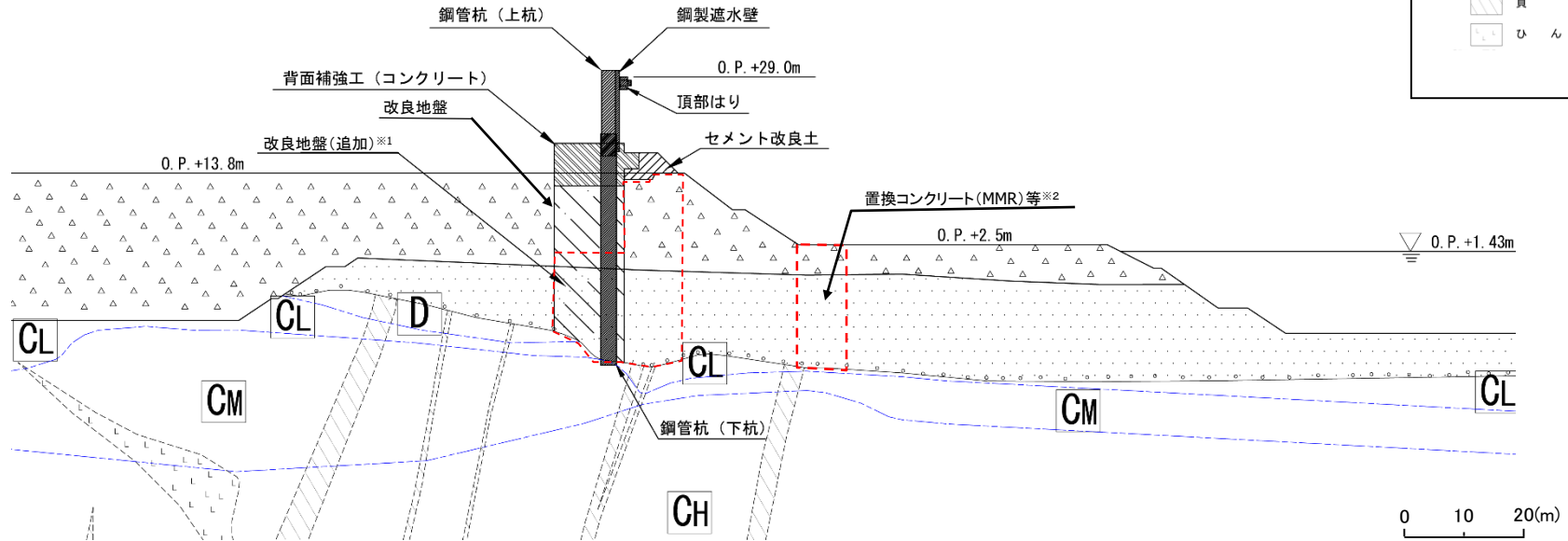
防潮堤 盛土堤防及び鋼管式鉛直壁 横断面図(D-D')

4.8 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



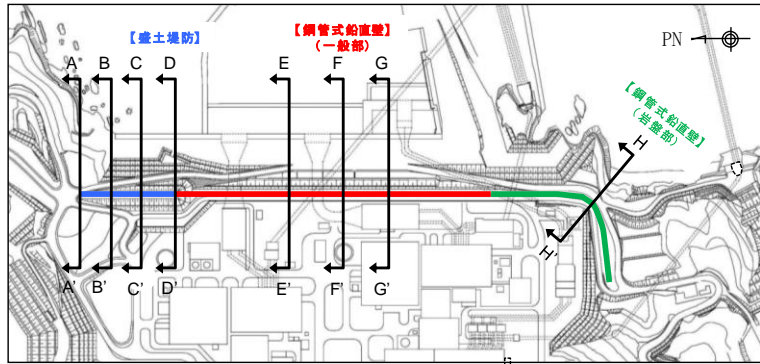
※1: 改良範囲は今後の安定性評価等により決定。
 ※2: 今後の評価により必要な場合。

防潮堤 鋼管式鉛直壁 横断面図(E-E')

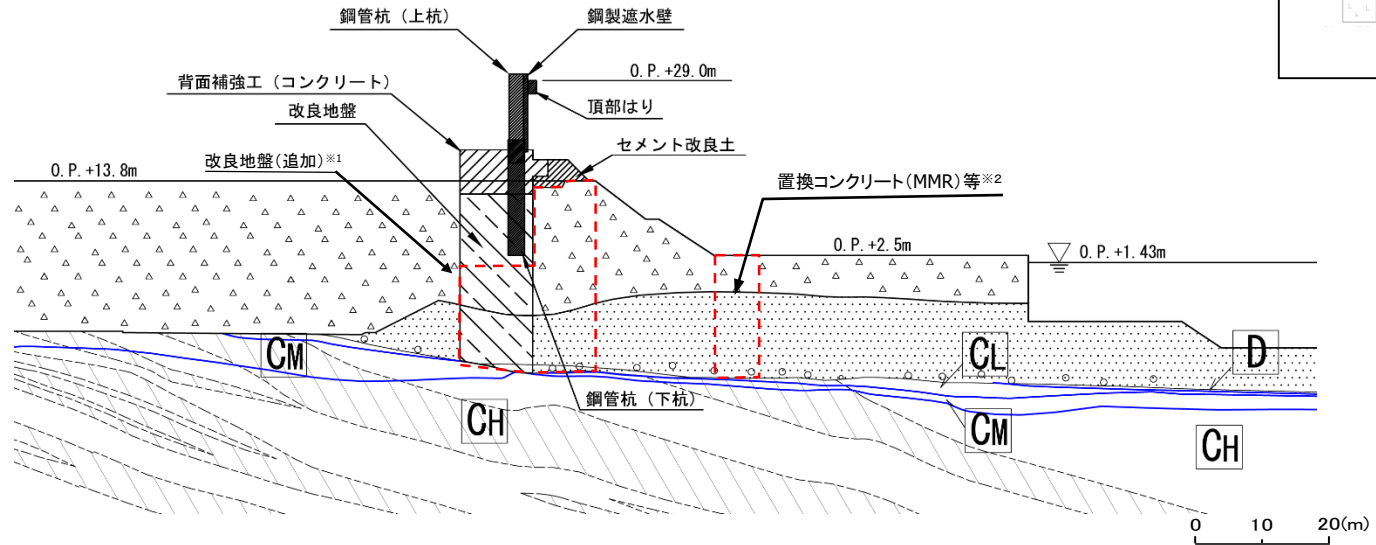
4. 防潮堤の概要

4.8 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 岩
	頁 岩
	ひ ん 岩

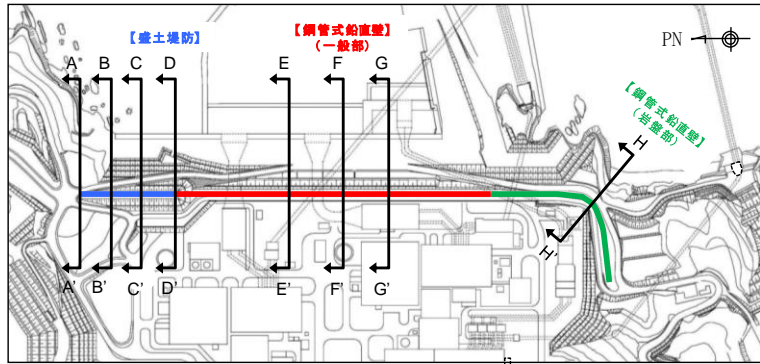


※1: 改良範囲は今後の安定性評価等により決定。
 ※2: 今後の評価により必要な場合。

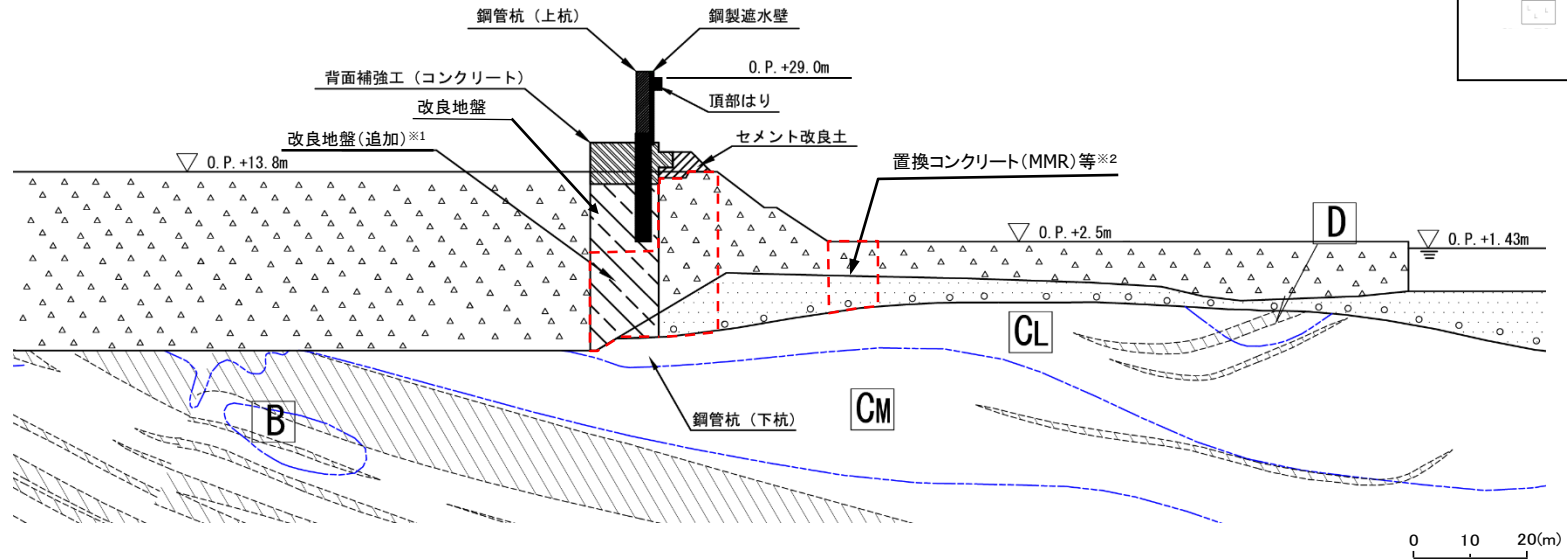
防潮堤 鋼管式鉛直壁 横断面図(F-F')

4.8 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



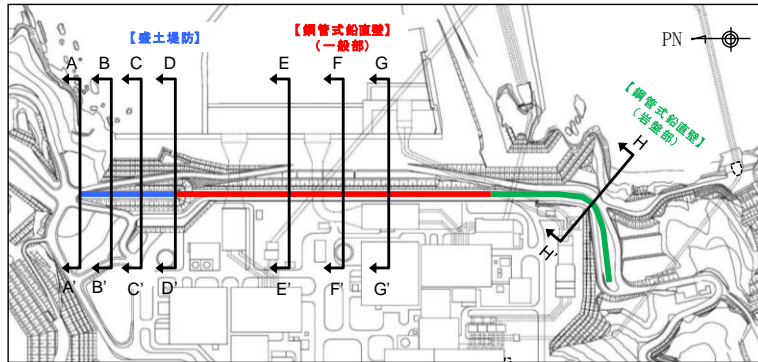
※1: 改良範囲は今後の安定性評価等により決定。
 ※2: 今後の評価により必要な場合。

防潮堤 鋼管式鉛直壁 横断面図(G-G')

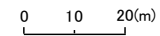
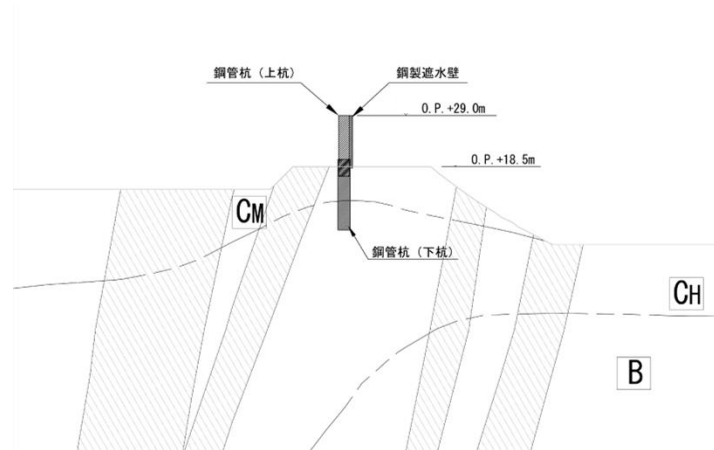
4. 防潮堤の概要

4.8 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



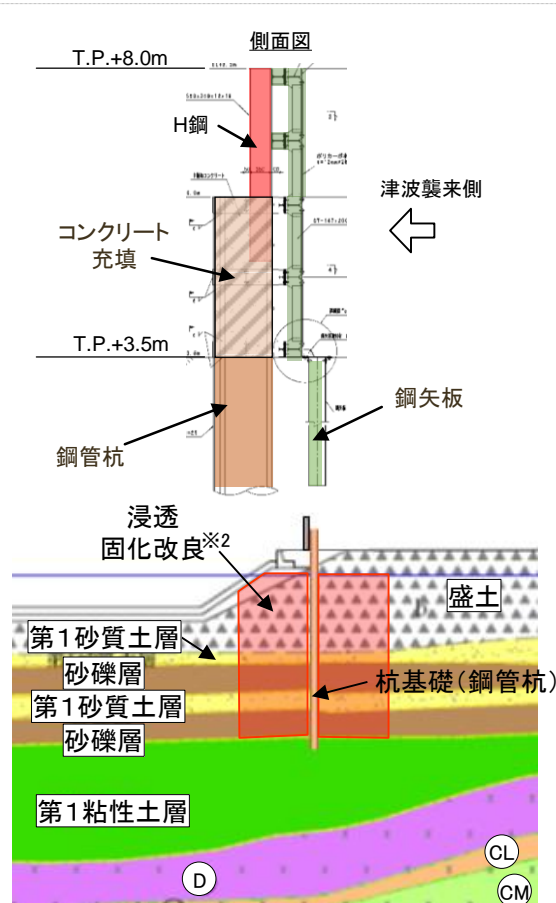
防潮堤 鋼管式鉛直壁 横断面図(H-H')

5. 女川防潮堤の特徴と他サイト防潮堤との比較

- 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(岩盤に支持されている杭)及び短杭(改良地盤に支持されている杭)の2つの杭仕様があり、いずれも鋼管式鉛直壁(岩盤部)と同様に沈下しない設計としている。
- 盛土堤防はセメント改良土より成り、岩盤又は改良地盤に支持させることで、沈下しない設計としている。
- これらの設計において留意すべき事項を整理するため、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

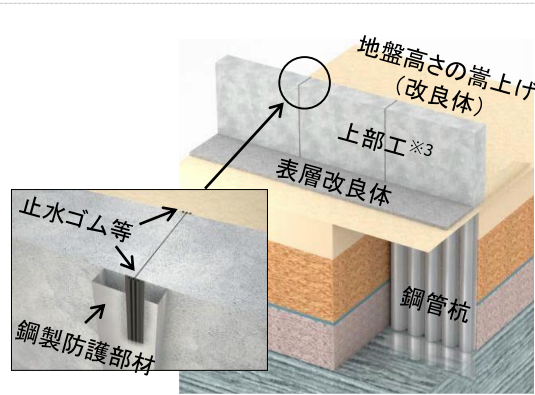
高浜発電所4号機
放水口側防潮堤※1



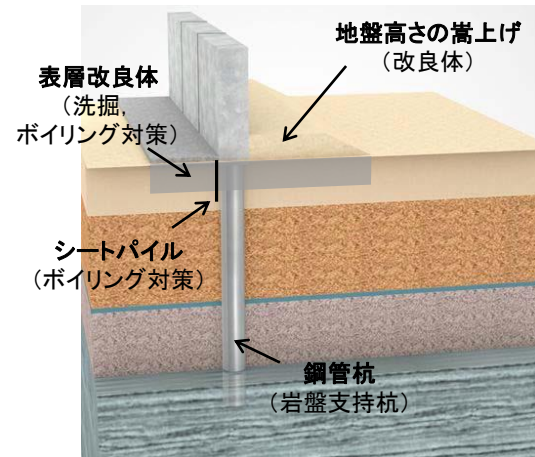
※1: 2本の杭により上部工(鋼製)を支持する構造。
 ※2: 液状化対策として、地下水水位以深の地盤改良(浸透固化処理工法)を実施。

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

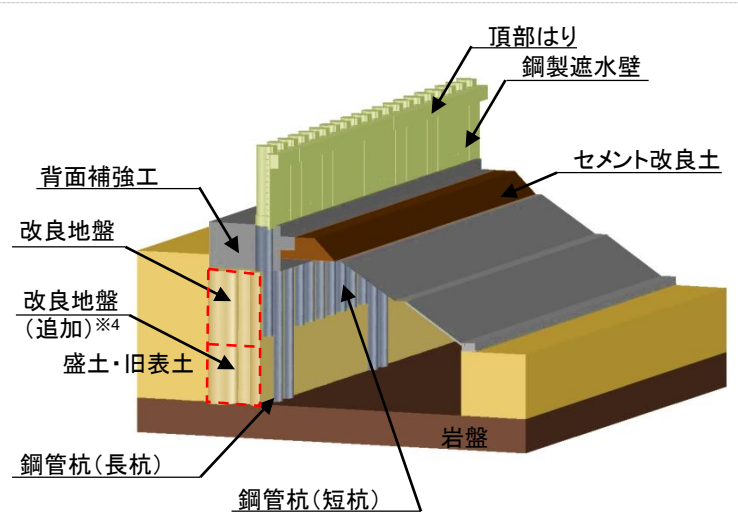


※3: 上部工は、鉄筋コンクリート、鋼管杭、止水ジョイント部から成る。
 鉄筋コンクリートは、津波荷重、漂流物荷重等に対し構造躯体として耐え、津波による浸水を防止する。

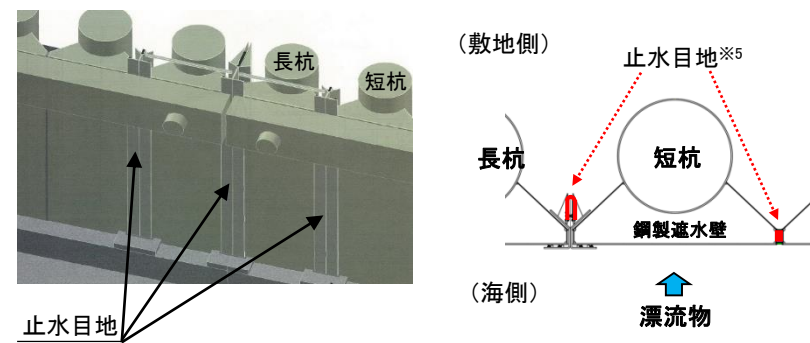


参考: 日本原子力発電株式会社 東海第二発電所
 平成29年10月26日審査会合資料 資料2-1-7

女川原子力発電所
鋼管式鉛直壁(一般部)



※4: 改良範囲は今後の安定性評価等により決定



※5: 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。

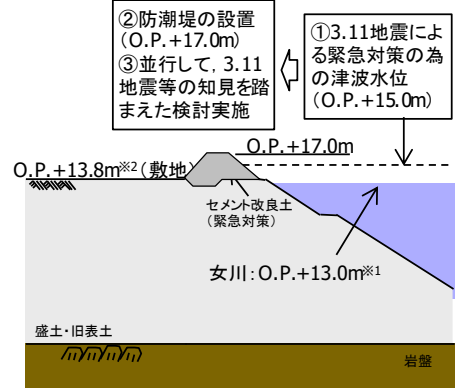
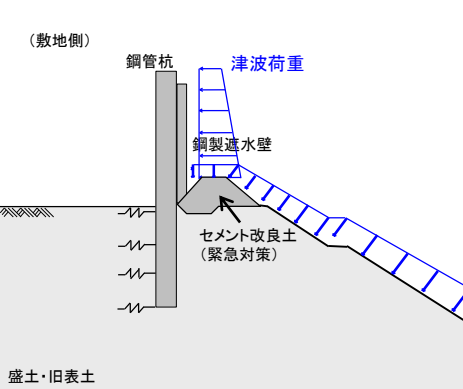
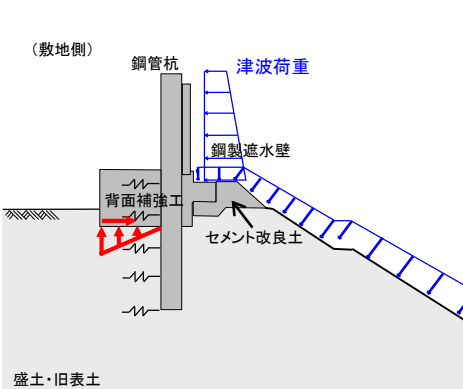
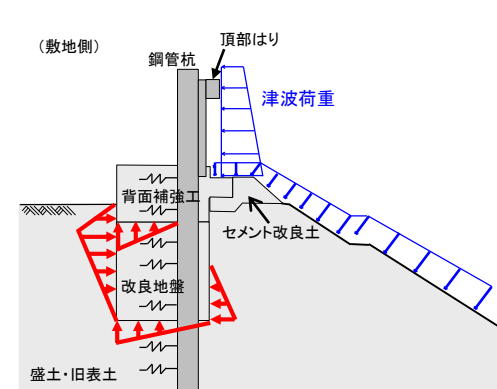
5. 女川防潮堤の特徴と他サイト防潮堤との比較(3/7)

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	・長杭と短杭の混合(岩盤又は改良地盤に支持)	・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)	・岩盤支持杭のみ	・短杭により地中埋設構造物の横断面においても対応できる。 ・沈下しない構造であるため、ネガティブフリクションが発生しない。	・杭一杭間に変位が生じる。	・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	・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。	・2本の杭により上部工(鋼製)を支持する構造。	・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。	・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。	・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。	・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	-	・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ることを仮定した場合の成立性を確認。	・構造物直下は岩盤まで地盤改良を行うため、直下では液状化が発生しない。	・周辺地盤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。	・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を評価する。
	地盤のかさ上げ、その他	・背面補強工により、原地盤を4.7mかさ上げ。	・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。 ・背面地盤を4.5m以上かさ上げ。 ・洗掘対策、ボーリング対策として、表層改良及びシートパイルを施工。	・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、ボーリング対策も兼ねている。また、その直下の改良地盤もボーリング対策を兼ねている。	・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。	・直下地盤を岩盤まで地盤改良(既設部は高圧噴射攪拌工、新設部は今後の設計で決定)し、堅固な基礎地盤とすることで、波力に耐える構造とする。
目地	・シリコーン目地 ・ゴムジョイント	・ゴムジョイント ・シートジョイント	・ゴムジョイント ・シートジョイント	・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)。	・想定する目地変位として汀線方向、汀線直交方向の2方向について要求性能を確認する必要がある。	・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	・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。	・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。	・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。	・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	・セメント改良土により構築し、沈下対策として岩盤までの地盤改良を実施。	(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。	-	・沈下しない構造であるため、不等沈下等に伴う浸水経路が発生しにくい。	-	-

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

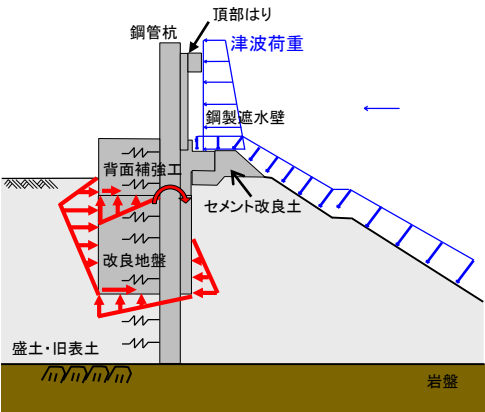
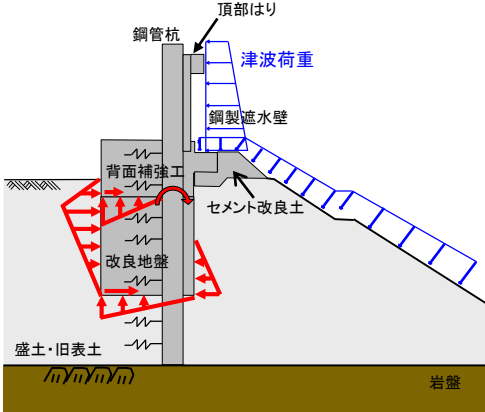
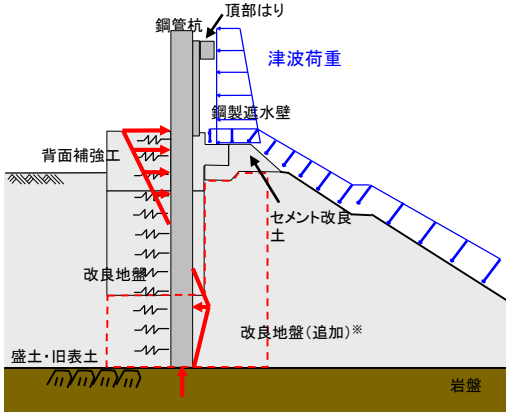
《3.11地震》	①女川当初案	②背面補強工による地盤のかさ上げ	③改良地盤の追加 ④岩着杭の追加
 <p>②防潮堤の設置 (O.P.+17.0m) ③並行して、3.11地震等の知見を踏まえた検討実施</p> <p>①3.11地震による緊急対策のための津波水位 (O.P.+15.0m)</p> <p>O.P.+13.8m^{※2} (敷地) O.P.+17.0m</p> <p>セメント改良土 (緊急対策)</p> <p>女川: O.P.+13.0m^{※1}</p> <p>盛土・旧表土 岩盤</p> <p>※1: 発電所の潮位計による津波高さ ※2: 地殻変動により敷地が一様に約1m沈降</p>	 <p>(敷地側) 鋼管杭 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 岩盤</p>	 <p>(敷地側) 鋼管杭 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 岩盤</p>	 <p>(敷地側) 鋼管杭 頂部はり 津波荷重</p> <p>鋼製遮水壁</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 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。 3.11地震による緊急安全対策としての防潮堤(O.P.+17m)の現在の取扱いについては、補足説明資料5に示す。 	<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	⑧沈下対策の追加
 <p>[構造確定(④と同じ)]</p>	<p>—</p>		 <p>※改良範囲は今後の安定性評価等により決定</p>
<p>・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>—</p>	<p>・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>・H30.2.13審査会合において沈下対策の実施について方針説明(補足説明資料4)。 ・直下の盛土・旧表土を地盤改良することの目的・理由と期待される効果を整理(補足説明資料8)</p>
<p>防潮堤高さO.P.+29m</p>	<p>—</p>	<p>防潮堤高さO.P.+29m</p>	<p>防潮堤高さO.P.+29m</p>
<p>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 style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>H25.4 ~ H25.5 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>H25.7.8 新規制基準施行</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px; text-align: center;"> <p>H25.7</p> </div>	<p>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</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>H25.12 ~ H30.1 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>	<p>直下の盛土・旧表土を地盤改良することにより、沈下に伴い検討が必要となっていた損傷モードを簡略化あるいは省略併せて、施設として定義する範囲を見直し</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px; text-align: center;"> <p>H30.2～現在</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

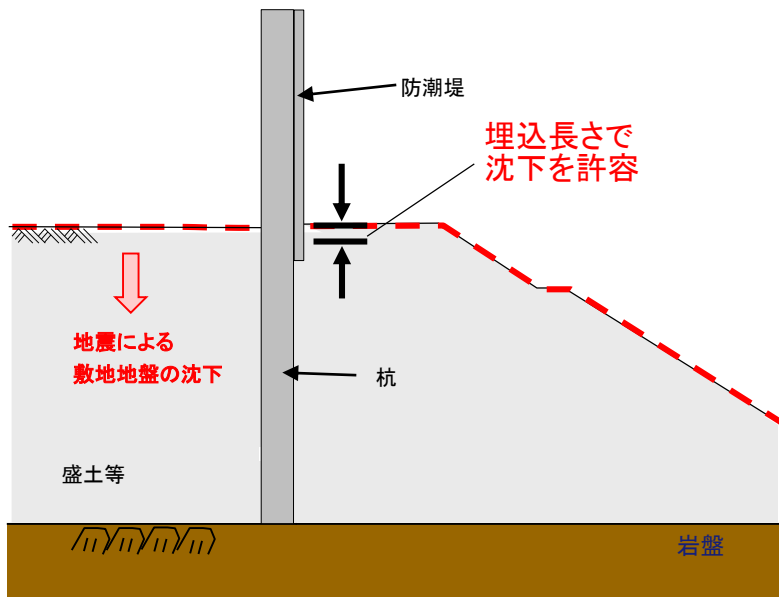
<先行他サイトの場合>

- 地震時の周辺地盤の沈下に対して、防潮堤(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。

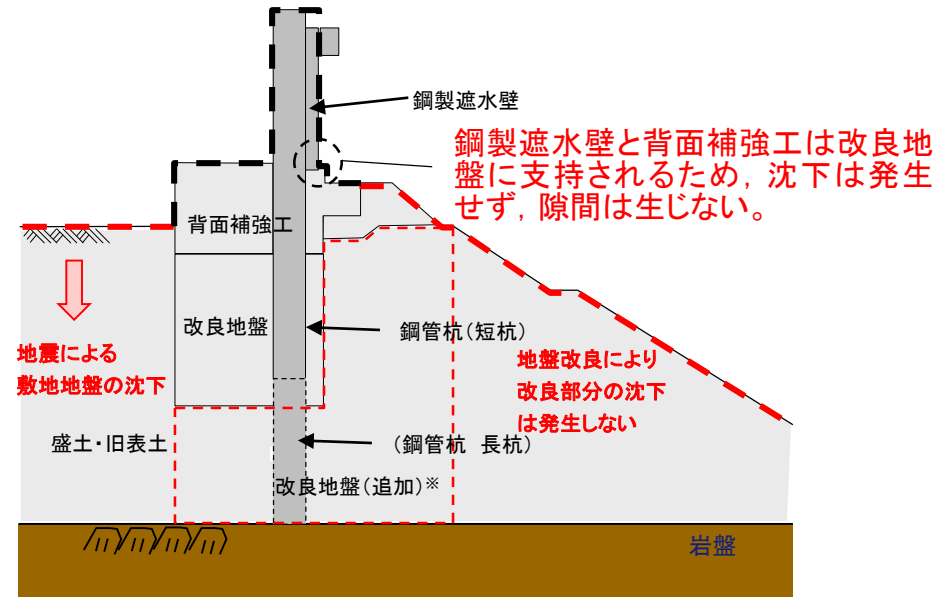
<女川防潮堤の場合>

- 鋼製遮水壁を支持する長杭・短杭はいずれも岩盤又は改良地盤に支持されるため、沈下は発生しない。
- 鋼管杭周辺地盤の地盤改良により、鋼管杭に接する範囲の周辺地盤に沈下は発生しない。
- 鋼製遮水壁は背面補強工に根入れしているが、背面補強工は改良地盤に支持されており、沈下が発生しないことから、鋼製遮水壁と周辺地盤の間に隙間が生じない構造としている。

<先行他サイトの場合>



<女川防潮堤の場合>



※: 改良範囲は今後の安定性評価等により決定。

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

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 	

6. 設計基本方針

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)	<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、波力による浸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。</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、合理的な傾度、荷重レベルが設定される。</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が必要がある。）</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变形能力（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（一般部）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变形能力（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。</p>	<p>・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週上波に対して、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考慮した防潮堤高さの境界部等への止水処置により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>・防潮堤鋼管式鉛直壁（一般部）は、基準地震動 Ss に対し、主要な構造部材の構造健全性を維持すること、津波時の止水性を保持すること、津波による浸食や洗掘、地盤内からの浸水の低い地盤により止水性を保持する設計とする。</p>	<p>・防潮堤鋼管式鉛直壁（一般部）は、基準地震動 Ss に対し、①鋼製の耐力のある部材を使用することで止水性能を保持する設計とする。</p> <p>⑧防潮堤の杭直下、周辺及び背面に、剛性の高い背面補強工（コンクリート）及び改良地盤（高圧噴射攪拌工）を構築することで杭の変位を抑制し、鋼製遮水壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。</p> <p>⑩鋼製遮水壁間は、地震による変形に追随する、止水性を確認した止水ゴム、シリコーン等による止水目地を設置すること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（一般部）は、地震後の繰返しの変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、鋼管杭及び鋼製遮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、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とする。</p> <p>④防潮堤の杭周辺及び背面に、剛性の高い背面補強工（コンクリート）及び改良地盤（高圧噴射攪拌工）を構築することで杭の変位を抑制し、鋼製遮水壁及び止水目地による止水性を保持する設計とする。</p> <p>⑤鋼製遮水壁間は、波圧による変形に追随する、止水性を確認した止水ゴム、シリコーン等による止水目地を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。</p> <p>⑥津波の波力による浸食や洗掘、地盤内からの浸水の低い地盤により止水性を保持する設計とする。</p> <p>・防潮堤鋼管式鉛直壁（一般部）は、基準地震動 Ss による地震時荷重に対し、鋼管杭及び鋼製遮水壁の上部構造で構成し、津波時に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、十分な支持性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。</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対し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするため、構造部材である鋼管杭（長杭、短杭）が、おおむね弾性状態に留まることを確認する。</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対し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするため、鋼製遮水壁間に設置する止水ゴム、シリコーン等による止水目地が有意な漏えいを生じない設計とし、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対し、鋼製遮水壁間に設置する止水ゴム、シリコーン等による止水目地が有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する。また、止水ゴム等が止水性能を保持するための接続ボルトや鋼製部材は、おおむね弾性状態に留まることを確認する。</p>	<p>基礎地盤 (岩盤及び改良地盤)</p> <p>鋼管杭 (長杭・短杭)</p> <p>鋼製遮水壁</p> <p>止水目地</p> <p>止水目地の鋼製部材</p> <p>【周辺地盤】</p> <p>背面補強工、改良地盤、セメント改良土及び盛土・旧表土</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>周辺地盤として、設計に考慮する。また、全体の安定性に問題がないことを確認する。</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>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。</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

6.1.2 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	
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 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。</p> <p>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こと。 c) 地震により周辺地盤に液化が発生する場合、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变形能力(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、地震後の繰返しの襲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、想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さの設定及び構造体の境界部等への止水処置により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>防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、基準地震動Ssに対して、津波防護施設が要求される機能損なう恐れがないよう、構造物全体としての变形能力(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を要求される。</p>	<p>防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し、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、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。</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遮水壁及び止水目地により止水性を確保する設計とする。</p> <p>③鋼製遮水壁間は、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、基準地震動Ssに対して、鋼製の耐性のある部材を使用することで止水性を保持する設計とする。</p> <p>④鋼製遮水壁間は、地震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目地を設置すること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、基準地震動Ssによる地震時荷重に対し、鋼管杭、鋼製遮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、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とともに、鋼製遮水壁間は、止水ゴムやシリコン等による止水目地を設置し、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>防潮堤鋼管式鉛直壁(岩盤部)は、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し、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、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。</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遮水壁及び止水目地により止水性を確保する設計とする。</p> <p>③鋼製遮水壁間は、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目地を設置すること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、基準地震動Ssによる地震時荷重に対し、鋼管杭、鋼製遮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、十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とともに、鋼製遮水壁間は、止水ゴムやシリコン等による止水目地を設置し、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>	基礎地盤	支持力	支持機能を喪失する状態	「道路標示方書・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	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路標示方書・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。	
					鋼製遮水壁	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路標示方書・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水圧以下とする。	
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	「道路標示方書・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。						

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

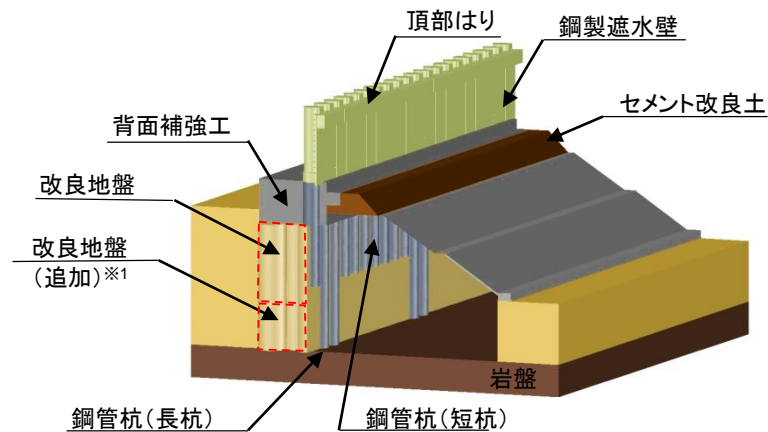
施設名	要求機能		機能設計		構造強度設計			設計に用いる許容限界		
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計(評価方針)	評価対象部位		応力等の状態	損傷モード
防潮堤 盛土堤防	<p>基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド</p> <p>5.1 津波防護施設的设计</p> <p>津波防護施設については、その構造に応じ、波力による侵食及び洗掘に対する抵抗力並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるように設計すること。</p> <p>(1) 要求事項に適合する設計方針であることを確認すること。</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。</p> <p>c) 地盤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</p> <p>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变形能力(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>防潮堤盛土堤防は、地震後の繰返しの襲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变形能力(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>・防潮堤盛土堤防は、地震後の繰返しの襲来を想定した週上の週上波に対し、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、想定される津波高さに余裕を有する設計とする。</p> <p>②防潮堤の盛土堤防は、セメント改良土で構成され、十分に透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 による地震時荷重に対し、セメント改良土で構成し、津波時の再使用性を保持する設計とする。</p> <p>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。</p> <p>・津波の波力による侵食や洗掘、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、</p> <p>⑤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、セメント改良土で構成し、津波後の再使用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 による地震時荷重に対し、セメント改良土で構成し、津波時においても盛土堤防の構造健全性を保持する設計とともに、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>基礎地震盤</p> <p>支持力</p> <p>支持機能を喪失する状態</p>	<p>基礎地震動 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> <p>盛土堤防(セメント改良土)</p> <p>すべり安全率</p> <p>堤体内にすべりが発生する状態</p>	<p>「道路標示方書・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>「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮したすべり安全率以上とする。</p>			
							【周辺地盤】			
							セメント改良土及び盛土・旧表土	周辺地盤として、設計に考慮する。また、全体の安定性に問題がないことを確認する。		

6. 基本設計方針

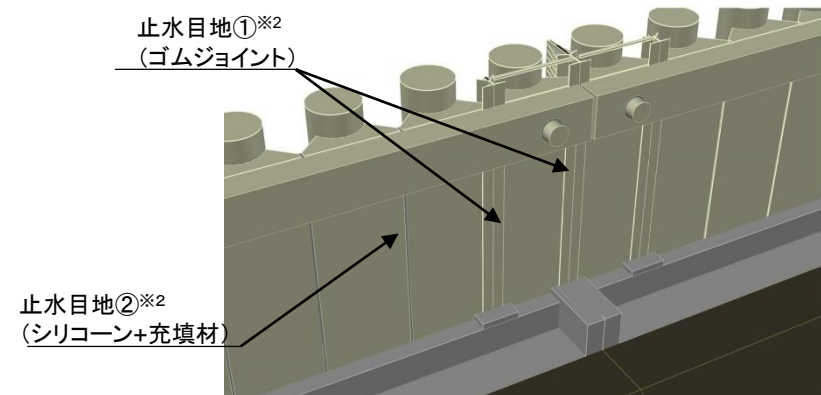
6.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)を構成する各部位の仕様

- 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	備考
1 鋼管杭	上杭:φ2,200mm_t=25mm(SKK490),t=40mm(SM570) 下杭:φ2,500mm_t=25mm(SKK490),t=35mm(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	仕様検討中
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)	仕様検討中
5 頂部はり	SM520C-H,SM490YB,SM490YA,SM400A	
【地盤】		
6 背面補強工	コンクリート : $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$ 鉄筋 : SD345	周辺地盤
7 改良地盤	高圧噴射攪拌工法 : $\Phi 4.5\text{m } q_u=3.0\text{N/mm}^2$ ※追加部の工法・仕様は今後の設計で決定	周辺地盤および基礎地盤(短杭)
8 セメント改良土	セメント混合処理土 : $q_u=2.7\text{N/mm}^2$	周辺地盤



※1: 改良範囲は今後の安定性評価等により決定。

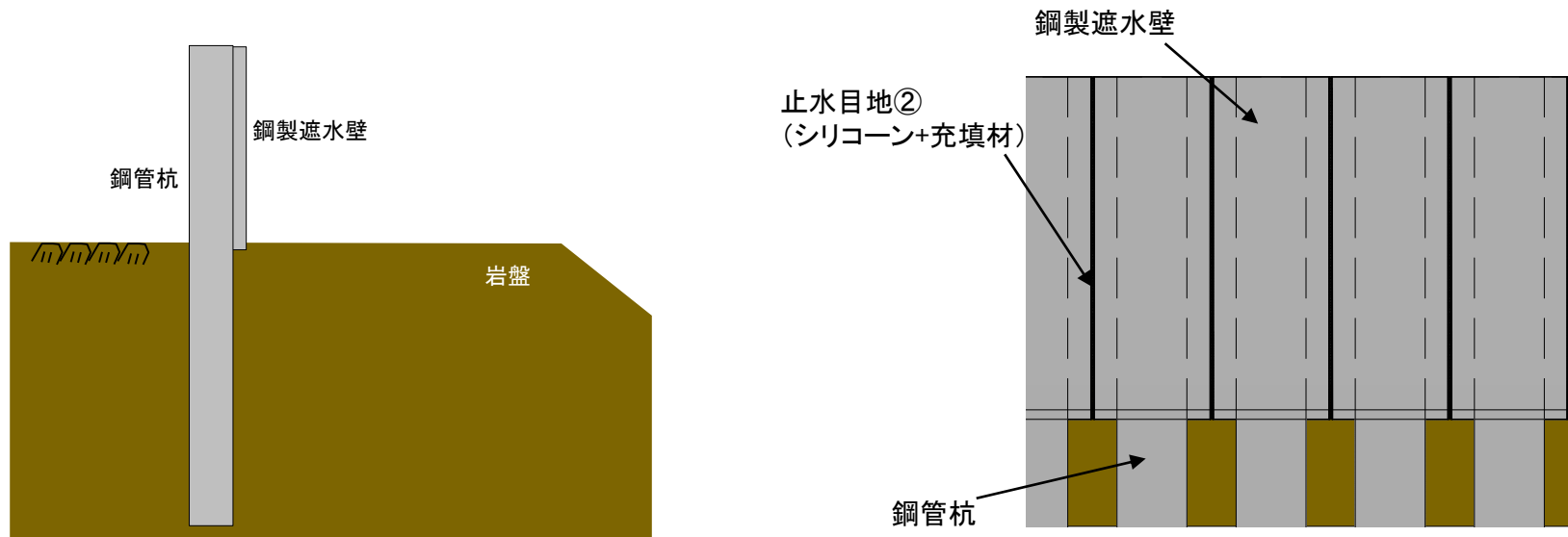


※2: 止水目地の仕様については検討中。

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。

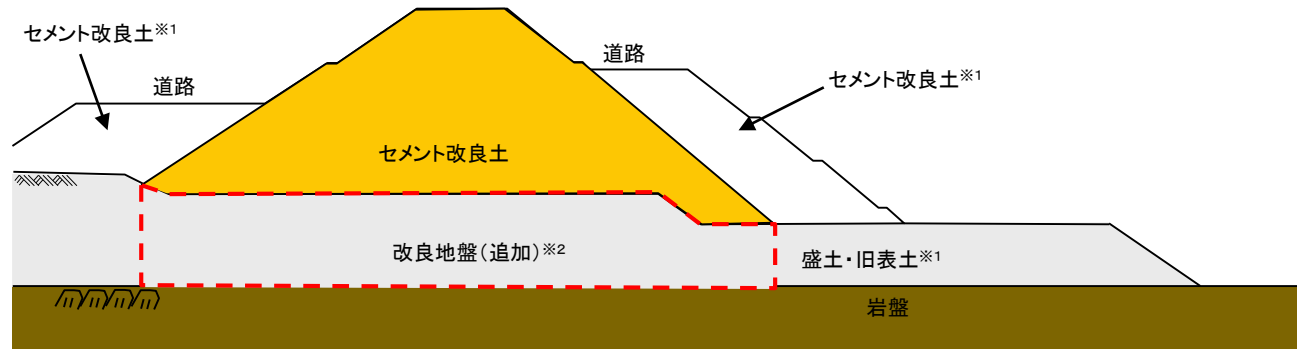
部位	仕様	備考
1 鋼管杭	上杭: $\phi 2,200\text{mm}$ $t=25\text{mm}$ (SKK490), $t=40\text{mm}$ (SM570) 下杭: $\phi 2,500\text{mm}$ $t=25\text{mm}$ (SKK490), $t=35\text{mm}$ (SM570)	
2 鋼製遮水壁 (下記RC遮水壁以外の区間)	SM570, SM490YB, SM490YA, SM400A	
3 RC遮水壁 (南端より1本目~5本目の鋼管杭の区間)	コンクリート : $f'_{ck}=40\text{N/mm}^2$ 鉄筋 : SD345	
4 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)	仕様検討中



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	備考
1	セメント改良土	セメント混合処理土 $q_u=2.7\text{N/mm}^2$	
【地盤】			
2	改良地盤	工法・仕様は今後の設計で決定	基礎地盤



※1: 周辺地盤として考慮。

※2: 改良範囲は今後の安定性評価等により決定。

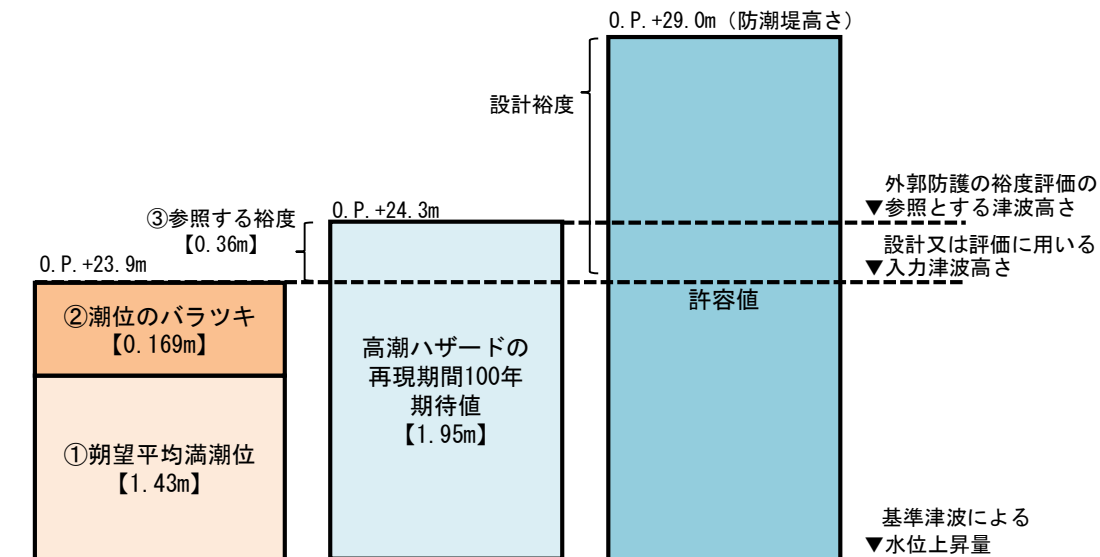
6.3 防潮堤高さの設定方針

- 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
設計裕度	5.1m

防潮堤設計裕度のイメージ

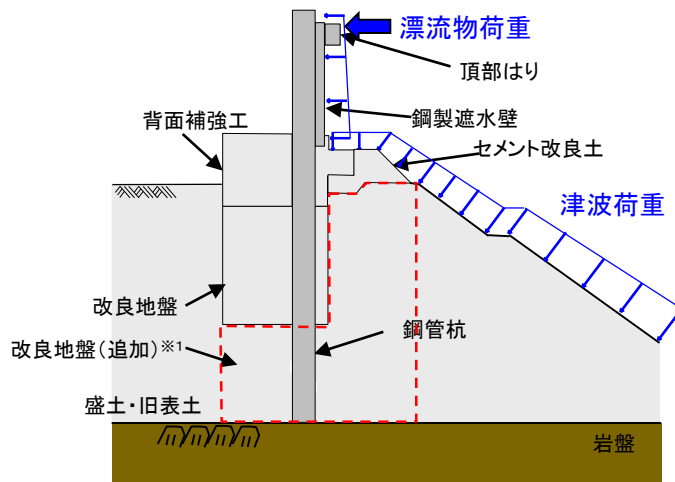


6.4 検討ケース及び荷重の組合せ

- 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、構造物全体の变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Ss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Ss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。 ^{※2}
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。



※1: 改良範囲は今後の安定性評価等により決定

※2: 基準地震動Ssの影響を考慮する。

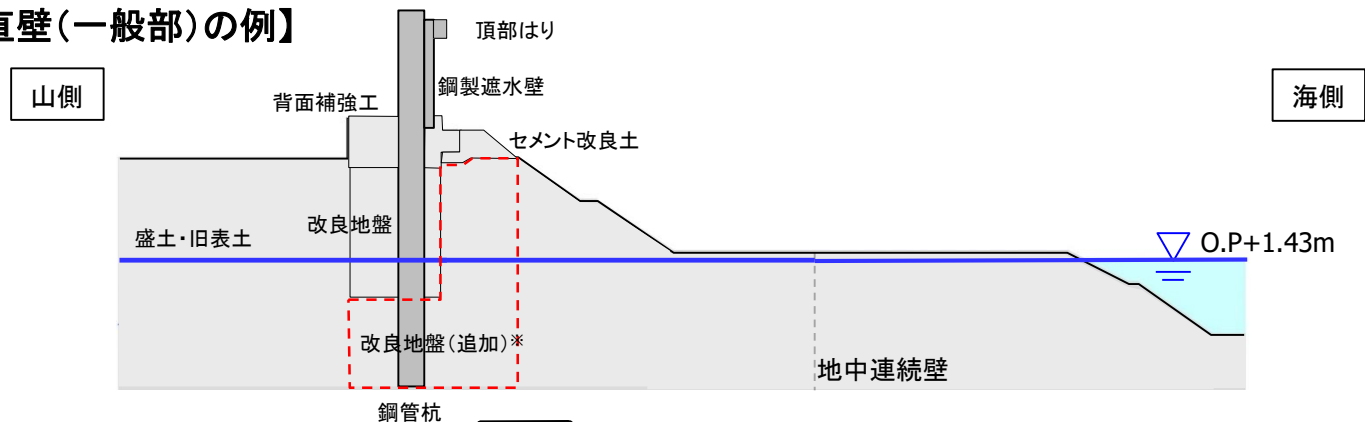
例: 津波荷重+漂流物荷重
(鋼管式鉛直壁(一般部))

6.5 地下水位の設定方針

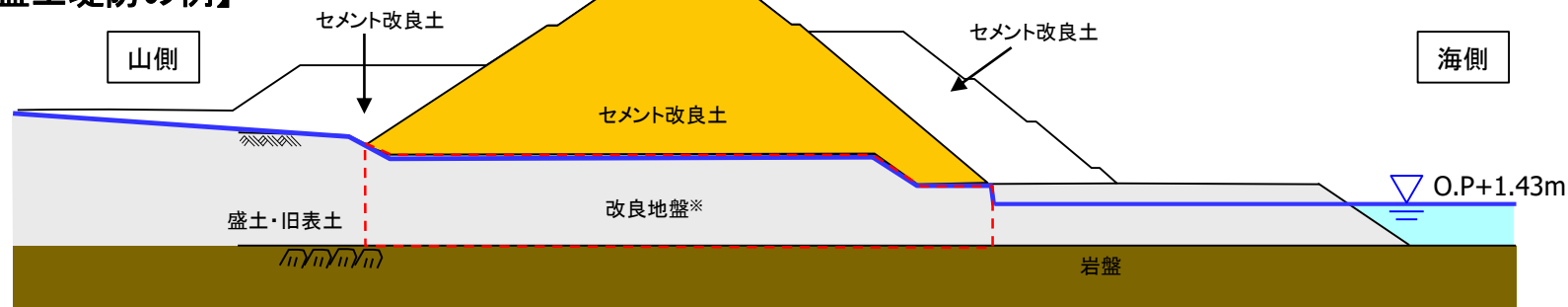
- 設置許可段階における地下水位については、断面ごとに保守的な設定になるよう以下のとおり設定する。
- 工認段階においては、設置許可段階における地下水位の設定方針を基本とする。

鋼管式鉛直壁(一般部)	防潮堤の海側: 地中連続壁の効果を期待せず、一律朔望平均満潮位(O.P.+1.43m)として設定 防潮堤の山側: 建屋等の地下水位低下設備により、地下水位は海側より低下していると考えられるが、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(岩盤部)	観測記録がなく、地下水位低下設備の効果が定量的に把握できないことから、保守的に地表面に設定
盛土堤防	防潮堤の海側: 保守的に朔望平均満潮位(O.P.+1.43m)として設定 防潮堤の山側: 建屋等の地下水位低下設備の効果が考えられるが、保守的に下図のとおり設定

【鋼管式鉛直壁(一般部)の例】



【盛土堤防の例】

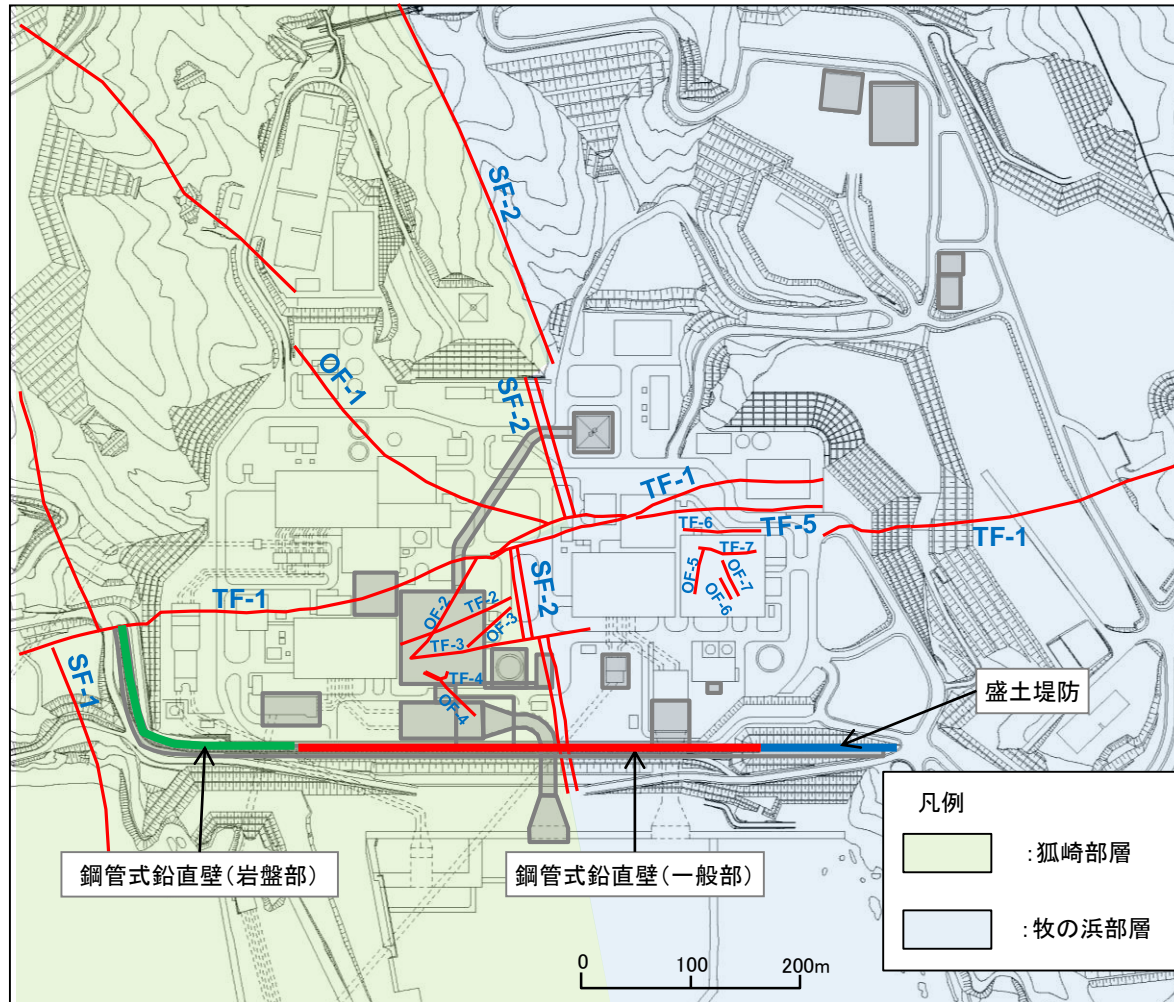


地下水位イメージ図

※: 改良範囲は今後の安定性評価等により決定。

6.6.1 解析用物性値の考え方

- 敷地には、中生界ジュラ系の牡鹿層群荻の浜累層が分布するが、防潮堤の設置位置には狐崎部層及び牧の浜部層が分布する。
- 両部層間で力学特性に大差はないものの、それぞれの部層に対する試験結果に基づき物性値を設定した。
- D級岩盤、断層及びシーム、旧表土、盛土の物性値は、地層の部層の相違による影響が小さいこと等から、狐崎部層と牧の浜部層を同一の物性値としている。



一軸圧縮強度の比較

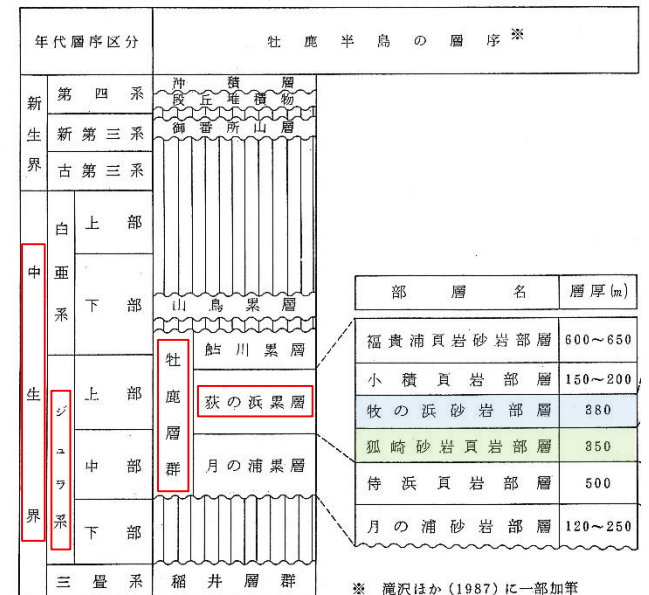
(単位: N/mm²)

岩盤分類		狐崎部層※1	牧の浜部層※2
砂岩	C _H	153.0	150.2
	C _M	40.0	47.4

※1: 2号試験坑内 供試体

※2: 3号試験坑内 供試体

敷地の地質層序表



6.6.2 解析用物性値(狐崎部層)

岩級	物理特性	変形特性				
		静的特性		動的特性		
	単位体積重量 (kN/m ³)	静弾性係数 E _s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν _s	動せん断弾性係数 G _d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν _d	減衰定数 h
B級	26.4	1,770	0.25	下表参照		0.03
C _H 級	26.2	1,770	0.24			0.03
C _M 級	25.2	980	0.26			0.03
C _L 級	24.1	400	0.31			0.03

岩級	速度層	動的変形特性	
		動せん断弾性係数 G _d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν _d
B級 及び C _H 級	第2速度層	1.5 × 10 ³	0.44
	第3速度層	5.9 × 10 ³	0.40
	第4速度層	13.2 × 10 ³	0.36
	第5速度層	16.5 × 10 ³	0.35

岩級	速度層	動的変形特性	
		動せん断弾性係数 G _d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν _d
C _M 級	第1速度層	0.2 × 10 ³	0.48
	第2速度層	1.5 × 10 ³	0.44
	第3速度層	5.7 × 10 ³	0.40
	第4速度層	12.7 × 10 ³	0.36
	第5速度層	15.8 × 10 ³	0.35
C _L 級	第1速度層	0.2 × 10 ³	0.48
	第2速度層	1.4 × 10 ³	0.44
	第3速度層	5.5 × 10 ³	0.40
D級	第1速度層	解析用物性値 (敷地全体) 参照	0.48
	第2速度層		0.44

6.6.2 解析用物性値(牧の浜部層)

岩級	物理特性	変形特性				
		静的特性		動的特性		
	単位体積重量 (kN/m ³)	静弾性係数 E _s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν _s	動せん断弾性係数 G _d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν _d	減衰定数 h
B 級	26.4	4,100	0.21	下表参照		0.03
C _H 級	26.2	1,900	0.19			0.03
C _M 級	25.5	1,200	0.24			0.03
C _L 級	23.1	250	0.26			0.03

岩級	速度層	動的変形特性	
		動せん断弾性係数 G _d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν _d
B 級 及び C _H 級	第2速度層	1.2 × 10 ³	0.45
	第3速度層	4.7 × 10 ³	0.41
	第4速度層	11.5 × 10 ³	0.34
	第5速度層	16.8 × 10 ³	0.33

岩級	速度層	動的変形特性	
		動せん断弾性係数 G _d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν _d
C _M 級	第1速度層	0.2 × 10 ³	0.48
	第2速度層	1.2 × 10 ³	0.45
	第3速度層	4.7 × 10 ³	0.41
	第4速度層	11.5 × 10 ³	0.34
	第5速度層	16.8 × 10 ³	0.33
C _L 級	第1速度層	0.2 × 10 ³	0.48
	第2速度層	1.2 × 10 ³	0.45
	第3速度層	4.7 × 10 ³	0.41
D 級	第1速度層	解析用物性値 (敷地全体) 参照	0.48
	第2速度層		0.45

6.6.2 解析用物性値(敷地全体)

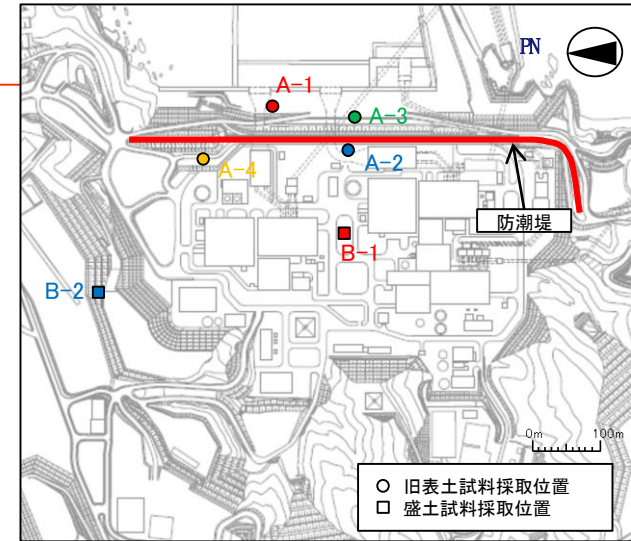
岩種・岩級		物理特性	強度特性			変形特性				
			静的・動的特性			静的特性		動的特性 (γ:せん断ひずみ)		
			単位体積重量 (kN/m ³)	せん断強度 τ ₀ (N/mm ²)	内部摩擦角 φ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E _s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν _s	動せん断弾性係数 G _d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν _d
D級		20.2	—	—	—	78	0.38	G ₀ =255.4σ ^{0.26} G _d /G ₀ =1/(1+119γ ^{0.63})	解析用物性 値(狐崎部層・ 牧の浜部層) 参照	h=0.085γ/(0.00026+γ)+0.028
旧表土	地下水位 以浅	18.4	0.00	38.7	σ tan38.7°	302σ ^{0.80}	0.40	G ₀ =211σ ^{0.42} G _d /G ₀ = 1/(1+γ/0.00087)*	0.46	γ<3×10 ⁻⁴ h=0.125+0.020logγ 3×10 ⁻⁴ ≤γ<2×10 ⁻² h=0.374+0.091logγ 2×10 ⁻² ≤γ h=0.22
	地下水位 以深	19.0	0.08	26.2	0.08+σ tan26.2°			G ₀ =211σ ^{0.42} G _d /G ₀ = 1/(1+γ/0.00087)		
盛土	地下水位 以浅	18.6	0.10	33.9	0.10+σ tan33.9°	198σ ^{0.60}	0.40	G ₀ =382σ ^{0.71} G _d /G ₀ = 1/(1+γ/0.00036)**	0.48	h=0.183γ/(γ+0.000261)
	地下水位 以深	20.6	0.06	30.0	0.06+σ tan30.0°					
セメント改良土		21.6	0.65	44.3	0.21+σ tan40.9°	690	0.26	G ₀ =1670 G _d /G ₀ = 1/(1+γ/0.00085)	0.36	γ<3.8×10 ⁻⁵ h=0.014 3.8×10 ⁻⁵ ≤γ h=0.151+0.031logγ
改良地盤	地下水位 以浅	19.6	1.39	22.1	0.51+σ tan34.6°	4480	0.19	G ₀ =1840 G _d /G ₀ = 1/(1+γ/0.00136)	0.35	γ<1.2×10 ⁻⁴ h=0.031 1.2×10 ⁻⁴ ≤γ<5.2×10 ⁻³ h=0.227+0.050logγ 5.2×10 ⁻³ ≤γ h=0.113
	地下水位 以深	20.6						G ₀ =1940 G _d /G ₀ = 1/(1+γ/0.00136)		

※残存剛性率(G_d/G₀)が小さい領域は次式で補間 G₀=E_s/2(1+ν_s) , G_d/G₀=1/(1+γ/γ_m) , γ_m=τ_f/G₀

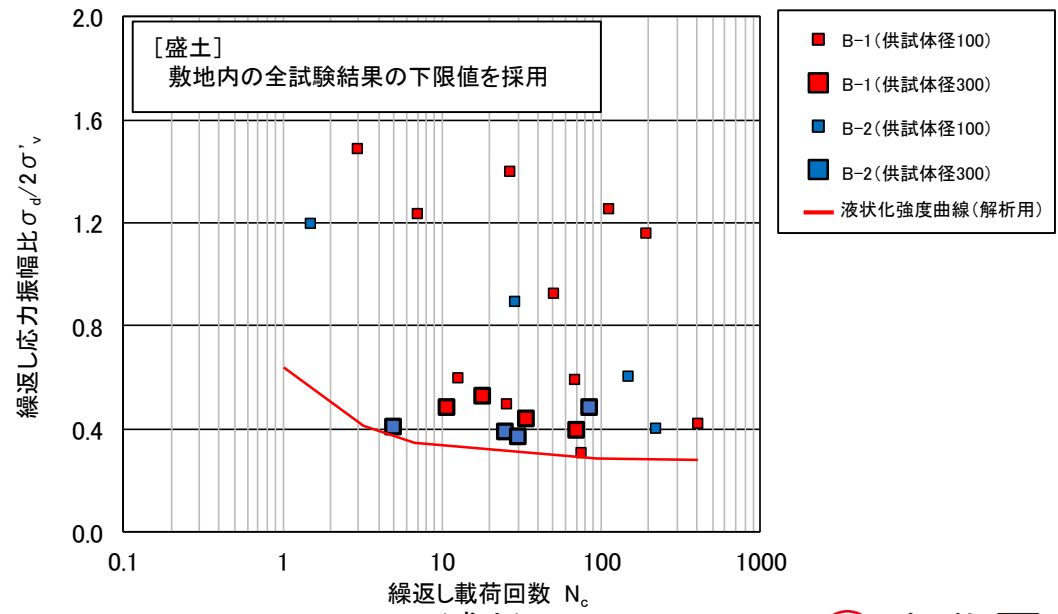
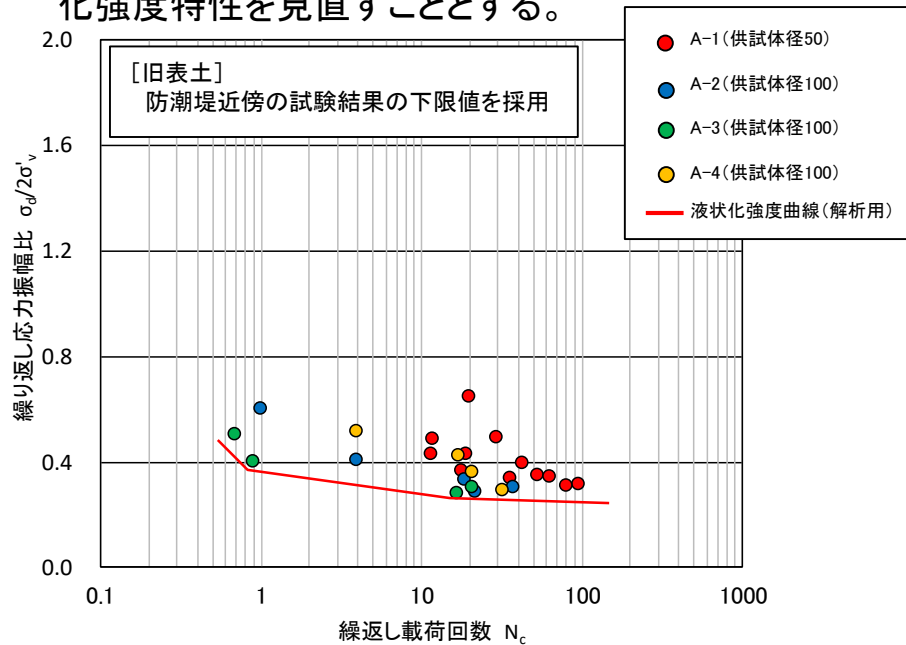
6. 基本設計方針

6.7 液状化強度特性の設定方針

- 設置許可段階での防潮堤の耐震性評価においては、有効応力解析により液状化の影響を確認することとし、有効応力解析に用いる旧表土の液状化強度特性は、防潮堤近傍の液状化強度試験結果に基づき、盛土の液状化強度特性は、敷地全体の液状化強度試験結果に基づき、下図のとおり下限値を基本に保守的に設定する。
- 液状化強度試験の試料採取位置選定とその代表性については、補足説明資料6. に示す。
- 工認段階における防潮堤の耐震性評価に用いる液状化強度特性は、設置許可段階の設定を基本とする。
- なお、盛土については、防潮堤近傍において液状化強度試験の追加実施を検討し、信頼性のある試験結果が得られた場合において、液状化強度特性を見直すこととする。

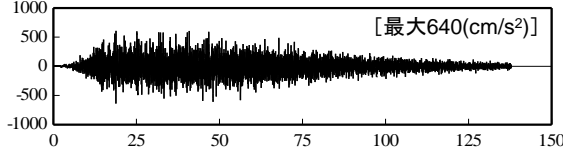
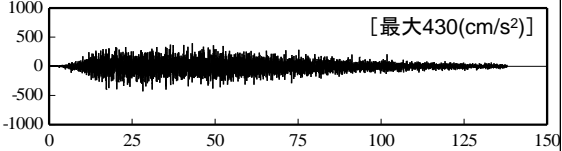
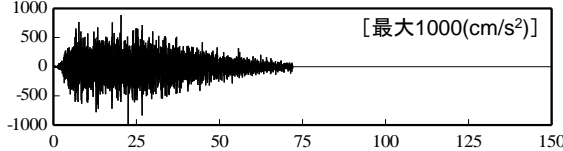
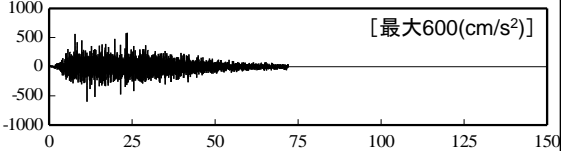
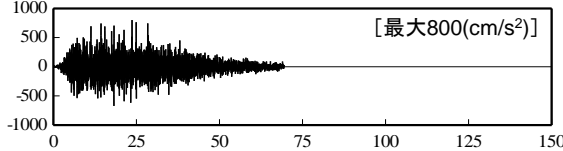
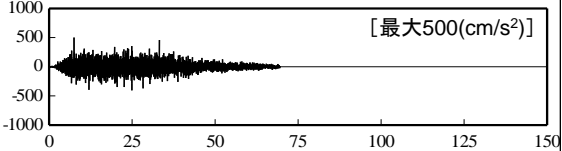
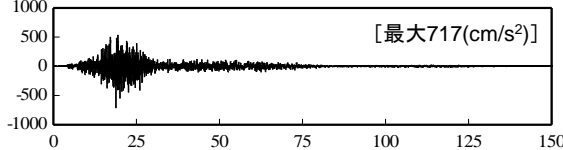
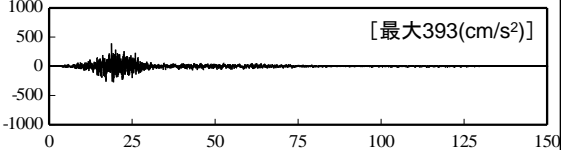
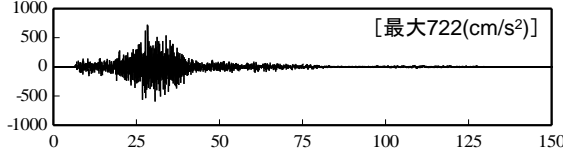
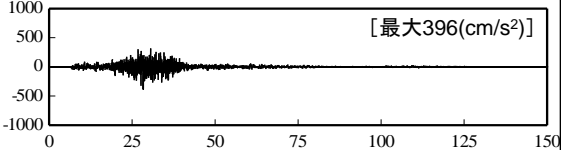
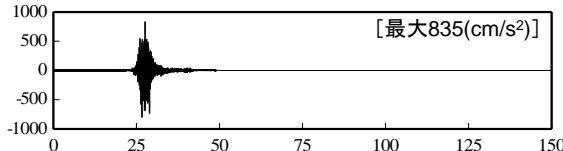
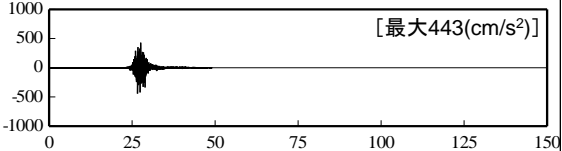
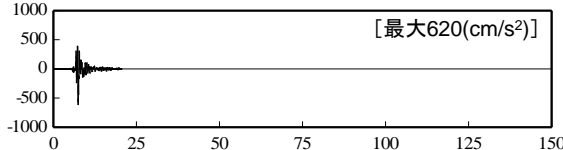
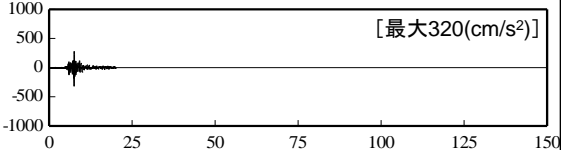


試料採取位置



液状化強度試験結果に基づく液状化強度曲線(イメージ)

6.8 基準地震動(加速度時刻歴波形)

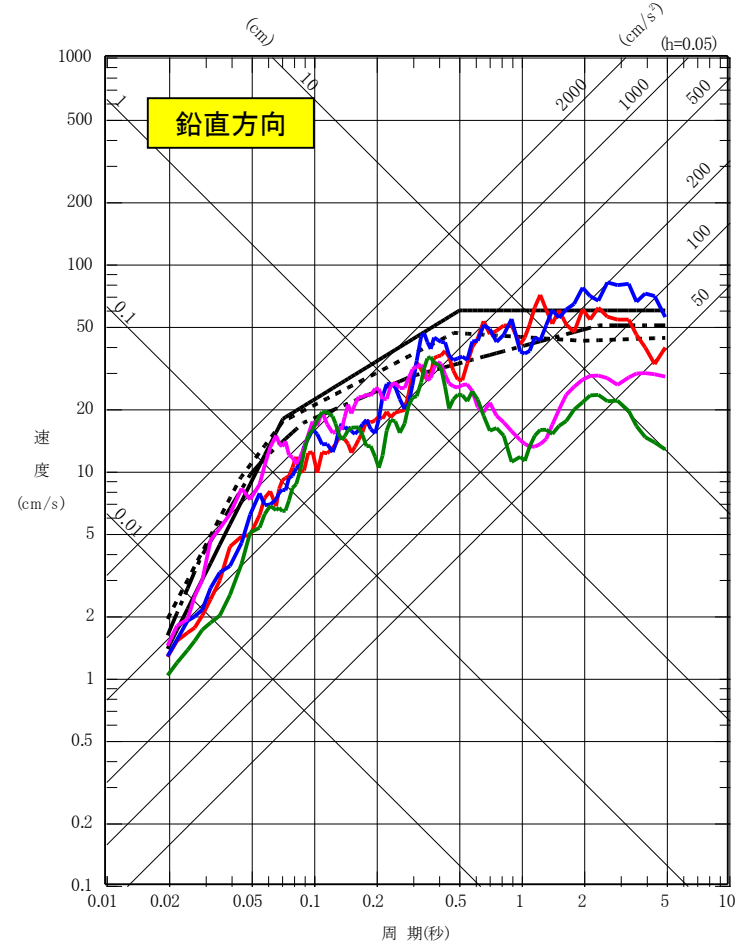
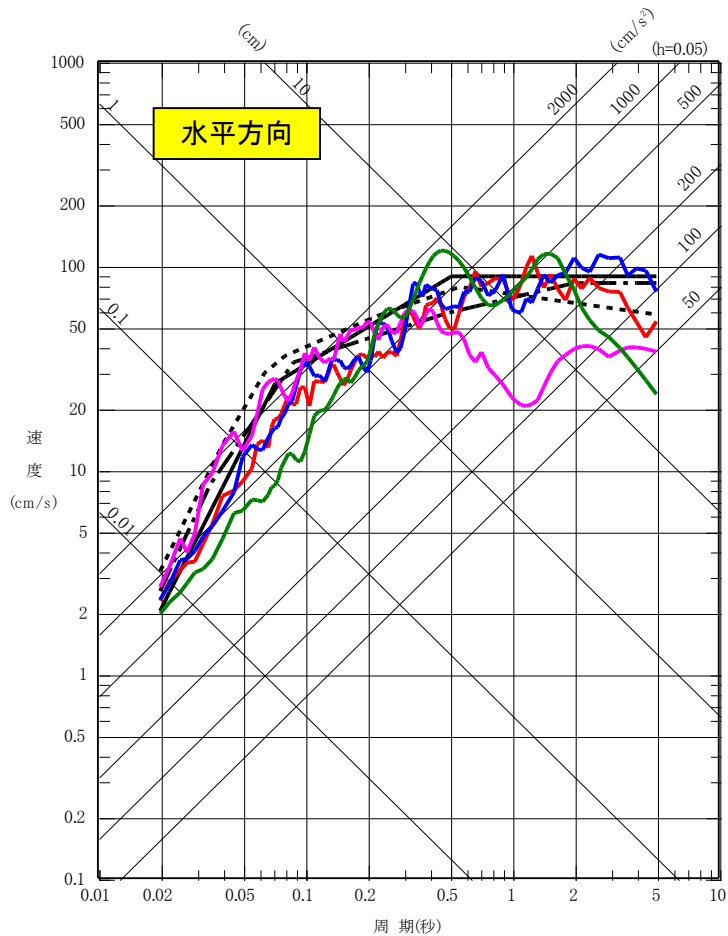
基準地震動		水平方向	鉛直方向
Ss-D1	プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動	 [最大640(cm/s ²)]	 [最大430(cm/s ²)]
Ss-D2	海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動	 [最大1000(cm/s ²)]	 [最大600(cm/s ²)]
Ss-D3	海洋プレート内地震(SMGA地殻内)の応答スペクトル手法による基準地震動	 [最大800(cm/s ²)]	 [最大500(cm/s ²)]
Ss-F1	プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動 [応力降下量(短周期レベル)の不確かさ]	 [最大717(cm/s ²)]	 [最大393(cm/s ²)]
Ss-F2	プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動 [SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳]	 [最大722(cm/s ²)]	 [最大396(cm/s ²)]
Ss-F3	海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の断層モデル手法による基準地震動 (SMGAマントル内集約)	 [最大835(cm/s ²)]	 [最大443(cm/s ²)]
Ss-N1	2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動	 [最大620(cm/s ²)]	 [最大320(cm/s ²)]

注1: 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形[縦軸: 加速度(cm/s²), 横軸: 時間(s)]

注2: 断層モデルによる基準地震動のSs-F1, Ss-F2及びSs-F3については, 3.11地震, 4.7地震の観測記録との整合性を確認したシミュレーションでの手法(統計的グリーン関数法, 放射特性一定)を用いていることから水平方向としている。

6.8 基準地震動(応答スペクトル)

- 基準地震動Ss-D1 [プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動]
- - - 基準地震動Ss-D2 [海洋プレート内地震 (SMGAマントル内) の応答スペクトル手法による基準地震動]
- · - 基準地震動Ss-D3 [海洋プレート内地震 (SMGA地殻内) の応答スペクトル手法による基準地震動]
- 基準地震動Ss-F1 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(応力降下量(短周期レベル)の不確かさ)]
- 基準地震動Ss-F2 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳)]
- 基準地震動Ss-F3 [海洋プレート内地震 (SMGAマントル内) の断層モデル手法による基準地震動(SMGAマントル内集約)]
- 基準地震動Ss-N1 [2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動]



7. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

7.1 防潮堤に作用する荷重と部位の役割の概要

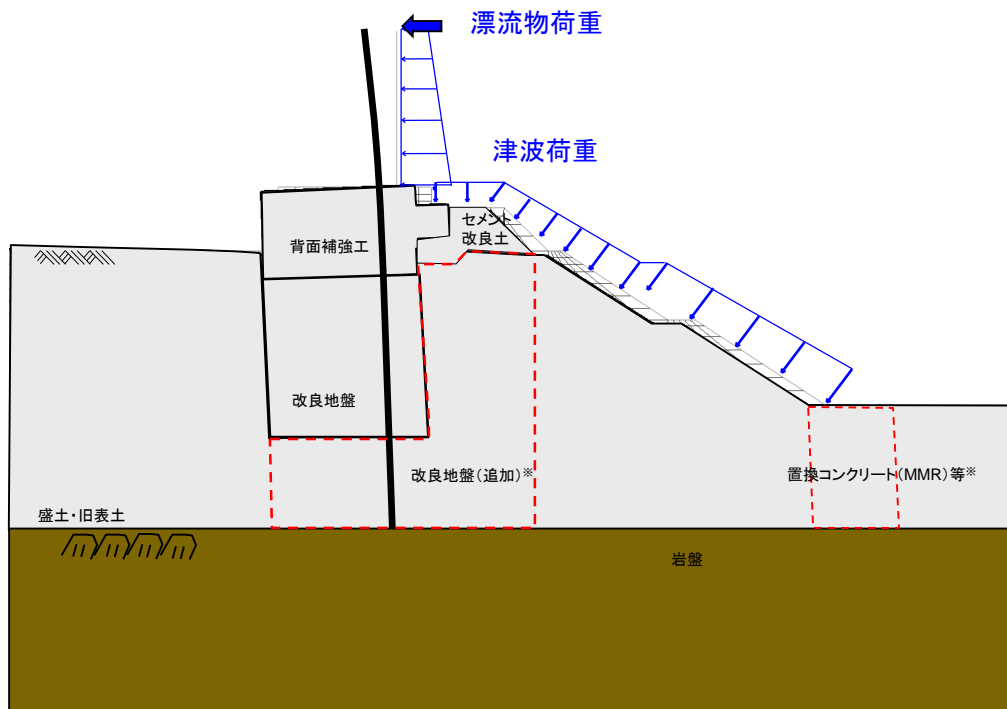
- 防潮堤は、鋼管式鉛直壁(一般部)、鋼管式鉛直壁(岩盤部)及び盛土堤防部の3つの構造形式に分かれている。
- 鋼管式鉛直壁(一般部)については長杭(岩盤に支持されている杭)及び短杭(改良地盤に支持されている杭)の2つの杭仕様があり、いずれも沈下しない設計としている。
- 盛土堤防はセメント改良土より成り、岩盤又は改良地盤に支持させることで、沈下しない設計としている。
- 防潮堤の構造成立性には、このような構造に作用する荷重に対し各部位が所要の機能を発揮して安全であることが必要である。
- このような観点から、作用する荷重、構造体の変形モード及び各部位の役割について整理する。

7. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

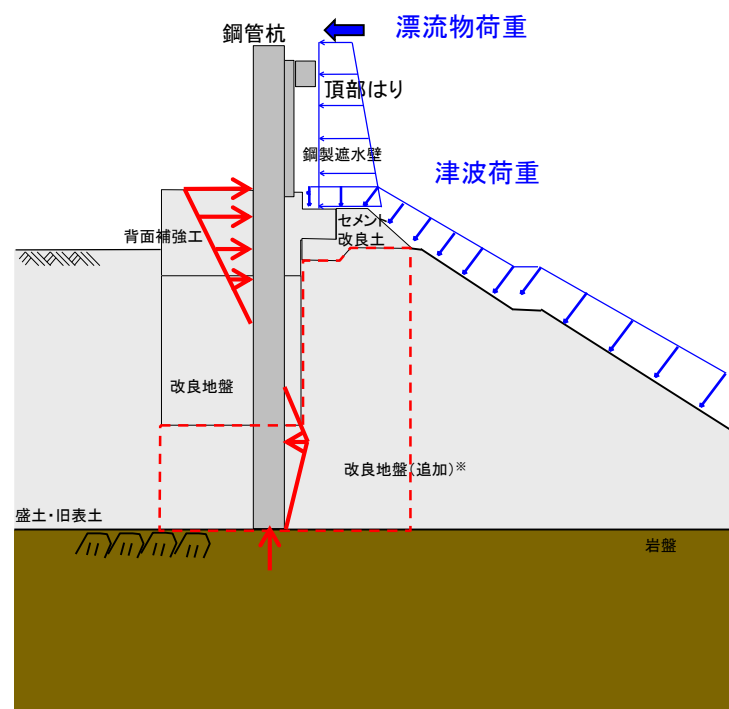
7.2.1 津波時 鋼管式鉛直壁(一般部)(1/2)

- 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



※: 改良範囲は今後の安定性評価等により決定。

7.2.1 津波時 鋼管式鉛直壁(一般部)(2/2)

- 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)	・ 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)	・ 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。
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。
頂部はり	—※

【地盤】

背面補強工	周辺地盤
改良地盤	長杭:周辺地盤, 短杭:周辺地盤及び基礎地盤
セメント改良土	周辺地盤
岩盤	基礎地盤

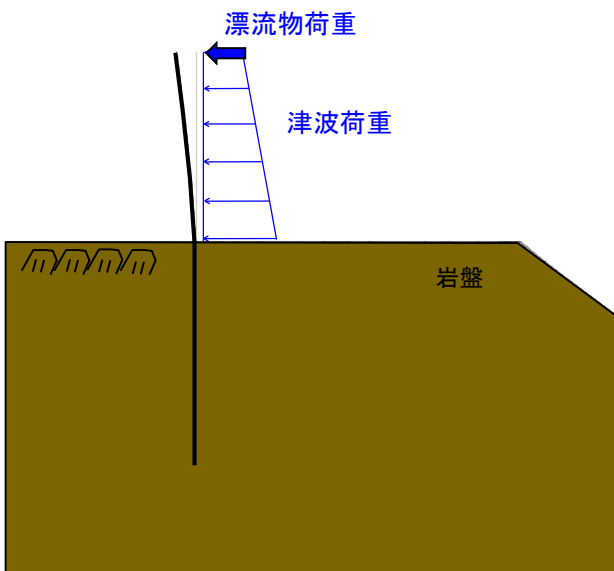
※:沈下時に機能を期待していたが、沈下しない設計に変更したため、役割を期待しない。

7. 防潮堤に作用する荷重と部位の役割

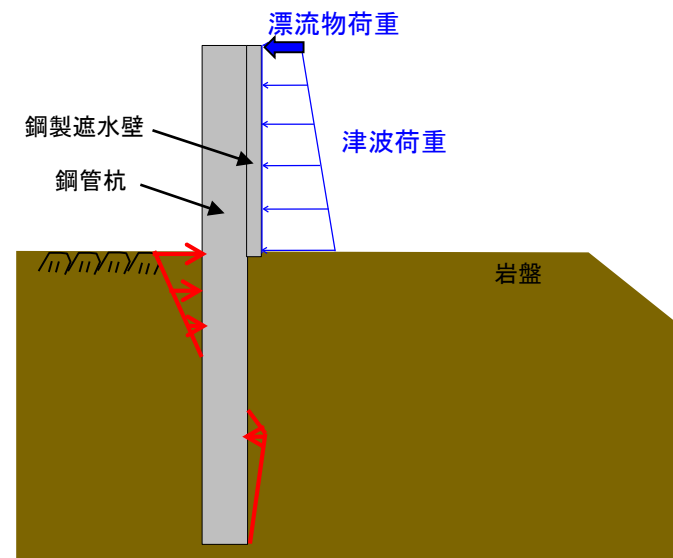
7.2.2 津波時 鋼管式鉛直壁(岩盤部)(1/2)

- 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. 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)(2/2)

- 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	・ 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。

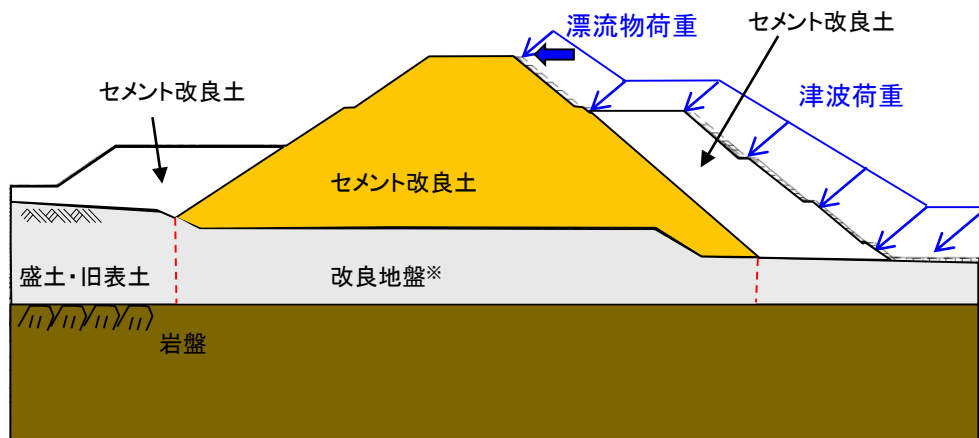
【地盤】

岩盤	基礎地盤
----	------

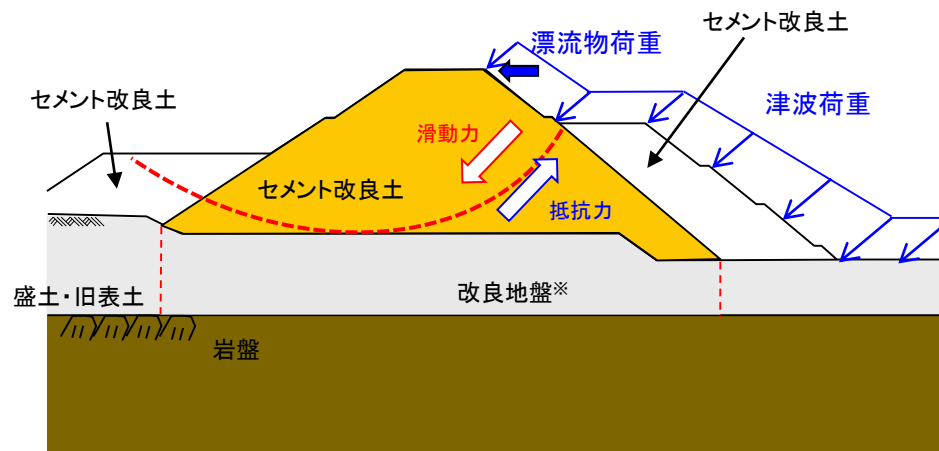
7.2.3 津波時 盛土堤防(1/2)

- 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



※: 改良範囲は今後の安定性評価等により決定。

7.2.3 津波時 盛土堤防(2/2)

- 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
盛土堤防 (セメント改良土)	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の止水機能を保持して、盛土堤防が損傷しない。

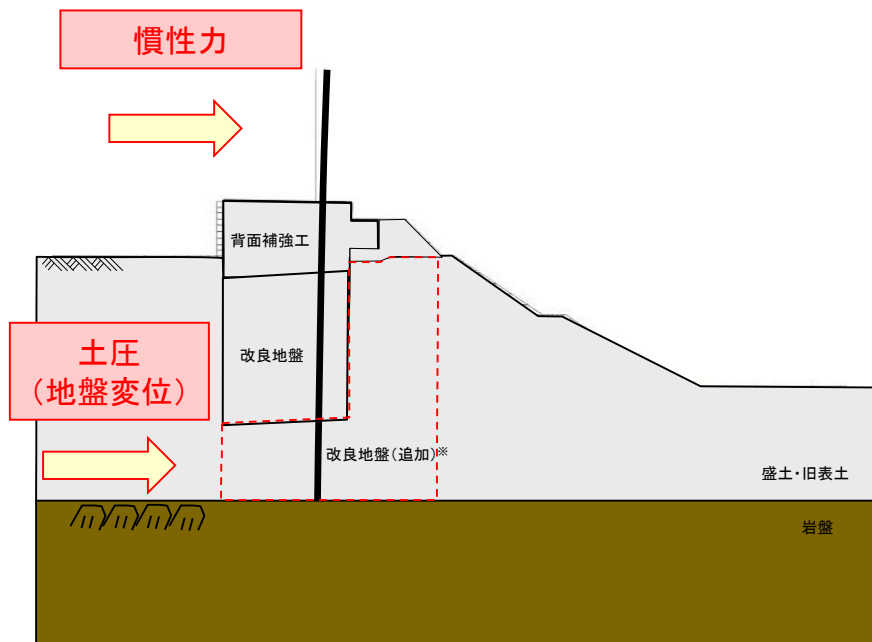
【地盤】

セメント改良土	周辺地盤
改良地盤	基礎地盤
岩盤	

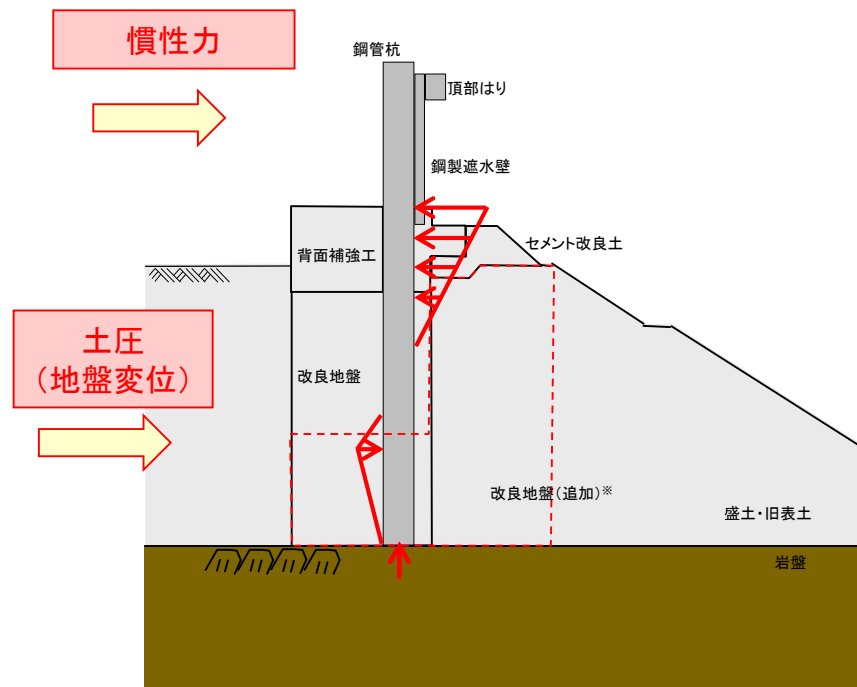
7.3.1 地震時 鋼管式鉛直壁(一般部)(1/2)

- 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



※: 改良範囲は今後の安定性評価等により決定。

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)(2/2)

- 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ほか、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)	・ 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)	・ 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。
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。
頂部はり	—※

【地盤】

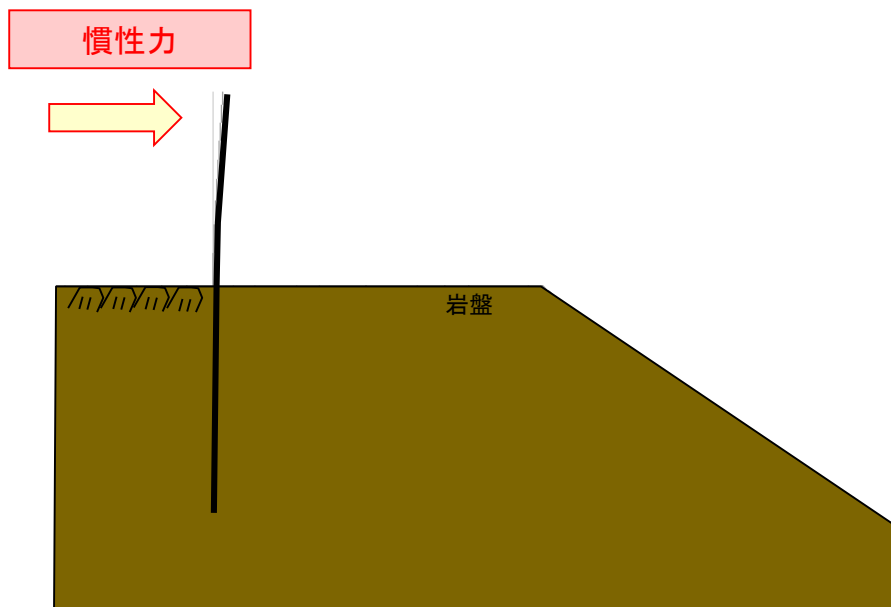
背面補強工	周辺地盤
改良地盤	長杭:周辺地盤, 短杭:周辺地盤及び基礎地盤
セメント改良土	周辺地盤
岩盤	基礎地盤

※:沈下時に機能を期待していたが、沈下しない設計に変更したため、役割を期待しない。

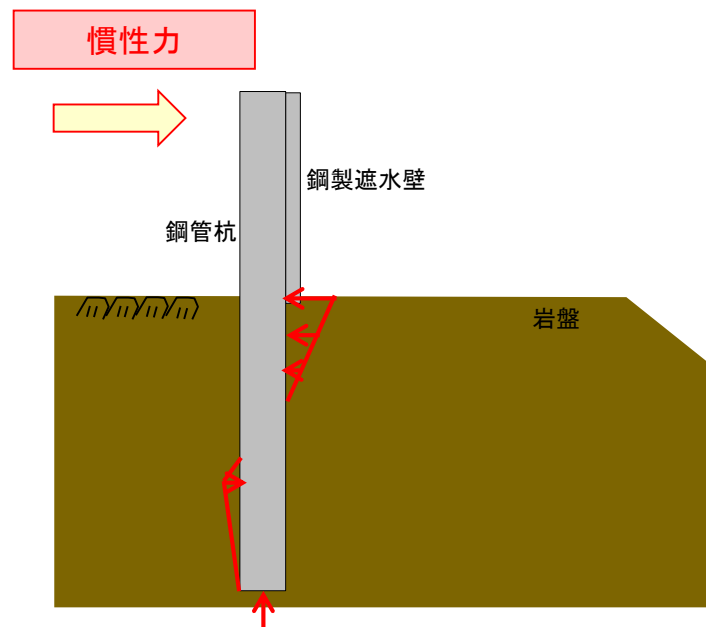
7.3.2 地震時 鋼管式鉛直壁(岩盤部)(1/2)

- 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

7.3.2 地震時 鋼管式鉛直壁(岩盤部)(2/2)

- 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ほか、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	・ 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。

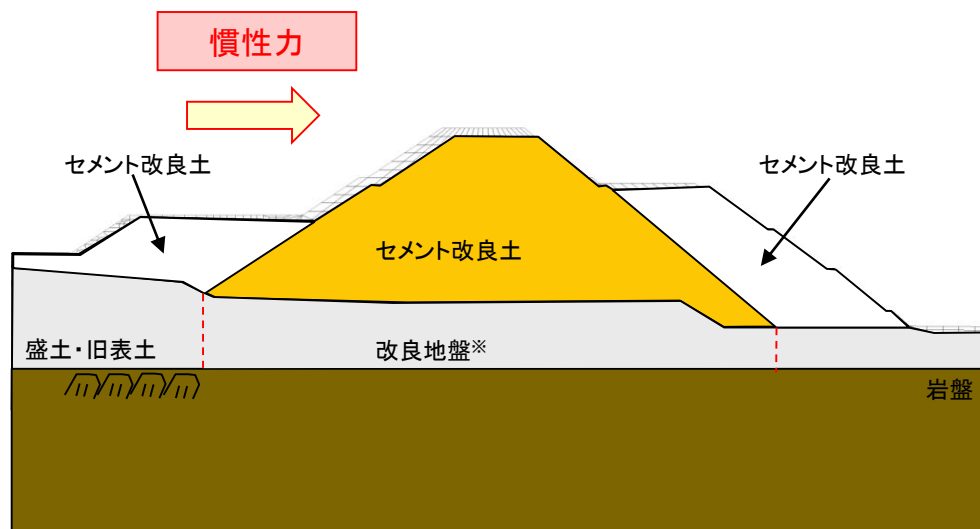
【地盤】

岩盤	基礎地盤
----	------

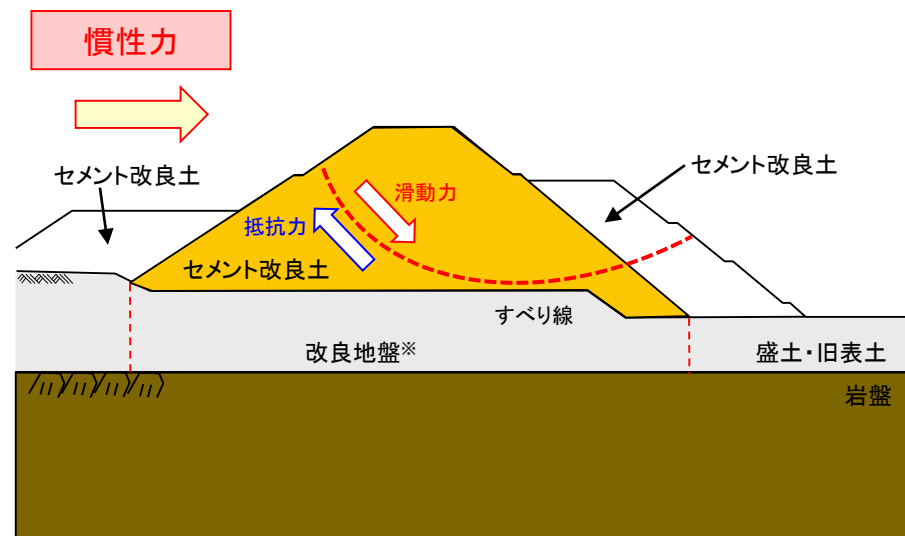
7.3.3 地震時 盛土堤防(1/2)

- 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



※: 改良範囲は今後の安定性評価等により決定。

7.3.3 地震時 盛土堤防(2/2)

- 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ほか、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
盛土堤防 (セメント改良土)	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の止水機能を保持して、盛土堤防が損傷しない。

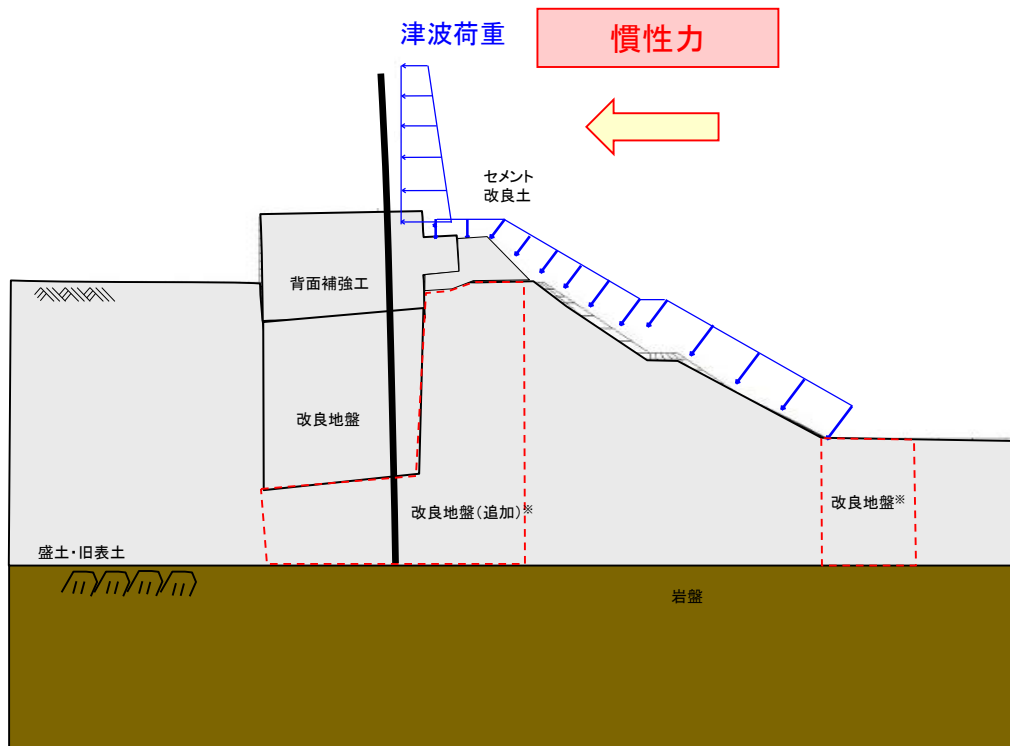
【地盤】

セメント改良土	周辺地盤
改良地盤	基礎地盤
岩盤	

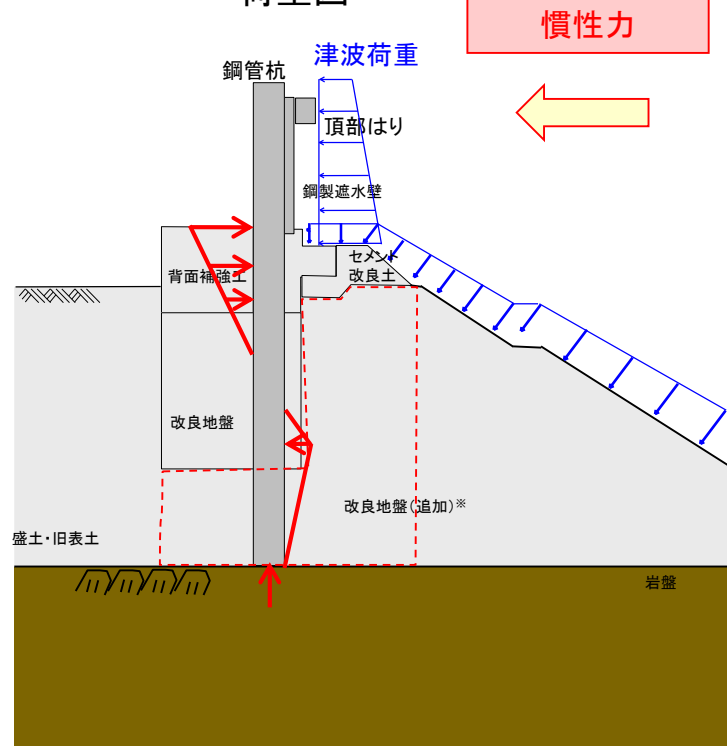
7.4.1 津波+余震時 鋼管式鉛直壁(一般部)(1/2)

- 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



※: 改良範囲は今後の安定性評価等により決定。

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)(2/2)

- 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ほか、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)	・ 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)	・ 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。
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。
頂部はり	—※

【地盤】

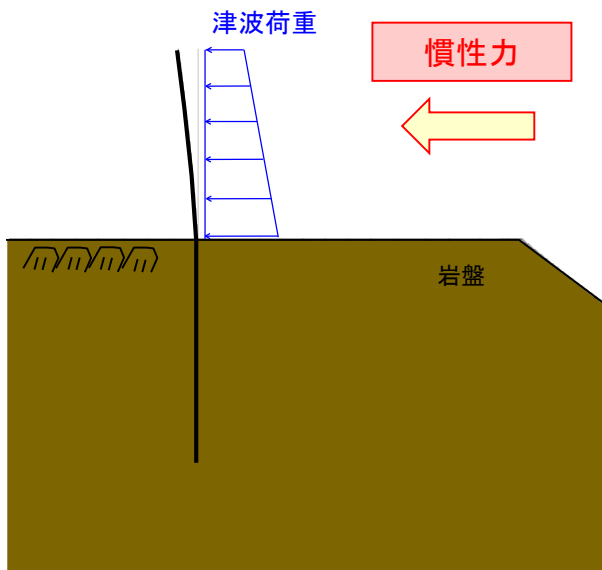
背面補強工	周辺地盤
改良地盤	長杭:周辺地盤, 短杭:周辺地盤及び基礎地盤
セメント改良土	周辺地盤
岩盤	基礎地盤

※:沈下時に機能を期待していたが、沈下しない設計に変更したため、役割を期待しない。

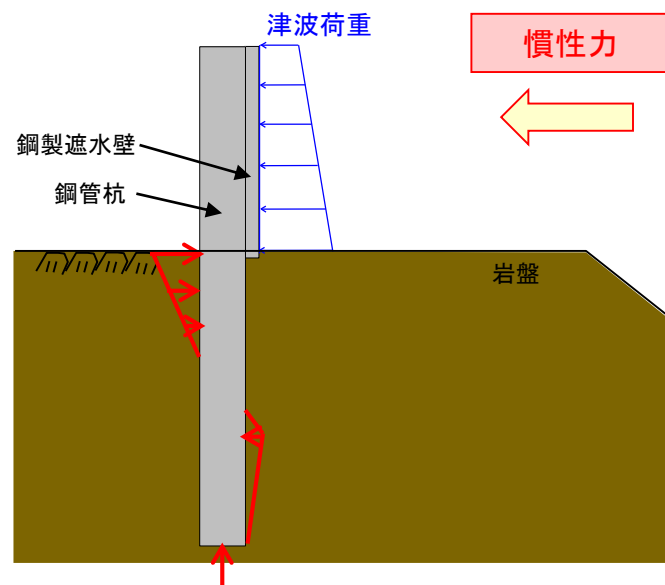
7.4.2 津波+余震時 鋼管式鉛直壁(岩盤部)(1/2)

- 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

7.4.2 津波+余震時 鋼管式鉛直壁(岩盤部)(2/2)

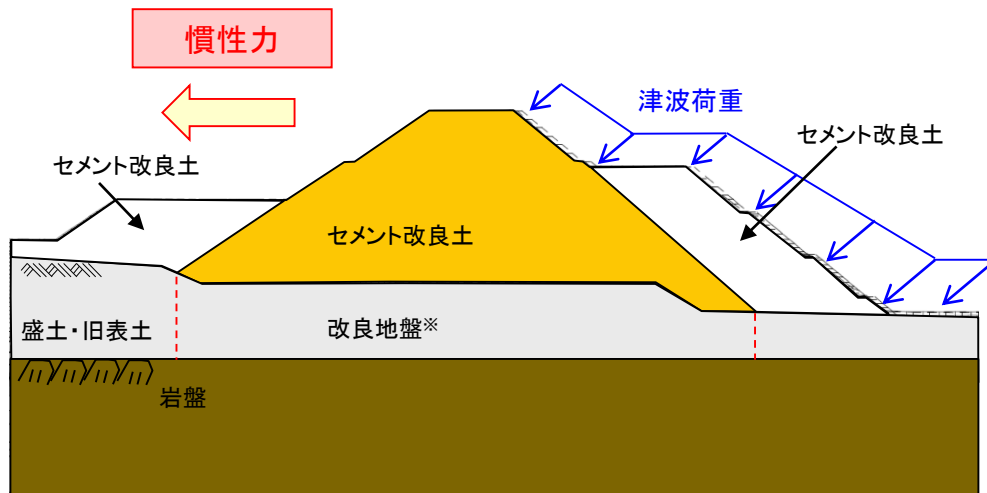
- 津波+余震時において、各部位は荷重を周辺の部位に伝達するほか、以下の役割を有する。

部位の名称	津波+余震時の役割
鋼管杭	<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。
RC遮水壁	<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。
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。
【地盤】	
岩盤	基礎地盤

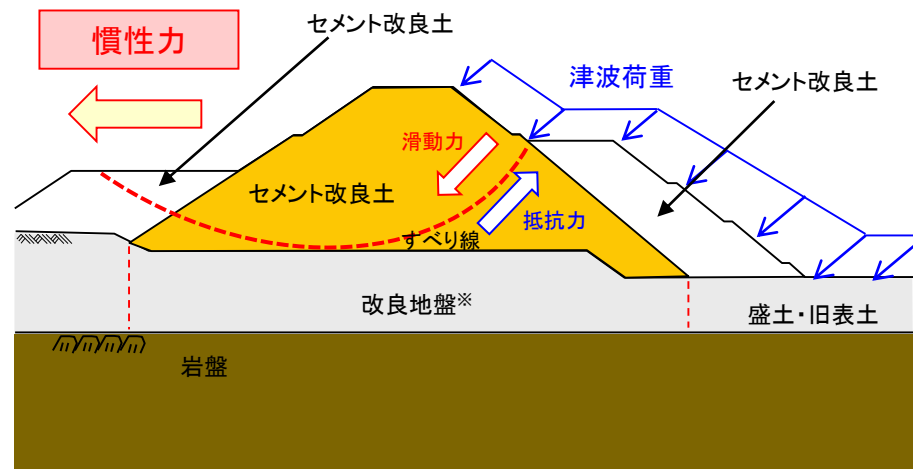
7.4.3 津波+余震時 盛土堤防(1/2)

- 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



※: 改良範囲は今後の安定性評価等により決定。

7.4.3 津波+余震時 盛土堤防(2/2)

- 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
盛土堤防 (セメント改良土)	<ul style="list-style-type: none"> 津波時の止水機能を保持して、盛土堤防が損傷しない。

【地盤】

セメント改良土	周辺地盤
改良地盤	基礎地盤
岩盤	

8. 防潮堤の損傷モードの抽出と設計・施工上の配慮

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(岩盤に支持)及び短杭(改良地盤に支持)の2つの杭仕様があり、いずれも沈下しない設計としている。
- 盛土堤防はセメント改良土より成り、岩盤又は改良地盤に支持させることで、沈下しない設計としている。
- ここでは、防潮堤の設計方針について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 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]
- ・周辺に液状化検討対象層(盛土・旧表土)が分布 [d]
- ・防潮堤直下に盛土・旧表土が分布 [e]

《制約条件等》

- ・海側へのアクセス性確保 [f]
- ・取水路を跨ぐ構造 [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十分な裕度を確保 [a]
- ・防潮堤下部の地盤改良により沈下対策を実施 [e]



- ・構造上の裕度確認
- ・改良地盤の健全性確認

《鋼管式鉛直壁(一般部)》

- ・長杭と短杭の混合 [c, 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, g]
- ・背面補強工(コンクリート)の設置 [a, b, c]



- ・止水目地に発生する変位の確認
- ・鋼管杭の健全性確認

《盛土堤防》

- ・改良地盤の上にセメント改良土を構築 [c]

《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, f]



- ・盛土堤防の安定性の確認
- ・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】

《各構造共通》

- ・改良地盤の健全性

《鋼管式鉛直壁(一般部)》

- ・鋼管杭の健全性
- ・止水性の保持(止水目地に生じる変位等)

《盛土堤防》

- ・安定性

《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

8.2.2 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、十分な裕度を有する設計
- 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、背面補強工や改良地盤を設置することで、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)と周辺地盤の境界部に隙間が生じた場合でも、周辺地盤として設置する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リング材(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、防潮堤背面に周辺地盤として設置する背面補強工(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. 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)(1/6)

- 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	地震後や津波後の再使用性, 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, 鋼管杭がおおむね弾性範囲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-岩盤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"> 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"> 地震荷重については汀線方向についても考慮し, 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, 鋼管杭がおおむね弾性範囲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。 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 隣接するブロックからの荷重により, 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。 	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, 鋼管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"> 鋼管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:照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は(—)。

8.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(2/6)

- 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下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:照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は(—)。

8.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(3/6)

- 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であることを確認する。 【杭間の相対変位の考え方】 杭間の変位量は, 盛土・旧表土の地盤改良により変更になるため, 今後の設計により確認していく。 	○
	<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"> 許容応力度以下であることを確認する。 	○
	<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。 	○
	<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, 竜巻及びその随伴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: 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は(—)。

8.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(4/6)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)における, 地盤の変状により要求機能を喪失する事象を抽出した。

地盤の名称	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
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"> 周辺地盤として設計に考慮するとともに, 全体の安定性に問題がないことを確認する。 	○
	<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: 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は(—)。

8.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(5/6)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)における, 地盤の変状により要求機能を喪失する事象を抽出した。

地盤の名称	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"> 周辺地盤として設計に考慮するとともに, 全体の安定性に問題がないことを確認する。 	○
	<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"> 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"> 取水路からの漏水により洗堀され, 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3に示す。 	—
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"> 周辺地盤として設計に考慮するとともに, 全体の安定性に問題がないことを確認する。 	○

※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: 照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は(—)。

8.3.1 鋼管式鉛直壁(一般部)(6/6)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)における, 地盤の変状により要求機能を喪失する事象を抽出した。

地盤の名称	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"> 周辺地盤として設計に考慮するとともに, 全体の安定性に問題がないことを確認する。 	—
	<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。
岩盤	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に鋼管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"> 地震時に鋼管杭から基礎地盤に伝わる荷重により岩盤又は改良地盤が破壊し, 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:照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は(—)。

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。 	○

- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)における, 地盤の変状により要求機能を喪失する事象を抽出した。

地盤の名称	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
岩盤	<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下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:照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は(ー)。

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(施設)	<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"> 津波によりセメント改良土(施設)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(施設)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2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:照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は(—)。

8.3.3 盛土堤防(2/2)

- 盛土堤防における、地盤の変状により要求機能を喪失する事象を抽出した。

地盤の名称	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(周辺地盤)	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重によりセメント改良土(周辺地盤)がすべり破壊し、盛土堤防の安定性を喪失する。 	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。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 津波により洗掘され、盛土堤防の止水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土(周辺地盤)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2に詳細を記載)。 	—
改良地盤	<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"> 浸透流解析等により、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"> 改良地盤が、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。 なお、法尻は元の盛土・旧表土をセメント改良土で置き換える(深さ1m, 幅2m)ことで補強を実施する配慮をする。 	—
岩盤及び改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> 地震又は津波荷重により基礎地盤(岩盤及び改良地盤)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:照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は(—)。

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。

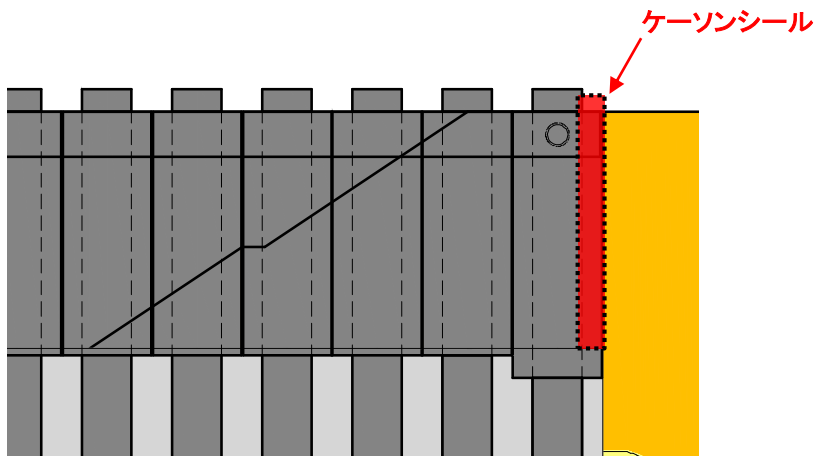
部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※1	設計・施工上の配慮	照査※2
鋼管式鉛直壁(岩盤部)と端部地山の境界部 (南側取付部)	地震により地山が崩壊して、鋼管杭に衝突し、止水性を喪失する。	①	緩やかな丘状であり、崩壊するような斜面ではないと考えているが、鋼管杭の地上部はRC遮水壁(コンクリート)で保護する配慮をする。	—
	地震又は津波荷重により地山が崩壊して、高さが維持できなくなり、止水性を喪失する。	①, ②	入力津波高さよりも高い位置にあり、入力津波の防護に対しては影響ない設計とする。	—
鋼管式鉛直壁(一般部)と盛土堤防の境界部 (杭-盛土接合部)	地震又は津波荷重により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	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。	○
	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 (北側取付部)	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:照査を実施する場合は○。照査不要と判断している場合は(—)。

8.3.4 境界部(2/2)

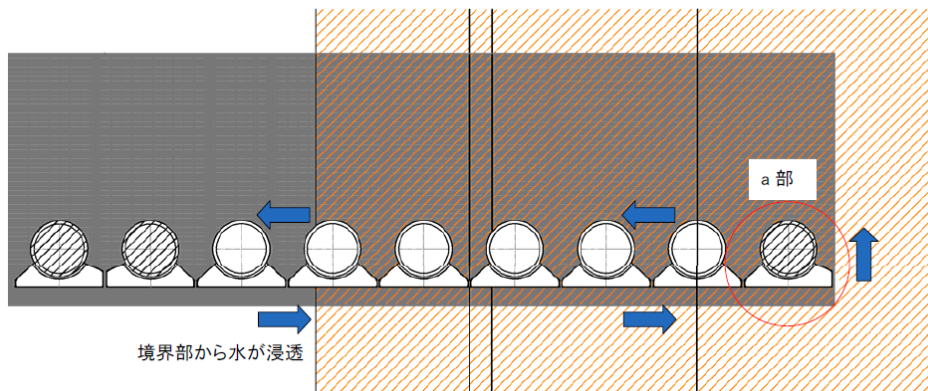
- 鋼管式鉛直壁(一般部)と盛土堤防の境界部に、止水性確保の配慮として可撓性目地シール材(ケーソンシール)を設置する。



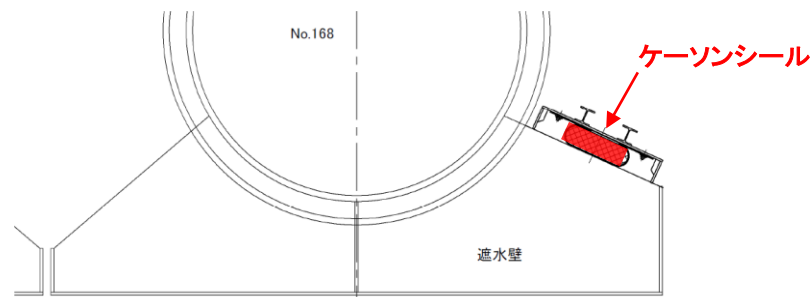
縦断面図



可撓性目地シール材(ケーソンシール)



平面図



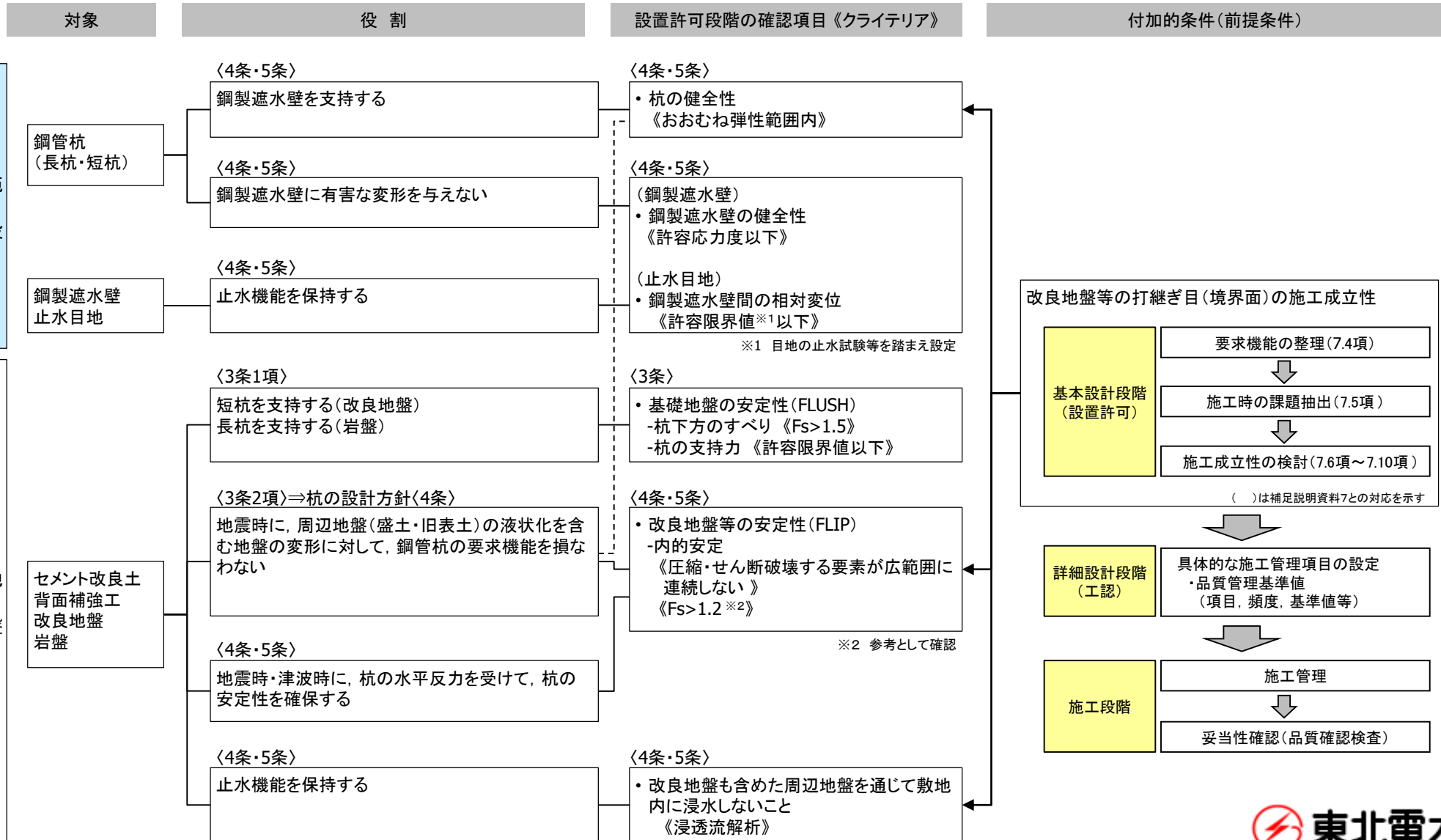
a部詳細図

9. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

9. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

9.1.1 設置許可段階における確認項目 (鋼管式鉛直壁(一般部))

- 鋼管式鉛直壁(一般部)における設置許可段階の確認項目を示す。
(規則第3条に対する地盤の確認項目を含む。規則第4, 5条に対する施設の設計内容は10.1.1及び10.2.1を参照)



9. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

9.1.2 設置許可段階における確認項目（鋼管式鉛直壁（岩盤部））

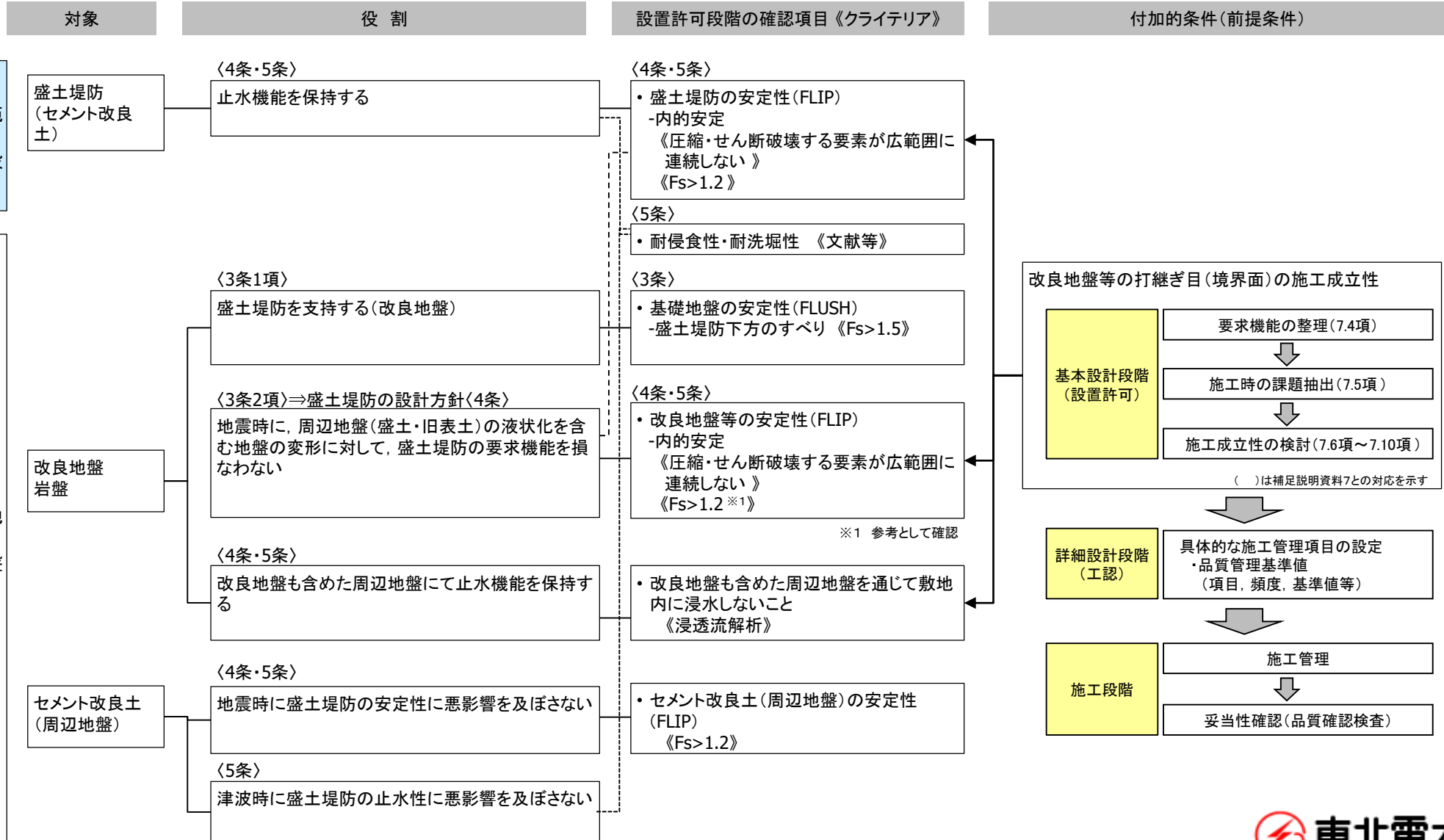
- 鋼管式鉛直壁（岩盤部）における設置許可段階の確認項目を示す。
（規則第3条に対する地盤の確認項目を含む。規則第4, 5条に対する施設の設計内容は10.1.2及び10.2.2を参照）

対象	役割	設置許可段階の確認項目《クライテリア》	付加的条件(前提条件)
施設	鋼管杭	〈4条・5条〉 鋼製遮水壁を支持する	〈4条・5条〉 ・杭の健全性 《おおむね弾性範囲内》
	鋼製遮水壁 RC遮水壁 止水目地	〈4条・5条〉 鋼製遮水壁に有害な変形を与えない	〈4条・5条〉 (鋼製遮水壁) ・鋼製遮水壁の健全性 《許容応力度以下》 (止水目地) ・鋼製遮水壁間の相対変位 《許容限界値 ^{※1} 以下》
地盤	岩盤	〈3条1項〉 ・鋼管杭を支持する	〈3条〉 ・基礎地盤の安定性 (FLUSH) -杭下方のすべり 《 $F_s > 1.5$ 》 -杭の支持力 《許容限界値以下》

※1 目地の止水試験等を踏まえ設定

9.1.3 設置許可段階における確認項目（盛土堤防）

- 盛土堤防における設置許可段階の確認項目を示す。
 （規則第3条に対する地盤の確認項目を含む。規則第4, 5条に対する施設の設計内容は10.1.3及び10.2.3を参照）



9.2 構造成立性評価の方針

- 防潮堤の構造成立性を確認するため、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」等に基づき、基準地震動 S_s 及び基準津波による荷重等に対して、防潮堤の施設としての構造部材である鋼管杭・鋼製遮水壁・止水目地（鋼管式鉛直壁）及び盛土堤防の健全性を確認する。

構造成立性評価の荷重等について

<p>要求性能, 許容限界値の設定</p> <p>↓</p> <p>設計方針(基本方針)の設定</p> <p>↓</p> <p>部位毎の設計方針の設定 ・鋼管式鉛直壁(一般部) ・鋼管式鉛直壁(岩盤部) ・盛土堤防</p> <p>↓</p> <p>代表断面の抽出</p> <p>↓</p> <p>代表地震波の選定</p> <p>↓</p> <p>耐震評価(地震時)</p> <p>↓</p> <p>耐津波評価 (津波時, 津波+余震時)</p> <p>↓</p> <p>許容限界値以下の確認</p> <p>↓</p> <p>防潮堤の構造成立性の確認</p>	荷重ケース	荷重	保守的な設計とするための配慮
地震時	<ul style="list-style-type: none"> 地震時荷重 ⇒基準地震動S_sのうち構造物に影響の大きい代表1~2波 	<ul style="list-style-type: none"> 道路橋示方書による液状化検討対象層以外の層についても、液状化検討を実施 旧表土は、防潮堤近傍の液状化強度試験データにおける下限値により液状化パラメータを設定 盛土は、防潮堤近傍の液状化強度試験データがないため、敷地全データの下限值にて液状化パラメータを設定 	
津波時	<ul style="list-style-type: none"> 津波荷重 ⇒入力津波高さ(O.P.+23.9m)及び設置地盤高さ(O.P.+2.5m)を考慮し、朝倉式により設定 漂流物荷重 ⇒道路橋示方書式により設定 	<ul style="list-style-type: none"> 水理模型実験等で確認した津波荷重より大きな荷重を用いて設定 漂流物荷重を防潮堤に最も厳しくなる位置に載荷 	
津波+余震時	<ul style="list-style-type: none"> 余震荷重 ⇒弾性設計用地震動 津波荷重 ⇒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 	<ul style="list-style-type: none"> 津波と重畳する可能性のある余震について評価を行い、評価結果を上回る地震動により余震荷重を設定 入力津波高さの海水位が余震荷重の作用時間中に継続すると保守的に想定 	

9. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

9.3 設置許可段階での提示内容 (1/3)

- 今後、防潮堤の構造成立性評価の審査対応を進めるにあたり、設置許可段階と工認審査段階における説明範囲等を整理した。

		設置許可段階(設計方針と見通し)	工認審査段階※	本資料の説明範囲
対象断面	構造成立性 (4条, 5条)	<p>[鋼管式鉛直壁(一般部)]</p> <ul style="list-style-type: none"> 改良地盤の層厚が大きく、鋼管杭(長杭)の長さが最大となり、当該構造区間における応答が相対的に大きいと考えられる断面(1断面)を代表断面として選定。 	<ul style="list-style-type: none"> 代表断面以外に、一次元地震応答解析結果等を参照し、必要に応じて検討対象断面を追加(各1~2断面)。 鋼管式鉛直壁(一般部)と盛土堤防部の境界部の断面を追加。 	○
		<p>[盛土堤防]</p> <ul style="list-style-type: none"> 改良地盤及びセメント改良土の層厚が大きく、当該構造区間における応答が相対的に大きいと考えられる断面(1断面)を代表断面として選定。 		
	地盤安定性 (3条)	<p>[鋼管式鉛直壁(一般部)・盛土堤防]</p> <ul style="list-style-type: none"> すべり安全率を照査項目としていることから、代表断面(各1断面)を選定。 		— (基礎地盤の安定性評価にて説明予定)
対象地震波	構造成立性 (4条, 5条)	<ul style="list-style-type: none"> 構造物への影響が大きい地震波(1~2波)を代表波として選定。 	<ul style="list-style-type: none"> 全基準地震動 7波 	○
	地盤安定性 (3条)	<ul style="list-style-type: none"> 全基準地震動 7波 		

※:万が一、工認審査段階にて構造成立性に課題が生じた場合は、追加対策等により対応する。

9. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

9.3 設置許可段階での提示内容 (2/3)

- 今後、防潮堤の構造成立性評価の審査対応を進めるにあたり、設置許可段階と工認審査段階における説明範囲等を整理した。

	設置許可段階(設計方針と見通し)	工認審査段階
解析方法	<p>[鋼管式鉛直壁(一般部)]</p> <ul style="list-style-type: none"> 「10. 部位毎の設計方針」による。 対策工(地盤改良)実施により沈下しない構造となり、縦断方向の不連続な挙動が解消される。 対策工実施前に想定していた「特に留意すべき損傷モード①②(平成30年1月18日審査会合資料)」について、対策工実施後は3次元的な挙動の影響は小さくなることから、横断方向の二次元解析にて成立性を確認していく。 	<ul style="list-style-type: none"> 「10. 部位毎の設計方針」による。 境界部における挙動を確認する観点から、念のため「特に留意すべき損傷モード②」に対応した三次元解析による評価を行っていく。 <div data-bbox="1301 546 1912 982" data-label="Image"> <p>・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。</p> <p>・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。</p> </div> <p>特に留意すべき損傷モード②</p>
	<p>[鋼管式鉛直壁(岩盤部)]</p> <ul style="list-style-type: none"> 「10. 部位毎の設計方針」による。 	<ul style="list-style-type: none"> 同左
	<p>[盛土堤防]</p> <ul style="list-style-type: none"> 「10. 部位毎の設計方針」による。 	<ul style="list-style-type: none"> 同左

9. 設置許可段階における構造成立性評価に係る基本方針

9.3 設置許可段階での提示内容 (3/3)

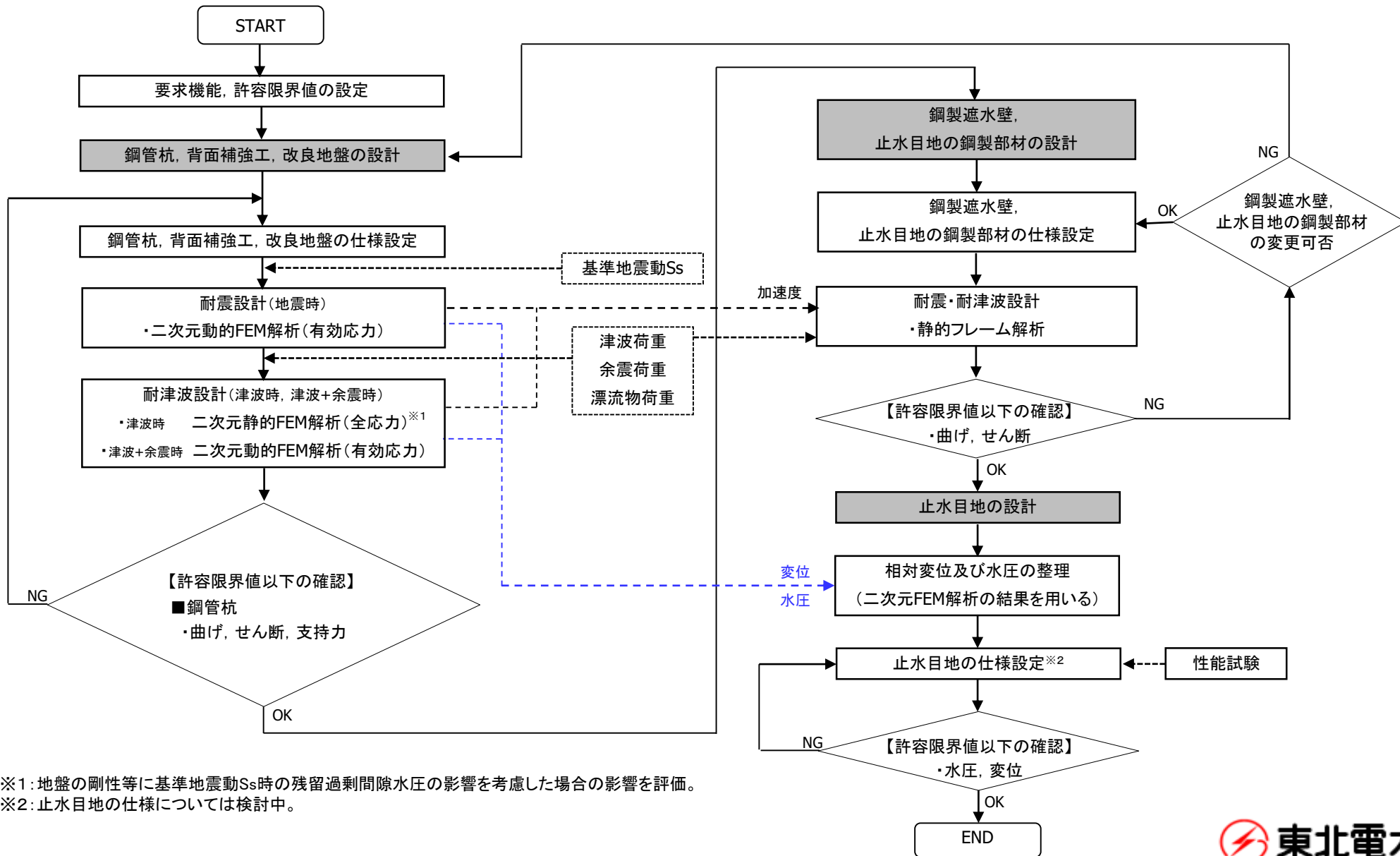
- 今後、防潮堤の構造成立性評価の審査対応を進めるにあたり、設置許可段階と工認審査段階における説明範囲等を整理した。

	設置許可段階(設計方針と見通し)		工認審査段階
地下水位	一般部	(海側) 潮位により設定 (山側) 保守的に海側と同等 (=潮位)として設定	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤直下を地盤改良することとしており、敷地内の地下水位が変化する可能性がある。そのため、設置許可段階において浸透流解析を実施し、設定の保守性が損なわれないことを確認する。
	岩盤部	(海側) 地表面に設定 (山側) 同上	
	盛土堤防	(海側) 潮位により設定 (山側) 保守的に盛土表面に設定	
液状化 パラメータ設定	[盛土] <ul style="list-style-type: none"> 全試験データの下限值を採用 		<ul style="list-style-type: none"> 盛土及び旧表土ともに、設置許可段階の設定を基本とする。 なお、盛土については、防潮堤近傍において液状化強度試験の追加実施を検討し、信頼性のある試験結果が得られた場合において、液状化強度特性を見直すこととする。
	[旧表土] <ul style="list-style-type: none"> 防潮堤近傍の全試験データの下限值を採用 		

10. 部位毎の設計方針

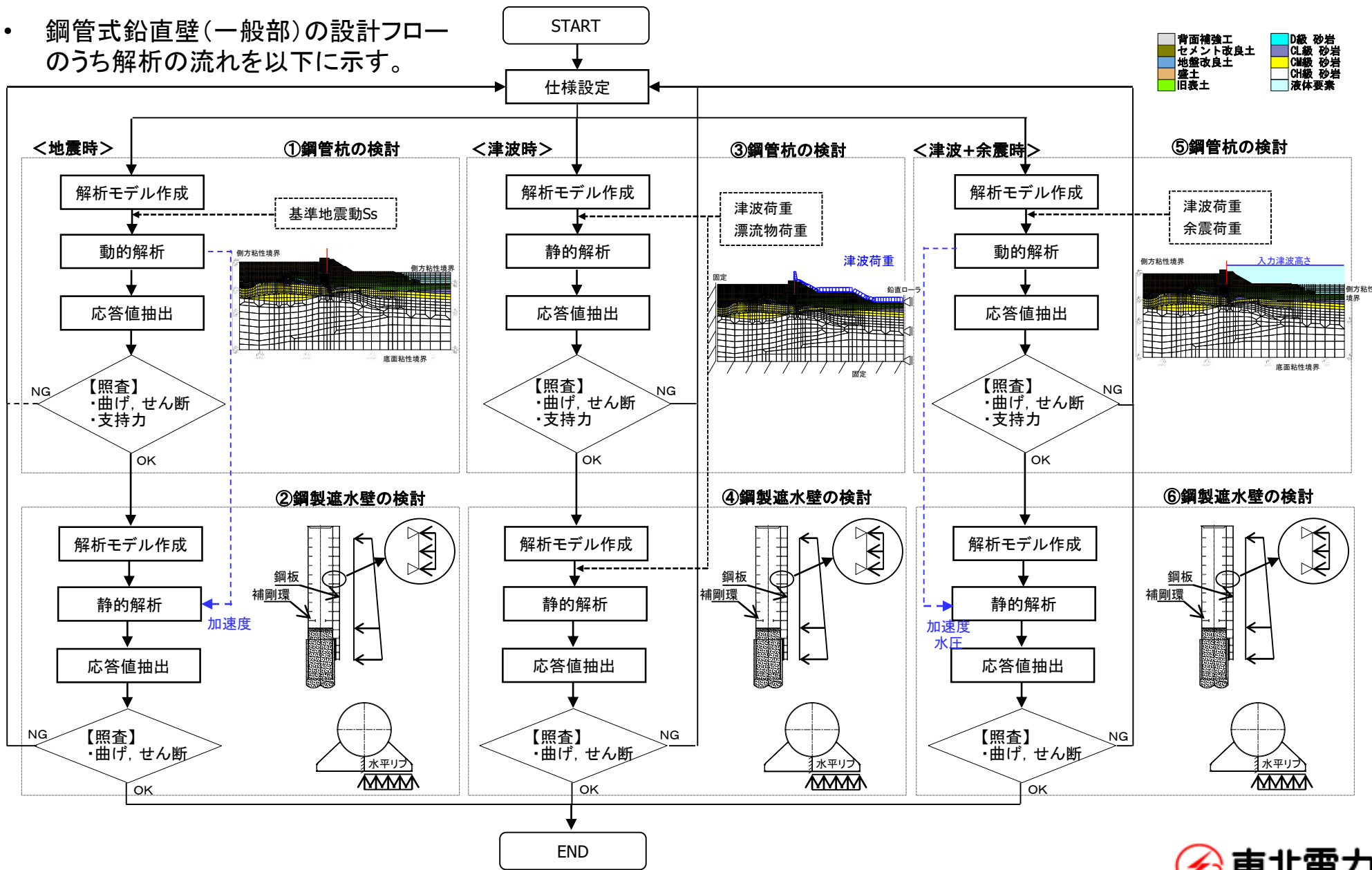
10.1.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計フロー(1/2)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計フローを以下に示す。



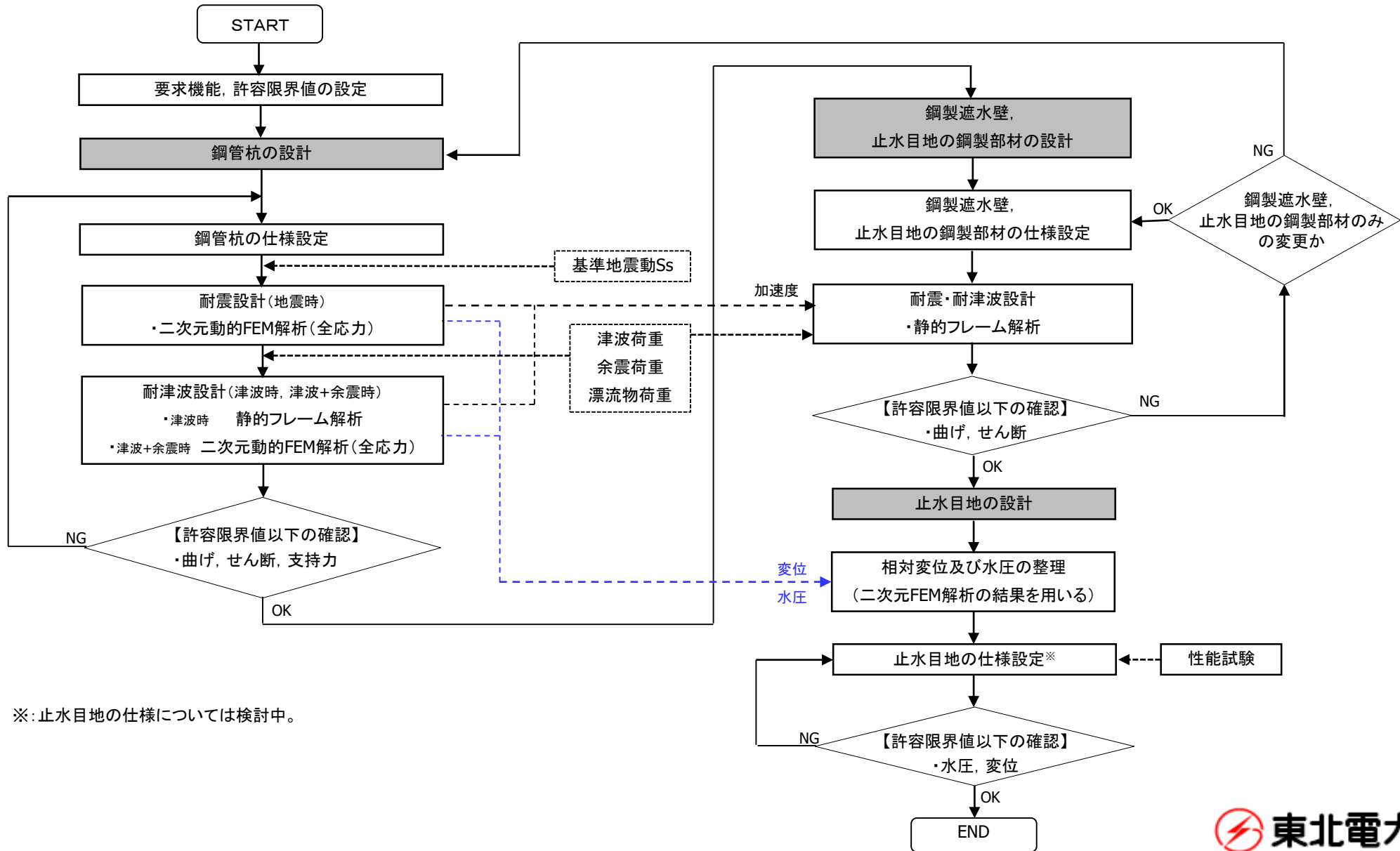
10.1.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計フロー(2/2)

- 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計フローのうち解析の流れを以下に示す。



10.1.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計フロー(1/2)

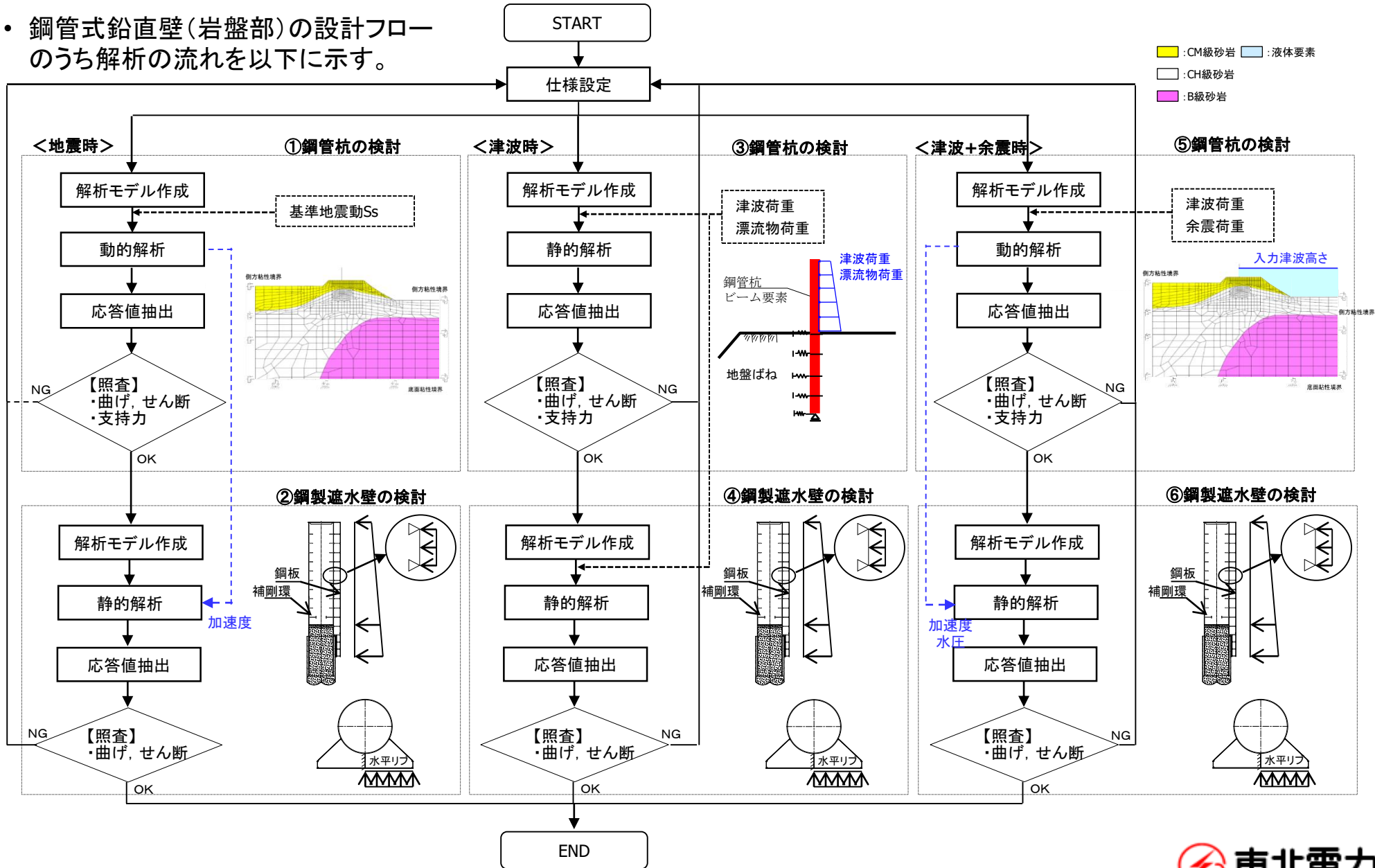
- 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計フローを以下に示す。



※: 止水目地の仕様については検討中。

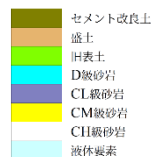
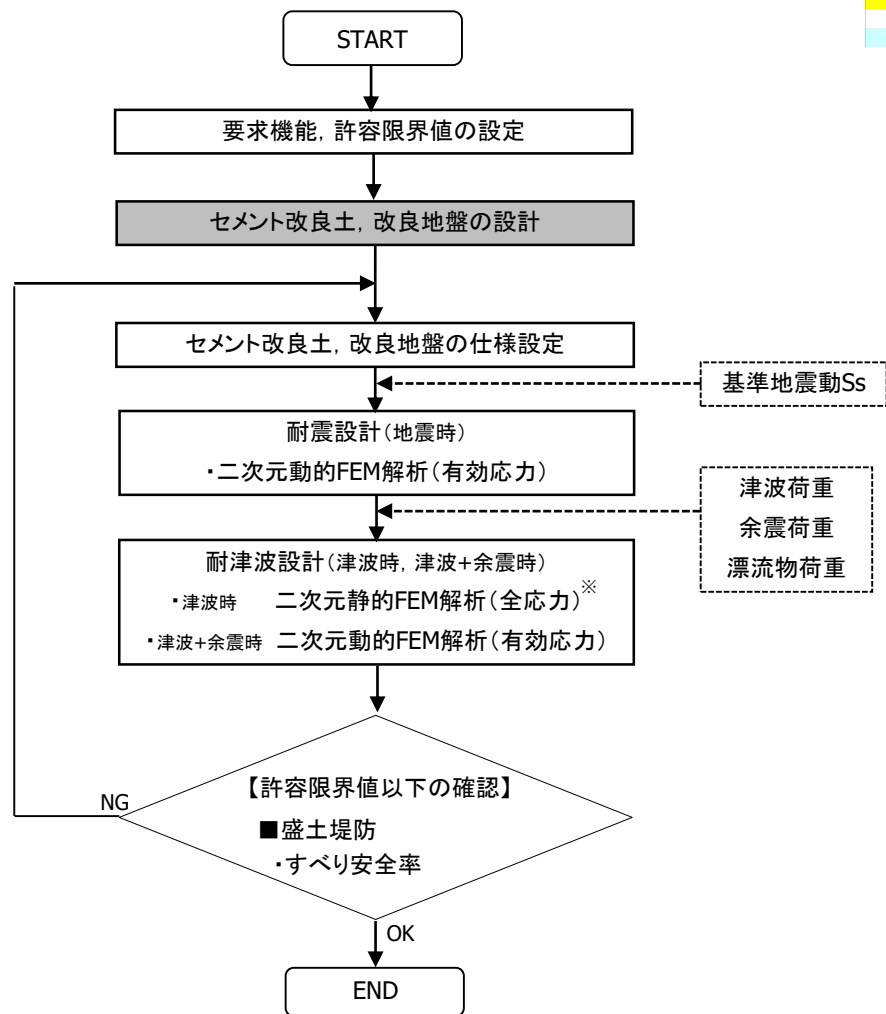
10.1.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計フロー(2/2)

・ 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計フローのうち解析の流れを以下に示す。

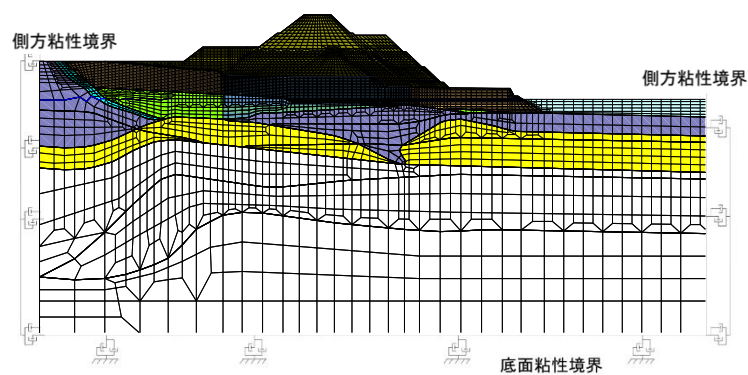


10.1.3 盛土堤防の設計フロー

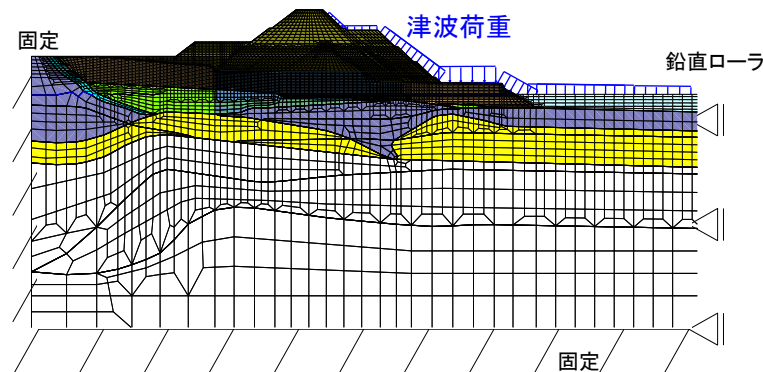
- 盛土堤防の設計フロー及び解析モデルのイメージを以下に示す。



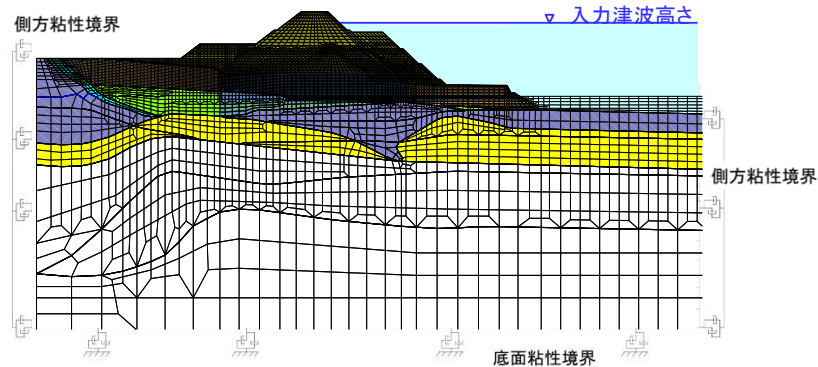
地震時



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した場合の影響を評価。

10.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計方針の概要(1/4) (鋼管杭(長杭・短杭))

鋼管杭(長杭・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支持機能を保持する。
- 鋼製遮水壁を支持し、作用荷重を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・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)※	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)
	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	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)

※: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した場合の影響を評価。

10.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計方針の概要(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せず止水機能を保持する。
- 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)				

10.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計方針の概要(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、損傷せず津波時の止水機能を保持する。
- 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した場合の影響を評価。

10.2.1 鋼管式鉛直壁(一般部)の設計方針の概要(4/4) (基礎地盤及び周辺地盤)

基礎地盤(岩盤及び改良地盤)の役割と設計方針概要

- 基礎地盤(岩盤及び改良地盤)は鋼管杭を支持する。
- 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解析を実施する。
- 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
岩盤及び改良地盤 (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Ss時の残留過剰間隙水圧の影響を考慮した場合の影響を評価。

周辺地盤(背面補強工, 改良地盤, セメント改良土及び盛土・旧表土)の取り扱い

- 周辺地盤については、全体の安定性に問題がないことを確認する。
- 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解析を実施する。
- 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。

10.2.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計方針の概要(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支持機能を保持する。
- 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)			

10.2.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計方針の概要(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せず止水機能を保持する。
- 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)				

10.2.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計方針の概要(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、損傷せず津波時の止水機能を保持する。
- 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)				

10.2.2 鋼管式鉛直壁(岩盤部)の設計方針の概要(4/4) (基礎地盤)

基礎地盤(岩盤)の役割と設計方針概要

- 基礎地盤(岩盤)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、岩盤を照査する。
- 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
岩盤 (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)			

10.2.3 盛土堤防 の設計方針の概要

盛土堤防, 岩盤, 改良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, 地震時及び津波時等の荷重に対して損傷せず止水機能を保持する。
- ・ 岩盤, 改良地盤は基礎地盤として, 盛土堤防を支持する。
- ・ 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)	地震時	2次元動的FEM解析 (有効応力解析)	すべり安全率	すべり安全率以上	耐津波設計に係る工認審査 ガイド
	津波時	2次元静的FEM解析 (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)			
岩盤, 改良地盤 (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した場合の影響を評価。

10.3.1 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・旧表土及び岩盤を含めた全体の動的挙動評価(地震時, 津波+余震時)
- 地盤物性及び液状化を考慮した影響評価

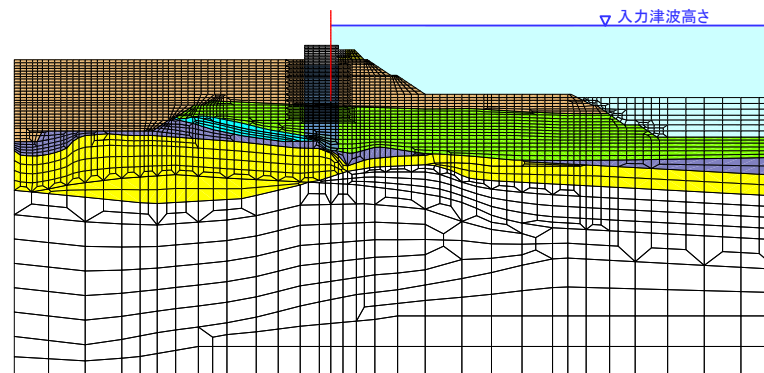
結果の利用

- 鋼管杭, 盛土堤防及び基礎地盤の照査
- 地震時応答(変位を含む)

モデル化方針

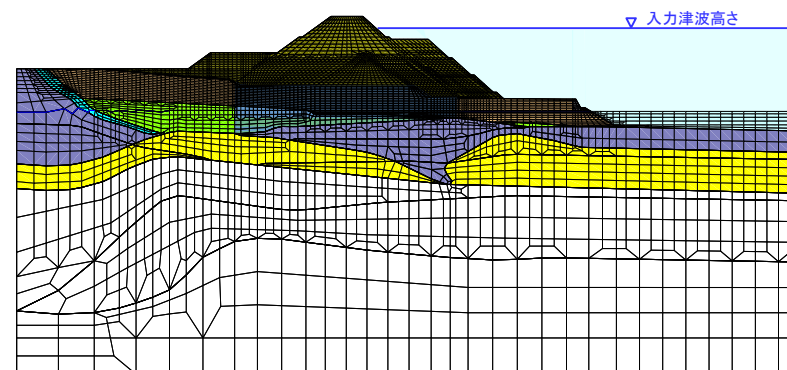
- 鋼管杭は線形はり要素(ビーム要素)でモデル化する。
- D級を除く岩盤, 背面補強工は線形要素でモデル化する。
- D級岩盤, 改良地盤, セメント改良土及び盛土・旧表土はマルチスプリング要素でモデル化する。
- 海水は液体要素でモデル化する。

背面補強工	D級 砂岩
セメント改良土	CL級 砂岩
地盤改良土	CM級 砂岩
盛土	CH級 砂岩
旧表土	液体要素



鋼管式鉛直壁(一般部) 解析モデル図

※: 地震時の水位は朔望平均満潮位とし, 津波+余震時の水位は入力津波高さとしている。

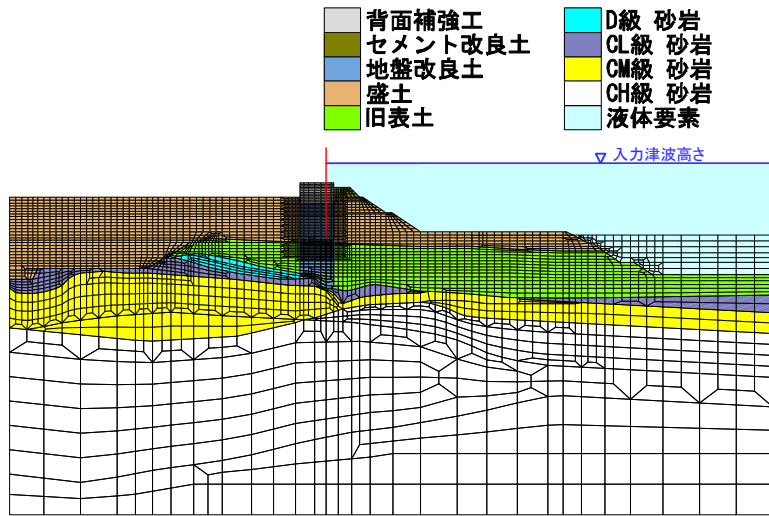


盛土堤防 解析モデル図

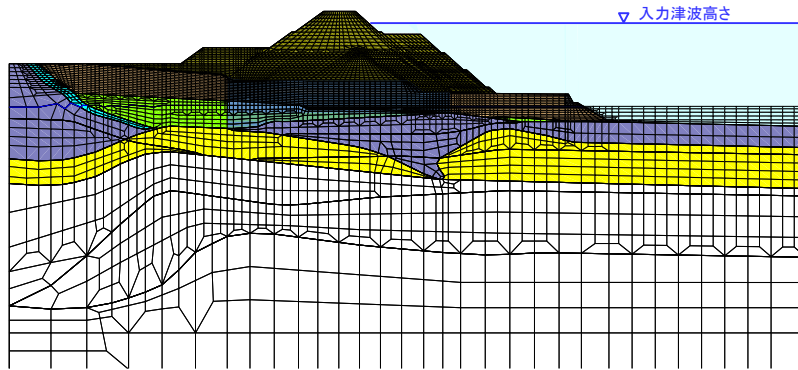
10.3.1 2次元動的有限要素解析(有効応力解析)による検討(2/2)

解析条件

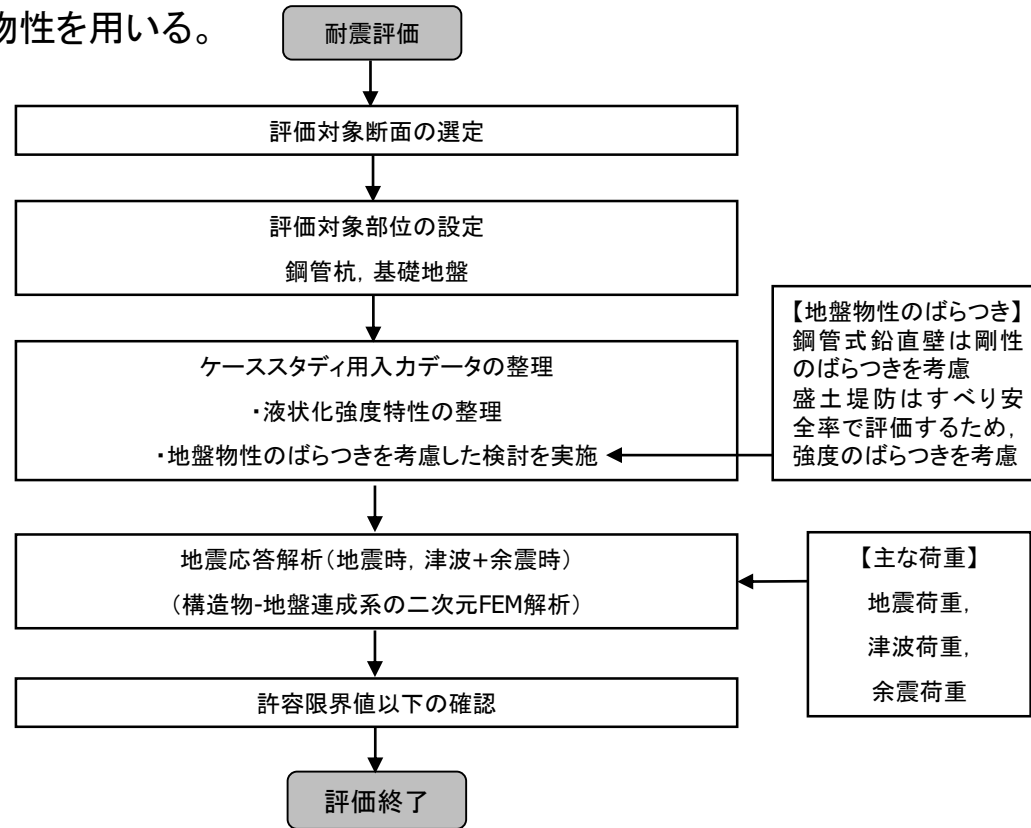
- 地盤物性のばらつきを考慮し、物性は平均物性と $\pm 1\sigma$ 物性を用いる。



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	周辺の地質分布を考慮して、代表断面を設定する。	改良地盤の層厚が大きく、鋼管杭(長杭)の長さ又はセメント改良土+改良地盤の合計厚さも最大となる断面を選定した。

10.3.2 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

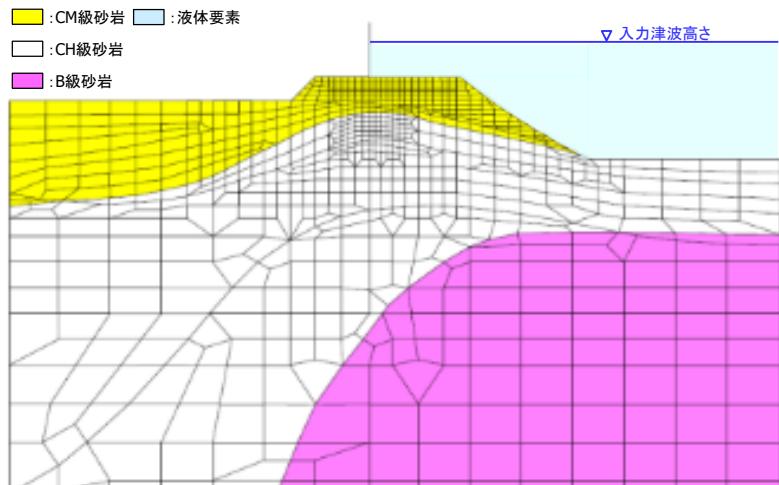
- 鋼管杭の動的挙動評価（地震時，津波+余震時）

結果の利用

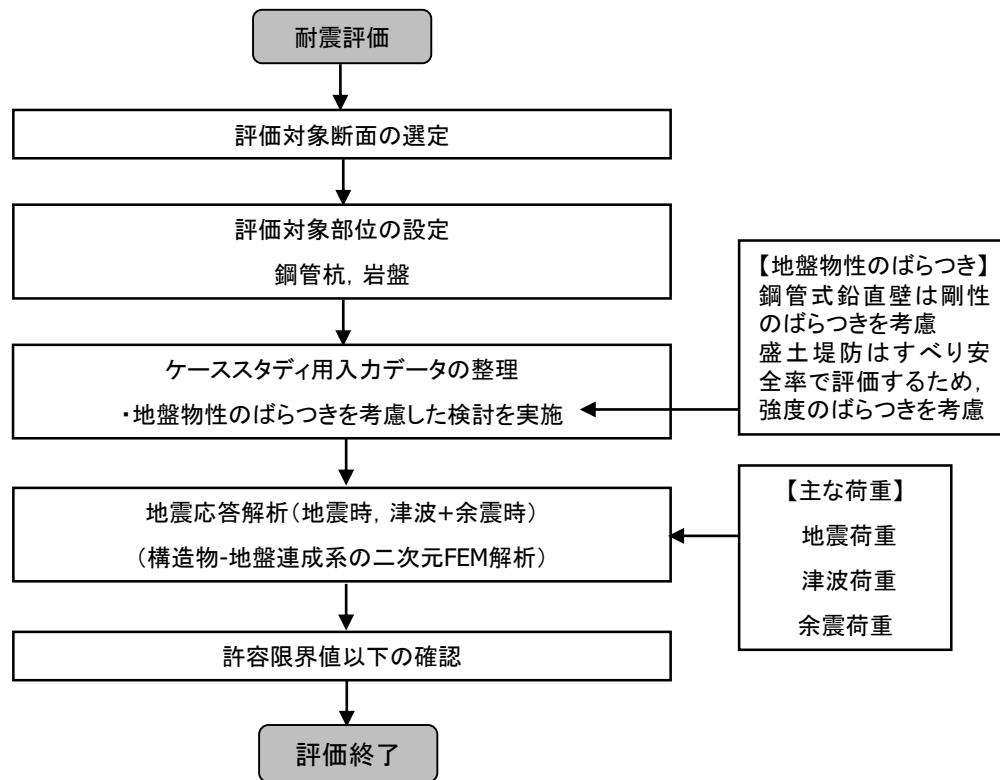
- 鋼管杭，岩盤の照査
- 地震時応答(変位を含む)

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



【地盤物性のばらつき】
鋼管式鉛直壁は剛性のばらつきを考慮
盛土堤防はすべり安全率で評価するため、強度のばらつきを考慮

【主な荷重】
地震荷重
津波荷重
余震荷重

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±1σ物性を用いる。

10.3.3 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

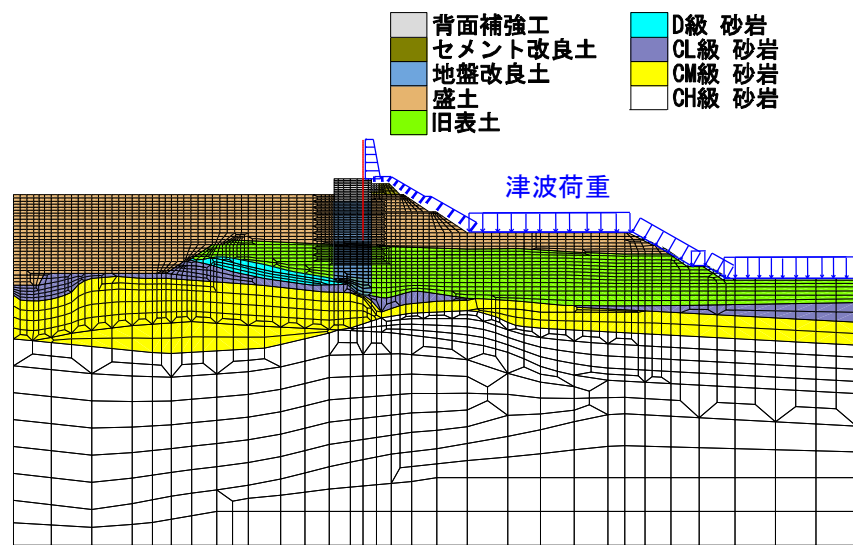
- 鋼管杭, 背面補強工, 改良地盤, セメント改良土, 盛土・旧表土, 基礎岩盤を含めた全体の静的挙動評価 (津波時)

結果の利用

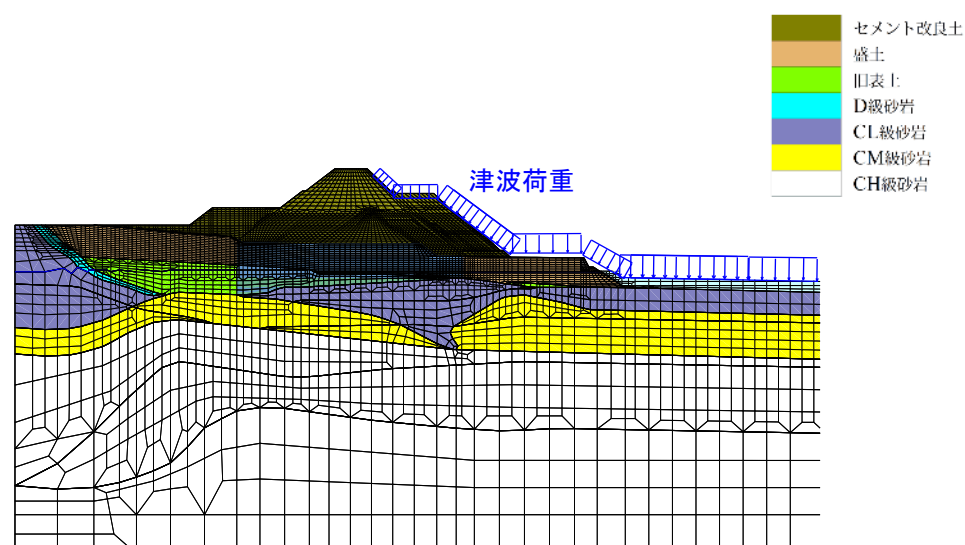
- 鋼管杭及び基礎地盤の照査
- 止水目地の変位量

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級を除く岩盤及び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, セメント改良土及び盛土・旧表土はマルチスプリング要素でモデル化する。



鋼管式鉛直壁(一般部) 解析モデル図

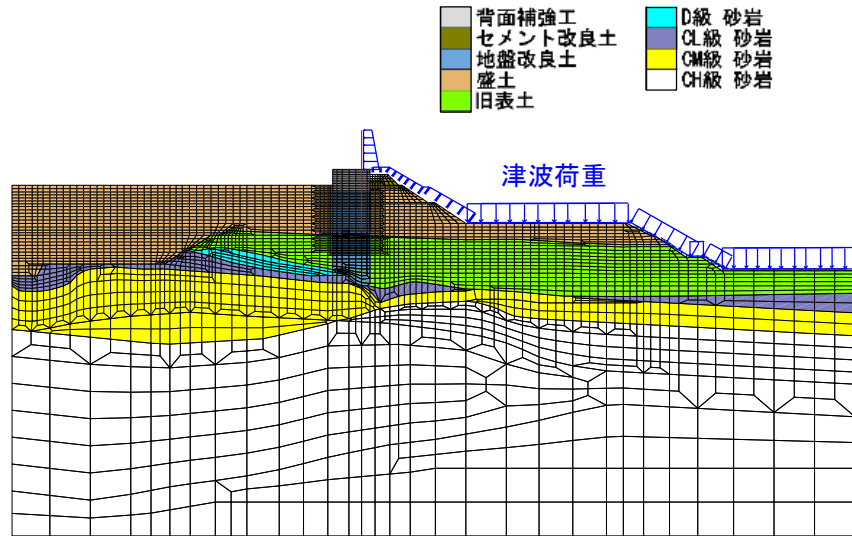


盛土堤防 解析モデル図

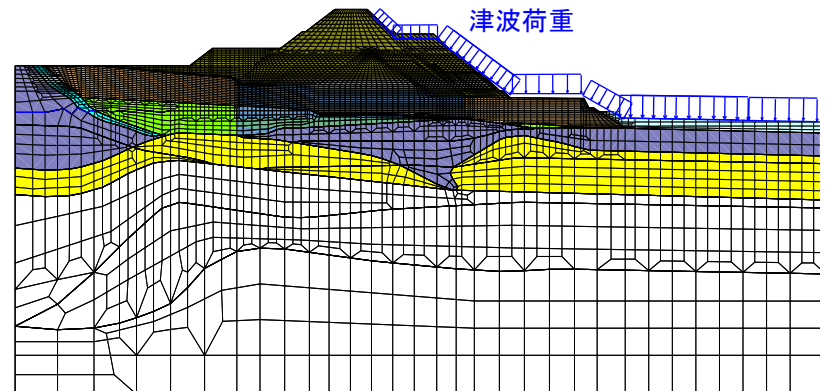
10.3.3 2次元静的有限要素解析(全応力解析)による検討(2/2)

解析条件

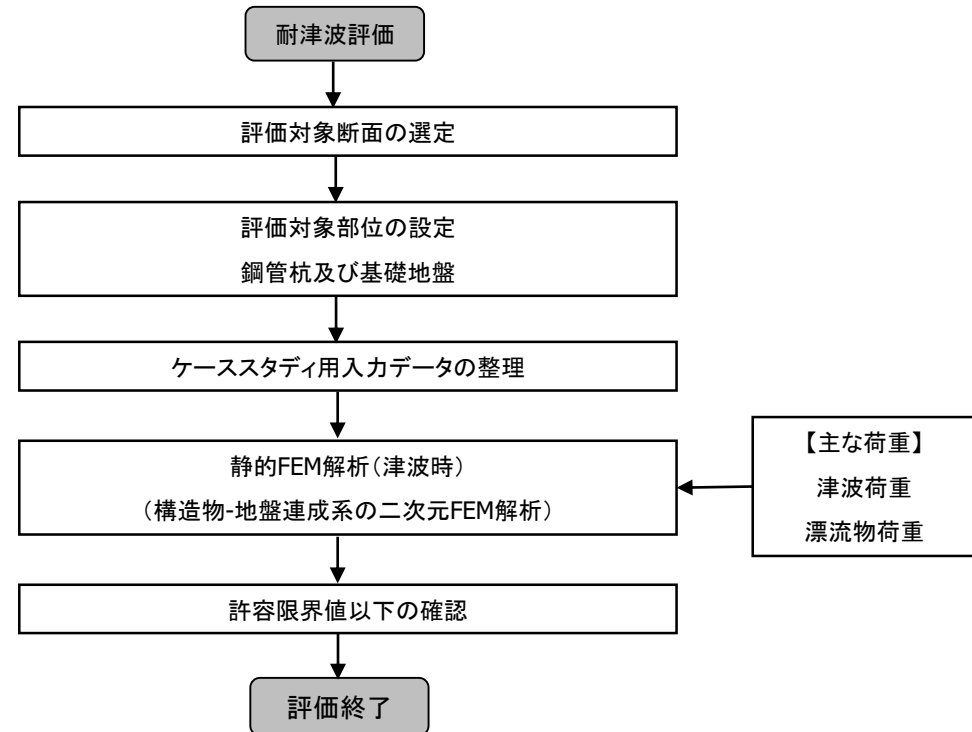
- 平均物性, 静的物性を用いる。
- 地盤の剛性等に基準地震動 S_s 時の残留過剰間隙水圧の影響を考慮する。



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



10.3.4 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

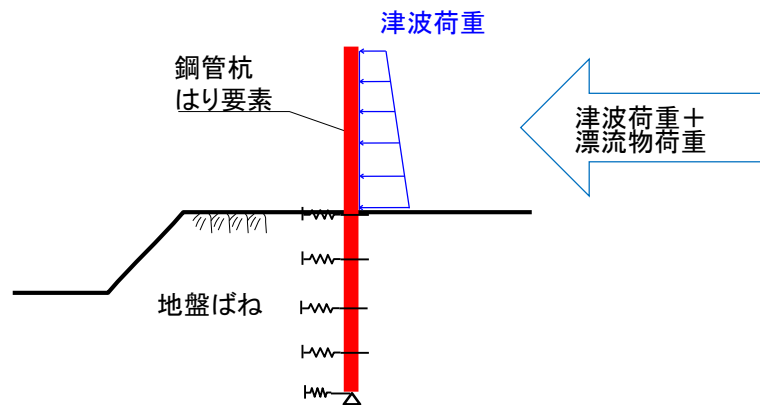
- 鋼管杭の照査
- 止水目地の変位量

モデル化方針

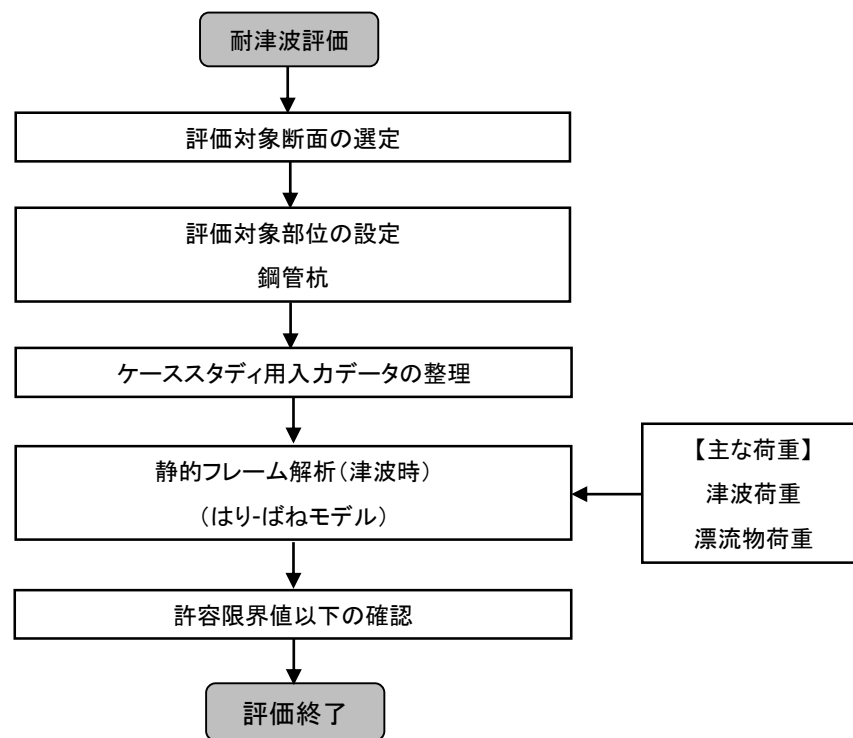
- 鋼管杭は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。
- 岩盤は地盤ばねでモデル化する。

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



10.3.5 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

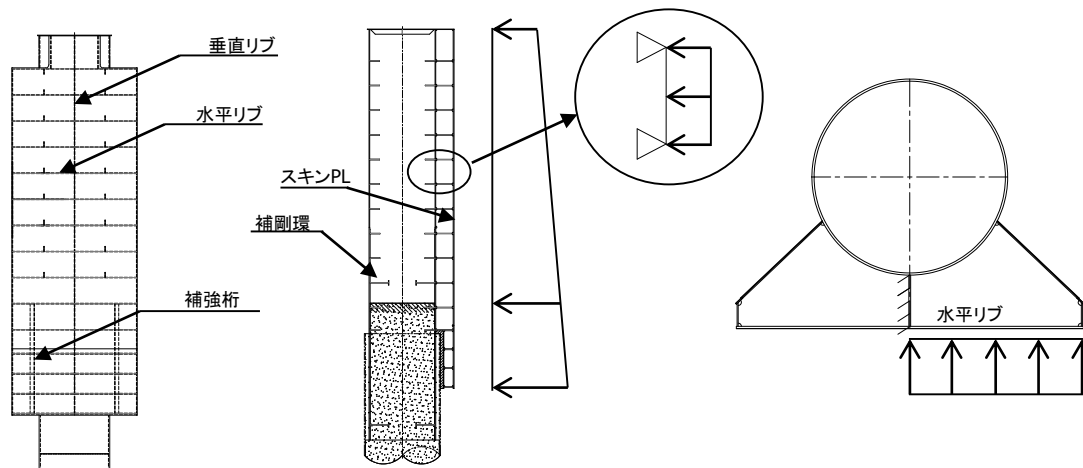
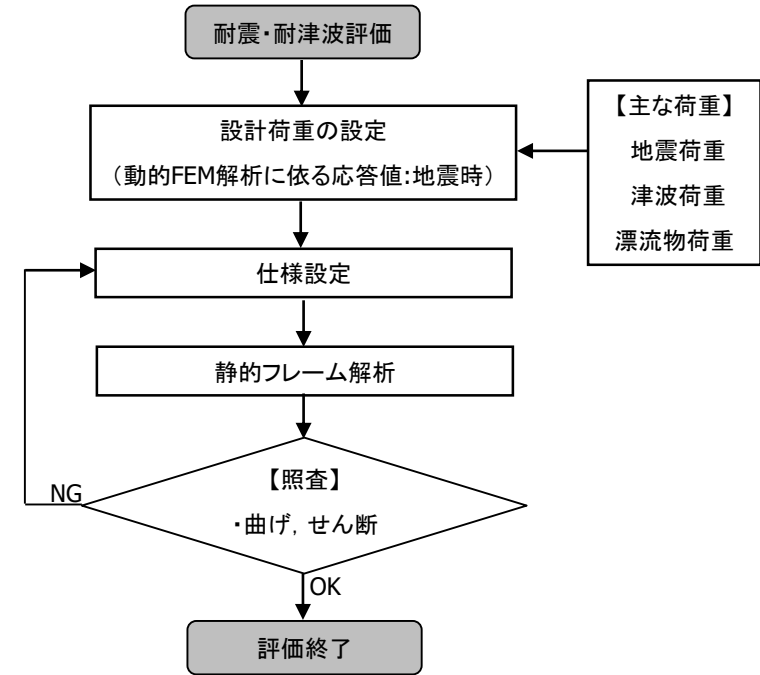
- 鋼製遮水壁（スキンPL，リブ，補剛環，補強桁）の応力度照査

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，地震荷重及び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の検討は省略する。



鋼製遮水壁の解析モデル概念図

余白

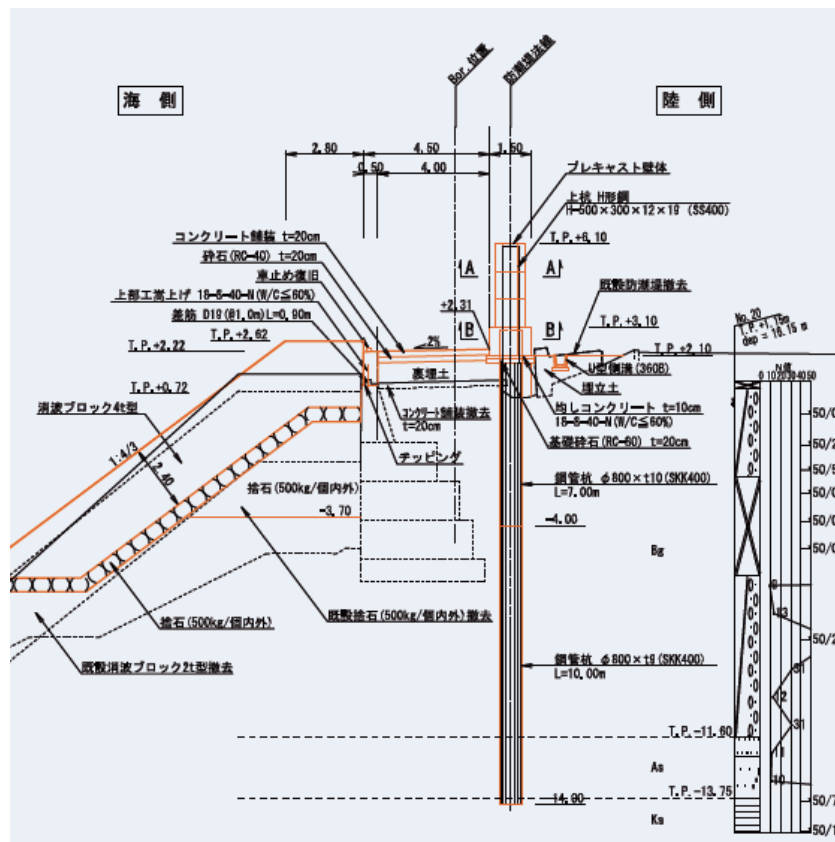
補足説明資料

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、φ800mm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

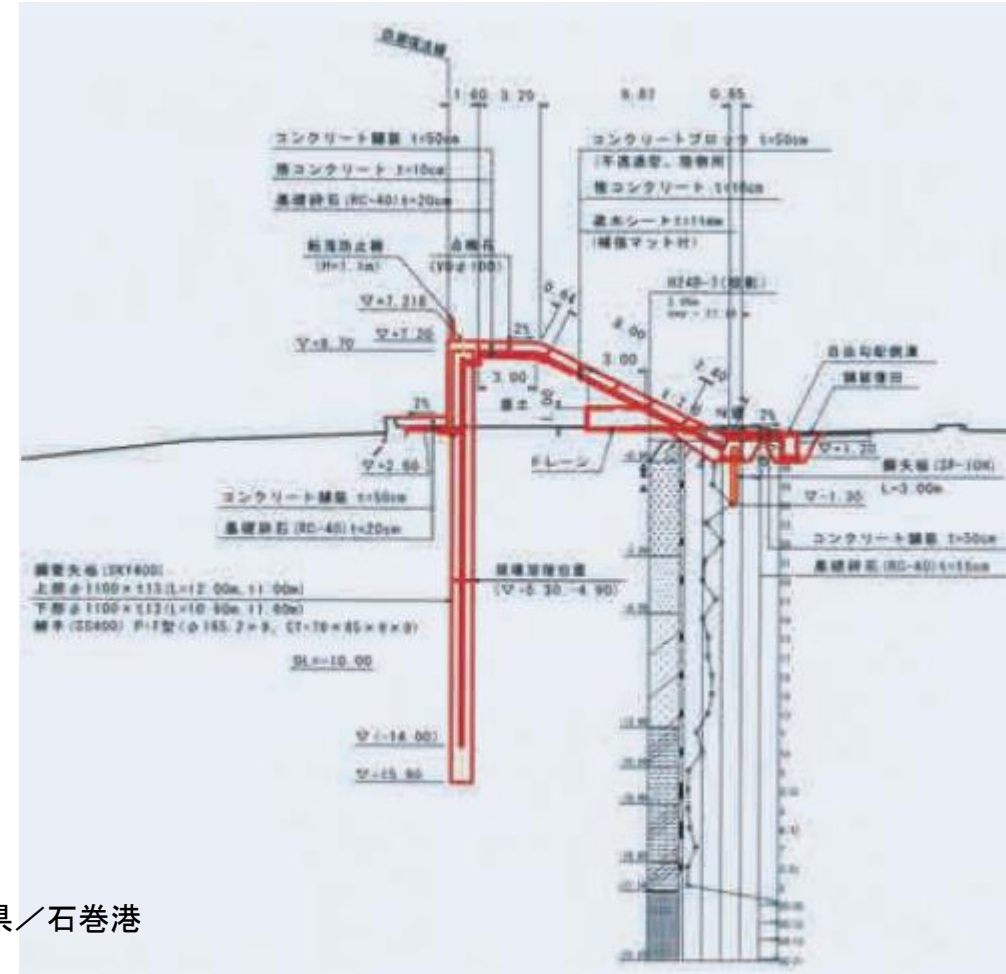


出典： 鋼管杭・鋼矢板技術協会 未来フロント NO.83(H27.3) 岩手県／釜石港
http://www.jaspp.com/shiryoutomorrow/pdf/fut_no83.pdf

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。

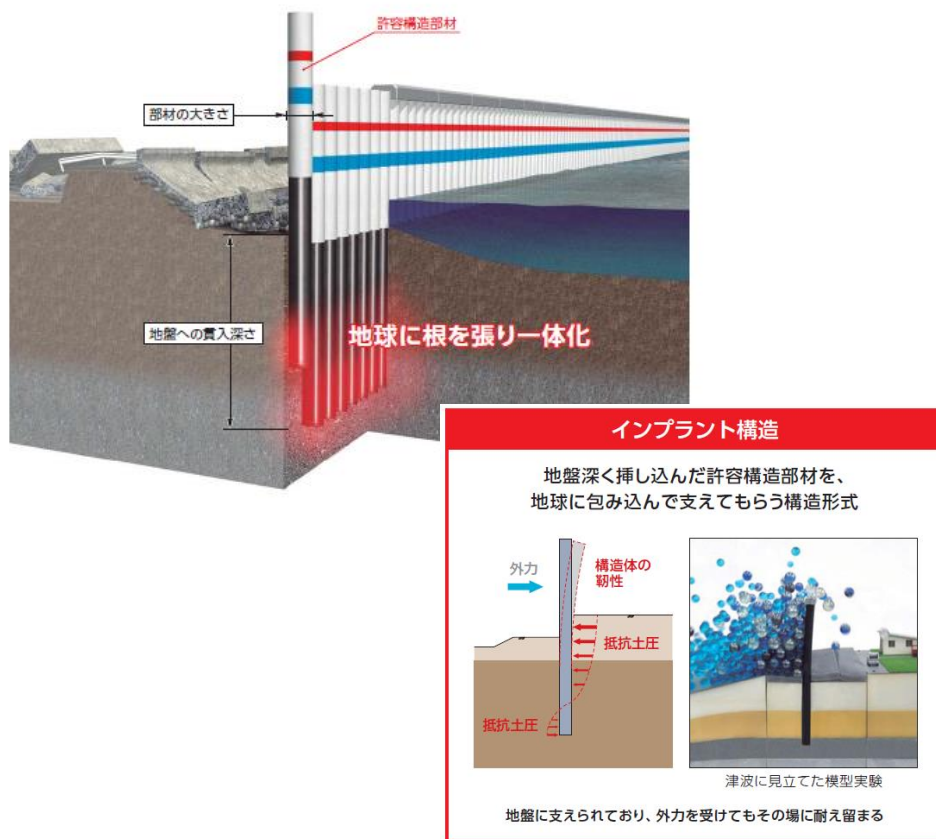


出典：鋼管杭・鋼矢板技術協会 未来フロント NO.83(H27.3) 宮城県／石巻港
http://www.jaspp.com/shiryu/tomorrow/pdf/fut_no83.pdf

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。



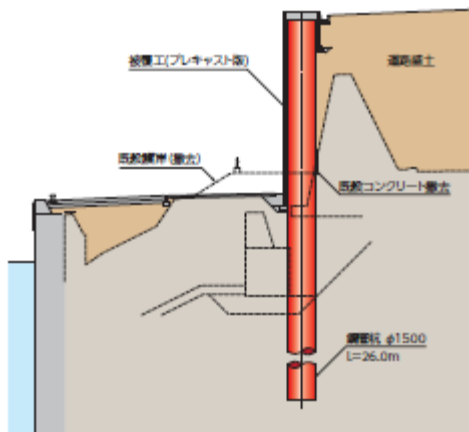
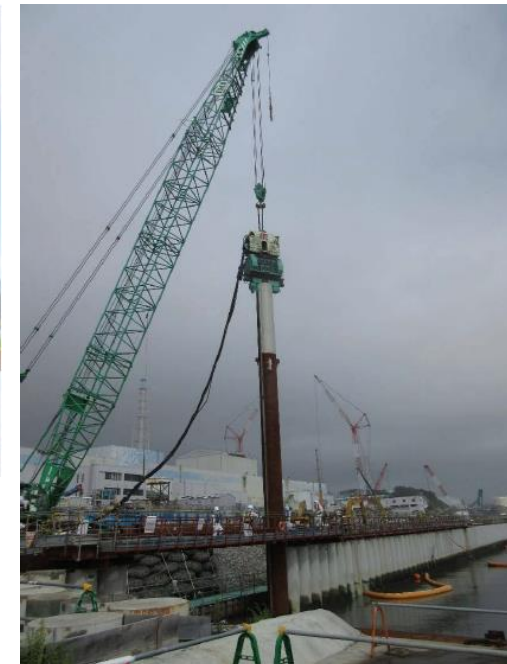
海側

陸側

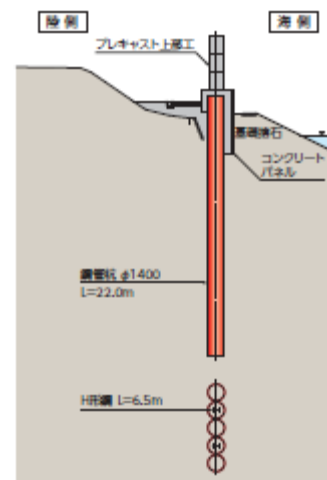


海側

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

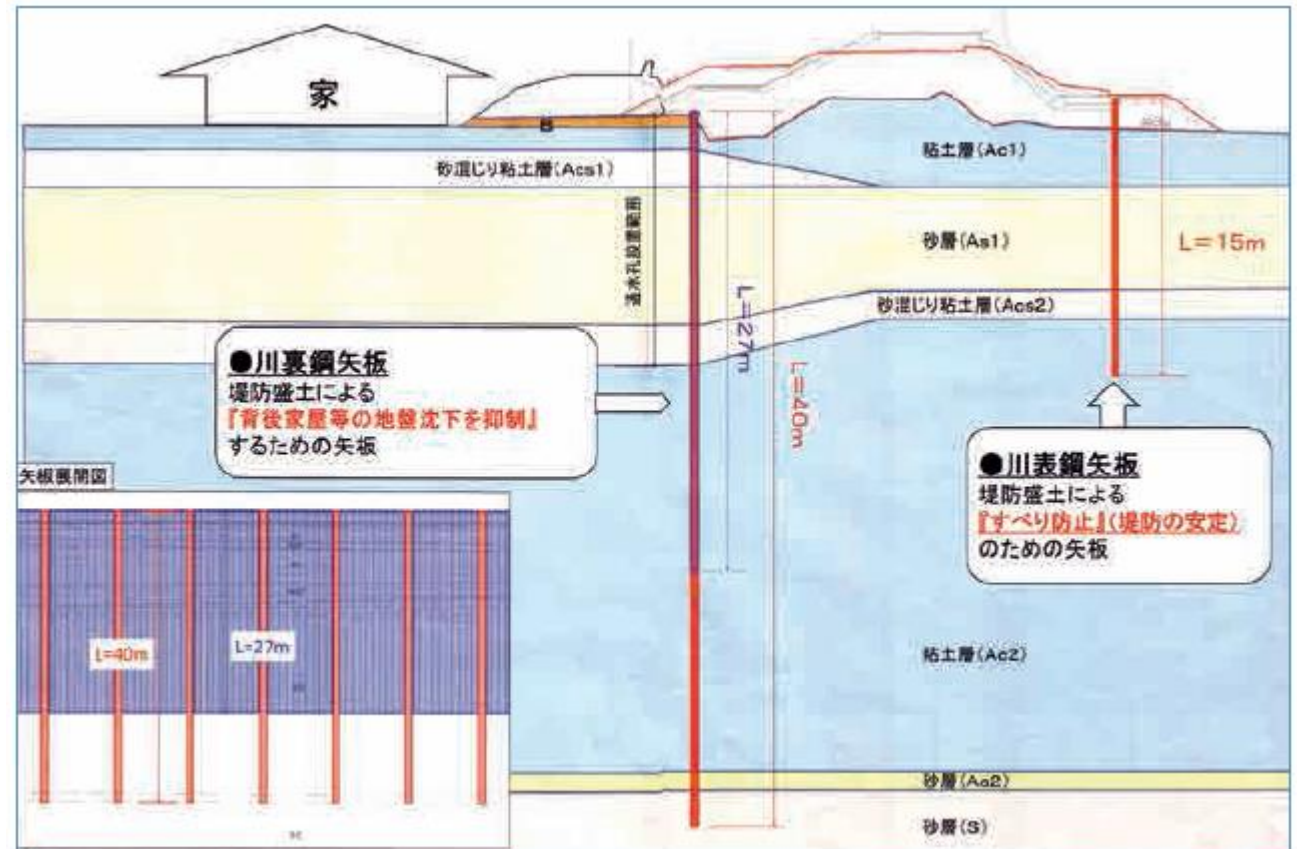
福島第一原子力発電所海側遮水壁
/ 東京電力

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。

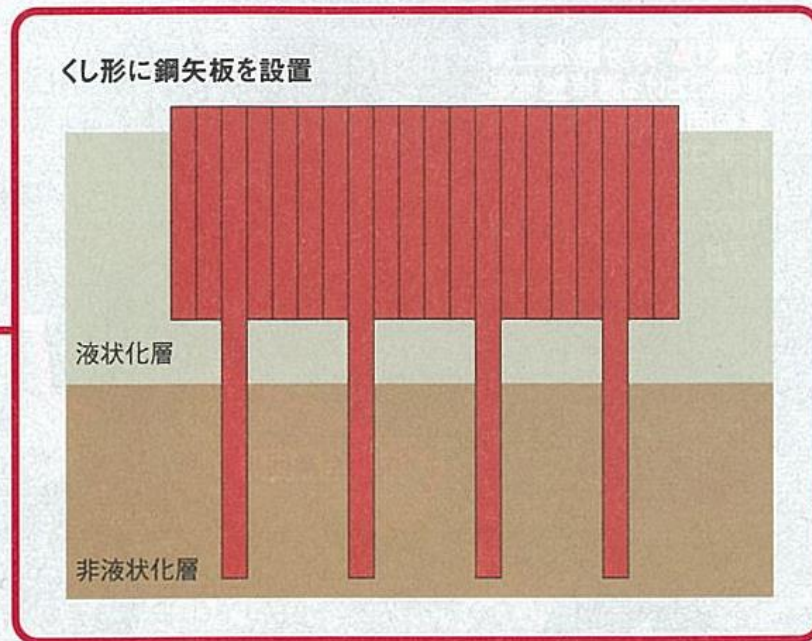
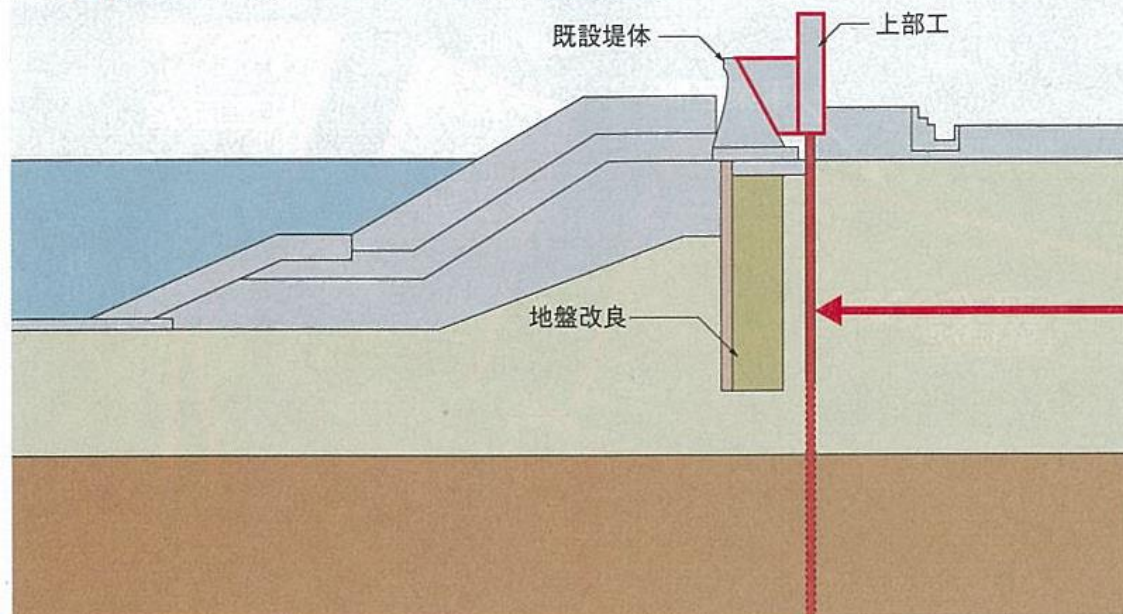


出典：鋼管杭・鋼矢板技術協会 未来フロント NO.83(H27.3) 緑川海路口下流地区築堤工事
http://www.jaspp.com/shiryoutomorrow/pdf/fut_no83.pdf

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

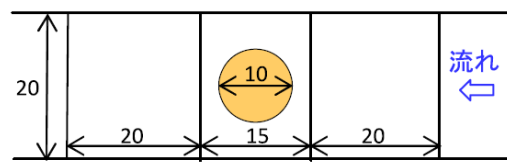
出典：大分臨海工業地帯 沿岸の液状化対策事例 くし形鋼矢板(日経コンストラクション2017年5月22日号)

補足説明資料

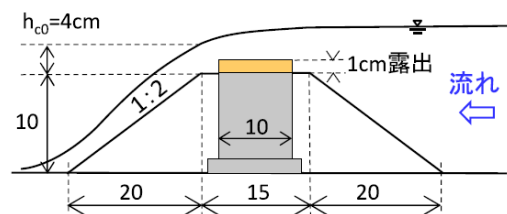
2. セメント改良土の耐侵食性・耐洗掘性について

2.1 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。



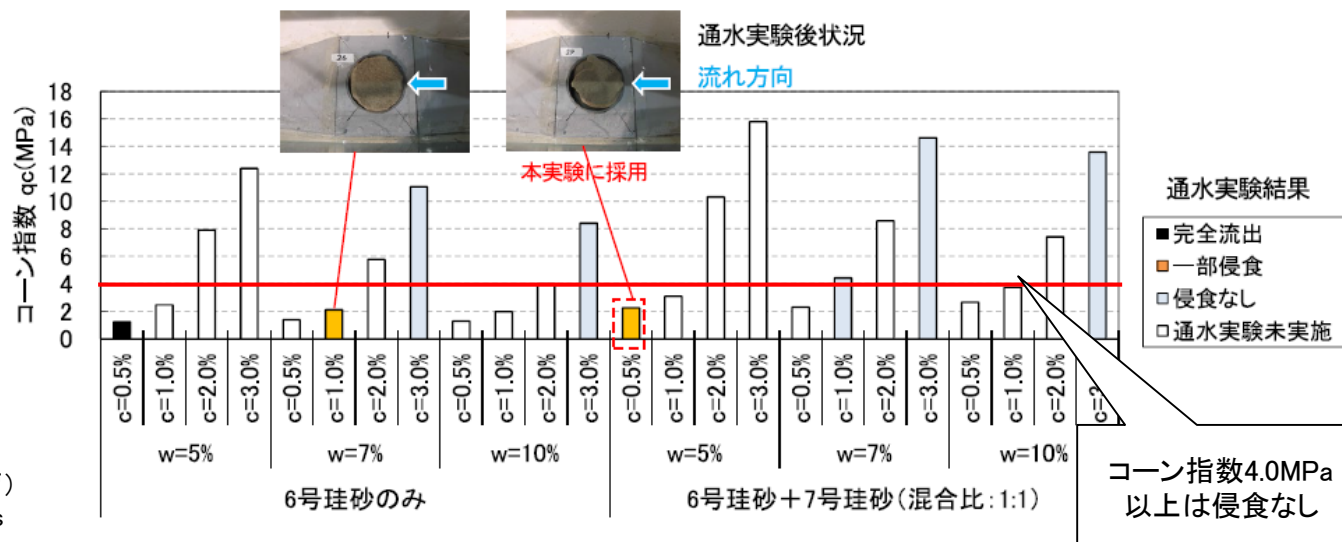
(a) 平面図



(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。

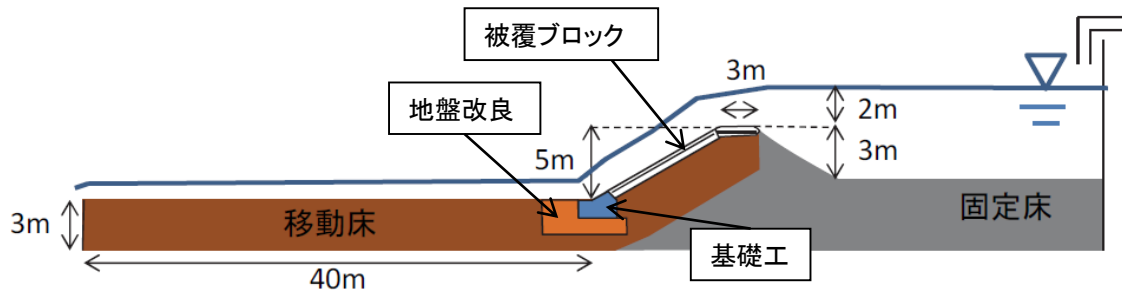
2.2 海岸堤防を模擬した大規模実験(1/2)

- 「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)

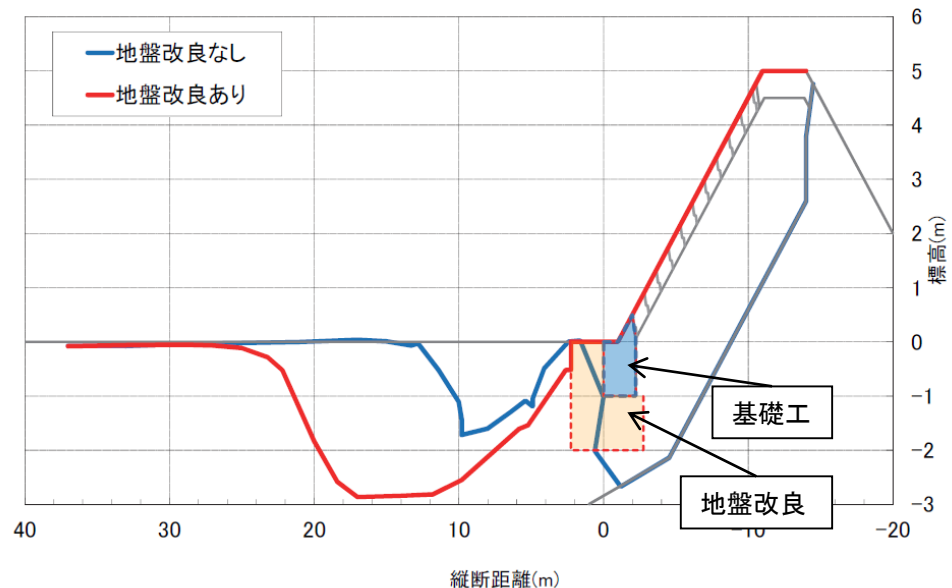
セメント改良土の引張り破壊応力 $5.9\text{N}/\text{cm}^2$ 

◆ 模型実験の構造断面



◆ 実験水路写真

2.2 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



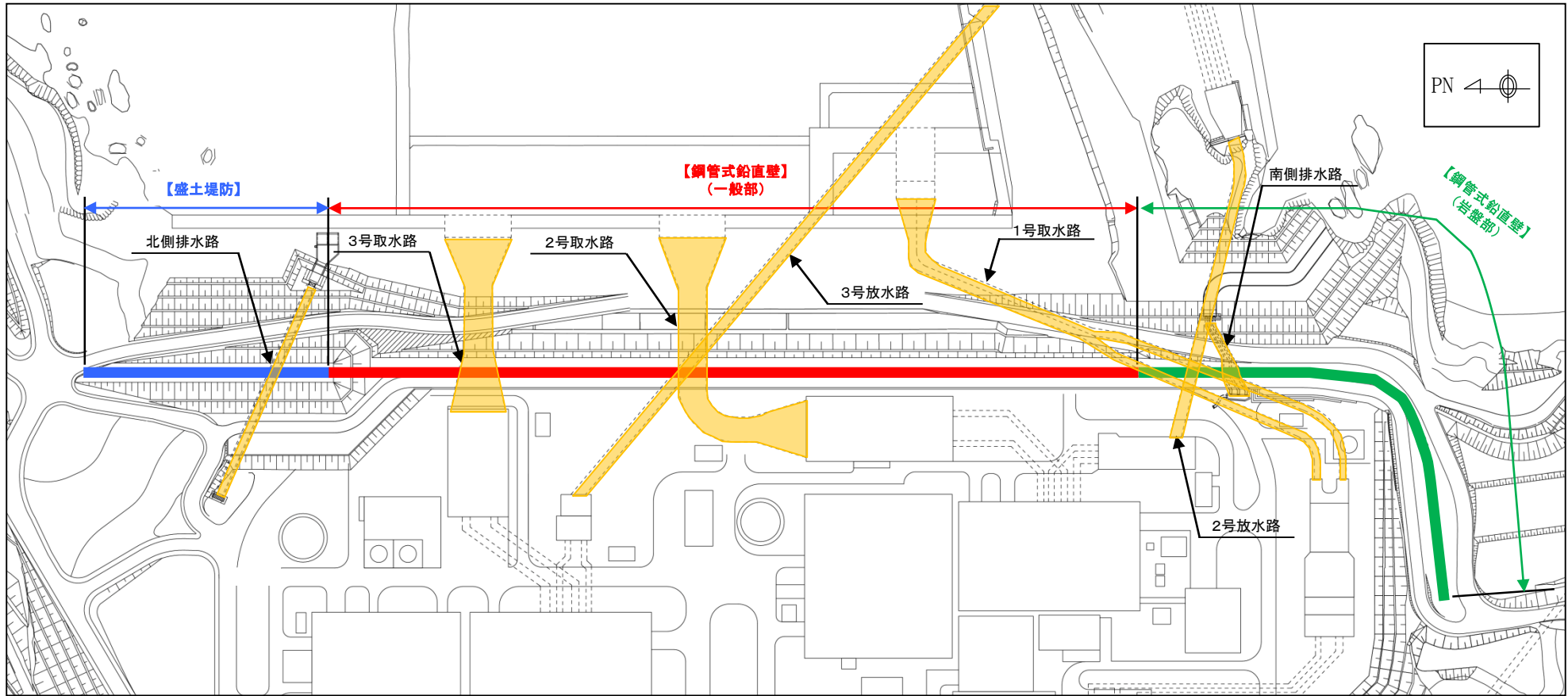
◆ ケース5-2-2m(地盤改良あり)の試験終了後状況

補足説明資料

3. 防潮堤を横断する構造物の取扱いについて

3.1 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。

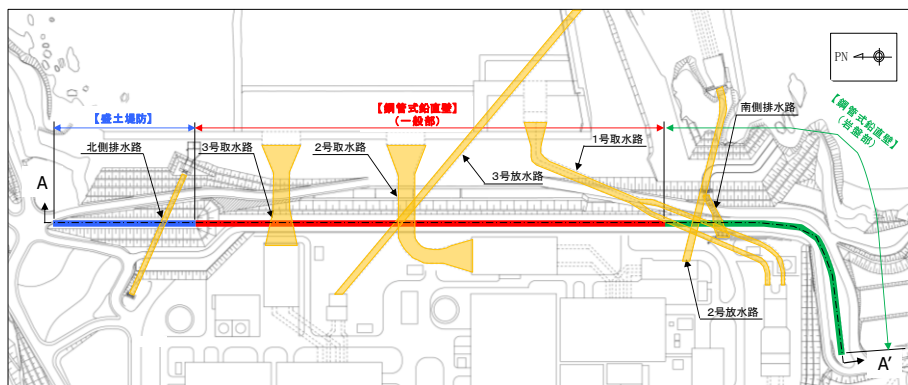


平面位置図

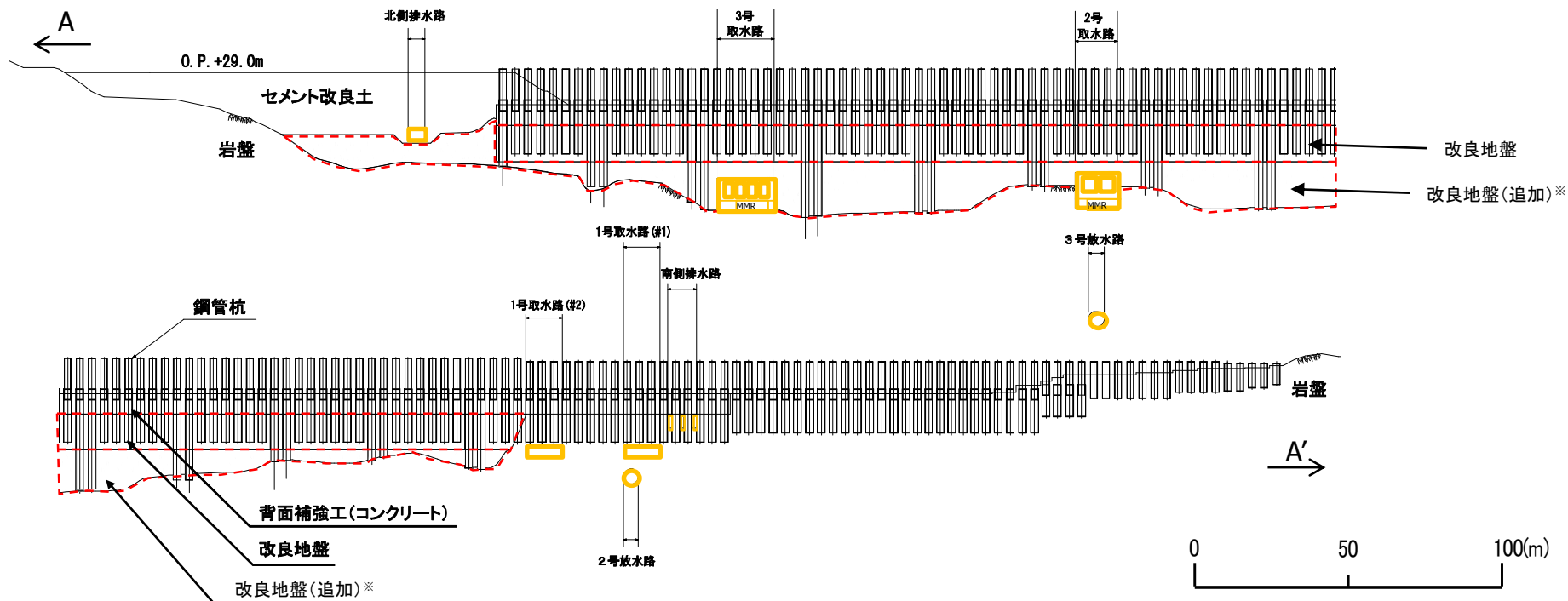


3.1 防潮堤を横断する構造物(2/2)

- 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



※改良範囲は今後の安定性評価等により決定

A - A'断面図

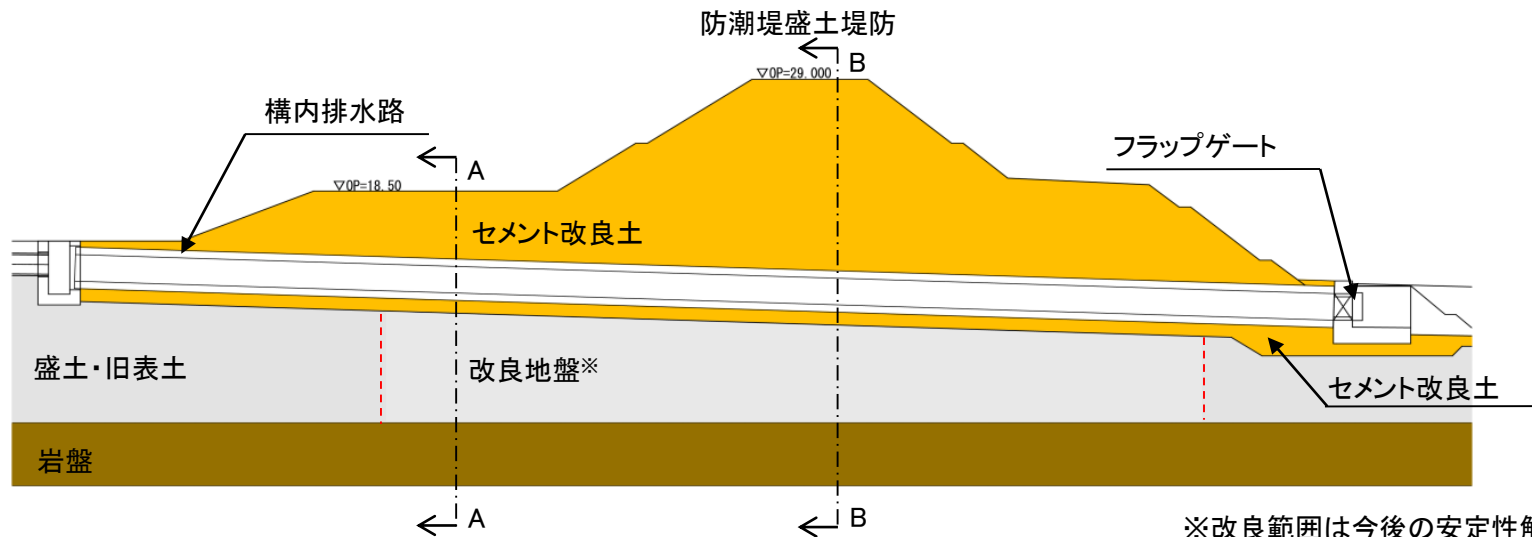
3.2 各構造物の地震に対する評価

- ・ 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『3.4 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Ss1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Ss1に対して機能維持	無
3号取水路		岩盤上に設置 (改良地盤内)	基準地震動Ss1に対して機能維持	無
3号放水路		岩盤トンネル (改良地盤内)	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

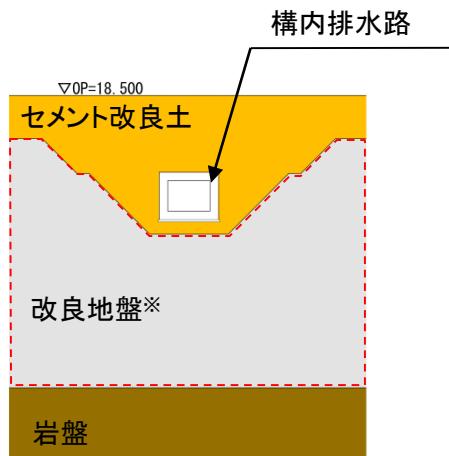
3.3 参考 北側排水路の構造(1/2)

- 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。

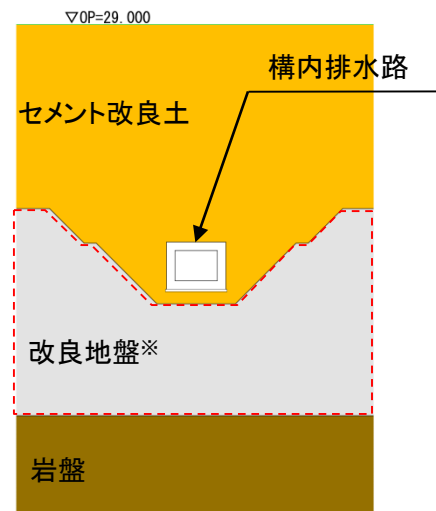


※改良範囲は今後の安定性解析等により決定

北側排水路縦断面図



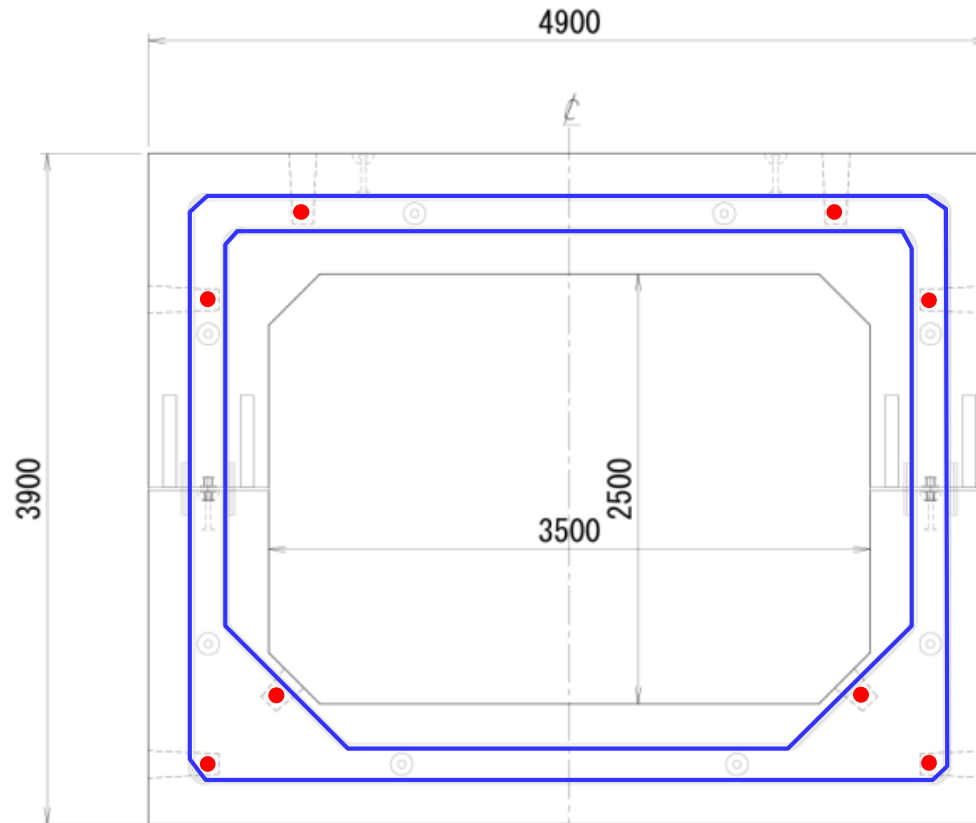
A-A断面図



B-B断面図

3.3 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)

3.4 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。
- 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	

3.4.2 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充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。

3.4.2 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応力の最小値を 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)

補足説明資料

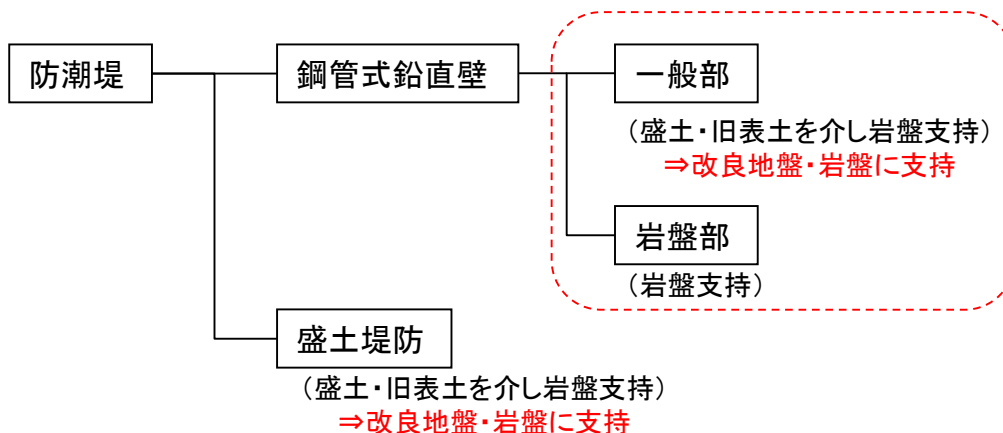
4. 防潮堤の設計方針等の変更について
(平成30年2月13日第548回審査会合資料再掲)

4.1 防潮堤の構造変更について

- 本資料では、防潮堤の設計方針について、沈下対策を実施することに変更するとともに、液状化評価の方針の一部を変更することを説明する。合わせて、設置許可基準規則第3条に定める地盤の支持性能への適合性について、考え方を整理した。
- 沈下対策の検討においては、盛土・旧表土の沈下に各部材が追従するこれまでの設計を変更し、地盤改良による沈下防止を基本とする。この改良地盤と岩盤を合わせて「地盤」と定義する。
- これにより、改良地盤・岩盤が一体となって施設を支持する構造となる。また、沈下に伴い考慮すべき損傷モードが減ることにより、安全性の向上が期待できる。

追加対策と設置許可基準規則への対応性

設置許可基準規則	追加対策(地盤改良)に伴う条文への適合方針	備考
第3条 (地盤の支持性能, 変形(液状化等)の考慮)	<ul style="list-style-type: none"> 施設直下の地盤が支持性能を有すること及び所要のすべり安全率を有することを確認する。(1項) 盛土・旧表土の地盤改良により、地震発生に伴う沈下・変形を防止する。(2項) 	改良範囲は条文に適合する範囲を解析的に決定する。
第4条 (地震による損傷の防止)	<ul style="list-style-type: none"> 沈下対策を踏まえ、想定される損傷モードに対して施設の安全性が確保されることを確認する。 また、「再使用性」を重視して杭の応答を概ね弾性範囲に留める。 	NFシート※の追従性等、沈下に伴い検討が必要となっていた損傷モードが簡略化あるいは省略される。また、長杭の応答が軽減され、概ね弾性範囲となる見通し。
第5条 (津波による損傷の防止)	<ul style="list-style-type: none"> 沈下対策を踏まえ、想定される損傷モードに対して施設の止水性が確保されることを確認する。 	沈下に伴い発生するおそれのあった改良地盤上下の隙間等がなくなり、浸水経路の形成可能性のある部位が減少あるいは考慮不要となる。



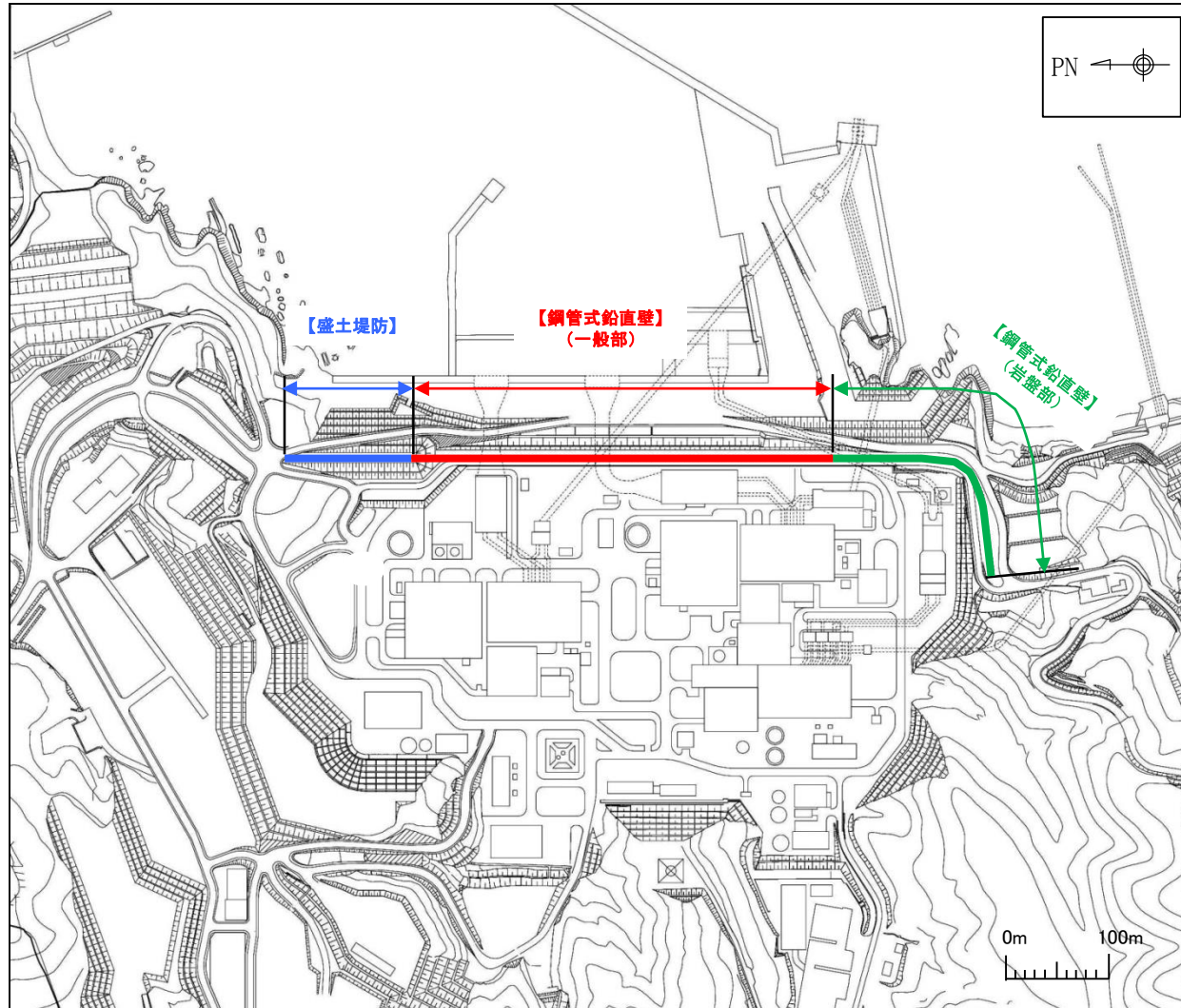
地盤改良により一般部は沈下しない構造となることから、岩盤部と同様の挙動となる。

(ただし、周辺の地盤の性状が異なることから、評価は一般部・岩盤部それぞれに対し実施していく)

※: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。

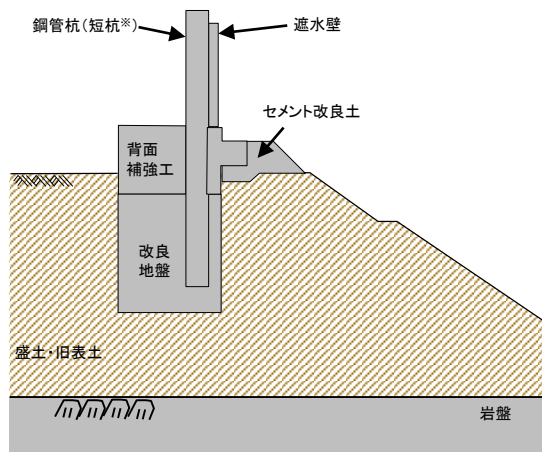
4.2 防潮堤の構造形式

- 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。

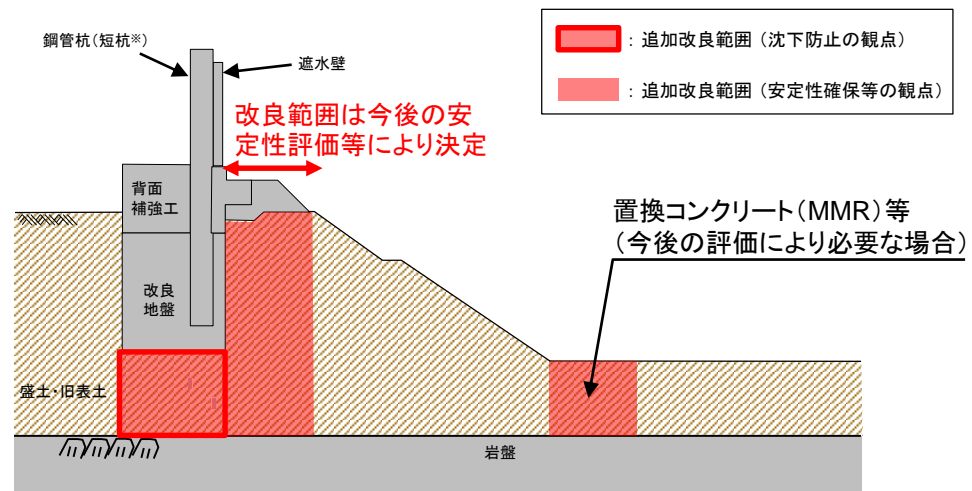
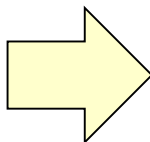


4.3 各構造における構造変更の概要[鋼管式鉛直壁(一般部)]

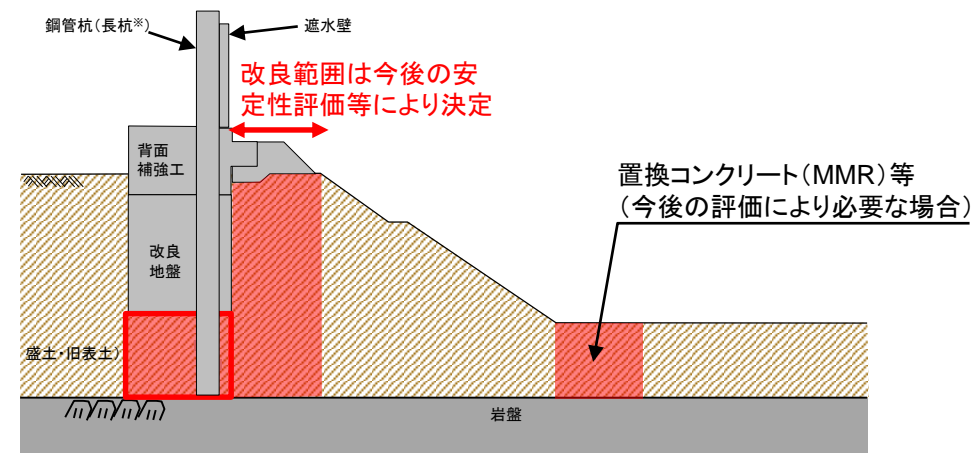
- 沈下対策として、既設の改良地盤直下を改良する。
- 対策範囲等については、各条文に適合できるよう、今後の設計において決定していく。



鋼管式鉛直壁(一般部) 変更前



(短杭※)



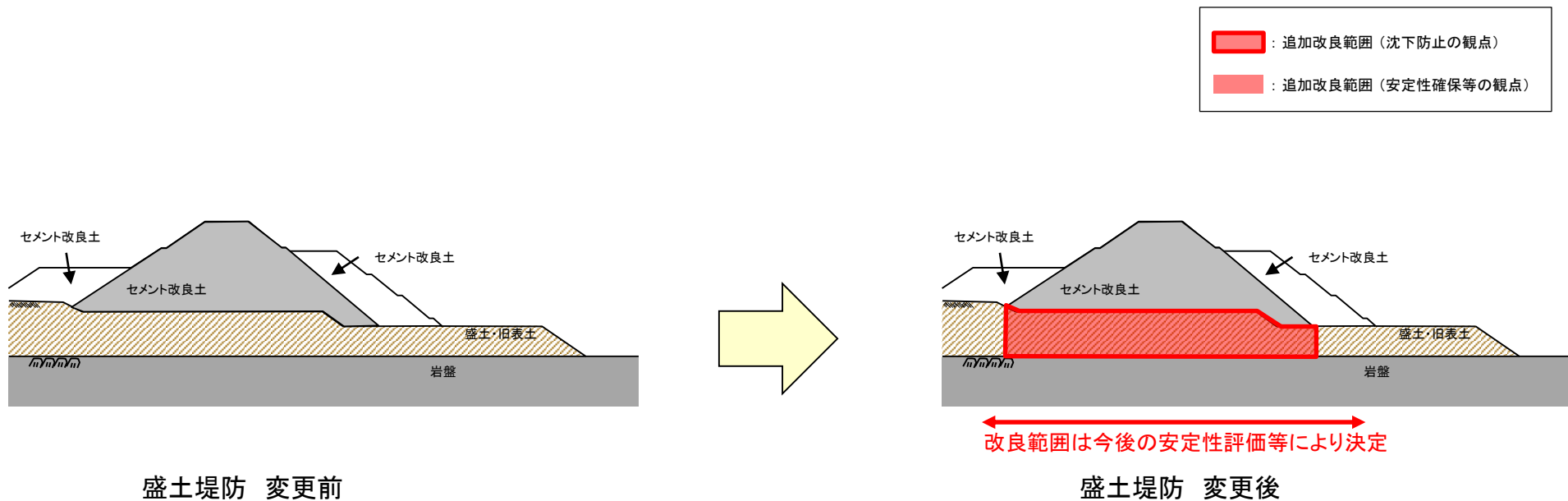
(長杭※)

鋼管式鉛直壁(一般部) 変更後

※:「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

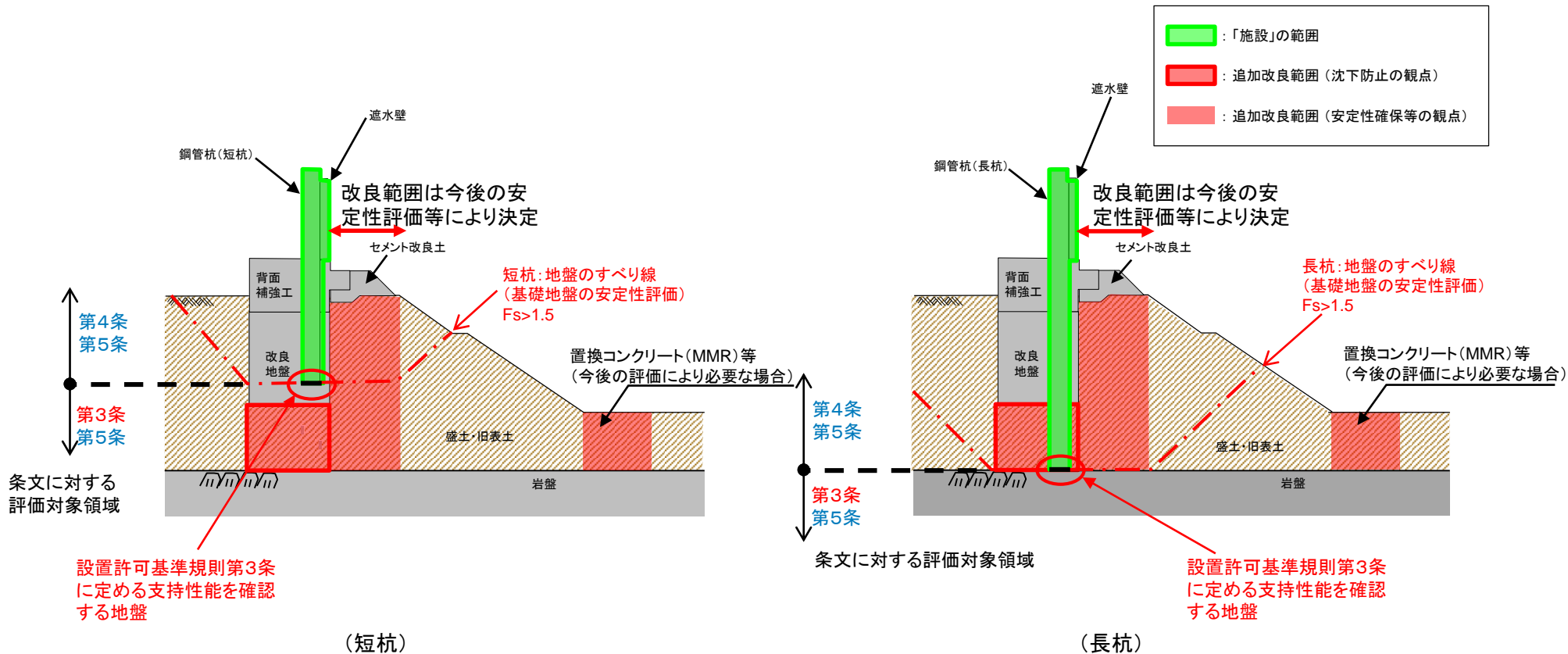
4.3 各構造における構造変更の概要[盛土堤防]

- ・ 沈下対策として、既設のセメント改良土直下を改良する。
- ・ 対策範囲等については、各条文に適合できるよう、今後の設計において決定していく。



4.4 設置許可基準規則への適合性について[鋼管式鉛直壁(一般部)]

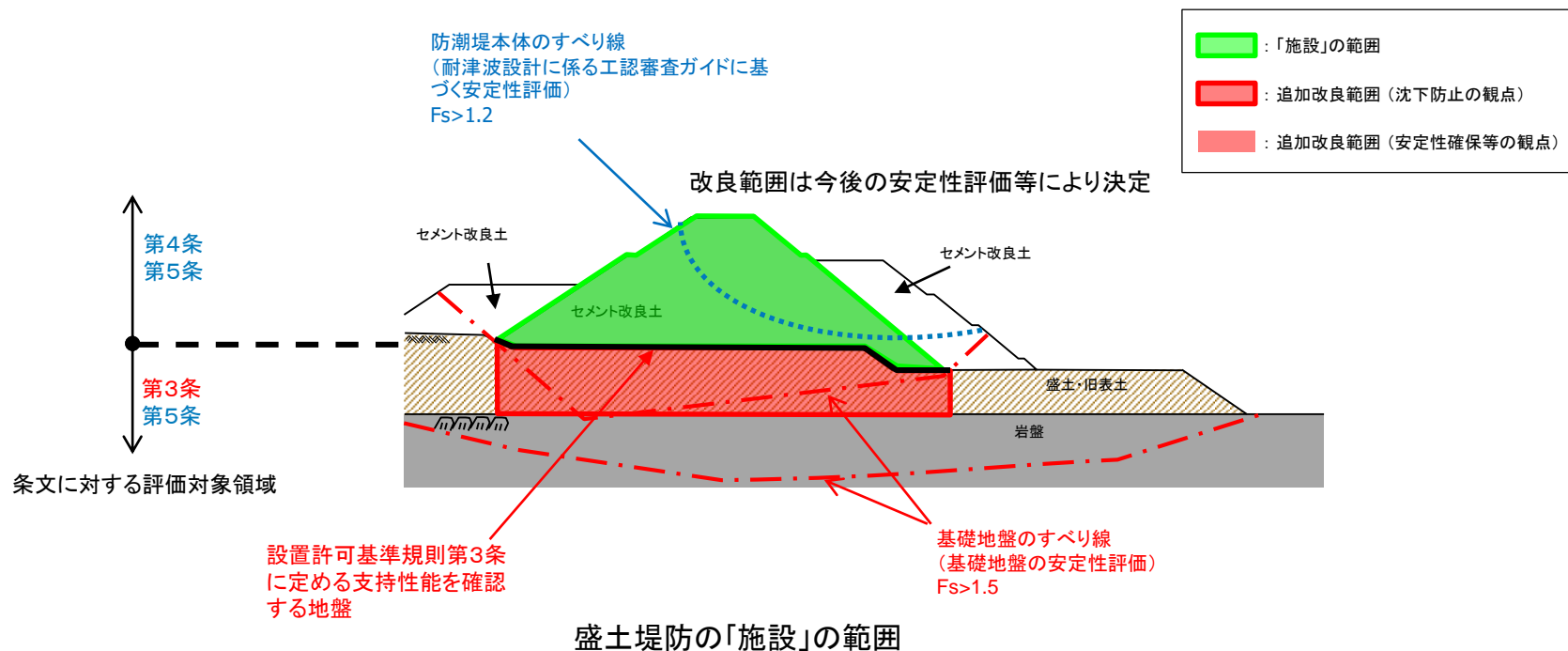
- 鋼管杭, 遮水壁及び止水目地を「施設」, 背面補強工, 改良地盤, セメント改良土, 盛土・旧表土及び岩盤等を「地盤」と定義し, 杭下を通るすべり線はすべり安全率 $F_s > 1.5$ を確保することで設置許可基準規則第3条に適合できるよう, 改良範囲を決定する。
- 杭を概ね弾性範囲とすること等により, 設置許可基準規則第4条に適合する構造であることを確認する。
- 施設の止水性に加え, 改良地盤も含めた周辺地盤の止水性(ボーリング等)から, 設置許可基準規則5条に適合する構造であることを確認する。



鋼管式鉛直壁(一般部)の「施設」の範囲

4.4 設置許可基準規則への適合性について[盛土堤防]

- セメント改良土(防潮堤本体)を「施設」、改良地盤、盛土・旧表土、セメント改良土(防潮堤本体以外)及び岩盤を「地盤」と定義し、施設下を通るすべり線はすべり安全率 $F_s > 1.5$ を確保することで設置許可基準規則第3条に適合できるように、改良範囲を決定する。
- 施設を通るすべり線は $F_s > 1.2$ を確保することで、設置許可基準規則第4条に適合する構造であることを確認する。
- 施設の止水性に加え、改良地盤も含めた地盤の止水性(ボーリング等)から、設置許可基準規則第5条に適合する構造であることを確認する。



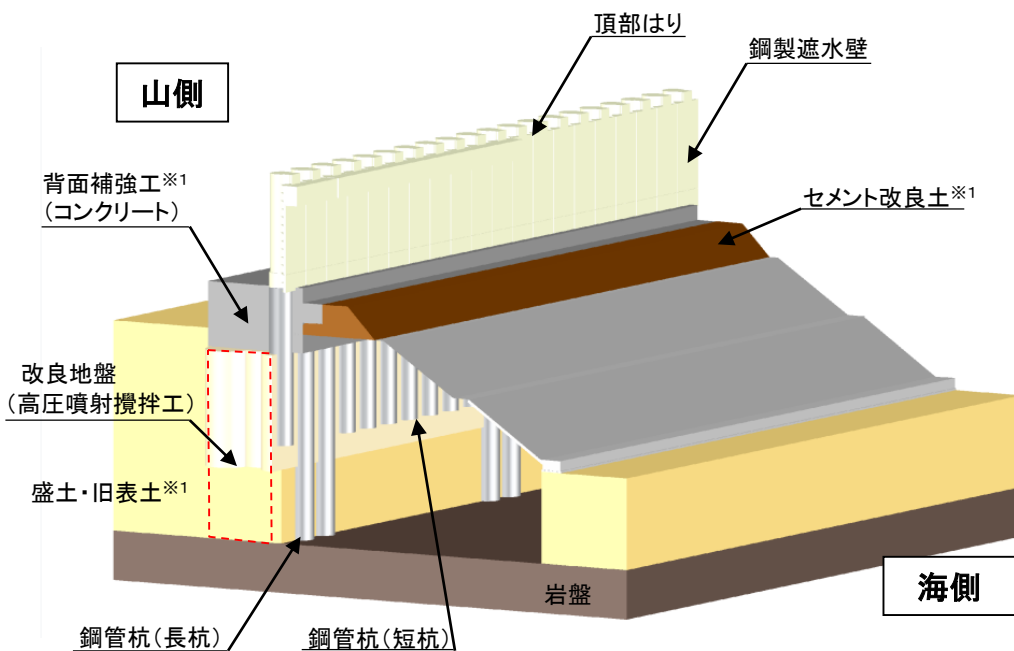
[参考] 耐津波設計に係る工認審査ガイドの記載

(盛土構造の防潮堤等の設計審査における留意事項)

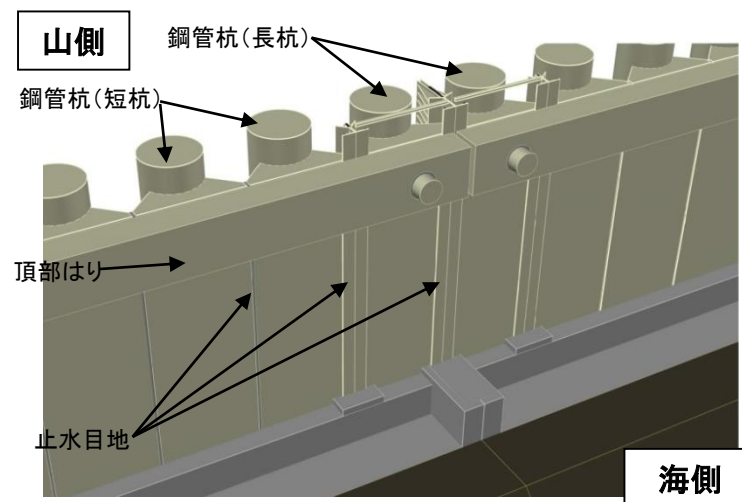
- 盛土構造の防潮堤や河川堤防等の盛土・地山斜面に関する安定性の評価については、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」に準ずるものとする。

4.5 評価対象部位の役割と主な変更点[鋼管式鉛直壁(一般部)]

- 評価対象部位と役割及び施設の範囲は右下表のとおりとする。



※1: 周辺地盤として考慮



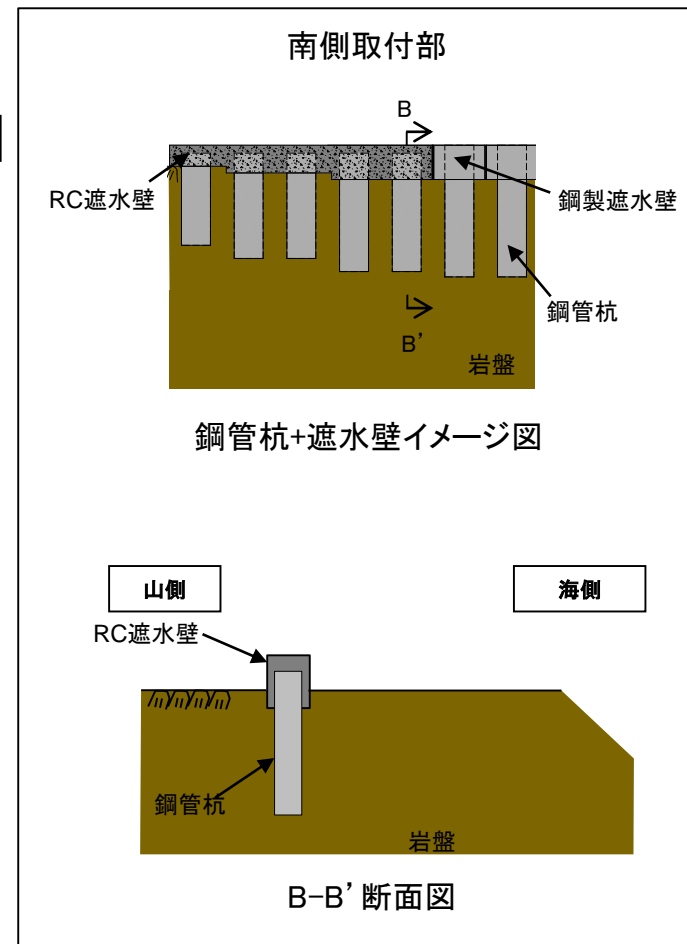
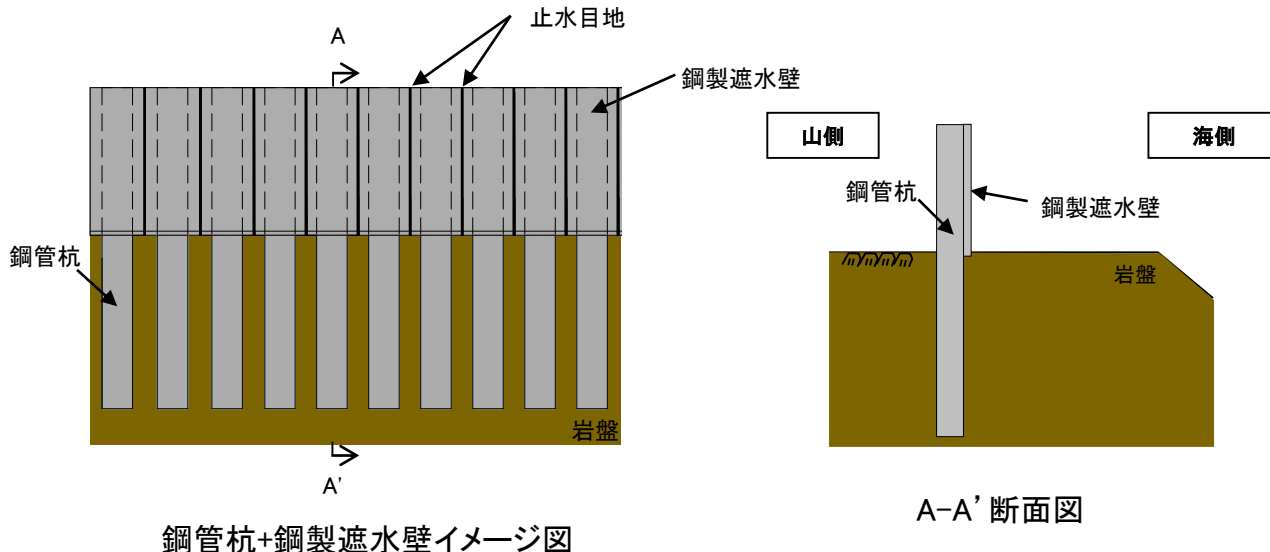
施設の範囲

評価対象部位		役割	備考
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		—※2	
背面補強工		鋼管杭の変位を抑制	周辺地盤
改良地盤		鋼管杭を支持	基礎地盤(短杭)
セメント改良土		鋼管杭の変位を抑制	周辺地盤
盛土・旧表土			
岩盤		鋼管杭を支持	基礎地盤(長杭)

※2: 沈下時に機能を期待していたが、沈下しない設計に変更したため、設計基準対象施設に該当しない部位

4.5 評価対象部位の役割と主な変更点[鋼管式鉛直壁(岩盤部)]

- 評価対象部位と役割及び施設の範囲は下表のとおりとする(変更なし)。

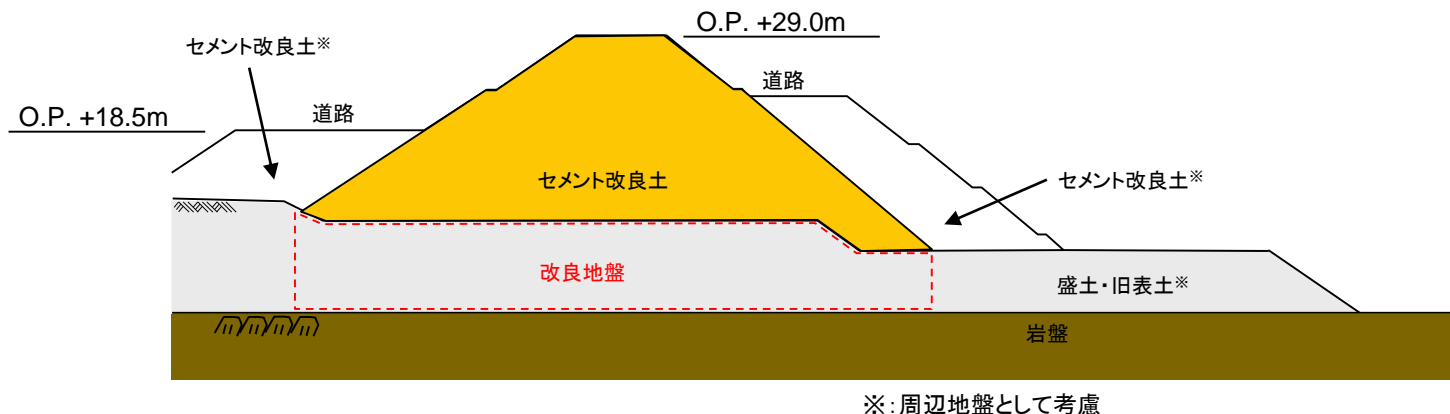


■ 施設の範囲

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
岩盤	鋼管杭を支持

4.5 評価対象部位の役割と主な変更点[盛土堤防]

- 評価対象部位と役割及び施設の範囲は下表のとおりとする。



盛土堤防断面図

■ 施設の範囲

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

4.6 損傷モードの主な変更点[鋼管式鉛直壁(一般部)]

- 鋼管式鉛直壁(一般部)の損傷モードは以下のとおり簡略化される。

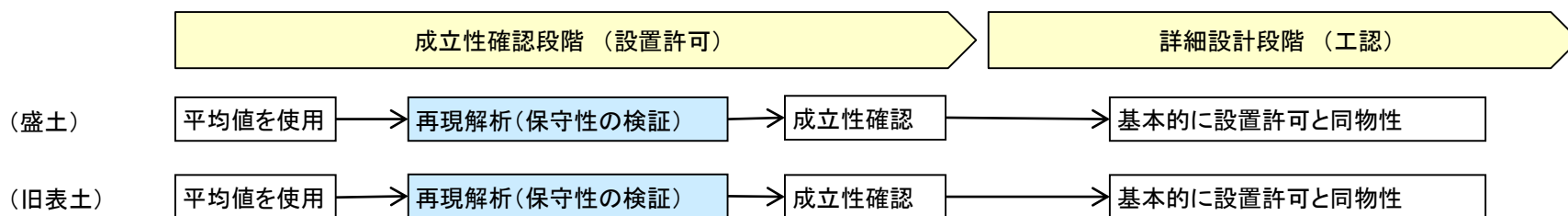
	変更前	変更後
防潮堤下の地盤(盛土・旧表土)の沈下	<ul style="list-style-type: none"> 盛土・旧表土の沈下を許容する。 長杭へのネガティブフリクションへの配慮としてNFシートを施工する。 	<ul style="list-style-type: none"> 盛土・旧表土を地盤改良することにより、沈下しない設計とする。 沈下しないことでネガティブフリクションが発生しないことから、NFシートの機能は期待しない設計とする。
地震・津波荷重への抵抗性	<ul style="list-style-type: none"> 短杭は許容応力度以下を確認する。 長杭は短杭と同じ深さまでは許容応力度以下を確認し、それより深い位置では杭の塑性率が許容塑性率以下であることを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 短杭・長杭ともに概ね弾性範囲であることを確認する。 (盛土・旧表土を地盤改良することにより、長杭の下部も概ね弾性範囲となる。)
長杭と短杭の挙動の違い	<ul style="list-style-type: none"> 盛土・旧表土の不等沈下や汀線方向(防潮堤縦断方向)の地震荷重等の影響により、鋼管の損傷や通水経路の形成が懸念される。 実現象を詳細に考慮した3次元解析により安全性を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 盛土・旧表土を地盤改良することにより、不等沈下等は発生しない設計とし、通水経路の形成を防止する。
鋼製遮水壁の止水性	<ul style="list-style-type: none"> 盛土・旧表土の沈下量や、周辺地盤の側方流動の影響等を考慮して杭間に発生する相対変位を評価し、止水目地を設定する。 止水目地の性能試験により、許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 周辺地盤の側方流動の影響等を考慮して杭間に発生する相対変位を評価し、止水目地を設定する。 (盛土・旧表土を地盤改良することにより、隣り合う長杭と短杭の間及び長杭と長杭の間の水平及び鉛直方向の相対変位は小さくなる。) 止水目地の性能試験により、許容変形量及び許容水圧以下であることを確認する。

- 盛土堤防の損傷モードは以下のとおり簡略化される。

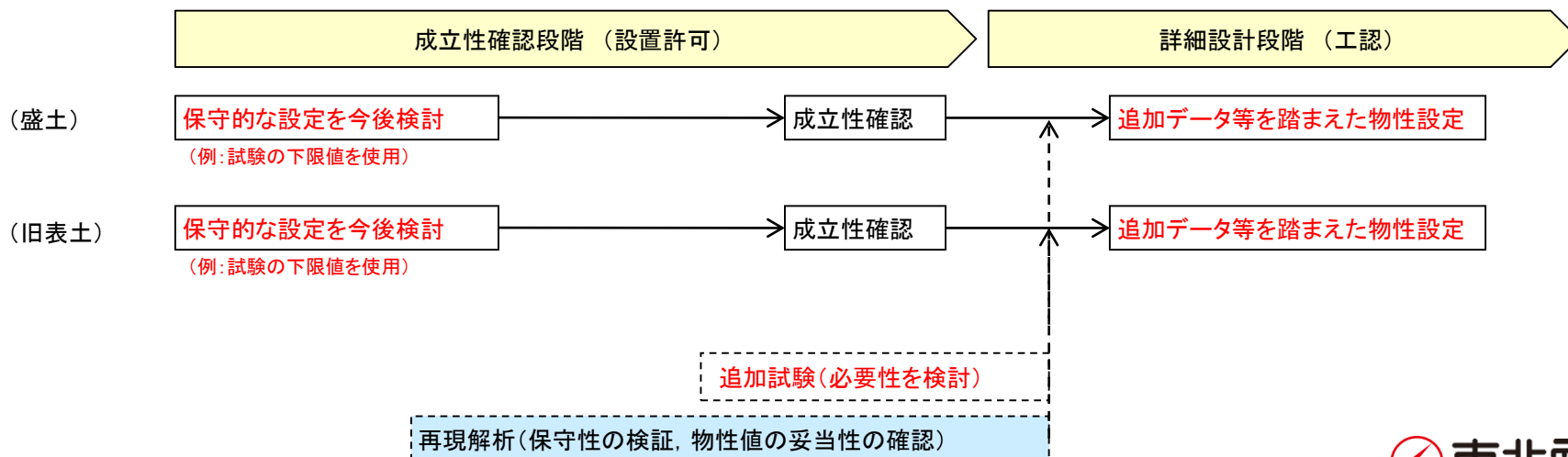
	変更前	変更後
防潮堤下の地盤(盛土・旧表土)の沈下	<ul style="list-style-type: none"> 盛土・旧表土の沈下を許容する。 想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さを維持する。 	<ul style="list-style-type: none"> 盛土・旧表土を地盤改良することにより、沈下しない設計とする。 想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さを維持する。
地震・津波荷重への抵抗性	<ul style="list-style-type: none"> 堤体内部に想定したすべり線に対して、すべり安全率が許容値以上であることを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 基礎地盤及び堤体内部に想定したすべり線に対して、すべり安全率が許容値以上であることを確認する。
津波時の止水性・耐洗掘性	<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。 盛土・旧表土が津波時の通水経路とならないことを浸透流解析により確認する。 盛土・旧表土の洗掘対策として、法尻補強(セメント改良土で置換)を実施する。 	<ul style="list-style-type: none"> セメント改良土及び改良地盤は、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。 不等沈下に伴うセメント改良土のひび割れなどの通水経路の形成を防止する。
鋼管式鉛直壁との境界部の安定性	<ul style="list-style-type: none"> 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盛土・旧表土の沈下を含めた3次元的な損傷が懸念される。 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、鋼管杭の損傷が懸念される。 実現象を詳細に考慮した3次元解析により安全性を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 盛土・旧表土を地盤改良することにより、沈下に伴う複雑な挙動は解消され、3次元的な損傷の影響は小さくなる。 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するが、盛土堤防及び鋼管式鉛直壁(一般部)の下部の盛土・旧表土をいずれも地盤改良することで、境界部における荷重伝達の影響は小さくなる。 境界部の安定性が損なわれる可能性は小さいが、念のため実現象を詳細に考慮した3次元解析により安全性を確認する。

- 物性値のばらつきを考慮し、液状化パラメータの設定方法を変更する。
- 成立性確認段階(設置許可)では、盛土・旧表土の液状化強度特性について、保守的な設定(例:試験の下限値)により成立性を示す。
- 詳細設計段階(工認)においては、液状化試験の追加実施の必要性を含め、液状化強度特性の再設定について検討していく。

液状化パラメータの設定方法(変更前)



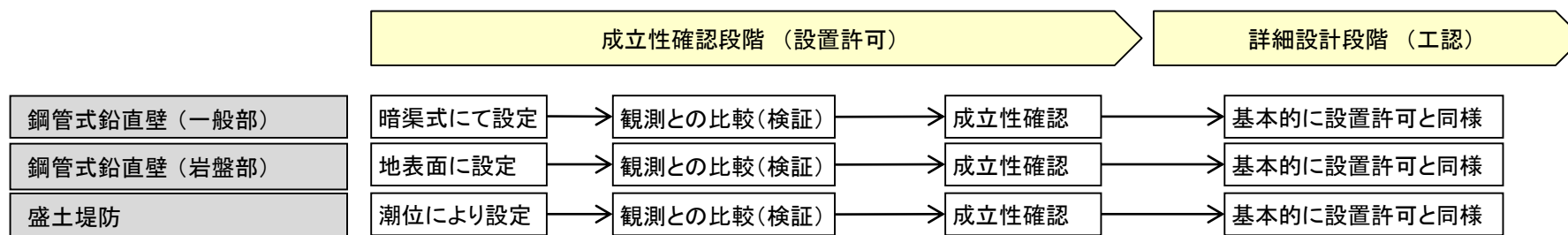
液状化パラメータの設定方法(変更後)



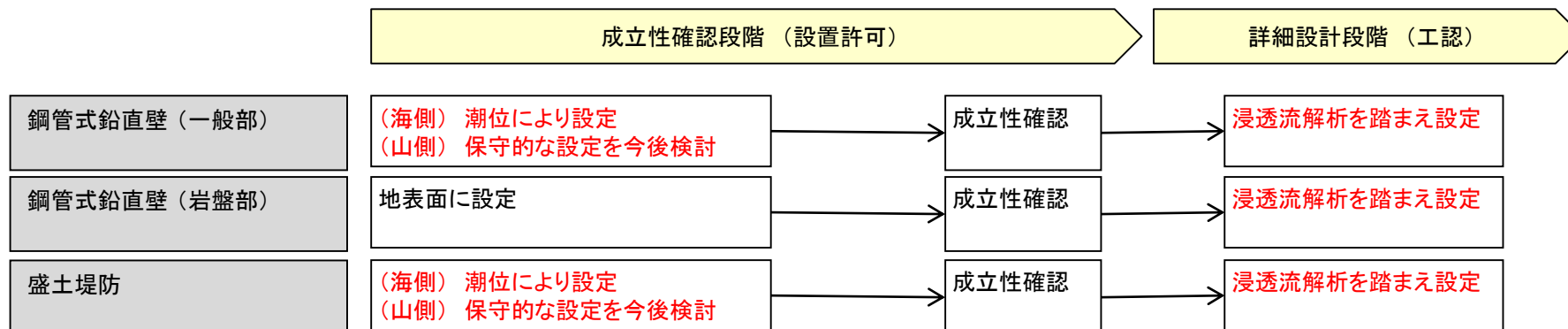
4.8 地下水位の設定の変更について

- 地盤改良を実施することにより、地下水位が変動する可能性があることから、設定方法を変更する。
- 地下水位の設定について、成立性確認段階では改良後構造を踏まえた保守的な設定を行う。詳細設計段階では浸透流解析を踏まえ設定する。

地下水位の設定方法(変更前)



地下水位の設定方法(変更後)



- 鋼管式鉛直壁(一般部)および盛土堤防における地下水位設定の変更イメージを示す。

【鋼管式鉛直壁(一般部)の例】

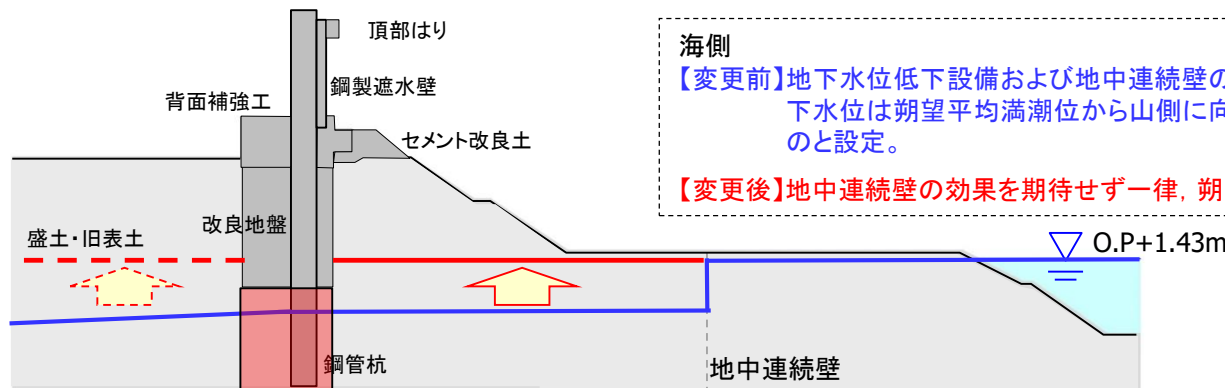
山側

【変更前】

地下水位低下設備の効果により地下水位が低下するものとして、境界条件を観測記録から安全側に設定した暗渠の式により設定。

【変更後】

海側と同等にする等、保守的な設定を今後検討。



海側

【変更前】地下水位低下設備および地中連続壁の効果を検討し、海側の地下水位は朔望平均満潮位から山側に向かって水位が低下するものと設定。

【変更後】地中連続壁の効果期待せず一律、朔望平均満潮位と設定。

【盛土堤防の例】

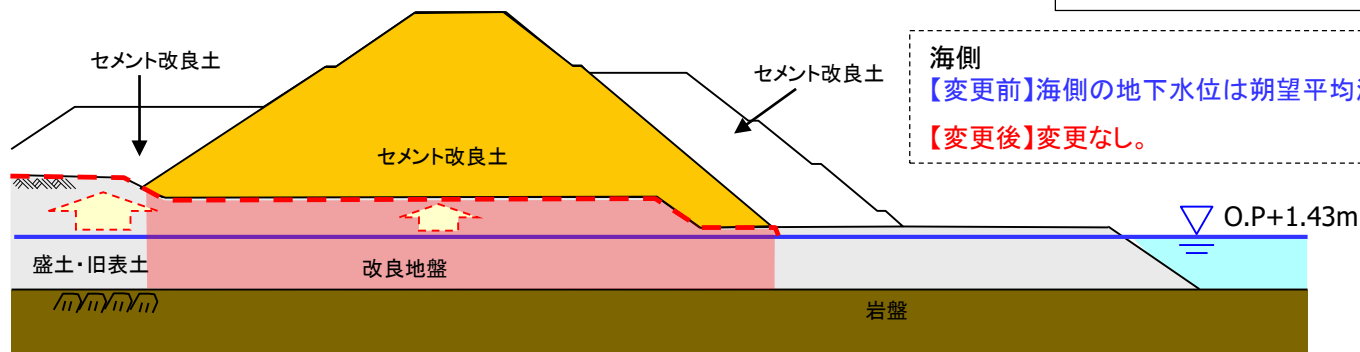
山側

【変更前】

地下水位低下設備の効果により地下水位は低下するが、地下水観測により降雨の影響が認められる箇所であることから、観測水位と朔望平均満潮位を比較し、安全側に朔望平均満潮位で設定。

【変更後】

地表面にする等、保守的な設定を今後検討



海側

【変更前】海側の地下水位は朔望平均満潮位と設定。

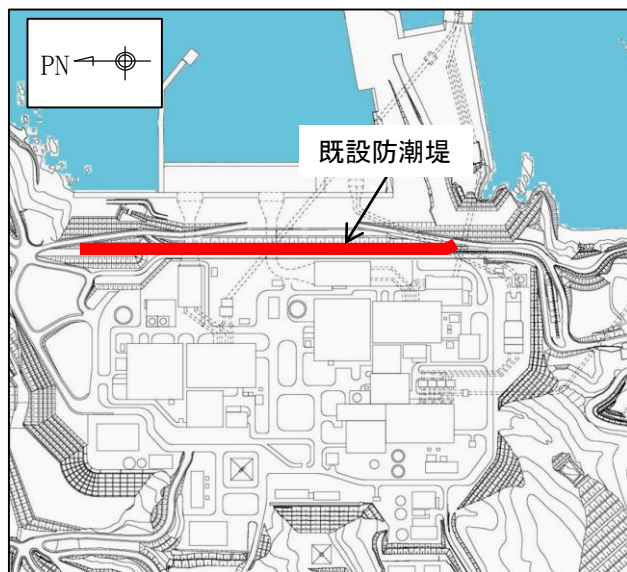
【変更後】変更なし。

地下水位イメージ図

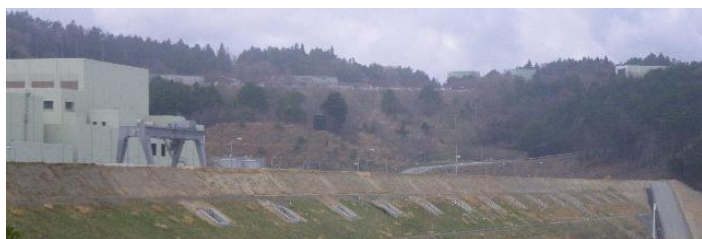
補足説明資料

5. 既設防潮堤(O.P.+17m)の取扱いについて

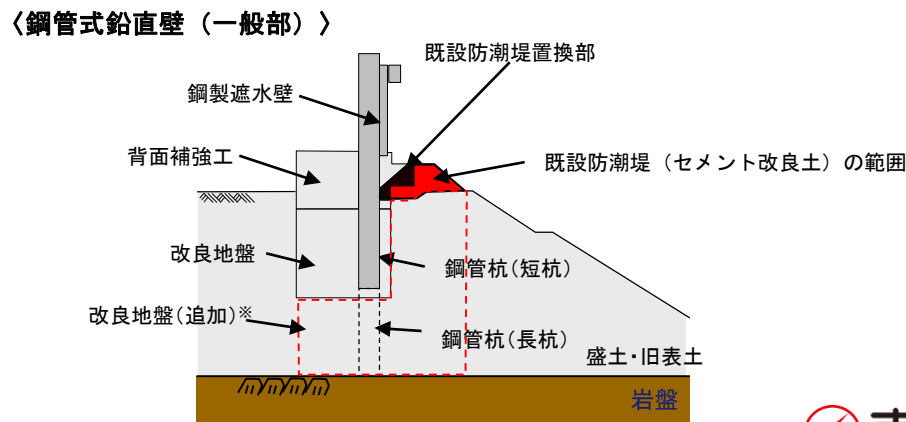
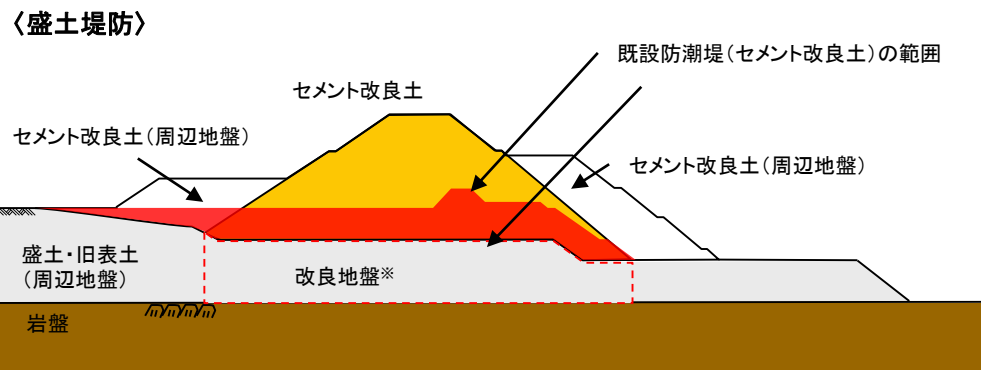
- 防潮堤の建設以前に3.11地震を踏まえた緊急安全対策として、O.P.約+17m(高さ約3m)のセメント改良土による防潮堤(以下、既設防潮堤)を設置している。
- O.P.+29.0mの盛土堤防築堤時には、舗装等の支障物を取り除いた上で、セメントペーストによる打継処理を実施している。また、セメント改良土の物性調査結果から、既設防潮堤と盛土堤防はほぼ同様の物性値となることを確認している。
- 以上より、既設防潮堤についても盛土堤防の一部として、一様の物性で施設評価を実施している。



既設防潮堤平面配置図

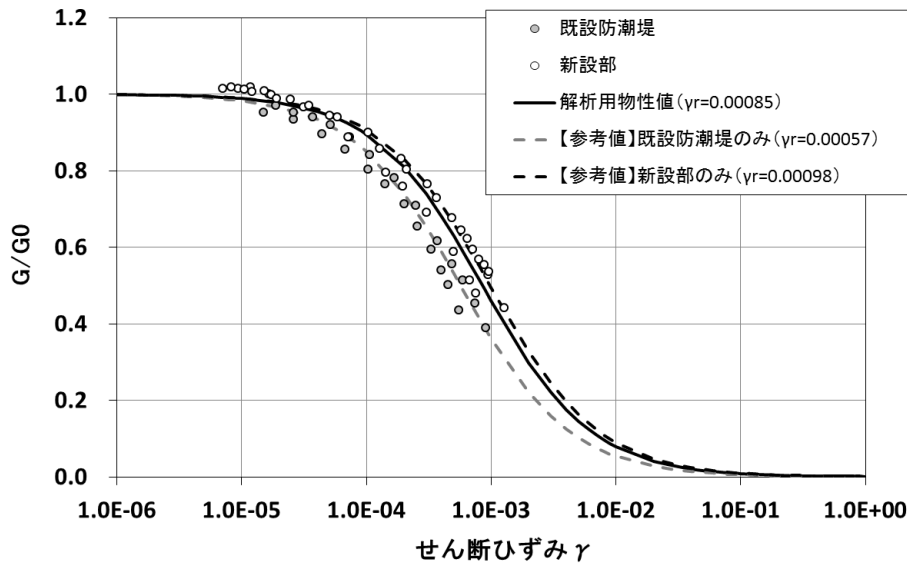


既設防潮堤完成状況(平成24年4月26日)

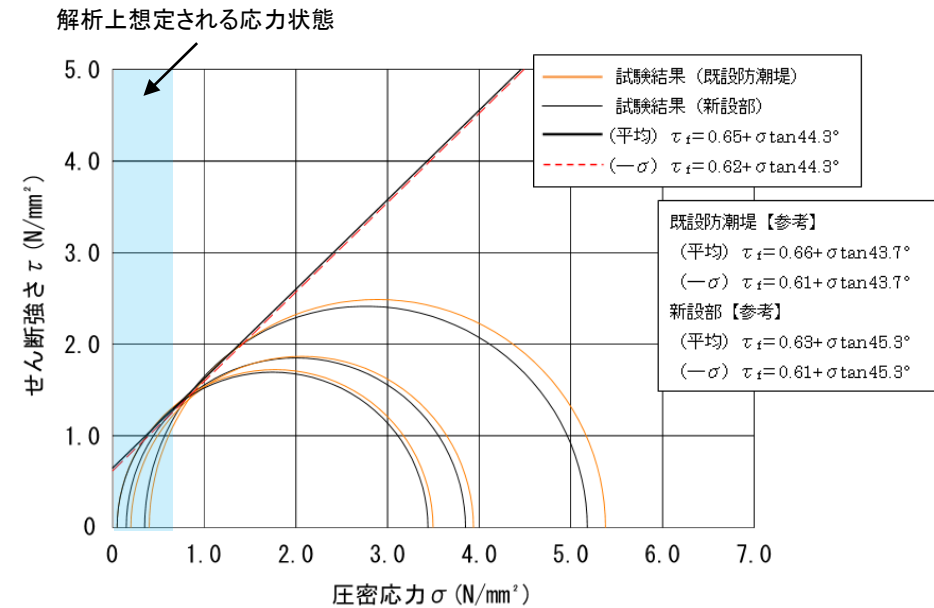


※改良範囲は今後の安定性解析等により決定

- 盛土堤防の既設防潮堤部分と新設部について、セメント改良土の物性調査の結果を示す。
- 盛土堤防の地震時応答に影響を与える主たる物性として動的変形特性を、安定性評価に影響を与える主たる物性として強度特性を対象として、既設防潮堤部分と新設部の比較を行った。
- 既設防潮堤部分と新設部の物性はほぼ同程度となっており、両者を一様の物性として扱って施設評価を行うことは妥当である。
- なお、盛土堤防全体における既設防潮堤部分は約20%(体積比)となっている。



動的変形特性の比較 (繰返し三軸圧縮試験結果)



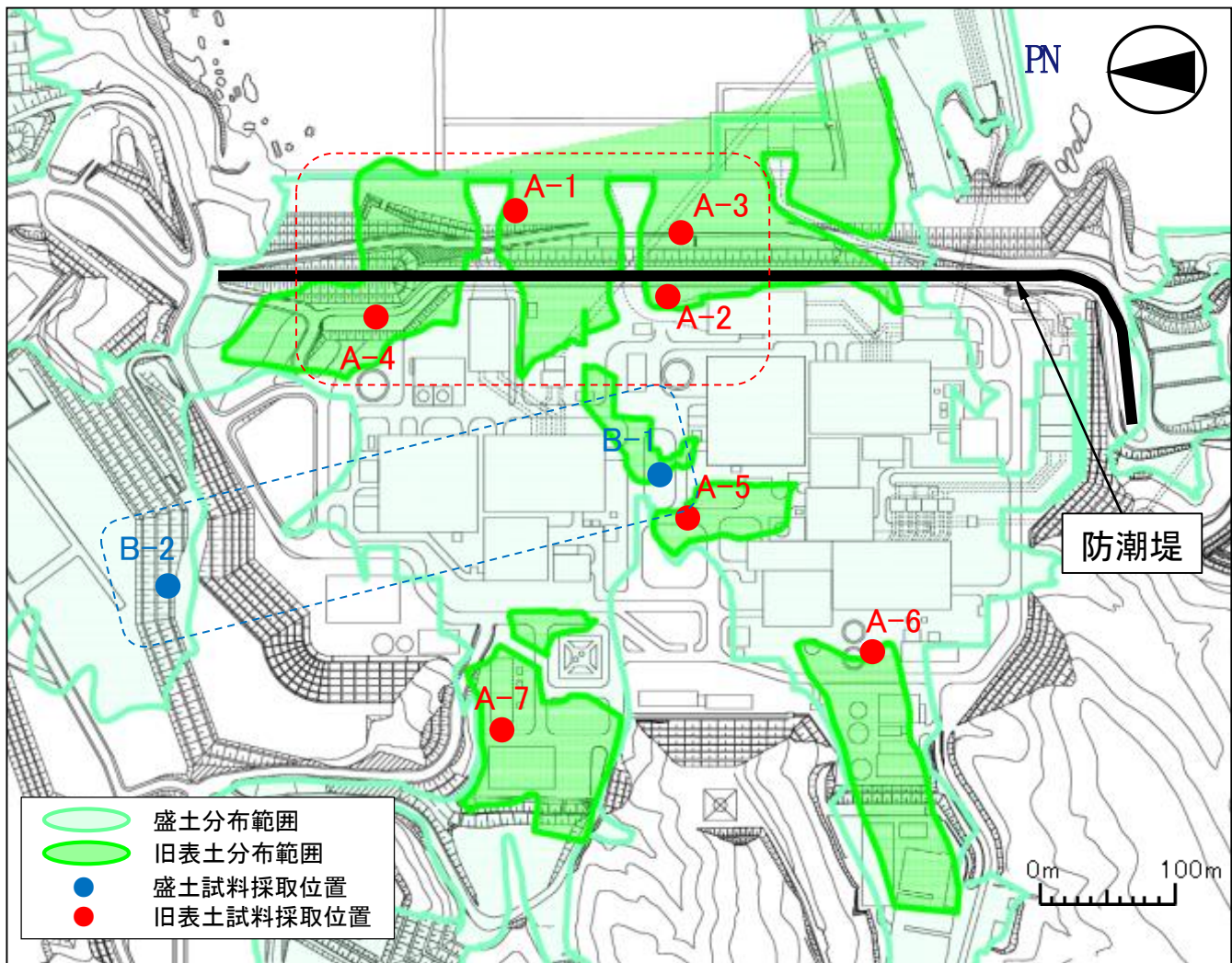
強度特性の比較 (三軸圧縮試験結果)

補足説明資料

6. 液状化強度試験の試料採取位置選定とその代表性について

6.1 防潮堤の液状化影響評価に用いる試料の採取位置と代表性

- 防潮堤の液状化影響評価にあたっては、盛土は敷地全体(B-1, B-2)の液状化強度試験結果から保守的に設定した液状化強度特性を用い、旧表土は防潮堤の近傍で採取した液状化強度試験結果(A-1～A-4)があることから、これらの結果から保守的に設定した液状化強度特性を用いる方針である。
- このため、防潮堤の液状化影響評価に用いる液状化強度試験箇所の代表性について検討した。

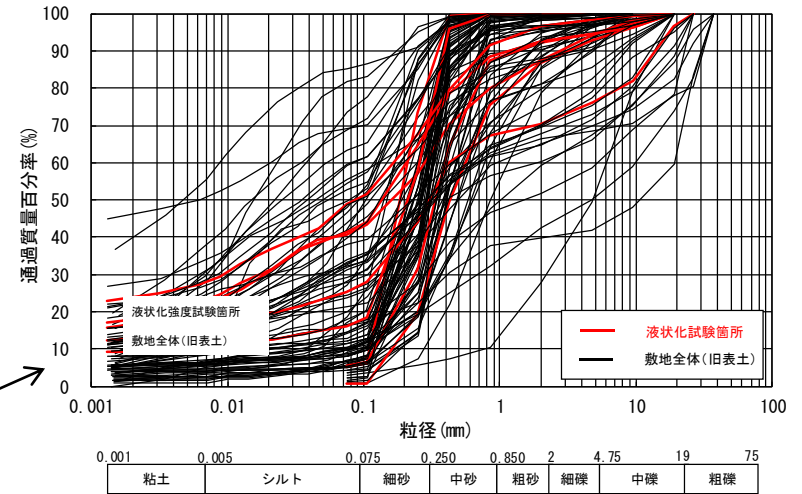


液状化強度試験の試料採取位置図

6.2 防潮堤の液状化影響評価に用いる試料の採取位置と代表性 【旧表土(1/2)】

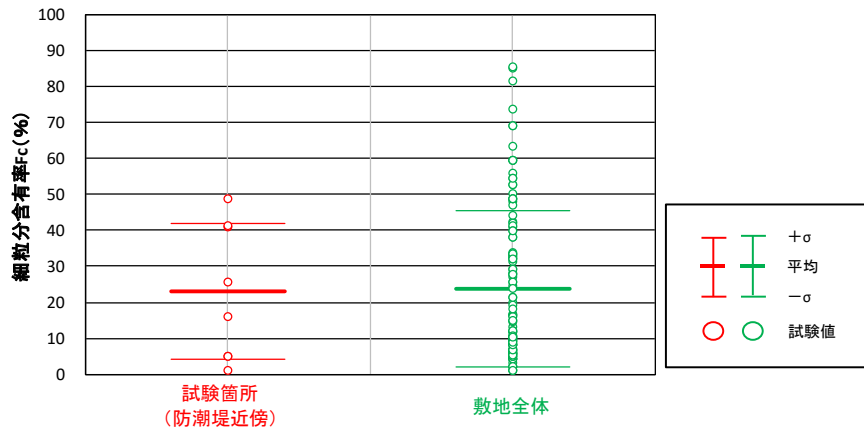
- 旧表土の基本物性について、防潮堤近傍(A-1～A-4)と敷地全体で比較した。
- 粒度分布について、防潮堤近傍の液状化強度試験箇所は概ね敷地全体の粒度分布の平均的な範囲にある。
- 細粒分含有率について、防潮堤近傍の液状化強度試験箇所は敷地全体の $\pm 1\sigma$ の範囲で概ね敷地全体の平均的な範囲にある。
- N値について、防潮堤近傍の液状化強度試験箇所は敷地全体よりもやや小さい値である。
- 以上から、防潮堤近傍の液状化強度試験箇所は敷地全体と比較し、同程度あるいはやや液状化しやすい箇所から採取されてることから、防潮堤近傍の液状化強度試験箇所は敷地全体に対して保守的な位置で実施され、代表性があるといえる。

注) 沈降分析を実施していない試料に関しては、75 μ m以上の粒度分布のみ表示。

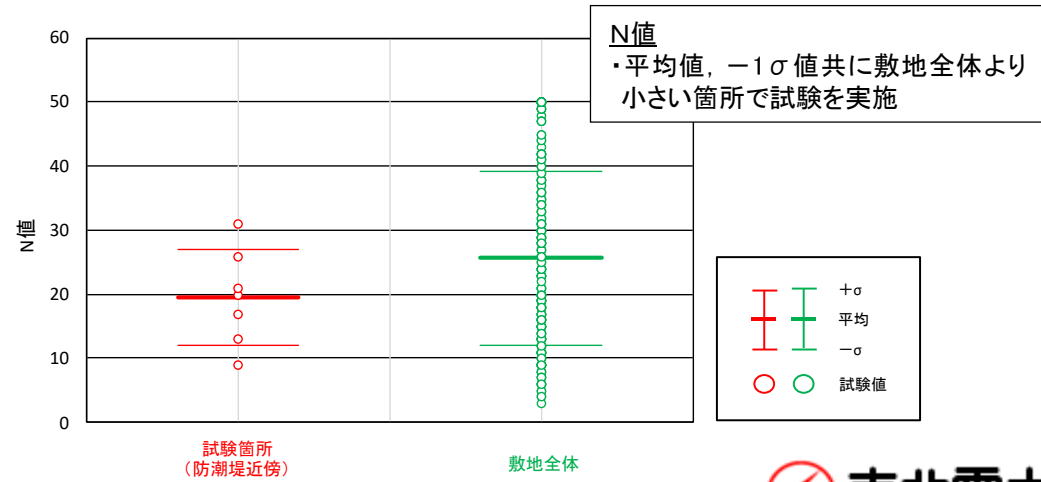


粒度分布
 ・概ね敷地全体の平均的な粒度分布を持つ試料で試験を実施

細粒分含有率
 ・概ね敷地全体における $\pm 1\sigma$ の範囲内の試料で試験を実施



細粒分含有率

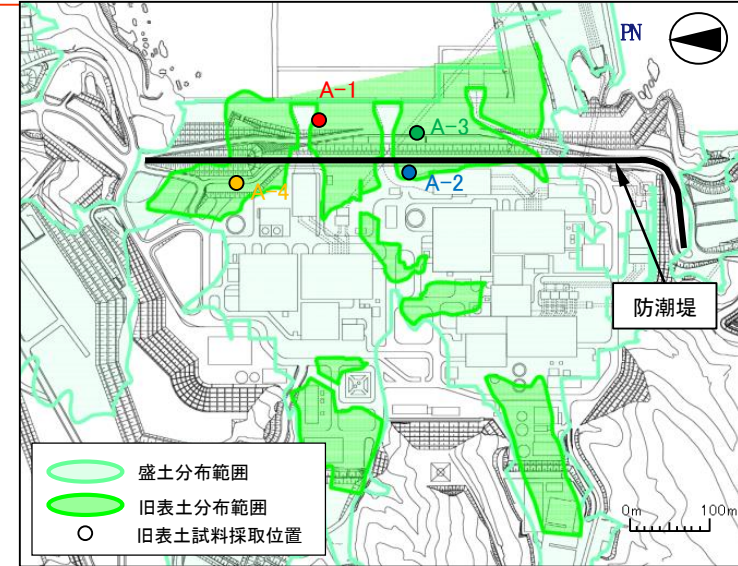


N値

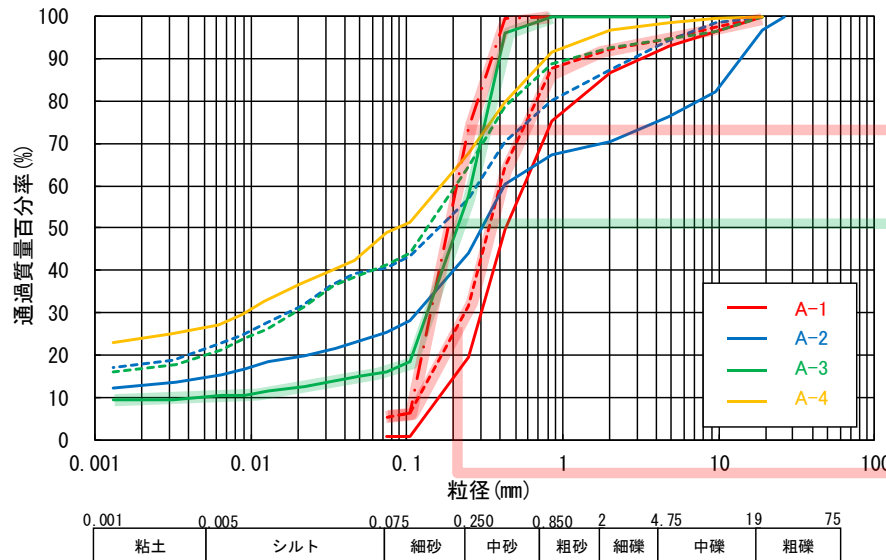
6.2 防潮堤の液状化影響評価に用いる試料の採取位置と代表性【旧表土(2/2)】

- 防潮堤近傍の旧表土の液状化強度試験結果について、その中で液状化のしやすさについて整理した。
- 粒度分布から、試料A-1(2, 3)とA-3が液状化しやすい傾向があるといえる(下図)。これらの試料に着目すると、液状化強度試験結果(右下図)においても、液状化強度比が小さく、液状化しやすい傾向があることを確認した。
- 防潮堤の液状化強度特性については、これらの液状化しやすいと判断される試料も考慮して保守的(下限値)になるよう設定しており、この設定は妥当であるといえる。

試料番号	層相	粒度分布
A-1	1	礫混じり砂
	2	砂
	3	砂 有機質シルト
A-2	礫混じり砂	
A-3	礫混じりシルト質砂	
A-4	砂礫	

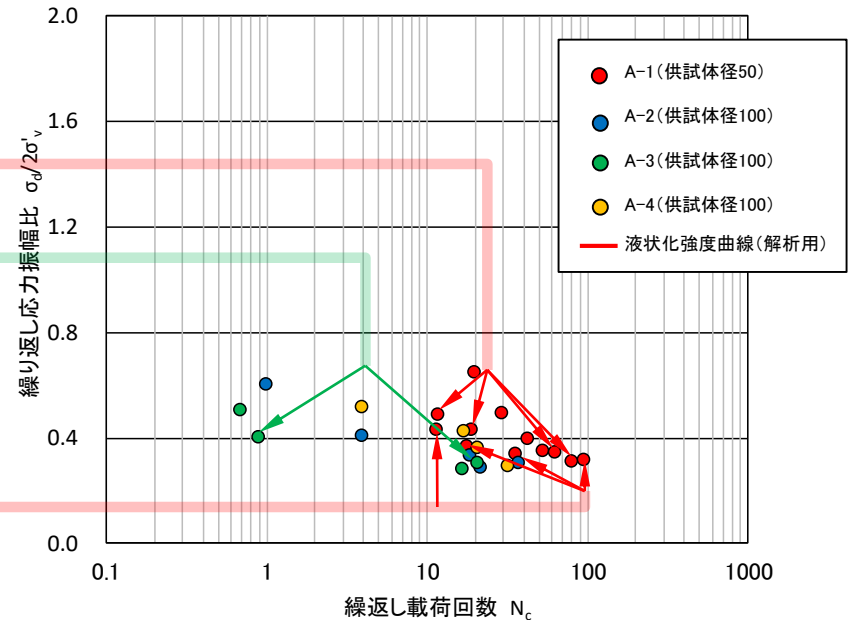


液状化強度試験の試料採取位置図



粒度分布(防潮堤近傍における試験位置)

粒度分布
あるから
液状化
しやすい
傾向が



(旧表土)

6.3 防潮堤の液状化影響評価に用いる試料の採取位置と代表性 【盛土(1/7)】

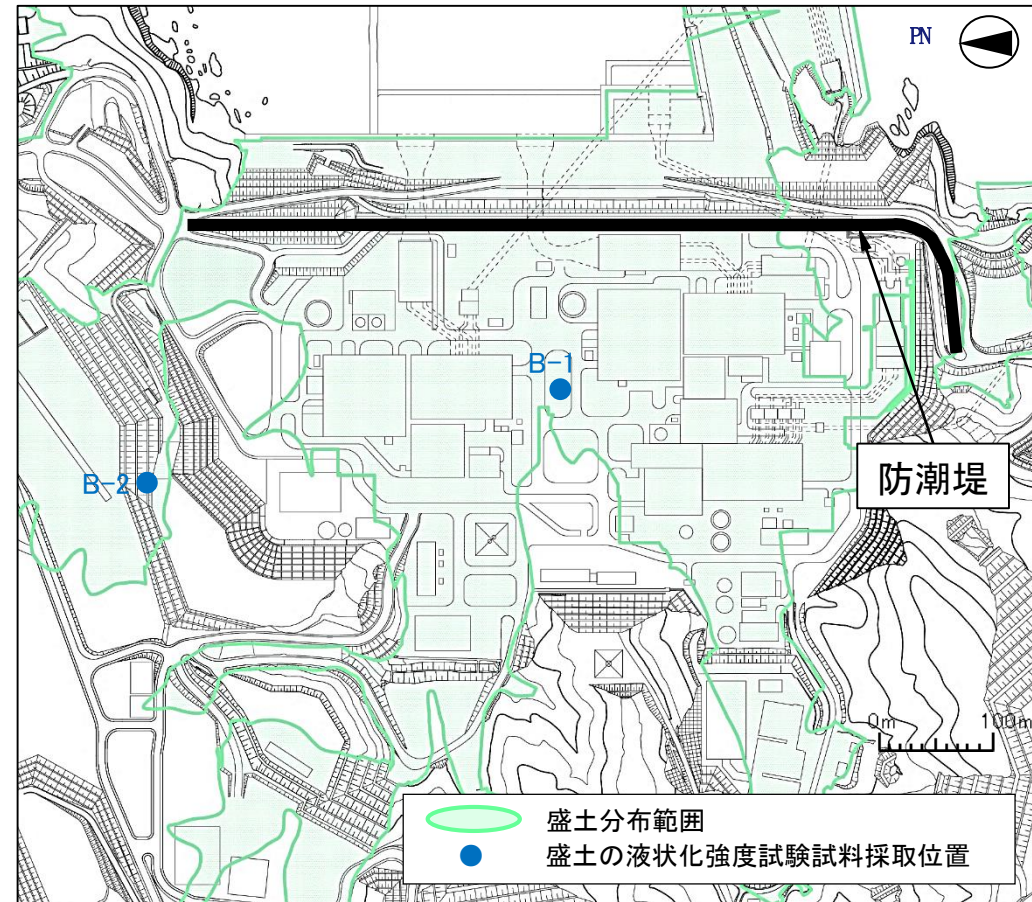
- 防潮堤の液状化影響評価に用いる盛土の液状化強度特性は、防潮堤近傍の試料がないことから、敷地全体(B-1, B-2)の液状化強度試験結果から保守的に設定する方針であるため、敷地全体の液状化強度試験箇所(B-1, B-2)と防潮堤近傍の物性値を比較することで、その妥当性を確認する。
- 比較する物性値は、粒度分布、相対密度、S波速度及び盛土の施工における品質管理項目である締固め度とした。なお、比較する物性値は以下の理由により選定したものである。

- ・粒度分布は基本的な土の物性値であり液状化しやすさの判定指標とされ、道路橋示方書における液状化判定において平均粒径、10%粒径が用いられているなど、液状化強度との相関が高い。

- ・相対密度は、ダイレイタンスー特性と密接に関係するため、液状化強度との相関が高い。

- ・S波速度は、各基準類においてN値と関連付けられるなど、地盤の剛性や強度と相関する物性であり、局所的ではなく深さ方向に平均的な地盤の強度を確認できる指標である。

- ・盛土の施工管理項目である締固め度は、施工期間中に全域で確認し管理を実施していることから盛土範囲を網羅しており、締固め程度についてエリア毎の比較が可能である。



試料採取位置(盛土)

6.3 防潮堤の液状化影響評価に用いる試料の採取位置と代表性【盛土(2/7)】

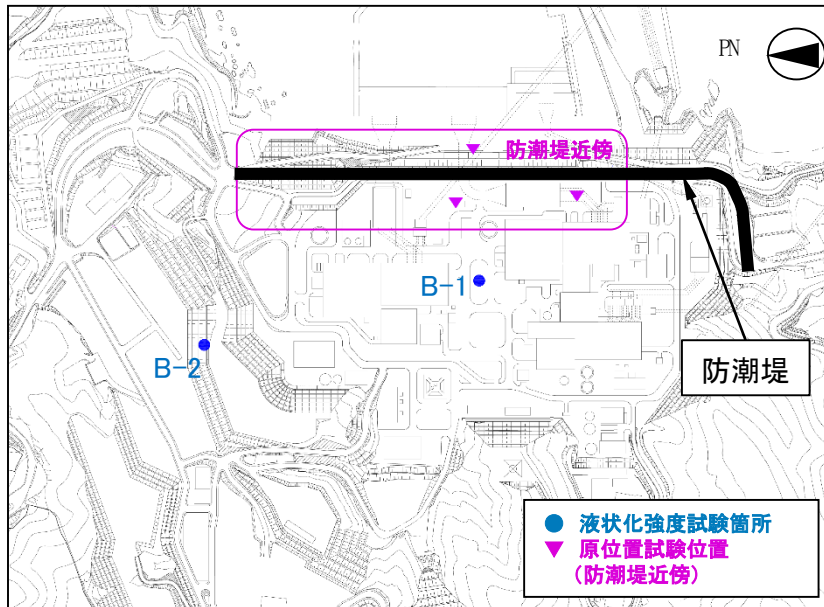
- 防潮堤近傍と液状化試験箇所における粒度分布について、道路橋示方書の判定基準である②及び③で比較する。
【道路橋示方書の判定基準】

- ①地下水位が現地盤面から10m以内にあり、かつ地表面から20m以内の深さに存在する飽和土層
- ②細粒分含有率 F_c が35%以下の土層または F_c が35%を超えても塑性指数IPが15以下の土層
- ③平均粒径 D_{50} が10mm以下で、かつ10%粒径 D_{10} が1mm以下である土層

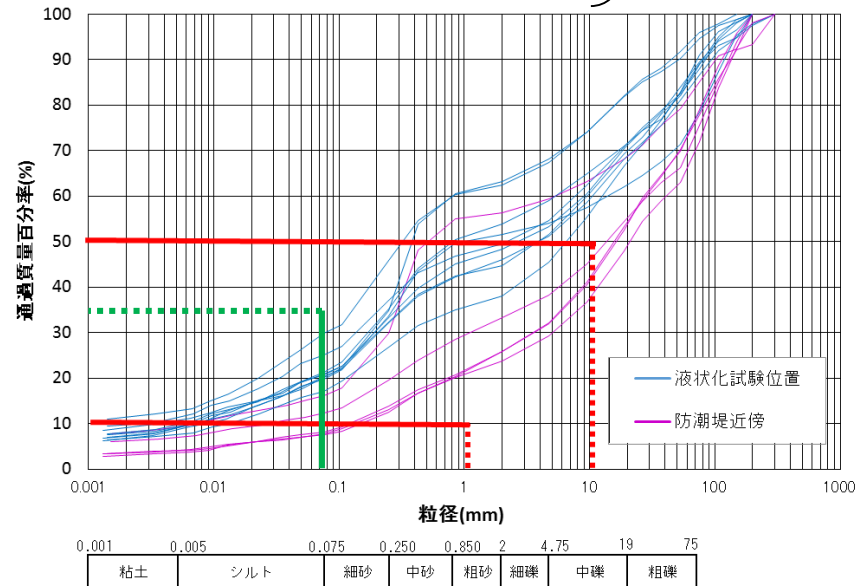
- 判定基準②に関して、
防潮堤近傍及び液状化強度試験箇所のいずれも $F_c < 35\%$ となっており、液状化の判定が必要な土質となる。防潮堤近傍は液状化強度試験箇所よりも細粒分含有率が少ないことから、防潮堤近傍の盛土は液状化強度試験箇所よりも液状化しやすい。

- 判定基準③に関して、
 - ・防潮堤近傍では、概ね $D_{50} > 10\text{mm}$
 - ・液状化強度試験箇所では $D_{50} \leq 10\text{mm}$ かつ $D_{10} \leq 1\text{mm}$
 となっており、防潮堤近傍は液状化の判定が不要な土質であり、逆に液状化強度試験箇所は液状化の判定が必要な土質であることから、防潮堤近傍の盛土は液状化強度試験箇所よりも液状化しにくい。

なお、判定基準②と③では相反する結果であるが、後述(p.165)のとおり、供試体レベルでの細粒分含有率の比較では、液状化強度試験箇所と防潮堤近傍でほぼ同程度となる結果が得られている。



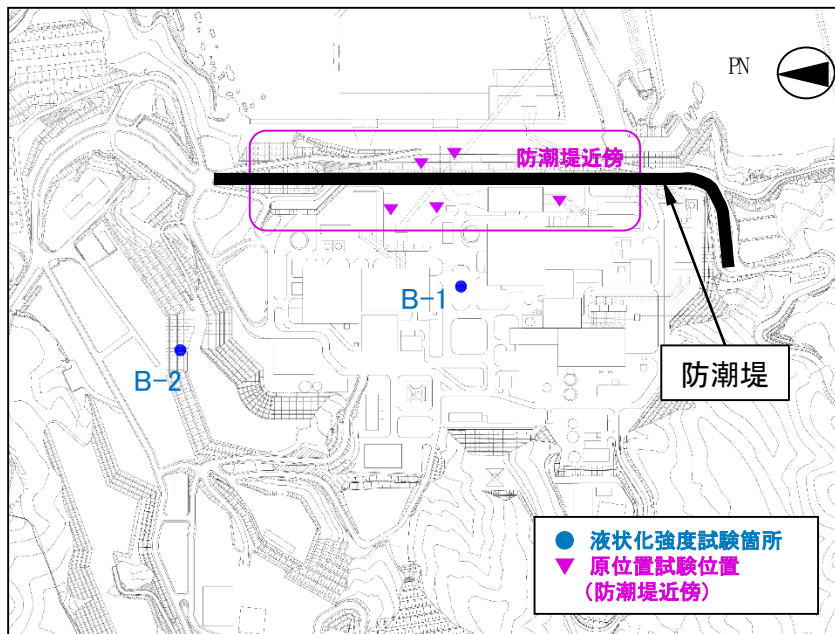
試験試料採取位置



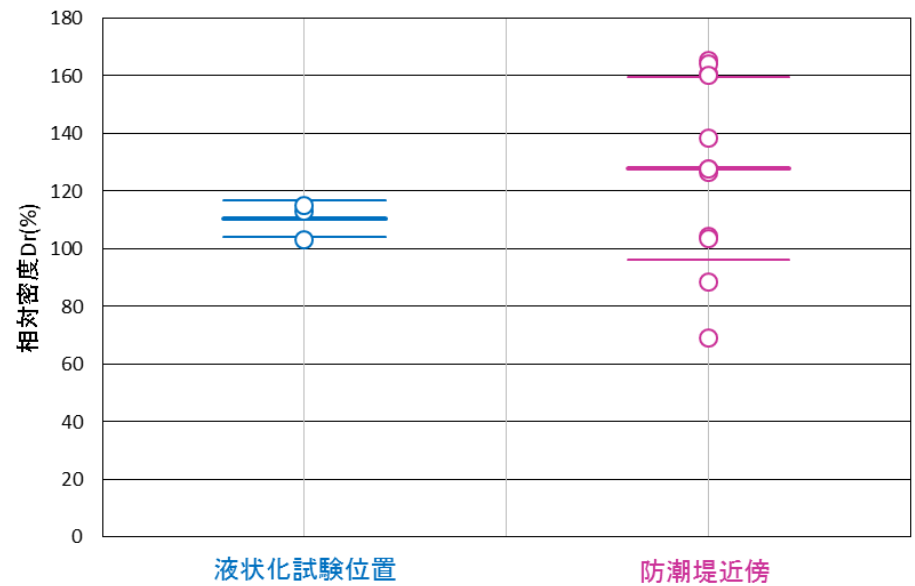
粒度分布

6.3 防潮堤の液状化影響評価に用いる試料の採取位置と代表性 【盛土(3/7)】

- 防潮堤近傍と液状化強度試験箇所における相対密度を比較する。
- 液状化強度試験箇所の相対密度の平均値から、防潮堤近傍と同程度かやや小さい箇所で試験を実施している。



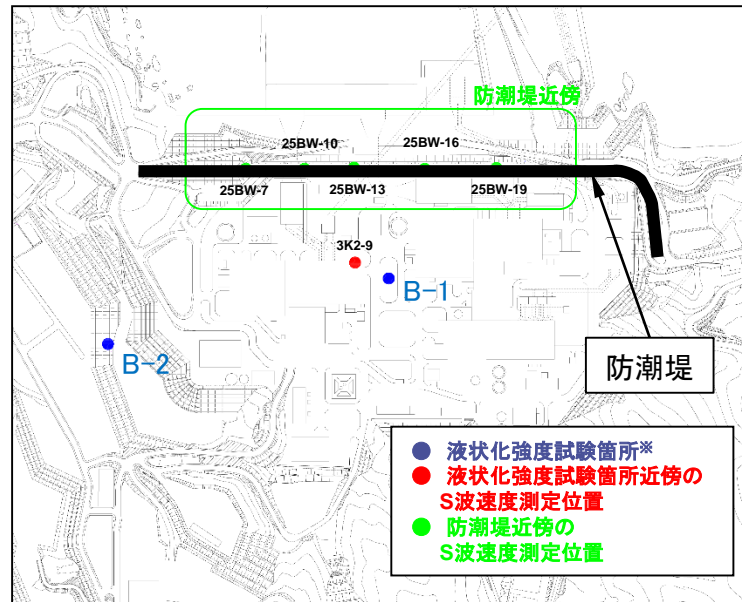
試験試料採取位置



相対密度

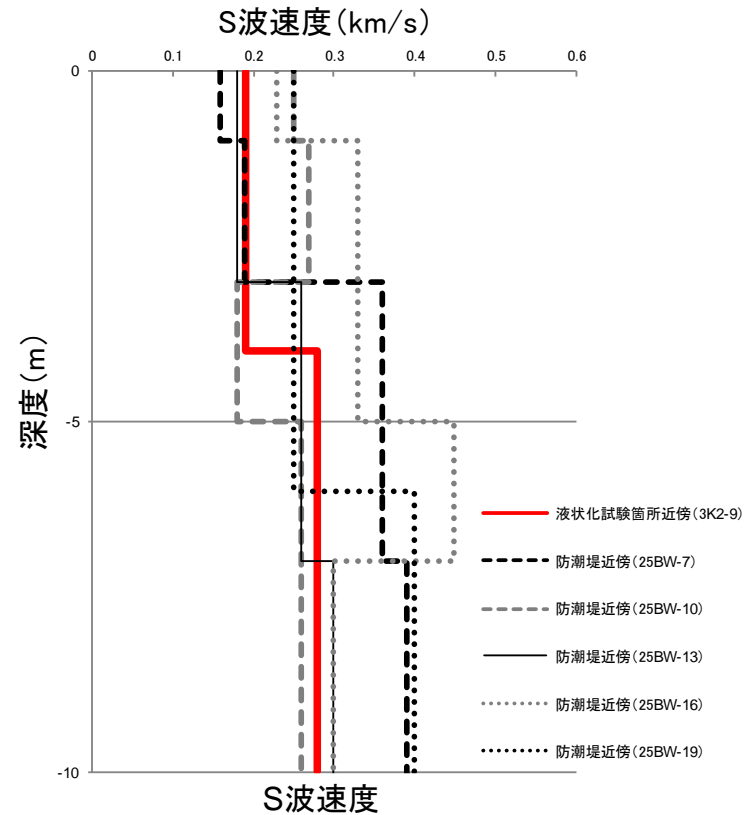
6.3 防潮堤の液状化影響評価に用いる試料の採取位置と代表性 【盛土(4/7)】

- 防潮堤近傍と液状化強度試験箇所の近傍におけるS波速度を比較する。
- 防潮堤近傍の5箇所におけるS波速度と液状化強度試験箇所近傍におけるS波速度とを比較すると、ほぼ同程度となっている。



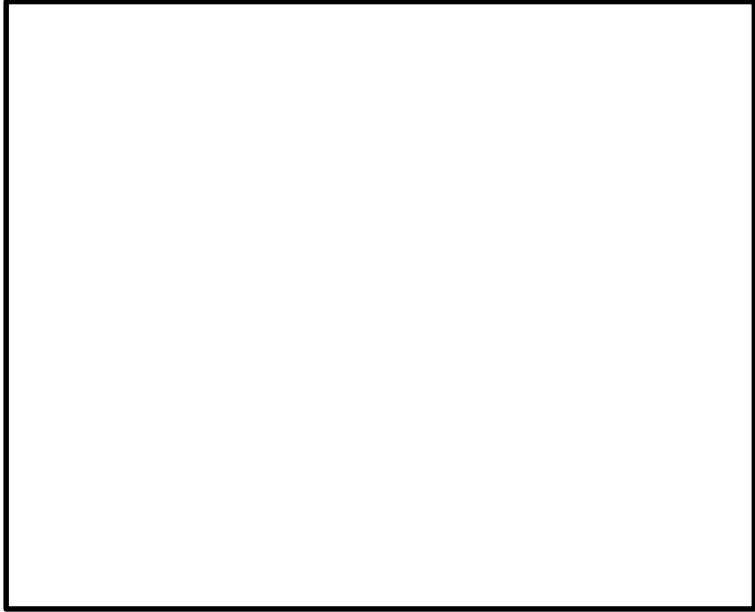
S波速度測定位置

※液状化強度試験箇所ではS波速度を測定していない。

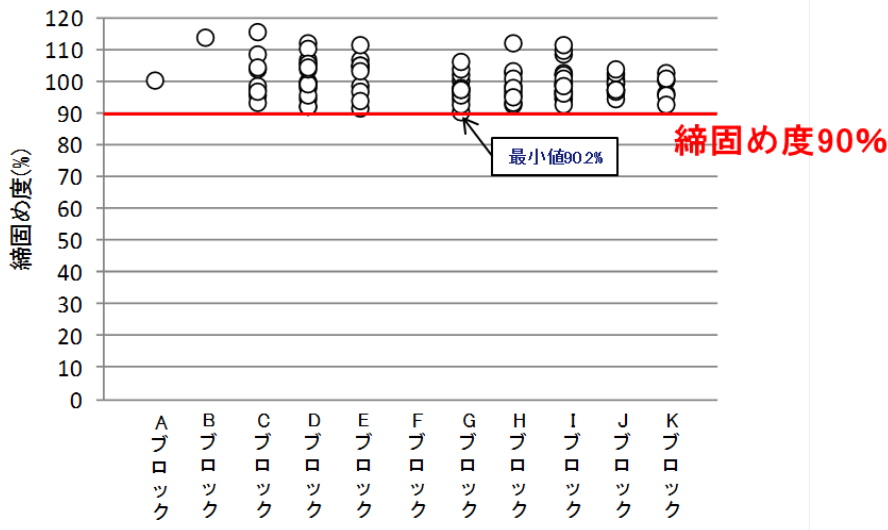


6.3 防潮堤の液状化影響評価に用いる試料の採取位置と代表性 【盛土(5/7)】

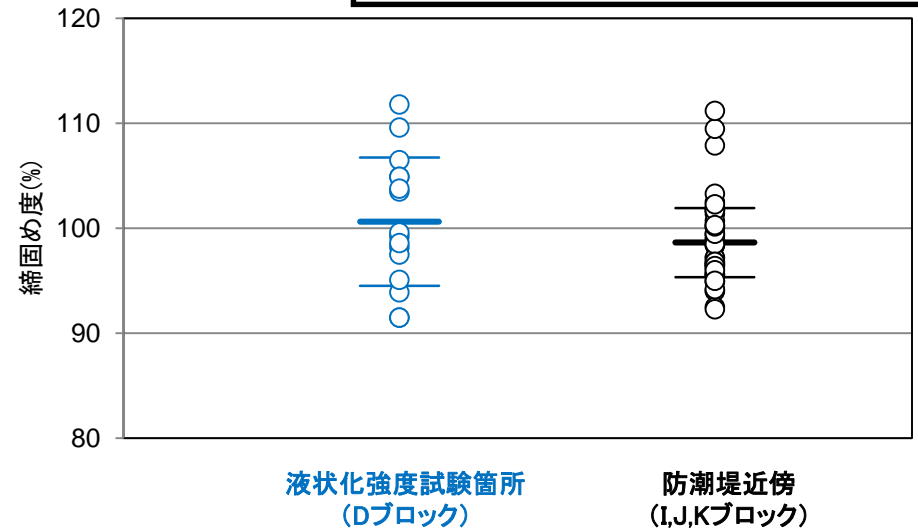
- 防潮堤近傍と液状化強度試験箇所における締固め度を比較する。
- 盛土施工の品質管理に用いた指標のうち、締固め度（＝乾燥密度÷最大乾燥密度（ γ_{dmax} ））の実績を各ブロック及び防潮堤近傍ブロックと液状化強度試験箇所付近のブロックを抜き出して下図に示す。
- 2号炉建設においては、盛土を複数の施工ブロックに分けて施工しているが、いずれの施工ブロックにおいても試験結果は全て管理基準（90%以上）を満たしており、十分締固められている。
- 液状化強度試験箇所と防潮堤近傍を比較すると、ほぼ同程度の締固め度である。



枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



締固め度(各ブロック)



締固め度(液状化強度試験箇所・防潮堤近傍の比較)

6.3 防潮堤の液状化影響評価に用いる試料の採取位置と代表性【盛土(6/7)】

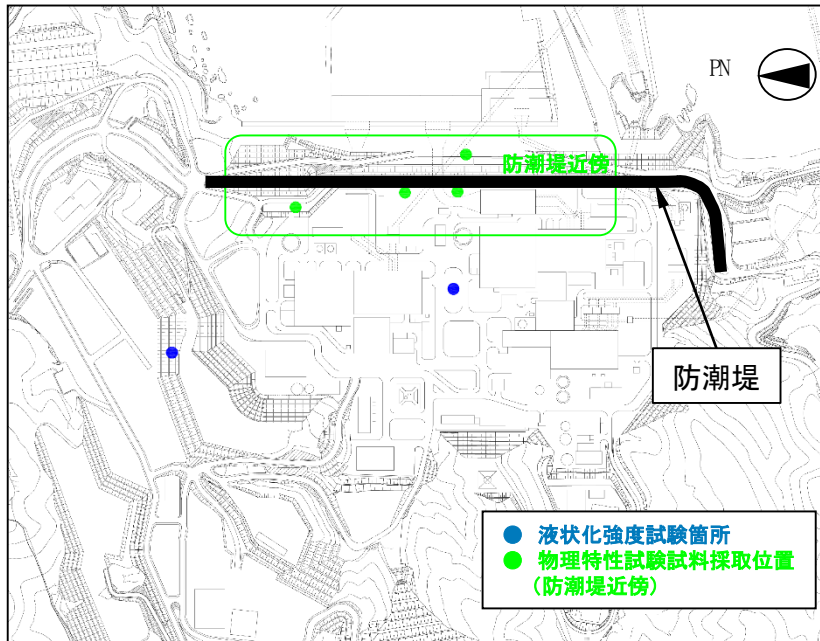
- 粒度分布, 相対密度, S波速度及び盛土施工の品質管理項目である締固め度について, 防潮堤近傍と液状化強度試験箇所における比較により, 以下を確認した。
 - ・粒度分布の比較では, 道路橋示方書の判定基準(細粒分含有率, 平均粒径・10%粒径)によると, 細粒分含有率について防潮堤近傍の方が液状化しやすい結果となり, 平均粒径・10%粒径について液状化試験箇所の方が液状化しやすい結果となった。防潮堤近傍と液状化強度試験箇所の液状化しやすいの大小が異なるが, 細粒分含有率を液状化強度試験に用いる供試体レベルで比較した場合, 防潮堤近傍と液状化強度試験箇所はほぼ同程度である。
 - ・相対密度の比較では, 防潮堤近傍と液状化強度試験箇所はほぼ同程度である。
 - ・S波速度の比較では, 防潮堤近傍と液状化強度試験箇所はほぼ同程度である。
 - ・締固め度の比較では, 防潮堤近傍と試験箇所どちらも管理基準以上の締固め度であり, かつ, 防潮堤近傍の締固め度は, 液状化強度試験箇所とほぼ同程度である。

以上より, 防潮堤近傍の盛土は, 液状化強度試験箇所の盛土と比べ, 液状化に対する抵抗性がほぼ同程度であり, 液状化強度試験箇所において採取した試料から得られた液状化強度特性を防潮堤において適用することは妥当である。

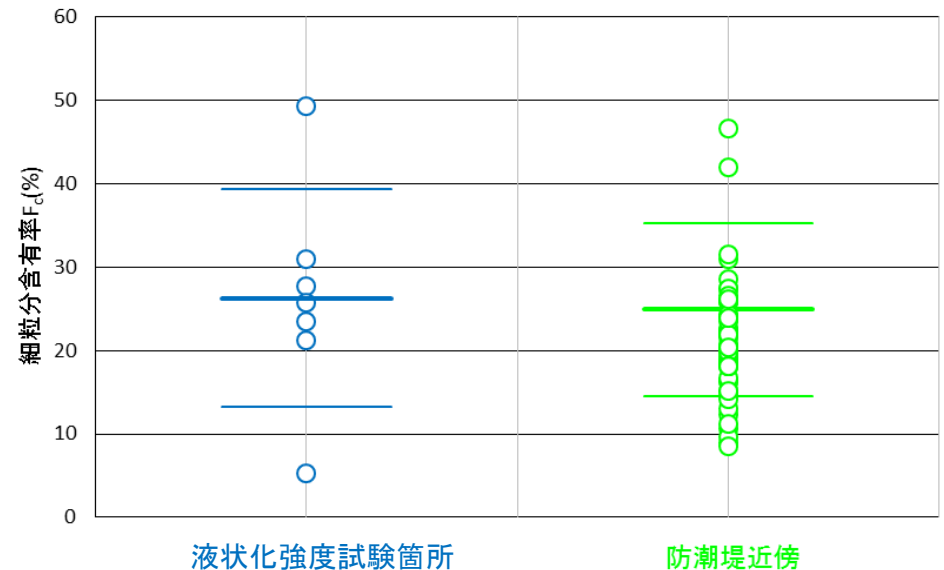
6.3 防潮堤の液状化影響評価に用いる試料の採取位置と代表性【盛土(7/7)】

【盛土の粒度分布の比較に関する補足】

- 現場粒度試験による比較では、液状化試験箇所の細粒分含有率は防潮堤近傍より大きく、液状化しにくい結果となったが、実際の試験に用いる供試体レベルで細粒分含有率の比較を行った。
- 敷地の盛土は最大粒径300mmの岩砕を含むことを踏まえると、平均粒径や10%粒径の比較には75mm以上の土粒子も対象とすることが有効であるものの、岩砕を含む程度により細粒分含有率は大きく変化することから、細粒分含有率の比較には、液状化強度試験に用いる供試体レベルでの比較を目的として、JIS「土の粒度試験方法」に準拠した75mm以下の土粒子を対象とする。
- 液状化強度試験に用いた試料のごく近傍で同じ深度における細粒分含有率と、防潮堤近傍の細粒分含有率を比較すると、ほぼ同程度である。



試験試料採取位置



細粒分含有率(ボーリングコア)

6.4 防潮堤の液状化影響評価に用いる試料の採取位置と代表性 【まとめ】

【旧表土】

- 防潮堤近傍における旧表土の試料採取箇所(A-1～A-4)は、敷地全体と比較して以下の特徴を有していることから、A-1～A-4において採取した試料から得られる液状化強度特性を防潮堤の設計に適用することは妥当である。

【粒度分布】 概ね敷地全体の平均的な粒度分布を持つ試料で試験を実施

【細粒分含有率】 概ね敷地全体における $\pm 1\sigma$ の範囲内の試料で試験を実施

【N値】 平均値、 -1σ 値共に敷地全体より小さい箇所で試験を実施

- また、防潮堤近傍における旧表土の試料採取箇所(A-1～A-4)の中で、液状化のしやすさに関して検討を行い、粒度分布等から液状化しやすい試料とにくい試料に区分できることを確認したが、液状化強度特性の設定にあたっては、A-1～A-4の全ての試験結果を用いて保守的に設定することとする。

【盛土】

- 盛土の試料採取箇所(B-1及びB-2)は、防潮堤近傍と比較して以下の特徴を有していることから、B-1及びB-2において採取した試料から得られる液状化強度特性を防潮堤の設計に適用することは妥当である。

【粒度分布】 防潮堤近傍と液状化強度試験箇所はほぼ同程度である。

【相対密度】 防潮堤近傍と液状化強度試験箇所はほぼ同程度である。

【S波速度】 防潮堤近傍と液状化強度試験箇所はほぼ同程度である。

【締固め度】 防潮堤近傍と試験箇所どちらも管理基準以上の締固め度であり、かつ、防潮堤近傍の締固め度は、液状化強度試験箇所とほぼ同程度である。

補足説明資料

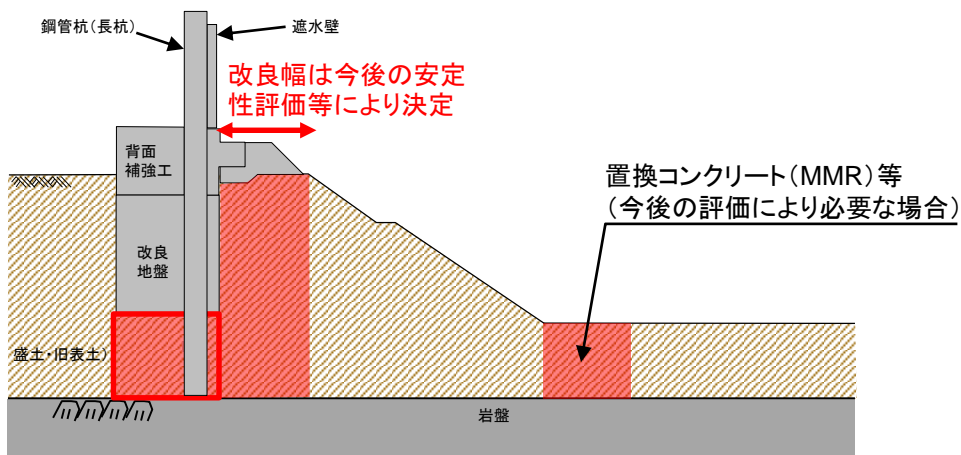
7. 追加の地盤改良について

7.1 地盤改良範囲の設定の考え方

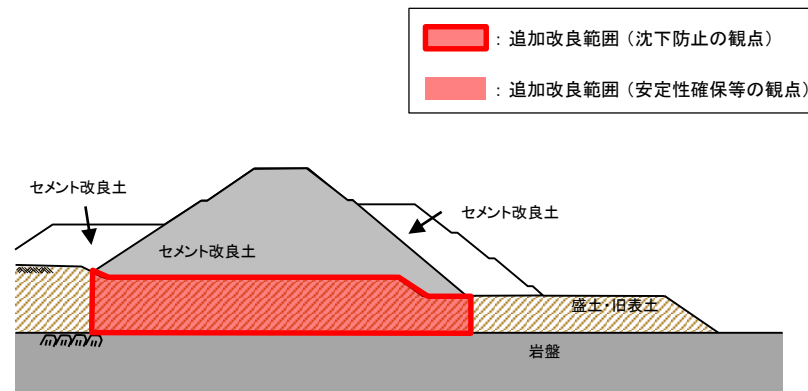
- ・ 防潮堤の地盤改良範囲は、各条文に適合できるよう、今後の設計において決定していくこととしている。
- ・ また、施設の止水性に加え、改良地盤も含めた周辺地盤の止水性から、設置許可基準規則第5条に適合する構造であることを確認することとしている。

追加対策と設置許可基準規則への対応性

設置許可基準規則	追加対策(地盤改良)に伴う条文への適合方針	備考
第3条 (地盤の支持性能, 変形(液状化等)の考慮)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施設直下の地盤が支持性能を有すること及び所要のすべり安全率を有することを確認する。(1項) ・ 盛土・旧表土の地盤改良により、地震発生に伴う沈下・変形を防止する。(2項) 	改良範囲は条文に適合する範囲を解析的に決定する。
第4条 (地震による損傷の防止)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 沈下対策を踏まえ、想定される損傷モードに対して施設の安全性が確保されることを確認する。 ・ また、「再使用性」を重視して杭の応答をおおむね弾性範囲に留める。 	NFシートの追従性等、沈下に伴い検討が必要となっていた損傷モードが簡略化あるいは省略される。また、長杭の応答が軽減され、許容応力度以下とする。
第5条 (津波による損傷の防止)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 沈下対策を踏まえ、想定される損傷モードに対して施設の止水性が確保されることを確認する。 	沈下に伴い発生するおそれのあった改良地盤上下の隙間等がなくなり、浸水経路の形成可能性のある部位が減少あるいは考慮不要となる。



鋼管式鉛直壁(一般部, 長杭) 変更後

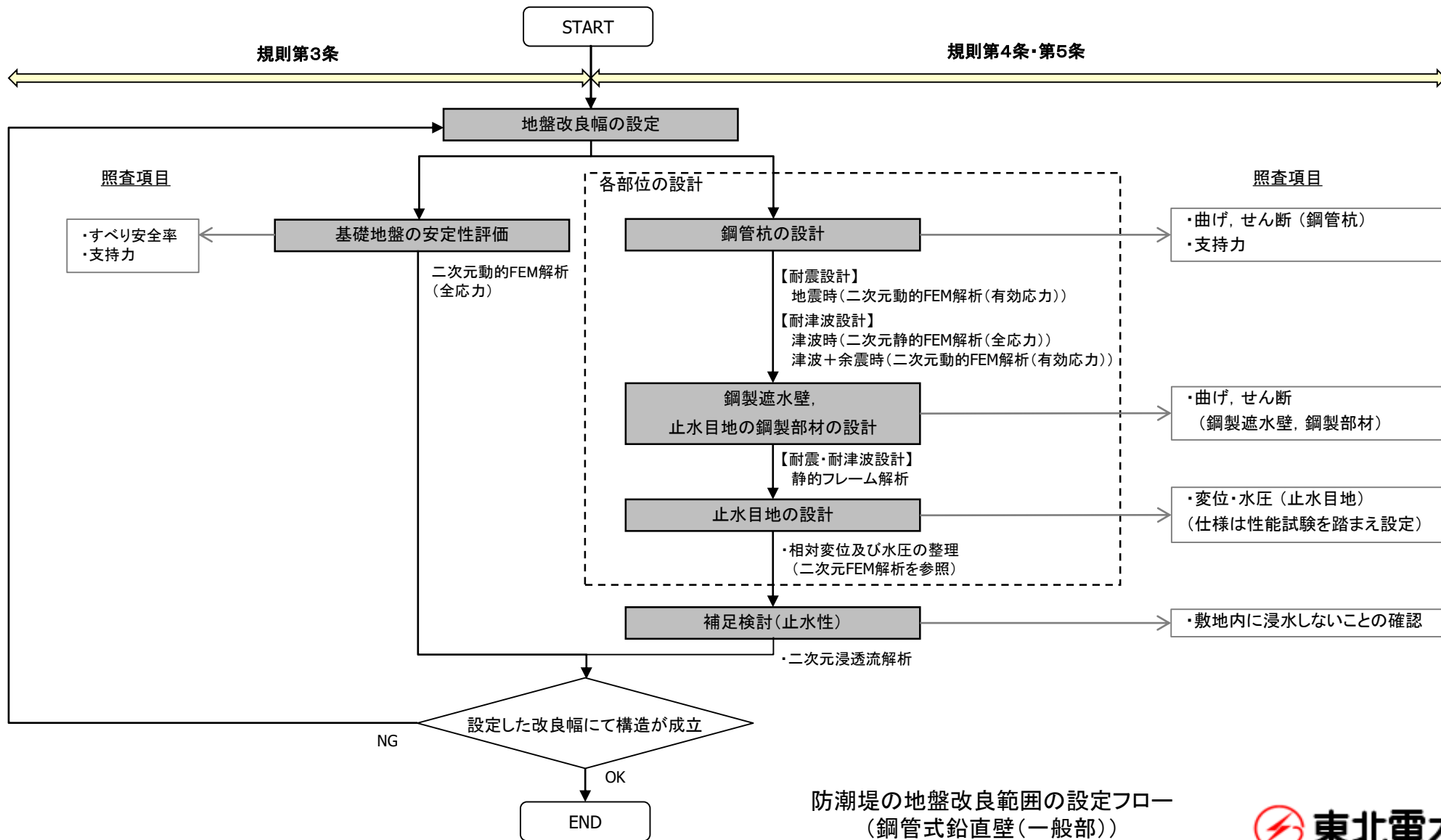


盛土堤防 変更後

防潮堤の対策範囲(2月13日審査会合における説明)

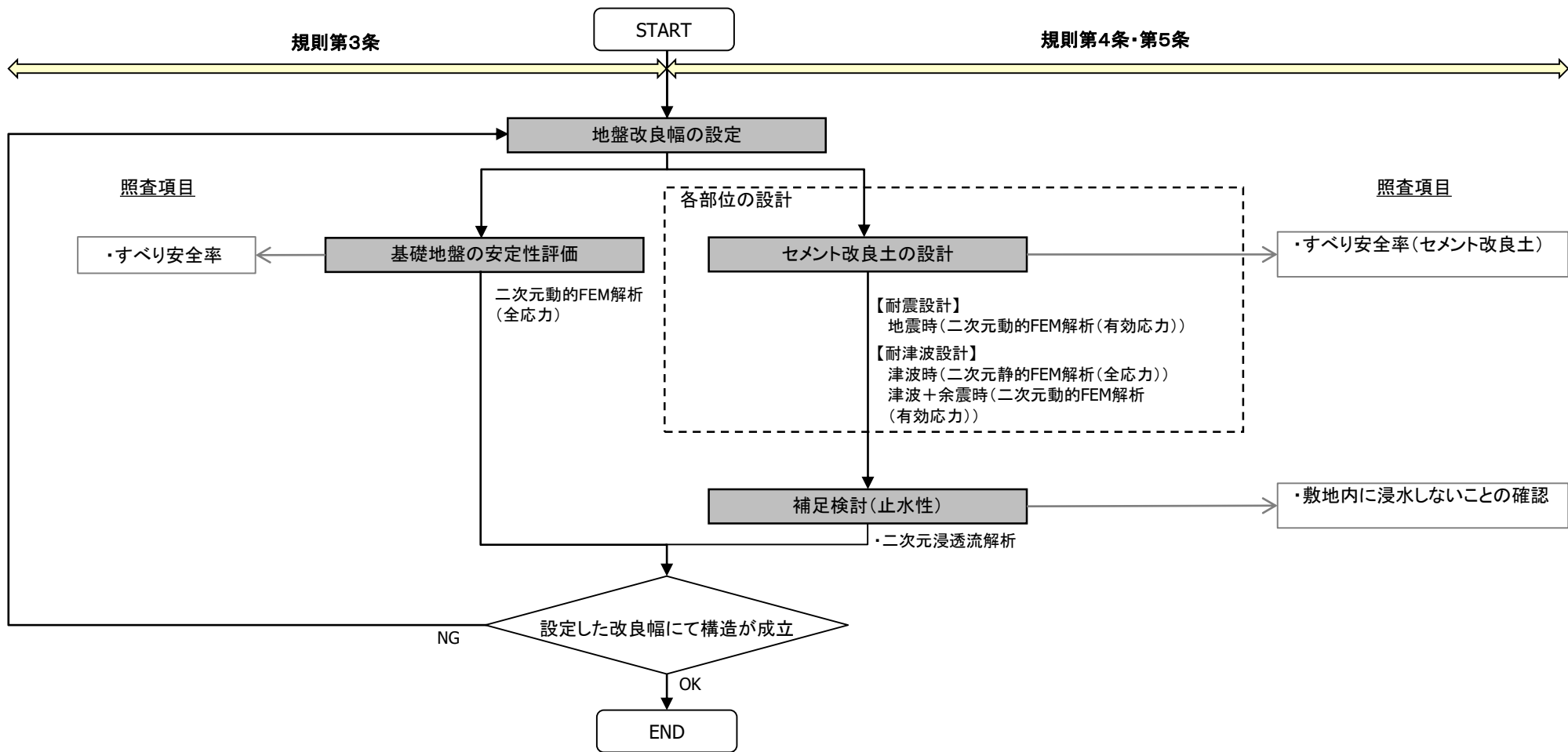
7.2 地盤改良範囲の設定フロー【鋼管式鉛直壁(一般部)】

- 鋼管式鉛直壁(一般部)の地盤改良範囲は、規則第3条～第5条を満足するよう、以下のフローで設定する。
- なお、各部位の設計については「10. 部位毎の設計方針」に示す。



7.2 地盤改良範囲の設定フロー【盛土堤防】

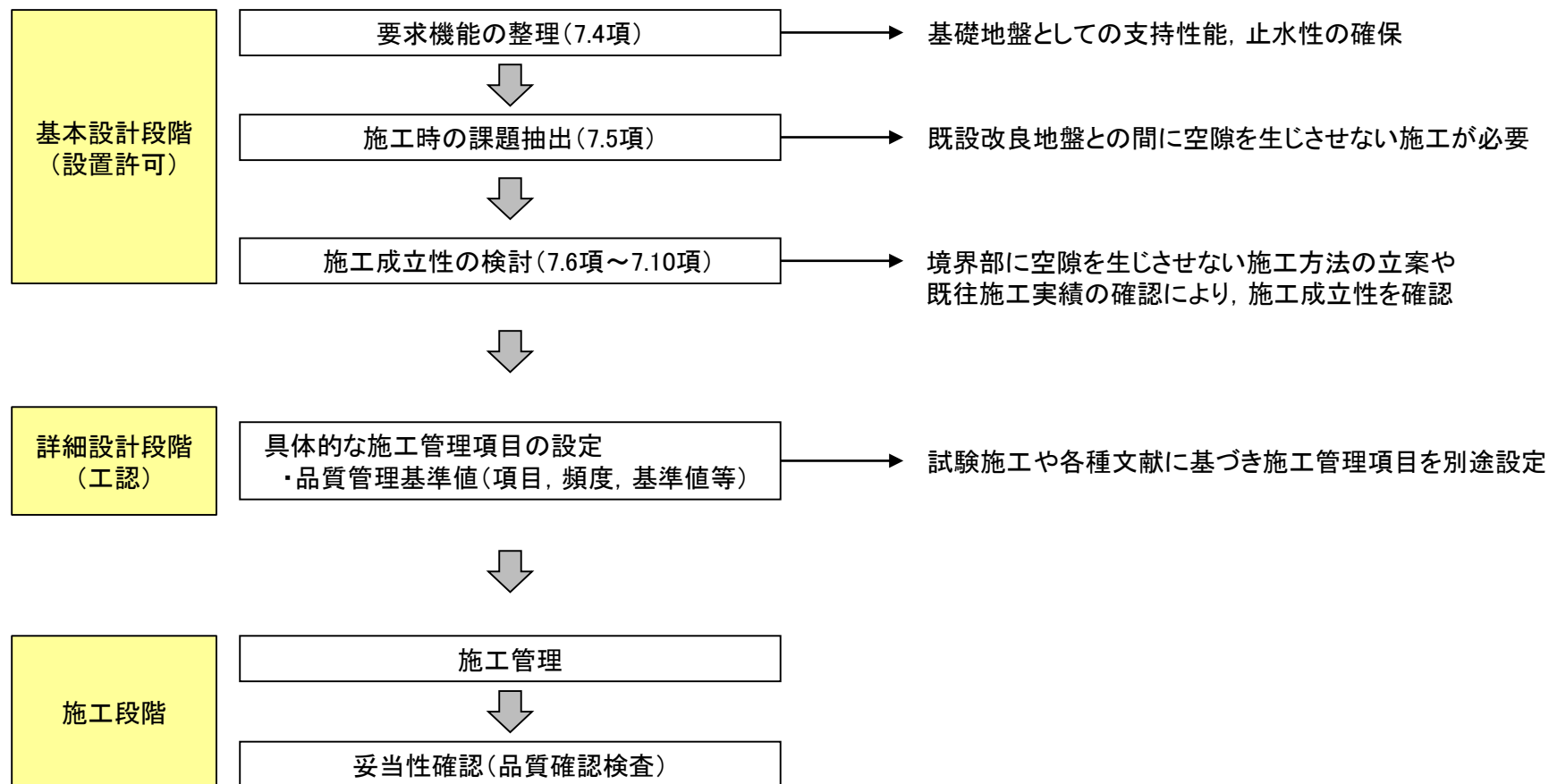
- 盛土堤防の地盤改良範囲は、規則第3条～第5条を満足するよう、以下のフローで設定する。
- なお、各部位の設計については「10. 部位毎の設計方針」に示す。



防潮堤の地盤改良範囲の設定フロー
(盛土堤防)

7.3 追加の地盤改良の施工に関する検討フロー

- 追加の地盤改良の施工に関する検討フローを以下に示す。



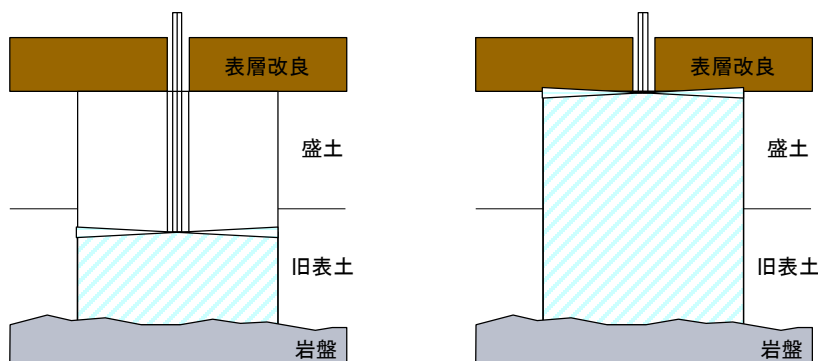
7.4 改良地盤に要求される機能(支持性能, 安定性, 止水性)

- 改良地盤に要求される機能, 品質及び確認方法(例)を以下に示す。

改良地盤に要求される機能

役割		要求機能	要求される品質※
改良地盤 (鋼管式鉛直壁)	<ul style="list-style-type: none"> 基礎地盤として短杭を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> 支持性能 	<ul style="list-style-type: none"> 十分な支持力を有すること
	<ul style="list-style-type: none"> 周辺地盤として, 地震時・津波時に, 杭の水平反力を周囲に伝達する。 	<ul style="list-style-type: none"> 杭の変形抑制 	<ul style="list-style-type: none"> 十分な安定性を有すること
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時に通水経路となる空洞を生じない。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水性 	<ul style="list-style-type: none"> 止水性に影響を及ぼす有意な空隙が無いこと
改良地盤 (盛土堤防)	<ul style="list-style-type: none"> 盛土堤防を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> 支持性能 	<ul style="list-style-type: none"> 十分な支持力を有すること
	<ul style="list-style-type: none"> 津波時に通水経路となる空洞を生じない。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水性 	<ul style="list-style-type: none"> 止水性に影響を及ぼす有意な空隙が無いこと

※施工管理項目, 品質管理項目は別途設定する。設定においては, 以下のような試験施工を実施する。



予め表層改良を行い, 表層改良部まで改良を実施する。

試験施工例

試験施工における確認項目(例)

確認項目(例)
<ul style="list-style-type: none"> 改良範囲 施工仕様(配合, 引上げ速度等)の妥当性 物性(強度, 剛性等) 境界部の性状

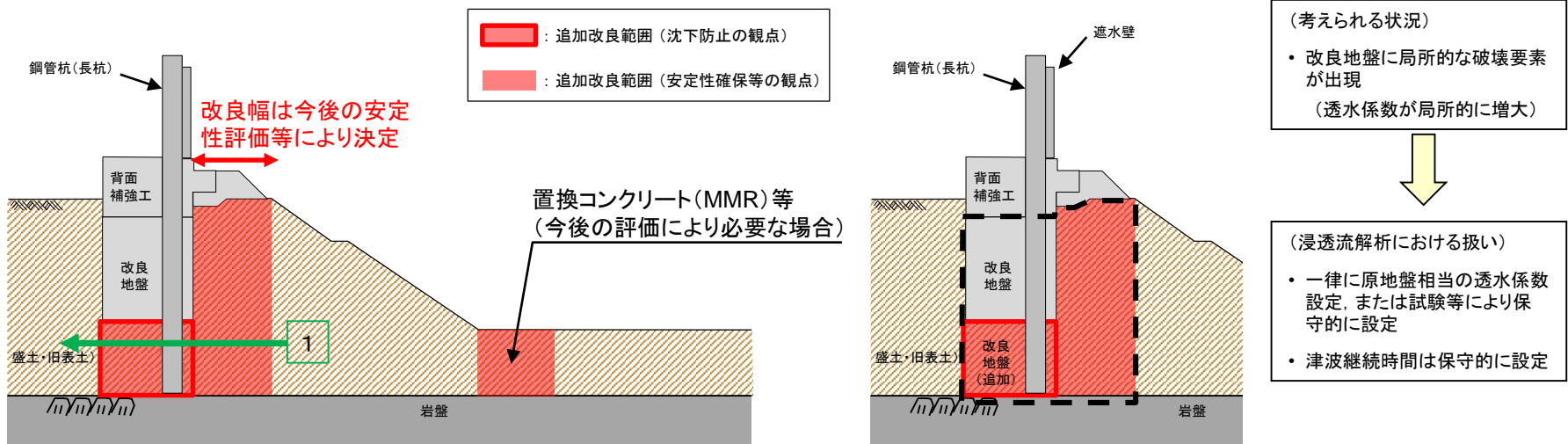
7.4 改良地盤に要求される機能(改良地盤も含めた周辺地盤の止水性)

- 補足検討(止水性)として実施する「改良地盤も含めた周辺地盤の止水性の検討」について、検討項目を以下に示す。

改良地盤も含めた周辺地盤の止水性に係る検討項目

要求機能を喪失する事象	検討方法
<p>1</p> <ul style="list-style-type: none"> 地震により改良地盤内に貫通ひびわれが形成され、浸水経路化する。 	<ul style="list-style-type: none"> 保守的に条件を設定した二次元浸透流解析により、敷地内に浸水しないことを確認する。 <p>(条件例) 改良地盤における局所的な破壊を考慮した透水係数低減</p>

(補足) 背面補強－改良地盤間は、改良地盤上面を清掃の上背面補強工を施工しており、浸水経路化することは考えにくい。
 また、改良地盤(既設)－改良地盤(新設)間は、空隙が残らないよう施工することから、浸水経路化することは考えにくい。



鋼管式鉛直壁(一般部, 長杭例) 変更後

浸透流解析における条件の設定例

7.5 追加の改良地盤により生じる影響と対応

- 既設の改良地盤の下部他を対象として新たに地盤改良を行うことにより生じる影響と対応について整理したもの。
- 地盤改良に伴う設計条件の変更は、適切に設計に反映する。また、施工品質確保のための施工計画検討を進めていく。

追加の地盤改良により生じる影響と対応

地盤改良による影響(リスク)		対応方法	
分類	事象		
1	設計	<ul style="list-style-type: none"> • 防潮堤下部の地下水の流況が変わることにより、防潮堤の設計に用いる地下水位に変更が生じる。 	<ul style="list-style-type: none"> • 6.5 地下水位の設定方針のとおり保守的に設定する。
2		<ul style="list-style-type: none"> • 施設直下の地層構造が盛土・旧表土から改良地盤に変更されたことにより、防潮堤の施設や周辺構造物の地震時応答が変化する。 	<ul style="list-style-type: none"> • 防潮堤の設計においては、周辺地盤を改良することに伴う物性の変化を解析モデルに適切に反映する。 • 防潮堤が解析モデル範囲に含まれる等、防潮堤周辺を地盤改良することによる影響が考えられる施設について、その影響を確認する。
3	施工	<ul style="list-style-type: none"> • 既設の改良地盤と追加の改良地盤の境界部の品質が確保できない場合には、改良地盤に要求される防潮堤の支持機能や止水機能が発揮できなくなるおそれがある。 	<ul style="list-style-type: none"> • 周辺施設の配置状況等を考慮し、同種の施工実績や試験施工を踏まえた工事計画及び品質管理方法を立案する。

7.6 追加の地盤改良の施工成立性について

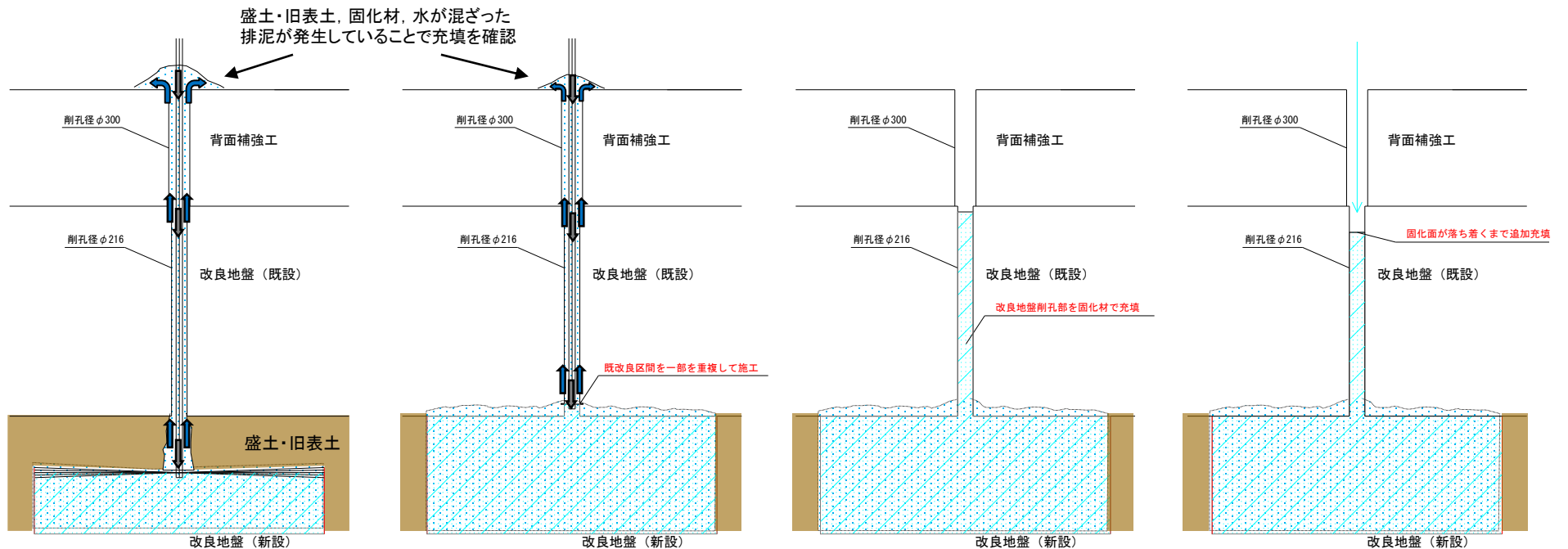
- 追加の地盤改良に関して、既設改良地盤との間に空隙を生じさせないこと、周辺施設に悪影響を及ぼさないこと、品質確保の観点から、施工の成立性を示す。

追加の地盤改良に関する施工上の留意点

地盤改良による施工上の留意点		対応方法
分類	概要	
既設改良地盤との間に空隙を生じさせないこと	<ul style="list-style-type: none"> 既設改良地盤の直下を追加で地盤改良することから、境界部付近に改良が不十分な範囲が残る可能性がある。 その場合、境界部付近に有意な空隙が残り、防潮堤の支持地盤としての機能を発揮できなくなったり、津波時の浸水経路となってしまう可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 地盤改良(高圧噴射攪拌工法等)は沈下対策として有効な工法であり、構造物直下での地盤改良の施工事例も多く存在していることから、施工は可能である。 p.192以降に女川の施工条件と類似した地盤改良の施工事例(構造物直下の地盤改良)を示す。 既設改良地盤と新設改良地盤の境界部の施工にあたっては、境界部よりも上方(既設改良地盤中)を重複させて固化材を充填することで、境界面の処理を行う(p.190参照)。
周辺施設に悪影響を及ぼさないこと	<ul style="list-style-type: none"> 地盤改良の施工にあたり、周辺施設と干渉する可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 既存周辺施設の配置を考慮して地盤改良の施工計画(改良体の配置、施工方向等)を検討する。 p.197以降に地盤改良の施工事例(既存施設との干渉回避を目的とした斜め方向の地盤改良)を示す。
品質確保(確認方法、タイミング)	<ul style="list-style-type: none"> 上記の観点から、既設改良地盤との境界部や周辺施設近傍での地盤改良の品質確保が重要となる。 また、改良対象の地盤に盛土(建設時の掘削岩砕を主体)が含まれることから、工法の適用性確認が重要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 既存の施工実績を踏まえた品質管理方法を立案する。 礫を含む盛土地盤への地盤改良の適用性については、当サイトにおける施工実績がある。なお、試験施工等により要求される品質が確保できることを確認する。

7.7 既設改良地盤と新設改良地盤の境界部の施工方法

- 既設改良地盤と新設改良地盤の境界部の施工にあたっては、境界部よりも上方(既設改良地盤中)を重複させて固化材を充填する。
- このことにより、境界部に隙間等が残るリスクの低減を図る。なお、境界部の性状は試験施工において確認する。

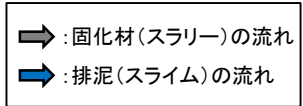


①既設改良地盤を削孔し、既設改良地盤直下の盛土・旧表土を地盤改良する。

②既設改良地盤の区間まで重複して固化材を充填する。

③固化材の充填後、固化面(天端)の状態を確認する。

④固化面(天端)が下がった場合には追加で固化材を充填する。

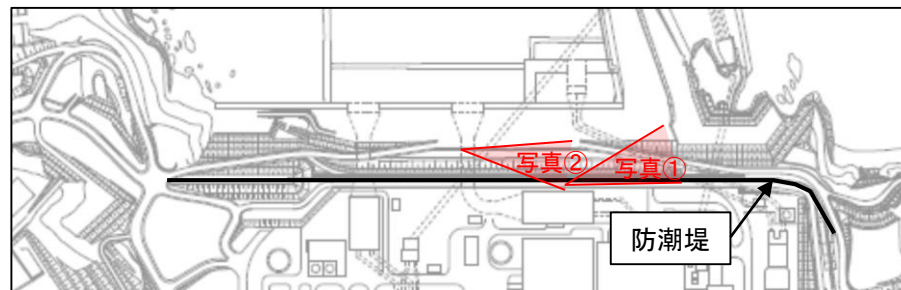


既設改良地盤と新設改良地盤の境界部の施工ステップ図(イメージ)

7.8 女川の盛土を対象とした地盤改良の施工事例

- 女川における、盛土・旧表土を対象とした地盤改良の施工事例を、施工写真、出来形検査写真とともに示す。
- 女川の盛土は建設時の掘削岩砕(最大粒径300mm)が主体となっているが、既設の改良地盤は高圧噴射攪拌工法により設計改良範囲に対して、良好に改良できていることを確認している。

目的	防潮堤の安定性確保
対象土質	盛土(岩砕主体)
改良径	Φ4.5m
深度 (改良体底面)	11.8m



写真①



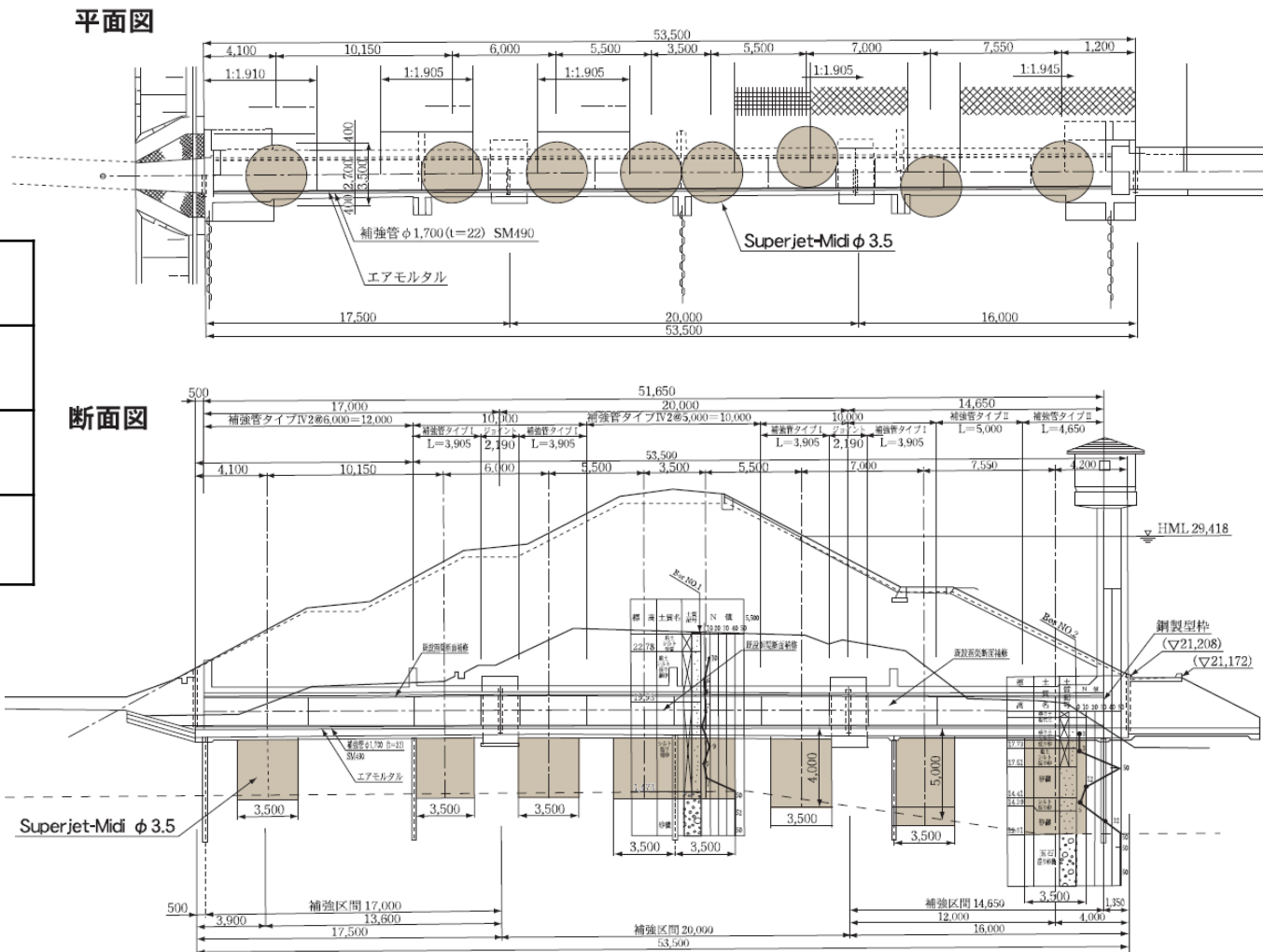
写真②

女川の盛土を対象とした高圧噴射攪拌工法の施工実績(既設改良地盤)

7.9 構造物直下での施工事例(江の川川越排水樋門改築工事)

- 既設水路の沈下防止を目的として、高圧噴射攪拌工法により地盤改良を行っている。
- 構造物直下での施工となるため、既設水路底版を削孔した後に施工している。

目的	既設水路沈下防止
対象土質	シルト混じり砂質土, 砂礫土
改良径	Φ3.5m
深度 (改良体底面)	17.4m



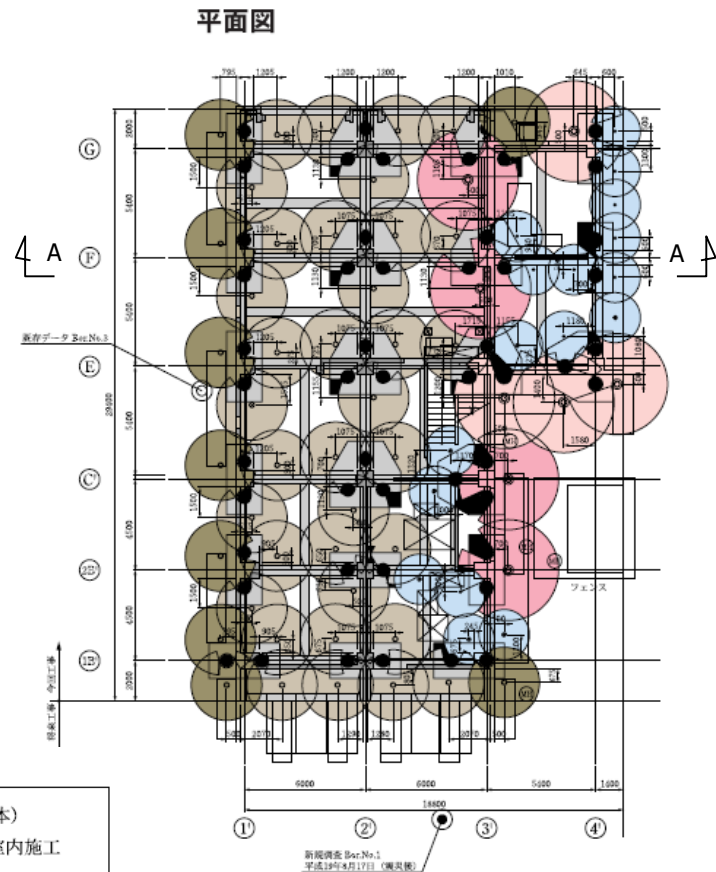
出典: SUPERJET研究会 主要施工実績集

地盤改良概要図

7.9 構造物直下での施工事例(柏崎市自然環境浄化センター震災復旧建設工事)

- 平成18年中越沖地震により被害を受けた柏崎市自然環境浄化センター内の監視汚泥棟基礎部の補強として、高圧噴射攪拌工法により地盤改良を行っている。
- 構造物直下での施工となるため、床スラブを削孔した後に施工している。

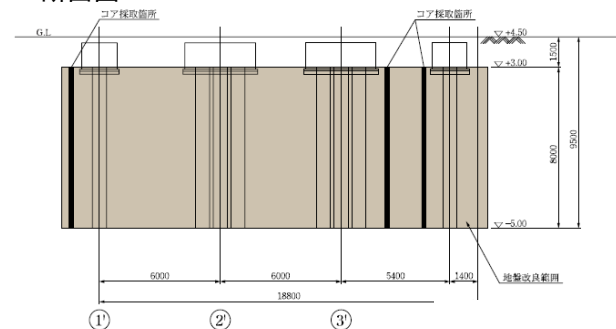
目的	建物基礎部の補強
対象土質	砂質土, 粘性土
改良径	Φ3.5, 5.0m
深度 (改良体底面)	9.5m



凡例

- : Superjet (φ5.0m 通常施工 n=4本)
- : Superjet (φ5.0m 上空制限有(室内施工含む) n=4本)
- : Superjet-Midi (φ3.5m 通常施工 n=9本)
- : Superjet-Midi (φ3.5m 上空制限有(室内施工) n=35本)
- : 他の高圧噴射攪拌工法

A-A断面図



地盤改良概要図

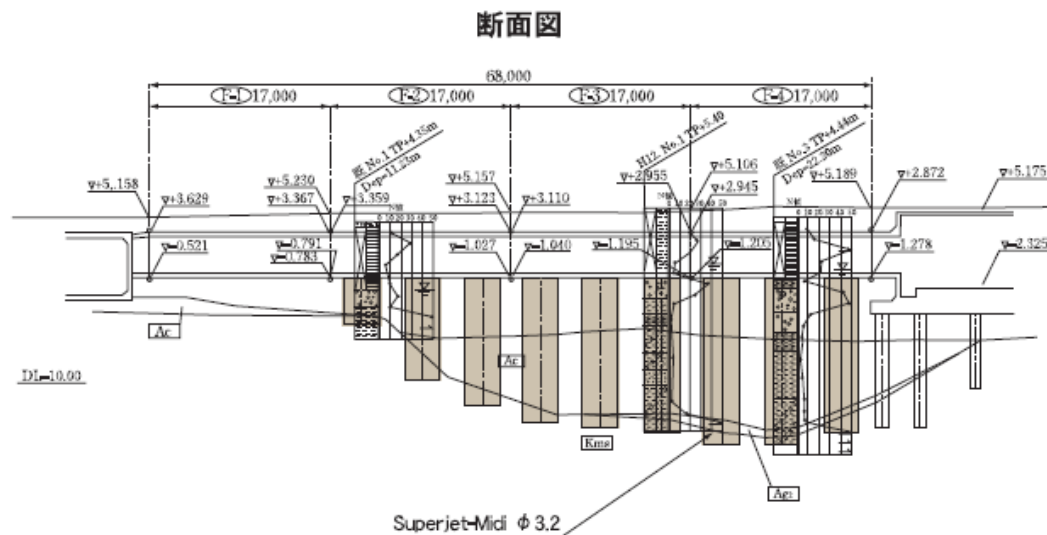
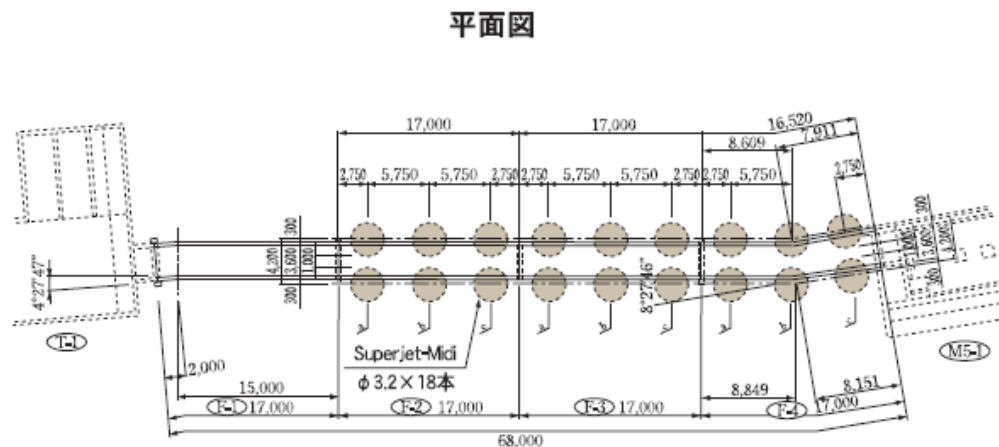
出典: SUPERJET研究会 主要施工実績集

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。

7.9 構造物直下での施工事例(栄本町線共同溝地盤改良工事)

- 既設共同溝の沈下防止を目的として、構造物脇から高圧噴射攪拌工法により構造物直下の地盤改良を行っている。

目的	既設共同溝の沈下防止
対象土質	粘性土, 砂礫
改良径	Φ3.2m
深度 (改良体底面)	12.36~21.52m



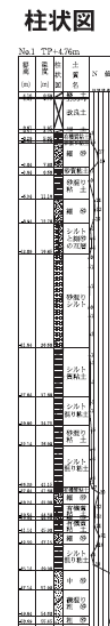
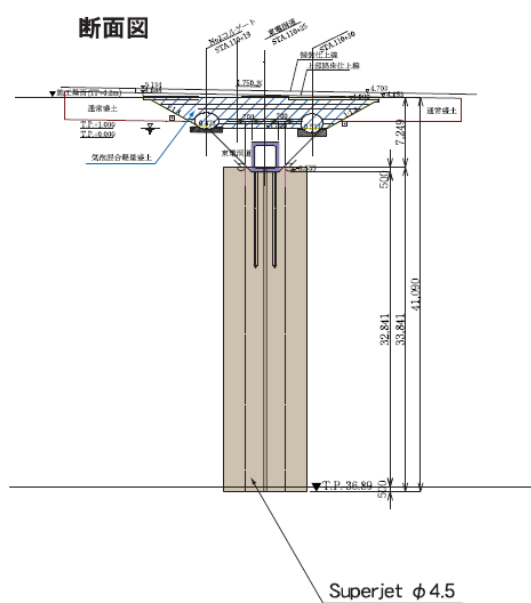
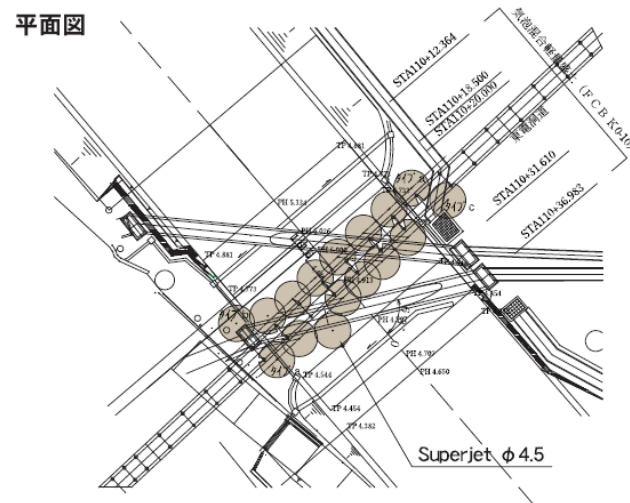
地盤改良概要図

出典: SUPERJET研究会 主要施工実績集

7.9 構造物直下での施工事例(東京外環自動車道ジャンクション工事)

- 既設洞道の沈下防止を目的として、構造物脇から高圧噴射攪拌工法により構造物直下の地盤改良を行っている。

目的	既設洞道の沈下防止
対象土質	粘性土, 砂質土
改良径	Φ4.5m
深度 (改良体底面)	41.09m



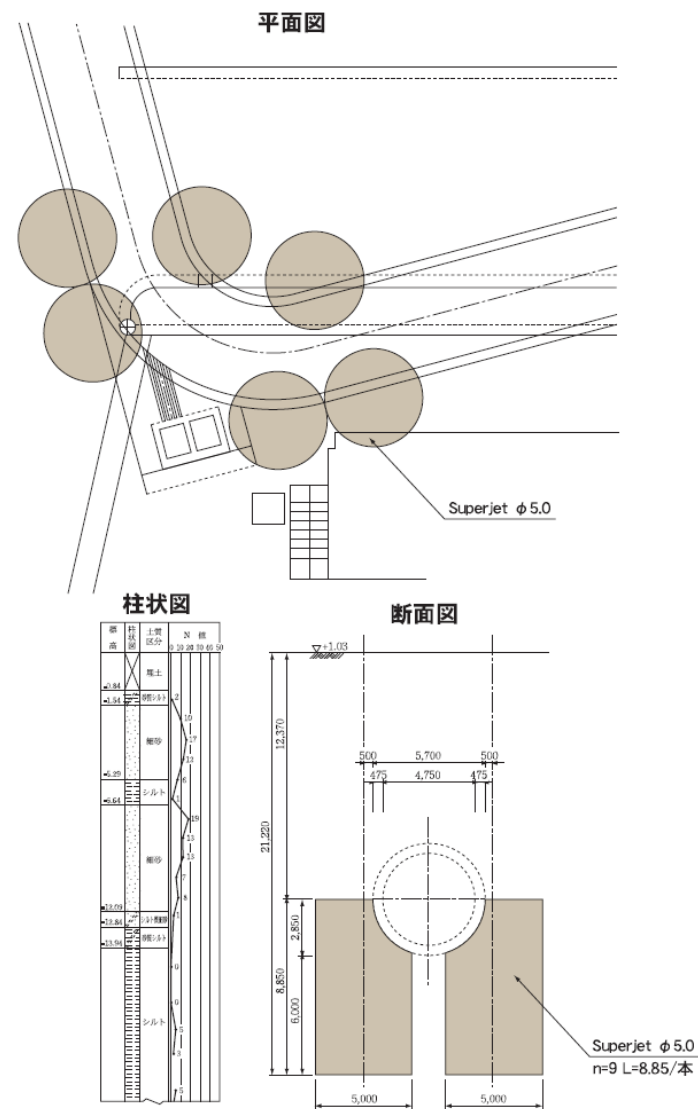
地盤改良概要図

出典: SUPERJET研究会 主要施工実績集

7.9 構造物直下での施工事例(江戸川幹線補修工事)

- 既設管渠の沈下・傾斜防止を目的として、構造物脇から高圧噴射攪拌工法により構造物直下の地盤改良を行っている。

目的	既設管渠の沈下・傾斜防止
対象土質	粘性土, 砂質土
改良径	Φ5.0m
深度 (改良体底面)	22.2m



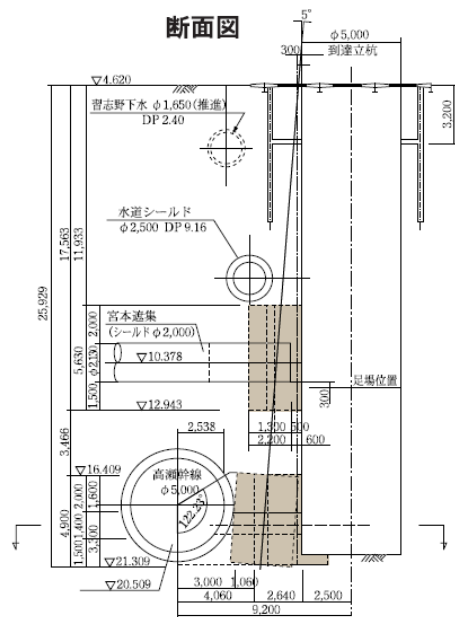
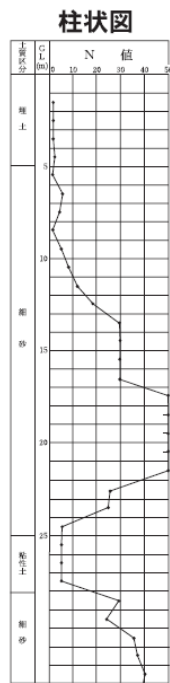
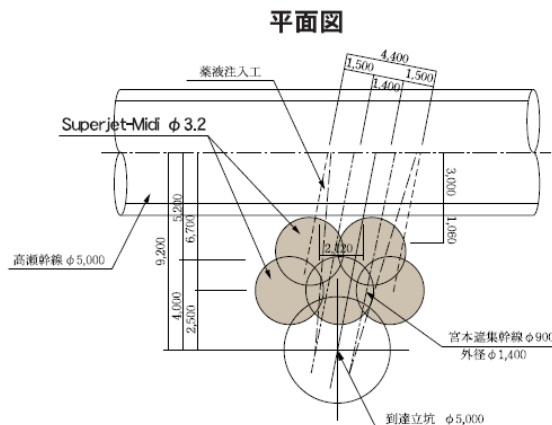
地盤改良概要図

出典: SUPERJET研究会 主要施工実績集

7.10 既存施設との干渉回避を目的とした斜め方向の施工事例(宮本遮集幹線管渠築造工事)

- 埋設物(水道, 下水道)の下部のシールド防護のため, 既存施設の配置を考慮して, 高圧噴射攪拌工法により斜め方向に地盤改良を行っている。

目的	既存施設配置を考慮した斜め施工
対象土質	細砂, 粘性土
改良径	Φ3.2m
深度 (改良体底面)	25.93m



地盤改良概要図

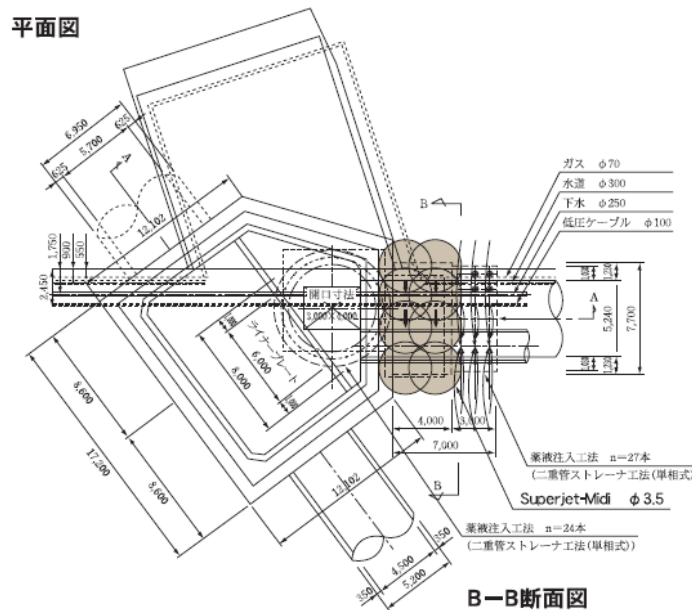
出典: SUPERJET研究会 主要施工実績集

7.10 既存施設との干渉回避を目的とした斜め方向の施工事例(北多摩二号幹線工事)

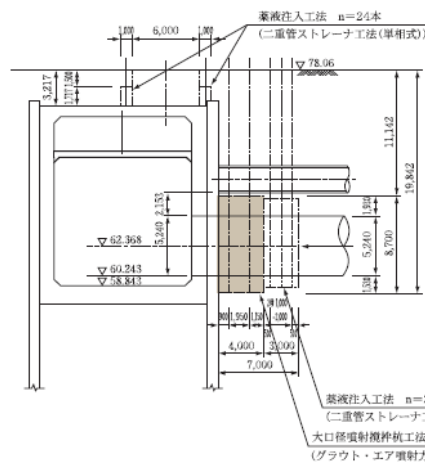
- 埋設物(下水道)の下部のシールド防護のため, 既存施設の配置を考慮して, 高圧噴射攪拌工法により斜め方向に地盤改良を行っている。

目的	既存施設配置を考慮した斜め施工
対象土質	砂質土
改良径	Φ3.5m
深度(改良体底面)	19.84m

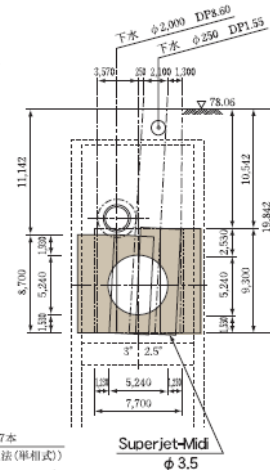
平面図



A-A断面図



B-B断面図



柱状図



地盤改良概要図

出典: SUPERJET研究会 主要施工実績集

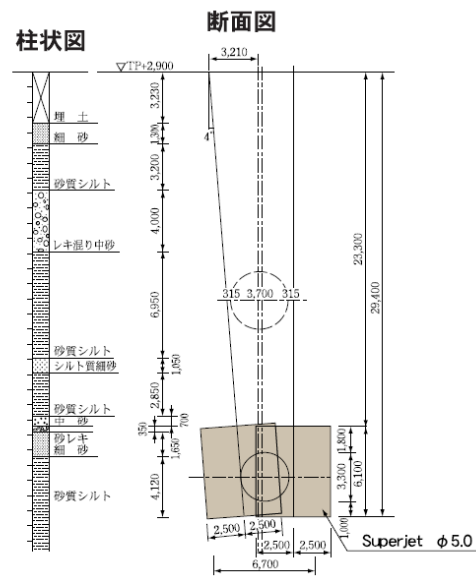
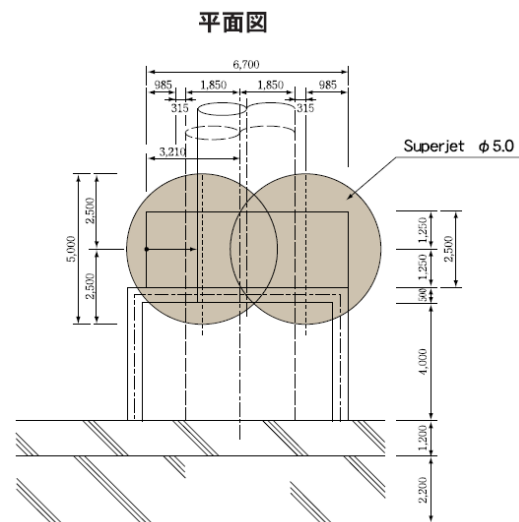
設計・施工例の情報に係る記載内容については, 公開情報をもとに弊社の責任において独自に整理したものです。



7.10 既存施設との干渉回避を目的とした斜め方向の施工事例(蔵前幹線工事)

- 埋設物(Φ3.7m)の下部のシールド防護のため、既存施設の配置を考慮して、高圧噴射攪拌工法により斜め方向に地盤改良を行っている。

目的	既存施設配置を考慮した斜め施工
対象土質	シルト, 砂質土
改良径	Φ5.0m
深度 (改良体底面)	29.4m



地盤改良概要図

出典: SUPERJET研究会 主要施工実績集

補足説明資料

8. 設計変更(沈下対策)の目的・理由と期待される効果

【現状】

- 女川の防潮堤は、敷地の高さや津波高さ等のサイト特性並びに取水路を跨ぐ等の制約条件、また盛土の耐震性等を総合的に勘案し、地震等に伴う沈下を考慮した構造とすることで設計上の配慮を行った上で、建設中である。

【設計変更の目的・理由】

- 津波の影響が比較的大きいサイト特性も踏まえ、現状の構造形式(従来の設計)による防潮堤の構造成立性をより高め、地震・津波に対する耐性をより強固なものとするために、防潮堤の設計変更(沈下対策)を行うこととした。

【期待される効果】

- 対策実施により、沈下に伴う損傷モードが無くなり、安全に対する信頼性や説明性が高まる。

	従来の設計	設計の変更(H30.2～)
--	-------	---------------

安全確保の考え方	<p>[敷地高さの確保]</p> <ul style="list-style-type: none"> 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(このことにより3.11地震においても重大事故を回避) 	⇒防潮堤の高さを可能な限り高く
----------	---	-----------------

構造と損傷モード	<p>[地盤の変形への対応性]</p> <ul style="list-style-type: none"> 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た。(狭隘な敷地の条件等から、鋼管式鉛直壁と盛土構造の組合せ) 盛土堤防及び鋼管式鉛直壁(短杭)の直下には盛土・旧表土が存在し、沈下を許容する設計とした。 	<p>[地盤の変形への対応性]</p> <ul style="list-style-type: none"> 短杭やセメント改良土直下の盛土・旧表土を地盤改良し、沈下しない構造とする。
----------	--	---

構造と損傷モード	<p>[構造]</p> <p style="text-align: center;">盛土堤防 鋼管式鉛直壁(一般部, 短杭例)</p>	<p>[構造]</p> <p style="text-align: center;">盛土堤防 鋼管式鉛直壁(一般部, 短杭例)</p>
----------	---	---

構造と損傷モード	<p>[考慮すべき主な損傷モード]</p> <ul style="list-style-type: none"> 複雑な挙動(不等沈下に起因するねじれ等の三次元的な挙動) 沈下に追従するNFシート挙動の不確実性 盛土・旧表土層の圧縮沈下による浸水経路形成 盛土堤防の挙動による鋼管式鉛直壁への影響 	<p>[構造変更の効果と損傷モードの変更点]</p> <ul style="list-style-type: none"> 沈下しない構造 <ul style="list-style-type: none"> →損傷モードが限定的となる(評価の確実性が向上) 変位の抑制(周辺地盤の流動の抑制) <ul style="list-style-type: none"> →鋼管式鉛直壁(一般部)に発生する相対変位が小さくなる。 →長杭の応答がおおむね弾性範囲に留まる。 止水性の向上
----------	--	---

1. (社)鋼管杭・鋼矢板技術協会:未来フロントNo.83, H27.3, http://www.jaspp.com/shiryou/tomorrow/pdf/fut_no83.pdf
2. 国際圧入学会:インプラント構造～災害復旧・国土防災・都市再生・インフラ整備～, 15 Jun 2016, http://press-in.org/files/pub/IPA_ImplantStructure_ver023ja03.pdf
3. (株)技研製作所:インプラント堤防適用例, https://www.giken.com/ja/products/solutions/implant_levee/
4. 東京電力(株):福島第一原子力発電所海側遮水壁閉合作業完了について, 2015年10月26日, http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2015/images/handouts_151026_06-j.pdf
5. 日経コンストラクション:大分臨海工業地帯 沿岸の液状化対策事例 くし形鋼矢板, 2017年5月22日号
6. (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
7. (公社)土木学会:複合構造標準示方書, 2014年制定
8. 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
9. 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, I981_I985, 2014
10. (公社)地盤工学会:地盤調査の方法と解説, 2004
11. 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
12. (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
13. (財)国土技術研究センター:柔構造物樋門設計の手引き, 平成10年11月
14. SUPERJET研究会:主要施工実績集