

女川原子力発電所2号炉 防潮堤の設計方針及び構造成立性評価結果について (補足説明資料)

平成30年6月19日
東北電力株式会社

補足説明資料1. 女川防潮堤の特徴と他サイト防潮堤との比較	2
補足説明資料2. 一般産業施設における類似構造の設計・施工例	9
補足説明資料3. セメント改良土の耐侵食性・耐洗掘性について	17
補足説明資料4. 防潮堤を横断する構造物の取扱いについて	21
補足説明資料5. 既設防潮堤（O.P.+17m）の取扱いについて	30
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	33
補足説明資料7. 追加地盤改良の施工成立性について	45
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	73
補足説明資料9. 構造成立性検討結果の補足	76

参考文献

補足説明資料

1. 女川防潮堤の特徴と他サイト防潮堤との比較

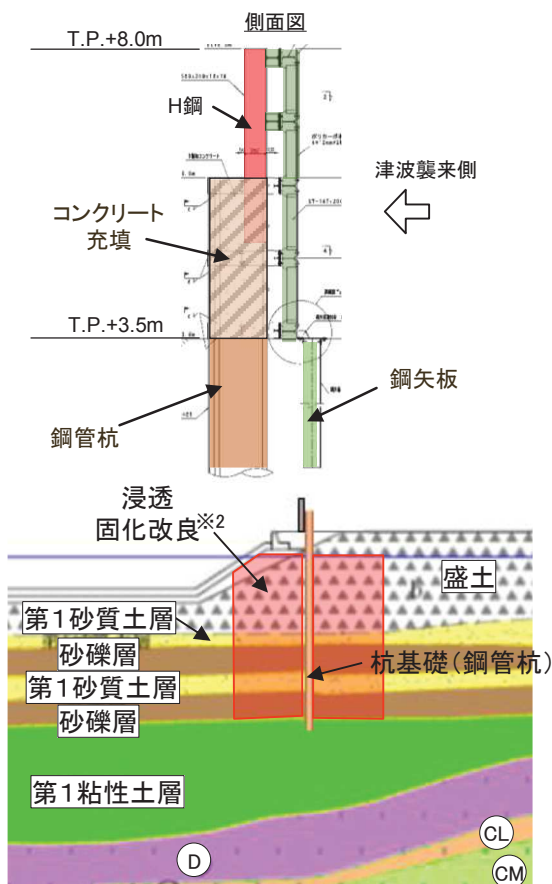
1.1 比較の観点

- 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。

1.2 構造形式の違い

各サイトの構造概要

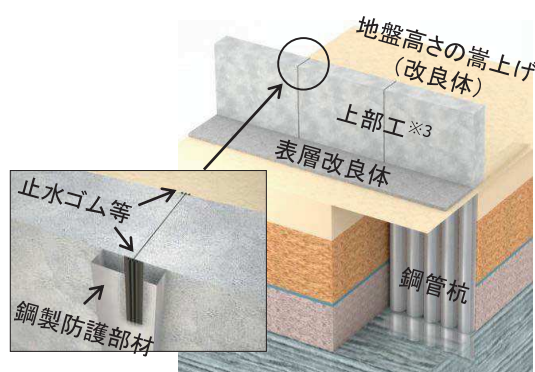
高浜発電所4号機 放水口側防潮堤※1



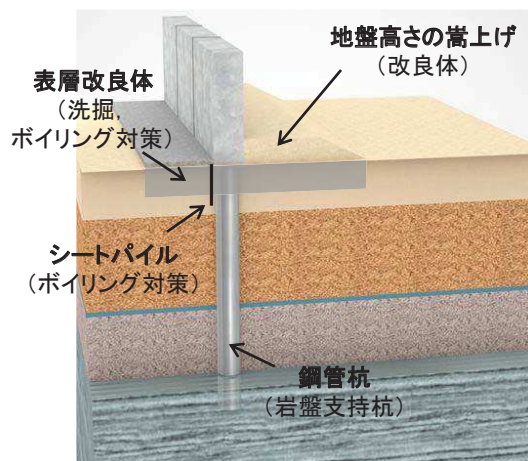
※1: 2本の杭により上部工（鋼製）を支持する構造。
※2: 液状化対策として、地下水位以深の地盤改良（浸透固化処理工法）を実施。

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

東海第二発電所 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

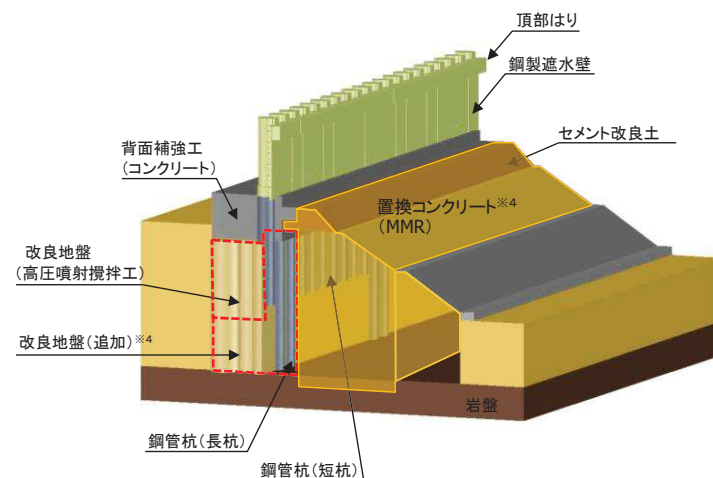


※3: 上部工は、鉄筋コンクリート、鋼管杭、止水ジョイント部から成る。
鉄筋コンクリートは、津波荷重、漂流物荷重等に対し構造躯体として耐え、津波による浸水を防止する。

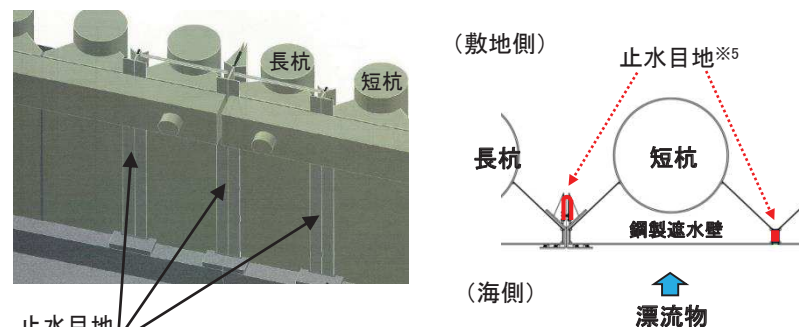


参考：日本原子力発電株式会社 東海第二発電所
平成29年10月26日審査会合資料 資料2-1-7

女川原子力発電所 鋼管式鉛直壁（一般部）



※4: 追加対策範囲はイメージであり、追加対策の詳細は「防潮堤の構造成立性評価結果について」を参照。



※5: 止水目地は海側に張り出さない構造であり、止水機能に影響を与えるような構造物は直接目地に当たらない

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。

1.3 構造形式の違いに係る考察

	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	
共通	津波高さに対する 裕度		4.6m	1.3m	1.2m～2.6m	－	－	－
鋼管式 鉛直壁 (一般部)	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部においても対応できる。 ・沈下しない構造である。	・杭－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いる。	・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する。 ・回転に対する照査を実施する。
	周辺 地盤 対策	液状化 対策	・沈下対策として岩盤まで地盤改良を行うため、直下では液状化はしない。	・液状化の影響低減のため、地下水位以深の地盤改良(浸透固化処理工法)を施工。	・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、ボイリング対策として、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、ボイリング対策も兼ねている。また、その直下の改良地盤もボイリング対策を兼ねている。	・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能に優れる(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、止水機能に影響を与えるような構造物は直接目地に当たらない構造であるため、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、止水機能に影響を与えるような構造物は直接目地に当たらない構造である。	－	－
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。

1.4 地震時における沈下の取扱い

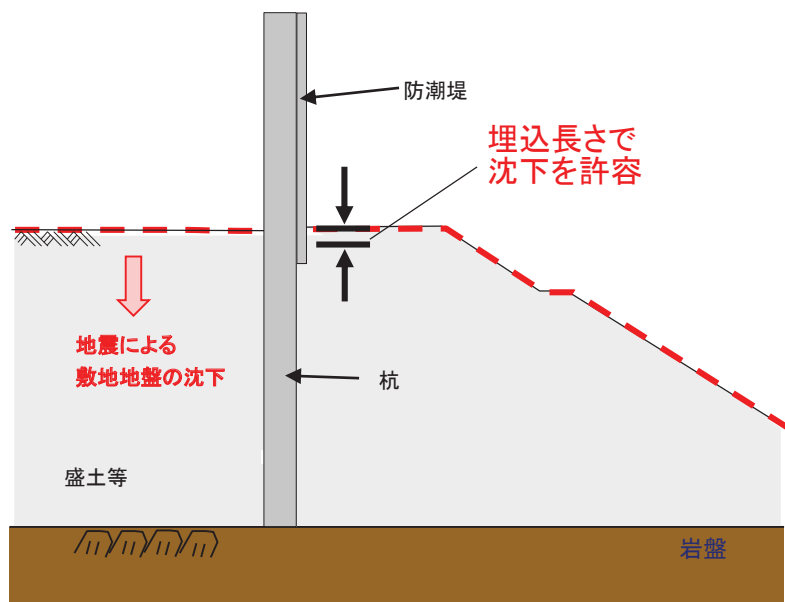
<先行他サイトの場合>

- 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。

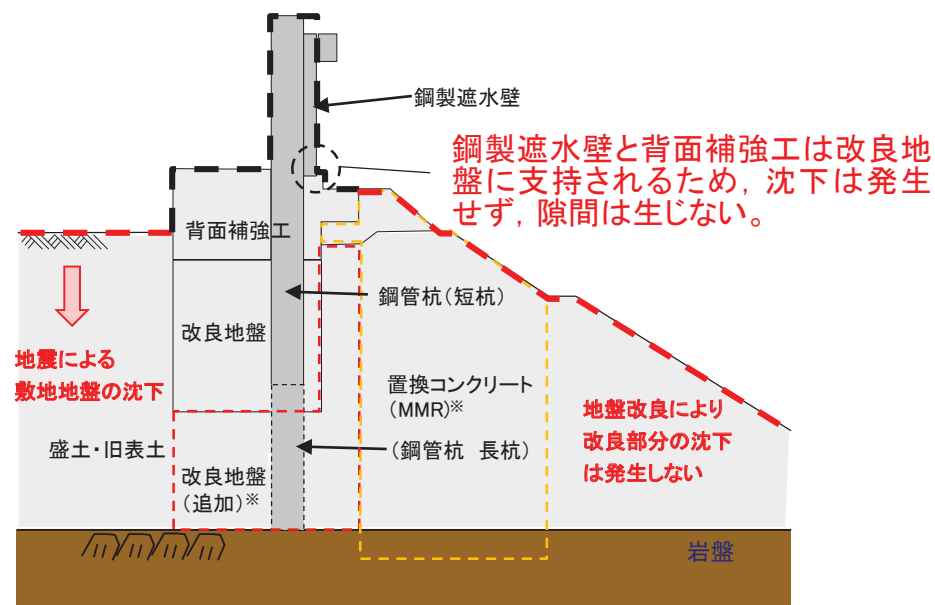
<女川防潮堤の場合>

- 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>

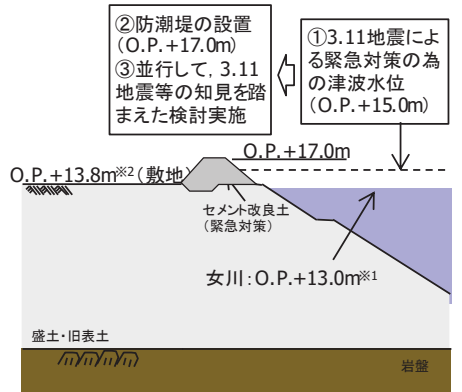
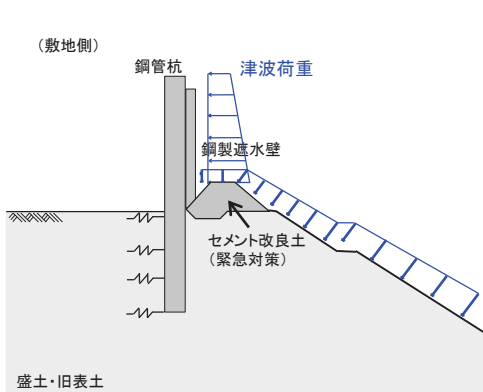
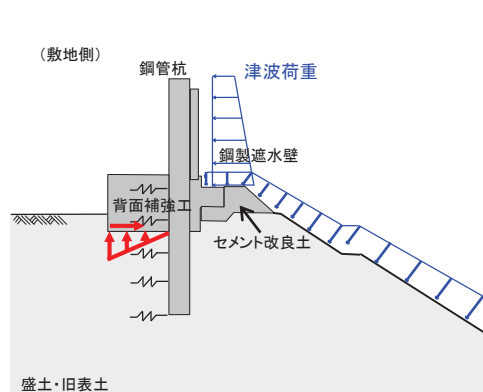
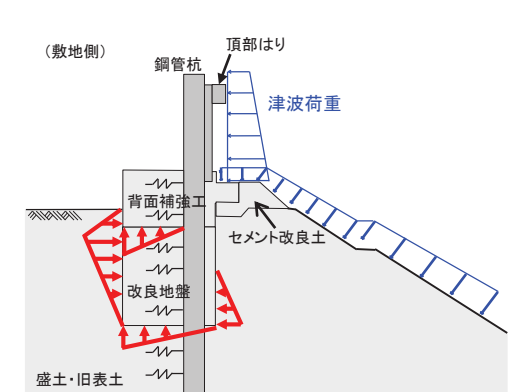


<女川防潮堤の場合>

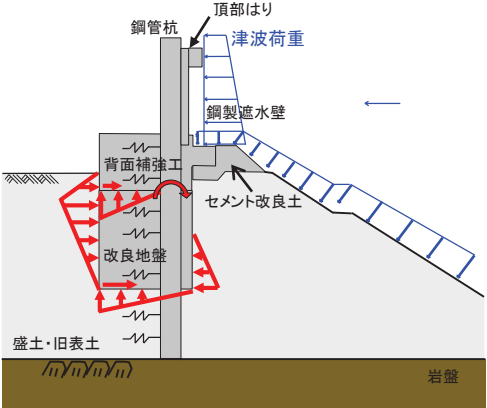
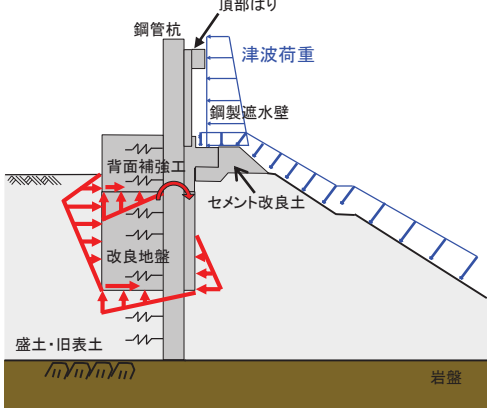
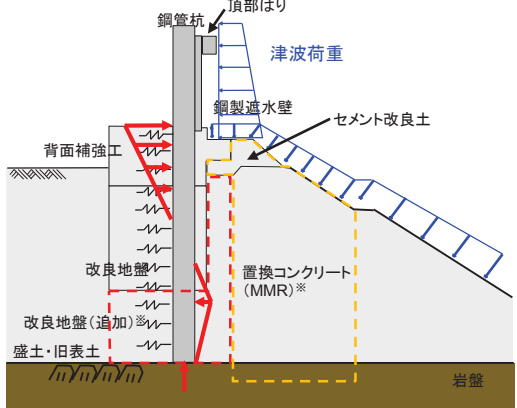


※: 追加対策範囲はイメージであり、追加対策の詳細は「防潮堤の構造成立性評価結果について」を参照。

1.5 女川防潮堤における構造設計の経緯 (1/2)

《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)</p> <p>③並行して、3.11 地震等の知見を踏 まえた検討実施</p> <p>①3.11地震による 緊急対策の為 の津波水位 (O.P. +15.0m)</p> <p>O.P. +17.0m</p> <p>O.P. +13.8m※2 (敷地)</p> <p>セメント改良土 (緊急対策)</p> <p>女川: O.P. +13.0m※1</p> <p>盛土・旧表土</p> <p>岩盤</p> <p>※1: 発電所の潮位計による津波高さ ※2: 地殻変動により敷地が一様に約1m沈降</p>	 <p>(敷地側)</p> <p>鋼管杭</p> <p>津波荷重</p> <p>鋼製遮水壁</p> <p>セメント改良土 (緊急対策)</p> <p>盛土・旧表土</p> <p>岩盤</p>	 <p>(敷地側)</p> <p>鋼管杭</p> <p>津波荷重</p> <p>鋼製遮水壁</p> <p>背面補強工</p> <p>セメント改良土</p> <p>盛土・旧表土</p> <p>岩盤</p>	 <p>(敷地側)</p> <p>鋼管杭</p> <p>頂部はり</p> <p>津波荷重</p> <p>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</p> <p>岩盤</p>
<ul style="list-style-type: none"> 平成23年3月の東北地方太平洋沖地震(以下『3.11地震』)による津波では敷地においてO.P.約13mの津波を観測したが、敷地を越えず安全性を確保することができた。 3.11地震を踏まえた緊急安全対策として、セメント改良土による防潮堤(O.P.+17.0m)を設置。 3.11地震の復旧対策と並行して、3.11地震による知見を踏まえた新たな津波対策のための検討に着手。 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、浸水に対する鰻止めの効果が期待可能。
防潮堤高さO.P.+17.0m	防潮堤高さO.P.+20数m	防潮堤高さO.P.約+29m	防潮堤高さO.P.+29m
3.11地震を踏まえた津波対策の検討を開始	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	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	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</p> <p>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。</p>			

1.5 女川防潮堤における構造設計の経緯 (2/2)

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>※: 追加対策範囲はイメージであり, 追加対策の詳細は防潮堤の構造成立性評価編を参照</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>・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。 ・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>
防潮堤高さO.P.+29m	—	防潮堤高さO.P.+29m	防潮堤高さO.P.+29m
<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 data-bbox="35 1281 571 1492"> <p>H25.4 ~ H25.5</p> <p>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 data-bbox="625 1281 791 1333">H25.7</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 data-bbox="825 1281 1339 1492"> <p>H25.12 ~ H30.1</p> <p>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 data-bbox="1438 1281 1948 1333">H30.2~現在</div>

補足説明資料

2. 一般産業施設における類似構造の設計・施工例

2.1 女川の防潮堤の特徴と類似する一般産業施設

- 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

- それぞれの特徴が類似する一般産業施設の設計・施工例を下表に示す。また、各事例(事例①～事例⑤)の概要を以降に示す。

表. 女川の防潮堤の特徴と類似する一般産業施設の設計・施工例

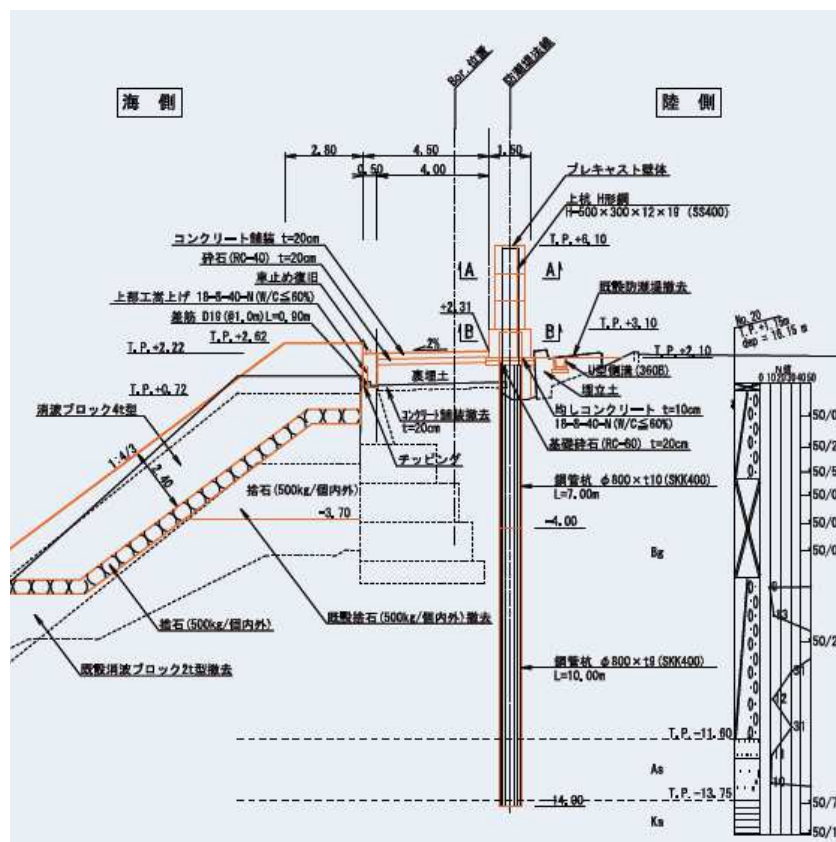
特徴	設計・施工例		
	施設・工事名称	施設の概要	備考
特徴1: 単杭から構成される構造	釜石港海岸大平地区災害復旧工事	・東日本大震災の護岸復旧工事 ・延長約530mの防潮堤としてΦ800mm×長さ8.5～17mの鋼管杭262本を施工した基礎構造とし、砂・砂礫地盤中に施工 ・前面(海側)はコンクリートブロック・捨石傾斜堤、背面(陸側)は砂・砂礫地盤、杭下端は在来の砂地盤 ・鋼管杭上部に遮水壁としてプレキャスト壁体を構築し防波機能を確認	事例①
	石巻港東浜海岸防潮堤災害復旧工事	・東日本大震災の護岸復旧工事 ・延長約1,540mの防潮堤としてφ1,100mmの鋼管杭1,010本(杭長:22.6m)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	事例②
	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)	・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	事例③
特徴2: 長い杭と短い杭を組み合わせた構造	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	事例④
	大分臨海工業地帯 沿岸の液状化対策事例	・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	事例⑤

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。

2.2 事例① 釜石海岸大平地区災害復旧工事

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

鋼管杭

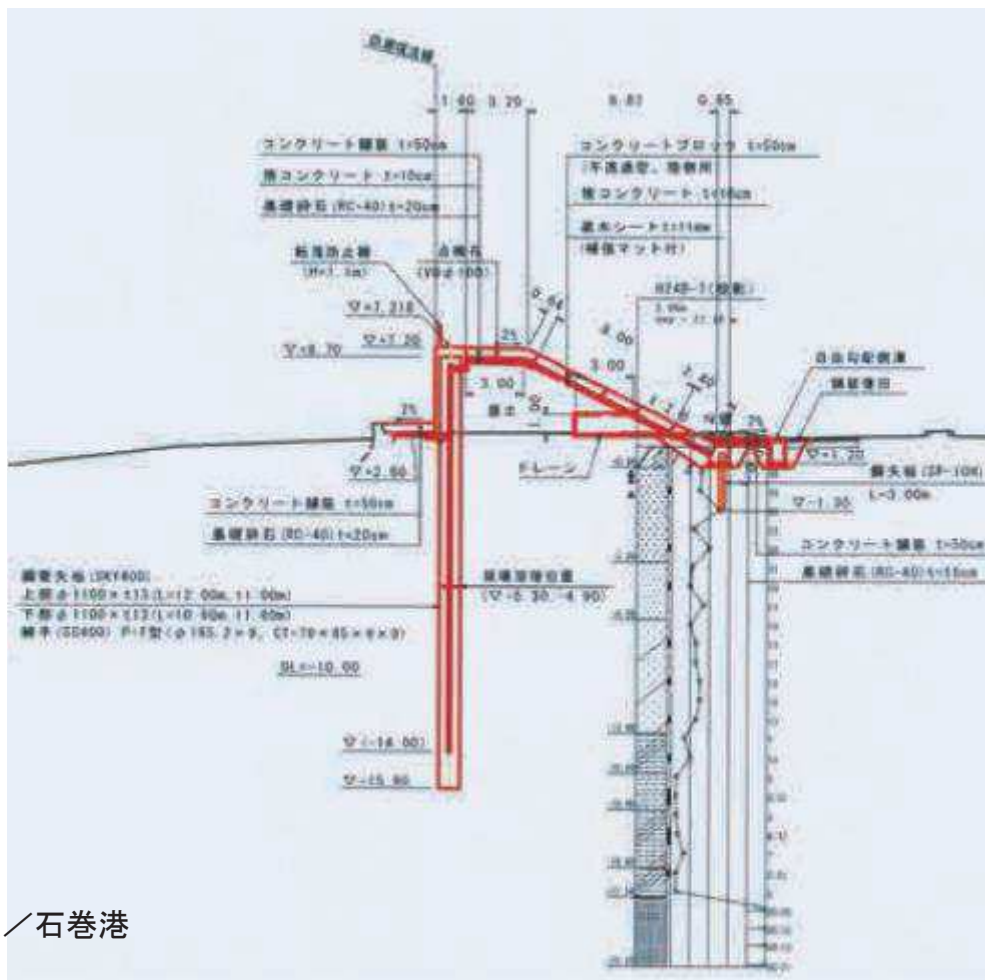


出典：鋼管杭・鋼矢板技術協会 未来フロント NO.83(H27.3) 岩手県／釜石港
http://www.jaspp.com/shiryuu/tomorrow/pdf/fut_no83.pdf

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。

2.3 事例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、 $\phi 1100\text{mm}$ 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。

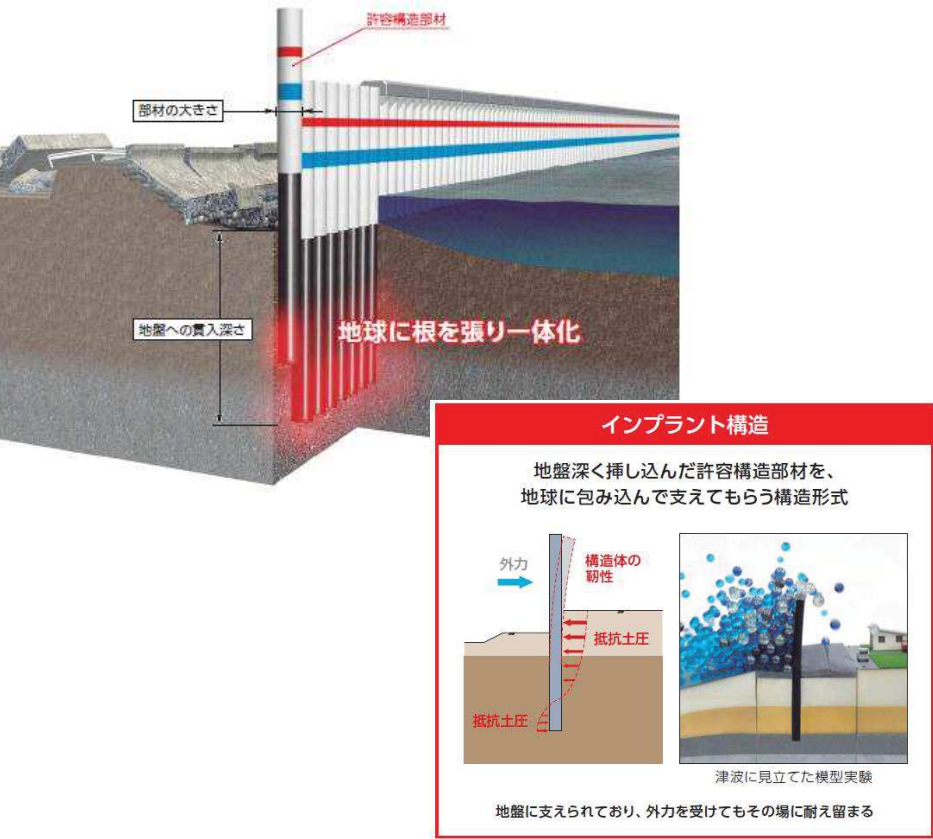


出典：鋼管杭・鋼矢板技術協会 未来フロント NO.83(H27.3) 宮城県／石巻港
http://www.jaspp.com/shiryou/tomorrow/pdf/fut_no83.pdf

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。

2.4 事例③ インプラント堤防(1/2)

- 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。

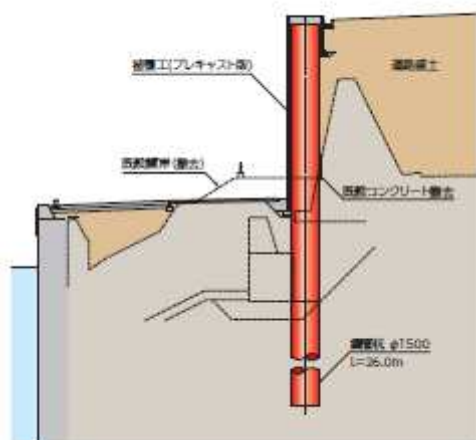
2.4 事例③ インプラント堤防(2/2)

- 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。



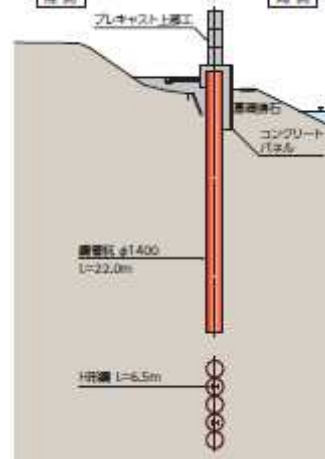
陸側

海側



陸側

海側



福島第一原子力発電所海側遮水壁
/ 東京電力

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

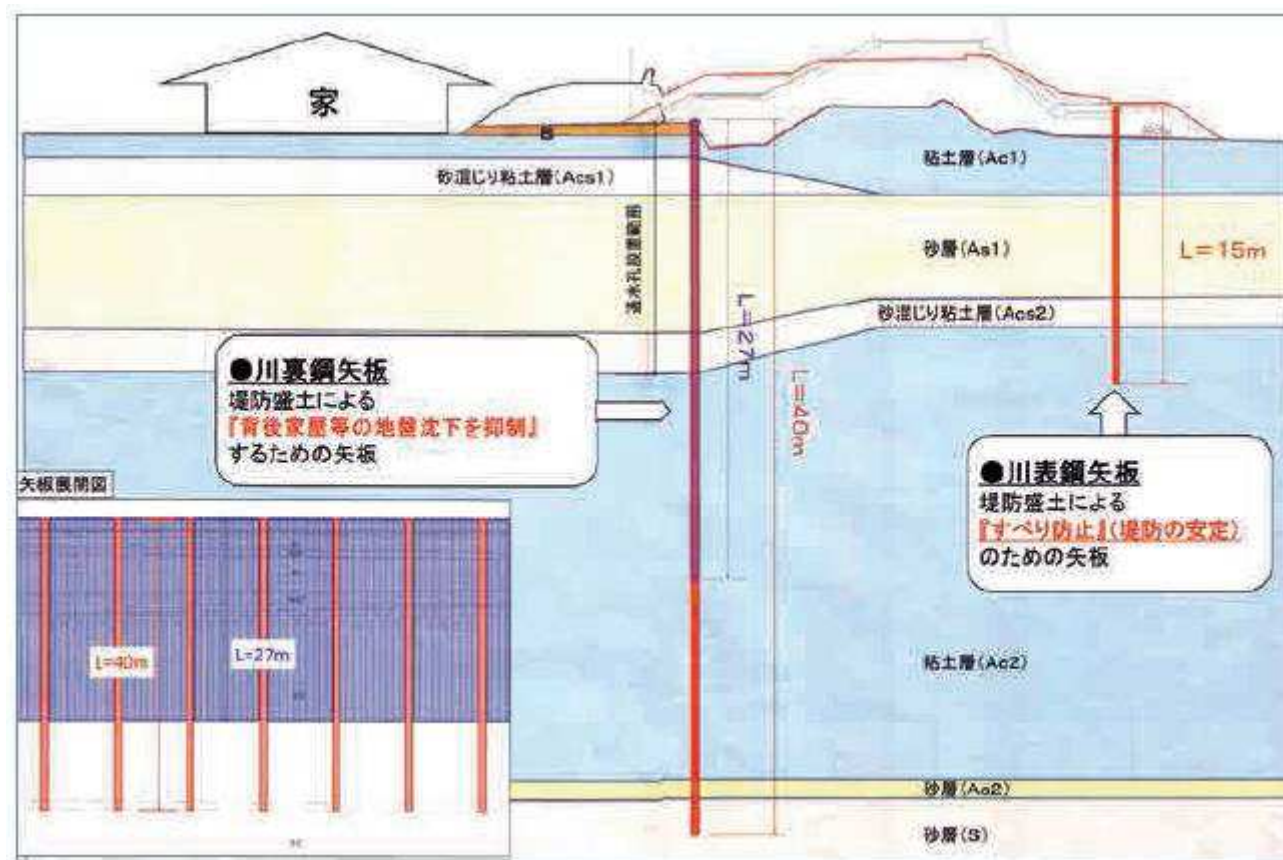
出典：株式会社技研製作所 : www.giken.com

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

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。

2.5 事例④ 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。

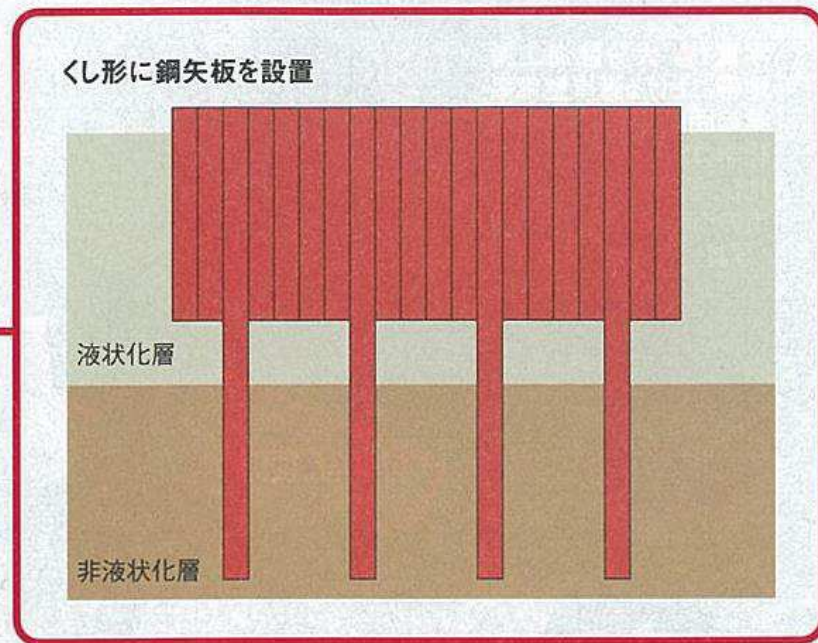
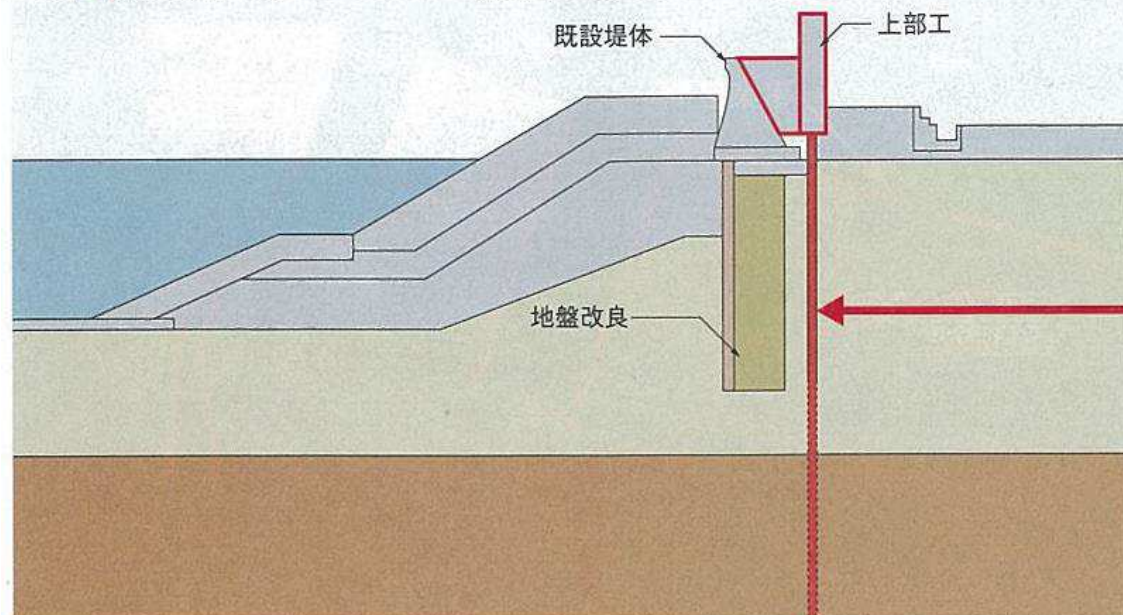


出典：鋼管杭・鋼矢板技術協会 未来フロント NO.83 (H27.3) 緑川海路口下流地区築堤工事
http://www.jaspp.com/shiryuu/tomorrow/pdf/fut_no83.pdf

2.6 事例⑤ 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

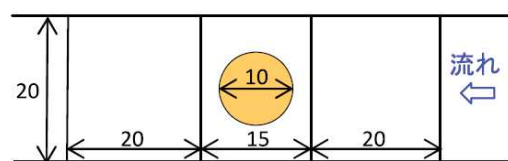
出典： 大分臨海工業地帯 沿岸の液状化対策事例 くし形鋼矢板（日経コンストラクション2017年5月22日号）

補足説明資料

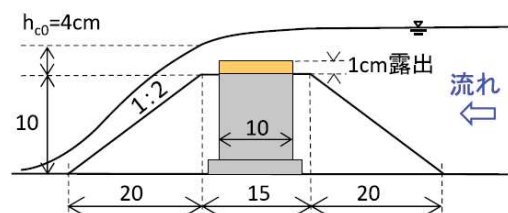
3. セメント改良土の耐侵食性・耐洗掘性について

3.1 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。



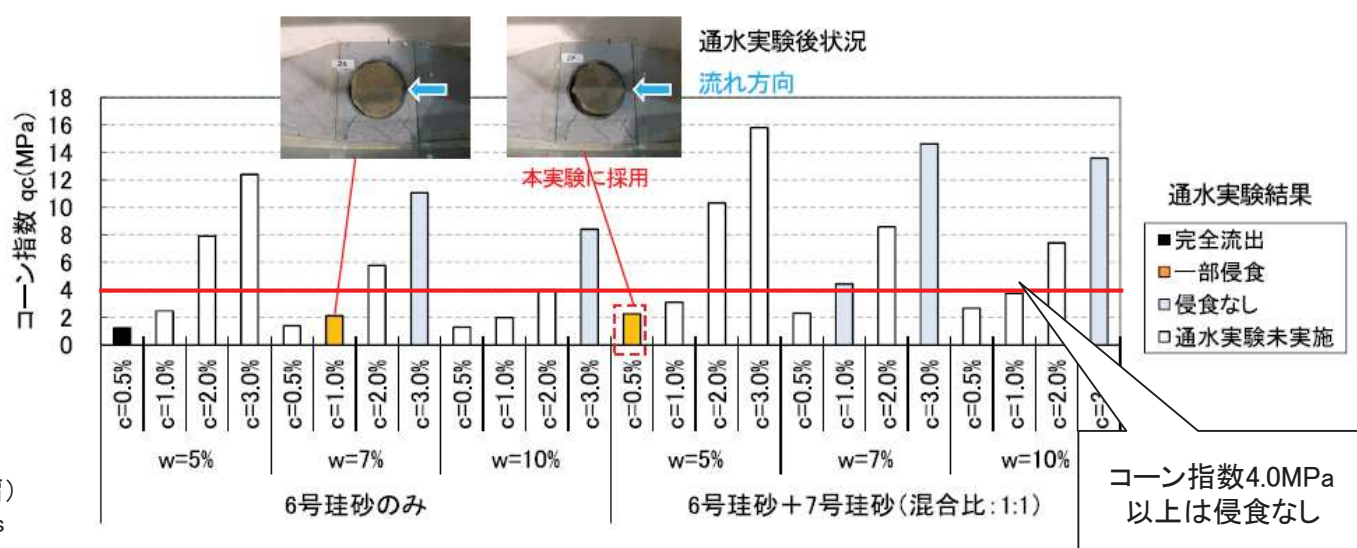
(a) 平面図



(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。

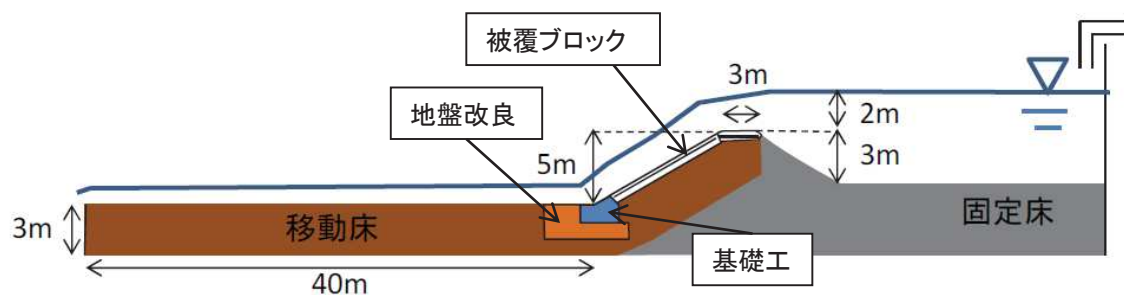
3.2 海岸堤防を模擬した大規模実験 (1/2)

- 「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)

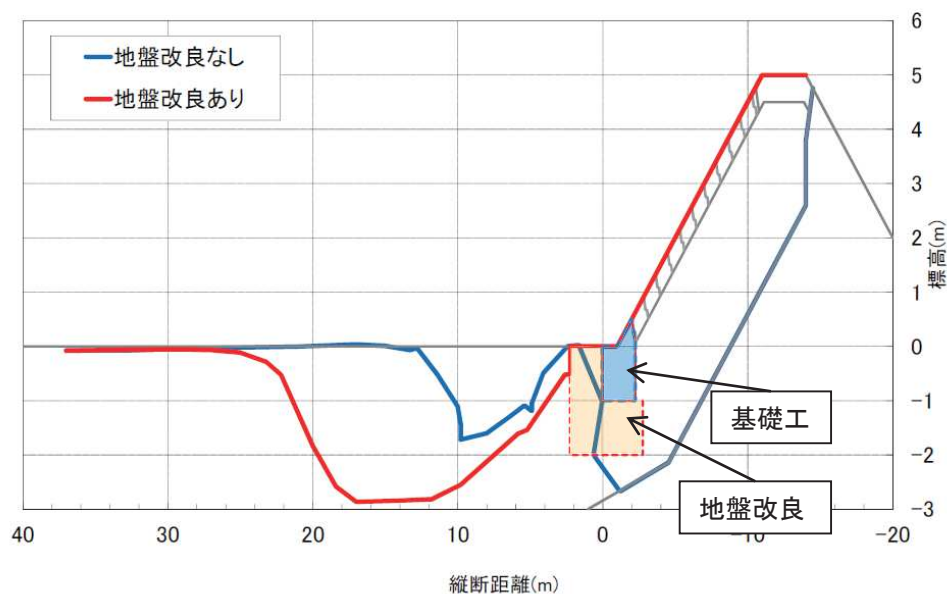
セメント改良土の引張り破壊応力 $5.9\text{N}/\text{cm}^2$ 

◆ 模型実験の構造断面



◆ 実験水路写真

3.3 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



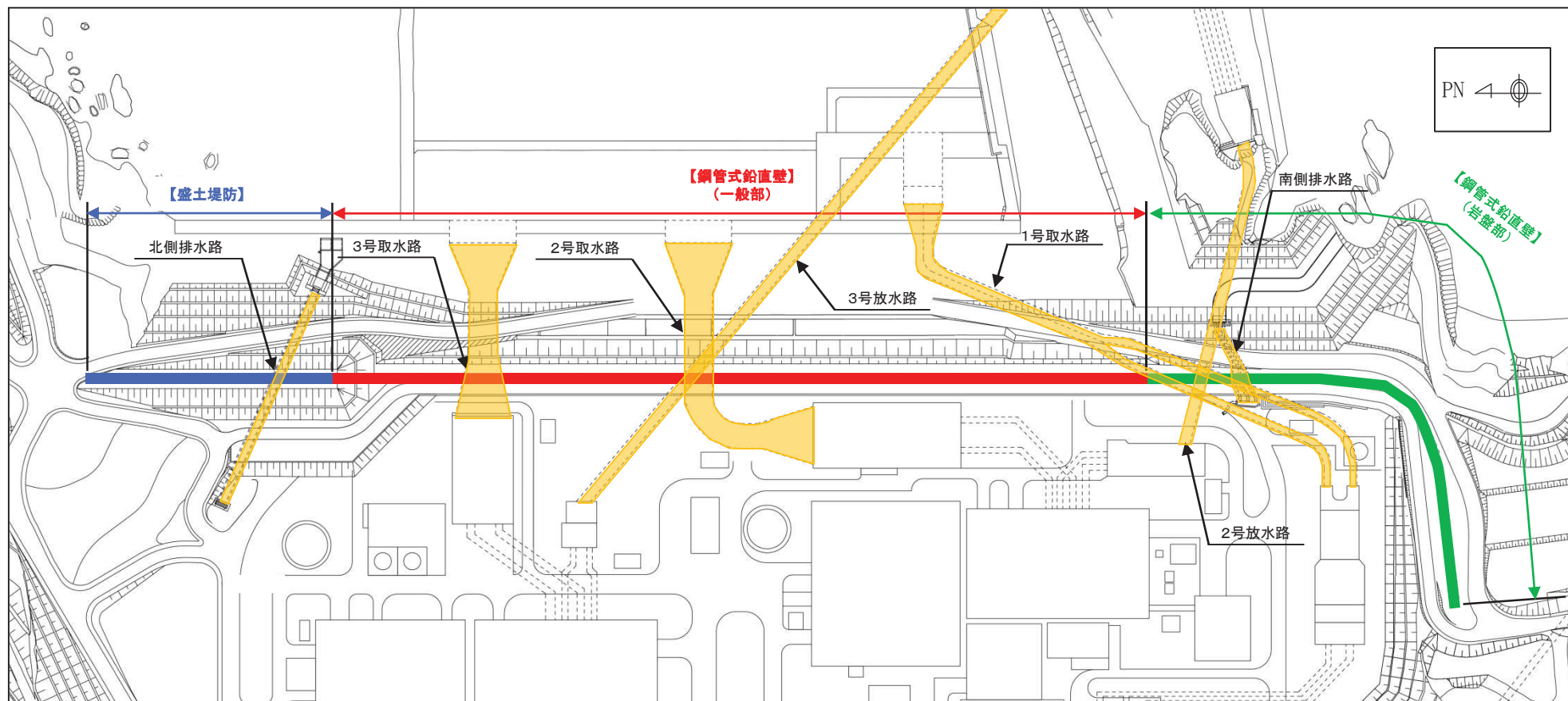
◆ ケース5-2-2m(地盤改良あり)の試験終了後状況

補足説明資料

4. 防潮堤を横断する構造物の取扱いについて

4.1 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、発電用冷却用水の取放水設備並びに構内排水設備である。

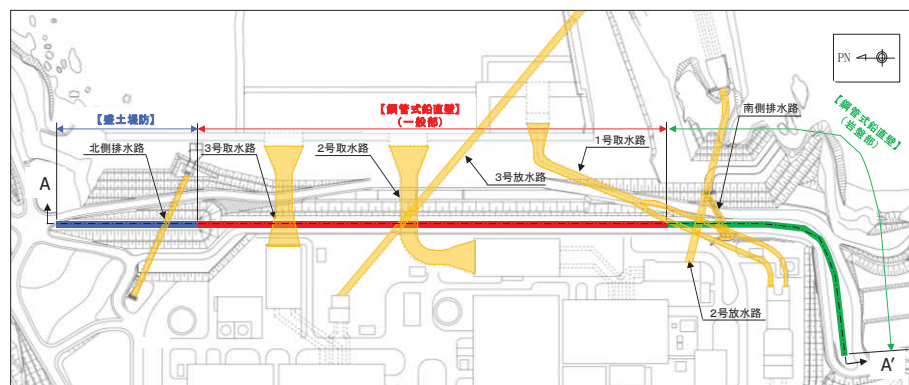


平面位置図

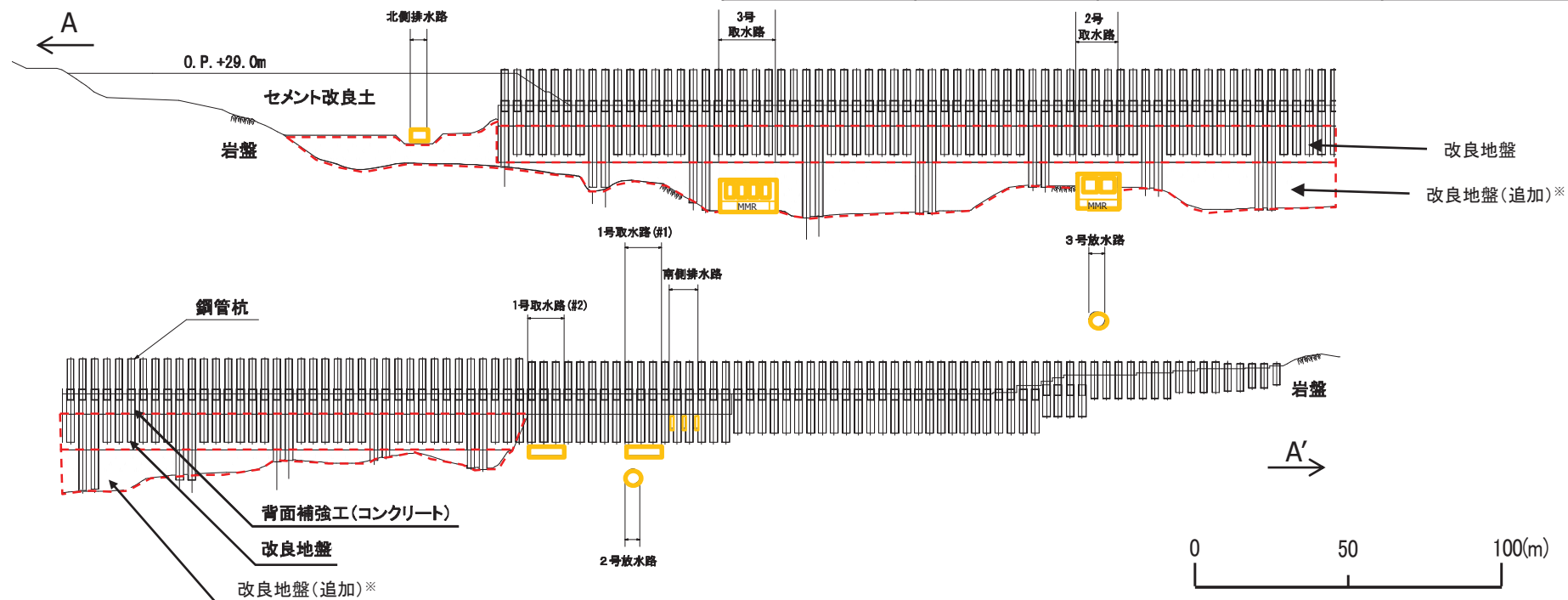
0m 100m

4.1 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



※: 追加対策範囲はイメージであり、追加対策の詳細は「防潮堤の構造成立性評価結果について」を参照。

A - A'断面図

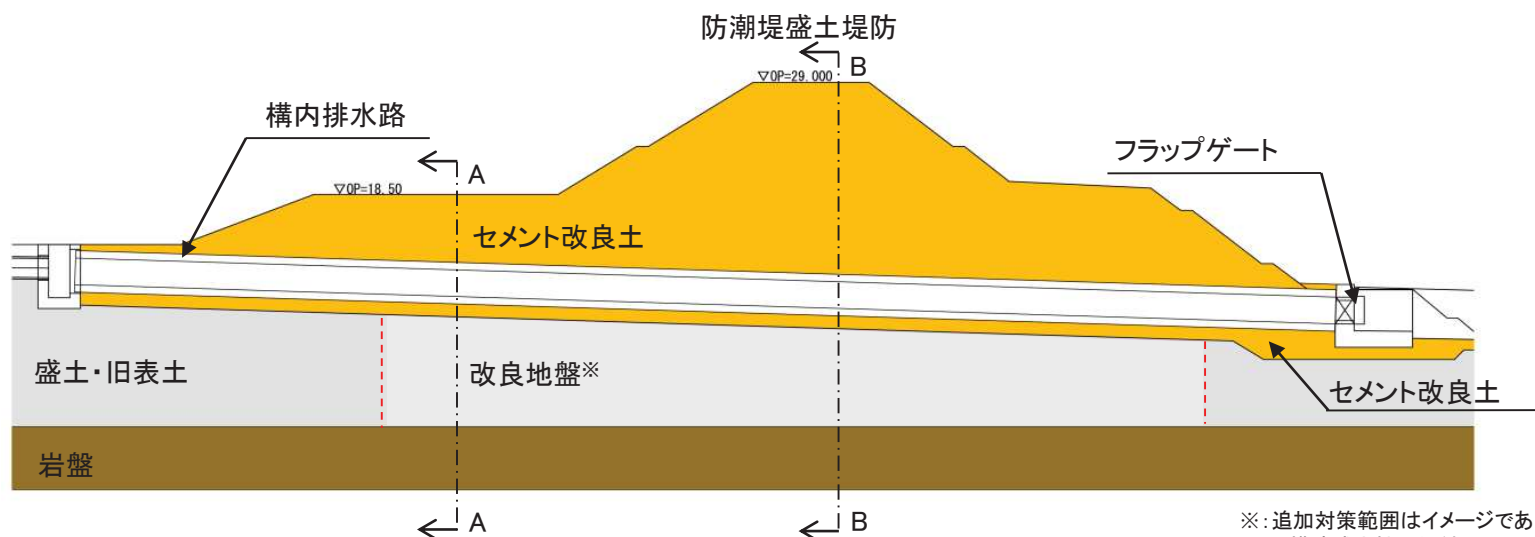
4.2 各構造物の地震に対する評価

- ・ 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『4.4 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SsI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SsI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SsI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

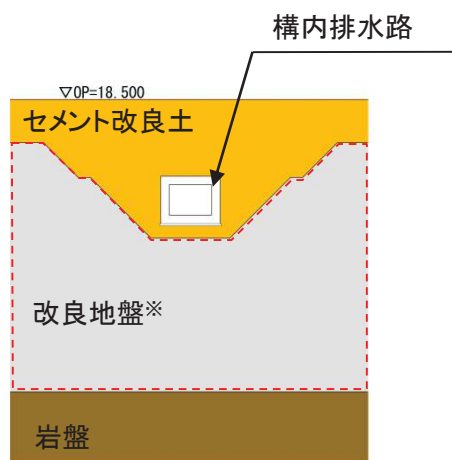
4.3 参考 北側排水路の構造 (1/2)

- ・ 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。

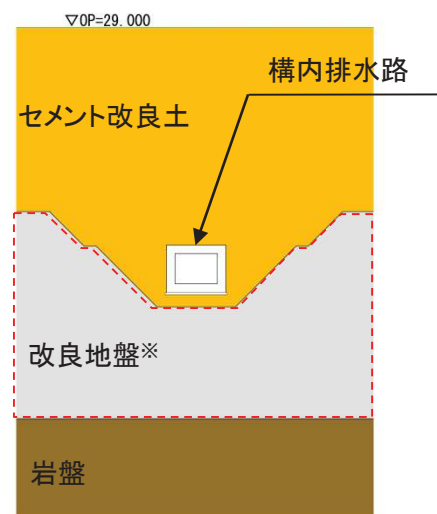


※：追加対策範囲はイメージであり、追加対策の詳細は「防潮堤の構造成立性評価結果について」を参照。

北側排水路縦断面図



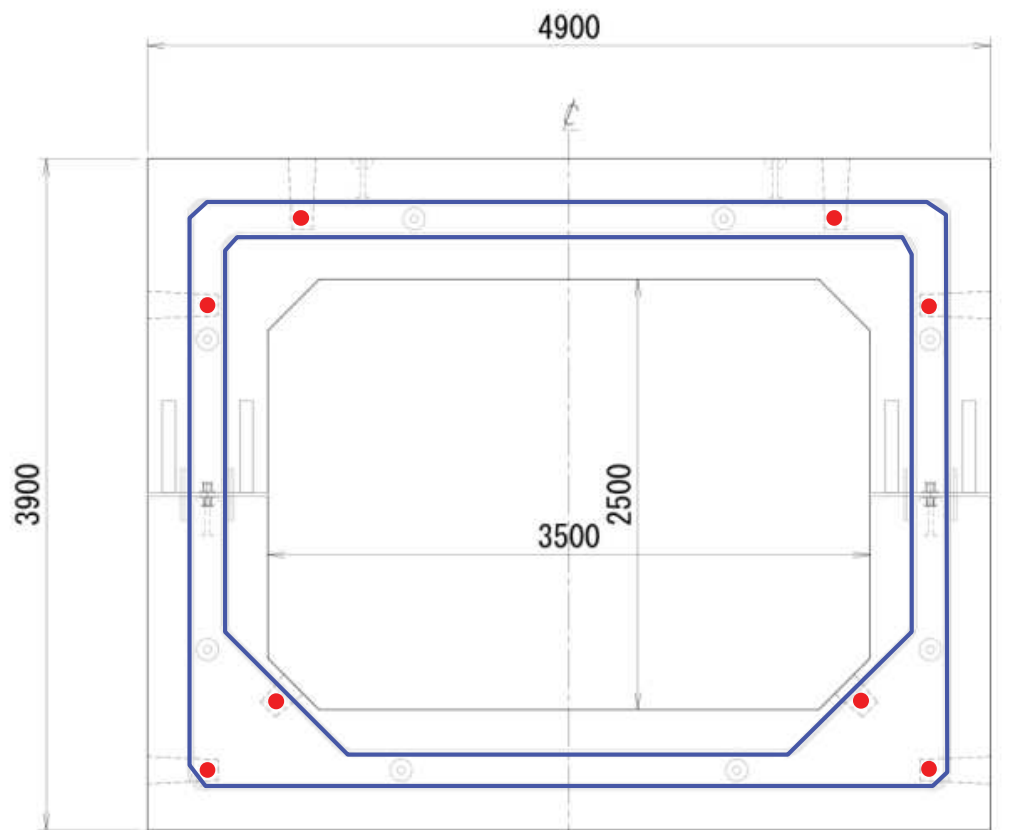
A-A断面図



B-B断面図

4.3 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

(単位:mm)

凡例

● : PC 鋼線 (B種1号SBPR φ17mm)

— : 水膨張パッキン (スポンジ系)

4.4 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	

4.5 北側排水路の漏水対策に係る参考文献(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阻止できる。		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						
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。		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とも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とも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"> 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 <p>(短所)</p> <ul style="list-style-type: none"> 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"> 古くからの防水工法である“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 <p>(短所)</p> <ul style="list-style-type: none"> 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、周辺堤防の浸潤面を上昇させ、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 仮設、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"> 函体の切削を必要とする シートを除去、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機械性矢板を用いる。		函体との固定方法は地盤沈下を考慮したものとする。地中部分の初テイクアップ対策として、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、壁体築設後充填する。	盛土を追加して行うことにより対応できるが、それによって新たな沈下が発生しないように十分な検討が必要である。	盛土の外側への設置であることから、沈下の影響を受けることは殆どなく、補修等の維持管理も容易である。

4.5 北側排水路の漏水対策に係る参考文献 (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 $5 \text{ kgf/cm}^2 \{0.5 \text{ N/mm}^2\}$ 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。



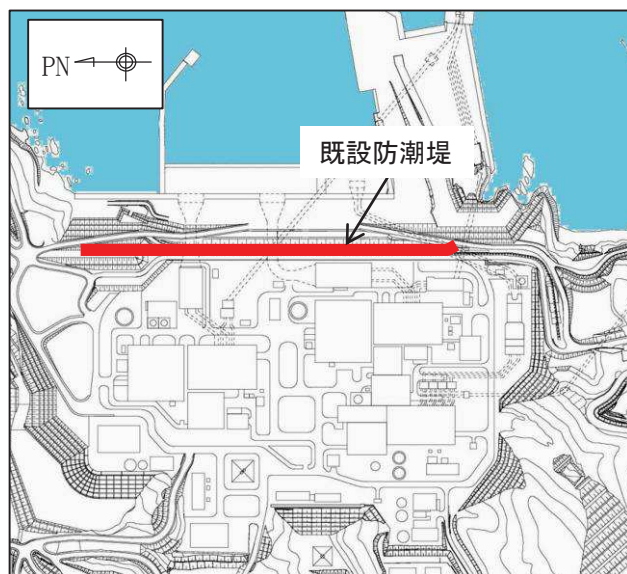
プレキャスト PC 函体 (九州地方建設局)

補足説明資料

5. 既設防潮堤(O.P.+17m)の取扱いについて

5.1 既設防潮堤(O.P.+17m)の概要

- 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。

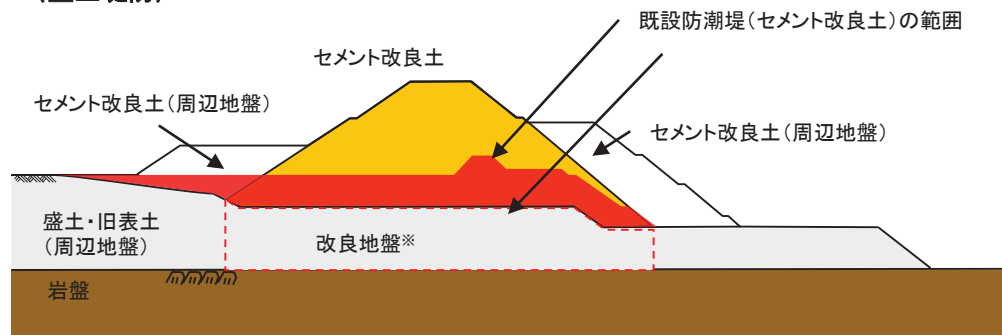


既設防潮堤平面配置図

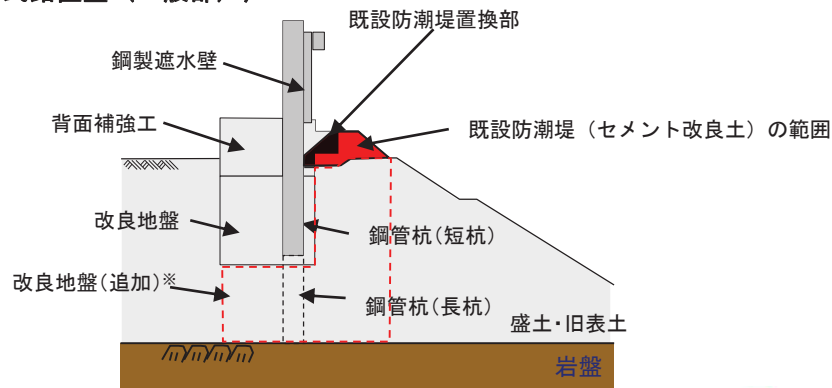


既設防潮堤完成状況(平成24年4月26日)

〈盛土堤防〉



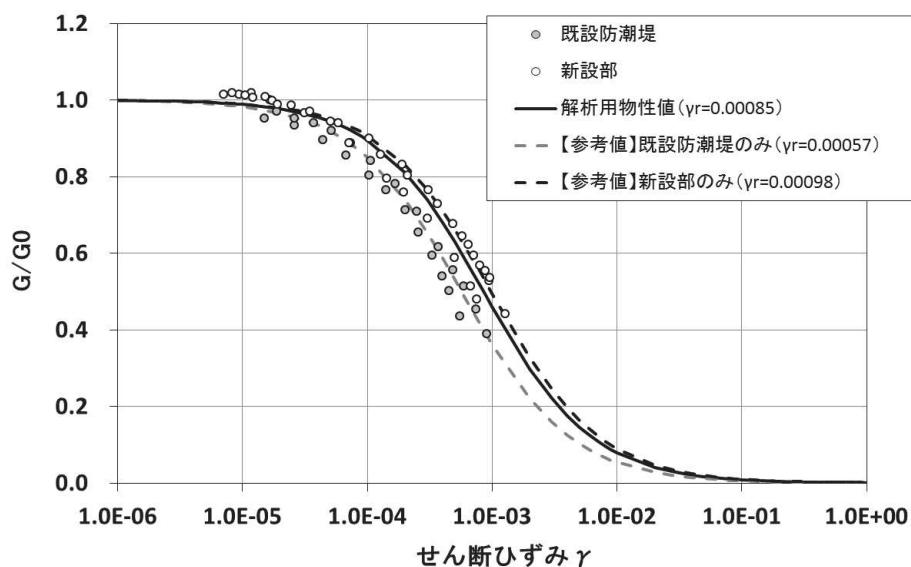
〈鋼管式鉛直壁(一般部)〉



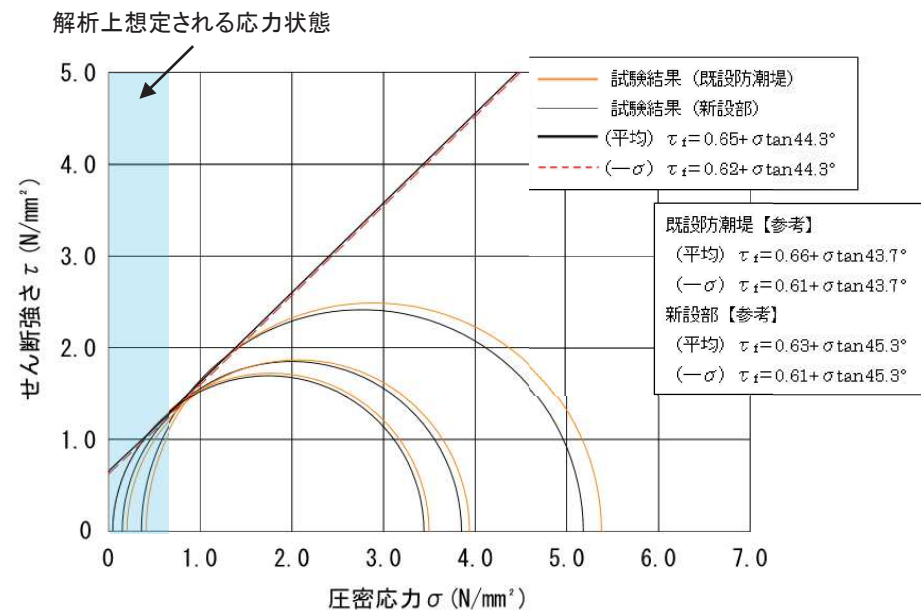
※: 改良範囲はイメージであり、詳細は「防潮堤の構造成立性評価結果について」を参照。

5.2 既設防潮堤部と新設部の物性

- 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)



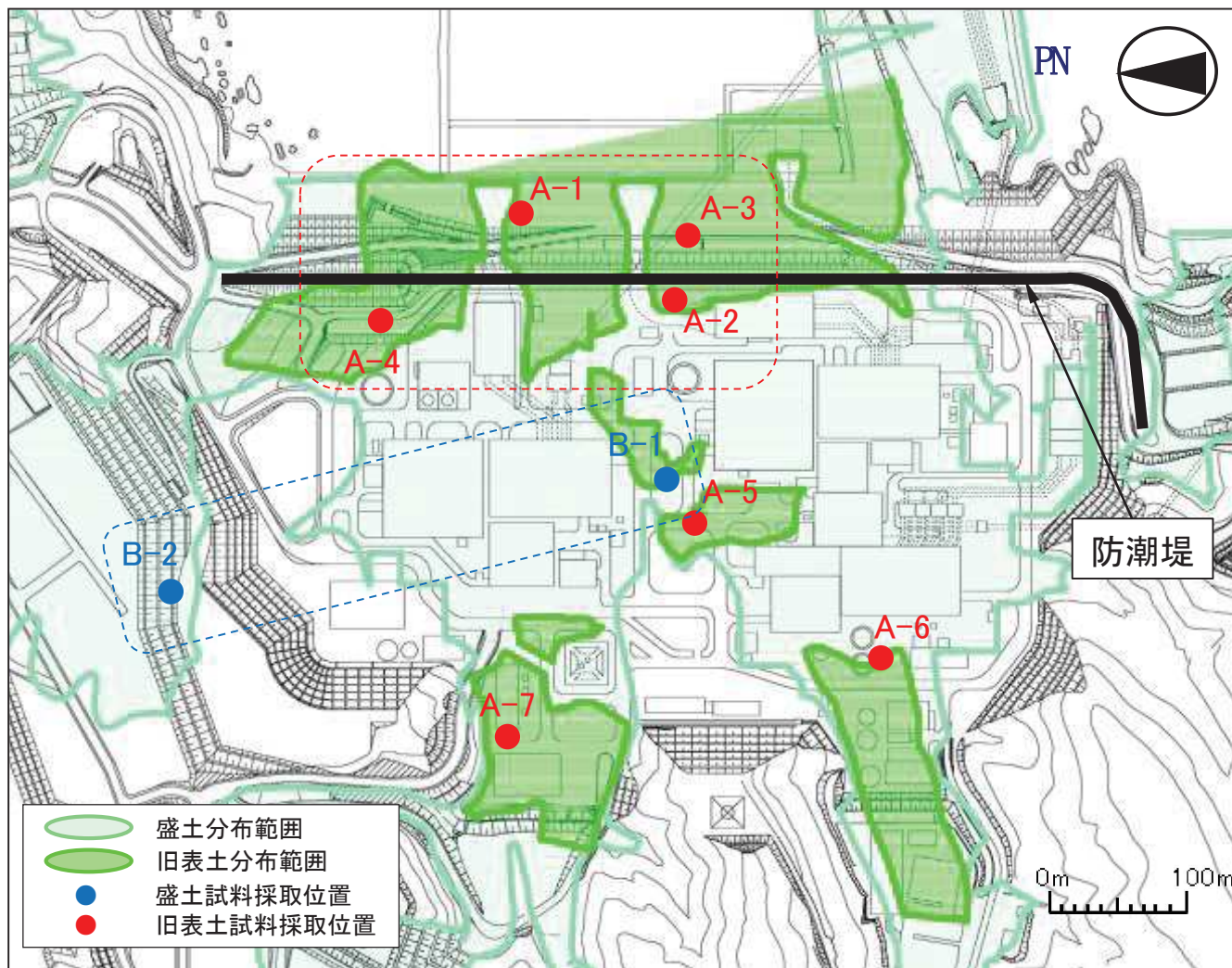
強度特性の比較(三軸圧縮試験結果)

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。



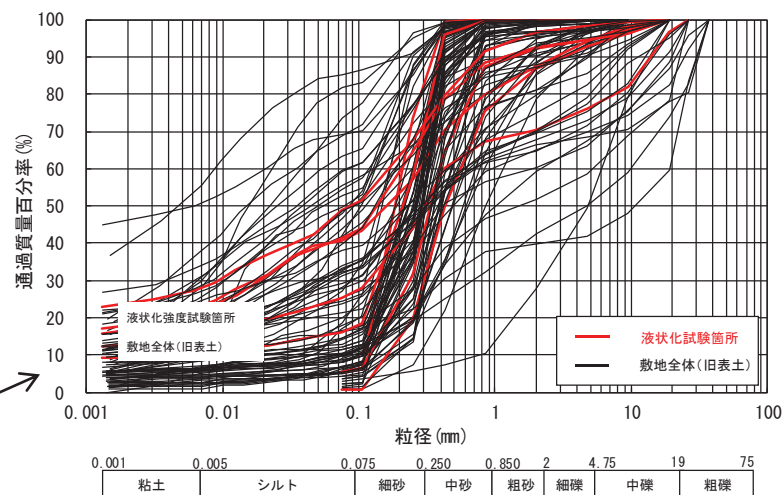
液状化強度試験の試料採取位置図

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。

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

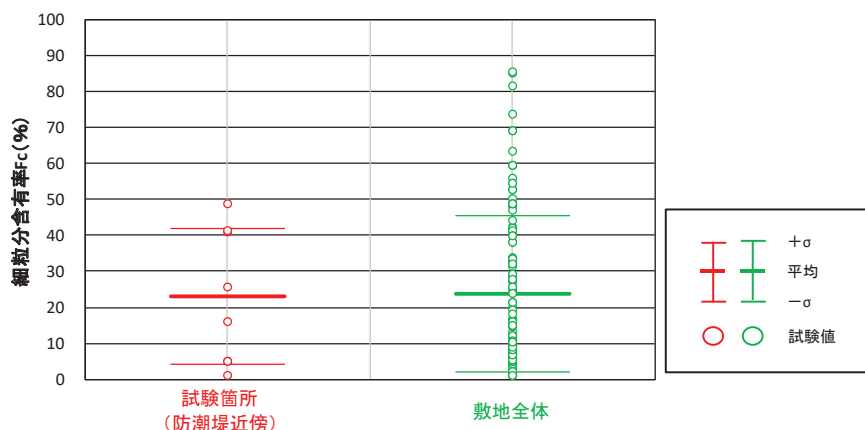
- N値について，防潮堤近傍の液状化強度試験箇所は敷地全体よりもやや小さい値である。
- 以上から，防潮堤近傍の液状化強度試験箇所は敷地全体と比較し，同程度あるいはやや液状化しやすい箇所から採取されてることから，防潮堤近傍の液状化強度試験箇所は敷地全体に対して保守的な位置で実施され，代表性があるといえる。



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

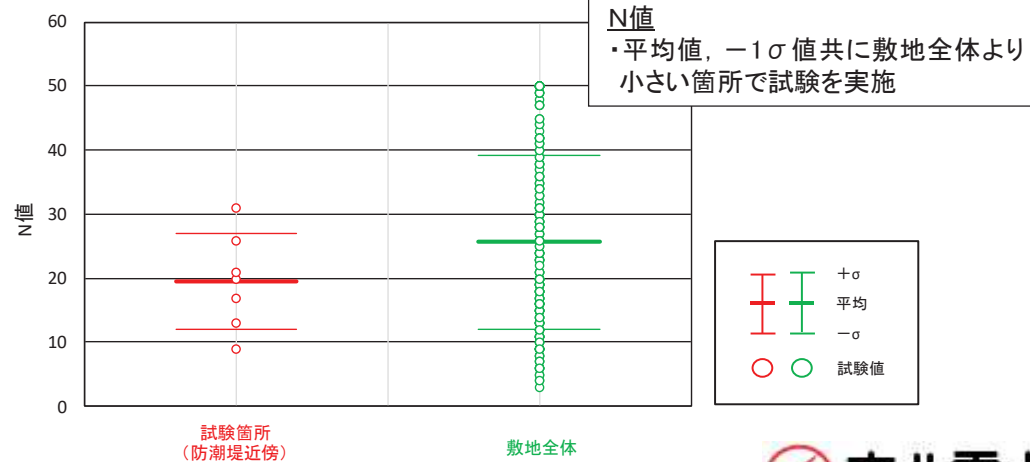
細粒分含有率

・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

粒度分布



N値

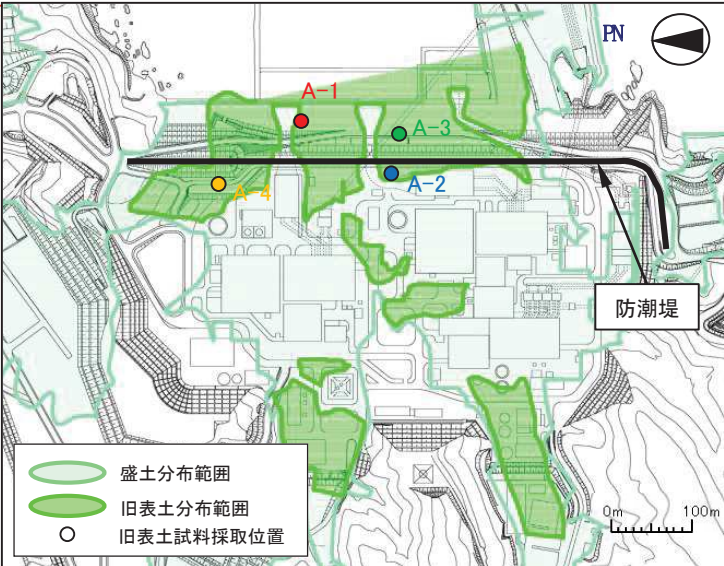
・平均値， -1σ 値共に敷地全体より小さい箇所で試験を実施

N値

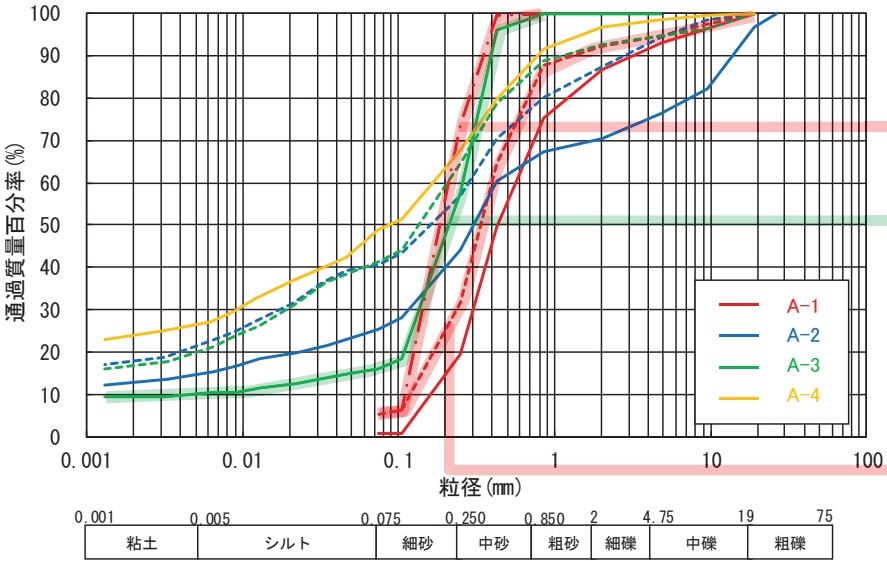
6.2 防潮堤の液状化影響評価に用いる試料の採取位置と代表性（旧表土(2/2)）

- 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。

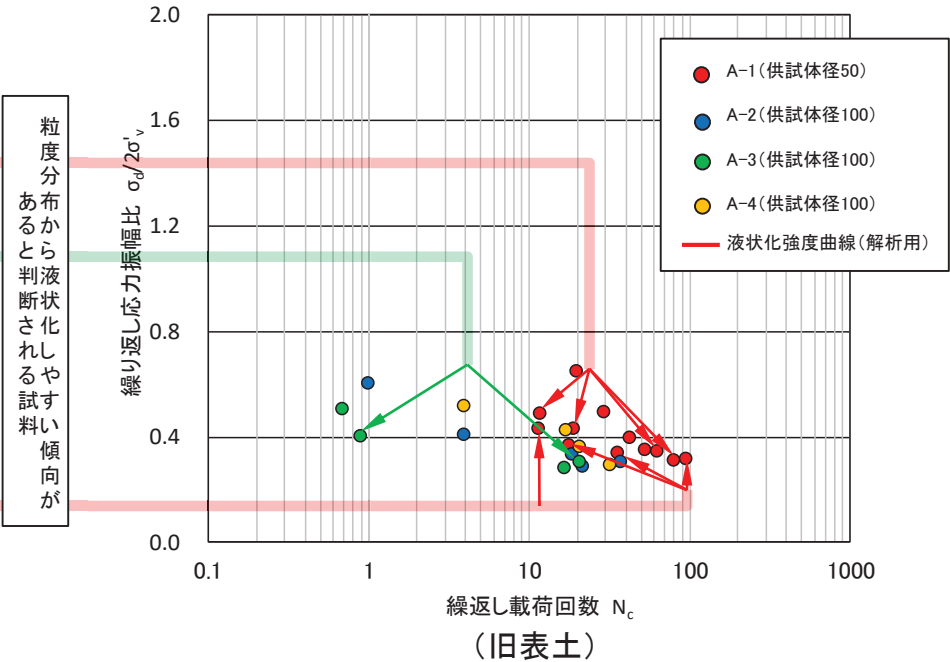
試料番号	層相	粒度分布
A-1	1 礫混じり砂	——
	2 砂
	3 砂 有機質シルト	- - - -
A-2	礫混じり砂	—— - - - -
A-3	礫混じりシルト質砂	—— - - - -
A-4	砂礫	——



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)



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)）

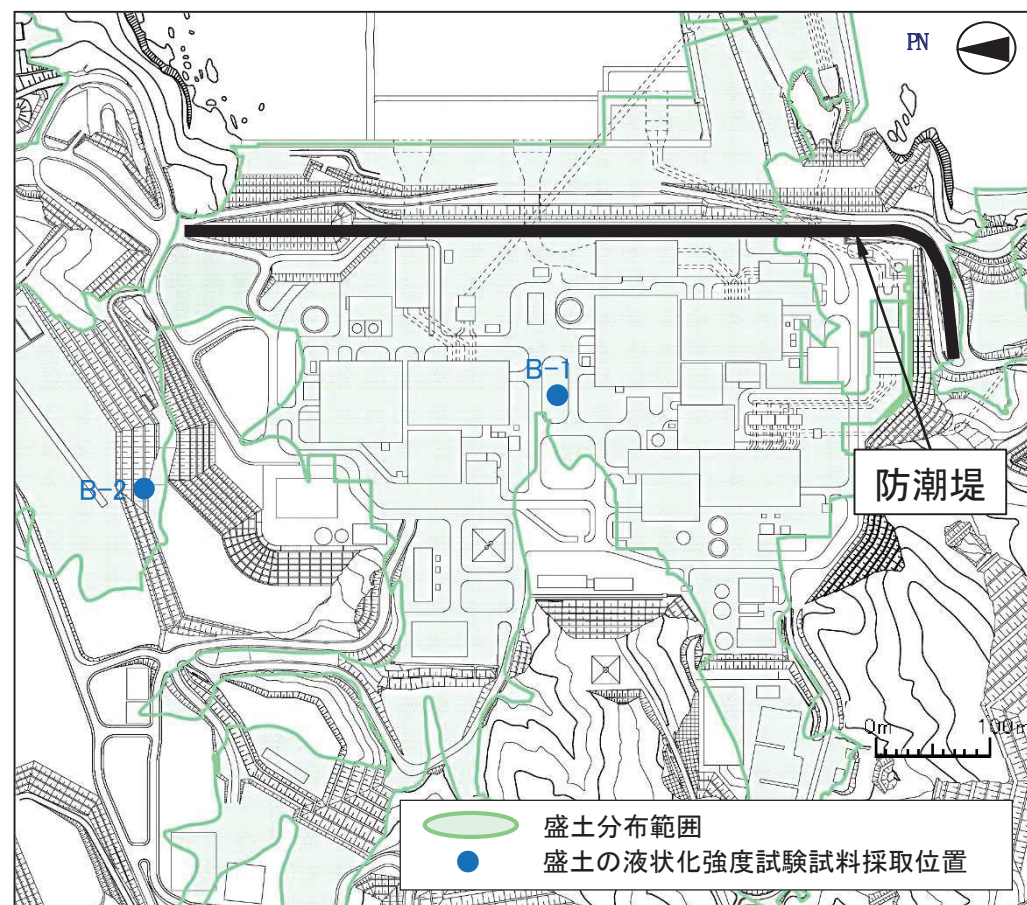
- 防潮堤の液状化影響評価に用いる盛土の液状化強度特性は、防潮堤近傍の試料がないことから、敷地全体(B-1, B-2)の液状化強度試験結果から保守的に設定する方針であるため、敷地全体の液状化強度試験箇所(B-1, B-2)と防潮堤近傍の物性値を比較することで、その妥当性を確認する。
- 比較する物性値は、粒度分布、相対密度、S波速度及び盛土の施工における品質管理項目である締固め度とした。なお、比較する物性値は以下の理由により選定したものである。

- ・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、

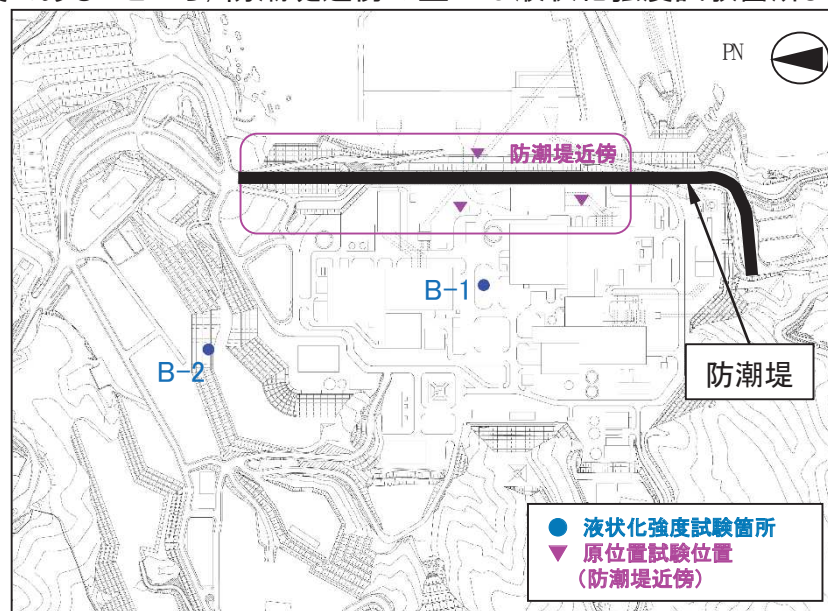
防潮堤近傍及び液状化強度試験箇所のいずれも $F_c < 35\%$ となっており、液状化の判定が必要な土質となる。防潮堤近傍は液状化強度試験箇所よりも細粒分含有率が少ないことから、防潮堤近傍の盛土は液状化強度試験箇所よりも液状化しやすい。

- 判定基準③に関して、

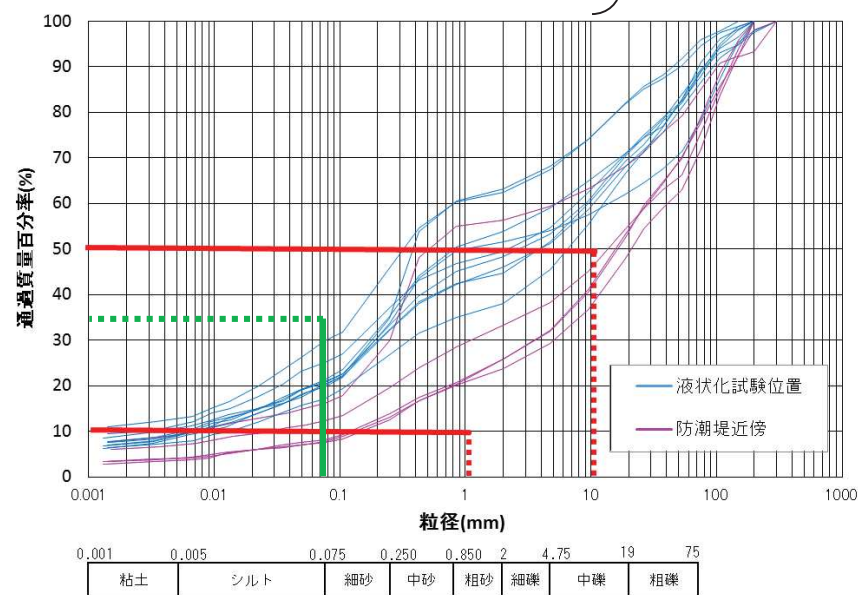
- ・防潮堤近傍では、概ね $D_{50} > 10\text{mm}$
- ・液状化強度試験箇所では $D_{50} \leq 10\text{mm}$ かつ $D_{10} \leq 1\text{mm}$

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。



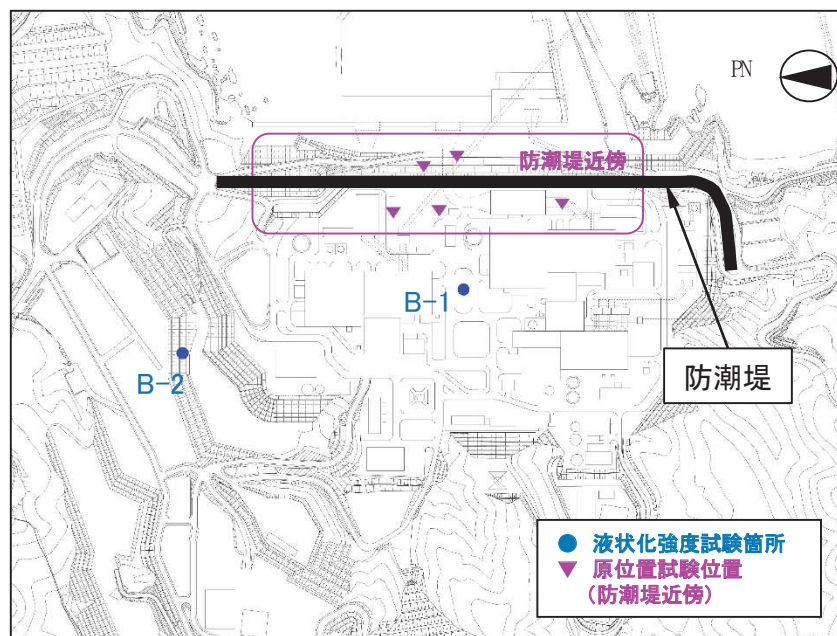
試験試料採取位置



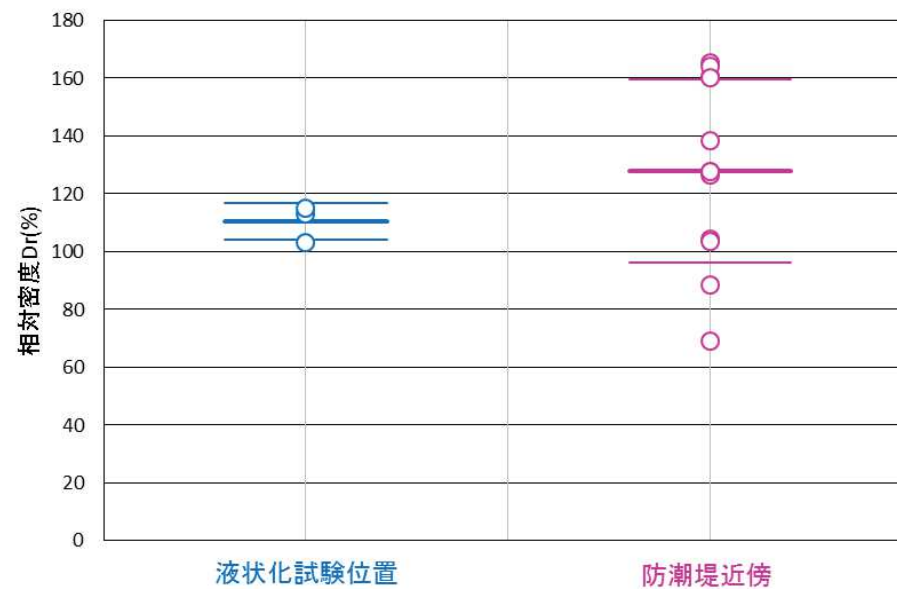
粒度分布

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。



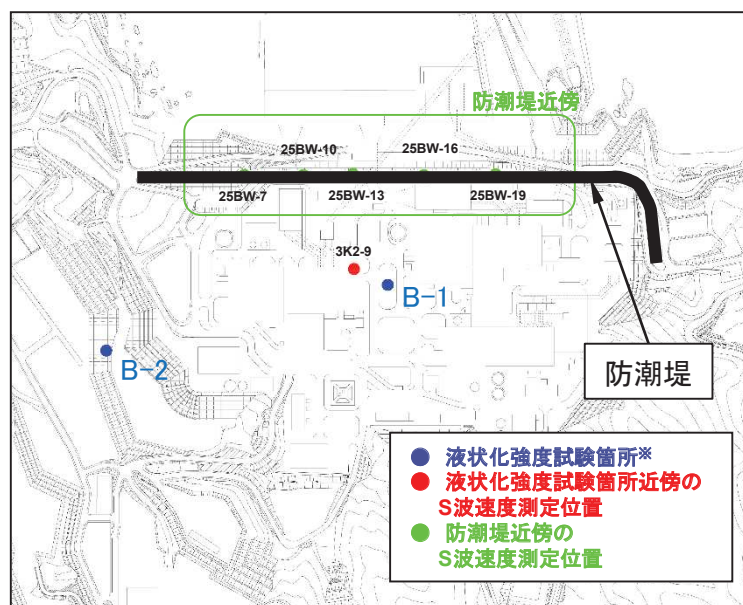
試験試料採取位置



相対密度

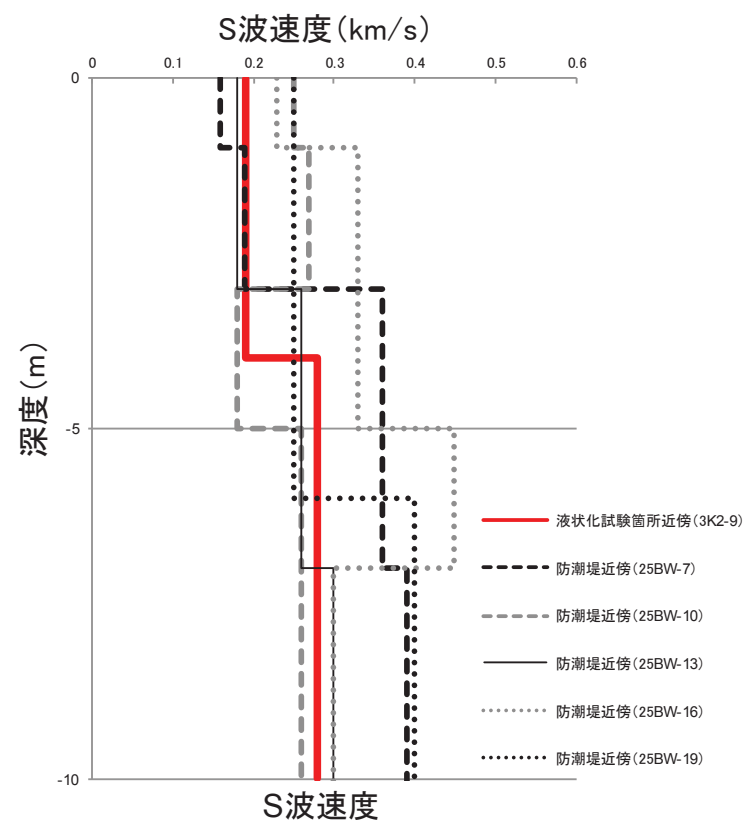
6.3 防潮堤の液状化影響評価に用いる試料の採取位置と代表性（盛土(4/7)）

- 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。



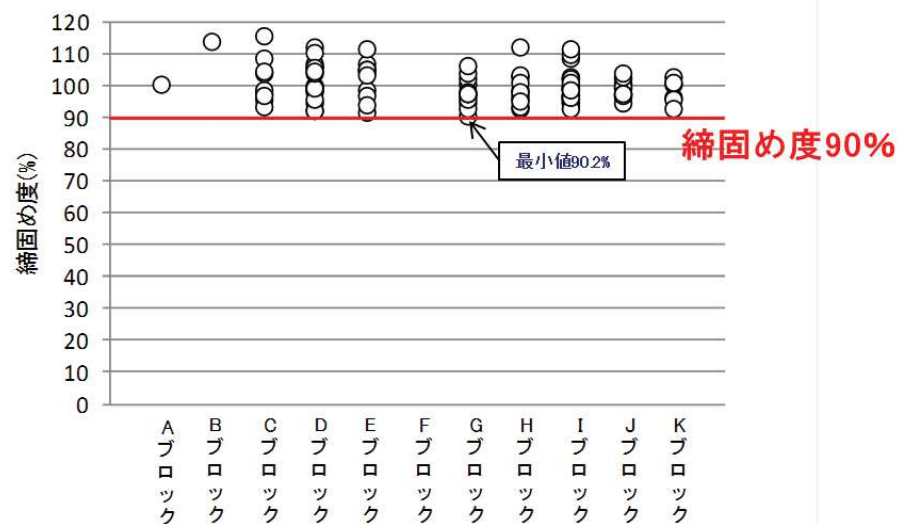
S波速度測定位置

※: 液状化強度試験箇所ではS波速度を測定していない。

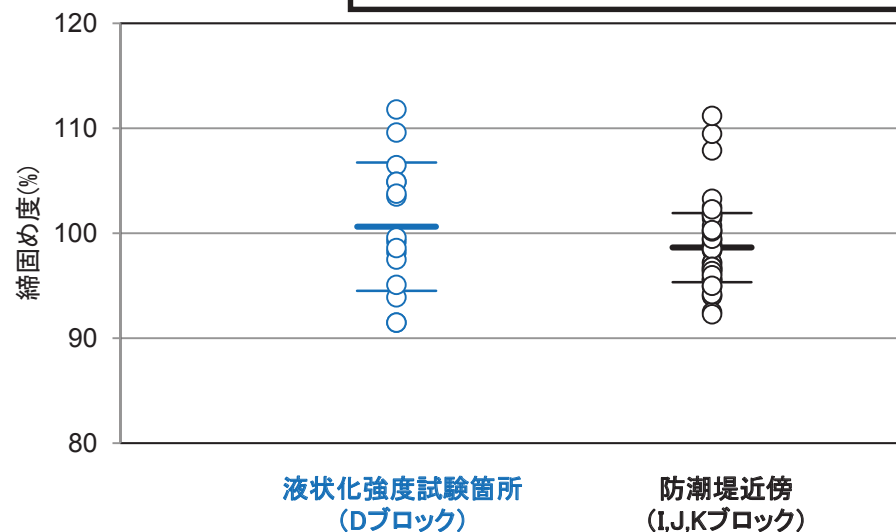


6.3 防潮堤の液状化影響評価に用いる試料の採取位置と代表性（盛土（5/7））

- ・ 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。



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)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

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)）

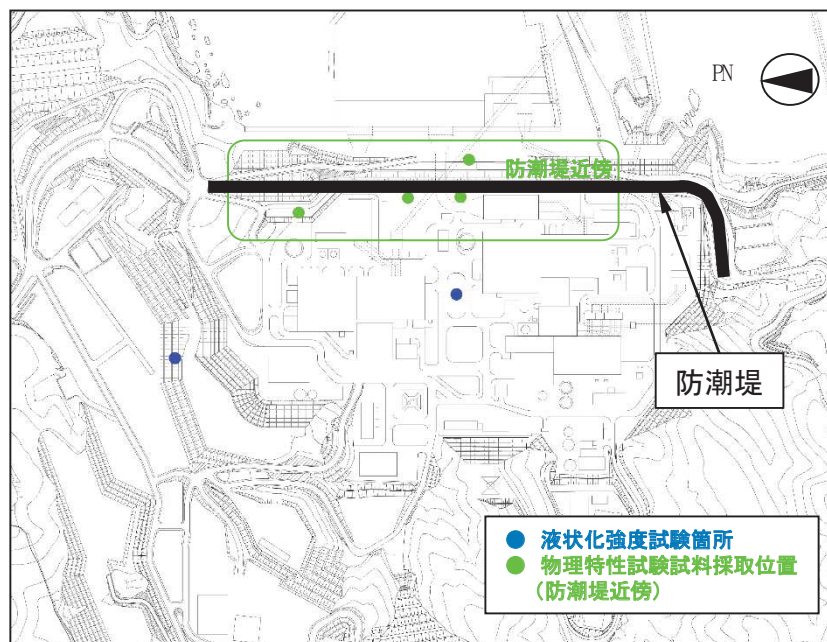
- ・ 粒度分布, 相対密度, S波速度及び盛土施工の品質管理項目である締固め度について, 防潮堤近傍と液状化強度試験箇所における比較により, 以下を確認した。
 - ・ 粒度分布の比較では, 道路橋示方書の判定基準(細粒分含有率, 平均粒径・10%粒径)によると, 細粒分含有率について防潮堤近傍の方が液状化しやすい結果となり, 平均粒径・10%粒径について液状化試験箇所の方が液状化しやすい結果となった。防潮堤近傍と液状化強度試験箇所の液状化しやすいさの大小が異なるが, 細粒分含有率を液状化強度試験に用いる供試体レベルで比較した場合, 防潮堤近傍と液状化強度試験箇所はほぼ同程度である。
 - ・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

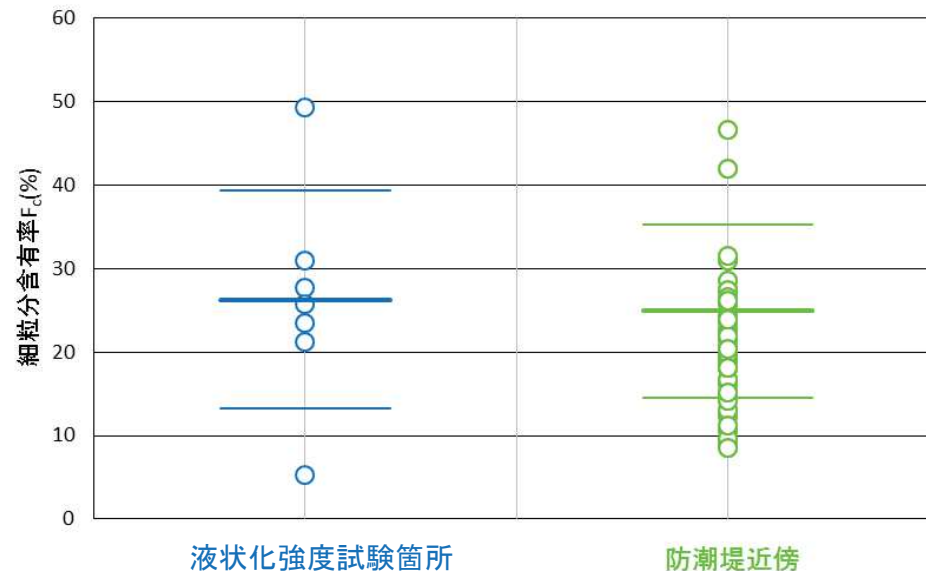
6.3 防潮堤の液状化影響評価に用いる試料の採取位置と代表性（盛土(7/7)）

【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し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。

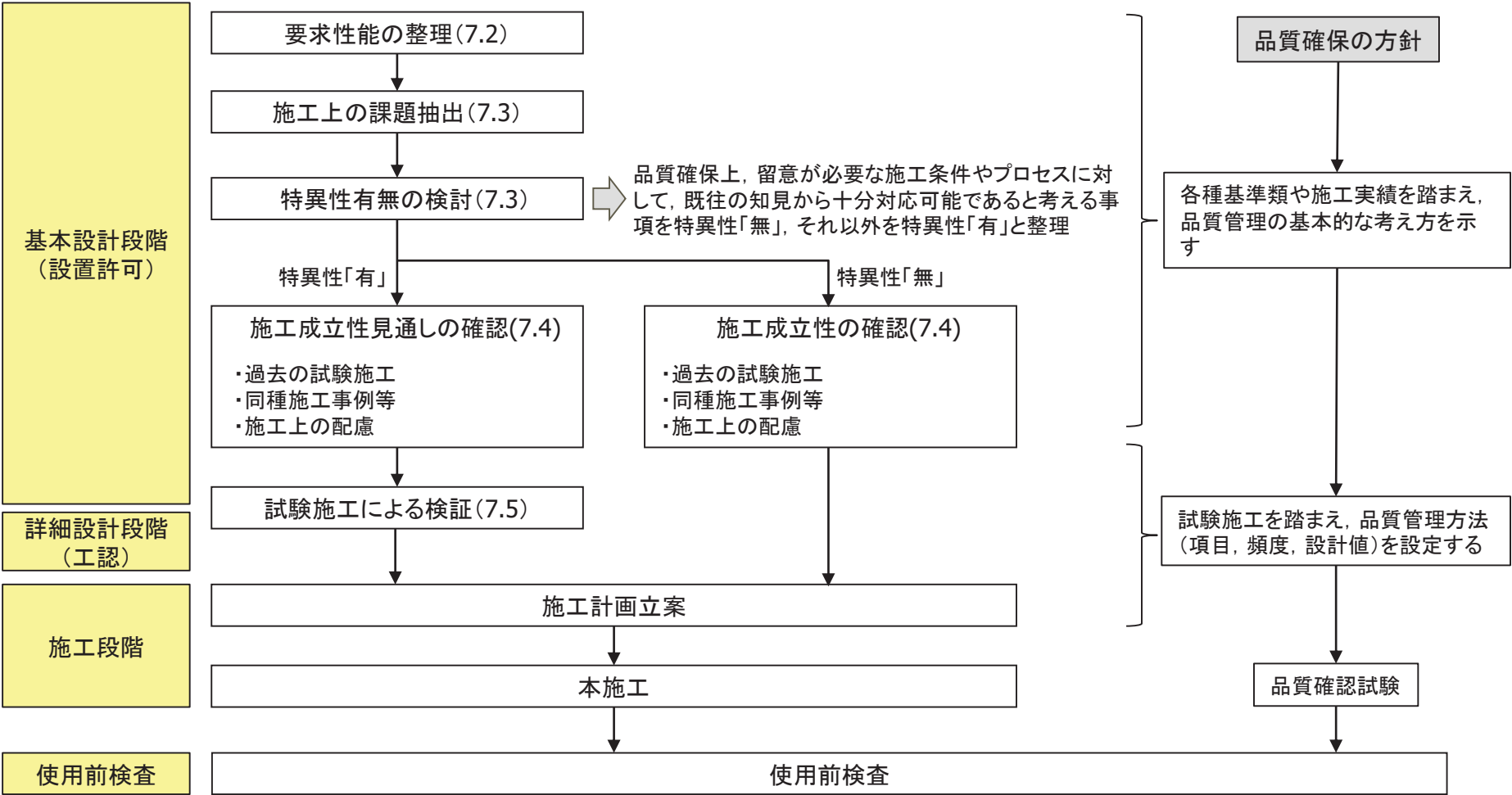
補足説明資料

7. 追加地盤改良の施工成立性について

補足説明資料7. 追加地盤改良の施工成立性について

7.1 追加の地盤改良の施工に関する検討フロー

- 構造物の耐震裕度向上を目的とする地盤改良は、女川サイトにおいても実績があるが、今回追加で実施する防潮堤直下の地盤改良は、背面補強工や改良地盤直下の施工であることや、支持地盤としての性能が求められる等の点において、これまでの施工と異なる。
- このことを踏まえ、以下のフローにより防潮堤直下の地盤改良における特異性の有無及び品質確保の方針を示す。
- なお、安定性確保の観点から設置する置換コンクリート(MMR)は施工成立性に係る課題等はないため、本章には含まれない。



7.2 改良地盤の要求性能の整理

- 改良地盤の役割及び要求される品質を以下に示す。

改良地盤の役割及び要求される品質

役割		要求される品質
改良地盤 (鋼管式鉛直壁)	基礎地盤として短杭を支持する。	十分な支持力を有すること
	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。	十分な水平抵抗力を有すること
	津波時に通水経路となる空洞を生じない。	止水性に影響を及ぼす連続した未改良部が無いこと
改良地盤 (盛土堤防)	盛土堤防を支持する。	十分な支持力を有すること
	津波時に通水経路となる空洞を生じない。	止水性に影響を及ぼす連続した未改良部が無いこと

補足説明資料7. 追加地盤改良の施工成立性について

7.3 施工における課題抽出と特異性有無の検討

- 追加の地盤改良における施工上の課題及び特異性の検討について以下の表に示す。
- 次頁以降に、特異性有無を検討した施工上の課題に対する対応方針を示す。

特異性有無の考え方

改良地盤の要求品質(7.2)を確保する上で対処が必要となる施工上の課題に対し、既往の知見から十分対応可能であると考える事項を特異性「無」、それ以外を特異性「有」と整理

表. 改良地盤の施工上の課題と特異性の整理

要求品質	地盤改良による施工上の課題		一般産業施設での施工事例、女川での施工実績等の確認による特異性の検討	特異性
	分類	概要		
十分な支持力	盛土への適用性	改良対象地盤の中に盛土(最大粒径300mmの岩砕主体)を含むため、岩砕周辺に改良不十分な範囲が残る可能性がある	女川での地盤改良の実績により、礫が多く含まれている盛土に対しても良好に改良可能であることが確認済であることから、特異性「無」とする	無
	改良深度	改良対象が深く、地盤の拘束圧が大きいことから、十分な改良径が得られない可能性がある	追加地盤改良と同程度以上の深度における一般産業施設での施工事例は存在するが、女川において拘束圧の大きい岩砕主体の盛土での施工実績が無いことから、特異性「有」とする	有
十分な水平抵抗力	構造物直下	背面補強工、既設改良地盤の直下での地盤改良となることから、施工可能であることを確認する必要がある	一般産業施設における構造物直下での地盤改良の施工事例は、多く存在していることから、特異性「無」とする	無
	既設改良地盤との一体性	改良不十分や有意な空隙により一体性が確保されず、防潮堤支持地盤としての荷重伝達機能への影響や、津波時の浸水経路化の可能性がある	既設地盤改良と新設地盤改良の一体性が要求され、それに対応した施工事例は確認できないことから、特異性「有」とする	有
連続した未改良部が無い	周辺施設への悪影響	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	一般産業施設において、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の施工事例がある 過去の試験施工にて周辺施設への悪影響を確認しており、その結果を踏まえ、今回の施工においては、ドレーン等の既存施設への影響を考慮した地盤改良範囲を計画することから特異性「無」とする	無

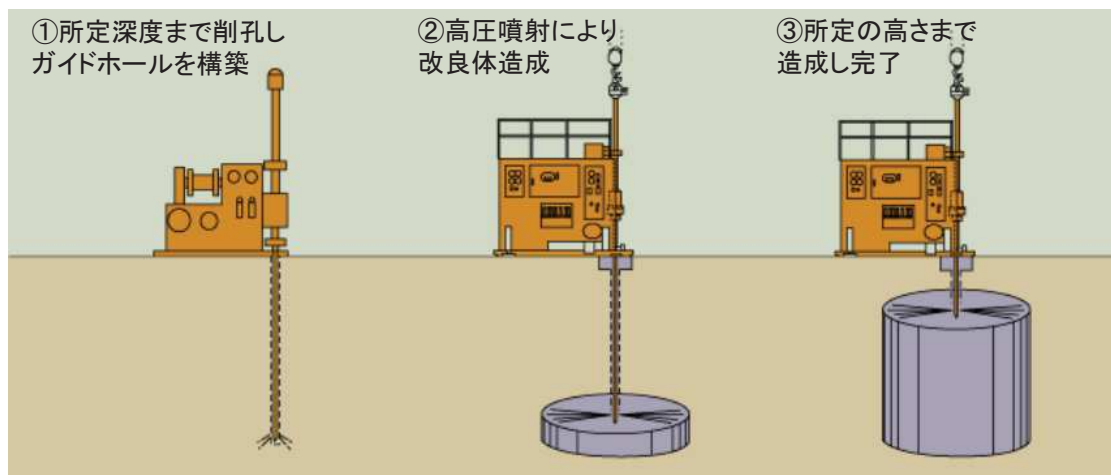
7.4 特異性の検討を踏まえた今後の対応

- 特異性有無を検討した施工における課題に対する対応方針を以下に示す。

分類	設置許可段階	工認段階
特異性「有」	施工事例等による成立性見通しの確認 7.4.1 女川防潮堤における施工実績 7.4.2 過去の試験施工 7.4.3 一般産業施設の施工事例 7.4.4 施工方法の立案	試験施工による検証 7.5.1 試験施工の概要 7.5.2 試験施工のための予備試験結果
改良深度	・防潮堤と同程度以上の深度における施工成立性を施工事例により確認	・試験施工時に、設計改良径を満足し良好に改良されていることを、ボーリングコア写真、物性試験等により確認し、施工計画に反映
既設地盤改良との一体性	・既設の地盤改良の施工において、上部の盛土との境界付近に未改良部が無いことを確認 ・既設改良地盤と新設改良地盤の境界部の品質確保に配慮した施工方法を立案	・試験施工時に、先に施工した表層改良部との境界面の性状を確認し、施工計画に反映
特異性「無」	施工事例等による成立性見通しの確認 7.4.1 女川防潮堤における施工実績 7.4.2 過去の試験施工 7.4.3 一般産業施設の施工事例 7.4.4 施工方法の立案	
盛土への適用性	・既設改良地盤の施工記録より、所定の施工仕様選定により品質を確保できることを確認	特異性「無」の項目については、設置許可時に施工事例等で成立性を確認する
構造物直下	・構造物直下での地盤改良の施工事例は多く存在しており、施工可能であることを確認	
周辺施設への悪影響	・既存周辺施設への影響が無いような地盤改良範囲を過去の試験施工を踏まえて検討 ・既存施設との干渉回避のための、斜方向の地盤改良が施工可能であることを施工事例により確認	

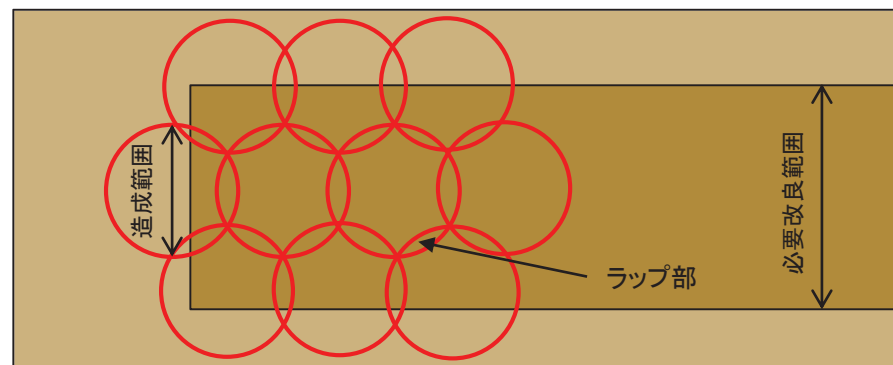
7.4.1 女川防潮堤における施工実績（施工手順）

- ・ 防潮堤において、盛土・旧表土を対象として実施した、既設地盤改良（高圧噴射攪拌工法）の施工手順を図①に示す。
- ・ 所定深度まで削孔してガイドホールを構築し、その後高圧噴射により改良体を造成した。
- ・ 地盤改良体は、未改良部が生じないように平面的に重複（ラップ）させて造成した（図②）。

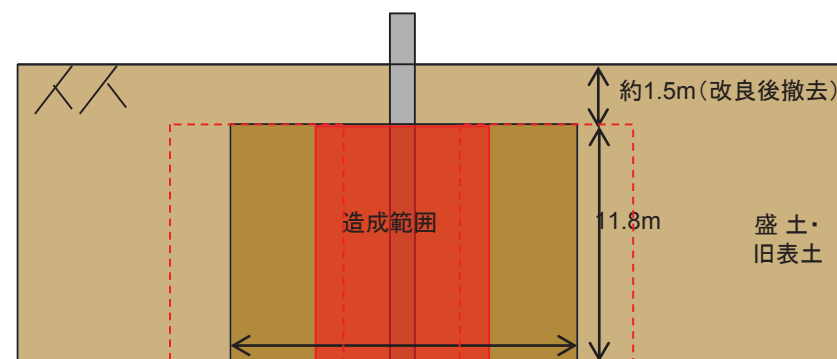


出典：SUPERJET研究会HP

高圧噴射攪拌工法による地盤改良手順（図①）



平面図



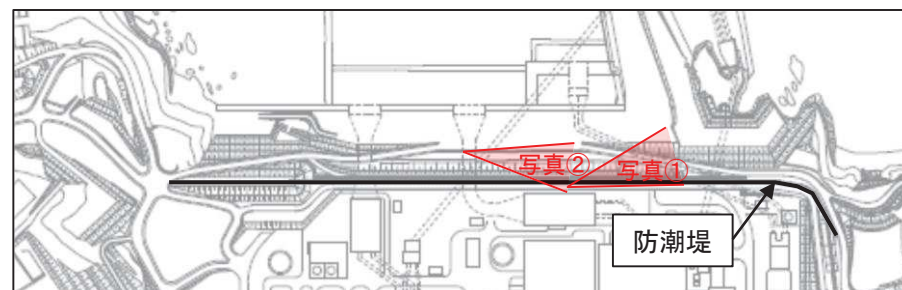
断面図

改良体の造成イメージ（図②）

7.4.1 女川防潮堤における施工実績（施工状況）

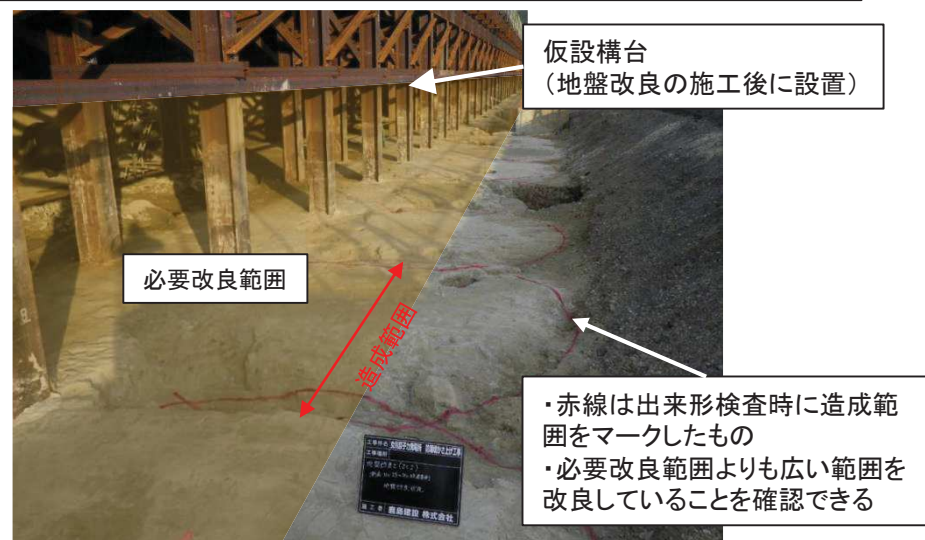
- 防潮堤において、盛土・旧表土を対象として実施した、既設地盤改良（高圧噴射攪拌工法）の施工状況を以下に示す。（写真①）。
- 地盤改良施工後の状況を写真②に示す。なお、写真②は上部に背面補強工を施工するため、地盤改良後に表層地盤（盛土）を撤去した状態である。
- 写真②中の赤線は、地盤改良の出来形をマーキングしたものであり、これにより設計改良径を満足していることを確認している。また、必要改良範囲よりも広い範囲を改良していることを確認している。

目的	防潮堤の安定性確保
対象土質	盛土（岩砕主体）
改良径	φ 4.5m
造成改良体本数	331本（約4万m ³ ）
深度 （改良体底面）	11.8m



写真①

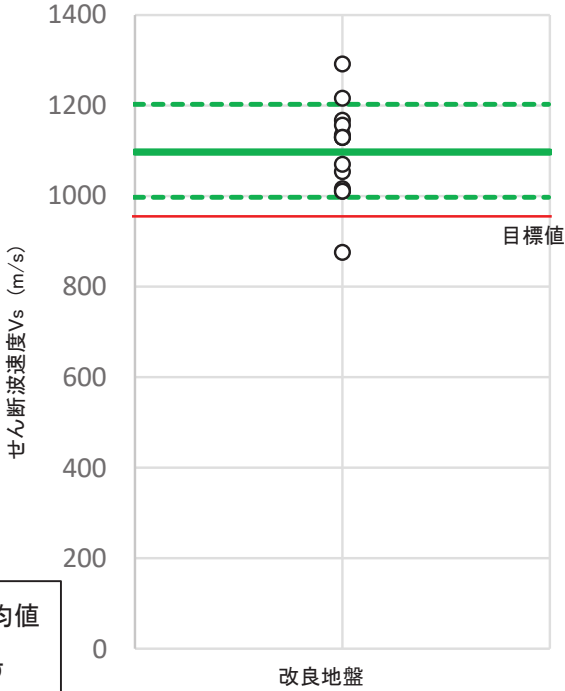
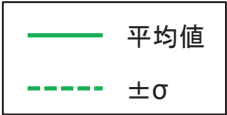
女川の盛土を対象とした高圧噴射攪拌工法の施工実績（既設改良地盤）



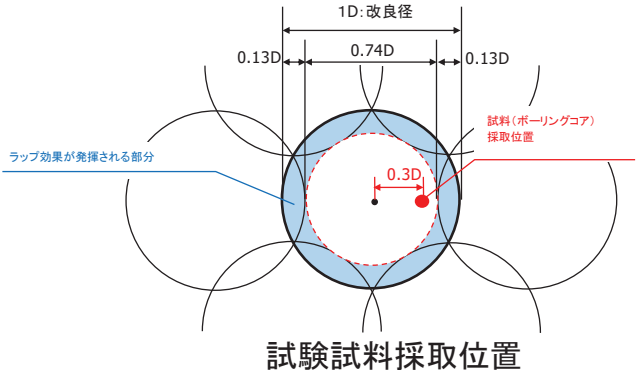
写真②

- 既設地盤改良は周辺地盤としての要求品質（剛性）を確保するため、品質確認試験としてPS検層を実施した。
- 試験のための供試体は、改良体中心から離れた位置（0.3D）にて採取した。
- せん断波速度 V_s は概ね目標値以上であり、岩砕主体の盛土においても良好に改良されていることを確認した。
- また、品質管理としては該当しないが、参考として一軸圧縮強度試験についても実施したことから、その結果について示す。
- なお、今回追加で実施する防潮堤直下の地盤改良は、支持地盤としての性能が求められることから、試験施工を踏まえて今後品質管理項目を設定する。

試験項目	せん断波速度 V_s
試験数	14
試験値 (平均値)	1100 (m/s)
目標値	970 (m/s)
標準偏差 (σ)	103 (m/s)

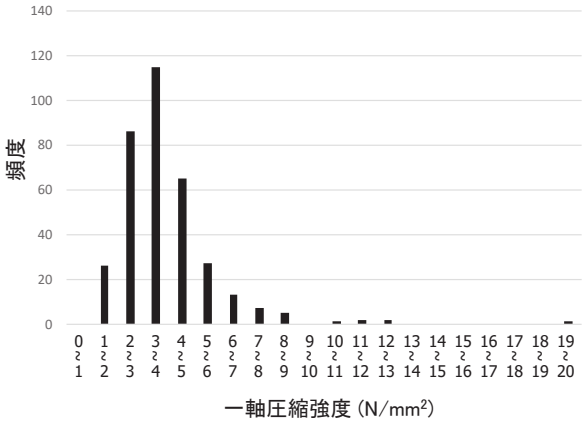


既設改良地盤における品質確認試験結果（PS検層）



試験項目	一軸圧縮強度 q_u
試験数	350
試験値 (平均値)	3.87 (N/mm ²)
目標値※	3.0 (N/mm ²)
標準偏差 (σ)	1.88 (N/mm ²)

※：せん断波速度を目標値以上とするための、一軸圧縮強度の目安値。



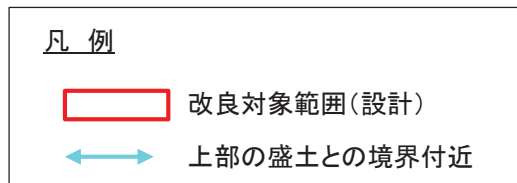
既設改良地盤における一軸圧縮強度試験結果（参考値）

7.4.1 女川防潮堤における施工実績（ボーリングコア写真(1/3)）

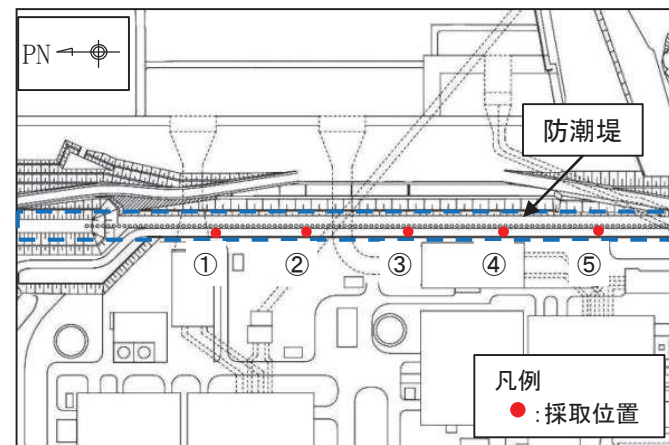
- 地盤改良実施後，上部の盛土を撤去前の段階で，改良品質確認のため取得したボーリングコア写真(①孔～⑤孔)を示す。
- ボーリングコア採取位置は改良体中心から0.3Dの位置であり，上部の盛土を含めた採取を行った。
- 礫が多い範囲も礫背面に土砂が残ることなく固化材（セメントミルク）が充填され，全体として良好に改良されている。
- また，上部の盛土との境界付近にも未改良部は生じていない。



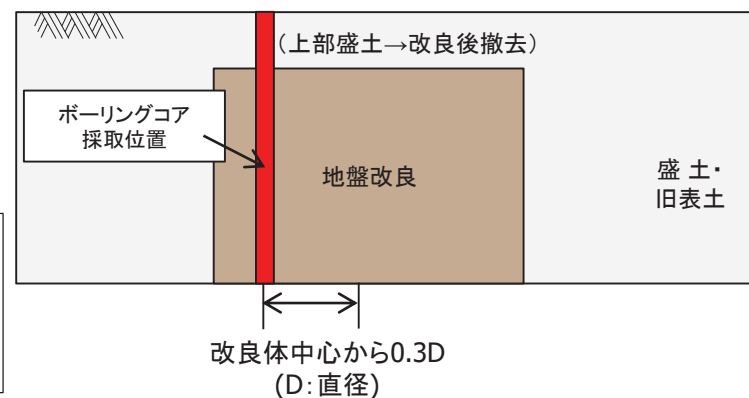
①孔
ボーリングコア写真



※：O.P.+9～10m付近等に僅かに見られるひび割れは，コア採取時のトルク割れによるものである。



ボーリングコア写真位置図

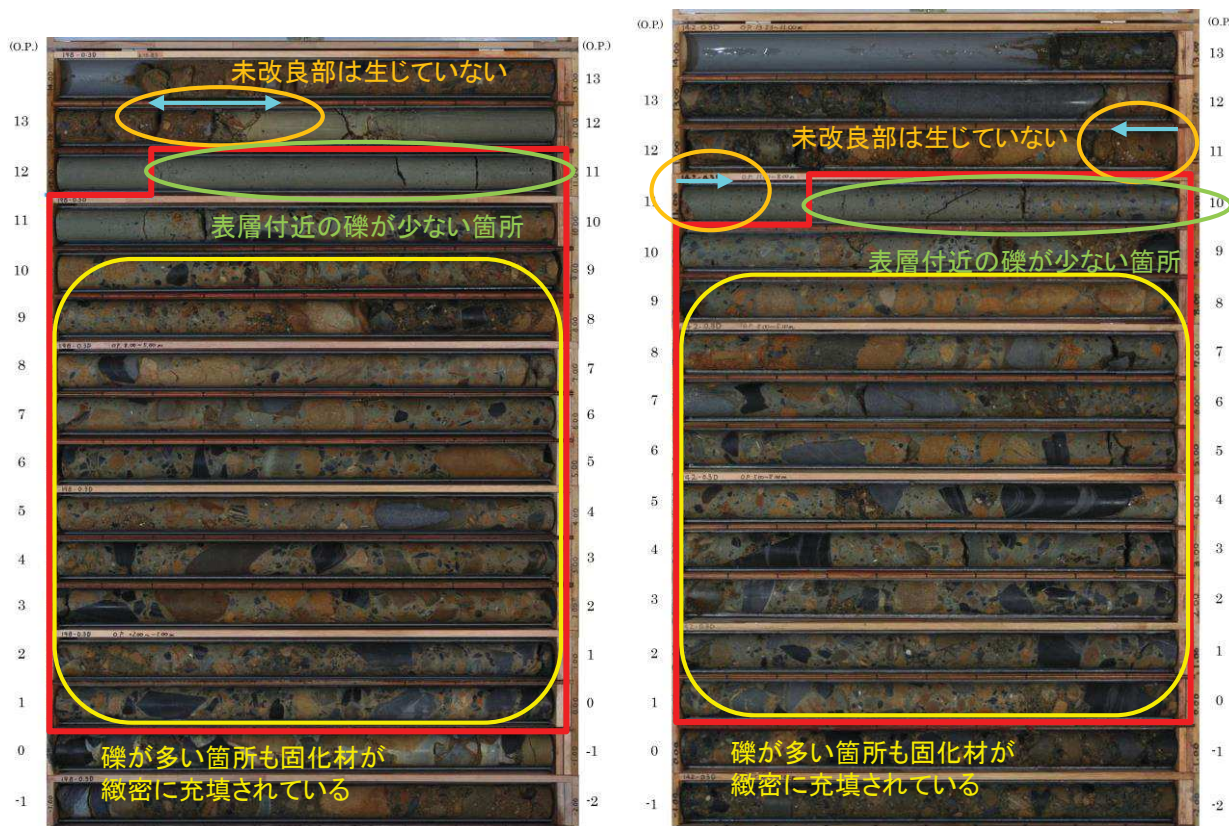


ボーリングコア採取位置

補足説明資料7. 追加地盤改良の施工成立性について 7.4 設置許可段階における成立性確認
7.4.1 女川防潮堤における施工実績（ボーリングコア写真（2/3））

54

- ・ 礫が多い範囲も礫背面に土砂が残ることなく固化材（セメントミルク）が充填され、全体として良好に改良されている。
- ・ また、上部の盛土との境界付近にも未改良部は生じていない。



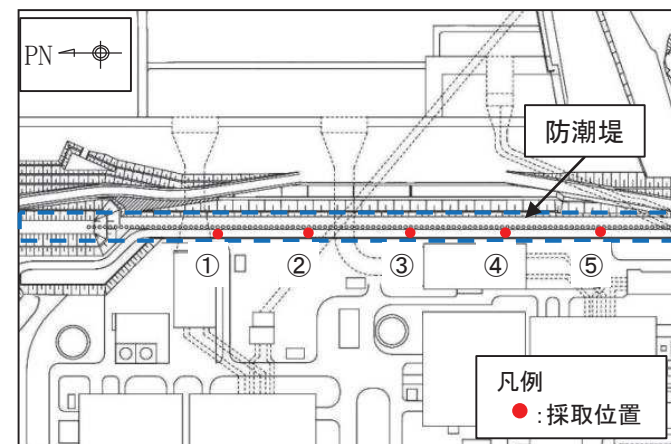
②孔

③孔

※：O.P.+11～12m付近等に僅かに見られるひび割れは、コア採取時のトルク割れによるものである。

※：O.P.+3～11m付近等に僅かに見られるひび割れは、コア採取時のトルク割れによるものである。

ボーリングコア写真



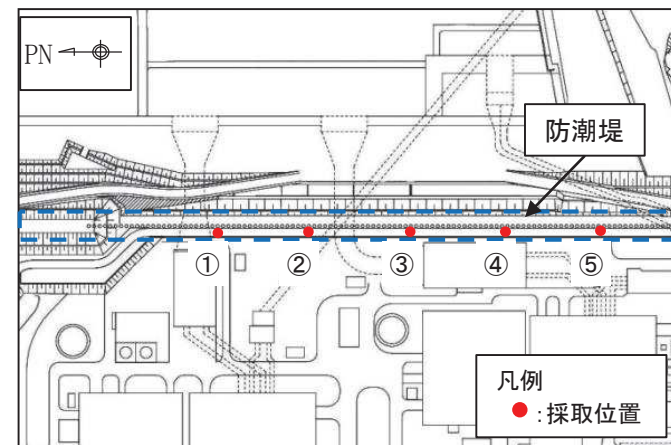
ボーリングコア写真位置図

凡 例

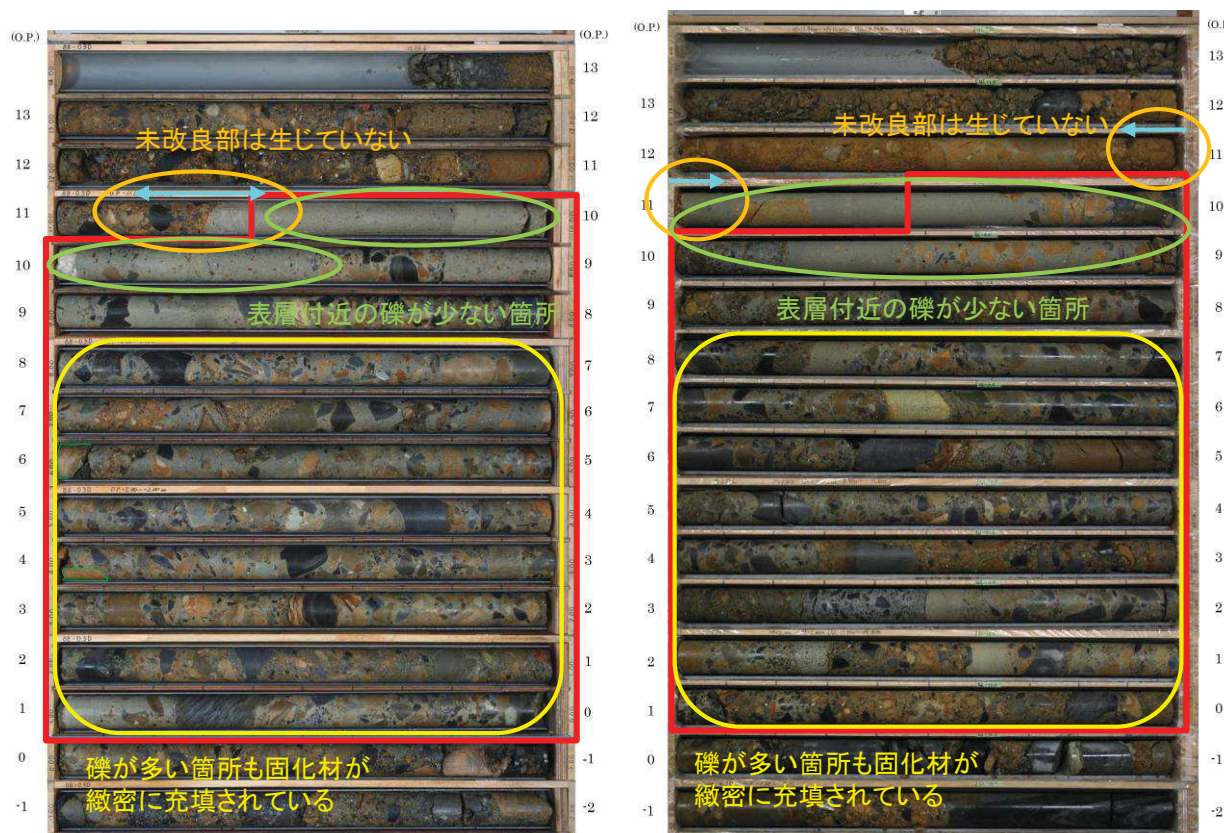
- 改良対象範囲（設計）
- ↔ 上部の盛土との境界付近

7.4.1 女川防潮堤における施工実績（ボーリングコア写真(3/3)）

- ・ 礫が多い範囲も礫背面に土砂が残ることなく固化材（セメントミルク）が充填され、全体として良好に改良されている。
- ・ また、上部の盛土との境界付近にも未改良部は生じていない。



ボーリングコア写真位置図



④孔

⑤孔

※: O.P.+10～11m付近等に僅かに見られるひび割れは、コア採取時のトルク割れによるものである。

※: O.P.+4～6m付近等に僅かに見られるひび割れは、コア採取時のトルク割れによるものである。

ボーリングコア写真

凡例

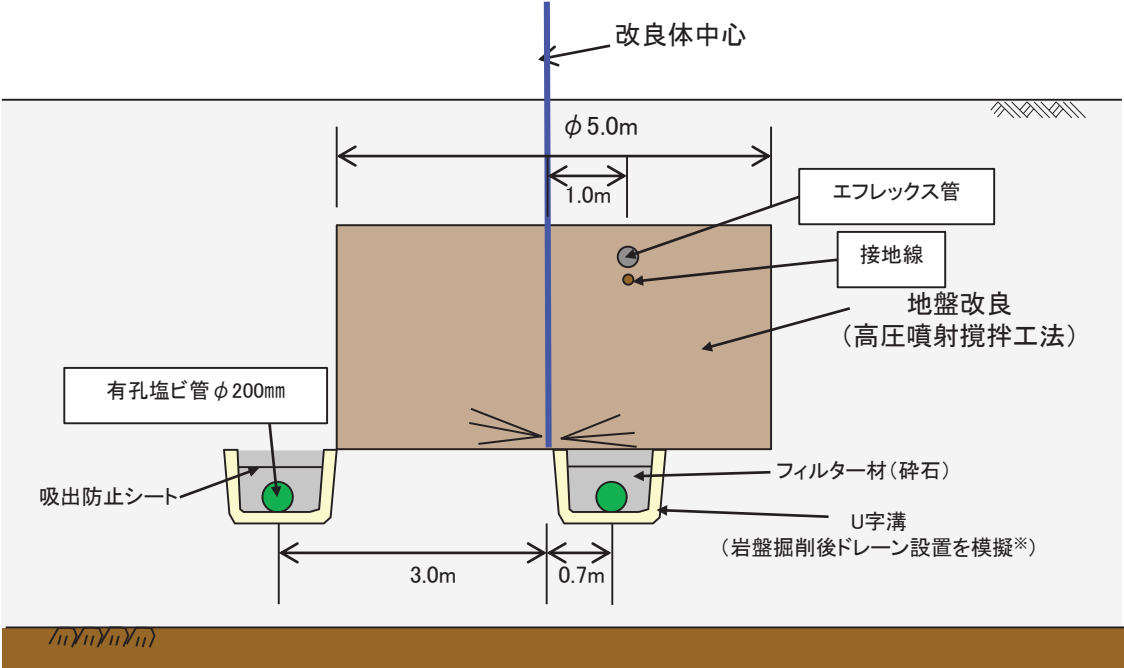
- 改良対象範囲(設計)
↔ 上部の盛土との境界付近

7.4.2 過去の試験施工（目的及び追加地盤改良との関連性）

- 女川及び東通原子力発電所においては、地中構造物の耐震裕度向上のため地盤改良が必要となった場合を想定し、試験施工を過去に実施している。
- この試験施工は盛土及び旧表土を対象とし、高圧噴射攪拌工法（SJ, SJM, XJ）の注入回数や配合を変動させ、改良品質の確認や、近隣構造物への影響確認等を実施している。
- 試験施工の主な目的は以下である。
 - －改良品質の確認
 - －改良品質を確保できる施工仕様の選定、改良体の配置
 - －近隣構造物への影響の確認（建屋防水工、コンクリート構造物など）
- 今回検討している防潮堤直下の地盤改良については、施工形態が試験施工と同様に高圧噴射攪拌工法であり改良深度が同様（岩盤表面から上）であること、改良対象が同じ盛土・旧表土であること、近隣に試験施工における想定と同様の構造物（地下水位低下設備等）が存在することから、成立性確認において参照できるものとした。
- 次頁以降に、過去に実施した試験施工の概要を示す。

補足説明資料7. 追加地盤改良の施工成立性について 7.4 設置許可段階における成立性確認
7.4.2 過去の試験施工(地盤改良による埋設物への影響①)

・ 地盤改良(高圧噴射攪拌工法)によるドレーン及び埋設物への影響に関する試験施工の概要を示す。



試験施工(埋設物への影響)概要

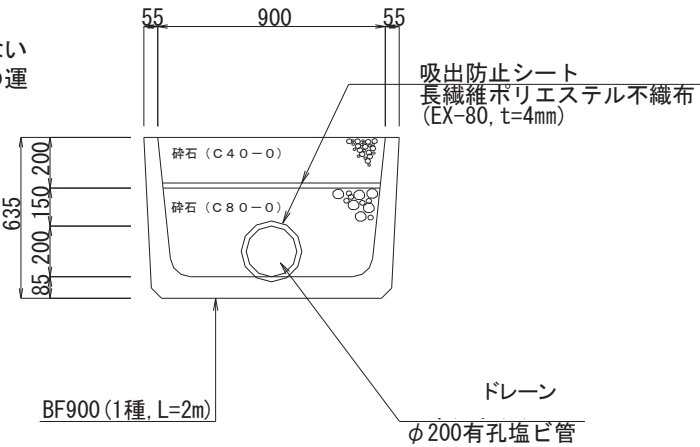
※:ドレーンによる排水効果は再現されていないため、実施工の計画においてはドレーンの運転状態もあわせて検討する必要がある。

改良体中心と埋設物の離隔

埋設物	改良体中心 (高圧噴射位置)との離隔(m)
ドレーン	0.7
	3.0
エフレックス管	1.0
接地線	1.0



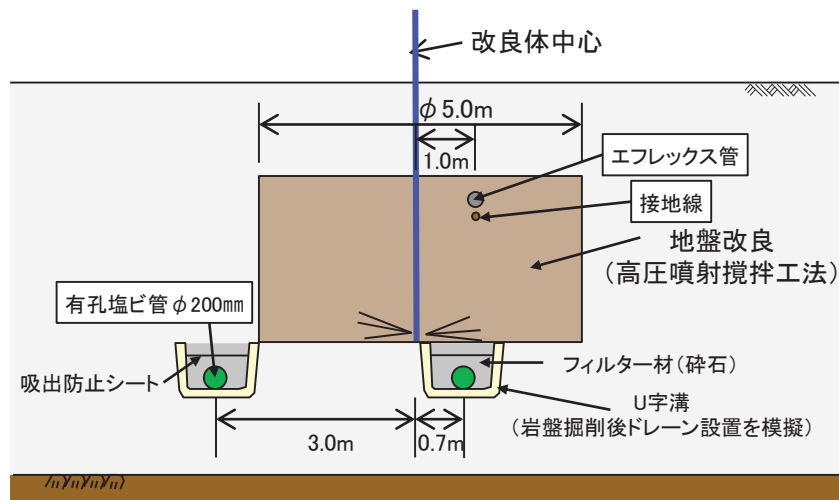
ドレーン(U字溝)設置状況



ドレーン詳細図

7.4.2 過去の試験施工(地盤改良による埋設物への影響②)

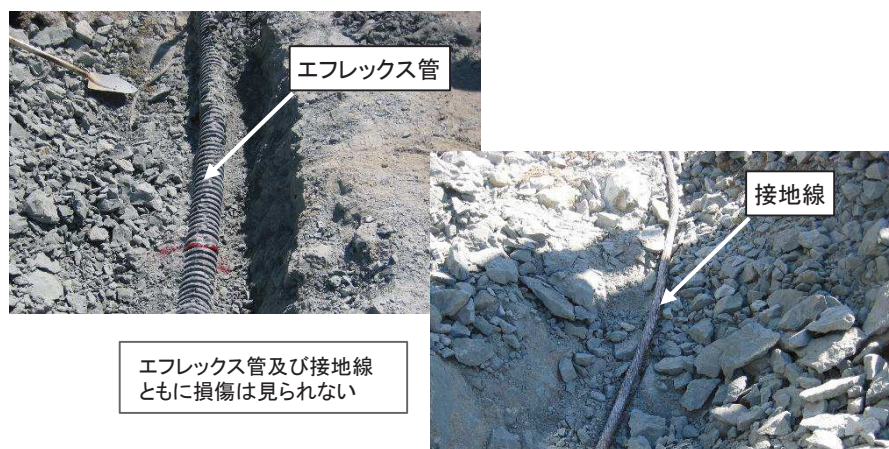
- 試験施工の結果, ドレーンについては改良体中心(高圧噴射位置)からドレーン中心までの離隔が0.7m以上あれば, ドレーン内に固化材の流入が無く, 閉塞の恐れが無いことが分かった。
- また, エフレックス管及び接地線については, 改良体中心から1.0mの離隔においても損傷しないことが分かった。



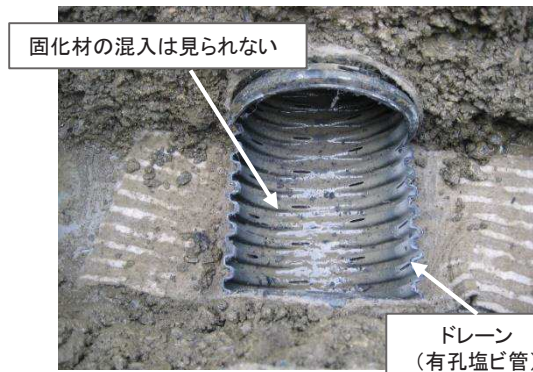
試験施工(埋設物への影響)概要



地盤改良後のドレーン及びフィルター材状況 (改良体中心～ドレーン中心: 0.7m)



地盤改良後のエフレックス管及び接地線状況

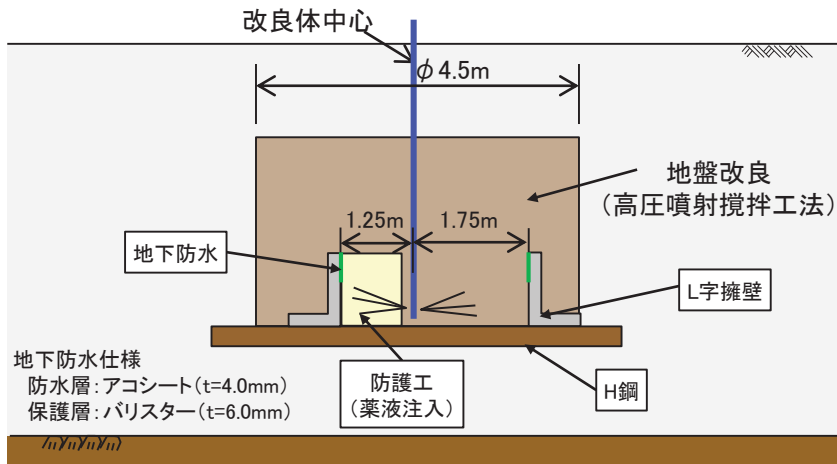


地盤改良後のドレーン及びフィルター材状況 (改良体中心～ドレーン中心: 3.0m)



7.4.2 過去の試験施工（構造物への近接施工）

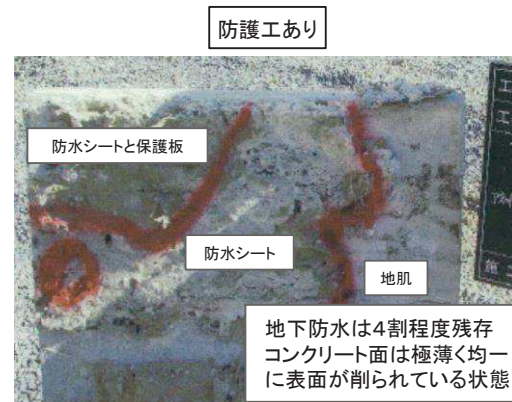
- 地盤改良（高圧噴射攪拌工法）による近接構造物（地下防水を施したL字擁壁）への影響に関する試験施工を過去に実施しており、概要を以下に示す。
- 試験施工の結果、L字擁壁については、コンクリート表面は表面がごく薄く削れているものの、部分的な破損も無く構造的に問題がないことが確認できた。



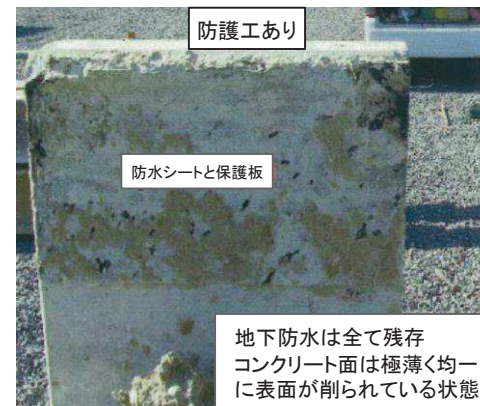
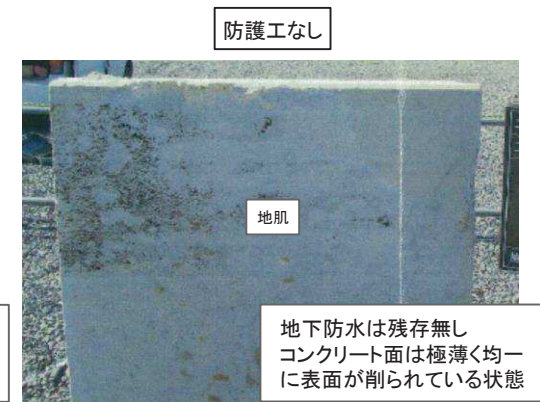
試験施工（構造物への近接施工）概要



L字擁壁設置状況



地盤改良後の地下防水及びL字擁壁状況（改良体中心～L字擁壁：1.25m）

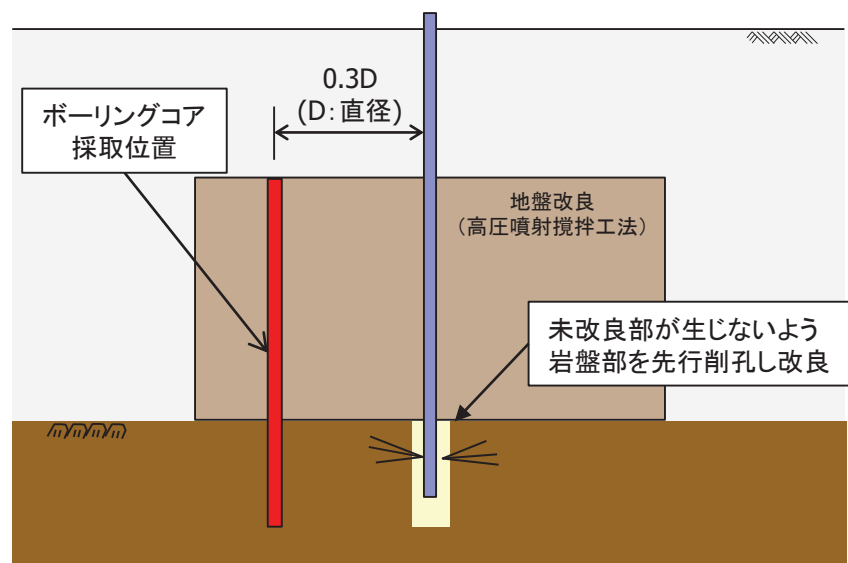


地盤改良後の地下防水及びL字擁壁状況（改良体中心～L字擁壁：1.75m）

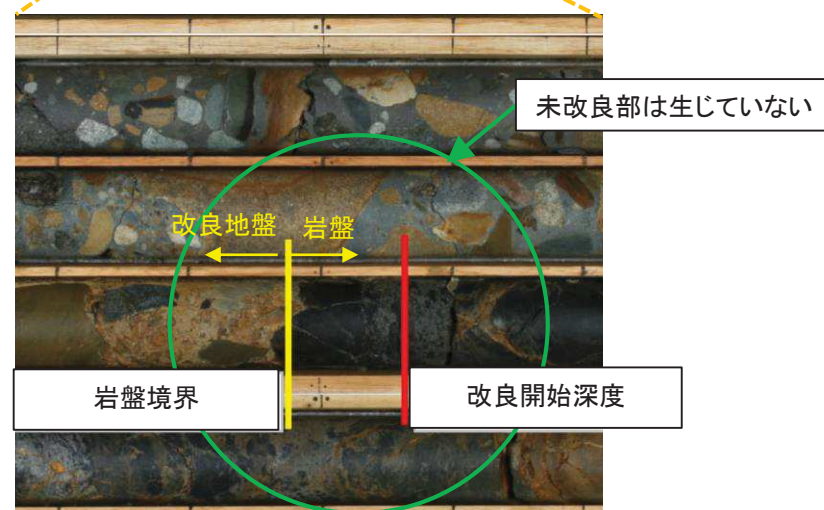
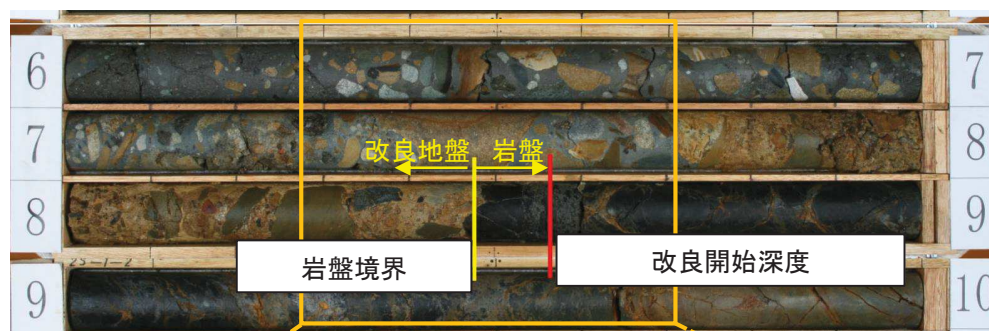


7.4.2 過去の試験施工(岩盤との境界面)

- 過去の試験施工(H20実施)時における, 岩盤境界部の施工方法と岩盤との境界面のボーリングコア写真を以下に示す。
- 岩盤境界部については, 岩盤を先行削孔後に改良することから, 境界面についても未改良部が生じず良好に改良されている。



岩盤との境界面の施工イメージ



改良後のボーリングコア写真

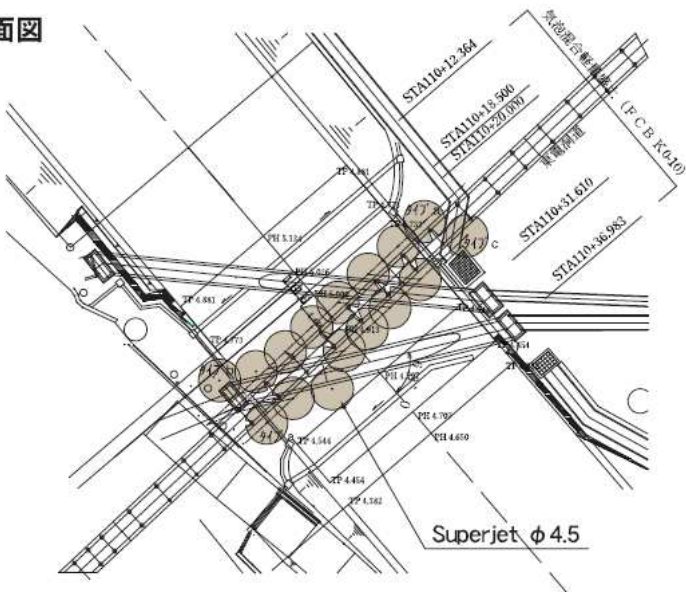
補足説明資料7. 追加地盤改良の施工成立性について 7.4 設置許可段階における成立性確認

7.4.3 一般産業施設の施工事例

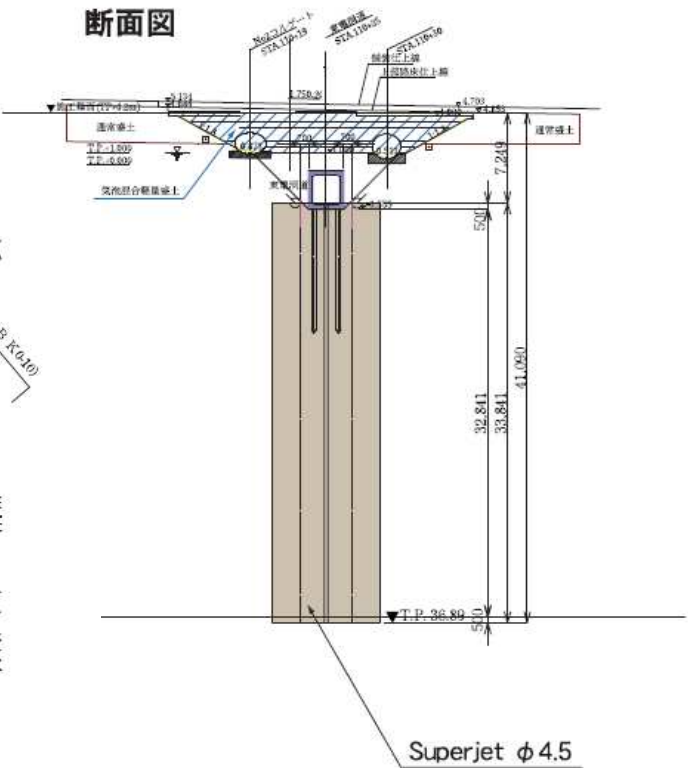
- 東京外環自動車道ジャンクション工事において、既設洞道の沈下防止を目的として、構造物脇から高圧噴射攪拌工法により構造物直下の地盤改良を行っている。
- 改良体底面の深度はGL-41.09mであり、防潮堤改良深度（GL-20～40m程度）と同等以上の深度でも施工可能である。

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

平面図

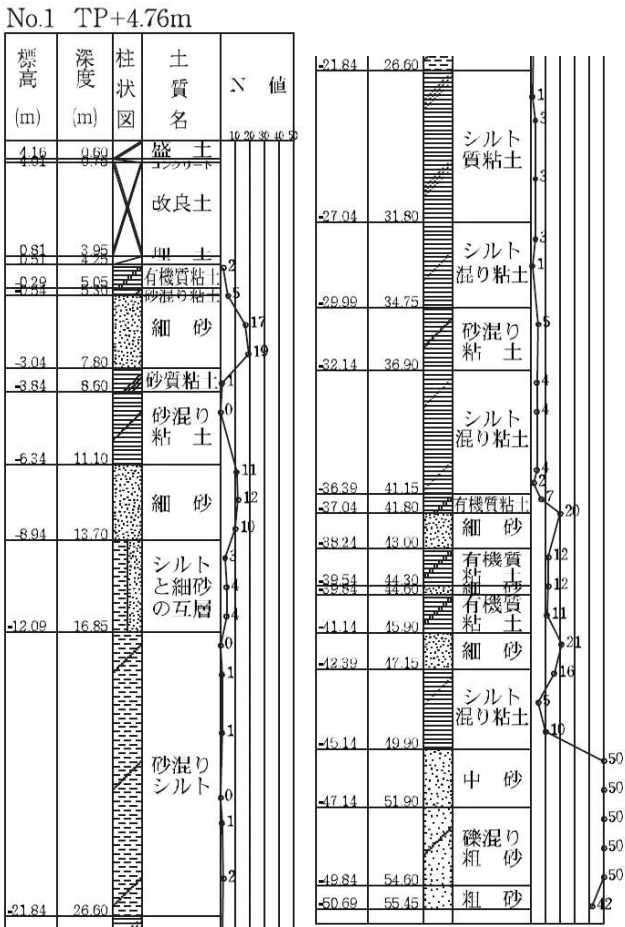


出典: SUPERJET研究会 主要施工実績集



地盤改良概要図

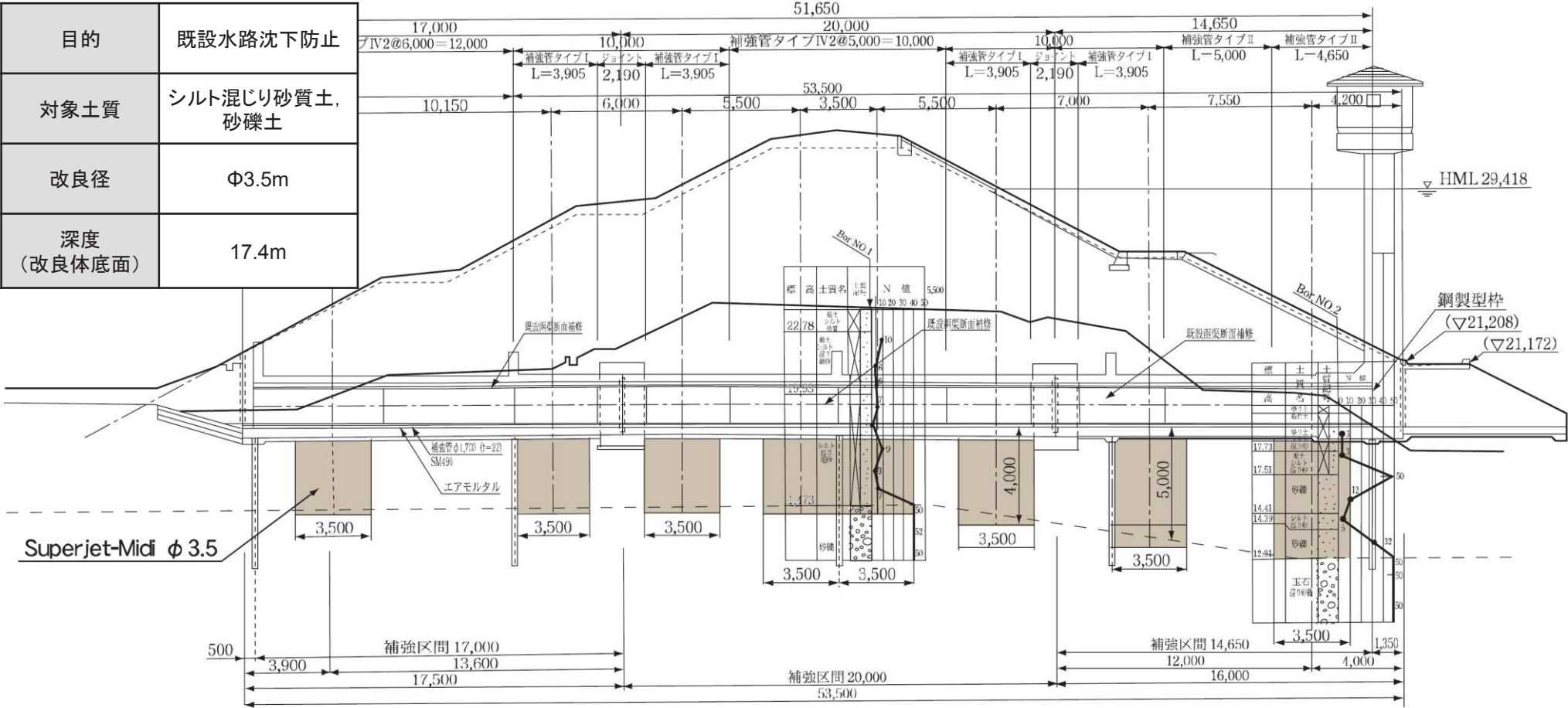
柱状図



補足説明資料7. 追加地盤改良の施工成立性について 7.4 設置許可段階における成立性確認

7.4.3 一般産業施設の施工事例

- 江の川川越排水樋門改築工事において、既設水路の沈下防止を目的とし、高圧噴射攪拌工法による地盤改良を行っている。
- 既設水路底版を削孔した後に施工しており、構造物直下においても施工可能である。



地盤改良概要図

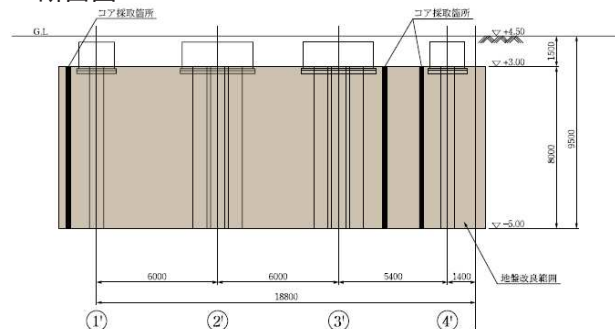
出典: SUPERJET研究会 主要施工実績集

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。

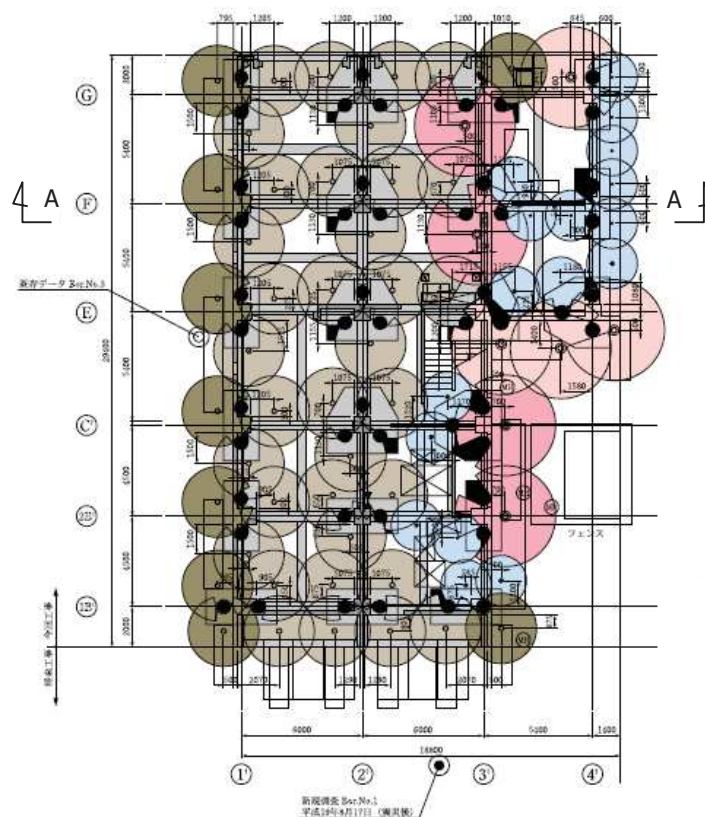


目的	建物基礎部の補強
対象土質	砂質土，粘性土
改良径	Φ3.5, 5.0m
深度 (改良体底面)	9.5m

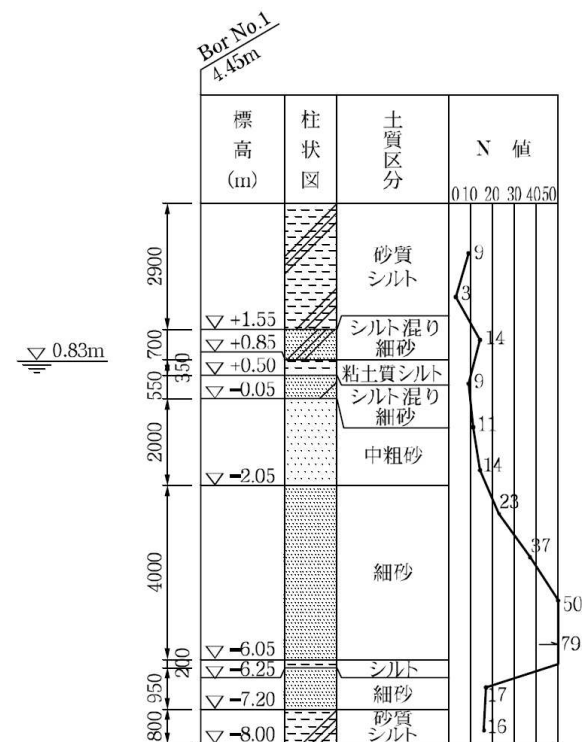
A-A断面図



平面图



柱状图



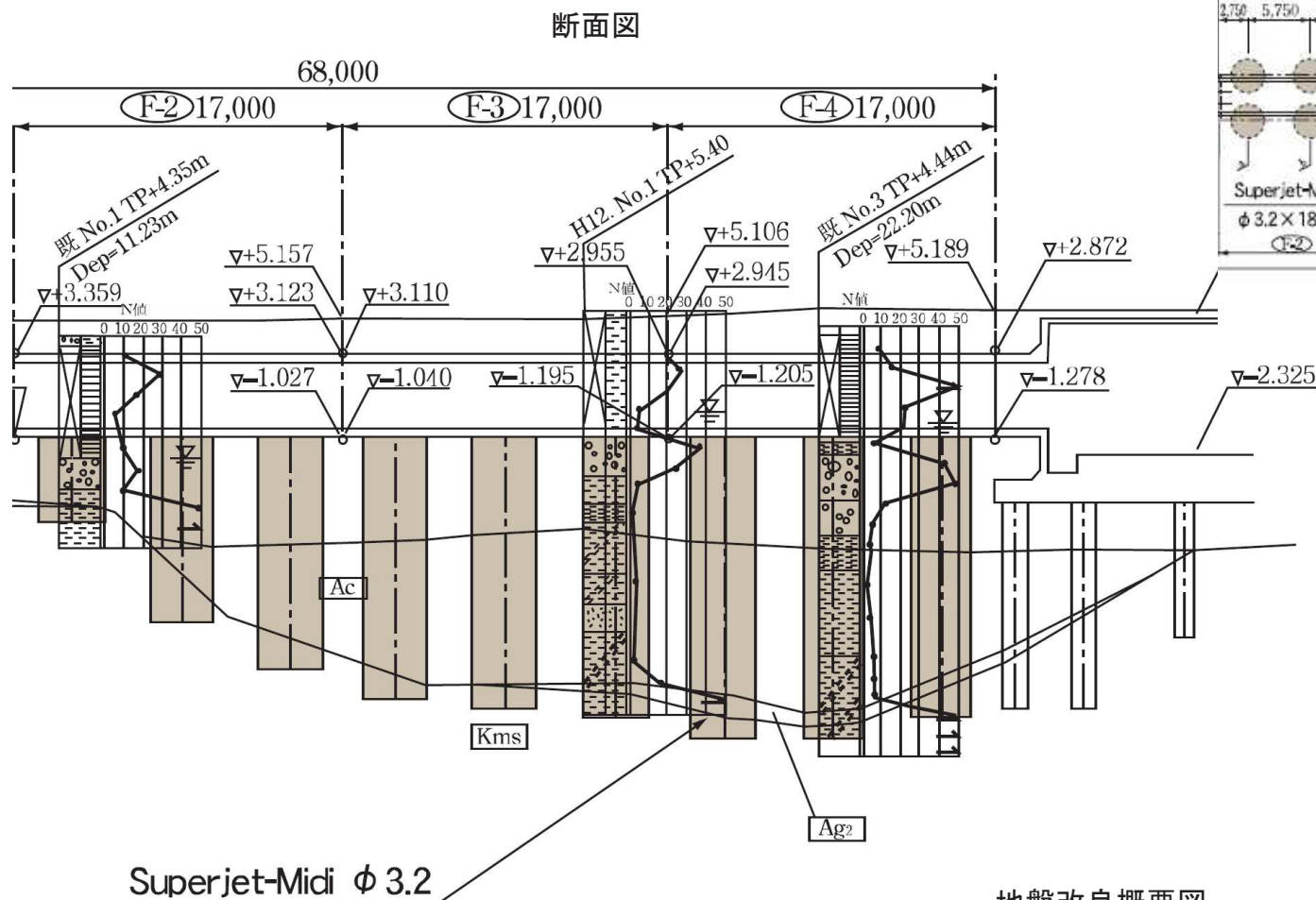
出典: SUPERJET研究会 主要施工実績集

地盤改良概要図

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。

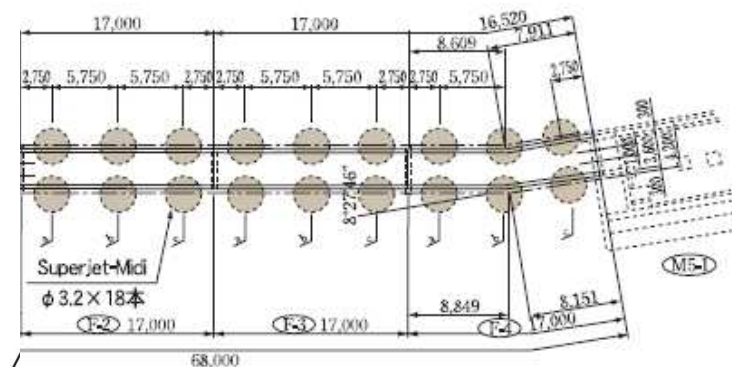
7.4.3 一般産業施設の施工事例

- ・ 栄本町線共同溝地盤改良工事において、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地盤改良を行っており、構造物の直下においても施工可能ある。



地盤改良概要図

平面図



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

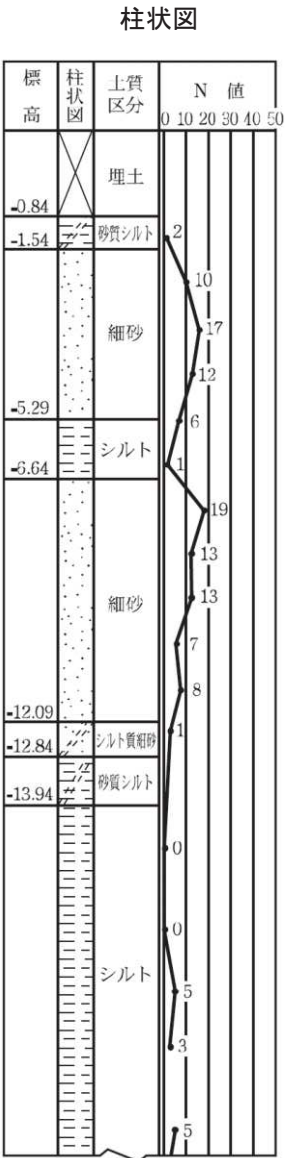
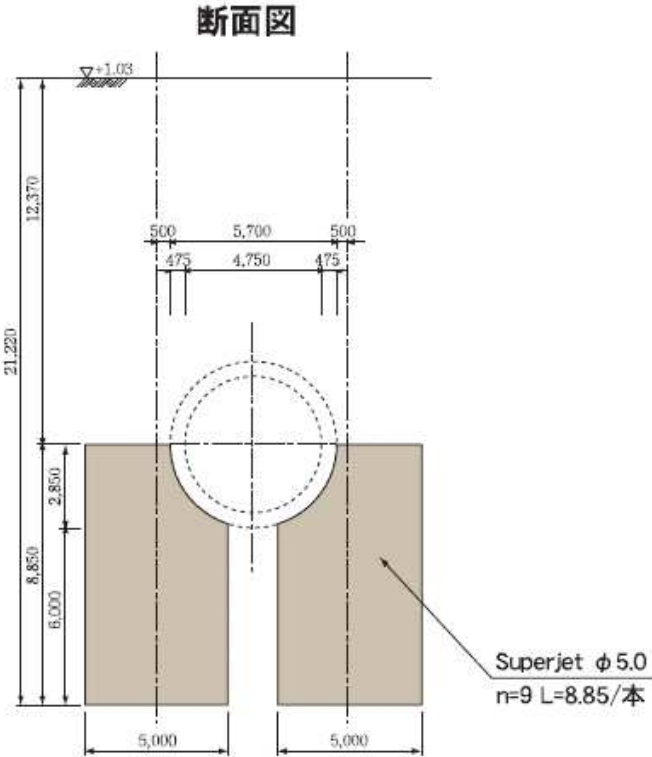
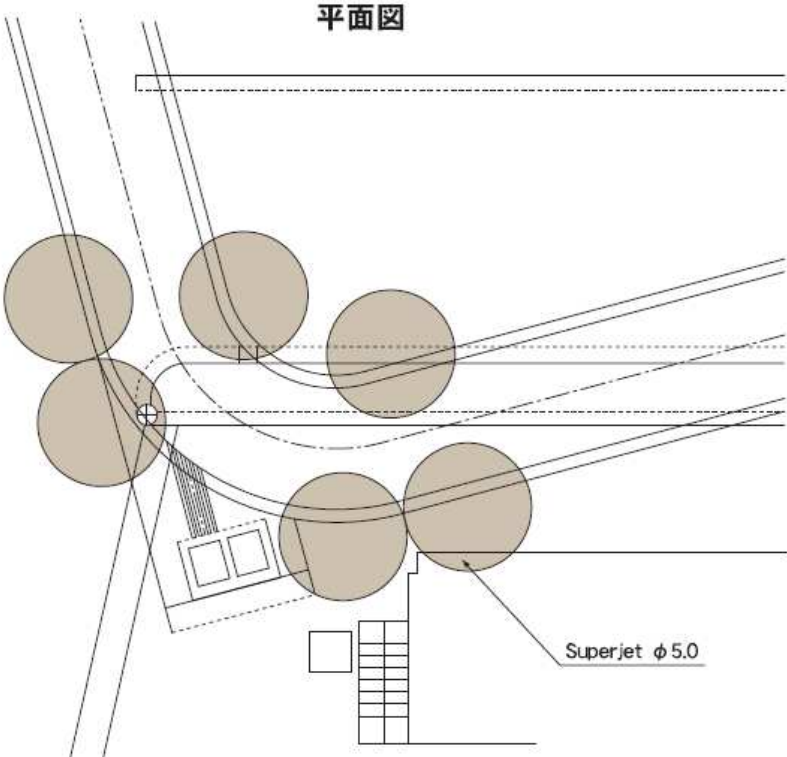
出典: SUPERJET研究会 主要施工実績集

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。

7.4.3 一般産業施設の施工事例

- 江戸川幹線補修工事において、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地盤改良を行っており、構造物の直下においても施工可能である。

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



出典：SUPERJET研究会 主要施工実績集

地盤改良概要図

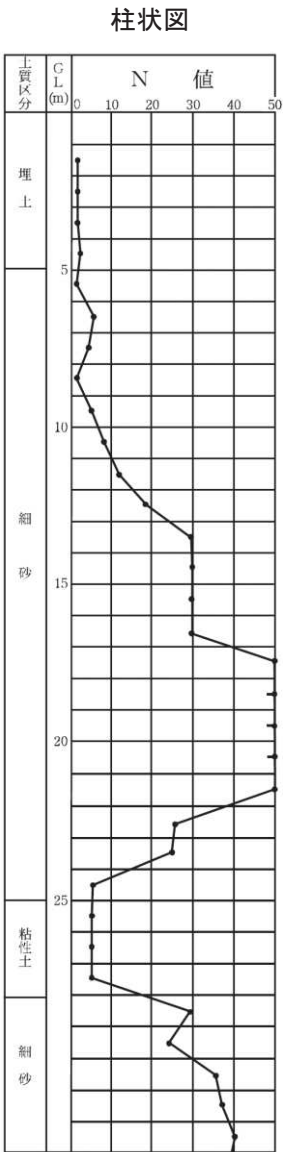
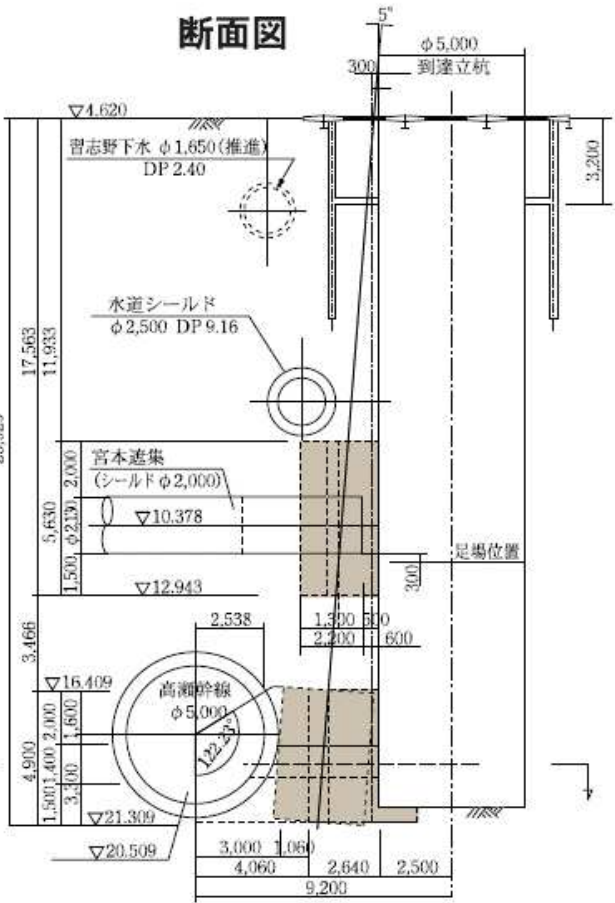
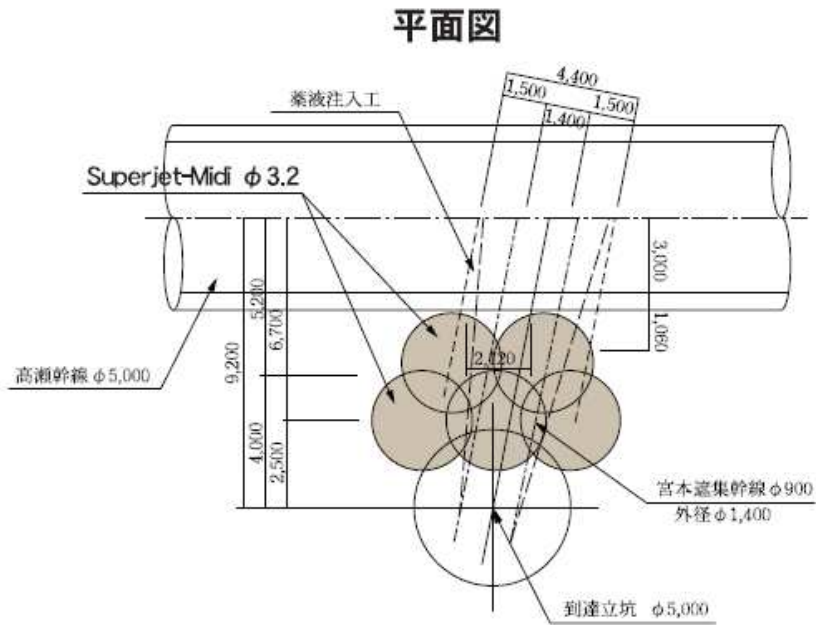
設計・施工例の情報に係る記載内容については、公開情報をもとに弊社の責任において独自に整理したものです。

補足説明資料7. 追加地盤改良の施工成立性について 6.4設置許可段階における成立性確認

7.4.3 一般産業施設の施工事例

- 宮本遮集幹線管渠築造工事において、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おり、既存施設を回避するための斜め方向の地盤改良は施工可能である。

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



出典：SUPERJET研究会 主要施工実績集

地盤改良概要図

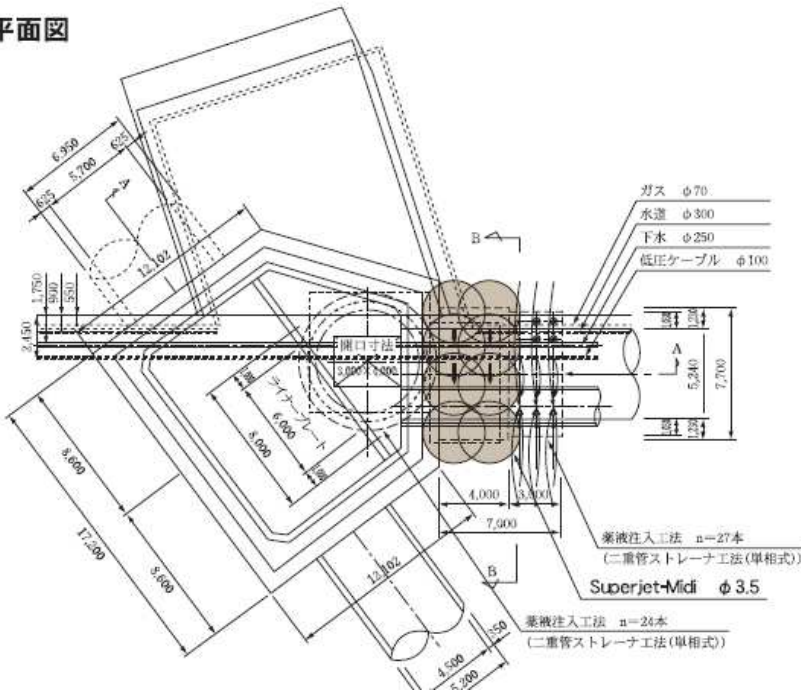
設計・施工例の情報に係る記載内容については、公開情報をもとに弊社の責任において独自に整理したものです。

補足説明資料7. 追加地盤改良の施工成立性について 6.4設置許可段階における成立性確認

7.4.3 一般産業施設の施工事例

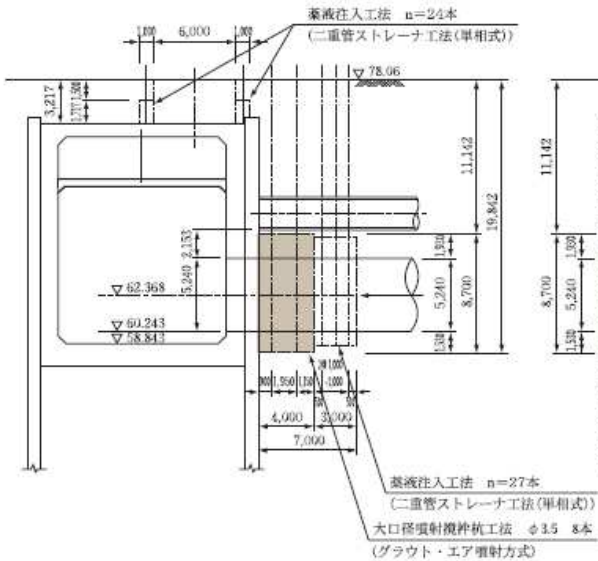
- 北多摩二号幹線工事において、埋設物(下水道)の下部のシールド防護のため、既存施設の配置を考慮して、高圧噴射攪拌工法により斜め方向に地盤改良を行っており、既存施設を回避するための斜め方向の地盤改良は施工可能である。

平面図

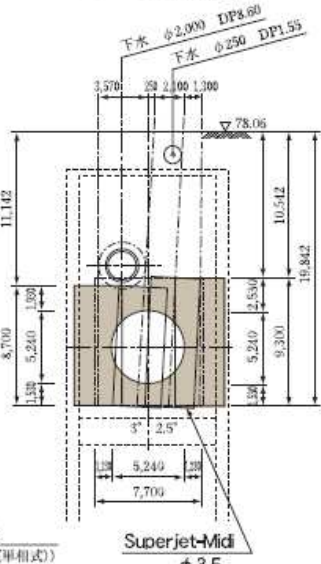


目的	既存施設配置を考慮した斜め施工
対象土質	砂質土
改良径	Φ3.5m
深度 (改良体底面)	19.84m

A-A断面図



B-B断面図



柱状図

土質区分	深度 (m)	N 値					
		0	10	20	30	40	50
埋土	1.70						
玉石混じり砂	10.35						
り粘土砂混	12.50						
細砂	15.50						

出典: SUPERJET研究会 主要施工実績集

地盤改良概要図

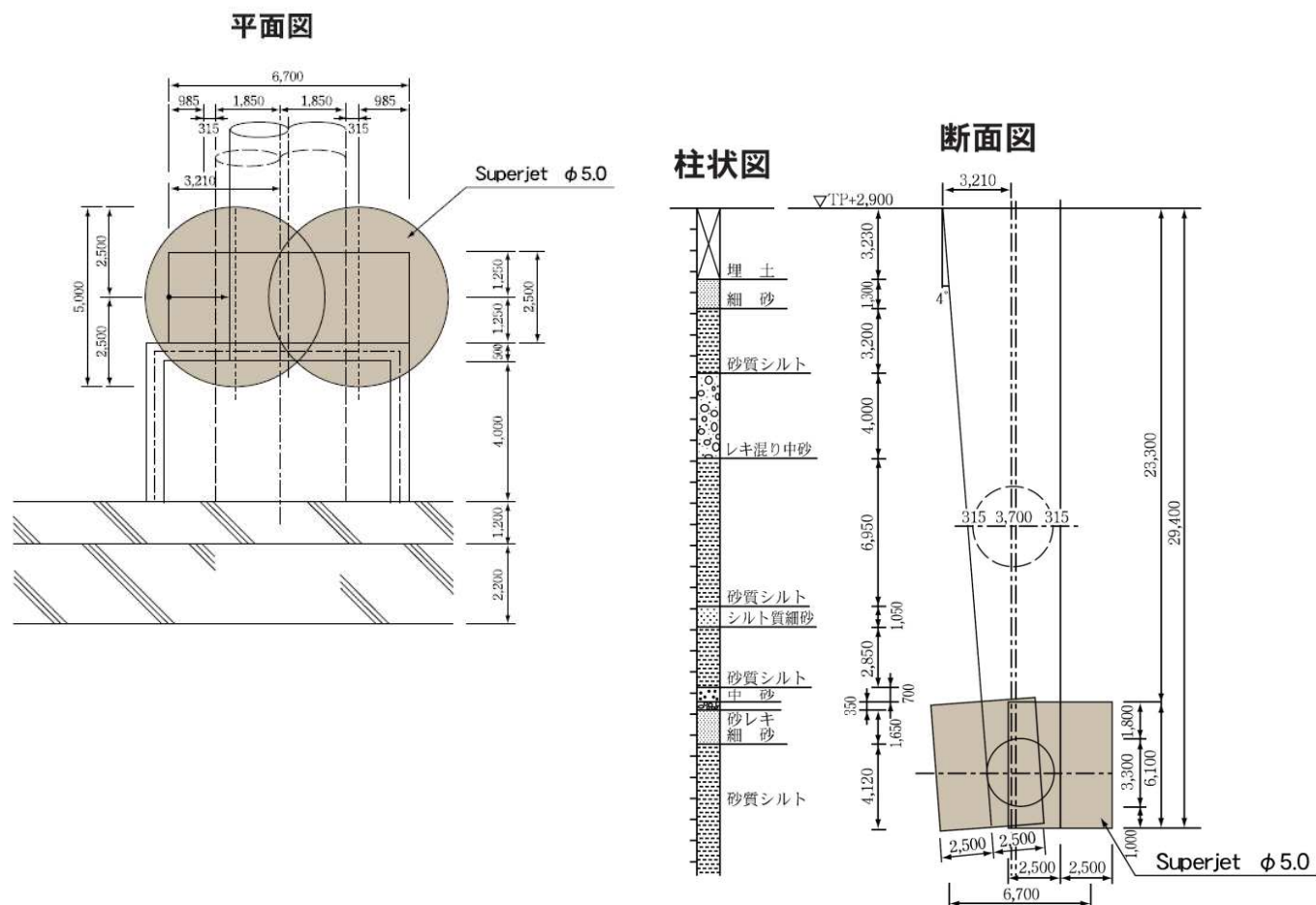
設計・施工例の情報に係る記載内容については、公開情報をもとに弊社の責任において独自に整理したものです。



7.4.3 一般産業施設の施工事例

- 蔵前幹線工事において、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おり、既存施設を回避するための斜め方向の地盤改良は施工可能である。

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



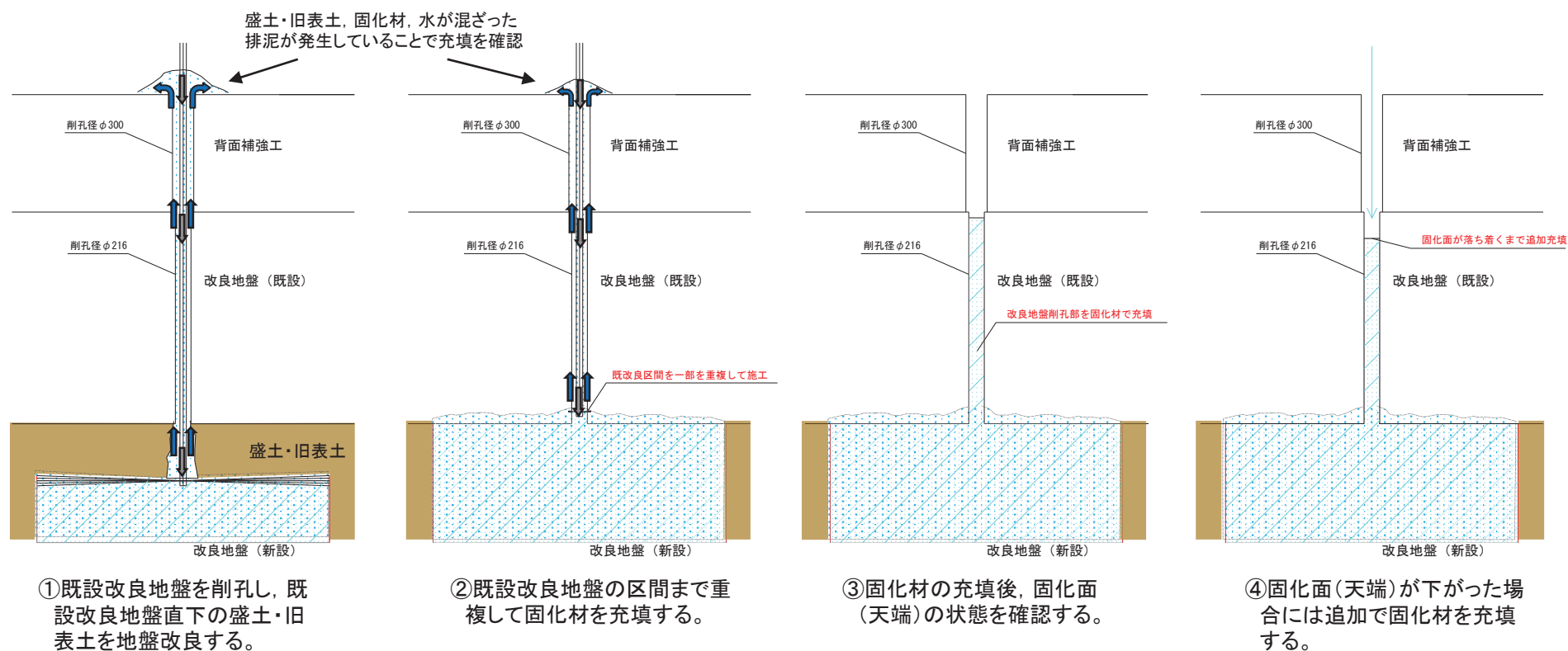
地盤改良概要図

出典: SUPERJET研究会 主要施工実績集

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。

7.4.4 施工方法の立案

- 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、境界部に未改良部が残らないよう、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。
- 境界部の充填状況は、試験施工においてボーリングコア等により確認し、施工計画へ反映する。



⇒ : 固化材（スラリー）の流れ
⇒ : 排泥（スライム）の流れ

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）

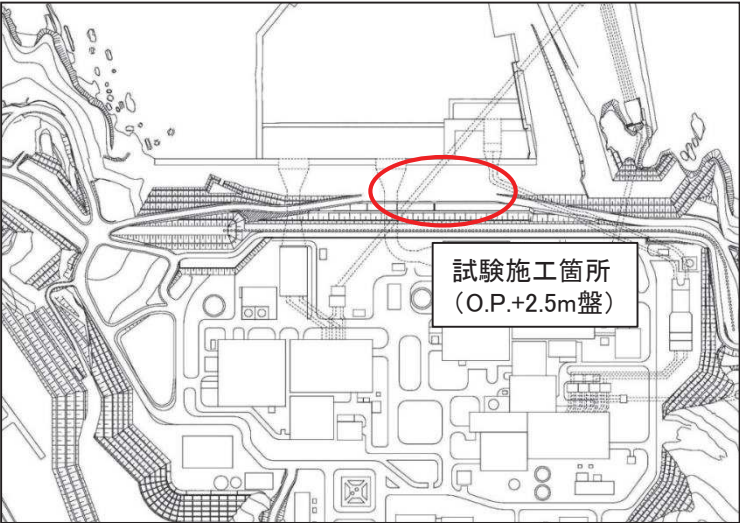
7.4.5 まとめ

- ・ 設置許可段階における施工成立性の確認結果について以下に示す。
- ・ 特異性「有」の課題については、設置許可段階において施工成立性の見通しを確認したことから、工認段階で試験施工を実施し成立性を検証する。

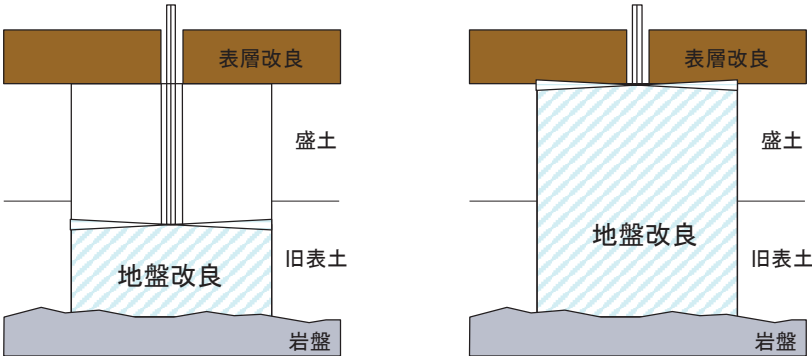
分類	設置許可段階		確認結果	
特異性「有」	施工事例等による成立性見通しの確認			施工成立性の 見通しを確認
改良深度	・防潮堤と同程度以上の深度における施工成立性を施工事例により確認		・7.4.3「一般産業施設の施工事例による成立性確認」により、防潮堤と同程度以上の深度においても施工可能であることを確認した	
既設地盤改良との一体性	・既設の地盤改良の施工において、上部の盛土との境界付近に未改良部が無いことを確認 ・既設改良地盤と新設改良地盤の境界部の品質確保に配慮した施工方法を立案		・7.4.1「女川防潮堤での地盤改良実績（ボーリングコア写真）」により、上部の地盤との境界に未改良部が無いことを確認した ・7.4.2「過去の試験施工による成立性確認」において、岩盤部との境界面についても未改良部が無く良好に改良されていることを確認した ・7.4.4「施工方法の立案」により、既設地盤改良と新設地盤改良の境界部の施工方法を立案した	工認段階にて 試験施工を実施し 成立性を検証
特異性「無」	施工事例等による成立性の確認			
盛土への適用性	・既設改良地盤の施工記録より、所定の施工仕様選定により品質を確保できることを確認		・7.4.1「女川防潮堤での地盤改良実績」により、岩砕主体の盛土においても未改良部が無く良好に改良されていることを確認した	
構造物直下	・構造物直下での地盤改良の施工事例は多く存在しており、施工可能であることを確認		・7.4.3「一般産業施設の施工事例による成立性確認」により、既設構造物の直下においても施工可能であることを確認した	施工成立性を 確認
周辺施設への悪影響	・既存周辺施設への影響が無いような地盤改良範囲を過去の試験施工を踏まえて検討 ・既存施設との干渉回避のための、斜方向の地盤改良が施工可能であることを施工事例により確認		・7.4.2「過去の試験施工による成立性確認」において、周辺施設への影響を検討している。この結果を踏まえて地盤改良範囲を検討する ・7.4.3「一般産業施設の施工事例による成立性確認」により、既存施設との干渉回避のための斜方向の地盤改良が施工可能であることを確認した	

7.5.1 試験施工の概要

- 工認段階において、施工仕様(配合, 引上げ速度), 物性の妥当性確認を目的として、試験施工を実施する。また深い位置での施工成立性, 先に施工した表層改良と新設改良地盤との境界部の性状についても確認を行う。
- また、試験施工時に先に施工した表層改良部の沈下有無を確認し、今後の防潮堤直下の地盤改良時に沈下させないための施工計画立案の参考とする。



試験施工箇所



予め表層改良を行い、その後表層改良部直下まで地盤改良を実施する。

試験施工イメージ

試験施工における確認項目

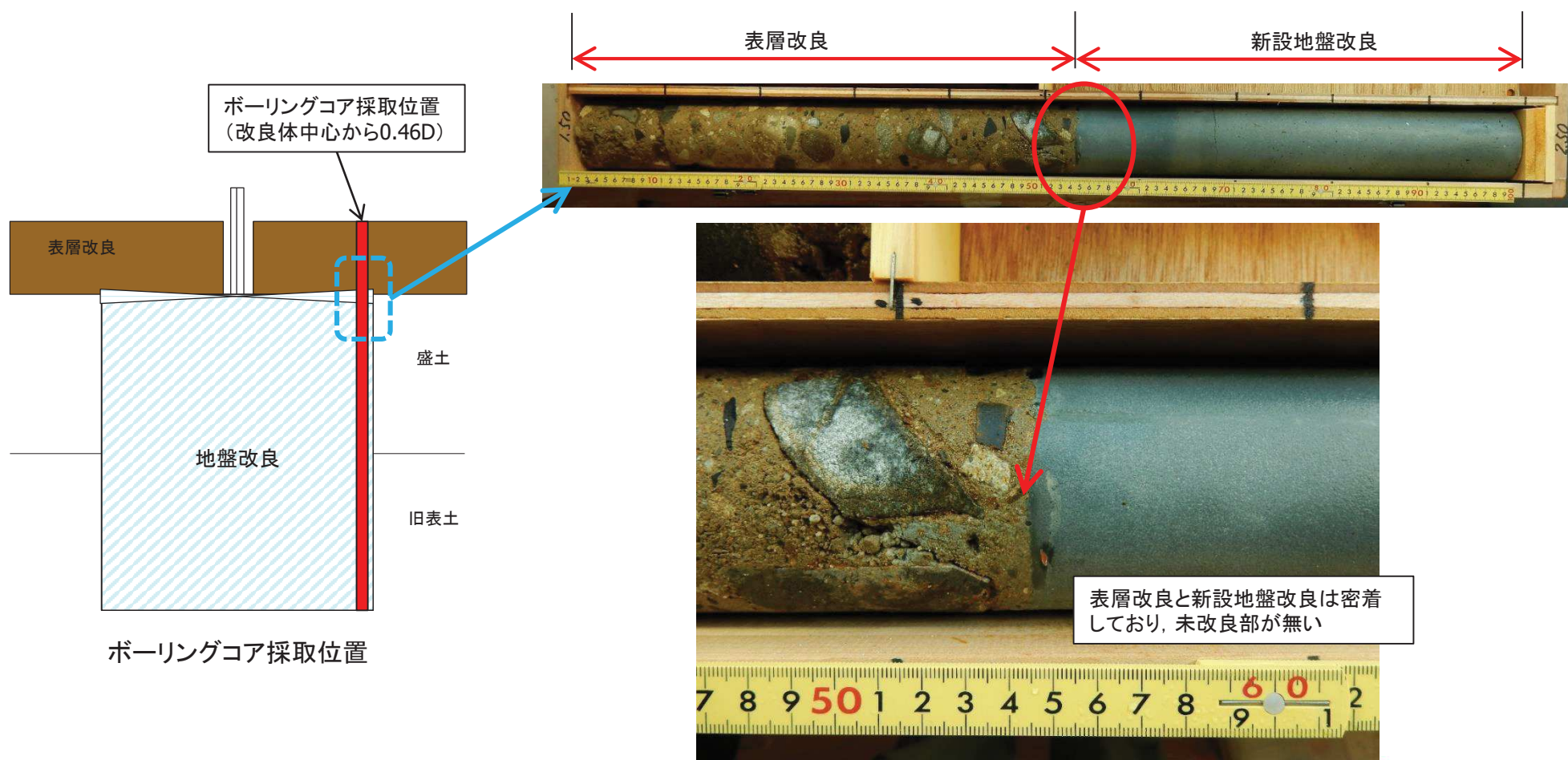
確認項目
<ul style="list-style-type: none">施工仕様(配合, 引上げ速度等)の妥当性物性(強度, 剛性等)改良範囲(深度補正した改良径)境界部の性状

試験施工の仕様

工法	高圧噴射攪拌工法
対象土質	盛土・旧表土
目標改良径	Φ5.5m
深度 (底面深度)	17.18m (O.P.-14.68m)

7.5.2 試験施工のための予備試験結果

- ・ 工認段階で計画している試験施工の予備試験を実施しており、その結果を以下に示す。
- ・ 改良体の外縁付近(改良体中心の0.46D)から採取した、表層改良と新設地盤改良(材齢7日)との境界面のコア写真を示す。
- ・ 表層改良と新設地盤改良は密着しており、未改良部が無いことが分かる。
- ・ 本写真は参考としての情報であり、養生終了後のコア写真、物性試験による確認結果は工認段階で示す。



表層改良と新設地盤改良との境界面のコア写真

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

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

74

8.1 鋼管式鉛直壁(一般部)

【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、安定性向上対策)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るとともに、地震に対する安定性が向上し、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(H30.3)

設計の変更(H30.6)

安全確保の考え方

[敷地高さの確保]

- 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

[地盤の変形への対応性]

- 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)の直下に盛土・旧表土が存在し、沈下を許容する設計とした。

[地盤の変形への対応性]

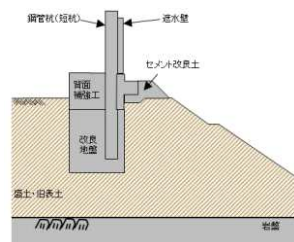
- 短杭の盛土・旧表土を地盤改良し、沈下しない構造とする。

[地盤の変形への対応性]

- 短杭の盛土・旧表土を地盤改良し、沈下しない構造とする。
- 防潮堤の前面を置換コンクリート(MMR)で改良することで、地震に対する安定性を向上させる。

構造と損傷モード

[構造]

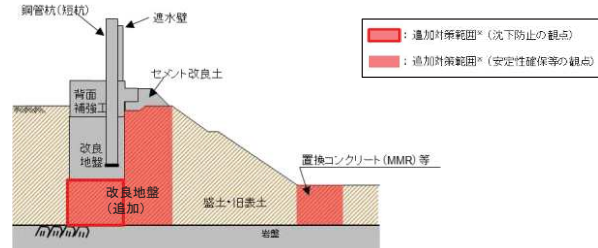


鋼管式鉛直壁(一般部、短杭例)

[考慮すべき主な損傷モード]

- 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

[構造]

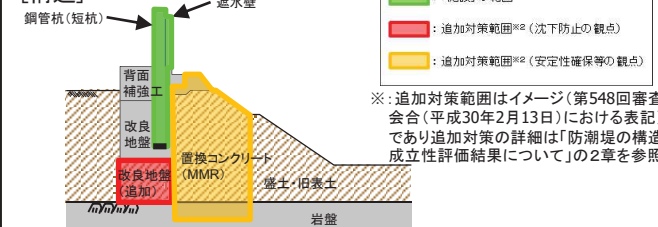


鋼管式鉛直壁(一般部、短杭例)

[構造変更の効果と損傷モードの変更点]

- 沈下しない構造
→ 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)
→ 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

[構造]



鋼管式鉛直壁(一般部、短杭例)

[構造変更の効果と損傷モードの変更点]

- 沈下しない構造
→ 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)
→ 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
- 置換コンクリート(MMR)設置により、地震に対する安定性が向上

※: 追加対策範囲はイメージ(第548回審査会合(平成30年2月13日)における表記)であり追加対策の詳細は「防潮堤の構造成立性評価結果について」の2章を参照。

8.2 盛土堤防

【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, 安定性向上対策)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るとともに、地震に対する安定性が向上し、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(H30.3)

設計の変更(H30.6)

安全確保の考え方

[敷地高さの確保]

- 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

[地盤の変形への対応性]

- 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)の直下に盛土・旧表土が存在し、沈下を許容する設計とした。

[地盤の変形への対応性]

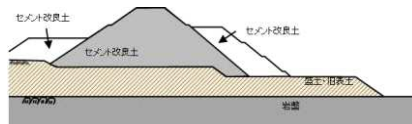
- 短杭の盛土・旧表土を地盤改良し、沈下しない構造とする。

[地盤の変形への対応性]

- 短杭の盛土・旧表土を地盤改良し、沈下しない構造とする。
- 防潮堤の前面を置換コンクリート(MMR)で改良することで、地震に対する安定性を向上させる。

構造と損傷モード

[構造]

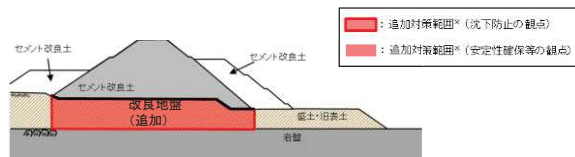


盛土堤防

[考慮すべき主な損傷モード]

- 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

[構造]

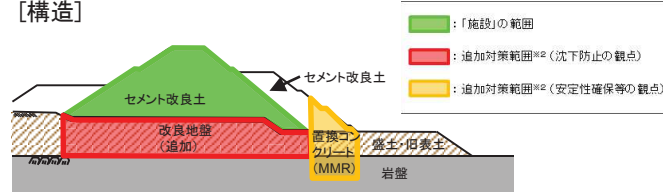


盛土堤防

[構造変更の効果と損傷モードの変更点]

- 沈下しない構造
→ 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)
→ 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

[構造]



盛土堤防

※: 追加対策範囲はイメージ(第548回審査会合(平成30年2月13日)における表記)であり追加対策の詳細は「防潮堤の構造成立性評価結果について」の2章を参照。

[構造変更の効果と損傷モードの変更点]

- 沈下しない構造
→ 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)
→ 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
- 置換コンクリート(MMR)設置により、地震に対する安定性が向上

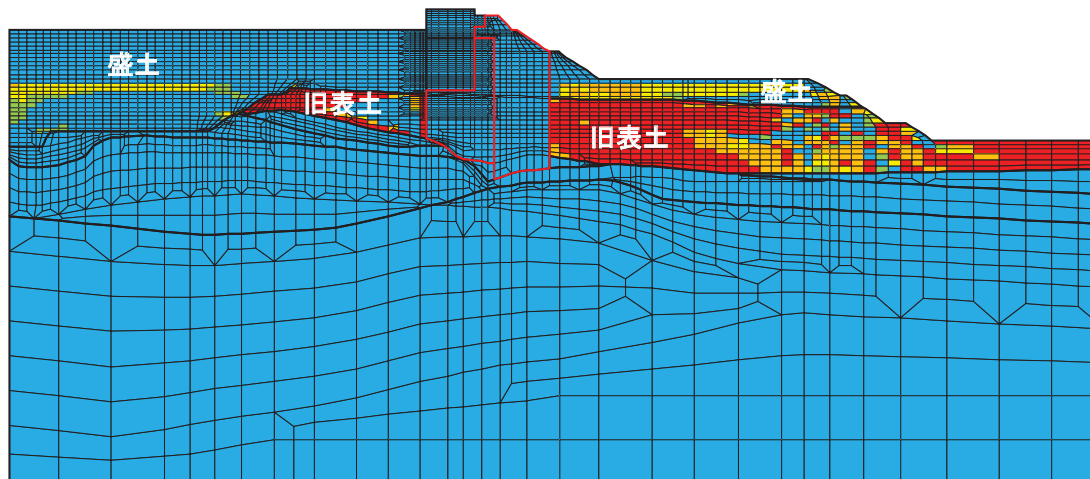
補足説明資料

9. 構造成立性検討結果の補足

9.1.1 最大過剰間隙水圧比

- 鋼管式鉛直壁(一般部)の地震時(Ss-D1, Ss-N1)における最大過剰間隙水圧比分布図を以下に示す。

【Ss-D1】

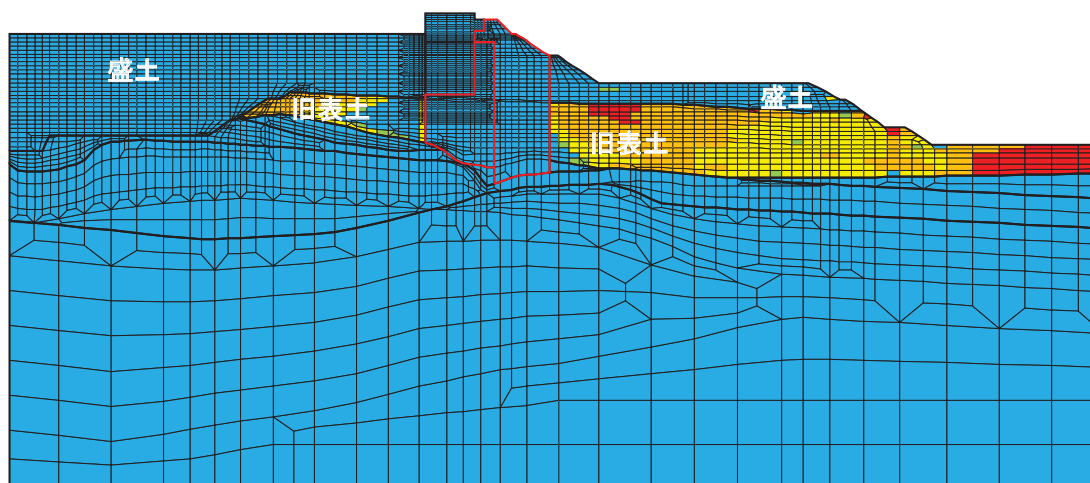


過剰間隙水圧比

$\Delta u / \sigma' \quad (-)$

0.95	$\leq \text{値} <$	0.95
0.90	$\leq \text{値} <$	0.90
0.80	$\leq \text{値} <$	0.80
0.70	$\leq \text{値} <$	0.70
0.00	$\leq \text{値} <$	0.70

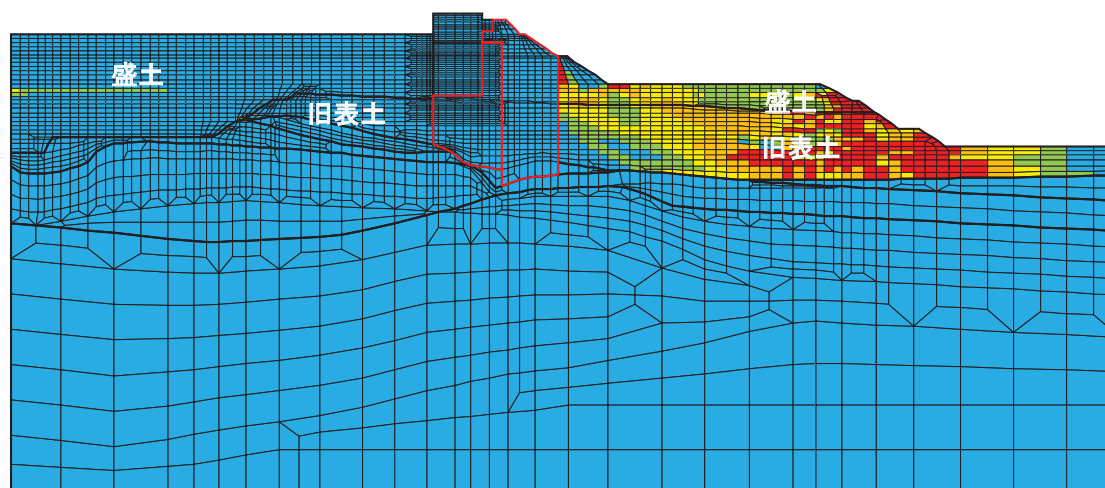
【Ss-N1】



9.1.2 最大せん断ひずみ

- 鋼管式鉛直壁(一般部)の地震時(Ss-D1, Ss-N1)における最大せん断ひずみ分布図を以下に示す。

【Ss-D1】

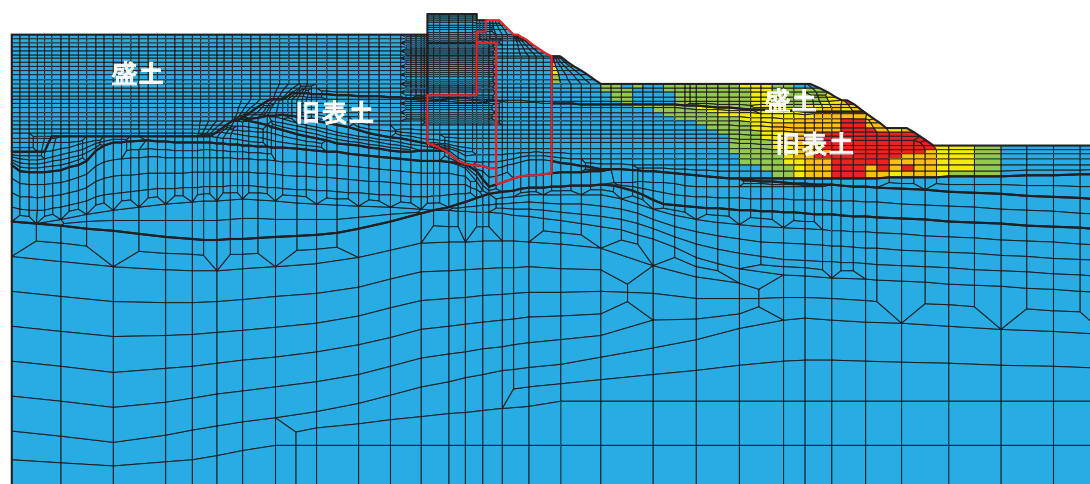


最大せん断ひずみ

γ_{\max}

2.25E-01	$\leq \text{値} <$
1.50E-01	$\leq \text{値} < 2.25\text{E-}01$
1.00E-01	$\leq \text{値} < 1.50\text{E-}01$
5.00E-02	$\leq \text{値} < 1.00\text{E-}01$
0.00E+00	$\leq \text{値} < 5.00\text{E-}02$

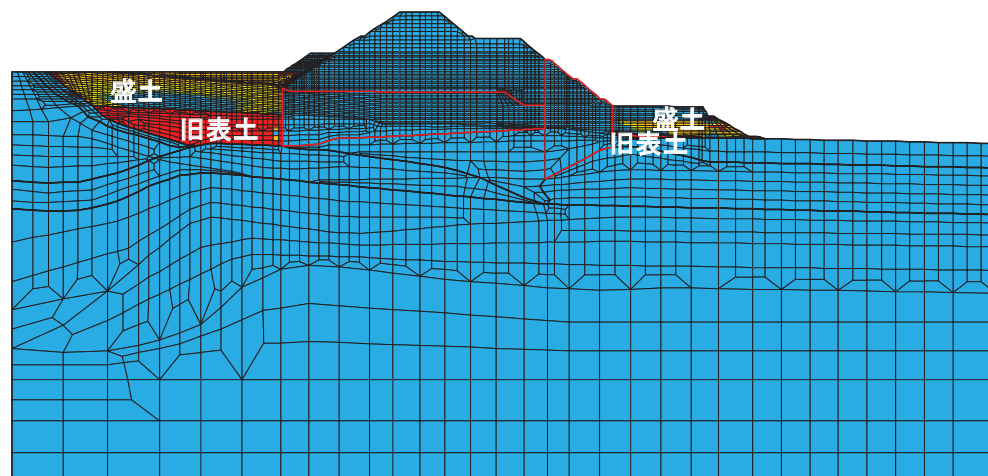
【Ss-N1】



9.2.1 最大過剰間隙水圧比

- 盛土堤防の地震時(Ss-D1, Ss-N1)における最大過剰間隙水圧比分布図を以下に示す。

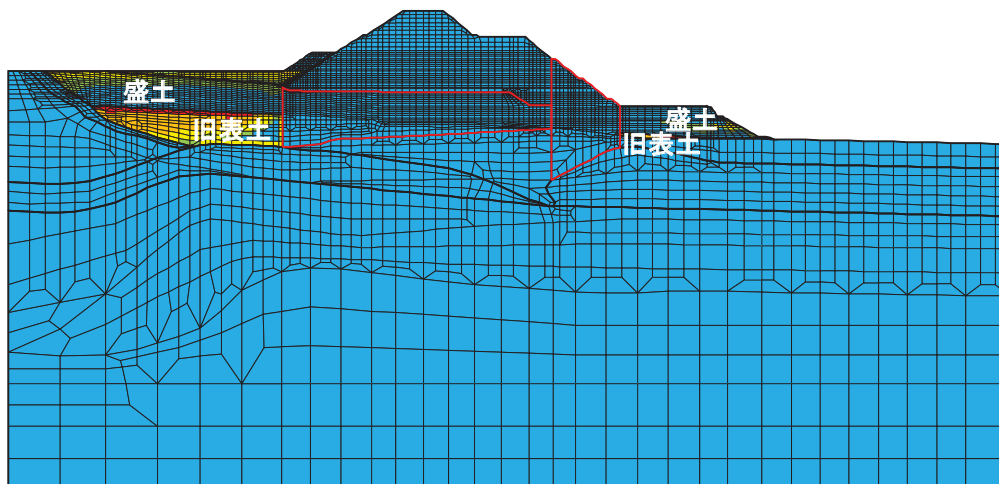
【Ss-D1】



過剰間隙水圧比 $\Delta u / \sigma' \quad (-)$

0.95	\leq 値 <	0.95
0.90	\leq 値 <	0.90
0.80	\leq 値 <	0.80
0.70	\leq 値 <	0.70
0.00	\leq 値 <	0.70

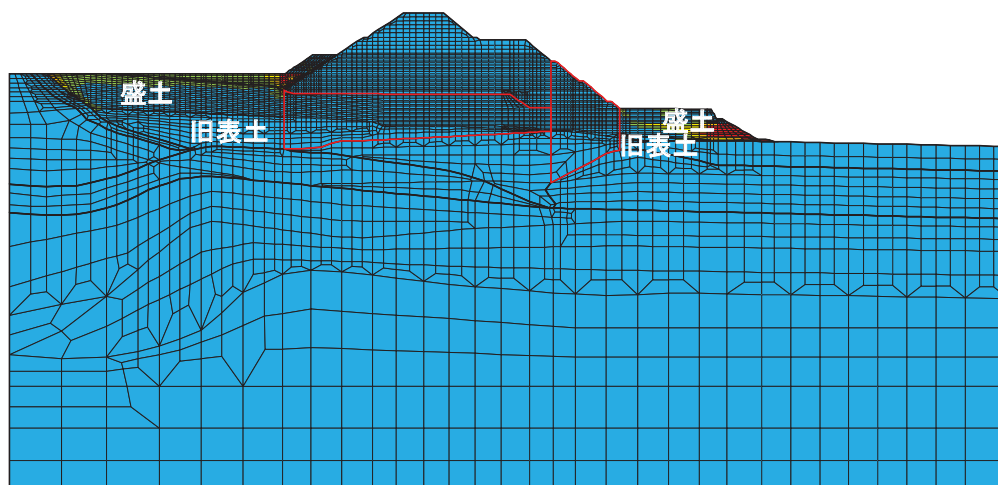
【Ss-N1】



9.2.2 最大せん断ひずみ

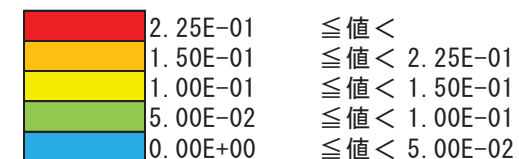
- 盛土堤防の地震時(Ss-D1, Ss-N1)における最大せん断ひずみ分布図を以下に示す。

【Ss-D1】

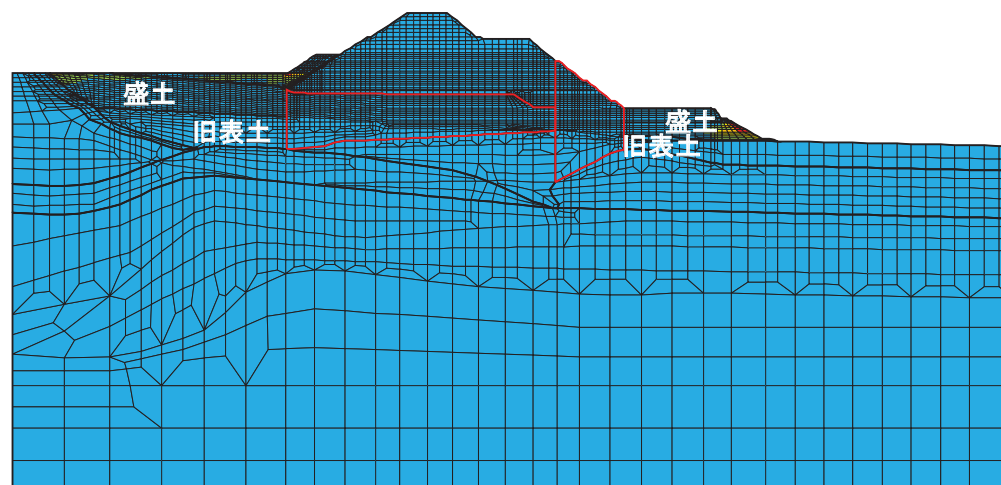


最大せん断ひずみ

γ_{\max}



【Ss-N1】



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. 本田隆英, 織田幸伸, 伊藤一教, 石井裕泰, 高島知行: 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
7. (公社)地盤工学会: 地盤調査の方法と解説, 2004
8. 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
9. (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
10. (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
11. SUPERJET研究会: 主要施工実績集