

第9回 駿河海岸保全検討委員会

～T.P.+8.2m 区間の粘り強い海岸堤防の実験～

平成31年3月15日

国土交通省 中部地方整備局
静岡河川事務所

1. 検討の背景・目的

【検討の背景】

- T.P.+6.2m区間における粘り強い海岸堤防の構造（堤防+盛土）については、H28年度に模型実験により決定。
- 栃山川より以東のT.P.+8.2m区間（堤防のみ）については、平成29年度に背後地の制約条件ごとに堤防形状の検討を行い、制約条件ごとの堤防形状（案）を提示。

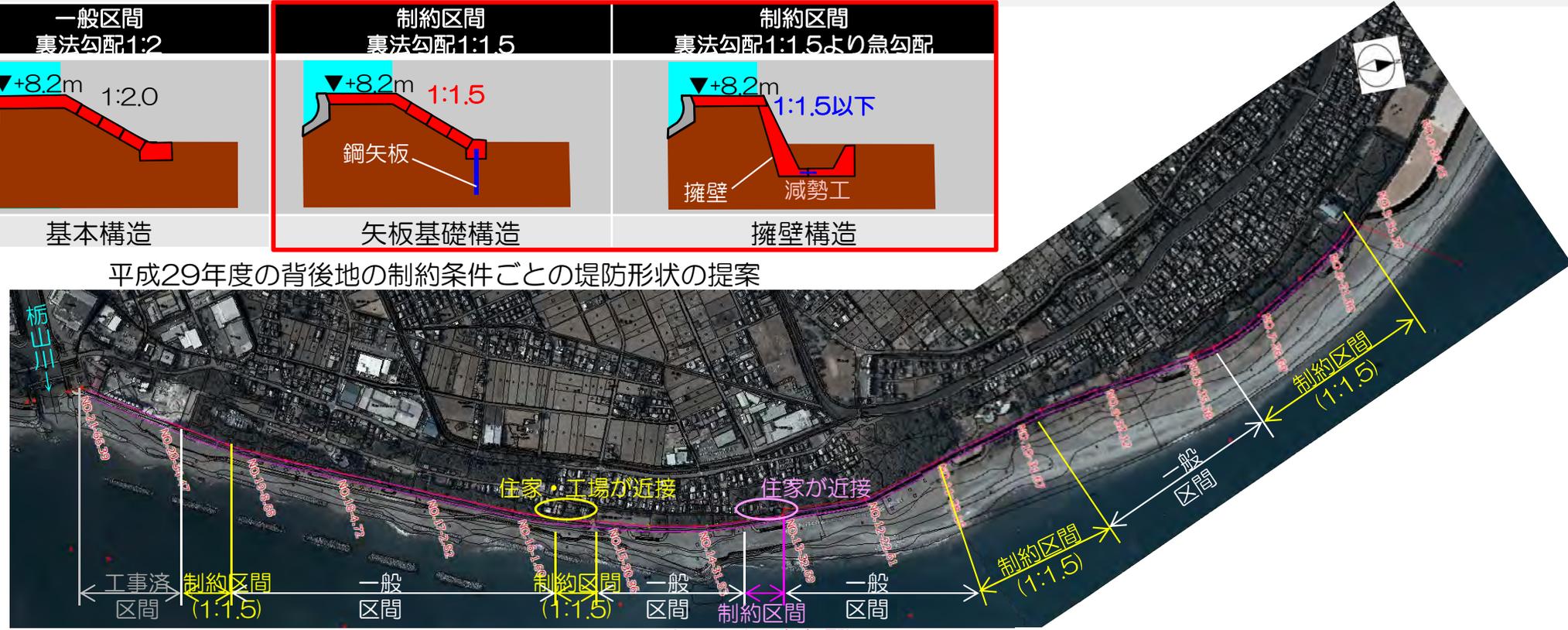
➤第7回委員会において、「①擁壁構造の構造面の安定性の検討」「②越流水深ごとの減勢状況・作用圧力の確認（転落防止柵の影響を含む）」「③矢板基礎構造の代替案（擁壁+盛土）の検討」の3点を追加で実施するよう指摘を受けた。

【検討の目的】

- ①擁壁構造の構造面の安定性の検討：擁壁構造が安定するために必要な擁壁重量の確認
- ②越流水深ごとの減勢状況・作用圧力の確認：越流水深・転落防止柵による影響を含めた構造検討に必要な基礎データ（水面形・作用圧力等）を収集
- ③矢板基礎構造の代替案の検討：矢板基礎構造の代替案として擁壁構造+盛土形式の効果の確認



平成29年度の背後地の制約条件ごとの堤防形状の提案



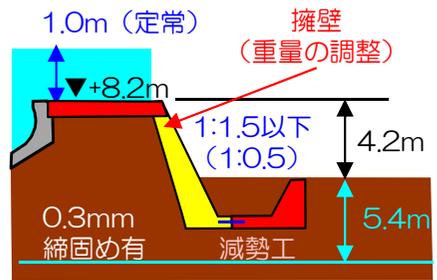
(1:1.5より急勾配)
栃山川より以東のT.P.+8.2m区間の背後地状況

2. 前回報告内容: 実験ケース

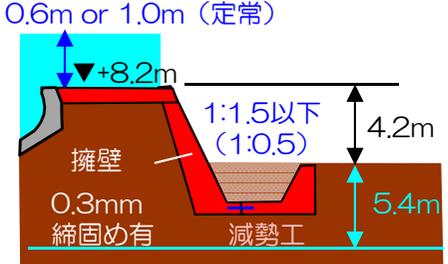
- 第8回委員会ではcase2とcase3の実験の以下の結果の報告した。本委員会では「case1」について審議する。
 - 越流水深ごとの擁壁部に作用する圧力分布を確認、転落防止柵の効果を確認。
 - 制約区間1:1.5において矢板構造の代替案として擁壁を用いる構造が問題ないことを確認。
- ※擁壁構造の背後盛土については、地元の意向を確認した上で設定する方針とする。

	検討内容	堤防構造	付帯物	越流水深	着眼点
case1-1	本委員会報告 擁壁構造の 構造面の 安定性の検討 (制約区間1:1.5より急勾配)	【擁壁構造】 天端保護工+擁壁+減勢工 (擁壁法勾配1:0.5) ※H29年度検討形状	なし 擁壁重量①：基本重量 ※基本構造の裏法ブロックの被覆厚0.5mの重量	1.0m (定常)	擁壁に必要な重量の把握 擁壁構造に作用する外力の把握 ※構造設計に反映
			なし 擁壁重量②：改良重量 ※①での安定性を踏まえて設定		
case2-1	前回委員会報告	【擁壁構造】 天端保護工+擁壁+減勢工 (擁壁法勾配1:0.5) ※H29年度検討形状	なし	0.6m (定常)	水深の変化による減勢状況への影響（減勢工背後の洗掘状況）の比較 作用圧力の計測
case2-2	越流水深ごとの減勢状況・作用圧力の確認			1.0m (定常)	
case2-3	越流水深ごとの減勢状況・作用圧力の確認		転落防止柵 (現地形状)	0.6m (定常)	水深の変化による減勢状況への影響（減勢工背後の洗掘状況）の比較 作用圧力の計測
case2-4				1.0m (定常)	
case3	矢板基礎構造の代替案の検討 (制約区間1:1.5)	【擁壁構造+背後盛土】 天端保護工+擁壁+減勢工 ※case1の結果から再設定した形状	背後盛土 (基本形状)	1.0m (波形再現)	盛土の設置による影響を把握 ⇒背後地の洗掘深と洗掘範囲による評価 ※矢板構造との比較

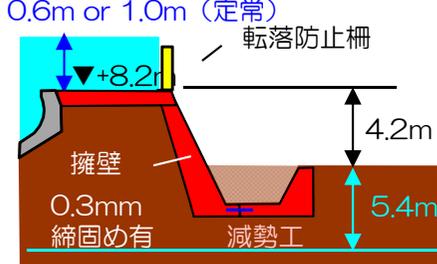
【case1】 擁壁構造の構造面の安定性の検討



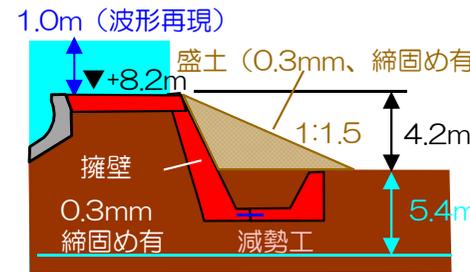
【case2】 越流水深及び背後水脈の状態ごとの減勢状況の確認 (case2-1~2-2)



(case2-3~2-4)



【case3】 矢板基礎構造の代替案の検討



※圧力計測のため減勢地内の土砂は配置しない

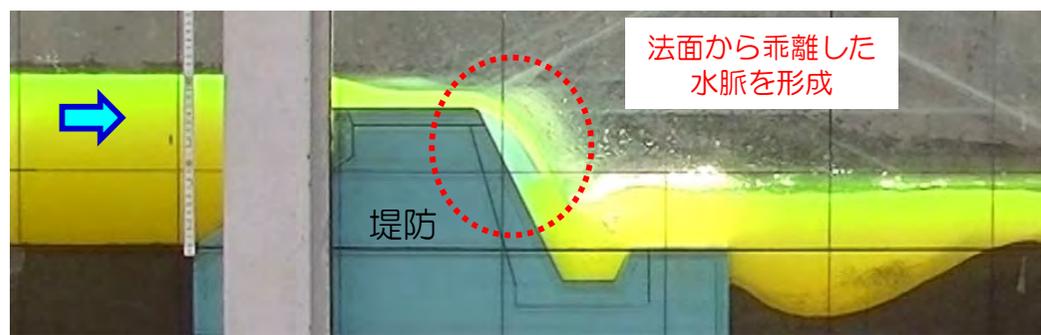
2. 前回報告内容:【case2】越流水深ごとの減勢状況・作用圧力の確認

【実験結果（付帯施設なし）：case2-1】

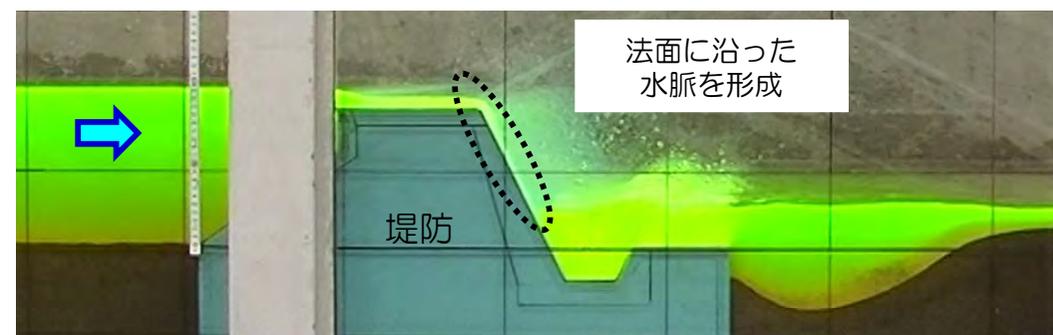
- 越流水深1.0mでは裏法面から乖離した水脈が形成されるが、越流水深0.6mでは裏法面を沿った水脈となる。
- 越流水深1.0mでは裏法肩から-0.1~1.0mの範囲で負圧が生じ、水脈は約4.4m地点（減勢工陸側斜面）に着水する。
- 越流水深0.6mにおいても、範囲は狭いが裏法肩から-0.1~0.2mの範囲で負圧が生じ、水脈は裏法面に沿って約2.6m地点（法尻部）に着水する。

➤越流水深の違いにより裏法面での流れが異なり、負圧の発生範囲が大きく変化する傾向となっている。

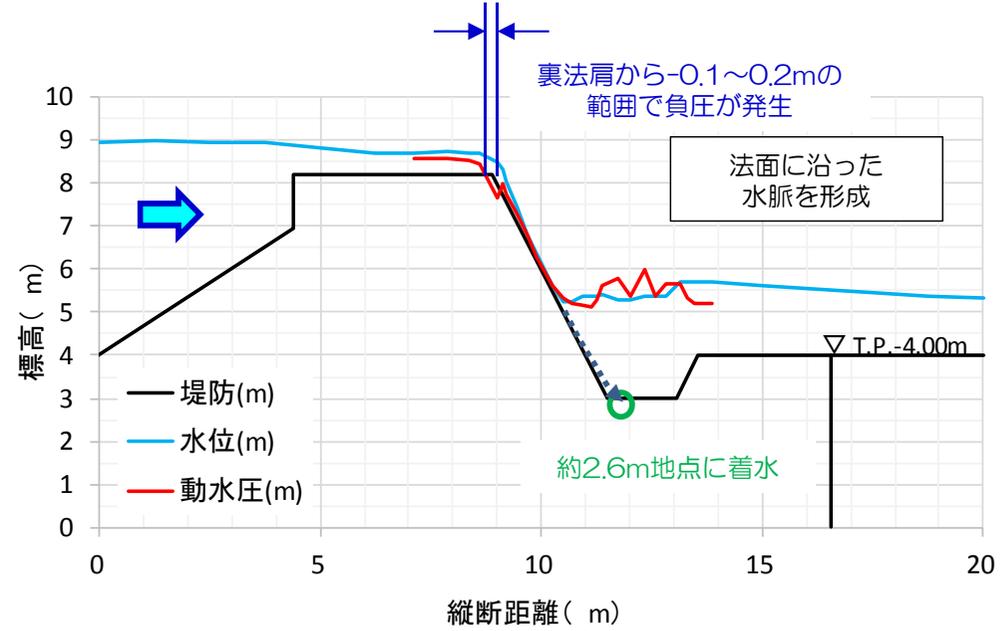
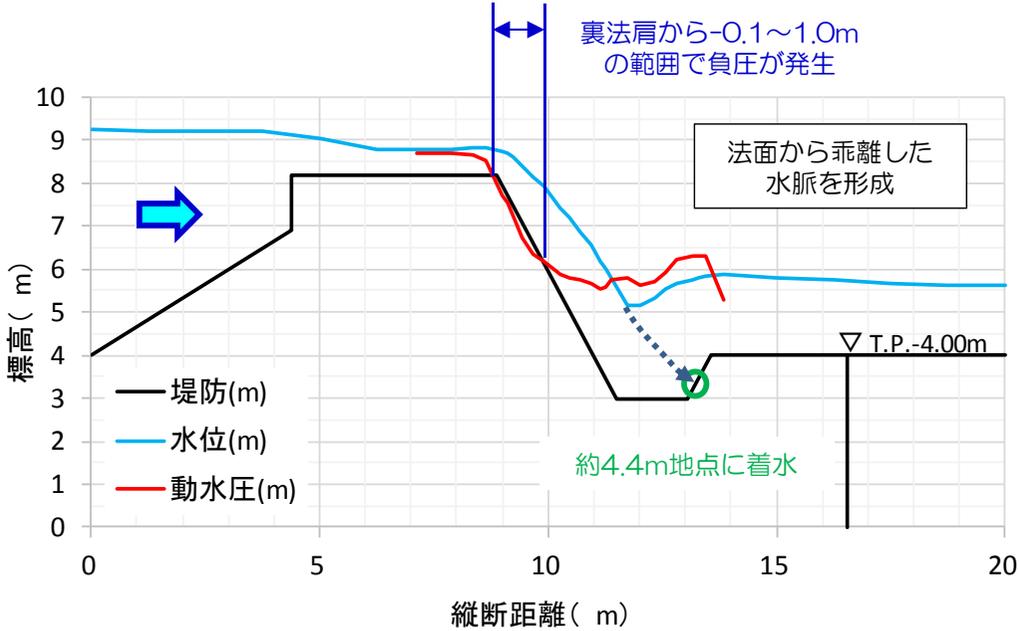
越流水深：1.0m



越流水深：0.6m



越流水深ごとの越流流況（case2-1）



越流水深ごとの動水圧と水位の計測結果（case2-1）

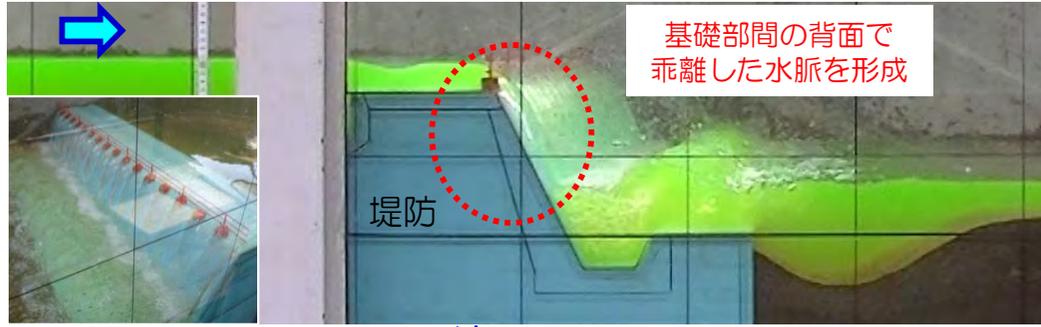
2. 前回報告内容:【case2】越流水深ごとの減勢状況・作用圧力の確認

【実験結果（転落防止柵の設置時）：case2-2】

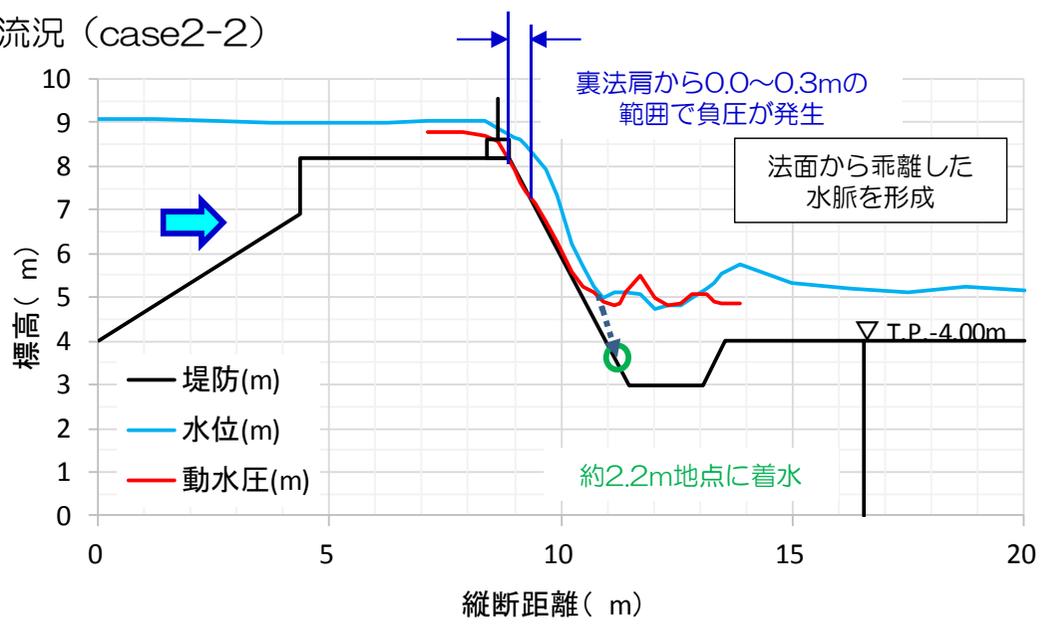
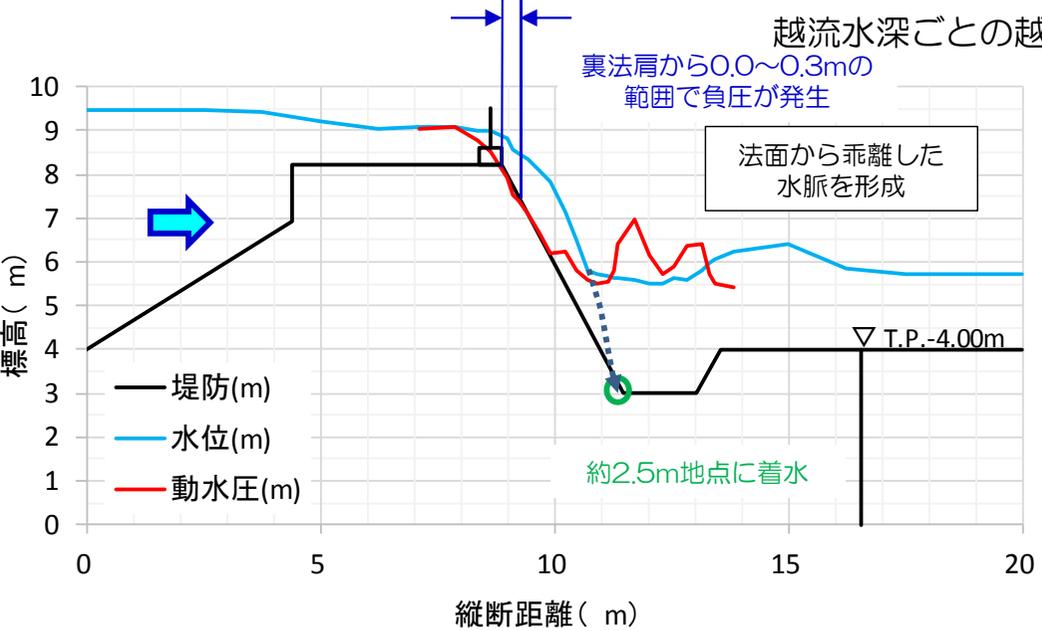
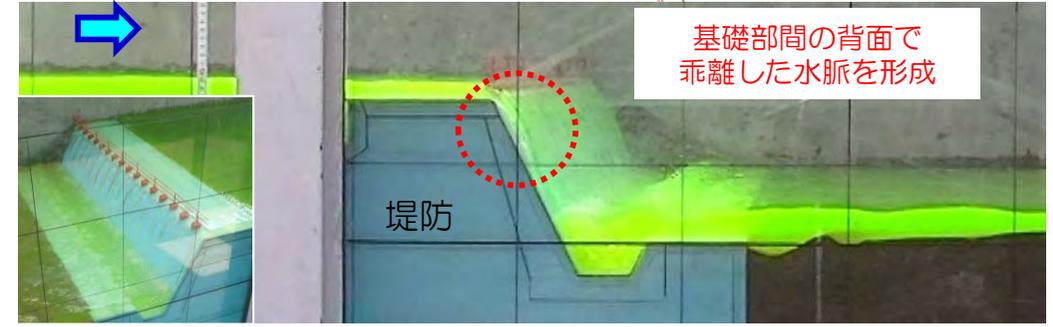
- 越流水深に関わらず、基礎部がない背面で乖離した水脈が形成される。
 - 越流水深1.0mでは裏法肩から0.0~0.3mの範囲で負圧が生じ、水脈は約2.5m地点（法尻先端部）に着水する。
 - 越流水深0.6mにおいても、裏法肩から0.0~0.3mの範囲で負圧が生じ、水脈は2.2m地点（裏法面）に着水する。
- 越流水深に関わらず、裏法面での流れや負圧の発生範囲に大きな変化は見られない。



越流水深：1.0m



越流水深：0.6m



越流水深ごとの動水圧と水位の計測結果 (case2-2)

2. 前回報告内容:【case2】越流水深ごとの減勢状況・作用圧力の確認

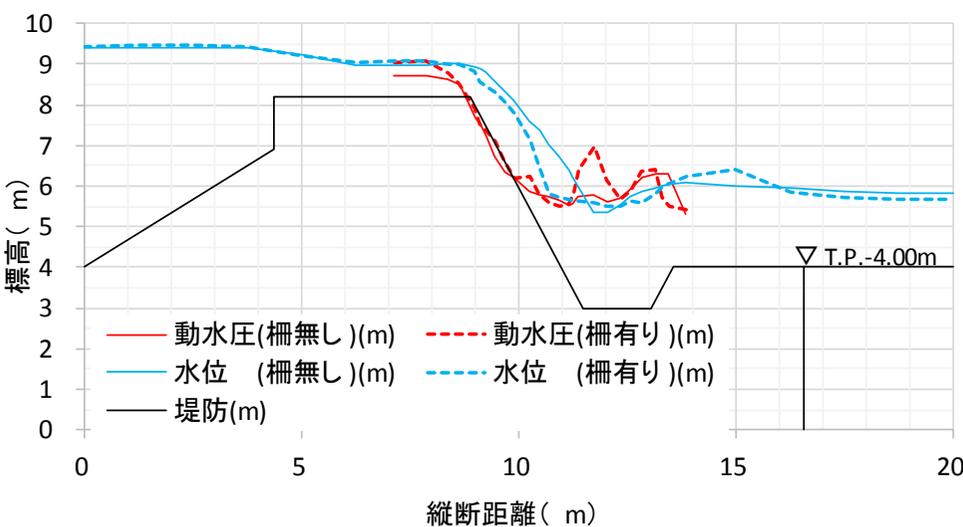
【転落防止柵の設置による影響の評価】

- 柵の設置により、負圧発生範囲は狭くなるが、設置後では柵の基礎部の有無による流況の変化の影響が考えられる。
 - 着水位置は、柵の設置により法尻や法面に落下位置が集中し、越流水深による着水位置の差が少なくなる。
 - 柵設置前の水脈形状は越流水深により異なるが、設置後では越流水深に関わらず、基礎部間の背面では水脈が乖離する。
- 柵設置前後で越流水深による影響は少なくなるが、柵基礎部の有無により、背後の流況が異なっている。

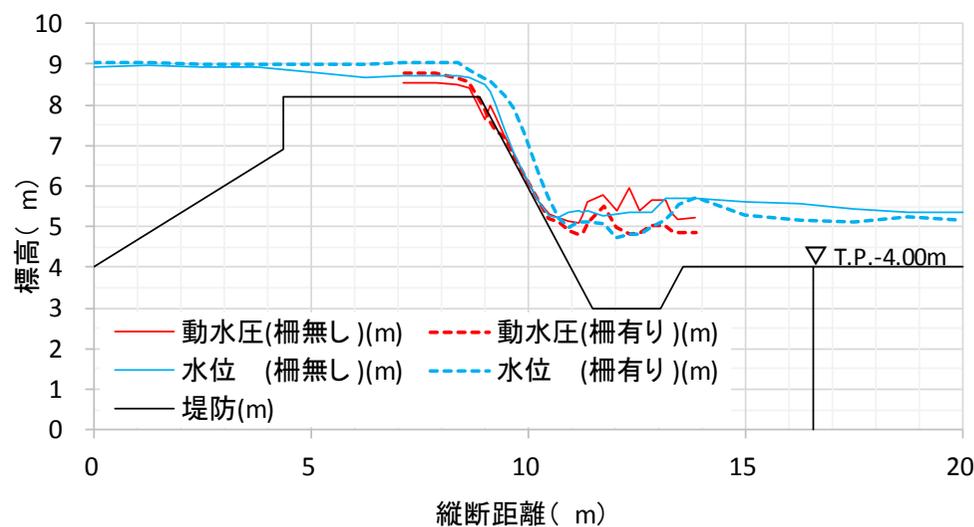
越流水深ごとの転落防止柵の有無による影響比較 (case2)

	転落防止柵有 越流水深1.0m	転落防止柵無 越流水深1.0m	転落防止柵有 越流水深0.6m	転落防止柵無 越流水深0.6m
負圧発生範囲	0.0m ~0.3m (0.3m 範囲)	-0.1m ~1.0m (1.1m 範囲)	0.0m ~0.3m (0.3m 範囲)	-0.1m ~0.2m (0.3m 範囲)
着水位置	約2.5m (法尻先端部)	約4.4m (減勢工陸側斜面)	約2.2m (裏法面)	約2.6m (法尻部)
裏法の水脈形状	乖離有 (基礎部間の背面)	乖離有	乖離有 (基礎部間の背面)	乖離無

越流水深：1.0m



越流水深：0.6m



越流水深ごとの動水圧と水位の計測結果の比較 (case2)

2. 前回報告内容:【case3】矢板基礎構造の代替案の検討(制約区間1:1.5)

【①矢板基礎工との比較 (case3とH29矢板実験)】

・昨年度実施した同様の堤防の裏法勾配が1:1.5の「矢板基礎構造」と粘り強い効果を比較する。

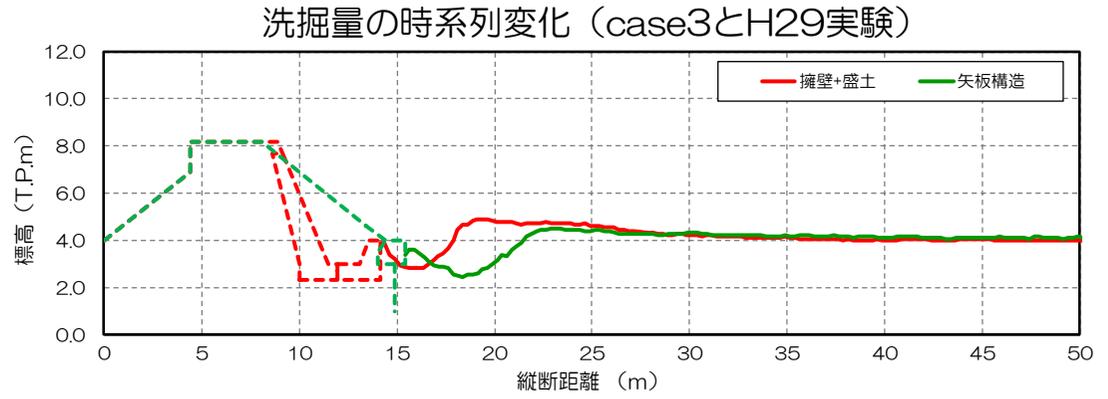
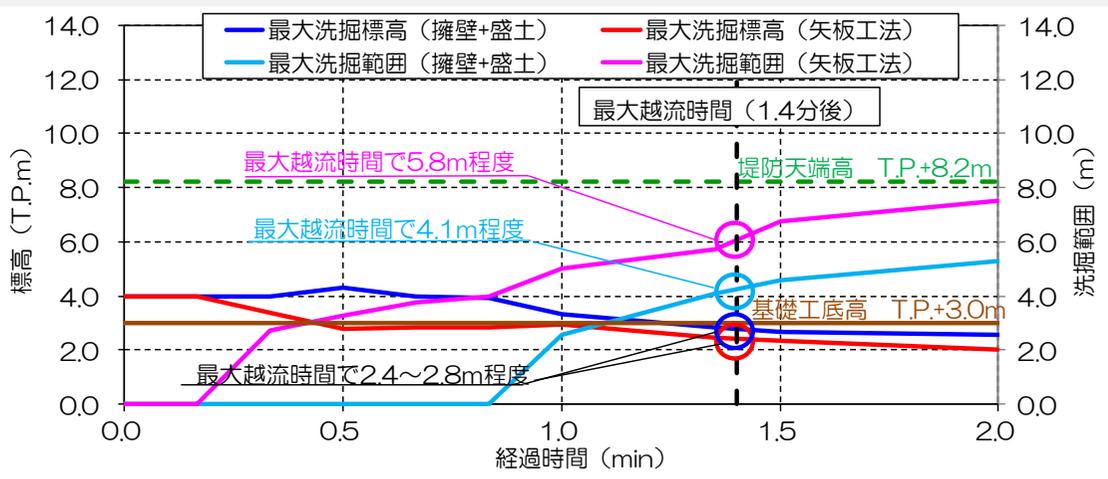
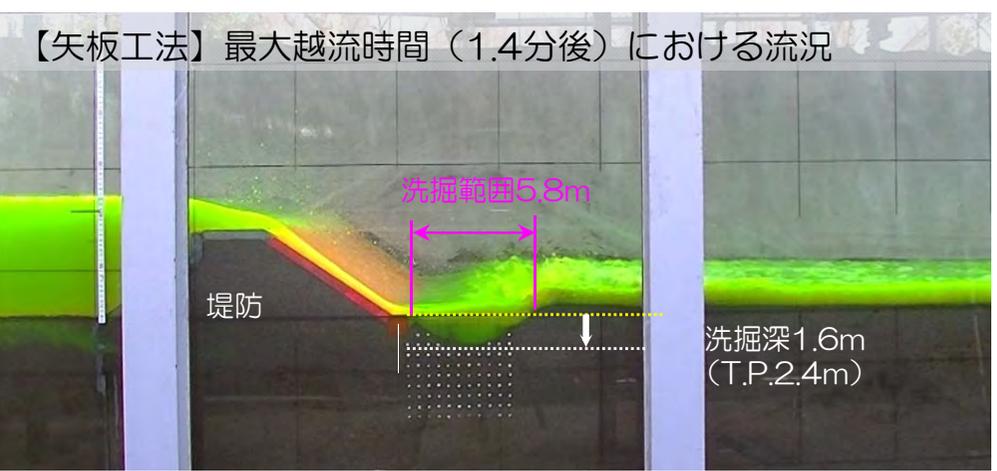
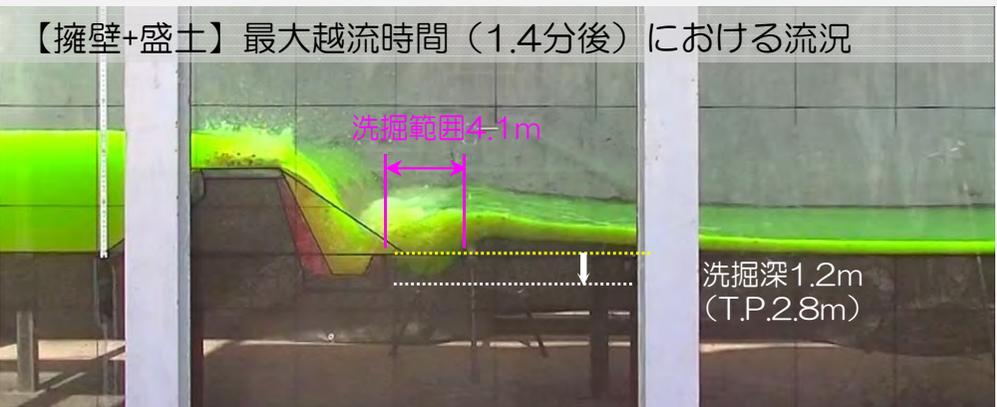
<破堤遅延時間>

・両構造ともに越流開始50分後でも堤防模型が損壊していないことから、十分な破堤遅延の効果を有している。

<堤防背後の洗掘形状の経時変化>

- ・構造による最大洗掘深の違いは、最大越流時間 (1.4分後) において殆どないが、「擁壁+盛土構造」では盛土の効果により越流開始初期の洗掘が低減される。
- ・最大洗掘範囲は、最大越流時間 (1.4分後) において「擁壁+盛土構造」の方が「矢板構造」と比較して1.7m程度小さい傾向となる。

➤「矢板構造」と比較して「擁壁+盛土」の方が洗掘範囲が軽減されるが、陸側への盛土の流出の影響が懸念される。



最大越流時間における流況の比較 (case3とH29実験)

洗掘形状の比較 (case3とH29実験: 最大越流時間1.4分後)

【②擁壁構造のみとの比較 (case3とH29擁壁実験)】

<破堤遅延時間>

・両構造ともに越流開始50分後でも堤防模型が損壊していないことから、十分な破堤遅延の効果を有している。

<堤防背後の洗掘形状の経時変化>

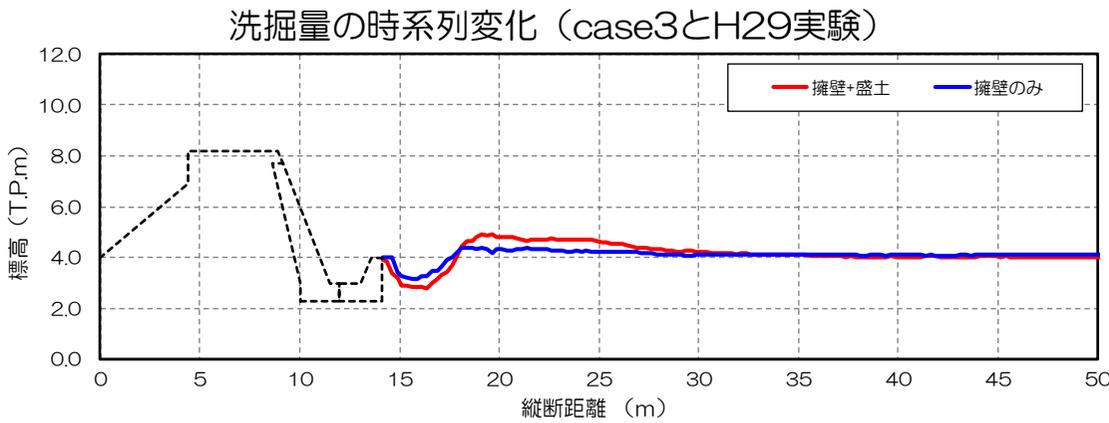
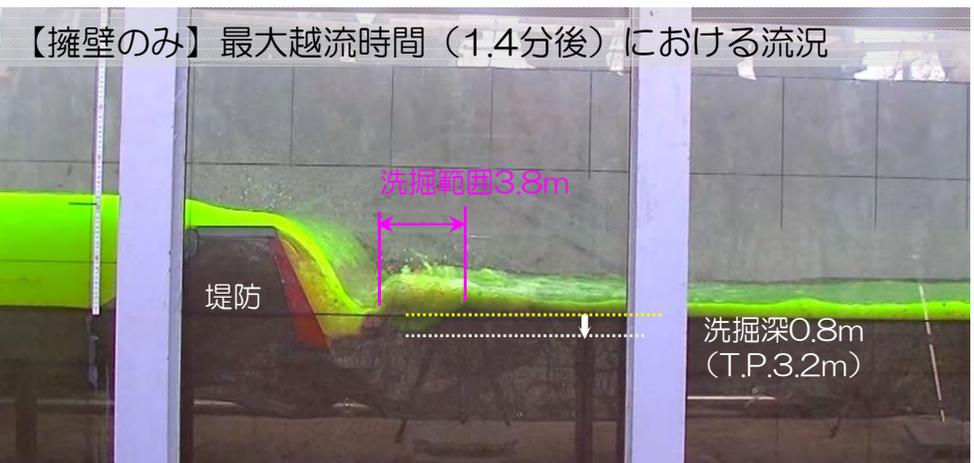
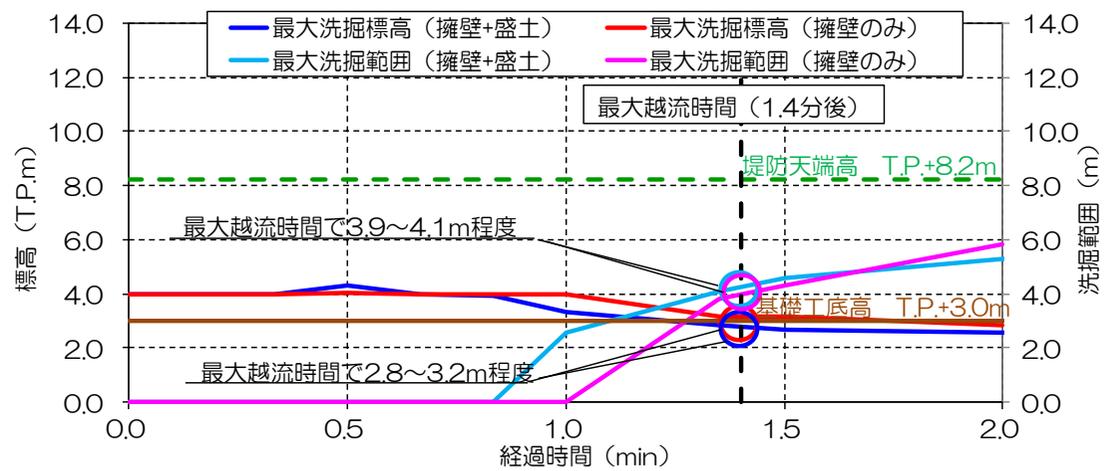
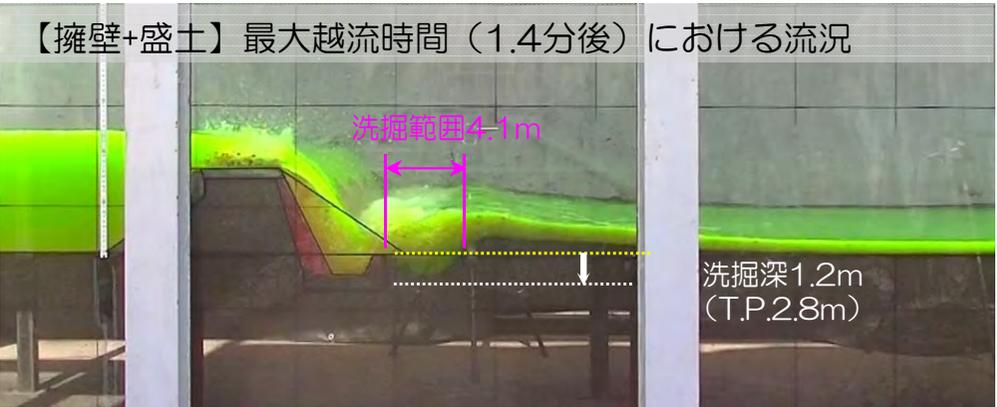
・構造による最大洗掘深の違いは、最大越流時間(1.4分後)において殆どない。

※盛土構造による越流開始初期の洗掘が低減効果も殆どない。

・最大洗掘範囲は、最大越流時間(1.4分後)において概ね一致する傾向となる。

➤盛土の設置による背後の洗掘等に与える影響・効果は殆どない。

➤景観面や転落防止を考慮して盛土を設置する場合には、陸側への盛土の流出の影響を考慮する必要がある。



最大越流時間における流況の比較 (case3とH29実験)

洗掘形状の比較 (case3とH29実験: 最大越流時間1.4分後)

5. 【case1】擁壁構造の構造面の安定性の検討

【実験の目的】

- 基本設計の擁壁構造が負圧に対して安定することを定性的に確認すること。
※付加的に「負圧により転倒が生じる条件での擁壁の移動状況の確認」と「転落防止柵の設置による負圧軽減効果の定性的な確認」も併せて実施

【実験条件】

（越流水深）

- 解析により算出された津波による越流水深0.6mを危険側に評価した「1.0m」とした。

（擁壁部材）

- 堤防構造についてはH29年度に検討した基本形状を踏襲
- 基本設計の擁壁構造の最小部材厚の「0.5m」の被覆厚
- 現地で使用する「コンクリート」と負圧により転倒することを期待した比重の軽い「木材」を部材として使用

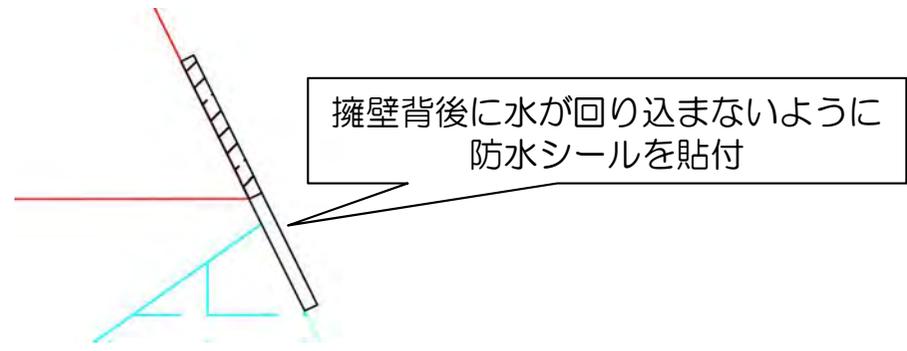
実験条件及び実験ケースの一覧

	検討内容	堤防構造	擁壁部材：被覆厚 重量	付帯物	越流水深
case1-1	擁壁構造の 構造面の 安定性の検討 (制約区間1:1.5より急勾配)	【擁壁構造】 天端保護工＋擁壁＋減勢工 (擁壁法勾配1:0.5) ※H29年度検討形状	コンクリート：0.5m (単位幅あたり約6t)	なし	1.0m (定常)
case1-2			木材：0.5m (単位幅あたり約1t)	なし	
【参考】 case1-3				転落防止柵	

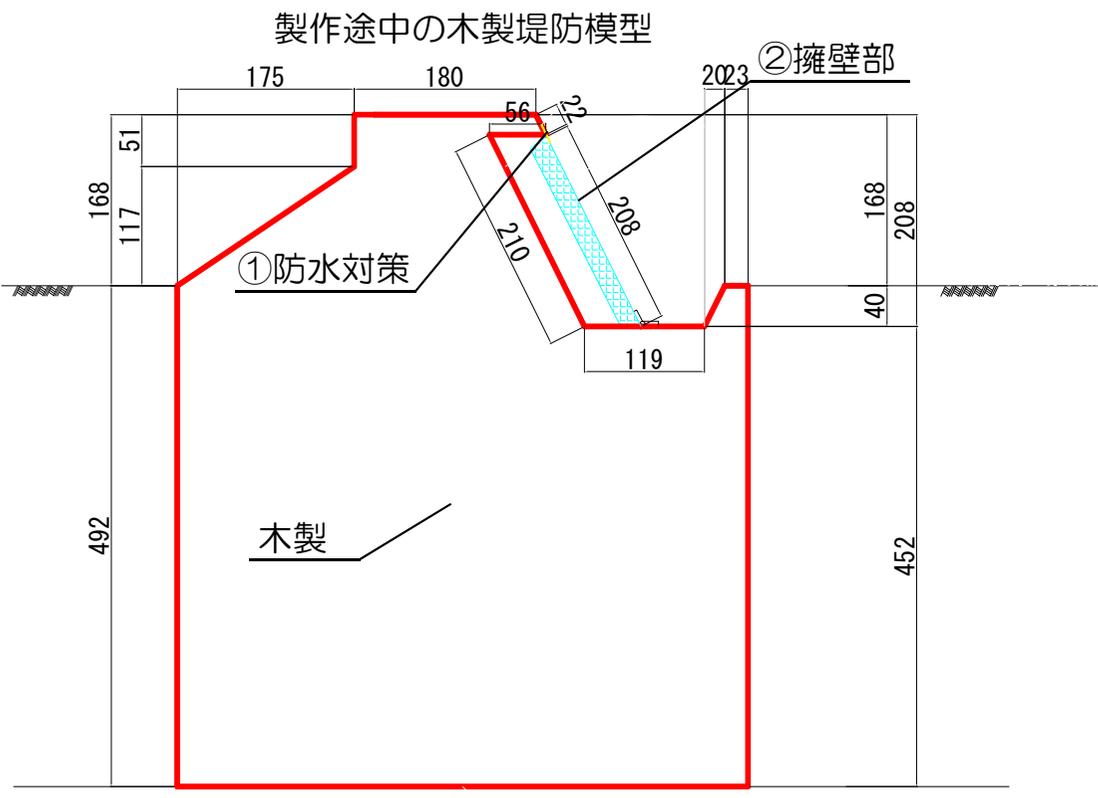
5. 【case1】擁壁構造の構造面の安定性の検討

【実験模型製作】

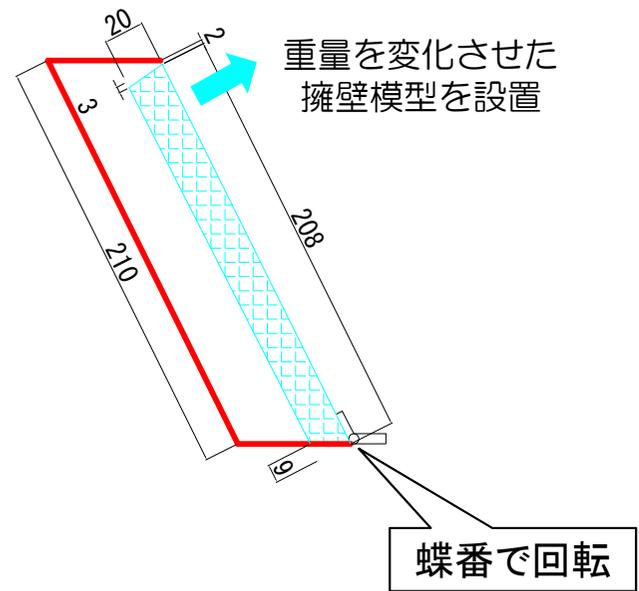
- 擁壁に作用する外力を把握するため、堤防部を木製、擁壁部を比重調整した材料で製作
- 擁壁部は、下部を蝶番で固定し、作用圧力により擁壁が回転するように設計
擁壁背後に水が回り込まないように擁壁上部に防水対策を施す



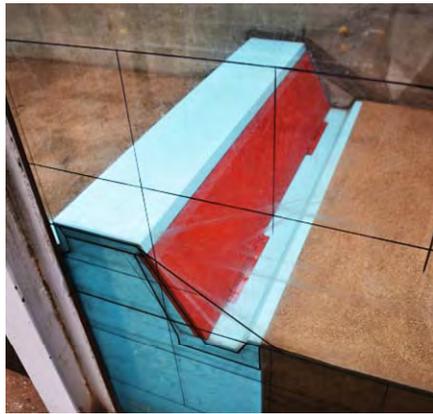
①擁壁上部（防水対策）



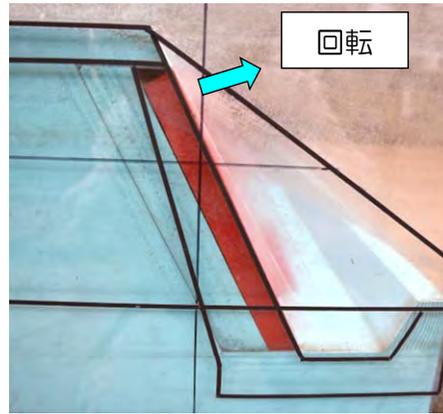
製作する模型の全体寸法図



②擁壁部の拡大図



堤防模型全景

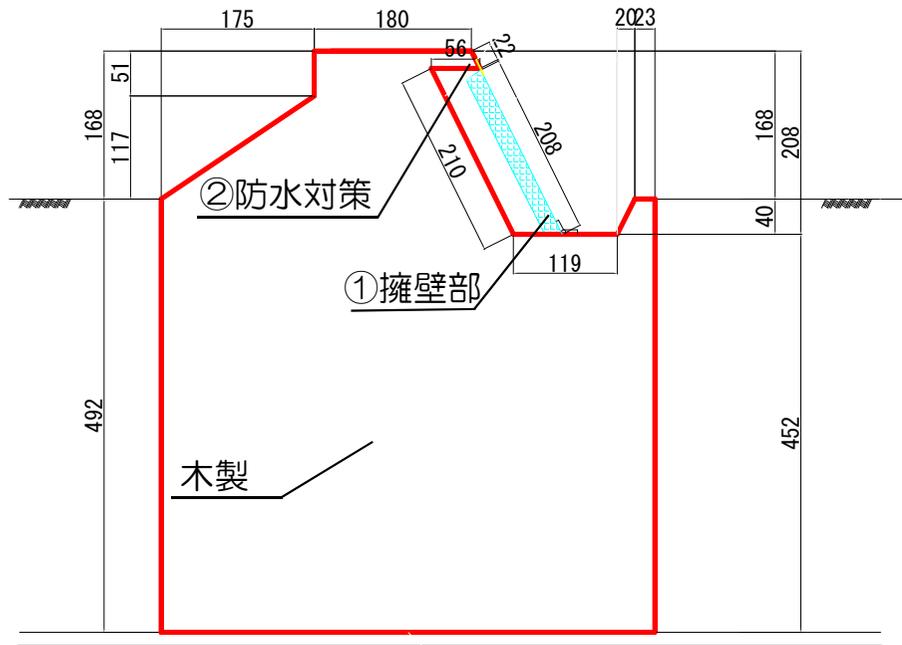


擁壁部側面

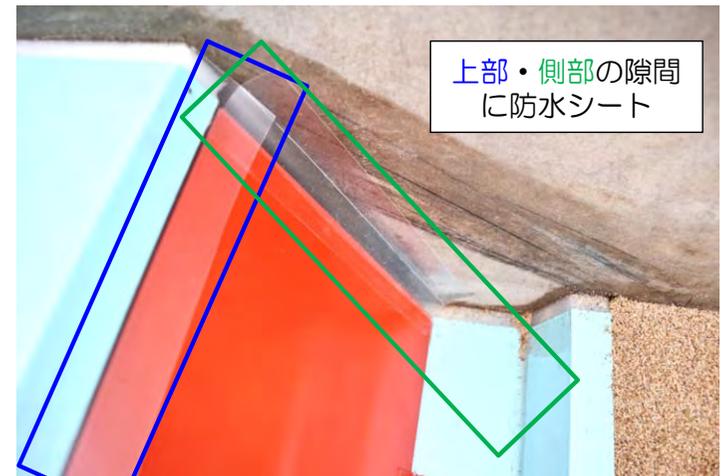


長さ20cmの蝶番
で2か所固定

①擁壁部



擁壁模型の全体寸法図



上部・側部の隙間に
防水シート

②防水対策（上部+側部）

5. 【case1】擁壁構造の構造面の安定性の検討

【基本構造の安定性の評価 (case1-1)】

(擁壁部材：コンクリート 擁壁厚：0.5m)

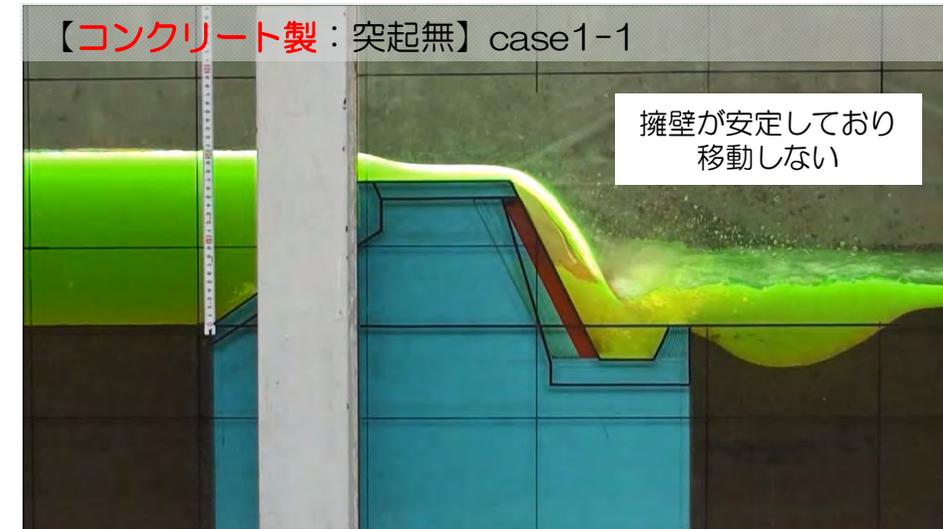
- 最大越流水深1.0mにおいても、コンクリート擁壁（単位幅あたりの質量6.04t）は移動しない。
- 基本構造の最小擁壁厚0.5mで安定するため負圧に対する対策は不要である。

【突起による負圧軽減効果の評価 (case1-2,1-3)】

(擁壁部材：木材※ 擁壁厚：0.5m)

- 擁壁部材を木材（単位幅あたりの質量を1.05t）とすると負圧により擁壁が移動する。
- 最大越流水深1.0mにおいて両構造とも負圧により擁壁が移動するが、「突起有」は「突起無」と比較して変動量が小さい。
- 突起を設置することにより負圧が低減され、擁壁の安定性を向上させることが期待できる。

※突起なしの状態では擁壁構造が明確に移動するよう比重が軽い部材（比重0.4g/cm³：コンクリートでの擁壁厚約0.1m相当の質量）を使用



コンクリート擁壁（突起なし）の流況



木製擁壁（突起なし）の流況



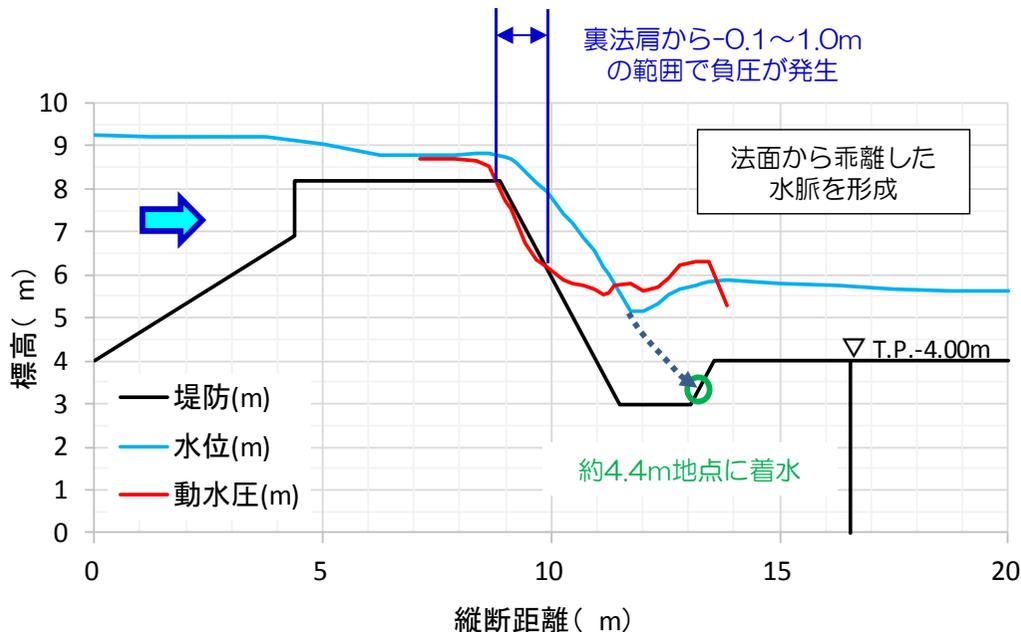
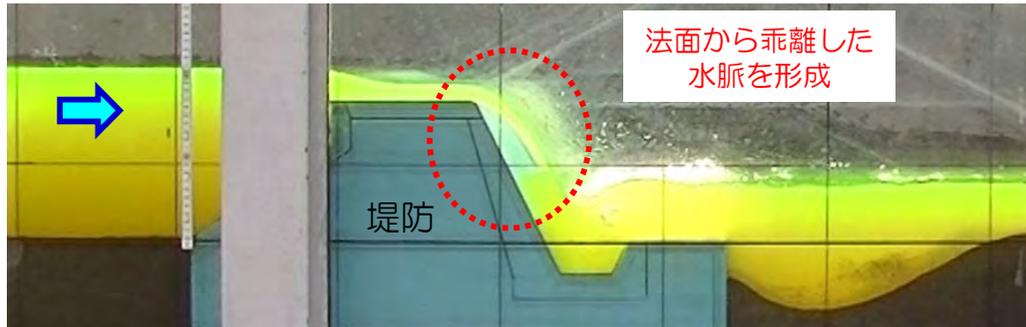
木製擁壁（突起あり）の流況

越流水深1.0mにおける擁壁の安定性の比較 (case1)

5. 【case1】擁壁構造の構造面の安定性の検討

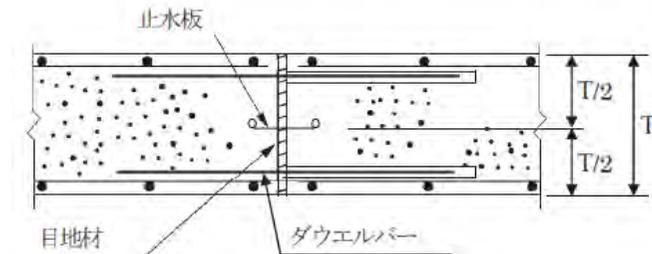
- case2の実験結果より、津波越流時、擁壁背面のナップ下では負圧が発生する。これは水頭から換算すると、ナップが切れない状態では、 $2\sim 3\text{kN/m}^2$ 程度となり、決して小さくはない数字であるが、実験結果より、部材厚50cm以上確保されれば、全体の安定性に与える影響は小さいと考えられる。
- 擁壁の法肩部は、構造上、天端被覆工との接合部に当たる。天端上面では水流による揚力、裏法肩では負圧を受けるため、接合に当たっては、止水板を併用した伸縮継手等、堤体土の吸出し防止対策に留意が必要。

越流水深：1.0m



実験結果による負圧の発生状況 (case2)

〈法肩の形状〉



擁壁と天端被覆工の接合方法の例

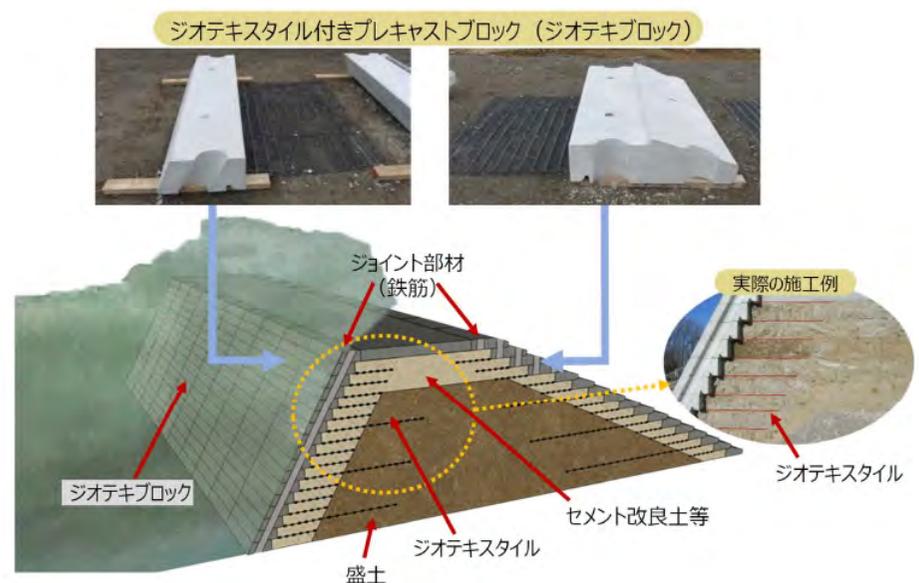
6. 実験結果

- ・構造別による破堤遅延時間、海岸堤防背後の洗掘状況、施工・管理等、概算費用から比較した。
- 一般区間においては、他の区間（T.P.+6.2m区間）と同等の機能を確保することとし、基本構造とする。
- 制約区間は、コストはやや高いが、背後地への洗掘の影響が少なく、長期的な信頼性が確保しやすい、擁壁構造を推奨案とする。擁壁の形式、安全対策（盛土もしくは転落防止柵）は、地元との協議の上、決定することとする。

評価項目		一般区間（裏法勾配1:2）	制約区間（裏法勾配1:1.5）	
		case1 基本構造	case2-2 矢板基礎構造	case3 擁壁構造
構造の信頼性	堤防損壊時間	—（実験での損壊なし）	—（実験での損壊なし）	—（実験での損壊なし）
	構造の安定性	—（比較基準）	<ul style="list-style-type: none"> ・張り構造であり、基本構造案とほぼ同等 ・既往の実験では、洗掘が進むと倒壊する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・擁壁本体は安定計算により滑動・支持・転倒の安定性の確保する。 ・実験結果より流況・洗掘位置が安定しており、矢板基礎構造より粘り強さを持っている。 ・陸側の負圧等に対しては、実験より安定する。 ・長期的な構造の信頼性は、基本構造案と同程度である
	長期的な信頼性の確保	・無筋コンクリート構造でありライフサイクルは長い。	・鋼矢板は土中に埋設されるため、腐食のモニタリングが困難で、長期的な信頼性の確保が難しい。	・長期的な構造の信頼性は、基本構造案と同程度である
周辺への影響	洗掘範囲※1	6.5m（15.9m）	5.8m（12.7m）	盛土なし：3.8m（9.3m） 盛土あり：4.1m（9.6m）
	最大洗掘深	1.4m	1.6m	0.8m
	利用・安全性	—（比較基準）	・現施設と同じ法勾配であり、問題ない	<ul style="list-style-type: none"> ・天端から転落の危険があり、安全対策が必要 ・洗掘防止工内の排水が必要
施工性	施工性	—（比較基準）	<ul style="list-style-type: none"> ・護岸の補強（撤去・再設置）が主体の工事であり、施工性は基本構造と変わらない。 ・矢板を打設するためのヤードや騒音対策等が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・床掘や堤防の部分開削が必要な工事となる。現場打ちCo（もしくは補強土）の量が多く、型枠設置・養生など、施工性が劣る
総合評価		—	△（採用可能） 津波に対する安定性や長期的な信頼性では劣るものの、東北と同程度の粘り強さを確保できるため、Case3の採用が難しい区間での採用が可能である。	○（採用を推奨） 構造の信頼性の点では矢板構造より優れるため、施工性、利用・安全性、経済性等の問題がない区間での採用を推奨する。

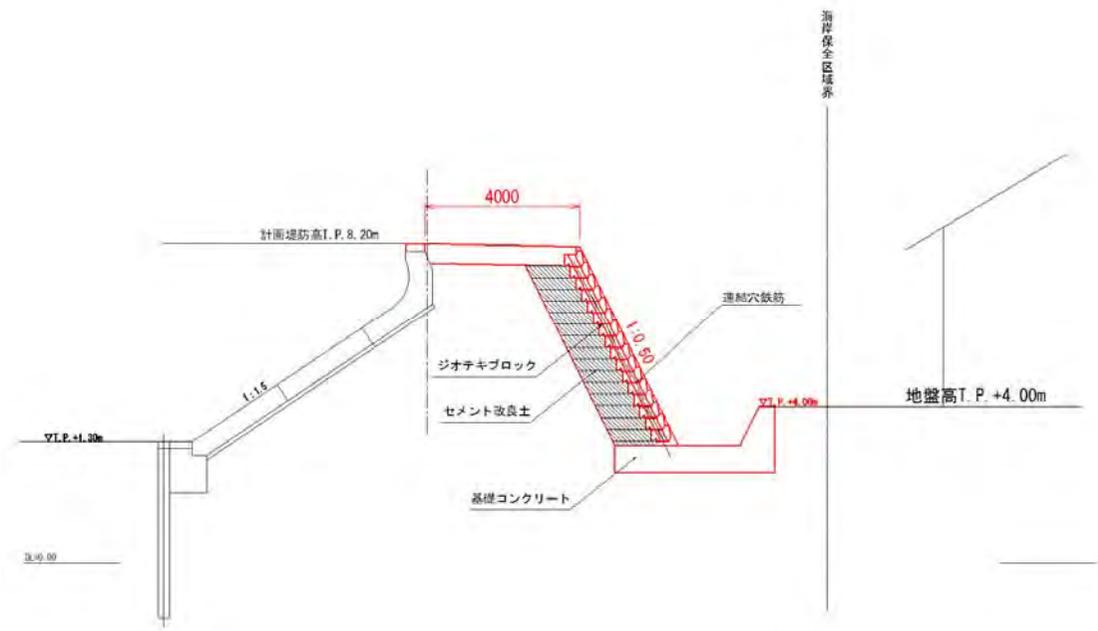
※1：洗掘範囲は基礎工端部からの距離を示しており、（ ）内の数値は堤防裏法肩からの距離を示している。
 ※2：矢板基礎構造については、矢板の腐食代1.5mm（海側・陸側合わせて3mm）考慮し、50年程度の耐性としている（腐食速度0.03mm/年想定）

- ・擁壁は、現場打ちコンクリートとした場合、型枠製作・設置・解体の工数が多く、矢板工法に比べ、施工性が劣る。これに対し、残存型枠やジオテキブロック工法を適用することで、施工性を改善できる可能性がある。
- ・また、擁壁の形式として、ジオテキブロック工法は、もたれ構造に比べ、より優れた耐震性を確保できる可能性がある。
- ・今後の設計に当たっては、上記や経済的なメリット等を踏まえ、適切な工法を選定する。



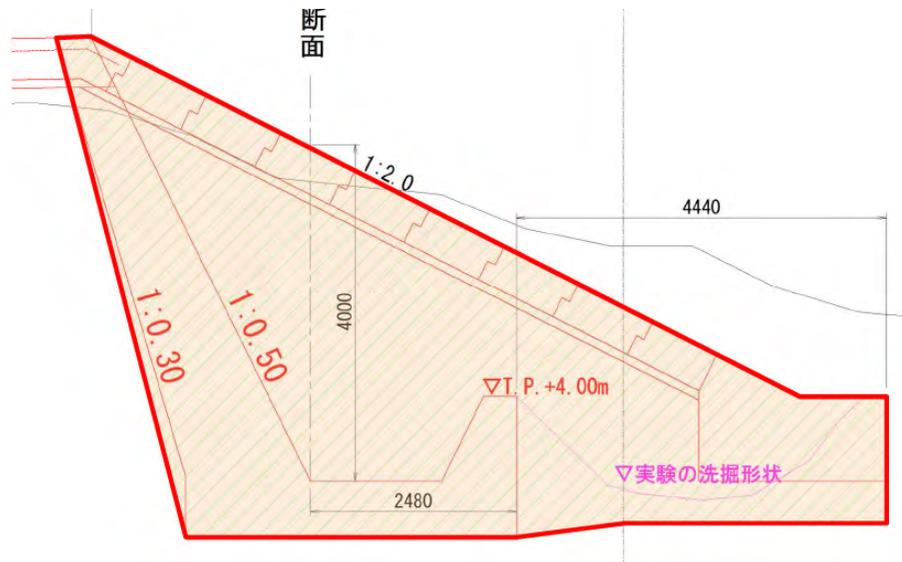
出典：「ジオテキブロック工法的设计・施工マニュアル」、H29.11、農研機構

ジオテキブロックの構造

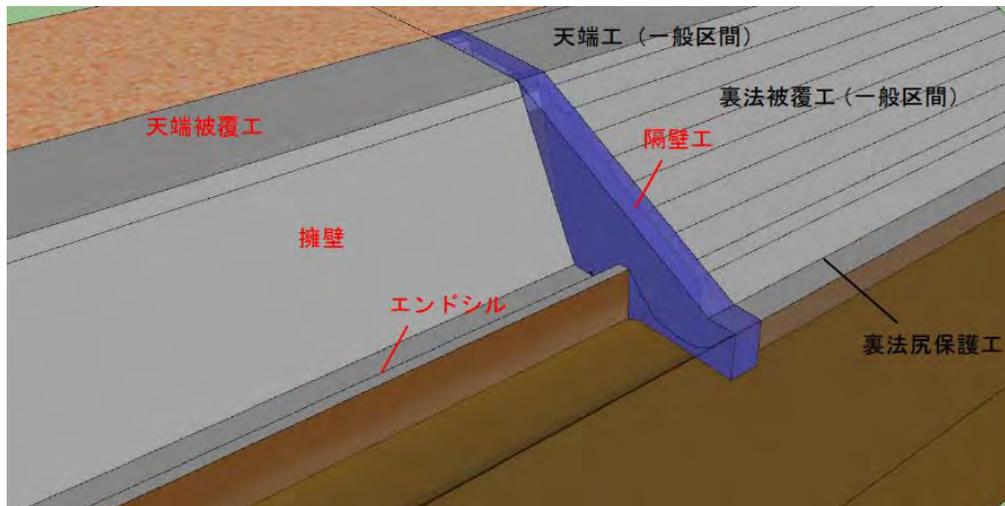


焼津工区におけるジオテキブロックの適用イメージ

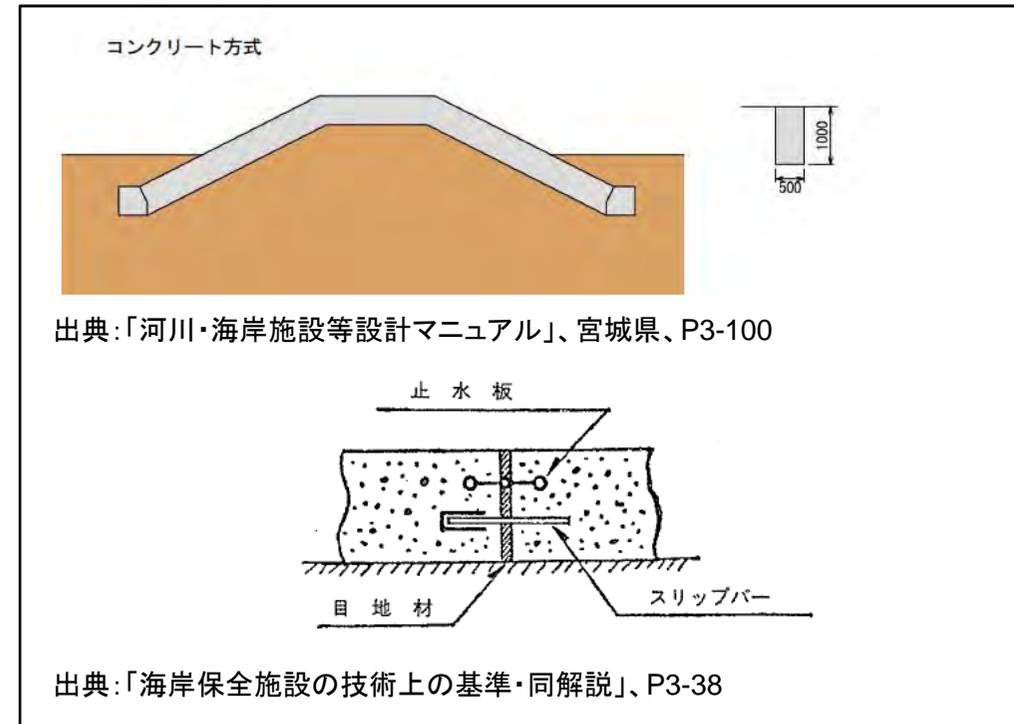
- 擁壁構造と一般区間の基本構造との擦り付け方法を検討する必要がある。
- 擁壁の端部処置方法としては、隔壁工（小口止め工）を設けることが一般的である。
- 隔壁工の設置範囲は、擁壁基礎、接続する堤防の基礎、実験による洗掘深下面を包絡する形とする必要がある。



隔壁工の設置形状

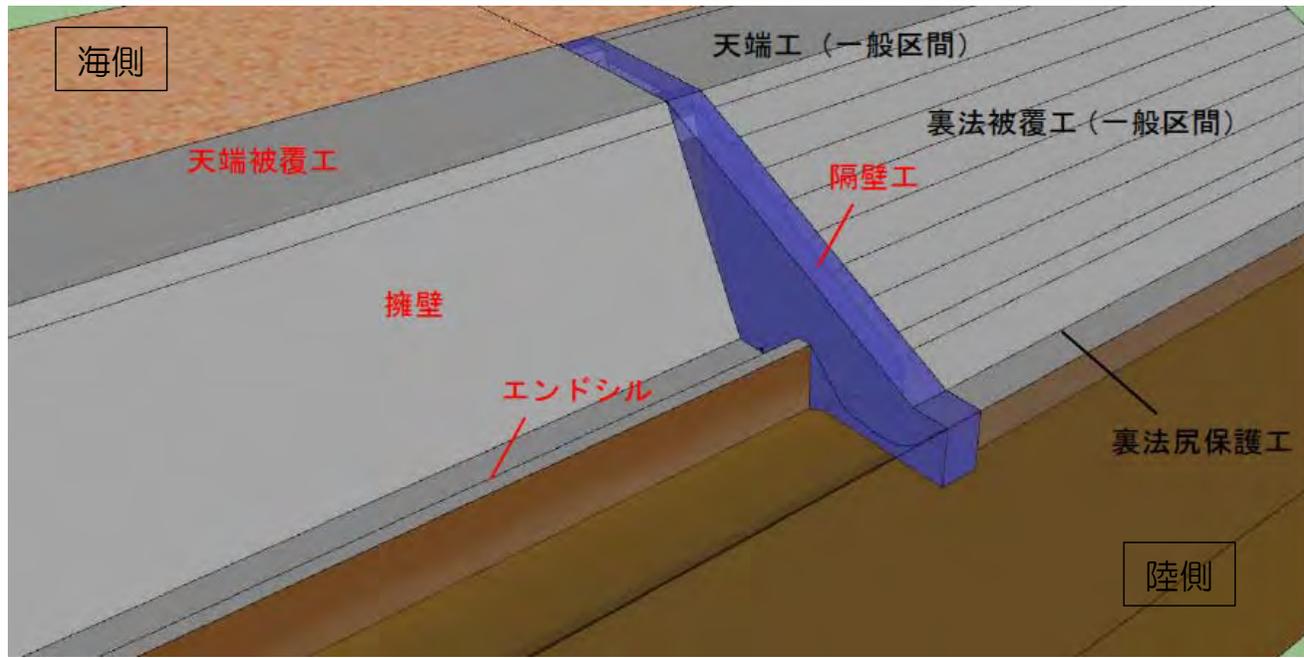


施設の平面配置

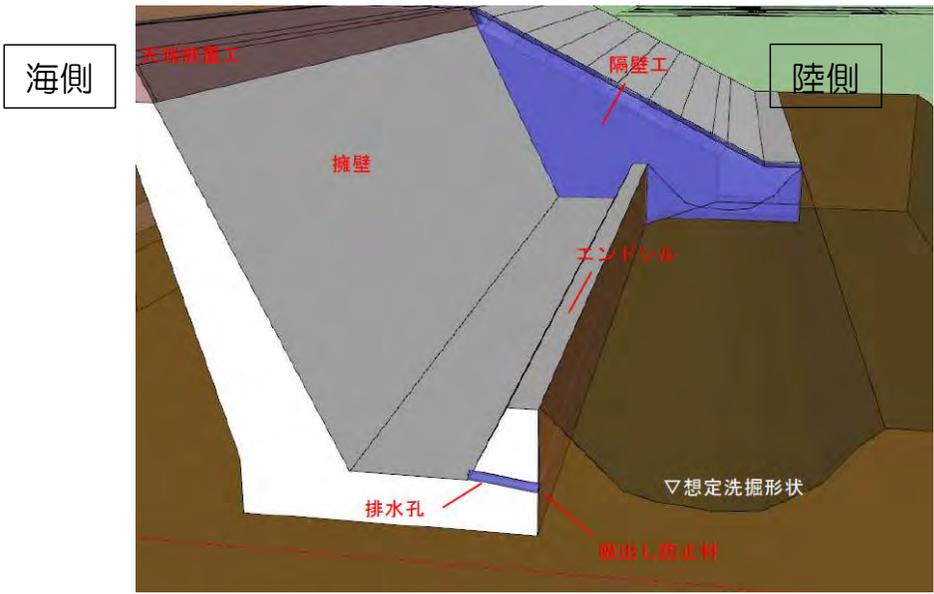


出典：「河川・海岸施設等設計マニュアル」、宮城県、P3-100

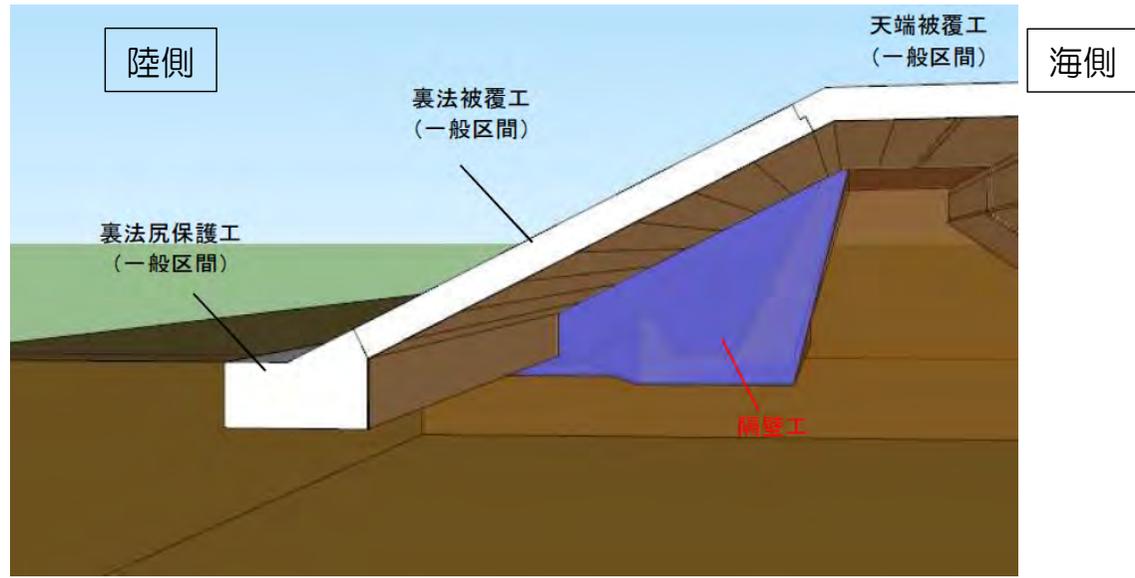
出典：「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」、P3-38



施設の平面配置



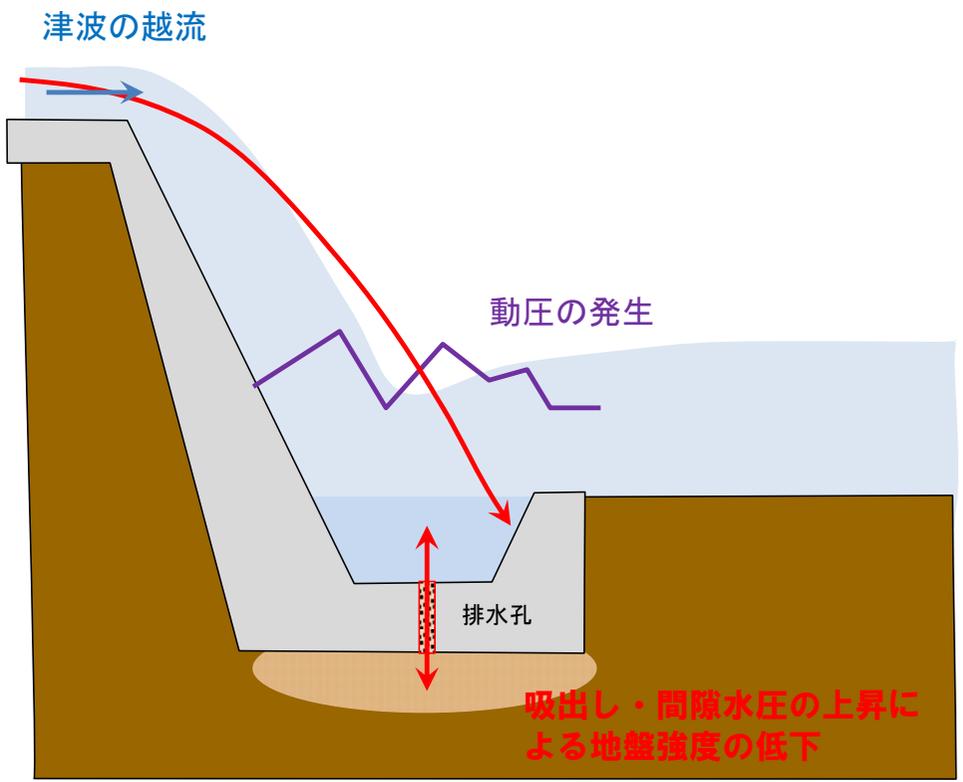
擁壁側から見た断面図



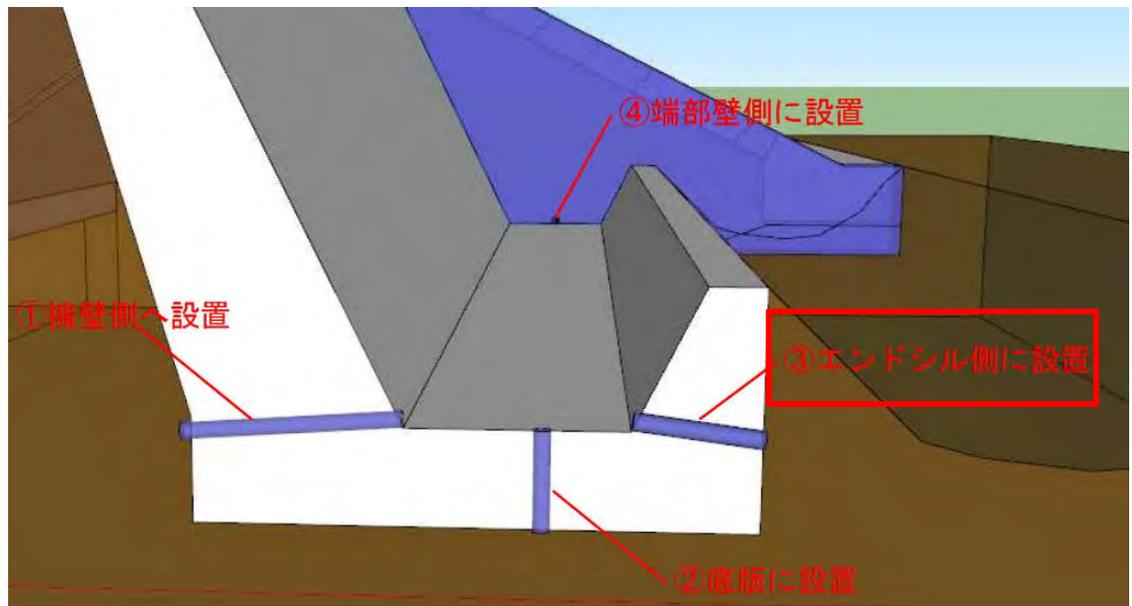
接続堤防側から見た断面図

- ・ 雨水、高潮による越波により、洗掘防止工内が湛水した後、排水孔により排水が必要となる場合がある。
- ・ 排水孔を設ける場合、洗掘防止工内は、津波の越流水により動圧が発生するため、排水孔からの吸出しや、間隙水圧が上昇し、排水先の地盤の強度が低下する恐れがある。

→吸出しについては、排水孔への碎石詰め、吸出し防止材の敷設等で防止が可能である。
→擁壁背面・基礎地盤・隣接する取付堤防の盛土部への影響を少なくすることを優先し、越流した水流の着水位置に近いが、③エンドシル側へ設置することが望ましいと思われる。



排水孔による影響のイメージ



排水孔の設置位置の比較