

第11回 駿河海岸保全検討委員会

～住吉工区の粘り強い海岸堤防の構造検討～

令和2年9月

国土交通省中部地方整備局
静岡河川事務所

1. 実験計画(①検討の背景・検討方針)

【検討の背景】

検討対象の吉田町 住吉工区は、「越流しない形状の盛土」が予定される区間である。そのため、基本構造（天端保護工＋裏法被覆工＋裏法尻部保護工）のうち天端保護工のみを整備予定としている。

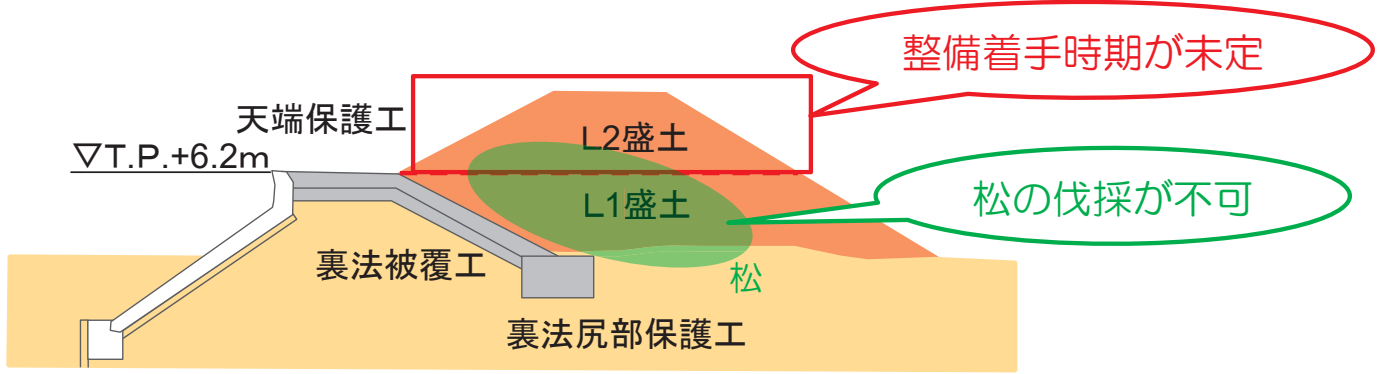
（住吉工区における課題）

- 堤防背後に植樹されている松を伐採した場合、暴風等による住宅地への影響が懸念される
- また、盛土整備位置に多くの宅地が存在しており、盛土の整備に着手できる時期が見通せない。

よって、盛土の整備時期が未確定であることから、盛土が無い状態で粘り強い構造の目標とする、破堤遅延時間3～5分を確保する構造の整備をする必要が生じている。

【検討の方針】

- ①松の伐採等を極力行わない範囲での対応可能な粘り強い海岸堤防構造（案）を設定し、
- ②その構造における効果の評価及び設計のためのデータ収集のため、水理模型実験を実施する。



住吉工区の堤防裏法面の松の状況

H28年度設定の基本構造のイメージと住吉工区の課題

1. 実験計画(②対象工区内の区間の分類)

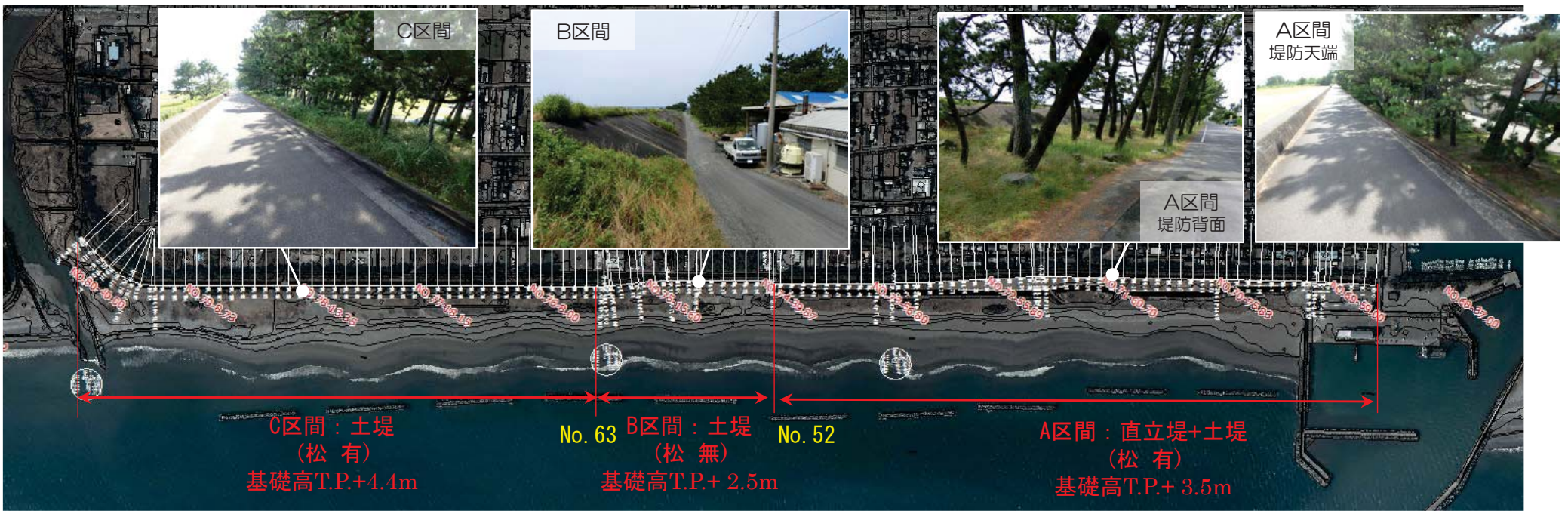
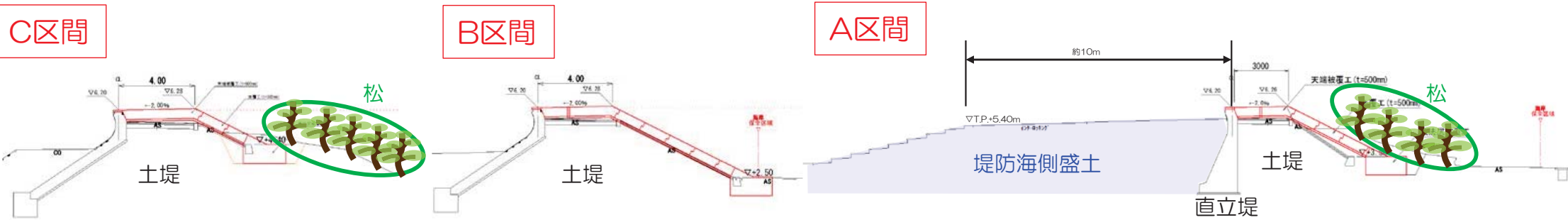
検討対象の住吉工区内を松の有無、堤防構造、基礎高の違いにより分類すると3区間に分けられる。

【区間別の特徴および基本構造とした場合の課題】

(A区間) 直立堤+土堤 松有 基礎高T.P.+3.5m : 裏法面~裏法基礎工が松範囲に重なり、松の撤去が必要となる
※堤防海側に天端幅約10m盛土 (T.P.+5.40m) が設置されている

(B区間) 土堤 松無 基礎高T.P.+2.5m : 海岸保全区域が狭く、裏法基礎工が海岸保全区域内に収まらない

(C区間) 土堤 松有 基礎高T.P.+4.4m : 裏法面~裏法基礎工が松範囲に重なり、松の撤去が必要となる



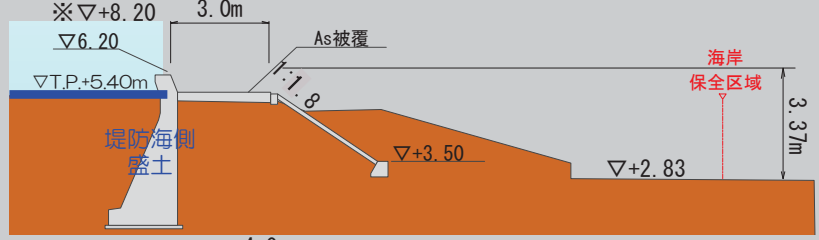
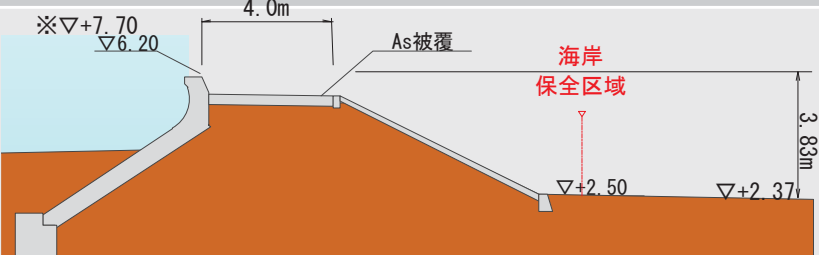
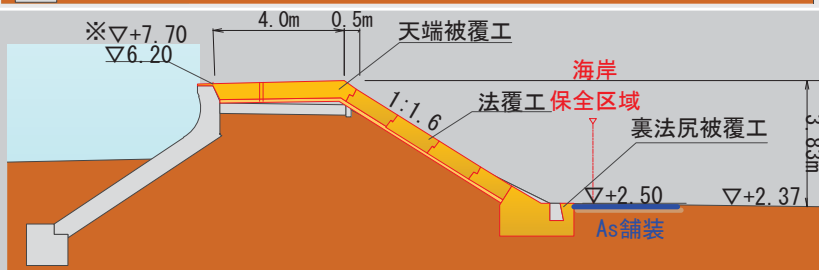
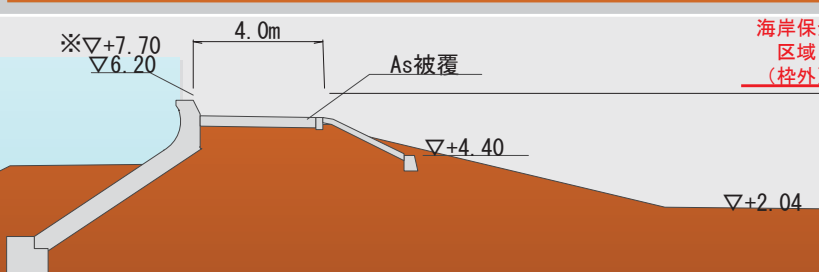
住吉工区の区間分類と区間ごとの課題

【参考】令和元年度 実験ケース

実験は、A区間1ケース、B区間2ケース、C区間1ケースの合計4ケース。

(A区間、C区間) 現況のみの1ケース、(B区間) 現況と改良対策案(基本構造 裏法勾配1:1.6+As舗装)の2ケース

実験ケース表

	対象区間	堤防構造	付帯物	越流水深	備考
caseA-1	A区間 直立堤+土堤 天端幅 3.0m (No69~73)	現況	堤防 海側盛土	2.0m	堤防海側盛土の高さを含めて堤防高が保持されるかを評価 
caseB-1	B区間 土堤 天端幅 4.0m (No74)	現況	なし	1.5m	
caseB-2	天端幅 4.0m (No74)	【改良対策案】 (基本構造の裏法勾配1:1.6) 天端被覆 +裏法ブロック被覆 +裏法尻保護工	裏法尻保護工背後 As舗装	1.5m	
caseC-1	C区間 土堤 天端幅 4.0m (No75~79)	現況	なし	1.5m	

※ L2想定津波高 参考p25参照

【参考】令和元年度 実験結果のまとめ

区間ごとの実験結果（破堤遅延時間、洗掘形状等）を整理し、各区間の粘り強さを評価した。（破堤遅延時間については、参考p41参照）

- 【A区間】破堤遅延時間は5.0分程度となり、他の工区で設定している破堤遅延時間3.0～5.0分は確保できている。
- 【B区間】現況構造では、十分な粘り強さを確保できない。また、改良対策案においても破堤遅延時間が2.0～6.2分と他の工区で設定している破堤遅延時間を確保できない可能性がある。※As舗装の剛性の再現性が低い（弱い）危険側の条件での結果
- 【C区間】現況での破堤遅延時間は0.5分程度となり、他の工区で設定している破堤遅延時間3.0～5.0分を確保できない。

評価項目	A区間(No.69~73) 直立堤+土堤、天端幅 3.0m	B区間(No.74) 土堤、天端幅4.0m		C区間(No.75~79) 土堤、天端幅4.0m	
	caseA-1	caseB-1	caseB-2	caseC-1	
	【現況】堤防沖側盛土	【現況】	【改良対策案】天端被覆+裏法ブロック被覆+裏法尻保護工+As舗装	【現況】	
実験結果	越流継続時間の破堤	あり	あり	あり	
	破堤遅延時間	5.0分	0.2分	2.0分～6.2分	0.5分～0.9分
	洗掘範囲※1	—	7.4m (13.7m)	16.5m (23.4m)	11.4m (14.0m)
	最大洗掘深※2	—	2.3m (1.7m)	0.9m (1.7m)	3.1m (1.7m)
評価	被災経過	1.0分後：裏法面盛土流出 1.3分後：基礎工流失 2.2分後：法面被覆工流失 5.0分後：天端被覆工流失 ※5.8分以降に堤体は安定性を失う ➢5.0分を破堤遅延時間として評価	<洗掘深による評価> 0.2～0.3分後：基礎工高到達 約1.5分後：基準洗掘深到達 <堤体損壊による評価> 0.2分後：基礎工流失 2.5分後：法面被覆工流失 ※基礎工の流失時間0.2分を破堤遅延時間として評価。	<洗掘深による評価> 2.0分後：基礎工高到達 <堤体損壊による評価> 6.2分後：裏法ブロック陥没 ※洗掘深による評価、堤防構造の被災による評価で、2.0分～6.2分を破堤遅延時間として評価。	<洗掘深による評価> 0.5分後：基礎工高到達 0.9分後：基準洗掘深到達 <堤体損壊による評価> 0.5分後：基礎工流失 0.9分後：法面被覆工流失 ※基礎工の流失時間0.5分を破堤遅延時間として評価。
	粘り強さの評価	○ ・他の工区で設定している破堤遅延時間3～5分は確保できている。 ・現況でも十分な粘り強さを保持しているため、天端被覆のみを実施する方針とする。	× ・他の工区で設定している破堤遅延時間3～5分も確保できない。 ・現況では粘り強さが不足するため、改良対策案の検討を実施する。	△ ・他の工区で設定している破堤遅延時間3～5分を確保できない。 ・危険側の評価では、破堤遅延時間3～5分を確保できないため、別途対策案の検討を実施する。	× ・他の工区で設定している破堤遅延時間3～5分を確保できない。 ・現況では粘り強さが不足しているため、松の伐採の可否を踏まえて対策案を検討する。
	総合評価				

※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：洗掘深は基礎工下部からの深さを示しており、（）内の数値は基準洗掘深を示している。

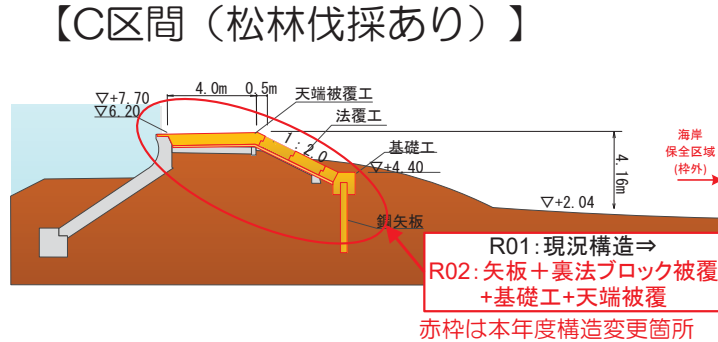
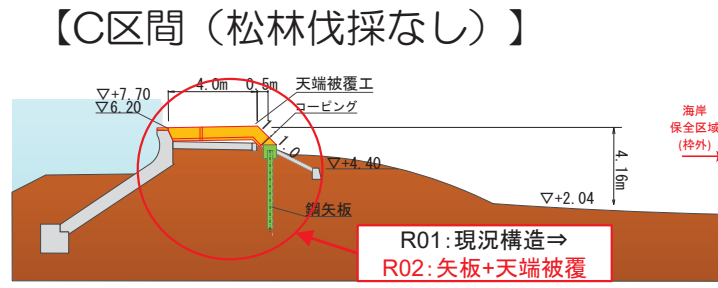
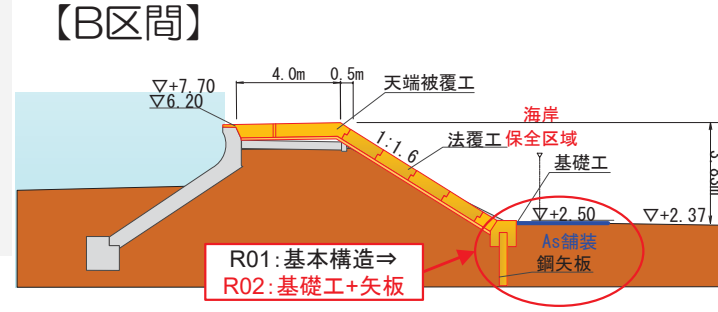
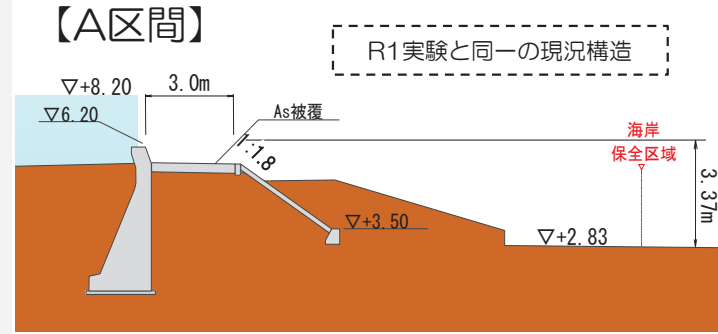
検討内容	事務局の提示案	指摘事項	対応方針
A区間の構造	<p>【A区間】 他の工区で設定している破堤遅延時間3.0～5.0分は確保できているため、「基本対策（天端被覆のみ）」を採用する</p>	A区間の実験結果については、一回だけでなく複数回で判断すべきである。特に、堤体の安定性が失われる時間、海側盛土の洗掘について、着目した方がよい。	➤本年度の実験において、令和元年度と同様にA区間の実験を2回実施
B・C区間の構造	<p>【B区間】 改良対策案で他の工区で目標としている破堤遅延時間3.0～5.0分を確保できないため、矢板案等の対策案を検討する</p> <p>【C区間】 他の工区で設定している破堤遅延時間3.0～5.0分を確保できないため、既往の基本構造を基本に対策案を検討する</p>	B区間、C区間について、次回改良対策案で検討することの了承を得た	➤本年度の実験において、B・C区間の改良対策案の実験を実施
その他	—	B区間の実験結果について、現地換算と実験換算のアスファルトの剛性は、縮尺倍で対応しないため、留意する必要がある	➤剛性の再現性のないアスファルトに期待しない（設置しない）場合の実験も補足実験として実施

1. 実験計画(③検討フロー)

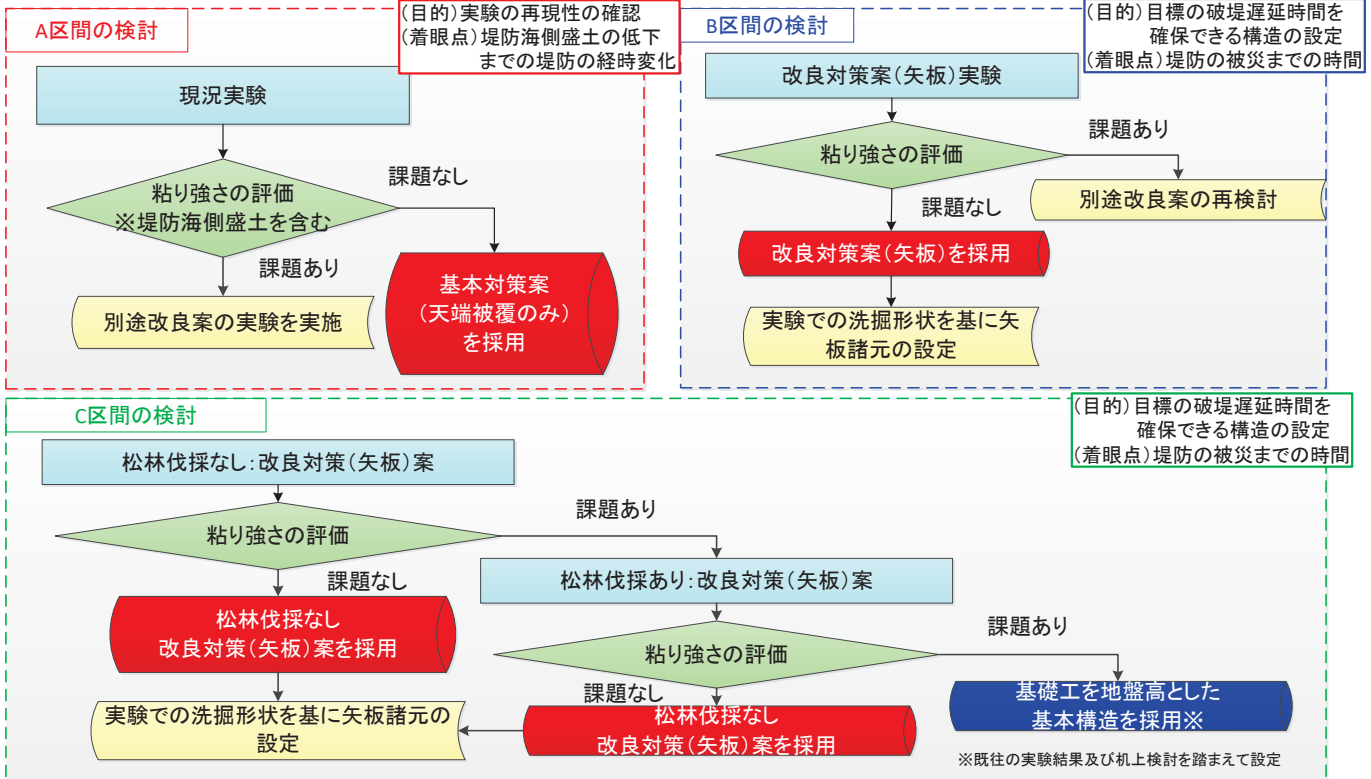
●A区間
 過年度確認した課題：現況構造で目標の粘り強さを有するが、実験の再現性が課題
 本年度の確認事項：現況構造の実験による再現性の確認

●B区間
 過年度確認した課題：改良対策案では目標の粘り強さの確保が困難
 本年度の確認事項：矢板を設置した改良対策案の実験による粘り強さの評価
 →課題がない場合は、矢板諸元の設定

●C区間
 過年度確認した課題：現況構造では目標の粘り強さの確保が困難
 本年度の確認事項：改良対策案（松伐採 無）の実験による粘り強さの評価
 課題がある場合は、改良対策案（松伐採 有）の実験で評価
 →課題がない最終案で、矢板諸元の設定



※初期の矢板延長は一定程度長いもので実施し、実験後の洗掘状況を踏まえ、自立可能な長さを机上検討で設定



区間ごとの検討フロー

1. 実験計画(④実験条件の概要)

実験条件（現況）の一覧

区間・ 検討内容		①A区間 (No69~73)	②B区間 (No74)	③C区間 (No75~79)
堤防 形状	比高	3.37m	3.83m	4.16m
	松の 有無	あり	なし	あり
堤防 形状	堤防 形状	直立堤+土堤 天端幅：3.0m ※堤防沖側に堤防海側盛土 (T.P.+5.4m)	土堤 天端幅：4.0m	土堤 天端幅：4.0m
	解析 越流 水深	1.6m	1.4m	1.4m
越流 水深	実験 越流 水深	2.0m (8.0cm)	1.5m (6.0cm)	1.5m (6.0cm)
	現地 地盤 地下 水位	T.P.+0.82m※		
地盤 地下 水位	現地 地盤高 から 差分	-2.01m (-8.04cm)	-1.55m (-6.20cm)	-1.22m (-4.88cm)
	基礎 地盤 土質 条件	粒径：0.3mm 締固め有※		

※H27~29年の実験条件を踏襲

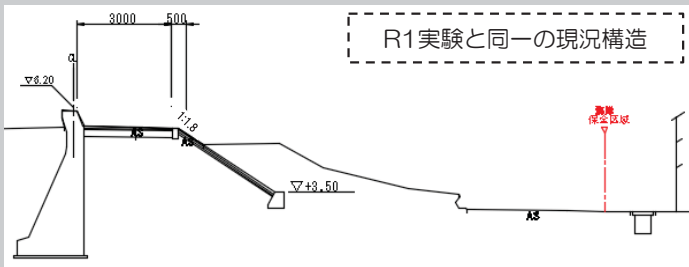
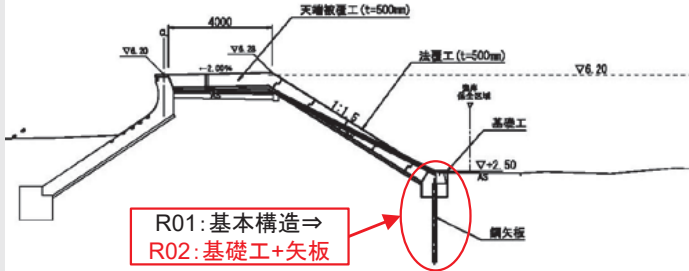
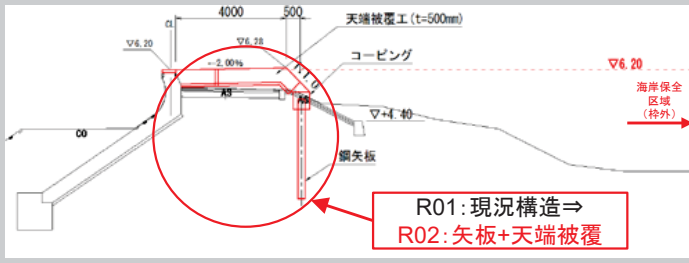
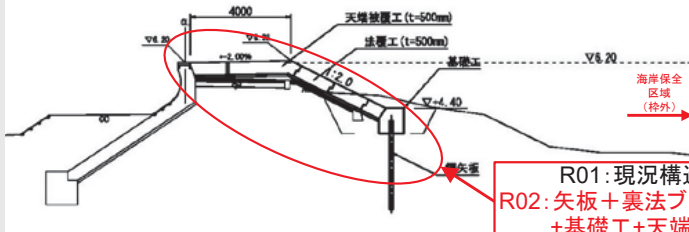
1. 実験計画(⑤実験ケース)

実験は、A区間1ケース、B区間1ケース、C区間2ケースの合計4ケースを実施した。

(A区間) 実験の再現性の確認するため、堤防海側盛土の低下までの堤防の経時変化に着眼した検討を実施

(B・C区間) 目標の破堤遅延時間を確保できる構造の設定するため、堤防の被災までの時間に着眼した検討を実施

実験ケース表

	対象区間	堤防構造	付帯物	越流水深	備考
caseA	A区間 直立堤+土堤 天端幅 3.0m (No69~73)	【現況】	堤防 海側盛土	2.0m	 R1実験と同一の現況構造
caseB	B区間 土堤 天端幅 4.0m (No74)	【改良対策案】 (基本構造の裏法勾配1:1.6) 天端被覆 +裏法ブロック被覆 +基礎工+矢板※	裏法尻保 護工背後 As舗装	1.5m	 R01:基本構造⇒ R02:基礎工+矢板
caseC-1	C区間 土堤	【改良対策案】松林伐採なし 基本対策案(天端被覆) +矢板※(堤防法肩部)	なし	1.5m	 R01:現況構造⇒ R02:矢板+天端被覆
caseC-2	天端幅 4.0m (No75~79)	【改良対策案】松林伐採あり 天端被覆工 +裏法ブロック被覆 +基礎工+矢板※	なし	1.5m	 R01:現況構造⇒ R02:矢板+裏法ブロック被覆 +基礎工+天端被覆

※初期の矢板延長は一定程度長いもので実施し、実験後の洗掘状況を踏まえ、自立可能な長さを机上検討で設定

赤枠は本年度構造変更箇所

1. 実験計画(⑥計測方法)

【計測方法】

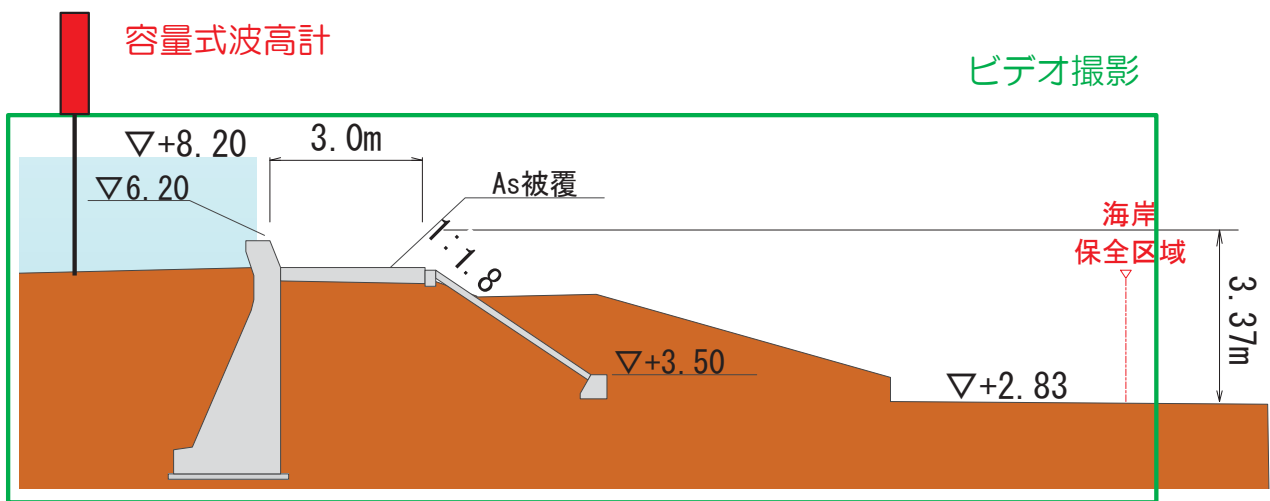
- 堤防前面の波高計測 (容量式波高計：堤防前面)
- 裏法洗掘深の把握 (撮影動画と記録時間による計測：堤防背後)



容量式波高計の設置状況



ビデオカメラの設置状況



実験計測項目と計測位置のイメージ図

2. 実験結果(A区間)

- ・A区間の実験結果（破堤遅延時間、洗掘形状等）を整理し、現況構造の粘り強さを評価した。
- 現況構造条件で3回の繰り返し実験を行った結果、海側盛土の天端が低下するまでの時間が越流開始後5.5～10.5分程度確保されることが確認された。目標の粘り強さ3～5分を確保可能であるため、A区間では【現況構造+天端被覆工】を採用する。

評価項目		A区間(No.69~73) 直立堤+土堤、天端幅 3.0m		
		R1年度実験	R2年度実験 1回目	R2年度実験 2回目
		【現況】堤防海側盛土		
	破堤遅延時間	5.8分	5.5分	7.5分
評価	被災経過	1.0分後：裏法面盛土流出 1.3分後：基礎工流失 2.2分後：法面被覆工流失 5.0分後：天端被覆工流失 5.8分後：直立堤が転倒 10.5分後：海側盛土低下	0.8分後：基礎工、 法面被覆工流出 0.9分後：天端被覆工流出 3.0分後：直立堤が転倒 5.5分後：海側盛土低下	1.1分後：基礎工流出 1.8分後：法面被覆工流出 2.5分後：天端被覆工沈下 6.6分後：直立堤が転倒 7.5分後：海側盛土低下
	粘り強さの評価	○ ・他の工区で設定している破堤遅延時間3～5分は確保できている。	○ ・他の工区で設定している破堤遅延時間3～5分は確保できている。	○ ・他の工区で設定している破堤遅延時間3～5分は確保できている。
	総合評価	ケースによりばらつきはみられるものが現況構造（対策工なし）で目標の粘り強さ3～5分を確保可能。構造に課題がないと評価し、【現況構造+天端被覆工】を採用する。		

採用

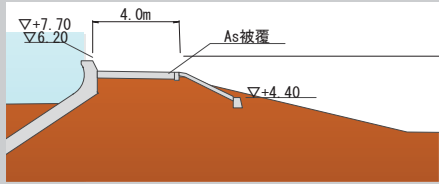
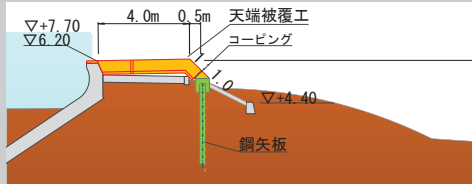
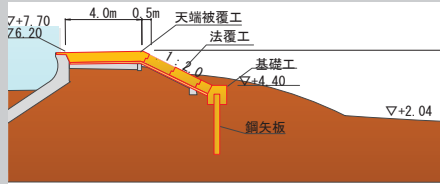
2. 実験結果(B区間)

・B区間の実験結果（破堤遅延時間、洗掘形状等）を整理し、改良対策案の粘り強さを評価した。
 >R1年度の実験ケースでは、十分な粘り強さを確保できていなかったが、改良対策案（矢板）は50分後においても破堤せず、目標の粘り強さ3～5分を確保可能であった。B区間では【改良対策案（矢板）】を採用する。なお、背後道路のアスファルトがないケースにおいても、所定の粘り強さは確保可能であり、道路の管理状況は制約とならない。

		B区間(No.74) 土堤、天端幅4.0m				採用
評価項目	R1年度 caseB-1	R1年度 caseB-2	R2年度 caseB (As舗装あり)	R2年度 caseB (As舗装なし)		
		【現況】 	【改良対策案】天端被覆+裏法ブロック被覆+裏法尻保護工+As舗装 	【改良対策案】天端被覆+裏法ブロック被覆+基礎工+矢板+As舗装 	【改良対策案】天端被覆+裏法ブロック被覆+基礎工+矢板 	
実験結果						
越流継続時間の破堤	あり	あり	なし	なし		
破堤遅延時間	0.2分	2.0分~6.2分	-	-		
被災経過	<洗掘深による評価> 0.2~0.3分後：基礎工高到達 約1.5分後：基準洗掘深到達 <堤体損壊による評価> 0.2分後：基礎工流失 2.5分後：法面被覆工流失 ※基礎工の流失時間 0.2分 を破堤遅延時間として評価。	<洗掘深による評価> 2.0分後：基礎工高到達 <堤体損壊による評価> 6.2分後：裏法ブロック陥没 ※洗掘深による評価、堤防構造の被災による評価で、 2.0分~6.2分 を破堤遅延時間として評価。	<堤体損壊による評価> 1.2分後：As舗装流出 50分後：破堤なし ※越流開始50分後においても堤体、矢板の移動、法覆工の吸い出し等は見られない。	<堤体損壊による評価> 50分後：破堤なし		
粘り強さの評価	× ・他の工区で設定している破堤遅延時間3~5分も確保できない。	△ ・他の工区で設定している破堤遅延時間3~5分を確保できない。	○ ・他の工区で設定している破堤遅延時間3~5分は確保できている。	○ ・他の工区で設定している破堤遅延時間3~5分は確保できている。		
総合評価	基礎工に矢板を設置した改良対策案（矢板）で目標とする粘り強さ3~5分を確保可能。構造に課題なしと評価し、【改良対策案（矢板）】を採用し、実験での洗掘形状を基に矢板諸元を設定する。					

2. 実験結果(C区間)

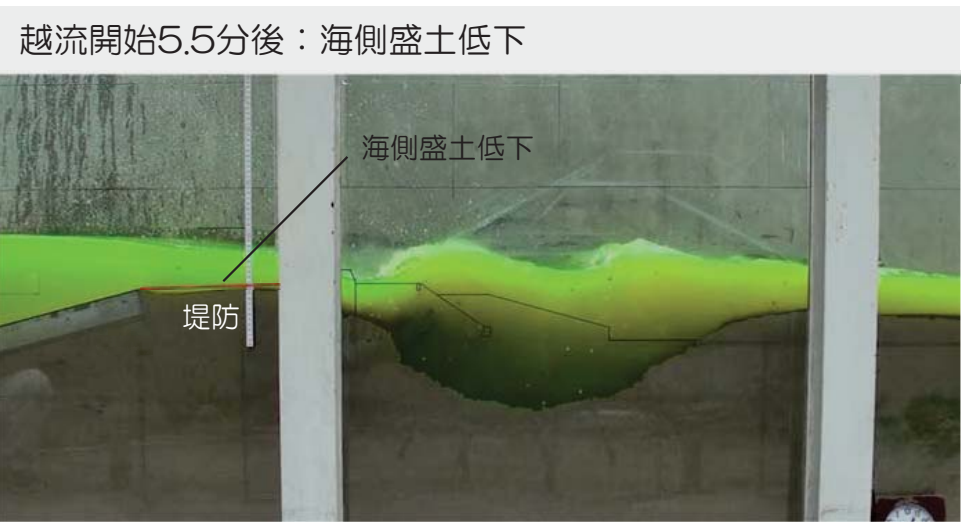
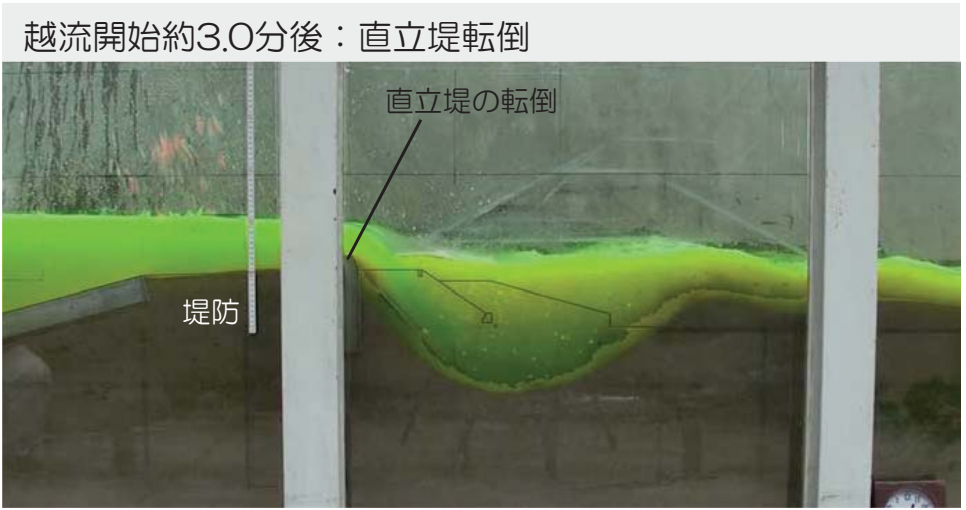
- ・C区間の実験結果（破堤遅延時間、洗掘形状等）を整理し、改良対策案の粘り強さを評価した。
- 改良対策案（松林伐採なし、あり）においても、十分に目標の粘り強さを確保できないため、今回の被災状況やこれまでの他工区での実験結果を踏まえて、新しい対策案を選定する。

		C区間(No.75~79) 土堤、天端幅4.0m		
		R1年度 caseC-1	R2年度 caseC-1	R2年度 caseC-2
評価項目	【現況】			
	【改良対策案】松林伐採あり 天端被覆工+裏糊ブロック被覆 +基礎工+矢板			
実験結果	越流継続時間の破堤	あり	あり	あり
	破堤遅延時間	0.5分~0.9分	2.5分	3.0分
	最大洗掘深※1	3.1m	5.1m	3.2m
評価	被災経過	<p>〈堤体損壊による評価〉 0.5分後：基礎工流失 0.9分後：法面被覆工流失 ※基礎工の流失時間0.5分を破堤遅延時間として評価。</p>	<p>〈堤体損壊による評価〉 2.5分後：矢板が陸側に転倒 →天端、堤体が順に流出 ※矢板が転倒した2.5分を破堤遅延時間として評価。</p>	<p>〈堤体損壊による評価〉 3.0分後：矢板が陸側に転倒 →法覆工、天端の順に流出 ※矢板が転倒した3.0分を破堤遅延時間として評価。</p>
	粘り強さの評価	<p>×</p> <p>・他の工区で設定している破堤遅延時間3~5分を確保できない。</p>	<p>×</p> <p>・他の工区で設定している破堤遅延時間3~5分を確保できない。</p>	<p>△</p> <p>・他の工区で設定している破堤遅延時間3~5分を確保できない。</p>
総合評価	改良対策案で目標の粘り強さが不足しているため、別途、粘り強さを確保可能な構造案を検討する。			

※1：洗掘深は基礎工下部からの深さを示している。

3. 実験結果 A区間(直立堤+土堤 天端幅3.0m)詳細

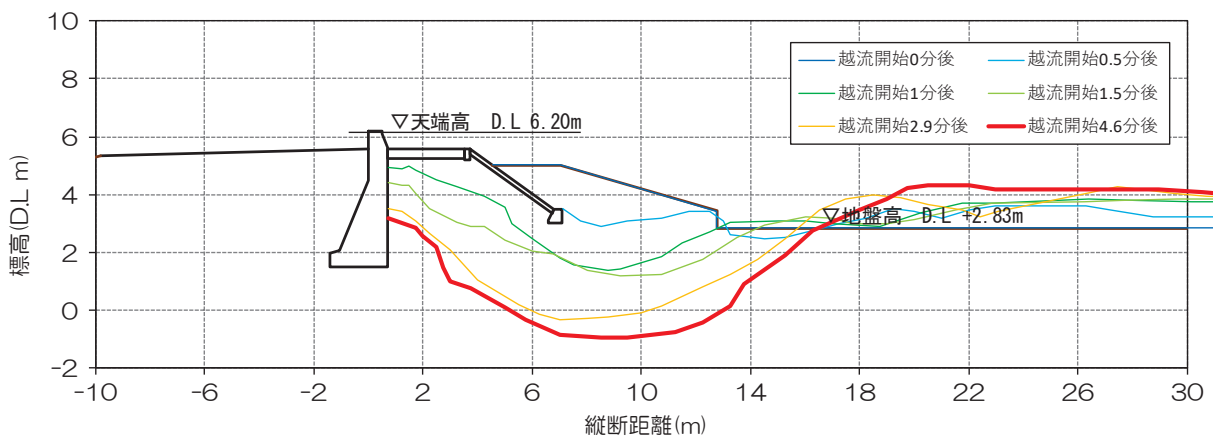
- 同一条件において3回実験を実施。(最も危険側となったR2年度実験の1回目で評価)
越流開始約0.8分後に基礎工、法面被覆工がほぼ同時に流失、0.9分後に天端被覆工が沈下した。
- 天端被覆工が流出後、越流開始3分後に直立堤が安定性を失い、転倒し始めた。
- 越流開始5.5分後に直立堤防は完全に倒壊し、海側盛土が侵食し、その天端高が低下した。
➤現況構造は、複数回の再現実験において、海側盛土の低下までに目標とする粘り強さ3.0~5.0分の破堤遅延時間を確保できる。



越流後の時系列変化

結果の比較 (計3回)

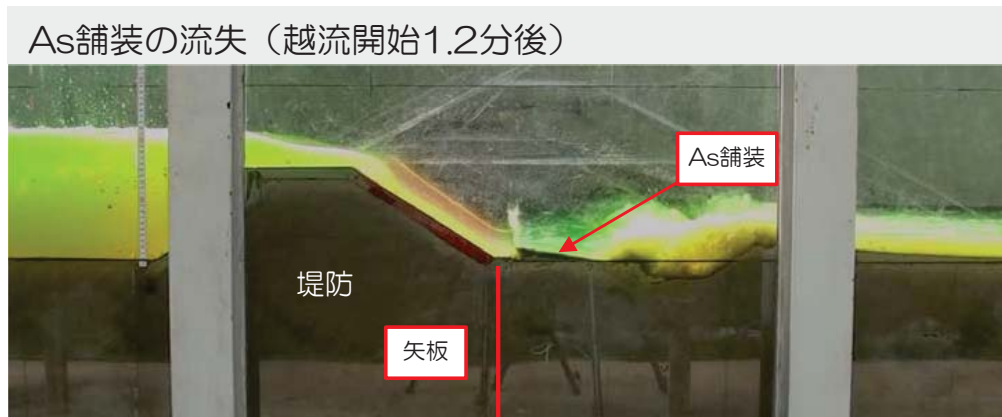
	R1年度実験 1回目	R2年度実験 1回目	2回目
基礎工 流出	1.3分	0.8分	1.1分
法面被覆工 流出	2.2分	0.8分	1.8分
天端被覆工 沈下	5.0分	0.9分	2.5分
直立堤 転倒	5.8分	3.0分	6.6分
海側盛土 低下	10.5分	5.5分	7.5分



洗掘形状の経時変化 (R2年度実験：1回目)

3. 実験結果 B区間(改良対策案<As舗装あり>)詳細

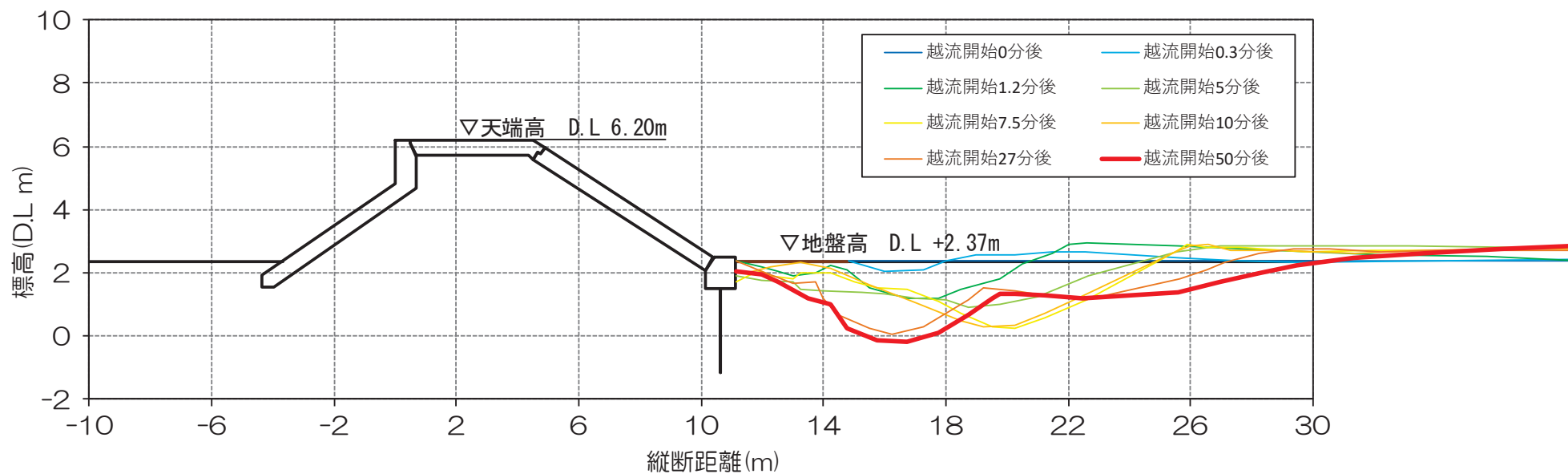
- 越流開始直後からアスファルト（As）舗装背後で渦による洗掘が発生し、1.2分後に流出した。しかし、27分で堤防法尻の洗掘形状は安定し、越流開始50分後においても、堤体本体は破堤しない。
 - 基礎工部で水平方向の流れが卓越し、矢板付近の洗掘が軽減されており、法覆工の吸出し等も見られない。
- 改良対策案は、目標とする粘り強さ3.0～5.0分の破堤遅延時間を確保できる。



As舗装流出時の流況及び洗掘状況



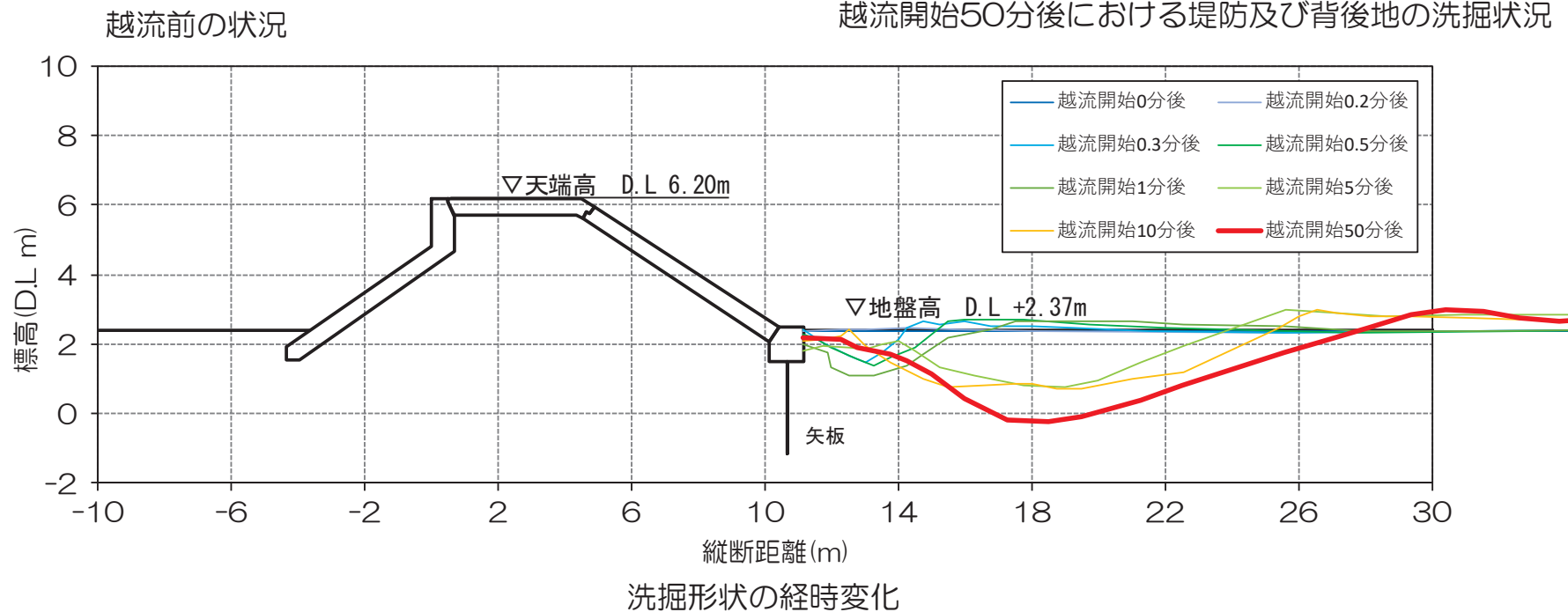
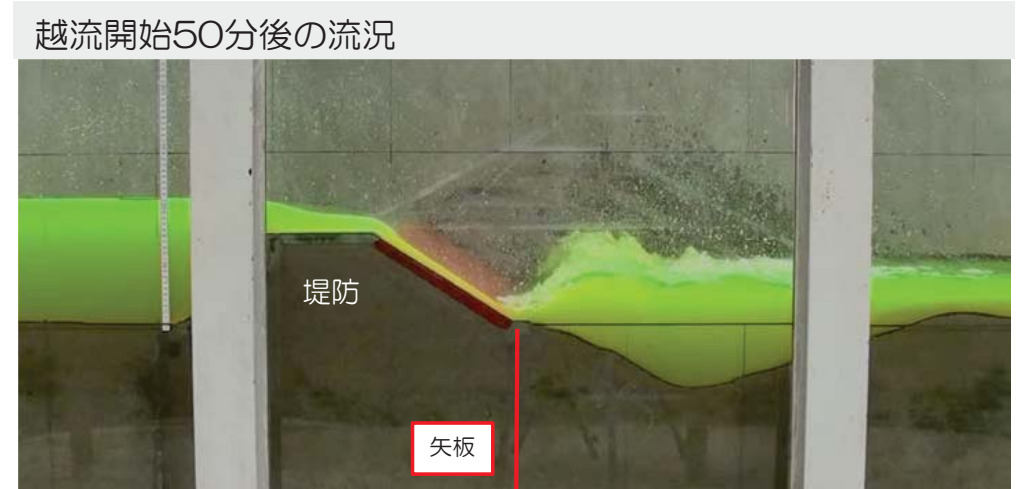
越流開始50分後における堤防及び背後地の洗掘状況



洗掘形状の経時変化

- ・越流開始後、アスファルト（As）舗装ありの実験と同様、50分後においても、堤体本体は破堤しない。
- ・基礎工部で水平方向の流れが卓越し、矢板付近の洗掘が軽減されており、法覆工の吸出し等も見られない。

※As舗装の有無によって結果は変わらないため、堤防背後のAs舗装の管理は必要ない。



3. 実験結果 C区間(caseC-1 : 松林伐採なし)詳細

- 越流開始2.5分後に矢板（矢板長：地盤高から2.5m）が陸側に転倒し、堤体の安定性が失われる。
 - 基礎工部で水平方向ではなく、下方の流れが卓越し、急激に背後地盤の洗掘が発生し、矢板支持力が低下した。
- 改良対策案（松林伐採なし）での粘り強さは2.5分となり、**目標としている粘り強さ3~5分を確保できないため、矢板を基礎工部に設置した改良対策案（松林伐採あり）での検討を実施した。**

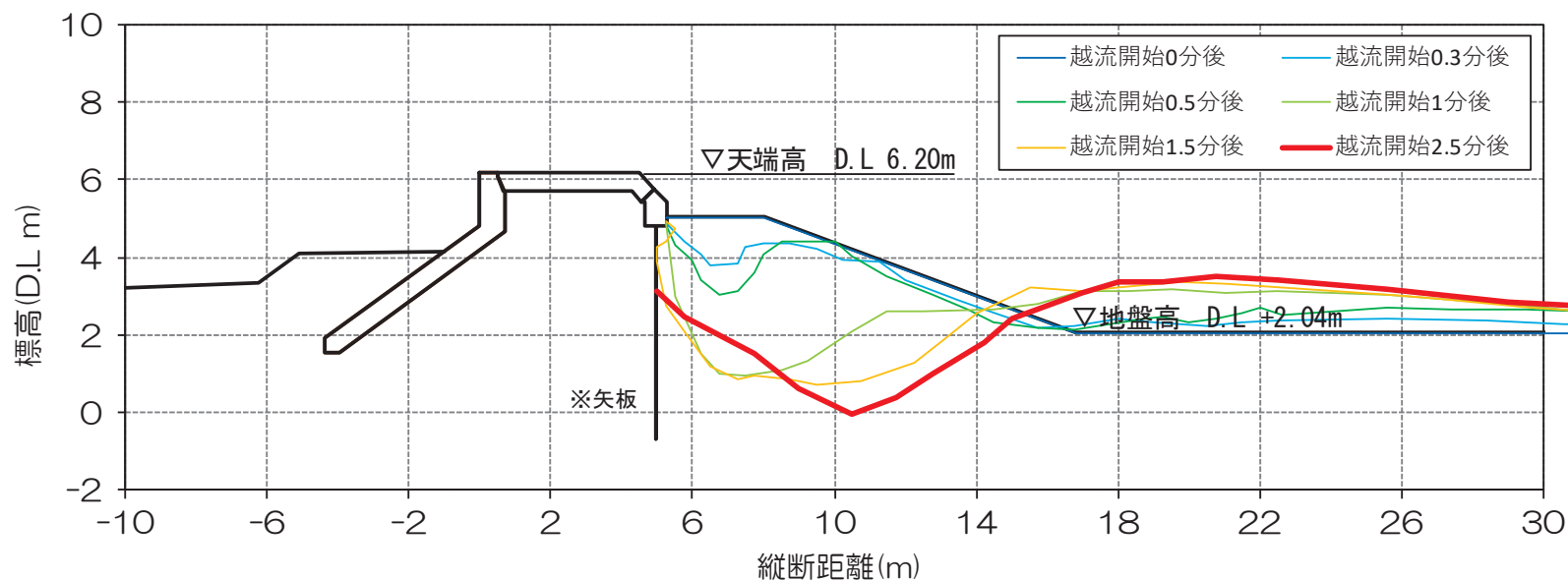
越流開始0.0分



越流開始2.5分後の流況（矢板転倒時）



越流前の状況

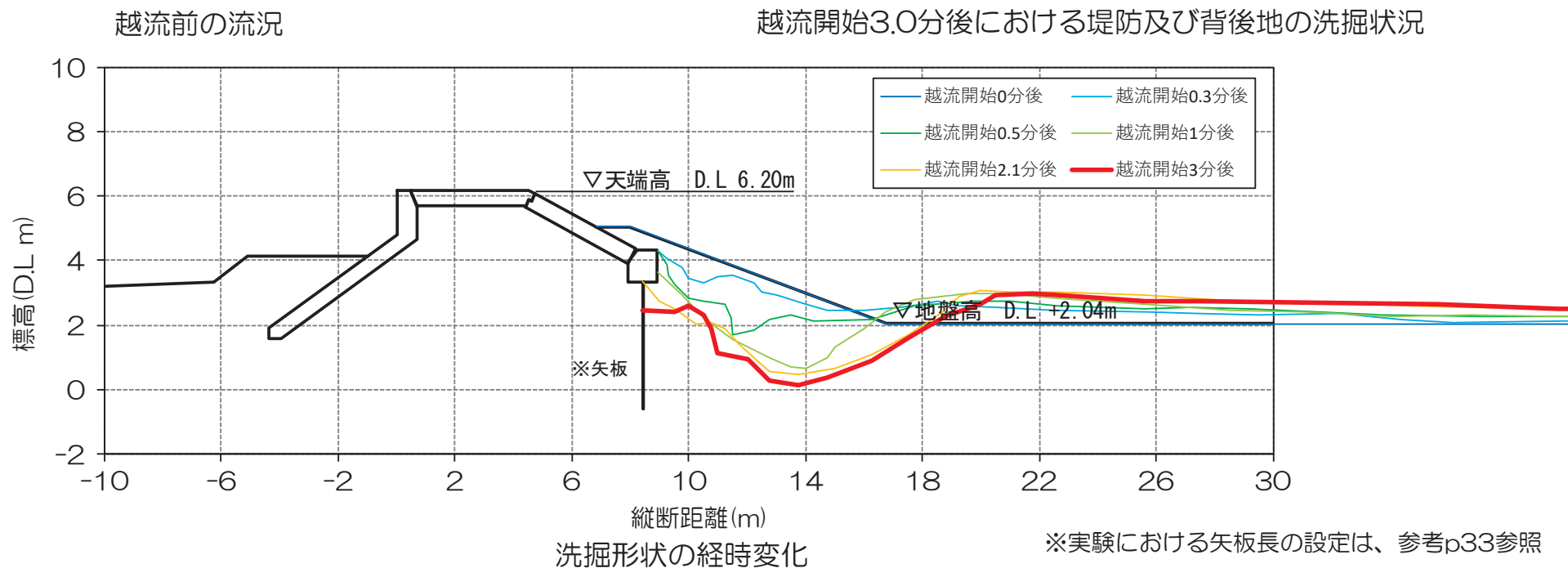
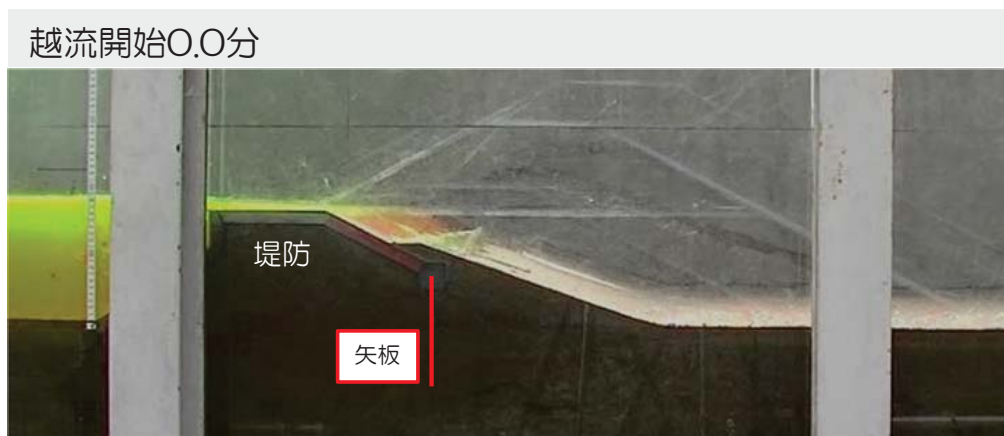


洗掘形状の経時変化

※実験における矢板長の設定は、参考p33参照

3. 実験結果 C区間(caseC-2:松林伐採あり)詳細

- ・越流開始3分後に矢板が転倒し、その後、法覆工、天端が流出。
 - ・基礎工部で水平方向の流れが卓越していたが、土砂の流出により矢板支持力が低下した。
- 基礎工に矢板を設置する改良対策案（松林伐採あり）においても粘り強さは3分となり、目標としている粘り強さ3~5分を確保できない。
- ⇒今回の被災状況やこれまでの他工区での実験結果を踏まえて、新しい対策案を選定する。



【後日協議資料】今後の方針(C区間の対策)

・C区間のこれまでの実験では、基礎工が陸側地盤高と比較して高いため、基礎工背後で下向きの流れが卓越し、矢板近傍の洗掘が大きくなることで海岸堤防が被災している。

➢これらの現象を踏まえて、C区間の対策方針と具体的な対策案を以下に示す。

- 方針1：基礎工背後での下向き流れを抑制させる⇒基礎工を基本構造規模の「法尻保護工+矢板構造」とする(①~②)。
- 方針2：堤防近傍での洗掘を抑制する ⇒既往の実験で洗掘抑制効果を発揮した「擁壁構造」とする(③)。
- 方針3：基礎工を陸側地盤高と一致させる ⇒既往の実験で安定性が確認されている「基本構造」とする(④)。

表 これまでの実験結果と今後の対策方針(案)

【実験結果】被災

【対策案】

	C-1 case2-2① 矢板長 L=5.5m		C-2 case2-2② 矢板長 L=4.0m		改良案① 裏法尻保護工+矢板 (法面なし)		改良案② 裏法尻保護工+矢板 (法面あり)		改良案③ 擁壁構造		改良案④ 基本構造	
構造イメージ												
破堤遅延時間(実験)	2.5分程度	×	3.0分程度	×	No Data	—	No Data	—	50分以上※2	○	3.0~5.0分程度※1	○
松林伐採 伐採幅	伐採なし B=0m	○	伐採あり B=6m	△	伐採あり B=4m	△	伐採あり B=7m	△	伐採ありB=11m 樹木移植可能	△	伐採あり B=11m	×
施工性	<ul style="list-style-type: none"> 松の伐採を行わない前提の案であるため、片押し施工となる。 一般的な工法であり、施工実績がある。 	○	<ul style="list-style-type: none"> 準備工で松の伐採・伐根が発生する。 一般的な工法であり、施工実績がある。 	○	<ul style="list-style-type: none"> 準備工で松の伐採が必要。伐採量は相対的に少ない。 一般的な工法で施工実績あり。 	○	<ul style="list-style-type: none"> 準備工で松の伐採・伐根が発生。 一般的な工法で、施工実績がある。 他案に比べて工種が多い。 	△	<ul style="list-style-type: none"> 準備工で広範な松の伐採が伴う。 他案に比べて施工数量が多く、施工に時間を要する。樹木移植でさらに長期化 	×	<ul style="list-style-type: none"> 他工区で施工実績あり(高価となるが、裏法被覆工、裏法保護工の既製品あり) 松の伐採・伐根量が多い。 	△
評価	○:3 △:0 ×:1 必要機能を満足しないため、採用しない		○:1 △:2 ×:1 必要機能を満足しないため、採用しない		○:1 △:2 ×:0 必要機能を満足するか確認が必要		○:0 △:3 ×:0 必要機能を満足するか確認が必要		○:1 △:1 ×:2 必要機能を満足するが、樹木移植する場合、施工・費用×		○:1 △:1 ×:1 基本構造であるため、必要機能を満足する	

※1：平成28年度の実験と同形状のため、その際の破堤遅延時間を採用
 ※2：平成29年度の実験と同形状のため、その際の破堤遅延時間を採用

【後日協議資料】現在までの検討結果と今後の検討方針案

A～C区間の検討結果のまとめと今後の検討方針案を以下のフロー図に示す

【区間A】基本対策案（天端被覆のみ）を採用

【区間B】改良対策案（矢板）を採用 ⇒ 矢板諸元の設定

【区間C】改良対策案の再検討 ⇒ 改良案①～④の粘り強さを評価

（改良案①、②は追加実験より、③、④は既往の実験結果より粘り強さを評価）

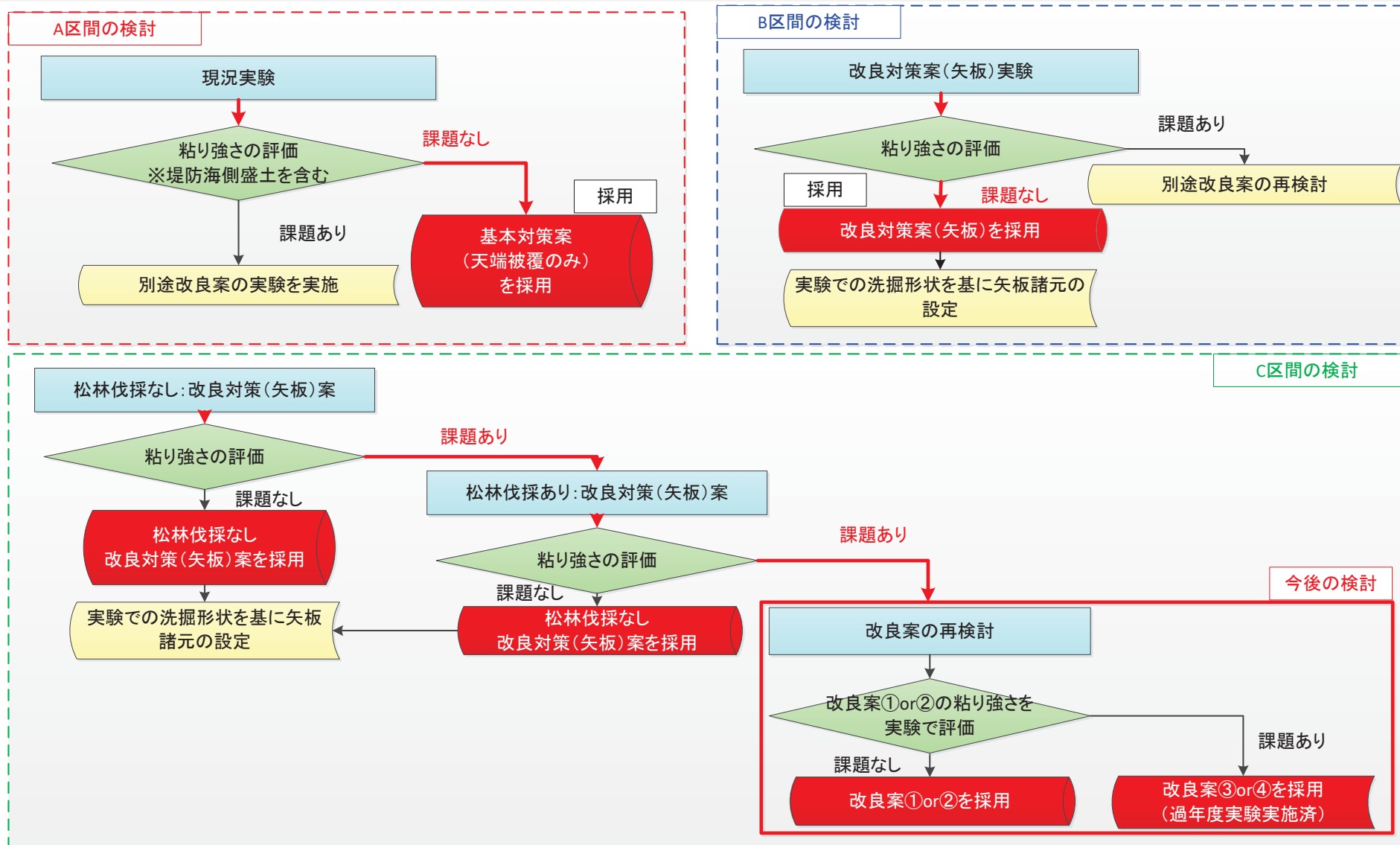


図 現在までの検討結果と今後の検討方針案

※矢印（赤）が現在の検討結果のフロー

参考資料1

模型縮尺及び実験水路・詳細実験条件

参考1. 模型縮尺及び実験水路

① 模型縮尺

- 模型縮尺は、「平成27年度 駿河海岸津波対策検討業務」で実施した予備実験結果を用いるため、当時の模型縮尺である1/25とした。

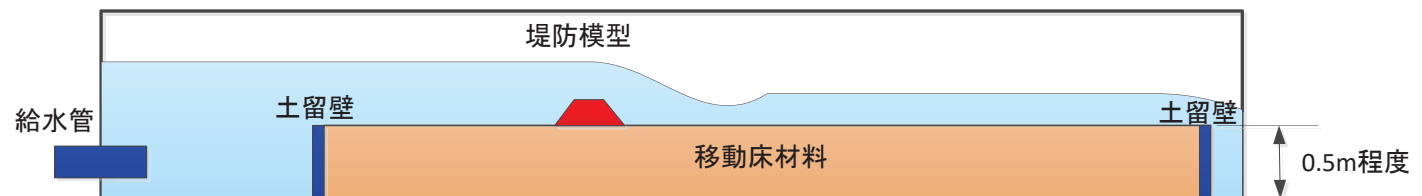
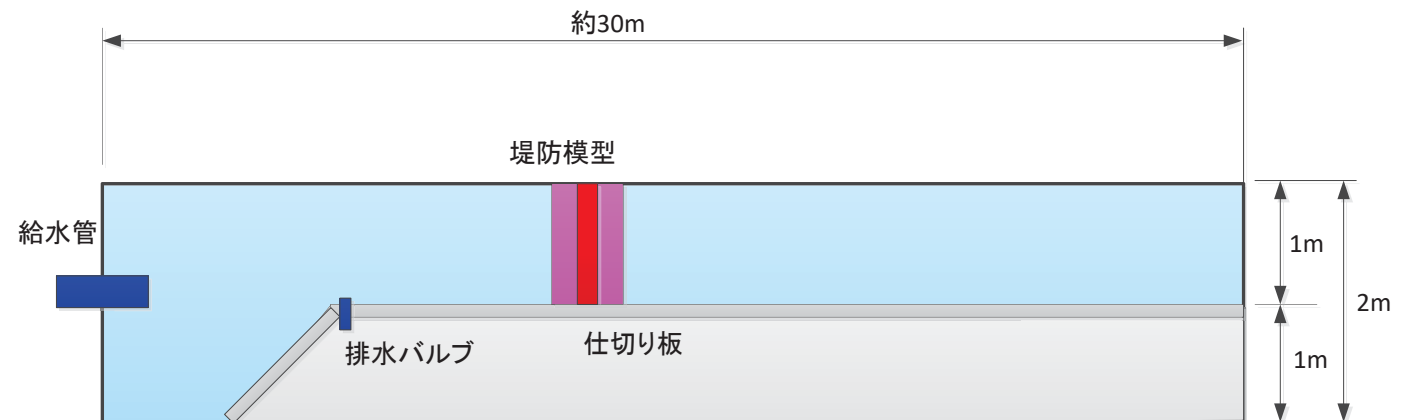
※なお、本縮尺は国総研で東北モデルの粘り強い構造検討を行った縮尺と同一縮尺であり、堤防裏法尻での洗掘現象の再現性が確保できることが示されている。

② 実験水路

- 実験水路は、国総研で実施している粘り強い構造検討で使用した水路と同規模の二次元水路を用いる。水路は幅1mで縦断方向に締め切り、実験は水路幅1.0mで実施する。



実験水路写真



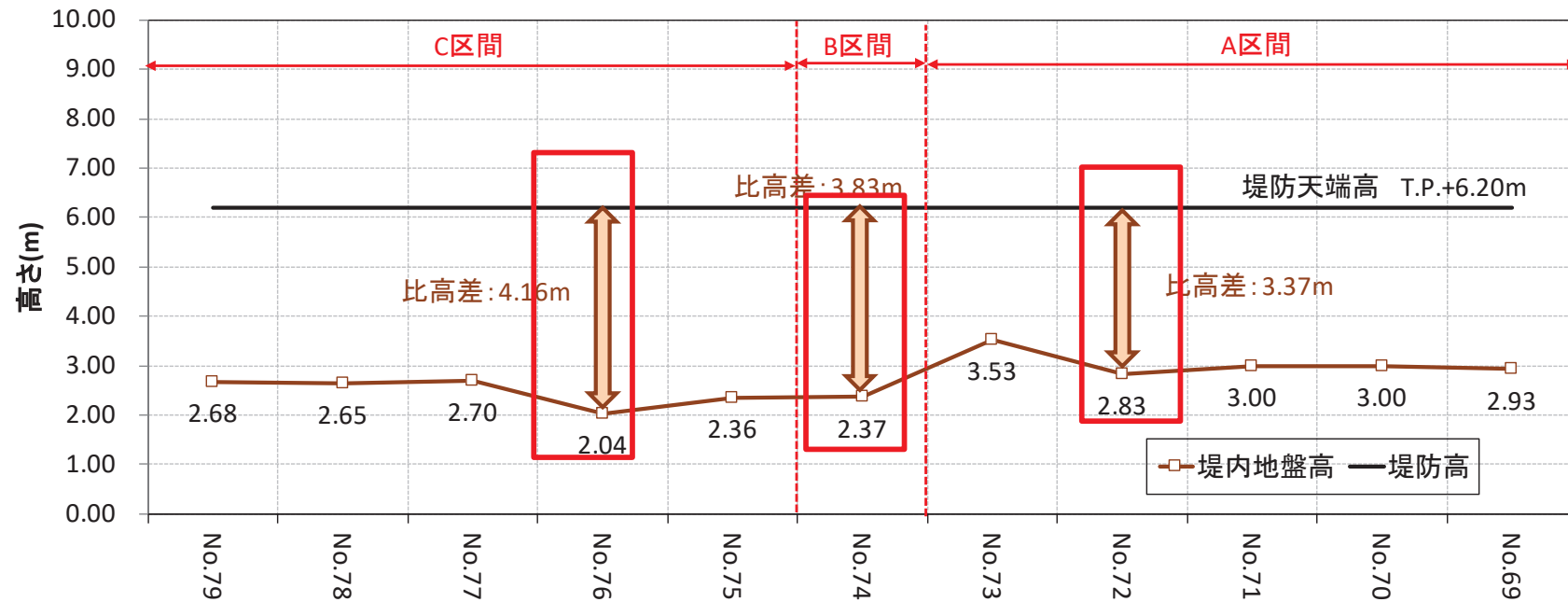
実験水路の構造イメージ

参考1. 詳細実験条件(比高差)

①堤防条件 (検討断面の設定)

・堤防高と背後地盤高・天端幅は、区間ごとに以下のように設定した。

区間	A区間 (No69~73)	B区間 (No74)	C区間 (No75~79)
天端幅	3.0m	4.0m	4.0m
代表地盤高	T.P.2.83m	T.P.2.37m	T.P.2.04m
代表比高	3.37m	3.83m	4.16m
堤防高	T.P.6.20m		



駿河海岸 (住吉工区) の堤防高と地盤高

参考1. 詳細実験条件(水位)

②水理条件 (地盤地下水位・陸側水位)

【地盤地下水位】

- 平成28年度の検討と同様に、現地での観測データを用いて初期の地盤地下水位を設定する。
 - 陸側地盤面高からA区間：2.01m (-8.04cm)、B区間：1.55m (-6.20cm)、C区間：1.22m (-4.88cm) の地盤水位となるように設定

【陸側水位】

- 平成28年度の検討と同様に、駿河海岸の堤防岸側の地形を踏まえて設定する。
 - 実験では全工区で陸側の水位を水位調整板による調整を行わず、自由水面で設定

工区	榛原・住吉・川尻工区 (T.P.+6.2m区間)	大井川・焼津工区 (T.P.+6.2m区間)	焼津工区 (T.P.+8.2m区間)
現地地盤地下水位	T.P.+0.82m	T.P.+0.62m	T.P.+0.49m
現地地盤高から差分	A区間：2.01m (8.04cm) B区間：1.55m (6.20cm) C区間：1.22m (4.88cm)	—	—

() 内の数値は縮尺1/25で換算した実験での設定値

陸側は、平野が広がっており陸側の水位を堰上げる要素は殆どない



駿河海岸の背後状況

参考1. 詳細実験条件(土質性状)

③基礎地盤の土質条件

【土砂粒径】

- 平成28年度の検討と同様に、現地のボーリングデータと実験土砂の特性を考慮して設定する。
 - ▶ボーリングデータから模型での土砂再現粒径を算出すると0.5mmとなるが、平成28年度同様に危険側の評価を行うため、土砂粒径は0.3mmとする。

【締固め】

- 平成28年度の検討と同様に、現地の堤防背後の地形条件を考慮して設定する。
 - ▶堤防背後の地盤は、海岸堤防が整備された以降は、越流による大幅な洗掘が発生していないことから十分に締固まっていると考え、予備試験で実施した締固め状態 ($\gamma=1.62\text{g/cm}^3$) で再現する。

工区	榛原・住吉・川尻工区 (T.P.+6.2m区間)	大井川・焼津工区 (T.P.+6.2m区間)	焼津工区 (T.P.+8.2m区間)
ボーリング No	H07-No.82	H17-No.24	H07-No.12
土質	砂質土	礫質土	礫質土
代表粒径 D60	0.2mm	4.5~13mm	6~18mm
実験粒径	0.3mm ^{※1} (0.1mm) ^{※2}	0.3mm (0.4mm)	0.3mm (0.5mm)

※1：榛原・住吉・川尻工区は0.1mmとなり土砂の粘着の影響が生じる可能性があるため、粘着性が生じない最小粒径程度である0.3mmの土砂で実験を行っている。

※2：（ ）内の数値は縮尺1/25で換算した値



実験土砂の締固めの有無による単位体積重量の比較

参考1. 詳細実験条件(越流水深)

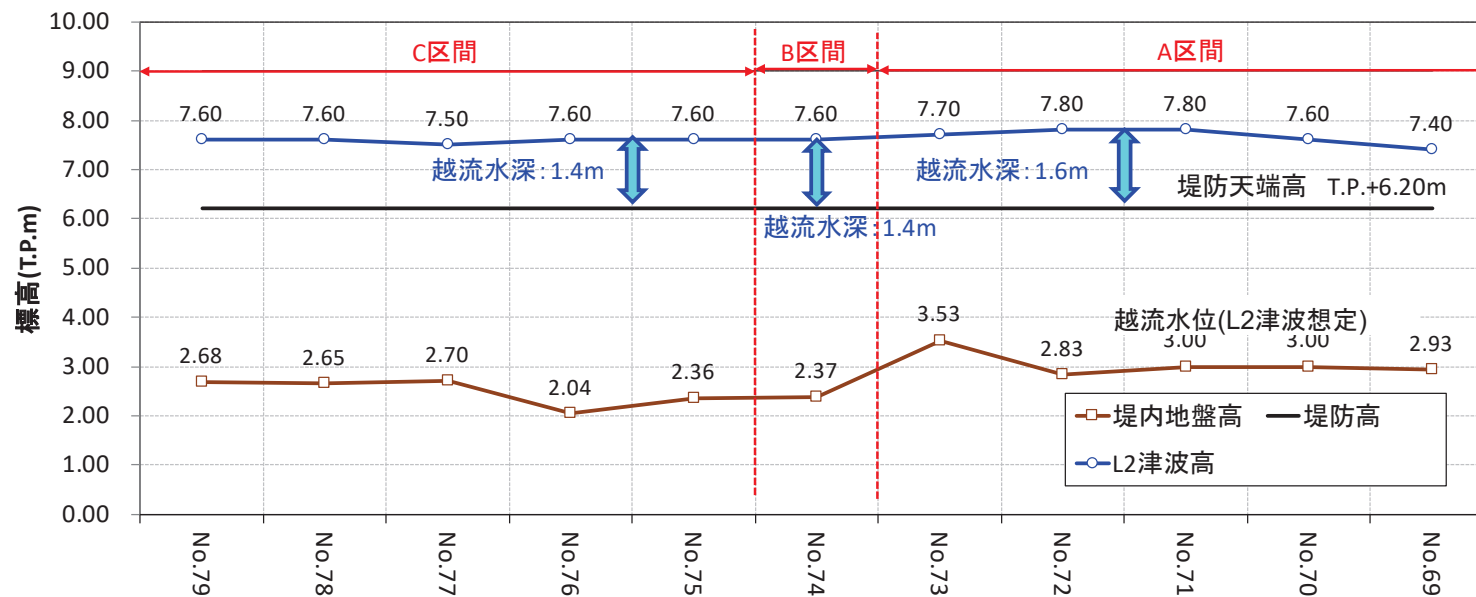
④水理条件 (越流水深)

実験では、数値解析により設定した津波外力を用いて区間ごとの越流水位から越流水深を設定

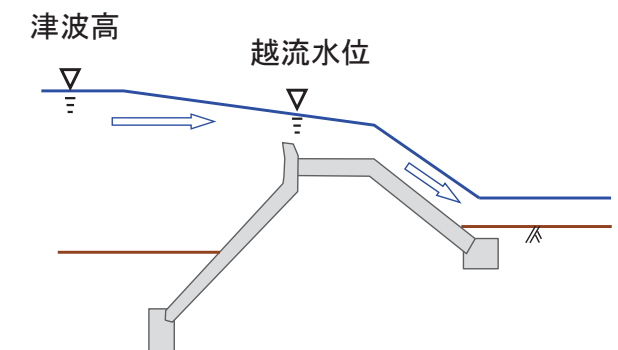
区間	A区間	B区間	C区間
L2想定津波高	T.P.+8.20m	T.P.+7.70m	T.P.+7.70m
解析越流水位	T.P.+7.80m	T.P.+7.60m	T.P.+7.60m
堤防高	T.P.+6.20m		
解析越流水深	1.6m → 2.0m(8.0cm)※	1.4m → 1.5m(6.0cm)※	1.4m → 1.5m(6.0cm)※

※危険側の条件で評価を行うため、越流水深については0.5m単位で切上げて評価、()は実験時の水深

数値解析による区間ごとの越流水深



津波高と越流水のイメージ



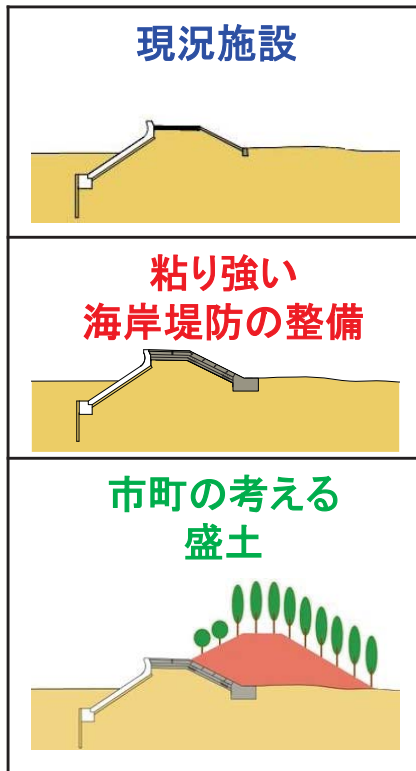
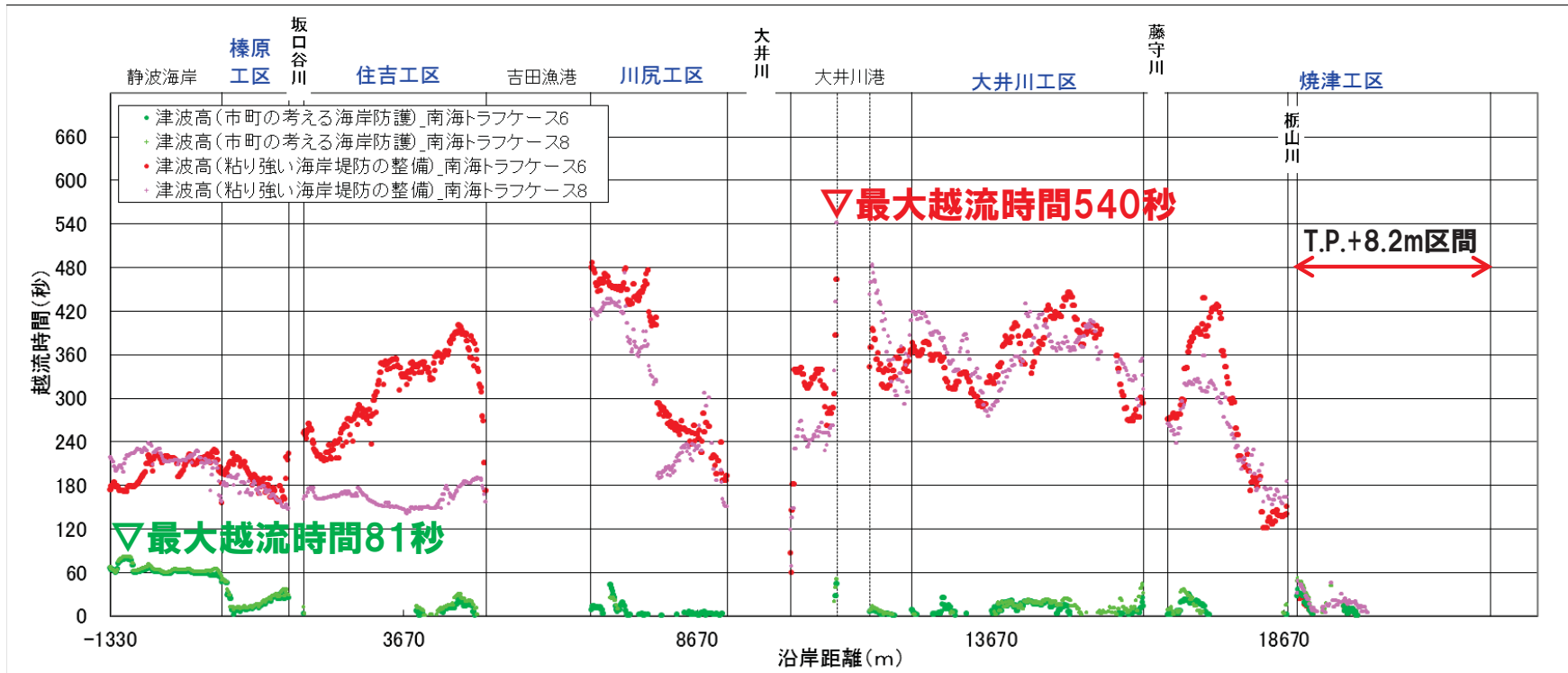
越流水位は、堤防を越える際の水位であるため、津波高とは異なるものである。

越流水位は、測点毎に解析した水位であり、地形の影響を受けるため異なる値となる。
(等深線の凹凸による屈折)

参考1. 詳細実験条件(津波越流継続時間)

⑤水理条件 (津波が堤防を越流する時間)

最大クラスの津波が堤防を越流する時間は、粘り強い海岸堤防の整備を行った場合は、120秒から540秒程度程度の越流時間が想定される。市町の考える海岸防護を行った場合では、30秒から80秒程度が想定されている。



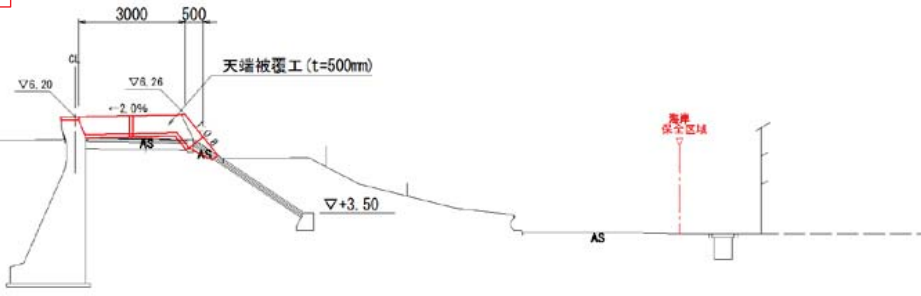
駿河海岸における最大クラスの津波による越流時間

※市町の考える海岸防護では海岸堤防の直後破堤は想定していない。

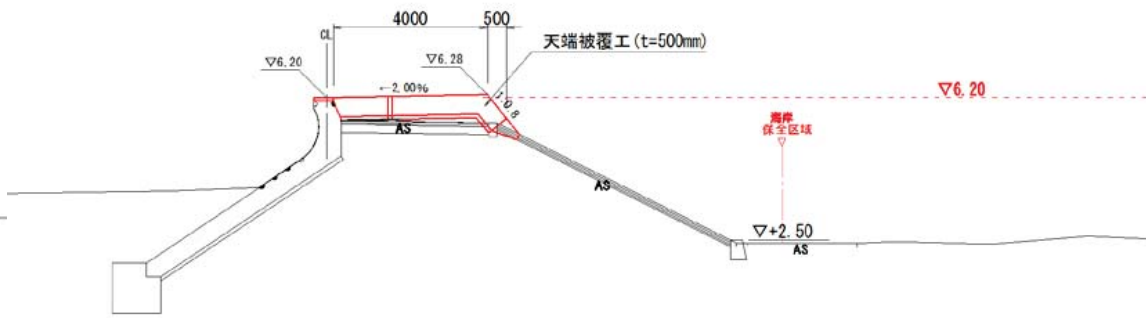
参考資料

2.対策案の基本構造（案）

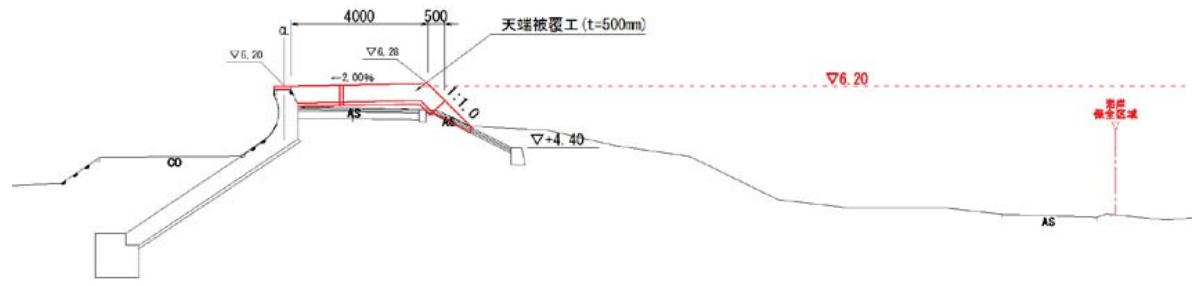
A区間



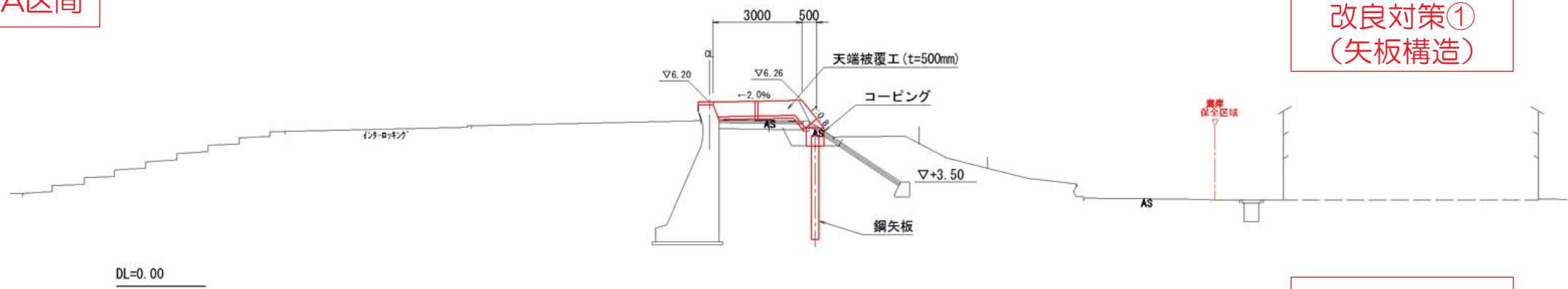
B区間



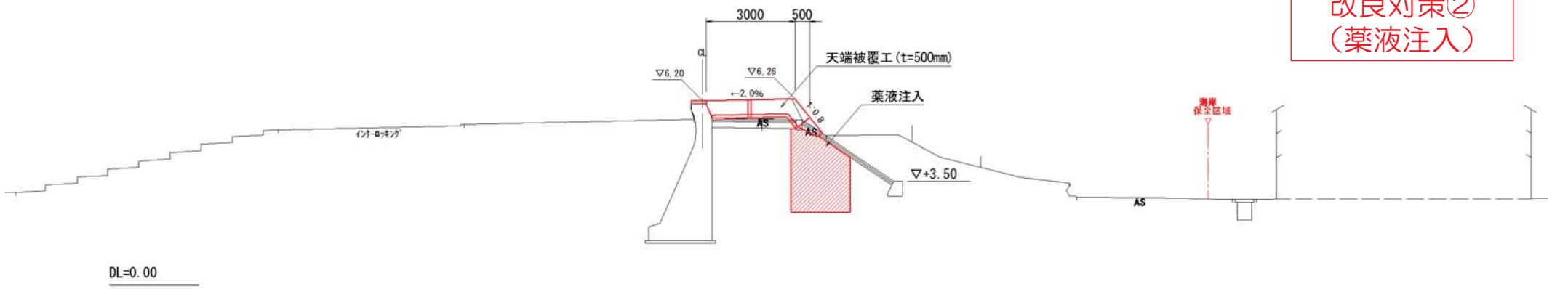
C区間



A区間

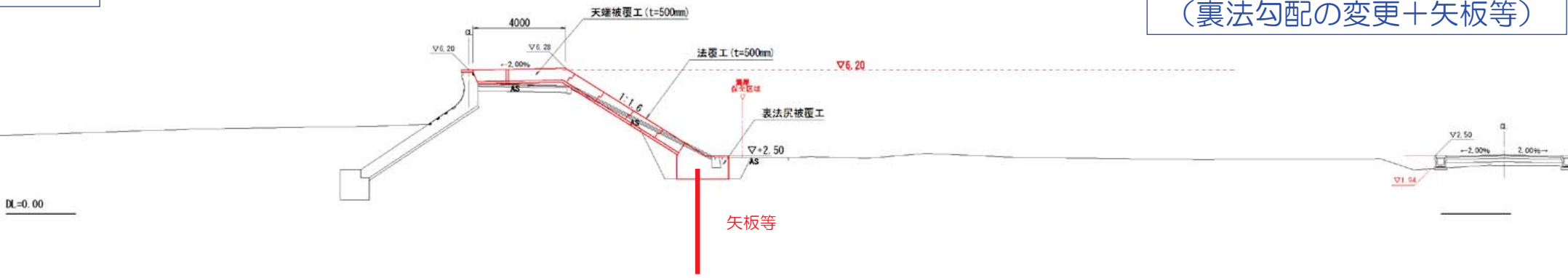


改良対策①
(矢板構造)



改良対策②
(薬液注入)

B区間



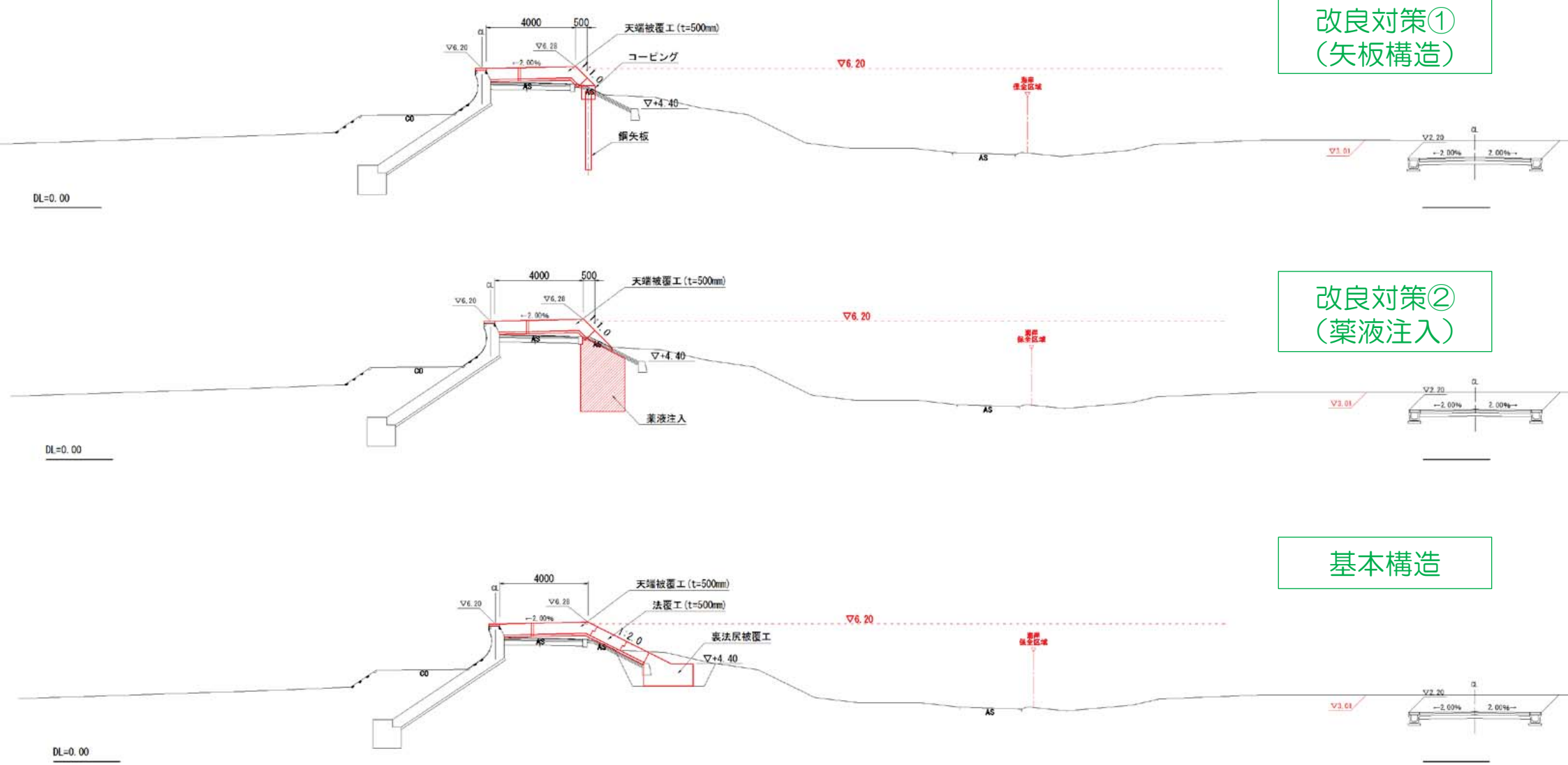
改良対策
(裏法勾配の変更+矢板等)

C区間

改良対策①
(矢板構造)

改良対策②
(薬液注入)

基本構造



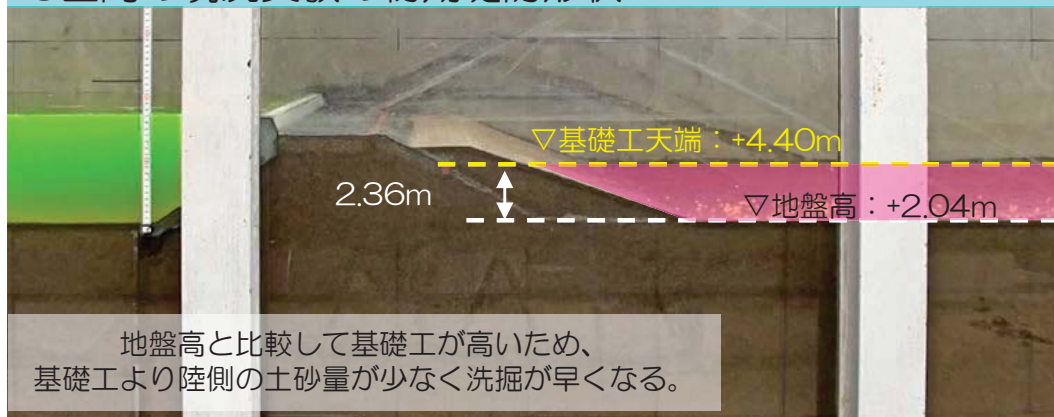
参考資料

3.本年度実験の矢板諸元の設定根拠

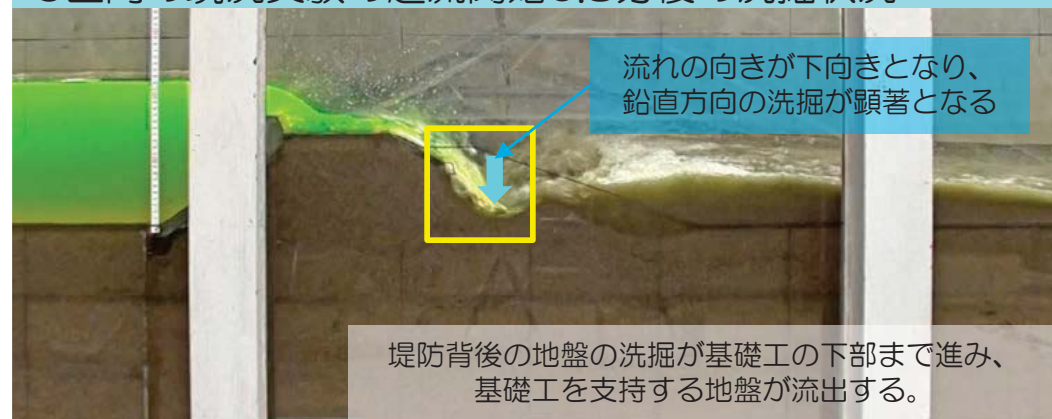
参考3. 昨年のC区間の現況実験での課題と対応方針

- 基礎工高天端高がT.P.+4.40mと地盤高T.P.2.04mと比較して、2.36m高く基礎工背後の洗掘進行が早い。
 - 基礎工背後を回り込むような流れが発生しており、一般的な重力で支持するような基礎工では基礎工を支持する地盤面が洗掘され安定しない恐れがある。
- 基礎工高が高い状態を維持しての基本構造では十分な粘り強さを確保できる可能性が低いと判断して、洗掘深に対して矢板で支持する案を対策案として選定

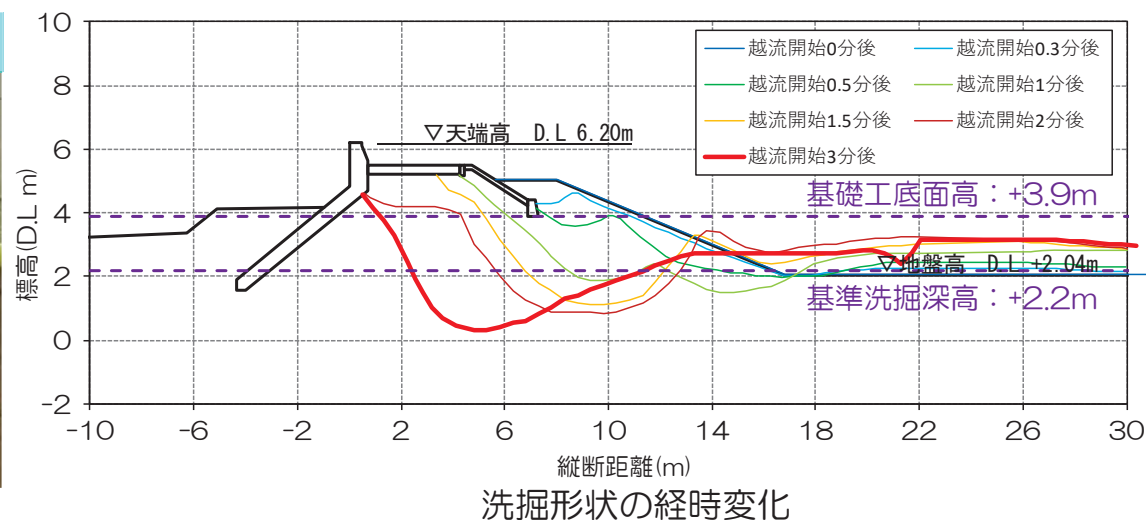
C区間の現況実験の初期堤防形状



C区間の現況実験の越流開始0.8分後の洗掘状況



C区間の現況実験の天端飛散時（2.0分後）の洗掘形状

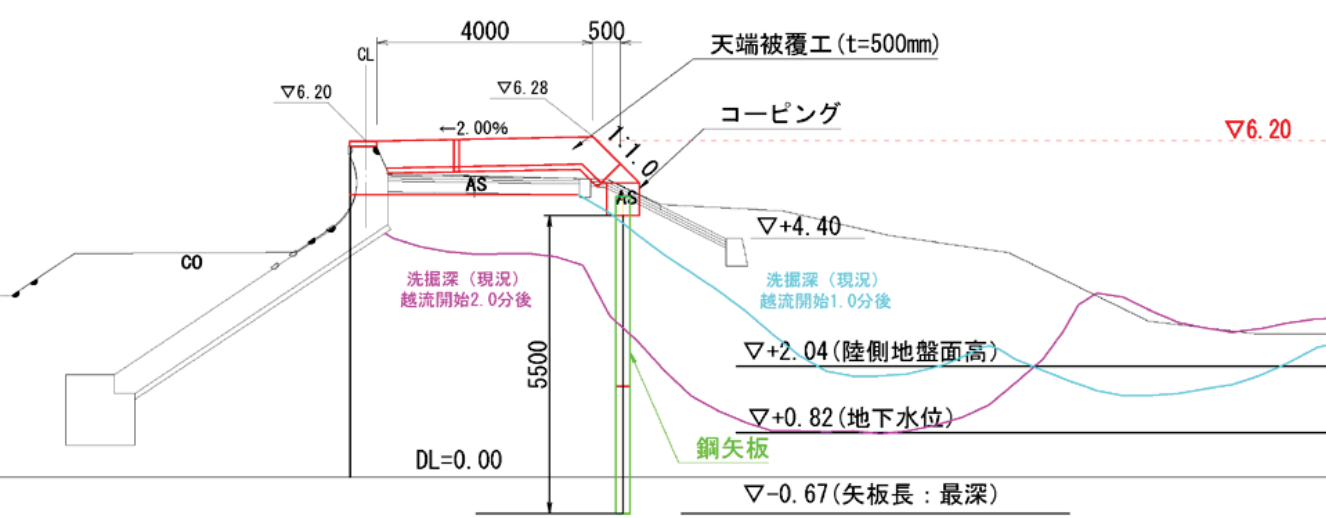


参考3. 矢板長の設定(C区間)

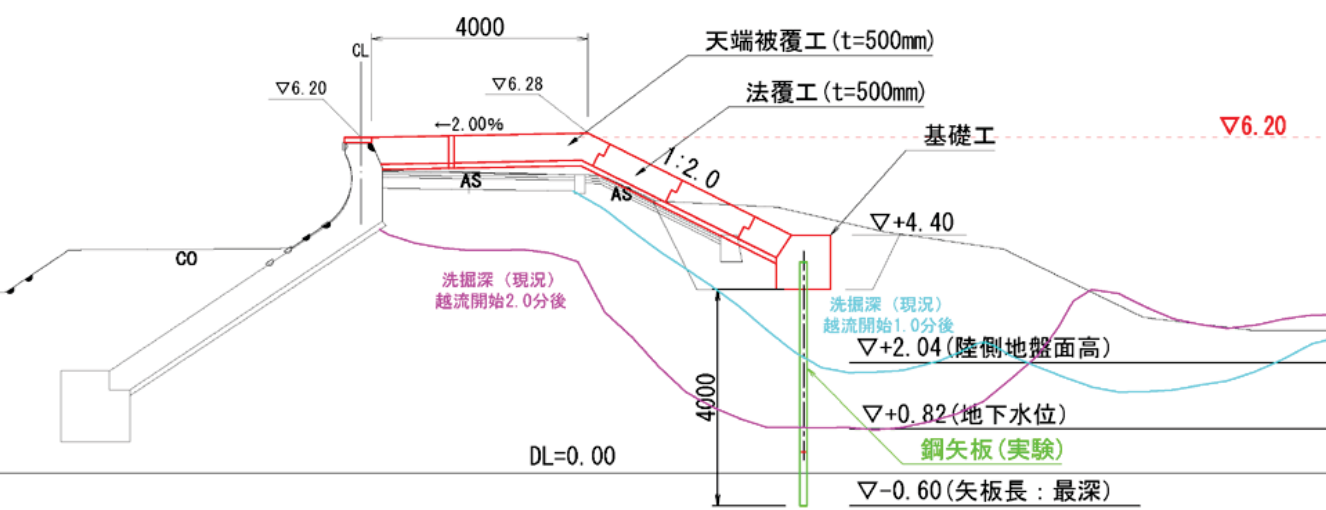
- ・ 現況実験での最大洗掘深に対して十分に安定する矢板長とするため、宮城県のマニュアル内に記載されている最も厳しい条件である「最大洗掘深+1.0m」の1.0mに安全率1.5倍を乗じて最大洗掘深+1.5mで設定した。
- ・ 矢板の最深部はT.P.-0.60mとなり、C-1では矢板長5.5m、C-2では矢板長4.0mとなる。

※現況実験の最大洗掘深は、危険側の評価となるように昨年の実験の天端被覆飛散後（越流開始2分後）の極端な洗掘深を採用

【ケースC-1（松林伐採なし）】



【ケースC-2（松林伐採あり）】



対象工区	C区間
陸側地盤面高	T.P.2.04m
地下水位	T.P.0.82m
洗掘深(現況) 越流開始1.0分後	T.P.1.86m(堤防側の洗掘) 基礎工底部より-2.04m
洗掘深(現況) 越流開始2.0分後	T.P.0.80m 基礎工底部より-3.1m
設計基準矢板長	3.0m※
【C-1(松林伐採なし)】 矢板長(模型)	T.P.-0.67m(最深部) 5.5m(22cm)
【C-2(松林伐採あり)】 矢板長(模型)	T.P.-0.60m(最深部) 4.0m(16cm)

※岩手県、宮城県的设计マニュアルより最小矢板長3.0m (参考資料)

住吉工区では保安林の保全を目的に左記断面の採用を検討している。矢板の打設重機は、樹林伐採が最小となるよう、自走式の圧入機の採用が前提となる。圧入機（右図）の自重を支持する必要長が一般に3~4mと言われており、矢板長はそれを満足するように設定している。



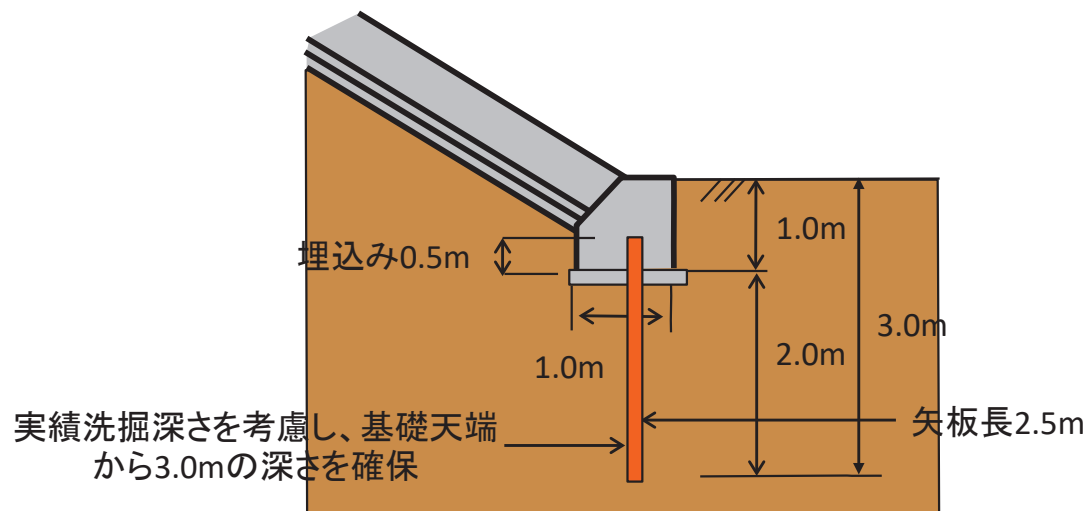
(岩手県)

- 法尻は、津波越流時の洗掘対策として、(1) 矢板による対策、または(2) 面的な構造による対策を施すものとする。矢板による対策の場合は、今次津波による実績洗掘深が概ね2.0m以下であったため、これに1m余裕を加えた値を地盤面より確保するものとし、**基礎工天端から最小3.0mの深さを確保**するものとする。

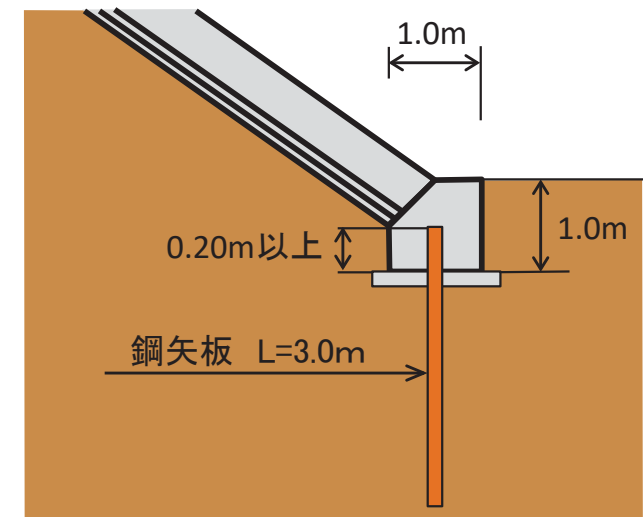
(宮城県)

- 基礎工の形状は今次津波による落掘深や経済性を考慮して総合的に検討するものとする。矢板式とする場合は、被災状況と施工性を勘案し、**矢板の最低長を3.0m (矢板の基礎への埋込長は0.20m以上)**とする。落掘深で矢板長を決定する場合は、**落掘深+1.0mを基本**とする。なお、矢板は、原則、構造設計を行わなくて良いものとする。

※岩手県海岸保全施設等設計マニュアル、宮城県河川・海岸施設等設計マニュアルより抜粋



岩手県の設計マニュアルのイメージ



宮城県の設計マニュアルのイメージ

参考資料

4.A区間の各実験結果

参考 A区間実験のバラツキ要因

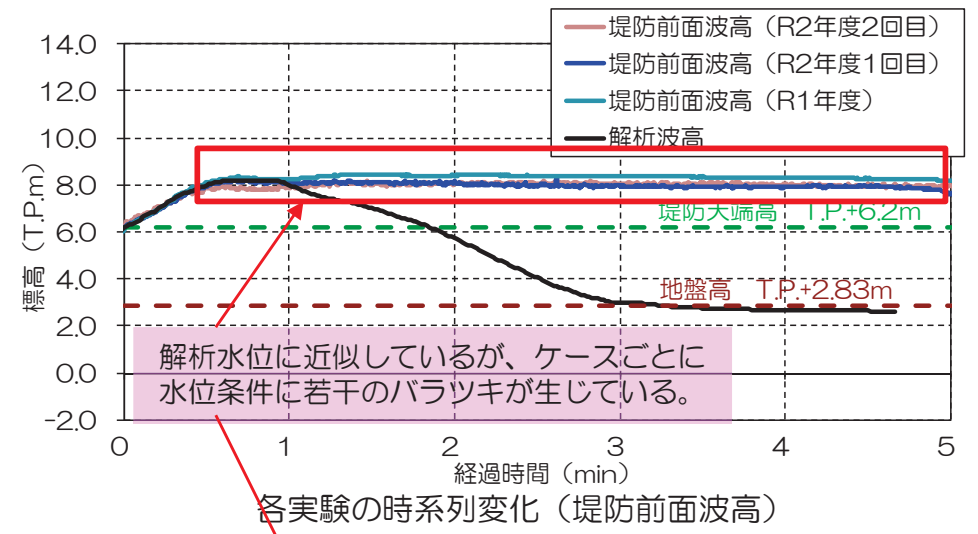
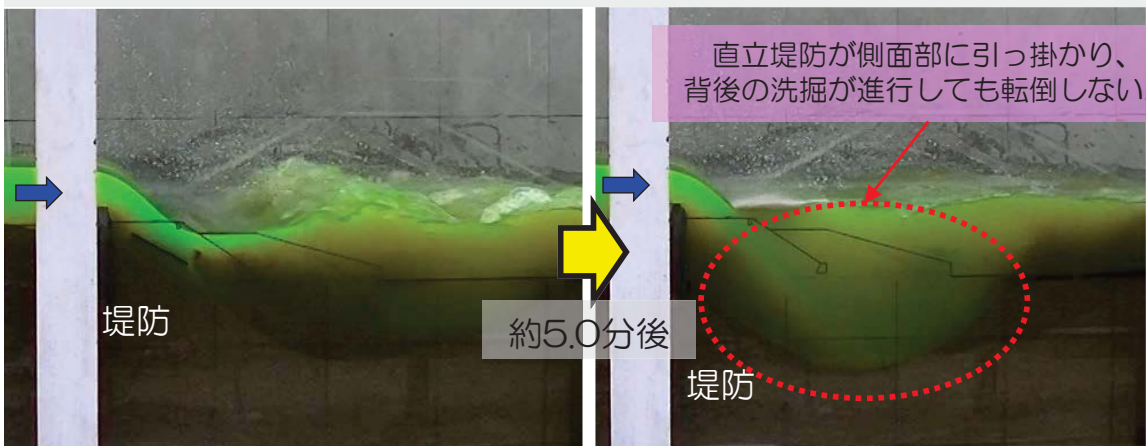
(要因①) 水路内での模型部材の挙動の差異

- 構造物の被災を基準としているため、僅かな模型部材の引っ掛かりや移動状況（端部での止水コーキングの強度）の違いにより、被災過程が変化することが考えられる。

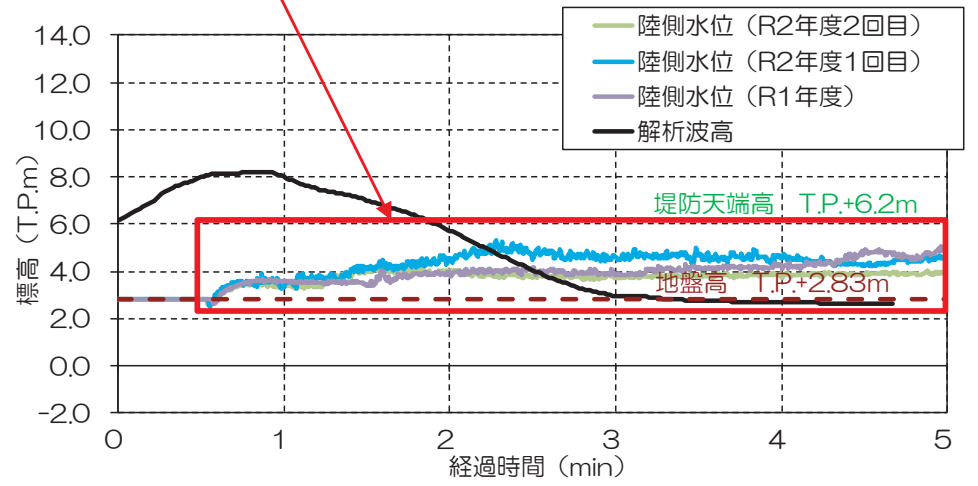
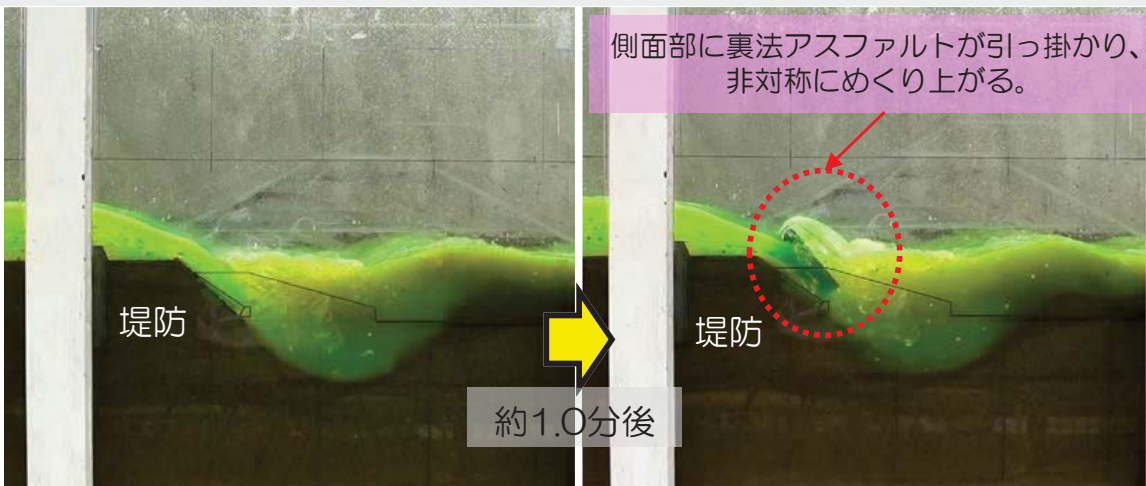
(要因②) ケースごとの水位条件の差異

- 実験では水槽上部の給水バルブを手動で複雑に操作することにより、実験波形を再現している。そのため、僅かなバルブ開度の調整のズレにより越流水位が条件ごとに差異が生じ、被災過程が変化することが考えられる。

R1年度実験



R2年実験 (2回目)



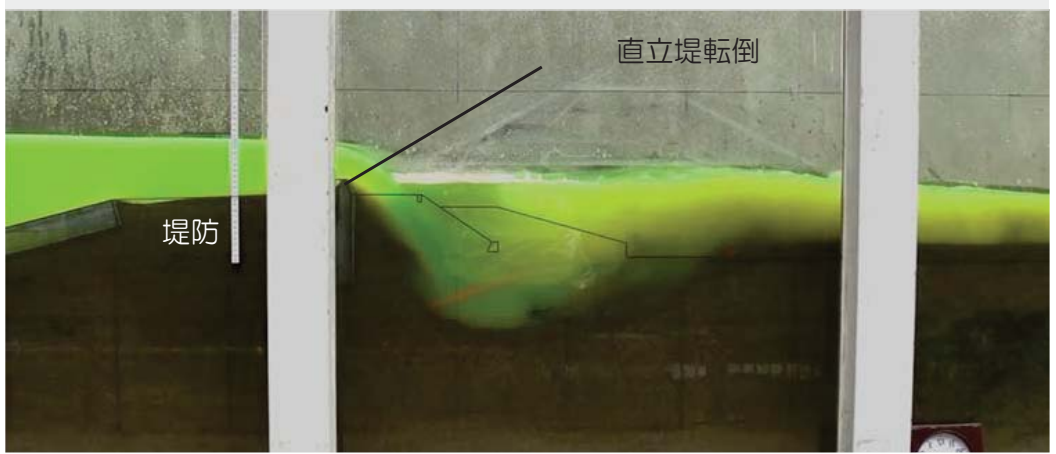
水路内での模型部材の挙動の事例

各実験の時系列変化 (陸側水位)

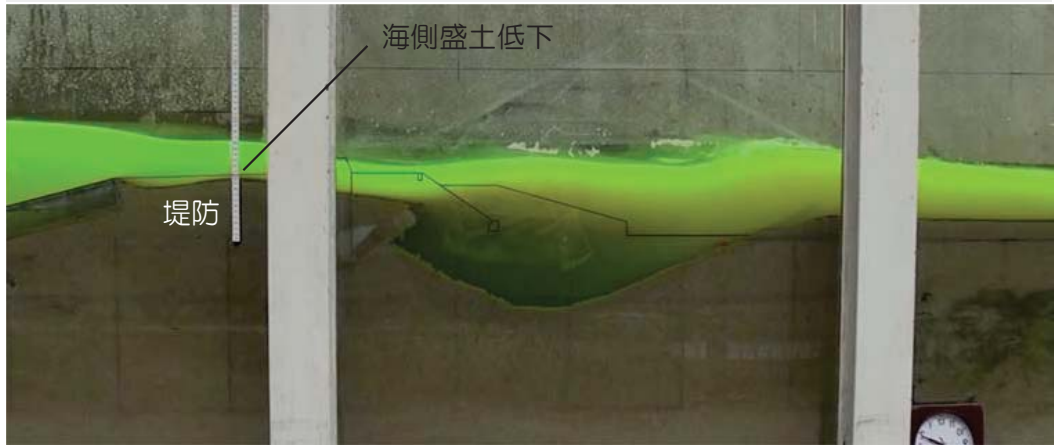
参考 実験結果 A区間(直立堤+土堤 天端幅3.0m R02年度実験2回目)37

- 越水開始から、約1.1分後に基礎工が流出、約1.8分後に法面被覆工が流失、2.5分後に天端被覆工が沈下した。
- 天端被覆工が流出後、**6.6分後に直立堤は転倒**し、安定性が失われた。
 - 粘り強さの判定基準である**海側盛土は7.5分後に低下**した。(直立堤が転倒するまで、堤防海側盛土の低下はない。)

越流開始約3.0分後：直立堤転倒



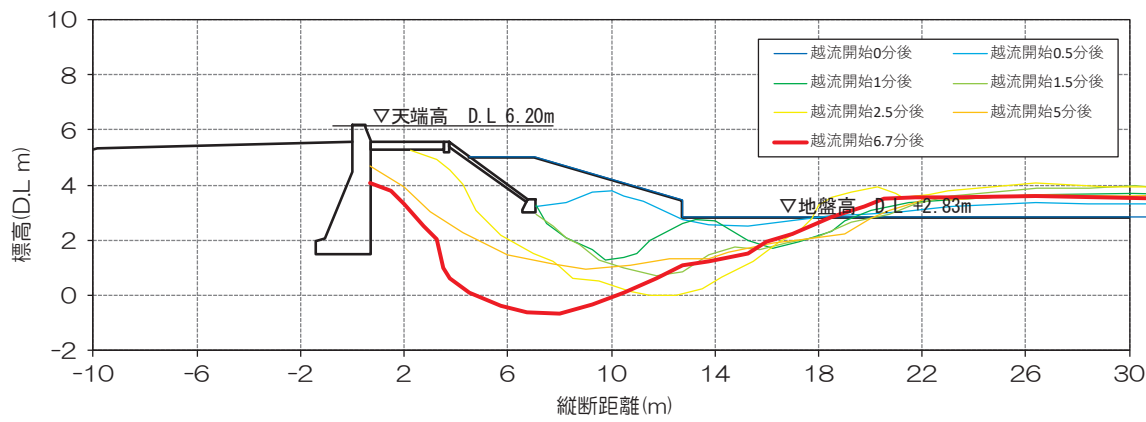
越流開始5.5分後：海側盛土低下



越流後の時系列変化

結果の比較 (計3回)

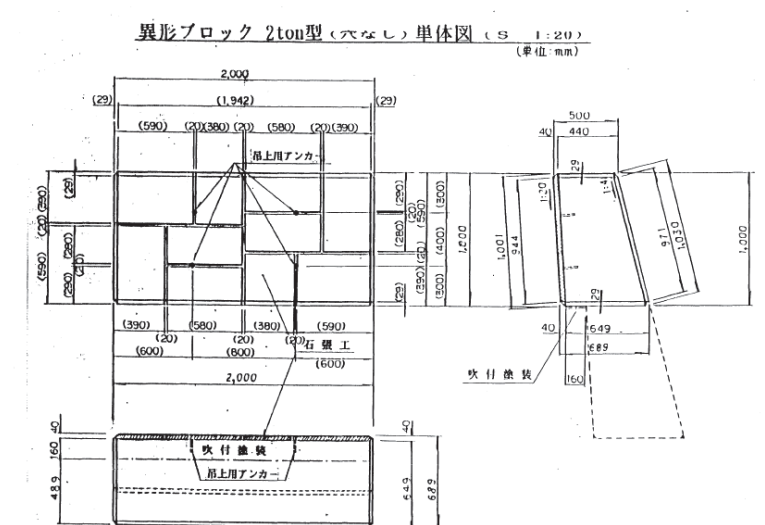
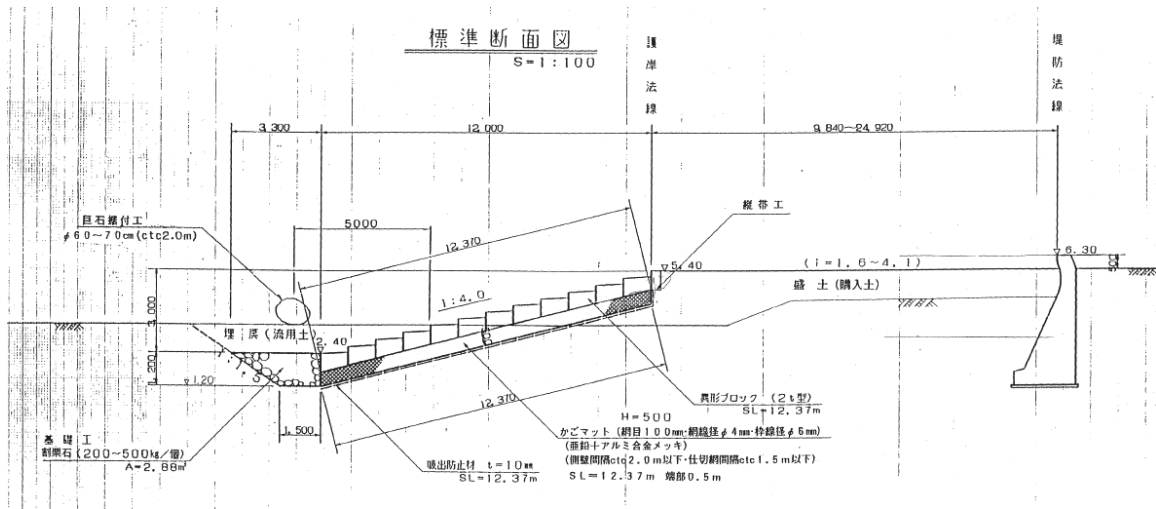
	R1年度実験 1回目	R2年度実験 1回目	2回目
基礎工 流出	1.3分	0.8分	1.1分
法面被覆工 流出	2.2分	0.8分	1.8分
天端被覆工 沈下	5.0分	0.9分	2.5分
直立堤転倒	5.8分	3.0分	6.6分
海側盛土 低下	10.5分	5.5分	7.5分



洗掘形状の経時変化 (2回目)

参考資料

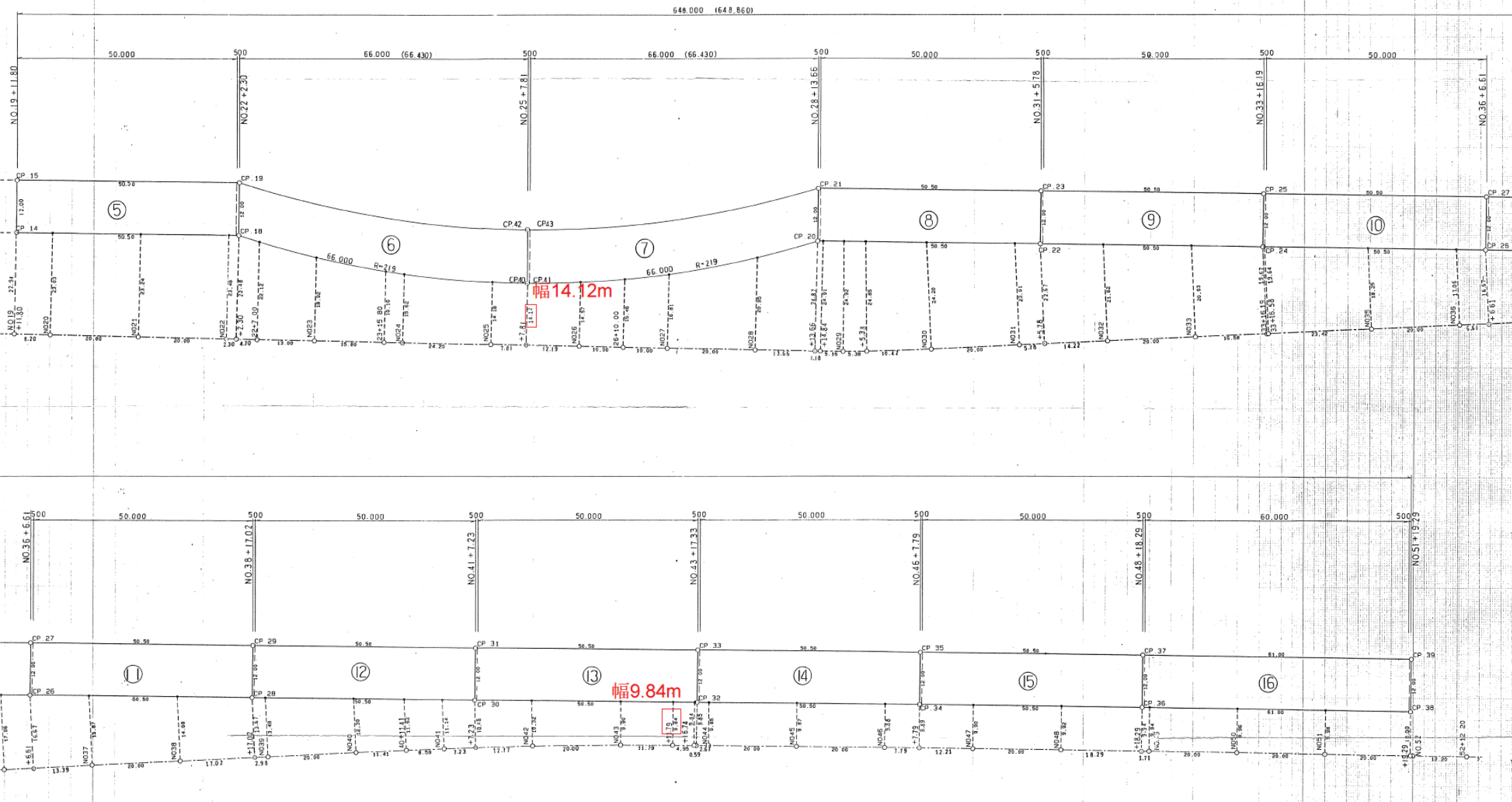
5. その他資料



出典:平成12年度 駿河海岸住吉緩傾斜堤防工事

参考5. A区間詳細地形図②

線形図



出典:平成11年度 駿河海岸住吉緩傾斜堤防工事

粘り強い構造の海岸堤防の効果

「粘り強い構造」の効果(第1回海岸事業の評価手法に関する研究会 本省資料より H26.2.3)

東日本大震災を教訓として推進している「粘り強い構造」の海岸堤防は、想定する津波(L1の津波)を超える津波が発生し、海水が堤防を越流した場合に、堤防の効果が粘り強く発揮されることにより、破堤に至るまでの時間を遅延させることで等で、浸水被害を軽減する効果、避難のなめのリードタイムを長くする効果等が期待される。

「静岡モデル」の方針(静岡県 HPより)

震源域に近く津波の到達が早い沿岸部に人口・資産が集中する本県の特徴を踏まえ、レベル1を超える津波に対しても、施設による被害の最小化を図るため、地域住民の合意など条件が整った地域では、既存の防災林等の嵩上げ・補強等による「静岡モデル」の整備を推進し、安全度の向上を図ります。

「粘り強さ」には、具体的な定義はなく、通常堤防構造に対して、構造を工夫することで、堤防の被災を遅らせることができるようにすることである。

粘り強い構造の海岸堤防の検討にあたっては、構造を強化することの効果を判断するため、それまでに実施されていた事例として、実際に東日本大震災の津波被害を受けた、仙台湾南部海岸と同等の粘り強さを確保することを目標とした。よって、評価指標としては、仙台湾南部海岸で使用された、破堤遅延時間3～5分を用いることとした。

このことから、住吉海岸(駿河海岸住吉工区)における、粘り強い構造の海岸堤防においても、破堤遅延時間3～5分と設定している。