

# 第15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5年11月

国土交通省中部地方整備局  
静岡河川事務所

## ①検討の背景及びこれまでの検討結果

# ①-1. 検討概要<検討の背景・検討方針>

## 【検討の背景】

・検討対象の住吉工区は、吉田町に位置し「越流しない形状の盛土」（想定しているL2の高さよりも高い盛土）を整備予定の区間である。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。しかし、下記に示す課題を有し、盛土の整備時期が未確定な状況を踏まえ、早期に海岸堤防の粘り強さを確保する必要が生じている。

## （住吉工区における課題）

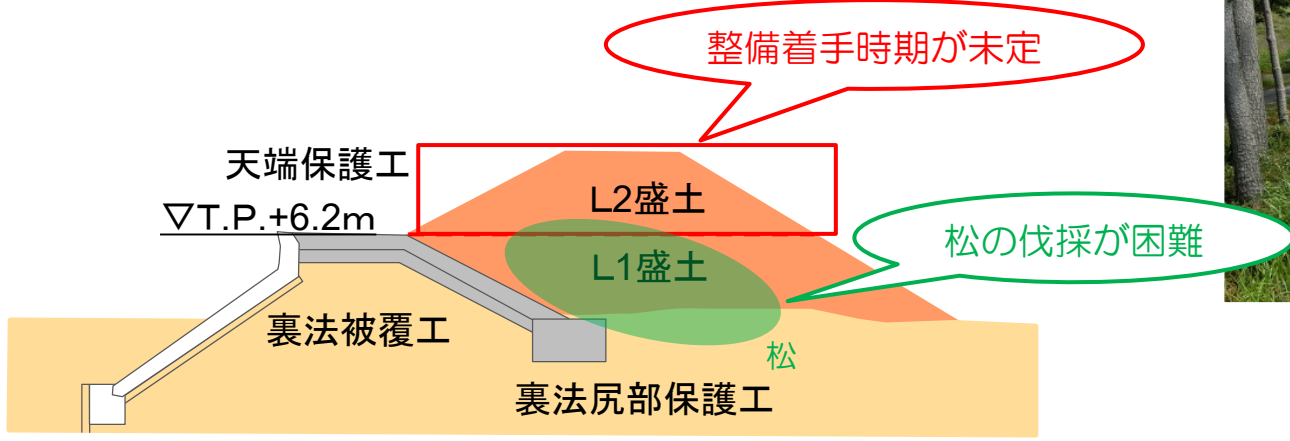
- 盛土整備位置に多くの宅地が存在しており、盛土の整備に着手できる時期が見通せない。
- 海岸堤防の背後に松が植樹されており、これを伐採した場合、暴風等による住民への影響が懸念される。

## 【検討の方針】

・本検討において、①松の伐採等を行わない範囲で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を水理模型実験により実施する。



住吉工区の堤防裏法面の松の状況

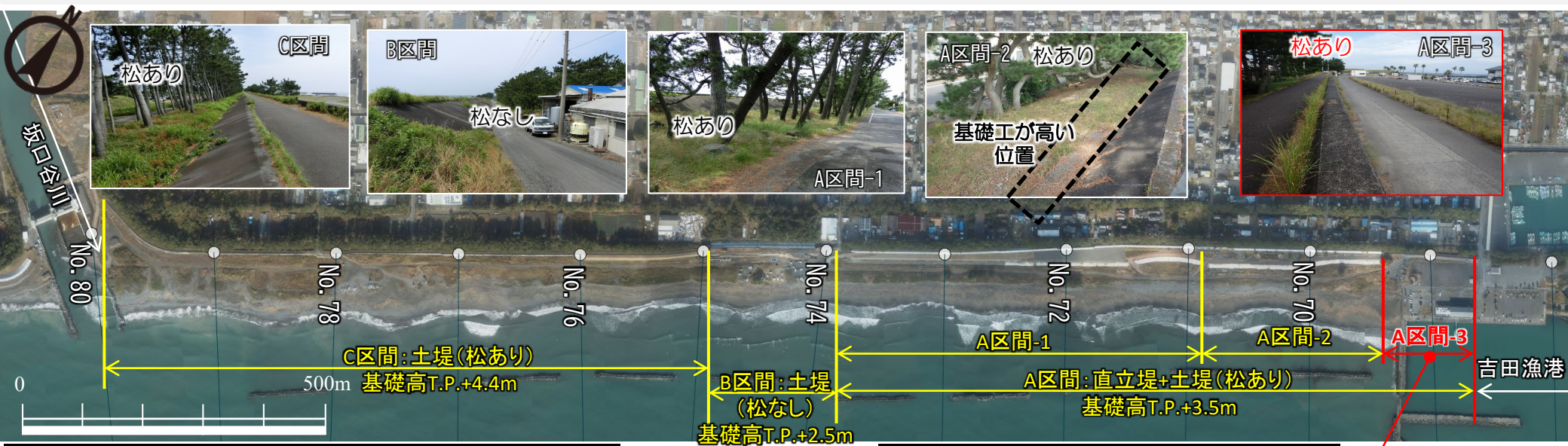


H28年度設定の基本構造のイメージと住吉工区の課題

# ①-2. 検討概要<A区間-3の概要>

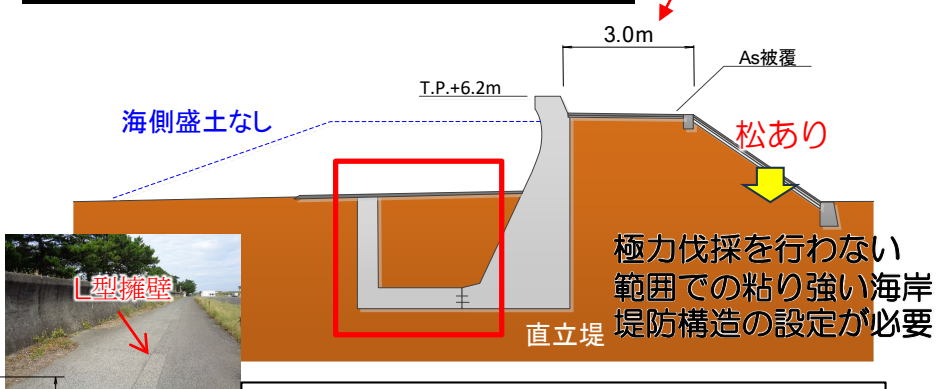
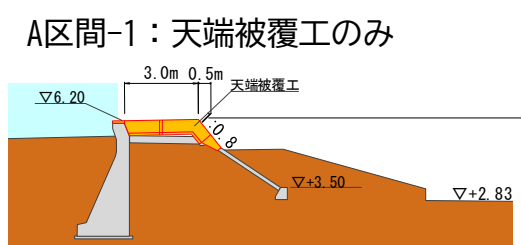
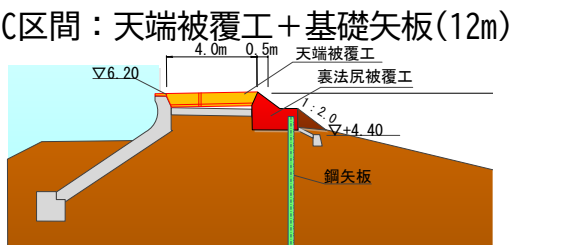
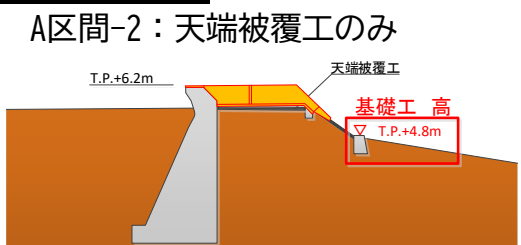
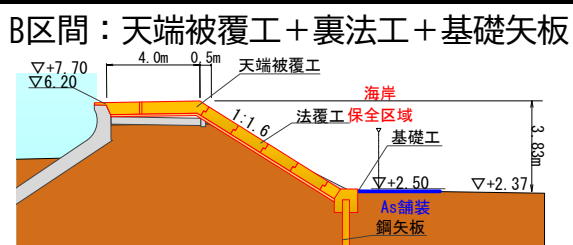
- ・現在、住吉工区内を松の有無、構造、基礎高の違いにより分類し、区間ごとに粘り強い堤防構造の検討を進めている。
- ・本委員会で議論の対象とするA区間-3の特徴は以下のようになる。

(堤防構造) 直立堤+土堤< 基礎高：低 + 海側盛土：なし + L型補強 > **松あり**  
 (構造検討の課題) 裏法面～裏法基礎工が松の植生範囲に重なり、松の伐採等が必要となる



住吉工区の粘り強い堤防構造 (これまでの検討結果)

今回検討対象区間(A区間-3)の現況構造



直立堤前面にL型の補強 (一体化構造)  
 地震への抵抗力を高める対策としてH14年業務で耐震補強設計が実施された

# ①-3. A区間-3の粘り強い堤防構造の実験結果

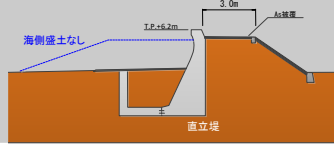
- 対策案を「直立堤・天端被覆工一体型」とし、実験により粘り強さを確認した。
- A区間-3の堤防構造の粘り強さを、直立堤の転倒開始時間を被災時間として粘り強さを評価することとしていたが、直立堤の転倒後の天端高にも着目して評価した。

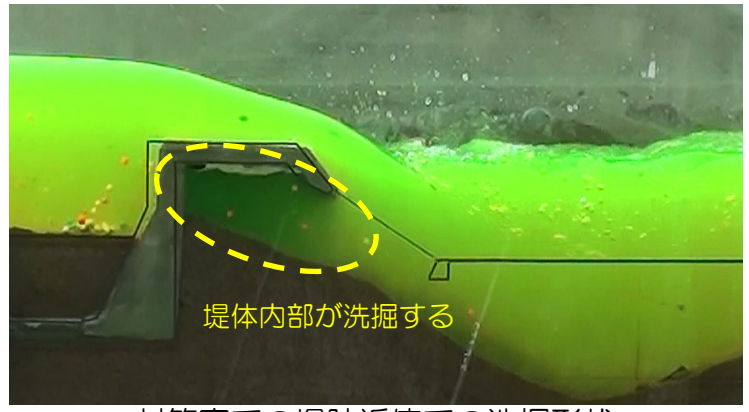
## 【粘り強さの評価】

- 現況実験と同様に法面Asの飛散状況に応じて被災形態が変化するが、3回の実験で最も破堤遅延時間の短いケースにおいても5分程度の粘り強さを確保できている。また、越流開始5分後の堤防天端高は、A区間-2に設置されている海側盛土 (T.P.+5.3m) と同等程度の高さで維持され、十分な粘り強さが確保されていると判断できる。

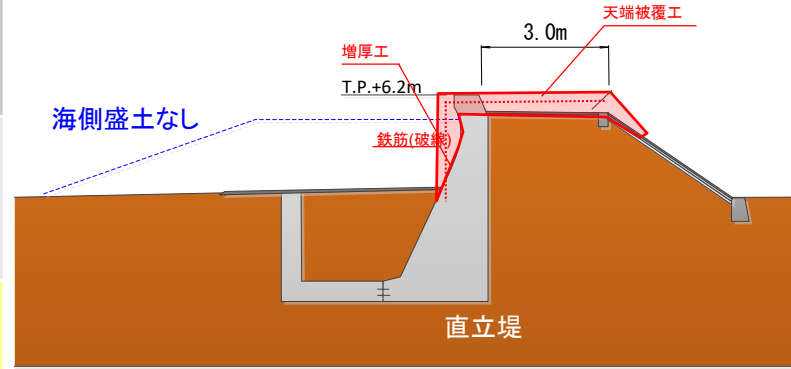
## 【構造の実現性の評価】

- 当初期待した堤防内部の洗掘は抑制できない結果となった。越流開始5分後の状況に対して概略の構造計算を実施し、対策は天端被覆工 (有筋) と増厚工 (有筋) で粘り強い構造が確保できる結果が得られた。

		A区間-3	
		R3年度実験 1回のみ	R4年度実験 3回実施
評価項目		【現況】 直立堤+L型補強	【対策案】 直立堤・天端被覆工一体型+L型補強
			
破堤遅延時間		6.3分 (直立堤転倒開始時)	5.0分 (直立堤転倒停止時)
直立堤転倒開始時間 (直立堤転倒停止時間)		0.4分後：基礎工流出 1.8分後：法面被覆工流出 2.6分後：天端被覆工沈下開始 6.3分後：直立堤が転倒開始 8.3分後：直立堤が転倒停止	実験①：8.8分後 (10.2分) 実験②：2.7分後 (5.0分) 実験③：15.0分後 (19.0分) ※堤防の天端高があまり低下しない状態で転倒するため、直立堤の転倒が停止した時間を破堤遅延時間として評価
粘り強さの評価		— (評価困難) • 破堤遅延時間3~5分を確保できているが、飛散した天端Asが堤防裏法部で留まり、堤防裏法面の洗掘を抑制したため不確実な結果となる。	○ • 設定している破堤遅延時間3~5分確保できる
総合評価		これまでのA区間の実験結果を踏まえると、天端As舗装の被災状況によっては、直立堤の転倒時間は短くなる可能性が高いため、対策工の検討が必要と考える。	【対策案構造】で目標の粘り強さ3~5分を確保可能。対策内容は、天端被覆工 (有筋) と直立堤前面の増厚工 (有筋) により粘り強い構造が可能。



対策案での堤防近傍での洗掘形状



対策案イメージ図 (天端被覆工+増厚工)

## ②実験結果を踏まえた対策案の構造検討

## ②-1. A区間-3の対策案の検討

### ■第14回委員会の結論

- ・実験結果より、天端被覆工と直立堤を一体化する対策案で粘り強い構造が確保できることが確認できた。

### ■対策案の構造諸元設定に向けた課題（第14回委員会での指摘事項）

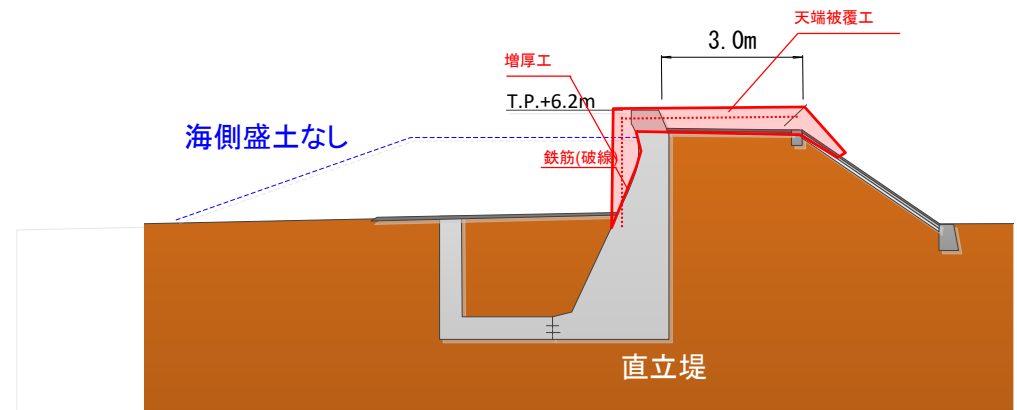
直立堤と天端被覆の一体性が効果を発揮しているため、その部分を担保する設計が重要となる。

### ■第15回委員会の検討内容

- ・天端被覆工と直立堤を一体化する方法として、天端被覆工・直立堤増厚工について部材設計を実施するための検討条件を整理した。



対策案に対する越流実験結果（転倒停止時）



対策案イメージ図（天端被覆工+増厚工）

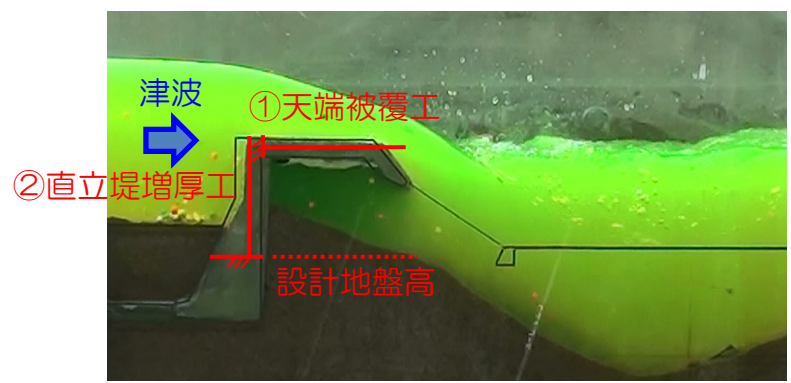
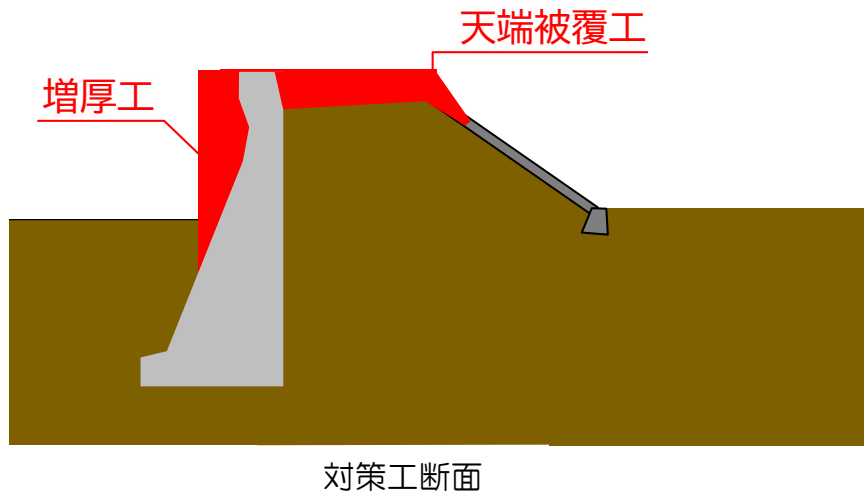
# ②-2. A区間-3(対策案)の構造検討(部材設計の検討条件)

## ■検討方針

構造検討について、津波越流時に天端被覆工と直立堤の一体構造が保持される構造諸元を検討する。

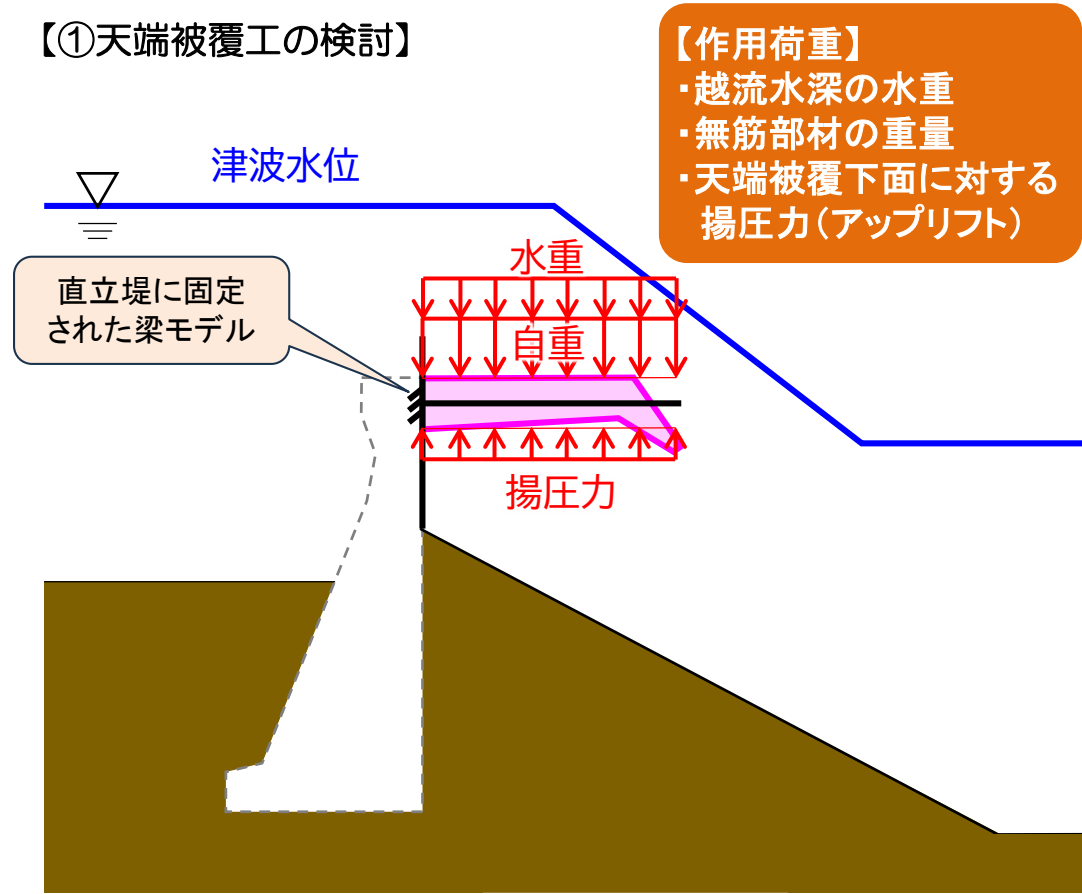
## ■検討条件

- 構造計算は単純化するため、①天端被覆工と②直立堤増厚工を分けて実施した。
- 天端被覆工の計算モデルは、直立堤に固定された梁と仮定し、荷重は越流水と自重を考慮した。
- 直立堤増厚工の計算モデルは、土中部の直立堤に固定された梁と仮定し、荷重は各水圧・土圧・自重を考慮した。
- 背面地盤高は、実験の洗堀状況を踏まえて、抵抗が十分期待できる受働崩壊線と地形が交わる高さを設定した。



直立堤背面の洗堀状況および検討部位

## 【①天端被覆工の検討】

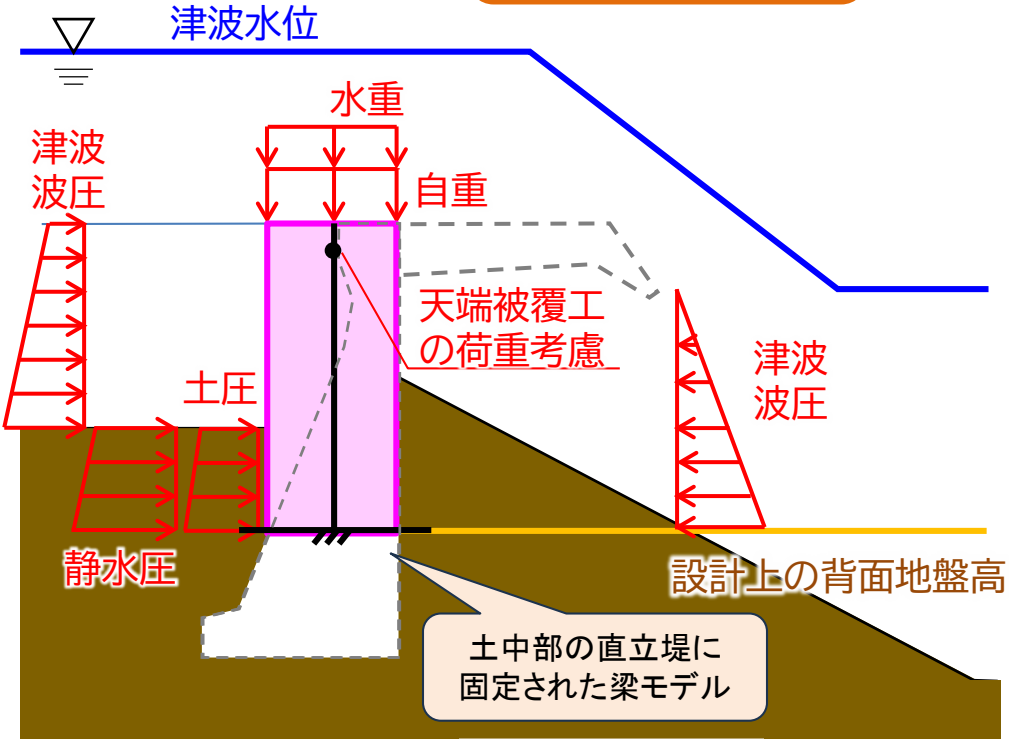




# ②-3. A区間-3(対策案)の構造検討(部材設計の検討条件)

## 【②直立堤増厚工の検討】

- 【作用荷重】
- ・越流水深の水重
  - ・無筋部材の重量
  - ・前面の津波波圧
  - ・静水圧
  - ・前面土砂による土圧
  - ・天端被覆荷重

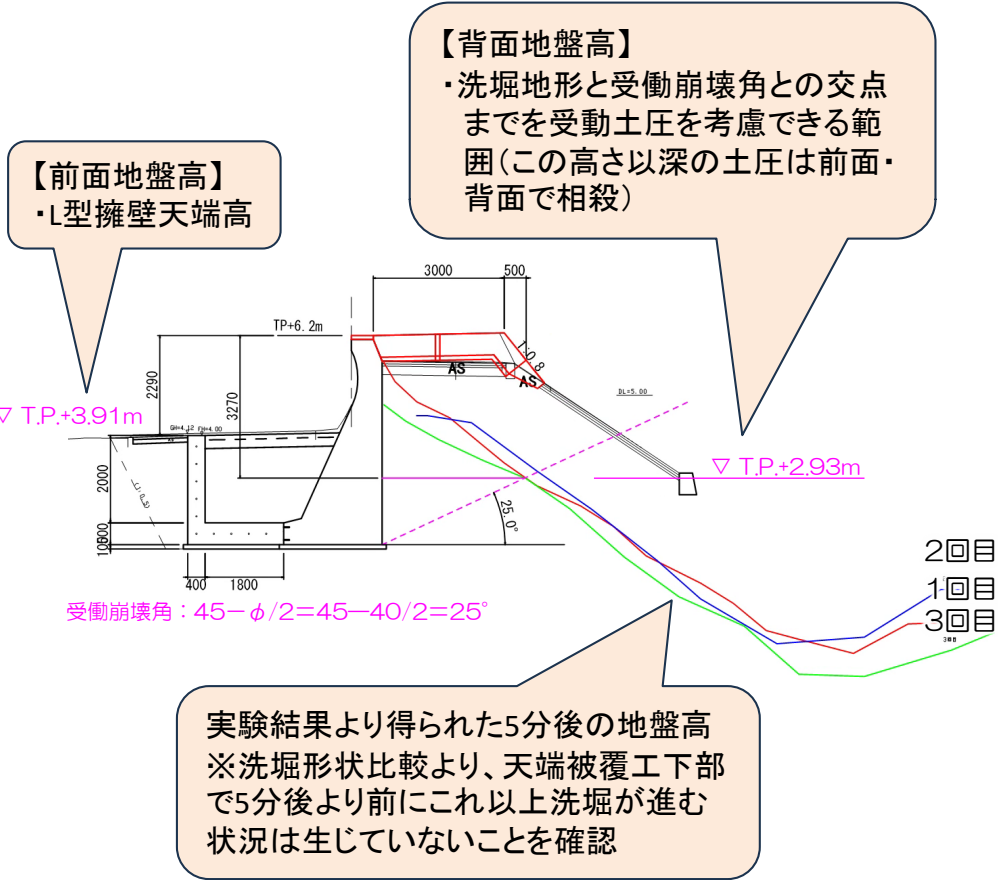


※天端被覆工上面にかかる流水によるせん断力は、コンクリートの粗度係数が小さいため他の外力と比較して十分に小さいと判断し、考慮していない

※背面津波波圧は、堤体高と背面津波高の関係から0となる

出典：「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」

### 地盤高の設定



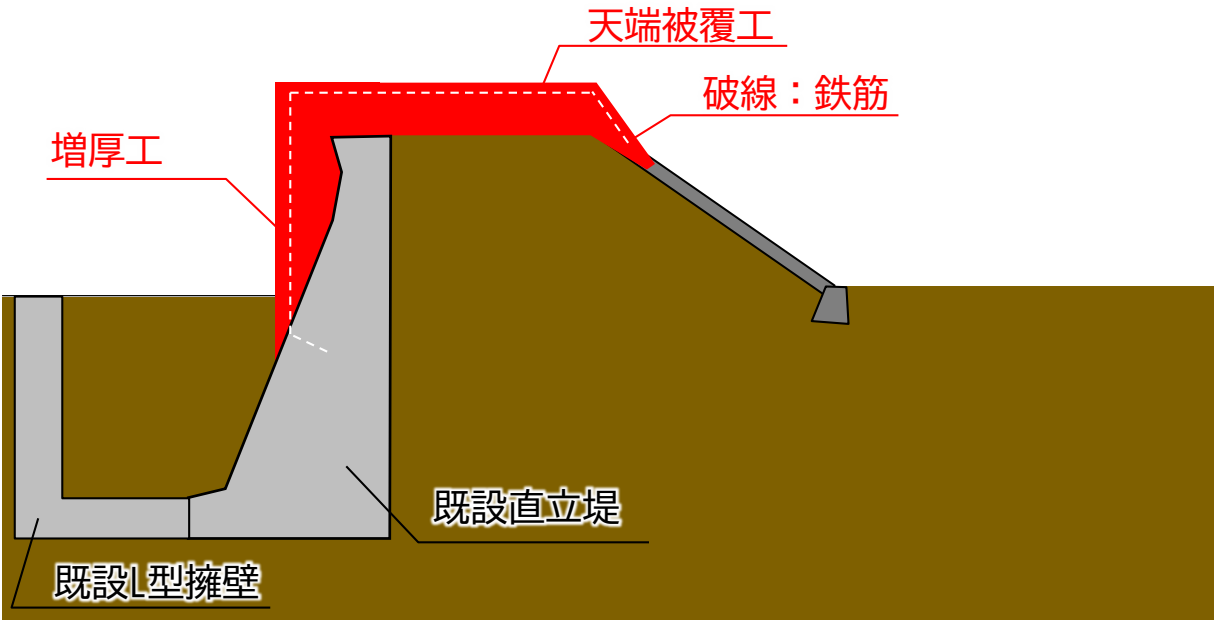
実験結果より得られた5分後の地盤高  
 ※洗堀形状比較より、天端被覆工下部で5分後より前にこれ以上洗堀が進む状況は生じていないことを確認

※背面側の地盤高より上の土砂は、受動抵抗として期待できないため考慮しない。

# ②-2. A区間-3(対策案)の構造検討(部材設計の検討条件)

## ■今後の予定

- 本委員会で示した検討方針に基づき、詳細設計を実施し、構造諸元（部材厚・配筋）を決定する。
- 決定した直立堤諸元について、常時・地震時に対する安定性照査を実施する。
- 陸閘部の取り付け構造については、詳細設計と併せて計画する。



対策工断面イメージ



陸閘部側面



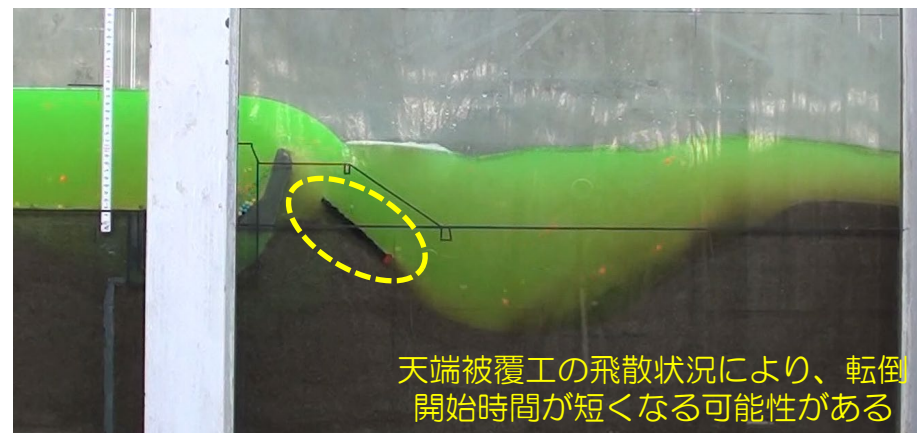
陸閘部堤防形状  
(背後にスロープが設置されている)

【参考】 R3年度の実験結果  
A区間-3 現況構造

# 【参考】A区間-3の検討概要<現況構造>

- A区間-3の現況構造では、他A区間と異なり海側盛土がなく、L型補強が直立堤前面に設置されているため、直立堤の転倒開始時間を被災時間として粘り強さを評価した。
  - 直立堤転倒開始までの時間は6.3分、転倒停止時間は8.3分であった。破堤遅延時間は6.3分で5.0分以上の粘り強さを確保可能である。
- 現況構造で破堤遅延時間が6分程度となったのは、天端As舗装の飛散状況が影響していると考えられ、A区間-1、2の実験結果を踏まえると、直立堤の転倒までの時間は短くなると想定される。

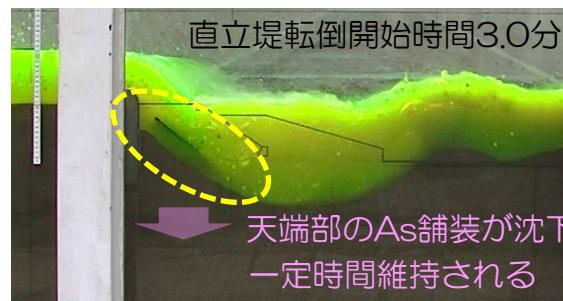
評価項目		A区間-3	
		R3年度実験 1回目	
破堤遅延時間		6.3分 (直立堤転倒開始時)	
破堤状況		0.4分後：基礎工流出 1.8分後：法面被覆工流出 2.6分後：天端被覆工沈下開始 6.3分後：直立堤が転倒開始 8.3分後：直立堤が転倒停止	
粘り強さの評価		(今回の結果のみでは評価困難) ・今回の実験では、破堤遅延時間3~5分を確保できているが、不確実な結果である。	
総合評価		これまでのA区間の実験結果を踏まえると、天端As舗装の被災状況によっては、直立堤の転倒時間は短くなる可能性が高いため、対策工の検討が必要と考える。	



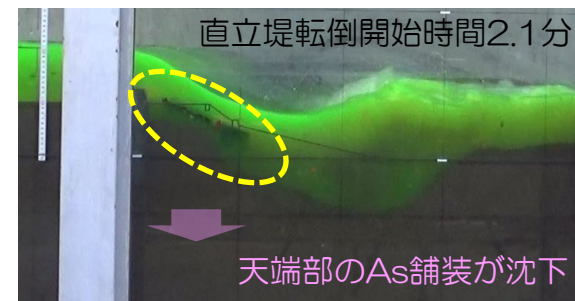
天端被覆工の飛散状況により、転倒開始時間が短くなる可能性がある

A区間-3の実験状況

## 【参考】



A区間-1の実験状況

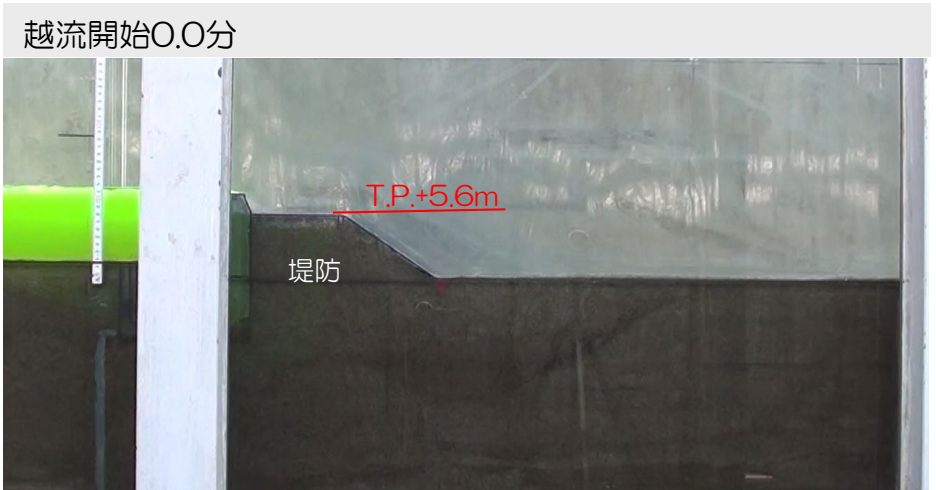


A区間-2の実験状況

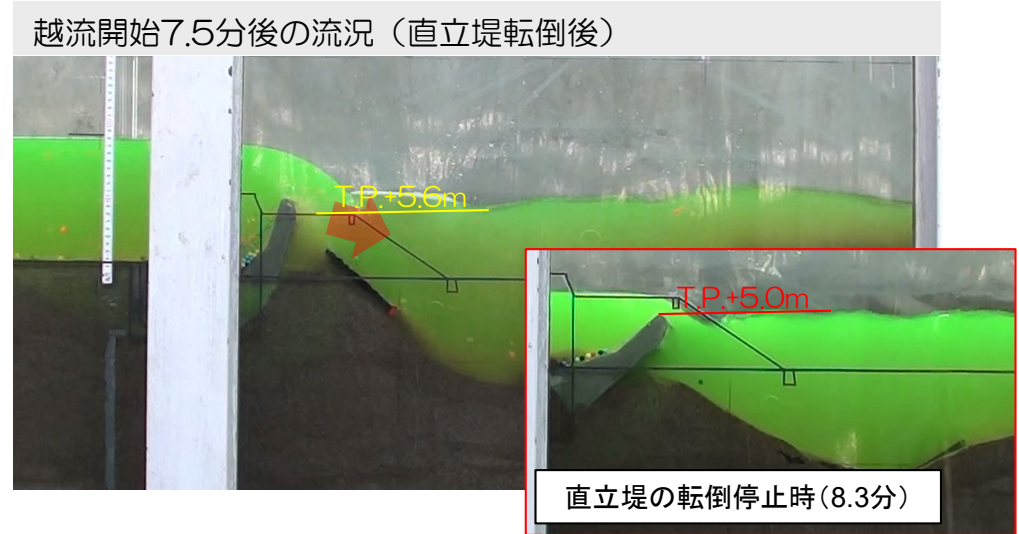
直立堤の転倒開始時間 (3回のばらつき)	
A区間-1	3.0~5.8分
A区間-2	1.6~3.2分

# 【参考】A区間-3の粘り強い堤防構造の検討<現況実験> ※第13回検討委員会資料1 12

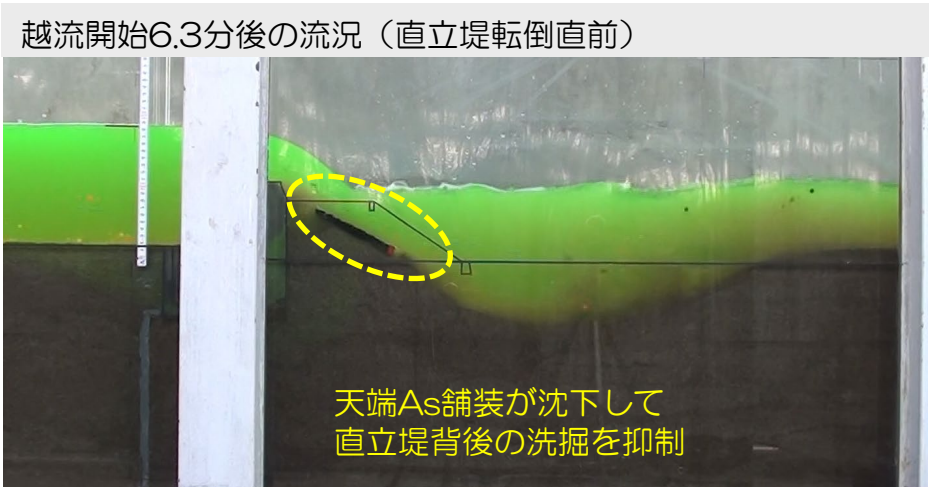
- 越流開始0.4分後に基礎工が流出し、1.8分後に法面被覆工が流出した。
  - 越流開始2.6分後に天端被覆工が徐々に沈下し、6.3分後に直立堤が転倒を開始し、8.3分後に転倒が停止した。
  - 転倒停止後の堤防天端高はT.P.+5.0m程度で安定している（※現況の天端As舗装はT.P.5.6m程度）。
- 現況構造は、目標とする粘り強さ3.0~5.0分の破堤遅延時間を確保できるが、As舗装の洗掘抑制の効果が確認される。



越流前の流況



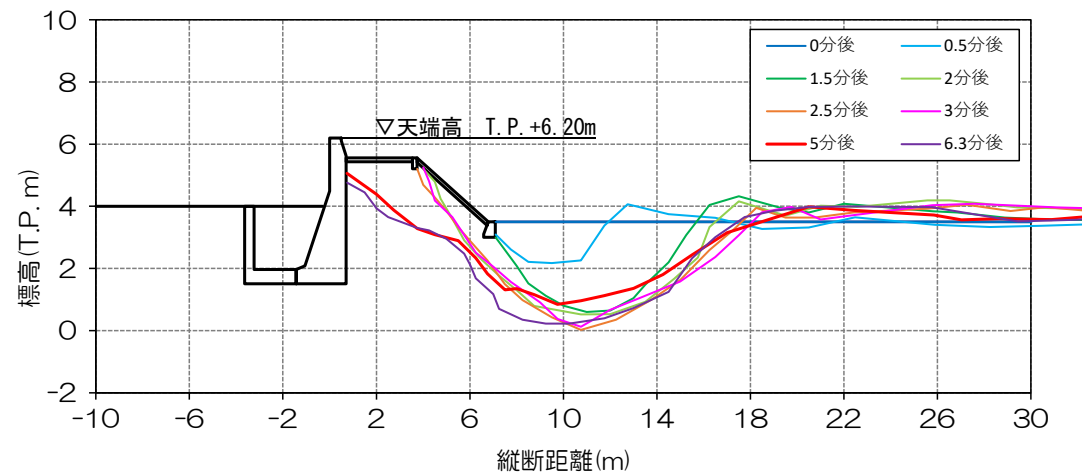
直立堤の転倒停止時(8.3分)



天端As舗装が沈下して  
直立堤背後の洗掘を抑制

越流開始6.3分後における堤防及び背後地の洗掘状況

越流開始7.5分後における堤防及び背後地の洗掘状況

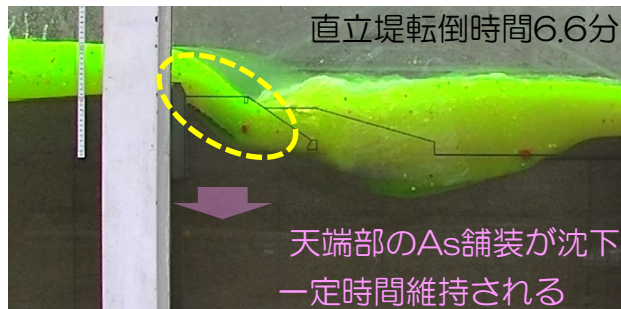
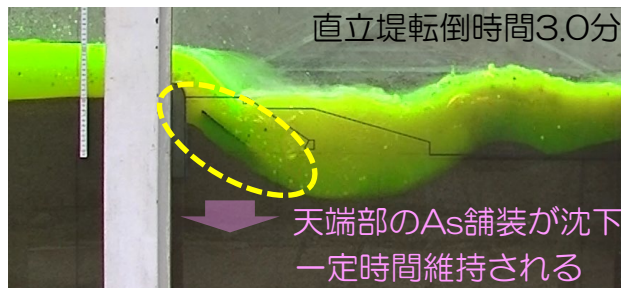


洗掘形状の経時変化

A区間-3の実験では、天端As舗装により洗掘が抑制された可能性がある。そのため、他のA区間の実験においてどのような事象が生じていたか改めて確認した。

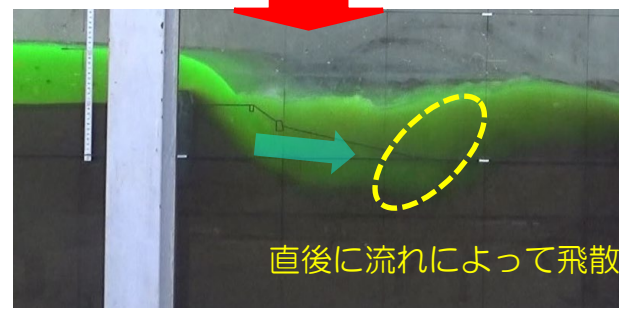
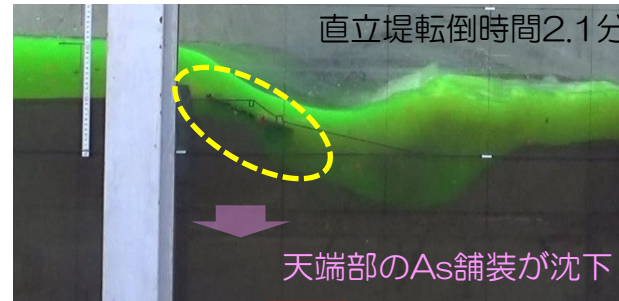
- 他のA区間の実験においても、A区間-3と同様に天端As舗装が直立堤背後に沈下する現象が確認された。
- 過去のA区間の実験や今回のA区間-3の実験の状況を踏まえると、不確からしさを含む天端部の飛散状況によって破堤遅延時間が大幅に変化する可能性がある。

➤これまでのA区間-1と2の実験結果を踏まえると、同様に繰返し実験を実施した上で構造の安定性の評価を実施した場合、破堤遅延時間はA区間-1と同様に3.0分程度まで短くなることが想定されるため、**今後、対策工の実験を実施する方針とする。**



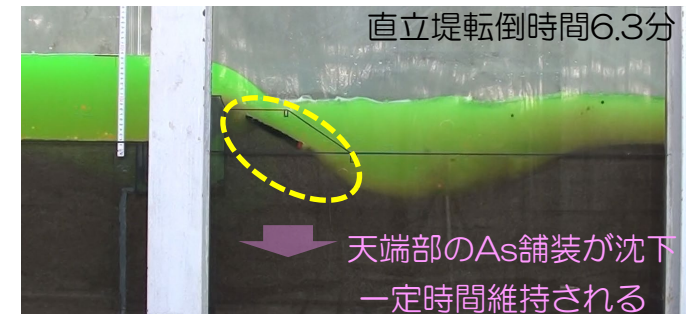
A区間-1の実験状況

同じようなAs舗装の沈下状況であっても、沈下したAs舗装の形状で背後の洗掘の進行が異なり直立堤転倒までの時間が変わる。



A区間-2の実験状況

As舗装が飛散した場合には、直立堤の転倒までの時間は極端に短くなる可能性がある。



A区間-3の実験状況

A区間-1とA区間-2の実験結果を踏まえるとAs舗装の飛散状況によって、直立堤の転倒までの時間が変化することが分かる。

※A区間-1とA区間-2では、海側盛土があるため、直立堤の転倒開始までの時間が短い場合も、海側盛土の浸食までの時間を確保できるため問題ない

# 【参考】A区間-3の粘り強い堤防構造の検討のまとめ

- ・R3年度に実施した現況実験と同様に法面Asの飛散状況に応じて、堤防内部の土砂の流出状況が変化するため、3回の実験結果にバラツキがあるものの最も破堤遅延時間の短い実験においても5分程度の粘り強さを確保できている。
  - **目標の粘り強さを確保できている対策案①を採用することとし、実験における堤防内の洗掘形状を踏まえて直立堤と天端被覆工の接合方法の構造検討を実施する。**
  - ・直立堤の転倒後、堤防天端高をある程度維持した状態で転倒が停止するため、**直立堤の転倒が完全に停止した状態を被災基準とし、天端高にも着眼して堤防構造の粘り強さを評価した。**
  - **対策案①では、越流開始5分後の堤防天端高をA区間-2に設置されている海側盛土（T.P.+5.3m）と同等程度の高さで維持可能である。また、最も深く転倒した場合にも、現況時（T.P.+5.0m）より天端高を高い状態を維持できている。**
- ※転倒停止後は、堤防高は背後の洗掘により低下することはなくT.P.+5.3m以上の高さを確保した状態となる。

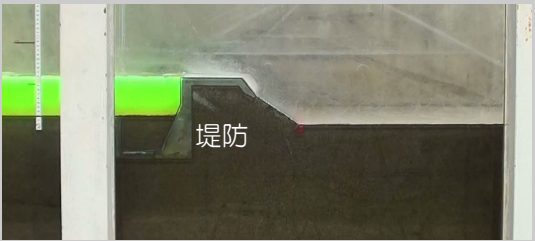




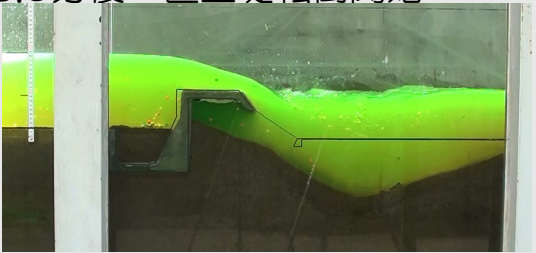
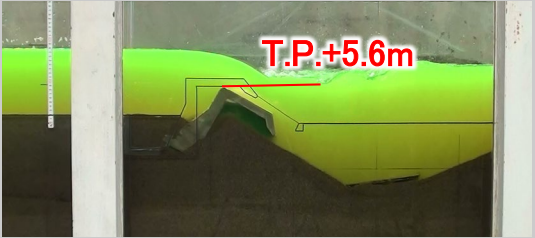
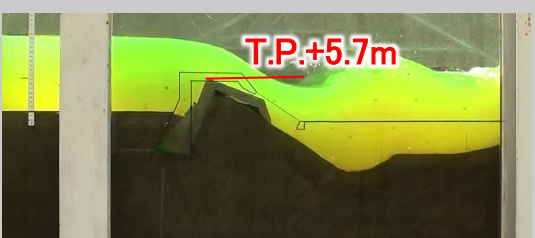

	A区間-1	A区間-2	A区間-3
	R2年度実験 (第11回検討委員会資料1)	R3年度実験 (第12回検討委員会資料1)	R3年度実験 (第13回検討委員会資料1)
	R4年度実験 (第14回検討委員会資料1)		
<b>評価項目</b>	【現況】 直立堤+堤防海側盛土	【現況】 直立堤(矢板)+堤防海側盛土 (基礎位置が高い区間)	【現況】 直立堤+L型補強
	【当初対策案】 直立堤・天端被覆工一体型+L型補強		
<b>破堤遅延時間</b>	5.5分 (盛土流出開始時)	4.0分 (盛土流出開始時)	6.3分 (直立堤転倒開始時)
			5.0分 (直立堤転倒停止時)
<b>直立堤転倒開始時間 (破堤遅延時間)</b>	実験①：5.8分後 (5.8分※) 実験②：3.0分後 (5.5分) 実験③：6.6分後 (7.5分) ※引掛けにより転倒が遅れたため、転倒開始時間を破堤遅延時間として評価	実験①：2.1分後 (4.0分) 実験②：3.2分後 (5.7分) 実験③：1.6分後 (4.3分)	実験①：6.3分後 (0.4分後：基礎工流出 1.8分後：法面被覆工流出 2.6分後：天端被覆工沈下開始 6.3分後：直立堤が転倒開始)
			実験①：8.8分後 (10.2分) 実験②：2.7分後 (5.0分) 実験③：15.0分後 (19.0分) ※堤防の天端高があまり低下しない状態で転倒するため、直立堤の転倒が停止した時間を破堤遅延時間として評価
<b>粘り強さの評価</b>	◎ ・設定している破堤遅延時間3～5分確保できる	○ ・目標とする最悪の想定である粘り強さ3分以上の破堤遅延時間を確保できる	— (評価困難) ・今回の実験では、破堤遅延時間3～5分を確保できているが、不確実な結果である。
			◎ ・設定している破堤遅延時間3～5分確保できる
<b>総合評価</b>	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、【 <b>現況構造+天端被覆工</b> 】を採用する。	【 <b>現況構造 (現況)</b> 】では直立堤の完全転倒するまでの粘り強さがある点を考慮すると、十分な粘り強さを確保できると評価する。	これまでのA区間の実験結果を踏まえると、天端As舗装の被災状況によっては、直立堤の転倒時間は短くなる可能性が高いため、対策工の検討が必要と考える。
			【 <b>対策案①構造</b> 】で目標の粘り強さ3～5分を確保可能。天端被覆工と直立堤の接合方法の構造計算を実施する必要があると考える。

【参考】R4年度の実験結果  
A区間-3 対策案  
(第14回委員会提示結果)



# 【参考】A区間-3の粘り強い堤防構造実験結果(概要)

- ・ A区間-3の対策案に対して、3回の越流実験を実施した。実験結果から以下のことが言える。
  - 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。
  - 転倒停止後の堤防天端高はT.P.+5.3~5.6mであり、現況(転倒前)や他区間と同等の天端高を確保している。
- ※現況の天端As舗装はT.P.+5.6m程度、A区間-1、2の海側盛土高はT.P.+5.3m

対策案 1回目	対策案 2回目	対策案 3回目
0分後 	0分後 	0分後 
0.9分後：基礎工流出	0.8分後：基礎工流出	0.8分後：基礎工流出
1.6分後：法面被覆工流出	1.3分後：法面被覆工流出	1.4分後：法面被覆工流出
8.8分後：直立堤転倒開始 	2.7分後：直立堤転倒開始 	15.0分後：直立堤転倒開始 
10.2分後：直立堤完全転倒 	5.0分後：直立堤完全転倒 	19.0分後：直立堤完全転倒 



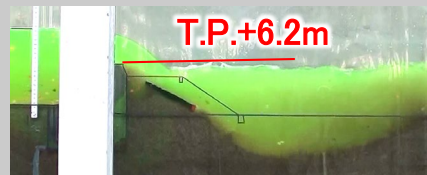
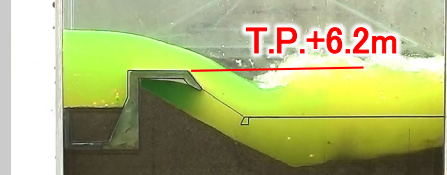
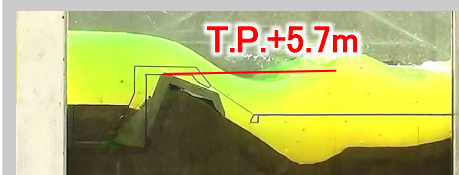
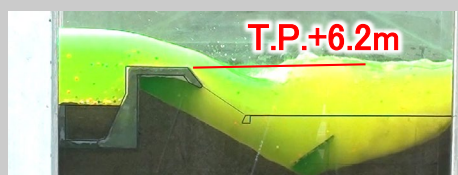
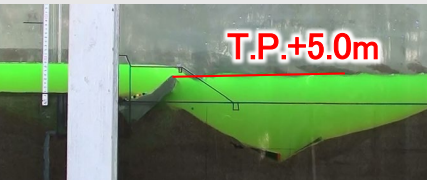
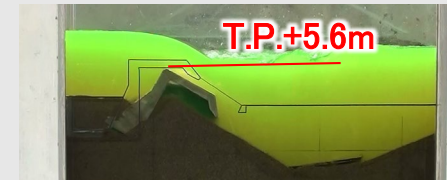
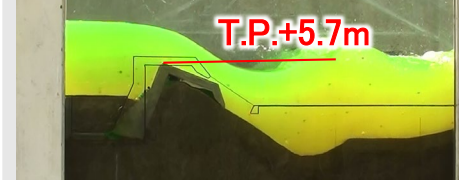
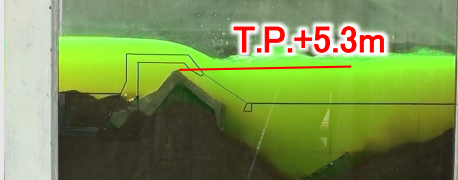
法面As舗装の流出時に  
直立堤背後の洗掘が発生

※時間は越流開始からの経過時間

# 【参考】A区間-3の粘り強い堤防構造実験結果(天端高の比較)

- A区間-3の「現況」および「対策案」に対する越流実験結果について、越流後の天端高を評価した。
- 「対策案」は目標とする破堤遅延時間5.0分後では、天端高はT.P.+5.7mを確保できている。
- 「対策案」の転倒後の天端高は、「現況」の転倒後より高い位置で維持されている。

※第14回委員会提示資料から作成

	現況	対策案 1回目	対策案 2回目	対策案 3回目
越流開始5分後の 天端高	T.P.+6.2m (安定) 	T.P.+6.2m (安定) 	T.P.+5.7m (転倒) 	T.P.+6.2m (安定) 
転倒停止後の 天端高	T.P.+5.0m (8.3分後) 	T.P.+5.6m (10.2分後) 	T.P.+5.7m (5.0分後) 	T.P.+5.3m (19.0分後) 

※「現況」の実験では、沈下した天端As (2.6分後に沈下) により背後の洗掘の進行が遅延した可能性がある。

# 【参考】3回の実験で転倒時間の差異が発生した要因

## 【2回目の実験において転倒時間が早かった要因】

- 複数の構造物で構成されている堤防自体の被災の評価は、各構造物のわずかな飛散形態の違いや飛散後の停止場所の違いによって影響を受ける。今回の対策案①の2回目の実験についても、飛散後の裏法As被覆の停止した場所がその他の実験と比較して堤防に近く留まっており、このことが堤防背後の流れを変化させる要因となった可能性がある。

## 【粘り強さの評価】

- 現況実験はAs天端が洗掘を抑制する効果を発揮したため、転倒までの時間を確保できていたが、複数回実験を繰り返すことにより、今回の対策工案①の2回目のような現象がリスクとして存在することが分かった。
- 転倒停止後の天端高では、リスクを負った2回目の実験結果においても、対策工案①の実験すべてで現況実験の天端高以上となっており、A区間-2での粘り強さの評価と同様に現況と比較して長期間にわたって津波の陸域への侵入を抑制していると評価できる。



堤防内に土砂はある程度残置しているが、攪拌され支持力を失っている可能性がある



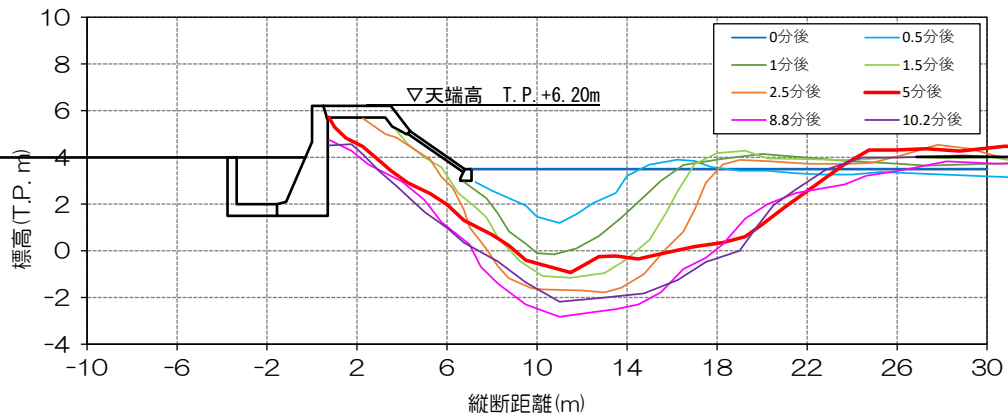
直立堤転倒開始時の裏法As被覆の飛散状況

転倒停止時の天端高		転倒停止時間
A区間-2 海側盛土	T.P.+5.3m	8.3分後
A区間-3 現況	T.P.+5.0m	
対策案 1回目	T.P.+5.6m	10.2分後
2回目	T.P.+5.7m	5.0分後
3回目	T.P.+5.3m	19.0分後

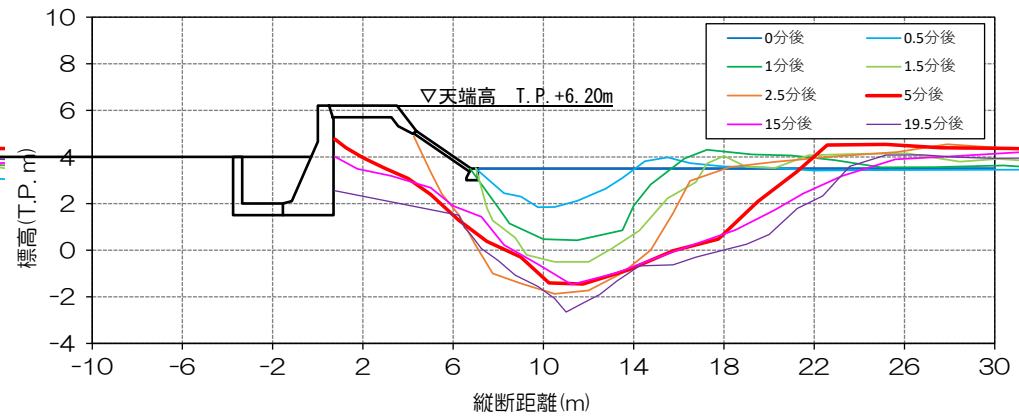
# 【参考】A区間-3(対策案)の洗掘形状比較

- A区間-3の対策案①に対して実施した3回の越流実験について、洗掘形状の経時変化を比較した。
- 1.5分後までは、各回の実験で洗掘形状に大きな違いは見られない。2回目の実験では、2.5分後の洗掘面がその他の2回と比較して急勾配になっている。

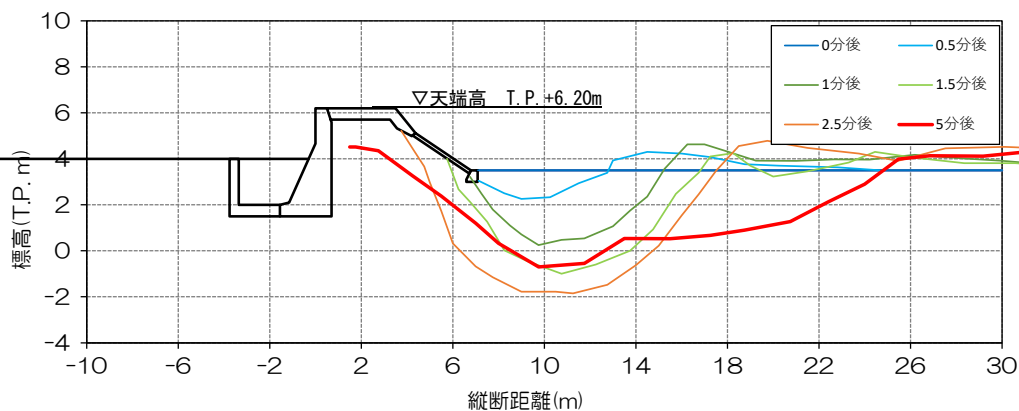
対策案 1回目



対策案 3回目



対策案 2回目



実験回数	直立堤転倒開始時間	直立堤転倒停止時間	5.0分後天端高
1回目	8.8分後	10.2分後	T.P.+6.2m
2回目	2.7分後	5.0分後	T.P.+5.7m
3回目	15.0分後	19.0分後	T.P.+6.2m

※時間は越流開始からの経過時間