

第10回 駿河海岸保全検討委員会

～住吉工区における粘り強い海岸堤防の構造検討～

令和2年3月3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・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」が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、L1を超える津波の対応として、早期に海岸堤防の粘り強さを確保する必要性が生じている。

（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】

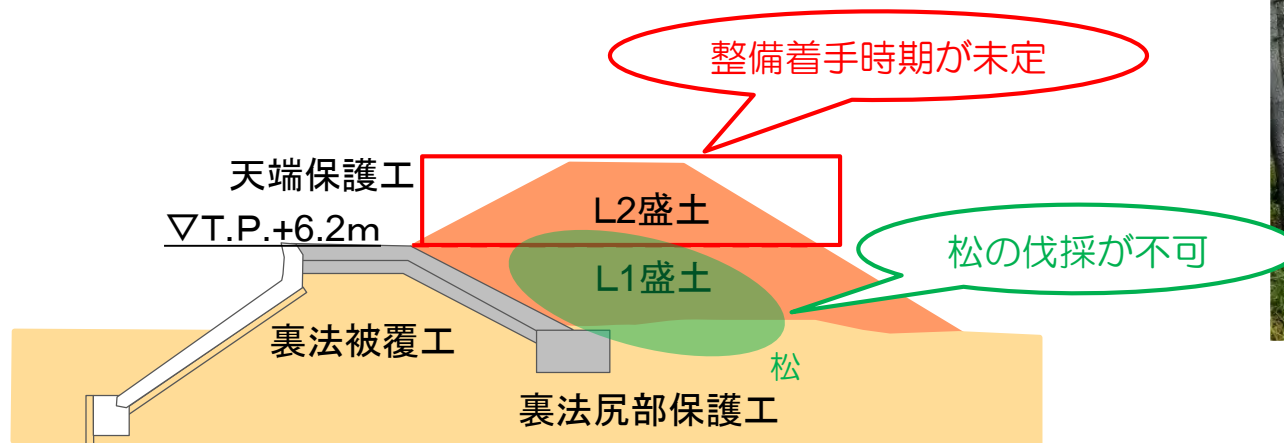
- 本検討において、①松の伐採等を行わない範囲で対応可能な粘り強い海岸堤防構造（案）を設定し、②その構造における効果の評価及び設計のためのデータ収集を水理模型実験により実施する。



A区間



C区間



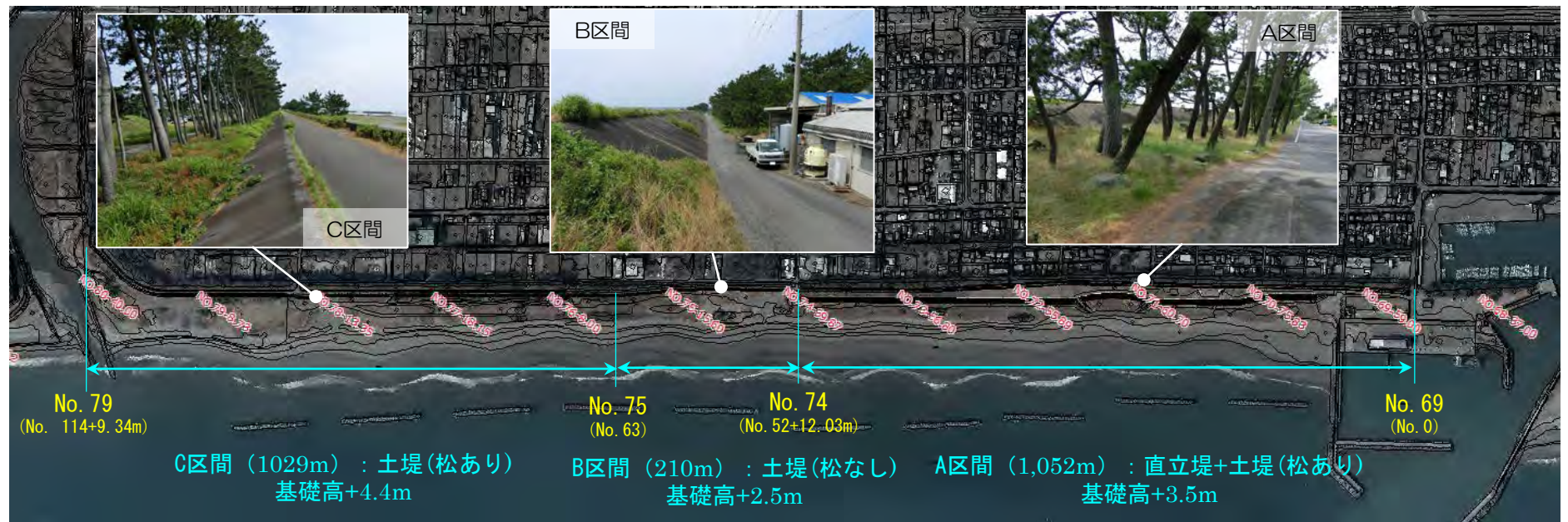
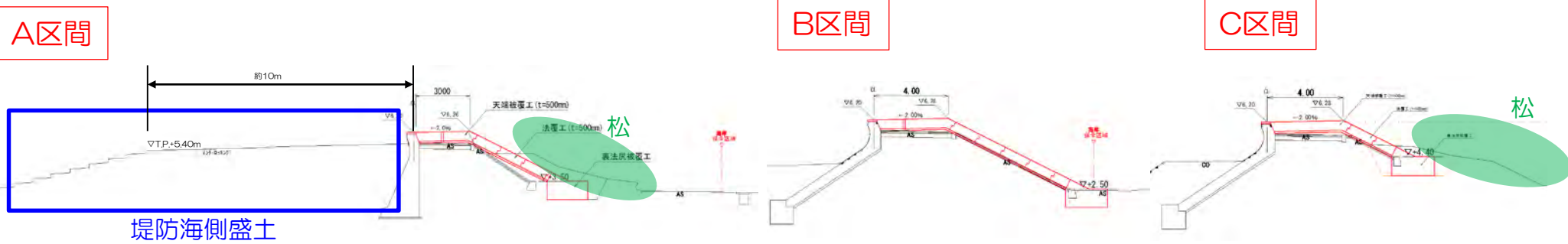
住吉工区の堤防裏法面の松の状況

2. 対象工区内の区間の分類

・検討の対象の住吉工区内を松の有無、構造、基礎高の違いにより3区間に分類される。

【区間別の特徴と課題】

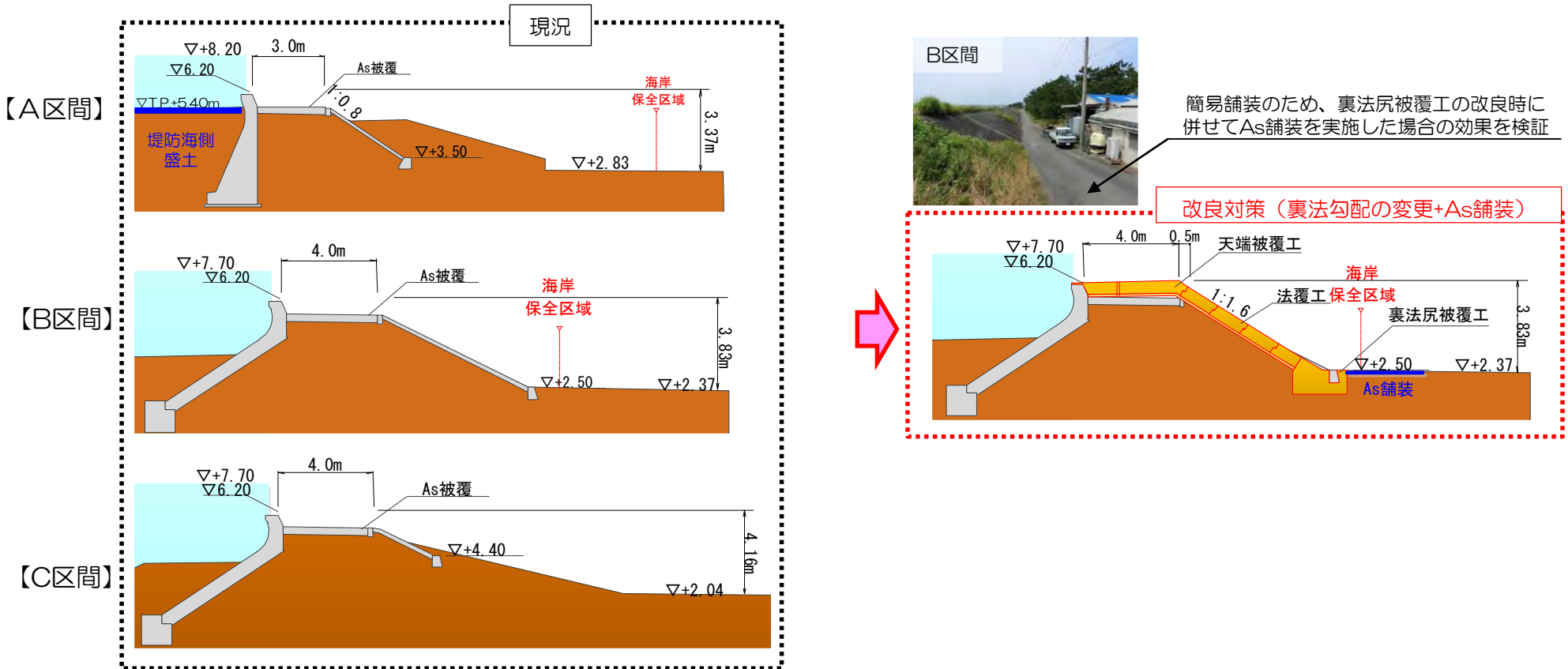
- (A区間) 直立堤+土堤 **松あり** 基礎高+3.5m : 裏法面~裏法基礎工が松の範囲に重なり、松の撤去が必要となる
※堤防海側に天端幅約10m盛土 (T.P.+5.40m) が設置されている。
- (B区間) 土堤 **松なし** 基礎高+2.5m : 海岸保全区域が狭く、裏法基礎工が海岸保全区域内に収まらない
- (C区間) 土堤 **松あり** 基礎高+4.4m : 裏法面~裏法基礎工が松の範囲に重なり、松の撤去が必要となる



住吉工区の区間分類と区間ごとの課題

2. 実験計画(②検討対象構造の設定)

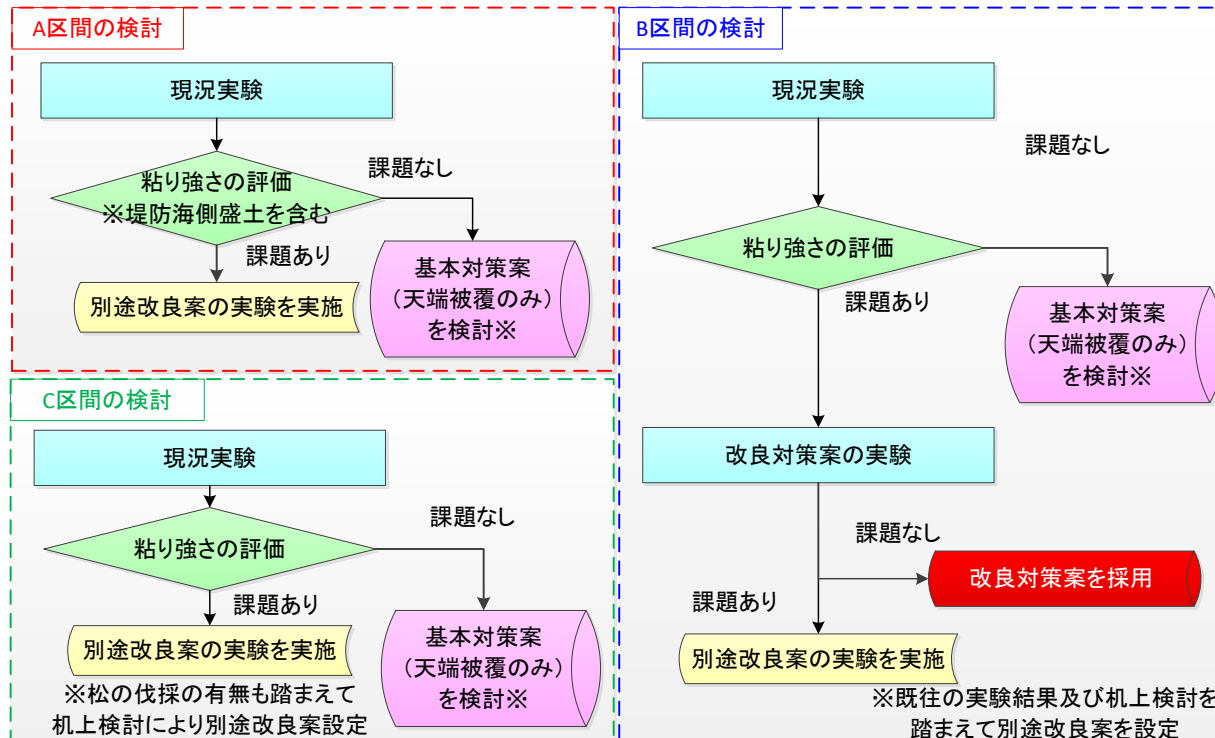
- 【A区間】 「堤防海側盛土」に加えた現況構造における粘り強さの評価・構造弱部の把握を実施
 ➤現況構造で堤防海側盛土が高さを保持できない場合には、**制約範囲内で可能な対策案を改めて検討**
- 【B区間】 現況構造における粘り強さの評価・構造弱部の把握を実施
 ➤現況構造で十分な粘り強さを確保できない場合、改良対策として、海岸保全区域内に収めるため「基本構造の裏法勾配1:2.0を1:1.6とし、裏法尻被覆工背後にアスファルト舗装を設置した構造」の検討を実施
 ➤対策案でも十分な粘り強さを確保できない場合、既往の実験及び机上検討により改良対策案を再選定して、今後実験等で構造を決定
- 【C区間】 現況構造における粘り強さの評価・構造弱部の把握を実施
 ➤松の伐採の有無も踏まえて、机上検討により改良対策案を再選定して、今後実験等で構造を決定



2. 実験計画(③検討フロー)

【実験の検討フロー】

- (A区間) 現況での実験後、堤防海側盛土高の保持による粘り強さを含めて評価して、課題がない場合は「基本対策案（天端被覆のみ）」を採用、課題がある場合は別途対策案を検討
- (B区間) 現況での実験後、粘り強さを評価して、課題がない場合は「基本対策案（天端被覆のみ）」を採用、課題がある場合は、改良対策案を対象に実験を実施
改良対策案で課題がない場合は改良対策案を採用、課題がある場合は既往の実験及び机上検討により改良対策案を選定して、今後実験等で構造を決定
- (C区間) 現況での実験後、粘り強さを評価して、課題がない場合は「基本対策案（天端被覆のみ）」を採用、課題がある場合は、松の伐採の有無も踏まえて、机上検討により改良対策案を選定して、今後実験等で構造を決定



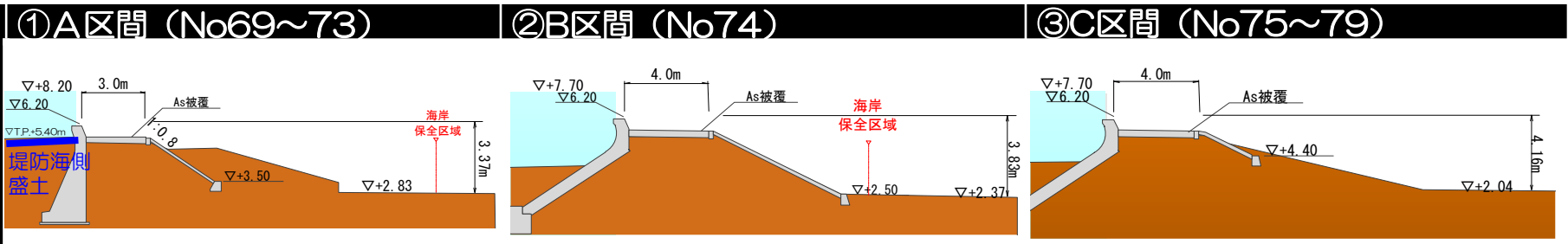
平成30年3月の第7回委員会において、「実験では天端・裏法アスファルトは最大越流時間で損壊していないが、東日本大震災時にはアスファルト構造部において欠落・損壊が確認されていることから、天端及び裏法面についても併せて補強する」という方針としたため、現況で安定した場合においても天端保護工は設置する。

東日本大震災時のアスファルト舗装の被災状況

2. 実験計画(④実験条件の概要)

実験条件の一覧

| 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 |
| 越流水深 | 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 |
| 地盤地下水 | 実験越流水深 | 2.0m (8.0cm) | 1.5m (6.0cm) | 1.5m (6.0cm) |
| | 現地地盤地下水水位 | T.P.+0.82m※ | | |
| 基礎地盤 | 現地地盤高から差分 | -1.22m (-4.88cm) | -1.55m (-6.20cm) | -2.01m (-8.04cm) |
| | 土質条件 | 粒径：0.3mm 締固め有※ | | |



※H27~29年の実験条件を踏襲

2. 実験計画(⑤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ケースを想定している。
 (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 沖側盛土 | 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 | |

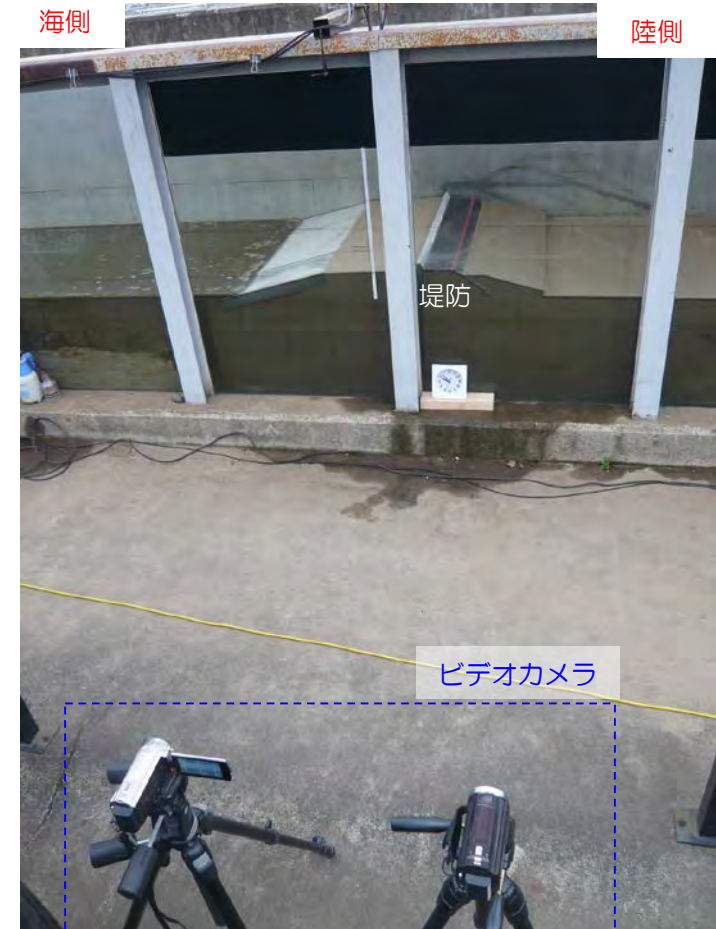
2. 実験計画(③実験での計測方法)

【計測方法】

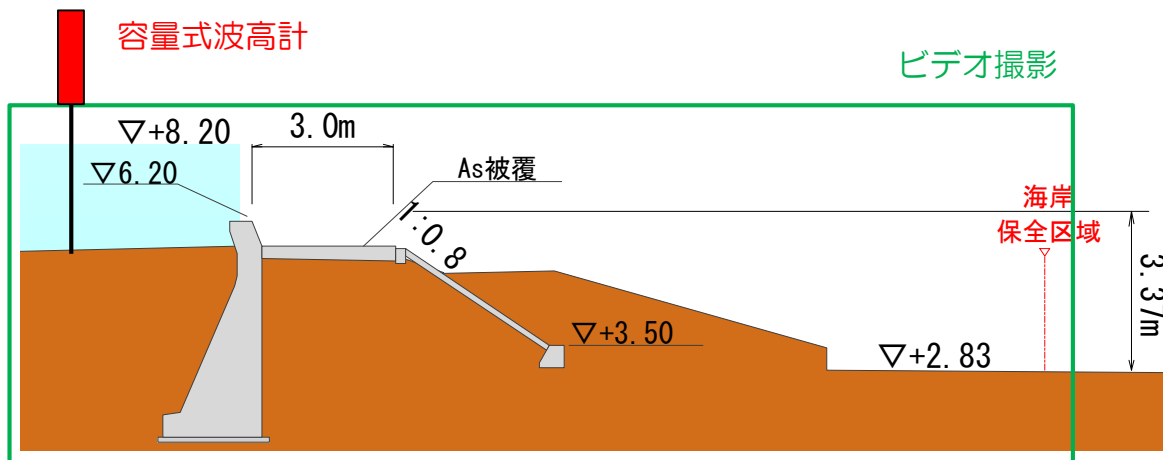
- 堤防前面の波高計測（容量式波高計：堤防前面）
- 裏法洗掘深・洗掘範囲の把握（撮影動画と記録時間による計測：堤防背後）



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. 実験計画(④実験結果の評価方法)

【粘り強さの評価方法】

- 他の工区の粘り強さ（破堤遅延時間3.0～5.0分）と同等の整備効果を発揮することを整備目標とするため、堤防の被災までの粘り強さ（破堤遅延時間）で評価 ※参考として最大越流時間約9.0分（540秒）時点までの堤防の変状過程を評価

<A区間の被災判定>

- 堤防海側盛土の天端高が低下した時点、擁壁が動いた時点を被災として評価

<B、C区間の被災判定>

- 以下の①、②の判定の中で、危険側の評価となる基準を用いて評価

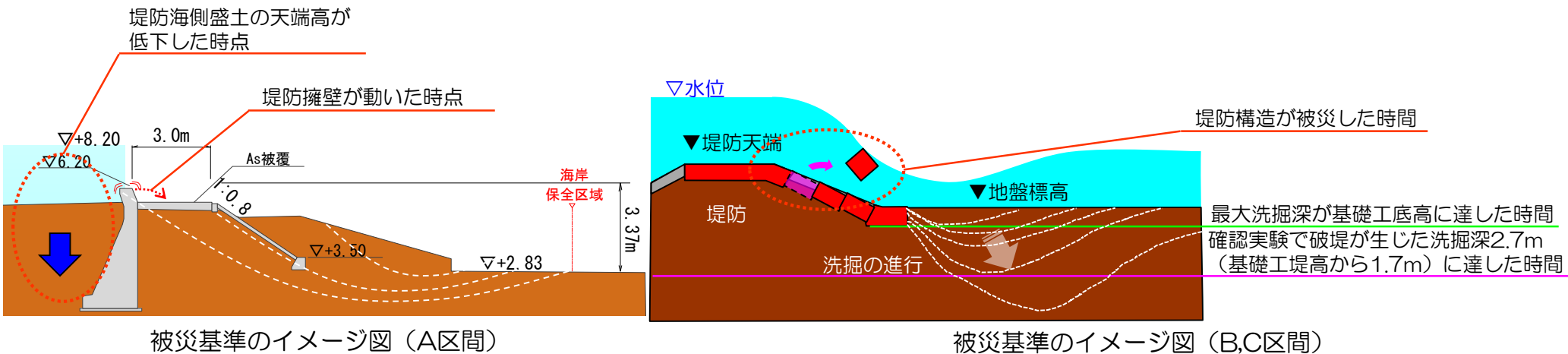
（被災判定①）堤防構造物の一部が被災・損壊した時間

（被災判定②）洗堀深が基準洗堀深に達した時間

基準洗堀深1：最大洗堀深が基礎工底高に達した時間

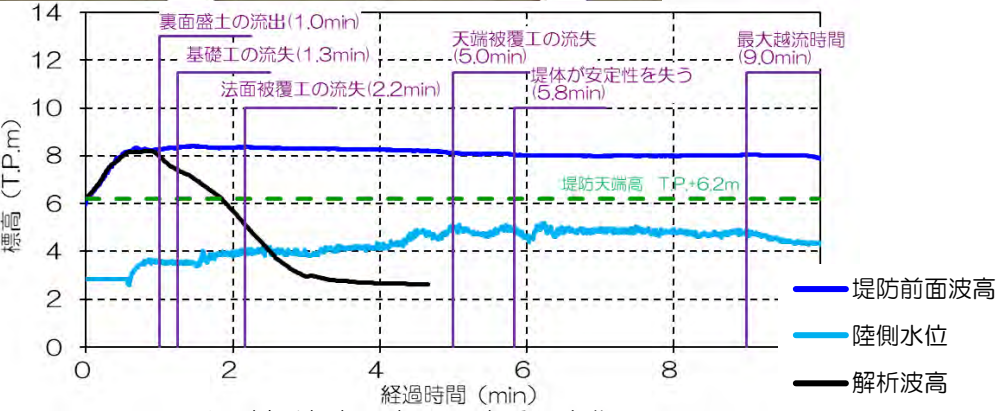
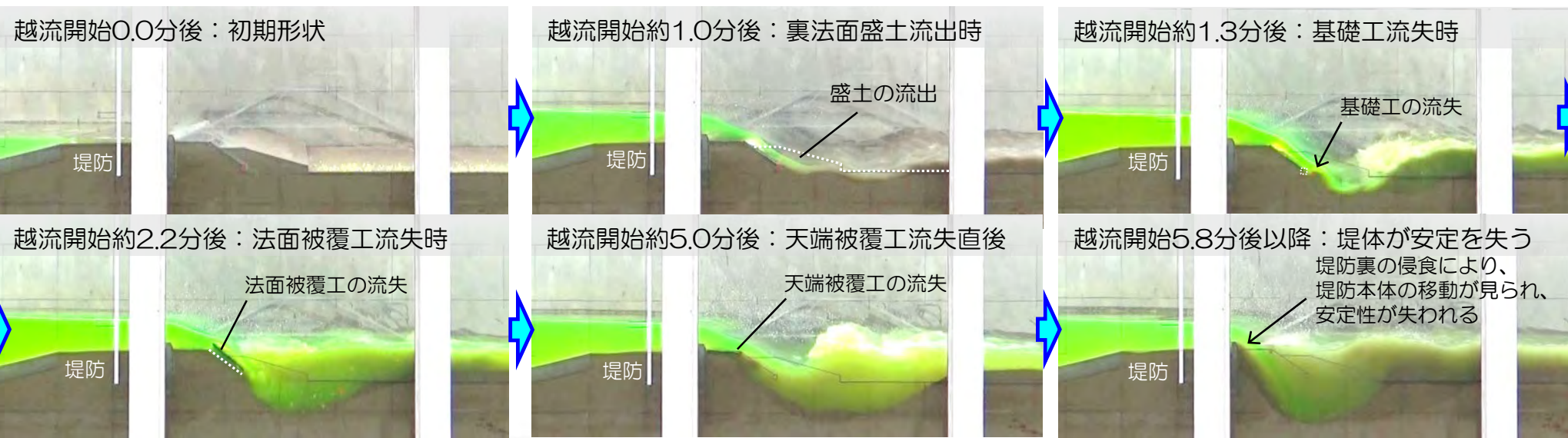
基準洗堀深2：最大洗堀深が平成28年に実施した確認実験で破堤が生じた基礎工底高から1.7mに達した時間

※被災判定②を用いた場合、粘り強さ（破堤遅延時間）は「基準洗堀深1に達した時間～基準洗堀深2に達した時間」という幅を持った評価とする。

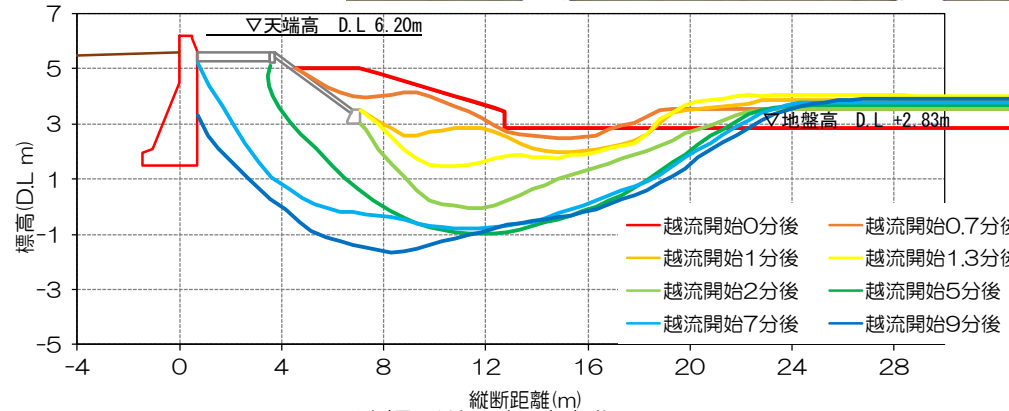


3. 実験結果(①caseA-1:A区間 直立堤+土堤 天端幅3.0m)

- 越水開始から約1.0分後に裏法面盛土が流出し、約1.3分後に基礎工が流失、2.2分後に法面被覆工が流失され、堤防裏法面が侵食された。
 - 5.0分後には天端被覆工の流失により堤防裏が侵食され、5.8分以降に堤防本体の移動が見られ、安定性が失われた。
※堤防本体は移動時に水路内に引っ掛かっているような傾向となっている
 - 堤防本体が転倒するまで、堤防海側盛土の天端高の極端な低下はない。
- 現況堤防構造は、堤防被災の判定を堤防天端被覆工の流失時点とした場合にも、目標とする破堤遅延時間3.0~5.0分と同程度の越流開始から5.0分の破堤遅延時間を確保できる。



堤防損壊時の流況の時系列変化



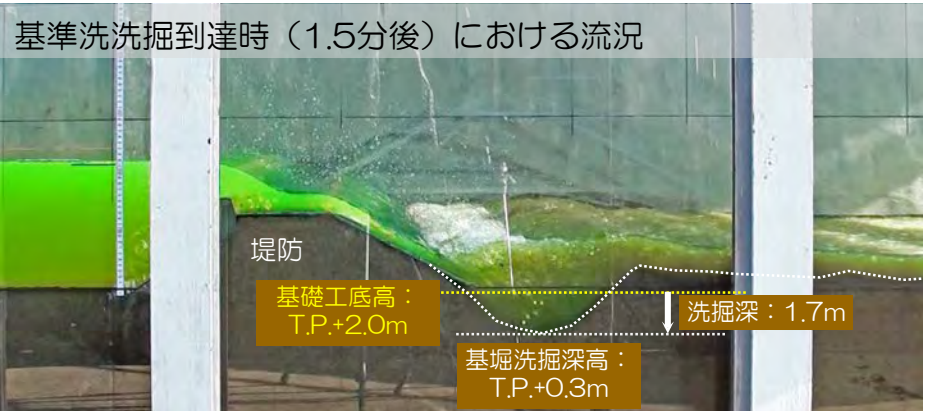
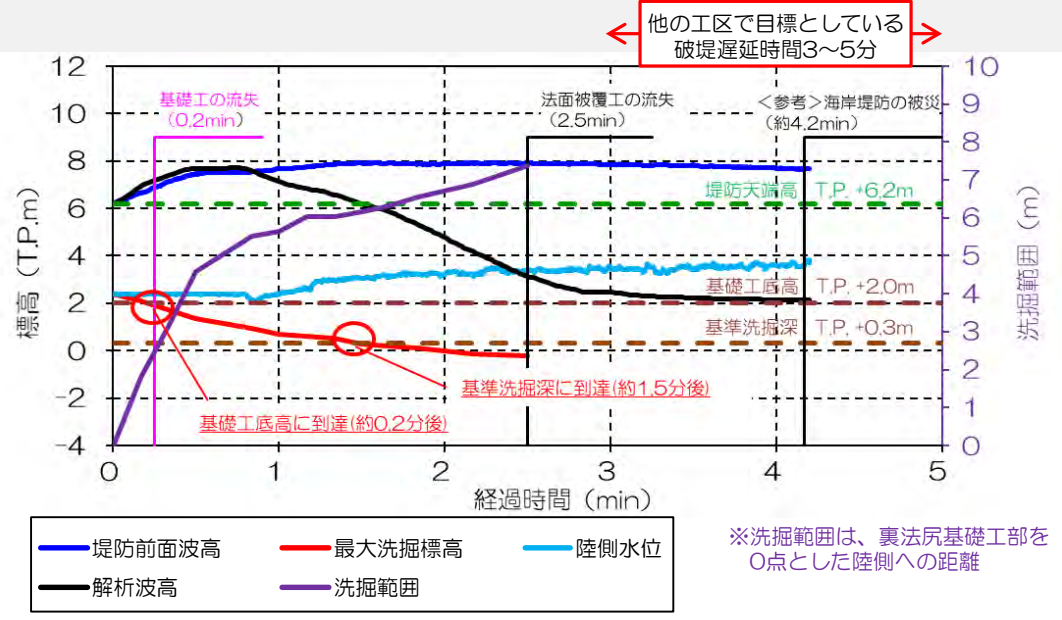
洗掘形状の経時変化

3. 実験結果(②caseB-1 B区間 土堤 天端幅4.0m)

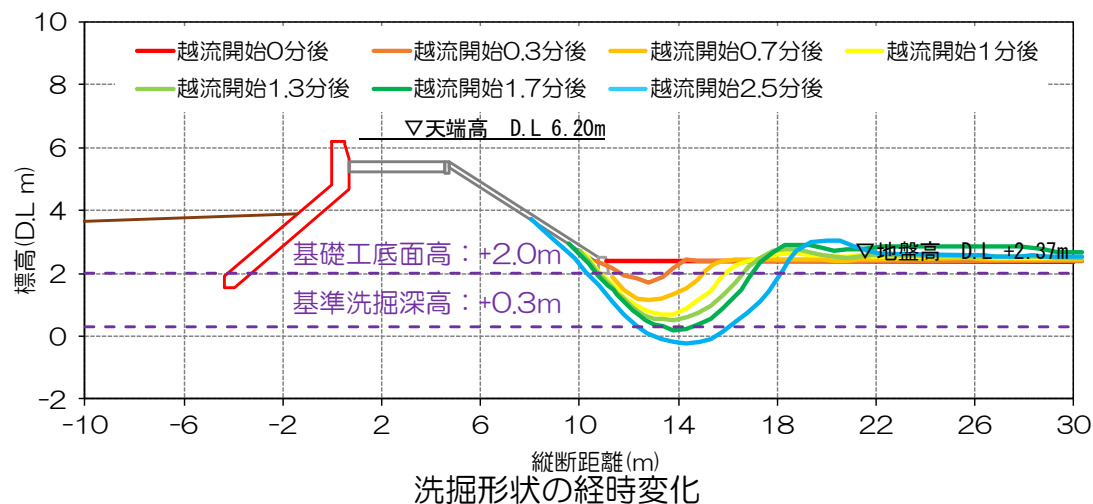
- 越流開始後、0.2~0.3分で洗掘深が堤防裏法基礎工底高に到達し、ほぼ同時に基礎工が流失する。
- 基準洗掘深に到達するまでに基礎工が流失して被災するため、参考値となるが洗掘深による粘り強さ(破堤遅延時間)は0.2~1.5分となり、海岸堤防の転倒は4.2分後となる。
- 他の工区で目標としている破堤遅延時間3.0~5.0分と比較して、粘り強さ(破堤遅延時間)が大幅に不足しているため、対策の検討を行う必要がある。



堤防(裏法戻基礎工)損壊時の流況及び洗掘状況

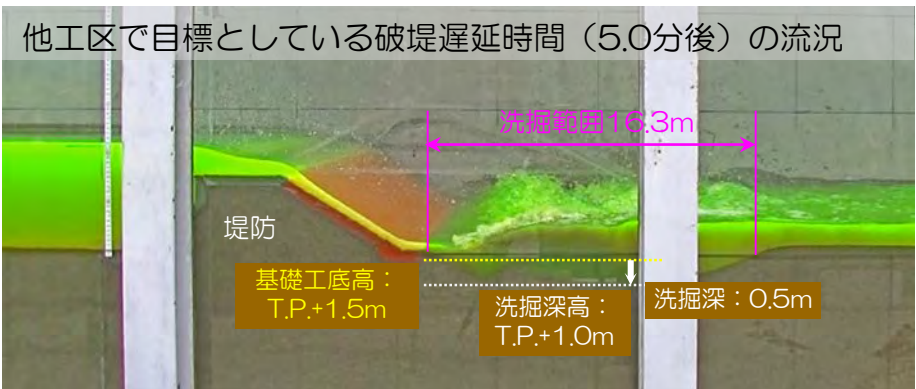


基準洗掘深到達時における堤防及び背後地の洗掘状況

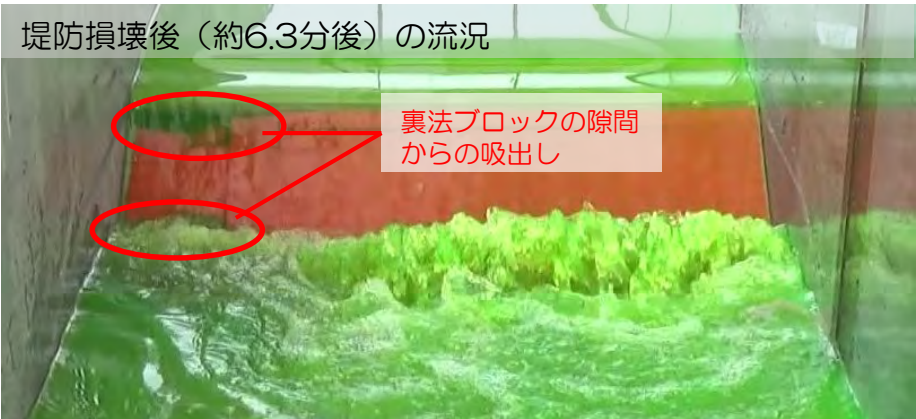


3. 実験結果(③caseB-2 B区間 改良対策案 土堤 天端幅4.0m)

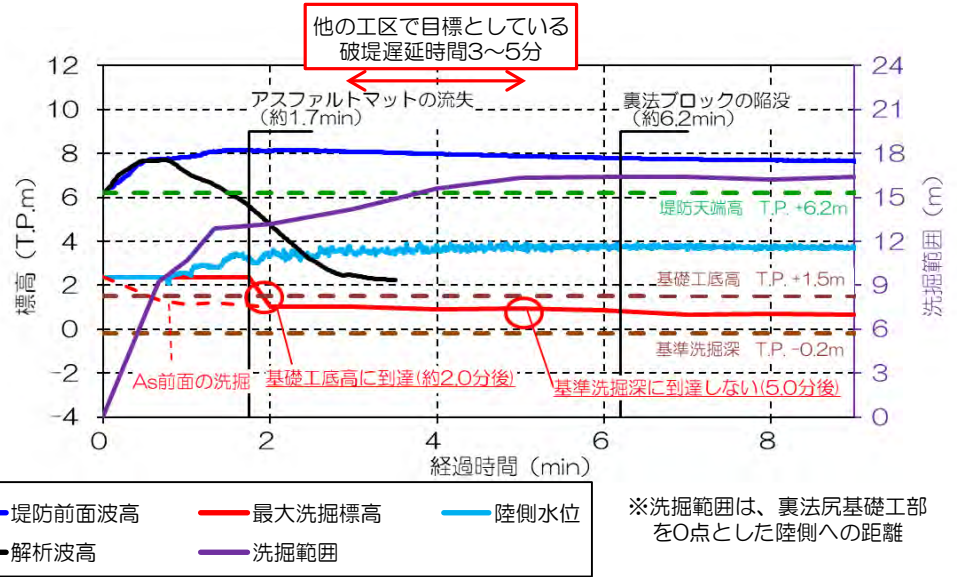
- 洗掘深は越水開始から約2.0分後に基礎工底高まで達するが、基準洗掘深までは達しない。
 - 越水開始から約6.2分後に基礎工が少し移動し、基礎工と裏法ブロックの隙間から土砂が吸出され、裏法ブロック陥没が発生する。
 - 洗掘範囲は時間経過に伴って増加し、基礎工部から約16.5m区間まで拡大し安定する。
- 洗掘深による評価では粘り強さ（破堤遅延時間）が2.0分以上となり、堤防構造の被災による評価では粘り強さ（破堤遅延時間）が6.2分程度になるため、粘り強さ（破堤遅延時間）は2.0分～6.2分となる。



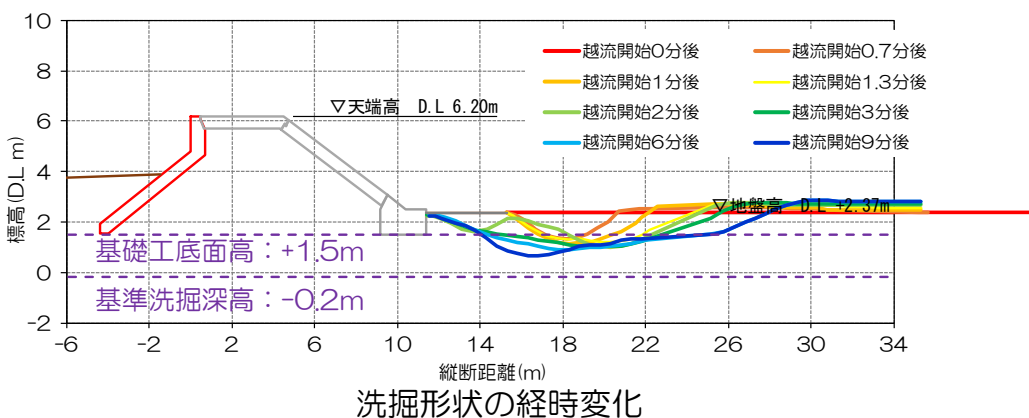
越流開始5.0分後における堤防及び背後地の洗掘状況



堤防損壊時における堤防法面の状況



堤防（裏法尻基礎工）損壊時の流況及び洗掘状況

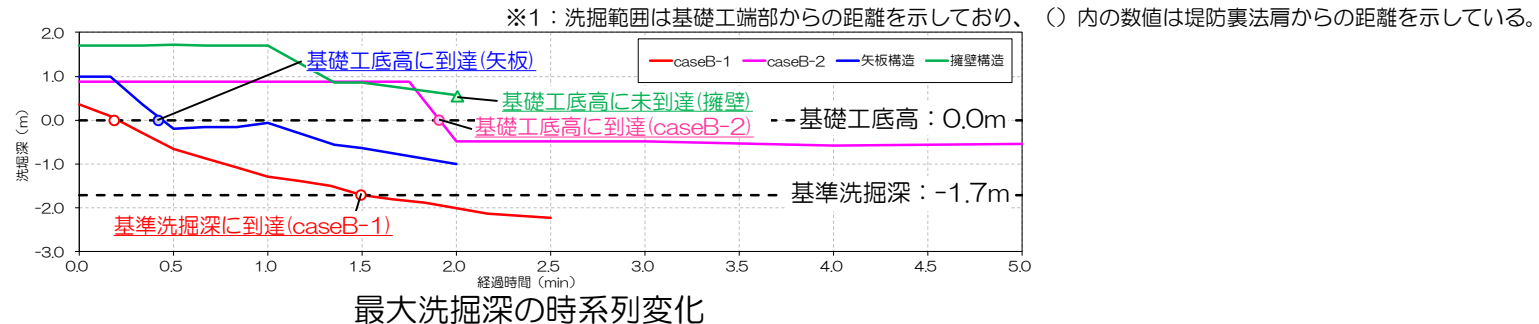


洗掘形状の経時変化

3. 実験結果(既往検討との比較<②caseB-1、③caseB-2>)

・平成29年度の検討と本年度の検討では越流水深や比高差が異なるため単純な比較はできないが、粘り強さ（破堤遅延時間）は平成29年度の「矢板構造」「擁壁構造」の方が本年度の「改良対策案」と比較して大きい傾向となっている。

| 評価項目 | | 本年度の検討 | | 平成29年度の検討 | |
|------|------------------------------|---------------|--|---|---|
| | | caseB-1 | caseB-2 | 矢板構造 | 擁壁構造 |
| | | 【現況】 | 【改良対策案】 天端被覆＋裏法ブロック被覆 ＋裏法戻保護工＋As舗装 | 【矢板基礎構造】 天端被覆＋裏法ブロック被覆 ＋矢板基礎工 | 【擁壁構造】 天端被覆 ＋擁壁＋洗掘防止工 |
| | | | | | |
| 実験条件 | 裏法勾配 | 1:2.0 | 1:1.6 | 1:1.5 | 1:0.5 |
| | 比高差 | 3.83m | 3.83m | 4.2m | 4.2m |
| | 実験越流水深 | 1.5m | 1.5m | 1.0m | 1.0m |
| 実験結果 | 基礎工底高への到達時間 | 約0.2分 | 約2.0分 | 約0.5分後 | 到達しない |
| | 基準洗掘深への到達時間 (基礎工底高から1.7m) | 約1.5分 | 到達しない | 到達しない | 到達しない |
| | 洗掘範囲※1 | 7.4m (13.7m) | 16.5m (23.4m) | 5.8m (12.7m) | 3.8m (9.0m) |
| | 堤体の被災 | 0.2分に基礎工流失 | 6.2分に裏法ブロックの被災 | 被災なし | 被災なし |
| 評価 | 粘り強さ | 0.2分～1.5分 | 2.0分～6.2分 | 0.5分～50分以上 | 50分以上 |
| | 備考 | 粘り強さは洗掘深による評価 | 越流開始から約6.2分後に基礎工の移動・裏法ブロックの被災が発生する | 越流開始から50分後でも堤防模型は損壊していないことから、十分な破堤遅延の効果を有する | 越流開始から50分後でも堤防模型は損壊していないことから、十分な破堤遅延の効果を有する |

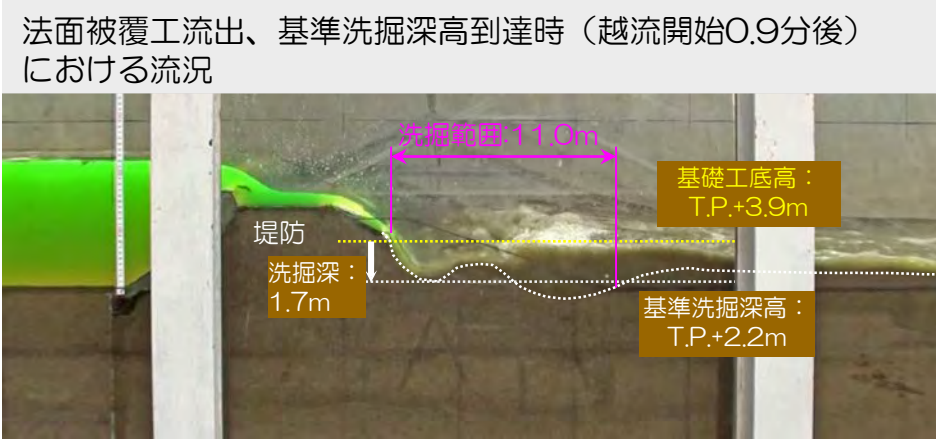
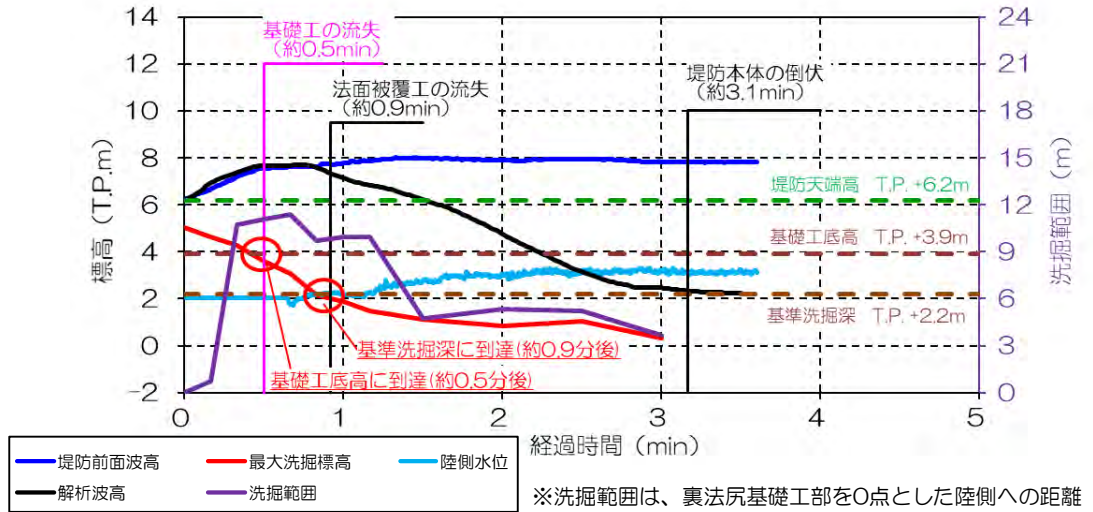


3. 実験結果(④caseC-1 C区間 土堤 天端幅4.0m)

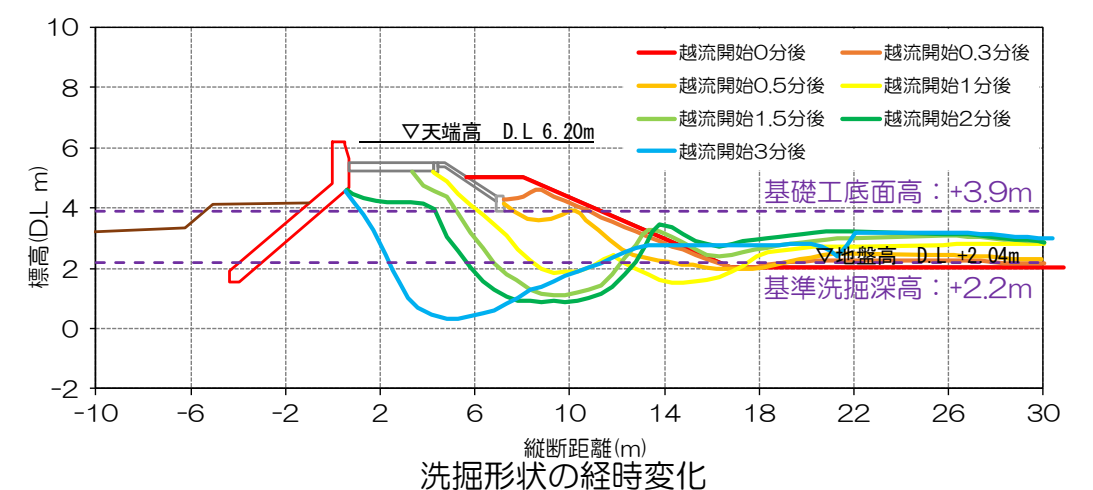
- 越水開始から約0.5分後に裏法尻基礎工が転倒・流失し、ほぼ同時に基礎工底面高に到達する。
- 越水開始から約0.9分後に法面被覆工が流失し、ほぼ同時に基準洗掘深高に到達する。
- 約3.1分後以降から堤防本体の安定性が失われる。
- 現況堤防構造では、基礎工の流失時間の0.5分を粘り強さ（破堤遅延時間）として評価する。
- 他の工区で目標としている破堤遅延時間3.0～5.0分と比較して、粘り強さ（破堤遅延時間）が大幅に不足しているため、対策の検討を行う必要がある。



堤防（裏法尻基礎工）損壊時の流況及び洗掘状況



堤防（法面被覆流出時）損壊時の流況及び洗掘状況



4. 実験結果のまとめ

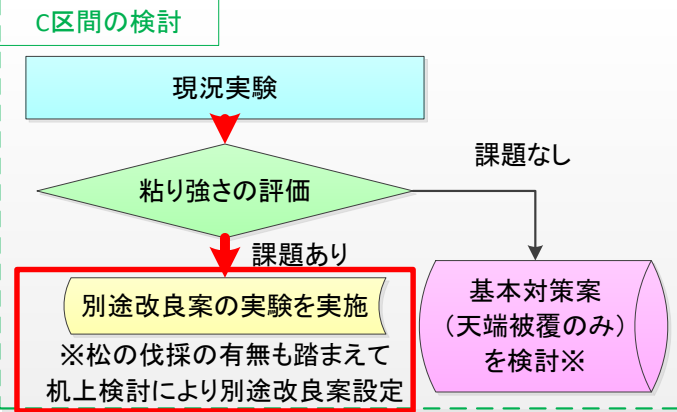
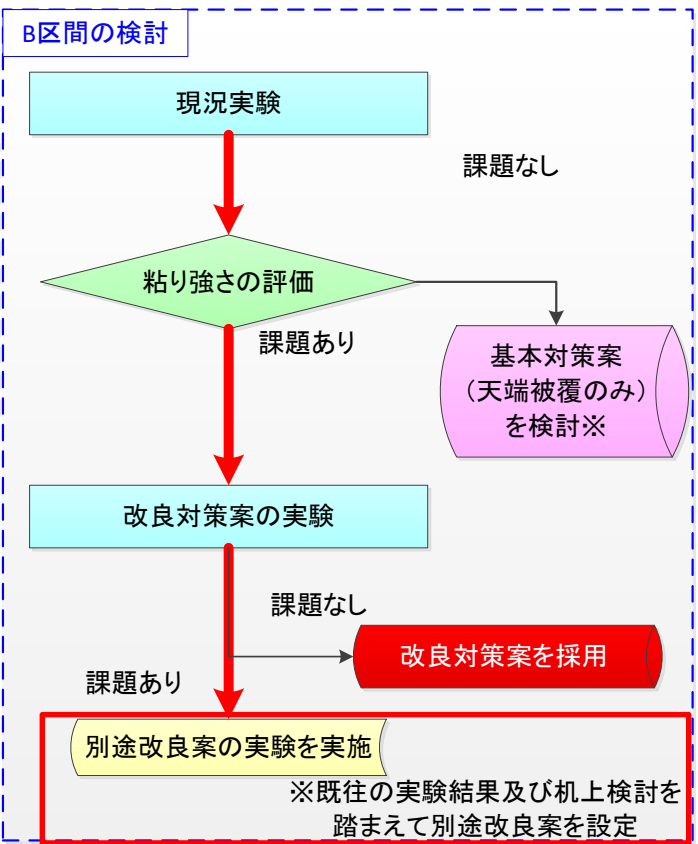
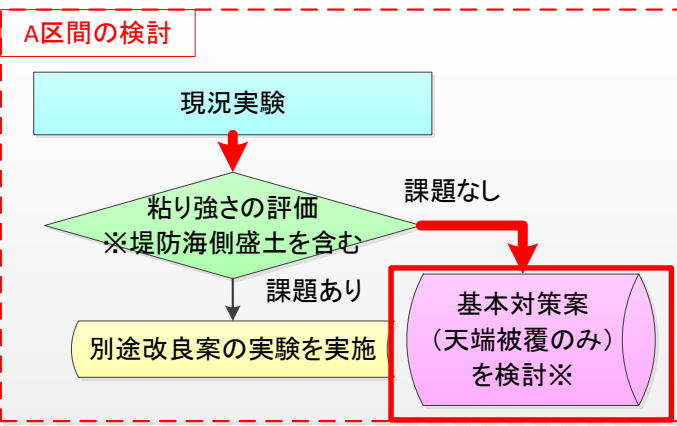
- 区間ごとの実験結果（破堤遅延時間、洗掘形状等）を整理し、各区間の粘り強さを評価した。
 - 【A区間】破堤遅延時間は5.0分程度となり、他の工区で設定している破堤遅延時間3.0~5.0分は確保できている。
 - 【B区間】現況構造では、十分な粘り強さを確保できない。また、改良対策案においても破堤遅延時間が2.0~6.2分と他の工区で設定している破堤遅延時間を確保できない可能性がある。※As舗装の剛性の再現性が低い（弱い）危険側の条件での結果
 - 【C区間】現況での破堤遅延時間は0.5分程度となり、他の工区で設定している破堤遅延時間3.0~5.0分を確保できない。

| 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 | | |
| | 【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 | | |
| | | | | | |
| 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：洗掘範囲は基礎工天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。

5. 今後の方針

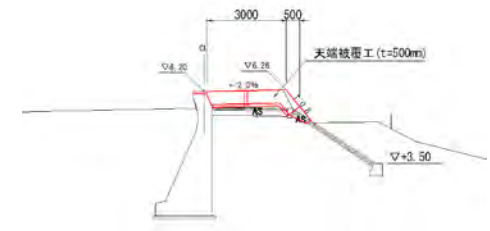
- 各区分ごとの実験結果から今後の対策の方針を以下のように設定した。
 - 【A区分】他の区分で設定している破堤遅延時間3.0~5.0分は確保できているため、「基本対策（天端被覆のみ）」を検討する。
 - 【B区分】改良対策案で他の区分で目標としている破堤遅延時間3.0~5.0分を確保できないため、既往の実験及び机上検討により改良対策案を再選定して、今後実験で構造を決定する。 ※既往の実験で実施した「矢板構造」「擁壁構造」を含めた対策
 - 【C区分】他の区分で設定している破堤遅延時間3.0~5.0分を確保できないため、松の伐採の有無も踏まえて、机上検討により改良対策案を再選定して、今後実験等で構造を決定する。



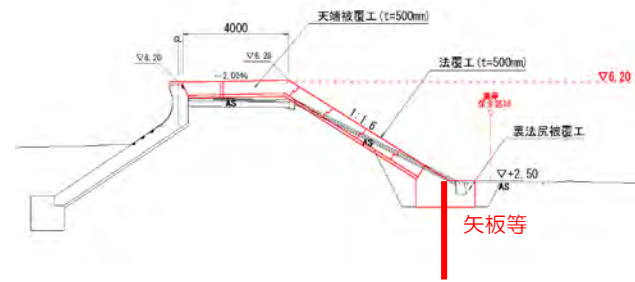
※基礎工位置が地盤高より高い場合の影響を確認する必要がある

※既往の矢板案を基本に他の案についても次年度以降に検討予定

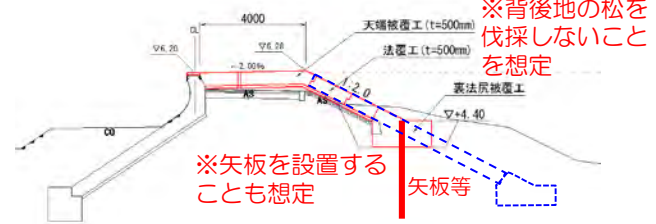
A区分：基本対策（天端被覆のみ）



B区分：想定される有力案



C区分：想定される有力案



※背後地の松を伐採しないことを想定

※矢板を設置することも想定

※地盤高程度に裏法尻被覆工を設置することも想定

実験結果を踏まえた今後の方針

区分ごとの堤防構造の有力案

6. 来年度実施予定の実験案

・本年度の検討結果を踏まえた来年度の実験案を以下に示す。

【A区間】「基本対策（天端被覆のみ）」を対象にして、実験の再現性を含め確認を実施する。

【B区間】既往の実験及び机上検討により改良対策案を選定（矢板案を想定）して、実験を実施する。

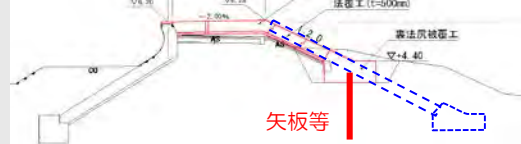
【C区間】松の伐採の可否を判断の上、机上検討により改良対策案を選定して、実験等*を実施する。

（背後の松の伐採を許容しない場合）

背後の松の伐採を行わず実施可能な改良対策案（堤防法肩部に矢板を設置する案を想定）で実験を実施する。

（背後の松の伐採を許容する場合）

基本構造＋矢板等の対策の実験で粘り強さを評価した上で、課題がある場合は地盤高程度まで裏法被覆工を設置する改良案を採用する。*松による洗堀軽減効果については、既往の論文等の知見を踏まえて判断する。

| | 検討の目的 | 堤防構造 | 越流水深 | 備考 |
|------|-----------|---------------|------|---|
| A区間 | 実験の再現性の確認 | 基本対策案（天端被覆のみ） | 2.0m |  |
| B区間 | 改良対策案の検討 | 改良対策案（矢板案を想定） | 1.5m |  |
| C区間1 | | （松伐採なし）改良対策案 | 1.5m |  |
| C区間2 | | （松伐採あり）改良対策案 | 1.5m |  |

来年度実施予定の実験（案）とイメージ