

T.P.+8.2m区間の堤防構造の検討実験
～ 現況実験の結果と今後の方針 ～

平成29年11月7日

国土交通省中部地方整備局
静岡河川事務所

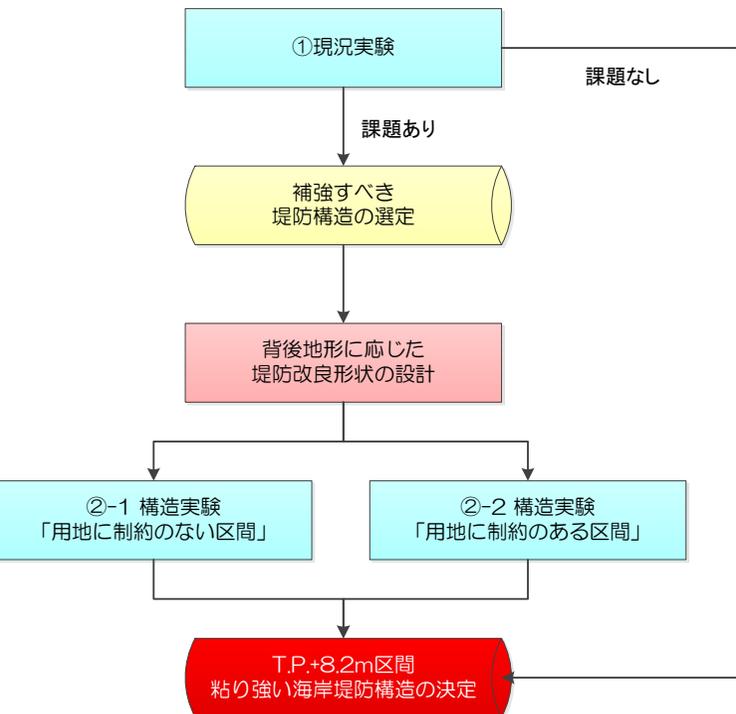
1. 検討の背景・目的と検討フロー

【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、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）においては、粘り強い海岸堤防の構造が確認されていない。

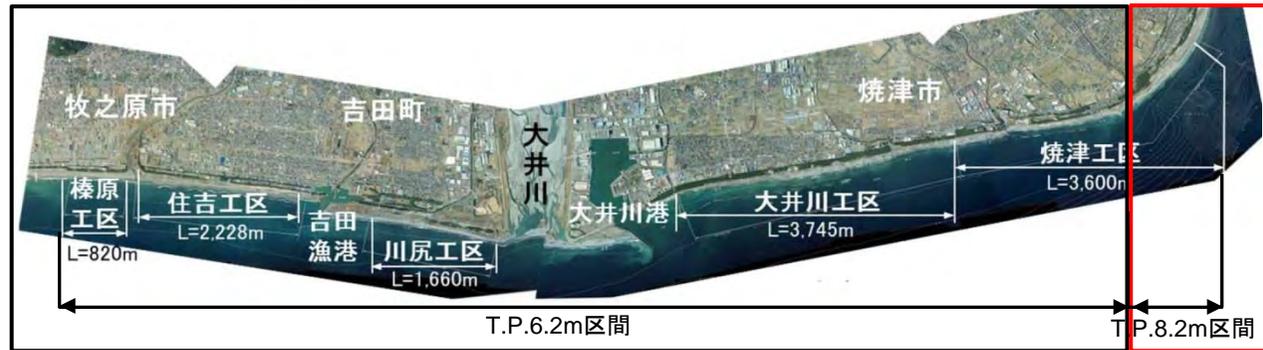
【検討の目的】

- T.P.+8.2m区間は、T.P.+6.2mでの海岸堤防+盛土（L1以下盛土、越流する・しない計上の盛土）での粘り強い構造検討と異なり、背後の盛土なし、また背後の用地（海岸保全区域）が限られる区間があり、裏法尻部の構造、裏法勾配など、構造の工夫が必要となることから、本年度、新たな構造検討を行うものである。



T.P.+8.2m区間（堤防のみ）の粘り強い海岸堤防の検討フロー

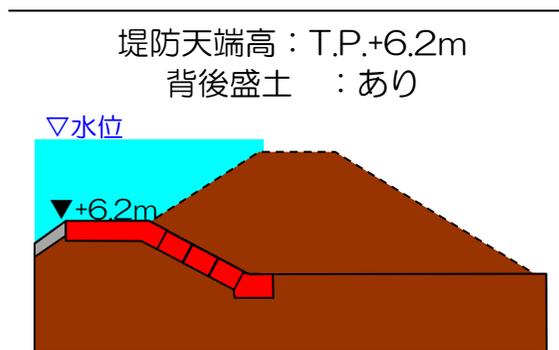
H28年度の検討範囲



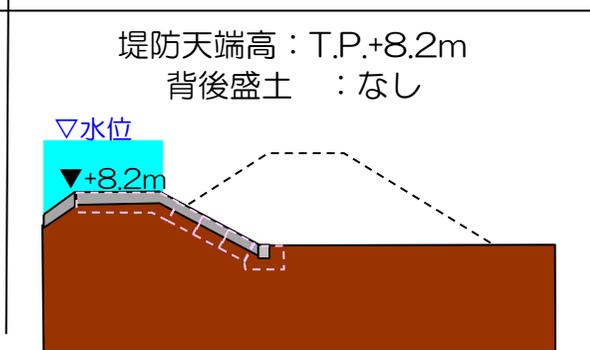
本年度の検討範囲

H28年度の検討範囲と本年度の検討範囲

H28年度の検討条件



本年度の検討条件



H28年度の検討条件と本年度の検討条件

| | | 平成28年度の実験条件等 | | 今回の実験条件等 |
|------------|-----------|--|-------------------|---|
| 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) |
| | | | | |
| 堤防形状 | 比高 | 4.0m | 3.0m | 3.0m |
| | 盛土 | あり | あり | なし |
| | 堤防形状 | 「沖側法面部」「天端部」「裏法部」「根固め工部」の4部材で再現 ※裏法部はブロック構造 | | 「沖側法面部」「天端部」「舗装止工部」「裏法部」「根固め工部」の5部材で再現 ※裏法部はアスファルト舗装 |
| 越流水深 | 解析越流水深 | 1.1m | 1.9m | 0.6m |
| | 実験越流水深 | 1.5m (6.0cm) | 2.0m (8.0cm) | 1.0m (4.0cm) |
| 地盤 地下水位 | 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 | -3.06m (-13cm) | -4.56m (-19cm) | -5.36m (-22cm) |
| 基礎地盤 | 土質条件 | 粒径：0.3mm 締固め有 | | 粒径：0.3mm 締固め有 |

3.実験結果の評価

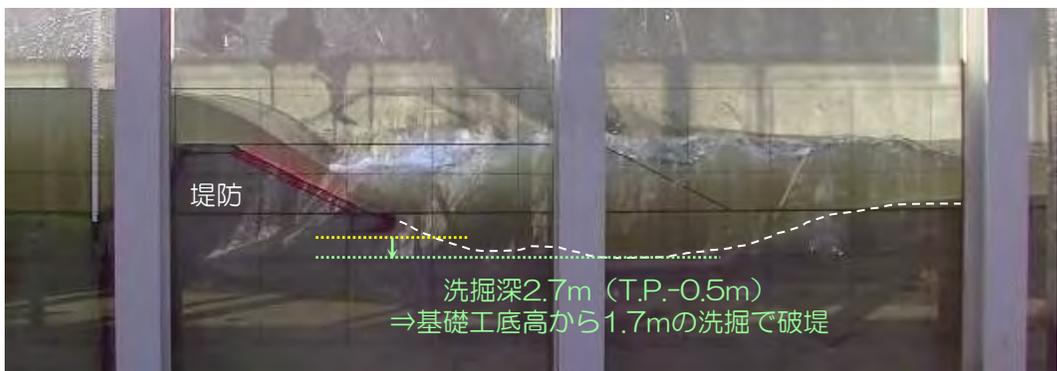
・現況実験の結果の評価は、H28実験結果を参考に「①破堤遅延時間」と「②堤防破堤までの変状過程」の2項目で実施

①破堤遅延時間

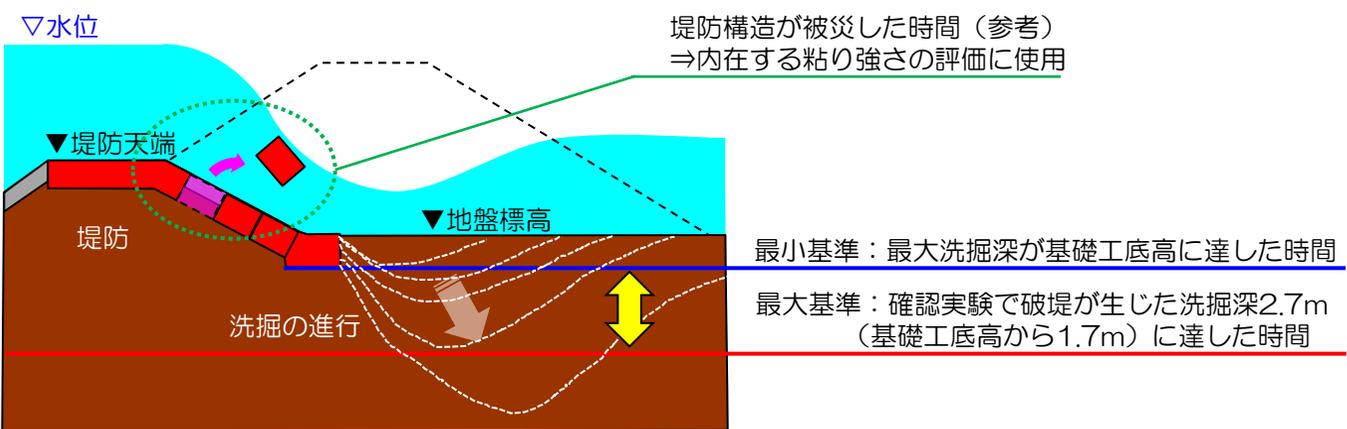
- ・平成28年度の実験で設定した「洗掘深による破堤基準」を用いて評価
- 本実験での破堤遅延時間が最大越流時間81秒（1.4分）以上となるか判定

②堤防破堤までの変状過程

- ・主に現況実験において、堤防破堤までの過程を把握して構造弱部の評価
- 上記、破堤遅延時間での経時変化を捉え、補強すべき箇所を設定



確認実験による最大破堤基準洗掘深の設定



各破堤基準のイメージ図

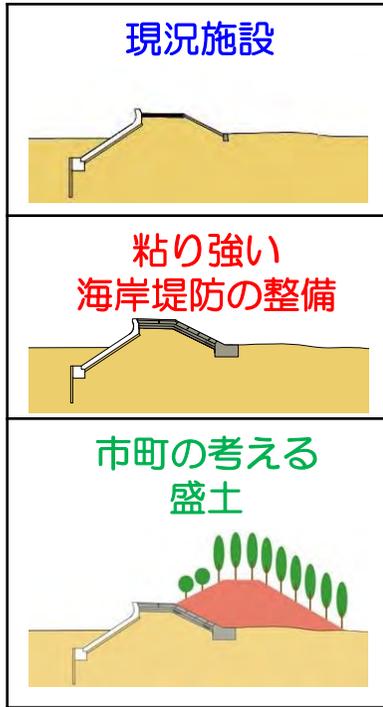
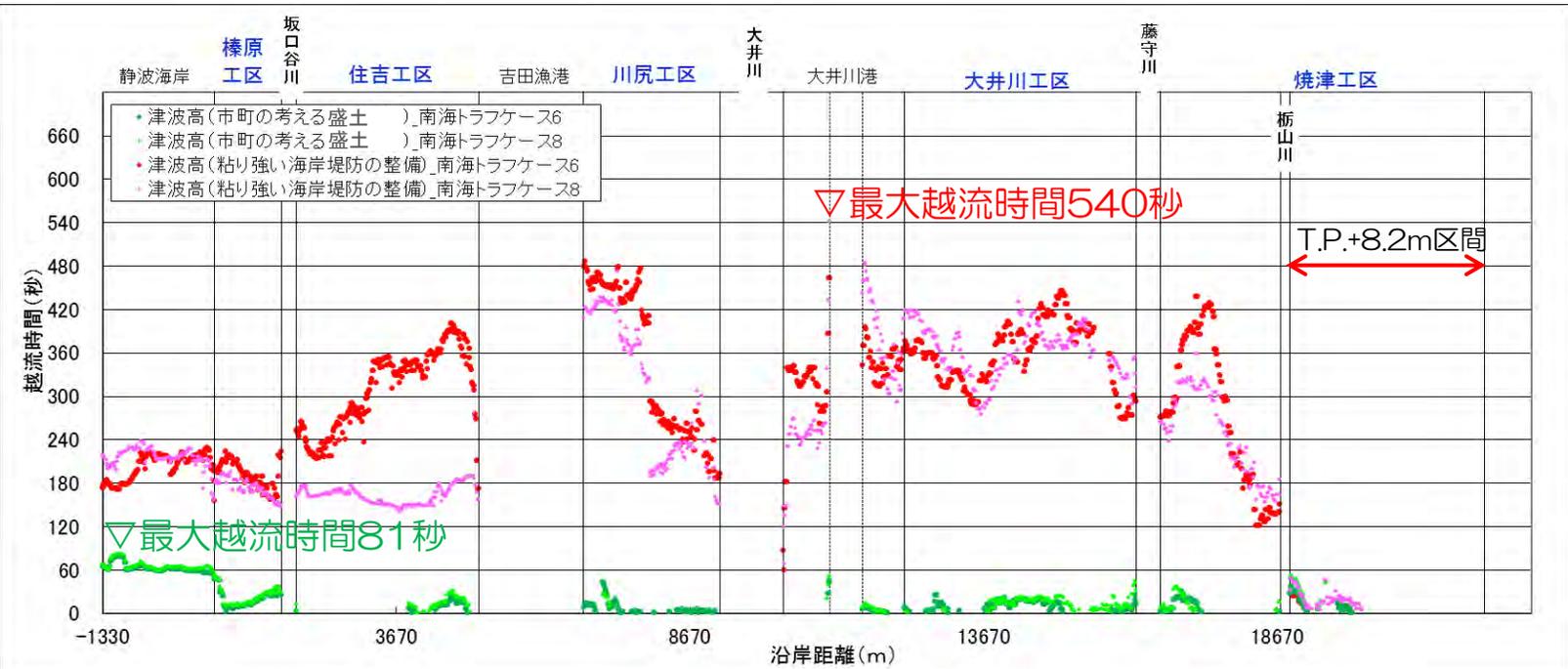


堤防破堤までの変状過程のイメージ

【参考】実験結果の評価

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秒程度の越流時間が想定される。市町の考える盛土を行った場合では、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

※「市町の考える盛土」では海岸堤防の直後破堤は想定していない

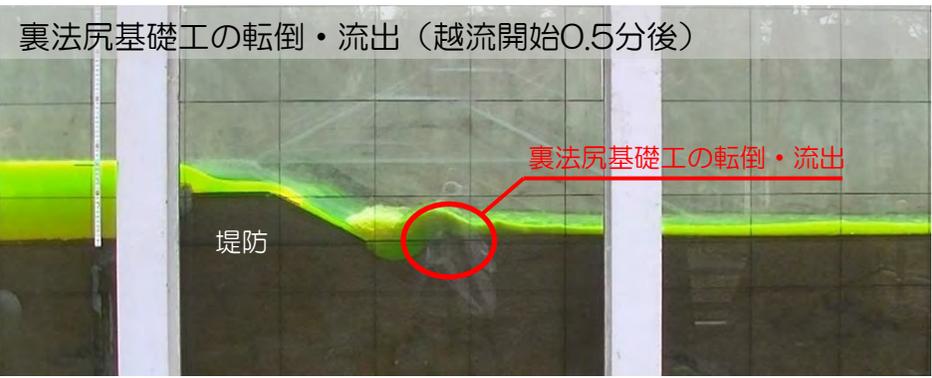
4.現況実験の結果

(破堤遅延時間)

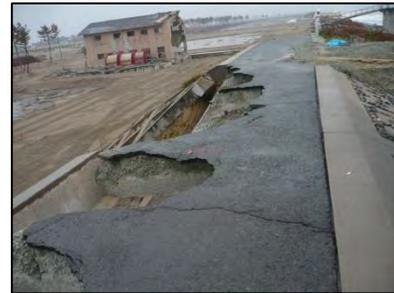
- ・越水開始から約0.5分後(約5秒後)に裏法尻基礎工が転倒・流出し、堤防が損壊する。
 - ・洗掘深は越水開始から約0.4分後に基礎工底高まで達し、約1.2m程度に達した時点で安定する。 ※被災基準洗掘深まで達しない
- 最大越流時間(1.4分後)までに裏法尻基礎工が被災しており、対策を行う必要がある。

(破堤時の弱部の評価)

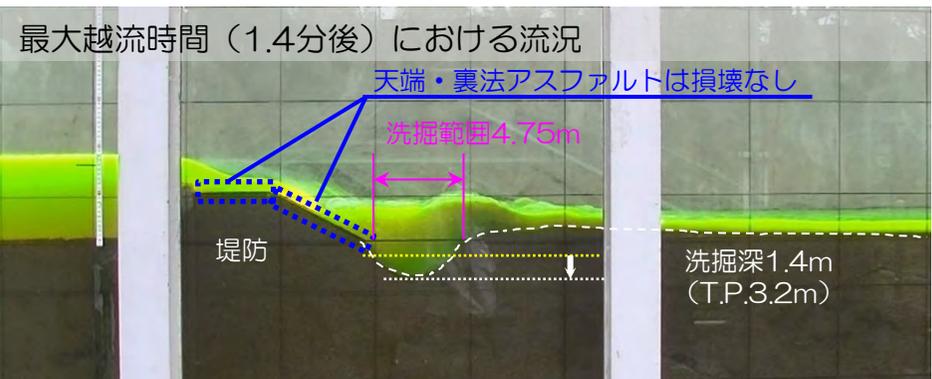
- ・懸念された天端や裏法面からの損壊は生じず、裏法尻基礎工から堤防の損壊が始まる。
- 裏法尻基礎工部が構造的な弱部となるため、補強を行う必要がある。
- 実験では天端・裏法アスファルトは最大越流時間で損壊していないが、東日本大震災時にはアスファルト構造部において欠落・損壊が確認されていることから、天端及び裏法面についても併せて補強する。



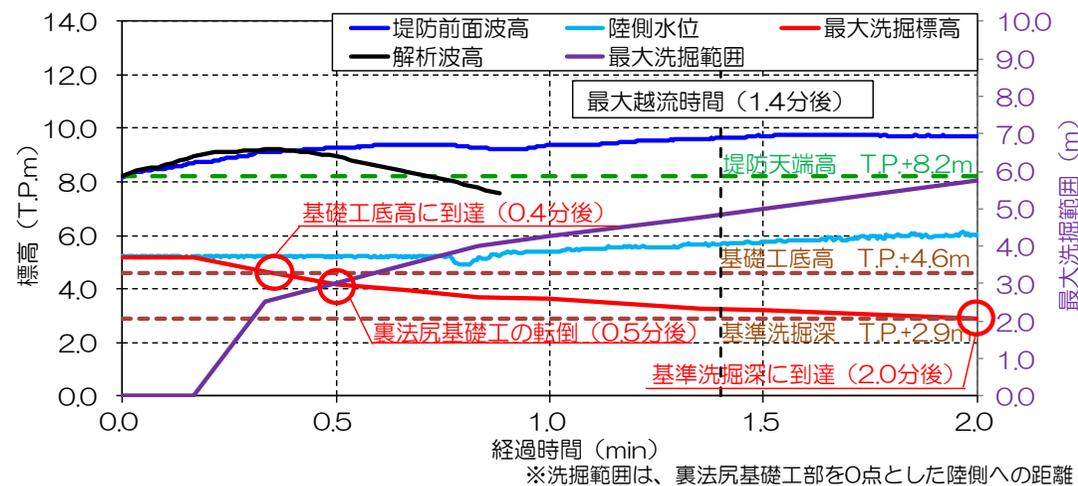
堤防(裏法尻基礎工)損壊時の流況及び洗掘状況



東日本大震災時のアスファルト構造部の被災状況

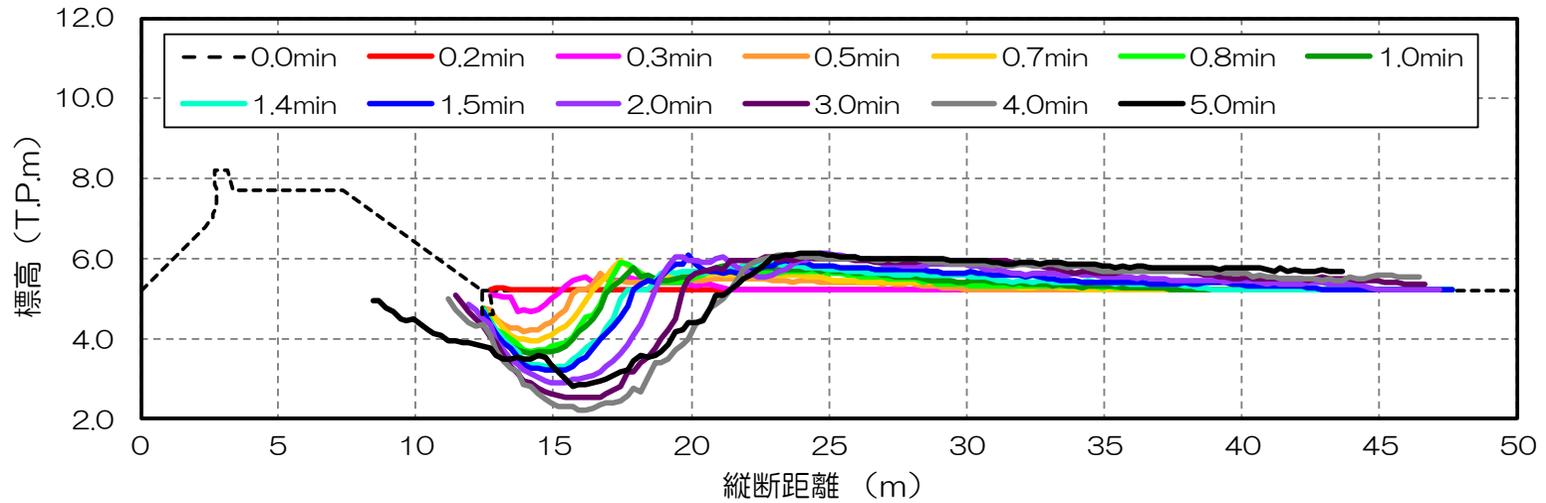


最大越流時間における堤防及び背後地の洗掘状況

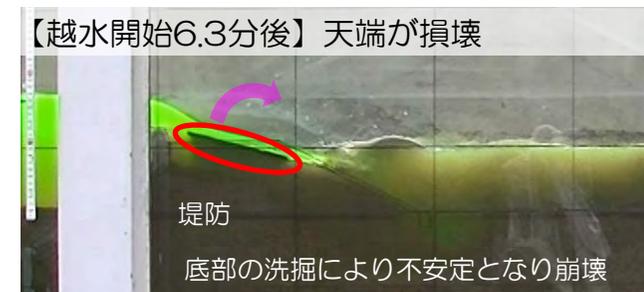
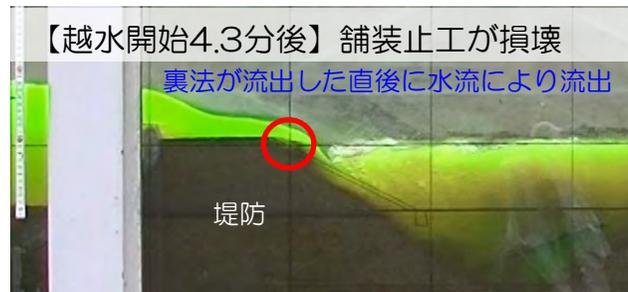
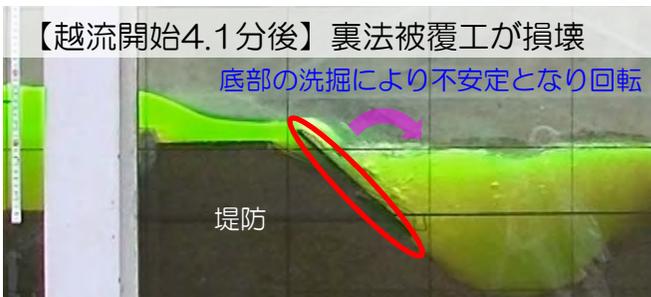
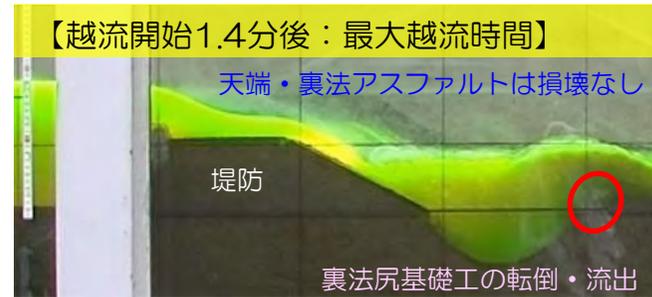
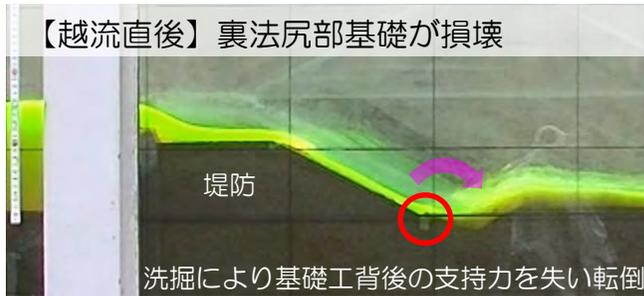


堤防(裏法尻基礎工)損壊時の流況及び洗掘状況

4.現況実験の結果



洗掘状況の時系列変化



現況実験の経時変化

5. 今後の検討方針

(用地の制約がない区間)

- 他工区と同様に、基本構造（天端被覆工+裏法被覆工+裏法尻部保護工）で、破堤遅延時間を確認。

(用地の制約がある区間)

- 堤防背後に海岸保全区域が迫り、また、住家が隣接する区間では、海岸保全区域内に収める構造の工夫と合わせ、粘り強い海岸堤防整備によって背後の洗掘範囲が広がり、隣接する住家等へ影響が生じる恐れがあることから、背後の洗掘範囲を狭くする構造の工夫について検討。

(評価方法)

- 構造の選定にあたっては、破堤遅延時間に加え、整備費用、施工性、背後の洗掘範囲などから評価。



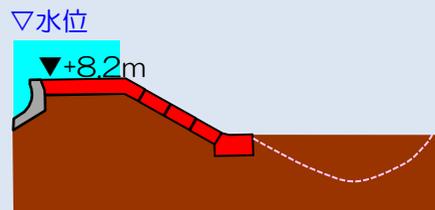
<構造の考え方>

- ①用地境界内に収める。
- ②堤防背後の住家等に対する洗掘による影響を低減する。
(流速を水平に逃がし、洗掘深を低減させる構造とは異なる工夫)
- ③整備費用、施工性（実現性）を考慮。

用地の制約がない区間

用地の制約がある区間

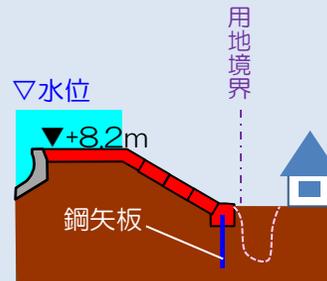
基本構造



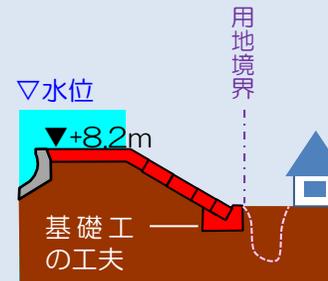
天端+裏法+基礎工の補強

※その他の実験により、同等の破堤遅延効果が見込め、費用面等で有利であれば、必ずしも基本構造での整備とは限らない

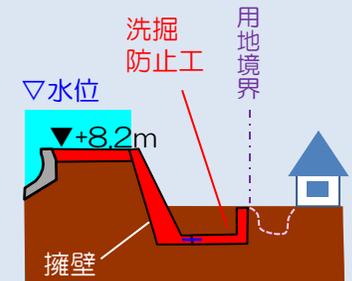
その他の実験（一例）



天端+裏法+基礎工+矢板



基礎工の工夫
天端+裏法+基礎工(改良)



擁壁
天端+擁壁+洗掘防止工

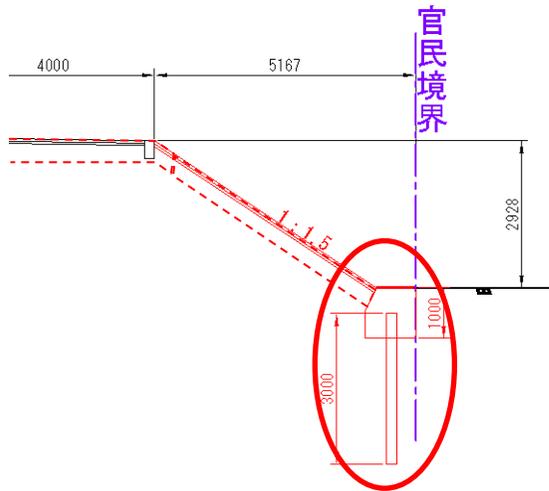
※模型実験にあたっては、整備費用や施工性、CAD-MAS等の流況計算等により、構造を検討

5. 今後の検討方針

(課題：矢板構造)

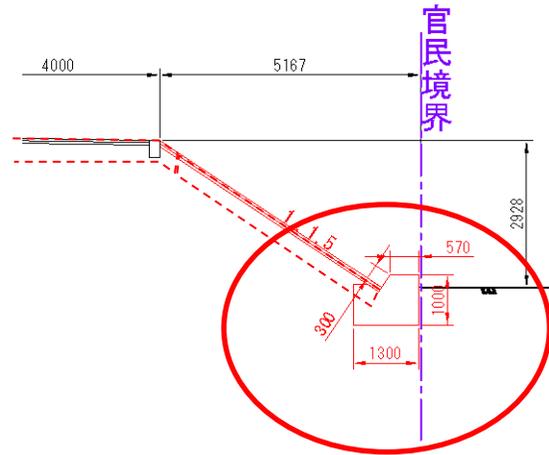
- 模型実験の縮尺上、矢板は剛体と考えられるため、実験における洗掘深と堤防が損壊（法尻部保護工が移動→死に体）した・しないといた現象の精度（評価）と実設計（矢板の根入深、許容変位量の設定等）への反映が課題。
- 机上計算で検証する場合、受動土圧を見込む設定範囲が不確定。
（洗掘後の地形、洗掘により地盤が乱されない範囲、洗掘による過剰間隙水圧に対し有効応力を保持している範囲）
- L2津波を想定する対策として、鋼矢板の耐力（腐食対策等）の恒久的な確保が課題。

矢板工法の構造（例）



- 裏法勾配を1：1.5に変更
- 矢板を基礎工天端から3.0m※まで設置

基礎工改良の構造（例）



- 裏法勾配を1：1.5に変更
- 異形の根止工により、洗掘を抑える形状、背後への流速を低減させる形状等

背後地が最も近接する断面での対策工（例）



現地での背後地の近接状況

※岩手県・宮城県の事例を参考に、昨年の破堤基準洗掘深1.7m+1.0mの2.7mを切り上げ3.0mを初期値と設定

【参考資料1】矢板構造の机上計算方法

【矢板深さの設定方法】

- 矢板の設計の考え方として、①津波時の一時的なものとして、短期荷重や仮設的な考え方を適用する、②洗掘後の地盤に対しても自立構造を保持する、など大きく2つある。
- ①の例として、東北の想定洗掘深+1.0mの考え方、および越流による洗掘後の地形を想定し、洗掘により土が乱されない範囲まで、地盤反力が期待できることを想定し、ブロック重量を見込んだ土圧の転倒モーメントと抵抗モーメントの釣り合い点深さLに対し、**1.2×L**の根入れを必要根入れ深さとする考え方がある。
- ②の例として、Chang式より、無限長と見なせる根入れを確保する考え方がある。分子は、3.0～ π であれば、無限長として見なせるが、仮設構造物での考え方として2.5という値もある。
- 受動土圧が見込める洗掘後の地盤高をどのように設定するかが課題である。

| 根入れ深の決定方法 | | |
|-----------|--|---------------|
| 慣用法 | 土圧の転倒Mと抵抗Mの釣り合い深×1.2 | 切梁がある矢板の根入れ |
| Changの式 | $L \geq 2.5 \sim \pi / \beta$ ($L \geq 3.0\text{m}, H$) | |
| 弾塑性法 | 根入れ部先端に弾性域が存在する深さ | 道路土工 仮設工指針 |

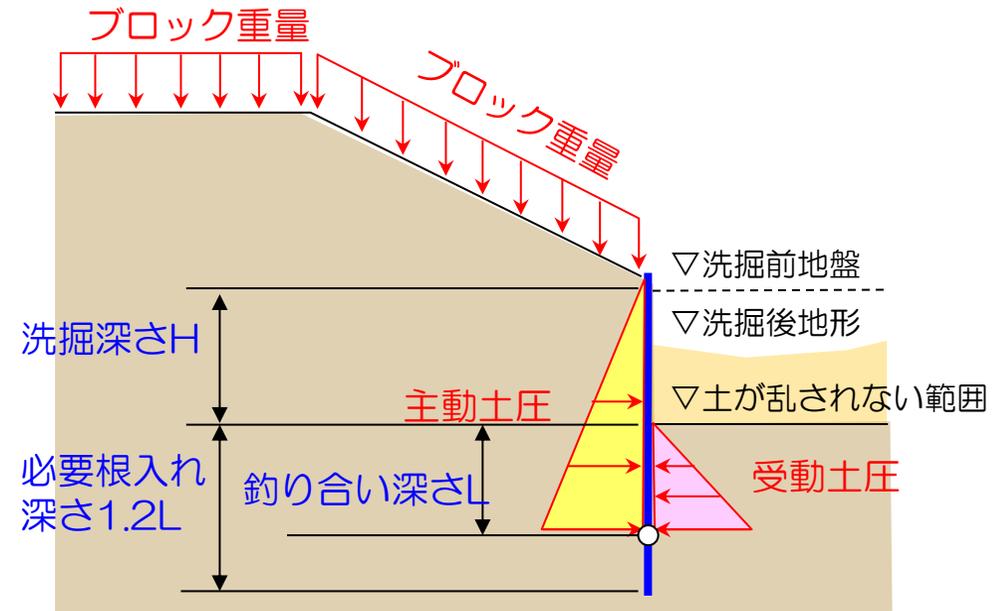
<Chang式が適用できる根入れ長>

$$L \geq \frac{2.5 \sim \pi}{\beta}$$

ここに

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}$$

- k ... 地盤バネ定数
 E ... ヤング率
 I ... 断面2次モーメント



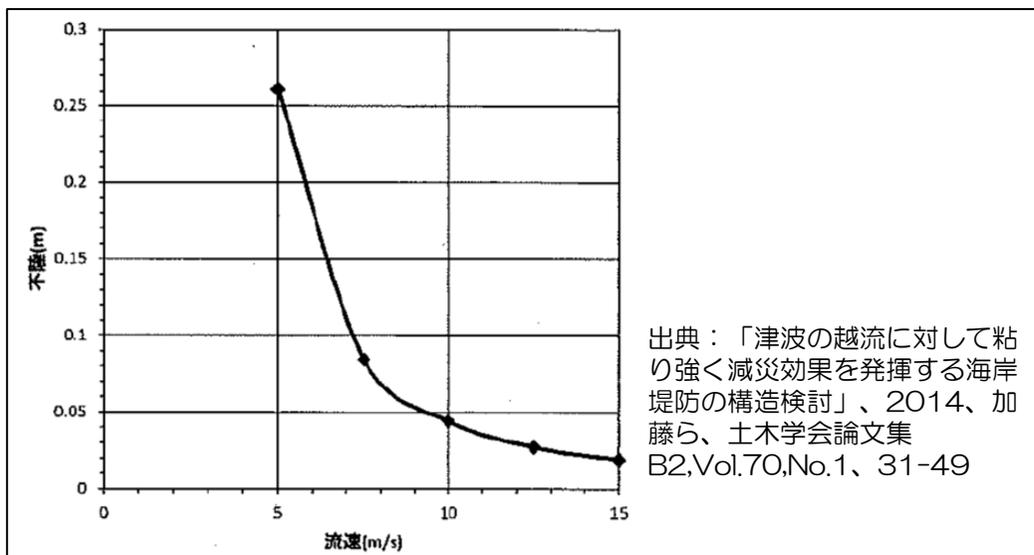
矢板の根入れ深さの計算模式図

【参考資料1】矢板構造の机上計算方法

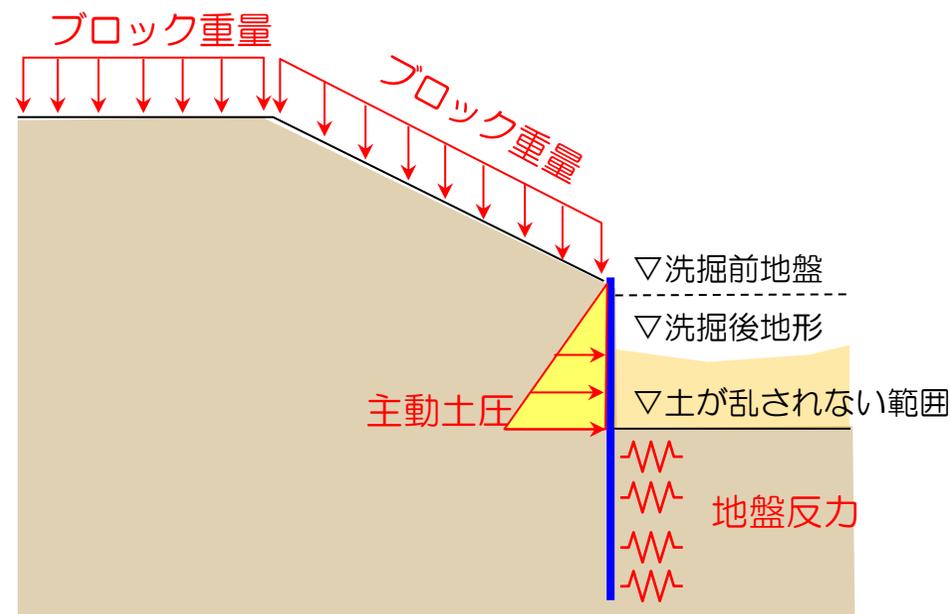
【矢板構造の設定方法】

- 矢板構造は、道路土工等では、弾性床土上の梁モデルにて、矢板頭部での変位、矢板の応力度が許容値内に収まる剛性の矢板の型式をトライアル計算を決定する方法が一般的である。
- この場合の矢板頭部での変位の許容値としては、本来、①津波越流中であっても被覆ブロックの性能を損なわない不陸が生じる程度、もしくは②堤防が倒壊しない程度が目標として想定される。
- 上記の目標となる程度の変位の許容値の設定方法が課題である。
加藤の論文での値や、粘り強い構造のブロックの噛み合わせ幅が10cmであることを勘案し、5cm程度を目安とするか、慣用的に用いられている地震時の許容変位量7.5cmを用いるなどの考え方がある。

| | 矢板頭部の変位の考え方 | |
|--------|-------------------------|---------------------|
| 慣用 | 常時 50mm程度 地震時 75mm程度 | 災害復旧設計要領 など、河川護岸 |
| 自立式土留め | 自立高の3% | 道路土工 仮設工指針 |



陸側法面の流速と許容不陸量の関係



弾性床土上の梁モデルの模式図

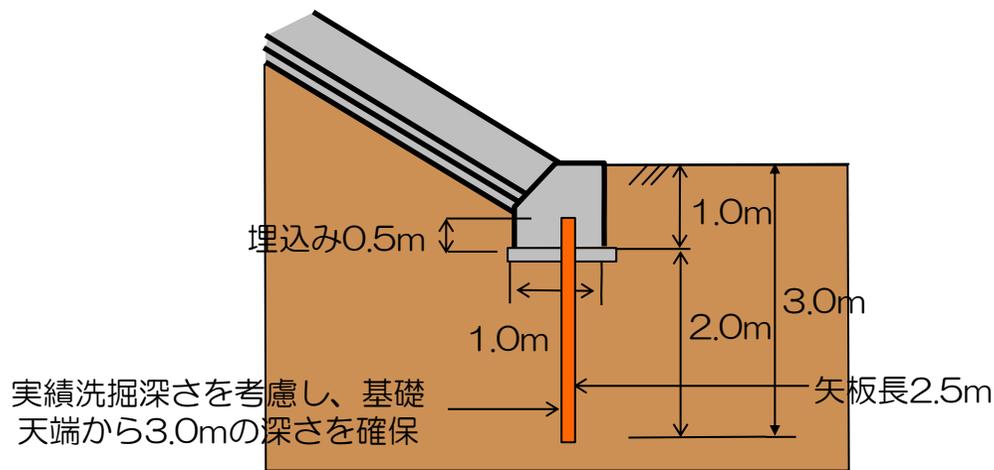
（岩手県）

- 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。

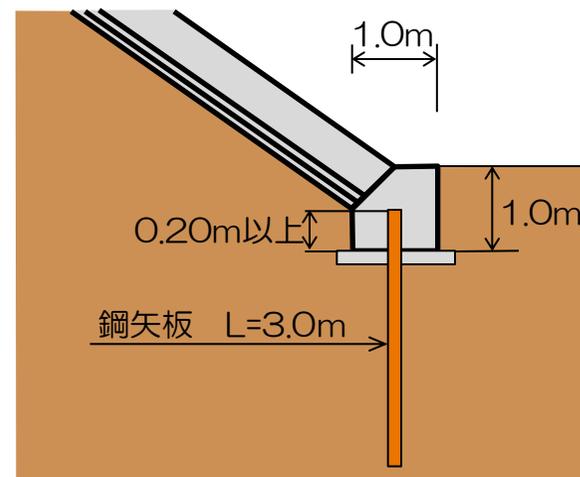
（宮城県）

- 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