

既往の研究成果から確認される  
越水しても壊れにくい河川堤防の構造  
に関する留意点

# 法面及び法尻保護工の工法別効果について(第2回委員会資料の再掲)

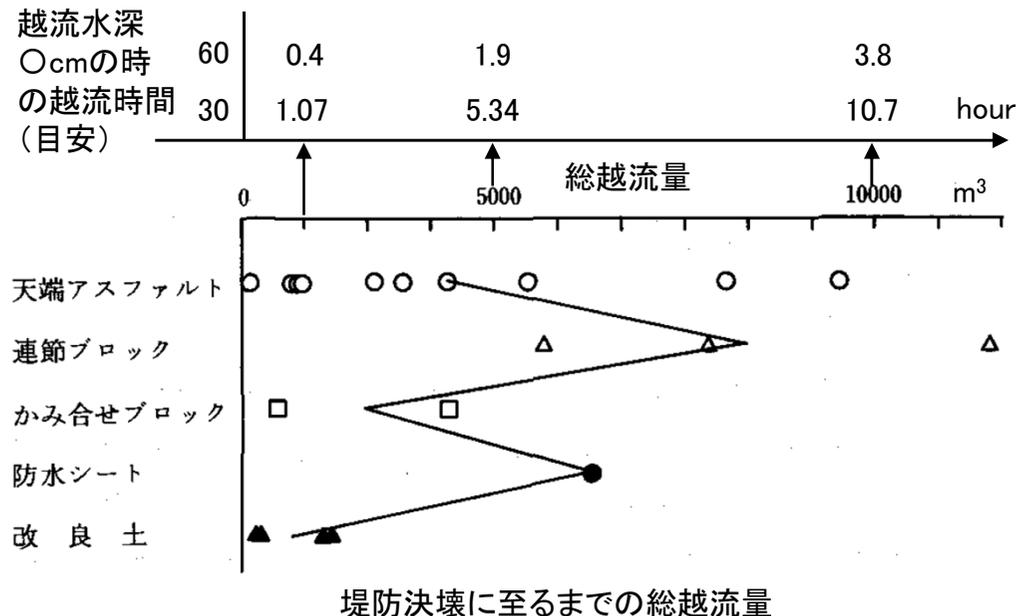
※次頁以降では、被覆型の堤防強化工法について壊れ方を確認した上で変状連鎖図(想定を含む)を作成し、性能を発揮させるために必要な事項を整理する。

- 法面及び法尻保護工として、連節ブロック、かみ合わせブロック、遮水(防水)シート、改良土を用いて、その効果を大型堤防模型実験(堤高2.5m)によって検証。
- 天端アスファルト(天端のみ保護)については、裏法侵食後の天端崩壊過程の進行を遅らせるものとして採用。
- 効果を単純に比較すると、連節ブロック>遮水(防水)シート>天端アスファルト>かみ合わせブロック>改良土の順となったが、例えば、ブロック同士の連結方法を工夫するなど、堤防の破壊過程を踏まえて改善を行うことで、少ない総越流量で決壊する状況をなくすことができ、また、データのバラツキを小さくできる可能性がある。
- また、侵食抑制効果に加え、耐久性、設置コスト等を含めて、総合的に評価することの重要性が指摘されている。

堤防強化工法の概略

保護工	構造一般図	材料項目一般	摘要
天端アスファルト (10ケース)		密粒度アスファルト 粗粒度アスファルト 碎石	遮水壁の設置、 ロープの埋設の 効果の検討
連節ブロック (4ケース)		460 200 吸出防止材 改良土	鉄線、ロープに よる連結、改良 土を用いた場合 の検討
かみ合せブロック (2ケース)		500 500 吸出防止材	かみ合せ効果 の検討
防水シート (2ケース)		1mm厚合成ゴム シート	シートの設置方 法の検討
改良土 (4ケース)		砂質土：消石灰 1 : 10 (重量比) 粘性土：アスファルト 乳剤 1 : 10 (重量比)	改良剤、施工方 法の検討

※第2回検討会 資料2-1を一部修正し、再掲載したもの



出典)加藤善明・橋本宏・藤田光一:堤防の耐越水化に関する実験的研究、第29回水理講演会論文集、1985.

## 河川堤防の決壊に至る過程の整理

- 河川水位が堤防天端に至るまで、越水、決壊に至る過程を整理した。
- STAGE4は急激に進行する過程であり、粘り強い堤防とするためにはSTAGE1、STAGE2、STAGE3の時間を引き延ばすことが重要である。
- 危機管理型ハード対策として実施された天端舗装はSTAGE3の時間を引き延ばすもの。
- 法面保護工に関する既往の研究成果は、STAGE1、2の時間を引き延ばす対策を検討したもの。

### STAGE0: ~堤防天端

- 堤防天端までの水位の流水の作用によって、侵食破壊が生じる可能性。また、その状況。
- 堤防天端までの水位の流水の作用によって、浸透破壊が生じる可能性。また、その状況。

### STAGE1: 越水開始～根毛層(被覆材)侵食過程

- 越流水によって、根毛層が侵食される状況。法尻付近の侵食が激しい。
- 法面にモグラ穴等の植生の被覆状態の悪い箇所があった場合などには、そこから侵食される可能性。

### STAGE2: 裏法部(土層)侵食過程

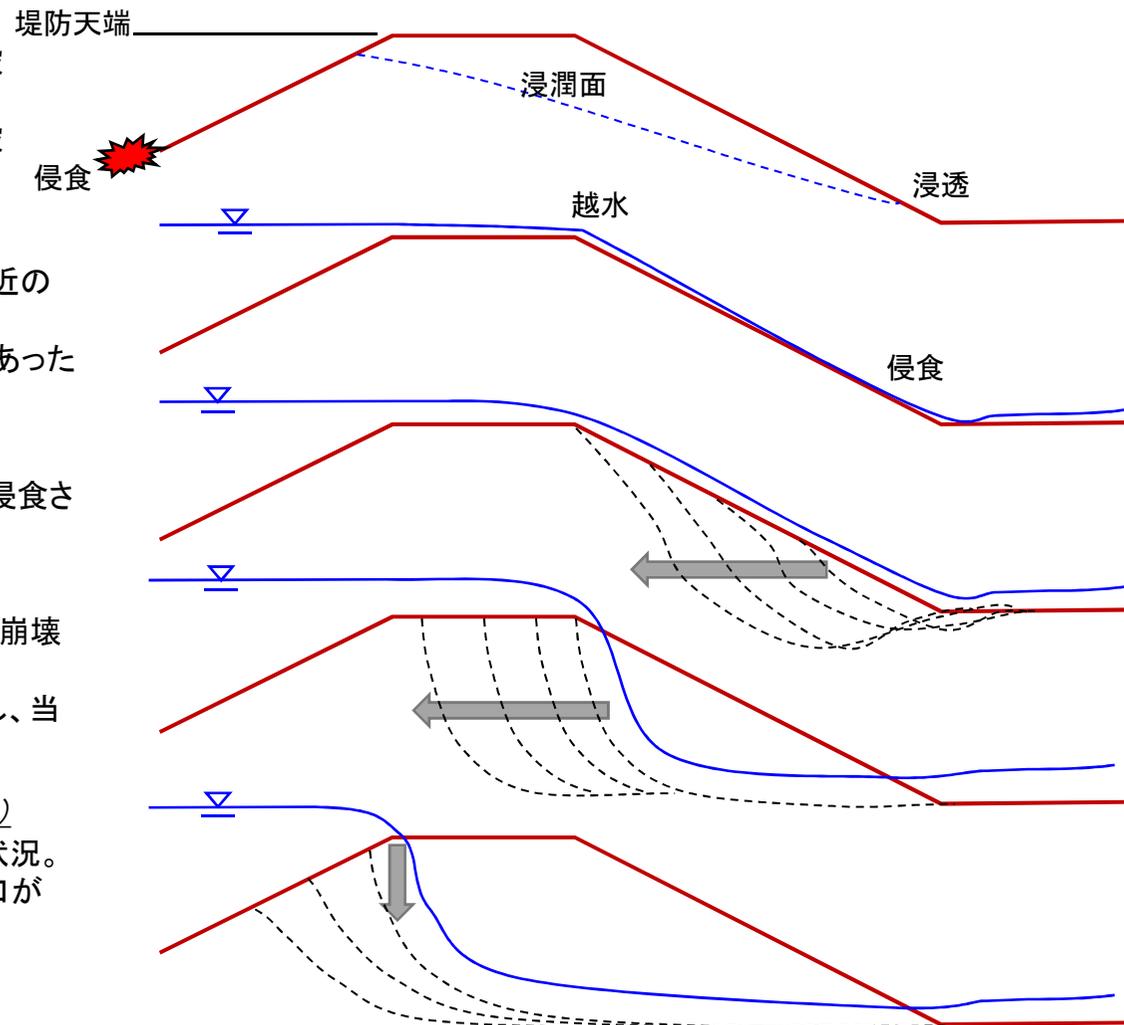
- 根毛層等の被覆材が侵食された後、堤体の土層が侵食される状況。

### STAGE3: 天端部崩壊過程

- 裏法部が侵食された後、切り立った天端部が徐々に崩壊する状況
- 天端部が崩壊した箇所に、上下流の越流水が集中し、当該箇所の天端部の崩壊を加速する可能性。

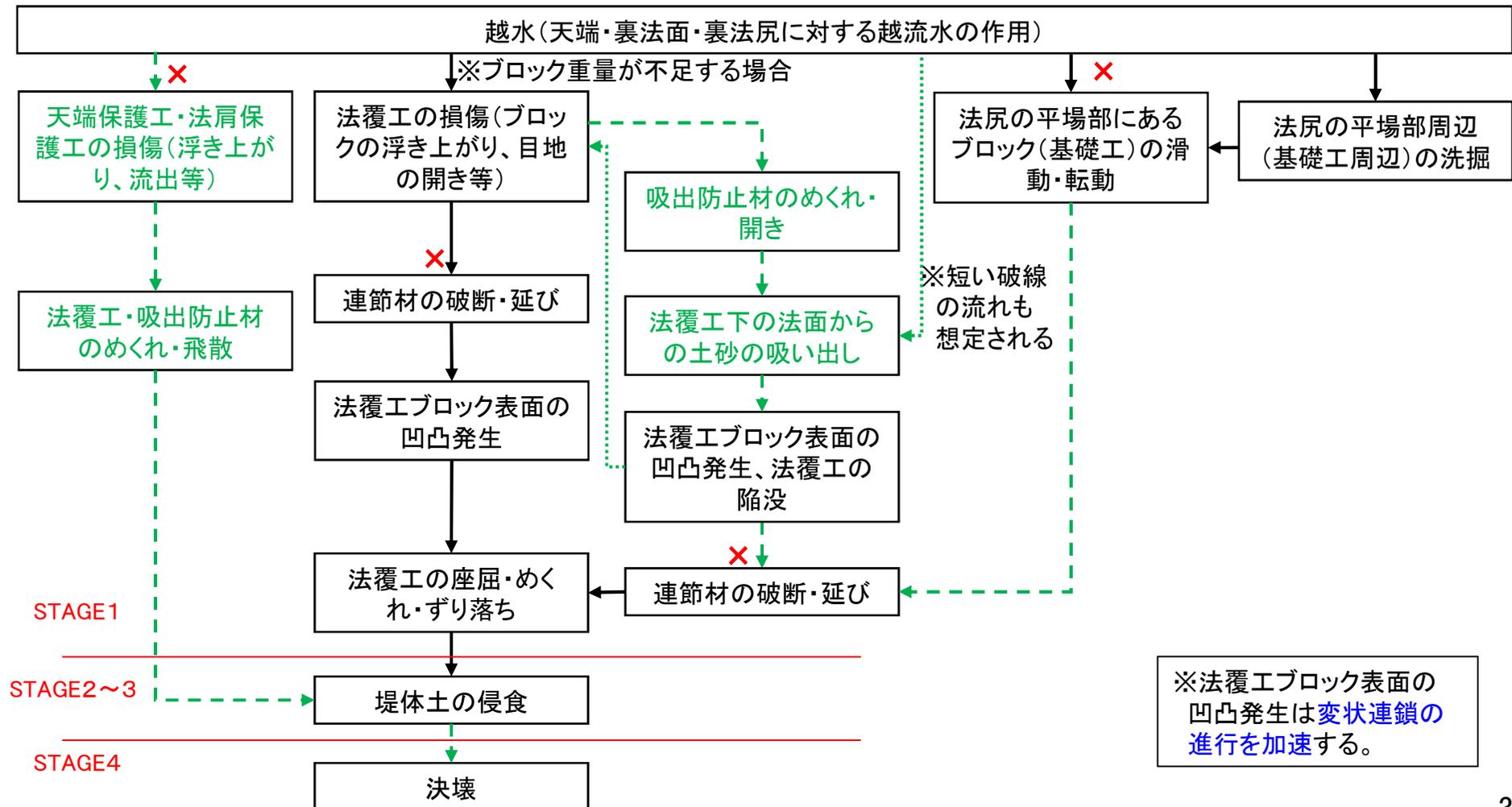
### STAGE4: 決壊口拡大過程(氾濫水の急激な増大過程)

- 天端部が完全に崩壊し、決壊口が急激に拡大する状況。
- 堤防高を低下させる侵食とともに、上下流にも決壊口が拡大する状況。



# 変状連鎖図(連節ブロックによる法面保護工の場合)

- 連節ブロックによる法面保護工の壊れ方を確認し(次頁)、以下の6つの変状を確認。
- 1)法尻の平場部にあるブロックの滑動・転動、2)法覆工ブロックの浮き上がり、3)法覆工ブロックの隙間やシート継ぎ目からの堤体土の吸い出し、4)法覆工ブロック表面に凹凸発生、5)法覆工の変形に伴う連節材の伸び、6)法覆工の陥没
- こうした変状を参考にして、変状連鎖図を作成。ただし、想定(緑線、緑字)を含む。
- なお、決壊までの時間が短くなる、避けるべき変状として、×印を抽出した。

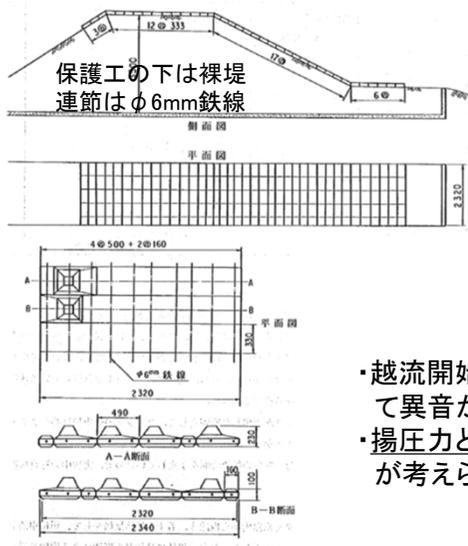


# 越水時の堤防の壊れ方(法面保護工として連節ブロックを使った場合 4ケース)

※推測を含む

- 1)法尻の平場部にあるブロックの滑動・転動 2)法覆工ブロックの浮き上がり 3)法覆工ブロックの隙間やシート継ぎ目からの堤体土の吸い出し 4)法覆工ブロック表面に凹凸発生 5)法覆工の変形に伴う連節材の伸び 6)法覆工の陥没

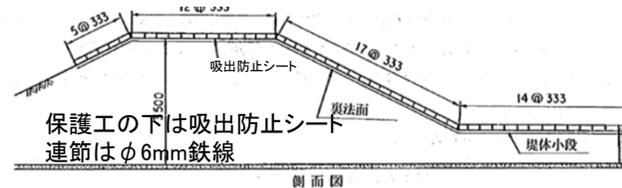
## 凸型連節ブロック (0.88m<sup>3</sup>/s/m、Σt=1.5min)



q=0.88m<sup>3</sup>/s/m Σt=1.5min

- ・越流開始1分で裏法尻から下流部において異音が発生し水しぶきが上がる
- ・揚圧力と突起による抵抗が大きかったことが考えられる

## 平型接続ブロック (0.57~0.87m<sup>3</sup>/s/m、Σt=148min)

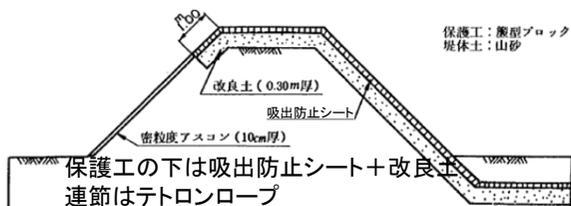


q=0.57m<sup>3</sup>/s/m Σt=10min

q=0.57m<sup>3</sup>/s/m t=10min  
q=0.87m<sup>3</sup>/s/m t=32min  
Σt=42min

- ・q=0.57m<sup>3</sup>/s/mに対してはブロックが多少浮き上がる程度で堤体土の吸い出しやブロックの沈下はほぼみられなかった。
- ・裏法尻付近で堤体土が吸い出され隣り合ったブロックが凹凸してきた。吸出防止シートの継ぎ目から堤体土が吸い出されていたがブロックが連結されていたため、保護工の形状にはあまり変化がなかった。

## 廉型接続ブロック (0.57m<sup>3</sup>/s/m、Σt=140min)



q=0.57m<sup>3</sup>/s/m  
Σt=60min



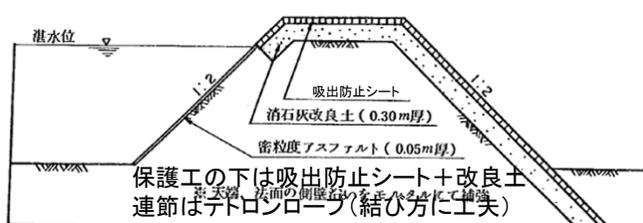
q=0.57m<sup>3</sup>/s/m  
Σt=136min



q=0.57m<sup>3</sup>/s/m  
Σt=140min

- ・裏法尻部に褐色水が見られ、ブロック配列の乱れ、大きな水はねが発生、その後ブロックが連結されたまま沈み込むように沈下したあと二体となって流出
- ・ロープは切れにくい引張りによる伸びがありブロック間に隙間が生じる
- ・裏法面の沈下が見られると崩壊速度は急激に増す

## 廉型接続ブロック (0.57~0.87m<sup>3</sup>/s/m、Σt=288min)



q=0.57m<sup>3</sup>/s/m  
Σt=10min



q=0.57m<sup>3</sup>/s/m t=180min  
q=0.87m<sup>3</sup>/s/m t=60min  
Σt=240min

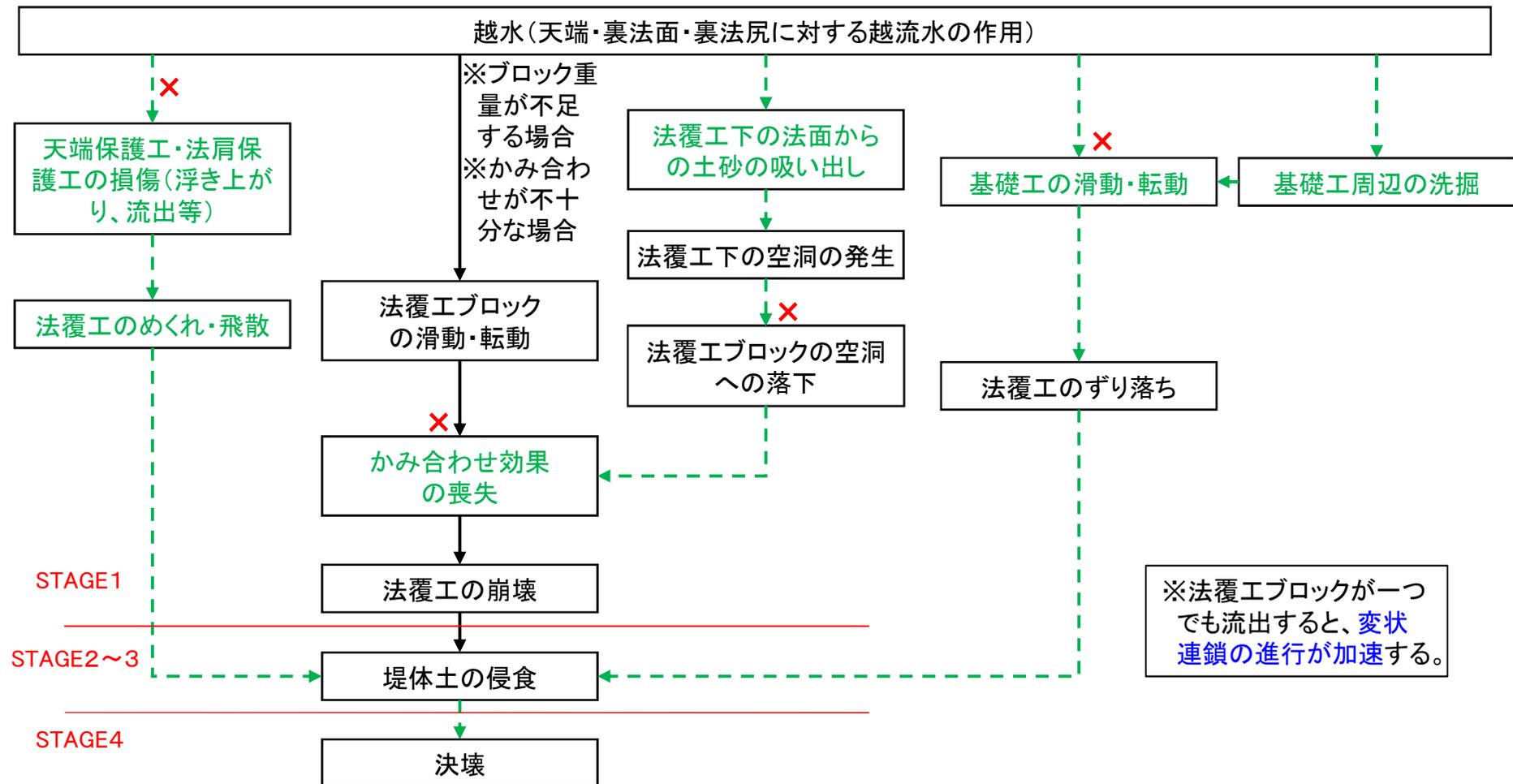


q=0.57m<sup>3</sup>/s/m t=180min  
q=0.87m<sup>3</sup>/s/m t=108min  
Σt=288min

- ・通水10分で裏法尻ブロックに隙間が生じ、法尻吸出防止シートが流出するもその後流水は安定し改良土の流出もばらくない。
- ・裏法尻から平場にかけてのブロックが浮き上がり隙間が徐々に大きくなった。
- ・吸出防止シートと改良土により吸い出しは緩慢
- ・ブロックは一塊となって流出

## 変状連鎖図(かみ合わせブロックによる法面保護工の場合)

- かみ合わせブロックによる法面保護工の壊れ方を確認し(次頁)、以下の4つの変状を確認。
- 法覆工下に空洞の発生、2)法覆工下に形成された空洞へのブロックの落下、3)一つのブロックの流出をきっかけとした法覆工の崩壊、4)吸出防止シート下からの堤体土の吸い出し
- こうした変状を参考にして、変状連鎖図を作成。ただし、**想定(緑線、緑字)**を含む。なお、かみ合わせブロックは“個々の重量”と“かみ合わせ”によって越流水による流体力に抵抗しているため、1個でも流出すると、他のブロックも変形・移動しやすくなるようである。
- なお、決壊までの時間が短くなる、避けるべき変状として、**×印**を抽出した。

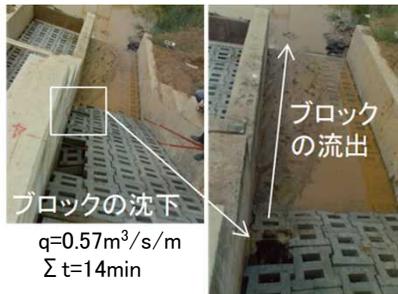
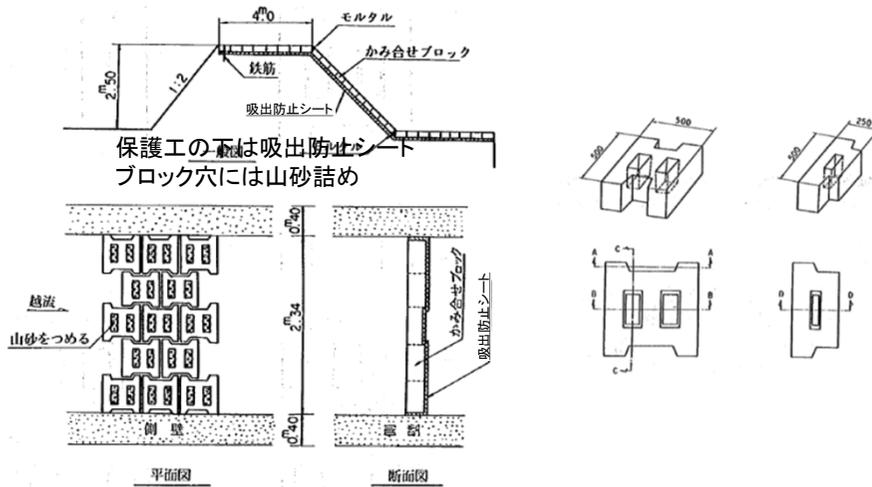


# 越水時の堤防の壊れ方(法面保護工としてかみ合わせブロックを使った場合 2ケース)

※推測を含む

1) 法覆工下に空洞の発生 2) 法覆工下に形成された空洞へのブロックの落下 3) 一つのブロックの流出をきっかけとした法覆工の崩壊  
 4) 吸出防止シート下からの堤体土の吸い出し  
 ※かみ合わせブロックは“個々の重量”と“かみ合わせ”によって抵抗しているため、1個でも流出すると、他のブロックも変形・移動しやすくなるようである。

## かみ合わせブロック (0.57m<sup>3</sup>/s/m、Σt=16.5min)



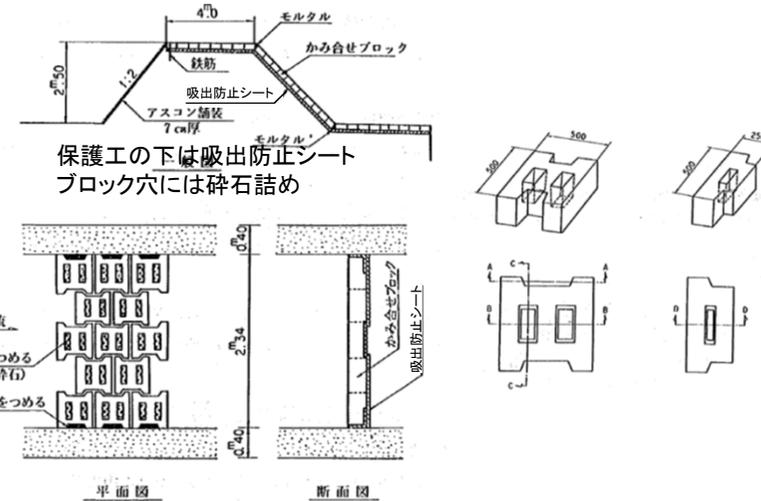
q=0.57m<sup>3</sup>/s/m  
Σt=14min



q=0.57m<sup>3</sup>/s/m  
Σt=16.5min

- ・連節ブロック同様、越水開始直後の保護工上の流れは非常に滑らか
- ・裏法尻付近の左側側壁沿いブロックが流出するとともに上流側ブロック3個が陥没
- ・かみ合わせブロックはそれぞれが互いに強いかみ合っているため、堤体変形に追従したブロックの沈下が生じにくく、空洞はますます大きくなる
- ・陥没したブロック下の土砂が大きく侵食され、その後、上流側のブロック下の土砂の流出が急激に進行

## かみ合わせブロック (0.57~0.88m<sup>3</sup>/s/m、Σt=73min)



- ・q=0.57m<sup>3</sup>/s/mでは崩壊のきざしが全くなかったため通水を30分でやめ、q=0.88に変更
- ・q=0.88m<sup>3</sup>/s/mに変更後、通水40分で裏法尻付近より濁水があり、ブロックのかみ合わせに異常はなかったが、裏法中央部の吸出防止シート下の堤体土が5cm流出
- ・上記から1分後にブロックが2個流出、ブロック下の堤体土が洗掘された。
- ・さらに1分後、ブロックが全て落ち、その後平場ブロックのみ残して破堤

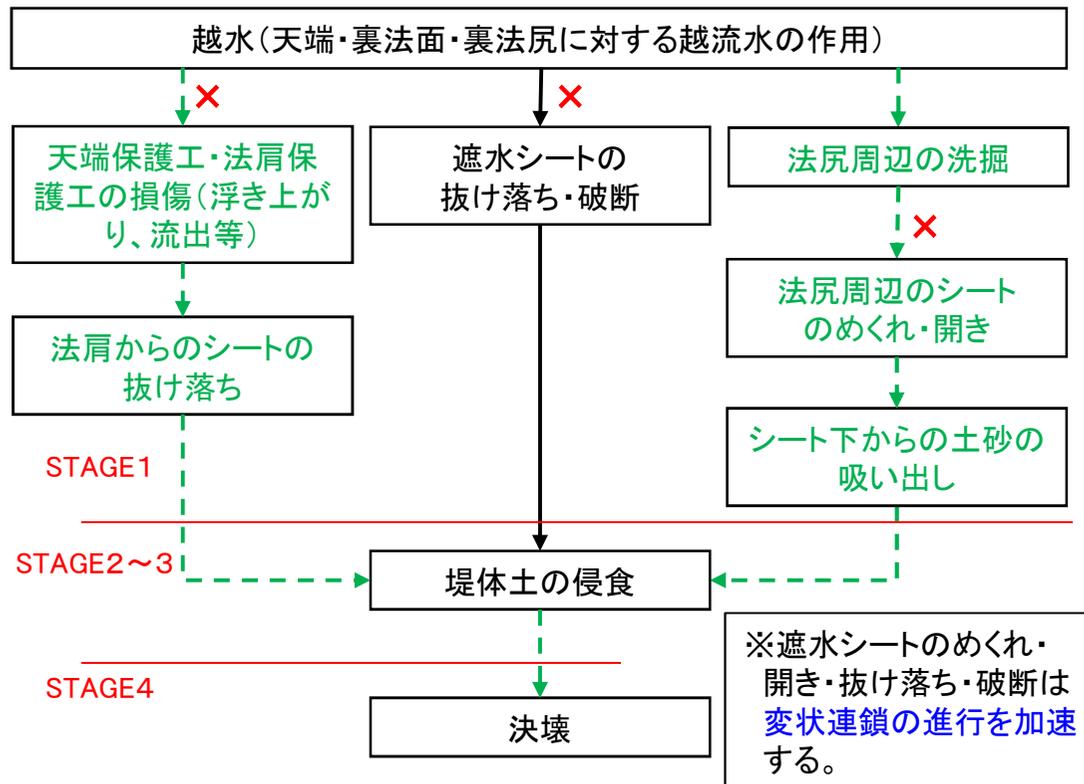
## 変状連鎖図(遮水シート及び改良土による法面保護工の場合)

- 遮水シートによる法面保護工の壊れ方を確認し(次頁)、以下の3つの変状を確認。
- 1) 遮水シートの天端止め部からの抜け落ち、2) 遮水シートの破断、3) 遮水シートの伸び
- こうした変状を参考にして、変状連鎖図を作成。ただし、**想定(緑線、緑字)**を含む。なお、遮水シートで被覆されている法面はほとんど侵食されないが、遮水シートが損傷を受け、法面が露出した箇所は徐々に侵食される。

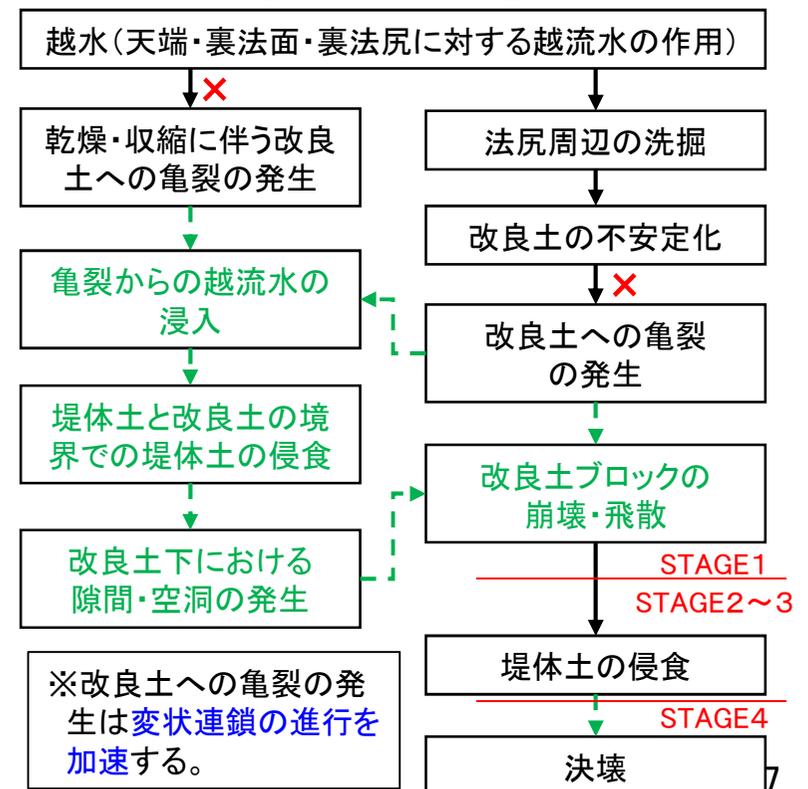
- 改良土による法面保護工の壊れ方を確認し(次々頁)、以下の5つの変状を確認。
- 1) 改良土の乾燥収縮に伴う亀裂の発生、2) 法尻周辺の侵食に伴う改良土への引張応力の作用による亀裂の発生、3) 改良土の亀裂部分からの越流水の浸入、4) 越流水の堤体土への作用による堤体土の侵食、5) 改良土の侵食
- 改良土の乾燥収縮による亀裂の発生を防ぐためには、施工管理や維持管理が非常に難しい。

※ なお、決壊までの時間が短くなる、避けるべき変状として、×印を抽出した。

### 【遮水シートの場合】



### 【改良土の場合】



# 越水時の堤防の壊れ方(法面保護工として遮水シートを使った場合 2ケース)

※推測を含む

1) 遮水シートの天端止め部からの抜け落ち 2) 遮水シートの破断 3) 遮水シートの延び  
 ※遮水シートで被覆されている法面はほとんど侵食されないが、遮水シートが損傷を受け、法面が露出した箇所は徐々に侵食される。

## 遮水シート(0.88m<sup>3</sup>/s/m、Σt=4min)

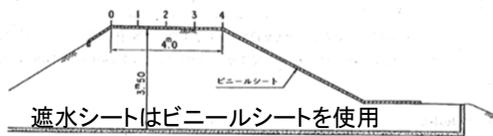
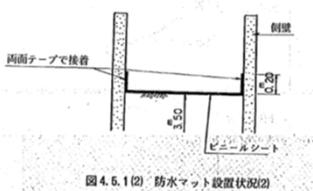
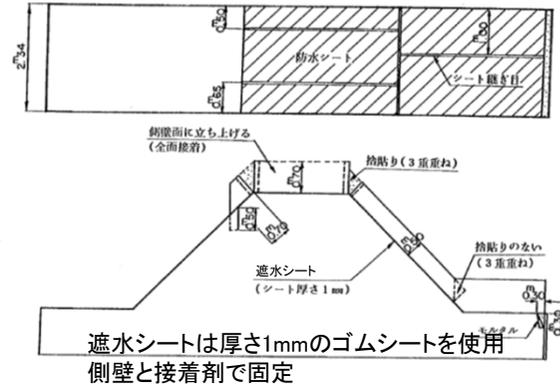


図4.5.1(1) 防水マット設置状況(1)



- 通水10~15秒で遮水シートは完全に流出
- 再度遮水シートを敷設。流出防止として水路両側に土嚢を置いて土嚢に50cm程度の杭を打ち込んだ。
- 堤体土は前回越流後の崩壊堤体を使用し、裏法中央の突起は崩し、大きく崩壊した左側法面は土嚢で補修した。
- 再度通水後、10秒ほどで遮水シートは裏法肩より切断され土嚢とともに流出し、崩壊した。

## 遮水シート(0.20~0.87m<sup>3</sup>/s/m、Σt=200min)



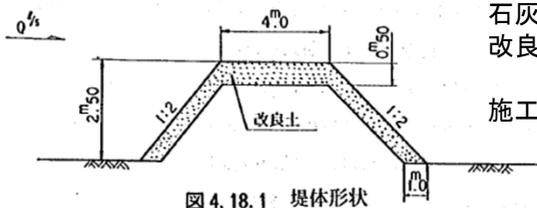
- q=0.20~0.57m<sup>3</sup>/s/m (Σt=48min) までは堤体に変化なし。シートは延びによって平場に寄せ集められシート下に水が溜まっていた
- q=0.76m<sup>3</sup>/s/mにしたところ水路末端右側で2~3cm幅でシートが切れ、平場の土砂流出が認められた
- q=0.87m<sup>3</sup>/s/mにしたところ、破損部分から徐々に土砂が吸い出され、平場全体の高さが10~30cm低下
- 平場中央部末端の継ぎ目が離れ、シートはそこから流れ方向に真っ直ぐ裂けた。裂け目から流れが潜り込み、平場土砂はほとんど流出した。
- 裂け目が法尻付近まで広がり、堤体の裏面の侵食範囲が広がった。ただし、堤体土の侵食は急激に大きくならず、シートから露出する部分で徐々に進行した

# 越水時の堤防の壊れ方(法面保護工として改良土を使った場合 4ケース)

※推測を含む

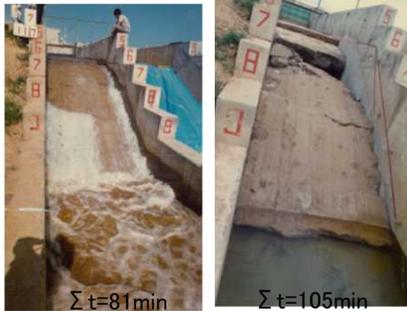
- 1)改良土の乾燥収縮に伴う亀裂の発生 2)法尻周辺の侵食に伴う改良土への引張応力の作用による亀裂の発生  
 3)改良土の亀裂部分からの越流水の浸入 4)越流水の堤体への作用による堤体土の侵食 5)改良土の侵食  
 ※改良土の乾燥収縮による亀裂の発生を防ぐためには、施工管理や維持管理が非常に難しい。

## 改良土 (0.20m<sup>3</sup>/s/m, Σt=105min)



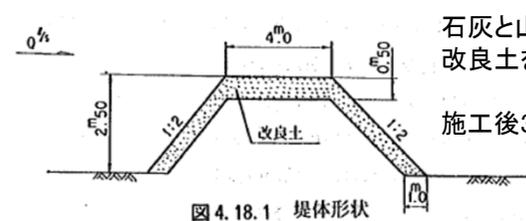
石灰と山砂を1:9の割合で混ぜた改良土を0.5m厚で敷設

施工後3週間養生した



- ・養生期間中に乾燥収縮が原因と思われる細いクラックが発生
- ・法尻の侵食により裏法改良土全体がずれ落ち、クラックが広がる
- ・クラックに水が浸入すると裏法尻から吹き出し、天端が沈下

## 改良土 (0.57m<sup>3</sup>/s/m, Σt=46min)



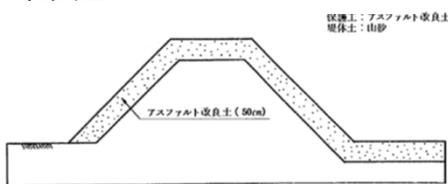
石灰と山砂を1:9の割合で混ぜた改良土を0.5m厚で敷設

施工後3週間養生した



- ・裏法尻の洗掘量は $q=0.20\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ より多い。
- ・進行状況は $q=0.20\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ とほぼ同じ。

## 改良土 (0.20m<sup>3</sup>/s/m, Σt=24.5min)



区間土: アスファルト改良土  
堤体土: 山砂

アスファルト乳剤と山砂を1:10の割合で混ぜた改良土を0.5m厚で敷設  
 施工後6週間養生した



- ・通水2分後に裏法中央付近で洗掘が発生
- ・通水中、改良土が剥がされるように侵食された
- ・堤体土が露出した箇所に水が浸入し改良土が塊となって流出

## 改良土 (0.40m<sup>3</sup>/s/m, Σt=10.3min)



- ・3分間の通水で裏法肩から1.5m下で洗掘が始まった
- ・洗掘箇所から堤体土が露出
- ・まもなく濁流が流れ出し、改良土が流出

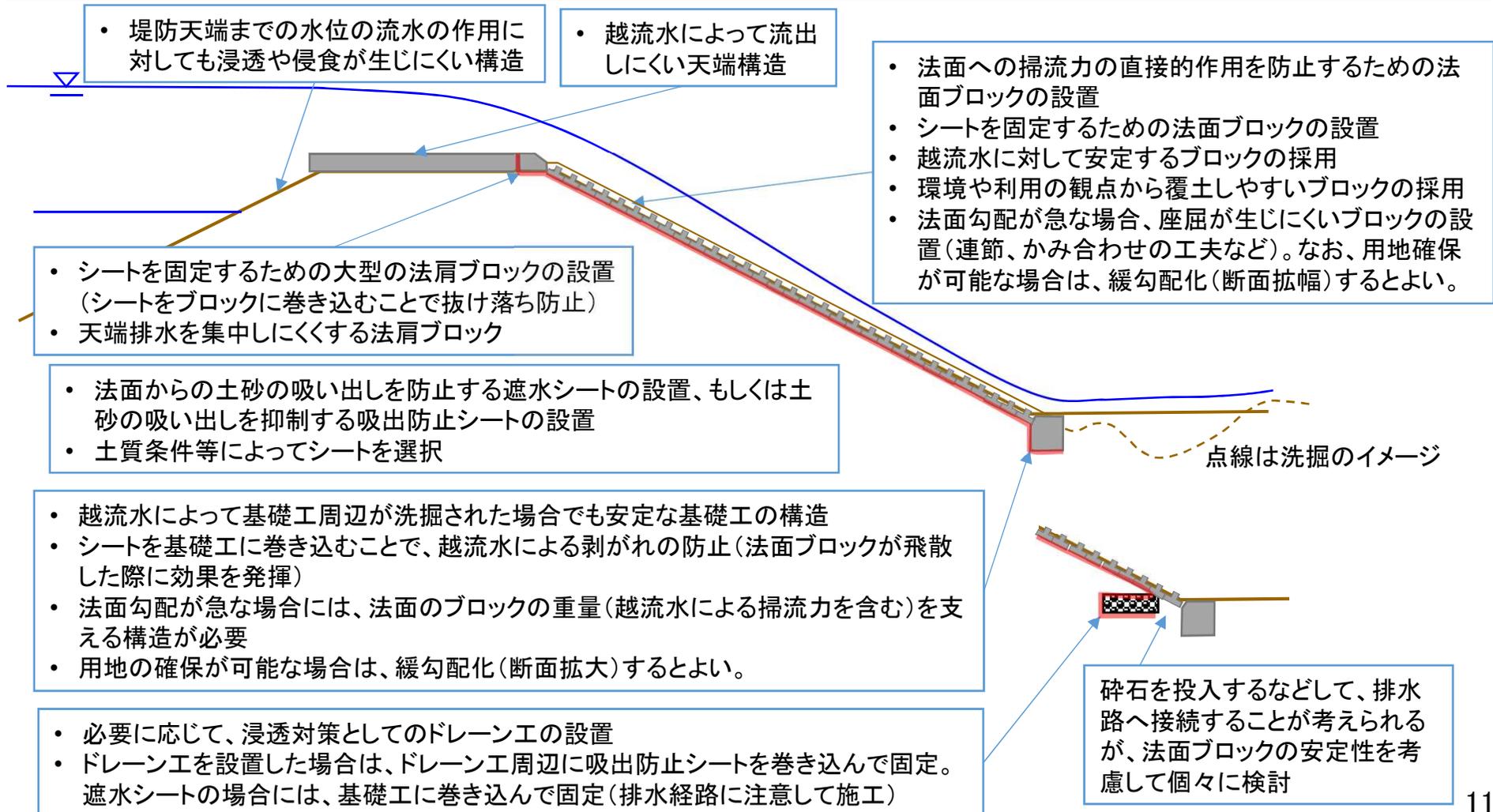
## 既往の越水実験の壊れ方から見てくる法面保護工等に求められる事項

- 既往の越水実験から、法面保護工等の構造を検討する上で留意すべき事項を整理すると、以下の通りである。

保護工の種類	壊れ方から得られた知見
連節ブロック	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 越流水によってブロック表面の凹凸が生じると、ブロックに作用する流体力が急激に大きくなり、ブロックの滑動や転動、浮き上がりを生じさせ、ブロックの座屈・めくれ・ずり落ちが生じる可能性。 ⇒流体力に対して安定するブロック重量、滑動・転動が生じにくい構造とする必要。</li> <li>● ブロック下の堤体表面からの土砂の吸い出しが生じると、ブロック表面に凹凸が発生。 ⇒法面保護工下からの土砂の吸い出しが生じにくい構造と必要。</li> <li>● 基礎工周辺が洗掘され、滑動や転動すると、ブロックがずり落ちるなど不安定化する可能性。 ⇒法面保護工を支える基礎工を基礎工周辺が侵食された場合でも安定に維持する必要。</li> </ul>
かみ合わせブロック	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ブロックが1個でも流出すると、ブロック全体の安定性を低下させる可能性。 ⇒流体力に対して安定するブロック重量、滑動・転動が生じにくい構造とする必要。</li> <li>● ブロック下の堤体表面からの土砂の吸い出しが生じると、ブロック表面に凹凸が発生。 ⇒法面保護工下からの土砂の吸い出しが生じにくい構造と必要。</li> </ul>
遮水シート (防水シート)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 越流水によるせん断力がシートに作用し、シートを固定する天端の留め具が外れる可能性。 ⇒シートの抜け落ちが生じにくい天端法肩構造とする必要。</li> <li>● 天端の留め具の強度を高めた場合には、シートが破断する可能性。 ⇒引張に対して破断しないシートを適用する必要。</li> <li>● 法尻洗掘時に、シート端部やシートとシートのつなぎ目から土砂が侵食される可能性。 ⇒法尻部でシートが剥がれにくいシート固定方法とする必要。</li> </ul>
改良土	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 乾燥収縮に伴う亀裂の発生・拡大によって、改良土の下に越流水が浸入し、堤体を変形させる可能性。 ⇒適切な施工管理、施工後の維持管理が必要である。</li> <li>● 基礎工周辺の洗掘によって、改良土が不安定化し、改良土に亀裂が生じる可能性。 ⇒改良土を支える基礎工を基礎工周辺が侵食された場合でも安定に維持する必要。</li> </ul>

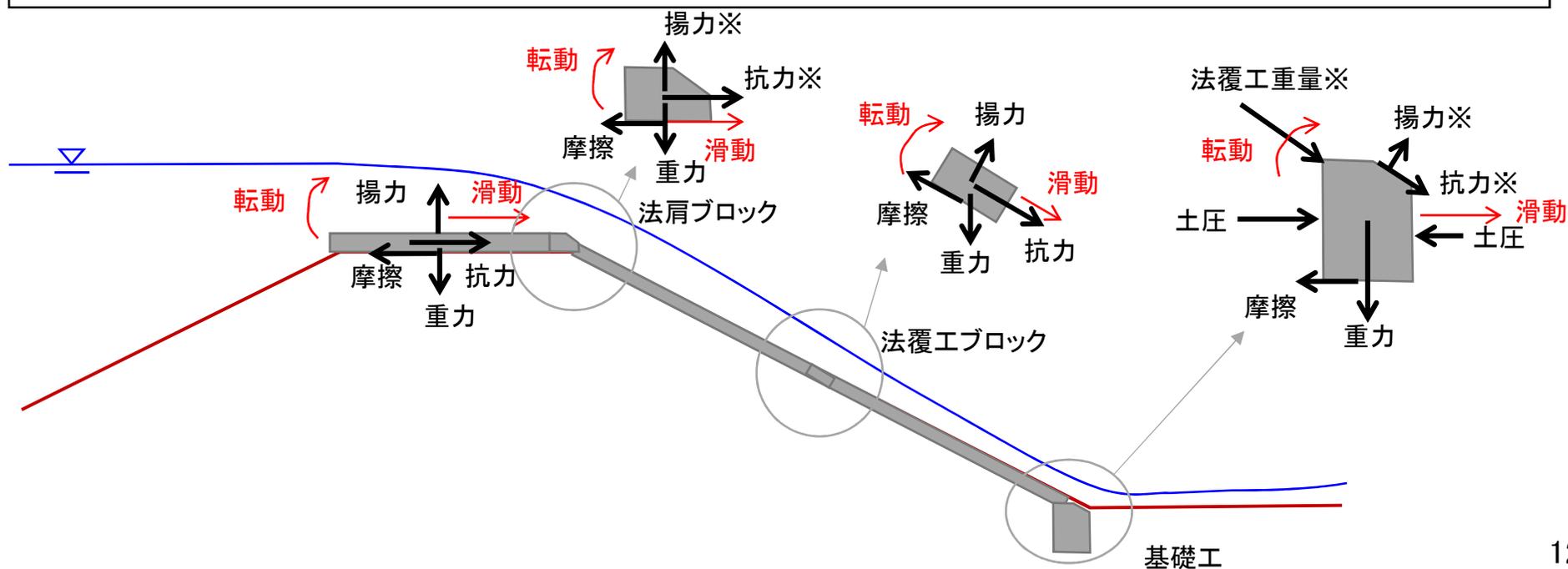
## 研究成果を踏まえた越水しても壊れにくい河川堤防とするための構造の留意点

- 研究成果を踏まえて、越水しても壊れにくい河川堤防とするための構造の留意点を記載した。
- なお、法面保護工として用いるブロックは、法面勾配が急なほど不安定となるため、できるだけ法勾配を緩くすることが望ましい。緩くできない場合には、基礎工でブロックを支えることになることから、座屈しにくい構造（連節、かみ合わせの工夫など）とする。
- また、ブロックが飛散した場合でも、シートによって法面の侵食が抑制されるように、法肩や法尻の固定を確実に行うことで粘り強さを向上させる。



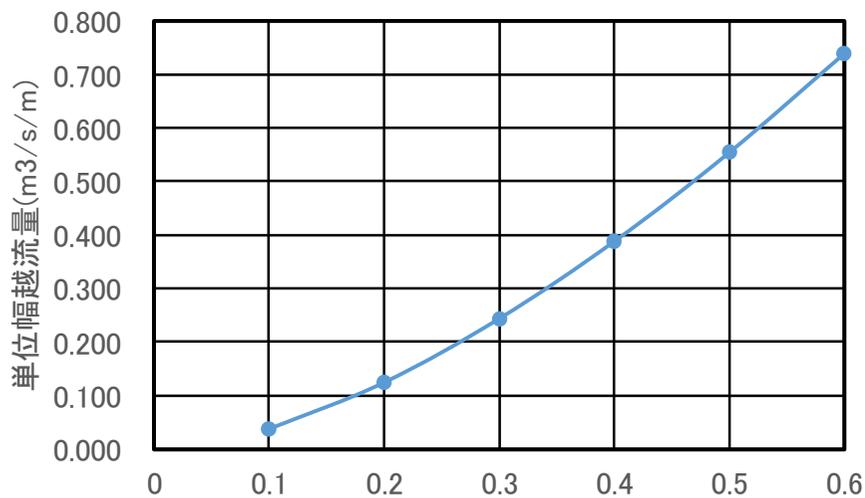
## 裏法尻保護工、裏法保護工、天端保護工の越流水に対する安定性

- 越流水による抗力・揚力が保護工に作用した場合に、保護工に滑動や転動が生じないことについては、以下のような確認が必要と考えられるが、青文字で示す課題がある。
- 護岸の力学設計法を参考にして、各部材に作用する抗力や揚力を算定し、以下に示す力のつり合いによって、保護工の安定性を評価することとなるが、越流水の流れはブロックの厚さに対して水深の小さな流れであることから、抗力や揚力の算定値が過大に評価される懸念がある。
- 特に、法面保護工に不陸が生じた場合、各部材に作用する流体力が急激に大きくなることから、施工時の形状を長期間持続するための維持管理が要求される。
- 法肩ブロック及び基礎工に作用する抗力・揚力の算定法は確立されていない。
- 通常時は法覆工と法面との間の摩擦でブロックは安定しているが、越水時には吸出防止シートが浸潤するなどして摩擦が低減して、法覆工ブロックがずり落ちる可能性がある。越水時の法覆工とシートとの摩擦について追加の検討を行う必要がある。
- 法肩ブロックについては、天端排水を集中させない観点から採用した。法肩ブロックとシートとの摩擦、法肩ブロックの重量に応じて、シートがどの程度の引張に対して固定できるかを評価することができるが、シート(遮水シート、吸出防止シート)と法肩ブロックとの摩擦については検討が不十分である。

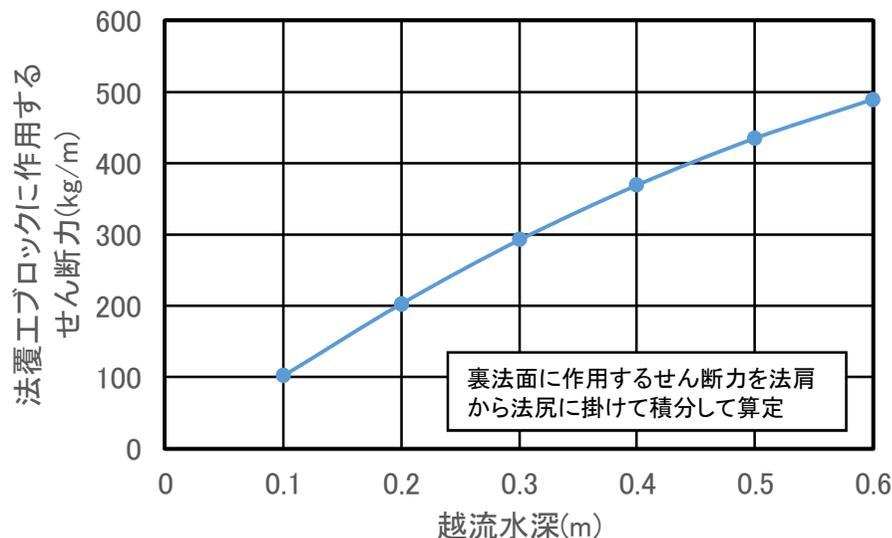


## 越流水深に応じた裏法部流速、被覆ブロックの所要重量等の試算結果

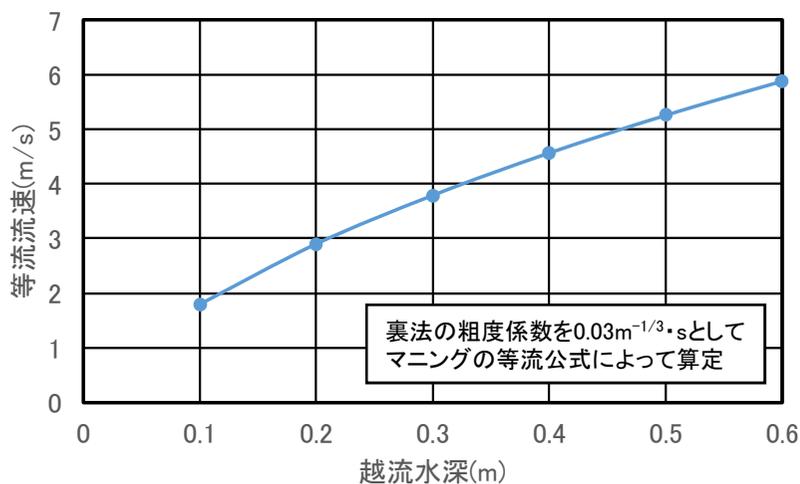
- 高さ5m、裏法勾配2割の河川堤防を対象として、越水時の裏法部流速、法覆工に作用するせん断力、被覆ブロックの所要重量を算定した。
- 越流水深の増加に伴って、ブロックの所要重量が急激に大きくなる。



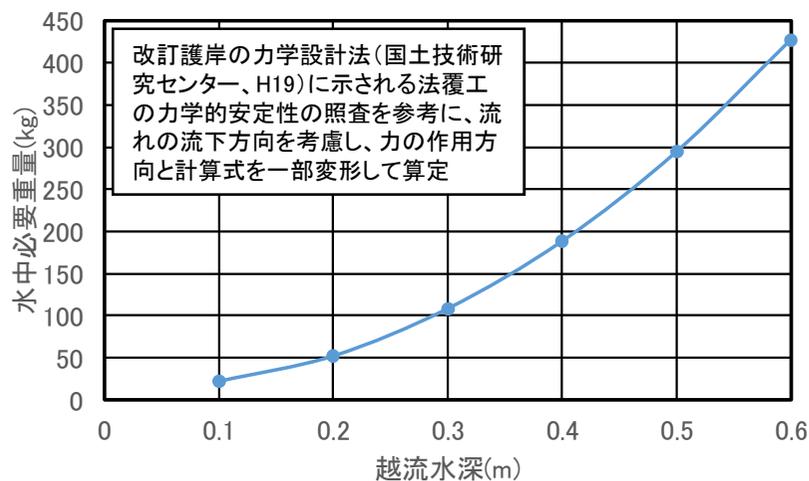
(a) 単位幅越流量



(c) 法尻の法覆工ブロックに作用するせん断力(積分値)



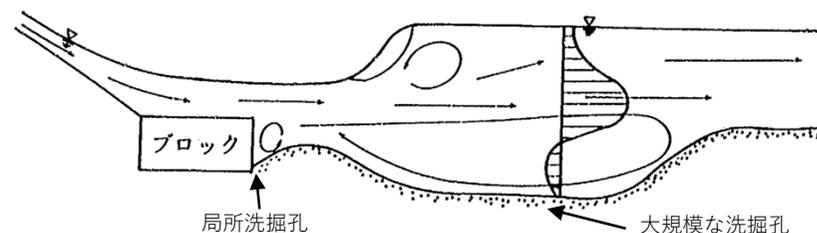
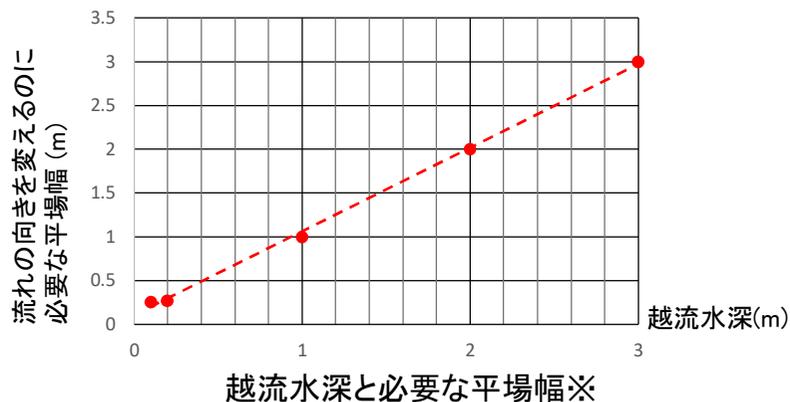
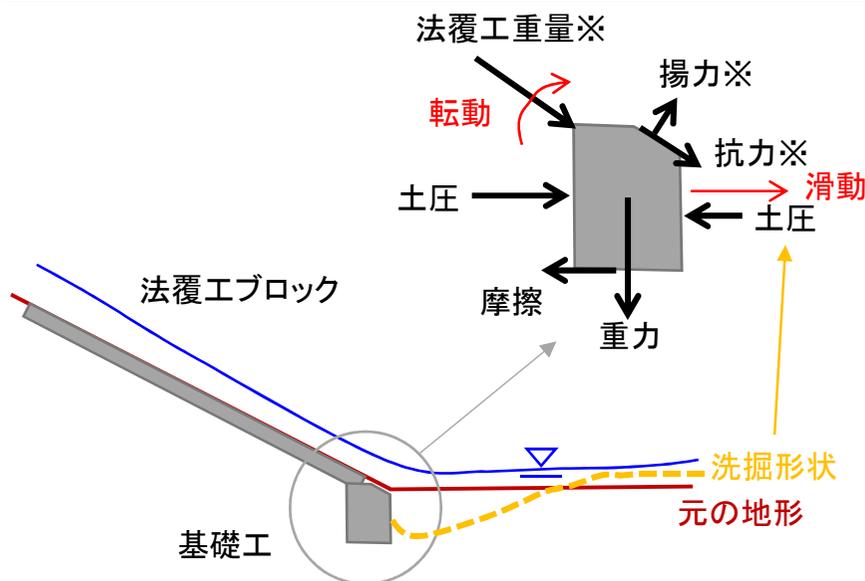
(b) 裏法部(法尻付近)での流速



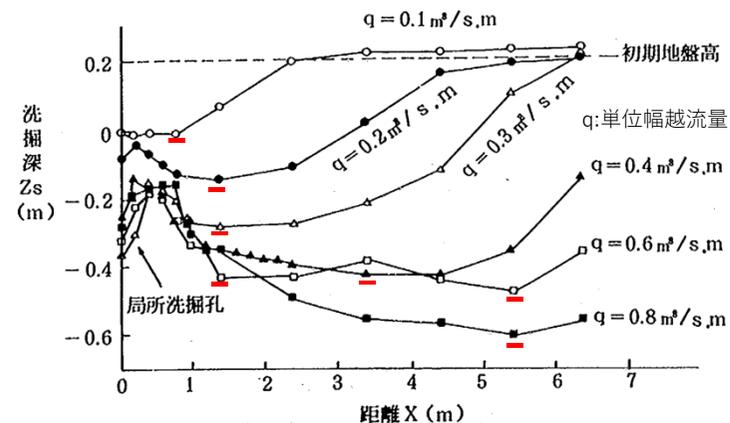
(d) 被覆ブロックの水中所要重量(平型ブロックで試算)

# 裏法尻保護工(基礎工)周辺の洗掘に対する安定性

- 法尻保護工(基礎工)周辺が洗掘された場合でも、法尻保護工の安定性が維持されること。
- 既往の研究成果(加古川実験等)を参考にして、越流量に応じた洗掘形状を想定した上で、法尻保護工の安定性を評価する。
- 法尻保護工(基礎工)周辺の洗掘形状については、限定的な条件での検討結果が示されているのみであり、裏法勾配、基礎工天端の平場の幅に応じた洗掘形状については追加の検討が必要である。
- 法尻の平場の幅については、粘り強い海岸堤防や加古川の検討結果が参考にある(越流水深と必要な平場幅)。



裏法尻保護工下流の流況及び洗掘状況



堤内地の洗掘状況

出典): 福岡捷二, 藤田光一, 加賀谷均: アーマー・レビーの設計, その1, 土木技術資料30-3, 1988

※土木研究所資料第2074号 越水堤防調査最終報告書-解説編- 及び 加藤史訓, 諏訪義雄, 鳩貝聡, 藤田光一: 津波の越流に対して粘り強く減災効果を発揮する海岸堤防の構造検討, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.70, No.1, 31-49, 2014 を参考に作成

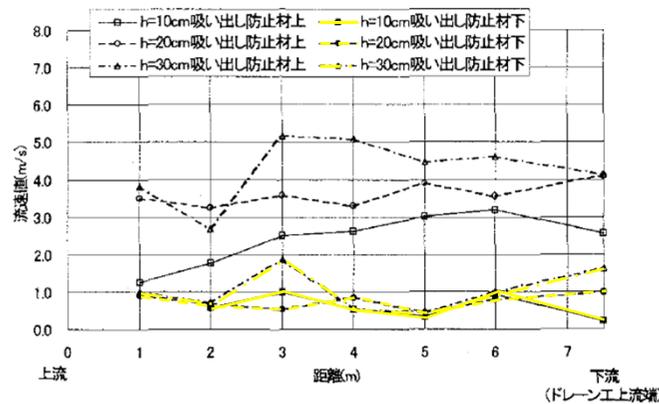
# 法面保護工下の土砂の吸い出し、その他法覆工表面の凹凸を生じさせるような変化を生じさせないこと

## 吸出防止シートの場合

- 吸出防止シートのみで法面を被覆した場合には、吸出防止シートと法面との間に流れが生じ、法面を侵食することが確認されており、流れが生じないように対策することが必要(左下図)。
- 吸出防止シートをブロックで覆った場合の吸い出し防止効果については経験的には効果が期待されるものの、その効果の定量的評価手法について追加の検討が必要である。
- シートに作用する流速に応じて、シート下の法面からの土砂の吸い出しや侵食が生じないようにするための透水性(透水係数)とシート厚の決定方法について確認する必要がある。

## 遮水シートの場合

- 遮水シートを用いることで、土砂の吸い出しや侵食を防止できると考えられるが、シートは幅2m程度で製造されており、その重ね合わせ部から土砂の吸い出しや侵食が生じる可能性。
- シートの重ね部を越流水に対して弱部としないための対策については、シートを15cm程度重ねることが対策として示されているものの、越流時の対策として十分であるかについてはさらに検討が必要である。
- 越水時に堤体内の空気を排出するための空気孔については具体の構造が示されているものの、より効率的な排気方法について検討する必要がある。



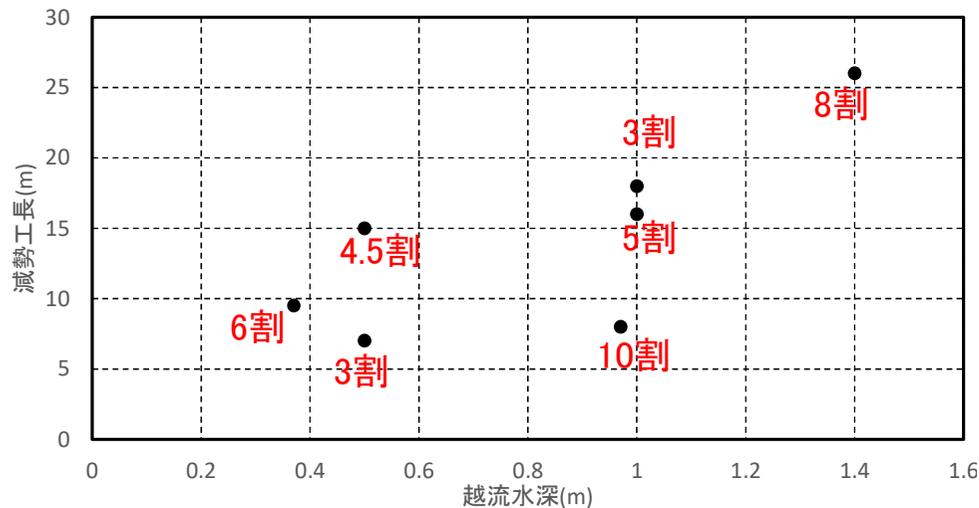
シート重ね部から生じる法面の侵食

## 吸出防止材上下の流速測定結果<sup>1)</sup>

1) 藤田光一・末次忠司・諏訪義雄・東高德・白土正美・郡司篤・最上谷吉則: 透水性(排気性)材料を用いた堤防裏法越水強化工法の水理的評価と技術的位置づけについて, 河川技術論文集, 第7巻

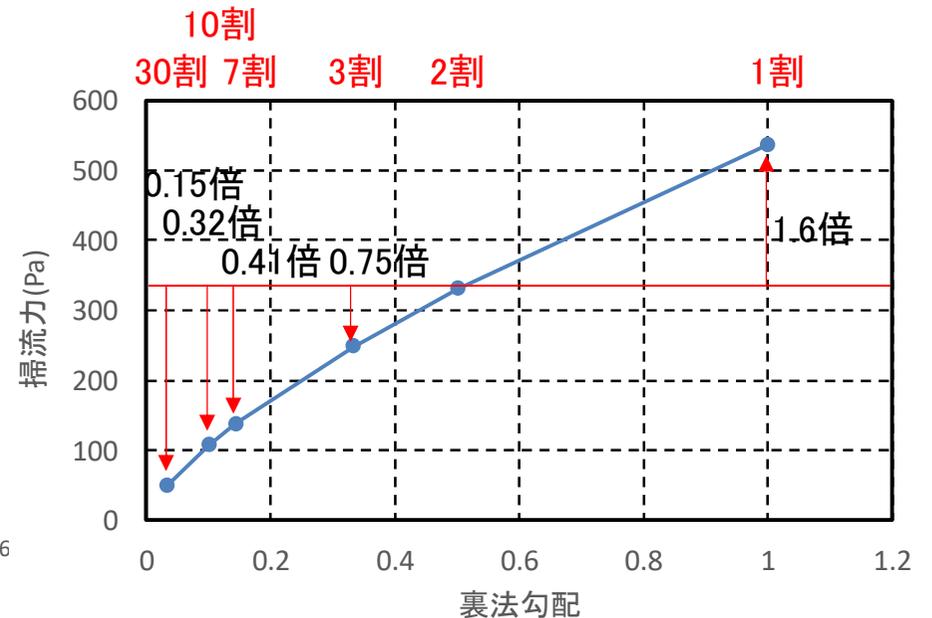
## 越水時の堤内地における侵食被害を軽減するための減勢工

- 越流堤の設計においては、堤内地、例えば農地の表土の侵食を防止するため、減勢工によって流速を2m/s以下まで低減することが望まれる。
- 遊水地の越流堤(7事例)を対象として、越流水深と減勢工長との関係を整理した(左図)。
- 越流水深と減勢工長との関係を見ると、越流水深の増加に伴い、減勢工長が長くなる傾向にある。一方で、裏法勾配を緩くすることで、減勢工長を短くすることができる。
- 右図は、越流量を変えずに、裏法勾配を変化させた場合の裏法面に作用する掃流力(等流流速で評価)の変化を示す。裏法勾配2割を基本とすると、裏法勾配を3割にすることで法尻に作用する流体力を25%軽減でき、減勢地もその分だけ規模を縮小することが可能となる。



越流水深と減勢工長との関係(遊水地の越流堤7事例)

※ 赤字は越流堤の裏法勾配

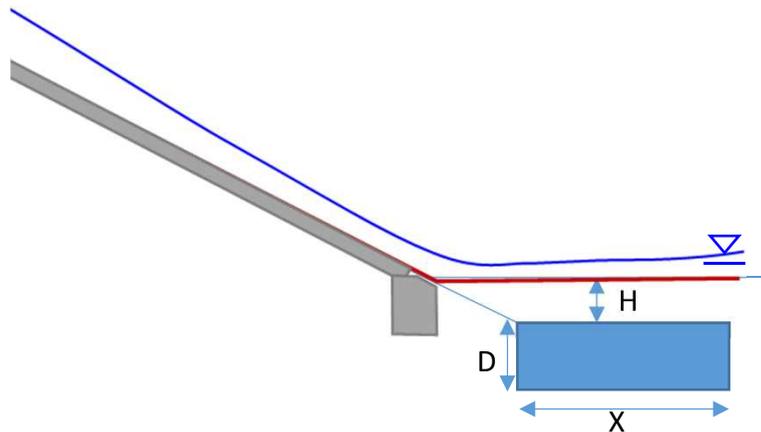


裏法勾配に応じた法面に作用する掃流力の変化

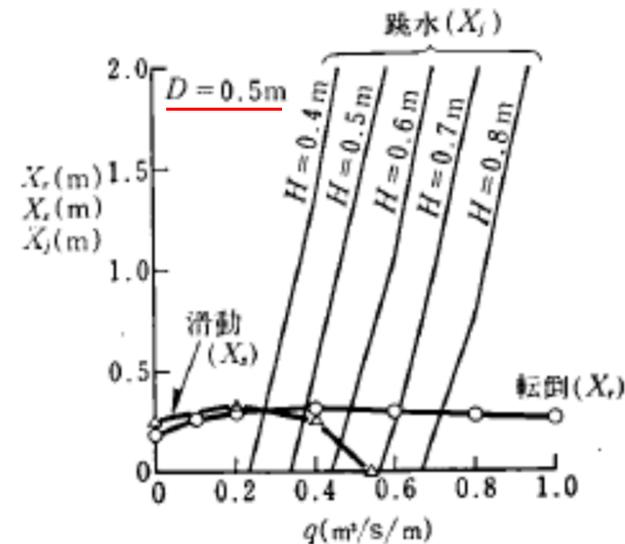
※ 越流水深30cmに相当する越流量を固定した上で、裏法勾配を変えた場合の等流状態での掃流力を算定した結果。なお、粗度係数は $0.03\text{m}^{-1/3}\cdot\text{s}$ とした。

## 越水時の堤内地における侵食被害を軽減するための法尻構造の工夫 (堤内地に用地を確保できない場合)

- 通常の河川堤防では、遊水地の越流堤のように十分な減勢工の用地を取得することは難しい。
- これまでに堤内地の地中に越流水の流れを制御する構造物を置くことで減勢効果を確保するための検討が行われている。
- その構造の工夫にあたって、1)越流水を跳ねさせることにより堤内地の洗掘を軽減する、2)堤内地の洗掘が進行しても法尻工の下からの堤体土の吸い出しを防ぐ、3)転倒や滑動に十分抵抗できる、4)堤体内の浸透水や雨水の排水が可能である、5)長期間機能を維持できる、ことが必要とされた。
- また、施工にあたっては、材料劣化や周辺の景観との調和に関連し、保護工上に盛土をした場合の法すべりの防止、植生の生育等についても考慮された構造が検討されている。
- 越流量と洗掘深との関係から $D=0.5\text{m}$ として、転倒及び滑動に対して安定な幅は少なくとも $0.4\text{m}$ 以上必要である。また、法尻工上で跳水を発生させるための必要幅は、単位幅越流量 $q$ 及び埋設深 $H$ に応じて変化。埋設深 $H$ を大きくすることによって必要幅 $X$ を小さくできる。なお、本実験は堤体模型 $2.0\text{m}$ と実際の堤防より小さく、堤内地材料や裏法尻に働く流体力が現地と異なることから、そのまま適用することはできない。



埋設構造物のイメージ



越流量と法尻保護工の長さ、埋設深との関係

出典): 福岡捷二, 藤田光一, 加賀谷均: アーマー・レベীর設計, その1, 土木技術資料30-3, 1988

## 既往の研究成果のまとめ

- 表面被覆型の堤防強化工法について、既往の研究成果を整理した。
- その結果を参考にして、表面被覆型の粘り強い堤防構造について検討した。これは、越水開始から根毛層(表面被覆材)の侵食初期段階までの時間を引き延ばす対策である。
- 天端をアスファルト、法面をブロックとシート(遮水シートもしくは吸出防止シート)、法尻を基礎工で被覆する堤防構造とした場合の留意点は以下の通りである。
  - ① 越流水による流体力に対して、法尻保護工(基礎工)、法面保護工、天端保護工が安定であること。
  - ② 法尻保護工(基礎工)周辺が洗掘された場合でも、基礎工の安定性が確保されること。
  - ③ 長い越流時間に対して保護工の安定性を確保するためには、法面保護工下の土砂の吸い出し、その他法覆工表面の不陸を生じさせるような変化を生じさせないこと。
- 一方で、表面被覆型の堤防構造の粘り強さを定量的には評価できていないため、その表現方法を具体化していく必要がある。
- また、越水時には堤内地にも高流速が走り、建物や農地の被害を生じさせることから、堤内地の侵食被害を軽減するための法尻構造の工夫が提案されている。限定的な条件での実験ではあるが、埋設型の法尻保護工によって、堤内地へと向かう流速を早期に減勢することの可能性が示されている。

## 表面被覆型(ブロック張り、シート張り)の堤防強化工法に関する今後の課題

### 堤防強化工法について追加的に検討すべき事項

#### (ブロック張り)

- 越流水(長時間の越流)に対して、滑動・転倒が生じにくいブロックの重量の算定や形状や構造を選定する手法について検討する必要がある。
- 法尻保護工周辺の洗掘形状について、裏法勾配、法尻保護工天端の幅に応じた洗掘形状等を推定する手法を検討する必要がある。
- 法面保護工下からの土砂の吸い出しが生じにくい構造について検討する必要がある。

#### (シート張り)

- シートとシートの重ね合わせ部において、めくれや土砂の吸い出しを防止するための対策について検討する必要がある。
- シートと天端、シートと法尻部との接続部において、シートの抜け落ちやシートの開きが生じないように、端部での固定方法について検討する必要がある。