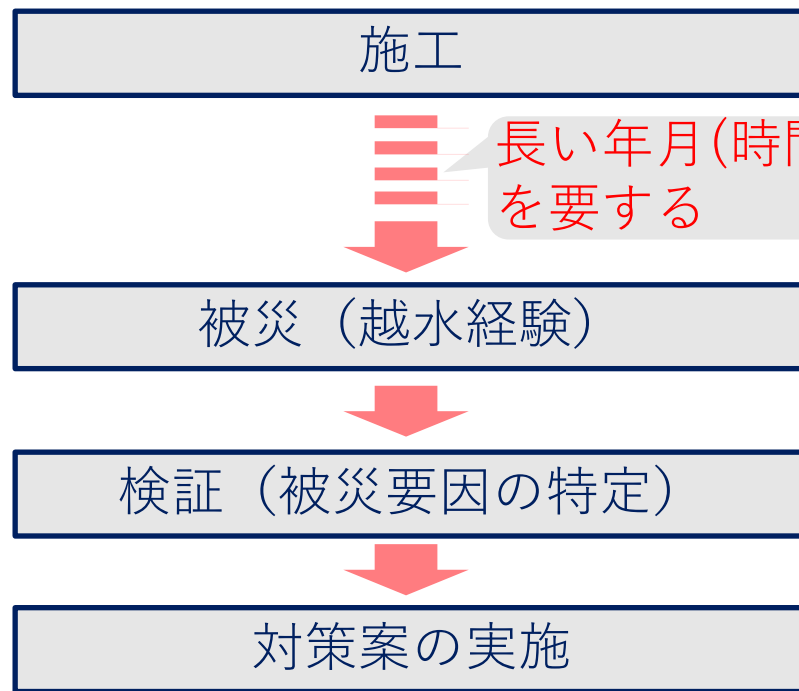
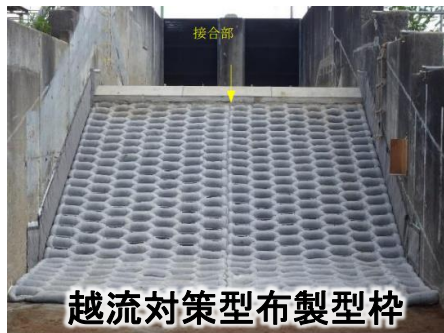


かご工を事例とした 越水に対する性能の信頼性向上に 関する実験的研究

- 河野 努 日鉄建材株式会社 土木開発技術部
(元国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室)
- 三好 朋宏 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室
- 福岡 千陽 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室
- 松尾 峰樹 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室
- 瀬崎 智之 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室

- 粘り強い河川堤防の技術開発が進められており、国土交通省が実施した技術公募によって、4件の技術が一定の越水性能を有する技術としてB評価を得た
- 技術の越水性能は、経年劣化・施工誤差などの実現場で起こりうる不確実性事象が存在する状況下でも性能を発揮できる信頼性を有していることが望まれる
- 今後、試験施工によって信頼性を向上させる改善サイクルが回されていくことが期待されるが、生起確率の低い越水現象を対象とするため、長い年月を要することが想定される



第1回技術公募によってB評価を得た技術

試験施工による信頼性向上の改善サイクル

- 改善サイクルの早回しを目的に、越水性能の喪失シナリオを整理したFT図中の経路を水理模型実験で検証することで、効率的に信頼性向上を図る手法を試行

① 実現場での不確実性事象を要因として越水性能が損なわれるまでのシナリオをFT図に整理

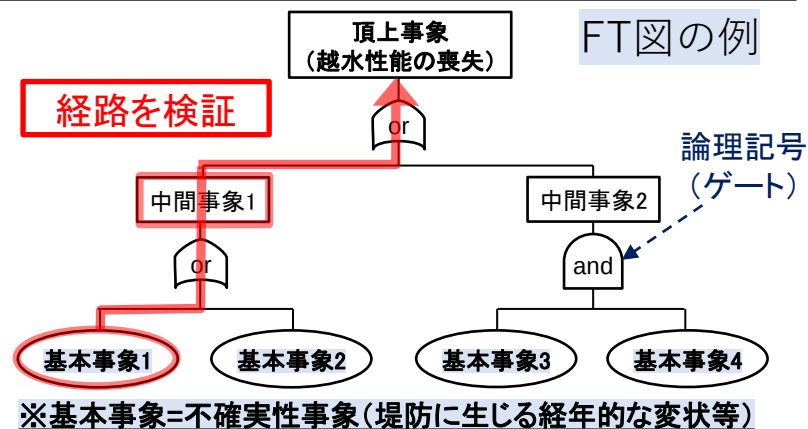
<FT図 (Fault Tree Diagram)>

- 望ましくない事象を頂上事象とし、そこに至るまでに発生する複数の過程事象をぶらさげてツリー構造により可視化した図
- 変状連鎖図と異なり、論理記号(ゲート)により、プロセスの進行条件等が組み込まれていることが特徴。

② FT図中の経路を実大水理模型実験で検証
(基本事象となる不確実性事象が越水性能に与える影響の確認)

③ 検証結果を基にFT図を見直し
(対策案の検討等の技術的なフィードバック)

FT図と実験を組み合わせた信頼性向上手法のフロー図

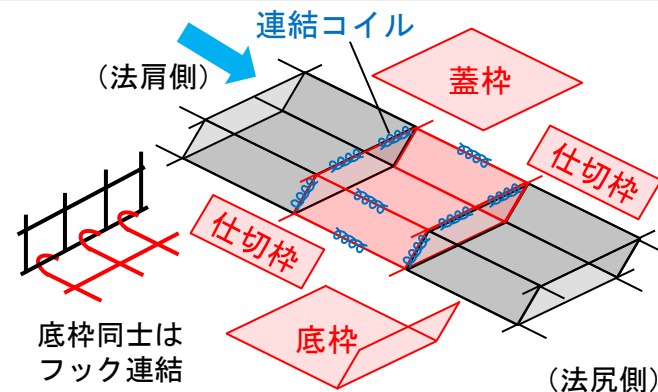
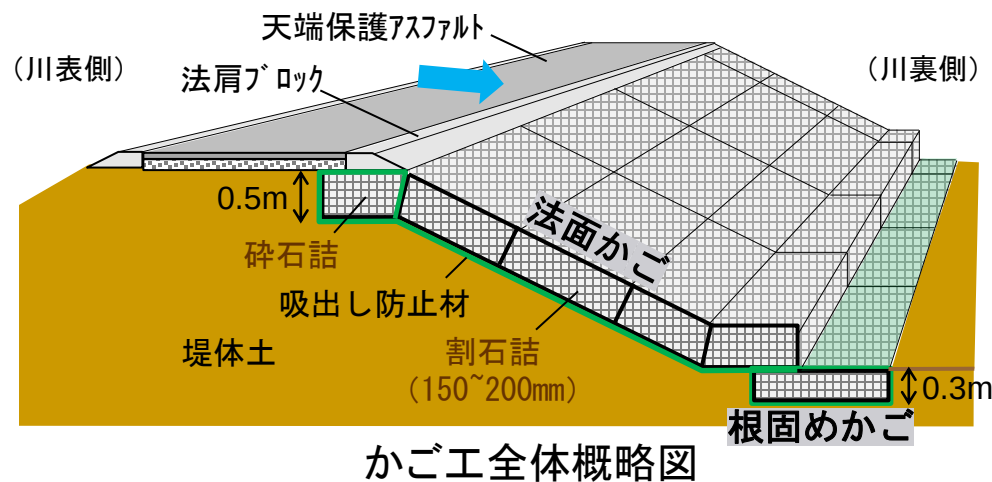


本手法を「溶接金網を使用したかご工」に適用した結果を報告

かご工の構造の特性

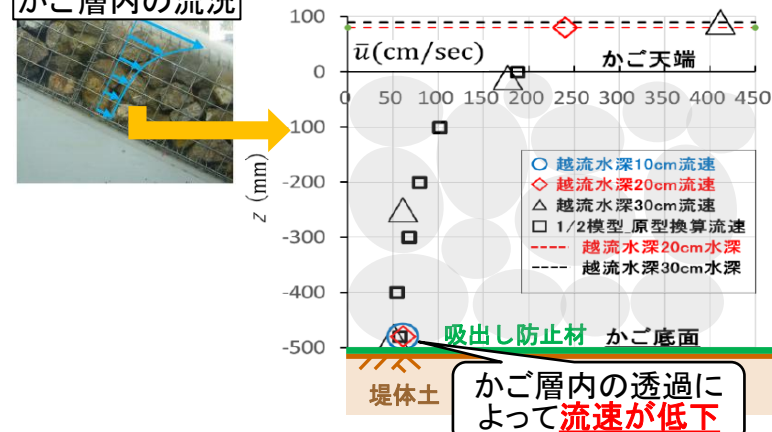
4

- 堤防の裏法面を覆う吸出し防止材を固定する法面かご部と、堤内地盤の洗掘を抑制する根固めかご部で構成
- 越水時には、越流水がかご層内を透過することで減勢し、堤内地盤の洗掘や裏法面の侵食を抑制することが特徴



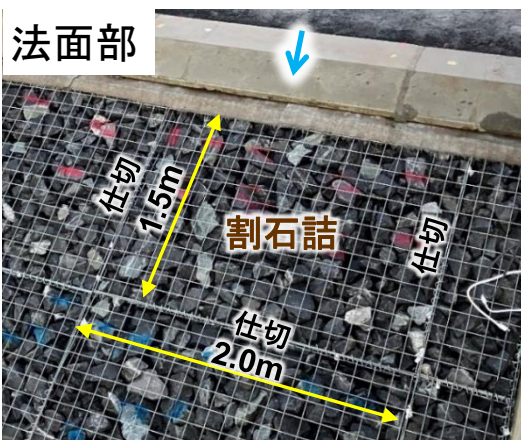
かご枠の構成

かご層内の流況



かご層内外の流速垂直分布

(文献¹⁾に一部加筆)



1) 堀ら: 実物大実験に基づく河川堤防における表面被覆型かご系構造物の耐越水性の検討, 河川技術論文集, 第30巻, 2024.

FT図の作成と検証ケースの選定

5

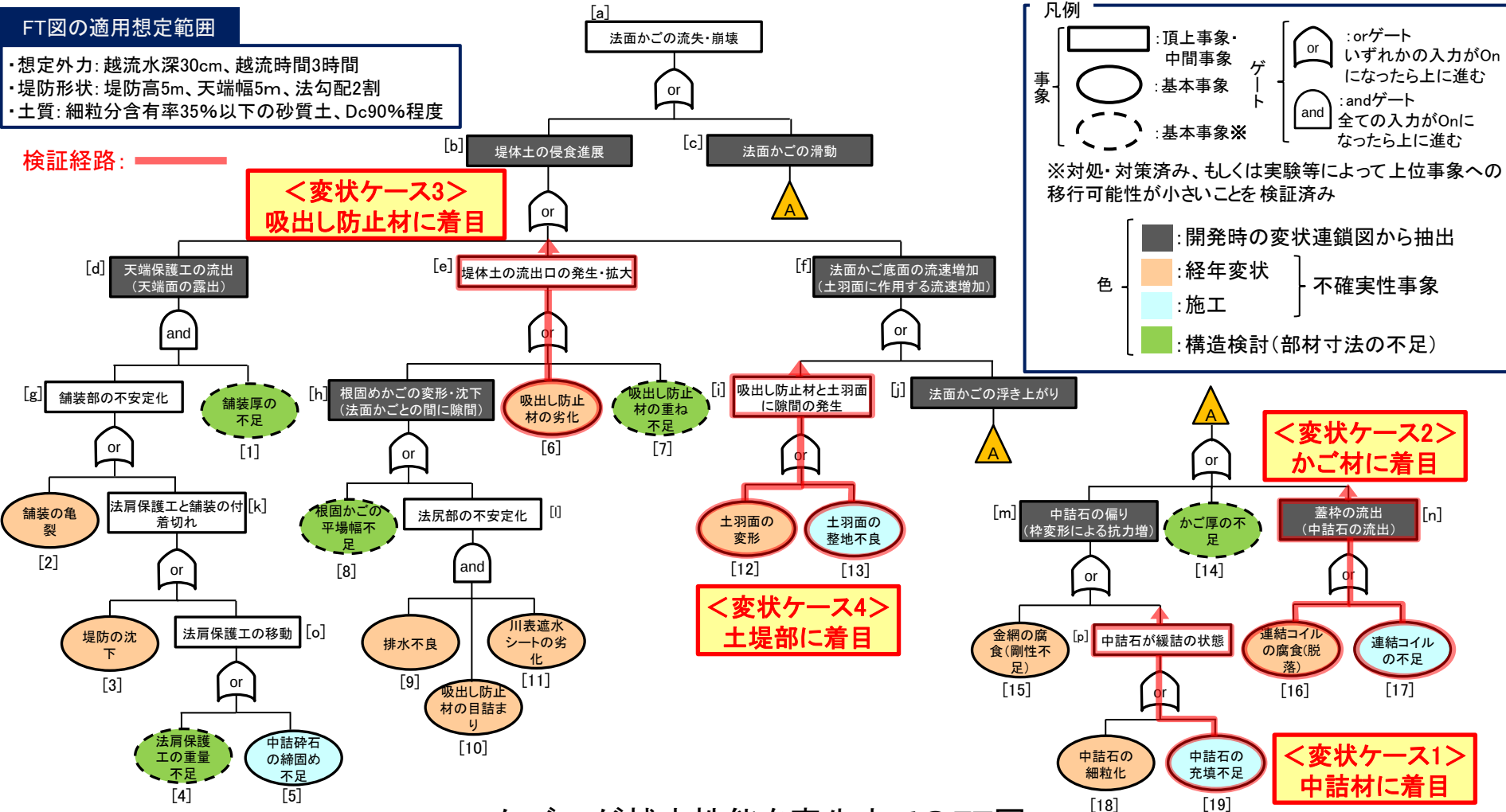
- かご工の開発時に作成された変状連鎖図、既往の越水に関する知見、堤防の現地調査事例などを基にFT図を作成
- 堤防を構成する異なる部材や部位に着目した変状の進行経路を実験で検証

FT図の適用想定範囲

- 想定外力: 越流水深30cm、越流時間3時間
- 堤防形状: 堤防高5m、天端幅5m、法勾配2割
- 土質: 細粒分含有率35%以下の砂質土、Dc90%程度

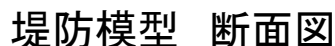
検証経路: ———

**<変状ケース3>
吸出し防止材に着目**



かご工が越水性能を喪失までのFT図

6



実験ケース

ケース	変状内容	越流水深	通水時間
予備実験1	一（覆土あり）	30cm	3時間
予備実験2	一（覆土なし）	〃	3時間
変状ケース1	中詰石が緩詰の状態	〃	1時間
変状ケース2	蓋枠の流出	〃	45分
変状ケース3	堤体土の流出口の拡大・発生	〃	1時間
変状ケース4	吸出し防止材と土羽面に隙間の発生	30cm・47cm	各1時間

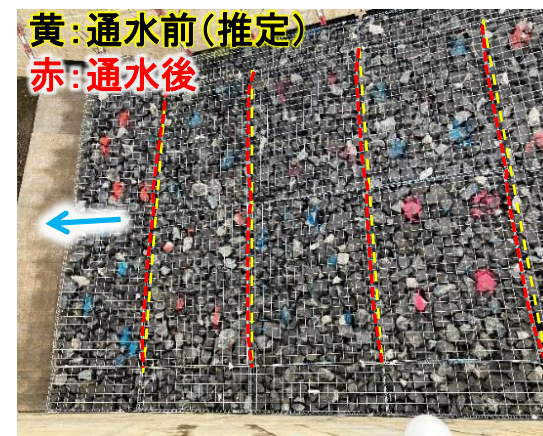
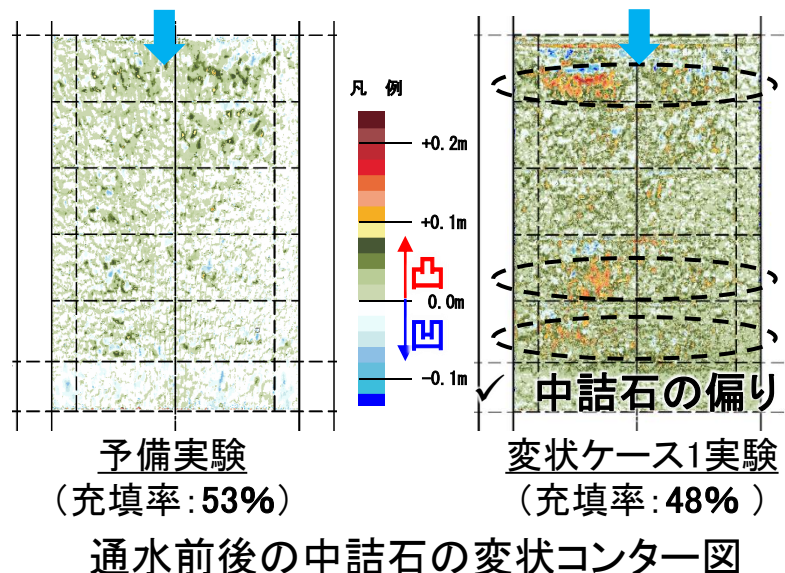
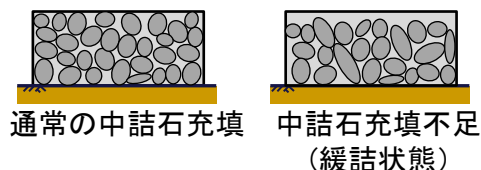
- 予備実験で本模型条件での越水性能を有することを確認した後、変状検証実験を実施
- 堤体模型は都度作り直さず、各ケースごとに部分的な改変をしながら通水を実施



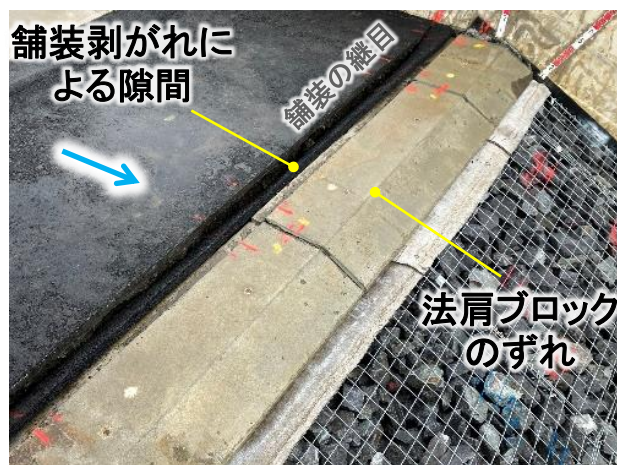
変状ケース1(中詰石が緩詰の状態)実験の結果

7

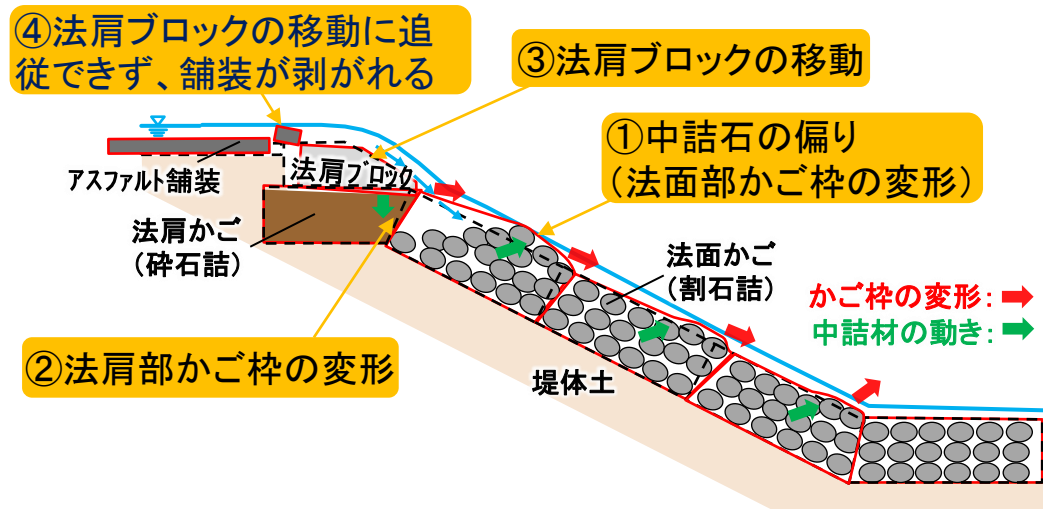
- かごの中詰石の充填率を予備実験時の53%から48%まで減じて緩詰状態を再現



- ✓ 各仕切枠に法尻側方向へのたわみ変形が発生



- ✓ 法肩ブロックの移動
- ✓ 舗装の剥がれ



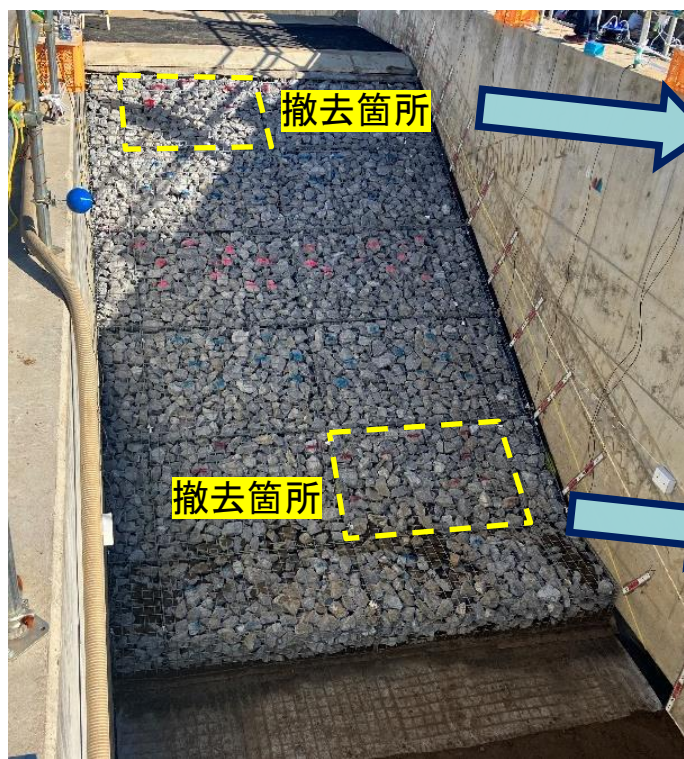
想定される天端舗装剥がれの発生プロセス

➤ 中詰石の偏り⇒天端部が不安定化する、当初想定していない進行経路が確認

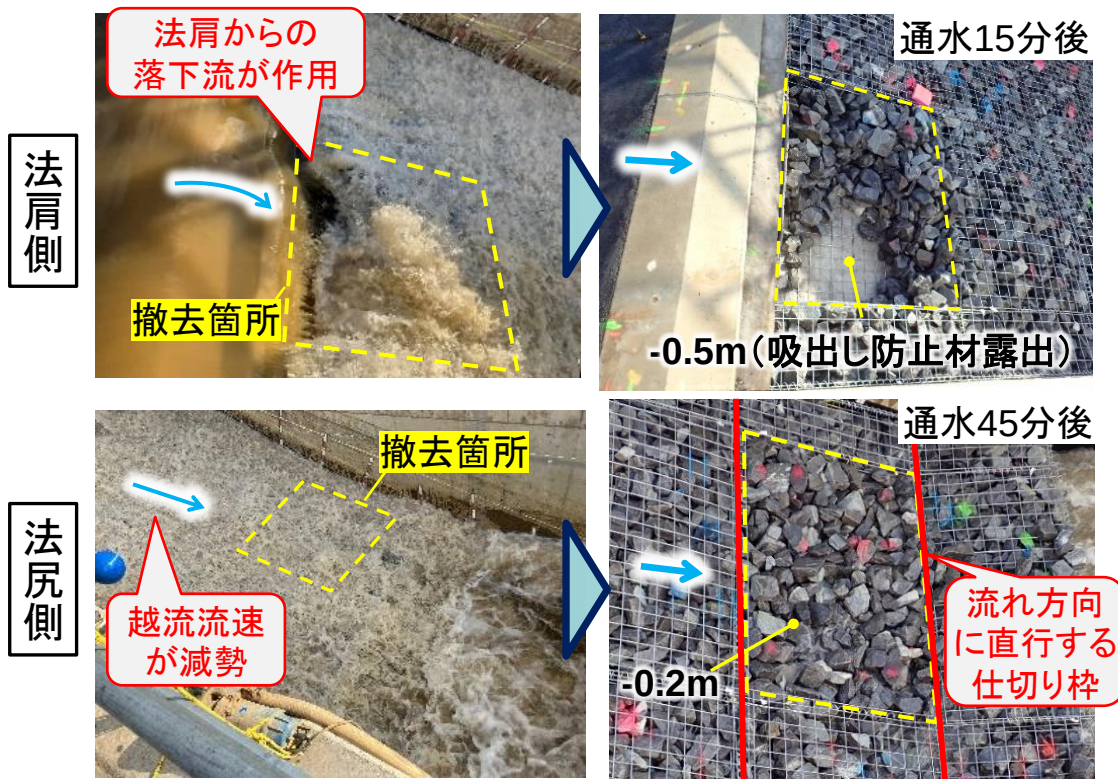
変状ケース2(蓋枠の流出)実験の結果

8

- 法尻側: 表層の中詰石が部分的に流失(影響小)
→ 越流水の減勢効果や、直行する仕切り枠が支えとなり、中詰石の流失を抑制
- 法肩側: かご工の底面が露出するほど中詰石が流失(影響大)
→ 法肩からの落下流によって、中詰石が掘り出されて流失



蓋枠欠損箇所位置



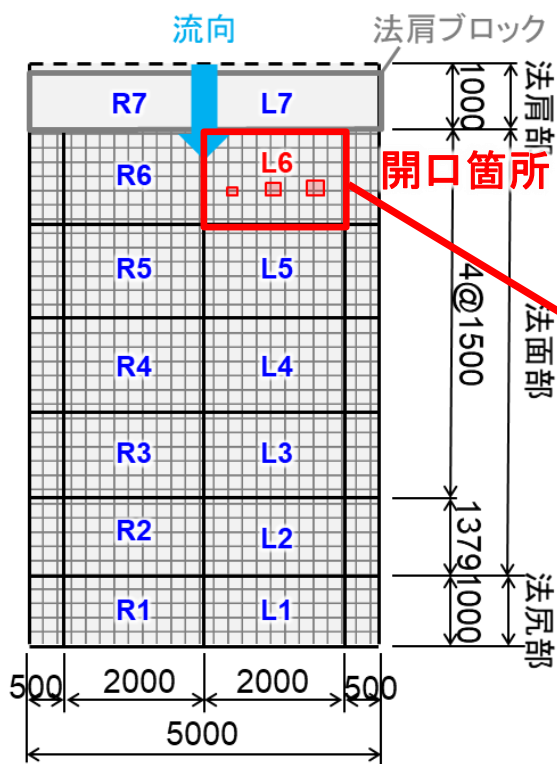
蓋枠欠損箇所の状況(左:通水中、右:通水後)

➤ 法肩側で蓋枠が欠損しないようにする対策の実施が重要

変状ケース3(堤体土の流出口の発生)実験の結果

9

- 吸出し防止材の開口部で侵食が若干生じる程度で範囲は限定的
→越流水の減勢効果や、開口部への金網の追従(屈撓性)により、侵食を抑制



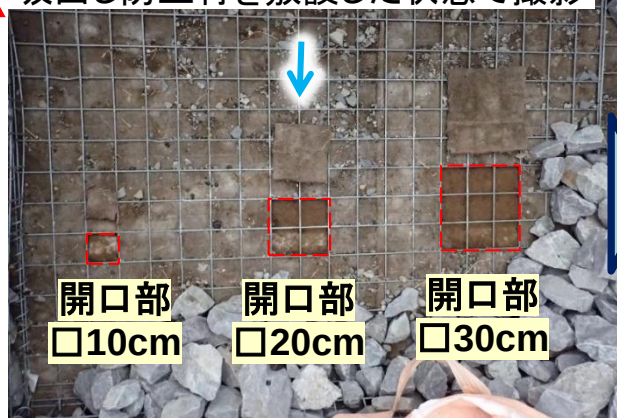
吸出し防止材開口箇所位置

堤体土の流出口として、
吸出し防止材に開口部を設けた

<開口箇所について>

変状ケース1・2の結果から、最も越流水の影響を受けやすいと考えられる、法肩付近とした

吸出し防止材を敷設した状態で撮影



吸出し防止材を撤去した状態で撮影



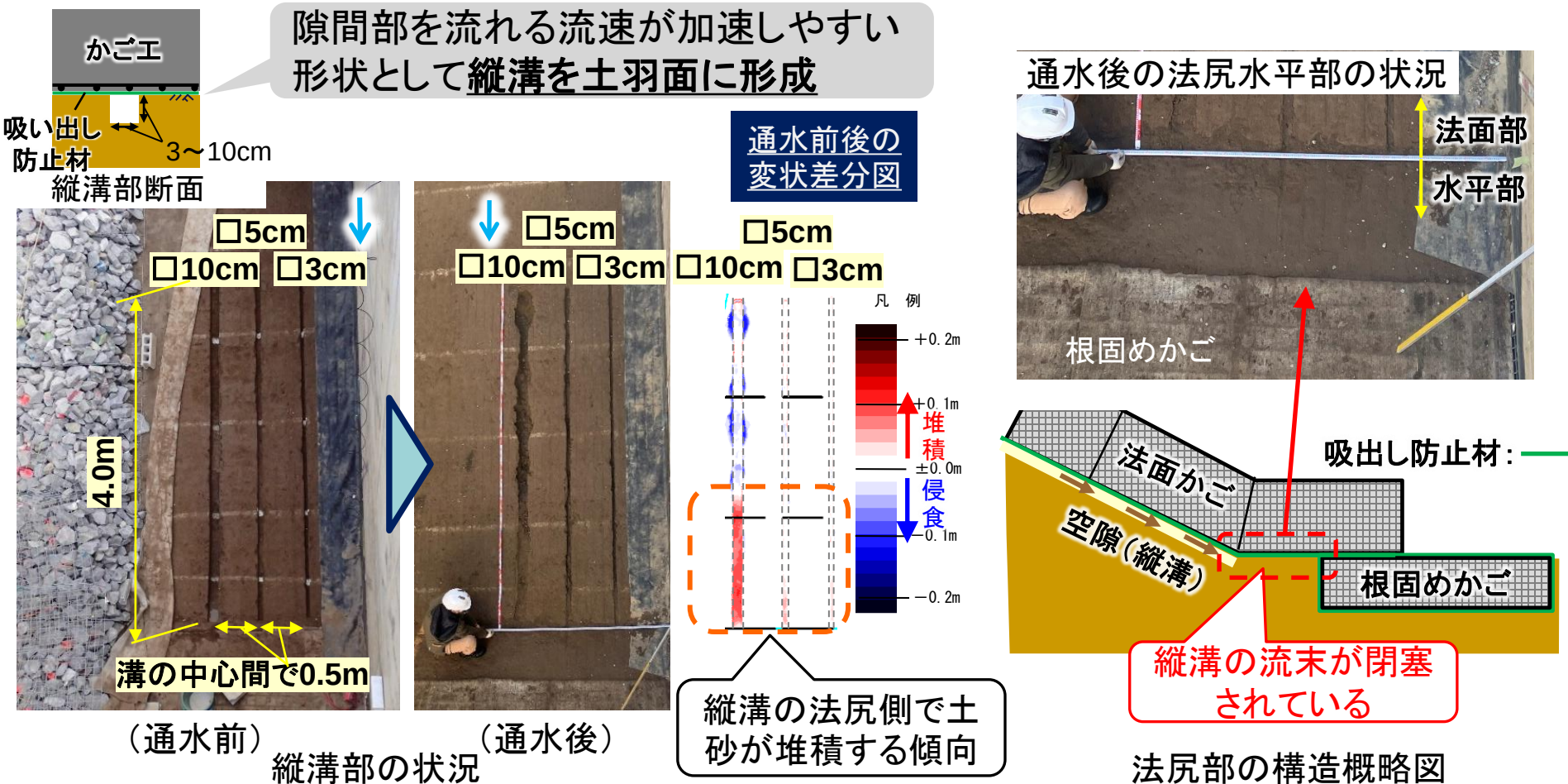
吸出し防止材開口部の状況(左:通水前、右:通水後)

※枠内は、開口部を施した後に中詰石を充填

➤ 吸出し防止材に開口部が生じる変状は、越水性能への影響が小さいことが示唆

変状ケース4(土羽面と保護工に隙間がある状態)実験の結果 10

- 侵食の広がりは限定的で、縦溝の法尻側に土砂の堆積が確認
→縦溝の流末部が閉塞された構造のため、法尻からの土砂流出や縦溝内の流速上昇を抑え、侵食の進行を抑制



➤ 保護工下に隙間が生じる変状は、越水性能への影響が小さいことが示唆

再現した 変状内容	①中詰石が緩詰の 状態	②蓋枠の流出	③堤体土の流出口の拡大・発生 (吸出し防止材に開口部)	④吸出し防止材と土羽 面に隙間の発生 (土羽面に溝)
結果	中詰石の偏りによって 天端保護工が不安定化 (想定していない不安 定化の進行経路)	法肩側の枠内で中詰 石が多量に流失 ※法尻側では限定的	侵食の進展は限定的	侵食の進展は限定的
越水性能 への影響	大	大 (法肩側)	小	小
想定され る対策案	施工時に中詰石が 不足しないように、施 工基準を策定する 等	蓋枠の連結コイルの 増量、維持管理時に 重点的に観察する 等 連結コイル   対策対象箇所 (蓋枠部の連結コイル)	—	—

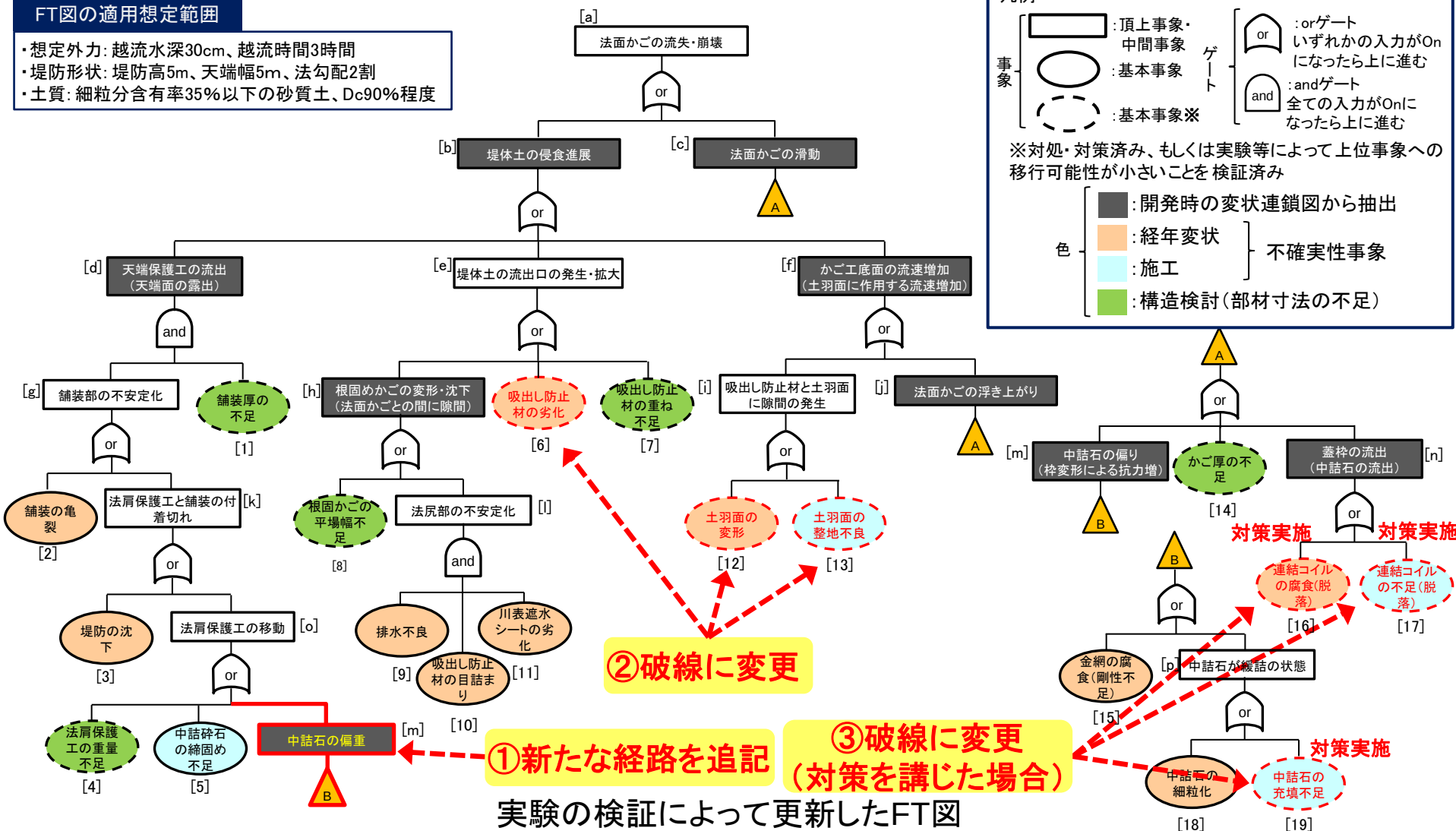
実験結果を踏まえたFT図の更新

12

- ① 当初想定していなかった新たな経路を追記
- ② 上位事象への移行可能性が小さいと考えられる基本事象を破線に変更
- ③ 対策を講じる事で上位事象への移行可能性を小さくできる基本事象を破線に変更

FT図の適用想定範囲

- ・想定外力: 越流水深30cm、越流時間3時間
- ・堤防形状: 堤防高5m、天端幅5m、法勾配2割
- ・土質: 細粒土含有率35%以下の砂質土、Dc90%程度



②破線に変更

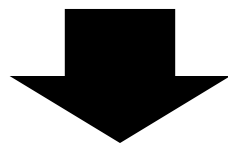
①新たな経路を追記

③破線に変更
(対策を講じた場合)

実験の検証によって更新したFT図

かご工を対象に、FT図と実験による信頼性向上の手法を試行し、以下の結果を得た。

- 想定していなかった不安定化の進行経路や、想定よりも越水性能への影響が小さい不確実性事象を把握
- 越水性能への影響が懸念される不確実性事象については、実験時に確認された水理現象を基に対策を講じることで、越水性能の改善(脆弱部の克服)が期待できることを示した



- 検証結果を基に、FT図を更新することで、本技術を現場に適用した際における、留意すべき事項の絞り込みが可能となる
- 本改善サイクルによって、実現場での不確実性に対応していくことで、信頼性の早期向上が図れるものと考えられる