

地盤工学会 会長特別委員会最終報告会

「平成30年西日本豪雨を踏まえた地盤工学の課題と提言」

河川堤防の課題と提言

1. 議論となった事例，現象と設計・管理の課題
2. 提言策定方針
3. 提言概要

堤防WG 前田健一
(名古屋工業大学)

堤防WGメンバーと土木学会との連携

【堤防 WG】（※WG 長）

氏名	所属	関連委員会・推薦・調査団
前田健一 （※）	名古屋工業大学	JGS 理事・JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会委員長
杉井俊夫	中部大学	JGS 専門委員・JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会
岡村未対	愛媛大学	JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会前委員長
佐々木哲也	土木研究所	JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会副委員長
石田正利	太陽工業	JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会幹事長
竹下祐二	岡山大学	JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会
森 啓年	山口大学	JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会
石原雅規	土木研究所	JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会
新清 晃	応用地質	JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会
李 圭太	日本工営	JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会
二瓶泰雄	東京理科大学	JSCE 水工学委員会調査団
内田龍彦	広島大学	JSCE 水工学委員会調査団
赤松良久	山口大学	JSCE 水工学委員会調査団
肥後陽介	京都大学	関西調査団・JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会
西村伸一	岡山大学	岡山調査団長
西村 聡	北海道大学	北海道支部推薦・JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会
川尻峻三	北見工業大学	北海道支部推薦・JSCE 地盤工学委員会堤防研究小委員会
大塚 悟	長岡技術科学大学	北陸支部推薦
村上 哲	福岡大学	九州支部推薦

土木学会地盤工学委員会・堤防研究小委員会（2011年から活動開始）との合同会議

- ✓ 経験に依存している堤防の設計・施工・維持管理技術の高度化
- ✓ 地盤工学と河川工学の連携，学・官・民で堤防技術に関する活動

河川堤防の役割と構造的特徴(1)

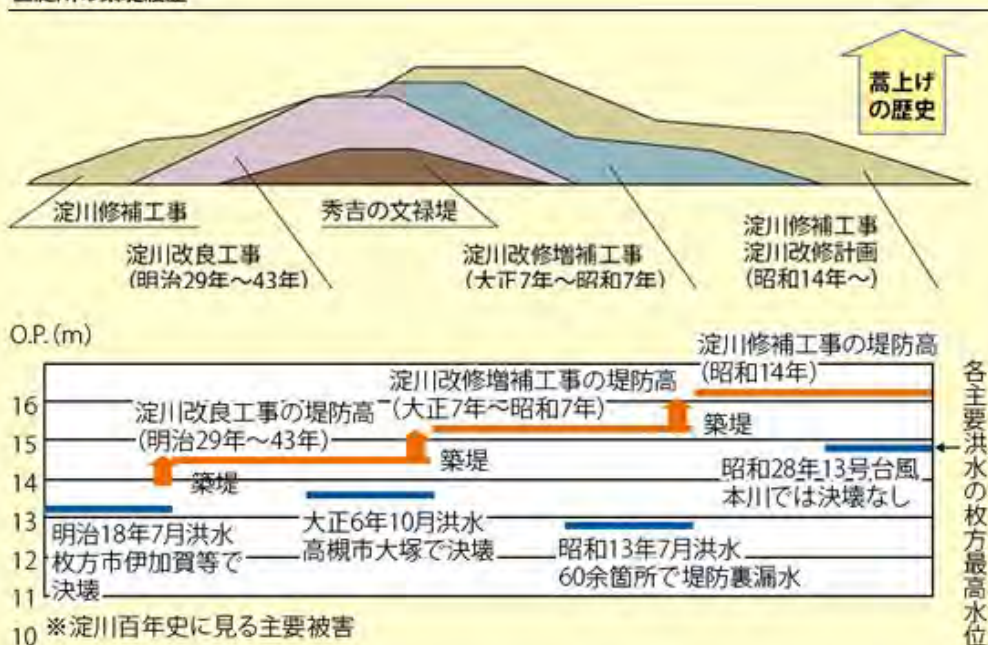
- 国土面積の93%は河川流域からなっており，国土面積の10%の洪水氾濫区域に人口の約50%，資産の約75%が存在
- 河川堤防は洪水時に河川水（外水）が堤内地へ流れ出すことを防ぐ最も重要河川施設
- 作用は継続し，とめることができない

発表時の写真削除

河川堤防の役割と構造的特徴(2)

- 堤防の**基礎地盤は自然地盤**で複雑で把握し難く、**設置箇所を選べない**（洪水氾濫域） ← 治水地形分類図
- **堤体は歴史的**構造物（増築の履歴）

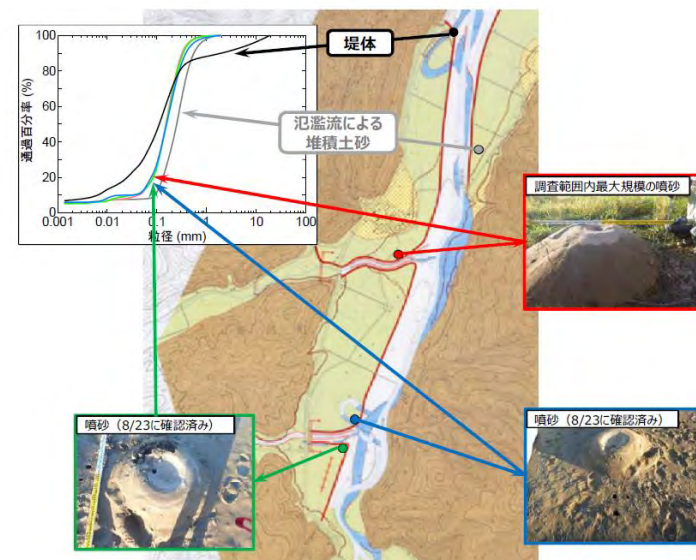
■淀川の築堤履歴



引用および一部加筆：国土交通省淀川河川事務所HP:

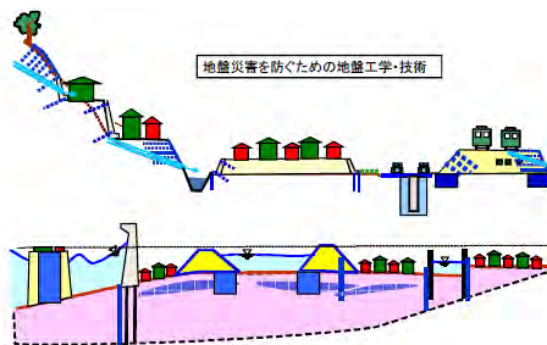
https://www.kkr.mlit.go.jp/yodogawa/know/history/now_and_then/taishou.html

引用および一部加筆：常呂川堤防調査委員会報告書（平成29年3月）の一部に加筆修正



最近の豪雨・洪水による河川堤防の被害例

地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために
—地盤工学からの提言—



2009年8月

社団法人 地盤工学会

2007年度会長特別委員会

東京都文京区千石四丁目 38 番 2 号

TEL: 03-3946-8677 FAX: 03-396-8678 jgs@jiban.or.jp

- ✓ 堤防の詳細点検結果：約 3 割が所定の安全性を満たさない
- ✓ 平成21年（2009）「地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために—地盤工学からの提言—」
- ✓
(洪水被害例)
- ✓ 平成24年7月九州北部豪雨：矢部川....
(越水なき破堤・1976年長良川安八以来)
- ✓ 平成27年9月関東・東北豪雨：鬼怒川....
- ✓ 平成28年8月北海道・東北豪雨：常呂川....
- ✓ 平成30年7月西日本豪雨災害：小田川，肱川....
- ✓
✓ 国土交通省水管理・国土保全局: 水防災意識社会再構築ビジョン
- ✓ 「水防災意識社会」の再構築に向けた緊急行動計画
- ✓ 防災・減災，国土強靱化のための3か年緊急対策.....

一般的な河川堤防の決壊メカニズム概念図

- 堤防の**基礎地盤は自然地盤**で複雑で把握し難く、設置箇所を選べない（洪水氾濫域）
- **堤体は歴史的**構造物（増築の履歴）
- 外力は**継続**し、とめることができない

（越水前に浸透などによって堤防は弱体化） 浸透との複合的な破壊現象 ⇒ 超過洪水対応には重要

越水

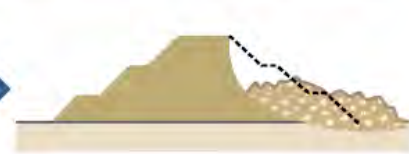
河川水が越水する



越流水により川裏法尻を洗掘される



堤防の法尻が洗掘され、堤防が崩壊



浸食

河川水による侵食・洗掘が徐々に進行



さらに侵食・洗掘が進む

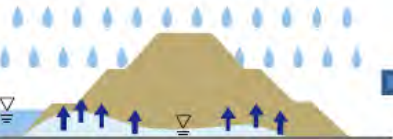


堤防の法尻が洗掘され、堤防が崩壊



堤体浸透・すべり

降雨により、堤防内の水位が上昇



河川の水が、堤防内に浸透



堤防の中の水位がさらに上がり、堤防が弱くなって崩壊しやすくなる

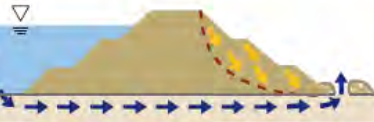


基盤漏水・パイピング

地盤内に水がしみ込み、パイプ状の水みちができる



水みちが広がり、堤防が崩壊し始める



堤防が掘られ、崩壊しやすくなる



引用および一部加筆：常呂川堤防調査委員会報告書（平成29年3月）の一部に加筆修正

堤防研究連携WG 活動報告書



平成24年7月九州北部豪雨
矢部川水系矢部川の堤防の決壊
(越水なき破堤)

土木学会地盤工学委員会堤防研究小委員会: <http://committees.jsce.or.jp/jiban02/>, (参照2019-05-24) .

堤防研究連携WG: 堤防研究連携WG 活動報告書, <http://committees.jsce.or.jp/jiban02/node/25> (参照2019-05-24) .

2015年 9月

土木学会水工学委員会河川部会: 過去のシンポジウム報告書, 河川技術に関するシンポジウム, <http://committees.jsce.or.jp/hydraulic01>, (参照2019-05-24) .

地盤工学委員会・堤防小委員会：侵食・浸透破壊・洗掘WG

水工学委員会・河川部会：堤防WG

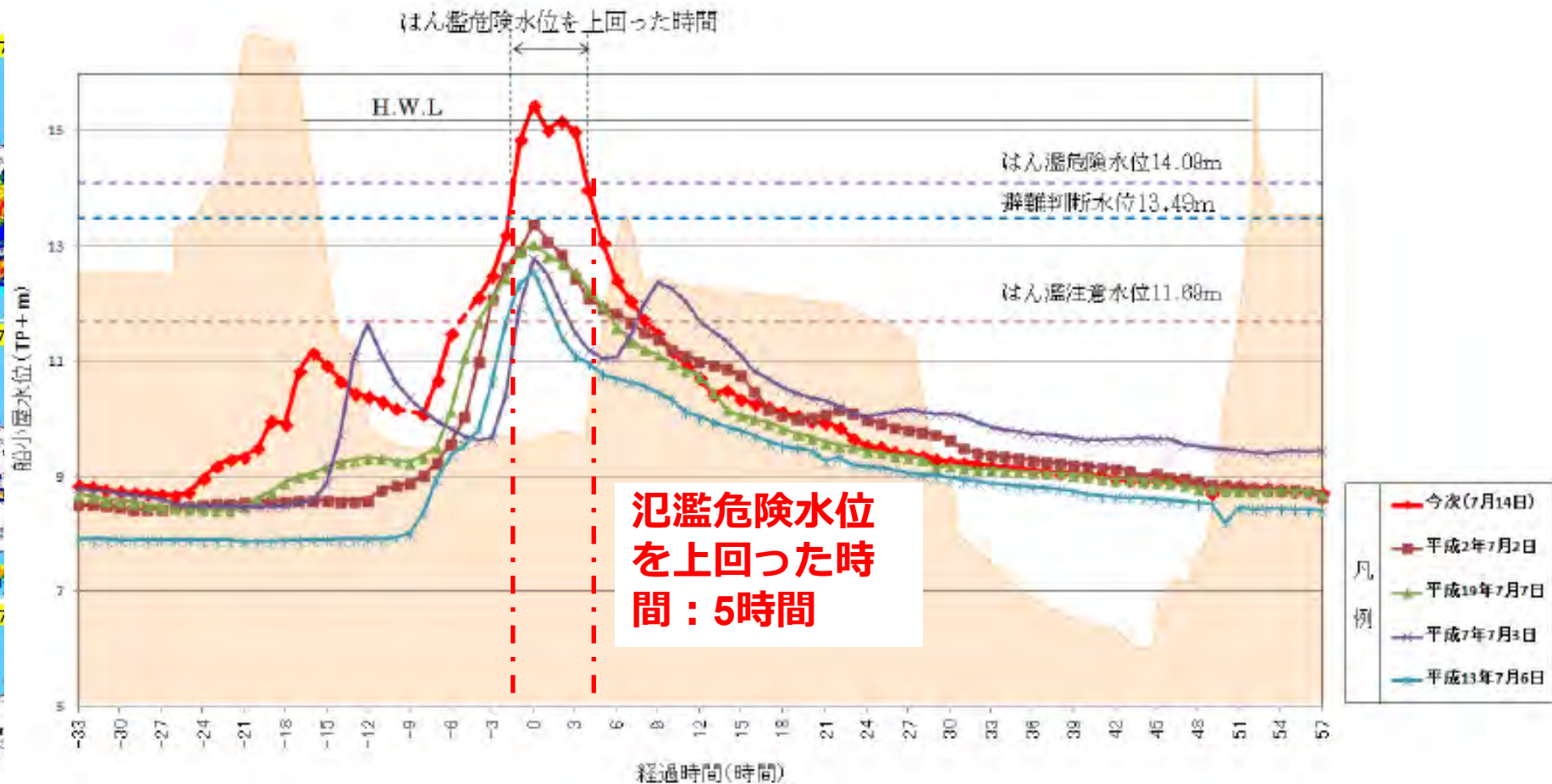
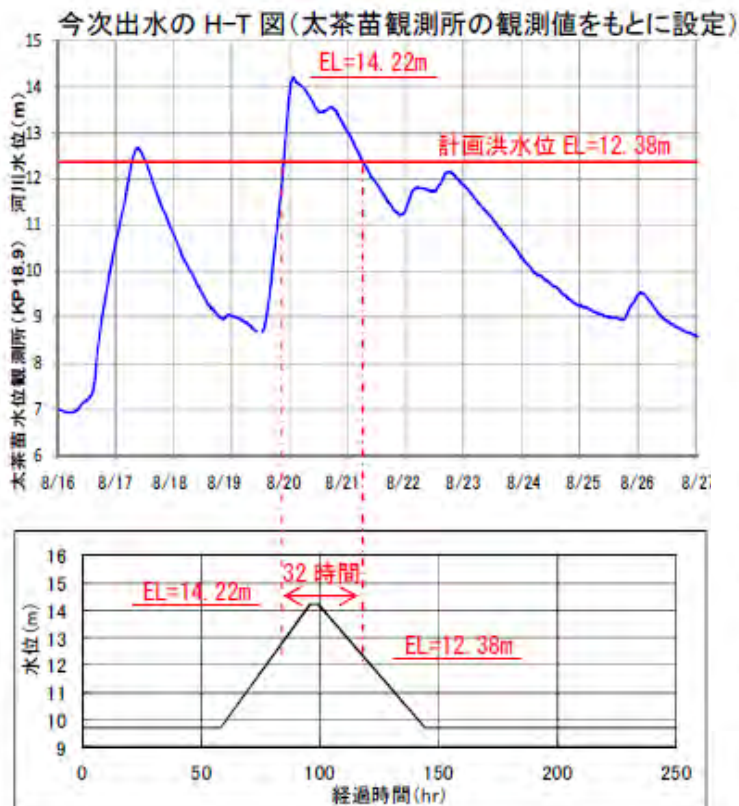


図 2.2.4 矢部川（船小屋水位観測所）における主要洪水の水位比較（昭和 49 年～）

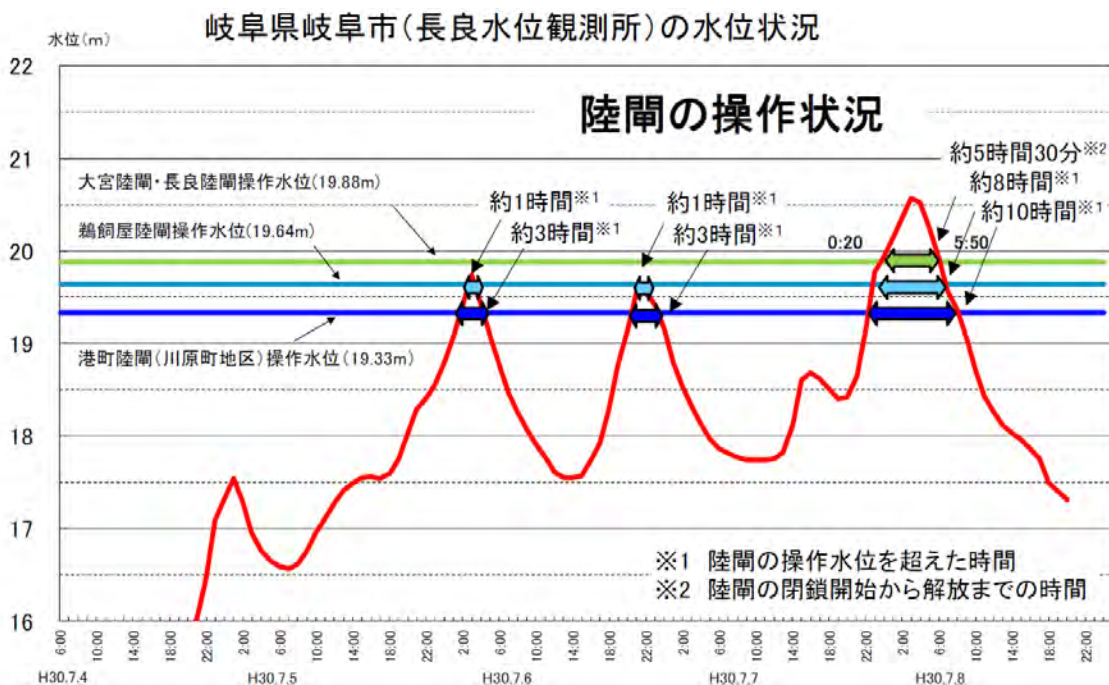
※経過時間については、最大水位を記録した時刻を 0 として表記している。

今次出水（7 月 14 日）の数値は観測されたリアルタイムデータです。

激甚化豪雨時の高水の長時間継続や波状の水位

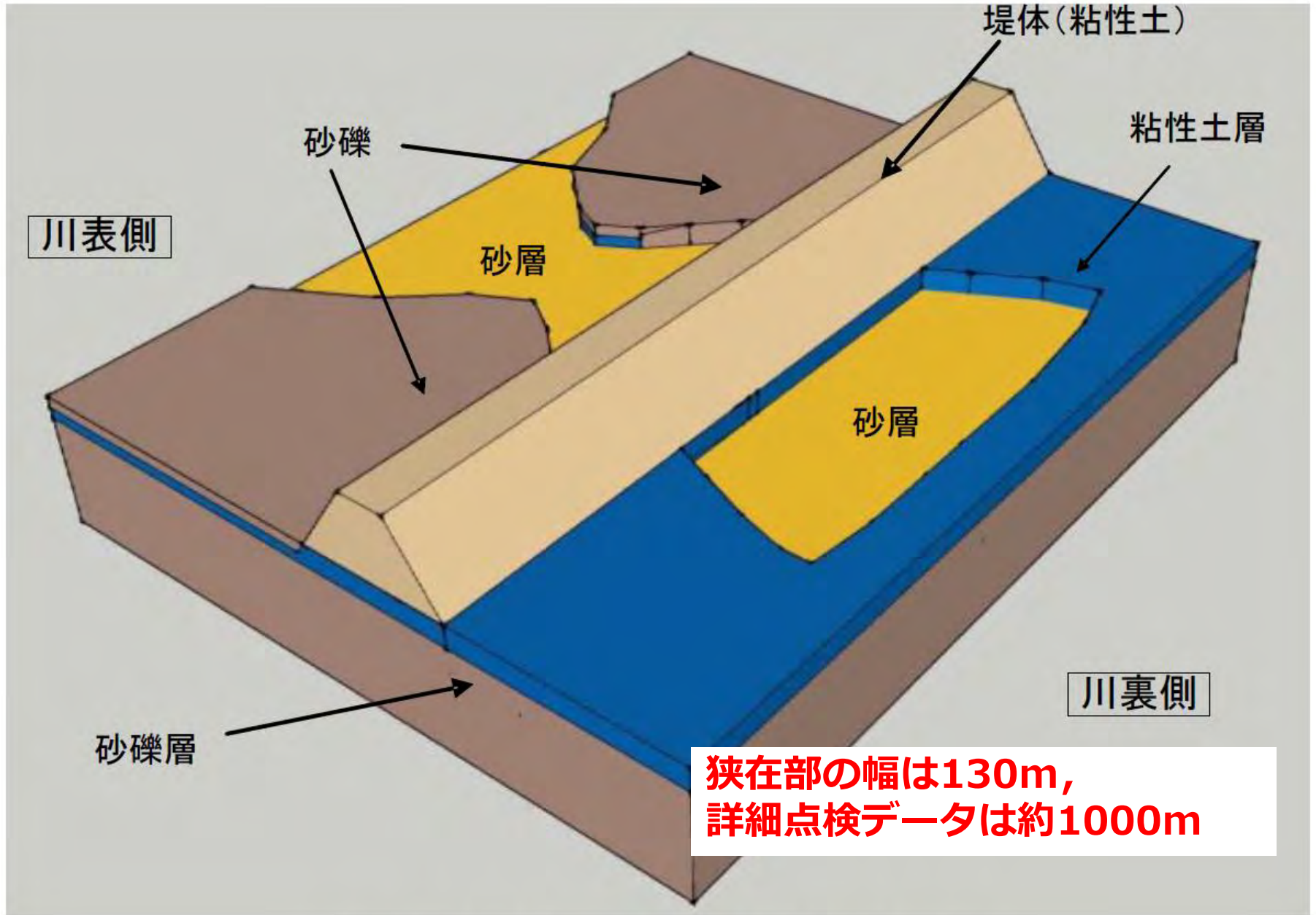


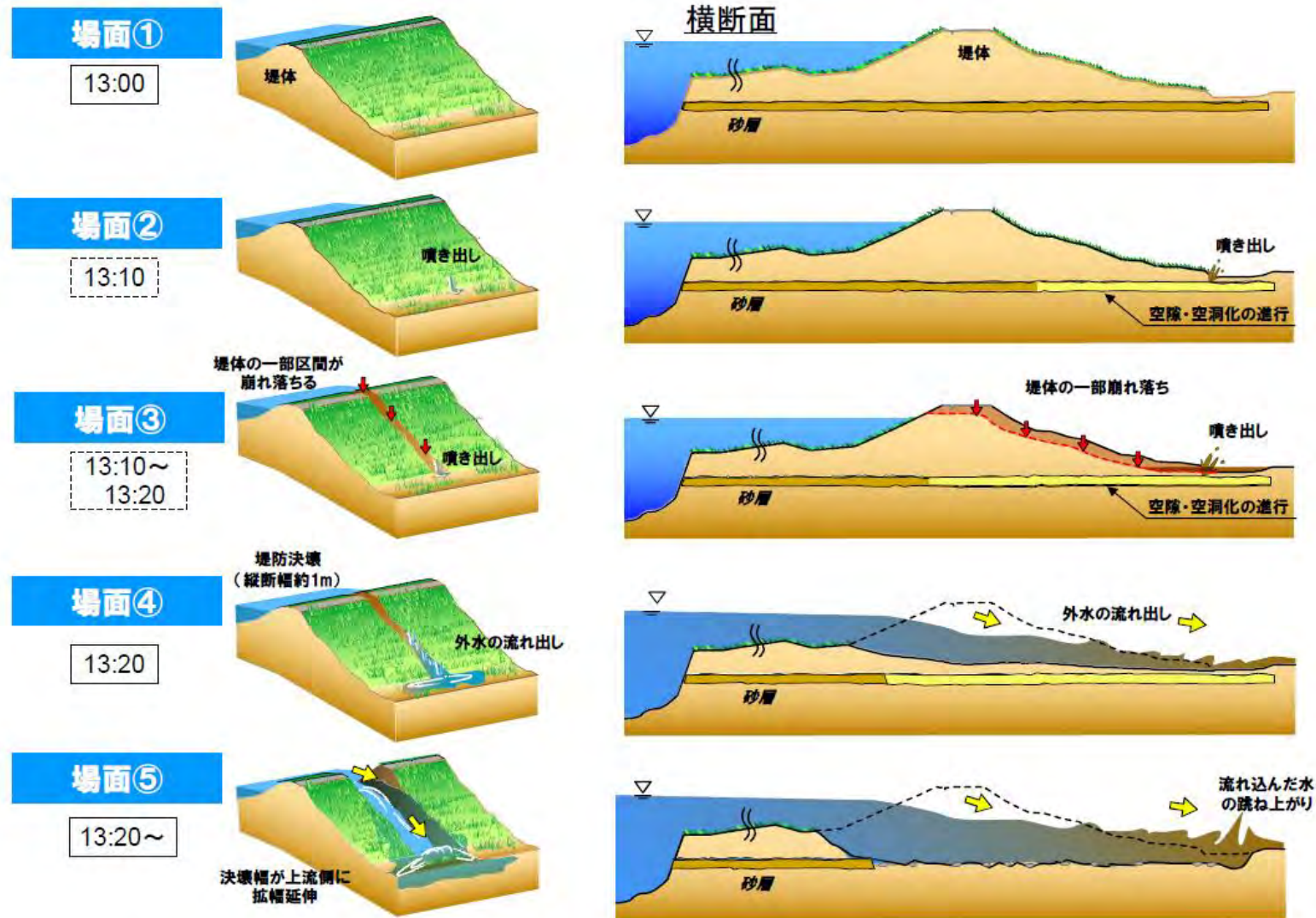
引用および一部加筆：常呂川堤防調査委員会報告書（平成29年3月）の一部に加筆修正



引用および一部加筆：平成30年7月豪雨・長良川国土交通省中部地方整備局木曽川上流河川事務所
http://www.cbr.mlit.go.jp/kawatomizu/shussuijyoukyou/pdf/180712_kisojyo.pdf

(ピーク時だけでなく、水位低下時にも注意が必要)





※各場面下部の時刻は次のようである。

	： 枠内は確定できる時刻
	： 枠内は推定できる時刻

図 4.2.70 被災プロセス図



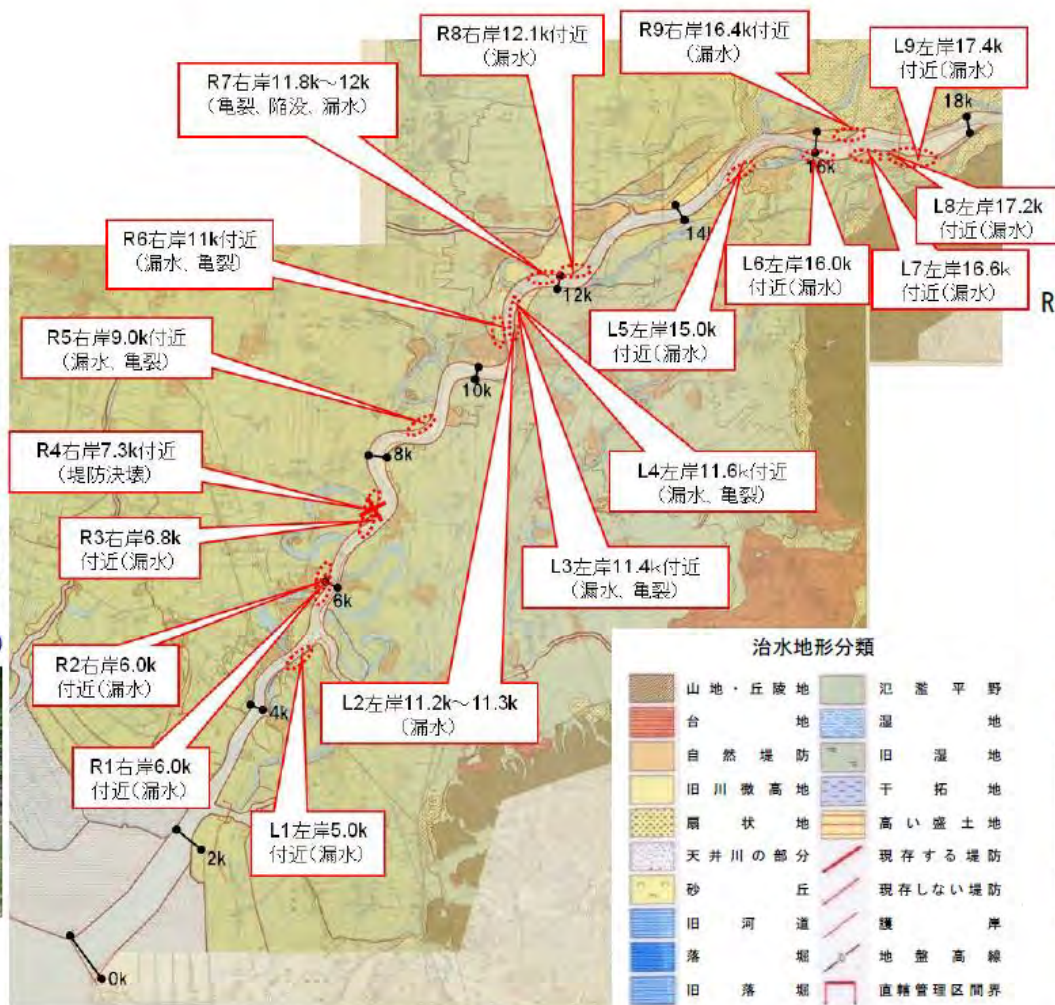
R6 右岸 11.0k 被災 (亀裂)



R4 右岸 7.3k 被災 (堤防決壊)



R2 右岸 6.0k 被災 (漏水)



R7 右岸 11.8k 被災 (亀裂・陥没)



R7 右岸 11.8k 被災 (漏水)



L6 左岸 16.0k 被災 (漏水)

図 2.3.2 被災箇所位置図

*治水地形分類図は、国が管理する河川の流域のうち平野部を対象として明治期、大正期の旧版地形図（迅速図）や航空写真を基に扇状地、自然堤防、旧河道、後背低地などの詳細な地形分類及び河川工作物等を表示したもので、ボーリング調査などの地質調査結果を反映したものではない。

**決壊しなかったことが重要
決壊しなかった事例も重要**

引用および一部加筆：国土交通省九州地方整備局・矢部川堤防調査委員会：矢部川堤防調査委員会報告書（平成25年3月），
http://www.qsr.mlit.go.jp/chikugo/site_files/file/torikumi/01-plan_course/tyosa/saiyu/houkokusyo.pdf（参照2019-05-24）。



7月16日 のり尻陥没状況



7月16日 堤内地 漏水状況①



16.1k 付近の堤防法尻より下流方向撮影（応急処置後）

決壊しなかったことが重要
決壊しなかった事例も重要

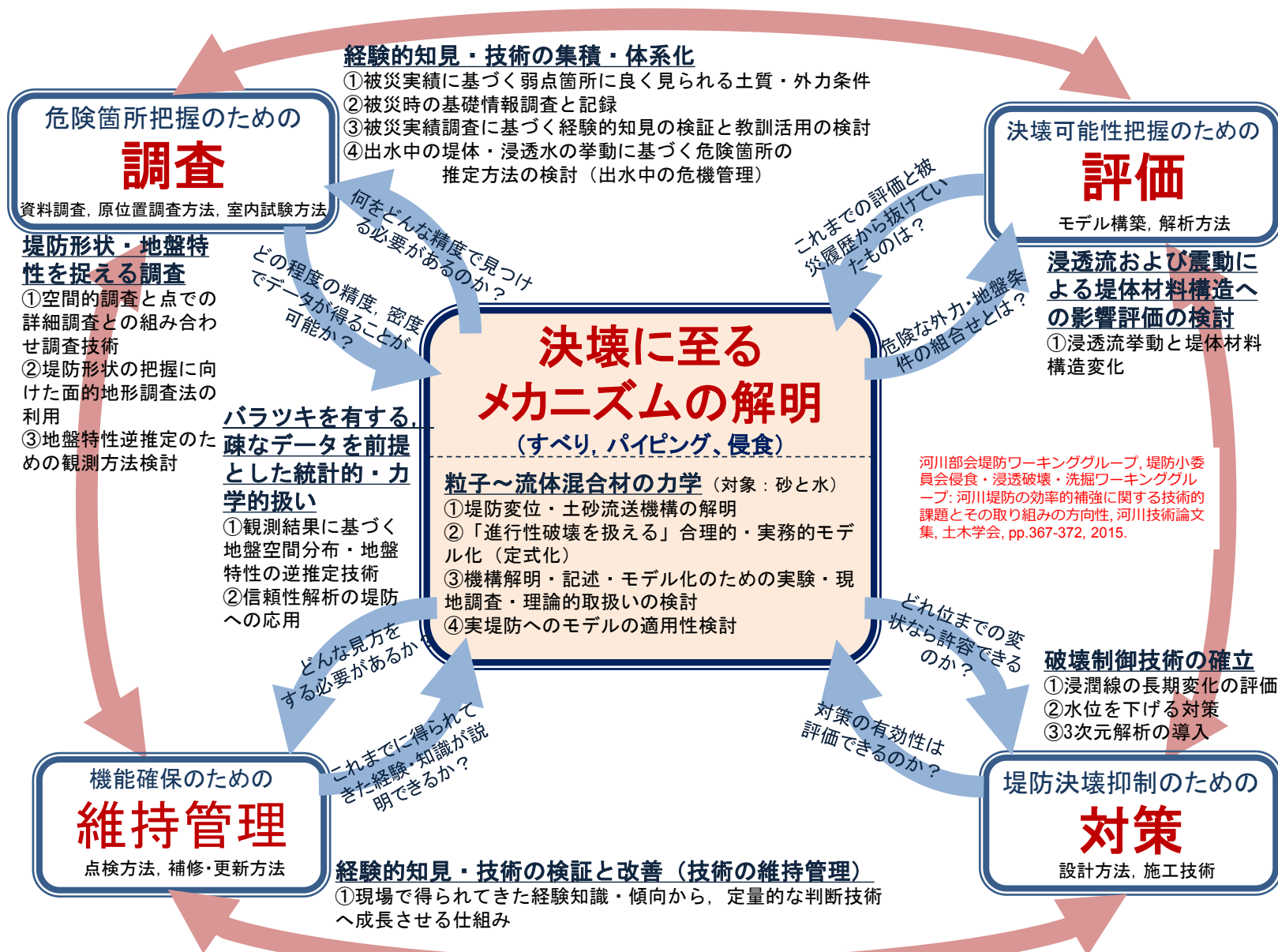


8月2日

「教訓・課題への取り組み」

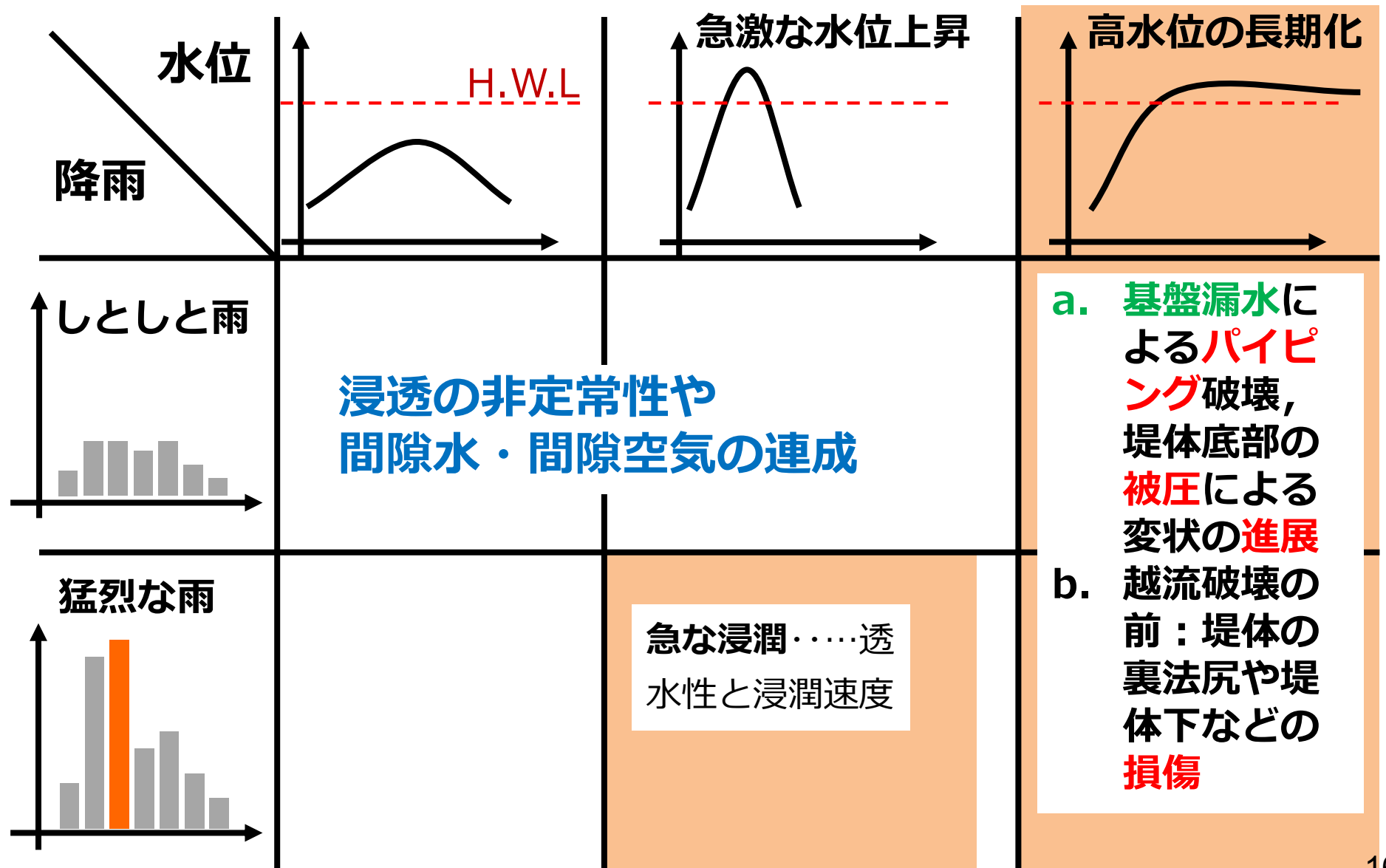
- ◆教訓・課題① 破堤に至るか否かを分けた要因
 - ・優先的な補強：破壊発生（安全率）から破堤への進行判定へ
→変状発生からその進展を記述する進行性破壊モデル
- ◆教訓・課題② 高い密度の調査を全川的に行うのは困難
 - ・危険箇所の特定制約：調査データの制約をどのように克服するか
→土の不均質性・疎なデータを前提とした危険箇所の推定技術
- ◆教訓・課題③ 状態監視のみでは危険箇所を特定できない
 - ・現場の持てる情報と経験知を総動員した技術的判断の必要性
→①,②を補完する経験的知識の体系化・経験的技術の研鑽
- ◆まとめ
 - ・上記①～③に関わる近年の研究動向：発表論文数で大掴みに
 - ・連携WGで抽出した取り組み項目と調査・評価・対策・維持管理との関連図

河川工学, 地盤工学の協同により作成したアカデミックロードマップ

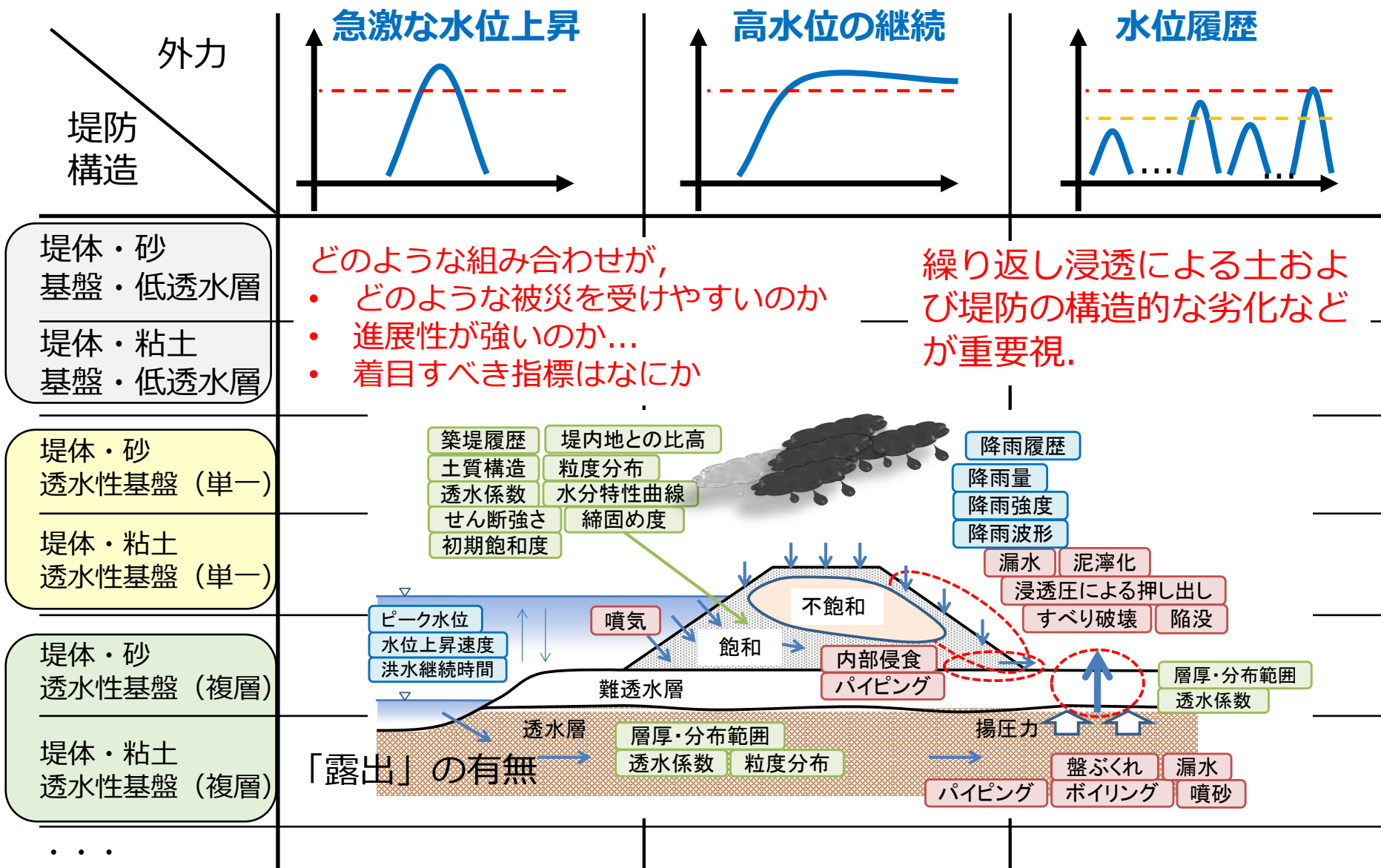


河川部会堤防ワーキンググループ, 堤防小委員会侵食・浸透破壊・洗掘ワーキンググループ: 河川堤防の効率的補強に関する技術的課題とその取り組みの方向性, 河川技術論文集, 土木学会, pp.367-372, 2015.

気象変動下での洪水で見直すべき外力のシナリオ

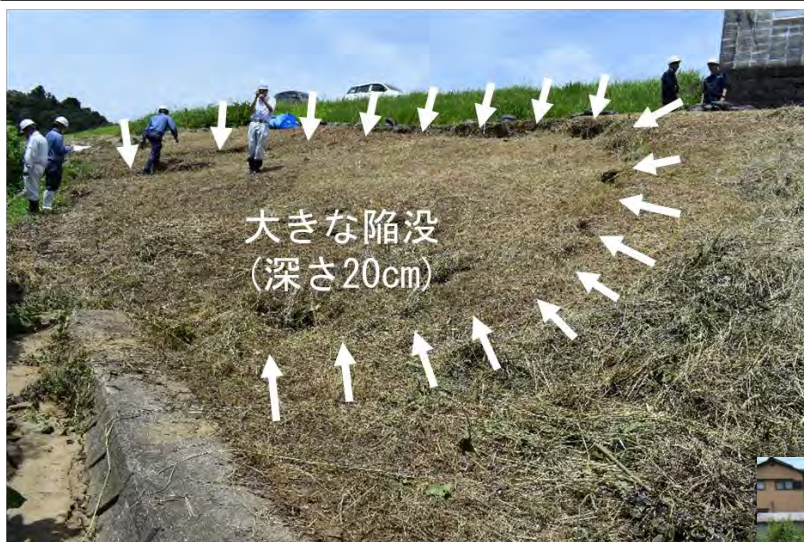
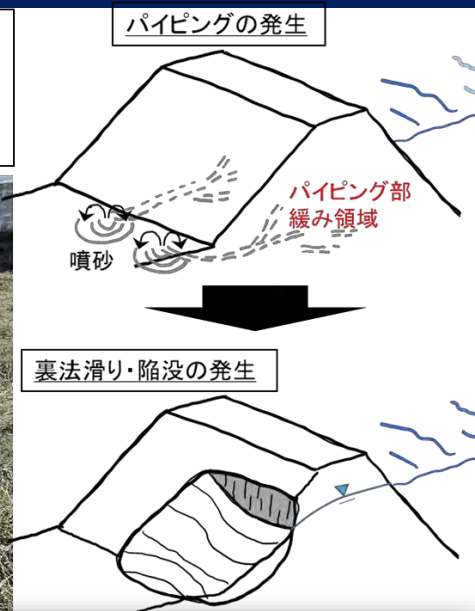


シナリオベース：外力特性と堤防特性を一体に考えた 安定性照査と破壊抑制を目指して



河川堤防の被害概要：愛媛・肱川

法面に大きな滑りと陥没が発生
 原因は、基礎地盤のパイピング
 進展度の調査と適切な対策が必要な箇所



漏水・噴砂，陥没
 (越水以外の被害)



※国土交通省四国整備局の図に加筆修正

(愛媛大学大学・
 岡村未対・教授
 提供)

河川堤防の被害概要：複数箇所の決壊

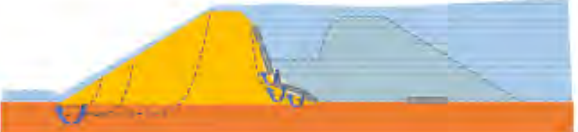
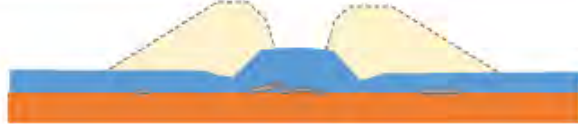
■ 末政川0k700付近の被災メカニズムの推定

- ⑥小田川の水位上昇による背水影響により、末政川の水位が上昇
- ①末政川0k400の橋梁部の溢水が発生 ⇒ 末政川左右岸の堤内地側へ浸水が拡大
- ②末政川右岸側の堤防が低い箇所から越水 ⇒ 西側へ浸水が拡大 ⇒ 越水により裏法面が侵食され堤防断面減少 ⇒ 末政川右岸の堤防が水圧に耐えきれず決壊 ⇒ 西側へさらに浸水が拡大
- ③末政川右岸決壊前から末政川右岸より堤防高の高い左岸側でも越水が発生 ⇒ 末政川右岸決壊後も堤防高と同程度の水位が継続 ⇒ 東側へ浸水が拡大
- ④小田川左岸3k400の堤防が決壊 ⇒ 東側へ浸水が拡大
- ⑤小田川決壊による氾濫流が末政川右岸堤防を宅地側から越水 ⇒ 末政川に氾濫流が合流
- ⑥小田川決壊による氾濫流の水位上昇により末政川左岸から再度越水 ⇒ 東側へ浸水が拡大
- ⑦越水により裏法面が侵食され堤防断面が減少 ⇒ 末政川左岸の堤防が水圧に耐えきれず決壊 ⇒ 東側へ浸水範囲がさらに拡大
- ⑧末政川左岸の決壊 ⇒ 左右岸で水位差が発生 ⇒ 末政川右岸の氾濫流の流速が増大 ⇒ 末政川右岸の護岸が川側に向かって倒壊
- ⑨末政川左岸下流の堤防が、堤体に河川水及び内水氾濫水が長時間浸透し弱体化 ⇒ 裏法すべりが発生



河川堤防の被害概要：両岸の決壊

■両岸決壊の被災メカニズムの推定

①越水等の原因によって、片岸の堤防が決壊。	
②決壊した側の堤内地に勢いよく洪水流が流れ込み、決壊によりむき出しになった床版下から多量の河床材料が吸い出さる。地盤の支えを失った床版が破損し、河道中央側へと床版の破壊が進行。 ②' 対岸の護岸まで破壊が及ぶこともある（高馬川の事例）。	
③片岸の決壊に伴い、通常は河川水位が低下するが、下流からの背水、堤内地からの氾濫流の逆流により、河川水位が低下せず、水位が上昇。 ③' 対岸からも越水が発生。	
④両岸とも堤防が決壊。	

※末政川10k700地点の左右岸堤防決壊プロセスは、小田川本川の氾濫による低内地水位の影響や河床下を横断していた伏越しの影響など、様々な要因、プロセスが考えられるので、上図に示すような河床低下による堤防への影響がどれだけ寄与したかは不明。

常呂川の調査で考えたこと 例えば...

本川

提案：水位計を堤内側にも
設置し、堤防周りの地中の
水面形をおさえる

危機管理型水位
計の利活用

透水性基盤
層の行き止まり境界は存在
するのか？

透水性基盤の三次
元的分布による流
入はあるのか？

支川

周辺地形からの地下
水の流入はあるか？

Google Earthの画像を利用

噴砂が見られた箇所での堤体の下部

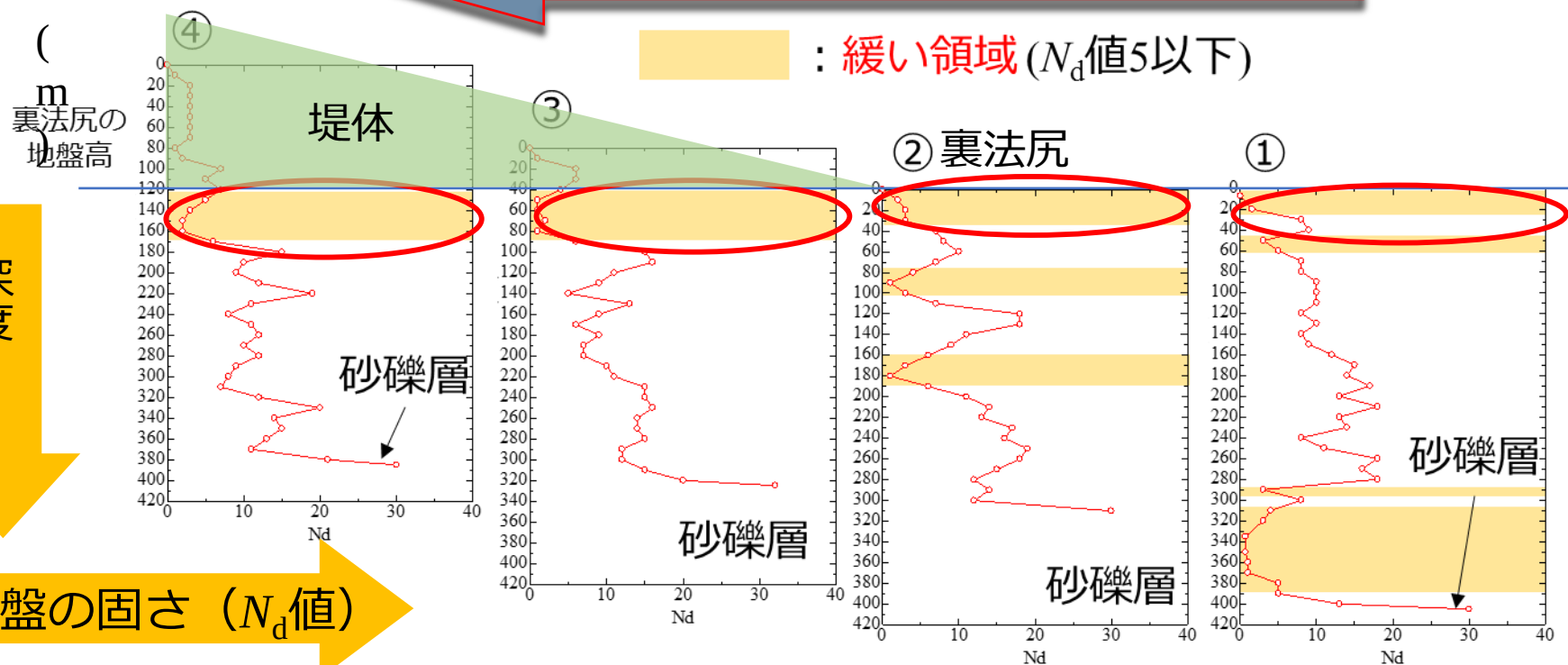
断面図



簡易貫入試験結果

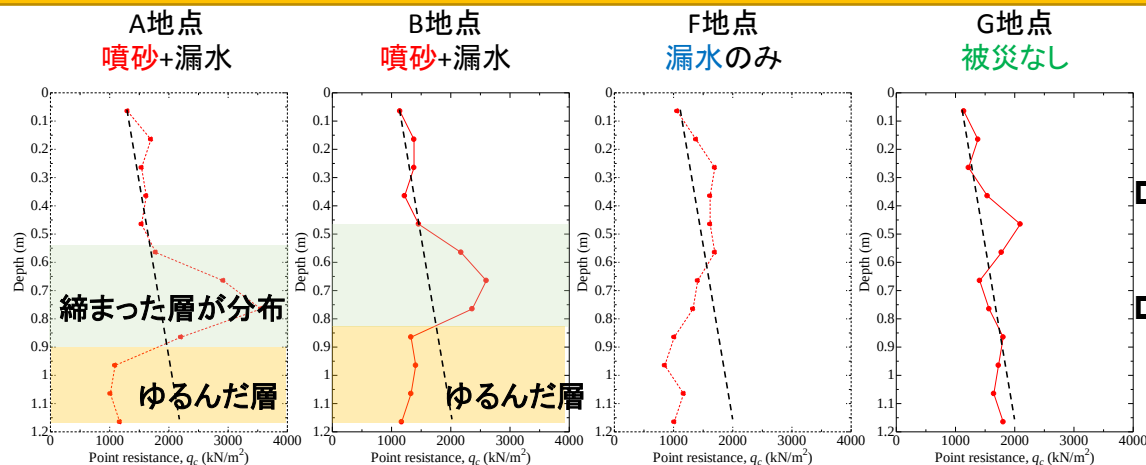
堤体直下に緩みが進行

：緩い領域 (N_d 値5以下)

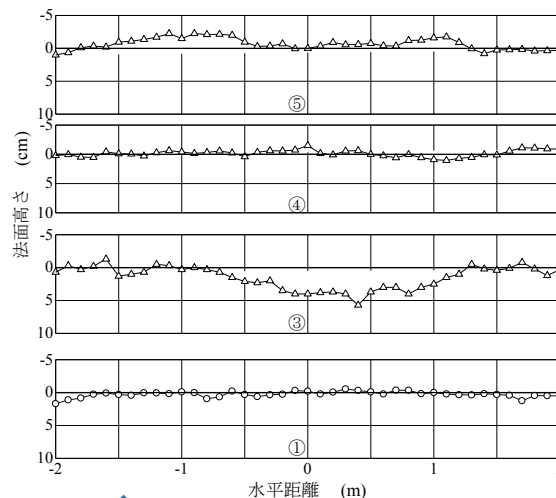
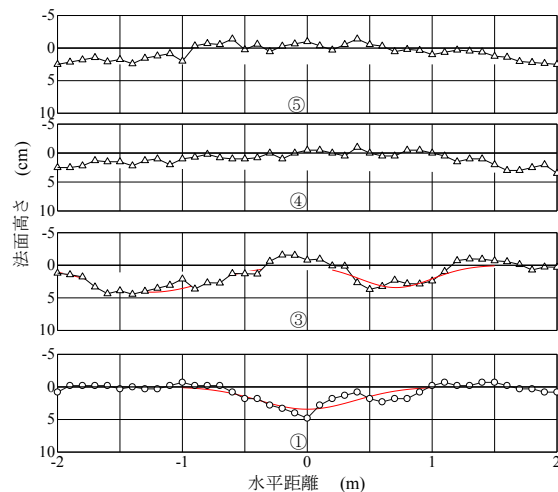


鬼怒川左岸 13.2KP 漏水・噴砂地点 地表面計測, リバーテクノコーン貫入抵抗

- 噴砂箇所(A, B地点)には, 法尻地表面から深さ約0.5mに締まった層があり、締まった層の下に急激に緩い層が分布している⇒ゆるむためには上部にしまった層が必要か

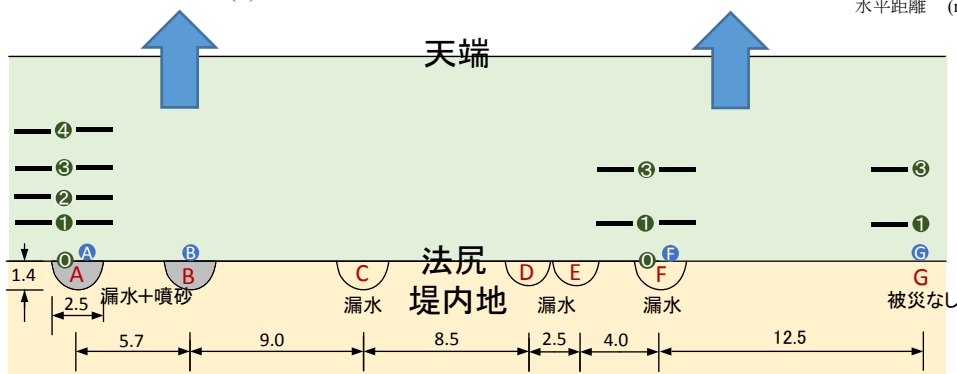


- 黒破線は被災無しのG地点の貫入抵抗のトレンド
- 被災無しの箇所(G地点)では, 深くなるほど徐々に地盤が締まっている



漏水のみ地点では, 表面の凸凹はあるが, 特徴的な形状がない

噴砂地点には特徴的な表面の陥没形状(ガウス分布曲線)が現れている

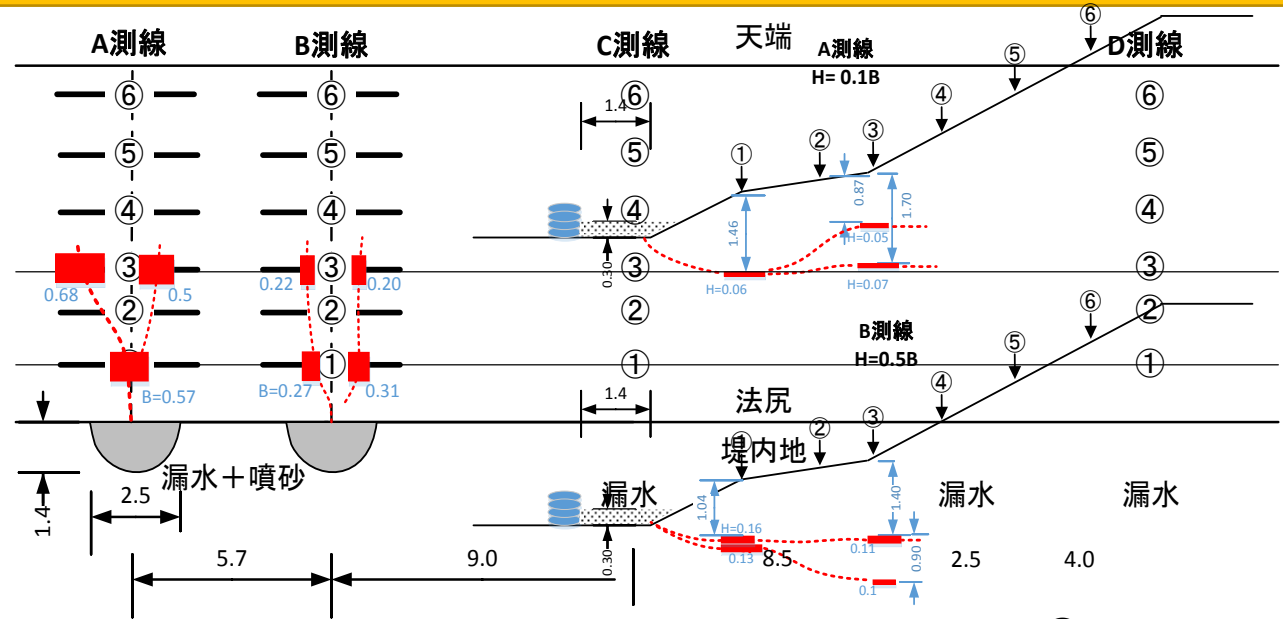


鬼怒川左岸13.2KP: 推定したパイピング部の位置と大きさと貫入試験結果の比較

従来はパイピングによる堤体下のゆるみ、
損傷には着目してこ
なかった

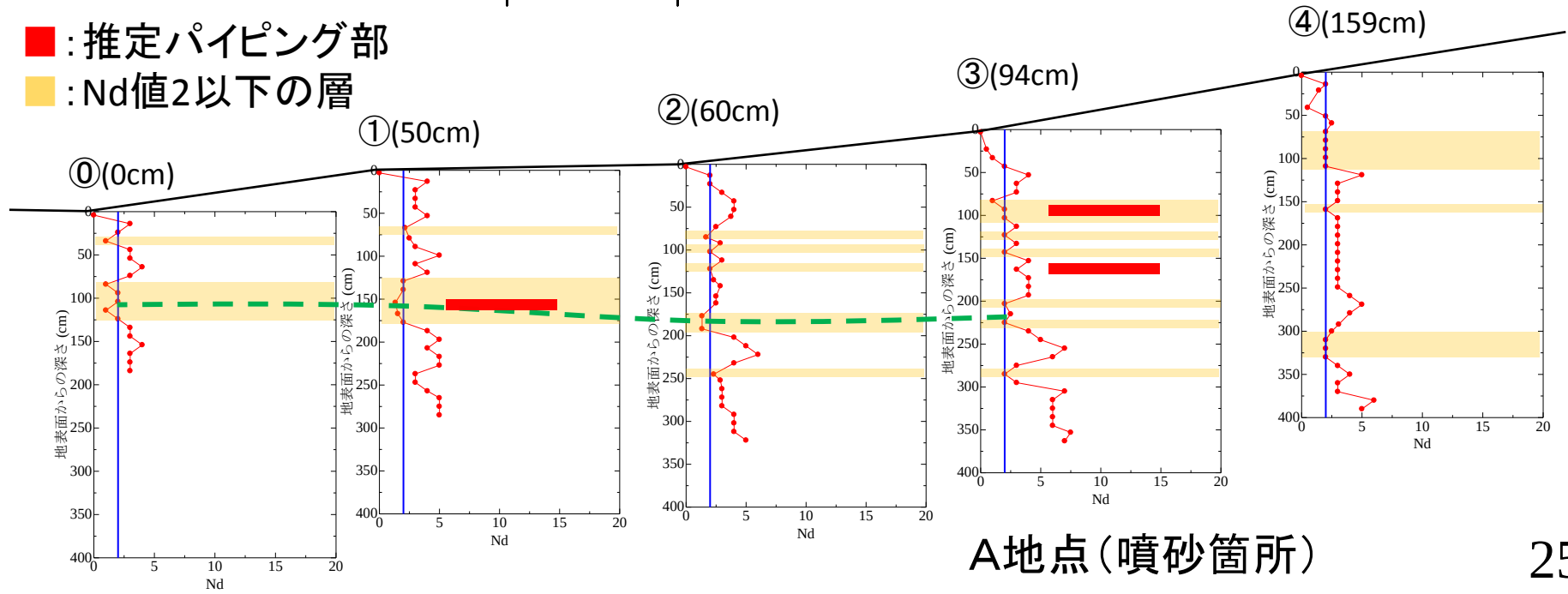
→

出水後の堤防の強さ
の現象・変化を捉え
ることが重要



■: 推定パイピング部

■: Nd値2以下の層

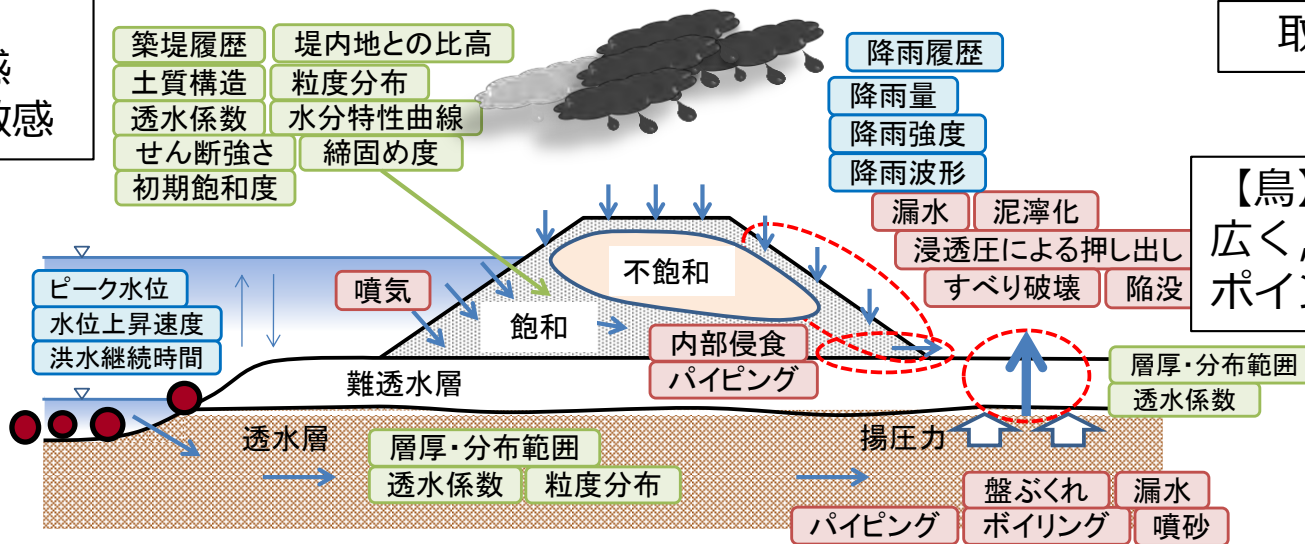


河川工学・地盤工学の連携 + 新たな技術

【魚】：
水の流れに敏感
表面の粒子に敏感

取り

【鳥】：
広く、かつ、ピン
ポイントでも見る



貝

モグラ

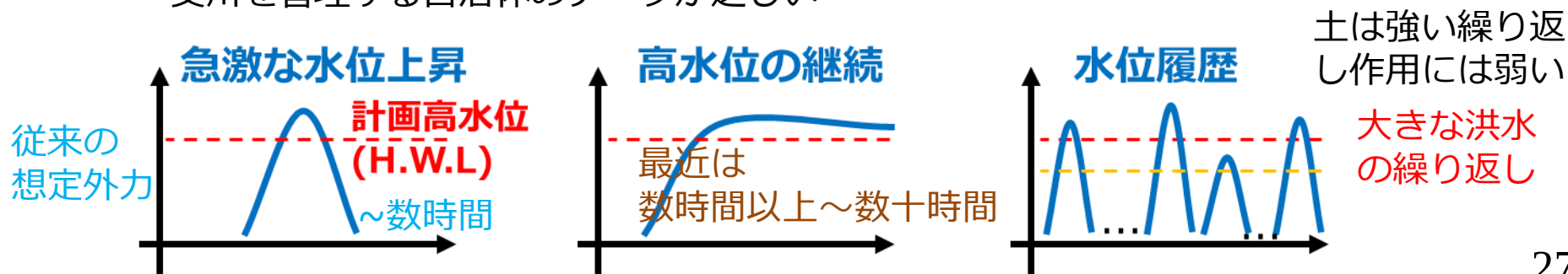
【貝, モグラ】：
応力の変化には敏感
地中の不均質性にも敏感

- 現地の堤防及び基礎地盤の洪水時の応答について、情報収集は十分か？
- 現状は事後解析が主になっていないか？
- リアルタイムの解析、事前解析の洪水時確認等をできる可能性は
- モニタリング機器は？ 河道内水位計、降雨モニタリングは急激に進歩しているが、地盤内モニタリングは？ 間隙水圧計や変位観測機器は？

地盤工学に関する課題の抽出 【短期で解決】

□ 提言内容を迅速に達成するために

1. 高水位・豪雨の長期化や繰り返し作用に対応した解析・調査技術の系統化と対災診断技術・弱点箇所抽出技術の向上⇒複数の提言項実現に火急に必要
 - ・ 数値シミュレーション技術は向上したが、破壊、浸透やその繰り返し作用で土が劣化・構造物として劣化することの表現。パラメータ設定方法、試験法選択を含めたVerification&Validation (V&V) 手法の構築が必要
 - ・ 弱点箇所抽出の重要パラメータ特定と調査法選別（メカニズムに基づき調査に関する発想の転換が必要：（ex.深部までの詳細な調査を少数箇所を実施⇒浅部の簡易手法を多数行うなど目的に合わせた調査法と解釈方法の整理）
2. 災害をストレステストと考えて有効な情報（ex.破堤と非破堤の違い）を取得
 - ・ 実際の被災プロセスの画像記録がなく被災後から予測するしかない現状
 - ・ 災害発生プロセスを画像で捉える手立て（簡易な機器を多数置等）
3. 人手不足下での被災・非被災情報のアーカイブの合理化、自動化、共有化のシステムの構築 ⇒ 複数の提言項に火急に必要（情報学との連携も強化）
 - ・ 同じ災害を起こさない、被災箇所の周辺で同様の災害を起こさないため
 - ・ 支川の水位や水圧伝播が本川にも影響が明らかになってきた
 - ・ 支川を管理する自治体のデータが乏しい



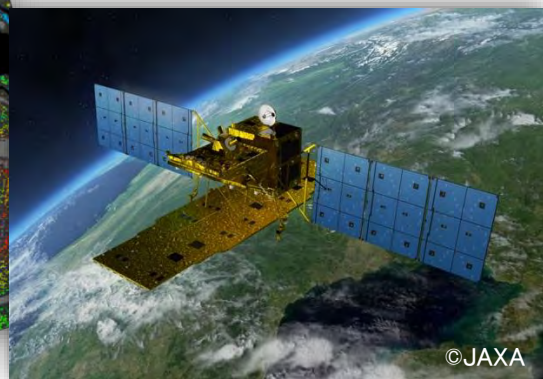
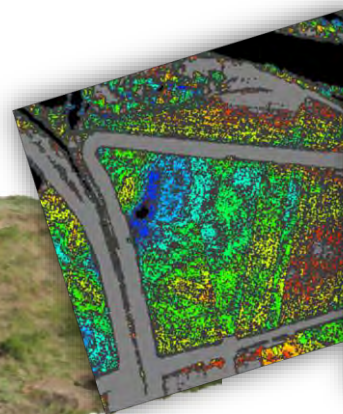
地盤工学に関する課題の抽出 【中期で解決】

□ 提言内容を確実に達成するために

1. 強化箇所と被災に至っていない区間との強度差の影響評価（縦断方向）
 - ・ 強化範囲と強化程度の適切な設定方法を河川計画と合わせて評価
2. 広域に低コストで迅速に堤防の現状の安定性を把握する技術の構築→提言項目追加（「鳥の目」の技術の利活用）
 - ・ 3次元的形状情報が迅速に得られるようになったことの活用方法の提示
 - ・ 表面データからどの箇所にどの程度の被災が発生しているかを把握する技術の開発（力学的検証も踏まえ）
 - ・ UAV, 衛星, 車載型のレーザー測定, 画像撮影・解析技術など
3. 地盤工学の視点からの侵食、越流洗掘の研究・技術開発の環境整備→提言項目追加（堤防の設計・施工技術に貢献）
4. 伝統的な水防技術の洪水状況に合わせた技術選定方法・効果的運用方法と新技術導入促進の環境整備



ドローン撮影による
3次元画像データ

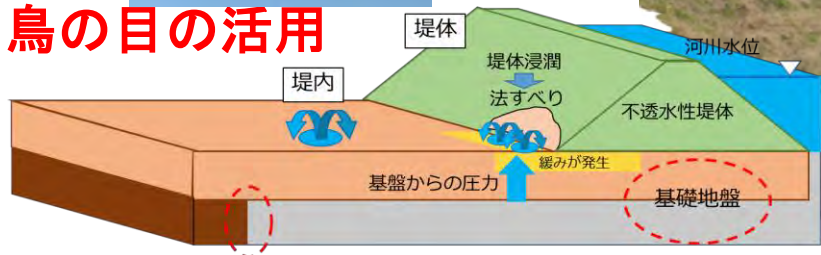


©JAXA

航空レーザーによる
地理情報

人工衛星

鳥の目の活用



地盤工学に関する課題の抽出【中・長期で解決】

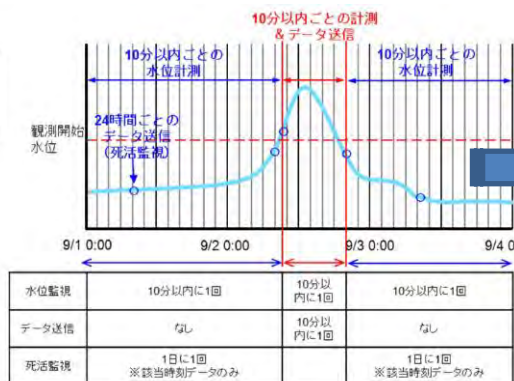
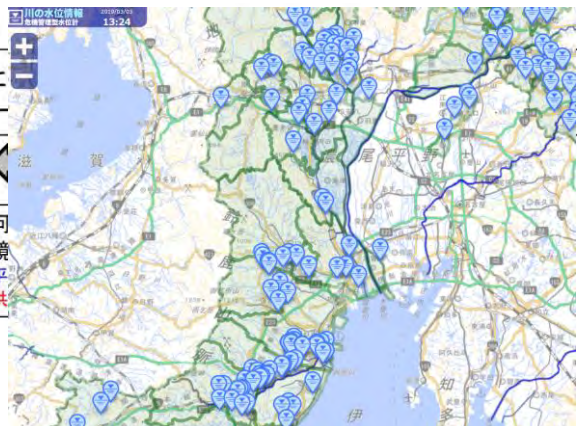
□【中・長期で解決すべき課題の例】

1. モニタリング網の設置と継続するためのモチベーションの明示
2. 治水地形分類図などの地形学・地理学と地盤力学，河川工学の知見を利活用した基礎地盤に関するデータの蓄積と少ないデータから形成過程も含めた時空間的補間手法の開発および基礎地盤特性の見える化
3. 堤防の可視化の促進：内部構造とリアルタイムな見える化
 - 堤体内部・基礎地盤情報の把握と公開
 - 運用が開始された河川の危機管理型水位計の情報提供サービスへの付加価値の提供
 - 準リアルタイムな水位情報と降雨量情報と連動して準リアルタイムで「堤防内水位」「堤内地地盤水位」の情報を発信，利活用できるしくみを構築 ⇒ 新提言項に追加

【水位観測方法】

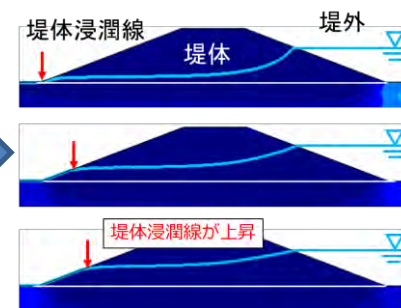
一定の水位を超過した10分以内毎に水位データを送信

平常時水位監視



水位監視	10分以内に1回	10分以内に1回	10分以内に1回
データ送信	なし	10分以内に1回	なし
死活監視	1日に1回 ※該当時刻データのみ		1日に1回 ※該当時刻データのみ

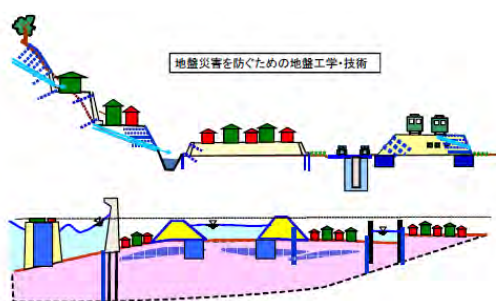
(国交省HPから引用)



堤防内・地盤内の水位を予測可能へ

WG活動方針・内容:

地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために
—地盤工学からの提言—



2009 年 8 月

社団法人 地盤工学会

2007 年度会長特別委員会

東京都文京区千石四丁目 38 番 2 号

TEL: 03-3946-8677 FAX: 03-396-8678 jgs@jiban.or.jp

1. 2018年7月豪雨に加え最近10年間の豪雨災害の事例情報のアーカイブ
 - ✓ 2009 年以降の水害の特徴的な被災事例から原因、課題等を抽出→ URL・出版物
2. 前回提言（2009年）のレビュー
 - ✓ チェックシートを用いた達成度評価
 - A) 提言を実施済み実装済み（マニュアル完成以上・実装が動いている）
 - B) 提言を実施中であるが完了するかどうか未定（研究はほぼ終了、マニュアル作成中）
 - C) 提言について計画中であり未着手（研究開発段階）
 - D) 提言の変更・削除（実装不可能・ニーズから外れた）
 - 判断に関するコメント
 - 提言達成度を上げるための課題と対応方法
 - 提言の変更が必要な点
3. 提言内容の修正，変更，新たな提言内容の追加
 - ✓ 小委員会・WG，河川技術シンポジウム，堤防技術シンポジウムなどの議論，講演などを踏まえて（HP掲載）
 - ✓ 事例，研究・技術の進展，社会情勢・他分野の技術革新・政策の変遷を考慮
 - ✓ 新たな少し未来を見据えた（少し夢）のもの
4. 提言実現のタイムスパン（短・中・長期）を考えた具体的な課題
 - ✓ 提言内容の達成度を高め，達成を加速させる
5. 意見収集，修正

チェックシート2009年の豪雨・洪水災害低減に関する学会提言のレビューとその利用：(17の提言項について)

提言区分	提言項	提言の対象者	提言の達成度(A, B, C, D)	左記の判断に関するコメント	提言達成度を上げるための課題と対応方法	提言の変更が必要な点
....						
2.3 河川堤防	提言 2.2.3-2(洪水制御性能の評価)			国難をもたらす甚大な豪雨に対して、 ✓ 人手不足を深刻となる状況下で、 ✓ 合理的な対策を可及的速やかに完了を目指すために、何を社会に提案するのか念頭にコメント記入を依頼		
.....						

【レビュー結果】

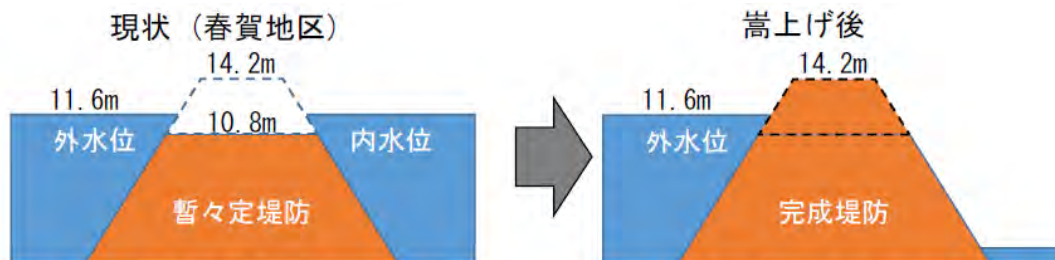
- **達成度A**：提言を実施済み実装済み（マニュアル完成以上・実装が動いている）
 - ✓ **全体の25%** ⇒ 完成度上げるコメントがあるものは、**短期目標（5年）**として継続
- **達成度B**：提言を実施中であるが完了するかは未定（研究はほぼ終了、マニュアル作成中）
 - ✓ **40%**⇒ **中期目標（5-15年）**として継続。コメントを新たに加える
- **達成度C**：提言について計画中であり未着手（研究開発段階）
 - ✓ **30%** ⇒ **長期目標（15-30年）**として継続。コメントを参考にアクションプラン作成
- **達成度D**：提言の変更・削除（実装不可能・ニーズから外れた）
 - ✓ **5%** ⇒ **削除・大幅な変更**

提言の新旧対応：河川堤防 レビュー～策定

2009年提言	達成度		2019年提言テーマ
耐震性能の評価	B	他と統合	
洪水制御性能の評価	B	継続(短・中期)	堤防の設計法の高度化と実装 (非定常, 土・構造劣化)
付帯構造物との接合部を含めた弱部発見法の高度化	B	継続(短・中期)	高水時の破堤を引き起こす弱部が内在する堤防および基礎地盤の点検・診断法の高度化 (土質調査の発想転換×「鳥の目」)
地震と豪雨の総合評価と対策工法	B	継続(短・中期)	地震と豪雨の総合評価と対策工法の開発
災害リスクに基づく堤防管理体制	C	継続(短・中・長期期)	気候変動と流域特性を考慮した災害リスク評価と避難計画に基づく堤防管理体制の構築
振れ幅, でもどりの無い (広域避難, 免災への支援, ハード整備)		新規(短・中期)	堤防の侵食破壊の理解および対策の地盤工学的研究・技術開発の推進
		新規(短・中期)	効果的な水防工法による堤防の破壊抑制技術の評価と効率的な運用への貢献
		新規(短・中期)	河川堤防の浸透破壊の状態をリアルタイムに可視化する技術の開発と避難支援
		新規(中・長期)	センシング技術, 情報技術の利活用による維持管理の高度化
		新規(短・中期)	インフラの管理者である行政との協働と新たな工学の役割の発見 (ダイアログ)

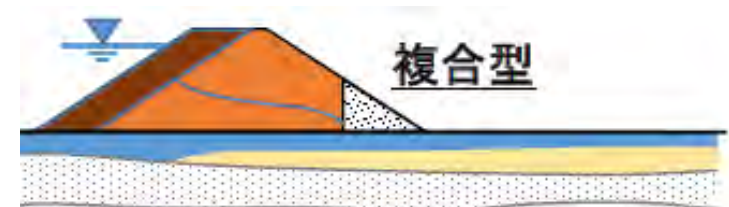
提言3.1 堤防の設計法の高度化と実装

- 近年の豪雨の激甚化を踏まえ、高水位・豪雨の長期化や繰堤防の破壊形態・破壊規模、破壊の進展、繰り返しの外力作用による土および構造的劣化等と堤防性能への影響の解明
- 堤防に求める性能とそれを満足するための堤防の状態を明らかにし、
- 上記を適切に表現可能な照査手法の開発と、それを活用した、合理的な堤防の安全性の評価、および対策の合理化に繋げていく
- 堤防の不均質性をいたずらに誇張することなく、どのような不均性を特徴付け、モデル化するかの検討
- パラメータ設定方法、試験法選択を含めた解析手法のVerification & Validation (V&V) 手法の構築
- 高度で実績のある工法から簡易な工法まで、堤防に求める性能に応じた技術選定手法の提示⇒『対策をしたから大丈夫』でないことの説明



堤防には実質的な外力（水圧）がほとんど作用していない

これまでの何倍もの外力（水圧）が作用する



工事、管理のしやすい工法の複合（堤外・堤内）

提言3.2 構築高水時の破堤を引き起こす弱部が内在する堤防，基礎地盤の点検・診断法の高度化

- 堤防の危険箇所の抽出：「地形分類」×「地盤調査」×「鳥の目」
- 従来の方法に加え，地盤調査もメカニズムに応じて発想の転換をした手法と解釈の提案が必要
- 十数mmオーダー ～ 構造物スケールの現象の把握
- 堤防を横断する樋管等構造物の周囲は高水時に地下水の水みち
- 浸透破壊の原因となり得る堤体や基礎地盤中の透水性土質材料とその縦横断的な土層構造を非破壊で効率的に見出す調査・評価法の開発
- パイピング部を予めめれなく抽出するには本質的に限界があるため，高水中のリアルタイムでの堤体状態の監視法を開発し
- 水防活動を行う箇所の選択・集中による破堤の回避と住民の避難情報に結び付けることが必要である。

提言3.3 地震と豪雨の総合評価と対策工法の開発

- 地震と豪雨に対して総合的に評価し，適正な対策工法を吟味し，技術選定手法および施工後のモニタリングや維持点検の手法を確立する必要がある。
- 従来の河川堤防の技術検討は，侵食，浸透，地震など堤防の安定性を損なう外力種別とその作用形態（破壊メカニズム）に応じたそれぞれの場合に対する照査に留まっているため，専門分化の壁にとらわれず，強化工法の適切性を合理的に総合的に評価する姿勢に転ずることが望まれていた。
- 例えば，耐震性と耐浸透性に対しては，締固めは共通な対策工になるのに対して，ドレーンやシートパイルなどの対策工法は効果が相反することなどである。
- 東日本大震災において，浸透対策として設置された鋼矢板が，耐震に対して良い影響を及ぼしたと推測。対策工の付加価値



天端川表
側に開口
亀裂発生



川裏側
には変
状なし

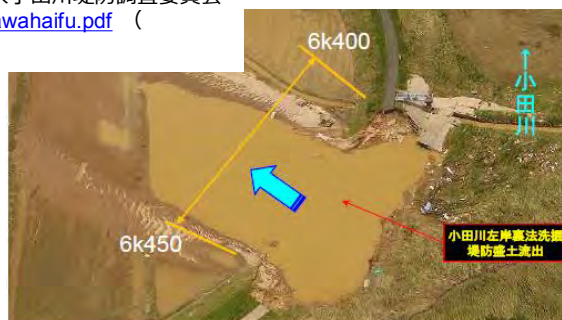
提言3.4 気候変動と流域特性を考慮した災害リスク評価と避難計画に基づく堤防管理体制の構築

- 自然環境変化や地域社会の発展と共に増大する災害リスクを把握し国民に周知する
- 河川・河道管理や避難計画を考慮しながら堤防管理体制の整備を図る
- **気候変動による作用の予測の振れ幅を予め視野に入れ、手戻り無い対策**とその説明責任、技術の整備、専門家の育成が必要である。
- 気候変動による広域で強く長時間継続する降雨が頻発する状況においては、**非定常な作用に対する堤防の応答**に加え、
- **本川・支川合流部や地形の影響**を受けた**多方向**からの浸透水や越流水、堤防の損傷による災害リスク評価、**小規模河川の左右岸の破堤**に留意する**多地点・多発的**なリスク
- 越水が発生した場合でも**決壊までの時間を引き延ばす**ための堤防補強
- **信頼性の高い災害リスク**、堤防情報の提供や堤防の整備管理方法を構築し、その成果は避難行動計画にもつなげる
- 避難時間や複数の避難経路の確保、広域避難を支援できるハード整備
- **防災・減災、免災**（住み方をかえる、人・資産（産業基盤）の移転「危険な場所に住まない」など）の社会的議論の際、科学的・技術的な情報を提供：「予測のふれ幅を考えた、でもどりのない対策・対応」
- 上記を議論できる**俯瞰的視野に立つ専門家**を育てる

提言3.5 堤防の侵食破壊の理解および対策の地盤工学的研究・技術開発の推進

- 水工学と協働することで実装可能な成果を得る必要がある。
- 超水前の浸透によるのり尻周辺の弱体化：越水と浸透との複合的破壊
- 土の侵食耐性の考慮（粒子と流速の関係だけでなく）
- 侵食の始まりと最終形状だけでなく、その途中過程も重要 ← 複数の水位波形（繰り返し効果）
- 侵食，洪水時河道内の流速の増加し，河床低下の助長，橋脚・橋台基礎や河川護岸基礎の不安定化 ⇒ 河川防災システム全体から俯瞰

引用し一部加筆：国土交通省 中国地方整備局：第2回高梁川水系小田川堤防調査委員会
配布資料 <http://www.cgr.mlit.go.jp/emergency/2018/pdf/02odagawahaifu.pdf>（
2019.5.8閲覧）



引用し一部加筆：国土交通省 北陸地方整備局 富山河川国道事務所：神通川堤防一部欠損箇所の復旧状況<
http://www.hrr.mlit.go.jp/toyama/webfile/t1_f5d2b3653cb7f3125aea2e26e0983b8a.pdf>（
2019.5.8閲覧）



引用し一部加筆：土木学会
2016年8月北海道豪雨災害調査
団：2016年8月北海道豪雨災害
調査団報告書，2017.

提言3.6 効果的な水防工法による堤防の破壊抑制 技術の評価と効率的な運用への貢献

- 河川堤防にかかわる調査・技術の開発・研究の環境整備と維持のために、**伝統的な水防工法の効果的な運用と新技術の導入促進**が必要
- 伝統的な水防工法の課題は水防を実施する水防団の減少・高齢化に伴う弱体化（技術の伝承不足）、水防材料の入手困難化
- 水防工法の効果とその**発揮メカニズム、その適用範囲（設置する場所の条件等）や効率的に効果が発揮するための条件**などの評価が不十分なものが見受けられる



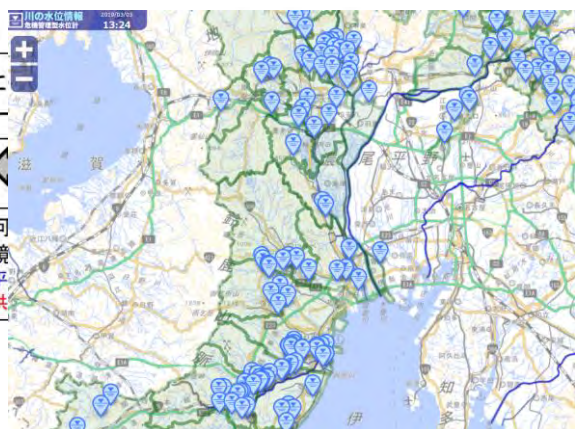
提言3.7 河川堤防の浸透破壊の状態をリアルタイムに可視化する技術の開発と避難支援

- 河川水位情報と降雨量情報と連動して準リアルタイムで「堤体内水位」「基盤水位」を予測し、その堤防情報を発信することで避難指示発令の支援など利活用できる仕組みを構築する必要がある。また、低廉でタフな水位センサーや通信手段などの開発も必要で、これら水位センサーを用いて緊急対策箇所などを直接知ることができれば貢献度が大きい。

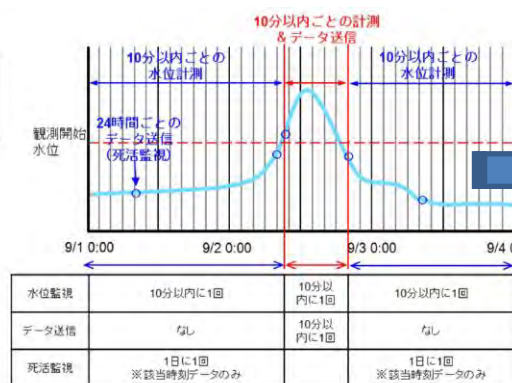
【水位観測方法】

一定の水位を超過した
10分以内毎に水位データを送信

平常時水位監視

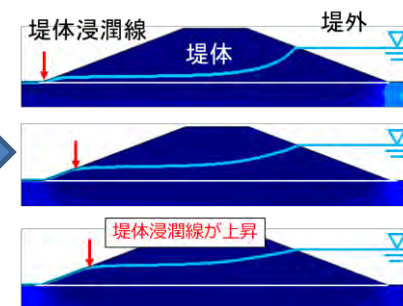


a) 川の水位情報web



(国交省HPから引用)

b) 河川水位の経時変化



堤防内・地盤内の水位を予測可能へ

c) 堤防状態

引用および一部加筆：川の水位情報・危機管理型水位計

<https://k.river.go.jp/>

提言3.8 センシング技術、情報技術の利活用による維持管理の高度化

- 堤防は長大なインフラであり、その建設、強化や維持管理には多くの人手が必要となる。また、今後の**人手不足**や、技術の伝承などの課題もある。そこで、適切な情報の取得、蓄積およびその活用方法を検討し、堤防管理の高度化を図る必要がある。
- **どんなデータをどれだけとれば、どんなに設計、管理がよくなるのかを明示**（メカニズムに応じて発想の転換をした手法と解釈の提案）
- **RiMaDIS**（River Management Data Intelligent System：目視による河川堤防の巡視・点検結果の全国統一版データベースシステム）をより高次のシステムに。
- ①**三次元形状情報**から、どの箇所にどの程度の変状が堤防内部に発生しているかを把握する手法等に関する研究の創成期、②河川堤防の被災原因調査では、**実際の被災時の映像等の記録がほとんどなく**、目撃証言や被災後の状況からその被災の発生過程を推定という状況の打破
⇒ **「鳥の目」の技術の活用**
- **災害の前後のみ**でなく、**それまで蓄積**された多くの情報の活用 ⇒被災ありの箇所と被災なしの箇所の**違いなどの比較**を可能
- データの利用の高度化を考える： 例として、**X線CT = (X線) × (Computed) × (Tomography) = 医師と患者が合意形成**

提言3.9 インフラの管理者である行政との協働と新たな工学の役割の発見



①「計画論（背後地利用など）」②「社会・経済論（社会や経済の制約など）」③「体制論（国－自治体組織）」④「責任論（適切な維持管理，出水時の対応等の管理責任など）」

- 研究成果の一方的な発信の見直し
- 管理者と「インフラの基本的考え方」「科学的考え方」「整備・管理の考え方」に関して共通理解を深める相互理解と議論「ダイアログ」が必要である。
- 管理者の技術伝承と住民との合意形成へ。
- 当然のように使われる構造令や基準等を科学的・工学的に分かり易く説明し，（行間の）解釈を与え文章化
- 管理者側の人手不足の問題を解消するための研究・技術開発
- 専門家が計画においても積極的・能動的に発言できるような人材育成
- （例）ダムと堤防の新しい役割