

河川施設管理の現状と課題

堤防を中心として

公益財団法人 河川財団 研究フェロー

戸谷 英雄

要旨

- ▶ 堤防という構造物の特殊性
- ▶ 堤防を管理することの難しさ
- ▶ 堤防管理の基本
- ▶ 堤防管理の視点
- ▶ 堤防目視点検の視点
- ▶ 維持管理の現場が求めている技術

河川堤防の特殊性

① 土堤原則（河川管理施設等構造令）

- ・ 土堤であることのメリットは、大きい
- ・ その反面流水、雨水の**浸透・浸食に極めて脆弱**

② 形状規定方式（河川管理施設等構造令）

- ・ 河川の規模（流量規模）に応じて堤防高、天端幅が規定されこれに基づいて各河川の計画堤防断面が決定されている。
- ・ 堤防の質的な安全性（性能）については、堤防設計指針に基づき実施

③連続した長大構造物

- ・ 氾濫原を同じくする連続堤防は、**一点の弱点**(蟻の一穴)から破堤すると、**連続堤防全体の機能を失う**ことになる。
- ・ 長大堤防の強度（安全性）は、マス構造の平均ではなく、**ミクロな弱点が決める**
- ・ 堤防の延長が長いほど、堤防構成要素が多いほど一連の直列システムとしての堤防の信頼性は低下する

堤防管理の難しさ

① 堤体及び基礎地盤の地質情報が極めて少ない

- ・ 多くの堤防は長い洪水との関わりの中で、段階的に構築されてきた。
このため堤体を構成する土質は均一ではなく、その情報も極めて少ない。
- ・ 現在ボーリング調査によって堤体・基礎地盤土質の調査を実施しつつあるが、それは長大な堤防から見れば点としての情報に過ぎない。
- ・ こうした情報に基づく浸透解析や安定解析には、自ずと限界がある
- ・ 解析手法にもいくつかの課題が残されている

**中身の質がよくわからない堤防という土構造物を管理していくことの
難しさ**

②外力想定が難しい

- ・堤防に作用する外力(水位、流速等)は、河道という洪水を流す器の形状が種々の要因によって常に変化しているため、**洪水ごとにその作用は異なる。**

③想定洪水に対する安全性照査の無いまま供用

- ・河川堤防は、ダム の湛水試験のような想定外力を作用させた安全性の確認ができない。

供用後 **実際の洪水によって、安全性（性能）の確認を行わざるを得ない**

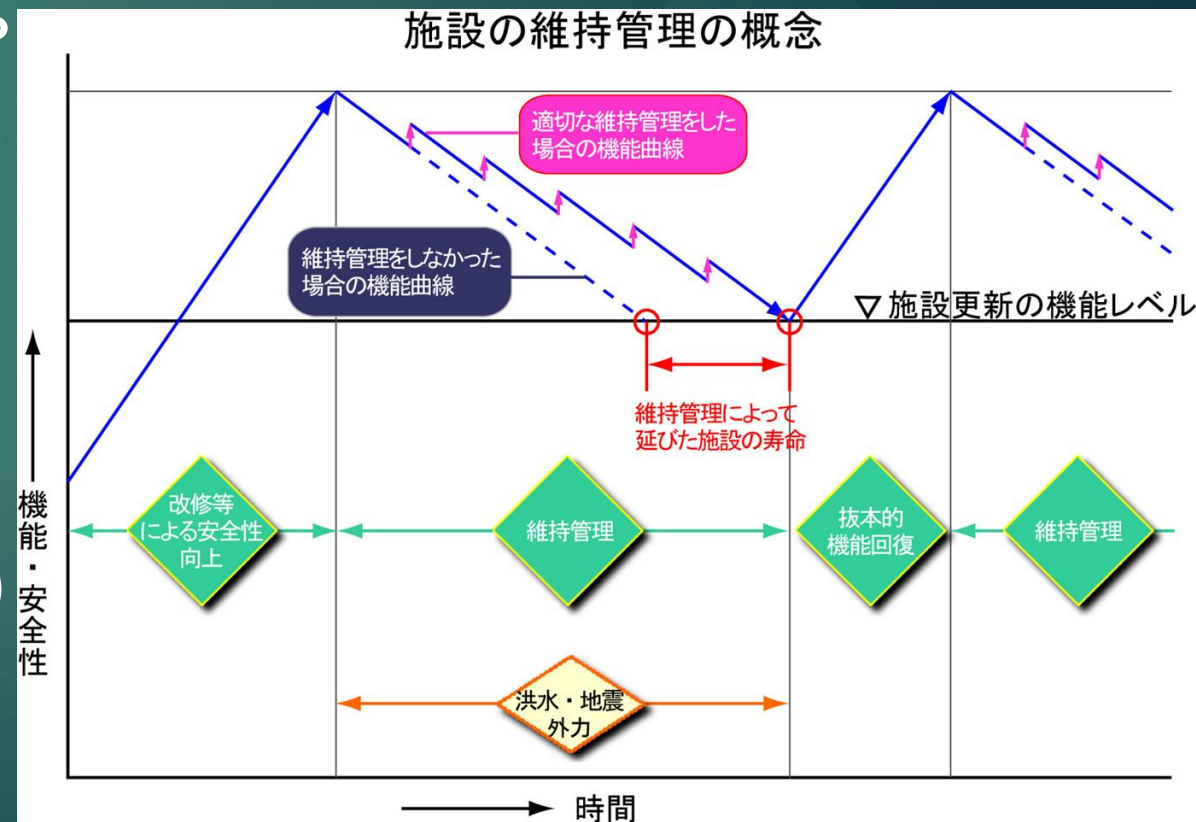
④堤防機能の劣化（土堤は劣化するのか）

- ・堤体材料である土の劣化は、他の材料に比較し極めて小さい
- ・洪水、降雨、地震及び近接工事等によって生ずる損傷は、補修されるが、**表面に現れない内部損傷は、補修が難しく、蓄積され**堤防機能は時間と共に低化していく。

- ・護岸等堤防強化施設も同様に機能低下する

- ・堤防植生種の遷移による堤防機能の劣化も否定できない。

- ・堤防と一体となった構造物（樋管等）の劣化は、堤防機能に直接関わる



洪水毎変わる外力・堤防機能の低下



過去安全に流下した洪水規模或はそれ以下であっても、引き続き今後も安全であるとは言えない



従って適切な点検調査等によって、機能低下を正しく把握し回復措置を講じていくことが必要

堤防等施設の維持管理の基本

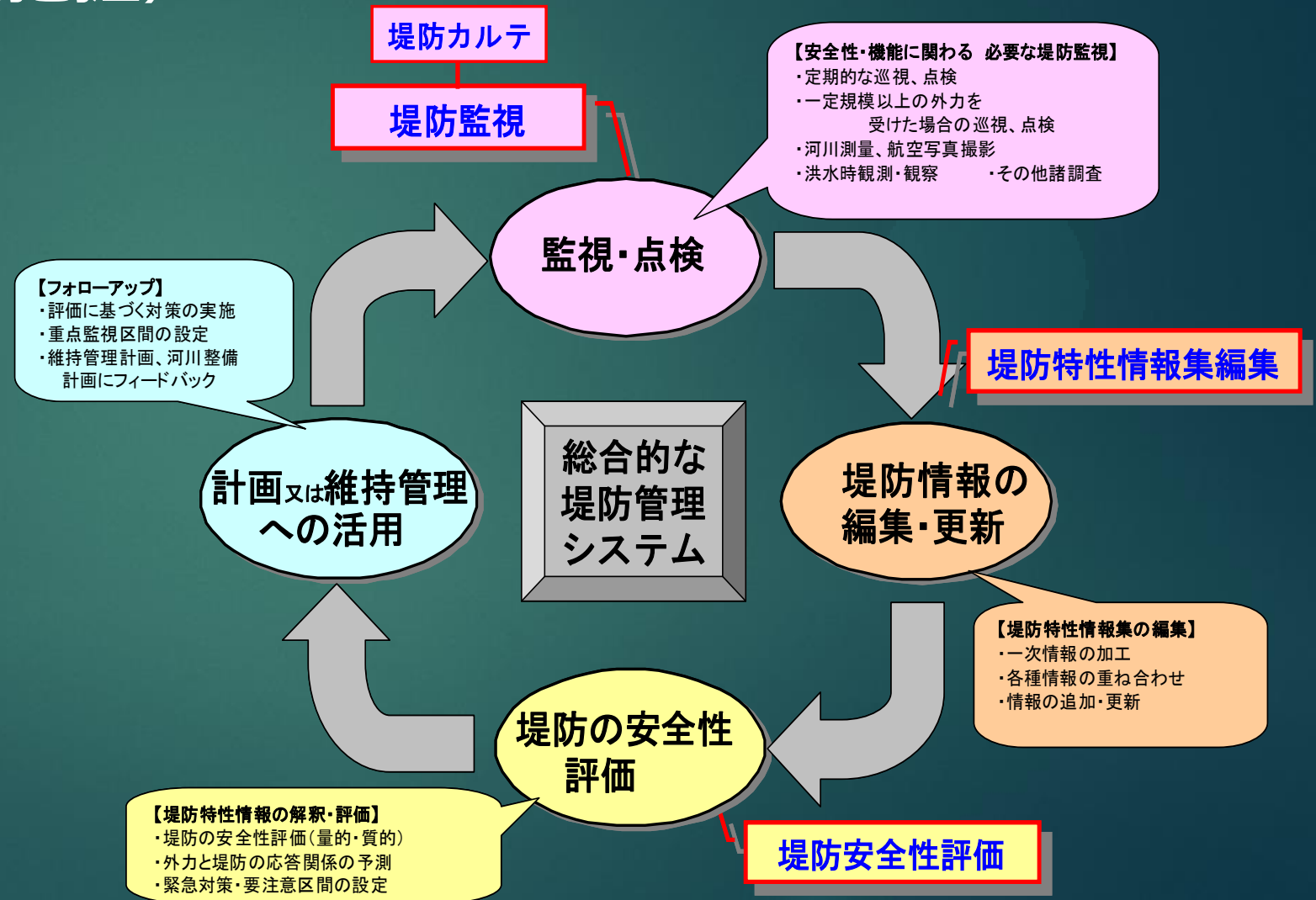
▶ よく観ること（状態把握）

① 観測、測量、測定

- ・ 各種測量
- ・ 各種水文観測
- ・ CCTV

② 調査・試験

- ・ 土質調査等
- ・ 洪水痕跡調査
- ・ 樋管連通試験
- ・ 浸透・安定解析等



③ 巡視・点検

- ・ 河川巡視、各種堤防点検
- ・ 洪水時状況把握
- ・ 地震後施設点検
- ・ C C T V の活用

▶ 施設管理情報の活用・一元管理・共有

① 情報の編集（使うための情報に加工編集）

- ・蓄積されてきた測量、調査、点検等に関する膨大なデータの収集整理
- ・一次情報を堤防等構造物の**安全性評価等実管理**に使えるように、**加工、編集**（河道特性情報集）

② 情報の共有と活用

- ・関係者全員が情報及び問題意識を共有し施設管理に活用

③ 情報の管理

- ・常に情報の更新、追加が行われるような維持管理

▶ 安全性評価（必要な機能が維持されているか）

- ・ 点検結果及び蓄積された関連情報を分析

- ① 変形、損傷原因

- ② 変形、損傷の拡大進行の可能性

- ③ 変形、損傷を放置すると何が起きるか

- ・ どう対応するか

- ① 緊急な対策が必要

- ② 計画的に対応

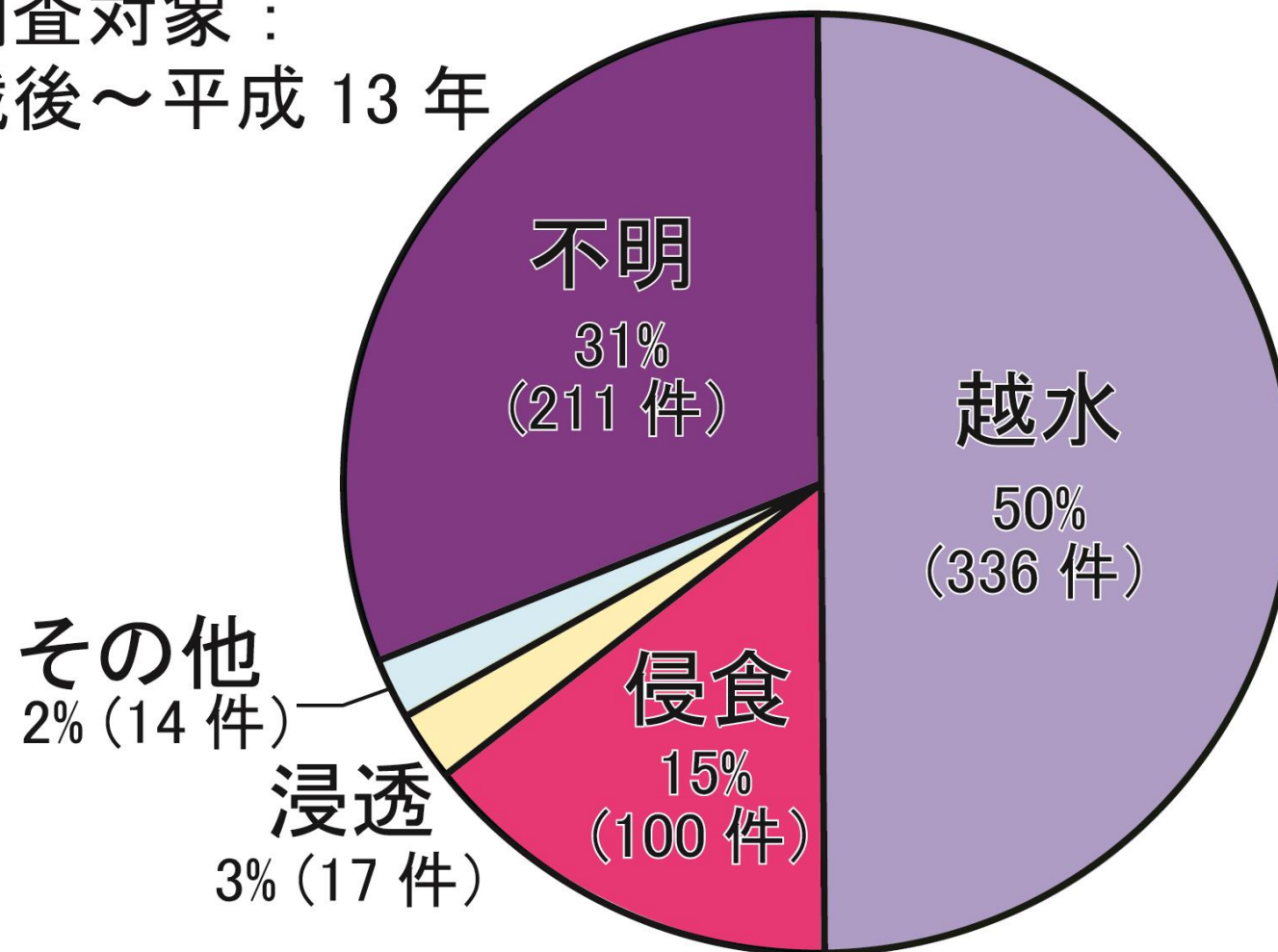
- ③ 今すぐ対策の必要はないが、注意深くモニタリング

▶ 結果の活用

- ① 機能回復措置・対策の実施
- ② 各種計画等へフィードバック
- ③ 評価の結果を受け 効率的で効果的な施設の維持管理をしていくための**重点管理区間設定**
- ④ 評価等に必要な（適切な）**測量、調査、解析等の手法や水準の見直し**

▶ 堤防決壊要因

調査対象：
戦後～平成13年



①越流破堤



鳴瀬川水系吉田川（昭和61年8月）



②堤防の直接浸食

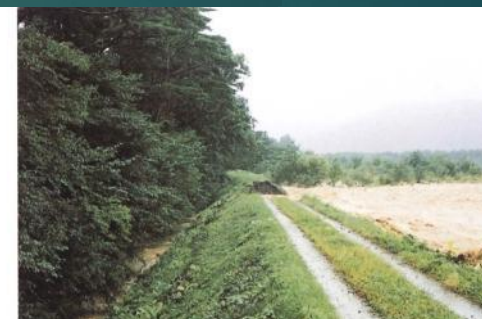


①



⑥

②



⑤

③



④

8時30分頃

9時頃破堤

荒川（阿武隈川支川）（H10年）

③高水敷の側方浸食による堤防浸食

- ・ 自然河岸の浸食または護岸の崩壊



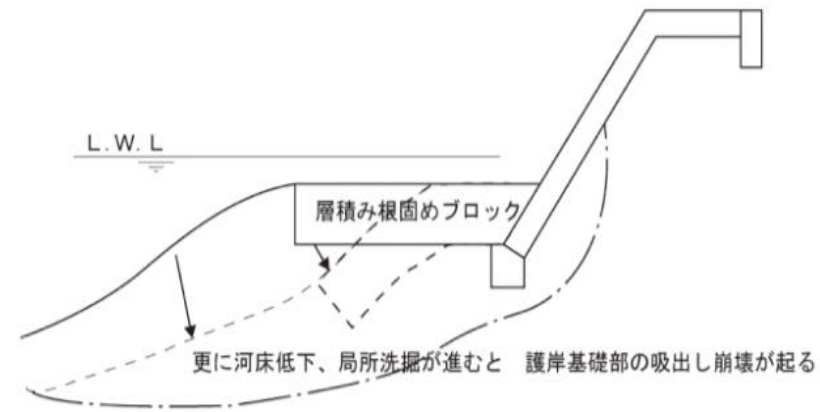
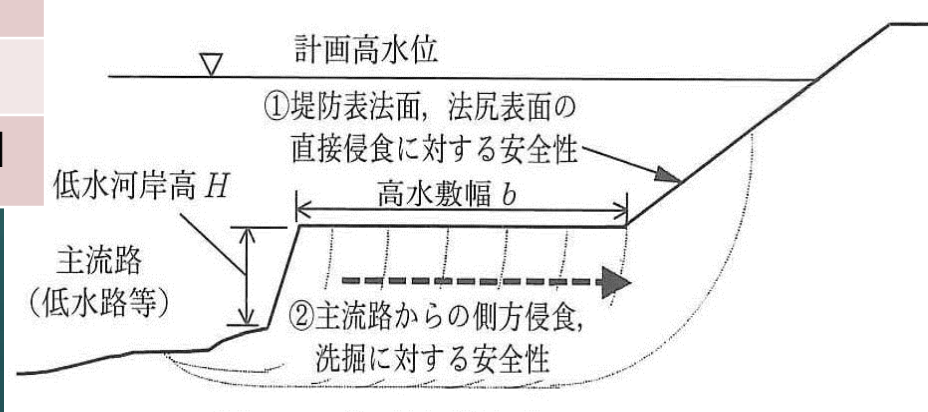
- ・ 高水敷の側方浸食



- ・ 浸食が堤防に至る



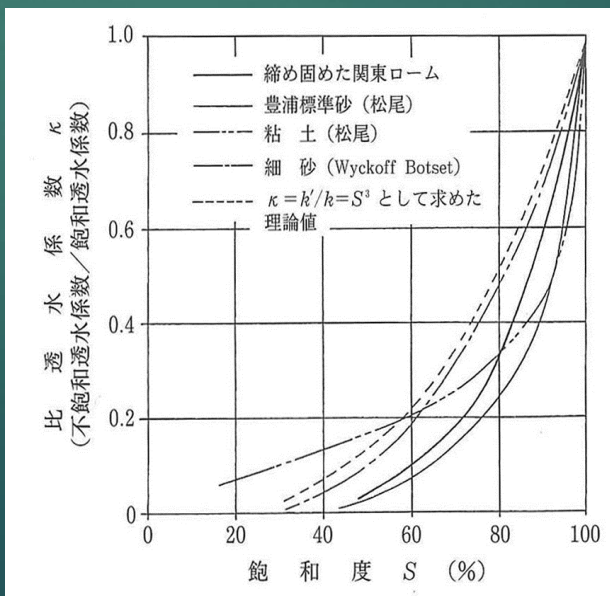
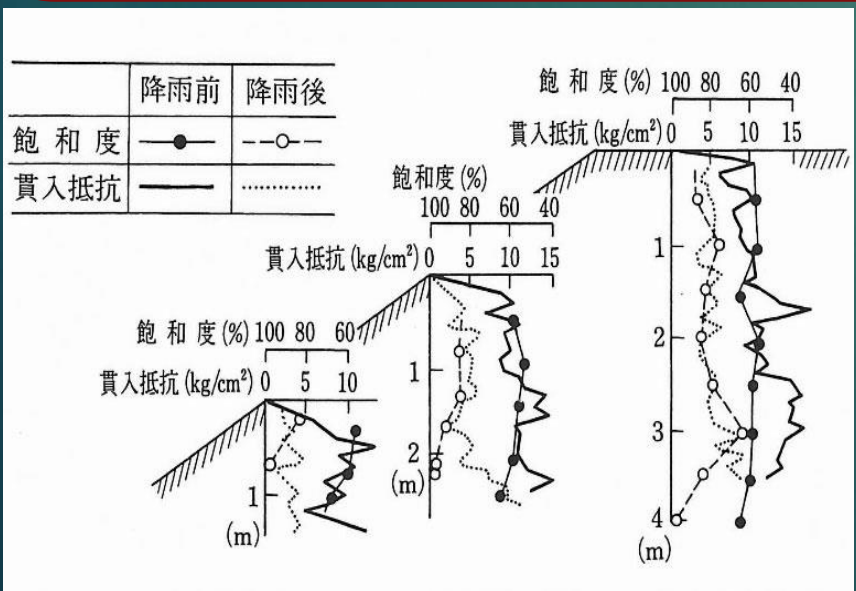
セグメント	照査基準
I	40m程度
II-1	$b > 5 \cdot H$
II-2 III	$b > 2 \sim 3 \cdot H$



④堤体浸透

雨水や流水の堤防への浸透は何が問題か

- ・ 堤体土の飽和度を高め
 - ・ 堤体土の透水係数を高め
 - ・ 堤体土のせん断強度を低下させ
 - ・ 堤体土の単位体積重量を増大させる
- ↓
- ・ 堤防欠壊につながる危険性が高まる

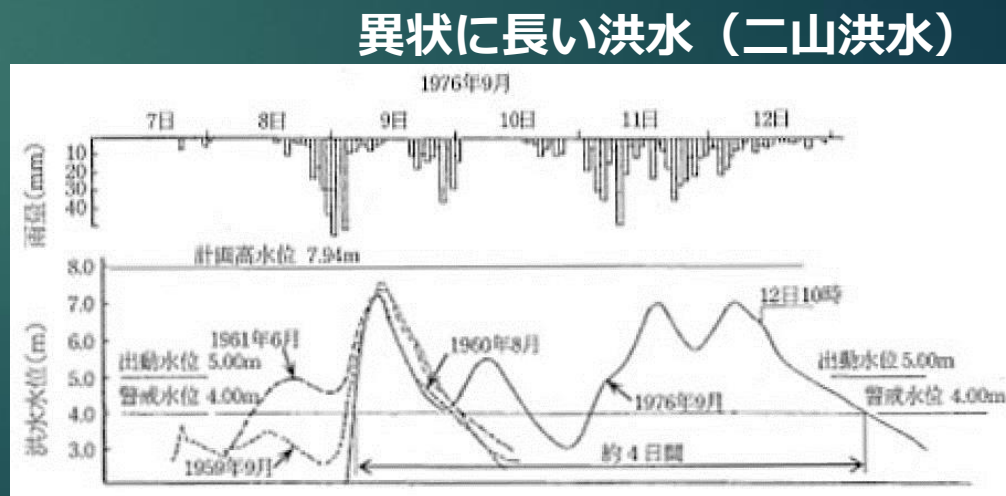
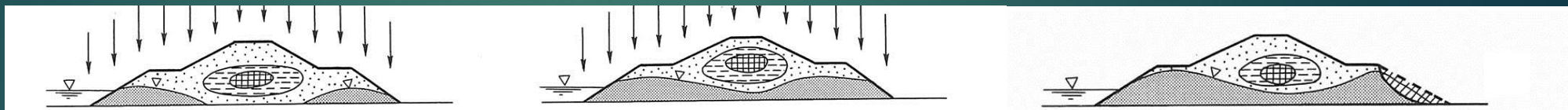


⑤ 堤体浸透による堤防欠壊

① 降雨により浸透距離の短い
法尻付近から浸潤面が上昇。

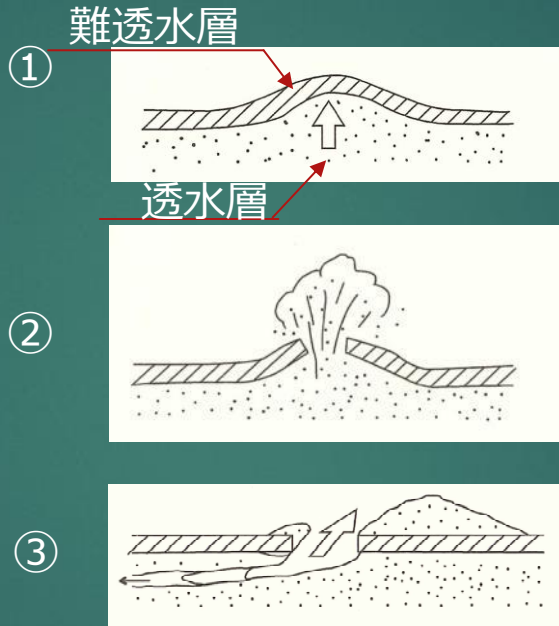
② 飽和度上昇により透水性
が増し、更に浸潤面が上昇し、
堤体強度の低下、堤防崩壊が起きやすい

③ 河川水位が上昇、堤体の透水性
は高まっているため浸潤面の
上昇が早く、堤体崩壊の危険性が
更に増す



⑥ 基盤漏水による堤防決壊の機構

河川水位が上昇すると透水層に沿って堤内側に河川水が浸透し、その浸透圧によってパイピングが発生、堤防陥没から堤防欠壊に至る

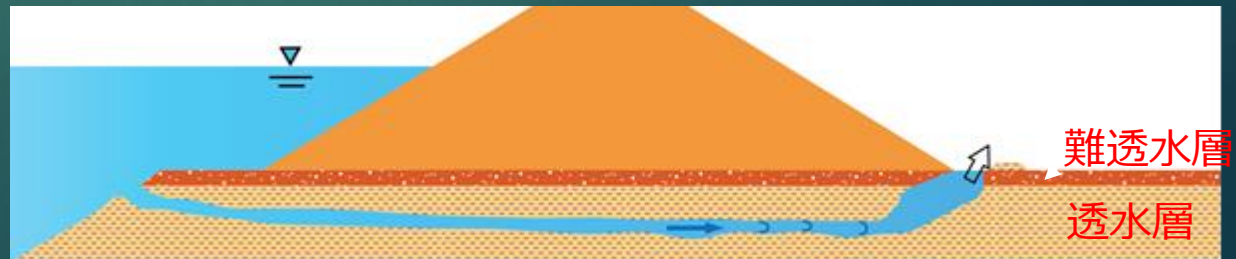


浸透圧により表土(難透水層)を持ち上げる現象を**ガマ**と呼ぶ。

浸透圧が更に増し表土を突き破って、水土砂を吹き出す現象を**ボイリング**と呼ぶ。

ボイリングによる空洞が川側に向かって拡大延長していく現象を**パイピング**と呼ぶ。

地下浸食による空洞化は**堤防陥没**の危険性が高まる



▶ 堤防管理の視点 → 長大な連続堤防は一点の弱点から破堤すると連続堤防全体の機能が失われる

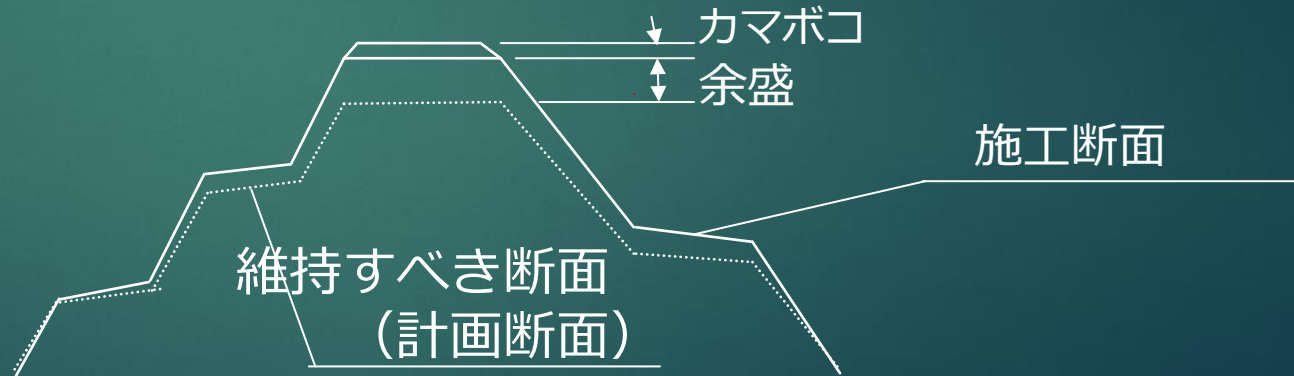
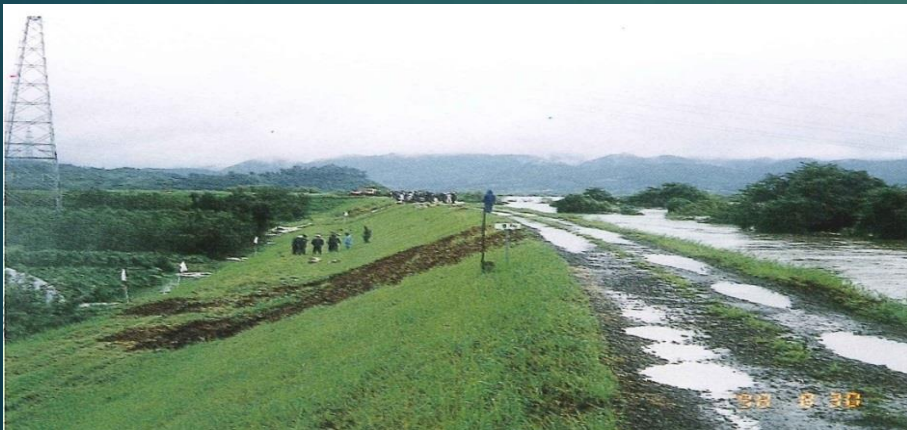
- ・ 形状管理：必要な堤防形状維持の視点 → 測量等 → 地盤沈下対策築堤等
- ・ 質的管理：浸食、浸透、地震に対する堤体の質の確保と維持の視点土質調査とそれに基づく安全性照査 → 漏水・洗掘対策護岸、天端舗装、小段をなくした堤防の緩斜化、基礎地盤改良
- ・ 損傷管理：堤体の部分的な損傷や変形修復の視点 → 各種巡視検 → 復元補修等

①堤防形状管理

堤防高

- ① $HWL + \text{余裕高 (HWLに加える値)} = \text{計画堤防天端高 (維持すべき堤防高)}$
- ② **余盛 = 堤体土の圧縮 + 基礎地盤の圧密沈下 + 広域地盤沈下**
- ③ **排水勾配 (カマボコ)**

余盛は同じ河川でも基礎地盤特性を考慮し一連区間毎に決めている



* 形状管理の難しさ

- 想定通りに（圧縮、圧密、広域沈下）一連区間均一に発生しない
- 築堤完成からの経過時間によって累積沈下量は変わる
- 完成堤にするまでのプロセス（段階施工）も場所によって違う
- 兼用道路（橋梁との平面交差部等）との関係で堤防の高さが変わる
- 結果堤防高は縦断方向にかなりおおきな凹凸が生ずる



- 計画断面を維持していれば、堤防の縦断方向の凹凸は問題ないのか
（越水の危険性に差が出る）
- 一連区間で高さの管理

* 堤防沈下は何をもたらすか？

- ・ 堤防高の低下
- ・ 堤防断面の縮小化



越水の相対的危険性増
堤体強度の相対的低下

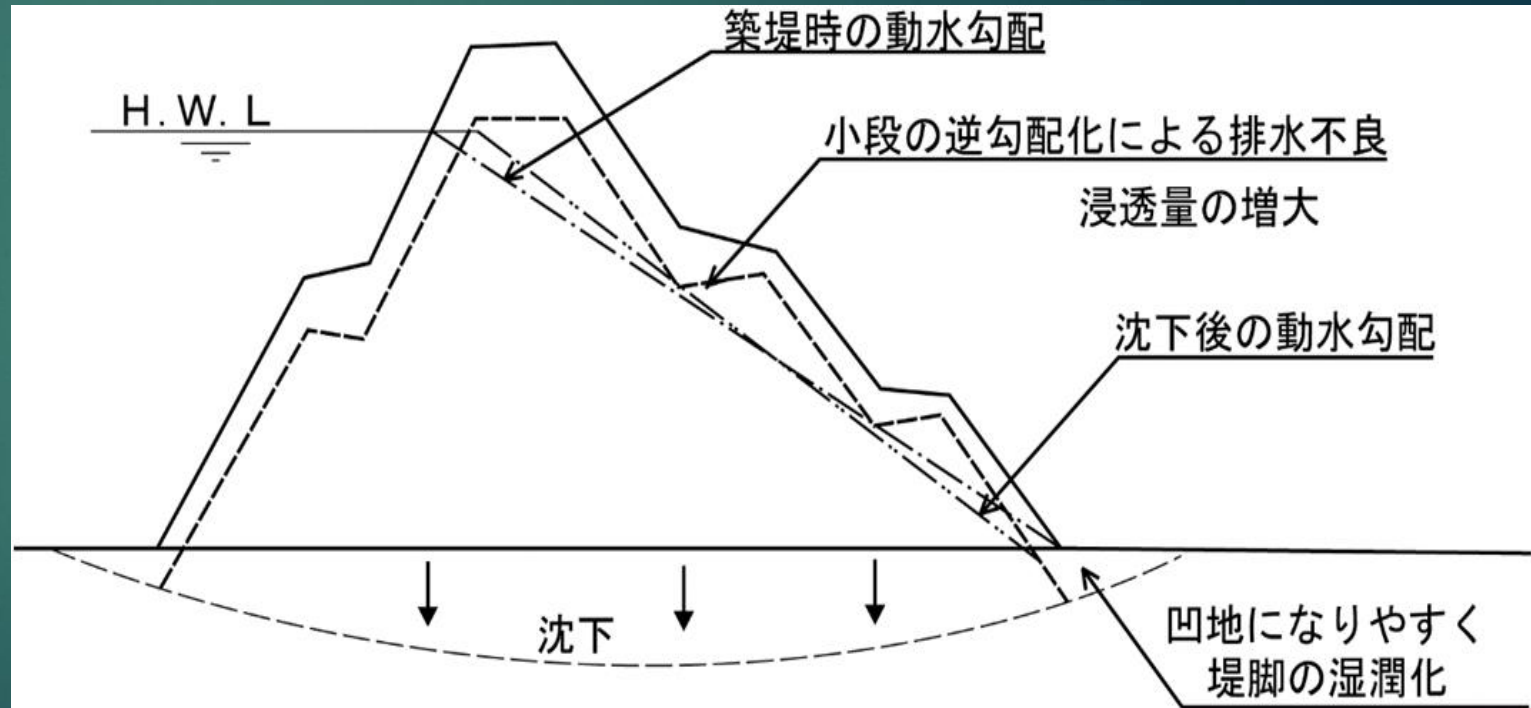
- ・ 小段の逆勾配化
- ・ 堤脚付近の窪地化
- ・ 堤体動水勾配の増大



- ・ 浸透に対する安全性の低下

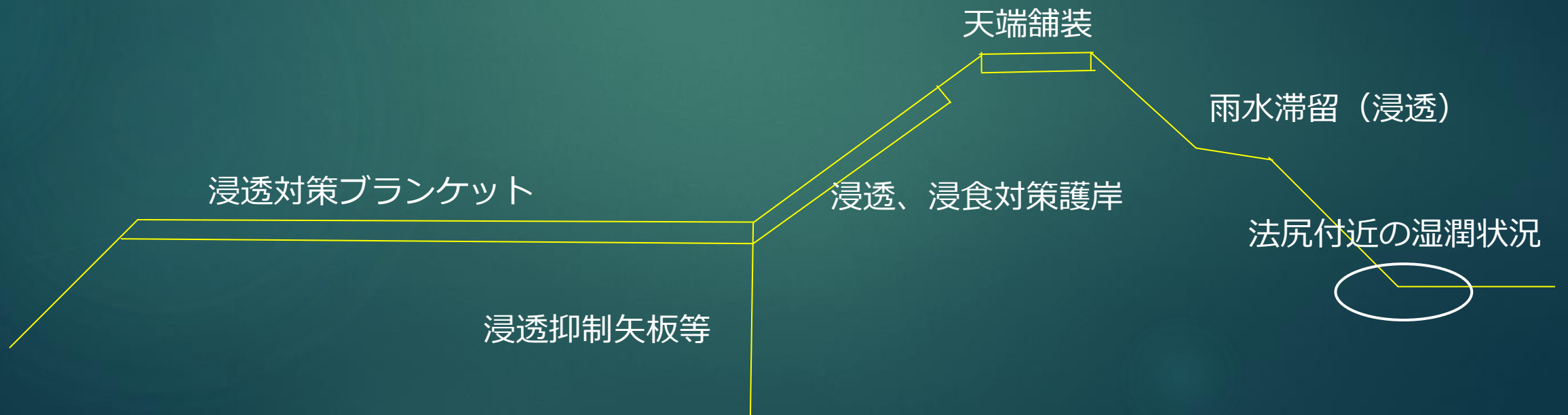


- ・ 一枚法緩傾斜堤防



②堤防の質的管理

- ・ 浸透対策施設等はその期待されている機能を維持しているか
- ・ 護岸や堤防植生は、雨水流水に対する耐浸食機能を果たしているか
- ・ 堤体に雨水が滞留するような窪地や、湿潤状態はないか



③堤防の損傷、変形に関する管理

- ・堤体の損傷の種類

亀裂、孕出し、お寺勾配、轍掘れ、陥没、土砂噴出痕跡
裸地、ガリ浸食痕跡、堤防植生劣化

- ・堤体損傷の発見は人の目に頼らざるを得ない
- ・亀裂等損傷は、舗装または裸地面では発見が容易、植生面や碎石舗装面は発見が難しい
- ・植生の丈が高いと、損傷等の発見が極めて難しい

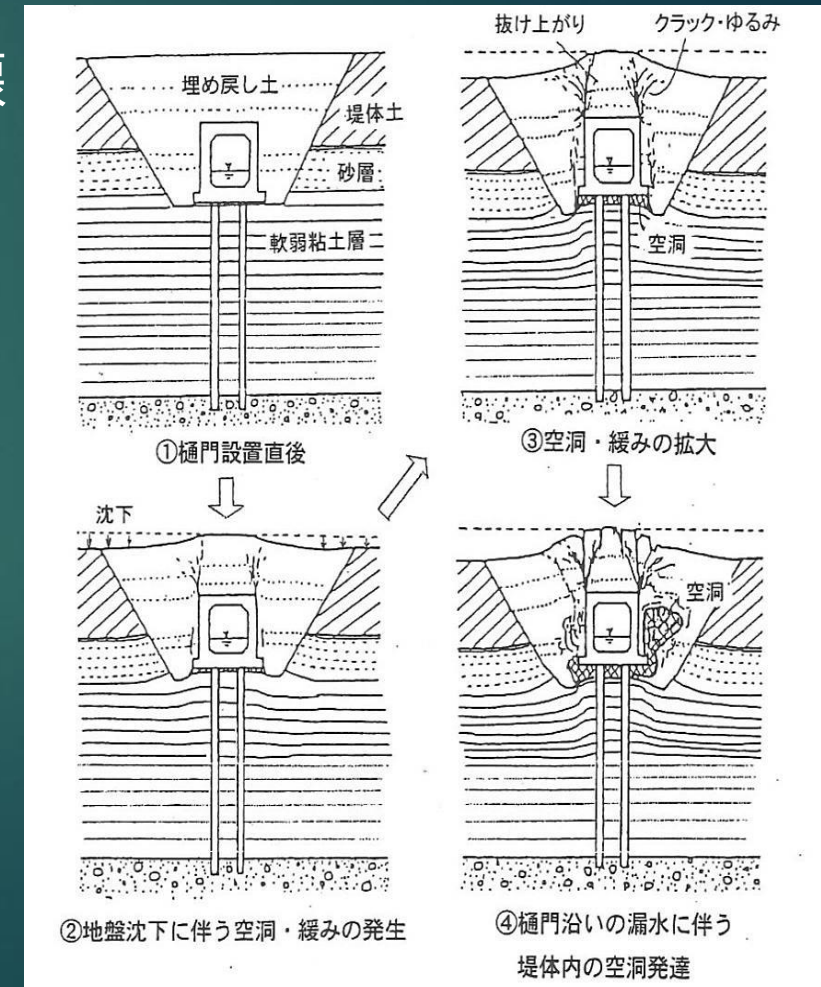
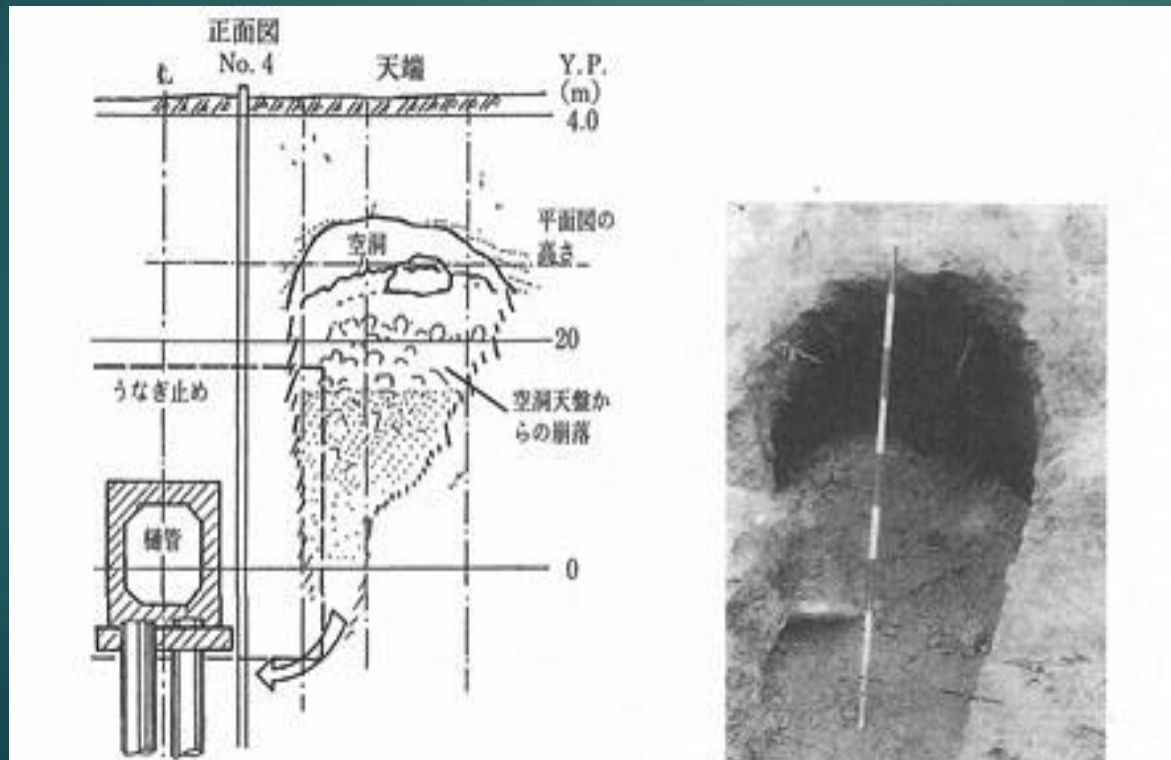
▶ 堤防点検の視点

点検前に！

- ・ 準備なく、問題意識なしに点検しても成果は期待できない
- ・ 点検前に堤防に関する必要な情報を
- ・ 予め問題意識と着目すべき点等もつことにより効果的な点検が可能

①樋門部堤体に起きやすい漏水災害

- ・ 支持杭構造によっておこる、樋門の浮き上がり ➡ 空洞化 ➡ 漏水 ➡ 堤体土の吸出し (パイピング) ➡ 堤防陥没
- ・ 堤体及び基礎地盤変形 ➡ 樋門変位 ➡ 伸縮継手の破壊 ➡ 堤体土吸出し ➡ 堤防陥没



樋管周りの漏水破堤（1986年8月小貝川）



樋門の脇から漏水が発生



天端に横断方向の亀裂が発生



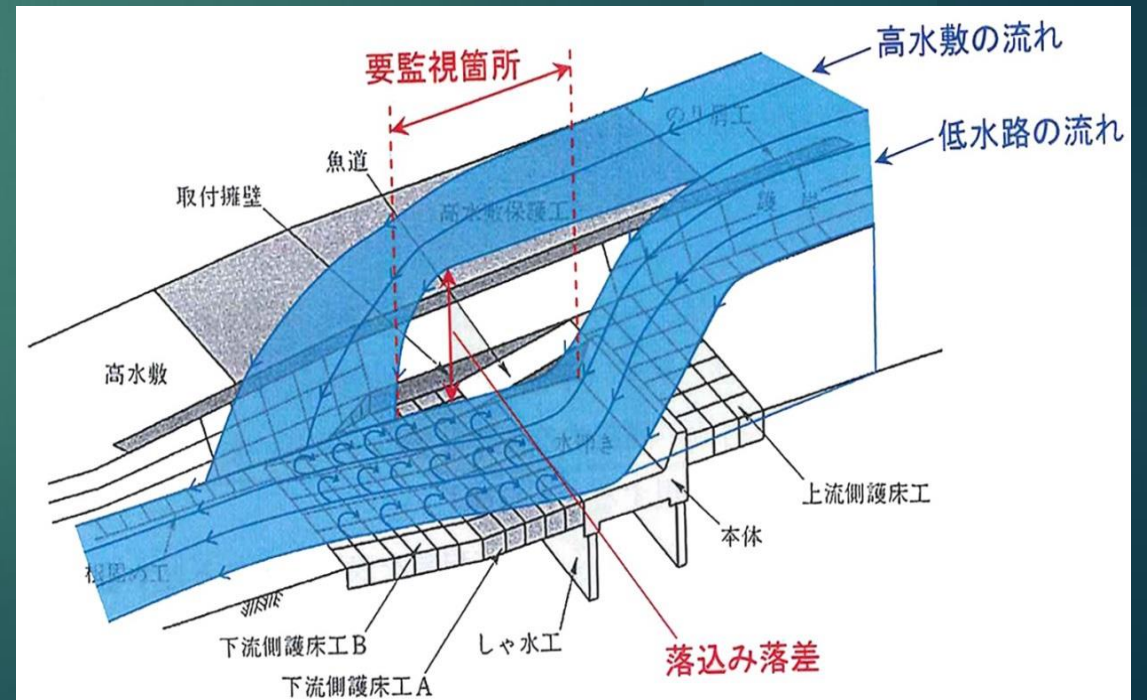
川面側が陥没

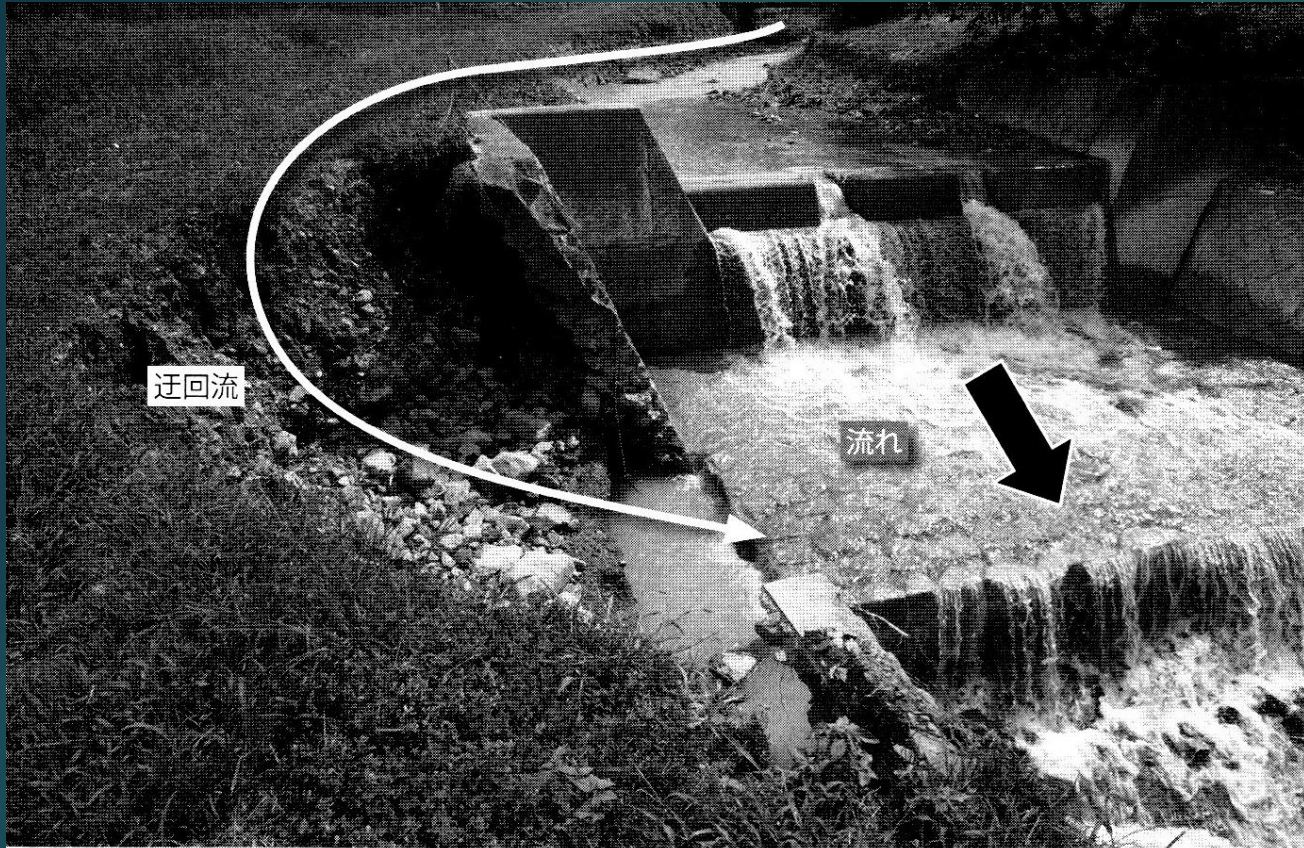


決壊

②高水時落差をもって流れる構造物周辺の被災

- ・ 水位堰上げ
- ・ 越流水による洗掘
- ・ 迂回流による洗掘





(a) 落差工周辺の河岸浸食

2014年福知山市土砂外調査報告 竹林洋史
(土木学会誌2015・1)



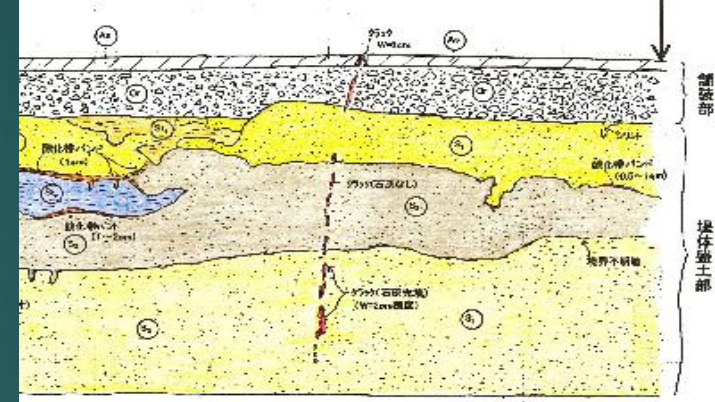
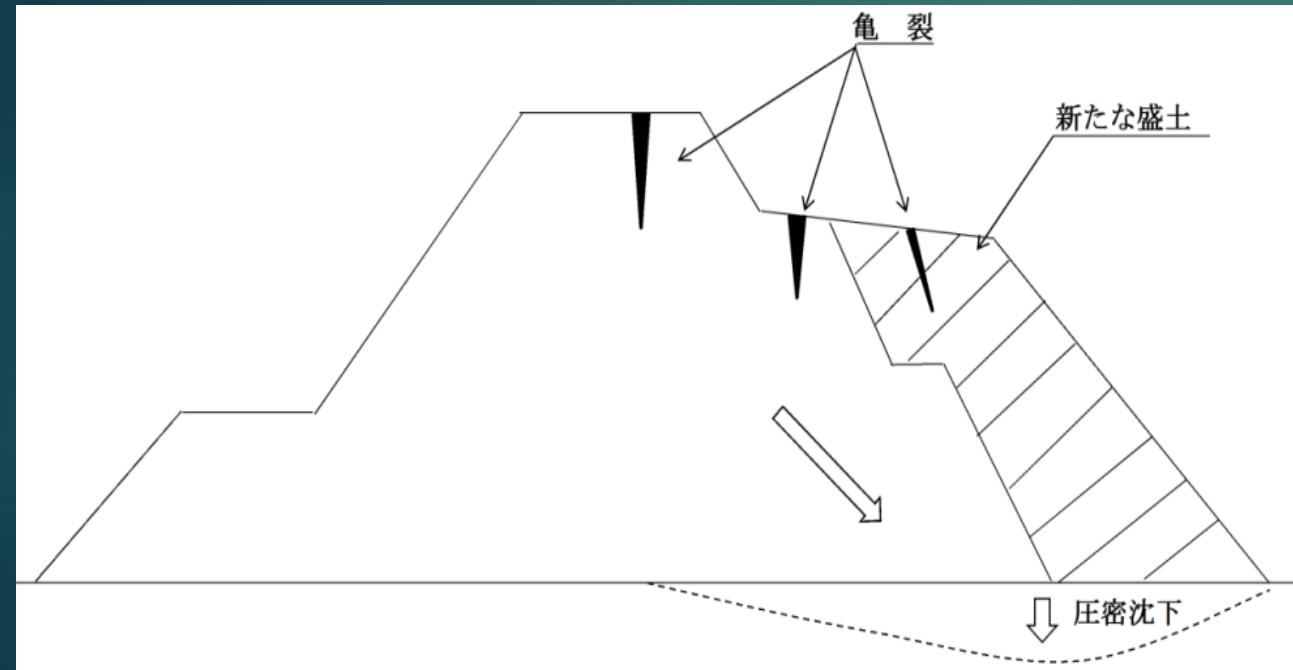
1974年多摩川左岸堤防迂回流により破堤

③薄層盛土箇所に起きやすい法面崩壊



④腹付け盛り土部に生じやすい亀裂

- ・ 舗装面は亀裂が発見しやすい。
- ・ 植生や碎石等に覆われた天端小段、法面は発見が難しい



⑤裸地は浸食の引き金

堤防植生の耐浸食機能は、植生が全面均等に覆われているから発揮される。

裸地の存在によって、堤防植生全体の耐浸食機能が失われることになる。



堤防によく見られる裸地の例



浸食の無い外野グラウンド

浸食した内野グラウンド

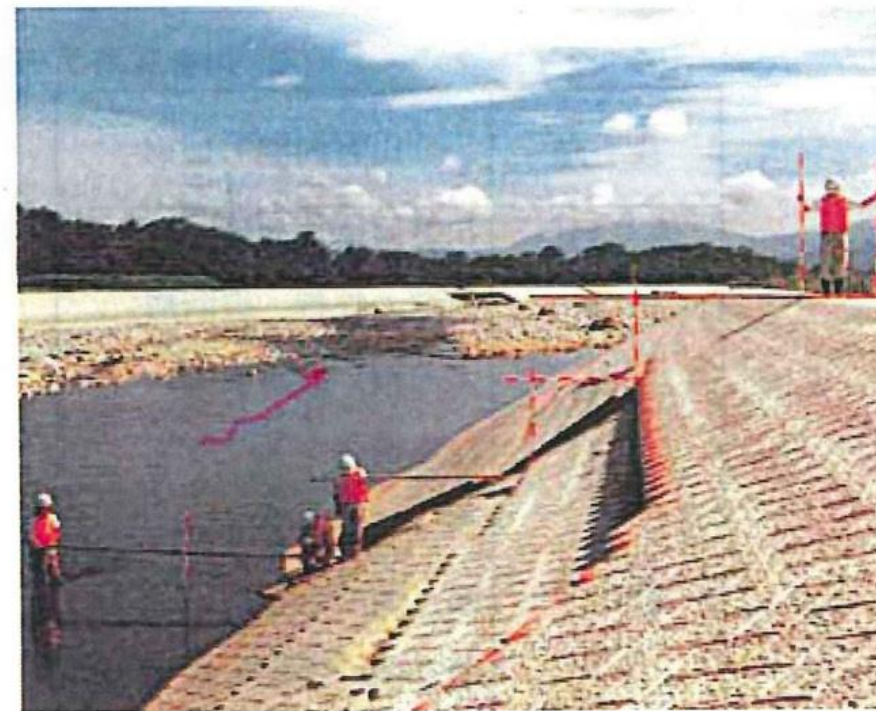
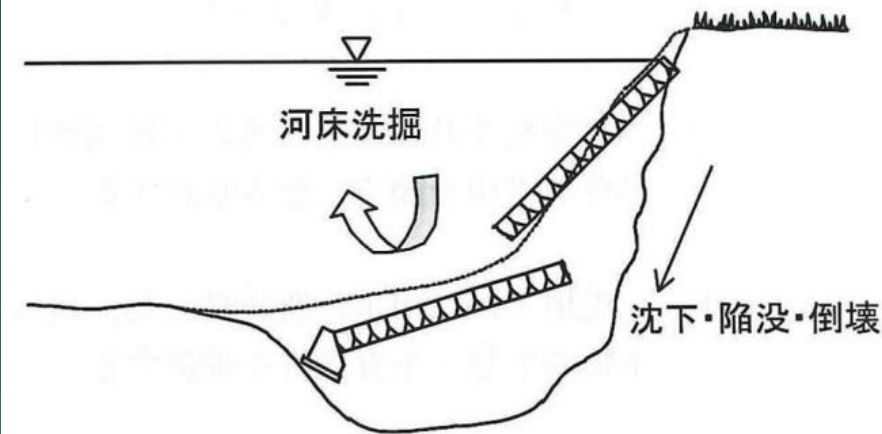
⑥モグラ塚に起因する被災

- ・モグラ塚群が、降雨により陥没し更に雨水の浸食を受ける。
- ・その後洪水の浸食作用を受けると、大事故に発展する可能性が高い。



⑦護岸の基礎部に着目

- 河床の局所洗掘による護岸崩壊

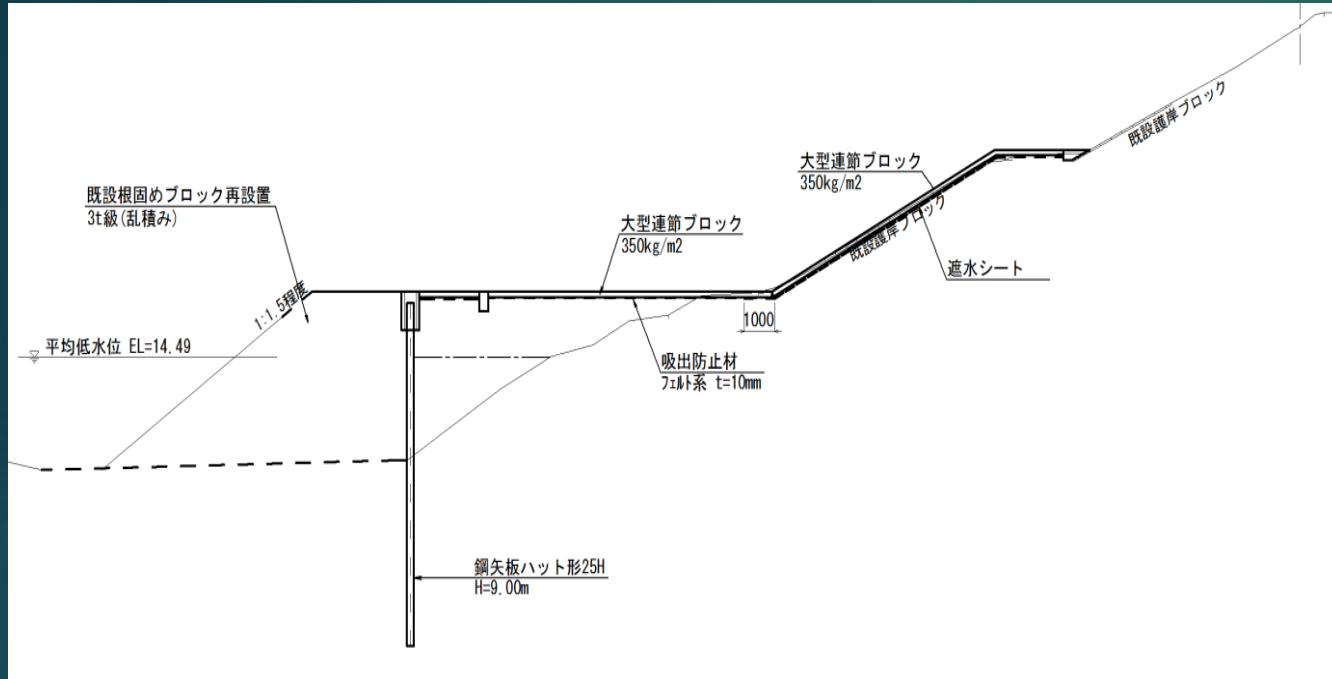


河床洗掘による被災事例

- * 河床の局所洗掘とそれに伴う半面土砂の流出及び流体力によって、護岸が複雑な変形をしている。
- * しかし接続した群体構造であったため、河岸浸食防止の機能を最小限果たしている。



・護岸の安定に欠かせない根固めブロックの流失



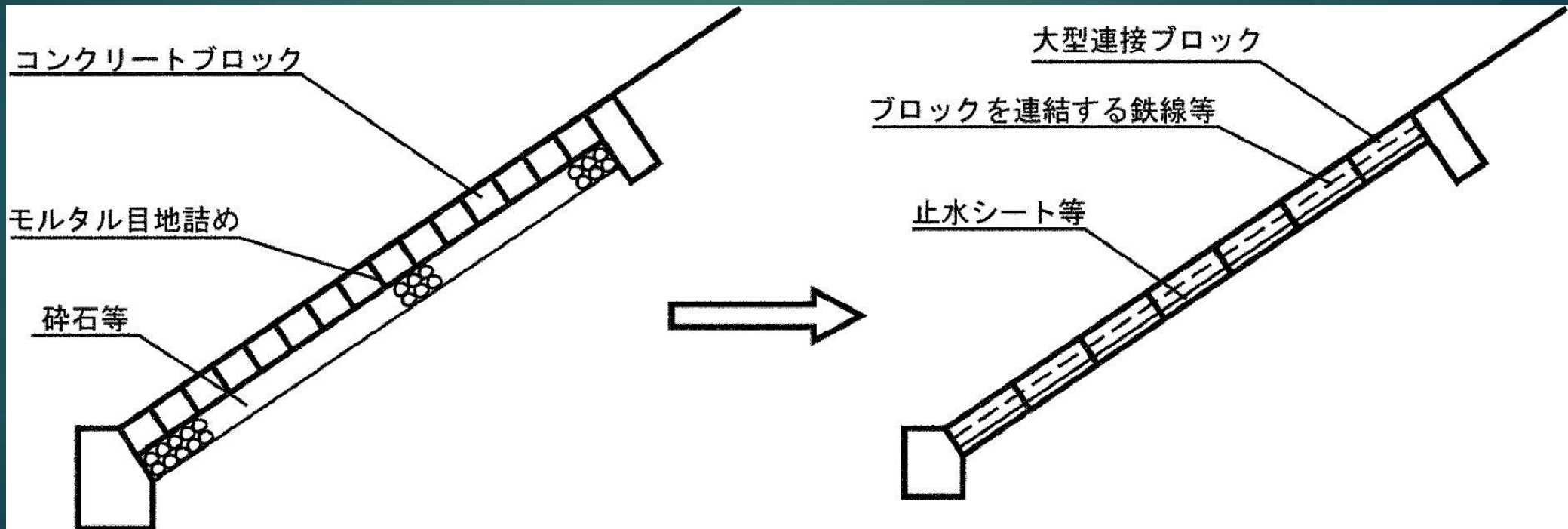
⑧ 残留水圧

急激な水位低下によって残留水圧が護岸に揚圧力として作用し、護岸が破壊し法面崩落が発生する。（圧力開放度が低いほど作用水圧は大きくなる。）



⑨護岸法覆工の構造

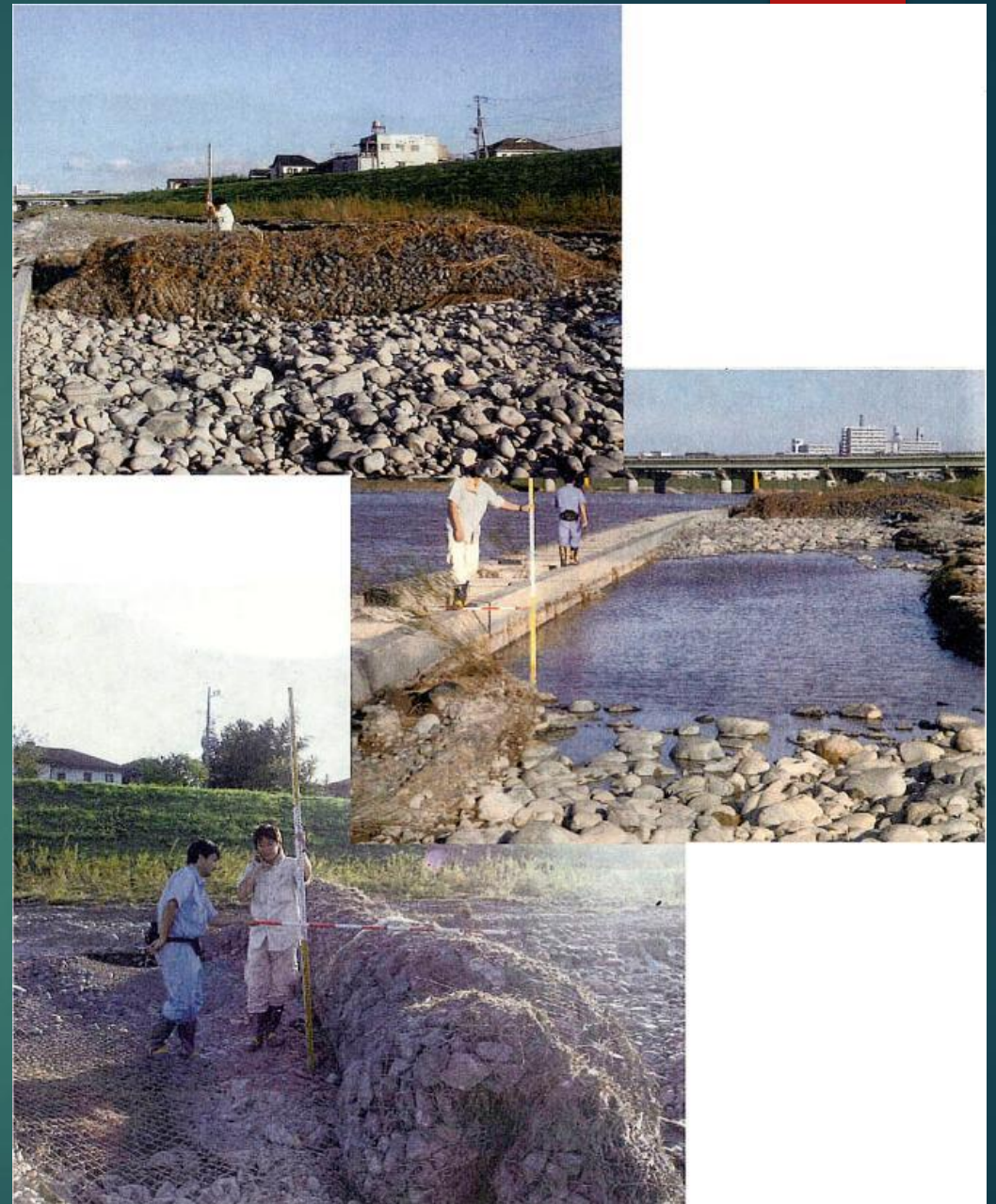
- ・昭和50年代までは、堤防はブロック目地張り工法が主体（急流河川は練り石張りが主体）。
- ・近年は大型接続ブロックに止水シート型、単体から群体へ、耐浸透、耐吸出し機能の向上。



⑩護岸端部の構造形状に着目



端部が流体力を受ける形になっていないか。
端部の処理が適正か



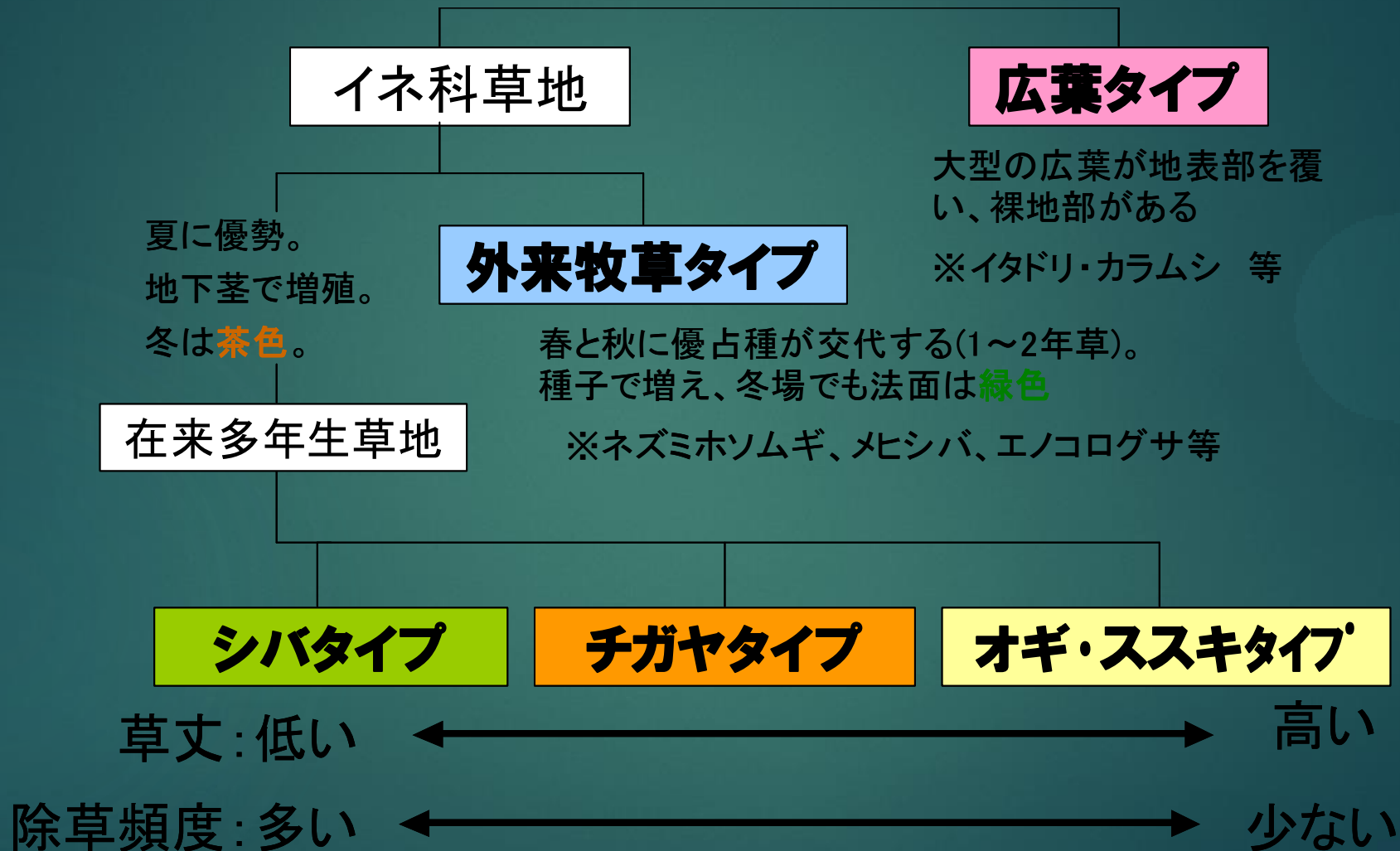
⑪堤防植生

- ・堤防植生に求められる機能（性能）

- * 耐浸食機能
- * 点検可能な草丈
- * 環境機能



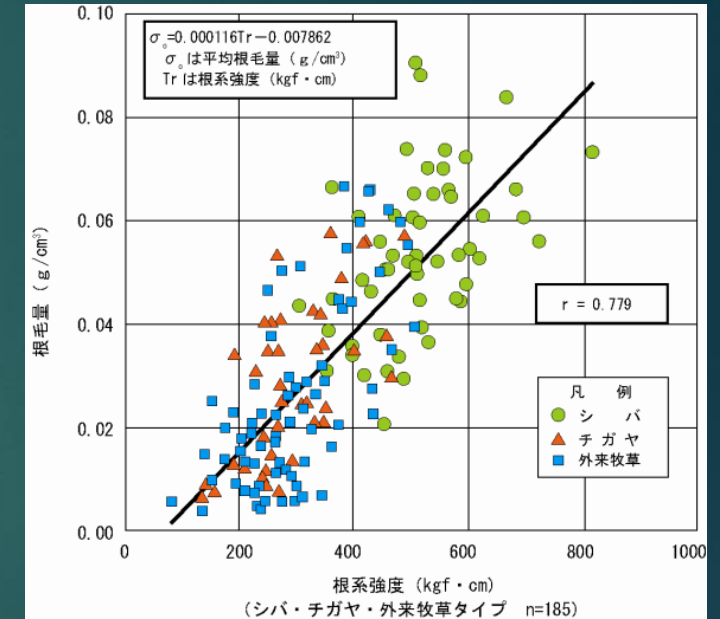
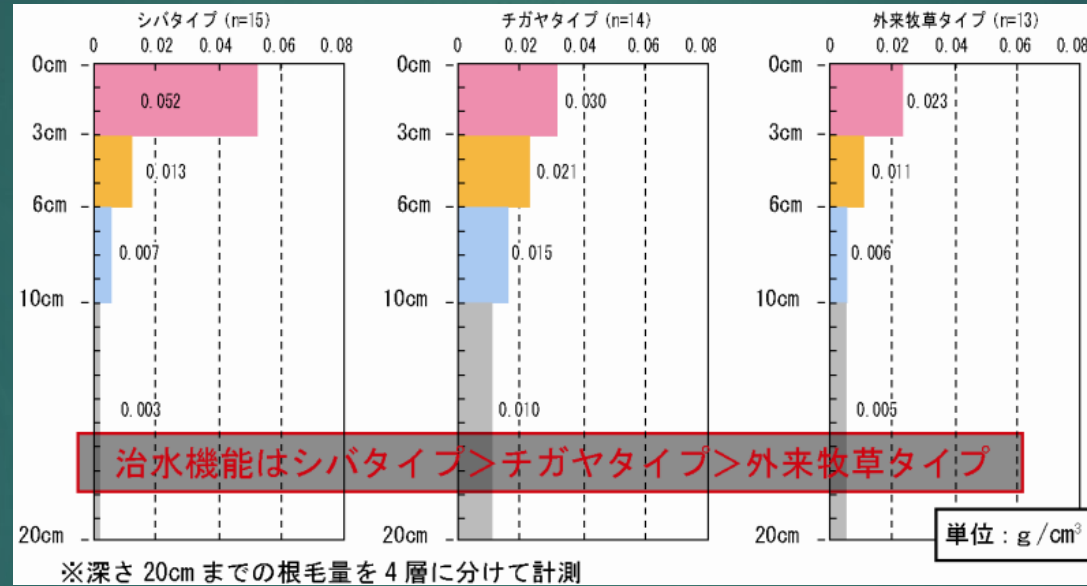
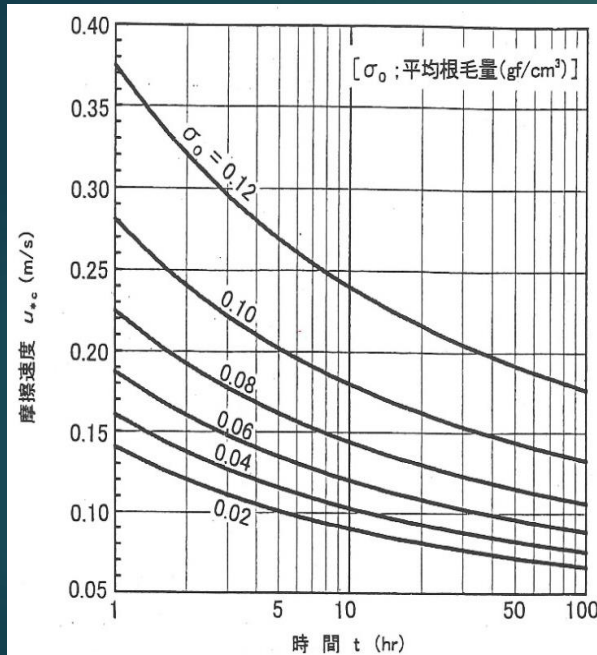
・堤防植生タイプの実態



・ 雨水流水に対する耐浸食機能

芝タイプ > チガヤタイプ > 外来牧草タイプ

(耐浸食機能の数値指標として根毛量が一般的)



・ 堤防の点検が容易な草丈

芝タイプ > チガヤタイプ < 外来牧草タイプ

・ 景観

芝タイプ > チガヤタイプ > 外来牧草タイプ (アンケート調査)

・ 芝タイプが望ましいものの、現在の植生管理の手法・水準 (2回刈 1回集草) では芝は維持できない

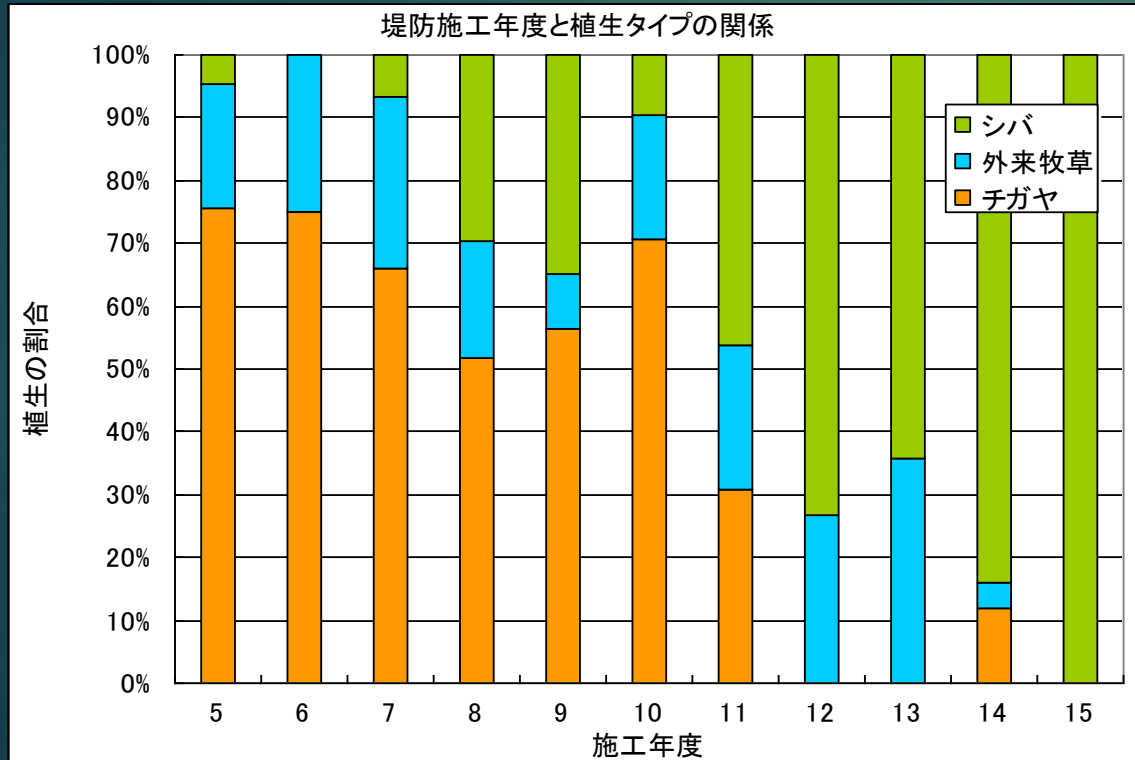
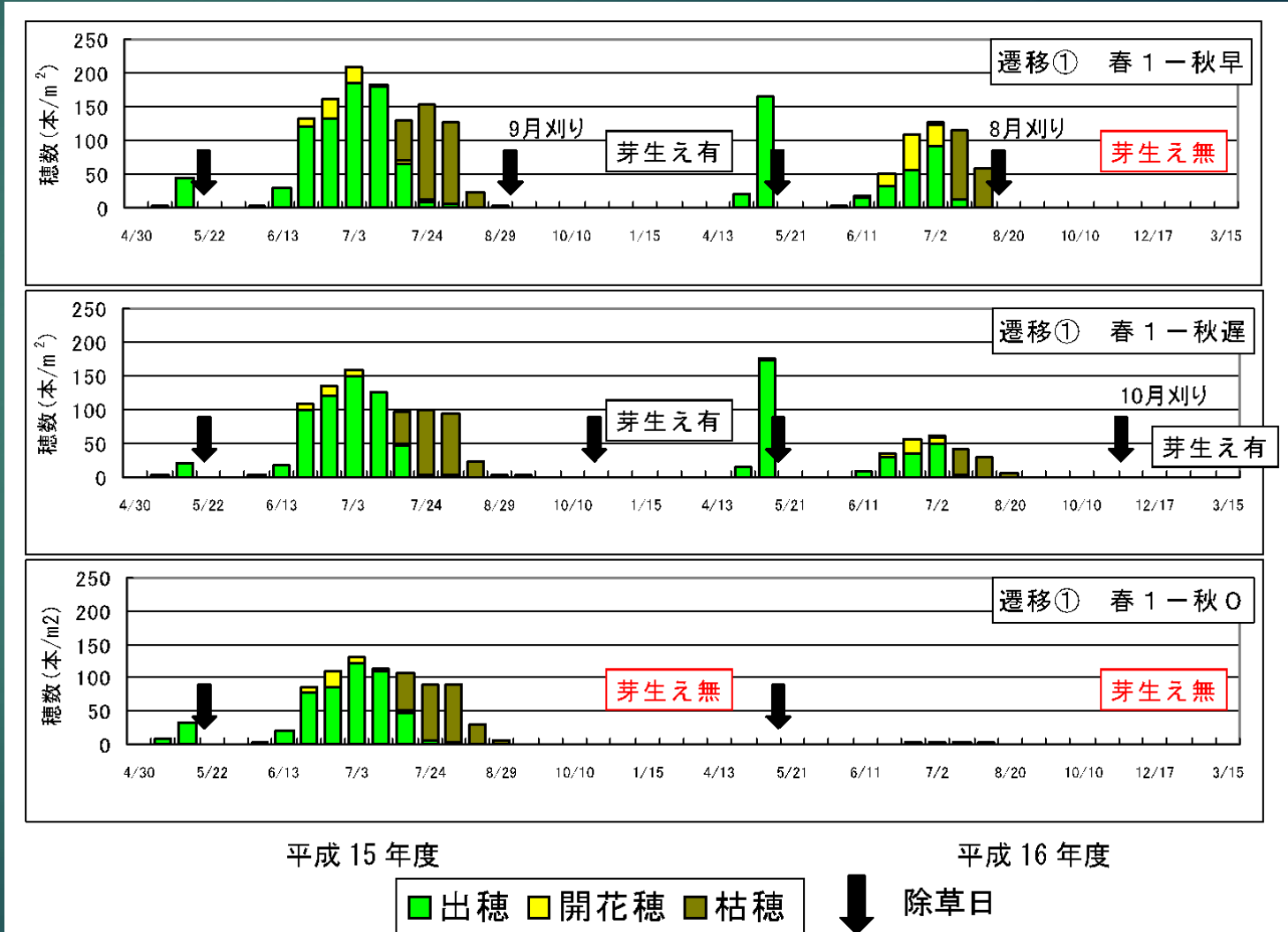


表 3-3 イネ科花粉症原因植物一覧

植物名	牧草名	花期	生活形	摘要欄
オニウシノケグサ	トールフェスク	6-8月	多年草	
ヒロハノウシノケグサ	メドーフェスク	6-8月	多年草	江戸川では少ない
ナガハグサ	ケンタッキーブルーグラス	5-7月	多年草	
スズメノカタビラ		2-11月	1-2年草	高水敷に多い
カモガヤ	オーチャードグラス	7-8月	多年草	江戸川では少ない
ネズミムギ	イタリアンライグラス	5-7月	1-2年草	
ホソムギ	ペレニアルライグラス	5-7月	多年草	
ネズミホソムギ	-	5-7月	1-2年草	ネズミムギ及びホソムギの交雑型
コヌカグサ	レッドトップ	5-6月	多年草	
ハルガヤ	スイートバーナルグラス	5-7月	多年草	
オオアワガエリ	チモシー	6-8月	多年草	江戸川では少ない
スズメノテッポウ		4-5月	1年草	
イネ		8-10月	1年草	
ギョウギシバ		5-7月	多年草	
ヨシ		8-10月	多年草	

原因植物は、NPO 花粉情報協会(2002)及び、齋藤・井出(1984)で掲載された種を挙げた。
花期及び生活形は「増補日本イネ科植物図譜」に従った。

- ・ 外来牧草タイプ（チガヤ混生タイプ）をチガヤタイプに遷移させる実験（江戸川管内）
- 外来牧草（ネズミホソムギ）の生活史に着目した除草時期の調整により可能であることが実堤防の実験で確かめられた



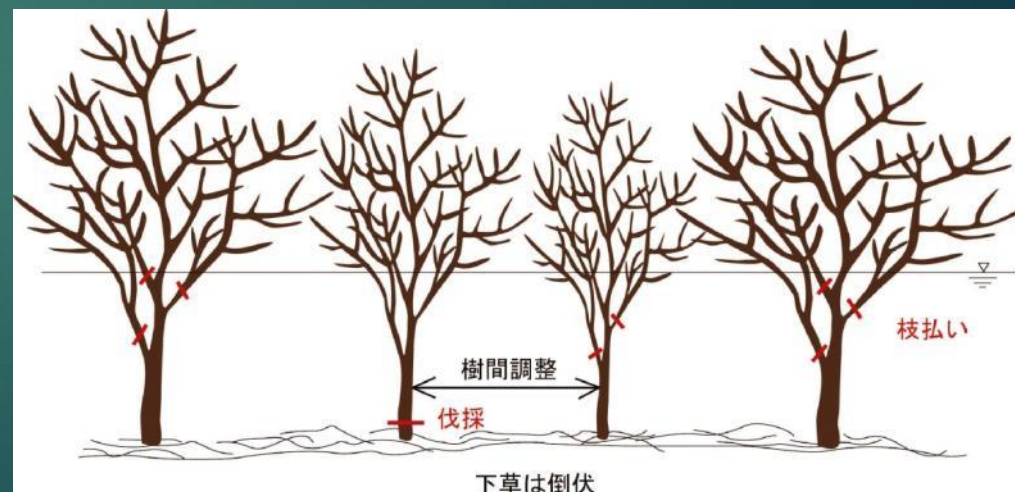
⑫堤体の樹木

- ・洪水時風、流体力によって倒木すると堤体に大きな損傷が発生
そこから洗掘拡大
- ・**草原の維持は、1回/年の草刈り又は野焼きで可能**
従って堤防には
木本類の成長はない
- ・**除草が行われない**
護岸部で木本類の
成長が目立つ



⑬河道内樹林管理の視点

- 流下能阻害（水位堰上げ）
- 堤防に向かう洪水ベクトル
- 粗度管理（調節地・分派等関連区間）
- 環境（景観）
- 流木化（スパン狭小橋梁の存在）



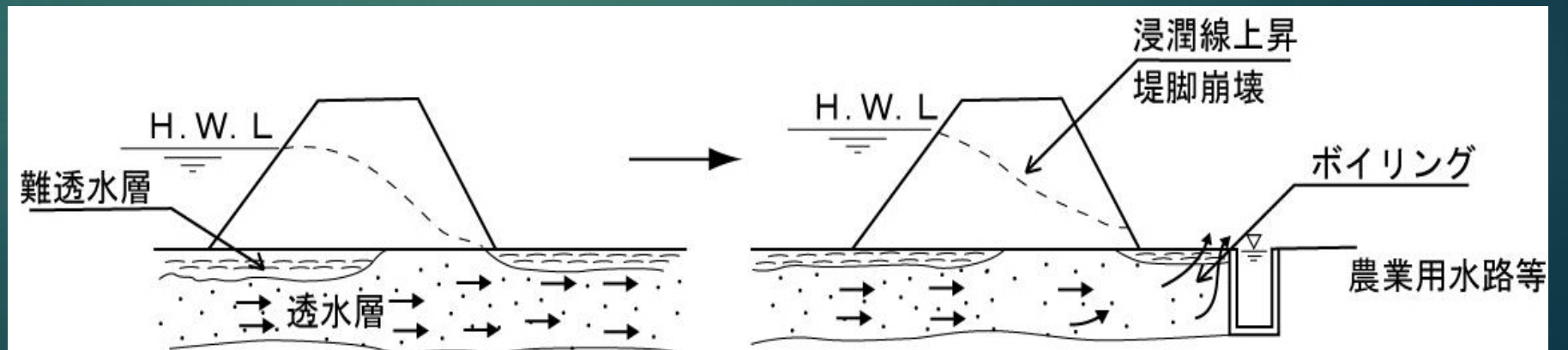
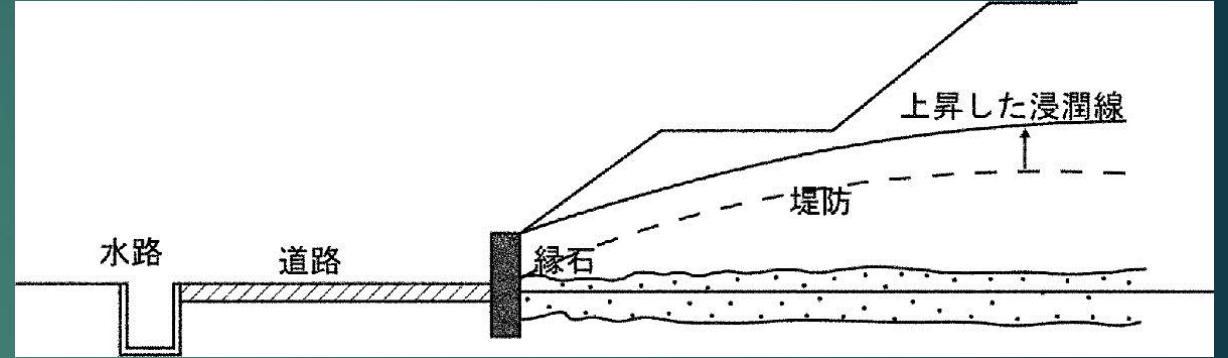
⑬保全区域を含む川裏堤脚部管理の視点

堤防の健全性を維持管理していくうえで**点検に当たって特に焦点を当てたい**

- ・ **常時湿潤状態**を示していないか
- ・ 堤体排水ドレーン、排水溝が適切に設置されているか

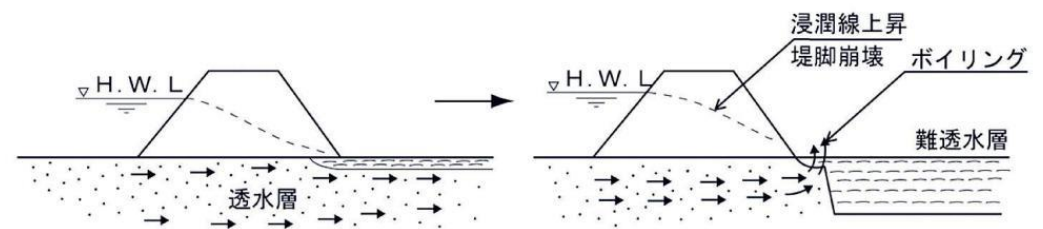


- 堤脚に浸透圧を高めるような構造物が設置されていないか



・ 保全区域の連続壁、土砂の置き換え

こうした区間では、土質調査を実施し 危険性はないのか確かめ 問題があれば堤脚
ドレーン+排水路等の設置を考えるべきである。
新たな許認可に当たっては、こうしたことを念頭において必要な措置を行う必要がある



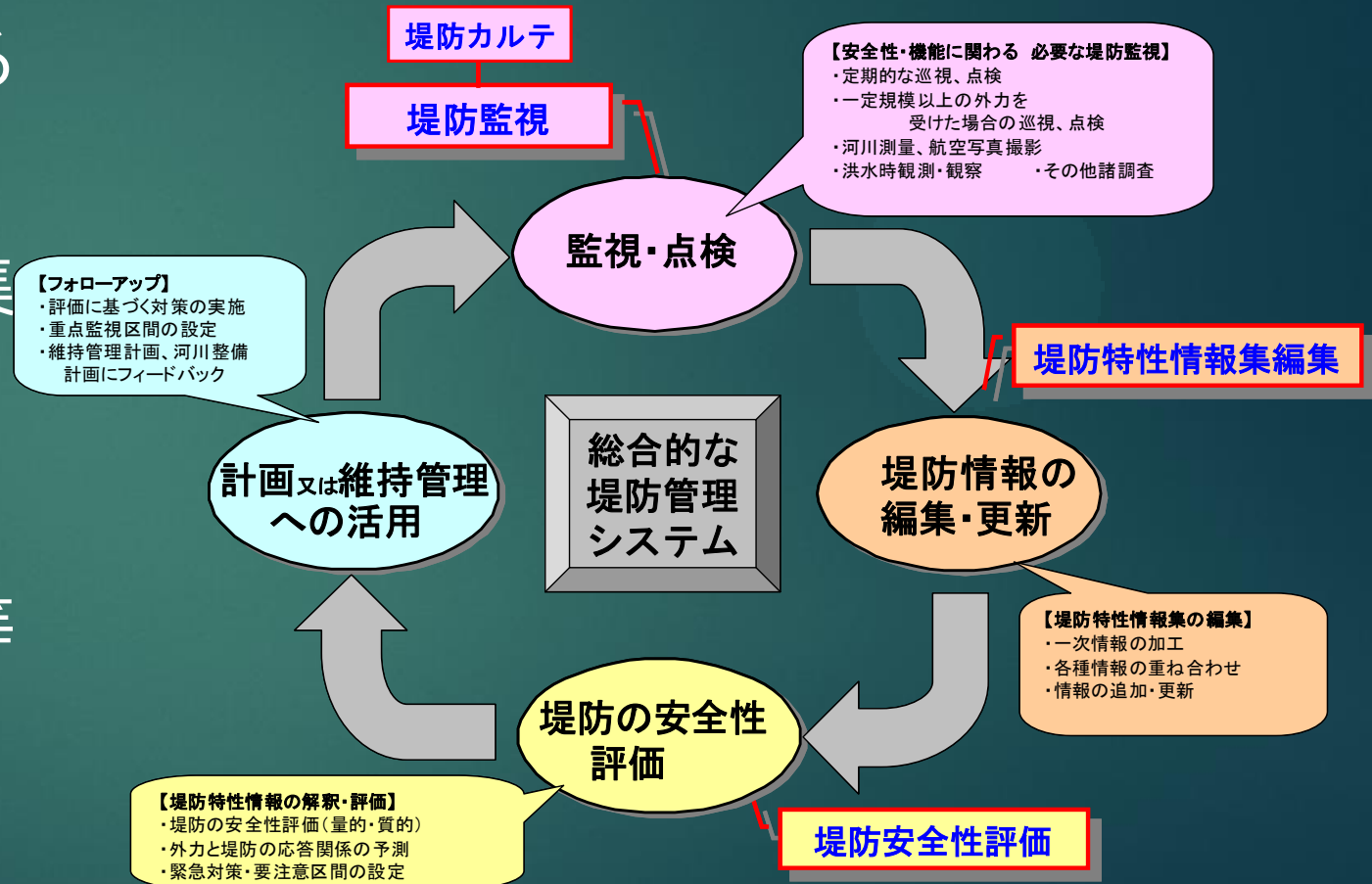
▶ 維持管理の現場が求めている技術

① 堤防等構造物の形状・質
の現状を計測・調査する
技術

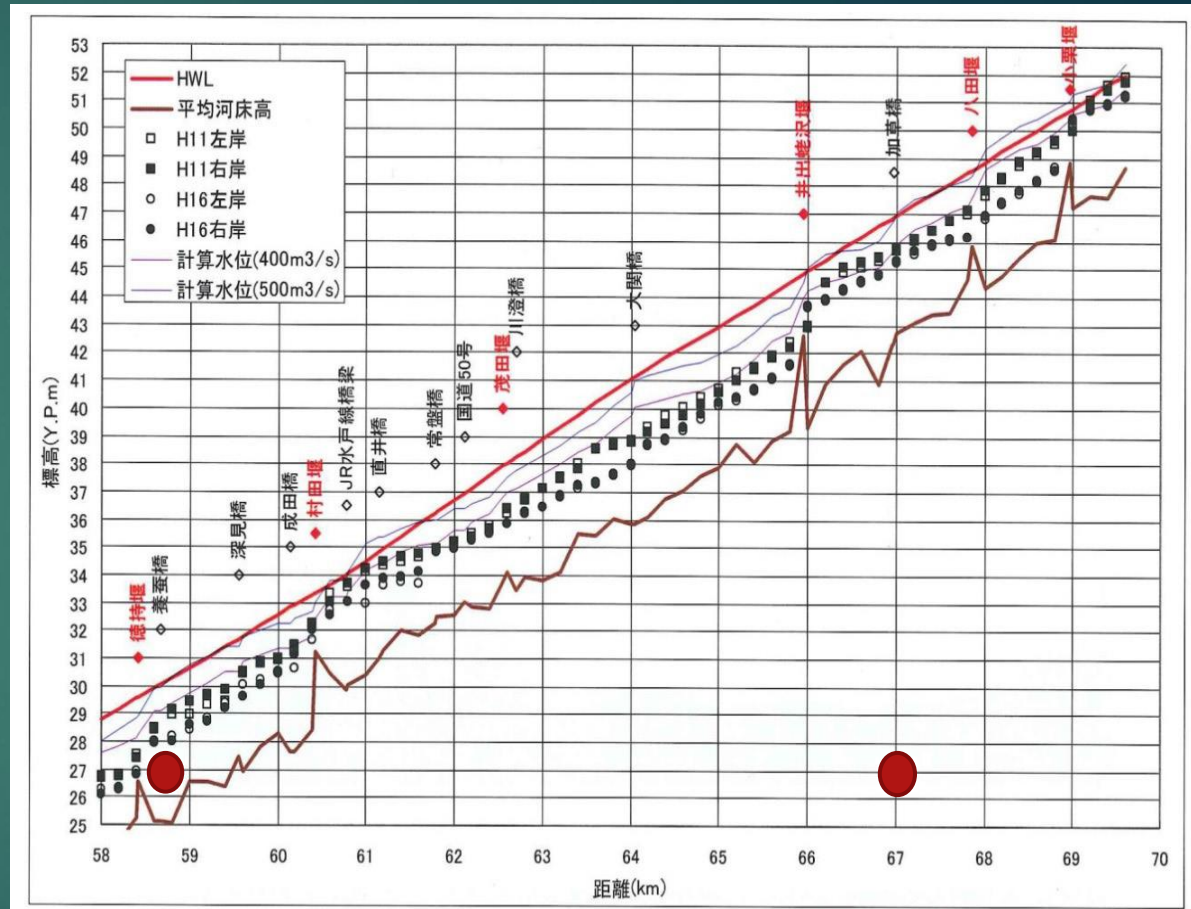
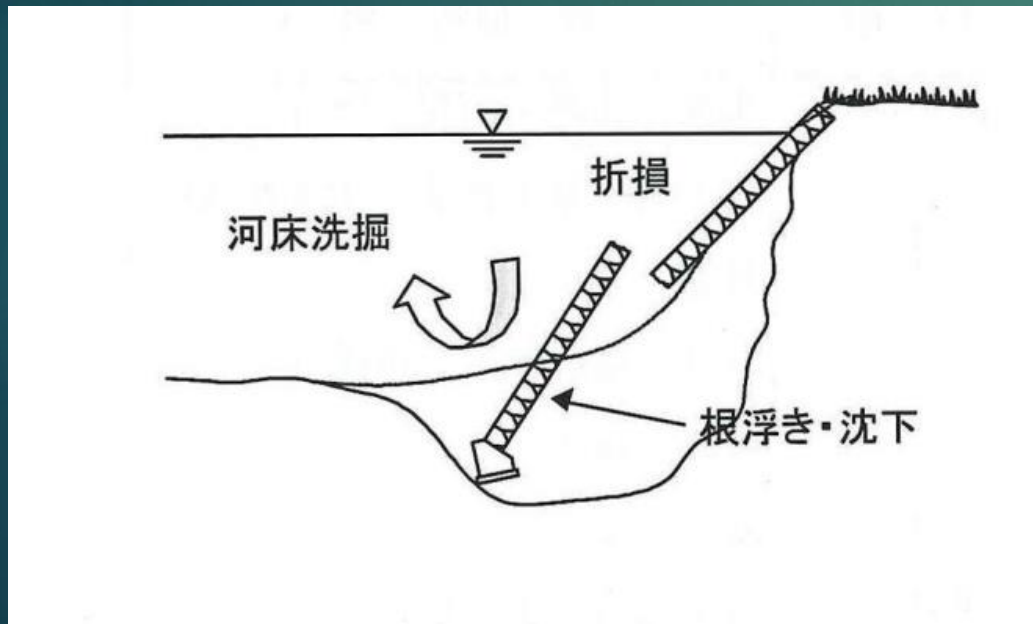
② 情報の加工・編集・編集
と情報の維持管理技術

③ 安全性の評価技術

④ 堤防及び構造物の損傷等
復元・補修技術



- * 連続した高水位観測
- * CCTVの更なる活用
- * 洪水時河床変動追跡法 (水衝部)
- * 堤体内部構造調査法 (地震・樋管周辺)



- * 洪水時の河道内樹林中の流れ
- * 良好な堤防植生の維持手法
- * 洪水時落差をもつ構造物周辺流況解析法

ご静聴ありがとうございました