

河川シンポジウム(含む河川技術論文集)

- 各技術者・研究者の日頃の調査研究成果を披露し、(技術者・研究者の自由な発想を尊重しつつ)議論し・褒め称えあう場

+

- 「河川技術上の重要課題あるいは分野について、必要なインターフェース的機能を確保しつつ、調査・研究活動等を実施し、課題分析、知見の体系化、発展の方向性や技術水準の提示などを行う(会則第3条より)」場となってほしい。
- ⇒ディスカッションを1週間延長します

好循環形成の障害

2/3基準・マニュアル類信奉の落とし穴

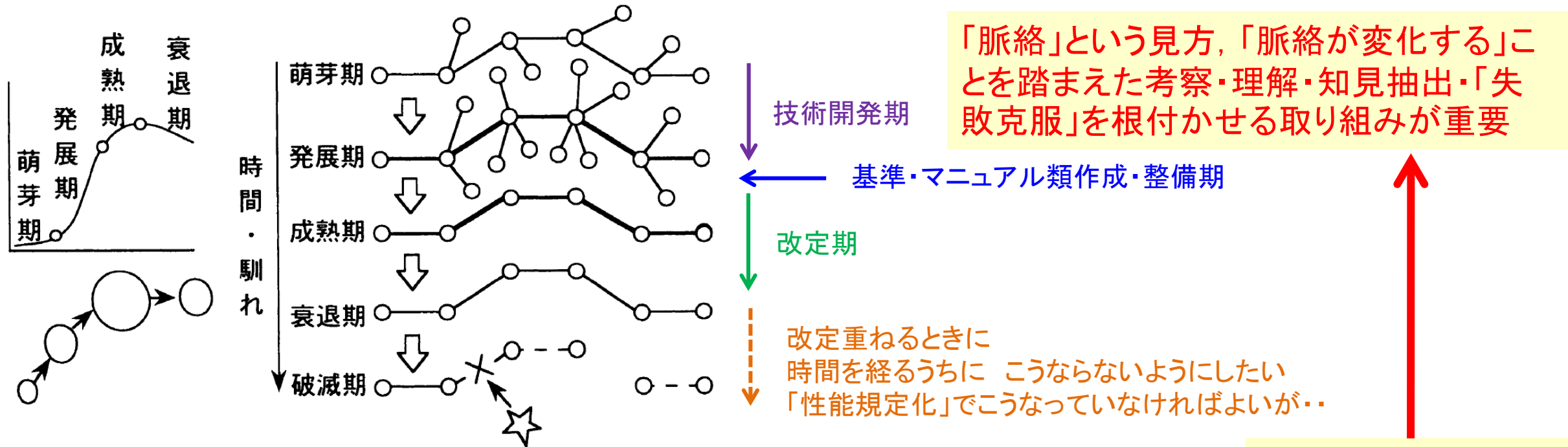


図6 経済性追求による失敗の必然性

技術の成熟に伴って脈絡は変化する。成熟期になると選択枝は切り捨てられ、メインのルートだけが許され、ひ弱なルートになり、破滅する。

河川部会は、「脈絡」の整理・共有を大切にすべき！

「脈絡」を整理・把握する方法は、失敗克服だけでなく、技術開発、成功要因分析でも有効。

出典: 畑村洋太郎: 失敗学のすすめ, 音声言語医学, Vol.43, pp.182-188, 2002 に加筆

好循環形成の障害

2/3基準・マニュアル類信奉の落とし穴

基準類で表現できない

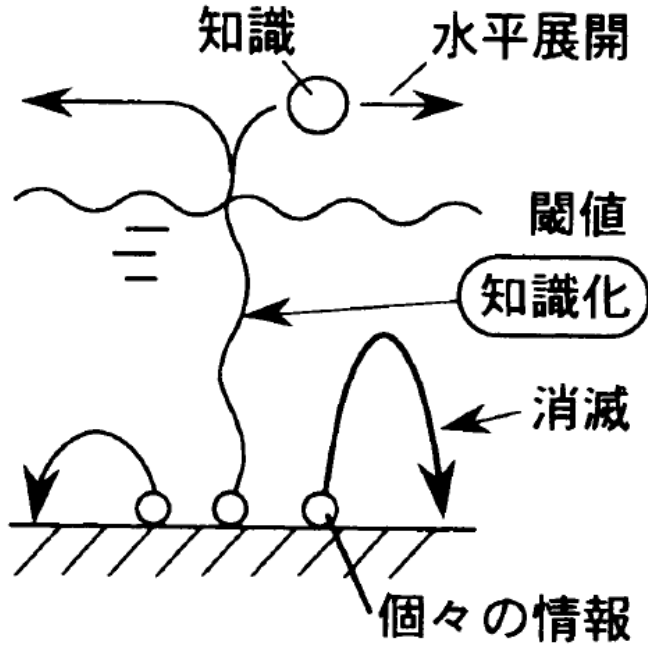
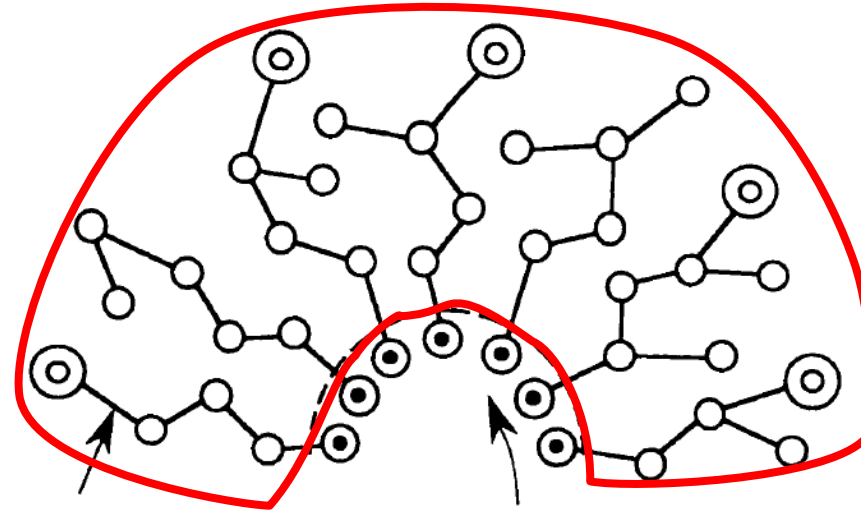


図8 失敗情報の知識化の必要性

情報のままでは伝わらない。
知識にして初めて伝わる。

基準類で表現できない



表現されていない失敗の脈絡

結果として表現されているもの

図9 失敗に至る脈絡伝達の必要性

失敗の結果だけでは何も伝わらない。
そこに至る脈絡を記述して初めて伝わる。

人は理解しなければ(失敗(成功))知識を使うことはできない。結果だけが表現されていても理解はできない。失敗(成功)に至る脈絡(どのようなことに迷い、どのようなことを試し、どのような失敗(成功)をしたかについて記述)が記述されてはじめて理解することができる。

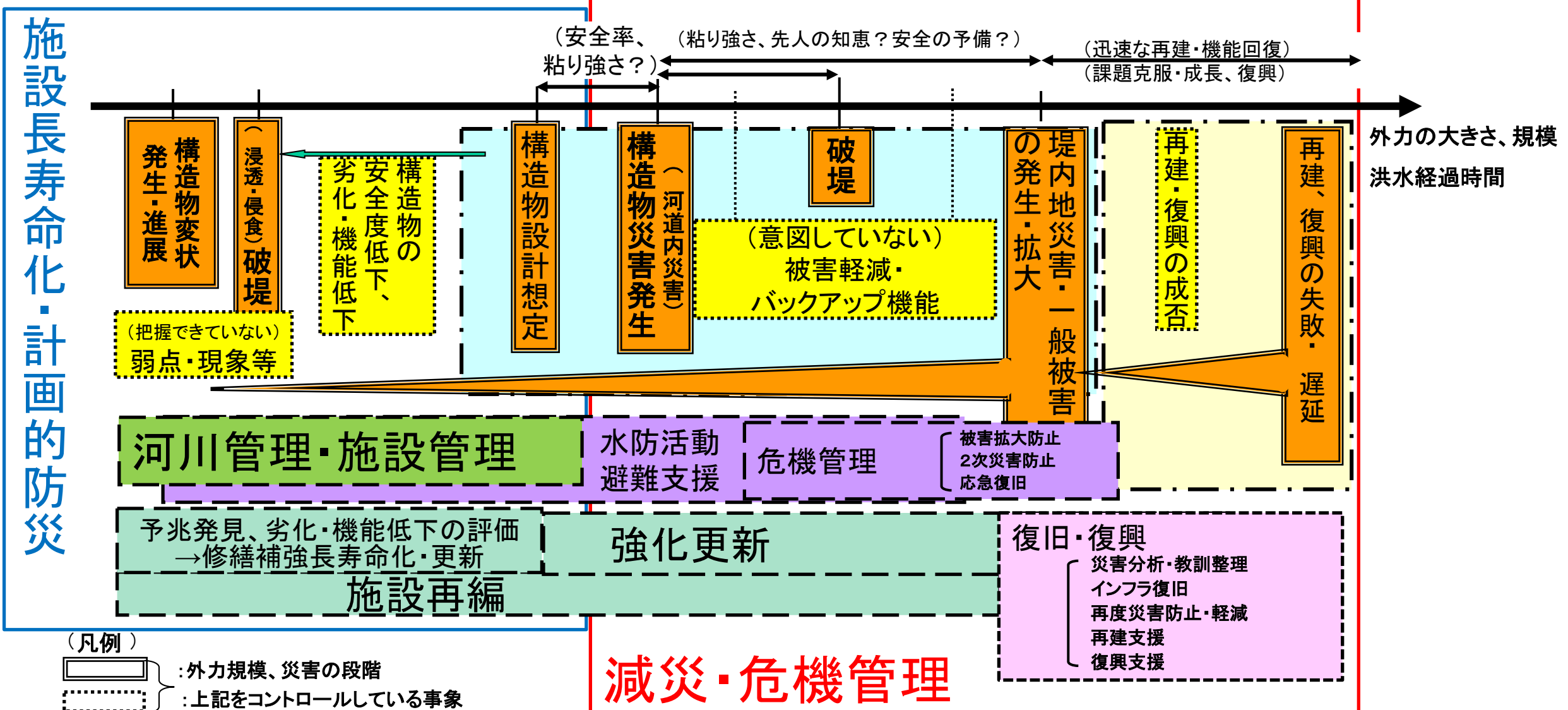
それにはまず、事象・経過・原因・対処(その失敗(成功)の進行にどのように対応したか)・総括などの項目に従って記述することが必須である。

そしてこれらを知識化する必要がある。更にこの失敗(成功)に対して行った対策・失敗(成功)の起こった背景・この失敗(成功)の後日談、またこの失敗(成功)に関連して思い浮かんだ四方山話などを記すことが非常に有効である。

<参考>堤防既往研究・図書

- 山村和也(1969):河川堤防の土質工学的研究, 土木研究所資料, 第688号, 1969
 - 山村和也氏講演集「河川堤防の災害と現状認識について」(1996 国土技術開発センター)
- 中島秀雄(2003):図説 河川堤防, 技法堂出版, 2003年9月
 - 瀬川明久(2004):河川堤防の漏水対策技術(第3版), (財)北海道河川防災センター, 2004年8月
 - 国土技術センター編(2007):改定・護岸力学設計法
 - 国土技術センター(2012):河川堤防構造検討の手引き(改訂版)
 - 山本晃一(2017):河川堤防の技術史, 公益財団法人河川財団企画, 技法堂出版, 2017年10月
現基準類の解説書
- 福岡捷二(2006):洪水流の水面形観測の意義と水面形に基づく河川の維持管理技術, 河川技術論文集, 第12巻, P.1-P.6, 2006年6月
 - 吉川勝秀(2011):新河川堤防学 河川堤防システムの整備と管理の実際, 技法堂出版, 2011年11月
施設能力超過洪水

構造物の変状から一般被害拡大までの洪水応答



河川構造物の洪水応答とは

- ・その他の外的作用
- ・取り巻く諸条件の変化

背景、前提

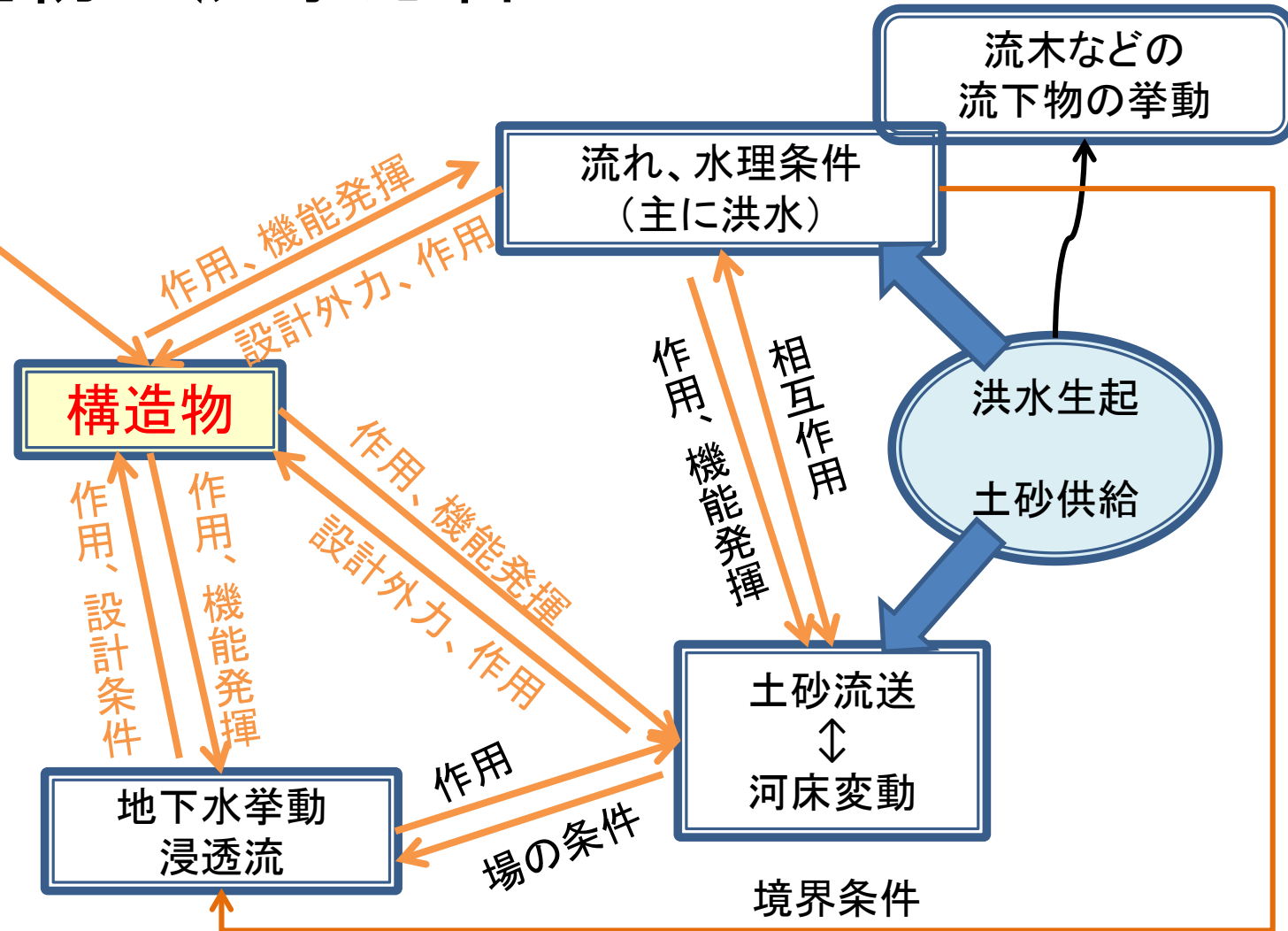
- ・河川インフラ整備における役割、位置づけ
- ・ **ニーズの新展開**
- ・ 設置実績と評価の蓄積
- ・ 施工性、投入可能コスト
- ・ 必要な寿命、メンテナンス容易性の確保

諸元・構造

- ・ 種類
- ・ 基本的な構造、諸元、形状
- ・ 使用する材料

設計上の要件

- ・ 所定の性能確保、機能発揮
- ・ これらの経時変化の制御性確保



水理現象を主体とした相互作用系

河道で作用しうる外力と施設設計

洪水対応における施設管理者の役割

植生・土砂堆積・
整備手順
流下能力管理
洪水調節
ダム・堰・機場操作・

河道・ダム
管理者の
責任含む

・能力確保義務
・技術者良心としての工夫・貢献

河川管理として、
越流対策を行う
余地・理屈もある

河川管理、水防とは別に「危機管理」とする選択肢もありうる

・設計対象外
・破堤決壊氾濫前提で住民・自治体は避難等の措置とする
・越流強化や氾濫流制御は施設設計・管理の範囲外

<避難等支援措置>
・浸水想定区域
・ハザードマップ
・洪水予報
・水位周知
(・粘り強い構造)

・安全となるよう設計・管理。
・ただし地盤弱点・堤体土層構造等把握の不完全さ内包

住民・自治体(避難・水防)
河道管理者(流下能力確保)
(堤防管理者責任無)

堤防管理者の責任
水防(自治体等)による補完

技術者の良心として工夫・貢献

減災

現行法制度上、越流
対策は「地域の自衛」「水防」が主体

HWL
暫定堤防においては
天端高 - 余裕高

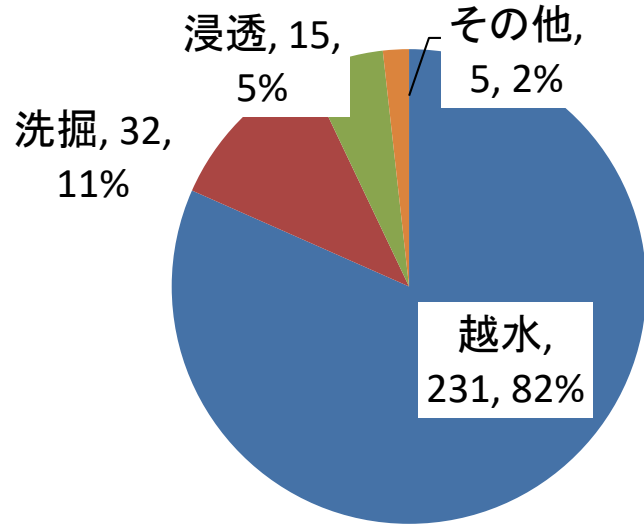
↓ 余裕高
↓ 余裕高

安全確保
義務

破堤原因内訳(越水とそれ以外)

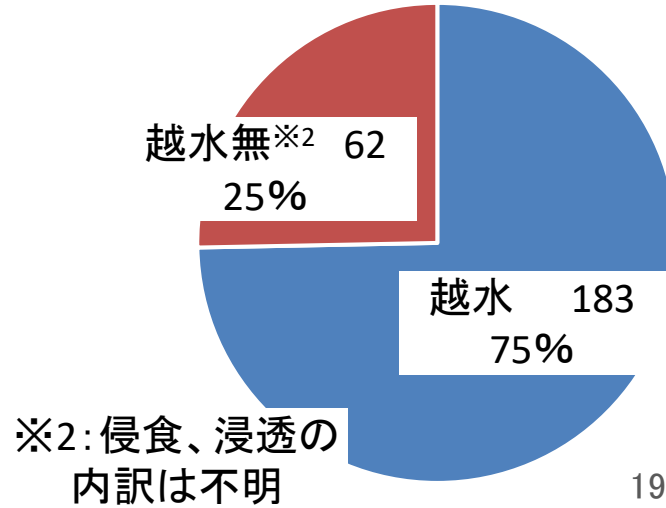
1947～1969直轄河川堤防破堤原因別内訳

出典:山村(1969)

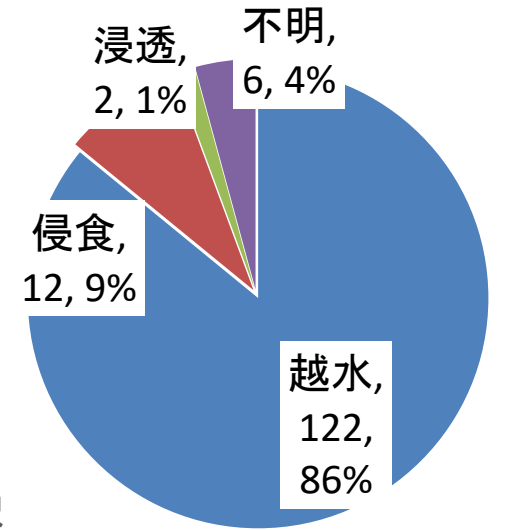


1965以降主要水害破堤 越水有無内訳

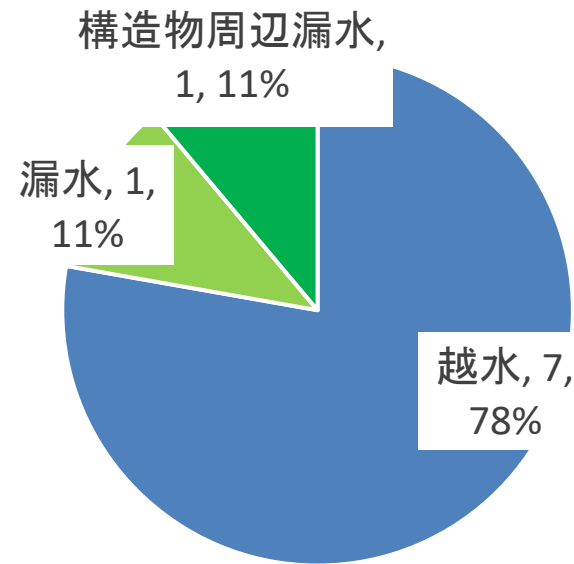
出典:中島(2003)p82 表-5.2



2019T19破堤原因別内訳



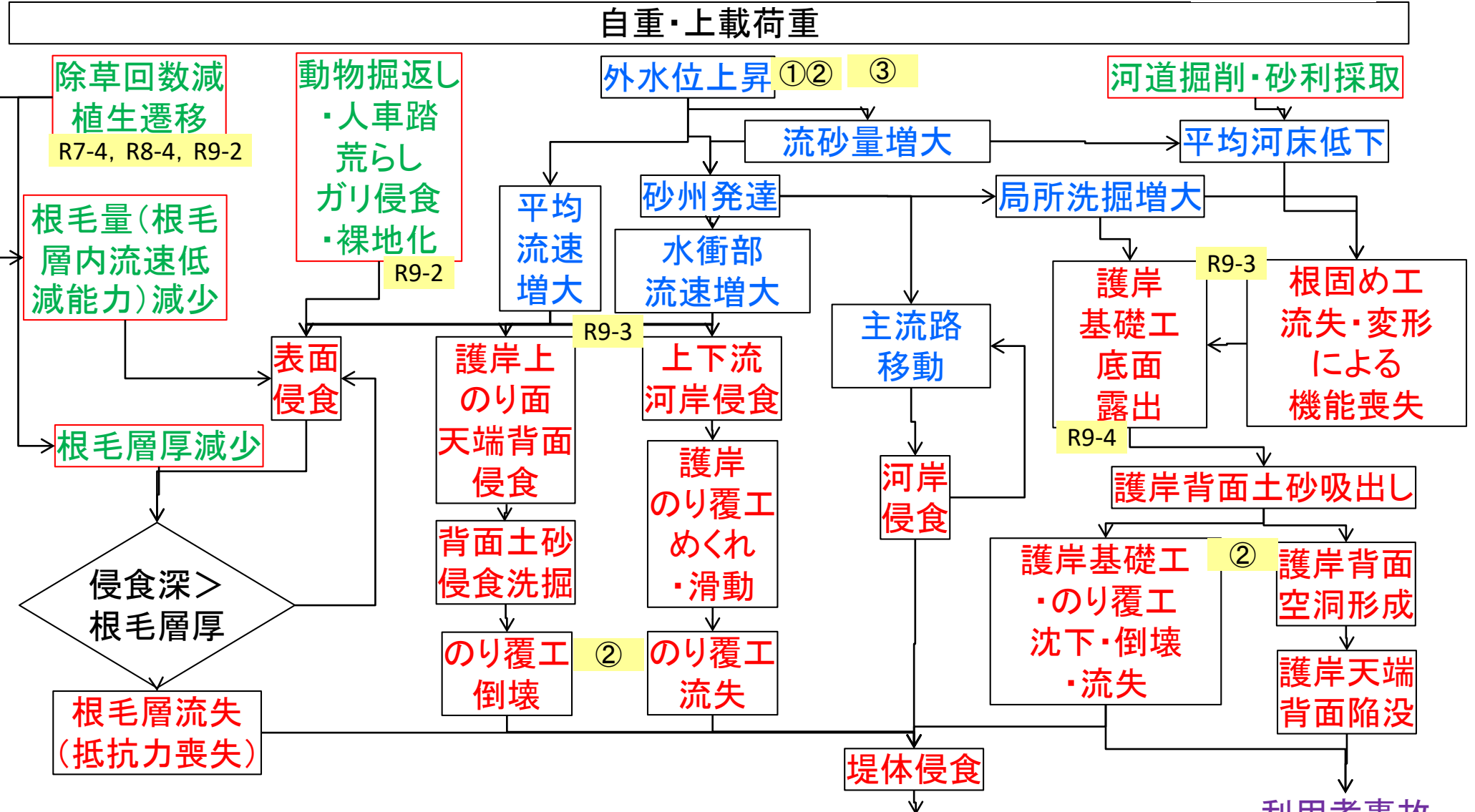
1981(昭和56)石狩川破堤要因内訳



破堤原因の3/4以上は
越流(設計超過外力による)
⇒設計超過外力対応が重要
次に多いのは侵食

洪水流に対する応答(侵食)

←堤体植生のり面 → ←護岸保護堤防 → ←土羽護岸 → ←低水護岸保護 →



沖積(河道変遷・土砂堆積・地盤形成)

- 盛土・築堤
- 準備工(敷き均し不良地盤置換)
- 材料採取
- 運搬・撒き出し
- つきたて(締固め)
- 張芝・護岸

緑字: 素因・劣化, 青字: 主要な外力・起因, 赤字: 狭義洪水応答, 紫字: 一般被害発生・拡大

氾濫拡大

利用者事故

侵食(表面侵食, 側岸侵食・流路移動, 護岸被災) 継承しておきたい脈絡

- 天井川(河床高標高>堤内地標高)で破堤すると締切り容易でない→天井川では破堤しないようにしたい。
- セグメント別の洪水時流速発生範囲図(山本のd-v図)
- 表面侵食に対する植生の耐力は、根毛層による流速低減効果。土羽の侵食耐力は引張り破壊応力(流線の曲がりによる揚力で土塊が離脱することで侵食が進行。圧縮強度が抵抗するのではなく引張り抵抗が重要)。
- 低水路流れと高水敷上流れは混合する→低水路・高水敷境界を挟む範囲に流速遷移範囲がある→高水敷幅狭いと流速が大きいと考えられる
- セグメント1は勾配が急で中小洪水でも(水深小さくても)流速が(河岸・高水敷形成材料の耐力よりも圧倒的に)大きいので、高水敷造成しても表面侵食も心配しなければいけない。高水敷を公園整備して利用する場合、洪水で被災すること前提にする必要がある。
- セグメント2以下で1洪水の側岸侵食が抑制される要因(低水路流速と河岸耐力が同じくらい、植生たわみ込み・粘性土塊による法先保護)
- 侵食災害はセグメント1>2-1>2-2>3(洪水時流速が大きい場所で発生)。
- 根固め工の被災は重量不足が多い(会検を心配して重量小さくしがち)。根固め工が機能発揮するには、必要な重量とともに洗掘に対応できる敷設幅・量が重要。
- 護岸の基礎からの吸出し破壊は、基礎底面が浮いたら急速に進行すると考えるべき。剛な護岸は吸い出されても陥没が起きない(空洞が形成される)場合もあるので、人身事故に注意が必要。
- セグメント2-2.3でも高水敷幅が狭ければ侵食侮ってはいけない。舟運が盛んだと河岸を設置するには高水敷が邪魔なので高水敷幅がない場合多い。北海道以外は高水敷狭い場所には護岸があるので、護岸の安全性=堤防の安全性。
- 中小洪水での護岸被災の7・8割は基礎からもしくは設置範囲不足。大洪水での護岸被災は天端からの被災、流体力被災が増える。
- かつては護岸法覆工は浸透対策を目的に設けられていた場合もある。現地の堤防を使った浸透実験の結果、法覆い工には降雨浸透を抑制する効果は確認できたが、外水浸透を抑制する効果が確認できなかった。止水矢板以外は、護岸のり覆い工は侵食対策に特化。近年でも遮水シートを被覆工下に敷いている場合もある。その外水遮水効果を実物大実験や現地観測で確認・評価している例は見た記憶がない。
- 動物の損傷には、表面だけ荒らすモグラ・イノシシと、奥深くに穴を掘るキツネ・アナグマ・ウサギに分かれる。モグラ・イノシシは侵食耐力を劣化させると推察され、キツネ・アナグマ・ウサギの巣穴は浸透機能劣化の懸念がある。ただ、理論的に懸念されるだけで、現地の実現象として確かめられているわけではない。

侵食(表面侵食, 側岸侵食・流路移動, 護岸被災)

- 29巻の堤防侵食関係では、洪水応答フロー図で示した中では堤防のり面植生土羽の直接侵食、低水路滯筋移動による側方侵食を直接扱う投稿は見当たらなかった。R9-2が間接的に扱っているといえるかもしれない。昨年までは侵食危険性の点検の省力化・自動化(力学的というよりも間接指標を介在させた判定法の提案)を目指した研究もあったが29巻ではなかった。移動床計算を介した流路移動研究は、河道内樹林管理や二極化の観点から研究されているようで、堤防安全性を意識した投稿はなかった。
- 29巻では護岸の安全性確認につながる投稿が主だった。R9-4はFTを作成した上で水理計算も介在させ、力学的に護岸安定性を評価する手法を提示。R9-2ではリマディステータから劣化が堤防被災に影響を与えたのか否かを簡単な統計的に検討し、影響を及ぼしていることを示す結果が得られなかった。R9-3は洪水時ではなく平常時の3次元測量データをもとに護岸の根入れを可視化できる手法を提示。
- R9-4で紹介されたFT図は、破堤に至る発端事象を明らかにする点(→河道と堤防を一体的に扱ううえでの接点の明示→流れ・河床変動解析と堤防安全度評価の接続)、破堤を生じされる要因を網羅的・悉皆的に洗い出す点(→被災に繋がりうる要因を見落とさない)、実務管理においてどこまでの事象で現象の進行を止めなくてはいけないかを検討できる点(→安全度を担保するために河道管理や構造物設計に求められる水準を明確にする)等から、堤防の安全度を高めていくための議論の基礎・下敷きとなるようなものと考え、セグメントや河道断面特性の違いなどにも留意して必要となるFT図の作成・整理・精査を進めるべきではないか。このことは侵食だけでなく、浸透、越水に対する破堤危険性評価に対しても同様である。(戸田先生)
- オーガナイザーは、R1T19後の現場調査で、セグメント1の急流(県管理区間)では堤防設計超過外力であるHWLより高い水位で護岸上土羽のり面の侵食発生を確認している。R9-2で直轄河川の「変状進行がない」とこのような現場調査知見との関係をどのように解釈・整理すればよいか? →R9-2では侵食が疑われる破堤箇所において無関係だったのか確認してもらおうとよさそう。→分析対象の破堤はすべて越水破堤であった(小池さん)
- Seg.2-1, 2-2, (3)であっても、高水敷幅が狭い本州河川では堤防護岸になっている場合が多いと捉えている。ここでは、侵食ではなく、護岸の安全性=侵食安全性と考える。堤防護岸の安全性・劣化進行を確認することが必要と思うが、R9-2では、堤防護岸の心配は杞憂だということがわかったのか? フォルトツリー研究が裏付けなり・補完なりの関係にあると思料するが、両者の関係はどのように解釈すればよいか? →R9-4は多摩川対象なのでセグメント3の検討は困難。
- 2次元・3次元数値計算との連携をした方がよい。行政側が2次元・3次元計算という新ツールの癖を知るためにも重要。定期的に3次元測量データが入るのなら、その間の洪水イベントを入力して測量前に各計算で予測結果を提示してもらい、測量結果と比較し合わない原因や堤防の安全度評価に用いる場合にクリアしなくてはならない要件、留意点等(戸田先生)を考察することで各々の計算手法の癖を掴める可能性がある。直観的・簡易に判断できる山本のd-V図に2次元・3次元の数値計算から算出されるVを描いて、山本図の信頼性等を考察する、二極化河道でも適用可能か考察する等にも使える可能性がある。

侵食(表面侵食, 側岸侵食・流路移動, 護岸被災)

- セグメント1(1/100より急こう配な河川)では堤防天端まで護岸被覆することを標準とすべき.
- 急こう配区間河川の(通行止めになっては困る)重要な橋梁取付区間についても掘り込み河道であっても天端まで護岸で被覆することを標準とすべき
- 根固め工の洪水応答研究は誰もやっていないようだ. 根固め工変形で形成される斜面が動的平衡だと思うが, 土砂水理学的に説明する研究をやってくれないだろうか. 流失限界を追求することは発言の端々から聞こえたが, 変形後の斜面形成機構の理解も地味だが重要な知見のはず.
- 低水護岸については, 設計超過状態で存在し続けることで悪影響を及ぼす可能性があるものについては, 上手に流失する設計も調査・研究したほうが良い. 2次元計算・3次元計算が活用できる可能性がある. 概略設計的な定性的な比較であれば, 精度確認はシビアになる必要はない.
- 上記2点と関連し, 流れ・河床変動解析と構造物の変形・移動解析の連成(統合)解析は研究・技術開発面での重要な課題と思われる. この課題に取り組む際には, 単なるモデルの高度化・統合化の道だけに陥らないよう, 河道管理・構造物設計の観点から解析に求める要件を明確にする必要があると考える. 戸田先生
- ダムや堰下流の減勢施設の概略設計で前例をもってくることが常態化している. これだと技術開発・技術向上の筋肉がつかないので前例以外の検討も行ってほしい. その際2次元計算・3次元計算は模型実験を補完する重要な役割を演じるはず.
- 植生遷移、モグラ穴・イノシシ採餌、カラシナ根腐れ等の堤体表面耐力劣化するといわれているが、R9-2ではそれらを支持する結果は確認できていない.
- 供試体を切り出しての高流速実験装置による直接的知見獲得も行わないと、考慮しなくてよいか否か結論を出せないのではないだろうか. 流速は数値計算で得られるようになると思われるので、耐力側の知見収集も同時に進めないともったいない.
- 芝は少なくとも、刈り込むことで(栄養や活力が根や芽を吹く部分に行くので)根の密度が増すことは園芸の常識のよう. コスト縮減するために除草回数減がされているが、除草回数による体力劣化も同様に、高流速水路による直接的な知見収集をしてもよいテーマと考える.
- 整備局・事務所からの依頼では、現在の管理を念頭に置いた調査研究以上の組み立てが難しいと思料する. 管理のり面面積を減らす施策上の工夫(スーパー堤防的に裏法を隣接民地にシェアする盛土促進) 植生工を望ましい遷移終局の植生種(チカヤ)にする・養生期間で遷移を完了させる技術開発を行う仕組みも考える必要があるのではないだろうか. 住宅街が近く、除草頻度が高くせざるを得ない区間では自動除草装置による管理を目指した調査研究が必要ではないだろうか(民間を誘導する).
- 堤防沿いの民間開発(高層マンション建築)を見るたびに堤防裏法と一体の開発にできないのかと残念な気持ちになる. 堤防沿い道路(カルバートで埋めるのか・天端にのせるのか)も含めた望ましい配置を持つておくことがスタートであるように思う. 周辺道路・橋梁とのアクセスも含めた誘導用の構想図を作成することも考えてはどうか(河川管理者側の許可側目線からだけでなく、開発者・土地利用者目線からの検討が重要と思う).

侵食(表面侵食, 側岸侵食・流路移動, 護岸被災)

- セグメント2-2,3では水中部の洪水応答の把握が重要。湖沼やセグメント3の護岸等の施設にとっては洪水よりも航行波や風浪の影響が大きい。それらを踏まえた点検・維持の合理化を志向する方が良いと思う。
- 水中部の河床変動では、堆積している粘性土の影響を考慮することが必要になる。河床下地盤の土層構造把握を3次元的に高めていけるデータ集積ができるとよい。堆積学的に解釈でき堤内地の推定に役立てれば、耐震の民間活用に援用できる可能性がある。DX時代もボーリング等で直接確定できないとダメとやっているDXのよさを活かさない。目的によっては仮定のもとで活用していくルーティンが必要ではないだろうか。
- セグメント2-1,1等の砂利河川の堤防が近い・基礎地盤の水圧影響が及ぶ範囲では堤防浸透と河床変化はセットで扱うようになってほしい。流れ計算に加えて、浸透流解析も2次元・3次元で同時に推定し管理する姿を念頭に検討・技術開発するのではないだろうか。
- 河口堰建設時はアセス的なセンスで検討していたが、新規建設の時代は終わった。DX時代になると、洪水だけでなく汽水域の流動実態を把握、シミュレーションできるようにして、可能な範囲での汽水域環境復元・創造を考えてよいのではないだろうか。河口堰の操作ルールを少しずつ改善してもよいのでは。内水面水産振興を行ってもよい(地域振興の1つ)のではないだろうか。
- 今後、蓄積された現地調査記録を用いた分析についてどう解釈し、出水と関連付けるか河川財団の方とも頭を悩ませているような状況(小池さん)

侵食（表面侵食，側岸侵食・流路移動，護岸被災） 坂野さん

- 実際の被災事例から得られる知見が多い。経験的知見を体系化するためにはRiMaDISなどのシステムを今より積極的に活用して，洪水による損壊が発生した現場の情報は詳細情報まで記録し，データベース化することが有益だと考える。
- 外力の大小は数値計算により予測できるようになってきている。一方で，根固めブロックの設置状況，堤防や高水敷の植生の根毛量など，洪水前の耐力側の状況は不明確な情報もあり，そのため研究や分析が進展しづらいと思われる。耐力側の重要な情報を事前に簡易的に調査する技術開発も必要である。

重要ライフライン寸断
復旧難航



堤内標高 > 河床高 侵食(破堤)
氾濫限定, しかし橋梁・鉄道・道路分断



破堤後の状況



1次締切: 10/5完了 氾濫流量100m³/sに低減

約20日

2次締切: 10/25遮水成功

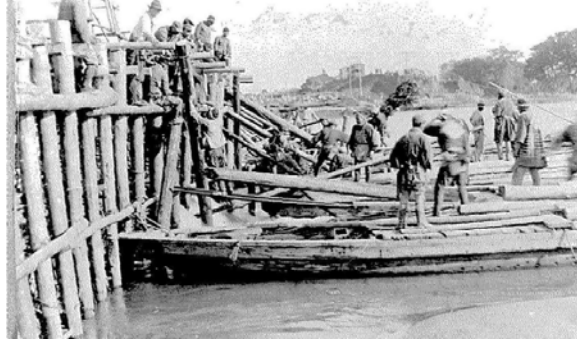
約40日

破堤: 9/16 0:20

1次締切: 杭打割石詰め工



2次締切: 杭打土俵詰め工



天井川破堤 被害長期化



134.5km横断形状経年変化

2016.9.1 帯広開発建設部

札内川 (I_b=1/110)

堤防決壊箇所

三叉き

表面侵食による堤防破壊・側岸侵食による堤防破壊 ・護岸被災からの堤防破壊

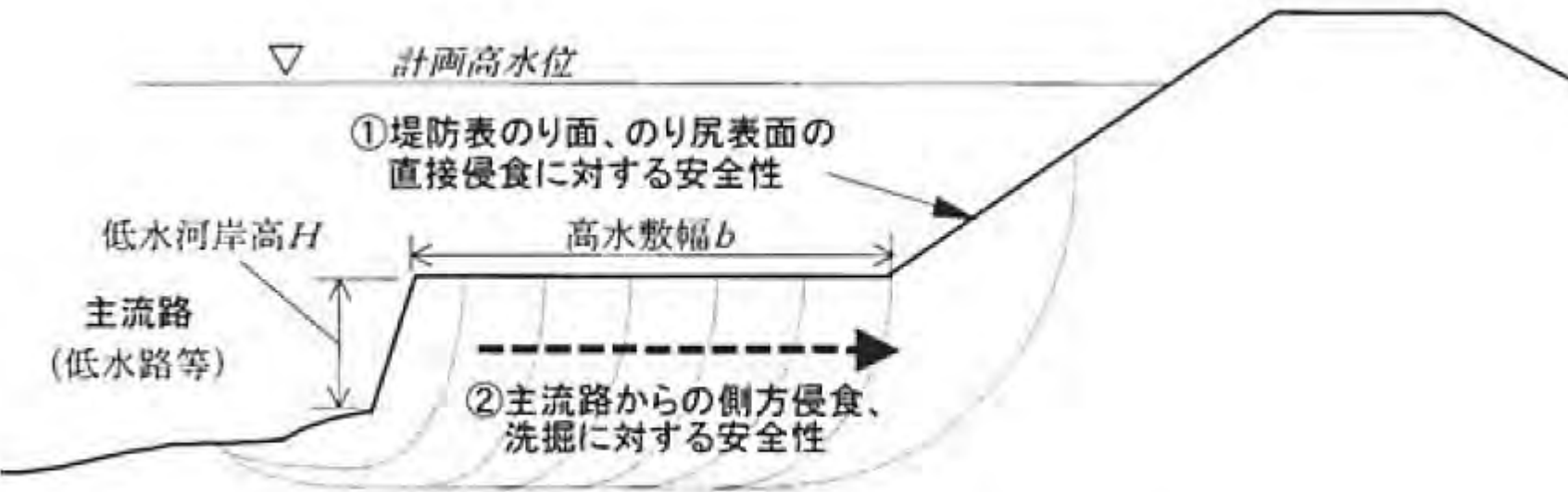


図 5.3.1 侵食による堤防破壊の模式図

表 5.3.1 侵食に対する堤防の安全性の照査基準

①堤防表のり面およびのり尻表面の直接侵食に対する安全性	表面侵食耐力 > 代表流速 V_0 から評価される侵食外力
②主流路(低水路等)からの側方侵食、洗掘に対する安全性	高水敷幅 > 照査対象時間で侵食される高水敷の幅

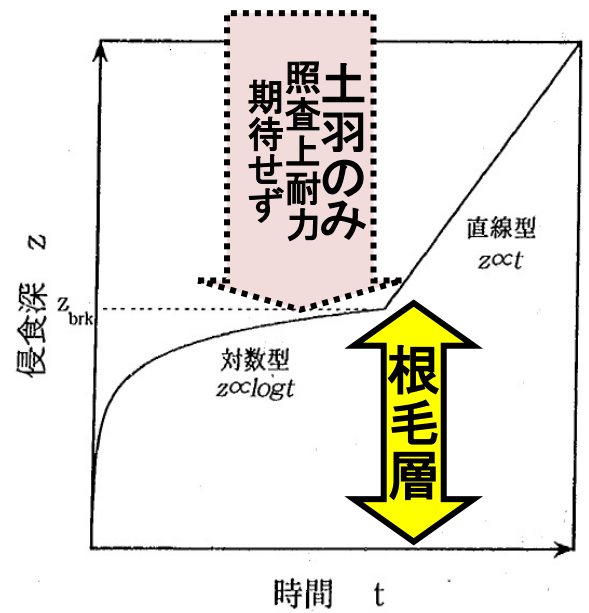
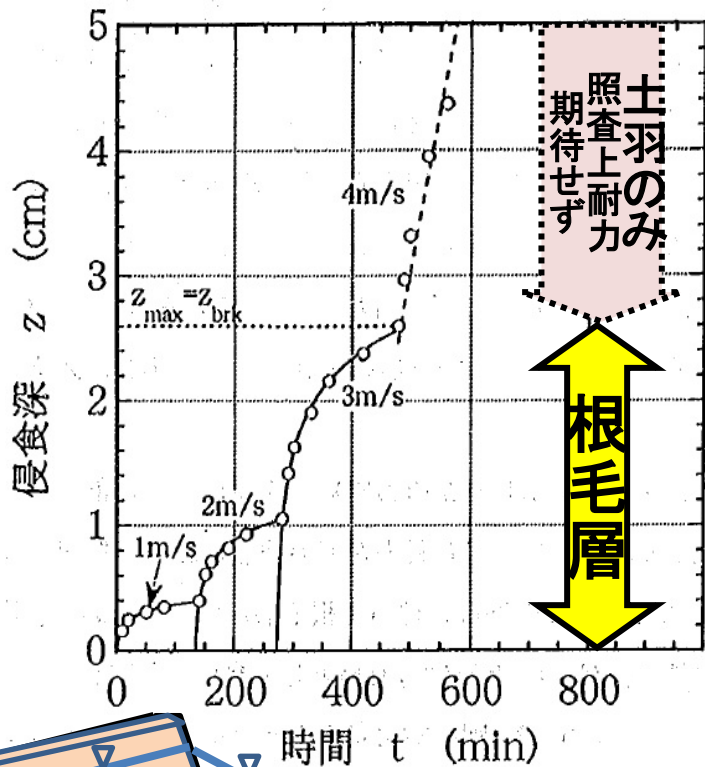


写真 2-3 基礎部の河床洗掘による護岸被災事例



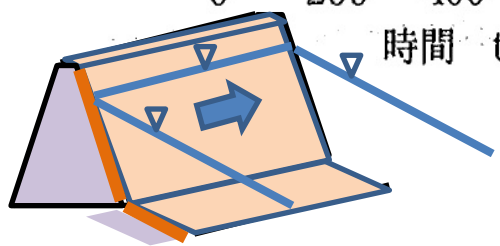
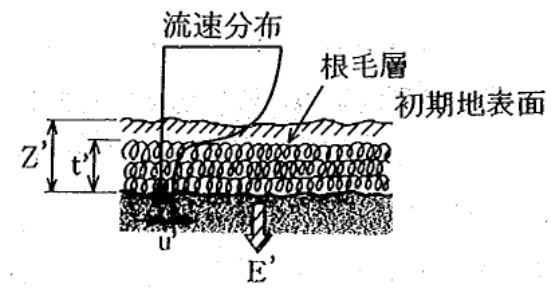
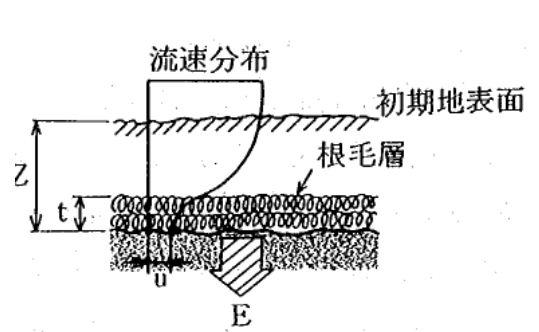
写真 2-7 連節型ブロック背面土砂の流出事例

表面侵食 参考：堤体張芝面侵食照査の考え方



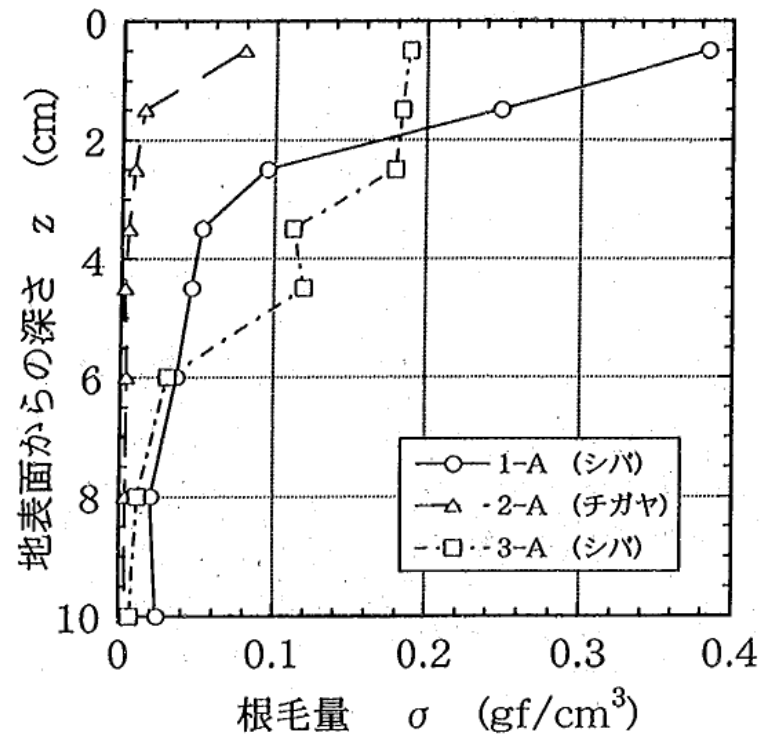
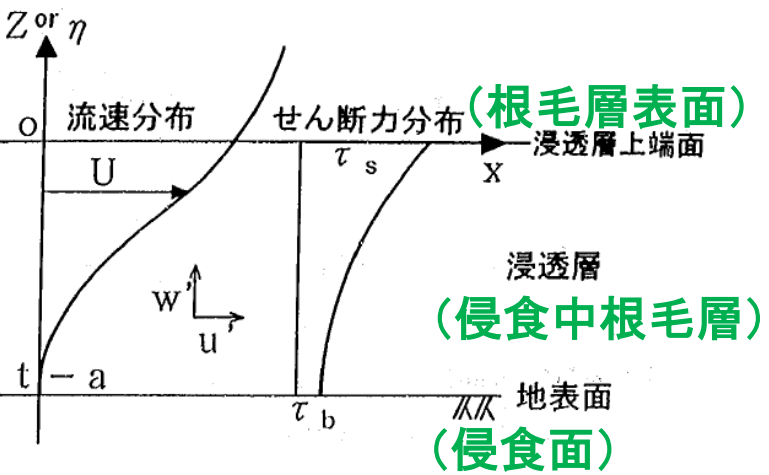
a) 根毛量が少ない場合

b) 根毛量が多い場合



○堤体表のり面侵食
せん断力による侵食深 ≤ 根毛層厚

侵食深



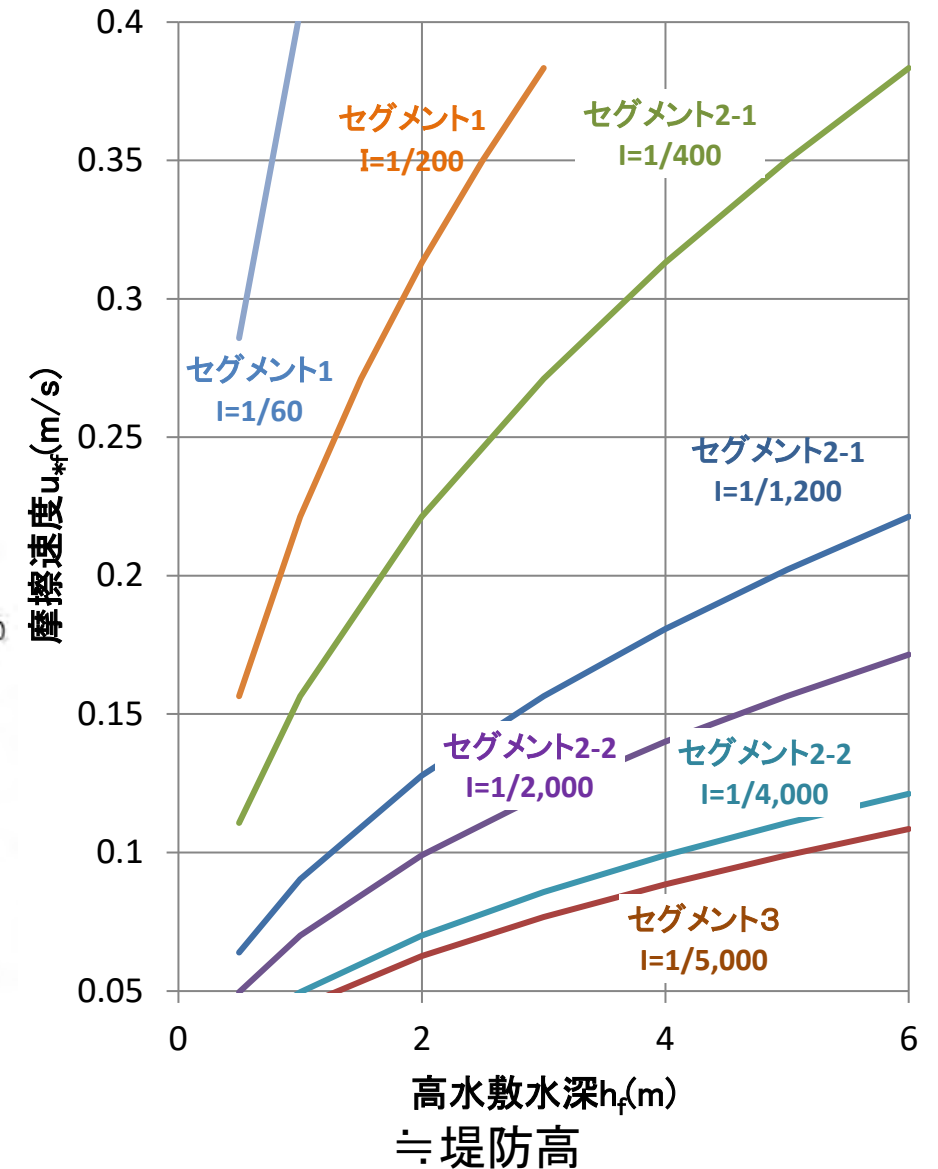
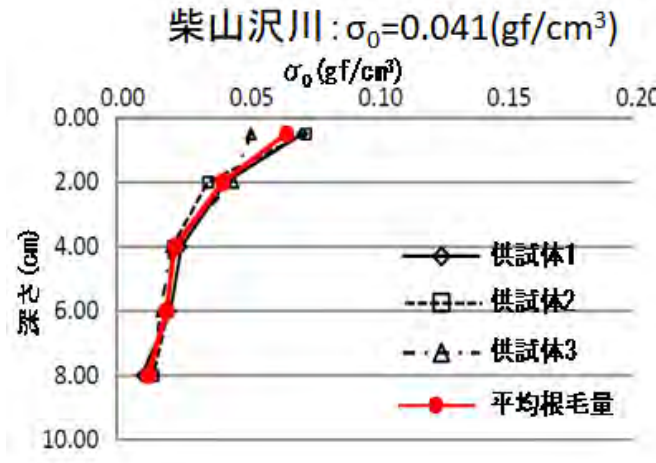
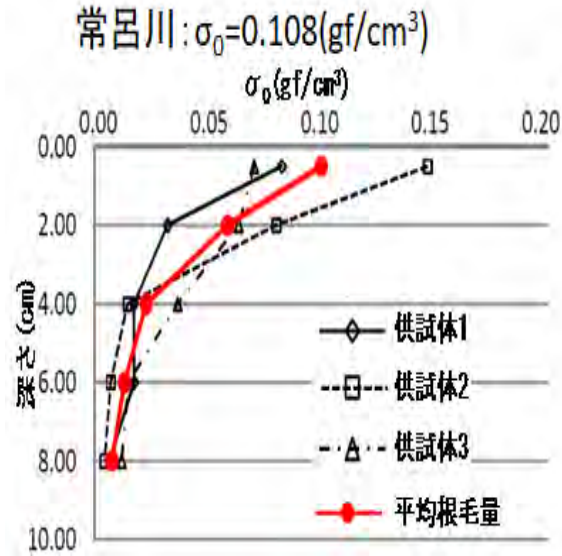
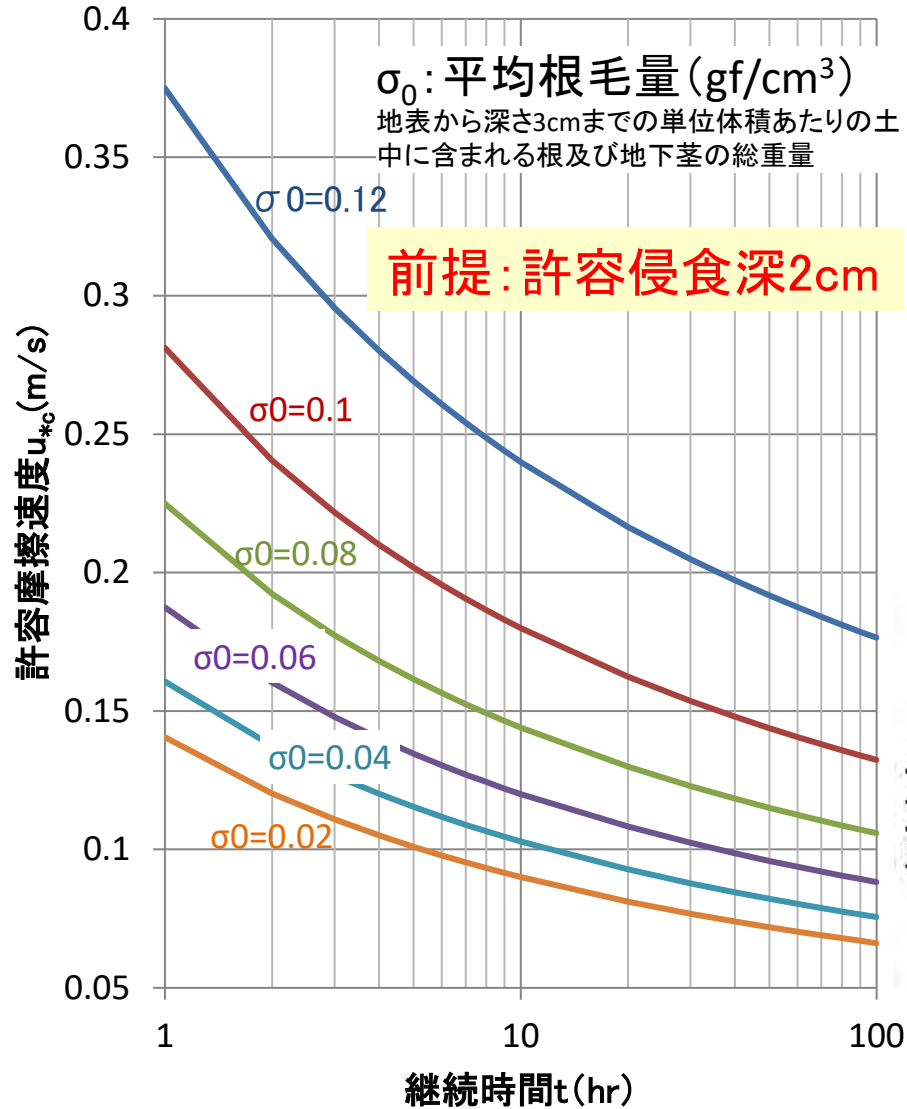
根毛層内の根毛量鉛直分布が大事

図-6 根毛量の分布

出典：洪水流を受けた時の多自然河岸防御工・粘性土・植生の挙動，土木研究所資料3489号 に加筆

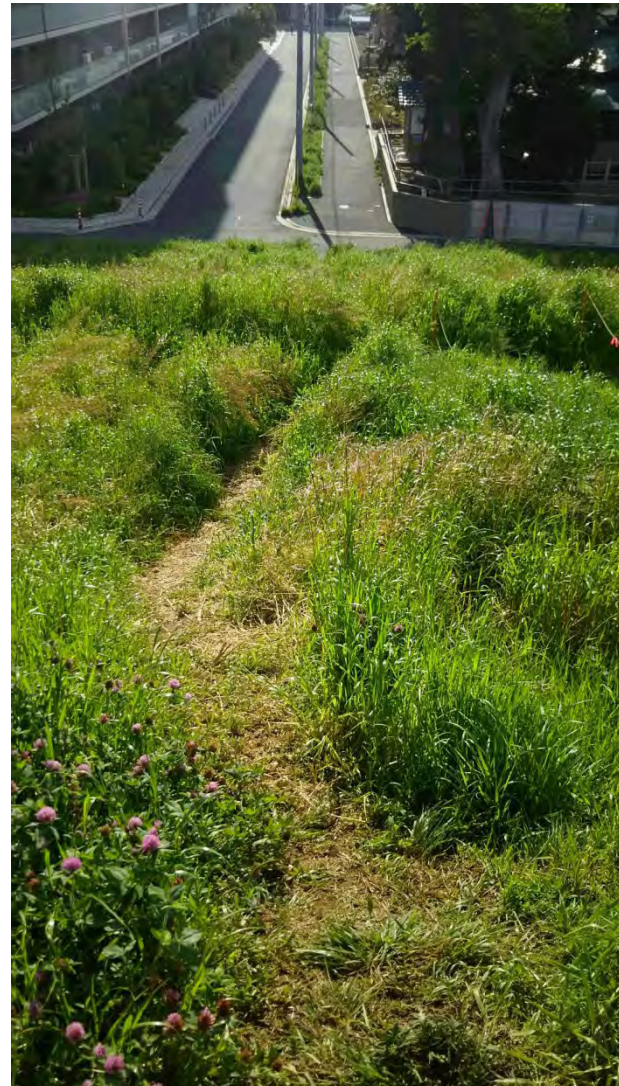
表面侵食 堤防植生許容摩擦速度とセグメント別高水敷摩擦速度

高水敷幅が十分広い



表面侵食 植生表面 侵食耐力を減少させる要因

人の踏み跡

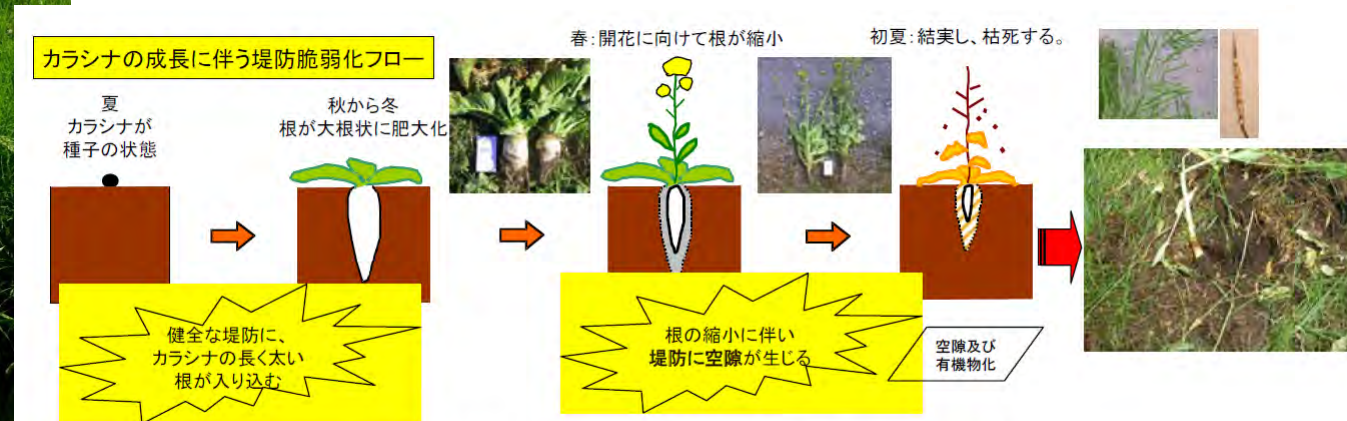


イノシシ採餌



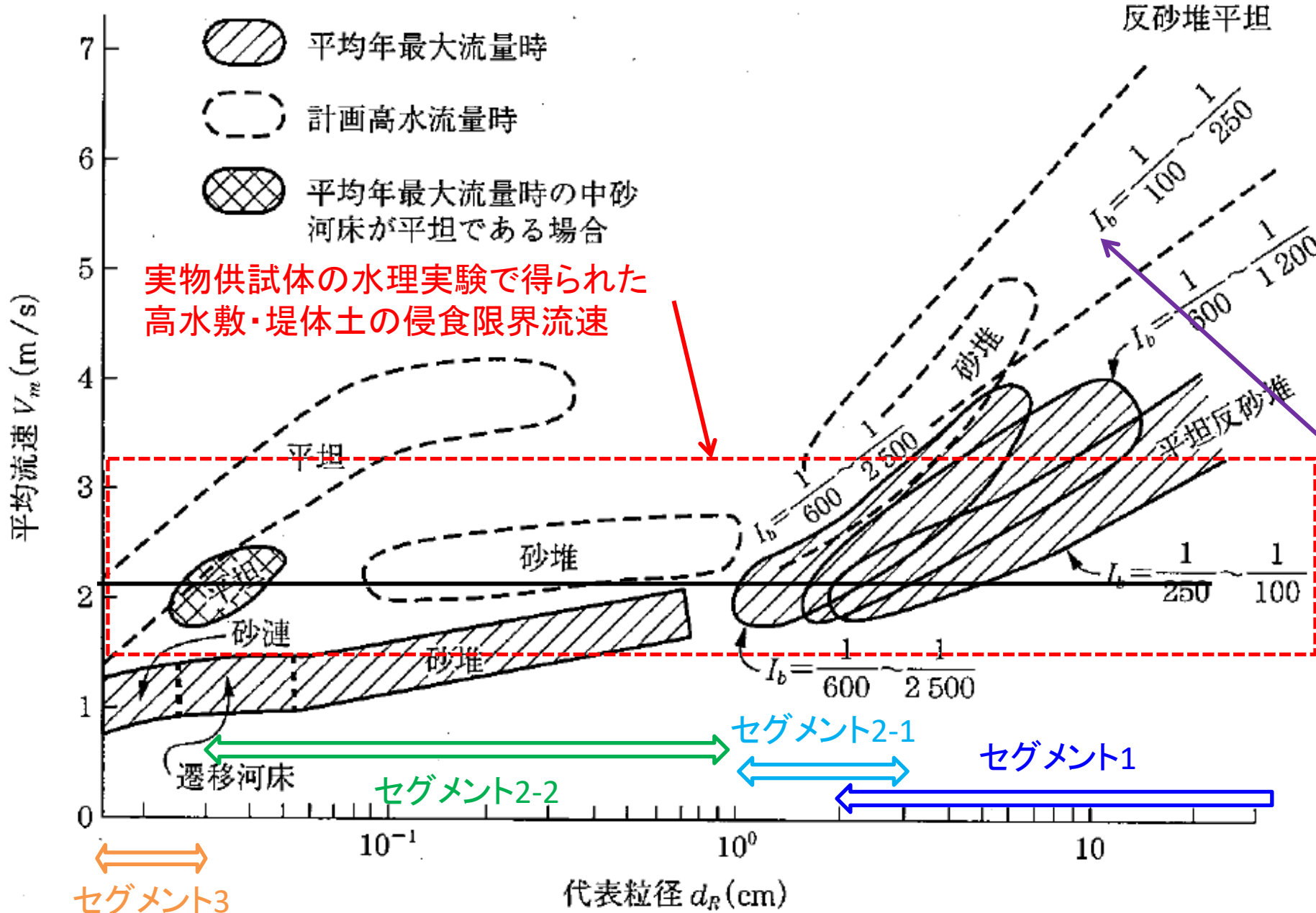
【堤防被害・深さ最大40cm】

植生遷移 カラシナ根腐れ・堤体土弱体化



【カラシナの成長に伴う堤防脆弱化フロー】

超過洪水対策の重要性



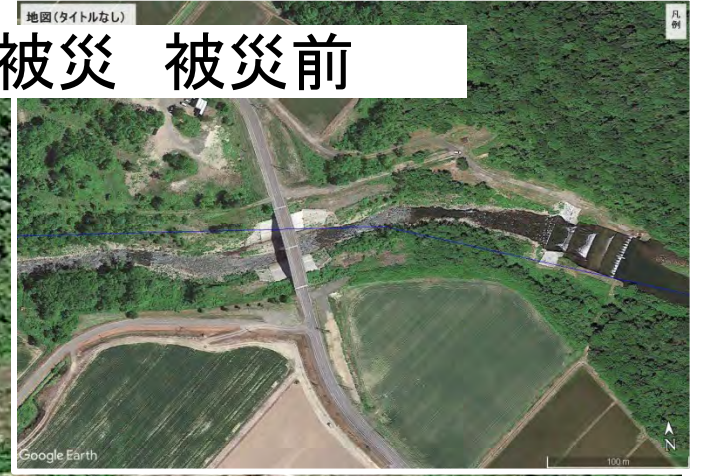
上流から被災箇所



- 2019年台風19号 栃木県T川 ($I_b=1/75$) 侵食破堤事例
- 植生・土羽侵食
 - 痕跡水位は護岸天端と堤防天端の間
 - 上流下流に越流痕跡なし

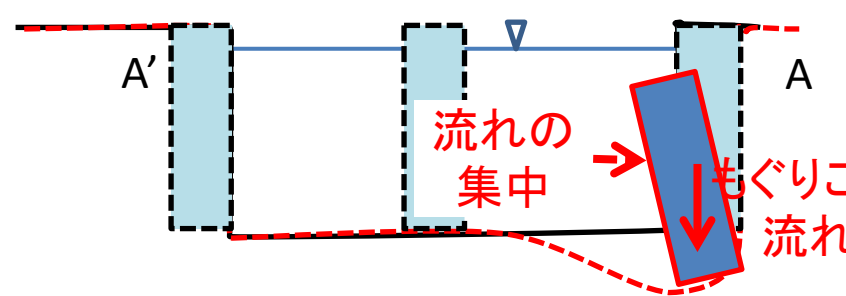
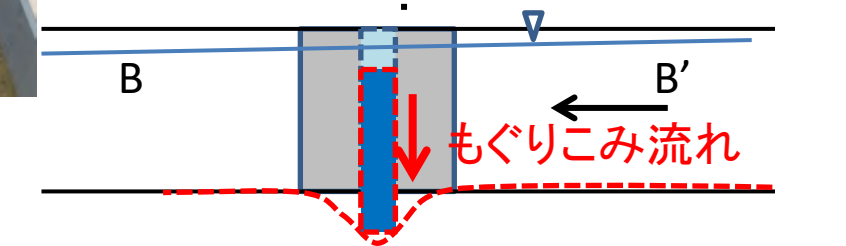
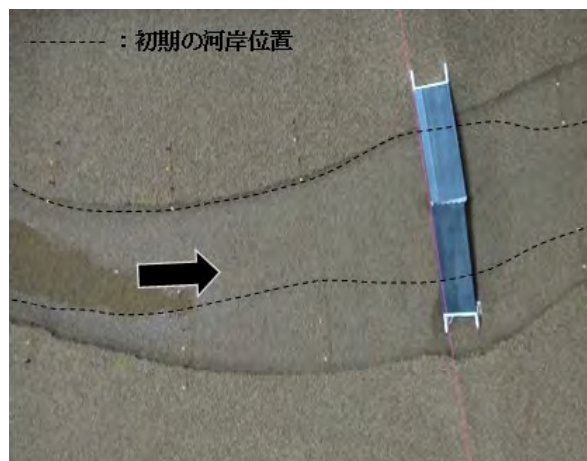
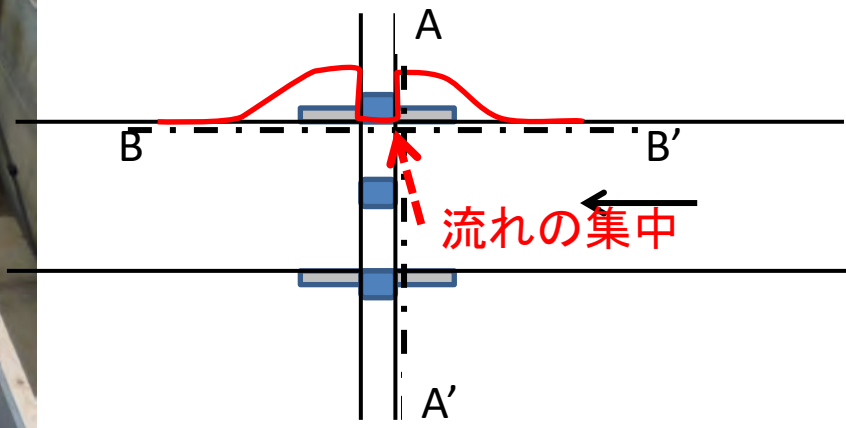
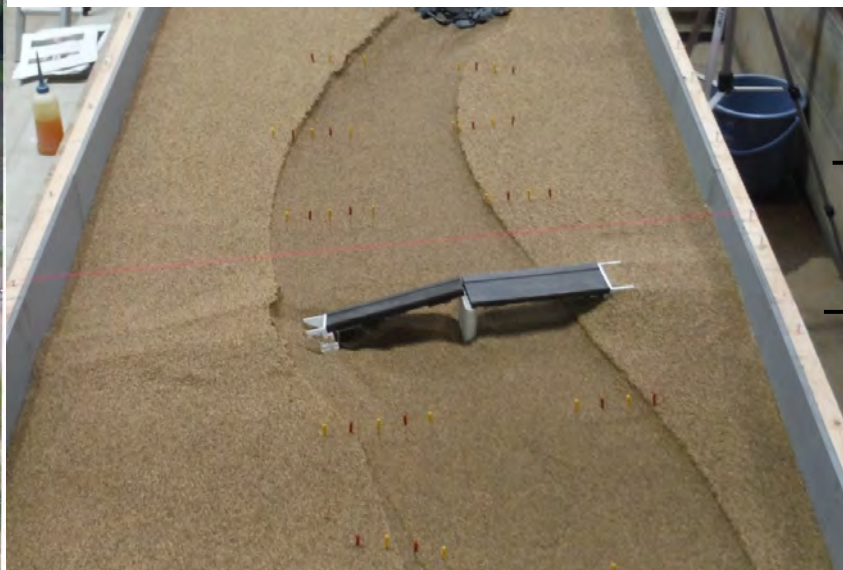
上流連節ブロック護岸被災→側岸侵食→橋台・桁沈下被災 被災前

地図(タイトルなし)
地図の説明を入力します。



- $I_b = 1/60$ Seg.1
- 洪水後流路幅が拡大
- 上下流ともに越水・溢水は確認されず.
- 護岸にとっては設計超過洪水であった可能性が高い.

護岸被災→側岸侵食に伴う橋台・桁沈下被災



出典：構造・基礎研究室,河川研究室,水害研究室,平成28年(2016年)台風10号等に伴う豪雨による北海道地方被災橋梁等調査報告,国総研資料1069号

土羽護岸被災(側岸侵食・流路移動) 河道特性と(側岸)河岸侵食幅

出典: 河川堤防構造検討の手引き

表 5.3.2 表のり尻部の洗掘に対する安全性の照査基準⁵⁾

河道のセグメント分類	照査基準 (1洪水で侵食される高水敷幅の目安)
1	40m程度
2-1	高水敷幅 $b >$ 低水河岸高 H_0 の5倍
2-2および3	高水敷幅 $b >$ 低水河岸高 H_0 の2~3倍

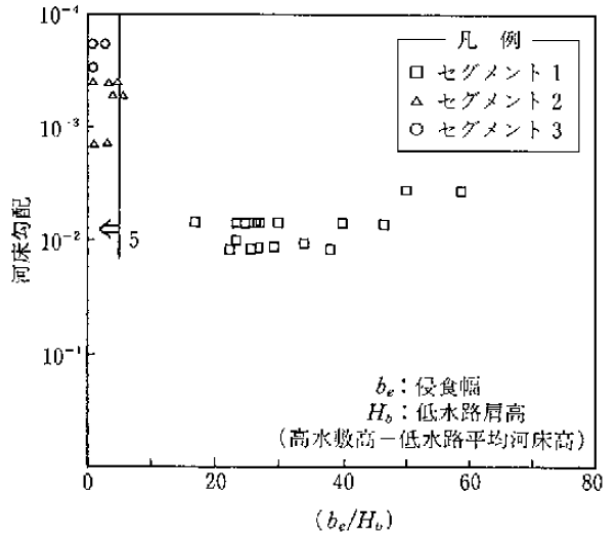


図2-4 侵食幅と河床勾配との関係³⁾

出典: 護岸力学設計法

$$u_*^2 = 400 \quad 900 \quad \text{cm}^2/\text{s}^2$$

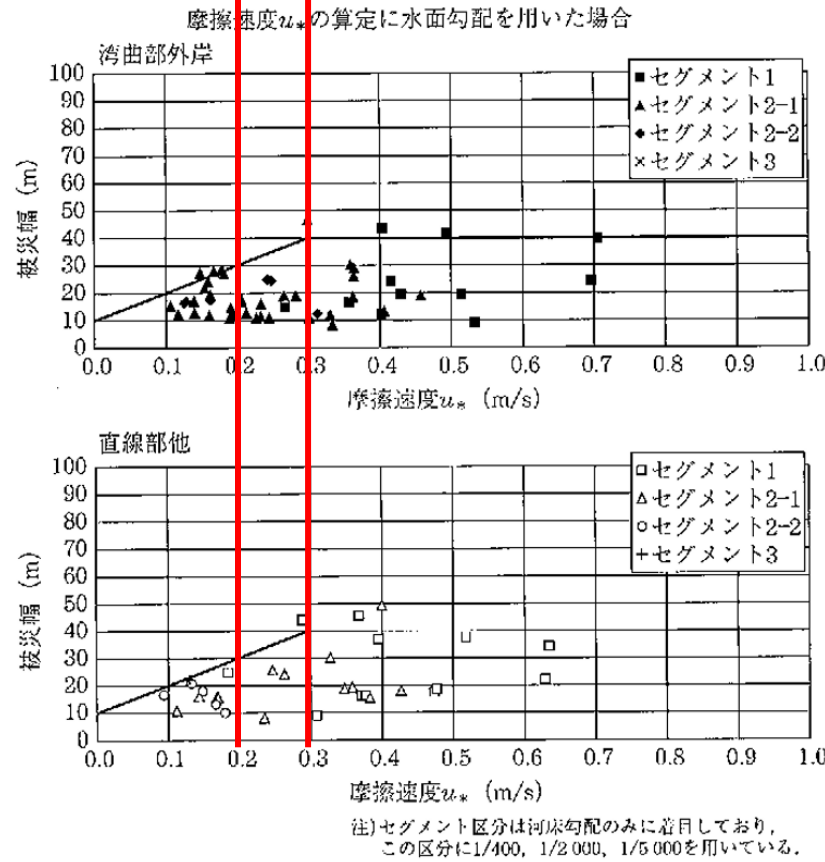


図8-3 被災幅と摩擦速度の関係整理のイメージ

出典: 河道計画検討の手引き

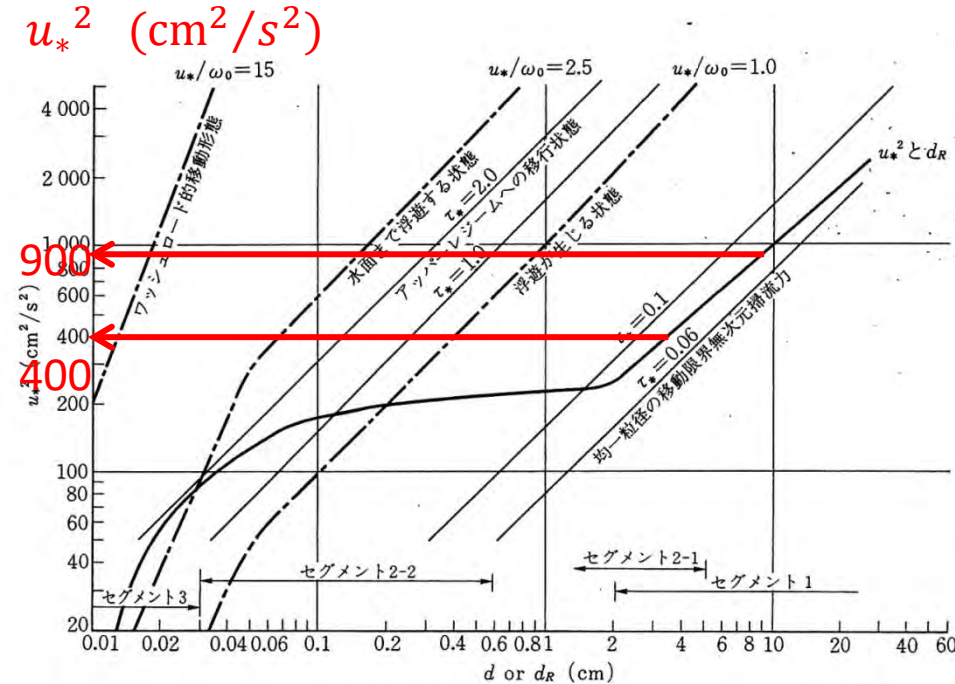


図5.2 粒径 d と u_*/ω_0 , τ_* の関係(ω_0 はRubeyの式 $S=1.65$, $T=25^\circ\text{C}$ で評価)

出典: 沖積河川学

注意を要する弱部・破壊・変状

セグメント	侵食	浸透(一般堤防)	浸透(樋門周辺)	越流
M	<ul style="list-style-type: none"> •表面侵食:全川 •側岸侵食:砂州水衝部 	<ul style="list-style-type: none"> •基礎地盤礫層被圧部(パイピング) •堤体浸潤面上昇 	—	<ul style="list-style-type: none"> •越流水深大区間 •3次元形状凹部(越流水が集中する箇所) •堤内地水深小 •堤体土耐侵食力小(砂堤体(引張破壊応力小)、植生根毛量小) •モグラ・イノシシ採餌、人車損傷箇所)
1			—	
2-1	<ul style="list-style-type: none"> •表面侵食:高水敷狭い箇所、堤体土耐侵食力小(砂質土、植生根毛量小、モグラ・イノシシ採餌、人車損傷箇所) •側岸侵食:高水敷狭い箇所 •護岸安全性:高水敷狭い箇所・水衝部 	<ul style="list-style-type: none"> •基礎地盤礫層被圧部(旧川跡 パイピング) •堤体浸潤面上昇 •堤体パイピング(キツネ・アナグマ・ウサギ巣穴) 	<ul style="list-style-type: none"> •透水層上部被覆土層開削水路(噴砂) •圧密沈下支持杭構造函体抜けあがり箇所(ルーフィング・浸透路長減、境界部堤体緩みで浸透破壊) 	
2-2				
3				
湖沼	同上	同上		

セグメントごとの耐力、変化要因

セグメント	低水路	高水敷	基礎地盤	表のり	堤体	樋門	堤防共通施工・維持管理
M	<ul style="list-style-type: none"> •所々に岩露出・河床勾配に応じて礫・砂 •層積み根固め工(洗掘部乱積み) •砂州水衝部・湾曲で洗掘 	<ul style="list-style-type: none"> •急勾配、掘り込み河道は無 	<ul style="list-style-type: none"> •岩露出 •河床勾配に応じて礫層主体、砂礫・シルト・粘土層の互層 	<ul style="list-style-type: none"> •護岸(直接基礎)が主体 	<ul style="list-style-type: none"> •シルト・粘土質 •礫質土 		<ul style="list-style-type: none"> •締固め不足:降雨法崩れ・浸透法崩れ •砂質土堤体:越流侵食耐力小
1	<ul style="list-style-type: none"> •砂利採取の影響 •層積み根固め工(洗掘部乱積み) 	<ul style="list-style-type: none"> •自然状態は無 	<ul style="list-style-type: none"> •全面的に厚い礫層 	<ul style="list-style-type: none"> •護岸(直接基礎)が主体 	<ul style="list-style-type: none"> •礫質土 		
2-1	<ul style="list-style-type: none"> •層積み根固め工(洗掘部乱積み) •砂州水衝部(1,2-1)・湾曲(2-1)で洗掘 	<ul style="list-style-type: none"> •有(水衝部に低水護岸) 	<ul style="list-style-type: none"> •旧川跡に礫層 •礫層、砂層、シルト・粘土層互層 •場所によって圧密沈下 	<ul style="list-style-type: none"> •植生(張芝)が主体 •高水敷幅狭い水衝部等護岸(止水矢板設ける場合も) 	<ul style="list-style-type: none"> •シルト・粘土質 •礫質土 	<ul style="list-style-type: none"> •水路部が噴砂口 •圧密沈下支持杭構造函体抜けあがり浸透路長減 	<ul style="list-style-type: none"> •張芝:除草頻度少ないと遷移・根毛量減少
2-2	<ul style="list-style-type: none"> •土砂供給・掘削の影響 •乱積み・捨石根固め工 •湾曲で洗掘 	<ul style="list-style-type: none"> •有 •土砂供給多い河川は無 	<ul style="list-style-type: none"> •旧川跡に砂層 •砂層とシルト・粘土層互層 •圧密沈下 	<ul style="list-style-type: none"> •植生(張芝)が主体 •越波区間は三面張が主体 	<ul style="list-style-type: none"> •砂質土 •シルト・粘土質 	<ul style="list-style-type: none"> •圧密沈下支持杭構造函体抜けあがり浸透路長減 •水路部が噴砂口 	<ul style="list-style-type: none"> •堤体表層損傷劣化:モグラ・イノシシ採餌・人車踏み跡
3	<ul style="list-style-type: none"> •堆積傾向 •湾曲外岸(3)で洗掘 	<ul style="list-style-type: none"> •自然状態は無 	<ul style="list-style-type: none"> •旧川跡に砂層 •シルト・粘土層主体 •圧密沈下 	<ul style="list-style-type: none"> •植生(張芝)が主体 •越波区間は三面張が主体 	<ul style="list-style-type: none"> •シルト・粘土質 	<ul style="list-style-type: none"> •圧密沈下支持杭構造函体抜けあがり浸透路長減 	<ul style="list-style-type: none"> •堤体内部劣化:キツネ・アナグマ・ウサギ巣穴
湖沼	<ul style="list-style-type: none"> •乱積み・捨石根固め工 						

堤防応答特性(ハザード・破堤原因)

セグメント	長期的河床低下	中規模洪水	大規模洪水(設計超過)
M	砂利採取・掘削による河床低下 根固め工変形 護岸基礎洗掘吸出し	砂州水衝部の側岸侵食(高水敷消失 →堤体侵食、根固め工流失・護岸上下 流端からの流失)	溢水(掘込み河道)、越流(築堤河川) 表面侵食(護岸天端～堤防天端) 侵食(根固め工流失) 浸透(基礎地盤パイピング)
1		砂州水衝部洗掘(根固め工流失・護岸 基礎洗掘吸出し)	越流 侵食(護岸天端～堤防天端, 根固め工流失) 浸透(基礎地盤パイピング)
2-1	同上＋ 浸透(基礎地盤パイ ピング)	水衝部の洗掘(護岸基礎洗掘吸出し、 護岸流失) 流失・表面侵食、損傷部(モグラ・イノ シシ採餌跡・人車損傷)堤体表面侵 食)	越流 浸透(砂質堤体護岸天端～堤防天端のり面 からの浸透) 同左
2-2	同上＋ 供給土砂減による河 床低下	浸透(降雨、樋門周辺、堤体浸潤面上 昇、旧川跡基礎地盤パイピング、キツ ネ・アナグマ巣穴)	
3	掘削・供給土砂減に よる河床低下 根固め工変形	風浪越波 浸透(降雨、樋門周辺)	越流 同左
湖沼		風浪越波	風浪越波

	ハザード	耐力・脆弱性	人的要因・維持管理
セグメントM	側岸侵食大(砂州スケール) 基礎地盤礫層被圧(パイピング) 流速大・水深大(流体力大)	護岸 根固め工	
セグメント1	流速大(せん断力大・表面侵食大) 側岸侵食大(砂州スケール) 越流、基礎地盤礫層被圧(パイピング)	流速>>土羽・植生の耐力 余裕高・余盛のり面弱点 流体力>ブロック重量	砂利採取
セグメント2-1	流速・洗掘水衝部で大 旧川跡礫層被圧	水衝部流速≒土羽・植生 耐力	砂利採取 堤体締固め不足 ショートカット・流路整正で 旧川跡に築堤する場合
セグメント2-2	浸透 水衝部侵食・洗掘	水衝部流速≒土羽・植生 耐力	樋門周辺表層土凹部 圧密沈下(軟弱地盤) 堤体締固め不足
セグメント3	浸透、風浪、洗掘		ショートカット・流路整正で 旧川跡に築堤する場合
湖沼	風浪		

側岸侵食(流路移動) セグメント2、3で侵食幅が小さい理由(外力面から)

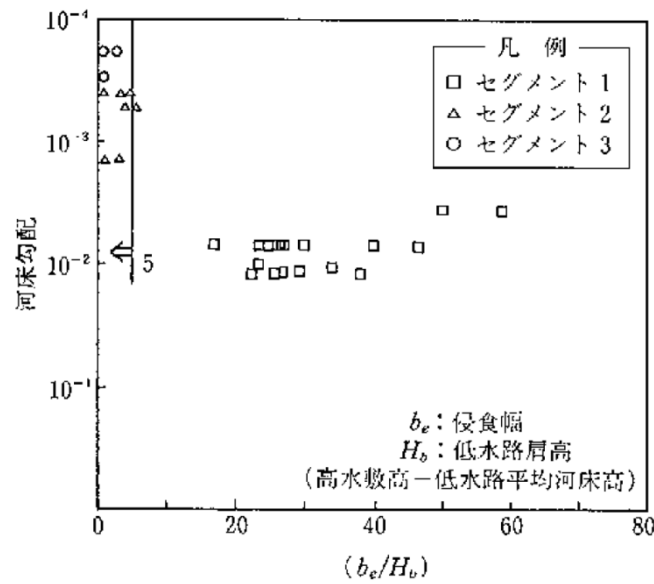
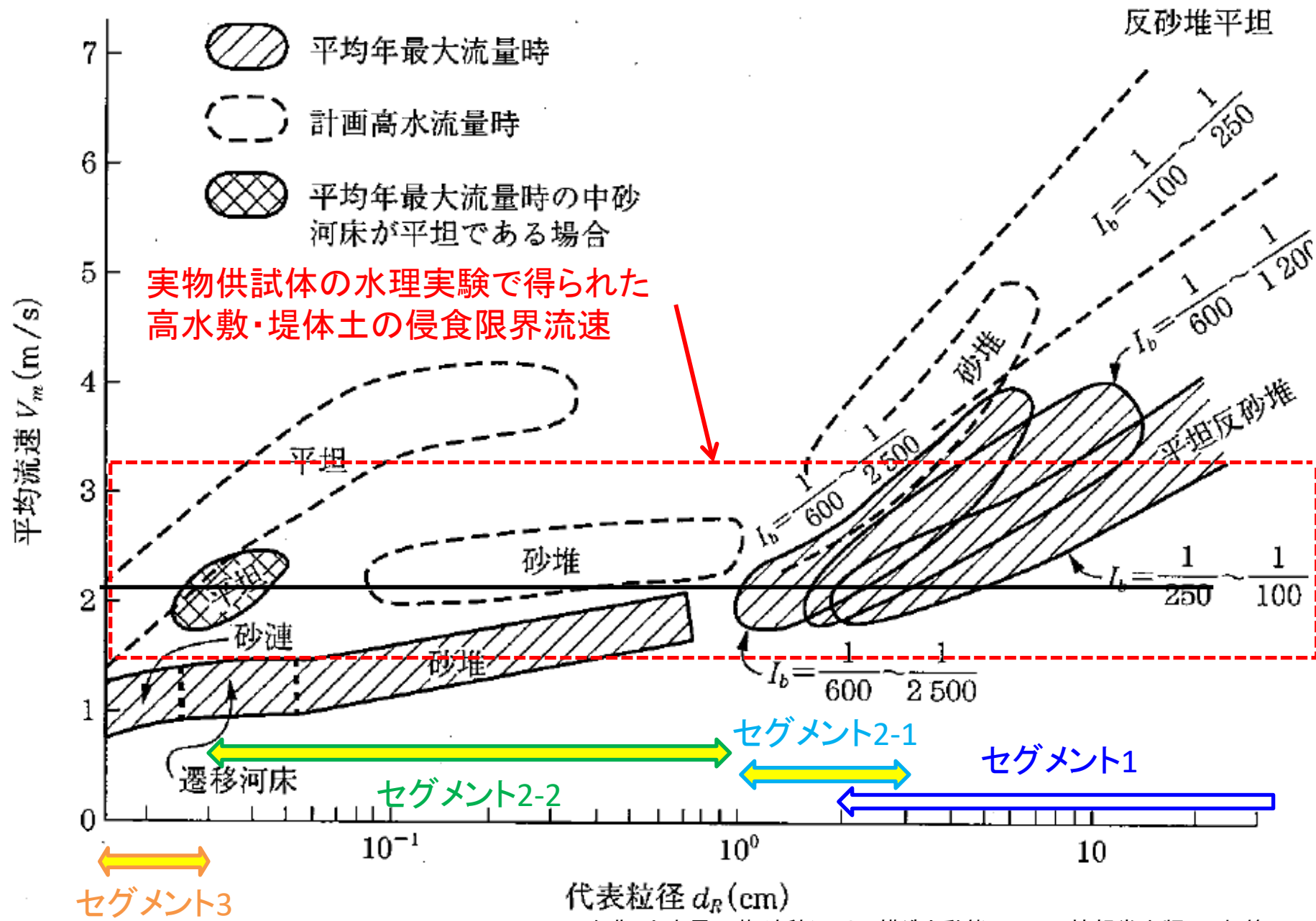


図2-4 侵食幅と河床勾配との関係³⁾

出典：護岸の力学設計法

● **高水敷幅が狭い場所**(護岸がある場合が多い)の**護岸点検管理が重要**

出典：山本晃一著、沖積河川—構造と動態—,p122,技報堂出版 に加筆

側岸侵食・流路移動 セグメント2、3で1洪水の侵食幅が小さい理由(耐力面から)

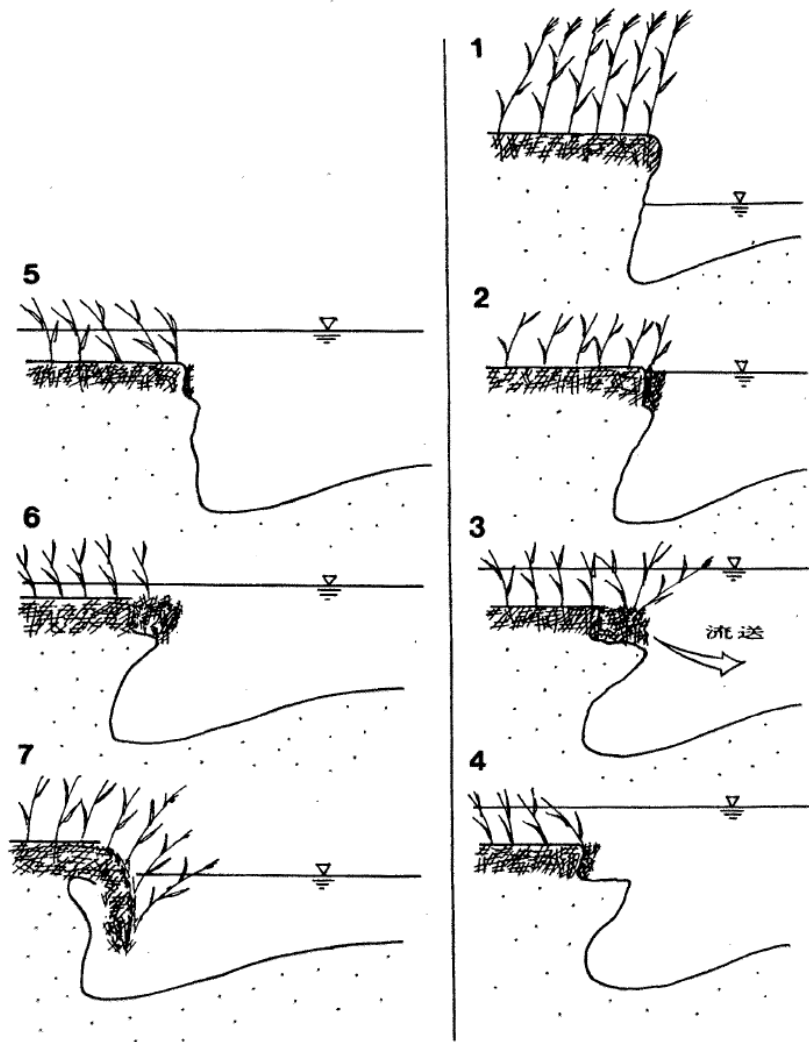


図-4 侵食メカニズム

福岡ら(1992), オギの河岸侵食抑制機構と耐力の評価, 水工学論文集第36巻p81~86

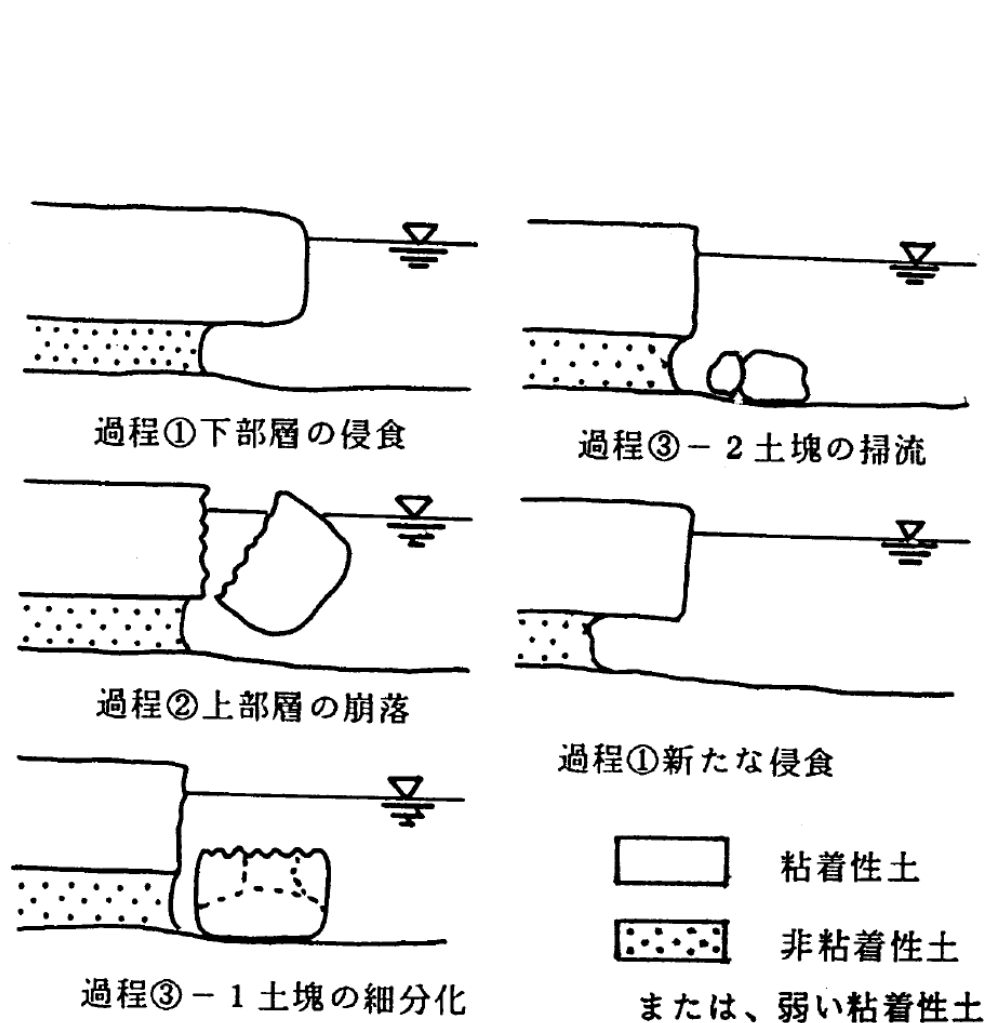


図-2 自然堆積河岸の侵食過程

福岡ら(1993), 自然堆積河岸の侵食過程, 水工学論文集第37巻p643~648

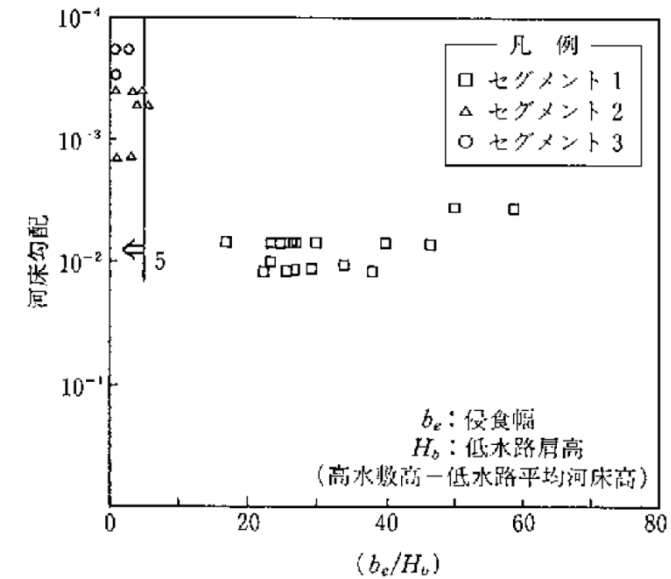


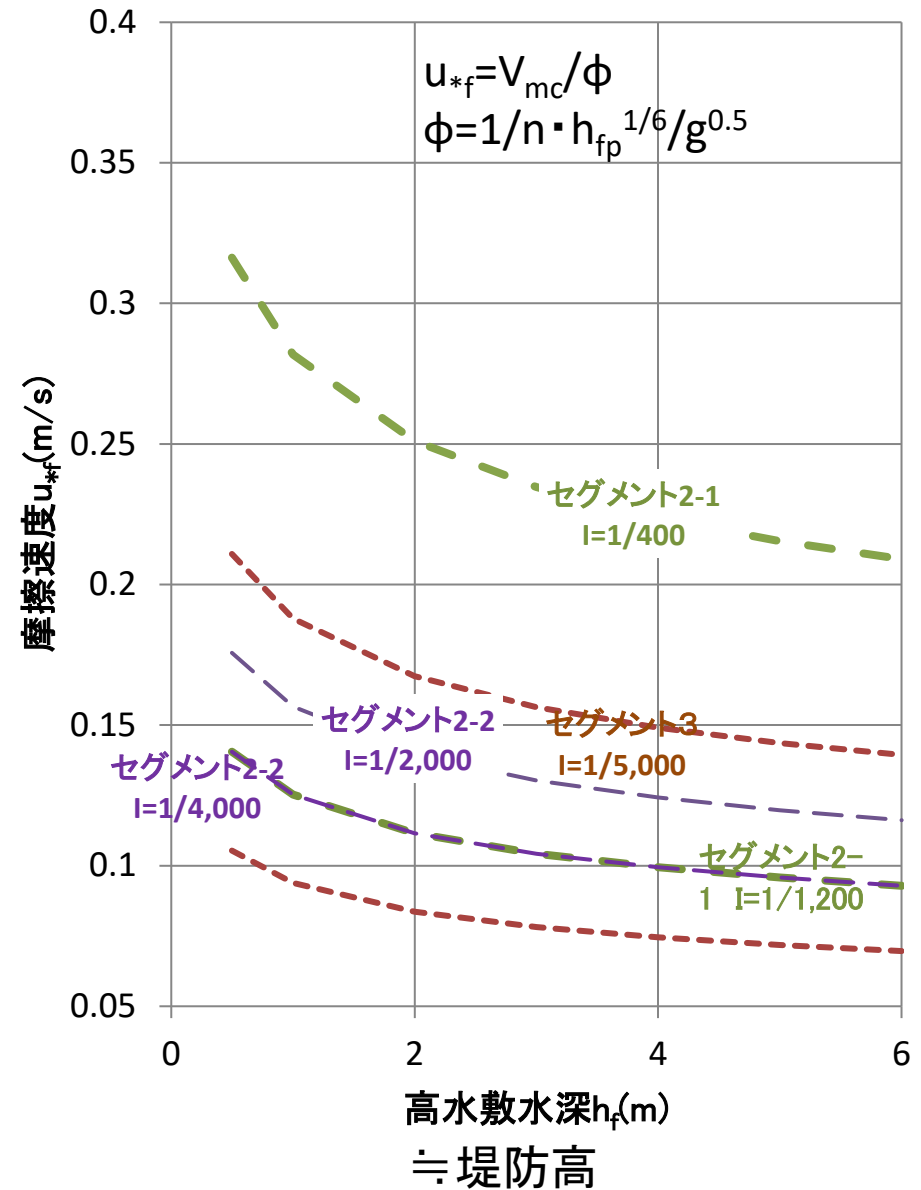
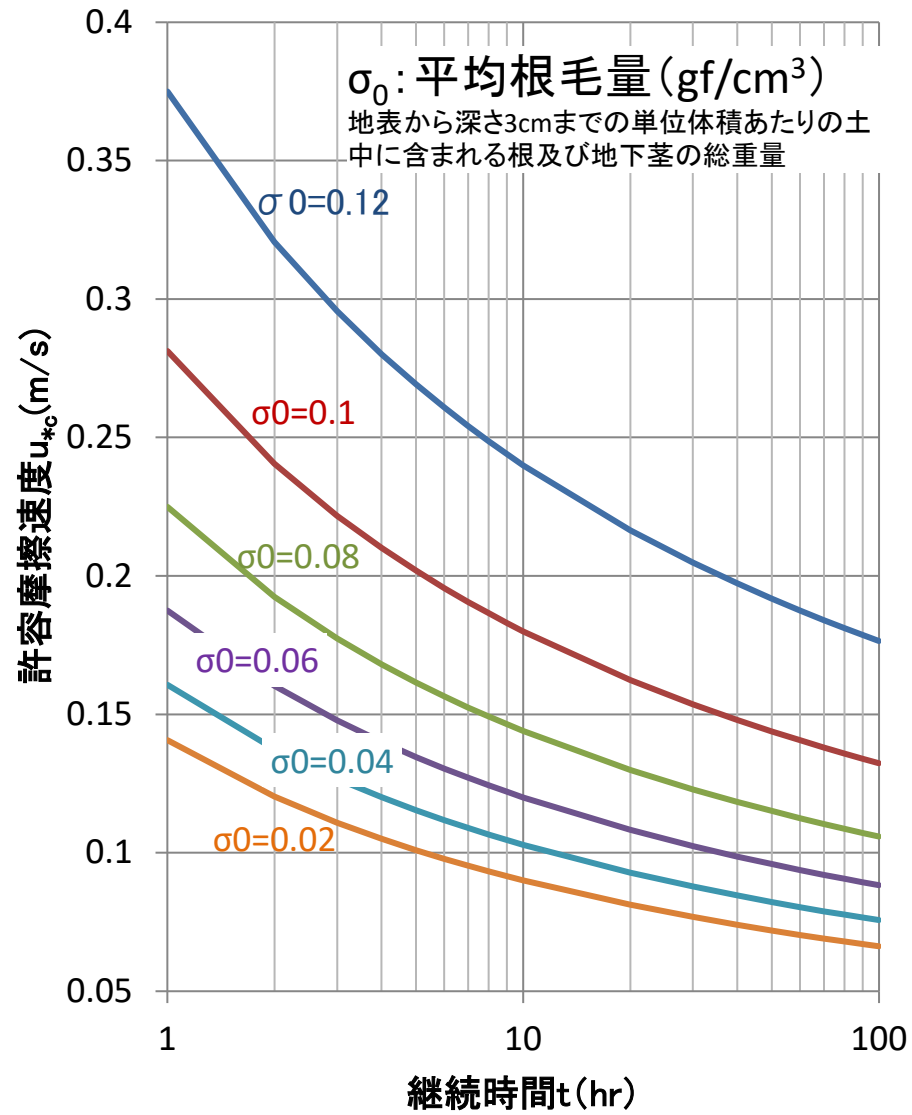
図2-4 侵食幅と河床勾配との関係³⁾

出典：護岸の力学設計法

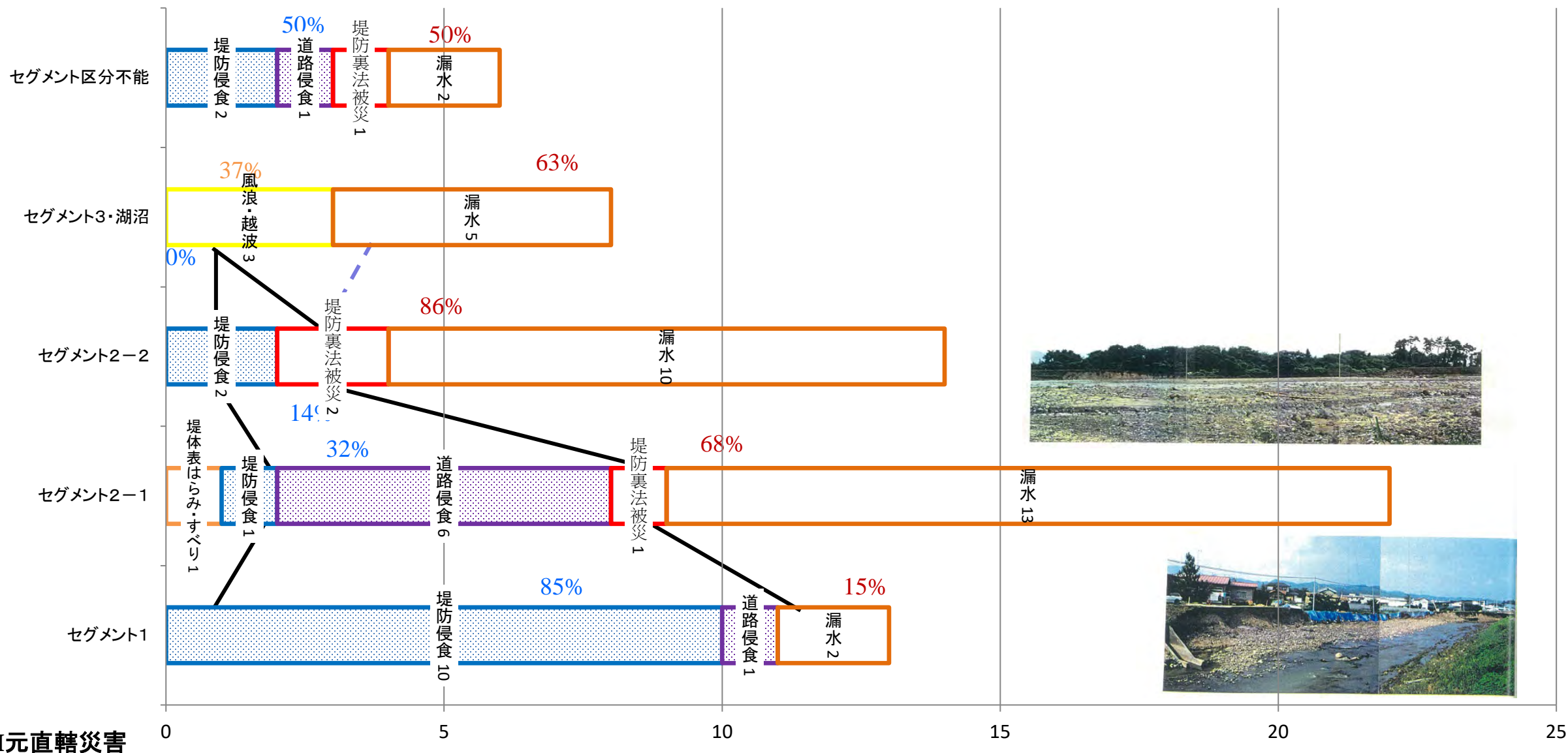
- **Seg.3・湖沼の護岸・堤防被災は航行波や風浪, 越波の影響が支配的かもしれない**

護岸被災 堤防植生許容摩擦速度とセグメント2、3高水敷摩擦速度

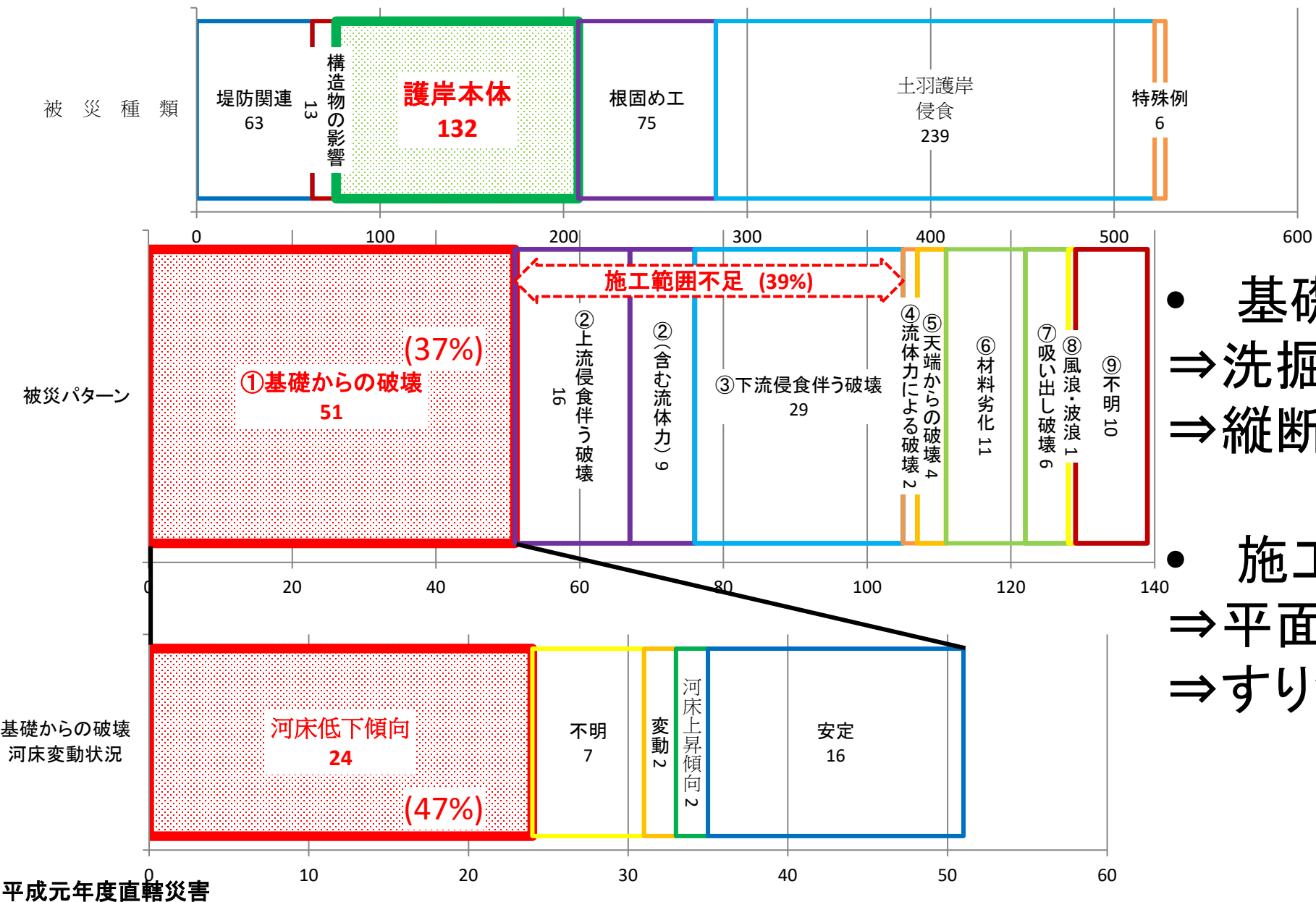
(計画流量時低水路流速による≡高水敷幅がない)



側岸侵食・流路移動(含む護岸被災) 堤防侵食被災は洪水流速大で発生

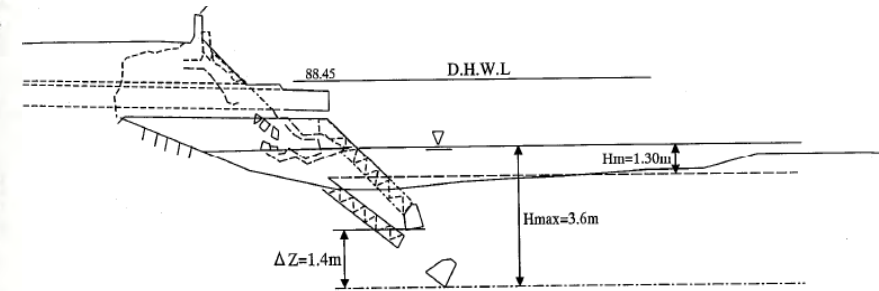
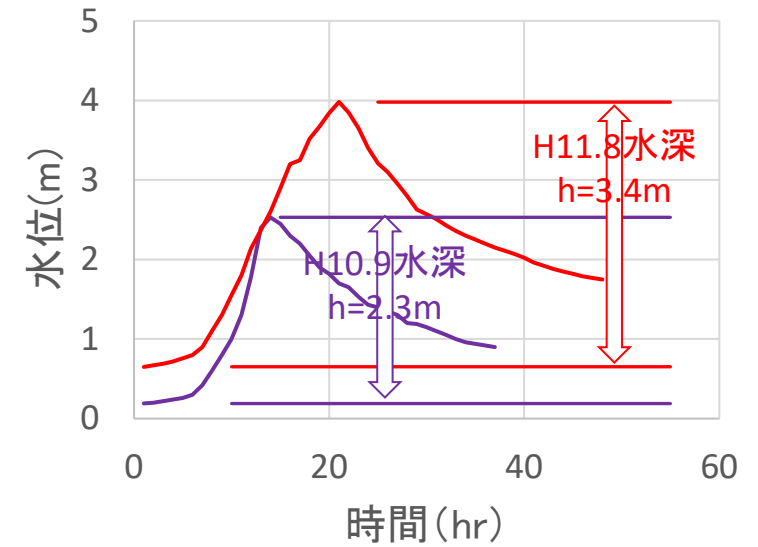
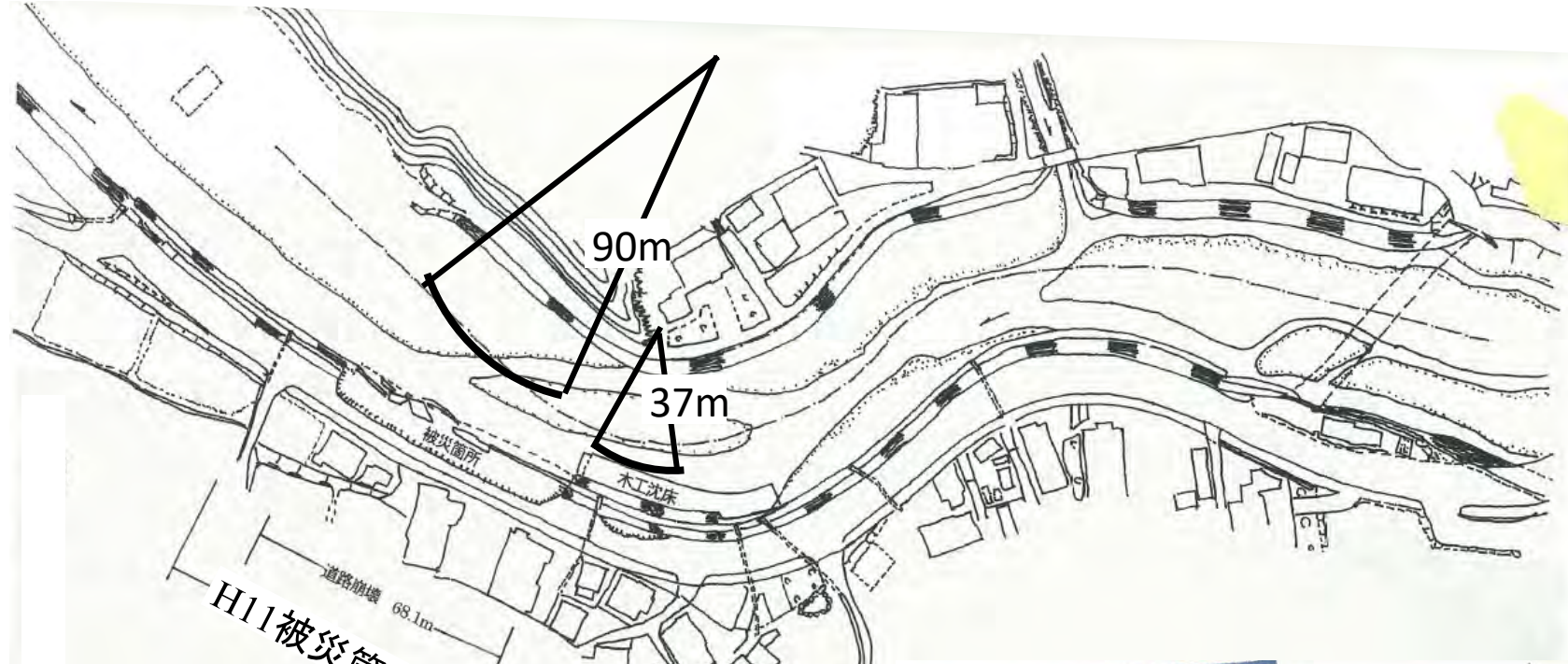


護岸被災 護岸の被災実態(中小規模洪水)



- 基礎破壊
⇒洗掘対策(含む平面設計)
⇒縦断形設計
- 施工範囲不足
⇒平面設計(護岸配置)
⇒すりつけ

護岸被災 洪水規模により水衝部移動



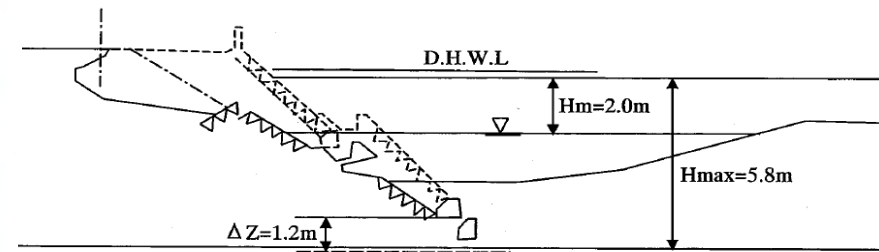
H10被災状況



H11被災写真



H10被災状況写真



H11被災状況

護岸被災 基礎洗掘に伴う吸出し応答

1分で陥没



基礎底面－河床高=20cm

基礎底面－河床高=3cm

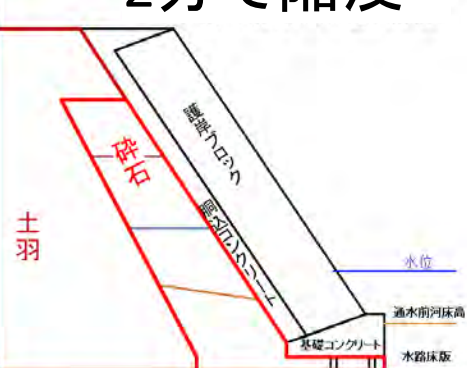
基礎底面－河床高=5cm



基礎底面－河床高=10cm



2分で陥没

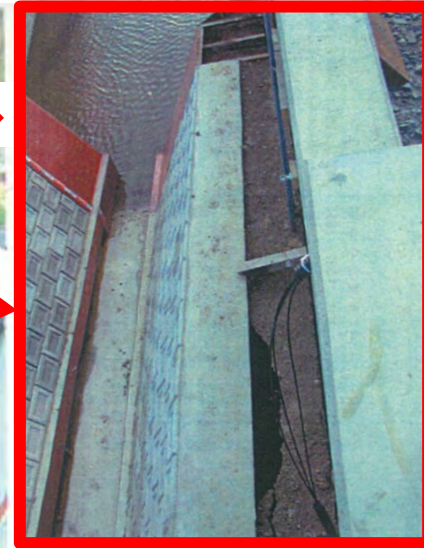
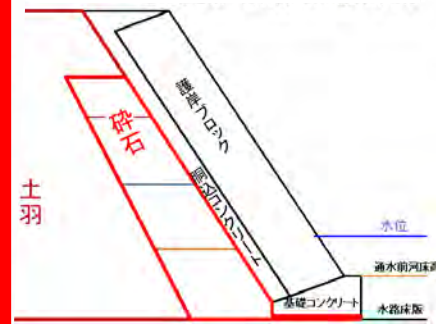


5分で陥没



裏込め砕石粒径: 3cm

(空洞発生)
10日後の降雨
で陥没



通水状況

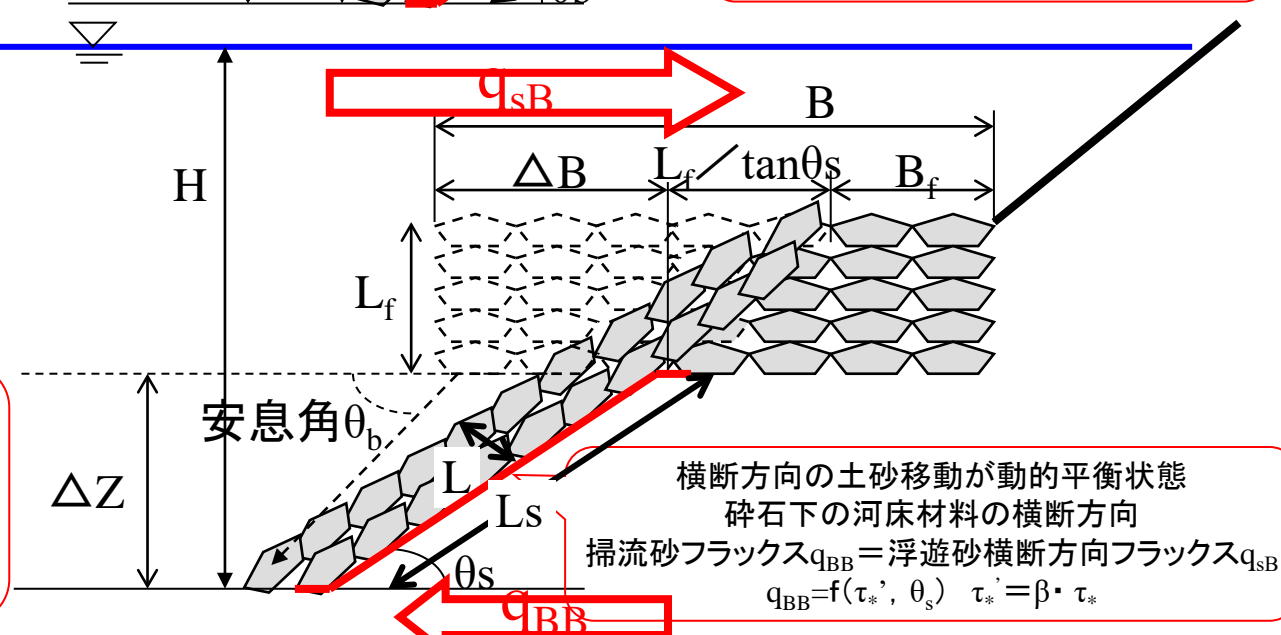
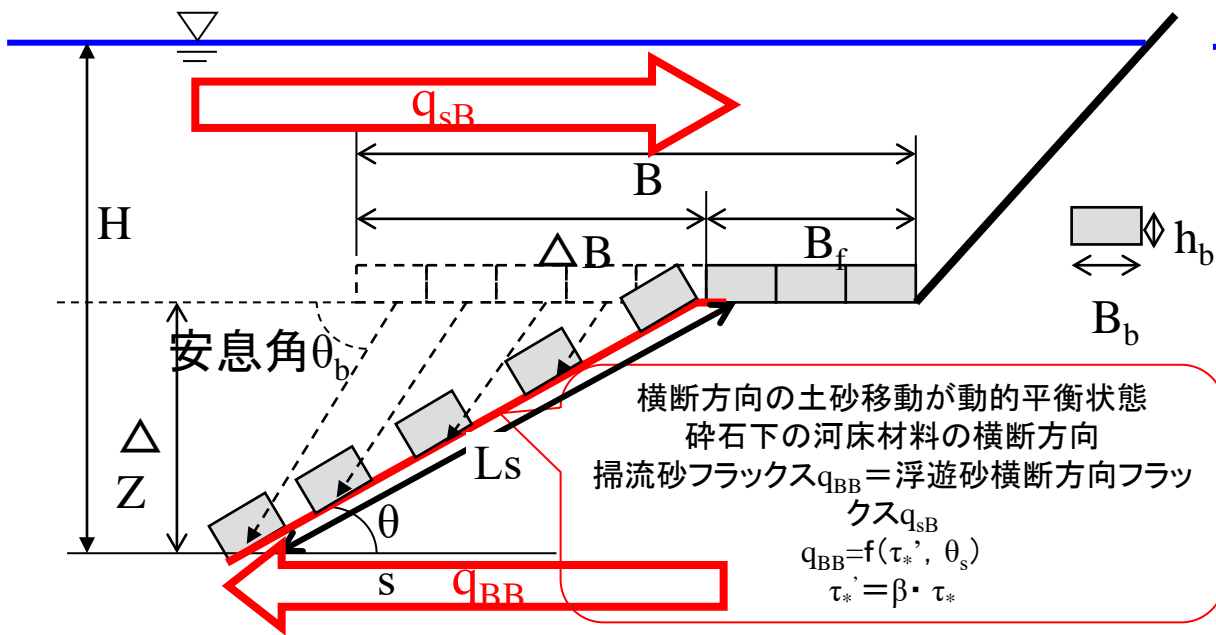
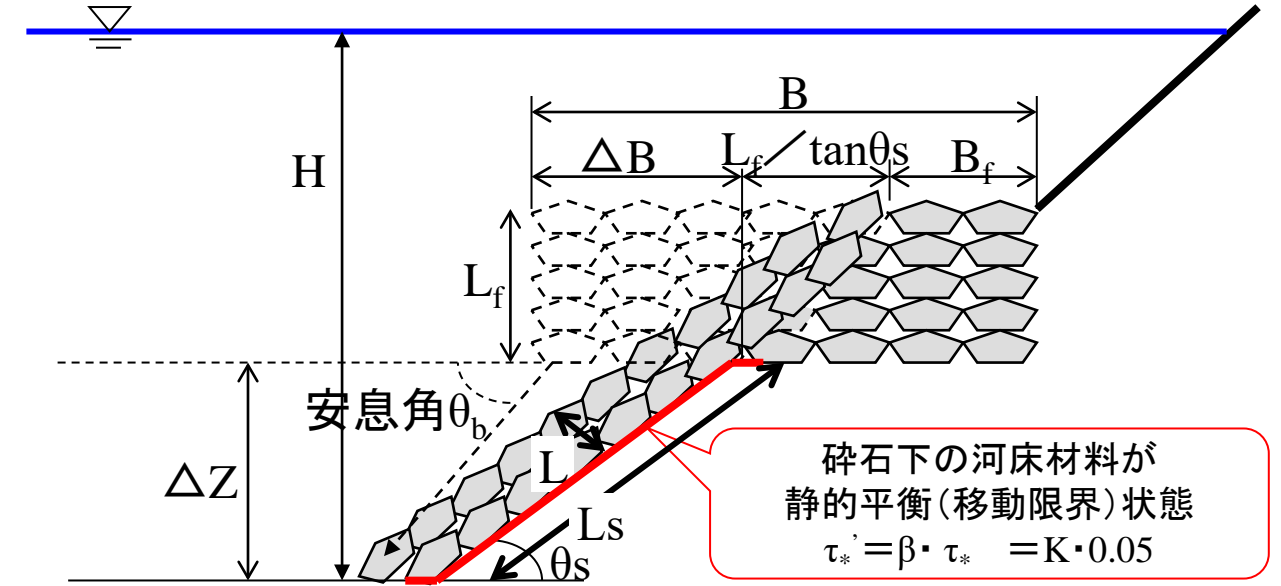
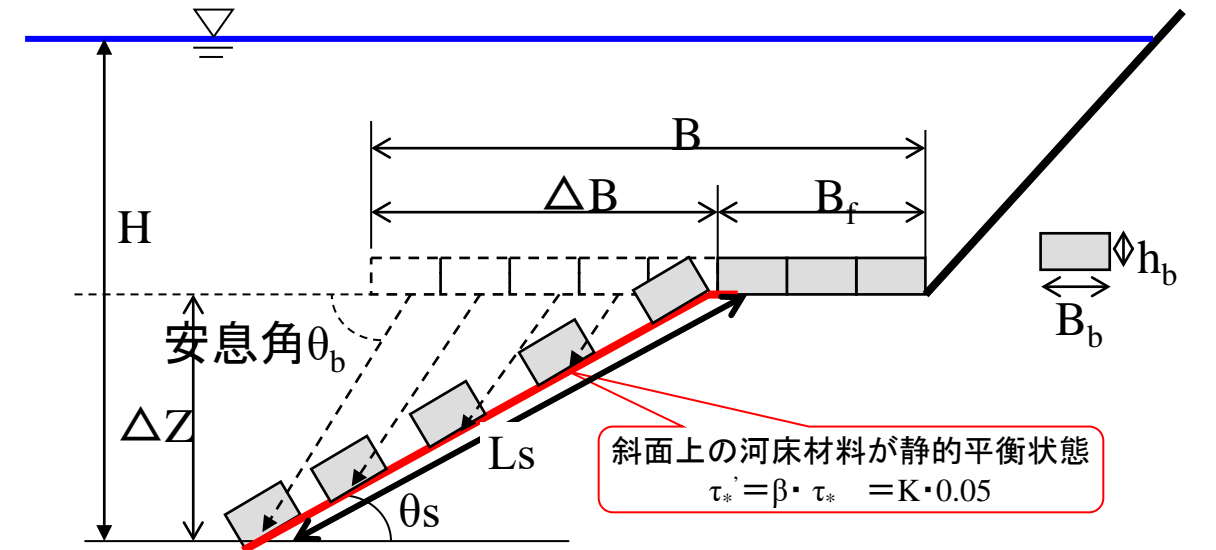
護岸被災 根固めブロック流失事例(重量不足)



Google earth等の空中写真でも事後にわかる。パトロールで気づかないといけない。
ブロック重量のチェック 重量の1ランクアップ

護岸被災 洗掘に対する根固め工応答特性(水理実験)

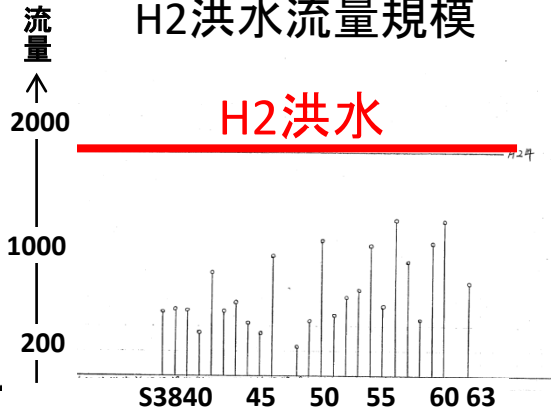
非連結1段積み、乱積み 変形・沈下状況 斜面形成機構



護岸被災実態(大規模洪水被災の現地調査)

松浦川(H2)

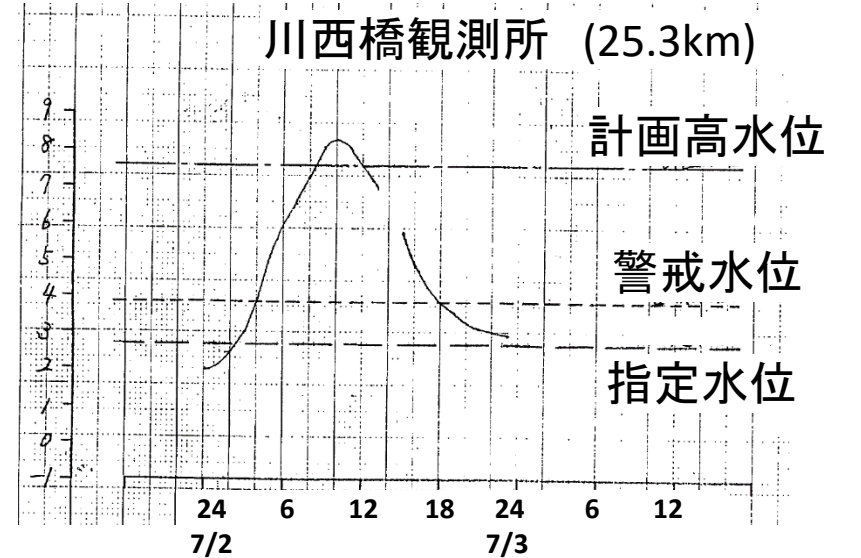
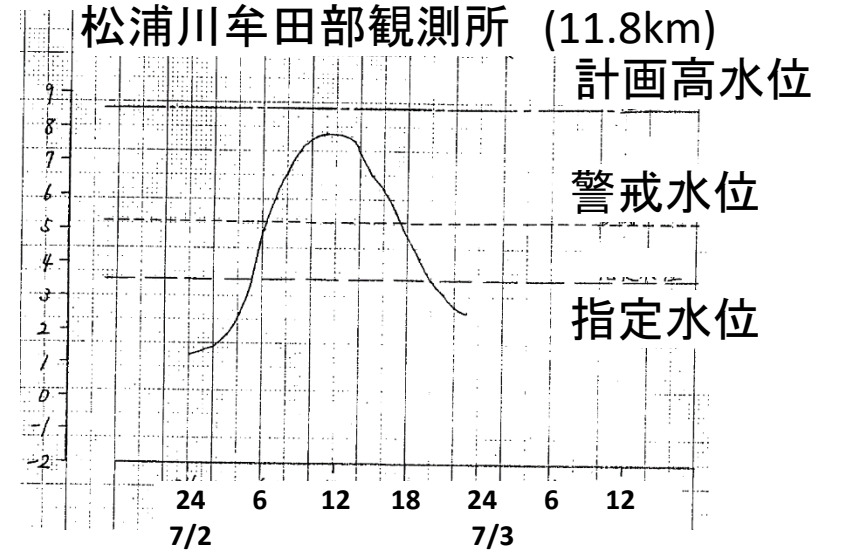
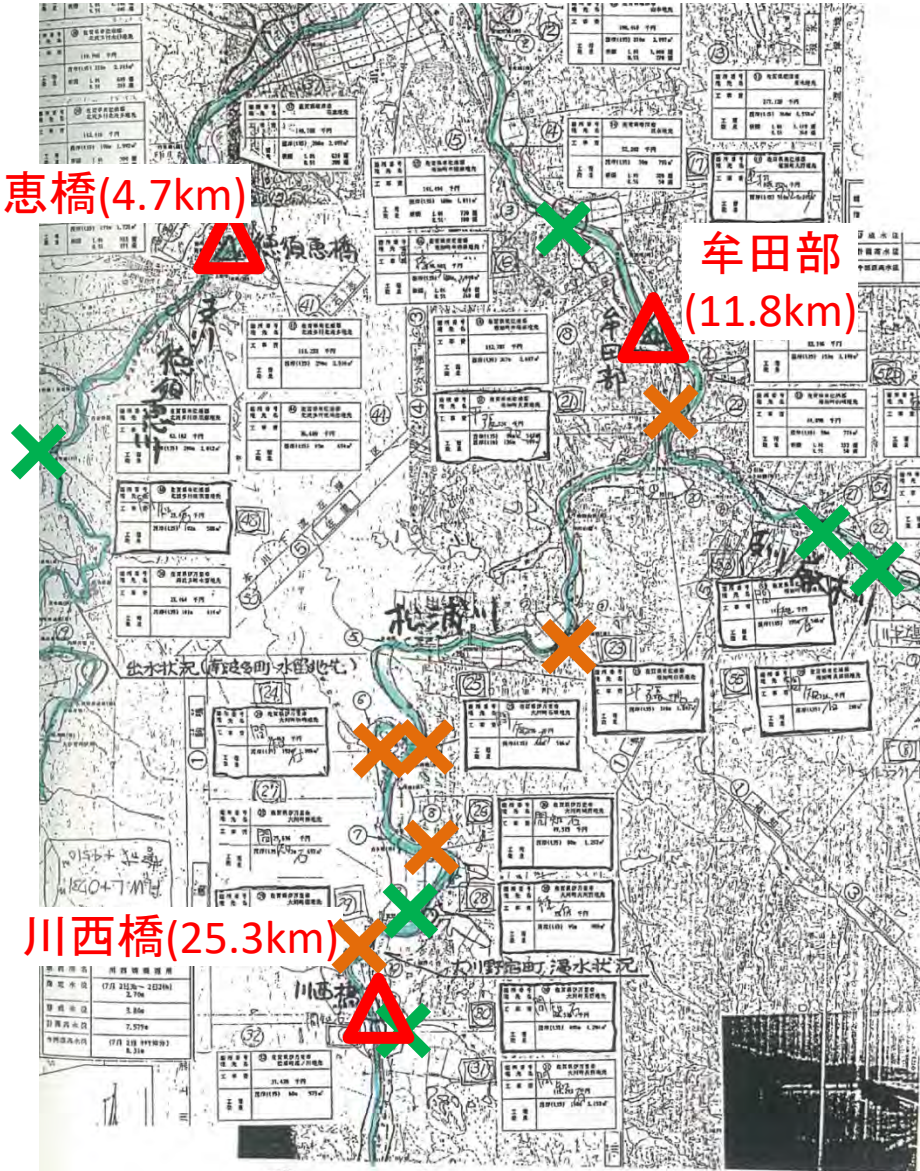
牟田部観測所(11.8km)
H2洪水流量規模



- × のり肩侵食有
- × のり肩侵食無



のり肩侵食例



護岸被災 大規模洪水被災の現地調査 都幾川(H3)被災状況空中写真



都幾川 1 4

図表 3.2



写真3.2.19

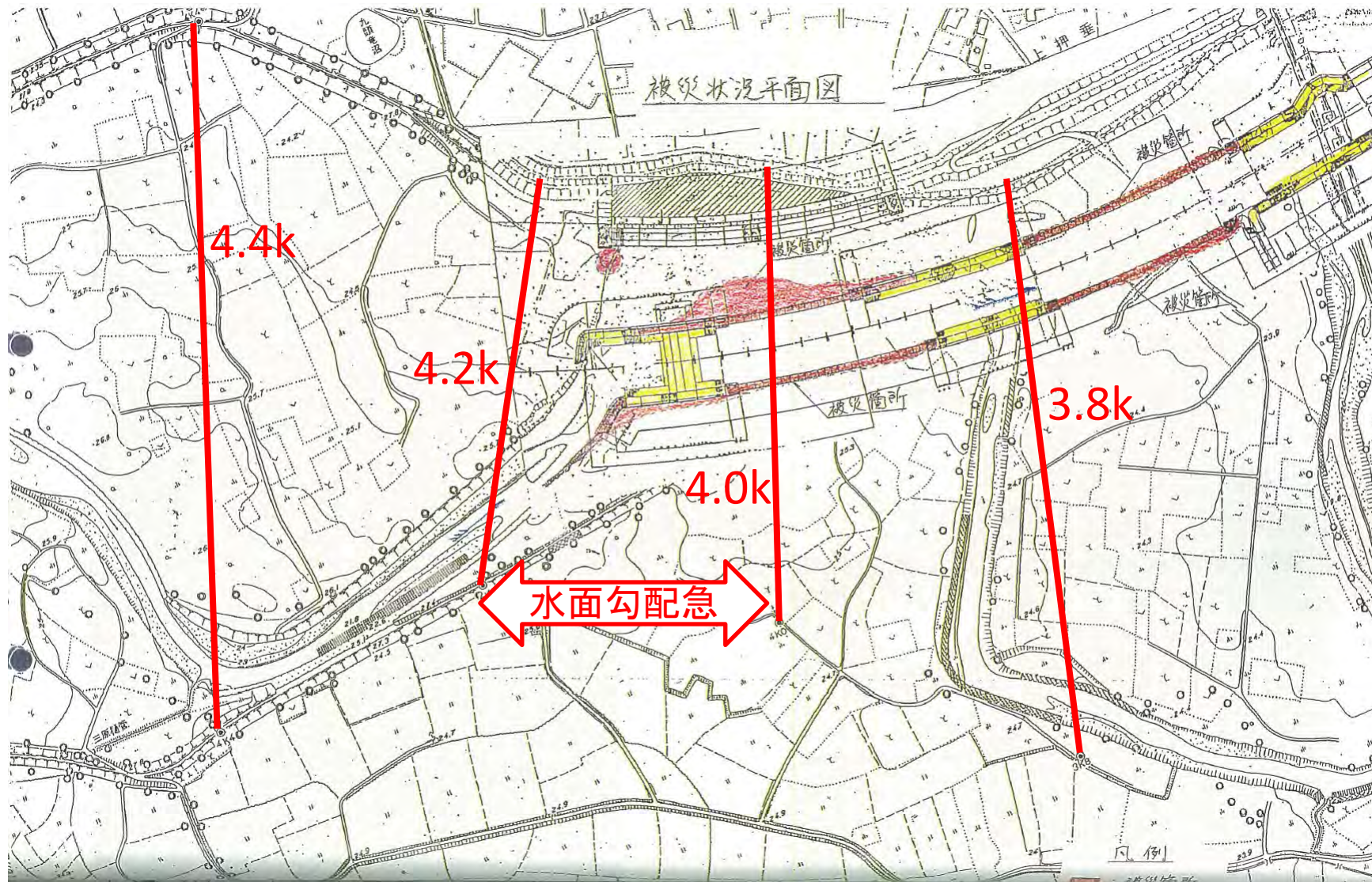
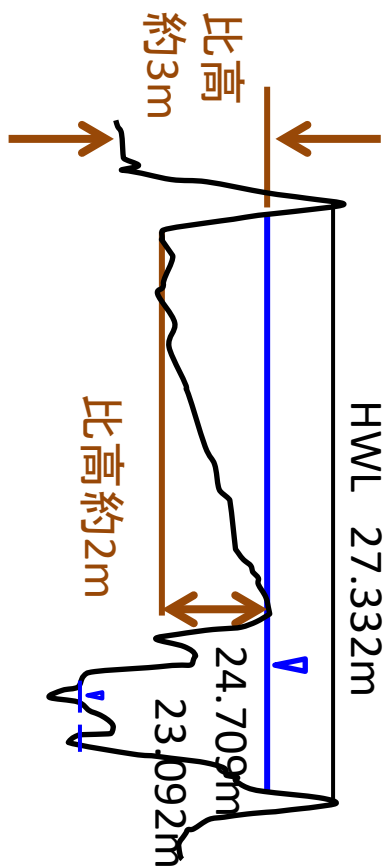


写真3.2.18

護岸被災 大規模洪水被災の現地調査 都幾川(H3) 被災状況平面図

上流未改修区間(4.2km)断面図 河道内に自然堤防が発達

次年度以降工事までのつなぎ方



護岸被災実態(大規模洪水被災の現地調査)

都幾川洪水水位縦断面図

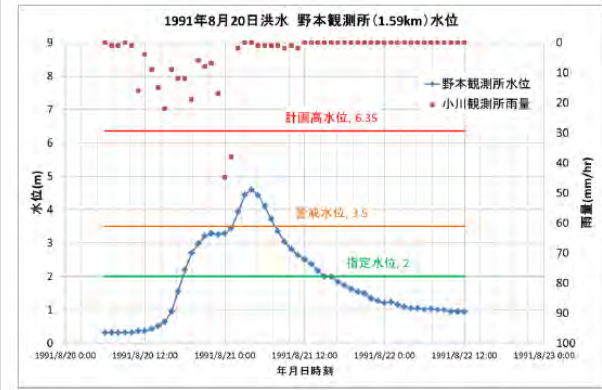
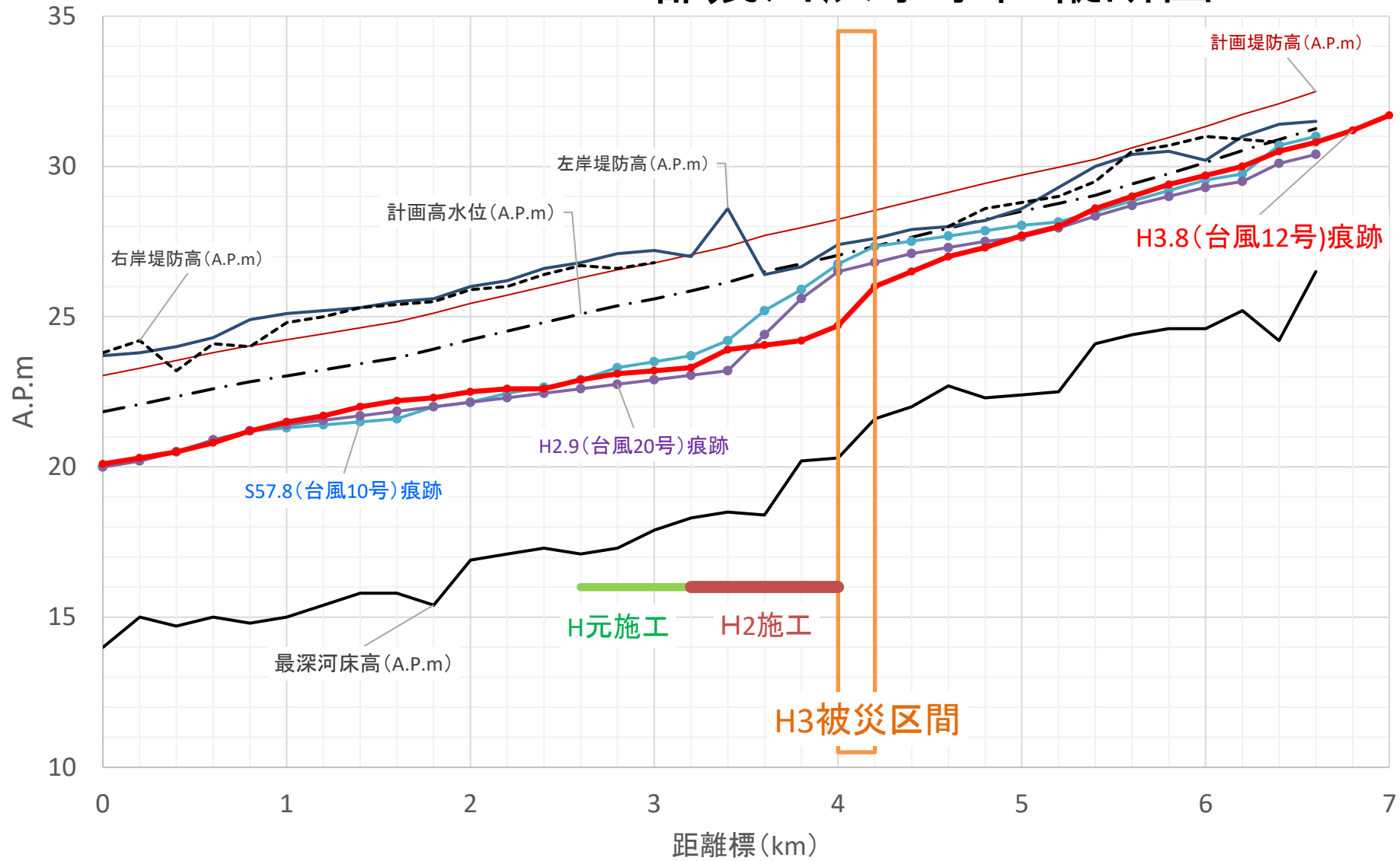


図 2.3.2.11 野本観測所 (1.59km) 水位波形

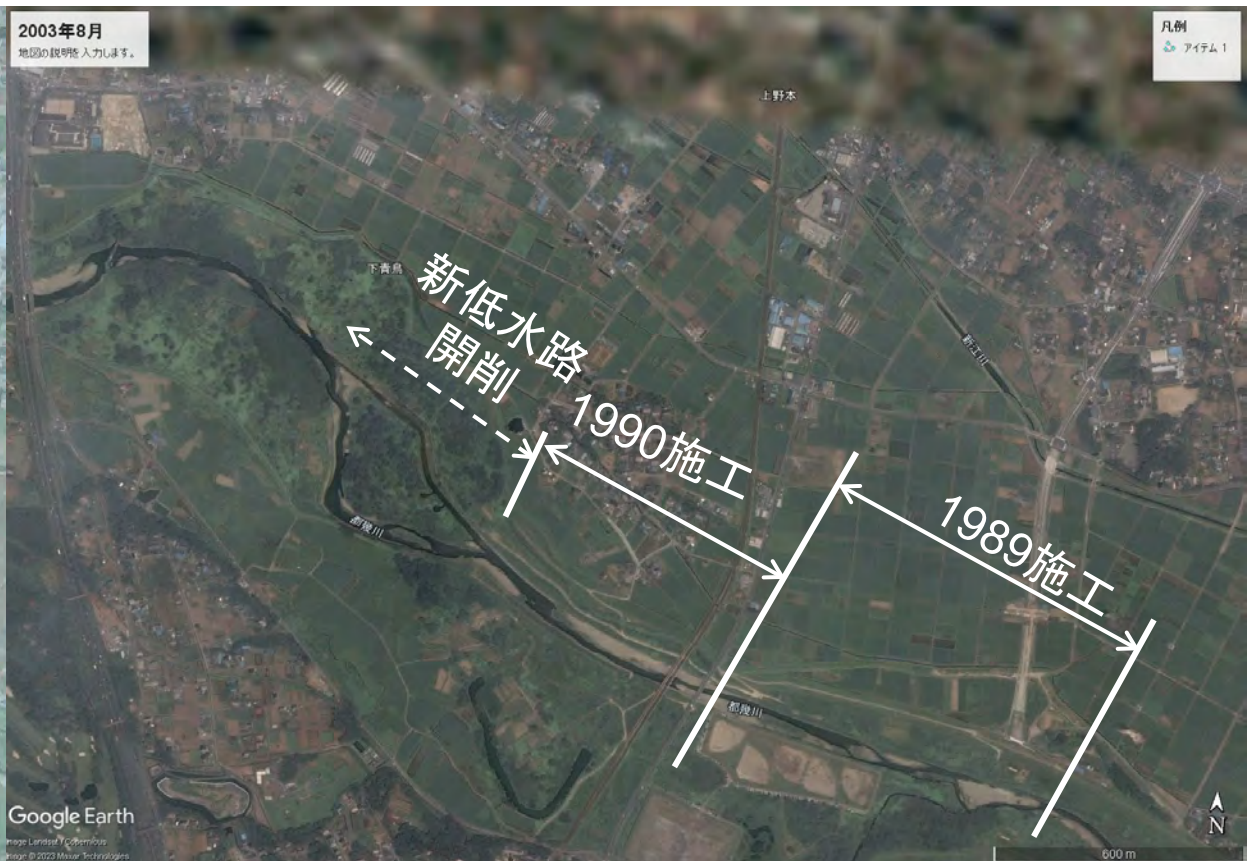


図 2.3.2.12 H3.8洪水の流量規模

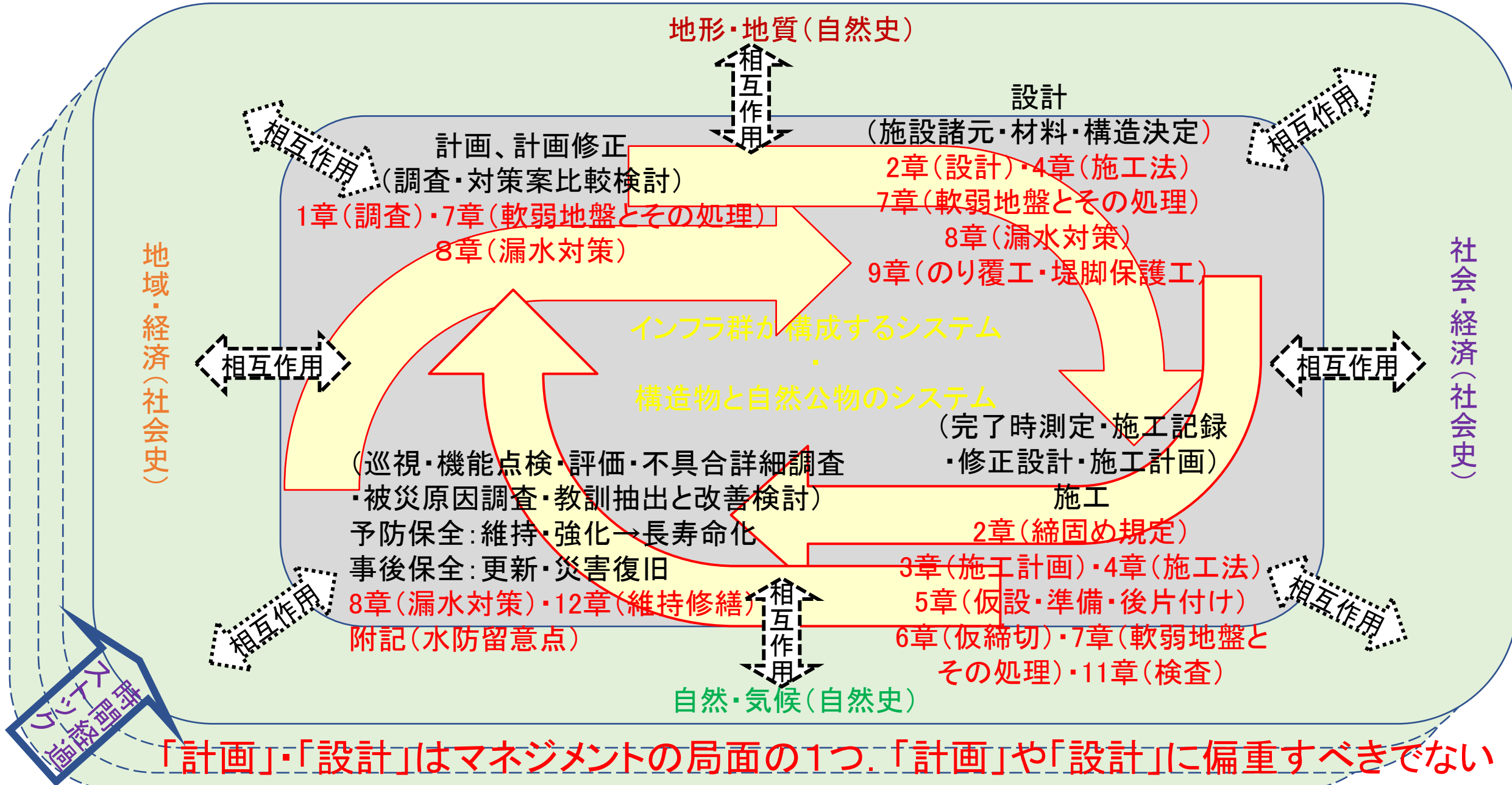


1995/05/18(平7)撮影

1991/08:洪水
(工事上流端被災)



1976土工指針(案)



河川土工指針(案) 第2章:設計

社団法人・日本河川協会 1976.3 非売品

- 第2章は、「掘削及び浚渫」「堤防」の2節からなる。堤防のみ概説する。
- 1)堤防の安定
- 堤防の安定性については、
- ①浸透水に対する安定
- 堤体土として砂質土を用いる場合、所定の断面より小さい断面の堤防、堤体前面の掘削が行われる場合、透水性地盤上の堤防では、流線網を描いて浸透水に対する堤体の安定性を検討するものとする。法尻付近に高い浸透圧が生じて堤防の土を流出させ安定の低下を評価するものであるが、このほかに浸透流による堤防強度の低下による法すべりに対する安定性の低下について、別途検討が考えられる(②の検討)
- 浸透流に対する検討は8章で記述された方法、流線網は定常浸透流として求めるものとされた。
- ②すべりに対する安定
- 軟弱地盤上の堤防、特殊堤防、堤体材料として特に強度の低い土を用いる場合、堤防の法尻付近の掘削を行う場合では、堤防のすべりに対する安定性計算を実施するものとする。安定計算は、計画高水位に対する定常浸透状態、計画高水位より平水位に急低下した場合、降雨によるのりすべり面に対して円弧すべり法により行うものとする。
- 安定計算の式は7章で記載されたものとし、これに用いる土の強度定数は、堤体材料を堤防施工時の条件(含水比及び密度)で締固めて飽和させた圧密非排水三軸圧縮試験によって求めるとし、また安定計算における間隙水圧は定常浸透流に対しては8章に記述された方法、水位低下の場合は、土質工学会「土質工学ハンドブック」p.928に記述されているレイニウス(Reinius)の方法あるいはキャサグランデ(Casagrande)の方法による流線網を求めるとした。
- 降雨による安定性の必要性が記述されたこと、土質工学的安定性の評価法が提示されたことが特筆に値する。

河川土工指針(案) 第2章:設計

社団法人・日本河川協会 1976.3 非売品

- 2)堤防の土質
- 堤体材料としての基本条件を満足する土として、以下のようなものが望ましい。
- 粒度分布の良い土:締固めが十分に行われるためにいろいろの粒径が含まれているのがよい。粗粒分は粒子の噛み合わせにより強度を発揮し、細粒分は透水係数を小さくするのに必要である。これらが適当に配合されていることが堤体材料として好都合である。
- 最大寸法は20~30cm:施工時の撒き厚の制限から決まるものであるが、撒き厚が30cm以上で礫の間の充填が十分に行われるものならば、もっと大きい粒径の用いてもよい。
- 細粒分(0.074mm以下の粒子)が堤体材料(75mm以下)の15%以上:不透水性を確保するための条件である。
- シルト分のあまり多くない土(シルト分の少ない土と判断する):降雨による侵食、浸透流によるのり面崩壊は水をある程度通しやすく、含水比の増加によりせん断抵抗の低下する土に起こった例が多い(シルト分に関する量的記述がされていないので文意が明確でないが、シルト分が少ない砂分の多い土のことではないかと推定する)が、そのような状態になるのはシルト分の影響が大きいと考えられる。
- 細粒分(0.074mm以下)のあまり多くない土:細粒分が50%以上のものには乾燥時にクラックの入る危険性があることがアースダム材料について指摘されている。
- 堤体材料として適切でない土については、堤防は道路や他の盛土ほど材料の選択基準を厳密にしないでほとんど土を利用するので、上記の望ましいとされた条件に合致しないものが不適切ということにならず、予想される事態(強度不足、漏水、軟弱化など)に対応する方策を講じて設計する。ただし、有機質土は問題が多く捨土を考えるべきである。
- 不良材料に対する対策として、他の土と混合、乾燥による含水比の低下、添加材による土質改良、複合断面化を挙げている。

河川土工指針(案) 第2章:設計

社団法人・日本河川協会 1976.3 非売品

- 2)堤防の締固め規定
- 堤防の締固め規定は次のいずれかによる.
- 最大乾燥密度(JIS A1210による) 80%以上.
- 飽和度 85~95%.
- 空気間隙率 10~2%
- 通常の水に対しては最大乾燥密度の規定によるが、高含水比の水ではこの規定では締固めできないので、飽和度、空気間隙率の規定による。既存の堤防の締固め度の平均値では83%程度と言われており、道路盛土と比べてやや低いが、堤体材料として厳密に規定していないこともあって、幾分低めの基準値としている。目標値としてももう少し高い締固めを想定して設計施工を行うことが望ましい。
- あらかじめ試験転圧を実施した場合や既に施工した現場での実績から判断して、上記締固め規定に合致する結果の得られている場合は、転圧機械の種類や転圧回数を規定して締固め度規定としてよい。

河川土工指針(案) 第3章:施工計画

社団法人・日本河川協会 1976.3 非売品

- 第3章は、「概説」「締固め」「土量変化」「配土計画」「工程管理」「建設機械の選定」「作業能率の算定」の8節からなる。締固め規定以外は省略する。
- 1)締固め
- 設計の締固めに関する記述より詳しく記述されており、内容が異なる記述がある。以下に違いのある内容を記す。
- 密度比較で規定する方法。
- 設計の締固め規定の最大乾燥密度に対する現場における締固め後の乾燥密度の比が、「道路工事では一般に締固め度90%とすることが多いが河川堤防の場合は85%以上と規定することが多い」との記述がある(設計の最大乾燥密度の80%以上と数値が異なる)。
- 飽和度または空気間隙率による方法
- 設計の締固め規定と同様である
- 強度特性によって規定する方法
- 設計の締固め規定では、難点があり適当でないとしたが、施工計画では、「安定した材料、すなわち水の浸水により膨張、強度低下の少ない材料の場合(岩塊、玉石、砂、砂質土)は強度特性で規定できる。」としている。「強度特性として何を測定するかについては一般的基準についてはまだ決まったものがないが、CBR値、K値、コーン指数などが用いられている」としている。
- 締固め機種、締固め回数により規定する方法
- 設計の締固め規定と同様である。
- 簡単な施工法によって規定する方法
- 「敷き均し時の土工機械の走行による締固めを期待して、まきだし厚を適当に定め、水平に敷き均して施工することのみを規定しておく方法も考えられる」としている。

河川土工指針(案) 第4章:施工法

社団法人・日本河川協会 1976.3 非売品

- 第4章は、「概説」「掘削と運搬」「築堤」「護岸工事における土工」「構造物施工における土工」「浚渫」からなる。ここでは築堤土工に関わる技術内容についてのみ記す。
- 1) 築堤
- ①概説 堤防の盛土は、一般的に河道を掘削した土を利用することが多い。河道掘削土を利用する場合には必ずしも築堤土に最適な土質、含水状態のものが得られない場合も多いので、掘削、運搬、盛土の工程の中で調整し、極力最適な状態で盛土する。耐透水性に重点が置かれるので堤体内には空洞性の空隙を作らないよう密な盛土とする。一連の堤防のうち、一部分に欠陥があり、それにより破堤すれば、長い一連な築堤は効果を失うので、必要以上に締固められた堤防があっても意味がないので、延長的にも、また断面的にも均一な強度と密度で施工されることが重要である。
- ②堤防材料の管理 ・高含水土の処理 土取場において流水とか降雨によって含水率が高くなった場合は正常な含水状態に戻るまで作業を中止すべきである。土取場における土の含水率が高いが脱水しやすい土の場合は、いったん築堤場所に近い場所に仮置きする方法も行われる。 ・不良土の棄却 腐植土とか高粘土質は、通常の工法では使用しない方がよい。 ・シートなどによる被覆 築堤個所に盛土され、敷き均された状態のまま降雨や降雪を受けると、締固め不適な状態となって工程の支障となるので、表層をシートまたはビニール等で被覆する。
- ③基礎地盤 施工途中においてすべりを生じるような脆弱な地盤は前もって良質の土砂に置き換えるとか、排水溝を設けて地下水位を低下させ圧密させ強固な地盤に改良する。基礎地盤面にある雑草、雑草根、雑石、コンクリート塊等は入念に除却して盛土と基礎地盤の接着を十分に図る。
- ④築立 堤防は洪水時に漏水等を起こさないことが大切である。したがって、下層から上層に至るまで均一に締固めることが必要である。高撒きして表層部分だけ締固めるようなことは絶対にしてはならない。盛土は薄い層毎に敷き均して転圧して築き立てしなければならないが、一方において必要以上に締固めると盛土量の増大を招くことになるので、配土上の留意が必要である。

河川土工指針(案) 第4章:施工法

社団法人・日本河川協会 1976.3 非売品

- ・ブルドーザーによる締固め 運搬した土は薄い層に敷き均して転圧して締固める。敷均しの厚さ及び締固め方法は、施工法、土質及び要求される締固め度によって異なる。ブルドーザー、スクレーパ等で運搬盛土する場合は、捨土そのものが敷均しであるが、全面を均一に締固めるには改めて一定の厚さ毎に転圧する必要がある。転圧の方向は堤防法線に平行であることが好ましいが、平面積の大きい堤防では法線に直角に転圧することもある。転圧には敷均しも兼ねてブルドーザーが多く使用される。この場合には、敷均し中の効果も含めて転圧回数を規定している場合もあるが、施工にあたっては敷均し完了後の転圧回数で管理すると良い。軽量で接地圧が小さいブルドーザーの場合には、敷き均し厚を薄くして転圧する必要がある。
- ④築立 堤防は洪水時に漏水等を起こさないことが大切である。したがって、下層から上層に至るまで均一に締固めることが必要である。高撒きして表層部分だけ締固めるようなことは絶対にしてはならない。盛土は薄い層毎に敷き均して転圧して築き立てしなければならないが、一方において必要以上に締固めると盛土量の増大を招くことになるので、配土上の留意が必要である。
- ・ブルドーザーによる締固め 運搬した土は薄い層に敷き均して転圧して締固める。敷均しの厚さ及び締固め方法は、施工法、土質及び要求される締固め度によって異なる。ブルドーザー、スクレーパ等で運搬盛土する場合は、捨土そのものが敷均しであるが、全面を均一に締固めるには改めて一定の厚さ毎に転圧する必要がある。転圧の方向は堤防法線に平行であることが好ましいが、平面積の大きい堤防では法線に直角に転圧することもある。転圧には敷均しも兼ねてブルドーザーが多く使用される。この場合には、敷均し中の効果も含めて転圧回数を規定している場合もあるが、施工にあたっては敷均し完了後の転圧回数で管理すると良い。軽量で接地圧が小さいブルドーザーの場合には、敷き均し厚を薄くして転圧する必要がある。
- ・タイヤローラーによる締固め 土質が砂質等であり転圧速度の大きいロードローラ、タイヤローラの機械の使用条件が整っている場合は、使用して効率的であるが、粒子が揃っている砂等ではローラがスリップして能率を落とすことがある。
- ・現場の締固め試験 一般的に締固め度は数値で規定しているが、小規模な工事や土質の良好な場合は、転圧機種、敷均し厚さ、転圧回数を定めて締め固めを行っている例が多い。締固め度が規定された場合は、各現場であらかじめ現場締固め試験を行い、機種別の締固め方式を定めることが好ましい。なお、現場締固め試験の際にコーンペネトロメータの測定を併用し、測定数値を施工管理に活用するとよい。

河川土工指針(案) 第4章:施工法

社団法人・日本河川協会 1976.3 非売品

- ・浚渫土を利用した場合 浚渫土が比較的良好な砂の場合であり、築堤幅が広い(30m以上)場合にはポンプ浚渫船によって直接排泥することがある。この場合、排泥河床において細粒土が分離して1か所に集中堆積することを避けるため、図9.14のように小築堤による周囲堤を築き立てして湛水池をつくり、池の排出口には木製の堰を設けて排水する。周囲堤は排泥の進行に従って逐次盛土(土質によっては板柵工とする)していく。この場合の排泥は排泥管の先端のみならず中間数か所から分枝して同時排泥することによって、粒子の分離を避けると良い。十分脱水するのを待って仕上げを行い、被覆土を施工する。浚渫箇所と築堤箇所が遠い場合、築堤幅が狭い、浚渫土に細粒土が多い場合には、適切な位置に仮置き土箇所を設けて排土する。仮置き場からの運搬は通常の機械掘削による場合と再びポンプ船で浚渫排泥する場合がある。仮置き場ではできるだけ高く盛土することが脱水効果を速くすることになるが、反面土砂の分離が起こって盛土として不適格となる場合がある。しかし、不良粒土を分離棄却したい場合は有効である。
- ・施工中の沈下 盛土に伴い基礎地盤は圧縮し、また圧密によって沈下する。底面積の広い場合には沈下量が所要土量に大きく影響するので、必要土量の管理のため、あらかじめ基礎地盤内に沈下板を設けて沈下量の測定をする必要がある(以下、沈下量の測定の記述があるが省略)
- ・混合物の排除 盛土として不適切な不良土、雑木根、雑石等は土取場でも排除するが、盛土箇所においても監視させてその都度処理する必要がある。また、凍土、氷雪塊は春になって陥没を起こした例が少ないので、これらの除却については入念に管理する。
- ⑤のり面施工 盛土の各層の端部(のり面となる部分)の締固めは、十分に行われないので、盛土が一応完成した後、図9.15のように盛土端部の幅50~100cmの部分の土をいったん取り除き、厚さ30cm程度の層毎に人力又は振動コンパクタ、小型振動ローラによって締固めながら盛土して仕上げる。のり面勾配が1:2より緩い場合は、ブルドーザ等によってのり面を往復させながら直接締固めることができる。堤防のり面は芝張を施すので、新面丁張に従い、人力によって木製の板あるいは棒でたたいて安定させながら仕上げる。このことを「土羽うち」という。
- ⑥段切り 旧堤防に腹付け工を施工する場合は、旧堤との接着を図るため、図9.16のように最小50cm程度とした階段状に段切りする。水平部分は2~5%の勾配をつける。
- 2) 構造物施工に伴う土工
- 構造物は杭打ち基礎等によって堅固な基礎状態となるが、構造物に接する埋戻し土は十分締め固まっても、その後において圧縮、圧密が進行するため、構造物と埋戻し土との沈下量の差によって構造物に沿って亀裂が発生することがあるので、プレローディング工法等によってこれらの弊害を防ぐことを考慮すると良い。

河川土工指針(案) 第7章:軟弱地盤とその処理

社団法人・日本河川協会 1976.3 非売品

- 第7章は、「概説」「軟弱地盤の調査法」「軟弱地盤における堤防の設計法」「軟弱地盤における対策工」「施工管理法」の5節からなる。
- 概説において軟弱地盤の問題点として以下の3点を挙げている。
 - 基礎地盤の支持力不足によるすべり破壊
 - 基礎地盤の圧縮性が大きいために生じる過大な沈下
 - 特に緩い地下水位の高い砂質地盤において地震時に生じる流動化
- 3点目はいわゆる液状化による堤防の沈下、側方移動が生じるもので、大正12年の関東大震災でも生じていたが、堤防の問題点として対策検討は昭和39(1964)年の新潟地震による地盤災害を契機として検討が進んだ。軟弱地盤とは一概に言えない地盤であり外力も地震で別の範疇に入る問題であった。
- 以下では堤防の設計法と対策工法に関してのみ概説する。
- 1) 軟弱地盤における堤防の設計法
 - ① 設計の進め方 堤防の高さ、天端幅、小段段数、法勾配はその河川の水理機能、洪水時の溢流・浸潤に対する安定性から定まるので(河川管理施設等構造令、河川砂防技術基準計画編による規定された堤防断面であるべきであるが、これらは本河川土工指針案の後に制定された)、ここでの設計は、そのような所定の断面の堤防が構造物として安定であるかどうかをチェックし、何らかの対策が必要であるかどうか、さらにどのような対策工法をとるか決定することである。設計の流れは図9.17のようになる。

河川土工指針(案) 第7章:軟弱地盤とその処理

社団法人・日本河川協会 1976.3 非売品

- ②堤防の安定計算法
- 土堤の安定計算は、円弧すべり面法により、いくつかの円弧について最小安全率を求める。図9.18に示すようにすべり円の中心及び半径を設定し、この円弧内に含まれる土塊を適当な幅の鉛直細片に分割し、次式で安全率 F_s を計算する。
- $$F_s = \sum \{c_i l_i + (W_i \cdot \cos \theta_i - u_i \cdot l_i) \tan \varphi_i\} / (W_i \cdot \sin \theta_i)$$
- ここに W_i : 分割片の全重量, u_i : すべり面上の間隙水圧, c_i : すべり面上の粘着力, φ_i : すべり面上の内部摩擦角, l_i : 円弧の長さ, θ_i : 円弧中央における法線と鉛直線のなす角。円弧すべり面計算における強度定数は土質により以下のとおりである。
- ・粘性土・有機質土の場合 緩速施工または何らかの地盤処理を行う場合を除いて、非圧密非排水強度 c_u を用いる。
- $c = c_u = q_u/2$ $\varphi = \varphi_u = 0$ ここに, q_u : 飽和土の一軸圧縮強さ
- 緩速施工や地盤処理により施工中の圧密による強度増加が期待できる場合あるいは築造後長期間経過した場合には、想定圧密度に対応する圧密非排水強度 c_{cu} を用いる
- $c = c_{cu} = c_0 + \Delta P \cdot m_i \cdot U$ $\varphi = 0$ ここに, c_0 : 現地盤(非圧密非排水)強度(= $q_u/2$), ΔP : 堤体過重による地盤内鉛直増加力, この値の推定にはオスターベルク(Osterberg)の図表が用いられる。 U : (すべり面の土の)圧密度, m_i : 強度増加率。なお, 式(9.1)以下の式は平成5年発刊の「河川土工マニュアル」のpp.90-94と式形が異なる。訂正が必要と判断される。
- ・砂質土の場合 排水強度 c_d を用いる。堤体について $c = c_d$ $\varphi = \varphi_d$ 地盤について $c = c_d = 0$ $\varphi = \varphi_d$

河川土工指針(案) 第7章:軟弱地盤とその処理

社団法人・日本河川協会 1976.3 非売品

- ・地震時の安定計算
- ・地震時の安定性を検討すべき方法は未だ確立されているとは言えないが、必要な場合は円弧すべり面法に静的震度法を適用(紙幣震度を外力に加える)し安全率を算定する、強度定数は常時と同じとする。地震について特に検討が必要であるのは、洪水時に自信により堤防の沈下が生じた場合や、堤内地が常時海面下にあるような低地の場合であるから、この場合の水位条件は計画高水位とし、間隙水圧はこの条件から定まる定常浸透状態について求めた値とする。液状化の生じる可能性のある緩い地盤では、地震時に何らかの過剰間隙水圧が発生するものとして、上記と同じ方法により安全率を算定する(具体的な過剰間隙水圧の算定法について記述がない。参考文献に「日本道路協会 耐震設計指針・同解説(昭和47年)」とあるので参照せよということであろう)。
- ③堤防の沈下計算 圧密沈下量の計算法が開設されている。省略する。
- ④軟弱地盤における対策工法 河川堤防を築堤する際に用いられる軟弱地盤の対策工法として次の工法が挙げられている。
 - ・築堤方式で改良するもの A:緩速施工法, B:押さえ盛土工法, C:サンドマット工法
 - ・軟弱層を除去置換するもの D:掘削置換工法
 - ・軟弱層を改良するもの E:プレローディング工法, F:バーチカルドレーン工法, G:サンドコンパクション工法, H:バイプロフレーション工法, I:生石灰杭工法 これらの対策工法の選定のための標準条件を表9.5に示す。以下工法の説明がなされている。省略する。

表9.5 対策工法選定のための標準条件

対策工目的	軟弱地盤成層状態	適用工法
主として堤体の安定性のみが問題となる場合	軟弱層が浅い部分にあり、薄くて排水距離が短いため、盛土中の強度増加が十分期待できる場合	A,C (工期に余裕がある場合)
	軟弱層が深い部分まで存在し、厚くて排水距離が長いため、築堤中の強度増加がほとんど期待できない場合	B,D,F,G (工期に余裕がない場合)
剛性法覆工や構造物周辺のように主として施工後の残留不等沈下が問題となる場合	軟弱層が浅く薄い場合	D,E I (構造物周辺のように局所的な改良を行う場合)
	軟弱層が深く厚い場合	E,F,G I (構造物周辺のように局所的な改良を行う場合)
緩い砂質地盤で地震時の液状化が問題となる場合		G,H

河川土工指針(案) 第8章:漏水対策

社団法人・日本河川協会 1976.3 非売品

- 第8章は、「漏水対策の概要」「新設堤防の漏水対策工」「既設堤防の漏水対策工」「堤防地盤の漏水対策工」の4節からなる。
- 1)漏水対策の概要
- 堤体漏水を起こす原因として
 - 堤体断面が小さすぎる場合 ・堤体に水みちができている場合 ・堤体が粗粒物を多量に含む未風化の山土または砂礫で作られ、表法または中心部に止水壁のない場合 ・堤体の締固めが不十分な場合 ・地震等堤体にクラックの入った場合 を挙げている。
- 地盤漏水が起こる原因として
 - 透水性の大きい砂層または礫層上に築堤した場合 ・旧河川を締切、河床砂礫上に築堤した場合 ・破堤河床を締切った場合 ・堤防法先の高水敷の表土が流水により洗堀され、透水層が現れた場所 ・堤防表法尻付近で土取を行い、透水層を露出させたり、不透水性の表土の厚さを薄くした場合 ・地盤沈下により河川水位と堤体地盤との差が大きくなった場合 を挙げている。
- 定性的記述であるが、漏水の原因がほぼ網羅されている。堤体を横過する横断構造物周辺の漏水についての記述がない。
- 漏水対策は次の手順で行うとしている。
 1. 漏水箇所の詳細調査を行い、その調査結果に基づき漏水箇所の土質断面、外水位、内水位などを決定する。
 2. 1の諸条件のもとで堤体並びに地盤の流線網、浸透圧、漏水量、パイピングおよび堤体の安定性などについて検討する。
 3. 2の検討結果に基づき新設堤防、既設堤防および堤防地盤に応じた漏水対策工を決定する。
 4. 施工後、漏水対策工の効果判定のために現地調査を実施する。

河川土工指針(案) 第8章:漏水対策

社団法人・日本河川協会 1976.3 非売品

- ①漏水調査 漏水対策のため第二次本調査に従い、次に示す精密調査を実施する。
 1. 既往の洪水記録, 被害状況ならびに築堤土質に関する資料調査及び聞き込み調査
 2. 試料採取および室内土質試験
 3. 原位置試験(現場透水試験および現場地下水位変動調査など)
- ②漏水箇所土質断面の作成 1/100の縮尺の土質縦断面図ならびに横断面図を作成する土質断面図の作成にあたっては、ボーリング試験, サウンディング試験, 土質試験それぞれの試験結果をまとめ、深さ方向に整理する。図9.19に土質断面図の一例を示す。
- ③水位の決定 漏水対策を検討する上での外水位と堤体水位を決定する。 1. 外水位は計画高水位とする。 2. 内水位は現地地下水位変動調査の結果に基づき堤内地の年間の平均水位とする。
- ④洪水継続時間の決定 洪水継続時間は長いとして、定常流を考慮に入れて透水対策を検討することを原則とする。安全側過ぎると判断される場合は不定流として取り扱うものとする(判断基準は不記載)。
- ⑤堤体の流線網の求め方 浸透水の流線網は必要に応じ次に示す方法により求める。 1. キャサグランデの半理論公式を用いて流線網を求める方法 2. 図解法により流線網を求める方法 3. 電気模型による実験から流線網を求める方法 4. 粘性流体模型から流線網を求める方法 5. 有限要素法を用いた浸透解析から流線網を求める方法 6. 大型模型実験から流線網を用いる方法 流線網を求める方法は(上記のように)種々の方法があるが、堤防が均一な場合は1及び2を利用して流線網を求めることが可能である。1～5の方法は、飽和浸透の基礎式がラプラスの方程式であることを前提とした方法である(不飽和浸透解析ではない)。
- ⑥漏水地盤内の浸透圧の求める方法 次に示すような方法により求めるものとする。 1. 理論解より浸透圧を求める方法 2. 電気模型による実験から浸透圧を求める方法 3. 有限要素法を用いた浸透解析から浸透圧を求める方法 堤防及び地盤条件が簡単な場合は、解析的方法により求めた理論解の事例が紹介されている。

河川土工指針(案) 第8章:漏水対策

社団法人・日本河川協会 1976.3 非売品

- ⑦漏水量の求め方 流線網及び浸透圧が求められれば各地点の漏水量 Q は, $Q=k \cdot i \cdot A$ で求められる. k は透水係数, i は動水勾配, A は透水断面積である.
- ⑧堤体の安定性の検討 堤体の安定性は, 式9.1の安定計算によって検討し, 安全率は1.25以上とする.
- ⑨クイックサンドに対する検討 地盤漏水において, 浸透水が堤防裏法尻の表層を突き破って土砂を洗い流し, 砂が噴き出すことがある. これをクイックサンドという. このような現象が生じる動水勾配を限界動水勾配 i_c といい, これを求めて堤内地法尻付近の砂の噴き出し現象に対する検討を行う.
- $i_c = h/z = (G_s - 1)/(1 + e)$ 9.6 ここで, h :水頭差, z :浸透経路長, G_s :砂の比重, e :間隙比 限界動水勾配は大体1に等しいが, 漏水対策としてはこの値が0.5程度を超えないよう処置することを原則とする. なお, コンクリートダム等ではクイックサンドの危険性をクリープ比というものをを用いているが, これはコンクリート等の不透水性構造物に沿う浸透に対して検討したものであるため, 堤防の場合にはクリープ比を用いた検討は行わないものとする.
- ⑩漏水対策工の選定 流線網, 浸透圧, 漏水量, 堤防の安定性, クイックサンド等に対する検討結果から次に示すような現象が起こる危険性が認められた場合には, これらの危険性を除くことを目的に漏水対策工を施すものとする. 1. 漏水により堤体の安全性が損なわれる危険性がある場合 2. 地盤漏水により堤内側法尻付近に砂の噴き出しが起こる危険性がある場合 3. 2の噴き出し現象に至らないまでも, 過度の地盤漏水により付近住民に甚だしい不安感を与える恐れのある場合 漏水対策工は後記する2)新設堤防, 3)既設堤防, 4)堤防地盤, に対する漏水対策工の中から, 堤防及び地盤条件に応じ選定する.
- ⑪漏水対策工の決定 選定した漏水対策工(2~3種)について, 次の項目について検討を加え, 最も好ましい漏水対策工を決定する. 1. 漏水対策工の止水効果 2. 漏水対策工の施工性とその確実性 3. 漏水対策工の経済性
- ⑫漏水対策工の効果判定のための現地調査 漏水対策工を施工した後に, その効果を確認するために現地調査を行うことが好ましい. 1. 実験的に求める方法・締切り堤を築造し, 湛水させて浸透実験を行い, 止水効果を判定する方法・ウェルポイントなどにより揚水試験を行い, 止水効果を判定する方法 2. 洪水時の観測による方法・観測穴に水位計を設置し, 洪水時の水位測定を行い, 止水効果を判定する方法

河川土工指針(案) 第8章:漏水対策

社団法人・日本河川協会 1976.3 非売品

- 2)新設堤防の漏水対策工
- 堤体材料として透水性のよい砂, 砂礫, 礫交じり山土を使用する場合は, 均質堤防を避け, 必要に応じて次に示すような漏水対策を考えた新設堤防を築造する. ①築堤材料と築堤断面の決定 川表側あるいは中心部を粘土質の材料でつくる. ②覆土, 止水壁の施工のり面を不透水性の土, コンクリートスラブ, アスファルトスラブ, 石張などの水密性の材料で覆うものである. 不透水性の土は植生が繁茂するよう30cm以上の厚さで被覆する必要がある. コンクリートスラブは堤体変形すると空洞ができるので維持管理に十分注意する. アスファルトスラブは薄いものでは数年間で風化し, また雑草がこれを破って生えることから30~40cmの厚さを持たせるとか, その下に十分な厚さの粘土を張る等の配慮が必要である.
- 3)既設堤防の漏水対策工
- 既設堤防に漏水箇所が判明した場合は, 必要に応じ次のような対策工を施す. ①堤防断面の増大 既設堤防に腹付けや小段を設けて浸透経路長を長くして漏水を防止する. ②止水壁の施工 止水壁には以下に示すものがある. ・鋼矢板による方法 ・粘土壁による方法 矢板を利用した粘土置換工法, スラリトレンチ工法による方法がある. ・薬液注入による方法 ・止水膜による方法 ビニール膜による方法である. ③法覆工の施工 不透水性の土, コンクリートスラブ, アスファルトスラブ, 石張で覆うものである. ④裏法尻付近の補強 漏水箇所の裏のりに空石積み, 空石張り等を施工して, 排水を良好ならしめると同時にのり面の保護を行う.
- 4)堤防地盤の漏水対策工
- 堤防地盤の漏水対策工には各種の工法があり, 地盤条件, 透水層の厚さ, 広がりに応じて最も適切な工法を選択, 施工するものとする.
- ①止水壁を設置する方法 鋼矢板工, コンクリート矢板工, シートウォール工, 粘土壁工, コンクリート壁工, 薬剤注入工, 止水膜工が紹介されている. 鋼矢板工については土木研究所の山村和也の研究成果が取り入れられており, 浸透流量を50%抑えるには, 止水壁は浸透層厚の80~90%を貫入させる必要がある. したがって浸透圧及び漏水量の検討を行い(検討法が提示されている), その効果を確かめてから施工する. 粘土壁やコンクリート壁は我が国で施工された例がない. スラリトレンチ工法は外国でフィルダムの止水対策として連続壁を作った例がある. 砂地盤に溝を掘削し, これに掘削した土砂とベントナイトをセメントと混合したものを埋め戻して止水壁を作る試みがなされており, 止水効果があり確実な工法であると報告されている. 薬注などは作業が容易であるという利点を持つが, 止水効果の面で不明な点が多い. ビニール膜などによる止水工法は止水効果があるが, 作業が非常に困難であり, 耐久性についての検討も必要である.

河川土工指針(案) 第8章:漏水対策

社団法人・日本河川協会 1976.3 非売品

- 4) 堤防地盤の漏水対策工
- ①止水壁を設置する方法 鋼矢板工, コンクリート矢板工, シートウォール工, 粘土壁工, コンクリート壁工, 薬剤注入工, 止水膜工が紹介されている. 鋼矢板工については土木研究所の山村和也の研究成果が取り入れられており, 浸透流量を50%抑えるには, 止水壁は浸透層厚の80~90%を貫入させる必要がある. したがって浸透圧及び漏水量の検討を行い(検討法が提示されている), その効果を確かめてから施工する. 粘土壁やコンクリート壁は我が国で施工された例がない. スラリートレンチ工法は外国でフィルダムの止水対策として連続壁を作った例がある. 砂地盤に溝を掘削し, これに掘削した土砂とベントナイトをセメントと混合したものを埋め戻して止水壁を作る試みがなされており, 止水効果があり確実な工法であると報告されている. 薬注などは作業が容易であるという利点を持つが, 止水効果の面で不明な点が多い. ビニール膜などによる止水工法は止水効果があるが, 作業が非常に困難であり, 耐久性についての検討も必要である.
- ②堤防敷を拡幅する方法.
- ③ブランケットによる工法 図9.20のように堤外地に不透水性の土やアスファルトなどを用いて表面を被覆する方法である. ブランケットの効果についての評価法について記載している.
- ④押え盛土を設置する方法 裏法付近の砂の噴き出しを防止するために, 裏法付近に押え盛土を設置するものである. 限界動水勾配が0.5を超えないように設計する. 表土が比較的薄い場合かまたはない場合に有効である. 押え盛土は透水性の材料と不透水性の材料を用いる場合があるが, 一般に透水性の材料によって作られた排水の良い押え盛土が良好である. 押え盛土の排水をよくするために押え盛土の底をフィルター材料と砂利で作し, なかに集水管を入れ, 特別な排水構造とすることもある. 図9.21にその一例を示す.
- ⑤排水井戸, 排水溝を施工する方法 透水層内の浸透水を特別に設計された井戸や溝から排水することにより, 透水層内の水頭を減少させ, パイピングやクイックサンド現象を防止するものである. 排水井戸(リリーフウェル)及び排水溝の一例を図9.22, 図9.23に示す.
- 5) 堤防法先付近の補強 堤防法先の補強は, ・堤防法先の高水敷の表土が流れによって洗堀され透水層が現れたとき ・堤防表法先付近で土取りを行い, 透水層を露出させたり不透水層の表土を薄くしたとき ・堤防裏法先付近で土取を行い, 透水層を露出させたり, 表土を薄くしたとき により漏水が誘発され, 激化するのを防止するために行う. 補強工法としては, 表法先付近に水制を設け, 洗堀を防止すると同時に土砂を堆積させる工法と埋戻し工法がある.

河川土工指針(案) 第9章:法覆工及び堤脚保護工 第12章:維持修繕 社団法人・日本河川協会 1976.3 非売品

- 法覆工および堤脚保護工(第9章) いわゆる堤防のり面保護工である芝付工, 法覆工, 法留工, 根固め工, 堤脚保護工についての工法の概要, 機能, 構造等について説明している. 工法選択は鋼矢板の設計を除き, 経験主義的な設置対象場の分類に基づくもので, 力学的合理性を持つものでない. 省略する.
- 維持修繕(第12章). 第12章は「概説」「天端及び小段」「土羽」「堤体」「高水敷」「低水路」「護岸」「堤防側帯」「堤防坂路及び管理用通路」「排水施設」「距離標・用地境界杭・表示板等」「樹木」の12節からなる. ここでは概説についてのみとりあげる.
- 1) 概説 河川管理施設及び敷地等が治水上の機能を発揮できるためには, 維持修繕は常に洪水時における状態を仮定して行う必要がある. しかし洪水時における外力, 例えば掃流力や浸透水による影響力は, 普段の状態では想像もつかないほど飛躍的に増大し, 土構造物の安全性を問うが, その上河状そのものが施設の構築後において変化し流況が激変している場合が多く, 個々の場所において洪水の持つ破壊力を量的に的確に把握することはなかなか難しい. これを支える堤防等の土構造物も, 従来施工時の条件により現地材料をそのまま使用して構築したり, 高水敷も現状のままほとんど手を加えず存置し均質性を欠いているのが実情である. また築造後, 堤防が堤防等が古くなり雨水や川水の浸透流や漏水により微粒子が流出して空隙を生じたり, 埋設樋管や兼用道路からの影響によって空隙やひび割れが起き, あるいはまた野ネズミ・モグラの巣窟となる塵芥が捨てられて土羽が痛んだり, 堤防等の強度や耐久性が低下している場合も考えられる. こうしたことから日常における維持修繕は極めて重要な役割を持つ. 洪水時の水防活動も緊急時におけるもっとも重要な維持修繕作業として不可欠のものである. 維持修繕は大別して, 図9.24に示すように常時におけるものと異常時すなわち洪水時または地震時におけるものに区別することができる. また, 維持修繕はしばしば維持的なものと修繕的なもの区別して取り扱うことがある.
- なお, 解説の「附記」において市町村が第一義的に事務を担う水防の問題点について, 以下のことを触れている.
- ・地域の都市化が進み連帯感が薄れ, 農村部では過疎化が進んで人手や水防施設が不足し, 緊急時の水防体制が取りにくくなってきている. 小型機械利用による省力化等について対策を考える必要がある.
- ・危険個所の状況や水防機材の備蓄状況については, 水防団体は毎年出水期前の河川管理者の立ち合いを得て実地に点検または確認しておくことが望ましい.
- ・予想される危険個所については, 水防緊急時において土取場, 進入路等を確保し, その個所に適した工法や作業について図上での演習を実施しておくが良い.
- ・従来使用してきた水防資材で市場で求められなくなっているものも多いので, 省力化と併せてこれに代わる資材や動力機械による新しい水防工法を開発していく必要がある.
- ・現地において水防団を指揮する者の技術の低下が心配されているので, 定期的な研修を行うことによって指揮者の質の向上と人員の確保に努める必要がある.

河川土工指針(案)

社団法人・日本河川協会 1976.3 非売品

- ・・本書は、同年発刊された「**河川砂防技術基準(案)**」計画編，調査編において欠けていた河川土工に関わる全てが記述されていた。堤防・漏水対策工・軟弱地盤対策の設計，土構造物の維持修繕をも含むものであった。戦後の直轄工事における経験，その後の民間請負化に伴う積算根拠，施工管理，検査に関するノウハウ，及び土質工学に関する学的成果，土木研究所における堤防に関する調査研究成果を取り入れた斬新的なものであったが，現場の堤防工法とその施工管理の実態を知る工事担当技術者と最新の土質工学的知見を取り入れて力学設計体系の構築を目指す研究者との同意・了解が十分になされていないところも見える。
- 当時の社会状況，自然条件(地方ごとの自然地理条件)の差異，技術の分業化(工務課，調査課の意識差)を反映し，十分な調整がとれなかったと言えよう。記述文章も十分な校閲がなされず誤記や文章が練れていない箇所もみえる。短い検討期間で作成されたものであろう。
- 法令，基準，指針は強制力のあるものであり，権力機関(国)が認証すれば，河川管理行為を縛るのである。「河川土工指針(案)」は，国(河川局)として正式に使用せよと通牒されなかったが，堤防工事にとって必要な技術情報であり，河川管理に携わる技術官の技術資料として使用された。**本指針(案)は，平成時代の堤防技術論を先取りしていたのであり，技術史上見逃せないもの**であるといえる。

参考 洪水応答から見た「設計技術」のカバー範囲(私見)

