

堤防の質的強化と越水対策の方向性

はじめに(本日の発表スタンス)

1. 質的強化の流れ
2. 堤防のモデル化と力学定数
(モデル化、定数:透水性係数, 土の強度)
3. 堤防技術
 - ・「今後の治水理念」に関して
4. 質的強化の方向性
5. 超過洪水への対応

2010. 2. 8.

宇野 尚雄 (Uno Takao)

治水の根幹たる堤防は、ダムに関係なく、次の役割を持つべき。

- A. 質的強化の完成へ
- B. 耐越水など堤防技術の確立・蓄積へ

「治水対策・理念」全般への意見:

1. 河川局外の関与の必要性
策の実現合議する関係組織化?
流域性特性化?(地方分権ではない)
2. 実現性は重要であるが、各立場の怠慢(義務を無視し易い)を防ぐべき目標と見通しを付した提言?

本日の発表スタンス

(1)「ダムにできるだけ頼らない治水対策のあり方」を考えるためには、治水安全度のような数値指標が、ダムと各種代替え施設の全てに定義できるだろうか？ 委員会目標の「評価軸」？

個別ダムの検証に際する規準は、「該当する河川堤防の補強費用・執行性」に準拠

(2)「堤防」が「ダム」の代替え案になるかと問われているが、両者は目的が異なることを第1に指摘する。第2に建設経緯が全く異なる。第3に該当する河川の堤防特性(堤体と地盤)により堤防補強費用と事業執行性が影響する。

(河川局が少ない投資であった「河川堤防の強化策」は遅れていた。堤防には地盤工学技術者が必要である。治水の根幹施設の堤防技術の開発と蓄積に研究投資が不可欠である。ダムが受持っていた貯留水の放流有無の差による洪水位負担が、堤防に懸る水位増分であるから「嵩上げ強化策の是非」判断になる。流域によって対応できるケースとできないケースが生じるため、一律的な評価は信頼性を欠く。)

(3)ダムの治水効果は豪雨域がダムの集水域にあるとき発揮する。堤防が代替えになるか否かは、豪雨域とダム放水操作で決まる外水位増分への抵抗力強化の可能性に依存する。(ダム不要論がある現在、ダムの役割を治水以外の貢献でも回顧した上でダム評価すべきだと考える。)

河川堤防の役割

(前提) 河川堤防には、独自の強化戦略が必要である。直接的に地域を守る施設であることを認識すべきである。

(代替え策) ダムの(放流)有無による、洪水時の河川水位に生じる上昇差に対応する「嵩上げ」などの強化で対応する策？

(ダムの建設により堤防強化は必要がなくなる論理はない、と認識する。)

1. 堤防の質的強化

(1) 質的強化工法の推進

(2) 代替え策としては、「嵩上げ」を伴う強化の推進

2. 超過洪水への対応(方向性)

(1) 「HWLから天端面」まで活用期す手段(余裕高の確保) (表法面遮水工が前提)

(2) 越水に強い堤防の技術開発へ戦略的プロジェクト推進

(視点)

- ① 堤防の「嵩上げ」は必要な堤防幅(敷地)を取りうるかの「事業執行性」に強く影響される。執行可能な、必要箇所では嵩上げはできる。
- ② 超過洪水への余裕高分の上昇水位は形式的に可能に見えるが、計画的に余裕高を利用できない。嵩上げ量が余裕高より小さくても、それだけ余裕高は減る。
- ③ 越水に強い堤防は、技術的に困難な上に社会的経済的に実現性が少ない：実施箇所の選定、困難な住民合意など。

1. 質的強化の流れ(構造令・指針など)

○昭和50年代から「総合治水」

- * 河道分担「流す施設」(河道・放水路等) * 調節地分担「ためる施設」(遊水・浸透施設等)
- 12年 改訂解説・河川管理施設等構造令公布

○平成12～14年 「河川堤防設計指針」「構造の手引き」

- * 概略点検と詳細点検 * 豪雨・照査業務(H16～21年度) * 耐震・照査業務(L2レベルH19年度～)
- 堤防に求められる安全に関わる機能を耐侵食機能、耐浸透機能、耐震機能と規定した

○平成16年 質的整備Guide Line

- * 強化工法の選定基準 * モニタリングの推進: 目視と計測(効果確認)
- * 概略点検とモニタリング技術の向上

直列でなく並列で安全性向上を!

河川堤防の特性?

一点が切ればその地域が被災する!

①(堤体の土質)築堤履歴、土質構成が河川・地点ごと複雑。

②(地盤の土質)地盤構成は乱れた地層を構成、その推定モデル。

③(多い漏水)遮水機能を要求される堤防の漏水は、堤体土質の濃みをも助長するため避けるべき現象で、(堤体で)表法面側の拡幅・護岸・浸透防止ゾーンの設定および(地盤透水層で)表側の止水矢板工法が戦後多く施工された。

堤防設計の考え方と現状の位置づけ

1. 堤防設計の考え方

平成9年の「新版改訂河川砂防技術基準・同解説」から、次のような大きな特徴が見られ、「経験」から「工学」へ 脱皮が図られている。

(1) **形状規定から性能規定へ**：均一堤防から複合型堤防へ
：性能設計・機能設計

(2) 機能別外力設定の基準化：耐**侵食**、耐**浸透**、耐**震**の各機能

(3) 機能照査と機能別安全度の評価法を規定化

(4) 河川毎の最適化設計(地形、周辺資産、河相等の考慮)

(5) 形状の自由化(堤防の**安全性と環境への配慮**)

(参考) 中島秀雄：河川堤防技術の変遷、河川、2004-1月号、pp.17~28、2004.

2. 堤防照査の位置づけ

(1) 指針のあり方

- ・「経験」から「工学」へ移行して数年のところ。
- ・真の被災原因改善に向かった、管理体制を考慮したものになっているか。
- ・河川堤防の性能・機能目標は正しく把握できているか。

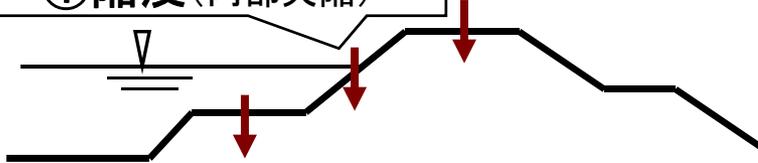
(2) 堤防の現状

- ・H16~H21で照査が終える段階：成果の活用。
- ・照査精度の違いはあるが、全国の一定の概要評価ができたところ。
- ・**「災害原因の徹底究明」**に基づいた対策の展開へ。

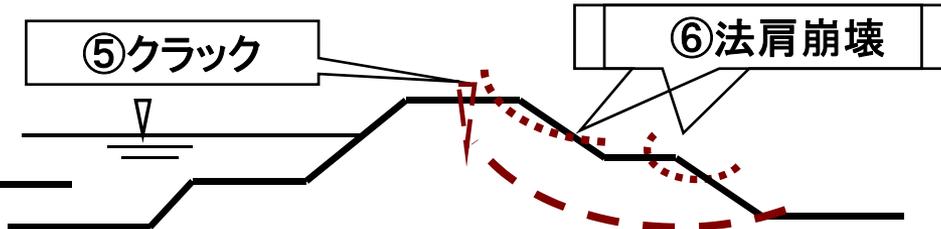
河川堤防の被災形態(例)

1点でも被災させないために！

① 陥没 (内部欠陥)



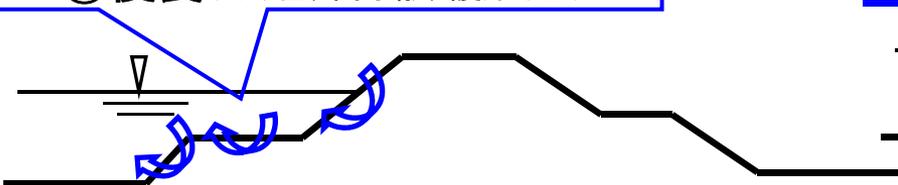
⑤ クラック



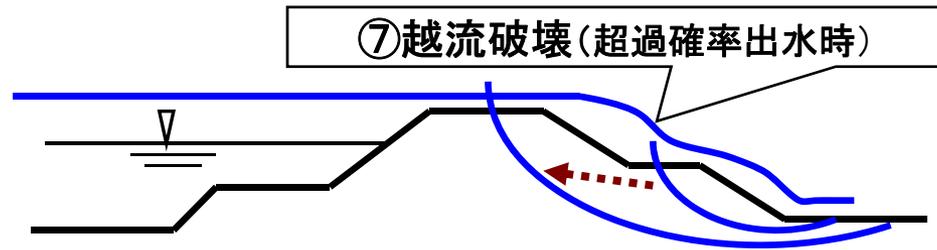
⑥ 法肩崩壊



② 侵食 (のり面, 高水敷, 護岸など)



⑦ 越流破壊 (超過確率出水時)

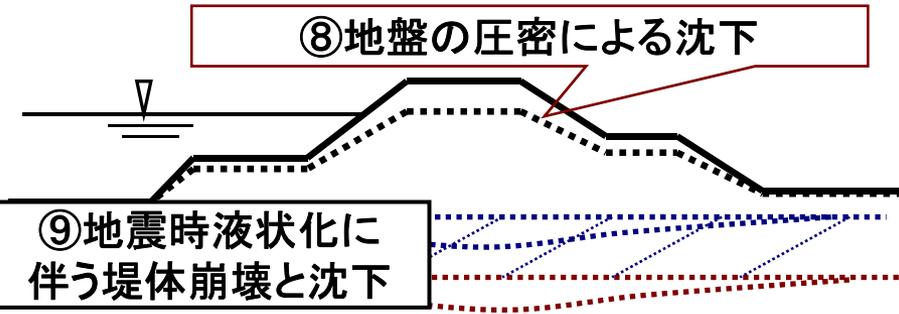


(浸透による破壊)

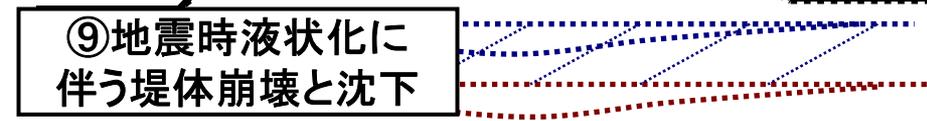
③ パイピング破壊



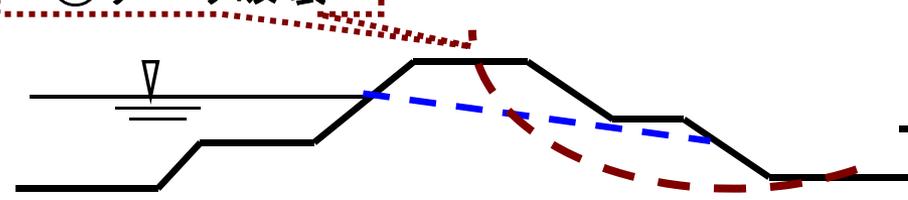
⑧ 地盤の圧密による沈下



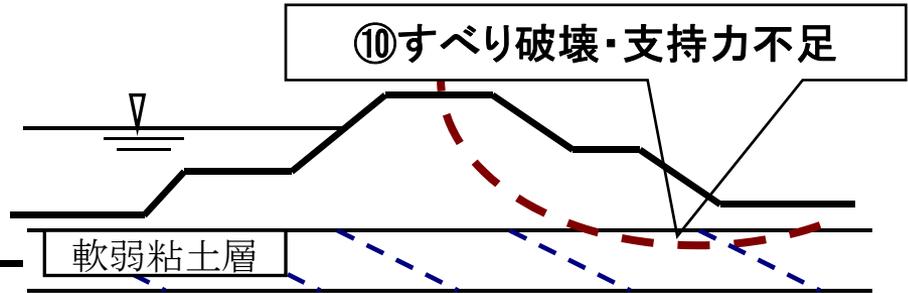
⑨ 地震時液状化に伴う堤体崩壊と沈下



④ すべり破壊



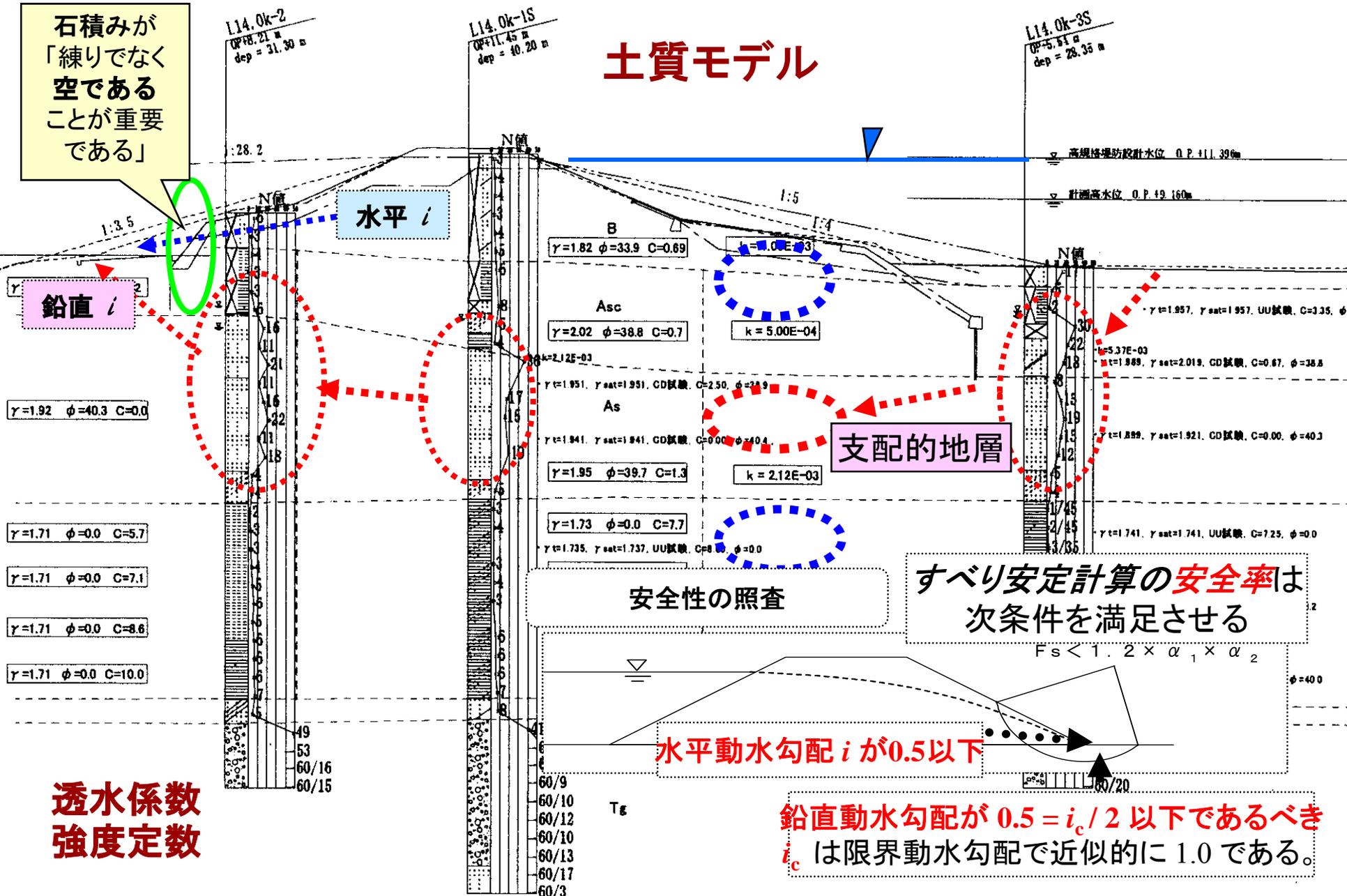
⑩ すべり破壊・支持力不足



2. 堤防のモデル化と力学定数

石積み「練りでなく空であることが重要である」

土質モデル

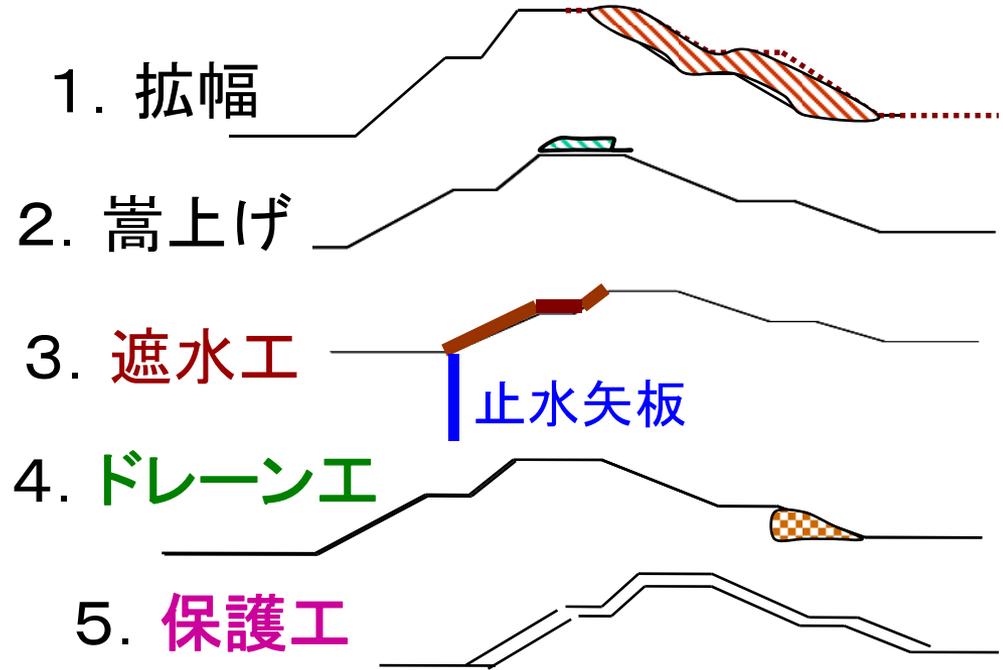


透水係数
強度定数

鉛直動水勾配が $0.5 = i_c / 2$ 以下であるべき
 i_c は限界動水勾配で近似的に 1.0 である。

強化工法の基本

1. **拡幅** (裏へ拡幅するとき、土質は本堤の土質より高い透水性に！)
2. **嵩上げ**
3. **遮水工法** (表のり面)
表法先・**止水矢板**
4. 裏のり面**ドレーン工法**
5. 天端舗装等の**保護工**



円山川堤防の強化管理方針

越流の抑制・・・河道水位の低減

河道制御、橋梁部や堰の改善、
遊水地整備(越水堤防工法の開発)

浸透対策

堤防整備、堤防強化

堤防高さ管理の充実

計測、情報共有システム、ソフト対策

多い中小河川災害の特徴！

1. 堤高管理の徹底

- 1)堤体の圧縮沈下や減少した筈の**地盤沈下**等の影響で不揃いを解消させる、
- 2)**GISとかGPS等の計測技術**を駆使した区間の管理体制整備、

2. 解析による洪水位と侵食流速の照査

- 1)河道環境変化に適応した洪水位推定と堤防に沿う流速(特に、水衝部で)の精査、
- 2) **橋脚で蓄積したゴミ・流木**によるBack Waterによる洪水位上昇と逆流の流速の精査、
- 3)流域の開発等による流出率変化に適応した洪水流解析の実施。

3. HWLで抵抗できる豪雨・洪水

- 1)堤防が守るべき外水位の明確化(他の治水施設の影響込めて)、
- 2)流域により考慮される**豪雨パターン2~3種類**に対応した**洪水位の照査**、
- 3)短時間の豪雨を計画にどう取り込むか→→雨域の観測・速報・活用体制の整備

4. 流域河川の堤防の治水安全度？

- 1)行政の対応限度の明確化とその広報(**河川整備の遅れ**)？
- 2)住民が自助できる避難システムのための情報提供(地域・行政から)、
- 3)地域の洪水流域特性の学習・広報による共助の推進。

豪雨・照査成果の見込み

意義：堤防設計指針(H14年)後、全国的な初の豪雨照査で、耐震照査(H19~)が追跡照査。**総合的対策へ。**

成果：豪雨照査では、全国約1万km中の約4割が基準の安全性を満たさない。

①弱部の絞り込み要請、②多いドレーン対策区間、③豪雨浸透の影響を受け易い天端・のり面対策(舗装など)などが浮上。④安価な対策工が要請され、技術開発に期待がかかる現状。

超過豪雨・洪水への対応

(A) 局部集中型豪雨への対応

A 1. 豪雨・洪水の予測体制整備と活用
流域・地域特性、事前情報の周知・活用、
関連施設の有効活用、・・・

A 2. 超過洪水への堤防強化の方向性

(復興し易い体制づくり)

「減災」の方向性、越水に強い堤防要因の付加、
ある限度以下の氾濫許容できるハード施設、・・・

A 3. 地域社会構成に適応した避難体制
異邦人的な日本の地域社会への対応、・・・

(B) 洪水の抑制策(流域・地域特性の反映)

B 1. 土地利用の制限・・・法的措置、責任体制の明示、

B 2. 地域開発が脅かす治水要因の軽減 (除去)

・・・長期にわたる、・・・

3. 期待される堤防技術

1. 堤防に関する2原則

1) 土堤原則、2) 速やかに堤内浸透水を抜く。

2. 技術各論

1) 堤体土質モデル(k 、 c 、 ϕ)構成評価の技術

モデル断面条件、各土層の力学定数、

2) 雨水浸透制御法：護岸、遮水シート、天端舗装

各種遮水工法、とくに天端舗装の効果、各種シートの効果、

3) 裏法尻部のパイピング制御法(各種ドレーン工)

ドレーン工の効果判定技術、

4) 豪雨洪水と地震を総合した対策技術整理

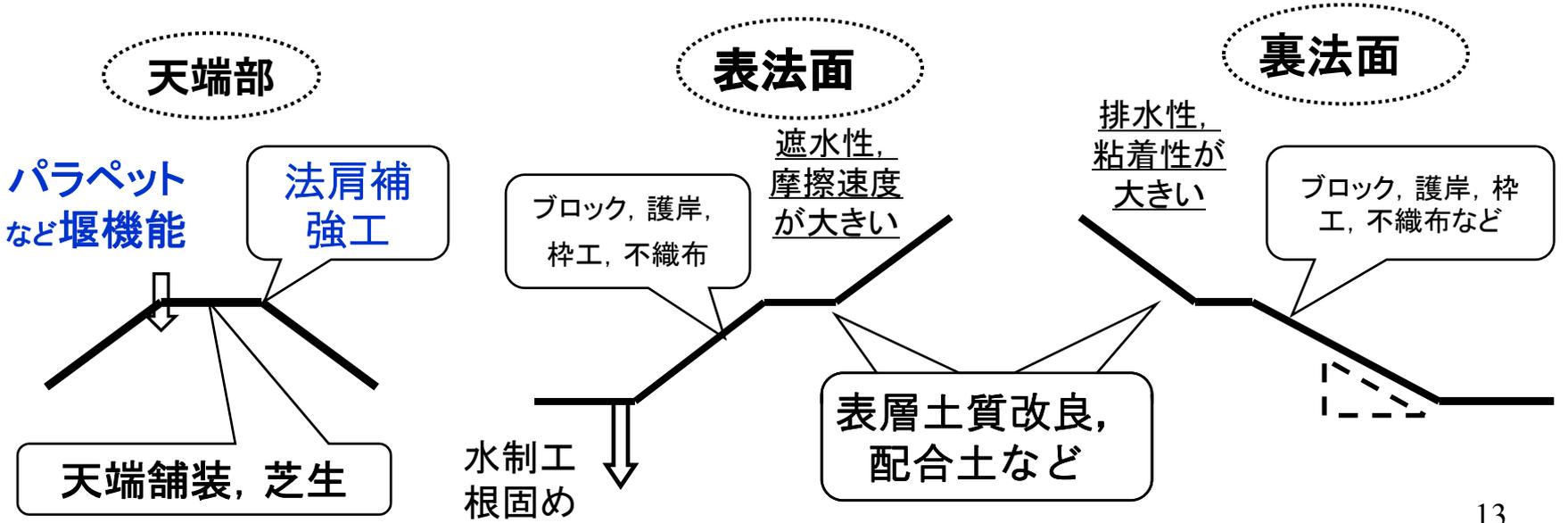
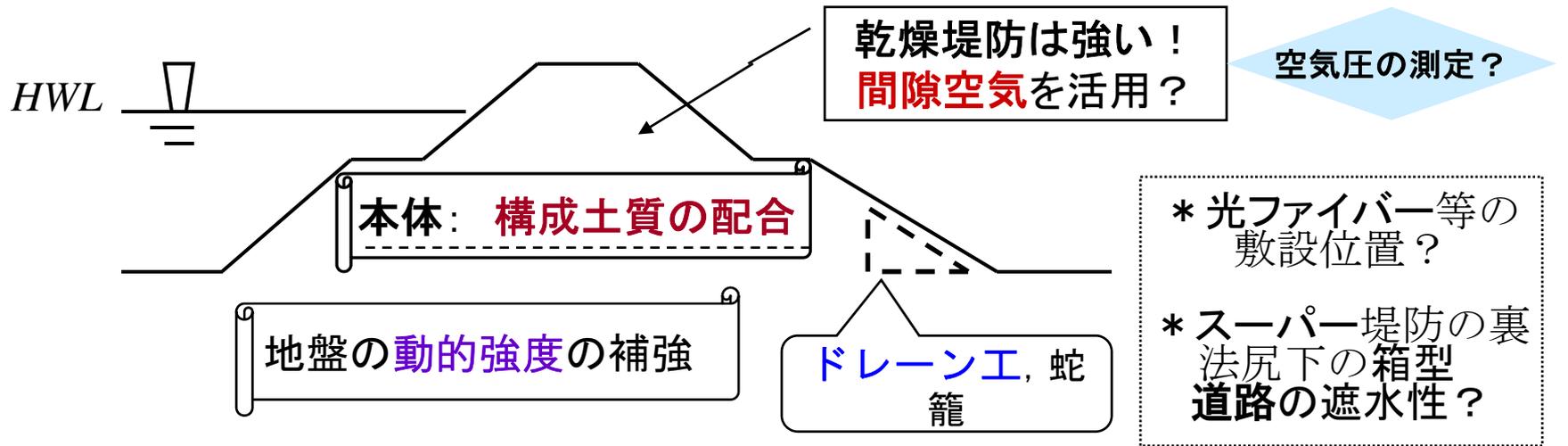
両者の照査済みの箇所^の総合対策工・効率化

5) 新技術の開発

越水に強い技術工、肩部・法尻部などの湾曲化、ソイルセメント・シート・アスファルトなど異種材料？

堤防部位の補強

(' 08.4.10.リバーテクノ研究会講演資料・再掲)



堤防技術（国交省は寂しい開発体制！）

堤防の管理体制整備

- ① **信頼できるシステム**（役割明確で，工法効果確認），
- ② **技術レベル**の昂揚（各種資料の活用、資料公開）

水に強い堤防をつくる

- ① **新構造**部位（緊急時のモバイル：可動性，剛・柔構造選択），
- ② **弱部は構造的不連続部**（異種材料接点，形状激変部，附帯物），
- ③ 水に強い土質材料へ（補強土・**材料**開発）：「連続性」・なじみ，
- ④ **間隙空気**の活用（不飽和特性の利用）。

地盤調査・探査技術

地盤・堤体**内部の構成情報**を高精度で探査する技法。

4. 超過洪水への対応について

「**侵食**」:①河水流速の制御

「**浸透**」:H14.7手引き ①法尻動水勾配、
②堤体のすべり安全率、の2点制御

「**地震・耐震性**」:H19.3レベル2照査指針
地盤の液状化による沈下 制御が基本

「**越水**」: 破堤原因の7~8割を占める

中小河川で発生が多い

「**越水**」の場合は破堤に至ることが多い。

→ **超過豪雨・洪水への対処が
耐越水堤防が要請される**

越水による破壊形式(実験・研究)の傾向:

①堤体内浸透を伴わない

- (a)天端からガリ状に侵食(砂質土系),
- (b)裏法面の中下段部からの侵食
(粘性土系),

②堤体内浸透を伴う裏法面の侵食 (砂質土系):終局的に すべり破壊へ。

* **越水の特徴** (末次忠司: 堤防からの越流水及び氾濫流の特性、地下水地盤環境に関するシンポジウム2006
発表論文集、H18年11月、pp.152~155. 参照)

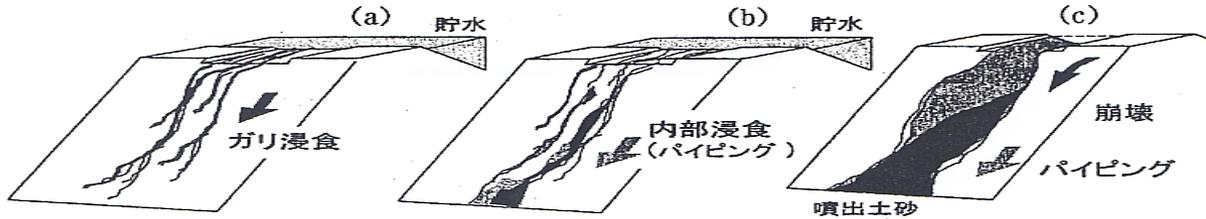
- ①**(越流水深の平準化)**越流量が増えると水深より越水区間が長くなる。
- ②**越水深**は最大50cm前後である。
- ③**越水継続時間**は越水深と反比例の関係にある(後述の「時間」~「水深」図)。
- ④河床勾配が大きいほど斜め越流する。

越水破壊の状況

- ①天端のガリ侵食、
- ②裏法尻部の侵食・洗掘、
- ③異種材料(護岸など)との接合部が弱点になる傾向。

越水堤防の破壊メカニズム

木村らによる破壊現象



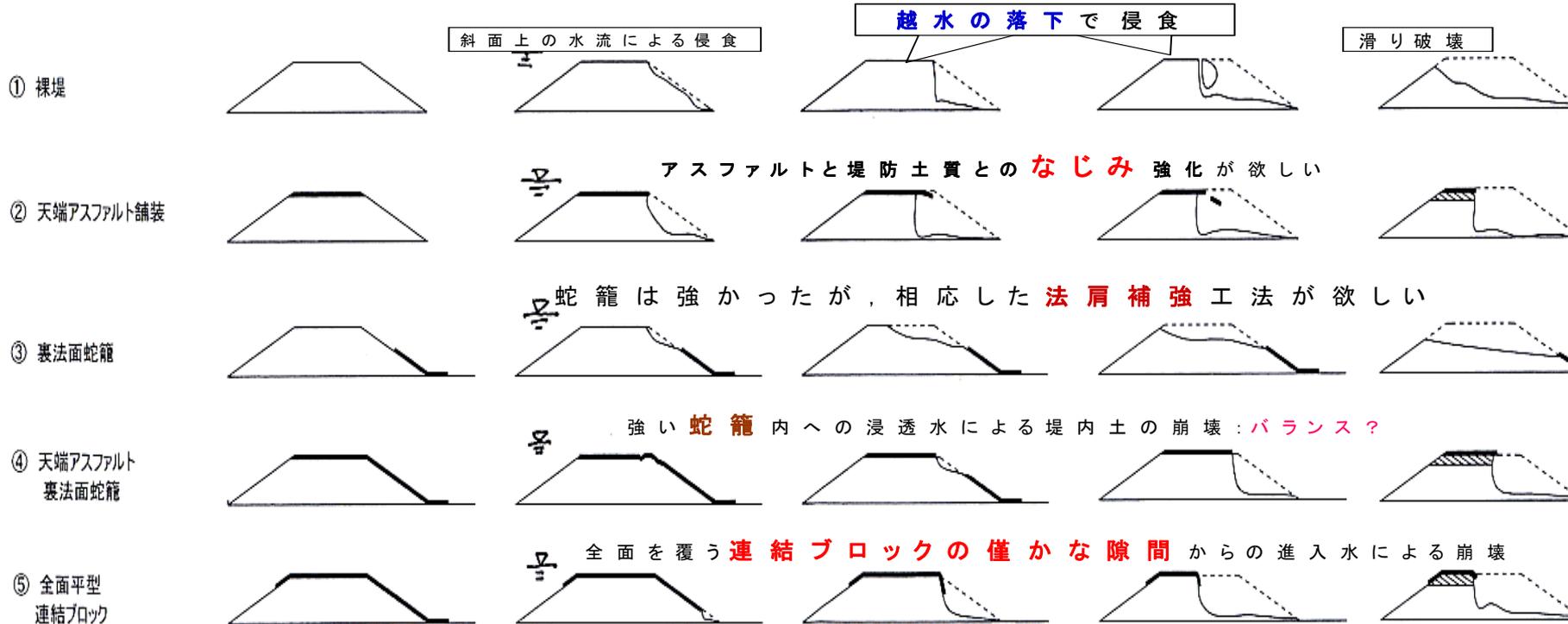
斜面上の水流による堤体土の侵食

基本的形態：
階段状の
洗掘現象
(泉による
下流端から
発生理論)

土木研究所で実験された約36ケースから見た破壊過程：5種

耐水工法の視点

補強部材との接続・つながりの弱点化を防ぐこと！



越流水の集中箇所は法肩と法尻

法肩を丸めたら？
法尻も丸めたら？

表 3. 1 実験条件

実験	裏法勾配	越流水深	単位幅越流量 (l/s/m)	n	相当粗度 K_s
Case 1-10	1割	10 cm	45	0.0065	滑面
Case 1-20	1割	20 cm	130		
Case 2-10	2割	10 cm	45	0.009	0.014 cm
Case 2-20	2割	20 cm	130		

- * 越流水深は天端の上流端での水深
- * n はマンニングの粗度係数(対数則から求めたもの)
- * K_s は流速分布の測定から求めたもの

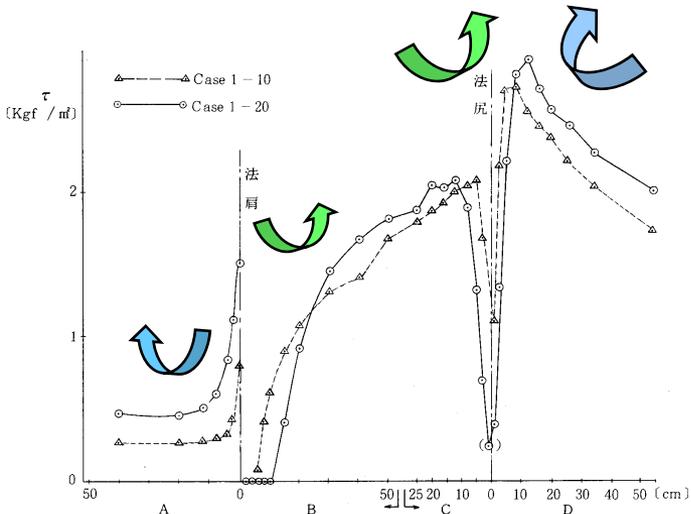


図 3.7 (a) セン断力の縦断分布図 (1割勾配)

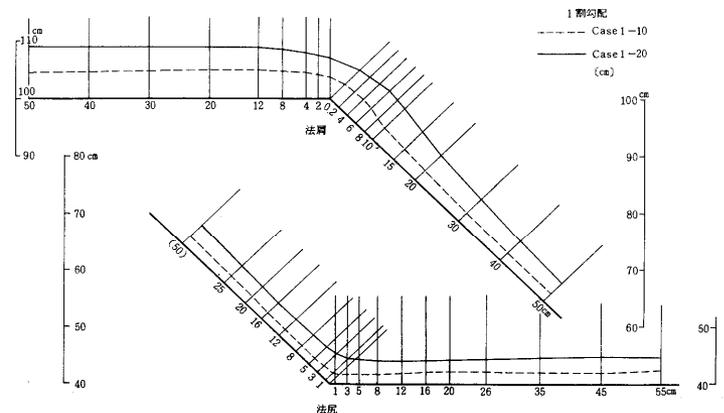
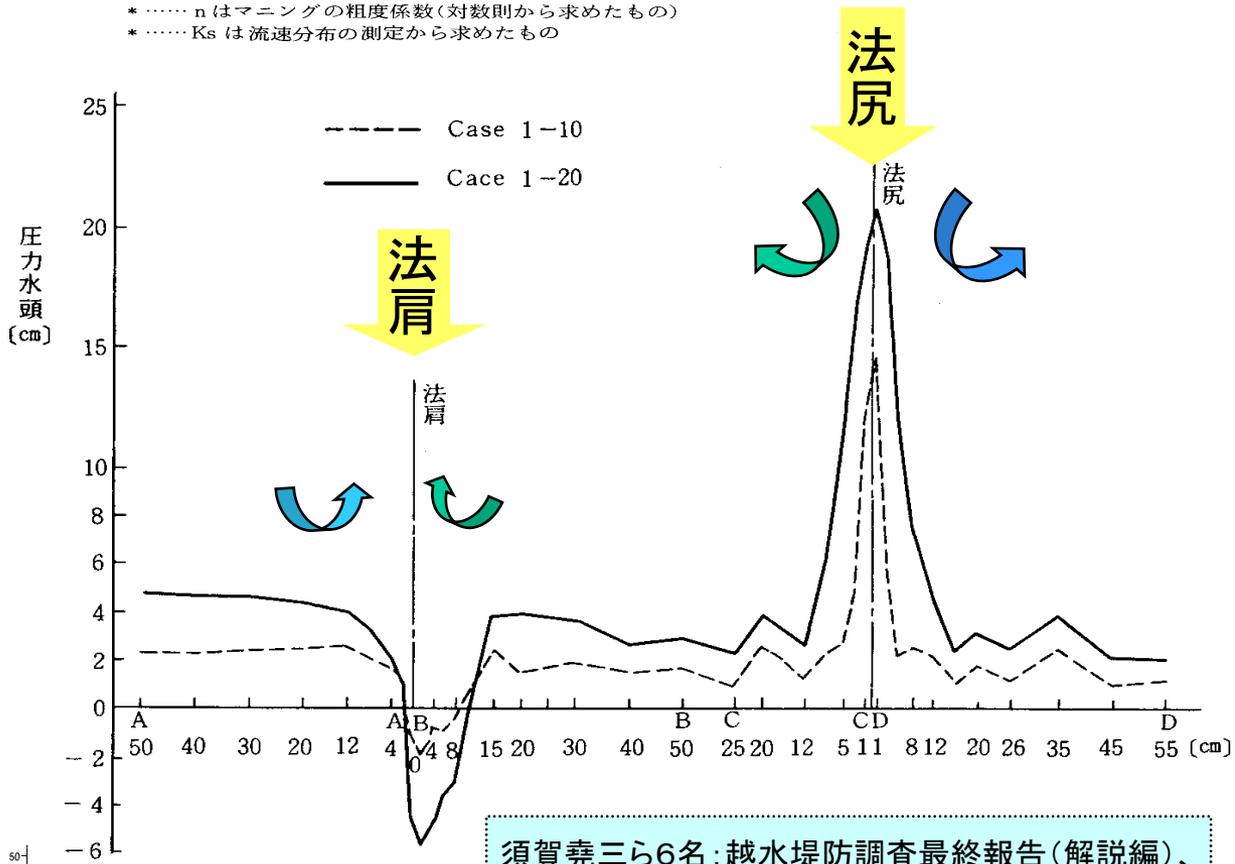


図3.2 水面形縦断図



須賀堯三ら6名: 越水堤防調査最終報告(解説編)、
土木研究所資料、第2074号、昭和59年3月。

図 3.5 (a) 底面水圧縦断図 (1割勾配)

越水に強い堤防要因の強化へ

越水し易い箇所

1. 洪水位に対して堤防高さが低い所
 - 1) 整備途上, 2) 沈下 (地盤含め), 3) 道路取付け部, など
2. 狭窄部の上流側
3. 本支川の合流点
4. 河床勾配の変化点 (とくに緩くなる所)
5. 湾曲部の外岸側堤防
6. 橋梁・堰の上流部側

暫定的措置として実施中？：

- ① 嵩上げ完成までの応急的処置、
- ② 超過確率発生時の越流への行政対応 (異常出水制御、発生箇所の限定化、減災方法の検討)、
- ③ 耐越水堤防の要因を付加した堤防、
などが図られている現状にある。

越水に強い堤防の要因 (末次による)

- ① 「天端幅 / 越水深」が大きい、
- ② 堤防表面の土質が細粒土のとき (別途、空気抜き孔)、
- ③ 天端舗装がある (雨水浸透防止にも効果)、 など
(破堤率(287サンプル)は、「舗装なし」59%、「舗装あり」25%)
- ④ (番外) 「水防活動がある堤防」・・・「土嚢積み」など応急措置による効果

5. どうする？ 思考段階の話題として

堤防の努力目標(仮説): ‘一定レベルの安全性’を持たせる前提で

- ・河川、地点、堤防規模等による効果的な強化対策を選択できる方法
- ・中小河川に多い豪雨集中災害に適応した対策の選択など

(a) 地点による重要度に応じた3～4ランクに分類した堤防を新しく設定する。 例えば、次のスライドで、…

(b) 堤防の構造的な部分設計に、新しい強化対策の積極的推進を認める。 例えば、後のスライドで、…

(c) 経験・慣例から脱却して、ゾーン型堤防の設定も学識経験者を含めた委員会で検討・試行を認める。

これらの推進できる組織作り？

(流域圏・行政官・専門家・法律家)人数比率：4:3:2:1?

(a)-A 堤防機能を死守する特殊区間A設定案

特殊区間A:

1. 都市周辺の大河川の堤防区間
2. 通過する鉄道・道路・地下暗渠と交錯する地点を含む区間
3. 人口密度が高く、公共財も多く被災リスクが大きい区間
4. 歴史的文化的に重要な公共構造物のある区間
5. 復旧が極めて困難な区間

- これらは越水させてはならない堤防である！
換言すると、
- 万一越水しても耐えうる特殊な区間とすべき。

(a)-B 越水してもある堤高に維持するB区間設定

大河川では困難であるから、中小河川堤防(B区間)設定で、
(1)従来方式の堤防、(2)モバイル堤防(堤高を簡便な携帯設置しても良い可動性工法により守る堤防)、(3)越水した堤防をある堤高に維持できるように開発された特殊堤防、に分類するなど。

越水が許容される区間(地域の許容判断が必要:非常に困難な現実)

1. 遊水池がある区間
2. 田畑主体で損害補償可能な区間
3. 越水した氾濫水が地域の人命・資産に大きい被害を与えない区間
4. 越水の氾濫流による資産破壊や湛水位が小さく湛水期間が短く、被害が少ない区間

Keywords: 氾濫許容域、氾濫水位、短い氾濫期間、低いリスク

(b) 新しい対策工の積極的推進

官学民一体となった対策プロジェクトを推進したい。

(1) 遮水シート補強

従来のHWLまでの護岸に止まらず、HWLから天端までの表法面の遮水工。
治水施設(堤防・フィルダム・ため池)に無かった本題は、HWLまでのときに較べ
安全性低下量の幅に応じた対策が必要になろう。

(2) 天端舗装工・法面被覆工法

豪雨浸透の影響を排除するためアスファルトなど不透水性舗装の推進。
法面の被覆工についても技術的に確立すべき。

(3) ドレーン工

照査結果で期待が多いドレーン工は「空石積み」が古くは多かった。蛇籠や碎石
を法尻に設定するドレーン工・吸い出し防止材に対して、新しく検討され始めたパ
イプドレーン工(JR盛土例)などの安価な工法。

これらの積極的な推進環境づくりが必要である。

(c) 経験・慣例からの脱却

「土堤原則」は長い歴史的経緯の中で安価な材料として活用された。しかし、地球温暖化の影響による豪雨の増加予測は厳しく、堤防を維持・強化するためには、その原則を安易に捨てるのではなく、その精神を生かして効果的な新材料の利活用の研究を含めて新展開を図る必要性がある。

2, 3の例:

- 1) **ゾーン型土質構成**の堤防構造(**フィルダム**に学ぶ点)
 - 2) 一時的に設置する**モバイル堤防**構造部
 - 3) **廃碎**などの利活用
 - 4) シート・鋼・コンクリートの堤体との**なじみ**改善
- 他に、**「法肩」や「法尻」丸め案** 導入など

重要な治水施設・河川堤防に何が必要か

1. 堤防の専門家(地盤工学)養成
2. 研究投資 (基礎研究でなく、応用・対策につながるもの奨励)
(受託研究者の公表、行政担当者による総括、・・・)
3. 効率的な戦略プラン (戦略的な年次計画に基づき)と
行政組織の堤防担当者の優遇措置
4. 堤防データ等の公表
5. 「河川整備の遅れ」を回復させる手段
6. 効果的なフィールド実験場の提供と支援
特に、堤防技術・対策工法の開発のため
7. その他

ご清聴ありがとうございました