

1. 趣旨説明

国土技術政策総合研究所河川研究部 諏訪義雄

- 本 OS では、企画趣旨説明の後、2つの話題について議論を行い、最後にまとめという構成を考えている。議論するテーマの1つは、河川工学と地盤工学との連携についてのパネルディスカッションである。2つのテーマめ堤防植生研究についての話題提供と会場との議論を行う。
- まず、企画趣旨。2010年頃から、地盤工学分野と連携して堤防研究の活発化のための取り組みを行ってきた。2年に1回以上のペースで OS あるいは OPS を開催してきた。
- 2012年の OS・OPS では、堤防に関する技術の見方が示され、堤防に関する技術課題が整理された。2015の OPS ではアカデミックリサーチマップが提案される等堤防研究が活発化してきた。
- 2016年9月の全国大会（仙台）の研究討論会（地盤工学委員会堤防小委員会主催）において、「堤防研究は盛り上がってきたが、一過性に終わる懸念がある。今後も盛り上がりを継続していくには、若者技術者に魅力ある堤防研究の方向を示すことが大切。」との問題提起があり、宿題として心にひっかかっていた。
- 昨年度の OPS2 で堤防の浸透破壊をテーマにし、浸透破壊の研究が進捗してきたことが確認できた一方で、宿題である今後の方向性については十分議論できなかった。
- 今回の OS は、上記問題提起を踏まえた地盤工学との連携の今後と、地盤工学以外も含めた広い目を見た堤防研究の今後の進むべき方針について議論したいと意図し、企画した。公告文では以下の5つのテーマについて募集した。
- ①洪水時あるいは洪水直後に現場で発見される変状・予兆が、決壊・破堤に至る進行性破壊かそうでないかを科学的・力学的な裏付けをもって診断・判断するために必要な研究・技術開発。
- ②堤防の耐浸透・耐侵食性能のバラツキ・幅の把握・評価、劣化のメカニズムと性能劣化予測に必要な調査・研究・技術開発。
- ③要対策量が多く、対策完了に時間を要する場合の堤防強化の優先順位の考え方
- ④堤防が持つ多面的な機能と便益評価
- ⑤点検・除草・水防等の労力を踏まえた堤防が持つ治水機能の永続的な確保方策
- この後、「（河川工学と地盤工学）多面的に研究する意義、堤防研究の今後の方向」についてパネルディスカッションを行う。次に「堤防植生研究の現状と今後の方向」について話題提供と会場との討議を行い、最後にまとめを行いたい。
- では、内田先生の司会でパネルディスカッションをはじめます。

河川管理施設等に関して、良好な状態に保つよう維持又は修繕の義務を明確化

2018 河川技術に関するシンポジウム

【企画趣旨】

2010河川シンポ OPS1:堤防の維持および管理のための技術～浸透・変状の調査・探査技術～破堤過程の知見、並びに堤防の強化技術～堤防研究の輪を広げる重要性

2011河川シンポ OPS3:堤防の安全性に関する技術の課題 堤防に関わる研究レビュー 地盤工学会との連携深める

2012河川シンポ OS・OPS2:河川堤防の安全性に関する技術 断面の安定性を考えるのみでは堤防の安全性を高めることにはならない 堤防の安全を考えると治水システムそのものを考えること スライド2, 3

2013河川シンポ OPS1:堤防の浸透破壊～目に見えない堤体・基盤内からの破壊～
より深い現象の理解と堤防管理の高度化を目指して 連携WG設置と矢部川パイ
ピング破壊

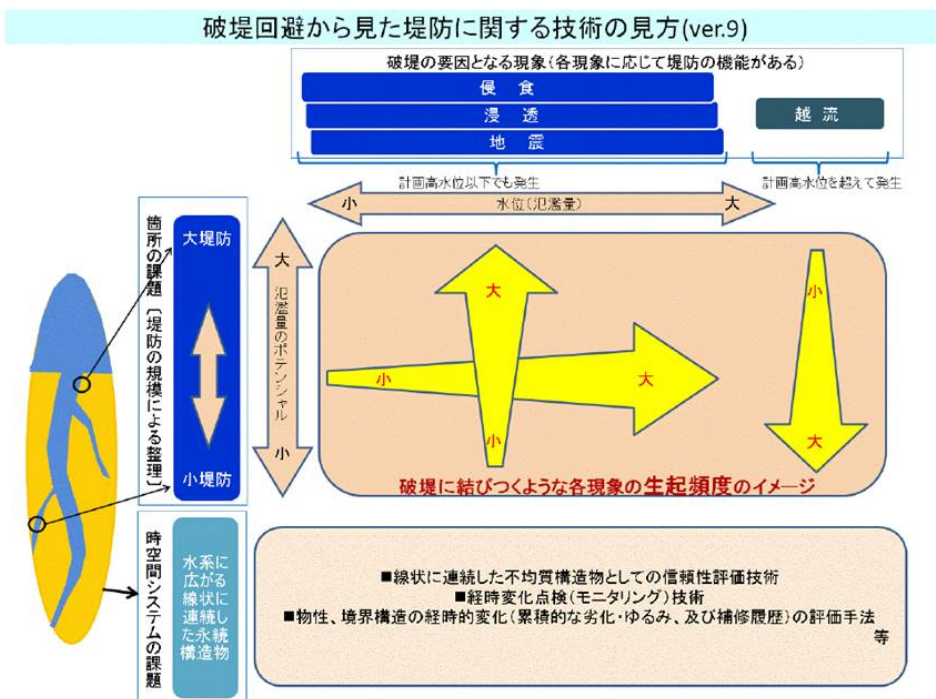
2015河川シンポ OPS2: 河川堤防の効率的補強に関する技術的課題とその
取り組みの方向性 連携WGの成果(アカデミックリサーチマップ等)スライド4

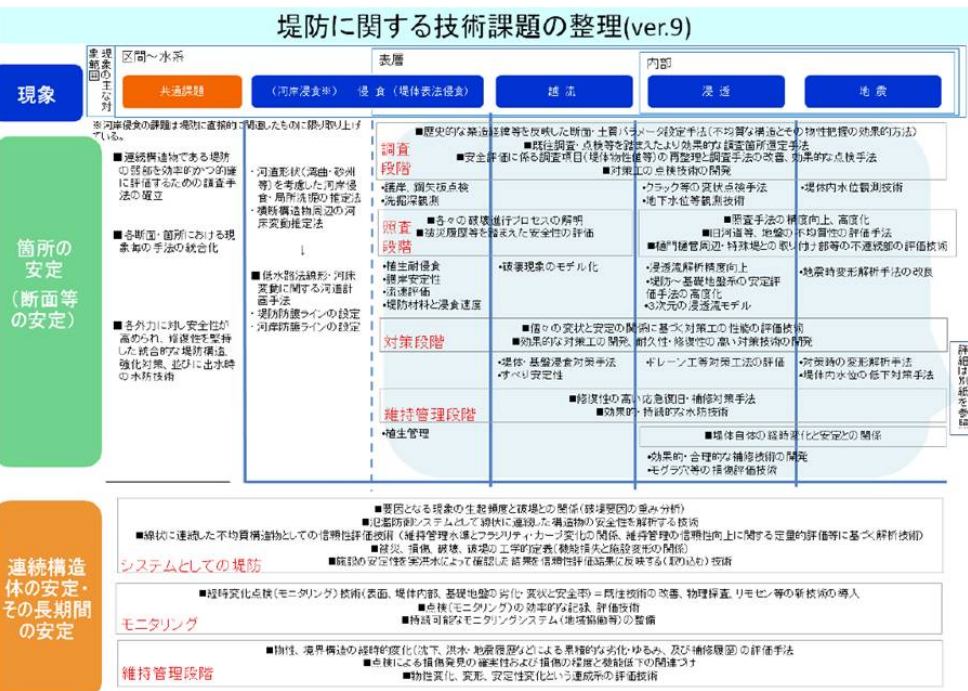
2016年9月 全国大会(仙台) 研究討論会(地盤工学委員会堤防小委員会主催)
最新の研究動向と堤防設計の方向

2017河川シンポ OPS2:堤防浸透破壊はどこまで解明できたかー河川堤防研究の進捗状況と今後の方向ー 浸透破壊研究の進捗を確認

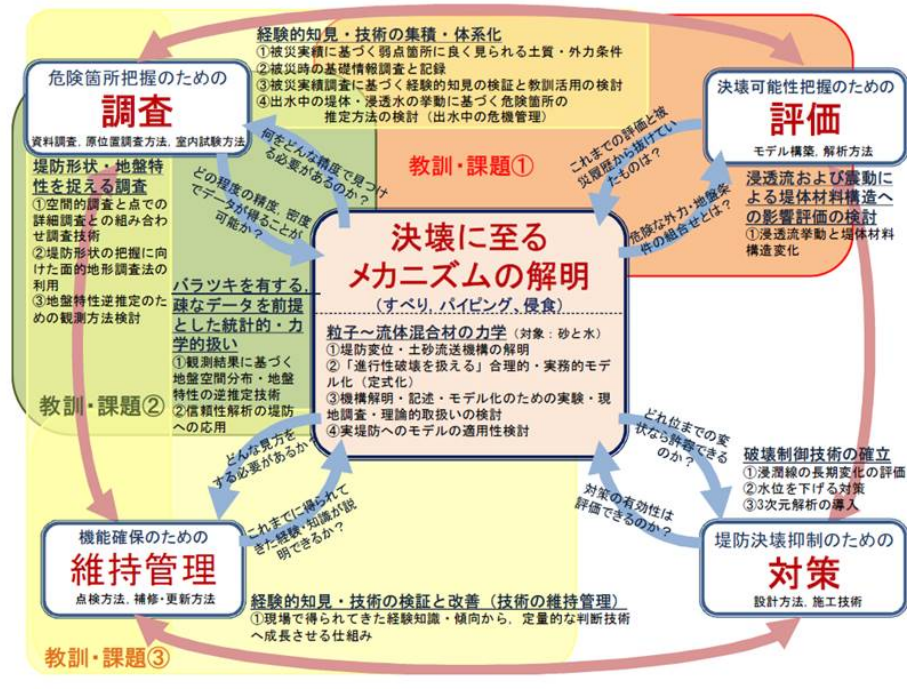
⇒河川堤防の維持・管理、機能評価に求められる新しい技術、研究の持続的な発展に向けて

2012 OS-OPS





2015OPS アカデミックリサーチマップ



特定課題：河川堤防の維持・管理、機能 評価に求められる新しい技術、研究の持 続的な発展に向けて

堤防に関する維持・管理・評価技術、研究に今後どのような展開が期待されるかを議論

- ① 洪水時あるいは洪水直後に現場で発見される変状・予兆が、決壊・破堤に至る進行性破壊かそうでないかを科学的・力学的な裏付けをもって診断・判断するために必要な研究・技術開発
- ② 堤防の耐浸透・耐侵食性能のバラツキ・幅の把握・評価、劣化のメカニズムと性能劣化予測に必要な調査・研究・技術開発
- ③ 要対策量が多く、対策完了に時間を要する場合の堤防強化の優先順位の考え方
- ④ 堤防が持つ多面的な機能と便益評価
- ⑤ 点検・除草・水防等の労力を踏まえた堤防が持つ治水機能の持続的な確保方策

OS2の内容

オーガナイザー：諏訪義雄、内田龍彦

1)趣旨説明

2)パネルディスカッション（河川工学と地盤工学）多面的に研究する意義、堤防研究の今後の方向

司会	内田龍彦	広島大学大学院
パネラー	福岡捷二	中央大学研究開発機構
	前田健一	名古屋工業大学大学院
	佐々木哲也	国立研究開発法人 土木研究所
	諏訪義雄	国土技術政策総合研究所

3)堤防植生研究の現状と今後の方向

話題提供	藤山秀章	河川財団
会場との討議・進行	諏訪義雄	国土技術政策総合研究所

4)まとめ

2. パネルディスカッション

「(河川工学と地盤工学) 多面的に研究する意義, 堤防研究の今後の方向」

司会 広島大学大学院 内田龍彦

<はじめに>

- 2015 年度の OS2 で示されたアカデミックリサーチマップにより, 水理学的, 土質力学的視点から堤防で生じる現象をどう見るかについて, 学術的見識が広げられた. しかし, 堤防研究とは, 何をしていかなければならないのかを明確にしてい くべきである.
- 本セッションでは, 河川洪水流の場合の視点から堤防研究について考えるために, 二つの質問を設定した.
- 一つ目は, 「現状把握に向けて」洪水流の通過する河川横断面と浸透流に対する堤防断面の類似点が多い点から堤防管理を考えることはできないかという切り口である. 質問 1 の表から河川において重要な粗度係数は透水係数と対応しており, 洪水の水位計測の場合のように堤防浸透も観測と解析によって現状を検討できるかどうか.
- 二つ目は「現象解明に向けて」洪水流の場合は, 現地モニタリング, 水理実験, 水理解析がそれぞれの役割をもっているが, 堤防研究の場合のこれらの関係はどのようにあるべきかという切り口である. 具体的には実験は実際現象をどのように単純化すべきか, 複雑現象を扱う解析は目的に応じて水理解析のように分類されるべきか.
- 本セッションではこれらの二つの質問をより具体的に考えるために, まず質問に関する話題提供を中央大学研究開発機構 福岡捷二先生にして頂く. その後, 上記話題に対して, 河川分野, 地盤分野の研究者, 堤防管理者の代表者として迎えたパネラーとの討論を行う.

パネルディスカッションの目的・方法

河川管理や洪水流観測の場合と比較し, **地盤工学との連携**について, 堤防**浸透破壊**の維持管理・技術の現状の課題と今後の方向性を明らかにする

1. 河川洪水流の現象解明と維持管理の視点から見た堤防破壊・維持管理の見方についてのふたつの論点

質問者: 内田龍彦 (広島大学)
話題提供者: 福岡捷二 (中央大学研究開発機構教授)

2. パネルディスカッション

司会 内田龍彦 (広島大学)

河川系 福岡捷二 (中央大学研究開発機構教授)
諏訪義雄 (国土技術総合研究所河川部河川室長)
地盤系 前田健一 (名古屋工業大学大学院)
佐々木智也 (国立研究開発法人 土木研究所)

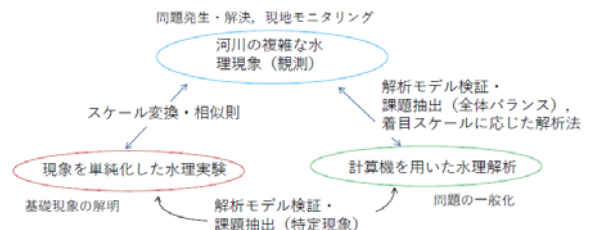
堤防研究の新しい見方と役割

質問 1: 現状把握に向けて
河川断面形状と堤防断面形状の関係から
見た堤防管理の切り口

	河川断面	堤防
目的	HWL以下で計画流量を安全に流下, 流下能力	HWL以下の流水の正常な作用に対して安全な構造
大きさ・形 (計測可)	河横	堤防断面横
材料・質 (直接計測不可)	抵抗 (粗度) ⇒ 測量で評価 (水理量推定) 粒径⇒粗度, 樹木⇒透過係数など ⇒洪水で検証・調整	地盤内部の定数 (浸透の場合) ⇒土質実験で評価 粒度分布⇒透過係数などか ⇒洪水で検証?
質分布 (直接計測不可)	抵抗分布 ⇒基本水位には表れにくい 偏流などが問題になる	土質分布 ⇒基本地下水位, 浸透には表れにくい か, ただし内部浸食に関係しそう
表面	侵食・洗掘 ⇒ 河川構造物被害防ぐ	侵食・洗掘 耐力 (表面侵食力) ⇔外力 (河川側) ⇒ それ自身が堤防の機能低減

質問 2: 現象解明に向けて
実験・観測・解析の役割の切り口

1. 河川洪水流・河床変動の現象把握・問題解決の手段



2. 堤防の場合はどうか?

- ・実験は実際現象を表しているか?
- ・解析は現地の複雑現象を対象にしているか? 違いはなにか?
- ・着目するスケール, 現象に応じた解析法の区分は?

<話題提供>

「浸透流を支配する力学指標と堤防浸透破壊の力学的相似条件—浸透流ナンバー SF_n と堤防脆弱性指標 t^* 」

中央大学研究開発機構 福岡捷二

- 堤防管理のためには、洪水時の堤防が、いつ、どこで、どのように、浸透破壊が生じるのか、そのきっかけを捉えることが重要である。よって、堤防が壊れることではなく、危険性が高まる状態を想定し、これに基づいた力学的指標を提示することが必要であると考える。また、堤体浸透破壊の現象理解のためには、これまで明確でなかった浸透流の力学的相似条件を見出す必要がある。これらについて話題提供する。
- NS 式の無次元化によってフルード数、レイノルズ数が得られるように、浸透流の基礎式である Richards の式の無次元化により、浸透流ナンバー SF_n が得られる。 SF_n は一般的な浸透現象に対応する無次元量を示している。 SF_n を堤体浸透現象に当てはめる。すなわち、 Sr_0 、 λ_0 を堤体の平均的な飽和度と空隙率、 L_0 を堤防有効幅、 k_0 を堤体の平均透水係数、 H_0 を河川水位、 T_0 を高水敷に水が載っている時間と置くと、これら物理量のコンビネーションで決まる無次元量である堤防脆弱性指標 t^* が得られる。また、基盤上の堤体内の浸透流を準二次元的に捉えて表した基礎式からも、堤防脆弱性指標 t^* が得られることも確認している。以上より、堤体浸透現象に対して、 t^* は決定的に重要な力学指標である。
- 堤体浸透に関連する被災が生じた現地河川堤防と、名城大学の小高先生らのグループが実施した堤防模型実験結果を基に t^* を算出した。この結果、決壊や崩壊といった明確な壊れ方をした箇所については、比較的 t^* のばらつきが小さく、現地堤防と模型堤防の t^* 値はある範囲の所に収まってくることが確認された。このことから、現地堤防と幾何学的、力学的に相似な模型実験 t^* を用いることで、模型実験が現地堤防の浸透破壊に対して力学的に相似な現象を与えるということの根拠を提示出来たと解釈できる。
- 我々河川の専門家は、地盤の本当のことはよく分からない。このため、地盤の専門家にも入ってもらい、インパクトを与えあって、一緒に研究を進めていくことが、堤防問題では必要となる。河川サイドから主張できることは、近年、水面形観測によって粗度係数、洪水の流れ方がかなり分かるようになってきたということである。堤防の浸透現象にも同様の考え方を適用できるのではないか。具体的には、堤体内浸潤線を計測していくことによって、 t^* の評価でどうしてもネックとなる堤体内の平均透水係数を精度良く推定する方法を検討していくことが必要である。

- 目的: 1. 洪水時の堤防が、いつ、どこで、どのように浸透破壊が起こるかを、そのきっかけとなる水理現象を把え、堤防の浸透破壊の指標を見出す。
2. 浸透破壊に対する模型実験と現地堤防の浸透破壊の力学的相似条件を見出す。

方法: 河川の洪水流の川表と川裏の水位差に起因する浸透流は、堤体内に水面勾配を形成し、土中の間隙を通して裏のり面に向かって流れる。流れの集中が異常に大きくなったときに、浸透破壊の危険性が高まると考える。

堤体中の流れが集中する場所と程度を適切に評価できる指標を導き、いつ、どこで、どのような堤防破壊が起こるか推定する方法を示す。

1. 浸透流の支配方程式の無次元化による力学的相似指標、浸透流ナンバーの導出

浸透流の基礎式(Richards の式)

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho \theta}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial h}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial h}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad (1)$$

θ : 体積含水率 k : 透水係数 h : 全水頭 ($=u+z$)

体積含水率の定義から、上式は以下のように表される。

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho \lambda S_r}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial h}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial h}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad (2)$$

一般に左辺第一項は、飽和、不飽和状態において以下のように表現される。

$$\begin{aligned} \bullet \text{飽和} (S_r=1): \quad & \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho \lambda S_r}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \left(\rho \frac{\partial \lambda}{\partial h} + \lambda \frac{\partial \rho}{\partial h} \right) \frac{\partial h}{\partial t} = S_y \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3) \\ \bullet \text{不飽和} (0 < S_r < 1): \quad & \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho \lambda S_r}{\partial t} = \frac{\partial \theta}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial t} = C \frac{\partial h}{\partial t} \quad (4) \end{aligned}$$

S_y : 飽和1, 不飽和0
 C : 比貯留率(1/m), C : 比水分容量(1/m)

式(2)の各変数の無次元量を、代表値を用いて以下のように表す。

$$\rho' = \frac{\rho}{\rho_0}, \quad S_r' = \frac{S_r}{S_{r0}}, \quad \lambda' = \frac{\lambda}{\lambda_0}, \quad h' = \frac{h}{H_0}, \quad t' = \frac{t}{T_0}, \quad k' = \frac{k}{k_0}, \quad x' = \frac{x}{L_0}, \quad y' = \frac{y}{L_0}, \quad z' = \frac{z}{L_0} \quad (5)$$

(5)の関係を考慮して式(2)を整理すると、最終的に以下の無次元方程式が得られる。

$$\frac{1}{\rho'} \frac{\partial \rho' \lambda' S_r'}{\partial t'} + \frac{1}{S_{r0}} \frac{k_0 H_0 t_0}{\lambda_0 L_0^2} \left(\frac{\partial}{\partial x'} \left(k' \frac{\partial h'}{\partial x'} \right) - \frac{\partial}{\partial y'} \left(k' \frac{\partial h'}{\partial y'} \right) - \frac{\partial}{\partial z'} \left(k' \frac{\partial h'}{\partial z'} \right) \right) = 0 \quad (6)$$

式(6)より、原型と模型で赤枠部分が同一の値を持てば、両者の浸透現象は力学的に相似である。

4

このとき、浸透流の飽和領域では、赤枠内は $S_{r0}=1$ であり単純であるが、不飽和領域では、飽和度 S_{r0} も考慮する必要があり複雑化する。ここで、 $k_0 H_0 t_0 / \lambda_0 L_0^2$ は浸透流ナンバー (Seepage flow number) と呼ぶ。この浸透流ナンバーは、堤防の浸透破壊を考えるときに重要な力学的相似のための相似則を与える。

2. 浸透流ナンバー SF_n から堤防脆弱性指標 t^* の導出

浸透流ナンバー SF_n を堤防浸透及びその破壊に関係する指標に書き換えるために、代表諸量を導く。浸透流場の外力となる代表水位 H_0 、代表長さ L_0 、代表時間 T_0 は、それぞれ対象とする浸透流場を規定する水位、長さ、時間として、これらを適切に選ぶことによって流れの力学的相似が保証される。洪水時における堤体内浸透流を考えると、代表水位 H_0 は洪水時の水位 H 、代表長さ L_0 は堤防の有効数幅 b 、代表時間 T_0 は高水数に洪水流が乗っている時間 t である。また、 k_0 、 λ_0 、 S_{r0} にはそれぞれ堤体の平均透水係数 k 、空隙率 λ 、飽和度 S_r を用いると、 SF_n は堤防脆弱性指標 t^* と呼ばれ、式(7)で表される。

$$t^* = \frac{1}{S_r} \frac{k H t}{\lambda b^2} \quad (7)$$

福岡・田端は、図-1に示すように外水位上昇時の厚さ D の透水性基礎地盤上にある堤体における浸透線形状を以下のように相似形で表している。

$$h(x, t) = H \left\{ 1 - \left(\frac{x}{\xi(t)} \right)^m \right\} \quad (8)$$

さらに、ダルシーの運動方程式と堤体の浸透部分と基礎透水層の連続条件を用い、浸透線の先端の移動に関する非定常準二次元の微分方程式を導いている。この式を堤体底面に沿って進む浸透水の先端距離 $\xi(t)$ について解き、表法の水際から堤防裏法先までの距離 b に到達するのに要する時間を t' とし、洪水継続時間を t' として、 $t^*_m = t'/t'$ で定義した透水性基礎地盤上の堤防脆弱性指標(式(9))を得た。

$$t^*_m = \frac{2(m+1)mk_1H - m(2m-1)k_2D}{mH + (m+1)D} \frac{Ht'}{\lambda b^2} \quad (9)$$

ここに、 k_1 、 k_2 はそれぞれ堤体と基礎地盤の透水係数である。 m は相似形で与えられる浸透線(式(8))の指数で、指数 m と k_1/k_2 、 D/H の関係を表-1に示す。

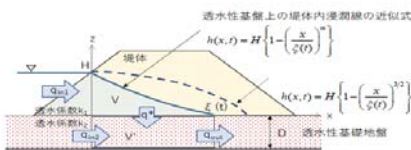


図-1 浸透流の準二次元解析の考え方

表-1 指数 m と k_1/k_2 、 D/H の関係

k_1/k_2	0	0.1	0.5	1	2	5	10	20
0	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
0.1	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
0.5	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
1	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
2	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
5	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
10	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
20	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500

不透水性基礎上にある堤防浸透流では、式(9)において $D=0$ 、 $k_2=0$ となる。指数 m は内田茂男の浸透線の式に一致するように $m=3/2$ を与える。このとき、式(9)の $2(m+1)/(2m-1)$ は5/2となる。これより不透水性基礎上の堤防脆弱性指標 t^* は式(10)で表される。

$$t^* = \frac{5}{2} \frac{Hk_1t'}{\lambda b^2} \quad (10)$$

非定常準二次元解析による堤防脆弱性指標の誘導過程は、堤防脆弱性指標の力学的意味をよく表現している。透水性基礎上の堤防の脆弱性指標 t^*_m は、不透水性基礎上の脆弱性指標 t^* よりもやや小さく算定される。このことから、脆弱性指標値として t^* が使われることが多い。

また、式(10)で示した不透水性基礎上の堤防脆弱性指標 t^* は、基本式の無次元化から導かれた浸透流ナンバーを堤体内浸透流に適用することで得られた指標(式(7))と同じ形式で表され、堤防脆弱性指標 t^* が、堤防浸透流の唯一の力学的相似条件であることを表現している。

堤防脆弱性指標は、堤防幅 b が大きいと浸透破壊に対する安定性が高いことや、水位 H 、洪水継続時間 t' 、堤体透水係数 k が大きいと浸透時間が短くなり、堤体の安定性が低くなることといった洪水時の堤体内浸透流の特徴と、安定性に与える影響の程度を的確に捉えている。

3. 堤防脆弱性指標 t^* の現地堤防と堤防模型実験への適用

堤体浸透に起因した顕著な堤防被災が生じた鬼怒川平成27年9月洪水、子吉川平成25年9月洪水、梯川平成24年9月洪水、矢部川平成24年7月洪水、長良川昭和51年9月洪水を対象に、主な被災箇所において堤防脆弱性指標を算出した。洪水時に河川水が堤体内に浸透することで生じたと考えられる被災を①堤体漏水、②裏法滑り、③堤防決壊に分類する。

図-2(a)に式(9),(10)を用いて算出したこれら25地点の堤防脆弱性指標の値を示す。図-2の赤枠、黄色枠で囲ったデータはそれぞれ堤防決壊、裏法滑りが生じたもので、囲い枠の無いデータは堤体漏水被害が生じたものを示している。算定された t^* を見ると、堤防決壊(赤色枠)は、 t^* が0.1～1の範囲で発生している。また、裏法滑り(黄色枠)は、 t^* が概ね0.01～0.1の範囲付近に多く分布する。堤体漏水(枠無し)は、データのばらつきが大きい、概ね t^* が0.001より大きい範囲に分布している。以上より、 t^* によって浸透に起因する堤防被災の程度、危険度を説明できることが分かる。

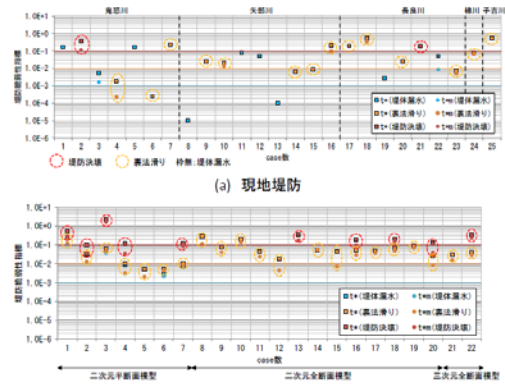


図-2 現地堤防及び堤防模型の堤防脆弱性指標、 t^*

堤防模型に関しては、小高らは、二次元半断面、二次元全断面、三次元全断面の3種類を用いて、基盤層の厚さや土質を変化させた計22ケースの実験を行っている。これらの実験データを用いて、現地堤防と同様に堤防脆弱性指標と被災形態について検討した。

堤防模型は高さ0.2～0.3m、底幅0.7～0.9mである。基盤層は上下2層の異なる透水性材料で充填されており、初期水位条件として下層部分のみ予め飽和させた状態から急速に外水位を高め、所定の実験水位を維持し、時間経過と共に生じた堤体変状とその発生時刻が詳細に測定されている。表-2の下段に模型堤防の検討ケース及び堤防脆弱性指標値、算出に用いたデータを示す。式(9),(10)を用いて算出したこれら22ケースの決壊、変状が生じた堤防模型の堤防脆弱性指標の値を図-2(b)に示す。

以上より、模型実験結果は、先に示した実河川堤防で見られた被災形態毎にとる t^* の範囲とほぼ一致しており、 t^* が現地堤防と模型堤防に共通して成り立つ力学的相似条件であることを示している。

これより、現地堤防と相似な形状でかつ共通の t^* を用いた堤防浸透流の模型実験結果は、現地堤防の浸透破壊に対し力学的に相似な現象を与える根拠を提示出来た。

4. 堤体内浸潤線の時間変化を測定し、高い精度の透水係数を求める

堤防脆弱性指標 t^* は、無次元の式形が重要な意味を持つもので、 t^* と無次元形を構成する個々の要素との関係を議論するものではない。しかし、堤体を構成する土質は多岐にわたり、透水係数の値は粒径ごとに大きく変化することが知られている。したがって、堤防脆弱性指標の精度は透水係数の値の信頼度に大きく依存しており、高い精度で透水係数を求めることが課題である。

河川管理のために、また治水事業の信頼性向上のために、洪水時の水位を多点で観測し、観測水面形を解析水面形がほぼ一致させることによって、河道での洪水流量ハイドログラフ、河床変動、流砂量ハイドログラフ、粗度係数の変化等洪水時の諸現象を一体的に説明できるようになってきた。今では、多くの河川の河道沿いの多点に水位計を設置し、観測が行われ、それらを河川計画・管理に生かされるようになってきた。

このように、河川における洪水時の縦断面水面形観測結果が果たしている意義は、河川堤防の浸透に対する堤体内の横断面水面形が果たす意味と同じである。すなわち、堤体内で時間的に変化する水面形を測り、これを説明する透水係数の値を求め、これと堤防の土質構成との関係を明らかにすることにより、堤防脆弱性指標の精度を高めることが考えられる。

具体的には、外水位上昇時の非定常浸潤線の高さ h を表す式(8)は、透水係数を適切に選べば時間的に変化する浸潤線を説明できることが示されている。したがって、式(8)の透水係数を洪水上昇時に測定された堤体内浸潤線の時間変化を説明するように決める。この方法の有効性は、北海道開発局による十勝川千代田堤防実験で確認されている。

堤防の透水係数の精度の高い評価法を確立するために、今後、現地堤防において以下の検討を行うことが期待される。

- (1) 河川堤防内における浸潤線の観測事例を用い、各時間の浸潤線を式(6)で同定し、透水係数 k を求める。
- (2) その地点のボーリングデータ等と対比し、浸潤線の時間変化を説明する透水係数と堤体土質構造の関係を検討するとともに、従来の透水係数算定法との関係についても比較検討し、透水係数算定法に対する考え方を整理する。

5. 結論

洪水中に発生する堤体内の水面勾配に起因する浸透流の裏法面への集中が、堤体の浸透破壊のきっかけとなり、堤防安定性を支配するとの考えのもとに、従来と異なる方法で堤防破壊危険箇所の推定法を提示し、現地堤防と模型実験堤防の浸透破壊について考察した。主要な結論は以下のとおりである。

- (1) 土中の浸透流の運動を支配する唯一の力学指標として浸透流ナビ- S_F を理論的に導いた。また、堤防破壊危険性に関係する力学的無次元量として堤防脆弱性指標 t^* を S_F と非定常準二次元浸透流解析の二つの方法で導出しその意味を議論した。
- (2) 堤体漏水、裏法滑り、堤防決壊のそれぞれの被災形態が生じた現地堤防及び堤防模型について脆弱性指標 t^* を算出した結果、同一の堤防破壊形態をとる現地堤防と堤防模型実験では、 t^* が概ね共通の値をとること、堤防浸透流に関して t^* が原型と模型の力学的相似条件を与えること、堤防の破壊の程度を t^* の値で判断可能であることが実証された。
- (3) 堤防破壊危険箇所の推定精度を高めることためには浸潤線の時間変化の測定に基づく透水係数算定方法の必要性を強調した。

<パネルディスカッション>

パネラー：

中央大学研究開発機構 福岡捷二

名古屋工業大学大学院 前田健一

国立研究開発法人土木研究所 佐々木哲也

国土技術政策総合研究所 諏訪義雄

(前田)

- ・ t^* は裏法先への浸潤の程度を簡潔に表した指標ではあるが、堤防の破壊を表現するには、粘着力 c や内部摩擦角 ϕ といった土質定数も含めていくべきではないか。
- ・ また、 t^* の式形を見ると、平均動水勾配 H/B や透水係数が含まれている。従来の平均動水勾配や堤体内土質に基づいた評価手法と、使っているものは変わらないように感じる。従来法に比べて t^* にはどういう優位性があるのか？

(福岡)

- ・ 浸透破壊で決定的に現象を決めているのは、河川側と堤内地側の水位差により堤体内に水が浸透し、裏法先に水が集中することであると考えている。これが破壊のきっかけとなる。土質力学のように浸透に伴う土質構造の変化や破壊については触れておらず、堤体内の粒径と透水係数が大事であると考えている。河川から浸透した水が裏法先にどの程度集中するのか、その度合いが分かれば、まずはよいと考えている。
- ・ これまでも H/B や透水係数、洪水継続時間等が個別に調べられてきたと思うが、一般的になりえてなかったように思われる。 t^* は堤防浸透に関連する物理量のコンビネーションで力学的に決まる唯一の無次元量であり、個々の物理量を議論するものではない。学術的にこれだという形がでてくれば有意性は決定的であると思われる。

(前田) 今までいくつもの指標を並べて評価されてきたが、それらが t^* によって一つにまとめられた。ただし、 t^* の値が 0.01 や 0.1 といった数字が出てくると、値がもつ物理的意味を理解していく必要があると感じる。

(福岡) これまでの検討から、 t^* が 0.1～1 で決壊、0.01～0.1 で滑りが発生する危険性が高いことが分かってきた。 t^* は洪水継続時間と堤体を浸透するのに要する時間との比であるが、 t^* は 1 よりも小さくなる。この理由として、堤体を横断方向に最短距離で一直線に流れることはないため、平均的な値が算出されているものと解釈している。

(内田) 浸透破壊の危険性を考えるためには浸潤面が法尻に達するかどうかという外力条件がまず決定的に重要であると主張されていると理解した。一方、それから破壊に至るかどうかの部分については、着目すべきでないのか、もしくは、そこについても考えていくべきなのかのどちらの考えになるのか？

(福岡) 後者がよい。今は浸透に着目し t^* がどういう値をとるかといった視点で見ているが、いずれは土の破壊の視点も含めて評価できるようになることが望まれる。

(諏訪) 現地は地盤構造等も複雑なので透水係数等に幅が出るのは理解できるが、模型実験のような管理された条件においても t^* が 1 にならないのはなぜか？浸潤線が到達していなくても壊れているというようにも解釈できる。実際に実験を見られている小高先生はどう感じているか？

(会場：名城大学 小高先生)

- ・ 実験では、浸潤面が裏法に到達すると壊れるように材料の調整を行っている。拘束圧が小さい模型実験で、現地のような強い材料をそのまま使うと、実際とは違う現象しか得られないため、あえて模型に使う材料の空隙率 λ を大きくしている。よって、土の力学特性の議論を抜いても、 t^* の相似則である程度説明できるという結果には納得している。
- ・ 今回の実験は、高透水性基礎地盤上の堤体浸透を扱ったもので、基盤層は完全に飽和していた。堤体法先が完全に飽和していなくても、破壊のトリガーとなる現象が生じるケースも見られたが、基本的には高透水性基礎地盤を通して堤体内の浸潤線が裏法先に到達して破壊に至るということが確認されている。

(前田) 不飽和状態の透水係数は、飽和状態の場合よりも 1 オーダー程度小さい。よって、 t^* は 1 よりも小さくなるとも解釈できる。

(佐々木) t^* をどのような目的で使うのか？実際問題を説明できるというのは、どのレベルか、概略点検のように一次点検で使うようなレベルのものなのか、どこにポイントを置くべきなのかをお聞きしたい。

(福岡) t^* のような考え方を今後どう使っていくのかについては、改善の必要性も含めてこれから一緒に考えていくべきである。何が大事か、どこにポイントを置くのかを明確にした上で、力学的に健全な方法で進めていくことが大事である。

河川における様々な水理現象は、堤防によって流れ場が規定されることが前提となる。若手はぜひ堤防が如何に大事であるかについて認識いただき、研究題材としていただきたい。考えることはたくさんある。

(諏訪) 学術的に出てくる唯一の無次元量である t^* を用いて力学的に健全な方法で研究を進めていくことは地盤工学の若手に魅力的な研究ではないかという点について、愛媛大学岡村先生にご意見をお聞きしたい。

(会場：愛媛大学 岡村先生) 難しすぎる質問なので、 t^* に関する私の理解を述べることで答えに代えたい。浸透現象の支配方程式から求まる唯一の無次元数が t^* であるということはあるほどと思っているし、 t^* は破壊のきっかけをつかむことが目的でありきっかけの後の破壊現象そのものの説明を目的にしているのではないという点も理解した。ただ、現地や模型実験との比較図で t^* にバラツキ・幅があったのは、応力の構成方程式が入っていないからであり、ある意味では浸透破壊を判断するための必要条件が t^* であると解釈できる。逆に言えば、我々地盤工学が得意としている応力平衡式から決まる破壊条件に関する無次元パラメータさえ入れていくことができれば、更に綺麗に分類されていくようにも感じる。

(内田) 浸透現象についてどこまで精緻にしていくかについても議論する必要があると思われる。例えば実際のハイドログラフや堤防の形を与えるとき、鉛直準二次元解析の役割と t^* の関係はどのように考えればよいか。

(福岡) 基盤に浸透するような場合は、浸潤線が下に凸な形となる。この程度を表す指数 m を含む式で浸潤線を近似的に表すと、最終的に t^*m の式が得られる。基盤層との関係を考える場合は t^*m を用いる。不透水性基盤の場合は t^*m は t^* となる。ただし、 t^* の方が t^*m よりも危険側にできるので、通常は t^* を用いればよい。

(諏訪)

- ・ 基礎地盤に行き止まりがあるような場合でも、堤体内の浸潤線は下に凸となるか？
- ・ 下層から堤体に鉛直上向きに浸透して供給される現象も扱うべきではないか？

(福岡)

- ・ 行き止まりがあると、より水位が高まるので下に凸にならない可能性はある。そういう場合は境界条件を入れて圧力を計算することになる。
- ・ 例えば、周囲の台地から地下水が給水されるようなケースもある。このような場合は、堤体だけを取り扱うことは不十分で、周囲の地形や地盤が大事になる。今回紹介したのは一般的な堤体浸透のケースである。場所毎の特殊性は、必要に応じて考慮していくべきである。

(内田) 水理系、地盤系どちらからでもよいので、今までの議論もしくは福岡先生のご講演に対する質問、私が最初に挙げた二つの質問に対してご意見がある方はいるか。

(会場：山口大学・森) 私はずっと地盤をやっていたが、河川研で河川の仕事もした。河川の方からは、必ず言われたのは、土の専門家は堤防を考えると断面でしか考えない・堤防は縦断方向につながっているのになんで考えないのかと言われた。本日の福岡先生の話聞いて理解が深まった。もう一つ言われたのが、土の専門家は壊れるまではしっかり追うが、壊れ方とかどう壊れるかはあまり気にしていないのではないかと、土が動き始めた後は思考が停止すると言われた。先ほどの前田先生や岡村先生のご指摘にもあったが、壊れ方や、壊れた後にどう変形していくか、そういう方向に河川と地盤が一緒にやっていくということがあるのかというところを是非聞かせていただきたい。

(福岡) おっしゃるとおりである。若い人は両方やるべきだと思う。河川工学は、今までは堤防問題については越流しかやらず、地盤工学のほうは浸透、パイピングをやっていたが、ようやくこういう研究会ができた。今の話については、絶対やらなければだめだと思う。共通の土俵に乗らなければうまくいかない。そういうことを企画していく必要があるのではないかと感じた。

(前田) 道路は地震で変形しても片側通行できればよいという話がされているが、河川の堤防は道路盛土とは違うという話になる。森先生が指摘する壊れ方とか壊れた後にどう

変形するかを扱おうとすると、河川堤防で破壊がどこまで許されるかの話が出てこない、破壊を議論することが出てこない。そのような文化や環境が必要ではないか。

(福岡) 堤防が変形していい、とは危なくて言えない。破壊の勉強が必要とは言いが、破壊を考慮して、ここはもつとか、もたないというのは今の段階ではない。そこまでわかっていない。堤防はいったん破壊しだしたら、導水勾配が急になって破壊が止まらなくなる。これから雨が降って水位が上がるかもしれない中で変形がはじまった後にどうやって止めるのか？ 模型実験では破壊が止まると聞くと、釜段工をうまくやればで止まるというが、それを前提に設計とはならない。きっかけ位のところでしっかりと過剰な位に安全度を確保していくというのが河川の文化である。そのところはもう少し周辺がわかって、それに対する対応の仕方もわからないかぎりない。ただし、洪水の水位が高くなって、現状の施設を超えるものはL2として水防による、というのは河川でもある。

(前田) 堤防工学で、堤防は他の構造物と違う、という話を整理する必要がある。若手にも、そこを定義してあげないと面白さがないのではないか。

(内田) 福岡先生の t^* で、議論が必ず破壊のほうに行くが、境界条件によっては浸潤面の決まり方が違うということは、河道の断面の形を使って浸潤面を計算して、浸透の精度を上げていくというステップがあって、その後に破壊の議論になるのではないかと思うが、その辺りはどうか。

(福岡) 一つは透水係数の精度を上げるということであろう。できれば、浸潤線の高さを測る努力をすることも必要ではないか。

(佐々木) 色々疑問はあるが、透水係数を厳密にしだした途端、このモデルでは本来評価できないのではないか。最初に t^* を何に使うかという話もしたが、結局そことのバランスが議論になり、方向性としてそっちなのかな、と疑問に思う。使い方としては、本当に概略的なところではないか。透水係数を調べ出したら堤体の不均質性が無視できなくなってきて、こういうやり方では評価できなくなってくる。私も答えをもっているわけではないか、その辺を意識して議論していかないと議論がかみ合わないのではないか。

(内田) 確かに分布というのはあると思う。ただ、河川においても n は実際は分布しているが、一次元解析するときの n は一つで、計測するもの、目的によってはそれで十分だという場合がある。たとえば、浸潤面が法尻に届くかどうかを評価するとき、数点のデータしかなければ、断面平均の透水係数以上の値は求めることができず、またそれ以上の精度のデータも必要としないこともあるのではないか。この意味で、河川の一次元解析に似ているような気がする。

(福岡) 今の材料を取ってきて室内実験をやって全然違う値だというよりも、現地で何が起こったのかが分かれば随分進展するのではないか。何かがない限りは証拠を作っていかなければならないので、まず浸潤線を測れるものなら測ってもらいたい。透水係数はあらゆる問題に関係するので、是非やっていただきたい。

(内田) 浸潤面を計測する、もしくはそれに代わるものというのは、具体的にはどうい

うことが考えられるか、それについて石原さんにお聞きしたい。

（会場：土坊研究所 石原） 計測に関しては、直轄の堤防でもいくつか計測しているところがある。その中での問題は、雨の影響が非常に大きくて、その影響をどうやって排除するかにある。 t^* の場合には、今のところ雨の影響が入っていないので、河川水位と透水係数の関係になっている。また、水位計を入れたところでは、河川水位が上がらなかったこともあって、今のところ、河川の水位が上がることによって堤防の中の水位が上がるような計測ができた事例は非常に少ない状況である。

以前、福岡先生の t^* のご説明の中では、破壊確率と t^* が非常によく対応しているということであったが、それは最近されていないと聞いている。その辺りの事情を教えてください。

（福岡） 破壊確率は、裏のりすべりと裏のり尻に到達する確率を計算している。 t^* と破壊確率の相関が高いことがわかっているが、それを言うと t^* の話がぼけていく。結局両者が 1 対 1 の相関に近い形をとれば、一番単純なものでやりたいと考えたのが理由である。今後の問題として、河道掘削、遊水池、堤防整備等の事業をどういう順番でやるかという話になるが、行政はそこまで行っていない。今はこれに集中して話をしているのが実状である。

（会場：名城大学 小高） 堤防は非常に不均質だという話があったが、見かけは不均質であっても、詳細に調査してみれば見かけほど強度も透水係数も変わらないことがある。採取土で室内試験して得られる透水係数と、現場試験の透水係数が大きく違うこともある。不均質だからで終わらずに土質工学的に検討できることはたくさんあると思う。また、堤防の変形の話がでたが、地震と浸透の一番の決定的な違いは、有効応力がゼロになることは同じであるが、浸透では一気に破壊が進展するところだと思う。一気に壊れてからは、前田先生がおっしゃるように、どこまで壊れるかという話につながると思うが、有効応力がゼロになって破壊が発生し始めるところが堤防にとって一番危険であることは疑いないので、その時点に一番注目しなければならないと思う。

（福岡） それは事前に分かるのか。

（会場：名城大学 小高） それは事前に計算するということになるが、堤体や基礎地盤のせん断強度を考えた上で計算しなければならない。

（福岡） 事前に分かることが大事であるが、それがものすごい手続きを必要とするのであれば、堤防問題ではそれはないに等しい。それ以前のところで決めてやらなければならないところがあるのではないかと思っている。その辺りはどうか。

（会場：名城大学 小高） 模型実験では、有効応力がゼロになる領域とせん断強度を合わせて考えれば、堤体の破壊は大体予測できる。実際の堤防でも、応力のレベルは違うが、実際の現地の土と基礎地盤を含めた境界条件を総合して考えて検討すればよい。

（諏訪） 森先生から問題提起のあった破壊のしかた、途中で止まる破壊と決壊・破堤する破壊を見極めることができないかという実験・研究を私のところでも行っている。福岡

先生が指摘されるように実装に耐えられるか（自信を持ってこれは進行しないと判断できるか）という点が一番のハードルであるが。

今後の研究の方向として t^* も大事だけれども、破壊を見ていくことも大事だということになるのか。

（福岡） それは当然である。勉強する分には何ら問題ないし、大いにやっていただいで次に備えていただきたい。今の時点で事前に分かるといっても、大変なことになるのではないか、もっと簡単に決められるスタートラインがそれではないかと言っているだけで、その先は大いにやっていただいで教えてもらいたい。

（前田） 確かに数値計算は進んできているが、予測できるとは言いにくい。非常に不安定なところを計算していかなければならないので、非常に難しいと思う。私の印象では、水の方は、非常に単純化するモデリングのセンスがある。あれを地盤の方でも取り入れながらやるといいものができると思う。浸潤線の話があったが、それは是非測って地道に積み上げる必要があると思う。

（内田） そろそろ時間なのでまとめたいと思う。最初、 t^* の話を福岡先生にお話しただいて、川のほうからみると、水による浸潤面という外力を一次元量として容易に物理的に示すことができることを示してもらった。議論の中心は、「浸潤面が到達する＝破壊」ではないので、その間の地盤的なものについてどうするか、難しい面はたくさんあるという話であったが、後半、小高先生から、その辺は解析のほうも随分進んできているという話があり、それについて、数値解析だけではなくもう少し単純化した見方をできるのではないかと、といったことを前田先生から示していただいた。当初はまとめようと思ったが、キーワードを打ち込んでここに載せるのが精いっぱいであった。いっぱい議論があったのをここに散りばめたので、あとはもう少し時間をいただいて、ホームページのほうにまとめて今回の成果としたいと思う。課題をまとめることで、少しでも若手の研究を進める道標になればいいと思う。

まとめ

河川管理や洪水観測の場合と比較し、現状把握に向けては河川断面形状と堤防断面形状の関係から見た堤防管理の切り口から、現象解明に向けては、水理系の実験・観測・解析の役割の切り口から、先駆的な話題提供をベースに、河川、地盤側から、新たな河川堤防研究の見方などについて議論した。

破壊が入っていない。これについては地盤の研究が必要。現地はいろいろ

現場の透水係数とばらつき

有効応力なしで一気に破壊。この解析も始まっている
浸潤面が法尻に到達するのが決定的

T^* の新しさ？ 平均動水勾配、概略点検との違い
断面で考える是非？ 壊れ方？

T^* の目的、精度：危険個所の選定
粘り、性能設計

堤防は大事
地盤系の破壊メカニズムの無次元パラメータ

若者に魅力
 T^* は必要
水面形の形による t^*

T^* と破堤確率の関係
浸潤面の計測、雨の影響をどうするか？

$L1, L2$

オーガナイズドセッションにおいて提示した議論のメモ

＜オガナイズドセッションを終えて＞

広島大学大学院工学研究科 内田龍彦

堤防の大きさ、形などの幾何学的な堤防の評価指標から、浸透に関する力学指標である t^* が福岡先生より提案され、浸透に対する堤防安全度をどのように評価すればよいか具体的に検討するための切り口となったと思われる。これまでの経験的指標から力学的指標となったことで、 t^* がどのように活用できるかを考えていくことは重要であるが、このオーガナイズドセッションでは、 t^* を用いた堤防安全度評価をひとつの案として、堤防研究について議論をした。議論を通して検討すべき課題としては以下の三つに分けられるように思われる。

一つ目は、河道内水位ハイドログラフを境界条件として決まる堤体、基盤層の浸透流をどの程度まで評価すればよいかということである。堤防の安全度評価において破壊を生じさせる外力がまずは重要という観点から、浸透外力評価は極めて重要なことである。 t^* が水面形の場合の Fr 数のような一次元的指標とすると、複雑な河道水位ハイドログラフを用いた堤防浸透流の準二次元、二次元、三次元解析の役割を目的に応じて整理しておくことが必要であろう。このような解析は、観測可能な項目の精度にも依存すべきで、堤防内浸潤面、圧力、土壌水分量などの計測法も開発していくことが肝要である。また、堤防条件や破壊形態によっては法尻に浸潤面が到達するかどうかを最もよい評価手法に成り得るのかについてはさらなる議論が必要と思われる。

二つ目は、河道水位以外からの堤体内水分についてである。雨水浸透はその量だけでなく、浸透方向が河道水位からの浸透と異なるために、浸透流の計測、解析においてどのように考慮していくかについて課題がある。また、先行降雨などによる堤体内水分の長期的な変動、残留分をどのように評価するのか考えることも必要であり、やはり第一の課題と同様に観測法、解析法と併せて検討することが重要になってくると思われる。

三つ目は、浸透流を外力として生じる堤防の破壊メカニズムの解明である。この課題は、土質強度定数などを積極的に生かした性能設計やある程度の破壊を許容した堤防設計、計画にはすぐには繋がらないかもしれないが、現状河道や超過洪水などにおいて堤防が大きな外力を受けるときにどのように応答するかを明らかにすることが極めて重要である。さらに第一の課題に示した浸透流を外力として考えるときの評価基準をどのように考えればよいかについて、この破壊機構を明らかにすることが必須の課題になるであろう。

以上のように三つの課題はそれぞれが密接に関係しており、解決のためには、水理系、河川系、土質力学系の研究者、技術者が協力あるいは切磋琢磨して研究し、堤防工学という新たな学問、技術を切り開いていくことが望まれる。堤防研究においては、ある外力に対して性能を持たせるという意味の設計と、ある外力に対する安全性の議論や現状堤防の安全性の評価の両方が必要である。河川流にとって堤防は境界としてあたえ、堤防安全設計において外水位を境界条件として与えていた分離的考え方から、洪水流解析になじみや

すい t* をベースに垣根をなくした融合的議論が可能になると思われる。破壊確率になじみやすい洪水外力評価の方法もあるはずで、さらにこれらの視点を踏まえたさらなる堤防関連研究の発展を期待したい。

最後に、話題提供を快く引き受けていただき、堤防という学際的で取り扱いにくかった課題に対して t* を用いた議論の突破口を示していただいた中央大学研究開発機構福岡捷二教授、パネリストとして最先端の研究成果に基づいて惜しみなく意見を述べていただいた名古屋工業大学の前田健一教授、堤防技術を支える責任ある立場として積極的に議論していただいた国立研究開発法人土木研究所 佐々木哲也様、河川技術者の立場から堤防技術に求められるものなどを意見をいただいた国土技術政策総合研究所 諏訪義雄様、そして会場から貴重なご意見をご提供いただいた、愛媛大学岡村未対教授、名城大学小高猛司教授、山口大学森啓年准教授、土木研究所石原雅規様には、ここに記して感謝の意を表します。

3. 「堤防植生研究の現状と今後の方向」

（諏訪） 次に、堤防植生研究というテーマで会場と議論したいと思う。まず、話題提供を河川財団の藤山さんからお願いしたい。

話題提供「堤防植生研究の現状と今後の方向」

河川財団 藤山秀章

（藤山）

植生として芝がベースになっていて、除草が平成に入って農薬を使わなくなったとか、野焼きをしなくなったという話はあるが、その前はもっと丁寧に除草をしていた。平成 5 年以降、除草の回数を増やさなければだめだということで、大体 3～5 回除草することによって芝をキープしてきた。

平成 22 年に大幅に維持費が圧縮され、除草の回数をざっくり 2 回、そのうち 1 回は刈った草も集めずにそのままそこに置くようになった。多摩川や荒川などは国土交通省も気を遣って丁寧にやっている。管理を怠っていると、他の草の種類に移り変わってしまう。一部の見方では、外来種が入ってくるからいけないと言われる。

基本的に堤防の機能を考えたときに、例えばからし菜が腐って枯れて法面がガサガサになる、それで何が悪いかを詰めていかなければならない。そもそも堤防の植生に求められる機能は何か、当然治水機能ということがあるが、それは耐侵食なのか、雨水の堤防への浸透を防ぐ役割はないのか、もう一方では環境の機能ということで、景観、利用、生態系の話もある。

1. 堤防植生の現状と課題

(1) 堤防除草の変遷

～ H1 除草 2 ～ 3 回／年 + 農薬 + (野焼き)

H 2 【農薬の使用禁止】

～ H 4 除草 3 ～ 5 回／年 + (野焼き)

H 4 【野焼きの禁止】(廃掃法の改正)

H 5 ～ H 21 除草 3 ～ 5 回／年

H 22 ～ 除草 2 回／年 (集草 1 回)

(2) 堤防植生の課題

- ・ シバは年 2 回の除草の管理方法では、他の草種に遷移
- ・ 外来植物等の侵入・繁茂



4

2. 堤防植生に求められる機能

① 治水機能

- ・ 耐侵食
- ・ 雨水浸透防止・排水？



2. 堤防植生に求められる機能

② 環境機能

- ・ 景観、利用
- ・ 生態系

重要な植物・昆虫等の
生育・生息環境でもある。



機能とは別に、必要条件として、堤防植生に求められていることもある。堤防では、出水期前、台風期前、出水中、出水後、地震後などに点検を行っているが、草がぼうぼうの状態だと点検ができない。堤防の維持・保全の観点では、亀裂やのり崩れ、沈下などがあるという状態になったら堤防が危ないかを、解きほぐしていかなければいけない。

それを今は人が目視で点検することになっている。たとえば、堤防の沈下や不陸の経時的な変化を見たいといったときに、変化が小さくなればなるほど目視点検では難しいので、そういうものは色々な技術革新でデータが取れるようになったらいいと思うが、植生との関係において、それらができる条件をこれから追求めていかなければならないと思う。

何故そもそも芝なのか、といったときに、根毛がある程度の深さと密度であれば、流れに対して強いということがあるので、先人は芝でいこう、ということになったのではないかと思う。新しい堤防を作ったり、堤防に腹付け・拡幅したりするときには、築堤工事と一体として芝張りをやる。今はどうなっているかわからないが、数年前までは、工事として芝を張ったら、それがしっかりと活着するまで3年間フォローアップする。雑草が生えてきたら、その根を1本1本引っこ抜いて、芝が定着するまで工事として扱う。その時期を越えて維持管理になるとお金がなくなって、おかしい状況になっているのが現状である。

3. 堤防植生に求められること

◎ 堤防の状態を把握し易い植生

出水期前点検、河川巡視等で、堤防の変状を発見し易くしなければならぬ。

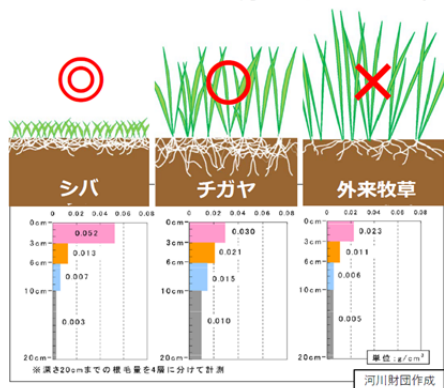
〈堤防の点検項目＝変状〉

- ・亀裂 ・陥没や不陸 ・法崩れ ・沈下
- ・堤脚保護工の変形 ・はらみ出し ・寺勾配
- ・モグラ等の小動物の穴 ・排水不良 ・樹木侵入
- ・（ガリ）侵食 ・植生異常 ・漏水・噴砂



4. なぜ、芝か？

植生別の平均根毛量の分布（表層20cm）



◎ 法覆い工（芝張り）

新しい堤防の築造、堤防の拡幅

⇒ 侵食を防止するため、

「芝」で覆い、3年間は芝を保持



その後、維持管理に移行

堤防の植生研究ではどういう研究が必要か。堤防の設計を考えたときに、堤体の幅・高さ、土質、締固めもあるが、それを覆うものとして植生も大きなポイントになると思っていて。堤防の侵食に対して、中・下流部については、植生でもある程度もたせなければならない。堤体内の雨水の浸透に対しては、どう防げばよいかについてはあまり研究されていない。発想を変えたら、雨にとっても強い、堤体内に水を通さない植生があれば、考えてみる価値はあるかもしれない。耐越水については、責任論とか色々あるが、越水を考えたときに裏のりの状況がどうなっている状態だったらずいかを、点検のときに気にしなければいけない。

残念ながら色々な所で芝から雑草に移り変わっているが、一つ一つの雑草の種類を見て、どの時点で花を咲かせて実ができて枯れていくのか、たとえばそれに合わせて草刈りをしたら何とかできないかとか、やっとそういう調査が始まっているというのが今の段階だと思っている。今日は話題提供であり、堤防の設計や点検を考えたときに、ひょっとしたらドラスティックにこういう植生の管理の在り方があるのではないか、あるいは、こういう植生自体が堤防の機能にとっていいのではないか、ということを皆さんで考えていただいて、何がしかの研究をしていただければ有難い。

5. 堤防植生の研究

◎ 堤防の機能を維持・保全するため、どのような植生が適しているのか。

- ・耐侵食
- ・（堤体内への雨水の浸透を抑え）排水 ？
- ・耐越水（越水した時を想定した地耐力）？

* 点検との関係

* 維持コスト

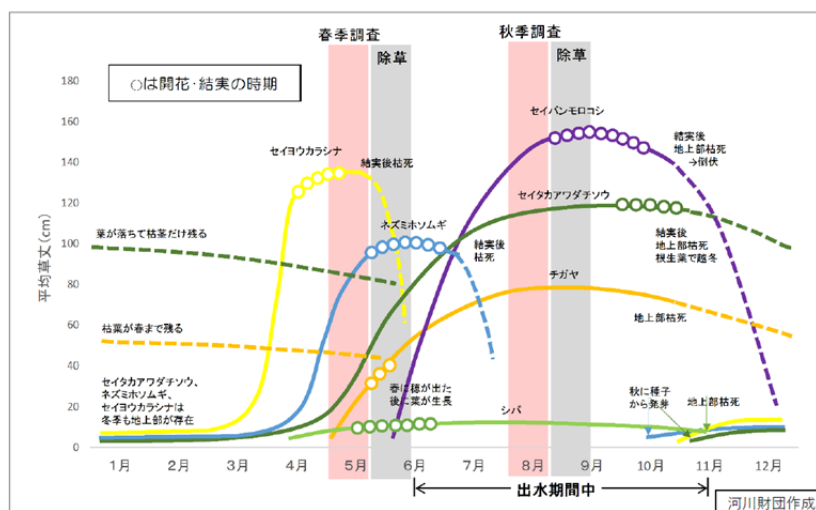
植生の事例 イタドリ



イタドリの繁茂と除草後



研究事例：堤防植生別の成長、開花・結実時期



<会場との討議>

(戸田) 植物自体の種類や特性を使って堤防の植生を管理するような研究の方向性はあるか。たとえば、アレロパシーのある単一で生殖しやすい植物などもあると思うが。そういったものを研究開発していくというようなことも考えていいか。

(藤山) アレロパシーの勉強は昨年行ったが、ある植生は他の植生を駆逐するというものもある。たとえば彼岸花があるとミミズが来ないらしくて、結果的にモグラが来ないといったこともある。調査をして、それが実装化できればいいと思う。

(諏訪) 堤防植生の研究は、河川財団と寒地土研しかなくて投稿が少ない。何故投稿が少ないのか、教えてもらいたいと思っている。河川部会でもっとやってもいいのではないかとと思っている。地盤工学とは連携して盛り上がってきたので、同じように植生も大切なのでどこかと連携してやっていきたいと思っている。連携先などについてコメントが欲しい。

(中村) 堤防植生だけと言われるとなかなか難しいところもあるが、造園分野や緑化分野との連携はあるのではないかと思う。河川生態の観点から堤防を考える場合は、見方は変わってくる。

(戸田) 他の分野と連携して、他の分野からの投稿が増えるような形で学際的な部分を開拓していくのは、河川部会としてのミッションだと思っている。中村さんが言われたように、生態的な視点で植物を見ている視点と、造園・農学的な視点で見ている視点とはかなり違っていて、アレロパシーみたいな話も、外来種の問題とかが絡んでくると、生態の人たちにとっては、あまり魅力がないと思われるのではないか。ただ、堤防自体が治水のための最重要構造物であることを考えて、戦略的に堤防を議論するのであれば、造園の分野とかと連携していくのがいいかなと思っている。特定課題という出し方がいいのか、あるいは一度詳しい先生に部会にきていただいて議論して、そこを呼び水にして広げていくのがいいのかとか、色々やり方は考えなければならないと思うが、部会で取り上げるべきテーマだと感じる。

4. まとめ

(諏訪)

地盤工学分野との連携については、かなり活発なディスカッションができた。これからまとめるということだったと思う。次のステージに是非行ければと思う。

4) まとめ

- 地盤工学分野との連携: 堤防浸透破壊の研究は活発→次のステージへ (済)
- 3次元データ等新技術→点検支援、空洞調査等で可能性有
- 堤防植生研究: 研究者の裾野を広げる必要
→浸透における成功例参考に関連他分野との連携模索

投稿を見ると、地盤関係が多かったが、植生関係も3編ほどあったし、除草による活用というものもあった。築堤材料の管理状況と越流との関係、三次元データをどうとるか、というものもあった。珍しいものでは、地震動とそれによる劣化というものもあった。水防とか危機管理的なものもあった。多面的機能については1編くらいしかなかった。地盤工学以外では、侵食や多面的機能、護岸等の劣化、人為的な関わりによる植生の安定、民間利用等の社会実験、地域との関りなどについては低調であった。それから、河川工学の基本とも言える侵食・護岸・河道平面設計等については堤防との関連では少なかったが、こちらのほうも盛り上がると思っている。

4)まとめ

河川堤防関係投稿状況(重複あり)

- ①進行性破壊: 9本
 - 表面形状と貫入試験、盤ぶくれ監視、二ツ森川被災要因分析、円弧すべり法尻崩壊評価法、浸透流解析と塑性流動破壊の同時評価、築堤材料と管理状況、実流速による水みち進行度、パイピング危険度評価フロー、多粒子限界流速
- ②性能のバラツキ・幅1本、性能劣化: 4本
 - バラツキ: 現地植生調査、
 - 劣化: 表面形状・貫入試験、裏法雨水集中すべり、地震動劣化、高頻度高密度観測、
- ③堤防強化優先順位: 8本
 - 盤ぶくれ監視、高水敷保護摩擦速度、比抵抗調査絞り込み、パイピング絞り込みフロー、間隙水圧考慮、多粒子限界流速、減衰時堤防脆弱性指標、旧河道特性
- ④多面的機能: 1本 霞堤の機能
- ⑤機能の永続的確保: 12本
 - 堤防植生安定化3本(寒地植生定着、成長調整剤2本)、除草有効活用1本、築堤材料・管理状況1本、点検4本(MMS、地表面点群データ、UAV適用限界、新技術活用一考察)、地震動劣化、水防等2本(水防工法評価、決壊口締切)

(福岡) 私がそろそろやって欲しいと思っているのは、堤防が持っている環境的な役割で、安全性からの要請もあるが、多面的に見ていかなければならないときがきているのではないか。堤防が土木施設としてあるいは河川施設として大変大事だということを、景観面からも世の中の人を巻き込むために何とかしてもらえないかと願っている。

(中村) 景観面とか人の利用に関しては、最近土木研究所のほうでも水辺空間デザインということで、検討を進めている。自然環境については、あまり堤防の研究はされていないが、自然環境との関わりでは、堤防は陸域と水域を分断する構造物になり、移動を阻害することが出てくる。長期的に見れば、堤防ができたことで氾濫原がなくなったのをどう代償するかといった観点も重要になってくる。

(溝口) 川からの侵食や高水敷の侵食は、水工でもやられてはいるが、堤防の管理まで結び付けるところで実際の経験者が少ない。それは誰がやるべきなのか、という議論はあったが、研究者としてはやはりメカニズムがベースにあって、維持管理までそれを利用するという観点が研究者側に抜けているところがある。それを活発化するには、民と官が一緒に考えていかなければならないと思っている。

(諏訪) メカニズムも実務管理も両方が大切であると思う。河川部会は水工学講演会と違う役割をもっていると思うので、是非実務との関連で投稿が増えるといいと思っている。

4)まとめ

- 地盤工学以外(侵食、多面的価値、護岸等の劣化、人為的関わりによる安定植生、民間利用等の社会実験、地域との関わり)の分野の投稿は低調。
- 新技術(3次元地形データ等)にはそれなりの投稿はあるが、河川工学の基本とも言える侵食・護岸・河道平面設計等基本的な分野の投稿が少ない(特に、堤防との関連付け)。
- ⇒投稿が少ない分野の活性化には何が必要か

以上