

2016年9月7日 13:30-15:00 土木学会 研究討論会 東北大学川内北キャンパス

「河川堤防の安全性を如何に守るか —今後数百年を見据えて—」地盤工学委員会・堤防小委員会

洪水流の水理解析技術の現状

中央大学研究開発機構 内田龍彦



必要な堤防ソフト技術

堤防ソフト技術は、降雨、洪水、氾濫の観測、解析技術と組み合わせて、住民に伝える危険度、避難情報や有効な水防活動に役立つ情報を提供することであろう。現状の堤防観測、解析技術はどうか？

	観測, リアルタイム観測	解析技術, 予測・同化技術	現状
降雨	地点雨量計 レーダー雨量計 衛星雨量計	気象解析	川の防災情報 (国土交通省)
洪水	(リアルタイム)水位計, 流速計	洪水流解析	
堤防	巡視点検, 水位	越流, 浸透流, 破堤	
氾濫	防犯カメラなど	氾濫流解析	

↓

洪水危険度・避難情報
有効な水防活動

洪水流解析と堤防技術の関係

堤防: 洪水流を安全に河道内で流下させる最も重要な構造物

↓ INT PUT

堤防際の水位(圧力), 洗掘

↑ OUT PUT

洪水流解析: 洪水流がどのように河道を流下するかを知る手段

+

洪水観測, 河川測量, 水理実験

堤防の設計論, 維持管理(堤防技術)の点から見ると, 洪水流解析は, 堤防の安全性を検証するための洪水外力の解析手法である。

問題提起: 洪水流解析と堤防技術の分離

堤防設計・安定性評価

与えられた外力として計算

固定 [計画水位, 構造物の基礎]

堤防を与えられた境界条件として計算

洪水流解析

計画規模で考える場合, 計画流量, 計画水位という固定した外力(想定外力)で分離され, 堤防と河道がそれぞれ検討される。しかし, 現状の堤防の安全性評価となると, 河道が完成していないことから, **外力を固定し, 分離した検討は原理的に行えず, 洪水現象と一緒に考えていくことも必要である。**

氾濫流解析の例

従来, 氾濫流解析は, 氾濫流量という境界条件を用いて洪水流解析と分離されてきた。近年では, 氾濫流解析を支配する氾濫流量の精度を上げるために, 洪水流解析と統合した解析手法とともに堤防自体が着目されている。しかし, 破壊する危険度までを検討する上では, 洪水流解析-堤防とのリンクがまずは重要となる。

従来の分離型の解析

↑

氾濫流解析

↑

破堤幅, 氾濫流量 (境界条件)

↑

堤防

↑

洪水流解析

→

一体型(統合型)

↑

氾濫流解析

↑

堤防 (越流, 浸透⇒破堤)

↑

洪水流解析

この枠組みの中に堤防の安全性評価を入れたい？

堤防安定性評価の課題との類似性: 洪水観測と洪水解析を統合的に扱う

洪水流解析

↑ (上流端境界条件)

流量ハイドログラフ

↑ 一次元化 (H-Q式など)

水位観測
流量観測 (流速)

従来の分離型

洪水流解析

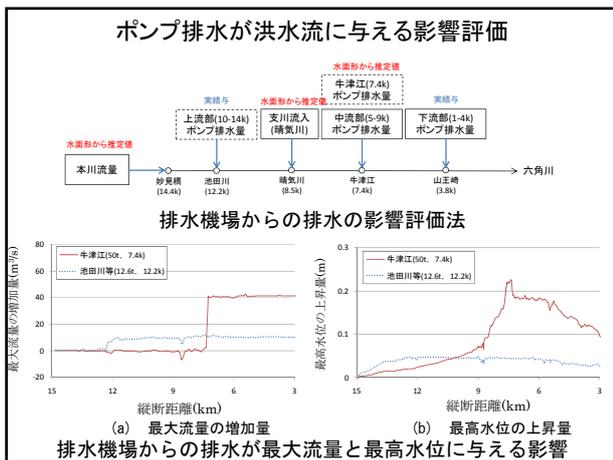
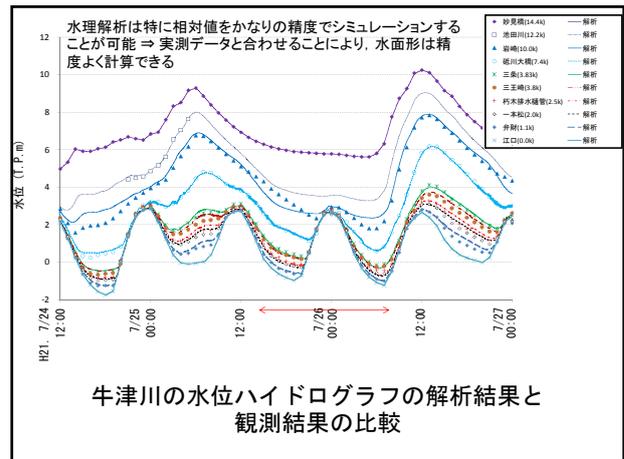
↑ 境界条件

水面形観測 (境界条件)
流量観測 (流速)

水面形を用いた解析法
(福岡, 河川技術論文集 17, 2011)

洪水流解析法を高度化してもその精度は流量ハイドログラフの算定精度(一次元)に依存する

観測値をそのまま用いるために洪水流解析法に応じた目的の精度を得ることが出来る。



堤防の安全性評価に必要な水理解析？

マルチスケール現象の一体解析法の必要性
堤防の安全性評価に関わる解析技術と親和性の高い解析技術
⇒ 洪水流のスケールの解析をしつつ、堤防付近の局所的な流れを考慮できるもの

水理解析に求められる機能

- 洪水流伝播、堤防沿いの水面形の時間変化(広域の解析が必要)
- 洪水時の局所洗掘... > 三次元性が重要(局所的な三次元解析)
- 堤防を越流する流れ、越流侵食
- 浸透、越流による堤防破壊と破堤

堤防に関する水理と地盤の共通部分
... > 流れの鉛直構造が重要(鉛直二次元解析)

- 氾濫流(広域の解析が必要)

平面二次元解析の枠組みで流れの三次元性を力学的に考慮できる準三次元解析法 + 地盤との境界接合部分の精緻化

マルチスケール現象の一体解析法

従来の解析方法

課題: 流速鉛直分布一定、圧力は静水圧分布
→ 平面二次元解析法

課題: 流速、圧力の鉛直分布を解く
→ 三次元次元解析法

課題: 計算負荷が増大し、洪水流の影響を考慮した解析への適用が難しい

底面流速解析法

流体解析の目的: 堤防に作用する外力評価 ⇒ 表面抵抗, 形状抵抗 ⇒ 底面流速, 圧力

底面流速の方程式:
$$\partial_t u_i = \epsilon_{ij} \Omega_j h + \frac{\partial W}{\partial x_i} - w_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + w_s \frac{\partial u_i}{\partial x_i}$$

底面流速の方程式:
$$\frac{dp_b}{\rho} = \frac{\partial h}{\partial t} W + \frac{\partial h W U_i}{\partial x_j} + \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}$$

渦度方程式を用いた底面流速解法

底面流速解析法の未知量と方程式

平均流-乱流, 水深-サブ水深スケールモデル

水深積分連続式: h
$$\frac{\partial h}{\partial t} + U \frac{\partial h}{\partial x_j} = 0$$

水深積分運動方程式: U_i
$$\rho \left(\frac{\partial U_i h}{\partial t} + \frac{\partial U_i U_j h}{\partial x_j} \right) = -\rho g h \frac{\partial u_i}{\partial x_i} - \tau_{in} + \frac{\partial h \tau_{ij}}{\partial x_j} + dp_b \frac{\partial u_i}{\partial x_i}$$

水深積分乱れエネルギーの輸送方程式: k
$$\frac{\partial k}{\partial t} + U \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v h}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \epsilon$$

底面流速の方程式(水深積分渦度): u_{ij}
$$u_{in} = u_i - \epsilon_{ij} \Omega_j h - \frac{\partial W}{\partial x_i} + w_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} - w_s \frac{\partial u_i}{\partial x_i}$$

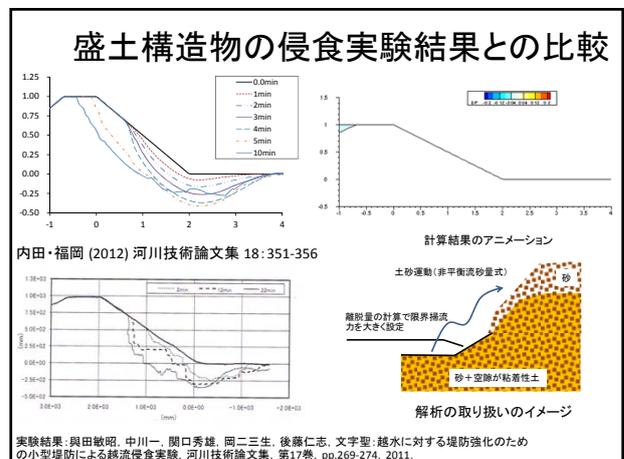
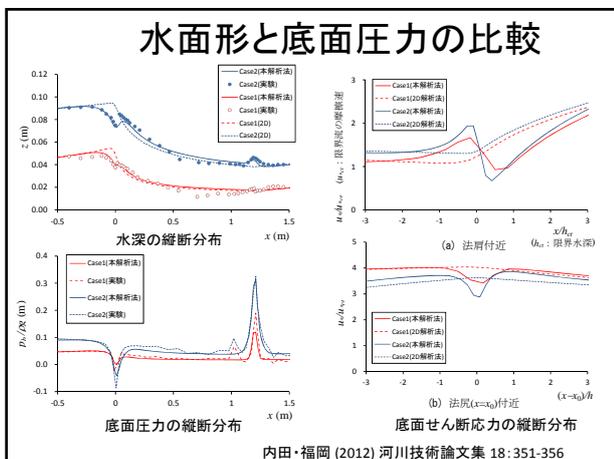
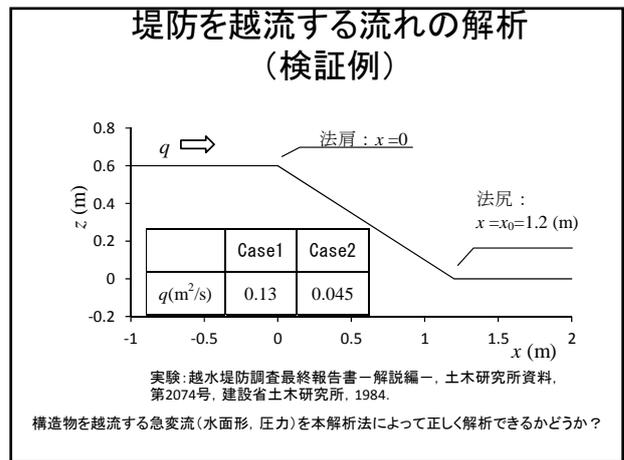
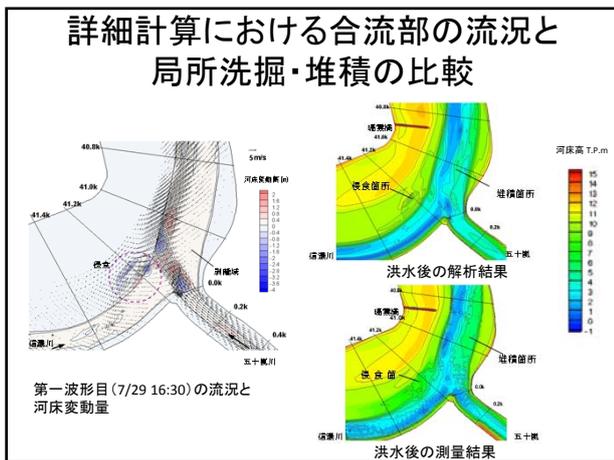
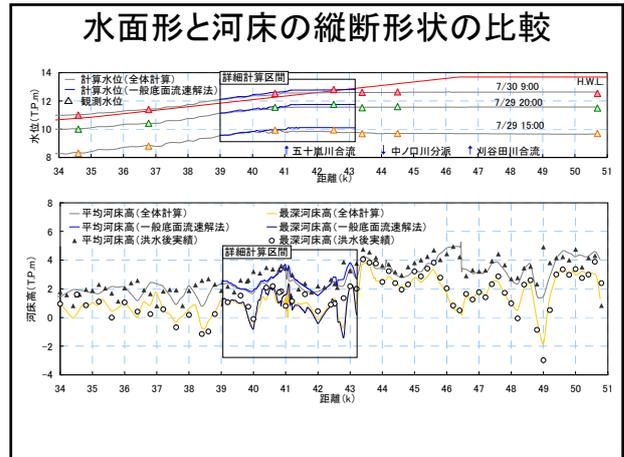
水深積分渦度方程式: Ω_i
$$\frac{\partial \Omega_i h}{\partial t} = R_{\Omega_i} + P_{\Omega_i} + \frac{\partial h \Omega_{ij}}{\partial x_j}$$

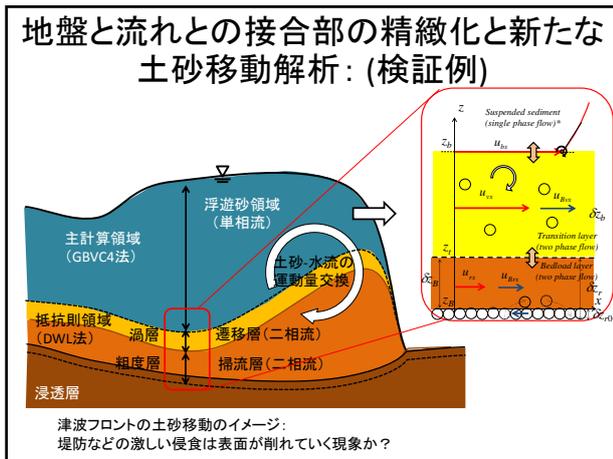
水面の運動方程式: u_{ij}
$$\frac{\partial u_{ij}}{\partial t} + u_{ij} \frac{\partial u_{ij}}{\partial x_j} = \left(g + \frac{\partial dp_b}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_{ij}}{\partial x_i} + P_{ij}$$

鉛直方向流速の方程式(水深二重積分連続式): W
$$W h = h \left(\frac{\partial u_{in}}{\partial t} + U_j \frac{\partial u_{in}}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(h^2 (k_s \Delta u_{ij} + k_s \delta_{ij} \dot{\epsilon}) \right)$$

水深積分鉛直方向運動方程式: dp_b
$$\frac{dp_b}{\rho} = \frac{\partial h W}{\partial t} + \frac{\partial h W U_j}{\partial x_j} + \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}$$

堤防の破壊、破堤解析も多重スケール現象を取り扱う必要がある。対象スケールのモデリングとサブスケールモデリングの関係が重要





まとめ

- ソフト技術としての堤防の観測，解析の必要性
- 堤防外力評価と堤防安全性評価の分離の問題
- マルチスケール解析技術の必要性
- 地盤・水理の融合した新しい分野への期待