

堤防越流による洗掘計算

東北大学 学生会員 野手 武
 東北大学 正 会 員 有働恵子
 東北大学 正 会 員 真野 明

1. 目的

破堤には越流, 浸透, 侵食などいくつかの原因が考えられるが, 越流による破堤は最も典型的なものであり, 浸透や侵食に比べて被害数が多いことが知られている¹⁾. また, 破堤に関するいくつかのパラメータが知られているが, 物理的機構が組み込まれている関係式が少ない. 越流による破堤の物理的機構を考える上で, 堤防越流による洗掘の様子を知ることが重要である. 洗掘を再現することができれば, 汎用的な越流破堤モデルの構築へ発展させることができると考える.

そこで本研究では, 流れの計算, 土砂輸送の計算を通じて, 越流による堤防裏法面洗掘を再現する理論的な手法の開発を目指す.

2. 現地実験の概要

計算結果との比較は, 国土交通省東北地方整備局によって行われた越流実験を参考とした. この越流実験は, 平成 18 年度 12 月 18, 20 日に行われた, 山形県にある須川の旧堤を利用した実スケール実験である. 実験の主な目的としては, 越流時における堤防侵食状況の確認であった. 実験における堤防の形状と越流条件²⁾を図 1 に示す.

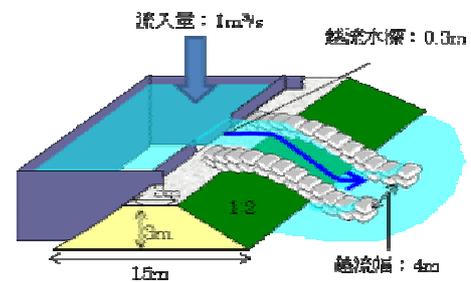


図 1 堤防の形状と越流条件²⁾

3. 数値解析方法

越流における連続式と運動方程式はそれぞれ以下の左式と右式のようになる.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) = -gDB \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{n^2 g}{D^{7/3}} \frac{|Q|}{B} Q$$

ここで η は水位, Q は流量, B は水路幅, A は流水断面積, g は重力加速度, D は水深, n は Manning の粗度係数である.

また, 土砂輸送における浮遊土砂濃度は以下の輸送方程式から求めた.

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \frac{1}{BD} \frac{\partial (\bar{C}Q)}{\partial x} = \frac{\bar{C}}{BD} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\bar{\varepsilon}_x \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} \right) - \frac{w_0}{D} C_{bottom} + \frac{w_0}{D} C_a$$

ここで \bar{C} は水深平均の浮遊土砂濃度, w_0 は沈降速度, $\bar{\varepsilon}_x$ は水深平均の拡散係数, σ_s は乱流 Schmidt 数である.

本来輸送方程式では, 鉛直方向に積分した式を用いるので, 断面平均濃度しか現れない. しかし, 粒径の比較的大きな土砂あるいはせん断力の比較的小さな流れでは, 鉛直方向に大きな濃度勾配がつくことが予想され, 沈降フラックスは河床付近の土砂濃度によって決まってくるので, この濃度を知ることが重要となってくる. そこで沈降に関する項の中で浮遊土砂濃度を C_{bottom} とし, Rouse の分布式から求めた. また, 巻き上げに関する項に関しても, 浮遊土砂濃度を C_a とし, van Rijn の基準点濃度式から求めた. この C_{bottom} と C_a を用いることで土砂の沈降と巻き上げ, すなわち堆積と洗掘を表現した.

キーワード 堤防, 越流, 洗掘, 土砂輸送, 非平衡モデル

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-11-1110 災害ポテンシャル研究室 TEL 022-795-7525

4. 計算条件

計算条件を簡単にまとめたものを図2に示す。計算範囲と地形データは基本的に、国土交通省より提供された資料の値を用いた。限界 Shields 数は、Rigetti らによる粘着性土砂の限界 Shields 数を適用し、粒径が $400\mu\text{m}$ 以下の土砂に対して粘着力を考慮した。

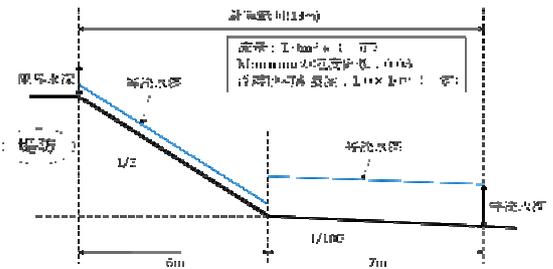


図2 計算条件

5. 結果と考察

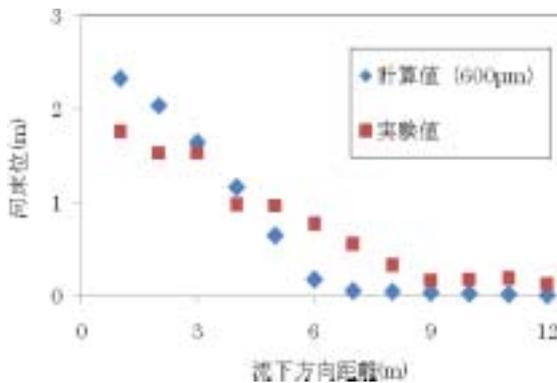


図3 越流開始 23 分後の河床位

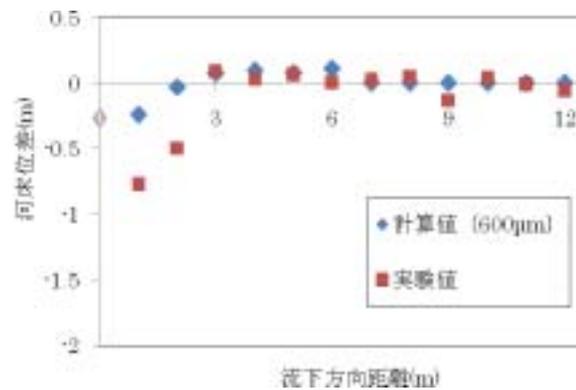


図4 越流開始 23 分後の河床位差

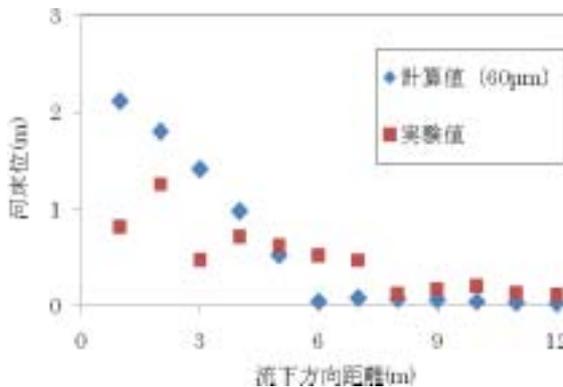


図5 越流開始 123 分後の河床位

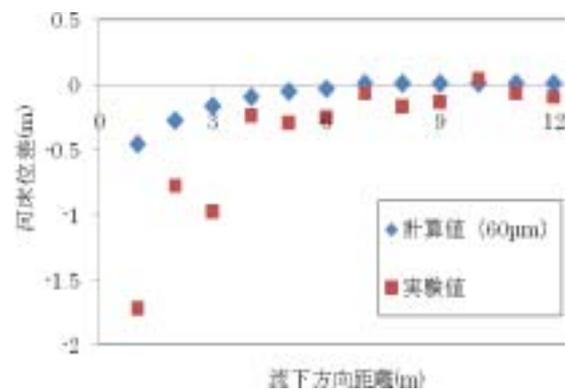


図6 越流開始 123 分後の河床位差

堤防のデータから堤体表層と堤体内部とで土砂の種類が違うことが分かっているので、堤体表層の土砂粒径を $600\mu\text{m}$ 、堤体内部の土砂粒径を $60\mu\text{m}$ として今回 2 通りの計算を行った。その中で、越流開始 23 分後(粒径 $60\mu\text{m}$)と越流開始 123 分後(粒径 $600\mu\text{m}$)の計算結果を図3~6に示す。図4, 6をみると、いずれの時間においても、数値の過小評価はみられるが、河床位差の正負が計算値と実験値とで概ね一致しているので、洗掘場所・堆積場所ともに良好に再現できているといえる。

6. 結論

- ・浮遊砂輸送を巻き上げと沈降とに分けて評価した非平衡モデルを提案した
- ・数値として多少の過小評価はみられたが、土砂輸送の計算を通じて現地実験の洗掘の様子を再現することができた

参考文献

- 1) 中島秀雄：図説 河川堤防，技法堂出版，pp.73-141，2005。
- 2) 国土交通省山形河川国道事務所：旧堤を用いた堤防浸透・越流実験の経過報告【最上川支川須川】。