

第II部門

堤防の越流侵食解析における堤体材料と形状の影響について

京都大学 学生員 ○南野 仁 京都大学 正会員 音田 慎一郎
 京都大学 正会員 肥後 陽介 東北大学 正会員 大竹 雄

1. はじめに

越流侵食解析については模型実験や実物大実験を対象としたものが多く、実際の堤防形状や材料を入力条件として解析された研究は少ない。そこで本研究では、実河川の代表的な堤防形状/材料を用い、どのような条件の堤防が越流侵食に対して粘り強いのか評価・比較することを目的とする。3次元流体解析モデルと掃流砂・浮遊砂を対象とした土砂輸送モデルを用いて堤防の越流侵食に関する数値解析を行い、結果を比較することで、堤体の形状や材料の影響について考察する。

2. 数値解析手法

流れのモデルには、非定常流れの水面変動を追跡できる密度関数法と、堤体と水域、及びその境界を表現でき、堤体中の浸透流も考慮できる Porous Media 法を組み合わせた3次元流体解析モデル¹⁾を用いる。土砂輸送モデルには平衡流砂モデルを適用する。掃流砂量式には Mayer-Peter and Müller 式、浮遊砂の浮上量には板倉・岸の式を用いた。本研究では、砂質土に加え粘性土を含む材料を取り扱うため、平野が提案した侵食係数 C_e ²⁾を両式に導入する。係数 C_e により、材料に粘性土が混在することによる侵食への粘り強さが表現されている。

$$q_{bs} = a_0 C_e (\tau_* - \tau_{*cr})^2 \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right) g d^3} \quad (1)$$

$$q_{su} = K C_e \left(\alpha_* \frac{\sigma - \rho g d}{\sigma} \frac{g d}{u_*} \Psi - w_f \right) \quad (2)$$

$$C_e = p \left(\frac{U'_c}{U_c^2 \tau_{*c}} \right)^q \quad (3)$$

$$U_c = \frac{d_{60}}{d_{10}}, U'_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60} d_{10}} \quad (a_0, p, q: \text{定数}) \quad (4)$$

3. 越流侵食解析

(1) 計算条件

本研究では、ある河川流域の堤防形状データのクラスター分析の結果、得られた5つの代表的形状を計算対象としている。計算領域の断面図の例を図1に示す。なお、計算負荷削減のため、堤体の表法面の一部を計算に問題

のない範囲で省いている。堤防材料データについては、代表的粒径データである289ケースから、固有直行分解²⁾を利用して、図2のDE0からDE8のように粒径パラメータセットを作成した。表1にDE0からDE8における各々のパラメータ値を示す。5つの代表断面に対して9つの粒度分布を与えた、合計45ケースの越流侵食解析を行う。

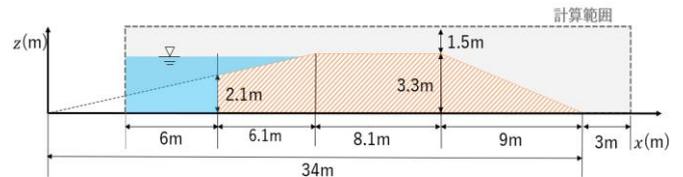


図1 計算領域 (形状1)

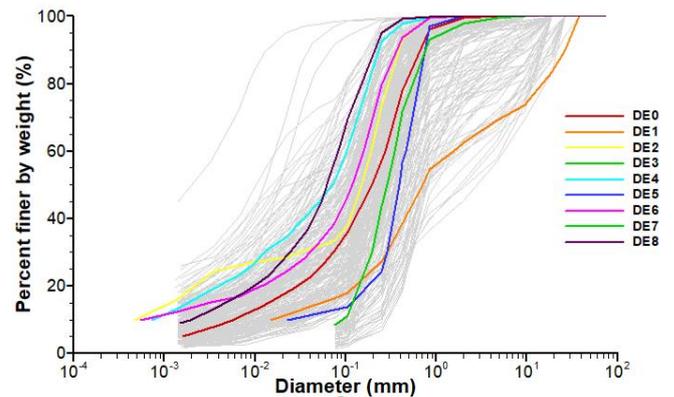


図2 粒径加積曲線

表1 粒径パラメータ一覧

	DE0	DE1	DE2	DE3	DE4	DE5	DE6	DE7	DE8
U_c	51.6	61.2	743	12.1	147	18.1	220	3.58	43.5
U'_c	3.59	3.11	8.27	0.577	1.54	8.40	22.3	1.56	4.15
τ_{*c}	0.069	0.034	0.086	0.046	0.137	0.035	0.104	0.055	0.140

初期条件として、天端の高さから0.5(m)下の位置に水位を設定し、越流水深が0.3(m)となるように上流端から所定の流量0.514(m³/s)を与えて越流侵食解析を行う。

(2) 解析結果

計算時間の都合上、越流時間は最大1770(s)とした。また、天端高が初期天端高さの70(%)となった状態を「破壊基準」と定義し、この破壊基準に到達した時刻(破壊基準到達時刻)を用いて各形状、各粒径ごとに結果の比較を行う。ケース番号はcase α - β とした場合、粒径DE α の材料

に対して、代表形状 β を用いた結果であることを表す。

45 ケースの解析結果を侵食タイプで場合分けすると次の3パターンに分類される。

A：裏法面が直線的に侵食されるパターン

B：裏法面の侵食形状が凸凹になるパターン

C：法肩から法肩に向けて侵食が進むパターン

45 ケースのうち36ケースがパターンAに分類された。パターンAの代表的なケースとして、case0-1の堤体形状時間変化を図3に示す。また、パターンBの代表例として、case7-4を図4に示す。

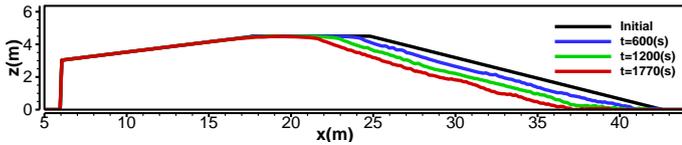


図3 case0-2

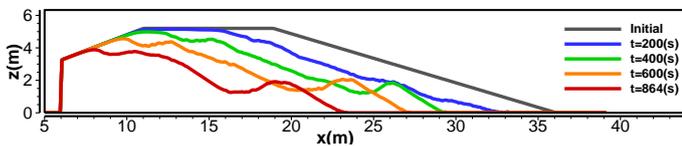


図4 case7-4

(3) 比較と考察

まず、天端高の減少量をもとに、各粒径間の比較を行う。形状3において、天端高さが破壊基準に至る時刻までの堤防形状の時刻歴変化をまとめたものを図5に示す。DE2, 4, 6, 1, 0, 8, 3, 5, 7の順に減少量が小さくなっていることが分かる。基本的には均等係数が大きい、つまり広い粒度分布の粒径データを用いたケースほど、侵食量が小さくなっている。次に、各形状間の比較を行う。DE5, 7以外の粒径データを用いたケースにおいて、天端高の減少量は各形状間において比較できるほど大きな差が生じなかったため、ここではDE7を用いたケースに絞って比較を行う。粒径データ (DE7) における天端高さが破壊基準に至る時刻までの堤防形状の時刻歴変化をまとめたものを図6に示す。形状3が最も早く破壊基準に到達、その次に形状2が続く結果となった。グラフから、ある時刻から急激に傾きを増して、天端高が減少していることが分かる。これは裏法肩から始まった侵食が法肩まで到達すると一気に堤防が崩れるためである。そのため、天端幅が短い形状3や形状2は比較的早く破壊基準に達したと考えられる。

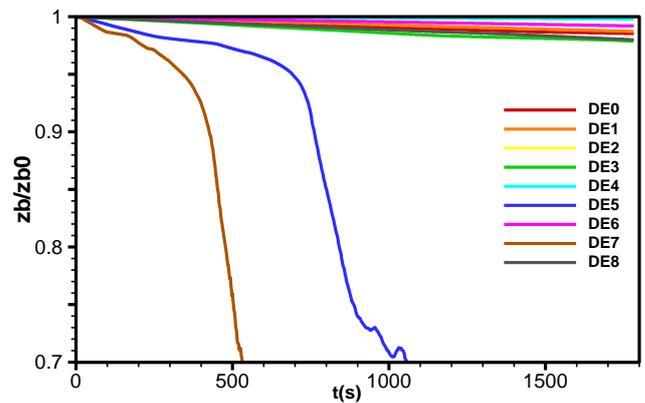


図5 天端高時間変化 (形状3)

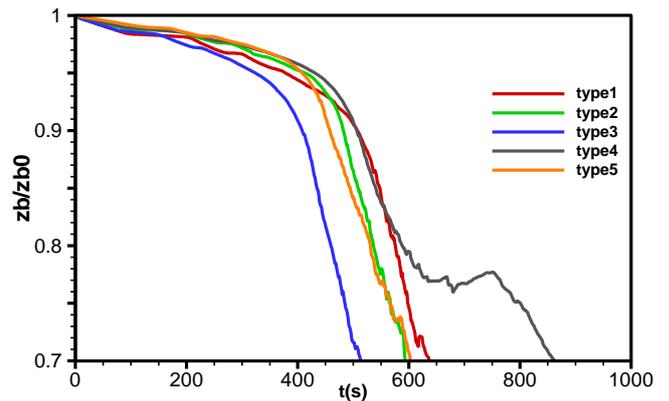


図6 天端高時間変化 (DE7)

4. 終わりに

本研究では、実河川における堤防の形状と材料データをもとにして作成した実スケールの堤防に対して越流侵食解析を行い、各ケースの結果を比較することで、形状と材料の影響について考察した。粒度分布の広い堤体材料ほど侵食に対して強い結果となった。また、今回定義した堤体破壊条件のもとでは、天端幅が短いものほど破壊が早い傾向にあると考えられる。パターンB、Cのように裏法肩の侵食が裏法尻の侵食よりも速い場合、先に天端部分が侵食される場合があった。本研究では侵食係数 C_e によって侵食特性が異なることから、様々な粒度分布で越流侵食に関する模型実験を行い、侵食係数 C_e の評価方法について考察したい。

参考文献

- 1) 音田慎一郎, 清水皓一, 山口凌大: 浮遊砂の影響を考慮した堤防の越流侵食に関する数値シミュレーション, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.77, No.2, pp.I_703-I_708, 2021.
- 2) 平野大地: 河川堤防の越流侵食解析における降雨外力および堤防材料の不確実性評価手法の構築, 京都大学修士論文, 2022.