第Ⅱ部門

堤体材料の粒度分布を考慮した数値モデルによる実物大堤防の越流侵食解析

京都大学	学生員	○南野	仁	京都大学	学生員	牧川	星朗
京都大学	正会員	音田	慎一郎	京都大学	正会員	肥後	陽介

1. はじめに

越流侵食解析については模型実験を対象としたものが 多く、実物大実験を対象としたものは少ない.そこで本研 究では、様々な粒度分布条件下での実物大堤防における 越流侵食を予測できるモデルの構築を目的とする.3次元 流体解析モデルと掃流砂・浮遊砂を考慮した土砂輸送モ デルを用いて模型実験の堤防の越流侵食解析を行い、モ デルパラメータの同定を行った後、実物大堤防における 越流侵食実験の再現計算を行い、モデルの実物大堤防へ の適用性について検討する.

2. 異なる粒度分布条件下での越流侵食解析

(1) 数值解析手法

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、および浮遊砂 の浮上量には Mayer-Peter and Müller 式、板倉・岸の式に 圧力勾配の影響を考慮して修正した式(1)、(2)を用いた. また、砂質土、粘性土を含め、粒度分布を有する材料に対 して解析できることを可能にするため、侵食係数 C_e^2 を両 式に導入する.

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

$$q_{su} = KC_e \left(\alpha_* \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_s} \frac{gd}{u_*} \Psi \left(1 - \nabla P \cdot \widehat{k} \right) - w_f \right)$$
(2)

(2) 計算条件

既往の実験²⁾を解析対象とした.図1に実験の概略図を 示す. Case1 は,濾過砂利,珪砂1号,3号,4号,6号, 8号,笠岡粘土を1:1:1:1:3:5:3の重量割合で混合したもの, Case2 は濾過砂利,珪砂1から8号,笠岡粘土を均等な割 合で混合したもの,Case3 は濾過砂利,珪砂1から6号, 笠岡粘土を均等な割合で混合したものである.これらの 粒径加積曲線を図2に示す.





(3) パラメータCeの同定と回帰式の検討

児玉ら³の研究と同様に、パラメータ C_e の同定を行った. 例として堤体形状に関する Case2 の比較を図 3 に示す. $C_e = 0.005$ とした計算において再現性が高かった.児玉ら が実施した 4 ケースの再現計算 ³と今回行った 3 つのケ ースの再現計算の結果をふまえ、図 4 に示す回帰式を得 た.平均粒径の違いによって侵食の受けやすさに違いが 生じたことから、平均粒径ごとに 2 本の回帰式を作成し た.赤線の回帰式 a)は d_{50} が 0.2mm 程度、青線の回帰式 b) は d_{50} が 0.5mm 程度で整理したものである. C_e の表式につ いては式(3)、(4)に示す.材料に粘性土が混在することに よる侵食への粘り強さやかみ合わせ効果が均等係数 U_c と 曲率係数 U'_c により表現されている.

a) :
$$C_e = 0.9783 \left(\frac{U'_c}{U_c^2 \tau_{*c}}\right)^{0.7654}$$
 (3a)

Jin NANNO, Hoshiro MAKIKAWA, Shinichiro ONDA and Yosuke HIGO nanno.jin.38x@st.kyoyo-u.ac.jp

口頭 II-8



b) :
$$C_e = 0.1843 \left(\frac{U_c}{U_c^2 \tau_{*c}}\right)^{1.0347}$$
 (3b)

$$U_c = \frac{d_{60}}{d_{10}}, \ U'_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60}d_{10}} \tag{4}$$

3. 越流侵食解析の実物大実験への適用

(1) 計算条件

既往の越流侵食実験⁴⁾を解析対象とした.これを CaseA とし、実験の概略図を図 4 に、粒度分布を図 1 示す.堤 体には江戸崎山砂が使用されている.堤体土のd₅₀が 0.14mmのため回帰式 a)を使用し、表 1 に堤体土の粒度分 布に関するパラメータの値を示す.

(2) 解析結果と考察

図6に越流開始5分後における堤体侵食状況の実験と 計算の比較を示す.実験結果では裏法肩の下流と裏法尻 付近で大きな侵食が見られるが,解析結果ではほとんど 侵食されておらず,形状の変化を再現できなかった.侵 食が過小に評価された原因としては*Ce*の値が小さく見積 もられたことが考えられる.このような結果となった原 因として,模型実験と実物大実験の締固め度の差がある と考えられる.模型実験では98%を越える締固め度に対 して実物大実験の締固め度は83%であった.今回は模型 実験をもとに作成した回帰式を用いて計算したため,侵 食量が小さくなる結果になったと考えられる.そこで*Ce* の値を約3倍の $C_e = 0.31$ にして計算した結果を図7に示 す. 裏法尻での洗掘を除き,実験結果を概ね再現する結 果が得られた.



4. おわりに

本研究では、模型実験の再現解析をもとに粒度分布の 違いを考慮した越流侵食解析モデルを構築し、実物大堤 防における越流侵食実験に適用した.粒度分布だけでは なく、締固め度の影響を考慮することで堤体形状の時間 変化を再現できることを示した.今後、異なる粒度分布を 用いた実験の再現計算を行い、モデルの妥当性を検証し たい.

参考文献

- 音田慎一郎,山口凌大,金井 稔:河床近傍の圧力勾配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.78, No.2, pp.I_1219-I_1224, 2022.
- 2) 牧川星朗,前田拓人,南野 仁,音田慎一郎,肥 後陽介:異なる粒度分布を有する堤防の越流侵 食過程に関する実験的研究,第79回年次学術講演 会講演概要集,II-90,2024.(印刷中)
- 児玉真乃介,平野大地,音田慎一郎,大竹雄,肥後 陽 介:河川堤防の越流侵食解析における材料不確実性の 評価手法,土木学会論文集 B1(水工学), Vol.80, No.16, 23-16155, 2024.
- 建設省土木研究所総合治水研究室:越水堤防調査報告 書-資料編(II)-, 土木研究所資料, 第 2081 号, 1984.