

## 開水路流れ解析モデルと地盤変形解析モデルを用いた堤防破壊の数値シミュレーション Numerical Simulation of Embankment Failure Coupled with Open Channel Flow and Ground Deformation Models

○音田慎一郎・北林資也・肥後陽介・細田 尚

○Shinichiro ONDA, Motoya KITABAYASHI, Yosuke HIGO, Takashi HOSODA

Embankment failure recently occurs in flood events and it is of great importance to understand mechanism of dike failure and predict flows and sediment transport during its process accurately. In this study, the fundamental experiment is firstly conducted to understand mechanism of seepage failure. Then, numerical simulation of dike failure due to seepage is carried out by using open channel flow model and ground deformation model. Overtopping and seepage flows are simultaneously simulated in the flow model, and GIMP method is applied to simulate deformation of dike. The numerical model is validated through comparison with the experimental results.

### 1. はじめに

近年、局地的集中豪雨による河川堤防の決壊(破堤)が多発し、甚大な被害をもたらしている。こうした被害を低減するためには、土木構造物の適切な設計、計画、維持管理が必要不可欠であり、河川堤防においては、出水時における非定常的な流れ(水位や流速)の変化と堤体への浸透、越流による表面浸食や水の浸透に伴って土の有効応力が減少し、破壊に至るメカニズムを精度よく予測することが必要である。こうした背景から、本研究では浸透による堤防破壊について再現性の高い解析手法を確立すること目的としている。

本研究では、まず室内水理模型実験を実施し、堤体の浸透破壊に関する現象の基本的特性を把握する。次に、堤体の越流と浸透を同時に予測できる開水路流れ解析モデル<sup>1)</sup>と GIMP 法を用いた地盤変形解析モデル<sup>2)</sup>を連成させ、浸透破壊に関する数値シミュレーションを行う。

### 2. 浸透破壊に関する模型実験

#### (1) 実験方法

図-1 に水理模型実験の模式図を示す。水平直線水路上に堤体高さ 0.12m、天端幅 0.04m、のり面勾配が 1:2 の堤体を設置し、上流側から水を流入させ、浸透破壊実験を行った。堤体には、珪砂 5号(平均粒径 0.53 mm)を使用し、初期含水比を 0%として、乾燥状態から実験を開始した。水理条件として流入流量は  $Q = 0.80 \text{ l/s}$  である。流入水がのり尻に到達した時刻を  $t = 0\text{s}$  とし、破壊が終

了するまで実験を行った。浸透破壊中の堤体状況を観察するため、水路側方側と裏のり面上方側の 2 方向から高速度カメラによる撮影を行った。

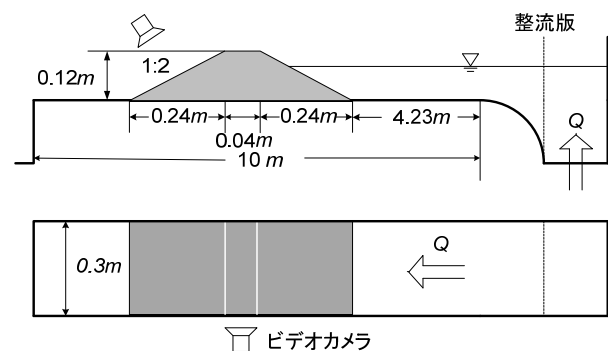


図-1 水理模型実験の模式図

#### (2) 実験結果

写真-2 は、高速度カメラによって撮影した堤体形状の時間変化を示したものである。(a)は裏のり面の様子であり、(b)は堤体側面の様子である。また、図-2 は撮影した画像から堤体形状を測定し、その時間変化を示したものである。横軸  $X$  と縦軸  $Z$  はそれぞれ堤体の底面長さ、堤体高さの値で除して無次元化している。

ビデオ画像より、裏のり尻には  $t = 270\text{s}$  に浸透水が到達する。その後、写真-1 に示すように  $t = 308\text{s}$  において裏のり尻から微小な崩壊が発生したことが確認できる。崩壊は塊となった砂粒子が滑動して生じており、のり面上には崖状の高低差が見られる。その後、堤体内浸透面が上昇することで裏のり面上方へ崩壊が進行し(写真-2)、破堤に至った。

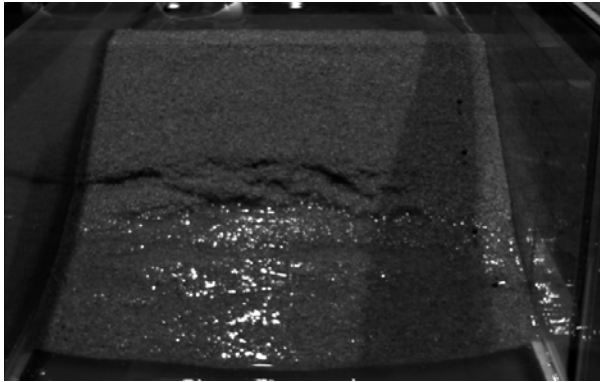


写真-1(a) 裏のり面の様子 (t=308s)

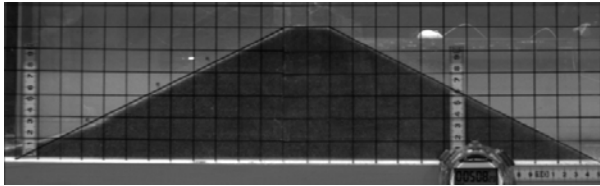


写真-1(b) 堤体側面の様子 (t=308s)

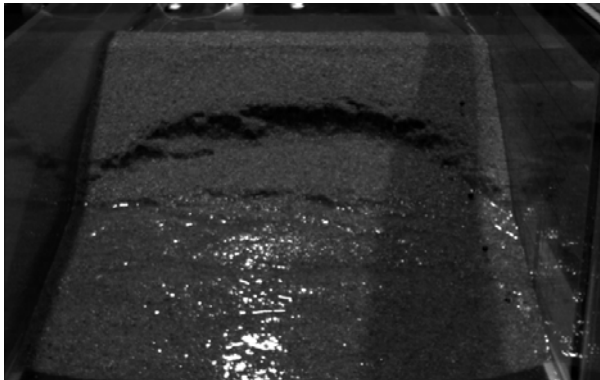


写真-2(a) 裏のり面の様子 (t=316s)

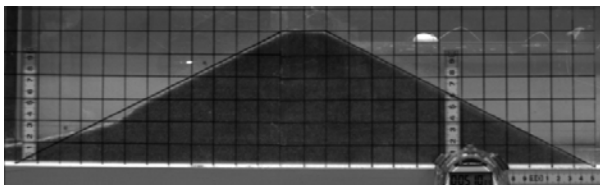


写真-2(b) 堤体側面の様子(t=316s)

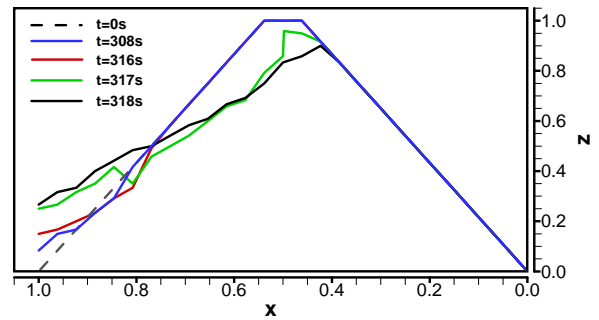


図-2 堤体形状の時間変化

#### 参考文献

- (1) 音田慎一郎, 細田 尚, Jacimovic Nenad, 木村 一郎: 正面越流による堤防侵食過程の数値シミュレーション, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.69, No.4, pp.I\_1207-I\_1212, 2013.
- (2) 西村太佑: MPM を用いた不飽和堤防の動的解析, 京都大学大学院修士論文, 2011.
- (3) Oka, F., Yashima, A., Tateishi, A., Taguchi, Y. and Yamashita, S.: A cyclic elasto-plastic constitutive model for sand considering a plastic strain dependency of the shear modulus, *Geotechnique*, 49(5), pp.661-680, 1999.

### 3. 数値解析法

開水路流れ解析法として、非定常流れの水面変動と堤体における越流と浸透を同時に予測する流れ解析モデル<sup>1)</sup>を用いた。一方、地盤変形モデルには、非線形移動硬化則を導入した砂の弾塑性構成式<sup>3)</sup>を基本とし、計算格子内に配置した粒子を追跡することで地盤の変形を計算する GIMP 法<sup>2)</sup>を用いた。

### 4. 計算結果

当日紹介する。