

津波の越流による海岸堤防裏法尻の洗掘と蛇籠工が与える影響について

Local Scouring at Landward Toe of Coastal Dike Due to Tsunami Overflow and Influence of Gabions

- 谷口淳也, 名古屋大学, 名古屋市千種区不老町, E-mail: taniguchi.junya@f.mbox.nagoya-u.ac.jp
- 中村友昭, 名古屋大学, 名古屋市千種区不老町, E-mail: tnakamura@nagoya-u.jp
- 趙 容桓, 名古屋大学, 名古屋市千種区不老町, E-mail: yhcho@civil.nagoya-u.ac.jp
- 水谷法美, 名古屋大学, 名古屋市千種区不老町, E-mail: mizutani@civil.nagoya-u.ac.jp
- Junya TANIGUCHI, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603, Japan
- Tomoaki NAKAMURA, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603, Japan
- Yonghwan CHO, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603, Japan
- Norimi MIZUTANI, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603, Japan

Numerical simulations using a three-dimensional coupled fluid-structure-sediment-seabed interaction model (FS3M) and hydraulic experiments for its validation were carried out to investigate the effectiveness of gabions against tsunami scour at the landward toe of a coastal dike. From numerical results, the predictive capability of the model was demonstrated in terms of water surface elevation on the crown of the dike. Furthermore, it was found that the model can simulate the evolution of a scour hole, suggesting its applicability to tsunami-induced scouring phenomena.

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震津波により、沿岸部は甚大な被害を受けた。特に、海岸堤防は津波の越流により、広範囲で全壊もしくは半壊に至った。この主要因として、海岸堤防裏法尻の洗掘が挙げられている。そのため、海岸堤防裏法尻の洗掘対策が重要な課題となっている。そこで、これまでいくつかの洗掘対策工が水理実験や数値解析によって検討されている。例えば中村ら¹⁾は、袋詰玉石工には洗掘を堤体から遠ざけ、最大洗掘深を抑制する効果があることを数値解析により示している。ただし、この効果を裏付ける水理実験は行われておらず、洗掘対策としての有効性には疑問が残る。本稿では、袋詰玉石工が津波による海岸堤防裏法尻の洗掘に与える効果に対するさらなる検討を行うため、袋詰玉石工に類似する蛇籠工を用いた水理実験を行うとともに、その再現計算を3次元流体・構造・地形変化・地盤連成数値計算モデル FS3M²⁾により行い、本稿で対象とする現象に対する同モデルの適用性を確認する。

2. 水理実験の概要

Fig. 1 に示すように、長さ 6.0 m、幅 0.30 m、高さ 0.29 m の循環式水平開水路の中に深さ 0.10 m の砂地盤を設置し、その上に縮尺 1/50 の海岸堤防（高さ 0.10 m、天端幅 0.05 m、法面勾配 1/2）を設置して実験を行った。砂地盤と海岸堤防の中詰砂は中央粒径約 0.2 mm の珪砂 6 号とし、海岸堤防は不透過な木製の被覆で覆った。循環させる水の量はポンプの起動台数によって管理されており、越流時間が約 30 秒（現地換算で約 3 分半）となるようにポンプの作動時間を調節した。通水時には、デジタルアンプ分離式超音波センサ（Omron 社製）を用いて、堤体前後と天端中央で水位の計測を行った。ここで、後述する最大越流水深は、堤体沖側の最大

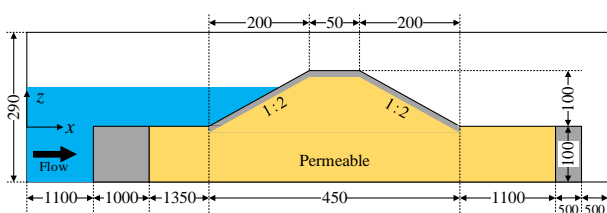


Fig. 1 Experimental setup (unit: mm).

水位から堤体の高さを引いた値として定義した。また、一眼レフカメラ（Panasonic 社製）を用いて裏法尻周辺の砂地盤を動画撮影し、越流開始時を 0 秒として 10 秒ごとの変化をキャプチャした。その後、抽出画像から洗掘の断面形状を抽出した。Table 1 に実験条件を示す。同表に示すように、最大越流水深を 2 通り変化させた。また、裏法尻の洗掘対策として、蛇籠工を設置した場合に加えて、比較として対策なしとブロックの計 3 通りの実験を行った。

3. 数値計算の概要

Fig. 1 に示した実験装置を参考に決定した計算領域を用いて、水理実験の再現計算を行った。水平方向の計算格子は、海岸堤防とその裏法尻周辺の $3.4 \leq x \leq 4.2$ m では 3 mm の等間隔とし、それ以外の領域では不等間隔とした。鉛直方向の計算格子は 5 mm の等間隔とした。境界条件として、沖側境界は海岸堤防の天端中央での水位ができる限り一致するように決めた流量を流入させる流入境界条件とし、岸側境界には勾配ゼロの条件を、海岸堤防の被覆を含む不透過壁には Slip 条件を課した。

4. 計算結果および考察

Fig. 2 に海岸堤防の天端中央での水位変動の比較を例示する。ここで、上述したように、越流開始時を 0 秒とした。Fig. 2 より、最大越流水深が小さい N-1 のとき、越流水深が増加していく過程や減少していく過程を含めて、水理実験結果と良く一致していることが分かる。また、最大越流水深が大きい N-2 のとき、最大越流水深や越流時間については水理実験結果と概ね一致している。ただし、越流水深の増加時（時刻 $t < 7$ s）や減少時（ $t > 30$ s）に若

Table 1 Experimental cases

Case	Flow rate (m ² /s)	Max. overflow depth (mm)	Overflow period (s)	Countermeasures
N-1	0.00134	38.3	30	No
N-2	0.00260	65.3		No
B-1	0.00134	38.3		Blocks
B-2	0.00260	65.3		Blocks
G-1	0.00134	38.3		Gabions
G-2	0.00260	65.3		Gabions

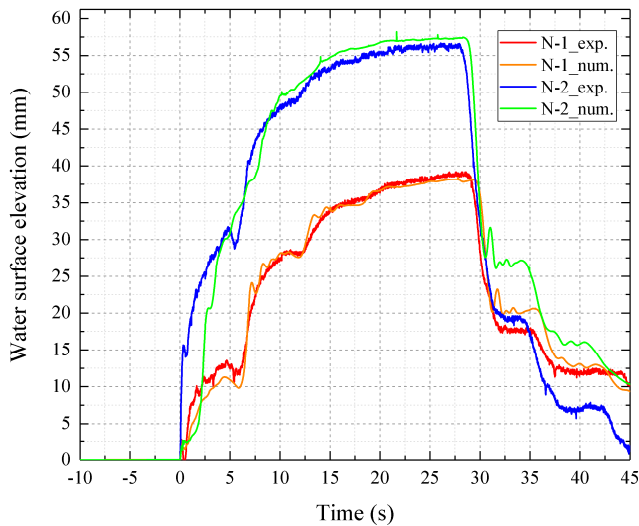


Fig. 2 Water surface elevation on the crown of the dike.

干の差異が見られる。特に、越流水深の減少時は水理実験結果を過大評価しているものの、この時刻の越流は洗掘形状に大きな影響を与えないことが水理実験で確認されているため、以下では、この計算条件を用いて洗掘の検討を行うこととする。

Fig. 3 に、越流開始から 10 秒ごとの海岸堤防裏法尻における洗掘の発達状況を例示する。同図は Table 1 の N-1 のケースであり、堤防側 ($x \geq 3.9$ m) にある黒塗り部分は堤防の被覆を表している。

越流開始から 10 秒後を示した Fig. 3(a) より、裏法尻付近に洗掘が生じ始めていることが分かる。その後、Fig. 3(a) から (c) より、越流開始 10 秒後から 30 秒後にかけて洗掘深と洗掘幅が大きくなり、最大洗掘深の位置が徐々に堤体から遠ざかっていることが確認できる。特に、Fig. 2 に示したように、越流開始後の 20~30 秒は越流水深が最も高い時刻である。そのため、この時刻における洗掘の拡大が顕著であったと考えられる。その後、越流開始から 30 秒で水の流入が止まり、それに伴い Fig. 2 に示したように越流水深が急激に減少している。ただし、Fig. 3(d) に示すように越流はその後も継続しているものの、Fig. 3(c) と比較して洗掘形状に大きな変化は見られない。以上のように、本稿で対象としている現象を FS3M により計算できることが確認できた。

5. おわりに

本研究では、津波の越流による海岸堤防裏法尻の洗掘と蛇籠工が与える影響について、水理実験と数値解析の両面から検討を行った。その結果、海岸堤防の天端における水位変動の観点から、数値計算モデル FS3M の再現性を確認できた。また、同モデルを用いて洗掘の発達過程の検討を行った。今後は、洗掘に与える蛇籠工の影響について検討をしていく所存である。最後になるが、本研究は科学研究費補助金基盤研究(C) (課題番号: 18K04364) の補助を受けたことを付記し、感謝の意を表する。

参考文献

- (1) 中村友昭, 日比野加奈, 趙容桓, 水谷法美, 小竹康夫, “東北地方太平洋沖地震津波による海岸堤防裏法尻の洗掘と対策工の有効性に関する数値解析,” 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 71, 2 (2015), pp. I_1099-I_1104.

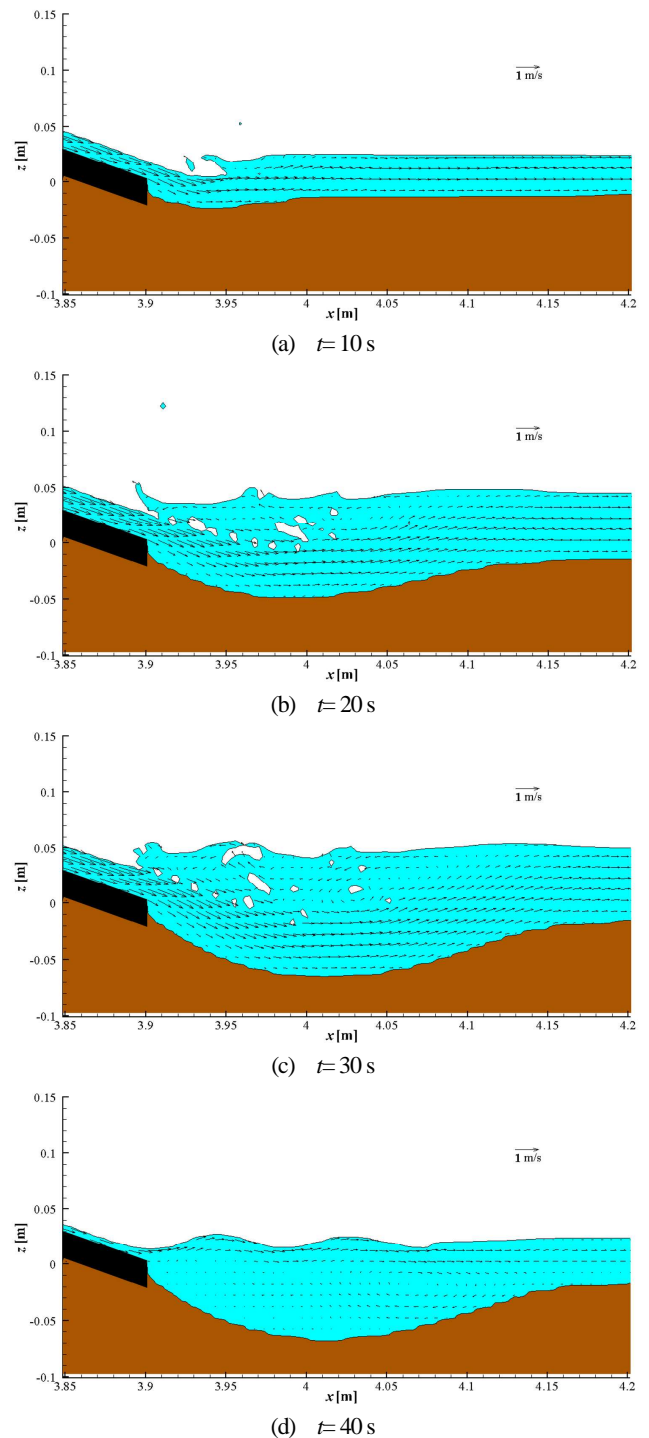


Fig. 3 Evolution of a scour hole at the toe of the dike (Case N-1).

- (2) 中村友昭, 鈴木愛美, 趙容桓, 水谷法美, “浮遊砂による流体の粘度の変化と一様流および津波による流動場と与える影響に関する研究,” 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 72, 2 (2016), pp. I_163-I_168.