

名古屋大学大学院社会基盤工学専攻	学生会員	○峯浦 亮
神戸市立工業高等専門学校都市工学科	フェロー	辻本 剛三
神戸市立工業高等専門学校都市工学科	正会員	柿木 哲哉
神戸市立工業高等専門学校都市工学科	正会員	宇野 宏司

1. はじめに

2011年3月11日に東北地方太平洋沖に発生した地震津波は、東北地方に甚大な被害を与えた。津波は堤防天端を越流し堤内地に海水が流れ込んだが、その際、越流に伴い堤防が転倒・破壊され、被害が拡大した地域もあった。堤防は越流水により堤防背面基礎を洗掘し、支えを失ったことや流体力が働く事などの、複合的な影響を受けて転倒したと考えられる。しかし、堤防を越流した流れによる洗掘機構の特性は明確でない。そこで、堤防のモデルを作成し、実際に越流を再現する水理模型実験及び模型実験の再現計算を行う数値実験を行うことにより、洗掘機構についての知見を得ることを目的とした。

2. 水理模型実験

2.1 実験概要

実験は、図1に示す2次元開水路に模型堤防を設置し、一定流量で水を流すことにより越流を再現した。堤防後方には10cmの段差が付けられており、堤防後方から45cm先の固定床まで平均粒径5mmの砂利を敷設し、実験を行った。移動床の洗掘形状は、水路側面をデジタルカメラで撮影し、計測を行った。越流開始時は10s間隔で撮影、徐々に撮影間隔を伸ばし、越流継続時間が3600sになるまで観測を行った。移動床での計測項目を図2に示す。

2.3 実験結果

移動床付近に各種計測項目の時間変化を表したのが図3である。最大洗掘深は越流時間が100sまで急勾配で増加していき、それ以降はゆるやかに増加していく。最大洗掘形状が生じる場所、プール高さは越流時間100s以降は多少の増減は見られるものの、一定となる。最大洗掘長Lは越流時間100sを越えてもゆるやかに増加してゆく。洗掘面積は越流時間100sを終えると勾配が少し緩やかになるものの増加してゆく。これより、越流時間が一定時間を越えても、洗掘形状は平衡になることな

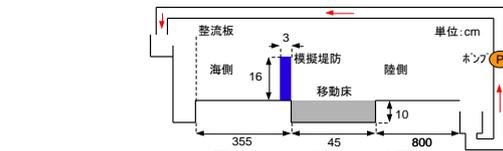


図1 水路側面図

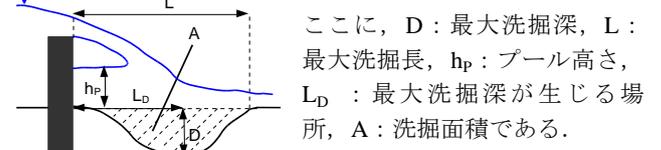


図2 移動床周りの計測項目

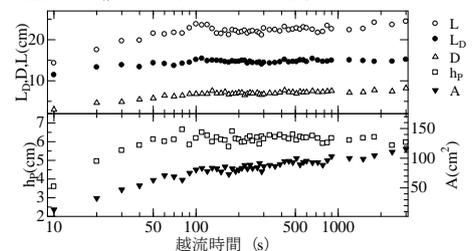


図3 各計測項目の時間変化

く、成長し続けることがわかった。

3. 数値計算

3.1 再現実験の概要

実験再現計算には、2次元波動水路 CADMAS-SURFを用いた。その詳細は(財)沿岸開発研究センター(2001)に取りまとめられている。連続した越流を再現するために、異なる初期水位を持たせ、計算開始と共にダムブレークを発生させるダム破壊法を用いた。数値実験は水理模型実験と同じスケールで行い、格子間隔は鉛直方向に0.5cm、水平方向に可変メッシュを用いて10cm, 1cm, 0.5cmと変化させた。特に模型堤防付近や洗掘位置は高精度に解析するために0.5cm×0.5cmの細かい格子間隔にした。モデル内に水理模型実験で形成された、各越流経過時間ごとの洗掘形状を入力し、実験と同じ条件を越流を再現することにより、各越流経過時間ごとの洗掘領域に発生する物理量を計算した。

2次元解析モデルを図4に示す。実験と同様の越流を再現するために必要な初期水位差は事前計算の結果8cmと分かった。ダム長は1980cmとし、解析終了時間

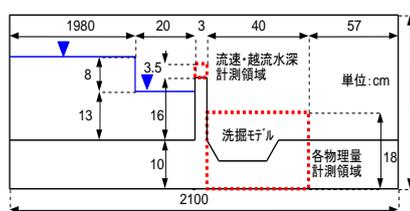


図4 2次元解析モデル

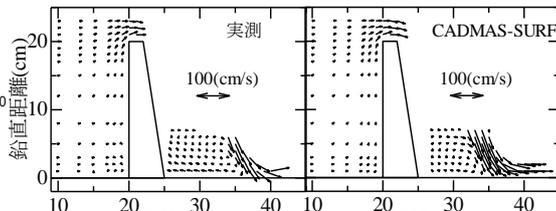


図5 堤防回りの流速ベクトル

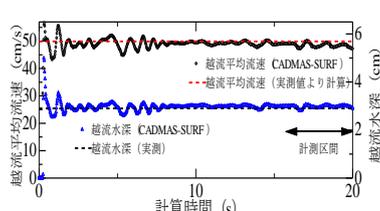
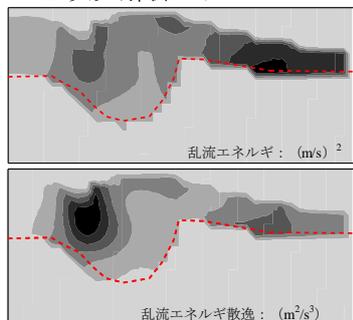
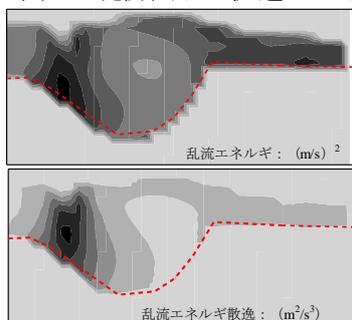


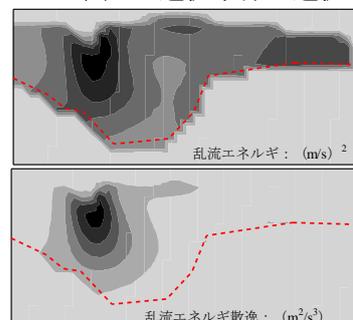
図6 越流水深と越流平均流速



(1)越流時間 30s



(2)越流時間 180s



(3)越流時間 3600s

図7 各越流時間での乱流エネルギーと乱流エネルギー散逸のコンター図

の20sまで越流が継続するようにした。数値計算に用いて洗掘形状は、実験での越流継続時間が10s, 30s, 60s, 180s, 1800s, 3600s後の洗掘形状である。

3.2 越流再現の妥当性

CADMAS-SURFでは様々な適応事例に対して再現性の確認がされてきたが、堤防を自由ナップで越流する流れについては妥当性の確認はされていない。片側傾斜堤防で越流水深4cmで越流を起こした時の堤防回りの流速とCADMAS-SURFで再現した流速を図5に示す。両者を比較すると、高い再現性があることが分かる。

3.3 計算結果

天端中央での越流水深と越流平均流速のCADMAS-SURFと実測値の比較を表したのが図6である。CADMAS-SURFでの値はどちらも計算時間10sまで変動が見られる。10s以降は安定し、実測値と同様の値となる。これより、10s以降は実験を再現できているとわかる。また、値が安定する15sから20sの区間を洗掘モデル周りの各セルでの乱れエネルギー(以降、 k)と乱れエネルギー逸散率(以降、 ϵ)の値は計測区間の平均値を用いた。

図7に越流時間が(1)30s, (2)180s, (3)3600s後の洗掘形状をモデルに入力した際の k と ϵ のコンター図を示す。図中の点線は各越流時間での洗掘形状を表している。 k は乱れ速度の二乗であり、水中でのせん断力となり、浮遊砂の移動に対し重要な値である。 ϵ は k を逸散させる度合いを示す値である。

(1) 10sの時は k の強い箇所は洗掘孔の右側に表れる。これにより洗掘した土砂を掃流する力が強いことが示

唆される。また、 ϵ は越流水の流入箇所が強く、 k の強い箇所と異なる場所に表れる。(2) 180sになると、洗掘は進み、乱れ速度は大きい箇所でも小さくなる。

k が強い箇所は洗掘孔の両端に移り、その箇所の洗掘が促進されることが示唆される。また k と ϵ がピーク値を示す箇所が接近しており、発生した乱れは同じ場所で減衰することがわかる。(3) 3600sを見ると、(2) 180sの時に k の強い箇所であった洗掘孔左側の洗掘が進んでいることがわかる。乱れ速度は大きな箇所でも40cm/sと、全体的に小さくなる。また、(2) 180sと比べ、洗掘形状とコンター図共に大きな差異はなく、洗掘が進むと乱れが安定することが確認できる。

4. まとめ

- ・越流が一定時間を越えても、洗掘形状は平衡状態になることはなく、発達する。
- ・洗掘が発達してない場合の k は大きく、さらに、 k と ϵ の分布形状は異なる。これにより洗掘は急激に進む。
- ・最終地形時は k と ϵ の分布形状は類似してくる。発生する k は同じ場所で減衰し、乱れが広がらない。最終洗掘形状は乱れが生じにくい形状になっている。

謝辞：CADMAS-SURFについて、ご指導頂いた(株)東洋建設の山野貴司氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- ・辻本剛三(1991)：波動場における砂漣上の浮遊砂流と漂砂現象に関する研究，長岡技科大学院博士論文
- ・谷本隆介，常田賢一，北川秀彦，荒木進歩(2012)：津波に対する盛土の耐侵食性および落構構造の減勢特性の検証，海岸工学論文集，第68巻，pp. 316-320