

第 II 部門

DualSPHysics を用いた浜堤を越流する津波による洗掘現象の数値解析

関西大学大学院 理工学研究科	学生員	○山田康介
関西大学大学院 理工学研究科	学生員	福井雅人
関西大学 環境都市工学部	正会員	安田誠宏
ハイドロ総合技術研究所 海岸グループ		山本剛士

1. はじめに

東日本大震災では、沿岸域において津波により海岸堤防裏法尻の地盤が洗掘され、堤防が破堤し、浸水が助長される被害が起こった。数値解析モデルにより、洗掘のメカニズムを解明できれば、津波に対する海岸堤防の粘り強さの強化に繋がるといえる。本研究で使用するオープンソース流体解析コードDualSPHysics¹⁾(以下, DSPH) は、陽解析型粒子法に基づいて解析コードが作成され、近年、多くの研究が行われており、洗掘に関する研究も行われている。しかし、再現対象として、堤防を越流する場合の洗掘を取り扱っている事例は数が限られる。そこで本研究では、DSPHを用いて、三戸部ら²⁾が行った浜堤を越流して沿岸湖沼に突入する津波による地形変化の水理実験の再現計算を行う。実験結果との比較を通じて、洗掘現象に対するDSPHの非ニュートン流体モデルの課題と改善案を示す。

2. 解析モデルのセットアップ

(1)解析条件 図-1 に示すように数値波動水槽を設定した。本研究では、固定床と移動床を DSPH の非ニュートン流体モデルにより再現し、粒子径は 2 mm に設定した。ダム崩壊により津波氾濫流を流入させた。水位は浜堤頂部および移動床で比較した。時刻 t は越流開始直後の時刻を 0 s とし、再現期間は越流開始から 16 s 後までとした。また、浜堤模型背後の移動床の洗掘・堆積量の空間分布についても比較した。解析において移動床の地形が時間経過とともに復元する現象が確認されたため、実験終了後ではなく、洗掘深が最大となった時刻で比較した。なお、下流側開放部の計算領域を削っており、反射波の到達は再現できていない。

(2)固定床・移動床の設定 表-1 に固定床と移動床の非ニュートン流体のパラメータを示す。中村ら³⁾の研究を参考に、非ニュートン流体を擬塑性流体として扱い、非ニュートン流体モデルのパラメータを決定した。移動床の洗掘現象の再現性を高めるため、図-2 に示すように 3 層に分けることが必要となった。上層には岩垣⁴⁾の砂礫の限界掃流力の算定式の標準的な密度と動粘性係数を用い、下層は豊浦砂の密度、中層には中間の値を設定した。中層の動粘性係数については感度分析を行った。また、移動床の層厚は、上層と中層をそれぞれ 1.4cm、下層を 6.8cm とした。

3. 解析結果

(1)動粘性係数の感度分析 移動床(中層)の非ニュートン流体の動粘性係数について感度分析を行った。動粘性係数を 1.0×10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} m²/s と変化させ、計 4 ケース (Case1~4) について解析し、洗掘・堆積量の空間分布と移動床の水位変動により比較した。図-3 に洗掘・堆積量の空間分布を示す。Case1 と 2 では最大洗掘深が実験結果と一致した。Case3 ではわずかに過大評価したが、実験結果とよく一致している。図-4 に移動床上流側端部から 25 cm 離れた位置での水位変動を示す。Case1 と 2 では、 $t = 3.5$ s 付近で水位が急激に上昇している。また、動画において、Case3 は砂が表層から次第に洗掘されていく様子の再現性が高かった。Case4 では移動床の上層と中層の動粘性係数の差が小さいため、各層の粒子が互いに混ざる現象が見られた。以上より、Case3 のときに最も実験値と一致する解析結果だと判断した。

(2)洗掘現象の再現性 図-5 に実験、図-6 に DSPH での洗掘現象の様子を示したスナップショットを示す。高速流による洗掘が生じており、表層から削れるようにして砂が巻き上げられる様子が見られた。その後、実験では湖沼内側との水位差が大きくなることで、湖沼端部に向かって水面が崩落する。しかし、表層から次第に砂が洗掘されていく様子を再現できず、移動床の地形変化が早く起こったことで、下流側からの水に押し戻されるように水面が崩落する様子が見られた。この原因として、再現計算では粒子径を 2 mm としており、豊浦砂の実際の粒子径より 10 倍程度大きくしたこ

Kosuke YAMADA, Masato FUKUI, Tomohiro YASUDA, Takashi YAMAMOTO
k221347@kansai-u.ac.jp

とが考えられる。この問題の改善のためには、浮遊砂の拡散や砂の堆積を考慮した数値解析モデルを DSPH のコードに取り入れ、洗掘現象をより高度化する必要があると考えられる。

4. まとめ

DSPH を用いて、沿岸湖沼に突入する津波による地形変化に関する解析を行った。DSPH の非ニュートン流体モデルに対する課題と改善案を示したが、洗掘現象の再現のためには多くの課題が残る。今後は、洗掘現象の再現性を高めるために、浮遊砂の拡散や砂の堆積を考慮した検討が必要となる。

参考文献

- 1) Domínguez, J. M., Fourtakas, G., Altomare, C., Canelas, R. B., Tafuni, A., García-Feal, O., Martínez-Estévez, I., Mokos, A., Vacondio, R., Crespo, A. J. C., Rogers, B. D., Stansby, P. K., Gómez-Gesteira, M.: DualSPHysics: from fluid dynamics to multiphysics problems. Computational Particle Mechanics, 9, pp. 867-895, doi:10.1007/s40571-021-00404-2, 2021.
- 2) 三戸部佑太, 高松怜菜, 今井健太郎, 会田俊介, 高橋智幸: 津波流入条件と沿岸湖沼地形変化量の関係に関する水理実験, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.72, No.2, pp.I_391-I_396, 2016.
- 3) 中村友昭, 鈴木愛美, 水谷法美: 高濃度浮遊砂を含有した流体の粘度の測定とその評価, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.71, No.2, pp.I_1185-I_1190, 2015.
- 4) 岩垣雄一: 限界掃流力に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.41, pp.1-21, 1956.

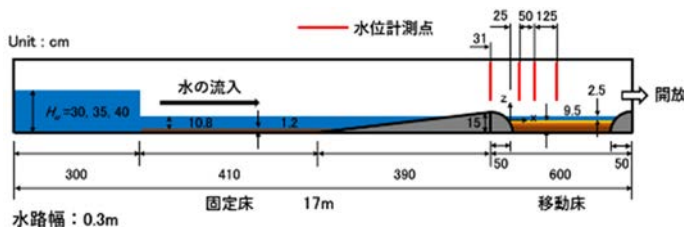


図-1 DSPH の数値波動水路の断面図

表-1 非ニュートン流体のパラメータ

	ρ_{hop} (kg/m ³)	visco (m ² /s)	tau_yield (Pa)	HBP_m	HBP_n
固定床	2650	1.0×10^{-1}	0	0	0.8
移動床 (上層)	1650	1.0×10^{-6}	0	0	0.8
移動床 (中層)	2150	$10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$	0	0	0.8
移動床 (下層)	2650	5.0×10^{-2}	0	0	0.8

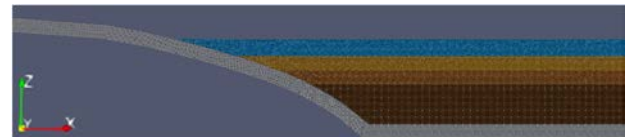


図-2 DSPH の沿岸湖沼移動床部分の拡大図

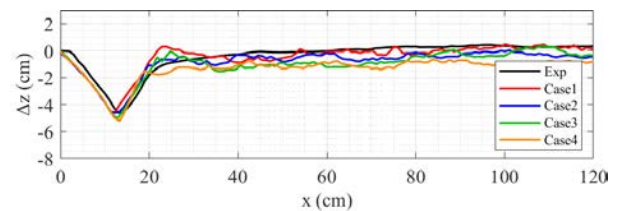


図-3 洗掘・堆積量の空間分布

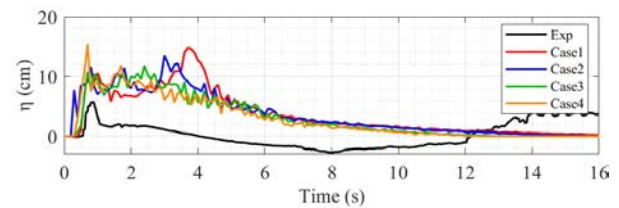


図-4 移動床上流側端部から 25 cm 離れた位置での水位変動

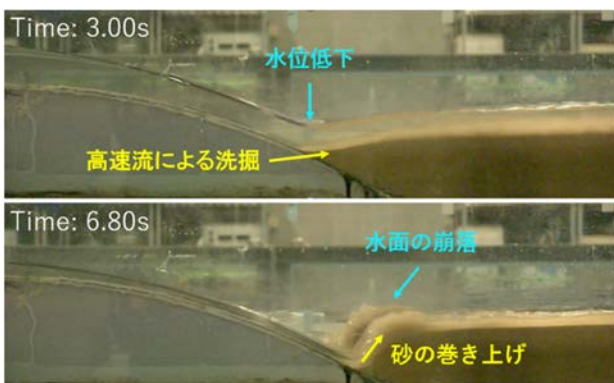


図-5 実験による洗掘現象のスナップショット²⁾

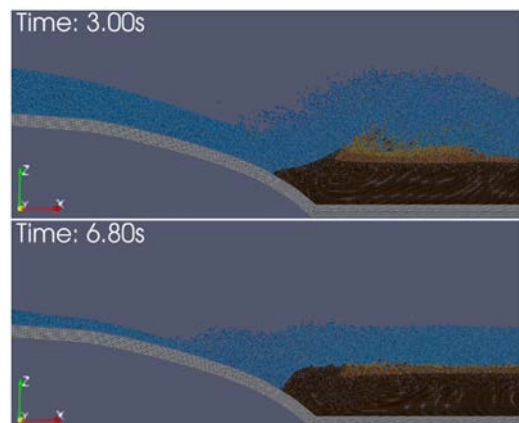


図-6 DSPH による洗掘現象のスナップショット