

局所流による岸壁前面の洗掘に関する3次元数値シミュレーション

名古屋大学大学院 正会員 ○ 中村 友昭
 名古屋大学大学院 学生会員 篠田 陽介
 名古屋大学大学院 正会員 水谷 法美

1. 緒言: 大型船舶の船首下部には、回頭性の向上による離着岸の効率化のためにバウスラスターが備え付けられている。しかし、その使用時に非常に早い流速（以下、ジェット水流と称する）が発生することから、岸壁の前面に底質の移動に伴う局所洗掘が生じ、岸壁の安定性の観点から極めて重大な課題となっている。本研究では、水谷ら（2008）によるジェット水流に伴う岸壁前面の局所洗掘に関する水理実験を取り上げ、開発した流動場と地形変化の相互作用を解析できる3次元数値モデルにより再現計算を行い、その妥当性を検証する。

2. 数値計算手法: 流動場と地形変化の相互作用を考慮した3次元数値モデルFSM（Fluid-Sediment Interaction Model；中村・Yim, 2009）を用いて解析を行った。FSMは、砂地盤の間隙内部の流体を含めた全気液相に適用できるように一般化したNavier-Stokes（NS）方程式に基づくLES（Large Eddy Simulation）モデルGNS（Generalized NS Solver）に、気液界面を追跡するVOF（Volume of Fluid）法に基づくモジュールVOFとRoulundら（2005）を参考に開発した掃流砂移動に伴う地形変化を追跡する底質輸送モジュールSTM（Sediment Transport Module）の両モジュールをTwo-Wayカップリング手法により組み込むことで構築されている。図-1にFSMを構成するGNS、VOF、STMの適用範囲を示す。詳細は中村・Yim（2009）を参照されたい。

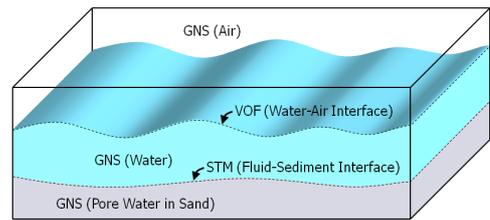


図-1 GNS, VOF, STMの適用範囲

3. 計算条件: 図-2に示すように、岸壁の前面に長さ1.0 m、幅2.0 m、高さ0.21 mの砂地盤（中央粒径0.1 mm）とその表面から0.13 m上方に内径40 mmのパイプを設定した領域を用いて再現計算を行った。静水深は0.37 mとし、船舶の離着岸を想定したジェット水流の作用時間 T を60, 180 sの2種類、船舶の位置を想定した岸壁とパイプ先端の距離 L を0.15, 0.45 mの2種類、パイプからのジェット水流の流速 V を2.0, 2.5, 3.0 m/sの3種類変化させた。GNSとVOFでは、原点近傍を4.0 mm角の格子に分割し、計算時間の短縮のために原点から離れるにしたがって水平方向に約15%、鉛直方向に約5%ずつ広げた不等間隔格子を用いた。境界条件は、底面、岸壁表面、地盤側面に対してno-slip条件を、上面には圧力一定条件を、その他の面に対しては勾配ゼロの条件を用いた。また、VOF関数の境界条件には全境界に対して勾配ゼロの条件を課した。一方、STMでは、地盤表面を

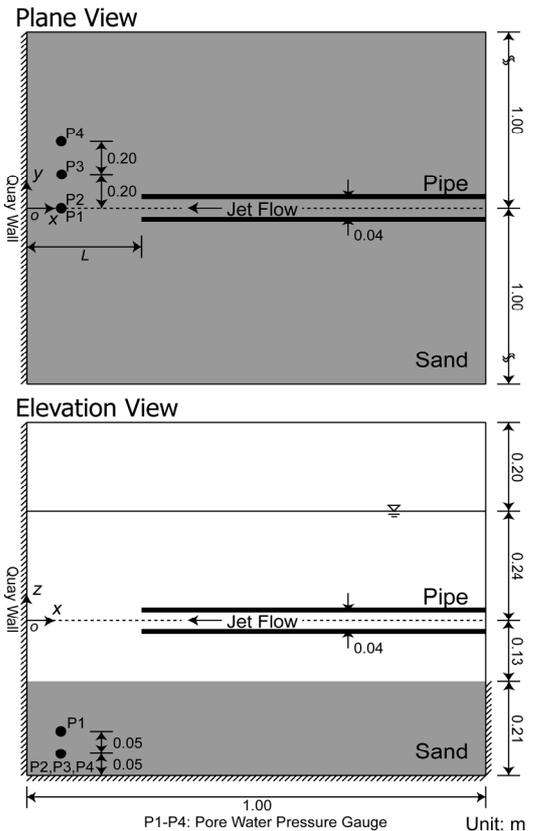


図-2 計算領域の概略図

GNSやVOFと同じ大きさの不等間隔格子に分割し、GNSとVOFで得られた流速を補間して求めた地盤表面から0.01 m上方での流速を用いて摩擦速度の評価を行った。境界条件として、岸壁表面に対して不透過条件、その他の面に対して漂砂の供給がゼロの条件を課した。また、中村・Yim（2009）に倣って、摩擦速度の係数

キーワード 局所洗掘, ジェット水流, 数値シミュレーション, 相互作用, 岸壁, バウスラスター

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 Tel 052-789-4630

を 700, 底質の動摩擦角を 23 度とした。

4. 計算結果及び考察：

基準ケース ($T = 60$ s, $L = 0.15$ m, $V = 2.5$ m/s) でのジェット水流作用後の地形変化 (図-5 参照) の RMSE (Root Mean Square Error) が最小となるように, 底質の安息角を 26 度と決定した。

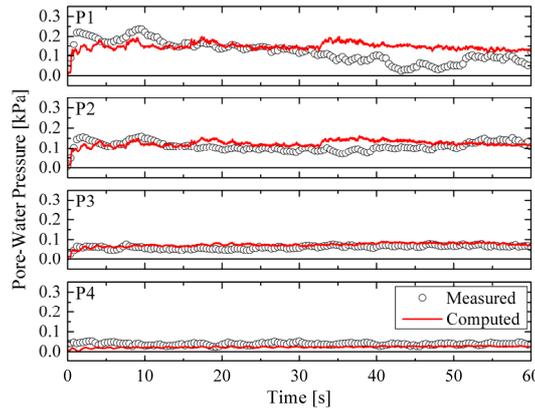


図-3 間隙水圧変動の比較

ここでは, 上述の基準ケースの結果を取り上げる. 図-3 に P1 から P4 (図-2 参照) での間隙水圧変動の比較を示す. 同図より, 計算結果は P1 における 30~55 s での値を過大評価しているものの, ジェット水流の発生とともに急激に上昇し, その後安定する傾向を示していることから, 実験値を再現できていることが確認できる. 図-4 に, 最終洗掘深 z_s^f (正: 洗掘; 負: 堆積) の計算結果と水理実験で撮影したジェット水流作用後の洗掘の様子を示す. 同図より, 計算値, 実験結果ともに洗掘がパイプの先端まで達していることが分かる. また, 水理実験による洗掘は y が正の側に偏っているために位置が若干異なっているものの, 計算では $y = 15$ cm 付近, 水理実験では $15 < y < 25$ cm に洗掘の形状が不連続になっている部分が確認できる. 図-5 に, 岸壁に平行な 4 測線上 ($x = 0.5, 0.8, 1.1, 1.4$ cm) での最終洗掘深 z_s^f の比較を示す. 同図より, $x = 0.5$ cm における $25 < y < 50$ cm での z_s^f を若干過大評価しているものの, 深さや形状を再現できていることが分かる. 図-6 にジェット水流による地形変化の様子を例示する. 同図より, ジェット水流の発生直後から洗掘が生じ始めるとともに (図-6(b)), その大きさが徐々に拡大し (図-6(c)), 最終的に大きな洗掘が生じたこと (図-6(d)) が確認できる. 以上より, 3 次元洗掘現象に対する数値モデル FSM の妥当性が示された.

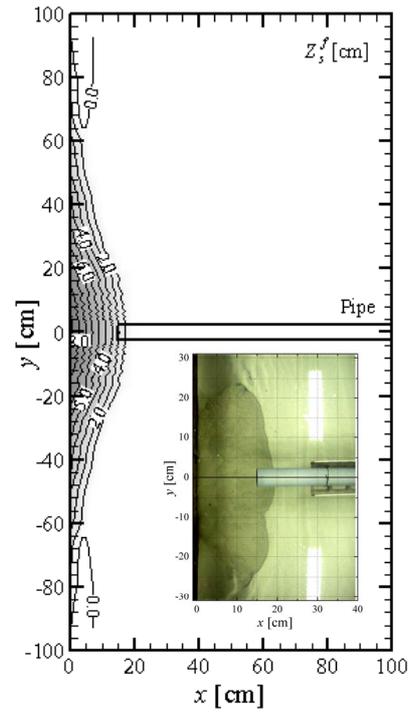


図-4 最終洗掘深 z_s^f の計算結果と水理実験での洗掘の様子

ここでは, 上述の基準ケースの結果を取り上げる. 図-3 に P1 から P4 (図-2 参照) での間隙水圧変動の比較を示す. 同図より, 計算結果は P1 における 30~55 s での値を過大評価しているものの, ジェット水流の発生とともに急激に上昇し, その後安定する傾向を示していることから, 実験値を再現できていることが確認できる. 図-4 に, 最終洗掘深 z_s^f (正: 洗掘; 負: 堆積) の計算結果と水理実験で撮影したジェット水流作用後の洗掘の様子を示す. 同図より, 計算値, 実験結果ともに洗掘がパイプの先端まで達していることが分かる. また, 水理実験による洗掘は y が正の側に偏っているために位置が若干異なっているものの, 計算では $y = 15$ cm 付近, 水理実験では $15 < y < 25$ cm に洗掘の形状が不連続になっている部分が確認できる. 図-5 に, 岸壁に平行な 4 測線上 ($x = 0.5, 0.8, 1.1, 1.4$ cm) での最終洗掘深 z_s^f の比較を示す. 同図より, $x = 0.5$ cm における $25 < y < 50$ cm での z_s^f を若干過大評価しているものの, 深さや形状を再現できていることが分かる. 図-6 にジェット水流による地形変化の様子を例示する. 同図より, ジェット水流の発生直後から洗掘が生じ始めるとともに (図-6(b)), その大きさが徐々に拡大し (図-6(c)), 最終的に大きな洗掘が生じたこと (図-6(d)) が確認できる. 以上より, 3 次元洗掘現象に対する数値モデル FSM の妥当性が示された.

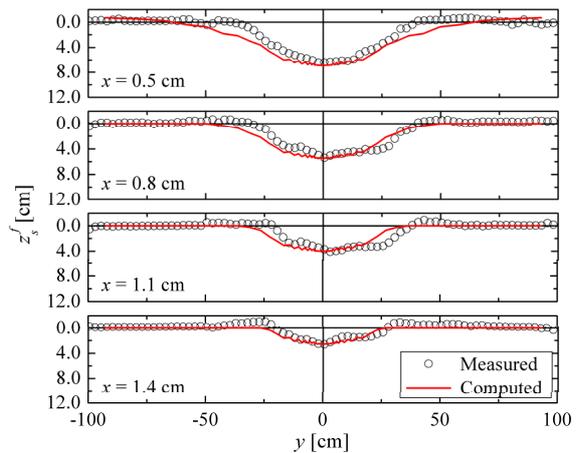


図-5 最終洗掘深 z_s^f の比較

5. 結論：本論では, 流動場と地形変化の相互作用を解析できる 3 次元数値モデルを用いて, バウスラスターによるジェット水流に伴う岸壁前面の局所洗掘現象を考究した. その結果, 水理実験で計測した間隙水圧変動と最終洗掘深をともに再現できていることから, 本モデルの妥当性を明らかにした.

参考文献：[1] 中村・Yim (2009), 海洋開発論文集, 25, 印刷中. [2] 水谷・篠田・小山 (2008), 海洋開発論文集, 24, 1219-1224. [3] Roulund・Sumer・Fredsoe・Michelsen (2005), *J. Fluid Mech.*, 534, 351-401.

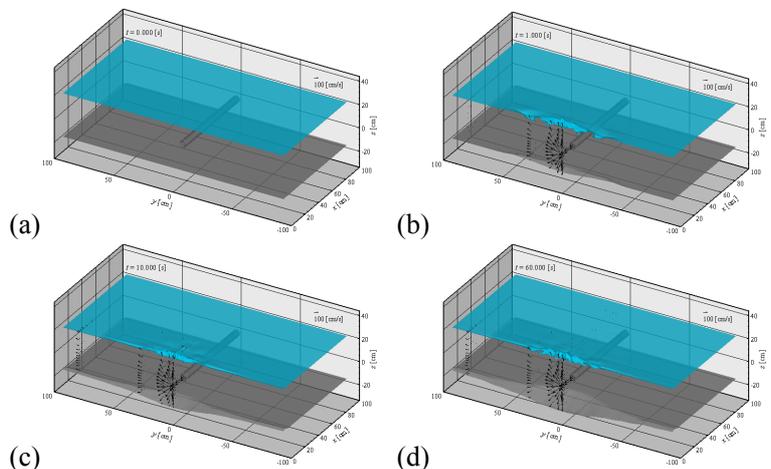


図-6 地形変化の様子 (a) ジェット水流発生前, (b) ジェット水流発生から 1.0 s 後, (c) 10.0 s 後, (d) 60.0 s 後