

京都大学工学部 学生員 ○長田 直樹
 京都大学工学研究科 正会員 五十里 洋行
 京都大学工学研究科 正会員 後藤 仁志

1. はじめに

埋立工事において、経済的で効率の良い方法として土運船による水中投入が用いられているが、地盤の沈下予測や広域に拡散した土砂が周囲環境に与える影響の評価を行う上では投入された土砂の拡散・堆積過程の予測は重要である。そこで本研究では、全開式土運船を模した土運船モデルを用いて土砂の拡散・堆積過程の再現を行い、実験結果との比較を通して本モデルの妥当性を検討する。

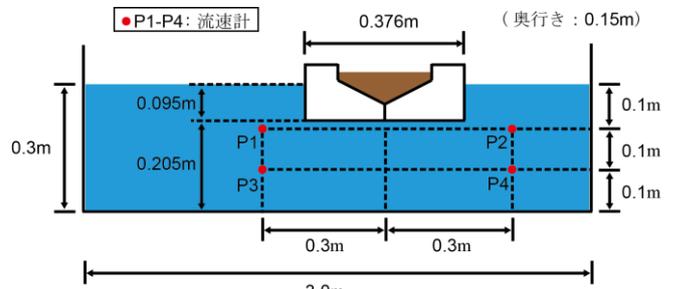


図-1 水路鉛直断面

2. 数値計算手法

本研究では、粒子法¹⁾の一種である ISPH 法と種々の高精度化モデルを基盤とし、浮遊砂濃度の移流拡散方程式を付加した流体—地盤連成解析モデル²⁾によって土砂の拡散・堆積過程を追跡する。

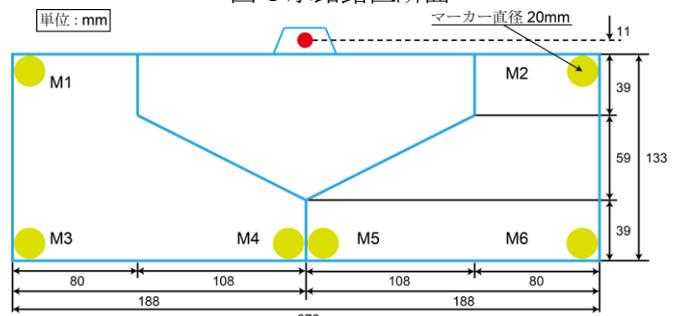


図-2 土運船諸元

3. 土運船による水中土砂投下シミュレーション

(1) 実験および計算条件

水路と土運船模型の諸元は図-1および図-2の通りである。2.0kg 珪砂 6号の土砂を、土運船内で飽和させた後に投下した。計測項目は土運船隅角部に設置したマーカーの移動軌跡、4 定点における流速、および堆積形状である。

計算は、実験と同様に各物理量を定め、計算条件を設定した。計算粒径は 2.5mm とした。実験では土砂を完全に飽和させることが困難であったため、不飽和砂のサクシオンによる見かけの粘着力を土砂に付与した。

(2) 数値シミュレーション結果

図-3 に、マーカーの移動軌跡の x 成分, y 成分を示した。y 成分については土運船の浮上に加えて開扉による変位が生じており、土運船が徐々に浮上しているのが確認された。実験と比較して、計算では開扉が完了する時刻、開扉完了後の浮上についてもおおむね良好な結果が得られた。

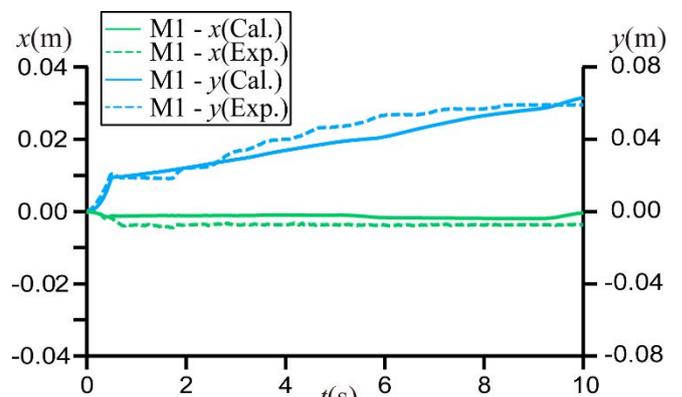


図-3 マーカーの各変位 (M1)

図-4 に計算および実験のスナップショットを示す。実験においては、浮遊砂が底面付近で水平方向に拡散していることが確認されたが、計算では浮遊砂が巻き上がっている。これは、底面付近の水平方向の流速が発達しなかったことが原因として考えられる。

図-5 に、鉛直方向および水平方向の浮遊砂の到達位置を示す。実験とおおむね良好な一致を示している。土砂の左右方向への拡散範囲については、概ね実験と近い結果となったが、実験と比較して $t = 2.0s$ 以降の進行速度が小さい。これは、図-4 のスナップショット

からわかるように、計算では実験に比べて土運船内に残存する土砂量が多く、土砂の落下によって誘起される水平方向の流れが実験よりも発達しなかったためと考えられる。

図-6 に、P1, P3 の 2 点の固定計測点で記録した流速値を示す。どの計測点においても計算結果はオーダー的に妥当な値を示している。

図-7 に $t = 30s$ 時点における土砂の堆積形状を示す。case-1 では、概ね実験結果のピーク位置及びピークの高さが良好に再現されている。実験では、二山型の堆積形状となったが、計算では台地状となった。これは、計算では土砂の落下が遅かったため、後半に落下した

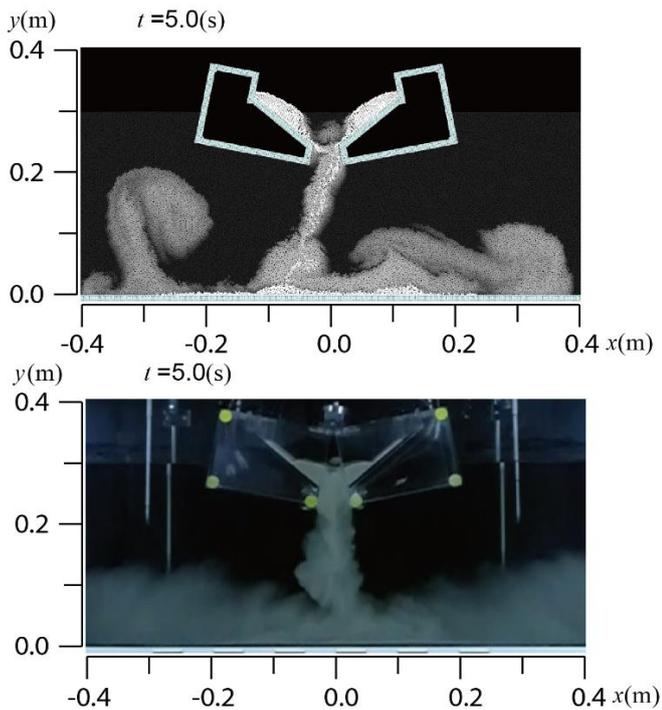


図-4 計算（上）と実験（下）のスナップショット

土砂が土運船直下の中央付近に堆積したためと考えられる。また、ピークより外側の形状についても勾配がおおむね等しく、良好に再現できている。

4. おわりに

実験結果と本計算結果の比較を行い、概ね良好な結果が得られ、弾塑性体モデルや浮遊砂輸送モデル等の有効性が確認された。実験と計算との比較では、土砂の投下速度や土運船からの落下挙動の違いにより、水平方向の流れが発達せず、流速や浮遊砂到達位置に実験結果との隔たりがみられた。今後の課題としては、様々な積載量のケースにおいて土砂の落下速度を実験と計算で比較検討を行っていきたい。また、実際の施工環境においては、海上に発生する波のために本研究で行った環境よりも土運船が激しく動揺し、投入状況の予測が難しく、現場の状況を忠実に与えた条件での土運船から投入した土砂の拡散・堆積挙動の変化を予測することも今後の検討課題としたい。

参考文献

- 1) 後藤仁志：粒子法 ー連続体・混相流・粒状体のための計算科学ー，森北出版，289p，2018。
- 2) 五十里洋行，後藤仁志，小林祐司，小西晃太：土運船による投下土砂の堆積形状予測に対する高精度固液混相型粒子法の適用性，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.74，No.2，pp.43-48，2018。

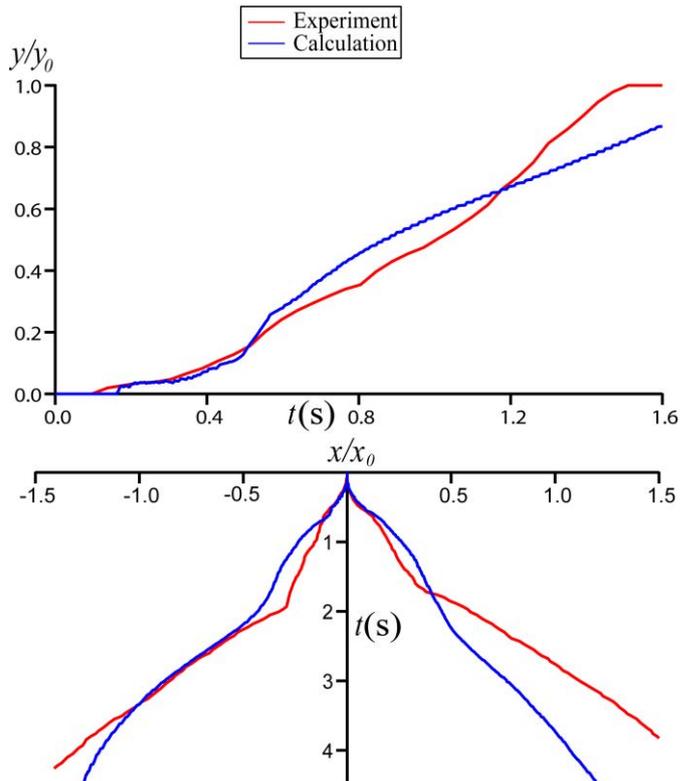


図-5 浮遊砂の到達位置
(上：鉛直方向，下：水平方向)

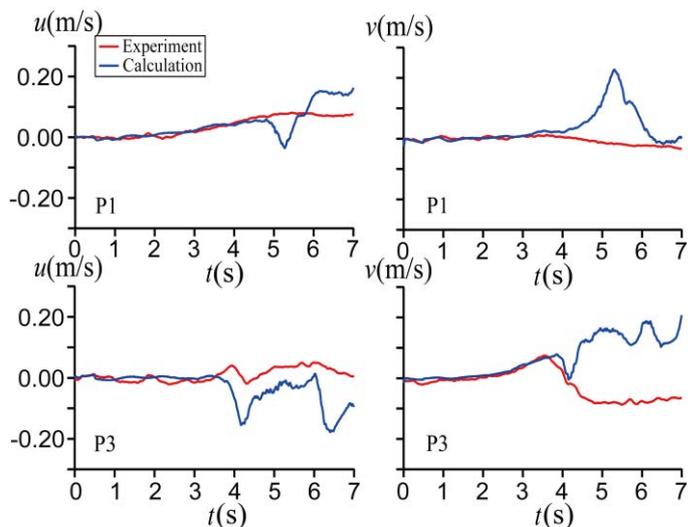


図-6 流速（左：水平方向，右：鉛直方向）

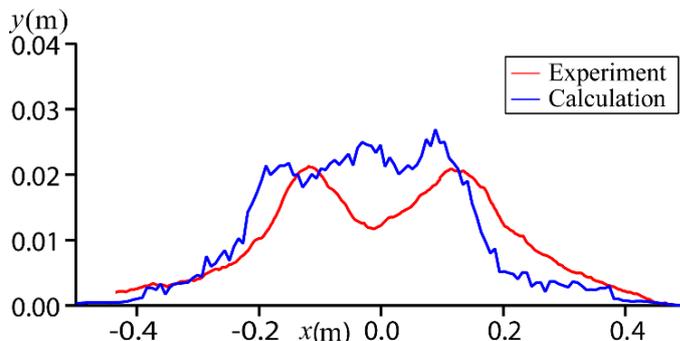


図-7 堆積形状