

大阪市立大学工学部

学生員 ○平野 辰昇

大阪市立大学大学院

正会員 重松 孝昌

東洋建設(株)鳴尾研究所

正会員 金澤 剛

1. 研究の背景・目的

かつては、背後地の産業発展に伴う土地需要に対応するため、大規模な埋立て造成がなされた。その際に、大量に海底土砂を採取した跡地は、周辺の海底よりも深く掘り下げられた浚渫窪地として、現在もなお点在している。特に富栄養化した海域に残存する浚渫窪地は、窪地内の貧・無酸素水が周辺の生態系に甚大な影響を及ぼす元凶ではないかとの指摘がされ、沿岸環境の保全・改善のために、現存する浚渫窪地を埋め戻す事業が実施されている。

浚渫窪地の埋め戻し工事を実施する際には、施工時の濁りの発生を抑制するとともに、窪地内の貧・無酸素水が急激に攪拌されて拡散・流出しないように配慮することが求められる。その対策のひとつとして、海底近傍にまでその長さが達するような鉛直管内に土砂を投入するトレミー工法(図-1 参照)が挙げられる。しかし、トレミー工法を用いた場合の土砂投入により誘起される流動や濁りの拡散過程を予測する手法は未だ十分には確立されていない。

本研究では、鉛直管を用いた土砂投入による誘起流動の予測手法を開発し、施工に起因する濁水塊の流動とその周辺水塊の流動予測シミュレーションモデルを開発することを目的とするものである。

2. 数値モデルの概要

本研究では、鉛直管内に投入された濁水塊と周囲流体との密度差を起動力とする密度流として流動および濁水塊の輸送を計算する二次元流動モデルを構築した。基礎方程式は次式で示されるブシネスク近似を適用した質量保存則と運動方程式である。

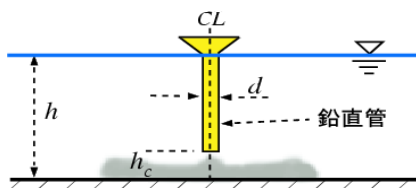


図-1 トレミー工法

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\rho}{\rho_0} g_i + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} \quad (2)$$

ここに、 ρ_0 は流体の基準密度、 ν は動粘性係数で、それぞれ、 1g/cm^3 および $10^{-2}\text{cm}^2/\text{s}$ と一定値を用いた。式(2)中の濁水塊の密度 ρ は、次式で求めた。

$$\rho = \rho_0 \left\{ 1 + \frac{T}{1000} \left(\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_s} \right) \right\} \quad (3)$$

ここに、 ρ_s は粒子密度、 T は濁度である。濁度 T の輸送方程式は

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial \{ (u_j + \delta_{j3} w_0) T \}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} (D_{ik} \frac{\partial T}{\partial x_k}) \quad (4)$$

ここに、 D_{ik} は拡散係数、 w_0 は沈降速度で Rubey の沈降速度式を用いて土粒子粒径と密度より求めた。本研究で対象とする現象では、土砂が投入された際の鉛直管内の流動、特に、鉛直管内の水面の振動が、鉛直管下端から水域に流出する濁水塊の流動に大きな影響を及ぼすと考えられている¹⁾。すなわち、水面変動を計算できることが必要不可欠である。そこで、VOF法 (Volume Of Fluid) を用いて水面の変動を求めた。

本研究では、移流項には二次精度の風上差分を、拡散項には中心差分を、時間差分には陰解法を用いて基礎方程式を解いた。

3. 計算条件および計算結果

鉛直管の中心軸と水底との交点に座標原点を取り、水平方向に X 軸を、鉛直上向きに Z 軸を取った。取り扱う現象の左右対称性を考慮し、 X 軸の正の領域のみを計算の対象とした。既往の実験条件²⁾と照らし合わせて、水深 h は 45cm で一定とし、鉛直管下端と水底とのクリアランス h_c を変えて計算を行った(図-2 参照)。計算結果の一例を図-3に示す。同図は、土砂投入14秒後の計算結果を示したもので、鉛直管に投入された濁水塊がその下端から流出した後に水底上を水平方向に移

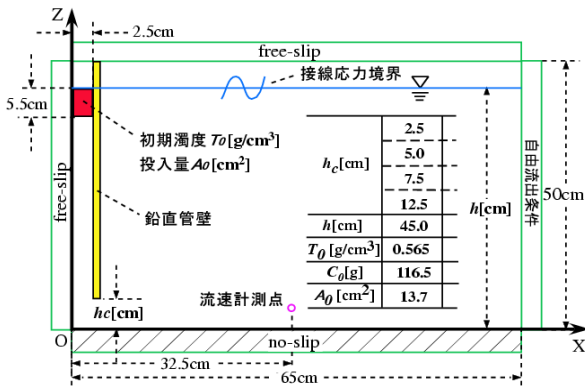


図-2 計算領域

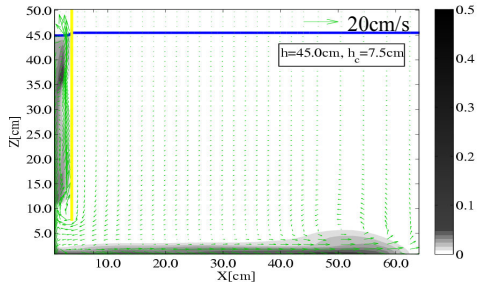
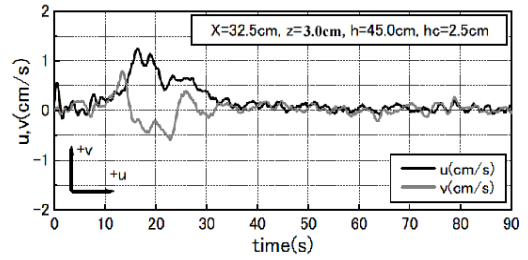


図-3 計算結果の一例(投入 14 秒後)

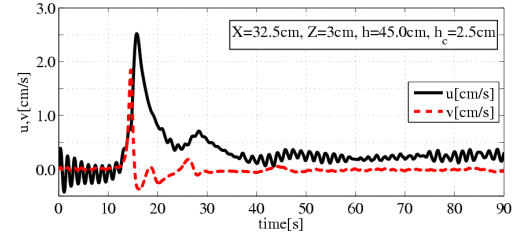
動してゆく様相が計算されていることがわかる。

図-4 は、 $X=32.5\text{cm}$ 、 $Z=3.0\text{cm}$ における速度成分 u 、 v の時系列を示したものである。同図によれば、実験値も本手法による計算値も、投入後およそ 15 秒でいずれの速度成分も最大値をとり、その後、減速してゆく様相がわかる。流速値の実験結果と計算結果を比較すると、本研究で構築したモデルによる結果は実験結果よりも大きな値を示している。これは、現段階では、乱流の影響を無視しているためであると考えている。本研究によって構築したモデルの計算結果によれば、最大流速値は h_c の増加とともに増加する傾向が見られ、既往の実験で得られている傾向と一致した。

図-5 は計算開始後の鉛直管内の水面変動の経時変化を示したものである。鉛直管内の水面は、濁水塊の投入直後に大きな変動を示した後、徐々に初期水面位置に回復してゆくことがわかる。投入直後の水面変動は h_c によらずいずれも同様な水面変動を示すが、 h_c が大きくなるほど初期水面位置に早く復元する傾向が見られる。図-6 は鉛直管内の濁質量 C の経時変化を、初期濁質量 C_0 で無次元化して示したものである。図-6 によれば、 h_c が大きいほど鉛直管内の濁質量の減少が早い傾向があることがわかる。以上を総合的に考えれば、鉛直管を用いて濁水塊を水底に投入する際に誘起される流動や鉛直管内の水面変動、鉛直管からの濁水の流出量はクリアランス h_c によって制御することが可能である



(a) 実験結果²⁾



(b) 計算結果

図-4 速度成分の時系列変化

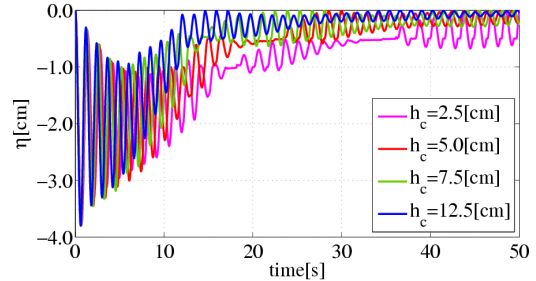


図-5 鉛直管内の水面変動量

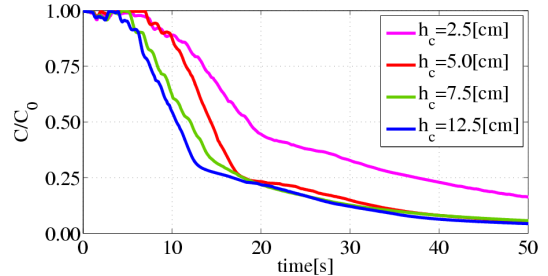


図-6 鉛直管内の濁質量の変化

と推測される。

4. 結論

本研究で開発したモデルを用いて定量的な予測を行うには改善の余地が残されているものの、既往の実験結果と比較すると、得られる計算結果は定性的な傾向は再現できていることが確認された。計算結果より、 h_c を制御することによって、海底に投入された濁水塊の輸送速度が制御できることが示唆された。

参考文献

- 1) 五明美智男・栗原明夫・三村信男(2002)：鉛直管に投入された土砂の水中落下挙動と管内水振動，海岸工学論文集，第 49 巻，pp.896-900.
- 2) 金澤剛・重松孝昌(2009)：鉛直管を用いた土砂投入に伴う水塊流動について，土木学会第 64 回年次学術講演。