

長距離を流動する泥水流の流動解析

長岡工業高等専門学校 環境都市工学専攻 中村 匠
 長岡工業高等専門学校 環境都市工学科 衛藤俊彦

1. はじめに

均一な流体中に砂を浮遊した流体が流入するとき、その密度差により泥水流が形成される。泥水流は海底溪谷や大規模な貯水池で発生し、多量の土砂輸送を伴う流れであり、海岸域での漂砂や溪谷の地形変化に影響を与える。泥水流の模式図を図1に示す。この泥水流は先端部が丸みを帯びた形状で流下方向に発達し、長距離を流動する。本研究ではオープンソースの流動解析ツールである OpenFOAM を用いて、プルーム現象における長距離を流動する泥水流の数値解析を行い、流動特性を解明することを目的とする。

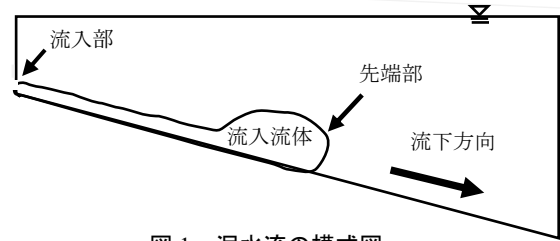


図1 泥水流の模式図

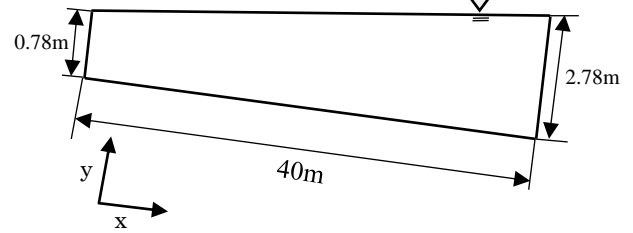


図2 解析領域の概略図

表1 解析条件

初期速度 $V_0(\text{cm/s})$	流入部高さ $H_0(\text{cm})$	初期濃度 $C_0 \times 10^{-3}$
27.0	8.0	4.1
砂粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	水の粘性係数 $\mu(\text{Pa}\cdot\text{s})$	砂粒子の粒径 $D_s(\text{mm})$
2.65	0.001	0.03

2. 解析手法

本研究では泥水流の解析に対して、OpenFOAMのソルバの中から twoLiquidMixingFoam ソルバを採用した。これは非圧縮、混合性の2流体を対象としたソルバである。乱流モデルは Large Eddy Simulation(LES)モデルを採用した。解析は2次元の領域を対象とした。図2に解析領域の概略図を示す。解析領域の座標軸は流下方向をx軸、それと直角方向にy軸とした。領域の各軸方向の長さはx軸方向に40m、y軸方向に最大で2.78m、水路床の勾配は0.05、流入口の高さは8cmとした。格子間隔はx軸方向に800分割の5cm刻み、y軸方向に140分割の2cm刻みとした。解析条件を表1に示す。条件はParker¹⁾らが行った実験と同様とした。

拡散方程式に Garcia の提案式である巻き上げの項²⁾と衛藤らによる傾斜壁面粒子サーマルの解析的研究で導入された粒子の沈降、堆積の項³⁾を加えた新たな式を導入し、本解析で用いた。底面においては、式(1)、式(2)のように示される。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{u}_i + w_{si})c}{\partial x_i} = D_m \frac{\partial^2 c}{\partial x_i^2} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{v_{sgs}}{S_c} \frac{\partial c}{\partial x_i} \right) + w_s E_s - \beta w_s C_b \quad (1)$$

$$E_s = \frac{AZ_u^5}{(1 + \frac{A}{\alpha} Z_u^5)} \quad (2)$$

本解析では式中の巻き上げのパラメータ α と沈降、堆積のパラメータ β に着目した。 $\beta=2$ とし、 α については予備計算より先端部が加速する条件を含む範囲で検討し、 $\alpha=0.3, \alpha=0.015, \alpha=0.001$ とした。例外として巻き上げ、沈降堆積がない塩水 ($w_s=0, E_s=0, \beta=0$) の条件と、巻き上げ無し ($E_s=0$) の条件を加え、計5ケースで解析した。先端部の流下距離に対する移動速度と厚みの変化、流れが定常になった後におけるx軸方向位置0m, 10m, 20m, 30m地点における速度分布および最大濃度の比較を行った。

3. 解析結果

図3は先端部の流下距離に対する速度を比較したグラフである。 $\alpha=0.3$ は加速、塩水と $\alpha=0.015$ は流入から変化なし、 $\alpha=0.001$ と $E_s=0$ は減速した後、等速となるのがわかる。

図4は流下距離に対する先端部の厚さの変化を

比較したグラフである。加速するケースは厚さが最も小さく、速度が遅いケースほど厚さが大きく発達していくという結果が得られた。また全てのケースで厚さは流下距離に対し増加し続ける結果を示した。

図 5 は x 軸方向位置 0m,10m,20m,30m 地点における流れが定常になった後の速度分布を比較したグラフである。 $\alpha=0.3$ は流下距離の増加とともに底面付近の速度が顕著に増加している。塩水、 $\alpha=0.015$ は分布に変化はなく、 $\alpha=0.001$, $Es=0$ は微小であるが速度が減少していくことがわかる。

図 6 は流れが定常になった後の各地点での最大濃度を示したグラフである。 $\alpha=0.3$ は流下距離の増加とともに濃度が顕著に増加している。塩水と $\alpha=0.015$ は濃度変化がなく、 $Es=0, \alpha=0.001$ は微小であるが濃度が減少していることがわかる。

4. 結論

長距離を流動する泥水流について Open FOAM を用いて解析を行った。解析結果より、流下方向に 40m の領域における泥水流の先端部の速度、厚さの流下距離変化及び定常状態における各地点での速度分布、最大濃度をグラフ化し流動方向に加速発達する流れを含めた泥水流の流動特性を示した。

泥水流先端部は流動とともにその形状が大きくなるため、周囲流体との抵抗が大きくなり流下速度は一定になるものと考えられる。加速を示したケースでは、今回の解析領域の範囲内で速度が一定となる結果は得られなかった。そのような流れがどこで変化がなくなるのか知るためには、今後更に領域を伸ばした解析が必要である。

文献

- 1) Parker et al, Experiments on turbidity currents over an erodible bed, Jour of Hydraulic Res, 25-1, 1987.
- 2) Garcia,M, Depositing and erodeng sediment driven flows: turbidity currents, SAFL, University of Minnesota, Project Report, No. 306, 1990.
- 3) 衛藤ら, OpenFOAM による Dynamic SGS モデルを用いた傾斜壁面粒子サーマルの数値解析, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 73, No. 2, 2017.

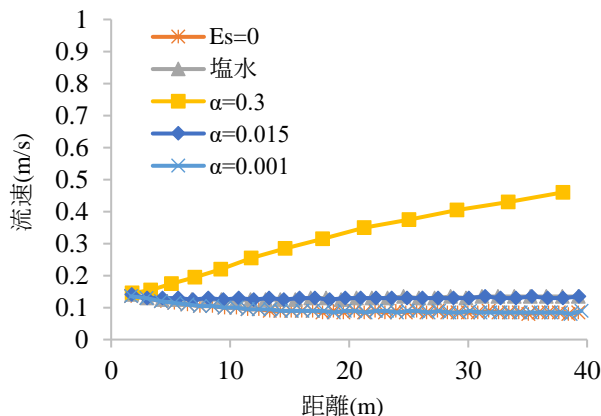


図 3 先端部の移動速度の流下距離変化

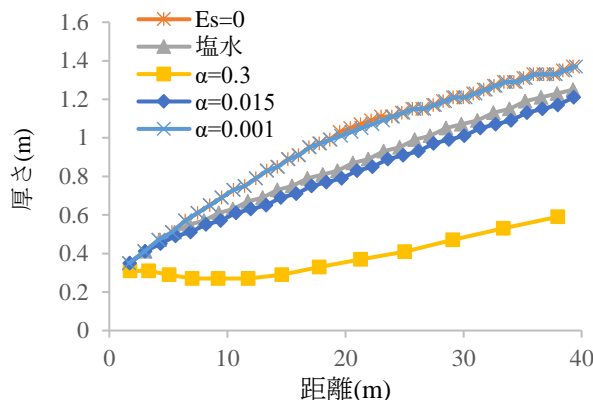


図 4 先端部の厚さの流下距離変化

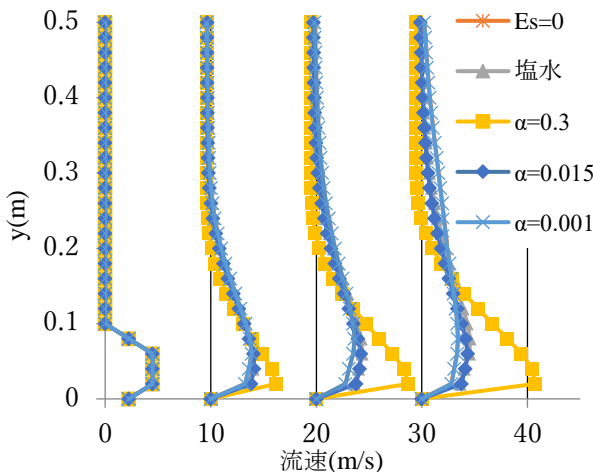


図 5 定常状態における各地点での速度分布

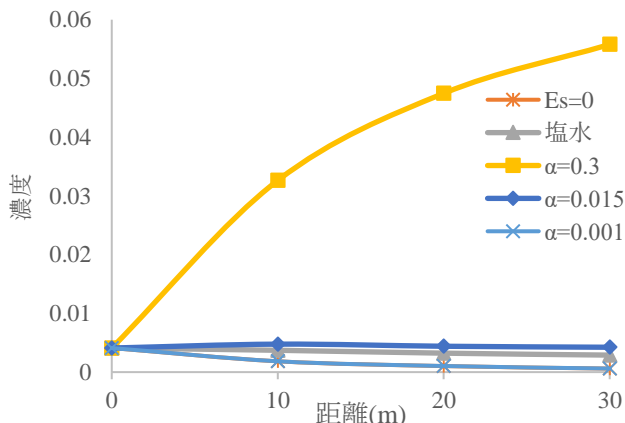


図 6 定常状態における各地点での最大濃度