

長距離を流動する泥水流後方部の流動解析

長岡工業高等専門学校 環境都市工学専攻 小林 優衣
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、その密度差により形成される密度流を泥水流と呼ぶ。泥水流は海底溪谷や大規模な湖底で発生する流れであり、その流動に伴い沿岸域の砂や濁質物質を深部に運搬する機構を担っていると考えられる。泥水流の模式図を図1に示す。この泥水流は上流から流入してきた土砂を混合した流体が、全体として非定常なフロント部を形成し、後方に定常に近い流れを伴いながら長距離を流動する。この後方部は、泥水流が長距離にわたり、長時間持続する際に、多くの土砂を輸送し続ける部分であり、その流動特性を明らかにすることは泥水流の流れが持続するメカニズムを知るために非常に重要である。

本研究では流動解析ツールである OpenFOAM を用いて、長距離を流動する泥水流の数値解析を行い、後方部の流動特性を調べることを目的とする。

2. 解析手法の概要

本研究では二次元流れの泥水流に対し、流動解析ツールである OpenFOAM を用いて、二次元の領域を対象として解析を行った。

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。領域の長さは x 軸方向に 500m とし、領域上流端の底面より 0.1m の高さの流入口より所定の流速で 0~100s 間のみ土砂混合流体を流入させることにより泥水流を発生させる条件とした。解析領域の概略を図2に示す。格子間隔は x 軸方向 0.2m 刻み、y 軸方向 0.05m 刻みとした。流入流体の初期濃度 C_0 は 4.1×10^{-3} 、砂粒子の密度 ρ_s は 2.65g/cm^3 、水の動粘性係数 ν は $1.307 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 、砂粒子の粒径 D_s は 0.03mm とした。解析ケースを表1に示す。水路床の勾配は 0.025, 0.05, 0.1 の3パターン、流入流速は 0.189, 0.945, 4.725m/s の3パターンとし、全てのパターンを組み合わせ Case1~9 の解析を行った。

本解析では泥水流後方の部分に着目し、後方部の速度分布及び濃度分布を求めた。また、土砂混合流体の

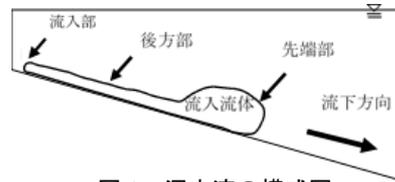


図1 泥水流の模式図

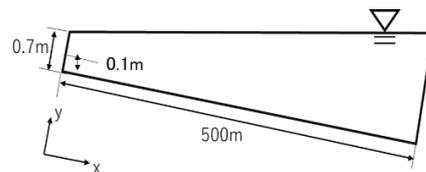


図2 解析領域の概略図

表1 解析ケース

	水路床の勾配	流入流速 (m/s)
Case1	0.025	0.189
Case2	0.025	0.945
Case3	0.025	4.725
Case4	0.05	0.189
Case5	0.05	0.945
Case6	0.05	4.725
Case7	0.1	0.189
Case8	0.1	0.945
Case9	0.1	4.725

流入を 100s で止めているため、泥水流後方に末端部が確認できた。この泥水流末端部の流動について調べた。

3. 解析結果

図3, 図4は、Case5の泥水流後方部の速度分布、濃度分布を経過時間ごとに比較した図である。Case1を除くいずれのCaseでも泥水流は発達し、泥水流後方部の流動特性は同じような傾向が見られたため、代表的なCaseとしてCase5を結果として示す。

図3から、時間の経過とともに全体的に速度の大きさ、y軸方向への広がりとともに減少し、上流端に近い位置から順々に速度が無くなっていく傾向が見られた。

図 4 から、速度と同じように、時間の経過とともに全体的に濃度の大きさ、y 軸方向への広がりとも減少し、上流端に近い位置から順に濃度が無くなっていく傾向が見られた。しかし、1222s 以降、流入口から 300～500m の位置では、濃度の大きさ、y 軸方向への広がりとも変化はあまり見られなかった。また、速度が無くなっているところでは濃度も無くなっており、流れによる粒子の巻き上げが後方の濃度に大きく影響しているものと考えられる。流入を 100s で止めているにもかかわらず、長時間に渡り流れが持続しているのが分かる。流れが粒子を巻き上げ、それが重力により斜面を下る際にさらに流れを起こすというサイクルが、流れが持続する理由であると考えられる。

結果として示していないが、流入流速の条件を変えた速度、濃度分布の比較からは、流入流速による影響は見られなかった。しかし、勾配の条件を変えた速度、濃度分布の比較からは勾配が大きいほど速度、濃度分布ともに大きい値となったため、泥水流の発達には勾配の影響を受けるといった流動特性が分かった。

図 5 は Case2～8 の泥水流後端部の x 軸方向位置の時間変化を比較した図である。Case1 は水路床の勾配、流入流速共に小さく、泥水流が発達せず減速したため結果は示していない。図 5 に示したどの Case も後端部の位置は加速、減速せず一定の速度で移動していくことがわかる。勾配が同じ条件ならば、グラフの傾きが同じとなっていることから、速度が等しいことから分かる。また、勾配が大きい方が速度は速くなる傾向も見られる。また、どの条件でも流入を 100s で止めているため、末端部は 100s 後から移動を開始するはずだが、Case3 だけ 510s から移動を開始した。原因としては、100s 後も流入口付近で速度、濃度ともに大きくなっており、その上、勾配が小さいため、x 軸方向に粒子が流れにくくなることにより、流入を止めてからも粒子が流入口付近に滞留したためと考えられる。

4. 結論

長距離を流動する泥水流について勾配、流入流速の条件を変化させ、数値解析を行い、泥水流後方における速度分布、濃度分布を示すことで流動特性を明らかにした。また、泥水流後端部の時間経過における移動距離を求め、後端部の移動速度が長時間一定のまま

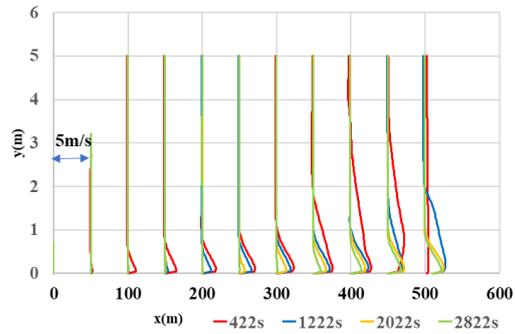


図 3 経過時間における泥水流後流部の速度変化

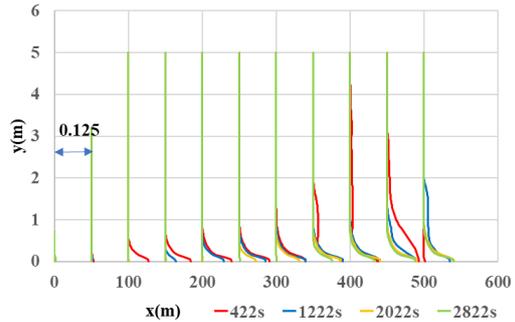


図 4 経過時間における泥水流後流部の濃度変化

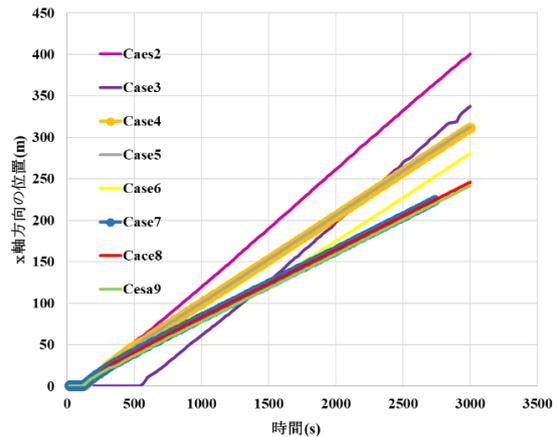


図 5 泥水流後端部の x 軸方向位置の時間変化

なること、水路勾配が大きいほどその移動速度が大きいことを示した。

今後の課題として、現地観測された泥水流の数値解析を行うことにより、解析モデルの妥当性の検証が必要である。

参考文献

- 1) 京都大学大学院理学研究科准教授 成瀬元, 混濁流の発生と成長～深海での堆積物の動き～
- 2) 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.