

逆転浮力重力密度流の流況について

九州工業大学工学部 学生員 ○末広 祐志、富岡 直人
同 上 正 員 秋山 壽一郎、浦 勝

1. はじめに

降雨により地表から流出した微細土粒子は、ウォッシュロードとして河川から海や湖などの水域に流入し、重力密度流(濁水密度流)を形成する。ところが、このような重力密度流の流動形態は受容水域の性質によって大きく異なる。濁水が淡水湖や貯水池に流入する場合には、濁水中の水と受容水との間に密度差がほとんど無いので、斜面に沿って流下する通常の重力密度流となる。一方、濁水が海に流入する場合には、海水より密度が小さな低濃度の濁水は表層密度流を形成し、海水より密度が大きな高濃度の濁水が海水中に流入するような場合には、流入後しばらくは通常の重力密度流として斜面に沿って流下するが、さらに流下すると、周囲海水より濁水中の淡水(液相)が軽いため、逆浮力が働き、淡水が流動層より分離するとともに浮遊濁質(固相)が流動層より離脱・堆積するような複雑な現象が発生する。本研究はこのような重力密度流の流動特性を明らかにすることを目的としたものである。

2. 実験

実験装置は、図1に示すように、長さ9.0m、深さ1.22m、幅0.6mの大型水槽内部に長さ7.5m、深さ1.0m、幅0.2mの亚克力水路(傾斜角度 $\theta=5^\circ$)を設置したものである。水路の上流端には攪拌機付のヘッドタンクが設置されており、高さ $D(=0.6\text{cm})$ の放出口より単位幅流量 q_0 、所定の初期単位体積濃度 C_0 (初期密度 ρ_0)に設定した濁水を静止した塩水 ρ_a 中に流入させ濁水流を形成させた。濁水としては図2に示すような粒度分布を有する中央粒径 $d_{50}=0.042\text{mm}$ 、密度 $\rho_s=2.47\text{g/cm}^3$ のガラスビーズと淡水(密度 ρ_w)とを攪拌器で混同させたものを用いた。実験条件を表1に示す。 ϵ_0 は初期相対密度($=(\rho_0-\rho_a)/\rho_a$)、 ϵ_a は塩水と淡水の相対密度差($=(\rho_w-\rho_a)/\rho_a$)である。流動状況は、フロントと同じ速度でVTRカメラを移動させ、水路側面より撮影を行った。初期濁水濃度 C_0 は、比重計を用いて測定された ρ_0 を式(1)に代入して求める方法と式(2)に基づく方法の2通りの方法で算定した。両者の間には5%程度の相対誤差が認められた。

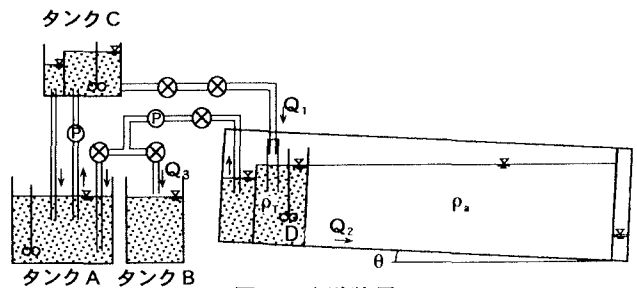


図1 実験装置

分布を有する中央粒径 $d_{50}=0.042\text{mm}$ 、密度 $\rho_s=2.47\text{g/cm}^3$ のガラスビーズと淡水(密度 ρ_w)とを攪拌器で混同させたものを用いた。実験条件を表1に示す。 ϵ_0 は初期相対密度($=(\rho_0-\rho_a)/\rho_a$)、 ϵ_a は塩水と淡水の相対密度差($=(\rho_w-\rho_a)/\rho_a$)である。流動状況は、フロントと同じ速度でVTRカメラを移動させ、水路側面より撮影を行った。初期濁水濃度 C_0 は、比重計を用いて測定された ρ_0 を式(1)に代入して求める方法と式(2)に基づく方法の2通りの方法で算定した。両者の間には5%程度の相対誤差が認められた。

$$C_0 = \frac{W_s/\rho_s}{V} \cdots (1) \quad ; \quad C_0 = \frac{W_s/\rho_s}{V} \cdots (2)$$

ここに、 V =懸濁液の体積、 W_s =ガラスビーズの乾燥重量である。

逆転浮力を有する重力密度流は、様々なパラメータに支配される複雑な密度流現象である。本研究では、表1に示すように ϵ_a のみを系統的に変化させ、その流動特性に及ぼす効果について検討を加えた。その際、 ϵ_0 と ϵ_a とは独立ではなく、式(3)のような関係があるので、 ϵ_0 を一定に保つために C_0 を変化させた。

$$\epsilon_0 = \frac{C_0\rho_s + (1-C_0)\rho_w}{\rho_a} - 1 = \frac{C_0(\rho_s - \rho_w)}{\rho_a} + \epsilon_a \cdots (3)$$

3. 実験結果

図3にCASE5の場合の流況の一例を示す。逆転浮力重力密度流は、流入後しばらくは通常の重力密度流と同様の流動形態をとるが、その後、濁水中の淡水が流動層より徐々に分離するとともに濁質が流動層より離脱・堆積し、堆積性の重力密度流に変化していく。最終的に、流動層は停止し、底面よりリフトオフする様子がよくわかる。図4は最大層厚 H と x_L との関係を調べたものである。これより、 H は ϵ_a とはほぼ無関係に同様な傾向を示すことがわかる。なお、CASE1ではリフトオフは発生していない。図5は ϵ_0 を系統的に変化させた場合のフロント最先端部の位置 x_f およびリフトオフの位置 x_L と経過時間 t との関係を調べたものである。図中の白抜記号は x_f を、塗りつぶし記号は x_L を示す。これより、 ϵ_a の減少とともに、 x_f と x_L が減少していくことや x_L が x_f とは一致しないことがわかる。また、 ϵ_a が小さい場合には、逆浮力が強く働いたため、リフトオフが激しくなり、フロント部の後戻り現象がみられることがわかる。図6は、リフトオフの位置 x_L と ϵ_a との関係を調べたものである。これより、若干のばらつきは認められるものの、 ϵ_a の減少とともに x_L が減少していくことがわかる。

表1 実験条件

	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	CASE6
$q_0 (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	1.82×10^{-3}	2.12×10^{-3}	1.68×10^{-3}	1.77×10^{-3}	1.81×10^{-3}	1.81×10^{-3}
C	0.0091	0.0159	0.0193	0.0227	0.0268	0.0295
$\rho_0 (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	1 015	1 025	1 030	1 035	1 041	1 045
$\rho_a (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	1 000	1 010	1 015	1 020	1 026	1 030
ε_0	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
ε_a	0	-0.01	-0.015	-0.02	-0.026	-0.029
F_{10}	10.2	11.9	9.4	9.9	10.2	10.2
記号	田	△	○	□	◇	▽

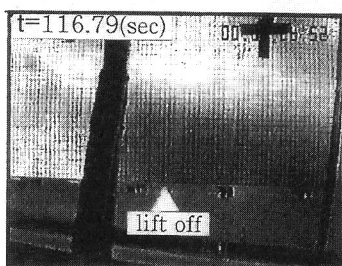
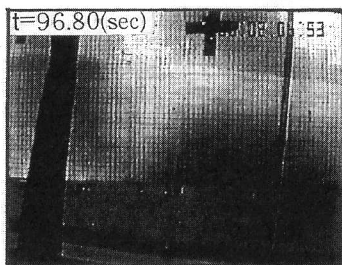
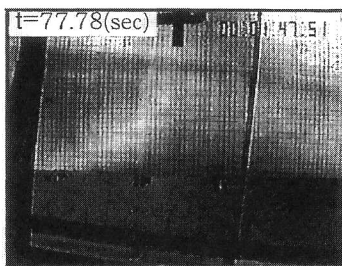
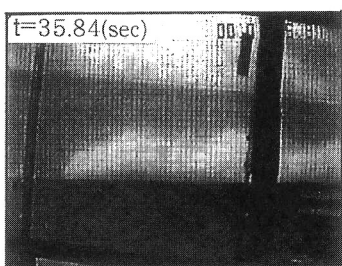


図3 流況の写真

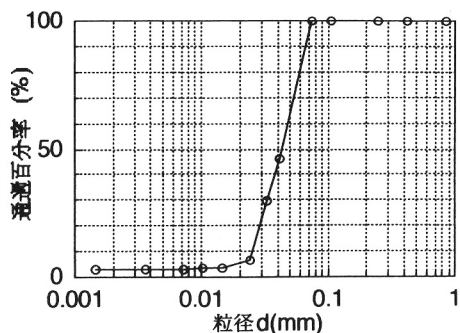


図2 粒径分布図

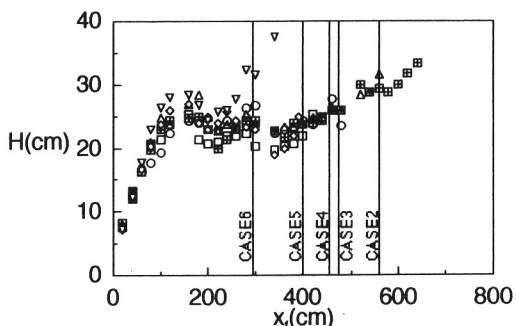


図4 Hと x_L の関係

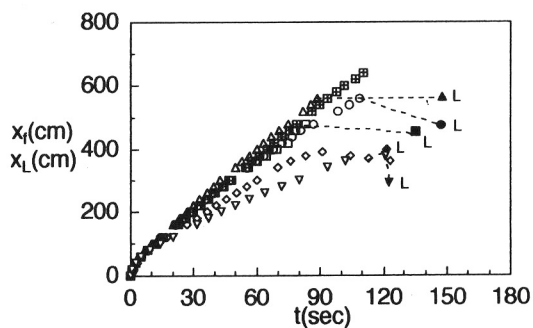


図5 x_L とtの関係

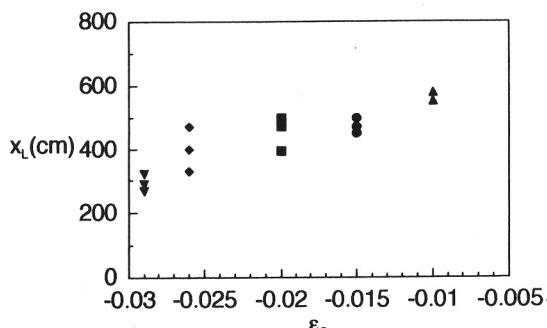


図6 x_L と ε_a の関係