

濁水中層密度流に関する実験的研究(流動特性)

Experiments on Turbid Density Interflow

九州大学大学院 学生員 山口 正久 M.YAMAGUCHI

九州大学工学部 正員 秋山 壽一郎 J.AKIYAMA

九州大学工学部 正員 柴田 敏彦 T.SHIBATA

九州大学工学部 正員 小松 利光 T.KOMATSU

1. 緒言 洪水時に河川流域から生産される高濃度の濁質を含む濁水が成層型貯水池に流入すると、重力下層密度流として池底斜面に沿って一旦流下し、躍層を破壊することなく躍層界面に沿って楔状に貫入することがある。これを中層密度流と呼ぶ。本報告は沈降性粒子を用いて実験を行い、固-液混相濁水中層密度流の流動特性を調べたものである。

2. 実験装置及び方法 実験装置は別報の図-1に示してある。実験水槽上流端には、流入用として前面に平板を備えた越流タンクが設置してある。下流端は水槽水位を一定に保つため越流セキを設けている。濁水が境界面に流入すると内部孤立波が発生する。この内部孤立波は先端移動速度よりも早いため、下流端で反射し、流れに悪影響を及ぼす。これを防止する目的で消波板が取り付けられている。

以下に実験手順を述べる。ガラスビーズと淡水を混合した所定の濃度をもつ濁水をまず貯水槽に作り、十分に攪拌した。更に、攪拌装置を取り付けた一定ヘッドの高架水槽に導き、放出口より一定供給量で越流タンクに噴出させた。流入濁水は越流タンク内で上層淡水と希釈混合した後、淡塩の成層界面上に貫入し、水平方向に流下していく。比較的粒径の大きな粒子は、越流タンクとその前面に取り付けた平板上に堆積するように工夫されている。

流入流量(q_0)、流入濁水密度(ρ_0)、上層淡水密度(ρ_1)、下層塩水密度(ρ_2)及び界面の位置(h_1/h_2)を一定に保ち繰り返し実験を行った。これら流入水及び周囲水の条件を揃えれば、流れの再現性は良好であった。実験条件を表-1に示す。表-1において、 $\varepsilon_1 = (\rho_2 - \rho_1) / \rho_1$ 、 q_0 =単位幅流入流量、及び $\beta = q_s / q_0$ 、ここに、 q_s =単位幅流入濁質量である。

使用したガラスビーズの粒度分布は図-1に示すように、ほぼ一様で平均粒径(d_{50})は 43μ 、比重(σ)は2.50である。この d_{50} に対応する静水中の沈降速度(V_f)は 0.14cm/s である。濁質濃度及び塩分濃度分布の測定には、水深方向に2cm間隔で10点同時に採水出来る装置(採水器内径 0.1cm 、外径 0.2cm のステンレス管を使用)を2本作成し、試料を1点につき約15cc注意深く採水した。採水は水平方向に2点同時に行い、一本は原点($x=0$)に常設し、他の一本をx軸方向へ50cm間隔で移動させた。下流側の採水は粒子が主流からの離脱を開始する点(図-2中の▲印の点)で行った。塩分濃度の計測には電気伝導度計を使用し、濁質濃度は試料の乾燥重量を求めることによって行った。平均流速分布は各採水点にビデオカメラを設置し、投下した染料(アニリンブルー)の軌跡を画像解析することによって求めた。更に、沈降性粒子の堆積過程を知る目的で、水槽底面に同時に開閉できるtrapを50cm間隔で5個設置した。写真撮影も同時に行った。

3. 流動特性 中層密度流の流動形態は、sharpな界面に侵入する場合と連続的な成層場に侵入する場合とでは異なることが知られている。sharpな界面に侵入する場合でも、流動層厚と躍層界面の相対位置関係によって、流動形態は変化する(例えばKaoの研究)。ここでは、下層流体の密度が流入水のそれに比して相対的に大きな場合、上下非対称の中層流を対象をしぼって考察する。図-2に濁水中層流の写真の一例を示す。図中の実線は界面の位置である。図-3は先端部を含む流動層の時間変化図($\Delta t=6\text{sec}$)の一例である。濁水中層流は浮遊粒子が流動層から全く沈降しない完全浮遊状態の先端部と粒子が離脱していく堆積性の後続部分より成り、界面上の流動層のみならず界面下の沈降部分も含めてほぼ同一の形状を保ちながら流下することが判る。

目視観測によれば、濁水中層流では、流動層全体に渡って乱流状態であることが確認された。先端部上部界面において大規模な渦が発生しており、渦によって上層へ巻き上げられた比較的細かい粒子はその沈降性のため、再度、主流動層に取り込まれ、流下方向に輸送される。このようにして細かい成分は先端部分に運ばれる。図-2より明らかなように、下部界面においては、主流域から離脱した粒子は先端部よりやや後方より鉛直下方へ沈降する。front部は大規模な渦運動を伴い、比較的細かい粒子は浮遊し易い。一方、後方定常部では、粒子は沈降を開始し、主流動層から離脱するものと考えられる。そのため先端部を除いて、下部境界面はあまり明瞭ではない。図-4及び図-5に得られた周囲水の相対塩分濃度差及び濁質濃度分布と流速分布の一例をそれぞれ示す。両分布とも縦軸は流動層厚で、横軸は0点での濃度の最大値で無次元化している。流動層内での粒子沈降のため、躍層界面付近に高濃度-高速度が存在し、大部分の濁質の流下方向への輸送はその部分で行われる。また、流下方向に濁質濃度及び流速が減少していくことが判る。先端部が $x=4.0\text{m}$ に到着したときの堆積粒子の単位面積あたりの重量の一例を示したものが図-5である。流下方向に、ほぼ指数的に堆積量が減少

することが認められる。

本研究は服部報公会の援助を得て行ったものである。

4. 参考文献 Kao, T. W. (1977) "Density Currents and Their Applications", J. of Hydraulic Div., ASCE, vol. 103, HY. 5, pp. 543~555

表-1 実験条件

$Q_0(\text{cm}^2/\text{s})$	β	ϵ_1
5.64	0.06	0.020

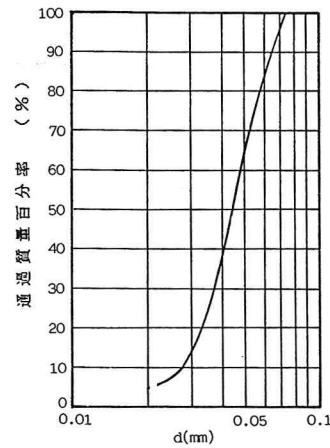


図-1 ガラスビーズの粒度構成

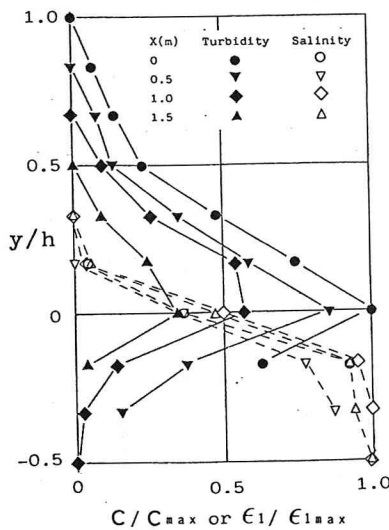


図-4 濁質濃度分布及び相対塩分濃度差

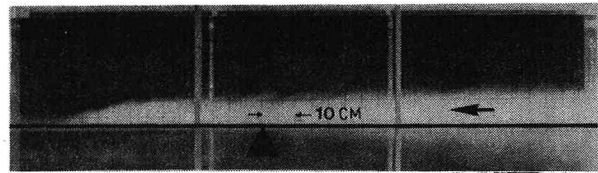


図-2 濁水中層流の流動形状

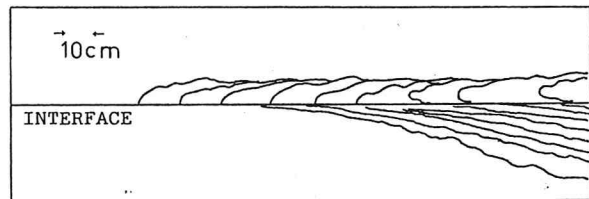


図-3 先端形状及び流動層の時間変化

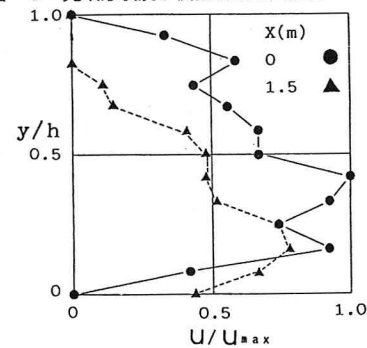


図-5 流速分布

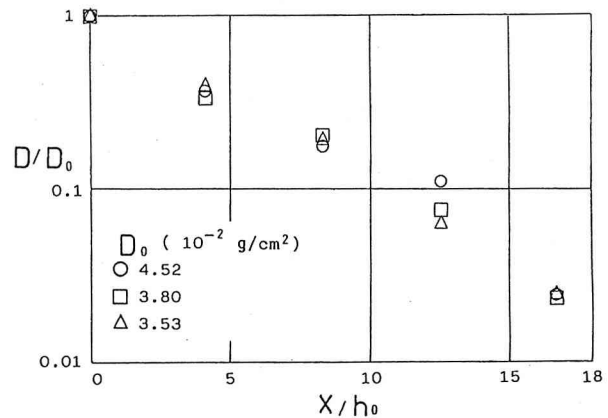


図-6 堆積量と流下距離との関係