

# 濁水中層密度流に関する実験的研究(先端移動速度) Experiments on Turbid Density Interflow

九州大学工学部 学生員 高畑 研 K.TAKAHATA  
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 小松 利光 T.KOMATSU

1. 緒言 固-液混相の濁水密度流の第一近似としての液-液単相密度流(擬似濁水密度流)は浮遊粒子の性質、主に沈降性を無視しているため、濁質の輸送過程は近似的に説明できるが、堆積機構は全く評価し得ない。自然界において、流入濁質は沈降速度が無視できない程度の粒子も当然含んでおり、それらは流入後直ちに池底に堆積するとは限らず、その一部は浮遊粒子として下層流により躍層界面まで輸送され、中層密度流として更に池内へ拡散し、堆積することが考えられる。本研究ではこのような観点に立つて、固-液混相(濁水)の場合と液-液単相(塩水)の場合の中層流の先端移動速度の差異に関して実験的に検討を加えた。

2. 実験装置及び方法 実験装置と座標軸を図-1に示す。座標原点は上流端に設置した越流タンクから0.5m下流の点とした。

周囲水としては、上層流体(密度 $\rho_1$ 、層厚 $h_1$ )は常に淡水を使用し、下層流体(密度 $\rho_2$ 、層厚 $h_2$ )は貯溜タンクで所定の濃度に調節した塩水を用い、淡塩水の2成層場を注意深く形成した。沈降性粒子による中層密度流の場合と沈降速度が無視できる場合との比較検討を行うために、流入濁水( $\rho_0$ )として浮遊ガラスビーズによる濁水とフルオレセインで着色した塩水をそれぞれ使用した。

密度 $\rho_0$ 、 $\rho_1$ 、 $\rho_2$ 、及び界面の位置( $h_1/h_2$ )を変化させ、繰り返し実験を行った。流入流量( $q_0$ )は濁水の場合は一定( $5.36\text{cm}^2/\text{s}$ )で、塩水の場合は2通り( $q_0$ 、 $q_0/2$ )に変化させた。これら流入水及び周囲水の条件を揃えれば、塩水の場合は勿論、濁水中層流でも流れの再現性は極めて良好であった。

使用したガラスビーズの粒度分布は別報の図-1に示してある。先端移動速度( $V$ )はvideo cameraでfrontを追跡し、V.T.R.で録画した画像を解析して求めた。

3. 先端移動速度 まず、塩水中層流について考察する。 $q_0=5.36\text{cm}^2/\text{s}$ の場合の侵入長( $L$ )と時間( $t$ )との関係の一例を図-2に示す。ここで対象としているような中層密度流(別報図-2参照)は水平底面上の下層流もしくは表層流とその運動特性が極めて類似していることが期待できる。Diddenらは2次元及び軸対称の水平底面上の下層流と表層流との実験を行い、流動形態をgravity-inertia、gravity-viscous regionの2領域に区分し、2次元の場合、 $L$ は前者においては $t$ に比例し、後者においては $t^{7/8}$ に比例することを示した。

図-2より、明らかに $L$ は $t$ に比例し、frontの移動速度は一定( $V/V_0=1$ )である事が認められる。更に、流入相対密度差 $\varepsilon_0$ が大きくなる程、先端移動速度が増大することが判る。front形状は流下に伴い変化するので、先端部の代表長さとして流動層厚( $h$ )を選ぶのは不適当と思われるので、代表長さとして $q/V$ を導入する。ここに、 $q$ は流動層の単位幅流量である。抗力と圧力がバランスし先端移動

速度が一定であるので、初期混合や流動層上部界面での連行による逆流などを無視すると、

$$(\alpha_1/2) \varepsilon g (q/V)^2 = (c_d/2) V^2 (q/V) \quad (1)$$

となる。ここに、 $\alpha_1$ =圧力分布補正係数、 $c_d$ =抵抗係数、 $\varepsilon=((\rho-\rho_1)/\rho_1)$ である。(1)式より、 $V=\alpha_2(\varepsilon g q)^{1/3}$  (2)

ここに、 $\alpha_2=(\alpha_1/c_d)^{1/3}$ 。初期連行量( $q_i$ )が流入量( $q_0$ )に比例するとして、初期混合率( $\gamma$ )を定義すると、

$$\gamma = q_i/q_0 \quad (3)$$

連続の式、及び質量保存の式より、

$$q = (1+\gamma) q_0 \quad (4)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 / (1+\gamma) \quad (5)$$

を得る。(4)、(5)式を(2)式に代入して、

$$V / (\varepsilon_0 g q_0)^{1/3} = \alpha_2 \quad (6)$$

となる。 $\alpha_2$ は流動層上部界面での上層水の連行量などによって決定される関数になると考えられるが、ここでは、 $\alpha_2=0.856$ (一定)とすると、 $V$ は流入条件( $q_0$ 、 $\rho_0$ )と受容水条件( $\rho_1$ )のみで表わされる。図-3に $V$ と $(\varepsilon_0 g q_0)$ との関係を示す。

次に、濁水中層密度流の $L \sim t$ 関係を図-4に示す。初期流速( $V_0$ )が流入濁水濃度に応じて変化する事は塩水の場合と同様であるが、 $\beta=(q_0/q_0)=0.0161$ の場合を除いて、いずれの場合も、今回の実験条件下( $\beta=0.016 \sim 0.087$ 、 $\varepsilon_1=0.027 \sim 0.034$ )では、勾配が1.0から約0.86へ遷移する。ここに、 $q_0$ =単位幅流入濁質量、濁水中層密度流は粒子を浮遊させるため、流動層は本質的に乱流であり、粘性力が効くgravity-viscous regionは存在しないものと思われる。従って、この先端速度の違いは粒子の沈降に伴う流動機構の変化に起因すると考えられる。別報の図-2で示したように、濁水中層流は浮遊粒子が流動層からまったく沈降しない先端部と粒子が離脱していく後続部分より成る。断面の平均的な乱流強度が $V$ に比例するとすれば、先端移動速度が大きい程、 $V$ と $V_f$ との比( $V_f/V$ )が小さくなる。よって、 $V$ が一定である完全浮遊状態の濁水先端部が長くなると考えられる。 $V$ が大きいのは $\varepsilon$ が大きい時、即ち高濃度の場合であり、 $\varepsilon$ が小さい時は、その逆となる。gravity-

inertia region から粒子の沈降が流れに影響を及ぼす領域への遷移時間を  $t_i$  とすると、上記の条件下において濁水中層密度流の先端移動速度は、

$$V/V_0 = 1 \quad (0 \leq t/t_i < 1) \quad (7a)$$

$$= (t/t_i)^{-0.14} \quad (t/t_i \geq 1) \quad (7b)$$

で与えられる。

$\beta = 0.0161$  の場合、勾配は最初から約 0.86 であり、 $t \approx 150 \text{ sec}$  でさらに勾配が減少する。これは、流入濁水の濃度が小さい場合、front の流動速度は遅く浮遊粒子は直ちに沈降を開始することが前者の理由であり、実験水槽が有限水深であるため、沈降してきた粒子群によって引き起こされた下層密度流によって、中層と下層との間に強い逆流が生じ、その結果、先端移動速度が更に遅くなることが後者の理由と考えられる。他の  $\beta$  値では、測定時間内に明瞭な下層流が形成されなかったため、この逆流による減少傾向は見られなかった。式(7)を検証したのが図-5 である。濁水中層密度流では、浮遊粒子の流動層からの離脱のため、先端移動速度は減少し、流下と共に初期流速からのずれが顕著となることが判る。

本研究は服部報公会の援助を得て行なったものである。

4. 参考文献 Didden, N and Maxworthy, T. (1982) "The Viscous Spreading of Plane and Axisymmetric Gravity Currents", J. of Fluid Mech., vol. 121, pp. 27~42

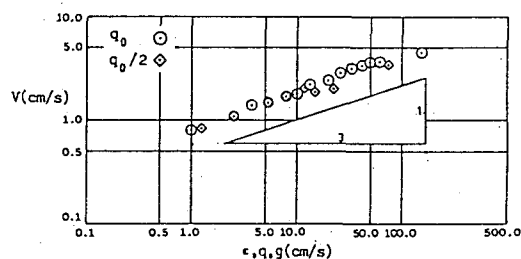


図-3 塩水中層密度流の先端移動速度 (V)

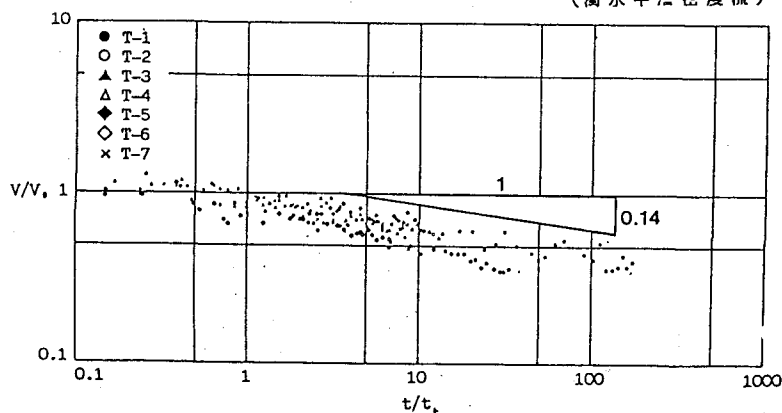


図-5 濁水中層密度流の先端移動速度 (V)

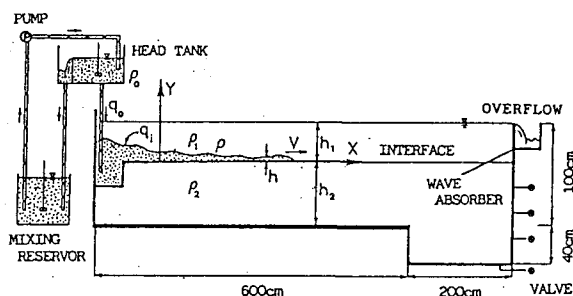


図-1 実験装置

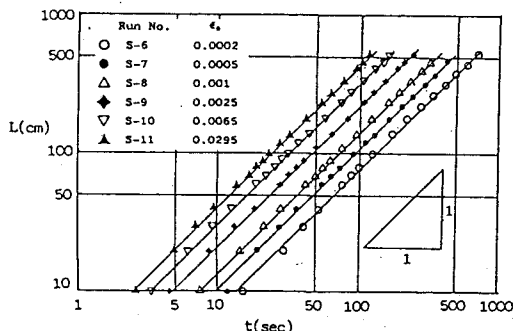


図-2 進入長 (L) と時間 (t) の関係  
(塩水中層密度流)

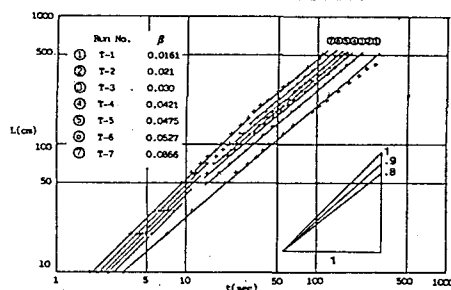


図-4 進入長 (L) と時間 (t) の関係  
(濁水中層密度流)