

# 周囲水の密度分布が異なる場での中層密度流の貫入現象

水工学研究室 村田 圭児

指導教官 福嶋 祐介

## 1. はじめに

密度流とは、二種の流体の密度差が起因となり発生する流下・上昇運動であり、自然界においては頻繁に発生している。例として、ダム貯水池に流入する濁水が挙げられる。貯水池に流入した濁水は密度躍層に到達すると、下層流体より小さいものは躍層に沿って進入するという現象が起こる。この現象を中層密度流の貫入現象という。中層密度流を形成する濁水は、躍層の上下流体の中間の密度をもつ。中層密度流の先端部形状は貯水池水の密度分布と濁水の密度、流量の関係によって決まる。本研究では、この中層密度流の貫入現象に焦点を当て研究を行う。中層密度流現象は、塩分濃度により作られた密度差を持つ周囲水に中間の密度の塩水を進入させて再現した。実験で得られたデータと理論値とを比較し、流動特性や挙動の違いを解明すること、そして濁水の長期化の改善について混合の方法について比較することを目的とする。

## 2. 実験装置および実験方法

実験装置は、図-1 に示すように縦幅 15cm、横幅 400cm、高さ 60cm のアクリル製水槽を用いた。密度流流出口部には流出口が 1.5cm×13.5cm であるアクリル製の箱を用いた。ヘッドタンク内には、水深を一定に保つための仕切りを設けてある。

実験方法は、次のとおりである。周囲流体は塩分濃度の密度差によって変化させた。上層水には淡水を用い、中層密度流は可視化できるようにウラニン色素で着色した。ヘッドタンク内に、一様密度に調整した塩水を導き水槽内に流入させた。流入の様子はデジタルビデオカメラ 2 台で撮影し、その撮影画像から各種データを測定した。濁水と周囲水の混合実験に関しては、あらかじめ中層密度流を流し込み密度差をつけた水槽において、ポンプまたはエアチューブで 5 分間混合攪拌を行い、その様子を撮影した。

## 3. 実験結果

VTR より、流下時間および距離ごとの密度流の先端部形状、先端部層厚、先端移動速度を調べた。測定結果については、周囲水の密度分布による違いがはっきりと出た。直線密度分布では、先端部は不明瞭であ

り全体的にくさび状になって進行する。そして層厚は、時間とともに減少する傾向が見られ、移動速度に関しては、流入後 40~60cm までの速度の減少が顕著であることがわかった。二層界面に進入する場合には、先端部ははっきりとし特徴的なふくらみとくびれを持って進行する。そして層厚は、時間による減少はそれほど見られず、移動速度に関してもそれほど変化しないことが結果としてわかった。図-2、図-3 に直線密度分布に進入する場合の層厚と移動速度の代表的な結果を、図-4、図-5 に二層界面に進入する場合の層厚と移動速度の代表的な結果を示す。

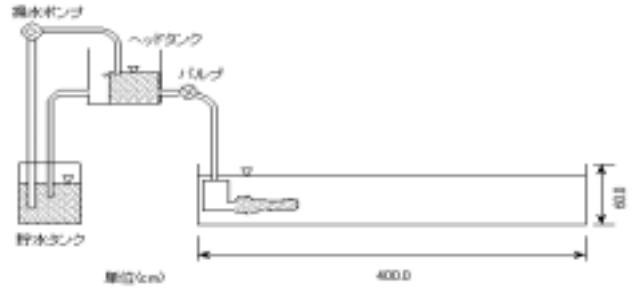


図-1 実験装置

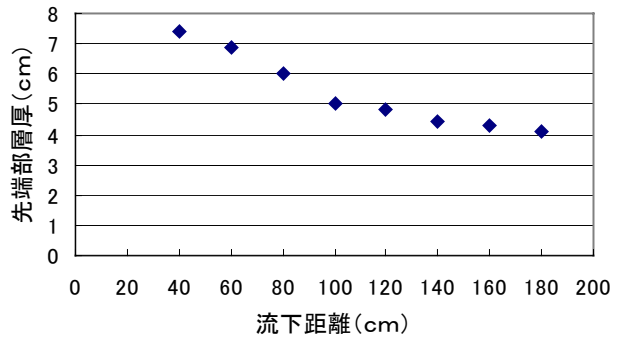


図-2 先端部層厚の流下距離変化 (RUN1-2)

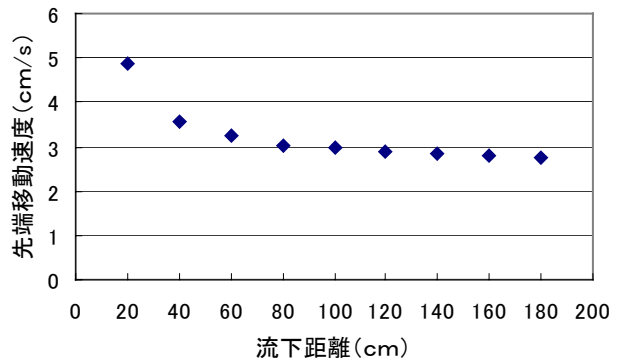


図-3 移動速度の流下距離変化 (RUN1-2)

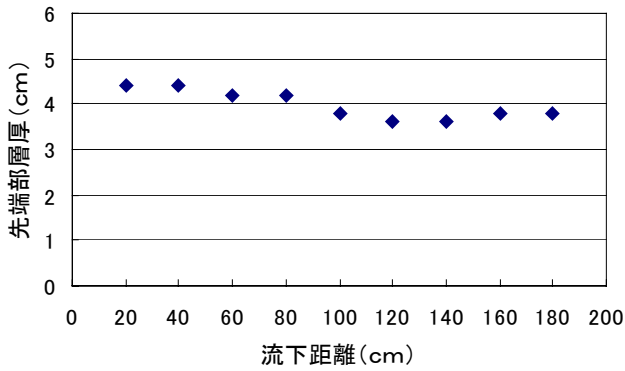


図-4 先端部層厚の流下距離変化 (RUN4-3)

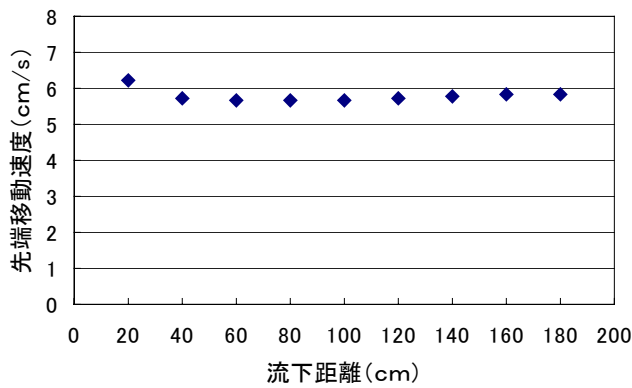


図-5 移動速度の流下距離変化 (RUN4-3)

#### 4. 理論的検討

実測値と理論値の比較において、周囲水が直線密度分布の場合には Manins の理論式を、二層界面の場合には Kao の理論式を用いた。

$$\text{Manins の理論式 } U = \alpha(qN)^{1/2} \quad (4.1)$$

$$\text{Kao の理論式 } U = \sqrt{2\varepsilon_d r_i g \delta} \quad (4.2)$$

比較の結果、どちらにおいても実測値のほうが理論値より低い値を示した。この理由は混合や粘性、逆流などの影響が実測値にはあるためと考えられる。図-6、図-7 にそれぞれ結果を示す。先端移動速度と  $(qN)^{1/2}$  の関係において、実測値は比例係数  $\alpha$  が 0.6 ~ 0.8 の間にプロットされることがわかった。移動速度とレイノルズ数の関係においてはレイノルズ数が大きくなるにつれて理論式に近づく傾向を示した。

#### 5. 周囲水と濁水の混合に関する実験

実験の結果、混合の度合いは密度の高い流体を密度の低い流体へと混合させたケースのほうが強いという結果となった。

#### 6. 結論

周囲水の密度が直線分布の場合、先端形状はくさび状であり、層厚および移動速度は流下するにつれ徐々に減少することがわかった。二層界面の場合は、先端形状は非対称で特徴的な膨らみとくびれを持っており層厚および移動速度は流入直後からそれほど変化しないことがわかった。実測値と理論値の比較では、種々の抵抗を考慮しない限り実現現象を説明することは難しいことがわかった。周囲水の混合に関する実験については、混合方法の違いにより混合度合いに差が出るということがわかった。

#### 7. 参考文献

- (1) 福嶋祐介：成層化した貯水池に流入する濁水の流動機構に関する基礎的研究、東京大学学位論文、1981.
- (2) 早川典生：水工学の基礎と応用、彰国社 1994
- (3) 福嶋祐介, 山口祐矢：二層界面に流入する密度流先端部の挙動、長岡技術科学大学課題研究論文, 2002.
- (4) 玉井信行：密度流の水理, 技報堂、1980.

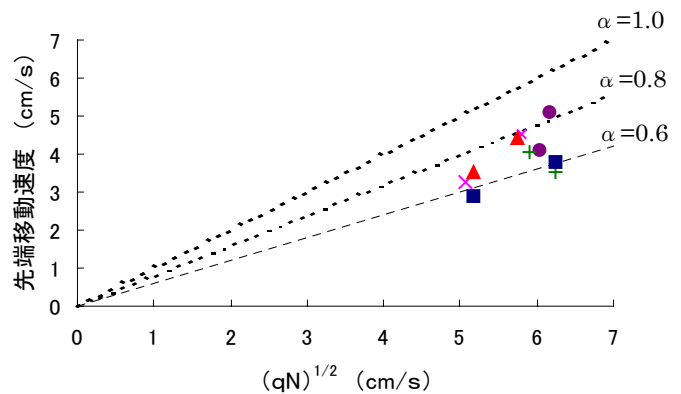


図-6 先端移動速度と  $(qN)^{1/2}$  の関係

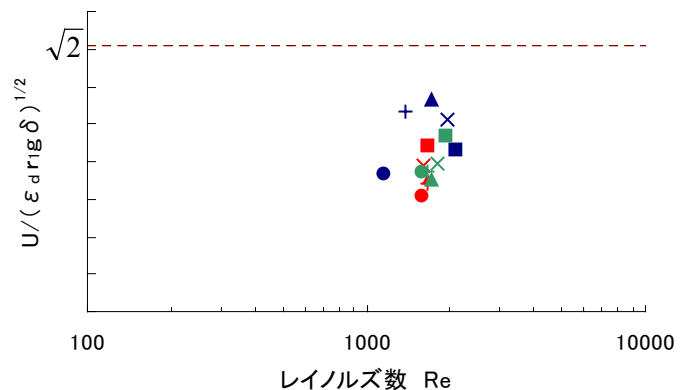


図-7 先端移動速度とレイノルズ数の関係