

中層密度流の貫入現象に関する室内実験

水工学研究室 小川 直也

担当教官 細山田 得三

1. はじめに

密度流とは、二種類の流体間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観察される現象である。

例として、ダム貯水池に流入する濁水が挙げられる。ダム貯水池内に太陽熱が起因の温度躍層(温度の急変する層)が形成され、洪水等で流入した濁水が温度躍層に到達すると、下層流体より密度が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(図-1)。中層密度流は、貯水池内の濁水長期化の主たる原因として挙げられ、下流水域の環境問題や堆砂問題に密接に関係し、本研究室では中層密度流の研究が継続的に行われてきている。そこで本研究は中層密度流の貫入現象の挙動を説明することを研究目的とし、ダム貯水池内を単純化した室内実験を行った。

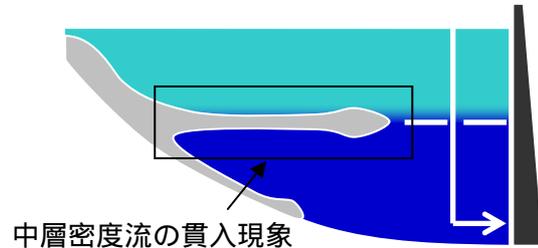


図-1 ダム模式図

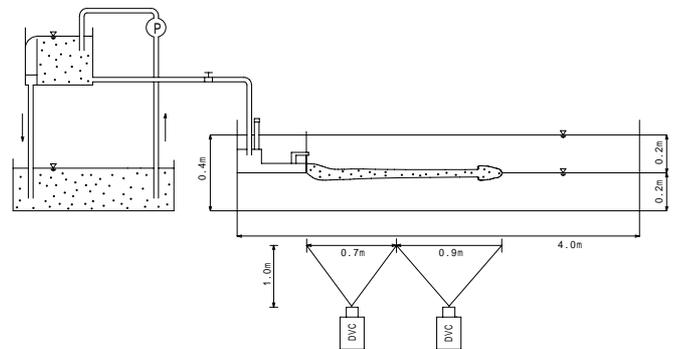


図-2 実験装置

2. 実験概要

実験水路は、図-2に示す幅15cm、長さ400cm、高さ60cmの亚克力製水槽である。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。密度流流入装置には流出口が高さ4.0cm×幅13.6cmのゲート開閉式の箱を用いた。この流入装置のゲートの有無で、図-3に示すように中層流先端部の流入の仕方を变化させる。すべての条件で上層流体には淡水、下層流体には塩分濃度4.0%の塩水とし、躍層部にウラン色素で黄緑色に着色した中間の密度(塩分濃度0.5%~3.5%)を持つ中層密度流を流入させる。2台のデジタルビデオカメラで流況を撮影し、画像を解析することにより、流入水の先端部形状、先端移動速度、先端部層厚を求める。

また、中層密度流中にウラン色素の代わりにトレ

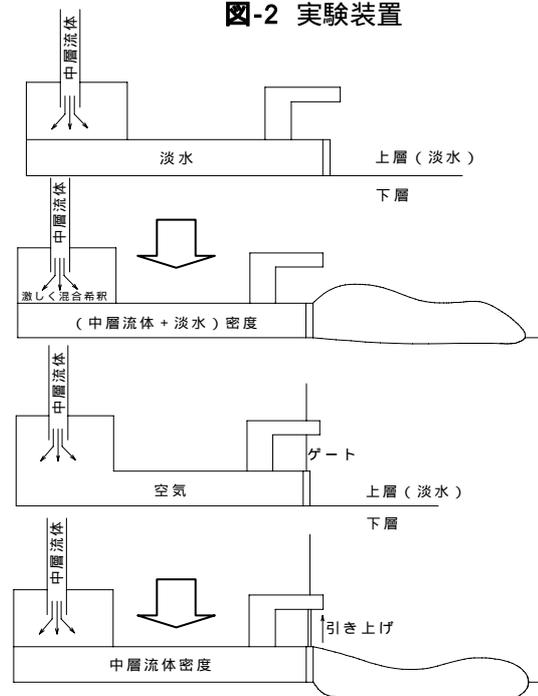


図-3 ゲート有無の流入条件の差異

ーサー粒子(DIAION粒子)を混入し撮影した画像を FLOW-vec32(ライブラリー社製)を用いて画像解析することで、内部流速ベクトルを計測する。実験条件を表1~3に示す。

3. 実験結果および考察

3.1 先端部形状の結果および考察

流下距離 130cm 時の先端部形状を図 - 4、図 - 5に示す。ゲートなしの場合、先端部形状はどのケースでも上に凸の上下非対称であるのに対し、ゲートありの場合、先端部形状は中層流体密度の変化に伴い上に凸から下に凸へ遷移していく。この結果により、先端部形状は流入条件により大きく形を変えることがわかった。

そして本研究では、この先端部形状を定量化できないかと考えた。図 - 7 はゲートありの場合の先端部形状の層厚を相対密度差に対して整理したものである。先端部形状の層厚は図 - 6 のように定めた。横軸は上下層に対しての相対密度差、縦軸は基準線より上部の層厚を h_u 、下部の層厚を h_d とし、全体層厚 h_a で無次元化している。点はどちらの図でもほぼ同一線上に並んでいることがわかる。このことより、一様密度の中層流体であれば先端部形状は上下層との相対密度差に強く依存していることがわかった。ゲートなしの場合の先端部は流入装置内での混合により相対密度差が不明なため、整理できていない。

3.2 先端移動速度・先端部層厚の結果及び考察

先端移動速度の計測結果を図 - 8、先端部層厚の計測結果を図 - 9 に示す。図から分かるように先端移動速度、先端部層厚ともに流入条件によって傾向が大きく変化するものとなった。中層流体密度と上下流体密度の相対密度差が小さい場合に流入条件の違いによる影響が顕著に表れている。混合・希釈するのは先端部のみと考えられるが、先端部の密度の差異が上記のような流入直後の中層流挙動の変化を生み、流下距離 150cm 付近においても影響を残すことがわかった。

(上層-中層-下層)

0-0.5-4.0%

0-1.0-4.0%

0-1.5-4.0%

0-2.0-4.0%

0-2.5-4.0%

0-3.0-4.0%

0-3.5-4.0%

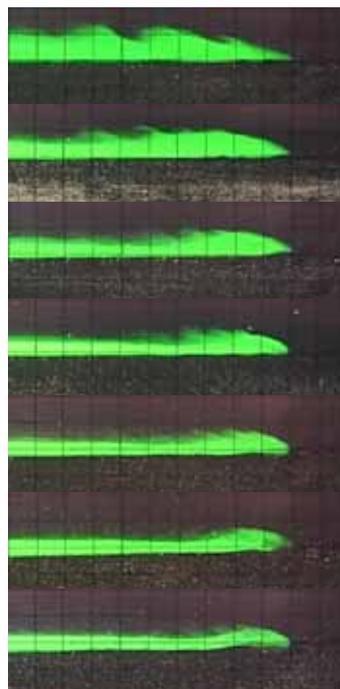


図 - 4 先端部形状(ゲートなし)

(上層-中層-下層)

0-0.5-4.0%

0-1.0-4.0%

0-1.5-4.0%

0-2.0-4.0%

0-2.5-4.0%

0-3.0-4.0%

0-3.5-4.0%

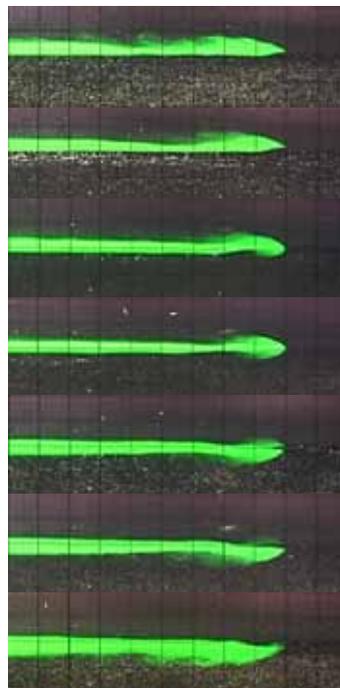


図 - 5 先端部形状(ゲートあり)

3.3 内部流速ベクトル

本研究の新しい試みとして内部流速ベクトルを計測した。中層濃度 3.0%の計測結果から各時間での断面中の最大流速を採取したものを図 - 10 に、計測点の数から求めた層厚を図 - 11 に示す。

図に示されるように、速度は先端付近が最も速く、時間が経ち層厚が広がるとともに減少していくことを実験的に確かめることができた。他の実験条件でも同様の傾向が見られる。

そして、中層濃度による比較をした場合、x方向の流速と層厚ともに 3.2 で計測した先端移動速度と先端部層厚の結果と同様の傾向が見られた。また、図 - 11 に見られる序盤の層厚の急減は、先端部のくびれの部分であり、4.1 の先端部形状の結果とも一致している。これらのことから今回のPIV計測の精度はある程度保証できると考えられる。

4. 結論

流入装置をゲート開閉式にし、ゲートの有無で計測結果を比較した。これにより流入条件の変化による挙動の差異を、明確にできた。この研究を発展させるには密度分布の計測を行い、混合の度合いを定量化すると同時にさらに多くの実験条件を重ねる必要があると考えられる。

また、内部流速の計測において、中層密度流の速度、層厚の時間変化の特性を実験的に確かめることができた。試験方法を工夫し、精度を高めるとともに全層での流速ベクトルの計測を目標にしたい。

参考文献

- 1)村田圭児: 周囲水と密度分布が異なる場での中層密度流の貫入現象、長岡技術科学大学修士論文、2005
- 2)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
- 3)早川典生: 水工学の基礎と応用、彰国社、1994
- 4)日本流体力学学会: 流れの可視化、朝倉書店、1996

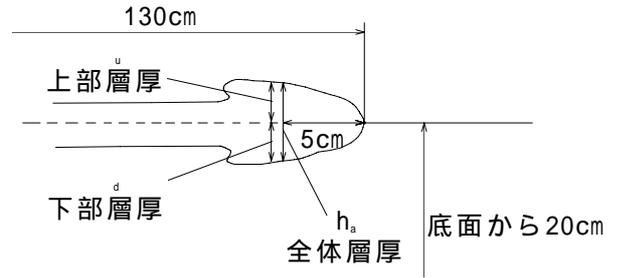


図 - 6 先端部形状の層厚の計測方法

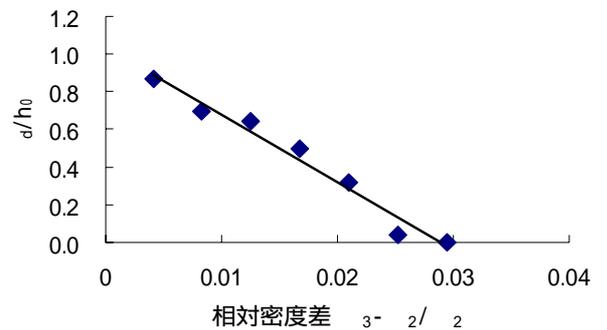
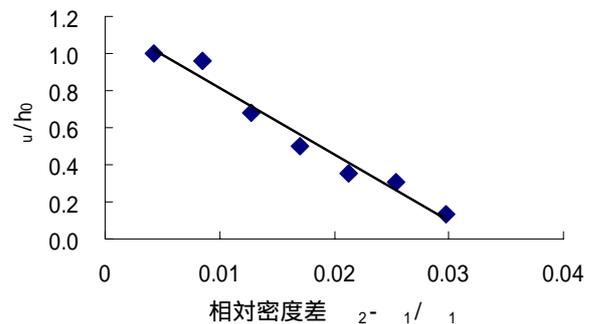


図 - 7 先端部形状の層厚と相対密度差関係

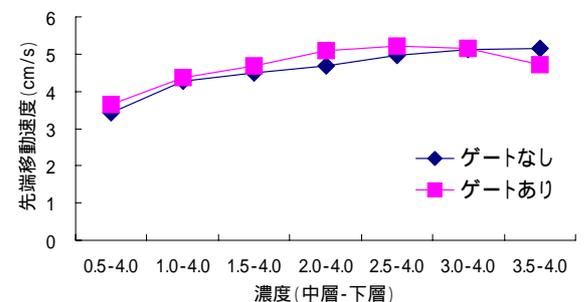


図 - 8 先端移動速度の中層濃度変化

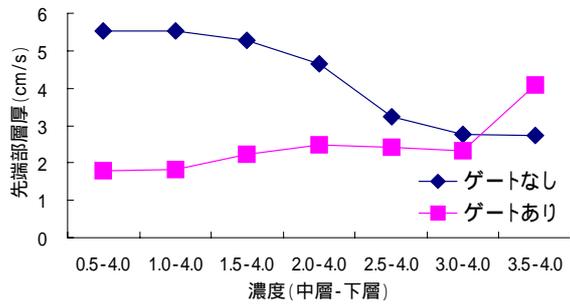


図 - 9 先端部層厚の中層濃度変化

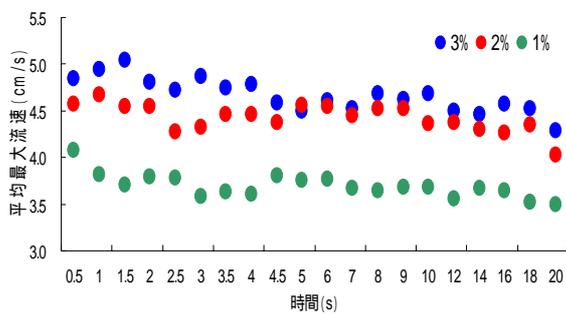


図 - 10 断面平均最大流速

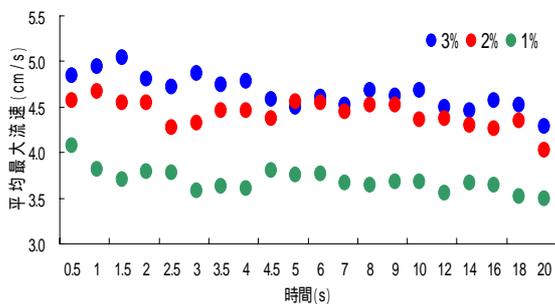


図 - 11 平均層厚

表 1 ゲートあり実験条件

条件	中層濃度	回数
RUN1-1	0.5%	3
RUN1-2	1.0%	3
RUN1-3	1.5%	3
RUN1-4	2.0%	3
RUN1-5	2.5%	3
RUN1-6	3.0%	3
RUN1-7	3.5%	3

表 2 ゲートなし実験条件

条件	中層濃度	回数
RUN2-1	0.5%	1
RUN2-2	1.0%	1
RUN2-3	1.5%	1
RUN2-4	2.0%	1
RUN2-5	2.5%	1
RUN2-6	3.0%	1
RUN2-7	3.5%	1

表 3 内部流速計測のための実験条件

条件	中層濃度	回数
RUN3-1	1.0%	3
RUN3-2	2.0%	3
RUN3-3	3.0%	3