

II-141

支流を有する貯水池密度場の濁水流動に関する研究

東京理科大学大学院 学生員○江藤 進，星野 仁

東京理科大学理工学部 正会員 大西 外明

1. はじめ

一般に貯水池内では発達した密度成層が池内の流動の支配的要因となり、濁水の長期滞留という環境問題や発電・飲料水目的の選択取水において重要な項目の一つになっている。この成層化した貯水池内に流入した濁水の流動に関して、既存の研究では鉛直2次元の貯水池模型における密度流に関する研究が多く見られ、分・合流部を持つ貯水池を対象とした研究はほとんど見られない。しかし、一般に貯水池は自然地形を利用して作られるのでその形状は複数の分・合流を含む複雑な形状をしており、貯水池内の濁水流動は少なからず貯水池の分・合流による影響を受けると考えられる。そこで本研究では支流部を有する（T型）の貯水池モデルを取り上げ、密度成層（二層）中の境界面に侵入する濁水流動に関する実験的検討を行なった。

2. 実験装置・方法

実験装置は、図1のように長さ3600（mm）の本流部と、長さ1200（mm）の支流部を持つ水路部分と着色水供給用のタンク部分とから成っている。また、本・支流とも水路の幅と高さは250（mm）と300（mm）である。水路とタンクの間には中心位置125（mm）の高さに幅25（mm）のスリットが開いており、ゲートの開閉により濁水を模した中間水を水路内に流入させる。取水口は本流、支流の下流端から各150（mm）の位置のそれぞれ密度成層の上・中・下層部に当たる3ヶ所に設置し、取水量をバルブで調節可能である。

実験は水槽内に密度の異なる二層密度成層を予め形成しておき、実験開始時にゲートを開けて上下層の中間に相当する密度の着色液を密度界面に流入させ、同時に同流量の取水を開始する。その後20秒間隔で濁水の先端部の位置や層厚、流速分布（本流分岐前・後の本流部、支流部の3ヶ所）を測定する。流速分布はウォーター・ブルーによる可視化法を用いて測定した。尚、流入・出流量、取水位置、密度比等の実験条件は表1、2の通りである。

3. 結果・検討

流入濁水の先端部の流動は分岐点を境に大きく変化するので、分岐前後についてそれぞれ解析検討する。

3-1 分岐前

濁水先端部の移動距離は図2に示すように単位幅流量の $1/2$ 乗、また経過時間の平均 0.84 （ $\approx 5/6$ ）乗（分散 0.0092 ）に比例することが確認された。これをもとに重力等を考慮した次元解析を行い、次式を得た。

$$L = (g/\rho_0 \times \partial\rho/\partial z)^{1/6} \times (Q/B)^{1/2} \times t^{5/6} \quad (1)$$

ここに、 L ：フロントの距離（cm）、 ρ_0 ：基準密度（ g/cm^3 ）、 $\partial\rho/\partial z$ ：周囲水の密度勾配（ g/cm^4 ）、 Q ：フロントの供給量（ cm^3/s ）、 B ：水路幅（cm）である。濁水の先端部の速さは時間とともに減少するが、これは侵入した濁水の一部が鉛直方向の流動となって層厚を増大させ、侵入するにつれてその量が増大す

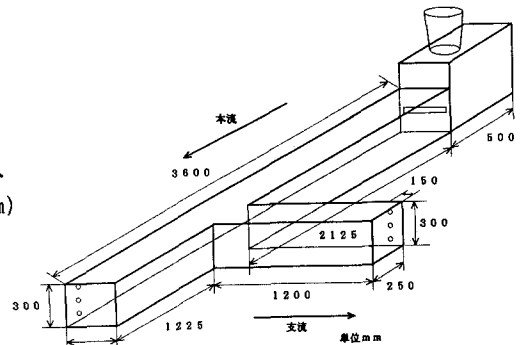


図1 実験装置

①流入量	②流出量 (本・支流)	③取水口高さ (本・支流)
1, 2, 3, 4 (l/m)	0, 1, 2 (l/m)	25, 125, 225 (mm)

表1 実験条件

上層密度	ρ_1
流入濁水密度	$\rho_2 = \rho_1 + a$
下層密度	$\rho_3 = \rho_1 + b$
(a, b) (g/cm^3)	(0.003, 0.010) (0.0006, 0.0012)

表2 ④密度差

るためと考えられる。式（1）は密度界面に広がる噴流に対してMaxworthyにより提案された式

$$L = C (1 / \rho_0 \times \partial \rho / \partial z)^{1/6} Q^{2/3} t^{5/6} \quad (2)$$

C：比例定数と比較し、浮力・時間項において実験条件に差異があるにもかかわらず類似性がある。ただし式（1）は少なからず重力による影響があると考えられるため次元gを考慮している。また、単位幅流量の次元に関しても実験条件の違い、特に侵入濁水の流速に関して本研究では1 cm/s未満を対象にしているのに対し、式（2）ではある程度大きい流速の現象を対象としていることが影響を及ぼしているものと思われる。

3-2 分岐後

分岐後においては取水方法により流動が大きく2つに分類できる。

図2 流量Qの次元

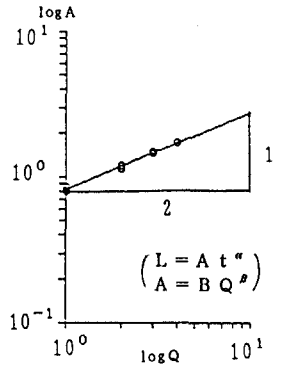
まず、密度界面以外の取水口、すなわち上層あるいは底層の取水口から取水した場合、図3のようにフロントの速度は流下にしたがって直線的に減速する。濁水層は分岐前と同様の流動状態で密度界面を侵入しようとするが、貯水池端の壁体の影響により水平方向の流動が極めて小さくなり、次第に鉛直方向の流動が卓越し、最終的に濁水の先端部が壁体に到達するとフロントの初期速度にかかわらず壁体付近では鉛直方向のみの流動となる。以上のことから分岐後の先端部の流動について以下の実験式が得られた。

$$L = -1 / K \times (\exp(K V_0 t) - 1) \quad (3)$$

ここに、L：分岐点からのフロントの距離(cm)、K：比例定数、 V_0 ：分岐部での初速度(cm/s)、t：分岐点通過後の経過時間(s)である。濁水先端分の流動は水路下流端の壁体に近づくにつれその影響を強く受け非定常性が高まる。

次に、密度界面付近から取水する場合、濁水の流動は取水の影響を大きく受け、壁体の影響はあまり受けない。よってこの場合は鉛直方向への流動は小さく定常的な流れを維持する。

図4は以上の式（1）、（3）と共に実際のデータをプロットした例である。分岐前では式（1）は現象をうまく表現している。分岐後では流速（慣性効果）が減少し、浮力効果が増大し、非定常性が増している様子が見られる。



流入初速度と速度変化率の関係

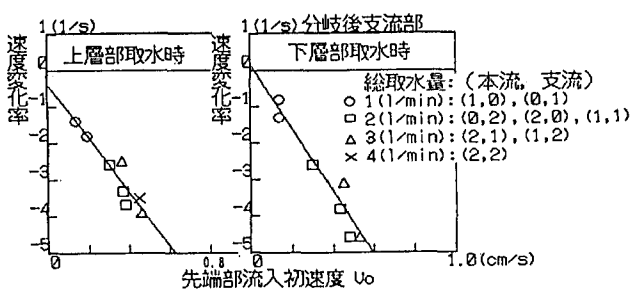


図3 分岐後の速度変化率

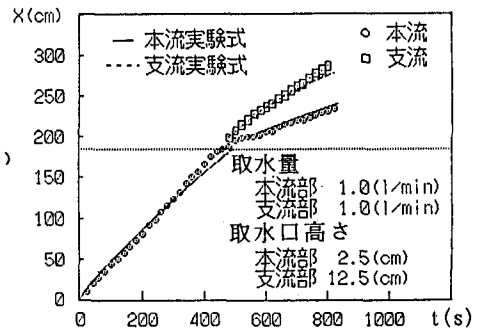


図4 濁水先端部位置の時間的変化

4. おわりに

このように支流を持つ貯水池においては分・合流等の地形因子による影響以上に濁水層と取水口の高さの位置関係が移動距離と経過時間の関数には強い影響を与えるものと思われる。また、本報では取り上げていないが分岐という地形条件による特有の現象と思われるものとして分岐直後から支流部に濁水の蛇行現象が見られた。これに関しては本実験の数値解析と合せて今後更に検討を進める。

尚、東京理科大学大西研究室の諸氏の御協力を頂いた。記して謝意を表する。

参考文献 1) Maxworthy, T(1972):Novosibirsk, ASCE, p.611-618