

密度成層場における軸対称フロント流の伝播特性

大阪大学工学部 正員 室田 明
 神戸大学工学部 正員 道奥 康治
 徳島大学工学部 正員 吉田 弘

1. はじめに；貯水池・自然湖沼の水質問題は流域住民へ直接的、間接的に影響を及ぼし、今や社会問題と化した観がある。利水上の対策としては次の2つが考えられる。1つは「選択取水工法」であり、もう1つは「水質混合法」である。後者の立場に立ち、貯水池内の水を混合稀釈させ人為的に貯水池水質を制御する必要性は高いと考えられる。取水口操作という利水問題や水質改善による環境保全を考える上で貯水池水質の変化を予測し、水質改善効果を把握することは必要不可欠である。本研究では水質混合の際に生起する稀釈水塊が密度境界面上を拡がる過程に着目し、密度フロント流としての伝播特性を把握することを目的として水理実験を行った。既往の研究とも対照しつつ実験的に伝播則を誘導する。最後に本研究の応用性について所見を記す。

2. 実験の概要；実験は予備的段階として水表面を流動する「表面フロント流」について行い次いで稀釈水塊と直接対応させるために塩分二成層場の密度境界面を流動する「内部フロント流」について行った。実験は図-1に示す鋼製三次元水槽を用いた。「表面フロント流」の実験は、予め水槽内を塩水で満たしておき、メチレンブルーで染色した淡水を一定水頭差の下で水槽隅角部に設置してある放流口(A)を通して一定流量を放流する。「内部フロント流」の実験は、まず水槽内に塩分二成層を作成し上下層の中間密度を有する塩水を一定水頭差の下で放流口(B)を通して一定流量を放流する。フロント流の伝播状況は水槽上3mの地点に設置したビデオカメラにて録画し、画像解析装置によりフロント半径の経時変化として捉えた。但し平均半径よりのずれが10%以上となるケースについては精度の維持上棄却してある。流動に伴う密度変化を把握するために電導度計プローブを半径方向の数地点において鉛直方向に走査し、出力値をアンプで増幅した後AD変換を施して密度分布形を得た。

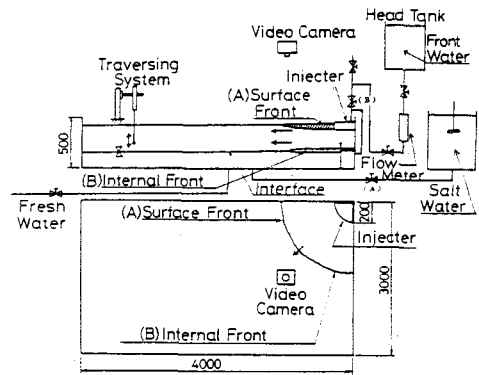


図-1 実験水槽

3. 現象の概要；図-2はフロントの伝播過程を視覚化するために「表面フロント流」の場合について、フロント先端位置の経時変化を10sec 間隔で描いたものである。フロント流はほぼ円弧状をなして流れている様子がよく表れている。これは、フロント流体内部において等方性が満たされていることを示していると考えられ、フロント流の解析において半径方向への一次元的な取り扱いが可能であることを示していると考えられる。

$t = 40\text{sec}$ 付近を境としてそれ以前は走時曲線の間隔は広く比較的速い速度で流れているが、それ以後は前に較べて間隔が狭くなっており伝播速度は遅くなっていることを示している。

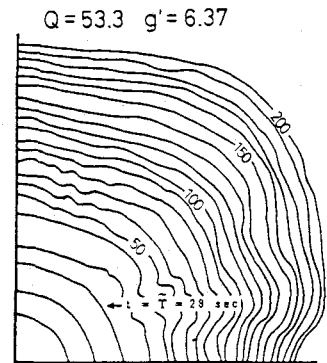


図-2 表面フロント流

Akira MUROTA, Kohji MICHIOKU and Hiromu YOSHIDA

図中の Q は全円周方向の流量、 g' は有効重力加速度であり次式で定義される。

$$g' = \frac{\rho_0 - \rho_f}{\rho_f} \cdot g$$

ここに、 ρ_f :フロント密度、 ρ_0 :周囲水密度、 g :重力加速度である。 T は次元解析的に導出される特性時間スケールであり、次式で定義される。

$$\tilde{T} = \left(\frac{Q}{g' \nu} \right)^{1/2}$$

ここに ν : 動粘性係数である。先述の変化部は概ね $t = \tilde{T}$ の付近であり、これ以前と以後において流動は異なる伝播則に従っていることが示唆される。図-3は「内部フロント流」の場合について20 sec 間隔で描いた例である。この場合の有効重力加速度 g' は次式で定義される。

$$g' = \frac{\lambda}{1+\lambda} (\rho_2 - \rho_1) \cdot g$$

$$\lambda = \frac{\rho_2 - \rho_f}{\rho_f - \rho_1}$$

ここに ρ_1 : 上層密度、 ρ_2 : 下層密度、 ρ_f : フロント密度、 g' : 重力加速度である。「内部フロント流」の場合も「表面フロント流」と同様に、 $t = \tilde{T}$ を境として相異なる伝播則に従っていることが推察される。

4. 伝播則; 図-4に「表面フロント流」の場合のフロント半径の経時変化を示す。図中で R : フロント半径、 R_0 : 放流口半径である。横軸は特性時間スケール $\tilde{T}$ を用い、縦軸は次式で定義される特性長さスケール $\tilde{L}$ を用いて規準化されている。

$$\tilde{L} = (Q^5 / \nu^3 g')^{1/8}$$

$\hat{t} = 0.8 \sim 0.9$ 付近において曲線に屈曲がみられ、 $\hat{t} < 0.8 \sim 0.9$ では $R - R_0$ は $\hat{t}$ の $3/4$ 乗に比例し、これ以後は $1/2$ 乗に比例している。これは屈曲部を境にして異なる伝播則に従っていることを示している。密度フロント流の起動力は重力でありこれに対し、主として慣性抵抗と粘性抵抗が作用すると考えられる。 $3/4$ 乗則の成立する領域では、初期慣性の方が粘性よりも卓越し、これが重力とつり合っていると考えられる。また $1/2$ 乗則の成立する領域では、逆に粘性抵抗の方が支配的となってこれが重力とつり合う形で流れていると考えられ、2つの異なる流動領域が存在すると考えられる。

図-5は「内部フロント流」の場合の伝播則を示している。図中の規準化は「表面フロント流」の場合と同じである。 $\hat{t} = 0.4 \sim 0.5$ 付近において屈曲部がみられ、前後においてそれぞれの巾乗則に従っている。これは流動の場が異なっても両者が動力学的に相似な関係にあることを示唆している。

5. おわりに; 稀釈水塊は各領域毎に固有の伝播則に従うことが示された。今後更に現象を統一的に記述しうる手法の開発が必要と考えられる。

(参考文献) 1) 室田・道奥・吉田 第31回水講演会論文集 pp 269-274

2) M.Didden and T.Maxworthy; Jour. of Fluid Mech., vol.121 ,pp 27-42, 1982

$$Q=133.3 \quad g'=2.44$$

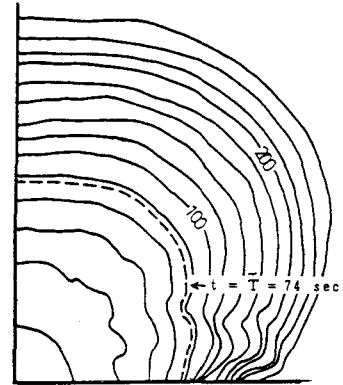


図-3 内部フロント流

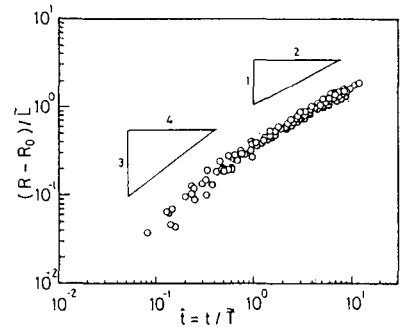


図-4 表面フロント流の伝播則

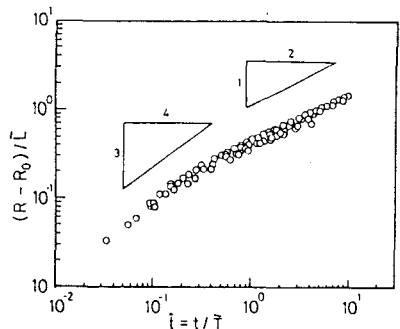


図-5 内部フロント流の伝播則