

II-264

貯水池における流入密度流の解析

清水建設（株） 正員 不二秀人
神戸大学工学部 正員 道奥康治

1. はじめに

貯水池における流入水の挙動に関して各種の水理実験¹⁾や現地観測が行われてきた。渡邊ら²⁾は下層を流入する密度フロントを $k-\epsilon$ 乱流モデルにより解析し、流速分布などについて実験値との比較を行っている。下層流以外にも流入水の密度差によって様々な形態の貯水池密度流が生成するため、著者らは各種の流れの形態を $k-\epsilon$ モデルによって再現することを検討してきた。前報では、河川流の潜入点における急変密度流の解析を行い、現象が合理的に再現されることを確認した³⁾。本文では、表層・下層密度流の解析結果を示して水理条件と密度流挙動特性との関連性を報告し、貯水池水質予測への乱流理論の適用性を検討する。

2. 表層密度流

流入水と貯水池水の浮力差を $\alpha g \Delta T_0$ （ここで、 α ：熱膨張係数、 g ：重力加速度）、最上流端における（水深、平均流速）を各々 (h_0, U_0) とすると、Richardson 数 $R_{i0} = \alpha g \Delta T_0 h_0 / U_0^2$ が流入水塊の密度流的挙動を支配するパラメーターとなる。 $R_{i0} \leq 0$ の時、水塊は表層密度流となり、 $R_{i0} \geq 0$ の場合、潜入密度流となる。後者については前報³⁾で報告しているので、ここでは、 $R_{i0} = -2.88$ の場合に得られた表層密度流の密度（温度）分布と流速ベクトルの解析例を各々図-1, 2に示す。なお、密度（温度）、流速は

$T' = T / \Delta T_0$, $(u', v') = (u, v) / U_0$ のように無次元化されている。開水路流として流入した水塊は表層へ浮上し、流入部近傍において密度急変流を形成している。フロントに続く後続流はほぼ等流状態を成しているのに対し、フロント部はやや厚く、周辺に大きな循環流を誘起している。

3. 下層密度流

上流端での下層流厚さ h_0 を長さスケールにとって座標を無次元化する。福岡らの実験¹⁾におおよそ対応するように最上流端の全水深を $H = 3h_0$ とする。流速・密度は三角形分布で近似し、流速の最大値 U_{max} ならびに、流入水密度（温度）の最大値 T_{max} と貯水池水密度（温度） T_0 との差

$\Delta T_0 = (T_0 - T_{max})$ を代表スケールにとれば、 $R_{i0} = \alpha g \Delta T_0 h_0 / U_{max}^2$ で定義される Richardson 数が支配パラメーターとなる。 R_{i0} の影響をみるために

$R_{i0} = 2.0, 0.5$ の場合の密度分布、流速ベクトルを図-3, 4, 5, 6に各々示す。これらの図より、両ケースともフロントが膨

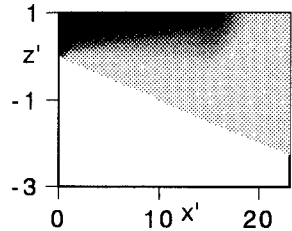


図-1 表層密度流の密度分布 ($R_{i0} = -2.88, t' = 15$)

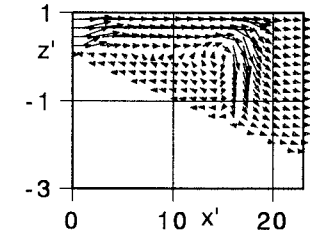


図-2 表層密度流の流速ベクトル ($R_{i0} = -2.88, t' = 15$)

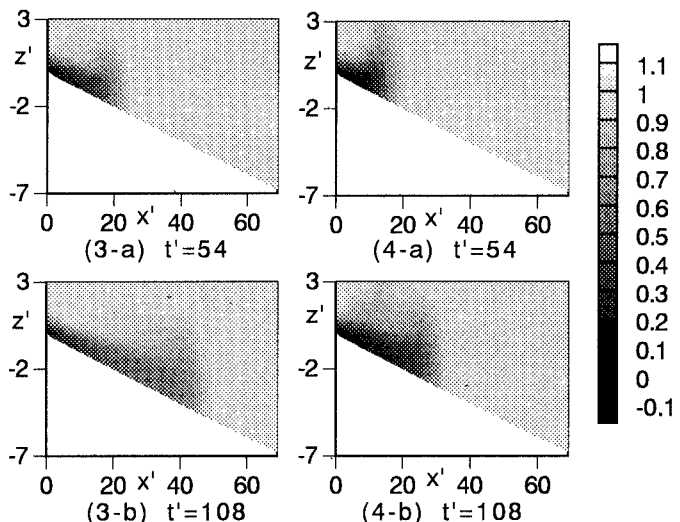


図-3 密度分布の経時変化 ($R_{i0} = 2.0$) 図-4 密度分布の経時変化 ($R_{i0} = 0.5$)

らんでその周辺に大きな循環流をとまなう密度下層流特有の流動形態が確認される。Richardson 数が相対的に大きな

$R_{i0}=2.0$ の場合のフロントの伝播速度は $R_{i0}=0.5$ の場合のそれより大きく、フロント後続部の流速も大きい。図-7, 8には無次元時間 $t'=108$ における両ケースの乱流エネルギー k の空間分布を示す。せん断力が大きき壁面近傍や密度フロント部で大きな乱流エネルギーを呈し、上流ほど k は小さい。特に、フロントの中心部で大きな乱流エネルギーがあらわれている。

$R_{i0}=2.0$ の場合、浮力によって流れがより強く駆動されるため $R_{i0}=0.5$ の場合より大きな k を有している。

4. 密度フロントの特性

流入水塊は壁面摩擦・フロントに作用する抗力・密度界面での内部摩擦などの各種抵抗力を受ける一方、上流から重い水の供給によってフロントの体積が時間とともに増加する。図-9には本解析から得られた密度フロントの最大厚さ h_{max} の経時変化を福岡らの実験値¹⁾とともに示す。本解析は彼らの実験値よりやや大きな値をとるが、時間とともにフロント厚さが増加する密度フロントの一般的特性を再現している。また、 R_{i0} が小さいほどフロント厚さは増加する傾向が本解析より明らかになった。

参考文献

- 1) 福岡・福岡・中村：密度流先端部の流動機構に関する基礎的研究，土木学会論文集報告集，第302号，pp.56-65, 1980.
- 2) 渡邊・福島： $k-\epsilon$ 乱流モデルによる下層密度流の数値解析，平成2年度土木学会第45回年次学術講演会講演集，II -200, pp.452-453, 1991.
- 3) 不二・道奥：貯水池の流入点における急変密度流の特性，平成7年度土木学会関西支部年講，1995.

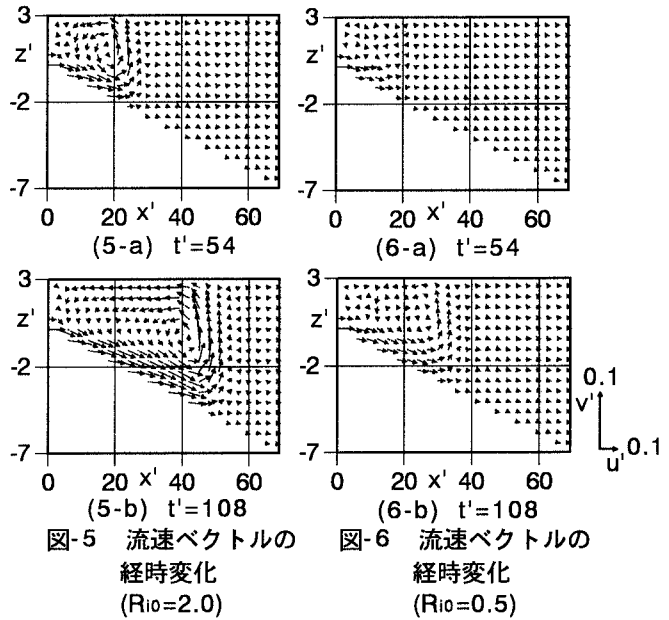


図-5 流速ベクトルの経時変化 ($R_{i0}=2.0$)

図-6 流速ベクトルの経時変化 ($R_{i0}=0.5$)

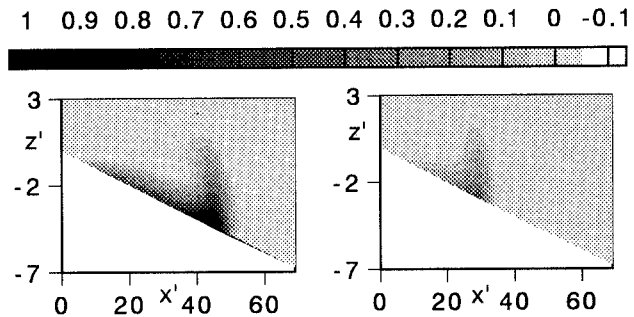


図-7 乱流エネルギーの分布 ($R_{i0}=2.0, t'=108$)

図-8 乱流エネルギーの分布 ($R_{i0}=0.5, t'=108$)

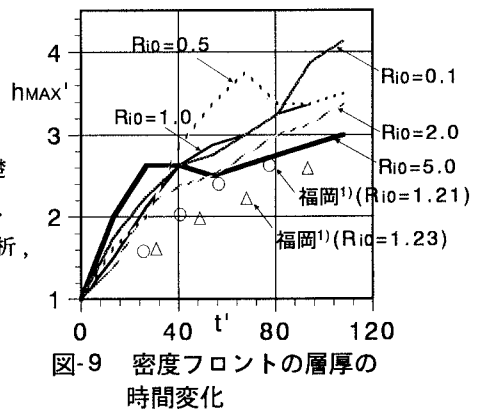


図-9 密度フロントの層厚の時間変化