

1. はじめに

貯水池の長期的な水質・水温予測を行うために、平均流の移流効果に重点をおいた数値モデルが多く用いられてきた。しかし、循環期や出水期のように自然対流やせん断流乱流が卓越する場合には乱流のモデル化が考慮されていない予測手法が十分に機能しないことが多くの研究者により指摘されている。河川流入点や表層・躍層などのせん断層では乱流輸送が卓越する。将来、高度な水質観測体制が整えば、乱流過程を考慮した貯水池モデルによる局所的・短期的水質挙動の予測が必要となる。こうした背景のもとに、本報ではこれまで実験的に検討されてきた貯水池流入点における急変密度流の流動混合現象を対象として、 $k-\epsilon$ 乱流モデルによる解析を行い、流動・混合特性を明らかにした。

2. 対象とする流入密度流系、支配パラメーターおよび解析方法

図-1のような流入密度流を対象とする。解析には標準型 $k-\epsilon$ モデルを用いる。流入点における水深： h_0 ，平均流速： $U_0=q_0/h_0$ (q_0 は単位幅流入量)，流入水と貯水池水の水温差： ΔT_0 を代表スケールとして諸量を以下のように規準化する。[時間]： $t'=t/(h_0/U_0)$ ，[座標]： $x_i'=x_i/h_0$ ，[流速]： $(U_i', u_i')=(U_i, u_i)/U_0$ (U_i, u_i は各々平均流速および変動流速)，[乱流エネルギー]： $k'=k/U_0^2$ ，[乱流エネルギー散逸率]： $\epsilon'=\epsilon h_0/U_0^3$ ，[温度(密度換算値)]： $(T, \theta)=(T, \theta)/\Delta T_0$ (T, θ は各々平均温度および変動温度)。以上の規準化を通して無次元支配パラメーター、(1)レイノルズ数： $R_0=U_0 h_0/\nu$ ，(2)リチャードソン数： $R_{i0}=\alpha g \Delta T_0 h_0/U_0^2$ (α ：体積膨張率)が導出される。「'」を付した諸量は無次元量である。上流端においては十分に発達した開水路乱流であるとして、平均流速と (k, ϵ) の普遍分布形¹⁾を与える。水面境界は rigid-lid、固定境界は non-slip で下流端境界は開放条件を与えている。

4. 密度・流速・乱流場の特性

$R_{i0}=1.83, 10.0$ の場合の流入水塊の挙動を図-2, 3に例示する。無次元温度(密度) T' は濃淡であらわされている。また、 $R_{i0}=10.0$ の $t'=18.0$ における流速ベクトルを図-4に示す。これらの図より、水理実験で定性的に観察されてきた潜入密度流の諸特性；(1)潜入点での貯水池水の混入、(2)開水路流から密度下層流への移行過程における急変流、(3)プルーム水塊の流送過程、(4)下層密度流フロント背後部の逆流域の存在、などが良好に再現されている。 R_{i0} が大きい一すなわち流入水塊の浮力が相対的に大きい場合、プルームの進行が早く下層密度流の層厚は小さい。図-4に対応する乱流エネルギー k' の分布を図-5に示す。先端部に行くほど乱れが大きく後続部ほど小さい。特に先端部の密度界面ではせん断力が大きいため乱流層が厚い。

4. 潜り込み点の水深： H_p

潜り込み点の水深 H_p について福岡ら²⁾の理論解を、本論での定義による無次元潜入水深 $H_p'=H_p/h_0$ と R_{i0} との関係に書き直せば、 $H_p'=(4/R_{i0})^{1/3}$ を得る。本解析より得られた H_p' と R_{i0} の関係を図-6に記号で示す。 R_{i0} の小さな範囲内では、 H_p' は R_{i0} の減少関数であり、図中の曲線で示された福岡らの理論解とほぼ一致する。しかし、 R_{i0} が大きい領域で本解析解は $H_p' \rightarrow 1$ に漸近する。物理的には $H_p' \geq 1.0$ でなければならないので本解析結果は合理的である。 $R_{i0} \geq 4.0$ の条件では福岡らの理論は適用できない。

本研究により、これまで定量的な観測がされなかった潜入密度流の流速・乱流特性が明らかになった。

参考文献：1)日本流体力学会：「8. 開水路流れ」，流体力学ハンドブック，1987年

2)福岡・福岡・中村：二次元貯水池密度流の潜り込み水深と界面形状，土木学会論文報告集，第302号，pp. 56-65，1980年

Hideto FUJI and Kohji MICHIOKU

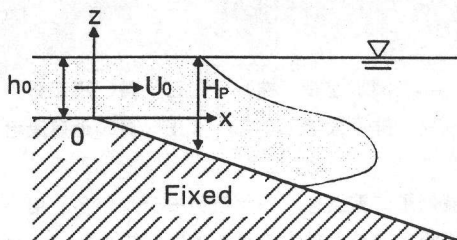


図-1 対象とする流入密度流系

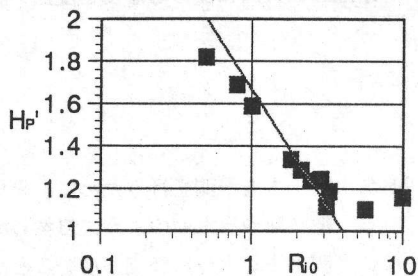


図-6 R_0 と無次元潜入水深 H_P' の関係

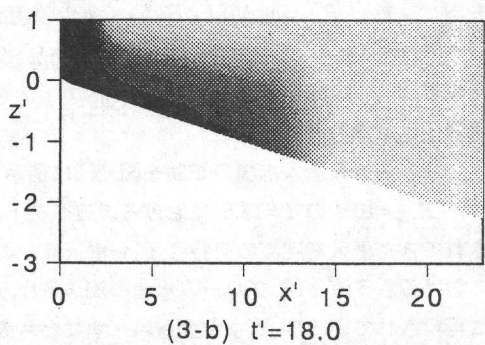
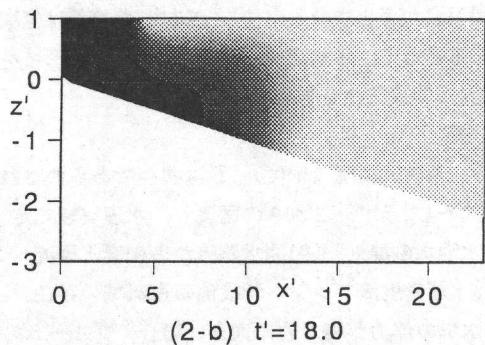
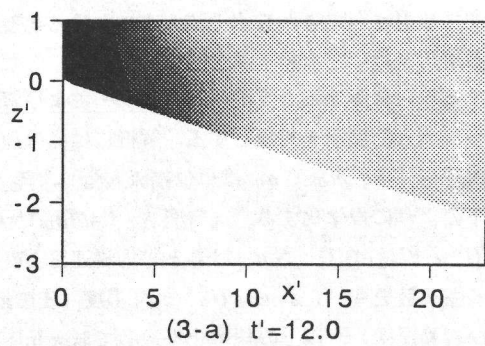
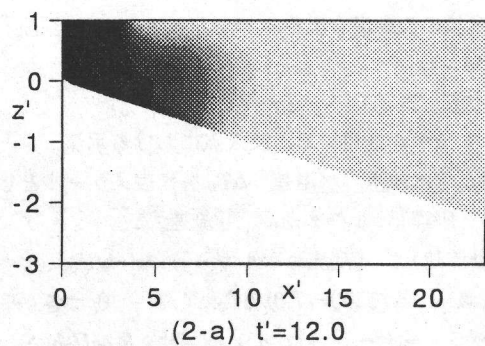


図-2 密度場の経時変化($R_0=1.83$)

図-3 密度場の経時変化($R_0=10.0$)

