

II-274

境界混合にともなう密度成層の混合・循環特性

日本債券信用銀行 正員 松本 晃
 神戸大学工学部 正員 道奥康治
 清水建設（株） 正員 不二秀人

1. はじめに

成層化した湖沼・貯水池に内部セーシュが発生すると躍層界面の振動と池底粗度との相互干渉によって「境界混合」が発生する。混合によって生成された希釈水塊は躍層の上下層の中間密度を有して水平貫入し、鉛直循環流を誘起する。一般に循環流速は小さいが、各種物質を水平方向に輸送し、水質の長期変化に影響を及ぼす。Ivey & Corcos(1982)は図-1のような境界混合現象を単純化した水理模型を用いて、二層系あるいは線形密度系の左端境界の乱れにより駆動される境界混合特性を検討した。

本研究では $k-\epsilon$ 乱流モデルによる境界混合現象の再現性を示すと同時に鉛直循環流の特性を明らかにすることを目的としている。

2. 初期・境界条件

図-1のように（水深、長さ）が各々

(H, L) の矩形水域の左端で粗度格子を振動させる。ここで、格子の（振幅、周波数）は各々 (a, f) である。上下端および右端は固定境界である。初期には流動・乱れはない。左側境界における乱流エネルギーおよびその散逸量 (k_0, ϵ_0) については、振動格子乱流に関する松永らの理論値に²⁾に一定の係数 C_s を乗じて与える。

3. 支配パラメーター

（長さ、速度、時間、温度）の代表スケールとして各々、

- (a) $L_0=a$: 格子の振幅,
 (b) $U_0=af$: 格子の振動速度, (c) $t_0=1/f$: 振動周波数 f の逆数, (d) ΔT : 二層系の場合の上下層温度差, (d)' $-(\partial T/\partial z)_1 a$: 線形密度場の温度スケール,

図-3 (a) 流速ベクトル図 ($R_{i2}=10^{-3}$)

を考える。無次元支配パラメーターとして、(1) $R_{i2}=ag\Delta T/(af^2)$: 二層系の Richardson 数 (α : 熱膨張係数, g : 重力加速度) (1)' $R_{i1}=(N/f)^2$: 線形密度場の Richardson 数, (2) $Re_s=a^2f/\nu$: 格子 Reynolds 数, などが導出される。ここで、 ΔT : 二層系の上下層密度（温度差）差, $N=\sqrt{-ag(\partial T/\partial z)_1}$: 初期線形密度場の浮力振動数である。

4. 二層系における密度場・流動場の経時変化

Ivey & Corcos¹⁾ の Case-17 ($R_{i1}=0.72$: 二層系) の実験結果と解析結果が適合するように係数 C_s を試行錯誤

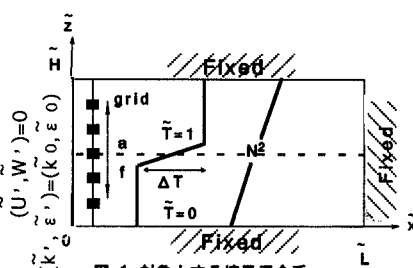


図-1 対象とする境界混合系

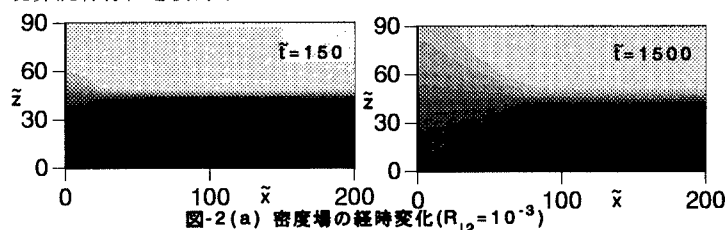


図-2 (a) 密度場の経時変化 ($R_{i2}=10^{-3}$)

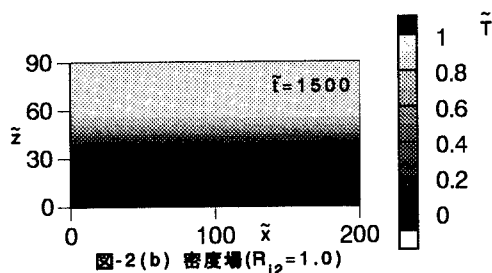


図-2 (b) 密度場 ($R_{i2}=1.0$)

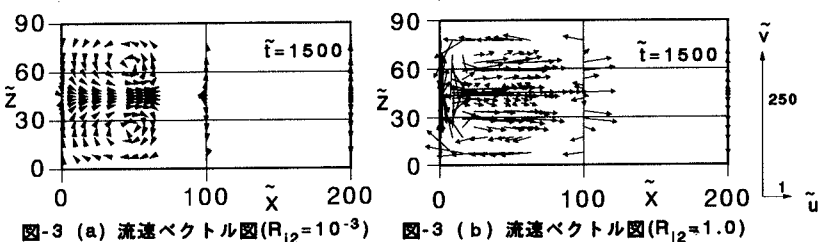


図-3 (a) 流速ベクトル図 ($R_{i2}=10^{-3}$)

図-3 (b) 流速ベクトル図 ($R_{i2}=1.0$)

誤的に変化させ、最適値として

$C_g=16.7$ を得た。以後、これを用いて二層系と線形密度場の解析を行う。

図-2.3は境界混合による二層系密度場の密度分布と鉛直循環流ベクトルの解析例をあらわす。密度成層度の大きな $R_{i2}=10^{-3}$ の場合

（図-2(a)）には、左側境界から中間密度層が徐々に右方向へ貫入する二次元的な密度分布を呈する。

これに対し、 $R_{i2}=1.0$ の場合は希釈水塊がすぐに水平方向に広がり、密度変化は鉛直一次元的で水平方向密度勾配は小さい（図-2(b)）

図-3の流速ベクトルを見ると、上記2つのケースはともに上下一対の循環流を形成してい

る点で同様である。しかし、 R_{i2} が大きい場合の方が界面付近の水平貫入速度が大きく希釈水塊が水平方向に強く輸送され、水質の水平方向への再配分が著しいことがわかる。

5. 線形密度場における密度場・流動場の経時変化

図-4は Ivey & Corcos の Case-2 ($R_{i1}=5.5 \times 10^{-4}$) について彼らの実験値と本解析値との比較を示す。解析値の方が混合の進行がやや早いようだが、現象は本モデルにより概ね再現されている。次に、 R_{i1} の影響を見るために

$R_{i1}=10^{-4}$ 、 10^{-2} の場合について密度分布と流速ベクトルを図-5.6に示す。二層系

の場合ほど顕著ではないが、 R_{i1} が小さい方が密度は二次元的に分布し、上下に二対の明確な循環流が見られる。逆に R_{i1} の大きい場合は、密度分布は水平方向にほぼ均一で、循環流の構造は複雑である。

本研究を遂行するにあたり平成6年度文部省科学研究費（一般研究（C）：代表：道奥康治）の援助を受けた。

参考文献

- 1) Ivey, G.N. and Corcos, G.M.: Boundary mixing in a stratified fluid, J.Fluid Mech., Vol.121, pp.1-26, 1982.
- 2) 松永・杉原・小松: 振動格子によって発生する乱れの特徴, ながれ, 11, pp.254-265, 1992年.

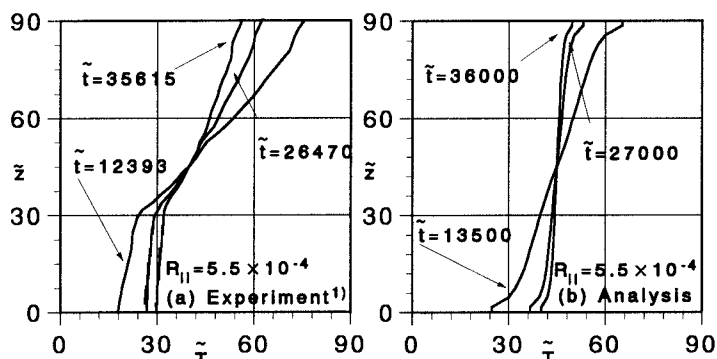


図-4 Ivey & Corcos¹⁾の実験値と本解析結果の比較

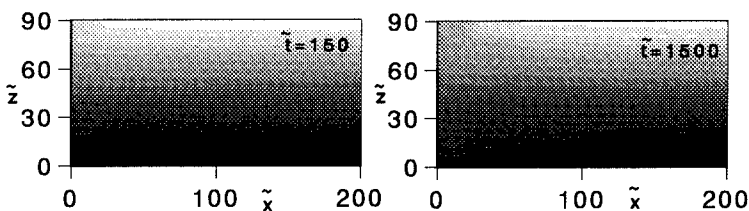


図-5 (a) 密度場の経時変化($R_{i1}=10^{-4}$)

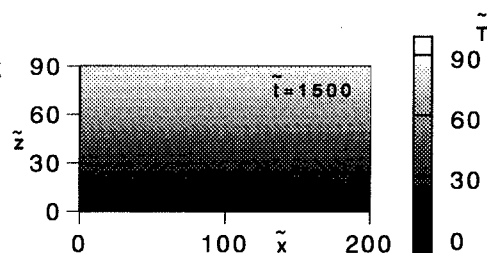


図-5 (b) 密度場($R_{i1}=10^{-2}$)

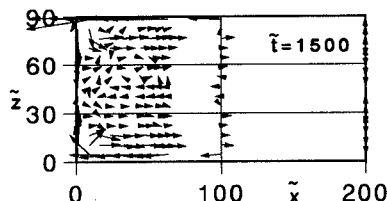


図-6 (a) 流速ベクトル図($R_{i1}=10^{-2}$)

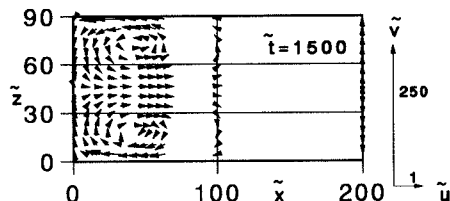


図-6 (b) 流速ベクトル図($R_{i1}=10^{-4}$)