

機械的・熱的擾乱の複合作用による密度境界面の変動(2)

大阪大学工学部 正員 室田 明
大阪大学工学部 正員 ○道奥康治

1. まえがき

風応力と水面冷却がもたらす混合現象を対象とし、振動格子と加熱底板により誘起された機械的・熱的擾乱が複合的に作用する水温成層場での混合特性を実験的に検討する。実験は水温二層系を対象としその詳細は前報通り

表-1 各水理量の定義

である。本文に関連する水理量は表-1に定義される。これまでの実験より同表中の σ が混合を規定する速度スケールであることが示されたが、

特性長	代表速度	ペクレ数	リチャードソン数
機械的擾乱 l_s	u_s	$Pe_s = u_s \cdot l_s / \kappa_T$	$Ri_s = \epsilon g l_s / u_s^2$
熱的擾乱 h_m	u_f	$Pe_f = u_f \cdot h_m / \kappa_T$	$Ri_f = \epsilon g h_m / u_f^2$
複合因擾乱 h_m	σ	$Pe_\sigma = \sigma \cdot h_m / \kappa_T$	$Ri_\sigma = \epsilon g h_m / \sigma^2$

今回は躍層部に生起する内部変動特性に関する支配水理量を見出し各擾乱の作用形態について考察する。

ここに、 l_s ：振動格子乱れの複合特性長、 h_m ：混合層（下層）の厚さ、 u_s ：振動格子乱れの目録平均速度、 u_f ：対流速度、 $\sigma = (u_f^2 + \eta^2 \cdot u_s^2)^{1/3}$ ；複合因擾乱の代表速度、 η ：換算係数、 κ_T ：熱拡散係数、 ϵg ：密度界面における相対浮力産、である。

2. 水温遷移層の厚さ

躍層部の浮力勾配は界面近傍の局所的な乱流熱輸送や水温変動強度と深い関わりを持つ。そこでまず水温分布をtanh型双曲線関数に回帰して水温遷移層の厚さ Δh を定義しその特性を調べる。図-1は無次元遷移層厚さ $\Delta h/h_m$ と複合因擾乱に関するペクレ数 Pe_σ との比較、図-2は l_s を用いた無次元遷移層厚さ $\Delta h/l_s$ と機械的擾乱に関するペクレ数 Pe_s との関係を示す。両擾乱の複合効果を考慮した速度スケール σ によって定義されたペクレ数 Pe_σ よりも機械的擾乱効果のみに関する水理量 Pe_s の方が遷移層厚との相関が高く、界面近傍の局所的な水温構造に対しては機械的擾乱がより支配的な役割を果たしているようである。 Pe_s がかなり大きな塩分成層場では $\Delta h/l_s$ は一定値を取ることが知られているが、本実験範囲では概ね $\Delta h/l_s \propto Pe_s^{-1}$ なる関係が見い出せる。なお、リチャードソン数 Ri_s 、 Ri_σ や熱的擾乱に関するパラメータ Pe_f 、 Ri_f との関係は見られなかった。

3. 内部界面の変形量

混合層内の擾乱塊が界面へ衝突するとドーム状の界面波が生起し混合が促進される。図-3はビデオ解析より求めた界面ドームの水平幅 L と混合層厚 h_m との関係を示

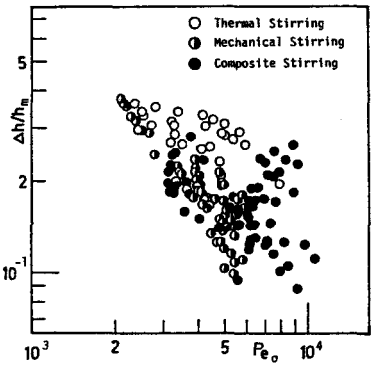


図-1 $\Delta h/h_m$ と Pe_σ

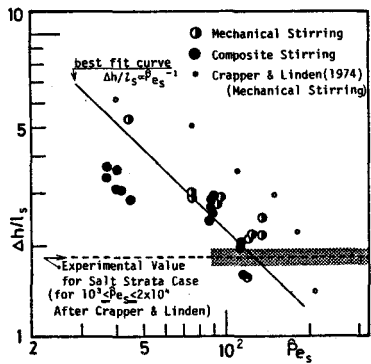


図-2 $\Delta h/l_s$ と Pe_s

す。混合層厚に比例して界面波長が増大することがわかる。一方、界面の鉛直変位には相対浮力差が関連するためリチャードソン数が重要な水理量となる。そこで、界面波の最大波高 H とリチャードソン数 Ri_0 、 $\hat{Ri}_s$ との関係を各々図-4,5に示す。いずれも負の相関が見られるが水温遷移層厚の場合と同じく図-5の方に幾分有意な相関性が見られ、ほぼ $H/l_s \propto \hat{Ri}_s^{-1}$ の関係が満たされている。

4. 水温変動強度

以上の結果に基づいて次に界面における水温変動の相対強度 $(\sqrt{T'^2}/\Delta T)_{int.}$ ($\sqrt{T'^2}$ は水温変動の自乗平均値, ΔT は上下層の水温差)と平均水理量との関係を考察する。界面付近の水温変動量は水温遷移層内の局所的な水温勾配 $(\partial T/\partial z)_i$ と次のような関係があろう。

$$\sqrt{T'^2} \approx |T'| \approx |\eta(t)(\partial T/\partial z)_i| \approx H(\Delta T/\Delta h)$$

ここに $\eta(t)$ は界面変位である。図-2,5より $\Delta h/l_s \propto Pe_s^{-1}$, $H/l_s \propto \hat{Ri}_s^{-1}$ なる関係があることからこれを代入すれば次のような関数形が得られる。

$$(\sqrt{T'^2}/\Delta T)_{int.} \propto \hat{Ri}_s^{-1} Pe_s$$

上式と図-7に示した結果はほぼ一致している。比較のため $Ri_0 Pe_0^{-1}$ との関係を図-6に示すが、これまでと同様、図-7の方により高い相関が認められる。

5. 考察

σ に関する水理量と変動諸量との間にはいずれの場合も有為な関数関係は見い出せず、むしろ機械的擾乱の特性量 u_s, l_s によって内部変動がほぼ記述された。これは内部変動に対する熱的擾乱の貢献度が機械的擾乱に較べ極めて小さいことを意味する。しかし熱的擾乱は対流の運動量に加えて浮力フラックスもともなうため、混合に対してはより多くの貢献を成すと思える。

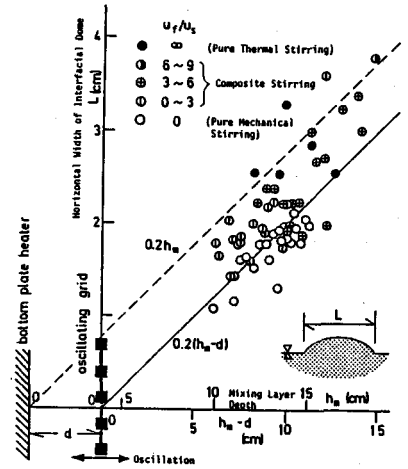


図-3 界面ドームの幅 L と h_m

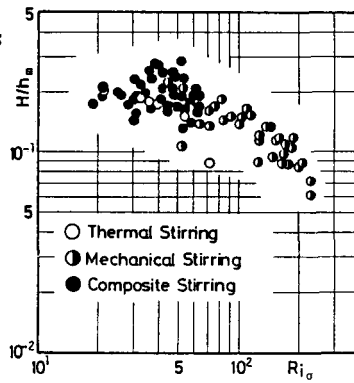


図-4 H/h_m と Ri_0

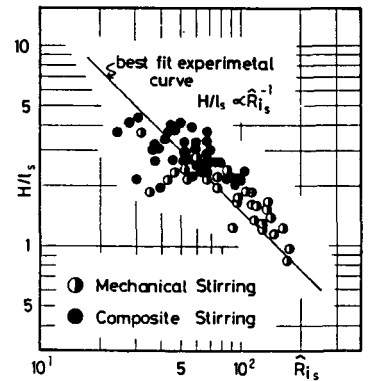


図-5 H/l_s と $\hat{Ri}_s$

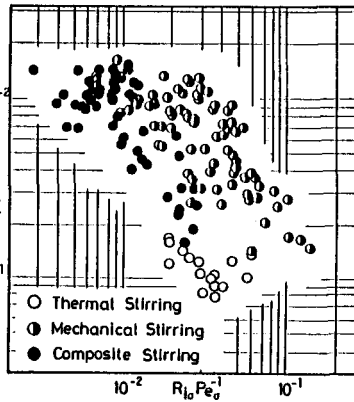


図-6 $(\sqrt{T'^2}/\Delta T)_{int.}$ と $Ri_0 Pe_0^{-1}$

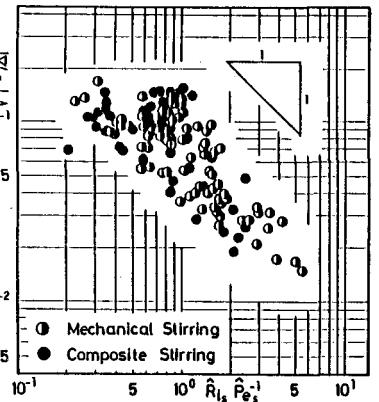


図-7 $(\sqrt{T'^2}/\Delta T)_{int.}$ と $\hat{Ri}_s \hat{Pe}_s$