

II-210

安定な浮力フラックスの混合抑制効果

大阪大学大学院 学生員 阪口進一
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

水面での熱交換は停滞水域内での水温成層構造に支配的な影響を与える。著者等はこれまで水面熱フラックスが擾乱要因となる放熱期の鉛直混合現象を対象として基礎的研究を遂行してきた。本研究は、逆に受熱期を想定し、水面から安定な浮力フラックスと機械的擾乱エネルギーが複合的に供給される場合の混合現象について実験的・解析的検討を加えるものである。図-1に示すように機械的擾乱と安定な浮力エネルギーは各々振動格子とマイクロヒーターを用いて上方から供給される。振動格子の擾乱効果が浮力の成層安定効果を上回る時、密度界面での連行が生じ躍層は低下する。

2. 実験方法

実験水槽として縦26cm×横26cm×高さ50cmの亚克力製鉛直一次元水槽を用いる。振動格子は水槽上面より $d(=4.75\text{cm})$ だけ下方に設置し所定の振幅、周波数で振動させる。ヒーターは水槽上端極近傍に設置する。水槽内を等温水で満たした後、振動格子とヒーターを適度に作用させて、明瞭な水温二成層を作成する。実験は、ヒーターの加熱度 $H_s=0.01 \sim 0.09^\circ\text{Ccm/s}$ 、格子の周波数 $f=2 \sim 5\text{Hz}$ の範囲内で一定の条件のもとに行われた。

3. 水温分布の経時変化

実験より得られた水温分布の経時変化例を図-2に示す。全時間を通じて明瞭な二層系を保つことがわかる。混合層（上層）水温 T_m は時間とともに増加し、下層水温 T_l は時間的にほぼ不変である。混合層厚 h_m は時間とともに増大する。混合層厚の発達速度 dh_m/dt は時間とともに減少する。最終的には機械的擾乱効果と熱的浮力の安定効果が釣り合う平衡状態に至り、界面での連行は停止する。

4. 連行量の評価

振動格子による機械的擾乱のみが密度成層場に作用する場合、連行係数 $\hat{E}_s$ とリチャードソン数 $\hat{Ri}_s$ の関係は次式で表せる。

$$\hat{E}_s = C_1 Ri_s^{-1} \quad (1)$$

$$\text{ここで } \hat{E}_s = \frac{dh_m/dt}{u_s}, \quad \hat{Ri}_s = \frac{\epsilon g l_s}{u_s^3}$$

ここに $C_1=1.1$:定数, $u_s=cfs^{3/2}M^{1/2}(h_m-d)^{-1}$:界面における振動格子擾乱の乱れ強度 (M :格子間隔, s :格子の振幅, c :定数), $l_s=\beta(h_m-d)$:界面における振動格子擾乱の積分特性長 (β :定数), ϵ :相対密度差, g :重力加速度である。

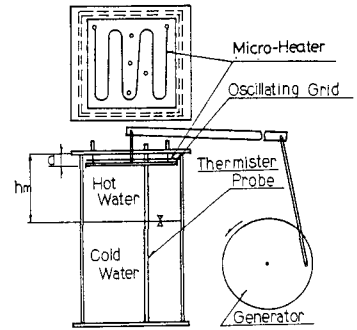


図-1 実験装置

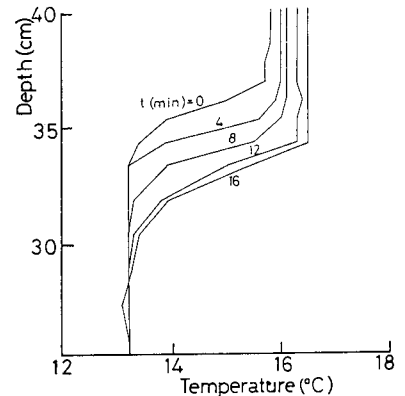


図-2 水温分布の経時変化

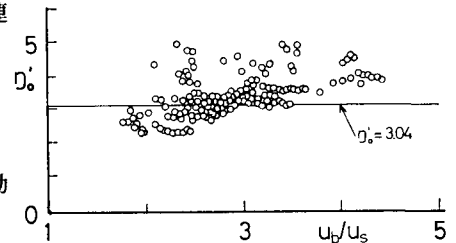


図-3 未知定数 η_0' の同定

機械的擾乱に加えて安定な熱流束が相乗的に作用する場合についても同様の連行則を求めるためにまず特性速度スケール σ_b を次のように定義する。

$$\sigma_b = (u_s^3 - \frac{1}{\eta} u_b^3)^{1/3} \quad (2) \quad \eta' = \frac{h_m^{1/3}}{(h_m - d)^{1/3}} \cdot \eta'_0 \quad (3)$$

ここに $u_b = (\alpha g H h_m)^{1/3}$ は浮力安定効果をあらわす速度スケール， α ：熱膨張率， η'_0 ：定数である。上式は浮力フラックスによる乱れの抑制効果を考慮して『（混合に対して有効に貢献する擾乱エネルギーフラックス）＝（振動格子による乱れエネルギーフラックス）－（安定な浮力供給フラックス）』という考えのもとに定式化されている。 σ_b を用いて連行係数 E_{ob} ，リチャードソン数 Ri_{ob} をそれぞれ

$$E_{ob} = \frac{dh_m/dt}{\sigma_b} \quad (4), \quad Ri_{ob} = \frac{\epsilon g l_s}{\sigma_b^2} \quad (5)$$

と定義し両者間の関係を次のように置く。

$$E_{ob} = C_1 Ri_{ob}^{-1} \quad (6)$$

ただし、上式は $u_b \rightarrow 0$ の極限において式(1)と一致するように関数形が定められた。実験結果を式(6)に代入して式(3)中に含まれる未知定数 η'_0 を実験的に定める。図-3は、 η'_0 と u_b/u_s との関係を示したものである。ここでは η'_0 を定数係数とみなし、 $\eta'_0 = 3.04$ なる算術平均値（図中実線で示す）を同定値として採用する。以上より連行係数 E_{ob} とリチャードソン数 Ri_{ob} を算出し、図-4に両者の関係を示す。実験値は(6)式の関係（図中実線）をほぼ満足している。

5. 混合層厚と相対密度差の経時変化

式(6)の連行則と相対密度差の保存則とを連立させて解けば二層系の時間的変遷に関する厳密解を得る。

図-5と図-6は各々混合層厚と相対密度差の時間変化に関する実験値－理論値間の比較である。 h_m 、 ϵ の無次元量 $\tilde{h}_m$ 、 $\tilde{\epsilon}$ 並びに横軸の無次元時間 τ_3 は全て二層系の代表量によって規格化されている。実験値、理論値はともに（振動格子の擾乱効果）／（熱フラックスの安定効果）の比を表す無次元量 ξ_b をパラメーターとして表示されている。 ξ_b が小さいほど安定な浮力フラックスによって混合が抑制され、 h_m の増加が小さく、躍層面での ϵ の増加が大きいことがわかる。

最後に 本実験および解析の遂行に当って協力頂いた昭和61年度卒業生 石井利幸、中村直人 両君に謝意を表します。

参考文献：1)室田・道奥：機械的擾乱と熱的擾乱が複合的に作用する水温成層場の鉛直混合量に関する研究、土木学会論文集 第369号／II-5, pp.61-70, 1986.

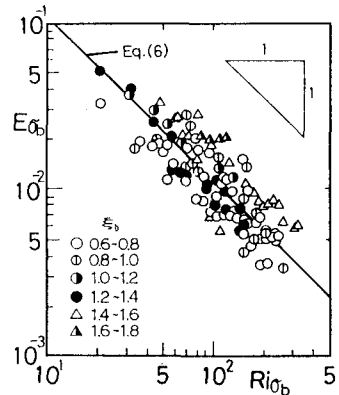


図-4 連行係数 E_{ob} とリチャードソン数 Ri_{ob} の関係

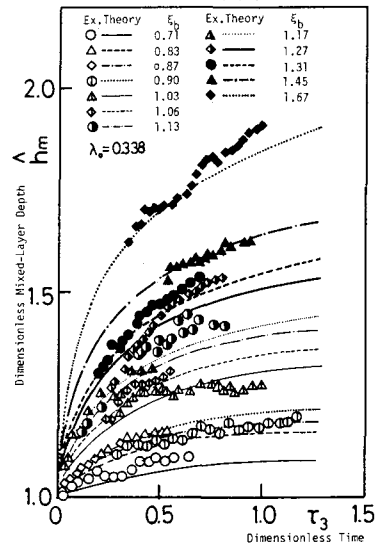


図-5 混合層厚 $\tilde{h}_m$ の時間変化

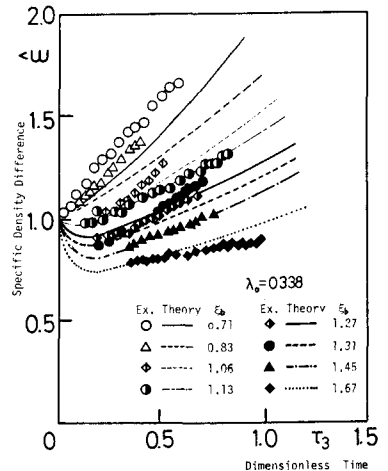


図-6 相対密度差 $\tilde{\epsilon}$ の時間変化