

鉛直噴流の衝突による密度境界面での水質混合

大阪大学工学部 正 員 室田 明
建設省 正 員 黒川 純一良

大阪大学工学部 正 員 道奥 康治
大阪大学大学院 学生員○吉田 弘

1.はじめに ; 従来、水表面における風応力や太陽放射エネルギーによる熱対流に代表される自然擾乱のモデルとして、振動格子や熱フラックスの供給を用いた水理実験は数多く行われてきた。しかし貯水池や自然湖沼の水質が大きな社会問題となりつつある昨今、水質混合を人為的に操作する必要性はますます高まって来ていると言えよう。そこで、混合の促進には水塊を直接、密度境界面に衝突させるのが効率的と考えられることから、本研究では、温度成層場において密度境界面に鉛直噴流が衝突する際に生ずる界面での鉛直混合を対象とし水理実験を行った。そして界面上での水理量から定義したりチャードソン数及び連行係数を用いて、混合量の定量的評価を行った。

2.実験の概要 ; 実験は図-1 に示す透明アクリル製の鉛直一次元水槽 (260mm × 260mm × 504mm)を用いて行った。まず水槽内に温度二成層を作成し、底面に取り付けたラバーヒーターで下層を一樣加熱することにより上下層間の温度差を制御した。水槽上部には小型ポンプが設置してあり、これによって水槽内の水を循環取水し噴流として密度境界面へ衝突させた。但しこの時取水によって水平方向の密度勾配が生ずるのを防ぐため、取水口は内壁上部の4個所に分散配置してある。流量はポンプの負荷電圧と線型関係にあることを確認しており、スライダックで電圧を変化させることにより制御した。水槽内には鉛直方向に30個のサーミスタプローブを配置し、これらによって温度の多点同時計測を行い、鉛直温度分布形の経時変化をとらえ、解析の基礎データとした。

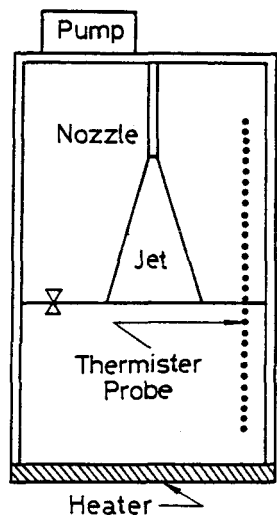


図-1 実験水槽

3.現象の概要 ; サーミスタプローブより得た温度分布形の経時変化を図-2 に示す。初期は、比較的明瞭な界面を介して二成層を形成しているが (a)、時間経過と共に上下層の中間温度を有する中層が発生し (b)、乱れによる混合によって層内が均質化し三成層を形成する (c)。更に中層の成長に伴い下層は消滅し、完全に混合される。噴流中へメチレンブルーを注入し可視化を行い、三成層期に撮影したのが次頁に示す写真である。噴流は、上側界面を突き抜け(1)、下側界面に衝突すると下層へ貫入し(2)、この際に生ずる水平方向の浮力勾配により復元し界面上を

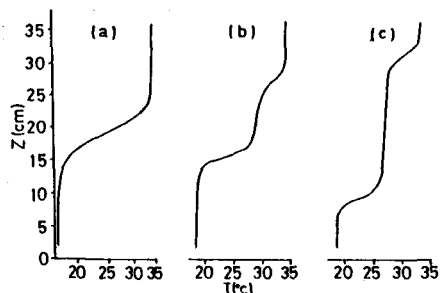


図-2 温度分布形経時変化

Akira MUROTA, Kohji MICHIOKU, Junichiro KUROKAWA and Hiromu YOSHIDA

水平に拡がる(3)。この一連の挙動の中で主たる連行現象は貫入部分において生じている。

4.解析手法；本研究では界面位置を温度分布形から一義的に定義することを考え、図-3 に示す様に温度分布形を5本の直線で近似し、それらの交点AとB及びCとDの中点の水深を以ってそれぞれ上側界面 H_u 、下側界面 H_m と定義した。可視化による目視界面と本定義法による界面の経時変化を比較した一例を図-4 に示す。双方はよく一致しており本定義法の妥当性を裏付けている。次に界面上での長さスケール、速度スケールを定義するにあたり、図-2 より中層内はほぼ均質とみなせることから、噴流の解として Görtler¹⁾(1942)の理論を採用した。長さスケール l には噴流の界面上における半値半幅をとり、速度スケール u には中心軸上流速を用いており次式の通りである。

$$l = 0.0848 z \quad ; \quad u = \frac{3}{8\pi} \cdot \frac{M}{\epsilon_0 \cdot z} \quad ; \quad \epsilon_0 = 0.0161 \sqrt{M}$$

ここに z は噴出口から下側界面までの距離を表す。 M は界面上での噴流の運動量を表し、噴流が中層内で浮力を受けることにより生ずる運動量の損失を考慮している。一方成層強度 ϵ は図-2 中のC、D及び上層での温度 T_c 、 T_d 及び T_0 を密度に換算した ρ_c 、 ρ_d 及び ρ_0 を用いて以下の様に表される。

$$\epsilon = \frac{\rho_d - \rho_c}{\rho_0} \quad ; \quad \rho = \alpha T + \beta \quad (\alpha, \beta : \text{換算係数})$$

また下層流体の連行速度を下側界面の時間変化率 dH_m/dt で与えとりリチャードソン数 R_i 及び連行係数が次式の様に表される。

$$R_i = \frac{\epsilon g l}{u^2} \quad ; \quad E = \frac{dH_m/dt}{u}$$

5.実験結果と検討；リチャードソン数と連行係数の関係を図-5 に示す。値には若干のばらつきがあるものの全般的に見て次式の関係性を有する。

$$E = C \cdot R_i^{-1} \quad ; \quad C = 5.11 \times 10^{-4}$$

これは鉛直噴流の衝突を擾乱因とする場合も振動格子の場合と同様-1乗則に従うことを示しており、乱れの生成機構は異なっても現象を支配する連行則は共通であることを示しており興味深い。尚、その他の実験結果については講演時に述べる。

参考文献 1) 水理公式集

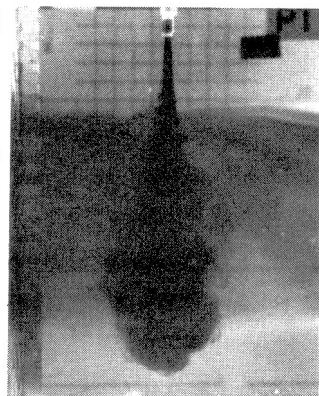


写真 三成層期

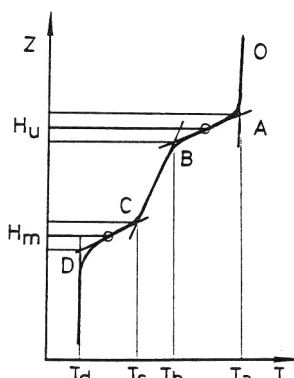


図-3 界面定義

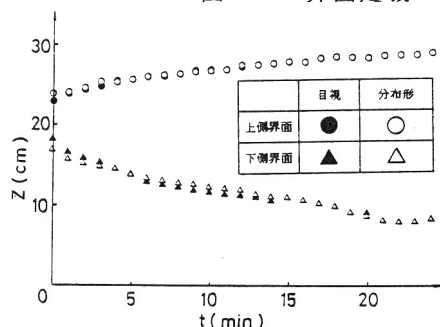


図-4 界面経時変化

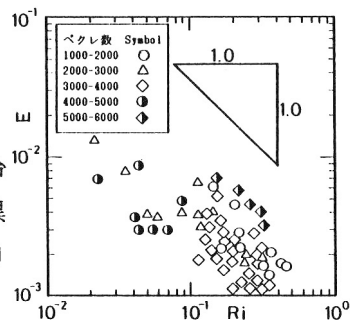


図-5 連行則