

II-235

噴流塊の衝突による水質混合部分の
流動特性

徳島大学工学部

正員 吉田 弘

徳島大学工学部

正員 端野道夫

八千代エンジニアリング

正員 今川徹広

1. はじめに；従来、噴流塊の衝突を擾乱源とする水質混合現象については場の平均量から定義されるリチャードソン数と連行係数との間に成立する経験的巾乗則によって定量評価がなされてきた。しかしながら混合過程自体は未だ明らかとは言えない。本研究は混合過程の解明を目的として塩分二層系の密度界面に噴流を衝突させて水質混合を生起させ、油滴トレーサーで混合部分を可視化し流動特性の把握を試みた。

2. 実験概要；実験は図-1に示す木製水槽(1600mm×1600mm×600mm)を用いて行った。まず、水槽内に塩分二層系を作成し、電気伝導度計を鉛直方向に走査して密度分布を計測し密度界面位置を定める。次いで水槽上部に設置してある小型ポンプで上層水を循環取水し噴流として密度界面に対し直角に衝突させた。この時噴流に後述の油滴トレーサーを混入しておくことで流動が可視化される。流量はポンプの負荷電圧と線形関係にありスライダックで電圧を変化させることによって制御した。水槽側面のうち2面はガラス張りになっており、ここを通して流況をビデオカメラで撮映した。得られた映像は後述の手法で離散データ化されて流れ場の流速データとして整理された。

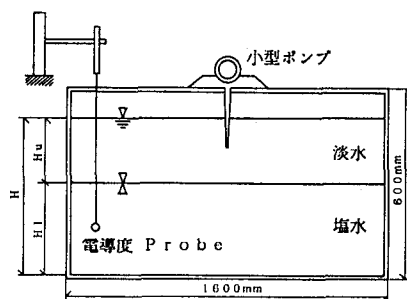


図-1 実験水槽

3. 可視化手法；まず、実験前にクロロベンゼン(比重1.105~1.115)とキシレン(比重0.8611~0.8802)を適量ずつ混合し蛍光塗料を添加して油滴トレーサーを作成しておく。撮映に際しては室内を減光し図-2のようにスリット光を用いて噴流中心軸を含むスリット平面を作成する。噴流の放流と同時に注射器を用いてトレーサーを噴流中へ混入し、スリット平面内でトレーサーが発光して描く軌跡を撮映用のガラス窓を通してビデオカメラで撮映してテープに収録する。得られたトレーサーの映像は $\Delta t = 0.1$ 秒毎に一旦ビニールシートへ転写された後でデジタイザによってトレーサーの起点、終点が抽出され Δt 間の軌跡 Δl として整理される。なお、予め平面内でのスケールアップのためにスリット平面と同じ位置で要素長1cmの格子板が撮映されており離散化されたデータから各格子での代表値として $\Delta l / \Delta t$ より流速ベクトルが計算される。ただし、解析には大量のトレーサーが均等にスリット平面内に分布する必要があるため今回は表-1の2ケースのみを対象とした。

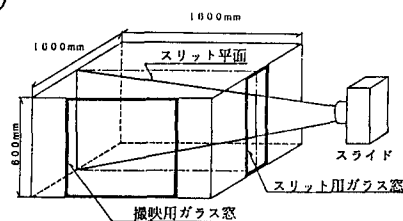


図-2 可視化手法

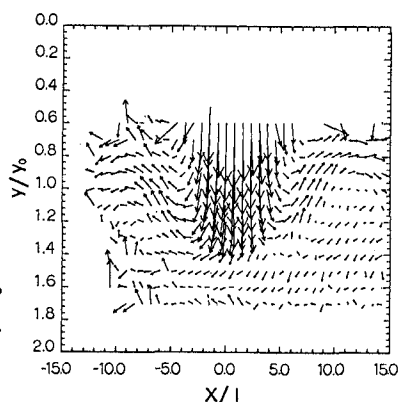


図-3 平均流速ベクトル

4. 実験結果と考察；図-3に格子要素毎の平均流速ベクトルを示す。縦軸は放流口からの距離 y を界面位置と放流口との間の距離 y_0 で、

表-1 実験条件

CASE	流量 cm ³ /s	上層密度 g/cm ³	下層密度 g/cm ³	流下長 cm	下層厚 cm	リチャードソン数
A	2.540	1.0002	1.0102	13.8	30.8	0.09906
B	4.440	1.0008	1.0105	22.9	21.6	0.14362

横軸は噴流中心軸からの距離 x を噴流の半値半幅 l でそれぞれ規準化して表してある。下層内へ貫入した噴流が力学的に中立な位置で流向を転換して元の界面位置まで戻り、界面上を水平に拡がって行く様子がよく表されている。図-4に連行現象と密接に関連すると思われる密度界面先端付近 ($x/l = 0, y/y_0 = 1.5$) における鉛直方向流速 u 、水平方向流速 v に関する変動成分 u' 、 v' の時系列を示す。図中の破線はそれぞれ u 、 v の r. m. s. の50%に当たる値である。比較的大きな変動がかなり細かな周期で発生しているのがうかがえる。図-4の時系列より計算した u 、 v の自己相関係数 $R_u(\tau)$ 、 $R_v(\tau)$ を図-5に示す。相関係数には各々について明瞭な卓越周期 τ_{pu} 、 τ_{pv} が認められる。変動の積分時間スケール T_u 、 T_v はそれぞれ次式で計算される。

$$T_u = \int_0^{\tau_0} R_u(\tau) d\tau \quad T_v = \int_0^{\tau_0} R_v(\tau) d\tau$$

ここで τ_0 は相関係数 R が初めて0になるまでの時間である。

図-6は積分時間スケール T_u 、 T_v を次式で表される密度場のパイサラ R_v 周期 t_B で規準化しリチャードソン数との関係を示したものである。

$$t_B = \sqrt{\frac{l}{\epsilon g}} \quad R_1 = \frac{\epsilon g l}{U^2}$$

値にはばらつきが見られるものの R_1 によらず T/t_B はほぼ一定の値を取っていると見れば積分時間スケールはパイサラ周期 t_B に依存していることがわかる。また卓越周期 τ_p を積分時間スケール T で規準化し R_1 に対してプロットしたのが図-7である。 τ_p/T も R_1 によらずほぼ一定値を取っており τ_p と T の間には次式の関係がある。

$$\tau_{pu} = 6.33 \cdot T_u \quad (1) \quad \tau_{pv} = 10.1 \cdot T_v \quad (2)$$

(1)式は浦、小松、松永¹⁾が行った振動格子擾乱による実験結果とほぼ同じ関係となっている。一方、場の代表速度スケールとして $\sqrt{u'^2}$ および $\sqrt{v'^2}$ をそれぞれ採用し卓越周期と乗することにより次式の長さスケール l_u 、 l_v を考える。

$$l_u = \tau_{pu} \cdot \sqrt{u'^2} \quad l_v = \tau_{pv} \cdot \sqrt{v'^2}$$

鉛直方向の長さスケール l_u と別途行った密度界面の可視化実験結果²⁾より求めた界面先端の変動強度 η' との関係を表-2に示す。 η' と l_u はほぼ一致することから密度界面先端部分の流動は積分スケールよりも大きな l_u によって支配されていると考えられる。

5. むすび；実験手法の制約上2ケースのみを対象とせざるを得なかったが、連行現象が集中的に生起している密度界面先端付近の流動は鉛直方向には l_u 、水平方向には l_v なるスケールで規定されていることがわかった。水質混合部分は図-3に示した貫入深さ規模の平均流動場の中に l_u 、 l_v なる規模をもつ局所的な流動が内包された構造になっていると考えられる。今後は局所的な流動と連行過程との関係を明らかにすることが課題である。

表-2 乱流特性量の比較

CASE	u'^2 cm/s	v'^2 cm/s	τ_{pu} sec	τ_{pv} sec	l_u cm	l_v cm	η' cm
A	0.7076	0.7455	0.6	0.4	0.4246	0.2982	0.4983
B	1.902	1.871	0.7	0.6	1.3314	1.1226	1.4601

【参考文献】

- 1) 浦、小松、松永：土木学会論文集、第345号、p91～99、1984年5月
- 2) 端野、吉田、今川：第41回土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集、1989年5月

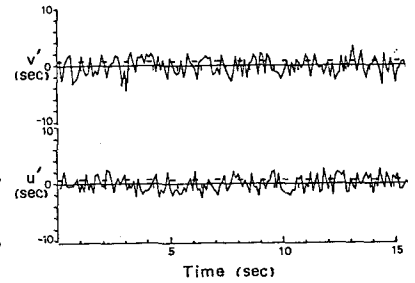


図-4 変動時系列

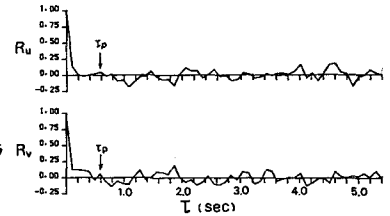


図-5 自己相関係数

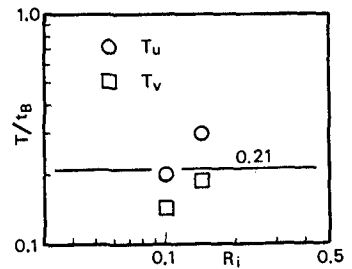


図-6 積分時間スケール

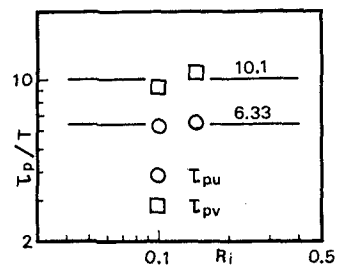


図-7 卓越周期