

噴流塊の衝突による密度界面変形部の水理特性

徳島大学 工学部 正員 端野道夫

徳島大学 工学部 正員○吉田 弘

八千代エンジニアリング 正員 今川徹広

1. はじめに；従来、噴流塊を二層系密度界面に衝突させた際に生ずる水質混合は、密度場の平均量より構成されるリチャードソン数と連行係数の間に成立する経験的乗則で評価されてきた。¹⁾²⁾ しかしながら混合過程自体はブラックボックスとなっていて明らかにされていないのが現状である。本研究は混合過程を把握するため塩分二層系の密度界面に噴流を衝突させた際の界面を可視化し界面変動特性の定量化を試みた。

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操作して初期の密度分布形を計測し密度界面位置を定めた。次に水槽上部に取り付けてある小型の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、噴流内にはメチレンブルー溶液を混入しており界面の変形は容易に可視化される。ただし、取水により生ずる水平方向の不均一性を除去するため取水口を内壁上部の4カ所に分散配置している。流量とポンプの負荷電圧とはほぼ線形関係にありスライダックで電圧を変化させることで流量を制御した。水槽側面のうち2面はガラス張りにしてあり、ここを通して可視化された界面をビデオカメラで撮映した。得られた界面の映像からパーソナルコンピュータで画像解析し噴流中心軸上における界面位置の時系列データを求めた。

3. 現象の概要；図-2に界面変形部における流動の模式図を示す。最初密度界面に衝突した噴流は(a)、下層へ貫入し(b)、噴流の運動量と周囲から受ける浮力とが釣り合う位置で貫入を停止し、界面から下層へ突出する部分が発生する(c)。その後界面は浮力により復元するがその際に突出部分が下層水を巻き込むように取り込む(d)(e)。この現象がBaines ら¹⁾により指摘された連行形態に相当するものと考えられる。復元に伴って連行混合により生成された水塊は密度界面付近を水平に拡がる(f)。

4. 実験結果と考察；図-3に界面変位量 Δh より求めた界面変動量 η ($\equiv \Delta h - \overline{\Delta h}$) の時系列の一例を示す。また、界面変動強度 η' ($\equiv \sqrt{\eta^2}$) を密度界面上における噴流の半値半幅 l で規格化した η'/l を l および噴流の中心軸上流速 u 、相対密度差 ε を用いて次式で定義されるリチャードソン数 Ri と比較したものを図-4に示す。

$$Ri = \frac{\varepsilon g l}{u^2} \quad (1)$$

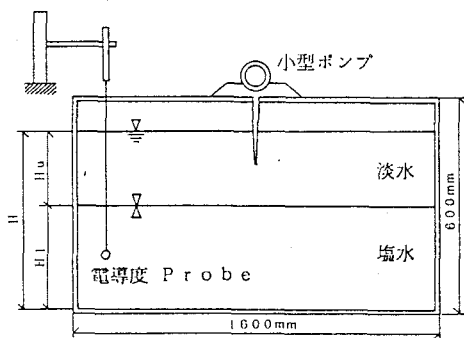


図-1 実験水槽

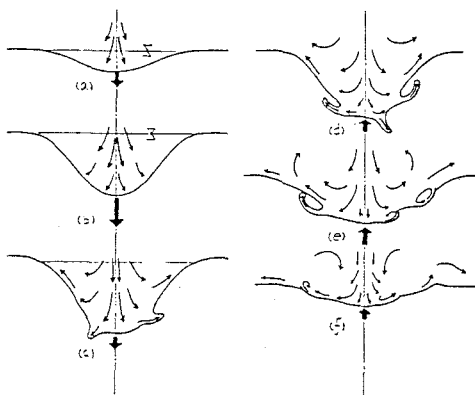


図-2 界面変形部における流動の模式図

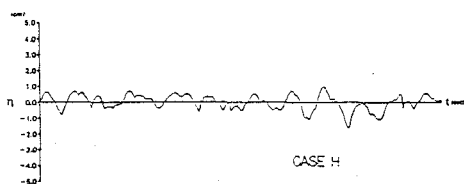


図-3 界面変動の時系列

η' / l は R_i によらずほぼ一定値を取っており界面変動の空間スケールは噴流の半値半幅 l で規定されていることが判る。しかしながら半値半幅 l に較べて η' は小さいことから下層へ貫入した噴流塊は密度場から相互作用を受けてスケールが変化したものと考えられる。図-5に時系列から計算した界面変動の自己相関係数 R_η を示す。 R_η にはほぼ等間隔でピークが現れており界面変動が正弦的であって強制振動よりもむしろ自由振動に近いことを示している。次に(2)式のように R_η が初めてゼロになる $\tau = \tau_0$ まで R_η を積分して得られる積分時間スケール T を l および ε より(3)式で表されるバイサラ周期 t_B で規準化しリチャードソン数 R_i と比較したものを図-6に示す。

$$T = \int_0^{\tau_0} R_\eta(\tau) d\tau \quad (2) \quad t_B = \sqrt{\frac{l}{\varepsilon g}} \quad (3)$$

T/t_B は R_i によらずほぼ一定値となっていることから場の時間スケールは密度場のバイサラ周期に強く依存しており、変形した界面はLinden³⁾の行った渦輪の衝突変形・復元過程に関する実験結果と同様に重力波的に復元していると考えられる。また R_η における第1番目のピーク τ_1 と積分時間スケール T との関係を図-7に示す。図中には浦、小松、松永⁴⁾が振動格子を擾乱源として用いた実験結果を併記してある。 τ_1 と T はほぼ次式の関係を持する。

$$\tau_1 = 6.05 \cdot T \quad (4)$$

また図-8には界面変位スペクトル E_η を示す。縦軸は η'^2 / f_1 で横軸は $f_1 (= 1/\tau_1)$ でそれぞれ規準化されている。スペクトルのピークはほぼ f_1 に一致しており界面変動のエネルギーのうち、かなりの部分が τ_1 スケールの変動成分によって占められている。これは、積分時間スケール T の規模の渦動成分のほかに、 τ_1 規模の渦動成分も連行過程において重要な役割を担っていることを示す。

5. まとめ：噴流塊の衝突によって生起する界面変動のスケールは空間的には噴流の半値半幅 l で、時間的には密度場のバイサラ周期 t_B によってそれぞれ規定されることが示された。また積分時間スケール T の約6倍の大きさに相当する変動成分によって界面変動エネルギーのかなりの部分が占められていることから積分時間スケール T および τ_1 スケールの渦動が界面の変形部に共存することが示唆され、振動格子擾乱による密度界面の変動現象と本現象は類似していることが示された。

〈参考文献〉

- 1) Baines, W. D. : J. F. M., Vol 168, part 2, pp309~321, 1975
- 2) 室田・道奥・吉田 : 第32回水理講演会論文集 p269~274, 1988
- 3) Linden, P. F. : J. F. M., Vol 60, part 3 pp467~480, 1973
- 4) 浦・小松・松永 : 土木学会論文集 第345号 p91~99, 198

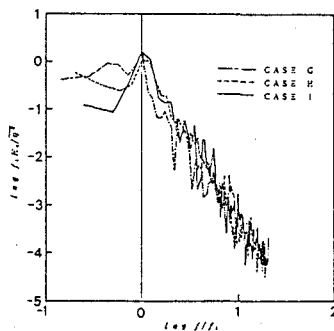


図-8 界面変動スペクトル

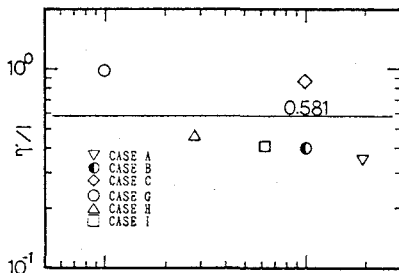


図-4 界面変動強度

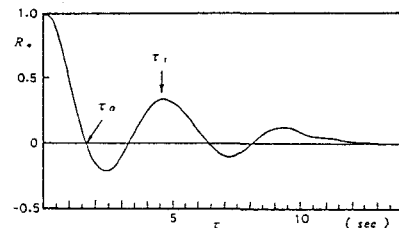


図-5 界面変動の自己相関係数

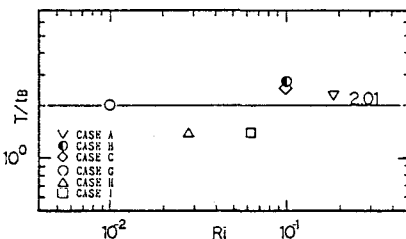


図-6 積分時間スケール

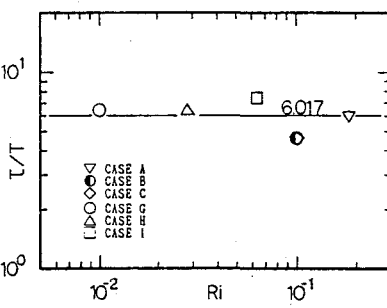


図-7 卓越周期