

## 二次元表層密度噴流における混合層の発達過程

大阪大学工学部 正員 室田 明  
 大阪大学工学部 正員 中辻 啓二  
 大阪府土木部 正員 〇戸上 拓也

**1. まえがき** ; 混合層の拡がりや発達には組織的な大規模渦運動が重要な役割を果たしているという指摘は多いが、推論または定性的な検討にとどまっておき、実証的な研究は少ない。本研究では点計測より表層密度噴流の混合層に発達する大規模渦運動を定量化するとともに、成層化の影響についても検討をおこなう。対象とした流れは放流口流速が約  $10 \text{ cm/s}$  で、放流口せん断層厚 ( $L_0 = U_0 / (\partial U / \partial z)_{\max}$ ) で定義したリチャードソン数  $Ri_{lo}$  はそれぞれ  $0.004$ ,  $0.017$ ,  $0.033$  である。

**2. 合併過程の定量的把握** ; 組織構造の挙動特性を把握する方法には可視化観測と定点計測とがある。前者については第25回水講で詳細に議論したが、その一例を示したのが図-1の可視化された渦構造の通過周波数  $f$  の流程方向変化である。 $f_0$  は渦の発生周波数を示す。全体的な傾向として、渦構造が流程方向に一樣に減少するのがわかる。可視観測の範囲  $X \leq 10 \text{ cm}$  においてさえ、約25%の渦構造が消失している。そのためには発生した渦構造の約半数が渦同士との合併に関連している必要があり、非線形干渉の非常に強い現象であることがわかる。また、 $Ri_{lo}$  が大きいほど、減少率は緩やかで渦構造間の合併過程が抑制されている。

図-2は渦構造の発達過程の動力学的把握を目的にレイノルズ応力が最大となる水深位置における鉛直方向速度変動のパワースペクトルの流程方向変化を示す。同図は  $Ri_{lo} = 0.004$  の例である。可視化による渦構造の移流速度の流程方向変化および Acton (1977) のシミュレーション結果より渦の挙動が速度変動に反映され易いことから、速度成分  $v$  を選んだ。スペクトル形は  $X = 4, 6 \text{ cm}$  で2つの卓越周波数を有するが、 $X = 8 \text{ cm}$  で低周波側に吸収されてしまう。それ以降は、非線形効果により高周波側へエネルギーが分配される(カスケードダウン)と同時に、低周波側への卓越周波数の移行ならびに全エネルギーに占める割合が低周波側で増大する傾向が認められる。後者には2つの渦が相互干渉しあって1つの渦に合体・融合する合併過程が強く

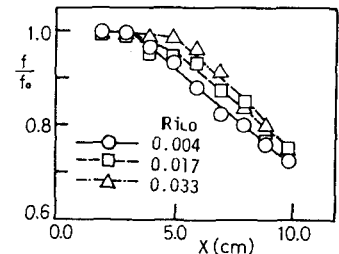


図-1 通過周波数の流程方向変化

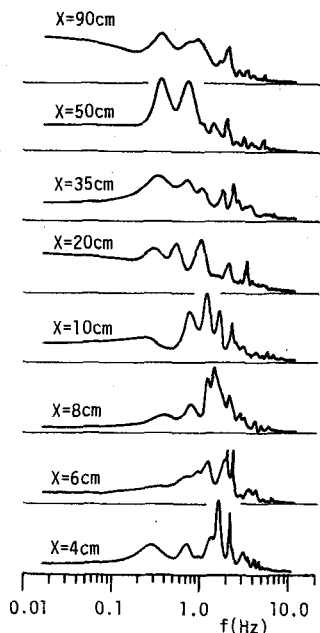


図-2 パワースペクトルの流程方向変化  
 $Ri_{lo} = 0.004$

関与していると推定できる。  $X = 50\text{ cm}$  ( $X/\theta \approx 280$ )においても渦構造間の合併の可能性が認められる。この値は均質混合層の実験で Bradshaw (1966) が指摘した  $X/\theta = 1000$  よりも短い。これは、成層化の影響で渦構造が早く崩壊することを反映していると考えられる。

図-3, 4 は速度変動  $u$ ,  $v$  の自己相関関数および相互相関関数を示す。可視観測から第一回目の合併が頻繁に生じていると予想される  $6 \leq X \leq 10\text{ cm}$  の範囲では、 $u$  と  $v$  の自己相関が非常によく似ており組織的構造が支配的であることがわかる。この領域の相互相関関数も遅れ時間  $\tau = 0$  で 0.58 と大きい。流下とともに相互相関関数は小さくなる。また、全般に  $u$  の渦スケールが増加する。これは  $u$  変動には低周波成分が多いことを示すものである。

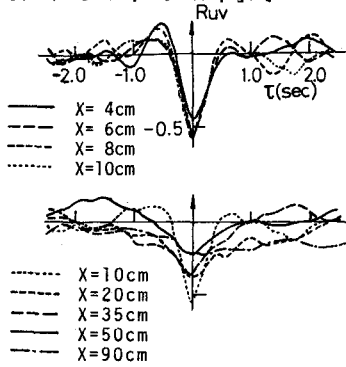
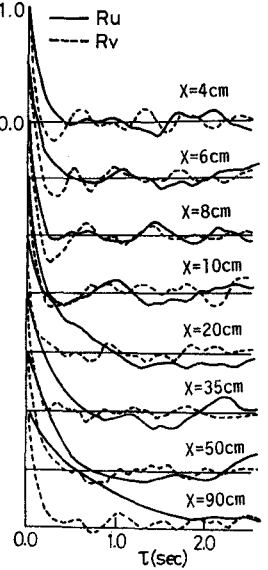


図-4 相互相関関数  $R_{i10}=0.004$  図-8 自己相関関数



**3. 合併過程のエネルギー生成への寄与**；レイノルズ応力  $-\overline{uv}/U_0^2$  の断面内分布の流程方向変化を図-5に示す。放流口近くでのレイノルズ応力はほとんど無視し得る程度である。しかし、乱れの発生とともに、その値は徐々に増加し始め、渦構造間の合併が生じる範囲 ( $6 \leq X \leq 10\text{ cm}$ ) で急激に増大し、断面内に拡る。それ以降は鉛直下方に拡りながら急激に減少する。成層度の影響はレイノルズ応力の値に現われており、渦構造間の合併が抑制される  $R_{i10}$  の大きいケースほど、その値は小さい。

つぎに、レイノルズ応力による乱れのエネルギー生成率を比較するために、断面全体の積分量  $P_s(x) = \int_0^H (-\overline{uv} \cdot \frac{\partial U}{\partial x}) dz / U_0^3$  の流程方向変化を求めたのが図-6である。全ケースとも  $P_s$  の値は  $X = 6 \sim 10\text{ cm}$  の範囲で急激に増大して、やがて緩やかに減少する。初期の増大領域は大規模渦の形成・発達過程に対応しており、その活性が  $P_s$  の増大率に現われている。すなわち、 $R_{i10}$  が大きいほど、つまり成層度が強いほど  $P_s$  の最大値は小さい。とくに、 $R_{i10} = 0.004$  では、 $X = 90\text{ cm}$  近傍で  $P_s = 0$  となっており、図-2の合併終了位置と一致する。

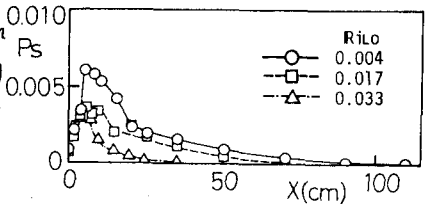


図-6 乱れエネルギー生成積分量の流程方向変化

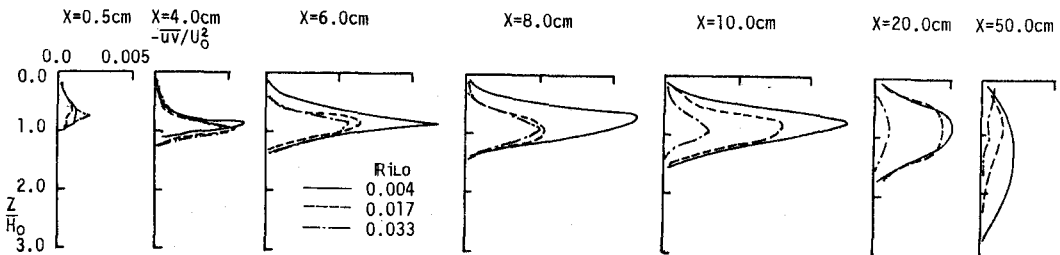


図-5 レイノルズ応力  $-\overline{uv}/U_0^2$  の流程方向変化