

表層密度噴流におけるプラス・マイナス進行速度について

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

大阪大学大学院 学生員 ○ 榎山長一

1. まえがき ; 本研究は、表層密度噴流の初期領域において発生・発達する組織的大規模渦運動と進行現象との関連を、流量および浮力流束の保存性に基づいて算出されるプラス・マイナス進行速度の概念を導入することにより調べたものである。

2. プラス・マイナス進行速度 ; プラス・マイナス進行速度とは、図-1に示すような二成層流の内部境界面を通過する上向き進行速度 Ve^+ および下向き進行速度 Ve^- を意味する。 Ve^+ と Ve^- は図-1のI-II断面間に流量および浮力流束の保存性を適用して、つぎのように求めることができる。上層流、下層流における水理量に各々添字 u , l をつけて表示すると、流量および浮力流束は上層および下層に対してつぎのように表現される。

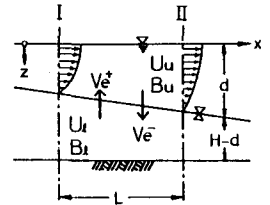


図-1 概念図

$$Q_u(x) = \int_0^d U(x, z) dz, F_u(x) = \int_0^d B(x, z) U(x, z) dz, Q_l(x) = \int_d^H U(x, z) dz, F_l(x) = \int_d^H B(x, z) U(x, z) dz \quad (1)$$

ここに、 $U(x, z)$ は流程方向流速、 $B(x, z)$ は放流水密度 ρ と周囲水密度 ρ_s の相対密度差 $\epsilon = (\rho_s - \rho) / \rho_s$ を用いて $B = \epsilon g$ (ここに、 g は重力加速度) で定義される平均浮力である。距離 L だけ離れた支配断面 I-II 間の上層と下層ならびに全断面に対して、流量と浮力流束の保存則を適用して加減算を施し、上層流速が $U_u(x, z) = 0$ となる無流面を内部境界面として考えると、 Ve^+ および Ve^- はつぎようになる。

$$Ve^+ = \frac{Q_u^I - Q_u^{II}}{L} + \frac{F_u^I - F_u^{II}}{L} \frac{2}{\bar{B}_u^I + \bar{B}_u^{II}}, Ve^- = \frac{F_l^I - F_l^{II}}{L} \frac{2}{\bar{B}_l^I + \bar{B}_l^{II}} \quad (2)$$

ここに、 $\bar{B}_u$ は Ve^- で運ばれる上層流塊の浮力を表わしており、 $\bar{B}_u = F_u / Q_u$ で示される平均値で近似する。

3. 実験の内容 ; 実験は、長さ6m、幅15cm、高さ50cmの透明アクリル製水平矩形水路において、静止した塩水中に淡水を流速 $U_0 = 10 \text{ cm/s}$ 、水深 $H_0 = 2 \text{ cm}$ で表層放流して行ない、放流口から 110cm の範囲の14検査断面で二方向流速成分と塩分濃度の鉛直方向分布をホットフィルム流速計と電導度式塩分濃度計を用いて測定した。実験を行なった放流口での密度フルード数 Fd_0 およびセン断層リチャードソン数 Ri_0 の範囲は、それぞれ 1.75 ~ 6.00, 0.004 ~ 0.059 である。

4. プラス・マイナス進行速度の特性 ; Ve^+ と Ve^- は流速と浮力の鉛直方向積分値を用いて、式(2)から算出される。 Ve^+ と Ve^- の流程方向変化を図-2に示す。同図より Ve^+ と Ve^- の値は測定範囲において同じオーダーであり、成層界面を通しての鉛直方向の

Akira MURATA, Keiji NAKATSUJI and Choichi MOMIYAMA

乱流輸送が非常に活発であることがわかる。成層度の違いは Ve^+ の値に顕著に現われており、その値は Ri_0 の小さいほど大きい。全流程を通して $Ve^+ > Ve^-$ であることから判断して、上向きの連行、つまり下層流体が上層噴流域中へ連行されていることが確認できる。また、 Ve^+ と Ve^- の値がそれぞれ $Ri_0=0.004$ では $x > 80\text{cm}$ で、 $Ri_0=0.033$ では $x > 40\text{cm}$ でそれぞれ急激に低減しているのが認められる。この位置は可視化で観られた組織的大規模渦運動の合併・融合が終了する流程位置に対応しており、鉛直方向の激しい乱流輸送には組織的渦構造の活性が強く関与していることが予測される。すなわち、大規模渦の相互干渉による合併過程あるいは組織構造の崩壊過程を通して上下流体間の激しい乱流輸送が生じると考えられる。ただし、 Ve^+ にはそれらの結果として現われる噴流域の流程方向拡大の影響も含まれている。図-2における Ri_0 に対する Ve^+ の傾向には組織的渦構造の発生数の違いが直接的な影響を及ぼすのはもちろんであるが、合併時あるいは崩壊時に渦構造の鉛直方向運動が成層化によって抑制されるか否かも重要な原因になると考えられる。

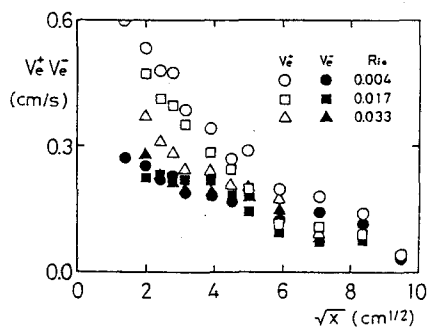


図-2 Ve^+ と Ve^- の流程方向変化

5. 連行速度と流動形態との関係 ; 図-3は表層流速 U_s を用いて連行速度を無次元表示した連行係数とセン断層リチャードソン数 Ri_h との関係を示す。

Ri_h は流速分布の最大勾配厚 $h=U_s/(\partial U/\partial z)_{\max}$ を用いて $Ri_h=Bsh/U_s^2$ で定義される。図-3より、 Ve^+/U_s 、 Ve^-/U_s はともに $Ri_h=0.12$ を境にしてその勾配が異なるのが明瞭にわかる。また、連行係数は成層化にともなって次第に逡減する。 $Ri_h < 0.12$ では Ve^+/U_s と Ve^-/U_s は Ri_h の増加とともに急激に減少していき、両者は漸近する。 $Ri_h=0.12$ は著者等¹⁾²⁾が示した混合層で観られる大規模かつ組織立った渦構造の存在可能な上限値である。 $Ri_h < 0.12$ ではそれらの乱流構造が連行過程に積極

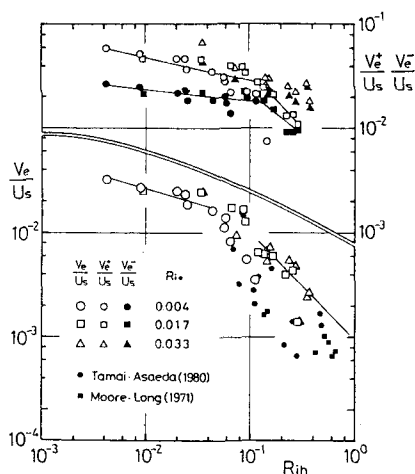


図-3 連行係数と Ri_h との関係

的に加担していると考えられる。 $Ri_h > 0.12$ ではセン断効果に比較して浮力効果が卓越しており、組織的な乱流構造は抑制されて流動形態は $Ri_h < 0.12$ の場合と大きく異なる。つまり、 $Ri_h=0.12$ は密度噴流を含む混合層形態から成層流への遷移点であるといえる。 $Ri_h < 0.12$ をセン断流卓越領域、 $Ri_h > 0.12$ を浮力支配領域と乱れの成因の違いにより流動形態を分類できる。一方、通例の連行係数 Ve/U_s と Ri_h との関係に関しても、同様の傾向が認められる。とくに、 $Ri_h > 0.12$ では $Ve/U_s \propto Ri_h^{-1}$ の関係が成立しており、この関係は Tamai-Asaeda³⁾ の推定式 $Ve/\Delta U \propto Ri_h^{-1}$ とその勾配が一致している。

(参考文献) 1) 室田・中辻・藪内: 土木学会論報(1983) 2) 室田・中辻・戸上: 土木学会論報(1984) 3) Tamai Asaeda: 3rd. Inter. Sympo. on Stochastic Hydraulics(1980)