

東北大学工学部 正員 岩崎 敏 夫
 電源開発 正員 江原 昌 彦
 東北大学大学院 学生員 ○佐藤 勝 弘

1. はじめに

炎塩二層流中に中間層が生成している場合、抵抗係数などの諸量を算定するに際して、その影響を考慮する必要があるが、本研究では中間層を理論的に検討し、数値解析により密度構造流れの様子を調べ、実験との比較検討を行なった。

2. 実験概要と実験条件

実験は静止した塩水層上に淡水層が流動する成層流とし、既報の水路を用いた。測定は中間層がほぼ平衡状態に達した後に行い、界面形状はポイントゲージで目視により同定し、濃度分布は電気伝導式濃度計を使用した。

3. 数値解析方法

Table 1 実験条件

	Run 1	2	3	4
Q (cm ³ /sec)	205.7	122.8	313.8	437.5
U_m (cm/sec)	2.260	1.063	2.468	2.865
$E_{\infty} = \Delta h / \Delta$	0.0272	0.0272	0.0272	0.0272
Re	1325	791	1519	2095
$F_{1.1}$	0.1795	0.075	0.1659	0.1757
$\psi_{1.1}$	4.3	4	42	65

中間層のモデル化に際して、実験での観察も考慮して次の仮定を行なった。

- (1)定常二次元問題である。 (2)第一界面は上層流との関係で定まる。
 (3)第二界面は水平であり、上流端は炎塩水の接点である。 (4)第二界面での流速はゼロである。
 (5)中間層内の流れは下流端付近を除いて、全般的に粘性が卓越している。 (6)Entrainmentは考えない。

《第一界面形状の解析》 界面に作用する Shear stressによる上昇(Ⅱ)に堰付近で流線が集中するために生じる圧力低下による上昇(Ⅲ)を加えて第一界面とした。

(Ⅰ)の算定——二層流における界面形状の式

$$\frac{dh}{dx} = -\frac{f_i F_i^2 (1+r)}{2(1-F_i^2)} \quad ; F_i = U_i / \sqrt{g h_i}, r = \frac{\rho_1 h_1}{\rho_2 (h_2 + h_3)} \quad (1)$$

において 抵抗係数 f_i について 岩崎の実験式(2)を用いて算定した。

$$f_i = 7.88 \psi^{-0.8356} \quad ; \psi = Re \cdot F_i^2 \quad (2)$$

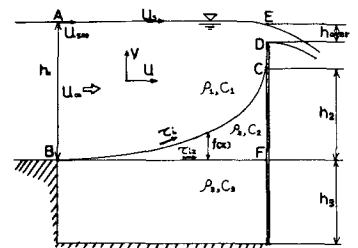


Fig.1 三層モデル

(Ⅱ)の算定——堰付近では粘性が卓越しているため、 y 方向の運動方程式 $u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}$ を y に關して0から h まで積分し、右辺第二項にベルヌーイの定理を適用して、次の算定式を得た。

$$f(x) = \frac{1}{E_2 g} \left\{ \frac{1}{2} (U_3^2 - U_{\infty}^2) - \frac{\partial}{\partial x} \int_0^{h_1} U v dy + (1 - \frac{df}{dx}) U v \Big|_{y=f} - U^2 \Big|_{y=f} \right\} \quad (3)$$

ここで、 $y=f(x)$ は境界面を示し、 $E_2 = \rho_2 - \rho_1 / \rho_2$ 、 U_3 は表面流速である。(3)の算定式に必要な流速成分は上層流に關して流れ関数 ψ を導入し、(4)の支配方程式と(5)の境界条件より求め、トライアルで境界面を逐次近似した。
 なお、 h, U で無次元化を行なった。

$$\nabla^2 \psi^* = 0 \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \psi^* &= y^* \text{ on } A \sim B; \psi^* = 1 \text{ on } A \sim E \\ \psi^* &= \frac{1}{\alpha} \{ y^* - (1-\alpha) \} \text{ on } D \sim E; \psi^* = 0 \text{ on } B \sim C, C \sim D \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

《中間層の解析》 支配方程式がいずれも傍円型二階偏微分方程式となっているため、ここではS.O.R法を用いた。なお、 h, U, C_3 で無次元化を行なった。

$$\nabla^2 S^* = 0, \quad S^* = -\nabla^2 \psi^*, \quad \frac{\partial \psi^*}{\partial x} \frac{\partial C^*}{\partial x} - \frac{\partial \psi^*}{\partial x} \frac{\partial C^*}{\partial y} = K_x \frac{\partial C^*}{\partial x} + K_y \frac{\partial C^*}{\partial y} \quad (6)$$

ここで、 $S^* = \frac{\partial \psi^*}{\partial x} - \frac{\partial \psi^*}{\partial y}$ 、 K_x, K_y はそれぞれ x, y 方向の無次元化された抵抗係数である。

$$\left. \begin{aligned} \zeta^* &= -h_2 \zeta / u_0 u_2, C^* = 0 \text{ on } B \sim C \\ \frac{\partial \zeta^*}{\partial x} = \frac{\partial \zeta^*}{\partial y} &= 0, \frac{\partial C^*}{\partial x} = 0 \text{ on } C \sim F \\ \frac{\partial \zeta^*}{\partial x} = \frac{\partial \zeta^*}{\partial y} &= 0, C^* = 1 \text{ on } B \sim F \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

4. 結果と考察

Fig 2には Run1の実験パラメータを用い計算により最終的に決定した第一界面形状を実験値と共に示した。両者はおおよそ一致している。上層水の中層層への混入は堰付近での界面の立上がり領域で生じるが、計算によりこの領域は堰から x/h_2 にしておおよそ0.5以内であることが確かめられた。これは、平野金子古賀らの仮定した濁質を含む上層水が中層層にとり込まれる領域 $x/h_2 \approx 0.4$ とほぼ一致している。Fig 3には 同ケースの計算により求めた中間層内の流速分布を示した。第一界面に作用するShear stressによって、実験での観察と確かめられている現象が層内に生じている様子がうかがえる。流速分布について照合すべき実験データは得られていないが、酷似した流速分布形がトレーサーを用いた実験で見られている。Fig 4には 三層モデルにより抵抗係数を算定する場合に重要な要素の一つである第一界面と第二界面に作用するShear stressの比の分布を示した。堰付近を除いては、柱貝の二層流での解析による0.5にはば等しい0.4~0.5であることが確かめられた。Fig 5には Run4について計算により求めた濃度分布を実験値と共に示した。計算値実験値共に中間層先端部へ向かう程一様勾配になる傾向はうかがえるが、両者の分布は必ずしもよい一致を示しているとは言えない。なお、鉛直方向の拡散係数としては、拡散スケールに中間層厚をとりRichardsonの4/3乗則より求められる値に近いものを用いた。Fig 6には Run 3の実験パラメータを用いて三層モデルにより算定した第一界面の形状を実験値と共に示した。算定は(8)の抵抗係数 f_i として、金子の実験式(9)を用いて行なった。

$$\frac{dh_1}{dx} = \left[\frac{f_i u_1^2 (1 + \frac{3}{2} \epsilon_{12})}{2gh_1} - \frac{h_2}{2\lambda} \frac{d\lambda}{dx} \right] / \left(\frac{u_1^2}{gh_1} - \epsilon_{12} \right) \quad (8)$$

$$f_i = 0.2 \psi^{-0.5} \quad (9)$$

算定には $\bar{\lambda}$ の実験値を用い、Runge-kutta法により数値積分した。両者はおおよそ一致しており、中間層が生成している場合には、三層モデルによる取り扱いが有効であることが確かめられた。

最後に 本実験を行なうにあたり御協力いただいた東北大学工学部佐藤弘氏、佐藤栄司氏に 感謝の意を表します。

[参考文献]

- (1) 岩崎敏夫・江原昌彦; 二成層二次元ジェットの界面抵抗について, 第24回沿岸工学講演会論文集, 1977
- (2) 平野宗夫・金子新・古賀省三; 密度躍層の発達した貯水池における濁質の挙動について, 第32回年講, 1977
- (3) 椎貝博美; 塩水楔に関する研究, 東京工業大学土木工学研究報告, 1966

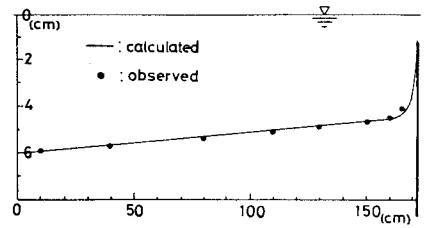


Fig.2 第一界面形状

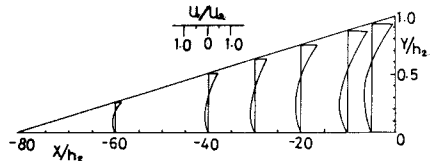


Fig.3 中間層内の流速分布

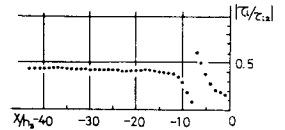


Fig.4 Shear stress比

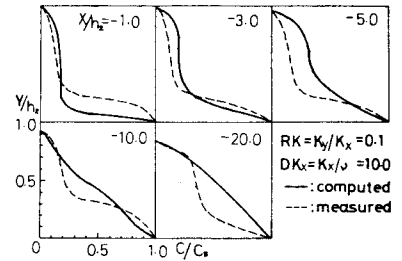


Fig.5 塩分濃度分布

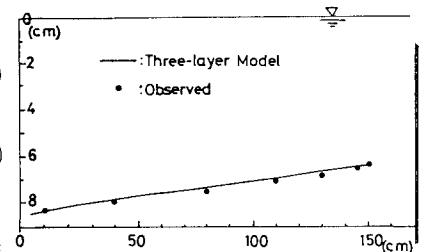


Fig.6 三層モデルによる第一界面