

京都大学工学部 正員 岩佐 義朗

京都大学工学部 正員 ○野口 正人

京都大学大学院 学生員 早野 博和

1. まえがき

前報¹⁾においては、断面急縮部における二成層流を単層流との関連で調べた。その結果、二成層流においては、重力加速度が ε 倍されたような重力場で考えれば、単層流の場合と同様の関係が成立することがわかった。他方、二成層流においては単層流の場合と異なり、上下両流体の境界面が重要な役割を果す。分離取水への影響を調べるにあたっては、内部境界面附近の濃度変化に関心をもたれる。

ここでは、以上の問題について検討した。

2. 断面急縮部における基礎式

図1に示されるように、水路幅が急縮($B/B' = \gamma$)するところでの下層流について考える。断面急縮部より上流なうびに下流で流れが一樣になった断面をそれぞれIおよびIV断面とし、水路幅急縮部よりわずかに下流で内部境界面がもっとも低くなることをIII断面とする。まず、I~III断面間の関係について考える。III断面での収縮係数を C_c とすると、連続方程式は

$$Q = B h_2 v_2 = C_c B' h_2' v_2' \quad (1)$$

となる。また、III断面における圧力分布を $p = \rho_1 g h_1' + \lambda \rho_2 g (h_2' - y)$ とすると、III断面でのフルード数 $Fr' = Q / (C_c B' h_2' / (\varepsilon g h_2'^3))$ は上層および下層流体に対する運動方程式より、水深比 $\eta_2 = h_2' / h_2$ を使って

$$Fr'^2 = \frac{\gamma}{C_c (\gamma - \frac{1}{2} C_c)} \left[\frac{1}{2} (1 - \eta_2^2) - \frac{C_c}{\varepsilon} \int_0^{\eta_2} (\lambda - 1) (\eta_2 - \gamma) d\gamma \right] \quad (2)$$

と表わせる。ここに、 $\varepsilon = (\rho_2 - \rho_1) / \rho_2$ である。つまり、III~IV断面間で下層流体に巻き込まれる上層流体の単位時間あたりの体積を ϕ とす

$$\phi = \bar{v}_1' (h_2' - h_2'') B' = \varepsilon \cdot v_2'' (h_2' - h_2'') B' \quad (3)$$

とすると、運動量方程式は

$$\begin{aligned} & \beta_2' \rho_2 B' h_2'^2 v_2'^2 - \rho_2 C_c B' h_2'^2 v_2'^2 - \rho_1 B' (h_2' - h_2'') \varepsilon^2 \frac{(Q / C_c B')^2}{h_2'^2} \\ &= \rho_1 g B' h_1' h_2'^2 + \frac{1}{2} \rho_2 g B' h_2'^2 + \rho_2 g C_c B' \int_0^{\eta_2'} (\lambda - 1) (h_2' - y) dy - \rho_2 g B' h_1' h_2' - \rho_2 g B' \int_0^{\eta_2'} \eta_1(x, y) (h_2' - y) dy + \frac{1}{2} \rho_1 g B' (h_1'^2 - h_1''^2) \end{aligned}$$

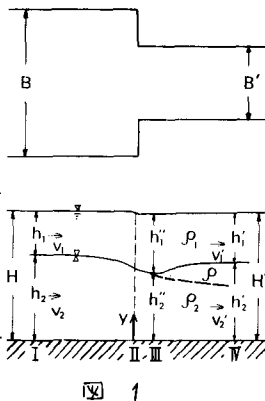
$$\text{ただし } \eta_1 = \frac{1}{(h_2' - y)} \int_0^{\eta_2'} y / \rho_2 dy, \quad \beta_2' = \frac{1}{h_2'} \int_0^{\eta_2'} \rho_2 u_2'^2 / \rho_2 v_2'^2 dy$$

とかける。IV断面でのフルード数 $Fr'' = (Q + \phi) / (B' h_2'' / (\varepsilon g h_2''^3))$ および水深比 $\eta_2 = h_2' / h_2$ を用いると、上式よりI~IV断面間の運動量方程式は

$$\beta_2' \eta_2^2 Fr'^2 - \gamma Fr'^2 - (1 - \varepsilon) \varepsilon^2 \eta_2 (q_2 - \frac{1}{2}) Fr'^2 = \frac{1}{2} (1 - q_2^2) + \frac{1}{\varepsilon} \int_0^{\eta_2} (q_2 - \gamma) [1 - \eta_1(x, h_2 \gamma)] d\gamma \quad (4)$$

一方、上層流体の巻き込みが起こらないとき、III~IV断面間の摩擦損失が無視できるとすると、エネルギー保存式より、

$$\begin{aligned} & \frac{\gamma (\gamma - \frac{1}{2} C_c)}{C_c \eta_2} \cdot Fr'^2 - \frac{1}{2} C_c \beta_2' \eta_2^2 Fr'^2 + \frac{1}{2} (\beta_2' q_2^2 Fr'^2 \{ 1 - \varepsilon \cdot \frac{\frac{\varepsilon}{C_c} (\frac{q_2}{\eta_2} - 1)}{1 + \frac{\varepsilon}{C_c} (\frac{q_2}{\eta_2} - 1)} \} \\ &= \frac{1}{2\varepsilon} (\eta_2^2 - q_2^2) + \frac{1}{2} (1 - q_2^2) \end{aligned} \quad (5)$$



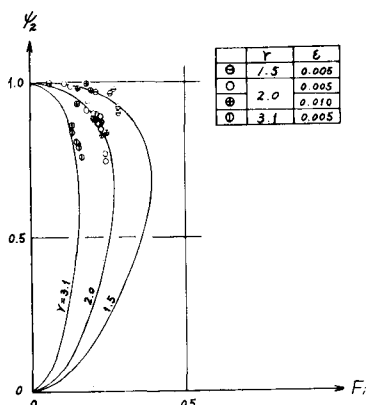


図 2

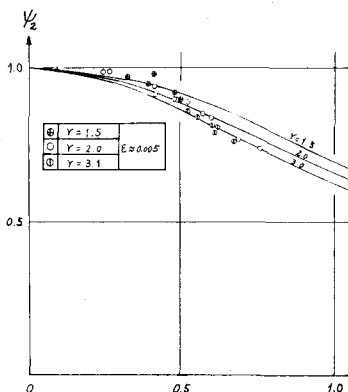


図 3

なる式が求まる。I, II, IV断面におけるフルード数の間には、連続式(1)(3)より

$$F_i^2 = \frac{y^2}{C_c^2 y_z^3} F_c^2, \quad F_c^2 = \frac{y^2}{y_z^3} \left\{ 1 + \frac{\epsilon}{C_c} \frac{(y_z - y_z)}{y_z} \right\} F_i^2 \quad (6)$$

の関係があるから、上流の水理条件が与えられると、(2)(4)(5)式を用いて下流の状態を知ることができる。

3. 実験的考察

実験は、上流側に高さ40cm、幅30cm、長さ3m鋼鉄製水路を使い、これに高さ40cm、幅25cm、長さ4mの塩化ビニール製水路を接続させ、下流側の水路幅をきまり(塩化ビニール板)で調節した。上層流および下層流体にはそれぞれ真水、塩水を使い、両流体の識別は上層流体を過マンガン酸カリで着色して行なった。水路幅縮小比 γ を1.5, 2.0, 3.1ととり、内部境界面を目視判定したときの実験結果を y_z と F_c および y_z と F_i との関係でまとめたのが図2, 3である。図中の実線は、

(2)式および(6)式で $\lambda=1, C_c=1$ としたものである。図から明らかなように、この関係と実験結果の一致が良好なことを考えると、III断面で下層流はほとんど縮流していないものと思われる。一方、IV断面での状態を調べるにあたって内部境界面を目視で求めることは、色素の拡散が大きくなり困難である。そこで水路の中のプロローブを直接入れ、流れの抵抗変化を記録させ、これより濃度分布形を求め、その変曲点を内部境界面の位置と定めた。この方法で行なった実験データを y_z と F_c との関係でまとめると図4のようになる。図中の実線は、内部境界面で混合がないときの y_z - F_c の関係式で、内部フルード数を通常のものに変えると単層流での関係式と同じになる。図4より、フルード数が大きくなると両者の違いが顕著になることがわかる。III~IV断面間での混合量を評価するため、各断面での濃度分布形および水素負泡流速計を用いて求めた流速分布形は図5および図6のようであるが、これについては講演時に述べる予定である。

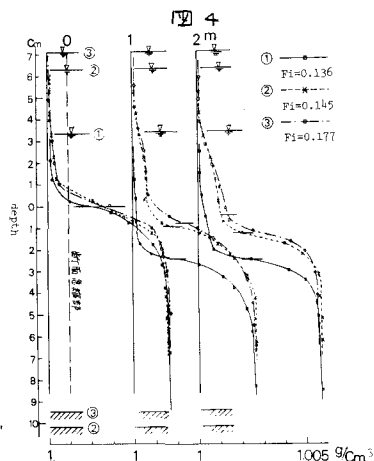


図 4

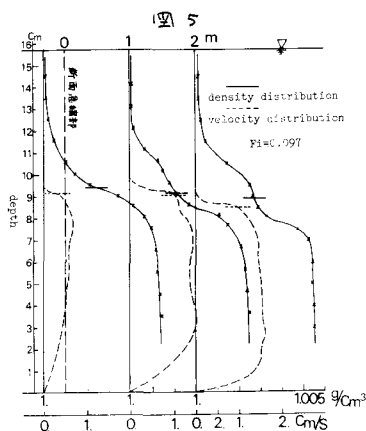


図 5

図6のようであるが、これについては講演時に述べる予定である。

参考文献 1) 岩佐、野口、早野、断面急縮部に於ける二成層流について、昭五十四年度関西支部年次学術講演会要録