

電源開発株式会社 正会員 齊藤 稔  
 早稲田大学 理工学部 吉川 秀夫  
 東洋大学 工学部 福井 吉孝

1. はじめに

一般の河川は水路幅の変化、蛇行、弯曲部、河床の凹凸、砂州などの特有な河道特性を有し、そこで渦、二次流、跳水現象などのいろいろな混合の原因が考えられる。そこで本研究では、水路内に設置された狭窄部が境界面変動および塩濃混合に及ぼす影響を狭窄のない様水路とのそれと比較することを目的とした。

2. 実験装置と実験方法

本実験では幅15cm、高さ40cm、長さ300cmの亚克力樹脂製開水路を用いてポンプにより下層を動かして、下層流を作り、流れを可視化するために下層塩水をフルオロセナトリウムによって着色した。狭窄部は本製で幅5cm、長さ20cmのものを水路の中央に設置し、密度分布は電気伝導度計を用いて、流速分布は水素臭気発生装置を用いて測定した。なお、水路は水平に設置し、下層塩水は常に補給し、上層については上流側で新たに淡水を補給しつつ下流側で少しずつ塩水と混合した淡水を抜き取り条件を一定に保つようにした。

3. 実験結果と考察

境界面形状を決定するために、図1の断面1, 2間について運動量方程式を立てる。なお、厳密な取り扱いをするためには、中間層内での流速分布および密度分布を考慮して境界面形状を決定せねばならないが、ここでの取り扱いでは塩濃混合がないとし静水圧分布が成り立つとし、上層停止、全水深を一定として計算を行った。

図10を参考にし、

$$P_2 - P_1 - F = S_2 Q (u_1 - u_2) \text{ ----- ①}$$

$$\frac{\rho^3}{\epsilon b g h_{12}} h_{22}^2 - \left[ \frac{\rho b l g^2}{\epsilon b g h_{12}^2} (b + h_{12}) + h_{12}^2 + \frac{2g^2}{h_{12} \epsilon g} \right] h_{22} + \frac{2g^2}{\epsilon g} = 0 \text{ ----- ②}$$

上式②で  $h_{12}$ ,  $l$ ,  $g$ ,  $\epsilon$ ,  $b$ , を与えて  $\rho$  を変化させ  $h_{22}$  を計算し境界面形状を繰返し計算により求めた。狭窄部が存在する場合には、狭窄部付近で急縮部、急拡部での運動量変化を密度差を考慮して境界面形状を決定した。

次に中間層厚について考察する。定常、鉛直二次元流れを仮定し、鉛直流速成分が流下方向流速成分に比して無視され、流下方向濃度勾配が鉛直方向濃度勾配に比して無視されるとすると、拡散方程式の解は次のようになる。

$$C = \frac{-2C_0}{\sqrt{\pi}} \int_0^\theta e^{-\theta^2} d\theta, \theta = \frac{x \sqrt{Um/2}}{\sqrt{4D(x-z_0)}} \text{ ----- ③}$$

ただし、 $Um$  は主流の平均流速、 $D$  は拡散係数、 $z_0$  は混合が

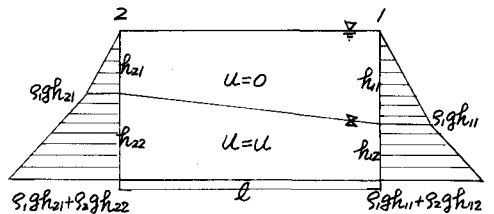


図10 計算断面図

- $S_1$ : 上層淡水密度
- $S_2$ : 下層塩水密度
- $h_{1i}$ : i断面における上層水深
- $h_{12}$ : i断面における下層水深
- $l$ : 断面間距離
- $H$ : 全水深 ( $h_{1i} + h_{12}$ )
- $g$ : 単位幅当りの流量
- $Q$ : 全流量 ( $b \cdot g$ )
- $b$ : 水路幅
- $f_b$ : 摩擦係数
- $P_i$ : i断面に働く全圧力
- $F$ : 全摩擦力
- $\epsilon = (S_2 - S_1) / S_2$

始まる仮想原点である。図③を参考にして、中間層厚を $2\delta$ とすると  
 $x = \delta$ の時に $C = C_0$ であるから $\theta_0 = \frac{\delta \sqrt{U_{max}}}{\sqrt{4D(x-x_0)}}$ と書く。③  
 式は $C = C_0$ に対して $\omega \rightarrow \omega$ を与える。よって $C = -0.99 C_0$ の位置を中間  
 層厚の限界と考えると③式より中間層厚 $2\delta$ は次のようになる。

$$2\delta = 103 \sqrt{\frac{D(x-x_0)}{U_{max}}} \quad \text{--- --- --- ④}$$

狭窄のない様水路では④式により中間層厚を求めたが、狭窄部が存在する所では急激な水理量の変化があり、上述の仮定が成り立たなくなる。そこで狭窄部付近での中間層厚変化とエネルギー損失との関係が、関数関係を有することに着目して狭窄部での中間層厚の算定にエネルギー損失の考えを用いて決定した。

前述の境界面形状の計算と中間層厚の計算より、狭窄部の存在がどのように境界面形状と中間層厚に影響しているかを示した一例が図③である。狭窄部での急激な中間層厚増加の原因としては、狭窄部背後で急流による死水域での渦のエネルギー損失が関係していると推定される。実際、狭窄部付近で内部波のスケールよりも大きな巻き波が観察され、その渦の回巻現象によって上層淡水が下層に、下層虚水が上層に巻き上げられ混合拡散が促進され、急激な中間層発達の原因となっていると考えられる。

次に中間層付近での速度分布を考えると図④のようになった。ここで $2\delta'$ は最大流速が生ずる位置から中間層上端までの距離である。また中間層内での密度分布を考えると図⑤のようになり、実線は②式の誤差関数である。これらにより、運動量方程式を立て境界面形状を計算する場合に、中間層内での流速分布、密度分布を考慮すればより厳密な形状が得られる。

#### 4. おわりに

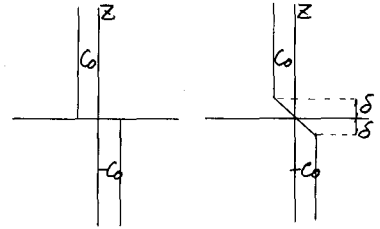
狭窄が存在することによって狭窄背後に渦が生じ、それによって混合拡散が促進されることがわかったがこれをエネルギー損失との関係から解明すること、また図④、図⑤の速度分布、密度分布を密度差を変化させて検証していくつもりである。

(参考文献)

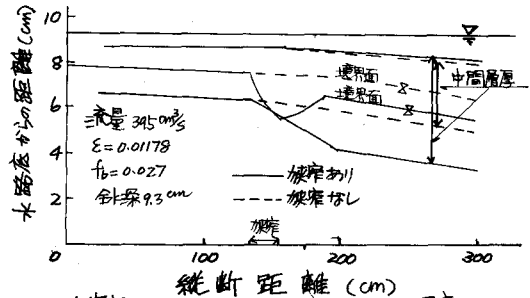
(1)水理委員会密度流研究小委員会：成層密度流の界面現象

(2)Ippen: Estuary and Coastline Hydrodynamics

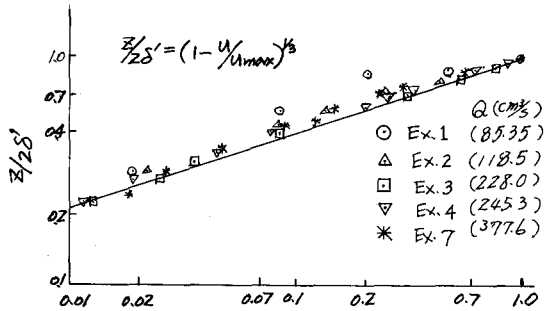
(本研究では、鯉川教授に多大の助言、示唆を戴きました。)



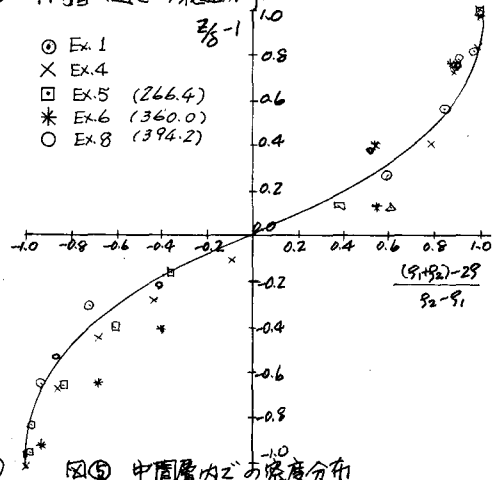
図② 中間層モデル



図③ 狭窄部の存在による境界面と中間層厚変化



図④ 中間層付近での流速分布



図⑤ 中間層内での密度分布