

複断面水路密度流における塩水の拡散係数について

八戸高専 学生員○佐藤 真哉
八戸高専 正会員 藤原 広和
八戸高専 学生員 大下内 希

1. はじめに

密度流においてシミュレーションに用いる混合係数を把握しておくことは重要である。本研究は混合係数を見積もることを目的とし、実験結果より単断面水路と複断面水路の係数を逆算し、水路断面形によって混合係数がどのように変化するかを考察した。

2. 実験概要

図-1は実験水路の概略図である。塩水と淡水の相対密度差は0.002に調節して実験を行った。塩淡水境界のゲートの開放により塩水が侵入する。ゲートから流下方向に $x=141\text{cm}$ （上流）および $x=365\text{cm}$ （下流）の2断面において Cl^- 濃度と表面流速を測定した。横断方向の Cl^- 濃度の測定位置は、複断面で図-1(c)、単断面で図-1(d)である。流速はこれらの表面流速を測定した。実験条件を表-1に示す。図-2はCASE1の測定結果であり、上流の表面流速、 Cl^- 濃度比（塩水槽の Cl^- 濃度との比）および下流の Cl^- 濃度比である。

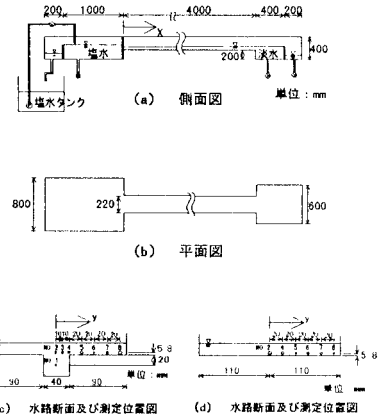


図-1 実験水路の概略図

表-1 実験条件

CASE	水位		水位差 Δh (cm)	相対密度差 $\Delta \rho / \rho_2$	ゲート操作時間 ΔT (sec)	水路断面形状
	塩水槽 h_1	淡水槽 h_2				
CASE1	4.88	5.15	0.27	0.002	167	複断面
CASE2	4.80	5.26	0.46	0.002	216	複断面
CASE3	1.61	1.88	0.27	0.002	167	単断面
CASE4	1.53	1.99	0.46	0.002	216	単断面

CASE2~CASE4の結果は省略する¹⁾。

3. 断面平均流速および断面平均 Cl^- 濃度比

(1) 断面平均流速

断面平均流速は表面流速のデータから

$$u_m = C_1 \cdot \Sigma(v_i \cdot A_i) / \Sigma A_i \text{ より求める。ここ}$$

に、 u_m ：断面平均流速、 v_i ：実験時の各断面の表面流速、 A_i ：各断面積、 ΣA_i ：全断面積、 C_1 ：定常状態での実験時に測定した断面平均流速と $\Sigma A_i \cdot v_i / \Sigma A_i$ との比である。図-3（上）はCASE1、CASE3の上流の断面平均流速である。

(2) 断面平均 Cl^- 濃度比

断面平均 Cl^- 濃度比は実験値より

$$C_m = \Sigma(C_i \cdot A_i) / \Sigma A_i \text{ より求める。ここに、} C_m \text{：断面}$$

平均 Cl^- 濃度比、 C_i ：実験時の各断面の Cl^- 濃度比である。図-3（中央）はCASE1、CASE3の上流、図-3（下）はCASE1、CASE3の下流の断面平均 Cl^- 濃度比である。

4. 混合係数の算出

図-3の様に断面平均流速と断面平均 Cl^- 濃度比の時系列を求めたので、拡散係数を仮定し、上流側の断面平均流速と断面平均 Cl^- 濃度比を用いて下流側の Cl^- 濃度比を求める。

この計算値と図-3の下流側の断面平均 Cl^- 濃度比との相関

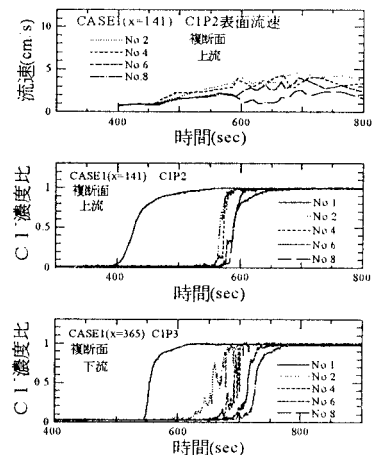


図-2 流速および Cl^- 濃度比（CASE1）

係数を計算する。さらに拡散係数 D を変化させ、同様に下流の Cl^- 濃度比、相関係数を計算し、相関係数が最大になるとき、そのケースでの拡散係数とする。 Cl^- 濃度比の計算は次式の 1 次元拡散方程式を差分化し、陰解法で求めた。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - u(t) \frac{\partial C}{\partial x}$$

上式において、 C : Cl^- 濃度比、 t : 時間、 $u(t)$: 流速、 D : 拡散係数とする。計算格子は $\Delta x = 8 \text{ cm}$ 、 $\Delta t = 2 \text{ sec}$ であり、拡散係数の刻み幅 $\Delta D = 0.1 \text{ cm}^2/\text{s}$ である。

(1) 計算結果

図-4 は CASE 1 (複断面) と CASE 3 (単断面) の計算結果である。CASE 1 では $D = 40.8 \text{ cm}^2/\text{s}$ 、CASE 3 では $D = 2.5 \text{ cm}^2/\text{s}$ が求められた。また、CASE 2 (複断面) では $D = 3.5 \text{ cm}^2/\text{s}$ 、CASE 4 (単断面) では $D = 0.0 \text{ cm}^2/\text{s}$ が求められた。これらの結果より、単断面よりも複断面水路では拡散係数が大きくなる傾向があるといえる。また、図-4 より CASE 3 は計算値と実験値の時系列の形状から一致しているといえ、単断面は移流による支配が大きい。CASE 1 をみると、実験値の時系列と計算値は一致しているといえない。これは断面形状を考慮していないからである。

(2) 複断面に関する検討

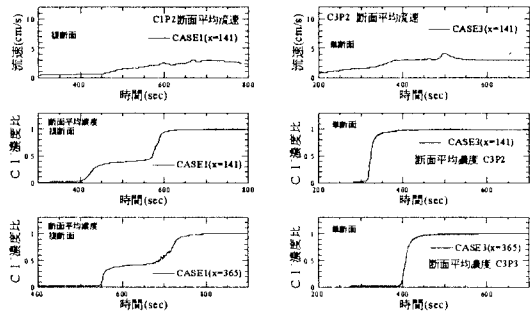
上記の結果より、複断面では低水路部の流速と高水数部の流速が異なることから、図-5 のように上層と下層に分けて計算してみた。 Cl^- 濃度比は上流側で低水路が塩水で満たされる (図-3 (中央) で Cl^- 濃度比が横ばいになるとき) までは高水数に塩水は侵入していないと考えられるので、その時間までは上流の上層における Cl^- 濃度比は 0 として計算する。下層での計算値と上層での計算値を合算し、平均断面 Cl^- 濃度比とする。このとき下層では単断面の拡散係数の平均値 $D_1 = 1.25 \text{ cm}^2/\text{s}$ を使い、上層の拡散係数を ΔD 刻みで変化させ、相関係数が最大になるときを上層の拡散係数 D_2 とした。複断面水路について計算した結果を図-6 に示す。これより、計算値と実験値は概ね一致した。CASE 1 では $D_2 = 12.6 \text{ cm}^2/\text{s}$ 、CASE 2 では $D_2 = 14.7 \text{ cm}^2/\text{s}$ であった。

5. おわりに

単断面および複断面水路において拡散係数を見積もった。単断面水路は移流による支配が大きく、複断面水路では上層と下層に分けて計算するとよく再現できる。

(参考文献)

- 1) 藤原、沢本、田中：複断面及び単断面水路における密度流の混合特性の相違について、水工学論文集第 41 巻 (1997)



CASE 1 (複断面)

CASE 3 (単断面)

図-3 平均断面流速および平均断面 Cl^- 濃度比

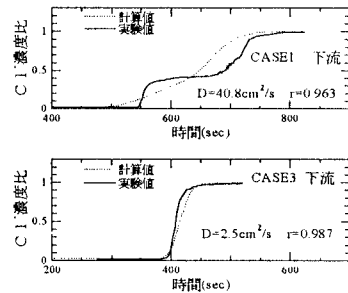


図-4 計算結果

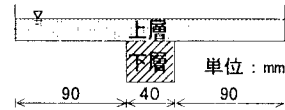


図-5 複断面の計算モデル

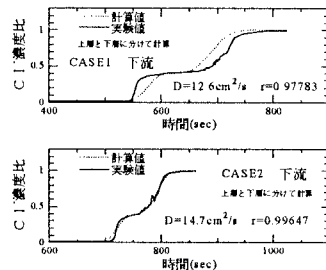


図-6 複断面モデルの計算結果