

京都大学防災研究所 正員 〇村本嘉雄
 “ “ “ 道上正規
 三井建設(株) ・ 伊丹正紀

南水路流れの縦分散については、従来より数多くの研究が行われ、一様水路の等流状態における分散係数の推定式は抵抗係数のそれと同様のレベルに近づいている。しかし、河川における分散係数に関しては変化範囲が大きく、流下方向に一定と仮定する場合も多くあって Fick 則 が成立する分散域が存在しないという疑問も提起されている。こうした問題に関連して、本報告では、河道条件の流下方向変化の影響に注目して、一様水路の堰上げ背水状態および河川横断水路において塩水分散の実験を行い、主に縦分散係数について検討した結果を述べる。

1 堰上げ背水流れにおける縦分散

1.1 実験の概要：幅 60 cm、長さ 150 m、こう配 $1/500$ の長方形断面水路を用い、上流端に 100 m の断面に高さ 11 cm の堰を設置している。流量は $Q=8, 13, 18$ l/s の三段階であり、水深 h の流下方向変化と図-1 に示す。上流端に 10 m の断面 ($x=0$) に塩水を瞬間面源として投入し、下流 $x=20 \sim 80$ m、4 断面の水深 $1/2$ 点、横方向 2 点で濃度の時間的变化を測定した。

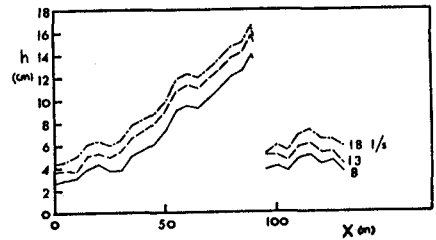


図-1 水深の流下方向変化

1.2 実験結果の検討：規格化した断面平均濃度 $f(t)$ の分散 σ_t^2 と f の重心へ到達時間 $\bar{t}$ との関係および f の skewness Se と Flatness F_4 の流下方向変化を図-2~4 に示す。 $\sigma_t^2 \sim \bar{t}$ の関係は $x=20$ m の測定値を除けばほぼ直線の変化を示しており、分散域の長さ l_d と Lagrange time scale T_L との比 $l_d/T_L = 2 \sim 4$ であり、等流状態のそれと同じ範囲である。一方、 Se と F_4 の値は図に線と示した等流状態のそれらに比べていずれも小さく、堰上げ状態では Gauss 分布への漸近が早い。

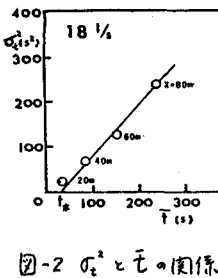
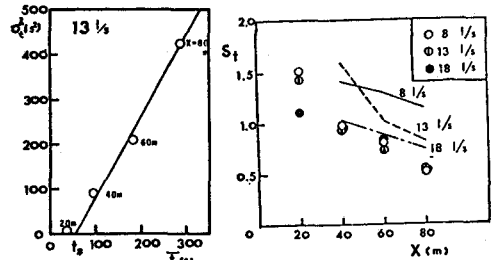


図-3 $Se \sim x$

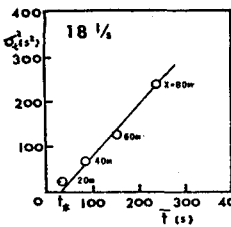


図-4 $F_4 \sim x$

つまり、routing 法によつて分散係数 D を推定した結果一例を図-5 に示す。移流速度は $\bar{t} \sim x$ の関係から求め、各断面毎に変化させている。 D の推定値は $200 \sim 300$ cm²/sec² ($D/h\bar{u} = 11 \sim 15$) であり、通常の一様水路で得られる値に近い。また、 $\sigma_t^2 \sim \bar{t}$ より求めた D の値は $255 \sim 397$ cm²/sec² であり、routing 法による D より若干大きい値を示す。以上のように本実験程度の不平等では、分散係数を一定として移流速度の変化を考慮すれば濃度分布の変化を推定できる。

2 河川横断水路における縦分散

2.1 実験の概要：図-6 に示す大戸川(濃望)の $1/100$ 模型を用いた。水路はこう配 $1/300$ の台形断面(法こう配 $1/1.8$)であり、水路床全面に粗度(直径 5 mm、高さ 3 mm)をつけてあり、以前の実験²⁾に比して流れの乱雑と跳水が緩和されている。流量

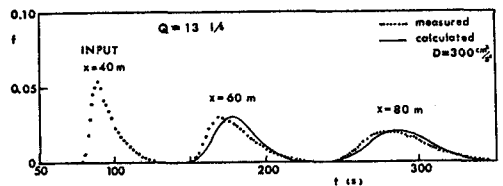


図-5 routing 法による計算値と実験値との比較

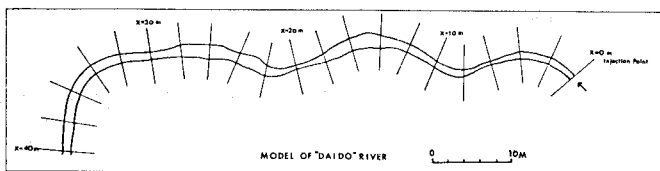


図-6 河川模型水路

$Q = 3, 5, 8 \text{ l/s}$ の三段階について、塩水を上流端に投入し、 $x = 10 \sim 38 \text{ m}$, 15断面の水深 $1/2$ 臭、横方向3臭が濃度測定を行った。

2.2 実験結果の検討：断面平均濃度の $\bar{C}$, σ_c^2 , F_c , S_c の流下方向変化の一例を示すと図-7~10 のようである。 $\bar{C} \sim x$ 以外は局所的な急激な変化のみならず、 σ_c^2 , S_c , F_c はほぼ対応した増減とほぼ Gauss 分布に漸近している。つまり、 $\sigma_c^2(x)$ と流速分布から求めた平均流速 U を用いて局所的な分散係数 $D(x)$ を計算した結果が図-11 に示されている。流量の D の値は $\pm 3 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{sec}$ の範囲で変動した周期的な変化のみみられる。こうした D の流下方向変化は水路の平面形状(図-6)に於いた横方向の移流速度が乱れ速度より卓越することによって生じていると考えられる。すなわち、濃度 C の横方向の flux VC を鉛直平均について慣用変換を用い、

$$-\overline{VC} = \overline{E_y \frac{\partial C}{\partial y}} - \overline{VC} = \overline{E_y \frac{\partial \bar{C}}{\partial y}}$$

と表わすと、見掛けの横分散係数 E_y が乱れ係数 E_y より $\overline{VC}$, $\bar{C}$ に支配されることとなる。単純に $v \sim U \frac{dB}{dx}$, $E_y \sim \hat{E}_y = -B U \frac{dB}{dx}$ (B : 水路幅) と仮定して $\hat{E}_y(x)$ と計算した結果が図-11 に示されている。分散域に相当する $x > 20 \text{ m}$ では D と $\hat{E}_y$ の符号変化に対応しており、本実験の場合では彎曲より水路幅の変化率の影響が顕著に現れる。しかし、 $D = -\hat{U}^2 B / (U \frac{dB}{dx})$ と実験の D とは一定比率にならず、水路幅の変化に伴う D の推定には E_y , v 分布の検討が必要である。一方、塩水内の平均的な分散係数を推定するために $x = 28 \sim 38 \text{ m}$ の範囲に routing 法を適用した結果が図-12 に示されている。また、 D の推算値として σ_c^2 から求めた値は $420 \text{ cm}^2/\text{sec}$, Fisher の方法による値は $598 \text{ cm}^2/\text{sec}$, 乱れ域モデル³⁾による値は $13400 \text{ cm}^2/\text{sec}$, $f_{\max}$ と t_p の関係(図-13)から求めた値は $150 \text{ cm}^2/\text{sec}$ である。つまり、 $f_{\max}$ からの推算値が routing 法の適合値($D = 200 \text{ cm}^2/\text{sec}$)に近い。

1) 村本・道上・伊丹：昭和51年度関西支部年報, 2) 村本・伊丹：昭和50年度関西支部年報, 3) 村本・道上・中川：第20回水理講演会論文集

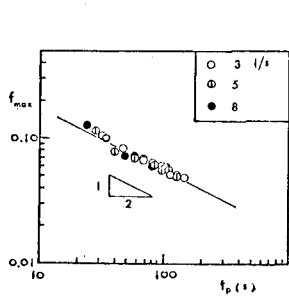


図-13 $f_{\max} \sim t_p$

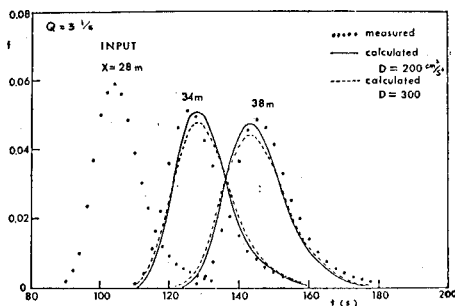


図-12 計算値と実験値との比較

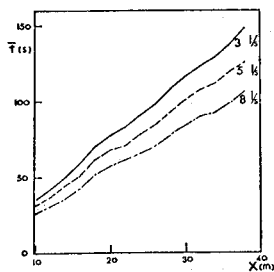


図-7 $\bar{C} \sim x$

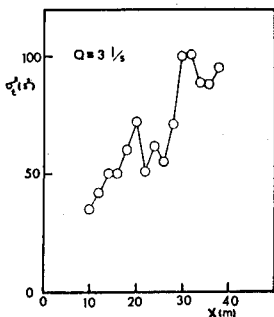


図-8 $\sigma_c^2 \sim x$

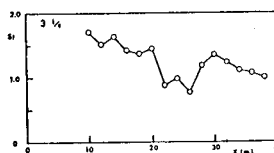


図-9 $S_c \sim x$

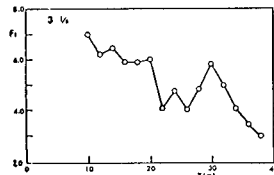


図-10 $F_c \sim x$

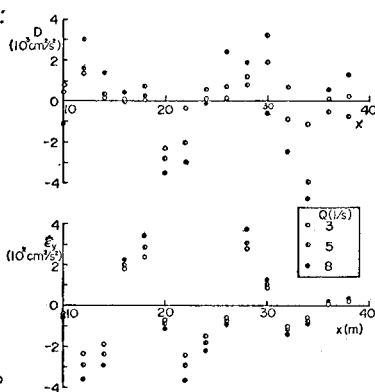


図-11 $D, \hat{E}_y \sim x$