

京都大学大学院 学生員 細田 尚
 京都大学工学部 正員 岩佐 義朗
 京都大学大学院 学生員 野口 好夫

1. はじめに; 本研究は、開水路流れにおける濃度分布の伝播特性を、分散実験の結果と、乱流拡散方程式に $\int_{-\infty}^{\infty} c^p dt (p=1, 2, \dots)$ の積分を行なった、 τ 軸に関するモーメント方程式の数値解とを比較することにより検討し、さらに、ピーク濃度の伝播・減衰について考察した。

2. 実験の概要; 分散実験は、全長10m、幅10cm、こう配1/500の水路で行なった。トレーサーとして、メチルアルコールに比重1.0に調整した食塩水を用い、水路上流端より2.0mの地点で瞬間面源として投入した。濃度の測定は、導電率計を用い、水深の1/2の点で、水路幅方向に同時多点測定され、解析は、同一測点で数回行なわれたものより、2~3回平均したものをを用いた。表-1に水理諸量を、図-1に水路の座標系を示した。

3. 解析結果とその考察; τ 軸に関するモーメント方程式⁽¹⁾、乱流拡散方程式に $\int_{-\infty}^{\infty} c^p dt (p=1, 2, \dots)$ の積分を行ない、次式となる。

Depth	h(cm)	2.05
Mean Velocity	\bar{u} (cm/s)	27.44
Shear Velocity	u_* (cm/s)	1.69
Aspect Ratio	B/h	4.88
Fr. No.		0.61
Re. No.		4700

表-1 水理諸量

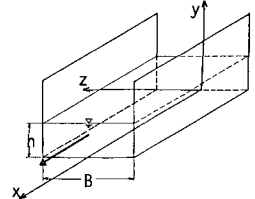


図-1 水路の座標系

$$\frac{\bar{u}B}{\bar{\epsilon}_z} \chi \frac{\partial C_p}{\partial \xi} = \frac{\bar{\epsilon}_y}{\bar{\epsilon}_z} \left(\frac{B}{h} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\nu \frac{\partial C_p}{\partial \eta} \right) + \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\nu \frac{\partial C_p}{\partial \zeta} \right) + P C_{\tau(p-1)} \quad (1)$$

$$C_{\tau p} \equiv \int_{-\infty}^{\infty} c \tau^p dt \quad (p=1, 2, \dots) \quad (1')$$

ここに、 $\tau = t \bar{\epsilon}_x / B^2$, $\xi = x/B$, $\eta = y/h$, $\zeta = z/B$, $\chi = u/\bar{u}$, u ; 局所流速, \bar{u} ; 断面平均流速, $\epsilon_y = \bar{\epsilon}_y \psi(\eta, \zeta)$; y 方向の乱流拡散係数, $\epsilon_z = \bar{\epsilon}_z \varphi(\eta, \zeta)$; z 方向の乱流拡散係数。

いま、 \bar{t}_m , \bar{t} , $\sigma_{\bar{t}_m}^2$, $\sigma_{\bar{t}}^2$ を次のように定義する。

$$\bar{t}_m \equiv \int_{-\infty}^{\infty} \bar{c} t dt / \int_{-\infty}^{\infty} \bar{c} dt, \quad \sigma_{\bar{t}_m}^2 \equiv \int_{-\infty}^{\infty} \bar{c} (t - \bar{t}_m)^2 dt / \int_{-\infty}^{\infty} \bar{c} dt \quad (2-a)$$

$$\bar{t} \equiv \int_{-\infty}^{\infty} c t dt / \int_{-\infty}^{\infty} c dt, \quad \sigma_{\bar{t}}^2 \equiv \int_{-\infty}^{\infty} c (t - \bar{t})^2 dt / \int_{-\infty}^{\infty} c dt \quad (2-b)$$

ここに、 \bar{c} ; 断面平均濃度。

(1)式で、流速分布として実験値を与え、 ϵ_y を、Reynolds Analogyを仮定した放物線分布とし、 $\bar{\epsilon}_z$ をパラメータとして、瞬間面源下で数値解析し、その結果を断面積分して求めた \bar{t}_m , $\sigma_{\bar{t}_m}^2$ を、実験値とともに示したのが、図2, 3である。

図-2より、 \bar{t}_m の計算値は、瞬間面源の場合、 $\bar{\epsilon}_z$ とともにほとんど変化せず、実験値と計算値はよく一致している。

また、図-3より、 $\sigma_{\bar{t}_m}^2$ の計算値は、 $\bar{\epsilon}_z$ とともにかなり変化し、 $\bar{\epsilon}_z = 0.2 h u_*$ のとき、実験値とよく一致

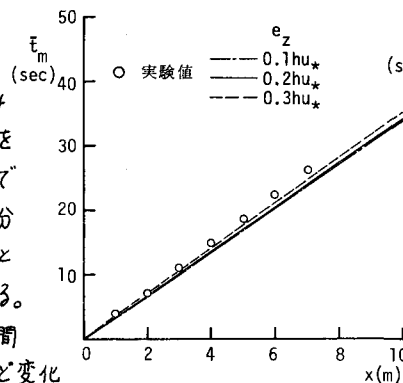


図-2 \bar{t}_m と x の関係

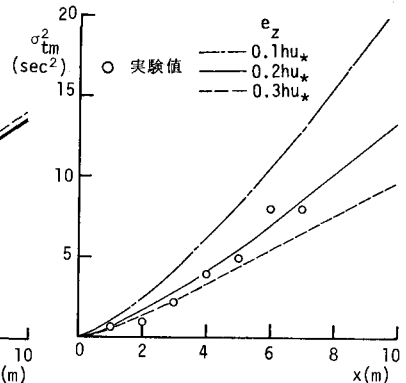


図-3 $\sigma_{\bar{t}_m}^2$ と x の関係

している。このとき、 $D = \frac{\bar{u}^3}{2} \frac{d\sigma_{tm}}{dx}$ で定義される移流分散係数は、 $D = 172.9 \text{ cm}^2/\text{sec}$ となる。

移流分散方程式の瞬間面源下の解の σ_{tm}^2 は、

$$\sigma_{tm}^2 = \frac{2D}{\bar{u}^3} x + \frac{8D^2}{\bar{u}^4} \quad (3)$$

となり、 σ_{tm}^2 の実験値、計算値、(3)式をともに示したのが図-4である。そのとき、 σ_{tm}^2 は無次元化して $\bar{u}^4 \sigma_{tm}^2 / D^2$ とし、無次元化距離 $\bar{u}x/D$ に対して示してある。分散係数は、さきに求めた $172.9 \text{ cm}^2/\text{sec}$ を用いている。これを見ると、実験値、計算値は、 $\bar{u}x/D$ の増加とともに(3)式に漸近することがわかる。

次に、(2-b)式で定義される $\bar{\sigma}$ 、 σ_{tm}^2 の $x=5.0 \text{ m}$ のところで、計算値の等 $\bar{\sigma}$ 線図、等 σ_{tm}^2 線図を示したのが図5、6である。これを見ると、 $\bar{\sigma}$ 、 σ_{tm}^2 ともに、水深方向にほとんど変化せず、水路幅方向にのみ変化している。このことより、

本実験の形状比の場合、濃度分布も水路幅方向の変化に比べて、水深方向の変化は小さいと考えられる。

以上、濃度分布のモーメント特性について考察してきたが、次に濃度分布のピークの伝播特性を調べる。比較のため、移流分散方程式の瞬間面源での解も示す。それは規格化して近似的に次式となる。

$$\bar{F}_p \approx \frac{\bar{u}}{2\sqrt{\pi D t_p}} \quad (4)$$

ここに、 \bar{F}_p ：規格化濃度のピーク値、 t_p ：ピーク濃度の生起時刻。

\bar{F}_p を無次元化した $D\bar{F}_p/\bar{u}^2$ を、無次元化時間 $\bar{u}^2 t_p/D$ に対して示したのが、図-7である。(4)式も示してあるが、実験値は投入点近くでは、(4)式と大きく相違するが、時間の増加とともに(4)式との差は減少していく。

t_p 、 \bar{t}_m 、 x/\bar{u} を無次元化して、 $\bar{u}x/D$ に対して示したのが図-8である。これを見ると、重心 \bar{t}_m よりも、ピークの生起時刻 t_p の方がわずかに小さな値をとるが、両者とも、 x/\bar{u} で伝播すると考えられる。

以上、開水路流れにおける濃度分布の伝播特性について考察を進めてきたが、その結果をまとめると次のようになる。

- ① \bar{t}_m 、 σ_{tm}^2 は、(1)式を用いて推定できるが、そのとき、 ϵ_x の評価が重要となる。また、 σ_{tm}^2 は、トレーサの流下とともに、(3)式に漸近していく。
- ② $\bar{\sigma}$ 、 σ_{tm}^2 は、本実験の形状比では、水深方向にほとんど変化せず、このことより、濃度分布形も、水路幅方向の変化に比べて水深方向の変化は無視できると考えられる。
- ③ 規格化ピーク濃度 \bar{F}_p は、トレーサの流下とともに(4)式に漸近し、 t_p は、断面平均流速 \bar{u} で伝播すると考えられる。

4. おわりに； 今後、濃度分布形の予測について研究を進めて行きたい。

参考文献； (1) Y. H. Tsai, E. R. Holley, A. S. C. E. H. Y. 1978.

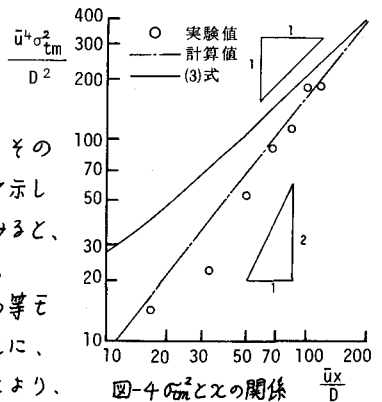


図-4 σ_{tm}^2 と x の関係

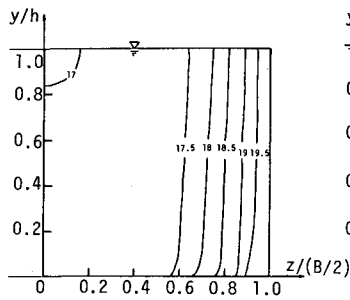


図-5 等 $\bar{\sigma}$ 線図($x=5\text{m}$)

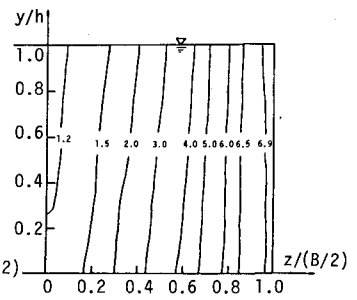


図-6 等 σ_{tm}^2 線図($x=5\text{m}$)

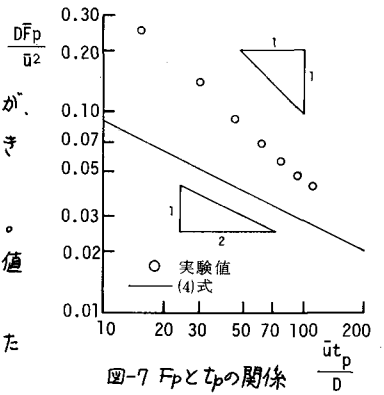


図-7 F_p と t_p の関係

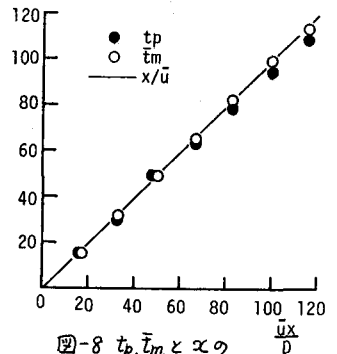


図-8 t_p 、 \bar{t}_m と x の関係