

開水路流れにおける輸送機構

京都大学工学部 正 員 岩佐 義朗
 京都大学大学院 学生員 ○細田 尚
 京都大学大学院 学生員 戸田 圭一

1. はじめに；河川の濃度予測には、従来より移流分散方程式の適用がなされているが、その適用可能な範囲は、濃度流入の初期・境界条件により異なると考えられる。本研究では、移流分散方程式の適用条件を、断面内濃度偏差との関連により検討した。

2. 実験の概要；実験は全長10 m、こう配1/500の水路で、幅を10 cm、25 cmにして行なった。トレーサーとしては、アルコールで比重1.0に調整した6%食塩水を用い、水路の上流端より2.0 mの地点で瞬間面源として投入した。濃度の測定は、直径4 mmの導電率計を用い、水深の1/2の点で、横断方向に2～6点の同時多点測定を行なった。

解析は、同一測点で数回行なわれたものより、2～3回の平均を用いた。さらに本実験より無次元時間の長いものとして、Fischer¹⁾の行なった実験よりSeries 3400も解析した。それらの水理量を表-1に示す。

3. 実験結果とその考察；乱流拡散方程式において

$\bar{v} = 0, \bar{w} = 0, \partial_x(\epsilon_x \partial C / \partial x) \ll \partial_x(wC) / \partial x$ として無次元化する。

$$\frac{\bar{\epsilon}_x}{(B/2)^2} \frac{\partial C}{\partial \tau} + \frac{U}{L} \frac{\partial C}{\partial \xi} = \frac{\bar{\epsilon}_y}{k^2} \frac{\partial}{\partial \eta} \left\{ \eta \frac{\partial C}{\partial \eta} \right\} + \frac{\bar{\epsilon}_x}{(B/2)^2} \frac{\partial}{\partial \xi} \left\{ \eta \frac{\partial C}{\partial \xi} \right\} \quad (1)$$

ここに、 $\xi = x/L$ ；流れ方向の距離、 $\eta = y/h$ ；

水深方向の距離、 $\zeta = z/(B/2)$ ；水路幅方向の距離であり、それぞれ水路床より上向きに、また水路中央より右岸方向にとる。また、 $\tau = t / \bar{\epsilon}_x / (B/2)^2$ ；時間である。(1)式右辺の $k^2 / \bar{\epsilon}_y = T_{E_y}$ 、 $(B/2)^2 / \bar{\epsilon}_x = T_{E_x}$ は、それぞれ、水深、水路幅方向の混合の時間スケールをあらわしているものと考えられ、Euler的時間スケールと呼ばれる。

水深方向の濃度偏差は、横方向の濃度偏差に比べて小さいと仮定し、無次元時間 $\tau = \bar{\tau} / T_{E_x}$ の範囲を表-2に示す。ここに、 $\bar{\tau}$ は分散雲の平均到達時間であり、 $\bar{\epsilon}_x = 0.2 h U_*$ 、 $\varphi(\xi) = 1$ として計算している。

分散域の定義には、二、三考えられているが¹⁾、ここでは、断面平均濃度-時間曲線の分散 $\overline{\sigma^2}$ が線形となる領域とすると、図-1よりDATA1は分散域以前、DATA2は投入より分散域初期、DATA3は分散域にあるものと考えられる。図-1には、分散の成長の横方向位置 z による相違も示したが、DATA1は z により成長率にかなりの差違がみられ、DATA2は、 $\overline{\sigma^2} - x$ が線形と考えられる領域においても若干の差違があるが、DATA3では、ほぼ同一の成長率を示している。また、どのDATAも、水路側壁へ近づくほど大きい分散値をとる傾向

	DATA1	DATA2	DATA3*
Discharge (cm ³ /s)	1531	562	
Width (cm)	25.0	10.0	19.1-23.3
Depth (cm)	2.00	2.05	2.10
Mean velocity (cm/s)	30.60	27.44	46.1
Shear velocity (cm)	1.84	1.69	3.88
Froude No.	0.691	0.613	1.017
Reynolds No.	5225	4703	7837

* DATA3 Fischer Series 3400

表-1 水理量

	t'
DATA1	0.017—0.112
DATA2	0.035—0.728
DATA3	0.695—1.392

表-2
無次元時間の範囲

にある。

Fischer は移流分散方程式が適合性をもつためには、 $\partial \bar{C}/\partial x \ll \partial \bar{C}/\partial t$ が必要としたが、 $\partial \bar{C}/\partial x$ を調べるのは困難なので、かわりに $\partial \bar{C}/\partial t$ を図-2 に示す。ここに $\bar{C}$: 断面平均濃度、 C' : 断面平均濃度よりの偏差である。図-2 より、分散域では、 $\partial \bar{C}/\partial t$ は $\partial C'/\partial t$ の数分の一になっているが、オーダーの違いまでは致らない。

さらに、Sayre²⁾ は適合条件を断面内混合の程度と結びつけ、分散域では $|C - \bar{C}|_{\max} / \bar{C} < 0.1$ としたが、ここでは断面内濃度偏差の代表量として、 C の最大値と最小値の差をとり、次式で定義される相対偏差をとった。

$$\alpha = \frac{C_{\max} - C_{\min}}{\bar{C}} \quad (2)$$

$\bar{C}$ のピーク濃度生起時刻における α 値を $\alpha' = (x/u) / T_{Ex}$ に対して示した (図-3)。これによると、 α 値は分散域以前に急激に減少し、分散域では 0.16 程度に落ちつく様子がうかがえる。さらに多くの DATA について検討が必要であるが、 α 値による移流分散方程式の適合性の判定が可能と思われる。

x 方向の輸送量と y 方向の輸送量の比に相当する無次元量として次式を考える。

$$\beta = \frac{(C_{\max} - C_{\min})_{\max} / (B/2)}{\frac{1}{u} |\partial \bar{C} / \partial t|_{\max}} \quad (3)$$

$(C_{\max} - C_{\min})$ 、 $\partial \bar{C} / \partial t$ とともに、 $\bar{C} - t$ 曲線の上昇部、下降部の二箇所でも最大値をとるため、 $(C_{\max} - C_{\min})_{\max}$ 、 $|\partial \bar{C} / \partial t|_{\max}$ として、

上昇部、下降部の二つを考え、それぞれの β 値を図-4 に示した。これによると DATA 2、3 の下降部の β 値は、 $(x/u) / T_{Ex}$ の増加とともに一定値に漸近し、この領域で Fischer の示した定常解が適合性をもつと考えられるが、上昇部については、より長い無次元時間で検討する必要があると思われる。

4. おわりに；移流分散方程式の適用条件について、断面内濃度偏差との関連により検討したが、今後より長い無次元時間について検討するとともに、様々の初期・境界条件についても考えていくつもりである。

1) Fischer, H.B. Longitudinal Dispersion in Laboratory and Natural Streams, Report No. KH-R-12 (1966)

2) Sayre, W.W. A Laboratory Investigation of Open Channel Dispersion Process for Dissolved, Suspended, and Floating Dispersant. U.S.G.S. 433-E (1968)

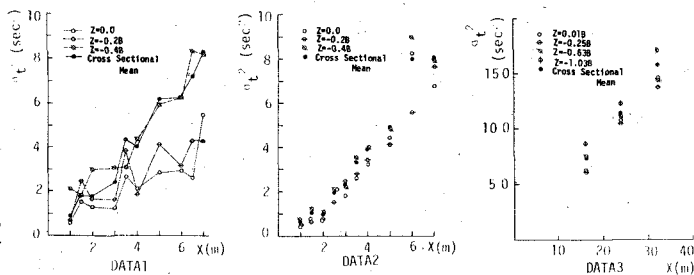


図-1 σ_c^2 と X の関係

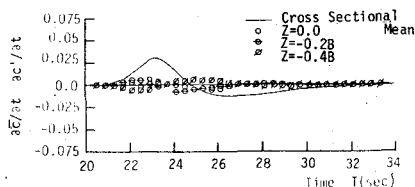


図-2 $\partial \bar{C} / \partial t$, $\partial C' / \partial t$ と X の関係

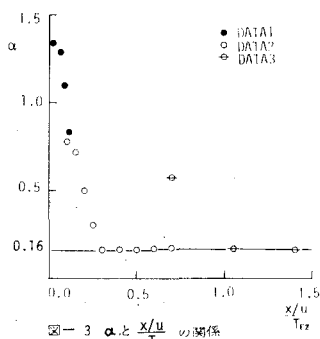


図-3 α と $X/u / T_{Ex}$ の関係

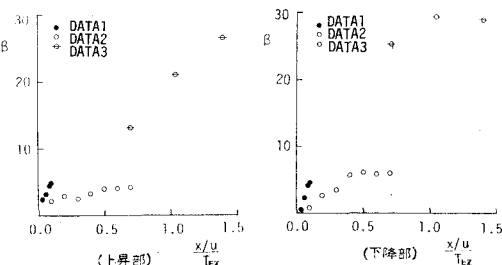


図-4 β と $X/u / T_{Ex}$ の関係