

開水路における縦分散機構について

京都大学 防災研究所 正員 村本 嘉雄  
 " " 正員 道上 正規  
 三井建設(株) 正員 O伊丹 正紀

1. まえがき

開水路における縦分散の実験は数多く行われているが、その多くは実験水路があまり長くなく、測定点も少ないので、物質分散過程について詳細な検討がなされていらない。また、河川の实测結果では、モーメント法で推定された分散係数が一定にならない場合が多く、Fick型の一次元分散方程式が成立しないのではないかという疑問が出されている。本研究では、一様幅の長水路を用いて塩水の分散実験を行い、とくに流下方向の各点における分散とピーク濃度の時間的変化を検討して、濃度分布形とピーク濃度の推定を試みる。さらに、これらの考察結果をもとにして自然河川の实测データについても若干の検討を加える。

2. 実験の概要

実験に用いた水路は、幅60cm、長さ150m、勾配1/500の長方形断面水路である。上流端より10mの地点(x=0)で塩水を瞬間面源として投入し、下流x=30mからx=130mまで10mおきに11断面の、水路中央、水深の1/2点で電導度計によって濃度を測定した。実験条件は表-1に示すとおりであり、各実験ケースで濃度測定を2~3回繰り返した。Exp Iについてはx=40, 80および120mの各断面で横断方向(x方向)に7点の濃度を測定した。

	Q (l/s)	U (cm/s)	h (cm)	u <sub>*</sub> (cm/s)	Y =B/h	φ =U/u <sub>*</sub>
Exp I	8	39.6	3.61	2.66	16.6	13.9
Exp II	13	45.4	4.77	3.06	12.6	14.8
Exp III	18	51.7	5.80	3.37	10.3	15.3
Exp IV	22	54.5	6.68	3.62	9.0	15.2

表-1 実験条件

3. 実験結果とその考察

1) 分散とピーク濃度の特性: Fick型の一次元分散方程式  $\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$  ... (1) に従うときには、濃度時間曲線の分散σおよびピーク濃度  $f_{max}$  (fは規格化した濃度) は、 $\sigma^2 \propto T$ ,  $f_{max} \propto t_p^{-0.5}$  となる。ここに、Tはクラウドの重心の平均到達時間、 $t_p$ はピーク濃度発生時間である。図-1および図-2に示すように各実験の場合には、 $\sigma^2 \propto T^{1.7}$ ,  $f_{max} \propto t_p^{-0.88}$  となっている。しかし、時間が大きくなれば、 $\sigma^2 \propto T$ ,  $f_{max} \propto t_p^{-0.5}$  に漸近していることがわかる。図-3は

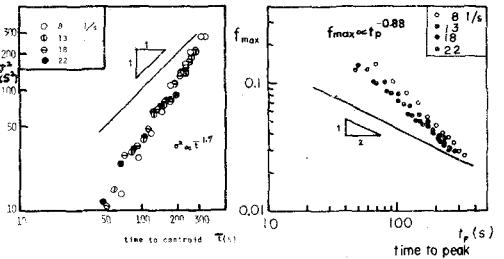


図-1  $\sigma^2$ とTの関係

図-2  $f_{max}$ と $t_p$ の関係

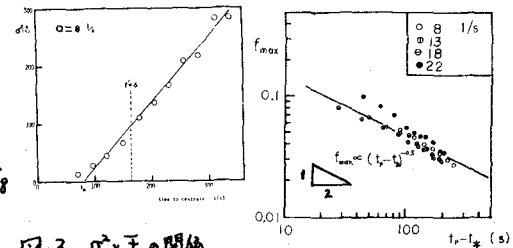


図-3  $\sigma^2$ とTの関係

図-4  $f_{max}$ と $(t_p - t_0)$ の関係

Q=8 l/s の場合の  $\sigma^2$  と T の関係を普通目盛りでプロットしたものであるが、これをみると T が 100 sec より大きくなると  $\sigma^2$  と T は線形関係にあることがわかる。Fischer<sup>(1)</sup> の導入した Lagrange の時間スケール  $T_L = Y^3 / 13.6 u_*^3$  (h: 水深,  $u_*$ : 摩擦速度, Y: 水路幅/水深)

および無次元時間  $\xi = t/T_L$  を用いると、図-3に示すように  $\xi > 3$  で線形関係が認められる。他のケースについても  $\xi > 6$  で  $\xi \propto T$  になっている。

2) 遅れ時間の導入：図-3の直線と横軸  $T$  との交点を  $t_x$  とし、 $t = t_x$  を原点として  $f_{max}$  の時間変化を検討すると図-4に示すように  $f_{max} \propto (t_p - t_x)^{-0.5}$  の関係がある。 $t_x$  は分散域の遅れ時間を表すもので表-2に示すとおり  $t_x$  の平均値は  $3.3 T_L$  である。また、表-2には図-3と同様の図から  $\xi > 6$  の領域でモーメント法を用いて求めた縦分散係数  $D$  が示されている。図-5は、 $Q = 8 \text{ m}^3/\text{s}$  のケースについて  $\xi > 3$  の領域で上流の濃度時間曲線から下流のそれをRouting法で推定したものであるが、上記の  $D$  を用いればよいことがわかった。

3) ピーク濃度の推定：Fick型の一次元分散方程式(1)を  $t=0$  で瞬間面源の条件で解いた解のピーク濃度は  $f_{max} = u / \sqrt{2\pi D t_p}$  となる。しかし、上述のように  $t_p \gg t_x$  でない領域では、 $f_{max}$  の推定にあたっては  $f_{max} = u / \sqrt{2\pi D (t_p - t_x)}$  (2) を用いる必要がある。図-6で(2)式の適合性を調べたが、実験値はよく理論式にのっている。

4) 断面平均濃度についての検討：水路の中央 ( $z=0$ ) 1点の濃度で断面平均濃度を代表させていいかどうかを調べたものが図-7および図-8である。図中、mean で示したものが断面平均量であるが、それと図-8  $\sigma^2$  の空間変化断面内の他の点での値とは大まかに相違はあるけれど、流下方向変化率はほぼ等しい。

#### 4. 自然河川のデータの検討

Godfrey・Frederick<sup>(2)</sup> のデータより  $C_{max}$  と  $(t_p - t_x)$  の関係を図-10に示したが、この場合にもFick型の  $C_{max} \propto (t_p - t_x)^{-0.5}$  のように表される。したがって、自然河川に対しても上記の取扱いが有効だと考えられる。なお、この場合の  $t_x$  の平均は  $4.4 T_L$  であった。

#### 5. おまけ

分散過程は遅れ時間  $t_x$  を導入すると実質分散時間  $(t - t_x)$  に対してはFick型で記述でき、徐々にGauss分布に漸近していくと考えられる。図-9に分散過程の概念図を示した。

(参考文献) 1) Fischer; Report No. KH-R-12, C.I.T., Pasadena, 1966. 2) Godfrey, Frederick. U.S.G.S. 433-K, 1970.

	Q (l/s)	$t_x$ (s)	$T_L$ (s)	$t_x/T_L$	D (cm/s)	D/hu <sub>0</sub>
Exp I	8	80	28.7	2.8	770	80.2
Exp II	13	80	18.5	4.3	1063	72.8
Exp III	18	60	13.8	4.3	1020	52.2
Exp IV	22	20	11.2	1.8	820	33.9

表-2  $t_x, T_L$  および  $D$  の各値

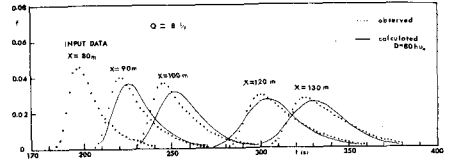


図-4 Routing法による計算値と実験値の比較

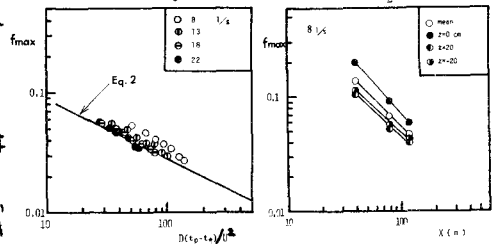


図-5  $f_{max}$  と  $D(t_p - t_x)^{-0.5}$  の関係 図-6  $f_{max}$  の空間変化

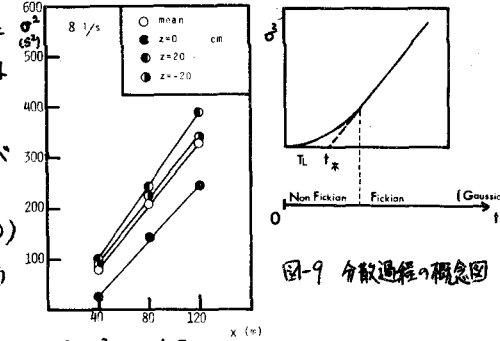


図-9 分散過程の概念図

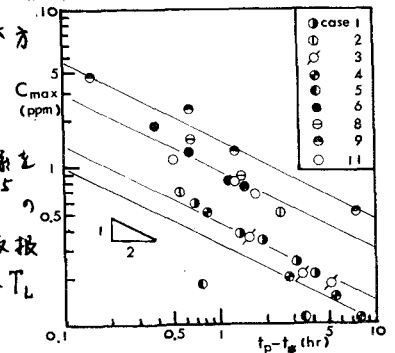


図-10  $C_{max}$  と  $(t_p - t_x)$  の関係