

京都大学大学院 学生員 葉師寺公文

京都大学工学部 正員 岩佐 義朗

京都大学工学部 正員 綾 史郎

京都大学大学院 学生員 戸田 圭一

1. はじめに 開水路流れにおける物質輸送・混合過程において、移流分散係数の決定および分散雲の挙動の把握は基本的研究課題である。本研究は、室内実験水路におけるトレーサー実験において観測された分散雲の挙動を解析し、Lagrange的統計理論の見地より、移流分散係数、二次モーメントの挙動およびピーク濃度とその生起時刻との関係について検討を行ったものである。

2. 実験概要とデータ 実験は、長方

形断面のアクリル製直線水路を用い、水路床が滑面の場合と粗面(表-1の添字RAは直径1mmのガラス玉、RBは粒径25~44mmの砂を粗度として用いている)の場合について行うとともに、アスペクト比を広範囲に変化させている。濃度測定は、トレーサー(メチルアルコールで比重を1.0に調整した食塩水)を瞬間面源として投入し、導電率計を用いて行い、流速分布の測定については、ホットフィルム流速計を使用して断面内50~100点で行った。

各実験における水理諸量を表-1に示す。

3. 移流分散係数と水理諸量の関係

モーメント法により求めた移流分散係数 D を du_* で無次元化し、アスペクト比 B/d との関係で示したものが図-1である。

図より $D/du_* \propto (B/d)^{0.45}$ の関係が成立しており、Iwasa⁽¹⁾・Aya⁽²⁾の結果とよく一致している。また、Froude数、Reynolds数および D/du_* と D/du_* の関係については、著者らの実験においては有意な関係は見出し難かった。

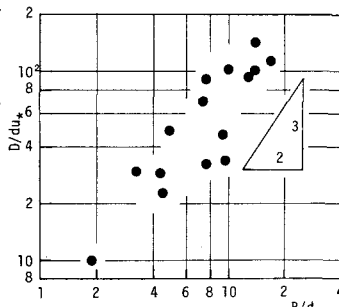
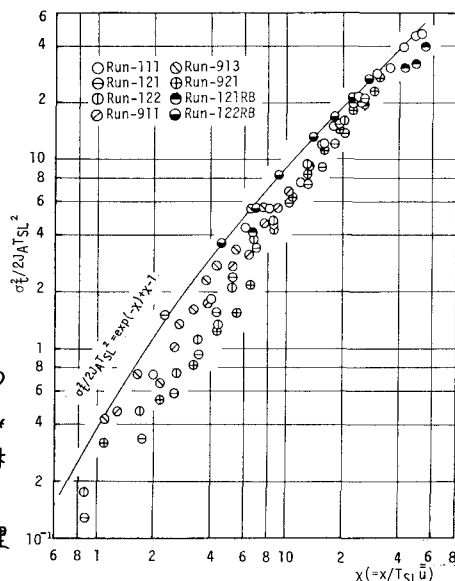
4. 二次モーメントの挙動 二次モーメントの挙動は、乱流拡散理論との相似性を仮定すれば、 $\sigma_x^2 = \int_0^t (t-\tau) B_L(\tau) d\tau$ (1)

($B_L(\tau)$: 自己相関関数)となる。 $B_L(\tau) = [v^2] e^{-\tau/T_L}$ (2)

($[v^2] = \frac{1}{A} \int (u_x^2 + \bar{u}^2) dA$, $T_L = D/[v^2]$, $J_A = [v^2]/\bar{u}^2$)と仮定して、著者らの実験値について、 σ_x^2 と x の関係を無次元化して示すと、図-2のようである。また、水深方向に平均化された流速 $\bar{u} = \frac{1}{d} \int_0^d u dy$

表-1 水理諸量

Run No.	Velocity $\bar{u}(=Q/A)$ (cm/s)	Discharge Q (cm ³ /s)	Width B (cm)	Depth d (cm)	Shear Velocity $u_* = \sqrt{gRI}$ (cm/s)	B/d	$\bar{u}/u_*$	Re. $\times 10^3$	Fr. $\times 10^{-1}$	D (cm ² /s)
Run-111	28.3	643	10.0	2.27	1.75	4.41	16.2	4.42	6.00	114
Run-112	21.5	294	10.0	1.37	1.45	7.30	14.8	2.32	5.86	137
Run-121	27.6	805	20.0	1.46	1.58	13.7	15.4	3.09	6.42	214
Run-122	22.3	530	20.0	1.19	1.44	16.8	15.5	2.36	6.52	194
Run-123	31.3	933	20.0	1.49	2.06	13.4	15.2	4.07	8.19	307
Run-124	37.8	1500	20.0	1.99	2.33	10.1	16.2	6.27	8.56	316
Run-125	48.0	1470	20.0	1.43	2.86	14.0	16.8	6.43	13.7	585
Run-911	32.2	1000	10.0	3.12	1.94	3.21	16.6	9.56	5.80	175
Run-912	44.1	2210	10.0	5.02	2.21	1.99	20.0	19.4	6.30	106
Run-913	27.4	562	10.0	2.05	1.69	4.88	16.2	4.70	7.10	165
Run-921	36.5	2450	25.0	2.69	2.18	9.29	16.7	8.38	7.10	270
Run-111RA	24.5	513	10.0	2.23	1.74	4.48	14.1	3.54	4.92	86.6
Run-112RA	16.2	169	10.0	1.31	1.43	7.63	11.3	1.34	3.60	170
Run-121RB	15.1	667	20.7	2.13	2.04	9.71	7.42	3.22	3.31	144
Run-122RB	20.6	1140	20.7	2.67	2.29	7.75	9.00	5.50	4.03	194

図-1 D/du_* と B/d の関係図-2 $\sigma_x^2 / 2 J_A T_L^2$ と x の関係

の水路幅方向の分布の非一様性に注目して $B_z^*(z) = [v_z^2] e^{-z/\tau_z}$

$$(3) \quad [v_z^2] = \frac{1}{B} \int_0^B (\bar{u}^2 - \bar{u})^2 dz, \quad \tau_z = D/[v_z^2],$$

$J_{AR} = [v_z^2]/(\bar{u}^2)$ と仮定して、図-2と同様に整理したものが、図-3である。これらの図より、滑面の場合は、式(3)を用いた方が、粗面の場合は、式(2)を用いた方が、より適切に二次モーメントの挙動が表現できようである。

上述の流速分布特性量および混合の時間スケールを表-2に示す。なお、表中の T_{FL} は、Fischer の Lagrangian integral time scale である。

5. ピーク濃度とその生起時刻との関係 ピーク濃度 C_{np} とその生起時刻 t_p の関係について、同様に無次元化して示したのが図-4、5である。 J_A 、 T_{SL} を用いた図-4の場合、粗面では、 $t_p/T_{SL} < 8$ で $C_{np} \propto t_p^{-2/3}$ 、 $8 < t_p/T_{SL}$ で $C_{np} \propto t_p^{-1/2}$ という領域区分ができる。滑面では、図-5からわかるように、 J_A 、 T_z^* を用いることにより、 $t_p/T_z^* < 1.5$ で $C_{np} \propto t_p^{-1}$ 、 $1.5 < t_p/T_z^* < 8$ で $C_{np} \propto t_p^{-2/3}$ 、 $8 < t_p/T_z^*$ で $C_{np} \propto t_p^{-1/2}$ と領域区分ができる。

6. おわりに 以上のことより、①移流分散係数 D/du_* は、開水路流れの場合、アスペクト比 B/d に依存し、

$$D/du_* \propto (B/d)^{1.5} \text{ の関係がある。}$$

②分散雲の挙動については、二次モーメントの成長およびピーク濃度の減衰の特性は、流下時間によって異なる。また、その特性時間スケールは、水路床の粗滑によって若干異なるが、各々 T_{SL} 、 T_z^* を用いて区分すれば、ほぼ同様な領域区分ができるようである。粗面と滑面とで、このような違いがた

のは、直接的には局所平均流速分布の非一様性の特性が、異なっているためであらうが、両者における自己相関関数の形ともあわせて、検討していく必要があると考えられる。

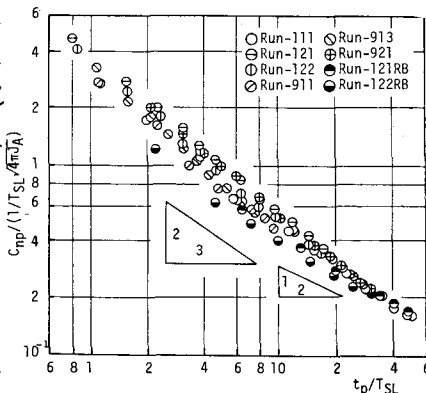


図-4 $C_{np}/(1/T_{SL}\sqrt{J_A})$ と t_p/T_{SL} の関係

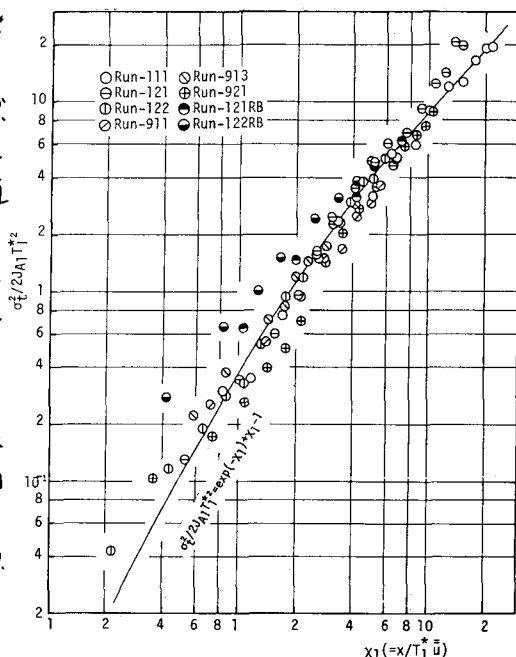


図-3 $\sigma_z^2/2J_A T_z^*{}^2$ と x_1 の関係

表-2 流速分布特性量と時間スケール

Run No.	$[v^2]$ (cm^2/s^2)	$[v_z^2]$ (cm^2/s^2)	J_A $\times 10^{-2}$	J_{A1} $\times 10^{-2}$	T_{SL} (sec)	T_1^* (sec)	$T_{FL}(\epsilon=0.2)$ (sec)
Run-111	65.6	27.3	8.18	3.41	1.74	4.17	2.13
Run-121	45.6	26.7	7.73	2.54	4.69	8.01	14.6
Run-122	37.3	9.42	7.53	1.90	5.19	20.6	19.7
Run-911	73.4	39.8	7.08	3.84	2.38	4.40	1.40
Run-913	49.9	26.3	6.65	3.50	3.30	6.28	2.44
Run-921	108	25.8	8.12	1.94	2.49	10.4	9.00
Run-121RB	37.8	5.65	16.5	2.46	3.81	25.5	8.31
Run-122RB	46.3	8.40	10.9	1.98	4.19	23.1	5.91

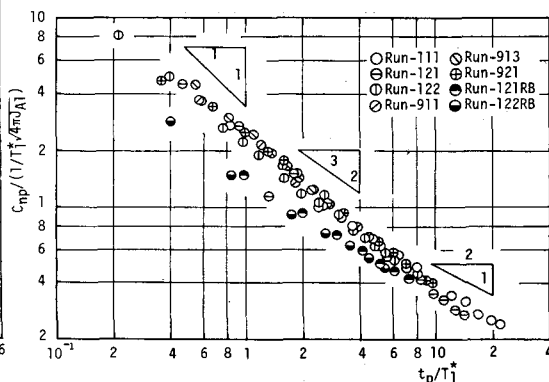


図-5 $C_{np}/(1/T_z^*\sqrt{J_A})$ と t_p/T_z^* の関係

最後に、本研究を行うにあたって御協力いただいた、京都大学大学院学生牛島省君に謝意を表します。

《参考文献》

(1) Iwasa, Y. and Aya, S. : 3rd Int'l Sympo. on Stochastic Hydraulics, 1980

(2) 岩佐・綾・戸田：第25回水理講演会論文集，1981