

開水路流れにおける乱流拡散機構に関する研究

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 野口 好夫
 鹿 島 建 設 正 員 ○風間 優

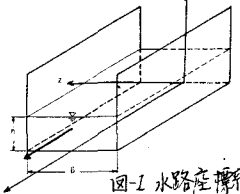
1. はじめに： 本研究は、連続点源の拡散実験により、水路幅方向の乱流拡散係数と水理量の関係、濃度分布の伝播特性等について検討したものである。

2. 実験の概要： 二つの一様長方形断面水路において、水路上流部の1/2水深の位置に連続点源を設け5%のNaCl溶液（メチルアルコールを用いて比重1.0に調整）を一定水

	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 5	Run 6	Run 7	Run 8	Run 9	Run 10
Width B(cm)	10.0	10.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	80.0	80.0	80.0
Depth h(cm)	5.02	3.12	2.94	3.50	2.58	1.97	1.52	3.19	2.10	1.54
Mean velocity $\bar{u}$ (cm/s)	44.05	32.18	37.43	44.30	35.44	29.63	25.90	40.26	26.85	21.81
Shear velocity u_* (cm/s)	2.21	1.94	2.16	2.32	2.05	1.83	1.63	2.41	1.98	1.71
Aspect Ratio B/h	1.99	3.21	8.50	7.14	9.69	12.69	16.45	25.06	38.10	51.95
Slope	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Fr. No.	0.63	0.58	0.70	0.76	0.71	0.67	0.67	0.72	0.59	0.56
Re. No.	19380	9560	8410	13590	8750	5590	3660	11260	5010	2910

表-1 水理諸量

頭の容器から連続投入した。濃度測定には導電率計を用い、Run1~Run4では水深方向、水路幅方向に、Run5~Run10では1/2水深で水路幅方向に多点測定した。実験の水理諸量を表-1に水路座標系を図-1に示す。



3. 実験結果とその考察： 水深方向に濃度がほぼ一様と考えられる。Run3~Run10の場合には、水路幅方向の乱流拡散係数 D_z は $D_z = \frac{B}{2} \frac{d\bar{u}}{dx}$, Run1, Run2のようにアスペクト比が非常に小さい場合には乱流拡散方程式を数値解析することにより推定した。ここに、 $\bar{u}$ ；断面平均流速、 $\bar{u}^2 = \frac{\int \bar{u}^2 dz}{\int dz}$ 。得られた D_z/u_* を表-2に示す。

3.1 乱れ特性量と乱流拡散係数の関係： Lagrange的速度場とEuler的速度場の関係としてHay・

	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 5	Run 6	Run 7	Run 8	Run 9	Run 10
$\bar{u}/u_*$	19.93	16.59	17.33	19.09	17.31	16.23	15.89	16.71	13.57	12.79
D_z/u_*	0.072	0.132	0.185	0.185	0.142	0.179	0.205	0.164	0.179	0.278

表-2

Pasquill⁽¹⁾の関係式を用いたEngelund⁽²⁾の研究、Corrsin⁽³⁾の関係式を用いたSaffman⁽⁴⁾の研究の両者とも乱流拡散係数 D が、Euler的速度場の空間的積分スケール L_E と乱れ強さ $\sqrt{u'}$ の積に比例することを示している。さらに、エネルギー消散率 ϵ は、 $\epsilon \propto \sqrt{u'}^3/L_E$ となることより、 $D \propto (\sqrt{u'})^2/\epsilon$ となる。アスペクト比 B/h が $B/h > 10$ 程度では、乱れ強さ、エネルギー消散率は、 B/h に依存しないと考える。パラメータとして B/h が考えられる。

3.2 水路幅方向の乱流拡散係数と水理量の関係： 本実験で得られた D_z/u_* を B/h に対して示したのが図-2であり、 $B/h > 10$ では B/h に無関係にほぼ $0.18 < D_z/u_* < 0.20$ となり、 B/h が10より小さくなるとともに減少している。次に、従来の多くの資料について、その $\bar{u} - u_*$ を図-3に示した。この図より $B/h \approx 13$ 程度を境にして滑面と粗面が明確に分離できる。本研究の B/h は、 $12.5 < B/h < 18.0$ と範囲が重なったため、従来の資料とともに $B/h > 10$ の場合の D_z/u_* を B/h に対して図

Yoshiaki Iwasa, Takashi Hosoda, Yoshio Noguchi, Masaru Kazama

B/h	v
1.5	0.008
2.5	0.15
8	1.9
10	1.6
15	1.9
20	2.1
30	1.6
40	1.8
60	2.8

Figure 1 is a log-log plot showing the ratio of the diffusion coefficient to the viscosity, D_z/hu_0 , on the y-axis, versus the ratio of the velocity to the viscosity, u/hu_0 , on the x-axis. The y-axis ranges from 5×10^{-2} to 10^1 , and the x-axis ranges from 2×10^{-2} to 10^2 . A vertical line is drawn at $u/hu_0 = 13$. The plot contains data points from various authors, as indicated by the legend: Elder (diamond), Engmann (circle), Holley (square), Kallistz and Pien (cross), Miller and Richardson (asterisk), Gaye (triangle), Prych (plus), Sore and Chang (x), Sullivan (open circle), Lau-Krishnappan (filled circle), and Author (filled square). The data points generally show a decreasing trend as u/hu_0 increases. A box with a cross and the number 44 is located in the bottom left corner of the plot area.

$\frac{\partial}{\partial x}(\frac{\partial \bar{C}}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\frac{\partial \bar{C}}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\frac{\partial \bar{C}}{\partial z})$ の y 方
 $\frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} \exp(\frac{\bar{u} x}{2D_x}) K_0(\frac{\bar{u}}{2D_x} \sqrt{x^2 + \frac{D_z}{D_x} z^2})$ — ①
 出量、 K_0 ; 0 次の変形 Bessel 関
 $= \frac{\bar{m}}{\sqrt{2\pi u D_x}} \exp(-\frac{\bar{u} x^2}{4D_x x})$ — ② と近似
 $\sqrt{2\pi u D_x}$ — ③ となり分散 σ_x^2 は
 $\sigma_x^2 \approx \frac{x \bar{u}}{D_x}$ を示す。図中の実線

図-7

Figure 6 is a log-log plot showing the normalized velocity fluctuation D_z / ν_* on the y-axis (ranging from 4×10^{-2} to 1) versus the Reynolds number Re on the x-axis (ranging from 10^3 to 10^6). The plot includes data points for various runs (Run 1 to Run 10) and a solid line labeled (1). Two triangles, labeled 1 and 2, indicate the slope of the data points at different Re ranges.

II-39-2