

滑面・粗面上の水路幅方向の乱流拡散係数について

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 ○大久保清久

1. はじめに：本研究は、滑面・粗面上の流れにおける連続点源による物質と熱の水路幅方向の乱流拡散機構を実験的に詳細に検討したものである。

2. 実験の概要：2つの一樣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、物質拡散には5%のNaCl溶液（メチルアルコールを用いて比重1.0に調整）を用い、熱拡散には $25^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ の温水（循環水の水温は $10^{\circ}\text{C} \sim 15^{\circ}\text{C}$ ）を用いた。濃度測定には導電率計を用い、温度計測にはサーミスタを使用した。実験の水理諸量を表-1～4に示す。

	Width B(cm)	Depth h(cm)	Mean Velocity $\bar{u}$ (cm/s)	Shear Velocity u_* (cm/s)	Aspect Ratio B/h	Slope	Froude Number	Reynolds Number
Run s1	25.0	1.52	25.90	1.63	16.45	1/500	0.67	3660
Run s2	25.0	1.97	29.63	1.83	12.69	1/500	0.67	5590
Run s3	25.0	2.71	36.71	2.09	9.23	1/500	0.71	8150
Run s4	25.0	2.58	35.44	2.05	9.69	1/500	0.71	8750
Run s5	80.0	1.54	21.81	1.71	51.95	1/500	0.56	2910
Run s6	80.0	2.10	26.85	1.98	38.10	1/500	0.59	5010
Run s7	80.0	3.19	40.26	2.41	25.06	1/500	0.72	11260
Run s8	25.0	1.39	41.39	2.48	17.99	1/200	1.12	4490
Run s9	25.0	1.72	48.77	2.72	14.53	1/200	1.19	6510
Run s10	25.0	2.02	53.93	2.91	12.38	1/200	1.21	8570
Run s11	25.0	2.32	62.94	3.10	10.78	1/200	1.32	11430
Run s12	25.0	2.49	64.23	3.19	10.04	1/200	1.30	12580
Run s13	25.0	2.67	64.50	3.28	9.36	1/200	1.26	13360

表-1 水理諸量（濃度，滑面）

	Width B(cm)	Depth h(cm)	Mean Velocity $\bar{u}$ (cm/s)	Shear Velocity u_* (cm/s)	Aspect Ratio B/h	Slope	Froude Number	Reynolds Number
Run s1	25.0	1.55	25.73	1.64	16.13	1/500	0.66	3220
Run s2	25.0	1.80	29.12	1.76	13.89	1/500	0.69	4140
Run s3	25.0	1.99	29.86	1.83	12.56	1/500	0.68	4700
Run s4	25.0	2.30	32.92	1.95	10.87	1/500	0.69	6030
Run s5	25.0	1.51	46.04	2.57	16.56	1/200	1.20	5550
Run s6	25.0	1.93	53.80	2.86	12.95	1/200	1.24	8130
Run s7	25.0	1.97	54.53	2.89	12.69	1/200	1.24	8480

表-3 （温度，滑面）

	Width B(cm)	Depth h(cm)	Mean Velocity $\bar{u}$ (cm/s)	Shear Velocity u_* (cm/s)	Aspect Ratio B/h	Slope	Froude Number	Reynolds Number	Diameter of Glass Beads (mm)	Relative Roughness Height (h/h)
Run r1	25.0	1.93	24.73	1.81	12.95	1/500	0.54	3800	1.0	0.052
Run r2	25.0	2.16	26.18	1.90	11.57	1/500	0.54	4500	1.0	0.046
Run r3	25.0	1.44	17.44	1.59	17.36	1/500	0.40	2010	2.0	0.139
Run r4	25.0	1.62	19.30	1.68	15.43	1/500	0.42	2470	2.0	0.123
Run r5	25.0	1.86	21.04	1.78	13.44	1/500	0.44	3120	2.0	0.108
Run r6	25.0	2.05	22.91	1.86	12.20	1/500	0.46	3750	2.0	0.098

表-2 （濃度，粗面）

	Width B(cm)	Depth h(cm)	Mean Velocity $\bar{u}$ (cm/s)	Shear Velocity u_* (cm/s)	Aspect Ratio B/h	Slope	Froude Number	Reynolds Number	Diameter of Glass Beads (mm)	Relative Roughness Height (h/h)
Run r1	25.0	1.70	20.41	1.71	14.71	1/500	0.47	2870	1.0	0.059
Run r2	25.0	2.07	24.80	1.86	12.08	1/500	0.53	4290	1.0	0.048
Run r3	25.0	2.47	28.04	2.01	10.12	1/500	0.55	5800	1.0	0.041
Run r4	25.0	1.42	17.12	1.58	17.61	1/500	0.39	1920	2.0	0.141
Run r5	25.0	1.59	18.08	1.66	15.72	1/500	0.40	2260	2.0	0.126
Run r6	25.0	1.85	20.28	1.78	13.51	1/500	0.42	2990	2.0	0.108
Run r7	25.0	2.07	23.68	1.87	12.08	1/500	0.47	3920	2.0	0.097

表-4 （温度，粗面）

濃度拡散のRun S3および温度拡散のRun S4では水深方向、水路幅方向に、それ以外では水路幅方向に多点多点測定した。水路座標系は、流下方向にx、水路

床に対して垂直な方向にy、水路幅方向にzとした。

3. 実験結果とその考察：アスペクト比 B/h がほぼ10以上の場合、濃度分布・温度分布がともに水深方向にほぼ一樣となる領域が存在するので、水路幅方向の乱流拡散係数 D_z 、 D_{Tz} は $D_{\text{eff}} = \frac{\bar{u}}{2} \frac{d\sigma^2}{dz}$ で求められる。ここに $\bar{u}$ ：断面平均流速、 $\sigma^2 = \int_{-B/2}^{B/2} \bar{c} z^2 dz / \int_{-B/2}^{B/2} \bar{c} dz$ 。得られた D_z/hu_* を表-5に、 D_{Tz}/hu_* を表-6に示す。

	Run s1	Run s2	Run s3	Run s4	Run s5	Run s6	Run s7	Run s8	Run s9	Run s10	Run s11	Run s12	Run s13	Run r1	Run r2	Run r3	Run r4	Run r5	Run r6
D_z/hu_*	0.205	0.179	0.155	0.142	0.278	0.179	0.164	0.170	0.156	0.157	0.155	0.140	0.136	0.168	0.148	0.180	0.178	0.195	0.162
$\bar{u}/u_*$	15.89	16.23	17.56	17.31	12.79	13.57	16.71	16.72	17.93	18.53	20.30	20.14	19.65	13.68	13.79	10.96	11.51	11.81	12.33

表-5

3.1 濃度の水路幅方向の
乱流拡散係数と水理量の
関係

	Run s1	Run s2	Run s3	Run s4	Run s5	Run s6	Run s7	Run r1	Run r2	Run r3	Run r4	Run r5	Run r6	Run r7
Dz/hu_*	0.218	0.181	0.174	0.174	0.179	0.171	0.156	0.148	0.139	0.159	0.166	0.154	0.160	0.157
$\bar{u}/u_*$	15.65	16.58	16.28	16.88	17.92	18.80	18.88	11.94	13.30	13.96	10.83	10.87	11.41	12.69

表-6

Dz/hu_* と $\bar{u}/u_*$ の関係について、本実験で得られた結果を示した図-1
でわかるように、滑面では Dz/hu_* が $\bar{u}/u_*$ のほぼ-2乗で減少しており、
粗面では $\bar{u}/u_*$ の値に関係なく0.15~0.18の値となっている。これらの
特性は、従来の研究結果とともに示した図-2(a)(b)からも明らかで
ある。次に滑面と粗面の特性について検討する。滑面では $\bar{u}/u_*$ はRey-
nolds数と一義的な関係をもつので、 Dz/hu_* とReynolds数の関係を従来の
研究結果とともに図-3に示した。これより Dz/hu_* は、Reynolds数のほ
ぼ-1/2乗で減少し、はらつき
も小さい。一方、粗面におい
ては、 $\bar{u}/u_*$ と相対粗度 k/h が一義
的な関係にあるので、 Dz/hu_* と
 k/h の関係を調べてみると、図

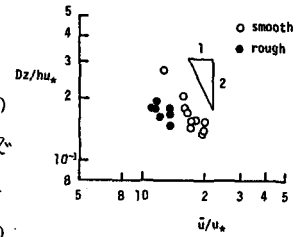


図-1

図-4より Dz/hu_* と k/h の関係は、
ほとんど認められないが、より
広範囲の k/h について検討する必
要がある。

3.2 濃度の水路幅方向の乱流拡散係
数と水理量の関係

濃度と同様に Dz/hu_* と $\bar{u}/u_*$ の関係を図
-5に示したが、これより滑面では、
濃度と同様、 Dz/hu_* が $\bar{u}/u_*$ のほぼ-2乗
で減少しており、値も濃度とほぼ同じで、

粗面では $\bar{u}/u_*$ の値によらず0.15~0.18の値をとっており、滑面
と粗面の特性の違いは明確である。滑面において Dz/hu_* とReynolds
数の関係を示したのが図-6で、 Dz/hu_* がReynolds数の増加ととも
に減少している様子かわかる。また粗面において、 Dz/hu_* と k/h
の関係を図-7に示したが、濃度の場合と同様、 k/h との関係は認
められず、0.15~0.18の値となっている。

4. おわりに：今後、熱の乱流拡散機構に関し
て、より広範囲の温度差のもとで実験を行なっ
ていきたい。

<参考文献>

1) 岩佐, 野口, 細田 第36回土木学会年次学術講演会概要, II-241, 1987

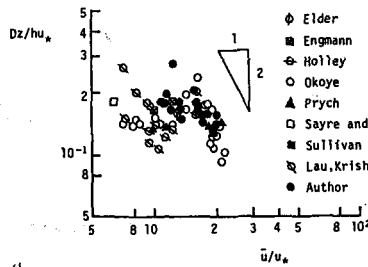
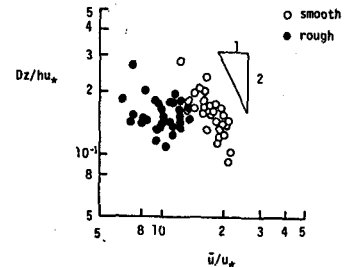


図-2 (a)



(b)

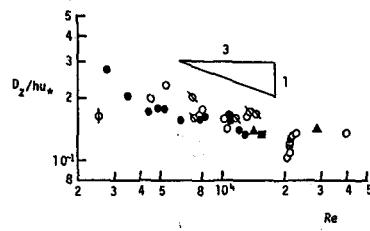


図-3

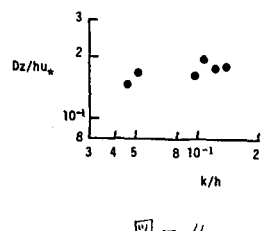


図-4

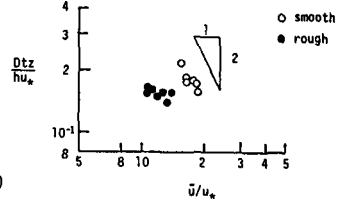


図-5

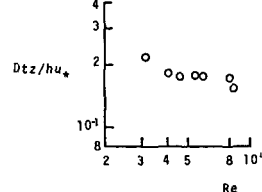


図-6

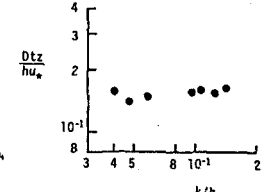


図-7