

京都大学工学部 正 員 棚津 家久
 京都大学大学院 学生員 中山 忠暢
 京都大学大学院 学生員 ○伊藤 慎将

1. はじめに 急勾配流れでは水面変動が大きく水深が浅いために、従来研究があまり行われなかった。特に粗面の急勾配流れは滑面よりも水面変動が大きく、横断方向の流体混合構造はほとんど未解明に近い。本研究ではこのような急勾配流れについて、レーザ流速計を用いて三次元乱流計測を行い、急勾配流れの粗度効果を検討した。

2. 実験方法および水理条件 本実験では、長さ10m、幅40cm、高さ30cmの可変勾配型循環式水路を使用し、4ビーム後方散乱型2成分ファイバレーザ流速計を用いて、流れに対して水路横方向と水路下方より水路中央断面の三次元乱流計測を行った。ここで、粗面の場合の計測方法が問題となるが、本実験では粗面にレーザ光が通る程度の隙間を設けて計測を行った。表-1に水理条件を示す。

表-1 水理条件表

case	S	h (cm)	b/h	U _m (cm/s)	U ² (cm ² /s)	Fr	Re (×10 ³)
A-00	1/20000	7.50	5.33	6.67	0.44	0.08	4.2
A-01	1/10000	7.24	5.52	17.3	0.99	0.21	10.2
A-02	1/5000	6.25	6.40	20.0	1.17	0.26	10.5
A-03	1/1000	5.50	7.27	45.5	2.31	0.62	21.0
A-04	1/500	4.60	8.70	54.4	2.95	0.81	21.3
A-05	1/250	3.47	11.5	72.1	3.74	1.24	21.3
A-06	1/100	4.19	9.55	119.	5.93	1.86	42.7
A-07	1/50	3.42	11.7	146.	7.53	2.53	43.3
A-08	1/25	2.75	14.6	182.	9.72	3.50	43.4
A-09	1/10	2.03	19.7	246.	13.5	5.52	43.3

case	S	h (cm)	b/h	U _m (cm/s)	U ² (cm ² /s)	Fr	Re (×10 ³)
B-00	1/20000	8.10	4.95	6.17	0.53	0.07	4.2
B-01	1/10000	11.10	3.60	11.3	0.84	0.11	10.4
B-02	1/5000	9.10	4.40	13.7	1.11	0.15	10.7
B-03	1/1000	8.60	4.65	29.1	2.43	0.32	21.6
B-04	1/500	7.10	5.63	35.2	3.20	0.42	21.7
B-05	1/250	6.10	6.56	41.0	3.63	0.53	21.9
B-06	1/100	6.30	6.35	79.4	6.85	1.01	44.1
B-07	1/50	5.00	8.00	100.	8.85	1.43	45.1
B-08	1/25	4.00	10.0	125.	11.4	2.00	45.5
B-09	1/10	3.10	12.9	161.	16.2	2.93	46.1

case	S	h (cm)	b/h	U _m (cm/s)	U ² (cm ² /s)	Fr	Re (×10 ³)
C-00	1/20000	8.71	4.59	5.74	0.51	0.06	4.5
C-01	1/10000	11.71	3.41	10.7	0.85	0.10	10.7
C-02	1/5000	9.71	4.12	12.9	1.13	0.13	10.8
C-03	1/1000	8.71	4.59	28.7	2.44	0.31	21.6
C-04	1/500	7.21	5.55	34.7	3.22	0.41	21.6
C-05	1/250	6.21	6.44	40.3	4.31	0.52	21.6
C-06	1/100	6.71	5.96	74.5	7.02	0.92	43.4
C-07	1/50	5.26	7.60	95.0	9.04	1.32	43.8
C-08	1/25	4.43	9.03	113.	11.9	1.71	44.1
C-09	1/10	3.55	11.3	141.	17.2	2.39	44.4

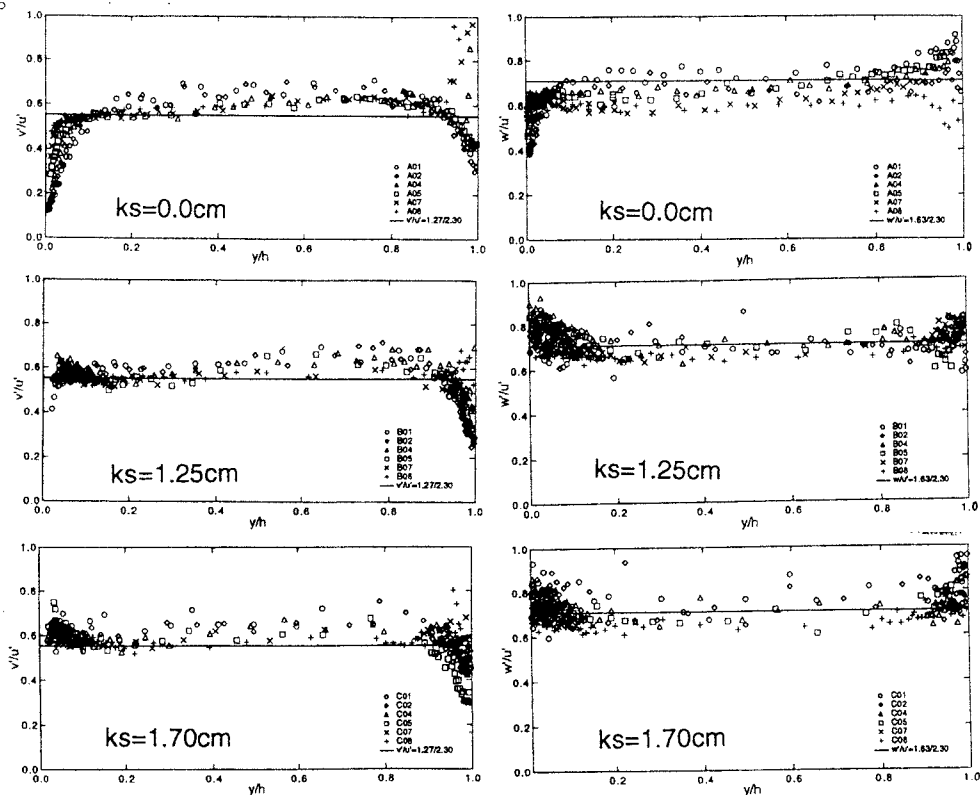


図-1 乱れ強度比の分布

Iehisa NEZU, Tadanobu NAKAYAMA, Yoshimasa ITO

3. 実験結果および考察 本実験の結果はKarman定数は0.41の一定値であるとして解析を進める。Nezu & Nakagawa (1993)¹⁾によると開水路の中間領域 ($0.2 < y/h < 0.6$) において、

$$\frac{u'}{U_*} = 2.30 \exp\left(-\frac{y}{h}\right)$$

$$\frac{v'}{U_*} = 1.27 \exp\left(-\frac{y}{h}\right)$$

$$\frac{w'}{U_*} = 1.63 \exp\left(-\frac{y}{h}\right)$$

が半理論的に成立する。本実験においても上記の関係式が成立していた。しかし、壁面近傍および水面近傍では違う特性が観測された。そこで図-1に乱れ強度比 v'/u' , w'/u' をケースごとに記載し、その特性を考察することにする。まず、 v'/u' について壁面近傍では滑面乱流の場合ゼロに近づき、かつフルード数が大きくなるにつれて急にゼロに近づくのに対して、粗面乱流の場合は、半理論式より大きくなっていった。本実験では滑面と完全粗面 ($ks^+ > 70$) のデータを比較しているの粘性底層の効果であると言える。次に、水面近傍では滑面乱流と粗面乱流の違いはなく、フルード数が小さいときはゼロに近づく。一方、フルード数が大きくなると水面の乱れが大きくなり、その影響で相対的に u' の増加より v' の増加が大きくなり、ゼロに近づかないのが大きな特徴である。図-1を全体的に見ると、フルード数が大きくなると乱れ強度比の曲線が直線的になっている特性がある。 w'/u' については、壁面近傍では滑面乱流の場合は v'/u' と同様にゼロに近づき、粗面乱流の場合はフルード数が小さければ1に近づき乱れが等方化し、フルード数が大きくなると半理論式に一致する特性であった。水面近傍でははっきりとした特性は見られなかった。

図-2は壁面近傍($y/h=0.05$)および水面近傍($y/h=0.95$)の乱れ強度 u'/U_* , v'/U_* , w'/U_* の値をフルード数に対してプロットした図である。これによると壁面近傍では u'/U_* に変化がないのに対して、 v'/U_* および w'/U_* は滑面乱流の場合フルード数が減少すると減少するが、一方、粗面乱流の場合は値に変化が見られない。これは図-1の乱れ強度比の結果に一致する。また、水面近傍では u'/U_* および w'/U_* がフルード数が1つまり限界流のとき、流れが不安定となり乱れ強度が最大となった。 v'/U_* はフルード数の増加に伴い乱れ強度が増加する特性がわかった。

4. おわりに 本研究により粗面乱流の乱れ強度に関する三次元特性がフルード数によって変化することが明らかになった。今後、乱流構造の複雑な壁面近傍および水面近傍の普遍式が算出できるモデルの構築を行っていきたい。

[参考文献]

1) Nezu I. & Nakagawa H. : Turbulence in Open-Channel Flow, IAHR-Monograph, Balkema, Rotterdam

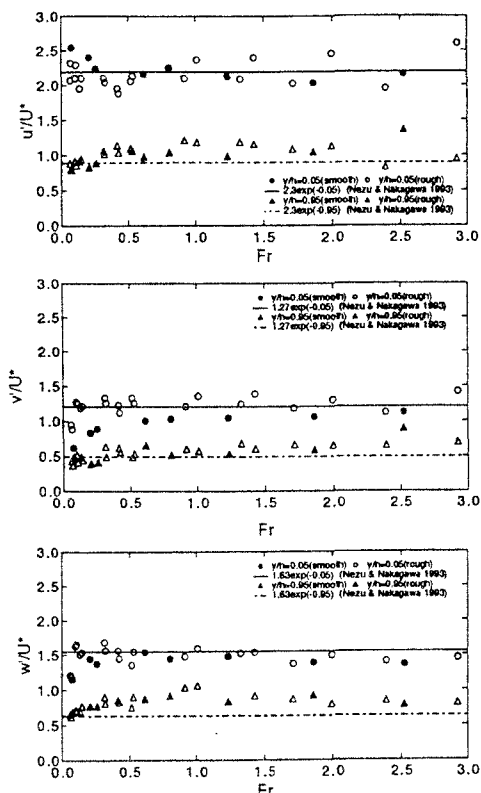


図-2 乱れ強度分布