

組織洞に着目した浮流機構の実験的研究

—流速変動と浮流砂濃度の同時計測—

九州大学 工学部 正 員 大本照憲 松岡雅博

九州大学 工学部 学生員 松枝修治・石丸英伸

1. まえがき

実河川の大規模乱流運動は、河床近くの上昇渦が河床の砂を含んで浮上し水面が黒く間欠的に盛り上がる Boil として観察され、この部分は周辺部と比較して低速であることが実測されている。また固定床開水路においては、バーストと呼ばれる組織的渦運動が壁面の粗滑、形状にあまり影響を受けずに存在し、低速の流体塊の上昇流と高速の流体塊の下降流とが交互に発生する一定のパターンを持つことが明らかにされている。本報告は浮流砂の捲き上げに与える組織的渦運動の影響を明確にするため、粗面上の開水路流れに水路上流より幅方向に一樣な給砂をして、流速と濃度の同時計測を行ない、縦断発生箇所での鉛直方向と幅方向の変動特性について検討を加えたものである。

2. 実験装置及び実験方法

実験に用いた水路は、利定長 8 m、幅 30 cm のアクリル樹脂製可変勾配水路に、粗度として中央粒径 $d = 2.9 \text{ mm}$ のポリスチレン粒子を水路河床に張り付け、水路上流端には幅方向に一樣で定常的給砂の可能な供給装置を取り付けたものである。流速測定にはコニカル型ホットフィルム流速計を、濃度の測定には光学式濁度計を用いた。

流速計、濁度計からの出力電圧は、一旦データレコーダに記録し、サンプリング周波数 100 Hz (一部 75 Hz) で AD 変換し、各々 4096 個のデータを統計処理した。実験条件は、表-1 にまとめられている。

表-1 実験条件

実験番号	流量 $Q (\text{l/s})$	水深 $H (\text{cm})$	水路勾配 I_b	粒径 $d (\mu)$	摩擦速度 $U^* (\text{cm/s})$	Froude数 Fr	Re数	抵抗係数 $C_x 10^{-2}$	断面平均濃度 $C_m (\text{ppm})$
R-1 a	3.57	3.00	1/350	清流	3.62	0.558	13450	2.20	—
b	"	3.00	"	74-110	2.66	0.494	11900	1.52	453.9
c	"	3.96	"	110-130	3.02	0.490	11900	1.98	478.9
d	"	3.96	"	130-149	2.81	0.513	11900	1.61	484.6
R-2 a	4.88	4.19	1/300	清流	3.70	0.606	16300	1.81	—
b	"	3.84	"	74-110	3.37	0.691	16300	1.27	844.3
c	"	3.96	"	110-130	2.66	0.659	16300	1.25	875.0
d	"	3.96	"	130-149	3.24	0.659	16300	1.25	893.4
R-3 a	6.11	4.20	1/200	清流	4.59	0.756	20400	1.72	—
b	"	4.15	"	8号	4.39	0.765	19500	1.51	973.8
c	6.07	4.05	"	8号	4.46	0.798	20400	1.57	693.57
d	6.07	4.00	"	7号	4.46	0.808	20200	1.56	616.14
R-4 a	6.10	4.30	1/200	清流	4.45	0.730	20300	1.77	—
b	"	3.97	"	74-110	4.32	0.821	20300	1.42	675.4
c	"	4.04	"	110-130	4.54	0.800	20300	1.63	709.0
d	"	3.70	"	8号	4.22	0.913	20300	1.18	690.2

3. 実験結果とその考察

図-1は、平均流速の幅方向変化をプロットしたものである。表-1のR-3において発生した縦断は、水路両端及び $Z=0$, $Z=-5 \text{ cm}$ の位置であった。流速は、河床付近、半水深付近でともに清水流の方が浮流砂流に比べて小さくになっている。浮流砂流は縦断の発生箇所において、流速が大幅に減小しており、清水流もその位置において同様の現象が見られる。流速の幅方向の変化率は、河床付近の方が半水深付近よりも、縦断発生近傍において大きくなっていることが認められる。図-2に、乱れ強さの鉛直方向変化を示す。この図より浮流砂流の乱れの強さは、清水流に比べていずれも小さくは

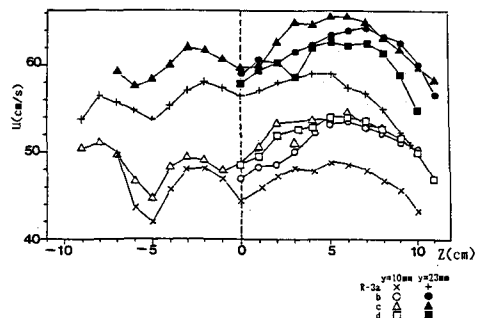


図-1 流速の幅方向分布

っている。乱れの強さの減少は、粗度から発生する渦流が浮流砂によって抑えられるためであると考えられる。R-1, R-2に比べて縦筋が明確に発達しているR-3では、河床付近での乱れの強さはかなり一様である。これは、縦筋によって乱れエネルギーの鉛直方向への輸送が活発になったためであると推察される。図-3は、乱れの強さの幅方向変化をプロットしたものである。乱れの強さが最大となるのは、縦筋の発生箇所ではなく、図-1における流速の幅方向変化率が最大となる位置においてであることがわかる。乱れの強さは、図-2と同様に、清水流の方が浮流砂流に比べて大きくなる傾向にある。

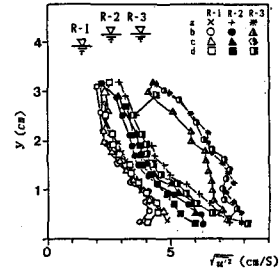


図-2 乱れの強さ $\sqrt{u'u'}$ の鉛直方向分布

図-4は、流速の歪度の幅方向分布を示したものであり、縦筋と縦筋の中間部で、歪度が最小となり、縦筋発生位置で歪度が最大となっている。これより、流速の幅方向分布とは逆位相の関係にあることがわかる。また歪度は、河床付近の方が、半水深付近よりも大きくなっている。

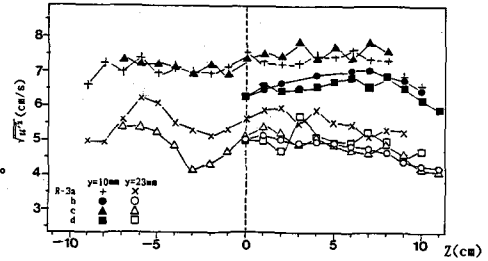


図-3 乱れの強さ $\sqrt{u'u'}$ の幅方向分布

図-5は、流速と濃度の自己相関係数を求めたものである。バーストの発生周期は、Kimらによって自己相関係数がある遅延時間で最大値をとり、この値と、可視化法により得られた周期と比較的一致することが報告されている。

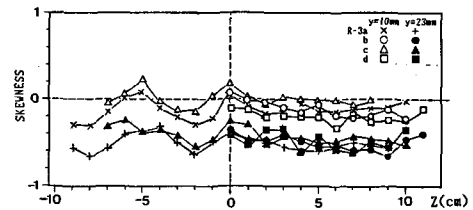


図-4 流速の歪度の幅方向分布

Kimらの方法により、縦筋上で求められたバーストの発生周期は、 $TV/H = 2 \sim 5$ 、濃度の極大値から求められた周期は、 $TV/H = 1.5 \sim 3$ を示した。

図-6は、縦筋の隔壁部における、 $y = 6 \text{ mm}$ での浮流砂流と清水流の乱れのエネルギースペクトルを示す。スペクトルエネルギーは、低周波数域で浮流砂流の方が清水流に比べて小さく、高周波数域では両者はほとんど一致している。浮流砂流で乱れの強さが小さくなるのは、低周波数域の比較的大きい渦のエネルギーが減少するためであると考えられる。

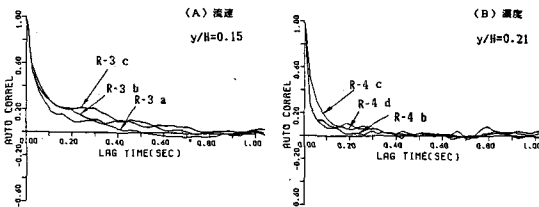


図-5 自己相関係数

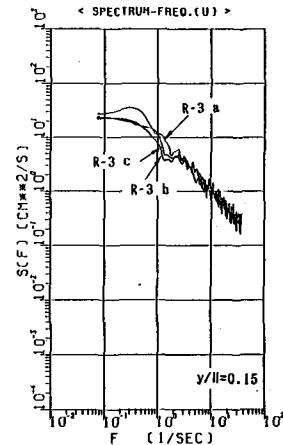


図-6 パワースペクトル

<参考文献>

- 1) Grass, A.J. (1971), J. Fluid Mech., Vol. 1, 50, PP. 233-255
- 2) KIM, H.T., Kline, S.J. & Reynolds, W.C. (1971) J. Fluid Mech., Vol. 50, PP. 133-160