

II-165 砂連上における流速と浮流砂濃度の変動特性について

九州大学工学部 正 員 平野宗夫
九州大学工学部 正 員 大本照憲
九州大学大学院 学生員 石丸英伸

1. まえがき

乱れの十分に発達した固定床開水路流れにおいては、秩序だった流体運動いわゆるバースティング現象や縦渦は、流れが三次元的様相を呈する支配的要因となる。これらの組織的渦運動は、浮流砂の濃度分布が鉛直方向だけでなく幅方向にも変化する主因となることはいままでに明らかにされつつある。しかし、初動床土の乱れの構造と浮流砂の関係については、研究も少なく不明確な点が多い。本報告は、浮流砂の巻き上げに与える組織的渦運動の影響を明らかにするため、初動床土のほぼ等流とみなせる流れにおいて、流速と濃度をほぼ同位置において鉛直方向及び幅方向に同時計測を行ない、主に幅方向についての流速と濃度の変動特性に検討を加え、さらに固定床開水路実験で得られた結果とも比較検討を加えるものである。

2. 実験装置及び実験方法

実験にあたっては、測定長が8m、幅30cm、高さ30cmのアクリル樹脂性可変角配水路を用いた。河床材として $d_{50}=120\mu$ 比重2.65、静水中の沈降速度 1.25cm/sec の均一粒径砂を敷き均し通水を行った。流速の測定にはコニカル型ホットフィルム流速計、濁度の測定には光学式濁度計を用いて測定を行った。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され、サンプリング周波数300HzでAD変換されたのち、各々4096個のデータとして大型電算機で統計処理された。なお水理条件は表-1にまとめて示す。

3. 実験結果とその考察

図1および図2は、一例としてRun-4における平均流速と浮流砂の平均濃度が幅方向に変化する様子を各々示したものである。平均流速は、 $y=2.0\text{cm}$ ($y/H=0.4$)では、幅方向に正弦波状に分布し、 $y=4.7\text{cm}$ ($y/H=0.8$)ではほとんど変化が見られず幅方向に一定であることがわかる。実験では、いずれも河床には三次元的のRippleが形成された。このRippleのcrest上に色素を投入して流れの状態を観察するとcrestで架離した流線が再び河床に達する両付着領域のすぐ上流では逆流、その下流では側方への初流(二次流)および上層流が生じ複雑な流れを呈しているが色素および砂粒が舞い上がる様子からcrest背後においてスケールの大きい渦の上昇が示唆された。また、流速の低速域で浮流砂濃度が高く、高速域では浮流砂濃度は小さく、平均流速と平均濃度とは幅方向について逆位相の関係にある。なお低速域は、河床から上昇する渦が支配的領域であることから上昇渦が浮流砂流の浮上に及ぼす影響の大きいことが推察される。

表-1 水理条件

RUN-NO	流量 l/sec	水深 cm	水面勾配 $i \times 10^3$	摩擦速度 $U=4\sqrt{\tau}$	フルード数 F_r
1	3.00	4.20	1.60	2.57	0.37
2	3.99	4.77 (5.10)	1.97	3.03 (3.14)	0.41 (0.37)
3	4.99	5.00 (5.43)	2.00	3.13 (3.26)	0.48 (0.42)
4	6.10	5.95 (6.13)	2.03	3.44 (3.49)	0.45 (0.43)

() ; 実験後の測定値

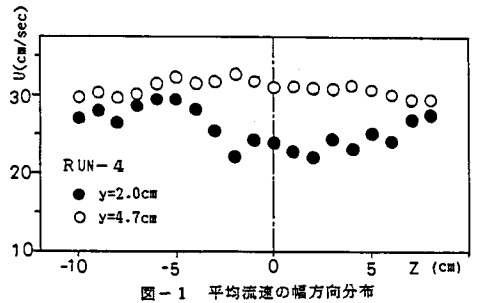


図-1 平均流速の幅方向分布

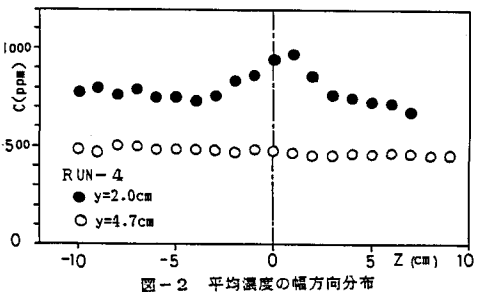


図-2 平均濃度の幅方向分布

$y=4.7\text{cm}$ では流速と濃度が幅方向に大きく変化していないのは、上界渦がこの地点ですでに減衰していたためであると思われる。

図3および図4に、各々流速変動と濃度変動の幅方向分布を示す。図1と図3を対照すれば $y=2.0\text{cm}$ 高さの $Z=-8.0, 2.0\text{cm}$ 上において乱れの強さは極大値を取り、対応する点で流速は極小値となっている。先に着者等の行った縦筋の発生した浮流砂流では、流速の幅方向変化率が極大に近い位置で乱れの強さは極大値を取り、位相にずれが生じていたのに対して、Rippleを河床波とする流況においては、乱れの強さと平均流速とはほぼ同位相の関係にあることがわかる。また同様に乱れの強さと平均濃度もほぼ同位相の関係にあり、 \sqrt{v} の極大値と極小値の比が1.85に対して平均濃度のそれは1.37である。乱れの強さが幅方向に変化するのに応じて平均濃度もかなり変化すること認められる。図4から濃度の変動係数は乱れの強さとはほぼ類似の分布形を示し、極値の取る位置の対応していることよび、*crest*上よりも*trough*上において濃度の変動は大きくなることがわかる。図5は、確率分布の非対称性が比較的確著に表われる位置において歪度の幅方向の分布をプロットしたものである。流速の歪度は全体として負の値をとり、固定床上の清水流および浮流砂流と同程度にしか確率密度ははずんでいない。Ripple上の流れと言えども、流速についてはGauss分布からのずれを三次モーメントによって補正した確率分布で表わされ得る。また、歪度の絶対値は、流速の低速域で小さく高速域で大きくなる傾向にある。一方、浮流砂濃度の歪度を図6に示す。二次元性の微小砂連が発生した場合、濃度の歪度は最大約0.7であったのに対して、十分に発達した砂連上ではその最大値が5に近くまで達しその位置は平均濃度の極大値に当ることわかる。

流速と濃度の自己相関係数を求め、バーストの発生周期に近い値を示す *second mild maximum* T_b を読みとりその値を断面平均流速と水深で無次元化する。図7は流速及び濃度から得られるバーストの発生周期の幅方向変化をプロットしたものである。図中には固定床開水路実験において得られた清水流のバースト周期も併示している。この図より固定床清水流で得られたバースト周期と初動床において流速から得られたバースト周期とはほぼ同程度の値をとり両者に顕著な違いは見られないことがわかる。また流速から得られたバーストの発生周期は $T_b/U = 1.2 \sim 2.5$ 、同様にして濃度から得られたバーストの発生周期は $T_b/U = 0.8 \sim 2.2$ となり濃度から得られたバースト周期の方が流速から得られたバースト周期に比べて若干短くなっていた。

<参考文献> 1) Ikeda, S. and Asaeda, T. 1983, ASCE, HY, No.3, Mar, vol.109

2) 平野・文木・松枝; 第30回水講演文集 1986 3) 平野・文木・松枝; 第40回年講 1985

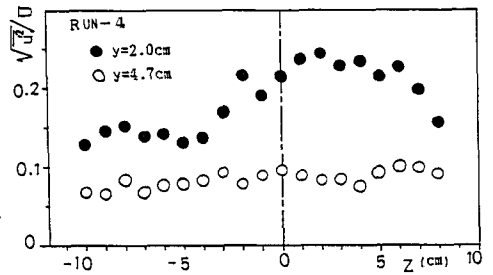


図-3 流速変動の幅方向分布

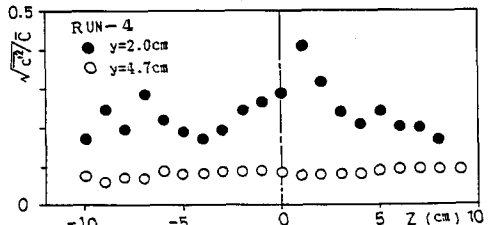


図-4 濃度変動の幅方向分布

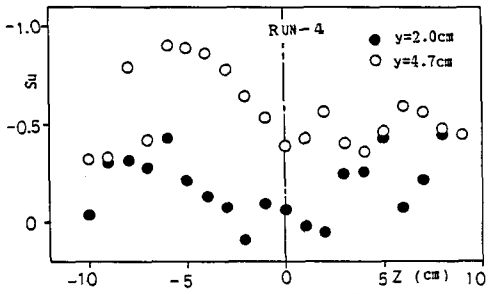


図-5 流速の歪度の幅方向分布

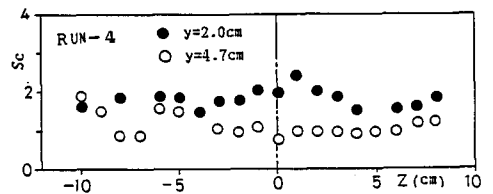


図-6 濃度の歪度の幅方向分布

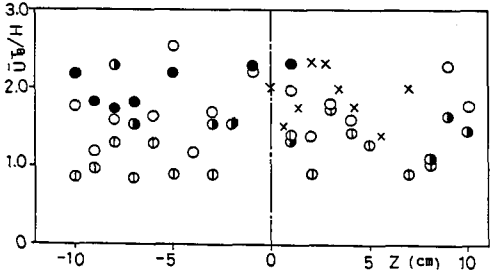


図-7 バースト周期の幅方向分布

× 固定床清水流
● $y=2.0\text{cm}$ (流速)
○ $y=4.7\text{cm}$ (流速)
● $y=2.0\text{cm}$ (濃度)
○ $y=4.7\text{cm}$ (濃度)