

浮流砂の基礎的研究 (第三報)

九州大学 工学部 正員 平野宗夫 大本照憲

九州大学 工学部 学生員 石根修治 原 浩

1. まえがき

実河川の大規模乱流運動は、河床近くの強い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、この部分は周辺部に比較して低速であることが実測されている。また、固定床開水路に於いては、バーストと呼ばれる組織的乱運動が壁面の粗滑、形状にあまり影響を受けずに存在することがわかり、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有している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乱運動の影響を明らかにするため移動床上のほぼ等流と見なし得る流れに於いて、流速と濃度の同時測定を行ない各々の変動特性についての検討を加えたものである。

2. 実験装置およびその方法

実験には、長さ8m、幅30cm、高さ30cmのアクリル樹脂製可変勾配水路を用いた。河床材料として $d_{50}=31\mu$ ($W_0=0.069\text{cm/sec}$) の均一珪砂を敷き詰め、表1の水利条件で通水した。流速の計測には、コニカル型ホットフィルム流速計を、濃度計測には光学式濁度計を用い、ほぼ同一地点、同時計測を行なった。流速計、濁度計からの出力電圧は、一旦デューレコーダに記録され、サンプリング周波数150HzでAD変換されたのち、総データ4096個がFFT法により統計処理されスペクトル、相関関数が求められている。スペクトルの平滑化には三角ウィンドウを用いている。

3. 実験結果とその考察

図1は、相対水深 $y/H=0.056$ に於ける流れ方向の流速変動 u と濃度変動 c の波形を時間間隔 $1/50\text{ sec}$ でプロットしたものである。図中の矢印が示すように、流速の極小と濃度の極大とは良く対応し、ほぼ逆位相の形を呈し浮流砂の捲き上げにバースティング効果の大きいことが暗示される。図2は、流速と濃度の確率分布であり、各々標準偏差で無次元化された形で表示している。他の実験ケースもほぼ同様に、測定値はいずれも Gauss 分布に近い変動を示しているが、詳細に検討すると流速と濃度の分布には、系統的な差異が見出せる。即ち、流速 u のモードは平均値に比べて大きい値を示し、 $P(u)$ はいわば Gauss 分布を時計方向に歪ませた分布形となっている。一方、濃度は流速 u とは逆に、Gauss 分布を反時計方向に歪ませた分布形を示している。 $P(u)$ と $P(c)$ は、中川、彌津により壁面乱流に於いて求められた流れ方向の乱れ u と深さ方向の乱れ v は各々対応

表-1 実験条件

Run No	流量 l/sec	水深 cm	水温 °C	平均流速 cm/sec	水面勾配 $\times 10^{-4}$	図中記号 流速 濃度
3	2.93	3.50	15.2	27.9	27.3	○ ●
4	2.93	3.00	15.2	32.56	1.06	① ②
5	2.94	2.86	15.2	34.27	12.8	③ ④

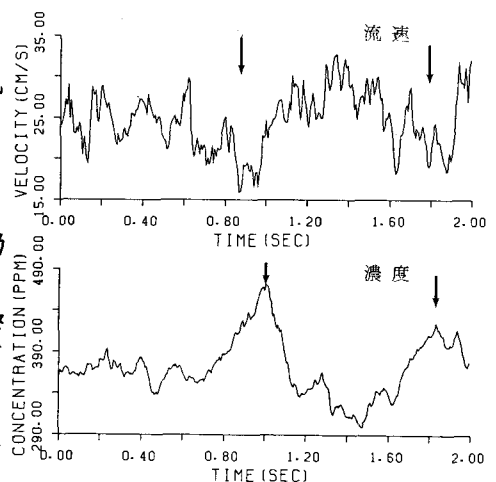


図-1 経時変化

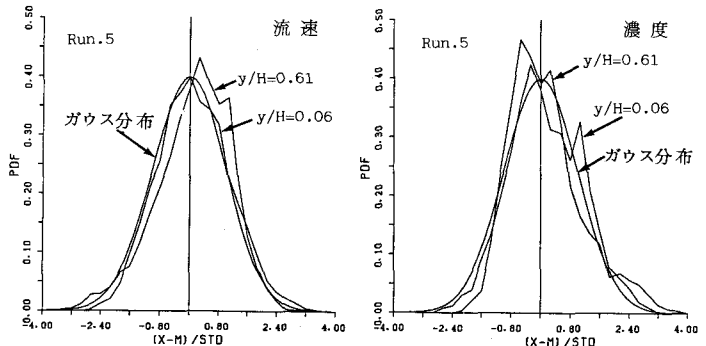


図-2 確率密度関数

していることが認められた。図3は確率分布の非対称性をさらに詳しく調べるために、歪度の鉛直方向の変化をプロットしたものである。図中には、壁面乱流の u と v を併示している。測定値にかなりのバラツキはあるが全体の傾向として流速 u の歪度は、河床付近の領域ではゼロに近い値をとり、 y/H の増加に従って減衰し、半水深付近で最小値を取ったのち、自由水面に近づくにつれて増加し、ほぼ壁面乱流の u と同様の傾向を示すのに対して、濃度の歪度は、壁面乱流の v に対応していることがわかる。このように、河床近傍ではEjection事象とSweep事象の寄与はほぼ同程度であるが、河床から離れるに従って、

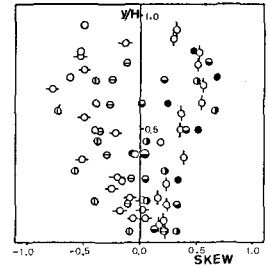


図-3 ひずみ度

Ejection事象の寄与が大きくなることが予想される。濃度の歪度は正の値を取り、図2の確率分布からも浮游砂濃度の確率分布は、奇数次のモーメントをゼロとするGauss分布からはずれていることがわかる。図4は $y/H=0.06$ 平均濃度389ppmにおける流速 u と濃度 C のパワースペクトルである。流速 u のパワースペクトルの勾配は、河床近傍ではKolmogoroffによる $-5/3$ 乗則に近づく傾向にあり、濃度のスペクトル勾配はかなり小さく、 -2.0 から -2.5 の範囲の値をとった。又、 $y/H=0.06$ に於ける流速と濃度の自己相関係数を図5に、相互相関係数を図6に示す。バーストの発生周期は、壁面乱流では K_{cm} らによって、流速 u の自己相関係数がある遅延時間 τ_0 で

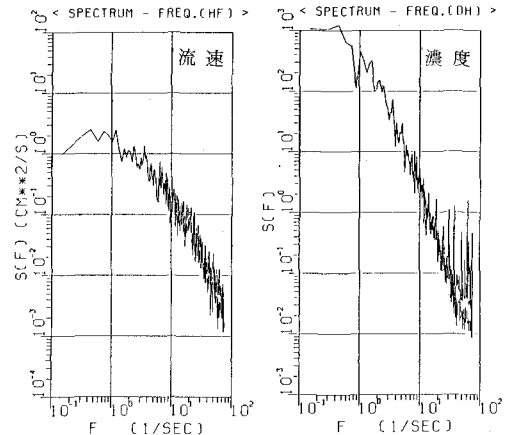


図-4 パワースペクトル

極大値(Second-mild-maximum)をとり、この値と可視化法から得られたバースティング周期とは比較的良好く一致することが報告されている。この方法により、バースト周期を求めたところ、 $\tau_0 \cdot \bar{u}/H = 2.0 \sim 3.0$ となり、又、同一の水理条件では深さ方向にあまり変化しないことが認められた。次に、図6より流速に対する濃度の時間遅れはほとんどないものと考えられる。図では濃度が流速に比べてわずかに遅れているが、これはホタルムセンサを濃度センサよりわずかに上流側に設置したことによるものである。図7は、自己相関係数がゼロとなるまで時間積分したタイムスケールを深さ方向にプロットしたものである。濃度変動のタイムスケールは、流速変動のそれと比べて大きい値を示している。なお、本研究の遂行に当り九大工學部の松岡技官の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

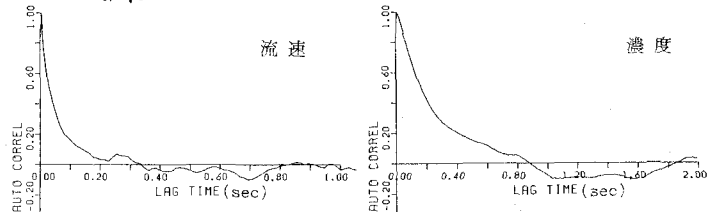


図-5 自己相関係数

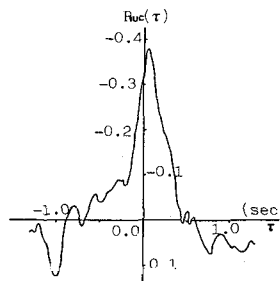


図-6 相互相関係数

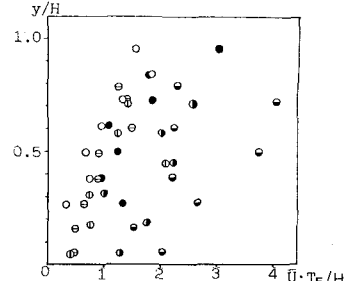


図-7 オイラー的時間スケール

参考文献

- 1) Nakagawa, H. & Nezu, I.: J. Fluid Mech vol. 80, pp. 99-128, 1977
- 2) Kim, H. T., Kline, S. J. & Reynolds, W. C.: J. Fluid Mech vol. 50, pp. 133-160, 1971