

河床付近の流れと粒子の浮遊現象に関する研究

京都大学防災研究所 正員 芦田 和男
 京都大学大学院 学生員 藤田 正治
 京都大学大学院 学生員 〇向井 健

1. はじめに 粗面近傍の乱流構造については従来あまり明らかでなく、また流れと粒子の運動を同時に観察したものは少ない。そこで、本研究は染料を用いて可視化された流れと粒子の運動を同時に高速ビデオカメラで撮影するとともに、水素気泡を用いた可視化手法によって粗面上の乱流計測を行い、浮遊機構を考察した。

2. 河床付近の流れと粒子の浮遊現象

(1) 実験の概要 実験水路は幅30cm、長さ8m、勾配1/1000で河床には粒径 $d_r = 0.48$ cmの礫が一様に敷かれている。河床付近の流れを可視化するために、水路上流端から5mの位置に外径1mmの注射針を水路の下から礫の頂部付近まで差しこみ、染料(ローダミンB)を一定速度で河床面に供給する。河床上に粒径 $d = 0.142$ cm、比重 $\sigma/p = 1.047$ のポリスチレン粒子をおき、染料で可視化された流れと粒子の運動を、上方から横断方向に4cmの幅にスリット光を照射して、高速ビデオカメラで同時に撮影した(図-1)。実験は単位幅流量 $q = 40.0$ cm²/sec、水深 $h = 2.8$ cm、摩擦速度 $u_* = 1.53$ cm/secの条件で行った。

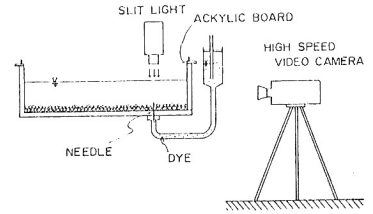


図-1 実験装置および撮影方法

(2) 粒子の浮遊現象 写真-1は河床付近の流れと粒子の離脱過程も、写真-2は河床付近の流れと粒子の再浮上過程を示している。写真中の白い丸が粒子で、河床上の不定形のものが染料であり、上方に撮影時刻(1/1000 sec単位)が示されている。

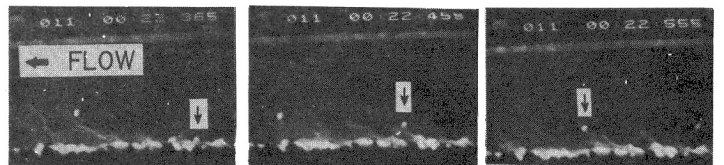


写真-1 (左よりa, b, c) 河床付近の流れと粒子の離脱過程

写真-1より、粒子は上昇流体塊とともに揚圧力によって急激に

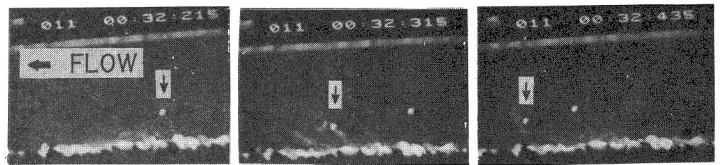


写真-2 (左よりa, b, c) 河床付近の流れと粒子の再浮上過程

河床を離脱し(写真-1 a, b)、その流体塊の影響を受けてさらに浮上する(写真-1 c)。浮上した粒子は、写真-2に見られるように沈降過程中に(写真-2 a)河床付近で発生した上昇流体塊の影響を受けて(写真-2 b)再浮上する(写真-2 c)ものもある。このように、粒子は上昇流体塊の影響を受けて離脱および再浮上する。

3. 粗面河床付近の乱流特性

(1) 実験の概要 粒子の浮遊機構に重要な役割りを果たす上昇流の特性を調べるために、水路上流端から5mの位置に白金線(径0.1mmで1mm間隔に絶縁)を設置し0.02 sec間隔で水素気泡を発生させ、それを高速ビデオカメラで撮影し、上昇流の発生周期、上昇速度、

Kazuo ASHIDA, Masaharu FUJITA, Ken MUKAI

継続時間、鉛直方向のスケール等を計測した。これらについては染料を用いた実験からも計測した。

(2) 粗面河床の乱流計測

イ. 上昇流の発生周期 図-2に実験結果を示す。滑面上におけるバースティング周期 $\overline{T}_B$ に関する中川・祢津¹⁾の結果 $\frac{\overline{T}_B U_{max}}{h}$
 $= 1.5 \sim 3.0$ (U_{max} : 流下方向の最大流速)を本実験条件に適用
 すると $\overline{T}_B = 0.23 \sim 0.47 \text{ sec}$ となり、本実験の結果とほぼ一致する。
 したがって、粗面においても滑面で発生するエジェクションと同程度の周期で上昇流が発生していることがわかる。

ロ. 上昇流の上昇速度とその継続時間 図-3に上昇速度 w_t と継続時間 t_e の関係をそれぞれ u_* と U (平均流速), h で無次元化して示す。上昇速度は上昇流が継続している間の平均速度で、継続時間はラグランジュ的継続時間 t_{eL} (トレーサーが上昇し続けている時間)とオイラー的継続時間 t_{eE} (上昇流の継続時間)を計測した。 w_t は u_* の0.5~2倍の範囲に集中しており、鉛直方向の流速 w_z の分布も平均0、標準偏差 $\sigma = u_*$ の正規分布とすると、 w_t は $w_z > 0$ での w_z の平均値よりもかなり大きく、 σ とは同程度かやや大きい。 t_{eL} と t_{eE} の値は大体同じで、その最大値は上昇流の発生周期にほぼ等しい。 w_t と t_e の間には点はバラついてはいるが正の相関が認められる。次に図-4に寿命時間とされているオイラー的時間スケールの自己相関係数を示す。これによれば、寿命時間は0.02~0.03 secでオイラー的継続時間よりかなり小さい。

ハ. 上昇流の鉛直方向のスケール 河床付近で発生する上昇流の上昇高さ(組織だった上昇流体塊の鉛直方向のスケール) λ_z の平均値の無次元表示 $\lambda_z^+ = \frac{u_* \lambda_z}{\nu}$ の値は171で、水深規模のスケールをもった上昇流体塊も観察された。これは中川・祢津²⁾による滑面でのバースティングの鉛直方向のスケール $\lambda_z^+ \leq 50$ と比較するとかなり大きい。これが粗面の影響によるものかは今後検討する必要がある。

4. 粒子の浮遊機構 以上より、粒子の浮遊機構は次のように考えられる。河床付近で滑面のエジェクションと同程度の周期で発生する上昇流に伴う揚圧力によって、粒子は河床を離脱する。粒子は平均的には u_* かそれ以上の速度をもつ上昇流による流体力を受けてさらに浮上する。上昇流が消滅して流体力が減くすると粒子は沈降し始めるが、沈降の過程で上昇流による流体力を受けると再浮上する。

参考文献 1) 2) 中川・祢津; セム断乱流の bursting 現象とその物理モデル, 第22回水理講演会論文集

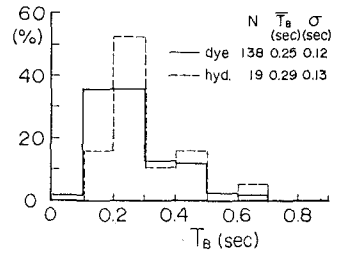


図-2 上昇流の発生周期

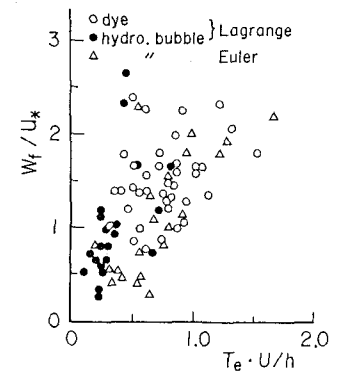


図-3 上昇流の上昇速度と継続時間の関係

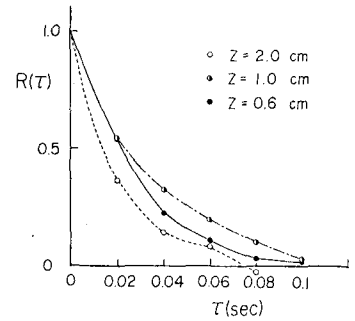


図-4 オイラー的時間スケールの自己相関係数