

九州大学工学部 正員 平野 宗夫
 同 上 正員 大本 照憲
 同 上 学生員 安藤 一郎

1. まえがき

浮流砂現象の記述の仕方は大別すると、粒子群と連続体とみなして拡散方程式から濃度分布を表したものと、個々の粒子に着目してその運動特性を確率的にとらえて全体像を描くものの2つの方法がある。本研究では、後者の立場から浮流砂機構を明らかにする目的の一端として、二次元せん断乱流中の浮遊粒子をLagrange的に追跡する基礎的実験を行い、その統計的性質を調べて運動特性を考察した。従来は、粒子の挙動はランダムと見なし、浮上から再び着床するまでの全過程においてその統計的性質を一括して取扱ったものが多いが、本研究では、浮上過程については乱れの組織的運動と関連づけて考え、掃流状態にある粒子は河床近傍で発生した流体塊の渦運動により浮上し、その後流送過程に入るという視点から、粒子の軌道と上昇と下降に分け、各々の部分について速度・加速度の統計的性質を調べた。

2. 実験方法

実験に用いた水路は全長5m、幅25cm、高さ20cmの側面アクリル製の変可変配水路であり、上流に整流装置を下流には可動ぜきを設けてある。河床は、中央粒径 $d_m=3.4\text{mm}$ の砂粒を密に貼り付け、完全粗面の固定床とした。この水路に上流から比重1.05のポリスチレン粒子を投入してその運動を16ミリカメラで側方から撮影し、Sonic Digitizerを用いて時間間隔 $\Delta t=1/64\text{sec}$ ごとの粒子の運動を追跡した。この結果から、河床から水面までを10層に分割したうちの各層ごとの粒子の速度や加速度に関する統計量と粒子が上昇運動している場合と下降運動している場合に分けて求めた。ここで図-1に示したように粒子の軌道の中で始点から最高点までを上昇運動とし、最高点から終点までを下降運動としている。なお、実験はすべて等流状態で行われたものである。

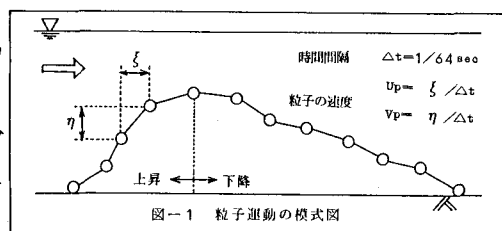


図-1 粒子運動の模式図

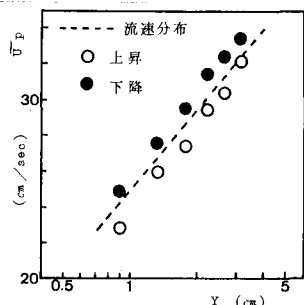


図-2 $\bar{U}_p$ の深さ方向の分布

3. 実験結果と考察

図-2は平均速度 $\bar{U}_p$ の深さ方向の分布を示すものであり、上昇時と下降時で浮遊粒子はかなり大きな速度差をもつことがわかる。この原因としては、粒子の大きささと考えた場合、浮遊粒子の慣性効果であるよりは、むしろ河床付近から生じた大規模な組織的渦運動の影響であるものと考えられ粒子の軌道は上昇運動と下降運動に分けて考える必要があろう。

図-3に河床から水面までを10層に分割したうちの、2層目における粒子のy方向の速度 V_p の頻度分布を示す。図中の実線は平均値と標準偏差から求めた正規曲線である。この図からこの層にお

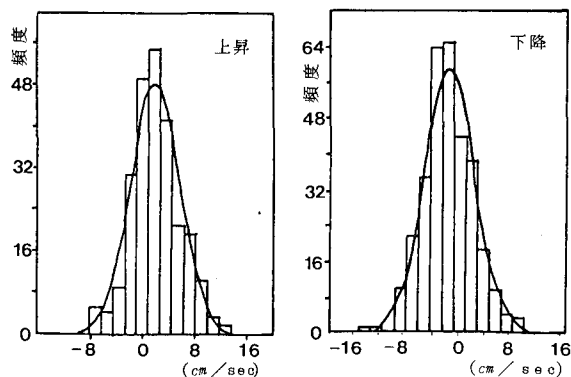


図-3 V_p の頻度分布

ける粒子の速度の頻度分布は上昇運動の場合と下降運動の場合と、ほぼ正規分布に従うことがわかる。この傾向は、サンプル数の少ない水面付近や河床付近を除いてはどの層でも同じである。また、 x 方向の速度 U_p に関して頻度分布は正規分布に従うことが確かめられた。

図-4に V_p の深さ方向の分布を示す。縦軸は $Y^+ = yU^*/\nu$ で、横軸は $V_p^+ = V_p/U^*$ で無次元化している。上昇運動の図には、Grassによる細砂のejectionの速度と併記したが、オーダーは同程度である。河床から離れるに従って V_p^+ の値は大きくなる傾向にあるが、その増加の割合はGrassのデータに比べて小さい。一方、下降運動においては V_p^+ の値の水深方向への変化は見られなかった。

図-5に V_p の標準偏差、すなわち乱れの強さ $\sqrt{Var V_p}$ とその位置の平均速度 $\bar{V}_p$ で割った変動係数 $Var V_p$ の深さ方向の分布を示す。いずれも河床付近で大きな値をとる、河床から離れるに従ってその値は減少し、一定の値に近づく傾向にある。

図-6, 7に各々 x 方向, y 方向の粒子の加速度 a_x, a_y の深さ方向の分布を示す。 x 方向の加速度 a_x は上昇時には正の値とり、下降時には河床に近づくに従って負の値を大きくしていることから、浮遊粒子は上昇過程で x 方向に加速され、下降過程で減速され流速分布に対応していることがわかる。 y 方向の加速度 a_y は上昇時、下降時ともに壁面付近で正の値とり、河床から離れるに従って小さくなっている。これは河床付近に発生、発達した上昇流体塊の影響が示唆され、また河床との衝突時を除いて、 y 方向の加速度が下向きであるsaltationの結果と異なり、浮遊粒子の運動メカニズムがsaltationとは違うことがわかる。

4. あとがき

以上、本研究では、せん断乱流中の粒子運動と上昇と下降に分けLagrange的に追跡し、単一ステップの移動量に関する統計的諸量を調べた。これらの実験により、(1)粒子の x 方向の速度は、上昇時と下降時では大きな速度差をとつことから、浮遊粒子は河床付近でスケールの大きい組織的渦運動の影響を受けるものと考えられる。(2)浮遊粒子の y 方向の遷移確率は、上昇時・下降時とも正規分布に従う。(3)浮遊粒子の y 方向の加速度特性は、saltationの場合とは異なった傾向を示す。などの粒子運動の特性と得た。

(参考文献) (1) 平野・志岐・大本, 第35回年講 (2) A. J. Grass, J. Fluid Mech. (1971)

(3) B. Mutlu Sumer and Rolf Deigaard, J. Fluid Mech. (1981)

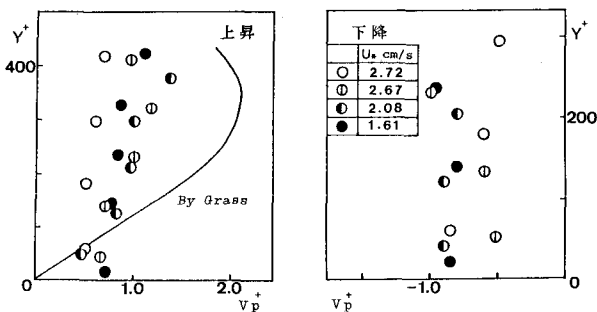


図-4 V_p の深さ方向の分布

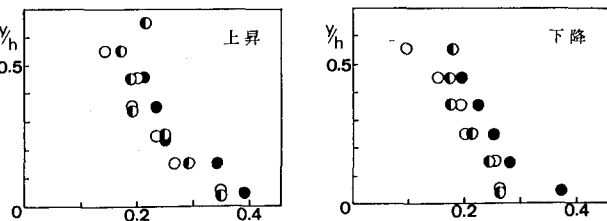


図-5 $Var V_p$ の深さ方向の分布

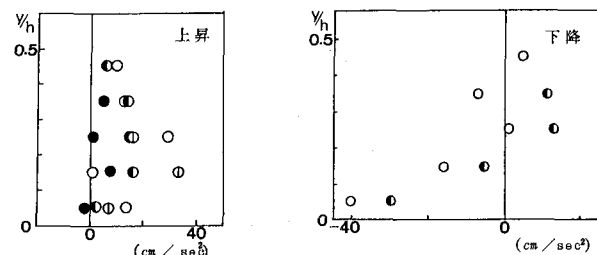


図-6 a_x の深さ方向の分布

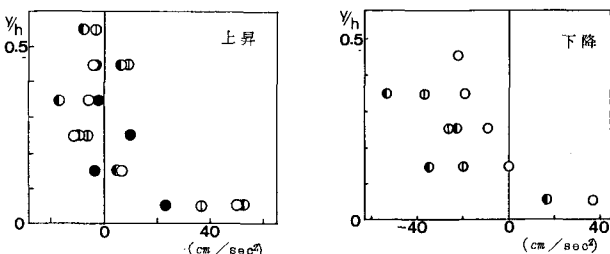


図-7 a_y の深さ方向の分布