

粒子の浮上機構に関する実験的研究

京都大学防災研究所 正会員 芦田 和男
 京都大学大学院 学生員 藤田 正治
 京都大学工学部 学生員 ○神田 昌幸

1. 緒言

水流中の砂れきの運動機構の解明は、流砂力学の基本的課題であるとともに、実際河川の流砂量推定という水工学上重要な問題への有効なアプローチであると思われる。河川の上流から中流にいたる河道では、粗粒子中に水流で輸送されやすい粒子の小さい砂粒子が存在するのが一般的であるので、粗面上に粒径の小さい砂粒子を数え、砂粒子が浮上し流水中を輸送されてゆく運動の軌跡を詳しく調べて解析することが望ましい。本実験では粒子運動の追跡を可能にするため、沈降速度が粒径 150μ の砂粒子に等しい球形ポリスチレン粒子を粗面上に均一に敷き、その浮上機構と浮上後の運動特性について種々の角度から検討を行った。

2. 実験概要

実験に用いた水路は幅 30cm 、長さ 800cm 、水路勾配 1.02×10^{-3} で、左岸の側壁の一部は透明なアクリル板張りにし、側面から粒子の運動が観察できるようにした。粒子軌跡は運動粒子をビデオ装置と鏡を用いて側面上面から同時撮影し(図-1)、ビデオモニター画面上で $1/30$ 秒間隔で粒子位置を読み取ることでより求め、ブラウン管のひずみ等は撮影に際し前もって行ったキャリブレーション用の画像により修正した。実験条件および粒子の平均粒径、平均沈降速度、密度は表-1, 2のとおりである。

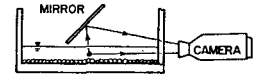


図-1 ビデオ装置設置図

Q (cm^3/s)	h (cm)	I	v_s (cm/s)	v_{s0} (cm/s)	d_p (μm)	ρ (g/cm^3)	ρ_s (g/cm^3)	ρ_s/ρ
39.7	2.57	0.00102	1.40	0.012	0.483	0.370	1.2200	26.3

表-1 実験条件

$\bar{d}$ (μm)	$\bar{w}_s$ (cm/s)	ρ_s/ρ
0.142	1.88	1.047

表-2 粒子の平均粒径・平均沈降速度・密度

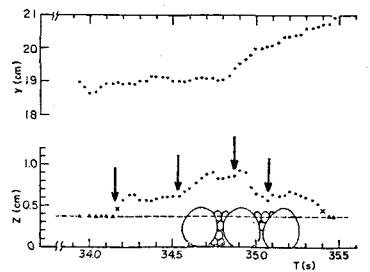


図-2 粒子の鉛直方向・横断方向軌跡図

3. 粒子の運動特性

(1) 粒子の浮上機構

本実験により得られた粒子運動軌跡の1つを図-2に示す。実験観察によれば、河床粒子は圧力変動で生じる圧力差によって河床から若干浮上し、その後、上向きに上昇する流体塊に取り込まれた場合は、粒子は流体塊と粒子の相対速度による上向きの流体力を受けて大きく浮遊し(図-3)、また流下方向への抗力が支配的である場合は、サルテーションが生じると考えられる。上向きの流体力の原因となる流体塊の上昇は図-2の粒子の運動軌跡に見られるように間欠的に生じている。そこで浮遊する粒子の再浮上発生時間間隔 T_s の分布を調べて図-4に示した。この図において T_s は $0.30\sim 0.45$ 秒の範囲に 65% 集中している。最近の研究では粗面においてもバースティング現象

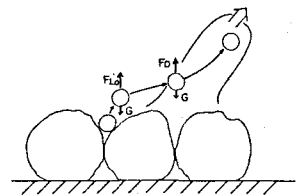


図-3 浮上機構

が生じるという報告がなされているが、ここで詳しい研究が行われている滑面でのバースティング現象の平均周期 $\bar{T}$ の性質を表わす式 $\bar{T} \cdot u_{max}/h = 1.5 \sim 3.0$ ¹⁾を適用してみると、 $u_{max} = 18.45 \text{ (cm/sec)}$ 、 $h = 2.57 \text{ (cm)}$ で $\bar{T} = 0.208 \sim 0.417$ となる。これは、図-4の分布と一致する。一方、エジェクション高さ λ_2 は $\lambda_2^* = \frac{u \cdot \lambda_2}{v} : 80 \sim 100$ ²⁾であり特にコヒーレントな運動では $\lambda_2^* < 50$ で与えられるから、 $\lambda_2 = \bar{z}_{max}$ とすると(図-5参照)、 $\lambda_2^* = 49.7$ となり良く適合する。これらの性質は粒子の浮上機構がバースティング現象の影響を受けていることを示唆している。

④) 並列らせん流の影響の可能性

粒子の軌跡の断面投影図の代表例を図-6(a)(b)に示す。このように粒子は鉛直方向のみならず横断方向にも大小のループを描きながら運動している。そこで、浮遊粒子の横断方向の変動幅 b_s の分布を調べ図-7に示した。水深 h は 2.57 cm であるから、 b_s はすべて水深以下であることがわかる。また、浮上時

に粒子に作用する流体力を粒子の軌跡より三次元的に各成分別に求め、図-8に示す。粒子は x 方向に受ける力と同じ程度の大きさの力を y 方向にも受けていることがわかる。 z 方向には、 x, y 方向よりもかなり大きな力を受ける。図-9には粒子の飛び出す方向の、水平面・流下方向にたてた鉛直面とのなす角度 θ_{xz}, θ_{xy} の分布を示した。図によると θ_{xz} は $25 \sim 40^\circ$ のあたりに最頻値をもつが全体的にはばらつきが大きく、 θ_{xy} は $0 \sim 30^\circ$ の分布が多いが $60 \sim 70^\circ$ という値を示すものも存在している。これらより、粒子の運動は並列らせん流の影響により横断方向にも運動するのではないと思われる。

4. 結語

以上、粗面で構成された河床に存在する粒子の浮上に関する三次元的な運動特性を詳細に検討してきた。本研究は粒子運動を定性的な側面からとらえたのであるが、その中で粒子の浮上とバースティング現象との関連や並列らせん流の浮遊粒子への影響が存在することがわかった。

参考文献

- 1) 中川博次；楠津家久：せん断乱流のbursting現象とその物理モデル

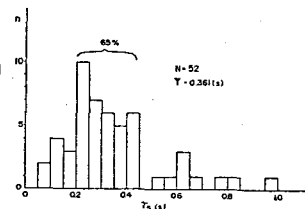


図-4 再浮上発生時間間隔 T_s の分布

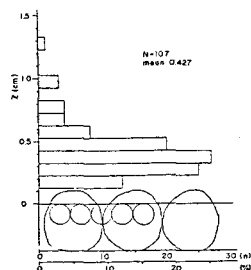


図-5 Z_{max} の分布

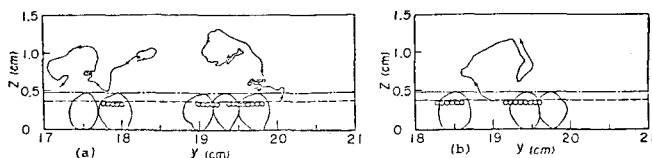


図-6 軌跡の断面投影図

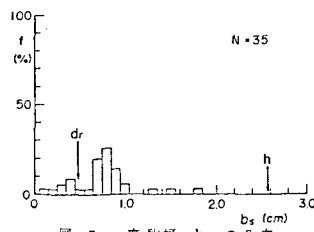


図-7 変動幅 b_s の分布

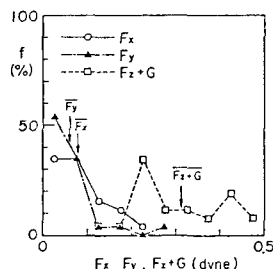


図-8 流体力の各成分

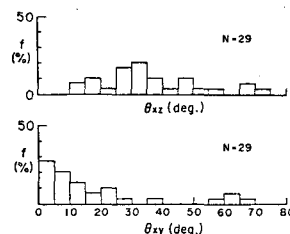


図-9 θ_{xz}, θ_{xy} の分布