

佐賀大学 正員 ○渡辺 訓甫
九州大学 正員 藤田 和夫
九州大学 正員 柴田 敏孝

1. まえがき

掃流砂量、浮流砂量を計算して、全流砂量を求める式としては Einstein, Lane-Kalinske, Toffaletti などの式があるが、浮流砂量については、掃流と浮流の境界およびその奥の濃度、底面粗度の影響、浮流砂の存在による乱流構造の変化など複雑な因子が錯綜し、実際河川への適合性については多くの疑問が残されている。特に、移動床の水路や河川には sand wave や不規則な凹凸が形成されていることが理論的な説明をさらに困難にしている。以て、着者は、河床波上の砂粒の運動形式を考慮し、簡単な実験から、掃流層の厚さが平均河床から測って $\frac{\Delta}{2}$ (Δ : 波高)、粗度層 (粗度によって惹き起される大きい乱れの層) を導いて、その厚さが $\frac{\Delta}{2}$ とし、また、粗度層下限濃度 (浮流砂下限濃度) と掃流層の濃度とが不連続に持続していると考えて浮流砂量を算定した。本文は、二次元三角形粗度 (二次元 Dune の模型) 上に移動する粒子の軌跡をストロボ装置で写真撮影して、上述の考えを実験的に検証し、より合理的な浮流砂量の算定に寄与しようとするものである。

2. 実験装置および実験方法

2.1 実験装置

実験に用いた水路は、幅 25 cm、長さ 5 m の全面アクリル板製水路である。水路底には波形勾配 $\Delta/\lambda = 0.1$ (波高 $\Delta = 2.0$ cm、波長 $\lambda = 20$ cm) の真ちゅう製三角形粗度を 40 m に渡って設け、また水路勾配 1

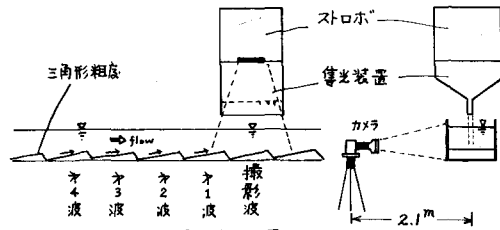


図-1 実験装置

は 0.0022 とした。水面水路側壁および波面は黒色ラッカーで塗装した。また、この実験に用いた粒子はポリスチレンビーズでプラスチック製品の原料である。その属性は、白色でほぼ球状、比重 1.052、粒径 0.2 cm、沈降速度 1.72 cm/s (水温 11.6°C) である。移動粒子の撮影にはストロボ装置を用いて、発振周波数も 80% とし、幅 1.0 cm、長さ 30 cm のスリットに集光させた。フィルムは TR Y-X を使用し、ASA 400、シャッタースピード 1.0 秒、絞り 5.6 とした。撮影区間は、水路のほぼ中央で、1 波長を含んで 30 cm (スリット長) である。水理条件は一定に保ち、単位幅流量 212 cm²/s、平均水深 6.82 cm、平均流速 31.1 cm/s、摩擦速度 3.84 cm/s である。これは、粒子の沈降速度に比べて摩擦速度を大きくする目的である。

2.2 実験方法

本来ならば、移動粒子を数波長に渡って追跡撮影すべきであるが、実験装置の都合上ストロボ装置およびカメラは水路中央付近に固定させ、図-1 の矢印に示すように、粒子を供給する河床波を 4 個とし、第 5 波目を撮影波とした。ここでは、便宜上撮影波より上流へ向けて、第 1 波、第 2 波、第 3 波、第 4 波と呼ぶことにする。粒子は各波の wake の reattachment point 下流からスポイドを用いて、1 個ないし 2 個程度流下させ、ストロボからの集光帯に入ったところでシャッターを切った。

3. 実験結果とその考察

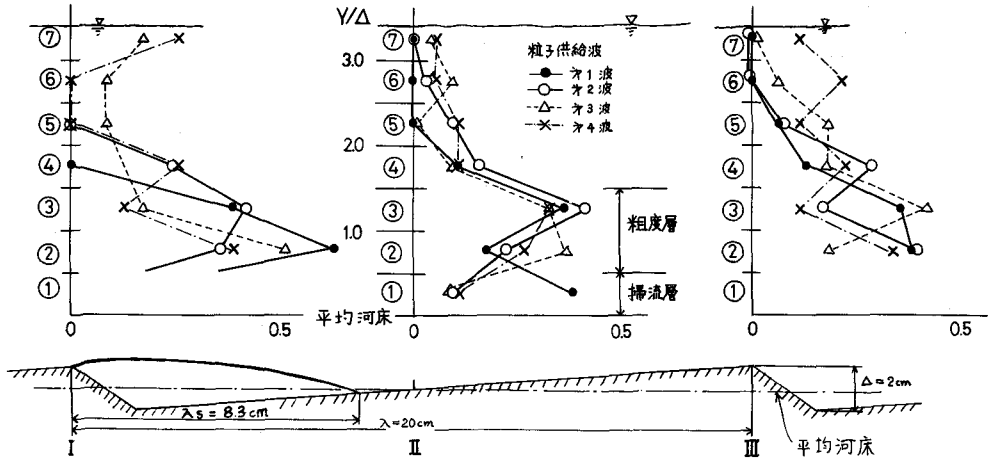
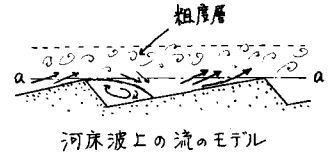


図-2 断面を通過する粒子の鉛直方向の濃度分布

撮影波において、水深を平均河床より半波高分の幅の層で区切り、各層を通過する粒子の頻度をその軌跡から調べたのが図-2で、I断面は第1波のcrest、II、III断面はそれぞれ撮影波の中央およびcrestの位置である。有数のdataの数が少ないため確定的な事は言えないが、第1波の背面を掃流される粒子は、そのcrestの位置でせいぜい③層までの高さ(平均河床より $\frac{1}{2}\Delta$)で通過して次の波(撮影波)へ飛ぶ。撮影波の中央断面IIでは、第1波からの粒子でなお背面近傍を通過するものがあるが、存在するが、移動を開始して2波以上の波を通過した粒子(第2,3,4波からの粒子)はすでに定常状態になっていると思われる。即ち、ほとんどの粒子が②層および③層(平均河床から $\frac{1}{2}\Delta$ の範囲)に集中して、浮遊状態で流下している。このことについては次の條に考えることができる。底面に河床波が形成されると、その近傍では、wakeに沿ってやや下向き、背面に沿って上向きのmean flowが発生する。今、粒子の持つ速度の鉛直成分 V と濃度 C を $V = \langle V \rangle + V(x) + v' - w_0$; (w_0 : 沈降速度), および $C = \langle C \rangle + C(x) + c'$ と表わし、上図の aa 面を通して輸送される1波長間の平均量を考えると、定常状態では $\langle CV \rangle = \langle C(x)V(x) \rangle + \langle c'v' \rangle - \langle c \rangle w_0$ となり、乱れの拡散作用および沈降速度によって輸送される他にmean convectionによる輸送量が新たに付加される。この量は一定正の値を持つと考えられるので、沈降速度が小さく、掃流力が大きい場合には、上層への輸送量が卓越し、粒子はほとんど浮遊状態で移動することになる。即ち、mean convectionによりcrest付近で吹き上げられた形で移動する粒子は、この吹き上げは粗度によって惹起されるscaleの大きい乱れとみなすと、この乱れに補えられて、拡散作用の大きい粗度層を浮流し、粗度層の厚さは吹き上げの高さ $\frac{1}{2}\Delta$ にはほぼ等しく、粗度層の下限(浮流限界点の高さ)は平均河床より測って $\frac{1}{4}\Delta$ とみてよいであろう。



河床波上の流のモデル

今後、さらに実験dataを増やすと共に、砂粒についても実験を行ない、河床波上の粒子の挙動について詳細な検討を進める計画である。