

浮遊粒子の飛高と飛距離に関する数値シミュレーション(第三報)

九州大学工学部 正会員 大本照憲
 同上 学生員 ○安藤一郎
 同上 学生員 黒瀬雅仁

1. まえがき

河床砂れきの運動が確率的であることに着目した最初の研究はEinsteinにより行われている。掃流砂に関する stochastic model は、砂粒の単位時間当たりの河床からの離脱確率 (pick-up rate) と移動を開始した砂が再び停止するまでの距離 (step length) とから構成されている。本研究は、浮流砂運動のモデル化に於いて pick-up rate と step length が重要なパラメータとなると考え、実験的考察を試みた。なお、浮流砂では pick-up rate は河床上に停止又は掃流的運動としている粒子が浮遊形態となりながら主流へ捕捉されていく単位時間当たりの離脱確率、step length は浮上から着床までの流れ方向の移動距離とする。

2. 実験装置および実験方法

実験に使用した水路は全長 5 m、幅 25 cm、深さ 20 cm の側面アクリル製の変可変水路であり、上流に整流装置と下流には可動せきと設けてある。河床は溝の間隔 $s = 10$ cm、幅 $b = 2$ cm、深さ $k = 2$ cm の溝粗度とした。この水路の上流端から 2 m の位置に、図-1 の示すように粒子の供給装置を設置した。底板に設けた溝は粒子の採集のためのトラップの役目と果たすものである。供給部はポイントゲージと一体となっており、実験中に供給部の粒子の上面が固定床上面と平行、連続になるよう調整することができるようになっている。

実験方法は、水深を高くした状態でサイフォン方式で供給部に粒子を充填し、水理条件が所定のものに落ち着いたところで、供給部のフタを取り取り測定を開始する。ポイントゲージの調整で試料上面と平面に保ち、一定時間後にせきと上げ実験を終了する。各トラップより採集した粒子は炉乾燥した後、重量と測定し比重より体積と算定した。なお、実験は1つの水理条件に対し、5回粒子を流し、測定値はその平均ととった。

実験に使用した粒子は、球形のポリスチレン粒子で、粒径、比重、沈降速度およびその分布を図-2に示す。

3. pick-up rate の算定

今回の実験では、供給部に充填された粒子の内、表層にある粒子が単位時間当たり、どの位の割合で離脱するか、すなわち流砂量から流砂の粒子個数と算定し、それと粒子と密に詰めた状態の表層(単層)の粒子個数で除して pick-up rate, p_s とした。原点残留法による pick-up rate の測定は、初期の影響を大きく受けるが、上の方法で行うと、より定常な状態でより正確な pick-up rate と測定することができる。図-3及び図-4に、各々

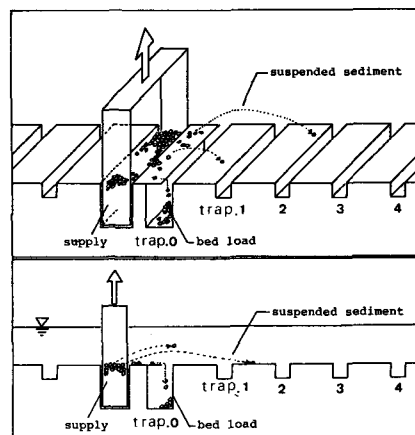


図-1 実験水路概略

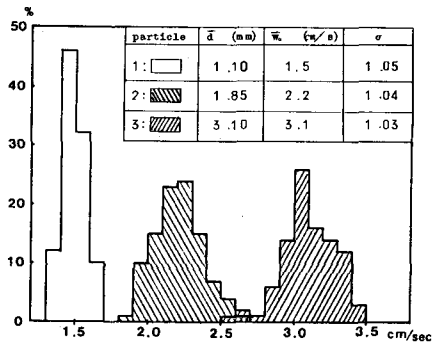


図-2 粒子の沈降速度分布

掃流砂及び浮流砂の実験結果を $ps\sqrt{d/(\sigma/p-1)g}$ と $u_*^2/(\sigma/p-1)gd$ との関係で示す。ここでは、0番のトラップに捕獲された粒子を掃流砂、1番以降のトラップに捕獲された粒子を浮流砂とした。今回の実験において、 $1 \times 10^{-1} < u_*^2/(\sigma/p-1)gd < 5 \times 10^{-1}$ の範囲では、浮流砂の pick-up rate は掃流砂のそれより大きい。無次元掃流力 $u_*^2/(\sigma/p-1)gd$ が小さく 1×10^{-1} に近づくと、その差は小さくなり、逆転する傾向にある。しかし、粒子の運動を観察すると、無次元掃流力の小さな流れでは、掃流砂は0番のトラップにほとんど捕獲されるが、掃流力が大きくなると、掃流運動をしている粒子が0番のトラップを乗り越えて下流へ流される粒子があり、1番以降のトラップに掃流砂がいくらか混合されている。なお、実験では均一砂と混合砂の pick-up rate の差異はあまり見られなかった。これは、粒子の径が大きくなるにつれて比重が小さくなったためと考えられる。

4. step length の確率分布

今回の実験方法では、掃流力の小さな流れでは、大部分の掃流砂が0番のトラップで捕獲され、i番のトラップの上とi番と(i-1)番のトラップの間に落ちた粒子は、i番のトラップに貯まる。この各トラップに貯まった浮流砂量の全浮流砂量に対する割合は、供給口から離脱した粒子がi番のトラップとi番と(i-1)番のトラップの間に落ちる確率を示している。すなわち、その分布は浮流砂の step length の確率分布を示している。しかし、掃流力が大きくなると、河床に落ちた粒子がすぐ下流のトラップに取り込まれる前に、再び河床から離脱してトラップを飛び越え、下流へ流される。そこで、粒子がxの地点に落ちて来る割合を falling rate と呼び、 $g(x)$ とおくと、定常状態では次の式が成立する。

$$g(x) = \int_0^x p_s(z) \varphi(z) f(x-z) dz$$

ここに、 $p_s(x)$: pick-up rate, $f(x)$: step length の確率分布。

$\varphi(x)$: 粒子の河床における存在確率

$g(x)$ の分布は各トラップに貯まった流砂量の割合の分布を示すので、図-5の示すように $g(x)$ とレーリー分布 ($g(x) = v^2 x e^{-vx}$) とするのが妥当である。ここで、粒子の河床における存在確率 $\varphi(x)$ と $\varphi(x) = e^{-\alpha x}$ と仮定し、 p_s と定数とすると、上の積分方程式から、step length の確率密度関数 $f(x)$ は、 $f(x) = (A+Bx)e^{-\beta x}$ (A, B は定数) の形となる。前報の数値シミュレーションと実測値による、単一粒子の step length の確率分布は対数正規分布と予想されたが、今回の実験による step length の確率分布の分布形は図-6 のようになった。

＜参考文献＞

- 1) 石原藤次郎編 水工水理学
- 2) 平野, 大本, 田中, 内田 昭和58 西部支部研究発表会

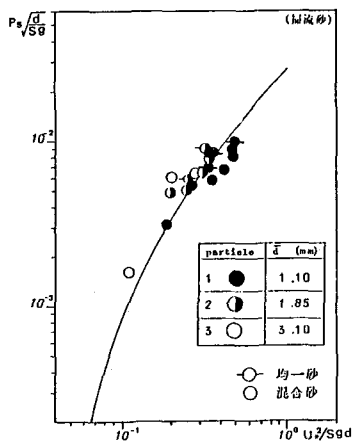


図-3 掃流砂の pick up rate

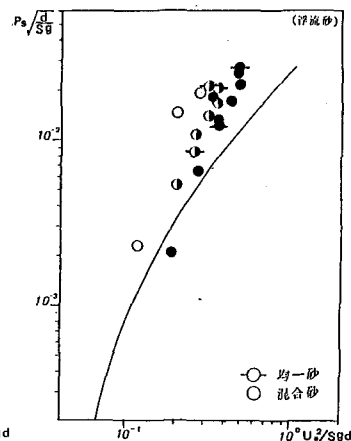


図-4 浮流砂の pick up rate

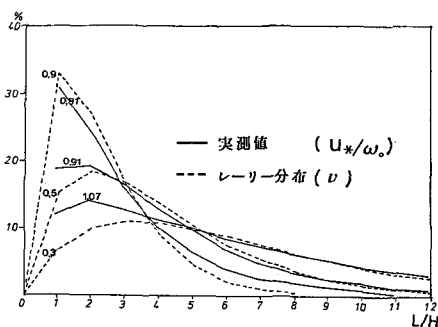


図-5 Falling rate の分布形

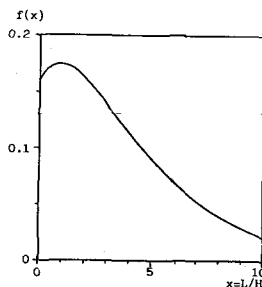


図-6 Step length の確率分布