

可視化による砂粒子の浮遊軌跡

大同工業大学 正員 久保田稔

1. はじめに 近年、河床形状の形成過程と組織渦との関係が新たな研究課題となってきた。組織渦としてはバースト、コルク・ボイルおよび並列ラセン流がある。これら組織渦のうち、バーストおよびコルク・ボイル現象が流水中への土砂供給に大きく関与することが判明しつつある。ところで、河床波上での浮遊砂の基準点濃度式を考察するには、どの様に河床波上から砂粒子が浮遊流下するかを詳細に検討する必要がある。

そこで著者は、まずは組織渦による流水中への土砂供給過程を把握する一助として、流水中への砂粒子の供給現象を可視化法で観察した。

2. 実験装置および実験方法 実験は幅30cm 高さ50cm 長さ25m の実験水路に水路こう配1/800で、水路上流端から5mの位置より13mの間、15cmの厚さに7号珪砂(平均粒径  $d_{50}=0.16\text{mm}$ )を敷き詰めて行った。

可視化に使用した光源は、1個1kwのハロゲン電球2個であり、スリット幅3mmの光をスケールおよび路床に照射した。なお、スケールは直径約0.07mmのナイロン糸に1cm間隔で1mペイントしであり、スケールによる流水への影響はないものと考えた。

土砂浮上過程の撮影には、ビデオカメラを使用し、0.05秒間隔で砂粒子の浮遊状態をプリントアウトしている。

3. 実験結果 河床波上の流水は、河床波の峰で剝離し、その後河床波の背の部分に再付着するので、流れ場の構造は相当複雑になっている。図1は、砂粒子が河床波の峰部分から浮遊流下した軌跡であり、図2は、再付着点付近から浮上した砂粒子の運動軌跡である。

以下に、浮遊流下の初期条件としての離脱速度および離脱角度について従来の砂粒子移動モデルでどの程度説明できるかを検討する。

砂粒子の水中自重 $W$ 、抗力 $D$ および揚力 $L$ は、

$$\begin{aligned} W &= (\rho_s - \rho_f) g A_3 d^3, \\ D &= \epsilon_0 C_D \rho_f u_b^2 A_2 d^2 / 2, \\ L &= \epsilon_0' C_L \rho_f u_b^2 A_2 d^2 / 2 \text{ である。} \end{aligned}$$

ここに $\rho_s$ 、 $\rho_f$ は砂粒子と水の密度、また $g$ は重力の加速度、 $u_b$ は路床付近の代表速度 $d$ は砂粒子の直径、 $\epsilon_0$ と $\epsilon_0'$ は遮蔽係数、 $C_D$ と $C_L$ は抗力係数と揚力係数および $A_2$ と $A_3$ は砂粒子の面積と体積の係数である。

さて図3を参考にして、砂粒子の離脱角度と離脱速度との関係を誘導する。水平分力 $F_x = D \cos \alpha - L \sin \alpha$ 、垂直分力 $F_y = D \sin \alpha + L \cos \alpha - W$ より、離脱角度 $\gamma$ は

$$\tan \gamma = (1 - k_L \tan \alpha)^{-1} \left\{ k_L + \tan \alpha - \frac{2}{\epsilon_0 C_D} \frac{A_3}{A_2} \frac{(\rho_s / \rho_f - 1) g d}{u_b^2} \right\} \text{ ----- (1)}$$

であり、ここに $L/D = k_L (=0.85)$ である。

一方、離脱速度 $v_0$ を力積方程式より求め、離脱角度の式を代入して整理すると、離脱速度 $v_0$ と離脱角

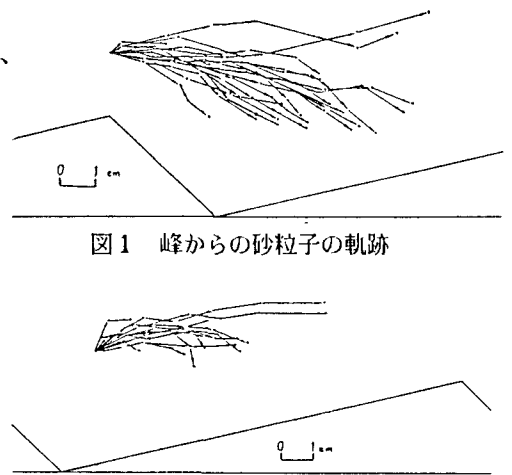


図1 峰からの砂粒子の軌跡

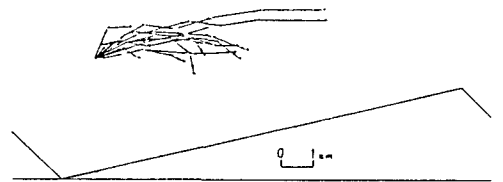


図2 再付着点からの砂粒子の軌跡

度 $\gamma$ との以下の関係が得られる。

$$\frac{v_0}{u_b} = \alpha_0 \frac{\varepsilon_0 C_D A_2 \rho_f}{2 A_3 \rho_s} [1 + (\tan \gamma - \tan \alpha) \frac{\sin \gamma}{\cos(\gamma - \alpha)} + k_L \{ \tan(\gamma - \alpha) - (1 + \tan \alpha \cdot \tan \gamma) \frac{\sin \gamma}{\cos(\gamma - \alpha)} \}] \cos(\gamma - \alpha) \quad (2)$$

図4は河床波の峰から浮上した砂粒子の $v_0$ と $\gamma$ とであり、図5は再付着点から浮上した場合である。両図中には離脱角度が $20^\circ$ 以上の実験値より求めた $(\alpha_0 \varepsilon_0 C_D A_2 \rho_f / u_b) / (2 A_3 \rho_s)$ の平均値を用いた式(2)が 図3 砂粒子に作用する力示してある。なお図4には参考のため、離脱角度が $20^\circ$ 以下の実験値に対して揚力 $L$ が作用しない場合の式( $k_L = 0$ )が示してある。両図より、離脱角度が $20^\circ$ 以上の場合、式(2)は、ある程度 $v_0$ と $\gamma$ との関係を再現している。

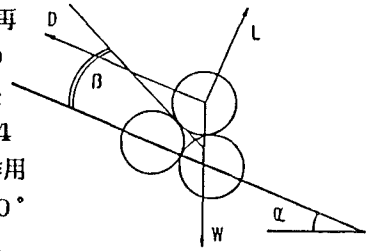


図3 砂粒子に作用する力

しかしながら、離脱角度が $20^\circ$ 以下の実験値の場合には、離脱速度 $v_0$ にかかわらず離脱角度はほぼ一定( $15^\circ$ )となっている。つまり砂粒子の浮上過程には、揚力が支配的に作用する浮上型式と離脱角度が一定な浮上型式とが混在していると推測される。4. おわりに 再付着点付近からの砂粒子の浮上については、従来の砂粒子移動モデルである程度説明できるようである。一方、峰からの砂粒子浮上には、相異なった浮上機構が混在していると推察される。

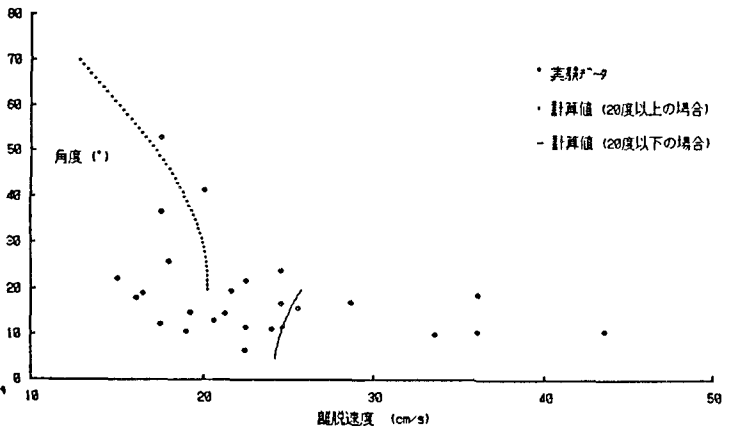


図4 峰から浮上した砂粒子の $v_0$ と $\gamma$

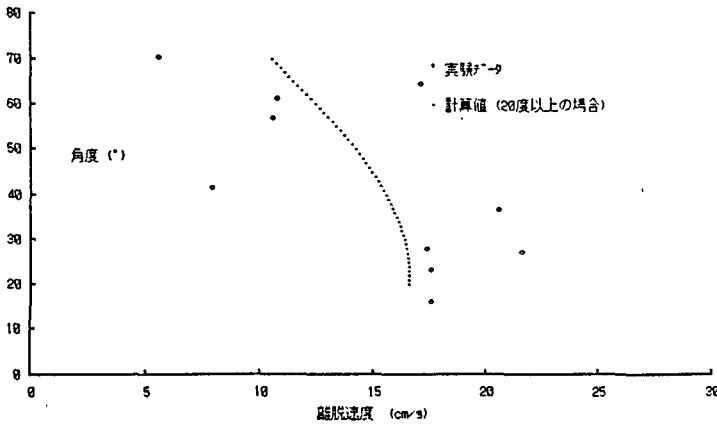


図5 再付着点から浮上した砂粒子の $v_0$ と $\gamma$