

側岸土砂の pick-up rate について

金沢大学工学部 正 員 辻本 哲郎

京都大学工学部 正 員 村上 正吾

京都大学大学院 学生員 村山 一啓

姫路市役所 桑原 秀明

1. まえがき 斜面における土砂移動機構の解明は河岸側岸部の侵食、河道の拡幅、流路変動を明らかにするために必須であるが、掃流力の場所的分布が非一様な場での非平衡流砂状況を呈しているため、その記述には stochastic model が適していると考えられ、本報ではその構成要素の一つである pick-up rate の推定式を求める。平坦河床上でのそれは中川ら¹⁾が砂粒の転動離脱するのに要する時間を流体力の変動を考慮し求め、その逆数として与えているが、ここでは離脱に滑動形式を仮定し、乱れの効果を砂粒が離脱に必要な平均的な流体力の作用による離脱として得られる解に付加するものとする。一般に、側岸材料では粘着性が問題となるが、ここでは、非粘着性球状粒子として取扱う。

2. 側岸土砂の pick-up rate 側岸上の砂粒に作用する力は図-1に示すように重力 $W((\sigma - \rho)gA_3d^3)$ 、抗力 $D(=C_D \frac{1}{2}\rho u^2 A_2 d^2)$ 、揚力 $L(=C_L \frac{1}{2}\rho u^2 A_2 d^2)$ で、ここに、 σ, ρ : 砂と水の密度、 C_D, C_L : 抗力・揚力係数、 A_2, A_3 : 砂の1・2次元形状係数、 d : 砂の粒径である。これらの作用力の合力 F の大きさは式(1)で、またその方向 $I-I (\tan \beta)$ はその軸と垂直な $II-II$ 方向の力の釣り合い式より式(2)で与えられる。式中、 θ : 側岸の傾斜角、 λ : 水流の方向、 μ_f : 砂の静止摩擦係数である。いわゆる限界掃流力は $F=0$ により与えられる。

滑動離脱の運動方程式は $M \cdot \ddot{v}_s = F$ で表され、ここに $M = \rho \cdot (\sigma / \rho + C_M) \cdot A_3 \cdot d^3$ (C_M : 付加質量係数) $\ddot{v}_s$: 初期加速度である。いま粒子の運動の特性時間 T_0 を式(3)で定義する (F_1 : 実験定数)。この特性時間内に離脱に必要な流体力が平均的に作用して離脱すると、平均離脱速度 $\bar{v}_s$ は式(4)となる。一方、粒子の離脱に要する時間 T_D は、 $T_D = k_1 d / \bar{v}_s$ で与えられ、pick-up rate p_s はその逆数 ($p_s = 1/T_D$) であるので結局、 $p_s = \bar{v}_s / k_1 d$ となる。無次元化することにより式(5),(6)が得られる。なお、式中 $\sim$ は変動を考慮しない一定値の作用によることを意味している。次に平坦河床での中川らの近似式(7)を用いて、式(5),(6)中の実験定数についての検討を行う。 τ_c が十分に大きい時、式(7)は $p_s \rightarrow 0.03 \tau_c$ となり、式(5)についても $\theta=0$ で同じ傾向となるはずであるから、 $(F_1/k_1) \cdot B_s = 0.03$ が得られ、一方、 $f(\tau_c|0)$ の右辺第二項は平坦河床上的での限界掃流力 $\tau_{*c}(=\tau_{*c}(\beta=0))$ を表わしている。流体力の変動を考慮せずに求められる pick-up rate の推定式は、結局(8)式で表わされ、変動を考慮した式(7)と比較すると、流体力の変動の効果により、見かけの限界掃流力 τ_{*c} が小さくなることおよび、 $(1-\tau_{*c}/\tau_*)$ の関数形が変化し、式(9)の式形で表わされることである。同様のことが、側岸上粒子の pick-up rate 式にも当てはまると考えると、式(8),(9)に対応する式は、それぞれ式(10),(11)で表わされ、中川ら¹⁾と同様の定数を用いると、図-2の理論曲線群が得られる。

3. 実験 実験は長さ9m、幅30cmの可変勾配水路に、pick-up rate測定用の砂と同粒径の砂で粗度付けした一部移動床を有する台形断面固定床を設置し、底面せん断力評価のため、直径3mmの超小型プロペラ流速計で横断面内流速分布を詳細に測定し、同時にビデオカメラで移動床面を真上より撮影し、画面より単位面積当りの飛び出

し個数およびビデオポジションアナライザーにより運動軌跡から抜け出し角 β を読みとった。平坦部、側岸上ともに底面せん断応力 τ_0 は、各点の壁面に対する法線方向流速分布に対数則を仮定し、摩擦速度 u_* を評価して求めた。こうして得られた $\tau_* (= \tau_0 / (\sigma - \rho) g d)$ とビデオ画面より読み取った p_{s*} とをプロットしたのが図-3(a)、(b)である。理論曲線と実験値との対応は良好である。図-4には $\tau_* \sim \beta$ の理論曲線と実験値がプロットしてあるが、 β は移動を開始した瞬間の運動方向として定義されるのに対し、実際の読み取りにおいては、初期位置と移動開始後ある時間の位置より定めたため、水流の影響を受け、計算値より大きめの結果となっている。この較正については現在検討中である。

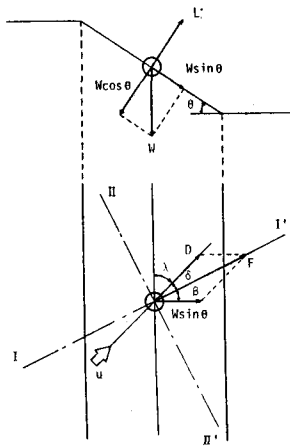


図-1 作用力図

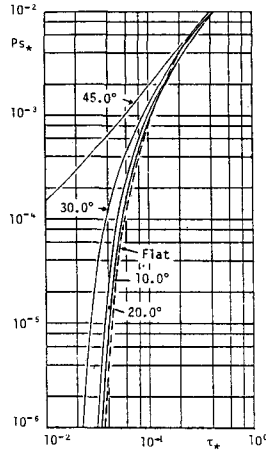


図-2 $p_{s*} (\tau_* | \theta)$

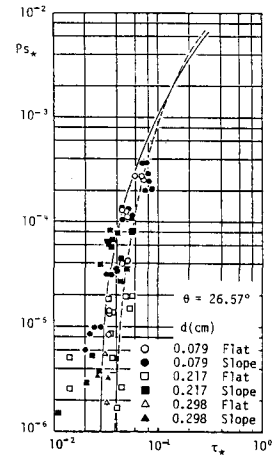


図-3 $\tau_* \sim p_{s*}$

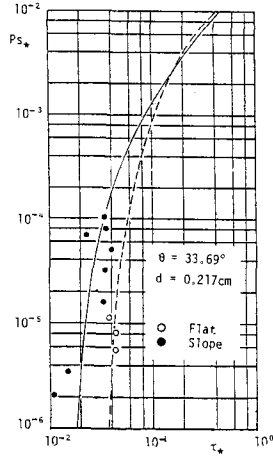


図-3(b) $\tau_* \sim p_{s*}$

$$\begin{aligned} F &= D \cos \delta + W \sin \theta \cos \beta - (W \cos \theta - L) \mu_f & \text{--- (1)} \\ \tan \beta &= D \cos \lambda / (W \sin \theta + D \sin \lambda) & \text{--- (2)} \\ T_0 &= F_1 d / \sqrt{(\sigma - \rho) g d} & \text{--- (3)} \\ \bar{V}_s &= F_1 \cdot B_* \cdot f(\bar{\tau}_* | \theta) \cdot \sqrt{(\sigma - \rho) g d} & \text{--- (4)} \\ B_* &= \epsilon_0 / ((\sigma / \rho) + C M) \cdot (A_* / A_0)^2 \cdot \{k_L \mu_f + \sin(\lambda + \beta)\} & \text{--- (5)} \\ \bar{p}_{s*} &= (F_1 / k_1) \cdot B_* \cdot f(\bar{\tau}_* | \theta) & \text{--- (6)} \\ f(\bar{\tau}_* | \theta) &= \bar{\tau}_* - \tau_{*c} c(\bar{\tau}_*) & \text{--- (7)} \\ \tau_{*c} &= (1 / \epsilon_0) \cdot (A_0 / A_*)^2 \cdot (\mu_f \cos \theta - \sin \theta \cos \beta) / (k_L \mu_f + \sin(\lambda + \beta)) & \text{--- (8)} \\ p_{s*} &= 0.03 \bar{p}_{s*} (1 - \tau_{*c} / \bar{\tau}_*)^3 & \text{--- (9)} \\ \bar{p}_{s*} &= 0.03 \bar{\tau}_* (1 - \tau_{*c} / \bar{\tau}_*) & \text{--- (10)} \\ p_{s*} &= 0.03 \phi(\bar{\tau}_*) \cdot \bar{\tau}_* (1 - \tau_{*c} \phi(\bar{\tau}_*) / \bar{\tau}_*) & \text{--- (11)} \\ \phi(\tau_*) &= (\mu_f \cos \theta - \sin \theta \cos \beta) / (1 + k_L \mu_f) & \text{--- (12)} \end{aligned}$$

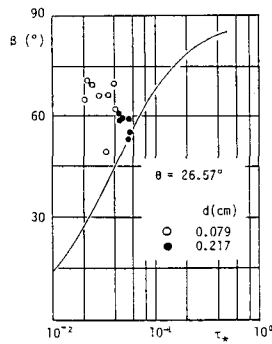
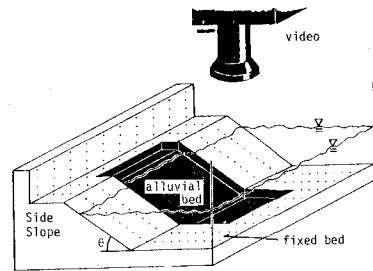


図-4(a) $\tau_* \sim \beta$

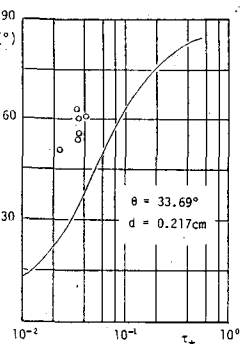


図-4(b) $\tau_* \sim \beta$

4. あとがき 側岸上の非平衡流砂状況の記述のために、pick-up rateの推定式を求め実験によって検討した。今後、粘着性浸透流による力の効果を取り入れ、さらに適用の範囲を広げるとともに、側岸上での砂粒の流送過程と側岸の侵食過程についての研究を進めていきたいと考えている。