

壁面流出入の砂粒の初期移動に及ぼす影響について

京都大学工学部 正 員 中川 博次 京都大学工学部 正 員 村上 正吾
 京都大学工学部 正 員 清水 義彦 京都大学 学生員 石橋 勝彦

1. まえがき 自然河川においては河床は透水性材料である砂、礫より構成されており、その透水性のために河床面を通じての表面流と浸透流の相互作用は相当活発であり、主流の構造さらには流砂機構にも影響が及んでいるものと考えられる。しかしながら流砂機構に与える影響については、十分に合理的な評価がなされていない。浸透流の存在する場合の移動床現象を明らかにすることを目的として、不浸透性河床の非平衡流砂現象に適用されてきたstochastic modelの拡張を図るために、本研究では、まず、そのサブシステムである初期移動機構に与える流出入流速の影響を明らかにし、pick-up rateの推定式を求めてその実験的検証を行う。

2. 流出入流速のpick-up rateに及ぼす効果 流出入流速 v_0 が作用する砂粒に働く力は図-1に示すように重量 W 、浮力 B 、主流による抗力 D 及び揚力 L 、流出入流速による抗力 D_s 、そして摩擦力 f_r である。これらの作用力の合力 F は式(1)で与えられ、いわゆる限界掃流力は $F=0$ とおくことにより得られる。一方、pick-up rateは、滑動離脱を仮定して与えられる運動方程式 $M \cdot \dot{v}_s = F$ (M : 付加質量を考慮した砂粒の質量、 $\dot{v}_s$: 初期加速度)の解に、流体力の変動の効果が付加することにより、式(2)で与えられる。式中の定数は、中川¹⁾らの平坦河床のものを採用し、 $F_0 \approx 0.03$, $k_2 = 0.7$, $n = 3$ 程度とすると図-2の理論曲線群が得られる。

3. 実験方法 実験は図-3に示される長さ8m、幅33cmの可変勾配水路中央部に、長さ30cmの移動床部を設け、上・下流側には、使用砂と同一粒径の砂で粗度付けした固定床を接続した。移動床部の下には、流出入流速を任意に調節するために矩形ボックスが設置されており、底部に径1cmのバルブが設けられ、これを通して水がボックス内でほぼ一樣になるように、同一の砂で厚さ10cmの制流層を設け、形成断面積680 cm²としている。実験に用いた砂は平均粒径 $d = 0.164$ cm、比重 $\sigma/\rho = 2.65$ のほぼ一樣な砂である。移動床底部のバルブを調節することにより、表-1に示す流出入流速を与えた。また、水面形方程式に基づく底面せん断応力評価のため、移動床部の前後区間を含めて約60cmにわたって流下方向に5cmごとに水位を測定した。一方、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砂粒の飛び出し個数を読み取った。

4. 実験結果 今回の実験では、移動床区間が短く、従って疑似等流状態を保つことが難しかったこと、また、たとえ等流状態が保たれたとしても、透水性河床上の流れの摩擦速度 u_* を評価することは難しいことを考慮し、本実験においては、横流入のある場合と同様の取り扱いにより導いた水面形方程式に基づき不等流の効果を補正し、エネルギー勾配を $I_e = i_w - (i_w - i_b)Fr^2 - 2v_0U/gh \cdots (6)$ として評価した。ただし、 i_w : 水面勾配、 i_b :

Hiroji NAKAGAWA, Shogo MURAKAMI, Yoshiyuki SHIMIZU, Katsuhiko Ishibashi

河床勾配, F_r : フルード数, U : 断面平均流速である。さらに移動床区間での平均水深 h を用いて、摩擦速度 $u_* (= \sqrt{gh\tau_b})$ を評価した。また、式(4)に表れる Ω は、不透透性河床と透水性河床の抵抗係数 f_n, f を示す指標 ($\Omega^2 = f/f_n$) であり、図-4には、式(5)に基づく理論曲線と今回の実験で得られた値とが併示されている。ただし、slip velocity $U_p = 0$ と仮定している。 $i_b = 1/500$ の場合、理論値とやや異なるものの、概ね良好な一致を示しており、今回の摩擦速度の評価法は妥当なものであると考えられる。一方、図-5は、実験で得られた無次元 pick-up rate p_{s*} と、その実験条件に対する理論値との対応を表したものである。こうした直接的測定に対して、図-6は、井戸²⁾によって得られた透水性河床上での実測の流砂量と、stochastic model より得られる流砂量式 $q_{B*} = (A_3/A_2) \cdot p_{s*} \cdot \lambda$ ($\lambda = \Lambda/d$: 無次元平均 step length) $\cdots$ (7) とを用いて、間接的に得られる p_{s*} と、その水理条件に対応する理論値との対応を示したものである。式(7)の適用に際しては、 $A_3 = \pi/6, A_2 = \pi/4$ とし、不透透性河床での流砂量が実験値と計算値でほぼ一致するように、無次元平均 step length を $\lambda = 150$ とした。また、流出入流速の平均 step length に及ぼす効果は、pick-up rate に対するそれより小さいとして、一定値とみなした。図-5, 6より、流出入流速がある場合の pick-up rate の推定式として、式(2)が妥当なものであると考えられる。

5. あとがき 透水性河床場での流砂現象記述のために、pick-up rate の推定式を求め実験的に検証した。今後は、こうした場での step length の特性についての検討を行っていきたいと考えている。

参考文献 1) 中川 博次・辻本 哲郎: 土木学会論文集 240 号, 1975, pp71-80
 2) 井戸 清雄: 京都大学卒業研究, 1978年

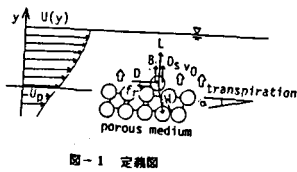


図-1 定義図

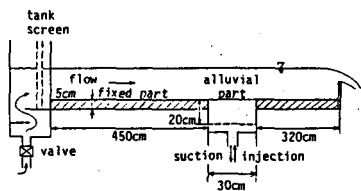


図-3 水路図

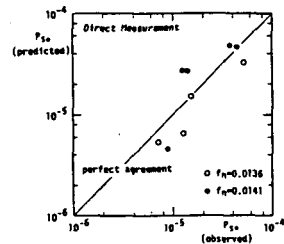


図-5 pick-up rate (直接測定)

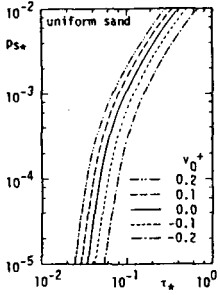


図-2 v_0^* による pick-up rate の変化

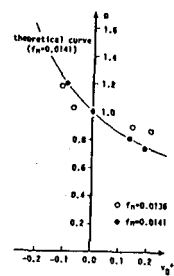


図-4 Ω と v_0^* の関係

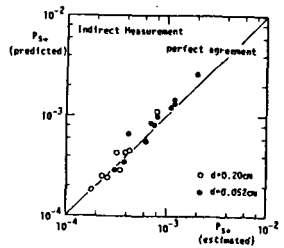


図-6 pick-up rate (間接測定)

$$F/W = (D/W) \cdot [1 + \{k_L + (D_s/D)\} \mu_f] - [\{\cos \alpha - (B/W)\} \mu_f - \sin \alpha] \cdots \cdots (1)$$

$$p_{s*} = (F_0/W) \cdot [1 - (k_2 \Psi \tau_{*cs} / \tau_*)]^n \cdots \cdots (2)$$

$$\Psi = (1 + k_L \mu_f) / [\phi_0^2 \{1 + (k_L + \phi_1) \mu_f\}] \cdots \cdots (3)$$

$$\phi_0 = (U_{*c}^2 / U_{*m}^2) / \sqrt{2}, \quad \phi_1 = (\epsilon_0' C_D' / \epsilon_0 C_D) \cdot |v_0^+| v_0^+ / U_{*c}^2 \cdots \cdots (4)$$

$$\sqrt{\frac{2}{f_n}} \left[\frac{1}{2} - \sqrt{2 + \lambda_1 \lambda_2} - \frac{\lambda_1}{2k_0} \ln 2 \right] = \frac{\lambda_1}{4} \left[\frac{2}{f_n} + \frac{1}{k_0} \{(\ln 2)^2 + 1\} \right] + \frac{\ln 2}{k_0} \sqrt{2 + \lambda_1 \lambda_2} + \lambda_2 \cdots (5)$$