

河床波上の流体力変動を考慮したpick-up rateの評価

舞鶴工業高等専門学校 正員○三輪 浩
立命館大学 理工学部 正員 大同淳之

1. まえがき 河床波上では流れの再付着点付近で流速変動が極大となり、これが流下方向に変化する。それゆえ、流体力が場所的に異なり、流砂運動に副次的に影響を及ぼしていると考えられる。これまでに、著者らは河床波上での流体力変動の場所的変化を考慮した均一粒子のpick-up rateの推定法を提案した¹⁾。本文ではこの推定法をもとに流体力の場所的変化がpick-up rateに及ぼす効果を検討する。さらに、混合粒径砂に対する粒径別pick-up rateの評価をおこなう。

2. 実験概要 実験は長さ14m、幅20cmの鋼製可変勾配水路を使用し、水路床に波長40cm、波高2cmで45°の前面の傾きを有する河床波模型を17波敷き詰めて固定床とした。ただし、下流より10波目の河床波模型は、背面上の任意の位置を10cm(横断方向)×3cm(縦断方向)の範囲を1つの単位として局所的に

表-1 実験条件

Run No.	q _w (cm ³ /sec)	h _m (cm)	Fr	I _e	u _{*_s} (cm/sec)	Sand
K-1	400	9.90	0.41	1/400	3.5	Uniform
K-2	350	8.98	0.42	1/404	3.4	Uniform
K-3	250	7.12	0.42	1/380	3.3	Uniform
K-4	350	8.98	0.42	1/404	3.4	Graded

移動床とすることができる。実験に用いた砂は平均粒径d_m=0.057cmのほぼ均一な砂およびd_m=0.061cm、幾何標準偏差s_d=√(d₈₄/d₁₆)=1.7の混合砂である。pick-up rateは、着目位置の1ブロックのみを移動床とし、そこからpick-upされた砂の量を測定することによって求められた。なお、表-1は実験条件である。

3. 河床波上の粒子のpick-up rateに及ぼす流体力変動の場所的変化の効果 河床からの粒子の離脱を、図-1に示すように完全転動と仮定し、流下方向および鉛直方向の流速変動の場所的変化をを考慮すると、河床粒子のpick-up rateは次式で表される¹⁾。

$$p_{sx} = p_s \sqrt{(d/(\sigma/\rho - 1)g)} \\ = K_0 p \tau_x^{1/2} \{ (1 + \eta \phi(r_c)/p)^2 + \eta^2 - \tau_{xc}/\tau_x \}^{1/2} \quad (1)$$

ただし、 $K_0 = K[A_x^2 B_x C_x \{ (k \sin \theta' + \cos \theta') / \theta_0 \}]^{1/2}$ 、 $K = 1.5 \times 10^{-3}$ 、 $A_x = 8.44$ 、 $B_x = 0.113$ 、 $C_x = 0.15$ 、 $k \sin \theta' + \cos \theta' = 1.164$ 、 $\theta_0 = \pi/4$ 。ここに、 p は粒子に作用する流速 V が粒子の移動限界流速 V_c を越える確率、 η は V の変動係数(相対乱れ強度)、 $\phi(\cdot)$ は V に関する正規確率密度関数である。

一方、河床波上のせん断応力分布は再付着点からの距離を x' として、次式で表される¹⁾。

$$\frac{\tau}{\rho u_m^2} = \Pi \left(\frac{k_s}{h_m} \right) \left(\frac{x'}{k_s} \right)^{3/4} \quad (2)$$

ただし、 $\Pi = (B/A)^2 C^{1/4}$ 、 $A = 8.94$ 、 $B = \{2/(2-L/h_m \cdot \lambda)\} \{L/h_m(1-5.1\lambda)\}^{-1/2}$ 、 $C = A^2 \{0.26 + \lambda/(Fr \cdot B)^2\}$ 、 L は波長、 h_m は平均水深、 λ は波形勾配である。

式(1)および式(2)より、河床波上の粒子のpick-up rateを計算すると、図-2のように実験結果と比較的良好一致を示す。また、図-3はpick-up rateに及ぼす流体力変動の場所的変化の効果を示したものであり、流体力変動に場所的変化のない場合(平坦床に相当)のpick-up rate(p_{sxo})を基準にして図示されている。ただし、 p_{sxo} の計算には平坦床に近いと考えられるクレスト近傍における流速変動係数($\eta = 0.099$)が用いられている。同図から、流体力の場所的変化を考慮した場合、再付着点から河床波の中央部においてpick-up rateは平坦床を仮定した場合よりも大きくなる事がわかる。これは限界掃流力以下でも粒子は移動を開始することを示唆している。また、pick-up rateが増加する限

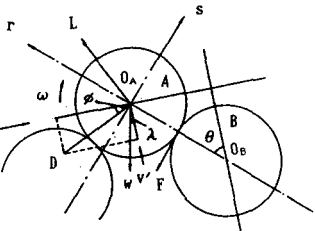


図-1 離脱モデル

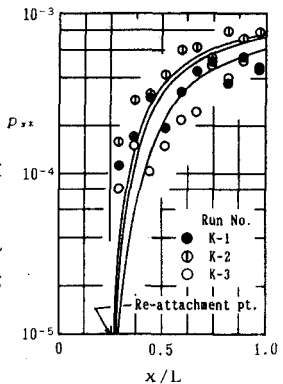


図-2 河床波上の粒子の pick-up rateの推定結果

界の τ_* は0.08程度である。

さて、式(1)は河床波上の位置によって流速の変動係数が変化する誤差関数を含む複雑な形であり、河床底面せん断応力のみの関数では表されない。そこで、現象の特性を失わない範囲で式(1)の近似を行う。式(1)において $p\{(1+\eta\phi(r_c)/p)^2+\eta^2-\tau_{*c}/\tau_*\}^{1/2}$ は河床波上での流体力の変化の影響を受ける部分であるが、近似式では、これを粒子の限界掃流力に含めて扱うことにする。そして、式(1)を次式によって近似する。

$$p_{*xi} = K_0 \tau_*^{1/2} (1 - k_2 \tau_{*c}/\tau_*)^3 \quad (3)$$

ここに、 $K_0 = 2.01 \times 10^{-3}$ 。また、 $k_2 \tau_{*c}$ は式(1)において $V > V_c$ となる確率 p が0.01となるときの τ_* で与えることにすると、0.014となる。河床波実験によく用いられる細砂に関して k_2 を求めると0.4である。

図-4は実験結果に対して式(1)と式(3)を比較したものであり、 τ_* の広い範囲で比較的良好に一致している。

4. 粒径別pick-up rate推定式 混合砂に対する粒径別のpick-up rateは、均一砂に対して導かれた式(3)において、限界掃流力の部分を粒径別に与えることによって推定できると考えられる。すなわち、式(3)は次のように書き換えられる。

$$p_{*xi} = K_0 \tau_{*i}^{1/2} (1 - k_2 \tau_{*ci}/\tau_{*i})^3 \quad (4)$$

粒径別限界掃流力は辻本²⁾による次式で算定する。

$$\tau_{*ci}/\tau_{*cm} = (d_i/d_m)^{-1} \quad (5)$$

図-5および図-6は式(4)と実験結果を比較したものである。

図-5は無次元せん断応力に対する粒径別pick-up rateであり、

図-6は河床波上の位置による粒径別pick-up rateを示している。

平均粒径程度の粒径階の粒子に対してはほぼ適切に評価されているといえるが、最大粒径階および最小粒径階に対してはデータのばらつきが大きい。しかし、粒径階ごとのpick-up rateの変化傾向は表現されている。

5. あとがき 本文では、河床波上の流体力変動を考慮した均一河床粒子のpick-up rateの推定式を提案し、これを混合粒径砂に対する粒径別pick-up rateの推定に拡張した。今後、広範な実験条件に対して本手法の適合性を検討するとともに、step lengthの算定法に関する検討を行い、河床波上での粒子の分級現象への適用をはかるつもりである。なお、本研究は平成3年度文部省科学研究費奨励研究(A)および(財)日本科学協会笹川科学研究助成の補助を受けて行われたものである。記して謝意を表します。

参考文献 1)三輪 浩・大同淳之：水工学論文集、第36巻、pp.123-130、1992。 2)辻本哲郎：土木学会論文集、第411号、143-150、1989。

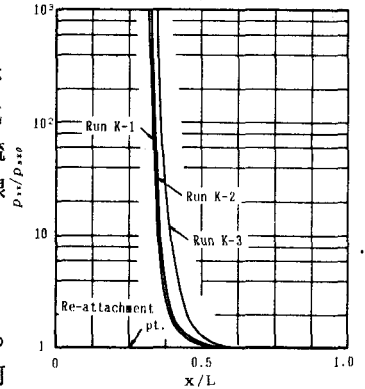


図-3 pick-up rateに及ぼす流体力の場所的变化の効果

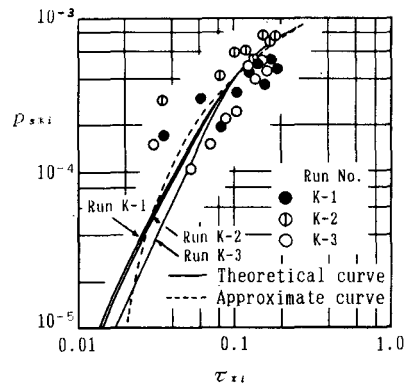


図-4 pick-up rate推定式の比較

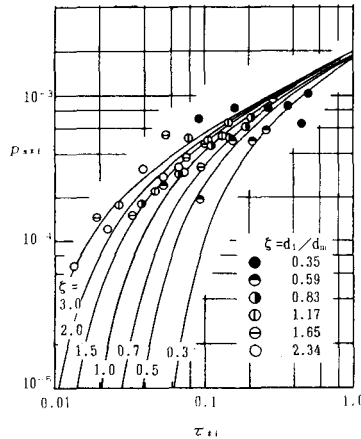


図-5 粒径別pick-up rate

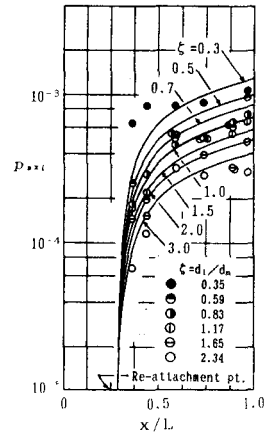


図-6 河床波上の粒径別pick-up rateの推定結果