

弯曲流路側岸工砂の pick-up rate 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
 三井物産株式会社 正員 ○ 上田 裕

1. まえがき 自然河川においては、程度の差こそあれその平面形状は弯曲しており、その流砂機構を力学的に解明することは、いわゆる水衝部における護岸・堤防の安全性といった実用的な問題解明にも重要である。この種の問題解決のためには、側岸上での掃流力分布（強さ及び方向）の評価とそれに伴う非平衡流砂過程は基本的課題である。本報では、非平衡流砂過程を記述する stochastic-model の構成といった観点とともに、従来よりの方法では困難な弯曲部周辺方向掃流力分布の評価をも試みるため、その pick-up rate の定式化と実験的な検証を行なった。

2. 弯曲部側岸工砂の pick-up rate 著者らはすでに直線流路側岸工砂の pick-up rate についての定式化を行なっているが、弯曲部においても静止砂粒の力のつりあいに関しては、遠心力の効果も考慮する必要はなく、さらに静止砂粒がせいぜい粒径程度動くに至る特性時間内での運動では遠心力も十分無視できるものと考えられることより、次式で表わされる斜面上の pick-up rate 推定式が弯曲部のそれにも用いることが可能である。参照式(1)～式(4)。ここで、留意すべきは直線流路においては、流れの偏向角とは零と見なせながら、弯曲部流れでは無視し得ず、その効果が図-(1)、(2)に示されており、その変化に対して、 P_{s*} よりも抜け出し角 β の方が鋭敏であることばかりである。

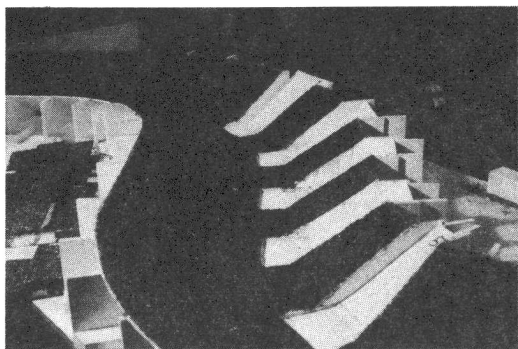
3. 実験 実験は、写真及び図-(3)に示されるような河床平坦部 15 cm、側岸部傾斜角 33.69° 、高さ 10 cm で、その治水路法線が式(5)で表わされる弯曲水路に pick-up rate 測定用の砂 ($d=0.178\text{ cm}$, $G/p=2.61$) と同じ砂で粗度付けした一部移動床 (section 1~5) を設け、粗面対数則による底面せん断応力の評価のため、直径 3 mm の超小型プロペラ流速計で横断面内流速分布図-(4)を詳細に測定し、底面においてはその流向も記録した。(図-(5))、それと同時にビデオカメラで移動床面を真上よりビデオ撮影し、画面より、単位面積当りの隆げ出し率を求めるとともに、ビデオポジションアナライザーにより抜け出し角 β を読み取り、式(6)を用いて角度の較正を行なった。図-(6)は β 及び θ の p 方向分布を示したものである。

ところで、この pick-up rate 推定式は直線流路においてはその適用性が実証されており、弯曲部においてもその有効性は期待される。また $P_{s*} = f(\tau_*)$ であり、 τ_* の変化に対するその応答が敏感であることより、今回の実験のように β と P_{s*} が与えられた時には逆に τ_* が求められることになり、 τ_* の評価が困難な流れの境界において、 τ_* を求めるのにこうした方法は有意義なものと考えられる。こうして得られた τ_* が図-(4)に示されている。同図には対数則によるもの、式(6)を用いて β より算定したものと $\tau_0 = 0.8K \cos \theta$ で計算されたものも併示してある。図-(4)の断面 3 においては、流路がかなり直線的であり、横断面内等流

Hiroji NAKAGAWA, Shogo MURAKAMI, Yutaka UEDA

速図の流心の偏りも他断面に比べ穏やかであることより二次流の影響が少なく、この評価法の適用性を認められるのに対して、弯曲部頂部の断面1においては、流心が外側に寄り、た状態にあり、必ずしも対数則の適用範囲内でないこともあり、特に水際付近での底面せん断応力の評価にばらつきが見られる。

4. 結果 弯曲部の側岸上の流砂現象を支配する掃流力分布を pick-up rate の τ_b との変化に対する応答が敏感であることを用い、その分布を実験的に求め従来の方法との比較を行ない、その妥当性を直線に近い断面において検証し、流れの境界での構造が不明である断面においては、有意な方法であることを見出した。今後さらに実験的検証を加えてその適用性について明らかにしていきたいと考えている。



式

$$\begin{aligned} (1) P_{sx} &= 0.03 \cdot \phi(\tau_x) \cdot \tau_x (1 - k_0 \tau_{*c} \theta(\tau_x) / \tau_x)^3 \\ (2) \phi(\tau_x) &= (\mu + \cos \theta - \sin \theta \cdot \cos \beta) / (1 + k_1 \mu +) \\ (3) \tau_{*c} \theta &= (1/\epsilon_0) \cdot (A_0/A_x)^2 (\mu + \cos \theta - \sin \theta \cos \beta) / (k_2 \mu + \sin(\alpha + \beta)) \\ (4) \tan \beta &= \bar{E}_0 \cos r \cdot \tau_x / (\sin \theta + \bar{E} \sin r) \\ (5) \varphi &= 40^\circ \sin(2\pi s/200) \\ (6) \beta &= \beta_0 + \arcsin \left\{ \frac{D \cot \beta_0 - W \sin \theta}{f_r \sqrt{\cot^2 \beta + 1}} \right\} \end{aligned}$$

$$D = \frac{1}{2} C_D \cdot P \left\{ (U_d \cos r - \frac{c^2}{2\Delta t})^2 + (U_d \sin r - \frac{c^2}{2\Delta t})^2 \right\} A_2 \cdot d^2$$

$$f_r = \mu_{fd} (\varphi_p - 1) f_g A_3 d^3 \cos \theta$$

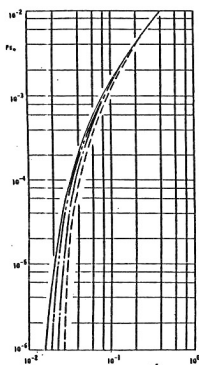
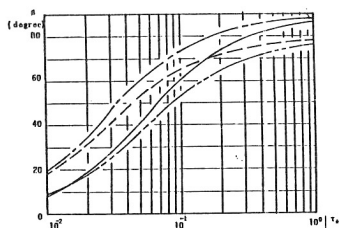


図-(1), (2)
 $\beta \sim \tau_x$
 $P_{sx} \sim \tau_x$

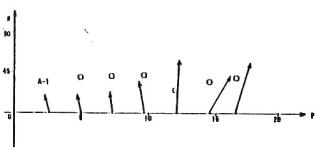
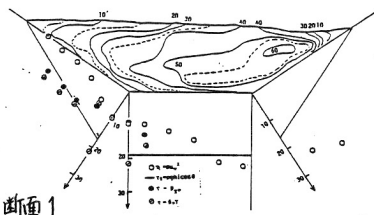
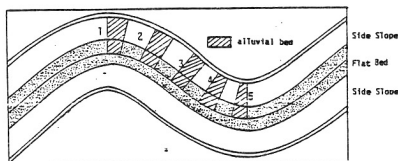


図-(5) 底面での流向ベクトル
○: 経が上向き
○: 経が下向き

