

II-138

流出入流速の step lengthに及ぼす影響について

京都大学大学院 学生員 香西 稔
 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

1. まえがき 高い透水性を示す河床材料で構成される移動床水路では、境界面を通じての表面流と浸透流とのかなり顕著な相互作用が存在し、表面流の構造さらには移動床過程もその相互作用の影響を受けていると考えられる。こうした作用は特に境界面での流出入流速の存在によるが、流砂運動への効果はいまだ系統だって検討されているとは言い難い。こうした場での非平衡流砂過程の記述のため、前報¹⁾においては、初期移動機構に及ぼす流出入の効果を検討した。本研究では、step length に及ぼす流出入流速の効果について実験的・理論的に考察する。

2. 粗面乱流に対する2乗対数則 砂粒の流送過程を検討する本研究では、その駆動力となる水流による流体力の評価が重要であり、そのため流出入流速 v_0 による表面流の構造の変化を次式で表されるいわゆる粗面乱流に対する2乗対数則²⁾を用いて表現することとする。

$$U^* = (v_0^2/4\kappa_0) [\ln(y/k_s)]^2 + (v_0 \cdot Dr/2\kappa_0) [\ln(y/k_s)] + [(v_0 \cdot Dr/4) + 1] Dr \dots\dots(1)$$

ここで、 $U^* = U/u_*$; U =表面流流速 ; u_* =摩擦速度 ; $v_0^2 = v_0/u_*$; k_s = 等価砂粗度 ; κ_0, Dr = 普遍定数である。式(1)の適用性の検討のため、後述する実験で移動床区間を30cmとし、任意の流出入流速を与えた場合に流速分布を実測した例が図-1に示されており、式(1)と実験値との対応は良好である。また、流出入流速がある場合とない場合の無次元底面せん断応力 τ_* の変化は次式で与えられる。

$$(v_0^2/4) \{2/f_n + [(\ln\Omega)^2 + 1]/\kappa_0\} + (\ln\Omega)/\kappa_0 = \sqrt{2/f_n} [\Omega^{-3/2} - (v_0^2/2\kappa_0) \ln\Omega - 1] \dots\dots(2)$$

ここで、 $\Omega = \tau_* / \tau_{*n}$; τ_{*n} =不浸透性河床での値 ; f_n =不浸透性河床での抵抗係数である。

3. 流出入流速のstep length に及ぼす効果 1つの step lengthは、平坦河床といえども存在する河床の不規則な凹凸との確率的な衝突・反発と、その間の流体力による確定論的な運動との繰返しによって構成されている。1つの step lengthに含まれる幾つかのステップにおける平均移動速度を u_p とし、さらに小さなステップの回数を N_s とすると、step length は $N_s \cdot u_p$ に比例する ($\Lambda \propto N_s \cdot u_p$) ものと考えられる。一方、step lengthの他の規定要因である N_s は河床面特性に支配されており、それ自身は流出入流速と独立である。言い換えれば無次元の平均 step lengthは次のように移動速度の項 ϕ_p と床面特性を示す項 Ψ_Λ の積として表示され、 Ψ_Λ は v_0 に対して無関係に定まる。 $\lambda = \Lambda/d = \Psi_\Lambda(\tau_*) \cdot \phi_p(\tau_*) \dots\dots(3)$ ここで、 $\phi_p = u_p/u_*$ 、 $\Psi_\Lambda = \lambda / \phi_p$ である。流出入流速のない場合、平均 step lengthは平衡状態における流砂量公式より、次のように底面せん断応力の関数として表すことができる。 $\lambda = (A_2/A_3) \cdot q_{Be} / p_{s*}$; $q_{Be} = q_B / \sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd^3} \dots\dots(4)$ ここで、 q_B =掃流砂量 ; p_{s*} = 無次元pick-up rate ; e は平衡状態での値を示す。流出入流速のない場合の無次元平衡流砂量及びpick-up rateは一般に次式で表される。 $q_{Be+n} = A_0 \cdot \tau_{*n}^n \cdot (\tau_{*n} - \tau_{*cn})^s$; $p_{s+n} = F_0 \cdot \tau_{*n} \cdot (1 - 0.035/\tau_{*n})^3 \dots\dots(5)$ で与えられ、式(3)に代入することより、 λ_n は次式で与えられる。 $\lambda_n = (A_0 A_2/A_3 F_0) \cdot \tau_{*n}^{n+s-1} \cdot (1 - \tau_{*cn}/\tau_{*n})^s / (1 - 0.035/\tau_{*n})^3 \dots\dots(7)$ 一方、 ϕ_p は流速分布形と結びつけられ、砂粒子の運動が滑動形式であるとし平均速度が平衡速度で代用できるものと仮定すると、 ϕ_p は次式で与えられる。 $\phi_p = U_d/u_* - \sqrt{\mu_k (C_0 A_2/2A_3)} \cdot \sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd}/u_* \dots\dots(8)$

ここで、 U_d = 砂粒中心の流速、 μ_k =砂の動摩擦係数である。図-2、3は流出入流速の ϕ_p, Ψ_Λ に対する効果を示したもので、 $\mu_k = C_0 = 0.4$ とし、流砂量公式としては Swiss公式($A_0=8; n=0; s=1.5$)が用いられている。図-3には τ_* が大きくない時には、step lengthに及ぼす床面特性の変化の大きいことが示されている。図-4は v_0 による λ の変化を示したものである。

4. 実験方法及び結果 実験は長さ8m、幅33cmの変可勾配水路中央部に、長さ150cmの移動床部を設け、移動床部全域に流出入流速が出現するように工夫した。なお、使用砂は、比重 $\sigma/\rho=2.65$ 、平均粒径 $d=0.199\text{cm}$ のほぼ一様な砂である。移動床底部のバルブを調節して、 $v_0^+ = -0.029 \sim 0.019$ の流出入流速を与え、水路側方よりアクリル製側壁に鋼尺をあて、目視によってstep lengthを測定するとともに、その分布性状を調べた。流出入流速 v_0 による平均step lengthの変化は図-4に示されているが、この効果を明示するために、流出入流速がある場合とない場合の平均step lengthの比 γ をとると、 γ は次のように表される。 $\gamma = \lambda / \lambda_n = [\Psi_\lambda(\tau_*) / \Psi_\lambda(\tau_{*n})] \cdot [\phi_p / \phi_{pn}] \cdots \cdots (8)$ これより得られる理論曲線と実験値は図-5に示されており、両者の対応は良好である。ただし、流砂量公式として Swiss公式を用いた。図には、3. で述べたように、今回の実験のように限界掃流力付近で変化させた場合、吸い込みで促進、吹き出しで抑制という効果が明らかにされている。一方、図-6は、平均値を用いて規準化されたstep lengthの分布を示したもので、図中には指数分布の密度関数も併示されており、図より流出入流速の効果によって平均値は異なっても規準化された統計的な構造は不変であり、おおむね指数分布に従うものと考えられる。

5. あとがき 一様砂のstep lengthに及ぼす流出入流速について検討を行った。今後は既に得られている流出入流速を考慮したpick-up rateと組み合わせ、流出入流速の存在する場の非平衡流砂過程への適用を図る予定である。実験・解析に当っては石橋勝彦君（当時京都大学工学部学生、現錦東電設計）の協力を得たこと記して謝意を表する。

参考文献 1) 中川ら；第41回土木学会年講演Ⅱ-167, 2) 辻本ら；第30回水理講演会 1985

