

流出入流速の混合砂れきの粒径別運動特性に及ぼす影響

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

京都大学大学院 学生員○大谷 英夫

1. まえがき 高い透水性を有する河床において、主流により浸透流が誘起される。こうした相互作用は主に境界面を横切る流出入流速により代表され、これは主流の流れ構造及び流砂運動に直接あるいは間接的に影響を与える。従ってこうした効果を定量的に評価することは、移動床水理学に重要な基礎を与えることが期待される。本研究では流砂のstochastic modelの構成要素である、粒径別 pick-up rate及び粒径別step length に及ぼす流出入流速の影響について実験的検討を行った。

2. 実験概要 実験は図-1 に示される長さ8m、幅33cmの可変勾配型水路中央部に、移動床部を設け、上、下流側には使用砂と同一の中央粒径(d_{50})、標準偏差(σg)を有する混合砂で粗度付けした固定床を接続した。移動床部はpick-up rate実験では長さ48cm、step length実験では長さ85cmとした。移動床下部には、流出入流速を任意に調節するために底部に径1cmのバルブの付いた矩形ボックスが設置されており、ボックス内から水が一樣に流出されるように、同一の混合砂で厚さ10cmの整流層、その下に整流板を設けた。実験に用いた混合砂は表-1のように着色されたものを用い、標準偏差を $\sigma g=1.5, 2.0, 3.0$ の3ケースに変え、それぞれ流出入流速の強度を変えた。水面形方程式に基づく底面剪断応力評価のため、移動床部の前後区間を約1mにわたって水位を測定した。さらに流速分布をピトー管を用いて測定した。一方、ビデオカメラで移動床面を真上から撮影し、画面より各粒径ごとに単位面積当りの砂粒の飛び出し個数を読み取り pick-up rate を求めた。また、step lengthについては、粒径の大きなものに対しては直接目で測定し、粒径の小さいものに対してはpick-up rateと移動床下流端部に設置した採砂箱に捕捉された流砂量とから、流砂量式 $q_{B*} = (A_3/A_2) \cdot p_{s*i} \cdot \lambda_i \cdot p_i$ (ただし、 A_3, A_2 :形状係数、 p_{s*i} :粒径別無次元pick-up rate、 λ_i :粒径別無次元平均step length、 p_i :粒度クラス*i*の砂の重量百分率である)を用いて、間接的に求めた。

3. 実験結果及び考察 まず、砂粒の運動特性を検討する際に重要となる表面流の平均流構造に及ぼす流出入流速の影響について検討した。本実験ではエネルギー勾配 I_e を、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、 $I_e = i_w - (i_w - i_b) Fr^2 - 2v_0 U / gh$ (ただし、 i_w :水面勾配、 i_b :河床勾配、 Fr :フルード数、 U :断面平均流速、 h :平均水深、 v_0 :流出入流速)とした。また径深は側壁の影響をEinsteinの径深分離法で補正し、 $R_b = h(1 - 2/B(\eta_w \cdot U / \sqrt{I_e})^{3/2})$ (ただし B :水路幅、 η_w :アクリル板側壁の粗度係数、 $\eta_w = 0.0098$)とし、摩擦速度 u_* を、 $\sqrt{g R_b I_e}$ として評価した。式(1)に現れる Ω は、不透水性河床と透水性河床の抵抗係数 f_n, f を示す指標($\Omega = (f/f_n)^{1/3}$)であり、図-2には式(1)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。これは流出入流速が存在する場合としない場合で表面流の単位幅流量及びエネルギー勾配が変化しないという条件下で求められている。これより $v_0^* > 0$ 、すなわち吹き出しで u_* が減少し砂粒運動が抑制され、 $v_0^* < 0$ 、すなわち吸い込みで u_* が増加し砂粒運動が促進されるということが考えられる。図-3には粒径別pick-up rateの実験結果を示した。この図から前述のことが明らかになり、pick-up rateについては流出入流速による砂粒への直接的な影響より、主流の構造の変化すなわち u_* の変化による影響の方が大きいことがいえる。また、図-4には粒径別平均step lengthの実験結果を示した。多少前述の傾向が見られるものの、pick-up rateよりは顕著ではない。図-5はstep lengthの変動係数 α_x を示したもので α_x は概ね0.6~0.8であり、均一砂のそれが1程度

Hiroji NAKAGAWA, Shogo MURAKAMI, Hideo OHTANI

ではば指数分布に従うのに対して、多少それよりずれがあるものと考えられる。また、 v_0 に無関係にばば一定である。図-6は平均値で規準化されたstep lengthの確率密度関数を示したもので、これからそのずれが認められるが、流出流速の効果によって平均値は影響されても、規準化された統計的な構造は不変であることがわかる。

4. あとがき 流出流速の影響として、それ自身がもつ砂粒への直接的な抗力としての効果よりも、それが表面流構造を変化させ、その表面流による効果が砂粒の運動特性を支配していることがわかった。さらに今後の課題として、流出流速の強度、表面流量、標準偏差をさらに変化させて研究を行うことが必要であると考えられる。

$$v_0' / 4 (2 / \ln((\ln \Omega)^2 + 1) / \kappa_0) + (\ln \Omega / \kappa_0) (1 + (v_0' / 2 \kappa_0) \ln(k_n / k_s)) + (1 / \kappa_0) \ln(k_n / k_s) (1 + (v_0' / 4 \kappa_0) \ln(k_n / k_s)) \\ = \sqrt{(2 / \ln((\ln \Omega)^2 - v_0' / 2 \kappa_0 (\ln \Omega + \ln(k_n / k_s)) - 1))} \quad \dots \dots \dots (1)$$

($v_0' = v_0 / u_*$, k_n, k_s : 不透水性河床上、及び透水性河床上の等価砂粗度, κ_0 : カルマン定数)

表-1

COLOR	YELLOW	GREEN	RED	BLUE	NATURAL
ϕ (mm)	0.075	0.119	0.149	0.192	0.250
ρ (g/cm ³)	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
σ (mm)	0.088	0.108	0.124	0.144	0.163
δ (mm)	0.148	0.177	0.204	0.234	0.261
ϵ (mm)	0.227	0.261	0.292	0.324	0.356
ζ (mm)	0.356	0.408	0.460	0.512	0.564

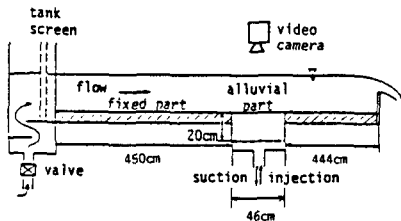


図-1 水路図

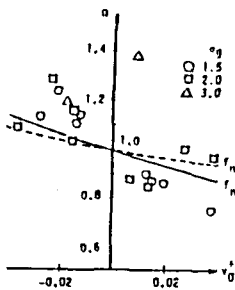


図-2 Ω と v_0' との関係

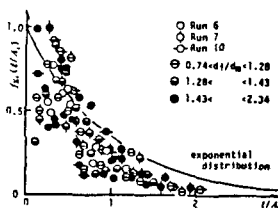


図-3 規準化されたstep lengthの分布

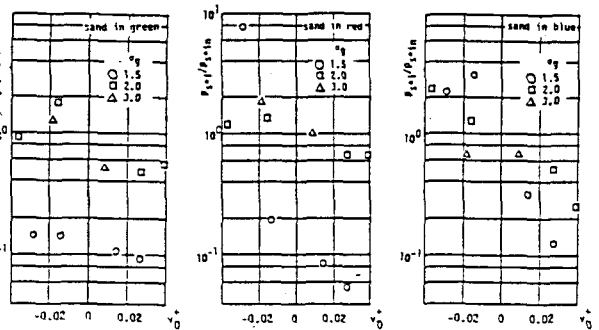


図-4 粒径別pick-up rate 実験結果

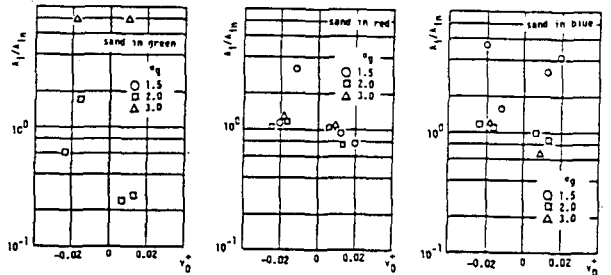


図-5 粒径別平均step length 実験結果

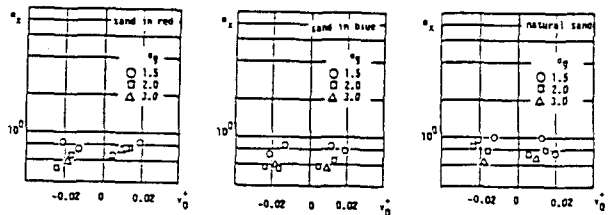


図-6 変動係数 α_s