

II-214

交互砂州河床上の流れと流砂量分布(2)

立命館大学大学院 学生会員 竹林 洋史* 立命館大学理工学部 正会員 江頭 進治*
立命館大学理工学部 正会員 金 海生* 北海道大学大学院 学生会員 小山慎一郎**

1. はじめに 混合砂による交互砂州の波高は、一様砂のそれに比べて低くなることが水路実験より確認されている。その主たる原因は砂礫の分級現象にあると推察される。そこで、波高に及ぼす砂礫の分級現象の影響を明らかにするため、一様砂を用いて得られた交互砂州河床を固定床とし、河床と平均粒径の等しい一様砂と混合砂を供給し、その輸送過程を実験と数値解析により検討した。

2. 支配方程式 流れの連続式、運動方程式、河床位方程式、流砂量式はそれぞれ次のようである。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu_j)}{\partial x_j} = 0 \quad (1) \quad \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} - \frac{\tau_{bi}}{\rho}, \quad (i, j = 1, 2) \quad (2)$$

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial q_{bi}}{\partial x_j} = 0 \quad (3) \quad q_b = \sum_{k=1}^{10} q_{bk} = \sum_{k=1}^{10} F(\tau_i, \tau_e, \tau_c, d_k, d_m) r \quad (4)$$

ここに、 $\tau_{bi} = \rho C_f u_i \sqrt{u_1^2 + u_2^2}$, $C_f = 1 / \left(6 + \frac{1}{\kappa} \ln \frac{h}{k_s} \right)^2$, $q_{bi} = q_b u_{bi} / \sqrt{u_{b1}^2 + u_{b2}^2}$, (ζ : 水位, $\kappa=0.4$, $k_s=d_m$, $i=1,2$,

$\lambda=0.4$), $u_{b1}=A_r u$, $u_{b2}=u_2+u_{b2}'$, $u_{b2}'=-N \cdot u_{b1}(h/R)$, $A_r=8.5$, $N=7.0$, R は流線の曲率半径。 u_{bi} は河床面上の流速の i 成分。 $F(\tau_i, \tau_e, \tau_c, d_k, d_m)$ は流砂量式で、芦田・道上式を適用する。 r は輸送砂礫による河床表面の被覆率であり、 $r = \Delta z_b / d_{max}$ で定義している。 Δz_b は給砂した砂礫の堆積厚である。なお、式(3)は給砂した砂礫による堆積厚を計算するためのもので、ここでは河床変動は考慮していない。また、次式を用いて、流下方向の流砂量の非平衡性を考慮した計算も行う。

$$\partial q_{b1} / \partial x_1 = (q_{be1} - q_{b1}) / l_0 \quad (5)^2$$

ここに、 l_0 には便宜上 $100d_k$ を用いる。また、 q_{be1} は式(4)より求める。

3. 実験方法および計算方法 実験、計算条件を Table 1 に示す。Fig. 1 に示す一様砂を用いて実験水路において交互砂州を発生させ、スプレー状の糊で河床を固定する。まず、固定床上に定常流量を供給し、流れが定常状態に達してから平衡流砂量の 10% ($x_1=0$ で $r=0.1$) を定常的に給砂し、流砂量と堆積厚の分布を測定する。給砂した砂礫は Fig. 1 に示す一様砂と混合砂である。砂礫の堆積が流れに大きく影響を与えない範囲で実験を行う。砂礫の被覆率 r (堆積厚) は砂州前縁部の堆積厚の厚いところのみ測定し、堆積厚の薄いところは誤差が大きいと判断して測定していない。

計算内容は実験と同様である。河床は固定床であるので、初期条件として $r=0.0$ を全ての点に与える。また、 $r \geq 1.0$ のときは $r=1.0$ とする。河床上の二次流速は、各計算点における流れ関数の値を求め、流線の曲率から予測する。

4. 実験結果および計算結果 Fig. 2 に無次元掃流力の分布を示す。砂州のクレストで掃流力が大きく、トラフでは小さいため、トラフでは砂礫が輸送されにくいことが予想される。また、クレストで流れが射流、トラフで常流であり、砂州前縁部 ($x=4.3\text{m}$, $y=0.0-0.05\text{m}$) において波状跳水が生じている。計算による分布の幅が実験のものよりも狭いが、大まかな特徴は表現できている。

Fig. 3 は一様砂と混合砂の横断方向の流砂量分布である。各流砂量は、その断面の全流砂量で無次元化されている。実験では、砂州前縁部 ($x=4.35\text{m}$, $y=0.02\text{m}$) において、一様砂、混合砂ともに流砂量は多い。その下流のトラフ ($x=4.50\text{m}$, $y=0.02\text{m}$) では、混合砂の流砂量は多いが、一様砂は減少している。

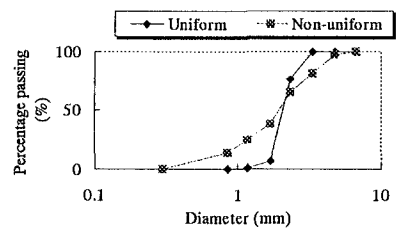


Fig. 1 Grain size accumulation curve of supplied sediment

Table 1 Experimental and simulation conditions and hydraulic parameters

	i_b	d_m (mm)	Q (l/s)	h (cm)	u (cm/s)	τ_*	F_r
Experiment	0.03	2.16	1.28	1.31	48.9	0.114	1.36
Simulation	0.03	2.16	1.28	1.29	49.6	0.112	1.39

i_b : Bed inclination, d_m : Mean diameter of sediment, Q : Water discharge, h : Mean water depth, u : Mean water velocity, F_r : Froude number, τ_* : Mean non-dimensional shear stress

Key words 砂礫の分級、交互砂州、流砂量分布、混合砂、二次元浅水流モデル

* 〒525 滋賀県草津市野路東 1-1-1

TEL 0775-66-1111

FAX 0775-61-2667

** 〒060 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目

TEL 011-706-6187

FAX 011-726-2296

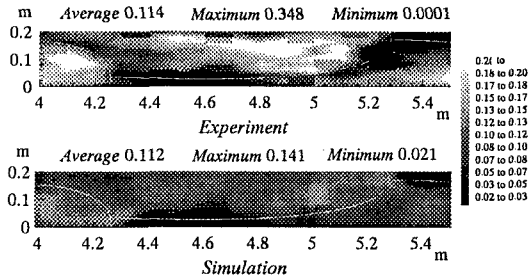


Fig. 2 Distribution of non-dimensional shear stress defined by mean size of supplied sediment

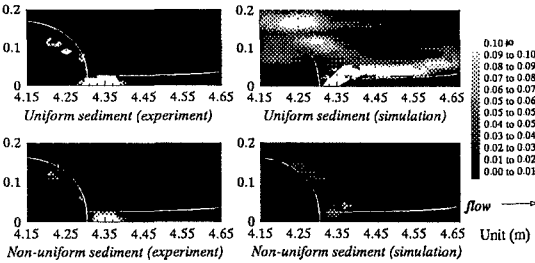


Fig. 4 Distribution of cover rate at time=30s

これは、混合砂がトラフに輸送され、波高を低くする役割を果たしている可能性を示唆する。一方、計算では、混合砂の分布の特徴は表現されているが、一様砂では、 $x=4.35\text{m}$ より上流側に砂礫が堆積し、 $x=4.35\text{m}$ で既に流砂量が小さくなっている。しかし、トラフでの混合砂の流砂量の方が、一様砂のものよりも多くなることは表現されている。Fig. 4 は砂州前縁部における被覆率の分布(実験、計算時間=30s)を示している。実験において、混合砂の砂州前縁部の堆積は一様砂のそれよりも少ない。これは、混合砂では粒径の大きい砂礫は砂州前縁部に堆積し、砂州の前進に寄与しており、粒径の小さい砂礫はトラフに輸送され、波高を低くする役割を果たしているが、一様砂ではほとんど全て砂州前縁部に堆積し、砂州の前進に多くの砂礫が使われているためと考えられる。しかし、後の Fig. 6 に示すように、実験では、粒径の大きい砂礫の一部がトラフに流れ込んでいることも計測されているため、流砂の非平衡性を含めた他の要因も考えられる。計算でも、砂州前縁部で一様砂の堆積量の方が、混合砂のそれよりも多くなることは表現されている。しかし、 $x=4.25\text{--}4.4\text{m}$, $y=0.03\text{--}0.08\text{m}$ の掃流力が実験のものより大きく、砂礫が輸送されてくるため、 $x=4.3\text{--}4.65\text{m}$, $y=0.03\text{--}0.07\text{m}$ に堆積がある。実験では、この部分ではほとんど流砂は計測されていない(Fig. 3)。Fig. 5 は非平衡性を考慮した流砂量分布である。全体的には流砂量分布は、非平衡性を考慮した方が実験データをよく表現できている。しかし、非平衡性が強すぎ、一様砂では、流砂量が $x=4.6\text{m}$ ぐらいまで減少せず、トラフでの堆積が生じている。Fig. 6 は流砂の平均粒径である。全体的には非平衡性を考慮した方が実験データをよく再現できているが、粒径の大きい砂礫が、実験よりも多くトラフに流れ込んでいる。これらの点は今後検討していきたい。また、計算で、 $x=4.35\text{--}4.50\text{m}$, $y=0.06\text{m}$ の平均粒径が大きいのは、堆積厚と同様、 $x=4.25\text{--}4.4\text{m}$, $y=0.03\text{--}0.08\text{m}$ の掃流力が実験のものより大きいためである。

5. おわりに 交互砂州固定床上における砂礫の輸送過程について調べた。実験、計算ともに、一様砂は砂州の前縁部に堆積し、トラフには流れ込まないが、混合砂中の粒径の小さい砂礫はトラフにも流れ込み、波高を低くする働きをしている。一方、混合砂中の粒径の大きい砂礫は砂州前縁部に堆積し、砂州の前進に寄与している。また、実験では、混合砂中の粒径の大きい砂礫の一部もトラフに流れ込み、砂州の波高を低くする役割も果たしているようである。

参考文献 1)高橋・江頭・吉栖：平成7年関西支部年次学術講演会，II-68. 2)福岡・山坂：第27回水理講演会論文集，1983，pp. 703-708. 3)竹林・江頭・金・小山：平成9年関西支部年次学術講演会。

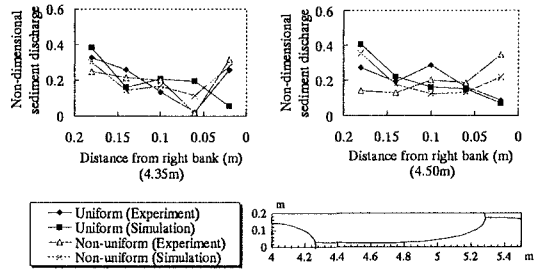


Fig. 3 Transverse distribution of sediment discharge (Equilibrium)

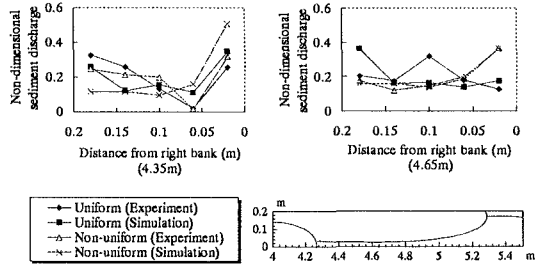


Fig. 5 Transverse distribution of sediment discharge (Non-equilibrium)

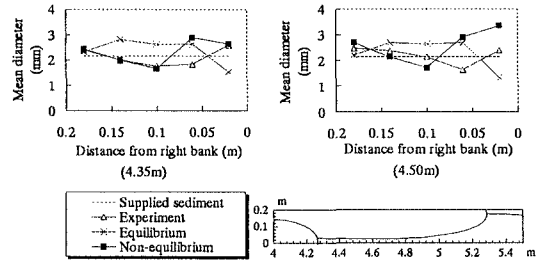


Fig. 6 Distribution of mean diameter of transported sediment