

II-323

交互砂州河床上的流れと砂礫の分級について(2)

立命館大学大学院 学生員 ○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

1.はじめに 交互砂州の形状特性に関し、混合砂を用いた場合と一様砂のものとを比較すると前者において波高は小さくなり、しかも形状がぼやけ易いことが判明している¹⁾。その主たる原因は砂礫の分級現象にあると推察される。その影響を明らかにするために、一様砂を用いて得られた交互砂州河床を、二重 Fourier 級数で近似して固定床とし、その河床上的流れを二次元浅水流方程式を用いて解析するとともに、河床と平均粒径の等しい混合砂を上流端より供給し、その輸送過程を検討しようとするものである。

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、河床形状はそれぞれ次のようである。

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

$$\text{ここに、} \zeta: \text{水位、} \tau_{bi} = \rho C_f u_i \sqrt{u_1^2 + u_2^2}, \quad C_f = 1 / \left(6 + \frac{1}{\kappa} \ln \frac{h}{k_s} \right)^2, \quad \kappa = 0.4, \quad k_s = 2d_m$$

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial q_{bj}}{\partial x_j} = 0 \cdots (3) \quad q_b = \sum_{k=1}^n q_{bk} = \sum_{k=1}^n F(\tau_*, \tau_{*e}, \tau_{*c}, d_k, d_m) r \cdots (4)$$

$$q_{bj} = q_b u_{bj} / \sqrt{u_{b1}^2 + u_{b2}^2} \quad (n=10, \quad i, j=1, 2, \quad \lambda=0.7)$$

$$z_b(x, y) = \sum_{m,n=0}^{\infty} (a_m \cos mx + b_m \sin mx)(c_n \cos ny + d_n \sin ny) \cdots (5) \quad (m, n \text{ は整数})$$

ここに、 $F(\tau_*, \tau_{*e}, \tau_{*c}, d_k, d_m)$ は流砂量式で、芦田・道上式を適用する。 u_{bj} は河床面上の流速の j 成分。 r は河床上的の砂礫の被覆率であり、 $r = \Delta z_b / d_{\max}$ で定義している。ここに、 Δz_b は給砂した砂礫の堆積厚である。 $r \geq 1$ のときは $r = 1$ とする。

3.計算方法 Fig1 に示す一様砂を用い、Table1 の条件のもとに、長さ 8m、幅 0.2m の直線水路において交互砂州を形成させた¹⁾。その河床位のデータを二重 Fourier 級数で近似し、これを固定床として実験と同一の水力条件のもとで流れと流砂の輸送過程を解析する。河床形状の表示には $m=n=20$ 、すなわち 20 項まで用いたが、係数 $a_0 c_2$ 、 $a_1 c_1$ および $b_1 c_1$ 、 $b_1 c_3$ 以外は微小である。計算は、6 波長分の長さ 7.67m の区間を対象とした。

固定床上に定常流量を供給し、流れが安定してから砂礫の供給をはじめ。供給した砂礫は Fig1 に示す混合砂であり、粒径を 10 の階級に分けた。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、給砂に伴う河床変動の影響を最小限にするため、給砂は上流端において $r=0.01$ で行い、供給した砂礫による河床変動は無視できるほど小さいものとする。支配方程式を McCormack スキームで差分し、staggered grid を使用する。河床上的の流速は各グリッドにおける流関数の値を求め、流線の曲率から予測する。計算は堆積土砂の平均粒径の分布が安定する 10000 秒まで行った。

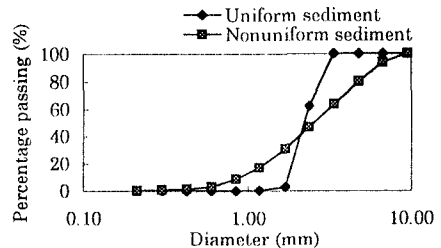


Fig1 Particle size distribution

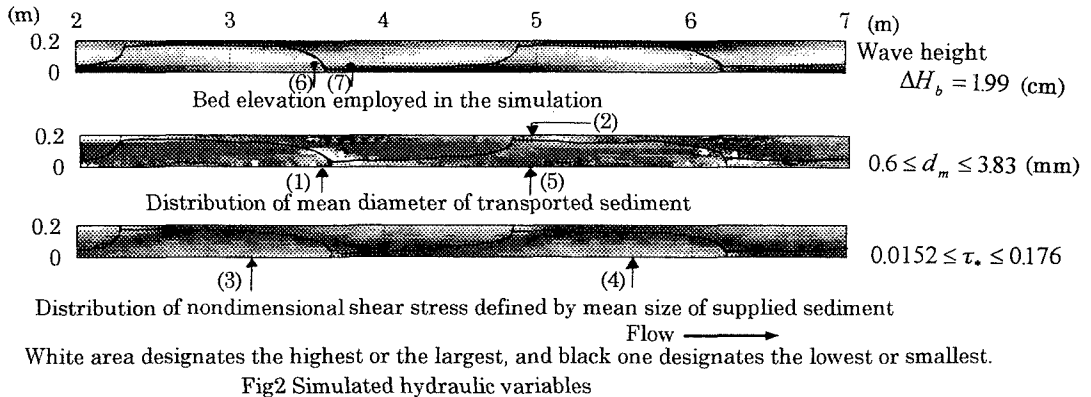
Table1 Hydraulic parameter¹⁾

i_b	d_m (mm)	Q (l/s)	h (cm)	u (cm/s)	τ_*	F_r	l_b (cm)	H_b (cm)
0.03	2.16	1.35	1.30	50.0	0.102	1.43	1.28	1.99

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_* : Non-dimensional shear stress, l_b : Wave length, H_b : Wave height



4. 計算結果と考察 Fig2 はそれぞれ、河床形状、堆積土砂の平均粒径 d_m 、および無次元掃流力 τ_* に関する計算結果である。 d_m の分布についてみると、粒径の大きい砂礫が砂州のクレストおよびその少し下流側に分布している（矢印(1)、(2)）。Fig3 に河床位と水位の縦断形状を示す。上の図が実験結果 1) であり、下の図が計算結果である。どちらも砂州のクレストの下流側で跳水が起こっていることが確認できる。これは砂州のクレストの部分では流れが射流状態であり、クレストからトラフに流れ込むときに跳水が起き、トラフの部分では流れが常流状態になっていることを示唆する。ここで掃流力の分布との関係を見る。砂州のトラフの部分よりもクレストとクレスト背面の部分で掃流力が大きくなっている（矢印(3)、(4)）。このため砂州のクレストから流れ込んできた粒径の大きい砂礫が、掃流力の小さいトラフに入ったところで止まり、クレストの下流側に堆積している（矢印(2)）。また、粒径の大きい砂礫は跳水の起こった地点の下流へは流れ込まないため、跳水地点の下流側では d_m が小さい値になっている（矢印(5)）。Fig4 にクレストとその直下流（Fig2 の矢印(6)と(7)の地点）の被覆率の時間的変化を示す。これによれば、クレスト直下流の方が堆積厚が大きい。このことは上述のような砂礫の分級が波高を減少させる向きに働く可能性を示唆するものである。

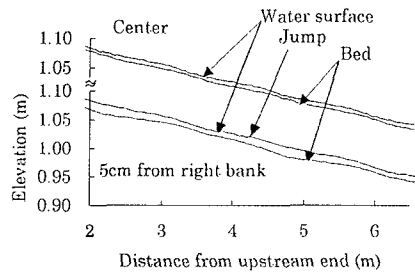
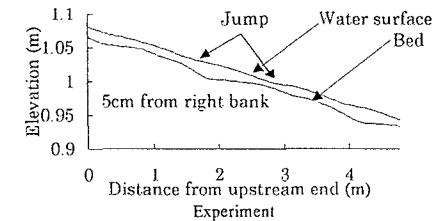


Fig3 Water surface elevation and bed elevation

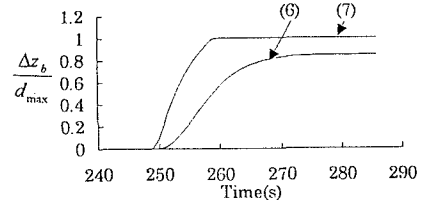


Fig4 Thickness of deposited sediment

5. おわりに 砂州河床を固定し、その河床上における砂礫の輸送過程について調べた。粒径の大きい砂礫は掃流力の大きい領域を輸送され、掃流力の小さくなるクレスト下流部分に多く堆積する。クレスト部分よりもクレスト直下流の堆積厚が大きく、分級現象が波高を減少させる要因になっている可能性を示した。また、交互砂州河床上の跳水については、従来あまり注目されていないようであるが、砂州の発達や移動現象に対する跳水の影響について検討する必要がある。

参考文献 1) 高橋史峰・江頭進治・吉栖雅人：砂州の形状特性値に及ぼす混合砂の影響、平成7年関西支部年次学術講演会、II-68