

交互砂州河床における粒子の分級現象に関する一考察

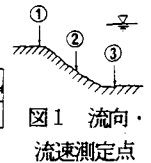
舞鶴工業高等専門学校 正員○三輪 浩
立命館大学 理工学部 正員 大同淳之

1. はじめに 混合砂礫からなる河道において、河床粒子は粒径によってその流送特性が異なるために粒度分布の時間的・空間的变化を生み出す。これは河床粒子の分級・分散現象に起因するものである。また、河道に砂州が形成される場合には河床形状の三次元性や流水の蛇行によって、粒子が縦横断方向に輸送されるためより一層顕著になる。さらに、砂州前縁部では、掃流力の急激な低下によって粗粒子が堆積しやすく、粒子のふるいわけが活発に行われていると思われる。このことは砂州の形成・発達に大きな影響を及ぼすと考えられる。そこで、本文では、混合砂からなる交互砂州河床における砂州前縁部に着目し、そこでの粒子の分級現象について検討する。

2. 実験の概要 長さ18m、幅50cmの変勾配水路において、平均粒径1.54mm、 $\sqrt{(d_{84}/d_{16})}=2.2$ の混合砂を用いて交互砂州を形成させ、河床を速乾性の接着剤で固定した。砂州前縁部における分級の効果を調べるために、トレーサーを用いて実験した。砂州半波長に対して前縁の段落ち高が異なる3ヶ所に着目前縁を設定し、各前縁に対してその上流側より粒径別のトレーサーを投入して、堆積率（堆積量/投入量）を測定した。また、堆積率の算定に必要な前縁部の摩擦速度を得るため、流速を内径1mmのピトー管を用いて測定し、流向角をピトー管の総圧口と同じ高さに取り付けられた糸によって最大流速指示角を読み取った。測定点は、砂州半波長（一波長は水流の一蛇行長で定義する）を対象に、約20cm間隔に9ヶ所の前縁を設定し、それぞれ流れに沿って図1のように砂州前縁部の段落ち上端（測点①）、下端（③）およびその中間点（②）の3点とした。なお、表1は実験条件である。

表1 実験条件

流量 (l/sec)	河床勾配	平均水深 (cm)	摩擦速度 (cm/sec)
4.8	1/70	2.0	5.3



3. 砂州前縁部の流向、流速分布と摩擦速度の算定 図2は、

前縁部（砂州の位相 $x/\ell_B \approx 0.19, 0.40, 0.61, 0.82$; ℓ_B は半波長の長さ、 x は砂州先端からの距離）の測点①、②、③における流向の鉛直方向の変化を示したものである。なお、流向角 γ の正の値は流下方向に対して砂州の瀬の方向を示し、負の値は淵の方向を示す。測点①においては上流側（ $x/\ell_B \approx 0.82$ ）では負の大きな偏向角を有しているが、下流側に行くにつれて小さくなり、砂州先端付近ではほぼ水路と平行になる。これは砂州上では前縁付近で流れが拡散していることを示している。一方、測点②、③においては底面付近で流向が瀬の方向を向く傾向を有しており、二次流が形成されていることがわかる。これは、測点③において顕著であるが、流下するにつれて偏向点の位置は水面方向に移動し、測点①と同様に砂州先端付近では一様化し、流向角は小さくなる。以上のことから、前縁の下部付近では前縁に沿って発達・減衰する螺旋流が形成されていることがわかる。図3は、縦断方向の流速を表面流速で無次元化した鉛直方向の流速分布を示している。図中の実線は対数分布則である。実測値はこの分布に概ね一致しているといえる。

摩擦速度は、片対数紙上に水深と流速をプロットし、その勾配より算定した。このとき、測点②、③では底面近傍の乱れのため、

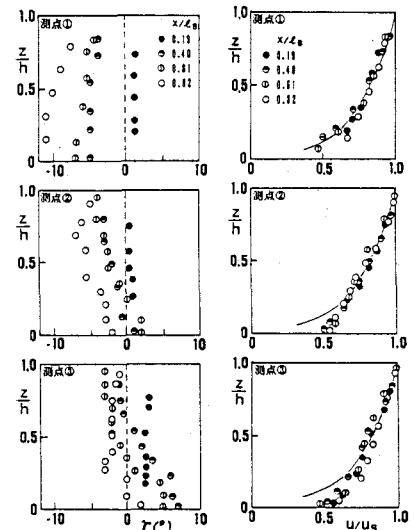


図2 流向

図3 縦断方向流速分布

カルマン定数の値が、通常用いられる0.4よりも小さくなると考えられるが、本文では0.4を用いた。

4. 砂州前縁部での粒子の分級 先にも述べたように、砂州前縁部では粗粒子が堆積しやすく、粒子のふるいわけが活発に行われている。これは、前縁部の段落ちによる掃流力の急激な低下や剥離渦の影響のために平坦な場所とは異なった条件に支配されていると思われる。図4は、粒径別のトレーサー粒子の前縁での堆積率を、測点①と③の摩擦速度の比 U_{*0}/U_{*L} によって整理したものである。どの粒径に対しても同様の傾向を示し、堆積率が前縁段上、段下での摩擦速度の比に依存していることがわかる。この堆積率を算定するにあたり、次のように考えた。前縁部の段上を Δt の間に通過した粒子のうち、段下で堆積する粒子は Δt の間にそこでpic-upされなかった粒子であるとする。t=0で段上を通過する粒子をN個、段下でのpic-up rateを p_s とすると、 $m \cdot \Delta t$ 時間後の

残留率は $\frac{1}{N} \cdot N(1-p_s \cdot \Delta t)^m$ となる。これが堆積率 P_d に等しいと考えると、

$$P_d = (1 - p_s \cdot \Delta t)^m \quad (1)$$

を得る。単位時間として $\Delta t = 1(\text{sec})$ とすると、 m は堆積開始からの経過時間を示す。さて、段下におけるpic-up rateが推定できれば、堆積率は式(1)によって算定できる。トレーサーの実験結果からpic-up rateの推定式として次式を得た。

$$p_{s*} = p_s \sqrt{d/(\rho_p - 1)g} = 0.0018 \cdot \tau_{*L} \left\{ 1 - 0.14 \left(\frac{U_{*c}}{U_{*u}} \right)^2 \left(\frac{U_{*u}}{U_{*L}} \right)^2 \right\}^{0.3} \quad (2)$$

図5は、式(1)および式(2)から算出されたpic-up rateと堆積率との関係を示している。これらの関係は図4にも示されている。実験結果と式との間にはばらつきが残されているが、その傾向は表現されている。

以上のように、砂州前縁部では粒径別に堆積率が変化し、これは式(1)と式(2)によってある程度推定することができた。しかし、粒子の分級は平坦な場所でも行われるので、その程度を比較がすることが必要になる。そこで、粒径別のpick-up rateによって両者を比較した。図6は、式(2)と中川・辻本¹⁾による平坦河床でのpick-up rateを示したものである。前縁段上、段下の摩擦速度の差が小さくなるとpick-up rateは増加するが、いずれの粒径においても前縁部のpick-up rateは平坦部よりも低い値を示しており、このことが前縁部における分級現象に大きく寄与していることを示唆している。

5. むすび 本研究は、粒子の分級に砂州前縁部が大きく作用していると考え、そこでの分級効果を実測し、pick-up rateを用いて表現した。そして、平坦河床でのpick-up rateと比較し、いづれの粒径についても小さくなっていることを示した。今後、さらに検討を進めるとともに、混合砂、移動床へと発展させたい。

参考文献 1) 中川・辻本：水流による砂れきの移動機構に関する基礎的研究、土木学会論文報告集、第244号、pp.71-80、1975。

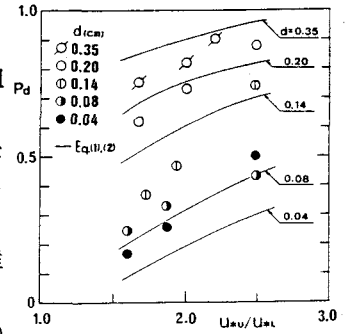


図4 前縁部の摩擦速度と堆積率の関係

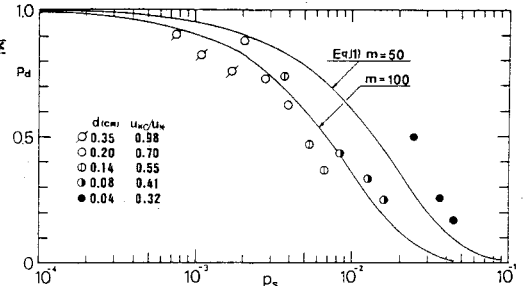


図5 pic-up rateと堆積率の関係

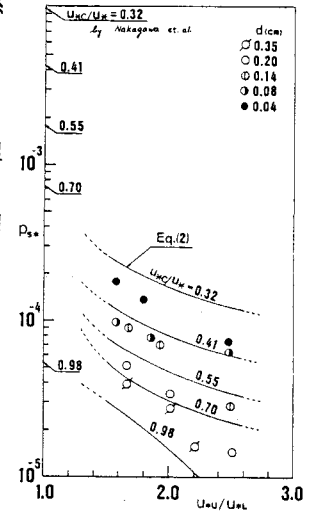


図6 前縁部での摩擦速度とpic-up rateの関係