

II-157

砂州前縁部における粒子の分級現象に関する基礎的検討

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は、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。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、これはより一層顕著になる。とくに、砂州前縁部では、掃流力の急激な低下や剥離渦の存在によって粒子は他の場所とは異なった状況におかれていると考えられる。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対して、そこでの粒子の分級現象に着目し、これについて基礎的な検討を行う。

2. 実験の概要 実験は、長さ18m、幅50cmの可変勾配水路において、平均粒径 1.54mm 、幾何標準偏差 $\sigma_g = \sqrt{(d_{84}/d_{16})} = 2.2$ の混合砂を用いて交互砂州を形成させ、速乾性の接着剤で固定して行った。砂州前縁部における粒子の分級の効果を調べるため、砂州半波長（一波長は流水の一蛇行長で定義する）に対して前縁部の段落ち高が異なる3ヶ所を着目前縁として、各前縁に対してそ

表1. 実験条件

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

の上流側より均一粒径のトレーサー ($d=0.34, 0.20, 0.14, 0.08, 0.04\text{ (cm)}$) および河床材料とほぼ同一の粒度分布を有する混合

粒径のトレーサーを投入し、通水時間と粒径ごとの前縁段落ち下部での堆積率 P_d （堆積量/投入量）を測定した。なお、表1は実験条件である。

3. 砂州前縁部の流速分布と摩擦速度の算定 図1は、砂州前縁部における摩擦速度の算定のために、砂州半波長の4ヶ所の前縁部に対して、それぞれ図2に示す3点において測定された流速分布を示している。図中 x/ℓ_0 は流速測定前縁に対する砂州の位相であり、 x は砂州先端からの距離、 ℓ_0 は砂州半波長の長さである。

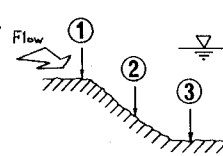


図2. 流速測定点

図中の実線は対数則分布で、実測値は概ね一致しているといえる。摩擦速度は得られた流速分布から算定した。このとき、測点②、③では底面近傍の乱れのため、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、これを正確に見積ることは現段階では困難であったため、本文では0.4を用いた。

4. 砂州前縁部での粒子の分級 砂州の前縁部では、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、粒子の運動が平坦な場所とは異なった条件に支配されていると考えられる。図3は、均一粒径トレーサー粒子の前縁での堆積率を、測点①と③における摩擦速度の比(u_{*0}/u_{*1})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ため、次のように考えた。すなわち、前縁部の段上を通過した粒子のうち、段下で掃流されない粒子が堆積する。そこで、いま、 $t=0$ で粒子が段上を通過し始めたとして、 $t_1=m_1 \cdot \Delta t$ までに総数 N_0 個が通過したとする。一方、

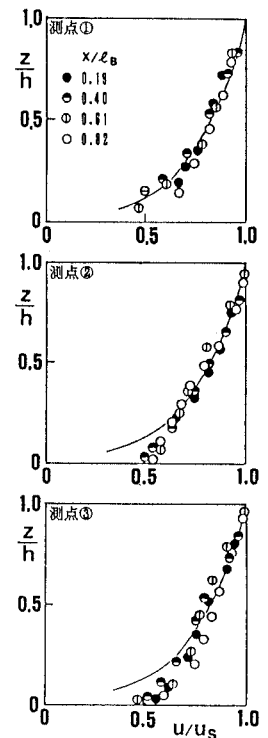


図1. 砂州前縁部の流速分布

段下において段上を通過した粒子が単位時間 Δt の間に下流側に移動する確率を $\tilde{p}_s$ とすると、 $t_2 = m_2 \cdot \Delta t$ 時間後の堆積率

P_d は、

$$P_d = \frac{\Delta t}{t_1} \frac{\{1 - (1 - \tilde{p}_s \cdot \Delta t)^{\frac{t_1}{\Delta t}}\}}{\tilde{p}_s \cdot \Delta t} \cdot (1 - \tilde{p}_s \cdot \Delta t)^{\frac{t_2 - t_1}{\Delta t} + 1}$$

となる。 $t_2 \gg t_1$ の場合には、堆積率は、

$$P_d = (1 - \tilde{p}_s \cdot \Delta t)^{\frac{t_2}{\Delta t}}$$

によって式(1)とほぼ同等の結果を与える。さて、段下での移動確率 $\tilde{p}_s$ が推定できれば、堆積率は上式によって算定できる。

$\tilde{p}_s$ に関しては本実験結果から実験式として次式を得た。

$$\tilde{p}_s \sqrt{d/(\sigma/\rho - 1)} = 0.05 \tau_{*L} \left(\frac{U_{*c}}{U_{*u}} \right)^3 \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{U_{*c}}{U_{*u}} \right)^2 \left(\frac{U_{*u}}{U_{*L}} \right)^2 \right\}^{0.5}$$

図3に、式(1)および式(3)から算出された堆積率の推定値を破線で示した。実験結果と式との間にはばらつきが残されているが、現象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(3)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、その程度を比較することが必要になる。そこで、平坦部における移動確率 $\tilde{p}_{s0}$ を測定し、これに対する前縁部での $\tilde{p}_s$ の変化を粒径ごとに比較することによって上記のことを検討した。図4は均一トレーサの実験結果について示したものである。どの粒径に対しても、 U_{*u}/U_{*L} の値が大きくなると $\tilde{p}_s$ は減少していき、また、その減少率は粗粒子ほど大きくなる傾向が認められる。すなわち、このことが砂州前縁部における分級現象に寄与していることを示している。

一方、図5は、混合トレーサの場合について同様の検討を行った結果である。均一トレーサの場合に比べ、粒径ごとの $\tilde{p}_s$ の減少の割合は小さくなっているが、均一の場合と同様、粒径が大きいほど $\tilde{p}_s$ の減少率は大きく、分級現象への効果を表している。

5. むすび 本文では、砂州前縁部での分級効果を固定床上で実測し、前縁段下における粒子の移動確率

$\tilde{p}_s$ を用いて表現した。そして、平坦部での $\tilde{p}_{s0}$ と比較し、いづれの粒径についても U_{*u}/U_{*L} の増加にともなって小さくなることを示した。さらに、粒径が大きいほど、前縁部では平坦部よりも移動しにくくなる傾向があることを示した。今後、前縁部での剥離渦の効果等を含め、より詳細に検討を進めるとともに、移動床へと発展させてゆきたい。

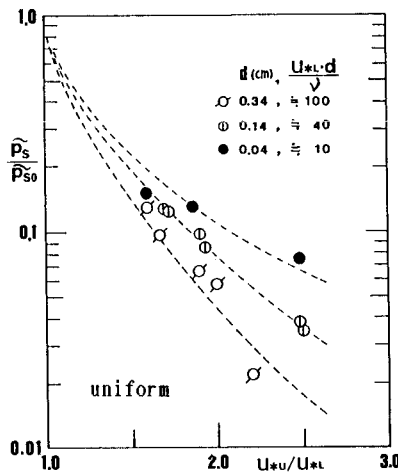


図4. 均一トレーサ

砂州前縁部における粒径別の $\tilde{p}_s$ の、平坦部に対する変化

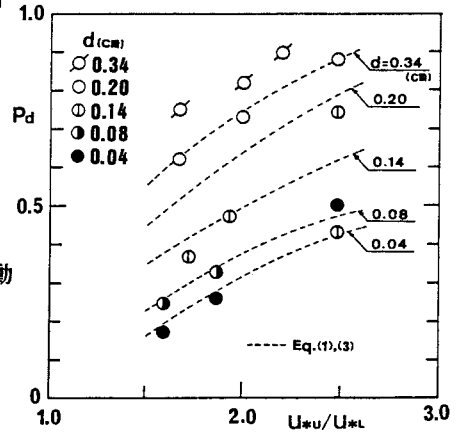


図3. 前縁部における摩擦速度と堆積率の関係

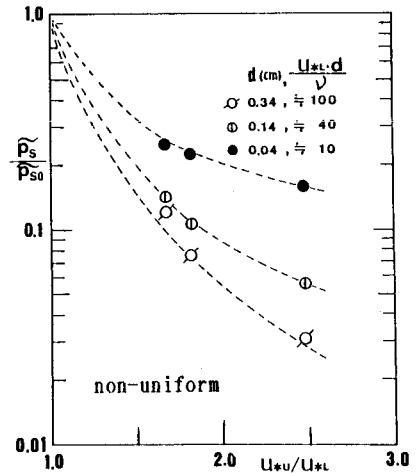


図5. 混合トレーサ