

砂礫の移動に伴う粘土河床の浸食と堆積した砂礫の再浸食のプロセス

早稲田大学大学院	学生員	○ 因 岳宏
早稲田大学大学院 (当時)	学生員	藤浦 望誇
早稲田大学 (当時)	非会員	齊藤 駿
早稲田大学理工学術院	正会員	関根 正人

1. 序論

砂利採取や河道改修などが進められた日本の河川では、砂礫層の消失や河床低下が確認されている。河床低下の結果として軟岩層や粘土層などの軟弱な地盤が露出し、河川構造物の根入れ深さの減少などの河川管理上の問題が起きている。

著者らはこれまで、粘土河床に掃流砂として輸送されてきた砂礫が入り込むことにより形成される『混合層』に着目し、研究を行ってきた。混合層が形成された粘土河床上に掃流砂を流さずに通水を行うと、混合層のない粘土のみの河床と比較して浸食が進みにくいことが明らかになっている¹⁾。

本研究は、粘土河床上に掃流砂が付着することによる河床浸食への影響を明らかにすることを目的とする。

2. 実験の概要

本実験では、図-1に示すような循環型のアクリル製閉管路を使用した。水路の全長は4.9mであり、断面は一辺が0.1mの正方形となっている。図-1(b)において、区間Aに模擬粘土河床を設置する。区間B・Cは掃流砂を敷き詰められるよう凹部が設けられており、凹部の下にある底板によって掃流砂が供給できるようになっている。給砂を行わずに通水する場合は、砂礫を敷き詰める代わりにゴム板を貼り付けた箱を取り付け、固定床とする。

掃流砂には珪砂3号(60% 粒径:0.156mm)、あるいは同粒径のカラーサンド(赤・青・緑)を使用した。模擬粘土河床は、TAカオリン(60% 粒径:0.005mm)と水を10:9の割合で練り混ぜた後、圧密させることで作成する。

本実験では流量を6L/sec、給砂量比 q_b/q_e を0.15, 0.25, 0.35, 0.50と変えて60分間掃流砂を流しながら通水する(給砂実験時とする)。その後、掃流砂を流さずに、流量5L/secで40分間通水する(剥離実験時とする)。ここで給砂量比は、河床が平衡状態になるために必要な掃流砂量 q_e に対する実際に供給される砂礫の量 q_b の割合のことを言う。

3. 給砂時による浸食促進作用と浸食抑制作用の評価

まず、給砂実験時には、粘土河床の上に掃流砂として移動してきた砂礫が堆積すると、その部分の粘土の浸食を防ぐことが考えられる。そこで、粘土が露出している部分で生じる正味の浸食速度 E_s' が流水のみにより生じる粘土河床の浸食速度 E_{so} の β 倍であるとし、実際の速度を粘土の浸食速度を E_{clay} とする。この浸食速度 E_{clay} は次のように表すことができる。

$$E_{clay} = E_s' \cdot (1 - F_{sand}) = \beta \cdot E_{so} \cdot (1 - F_{sand})$$

ただし、粘土河床の浸食速度は西森・関根らによる浸食速度予測式²⁾を使って求める。また、被覆率 F_{sand} は、粘土河床表面の面積に対する砂礫で覆われた部分の面積の割合を表す。

式中の係数 β が1よりも大きい場合、粘土露出部分の浸食が流水のみによる浸食に比べて大きくなっていることを意味する。

給砂実験時の被覆率 F_{sand} と係数 β の関係を図-2に示す。給砂量比 $q_b/q_e=0.15, 0.25$ の場合には $\beta=0.5 \sim 1.1$ の範

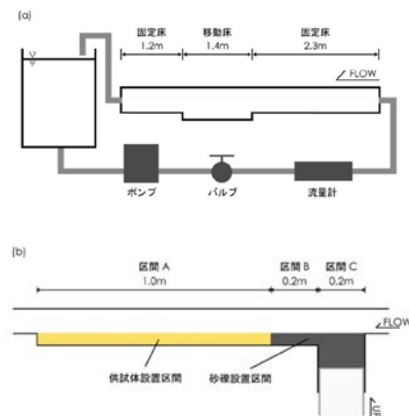


図-1 実験装置の概要：
(a)は全体図、(b)は移動床区間の拡大図を示す。

キーワード：粘土河床、浸食、掃流砂の移動、河床変動、混合層、Pick-up rate

連絡先：〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1, TEL 03-5286-3401, FAX 03-5272-2915

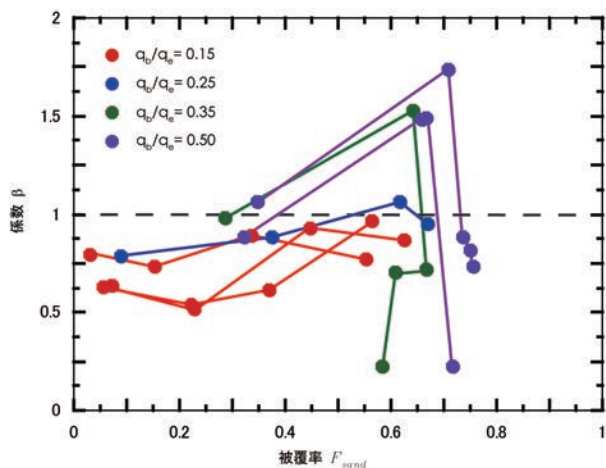


図-2 被覆率と係数 β の関係 (流量一定) :

線で結ばれている複数のプロットは同実験であることを示す。

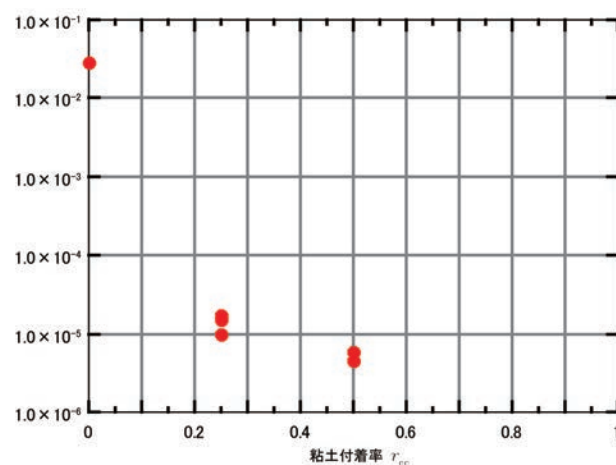


図-3 粘土付着率 r_{cc} と混合層上の砂粒子の

Pick-up rate の関係 :

片対数グラフにプロットしている。

囲であることに對し、 $q_b/q_e=0.35$ 、 0.5 では β が 1 よりも大きくなることもある。また、被覆率が大きいほど β が大きくなり、極値をとる傾向が見られる。

4. 混合層上の掃流砂の離脱過程における Pick-up rate

次に剥離時を考える。本論文では、粘土付着率 r_{cc} と河床上の砂粒子が単位時間当たり移動を開始する確率 Pick-up rate を用いて評価する。なお、粘土付着率 r_{cc} とは砂粒子の表面のうち粘土が付着している部分の面積比率を表し、河床を撮影した画像から判別する。 $r_{cc}=0$ の場合の値としては、中川・辻本らによる砂礫河床における Pick-up rate の式³⁾より算定することにした。

粘土河床上の砂粒子に対する Pick-up rate は次式によって求める。

$$P_s = m / (N_b \cdot t)$$

ここに、 m は河床から離脱した個数、 N_b は河床表面上に存在していた砂粒子の個数、 t は通水時間である。

混合層上の砂粒子の Pick-up rate を図-3に示す。 $r_{cc}=0$ は砂粒子が露出した状態での値を示す。砂礫河床場における Pick-up rate ($r_{cc}=0$) と比較すると、 $r_{cc}=0.25$ では平均 1.7×10^{-4} 倍、 $r_{cc}=0.5$ では平均 4.9×10^{-4} 倍と極端に小さくなっている。このことは粘土付着率 r_{cc} が大きいほど Pick-up rate の値が小さく、粘土の粘着力の影響により砂粒子が離脱しにくくなっていることを意味する。

5. 結論

本研究では、粘土河床の砂礫河床への遷移プロセスを解明するために、粘土河床上の掃流砂が河床浸食に与える影響に着目した実験を行った。その結果、粘土河床上に堆積した砂粒子は粘土河床の浸食を抑える効果があることを確認できた。また、粘土が付着した砂粒子は粘土の粘着力によって剥離しにくくなることを Pick-up rate を用いて確認した。今後は、粘土河床の砂礫河床への遷移プロセスについて、定量的に評価する方法を検討する。

謝辞：本研究は文部省化学研究費基盤研究 B (研究代表者：関根正人，課題番号：No.20H02262) を受けて行われた。ここに記して謝意を表します。

参考文献：

- 1) 関根正人・藤浦 望詩：粘土河床上を移動する砂礫の被覆・離脱プロセス，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol.77, N0.2, pp.I_607-I_612, 2021.
- 2) 西森 研一郎・関根正人，粘着性土の浸食過程と浸食速度式に関する研究，土木学会論文集 B, Vol.65, N0.2, pp.127-140, 2009.
- 3) 中川博次・辻本哲郎：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，Vol.244, pp.71-80, 1975.