

掃流砂礫による粘土河床の浸食促進・抑制効果

早稲田大学理工学術院

正会員 関根 正人

早稲田大学大学院

学生会員 ○ 吉川 文崇

早稲田大学大学院

学生会員 芦澤 穂波

早稲田大学大学院

学生会員 佐藤 裕

1. 序論

筑後川の下流域やメコン川では、一部の区間において粘着性土で河床が構成されている。このような河床での変動メカニズムは、非粘着性土のみからなる河床とは大きく異なる。上流側から掃流砂礫が供給されてくる条件下では、砂礫が粘土河床に取り込まれることが明らかになっている。本研究では、この粘土河床上の砂礫の移動形態に着目して、粘土河床の変動メカニズムの検討を行った。

2. 実験の概要

本研究では、水路は全長が 4.9m、断面の一辺が 0.1m のアクリル正方形断面の閉管路水路を用いて実験を行った。この水路は長さ 1.4m の移動床区間をもち、この区間は他の場所より 5cm ほど深くなっている。移動床区間には T.A カオリン（60% 粒径 0.007mm、比重 2.65）を水含有率が $R_{wc} = 0.9$ となるように一様に練り混ぜた粘土供試体を、全長 1.0m にわたって設置した。ここで、水含有率 R_{wc} は供試体内に含有される水の粘土に対する重量比率を示す。粘土供試体は静水中に 15 時間静置し十分に圧密させる。移動床区間の上流側には珪砂 3 号（60% 粒径 1.56mm、比重 2.65）で構成される砂河床区間を設け、通水時に砂礫が粘土河床上に輸送されるようにした。なお、砂河床区間の底板を上昇させることで河床上面の高さをコントロールし、一定量の砂礫の供給を行っている。通水前後の粘土河床の測定にはレーザー式変位センサを用いた。

本実験では、流量を $0.270 \text{ m}^3/\text{s}$ としており、珪砂 3 号に対する無次元掃流力は $\tau^* = 0.079$ となる。粘土河床の浸食形態は、掃流力が比較的小さい時に起こる「煙状の溶出」と水流による掃流力が粘土の粘着力に比べて十分大きい場合に起こる「塊状の剥離」の 2 種類に分類できるが、今回は前者のみの浸食が起こる条件となっている。また、ひとつの目安として、平衡掃流砂量の値 q_e を Meyer-Peter & Müller の式を用いて評価し、その 0.25 倍、0.50 倍、0.75 倍の量 q_b の給砂を行った。この砂の無次元掃流力は $\tau_c^* = 0.046$ である。

3. 浸食速度・被覆率の相関関係

通水時間に対する浸食深、浸食速度、被覆率を図-1 に示す。ここで、浸食速度とは浸食深を時間で除した値であり、被覆率とは河床上面の単位面積に対する砂礫が粘土河床を覆っている面積の割合を示している。被覆率は時間経過とともに増大していくことがわかるが、やがて被覆率がある値に漸近していくと推察できる。このことから、被覆率 F_{sand} と経過時間 t の関係は概ね $F_{sand} = a(1 - e^{-kt})$ という式で近似できる。図より、被覆率 F_{sand} はおよそ 0.8 に近づいていくことから $a = 0.8$ である。同様に、浸食速度は通水時間が経過していくと、次第に 0 に漸近していくと考えられる。したがって、浸食速度 E_s は $E_s = be^{-kt}$ と近似できることになり、式中の b はおよそ $1.1 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ となる。しかしながら、実際には通水時間が 0 分の時点では浸食速度も 0 cm/sec にならなければならないので、この値は厳密には異なることに留意されたい。

浸食速度と被覆率の関係を図-2 に表す。図中の破線は浸食速度と被覆率の近似的な関係を表している。この近似直線より両者の間には負の相関関係があることがわかった。

4. 粘土河床上における砂礫の pick up rate と砂礫の遮蔽効果との関係について

砂礫が粘土河床上に被覆されていくプロセスにおいて、砂礫の挙動を推定するために図-3 に示すような実験後の画像から解析を行った。給砂量 $q_b/q_e = 0.50$ の条件下で、15 分ごとに供給する砂礫の色を変えて通水する

キーワード：粘土河床、掃流砂の移動、河床変動、浸食速度、被覆率、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

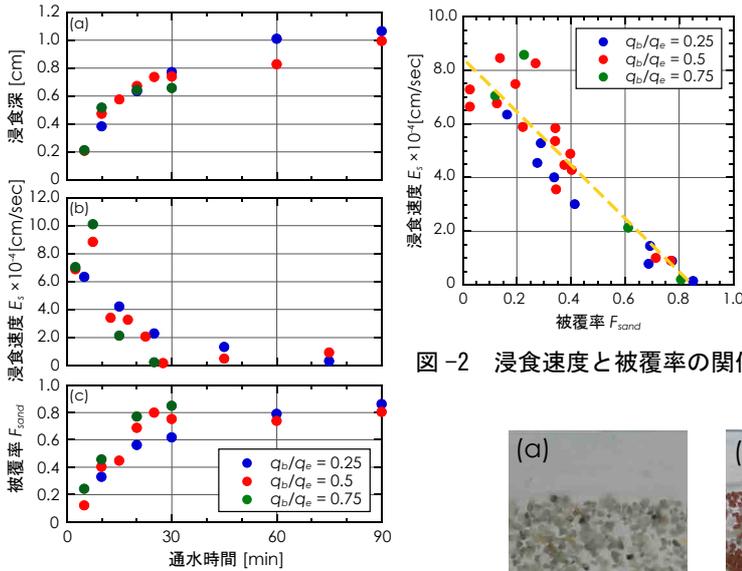


図-1 粘土河床の特性量の変化：
 (a) 浸食深, (b) 浸食速度, (c) 被覆率。
 浸食速度の値は浸食真の時間変化から算出した。

表-1 時間ごとの残留比率, 移動比率, pick up rate

経過時間 (min)	粒子の総数 (個)	残留比率	移動比率	pick up rate P_s' (/s)	無次元 pick up rate P_s^{*1}
15	476	0.416	0.584	6.48×10^{-4}	4.26×10^{-7}
30	834	0.522	0.478	5.32×10^{-4}	3.50×10^{-7}
45	1189	0.799	0.201	2.23×10^{-4}	1.47×10^{-7}
60	1126				

図-2 浸食速度と被覆率の関係

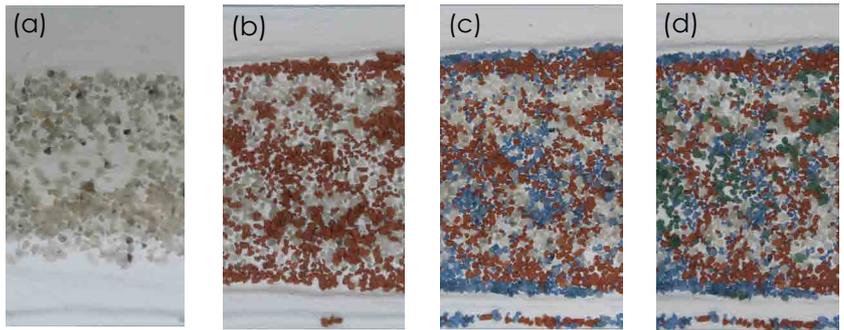


図-3 通水後の河床状況：(a) 15分後, (b) 30分後, (c) 45分後, (d) 60分後。
 河床上面から撮影した, 粘土が露出している箇所は白色である。

実験を行った。解析の対象となるエリアは水路横断方向に9cm, 流下方向に5cmとした。ただし, このエリアには砂層が生じないことを確認している。15分経過ごとの通水後の写真より, 粘土河床上から離脱した粒子, 新たに堆積した粒子, 残留した粒子を数え上げることで, 砂礫の時間変化を推定する。その結果を表-1に示す。ここで, 残留比率を「通水前の砂礫の総数に対する通水中に移動していない砂礫の個数の割合」, 移動比率を「通水前の砂礫の総数に対する通水中に河床から移動した砂礫の個数の割合」とする。また, 粘土河床上の砂礫の pick up rate P_s' とは単位時間当たりに移動をする個数を表し, 実験結果から得た移動比率を経過時間で除したものである。結果より, 時間経過とともに残留比率は上昇し, 一方で移動比率は低下していくことがわかる。砂河床上の砂礫の無次元 pick up rate P_s^{*} は中川・辻本の評価式²⁾より, 無次元掃流力 τ^* を用いて $P_s^{*}=4.09 \times 10^{-4}$ となる。同様にして, 評価式より求めた P_s^{*} の値を表-1に示す。粘土河床上の砂礫の無次元 pick up rate P_s^{*1} は, P_s^{*} と比較すると 1/1000 程度の値をとることがわかる。これは, 砂粒子が粘土河床上に入り込むことで粘土河床から粘着力の影響を受けるために, 河床からの離脱が起こりにくくなっていることを表している。また, 時間経過に伴い pick up rate P_s^{*1} が小さくなっていくのは, 被覆した砂粒子がかみ合ってお互いに遮蔽効果を発揮することで, 砂礫が抜けにくい状態へ変化していくためであると考えられる。

5. 結論

本研究では, これまでに行った実験から得たデータに対して定量的な検討を進めた。浸食速度と被覆率についてそれぞれ式を推定することを目標としたが, 今回はその概形を求めるとどまったのでさらに深い考察に至ることを目指している。また, pick up rate の考察は給砂量が 0.50 の1ケースのみを取り扱ったので, 異なる給砂量の結果と比較検討を行うなど今後も研究を進めていきたい。

参考文献：

- 1) 西森研一郎・関根正人：粘着性土と浸食速度予測式に関する研究, 土木学会論文集B, Vol.65, No.2, pp.127-140, 2009.
- 2) 中川博次・辻本哲郎：掃流過程の確率モデルとその一般化, 土木学会論文報告集, 第291号, pp.73-83, 1979.
- 3) 関根正人・池田憲昭・芦澤徳波・佐藤裕：砂礫の移動に起因する粘土河床の浸食促進・抑制効果と河床変動プロセス, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.71, No.4, I_1087-1092, 2018.