

掃流砂として移動する砂礫が粘土河床の浸食に及ぼす影響と河床の鉛直構造

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 学生員 ○ 池田 憲昭
 早稲田大学大学院(当時) 学生員 高野 大貴

1. 序論

本研究では、潮汐の影響で海から河川感潮域に運ばれた粘土が堆積している河床を念頭におき、そこに上流側から砂礫が運ばれてきた場合に生じる粘土河床の変化を明らかにするため、一連の実験的検討を行った。

2. 実験の概要

実験は幅 10 cm×高さ 10 cm の矩形断面を有する全長 4.9 m の循環式アクリル製管水路を用いて行った。この水路には、底部が周囲より 5 cm 低い凹部があり、長さ 1.4 m にわたるこの部分を移動床区間とした。なお、その上流と下流側にはそれぞれ 2.3 m と 1.2 m の助走区間を設けた。移動床区間には、T.A カオリン（50% 粒径 0.005 mm, 比重 2.65）と水を 10:9 の比率で均質になるよう練り混ぜた模擬粘土河床と、その上流側から砂礫を供給するための砂礫河床区間をそれぞれ設けた。粘土河床は、練り混ぜた後に深さ 15 cm の静水下で 15 時間静置し、十分に圧密が完了していることを確認したものとした。この河床区間に上流から供給する砂礫としては珪砂 3 号（60% 粒径 1.56 mm, 比重 2.65）とし、その底板を手動で上昇させることにより所定の体積の砂礫を供給しながら実験を行った。浸食深の計測にはレーザ式変位センサ（Keyence 社製）を用いた。

本論文では、異なる給砂量条件下で生じる粘土河床の変動プロセスを明らかにすることを目的とした実験の結果を中心に説明する。実験条件の概要を表-1 に示す。ここでは、単位幅当たりの給砂量 q_b を、同一水理条件下の砂河床において生じる平衡掃流砂量 q_e で除した無次元量 q_b/q_e をひとつの指標として用いている。平衡掃流砂量 q_e の値は、ここで対象とした流れの無次元掃流力 $\tau^* = 0.079$ と無次元限界掃流力 $\tau_c^* = 0.046$ の値を用いて Meyer - Peter & Müller の式により評価した。ここで行った実験は、流量を 0.0045 m³/s, 摩擦速度 u^* を 4.27 cm/sec としたものであり、そのときの水温は 13.6 °C あった。

3. 砂礫の供給を伴う粘土河床の浸食

実験結果を図-1 に示す。ここでは、相対的な給砂量を $q_b/q_e = 0.25, 0.5, 0.75$ の 3 つの条件に設定した一連の実験を行い、各時刻までの浸食深・浸食速度と各時刻の河床面の被覆率に注目して説明を行う。浸食速度について Case A を例に説明しておく、通水 20 分後の浸食深から 10 分後の浸食深を差し引いた値を経過時間 600 秒で除したものを、その中間の 15 分の時点での浸食速度とした。また、被覆率とは、河床表面に露出する砂の面積が河床全体の面積に占める比率を表すものであり、写真-1 に示したような画像から算定したものである。

図-1(a)(b) より、浸食深は時間の経過とともに単調に増加していることがわかる。ところが、その時間変化量は時間とともに減少していくため、その時間変化率を表す浸食速度は低下する傾向にある。この原因の中で最も重要なポイントは、粘土の浸食に伴い掃流砂として輸送されてきた砂礫が「粘土河床内に入り込む、河床表層を構成するように表面を覆う」ことが挙げられる。砂礫による遮蔽効果であり、これにより粘土の浸食が抑制されることになる。この様子を表すのが写真-1 である。最上段の (a) が模擬河床の初期状態であり、粘土（写真の白色

表-1 実験条件

Case No.	給砂量 q_b/q_e	通水時間 (min)
A-10	0.25	10
A-20		20
A-30		30
B-10	0.5	10
B-15		15
B-20		20
B-30	0.75	30
C-10		10
C-20		20
C-30		30

キーワード：粘土河床，砂礫の供給，浸食深，浸食速度，被覆率

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

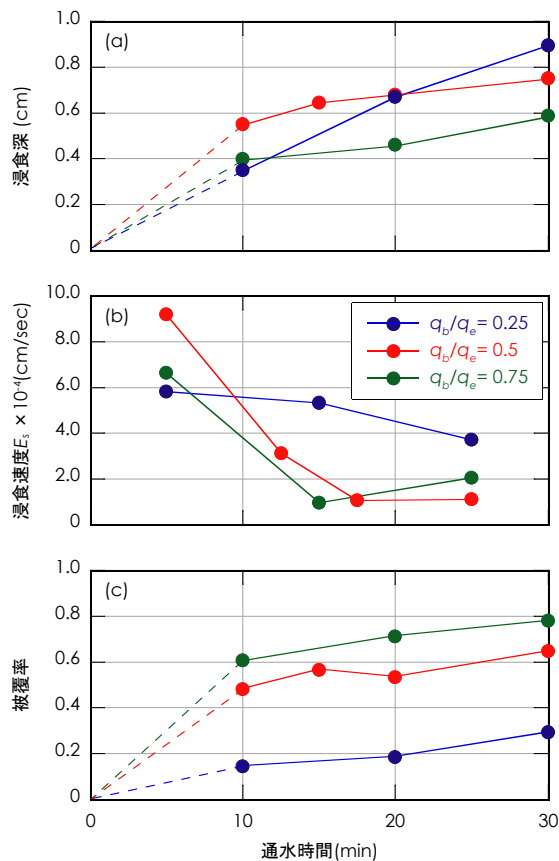


図-1 粘土河床の特性量の時間変化: (a) 浸食深, (b) 浸食速度, (c) 被覆率. 浸食速度は浸食深の変化量を経過時間で除して算出し, 被覆率は河床表面に露出した砂の面積比率を画像から求めた.

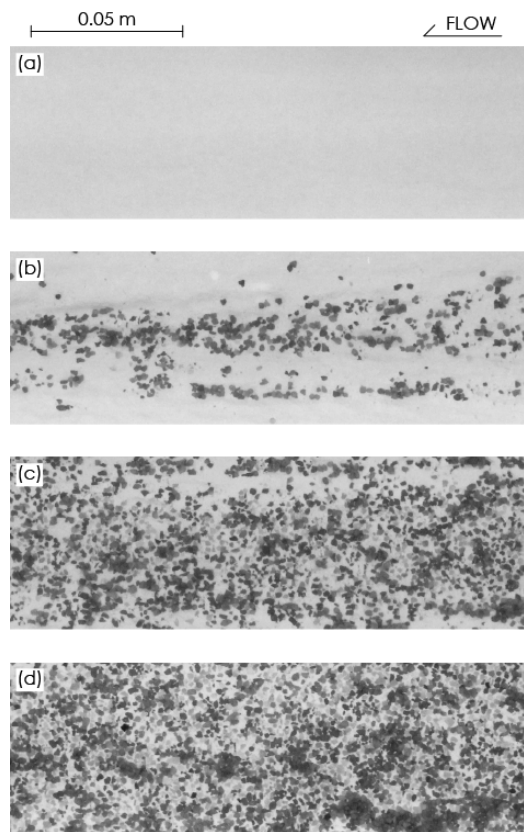


写真-1 河床表面の状態の違い: (a) 通水前 (被覆率 0), (b) Case A-20 (被覆率 0.19), (c) Case B-20 (被覆率 0.54), (d) Case C-20 (被覆率 0.71). 黒色で写っているのが砂, 背景となっている白色の部分が粘土を表す. 写真は河床を真上から撮影した.

の部分)のみから構成されている。2 段目以降の (b) ~ (d) が給砂量 q_b/q_e を 0.25, 0.5, 0.75 とした場合の 20 分後の河床表面の状態を表す。これより, q_b/q_e がこの範囲で大きくなるほど砂礫による被覆率が大きくなることが見て取れる。このことを数値で説明したのが図-1(c)である。時間の経過とともに被覆率が増加し, 一定値に漸近する傾向にあることがわかる。砂礫の移動が粘土河床の浸食に及ぼす影響としては, (i) 移動する砂礫が粘土河床の表面に接触することにより生じる浸食促進効果と, (ii) 前述した砂礫が粘土表面を遮蔽することによる浸食抑制効果, の 2 つがある。同一の給砂量条件下で言えば, 現象の初期段階では前者が卓越するのに対して, 後者は時間とともにその影響が大きくなり, 最終的には疑似平衡とも言うべき河床状態に達する。本研究では, 水流が本来輸送することのできる平衡流砂量以下の砂礫しか供給していないため, より多くの量を供給した方が掃流砂として輸送される砂礫による衝突あるいは摩耗が顕著となるが, 時間の経過とともにに取り込まれる砂礫も増大するため遮蔽の影響も大きくなる。結果として q_b/q_e が 0.5 と 0.75 の結果にはそれほど大きな差は認められないが, 0.25 の場合には明らかに異なる浸食となり, 30 分の時点で浸食深が他の 2 つの条件よりも大きくなった。なお, 砂礫の供給を行わない条件下での水流のみによる粘土河床の浸食速度は, その予測式より 4.6×10^{-4} cm/sec となることがわかっており, 通水 10 分後以降はこれよりも小さな浸食速度となっていた。

4. 結論

上流側から移動してくる砂礫は粘土河床の浸食を促進ならびに抑制するという相反する効果を発揮する。前者は砂礫と河床との接触によるものであり, 後者は砂礫が河床面下に入り込み粘土を遮蔽することによるものである。いずれの影響が強く現れるかは輸送される砂礫の量により異なることなどが本研究により明らかとなった。

参考文献: 1) 関根正人・野本高視・高野大貴: 砂礫の供給を受ける粘土河床の浸食過程と河床の鉛直構造, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.71, No.4, I_859-864, 2015.