

粘土河床の浸食に及ぼす砂礫の移動量の影響

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 ○ 野本 高視
 早稲田大学大学院 学生員 高野 大貴

1. はじめに

近年、難浸食性の河床に関わる問題が顕在化してきている。このような河床には、ひとつは固結化して軟岩（あるいは土丹）と呼ばれるような状態になったものと、その状態には到っていない粘着性土と呼ぶべき状態にあるものがある。粘着性土に関しては、流水の作用により生じる浸食の過程を明らかにしようとする著者らの研究に加えて、供給された砂礫が浸食に与える影響を明らかにしようとした研究^{1),2)}などが行われている。その中で、砂礫を供給すると、河床上に特異な鉛直構造が形成されることが確認されている¹⁾。一方、固結化した軟岩に関しては井上ら³⁾による研究がなされている。本研究では、供給される砂礫の量が粘土河床の浸食に及ぼす影響を定量的に明らかにすることを目的とする。

2. 実験の概要

本研究では、全長 4.8m、幅 0.1m、高さ 0.1m の図-1(a) に示すようなアクリル製の矩形断面閉水路を用いて実験を行った。水路中央部に位置する長さ 1.4m の移動床区間には、深さ 0.05m の凹部が設けられている。その上流側半分には砂が、下流側半分には粘土がそれぞれ敷き詰められており、図-1(b) に示されているような模擬河床を構成した。なお、この移動床区間の上下流側は固定床区間となっており、水路の上面ならびに下面上にはピラミッド型の粗度の付いたゴム板が張り付けられている。粘土としては、これまでの著者らの研究と同様に TA カオリン（60% 粒径 7 μ m）を用いた。実験には、粘土と水と均質になるように練り混ぜた後に、水深 0.2 m 静水下で 15 時間静置し、十分に圧密した材料を供試体とした。粘土の水含有率は 0.8 であった。また、砂礫としては硅砂 3 号（60% 粒径 1.56mm）を用いた。本研究では、粘土河床上に定常的に砂礫を供給するため、図-1(b) に示したように移動床区間の上流側 0.2m にわたってさらに 0.2m だけ深い凹部が設けられており、この部分の底板を上方に変位させることのできるような構造になっている。その下流側の砂河床の上面高さが大きく変わらないように留意しながら、この底板を上昇させるスピードを調節することにより、下流側の粘土河床に供給する砂の量を変えることができる。給砂量はこの底板の変位を画像解析することで評価できるほか、水路下流端にある貯水タンク内で流砂量計測を行っており、この値と差異がないことを確認した上で評価している。

本論文では、流量を 0.005m³/s として 10 分間にわたって通水することにより行った実験の結果について説明する。水温はいずれのケースも 13.2℃程度であった。粘土河床の浸食深の計測にはレーザー式変位センサ（Keyence 社製）を用い、通水前後の河床面高さを面的に計測し、その差を求めることにより浸食深の面的平均値を評価した。また、通水後には河床の鉛直構造を明らかにするため、河床表面下の材料を順に丁寧に除去していき、粘土と砂の混合層の厚さならびに混合比率（粘土含有率）を調べた。ここに、粘土含有率 R_{cc} とは、

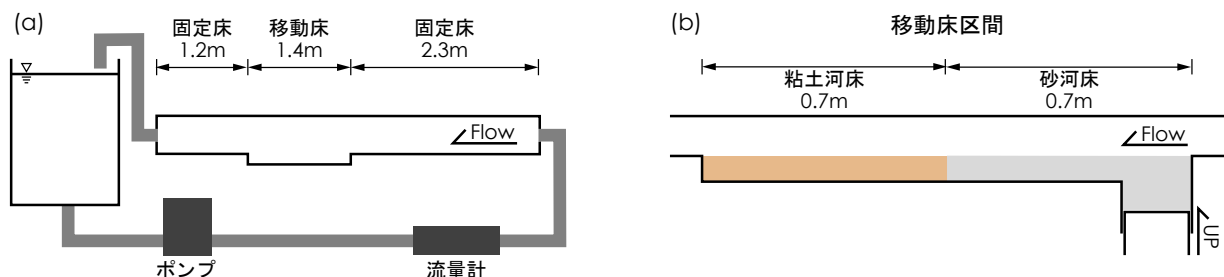


図-1 実験装置の概要：(a) 装置の全景、(b) 移動床区間の拡大図。

キーワード：粘土河床、浸食速度、供給砂礫、河床の鉛直構造、粘土含有率

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

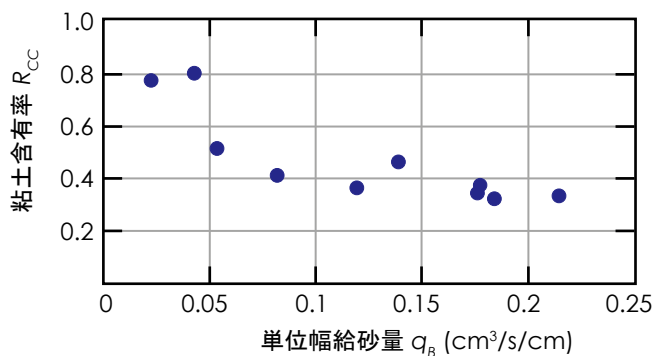


図-2 単位幅給砂量と混合層内の粘土含有率

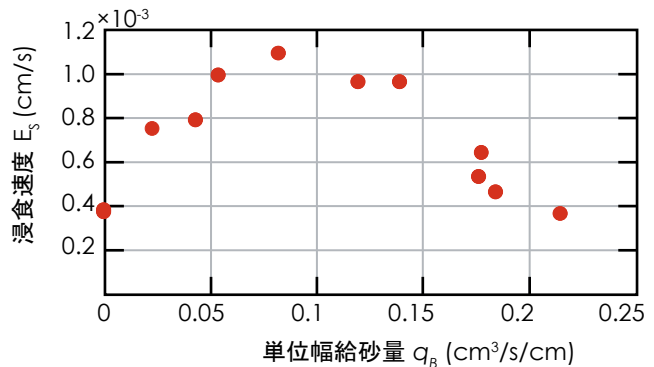


図-3 単位幅給砂量と粘土河床の浸食速度

粘土と砂の重量和に占める粘土の重量比率を表す。また、本研究では、圧力センサ（同社製）を用いて二点間の圧力差の計測を行っており、その結果を踏まえて摩擦速度を評価した。以下に説明する実験は、摩擦速度 $u^* = 0.04$ (m/s) の条件下で行われたものである。

3. 実験結果と考察

粘土河床上に砂を上流から供給すると、河床面下に粘土と砂からなる混合層が形成される。さらに大量の砂を供給すると、この層の上に砂のみの層が形成されることが明らかにされている¹⁾。しかし、本論文で説明する実験の範囲内では砂のみの層が形成されることはなかった。また、混合層の厚さは、給砂量によらずほぼ一定であり、珪砂の粒径程度となることがわかった。この点はこれまでの検討の結果¹⁾と一致する。実験結果のうち特に重要なものを図-2ならびに図-3にまとめて示す。

まず、図-2は、給砂量の異なる条件下で形成された混合層内の粘土含有率 R_{cc} の変化をまとめたものである。著者ら¹⁾のこれまでの検討によれば、混合層の層厚は掃流力によらず一定となること、ならびに粘土含有率は0.3程度になること、などがわかっている¹⁾。図-2を見ると粘土含有率が給砂量が大きくなるにつれて0.3に漸近するように変化することがわかる。本研究で行われた実験は、相対的に小さな給砂量の条件下で行われたことを意味するほか、給砂量が小さいほど十分な量の砂が供給されていないため、混合層に占める粘土の比率が高い（言い換えれば砂の比率が低い）結果となるのは理に適っていると言えよう。

次に、図-3には、給砂量の大小が粘土河床の浸食に及ぼす影響を調べた結果がまとめられている。縦軸に示された浸食速度は、粘土の正味の浸食深の面内平均値を通水時間である10分間で除した値のことを指す。また、給砂量0の条件下で得られた値は水流のみの作用による粘土の浸食速度を表しており、著者らの浸食速度予測式から評価される値とほぼ一致する。この図より次のような特徴的な傾向が見てとれる。すなわち、(1) 供給された砂が粘土河床上を移動することに伴い、粘土はより大きな浸食を受けることになる、(2) ある給砂条件下（本実験の場合では $0.085 \text{ cm}^3/\text{s/cm}$ 程度）で浸食深あるいは浸食速度は最大値をとる、(3) さらに給砂量を増加させると浸食速度が低下する結果となり、本実験では $0.20 \text{ cm}^3/\text{s/cm}$ 程度を超えると、水流のみの作用による浸食速度よりも小さな値となる。なお、この掃流力に対する平衡掃流砂量を Meyer-Peter and Müller の式を用いて試算すると、単位幅当たりの値は $0.06 \text{ cm}^3/\text{s/cm}$ となる。最後の(3)に関しては、河床表面に十分な量の砂が取り込まれて混合層が発達することにより、粘土河床が遮蔽を受けて浸食が抑制されることを意味するものと判断している。

4. おわりに

本研究では限られた掃流力条件下での検討に過ぎないものの、粘土河床上を輸送する砂礫の量の大小が粘土河床の浸食に及ぼす影響を明らかにすることができた。今後さらに実験を重ねて研究を深めていく。本研究は、科学研究費基盤研究C（代表者：関根正人、課題番号 No.21560546）の補助を受けて行われたものである。

参考文献：1) 関根正人・岡 幸宏・野村正和：粘土河床の浸食に与える流送砂礫の影響，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.69, No.4, I_1027-1032, 2013. 2) Harsanto, P., Toan, N.M.M., Takebayashi, H. and Fujita, M.: Effect of bedload transport on erosion rate of cohesive sediment, *Journal of JSCE*, B1(Hydraulic Engineering), Vol.68, No.4, I19-24, 2012. 3) 井上卓也・村上泰啓・伊藤 丹・数馬田 貢：流砂による軟岩侵食と岩の物性値の関係，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.69, No.4, I_1039-1044, 2013.