

掃流砂が粘土河床の変動プロセスに及ぼす影響

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	○ 吉川 文崇
早稲田大学大学院	学生員	石原 駿
早稲田大学大学院（当時）	学生員	芦澤 穂波
早稲田大学大学院（当時）	学生員	佐藤 裕

1. 序論

近年河川では、堆積して固結した粘土層が露出している河床や軟岩層が露出している河床が顕在化し、これに関連して様々な問題が生じている。この中で、粘着性河床の変動メカニズムについては未だ十分に解明されていないことから、著者ら¹⁾は粘土河床を対象とした基礎的な系統実験を行ってきた。本研究では、硅砂3号と硅砂2号をそれぞれ掃流砂として用いた実験により粘土河床の河床変動プロセスを明らかにするとともに、井上ら²⁾による軟岩河床についての研究結果との比較を通じてその類似性・特異性について考察を加えた。

2. 実験の概要

本研究では、全長が4.9m、一辺が0.1mの正方形断面を有するアクリル製循環型閉管路を用いた。水路は1.4mの長さの移動床区間とその他の固定床区間でできている。この移動床区間には全長1mの粘土供試体を設置し、その上流側には砂礫を敷き詰めて砂河床とした。砂河床区間の水路の一部の底板は可動式となっており、これを上昇させることにより河床上面の高さをコントロールし、一定量の砂礫が供給できるようになっている。粘土河床にはTA カオリン（60% 粒径0.005mm、比重2.65）を用いた。粘土河床は、水含有率 $R_{wc}=0.9$ となるように水を入れて練り混ぜ、静水中に15時間静置して十分に圧密させる。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。砂としては硅砂2号（60% 粒径1.86mm、比重2.65）と硅砂3号（60% 粒径1.56mm、比重2.65）をそれぞれ用いた。通水前後の粘土河床高の測定にはレーザー式変位センサを用いた。

本論文では、流量を $0.270\text{m}^3/\text{min}$ とした結果を示す。この条件下での硅砂2号および硅砂3号にとっての無次元掃流力 τ^* はそれぞれ0.061, 0.073であり、無次元限界掃流力 τ_c^* はそれぞれ0.050, 0.046である。また、上流から掃流砂として供給される砂の量 q_b をMeyer-Peter & Müllerの式により求めた平衡掃流砂量 q_e の値を基にその0.25倍とした。

3. 粒径の違いによる粘土河床の浸食・堆積過程

硅砂2号を掃流砂として輸送する実験の結果を図-1に表す。図-1のコンター図から粘土河床中央部で顕著な浸食が生じていることがわかる。また、浸食が顕著な箇所に砂礫が堆積し、砂礫と粘土からなる混合層を形成していることもわかる。著者らがこれまでに行った硅砂3号を用いた実験¹⁾においても同様の傾向が確認されており、その場合の河床横断方向の断面形状は図-2のようになった。掃流砂が粘土河床に輸送される条件下で生じる河床変動は以下ようになる。掃流砂が粘土河床を転動あるいは跳躍するよう移動する際に粘土河床の一部を削り取る。この働きを「浸食促進効果」と呼ぶ。その後、浸食された粘土河床に砂礫が入り込み堆積していく。結果として中央部から混合層が形成される。図-2から時間とともに浸食が側方へと進行していることが確認できる。浸食が側方へ進行するメカニズムは次のようになると推察される。中央部においては粘土に砂が入り込み混合層が形成され粘土自体が砂で被覆されるようになる。このように粘土と掃流砂とが直接接触することが阻害されるようになり、浸食が抑制される。これを「浸食抑制効果」という。一方で、砂礫が堆積していない箇所においては依然として掃流砂が粘土河床に接触することにより浸食が促進される。この境界部において通過した砂礫の作用を受けて浸食が側方へ進行すると考えられる。これに伴い、側方の浸食箇所に砂礫が入り込み混合層も側方へと拡張する。こ

キーワード：粘土河床、掃流砂の移動、河床変動、混合層、軟岩河床

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

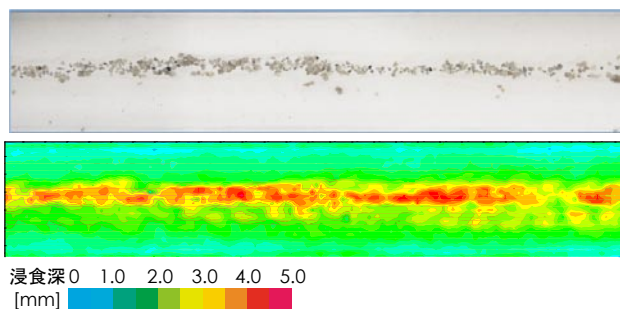


図-1 通水後の河床状態とコンター図：
流量 0.270m³/min, 水温 9.8°C, 通水時間 30 分

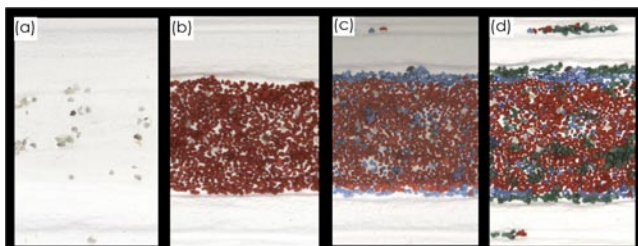


図-3 筋状浸食の横断方向への拡幅：
(a) 15 分後, (b) 30 分後, (c) 45 分後, (d) 60 分後。

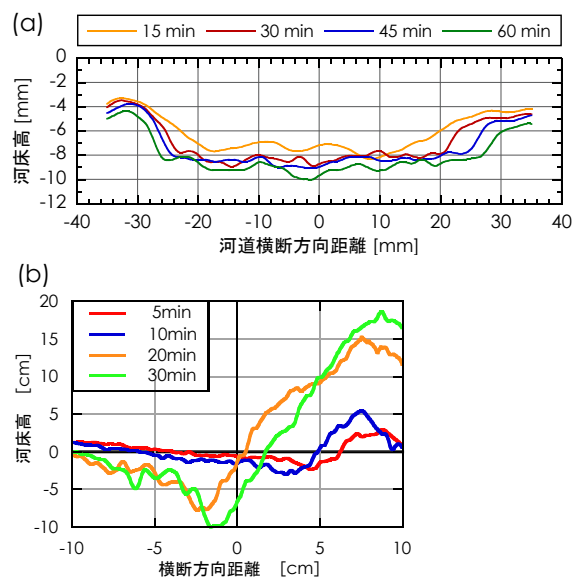


図-2 河床の横断面形状：
(a) 循環型閉管路での実験,
(b) 一様湾曲水路での実験。

のプロセスを繰り返すことにより次第に拡幅が進行し、最終的に砂礫が河床の全幅にわたって被覆すると推察される。なお、著者らがこれまでにやってきた一様湾曲水路での同様の実験³⁾によれば、砂が掃き集められるように流れる内岸側で顕著な浸食と砂の堆積が進み、その後粘土が露出している箇所との境界部で外岸方向への浸食が進行し、砂が入り込んだ溝状のエリアが拡幅するというプロセスが確認されている。このことから、粘土河床における河床の変動は、砂河床の場合とは明らかに異なるプロセスをとることが明らかになった。

4. 軟岩河床と粘土河床の比較

粘土河床の変動と類似なプロセスをとるものとして軟岩河床の変動プロセスがある。これについては井上ら²⁾の研究などがあり、河川管理上問題となっている。砂河床における河床変動は掃流砂と河床材料との間の交換に伴い生じる。これに対して、粘土河床は掃流砂の接触による「浸食促進効果」と、砂が河床面下に入り込み粘土を遮蔽することにより生じる「浸食抑制効果」を受けて変動する。さらに、砂礫が供給される河床表面に砂のみによる層が河床表面に現れることになる。なお、浸食された粘土は再び河床に堆積することなく流下する。この点で軟岩河床において生じる変動のプロセスとは類似性がある。軟岩河床の場合には河床面下に砂礫が入り込むことはないが砂による浸食促進効果ならびに河床面上に砂層が形成されることは同じであり、これが河床変動の本質である。

5. 結論

本研究では粘土河床の変動に及ぼす掃流砂の影響について検討した。また、この変動プロセスと軟岩河床のものとの類似性について説明した。上記の浸食・堆積プロセス自体は掃流砂の粒径によらないと考えるが、この点を含めて今後実験を継続していく。

謝辞：

本研究は文部省科学研究費基盤研究 (C) (研究代表者：関根正人，課題番号：No.16K06519) を受けて行われたものである。

参考文献：

- 1) 関根正人・池田憲昭・芦澤穂波・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-I_1092, 2018.
- 2) 井上卓也・村上泰啓・伊藤丹・数馬田貢：流砂による軟岩浸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-I_1044, 2013.
- 3) 関根正人・佐藤裕・芦澤穂波・吉川文崇：河道湾曲部で発生する粘着性河床の変動プロセスに及ぼす掃流砂礫の影響，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol.74, No.5, I_931-I_936, 2018.