

掃流砂として輸送される砂礫の作用による粘土河床上の混合層の形成プロセス

早稲田大学大学院	学生員	○ 藤浦 望誇
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	吉川 文崇
早稲田大学（当時）	非会員	狩野 莉子
早稲田大学理工学術院	正会員	関根 正人

1. 序論

近年、わが国の河川の中には河床低下により土丹のような粘土層が露出するという問題が顕在化してきている。河川の維持管理を考えたとき、このような区間を砂礫河床化することが望ましく、これを実現させる対策が検討されている。著者らは、これまでも粘着性材料からなる河床の浸食に関わる研究¹⁾を行ってきているが、本研究では、砂礫が掃流砂として輸送されてくる条件下で粘土河床上に生じる「砂礫と粘土からなる混合層」の形成プロセスを明らかにすることを通じて、上記の対策を検討する上で重要な知見を得ることを目的とする。

2. 実験の概要

本実験は、全長 4.9m、一辺が 0.1m の正方形断面を有するアクリル製循環閉管路を用いて行われた。上流端から 0 ～ 2.3m および 3.7 ～ 4.9m の区間は粗度を貼り付けた固定床区間となっており、2.3 ～ 3.7m の区間が粘土を敷き詰めた移動床区間である。移動床区間のうちその上流側 0.2m の区間は砂礫河床となっており、その底板が昇降可能な凹部となっている。実験時には、この底板を上昇させることにより、その上に貯えられた砂礫を水流の作用により浸食させ、粘土河床区間へと供給することにした。この部分の河床高は時間が経過しても変化しないように留意しつつ底板をジャッキアップし、一様量の給砂ができるようになっている。供給する砂礫としては珪砂 3 号 (60% 粒径 1.56mm, 比重 2.65) を用いた。また、粘土河床は、TA カオリン (60% 粒径 0.007mm, 比重 2.65) と水とを 10 : 9 の体積比率で均一になるように練り混ぜて作成し、十分に抜気した後、静水下で 15 時間にわたって圧密してから実験を行った。通水前後の河床高の計測には二次元のレーザー変位センサを用いた。

本論文で説明する実験は、流量を 6.00L/sec とし、異なる給砂量比 q_b/q_e の下で Case A ～ D の 4 ケースの実験を行った。表 -1 に実験条件をまとめて示す。ここで給砂量比とは、水流の掃流力に対して Meyer-Peter & Müller の式によって算出される流砂量 q_e を 1 としたときの、実際に供給した砂礫の量 q_b の割合のことを指す。

3. 粒径の違いによる粘土河床の浸食・堆積過程

図 -1 には、Case A の通水後の粘土河床表面の状態を撮影した写真と浸食深のコンター図を示した。この図より、浸食が顕著な箇所には輸送された砂礫が粘土河床に入り込んでいること、時間の経過とともにこのような砂礫の堆積箇所が側方に拡幅していくこと、などが見てとれる。砂礫の輸送に伴い生じる粘土河床の変動プロセスは、次のようにまとめることができる。まず、通水初期の段階では、掃流砂として輸送される砂礫のほとんどが下流側に流下し、堆積は生じない。図 -1 左側の拡大図を見るとわかるように、通水初期の河床表面には、「鱗状の凹凸」が形成され、その後、そこに一部の砂礫が引っかかるように入り込んでいることがわかる。同一流量 6.00L/sec で給砂を伴わずに実験を行ったところ、粘土河床にこのような凹凸が生じることはなく、条件によっては大規模な破壊状の浸食が生じる結果となった。このことから、掃流砂として輸送される砂礫の影響により粘土河床の浸食が促進され、河床表面が鱗状に削られる結果となったと考えられる。また、さらに通水を続けると、鱗状の凹凸が生じる箇所が拡大し、粘土河床に入り込む砂礫がさらに増加していくことになる。粘土河床表面下に砂礫が入り込んで形作られる層のことを「混合層」と呼ぶことにすると、通水 30 分後の段階では、まだらに形成されているに過ぎない。ところが、さらに時間が経過すると、この混合層で覆われた箇所が帯状となり、そ

キーワード：粘土河床、浸食、掃流砂の移動、河床変動、混合層

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

表 -1 実験条件

Case	給砂量 q_b/q_e	通水時間 (min)
A	0.15	70(10min×7)
B	0.25	60(15min×4)
C	0.5	15(5min×3)
D	0.75	15(5min×3)

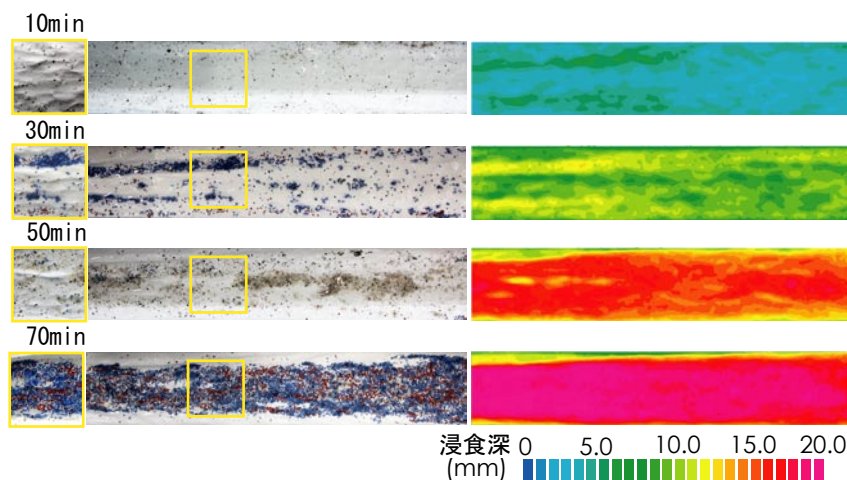


図-1 通水後の河床状況と浸食深コンター図：

Case A, 給砂量比 0.15, 10 分おきに計測を行い, 合計 70 分通水した。

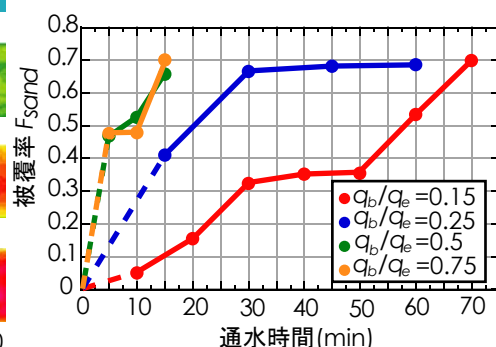


図-2 通水時間と被覆率の関係：

通水中の被覆率を, 画像解析により算出した。

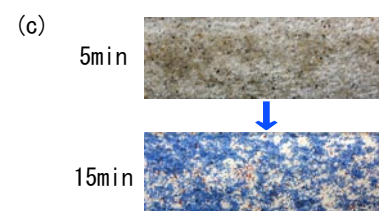
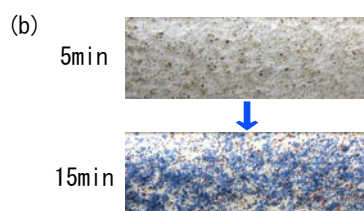
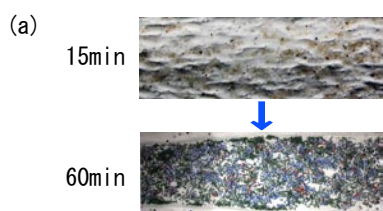


図-2 河床状況の変化：

(a) Case B, 給砂量比 0.25, 15 分おきに計測を行い, 合計 60 分通水した。(b) Case C, 給砂量比 0.50, 5 分おきに計測を行い, 合計 15 分通水した。(c) Case D, 給砂量比 0.75, 5 分おきに計測を行い, 合計 15 分通水した。

の幅が広がって最終的には河床全幅にわたるものへと発達を遂げることになる。河床に混合層が形成されると、粘土は砂礫による遮へいの効果を受けるため、それ以前に比べて浸食が極端に抑制される状態となる。なお、この点は、異なる給砂量条件で行われた Case B～D でも同様であることが確認されている。

次に、ケース毎の被覆率の時間変化をまとめた結果を図-2に示す。ここに、被覆率とは、砂礫により覆われた部分の面積の河床表面の全面積に占める割合のことを指す。この図より、給砂量比の違いは、混合層が形成・発達する速度に顕著な影響を与えることがわかる。図-3には Case B～D の通水初期の段階と最終状態での河床状態の違いを表す写真を示した。Case Bでは、通水 15 分でも鱗状の凹凸が残っているのに対して、Case Cおよび D では、5 分の段階で既に河床全幅にわたって砂礫の被覆が完了していることがわかる。Case Bの結果を見ると、被覆率は約 0.7 に達し、それ以降はほぼ一定の値をとることから、今実験で設定した流量条件では、被覆率は最終的に 0.7 に漸近するものと推察される。

著者らのこれまでの実験から、さらに多量の砂礫を供給すると、粘土河床上に混合層が形成された後に、その上に砂のみによる層を形成されることが確認されている。ところが、本実験での流量ならびに給砂量の条件下では、砂層が形成されることはなかった。これは、水流が、混合層の上に一時的に堆積した砂礫をすべて運び去ることができるほどの掃流力が有していることを意味している。従って、砂礫の供給量をさらに大きく設定しない限り、混合層の形成に止まり、いくら時間をかけても完全な砂礫河床化を実現することはできないと判断される。なお、給砂量比を大きくすると、砂礫が粘土河床を覆うまでの時間は短縮できる。

5. 結論

本研究では、流量が比較的大きい場合の、粘土河床における掃流砂の浸食・堆積プロセスを解明するために実験を行った。その結果、掃流砂は部分的に混合層を形成し河床の大規模な破壊を防ぎながら、全幅に混合層を拡幅していくものの、砂層の形成までは至らないことがわかった。この成果は、粘着性土が露出した河床の砂河床化の技術に貢献するものと考えられるため、引き続き検討を行う。

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，土木学会論文誌 B1（水工学），Vol.71, No.4, I_1087-I_1092, 2018.