

粘土河床の浸食プロセスとこれに及ぼす砂礫の流送の影響

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	○ 高野 大貴
早稲田大学大学院 (当時)	学生員	野本 高視
早稲田大学 (当時)	学生員	松江川 宗

1. はじめに

河道や裸地斜面などが浸食されるプロセスについて調べると、その地形を形作っている材料にわずかでも粘土が含まれると、砂礫のみによるものとは明らかに異なることがわかっている。粘土河床の浸食を考ええる上で重要な要因として、水流の作用によるものと、水流により流送される砂礫によるものがある。水流の作用に関しては、第一著者らによる一連の膨大な数の実験¹⁾が行われており、その結果として浸食速度予測式が誘導されている。一方、流送された砂礫による影響に関しては未だ研究途上にあり十分とは言えない状況にある^{2), 3)}。本研究は、後者の影響を明らかにしようとするものである。前論文³⁾では、上流側から供給された砂礫の量の大小が粘土河床の浸食に及ぼす影響を、部分的に明らかにした。この研究では「擬似平衡状態」にまで達した河床に注目し、そこに到るまでの段階で砂礫が河床表面下に取り込まれ、粘土と砂礫とからなる「混合層」が形成されることによって、浸食が抑制されるようになることを報告した。ここに、「擬似平衡状態」とは、時間の経過とともに顕著な浸食が生じなくなる状態のことを指す。本研究では、上流側から砂礫を供給しながら通水を行う実験を、通水時間を段階的に変化させて行い、この状態に到達するまでの河床の変動プロセスについて明らかにすることを旨とするものである。

2. 実験の概要

本研究では、前論文³⁾で説明したものと同一水路ならびに模擬河床材料を用いて実験を行った。全長 4.9m、幅 0.1m、高さ 0.1m のアクリル製の矩形断面閉水路を用い、TA カオリン (60% 粒径 7 μ m) と水均質になるように練り混ぜ、水深 0.2 m 静水下で 15 時間静置し十分に圧密したものを初期模擬河床とした。含水比は 90% 程度であった。また、上流側から供給する砂礫としては硅砂 3 号 (60% 粒径 1.56mm) を用い、粘土河床区間の上流側に設けられた凹部の底板を上昇させることによって砂礫を供給した。実験水路の詳細については別論文³⁾を参照されたい。本論文では、代表例として、流量を 0.0045m³/s、摩擦速度 4.27cm/sec、供給砂量を 0.04 cm³/sec/cm とした場合の実験の結果について説明する。なお、水温は 11.6 $^{\circ}$ C 程度であった。また、この供給砂量は、無次元掃流力 $\tau^* = 0.079$ 、無次元限界掃流力 $\tau_c^* = 0.046$ として Meyer - Peter & Müller の式より評価される平衡掃流砂量の半分の量に相当する。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、通水後の河床面高さを面的に計測し、初期高さとの間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。実験終了後には、河床表面下の砂礫を一粒ずつ慎重に除去していくことにより、粘土と砂からなる「混合層」の厚さや、その混合比率 R_{cc} (土と砂の和に対する粘土の重量比率) を求めており、この結果に基づき粘土の浸食深を評価している。さらに、通水終了時に撮影した画像データを解析することにより河床表面に占める砂礫の面積の割合、すなわち被覆率 P_c も算定した。

3. 実験結果と考察

本研究では、同一条件下で通水時間のみ異なる実験を 6 通り行った。それぞれの通水後の河床表面の状態を示したのが写真 -1 である。この写真より、時間の経過とともに河床表面下に砂礫が入り込み、混合層が発達していく様子を見てとることができる。なお、照明のわずかな違いにより色相に違いが現れていることに注意されたい。写真の下方にたとえば「3 min」と記されているが、これは 3 分間にわたる通水の後の河床の状態を表す。また、「河床表面に露出する砂礫の面積比率 (被覆率) P_c 」の時間変化を調べた結果が図 -1 である。これより、(a) 通水初期の段階では時間とともに砂礫の比率が増加すること、(b) わずか 5 ~ 10 分程度の時間

キーワード：粘土河床、浸食速度、砂礫の供給、被覆率、遮蔽効果

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

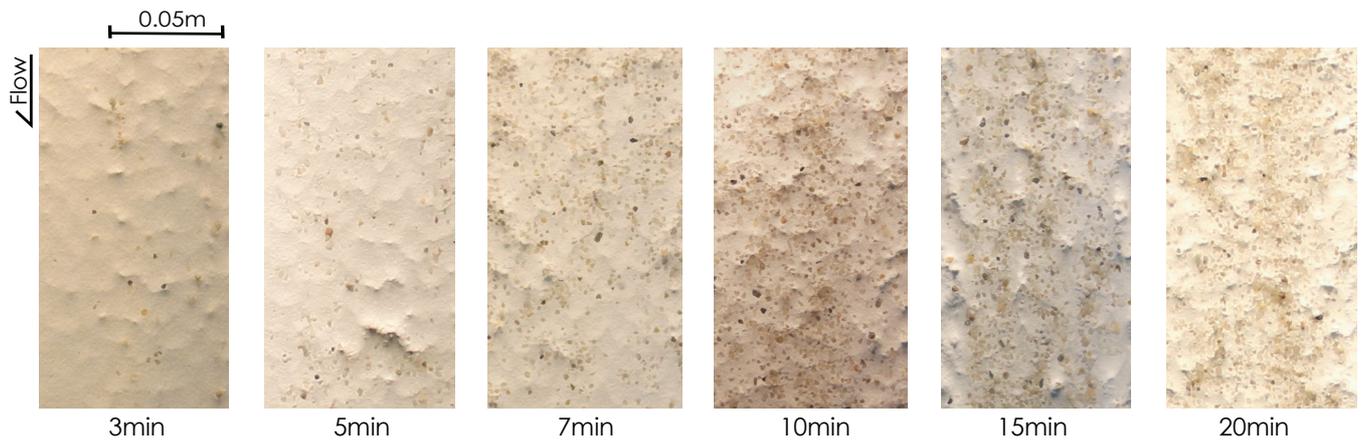


写真-1 河床表面の時間変化：側方より照明を当てて上面より撮影した。

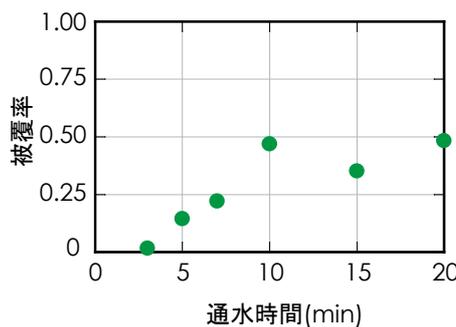


図-1 砂礫による被覆率の時間変化

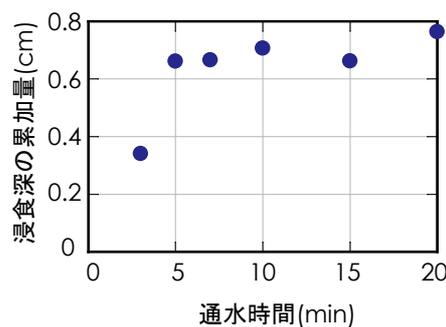


図-2 浸食深の累加量と通水時間との関係

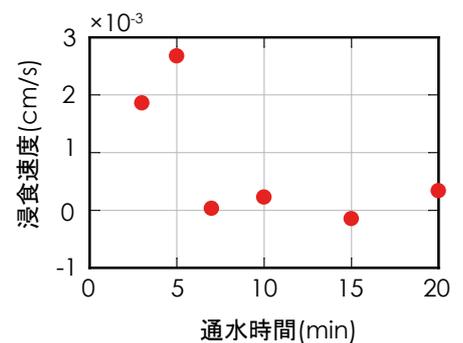


図-3 粘土の浸食速度の時間変化

が経過すると河床への砂礫の取り込みは平衡状態となり、 P_c の値はほぼ一定値に漸近すること、などがわかる。なお、詳細な計測の結果から、砂礫が入り込んでいる混合層の厚さが概ね1粒径程度であり、この層内の粘土含有率 R_{cc} は0.3～0.35の値に収束することも確認されている。次に、河床単位面積当たりの粘土の浸食体積の累加量を浸食深と定義し、その時間変化を調べたところ図-2の結果を得た。この図より、河床からの粘土の浸食が通水初期の0～5分程度の間急激に進行している一方で、それ以降は浸食がほとんど起こらない状態にあることがわかる。また、この結果を基にして、各時刻における浸食速度を求め、その時間変化を示したのが図-3である。この図は、前述したことをより明確に表している。以上の結果はともに関連し合ったものであり、通水開始から5～10分程度の短時間のうちに河床表面下への砂礫の取り込みが完了し、それ以降は掃流砂礫との間で交換が生じる可能性はあるものの、その下方に位置する粘土が遮蔽された状態に達し、さらなる浸食は極端に抑制されることになる。

浸食速度に関して、砂礫を供給しない条件下で水流のみにより生じる浸食速度を求めると予測式¹⁾より 0.43×10^{-3} cm/secとなる。これに対して、通水初期の5～10分程度に生じる浸食の速度は図-3のように 2.0×10^{-3} cm/sec程度であった。このふたつの値の差が、通水初期において生じる砂礫の供給に伴う付加的な浸食の影響に当たる。

4. おわりに

砂礫の輸送を伴う粘土河床の浸食プロセスについて検討したところ次のことが明らかになった。(a) 通水初期段階においては、砂礫の供給に伴い付加的な浸食が生じるとともに、流送された砂礫が粘土河床表面下に取り込まれ、混合層が形成される。(b) 混合層が十分に形成されると砂礫が粘土を遮蔽することになるため、さらなる浸食が抑制され、擬似平衡状態に達する。

謝辞：本研究は科学研究費基盤研究C(研究代表者：関根正人，課題番号 No. 24560629)の補助を受けて行ったものである。

参考文献：1) 西森研一郎，関根正人：粘着性土の浸食過程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) 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, pp.19-24, 2012。3) 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粘，土木学会論文集B1(水工学)，Vol. 71, No. 4, pp.1_859-1_864, 2015。