掃流砂の移動に伴い生じる粘土河床の浸食促進・抑制効果

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　○ 芦澤 穂波
早稲田大学大学院　学生員　池田 憲昭
早稲田大学大学院　学生員　佐藤 裕

1. 序論

筑後川の下流域や東南アジアのメコン川などでは河床が粘着性土で構成されている区間が存在するが，このような河床の変動を予測する上で必要となるメカニズムについては未だ十分に理解されているとは言い難い．本研究では，上流から供給される掃流砂礫によって引き起こされる粘土河床の変動のメカニズムを理解することを目指して，基礎的な実験を行った．

2. 実験の概要

本研究では，全長 4.9m，幅 10cm ×高さ 10cm の矩形断面を有する循環式アクリル製管水路を用いて実験を行った．この水路には長さ 1.4m の移動床区間が設けられており，この部分の底部は周囲より 5cm ほど低く設置されている．移動床区間には，T.A カオリン（50% 粒径 0.005mm，比重 2.65）を水含有率が R_{wc}= 0.9 となるように一様に練り混ぜた粘土供試体を，全長 1.0m にわたって設置してこれを模擬河床とした．ここに，水含有率 R_{wc} と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．模擬河床の上流側に位置する凹部には硅砂 3 号（60% 粒径 1.56mm，比重 2.65）からなる砂河床区間を設け，流水の作用により移動した砂が粘土の上を掃流砂として輸送されるようにした．砂区間の河床上面高さは，この凹部の底板を上昇させることにより制御できるため，これを動かすことで所定の量の砂が供給されるような仕組みになっている．模擬河床として用いた粘土供試体は，練り混ぜた後に静水下で 15 時間静置させ十分な圧密を加えた．また，河床の浸食深の面的な計測にはレーザ式変位センサを用いた．

実験条件を**表 −1** に示す．本実験では，流量を 0.270 m^3/min としており，硅砂 3 号に対する無次元掃流力は τ^*=0.079 となる．また，ひとつの目安として，平衡掃流砂量の値 q_e を Meyer-Peter & Müller の式を用いて評価し，その 0.25 倍，0.50 倍，0.75 倍の量 q_b の給砂を行った．この砂の無次元掃流力は τ_c^*=0.046 である．

3. 掃流砂による浸食促進・抑制効果

実験結果を**図 −1** に示す．ここでは，q_b/q_e=0.25，0.5，0.75 の 3 つの異なる給砂量条件下での検討を行っており，q_b / q_e = 0.25 と 0.5 とした実験では通水時間を 90 分まで延長した．ここに，浸食速度とは浸食深を時間で除した値であり，流水の作用のみで生じる粘土の浸食速度を著者らの予測式から算出した値 6.26×10^{-4} cm/sec をオレンジ色の実線で併記した．通水初期の浸食速度がこの値よりも大きいことがわかる．また，被覆率 F_{sand} とは河床上面の単位面積当たりに存在する砂礫により覆われた部分の面積割合を表している．

図 −1(a)(b) より，浸食深は単調増加する一方で，その時間変化量である浸食速度は時間の経過とともに 0 に漸近していく傾向にあることがわかる．これより，通水初期には掃流砂による浸食促進，その後は浸食抑制効果が現われていることがわかる．また，**図 −1**(c) より，被覆率 F_{sand} は通水開始 30 分後には約 0.8 に達し，その後はほぼ一定値をとることがわかる．以上のことから，被覆率が 0.8 に達した時点で浸食は大きく抑制され，それ以降は顕著な浸食が生じていないものと推察

表 −1　実験条件

Case No.	給砂量比 q_b/q_e	通水時間 [min]
A-10	0.25	10
A-20		20
A-30		30
A-60		60
A-90		90
B-05	0.50	5
B-10		10
B-15		15
B-20		20
B-25		25
B-30		30
B-60		60
B-90		90
C-05	0.75	5
C-10		10
C-20		20
C-30		30

キーワード：粘土河床，掃流砂礫，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

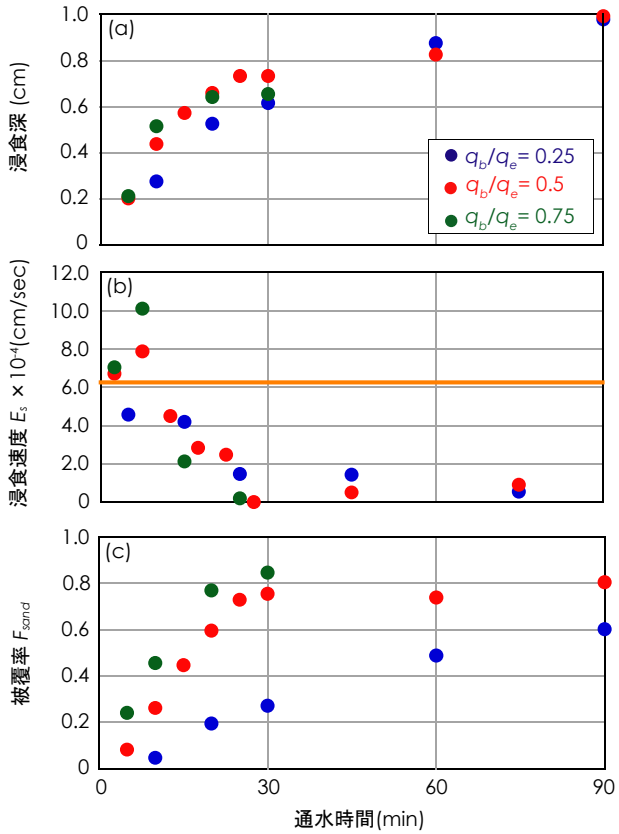

図 -1 **粘土河床の特性量の変化**：(a) 浸食量，(b) 浸食速度，(c) 被覆率．浸食速度の値は浸食深の時間変化量から算出した．

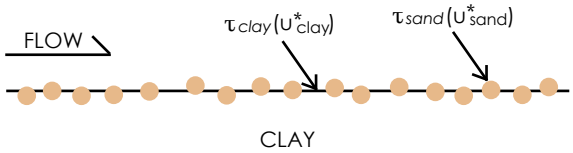

図 -2 遮蔽係数の算出の概念図

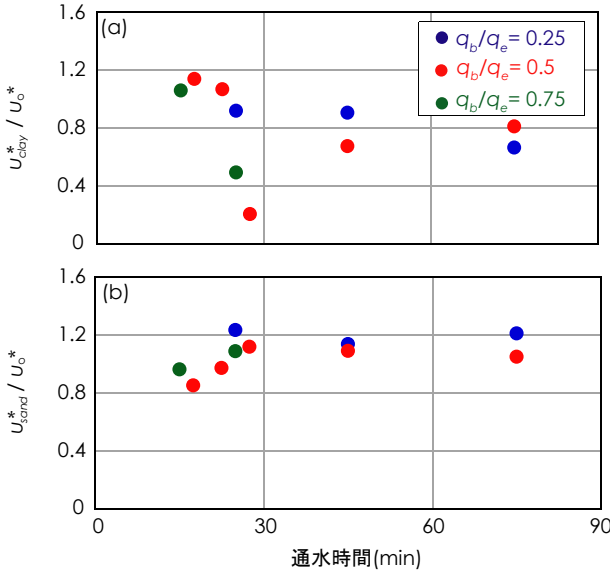

図 -3 **河床上面に作用する掃流力の変化**：(a) $u_{clay}*/u_o*$ の時間変化，(b) $u_{sand}* / u_o*$ の時間変化．

される．なお，q_b/q_e= 0.25 のケースでは 90 分の通水を経ても被覆率が 0.8 以下の値のまま上昇し続けているが，これは給砂量が少ないためであり，さらに通水を継続すれば同様の結果になるものと考える．

4. 河床上面に露出した粘土ならびに砂に作用する掃流力

掃流砂により粘土河床の浸食が抑制される効果について，河床表面を砂に覆われた部分と粘土の部分とに分け，各々が負担する掃流力の値を推定することにした．ここでは，粘土に作用する掃流力に対応する摩擦速度を $u_{clay}*$，砂に作用する同様の値を $u_{sand}*$ と定義し，これらを河床全体にかかる底面せん断力に対応する値 u_o* で除した値の時間変化を試算した．通水初期の段階を除けば，粘土の浸食速度は水流のみによる値よりは小さくなっていることから，まず $u_{clay}*$ として取り得る値の上限値を浸食速度予測式から逆算して求めた．さらに，粘土と砂にそれぞれ作用する掃流力 τ_{clay} と τ_{sand} が，水流による底面せん断力 τ_o との関係から $\tau_o A_o = \tau_{clay} A_{clay} + \tau_{sand} A_{sand}$ の関係を満足する．河床表面積 A_o のうち砂礫と粘土がそれぞれ占める面積 A_{sand} と A_{clay} を，前出の被覆率との関係で $F_{sand} = A_{sand} / A_o$，$F_{clay} = A_{clay} / A_o = 1 - F_{sand}$ と書き換えて整理すると，$(u_{clay}* / u_o*)^2 (1 - F_{sand}) + (u_{sand}*/u_o*)^2 F_{sand} = 1$ の関係が成り立つ．以上を踏まえて，$u_{clay}* / u_o*$ と $u_{sand}* / u_o*$ の値を試算すると**図 -3** のような結果となった．通水初期の段階では粘土のみの河床であるため，$u_{clay}* / u_o*$ の値はほぼ 1.0 となるが，時間の経過とともに減少していく傾向にあり，これが砂の被覆に伴う粘土河床の浸食抑制効果である．一方，$u_{sand}*/u_o*$ の値は被覆率の増加に伴い増加し，1.1 ～ 1.2 程度の値に収束していく結果となる．

5. 結論

本研究では，掃流砂礫の移動に伴う粘土河床の浸食促進ならびに抑制の効果に注目し，移動床実験を通じてこれを定量的に評価した．今後も引き続き検討を行い，さらなる現象の理解に努めていく．

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.