

## 砂礫の輸送による粘土河床の変動に関する実験的研究

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 野村 正和  
 早稲田大学大学院 学生員 河村 和弥  
 早稲田大学大学院 学生員 ○野本 高視  
 大成建設(研究当時, 同上) 正会員 岡 幸宏

### 1. はじめに

筆者らは、これまで粘着性河床が流水の作用によってどの程度浸食されるのかに注目した研究<sup>1)</sup>を進めてきた。その結果として、単位時間当たりの浸食深を表す「浸食速度」を定量的に評価するための浸食速度予測式を誘導することができた。ただし、実河川では、上流から水だけでなく砂礫も輸送されてくるため、この砂礫が粘着性河床に接触することで浸食を促進したり、あるいはその表面に堆積してその表面を被覆するといったことが十分考えられる。そのため、次の段階として、上流側から砂礫が供給されてくるような場を想定した移動床水理実験を行い、粘土河床の浸食あるいは変動の過程を明らかにすることにした。前年度の研究<sup>2)</sup>により、このような状況下では粘土河床上に特異な鉛直構造が現れることが理解された。すなわち、(1)河床表面下に砂礫のみによる層(砂層)が、(2)その下に砂と粘土が混合された層(混合層)がそれぞれ形成され、(3)その下方には初期の河床材料である粘土のみによる層(粘土層)が存在することになる。このような特異な河床の鉛直構造は実河川でも確認されている。しかし、このような構造を持つ河床が形成されていくプロセスとメカニズムについては十分に解明されていないのが現状である。本論文では、このプロセスに関わる実験の結果を説明し、考察を加えることを目的とする。

### 2. 実験方法

実験は勾配 1/150 の幅 20cm、全長 20m の直線水路を用いて行われた。この実験水路の下流側 5.4m の区間を移動床区間とし、この区間に設けられている深さ 5cm の凹部に粘土のみからなる供試体を設置し「粘土模擬河床」とした。この上下流側には十分な長さの固定床区間があり、その上面には珪砂 3 号を貼り付けてある。実験時には、水路下流側から流出した砂と同量の珪砂 3 号を上流側から供給した。この砂に関しては、粒径ならびに比重が同一で色のみ異なる 4 種類のカラー・サンドを使い分けることにした。すなわち、最初の 5 分間に給砂する砂を赤色とし、次の 5 分間は黒色、それ以降は茶色(珪砂本来の色)とした。これにより河床面下に形成される砂層ならびに混合層内の砂がどの時点で供給されたかがわかることになる。移動床実験を行う場合には、固定床区間と接続する部分で特異な浸食が生じる可能性があるため、この影響が無視できる範囲に留まるようにしなければならない。本研究ではさまざまな条件下での実験を試みた上で、本論文では、移動床区間の中の上流側 1m ならびに下流側 1m を珪砂 3 号のみで構成される砂河床区間とし、これらには含まれた中央の 3.4m の区間を粘土(TA カオリン)のみの河床となるようにして行った実験の結果について説明する。なお、移動床区間の上流側の砂区間には青色の珪砂を、下流側の区間には茶色の珪砂をそれぞれ敷き詰めることにした。ここでは粘土河床上の鉛直構造がどのように形成されていくかを調べることに主眼を置いており、同一の水理条件ならびに河床条件下で通水時間のみ変えた実験を行った。すなわち、開始から 10 分、15 分、20 分ならびに 30 分後にそれぞれ通水を停止し、砂層ならびに混合層の厚さ、各層を構成する砂の色の割合などを調べたほか、河床の高さを面的に計測した。なお、各時刻に対する計測はそれぞれ複数回行われ、結果の再現性や計測精度などを確認した。珪砂の粒径を用いて算出した無次元掃流力は 0.07 程度であり、粘着性材料の浸食に大きく影響する水温は平均して 9℃程度であった。

### 3. 実験結果と考察

本研究で対象とした現象の場合、河床に特異な鉛直構造が現れることはすでに述べたが、砂層ならびに混合層が形成されるプロセスをまとめると図-1 ならびに図-2 のようになる。図-2 は、時刻毎の各層の中に存在した各色

キーワード：粘土河床、掃流砂、浸食、河床の動的平衡状態

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

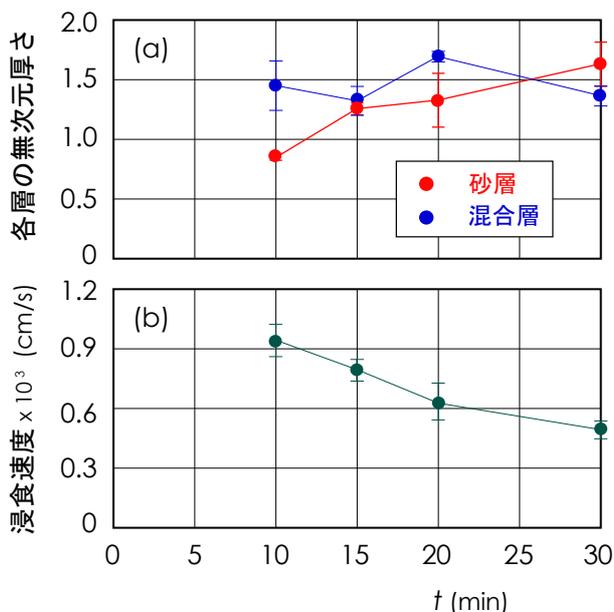


図-1 砂層・混合層の無次元厚さと粘土の正味の浸食速度

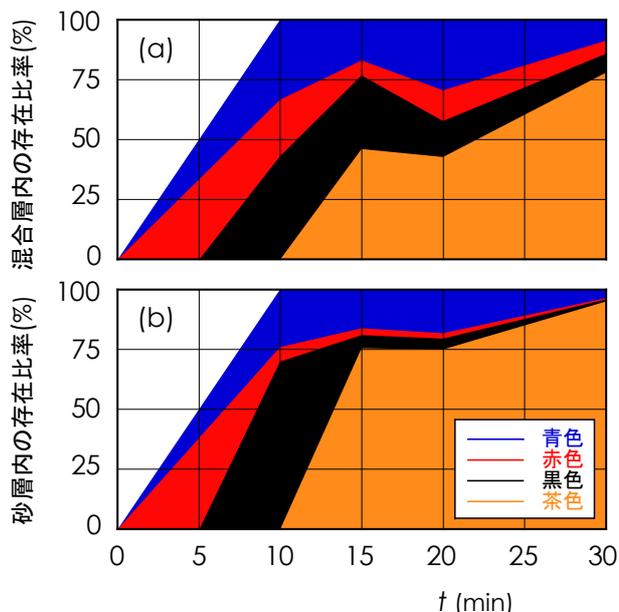


図-2 各層内の砂の色別重量比率の時間変化

の砂の存在比率を表す。混合層における粘土含有率は0.3程度であり、通水時間によらず一定であった。

まず、図-1(a)の混合層に関しては、通水10分の時点でほぼ形成が完了していると判断され、その厚さは砂の60%粒径(1.15mm)の1.5倍程度で時間によらずに一定となる。ただし、層内に含有されている砂は順次入れ替わっており、色別の比率は図-2のように時間とともに変化している。このことは、掃流砂として輸送される砂が砂層さらには混合層内のものと絶えず入れ替わりながら、動的平衡状態に達することを意味する。一方、砂層に関しては時間の経過とともにゆっくりと形成され、30分程度の時刻でほぼ動的平衡状態に達することが理解された。このことは図-1(a)からも見てとれる。これを色別に見ると、図-2のように時間の経過とともに砂が活発に交換されていることがわかる。また、粘土河床の直上流の砂区間から連続的に輸送される青色の砂と、各時刻の直前の5分間に給砂された色の砂の影響が顕著に現れることが見てとれる。

次に、この動的平衡状態に到るまでの各時刻における粘土のそのものの浸食について簡単にふれておく。ここでは、「正味の浸食量」を通水前後の河床を比較したときにその時点で流出していた粘土の単位面積当たりの体積と定義し、これを経過時間で除した値を「正味の平均浸食速度」と呼ぶことにする。図-1(b)にはこの浸食速度の時間変化を示している。時間の経過とともに砂層が発達し、粘土河床そのものは砂による遮蔽を受けることになるため、正味粘土浸食速度は時間の経過とともに低下していくことがわかる。なお、動的平衡状態に達したと判断された30分の時点での値は、第一著者による浸食速度予測式が求められる値とほぼ一致する結果となった。

4. おわりに

本研究では、粘土のみからなる河床が、上流側から供給される砂礫の影響を受けて動的平衡状態に向かって変化していくプロセスに注目した。粘土河床は流水により浸食を受けるが、時間の経過とともにその上方に砂が堆積するため、河床表面に「砂層」、その直下に砂と粘土からなる「混合層」が形成されるという特徴的な鉛直構造が現れることを示した。この混合層は通水開始から10分の時点でほぼ形成され、その厚さは時間によらずに砂の60%粒径の1.5倍程度となることがわかった。一方、砂層は時間とともにその厚さを増し、30分程度で動的平衡状態に到ることが理解された。また、粘土の正味の浸食は砂の堆積による遮蔽の影響から抑制されるが、掃流砂として輸送される砂は、砂層ならびに混合層内の砂と絶えず入れ替わっていることが理解された。

謝辞：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。

参考文献

1) 西森・関根：粘着性土の浸食過程と浸食速度式に関する研究，土木学会論文集 B, Vol.65, No.2, 127-140, 2009.  
 2) 関根・岡・野村：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.