

粘着性を有する流路の変動過程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 学生会員 ○白川 剛

株式会社 大林組 正会員 赤木 俊雄

1. はじめに

著者らは、粘土と砂ならびに水が混じり合った材料を「粘着性土」と定義し、その浸食機構を力学的に理解するとともに、浸食速度予測式を誘導することを目指した実験的検討を継続して進めてきている¹⁾。また、粘着性斜面の浸食とそれに伴う流路の形成過程に関する実験的な研究も進めてきている²⁾。本論文では、著者らのこれまでの研究成果を踏まえて、実験水路内に台形断面を有する直線流路を形成してその浸食過程に関する実験を行い、この現象についての理解を深めることを目的とする。また、粘着性土を対象に導かれた浸食速度式を組み込んだ数値解析を行い、粘着性流路の浸食過程を数値的に再現することを目指した。

2. 研究概要

実験の概要は以下の通りである。実験には、全長 20m、幅 60cm のアクリル製の長方形断面水路を用い、その上流側 11m を整流区間とし、下流側 9m を移動床区間として実験を行った。この水路内の移動床区間には、所定の比率で練り混ぜた粘土混じり砂を敷き詰めて模擬河床を形成した。模擬河床の構成材料は、硅砂 3 号と TA カオリンであり、これに水を加えて均質になるよう練り混ぜた後、水中で 1 日半静置した後に排水し、整形することにより初期流路を設定した。ここでは、粘土含有率 R_{cc} を 0.165 とした。初期流路の形状は、水路中心軸に対して左右対称の台形断面であり、底面幅を 8.9cm、法勾配を 1:2.28、高水敷と底面の高低差を 4.9cm とした。また、河床の縦断勾配は 1/100 とした。なお、水中静置時間の決定に当たっては予備的な圧密実験を行い、結果として、1 日半程度で圧密が完了し、これ以上継続しても変化が生じなかったことを踏まえて、上記の値に決定した。流路への通水は実験開始から 4 時間にわたって無給砂で行われ、その流量は 2.14 l/sec であった。実験時には、下流端において流出する水ならびに土砂を連続的に捕捉した。また、流路の横断面形状の変化を調べるため、実験前後にレーザ式変位センサを用いて河床高の面的な計測を行った。さらに、通水中、各断面における水深、水面幅のデータを採取することとあわせて、流路内の流れならびに流路の浸食状況を写真ならびにビデオ画像として撮影した。

また、数値解析の概要は次の通りである。ここでは、模擬河床が近似的に平衡状態に達するものとして、この状態に到った流路の横断面形状を求めることにした。まず、流れに関しては浅水流方程式に依拠した横断方向への一次元解析とした。流路の変動に関しては、ひとたび浸食された土砂が断面内には堆積しないものとした近似を導入した上で、著者らが提案している粘着性土の浸食速度式を適用することにした。ここでは、実験により確認された流路変動過程の概略を数値的に再現することを目的としている。

3. 実験ならびに解析結果と考察

実験では、上流端ならびに下流端の限られた区間を除けば流路の横断面形状に差がなく、平衡状態に達していることが確認された。そこで、ここでは下流端から 3.4m だけ上流側に位置する断面での結果に注目する。まず、写真-1 には、上記の地点付近の流路の状況を撮影した写真を示した。ここに、図中に矢印を付した地点が 3.4m 地点である。図中の数値は、該当する地点付近の平均的な粘土含有率 R_{cc} の値を表している。この値は、河床表面から砂の粒径の 2 倍ほどの厚さにわたって採取されたサンプルから得られたものである。なお、これより下層についてはこの値が初期値から変化することはないものと判断される。この図より、側岸部にオーバーハング上の斜面が形成されていることがわかる。また、流路中央部ほど砂が堆積する傾向にあり、粘土含有率の低下も見られるが、この厚さが顕著とはいえないことから、流路変動に強い影響を及ぼすほどの分級ではないと判断される。このことは、

キーワード：粘着性流路，流路変動，粘土，浸食速度，数値解析

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 浸食を受けた流路の状況：黄色の矢印位置が下流端から 3.4m 上流側の地点を表す。

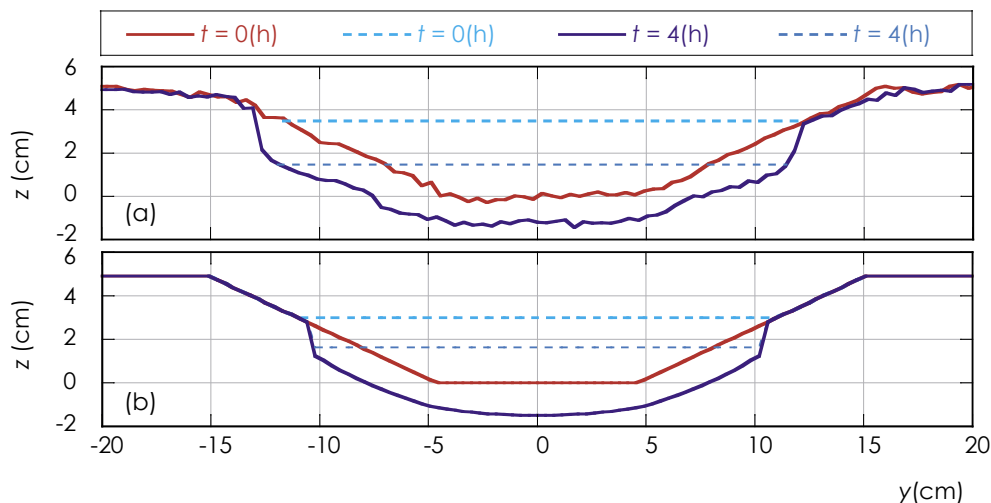


図-1 流路横断面形状の時間変化：(a) が下流端から 3.4m の地点の実測値，(b) が平衡状態を対象とした数値解析結果を表す。

前述した近似が概ね満足されていることを示唆している。図-1(a)には実験により得られた横断面形状の変化を示した。図中の赤色の実線が初期断面の測定値を、紺色の実線が通水開始から4時間後におけるものを表している。また、図中の青色の破線はそれぞれの時刻における水面を表す。この図中の横断面形状とその前後数mにわたって計測されたものとを比較したところ、無視し得る程度の差しかないと確認している。さて、流路の浸食過程に関しては、著者らが同様の条件下で別途行った砂のみで構成された流路の拡幅過程に比べて、明らかに緩やかに進行する。また、砂のみの流路の場合には側方への浸食が卓越して河床がむしろ上昇するのに対して、粘着性流路の場合には下方への浸食が顕著に生じている。また、材料の粘着性ゆえに側岸は切りたった形状をとる。これは、流路を構成材料に粘土が含まれると側岸および河床の耐浸食性が向上するとともに、側岸の安息角が大きくなることから砂のみの流路ほど頻りに斜面崩落が生じることはない。これが側方浸食が抑制された原因であり、かつ、側岸浸食により供給される土砂の量が顕著に低下したために下方への浸食が生じたものと考えられる。

図-1(b)には平衡状態を対象として行われた数値解析の結果が示されている。図-1より、解析結果は実測結果と概ねよい対応関係にあり、側方への浸食にやや差が見られるものの、現象の本質は十分とらえていると判断される。

4. おわりに

本研究では、粘着性を有する流路の浸食過程を明らかにすることを目指して浸食実験を実施した。その結果として、砂のみの流路に比べて側方浸食が抑制される一方で、下方浸食が顕著に現れることが確認された。また、この現象の本質を再現する数値解析を行い、その適用性を検証した。しかし、数値解析モデルには未だ残されている課題も少なくない。たとえば、粘着性土の浸食速度式に含まれる比例定数の値については更なる検討が必要と考えている。

謝辞：本実験の遂行に当たり、飯島悠太君、福田尚泰君（当時、当大学学部4年生）の協力を得た。ここに謝意を表します。

参考文献：1) 関根正人，藤尾健太，片桐康博：粘着性土の浸食進行過程と浸食速度式に関する考察，水工学論文集，第47巻，541-546，2003。2) 関根正人，長濱正憲，西森研一郎：粘土を含有する裸地斜面の降雨による表面浸食過程に関する研究，水工学論文集，第50巻，1045-1050，2006。