

## 隣接した粘土層の存在が砂斜面の表面浸食に及ぼす影響

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 ○ 佐野 正太  
 早稲田大学大学院 (当時) 学生員 石川 学

## 1. 序論

河川上流域に豪雨が発生すると斜面の崩壊あるいは浸食が生じ、これにより生産された土砂が河川に流れ込む。本研究では、相対的に規模は小さいものの発生頻度の高い「斜面の表面浸食」に注目している<sup>1)</sup>が、これ以外にも発生頻度が低いとはいえ甚大な被害を生む「斜面崩壊」として知られる現象があり、いずれについても発生メカニズムとプロセスを力学的に解明していくことが重要である。本研究では、砂により構成された斜面の一部に縦断的に粘土層が入り込んでいるような場を設定し、詳細な移動床水理実験を通じて検討を行った。本論文は、層状に隣り合う砂と粘土の境界部においてどのような浸食が生じるか、という点を絞って実験の結果について論じるものである。

## 2. 実験の概要

実験は、長さ 160cm、幅 100cm、高さ 25cm、縦断勾配 5% の長方形断面水路を用いて行われた。水路下流端は全開放の状態となっており、降雨ならびに土砂が流出する。また、下流端の堰によって許容最大浸食深が 4cm に設定されている。実験には、珪砂 7 号 (60% 粒径 0.15mm) と TA カオリン (平均粒径 0.005mm) を用い、**図-1** 上方の模式図にあるような横断面となるよう砂斜面の一部に粘土層を配置した。たとえば、**図-1** の左側に結果が示されている実験では、横断面内の図の白色の位置に幅 20cm、深さ 1cm の粘土層が配置されており、茶色の部分が砂のみでできている。この場合の斜面表面における砂層の幅は 20cm である。このような横断面をもつ斜面が全長 100cm にわたって続くものとした。本研究では、この砂層の幅を 10cm、20cm、30cm とした Case A ~ C の実験に加え、幅を Case B と同一とした上で粘土層の深さを 4cm とした Case D の実験もあわせて行った。参考までに、斜面全域が砂のみでできている斜面を対象にして、同一条件下で行った実験の結果によれば、流路は下流端から上流に向かって遡上するように形成され、その間隔は横断方向に平均 11cm 程度であることがわかっている。上記の砂層ならびに粘土層の幅を定めるに当たり、このことを念頭においた。なお、粘土層に関しては水を加えて均一に練り混ぜた後、18 時間にわたって水中圧密をかけている。その含水比は 0.9 程度であった。また、水路全体に一樣に 60mm/hr の強度の人工降雨を与えている。継続時間は 30 分間とした。斜面の浸食状況については、レーザ式変位センサを用いて面的な変化がわかるように計測しているほか、ビデオ映像も記録して実験後にそれを解析した。実験の詳細については別論文<sup>1)</sup>を参照されたい。

## 3. 実験結果と考察

本論文では、4 つの Case のうち Case B と D の結果を中心に説明する。**図-1** の左側にできる Case B、**図** の右側には Case D の結果をまとめて示した。それぞれの図の中央には浸食深のコンター図が示されている。**図** の右側には注目する縦断測線に沿った斜面形状が異なる色の線で描かれており、**図** の下側には横断測線に沿う形状が同様の方法で描かれている。**図** の上方には初期横断面形状についての模式図が示されている。

この図より次のことがわかる。ここでは、下流端から上流に向かって伸びる筋状の浸食を主流路と定義し、主要な流路から分岐して伸びる細い流路のことを支流路と定義する。はじめに Case B の浸食深コンター図を見ると、砂層と粘土層の境界部に沿う砂面上に主流路が顕著に発達することが確認できる。これは、粘土層から砂層に向かう緩やかな横断勾配の面が形成され、粘土上に降った雨が表面流となって境界部へと注ぎ込むことと密接に関わる結果と推察される。粘土面へこのような横断勾配が発生するのは、粘土層直下の砂が抉られたように浸食されたこと (オーバーハング状の浸食) による粘土層の崩落のためと判断される。次に、砂区間の幅が大きい場合について注目すると、境界付近の主流路から支流路が顕著に発達したことが確認で

キーワード：表面浸食，粘土，流路群形成，土砂生産

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

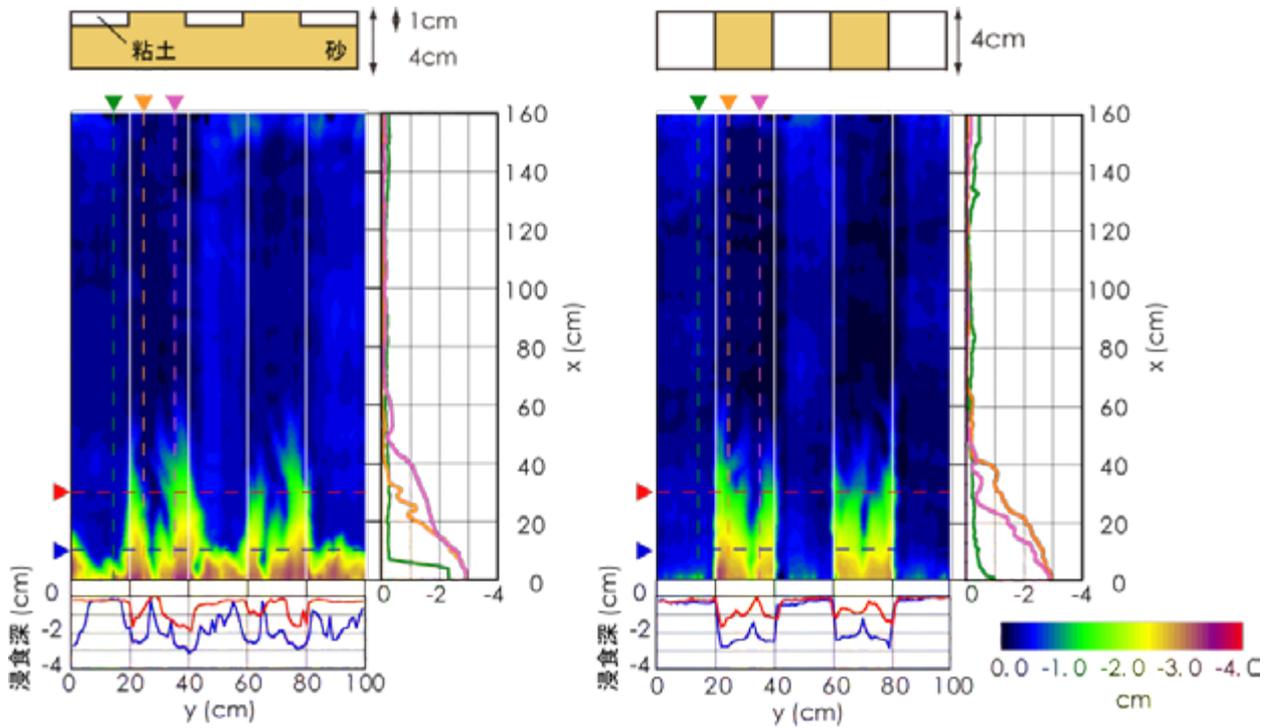


図-1 斜面浸食状況:左側が Case B(粘土層の深さ 1cm), 右側が Case D(同 4cm). それぞれの図の中央は浸食深コンター図であり, その右側ならびに下側に示されているのは注目した測線上の縦断面図・横断面図である. 浸食深コンター図上のそれぞれの側線の色は, 縦断面図・横断面図の各線の色と対応している.

きる. この支流路は  $x=40(\text{cm})$  付近で境界部付近の主流路から砂区間に向かって株状に発達していった. 以上により, オーバーハング状の浸食に伴う粘土面の傾斜の発生や広がった支流路による集水作用によって, 境界部付近の流路がさらに顕著に発達したものと推察される. 次に, Case D の結果について見ていく. 図-1 の右側の図より, 粘土層の層厚を大きくするとオーバーハング状の浸食が生じないことが確認された. オーバーハング状の浸食は砂層が粘土層直下の深さまで浸食されると発生することになるが, Case D のように粘土層の層厚が許容最大浸食深の 4cm の場合, その浸食は起こらない. そのため, Case B と Case D を比較すると, オーバーハング状の浸食の有無のために浸食量が大きく変わると考えられる. ここで, 浸食深コンター図を見ると, 主流路においても Case B の浸食量が Case D のものより大きくなっていることが確認できる. ただし, オーバーハング状の浸食が生じない場合でも Case B と同様に境界部付近に流路が発達することに変わりはない.

最後に, 下流端から流出した流出土砂量について説明する. 流出土砂量の総計は, Case B と D のそれぞれに対して  $2370\text{cm}^3$ ,  $1470\text{cm}^3$  となった. Case A ~ C を比較すると砂区間の幅が大きいほど流出土砂量は大きくなる. また, Case B と Case D の比較から, 粘土層の層厚が大きいほど流出土砂量は小さくなる. 砂層の幅の影響について, Case A ~ C の結果を踏まえて検討したところ, 砂層の幅を 30cm とした Case C の場合には, 砂層の中央部に浸食を受けないエリアが現れることが確認された. しかし, 流路が上記の境界面に沿うようにいけば強制的に発達することになりなく, 砂のみの斜面における流路間隔によらないことがわかった.

#### 4. 結論

本研究では, 縦断方向に広がる砂層と粘土層が隣り合うように境をなすような斜面を用意しこの斜面が豪雨時どのような表面浸食を受けるかについて実験的に検討した. 粘土層は原則として顕著な浸食を受けないこと, 砂層で発生する浸食は主として両者の境界部に沿って生じ, 明確な流路が形成される, などが明らかになった.

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. また, 実験の遂行にあたり, 松江川宗君の協力を得た. ここに記して謝意を表します.

参考文献:1) 関根正人・多田篤史・石川学:降雨による斜面浸食と形成される流路群に関する水路実験, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.70, No.4, 1\_919-924, 2014.