

## 山地源頭部における溪床堆積物中の水分動態および土砂流出に関する研究

立命館大学 理工学研究科 ○速見智, 里深好文, 藤本将光  
京都大学 防災研究所 堤大三

## 1. はじめに

山地から河口へわたる土砂の総合的な管理や、土砂災害の防止軽減のためには、降雨流出に伴う土砂流出の予測が必要となる。山地河川においては、裸地斜面から生産され溪流に供給される土砂と、溪床に堆積した土砂の内部における雨水の浸透過程が、土砂の流出や土石流の発生に大きな影響を与えている。しかしながら、土砂の生産域である急勾配な溪流における土砂の流出に関しては観測事例があまりないため、水理実験や数値シミュレーションによって得られた知見が、実現象と一致するかどうか検証が十分に行われていない。そこで、山地源頭部における溪床堆積物中の水分動態が土砂流出に与える影響について現地実験を行い、実験結果と数値解析結果の比較を行った。

## 2. 実験方法

京都大学防災研究所穂高砂防観測所の観測流域である足洗谷の支流ヒル谷源頭部にて、溪床堆積物の流動化に関する現地実験を行った。ヒル源頭部の裸地斜面からは凍結融解によって活発な土砂生産がある。実験では降雨によって溪床堆積物へ水が供給され、流水の作用によって砂礫が流出していく状況を再現した。堆積層は対象溪流から生産された土砂を用い、比較的空疎な状態で作成した。図 2-1 は堆積層の縦断形状を表している。堆積層の層厚は、本実験では 30~65cm となるように作成している。上流部の層厚の方が大きく、下流に行くほど層厚は小さくなっている。堆積層の水分動態の観測は、テンシオメータを用いて間隙水圧を計測し、降雨流出に関しては雨量計と水位計を用いて観測を行った。土砂の流出過程についてはインターバルカメラを用いて撮影を行っている。実験の期間は夏季から秋季にかけての降雨による土砂流出を捉えるために、実験を 2013 年 10 月 4 日~10 月 31 日の期間に行った。

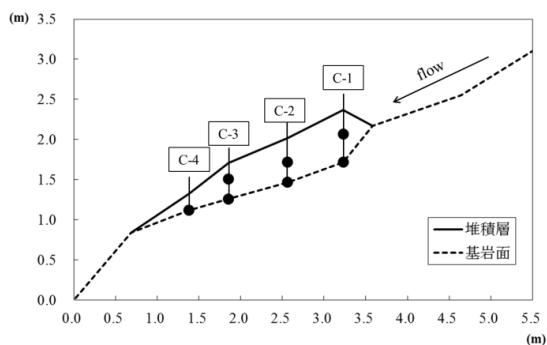


図 2-1 堆積層の縦断形状

## 3. 実験結果

実験では 2013 年 10 月 11 日に発生した降雨によって、堆積層が流動化する様子が捉えられた。10 月 11 日の積算雨量は 18.0mm であり、最大 10 分間雨量は 2.5mm/10min であった。図 3-1 は流動化が発生した時刻における堆積層の様子を右岸側より撮影したものである。20:30~20:40 にかけて最大 10 分間雨量を計測した後から実験堆積層の上流部の水位が上昇し始めた。水位が上昇した後に 20:50 の時点より、徐々に堆積層の表面を水が流れ始めた。21:00 の時点から堆積層に表面流が形成され、表面流の流れの作用によって土砂が流出していく様子が確認できた。

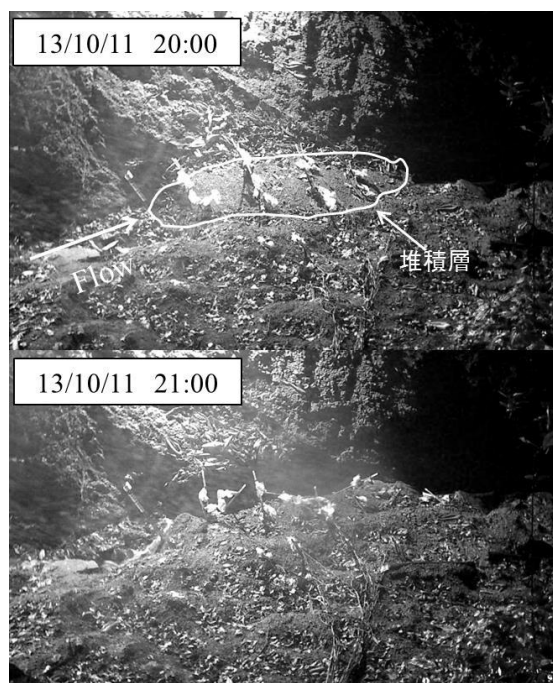


図 3-1 堆積層の流動化の状況

図 3-2 は溪床堆積物の流動化が発生した 20:00~22:00 までの 10 分間雨量、水位、堆積層の間隙水圧の関係を示したものである。図より降雨によって堆積層の上流部の水位が上昇し、それに伴い堆積層内部の間隙水圧が上昇していくことがわかる。最も上流部に設置した C1-65 の観測点は、上流の水位上昇とよく対応していることがわかる。また、R2-30 の観測点は他の観測点については、堆積層が流動化する直前に至っても不飽和の状態である。その他の点の間隙水圧は上昇と下降を繰り返しながら、流動化に至っている。図 3-3 は堆積層の等圧分布の縦断図であり降雨開始前と流動化直前の時刻のものを示した。図より上流部の水位が上昇すると、堆積層の基岩部

に近い部分から水圧が上昇していくことが見て取れる。表層に近い部分では多くの部分では不飽和の状態であったと考えられる。本実験の結果より、山地溪流における溪床堆積物の水分状態は一様ではないことがわかる。堆積層に表面流が形成されるような状態であっても堆積層の多くの部分で不飽和の状態であることから、山地溪流で土砂流出を予測する場合は、浸透流の影響を考慮しなければならないと言える。

#### 4. 数値解析

比較的急勾配の不飽和堆積層上に上流から流水が供給される時の河床変動を再現するために、鉛直二次元場を対象として、河床堆積物中の浸透流れと河床上の非定常流れを同時に解析するモデルを用いて数値計算を行った。河床表面を介した水移動は、河床表面からわずかに堆積層の内部に入った地点の圧力と河床表面に作用する流動層の圧力とによって求められる圧力勾配および堆積層の透水係数から計算される。堆積物中の流れおよび河床上の流れはともに非定常流れとし、陽解法によって解いている。詳しい計算方法については、里深ら<sup>1)</sup>の研究に詳述されているため説明は省略する。

上流から水だけを供給した際の堆積層の流動化及び土石流化の再現を行った。図4-1は河床の縦断形状の時間的な変化を示した図である。堆積層内部の圧力水頭の変化も示しており、色が濃い領域ほど不飽和であることを表している。

縦断図より堆積層の基岩に近い部分では飽和状態にあるが、表層に近い部分では不飽和状態となっている。また、堆積層の侵食は上流部から進行して、下流へと拡大していくことが確認できる。

現地実験の結果では堆積層の流動化の直前の状態でも表層の部分は不飽和であることが確認されている。また、その流動化は上流部から流水の作用によって侵食されていく様子が確認できている。これらのことを考慮すると現地実験の結果と数値計算の結果がよく一致することが確かめられる。

#### 5. まとめ

溪床堆積物の流動化の現地実験より、降雨流出によって堆積層の飽和・不飽和の状態が場所的・時間的に変化し、土砂の流出過程に影響を与えていることが判った。また、実験結果と数値解析結果とを比較することにより、急勾配な溪流における溪床堆積物の流動化を、解析モデルによってある程度まで再現可能であることが確認できた。

謝辞：本研究は砂防学会より平成24年度砂防学会若手研究助成を受けたものです。

#### 参考文献

1)里深好文, 水山高久: 溪床堆積物の不飽和浸透過程を考慮した石礫型土石流の発生・発達に関する数値計算, 水工学論文集, 第53巻, p.697-702, 2009.

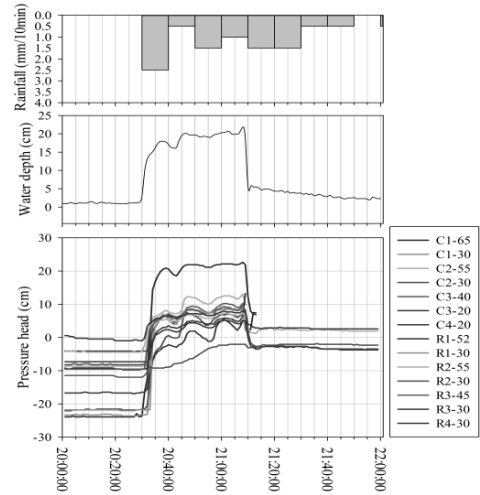


図3-2 流動化時の雨量, 水位, 堆積層の間隙水圧の関係

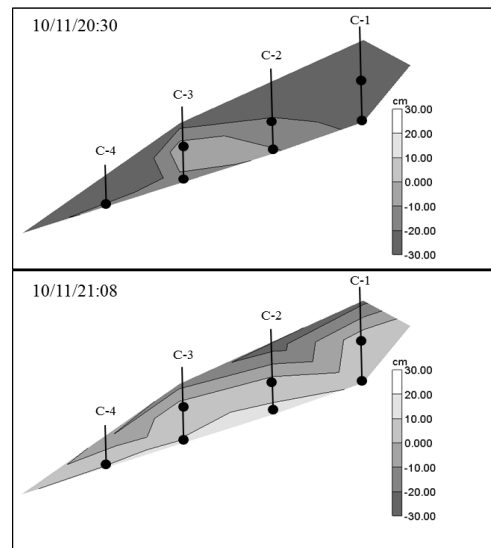


図3-3 堆積層の間隙水圧の分布

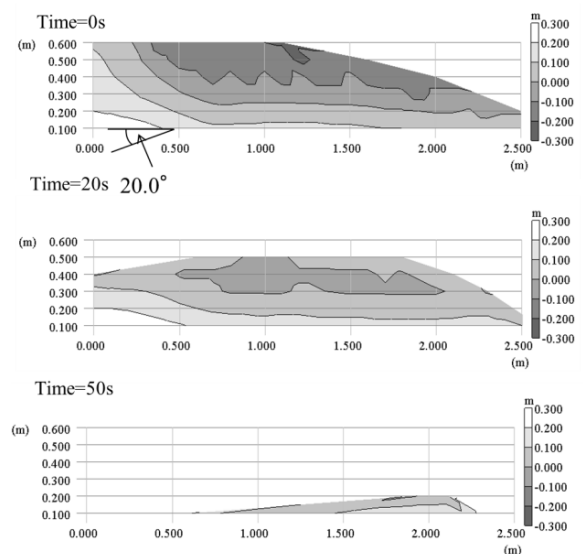


図4-1 数値計算の堆積層縦断形状及び圧力分布