

降雨による山腹斜面の浸食過程と土砂生産

早稲田大学 理工学部 正会員 関根 正人
早稲田大学 大学院 学生会員○菱沼 志朗
学生会員 小笠原 基
学生会員 田畑 智永

1. はじめに

裸地状態の山腹斜面や畑地に豪雨が降り続くと、地表面上に水深の小さなシートフローと呼ばれる流れが生じるようになる。さらに、これが土砂を輸送するのに十分な流速をもつ流れへと発達すると、斜面の浸食・堆積に起因する地形変形が引き起こされる。他方、この結果は、山腹斜面からの土砂生産あるいは畑地からの土壌流出となって現れることになり、たとえば沖縄の赤土砂の流出問題として注目を集めることになった。本研究は、このような斜面の浸食の過程を数値的に再現し、その予測を可能にすることを目的として進めている研究の一部をなすものである。本論文では、斜面浸食過程に関する模型実験の結果と、同一条件下で行った数値解析結果を示し、ここで開発した数値解析モデルの妥当性について明らかにするとともに、この浸食過程について考察する。

2. 実験の概要

実験は、長さ 80cm、幅 50cm の水路内に平均粒径 0.105mm の珪砂 7 号を敷き詰めた裸地斜面に対して行い、これに上方から人工降雨を与えることで発生する斜面の浸食過程について検討した。ここでは特に Open-Book 型の裸地斜面を対象とするものとし、斜面は水路中心軸に対して左右対称に傾斜し、この中心軸を谷線として V 字型の横断面形状を有する。斜面の傾斜角は縦横断方向にともに 5% とした。斜面の下流端には、幅 2cm の開口部が設けられており、浸食された土砂ならびに雨水はここから排出される。ただし、開口部下方にはこれを横切る方向に堰（固定壁）が設置されており、開口部における浸食が初期斜面高より 4cm 以上進まないようになっている。また、人工降雨については、散水ノズルを用いて霧状のものを斜面上方から与えることとし、降雨強度が斜面全域にわたって時間によらずに一定となるように留意した。測定としては、開口部からの流量ならびに流砂量の連続採取と、斜面浸食状況に関する写真ならびにビデオの撮影を行ったほか、レーザー式変位センサーを用いた斜面全域の表面高さの測定を行った。なお、初期斜面としては全域にわたり浸透水によってほぼ飽和した状態にあるものとした。

3. 数値解析の概要

数値解析モデルは、浅水方程式に依拠した流れの解析、縦横断方向の勾配の影響を考慮して拡張した掃流砂量関数、斜面崩落モデル、Exner の方程式（土砂の連続式）に基づく地形変動計算、から構成される。ここで出現する水流は水深の小さいいわゆる「シートフロー」となるため、澤井¹⁾による実験結果に基づく抵抗則を用いることにした。斜面上の土砂移動に関しては、局所的な勾配が縦横断方向に安息角近くまで大きくなる可能性があるため、重力の効果を合理的に取り込むことで従来型の掃流砂量関数を拡張したものをを用いている。斜面の浸食が進み、ガリヤリルといった溝が刻まれるようになると、計算時間の途上に数値計算上安息角を越えるような急な斜面が出現することがある。河川における河岸浸食に当たる浸食プロセスがそれにあたる。このようなプロセスを流砂量関数のみから再現することは不可能であるため、新たに斜面崩落モデルを開発し、これを解析に組み込むこととした。この解析モデルの詳細については、その一部を別論文²⁾にて公表済みである。そこで、ここでは紙面の関係でこれ以上の説明を省略する。

キーワード 斜面浸食, 土砂生産, 人工降雨, 斜面崩落モデル, 数値解析

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 Phone 03-5286-3401 Fax 03-5272-2915

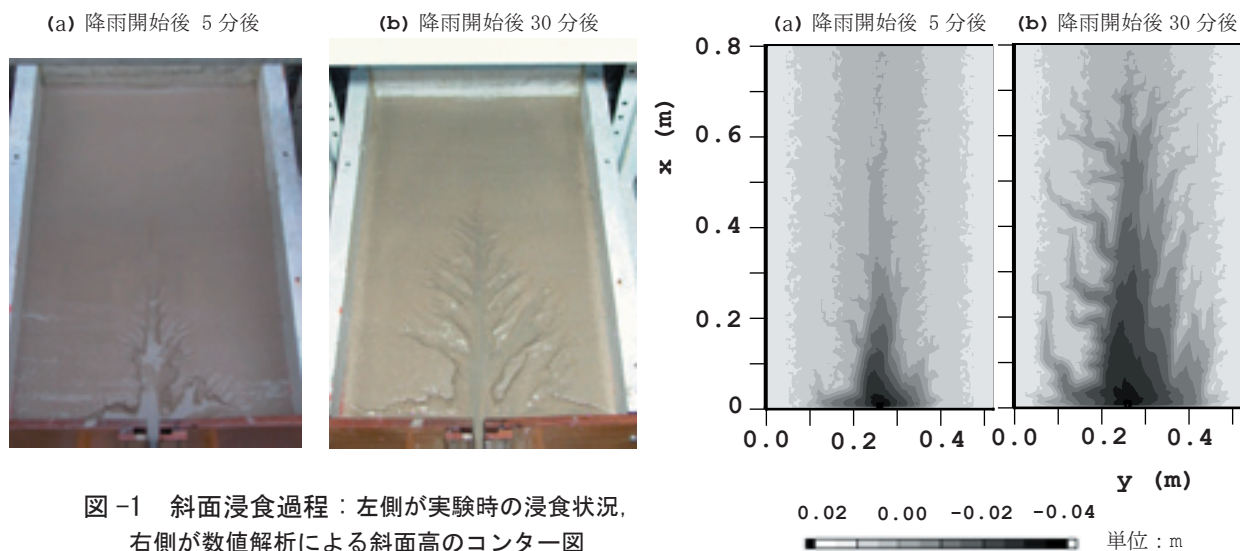


図-1 斜面浸食過程：左側が実験時の浸食状況、
右側が数値解析による斜面高のコンター図

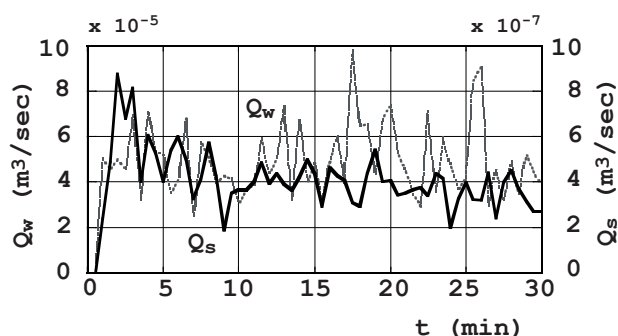


図-2 流出水量 Q_w ならびに流出土砂量 Q_s の時間変化（数値解析結果）

4. 解析結果

ここでは、降雨強度 52mm/h の条件下で行った実験と数値解析の結果を中心に説明する。図-1はこの浸食過程を二つの時刻において見たものであり、左側が実験時の写真を、右側が数値解析による斜面高のコンター図を示している。後者においては、斜面を縦断方向に水平に戻した状態での値を示している。この場合の斜面の浸食は出口付近から上流に向かって進行し、あたかも樹木が成長していくかのように流路が上流に延びていっていることがわかる。紙面の関係でここでは省略するが、レーザー式変位センサーによる斜面高の計測結果によれば、浸食のパターンのみならずその規模においても、図-1の解析結果は実験結果と一致することが確認されている。また、図-2には斜面下流端の開口部から流出する水ならびに土砂の体積の時間変化を示している。この図より、斜面において発生する間欠的な崩壊と連動して流砂量が増大したり、開口部直前に土砂の堆積が生じて流砂量が減少するなど、流砂量が時間的に大きく変動する傾向が再現されている。

5. おわりに

本研究では、降雨による裸地斜面の浸食過程を数値的に再現する解析モデルを開発し、これと模型斜面における実験との比較を通じて、解析モデルの妥当性を検証した。解析において斜面表面下の浸透流の影響を考慮していないなど、拡張を試みるべきところはあるものの、解析結果と実験結果とはほぼ一致することが確かめられた。今後は、砂防堰堤からの土砂流出など現実の問題との対応について、スケールの違いを念頭において考えていく予定である。

参考文献

- 1) 澤井健二：粘性性流路床の変動機構に関する土砂水理学的研究，京都大学学位論文，1977.
- 2) 関根正人・小野 了：降雨による斜面浸食過程に関する数値解析，土木学会水工学論文集，第46巻，647-652，2001.