

降雨による斜面の土壌浸食とそれに及ぼす土砂分級の影響

早稲田大学工学部社会環境工学科 関根 正人
早稲田大学大学院理工学研究科 ○菱沼 志朗

1. 序論

降雨による裸地斜面の表面浸食に関しては、従来より数多くの研究が進められてきており、その理解が深まってきている^{1),2)}。著者らは、このような浸食過程を数値的に再現することを目指して研究を進めてきており、これまでに均一粒径砂からなる裸地斜面の浸食に関する数値解析と実験とを行い、この現象を数値的に再現することがある程度可能になってきている。この一方で、土砂生産域では、当然のことながら斜面が混合粒径砂礫から構成されており、斜面土壌の透水性が高まることや浸食過程の進行に土砂の分級が直接的に影響することなどを考慮に入れる必要がある。著者の知る限りこのような現象を取扱った実験的検討はあまり例がないように見受けられる。そこで、本研究では、実験水路内に再現した模擬斜面に人工降雨を与えることで斜面浸食を生じさせ、その素過程を調べることにした。あわせて、今後拡張を図ることになる解析モデルの妥当性を検証するための基礎資料とする。ここでは、斜面構成材料の粗度分布の違いが裸地斜面の浸食や土砂流出の特性に与える影響を定量的に評価し考察を加えることを目的とする。

2. 実験方法と条件

実験は、長さ 80 cm、幅 50 cm の水路内に土砂を敷き詰め、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、Open-Book 型の裸地斜面を対象とすることにし、ここでの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 2 cm の開口部を設け、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 4 cm 以上は進まないように制御されている。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 30 分間与えることとし、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。なお、初期斜面としては全域にわたり、間隙が浸透水で満たされた飽和状態にあるものとした。測定としては、開口部からの流出水ならびに流出土砂の連続採取と、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計測を行った。実験で用いた斜面構成材料の粒径加積曲線を図-1 に示す。Case 1 では平均粒径 0.105 mm の均一粒径砂を、Case 2 では平均粒径 0.217 mm の混合粒径砂礫を使用した。ただし、Case 2 には平均粒径 1.54 mm の礫を含有させている。降雨強度は、Case 1 では 41mm/hr、Case 2 では 45mm/hr であった。

3. 実験結果と考察

図-2 には流出水量の時間変化を、図-3 には流出土砂量の時間変化をそれぞれ示した。図-3 中の Case 2 に対する結果に関しては、粒径別の流出土砂量の時間変化がわかるように、ある粒径以下の土砂の流出土砂量を 4 本の線に分けて示してある。また、図-4(a)-(d) には斜面浸食状況の写真と斜面高の実測コンター図をそれぞれ示した。また、図-4(e) には下流端開口部から 12cm の位置にある断面 A-A' の横断面形状を示した。さらに、図-4 の Case 2 のコンター図には、主流路内の、3 地点の平均粒径の値を併記した。

以上の結果に基づき考察を加える。まず、斜面の浸食過程に関しては、いずれの場合にも、実験開始直後に下流端の開口部付近における大規模な崩落と、表面流による表面浸食とが生じ、上流に向かって主流路が伸びていくことが理解された。その際、Case 1 では主流路は直線的に成長し、かつ、側方に向かって樹枝状の枝流路が形成されるのに対して、Case 2 では主流路は蛇行しながら成長し、Case 1 に比べて枝流路の形成は抑制されているように見受けられた。これは、混合粒径砂礫の特徴である高い浸透性の影響と考えられ、降雨の地中への浸透量が比較的大きいために、同一強度の降雨に対しても斜面上の表面流の流量が小さくなる傾向にあること、斜面端部を横切るように主流路内へ流れ込む流れが抑制されること、などの理由から、枝流路の成長が不活発となったものと考えられる。また、図-4 の横断面図

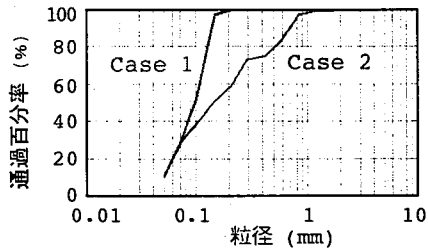


図-1 粒径加積曲線

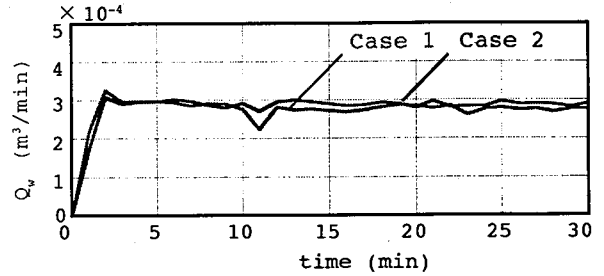


図-2 流出水量の時間変化

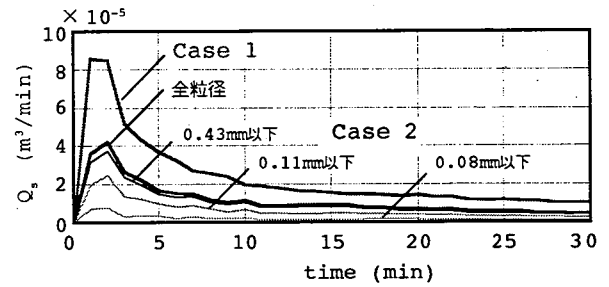
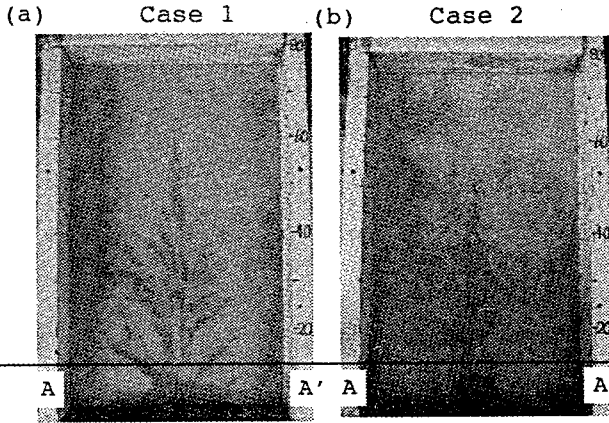


図-3 流出土砂量の時間変化

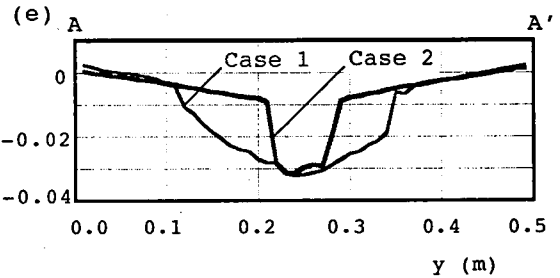
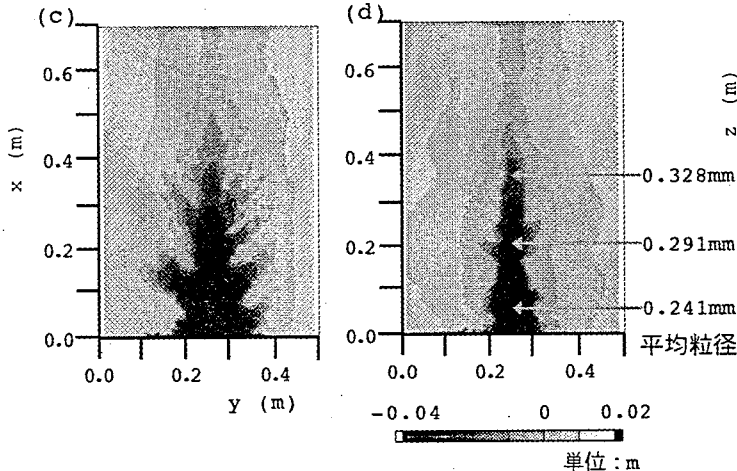


図-4 斜面浸食形状 (降雨開始30分後)
 (a),(b): 斜面浸食状況の写真, (c),(d): レーザ式変位センサーによる斜面高の実測コンター図,
 (e): 斜面横断面図(下流端から0.12m)

からもわかるとおり、主流路の側面は切り立った崖のような形状になっている。Case 2の場合には、側面を介しての浸透流の湧き出しによる側岸浸食あるいは斜面崩落が顕著に確認された。その結果、斜面の浸食範囲が狭いものの、主流路内に大量の土砂が堆積することになり、それを迂回する流れが生じ、主流路自体が蛇行したものとなったと考える。斜面表層の砂礫の粒度分布に関しては、図に示されているとおり、主流路内で粗粒化が生じていることが確認された。これは、Case 2に含まれる礫が主流路内の流れに対して移動限界に近い状態にあり、流路が発達するにつれてその移動がほとんど生じなくなっていったことと関連するものであり、わずかに含有された礫によって主流路内にアーモークコートが形成されていったものと考えている。

4. 結論

本研究における混合粒径砂礫を対象とした模型実験により、斜面からの土砂流出過程の解析にあたり、浸透流の影響が大きいたことが確認された。今後は異なる粒度分布をもつ混合粒径砂礫を対象とした模型実験を実施するとともに、浸透流を考慮した数値解析モデルについて検討していく。

参考文献

- 1) 澤井健二：降雨による流路網の発達過程に関する研究，京都大学防災研究所年報，第25号B-2，317-326，1982。
- 2) Greg Hancock and Garry Willgoose：Use of a landscape simulator in the validation of the SIBERIA catchment evolution model - Declining equilibrium landforms -, Water Resources Research, Vol.37, No.7, 1981-1992, 2001。
- 3) 関根正人，菱沼志朗：降雨により生じる裸地斜面の表面浸食とこれに伴う土砂流出に関する数値解析，水工学論文集，第48巻，2004。