

模型斜面実験による森林根系強度を考慮した斜面安定解析

日鉄建材株式会社 ○蓮沼佑晃
 東京農工大学 Rozaqqa NOVIANDI
 日鉄建材株式会社 大高範寛
 ノンフレーム工法研究会 岩佐直人
 名古屋大学 五味高志

1. はじめに

近年、異常気象に起因した集中豪雨による土砂災害が急増している。中でも自然斜面の表層崩壊を起因とする土石流（流木含む）によって被害が拡大しており、自然斜面の安定化が急務となっている。一方、自然斜面自体が有する機能として森林根系による地盤の浸食防止や地下水の涵養機能、地盤の緊縛効果などがあり、その機能が斜面の安定性を左右することが知られている。しかしながら、これらの効果は十分に解明されておらず、定量的に斜面の安定性を評価するまでには至っていないのが現状である。そこで著者らは、自然斜面の安定性を評価するにあたって根系による斜面の安定性を評価する必要があると考え、模型斜面を使用して降雨時における根系の斜面安定効果を確認している²⁾。本報は模型斜面降雨実験結果を踏まえた修正フェレニウス法による2次元解析による根系の斜面安定効果について報告する。

2. 模型斜面降雨実験

実験で使用した模型斜面の土槽は、勾配の異なる上部・下部セグメントからなる厚さ1cmの亚克力板で構成されている（図1）。上部セグメントの斜面長さは1.2m・勾配35°、下部セグメントの長さは0.5m・勾配10°、正面幅は0.8mである。なお土槽底面は、中央部に幅0.3mの摩擦がない範囲を設け、斜面両側には摩擦を確保するためにネットを張っている。また、がけ崩れ実態調査³⁾より、がけ崩れの約9割が崩壊幅30m以下・崩壊斜面長さ30m以下であるとされていることから、その規模に余裕代を考え、平面スケールを1/70とした。ただ

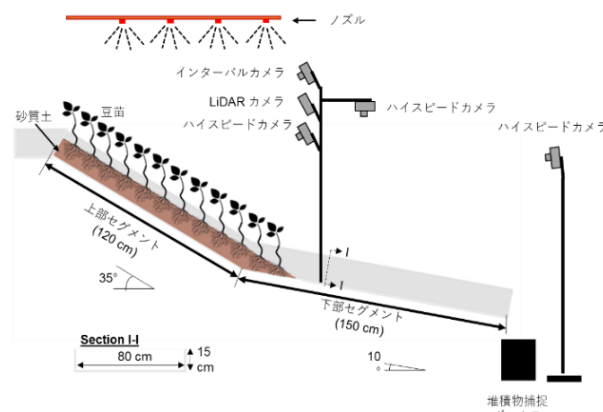


図1 実験装置概略図

し、模型斜面の深さ方向のスケールは1/10とし、乾燥密度 1.4g/cm^3 、 $D_{50}=0.23\text{mm}$ 、間隙率=55.4%の砂質土（川砂）で、上部セグメント部で深さ10cmになるように土壌を作成した。また、斜面全体に散水できるよう、延長・奥行方向それぞれ30cm幅（延長方向4列×奥行方向2列=計8箇所）でノズルを設置した。実験条件は、植生がない斜面と植生がある斜面（豆苗：縦3cm×横3cm間隔）で降雨強度60mm/hで実施した。植生がある斜面については、根系の成長を考慮して、種まき後2週間経過後に降雨実験を行った。実験では合計10個の土壌水分センサー（EC-5）を深さ3cmおよび7cm（各層5箇所）に設置し、土壌水分量を計測した。さらに、模型斜面の表面には、9個のターゲットを設置し、3台のビデオカメラ（前面・側面・上部：図1参照）によりターゲットの変位とその移動速度を測定した。

実験の結果、植生がない斜面は30分程度で崩壊に至るのに対し、植生がある斜面では降雨強度60mm/hで50分経過しても崩壊の兆しが見えなかったため、50分経過後から降雨強度を100mm/hに変更したところ、その10分後に崩壊に至った。また、2ケース間で大きく異なるのは、崩壊直前の土壌中の体積含水率の分布であった。体積含水率が0.35~0.40の範囲を推定飽和領域（図2のコンター図の黄線で囲んだ範囲）とすると植生がない斜面の推定飽和領域は6200~8000cm³、植生がある斜面の推定飽和領域は15000cm³となった。これより植生がある斜面では根

系の効果によって崩壊するまでの時間が遅れることで、降雨で浸透した水を多く貯留することが分かった。また崩壊面積は、植生がない斜面は 4300~4700cm²、植生がある斜面は 3200 cm² と植生がある斜面の崩壊面積が小さい結果となった。これは不安定化した土壌に対して根の引き止め効果が作用したためと考えられる。

3. 2次元解析

2次元解析は、国内で広く使用されている修正フェレニウス法による円弧すべり解析（五大開発株式会社の切土補強土工法計算システム）を用いて実施した。モデル斜面は模型実験と同じスケールで移動層を砂層とし、すべり線は砂層内で生じるよう不動層物性を設定した。砂層の内部摩擦角は 36°と仮定し、模型実験で得られた推定飽和領域のコンター図から水位線を想定して解析を行った。なお、図2の解析斜面の断面図における赤線がすべり線、青線が水位線である。斜面が崩壊した時の安全率を1として移動層の粘着力を求めた。表1に計算結果を示す。植生がある斜面の粘着力は 0.17kN/m² となり、植生がない斜面の粘着力 0.03 kN/m² の 6 倍近く増加することが確認されたことから、根系効果を粘着力として評価できると考える。一方すべり面長については、植生がない条件では 0.684m（崩壊長さ：0.671m）、植生がある条件で 0.877m（崩壊長さ：0.850m）と植生がある条件の方が、崩壊範囲が拡大する傾向を示し、模型実験結果と異なる傾向を示した。このことは、植生のある条件では粘着力の増加によって移動層の耐降雨性が高まることで飽和領域が拡大し、崩壊面積が大きくなったためと考えている。今回の解析では、崩壊範囲が実験と解析で異なる結果となったが、これは実験で見られた、崩壊しようとする土塊を根系の効果によって引き止める現象を、今回使用した解析法では再現できなかったためと考えられる。

4. まとめ

模型斜面降雨実験における崩壊直前の地盤の飽和領域を考慮して修正フェレニウス法による円弧すべり解析で根系の斜面安定効果について検討した。

- （1）根系の補強効果は粘着力として評価でき、本解析では植生がない場合の 6 倍近く大きい 0.17kN/m² となった。
- （2）植生がない場合と植生がある場合の崩壊面積が実験結果と解析結果で異なる傾向となり、崩壊面積推定にあたっては根系の引き止め効果を考慮した解析手法の必要性が示唆された。今後は土壌の一面せん断試験を行い、根系を含む地盤強度特性を把握するとともに、2次元解析の再考及び3次元解析を実施する予定である。

<参考文献>

- 1) 内閣府：令和4年版 防災白書 <https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r04/honbun/index.html>
- 2) Novianti 他：Developing an Experimental Method to Evaluate the Effect of Root Network on Shallow Landslides by Using a Flume Experiment、R3 年砂防学会研究発表会
- 3) 国土技術政策総合研究所：がけ崩れ災害の実態 <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1122.htm>

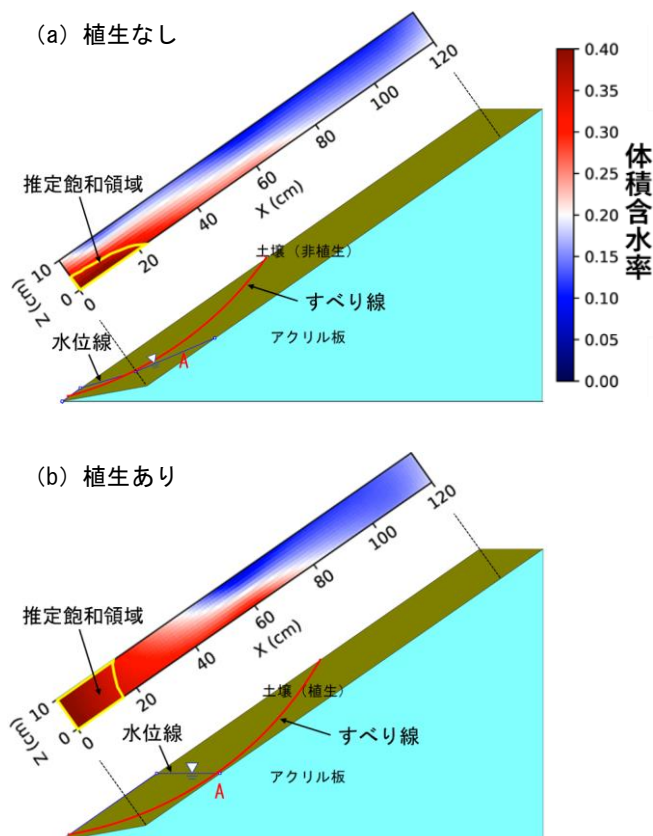


図2 斜面崩壊直前の体積含水率の分布（コンター図）と2次元解析のすべり線

表1 解析条件および結果

ケース	内部摩擦角 (°)	粘着力 (kN/m ²)	すべり面長 (m)	崩壊長さ (m)
植生なし	36	0.030	0.684	0.671
植生あり	36	0.170	0.877	0.850