

斜面表層崩壊に影響する降雨特性に関する遠心模型実験

斜面崩壊，降雨強度，透水係数

愛媛大学工学部
愛媛大学大学院理工学研究科

学生会員 ○松原遥樹
正会員 小野耕平
正会員 岡村未対

1. はじめに

平成 30 年 7 月豪雨では，断続的な降雨の終盤に短時間の集中的な豪雨を経験したことにより，斜面の表層崩壊が同時多発的に発生した。気象庁は，長期降雨と短期降雨の影響を組み合わせた土砂災害のリスク評価手法を活用しているものの，本手法は経験的な知見に基づいており，実験的な裏付けには乏しい。そこで本研究では，遠心力場における降雨実験システムの構築に取り組み，砂質模型斜面に対して降雨強度を変化させた実験を行った。

2. 降雨分布に関する予備実験

はじめに，本降雨装置による降雨分布の均一性を検証する目的で，遠心加速度 40 g 場で降雨試験を実施した。本実験では，(株)いけうち製のサクシオンタイプの噴霧ノズルを 10 個直列に並べた降雨装置を用いた。遠心力場におけるコリオリ力を考慮し，スプレーノズルは遠心装置の回転方向に 8 度傾斜させた。幅 43 cm，奥行き 12 cm，高さ 22.7 cm の剛土槽内に直径 2.2 cm の集水カップを 3×10 個並べ，2 分間降雨させた後にカップ内に溜まった水の質量を計測した。質量を水位に変換し，計測時間で除すことにより降雨強度を求めた。図 1 に原型スケールにおける降雨強度分布図を示す。土槽の奥行き方向にはややばらつきが見られるものの，ノズル直下の中央列は概ね均一に分布していることが確認できる。また，中央列のカップ A, B 内に設置した間隙水圧計で計測した静水圧から水位を求め，原型スケールで 1 時間毎の雨量増分を求めた。図 2 に降雨強度の時刻歴を示す。水圧から求めた降雨強度は，図 1 と比較するとやや過大であるものの概ね同等の値を示しており，降雨開始から約 10 時間後には安定した強度で降雨していることが確認できる。

3. 降雨強度に関する予備実験

本実験では降雨させる液体の粘性を調整することで，降雨強度を変化させた。遠心加速度 N g 場で M cSt の粘性流体を降雨させた際の降雨時間 t と降雨強度 r に関する相似則は以下の式で表される。なお，添え字 p は原型，m は縮尺模型を表す。

$$t_p = \frac{N^2}{M} t_m \quad (1),$$

$$r_p = \frac{M}{N} r_m \quad (2)$$

図 3 に降雨試験から得られた粘性と降雨強度の関係を示す。模型スケールでは粘性が増加するにつれて降雨強度は低下しており，粘性の増加によってスプレーノズルの散水能力が低下したものと推察される。一方，原型スケールでは，粘性の増加とともに降雨強度が概ね線形に上昇していることが確認できた。10 cSt 以上の粘性では雨滴径が拡大する傾向が確認されたため，本実験で降雨させる液体の粘性は 7 cSt 以下（降雨強度：約 53 mm/h）と定めた。

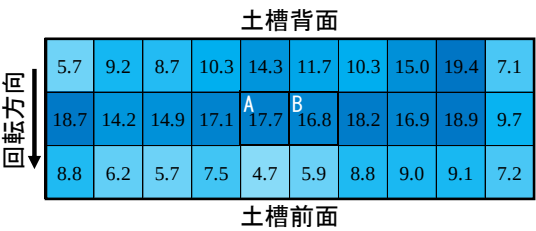


図 1 降雨強度分布図

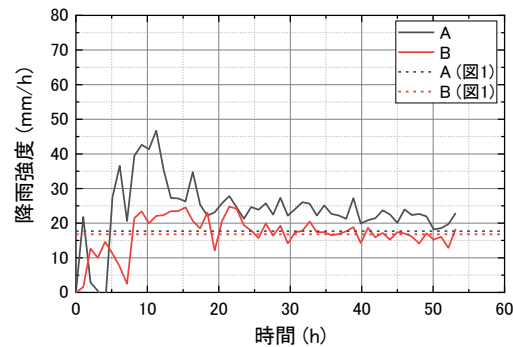


図 2 降雨強度の時刻歴

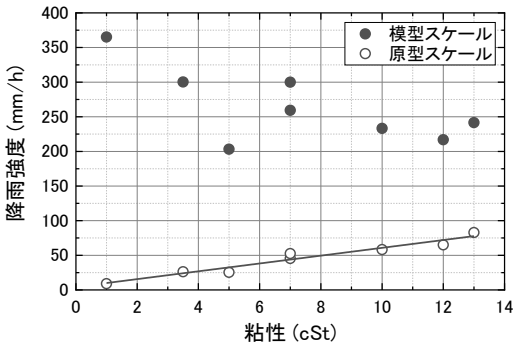


図 3 粘性と降雨強度の関係

4. 斜面降雨実験

表 1 に示す通り、模型斜面に対して降雨強度を変化させた計 3 ケースの降雨実験を実施した。ここで、表内の降雨浸透指標 (I_r) は透水係数を降雨強度で除したものであり、地盤内への降雨の浸透状況を評価するものである¹⁾。実験模型の概要を図 4 に示す。降雨試験と同様の装置、土槽を用いて遠心加速度 40 g 場で実験を行った。地盤材料には豊浦砂を使用し、斜面角度は 40°とした。表層斜面の崩壊を再現するため、基礎地盤にはアクリル材で作製した不透水層を設置した。アクリル材表面には豊浦砂を接着することで層境界面の摩擦を考慮した。湿潤させた砂を締め固め、厚さ 2.5 cm の表層地盤を作製した。

5. 実験結果

降雨強度の高い Case1, 2 において、それぞれ斜面中央 (4.5 h 経過時点)、法先部 (5.7 h 経過時点) で崩壊が発生した。

図 5 に降雨強度を一定と仮定した際の各ケースの 1 時間降水量と土壌雨量指数 (SWI) の推移を示す。SWI はタンクモデルから求められる斜面内の水分量を示す指標であり、気象庁は 1 時間降水量との関係に基づいて土砂災害警戒情報を発表している。グラフには Case1, 2 の崩壊発生時点をプロットしており、本実験条件で崩壊に至る SWI の閾値は 200 mm 程度であることがわかる。一方で、降雨強度を低く、降雨時間を長く設定した Case3 においては、SWI が 330 mm に達した時点においても崩壊の発生は見られず、降雨強度に応じて斜面崩壊に至る土壌雨量指数は変化することが実験的に明らかとなった。

図 6 には Case2 における崩壊発生時点と実験終了後の斜面の様子を示す。写真から、崩壊発生時点には斜面内の水位が表層付近まで上昇していることがわかる。そこで、図 7 に斜面内の最大水位と I_r の関係を示す。グラフから、 I_r が低下するにつれて斜面内の水位が上昇しやすくなり、斜面が不安定化することで崩壊に繋がったことが確認できた。

6. まとめ

本研究では、斜面表層崩壊に影響する降雨特性を分析するため、遠心力場で降雨実験を行った。予備実験より、降雨分布が均一であること、流体の粘性に応じて降雨強度を調整できることを確認した。模型斜面に対する降雨実験から、降雨強度に応じて崩壊に至る土壌雨量指数は異なることが実験的に明らかとなった。降雨強度に応じて斜面内の水位は大きく変化し、斜面内の水位は降雨浸透指標で評価可能であることが確認できた。

参考文献

- 1) 玉手ら：地盤の透水性と降雨強度の関係に着目した斜面の表層崩壊に関する実験的考察，労働安全衛生総合研究所特別研究報告，35, 33-58, 2007.

表 1 実験ケース

		Case1	Case2	Case3
相対密度 D_r	(%)	73.4	77.3	77.3
粘性 M	(cSt)	7	7	4
降雨強度 r_p	(mm/h)	52.5	52.5	27
透水係数 k_p	(cm/s)	0.019	0.019	0.019
降雨浸透指標 I_r	(-)	12.9	12.9	25.3

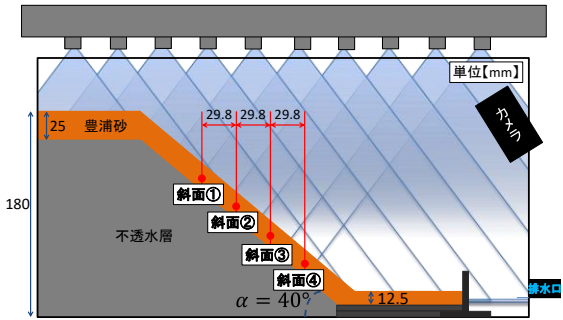


図 4 実験模型の概要図

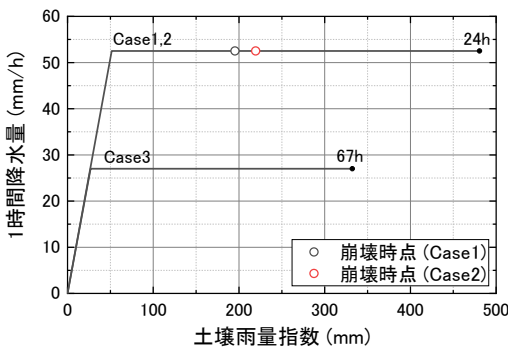


図 5 土壌雨量指数と 1 時間降水量の推移

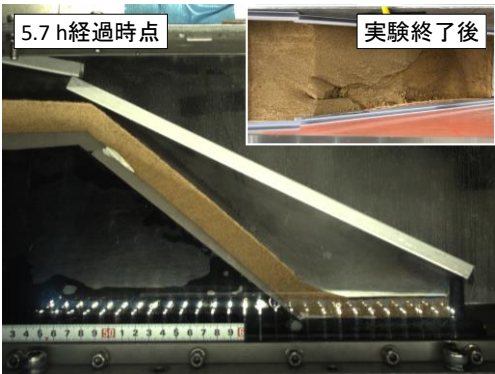


図 6 斜面の様子

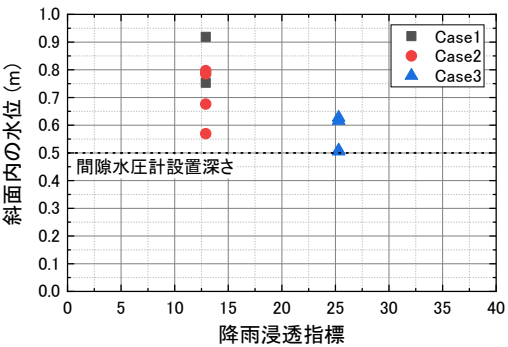


図 7 降雨浸透指標と斜面内最大水位の関係