

先行降雨の有無が斜面崩壊現象に与える影響に関する実験的検討

立命館大学大学院 理工学研究科 ○石坂陽太・覃馨・西村翔太・水野仁

立命館大学 理工学部 藤本将光・里深好文

1. 研究背景と目的

近年、ますます甚大化する斜面災害への対策は急務であるが、同一の斜面状況、降雨条件においても崩壊の形態が異なるなど不明な点も多い。このため災害の事前対策に必要な不可欠な斜面崩壊の正確な発生予測は未だ困難である。そこで崩壊の予知・予測のために、斜面崩壊を発生させる重要な要因である土層内における地下水位変化の現象と崩壊との因果関係を明らかにする必要がある。本研究では、崩壊の形態を決定する要因として先行降雨の有無に着目し、斜面内部の地下水位変動が崩壊に対し与える影響について把握することを目的に室内実験を行った。

2. 実験概要

本研究では、斜面条件や降雨条件が斜面内部の地下水位変動に与える影響や、崩壊との因果関係を把握するため、作成した模型斜面に対し、人工降雨装置を用いて降雨を与える室内模型実験を行った。また本研究では斜面条件や降雨条件のうち、特に表層密度と先行降雨の有無に着目し、実験を行った。

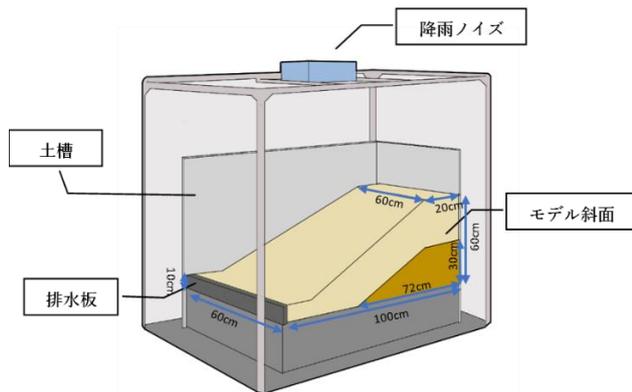


図 1 実験装置

2.1 実験装置

本研究で使用した実験装置は、図 1 に示すように降雨装置と斜面モデルを載せる土槽から構成されており、底面と側面は不透水面である。斜面モデルは密度の異なる層を 2 層重ねて作成した。土層正面には穴の開いた高さ 10 cm のアルミ製排水板が取り付けられている。上方向に人工降雨装置が設置されており、雨の状態は霧状である。斜面の諸条件については表 1 に示す。

表 1 斜面条件

土試料	基盤層の密度 (g/cm ³)	含水比 (%)	斜面勾配 (°)
真砂土	1.8	5	30

2.2 実験のケース

本研究では、表 2 のような条件で実験を行った。圧力水位計については図 2 に示すように、法先からそれぞれ①25 cm、②58 cm、③80 cm の位置に設置した。Case 1、Case 3 については、あらかじめ 50 mm/h の先行降雨を 1 時間与え、その後 1 時間の放置時間を設けてから、実験を開始した。実験中の降雨量は 50 mm/h であり、2 時間継続して与えた。

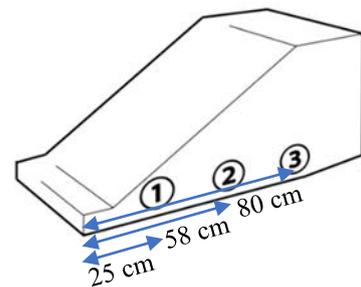


図 2 水位計の設置位置図

3. 実験結果

Case 1～Case 4 より得られた結果を図 3～図 6 に示す。Case 3 を除き、いずれも斜面中央付近を起点とする進行性崩壊が見られた。それぞれ Case 1～Case 4 において、初期ひび割れが観測された時間について表 2 に示す。図 3～図 6 においては赤線で示している。

表層密度が 1.4 g/cm³ の場合、先行降雨がある条件 (Case 1) のほうが 30 分早く崩壊を引き起こした。一方、表層密度が 1.6 g/cm³ の場合は対照的に、先行降雨なしの条件 (Case 4) では崩壊したもの、先行降雨ありの条件 (Case 3) では崩壊しなかった。

先行降雨の条件が同一であれば、崩壊までの地下の水位変化はどちらの表層密度の場合でも概ね同じ挙動を示した。先行降雨なしの場合 (Case 2、4)、法先 (水位計①) から順に水位上昇が開始し、先行降雨ありの場合 (Case 1、3)、法肩側 (水位計③) から順に、かつ比較的同時に水位上昇が開始している。

表 2 実験ケースの条件と初期ひび割れ時間

	密度 (g/cm ³)	先行降雨	初期ひび割れ時間 (min)
Case 1	1.4	あり	75
2	1.4	なし	105
3	1.6	あり	ひび割れなし
4	1.6	なし	70

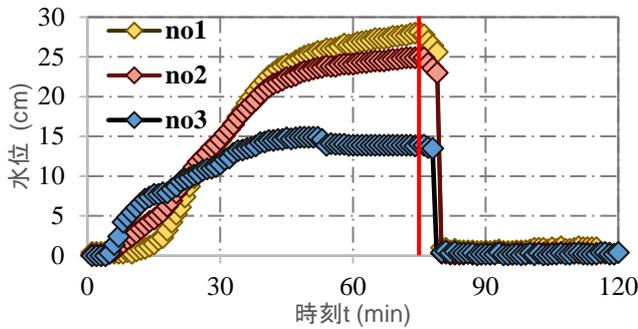


図 3 Case 1 ($\rho=1.4$ 、先行降雨あり)

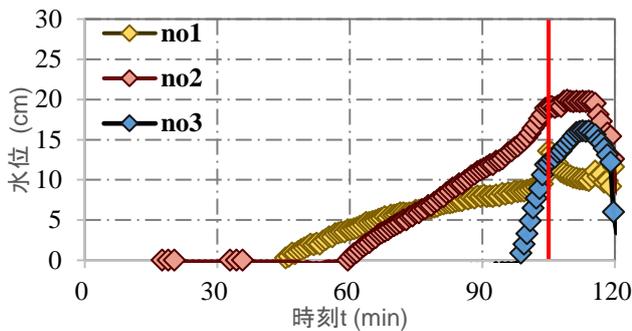


図 4 Case 2 ($\rho=1.4$ 、先行降雨なし)

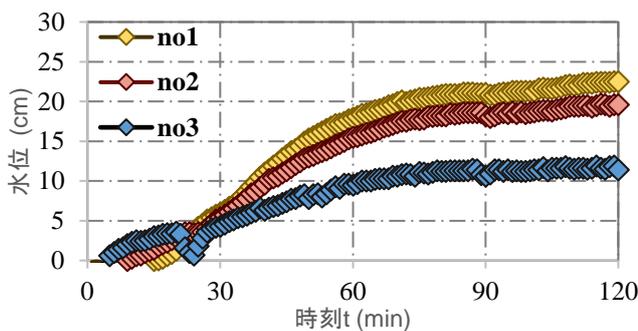


図 5 Case 3 ($\rho=1.6$ 、先行降雨あり)

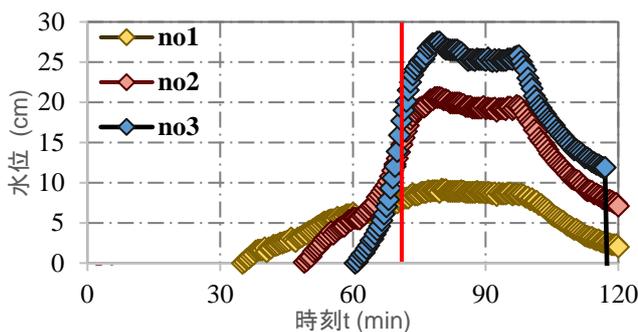


図 6 Case 4 ($\rho=1.6$ 、先行降雨なし)

先行降雨の有無に注目すると、先行降雨を与えた場合については、主に斜面中央より法先側の、比較的排水しやすい箇所(水位計①、②)における水位変動に差があり、表層密度の低い Case 1 の方が短時間に大きな水位変動を示した。一方、先行降雨なしの場合を比較すると、主に斜面中央より法肩側の、比較的排水が起こりにくい箇所(水位計③)において水位変動に差がみられ、表層密度の高い Case 4 の方が短時間に大きな水位変動を示した。

先行降雨ありの場合 (Case 1、3)、斜面のそれぞれの位置において飽和状態に近づくとき水位変化量は大幅に小さくなっている。この状態がしばらく継続されたのち、Case 1 においては突然崩壊がみられた。一方、先行降雨なしの場合 (Case 2、4)、地下水位に変化がみられるまで猶予があるものの、地下水位の上昇が始まると比較的短時間で崩壊に至る。

4. 考察

先行降雨がなく、連続して降雨を与える条件 (Case 2、4) では、表層の密度が小さい場合、雨水は土層中を比較的容易に浸透するものの、密度の高い基盤層には浸透しにくいいため、表層と基盤層の境界などから排水が起こりやすい。一方、表層の密度が大きい場合、土層の境界部付近までは水が浸透しにくいいため、土層表層のみが早い段階で飽和状態になりやすい。このため、表層密度の高い Case 4 のほうが早く崩壊を起こしたのではないかと考えられる。

先行降雨がある条件 (Case 1、3) では、既に表層が飽和状態に近づいているため、表層密度に関わらず基盤層との境界付近までは水が浸透しやすく、比較的排水も起こりやすい。このため、表層密度が小さい場合は特に、本降雨の際に、短時間で表層と基盤層の境界まで水が浸透し、早い段階で排水が起こる。しかしながらその小さい表層密度のために、側方方向への地下水流動の影響も受けやすく、早く地下水位の上昇が発生し、崩壊に至ったと考えられる。

このように、先行降雨の有無によって崩壊形態や崩壊に至るまでの過程は異なるを考える。このため地下水位変化を斜面崩壊発生の予知・予測の指標とするためには、先行降雨の有無は重要な要素であると分かった。

5. まとめ

表層密度の大きい斜面は、連続して降雨を受けると浅い層での崩壊を起こす可能性がある。しかしながら先行降雨を受けるなど、断続的に降雨を受ける場合、表層の密度の小さい斜面の方が短時間で崩壊が起こる可能性が高くなる。また先行降雨がある場合、地下水位の安定が斜面崩壊の前兆現象として考えられ、先行降雨がない場合、急激な地下水位上昇が前兆現象と考えられる。

今後は、降水量、放置時間を変えたケースを複数用意し、表層密度ごとの比較を行う必要がある。また内部変位を加味した検討を行うことで、斜面内部の変状についても観察する必要がある。また先行降雨がない場合において、崩壊の直前に、特に法尻側の土層表面から深い位置(水位計②、③)での水位上昇が顕著であるから、斜面崩壊との因果関係について検討する必要がある。