

降雨時の斜面崩壊における地下水及び変形挙動に関する実験的検討

立命館大学院理工学研究科 OQin xin
立命館大学理工学部 藤本将光
立命館大学理工学部 里深好文

1. 背景と目的

日本は急峻な地形かつ雨が多いため、斜面崩壊などの土砂災害が多発している。そのため、避難体制の強化と共に、初期ひび割れの発生時刻および発生場所の高精度な予測が急務となっている。本研究では、斜面内部の変形挙動及び水位変化の経時変化に基づいた斜面崩壊の前兆現象を検討することを目的とし、室内実験を行い、計測データに基づいて崩壊の前兆性及び前兆現象による斜面の不安定性評価の可能性を検討した。

2. 室内実験

斜面のモデルの寸法、構造、及び斜面モデルに沿って、各断面に設置された水位計（①～③）及び加速度計（1～6）を図1に示す。なお、加速度計は各所で2つ異なる深さにセンサーをつけ、A組は深さ2cmに、B組は10 cmに設置される。

モデル斜面は乾燥密度1.88 g/m³の真砂土を用いて、ケースにより異なる密度の表面層、及びその下に比較的密度が高い土台層（ $\rho = 1.8\text{g/m}^3$ ）の二段構造を設けた（表1）。なお、モデル斜面の傾斜は30°、土試料の初期含水比は5%である。CASE1では、崩壊発生するまで降雨強度は50mm/hで維持された。CASE4～CASE6において、複数回降雨による崩壊現象を再現するため、初回目の降雨は1時間続き、その後1時間で降雨を中止させ、次に崩壊発生するまで同じ強度の降雨を行う。

表－1 斜面モデル及び各センサーの設置場所

表面層密度 (g/m ³)	1.2	1.4	1.6
先行降雨無し	CASE1	CASE2	CASE4
先行降雨あり	CASE4	CASE5	CASE6

3. 実験結果

本研究は先行降雨の有無によって、2シリーズにわたる合計6ケースを実施されたが、本要旨では、代表的に表面層の密度が1.4 g/m³のCASE 2とCASE 5の実験結果紹介する。

なお、加速度データを絶対変位に変換すると、重力

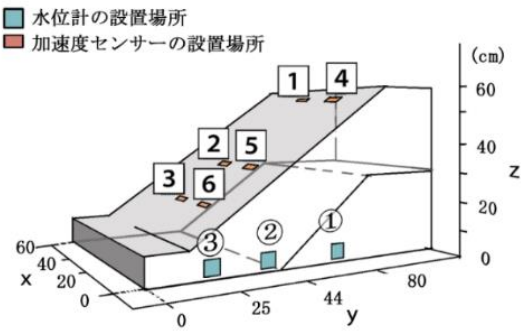
の投影による誤差が生じるため、本研究では加速度の変化における議論を行う。実測された加速度結果に基づいて、ある時点での土の運動状況を1分間あたりの変形挙動の変化量によって、軸方向のヒートマップに表す。1mm/s²/minの加速度変化量をヒートマップの最大値として設定し、1分間あたりの変形挙動の変化量によって評価した。

CASE2の実験結果は図-2のように示しており、実験開始から165分前後にモデル斜面の上端部にひび割れの発生が観測された。水位計No.1～No.3における崩壊発生までのピーク水位はそれぞれ14cm、18cm、14cmである。CASE2において、斜面各部分の変形挙動は段階性が持ち、継続的であり、降雨の伴い初期から比較的活躍期間に移行した。ひび割れが発生された直前数分に、斜面各所で変形挙動が比較的に顕著になることが見られる。

CASE3の実験結果は図-3に示す。実験開始後60分、降雨中止期間、地下水位が急速下降した。降雨再開後、各所の地下水が直ぐ上昇した。なお、各所地下水位がCASE2のピーク水位を超えた後、上昇速度が緩やかになり、最終的崩壊に至った。CASE3の変形挙動も段階性を持っている一方、降雨中止期間が比較的に活躍、降雨の再開後また静止に近づく傾向に見られる。

4. 考察

前述で紹介した両ケースの変形挙動の実験結果には、段階的の特徴的を示した上、初期ひび割れが発生した数分直前に、斜面内部に複数の計測点で変形挙動が再び顕著になる特徴が見られる。このように、斜



図－1 斜面モデル及び各センサーの設置場所

面全般的で変形挙動が活躍期に移行することは斜面の崩壊減少の前兆の一つとみなすことができる。

また、両ケースにおいて、ひび割れの発生時点の地

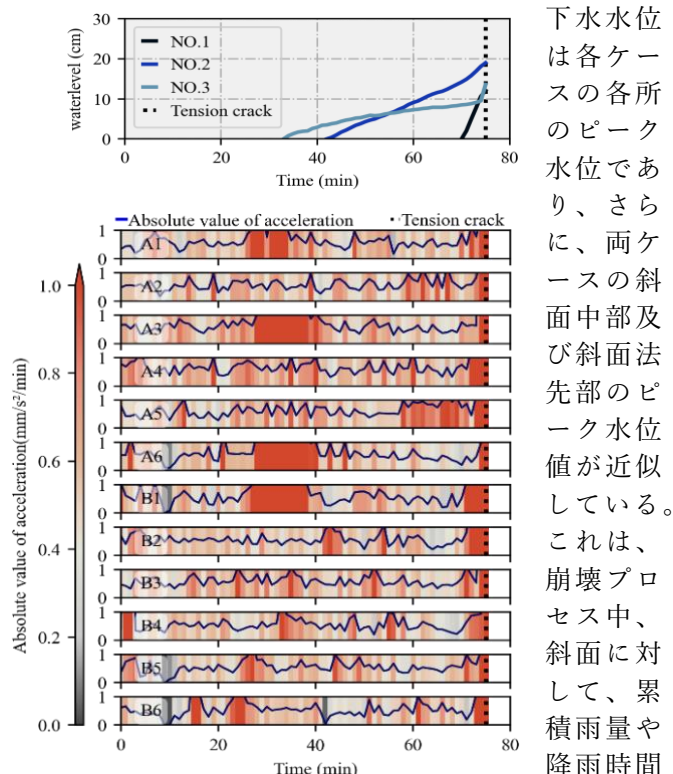


図-2 CASE2の実験結果

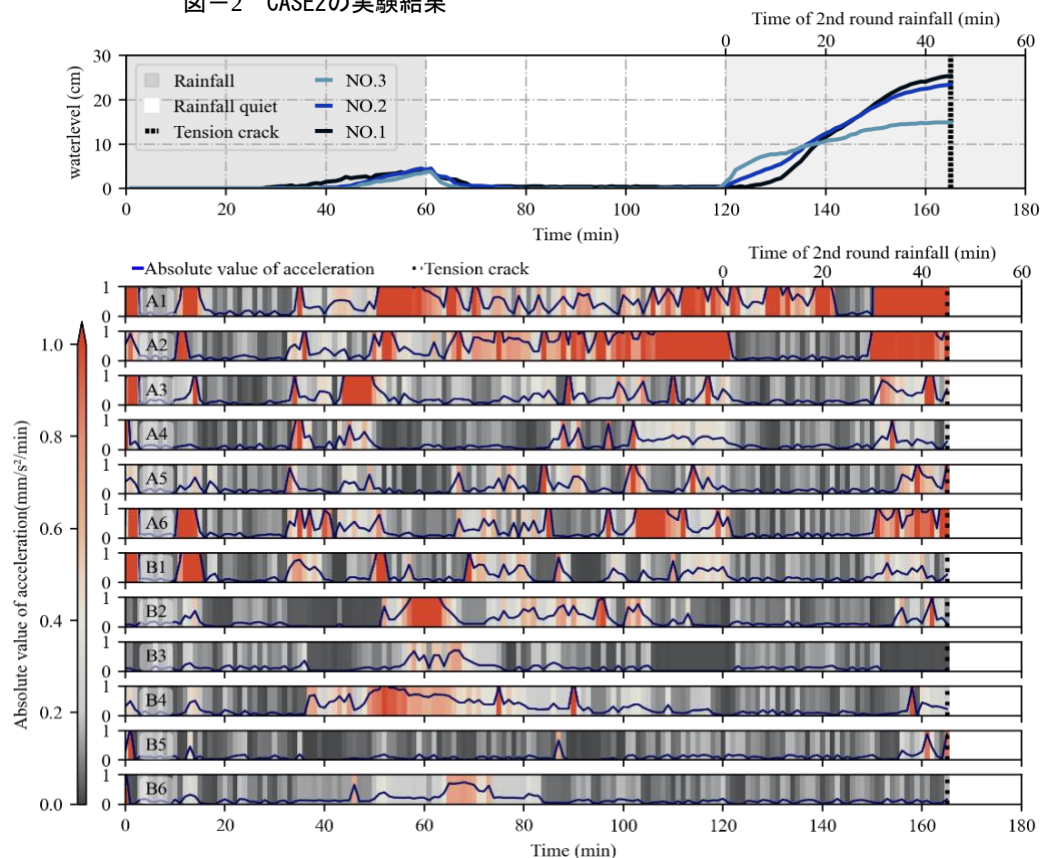


図-3 CASE5の実験結果

より、この二か所の含水量が斜面安定性に関して重要な素因であることが明らかにされている。

両ケースの実験結果より、地下水位と変形挙動が時間的、方向的な同期性があることが見られていない。なお、地下水位と変形挙動が線形関係には従わない一方、変形挙動のか活発期において、体積変化と内部水分の収支の不均衡の二つの要因が挙げられる。CASE2において、地下水位上昇する前、斜面内部の変形挙動が既に短い活発期が経過していた（CASE2 2min~5min、など）。これは、雨水浸透下で増加分の土層の重さより斜面が沈降し、体積変化の引き金と考えられている。要因二に関して、変形挙動の全般的な活躍期の開始または終了が常に斜面内ある所で地下水生成することを伴っている（例えば、CASE2の41min、CASE5の120min）。斜面内部の地下水帯の生成に伴い、土層内部の応力が斜面局所の水分収支のバランスが崩れより再配分されることによって、変形挙動が活躍期に移行するきっかけとなる可能性を示唆している。さらに、CASE5における降雨の初回目期間と二回目降雨期間で得られた計測結果より、上記の非線形関係をさらに複雑にしていることが明らかにされている。原因として、降雨を停止させ及び再開することより、斜面内部の地下水位が斜面モデルは浸水と排水の繰り返し、前述の非線形関係に関連する他の影響因子への複雑さをさらに高めていると考えられる。

前述の計測結果は、地下水位変動と変形挙動の間は単純の線形関係にわ見当たらない。降雨による崩壊現象は、地下水の変化及び内部変形挙動の視点から前兆性が見られる。地下水の変化において、斜面中部及び法先部の地下水位の含水量は斜面全体の安定性を表す指標の一つと考えられる。なお、ひび割れの発生時刻において、変形挙動が続く示された及び地下水が上昇すること同時に観測された場合、斜面が不安定化する可能性が高まることが分かった。