

# 二次元浸透流解析による斜面崩壊の再現計算

京都大学大学院農学研究科 ○山崎美穂, 小杉賢一朗, 水山高久  
独立行政法人土木研究所 梁偉立  
八千代エンジニアリング株式会社 武蔵由育

## 1. 研究背景と目的

我が国では毎年のように、梅雨末期の集中豪雨や台風によって表層崩壊が多発し、甚大な被害が引き起こされている。降雨浸透解析と斜面安定解析を組み合わせた物理的な崩壊予測手法は、実験斜面や人工法面を対象とした検討により、その有効性が示されてきたが、自然斜面を対象とした検証は未だ不十分である。本研究では、1999年に京都大学の上賀茂試験地に発生した表層崩壊を用いて再現計算を試みることにし、物理的な崩壊予測手法の妥当性について検討を加えた。

## 2. 崩壊地と再現計算の概要

1999年6月29日に起きた豪雨により、京都大学の上賀茂試験地の3林班に表層崩壊が発生した。崩壊部の幅は約11mであり、斜面下部の土砂が崩壊し、石垣を越えて平地に止まった(図1a)。斜面形状を把握するために、斜面崩壊部から尾根まで地表面測量と簡易貫入試験の実施(測線1, 図1b), 崩壊後の地表面と基岩地形を計測した。また、崩壊前の地表面形状を推測するために、測線1から10m離れたところに測線を設定し(測線2, 図1b), 計測した測線2の地表面を崩壊前に測線1の地表面とした。図1cは崩壊部(水平長: 20m, 平均勾配: 29度)とその尾根までの未崩壊部(水平長: 55m, 平均勾配: 19度)の断面形状を示しており、崩壊する前の崩壊部の土層厚と勾配は未崩壊部より大きかった。

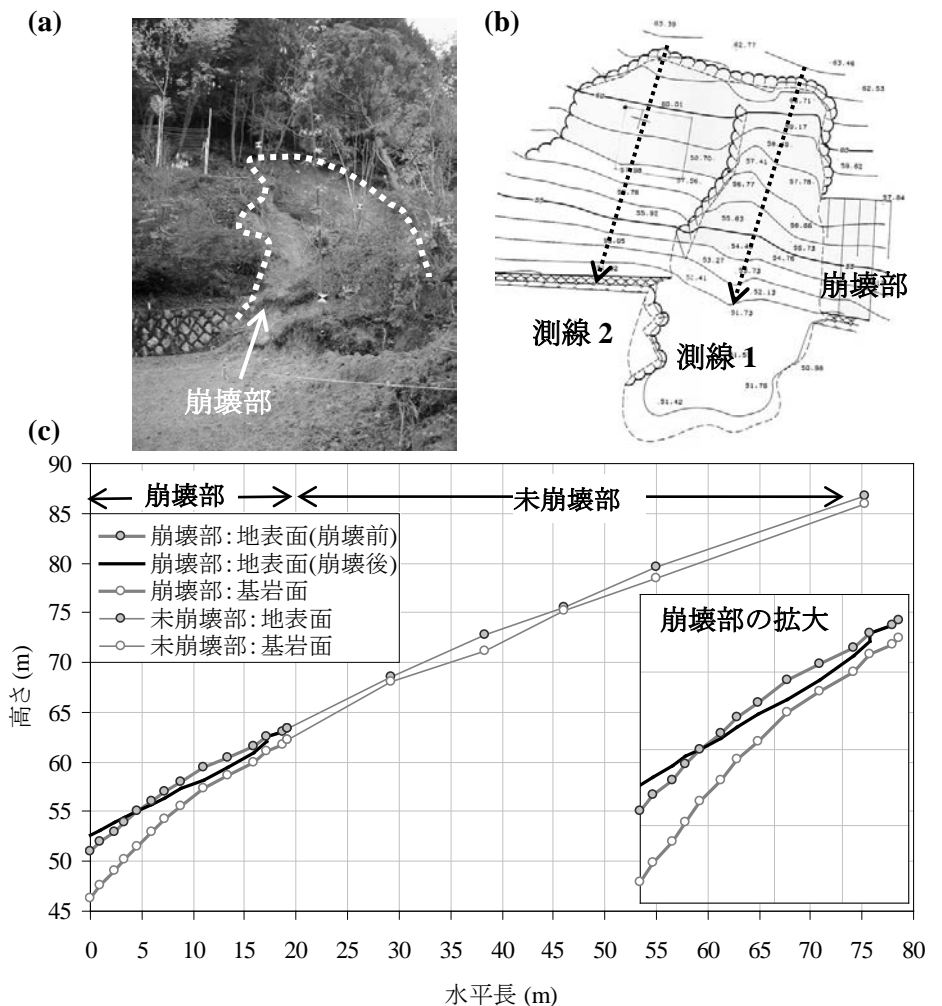


図1 崩壊斜面の(a)写真と(b)地形と (c)崩壊部から尾根までの断面形状

数値シミュレーションは、有限要素法により2次元のRichards式の数値解を求めた。計算領域は崩壊部

と未崩壊部を含む、水平長75mの斜面を対象としている。簡易貫入試験による貫入抵抗値の鉛直分布に基づき、地表面から深さ47cmまでを表層、深さ47cmから基岩までを深層、更に深層の下部に1m厚の基岩層を設定した。三角形要素によって計算領域を分割し、地表面に近いほど小さく、深くなるほど大きく設定し、計2942個の節点と5184個の三角形要素で構成されている。土壌水分特性に関するパラメータについては、現場で採取した土壌試料を用いて室内試験によって定めた。そのパラメータを計算領域の表層、深層、基岩層にそれぞれ適用した。境界条件は上流端のみ水の出入りなしとし、底面、地表面、下端面は自由排水条件とした。入力降雨には、観測された崩壊降雨イベントの時間雨量を用いた（6/29 5時～6/30 8時、総雨量：198.5mm、最大降雨強度：45.5mm/hr）。また、崩壊発生の一週間前から崩壊イベント直前までの予備計算を行い、得られた圧力水頭値を再現計算の初期条件とした。

斜面安定解析については、2次元簡易Bishop法を用いた。本研究は、崩壊予測手法の再現精度を検討することを目的としたため、崩壊可能な位置を探索するのではなく、すべり円弧を斜面崩壊部位（図1c）に設定して斜面安全率（ $F_s$ ）の時間変化を計算した。

### 3. 結果

図2は崩壊イベントの時間雨量と斜面安全率の経時変化を示している。崩壊イベント前の一週間に総雨量が203.5mm観測された。このため、崩壊イベント直前に斜面が非常に湿潤な状態になっており、小さい $F_s$ の初期値(1.1)が計算された。6/29の23時までのイベント前半は(総雨量:71mm, 最大降雨強度:11mm/hr)、降雨強度と積算雨量の増加によって、 $F_s$ がゆっくり低下していた。イベント後半の23時から6/30の1時までの2時間は、総雨量89.5mm、最大降雨強度45.5mm/hrの豪雨が記録され、6/30の0～1時に崩壊発生した。この時の高い降雨強度によって、 $F_s$ が急激に下がり1.0を割ってすべりの発生が計算された。その後、小さくなった降雨強度とともに $F_s$ が上がった。

本研究は、自然斜面を対象として降雨浸透解析と斜面安定解析を行うことにより、崩壊発生までの土壌水分挙動を再現し、物理的な崩壊予測手法の妥当性について検討した。その結果、計算されたすべりの発生時刻が実際の崩壊発生時刻と良好に対応したため、降雨浸透解析と斜面安定解析を組み合わせた物理的な崩壊予測が有効な手法と考えられる。また、以前より、表層崩壊の発生は降雨の最も強い時刻に対応していることが知られている。本研究の結果からもこの知見の裏づけになると考えられる。

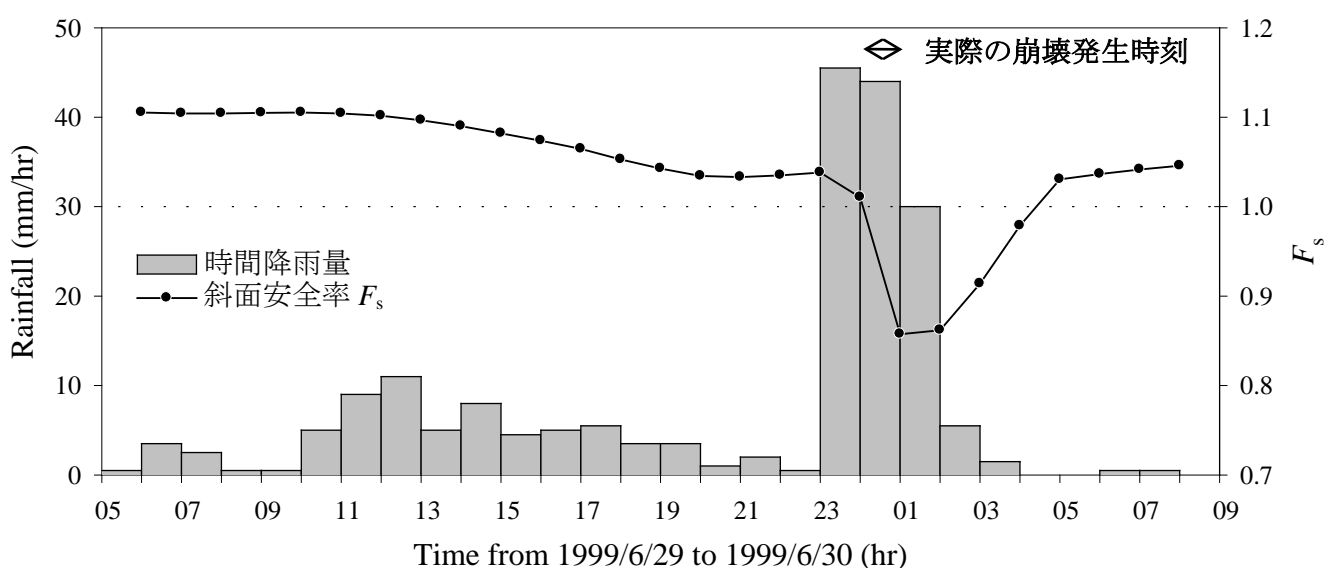


図2 降雨量と斜面安全率の経時変化