

降雨特性が表層崩壊発生危険箇所分布に与える影響：三次元雨水浸透計算による検証

台湾 国立台湾大学森林学系 ○梁 偉立
国土技術政策総合研究所 内田 太郎

1. 研究背景と目的

斜面崩壊予測精度を向上させるために、流域スケールの水文・地形特性を取り組んだ斜面水文・安定評価の物理モデルの構築が期待されている。崩壊発生に至るまでは、地形、土層厚、植生、土壌と基岩の物理性などの複雑な要素が存在しているので、どの要素が最も寄与していることはまだ定論になっていない。内田ら（2009, 砂防学会誌）は、単純な危険度評価手法であっても、実測した土層厚の空間分布情報を入れ、算出した基岩面飽和帯空間分布により、表層崩壊の危険箇所を比較的精度よく表現できると指摘した。ただし、そのような地形量はいつどこで寄与することがまだ解明されていない。そこで、本研究では、地形量の空間情報を流域スケールの三次元雨水浸透計算に取り組んで、降雨特性と基岩面地形および土層厚はどれほど基岩面間隙水圧の応答に寄与することを考察した。

2. 対象流域、雨水浸透計算、解析概要

数値計算とした対象流域は、広島市街地から西方約 11 km に位置する荒谷川の支溪にある小流域である。流域面積は 1.4 ha、流域の斜面勾配は 12~54° で平均 36°、基岩は広島花崗岩類である。1999 年 6 月 29 日に起きた集中豪雨（恵下谷山より：総雨量 182.5 mm、最大 10 分雨量 11 mm）によって荒谷川で土石流をもたらし、対象流域の右岸側斜面において四つの表層崩壊が発生した。2003 年から現地観測が始まり、流域内で 178 箇所に行われた貫入試験によって土層厚分布を計測した。またレーザプロファイラで測量した地表面地形と土層厚の空間分布から、基岩面地形を計算した。

雨水浸透計算は、有限要素法により三次元の Richards 式の数値解を求めた。推測した崩壊前の地表面地形、土層厚、基岩面地形の情報に基づき、土層と厚さ 100 cm の風化基岩層からなる計算領域を設定した。水文パラメータについて、Katsura et al. (2009, Vadose Zone J.) により本研究の対象流域と同じ風化花崗岩の斜面で測定された水分特性パラメータを用いてそれぞれ土層と基岩層に与えた。境界条件については、地表面に降雨を入力し、尾根に水の出入りが無い条件、谷筋に自由排水条件を設定した。入力降雨については、崩壊イベントと類似した 2009 年 7 月 19 日に観測された降雨イベント（総雨量 147 mm、最大 10 分雨量 13 mm）を入力した（図 1a）。予備計算によって 7 月 17 日に起きた先行イベントの降雨を与えた後に、約 2 日間排水させた状態を初期条件に設定した。土層厚と基岩面地形指数（Topographic wetness index）が基岩面間隙水圧の変動に及ぼす影響を解析するために、スピアマン順位相関係数（Spearman rank correlation coefficient）を用いてそれぞれの相関を調べた。また、間隙水圧の応答について、間隙水圧の値 (ψ)、イベントからの間隙水圧変化 ($\Delta\psi$)、および正圧 ($\psi \geq 0$) に分けて検討した。

3. 結果と考察

対象イベント初期に降雨強度が弱く、基岩面における飽和帯量の増加が明瞭ではなく（図 1a）、940 分に飽和になった節点が全体の 11.9% しかなかった。その後、降雨強度が上がって二つのピークが発生し（最大 10 分雨量がそれぞれ 11 mm, 13 mm）、1230 分に基岩面の飽和率が最大に達した（61.2%）。飽和帯量の増加がほとんど降雨ピーク期間に限られ、降雨ピーク期間とその後に関隙水圧応答と土層厚および地形指数との相関も大きく変動した（図 1b）。全イベント期間では、土層厚と $\psi \geq 0$ と正相関、 ψ と $\Delta\psi$ と逆相関を示したが、降雨ピーク期間に相関係数が大きく変化した。一番目の降雨ピークが発生した直後に、土層厚と $\psi \geq 0$ との正相関が弱くなったが、土層厚と $\Delta\psi$ または ψ との逆相関が一時的に強くなってから弱くなっていった。一方、地形指数がすべての間隙水圧応答と正相関を示しており、特に降雨ピ

ーク後に ψ と $\psi \geq 0$ と強い相関が見られた。土層厚と地形指数の関係から見ると (図 1c), 降雨から 940 分までは基岩面飽和帯の空間・時間的な変化が少なく, 土層厚に関係なく地形指数の 7 より大きい箇所が多く飽和するように見えた。降雨ピーク期間に (1020 分), 地形指数の 6.9–9 の領域において土層厚の小さい箇所から大きい箇所へ徐々に飽和していった。1230 分には基岩面飽和帯が最も広がって地形指数の 6.9 以下の箇所あるいは土層厚の 300 cm 以上の箇所しか不飽和帯が存在していなかった。

土層厚は降雨強度の強い時期に基岩面における間隙水圧応答に最も寄与したが, その効果が長続きせず, 一番目の降雨ピークに限られた。それは, 基岩面までの間隙水圧が一旦大きく上がった後, その後の降雨強度が強くても土層厚への依存が弱くなることが言える。一方, 降雨ピーク以外の時期には, 間隙水圧の変動が最も地形指数に寄与され, 特に降雨ピーク後に相関が高まった。つまり, 土層厚と地形指数は基岩面間隙水圧応答に均一な影響を与えるのではなく, 降雨強度や降雨波形によって時間的に変わることが分かった。なお, 基岩面飽和帯が小さい土層厚から大きい土層厚へ, 大きい地形指数から小さい地形指数へ順番で拡大した。地形指数の 6.9–9 の領域は土層厚によって飽和・不飽和状態が鋭敏に変化する“空間的な変動領域”と考えられる。崩壊箇所に着目すると, 崩壊面積の 98.6% が地形指数の 6.9–9 の領域に, 85.1% が土層厚の 80–120 cm の領域に入ったから, 崩壊箇所がほぼ間隙水圧の“変動領域”に含まれた (図 1c)。以上の結果より, 表層崩壊発生の時間と場所を特定するために, 基岩面間隙水圧に対する土層厚と地形指数の時間・空間的な効果を考量しないとできないことが言える。

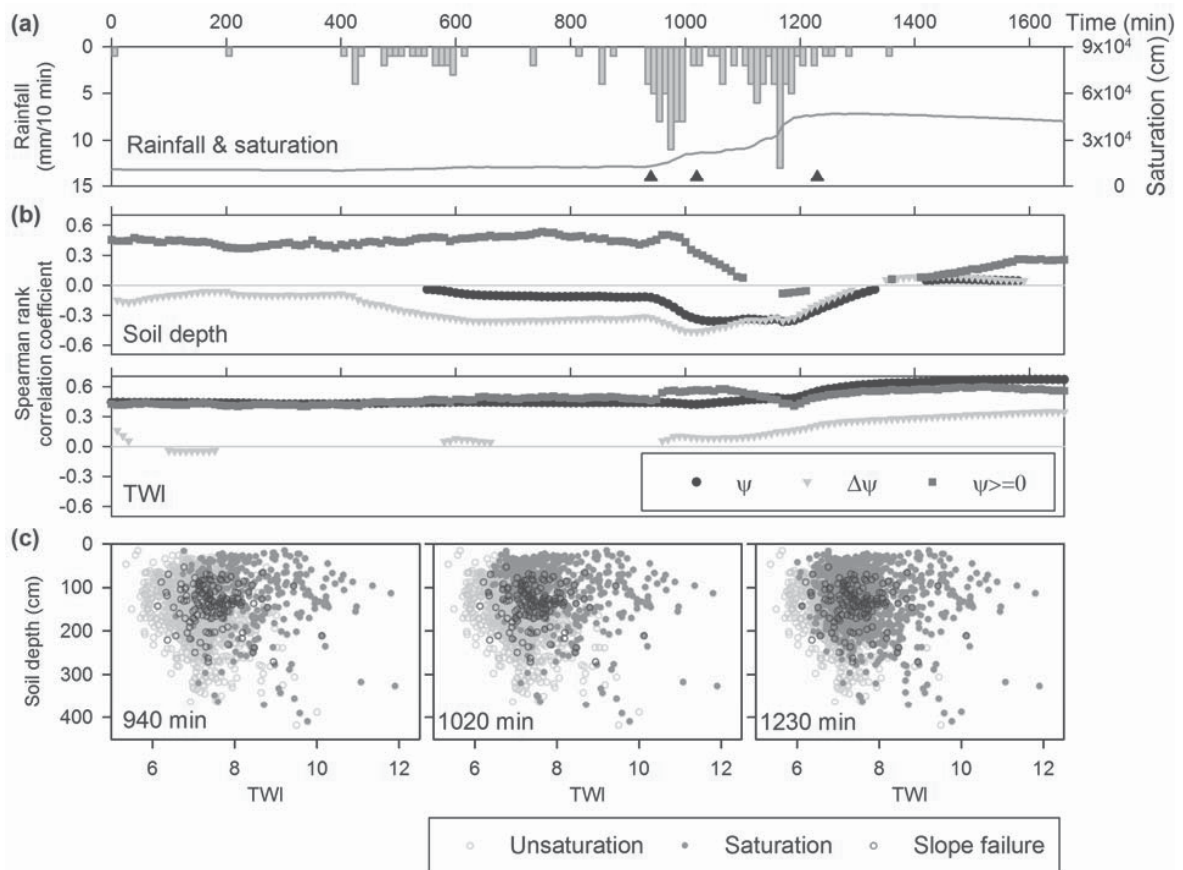


図 1. (a)対象イベントの降雨波形と計算した基岩面飽和量。(b) 基岩面における間隙水圧応答 (ψ : 間隙水圧, $\Delta\psi$: イベントからの間隙水圧変化) と土層厚及び地形指数 (TWI) のスピアマン順位相関係数変動 (統計的に有意な相関係数のみ)。(c) 土層厚と地形指数から見る基岩面に飽和・不飽和箇所の変化と崩壊箇所。