

表層崩壊発生箇所における水文と地形的な要素に関する解析

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

表層崩壊発生メカニズム解明のため、人工斜面を用いた降雨実験による検討が行われてきたが (Iverson et al., 2000, Science), 自然斜面が持つ複雑性・不均一性を人工斜面で再現することは極めて難しい。また、自然斜面の崩壊実験を実施した研究例もあるが (Ochiai et al., 2004, Landslide), 雨水供給は限られた範囲・継続時間であり、実斜面の崩壊現象を解明するには至っていないと言え難い。その代わりに、物理モデルを用いて斜面の水文過程をシミュレーションしたうえで、安定解析を行う手法がよく使われる。ただし、物理モデルの入力条件である地形的な情報や土壌物理特性などは空間ばらつきが大きく、斜面における分布特性が必ずしも再現されていない。さらに、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、どの要素がもっとも寄与していることは未だに厳密に解明されていない。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。そこで、本研究では、地形量と土層厚分布の空間情報を実測し、流域スケールの三次元雨水浸透計算を行い、水文と地形的な要素はどれほど表層崩壊に寄与することを考察した。

2. 対象流域、雨水浸透計算、地形的な解析概要

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。貫入試験により求めた土層厚は、15~417 cm の範囲で分布した。1999 年 6 月に起きた豪雨によって荒谷川で土石流をもたらした、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。

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。レーザプロファイラによって得られた地表面地形データと土層厚の実測情報に基づき、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。計算領域の接点数、四面体数はそれぞれ 7799 個、31826 個である。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、2009 年 7 月 19 日に観測された降雨イベント (総雨量 : 147 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 (総雨量 : 147 mm, 持続時間 : 590 分) 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。

また、本研究では、地形が飽和帯の消長に及ぼす影響を解析するために、基岩面における地形指数を算出し、土層厚、崩壊箇所、計算された間隙水圧の関係を調べた。地形指数とは基岩面にある各節点の集水面積を勾配で除した値のことである。

3. 結果と考察

図-1b は 0, 1070, 1170, 1360 分の間隙水圧の変化と地形指数、土層厚の関係を示している。間隙水圧の変化は、四つの時間ステップの前時間ステップに比べ、飽和から不飽和への変化、不飽和から飽和への変化、飽和で変化なし、不飽和で変化なしの 4 つに分類した。0 分には、土層厚に関係なく地形指数の大きいほど飽和しやすい傾向が見られた。その後 (1070, 1170, 1360 分)、地形指数の 6.9-9 の領域にお

いて土層厚の小さい場所から大きい場所へ徐々に飽和していった。降雨イベントが終了した 1360 分には、土層厚の小さい場所で飽和から不飽和に変わった箇所が見られた。この結果から、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“変動領域”と考えられる。つまり、降雨初期に、基岩面にある飽和帯が主に地形指数に支配され、地形指数の大きい場所に飽和帯が存在する傾向があった。降雨の増加により、基岩面にある飽和帯が土層厚の小さい場所から大きい場所への順に形成され、谷筋と斜面に局所的に分布した。その後、局所的にできた飽和帯が相互に次第に繋がるように拡大し、地中飽和帯の空間分布は地形指数と土層厚の両方が影響したと考えられる。

通常、斜面安定の視点から、集水しやすい場所（地形指数が大きい）やせん断破壊面に荷重の大きい場所（土層厚が大きい）が危険側に入ると考えられる。しかし、本研究の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（図-1c）。つまり、崩壊箇所がほぼ間隙水圧の“変動領域”に含まれ、崩壊箇所の特定には地形的な情報のみで不十分であることを示唆した。本研究では、地形・土層厚の実測情報に基づいて流域スケールにおける三次元雨水浸透計算を行い、“飽和・不飽和変動領域”を特定した。この手法により、表層崩壊発生箇所の予測精度向上やメカニズム解明には有効であることを考えられる。

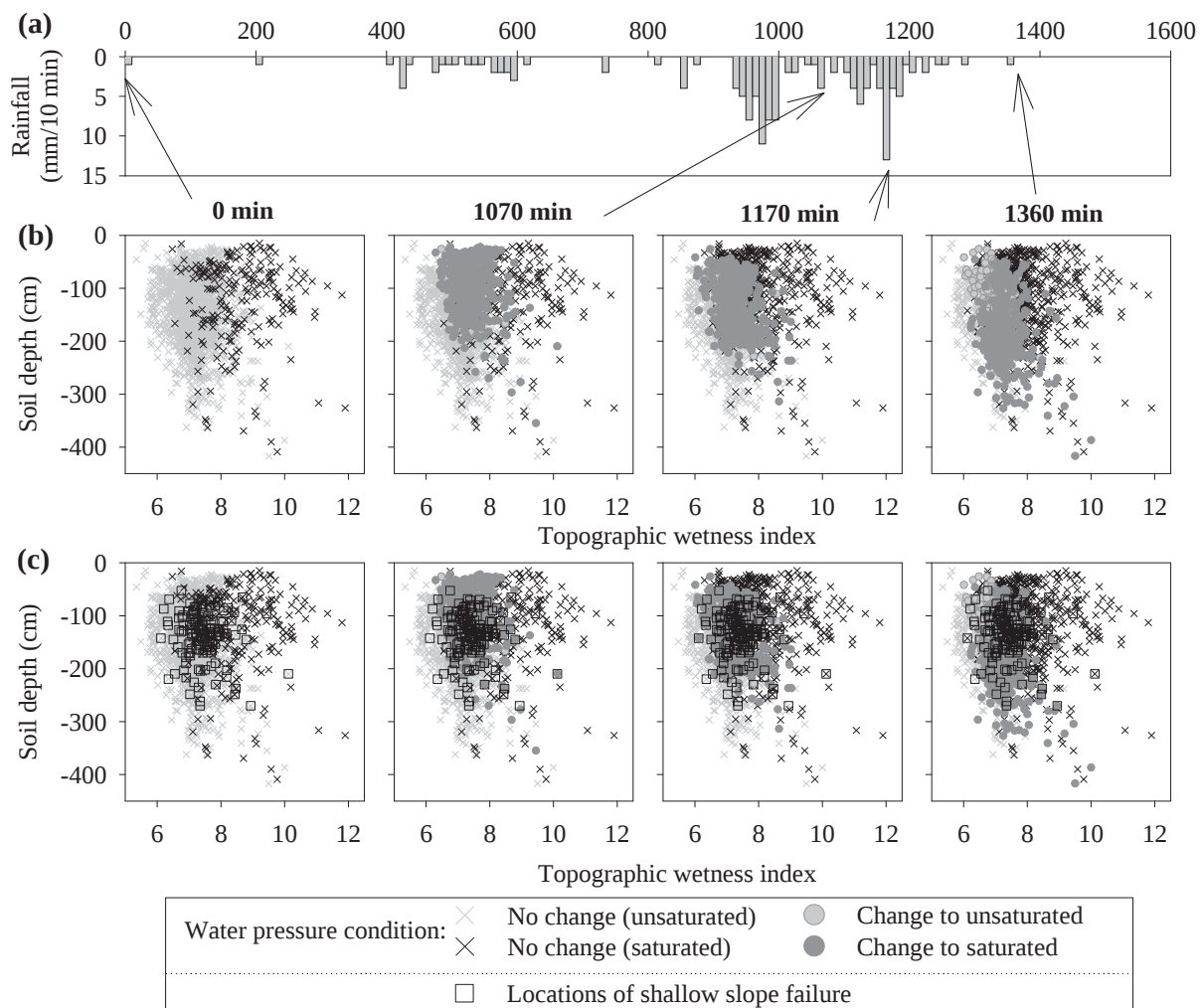


図-1. (a)対象イベントの降雨波形。(b) 数値計算による四つの時間ステップ (0, 1070, 1170, 1360 分) に土層基岩境界面における間隙水圧, 地形指数 (Topographic wetness index), 土層厚の関係, および(c) それらと崩壊箇所の関係。