

三次元雨水浸透計算による降雨流出過程の検証

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

斜面崩壊発生メカニズムを解明するのには、表面地形の情報のみでは不十分であり、土壌水分挙動と降雨流出の観測データは非常に重要な情報だと考えられる。既往研究では、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、例外的に自然斜面の崩壊実験を実施した既往研究 (Ochiai et al., 2004, Landslide) もあるが、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ると言い難い。従って、斜面崩壊予測精度を向上させるために、斜面における雨水流出現象と斜面崩壊現象に大きな影響を及ぼす情報が入力可能な斜面水文物理モデルの構築が期待されている。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試み、飽和・不飽和浸透と降雨流出過程を考察することを目的とした。

2. 対象流域と雨水浸透計算概要

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行った。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、流域の土層厚分布が 15~417 cm の範囲で計測された。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、対象流域の右岸側斜面において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 100 cm を加えた基岩層を計算領域とした。計算領域が 7799 個節点と 31826 個の四面体要素で構成された。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、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。

3. 結果と考察

図-1a は計算された土層と基岩層における飽和・不飽和領域の割合を示している。950 分までは、降雨量が少なかったため、各成分の割合が変動しなかった。その後、降雨強度の上昇に伴い、土層・基岩層とも不飽和領域が減って飽和領域が増えた。土層と基岩層における飽和領域が降雨強度のピークの 1170 分後の 1230 分に最大になり、その後に次第に減っていった。図-1b は間隙水圧の空間分布を示している。地表面では、降雨初期に飽和帯が谷筋に局所的に分布したが、降雨の増加によって徐々にばらばらに存在した飽和帯が互いに繋がった。土層-基岩境界面では、降雨初期から飽和帯が谷筋に連続的に存在し、降雨の増加によって斜面方向にも飽和帯が拡大した。この際、飽和帯が谷筋から尾根へ単調に拡大するのではなく、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た。一方、地表面と同様に、基岩底面では、降雨初期から終了まで飽和帯が谷筋しか分布されなかった。

入力イベントにわたって、不飽和領域が全領域の 87% を占めた。降雨初期では、雨水が主に不飽和領域に吸収され、降雨量と降雨強度の上昇によって局所的に不飽和帯が飽和帯に変わり、谷筋と基岩面に

集中した。地表面と基岩底面に比べ、土層－基岩境界面における間隙水圧の空間分布が降雨の継続に伴って激しく変動した。それは、土層と基岩層にそれぞれ異なる水分特性を持つため、水文的な境界である土層－基岩境界面に飽和・不飽和領域が鋭敏に入れ替わる状況を表現していると考えられる。さらに、土層－基岩境界面において、飽和帯が形成したところは、地形と土層厚の影響を受けて集水しやすい部位だと考えられる。

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、飽和帯の発生・拡大過程を求めた。その結果、ポイント的な現地観測では把握できない飽和帯の発生・拡大過程に関して考察可能となり、斜面崩壊発生や降雨流出メカニズムの解明に有効なツールとなりうることを示した。

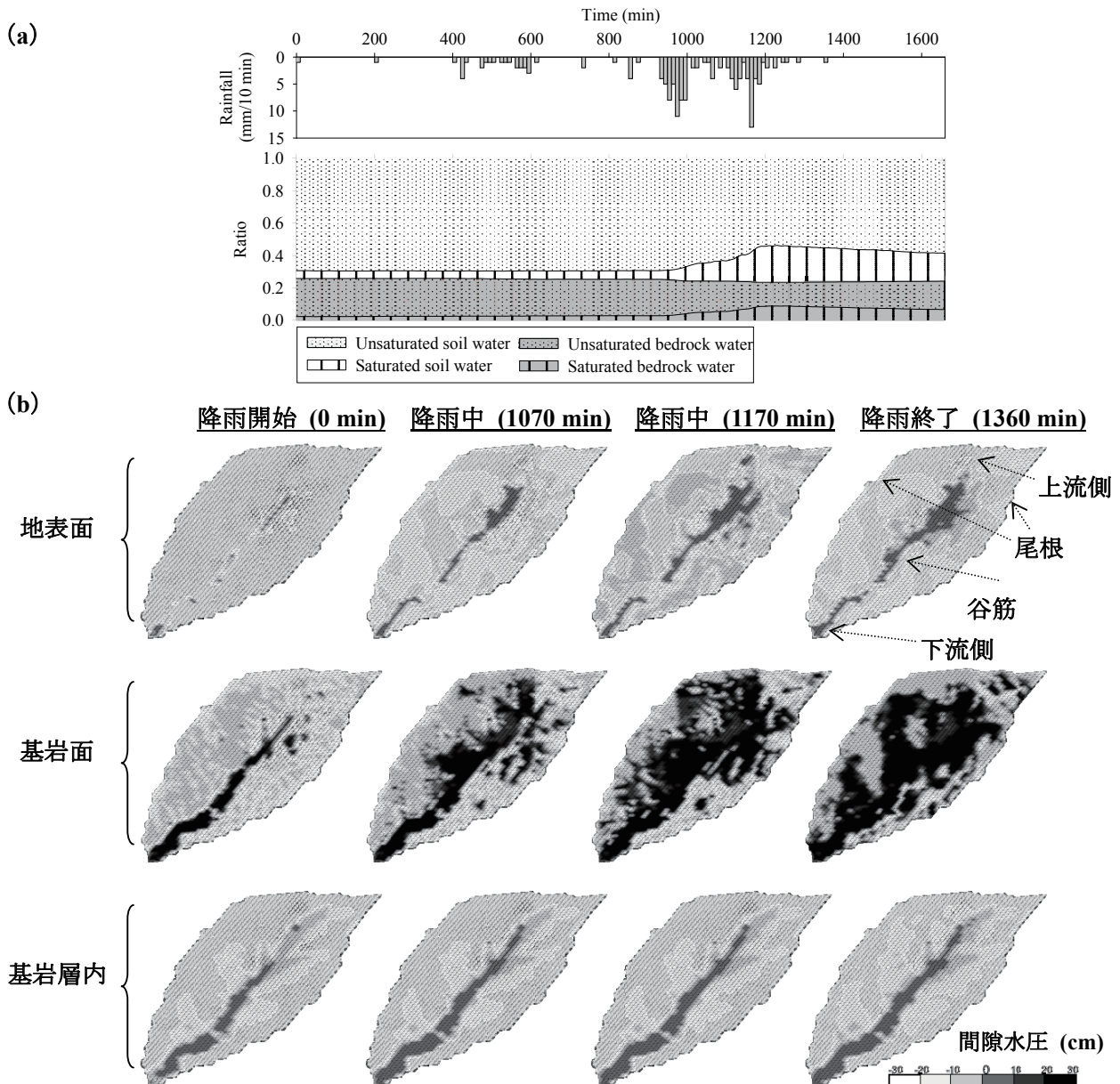


図-1. (a)土層と基岩層における飽和・不飽和領域の割合（各成分の積み重ねで表示）の経時変化，および(b)数値計算による0，1070，1170，1360分後に地表面，土層基岩境界面，基岩層底面における間隙水圧の空間分布。