

1. 研究背景と目的

山地流域源頭部は流出の起源であり、0次谷として崩壊や地すべりが起こりやすいところと認識されている。源頭部における崩壊発生メカニズムを解明するうえで、水文挙動を観測データに基づき理解することは非常に重要である。特に土層内や基岩面飽和帯の形成過程の理解は、表層崩壊発生の予測において極めて重要である。基岩面飽和帯の形成過程を正確に把握するためには、測点の空間分解能の向上が不可欠である。しかし、多地点での長期計測は技術的にも経済的にも負担が大きいため、流域源頭部における基岩面飽和帯を詳細に観測した例が非常に少なかった。本研究では、基岩面における間隙水圧を高密度に計測し、源頭部流域の地形特性と基岩面飽和帯の形成過程を考察することを目的とした。

2. 観測地と項目

観測は台湾宜蘭県における粗坑溪の支溪にある天然林小流域源頭部で行った (24°45'42"N, 121°35'45"E)。年雨量は4125 mmであり、台湾の代表的な多雨地域でもある。源頭部面積は0.15 haであり、基岩は頁岩である。観測地の中に登山道が貫通し、その下部には二つのガリーが存在し、一年を通して流出が見られる (図1)。流出箇所にはガリー侵食が進んでおり、植生が存在せず、それ以外の場所には広葉樹や下層植生による被覆が多く見られる。

本研究ではレーザー距離計を用いて2 m間隔で地表面地形を計測した。113箇所において貫入試験より土層厚を計測し、基岩面地形を推定した。貫入試験を行った60箇所を選んでテンシオメータを埋設し、基岩面直上の間隙水圧を継続的に観測した (図1)。

3. 結果と考察

観測地は急斜面であり、勾配は4~75°、平均41°であった。貫入試験による土層厚分布は0.5~5.1 m (平均: 2.3 m, 標準偏差: 1.2 m)であり、空間的ばらつきが大きかった。本流域の地表面の下部にいくつかの崖があり、その下に隆起する部分が見られた (図1上)。基岩面は比較的凹凸が見られ、右側では階段状な起伏があり、左下側では局所的な陥没や隆起がいくつか見えた (図1下)。地表面と基岩面地形は明らかに異なり、その地形的特徴から、この源頭部においてかつて地すべりが起こったと考えられる。

図2は強い降雨イベントにおける基岩面飽和・不飽和領域の時空間変動を示している。この降雨イベントは2014年の台風によるもので、総雨量は231 mmであった。イベント前半には降雨強度が弱く、飽和帯が右下のガリーと左下の陥没した部分のみ見られた。降雨強度が最大値になってから (9.8 mm/10 min)、基岩面の上部から局所的に飽和帯が形成された (1160 min と 1290 min)。その後、降雨の継続に伴って局所的な飽和帯が拡大して相互に繋がった (1740 min と 25700 min)。降雨が終わってから、基岩面中部から上部へ飽和帯の繋がりが次第になくなり、不飽和の状態に変わった (3420 min)。以上の結果から、降雨中において基岩面飽和帯形成過

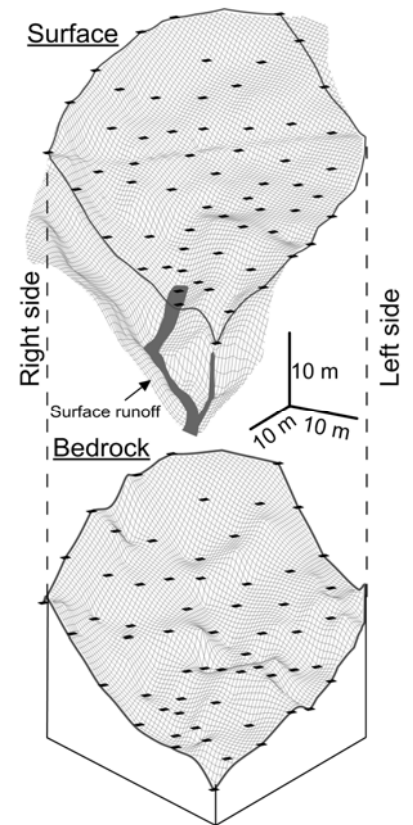


図1. 地表面と基岩層地形。黒い点はテンシオメータの設置位置を示している。

程に二つの段階があると考えられる。(I) 分散から集合へ：基岩面飽和帯が一気に全面に形成されず、局所にできてから、それらの拡大によって繋がった。鉛直浸透過程を考慮すると、速やかに飽和に達した箇所は土層の薄い、透水係数の大きい、あるいは選択流のあるところであろうと考えられた。(II) 上部から下部へ：形成された基岩面飽和帯が概ね上部から下部へ拡大した。それは基岩面の勾配と集水面積に支配されると考えられる。

このような強い降雨イベントにおいても、基岩面の全面に飽和帯が形成されたのではなく、空間的なばらつきが見られた。斜面右側より基岩面左側では飽和帯が発生しにくい傾向が見られ、また発生していたとしても飽和状態の継続時間が短かった。それは基岩の亀裂が影響したと考えられる。基岩面右側は大きな階段状になっており、滑落崖以外は地すべりによる破壊が比較的になかった。そのため、飽和帯がより長く留まったと考えられた。一方、基岩面左側では起伏が大きいことから、基岩が砕けて亀裂や隙間が多い可能性が高い。このため、基岩面に飽和帯が形成されても素早く基岩内に浸透し、基岩面下部への流れが少なかった可能性がある。つまり、飽和帯の形成過程には基岩面地形に支配されるだけでなく、地すべりによる基岩の破壊や亀裂の空間分布も考慮することの重要性が示唆された。

また、降雨前後にも基岩面下部に常に飽和帯が観測された。源頭部と流出の位置を考えると、それは降雨イベントからもたらした新しい水ではなく、基岩内に存在する古い水や恒常地下水であろう。降雨中に基岩面下部に繋がった基岩面飽和帯の一部が地表面に流れ出し、一部が基岩に浸み込んで地下水に寄与したと思われる。

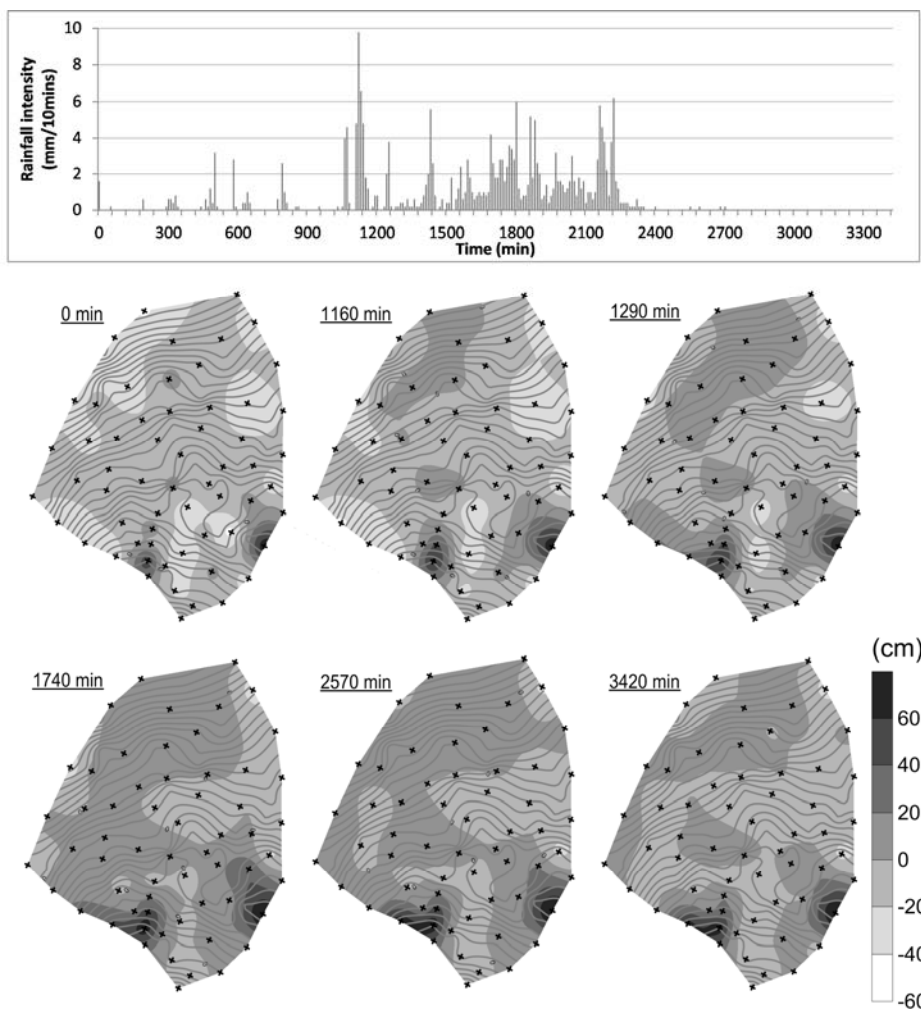


図 2. 降雨中に基岩面における間隙水圧の空間分布。等高線は基岩面地形を示している。