

## 表層崩壊が基岩面飽和帯に与える影響：崩壊前後の現地比較

台湾 国立台湾大学森林学系 梁 偉立

### 1. 研究背景と目的

山地流域の源頭部における基岩面飽和帯は、地表流出の起源であるとともに、表層崩壊の潜在的な破壊面を形成するという、水文・地形両面において極めて重要な役割を果たしている。基岩面飽和帯の形成には、降雨の鉛直浸透による供給のみならず、地下水の上昇による寄与も考えられる。また、基岩面飽和帯に生じる高い間隙水圧は斜面の安定性を低下させるため、表層崩壊の引き金として極めて重要である。しかしながら、表層崩壊の前後にわたる現地観測データが極めて乏しいため、崩壊が基岩面飽和帯の特性に与える影響については、未だ十分に解明されていなかった。

本観測地では、2013年に高空間解像度の基岩面飽和帯モニタリング体制を構築し、2016年に表層崩壊が発生した後、観測地を再整備して崩壊後の観測を継続している。既往の砂防学会研究発表会（2015・2017・2018・2024・2025年）では、台湾の山地源頭部流域における基岩面飽和帯の形成特性、崩壊動態、ならびに水文・地形的特徴を報告した。本研究は続報として、崩壊前後の観測データを用いて、表層崩壊が基岩面飽和帯の特性に与える影響、および源頭部の水源涵養および緩和機能への影響を考察することを目的とした。

### 2. 観測地・崩壊地概要およびデータ解析

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に観測地を設置した（24°45'42"N, 121°35'45"E）。源頭部面積は0.16 haであり、基岩は頁岩と粘板岩から構成されている。観測地は急斜面であり、地表面の勾配は4~75°、平均41°であった。年雨量は約4125 mmであり、明瞭な乾季・雨季の区分はなく、台湾の代表的な多雨地域である。2016年9月の台風MEGI（平成28年台風17号）による豪雨で、観測地の下部がほぼ崩壊し、上部にも表面変位が観測された。破壊面は岩盤内に達していなかったため、源頭部の表層崩壊に分類される。

観測地では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（ $\psi$ ）を継続的に観測した。降雨量および基岩面直上の間隙水圧の時系列データ（10分間隔）を、崩壊前（2013年12月4日~2016年9月27日）および崩壊後（2023年1月17日~2025年7月1日）の2期間にわたって解析した。各測点における観測期間中の $\psi$ の平均値（ $\mu$ ）を算出し、 $\mu \geq 0$  cmH<sub>2</sub>Oの測点を恒常的飽和測点（Perennial saturation）、 $\mu < 0$  cmH<sub>2</sub>Oの測点を一時的飽和測点（Ephemeral saturation）に分類した。

崩壊前後における基岩面飽和帯の特性を比較するため、降雨イベント中の飽和量の最大値および空間平均値を解析した。また、無降雨期間を解析単位として、降雨後の間隙水圧の低下速度（瞬間退水速度）を算出した。瞬間退水速度は以下の式により求めた。

$$\frac{\Delta\psi}{\Delta t} = \frac{\psi_{t_2} - \psi_{t_1}}{\Delta t} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $\Delta t = t_2 - t_1$  は可変の時間間隔である。退水期間を特定するため、 $\Delta\psi < -2$  cmH<sub>2</sub>Oを条件として時刻 $t_1$ および $t_2$ を選定し、瞬間退水速度を算出した。なお、瞬間退水速度は $\psi$ に依存する可能性があるため、時間間隔 $\Delta t$ における $\psi$ の平均値と退水速度との関係についても検討した。

### 3. 結果と考察

降雨イベント中の基岩面飽和量の最大値について (図 1a 上), 崩壊後は恒常的飽和測点における飽和総量が増加した一方, 一時的飽和測点では減少傾向を示した。すべての測点を合わせると, 観測地全体の最大飽和量と積算雨量の回帰関係は, 崩壊前後で明瞭な差異は認められなかった。測点あたりの最大飽和量 (図 1a 下) については, 崩壊後に恒常的飽和測点で明瞭な減少が見られた一方, 一時的飽和測点では崩壊前後の差異は小さかった。観測地全体を見れば, 降雨供給量と最大飽和量の全体的な関係は崩壊前後で変化しなかったものの, 飽和帯の形成特性には変化が生じたことが示された。すなわち, 恒常的飽和測点の数が増加したことで, 飽和帯の空間的な分布域は崩壊前より拡大したものの, 単位測点あたりの飽和量は減少した。

無降雨期間における  $\psi$  の退水速度と  $\psi$  の平均値との関係 (図 1b 上) については, 崩壊後に恒常的飽和測点に対応する  $\psi$  の範囲が明らかにより小さい側へシフトした。一方, 一時的飽和測点では, 崩壊前後での退水速度と  $\psi$  の分布パターンの形状に大きな変化は見られなかった。崩壊前後の退水速度の分布を比較した結果 (図 1b 下), 恒常的飽和測点における退水速度の中央値は崩壊前の 2.1 cmH<sub>2</sub>O/day から崩壊後の 2.9 cmH<sub>2</sub>O/day へ, 一時的飽和測点では 2.4 cmH<sub>2</sub>O/day から 3.3 cmH<sub>2</sub>O/day へと, いずれも崩壊後に有意に上昇した。つまり, 表層崩壊は基岩面における間隙水圧の低下を加速したことが分かった。

以上の結果から, 崩壊後は各測点における飽和帯の形成能力が低下し, 飽和帯の空間分布は拡大したものの単位測点あたりの飽和量は減少したことが示された。また, 崩壊後に退水速度が全体的に上昇したことは, 降雨後における基岩面飽和帯の消退が加速したことを意味する。したがって, 崩壊後は降雨中における基岩面の水源涵養能力, および降雨後の水源緩和能力がともに低下したと考えられる。

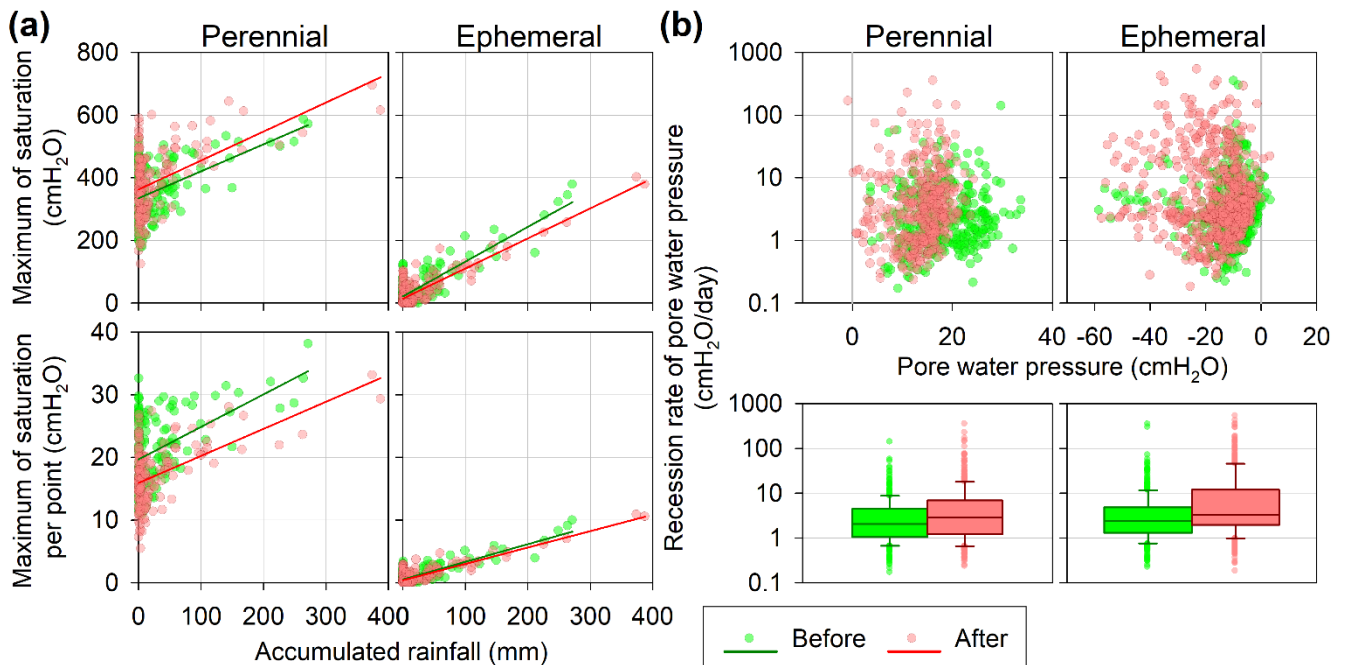


図 1. 崩壊前後における基岩面飽和帯の特性比較。(a) 降雨イベント中に観測された恒常的飽和測点 (Perennial saturation) および一時的飽和測点 (Ephemeral saturation) の最大飽和総量 (上) と単位測点あたりの最大飽和量 (下) と積算雨量との関係。(b) 無降雨期間における間隙水圧と瞬間退水速度の関係 (上), および崩壊前後の退水速度の分布比較 (下)。