

## 山地源頭部における崩壊発生に関する水文と地形的な特徴

台湾 国立台湾大学森林学系 ○梁 偉立

### 1. 研究背景と目的

山地流域の源頭部は、0次谷として崩壊や地すべりが起こりやすい部位と認識されている。降雨による崩壊の発生は水文、地形、土壌、地質、および植生などの要因と関連しており、その中で地形と水文的な働きが最も重要な要素であると考えられる。源頭部における崩壊の発生メカニズムを解明するためには、水文観測に基づいた理解が重要である。近年の研究によれば、表層崩壊の発生には基岩面飽和帯だけでなく地下水の寄与も無視できない。しかし、事前に崩壊箇所を予測して観測を行ったにもかかわらず、必ずしも崩壊発生に限らない。斜面崩壊発生前の情報や現地観測データが非常に少なかったため、斜面崩壊に至る水文プロセスや地形的な特徴が十分に理解されていなかった。2017年と2018年の砂防学会研究発表会では、台湾の山地源頭部流域における崩壊動態を発表した。本研究は続報として、崩壊まで蓄積した情報を用いて、崩壊発生に関する水文と地形的な特徴を考察した。

### 2. 観測地と項目

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)。2012年から2016年9月まで、地形量と地中の水文応答を観測した。源頭部面積は0.16 haであり、基岩は頁岩と粘板岩である。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。地形測量については、レーザー距離計を用いて地表面地形を計測し、貫入試験によって土層厚を計測することで基岩面地形を推定した(図1a)。水文観測については、60箇所にテンシオメータを埋設し、10分ごとに基岩面の間隙水圧を記録した。また、電気探査の測線を3本設定し、2012年から2013年まで電気探査を7回行った。2015年8月の台風SOUDELOR(平成27年台風13号)と9月の台風DUJUAN(平成27年台風21号)による豪雨後に、特定の箇所でテンシオメータのポラスカップが破損し、塩ビパイプの先端も曲がったことから、土層や岩盤などの地下変位が発生したと考えられる。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見られた。すべり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と考えられる(Liang, 2020)。

### 3. 結果と考察

2015の変位イベントでは記録的な降雨量が観測された(観測期間中で第1位および第2位)。この降雨によって地下変位を引き起こしたが、崩壊まで至らなかった。一方、2016年の崩壊イベントでは、観測期間中で第3位の降雨量が観測されたが、それでも少ない雨量で表層崩壊が発生したことが興味深かった。このため、単なる降雨量の特徴だけで崩壊を予測することは困難であることが示唆される。Liang(2020)の解析によれば、この表層崩壊を引き起こした要因は、基岩面に記録的に高い間隙水圧が発生したこと、イベント前に基岩面が湿潤状態を保ったこと、基岩面飽和帯が観測地の下半部に大いに分布していたこと、および地下変位の影響であったとされる。

本研究ではさらに観測地を崩壊領域と非崩壊領域に分け、地表面と基岩面地形の勾配、集水面積、地形湿潤指数、土層厚の相関を分析した。その結果、地表面と基岩面の地形量がいずれも低い相関を示したが、崩壊領域では小さい土層厚を持つ傾向があった。つまり、地形特徴だけで崩壊箇所を検出することは困難だが、崩壊箇所がやや遷急線の下部にあるように見える(図1aと1b)。水文解析については、各箇所における2013年12月から2016年9月までの間隙水圧の平均値を計算した。60箇所の中で、19箇所が崩壊範囲に入った。19箇所における間隙水圧の平均値が0を超えたのはわずか8箇所であり、11箇所では常に不飽和状態であった。普段ほとんど飽和しない箇所が豪雨の際に飽和したため、斜面の安

定性が過去のイベント時より低下し、崩壊に至ったと考えられる。したがって、崩壊の予測には基岩面における常に飽和している部位だけではなく、その周辺に普段ほとんど飽和しない部位も考慮すべきことが示唆される。図 1b は先行降雨指数の高い状態（左）と低い状態（右）によって電気探査結果を示している。両者ともに基岩面以下の比抵抗が低く、基岩面以上の比抵抗が高く分布していた。また、斜面方向では上部よりも下部の比抵抗が高くなっていた。図 1c はこれら二つの例の比抵抗変化率を計算し、地質の寄与を除いて積算雨量が多ければ比抵抗がどう変化するかを示している。比抵抗変化率がマイナスになることは比抵抗が下がって水が増えることを意味する。結果では土層がより湿っていたが、基岩内には必ずしも地下水が増えなく、空間的にばらついた。測線 1 と 3 の下部では、崩壊前に常に表面流出が発生していたことから、基岩内における地下水の寄与が高かったと考えられる。さらに、下部が崩壊範囲にも入ったため、基岩面飽和帯の拡大だけではなく、地下水の供与が崩壊につながる一因でもありとされる。

以上、本研究では源頭部で発生した表層崩壊に関する水文と地形的な特徴を明らかにした。まず、小さい土層厚を持つ斜面下部で崩壊が発生したが、事前に勾配や集水面積などの地形量から崩壊箇所を予測や抽出することが難しいことが示された。基岩面における間隙水圧と電気探査の結果から、基岩面に記録的に高い間隙水圧が発生したことが崩壊に至った要因である。ただし、基岩面飽和帯の形成には、降雨の鉛直浸透に加え、基岩内における地下水の寄与が大きかったことが示された。したがって、崩壊予測や斜面安定性解析には、このような異なる飽和帯の起源と形成生成プロセスをまとめて考慮する必要があることが示唆される。

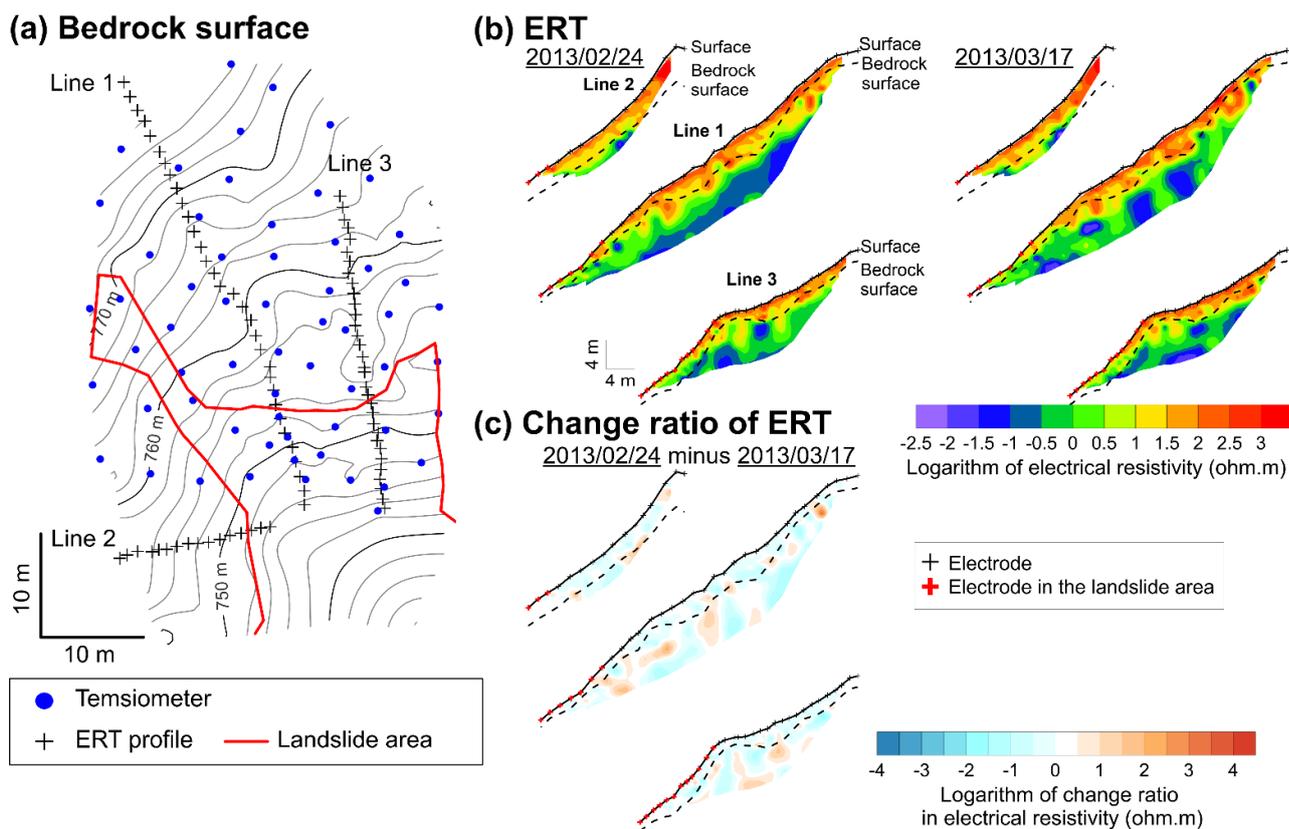


図 1. (a) 電気探査測線および基岩面における圧力水頭測点。積算雨量の多い日 (2/24) と少ない日 (3/17) に測定した (b) 電気抵抗トモグラフィと (c) その変化率。

引用文献：Liang, W.-L., 2020. Dynamics of pore water pressure at the soil–bedrock interface recorded during a rainfall-induced shallow landslide in a steep natural forested headwater catchment, Taiwan. *Journal of Hydrology*, 587: 125003.