

山地斜面の降雨・地震時挙動の観測 Hydrological and Seismic Observations at Mountainous slopes

○荒井紀之・山崎新太郎・土井一生
○Noriyuki ARAI, Shintaro YAMASAKI, Issei DOI

To reveal the mechanism of deep-seated catastrophic landslides by heavy rainfall and large subduction-zone earthquake in outer zone of Southwest Japan, we selected a model slope for rainfall-induced landslide and a model slope for earthquake-induced landslide, and undertook detailed geological mapping, hydrological and seismic observations at the slopes. As a result, the outstanding deformations have not been observed by the measurements by relatively small rainfall and seismic events, but a small-scale slope failure occurred at the model slope of rainfall during rainy season and the vibration by this failure was recorded.

1. はじめに

西南日本外帯では、台風に伴う豪雨や南海トラフ沿いの巨大地震等に伴い、多数の深層崩壊が発生してきた。西南日本外帯の基盤を構成しているのは四万十帯や秩父帯等の付加体および三波川変成帯である。付加体は、海溝において陸源性の堆積物と、海洋底に堆積した堆積物や海洋地殻表層を構成する玄武岩が付加され、その後、埋没に伴う圧密、続成・変成作用を受けるとともに、短縮に伴うせん断変形を受け、様々な規模の衝上断層が発達した地質体である。三波川変成帯はこれらの岩石が低温高圧の変成作用を受け片理の発達した地質体である。著者らは、2011年に台風の豪雨により深層崩壊が多発した紀伊山地中央部を対象として詳細な地質調査を行い、降雨による深層崩壊が粘土質の破碎帯を伴う衝上断層沿いに発生していることを見出した (Arai and Chigira, 2018)。一方、著者らは、四国山地の地震による深層崩壊の予察調査から、これらの地震による深層崩壊は、厚い破碎帯を伴わずに、砂岩、結晶片岩等の硬質岩を主体とする地層が重力によって座屈したり、折れ曲ったりしている斜面に発生していることを見出した。以上の観察結果から、大量の降雨が誘因となって発生する深層崩壊 (降雨型) と、地震で発生する深層崩壊 (地震型) とで、発生場とメカニズムが異なるのではないかと着想した。

本研究の目的は、西南日本外帯において豪雨により発生する深層崩壊と、地震により発生する深層崩壊のそれぞれの発生メカニズムを解明するこ

とである。そのために、紀伊山地と四国山地において降雨型崩壊斜面と地震型崩壊斜面を選定し、地質構造、重力斜面変形の様式、程度を比較するとともに、降雨と地震に対する地下水位と斜面変形、振動特性を計測し、各崩壊発生メカニズムの違いを明らかにする。

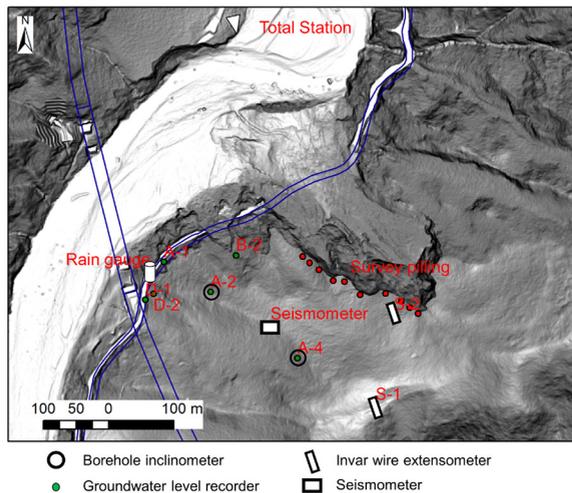
2. 降雨型崩壊斜面と地震型崩壊斜面の選定

降雨型崩壊斜面として、2011年に台風12号の大雨により深層崩壊が多発した紀伊山地中央部を、地震型崩壊斜面として、1857年の安芸伊予地震等により崩壊が発生した四国山地中央部を選定した。図-1に各モデル斜面の1mDEMから作成した傾斜図 (暗部ほど急傾斜) を示す。前者では、粘土質の破碎帯からなる衝上断層が斜面と平行に存在する可能性が大きく、線状凹地が崩壊地の南側緩斜面上部に、谷向き小崖が斜面中腹に複数含まれる。後者では、片理面が南東方向へ約30°傾斜し、北東-南西方向に伸びる尾根の北西側は、トップリングにより岩盤が北西方向へお辞儀をするように変形していると推定される。

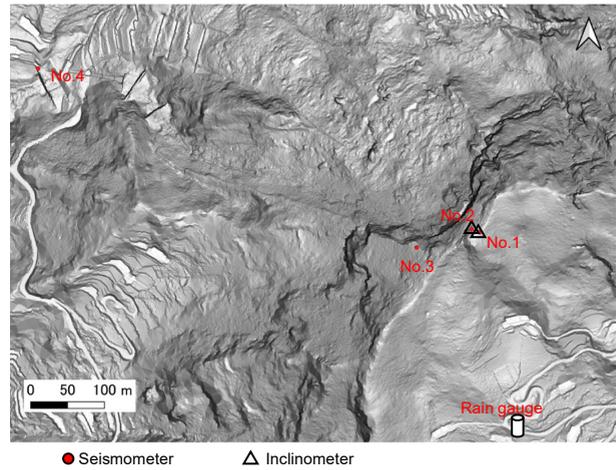
3. 計測方法

降雨型崩壊斜面では、降雨や地震に対する斜面応答を把握するために、降水量、既設ボーリング孔地下水、既設孔内傾斜計、伸縮計、杭の変位計測を行った。地震計測は、斜面中腹に速度型高精度地震計を設置した。

地震型モデル斜面では、速度型高精度地震計を



降雨型崩壊斜面



地震型崩壊斜面

図-1 計測斜面

崩壊部直上の尾根に露出する岩盤 (No. 1)、尾根下部の亀裂の発達した岩盤 (No. 2)、崩壊部南西側の緩斜面 (No. 3)、および崩壊部下流の砂防堰堤上 (No. 4) に設置した。斜面の変形を計測するために、傾斜計を尾根と尾根下部の地震計設置個所に近接して設置した。また、雨量計を図中に示す位置に設置した。

地震計による計測ではサンプリング間隔 0.01 秒で速度の 3 成分 (上下, 南北, 東西) を計測した。得られた速度波形データは、S 波到達から一定時間 (地震波の継続時間に応じて 5 秒から 20 秒) のデータを切り出し、フーリエ変換した後、速度、加速度スペクトルを求めた。そして、水平上下スペクトル比 (HVSR) を算出し、斜面の増幅特性を調べた。

4. 計測結果

4.1 降雨型斜面

計測は 2019 年 4 月 25 日に開始した。これまでの顕著な降雨イベントとして、2019 年 8 月 12 日から 8 月 16 日に台風 10 号の通過に伴う 467mm の降雨、2020 年 6 月 30 日から 7 月 17 日の梅雨に伴う 835mm の降雨である (雨量計の不具合により 2.6km 南方に位置する上野地観測データを使用)。後者の降雨により、2011 年の崩壊部の南西側方崖から派生した小崖下の斜面の一部が崩壊した。崩壊部の面積は約 3300m² である。この崩壊発生時の状況は、伸縮計 S-2 や地震計に記録されていた。一方、斜面最上部の線状凹地に設置した伸縮計 S-1 には、この降雨による変状は認められなかった。

この小崩壊により発生した斜面振動を分析したところ、2020 年 7 月 9 日 23 時 35 分から 36 分にかけて 2 回の波群が記録されていた。これらの波形の特徴は、振動が徐々に大きくなりピーク後に徐々に減衰する形態をもつことである。ランニングスペクトルを計算したところ、卓越周波数は 3-8 Hz で、時間の経過とともに卓越周波数が徐々に高周波側にシフトする状態が数回繰り返されていた。

4.2 地震型斜面

計測は 2020 年 10 月 6 日に開始した。計測期間が短いため、3 個の近地地震しか観測されていない。これらの地震の最大加速度は 11.6gal である。降雨イベントとして、2020 年 10 月 7 日から 10 月 10 日に 128mm、10 月 22 日から 10 月 23 日に 88mm があつた。傾斜計には顕著な変化は認められない。

地震計のデータを分析したところ、堰堤に設置した地震計 (No. 4) に対して、尾根 (No. 1) や尾根下部 (No. 2)、崩壊部南西側斜面 (No. 3) に設置した地震計の S 波の N-S 成分、E-W 成分が増幅される傾向があり、特に No. 3 地点では増幅率が大きい傾向にある。また、スペクトル分布を比較すると No. 3 地点は他の地点に比較して 10Hz 以上の高周波成分が卓越する傾向にある。これらの増幅特性は尾根地形や斜面を構成している地盤物性に依存していると考えられるが今後、データを蓄積し原因を追究していきたい。

参考文献

Arai N, Chigira M., 2018. Rain-induced deep-seated catastrophic rockslides controlled by a thrust fault and river incision in an accretionary complex in the Shimanto Belt, Japan. *Island Arc*, e12245. <https://doi.org/10.1111/iar.12245>