

重力変形斜面の降雨・地震時挙動の観測 Hydrological and Seismic Observations at a Gravitationally Deformed Slope

○荒井紀之・千木良雅弘・土井一生
○Noriyuki ARAI, Masahiro CHIGIRA, Issei DOI

To reveal the mechanism of deep-seated catastrophic landslides (DCLs) by heavy rainfall and large subduction-zone earthquake in accretionary complexes, we undertook detailed geological mapping, hydrological and seismic observations at a gravitationally deformed slope in the middle of the Kii peninsula. As a result, we found a thrust fault zone with clayey crush zones in the slope. The outstanding deformations have not been observed by the measurements by relatively small rainfall and seismic events, but seismic amplification characteristics were obtained in this slope.

1. はじめに

西南日本外帯では、数 100 年間隔で豪雨や海溝型巨大地震により巨大崩壊が発生してきた。しかし、その発生メカニズムや発生場所の地形・地質学的条件については研究例が乏しい。筆者らは、西南日本外帯に広く分布する四万十帯の付加体中の衝上断層の分布と、重力斜面変形や深層崩壊の発生場所について密接な関係のあることを指摘してきた (Arai and Chigira, 2019)。本研究では、紀伊山地中央部において、四万十付加体が分布する重力変形斜面において、降雨や地震に対する地下水位や斜面応答を計測し、深層崩壊発生メカニズムの解明を試みた。

2. 計測対象斜面と計測方法

計測対象面は、紀伊山地中央部の十津川沿いに位置する。地質は、四万十付加体の美山コンプレックスに属する破断層や混在岩が分布する。図-1 に、対象斜面周辺の著者らによる地質図を示す。計測対象斜面の地質構造は、北から北西傾斜の流れ盤構造をなし、十津川沿いの連続露頭観察結果や既設調査ボーリング結果より、非固結の断層岩を伴う衝上断層帯が斜面内を横断していると推定された。この斜面では、2011 年の台風 12 号による紀伊山地災害時に、小規模な深層崩壊が当該斜面北東部で発生している。

図-2 に計測位置図を示す。降雨や地震に対する斜面内の地下水位や変形挙動を計測するために、降水量、既設ボーリング孔地下水位、既設孔内傾斜計、伸縮計、杭の変位計測を行った。地震計測

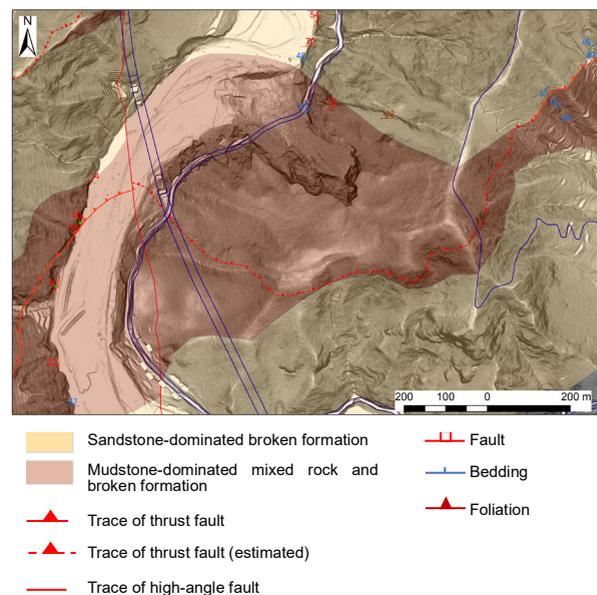


図-1 計測対象斜面周辺の地質図

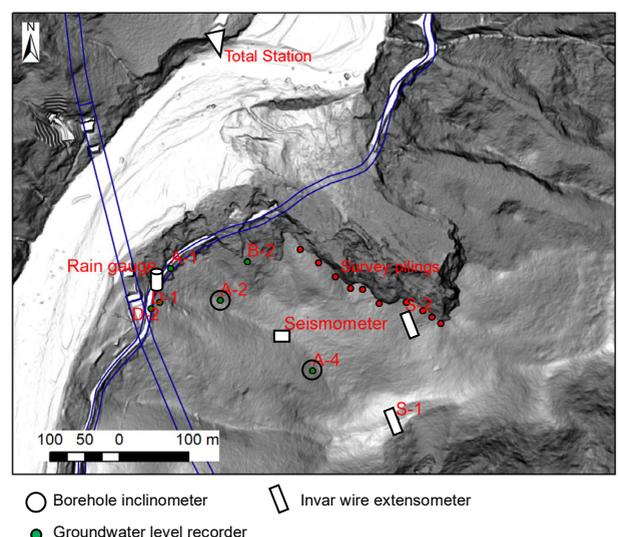


図-2 計測配置

は、斜面中腹に速度型高精度地震計を設置し、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。各計測器の仕様を表 1 に示す。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、高速フーリエ変換した後、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、斜面による増幅特性を調べた。

3. 計測結果

3.1 降雨と地下水位、斜面変形

降雨量の計測は、2019 年 4 月 25 日に開始し 2019 年 12 月末で 2247 mm であった。顕著な降雨イベントとしては、2019 年 8 月 12 日から 8 月 16 日に台風 10 号の通過に伴い 467mm の降雨を記録した。この時、D-1 孔で約 7.5 m の水位上昇が認められた。気象庁メダス雨量データによると、計測対象斜面の約 8.6 km 南方に位置する風屋計測点における 2019 年の年降水量は 2683 mm で、紀伊山地で豪雨災害が発生した 2011 年の年降水量 4334 mm の約 60 %であった。

降雨に伴う斜面の変状については、2011 年の崩壊箇所の南西側側方崖の小崩壊や、この側方崖から南西側斜面に延びる小崖沿いの変形が、降雨イベントに伴い伸縮計 S-2 や杭変位計測において認められた。一方、斜面最上部の線状凹地に設置した伸縮計 S-1 においては、降雨に伴う変状は認められなかった。

斜面上部に設置した孔内傾斜計 A-4 の孔口における累積変位量は 110 日間で 14.0 mm で、斜面傾斜方向（N63° W）に変位していた。計測回数が限られるため、降雨との関係は不明である。

3.2 地震計測

計測期間中に解析可能な 9 個の近地地震が観測できた。得られた地震データの最大水平加速度は 1—14 gal である。いずれも微小地震であり、これらの地震による地下水位の変動や斜面変形は認められなかった。図 3 に、斜面の増幅特性を示す。細い実線は、個々の地震データから得られた HVSr であり、これらを平均したのが太い実線である。このグラフより 2.3—3.9 Hz について HVSr が 20 以上を示す結果が得られた。

4. まとめ

付加体で発生する深層崩壊の発生メカニズムを

表 1 計測器仕様

計測項目	計測器	備考
地震	3 成分速度型地震センサー	固有周波数 2Hz
移動杭	ノンプリズム光波測距儀	測距精度 ±(5mm+3ppm*D(距離)), 測角精度 5"
伸縮計	伸縮データ収録装置	分解能 0.1mm, 直線性誤差 ±0.4mm/200mm
孔内傾斜計	孔内傾斜計	分解能 10 秒以下, 直線性 0.05%FS
地下水位	水位データ収録装置	分解能 cm, ±0.1%FS, 水圧式水位センサー
雨量	転倒枡型雨量計	精度 2%以内 (100mm/hr)

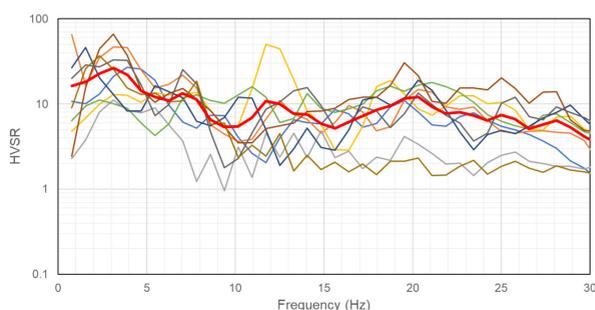


図 3 S 波の HVSr 曲線

太い赤線は平均値、細い実線は個々の地震の値

解明するために、過去に小規模な深層崩壊が発生した重力変形斜面を対象として、詳細な地質調査と降雨や地震動に伴う斜面計測を行った。地質調査の結果、非固結の粘土質破砕帯を伴うせん断ゾーンが、斜面とほぼ平行に存在する可能性が大きいことがわかった。また、約 8 ヶ月間の斜面計測の結果、計測期間内の顕著な降雨、地震イベントは、台風 10 号に伴う 467 mm の降水、水平最大加速度 14 gal の近地地震であった。この降雨に伴い、既崩壊部側壁の小崩壊や小崖の変形が認められたが、斜面全体の顕著な変状は認められなかった。これは、今回の降雨や地震イベントの規模が相対的に小さく、深層崩壊発生の条件に至らなかったためと考えられる。深層崩壊の発生頻度が表層崩壊にくらべて小さいことから、その発生メカニズムの解明のためには継続的な観測が必要である。

参考文献

Arai N, Chigira M., 2019. Distribution of gravitational slope deformation and deep-seated landslides controlled by thrust faults in the Shimanto accretionary complex. *Engineering Geology*, 260, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105236>.