

トウジ山における地震時挙動の観測 Seismic observation at Toujiyama, Shikoku, Japan

○荒井紀之・山崎新太郎・土井一生

○Noriyuki ARAI, Shintarou YAMASAKI, Issei DOI

To reveal the mechanism of deep-seated catastrophic landslides (DCLs) by large subduction-zone earthquakes and inland earthquakes in accretionary complexes, including metamorphic rocks, we undertook seismic observations and detailed geological mapping at Toujiyama, Shikoku, Japan. In this area, DCLs have been repeatedly formed by large earthquakes and heavy rainfall. As a result, seismic amplification characteristics and geological causes were obtained in this slope.

1. はじめに

西南日本外帯では、台風や梅雨前線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。しかし、これらの崩壊メカニズムや発生場に関する地質・地形条件については十分に解明されているとは言えない。

本研究の目的は、西南日本外帯において主として地震を誘因として発生する深層崩壊の発生メカニズムを解明することである。そのための基礎データを得るために、過去に地震により崩壊が繰り返し発生している四国山地中央に位置するトウジ山を選定し、地震計による斜面振動計測を行い地震動増幅特性を調べた。また、この場所で崩壊が繰り返し発生する要因を、周辺の地質構造から明らかにする。

2. 研究対象斜面

研究対象斜面として、高知県大豊町のトウジ山を選定した。この斜面では1686年の貞享安芸伊予地震等がきっかけとなり崩壊が発生したとの記録がある。図-1に1mDEMから作成した傾斜図(暗部ほど急傾斜)を示す。北東-南西方向に伸びる尾根の北西側は、比高約30mの眉状の崩壊崖をなしている。地質は三波川変成帯に位置する。

3. 研究方法

研究対象斜面周辺の地質・地形の特徴を調べるために地質踏査、1mDEMを用いた地形判読を行った。斜面の地震動を計測するために速度型地震

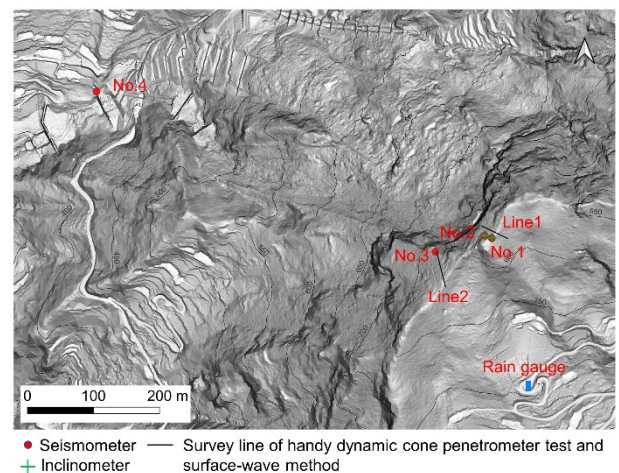


図-1 研究対象斜面

計を計4台設置した。設置場所を図-1に示す。設置場所として尾根の岩盤露出部(No.1)、尾根直下で複数の割れ目が含まれる岩盤露出部(No.2)、尾根から約35m離れた斜面上で東西方向の崩壊崖から約7m地点の表土上(No.3)、No.1地震計から約640m離れたコンクリート製の堰堤上部(No.4)である。この他、斜面の動きを計測するために地表面傾斜計をNo.1とNo.2地震計に隣接する岩盤上に設置した。また、斜面表面の気温を計測するためにNo.1とNo.2地震計のほぼ中間地点に温度計を設置した。雨量計を尾根の南東向き斜面に設置した。また、斜面上の被覆層の厚さや斜面表層のS波速度構造を調べるために簡易貫入試験と表面波探査を行った。

4. 結果

(1) 地質

勝見 (2018) が報告しているように、トウジ山が位置する北東—南西方向に伸びる尾根沿いには硬質な珪質片岩、塩基性片岩が分布し、尾根の北西側と南東側には主に泥質片岩が分布している。片理の平均的な走向傾斜が N40°E, 30°-50°SE で、崩壊崖側は受盤構造をなす。局所的に東西方向で東側に 10°から 20°プランジした波長数 cm から数 m の褶曲構造が発達し、この褶曲軸面に沿い開口割れ目が認められる。泥質片岩が分布する南東向き斜面や北西向き斜面上には、徐動性の地すべりが多数分布している。これに対して尾根の北西側は急崖をなし崩壊地形が発達している。

(2) 地震観測

2020 年 10 月から 2022 年 9 月までの 2 年間に、紀伊半島西部から四国および九州東岸域で発生した約 80 個の近地地震が観測できた。これらの地震によりトウジ山で観測された水平最大加速度と水平最大速度はそれぞれ 52gal, 0.93kine である。

地震動の増幅特性を調べるために各地点で観測された地震波の S 波を対象として HVSR (Horizontal to Vertical component Spectral Ratio) と SSR (Standard Spectral Ratio of the Records) を算出した。その結果、尾根に位置する No.1 では、1.6~9.3Hz にかけて HVSR が 2.9~4.1 の値をとり、ピークは 7.0Hz に認められた。尾根直下約 10m 地点に位置する No.2 では、1.6~3.1Hz に HVSR が 3.0~3.2 の値をとり、ピークは 2.3Hz であり、6.3Hz にも 3.1 のピークが認められた。尾根から約 35m 離れ急崖の端部に位置する No.3 では、6.3~7.0Hz に HVSR が 5 以上の値をとり、14.1Hz において 5.8 の最大値をとった。急崖から約 640m 下流側の堰堤上に位置する No.4 では HVSR は 2.2 以下の値をとり、他の観測点にくらべて増幅率が小さくなった。

HVSR と比較するために、No.4 地震計を基準点として水平成分の SSR を算出した。その結果、No.1 と No.2 の SSR は 2.3Hz に 3.2 のなだらかなピークが認められた。No.3 の SSR は 13.3~18.8Hz において 8.5~13 倍となった。

S 波の軌道を分析したところ、No.1, No.2, No.3 は NW-SE から NNW-SSE 方向を示すものが多いのに対し、No.4 は定向性が認められない。

(3) 簡易貫入試験

測線 1 の尾根から崩壊崖側の斜面では表土層の厚さは 50cm から 90cm で、ところどころで露岩し

ている。測線 2 では、尾根付近は部分的に露岩し、表土層の厚さは数 10cm 程度である。崩壊崖側の斜面では基岩までの深度は、1m から 4m で、斜面下部で深度が急に深くなる傾向がある。

(4) 表面波探査

測線 2 では、斜面下方に向かいステップ状に S 波速度が低下する構造が認められる。尾根付近の斜面表層の S 波速度が 360m/s 以上であるのに対して、測線中腹に層厚 2m で S 波速度が 220~280m/s のゾーン、No.3 地震計付近では層厚約 4m で S 波速度が 150~200m/s のゾーンが認められる。これらのゾーンは簡易貫入試験結果から基岩上の被覆層に相当し、基岩が階段状に落ち込んでいると推定される。

5. まとめ

・トウジ山で繰り返し崩壊が発生している素因は、尾根沿いに硬質な珪質片岩や塩基性片岩が分布し差別侵食により急峻な地形を形成しやすいこととこの地域に局所的に発達する東西方向の褶曲構造に付随する高角の開口割れ目の存在がある。

・HVSR, SSR により地震波の増幅特性を調べた結果、尾根において 1.6~3.9Hz で 3~4 倍、尾根から約 35m 下った斜面上では 13.3~18.8Hz で約 6~13 倍となった。前者は、尾根と谷の配列による地形効果により、後者は斜面表層の被覆層による S 波の重複反射によりほぼ説明可能である。

謝辞

本研究を行うにあたり、京都大学教育研究振興財団より令和 2 年度研究活動推進助成の一部を使用しました。本研究は文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 (第 2 次)」の支援を受けました。高知県林業振興・環境部中央東林業事務所からトウジ山の治山事業に関する報告書、計測データの一部を提供していただいた。国土交通省四国地方整備局四国山地砂防事務所、林野庁四国森林管理局よりトウジ山周辺の DEM データを提供していただいた。ここに深くお礼申し上げます。

参考文献

勝見泰次 (2018) : 南海トラフ地震による大規模崩壊の地質・地形的特徴, 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地球物理分野修士論文 (未刊)