

# 山腹のゆるみを形成する断裂構造の事例的考察

(株)新日本技術コンサルタント 正会員 ○平田洋士・西内浩二 非会員 中島 溪  
第一復建(株) 正会員 吉村辰朗  
宮崎大学工学部社会環境システム工学科 正会員 末次大輔

## 1. はじめに

これまで $\gamma$ 線探査で同じ外力条件(降雨・地震)に対して斜面の崩壊、切土工事に伴うのり面の崩壊箇所を調査し、類似する条件の中でなぜそこが崩壊したのかに着目してきた<sup>1)2)</sup>。その結果、崩壊地に断裂構造が影響をしていることを確認した。しかも、崩壊箇所を主断裂・共役断裂で取り囲むエリアに地下水が流入することによって山腹のゆるみが進行し、地震時には地盤の揺れが異なることによって崩壊に至る可能性について考察している。

2018年7月の台風7号後の前線活動発達による豪雨によって宮崎県小林市北部に位置する斜面の崩壊が発生した。この崩壊の原因を把握する目的で $\gamma$ 線探査を実施した結果、崩壊地内およびその周辺に主断裂・共役断裂で構成される断裂構造の存在を確認した。また、この崩壊地では地すべり変位を計測しているが、2020年2月の初めより変位が急増し「無降雨時等崩壊」の前兆と考えられた。

本論文では、小林市の斜面崩壊における断裂の影響と「無降雨時等崩壊」の可能性について考察する。

## 2. 断裂を検出する $\gamma$ 線探査方法

山岳部における断層や断裂など地質的弱線は、繁茂する植生や崩積土の堆積などによって直接把握することは困難であるため、小さな断層や伏在断層の把握はほとんど不可能な状況である。このような状況の下で共著者の吉村は、岩石に含まれる自然放射線の強度をシンチレーションサーベイメータ(TCS-172B, アロカ社製)を用いて断層・断裂の存在を特定する方法を開発し適用している<sup>2)</sup>。すなわち、①地形判読による断層・断裂の位置の推定。②尾根部や崩積土が堆積していない地山露頭で測線を設定し、測線上を1~2m間隔で $\gamma$ 線強度を計測。③ $\gamma$ 線強度の異常値が生じた場合測定間隔を狭め、最終的には10cm間隔で境界a1を特定。④もう一方の境界a2を特定。⑤並行する測線で同様に計測しb1, b2を特定。⑥a1, b1およびa2, b2を結ぶことによって断層・断裂幅およびその方向を特定。

## 3. 斜面崩壊箇所周辺の地形と地質

崩壊箇所は、宮崎県小林市北部に位置する斜面であり、



図1 調査地周辺の地質

急峻な山岳地形からなる。崩壊が発生した箇所の上部尾根には特徴的な鞍部が見られ、北西-南東方向に延びる断層に規制された崩壊の可能性がある。明瞭な地すべり地形は認められず、「地すべり地形分布図」(防災科学技術研究所発行)にも地すべり地形は抽出されていない。

崩壊箇所周辺の地質は、新生代古第三紀始新世~漸新世の日向層群からなる。日向層群は「四万十帯の付加コンプレックス」と定義され、主に砂岩、泥岩、砂岩泥岩互層および乱雑層から構成される(図-1)。

## 4. 崩壊の特徴と $\gamma$ 線調査と山腹ゆるみ形成の考察

2018年7月の台風7号豪雨により斜面が崩壊し、災害復旧工事時(2019年10月)に地すべりと思われる変位を確認した。2019年9月末から計器観測が実施されているが、観測中には降雨はほとんど見られなかったが、地すべり頭部に設置した地盤伸縮計では図-2に示すように2020年2月初めより変位が顕著になっており、いわゆる「無降雨時等の崩壊」の前兆を呈していると考えられる。

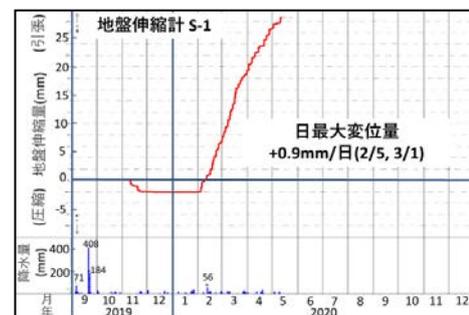


図-2 地表面伸縮計変動図(S-1)

崩壊箇所付近にNEおよびNW方向の断裂が推定されたため、崩壊に関わる断裂分布を定量的に把握する目的で、 $\gamma$ 線探査を実施した。A測線は尾根に設定し、測線長は図-3に示す通り180m、測点間隔は3mである。同図には図-4の $\gamma$ 線測定結果から特定された5本の断裂を示している。A測線上の地質は砂質頁岩および泥岩である。断裂の幅は①4.3m、②2.3m、③2.4m、④5.6m、⑤3.2mであった。

崩壊箇所における断裂の分布は、主断裂(断裂②)およ

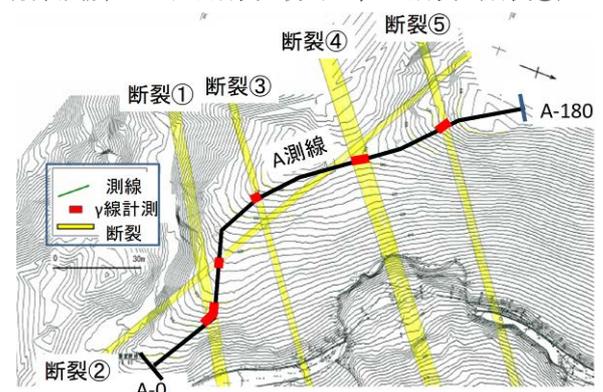


図-3 A測線設定と $\gamma$ 線探査により特定した断裂分布

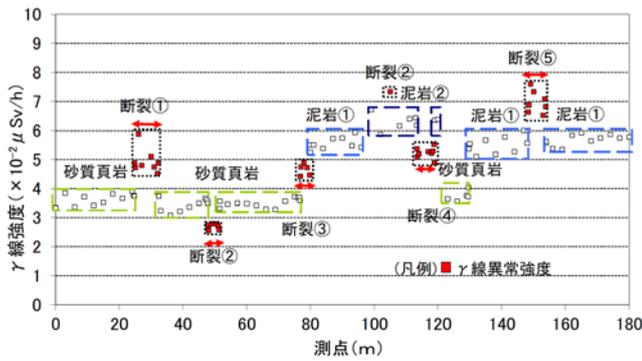


図4 γ線測定結果 (A 測線)

び共役断裂 (断裂①, ③, ④, ⑤) があり, 中央部の断裂④が最も規模が大きい断裂であった. 当該地区の崩壊は, 泥岩分布域で発生している.

図-5 は孔内傾斜計および地表面伸縮計の変位特性から崩壊域を示したものであるが, 図-6 のモデル図に示すように主断裂・共役断裂による縁切り構造で移動土塊が発生し, 「山腹のゆるみ」が形成されたものと考えられる. 図-7 に崩壊箇所への地質時断面図を示す. 崩壊箇所の移動土塊は破碎状砂岩・泥岩等の乱雑層から構成され, 移動土塊は基盤岩と異なる地質体である. 地質状況 (移動土塊) は, 耶馬溪の崩壊<sup>3)</sup> と類似すると考えている.



図-5 崩壊箇所と断裂分布

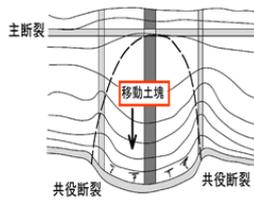


図-6 ゆるみ形成モデル

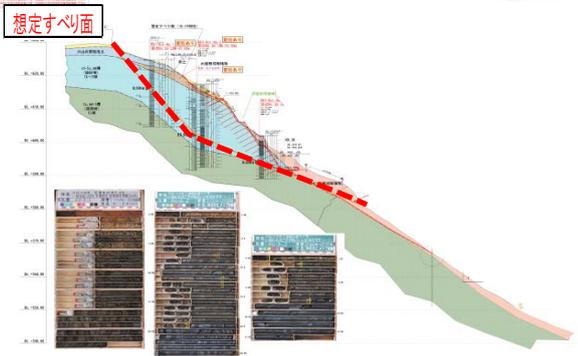


図-7 崩壊箇所の地質横断面図

5. 無降雨時に生じた地すべり変動の特徴

図-8 は孔内傾斜計 (B-2) の変位計測結果であり, 災害復旧工事時 (2019 年 10 月) に地すべりと思われる孔内傾斜計の変位を確認した. その後 2 月初めから変位速度が増加し, 地表より 13.5~15.5m の位置では約 7 倍となっている. この変動状況は, 前掲した図-2 の地表面伸縮計 S-1 と同様である. これらの地すべり変動は観測中には降雨はほとんど見られなかった期間であり, ボーリング孔内の地下水水位に顕著な変動は認められない. 2020 年 2 月初めから顕著になった地盤変動は, その直前に崩壊箇所付近で地震 (2020 年 1 月 30 日 19 時 55 分頃, 熊本県天草・芦北地方

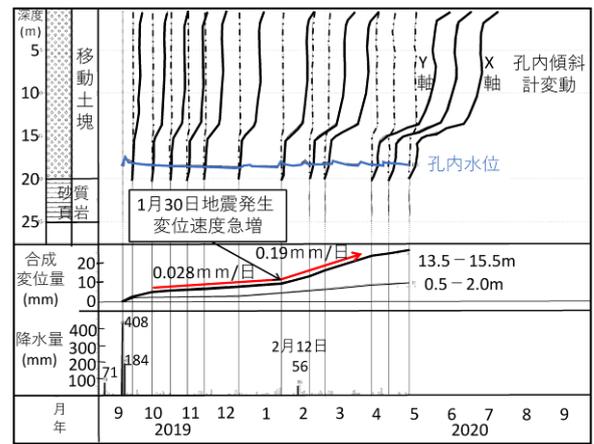


図-8 孔内傾斜計変動図 (B-2)

M4.0, 深さ約 10km) が発生している. 被災地付近でも震度 1 が観測され, これ以前には近辺では震度 3 以上が観測された有感地震が見られないことから, この微弱ともいえる地震動が山腹のゆるみに関連した不安定な地盤に変位速度を加速させたトリガーになった可能性が推察される.

5. まとめ

一般に斜面等の崩壊機構等を考察するにあたり, 物理探査やボーリング調査という点的調査, 線的調査によって地質構造のモデル化を行うことになるが, 崩壊に重要となる断裂位置の特定は困難である. 小林市北部の斜面崩壊では, 斜面崩壊箇所の尾根においてγ線探査を実施し, 断裂分布を調べた. その結果, 移動土塊の形成は主断裂・共役断裂による分断が「山腹のゆるみ」となり (ゆるみ形成モデルの提案) これが崩壊の素因となったものと推察した.

この崩壊は 2018 年 4 月に発生した耶馬溪崩壊と類似する. ゆるみ領域を取り囲む断裂に降雨時に地下水が流入することによって移動土塊が生じ, さらには渇水期の無降雨時においても地震動がトリガーとなって地すべり変動が活発化する現象を考察した.

「山腹のゆるみ」を抽出するには, γ線探査と地表の変位を面的かつ広域に捉えることが可能な技術 (SAR 干渉解析<sup>4)</sup>) を組み合わせる方法が有効であると考えている.

謝辞: 本論文の作成において株新日本技術コンサルタント 福田直三氏のアドバイスを得た. 記して謝意を表します.

参考文献

- 1) Yoshimura, T., Fukuda, N., Hodo, M. and Baimakhan, A. R.: Importance to evaluate of fault fracture zones for construction of infrastructures in mountain area by γ-ray survey, *Proc. 7th Int. Joint Symposium on Problematic Soils and Environment in Asia, JS Okinawa 2013*, pp.167-172, 2013.
- 2) 上野竜哉・西内浩二・中島溪・平田洋士・吉村辰朗: γ線調査によりモデル化した地質構造の道路設計への適用, 令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次講演会, III-94, 2019.
- 3) 耶馬溪町金吉地区山地崩壊原因究明等研究委員会: 平成 30 年 (2018 年) 4 月に中津市耶馬溪町で発生した山地崩壊について, 最終報告概要, 平成 30 年 11 月 26 日, 2018.
- 4) 山中雅之・中埜貴元・和田弘人・仲井博之: 全国 SAR 干渉解析による斜面変動の検出事例, 第 8 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.55-60, 2016.