

大規模崩壊の予兆である「歪な凸状斜面」の形成機構

第一復建株式会社 正会員○吉村辰朗

1. はじめに

近年の集中豪雨の発生に伴い、大規模崩壊が頻発している。崩壊した切土のり面周辺において γ 線探査を実施し断裂分布を調べた結果、移動土塊の形成は主断裂・共役断裂による分断が原因であることが判明した¹⁾。この「断裂の分断による移動土塊形成モデル」を大規模崩壊において検証した場合、移動土塊中央部に規模の大きい断裂が分布し、崩壊前には「歪な凸状斜面」が認められる。今回は、耶馬溪崩壊と熊本地震に伴う斜面崩壊の事例を基に、大規模崩壊の予兆としての「歪な凸状斜面」の形成機構について考察した。

2. 調査方法

斜面崩壊の原因と考えられる断裂分布を精度よく検出する調査手法として、 γ 線探査を行った。岩石からは自然由来の微弱な放射線(γ 線)が放出されている。地殻変動に伴う破断・変形・変質を受けた地質体(破碎帯・変形帯)では、その作用によって物質(地盤)の磁性が変化し、 γ 線強度異常値が生じると考えられる²⁾。断裂帯は地下深部まで板状に連続して分布するため、地表面の γ 線強度をシンチレーションサーベイメータ(図-1)で計測することによって、断裂帯の幅を10cmという従来にない高精度で検出できる。



図-1 測定機器(左)と断裂の検出原理(右)

3.1 耶馬溪の崩壊事例

平成30年4月11日未明に大分県中津市耶馬溪町金吉で大規模な斜面崩壊が発生した。斜面崩壊が発生した場所は、平成29年3月に大分県により「土砂災害警戒区域」に指定された所であるが、崩壊前にはほとんど降雨がない状況であることから「発生誘因が不明確な斜面変動」として認識された。図-2の崩壊前の地形図では、「歪な凸状斜面」が認められる(出典:千木良雅弘・山崎新太郎「耶馬溪の崩壊性地すべりの調査報告,平成30年4月18日」)。

崩壊は耶馬溪溶結凝灰岩層が形成する急崖下の斜面で発生した。移動土塊の中央部では表層部は凹地形を呈し、古期崖錐が堆積している。その下方の移動土塊
キーワード:大規模崩壊 断裂 地震動 歪な凸状斜面
連絡先:福岡市南区清水 4-2-8 第一復建株式会社

塊は、崩積土中に大転石を多量に含んでおり、また凝灰角礫岩(不動層)との境界付近では湧水が見られた。滑落崖および側方崖付近に線状構造が見られたため、 γ 線探査を実施した。 γ 線探査の結果、滑落崖付近に主断裂(断裂A-1,断裂幅:2.2m)、側方崖付近に共役断裂(断裂A-2・C,断裂幅:1.6m~1.8m)を検出した他に、移動土塊中央部付近にやや規模の大きい断裂(断裂B,断裂幅:3.1m)が確認された(図-3)。

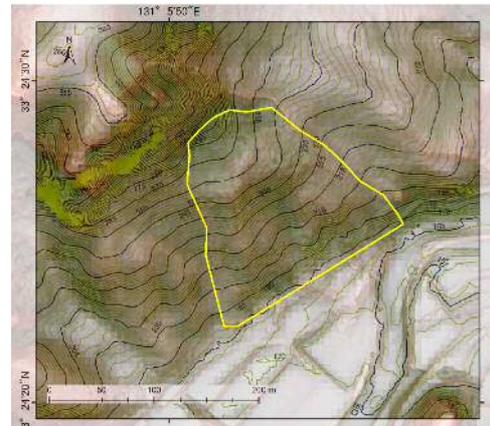


図-2 崩壊発生前の地形 ※黄枠が崩壊範囲



図-3 断裂分布(耶馬溪)

3.2 湯布院での斜面崩壊事例

平成28年4月16日M7.3(熊本県)の本震直後に大分県中部で発生したM5.7およびM5.4の余震域には活断層である由布院断層が分布する(図-4)。

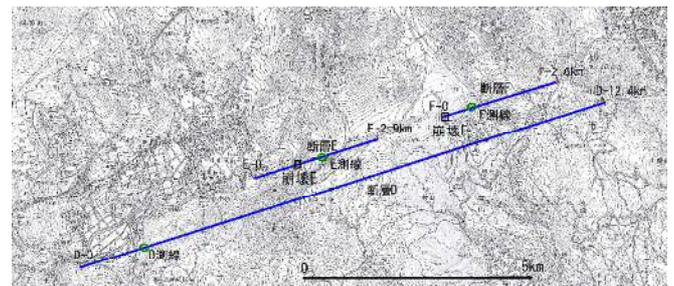


図-4 由布院断層分布と断層上の崩壊箇所(湯布院)

断層 D の断裂幅は 32.6m, 断層 E の断裂幅は 6.4m, 断層 F の断裂幅は 5.5m である。断裂幅 (FW) とマグニチュード (M) には、 $M=1.51\log FW(m)+4.4$ の関係があり³⁾, 断層 D では M6.7, 断層 E では M5.6, 断層 F では M5.5 が起震可能である。4 月 16 日に発生した地震規模は、M5.7 および M5.4 なので断層 E・断層 F が起震断層となっている可能性が高い。断層 E の自由面(道路のり面)では、地震時に斜面崩壊が生じた(図-5)。



図-5 断層 E 上の斜面崩壊 (湯布院)

3. 大規模崩壊の予兆である「歪な凸状斜面」形成機構

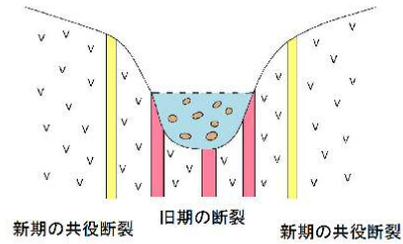
大規模崩壊の事例では、主断層・共役断層の他に移動土塊中央部に規模が大きい断層が認められた。耶馬溪崩壊においては、崩壊中央部の断層(断層 B)の表層部は凹地形を呈し、古期崖錐が堆積している。その下方の移動土塊は、崩積土中に溶結凝灰岩の大転石を多量に含んでおり、また凝灰角礫岩(不動層)との境界付近では湧水が見られ埋没谷の存在が示唆される。火砕岩まじりの崩積土で構成される埋没谷に関係する地すべりは、長野県北部のグリーンタフ地域で発生していることが報告されている⁴⁾。このような埋没谷の成因としては、断層による谷の下刻作用が主因と考えられる。耶馬溪崩壊事例では移動土塊中央部に規模が大きい断層が分布することから、この断層付近の侵食によって中央部分に深い谷が形成され崩積土や岩層が堆積する。次に側方崖付近の共役断層付近の侵食によって“地形の逆転”⁵⁾が生じ、谷底が尾根になる(図-6)。この場合、移動土塊は旧谷地形に分布した地質体で、接触不整合面がすべり面となる可能性が高い。

断層付近の地震動の振幅特性として、断層と直交する方向に地震動が卓越する可能性が高いと考えられている⁶⁾。また、和賀岳東面において「山体重力変形地形」⁷⁾の一つである小崖地形周辺の基盤岩の変位を調べた八木(1993)⁸⁾では、卓越する節理系に直交方向に前倒していたことから、基盤岩の前倒による小崖地形形成の引金として、斜面に加速度的な振動をもたらす地震動が考えられている。2016年4月に熊本地震が発生し、切土のり面が部分的に崩壊した。崩壊箇所は断層帯の自由面に相当することから、この区間のみが地震動によって射出的な崩壊をしたと考えられる。

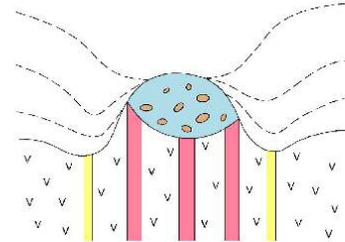
以上の事象を重ね合わせると、主断層と共役断層で分断された区間に地形の逆転によって基盤岩(不動層)と異なる旧谷部に堆積した地質体(例えば岩層)が分布し、地震動によって主断層に直交する方向に加速的

な振動が加わった場合には、斜面に膨らみが生じ「歪な凸状斜面」が形成されると考えられる。

① 旧断層に起因する谷の形成



② 共役断層に起因する「地形の逆転」



③ 地震動に伴う「歪な凸状斜面」の形成

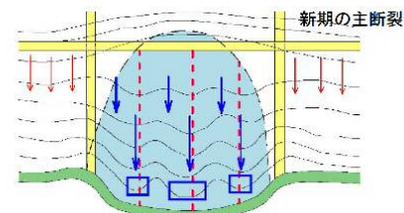


図-6 「歪な凸状斜面」の形成機構

[文献]

- 1) 吉村辰朗・吉松史徳(2019):断層による分断に起因する斜面崩壊発生機構, 応用地質, 第59巻, 第6号, pp. 485-494.
- 2) 吉村辰朗・大野正夫(2012):断層破碎帯における帯磁率異常に伴う γ 線量の変化, 物理探査, 65, 3, pp. 151-160.
- 3) 吉村辰朗・福山裕樹(2018):断層規模の関係式から導かれる断層形成史, 地形, 第39巻, 第4号, pp. 395-406.
- 4) 中村三郎・望月功一(1973):埋没谷の地すべりに及ぼす影響, 日本地すべり学会誌, Vol.10, No.2, pp.24-34.
- 5) 鈴木隆介(2000):建設技術者のための地形図読図入門 第3巻 段丘・丘陵・山地, 古今書店, pp. 927.
- 6) 地盤工学会(2010):ジオテクノート9 地震動, 丸善株式会社, pp. 62-63.
- 7) 小嶋 智(2018):応用地質学的視点からみた山体重力変形地形研究の進展と展望, 地質学雑誌, 第124巻, 第11号, pp. 889-897.
- 8) 八木浩司(1993):真昼山地・和賀岳付近に認められる小崖地形の発達過程, 季刊地理学, Vol. 45, pp. 83-91.