

第四紀性の火砕流堆積物と火山岩類における 近年の斜面災害

～大分県山国川流域における崩壊現状について～

RECENT SLOPE DISASTER ON THE PYROCLASTIC FLOW DEPOSIT AND
VOLCANIC ROCKS IN THE QUATERNARY PERIOD

- Failure phenomena on the basin of Yamakuni river, Oita -

山本 健太郎¹・立石 義孝²

Kentaro YAMAMOTO, Yoshitaka TATEISHI

¹西日本工業大学 (〒800-0394 福岡県京都郡苅田町新津 1-11)

E-mail: kyama@nishitech.ac.jp

²西日本工業大学 (〒800-0394 福岡県京都郡苅田町新津 1-11)

E-mail: ltateisi@nishitech.ac.jp

Key Words: slope disaster, rock fall, Quaternary, pyroclastic flow deposit, volcanic rocks

1. まえがき

第四紀の火山岩類や火砕流堆積物等にて形成されている台地や山間地帯は、各種風化作用による経年変化の影響により岩盤や岩石類自体の弱体化に伴い不安定化し、加速的に斜面の強度低下をもたらしている。このような斜面では力学的バランスを保つ閾値を超えたときに突然、何ら予兆もなく崩壊する。このような崩壊状況が国内の至る所で懸念され、無降雨時での斜面崩壊の多発化が予想される。

一方、我が国では戦後から森林政策なども大きく変化し、人工林の成長を考慮した斜面安定性評価や根系等による岩盤風化メカニズムの解明と定量化が望まれる。また無降雨時の斜面崩壊リスクなどにも備えるためにも、層序等の地質学および地盤工学の知見に加え、森林生態学的見地による斜面安定の定性・定量的評価が必要である。今後これらの評価に基づく急傾斜地崩壊危険箇所や区域の指定および対策工法の選定等には必要不可欠な知見と考える。

山国川流域は第四紀性の火山活動との関わりが強く、層序は火山岩類と火砕流等で堆積した碎屑岩が複雑に絡み合って分布している¹⁾。本稿では、大分県山国川流域における近年の斜面崩壊現象について

報告する。また、金吉支川での大規模山腹崩壊の発生要因については、第四紀の火砕流堆積物等の経年変化の影響による弱体化に伴う持続と加速的要因の複合型と推定し知見を加えている。

2. 山国川系金吉支川での大規模山腹崩壊

2018年4月11日午前3時40分頃、中津市耶馬溪町金吉で住宅の裏山が幅約200m、高さ100mにわたって突然崩落し、民家4棟が巻き込まれ3世帯6名が犠牲になった。今回の崩壊現象の特徴は、崩落直前の一般的な誘因である先行降雨や大きな地震等がない中で発生しており崩壊誘因等が不明である²⁾。



写真-1 耶馬溪町金吉の山崩れ (4月11日11時撮影)

(1) 崩壊状況と凝灰質地盤の特徴

写真-1 は予兆もなく崩壊した山腹の状況であり、杉の植林が密集し急斜面が深くえぐれ、斜面が長さ約 200m、幅約 200m、高さ約 100m、崩落層の深さは約 20m にわたっている。写真-2 は溶結凝灰岩の露頭の一部に開口性の亀裂や節理が発達しており、各種風化作用等による経年変化にて劣化を生じている。溶結凝灰岩は地層の累重条件と、岩盤中に溶結構造（ガラス質）の違いにより固結度が異なる。



写真-2 溶結凝灰岩層の累重状況

一般に崖錐性堆積物の岩塊類は、山頂斜面からの移動距離が短いので、角張った岩塊や風化転石類で形成される。そのため空隙が多くルーズな状態が特徴で透水性が高く、堆積した層厚などの状況により宙水が形成されている。凝灰質地盤や未固結の凝灰質土石の崖錐性堆積物は、通常の粘性土や砂質土とは性状が大きく異なる特殊性を有する^{3), 4)}。

写真-3 では、崩壊した堆積物の中に転石や倒木を巻き込んでおり、岩塊の大きさは 3m 四方から幅 10m を超えるものが見られる。写真-3~4 の崩壊先端部には、岩塊破断面の鮮度が高い多量の巨岩を含む土



写真-3 崩壊部先端の巨大溶結凝灰岩の転石



写真-4 金吉川に達した崩壊部先端の巨岩

石が近くを流れる金吉川まで達しており、崩落した巨岩・転石を含む土石量は約 10 万 m³ 以上と推定されている⁵⁾。

(2) 凝灰質岩盤等における岩盤崩壊の適用

一般的に岩盤等における斜面崩壊の原因とみなされる因子に「素因」と「誘因」があり、素因は斜面を構成する物質の性質およびその状態であり、地質的要因と地形的要因に大別され、植生条件なども含まれる。誘因はこれら地質的要因や地形的要因に影響を及ぼす外的条件に関する降雨・地震・融雪・火山活動・地形改変などである。経年的影響による劣化と捉えることもでき、崩壊直前に作用した外的因子のみを取り上げると、崩壊メカニズムの多面性を見落とすことになる。このため崩壊を引き起こす要因を「持続的要因」と「加速的要因」とし、図-1 にそのフロー例を示す⁶⁾。

持続的要因とは、岩盤等に対して常に作用している要因で、斜面内に生じている引張力、せん断力、

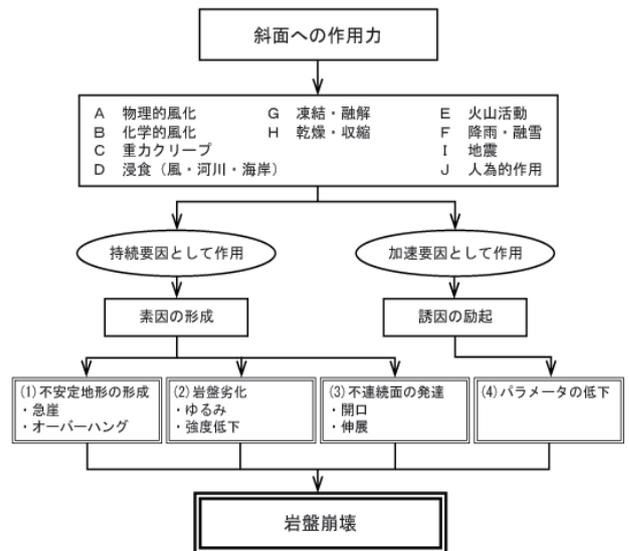


図-1 岩盤崩壊例のフロー

圧縮力や物理的・化学的風化などが該当し、不連続面を開口させたり岩盤等を劣化させたりする作用力である。加速的要因は、崩壊の引き金となる要因であるが、基本的には持続的要因と同様の作用力であり、地震や降水・融雪水に起因する間隙水圧の増加などで、さらに人為（人工）的要因による土木工事などである。

(3) 素因と誘因の複合型による山腹崩壊（持続的・加速的要因の複合説）

大分県原因究明等検討委員会では、数千年前に大

規模崩落した堆積土砂層が地下水位（間隙水圧）の上昇と風化による劣化が要因であるとしている⁵⁾。

しかし、地下水位が上昇した原因は解明されていない。地下水位（間隙水圧）上昇するような地質体および地盤構造であれば、過去直近での二度の記録的な豪雨に見舞われながら崩壊に至らなかったのか自然科学的にも疑問の余地がある。直近の豪雨記録で、平成24年（2012年）7月3日、同年7月14日の雨量レーダーと線状降水帯の状況を図-2に示す。

図-3は7月3～4日に大分県西部、福岡県筑後地方、熊本県阿蘇地方における九州北部を中心とした集中豪雨時のアメダス降水量時系列図である。特に、7月3日（6:00～9:00）は、耶馬溪町金吉に累計3時間最大雨量205mmの観測史上最大の記録である⁷⁾。

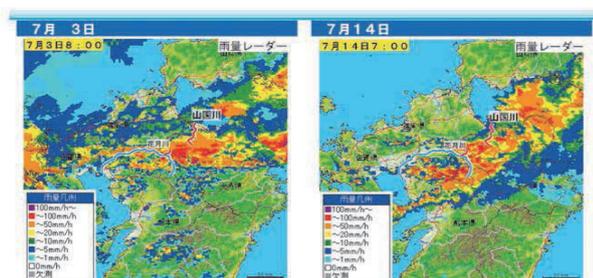


図-2 2012年7月3日と7月14日の雨量レーダー

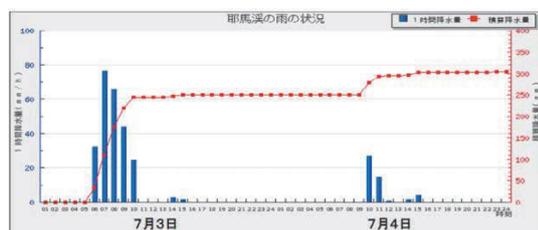


図-3 2012年7月3～4日のアメダス降水量時系列

また、平成29年（2017年）7月5～6日の大分県と福岡県を中心とする九州北部で発生した集中豪雨にも見舞われている。ここ数年において局地的降雨量が多く、地下水位上昇に伴う間隙水圧の上昇が最も高い時期と考えられるが、崩壊地では当時、斜面変動の兆候は現れていない。これらのことから、自然科学的見地からも地下水位（間隙水圧）上昇による妥当性が欠けると考えられる。

今回の崩壊因子の持続的要因としては、溶結凝灰岩に対して常に作用している要因である樹木による節理や不連続面の開口および溶結凝灰角礫岩の風化作用による劣化等の経年的影響（写真-5）にて、斜面強度（引張力、せん断力、圧縮力等）の閾値の変動が挙げられる。いわゆる斜面内部において、節理の発達や風化の進行により強度が低下した溶結凝灰岩および安山岩類が崩壊する。強度差が明瞭な火砕



写真-5 経年的影響による崩壊頭部の劣化状況

流堆積物や崖錐堆積物の硬軟互層では、凹凸のある急崖を形成し易くなる⁸⁾。

一方、加速的要因は、崩壊の引き金となる要因であるが基本的には持続的要因と同様の作用力で、降水や融雪水、地震、乾湿や凍結融解の繰返し等が斜面の強度低下をもたらしている。また、斜面の切土や掘削の土木工事など人為（人工）的要因も加速的要因に考えられる。今回の崩壊現場は平成3年

（1991年）の台風で風倒木被害を受けた経緯がある山腹であり、民家裏に落石防止用柵（高さ3m）が段違いで1列設置している。この工事は治山事業（写真-6）で平成4年に落石防止柵工、平成5年は落石防止柵工、岩盤線並びに山腹工の変更、崩土除去の経緯があり⁹⁾、今回の大規模山腹崩壊の加速的要因の一つに掲げられる重要な要因になり得る。

火砕流堆積物や崖錐堆積物の崩壊特性として、特に凝灰質地盤と未固結の凝灰質土石の特殊性からも、これら持続的要因と加速的要因の複合型による崩壊現象であると考えられる。

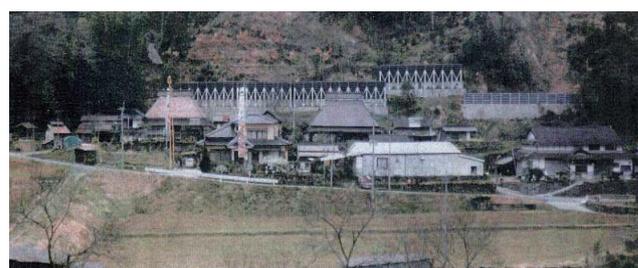


写真-6 大規模崩壊前に治山事業により設置されていた入型落石防止柵工¹⁰⁾

(4) 崩壊想定プロセスのシナリオ

溶結凝灰岩からなる地山と、各種風化作用等による経年変化にて溶結凝灰岩の崩落により形成された古期崖錐堆積物（転石地山群）と新期崖錐堆積物（転石土砂層）があり、地山の溶結凝灰岩と凝灰質崖錐堆積物は急傾斜で接している¹¹⁾。

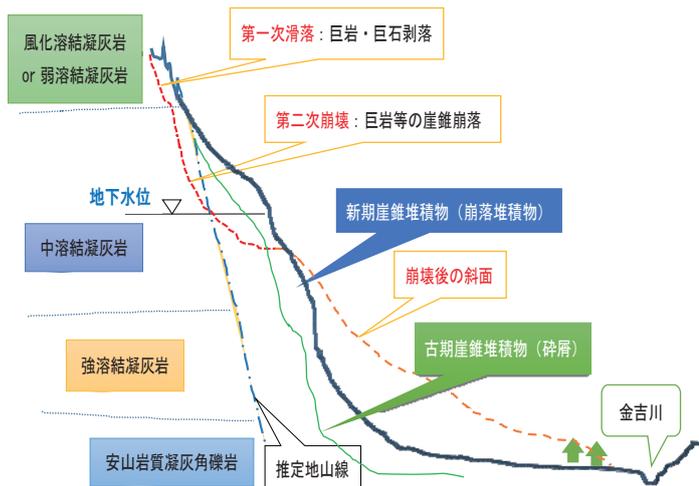


図-4 大規模山腹崩壊の想定プロセス

今回の地山と崖錐性堆積物との崩壊想定プロセスを図-4に示す。直接誘因として各種風化作用を受け不安定化（凝灰質岩盤の強度低下等）した巨大岩盤が平衡バランスを失い、第一次の剥離崩落を起こす。その崩落衝撃で崖錐性堆積物中の地下水位に変動を与え、杉などの植林されている保水力の高い新期崖錐堆積物と、地山と接している古期崖錐堆積物と新期崖錐堆積物の中で複合滑りが発生し、第二次崩壊を起こし大規模な山腹崩壊に至ったと推定している。凝灰岩質からなる崖錐堆積物は一般的に透水性が高いが、九州北部豪雨（2012年7月11日～14日、2017年7月5日～6日）により地下水位の上昇などで露頭部の風化岩盤が平衡バランスを失くしたり、崖錐性堆積部が緩んだりして崩壊リスクを高めた可能性も予想される¹²⁾。また、大規模山腹崩壊の2日前に4月9日に島根県西部地震があり、2016年4月発生 of 熊本・大分地震と共に岩盤の平衡不安定化をもたらし閾値を超えたと考えられる。

3. 近年の山国河流域での斜面崩壊現象

近年、山国河流域の耶馬溪地域周辺では先行降雨や大きな地震等がない状況下にて、耶馬溪溶結凝灰岩や火山岩類による相次ぐ落石や崩壊等の土砂災害が頻繁に発生している。

(1) 耶馬溪町深耶馬の剥離崩壊（2016年6月）

6月30日午前1時地半ごろには、写真-7のように耶馬溪町の山国川系深瀬支川対岸の奇岩・奇峰が連なる深耶馬の一目八景にて、溶結凝灰岩よりなる崖が幅30m、高さ50mにわたって剥離崩落（フォー



写真-7 耶馬溪町深耶馬（一目八景）の剥離崩壊（2016年6月）

ル）している。

山腹の柱状節理のある石柱盤は横約20m、縦約25mの耶馬溪溶結凝灰岩である。この時も降雨も地震もなく突然に崩壊している。このように近年では相次ぐ崩落や崖崩れが生じており、これらも「持続的要因と加速的要因の複合型」による崩壊現象と推定される。この時も降雨も地震もなく突然に崩壊しており、その原因の1つとして2016年4月発生 of 熊本・大分地震による巨大岩盤の平衡不安定化の影響と考えられる。

(2) 耶馬溪町戸原の国道212号沿いの法面崩落（2020年4月13日21時頃）

山国川と切り立った斜面の間を通る中津市耶馬溪町柿坂戸原の国道212号線の幹線道路にて、高さ10～15m付近から岩や土砂とともに、幅5m、奥行き1m、高さ2.5m、重さ約30tの落石が発生している（写真-8）。



写真-8 山国川沿い耶馬溪町戸原の斜面崩落

当地域には各種風化作用を受けた不安定な火砕流堆積物である溶結凝灰岩や火山岩類が散在している。崩落要因を数日前の暴風雨の影響で斜面の樹木が揺られて崩落したとみているが、岩盤や露岩等が各種の風化作用を受け、亀裂が開口している。周辺の斜面には不安定な岩類が散在しており、落石防止の対策工事を早急に施す必要がある。崩壊周辺地域は写真-9 の様に斜面には露岩や転石が多く見られ、その上部には岩盤が連続し、露岩や岩盤には不安定な浮石や転石もある。

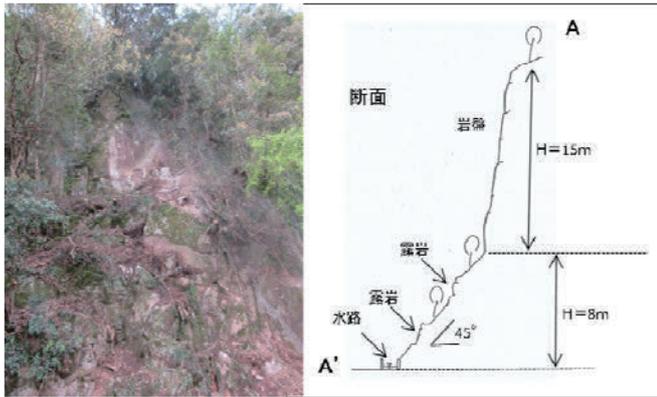


写真-9 耶馬溪町戸原の崩落斜面と断面スケッチ

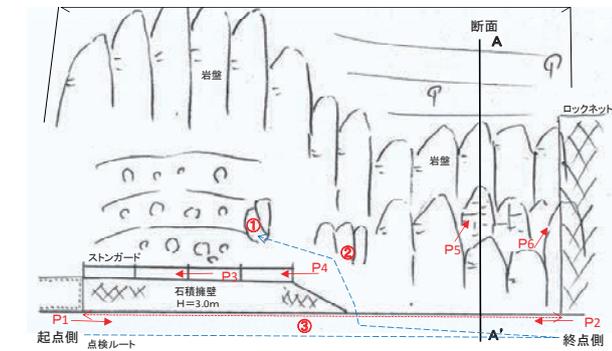


図-5 耶馬溪町戸原の崩落周辺の平面スケッチ¹³⁾

図-5 のスケッチ図中の左側に示されている起点側に石積擁壁と高さ 1m のストンガードが設置されているが、ストンガードの背面には土砂礫が堆積しストンガードが半分ほど埋まっている（写真-10）。直径約 1m 程度の落石巨礫によりストンガードが部分的に破損していることから、頻りに落石等の崩落が発生していることが伺われる¹³⁾。

これらの変状について常に点検を行なう必要がある。周辺の斜面においては、いつでも落石するリスクは高い地域であり、落石防止や斜面安定防止対策工の難しさがある。



写真-10 ストンガード背面の埋設状況と破損状況

(3) 耶馬溪町金吉の県道沿いの巨大落石（2020年5月3日21時50分頃）

中津市耶馬溪町金吉の県道平原耶馬溪線で巨大落石が発生している。落石が発生した山腹斜面傾斜角は約 30 度、高さ 34.6m で、落下巨石の大きさは幅約 3.2m、高さ約 3m、奥行き約 2.4m、重さ約 55t と推定されている。

巨大落石は山側にある金網の落石防護柵（写真-11左）をなぎ倒し、幅 6 メートルの道路で 2 回バウンドしたとみられ、道路には落下の衝撃で長径約 2m、短径約 1m、深さ 20cm の 2 箇所で陥没し、応急修復している（写真-11右）。落石は向かい側の土地に乗り上げ「後藤又兵衛の墓」の手前で停止した。

本地域は一目八景と同様に、耶馬日田英彦山国定公園内に位置し、耶馬溪火砕流堆積物である溶結凝灰岩からなる鋭い直立の節理を持つ岩峰・奇峰が際立っている（写真-12左側上方）。

落石発生の原因と誘因は、落石発生位置の現況より以下のように考えられる。原因として、落石発生位置の耶馬溪溶結凝灰岩は比較的溶結度が低いため、各種の風化作用を受け亀裂が発達しやすい状況下にある。発生位置の割れ目の傾斜角が 80°、下面が 19° の流れ盤となっており、典型的な剥離型の落石が発生しやすい状況であることが分かる。誘因として、落石発生日の 5 月 3 日 22 時までに降り始めからの降水量 49mm があり、周辺には湧水等は確認されていない。岩体底面で局所侵食や崩壊が発生し、岩盤が不安定化した可能性がある。特徴的なのは、落石発生地の岩体面に竹林を主体とした植物根が全面に張り付いており岩盤の節理に沿った割れ目に深く達し、開口部を拡張し岩体を腐朽させ不安定化し



写真-11 県道平原耶馬溪線の発生山腹と巨大落石



写真-12 落石した溶結凝灰岩の風化状態

ている(写真-12 右側)。落石当時は雨が降っており、地盤が緩んで巨石が落下した可能性もある。しかし、落石岩体の状況や周辺の植生環境から、特に竹林や樹木の根系により露岩や岩盤が植生等による風化作用を強く受けている。

4. おわりに

大分県山国川上流域のほとんどの地域は、耶馬日田英彦山国定公園内に位置し、主に耶馬溪火山岩類および耶馬溪溶結凝灰岩により形成された火砕流堆積物の火砕流台地である。これらの溶結凝灰岩等により、鋭い直立の節理と亀裂を持つ岩峰・奇峰等から形成され景勝地を誇っている。

山国川流域は第四紀性の火山活動との関わりが強く、層序は火山岩類と火砕流等で堆積した碎屑岩が複雑に絡み合って分布している。耶馬溪の火砕流台地は、約1万年前の第四紀更新世の火山と火砕流堆積物等にて形成されている。そして、各種風化作用等による経年変化の影響により地質帯の岩盤・岩石類自体が弱体化に伴い不安定化し、加速的に山腹斜面の強度低下をももたらしている。本稿の報告のように耶馬溪溶結凝灰岩で形成される山腹斜面では、力学的バランスを保つ閾値を超えたときに突然に、何ら予兆もなく崩壊する。このような崩壊状況が今後至る所で懸念され、無降雨時での斜面崩壊の多発化が予想される。特に耶馬溪溶結凝灰岩は90~100万年前の火砕流物の結晶構造による溶結力に強弱の差異があり、露頭部は風化作用等を受け、経年変化の劣化による強度低下から岩盤の力学的バランスの持続的な不安定な斜面を形成している。このため平衡不安定化の危険リスクが高まっている。

謝辞：大分県北部振興局・森林保全課・県政情報課および中津土木事務所、大分県中津市の御協力を頂

きました。また、地質・層序等のご指導を頂いている京都大学 竹村 恵二 名誉教授に深謝致します。

参考文献

- 1) 立石義孝, 竹村恵二: 最新の地質学体系に基づく大分県北部地域の地質～山国川流域を中心とした層序学～, 九州応用地質学会会報 No.36, pp.2-21, 2015.
- 2) 耶馬溪町金吉地区山地崩壊原因究明等検討委員会: 平成30年4月に中津市耶馬溪町で発生した山地崩壊について(中間報告), 2018.
- 3) 山本健太郎, 立石義孝: 中津市耶馬溪町金吉の大規模山腹崩壊について, 平成30年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, III-28, pp.333-334, 2019.3
- 4) 山本健太郎, 立石義孝: 大分県中津市耶馬溪町金吉の大規模山腹崩壊に関する考察, 第54回地盤工学研究発表会(さいたま市) pp.1941-1942, 2019.7
- 5) 大分県森林保全課: H30 森保第1号梶ヶ原地区調査測量設計委託業務(大分県中津市耶馬溪町大字金吉字梶ヶ原) 報告書, 2018年12月
- 6) 土木学会岩盤力学委員会岩盤崩落問題研究小委員会: 岩盤崩壊の考え方(第3章岩盤崩壊のメカニズム), 2004.
- 7) 大分県中津市: 平成24年九州北部豪雨災害中津市災害記録誌, pp.1-4, 2015.
- 8) 山本健太郎, 立石義孝: 2018年4月大分県中津市耶馬溪町にて発生した大規模山腹崩壊に関する一考察, 第13回環境地盤工学シンポジウム, pp.311~318, 2019.
- 9) 地盤工学会: 平成30年4月中津市耶馬溪町金吉梶ヶ原地区における斜面崩壊と今後の問題点, 2018.
- 10) 大分合同新聞: 耶馬溪の山崩れに関する報道記事より抜粋, 2018年4月16日(朝刊)
- 11) 立石 義孝: 地質・層序・地史学的見地からの耶馬溪町金吉地区の大規模山腹崩壊について(未発表), 2018.
- 12) 山本健太郎, 立石義孝: 2018年4月大分県中津市耶馬溪町にて無降雨状態で発生した大規模山腹崩壊に関する考察とその復旧工事の概要について, 地盤工学会誌, Vol.68, No.5, pp.26~29, 2020.
- 13) 大分県中津土木事務所: 防災カルテ(落石・崩壊)より抜粋, 2013.9.

(2020.7.1 受付)