

地質と崩壊メカニズム（広島地域）

千木良雅弘¹

¹ 京都大学防災研究所（〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄官有地）

E-mail:chigira@slope.dpri.kyoto-u.ac.jp

要旨：西日本豪雨災害によって多数発生した斜面崩壊の内、広島地域の斜面崩壊の地質的原因について調査した。斜面崩壊の多くは、花崗岩地域と流紋岩地域に発生した。両地域ともに岩石の風化形態に強く規制されたものであることがわかった。花崗岩の風化形態としては、マイクロシーティングの発達するものと球状風化とがあり、広島に一般的に分布する花崗岩はマイクロシーティングを伴って風化し、球状風化はあまり一般的には認められない。しかしながら、今回甚大な被害を発生させた個所では、球状風化が認められ、その結果形成された巨大なコアストーンが土石流に含まれ、強い破壊力を発揮した。崩壊源の観察によれば、コアストーンの間マサが流出して、結果的にコアストーンが不安定になって崩壊したものとみられる。流紋岩地域では、高標高部で強く風化して赤味を帯びた岩石の上の土層が崩壊し、土石流となって流下した。風化に伴ってハロイサイトが形成され、それが割れ目に沈殿して割れ目を閉塞していることが認められたことから、表層部の透水性が低下して、土層が急激に飽和して崩壊が発生したものと考えられる。また、土石流の流路には古い土石流堆積物が認められたが、その基質部分はやはり強く風化して粘土化し、水の深部浸透を妨げていたと考えられる。一方で、斜面表面は硬い岩片に覆われているため、表面侵食はあまり進まず、平面的な斜面表面となっていたと推定される。このような条件の斜面を土石流が流下したため、大量の出水があったものと推定される。

Key Words: landslide, rainstorm, granite, rhyolite, weathering

(1) はじめに

第2章で述べられたように、降雨によって花崗岩地域と流紋岩地域とで多数の崩壊が発生した。筆者らは、広島県の次の個所について現地調査を行った。

花崗岩地域：広島市安芸区矢野東、安芸郡熊野町川角地区

流紋岩地域：東広島市黒瀬町、呉市安浦、
その結果、いずれの個所でも斜面崩壊は岩石の風化様式を強く反映していることが明らかになった。

(2) 花崗岩地域

安芸郡熊野町川角地区

ここでは、比高約 200m の山稜の尾根線直下と途中から崩壊が発生し、土石流となって下方の住宅地を襲った（図1）。土石流には最大差し渡し 14m の大ブロックも含まれ、それは谷の途中で引っかかるように停止していた。また、住宅地にまで至った土石流には丸みを帯びた大岩塊が含まれていた（図2）。



図1 安芸郡熊野町川角地区の崩壊・土石流。挿入写真は崩壊源の直上にある岩塔。これと同様の岩塔は、写真左手中央部にも認められる。



図2 川角地区の崩壊の流路の中間部に残存する大岩塊。



図3 崩壊地上部に認められた花崗岩の岩柱と、節理に沿う岩のずり下がり。

崩壊源には、花崗岩の風化に取り残された岩塔がマサに囲まれるような構造が認められた。そして、一部にはこの岩柱が斜面下方にずり下がる様子(図3)や、マサの部分が地中侵食を受けて空洞になっている様子が認められた。これらのことから、この崩壊・土石流は、岩柱の間を埋めるマサが侵食され、不安定になった岩柱の崩壊に始まったことがわかる。前述した巨大な岩塊もこのような岩柱の一つである。中腹部の崩壊源では、球状風化ではなく、もう一つの風化形態であるマイクロシーティングの発達した花崗岩表層部の土層が崩壊したものであるが、その流路には球状風化した花崗斑岩の露出も見られ、そのコアストーンも土石流に参加している。沢の上部で大岩塊が残存している部分の斜面傾斜は約35度で、未だに不安定な状態にある。

安芸区矢野東地区

ここでも、川角地区と同様に、花崗岩の球状風化によって形成されたコアストーンが土石流に含まれ、それが家屋を破壊しており、土石流の破壊力を増大していたとみられる。崩壊源には、やはり、マサに取り囲まれた岩

柱やコアストーンが認められ、ここでも、マサの地中侵食によって岩塊が不安定となり、崩壊が発生したと判断される。



図4 矢野東地区で家屋を襲った花崗岩のコアストーン

花崗岩の風化形態と崩壊メカニズム

花崗岩の典型的な風化形態としては、ここに述べた球状風化とマイクロシーティングとがあり、広島の花崗岩の風化では一般的にはマイクロシーティングが卓越しており(千木良, 2002; 藤田・横山, 2009)、球状風化の発達は局所的である。1999年や2014年の広島豪雨災害の時に崩壊したのは、マイクロシーティングの発達した風化花崗岩であった。どのような花崗岩が球状風化するのかについては、未だ明確にはなっていないが、柱状節理の発達する花崗岩である可能性が指摘されている(Hirata and Chigira, 2016)。花崗岩に柱状節理がある場合があることは、従来注目されていないが、かなり一般的に認められるものであることがわかってきた。(千木良, 2018)。川角地区や矢野東地区に認められた岩塔や岩柱は形態的にみて、柱状節理に囲まれた岩塊である。このような岩塊は風化によって表面からマサとなり、球状の岩塊となっていく。いずれにしても、川角地区の山稜に認められたような岩塔が認められる場合は、その下の花崗岩が球状風化し、豪雨によって今回と同様の現象が起こりうることを示唆していると言えよう。

このように球状風化した花崗岩の崩壊メカニズムを模式的に図5に示す。2017年の九州北部豪雨災害時に多発した花崗閃緑岩の崩壊は、球状風化してコアストンの残存する部分の崩壊と、コアストーンも失われた部分でマサが深くまで崩壊した部分とがあった。それに対して、今回ののは、高標高部にあったであろうマサは失われた斜面で崩壊が発生した。このようにマサの抜け出しによって生じる崩壊は、地中侵食がある程度進んだ段階で生ずると考えられるので、表層崩壊とは言え、降雨強度のピークの時に生ずるとは限らず、それに遅れて生ずる場合もあると考えられる。

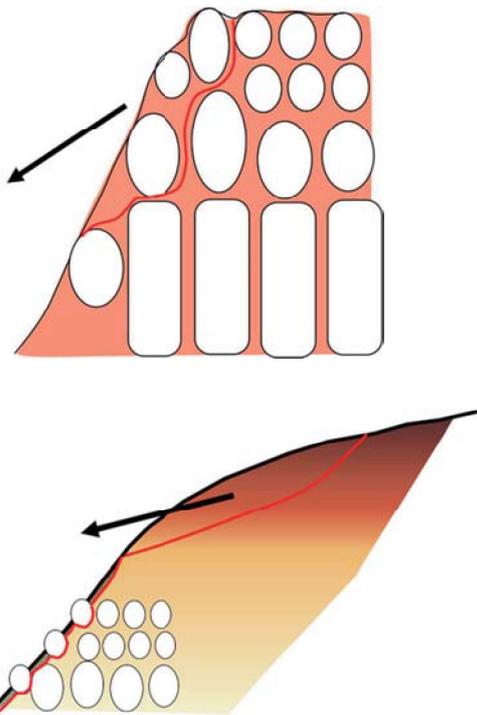


図 5 球状風化した花崗岩類の崩壊模式図。上は今回の川角地区や矢野東地区の崩壊。下は、2017 年九州北部豪雨災害で発生した崩壊模式図。花崗岩類は、高標高部に強く風化して形成されたマサが残されている場合が多く、下図では、その崩壊と低標高部のコアストーンとマサとの崩壊の両方が起こったことを示している。それに対して、上図では、岩塔の上に存在したであろうマサはすでに取り去られている。

(3) 流紋岩地域

当地域に分布する流紋岩類は白亜紀のもので、一括して高田流紋岩類と呼ばれる。呉市から東広島市までの広い範囲で崩壊が発生した。いずれも崩壊源は山稜の上部にあり、上空からの観察でも赤みを帯びているのが認められた。現地調査は、黒瀬町の広島国際大学裏の山と、呉市安浦町とで詳細調査を行った(図 6)。このあたりに分布する流紋岩は野呂山溶結凝灰岩とされているが(東元他、1985)、調査箇所では、溶結凝灰岩に特徴的なユータキシック構造は認められなかった。崩壊源の例を図 7 に示す。



図 6 流紋岩地域の崩壊状況(広島国際大学裏)。6, 7, 8 の番号は崩壊調査箇所。



図 7 崩壊源の状況の例。図 6 の崩壊源 6。崩壊地内には水が勢いよく噴出した痕跡が残されている。



図 8 崩壊源の鉛直掘削断面。流紋岩は赤色に風化している。崩壊源 8。

崩壊の深さはいずれも 1m に満たなかった。図 8 に崩壊源での掘削断面を示す。赤く発色しているのは斜長石である。X 線分析の結果、風化鉱物としてハロイサイトが検出された。この風化岩の透水試験の結果、透水係数は $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{cm/s}$ であった。 10^{-3}cm/s は、3 時間雨量にすると 100mm 相当である。

呉市安浦町中畑の崩壊地の崩壊源を掘削した結果、風化岩の割れ目を粘土鉱物が閉塞している様子が確認された(図 9)。これは、厚さ 1 cm 程度に沈積したハロイサイト層であった(図 10)。流紋岩が風化して溶出したアルミニウムとシリカが結合して沈殿したものと考えら

れる。



図9 風化した流紋岩の節理を埋めるハロイサイト脈。

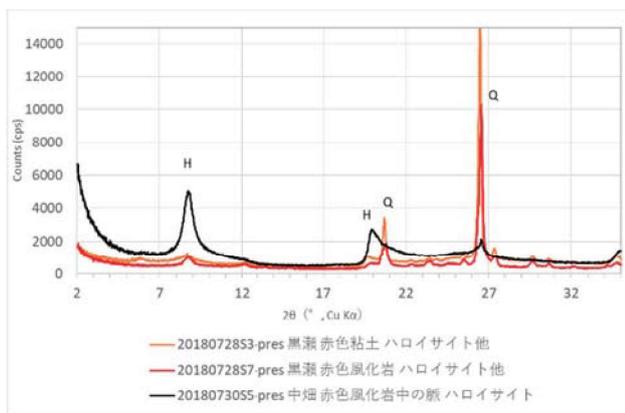


図10 粘土鉱物の X 線回折プロファイル。黒瀬赤色粘土は、土石流堆積物の基質；黒瀬赤色風化岩は崩壊源 8 の風化岩；中畑赤色風化岩中の脈は図 9 に示したもの。脈はほぼ純粋なハロイサイトからなる。

土石流の流下経路には古い土石流の堆積物があり、その上を今回の土石流が移動した。土石流の映像を見ると、土石に比べて水量が多く、まるで洪水のように見受けられた。崩壊 6 と 7 の移動経路では、古い土石流堆積物の断面が認められた。それによれば、古い土石流堆積物では基質が粘土化しており、全体の透水係数が著しく低いと推定される (図 11)。この粘土は、X 線分析の結果によればハロイサイトと同定された (図 10)。



図11 新しい土石流堆積物 (上) と古い土石流堆積物 (下)。古い土石流堆積物では、基質が粘土化している。

一方、新しい土石流堆積物の基質は粘土混じりの砂質で (図 11) 透水性は相対的にかなり高いと推定される。このように、土石流の移動経路の地盤は、下位に透水性の低い堆積物があり、その表層部を透水性の高い堆積物が覆うような構造をしている。そのため、水は下方にはしにくく表流水が生じやすい。しかしながら、表層部は硬質の岩片によって保護されているため、侵食に対する抵抗性が強いと考えられる。このような条件によって、洪水のような土石流が生じたものと思われる。

土石流堆積物には、最大径 30 cm 程度の丸い流紋岩礫が大量に含まれていた (図 12)。これは、一見河床礫のようにも見えるが、実際には、流紋岩が球状風化したものであり、それが風化断面に見取ることができる (図 13)。新鮮な流紋岩の露頭はあまり広く露出していないが、図 6 の広島国際大学の裏側の山の反対側の沢で見られ、そこでは柱状節理が発達していた。おそらく柱状節理に関して球状風化が進んだものと考えられる。ただし、この柱状節理によってできた石柱は直径数 10 cm 以下と細いため、川角地区のような巨大なコアストーンは形成されていない。



図12 古い土石流堆積物とそれを覆う今回の土石流堆積物。



図13 流紋岩の球状風化

(4) まとめと今後への提言

西日本豪雨災害によって広島地区に発生した斜面崩壊・土石流は、基盤の岩石の風化状況を強く反映したものであった。花崗岩地域で発生したもので、家屋に著しい被害を及ぼしたものは球状風化した花崗岩で、そのコアストンの破壊力が著しかったことが注目される。1999年の広島豪雨災害の時には、土石流には大岩塊はそれほど含まれず、土砂と流木による被害が大きかった。一方2014年の広島豪雨災害の時にはシーティング節理と高角節理によって分離された大岩塊が土石流の流路で巻き込まれて被害を拡大した。一方の今回では、球状風化によって形成されたマサが地中侵食によって抜け出し、コアストーンや石柱が不安定になり崩壊し、下流に流出した。このように風化花崗岩の降雨による崩壊・土石流も、風化の形態によってかなり様相を変える点に留意しておく必要がある。

流紋岩地域で降雨による崩壊が多発した例はあまり知られていない。2010年7月の広島県庄原地区のものが知られているが、この場合には、強風化した流紋岩の崩壊ではなく、凹部に堆積していた硬質の流紋岩片集積部が土が覆っていた部分で崩壊が多発したものであった。そのため、崩壊に至るまでの降雨量や崩壊・土石流の挙動

は今回のものとは異なっていたと考えられる。

図13には、西日本の地質図を示すが、広島の被災地に分布するのと同様の白亜紀の花崗岩類と流紋岩類は広く分布している。つまり、このような地域に今回と同様の降雨が降れば、他の地域でも同様の災害が起こり得ると考えておくべきである。それに備えるためには、岩石の風化帯構造を知り、ある程度広い範囲を区域分けして、降雨に対する応答を評価していくことが必要であると考えられる。

花崗岩の場合には、この中に球状風化するものとマイクロシーティングを生じるものがあり、また、風化の程度も場所によって異なるが、ある程度地図上で分類することが可能であると考えられる。また、流紋岩の風化程度もマッピングすることが可能である。このような岩石の種類と特徴的な風化帯構造によって地質を分類することが必要である。

現在行われている土壌雨量指数による土砂災害警戒情報は、非常に高度化したものではあるが、最大の欠点は地中のモデルが1種類でブラックボックス化していることである。今回の西日本豪雨災害による経験は、地中のモデルを複数設定することが必要であることを示している。ただ、すべての地質ごとに設定する必要はなく、風化帯構造の共通するような岩石は1つのカテゴリとすることによって、煩雑さを回避できるものと考えられる。

謝辞

京都大学防災研究所における突発災害調査関わる研究経費および、科学研究費・特別研究促進費「平成30年7月豪雨による災害の総合研究（代表：山本晴彦）」の支援を受けた。松四雄騎氏には降雨などについて議論していただいた。また、現地調査においては、荒井紀之、平田康彦、益子将和の諸氏の協力を受けた。

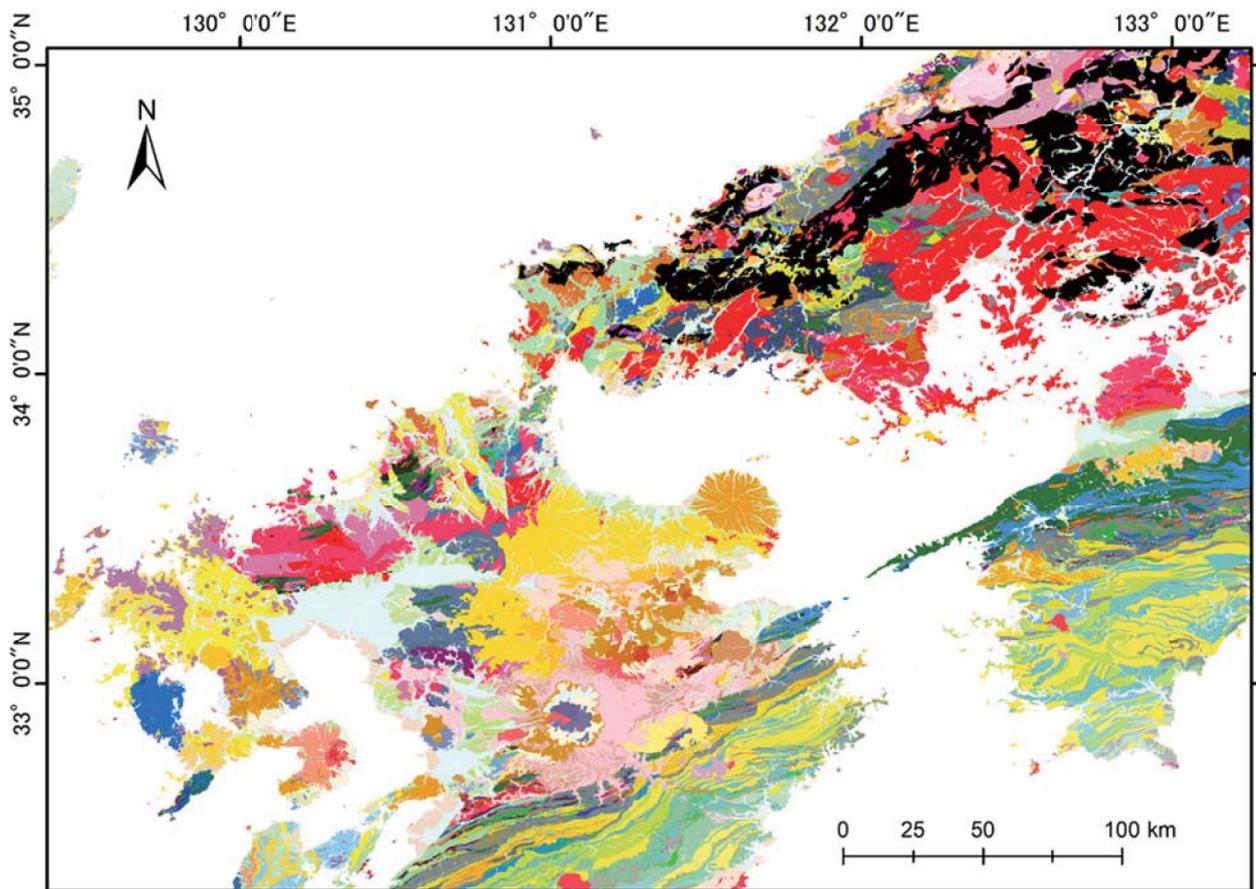


図 14 西日本の地質図（シームレス地質図による）。赤は白亜紀の花崗岩類、黒は白亜紀の流紋岩類を示す。

引用文献

千木良雅弘. 2002. 群発する崩壊－花崗岩と火砕流－. 近未来社, 名古屋.

Hirata, Y. & Chigira, M. 2016. 柱状節理に囲まれた花崗斑岩の物性構造 日本地球惑星科学連合大会 2016, 幕張, S-VC45-46.

千木良雅弘. 2018. 災害地質学ノート. 近未来社, 名古屋.

東元定雄, 松浦浩久, 水野清秀 & 川田清雄. 1985. 5 万分の 1 地質図幅「呉」説明書. 地質調査所.

藤田勝代 & 横山俊治. 2009. 香川県小豆島の花崗岩のラミネーションシーティングと小豆島石をたずねて. 地質学雑誌, 115, 89-107.