

2017年九州北部豪雨災害による斜面災害の特徴

Landslide Disaster Induced by the 2017 Northern Kyushu Rainstorm

千木良雅弘・凌斯祥⁽¹⁾・松四雄騎

Masahiro CHIGIRA, Sixian LING and Yuki MATSUSHI

(1) 中国西南交通大学

(1) Southwest Jiatong University, China

Synopsis

The 2017 Northern Kyushu Rainstorm induced numerous numbers of landslides, which heavily damaged forest, roads, rivers, and houses with 37 fatalities and 4 missing. We investigated landslides using air photographs and high-resolution digital elevation models. Landslides occurred mainly in areas with over 200 mm/3 hr of rainfall. Landslide densities were higher in granodiorite and pelitic schist areas than in areas of volcanic rocks. Landslides were mostly shallow but large landslides occurred in at least two locations, where landslide dams were made. Huge volume of tree logs yielded with rock debris and soil, enlarging the disaster.

キーワード: 2017年九州北部豪雨, 斜面崩壊, 花崗閃緑岩, 片岩

Keywords: 2017 Northern Kyushu rainstorm, landslides, granodiorite, schist

1. はじめに

2017年九州北部豪雨災害は、豪雨による膨大な数の斜面崩壊と土石流、さらに出水による災害であった。本災害は福岡県朝倉市、東峰村、大分県日田市にまたがる中山間地で発生し、人的被害は死者37名、行方不明者4名とともに、林地や耕作地への甚大な被害が発生した。発生した斜面崩壊の多くは深さ1m～5m程度の表層崩壊であったが、土石流に移り変わったものも多く、また、基盤岩まで崩壊する深層崩壊もいくつか発生し、また、河道閉塞も生じた。被災地は林業の盛んな地域であり、斜面崩壊と溪岸侵食によって大量の材木が流出した。本章では、主として斜面崩壊による斜面災害について記述する。

本災害を引き起こした降雨は、7月5日から6日にかけてのものであり、特に7月5日の午後強い降雨が引き続いた。被災地の朝倉では、5日の午後約500mmの降雨があり、最大時間雨量106mmに達した(Fig. 1)。東

西25km、南北15kmの範囲で斜面崩壊と土砂流出が生じた。特に強い降雨のあった朝倉市から東峰村にかけて、幅4km、長さ12kmの範囲に特に密集して斜面崩壊が発生した。

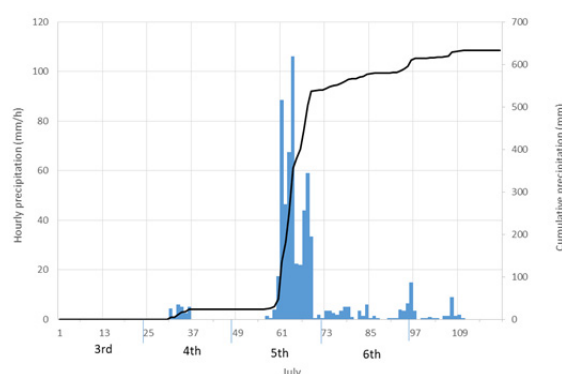


Fig. 1 Hyetograph at Asakura (AMEDAS, Asakura)

福岡県朝倉市,東峰村,大分県日田市の被災地は,最高標高約600mの中山間地で,南部を筑後川が東から西に流下し,筑後川の谷は大分-福岡県境から西に向けて広がっている.筑後川の河床レベルは40mから50mである.当該地域の地質は,古い方から,ジュラ紀の周防変成岩類,それに貫入した白亜紀の杷木花崗閃緑岩,それらを覆う古第三紀の堆積岩類と新第三紀の火山岩類からなる(北野・池田,2012)¹⁾.この地域の地質図としては,縮尺20万分の1地質図幅「福岡」²⁾と縮尺7万5千分の1地質図幅「豆田」³⁾とがあり,地質調査所のシームレス地質図は20万分の1地質図幅をもとにしている.しかしながら,筆者らが調査した結果では,詳細な地質分布については,豆田図幅の方が正確であった.そのため,以降の地質と崩壊との関係などについては,豆田図幅を用いた.その際,筆者らの調査によって地質境界などを多少修正した.

調査にあたっては,地理院地図に提供されている災害後の正射画像,その判読図を参考にして,崩壊源を判読した.また,災害前後の1mメッシュのDEMを用いて地形変化を分析した.これは国土交通省九州地方整備局によって取得されたもので,2017年1月および10月に取得されたものである.現地調査は,7月15-17日,9月5-7日,および1月26-30日に行った.

調査箇所は,西側から東に向けて,妙見川,奈良ヶ谷川,黒川上流,堂所山,赤谷川(正信,真竹,杷木赤谷,乙石),日田市鶴河内,そして日田市小野である.

2. 降雨状況と斜面崩壊

地理院地図の正射像判読によれば,合計3925か所の崩壊が判読され,それと降雨量の分布と比較した.

国土交通省の運用しているXRAINから7月5日の雨量データを取得し,7月5日の合計雨量,7月5日の中の3時間最大雨量,4時間最大雨量,5時間最大雨量を計算し,崩壊の分布と重ね合わせて図示した(図2-1).これによれば,降雨パターンはいずれも同様で,崩壊の密集地域で多量の降雨があったことを示していた.そのため,どの降雨が崩壊の発生に最も強く影響したのかは定かではない.一方で,2014年広島豪雨災害の時には3時間降雨量が崩壊の発生と密接に関係していたことがわかっている(松四他,2015)⁴⁾.図-2-1Aは3時間最大降雨量の分布であるが,これによれば,3時間降雨量が200mm以上の領域に崩壊が多数発生したことがわかる.崩壊密集地域は,南北の幅4km,東西の長さ12kmの範囲であった.

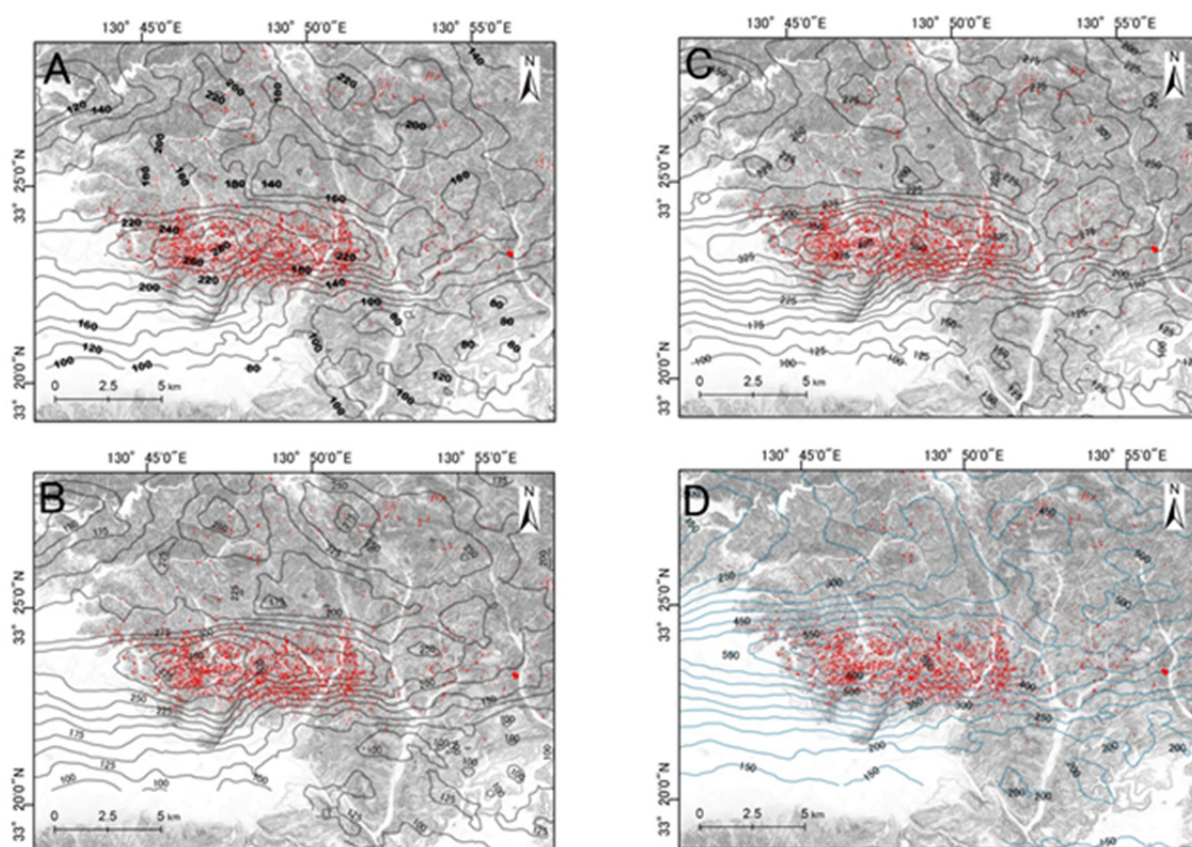


Fig. 2 Rainfall distribution in 5 July (from XRAIN data). A: 3-hour rainfall. B: 4-hour rainfall. C: 5-hour rainfall. D: Daily rainfall. They are all similar distribution patterns.

3. 崩壊と地質との関係

Fig. 3 に、地質と崩壊の分布を示す。赤谷の真竹東方では、Fig. 3 から、崩壊が泥質片岩地域と花崗閃緑岩地域に密集して発生したことがわかる。ただし、これは、3 時間雨量が 200 mm 以上の地域とほぼ重なる。図の東部は火山岩類が分布し、崩壊の密度は相対的に小さいが、雨量も西部に比べて少ない。なお、泥質片岩と花崗閃緑岩との境界は基本的には貫入関係で、前者は後者の接触変成作用を受けている。ただし、赤谷川の東側では、両者は断層で接し、赤谷川北方の葛生では、幅 50m のカタクレイサイト帯が認められた。また、赤谷川の真竹東方でもガウジを伴う破碎帯が確認された。

Fig. 3 の内、3 時間雨量が 200 mm 以上の地域で、崩壊が密集して発生した範囲について、地質毎の崩壊発生数と密度とを計算した。その結果、Fig. 4 に示すように、花崗閃緑岩地域では 942 個の崩壊が $89/\text{km}^2$ の密度で発生し、泥質片岩地域では 1216 個の崩壊が $77/\text{km}^2$ の密度で発生したことがわかった。次に崩壊

の数が多かったのは、緑色片岩の 158 個と少なかったが、この場合、密度は $63/\text{km}^2$ と大きかった。

泥質片岩と花崗閃緑岩とを比較すると、泥質片岩の崩壊の方が広くて深いことがわかる (Fig. 5)。崩壊の源の面積を比較すると、花崗閃緑岩地域で平均 806m^2 、泥質片岩地域で平均 1130m^2 であった (Fig. 6)。

(1) 泥質片岩地域の崩壊

泥質片岩は、花崗閃緑岩との境界付近数 100m はホルンフェルス化している。ホルンフェルス化していない地域、例えば妙見谷川や奈良ヶ谷川沿いでは、広く重力斜面変形が生じていること、そして 2017 年 7 月の豪雨では、重力変形した斜面の縁が崩壊したことが、発生前後の DEM データ比較から読み取れる (Fig. 7)。実際、野外調査では、重力斜面変形によって破碎した泥質片岩が一般的に認められた (Fig. 8)。

泥質片岩には、片理面と節理あるいは断層との組み合わせによって楔型の岩盤が崩壊した事例も認められた。これは、ホルンフェルス化した岩盤によく認められた。

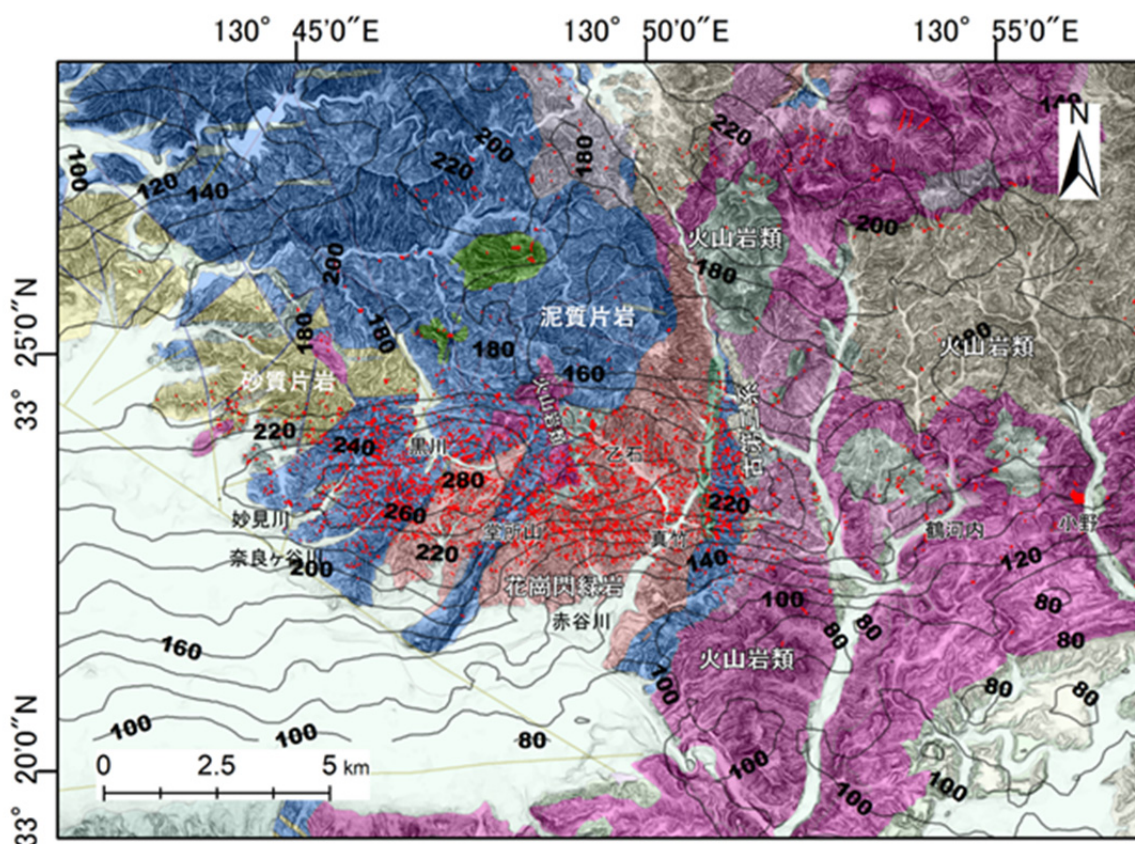


Fig. 3 Landslide distribution and geology. The rainfall distribution is maximum 3-hr intensity in 5 July. The geologic map of Mameda with a scale of 1:75,000 is simplified and modified.

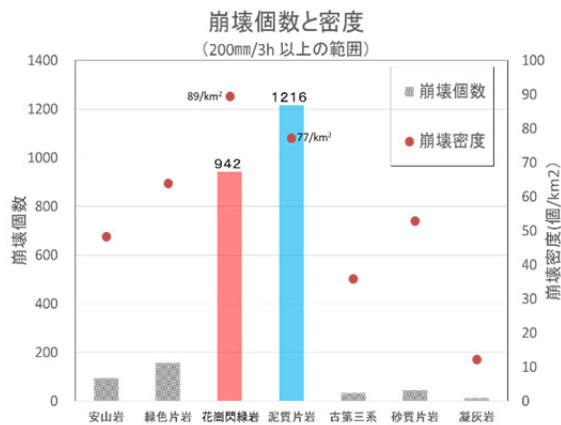


Fig. 4 Landslide numbers and densities according to bedrock types. Landslides in the major area of >200 mm/3 hr in Fig. 2 are counted.

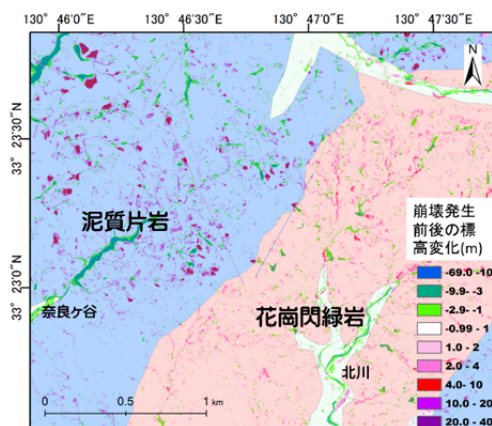


Fig. 5 Elevation change before and after the rainstorm.

重力変形していない場合でも、泥質片岩にはガウジや角礫など非固結破砕物質を伴う破砕帯が発達しており、それに起因して地下水の流れが遮水されて崩壊が発生したとみられるものも多数認められた。

泥質片岩の崩壊は、たいていの場合、根茎の到達深度よりも深いところで分離しており、そのために、樹木も土砂とともに滑り落ちた。

(2) 花崗閃緑岩地域の崩壊

花崗閃緑岩は特徴的な風化形態をしており、崩壊もそれに応じたものであった。花崗閃緑岩は、球状風化を呈しており、低標高部にコラストンの多く残存する部分があり、高標高部ではコラストンが失われて脆弱なマサからなる部分が分布するのが一般的であった(Fig. 9)。コラストンが残存する部分では、マサも比較的良好に締まっており、それが斜面表層部で土層化した部分がコラストンとともに崩壊した個所が多数認められた。コラストンは土砂とともに土石流化し、土石流の破壊力を増大しているように見受けられた。これらの崩壊はたいていの場合深さ 1m 程度以下と薄いものであった。

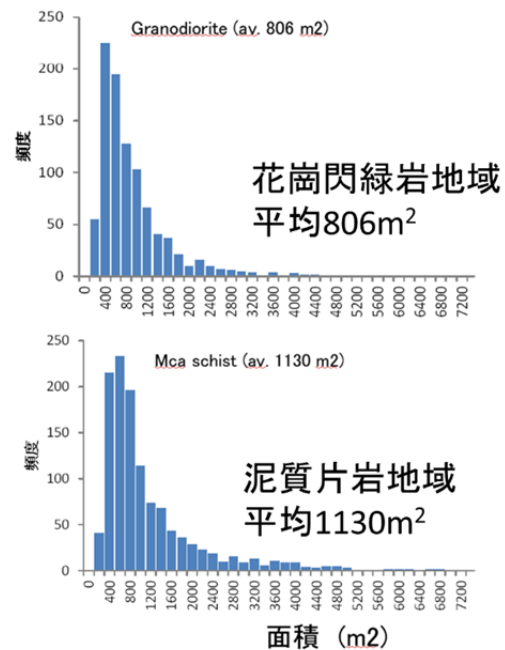


Fig. 6 Histograms of the source areas.

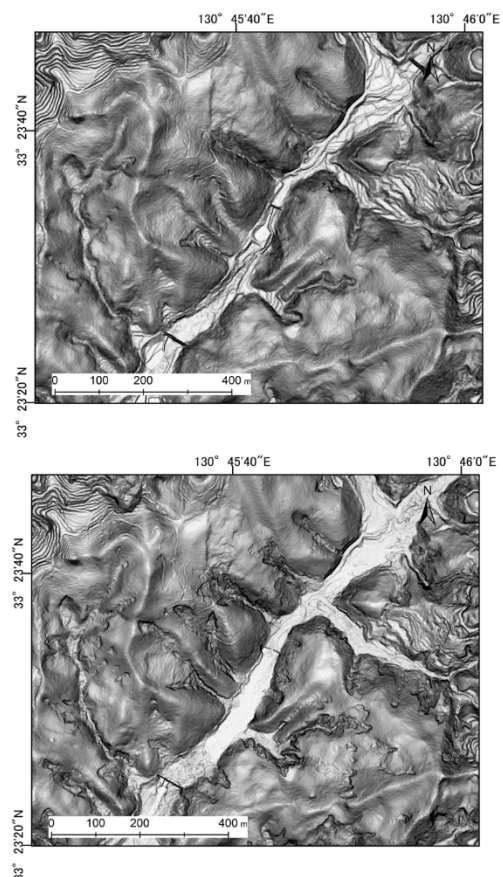


Fig. 7 Slope images before and after the rainstorm in the pelitic schist area in Myokendani catchment. Upper: before. Lower: after.

一方で、コラストンも失われて脆弱なマサからなる斜面では、単に表層の土層だけでなく、その下の



Fig. 8 Non-deformed pelitic schist (left) and gravitationally buckled pelitic schist (right).

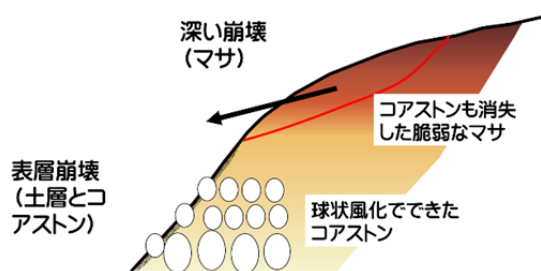


Fig. 9 Schematic profile of spheroidally weathered granodiorite.

深さ 6m 程度のマサも滑り落ちた事例があった。いずれも、樹木の根茎の到達位置よりも深いところからすべっていた。

(3) その他の地質と崩壊

黒川の上流域では、泥質片岩の上に火山岩（安山岩熔岩）が載っており、その球状風化によって形成されたコアストンが斜面下方に移動し、強く風化した泥質片岩起源ホルンフェルス斜面の上に堆積し、それが崩壊した事例が多く認められた。ここでは従来の地質図に示されているよりも火山岩の分布が広がった。

日田市の鶴河内と周辺では、強く風化した凝灰岩（一部礫岩）の上に上方の安山岩溶岩からの岩屑が載り、それが崩壊した個所が多く認められた。これは、強く風化した凝灰岩の透水性が低いことに起因していると思われる。

4. 深層崩壊

深部の岩盤の構造と性質に起因する崩壊する深層崩壊は、日田市小野地区と朝倉市乙石で発生した（Fig. 3）。

小野地区では、小野川の右岸が崩壊して河道を閉塞して、小規模な湖を形成した（Fig. 10）。崩壊斜面は、河床から 100m 程度までは緻密な礫岩などが露出し、崩壊したのはここよりも斜面上部であること



Fig. 10 Deep-seated catastrophic landslide at Ono.

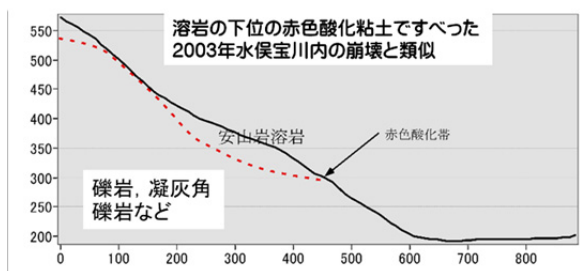
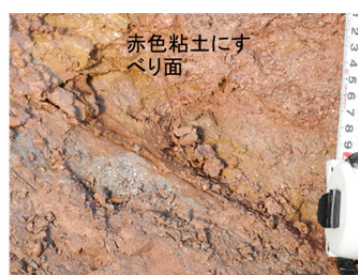


Fig. 11 Sliding surface and the geologic profile of the Ono landslide.

がわかる。そこには、広く赤褐色の層が露出し、そこにせん断面が所々認められたことから、この層にすべり面が形成され、その上の安山岩熔岩が崩壊したことが示唆される（Fig. 11）。この赤褐色の層は、粘土化した凝灰角礫岩であり、赤色は、上位の安山岩熔岩が流れた時の高温下の酸化によって生じたものと思われる。この粘土が遮水ゾーンをなし、そこから上の層が飽和して水圧が上昇して崩壊が発生したものと考えられる。崩壊発生前の空中写真と発生後の 1mDEM によれば、崩壊地の上に明瞭な滑落崖が認められるので（Fig. 12）、今回崩壊した個所は過去の地すべり移動体であると解釈でき、この地形から、崩壊危険個所として認定できたものとする。

乙石地区の崩壊では、崩壊地の西側の縁は南北方

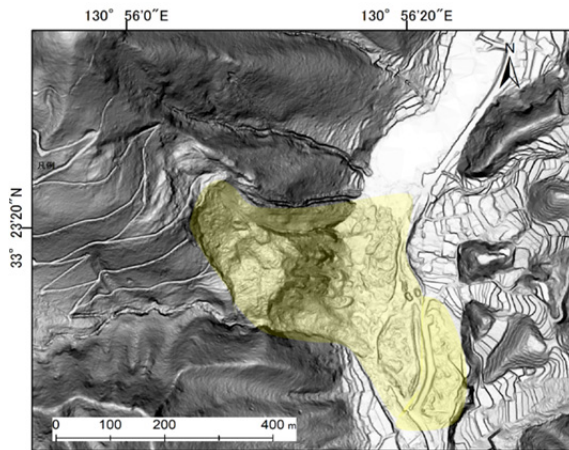


Fig. 12 Slope image of Ono landslide after the disaster.

向で東に傾斜する断層で境されており，そこから東側の斜面がすべった (Fig. 13). 岩盤は緑色片岩起源のホルンフェルスである．この断層の近傍で角礫交じりの粘土が認められたので，この断層は，断層ガウジを伴うものであると推定される．このガウジが遮水層の役割を果たしたものと考えられる．崩壊発生前には，斜面中央部の凸部と斜面上部の馬蹄形小滑落崖が認められるが，この小滑落崖は傾斜図でわずかに認められるのみであり，崩壊の前兆として認められるかどうかは，微妙である．

5. 他の豪雨による斜面崩壊発生事例との比較

花崗岩地域は，豪雨による斜面崩壊災害を数多く経験してきた (Fig. 14). Table 1 に，それらを降雨量とともに示す．雨量は累積最大雨量，1日最大雨量，時間最大雨量を示した．これを見ると，2017年九州北部豪雨災害は，いずれも，過去第3位以内に入り，時間最大雨量では最も大きかったことがわかる．次には，1976年小豆島災害，1967年羽越災害の時の降雨量が多かった．花崗岩の風化形態には大きく2種類あり，1つは今回の被災地で認められた球状風化，もう一つは，コアストンを伴わないシーティングおよびマイクロシーティングを伴う風化である．後者は，2014年広島豪雨災害の時の広島花崗岩に典型的に認められた．Table 1 に示した災害の中では，同様に強く大量の降雨のあった1967年羽越災害の時に，球状風化した花崗岩が数多く崩壊したことが報告されている^{6,7)}．このことは，球状風化した花崗岩は，強く大量の雨で崩壊しうることを示唆している．

鹿児島島の紫尾山の花崗閃緑岩では，崩壊して土層が取り去られた後，120年から150年程度で70 cm程度の土層が形成され，新たな崩壊の準備がなされると推定されている⁸⁾．

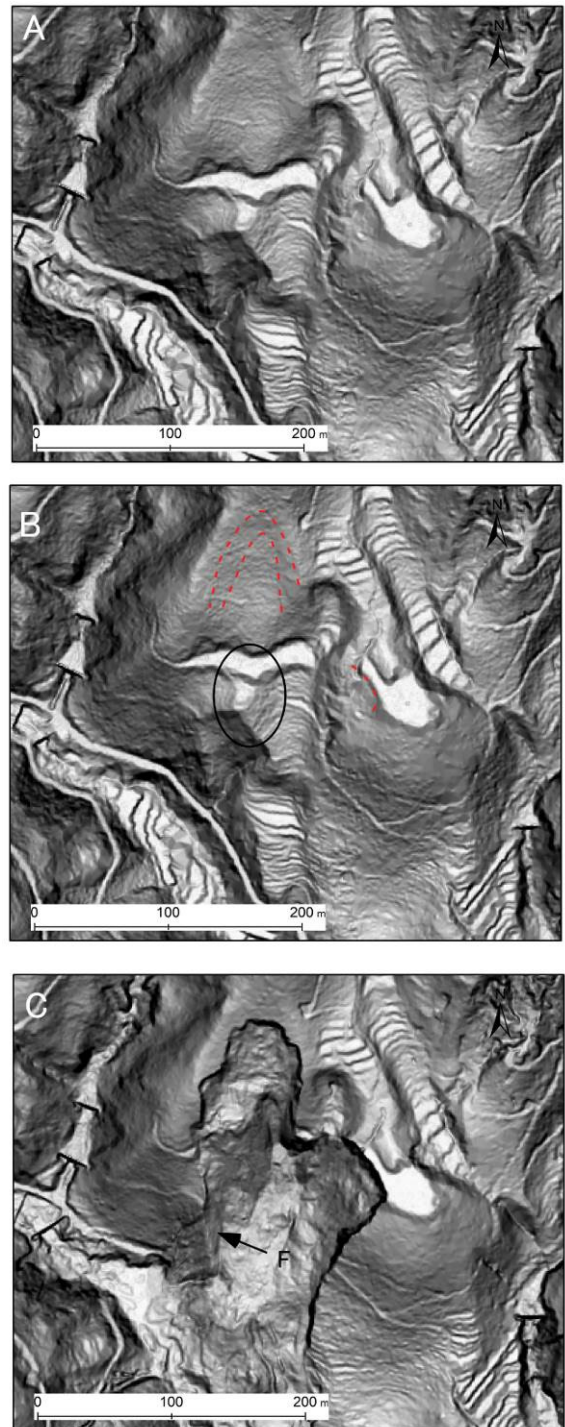


Fig. 13 Slope images of Otoishi landslide. A and B: before the rainstorm disaster. Circle indicate an unusual bulge and the red dashed lines indicate small scarps. C: After the disaster. F is fault.

Table 2 に，近年の豪雨による災害を地質によって整理した．これによると，表層崩壊が群発するが深層崩壊の発生しない地質と，深層崩壊が発生するが表層崩壊の非常に少ない地質とがある．花崗岩の場合は，前者であり，これは風化帯構造と土層の形成

過程によると考えられる．一方で，付加体の硬質の堆積岩は，表層崩壊が少なく，深層崩壊が発生する傾向があることがわかる．また 2006 年岡谷の災害，2012 年の阿蘇の災害や 2013 年の伊豆大島の災害の場合，表層に堆積した火山灰土や火山灰の表層崩壊群発であった．従来片岩地域に大量の降雨があった事例は少ないが，2004 年の愛媛県西条の災害の時に表層崩壊と深層崩壊とが発生した．ただ，この時には，航空レーザー計測による詳細地形データがなく，今回の九州北部豪雨の場合と同様の状況であったかどうかは明確ではない．それでも，泥質片岩は最も重力による斜面変形を受けやすい岩石であり，今回と同様の状況であった可能性は高い．

小野地区の深層崩壊のすべり面は高温赤色酸化を受けた粘土化した凝灰角礫岩に生じており，これは，2003 年の水俣宝川内の崩壊と同様で，九州に広く分布する新第三紀の火山岩類に同様の地質条件がある可能性を示唆している．

6. まとめと今後の課題

2017 年九州北部豪雨による斜面崩壊は，3 時間雨量 200 mm 以上，または日雨量 450 mm 以上の範囲に高密度に発生した．斜面崩壊は，花崗閃緑岩地域と泥質片岩地域に特に多く発生した．崩壊のほとんどは，根茎到達層よりも下位ですべてであり，そのために

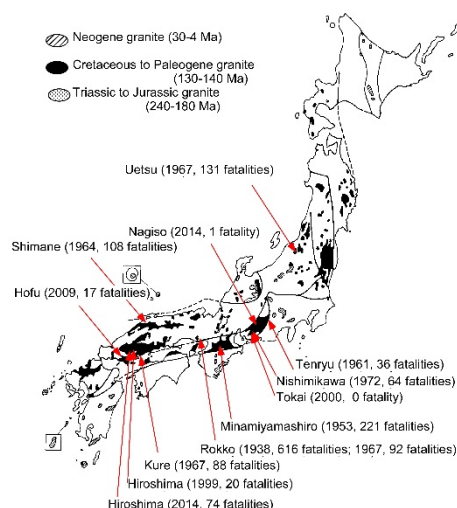


Fig. 14 Locations of rain-induced landslide hazards in granitic rock areas (Chigira, 2002)⁵⁾.

流木が多く生産された．花崗閃緑岩は球状風化しており，そのコアストーンが崩壊土砂に混じり，被害を拡大させた．コアストーンも消失し，強く風化した花崗閃緑岩(マサ)は数 m と深くまで崩壊した．今回の被災地に分布する花崗閃緑岩は，広島地域に分布する花崗岩とは風化形態が異なり，崩壊土石の挙動も異なっていたと思われる．

Table 1 Amounts of rainfalls that induced many landslides in granitic rock areas (data from Chigira (2002)⁵⁾).

Rain-induced landslide disaster in granitic rock areas	Maximum cumulative rainfall (mm)	Maximum daily rainfall (mm)	Maximum hourly rainfall (mm)	Fatalities and missing
1938 Rokko	462	270	61	616
1945 Hiroshima	219	—	57	1154
1961 Tenryu	579	325	—	136
1967 Uetsu	748	644	89	131
1967 Kure	317	—	75	88
1967 Hiroshima	317	—	75	88
1967 Rokko	379	319	76	92
1972 Tanzawa	545	516	87	9
1972 Nishimikawa	219	—	86	64
1976 Shodoshima	1433	778	76	120
1988 Hiroshima	264	—	57	14
1999 Hiroshima	271	—	81	32
2014 Hiroshima	—	217	101	74
2016 Northern Kyushu	586	545	129	41

Table 2 Recent landslide hazards induced by rainfalls.

Year	Date	Trigger (T: typhoon)	Place (Prefecture)	Geology	Deep-seated large landslide	Many Shallow landslides
1998	26 to 31 August	Rain (Front)	Fukushima	Vapor-phase crystallized ignimbrite	—	○
1999	29 June	Rain (Baiu front)	Hiroshima	Granite	—	○
2000	28-29 July	Rain (Front)	Rumoi (Hokkaido)	Soft sedimentary rocks	—	○
	11-12 Sept.	Rain (Front+T14)	Tokai (Aichi)	Granite	—	○
2003	20 July	Rain (Baiu Front)	Minamata (Kumamoto) Hishikari (Kagoshima)	Andesite lava and pyroclastics	○	○
	9-10 Aug.	Rain (T10)	Hidaka (Hokkaido)	Sandstone and conglomerate	—	○
	Ditto	Ditto	Ditto	Melange	—	○
2004	13 July	Rain (Baiu front)	Nagaoka (Niigata)	Weak mudstone	—	○
	Ditto	Ditto	Fukui	Volcanic rocks	—	○
	28-29 Sept.	Rain (T21)	Miyagawa (Mie)	Accretional complex (Hard sedimentary rocks)	○	—
	1 Aug.	Rain (T10)	Kisawa (Tokushima)	Accretional complex (Greenstone and hard sedimentary rocks)	○	—
	29 Sept.	Rain (T21)	Ehime-Kagawa	Heavily weathered hard sandstone and mudstone	—	○
	29 Sept.	Rain (T21)	Saijo (Ehime)	Schist	○	○
2005	6 Sept.	Rain (T14)	Mimikawa (Miyazaki)	Accretional complex (Hard sedimentary rocks)	○	—
2006	19 July	Rain (Baiu front)	Okaya (Nagano)	Loam	—	○
2009	21 July	Rain (Baiu front)	Hofu (Yamaguchi)	Granite	—	○
2010	16 July	Rain (Baiu Front)	Shobara (Hiroshima)	Soil	—	○
2011	4 September	Rain (T12)	Kii Mountains (Nara, Wakayama)	Accretional complex (Hard sedimentary rock)s	○	—
2012	12 July	Rain (Baiu Front)	Aso (Kumamoto)	Volcanic ash	—	○
2013	16 Oct	Rain (T26 Wipha)	Izu-Oshima (Tokyo)	Volcanic ash	—	○
2014	20 Aug	Rain (Back building)	Hiroshima	Granite	—	○

今後の斜面崩壊の危険性について考えると、花崗閃緑岩の崩壊予備物質は大量に存在しており、数十年たつうちに次の崩壊の準備が整い、今回と同様の降雨があれば、今後も崩壊が発生すると思われる。また、ホルンフェルス化していない泥質片岩は重力によって変形・破砕しており、その縁の部分で崩壊が多発した。このような崩壊は今後も強い雨によって発生することが懸念される。

大規模な崩壊の内、小野地区で発生したようなものは、地形的に予測可能であることがわかった。

引用文献

- 1) 北野一平・池田剛 (2012): 朝倉地域に産する周防変成岩類の接触変成作用の温度圧力条件-上昇過程の制約-. 地質学雑誌, 118(12), pp.801-809.
- 2) 久保和也・松浦浩久他 (1993): 縮尺 20 万分の 1 地質図幅「福岡」. 通商産業省工業技術院地質調査所.
- 3) 商工省(1933): 縮尺 7 万 5 千分の 1 地質図幅「豆田」.
- 4) 松四雄騎・渡壁卓磨・鄒青穎・平田康人・千木良雅弘 (2015): 2014 年広島災害における表層崩壊の発生メカニズムと降雨閾値. 京都大学防災研究所年報, 第 58 巻, pp. 24-33.
- 5) 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, 228p.

- 6) 昭和 42 年度文部省科学研究費特定研究 (災害科学)「昭和 42 年 8 月羽越水害の総合的研究 (研究代表者岩崎敏夫)」265p.
- 7) 昭和 42 年度文部省科学研究費特定研究 (特定研究)「羽越豪雨 (昭和 42.8.28) による崩壊の調査とその防災研究 (研究代表者西田彰一)」84p.
- 8) Shimokawa, E. (1984): Natural recovery process of vegetation on landslide scars and landslide periodicity in forested drainage basins. Proceedings of the Symposium on Effects of Forest Land Use on Erosion and Slope Stability, pp.99-107.

謝辞

本研究を進めるにあたって、京都大学防災研究所地盤災害研究部門の学生諸子の多大の協力を得た。また、本研究を遂行するにあたり、文部科学省の 2017 年度科学研究費補助金 (特別研究促進費)「平成 29 年 7 月九州・北部豪雨災害に関する総合的研究」(研究代表者: 秋山壽一郎), 2016-2017 年度 京都大学グローバル生存基盤展開ユニット 萌芽研究「山地斜面における森林生態系の基盤としての土層の存続条件の定量化」(研究代表者: 松四雄騎)を使用した。ここに記して感謝の意を表します。

(論文受理日: 2018 年 7 月 1 日)