

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2014～2016

課題番号：26282102

研究課題名（和文）火山砕屑物の層序、風化、物性に基づく地震地すべり危険度マッピング

研究課題名（英文）Hazard mapping of earthquake-induced landslides of pyroclastics based on stratigraphy, weathering, and mechanical properties

研究代表者

千木良 雅弘（Chigira, Masahiro）

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：00293960

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 9,600,000円

研究成果の概要（和文）：地震時に急激な崩壊性地すべりを多発してきたにもかかわらず、危険斜面としてはノーマークであった火山砕屑物の地震時地すべりを対象として事例研究を行った。その結果、地震時に流動的な崩壊を引き起こす地層は火山灰層序学と風化に基づいて特定しうることが明らかになり、また、それらの物質が地震動を受けてせん断される結果、間隙水圧が高まり、流動化する性質を持っていることが明らかになった。これらの結果から、物質の分布と力学特性によって、このタイプの地震時地すべりのハザード評価が可能になった。

研究成果の概要（英文）：We studied case histories of earthquake-induced landslides of pyroclastics, which had not been designated in landslide susceptibility maps even though they occurred in many numbers during earthquakes. We found that the beds that are prone to highly mobile landslides during earthquakes can be identified from the viewpoints of tephra stratigraphy and weathering and that they have characteristic dynamic features that pore pressure builds up and materials are mobilized by shearing during earthquakes. These results enable hazard mapping of this type of landslides on the basis of distribution and mechanical properties of these materials.

研究分野：地質学

キーワード：火山砕屑物 風化 地震 地すべり

1. 研究開始当初の背景

近年地震活動が活発化しており、地震時の地すべりが大災害を引き起こすことが頻繁に生じてきた。特に、火山砕屑物の地震時の崩壊性地すべりは 20°以下の緩斜面でも発生し、高速で広範囲に流れ広がり、甚大な災害を引き起こしてきた。しかしながら、このような緩斜面の急激な崩壊性地すべりは、現在国や都道府県で進められている土砂災害警戒区域指定基準からすると全くノーマークになる場所で発生しており、それらの地震時崩壊危険地域の特定は急を要するものである。本研究課題遂行中にも 2016 年熊本地震によって同様の現象が数多く発生し、甚大な災害を引き起こした。

2. 研究の目的

地震時に急激な崩壊性地すべりを発生してきた火山砕屑物を対象として、火山灰層序と堆積環境・風化に基づく崩壊危険物質の特定、崩壊危険物質の動的物性評価、および崩壊物質の移動範囲の力学的評価を行い、これらを総合して、地震時の火山砕屑物崩壊危険区域のマッピング方法を提示することを目的とした。

3. 研究の方法

既往の地震時崩壊発生事例を対象として、現地調査、鉱物・物理的性質の分析、力学特性の実験を行う。主な対象としたのは、1923 年関東地震、1949 年今市地震、2009 年インドネシアパダン地震、2011 年東北地方太平洋沖地震、さらに研究実施中に発生した 2016 年熊本地震によって発生した崩壊である。

(1) 崩壊層の層序学的位置

既往の事例を調査して、すべり面の形成層準の地質鉱物学的特徴と地質構造調べ、崩壊の危険性のある地層を火山灰層序学的に特定する方法論の検討を進める。

(2) すべり面の形成層準の地質鉱物学的特徴と地質構造

降下火砕物の積み重なるの検討と共に、鉱物組成の鉛直変化を検討し、すべり面の形成の可能性の高い層準を多地域において明らかにする。

(3) ハロイサイトに富む火山灰質土の動的性質

振動 3 軸試験を実施し、変形挙動に対する応力レベル、周波数、および初期含水率の影響を調べる。

(4) 長距離高速移動範囲の予測

リングせん断試験装置を用いて、非排水状態で動的載荷実験を行い、実験的に得られた摩擦角の最小値と実際の崩壊で得られた見かけの摩擦角との比較から、崩壊が発生した場合の土砂の移動範囲を見積もる方法を検討する。

4. 研究成果

従来の研究と、本研究から、わが国では今

までに多くの地震によって降下火砕物の崩壊が発生してきたことが明らかになった(図 1)。



図 1.地震による降下火砕物の流動的な崩壊の発生位置。等値線は、約 9 万年前以降の降下火砕物の厚さ(m)。

(1) 崩壊層の層序学的位置

調査の結果明らかになった崩壊のすべり面形成層準を表 1 に示す。

表 1 地震によって発生した降下火砕物の崩壊のすべり面の層準など (Chigira & Suzuki (2016)を修正加筆)

地震	月日	発生場の震度	崩壊の数	すべり面形成層の物質	すべり面の層準	すべり面の深さ(m)	死者
1923 関東	9/1	6	2 根府川	風化軽石ハロイサイト	こめかみ溶岩グループ	70 m, 30 m	447
			1 秦野(震生湖)	風化軽石ハロイサイト	東京軽石層(60ka-65ka)	17 m	2
1949 今市	12/26	5-6	88	風化軽石火山礫ハロイサイト	鹿沼軽石(32ka), 小川火山礫, 今市軽石	3-5 m	8
1968 十勝沖	5/16	5	152	火山灰土(砂質火山灰)ハロイサイト	十和田ハル火山灰(15ka)	<3 m, 1-2.5 m	33
1978 伊豆大島近海	1/14	5-6	7	火山灰土ハロイサイト	鉢の山火山灰の直下(29ka)	2-6 m	7
1984 長野県西部	9/14	6	5	風化軽石・スコリアハロイサイト	千本松スコリア(84-76ka)	5 m-200 m	29
2011 東北	3/11	6-6+	<10	火山灰土ハロイサイト	Sr10, 高久軽石(330ka)	3-9 m	13
2016 熊本	4/16	6+	>100	軽石火山灰土(黒土, 褐色土)ハロイサイト	草千里ヶ浜軽石(30ka)	2-14 m	7
				黒土, 褐色土(ハロイサイト)	草千里ヶ浜軽石よりも新しい	2-8m	
2001 El Salvador	1/13	MM 6, 7	>1000	古土壌鉱物分析なし	Tobas Color Café deposits	ca.20 m (Las Colinas)	844
2009 Padang	9/30	MM 8	160	古土壌と軽石混合層ハロイサイト	Qhpt (<70-80ka)	3.5-5.5 m	600?

すべり面の形成された地層は、図 2 のようにまとめられる。最も典型的なのは、軽石(あるいはスコリア)直下の火山灰土(あるいは古土壌)であり(図 2a)、これは火山灰土が風化を受け、化学成分を溶脱された後に上の地層が堆積し、それを通過してくる水中のシリカと火山灰土が反応してハロイサイトが形成されたものである。2 つ目は、安山岩溶岩や火山灰土の下の軽石あるいはスコリアである(図 2b)。3 つ目は、軽石と下位の火山灰

土との混合層である(図 2c)。4 つ目は、間隙をハロイサイトで充填された火山礫である(図 2d)。5 つ目は、埋没した黒土あるいは褐色火山灰土である。いずれのすべり面形成層にもハロイサイトが形成されており、これはこれらの地層が一旦埋没したのちに、地表から浸透してくる水と軽石や火山灰土が反応して形成されたものである。

過去に地震による崩壊発生の履歴がなくても、上記のような組み合わせのある地層には地震時に流動的な崩壊が発生する可能性があるといえる。

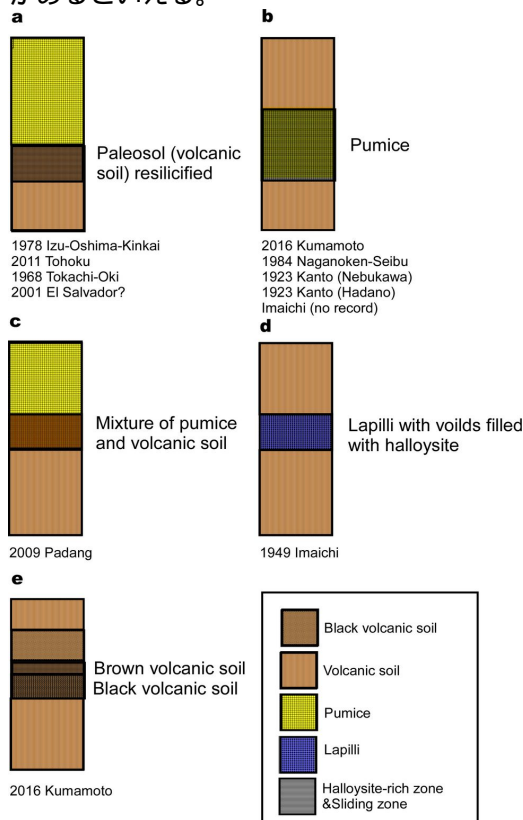


図 2 地震時にすべり面の形成された地層の層序的特徴 (Chigira and Suzuki, 2016 に加筆)

## (2) すべり面の形成層準の地質鉱物学的特徴と地質構造

表 1 に示したように、すべり面はほぼすべてハロイサイトに富む層準に形成されていた。ただ、例外的に、熊本地震では熱水変質を受けてスメクタイトの形成された層に形成されたものも 2 例あった。

地質構造として、崩壊した降下火砕物はほとんどの場合、地表面に平行な層理面を有していた。つまり、地震時に崩壊する条件として、このような流れ盤の構造があげられる。降下火砕物も古い時代のものは、堆積後浸食を受け、現在の地表面とは無関係な層理面を有する場合もあるが、この場合には、必ずしも地震時に不安定にはならない。

もう一つの重要な構造として、地表面に平行な層理面が斜面下方で侵食や人為によって切断され、地層が下方からの支持を失って

いることが挙げられる。調査した事例の大部分がこのような下部切断を受けていた。

## (3) ハロイサイトに富む火山灰質土の動的性質

熊本地震により発生した流動性地すべりに対する現地せん断実験および実地震波を用いた地震時地すべり室内再現実験を実施した結果、地震時に、ハロイサイトに富む軽石層の底部において、せん断破壊が発生し、せん断破壊後の運動によって、崩壊土塊において高い水圧が発生し、全層流動化に至ったことを明らかにした(図 3)。

また、同様の現象は、2011 年東北地方太平洋沖地震によって発生した白河市葉ノ木平の古土壌や、1949 年今市地震の時にすべり面の形成された小川火山礫でも確認された。

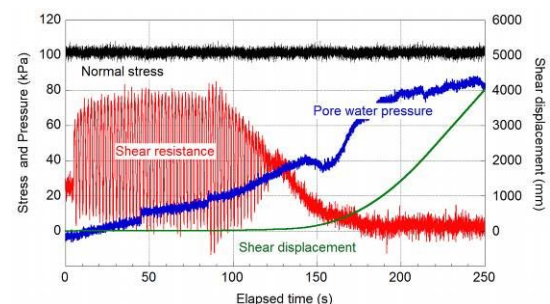


図 3 草千里ヶ浜軽石の風化物の非排水リングせん断試験結果。地震終了後も間隙水圧が上がり続け、せん断抵抗が失われることがわかる。

## (4) 長距離高速移動範囲の予測

崩壊した降下火砕物において流動性崩壊が発生しやすいため、土石流の運動予測に適用したシミュレーション手法および実測により得られた土層強度特性を用いて、崩壊土層の移動範囲を的確に予測することができると分かった。こういった手法を用いて、ハザードマップを高精度化することが可能になったと考えられる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 7 件)

1. 千木良雅弘. 2016. 深層崩壊に起因する災害と場の予測. 基礎工, 2016-6, 29-33.(査読なし)
2. 鈴木毅彦・白井正明・福嶋 徹 2016. 関東平野南部における上総層群のテフクロロジー. 地質学雑誌, 122 (7), 343-356. 2016 年 8 月
3. Suzuki, T., Nakajima, E., Kawashima, S., Kawai, M. and Nakayama, T. 2016. Identification of three Early Pleistocene tephtras in and around the west part of the Musashino Upland, Tokyo, Northeast Japan. Geographical

Reports of Tokyo Metropolitan University, 査読無, 51, 127-133. March, 2016.

4. 千木良雅弘, 2015. 近年の地震による急激な地すべりから学ぶもの. 日本地すべり学会誌 52, 45-50.
5. 千木良雅弘, 2015. 深層崩壊の場所の予測と今後の研究展開について. 応用地質 56, 200-209.
6. Wang, G., Suemine, A., Zhang, F., Hata, Y., Fukuoka, H., Kamai, T. 2014. Some fluidized landslides triggered by the 2011 Tohoku Earthquake (M9.0), Japan. Geomorphology, 208:11-21
7. Chigira, M. 2014. Geological and geomorphological features of deep-seated catastrophic landslides in tectonically active regions of Asia and implications for hazard mapping. Episodes, 37, 284-294.

〔学会発表〕(計 16 件)

1. Chigira, M. & Suzuki, T. 2016. Hazard mapping of earthquake-induced landslides of pyroclastic fall deposits Japan Geosciences Union Meeting 2016, Makuhari. 26 May, 2016.
2. Wang, G., Chigira, M. & Suzuki, T. 2016. Post shear behavior of pyroclastic fall deposits and landsliding phenomena during the 1949 Imaichi earthquake Japan Geosciences Union Meeting 2016, Makuhari. 26 May, 2016.
3. Wang, G. 2017. Fluidized landsliding phenomena during earthquakes. Extended Abstract in Proceeding of JTC1 Workshop on Advances in Landslide Understanding. May 24-26, Barcelona, Spain, 4p.
4. 千木良雅弘, 古木宏和, 笠間友博 & 鈴木毅彦. 2016. 震生湖をつくった地すべりは神奈川から東京に広く分布する東京軽石層内にすべり面をもっていた日本地球惑星科学連合大会 2016, 幕張. 2016年5月24日.
5. 鈴木毅彦 2016. テフラ研究の現状と課題. 日本第四紀学会 2016 年大会シンポジウム3「層序と年代基準」, 2016年9月19日, 千葉県千葉市.
6. 河原 尚徳, 飛田 哲男, 上田 恭平, 井合 進, 千木良雅弘, 2016. 初期せん断応力作用下での火山灰質粘性土の非排水繰返しせん断挙動, 第 51 回地盤工学研究発表会, 地盤工学会, 2016.岡山. 2016年9月13日.
7. Takanori Kawahara, Kyohei Ueda, Susumu Iai, Masahiro Chigira, Tobita T. Numerical analysis of landslides of pyroclastic fall deposits, 1st

International Conference on Natural Hazards & Infrastructure, ICONHIC2016, No. 65, 28 June, 2015.

8. Chigira, M., 2015. Geohazards in Asian countries, in: Japan Society of Engineering Geology (Ed.), 10th Asian Regional Conference of IAEG, Kyoto, p. 1 - 7. 26 September, 2015.
9. Chigira, M., Suzuki, T., Wang, G., Tobita, T., 2015. Debris avalanches of pyroclastic fall deposits induced by the 1949 Imaichi earthquake, Japan Geosciences Union Meeting 2015, Makuhari. 29 April, 2015.
10. Nakano, M., Chigira, M., ChounSian, L., Sumaryono, G., 2015. Geomorphological and geological features of the collapsing landslides induced by the 2009 Padang earthquake., 10th Asian Regional Conference of IAEG, Kyoto, pp. 1-5. Japan Society of Engineering Geology
11. Chigira, M., 2015. Earthquake-induced landslides in the ring of fire, The 4th International Symposium on Mega Earthquake Induced Geo-disasters and Long Term Effects, Chengdu. 9 May, 2015.
12. 千木良雅弘, 鈴木毅彦, 王功輝, 飛田哲男, 2015. 1949年今市地震による降下火砕物の崩壊の地質的特徴, 平成 27 年度日本応用地質学会研究発表会, 京都. 2015年9月25日.
13. Suzuki, T. and Murata, M. 2015. Identification of early to middle Pleistocene widespread tephras from Northeast Japan in Kanto, Central Japan: tie point for the stratigraphy of tephras from whole of Japanese Islands. XIX INQUA Congress 2015, 2015年7月31日, 愛知県名古屋市中区交野会議場.
14. Nakano, M. & Chigira, M. 2014. Geomorphological and geological features of the collapsing landslides induced by the 2009 Padang earthquake. Japan Geosciences Union Meeting 2014, HDS05-10. 29 February 2014. Yokohama
15. 千木良雅弘, 中野真帆, 土谷樹生. 2014. 降下火砕物の地震時崩壊性地すべりのハザードマッピングの可能性. 平成 26 年度日本応用地質学会研究発表会, 福岡. 2014年10月29日.
16. 鈴木毅彦, 2014. 上総層群の手風呂クロナロジーに関する研究レビューと今後の課題. 日本地球惑星科学連合 2014 大会, 2014年5月2日, パシフィコ横浜.

〔図書〕(計 4 件)

1. Chigira, M. & Suzuki, T. 2016. Prediction of earthquake-induced landslides of pyroclastic fall deposits. In: Aversa et al. (eds.) Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice. Associazione geotecnica Italiana, Rome, 93-100.
2. Chigira, M., Kanaori, Y., Wakizaka, Y., Yoshida, H. & Miyata, Y. 2016. Engineering Geology. In: Moreno, T., Wallis, S., Kojima, T. & Gibbons, W. (eds.) The Geology of Japan. Geological Society, London, 461-487.
3. 千木良雅弘. 2016. 地質と災害 応用地質の見方考え方 . 近未来社, 名古屋.
4. Chigira, M., Nakasuji, A., Fujiwara, S. & Sakagami, M. 2014. Soil-Slide Avalanches of Pyroclastic Fall Deposits Induced by the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake. In: Kawase, H. (ed.) Studies on the Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake. Springer, Tokyo, 65-86.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

千木良雅弘 (CHIGIRA Masahiro)  
京都大学・防災研究所・教授  
研究者番号 : 00293960

(2) 研究分担者

飛田哲男 (TOBITA Tetsuo)  
関西大学・工学部・准教授  
研究者番号 : 00346058

王功輝 (OH Koki)  
京都大学・防災研究所・准教授  
研究者番号 : 50372553

鈴木毅彦 (SUZUKI Takehiko)  
首都大学東京・都市環境科学研究科・教授  
研究者番号 : 60240941

(3) 連携研究者

松四雄騎 (MATSUSHI Yuki)  
京都大学・防災研究所・准教授  
研究者番号 : 90596438

(4) 研究協力者

( )