

テフラ層の風化メカニズムと地震時のすべり面形成に関する研究  
 –2016年熊本地震により発生したテフラ斜面の崩壊を例に–  
 The Weathering Mechanism of Tephra that Relates the Sliding Surfaces  
 of the 2016 Kumamoto Earthquake-induced Landslides

○佐藤達樹・千木良雅弘・松四雄騎

○Tatsuki SATO, Masahiro CHIGIRA, Yuki MATSUSHI

The Kumamoto earthquake occurred on 16th April 2016 with a magnitude of 7.3 and induced more than 800 landslides on the hillslope around the Aso caldera. We sketched stratigraphy of tephra layers and identified materials of sliding surface to 63 landslides occurred around Aso central cones. Sliding surfaces were mainly formed in the layer of dark volcanic soils, pumice stones and debris flow deposits (Br with lava blocks) just below the high-strength tephra layer, which contains halloysite in common. We suggest that formation of halloysite is caused by the resilication around the sliding surfaces supplied silica-rich groundwater from upper layers. Thus, the stratigraphic of the tephra layer plays a key factor of weathering processes and formation of sliding surface of the earthquake-induced landslides.

### 1. はじめに

地震動を誘因とした斜面崩壊はこれまで多数発生し、世界各地で被害をもたらしてきた(Keefner, 2002). 特にマントルベディングしたテフラのなす流れ盤斜面では地震動によりすべり面の傾斜が $30^\circ$ を下回るような緩傾斜で流動性の高い崩壊の発生が多数報告されており、すべり面形成層にはハロイサイトが共通して含まれていた(Chigira・Suzuki, 2016). ハロイサイトに富む土壌における斜面崩壊の多くは平板型のすべりとして始まり、崩壊物が混ざりながら斜面下方へ流動的に移動し、堆積域が拡大するような流動性の高い崩壊に発展することが報告されている(Crudon・Varnes, 1996).

熊本県阿蘇郡南阿蘇村は、2016年4月16日の熊本地震本震により最大震度6強の強い揺れに見舞われ、それに伴って多数の斜面崩壊が発生した。これらの斜面崩壊および住宅の倒壊などにより死者16名におよぶ人的被害をはじめ、多数の建物や道路等のインフラ被害をだす大惨事となった。斜面崩壊はおおよそ布田川断層沿いに発生し、この断層の末端に位置する阿蘇カルデラ西部において集中的に発生した。斜面崩壊の形態は、溶岩や溶結・非溶結凝灰岩などの岩盤からなる急崖の崩壊と中央火口丘西側の比較的緩斜面の崩壊(テフラ斜面の崩壊)に大別できる(佐藤ほか, 2017).

本研究ではテフラ斜面の崩壊を対象に研究を行った。

### 2. 地質概要

調査地域のテフラは軽石、スコリア、砂質火山灰、広域火山灰(鬼界アカホヤ火山灰:K-Ah, 始良丹沢火山灰:AT),そして火山灰土から構成されていた。火山灰土は色調により分類可能であり(渡辺, 1990),本研究においては黒ボク,赤ボク,そして両者の中間的な性質および色調を示す暗褐色火山灰土(黒ボクと合わせて暗色火山灰土)に分類した。草千里ヶ浜軽石(Kpfa)は30kaに噴出した軽石であり(渡辺ほか, 1982),調査地域において最も出現頻度が高く,重要な鍵層であった。

### 3. 調査方法

崩壊の分布および地形・地質的特徴を明らかにするため空中写真判読,現地における崩壊地形の簡易測量,テフラ層序およびすべり面形成層の記載,土壌硬度試験そして簡易貫入試験などを行った。テフラの風化過程を検討するため深度100cmからすべり面形成層付近までの成層するテフラを10cm間隔で採取し,鉱物組成分析,強熱減量測定,自然含水比測定などを行った。

#### 4. 結果および考察

空中写真判読の結果、阿蘇中央火口丘斜面にはテフラの崩壊と判断される崩壊地が400箇所以上判読され、その内63箇所を現地調査した。調査した崩壊のほとんどは平板状のすべり面を有しており、崩壊物が激しく攪乱されずに1枚の絨毯のように移動し、斜面下方の平坦地に薄く流れ広がったり、崩壊物がブロック状に散在していた。また、隣り合う崩壊が合わさって流動化したり、崩壊物が沢沿いに流動化した崩壊も認められた。これらの崩壊の見かけの摩擦角は $7.5\sim 25^\circ$ と小さく、過去の地震時テフラ斜面の崩壊と同様に高い流動性を有していたことがわかった。崩壊のすべり面傾斜は $20\sim 30^\circ$ に集中しており、すべり面深度は2~8mの頻度が高く、最大14mに達していた。

調査した63箇所の崩壊の内、特に頻度の高かったすべり面形成層は暗色火山灰土(21箇所)、Kpfa(20箇所)、土石流堆積物と推定される溶岩塊混じりの赤ボク(10箇所)であり、これらが63箇所の内51箇所を占めており、これらのすべり面が形成された層準には共通して粘土鉱物であるハロイサイトが生成していた。

すべり面形成層およびテフラ層序の類似性から崩壊の発生した地域を中央火口丘から西へ近傍地域、山麓地域、西側地域の3つに分類することができた。崩壊のすべり面は、近傍地域では暗色火山灰土に、山麓地域ではKpfaに形成されていた箇所が多く、西側地域では局所的に層序およびすべり面形成層が異なる崩壊地が多いが、溶岩塊混じりの赤ボクに形成されていた個所が多かった。

ハロイサイトは深度2m付近までのテフラにはほとんど認められず、2m以深の暗褐色火山灰土で生成していたことがわかり、これは地表付近のテフラから溶脱されたSiが地下深部に埋没したテフラに再付加してハロイサイトが生成したことを示唆している。ハロイサイトの含有量は暗色火山灰土層で多く、それらに覆われるテフラ層はハロイサイトに乏しい層となっており、表層部から下方に供給されるSiが暗色火山灰土層のハロイサイト化に消費され、その下に十分に供給されなかったことが示唆される。Kpfaは、暗色火山灰土に覆われる場合には基底部にのみハロイサイトが生成しており、山麓地域のようにKpfaが暗褐色火山灰土ではなく赤ボクまたは黒曜石および軽石からなる岩屑流堆積物に覆われる場合には、軽石層

上部からハロイサイトが生成していた。

熊本地震によるテフラ斜面の崩壊のすべり面は、既往の地震時テフラ斜面崩壊と同様に硬い層の下の軟弱層に形成されていたことから、この硬軟の組み合わせが崩壊発生に重要な役割を持っていたと考えられる。調査した崩壊63箇所の内46箇所の崩壊で地震発生前にすべり面形成層準が斜面下部で切断されていたことから、地震前に潜在的なすべり面形成層が斜面下部で切断されて予め不安定化していた箇所で崩壊が発生しやすかったことが示唆される。ハロイサイトの生成場がテフラの給源を反映した層序関係により異なること、そして、硬い層の下のハロイサイトに富む軟弱な層にすべり面が形成されやすいと推定されることから、熊本地震ではテフラ層序に応じて地震時の崩壊のすべり面形成層が決まった可能性が高い。

#### 引用文献

- Chigira, M. & Suzuki, K. (2016): Prediction of earthquake-induced landslides of pyroclastic fall deposits. In: al., A. e. (ed.) Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice. Associazione geotecnica Italiana, Rome, 93-100.
- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996): Landslide Types and Processes, Special Report, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 247, 36-75
- Keefer, V. (2002): Investigating landslides caused by earthquakes - A historical review, Surveys in Geophysics, 23, 475-510.
- 佐藤達樹・千木良雅弘・松四雄騎(2017):2016年熊本地震により発生した阿蘇カルデラ西部における斜面崩壊の地形・地質的特徴, 京都大学防災研究所年報, 第60号, B, 431-452.
- 渡辺一徳・小野晃司・平塚勝一(1982):草千里ヶ浜火山の軽石噴火について, 火山, 2, 337-338.
- 渡辺一徳・高田英樹(1990):阿蘇カルデラ周辺域における火山灰層と黒ボク土の斜交. 熊本大学教育学部紀要(自然科学), 39, 21-27.