

## 平成 28 年（2016 年）熊本地震による流動性崩壊の発生・運動機構について

On the initiation and movement mechanisms of fluidized landslides triggered by the 2016 Kumamoto Earthquake

○王功輝・土井一生・釜井俊孝・後藤聡

○Gonghui WANG, Issei DOI, Toshitaka KAMAI, Satoshi GOTO

During the 2016 Kumamoto earthquake, numerous landslides had been triggered in Minamiaso Village. Among them, a landslide occurring on Kawayo Takanodai area is the most catastrophic, which was originated on a gentle slope with the sliding surface being around 15 degree. The displaced landslide debris was fluidized and traveled a long distance, resulting in five casualties and severe damage to many houses on the downslope. In this study, we examined the features of sliding surface, performed both in-situ direct shear tests and dynamic ring shear tests on the soils taken from the sliding surface, and then analyzed the possible initiation and movement mechanisms of this landslide.

## 1. はじめに

平成 28 年 4 月 16 日の Mj7.3 熊本地震によって、熊本県南阿蘇村を中心として、数多くの自然斜面において、斜面崩壊や地すべりなどが発生し、地震による被害を大きく拡大した。その中で特に河陽高野台地区において発生した地すべり（これから「河陽高野台地すべり」と呼ぶ）(写真 1) が甚大な被害をもたらした。この地すべりの発生・運動機構を解明するために、現地調査および土質試験研究を行った。その結果について報告する。



写真-1 高野台地区付近に発生した土砂災害(アジア航測株式会社より)

## 2. 河陽高野台地すべり

河陽高野台地すべりは、高野台地区の東に位置する溶岩円頂丘（火山研究所溶岩、約 5 万年前）の斜面で発生した流動性の高い地すべりである。高野台地区には住宅や別荘が建ち並んでいたが、崩壊土砂は約 500m 流下し、この住宅地にまで到達した。その結果、複数の住宅が巻き込まれ、死者 5 名を出す災害となった。

滑落崖には埋没古土壌（黒ボク）を含む、約 8m の降下火砕物（テフラ層）が露出し、これら一連のテフラ層が三つのブロックに分かれて、異なった方向へ流下した（図 1）。このうち、北方へ向かった流れでは、移動土塊のテフラ層が激しく分解されてお

り、他に比べて流動性が高かったため、災害に繋がったと考えられる。一方、他の方向に流下したブロックでは、地表部に残る芝生の状態から崩土の分解の程度が低く、この部分では Spread flow と呼ばれる運動様式であったと推定される。



写真-2 源頭部に露出したすべり面。薄く引き延ばされて付着していた「草千里ヶ浜火山降下軽石」（約 2.6 万年）とすべり面を流下する地下水



図-1 河陽高野台地すべりおよびその周辺の土砂災害

崩壊域の底部に露出した地すべり面（写真 2）には、やや固い暗褐色のスコリア質テフラ層上に淡黄色の軽石層が数 mm の厚さで付着していた。滑落崖の直下に掘ったピットを観察した結果、こういった

淡黄色の軽石層が数 mm~cm の厚みで褐色のテフラ層と上覆の黄色軽石（約 2.6 万年前の草千里ヶ浜火山降下軽石）の間に挟在することが分かった（写真 3）。これにより、地すべりが黄色軽石層の底面付近をすべり面として発生し、より上位の厚さ約 8m のテフラ層が、この軽石層の底部に沿って高速で移動したと考えられる。この部分のすべり面の傾斜は、地すべり発生以前の地表傾斜とほぼ等しく、約 15°であった。すべり面に露出していた淡黄色の薄い軽石層は、透水性の低い褐色テフラ層の表面に沿って流れていた地下水により、草千里ヶ浜火山降下軽石が著しくハロイサイト化した土層だと考えられる。

### 3. 実験研究と考察

地すべりの発生・運動機構を調べるために、源頭部に露出したすべり面（写真 2 に示す）下部から粘土質の火山灰および滑落崖の直下に掘った勘察ピット（写真 3）から降下軽石を採取した。採取した不攪乱試料に対して、直ちに現場で一面せん断実験を実施した。また、実験室用の試料を採取した後に、ビニール袋に入れ、完全密封した状態にした。これらの試料に対して、自然含水状態および飽和状態でのせん断挙動を調べた。

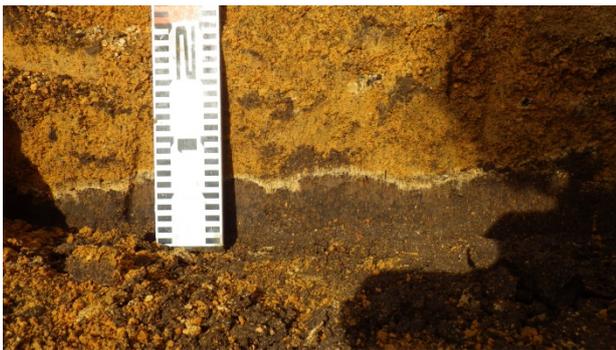


写真-3 源頭部のすべり面附近から露出した降下軽石

異なる試料に対して、自然含水状態で非排水静的せん断実験を行った結果、何れの試料においてもせん断破壊後のせん断変位の増加に伴って、高い過剰間隙水圧が発生し、せん断抵抗が大きく低下しうることが分かった。また、自然含水状態での降下軽石に対して繰り返し非排水せん断実験を行った結果、約 1.5 の初期せん断応力比振幅で繰り返しせん断載荷を長時間に与えたことにより、過剰間隙水圧がゆっくりと上昇し、せん断破壊が発生した。その後、せん断破壊の進行に伴った過剰間隙水圧の上昇により、せん断抵抗がほぼゼロまで低下したが分かった（図 3 に示す）。しかし、同じ試料を用いて、飽和度を高めた状態で実験を行った結果、試料が瞬間的破壊され、完全液化化したことが分かった。即ち、これらの試料の非排水せん断挙動は飽和度に極めて敏感である。しかし、地震時におけるすべり面附近の土層は、完全飽和状態ではない可能性が高い。ま

た、原位置一面せん断試験結果から得られたこの試料の鋭敏比（約 1.9）および図 3 から、この降下軽石においては、大きな地震動がないとせん断破壊は発生しないと推察される。これは、恐らく 4 月 14 日の前震（Mj6.5）によって、この地すべりが発生しなかった原因であると考えられる。

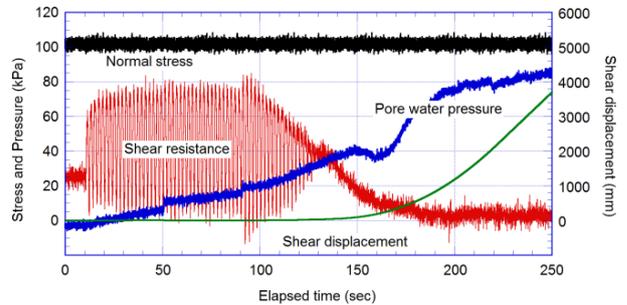


図-3 自然含水状態における降下軽石に対する繰り返しせん断試験結果 (Water content: 133%)

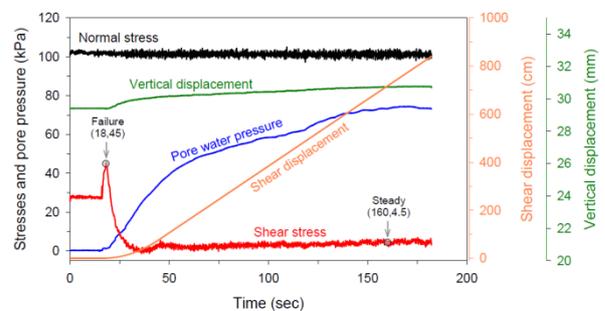


図-4 飽和度を高めた状態における降下軽石に対するせん断実験結果 (Water content: 190%; dry density: 0.5 g/cm<sup>3</sup>)

### 4. 終わりに

H28年(2016)熊本地震によって南阿蘇村河陽高野台地区において発生した流動性崩壊に対して、現地調査および室内土質実験を行った。これまでに得られた結果は以下の通りである。

- ・河陽高野台地すべりは降下軽石層の底面付近をすべり面として発生し、より上位のテフラ層が、移動に伴って発生した高い過剰間隙水圧により、せん断抵抗が大幅に低下し、高速で移動したと考えられる。
- ・降下軽石層は自然含水状態においても、せん断破壊後に高い過剰間隙水圧が発生し、せん断抵抗がほぼゼロまで低下しうる。
- ・自然含水状態における降下軽石層は、繰り返しせん断に対して、抵抗が大きい。これは恐らく強い前震時 (Mj6.5) に地すべりが発生しなかった原因であると考えられる。

本研究実施にあたり、科学研究費補助金(26282102, 15H01797), 「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」特別事業費および京都大学防災研究所拠点研究 (28A-04, 28U-06) の助成を受けた。