

南阿蘇村高野台地区に分布する草千里ヶ浜火山降下軽石のせん断特性

九州大学大学院 学生会員 ○山縣史朗

九州大学大学院 正会員 笠間清伸 九州大学大学院 正会員 古川全太郎

九州大学大学院 正会員 八尋裕一 九州大学大学院 学生会員 田中大貴

1. はじめに

平成 28 年 4 月 14 日 21 時 26 分頃、熊本県熊本地方を震源とするマグニチュード 6.5 の地震が発生した。震源の深さは 11 km, 日奈久断層帯の高野一白旗区間が動いたことによる内陸直下型地震であるとされる。その後、16 日 1 時 25 分頃に熊本県熊本地方を震源とし、14 日 21 時 26 分の地震の規模を上回るマグニチュード 7.3 の地震が発生した。震源の深さは 12 km であり、布田川断層帯が動いたと考えられている¹⁾。これらの地震に伴い多くの斜面災害が発生し、南阿蘇村高野台地区では緩斜面において地すべり性崩壊が発生した。南阿蘇村高野台地区における地すべり性崩壊には阿蘇地域に広く分布する火山灰質土、特に草千里ヶ浜火山降下軽石が関係していると考えられている。本文では、草千里ヶ浜火山降下軽石を対象に、一面せん断試験および繰り返し一面せん断試験を実施し、その静的および動的せん断特性を明らかにした。

2. 試料および試験方法

実験では、南阿蘇村高野台地区より、攪乱および不攪乱状態で採取した草千里ヶ浜火山降下軽石(自然含水比 107.2%, 土粒子密度 2.467 g/cm³, 間隙比 4.21, 飽和度 62.8%)を試料として用いた。以下、これを降下軽石と呼ぶ。これに対し、一面せん断試験および繰り返し一面せん断試験を実施した。

一面せん断試験および繰り返し一面せん断試験では、内径 60 mm, 高さ 40 mm の円筒に、高野台地区の現場より不攪乱状態で採取したものを、試験前に高さ 20 mm に成形し供試体として使用した。一面せん断試験では、25, 50, 100 kPa の垂直応力で圧密させ、その後 0.2 mm/min のせん断速度で、定圧条件或いは定体積条件で 7 mm までせん断を行った。繰り返し一面せん断試験では、100 kPa の垂直応力で圧密させ、その後、0.2 mm/min のせん断速度で 1 mm 或いは 0.5 mm の変位制御で、定体積条件で片振りの繰り返しせん断を 19 回繰り返した。その後 7 mm までせん断を行った。なお、圧密過程はすべて 5 分以内に終了した。

3. 試験結果

一面せん断試験では、定圧条件 (CD 条件に対応) と定体積条件 (CU 条件に対応) の二つの条件で実験を行った。図-1 に一面せん断試験の結果を示す。定圧条件と定体積条件とを比較してみると、条件によるピーク強度の強度定数の差はほとんどないことがわかった。一方、残留強度の強度定数は、粘着力 $c_{cvresidual}=46.8$ kPa, せん断抵抗角 $\phi_{cvresidual}=50.8^\circ$ であり、粘着力はピーク時より小さくなるものの、せん断抵抗角は、逆に大きくなることがわかった。また、今回判明した降下軽石の強度定数を大隅半島に分布する降下軽石(ボラ)の調査²⁾により判明したそれと比較すると、定圧条件での強度定数や定体積条件でのピーク強度の強度定数は比較的近い値をとっている。一方、定体積条件での残留強度の強度定数は、粘着力はあまり変わらないものの、せん断抵抗角がひと際大きいことがわかった。両者の比較を図-2 に示す。

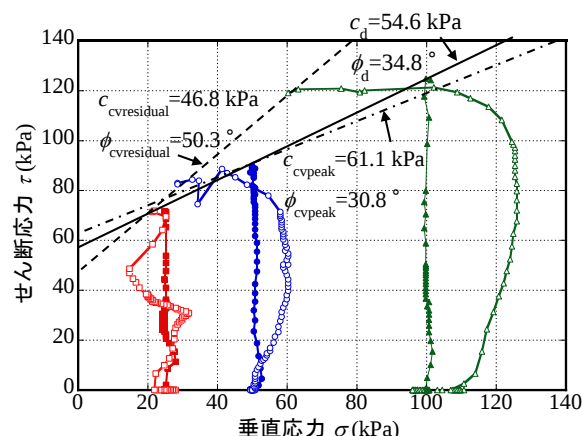


図-1 一面せん断試験の結果

キーワード：2016 年熊本地震、地すべり性崩壊、草千里ヶ浜火山降下軽石、繰り返し一面せん断試験

連絡先：福岡県福岡市西区元岡 744 ウェスト 2 号館 1110, 電話番号：090-6931-9768

繰り返し一面せん断試験の結果を図-3 および図-4 に示す。変位が 1 mm の場合も 0.5 mm の場合も繰り返しせん断を与えられると、応力経路が原点近くの破壊包絡線付近で推移することがわかった。この挙動は、液状化が生じているときの挙動に酷似している³⁾。つまり、地震発生時、繰り返しせん断によって降下軽石が液状化を起し、それが今回の南阿蘇村高野台地区における地すべり性崩壊の直接的な原因の一つではないかと考えられる。変位が 1 mm の場合と 0.5 mm の場合とで比較すると、液状化現象が確認されたのが変位 1 mm の場合より繰り返し回数で 1 回分遅く、与えられる変位が小さいと比較的液状化を起しにくいことがわかった。

繰り返し一面せん断試験で得られた垂直応力の低下や地震による慣性力を考慮した安全性を評価するために、圧密圧力 $\sigma_c (=100 \text{ kPa})$ 、地下水のない、傾斜角 $i (=15^\circ)$ の無限に長い斜面での安全率を求めると以下の式(1)になる。ここで k は水平震度を表す。

$$F.S = \frac{c + \{\sigma \cos(i) - k\sigma_c \sin(i)\} \cos(i) \tan \phi}{\sigma_c \cos(i) \{\sin(i) + k \cos(i)\}} \quad (1)$$

一面せん断試験で得られた強度定数と繰り返し一面せん断試験で得られた垂直応力の低下を用いて得られた繰り返し回数と安全率との関係を図-5 に示す。繰り返しせん断を受け、さらに地震による慣性力を受けると、安全率が 1 を下回り、崩壊に繋がる危険があることがわかった。

4. まとめ

今回明らかになった南阿蘇村高野台地区に分布する降下軽石の特徴は、以下ようになる。

- 1) ピーク強度の強度定数は過去ものとはあまり変わらないが、定体積条件での残留強度の強度定数は、粘着力は 50 kPa 弱とあまり変わらないものの、せん断抵抗角は 15° 以上大きい。
- 2) 平常時における高野台地区の斜面の安全率は 4.7 程度であり十分な安定性を有するが、地震時の繰り返しせん断に起因する垂直応力の低下や地震慣性力により、安全率が低下する。

参考文献

- 1) 中央開発株式会社：熊本地震現地調査報告書，pp.3, 2016.
- 2) 笠間清伸，善功企，陳光斉：大隅半島に分布する降下軽石(ボラ)の一面せん断試験特性，自然災害研究協議会西部地区部会報第 30 号研究論文集，pp.81-82, 2006.
- 3) 住武人：繰返し定体積一面せん断試験機による砂質土の液状化強度，<http://geo.civil.eng.osaka-cu.ac.jp/~jibanken/ronbun/masterpdf/97sumi..pdf> 1998 年，2017 年 2 月 6 日閲覧。

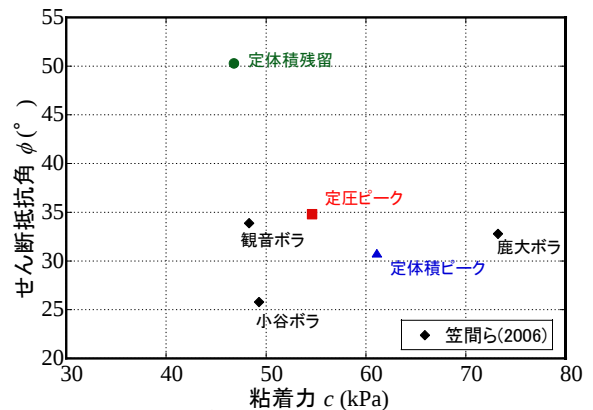


図-2 強度定数の過去の調査との比較

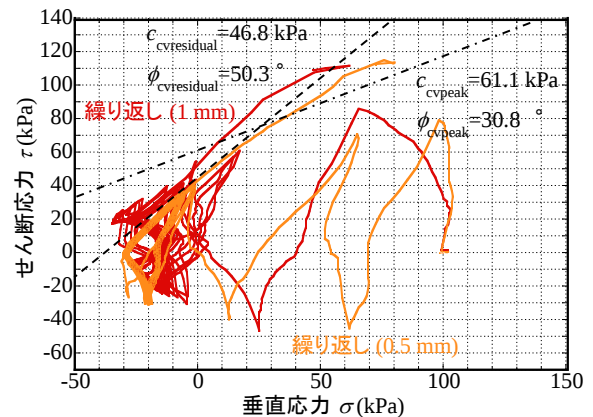


図-3 繰り返し一面せん断試験の結果

(応力経路)

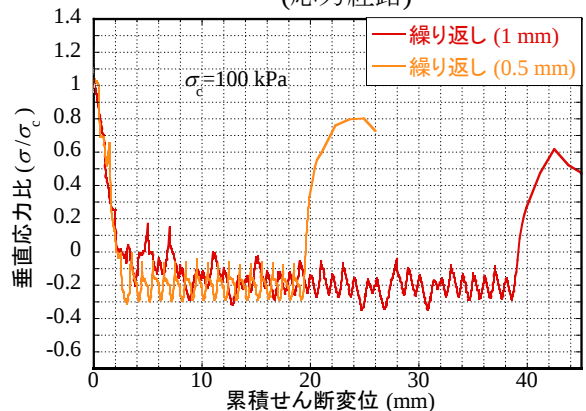


図-4 繰り返しせん断試験の結果

(累積せん断変位—垂直応力比関係)

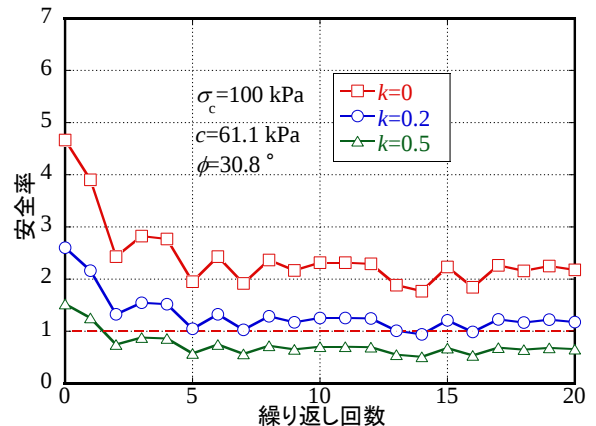


図-5 繰り返し回数と安全率