

豊浦砂と乱した阿蘇軽石の大変形特性に関する等体積多層リングせん断試験

東京大学	学生会員	○塩澤	寅樹
東京大学大学院	フェロー会員	古関	潤一
東京大学大学院	学生会員	青柳	悠大
東京大学大学院	学生会員	森本	時生

1. はじめに

2016年4月16日の熊本地震本震によって、南阿蘇村の自然斜面において数多くの斜面崩壊や地すべりが発生した。このうち甚大な災害をもたらしたものの一つに、南阿蘇村河陽高野台地区で発生した地すべり(以降、「高野台地すべり」と呼ぶ)がある。この地すべりでは、緩斜面において約500mという長流下距離(ひずみレベル数百%以上)の地すべりが発生し、草千里ヶ浜火山降下軽石層(以降、「軽石」と呼ぶ)が関係していると考えられている。しかしながら、従来の室内土質試験装置で与えられるせん断ひずみはせいぜい数十%程度である。そこで本研究では、この地すべり現場から攪乱された状態で採取した軽石試料を用いて多層リングせん断試験を行い、ひずみレベル数百%以上の大変形領域におけるせん断挙動を計測した。また、同様の試験を豊浦砂についてもを行い、両者の試験結果を比較し、軽石の大変形特性について検討した。

2. 試料と供試体作製方法

実験では、豊浦砂($\rho_s:2.651\text{g/cm}^3, e_{\max}:0.957, e_{\min}:0.592$)と、熊本県南阿蘇村高野台地区の地すべり現場より、攪乱された状態で採取した軽石を試料として用いた。地すべり現場の軽石層には図1にあるように2種類の色の軽石が存在したため、本研究では便宜上、それぞれ黄褐色軽石($w:105.1\%$, $\rho_s:2.543\text{g/cm}^3$)、白色軽石($w:102.8\%$, $\rho_s:2.618\text{g/cm}^3$)と呼称する。

豊浦砂は気乾状態で用い、空中落下法によって供試体(外径150mm, 内径90mm, 高さ53mmの中空円筒供試体)を作製した。一方、火山灰性特殊土である軽石は、多孔質で含水比が高く、低い応力で粒子破碎を起こしてしまう。また、供試体作製時には自然含水比の状態であるため、空中落下法を適用することはできない。本研究では、所定の乾燥密度になるように、供試体高さを5層に分けた湿潤締固め法を採用し、供試体を作製した。

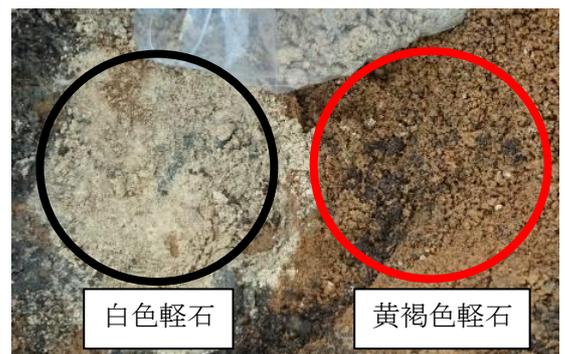


図1 すべり面上の軽石

3. 試験方法

上記で作製した供試体に対し、多層リングせん断試験装置²⁾を用いて定体積単調せん断試験(非排水単調せん断試験に相当)を実施した。上面に50kPaの鉛直応力を載荷して一次元圧縮をした後、鉛直変位を固定し、供試体体積を一定に保ったまま目標のせん断ひずみもしくはせん断応力に到達するまで、せん断ひずみ速度約1.1%/minで単調せん断を与えた。密度依存性を調べるため、豊浦砂は5通りの初期相対密度で、軽石は山縣ら³⁾が報告している不攪乱試料の間隙比(=4.21, 乾燥密度に換算すると 0.47g/cm^3)を参考にしつつ、4~5通りの乾燥密度で、それぞれ試験を実施した。以下では、供試体の上下端に設置されたロードセルで計測したせん断応力の平均値 τ_{avg} をせん断応力として用いている。

キーワード 2016年熊本地震, 草千里ヶ浜火山降下軽石, 大変形特性, 多層リングせん断試験

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 工学部1号館B1F 土質/地盤研究室 TEL 03-5841-6123

4. 試験結果

豊浦砂の応力-ひずみ関係を図2に示す。せん断ひずみの増加に伴うせん断応力の変化状況は相対密度によって異なった。密度が大きい供試体の場合、ひずみの増加に伴い応力も常に増加した。密度が小さい供試体の場合、ピーク後に一度応力が減少するが、その後ひずみの増加に伴い応力も増加した。これらの結果は既往の研究(例えば石原ら⁴⁾)と概ね同様であったが、応力がピーク後に減少し大ひずみ領域において一定値となるような流動タイプの挙動は、本試験条件下では生じなかった。

黄褐色軽石及び白色軽石の応力-ひずみ関係を、それぞれ図3、図4に示す。黄褐色軽石及び白色軽石において、ピークせん断応力に達した後はひずみ軟化挙動を示した。また、せん断ひずみ400%以上の大変形領域においては、せん断応力はほぼ一定値となり、残留せん断応力状態となった。豊浦砂の結果と異なり、残留せん断応力状態の後、せん断応力が再び増加することはなかった。このような大変形特性は、軽石試料の粒子破砕性に影響されていると考えられる。粒子破砕性に関して、本研究では明確に判断できる手法がなかったため、今後の研究で検討する必要がある。

黄褐色軽石及び白色軽石の、乾燥密度-ピークせん断応力の関係を図5に示す。黄褐色軽石及び白色軽石において、乾燥密度が増加するに従ってピークせん断応力も増加傾向にあり、また、同程度の乾燥密度の黄褐色軽石と白色軽石を比較すると、ピークせん断応力は黄褐色軽石の方が白色軽石よりも大きい値となることがわかった。このような結果が得られた原因として、白色軽石は黄褐色軽石が風化したものである可能性が考えられる。ピークせん断応力には密度依存性が確認された一方で、残留せん断応力には明確な密度依存性がみられなかった。

5. まとめ

本研究の試験結果より、以下のことが明らかになった。

- 1) 豊浦砂の初期相対密度による非排水せん断挙動の違いは、既往の研究と概ね同様の傾向が得られたが、非常に緩い供試体の時に生じるといわれている流動タイプの挙動のみ、試験結果として得られなかった。
- 2) 試験結果より、白色及び黄褐色軽石共に、ピークせん断応力に達した後はひずみ軟化挙動を示し、せん断ひずみ400%付近から残留せん断応力状態となった。このような結果が得られた原因としては、軽石試料の粒子破砕性が考えられる。
- 3) 軽石のピークせん断応力には密度依存性が確認されたが、残留せん断応力には明確な密度依存性は確認されなかった。

参考文献

1) 釜井ら。(2016). 平成28年(2016年)熊本地震によって発生した南阿蘇村の土砂災害(速報1:2016.4.28暫定版), 斜面防災研究センター. 2) 佐藤ら。(2013). 多層リング単純せん断試験装置の開発. 第48回地盤工学研究発表会, (268), 535-536. 3) 山縣ら。(2017). 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. 土木学会第72回年次学術講演会, 3(147), 293-294. 4) Ishihara, K. (1996). Soil behavior in earthquake geotechnics. Clarendon Press.

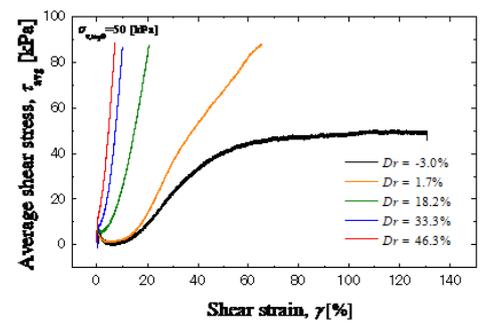


図2 豊浦砂の応力-ひずみ関係

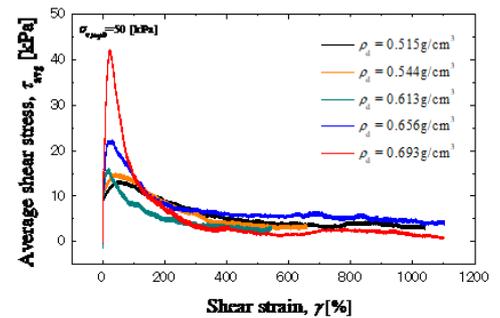


図3 黄褐色軽石の応力-ひずみ関係

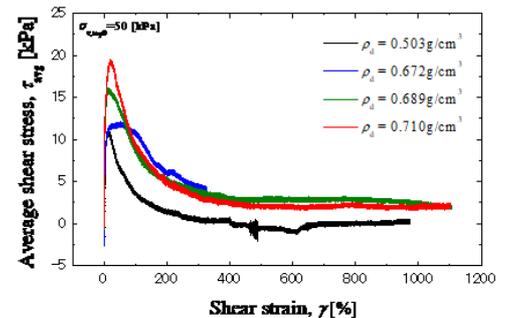


図4 白色軽石の応力-ひずみ関係

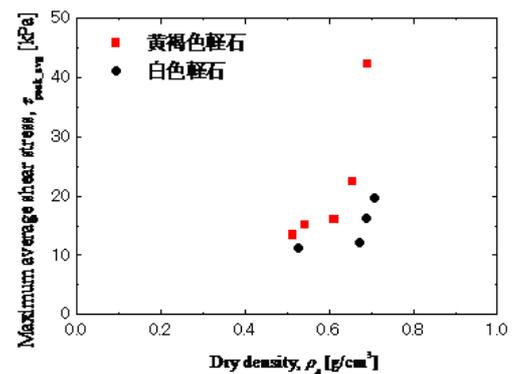


図5 乾燥密度-ピークせん断応力の関係