

## 南阿蘇地域の降下軽石の強度特性における飽和度の影響

東亜建設工業（株） 正会員 ○浅田 英幸 大森 慎哉  
 茨城大学 フェロー会員 安原 一哉  
 福岡大学 正会員 村上 哲  
 九州大学 正会員 Hazarika H  
 中央開発（株） 正会員 荒井 靖仁

## 1. はじめに

筆者らは、特殊土に分類されるような火山灰性の降下軽石を対象とし、その地盤工学的特性について研究を行っている。2016年の熊本地震では、南阿蘇村高野台地区にて火山灰性の降下軽石を主体とする地層が、地震動で脆弱化し、斜面崩壊が発生したと推定されている<sup>1)</sup>。このような事象を踏まえ、本論文では斜面崩壊を起こした箇所近傍から採取した降下軽石試料を用いて再構成供試体による繰返し載荷および単調載荷の一面せん断試験を実施し、供試体の含水状態すなわち飽和度の違いが繰返しせん断強度特性に与える影響を実験的に検討した。

## 2. 試料の物理的特性

対象試料は、南阿蘇村高野台地区の斜面崩壊箇所から採取した草千里ヶ浜降下軽石である。図-1に試料の写真を示す。当該箇所は地表面から黒ぼくおよび赤ぼくの互層、白ロームが堆積し、その下部に対象の降下軽石層が存在する。更にその下部には硬質火山灰が堆積しており、この境が滑り面と想定されている<sup>1)</sup>。表-1に試料の物理的性質を示す。特徴として、高含水比で、間隙比が大きく多孔質、指圧で粒子が容易に潰れ間隙水が染み出ることが挙げられる。また、周辺での調査事例と比較して、近傍でも採取箇所の違いにより粒度組成のばらつきが認められる。図-2に対象試料および既往文献の粒度分布を示す。

## 3. 試験概要

## (1) 飽和度を調整した供試体作製

本研究では、荒井らの研究成果<sup>2)</sup>を参考に、不攪乱供試体の強度と同等になる乾燥密度を設定して再構成供試体を作製するとともに、供試体の飽和度を調整した。作製方法を以下に示す。まず、試験時に所定の飽和度となるよう試料の含水比を風乾調整し、均一化のために3日間以上密閉容器で保管した。その後試料を計量して鋼製リング内で静的に締め固め、直径6cm、高さ2cmの供試体を作製した。飽和度 $S_r=100\%$ の供試体は、不飽和状態の試料を締め固めた後、供試体上下にろ紙およびポーラスストーンを設置し、容器内で段階的に注水しながらゆっくりと水浸させ、一昼夜かけて飽和化を図った。以上の手法により、表-1に示す通り圧密時の目標乾燥密度 $\rho_d \cong 0.65 \text{g/cm}^3$ 、飽和度 $S_r$ を47.7%~100%に変化させた8ケースの供試体を作製した。

## (2) 一面せん断試験（繰返し載荷・単調載荷）

一面せん断試験は圧密定体積条件とし、圧密圧力は当該地点の土被り圧を想定して $100 \text{kN/m}^2$ 、せん断速度を $0.2 \text{mm/min}$ とした。繰返し載荷では、変位制御を両振幅1mm（1サイクル：せん断変位4mm）とした。結果の整理として、繰返し載荷時の両振幅応力が定常状態に達したときを



図-1 降下軽石

表-1 試料の物理的性質

土粒子密度 $\rho_s$ ( $\text{g/cm}^3$ )	2.602
自然含水比 $w_n$ (%)	152.7
湿潤密度 $\rho_t$ ( $\text{g/cm}^3$ )	1.23
乾燥密度 $\rho_d$ ( $\text{g/cm}^3$ )	0.49
間隙比 $e$	4.31
飽和度 $S_r$ (%)	92.2
液性限界 $w_L$ (%)	162.0
塑性限界 $w_P$ (%)	94.3
塑性指数 $I_P$	67.7

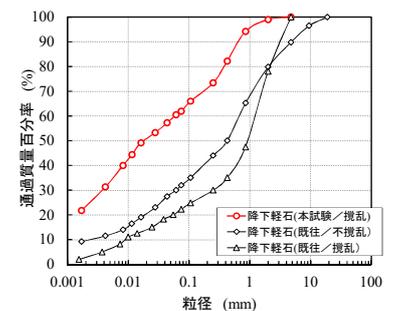
図-2 粒径加積曲線<sup>2)</sup>

表-1 試験ケース一覧

Case	試験内容	圧密圧力 $\sigma_c$ ( $\text{kN/m}^2$ )	調整含水比 $w$ (%)	乾燥密度 $\rho_d$ ( $\text{g/cm}^3$ )	飽和度 $S_r$ (%)	体積含水率 $\theta_c$ (%)
1	繰返し載荷 →単調載荷	100	54.7	0.653	47.7	35.7
2			62.7	0.699	59.9	43.8
3			85.6	0.614	68.8	52.6
4			91.7	0.690	83.5	61.4
5			114.6	0.654	100	74.8
6	単調載荷		52.5	0.693	49.5	36.3
7			86.4	0.688	80.8	59.4
8			114.8	0.635	96.5	73.0

キーワード 降下軽石、飽和度、残留強度、繰返し一面せん断試験

連絡先 〒235-0035 神奈川県横浜市鶴見区安善町1-3 東亜建設工業(株)技術研究開発センター TEL:045-503-3741

残留状態と定義し、累積せん断変位 80mm 時点（20 サイクル目）の両振幅応力の平均値を残留強さ  $\tau_r$  および垂直応力  $\sigma_{vr}$  とした。加えて、累積変位 80mm の繰返しせん断後にせん断変位 7mm の定体積単調載荷せん断を行い、繰返し載荷履歴の無い単調載荷の一面せん断試験の結果と比較することで、せん断強さ  $\tau_r$  に対する繰返し載荷履歴の有無の影響を検討した。

**4. 試験結果と考察**

図-3 に試験結果の一例として Case1, 3 および 5 の結果を示す。全体的な傾向として、繰返し載荷時のせん断応力  $\tau$  および垂直応力  $\sigma_v$  の最大値は、各ケースとも累積せん断変位 20mm 程度まで著しく低下し、その後は緩やかになる。飽和度の違いに着目すると飽和度が高いとせん断初期から  $\tau$ ,  $\sigma_v$  ともに低く推移し、残留状態まで続く。図-4 に、Case1~5 における飽和度と残留状態の応力比の関係を示す。横軸が圧密後の飽和度、縦軸が残留時のせん断応力比 ( $\tau_r/\sigma_c$ ) および垂直応力比 ( $\sigma_{vr}/\sigma_c$ ) である。飽和度の増加により、 $\tau_r/\sigma_c$  および  $\sigma_{vr}/\sigma_c$  は調和的に減少する。応力比はそれぞれ 0.68 から 0.1, 0.76 から 0.09 と変化し、飽和供試体は、残留状態のせん断特性が飽和度 47.7%の供試体のおよそ 7 分の 1 程度まで小さくなる事が確認できた。次に、繰返し載荷履歴有無によるせん断強度比 ( $\tau_r/\sigma_c$ ) の比較結果を表-2 に示す。飽和度の増加に伴い、 $\tau_r/\sigma_c$  も低下するものの、繰返し載荷履歴の有無による差は明瞭に現れなかった。

上記結果に加え、同じ乾燥密度で作製した再構成供試体を用いて保水性試験（排水過程、水頭法および遠心法）を実施してサクシオンを測定するとともに、不飽和供試体での残留強さを飽和供試体での残留強さで差し引いた残留強さ差分 ( $\tau_{(r-us)}-\tau_{(r-s)}$ ) を定義し、比較を試みた。図-5 にその結果を示す。体積含水率  $\theta$  の増加に伴い、サクシオンと同様に残留強さ差分の低下が見られた。サクシオン約 10kN/m<sup>2</sup> 以上の領域では両者の差異が大きいものの、繰返し一面せん断試験結果において残留せん断強さが飽和度の影響を受けたのは、サクシオンの大きさによる影響が主要因であると推察できる。

**5. まとめ**

本研究で得られた成果を以下に示す。飽和度を変化させた降下軽石の再構成供試体に対して各種一面せん断試験を実施した結果、①飽和度の増加により残留状態のせん断応力比および垂直応力比は調和的に低下する。②繰返し載荷履歴有無によるせん断強度比への影響は明瞭に確認できなかったものの、残留強さは飽和度の大きさに強く影響を受けると推察される。

**参考文献**

1) Hazarika, et al. (2019): Investigations on mechanism of landslides during the 2016 Kumamoto Earthquake, Japan. In F. Silvestri, & N. Moraci (Eds.), Earthquake Geotechnical Engineering for Protection and Development of Environment and Constructions, CRC Press, UK, pp. 821-832. 2) 笠間ら: 南阿蘇高野台地区に分布する火山灰質地盤の地震時安定性評価, 地盤工学ジャーナル Vol.13, No.3, p.172, 2018. 3) 荒井ら: 南阿蘇地区の降下軽石における繰返し載荷を受けた強度特性, 第 54 回地盤工学研究発表会, pp.1727-1728, 2019.

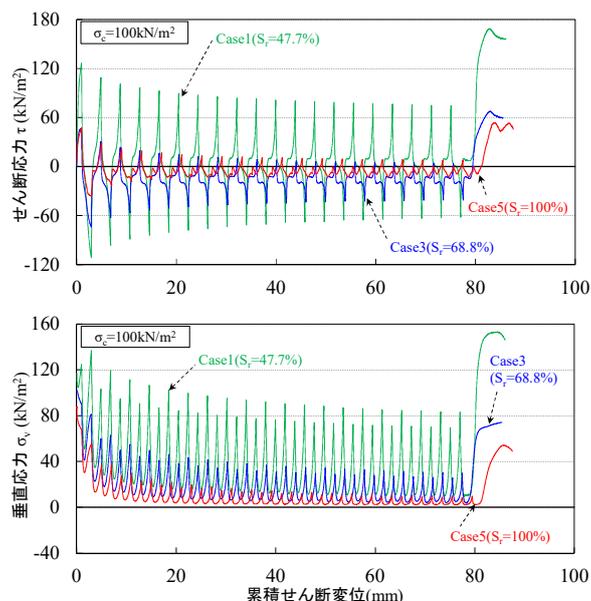


図-3 繰返し一面せん断試験結果例 (Case1, 3, 5)

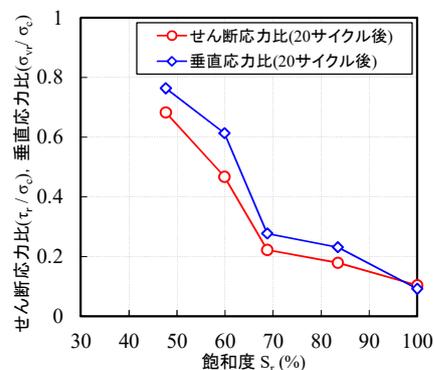


図-4 飽和度-残留時のせん断応力比, 垂直応力比の関係

表-2 繰返し載荷履歴有無とせん断強度比の比較

Case	繰返し載荷履歴	飽和度 [%]	せん断強度比 [ $\tau_r/\sigma_c$ ]
1	有り	47.7	1.69
3		68.8	0.68
5		100	0.54
6	無し	49.5	1.45
7		80.8	0.78
8		96.5	0.64

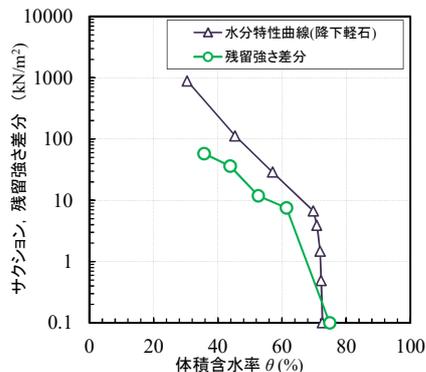


図-5 水分特性曲線-残留強さ差分の関係