

不飽和三軸試験による火山灰質土の繰返し載荷挙動の評価

鉄道総合技術研究所 正会員 ○松丸 貴樹
複合技術研究所 木口 峰夫

1. はじめに

近年の地震では火山灰質土からなる緩斜面が泥状に崩壊・流動を生じる事例が報告されており¹⁾、鉄道沿線にもそのような斜面が多く存在する。これらの災害では地盤が不飽和状態でありながら液状化のような現象を示し、火山灰質土の不飽和状態での繰返し載荷挙動の把握が重要となるが、これまで十分な研究は実施されていない²⁾。本研究では、2種類の火山灰質土を用いて初期状態（飽和度・サクシオン）の異なる供試体を作製し、繰返し載荷試験を実施し、間隙空気圧・水圧の上昇や有効応力の低下挙動から、火山灰質土繰返し載荷挙動の評価を行った。

2. 不飽和繰返し三軸試験に用いた試験装置

不飽和繰返し三軸試験装置は、ペDESTAL、二重セル式三軸セル、圧力計、排水量ならびに体積変化測定用の差圧計、間隙水圧制御用 EP・コンバム、二重管ビュレット等からなる³⁾。試験は、微細多孔質膜を用いた加圧膜法⁴⁾により実施しており、微細多孔質膜の空気侵入値は 250kPa であった。排水量の変化に伴う間隙水圧の変動は、二重管ビュレット内に負圧を与えることにより水位変動分の水圧を制御した。負圧は、EP とコンバムにより与え、後の実験条件で示すが、間隙水圧が常に 0kPa を保つようにパソコンで自動制御した。

3. 実験条件

実験に用いた火山灰質土は 2013 年 10 月の台風で土砂災害を生じた伊豆大島の火山灰質土（以下、伊豆大島火山灰と記載する）、および北海道美幌町で対象とした火山灰質土（以下、美幌火山灰と記載）である。両火山灰質土の物理、力学特性等を表-1 に、粒径加積曲線を図-1 に示す。なお、力学特性については以下で示す不飽和土の繰返し三軸試験で作製した供試体と同密度の供試体を使って得られた試験結果である。いずれの材料も砂質土に分類され、土粒子密度については一般的な土の範囲と比べると伊豆大島火山灰ではやや大きく、美幌火山灰では 2.5 程度と小さな値となっている。また、細粒分含有率は美幌火山灰の方が多い。

力学試験で用いる供試体の作製密度は現地密度に合わせることにした。伊豆大島火山灰の方が美幌火山灰と比べるとやや小さな間隙比となっているが、いずれも大きな値である。三軸圧縮試験で得られた内部摩擦角は 30 度を幾分か上回り、粘着力は小さい。また、飽和状態での繰返し非排水三軸試験を実施し、両振幅軸ひずみ 5% に到達する回数が 20 回となる応力比は両試料とも 0.1 を下回り、非常に液状化抵抗が小さいことを確認している。

不飽和繰返し三軸試験では、所定の乾燥密度となるように作製した供試体を水頭差を与え見かけ状飽和とした後に、目標とするサクシオンが得られるように間隙空気圧を載荷した。与えた間隙空気圧は 2kPa および 5kPa である。その後、非排気・非排水条件として繰返し載荷を行った。繰返し載荷時の基底応力は 20kPa としている。繰返し載荷に用いた波形を図-2 に示すが、ひずみ制御条件で、振幅を徐々に増加させる載荷とした。

4. 実験結果および考察

不飽和繰返し三軸試験で得られた応力経路図（平均有効応力～軸差応

表-1 火山灰質土の物理・力学特性

	伊豆大島火山灰	美幌火山灰
土粒子密度 G_s	2.854	2.486
細粒分含有率 F_c	16.3%	24.9%
乾燥密度 ρ_d	1.240g/cm ³	0.971g/cm ³
間隙比 e	1.30	1.56
内部摩擦角 ϕ	32.9 度	35.5 度
粘着力 c	1.4kPa	0.3kPa
液状化強度比 R_{120}	0.086	0.080

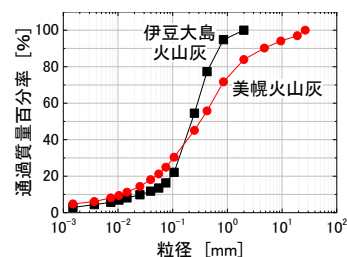


図-1 粒度試験の結果

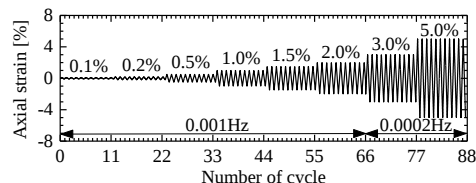


図-2 繰返し載荷波形

キーワード 火山灰質土、不飽和、繰返し載荷、液状化

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7261

力関係)を図-3に示す。ここで、有効応力は Bishop の有効応力式を用い、式中のパラメータ χ を飽和度 S_r として算定している。(a)の伊豆大島火山灰のサクシ

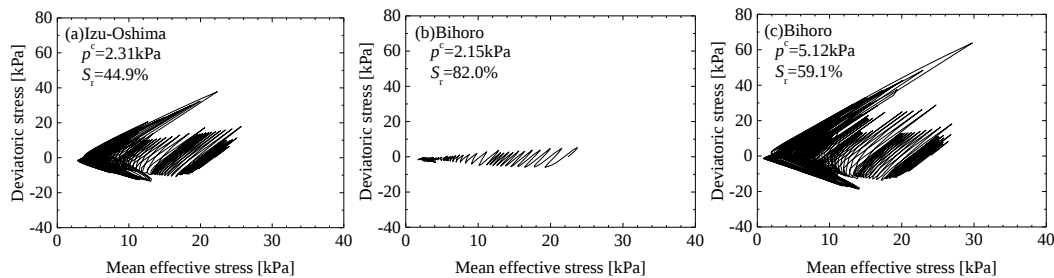


図-3 応力経路図(平均有効応力～軸差応力関係)

ョン 2kPa や(c)の美幌火山灰のサクシジョン 5kPa では、軸ひずみの増加の影響を受ける形で有効応力の減少と共に発揮される軸差応力が増加し、载荷の後半では応力経路が限界状態線に沿って大きく増減を繰り返す挙動を示している。引張側よりも圧縮側で大きな強度が発揮されている。これに対して(b)の美幌火山灰のサクシジョン 2kPa では、軸差応力が増加するようなことはなく応力経路が原点に向かって減少し、液状化に至ったものと考えられる。

次に、両試料の初期サクシジョン 5kPa での繰返し回数と間隙水圧・空気圧およびサクシジョンの関係を図-4 に示す。繰返し载荷と共に間隙水圧・空気圧が上昇するが、美幌火山灰の方が载荷の所期の段階での間隙空気圧・水圧の上昇量が大きく、また最終的な間隙水圧の上昇量も大きくなっている。このため、伊豆大島火山灰に比べて美幌火山灰の方がサクシジョンの減少量が大きく、特に载荷の後半でも減少が続く挙動を示している。

以下では、試料の違いや初期サクシジョンおよび飽和度の違いが繰返し载荷時の挙動に与える影響について考察する。繰返し载荷前後の諸量の変化として、飽和度とサクシジョンの関係を図-5 に、平均有効応力とサクシジョンの関係を図-6 に示す。伊豆大島火山灰では、初期状態に応じてサクシジョンの減少および飽和度の増加を指向する方向が異なっているのに対して、美幌火山灰では初期状態によらずほぼ同じ指向を示している。これらの挙動は今後保水性試験を実施して得られた水分特性曲線(主脱水曲線・主吸水曲線および走査曲線)と関連付けて評価する必要がある。一方、平均有効応力とサクシジョンの関係では、図-3 に示した応力経路図のように载荷中の増減はケースごとで異なるものの、载荷後の平均有効応力は 4 つのケースで近い値であるのに対して、サクシジョンの低下量は初期状態によらず美幌火山灰の方が大きい。そして、平均有効応力に対するサクシジョンの低下が材料によって固有の値を示す可能性が示唆される。不飽和土が液状化に至るためには、間隙水圧・空気圧が平均主応力と等しい状態となる必要があるとされている²⁾が、平均有効応力に対するサクシジョンの低下傾向を把握することで液状化に至る条件を推定できる可能性が考えられる。

5. まとめ

火山灰質土の不飽和状態での繰返し载荷試験を実施し、材料や初期状態によって挙動が変わることがわかった。今後は試験結果を蓄積することで液状化に至る条件を把握することや、数値解析による評価を試みる予定である。

謝辞 本実験に使用した伊豆大島火山灰は埼玉大学の内村太郎准教授に、美幌火山灰は北見工業大学の川尻峻三助教よりご提供いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献 1) Uzuoka, R., Sento, N., Kazama, M. and Unno, T.: Landslides during the earthquakes on May 26 and July 26, 2003 in Miyagi, Soils and Foundations, Vol.45, No.4, pp.149-163, 2005. 2) 風間基樹, 高村浩之, 海野寿康, 仙頭紀明, 岡岡良介: 不飽和火山灰質土の液状化機構について, 土木学会論文集 C, Vol.48, No.1, pp.546-561, 2006. 3) 木口峰夫, 松丸貴樹, 西村友良: サクシジョン・载荷履歴を与えた細粒分を含む砂質土の不飽和繰返し三軸試験, 第 68 回土木学会年次学術講演会講演概要集, 部門 III, pp.199-200, 2013. 4) Nishimura, T., Koseki, J., Fredlund, D.G. and Rahardjo, H.: Micro-porous membrane technology for measurement of soil-water characteristic curve, Geotechnical Testing Journal, Vol.35, GTJ103670, 2012.

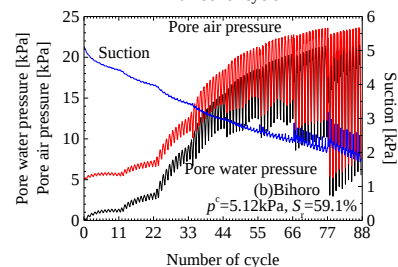
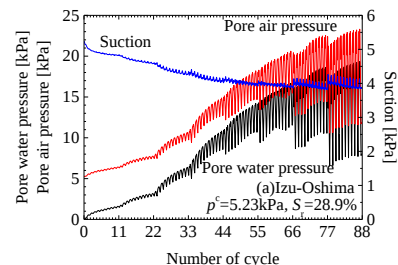


図-4 繰返し回数と間隙水圧・間隙空気圧およびサクシジョンの関係

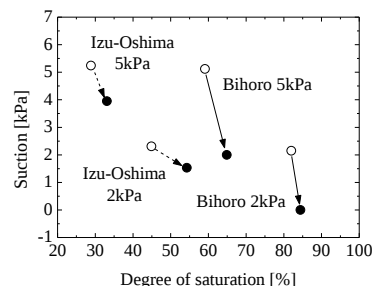


図-5 飽和度とサクシジョンの変化

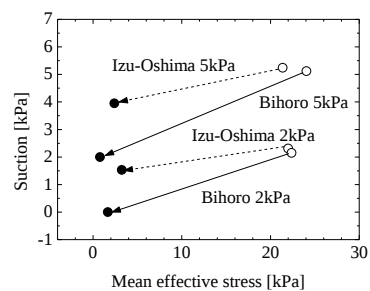


図-6 平均有効応力とサクシジョンの変化