

凍結融解履歴による火山灰質粗粒土の動的変形特性の変化

北海道大学大学院 学生会員 ○山木 正彦
北海道大学大学院 フェロー 三浦 清一

1. はじめに

北海道のような積雪寒冷地域において、地盤の凍結・融解は避けられない自然現象の一つであり、凍結・融解に起因する被害は今なお大きな問題となっている。従来、凍結融解作用が土の力学特性の変化に及ぼす影響については種々調べられているが¹⁾、粘土やシルトといった細粒分を多く含む土に関する研究が主となっており、火山灰土のような破砕性粒状体の動的力学特性に及ぼす多サイクルの凍結融解履歴の影響を調べた研究は少ない。

そこで本研究では、北海道に広く分布する火山灰質粗粒土を用いて、凍結融解履歴が材料の動的変形特性に及ぼす影響を調べた。具体的には、供試体に必要回数の凍結融解を与え、それを用いて一連の繰返し三軸試験を行った。

2. 試験に用いた試料および供試体作製方法

本研究で用いた火山灰質粗粒土は、北海道沙流郡門別町富川で採取された富川火山灰土である。これは支笏カルデラを噴出源とする降下火砕堆積物で、破砕性を有する材料として知られている。また非破砕性粒状材料として豊浦砂を用いた試験も比較のために行っている²⁾。各物理的性質を表-1に示す。試験では凍結融解履歴を与えない供試体（再構成供試体）と凍結融解履歴を与えた供試体（凍結供試体）を用いた。以下に火山灰土の供試体作製方法を示す。

(1) 再構成供試体

乾燥した試料を空中落下法により厚さ 0.3mm のメンブレンを密着させた三軸供試体モールド（直径 70mm、高さ 170mm）内に堆積させた後、モールド側面に打撃を与え、密度を調整して作製した。

(2) 凍結供試体

シンウォールサンプラー（直径 70mm、高さ 200mm）を用いて、再構成供試体作製と同様の過程を経て密度を調整した。その後通水・脱水を経て所定の飽和度(Sr=60%)に調整した供試体を冷凍庫（設定温度：-25℃）に入れて2日間凍結、庫外に出して常温（18℃）で2日間放置する作業を繰返すことで、所定の凍結融解回数を与えた凍結供試体を作製した(図-1)。凍結融解の際、供試体上部は拘束せず供試体の膨張・収縮は自由にした。その後、端面を整形し直径 70mm、高さ 170mm の三軸供試体とした。

3. 試験方法

使用した試験機はひずみ制御型繰返し三軸試験機である。供試体を三軸セル内に設置し、供試体を飽和させた後、49kPa の有効拘束圧で等方圧密を行い、体積ひずみの変化率が $1.0 \times 10^{-6} \text{cm}^3/\text{min}$ 以下になったときを圧密の完了とした(約 5 時間)。その後 1 つの供試体で片振幅せん断ひずみを段階的に増幅させるステージ載荷試験を実施した。

4. 試験結果と考察

図-2 に富川火山灰土の等価せん断剛性率および履歴減衰比のひずみ依存性を示した。図より、 $\gamma_{sa} \leq 10^{-3}$ では凍結融解作用を受けた供試体の等価せん断剛性率は再構成供試体のそれより小さい。しかしそれ以上ひずみが大きくなると液状化が生じるためにそれぞれの差は小さくなっている。履歴減衰比に関しては凍結融解の影響はあまり見られない。

図-3 に初期せん断剛性率と圧密後の間隙比の関係を表した。ここにはキーワード 凍結融解履歴、火山灰質粗粒土、破砕、せん断剛性率

連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学大学院工学研究科 TEL 011-706-6203

表-1 試料の物理的性質

試料名	豊浦砂	富川火山灰土
ρ_s (g/cm ³)	2.65	2.22
$\rho_{d \max}$ (g/cm ³)	1.65	0.56
$\rho_{d \min}$ (g/cm ³)	1.35	0.47
D_{50} (mm)	0.18	1.40
U_c	1.30	3.98
F_c (%)	0.00	2.06

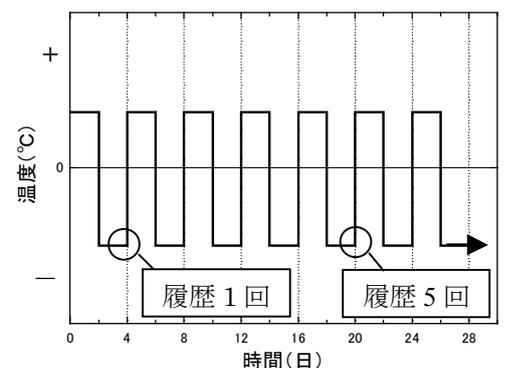


図-1 試料に与える凍結融解履歴

豊浦砂による結果²⁾も併記した。図中の実線、点線は既往の研究により提案されている式³⁾である。これより凍結融解履歴を受けていない供試体は過去の結果とよい一致が見られるが、凍結融解履歴を受けた供試体はそれと比べて初期せん断剛性率は低下する傾向があるようである。

次にその低下傾向を明確にするため、凍結融解履歴回数と初期せん断剛性率の関係を図-4に示す。凍結融解履歴を受けた試料の初期せん断剛性率を空隙比の関数で正規化した $(G_0/f(e_c))_F$ を、凍結融解履歴を受けていない $(G_0/f(e_c))_{NF}$ で正規化した値を縦軸に、凍結融解の履歴回数 N を横軸にとっている。ただし $(G_0/f(e_c))_{NF}$ は数回の試験結果の平均値とした。これより非破砕性の豊浦砂は凍結融解作用により初期せん断剛性率は低下するが履歴回数との相関は明確ではない。これは凍結融解により生じた砂粒子の堆積構造の変化によるものと考えられる。一方、富川火山灰土に関しては履歴回数の増加とともに初期せん断剛性率は明らかに低下していく傾向が見てとれる。

次に履歴回数の違いが粒子破砕特性に及ぼす影響を調べるために、図-5に細粒分増加量 $\Delta F_c (= \Delta F_{cF} + \Delta F_{cCT}, \Delta F_{cF}$: 凍結融解による細粒分増加量, ΔF_{cCT} : その後の三軸試験による細粒分増加量)と履歴回数 N の関係を示した。これより凍結融解作用を繰返し受けると粒子破砕が生じ、確実に細粒分が増加することがわかる。さらに凍結融解を数多く受けた試料の方がせん断による破砕が顕著になる傾向が伺える。同じ北海道の当幌火山灰土において、細粒分含有率が増加するとせん断剛性率は低下する⁴⁾という報告もあることから、この凍結融解に起因する細粒分の増加が富川火山灰土の初期せん断剛性率の低下を誘発していると思われる。

5. まとめ

- ・ 凍結融解を繰返し受けると確実に動的変形特性は変化する。また初期せん断剛性率に注目すると、履歴回数の増加に伴い低下する傾向がある。
- ・ 破砕性火山灰土における初期せん断剛性率の低下傾向は、凍結融解によって誘発される細粒分含有率の増加に起因するものと考えられる。

参考文献

1)小野ら：粘性土の軸対称三軸応力下における凍結・融解履歴について土木学会論文集, No.617, III-46, pp275-282, 1999. 2)山木ら：粒状体地盤の凍結融解履歴による動的力学挙動の変化, 地盤工学会北海道支部技術報告集, 第46号, pp215-220, 2006. 3)小林ら：弾性波測定による火山性粗粒土の動的変形定数, 火山灰地盤の工学的性質の評価法に関するシンポジウム発表論文集, pp115-120, 2002. 4)T.Sahaphol, S.Miura : Shear moduli of volcanic soils, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.25, pp157-165, 2005.

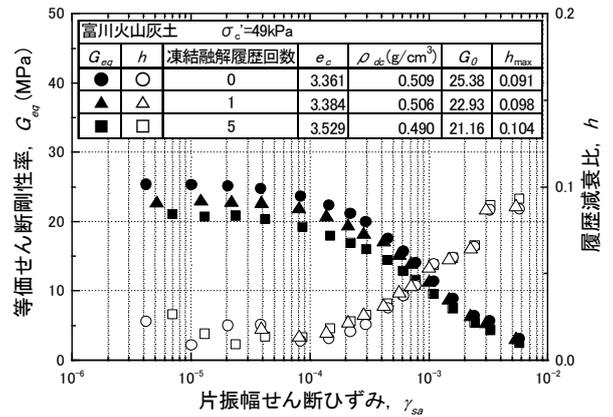


図-2 富川火山灰土の変形特性

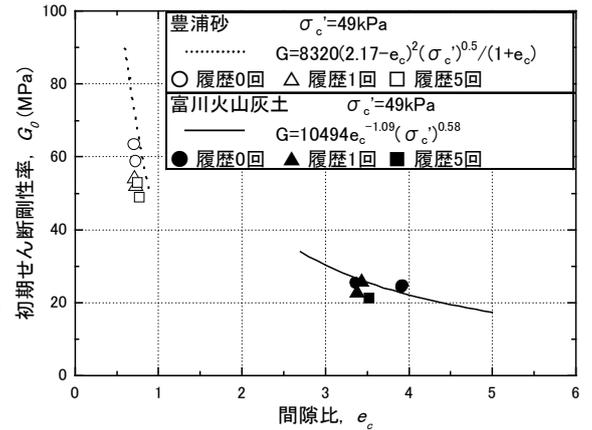


図-3 空隙比と初期せん断剛性率の関係

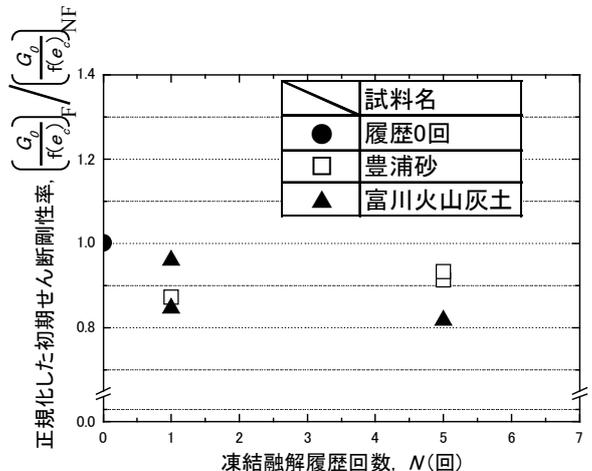


図-4 初期せん断剛性率と凍結融解履歴の関係

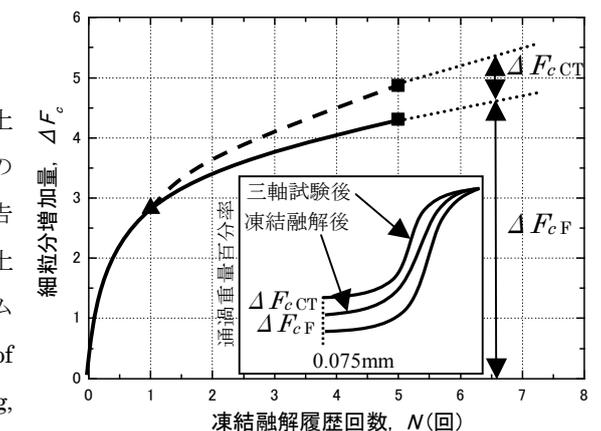


図-5 細粒分増加量と凍結融解履歴の関係