

液状化した火砕流堆積物の動的力学特性に及ぼす密度の影響

地崎工業 土木部技術課 正会員 ○八木 一善
 北海道大学大学院 工学研究科 フェロー 三浦 清一
 北海道大学大学院 工学研究科 学生員 志比川清史
 北海道士質コンサルタント 正会員 松本 和正

1. はじめに

2003年十勝沖地震の際に、札幌市と端野町で火山灰盛土（火砕流堆積物）の液状化による大きな被害が生じた¹⁾。本研究では、火山灰盛土の耐震性能の評価や密度管理を行うための基礎資料を得るために、実際に液状化した火山灰土の物理的性質を詳細に調べた。また、密度を変化させた再構成供試体に対する繰返し非排水せん断試験を実施し、その動的力学特性に及ぼす密度の影響について考察した。

2. 試験試料と試験方法

試料は、札幌市の宅地で液状化により噴出したもの（札幌火山灰土）、北見市近郊の端野町における流動崩壊箇所の上端の盛土（北見火山灰土）で採取した。これらは支筋および屈斜路カルデラを噴出源とする火砕流堆積物である。

表-1に、各火山灰土の物理的性質を示す。液状化した火砕流堆積物は、火山ガラスや多孔質な軽石を含むために、土粒子の密度や乾燥密度が著しく低い値である。また細粒分を約19～27%含有し、九州の一次しらすの場合²⁾と同様に粒度分布が良い。北見火山灰土の原位置の湿潤密度は0.96～1.02g/cm³（平均値1.00g/cm³）、相対密度は31～52%（平均値44%）であることがわかっている。なお、両火山灰土の粒度は最大・最小密度試験の適用範囲外であるために、表中の $\rho_{d\max}$ と $\rho_{d\min}$ は参考値となる。

表-2に、両火山灰土の細粒分のみに関する示標的性質を示す。細粒分の液性限界は札幌火山灰土の方が北見火山灰土よりも小さくなる。また、風化していない両火山灰土の粘土分含有率は低く、シルト分が多いという特徴がある。さらに、両火山灰土の現位置試料やその細粒分はいずれも非塑性となっている。

三軸供試体（ $\phi=70\text{mm}$ ）は、AP法で試料を空中落下させた後にモールド側面に所定の回数の打撃を与え、目標とする密度（圧密後の相対密度 D_{rc} で50%、70%、90%に相当）に調整した。供試体をセル内に設置した後、二重負圧法の適用、脱気水の通水、196kPaのバックプレッシャーの供給により飽和した。供試体の B 値は全て0.96以上を得ている。引続き、有効拘束圧 $\sigma'_c=49\text{kPa}$ のもとで等方圧密を行い、体積ひずみの変化率が $1.0\times 10^{-4}\text{cm}^3/\text{min}$ になったときを圧密の完了（札幌：4hr、北見：10hr）とした。次に、軸差応力振幅一定、載荷周波数0.1Hzのもとで繰返し非排水せん断を行った。

3. 試験結果と考察

図-1に、各火山灰土の相対密度 $D_{rc}=50\%$ 、70%、90%に関する液状化強度線を両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ の場合について示す。比較のために、図には豊浦砂^{2),3)}に関する結果も示した。両火山灰土の液状化強度は、豊浦砂やしらすの場合^{2),3)}と同様に密度依存性を示し、 $D_{rc}=50\%$ の場合を除くと豊浦砂よりも液状化強度が低くなる。また相対密度が70%以下になると、両火山灰土の液状化強度は著しく低下することが明らかである。

図-2は、両火山灰土の過剰間隙水圧の発生特性を示している。図の縦軸は過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma'_c$ 、横軸は繰返し

表-1 火山灰土の物理的性質

火山灰土	札幌	北見
採取試料	噴砂	盛土
ρ_s (g/cm ³)	2.28	2.48
$\rho_{d\max}$ (g/cm ³)	0.96	1.21
$\rho_{d\min}$ (g/cm ³)	0.65	0.88
W_n (%)	76.0	19.8
D_{50} (mm)	0.20	0.31
F_c (%)	26.9	18.9
礫 分(%)	15.6	11.5
砂 分(%)	57.5	69.6
シルト分(%)	18.4	16.6
粘土 分(%)	8.5	2.3
W_L (%)	68.1	56.1
I_p	N.P.	N.P.

表-2 細粒分のみを示標的性質

火山灰土	札幌	北見
ρ_s (g/cm ³)	2.57	2.46
W_L (%)	43.2	60.7
I_p	N.P.	N.P.
シルト分(%)	68.4	88.0
粘土 分(%)	31.6	12.0

キーワード 火山灰質土、液状化、物理的性質、密度

連絡先 〒064-8588 札幌市中央区南4条西7丁目（株）地崎工業 TEL：011-511-8114

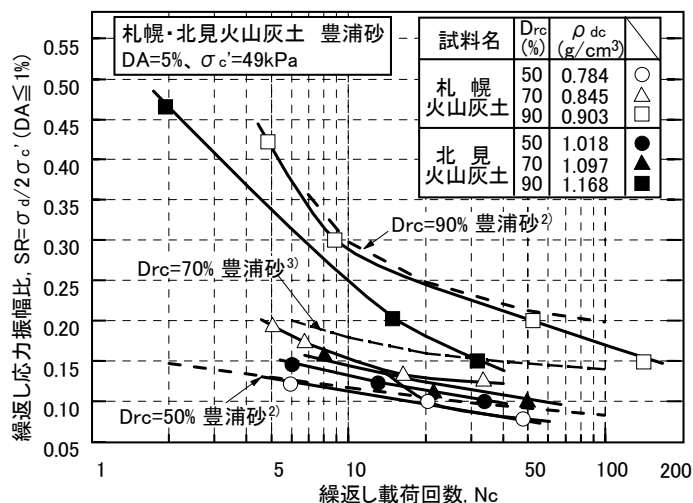


図-1 札幌・北見火山灰土の液状化強度線

載荷回数 N_c を $DA=5\%$ 時の N_c で正規化した繰返し回数比である。この比較は、 $D_{rc}=50\%$ 、 70% および 90% の場合に、それぞれ繰返し応力振幅比 $SR \approx 0.10$ 、 0.12 、 0.20 に関する試験結果で行った。両火山灰土の過剰間隙水圧の発生挙動は、相対密度が同等であれば類似した傾向を示し、密度が高くなるほど豊浦砂の場合と同様に載荷初期の段階で過剰間隙水圧が上昇しやすい。

図-3 は、両火山灰土の両振幅軸ひずみの発生特性を比較している。軸ひずみの発生特性においても供試体の密度変化の影響が顕著に現れている。 $D_{rc}=90\%$ では繰返し載荷回数比が 0.2 を越えてから軸ひずみが漸増し、その軸ひずみ挙動は密な豊浦砂に類似している。一方、相対密度が 50% と 70% の場合は、繰返し載荷回数比が 0.8 を越えると軸ひずみが急増するという脆性的な破壊が示される。

繰返し載荷回数 N_c が 10 回あるいは 20 回で $DA=5\%$ となるときに繰返し応力振幅比を SR_{10} および SR_{20} と定め、 D_{rc} との関係を豊浦砂と比較したのが図-4 である。両火山灰土は SR が 0.15 以上になると液状化強度が著しく増加し、豊浦砂の場合と同様に強い密度依存性を示している。逆に、 SR が 0.15 以下 (D_{rc} が 70% 以下) では密度が増加しても液状化強度の増加は小さいことがわかる。

4. ま と め

- 1) 火砕流堆積物の繰返し非排水せん断特性は、豊浦砂や九州のしらすの場合と同様に密度の影響を強く受ける。
- 2) 火砕流堆積物は相対密度 70% 以下で密度増加に伴う液状化強度の増加は小となる。北見市近郊の農地で液状化した盛土の平均的な相対密度は 44% であり、その液状化強度は極めて低い状態にあったものと推察される。

参考文献 1) 2003 年十勝沖地震地盤災害調査委員会: 2003 年十勝沖地震災害調査報告書, 地盤工学会, pp.29-48, 2004.
 2) 兵動, 荒牧, 岡林, 中田, 村田: 破砕性土の定常状態と液状化強度, 土木学会論文集, No.554/III-37, pp.197-209, 1996.
 3) 土質工学会: 委員会報告, 土の非排水繰返し試験に関するシンポジウム発表論文集, pp.1-35, 1988.

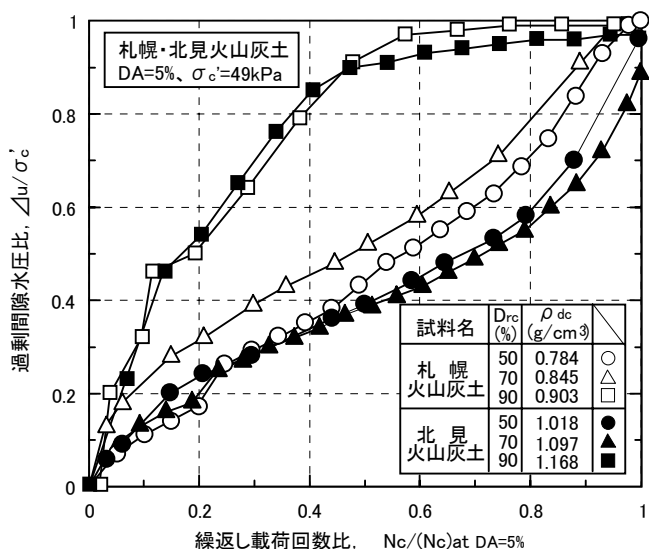


図-2 札幌・北見火山灰土の過剰間隙水圧挙動

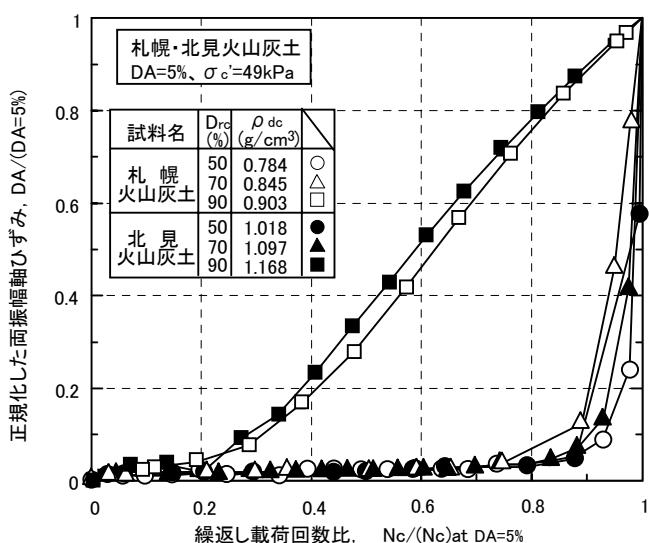


図-3 札幌・北見火山灰土の両振幅軸ひずみ挙動

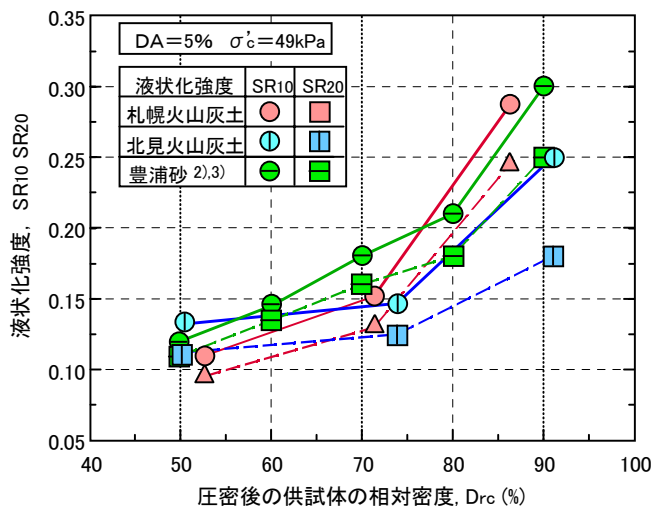


図-4 液状化強度に及ぼす相対密度の影響