

## 2003年十勝沖地震によって液状化した火山灰土の動的力学特性

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

## 1. はじめに

2003年十勝沖地震の際に、札幌市の宅地と北見市近郊の端野町の農地で火山灰土の盛土地盤（旧沢地形）における液状化被害が生じたり、液状化が発生した地点と震央との距離は十分にあったこと（230km以上）から、地形的・材料特性的に液状化しやすい条件にあったものと推測された。そこで本研究では、実際に液状化した火山灰土について繰返し非排水せん断試験を実施し、その動的力学特性を調べた。

## 2. 被災状況・試料と試験方法

三軸試験に用いた試料は札幌市清田区と端野町協和の液状化箇所にて採取した。以下では、これらを清田および端野火山灰土と称する。

清田と端野火山灰土は、それぞれ道央と道東に広く分布する支笏カルデラと屈斜路を噴出源とする軽石流堆積物（Spfl, Kcfl）である。

清田火山灰土の試料は噴砂現象によって地表に大量噴出したものであり（写真-1）、端野火山灰土は大規模な液状化による流動崩壊箇所（写真-2）の上端で採取した。なお、端野火山灰土の不攪乱試料はシンウォールサンプリングによって得ている。

表-1に、各火山灰土の物理的・示標的性質を示す。表中の清田（液状化層）は被災箇所にて得られたボーリング試料に関する結果<sup>2)</sup>であり、その性質は噴出物と大差がない。また清田および端野火山灰土は、多孔質な軽石を含むために土粒子の密度や乾燥密度が小さく、 $F_c$ は約19~36%の範疇にある。この細粒分は粘土分よりもシルト分が卓越し、清田および端野火山灰土はいずれも非塑性となる。なお、札幌市清田区の液状化発生箇所では標準貫入試験が実施されており、液状化後の盛土の $N$ 値は1~4という結果が得られている（図-1参照）<sup>2)</sup>。

火山灰土の再構成供試体（ $\phi=70\text{mm}$ ）は、AP法によって試料を空中落下させた後に、モールドに対して所定の回数の打撃を与えて目標密度に調整した。この供試体を三軸セル内に設置し、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。引き続き、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完了（清田：4hr、端野：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

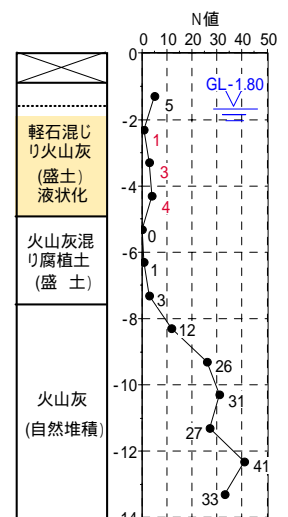


写真-1 札幌市清田区 Spfl の噴出

写真-2 端野町協和 大規模流動崩壊

表-1 液状化した火山灰土の物理的・示標的性質

地点	試料	採取深度	s	d max	d min	o	D <sub>50</sub>	F <sub>c</sub>	W <sub>L</sub>	I <sub>p</sub>
		m	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	mm	%	%	
清田	噴出物	地表	2.28	0.96	0.65	76.0	0.20	26.9	68.1	N.P.
	液状化層 <sup>2)</sup>	2.0~2.5	2.39	---	---	51.0	0.18	35.6	41.1	9.1
		4.0~4.5	2.43	---	---	49.5	0.25	31.1	61.1	---
端野	崩壊箇所	0.5	2.48	1.21	0.88	19.8	0.21	18.9	56.1	N.P.

図-1 清田 柱状図<sup>2)</sup>

キーワード 地震、液状化、火山灰、三軸試験

連絡先 〒064-8577 札幌市中央区南4条西7丁目 (株)地崎工業 土木部技術課 TEL011-511-8114

### 3. 試験結果と考察

図-2は、清田および端野火山灰土と豊浦砂（圧密後の相対密度  $D_{rc}=80\%$ ）に関する液状化強度を示している。また比較のために、初期相対密度  $D_{ri}=70\%$  の豊浦砂としらす ( $F_c=35\%$ ,  $D_{50}=0.17\text{mm}$ ,  $G_s=2.489$ ,  $D_{ri}=50\%$ ) に関する結果<sup>3)</sup>も併せて示している。なお、清田および端野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-1に示した  $\rho_{d\max}$  と  $\rho_{d\min}$  および図-2の  $D_{rc}$  は参考値とみなすべきである。

再構成された清田・端野火山灰土は、緩いしらすに比べて液状化強度は高くなるものの、密な豊浦砂よりも液状化強度は低くなる。また清田・端野火山灰土に含まれる細粒分は非塑性となるが、細粒分の含有率が高くなるほど各火山灰土の液状化強度は低下する傾向にある。このことは、非塑性細粒分を含む火山灰土の液状化強度が  $F_c$  増加によって低下すること<sup>4)</sup>に符合した結果である。

また図では、乱した端野火山灰土の液状化強度は供試体密度の影響を受けること、それは密度が同等の不攪乱供試体よりもやや低くなることも示されている。この理由は、盛土といえどもわずかにセメンテーション効果を有していたためと考えられる。

図-3は、各火山灰土と豊浦砂の過剰間隙水圧の発生特性を比較している。図の縦軸は過剰間隙水圧比  $\Delta u/\sigma'_c$ 、横軸は繰返し載荷回数  $N_c$  を  $DA=5\%$  時の  $N_c$  値で正規化した繰返し回数比であり、比較は繰返し応力振幅比  $SR=0.15$  に関する試験結果で行った。図では、再構成された清田・端野火山灰土の過剰間隙水圧が豊浦砂よりも上昇しやすいことが示されており、逆に原位置の端野火山灰土では過剰間隙水圧の発生が遅れる傾向にあることがわかる。ただし、端野火山灰土の場合は再構成・不攪乱を問わず、過剰間隙水圧比が0.8程度で初期液状化に至っている。

### 4. まとめ

- 1)2003年十勝沖地震によって液状化した火山灰土（軽石流堆積物）は、沢部を盛土するために用いられている。その液状化強度は豊浦砂よりも低くなるが、その原因は非塑性と判断される細粒分を多く含むためと考えられる。
- 2)再構成された清田および端野火山灰土では、繰返し非排水せん断過程における過剰間隙水圧が増加しやすいという結果が得られた。ただし、セメンテーション効果を有する乱さない端野火山灰土の過剰間隙水圧の発生は、乱した清田・端野火山灰土および密な豊浦砂よりも遅れる傾向にある。

**参考文献：**1)地盤工学会 2003年十勝沖地震 緊急地盤災害調査団：9月26日発生の2003年十勝沖地震 緊急地盤災害調査速報，土と基礎，Vol.51, No.12, 2003 2)札幌市：美しが丘地区地盤調査報告書，2003 3)兵動正幸・荒牧憲隆・岡林巧・中田幸男・村田秀一：破碎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. 4)八木一善，三浦清一：火山性粗粒土の繰返し非排水せん断特性に及ぼす破碎細粒分の影響，土木学会論文集，No.694/III-57, pp.305-317, 2001

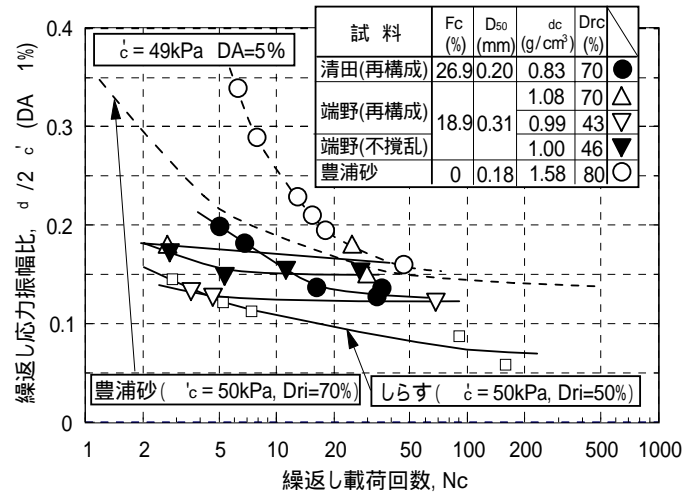


図-2 各火山灰土と豊浦砂の液状化強度

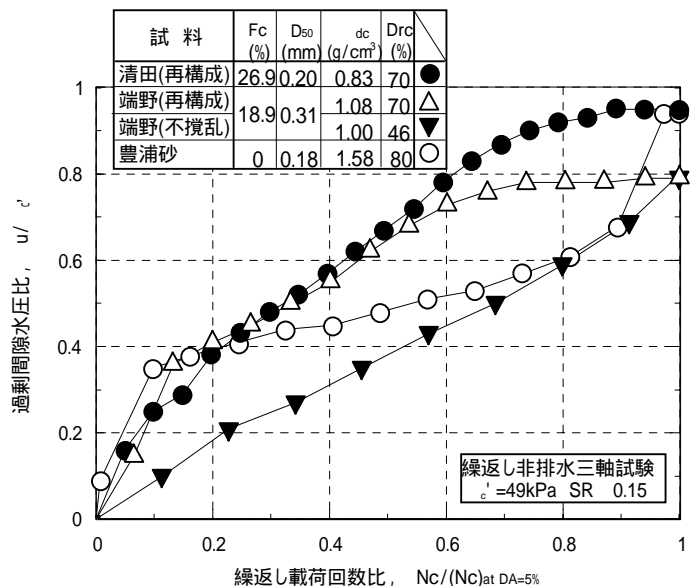


図-3 各火山灰土と豊浦砂の過剰間隙水圧の発生特性