

熊本地方における火山灰質土の繰返し強度変形特性

九州工業大学大学院 学生会員 ○七條 隆

九州工業大学 非会員 日高 奈美

九州工業大学大学院 正会員 永瀬 英生 廣岡 明彦

1.はじめに

2016年熊本県内では、地震により広範囲において液状化被害が生じた。液状化被害を受けた地盤の多くは特殊土である火山灰質土が含まれており、火山灰質土が液状化被害を甚大化した可能性も指摘されている。そこで、これまでの研究では液状化等の被災地から採取した不攪乱試料の物理的性質を調べるとともに、液状化特性と液状化後の変形特性（以下、繰返し強度変形特性と呼ぶ）についての知見を得てきた¹⁾。その結果、阿蘇市で採取した砂質土試料に着目したところ、完全に液状化した試料もあれば、一部の試料では完全には液状化状態に至らず繰返し軟化を生じたという結果が得られている。その一部の試料には湖成層が含まれていることから湖成層が液状化に至らず、繰返し軟化を生じた結果に関係している可能性がある。

本研究では、阿蘇市で採取した試料の研究結果と、熊本地震の液状化被災地である秋津町で採取した不攪乱試料を用いて調べた繰返し強度変形特性等の結果を比較することで、阿蘇市で採取した湖成層を含む火山灰質土の繰返し強度変形特性について知見を得ることを目的とし、事例的研究を行った。

2.試料および実験方法

試料には、阿蘇市で採取した3深度の不攪乱試料と秋津町で採取した不攪乱試料を用いた。本研究では、阿蘇市で採取した不攪乱試料のうち深度が小さいものから阿蘇砂質土A、B、Cと呼称する。また、秋津町で採取した試料は、秋津砂質土と呼称する。試料の粒径加積曲線を図1に、物理的性質を表1に示す。

本研究では、繰返し中空ねじりせん断試験装置を用いて実験を行った。供試体は外径6.7cm、内径3cm、高さ7cmの中空円筒形とした。次に間隙圧係数B値が0.95以上となるまで脱気水で通水して供試体を飽和させ、試料ごとに原位置での有効拘束圧を算出し、過圧密状態にならないよう、試験時に有効拘束圧を設定して等方圧密を行った。その後、非排水状態で0.1Hzの正弦波形を用いて繰返し载荷試験を行った。

繰返し強度を求める際の判断基準としては、両振幅せん断ひずみ $DA=7.5\%$ のときとした。この際の試験条件は、繰返し回数が20回のときのせん断応力比を繰返し強度比 R_{L20} ($F_L=1.0$)とし、それより大きい応力比 ($F_L < 1.0$)、小さい応力比 ($F_L > 1.0$)でそれぞれ20回载荷し F_L の値（液状化または繰返し軟化の程度）に応じたせん断剛性の低下度合いを求めている。なお、 F_L については以降において「液状化安全率 F_L 」と表示することとする。

表1 不攪乱試料の物理的性質

	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	塑性指数 I_p	自然含水比 w_o (%)	細粒分含有率 F_C (%)
阿蘇砂質土A (G.L.-11.30m~12.25m)	2.984	NP	NP	—	26.4	21.3
阿蘇砂質土B (G.L.-19.00m~20.35m)	2.374	71.5	60.1	11.5	56.1	13.3
阿蘇砂質土C (G.L.-44.90m~45.90m)	2.448	77.6	66.6	11.0	63.8	28.2
秋津砂質土 (G.L.-5.20m~6.20m)	2.782	36.1	30.2	5.9	37.5	35.3

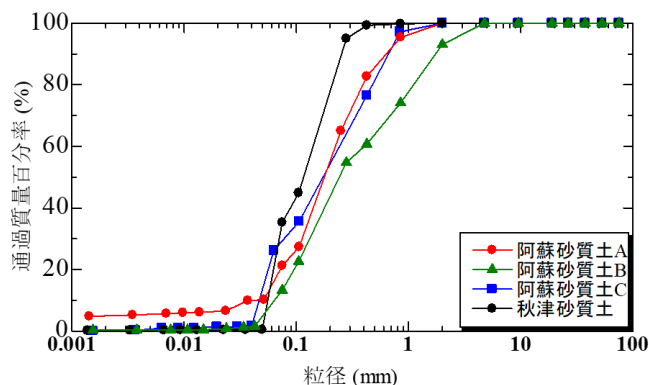


図1 阿蘇砂質土の粒径加積曲線

3.繰返し強度比

阿蘇砂質土と秋津砂質土の繰返し応力比 R と繰返し回数 N_c の関係を図 2 に示す。図中にはそれぞれの試料における初期有効拘束圧 σ_{v0}' の値も示している。また、繰返し回数 $N_c=20$ のときの繰返し応力比を繰返し強度比 R_{L20} とする。繰返し強度比 R_{L20} は、阿蘇砂質土 A において、0.283 であった。阿蘇砂質土 B において 0.244 で、阿蘇砂質土 C において 0.284 であった。また、秋津砂質土において $R_{L20}=0.301$ であった。以上の結果から、阿蘇砂質土 A と C の液状化のしやすさは、ほとんど変わらないことが分かる。また、秋津砂質土の液状化強度比は比較的大きいものとなっている。

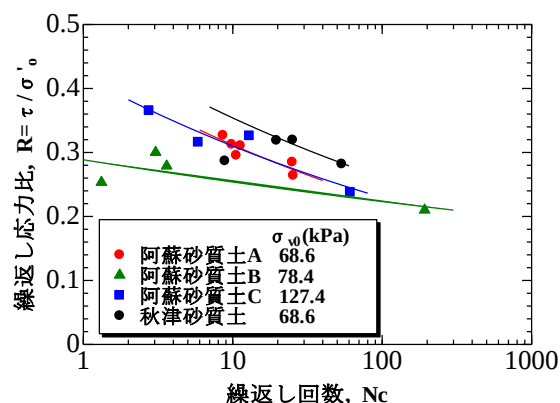


図 2 繰返し応力比 R と
繰返し回数 N_c の関係

4.繰返し载荷後の変形特性

繰返し载荷において最もせん断剛性が低下するところを評価する考えで繰返し载荷の最終サイクルにおける接線せん断剛性 G_1 を求めた。また、繰返し载荷を行わずに、静的単調载荷を行って得られたせん断応力とせん断ひずみの関係を示した図において、せん断ひずみ 0.1% における割線せん断剛性を $G_{0,i}$ と定義している。各試料のせん断剛性 G_1 、 $G_{0,i}$ および剛性低下率 $G_1/G_{0,i}$ を表 2 に示す。剛性低下率 $G_1/G_{0,i}$ を液状化安全率 F_L に対しプロットしたものを図 3 に示す。以上の結果を踏まえて、阿蘇砂質土 A、B、C の共通点として、 F_L の減少につれて剛性低下率 $G_1/G_{0,i}$ は低下することが挙げられる。秋津砂質土は、阿蘇砂質土 A に近い傾向を示す可能性がある。また、阿蘇砂質土 A の剛性低下率 0.014 ~ 0.020 の範囲と、阿蘇砂質土 B、C の剛性低下率 0.0035 ~ 0.0079 の範囲を比べると、後者の方が前者に比べて 1 オーダー程度小さくなっている。

表 2 各試料のせん断剛性および剛性低下率

試料	R_{L20}	F_L	G_1 (KPa)	$G_{0,i}$ (KPa)	$G_1/G_{0,i}$
阿蘇砂質土 A	0.283	0.62	47.6	3388.6	0.014
		0.88	68.9		0.020
阿蘇砂質土 B	0.244	0.81	42.9	8942.4	0.0048
		0.96	71.0		0.0079
阿蘇砂質土 C	0.284	0.78	27.9	8063.6	0.0035
		0.96	51.9		0.0064
秋津砂質土	0.301	0.95	216.7	5918.9	0.037
		1.05	—		—

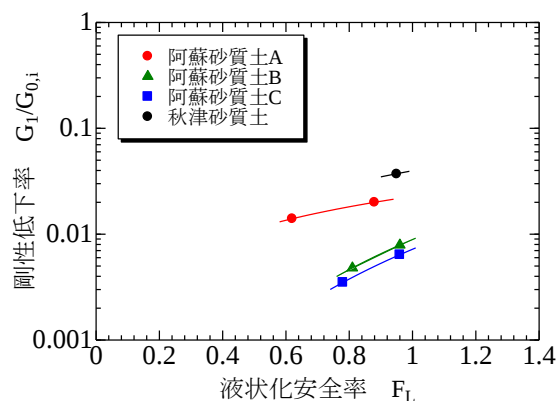


図 3 剛性低下率 $G_1/G_{0,i}$ と
液状化安全率 F_L の関係

5.結論

本研究により得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 阿蘇砂質土では、液状化または繰返し軟化の程度が激しいものほど剛性が大きく失われており、 F_L の減少につれて剛性低下率 $G_1/G_{0,i}$ は低下している。
- 2) 阿蘇砂質土 A、C の繰返し強度比 R_{L20} はほとんど変わらない値を示している。
- 3) 秋津砂質土は、液状化でなく繰返し軟化現象でひずみが増大している可能性がある。また、阿蘇砂質土に比べてせん断剛性の低下が顕著でない。

参考文献

- 1) 永瀬英生ら：Cyclic Strength and Deformation Characteristics of Volcanic Ash Soils Deposited in Kumamoto District, 地盤工学会九州支部 70 周年記念フォーラム, 2019.