

熊本地方に堆積する数種類の火山灰質土の繰返しせん断特性

九州工業大学大学院 学生会員 ○七條 隆 劉 浩 宮地 恵一郎
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

平成 28 年熊本地方において、4 月 14 日にマグニチュード 6.5 の前震が起こった。その 2 日後の 16 日にはマグニチュード 7.3 の本震が起こり、前震よりも広範囲に激しく揺れた。今回の熊本地震では、東北地方太平洋沖地震で生じた埋立地における面的な広がりをもつ液状化だけでなく、旧河道部や自然堤防部の一部で液状化が帯状に現れたように、限定的に生じているのが特徴的である。また、水と砂が地中から噴き上げてくる噴砂現象も多数発生している。噴砂は、その多くが火山性由来の土質と思われる火山灰質砂からなり、このため液状化被害を甚大化した可能性も指摘されている。しかしながら、噴砂が見られないところでも住宅や河川堤防等で被害が発生しており、また阿蘇市では帯状の陥没が生じて最大 2m の段差を伴う被害が起こっている。よって、これらの被害を受けた地域において対策を検討する場合は、火山灰質砂のみならず、火山灰質シルトや粘性土を含めた火山灰質土の繰返しせん断特性を明らかにすることが必要である。

本研究では、熊本地方に堆積する火山灰質土の不攪乱試料を採取し、それらの粒度や液性・塑性限界等の物理的性質を確認し、繰返しせん断特性と繰返し載荷後の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

試料には益城町で採取した不攪乱試料と阿蘇市で採取した 2 深度の不攪乱試料を用いた。本研究において、益城町の不攪乱試料を益城粘性土、阿蘇市で採取した不攪乱試料のうち深度が小さいものを阿蘇砂質土 A、深度の大きいものを阿蘇砂質土 B 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載荷試験を行った。液状化強度または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。繰返し載荷試験後、非排水状態を保ったまま静的単調載荷試験を行った。静的単調載荷はひずみ制御方式で行い、載荷速度は $\dot{\gamma}=5\%/min$ とした。

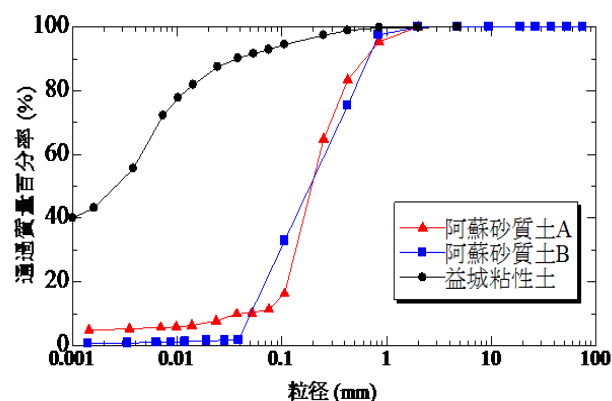


図 1 粒径加積曲線

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
益城粘性土(GL1.00m~4.50m)	2.159	252.8	91.8	161
阿蘇砂質土A(GL.11.30m~12.25m)	2.984	NP	NP	—
阿蘇砂質土B(GL.44.90m~45.90m)	2.448	77.64	66.61	11.02

3.液状化強度または繰返し強度比

益城粘性土、阿蘇砂質土 A、B 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。また、繰返し回数 $N_c=20$ のときの繰返し応力比を液状化強度比または繰返し強度比 R_{L20} とし、 R_{L20} について表 2 に示す。益城粘性土では、初期有効拘束圧 $\sigma_{v0}'=49\text{kPa}$ で等方圧密を行った。繰返し強度比 R_{L20} は 0.322 であった。阿蘇砂質土 A では、 $\sigma_{v0}'=68.6\text{kPa}$ で等方圧密を行った。液状化強度比 R_{L20} は 0.283 であった。また、阿蘇砂質土 B では、 $\sigma_{v0}'=127.4\text{kPa}$ で等方圧密を行った。液状化強度比 R_{L20} は 0.284 であった。以上の結果から、益城粘性土は阿蘇砂質土 A、B に比べて液状化または繰返し軟化しにくいことが分かる。これは、益城粘性土の塑性指数が大きく、粘土分が砂粒子間で粘着力を発揮したためと考えられる。また、阿蘇砂質土 A、B は、液状化のしやすさがほとんど変わらないことが分かる。

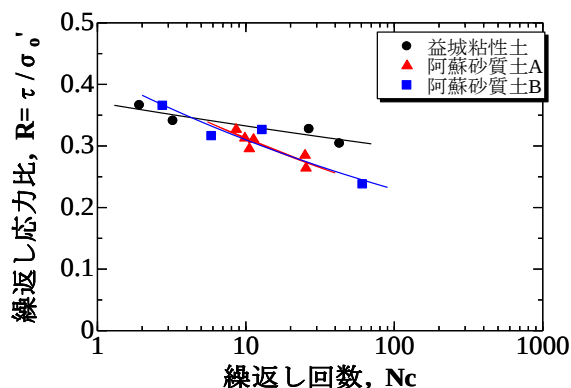


図 2 繰返し応力比 R と繰返し回数 N_c の関係

表 2 液状化強度比または繰返し強度比

	益城粘性土	阿蘇砂質土 A	阿蘇砂質土 B
R_{L20}	0.322	0.283	0.284

4.繰返し载荷後の変形特性

繰返し载荷後に行った静的単調载荷試験によって得られた、せん断応力 τ とせん断ひずみ γ の関係を図 3 に示す。この図より求めたせん断剛性 G_1 および剛性低下率 $G_1/G_{0,i}$ を表 3 に示す。益城粘性土では、いずれも繰返し载荷直後、 G_1 が 1000kPa 以上となり、せん断剛性が大きくは失われていない。阿蘇砂質土 A では、 $F_L=0.62$ の場合において G_1 は急激に低下している。これは、 $F_L=0.62$ ほどの液状化の程度が激しいものは土粒子骨格が大きく壊されたためと考えられる。また、すべての試料に共通して、 F_L の減少につれて $G_1/G_{0,i}$ は小さくなっており、液状化の程度が激しいものほど、剛性が大きく失われることが分かる。

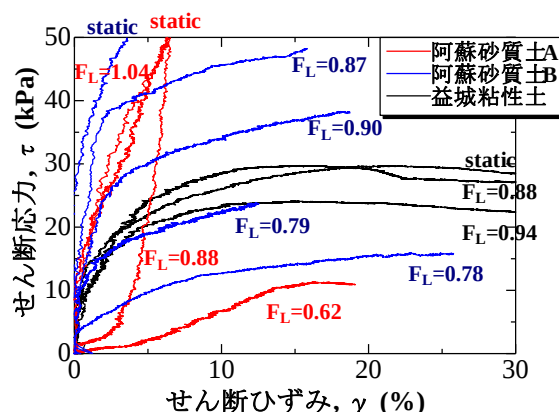


図 3 τ と γ の関係

表 3 静的単調载荷試験

試料	F_L	$G_1(\text{kPa})$	$G_1/G_{0,i}$
益城粘性土	0.88	1445.2	0.386
	0.94	2117.3	0.565
阿蘇砂質土 A	0.62	68.8	0.02
	0.88	111.1	0.033
阿蘇砂質土 B	1.04	598.1	0.177
	0.78	296.2	0.037
	0.79	895.3	0.111
	0.87	2197.8	0.273
	0.90	1385	0.172

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) 益城粘性土は、塑性指数が高く、粒子間で細粒分が粘着力を発揮し、繰返し強度比 R_{L20} 、せん断剛性 G_1 が他の砂質土よりも大きくなった。
- 2) 阿蘇砂質土 A、B のせん断剛性 G_1 は、益城粘性土のそれよりも明らかに小さく、特に阿蘇砂質土 A では $F_L=0.62$ で急激に低下した。

参考文献

- 1) 村上哲ら：平成 28 年熊本地震による液状化・陥没による地盤被害，地盤工学誌，pp12-15, 2017.