

熊本地震における噴砂の液状化特性に関する事例的研究

九州工業大学大学院 学生会員 ○中野 武大 劉 浩
九州工業大学大学院 正会員 永瀬 英生 廣岡 明彦
九州工業大学工学部 学生会員 友久 徹也

1.はじめに

2016年熊本地震では、4月14日に発生した前震において、マグニチュード6.5、16日に発生した本震においてはマグニチュード7.1を観測し、種々の構造物等に甚大な被害が生じた。また、熊本市内の広範囲において液状化被害が確認されており、住宅地や農地等において、写真1に示すような噴砂跡や構造物の沈下・傾斜被害等が生じている。液状化が確認された地点が局所的なことから、液状化した地盤の特性を調査することは、今後の液状化の研究の発展において重要であると思われる。そこで筆者らは、今回の地震により発生した噴砂の試料を採取し、その物理的性質および液状化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。以下に、試験によって、得られた結果について記す。



写真1 熊本地震により発生した噴砂跡

2.試料および実験方法

試料には、熊本地震により熊本市近見地区で発生した噴砂と比較対象の試料として豊浦砂を用いた。試料の粒径加積曲線を図1、物理的性質を表1に示す。砂の最小密度・最大密度試験方法(JGS 0161)は、目開き75 μ m 以下の95%以上残留試料を適用範囲としており、今回用いた試料は細粒分含有率 $F_c=16\%$ 程度と適用範囲外であったが、参考値としてこれらを求めている。採取した試料は黒色の火山灰質砂質土であり、無作為に3点抽出したものをを用いて粒度試験を行ったところ、粒度特性に大きな差異は見られなかった。これは、採取した噴砂は井戸か

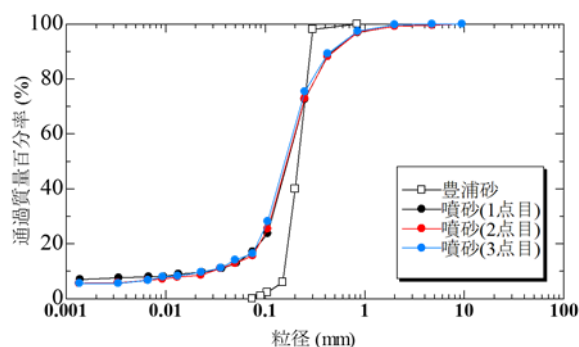


図1 粒径加積曲線

ら一度に大量に噴き出て来たものであり、液状化した地層の砂が特に分級されずに、そのまま地表面に噴出してきたためと推測される。液性・塑性限界はともにNPであり非塑性であった。供試体は外径10cm、内径6cm、高さ10cmの中空円筒形とし、装置には繰返しねじりせん断試験装置を用いた。供試体作製方法は水中落下法を採用した。また、試料は乾燥させず自然含水比の状態で使用した。供試体作製後に下部から脱気水を通水し、間隙圧係数 B 値が0.95以上となったとき、供試体が飽和したとみなした。飽和後、初期有効拘束圧 $\sigma'_0=98\text{kPa}$ で等方圧密を行い、圧密終了後、非排水条件にて載荷周波数0.1Hzの正弦波計を用いて繰返し載荷試験を行った。なお、両振幅せん断ひずみ $DA=7.5\%$ に達したとき、液状化発生と判断した。繰返し回数20回の繰返し載荷を行った後、引き続き非排水条件を保ったまま、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。

表1 物理的性質

	$e_{\max}$	$e_{\min}$	ρ_s (g/cm^3)	液性限界	塑性限界
豊浦砂	0.981	0.608	2.645	NP	NP
噴砂	1.258	0.687	2.671	NP	NP

3.熊本地震における噴砂の液状化強度特性

繰返し載荷試験により得られた繰返し応力比 R と両振幅せん断ひずみ $DA=7.5\%$ に達するまでの繰返し回数 N_c の関係を図 2 に示す。また、 $N_c=20$ のときの液状化強度比 R_{L20} について表 2 に示す。図 2 における赤線が噴砂、黒線が豊浦砂の液状化強度曲線となっている。これらの結果より、噴砂の R_{L20} は、豊浦砂のそれに比べわずかに大きいことがわかる。噴砂のほうが、 R_{L20} がわずかに大きい理由としては、非塑性であるが、細粒分が含まれていることにより、多少の粘着力が働いたためと考えられる。

4.熊本地震における噴砂の液状化後の変形特性

繰返し載荷後に行った静的単調載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 と図 4 に示している。図 3 には噴砂、図 4 には豊浦砂の結果をそれぞれ示す。ここで静的単調載荷試験の結果においては、繰返し載荷時の応力比 R と液状化強度比 R_{L20} を用いた液状化安全率 $F_L (=R_{L20}/R)$ で試験条件を示している。static の曲線は繰返し載荷試験を行わずに静的単調載荷試験のみ行って得られたせん断応力とせん断ひずみの関係である。また、液状化後の供試体の剛性が回復するまでの区間を微小抵抗領域とし、微小抵抗領域における傾きをせん断剛性 G_1 とした。表 3 に、噴砂と豊浦砂の G_1 を F_L 毎にまとめて示している。図 3 と図 4 より、どちらも液状化直後、せん断剛性が失われているが、噴砂の供試体の場合、豊浦砂に比べて、 G_1 が大きいことが分かる。特に、 $F_L=0.9$ 程度の場合、その差は顕著である。従って、噴砂の場合、液状化後もせん断剛性がゼロ近くとはならず、いくらかの小さい値が残ると考えられる。これは、細粒分を含んだ場合に見られる液状化後の変形挙動と同様の傾向¹⁾を示しており、今回も細粒分が含まれたことによる影響が現れていると考えられる。

5.まとめ

本研究により得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 噴砂の液状化強度比 R_{L20} は豊浦砂のそれと比べ、わずかに大きい、大きな差異は見られなかった。
- 2) 噴砂の液状化後のせん断剛性 G_1 は豊浦砂のそれに比べて大きく、液状化安全率 $F_L=0.9$ の比較的高いところで、その差は大きくなった。

参考文献

- 1) 春野友希ら:低塑性細粒分を含む砂の液状化特性について, 土木学会西部支部研究発表会, pp413-414, 2016.
- 2) 村上哲ら:平成 28 年熊本地震災害調査報告-液状化班, 地盤工学会 HP, 2016.

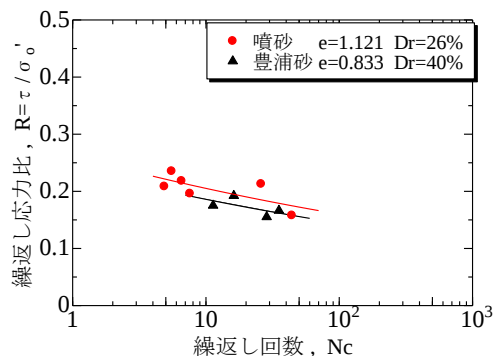


図 2 R と N_c の関係

表 2 液状化強度比 R_{L20}

	噴砂	豊浦砂
R_{L20}	0.190	0.172

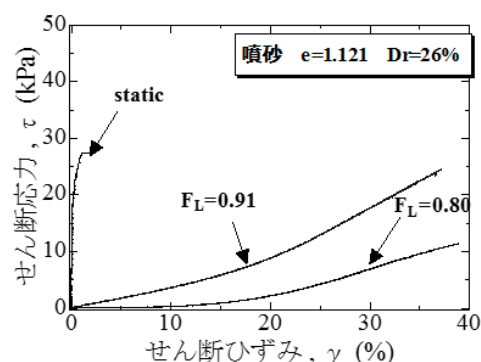


図 3 τ と γ の関係(噴砂)

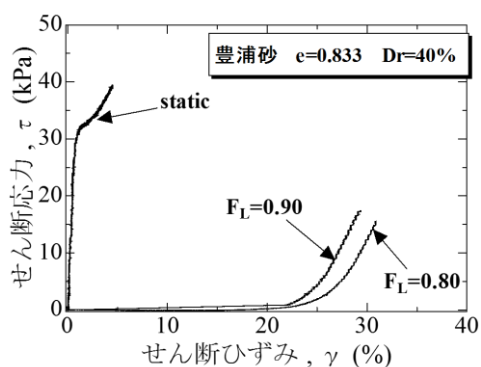


図 4 τ と γ の関係(豊浦砂)

表 3 せん断剛性 G_1

	噴砂		豊浦砂	
F_L	0.80	0.91	0.80	0.90
G_1 (kPa)	3.50	36.9	2.69	4.42