

不攪乱火山灰土の液状化強度と再液状化による強度変化について

九州大学大学院 学○小合克弥 正 ハザリカ ヘマンタ 中央大学名誉教授 正 國生剛治  
 日本地研(株) 石橋慎一郎 中央開発(株) 山本茂雄

1. はじめに

平成 28 年 4 月、熊本地震により 14 日 21 時 26 分と 16 日 1 時 25 分の間の約 28 時間に最大震度 7 を観測する地震が 2 度発生するなど大規模な地震が多数発生し、熊本地方を中心としてインフラ等に深刻な被害をもたらした。しかしながら、前震の  $M_j$  6.5 や本震の  $M_j$  7.3 といった大きなマグニチュードの内陸型地震でありながら、液状化による深刻な被害はさほど発生しなかった。図 1 に筆者らが地震後に行った調査時の噴砂の様子を示すが、構造物のクラックや沈下等はあるものの、大規模な沈下や埋設物の浮き上がり等は見られなかった。噴砂の発生エリアは、旧河道や自然堤防といった従来液状化しやすいとされる箇所集中して分布していた。また、熊本平野における液状化地点の多くにおいては、噴砂として黒色の火山灰質土が確認されている。

火山灰土は、土粒子が多孔質で脆弱である場合には粒子破碎性を示し、また、堆積過程における粒子間の固結作用によって力学的に特殊な特性を示すことが知られている。この発現の仕方は火山の場所や噴出時期などによって異なる。さらにこうした性質などから、“年代効果”が発生しやすかったとも考えられる。粒子間のかみ合わせを物理的に高めるインターロッキングと、固結によって強度を増すセメンテーションにより、年代の古い地盤はより高い液状化強度を示すと考えられている。

したがって、本研究では火山灰土における年代効果の影響を調べるため、熊本県の益城町においてボーリングサンプリングを行い、図 2 に示す粒度の火山灰土を採取した。本稿では、同試料を、不攪乱と攪乱状態において、繰返し三軸試験により比較した液状化強度に関して述べる。

2. 試験条件

直径 6.5 cm, 高さ 13 cm の円柱供試体を作成し、繰返し三軸試験を行った。攪乱供試体はモールド内での湿潤突き固めにより再構成して作成した。表 1 に作成した供試体の相対密度と、繰返し応力振幅比(CSR)を示す。熊本地震ではマグニチュードの大きな地震が繰返し起きたことから、1 回目の载荷が終わった後に再び圧密し(図 3)、体積の減少が落ち着いてから 2 回目の载荷を行い、強度を比較した。

3. 不攪乱供試体の液状化強度

図 4 より、不攪乱試料の液状化強度(両振幅ひずみ 5%で規定)



(a) 飽田東小学校(熊本市南区)



(b) JA 上益城駐車場(益城町)

図 1 熊本地震直後の噴砂の様子

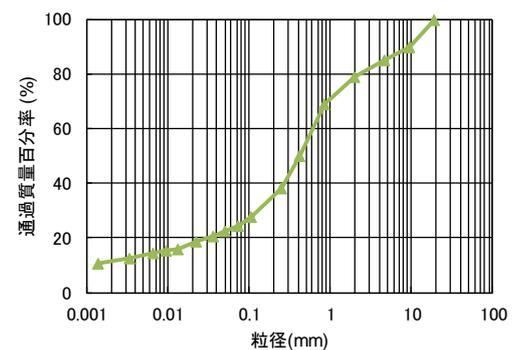


図 2 火山灰土の粒径加積曲線

表 1 繰返し三軸試験の実施条件

状態	No.	相対密度 $D_r$ (%)	CSR	
			1回目	2回目
不かく乱	1	63.2	0.379	0.397
	2	55.2	0.419	0.300
	3	65.3	0.398	0.329
かく乱	1	39.9	0.397	0.250
	2	49.2	0.329	0.302
	3	48.3	0.327	0.275

を示す曲線は、载荷の1回目と2回目とでさほど変化は見られないが、一点のみ攪乱試料とほぼ同等の強度を示すプロット(供試体 No.2)がみられた。これらの異なる CSR により試験された試料を比較するために、累計損失エネルギーを横軸にとって供試体同士の比較を行う。i 番目の载荷までの累計損失エネルギーは次式によって計算される。

$$\sum \Delta W_k = \sum_{k=1}^i \left( \oint \tau dy \right)_k$$

損失エネルギーにより、試料の両振幅せん断ひずみの変化を比較すると図5のようなになる。1度目の载荷は3供試体とも同様の変化を示した一方、载荷2回目では供試体によって曲線が異なり、No.1と3は2回目でひずみ増加が緩やかになった。これは一度目の载荷により体積が減少し(減少の程度は図3)、供試体が密になったためと考えられる。また、ひずみが生じ始めた段階では曲線の傾きが大きく、後半において傾きが緩やかになる傾向にあるが、2回目の载荷の曲線ではその傾向が顕著である。一方で供試体 No.2 のみ2回目の载荷で曲線の傾きが増加し、ひずみが急増した。No.2の1回目の曲線の終端部に着目すると、急激にひずみが増加している。供試体がこの段階に至ることで、不攪乱試料の骨格構造が壊れ、不攪乱試料並みの強度に低下したと考えられる。

4. 攪乱供試体の液状化強度

図6にエネルギーとひずみの関係を示す。不攪乱試料に比べて明らかに小さなエネルギーで液状化( $\gamma_{DA} = 7.5\%$ )した。一方、すべての供試体に関して1回目よりも2回目のほうが同じエネルギーに対する発生ひずみが減少した。これは、攪乱試料には粒子間の年代効果がないため、固結的な骨格構造が壊されることはないため、一度目の载荷により密になり強度が増加したと考えられる。

5. 結論

[1] 不攪乱試料は攪乱試料よりも明らかに高い液状化強度を有する。[2] 繰返し载荷を2度繰り返すと、高密度化して強度が増加するが、不攪乱試料では一定以上の载荷を受けるとひずみの増え方が変化し、強度が著しく低下するものも見られた。

謝辞：益城町におけるボーリングサンプリングにご協力くださった、益城町役場、並びに中央開発株式会社の岩崎誠二様に感謝いたします。

参考文献：1) Hazarika, H., Kokusho, T., Kayen, R. E., Dashti, S., Fukuoka, H., Ishizawa, T., Kochi, Y., Matsumoto, D., Hirose, T., Furuichi, H., Fujishiro, T., Okamoto, K., Tajiri, M. & Fukuda, M. (2017): Geotechnical damage due to the 2016 Kumamoto Earthquake and future challenges. *Lowland Technology International, special issue on Kumamoto Earthquake & disaster 19(3)*. 189-204.  
2) 國生剛治, 金子陽輔, 岡田侑子(2018): 正弦波・不規則波繰返し载荷による砂の損失エネルギーと液状化挙動, 地盤工学ジャーナル 13(3), pp. 205-221.

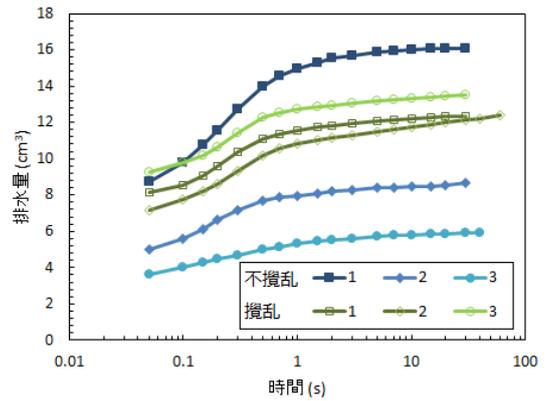


図3 载荷の1回目と2回目の間の圧密時における排水量(体積減少量)

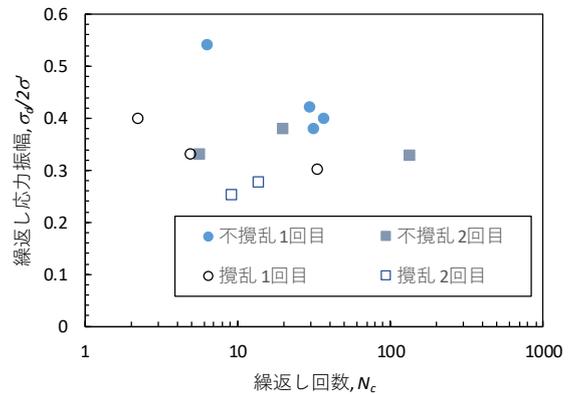


図4 繰返し三軸試験結果

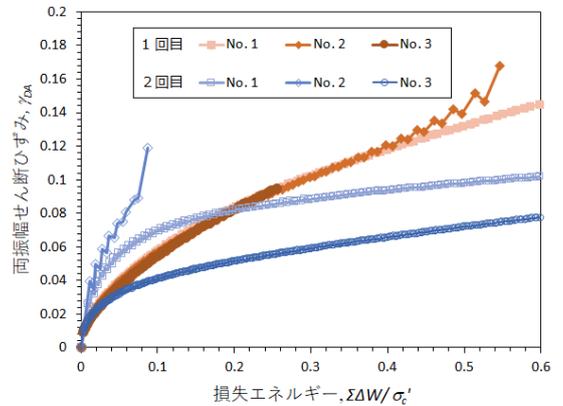


図5 不攪乱試料の損失エネルギー-ひずみ関係

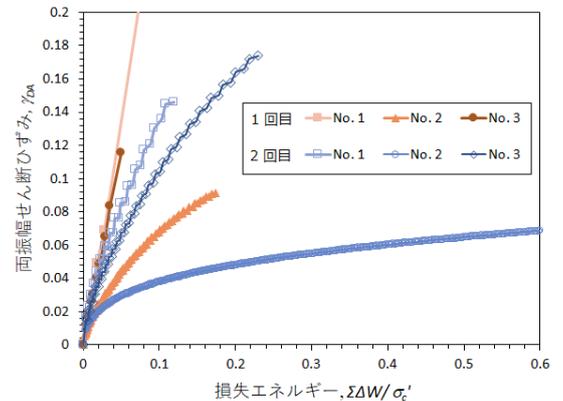


図6 攪乱試料の損失エネルギー-ひずみ関係