

火山灰土の再液状化に関する実験的考察

日本地研(株) ○石橋慎一郎, 永池誠一, 栗巢吉文, 佐々木泰介

1. はじめに

平成 28 年 4 月に発生した熊本地震では、最大震度 7 を含む地震が 28 時間以内に連続して発生した。熊本地方を中心とする多くの地点で火山灰土を主とする噴砂が確認され、強い地震動の連続発生で再液状化を引き起こし、さらなる被害を拡大させた。一方、震源からの距離やマグニチュードを考慮すると、地盤の年代効果などで被害はさほど大きくなかったといわれている。しかしながら、火山灰土は堆積時の固結作用や粗粒分の粒子破砕性といった通常の砂質土とは異なる力学特性を示すことに加え、火山や噴火時期でその化学組成等が異なることから特殊な挙動を示すことが多い。¹⁾²⁾ 本検討は、火山灰土に対して連続地震動を与えたときの強度変化の把握を目的とした基礎的実験の報告である。

2. 火山灰土の物理特性

実験には、熊本県内の火砕流堆積物層から採取した試料を使用した。その物理特性を表-1に、粒径加積曲線を図-1に示す。

表-1 物理試験結果

湿潤密度	ρ_t (g/cm ³)	1.682
乾燥密度	ρ_d (g/cm ³)	1.112
土粒子の密度	ρ_s (g/cm ³)	2.582
含水比	w (%)	51.2
間隙比	e	1.323
粒度特性	礫分 (%)	19.2
	砂分 (%)	49.1
	シルト分 (%)	25.4
	粘土分 (%)	6.3
	平均粒径 D_{50}	0.3364
液性限界	w_L (%)	NP
塑性限界	w_P (%)	NP
塑性指数	I_p	NP
地盤材料の分類		火山灰質礫質砂(SVG)

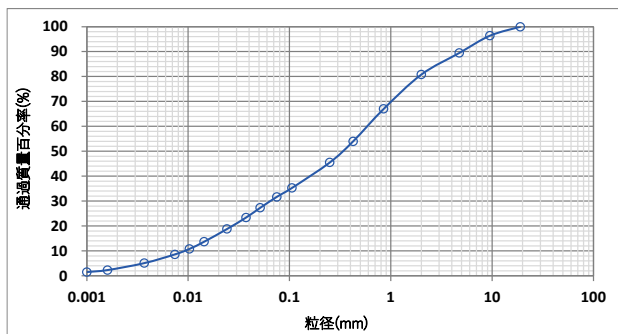


図-1 粒径加積曲線

対象土の粒度構成は、主体である砂分が約50%を占め、2~19mmの軽石等を20%程度伴い、細粒分は非塑性シルトを多く混入する。乱れの少ない状態では、インターロッキングや化学的作用等の影響から固結した状態で、強指圧で土砂化する程度の硬さであった。

3. 繰返し非排水三軸試験の方法

繰返し非排水三軸試験は図-2に示す手順で実施し、供試体寸法は直径 65mm、高さ約 130mm の円柱状とした。

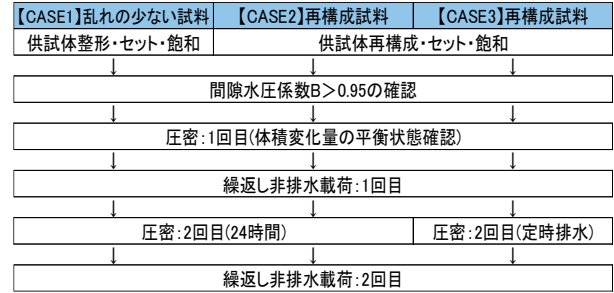


図-2 試験手順

(1) 乱れの少ない試料

三重管サンプラーで採取した試料を用い、直径は原形状態(直径 65mm)で、高さ約 130mm にコアカッターで切断し、端面に形成された被膜を直ナيفで削り取って供試体とした。試験は間隙水圧係数 $B > 0.95$ を確認し、設定した等方圧密圧力を与えて体積変化が平衡状態となるまで圧密し、複数の供試体で異なる繰返し軸差応力を載荷して繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_o'$ と繰返し載荷回数 N_c の関係を求めた。強地震動が連続して発生した条件を再現するために、各供試体で 1 回目の試験を行った後の供試体に対して、さらに 24 時間の圧密を行った。2 回目の繰返し載荷では挙動の相違を的確に捉えるために、同程度の繰返し軸差応力を作用させて液状化強度の変化を把握した【CASE1】。

(2) 再構成試料(乱した試料)

三重管サンプラーで採取した試料を手作業で解砕し、乱れの少ない試料の密度条件で再構成し、火山灰土が造成や災害復旧工事で盛土材として利用された場合を再現した。試験は(1)と同一条件で試験を実施した【CASE2】、過剰間隙水圧が消散する前に地震が発生することを想定した【CASE3】の2ケースで行った。

4. 試験結果

(1) 乱れの少ない火山灰土の液状化強度【CASE1】

図-3にCASE1条件での試験結果から得られた繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_o'$ と繰返し載荷回数 N_c の関係を示す。液状強度比を求めるために利用されることが多い $DA=5\%$ 時の液状化強度を比較すると、1 回目の繰返し載荷に対し 2 回目では液状化抵抗が増加しており、この傾向は後述する CASE2 も同様である。これは過剰間隙水圧消散過程で土粒子が再配列し、さらに再圧密されたことで密度が高まり、液状化強度が上昇したと考えられる。一方、ひずみが小さい領域 $DA=1\sim2\%$ では、逆の現象(液状化抵

抗の低下)が生じている。長い年月を経て形成された火山灰質土は年代効果で安定し、液状化強度が増大することが知られているが、一度液状化したことでこの効果を失ったことが要因であると考えられる。この後ひずみが進行する過程で液状化抵抗が増大するのは、载荷初期の段階で粒子再配列がさらに進んだためであると推察する。なお、図-3 から $R_{120} \approx 0.6$ 程度と考えられる。

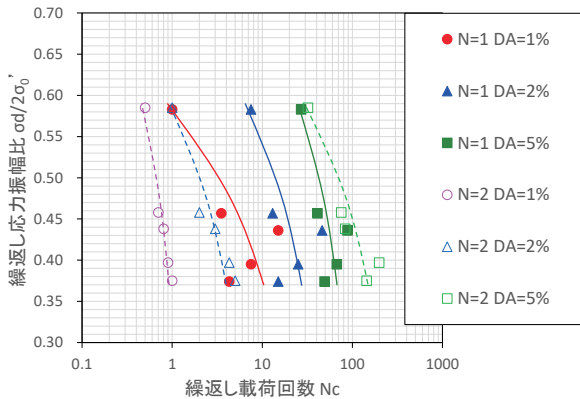


図-3 繰返し応力振幅比と繰返し载荷回数【CASE1】

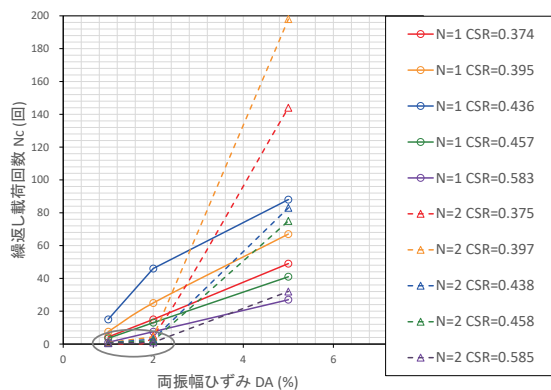


図-4 繰返し载荷回数と両振幅ひずみ

(2) 再構成試料での火山灰土の液状化強度【CASE2】

図-5 に再構成供試体での試験結果を示す。液状化強度比 R_{120} は CASE1 と比較して約 80% の強度低下を示し、これは年代効果の消失が要因であると考えられる。再液状化の比較では、CASE1 での繰返し载荷 2 回目のような初期の大きな変形はなく、全体的な強度の増加が見られ、液状化後の再配列と十分な再圧密で剛性が増加することが確認された。

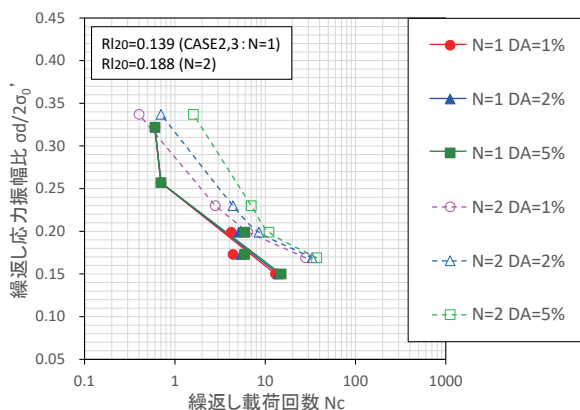


図-5 繰返し応力振幅比と繰返し载荷回数【CASE2】

(3) 過剰間隙水圧が未消散での液状化強度【CASE3】

図-6 に過剰間隙水圧が残存した場合の再構成試料における試験結果を示す。CASE2 の 2 回目の繰返し载荷と比較して液状化強度比 R_{120} は約 27% の低下が見られた。このことから、連続した地震動が作用するタイミングで、造成地盤に与える影響が大きく変化することに留意が必要であるといえる。

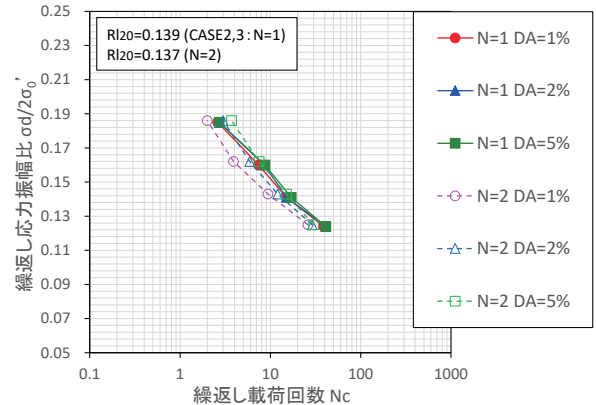


図-6 繰返し応力振幅比と繰返し载荷回数【CASE3】

5. まとめ

本検討では以下のことが確認できた。

- ・乱れの少ない火山灰土は、年代効果での大きな液状化強度を持つ。一方、再構成試料は年代効果を失っているため液状化強度は小さくなる。
- ・乱れの少ない火山灰土は、過剰間隙水圧消散後に再液状化すると载荷初期にせん断剛性が大きく低下し、その後ひずみが緩やかとなり剛性を保つ。再構成試料では初期から剛性が増す。
- ・液状化した後、過剰間隙水圧消散に伴う土粒子の再配列と再圧密で密度増加し、液状化強度比は大きくなる。
- ・但し、液状化後の過剰間隙水圧が完全に消散する前に同程度の地震動が加わると、液状化強度は低下する。
- ・地震動を繰り返し受ける場合は、次の地震動を受けるまでの間隔が液状化強度に大きく影響を及ぼす。

今回の実験では、火山灰土における基礎的な挙動変化を観察することができた。再圧密時の供試体条件の見直しや評価手法の検討等は新たな検証課題として、今後の実務に活用できるように究明していきたい。

《引用・参考文献》

- 1) Hazarika, H., Kokusho, T., Kayen, R.E., Dashti, S., Fukuoka, H., Ishizawa, T., Kochi, Y., others. (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) 石橋慎一郎, ハザリカ・ヘマンタ, 小合克也, ピョ・ミヤミヤピョ, 國生剛治, 山本茂雄: 不攪乱火山灰土の再液状化によるひずみと過剰間隙水圧の挙動変化の分析, 地盤工学研究発表会2019