

礫分含有率が配合珪砂の液状化強度特性に及ぼす影響

富山県立大学 学生会員 ○北川 陽士
 富山県立大学 正会員 兵動 太一
 富山県立大学大学院 学生会員 寺迫 太陽
 富山大学 正会員 竜田 尚希
 九州大学 正会員 ハザリカ ヘマンタ
 九州大学大学院 学生会員 前田 翼

1. はじめに

一般的に、礫分(粒径 2mm 以上の土粒子)を含んだ砂礫地盤は透水性が良く、住宅等の支持地盤に使用されており、液状化の可能性は低いとされている。しかし、2018年スラウェシ島地震(モーメント・マグニチュード 7.5)では砂礫層での液状化が発生したり、スラウェシ島地震では世界でも前例のない大規模の液状化が発生し、住宅などの多くの建物が崩壊、多くの死亡者、負傷者を出す災害となった。一方で、日本でも砂礫地盤での液状化事例として、1995年兵庫県南部地震で砂礫層での液状化が報告されており²⁾、条件が揃えば、日本の砂礫層でも大規模の液状化被害が起こることが十分にありえる。

既往の研究(例えば³⁾)では、砂と礫を混合させた砂礫試料で礫分含有率の影響を調査されているが、その多くは粒度分布の偏りがある。実際の現象を考えるためには良い粒度を持つ実地盤を想定して行う必要があると考えられる。本稿では、スラウェシ島現地試料の粒度を模擬した礫分を変化させた配合珪砂を用いて土の繰返し非排水三軸試験を行い、礫分含有率が液状化強度特性に及ぼす影響を調べた。また、日本国内で礫分を含んだ土の液状化リスクを調べるため、 F_L 法を用いて液状化判定を行った。

2. 試験試料

本研究では、実地盤の粒度分布を再現するため、スラウェシ島地震の現地土の粒度分布を模擬した。スラウェシ島地震で液状化した地域は複数確認され、今回は砂礫層で液状化が確認された Sibalaya を現地試料として選定した。トレンチ調査した地層の2か所の礫分含有率が異なった砂礫層の現地試料の粒度をもとにいわき珪砂をふるい分けし、粒径 9.75mm~0.075mm の範囲で再配合し、模擬試料を

作製した。模擬した礫分を含む配合珪砂を礫分含有率から GC43.7, GC25.8 とし、粒径 2mm~0.075mm の範囲で再配合して作製した礫分を含まない配合珪砂を GC0 とした。GC43.7, GC25.8, GC0 の物理的性質を表-1に、粒径加積曲線を図-1に示す。図-1より良い粒度分布を示す土であるとわかる。

3. 試験方法

本稿の土の繰返し非排水三軸試験(JGS 0541-2009)は、直径 100mm、高さ 200mm の中型供試体で実施した。地震前のゆるい地層を想定し、相対密度 40% を目標にドライタッピング法で作製した。作製した供試体に二酸化炭素を流したあと、脱気水を流した。背圧 100k とし、間隙水圧係数 B 値 0.95 以上になることで飽和状態とした。その後、供試体にスラウェシ島の現地試料の土被り圧を想定し、50kPa で等方

表-1 試験試料の物理的性質

	GC43.7	GC25.8	GC0
礫分含有率(%)	43.7	25.8	0.0
土粒子密度 $\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$	2.67	2.67	2.67
最大間隙比 e_{max}	0.62	0.66	0.94
最小間隙比 e_{min}	0.39	0.41	0.58
均等係数 U_c	10.8	8.03	4.90

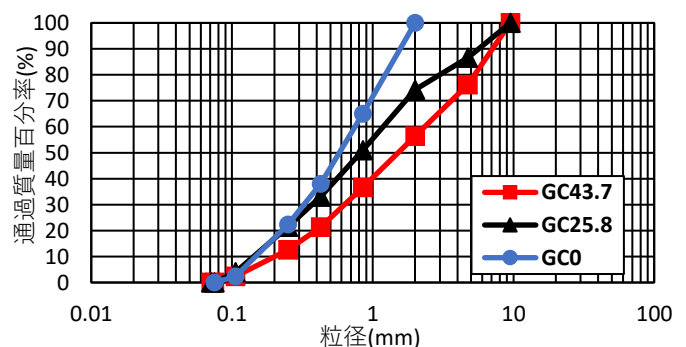


図-1 試験試料の粒径加積曲線

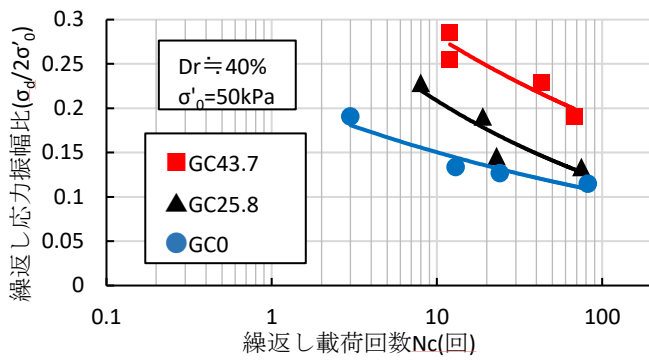


図-2 両振幅軸ひずみ DA=5%の液状化強度曲線

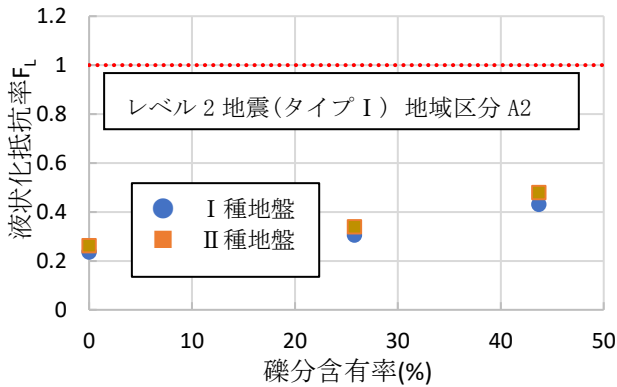


図-3 液状化抵抗率 F_L と礫分含有率の関係

圧密した。有効拘束圧を 50kPa, 非排水条件で 0.1Hz の正弦波の圧縮, 伸長の繰返し荷重を載荷した。

4. 結果

図-2 に両振幅軸ひずみ DA=5%の液状化強度曲線を示す。図-2 より礫分含有率が大きくなるほど繰返し応力振幅比が大きくなった。また, 繰返し載荷回数 20 回における繰返し応力振幅比を液状化強度比 R_{L20} としたとき, GC43.7 は 0.244, GC25.8 は 0.165, GC0 は 0.136 となった。

道路橋示方書(V 耐震設計編)・同解説⁴⁾の手法を参考に(1)の式より液状化判定を行った。

$$F_L = \frac{c_w R_L}{(1.0 - 0.015x)c_z k_{hgL0} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v}} \quad (1)$$

ここで F_L は液状化抵抗率, c_w は地震動特性による補正係数, R_L は繰返し三軸強度比, x は地表面からの深さ(m), c_z は地域別補正係数, k_{hgL0} は液状化の判定に使用する地盤面の設計水平震度の標準値, σ_v は地表面から x (m)における全上載圧(kPa), σ'_v は地表面からの深さ x (m)における有効上載圧(kPa)を示す。詳細法より, R_L を液状化強度比 R_{L20} とした。スラウェシ島地震の地震動よりレベル2地震動(タイプI)の条件とし, $c_w=1.0$ とする。現地

試料の地層を想定し, 地表面の深さを $x=3m$,

$\sigma_v=58kPa$, $\sigma'_v=53kPa$, k_{hgL0} の値を I 種地盤,

II 種地盤の値とした。代表として, 図-3 に c_z の値を本校富山県立大学が該当する地域区分 A2 の地域別補正係数の値とした液状化抵抗率と礫分含有率の関係を示す。液状化抵抗率が 1.0 を超えると液状化の可能性は少なく, 1.0 以下となると, 液状化の可能性があると判定する。礫分含有率が大きくなって I 種地盤, II 種地盤とも液状化抵抗率が 1.0 以下という結果となり, いずれも液状化の可能性があったことがわかった。

5. まとめ

礫分含有率 0.0%, 25.8%, 43.7%の配合珪砂で土の繰返し非排水三軸試験を行った結果, 礫分含有率が大きくなると繰返し応力振幅比が大きくなることがわかった。一方, 液状化判定からレベル2地震動(タイプI)では礫分含有率が大きくなって I 種地盤, II 種地盤の液状化抵抗率は 1.0 を下回り, 液状化の可能性があるとわかった。このことからスラウェシ島地震のような大規模な地震が発生した場合, 日本の砂礫層でも液状化が発生する可能性があることがわかった。

6. 参考文献

- 1) 液状化地すべり(内陸部)に関する国内支援委員会：インドネシア国中部スラウェシ州復興計画策定及び実施支援プロジェクトドラフトファイナルレポート, 2021.3.31
- 2) 田中幸久, 金谷守, 幡谷竜太, 佐藤清隆, 河合正：事例調査に基づく砂礫地盤の液状化発生条件の検討, 土木学会論文集 No.666/III-53, 55-72, 2000
- 3) By Mark D. Evans, Member, ASCE, and Shengping Zhou : LIQUEFACTION BEHAVIOR OF SAND-GRAVEL COMPOSITES, J. Geotech. Engrg., 1995, 121(3):287-298
- 4) 公益社団法人 日本道路協会：道路橋示方書(V 耐震設計編)・同解説, 丸善出版株式会社, 2013

謝辞:本研究はJSPS 科研費基盤研究(B)ZOHO2244 の助成をうけたものです。ここに謝意を表します。