

細粒分を含む砂の液状化強度特性に及ぼす過圧密の影響の検討

鉄道総合技術研究所 正会員 ○松丸 貴樹 澤田 亮
伊藤 晋 大村 寛和

1. はじめに

近年頻発する大きな地震被害を考慮して、構造物の設計に用いられる地震動の規模が大きくなっている。地盤の液状化の検討においては、地震動増大の影響によって比較的液状化強度の大きい地盤であっても液状化するという結果が得られることが少なくない。一方、現状の設計においては、室内試験で得られた液状化強度特性を基に地盤の液状化判定を行うが、乱れの少ない不攪乱試料の採取は設計実務のレベルではいまだ困難であり、また室内で再構成した試料については原地盤の状況を再現するのが難しく、本来の液状化強度を過小評価することもある。ここでは、細粒分を含む砂の過圧密に伴う液状化強度の増加について、正規圧密状態および過圧密状態の下での繰返し非排水三軸圧縮試験によって評価することとした。

2. 実験条件

試験に用いた試料は東京都多摩地方から神奈川県にかけての丘陵地で採取される稲城砂である。この試料との比較を行うために、稲城砂の沈降分析を繰返し、上澄み液を除去することで細粒分を低減した稲城砂も別途用いることとした。それぞれの試料の物理特性を表-1に示す。細粒分含有率は通常の稲城砂で23.4%、細粒分を低減した稲城砂で6.2%であることから、細粒分含有率が大きく低減されていることがわかる。一方、粒径加積曲線については細粒分が除去されているだけであるため、試料間での曲線形状の違いはほとんどなく、細粒分を低減した稲城砂の粒径加積曲線は、通常の稲城砂の曲線を左側へシフトしたような状況となっていることを確認している。

繰返し非排水三軸試験は、供試体の相対密度が $Dr=60\%$ 、拘束圧49kPaの条件の下で行った。過圧密の影響については、セル内に供試体を設置した後に、等方条件の下で設定する

表-1 2種類の稲城砂の物理特性

	D_{10} (mm)	D_{20} (mm)	D_{50} (mm)	U_c	F_c (%)	P_c (%)
通常の稲城砂	0.0171	0.0612	0.1398	9.29	23.6	8.1
細粒分を除去した稲城砂	0.01025	0.01235	0.01722	1.86	6.6	2.4

過圧密比まで拘束圧を上昇させて1時間保持し、その後再び49kPaまで拘束圧を戻して1時間保持することで再現し、その後繰返し非排水三軸圧縮試験を行った。なお、拘束圧を増加および低減させることで過剰間隙水圧や軸ひずみの変動が生じるが、その変動量はわずかであり、また変動自体も瞬時に生じるため保持時間は1時間で十分であることを確認している。過圧密比(=O.C.R.)は、正規圧密(O.C.R.=1.0)およびO.C.R.=1.5, 3.0の三種類を設定した。それぞれの試料・過圧密比の供試体で3つの応力比を設定し、繰返し非排水三軸試験を行った。

3. 結果および考察

それぞれの試料について、両振幅軸ひずみが5%に達したときの繰返し回数と応力比の関係、および試験結果に基づいた液状化強度曲線と繰返し回数が20回における応力比 R_{L20} を図-1に示す。これらの結果から、どちらの試料についても過圧密の影響によって液状化強度が増加すること、またO.C.R.が大きいほどその増加が著しくなっている。次に、それぞれのO.C.R.で R_{L20} の比較を行うと、いずれのO.C.R.であっても細粒分を低減した稲城砂に比べて通常の稲城砂の方が R_{L20} は大きくなっている。このことから、細粒分の影響によって、液状化強度が大きくなることがわかる。また、O.C.R.が大きいほど、通常の稲城砂の R_{L20} と細粒分を低減した稲城砂の R_{L20} の差が大きくなっている。過圧密の影響を受けた砂は、その応力履歴の影響によって土粒子のかみ合わせが良くなることで液状化強度が増加することが考えられる。そして、細粒分を含む砂は一般に粘着力を有するといわれるが、このかみ合わせの向上によって粘着力が増加し、液状化強度の増加がより発揮されたものと思われる。

キーワード 液状化, 細粒分, 過圧密

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7261

4. 既往の試験結果との比較

これまでに、細粒分を含まない砂については、過圧密履歴を与えた繰返し非排水三軸試験が多数実施されている。文献 1), 2)では豊浦砂を中心に拘束圧や密度を変えて過圧密履歴を与えた砂の非排水繰返し三軸圧縮試験が実施されている。その中で、O.C.R.と過圧密に伴う液状化強度の増加を次式で評価することを提案している。

$$R_{oc} = (OCR)^n \quad (1)$$

ここに、 R_{oc} は過圧密による液状化強度増加率であり、次式で定義される。

$$R_{oc} = (\text{過圧密した供試体の液状化強度})$$

$$/ (\text{正規圧密した供試体の液状化強度}) \quad (2)$$

また、式(1)中の n は室内試験結果から求まる定数であり、値が大きいほど液状化強度の増加に及ぼす過圧密の影響が大きいことになる。

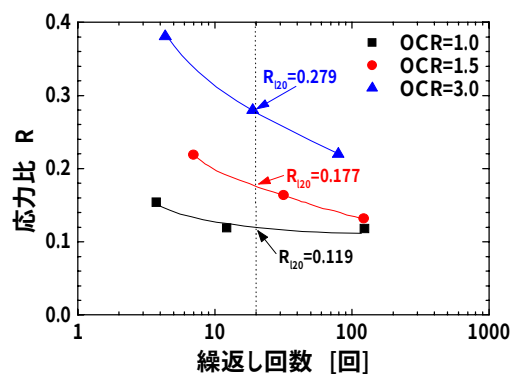
今回実施した2種類の稲城砂の試験結果や、別途実施した $Dr=60\%$ の6号硅砂の試験結果、また文献 2)に記載の $Dr=50\%$ の豊浦砂および $Dr=65\%$ の江戸川砂の試験結果を併せてプロットした図を図-2に示す。通常の稲城砂は $n=0.79$ 、細粒分を低減した稲城砂は $n=0.74$ となっており、他の試料の試験結果と比較すると n の値が大きく、過圧密の影響による液状化強度の増加が著しいことがわかる。また、それぞれの試料の物理特性や試験時の相対密度・間隙比を整理したものを表-2に示す。稲城砂や江戸川砂は細粒分を含んでおり、このため豊浦砂や硅砂などの細粒分を含まない砂よりも n の値が大きくなったものと考えられる。しかしながら、細粒分を含んでいても2種類の稲城砂の方が、江戸川砂に比べて n の値が1.5倍程度大きな値となっており、細粒分含有率 F_c と n の間には一意的な関係は見出せない。その要因としては、表-2を見るといずれの試料についても相対密度 $Dr=60\%$ 程度で試験を実施しているが、間隙比 e が江戸川砂に比べて稲城砂の方が大きく、同じ過圧密履歴を与えても間隙比の大きい場合の方が粒子のかみ合わせがより良くなり、その結果過圧密の影響による液状化強度の増加がより大きく発揮されたものと考えられる。

このことを確かめるには、江戸川砂と同程度の間隙比で稲城砂についても過圧密の影響による液状化強度の増加程度について検討する必要がある。

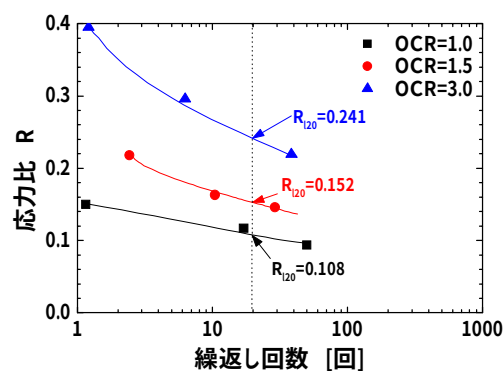
5. まとめ

細粒分を含む砂の液状化強度の増加に及ぼす過圧密履歴の影響について、2種類の稲城砂の非排水繰返し三軸試験をもとに検討した。その結果、細粒分が多いほど過圧密による液状化強度の増加が大きくなることがわかった。ただし、既往の試験結果と比較をすると、同一の相対密度であっても細粒分含有率のみならず、間隙比によっても液状化強度の増加程度が変わることが示唆された。これについては今後検討を進めていきたい。

参考文献 1)安田進, 長瀬英生, 穴道玲, 内堀友華子, 吉田望: 拘束圧が液状化の過圧密効果に与える影響, 第29回土質工学研究発表会発表講演集, pp.733-736, 1994. 2)長瀬英生, 廣岡明彦, 太田稔, 持永修史, 本多真紀: 過圧密履歴を受けた砂質土の液状化強度増加について, 土木学会第53回年次学術講演会論文集, pp.89-104, 1998.



(a)通常の稲城砂



(b)細粒分を低減した稲城砂

図-1 繰返し非排水三軸試験の結果

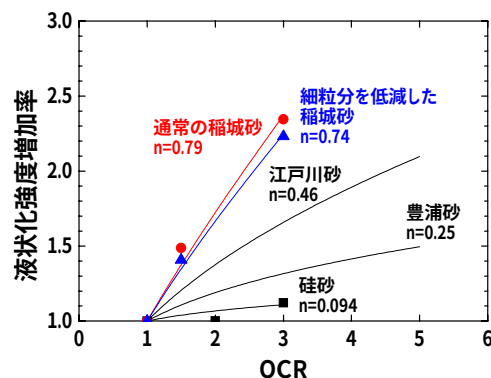


図-2 O.C.R.と液状化強度増加率の関係

表-2 各試料の物理特性と相対密度・間隙比

	n	Dr (%)	e	F_c (%)
硅砂	0.094	60	0.755	0
豊浦砂	0.25	50	0.791	0
江戸川砂	0.46	65	0.721	9.9
通常の稲城砂	0.74	60	1.681	6.6
細粒分を低減した稲城砂	0.79	60	1.681	23.4