

## 再液状化抵抗の変動のしやすさに与える粒度および粒子形状の影響

名古屋大学 正 会 員 ○山田正太郎

福岡大学 学生会員 高森 智子 松元 真美

正 会 員 佐藤 研一

**1. はじめに** 近年頻発する地震による液状化の被害を受け、様々な都市で液状化のハザードマップが作製されつつある。液状化の危険度を判定する際に、その土地の液状化履歴が一つの重要な資料になると考えられるが、現時点では過去に液状化を生じたことがある地盤が液状化を生じやすいのか、それとも生じにくいのか容易に判断することはできない。一方、著者らはこれまでに、液状化中には異方性がめまぐるしく変動していることを示すと同時に、液状化終了時に異方性が高位に発達した状態にあると、著しく低い再液状化抵抗を示すことを実験的に示してきた<sup>1)</sup>。またさらに、試料によって液状化中の異方性の発達のしやすさが異なり、このため液状化履歴に伴って、液状化抵抗が著しく増減する砂質土もあれば、さほど変化しない砂質土もあることを示してきた<sup>2)</sup>。そこで、本報では、砂質土の力学挙動を左右する物理的要因として粒度と粒子形状を挙げ、どのような砂質土が、異方性が発達しやすく、ひいては著しく低い液状化抵抗を示しうるか、三軸試験装置を用いた再液状化実験により明らかにする。

### 2. 実験概要

**2-1 実験試料** 実験試料には粒子形状の異なる東北硅砂といわき硅砂を用いた。東北硅砂の粒子は角がなく丸みを帯びているのに対し、いわき硅砂の粒子は角張った形状をしている。それぞれ粒度調整を行った上で、東北硅砂の粒度が悪いものを試料 A、良いものを試料 B、いわき硅砂の粒度が悪いものを試料 C、良いものを試料 D とする。各試料の物理特性を表-1 に、粒径加積曲線を図-1 に、顕微鏡写真を写真-1 に示す。供試体は空中落下法により作製した。

**2-2 実験条件** 実験には三軸試験装置を用い、各試料に対し液状化試験を計 5 回繰返した。各回の液状化試験の停止位置を変化させることで液状化終了時の異方性の発達状態を意図的に変化させた。このような方法によって各試料の液状化履歴に伴う液状化抵抗の変動のしやすさについて比較すると共に、液状化抵抗の変動のしやすさに違いが生まれる理由を各試料の異方性の発達のしやすさに着目して考察する。

**3. 実験結果** 図-2 に液状化試験を計 5 回繰返したときの各試料の挙動を示す(各回の供試体の相対密度を図中に示す)。すべての試料において、同等な位置で液状化試験を停止した(停止位置をプロットにて図中に示す)。一目見て分かるように、丸みを帯びた試料(試料 A と B) では、各回の液状化抵抗が著しく増減している。一方、角張った試料(試料 C と D) では、液状化抵抗が多少は変化しているものの、角のない試料のような著しい増減はみられない。このことから、液状化履歴に伴い液状化抵抗が変動しやすいのは角が取れて丸みを帯びた試料であることがわかる。また、試料 A と B、試料 C と D の間には液状化抵抗の増減にあまり違いが見られないことから、粒度は液状化抵抗の変動のしやすさにさほど影響を与えないことがわかる。次に、異方性の存在に着目しながら、各試料の挙動を詳しく調べてみる。まず、液状化抵抗が著しく増減する丸みを帯びた試料(試料 A と B) の挙動に着目してみると、2 回目や 4 回目のように圧縮側と伸張側で非対称な挙動をとる場合もあれば、3 回目や 5 回目のように対称的な挙動をとる場合もあることに気づく。また、平均有効応力が 2 回目では伸張側で大きく減少しているのに対し、4 回目では圧縮側で大きく減少していることにも気づく。これらの違いは一つ前の液状化試験の停止位置の違いに起因しており、丸みを帯びた試料では液状化中に異方性がめまぐるしく変動していることを示している<sup>1)</sup>。また、2 回目や 4 回目に著しく低い液状化抵抗を示すのは、異方性が高位に発達している場合には、あるせん断方向で非常にゆるい砂に似た挙動を示すためである<sup>1)</sup>。以上のことを踏まえて、液状化抵抗がさほど変化しない角張った試料(試料 C と D) の挙動に着目してみると、これらの試料では、いずれの回においても圧縮側と伸張側の挙動に大きな違いが見られないことから、異方性がさほど大きく変動していないことが分かる。また、角張った試料が、丸みを帯びた試料のように著しく低い液状化抵抗を示さないのは、異方性が高位に発達しにくいためである<sup>2)</sup>ことも分かる。以上で見たように、粒子形状が丸みを帯びた試料は、意外にも異方性が高位に発達しやすく、このことに起因して液状化履歴を受けた際に液状化抵抗が著しく増減するといえる。

表-1 物理特性

| 試料記号 | 試料名   | 粒子形状 | 粒度 | 土粒子の密度<br>$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 最大間隙比<br>$e_{max}$ | 最小間隙比<br>$e_{min}$ |
|------|-------|------|----|---|--------------------|--------------------|
| 試料A  | 東北硅砂  | 角なし  | 悪い | 2.649                                   | 0.818              | 0.536              |
| 試料B  | 東北硅砂  | 角なし  | 良い | 2.652                                   | 0.790              | 0.450              |
| 試料C  | いわき硅砂 | 角あり  | 悪い | 2.651                                   | 1.190              | 0.734              |
| 試料D  | いわき硅砂 | 角あり  | 良い | 2.656                                   | 1.076              | 0.601              |

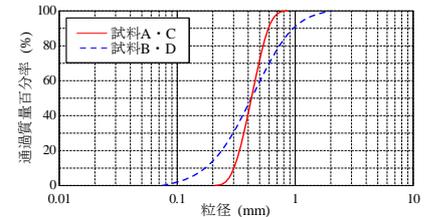


図-1 粒径加積曲線

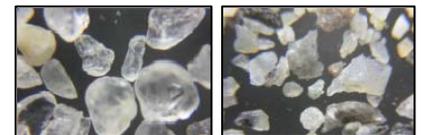


写真-1 試料の顕微鏡写真  
(i) 東北硅砂 (試料 A と B) (ii) いわき硅砂 (試料 C と D)

写真-1 試料の顕微鏡写真

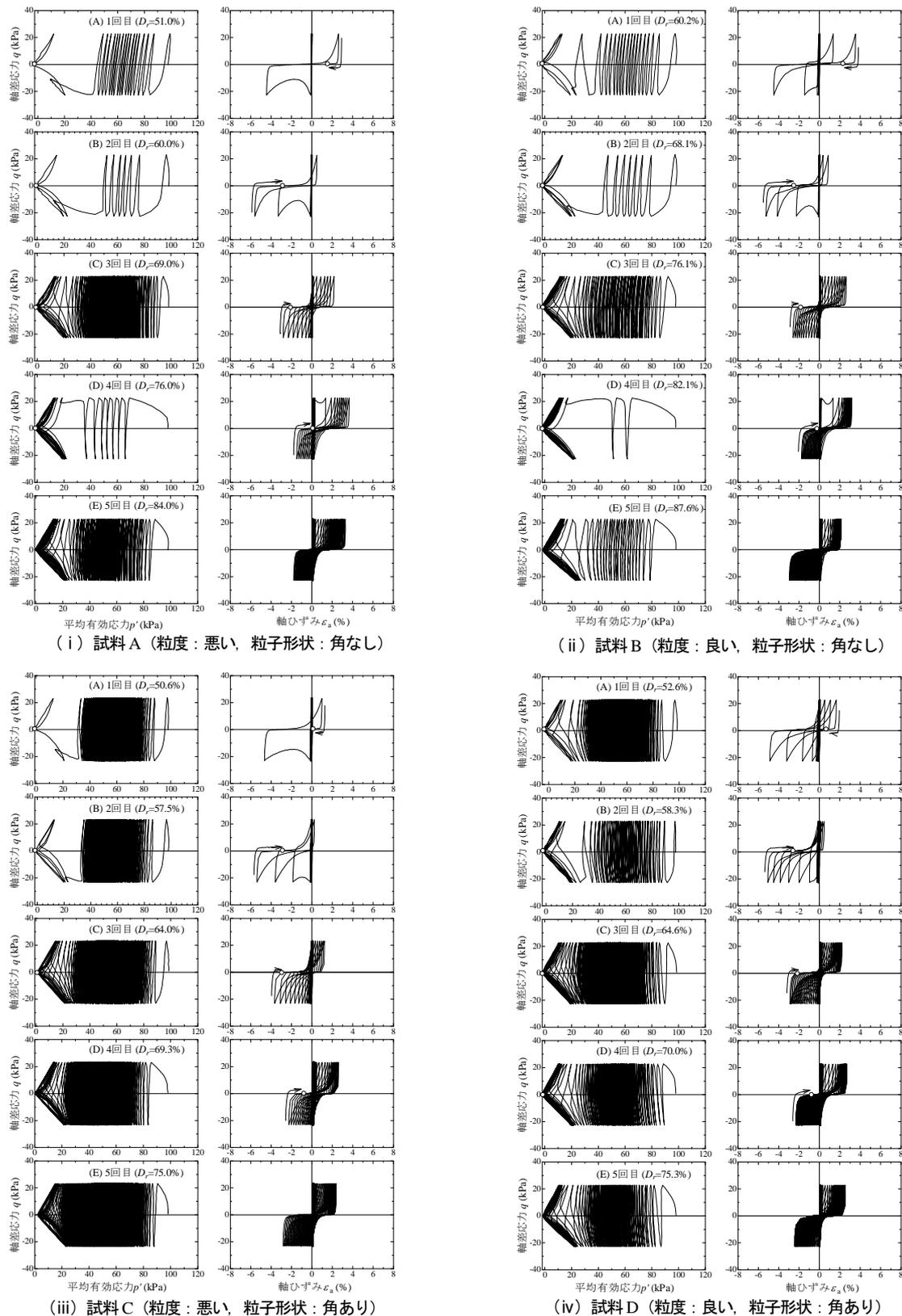


図-2 各試料の再液化挙動

**4. まとめ** 本研究で得られた知見を以下にまとめる。(1) 異方性の発達のしやすさにとっては、粒度よりも粒子形状の影響が支配的である。(2) 意外にも、角張った試料よりも、角が取れて丸みを帯びた試料の方が、異方性が高位に発達する。(3) 結果として、角が取れて丸みを帯びた試料は、液化履歴に伴って液化抵抗が著しく増減すると共に、液化終了時に異方性が高位に発達している場合には、著しく低い液化抵抗を示す。

参考文献) 1) Yamada, S., Takamori, T. and Sato, K. (2010): Effects on relque-faction resistance produced by changes in anisotropy during liquefaction, *S&F*, Vol.50, No.1, pp. 9-25. 2) 高森智子, 山田正太郎, 佐藤研一 (2010): 物理特性の異なる 2 種類の砂質土の誘導異方性および再液化抵抗の変動のしやすさの比較, 第 45 回地盤工学研究発表会概要集.