

異方性の発達のしやすさの違いが液状化抵抗の変動のしやすさに与える影響

福岡大学大学院 学生会員 ○高森智子

福岡大学

正会員

山田正太郎

佐藤研一

1. はじめに 砂質土が液状化した際に、液状化後の排水によって密度が増加したにも係わらず、液状化前よりも著しく液状化しやすくなる現象が Finn et al.¹⁾をはじめ多くの研究者によって報告されている。一方で、Seed et al.²⁾に代表されるように、砂質土は液状化履歴を受ければ素直に液状化しにくくなるという報告も多数存在する。これら一見相反するような現象が、実際には一つの試料でどちらも生じ得ることを本稿では示す。また、著者らはこれまでに、液状化履歴を受けた際の液状化抵抗の変化には異方性が大きく関与することを主張している^{3), 4), 5)}。このことを踏まえ、本稿では異方性の発達のしやすさの違いに応じて、液状化抵抗が大きく変動する試料もあれば、さほど変化しない試料もあることも示す。

2. 実験概要

2-1 実験試料 実験には 2 種類の試料を用いた。一つは豊浦砂、もう一つは筑後川流域で採取された沖積砂である。ここでは前者を試料 A、後者を試料 B とする。各試料の物理特性を表-1 に、粒径加積曲線を図-1 に示す。

2-2 実験条件 実験は三軸試験装置を用いて行った。拘束圧は 98.1kPa、バックプレッシャーは 294kPa である。供試体は空中落下法により作成した。供試体の大きさは、直径 7.5cm、高さ 15cm である。単調非排水せん断試験と応力振幅一定の繰返し非排水せん断試験を、共にひずみ制御にて行った。

3. 液状化履歴に伴う単調および繰返し非排水せん断挙動の変化 はじめに、液状化履歴に伴って両試料の単調および繰返し非排水せん断挙動がどのように変化するかを示す。この結果を通じて、両試料の異方性の発達のしやすさの違いについて考察すると共に、液状化後の異方性の状態が再液状化挙動に与える影響について考察する。

3-1 液状化履歴を受ける前の挙動

図-2 に液状化履歴を受ける前の単調および繰返し非排水せん断挙動を示す。供試体作成時の目標相対密度は 80%、応力振幅は $q_{\max}/p_0' = 0.4$ である。図中には繰返しせん断時の相対密度を記した。単調非排水せん断挙動より、硬化の仕方や初期異方性の影響の表れ方に違いがあることが分かる。繰返し非排水せん断挙動においても、有効応力の減少の仕方やひずみの発生の仕方に違いが認められるものの、いずれの試料も最終的にはサイクリックモビリティを描きながら顕著にひずみを生じる状態に至っている。また、一般に粒径の揃った砂は粒度の良い砂質土に比べ液状化しやすいと考えられがちであるが、両振幅軸ひずみが 5%に達するまでの繰返し回数は同程度で、粒度の良さと液状化のしやすさの関係は一般に言われるほど単純ではないことが分かる。

表-1 物理特性

試料記号	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	最大間隙比 $e_{\max}$	最小間隙比 $e_{\min}$
試料A	2.646	0.985	0.639
試料B	2.716	0.941	0.528

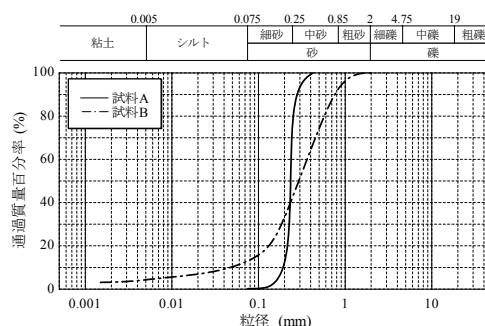


図-1 粒径加積曲線

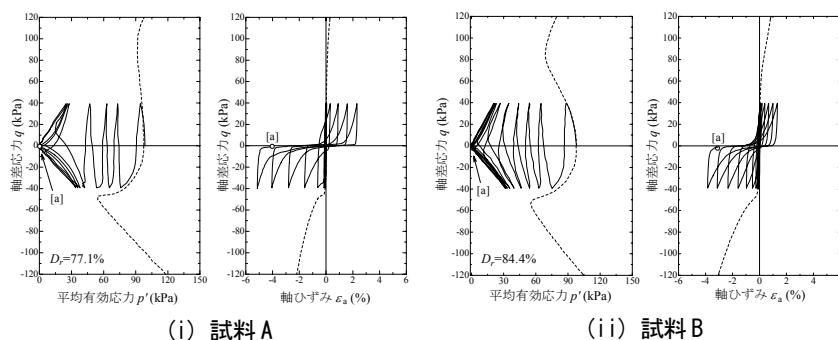


図-2 液状化履歴を受ける前の挙動

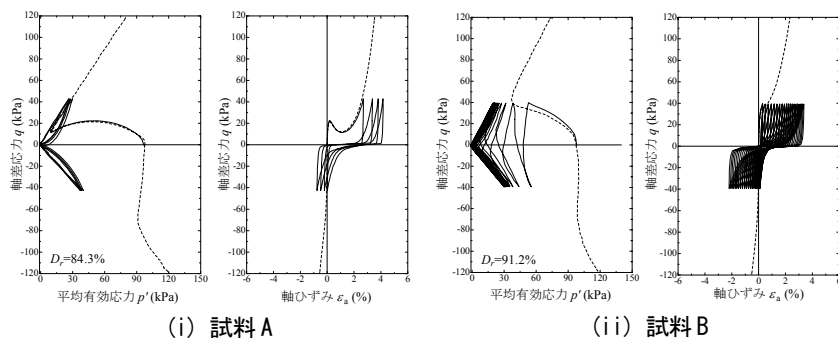


図-3 液状化履歴を受けた後の挙動

キーワード： 液状化 再液状化 異方性 三軸試験

連絡先： 〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1 福岡大学工学部社会デザイン工学科 TEL 092-871-6631

3-2 液状化履歴を受けた後の挙動 図-3に液状化履歴を受けた後の単調および繰返し非排水せん断挙動を示す。液状化履歴は、図-2に示す液状化試験を伸張側から等方力状態に戻ってきた瞬間、すなわち同図の点[a]で止めた後に、軸変位を許した状態で一旦排水するという流れで与えた。まず、試料 A の繰返し非排水せん断挙動に着目すると、せん断直後に平均有効応力が圧縮側で一気に減少し、一発で液状化を生じていることが分かる。このことから、試料 A は、液状化履歴を受けることで非常に液状化しやすい状態になり得ることが分かる。一方で、試料 B は、圧縮側で比較的大きな平均有効応力の減少を示すが、その後の有効応力の低下は徐々に生じており、同様な履歴を与えたにも係わらず、試料 A のような著しい液状化抵抗の低下は生じていないことが分かる。

次に単調非排水せん断挙動の圧縮側と伸張側の挙動の違いに着目すると、試料 A は液状化履歴を受けたことにより、異方性が高位に発達していることが分かる。試料 B も異方的な状態にあるが試料 A ほどではなく、試料 A の方が異方性が発達しやすいことが分かる。また、試料 A では、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に、再液状化を容易に生じることが、図-3(i)の単調せん断と繰返しせん断の比較から分かる。一方で、試料 B は、液状化履歴を受けても異方性が高位に発達しておらず、このために液状化抵抗の著しい低下が生じていないことが図-3(ii)から分かる。このように、異方性が高位に発達する試料においてのみ、再液状化抵抗が顕著に低下する。

4. 異方性の発達のしやすさの違いが再液状化抵抗の変動のしやすさに与える影響

次に、液状化試験を計4回繰返しした結果について示す。各回の液状化試験を同図の丸印の位置で停止し、軸変位を許した状態で排水した後、次の液状化試験を行った。応力振幅は $q_{\max}/p_0' = 0.24$ である。図-4に両試料の再液状化挙動を示す(各回の供試体の相対密度は図中のキャプションに示す)。試料 A は最終的な液状化履歴の与え方(液状化試験の停止位置)に応じて液状化抵抗が著しく増減している。2回目や4回目に低い液状化抵抗を示しているのは1つ前のせん断において、除荷した直後に液状化試験を

止したために、異方性が高位に発達しているからである。このように、異方性の発達しやすい試料では、異方性の影響が密度の影響を上回って表れることで、液状化抵抗が著しく増減する。これに対し、試料 B のように比較的異方性の発達しにくい試料では、同様な履歴を受けても、試料 A ほど顕著に液状化抵抗が増減していない。異方性の発達のしやすさは、液状化抵抗にとって重要な因子になっていることが分かる。なお、どちらの試料も液状化中の変形のしやすさには、密度増加の影響が素直に表れて、徐々にひずみが生じにくくなっていることも分かる。

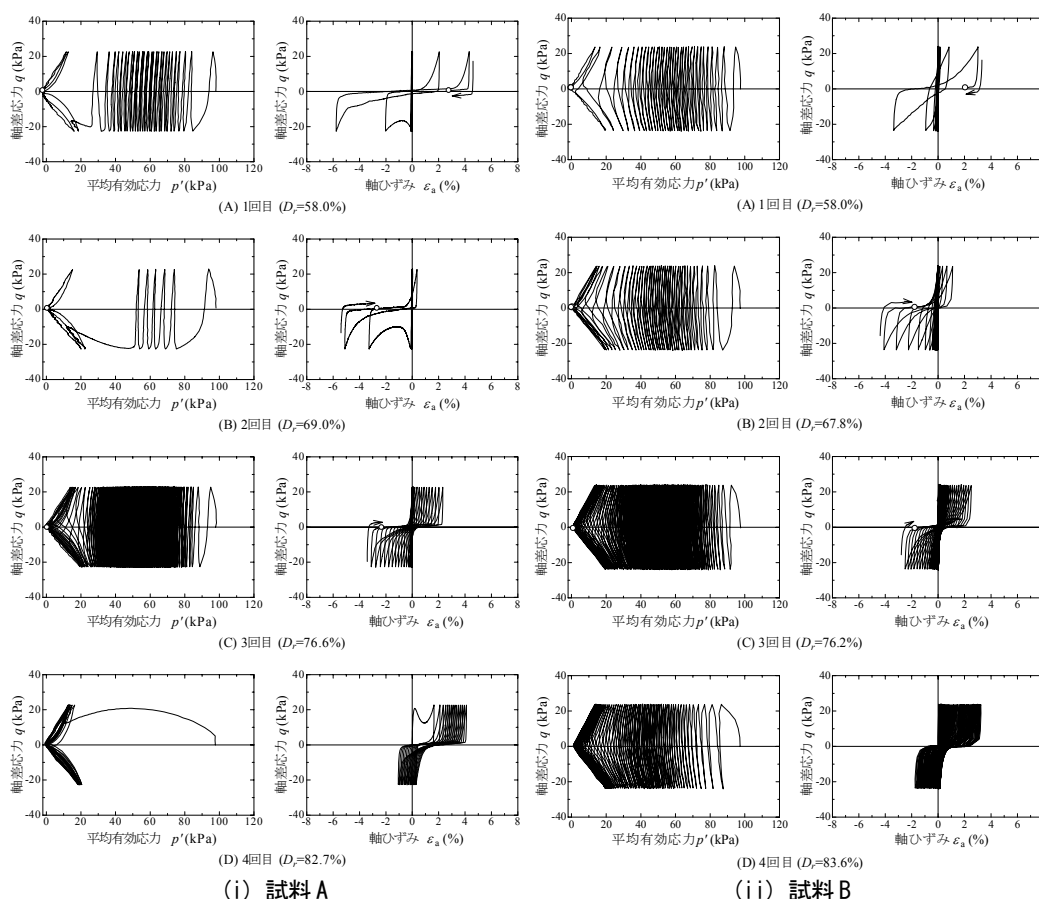


図-4 再液状化挙動

5. おわりに 本稿では、試料によって異方性の発達のしやすさに大きな違いがあることを示した。また、異方性の発達しやすい砂質土では、液状化終了時の異方性の発達状態に応じて、液状化抵抗が著しく増減することを示した。

参考文献 1) Finn, et al. (1970): Effect of strain history on liquefaction of sand, *Proc. ASCE*, Vol. 96, SM6, pp.1917-1934. 2) Seed, et al. (1977): Influence of seismic history on liquefaction of sands, *J. Geotech. Engrg. Div., ASCE*, Vol. 103, No. 4, pp. 257-270. 3) 山田 他 (2008): 液状化中の応力誘導異方性の変動に関する実験的研究, 第43回地盤工学研究発表会, pp. 417-418. 4) 高森 他 (2008): 液状化に伴う応力誘導異方性の発達再液状化抵抗に与える影響, 第43回地盤工学研究発表会, pp. 419-420. 5) Yamada, et al. (2009): Effects on reliquefaction resistance produced by changes in anisotropy during liquefaction, *S&F*, under contribution.