

液状化に伴う異方性の消滅および発達と 液状化に伴い発達した異方性が再液状化に与える影響

福岡大学

正 会 員 ○山田正太郎

佐藤 研一

福岡大学大学院

学生会員 高森 智子

1. はじめに 本報告の目的は、①初期異方性が液状化挙動に与える影響について示すこと、②液状化前後で異方性の状態がどのように変化しているのか示すこと、③液状化中に獲得した異方性が再液状化挙動にどのような影響を与えるのか示すことの三点である。先に結論から述べると、本報告では、まず初期異方性が大きいほど液状化しやすいことが示される。次に、初期に有していた異方性は液状中にほぼ完全に消失し、逆に液状化中に新たに異方性が発達し、しかもその異方性は初期よりも顕著に発達している場合があることが示される。そして最後に、液状化後に異方性が顕著に発達しているような場合には、その影響で、液状化前よりも著しく液状化しやすくなっている場合があることが示される。

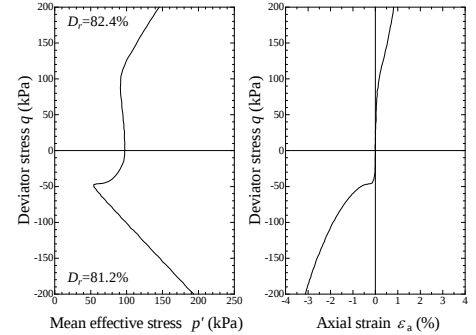
2. 実験概要 実験には三軸試験装置を用いた。また、試料には豊浦標準砂($\rho_s=2.646\text{g/cm}^3$, $e_{\max}=0.985$, $e_{\min}=0.639$)を用いた。供試体は空中落下法と棒突き法の二種類の方法を用い、相対密度 D_r がおよそ 80% になるように作成した。供試体の直径は 7.5cm、高さは 15cm である。二種類の方法で供試体を作成したのは、初期異方性の影響について調べるためで、棒突き法では棒で突き堆積面を崩すことで等方的な供試体を作成することを狙った。

実験は拘束圧 98.1kPa、バックプレッシャー294kPa の下で行った。実験のパターンは大きく分けて、以下の4つである。

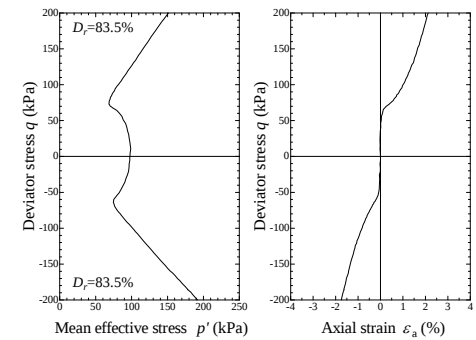
- I 単調非排水せん断（液状化履歴なし）
- II 繰返し非排水せん断（液状化履歴なし）＝液状化試験
- III 単調非排水せん断（液状化履歴あり）
- IV 繰返し非排水せん断（液状化履歴あり）＝再液状化試験

単調非排水せん断、繰返し非排水せん断共に、ひずみ制御（載荷速度：0.12%/min）にて行った。液状化試験の応力振幅は $|q|_{\max}=0.4\text{kPa}$ とした。液状化履歴を与える実験では、上記の液状化試験を軸ひずみの最大値と最小値の差が5%に達するのを確認した後、伸張側から等方応力状態まで戻ってきたところ（図-2、点(a), (b)に相当する位置）で停止し、軸変位を許した状態で一旦排水させ、再び軸を固定してひずみ制御にて単調非排水せん断もしくは繰返し非排水せん断を行った。

3. 初期異方性が液状化挙動に与える影響 図1に液状化履歴を受けていない供試体の単調非排水せん断試験結果を示す。棒突き法で作成した供試体は圧縮側と伸張側でほぼ対称的な挙動を示しており、初期に十分に等方的な状態にあるといえる。これに対し、空中落下法で作成した供試体は、圧縮側と伸張側で異なる挙動を示しており異方的な状態にあるといえる。いずれの供試体も同程度の密度であるにもかかわらず、棒突き法で作成した供試体に比べて空中落下法で作成した供試体の挙動は、圧縮側で密な砂に

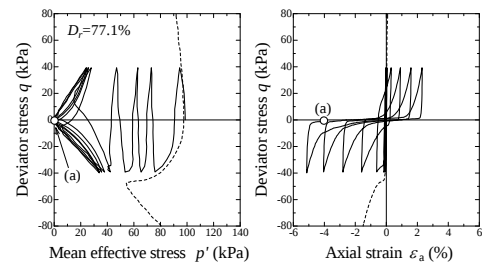


(A) 空中落下法（初期異方性あり）

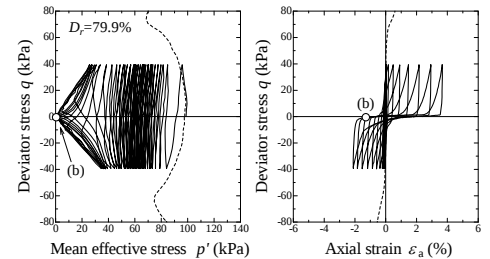


(B) 棒突き法（初期異方性なし）

図1 単調非排水せん断試験結果
（液状化履歴なし）



(A) 空中落下法（初期異方性あり）



(B) 棒突き法（初期異方性なし）

図2 繰返し非排水せん断試験結果
（液状化履歴なし）
＝液状化試験結果

液状化、再液状化、異方性、三軸試験

〒814-0180 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

似た挙動を示し、伸張側で緩い砂に似た挙動を示している。つまり、空中落下法で作成した供試体は圧縮側で硬く、伸張側で柔らかい挙動を示す初期異方性を有しているといえる。以下では空中落下法で作成した供試体を「初期異方性あり」、棒突き法で作成した供試体を「初期異方性なし」と位置づける。

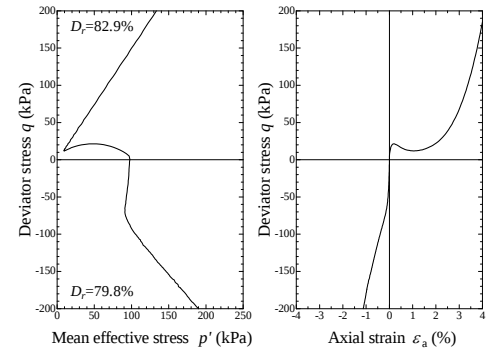
図2に液状化履歴を受けていない供試体の繰返し非排水せん断試験（＝液状化試験）結果を示す（図中の点線は単調非排水せん断時の挙動である）。初期異方性を有する供試体に比べ、初期異方性のない供試体では液状化に至るまでに多くの繰返し回数を要している。また初期異方性のない供試体では圧縮側と伸張側でほぼ対称な有効応力経路を示しているのに対し、初期異方性を有する供試体では液状化に至るまでに、圧縮側に比べ伸張側で大きく平均有効応力が減少している。単調せん断の有効応力経路との比較からも分かるように初期異方性の影響を大きく受けている。このように一方向でも弱いせん断方向があれば、液状化強度はその方向の挙動に依存して低くなる。これが、空中落下法で作成した供試体の方が棒突き法で作成した供試体よりも液状化しやすい最大の理由であると考えられる。

4. 液状化に伴う異方性の変化 図3に液状化履歴を受けた供試体の単調非排水せん断試験結果を示す。初期異方性の有無に係わらず、どちらの供試体も圧縮側と伸張側で異なる挙動を示している。特筆すべきは、どちらの方法で作成した供試体もほぼ同じ挙動を示していること、圧縮側に比べ伸張側であたかも密な挙動を示していること、しかもその差が空中落下法で作成した供試体が液状化前に有していた差（図1, (A)）よりも大きいことの3点である。これらはすべて液状化中にめまぐるしく応力誘導異方性が変化するために起きる¹⁾。

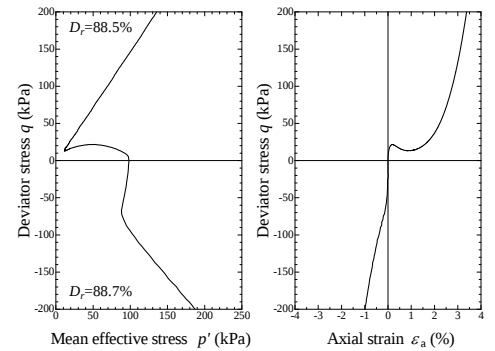
5. 液状化に伴い発達した異方性が最液状化挙動に与える影響 図4に液状化履歴を受けた供試体の繰返し非排水せん断試験（＝再液状化試験）の結果を示す（図中の点線は単調非排水せん断時の挙動である）。液状化後に一旦排水し共に密な供試体になっているにもかかわらず（初期異方性あり： $D_r = 77.1\% \rightarrow D_r = 84.6\%$ 、初期異方性なし： $D_r = 79.9\% \rightarrow D_r = 85.6\%$ ）、载荷開始とともに軟化を伴いながら急激に有効応力が低下し一発で液状化に至っている。図2と比較してもわかるように液状化前よりも明らかに液状化しやすい状態になっていることがわかる。点線で示した単調非排水せん断挙動との比較から、この結果は一度目の液状化中に高位に異方性が発達したためにもたらされたことが分かる。このように、液状化後に密度が増加する影響よりも、液状化中に発達した異方性の影響が勝って、液状化前よりも液状化しやすい状態になっている場合があることが分かる。なお、液状化履歴を受けることで初期異方性がほぼ完全に喪失していることは図4からも分かる。

6. おわりに 本報告では、液状化履歴を受けた砂が再び容易に液状化する現象のメカニズムを説明することを最大の目的として、液状化後に顕著に異方性が発達している場合を例に挙げて議論した。しかし実際には、液状化中に異方性は発達と消滅をめまぐるしく繰り返すため液状化後の異方性は本稿で示した以外にも様々な状態を取りうる¹⁾。また、液状化終了後の異方性の発達程度の違いに応じて、再液状化のしやすさも大きく変化する²⁾。これらのことが分かるような結果を文献1), 2)に示したので、興味のある方はこれらの文献も参照されたい。

参考文献 1) 山田ら(2008)：液状化中における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概要集。2) 山田ら(2008)：液状化に伴い発達した応力誘導異方性が再液状化抵抗に及ぼす影響，第43回地盤工学研究発表会概要集。

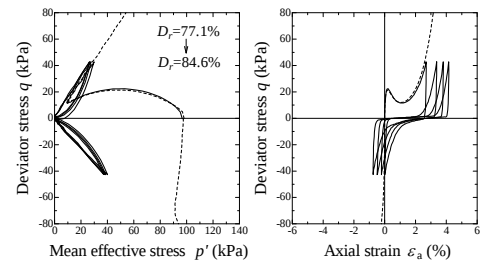


(A) 空中落下法（初期異方性あり）

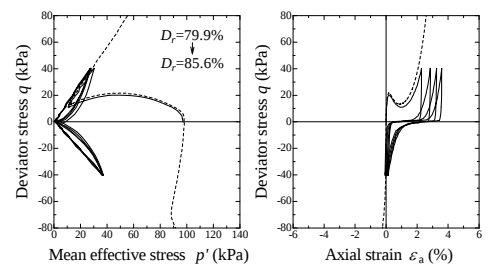


(B) 棒突き法（初期異方性なし）

図3 単調非排水せん断試験結果
（液状化履歴あり）



(A) 空中落下法（初期異方性あり）



(B) 棒突き法（初期異方性なし）

図4 繰返し非排水せん断試験結果
（液状化履歴あり）
＝再液状化試験結果