

繰返し履歴を与えた砂質土の非排水単調及び繰返し三軸試験

名古屋工業大学 学生会員 ○西村 望, 白井 勇有
 非会員 鈴木 薫
 正会員 張 鋒, 岩井 裕正

1. はじめに

再液状化とは一度液状化を経験した地盤が圧密沈下後、地震荷重を受けて再び液状化する現象を言う。この現象は東日本大震災で数多く報告されており、その要因の1つとして地盤の応力誘導異方性（以下、異方性）が考えられる¹⁾²⁾。そのため本稿では地盤の異方性に着目し、砂質土供試体に液状化履歴を与えた後、供試体に単調載荷および繰返し三軸圧縮試験を行い、液状化履歴を受けた砂の液状化特性も含めた力学特性を把握することに努めた。

2. 試験概要および手順

本試験では、単調及び繰返し載荷が可能である三軸試験機を用いて、非排水繰返し三軸試験で液状化履歴を与えた砂質土供試体を対象に非排水単調載荷三軸試験及び非排水繰返し三軸試験を実施した。なお非排水単調載荷試験は圧縮試験と引張試験を行った。試料には豊浦砂を用い、直径 5cm、高さ 10cm の円柱供試体を作製した。Table 1 に豊浦砂の物理特性を示す。供試体は水中落下法で作製し、3層に分けて 15 回ずつ突き固めを行った中密な状態（相対密度 $D_r = 50\sim 70\%$ ）を対象とした。

Table 1 豊浦砂の物理特性

土粒子の比重 G_s	2.65	最大間隙比	0.975
最大粒径 (mm)	0.425	最小間隙比	0.609
最小粒径 (mm)	0.102	均等係数 U_c	1.65

まず上記の砂供試体に背圧 100kPa をかけ拘束圧 100kPa になるまで等方圧密した後、応力制御の非排水繰返し三軸試験を行うことで供試体を液状化させた。繰返し応力比は $q/2\sigma'_{m0} = 0.25$ 、載荷周波数は $f = 0.005\text{Hz}$ とした。両振幅ひずみが 5% 生じたことを確認した後、繰返し載荷を様々な所定の残留ひずみで停止させることにより液状化後の供試体の異方性の発達度合いを再現した。本試験では軸差応力が $q = 0\text{kPa}$ かつ軸ひずみが -5.0%（引張側）、+1.0%（圧縮側）、0.0%（原点）である 3 点で載荷を停止させた (Fig.1)。その後、軸変位を許した状態で排水を行い、応力状態を試験開始時と同じ状態まで戻すために等方的に圧密した（約 15 分間）。その後再び非排水状態にし、単調載荷及び繰返し三軸試験を

実施した。単調載荷三軸試験は載荷速度 0.1%/min の変位制御で実施し、繰返し三軸試験は応力比 $q/2\sigma'_{m0} = 0.20$ 、載荷周波数 $f = 0.01\text{Hz}$ で実施した。

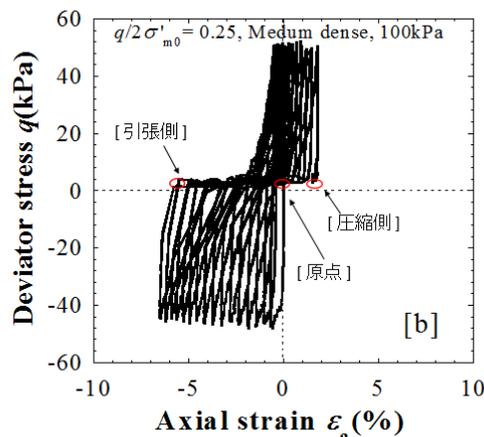


Fig.1 液状化履歴の与え方

3. 非排水単調載荷三軸試験

残留ひずみを圧縮側 (+1.0%)、引張側 (-5.0%)、原点に与えた供試体に対して単調載荷三軸試験を実施した。これらの試験から得られた試験条件を Table 2, Table 3 に、試験結果を Fig 2, Fig 3 に示す。圧縮・引張のいずれの試験においても、引張側に残留ひずみを与えたときにせん断強度が大きくなることが確認できた。

3.1 非排水圧縮試験

Fig.2 [a]に着目すると、圧縮側および原点に残留ひずみを与えた場合では載荷初期において平均有効応力が増加しており、引張側に残留ひずみを与えた場合は反対に平均有効応力が減少している。また、Fig.2 [b]より、引張側に残留ひずみを与えた場合が最もピーク強度が大きくなっていることが確認できる。

3.2 非排水引張試験

Fig.3 [a]に着目すると、圧縮側および原点に残留ひずみを与えた場合では載荷初期において平均有効応力が減少しており、引張側に残留ひずみを与えた場合は反対に平均有効応力が増加している。また、圧縮試験結果と同様に引張側に残留ひずみを与えた場合が最もピーク強度が大きくなった。

4. 非排水繰返し三軸試験

次に、液状化履歴を与えた後に再び繰返し非排

水三軸圧縮試験を実施した結果を示す。試験条件をTable4に、試験結果をFig.4に示す。Fig.4[a][b]から、圧縮側(+1.0%)、原点に残留ひずみを与えた場合は載荷開始直後の圧縮では平均有効応力は大きく減少しておらず、両振幅ひずみが5%に達したときの繰返し回数 N_c ($DA=5\%$)は13.7回、16.2回と引張側に残留ひずみを与えたときに比べ多い。一方でFig.4[c][d]から、引張側(-5%)に残留ひずみを与えた場合は載荷開始直後の圧縮で有効応力が大きく減少しており、 N_c ($DA=5\%$)が11.5回と最も少ないことが確認できた。

以上より、残留ひずみを大きく与えると繰返し載荷初期において平均有効応力が大きく減少することから、異方性の発達度合いが液状化強度に影響をもたらすと考えられる。また、残留ひずみの正負は再載荷時の液状化特性に明かに影響を与えており、今後試験ケースを増やして、その定量的な評価を実施していく必要がある。

5. まとめ

本研究の試験結果から、残留ひずみの与え方によって、剛性の大きさ及び再液状化強度に違いが見られた。砂質土の液状化特性及び力学特性は載荷履歴による異方性に依存していると考えられる。今後は試験ケースを増やすことに加えて再現性を確認することで試験結果の精度を向上させていきたい。

Table2 三軸圧縮試験条件

	残留ひずみ		残留ひずみ		残留ひずみ	
	圧縮側		引張側		原点	
	排水前	排水後	排水前	排水後	排水前	排水後
e	0.75	0.73	0.75	0.73	0.74	0.71
$Dr(\%)$	61	68	61	68	64	73

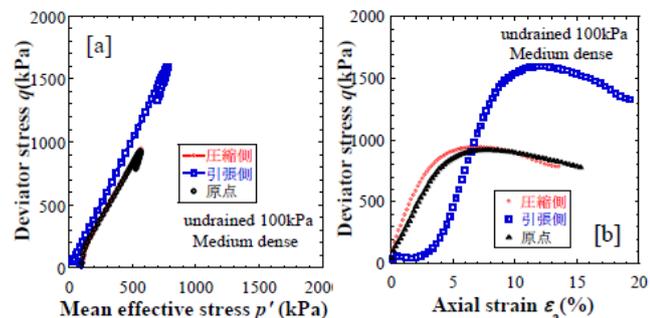


Fig.2 三軸圧縮試験結果

Table3 三軸引張試験条件

	残留ひずみ		残留ひずみ		残留ひずみ	
	圧縮側		引張側		原点	
	排水前	排水後	排水前	排水後	排水前	排水後
e	0.76	0.74	0.76	0.73	0.77	0.74
$Dr(\%)$	59	66	60	67	58	66

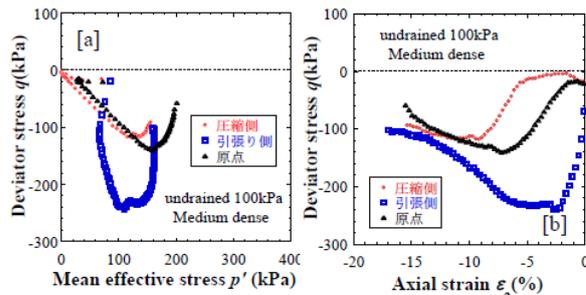


Fig.3 三軸引張試験結果

Table4 繰返し三軸試験条件

排水	前	後	前	後	前	後
	(圧縮側)		(引張側)		(原点)	
残留ひずみ						
e	0.74	0.72	0.77	0.74	0.8	0.76
$Dr(\%)$	64	70	57	64	50	60
N_c ($DA=5\%$)		13.7		11.5		16.2

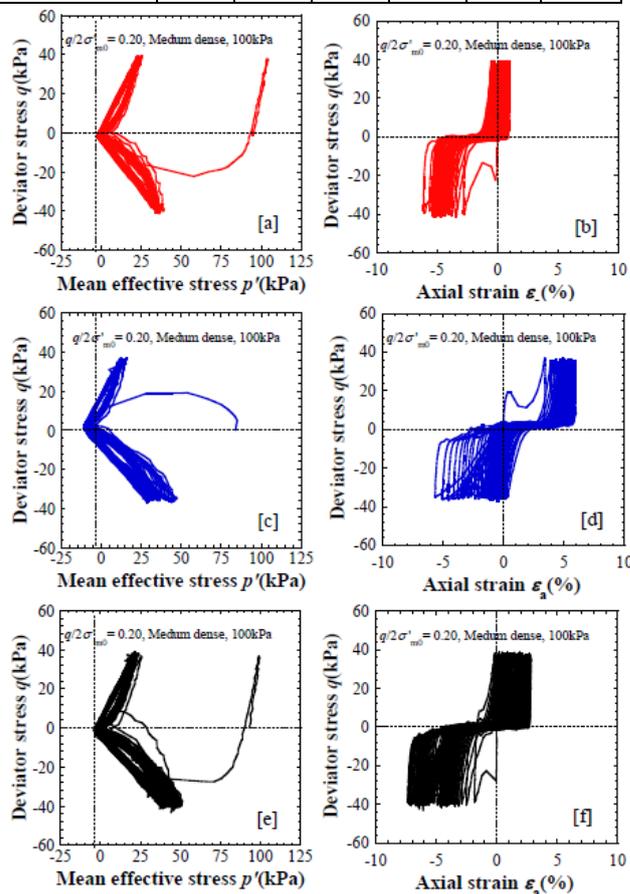


Fig.4 繰返し三軸試験結果 (上：圧縮側，中：引張側，下：原点)

参考文献

- 1) Yamada S., Takamori T., and Sato K. (2010): Effects on reliquefaction resistance produced by changes in anisotropy during liquefaction1,2010 The Japanese Geotechnical Society, Vol.50, Issue 1, pp.9-25.
- 2) Ye B., Ye G., Zhang F. (2012): Numerical modeling of changes in anisotropy during liquefaction using a generalized constitutive model, Computers and Geotechnics 42(2012), pp.62-72.