

低拘束圧における豊浦砂の力学挙動の実験的研究

Experimental research on the mechanical behavior of Toyoura sand under low confining pressure

名古屋工業大学 学生会員 ○細谷 旭弘
 名古屋工業大学 非会員 長田 辰弥
 名古屋工業大学 国際会員 張 鋒

1. はじめに

地震時における地盤の挙動や液状化を評価するために、要素試験だけでなく、数値解析を用いることも増えてきている。地盤材料の変形特性を表現するためには、要素試験によってあらゆる拘束圧における土の力学挙動を把握しなければならない。本稿では、初期拘束圧 5kPa から 20kPa という低拘束圧条件下での密度の異なる排水・非排水変位制御単調圧縮試験、及び非排水繰返し載荷試験を行い、砂の力学挙動を検証した。

2. 試験概要

本研究では、動的三軸試験機を用いて排水・非排水変位制御単調圧縮試験、及び非排水繰返し載荷試験を行った。試験には Table.1 に示す豊浦砂を用いた直径 5cm、高さ 10cm の円柱供試体を使用している。供試体は水中落下法によって作製し、緩詰めの状態と、3 層に分けて 15 回突き固めた中密な状態とした。また、本試験は低拘束圧で行うため、ラテックス製のメンブレン（厚さ 0.20mm）を使用している。

Table.1 豊浦砂の物理特性

土粒子の比重 $G_s(g/cm^3)$	2.65	均等係数	1.37
最大粒径(mm)	0.425	最大密度 $\rho_{max}(mm)$	1.647
最小粒径(mm)	0.102	最小密度 $\rho_{min}(mm)$	1.347
60%粒径(mm)	0.281	最大間隙比 e_{max}	0.975
30%粒径(mm)	0.241	最小間隙比 e_{min}	0.613
10%粒径(mm)	0.206		

3. 試験結果

3.1 変位制御単調圧縮試験

緩い砂、及び中密な砂の異なる初期拘束圧での排水・非排水単調載荷試験（変位制御）を行った。載荷変位速度は全試験において 0.04mm/min とした。試験条件、試験結果を Table.2, Fig.1, Fig.2 に示す。

Table.2 試験条件

初期拘束圧	5kPa（緩い）		10kPa（緩い）		5kPa（中密）	
排水条件	排水	非排水	排水	非排水	排水	非排水
間隙比	0.85	0.83	0.84	0.89	0.72	0.71

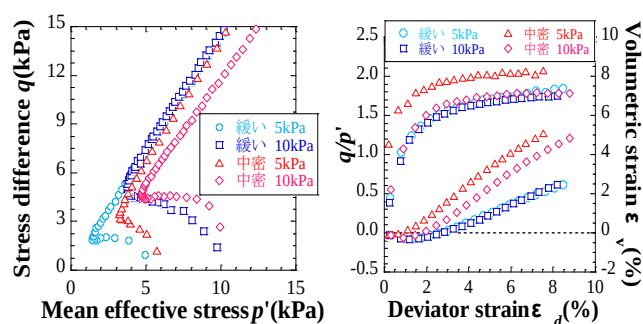


Fig.1 有効応力経路（非排水）

Fig.2 応力比～偏差ひずみ関係（排水）

Fig.1 は非排水状態の有効応力経路、Fig.2 は排水状態の応力比～偏差ひずみ関係を示している。まず、有効応力経路に着目すると、緩い状態、中密な状態ともに有効応力が一度下がった後、限界状態線に沿って上がっていることが確認できた。さらに、緩い状態では、初期拘束圧によらず、同様な傾向が確認できた。中密な状態では、緩い状態より有効応力の減少が小さいことがわかる。

次に、応力比～偏差ひずみ関係に着目すると、緩い状態においてダイレイタンスが発生した。これは、初期拘束圧が小さいほど、砂が密な状態になり、拘束圧の違いで砂の粗密状態が変わると考えられる。また、中密な状態の方が応力比、体積ひずみともに緩い状態より大きいことがわかる。

3.2 非排水繰返し載荷試験

緩い砂、及び中密な砂を対象に、種々の初期拘束圧（20kPa、10kPa、5kPa）の条件下で、応力比 0.20 において非排水繰返し載荷試験を行った。試験条件等を

Table.3～Table.4 に示す．ここで， $DA=5\%$ ， $DA=10\%$ はそれぞれの両振幅ひずみが 5%，10%に至るまでの繰返し回数を示す．なお，載荷周波数は全試験で 0.01Hz としている．Fig.3 に異なる初期拘束圧における非排水繰返し載荷試験結果を示す〔a〕：有効応力経路，〔b〕：偏差応力～軸ひずみ）．

まず，緩詰め状態での初期拘束圧の違いに着目すると，初期拘束圧が小さいほど，原点を通ったサイクリックモビリティが発生しにくく（Fig.3(α)[a]），ひずみが引っ張り側にでにくいのがわかる．（Fig.3(α)[b]）これは，メンブレンの引っ張りに対する抵抗力が影響していると考えられる．

次に，中密な状態での初期拘束圧の違いに着目すると，初期拘束圧が大きくなるほど，液状化するまでの載荷回数が増えていることがわかる．

最後に，緩詰め状態と中密な状態の違いに着目すると，中密な状態で液状化の発生が確認でき，液状化の際，有効応力が原点を下回っていることがわかる．（Fig.3(α)[a]，(β)[a]，(γ)[a]）

4. まとめ

排水・非排水条件下で単調圧縮試験を行った結果，緩い状態においても中密な状態と同じようにダイレイタンシーの発生が確認できた．また，拘束圧も砂の粗密状態を判断する要因になると考えることができた．

次に，非排水繰返し載荷試験を行った結果，緩い状態では，初期拘束圧が小さいと原点を通らず液状化することがわかった．そして，中密な状態において液状化の発生が確認でき，液状化の際，有効応力が原点を下回る傾向がみられた．

最後に，再現性を確実なものにするため実験回数を増やし，初期拘束圧が 40kPa や 60kPa など，実験ケースを増やして検討していきたい．

参考文献

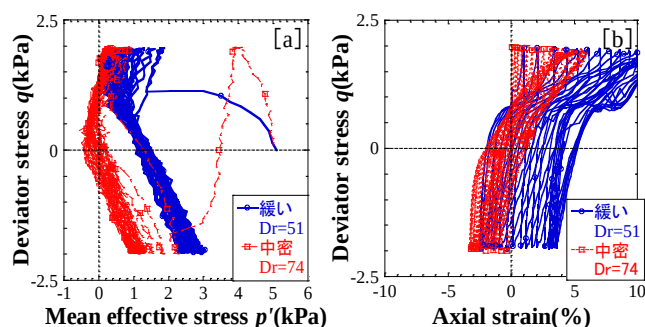
- 1) Ye, B.(2007): Experiment and Numerical Simulation of Repeated Liquefaction – Consolidation of Sand, Doctoral Dissertation, Gifu University
- 2) Zhang, F., Ye, B., Noda, T., Nakano, M. and Nakai, K. (2007): Explanation of Cyclic Mobility of Soils: Approach by Stress-Induced Anisotropy, Soils and Foundations, Vol.47, No.4, 635-648

Table.3 試験条件（緩い砂）

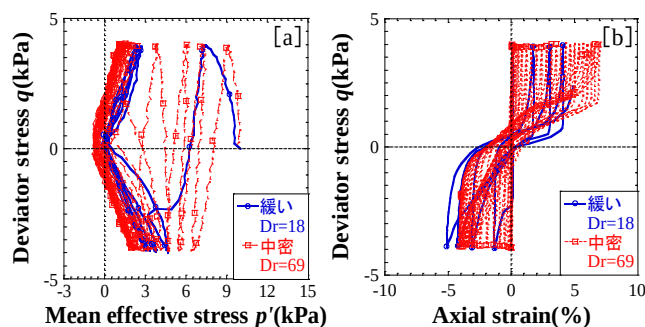
	(α)	(β)	(γ)
初期拘束圧 (kPa)	5	10	20
間隙比 e	0.79	0.91	0.84
$DA=5\%$	2.18	2.07	2.66
$DA=10\%$	—	4.12	4.71

Table.4 試験条件（中密な砂）

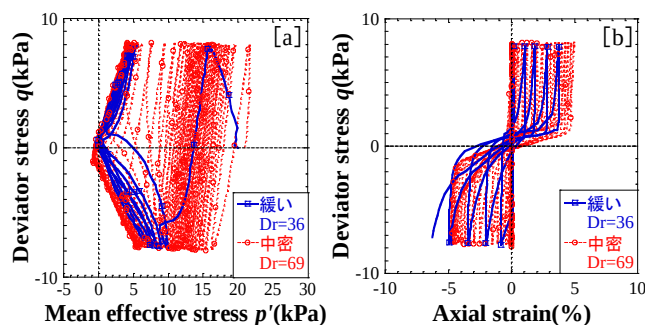
	(α)	(β)	(γ)
初期拘束圧 (kPa)	5	10	20
間隙比 e	0.71	0.73	0.73
$DA=5\%$	6.21	10.23	34.89
$DA=10\%$	—	21.21	45.5



(α) 初期拘束圧 5kPa



(β) 初期拘束圧 10kPa



(γ) 初期拘束圧 20kPa

Fig.3 非排水繰返し載荷試験