

ひずみ経路制御ミニ三軸試験機による粘土の異方圧密非排水圧縮試験

大阪大学大学院 正会員 小田和広
 大阪大学大学院 正会員 鍋島康之
 大阪大学大学院 フェロー 松井 保
 大阪大学大学院 学生会員 新川泰弘
 大阪大学大学院 学生会員 奥村安史

1. はじめに

ひずみ経路制御試験とは、供試体内の不均一なひずみ分布の発生を防止するために、供試体の軸変位だけでなく、体積変化も積極的に制御しようとする力学試験である。この試験は、供試体の体積変化の制御が容易な透水性の高い砂質土に対する力学試験として開発されてきた¹⁾²⁾。筆者らは小型供試体を用いることにより、体積変化の制御が困難な透水性の低い粘性土に対しても任意のひずみ経路を制御することのできるひずみ経路制御ミニ三軸試験機³⁾を開発した。そして、この試験機を用い、粘性土の力学挙動に対するひずみ経路依存性について検討を行っている。本研究では、その一環として、ひずみ経路制御方式によって異方圧密を行った粘土の非排水せん断挙動について検討する。

2. ひずみ経路制御方式による異方圧密

ひずみ経路制御試験とは、供試体の軸ひずみ (ϵ_a) と体積ひずみ (ϵ_v) の両方を直接制御し、それによって生じる応力や間隙水圧の変動を計測する力学試験である。図-1はひずみ経路制御方式による異方圧密過程におけるひずみと応力の状態を示している。まず、等方有効応力 (σ'_i) が所定の値に保たれるように、 σ_c と背圧 (u_b) を供試体に作用させる。この初期状態から所定の速度の軸変位と体積変化をそれぞれ載荷装置および体積変化制御装置 (DPVC) によって供試体に加える。これにより、供試体には ϵ_a と ϵ_v が生じる。 ϵ_a の増加に伴い σ_a が増加し、一方、 ϵ_v の増加に伴い u_b は減少する。本試験では、 σ_c を一定に保っているため、 u_b の減少は側方の有効応力 (σ'_c) の増加に転化される。このようにして異方圧密が進行する。

3. 試験試料および試験ケース

表-1は今回の試験に用いた市販のカオリン粘土の物理特性を示している。この粘土を液性限界の約1.5倍の含水比で十分に練返した後、大型土槽において98.0kPaの圧力で圧密し、試験試料を作成した。

表-2は試験ケースを示している。ここで、Rはひずみ増分比であり、体積ひずみ速度 ($\dot{\epsilon}_v$) と軸ひずみ速度 ($\dot{\epsilon}_a$) の比で表される。Rが3の場合、供試体は等方変形する。また、Rが1の場合、 $\dot{\epsilon}_a$ と $\dot{\epsilon}_v$ が等しいこととなり、 K_0 圧密状態に相当する。今回の試験では、 $\dot{\epsilon}_a$ を一定とし、圧密過程ではひずみ増分比が所定の値になるように $\dot{\epsilon}_v$ を制御した。圧密は ϵ_v が約14%~17%に達するまで行い、その後、直ちに非排水圧縮試験を実施した。本試験機では、DPVCを停止することにより、圧密過程から非排水せん断過程への切り替えを瞬時に行うことができる。

4. 非排水せん断挙動

図-2は軸差応力 (q) とせん断ひずみ (ϵ_s) の関係を示している。Case100とCase160はひずみ軟化を示しており、その傾向はRが小さいCase100の方が顕著に現れている。また、 q が最大となるときの ϵ_s の値はRが大きいくほど大きい。図-3は過剰間隙水圧 (u_w) と ϵ_s の関係を示している。Case160とCase250に比べ、Case100に

表-1 試料の物理特性

ρ_s (g/cm ³)	2.632
LL (%)	101.4
PL (%)	34.3
PI	67.1

表-2 試験ケース

試験ケース	R($\dot{\epsilon}_v/\dot{\epsilon}_a$)	σ'_i (kPa)	u_b (kPa)	σ_c (kPa)	$\dot{\epsilon}_a$ (%/min)	$\dot{\epsilon}_v$ (%/min)	ϵ_v (%)
Case100	1.00	19.6	490.5	510.1	0.030	0.030	14.08
Case160	1.60	19.6	490.5	510.1	0.030	0.048	17.42
Case250	2.50	19.6	490.5	510.1	0.030	0.075	15.45

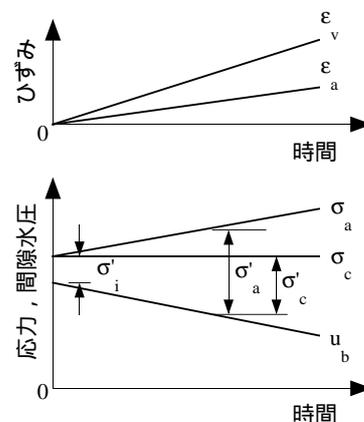


図-1 異方圧密過程における応力および背圧とひずみの状態

Key word : 非排水強度, 3軸試験, ひずみ経路制御, 異方圧密, 体積ひずみ

連絡先: 吹田市山田丘2-1, 大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻, Phone & Facsimile 06-6879-7626

おける u_w の発生量は少ない。図-4は応力比 (η)と ε_s の関係を示している。いずれのケースにおいても η はひずみ軟化していない。このため、図-2における q のひずみ軟化特性は、 u_w の増加に伴う平均有効主応力 (p') の減少によるものと考えられる。

図-5は有効応力経路を示している。図中、白抜きの点は異方圧密過程を、黒く塗りつぶした点は非排水せん断過程を示している。異方圧密過程では q と p' は共に増加しており、 R が小さいほど大きな q が生じている。異方圧密過程から非排水せん断過程に切り替わると応力経路の方向が大きく変化し、 p' は減少に転じている。そして、いずれの試験ケースにおいても応力経路は最終的には限界状態線上に到達する。

ところで、表-2から分かるように、試験ケース毎に異方圧密過程における ε_v の値が異なっている。そこで、この影響を除くために、応力を ε_v によって正規化し、10%の ε_v を受けたように換算した。図-6および7は換算した軸差応力 (q_{10}) と ε_s の関係および換算した過剰間隙水圧 (u_{w10}) と ε_s の関係をそれぞれ示している。 q_{10} の最大値は R が小さいほど大きく、ひずみ軟化が顕著に現れている。このため、残留状態時の q_{10} はいずれのケースにおいても一致している。すなわち、圧密過程において同一の ε_v を受けた粘土の残留強度は等しいと考えられる。

図-8は換算した応力による有効応力経路を示している。異方圧密終了時における換算した応力による平均有効応力 (p'_{10}) は、いずれのケースにおいてもほぼ等しい。また、図-4および図-6からも示唆されるように、非排水せん断時における応力経路は、最終的に限界状態線上の同一の点に到達する。

5. まとめ

本研究では、ひずみ経路制御ミニ3軸試験機を用い、異方圧密履歴を受けた粘土の非排水せん断強度について検討した。その結果、最大強度は異方圧密時のひずみ増分比が小さいほど大きいが、残留強度はひずみ増分比に関わらず等しいと考えられる。

6. 参考文献

- 1) Uchida, K & Vaid, Y.P. (1994) : Sand behaviour under strain path control, 13th ICSMFE, pp. 17-20.,
- 2) Chu, J. & Lo, S. C. R. (1994) : Asymptotic behavior of a granular soil in strain path testing, Geotechnique, No.44, pp. 65-82.
- 3) Matsui, T., Oda, K. and Nabeshima, Y. (1999) : Development of strain path controlled mini-triaxial apparatus and strain path dependent behavior of clay, Proc. 11th ARCSMFE, pp. 121-124.

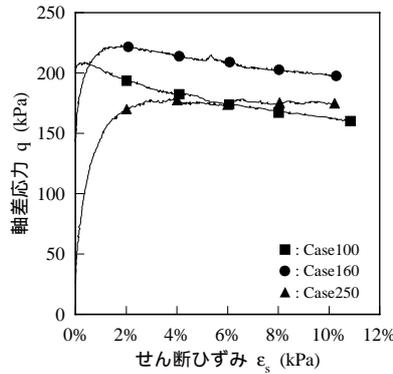


図-2 軸差応力とせん断ひずみの関係

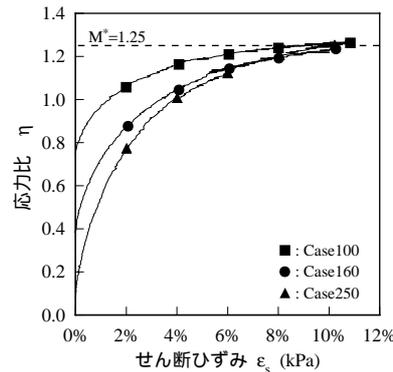


図-4 応力比とせん断ひずみの関係

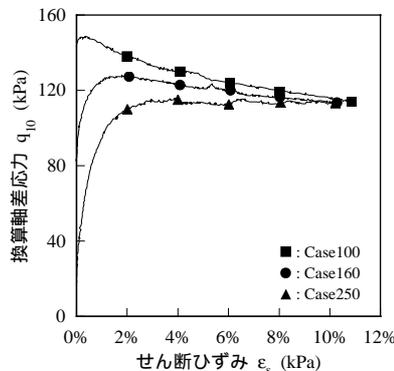


図-6 換算した軸差応力とせん断ひずみの関係

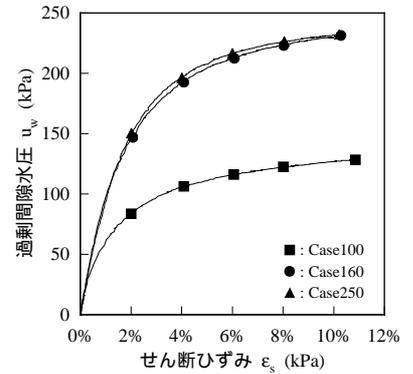


図-3 過剰間隙水圧とせん断ひずみの関係

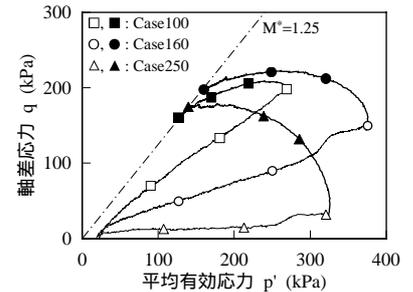


図-5 有効応力経路

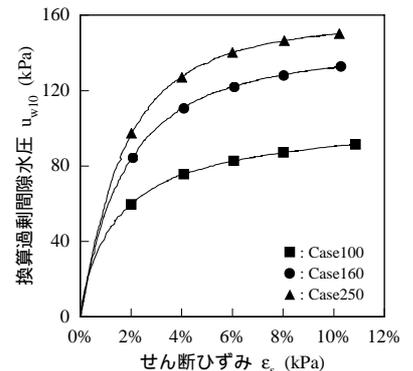


図-7 過剰間隙水圧とせん断ひずみの関係

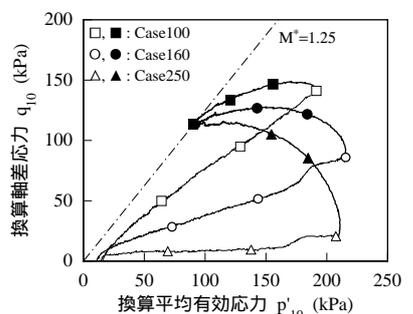


図-8 換算応力による有効応力経路