せん断履歴を受けた粘土の等方圧縮挙動

北海道大学大学院	学 生 会 員	土田	智	聡
北海道大学大学院	正会員	福 田	文	彦
北海道大学大学院	フェロー会員	三田地	利	Ż

 σ_1

1. はじめに

筆者らは一連の三軸試験を行い、等方過圧密履歴を受けた粘土の 排水および非排水せん断時における降伏挙動を、最小主応力面(以下 σ_3 '面)の面積ひずみ(Fig-1 参照)¹⁾を用いることによってうまく説明 できることを明らかにした²⁾。しかし、等方応力状態では σ_3 '面が不 定であり、あらゆる面が σ_3 '面となる。このため、等方圧縮時には σ_3 ' 面の面積ひずみを定義することができない。そこでせん断履歴を受 けた粘土の等方圧縮試験を行い、 σ_3 '面の面積ひずみに代わるパラメ ータの検討を行った。

2. 実験

2.1 三軸試験装置

軸力をベロフラムシリンダーにより載荷する応力制御型の三 軸試験装置を用いた。装置はコンピューターによって制御され ており、予め規定した任意の応力径路に沿って載荷ができる。 供試体の寸法は高さ 12cm、直径 5cm であり、試験機のトップ キャップおよびペデスタルの中央部分には、供試体の吸排水の ため直径約 1.5cm のポーラスストーンが埋め込まれている。ト ップキャップおよびペデスタルの供試体に接触する面には、シ リコングリースを塗布したドーナツ型のメンブレインとテフロ ンシートを設置し、供試体内の応力とひずみの分布の一様性を 向上させている。実験中は軸力、軸変位、セル圧、間隙水圧お よび排水量を測定し、これらから軸応力σ_a'、側方応力σ_r'、軸ひ ずみε_aおよび側方ひずみε_rを算出した。

使用する試料は市販の NSF-clay(p_s=2.75g/cm³,W_L=55%,I_P=23) を、含水比が液性限界の2倍になるように蒸留水を加えて撹拌 し、予圧密応力150kPa、予圧密期間10日間で作成したもので ある。

2.2 試験条件



Table-1 Test condition

Test No.	Preloading stress (a LPD) Deformation in shear		Maximum isotropic loading	
	(q, кРа) (点 B, Fig-2)	(ABA, Fig-2)	stress (p', kPa) (点 C, Fig-2)	
SH-NO	0			
SH-C-50	50	Drained compression		
SH-C-100	100			
SH-C-200	200		600	
SH-E-50	50			
SH-E-100	100	Drained		
SH-E-200	200	extension		



実験はせん断応力載荷・除荷過程(p'一定排水三軸圧縮・伸張せん断(径路 ABA,Fig-2))と等方応力載荷過程 (径路 AC,Fig-2,等方圧縮,排水条件)の2過程で構成される。せん断応力載荷・除荷過程におけるせん断応 力が0kPa つまりせん断履歴を与えず等方応力載荷を行う実験SH-NOと、せん断履歴を与えた後に等方応力 載荷を行う実験SH-C・実験SH-Eを行った。各試験条件をTable-1に示す。せん断応力載荷・除荷過程で載 荷するせん断応力は0kPa(実験SH-NO),50~200kPa(実験SH-C,圧縮条件)および50~200kPa(実験SH-E,伸

キーワード:三軸試験,等方圧縮,体積ひずみ,せん断ひずみ,面積ひずみ 連絡先:〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究科 Tel.011-706-6196 張条件)であり、 $\dot{q} = dq / dt = 0.087$ kPa/min で載荷・除荷を行う。等方応 600 力載荷過程の q は 0kPa で一定であり、p'を $\dot{p} = dp' / dt = 0.087$ kPa/min (2) で 300kPa から 600kPa まで載荷する。いずれの試験においても、供試 500 体には 200kPa の背圧を加えており、予備実験の結果によれば初期載 荷・除荷過程ならびに等方応力載荷過程において発生する過剰間隙水 400 圧の最大値はおよそ 1kPa 未満であった。

実験結果と考察

本研究ではすべてのひずみにおいて対数ひずみを使用している。また、せん断応力載荷開始点(点 A,Fig-2)をひずみの規準点(0%)としており、等方応力載荷開始点で生じているひずみはせん断応力載荷・除荷 過程で生じたものである。

等方応力載荷過程から得られた平均有効応力 p'~せん断ひずみ $\gamma(=2/3(\epsilon_1-\epsilon_3))$ 関係と p'~体積ひずみ v 関係をそれぞれ Fig-3 と Fig-4 に 示す。実験 SH-C-200 および SH-E-200 を除く実験では p'の増加によっ でせん断変形が徐々に認められなくなる。また体積ひずみ挙動から、 せん断履歴を受けた粘土の降伏後の径路が処女載荷線である実験 SH-NO の径路に収束していることがわかる。

実験 SH-C-200 および SH-E-200 では単調にせん断変形が生じている。 また体積ひずみ挙動から、せん断履歴を受けた粘土の降伏後の径路が 処女載荷線である実験 SH-NO の径路に収束していないことがわかる。 体積ひずみを用いて降伏挙動の説明ができない理由としては、実験 SH-C-200 および SH-E-200 ではせん断履歴を受けた後の等方応力載荷 過程の開始点において著しい弱面(負の面積ひずみが生じている面)が 生じていることが考えられる。ここで、Table-2 に各実験結果から得ら れた等方圧縮開始点における面積ひずみの値を示す。せん断応力が大 きい実験 SH-C-200 および SH-E-200 においてのみ顕著な負の面積ひず み(SH-C-200 では $\epsilon_2+\epsilon_3=-0.72\%$ SH-E-200 では $\epsilon_2+\epsilon_3=-0.11\%$)が生 じている面が存在している。ちなみにせん断応力 200kPa は、筆者らが 行った実験結果³⁾と比較すると、破壊時のせん断応力に対して圧縮で は約 60%、伸張では約 70%に相当する。

4. まとめ

p'一定せん断履歴を受けた粘土の等方圧縮試験において、せん断履 歴を与える際のせん断応力が 50kPa および 100kPa の場合、せん断変形 が徐々に認められなくなる。また等方応力載荷過程の開始点において 著しい弱面が生じないため、体積ひずみを用いて等方圧縮時の降伏挙 動を説明することができる。

【参考文献】

- 1) 福田・他:面積ひずみにもとづく状態境界面の概念の再考,土木学 会論文集, No. 708/ -59, pp.69-78, 2002
- 2) 土田・他:種々の載荷履歴を受けた粘土の降伏挙動に関する実験的研究, 地盤工学会北海道支部技術報告集(第45号), pp.175-178, 2005
- 3) 土田・他:等方過圧密粘土の平均有効応力一定排水せん断時における応力~ひずみ関係,第58会土木学 会年次学術講演会講演概要集,徳島,2003





Table-2 Values of areal strain

Test No.	$\epsilon_1 + \epsilon_2(\%)$	$\epsilon_2 + \epsilon_3(\%)$	$\epsilon_1 + \epsilon_3(\%)$
SH-C-50	0.22	0.04	0.22
SH-C-100	0.65	-0.02	0.65
SH-C-200	2.48	-0.72	2.48
SH-E-50	0.54	0.16	0.16
SH-E-100	1.78	0.28	0.28
SH-E-200	7.08	-0.11	-0.11