

III-A 67

せん断履歴を受けた繰り返し粘土の状態境界線とその降伏挙動に現れる誘導異方性

北海道大学工学部 正会員 福田 文彦
 東 急 建 設 株 同 永 埜 宗 孝
 北海道大学工学部 同 三田地 利之
 アジア工科大学 同 澁 谷 啓

1 はじめに 著者らがこれまで行ってきた実験からせん断履歴を受けた繰り返し粘土の変形挙動には強い異方性が現れるのに対し、強度には異方性がほとんど現れないことが明らかになった。^{文献-1, 2} 著者らはこれらの実験結果を整理直すことにより、せん断履歴を受けた粘土が弾性的な挙動を示す領域と非弾性的な挙動を示す領域とを分ける状態境界線が存在し、さらにこの状態境界線からせん断履歴を受けた粘土の降伏挙動に現れる誘導異方性を説明することが可能であることを見出した。本発表ではこれらの事柄を報告する。

2 実験 実験に用いた粘土は陶器用のNSF-Clayであり、粉末乾燥状態のNSF-Clayに蒸留水を加えて十分にかくはんした後、鉛直応力150kPaで10日間にわたって一次元予圧密を行ったものを実験用の粘土試料とした。この粘土試料の物性値は $\rho_s=2.76\text{g/cm}^3$ 、 $LL=54\%$ 、 $Ip=26$ 、粘土分100%である。

実験には中空ねじり試験機を使用し、図-1および表-1に示すように、予圧密によって生じた異方性を消去するための「等方圧密過程」、実験ごとに最大主応力軸の方向(α_0 , 図-1)を変化させてせん断および除荷を行い試料に誘導異方性を生じさせる「誘起過程」、試料を再びせん断し異方性を評価する「評価過程」の三つの過程からなるA-Testと、A-Testより誘起過程を除いたI-Testの二種類の排水せん断試験を実施した。なおA-Testの初期せん断過程において載荷する最大のせん断応力($(\sigma_1 - \sigma_3)/2$)は100kPaであり、誘起過程および評価過程の平均応力(p')は300kPaで一定であり、さらに中間主応力パラメータ(b)も0.5で一定である。また本報告では評価過程の最大主応力軸方向(α_0 , 図-1)に対する誘起過程の α_0 の偏差を ψ と定義する。これらの実験の詳細は文献-1, 2を参照されたい。

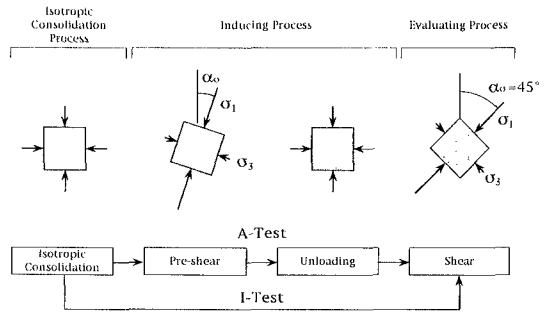


図-1 実験の手順

表-1 実験条件

Test No.	Common Test Parameters throughout the inducing and Evaluating Processes			Inducing (Pre-shear and Unloading) Process		Evaluating (Shear) Process	ψ (Deg.)
	p (kPa)	b	Rate of the α_0/ψ (/min.)	τ_{01} (Deg.)	Maximum $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (kPa)	α_0 (Deg.)	
I-Test	300	0.5	0.00050		100	45	
A-00			45	0			
A-11			33.75	11.25			
A-23			22.5	22.5			
A-34			11.25	33.75			
A-45			0	45			
A-68			-22.5	67.5			
A-90			-45	90			

3 状態境界線 本報告では図-1の評価過程において正(左回り)の最大せん断応力が生じる面(τ_{max} 面)に着目し、この面上における誘起過程開始点からの累積せん断ひずみ(純粋せん断ひずみ)の挙動から評価過程のせん断変形挙動を考えていくことにする。なお τ_{max} 面の方向は α_0 に応じて変化するが、図-1および表-1に示す通り実施した実験の評価過程における α_0 は実験に関わらず45°であり、従って図-2に示すように実験によらず水平面が評価過程の τ_{max} 面になる。

さて図-3(a)は評価過程の τ_{max} 面上における誘起過程開始点からの累積せん断ひずみ挙動(誘起過程開始点からの累積 $\gamma_{2,0}$ 挙動, 図-2)を表したグラフであり、図-3(b)は図-3(a)から評価過程の挙動のみを抽出したものである。先にも述べた通り評価過程の α_0 は実験に関わらず45°で一定であるのに対し誘起過程の α_0 は実験ごとに異なるため、 ψ の違いによって評価過程の τ_{max} 面上に発生する塑性せん断ひずみの大きさは異なる。そして評価過程の τ_{max} 面上に正の塑性せん断ひずみが生じる場合(A-00, A-11, A-23, A-34)には、評価過程のせん断ひずみ経路がI-Testのせん断ひずみ経路に達する点を境として、それ以前のせん断ひずみ経路は誘起過程の除荷経路とおよそ一致する(図-3(a))のに対し、到達点以降のせん断ひずみ経路はI-Testのせん断ひずみ経路とほぼ一致することが分かる。一方、評価過

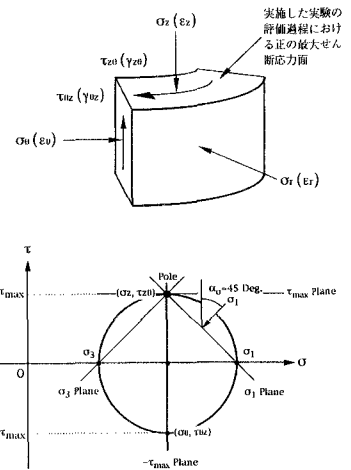


図-2 評価過程の最大せん断応力面

程の τ_{max} 面上に塑性せん断ひずみが生じない場合(A-45)あるいは負の塑性せん断ひずみが生じる場合(A-68, A-90)には、図-3(a)上では評価過程のせん断ひずみ経路とI-Testのせん断ひずみ経路が一致しないものの、評価過程開始点をひずみの原点とした図-4上では両者がほぼ一致することが分かる。

以上より図-3(a)あるいは図-3(b)上におけるI-Testのせん断ひずみ経路がせん断履歴を受けた粘土の変形挙動を分ける状態境界線になっており、I-Testのせん断ひずみ経路よりも内側の領域では誘起過程の除荷経路と評価過程のせん断経路がほぼ一致することから弾性域と見ることができのに対し、I-Testのせん断ひずみ経路上およびその外側の領域は非弾性域であることが分かる。そして図-3(a)あるいは図-4上において誘起過程を経た粘土の非弾性域におけるせん断ひずみ経路とI-Testのせん断ひずみ経路が一致することより、せん断履歴を受けた粘土の非弾性域における τ_{max} 面上のせん断ひずみ増分挙動がI-Testの増分挙動と一致することが分かる。

4 降伏挙動 前節で述べたことからA-Testの降伏点は、図-3(a)あるいは図-3(b)上において評価過程のせん断ひずみ経路とI-Testのせん断ひずみ経路が交わる点と言うことになる。従ってA-Testの降伏応力は、誘起過程で載荷された最大のせん断応力 $((\sigma_1 - \sigma_3)/2 = 100\text{kPa})$ とは一致せず、 ψ の違いに応じて評価過程の τ_{max} 面に発生する塑性せん断ひずみの大きさが異なるため、表-2に示す通り異方性を示す。なお図-3(a)において誘起過程の初期せん断経路とI-Testのせん断経路が一致するA-00については降伏応力と誘起過程で載荷した最大のせん断応力がほぼ一致する。

図-5は評価過程の体積ひずみ挙動を表したグラフであり、表-2の降伏応力に対応する点に矢印をつけてある。図-5において図中の矢印は体積ひずみ挙動の降伏点をほぼ指し示しており、せん断ひずみ挙動の降伏点と体積ひずみ挙動の降伏点が一致することが分かる。

5 まとめ

- (1) 図-3(a)あるいは図-3(b)上におけるI-Testのせん断経路が、せん断履歴を受けた粘土が弾性的な挙動を示す領域と非弾性的な挙動を示す領域とを分ける状態境界線になっている。
- (2) 上記より、せん断履歴を受けた粘土の降伏応力は ψ の違いに応じた異方性を示す。またせん断ひずみ挙動の降伏点と体積ひずみ挙動の降伏点は一致する。

参考文献

1) 福田・三田地・澁谷・永埜(1995) 中空ねじり試験による粘性土の誘導異方性, 第30回土質工学研究発表会講演集, pp603-604
 2) 福田・三田地・澁谷・永埜(1995) 粘性土の変形特性に発現する応力誘導異方性と応力レベルに伴う変化, 土木学会第50回年次学術講演会講演概要集 第3部(A), pp370-371

表-2 降伏応力

Test No.	$(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ at the Yield Point (kPa)
A-00	105
A-11	96
A-23	90
A-34	64
A-45	0
A-68	0
A-90	0

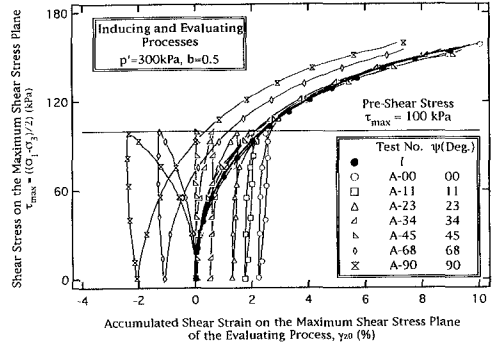


図-3(a) 累積せん断ひずみ挙動

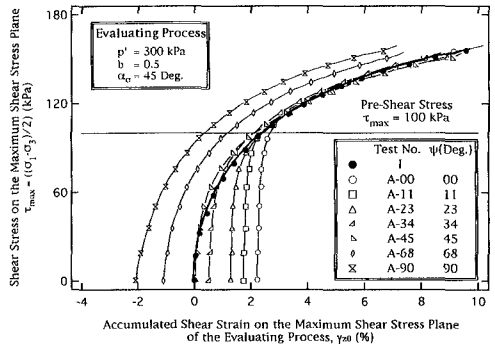


図-3(b) (a)より評価過程のみを抽出したもの

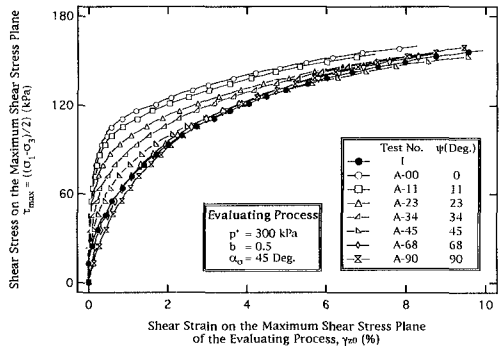


図-4 評価過程のせん断ひずみ挙動

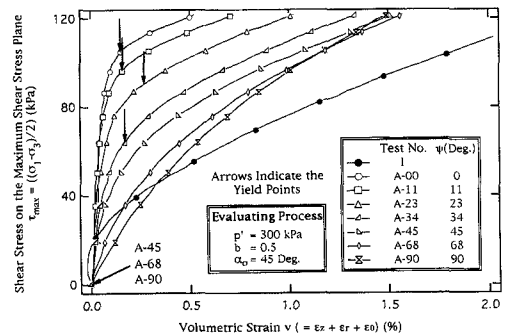


図-5 評価過程の体積ひずみ挙動と降伏点