

III-A 55

土質材料の中空ねじり試験結果に及ぼす諸要因の影響に関する研究

東急建設(株) 正会員 ○ 永 埜 宗 孝  
 北海道大学工学部 正会員 福 田 文 彦  
 北海道大学工学部 正会員 三 田 地 利 之  
 北海道大学工学部 正会員 澁 谷 啓

**1. 本研究の目的** 中空ねじり試験装置は4つの応力のコンパネットを自由に設定できるため、より現地盤に近い応力状態を再現できる。しかし、①供試体と試験装置の接触面における摩擦（端部拘束）があり（図-1参照）、②条件によっては外側圧（ $p_o$ ）と内側圧（ $p_i$ ）が異なり、その結果供試体内の応力とひずみが不均一に分布してしまう問題をかかえている（図-1参照）。そこで本研究では①および②の要因が中空ねじり試験結果に及ぼす影響を実験的に検討した。

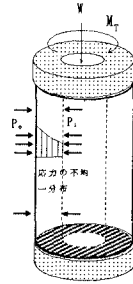


図-1 供試体概要

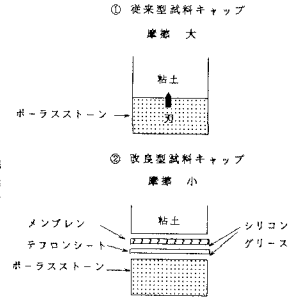


図-2 試料キャップの概要

**2. 実験概要** 実験に用いた試料は市販のNSF-Clayであり、中空ねじり試験装置の供試体寸法は外径10cm、内径6cm、高さ12cmである。実験は先ず予圧密によって生じた異方性を消失させるために  $p'_c = 400\text{kPa}$  で等方圧密を実施する。なお別に実施した予備実験から  $p'_c = 400\text{kPa}$  で等方圧密を行うことにより予圧密時の異方性が消失することを確認した（図-3）。等方圧密終了後、 $p'_c = 400\text{kPa}$ 、中間主応力パラメータ  $b = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$  を0.5の一定に保ち主応力比  $(\sigma_1 / \sigma_3)$  を0.0005/minの一定割合で増加させる排水せん断を行った。試験は、(a): 表-1に示す条件で圧縮試験（主応力方向角  $\alpha = 0^\circ$ ）、擬似単純せん断（ $\alpha = 45^\circ$ ）及び伸張試験（ $\alpha = 90^\circ$ ）を行い端部拘束（図-2に各端部条件の概要を示す）の影響を調べる実験、(b): 表-2に示す条件で圧縮試験（ $\alpha = 0^\circ$ ）、擬似単純せん断（ $\alpha = 45^\circ$ ）及び伸張試験（ $\alpha = 90^\circ$ ）を行い外側圧と内側圧の差に起因する応力・ひずみの不均一分布の影響を調べる実験の2種類を行った。

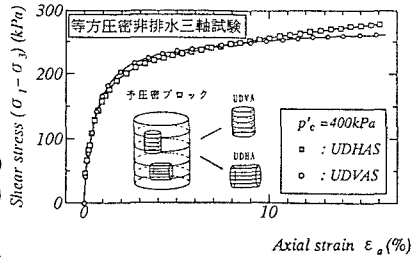


図-3 せん断応力～ひずみ関係

表-1 実験(a)の概要

Test.No	変形モード	試料キャップ
SOAS	圧縮せん断	従来型
ROSOBS		改良型
S9OAS	伸張せん断	従来型
ROSOAS		改良型
S4SAS	擬似単純せん断	従来型

表-2 実験(b)の概要

Test.No	変形モード	試料キャップ
ROSOBS	圧縮せん断 ( $\alpha = 0^\circ, p_o \neq p_i$ )	改良型
ROSOAS	伸張せん断 ( $\alpha = 90^\circ, p_o \neq p_i$ )	改良型
S4SAS	擬似単純せん断 ( $\alpha = 45^\circ, p_o = p_i$ )	従来型

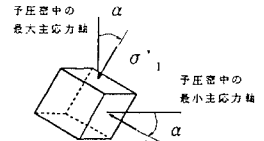


図-4 要素の応力状態

では平均有効応力 ( $p$ ) 及び中間主応力パラメータ  $b$  は変形モードに関わらず一定であり、更に図-3に示すとおり等方圧密終了後の試料は等方性を示すことから、先に述べた①端部拘束及び②内側圧と外側圧の圧力差に起因する応力およびひずみの不均一分布の影響が粘土のせん断挙動に影響を及ぼさないとすれば変形モードに関わらず同じせん断変形挙動が得られるはずである。(a)及び(b)の実験において擬似単純せん断試験はトルクを載荷する必要から摩擦を低減させた改良型の試料キャップを用いることはできないが、せん断中の上載圧、外側圧、内側圧が一定であるためせん断に伴って発生する直ひずみ量は小さく、従ってせん断中の挙動に及ぼす端部拘束の影響も小さい。また、擬似単純せん断試験ではせん断中、外側圧と内側圧が常に一致するため外側圧と内側圧の差に起因する応力およびひずみの不均一分布の影響も受けない。これら2つの理由から擬似単純せん断は今回実施した実験の中で最も理想的な条件のもとで行われた実験であると言える。

### 3. 試験結果および考察

**3-1. 端部拘束の影響** 圧縮試験と擬似単純せん断試験において従来型試料 $\kappa\eta\eta^\circ$ と改良型試料 $\kappa\eta\eta^\circ$ を用いた場合の応力～ひずみの関係を図-5に示す。同様に伸張試験と擬似単純せん断試験の場合について図-6に示す。両図から摩擦を軽減することによって圧縮試験結果および伸張試験結果が擬似単純せん断の試験結果に近づくことが分かる。この結果より端部摩擦が中空ねじり試験の結果に大きく影響していることが分かる。

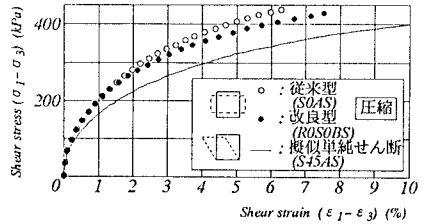


図-5 せん断応力～ひずみ関係

**3-2. 応力不均一分布の影響** 図-7に実験(b)における応力～ひずみ関係を示す。図より伸張せん断のせん断ひずみ挙動は端部拘束を低減することによって擬似単純せん断と完全に一致することから、伸張せん断については内外圧差に起因する応力・ひずみの不均一分布の影響が無いことが分かる。一方、圧縮せん断では端部拘束を低減しても擬似単純せん断のせん断ひずみ挙動と大幅な相違を示し、内外圧差 ( $p_o - p_i$ ) による不均一分布の影響が現れるように見える。しかし、表-3に示すようにせん断応力が同じ場合、( $p_o - p_i$ )の絶対値は圧縮せん断と伸張せん断では等しいことから、同じせん断応力が載荷されている状態での応力・ひずみの不均一分布の影響は圧縮試験と伸張試験において、ほぼ同じであると推定される。従って圧縮試験は端部拘束、内外圧差による応力・ひずみの不均一以外の要因の影響を受けているものと考えられる。

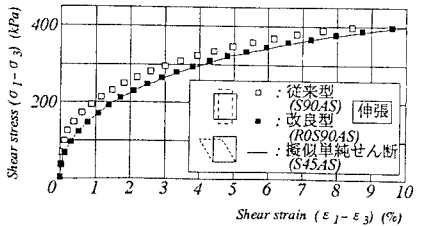


図-6 せん断応力～ひずみ関係

**3-3. 供試体高さの影響** 端部拘束を低減した圧縮試験の結果のみが擬似単純せん断試験及び端部拘束を低減した伸張試験と異なる原因として、供試体の高さの影響を考えた。図-8はせん断の進行に伴う最大応力傾角面の水平面に対する方向 ( $\alpha_{\phi_{max}}$ ) の変化を表したものである。図中の点線は供試体の最大応力傾角面が上下両端の供試体 $\kappa\eta\eta^\circ$ によって拘束を受け始める角度を示す。図より圧縮試験では、せん断開始直後を除き、常に応力最大傾角面が供試体 $\kappa\eta\eta^\circ$ によって拘束を受けるのに対し、擬似単純せん断および伸張試験ではせん断中最大応力傾角面が試料 $\kappa\eta\eta^\circ$ による拘束を受けないことが分かる。そこで図-8より圧縮試験において最大応力傾角面が拘束され始める点のせん断応力を求めると ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) = 120kPa であり、このせん断応力は図-7において圧縮せん断の応力～ひずみ関係と擬似単純せん断及び伸張試験の応力～ひずみ関係の分岐の生じる点にほぼ対応する。従って図-7において圧縮試験と擬似単純せん断及び伸張試験の変形挙動が異なる原因は供試体の高さの影響であり、さらに擬似単純せん断と伸張試験の変形特性が完全に一致することから内外圧差に起因する応力・ひずみの不均一分布の影響は極めて小さいと言える。

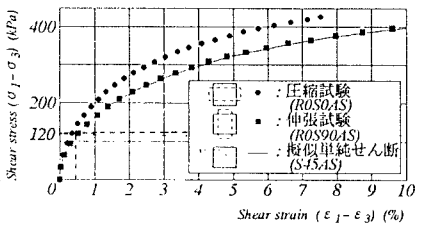


図-7 せん断応力～ひずみ関係

表-3 内外圧差 ( $p_o - p_i$ ) とせん断応力の関係

試験 $\kappa\eta\eta^\circ$	$\sigma_1 - \sigma_3$ 100	200	300
圧縮試験	-27	-53	-80
擬似単純せん断	0	0	0
伸張試験	27	53	80

(単位 : kPa)

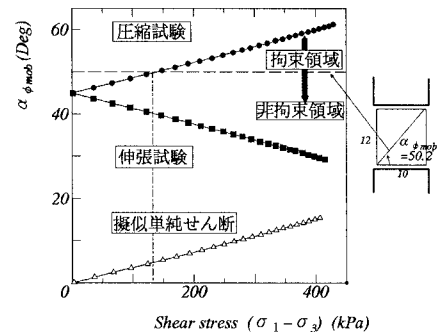


図-8  $\alpha_{\phi_{max}}$ ～せん断応力

### 4. 結論

- (1) 中空ねじり試験の欠点とされていた端部拘束はせん断変形特性に影響を及ぼす。
- (2) 内外圧差に起因する応力・ひずみの不均一分布の影響は小さい。
- (3) せん断に伴い供試体内の応力最大傾角面が上下両端の試料 $\kappa\eta\eta^\circ$ に拘束された場合、拘束されない場合と比較してせん断挙動が大幅に変化する。このため、供試体高に関する十分な検討が必要である。

【参考文献】 (1) D. W. Hight, A Gens & M.Symes : The Development of a New Hollow Cylinder Apparatus for Investigating the Effects of Principal Stress Rotation in Soils, Geotechnique, 33, No.4, pp.355 ~ 383 (2) 福田・中村・三田地・澁谷 : 正規圧密粘土の破壊特性に及ぼす主応力軸方向の影響について、第29回土質工学研究発表会, pp.599 ~ 600, June, 1995