

大型中空ねじりせん断試験機による砂の排水せん断特性

山口大学大学院 学生員

○南幸孝 長尾孝幸

山口大学工学部 正会員

中田幸男 兵動正幸 村田秀一

1、まえがき

初期構造異方性に関する研究は小田¹⁾や Arther and Menzies²⁾の研究を端緒として多くの研究者によって種々の試験機で行われてきた³⁾⁴⁾。近年では主応力方向を任意に制御できる中空ねじりせん断試験機を用いて異方性に関する研究が行われている^{5), 6)}。これらの研究の結果、変形・強度特性は堆積面と最大応力傾角面とのなす角に依存し、その角度が小さくなるとともに変形しやすく、強度が低下する傾向になることが示されている。しかし、中空ねじりせん断試験機は半径方向の応力の不均一性に起因した応力範囲の制約があり、これは供試体を相対的に薄肉にし、半径比を 1.0 に近づけることで制約が改善できる。本研究では外径=30cm、内径=25cm、高さ=30cm（供試体半径比 $r_i/r_o=0.60$ から 0.833 とした（図 1））の大型中空ねじりせん断試験機を用いて主応力軸が堆積面となす角の影響および構造異方性の検討を行った。

2、試料および試験方法

供試体は、試料に豊浦砂を用い相対密度 $D_r=60\sim70\%$ を目標に空中落下法にて作成した。寸法は高さ 30 cm、外径 30 cm、内径 25 cm である。本研究では最大主応力 σ_1 と土の堆積面に対する鉛直軸 Z とのなす角を主応力方向角 α_σ と定義している（図 3）。圧密は、応力制御方式のもと供試体自立時の拘束圧 30kPa から 100kPa まで等方圧密を行った。せん断は平均主応力 $p_c=100\text{kPa}$ 一定のもと中間主応力係数 $b=(\sigma_2-\sigma_3)/(\sigma_1-\sigma_3)=0.25$ について主応力方向角 $\alpha_\sigma=15^\circ$ 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° と変化させ、ひずみ制御方式のもと排水条件で行った。また大型試験は供試体の大型により内空部にレーザー変位計（Laser Displacement Sensor: LDS）が設置可能になったため⁷⁾ 供試体内外に供試体下端から 10cm、20cm の計 4ヶ所により供試体側方変位計測を行っている。

3、試験結果と考察

① 主応力方向の応力・ひずみ挙動への影響

図 4 に中間主応力係数 $b=0.25$ における主応力方向角 $\alpha_\sigma=15^\circ$ 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° における応力比一軸差ひずみ一軸差ひずみ関係を示す。主応力方向角 α_σ の増加に伴いピーク時の応力比が低下する傾向を示すが、 $\alpha_\sigma=60^\circ$ で最小値をとり、 $\alpha_\sigma=75^\circ$ では増加する傾向が見られた。また $\alpha_\sigma=45^\circ$ と 60° で若干入れ替わっているが主応力方向が鉛直方向ほど、ひずみの小さい段階で応力比がピークに達する傾向を示した。

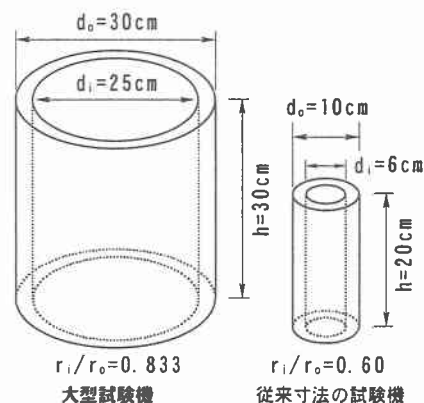


図 1 供試体寸法

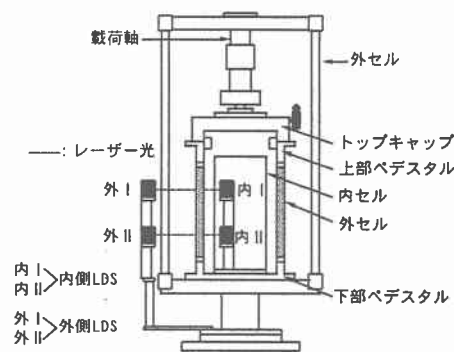


図 2 試験機の概要

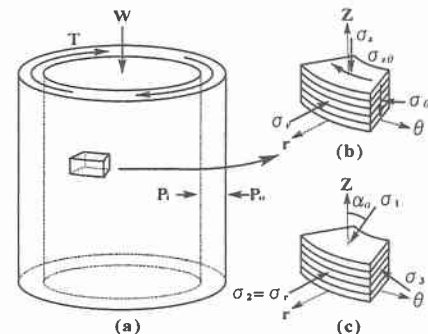


図 3 供試体の要素と応力

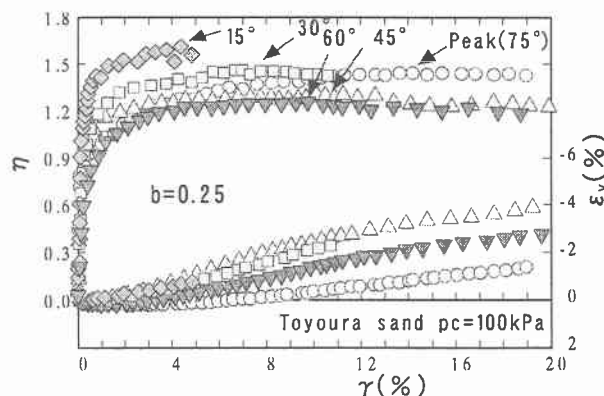


図 4 応力比一軸差ひずみ一軸差ひずみ関係

このように、従来^{1)~6)}から指摘されている砂が重力下で堆積したときに現れる土粒子の配向性や位置関係などに起因した構造的な異方性が原因と認められる巨視的挙動が観察された。図5に中間主応力係数 $b=0.25$ における主応力方向角 $\alpha=15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ の応力比-体積ひずみ関係を示す。いずれの応力状態においても体積ひずみ ε_v はせん断初期に収縮傾向を示し、その後膨張に転ずる傾向を示した。また、せん断初期における ε_v の収縮量は主応力方向角が増加するにつれて大きくなる傾向を示した。

② 堆積面に着目した変形・強度特性

図6に中間主応力係数 $b=0.25$ における軸差ひずみ γ が0.05%, 0.5%, 1.0%に達した時に動員される内部摩擦角 ϕ_m と主応力方向角 α_σ の関係、およびピーク時の内部摩擦角 ϕ_p と α_σ の関係を示す。また、図中の点線は二つの最大応力傾角面（潜在的なすべり面に対応）の一つが堆積面に一致する状態（ $\delta=0^\circ$ ）を示したものである。ここで δ は図7に示すように堆積面と堆積面に近い最大応力傾角面とのなす角として定義をされる。また、 δ は α_σ と ϕ_m を用いて表すと、 $\delta = |45 + \phi_m / 2 - \alpha_\sigma|$ で与えられる。図6から最小の ϕ_m を示す α_σ は $\gamma=0.05\%$ では 45° 、 $\gamma=0.5\%$ 、

1.0%では 60° となっており、 $\delta=0^\circ$ 線に沿ったかたちで変化していることがわかる。また、最小の ϕ_p を示す α_σ は 60° のときであり $\delta=0^\circ$ 線にもっとも近い主応力方向角であることがわかる。このように大型中空ねじりせん断試験機においても他の研究^{1)~6)}

と同じ傾向が認められた。

4. まとめ

- ① 主応力方向角により、ピーク時のひずみや応力比が異なり初期構造異方性の影響が見られた。
- ② 今回開発した大型中空ねじりせん断試験機においても最大応力傾角面と堆積面との関係から、主応力方向角 $\alpha_\sigma=60^\circ$ 付近はすべりが生じやすい状態にあることがわかった。

参考文献) 1) Oda, M.: Initial fabrics and their relations to mechanical properties of granular materials, Soils and Foundations, Vol.12, No.1, pp.17-36, 1972. 2) Arthur, J.R.F. and Menzies, B.K.: Inherent anisotropy in a sand, Geotechnique, Vol.22, No.1, pp.115-128, 1972. 3) 松岡元・平尾淳一・福武毅芳: 異方性を考慮した砂の変形・強度論、土と基礎、Vol.32, No.11, pp.31-36 4) Lam, W.K. and Tatsuoka, F.: Effects of initial anisotropic fabric and σ_2 on strength and deformation characteristics of sand, Soil and foundations, Vol.28, No.1, pp.89-106, 1988. 5) Miura, K., Toki, S. and Miura, S.: Deformation prediction for anisotropic sand during the rotation of principal stress axes, Soils and Foundations, Vol.26, No.3, pp.42-56, 1986. 6) Shibuya, S. and Hight, D.W.: A bounding surface for granular materials, Soils and Foundations, Vol.27, No.4, pp.123-136, 1987. 7) 野田勇一ほか: レーザー変位計を用いた中空円筒供試体の側方変位計測, 第37回地盤工学会講演概要集, 2002 (投稿中)

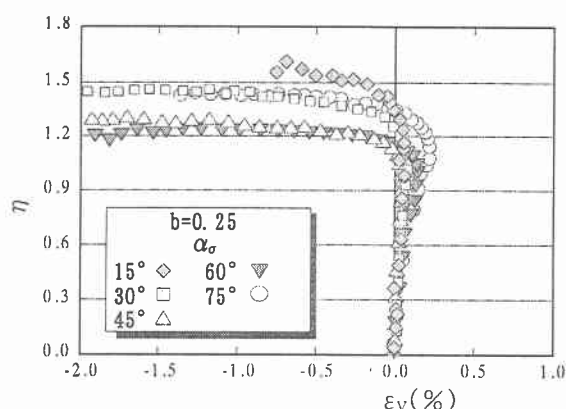


図5 応力比-体積ひずみ関係

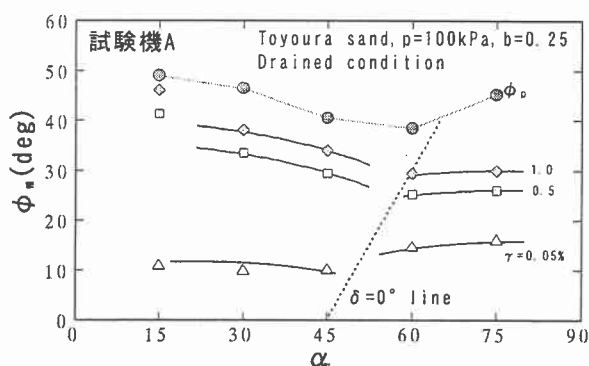


図6 内部摩擦角- α_σ 関係: 等軸差ひずみ線

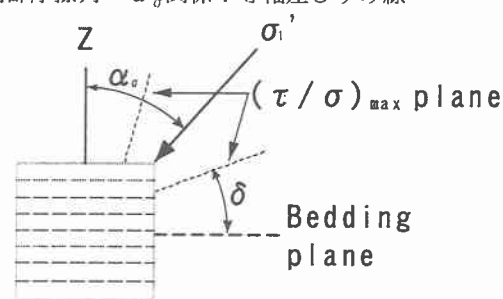


図7 堆積面と最大応力傾角面とのなす角の定義