

レーザー変位計による砂の大型中空ねじり単純せん断試験

山口大学工学部 正 会 員 中田幸男 兵動正幸 村田秀一
山口大学大学院 学生会員 ○高橋徹 豆田展崇 矢野修平

1. まえがき 中空ねじりせん断試験機を用いた単純せん断の実施は、既にいくつかの研究機関¹⁾²⁾で実施されている。本研究では応力・ひずみの一様性の改善のため、供試体を相対的に薄肉化させた大型の試験装置³⁾を開発している。さらにその供試体の大型化に伴い供試体内部にレーザー変位計⁴⁾ (LDS) を設置可能となっている。今回は、内外径を一定に保つシステムを構築し、このレーザー変位計を用いた大型中空ねじりせん断試験機を用いて K_0 圧縮、および単純せん断状態の再現を試みた。

2. 大型中空ねじりせん断試験機 図1に本研究に用いた大型中空ねじりせん断試験機を示す。供試体寸法は高さ 30cm、外径 30cm、内径 25cm である。また、供試体内空部とセル外部に 2 基ずつ計 4 基のレーザー変位計によって、供試体下端から 10cm、20cm の供試体側方変位を計測している。また、圧密、せん断中は供試体円周方向を 20 秒おきに 45° ずつ回転させ、供試体円周の 8 ヶ所を計測し、これらを平均して供試体の半径を算出に用いている。図2に示すように、供試体には軸力、トルク力、外圧、内圧をそれぞれ作用させている。さらに、主応力方向角 α_σ は鉛直軸と最大主応力 σ_1 のなす角を示している。

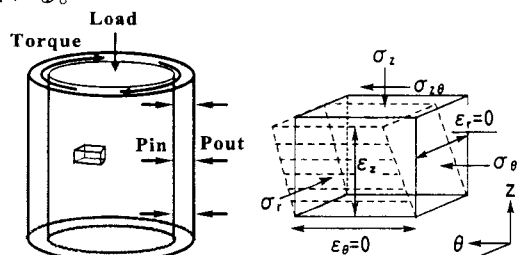


図2 供試体に载荷される外力と
単純せん断条件

3. 試料および試験条件 実験に用いた試料は、豊浦砂(粒径 $75\mu\text{m} \sim 425\mu\text{m}$)を用い、相対密度 80% を目標に空中落下法にて作製した。試験条件は、圧縮において、内径と外径を一定に保ちながら軸応力 $\sigma_z = 100\text{ kPa}$ までおこなった。せん断は、ひずみ速度 $0.05\%/min$ で行い、内外径一定制御システムにより制御をおこなった。

4. 内外径一定制御システム 中空円筒供試体で K_0 状態および、単純せん断変形を再現するために必要な条件は図2の要素で見ると、半径方向ひずみ ϵ_r および円周方向ひずみ ϵ_θ をゼロに保つこと、すなわち供試体の内外径を一定に保持することである。ここでは図3に示す制御計測システムにより、内外径一定を行った。圧縮、せん断ともに同じ内外径一定制御を行っており、以下のプロセスによって構成

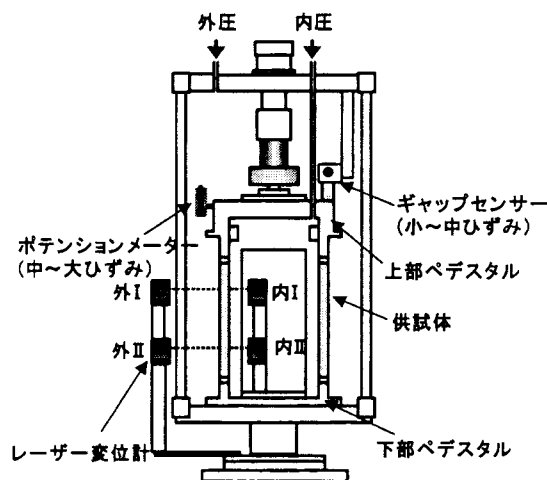


図1 大型中空ねじりせん断試験機

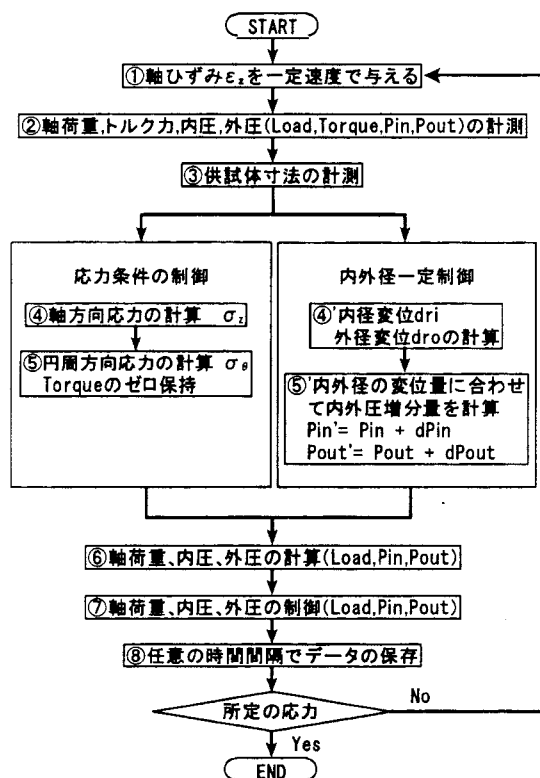


図3 制御プログラムフロー

される。①ひずみ制御、②外力の計測、③LDS による供試体寸法計測、④応力条件の制御、内外径変位の計算、内外径加減量の計算、⑥、⑦外力を計算し、これらを制御、⑧計測データの保存。このフロー図に沿って内外径変位が発生すると、内外圧の加減が行われ、変形を抑制し、初期状態の維持を目標に制御を行う。レーザー変位計と内外圧の制御は 20 秒間隔で制御している。

5. 試験結果 図4に圧縮過程の応力ひずみ関係を示している。これにより適切に内外径一定制御を行っており、内外径は 0.2%以下に保たれていることが見てとれる。図5は静止土圧係数 $K_0 = \sigma_r / \sigma_z$ の変化を示している。軸ひず

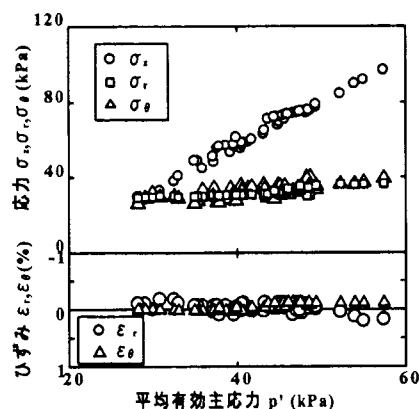


図4 圧密圧縮過程

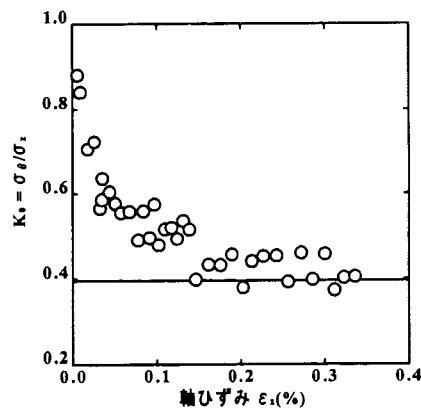


図5 静止土圧係数 K_0 の変化

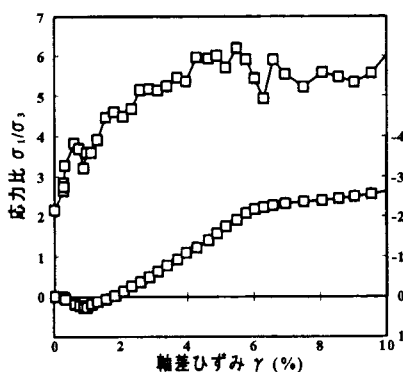


図6 応力比と軸差ひずみ・体積ひずみ関係

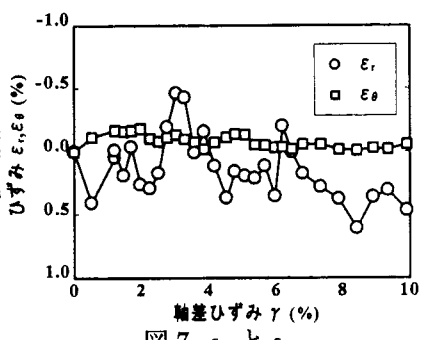


図7 ϵ_r と ϵ_θ

みの進行に伴って K_0 値は一定の値に収束しており、他の研究機関で行われた豊浦砂の三軸試験を用いた結果⁵⁾として報告されている K_0 値に近い $K_0 = 0.45$ が得られ、内外径一定制御の妥当性が認められる。図6は内外径一定制御によるせん断の応力比・軸差ひずみ・体積ひずみ関係を示している。図7は内外径一定制御によるせん断の半径方向・円周方向ひずみの挙動を示している。せん断初期に半径方向に約 0.5%の圧縮ひずみを起こしているが、内外径一定制御によりこれ以上の半径方向ひずみの発生を抑制していることがわかる。また、円周方向ひずみは、試験中に 0.2%程度以下に制御されたこともわかる。図8は主応力方向角 α_σ の変化を示している。せん断初期において、軸差ひずみ $\gamma = 1\%$ までに最大回転角の 80%程度が回転している。これは既往の成果⁶⁾と類似した傾向を示していることが見てとれる。

6. まとめ 今回行ったレーザー変位計を用いた大型中空ねじりせん断試験機により、内外径一定制御システムによる K_0 および単純せん断状態の再現を行った結果、内外径一定制御の妥当性が認められ、せん断中の制御は、必ずしも満足するものではないが、その結果得られた主応力の回転については、既往の成果と類似していることがわかった。

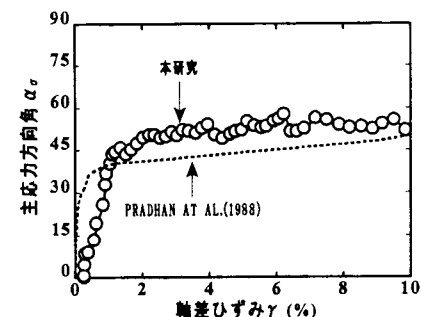


図8 主応力方向角 α_σ の変化

参考文献 1)Tej B.S.Pradhan,Fumio Tatsuoka:Simple shear testing on sand in a torsional shear apparatus,Soil and Foundations,Vol.28,No.2,pp.95-112、2)Satoru Shibuya:A Servo System for Hollow Cylinder Testing of Soil,Geotechnical Testing Journal,GTJODJ,Vol.11,No.2,June1988,pp.109-118,3) 林勝彦、中田幸男、兵動正幸、村田秀一、野田勇一：大型中空ねじりせん断試験システムの開発および有用性の検討、第35回地盤工学研究発表会(2000)、4) 野田勇一、中田幸男、兵動正幸、村田秀一、南幸孝、長尾孝幸：レーザー変位計を用いた中空円筒供試体における側方変位計測、第37 地盤工学会研究発表会(2002)、5)劉 朝鋼ら、砂の K_0 圧密挙動、第22回土質工学研究発表会(新潟)昭和62年6月 pp323-326、6)Tej B.S.Pradhan,Fumio Tatsuoka and Noriyuki Horii:strength and deformation characteristics of sand in torsional simple shear,Soil and Foundation,Vol.28,No3,pp131-148