

レーザー変位計を用いた中空円筒供試体に対する半径方向の変位計測

山口大学工学部 正 会 員 中田幸男 兵動正幸 吉本憲正
山口大学大学院 学生会員 南幸孝 ○長尾孝幸

1. まえがき

実地盤が受けている 3 次元的な応力状態を再現し、初期構造異方性などの影響を把握できる試験機として中空ねじりせん断試験機が挙げられる。この試験機では中空円筒形供試体をねじることから、供試体円周方向のせん断ひずみ・せん断応力の非一様分布や、供試体の内・外での圧力差により要素性を満足しないとされる応力域の存在が指摘されている¹⁾。その解決策の 1 つとして、供試体の半径を大きくし、供試体半径方向の肉厚を相対的に薄肉にすることが挙げられる。本研究グループでは要素性を満足するために供試体を大型化した、大型中空ねじりせん断試験機の開発を行っている。本研究では新たにレーザー変位計²⁾を用い、供試体半径方向の変位計測システムの開発を行い、より詳細な砂の変形挙動を捉えることが可能であることや、そのシステムの有用性を明確にすることを目的としている。

2. 試料および試験条件

試料は豊浦砂を用い、高さ $h=30\text{cm}$ 外径 $r_o=30\text{cm}$ 、内径 $r_i=25\text{cm}$ の供試体を、空中落下法により相対密度 70~80% を目標に作成した。圧密は応力制御方式とし、自立時の拘束圧 30kPa から 100kPa まで等方圧密を行った。せん断は平均有効主応力 $p_c=100\text{kPa}$ 一定のもと、主応力方向角 α_p (最大主応力 σ_1 と土の堆積面に対する鉛直軸とのなす角) 中間主応力係数 b 値 ($b=(\sigma_2-\sigma_3)/(\sigma_1-\sigma_3)$)、共に所定の値となるよう制御し、ひずみ制御方式のもと、排水せん断試験を行った。また、供試体の半径方向応力を $\sigma_r=\sigma_2$ として制御した。

3. レーザー変位計を用いた変形計測システムの概要

本研究で用いたレーザー変位計は非接触型の変位計の 1 つであり三角測距法の原理に基づき供試体の側方変位の計測が可能なるものである。図 1 に示すように供試体内空部とセル外部に 2 基づつ、計 4 台設置しており、内外それぞれ 2 台のレーザー変位計は図 2 のように供試体下端から 1/3(10cm) と 2/3(20cm) の高さを計測できる位置に設置している。圧密・せん断中、図 3 に示すように供試体円周方向を 10 秒おきに 45° づつ移動し計 8 ケ所の変位を計測する。

4. 試験結果および考察

図 4 に、実験中の、計測位置②、④、⑦(図 3 参照)の半径方向ひずみ ε_{ri} と平均的なせん断ひずみ γ の関係を示す。同図から、②の上部測定点、④の下部測定点では ε_{ri} の収縮傾向が大きく、他の計測点と比較して傾向が異なることがわかる。通常、供試体の変形は供試体全体に一樣に変形していると仮定されるが、実際にレーザー変位計を用いて供試体側方変位を計測すると、図 4 のように測定箇所の違いにより半径方向ひずみが異なる局所的な変形が生じていることが確認できる。これらは、ピーク強度を示す $\gamma=6\%$ 以降顕著となっていることから、せん断帯に伴うと考えられる。図 5(a)に半径方向変位を供試体全体変形でみた場合の平均半径方向ひずみ $\varepsilon_{r(ave)}$ の傾向を示す。供試体全体変形でみると

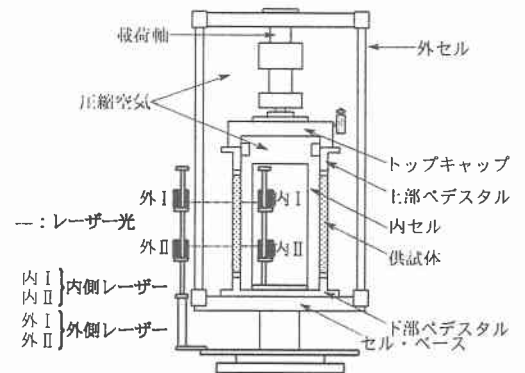


図 1 測定箇所概略図

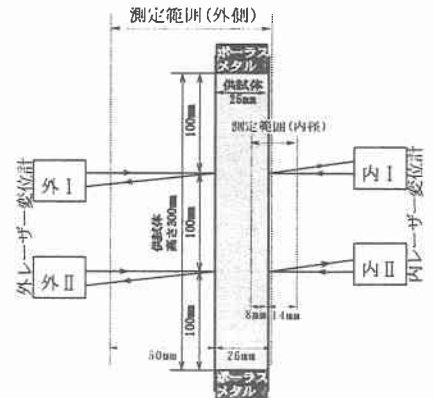


図 2 レーザー変位計の測定範囲

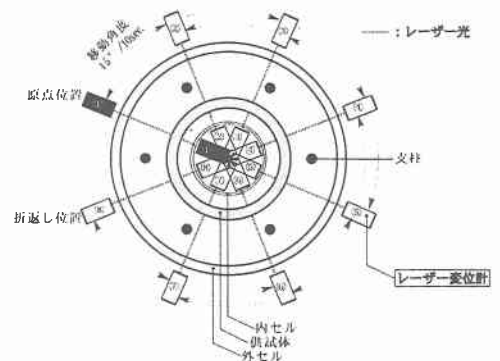


図 3 レーザー変位計の移動状況

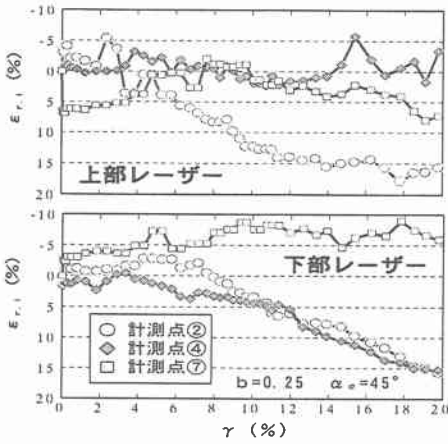


図4 測定箇所の違いによる ε_r - γ 関係

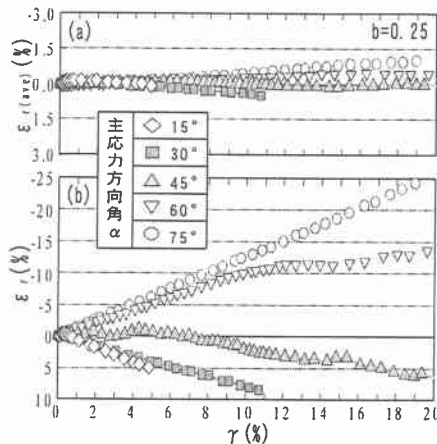


図5 半径方向ひずみ ε_r -軸差ひずみ関係

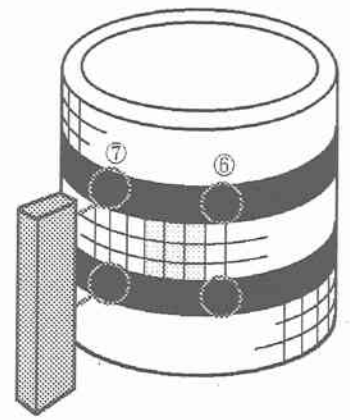


図6 各ひずみの測定箇所

$\varepsilon_{r(ave)}$ はあまり発生していないといえる。しかしながら図 5(b)に示した、レーザー変位計による供試体中央部の ε_r (計測位置①～⑧上・下部の平均値) では、例えば $\alpha_o=75^\circ$ において $\gamma=20\%$ に達した時 $\varepsilon_2=25\%$ となるなど供試体全体の変形でみた場合と大きく傾向が異なる。このような違いが生じる要因として、レーザー変位計で計測している供試体中央部では、供試体端面の拘束の影響が少ないためであることが挙げられる。

供試体中央部で変形が大きくなることから、供試体中央部の鉛直方向ひずみ、円周方向ひずみ、せん断ひずみとレーザー変位計による半径方向ひずみから体積ひずみを評価することが必要であると考えられる。ここでは、供試体中央部でレーザー変位計の測定場所に近い要素(図 6 参照)の、 $\gamma=2\%$ 毎に撮影したデジタル画像(供試体表面に縦、横 2cm 間隔に示したメッシュ状の各交点のずれ)から、鉛直ひずみ $\varepsilon_z(local)$ 、円周方向ひずみ $\varepsilon_\theta(local)$ 、せん断に対するひずみ $\varepsilon_{z\theta}(local)$ を求め、 $\varepsilon_v(local)$ の評価を試みた(局所的な変形という意味から(local)と表記した)。図 7 に $\varepsilon_1(local)$ 、 $\varepsilon_3(local)$ と $\varepsilon_r(local)$ と軸差ひずみ γ の関係を $\alpha_o=30^\circ, 45^\circ$ について示す。いずれの結果においても $\varepsilon_1(local) > \varepsilon_r(local) > \varepsilon_3(local)$ となっており、主応力の大きさに対応する主ひずみ量の関係が成り立つこと、また $b=0.25$ のこの結果では局所的にも半径方向のひずみが小さいことを確認できた。図 8 にせん断中の画像から求めた $\varepsilon_1(local)$ 、 $\varepsilon_3(local)$ とレーザー変位計より得られた $\varepsilon_r(local)$ による、 $\varepsilon_v(local) = \varepsilon_1(local) + \varepsilon_r(local) + \varepsilon_3(local)$ と $\gamma(local)$ の関係を示す。供試体中央部の変形はいずれも $\gamma(local)=20\%$ を超えている。中央部の体積ひずみは α_o が大きいほど ε_v の膨張傾向が強いものとなった。

5. まとめ

本研究では大型中空ねじりせん断試験機にレーザー変位計を導入することで、供試体周りの 8 ヶ所の半径方向変位が計測でき、なおかつ個別に半径方向ひずみを算出することが可能な計測システムの開発を行った。これにより供試体の中央の挙動をより詳細に捉えることができたことを示した。また、デジタル画像により得られる主ひずみ量は、主応力の大きさに対応することが認められた。

【参考文献】 1) Hight, D.W., Gens, A. and Symes, M.J.P.R.(1983): "The development of a new hollow cylinder apparatus for investigating the effects of principal stress rotation in soils," *Geotechnique*, Vol.33, No.4, pp355~383 2) 中田幸男, 兵動正幸, 村田秀一, 林勝彦, 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) pp.839~840

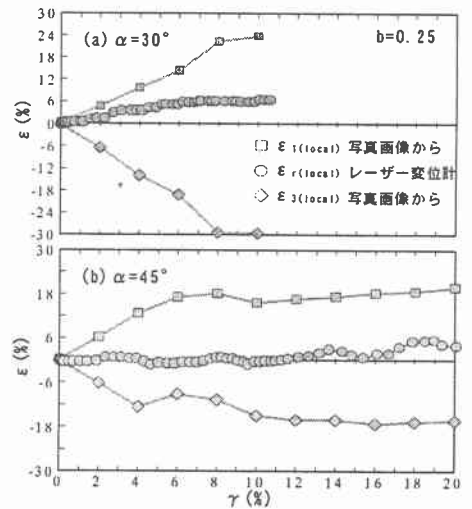


図7 供試体中央部の主ひずみ

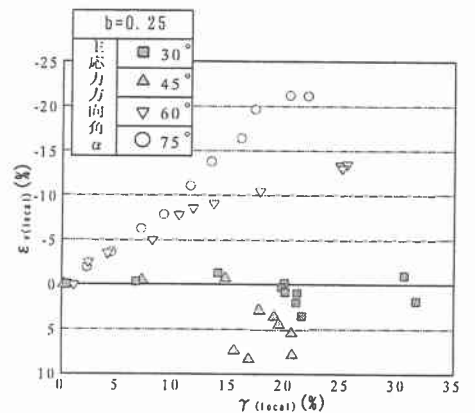


図8 供試体中央部の体積ひずみ-軸差ひずみ関係