山口大学大学院	学生会員	梶原	拓也	喬	卉		
山口大学大学院	正会員	中田	幸男	兵動	正幸	吉本	憲正

1.序論

近年画像解析手法が発展しその中でも流速分布を調べる方法の1つで あるPIV (Particle Image Velicimetry: 粒子画像流速測定法)解析法の地盤 工学への応用例が多くなってきている¹⁾。これまで本研究室でも三軸試 験などへのPIV解析手法の適用²⁾を行っており、平面ひずみ試験装置へ も応用できると考えた。本研究でPIV解析手法を適用可能な平面ひずみ 試験装置の開発を行い、局所変形特性について検討した。

2.開発した砂の平面ひずみ試験装置

供試体サイズは断面 60mm×80mm、高さ 160mm の矩形である。特徴と して、拘束板が観察窓を兼ねており中間主ひずみ方向の側面全体を観察 することができる。本試験装置により、平面ひずみ試験時のデジタル画 像を取得し、PIV 解析手法を適用することができ、供試体の局所変形を 求めることが可能となった。用いた試料は豊浦砂である。供試体は目標 相対密度 Dr=90%となるよう 5 層にわけて自由落下により作成した。有 効拘束圧は空気圧により調整し 50kN/m²、100kN/m²、150kN/m²とした。 試験条件は、PIV の精度検証を行うため飽和排水条件とした。また、1 時間の圧密後、せん断軸ひずみ 1%ごとにデジタルカメラで撮影し、せ ん断軸ひずみ 10%となるまでひずみ速度 0.1%/min でせん断を行った。

3.本装置を用いた平面ひずみ挙動

図 - 1 は初期間隙比0.68前後の軸ひずみと応力比及び体積ひずみの関係を示した図である。ピーク強度を発揮する応力比は拘束圧の増加とともに 6.7、6.6、5.90 と減少し、拘束圧が大きくなるにつれピーク強度を発揮する軸ひずみは大きくなることがわかった。また、体積ひずみについて最初収縮した後、膨張に向かうが、拘束圧が大きくなると膨張への向かい方が緩いカーブを描くことがわかった。図 - 2 はRmax - Dmax関係であり、K=3.50 となった。既往の研究³⁾によりK=3.50 ということがわかっていることから、試験結果は妥当であるといえる。また、最大主応力と最小主応力から各拘束圧における内部摩擦角φを求め、主応力方向角αを求めた。αは拘束圧が大きくなるにつれ、69.1°、68.8°、67.7°と減少傾向にあることがわかった。

実験中に撮影した画像に対して PIV 画像解析を行った。PIV 解析では、 ある時刻の画像と、それからある時間経過したときの画像を用いて、画 像上での変位(pixel)を求め、それに画像倍率(mm/pixel)をかけて、 実値(mm)を算出した。PIV による縦方向ひずみ及び体積ひずみは、供 試体のふちの標点の変位量から求めた。縦方向ひずみは供試体最上部の 標点の変位量により算出した。体積ひずみは平面ひずみの場合、奥行き







は固定されているので、供試体の外周の標点によって囲まれた部分の 面積を算出し、その変化量から体積ひずみを算出した。図-3 は横軸 に外部測定による縦方向ひずみ、縦軸に PIV による縦方向ひずみをと ったものである。この曲線の傾きが1 に近いほど PIV の精度が高い。 ピーク強度時の PIV と外部測定の誤差は 50kN/m²で 0.04%、100kN/m² で 0.05%、150kN/m²で 0.16%であり、ピーク時における PIV の精度は 十分期待できるといってよい。また、縦方向ひずみが大きくなると PIV の誤差が大きくなることがわかった。また、体積ひずみから縦方向ひ ずみを引くことで、横方向ひずみを算出した。図-4 は横方向ひずみ



を比較したものである。この図も図 - 3 同様、曲線の傾きが1 に近いほど PIV の精度が高いといえる。ピー ク強度時の誤差は 50kN/m²で 0.45%、100kN/m²で 0.69%、150kN/m²で 1.35%であり、ピーク強度時における精 度は十分期待できる。また、横方向ひずみにおいても拘束圧が大きくなるにつれ誤差が大きくなっている。 この原因として、縦方向ひずみ、横方向ひずみは拘束圧が大きくなると、拘束板とラバーメンブレン間の摩 擦が強くはたらき、観察面から見られる供試体の動きを制限してしまうことが考えられる。

図 - 5、図 - 6 は図 - 1 中の 50kN/m²における(a) ~ (d)地点の PIV 解析手法による結果である。図 - 5 は最大 せん断ひずみのコンター図であり、50kN/m²においては軸ひずみ 1.4%から供試体中央部にせん断帯ができ始 め、ピーク強度発揮時にはせん断帯が形成されていることがわかる。図 - 6 は体積ひずみのコンター図であ り、軸ひずみが大きくなり、せん断が進んでいくにつれ、せん断帯内部の膨張の度合いが高くなることが見 て取れる。このように PIV 解析手法を用いることで、肉眼では確認できないような供試体の変化を確認でき るという利点がある。次にせん断帯についての解析を行った。この際、速度ベクトルが急激に変化している 箇所をせん断帯として抽出した。図 - 7 はせん断帯の幅を抽出し、拘束圧との関係でまとめたものである。 拘束圧が大きくなるにつれ、せん断帯の幅は減少した。また、せん断帯の傾斜角も減少傾向になり、主応力 から求めた主応力方向角と同じ傾向を示し、PIV の精度の高さを証明している。

4.結論

今回開発した平面ひずみ試験装置により高精度の PIV 解析結果を得ることができた。これにより、供試体の局所変形が確認でき、さらに拘束圧がせん断帯の幅、傾斜角に与える影響を明らかにすることができた。

5.参考文献

- 1)White, D.J., Take, W.A. & Bolton, M.D. : Soil deformation measurement using particle image velocimetry (PIV) and photogrammetry. Geotechnique 53, No. 7, 619-631, 2003
- 2) 吉川直孝,中田幸男,兵動正幸,村田秀一,西尾伸也:画像処理技術を用いた三軸試験における砂質土の専 断層の評価,土木学会論文集 C, Vol.63, No.1, pp.59-71, 2007.
- 3) 龍岡文夫ら: 土の強さと地盤の破壊入門, pp.71-72, 1987