

## 画像解析による不飽和砂質土の三軸圧縮挙動

局所変形, 画像解析, 三軸試験

 山口大学大学院 学生会員 ○ QiaoHui 吉川直孝  
 山口大学大学院 正会員 中田幸男 兵動正幸 吉本憲正

1. はじめに 本研究は、3次元PTVと呼ばれる画像解析手法を用いて三軸圧縮試験時の局所変形特性を把握するものである。<sup>1)2)</sup> 通常の不飽和土の三軸圧縮試験では、間隙に水が満されていないため、試験中ビューレットの水位より供試体の体積変化を算出するのは困難である。ここでは、軸ひずみおよび体積ひずみの計測精度を議論し、不飽和土の体積変化の計測に適用している。この結果、飽和・不飽和土の三軸圧縮挙動を議論することが可能となった。

## 2. 回転三軸圧縮試験における計測精度

用いた材料は、豊浦砂 ( $G_s = 2.643$ ,  $e_{\max} = 0.973$ ,  $e_{\min} = 0.635$ , Grain size:  $0.075-0.425\text{mm}$ ,  $D_{50} = 0.200\text{mm}$ ), 宇部まき土 ( $G_s = 2.635$ ,  $e_{\max} = 1.275$ ,  $e_{\min} = 0.761$ , Grain size:  $0.075-2.0\text{mm}$ ,  $D_{50} = 0.712\text{mm}$ ) である。豊浦砂の供試体は空中落下法にて目標相対密度  $D_r = 88\%$  になるよう作成され、宇部まき土の供試体は、飽和土の場合、所定の含水比に試料を調整した後、締固め法により目標相対密度  $D_r = 95\%$ ,  $141\%$  (締固め度  $D_c = 92\%$ ) となるよう作成された。不飽和土の場合、 $D_r = 95\%$  のとき  $S_r = 79\%$ ,  $D_r = 141\%$  のとき  $S_r = 70\%$  になるよう含水比を調整し、締固め法により供試体を作成した。これらの材料に対して、変位速度  $0.1\text{mm/min}$  の圧密排水三軸圧縮試験を行った。不飽和土の場合、排水排気三軸圧縮試験を行った。三軸試験中の変形計測を行うために軸変位を固定し、その間に図-1に示す三軸試験機を用いて供試体の画像を取得した。この試験機は、図-1に示すように1台のカメラにて供試体全周の計測を行えるよう軸と供試体の回転が連動し、かつ  $360^\circ$  以上回転できるような構造となっている。このとき供試体を覆うラバーメンブレン上には、直径  $2\text{mm}$  の標点を間隔  $5\text{mm}$  で設けている。そのため、撮影した画像から供試体全側面に設けた全標点の3次元座標を解析することができ、その時間的な変化を解析することで変位量ならびにひずみ量を計算することができる。画像解析による3次元計測は最低2方向の画像を用いて行うことが可能であるが、供試体全周、全標点の3次元座標を計測するため、本研究では8方向の画像を取得した。画像解析による3次元計測は、参考文献<sup>1)</sup>に詳しい。

図-2は、画像解析により計測された全体的な軸ひずみを縦軸に、外部変位計により計測された全体的な軸ひずみを横軸に示した図である。ピーク付近において両者の差を求めると、 $\Delta \epsilon_a = 0.20\%$  となる。また、同図には、供試体中間層の軸ひずみと外部変位計により計測された全体的な軸ひずみの関係も示している。中間層は、図-2中に示すように供試体の中央部分の  $4\text{cm}$  を指している。この中間層の軸ひずみは、宇部まき

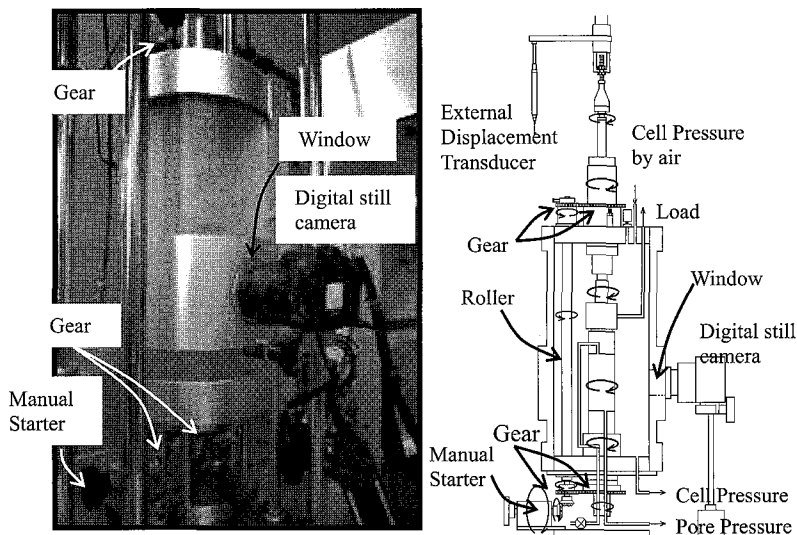


図-1 軸・供試体連動回転三軸試験機の写真と概略図

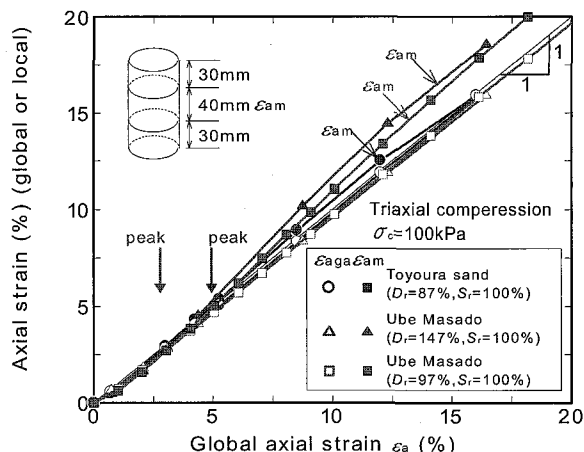


図-2 画像解析による全体的な軸ひずみと外部変位計による全体的な軸ひずみの比較

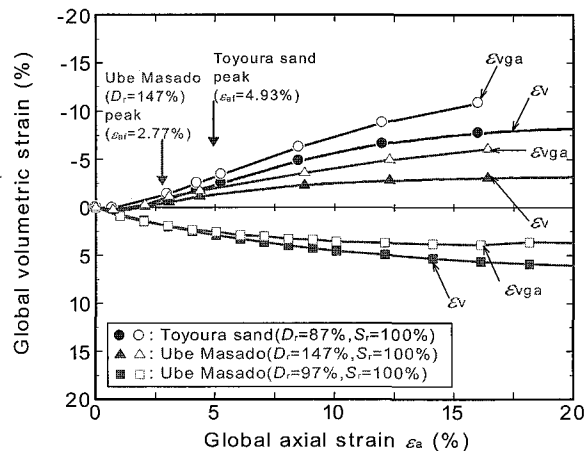


図-3 画像解析による全体的な体積ひずみとビューレットによる全体的な体積ひずみの比較

土において、せん断終了直前では全体的な軸ひずみよりも2%程度大きくっており、供試体中央でより軸方向の変形が卓越することがわかる。

図-3は、画像解析およびビューレットにより計測された全体的な体積ひずみと全体的な軸ひずみの関係である。それぞれ $\varepsilon_{vg}$ 、 $\varepsilon_{vg}$ として示される。ピーク付近において両者の差を求めると、0.73%となる。また、膨張挙動を示す豊浦砂やまさ土の $D_r = 141\%$ の結果とくらべて、収縮挙動を示すまさ土の $D_r = 95\%$ の結果の方が両者の測定結果に差が小さくなることわかる。

**3. 三軸供試体の変形計測** 図-4は、宇部まさ土の試験結果について応力ひずみ関係を示したものである。拘束圧の増加に伴い、体積ひずみが膨張側から収縮側へと移行していることが見てとれる。さらに、飽和土の体積ひずみが不飽和土よりも収縮傾向にあることもわかる。

図-5は、宇部まさ土( $D_r = 141\%$ ,  $S_r = 70\%$ )に対して3種類の拘束圧で行った供試体のせん断 $\varepsilon_a = 16\%$ 付近の供試体表面の軸ひずみ分布を示したものである。高拘束圧の場合、軸ひずみの発生した範囲はより広く、低拘束圧の場合は供試体の中央に軸ひずみが集中していることが見て取れる。これは図-4に示したように、高拘束圧の場合は体積変化は収縮する傾向があるため、局所な変形は発生しにくいものの、低拘束圧の場合には、逆に体積が膨張しやすく、局所変形しやすいためと考えられる。

図-6は供試体全体の体積変化から求めた間隙比と平均主応力の関係を示す。塗り潰しのプロットは、せん断開始前、白抜きのプロットは、せん断開始後である。各材料において、せん断開始後のプロットを片対数グラフ上で最小二乗法により対数近似し、その近似線を限界状態線(C.S.L.)とした。なお、豊浦砂の1MPa以上の結果は、高圧三軸試験を用いてビューレットから得られた体積変化から算出したものである。この図から、限界状態線を求めることが可能であることがわかる。さらに、宇部まさ土においては、密度や飽和状態に依らず、同一の限界状態線となることがわかる。

**4. おわりに** 本研究では供試体を回転させることで供試体側面全体の画像を取得できる試験装置で得られた三軸試験中の変形挙動を紹介した。ここでは、画像による変形量の測定が有効と考えられる、三軸試験中不飽和土の体積変化を正確に把握することを示した。不飽和土においても限界圧力を議論することが可能となり、限界状態線を得ることもできた。

#### 参考文献

- 1) Kikkawa, N., Nakata, Y., Hyodo, M., Nishio, S. and Murata, H.: photogrammetry in triaxial test, Proceeding of IS-Yamaguchi, Vol.1, pp.61-67, 2006.
- 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せん断層の評価, 土木学会論文集 C, Vol.63, No.1, pp.59-71, 2007.

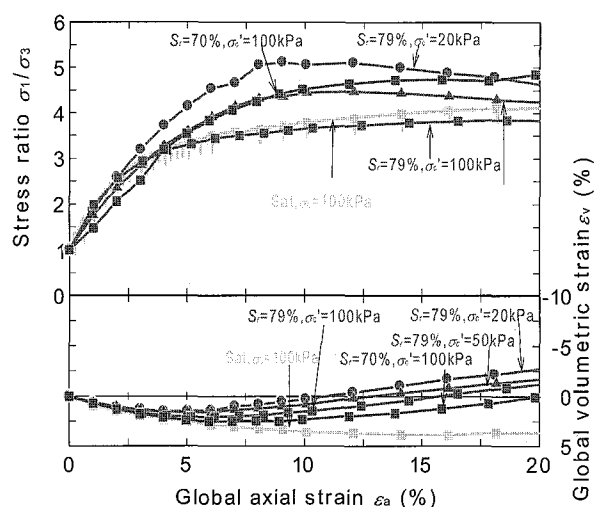


図-4 供試体全体の間隙比と平均応力の関係

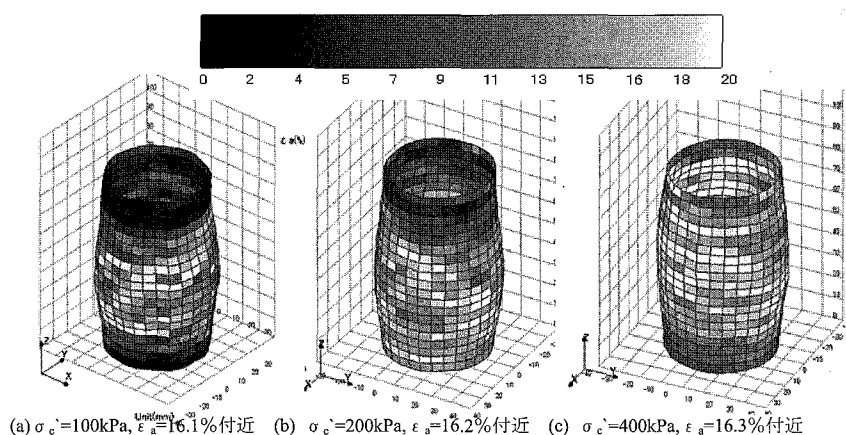


図-5 宇部まさ土( $D_r=141\%$ ,  $S_r=70\%$ )の供試体表面の軸ひずみ分布

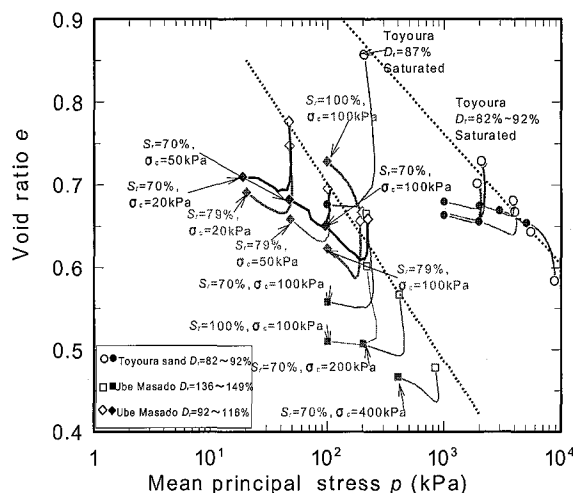


図-6 供試体全体の間隙比と平均応力の関係