

X線CTを用いた異なる拘束圧下での三軸圧縮下における砂の3次元変位特性の解明

熊本大学大学院 学生員 ○渡邊 陽一
熊本大学大学院 正会員 大谷 順

University of Joseph Fourier, France Lenoir Nicolas

1.はじめに

これまで地盤の力学的特性は連続体として考えて、数多くの構成式が提案されてきた。しかし、それらはすべて土の供試体全体の平均的な挙動を対象としている。一方、地盤材料は粒状体であり、載荷に伴う供試体の挙動は土中に発生する局所ひずみの進展により生じると考えられ、より厳密な意味での構成式は供試体内部の局所的な変形を観察することが必要である。これらについて、荷重下における土粒子群の移動を平面的に追跡する可視化手法の提案が多くなされている。しかし、これらは平面ひずみ下の現象であったり、マーカーや着色した粒子材料を土中に配置しその軌跡を評価する方法がほとんどであり、実際の土中の挙動を反映しているとは必ずしも言えない¹⁾。近年、MRI、X線CT、LATなどの可視化手法の発達により、粒子の移動についてのマイクロ構造の解明に関する研究が進められている。特に、それらの可視化手法は主として圧縮応力下における土粒子群の追跡に用いられている。これまでの研究では地盤材料内部に異なる材質(マーカー)を用いたマーカー追跡を行い、3次元的にマーカーの移動変位を計測している²⁾。しかしながら、この手法では供試体内部の挙動を定量的に評価することには限界があると考えられる。一方、著者らは一次元圧縮下においてマーカーを用いることなく土中内部の土粒子の変位計測を可能とする画像解析手法を提案している³⁾。本研究では、提案された画像解析手法を用いて三軸圧縮下における載荷途中での土粒子の変位計測を行うとともに、異なる拘束圧下での地盤材料の変位特性を解明することを目的としている。

2.実験概要

本実験では気乾状態での砂の三軸圧縮試験を対象とした。試料は粒度のよい山砂を用い、高さ100mm、直径50mmの円筒形供試体を、 $Dr=90\%$ になるように予定量の1/5各に突き棒で20回ずつ締固めて作製した。載荷は0.3%/mmの変位制御で行い、拘束圧を50kPaと80kPa下で実施した。なお、CT撮影条件は、電圧150kV、管電流4mAおよび照射厚0.3mmとし、供試体を撮影ピッチ0.3mmで供試体下部から上部までを撮影範囲としてCT撮影を実施した。

3.実験結果および画像解析結果

図-1は異なる拘束圧下(50kPaおよび80kPa)で行った三軸圧縮試験における荷重—変位曲線である。図中のA~Dは拘束圧50kPaにおけるX線CT撮影を行った軸変位レベルを示し、1~4は拘束圧80kPaにおける軸変位レベルを示す。まず、供試体内部でのせん断帯の発生過程を確認するために、3次元再構成した画像から供試体の直径にあたる位置での鉛直CT断面画像を作成した。図-2および図-3には図-1に示したInitialを含む変位レベルStepBおよびStepD(50kPa)、また、Initialを含む変位レベルStep2およびStep4(80kPa)における鉛直CT断面画像である。50kPaにおいて、(b) StepBの鉛直CT断面画像を見ると、左上部から中心に向かって低密度領域が発生していることが確認できる。さらに、(c) StepDにおいては左上部から中心部を通り右下部まで低密度領域が帯状に発生していることがわかる。加えて、右上部から中心に向かって低密度領域が進展していることも確認できる。80kPaにおいては、(b) Step2の鉛直CT断面画像を見ると、供試体内部で低密度領域が発生していることが分かる。しかし、(c) Step4の断面画像は50kPaに比べ供試体上部での密度変化が見られ、低密度領域の発生は小さいことが分かる。以上よりCT画像から供試体内部の現象をより詳細に検討可能であると言える。

一方、画像解析においては提案された画像解析手法³⁾を用いて土粒子の抽出を行った。3次元に再構成した画像より土粒子を選択し、土粒子の中心座標を計測した。同様にして、各変位レベルにおいて画像より土粒子の中心座標を計測した。これらの結果を用いて、粒子の3次元座標を求めることにより土粒子の変位計測を行った。図-4および図-5は軸変位レベルごとに変位計測を行い、50kPaのケースではInitial ⇒ StepA、StepB ⇒ StepCおよびStepC ⇒ StepD、80kPaのケースではInitial ⇒ Step1およびStep3 ⇒ Step4における3次元変位ベクトル図である。50kPaのケースでは、(a) Initial ⇒ Step1は供試体上部の土粒子の移動は全体的に供試体の左側面に移動していたが、(b) StepB ⇒ StepCの変位ベクトル図からは、供試体の左上部に着目すると土粒子が左側面方向から内部に向かって移動していることが確認できる。また、(b) StepB ⇒ StepCでは右側面へ土粒子が変位しているが、(c) StepC ⇒ StepDの変位ベクトル図からは、さらに土粒子群を形成して右側面に向かって変位していることが確認できる。一方、80kPaのケースでは(a) Initial ⇒ Step1の変位ベクトル図からは、50kPaの(a) Initial⇒Aに比べ、供試体上部での土粒子の移動方向が多方向に変位していることが確認できる。また、(b) 3⇒4の変位ベクトル図からは50kPa(c) C⇒Dと同様に

土粒子群を形成して、左側面に向かって変位していることが確認できる。このことから、三軸圧縮下において土中内部の土粒子移動を3次的に可視化し、土粒子の変位計測を行うことを可能とした。

4.まとめ

異なる拘束圧下での三軸圧縮応力下における砂中の変位特性についての解明を試みた。今後は、得られた変位を用いてひずみ量を求めること、および3次元有限要素解析を用いてこれら現象の検証を行う予定である。

参考文献

- 1) Yamamoto K. and Otani J. (2001), Microscopic observation on progressive failure on reinforcement foundations, Soil and Foundations, 40(2), pp. 25-37
- 2) Nielsen S.F., Poulsen H.F., Beckmann F., Thorning C. and Wert J.A. (2003), Measurements of plastic displacement gradient components in three dimensions using marker particles and synchrotron X-ray absorption microtomography, Acta Materiala 51, pp. 2407-2415.
- 3) Watanabe Y., Lenoir N. and Jun Otani (2007), Measurement of particle displacements in sand a triaxial test studied by X-ray computed tomography : a preliminary study 平成 18 年度土木学会西部支部研究発表会

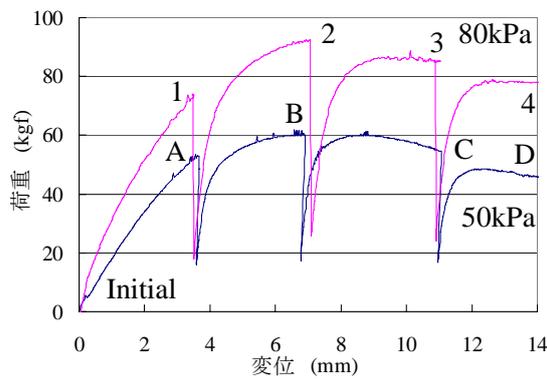
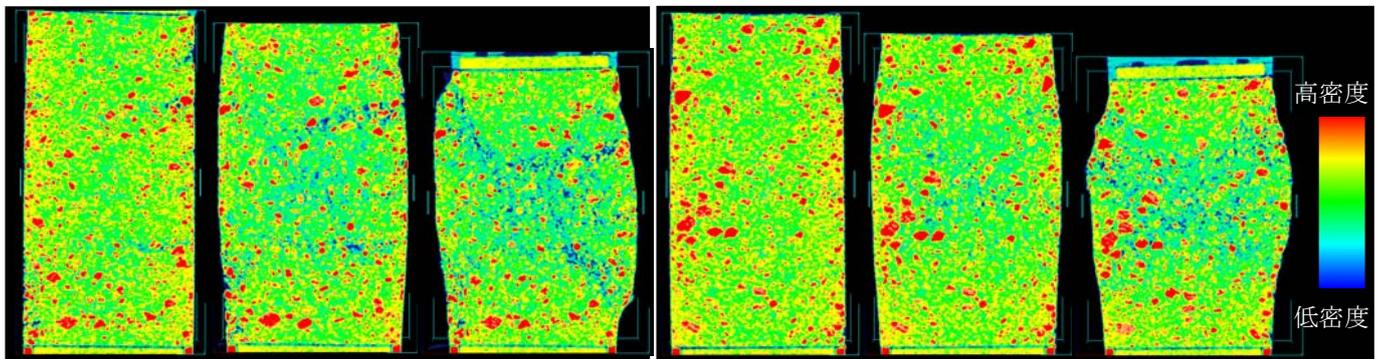
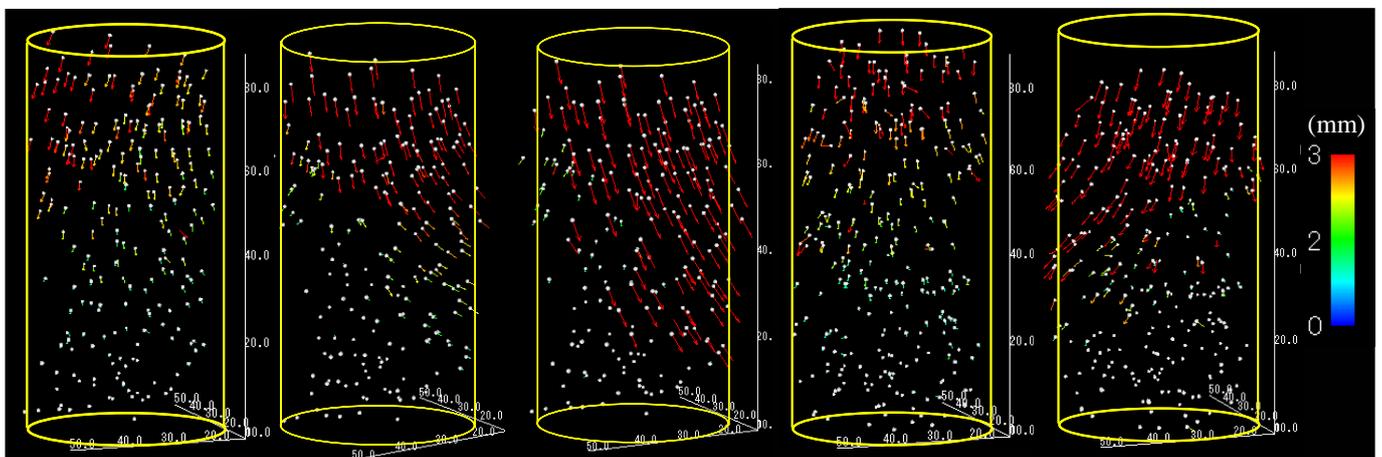


図-1 荷重-変位曲線



(a) Initial (b) StepB (c) StepD
図-2 鉛直CT断面画像 (50kPa)

(a) Initial (b) Step2 (c) Step4
図-3 鉛直CT断面画像 (80kPa)



(a) Initial => StepA (b) StepB => StepC (c) StepC => StepD
図-4 3次元変位ベクトル図 (50kPa)

(a) Initial => Step1 (b) Step3 => Step4
図-5 3次元変位ベクトル図 (80kPa)