

X 線 CT データに基づく砂の三軸圧縮下における応力場の評価

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

名古屋工業大学 正会員 中井 照夫

1.はじめに

載荷に伴う砂のせん断帯の形成は、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ており、土中内部の局所的な変形を観察する必要がある。著者らはこれまで、X 線 CT と三軸圧縮試験を連動させ、土中内部の土粒子を抽出する画像解析手法を用いて、土粒子の移動を 3 次元的に可視化することにより、三軸圧縮下における砂中の変位特性について解明してきた¹⁾²⁾。本論文では、画像解析手法より得られた土粒子の変位量から数値計算を行い、せん断ひずみ量の定量的考察を行う。さらに、数値解析を用いてせん断ひずみ量からせん断応力を求めることにより、より詳細に供試体内部の応力分布の把握を目的としている。

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 回ずつ締め固めて作製した。載荷は $0.3\%/min$ の変位制御で行い、拘束圧を 50kPa で実施した。なお、CT 撮影条件は、電圧 150kV、管電流 4mA および X 線照射厚 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.解析手法

3.1 画像解析手法

本研究では X 線 CT 装置の空間分解能と X 線照射厚との関係から、粒径 2mm 以上の土粒子に着目し、その土粒子移動を計測する。計測した土粒子の 3 次元変位ベクトル図を図-1 に示す。

3.2 数値解析

本研究では中井らによって開発された弾塑性構成式プログラム t_{ij} を用いて、3 次元有限要素解析を行った。三軸圧縮試験の供試体に合わせて作成した、1 要素 8 節点からなる 3 次元メッシュ図を図-2 に示す。画像解析手法より抽出した土粒子の 3 次元座標をメッシュ図の節点座標に置き換え、その節点座標に土粒子が移動した 3 次元変位量データを強制変位として与えた。本解析に用いた土質パラメータを表 1 に示す。

4.実験結果および解析結果の考察

図-3 は拘束圧 50kPa 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 X 線 CT 撮影を行った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-4 には、図-3 に示した Initial を含む変位レベル B および D における鉛直断面画像である。鉛直 CT 断面画像は、CT 値 0～1500 の範囲を 7 色のカラーコンター図により示している。ここで CT 値は密度と強い相関関係を示すことから、CT 値 0～300 の範囲を低密度領域とし、CT 値 1200～1500 の範囲を高密度領域と設定する。(b) B の鉛直 CT 断面画像を見ると、供試体中心部で低密度領域が発生していることが確認できる。さらに、(c) D においては供試体の中心部から左上部と右下部方向へ低密度領域が帯状に分布しており、せん断帯を形成していることがわかる。また、解析結果からせん断ひずみ分布およびせん断応力分布を実験結果と同様に供試体の直径を通る断面図を作成し、図-5 および図-6 にそれぞれ示す。図-5 および図-6 は、軸変位レベル A、C および D のせん断ひずみ分布とせん断応力分布図を示す。図-5 の(a) A では供試体内部から上部方向にせん断ひずみが増加していることが確認できる。(b) C は供試体内部より右上部と左下部方向に向かって、せん断帯を形成していることがわかる。また、(c) D はせん断ひずみが左上部から右下部方向へせん断ひずみが分布し、せん断帯を形成していることが確認できる。これらのせん断ひずみ分布を実験結果で示した図-4 の鉛直 CT 断面画像と比較したところ、低密度領域の進展が解析結果のせん断ひずみ分布の発生と同じ傾向を持つことが確認できる。このことから、X 線 CT データから得られる低密度領域とせん断ひずみ分布との関係は等しいと考えられる。一方、せん断応力分布に着目すると、図-6 の(a) A では、供試体内部より上部方向にせん断応力が高いこと

を確認できる．また，(b) C はせん断ひずみ分布形状と同様に供試体内部より右上部と左下部方向に向かってせん断応力が卓越し，せん断帯の形状に沿って応力が増加していることが確認できる．さらに，(c) D では，せん断帯に沿ってせん断応力が卓越していることが顕著に確認できる．このことから，せん断ひずみとせん断応力分布は一致していることがわかり，またせん断帯に沿ってせん断応力が卓越すると考えられる．

5.まとめ

本報告では，X 線 CT データより三軸圧縮下の砂の変位特性を解明するとともに，数値解析を用いて変位データからせん断ひずみおよびせん断応力の定量的考察を行った．これらより，CT データから得られる密度変化がひずみの局所化現象や応力状態を十分説明しうることを確認した．今後は，さらに3次元有限要素解析の高度化を図り，CT データと応力場との比較検討を進める所存である．

参考文献

- 1) 渡邊陽一，大谷順，Lenoir Nicolas：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，土木学会西部支部研究発表会，pp.333-pp.334，2008.3
- 2) 大谷順，渡邊陽一，Lenoir Nicolas：X 線 CT データに基づく異なる拘束圧下での三軸圧縮下における砂のひずみ特性の解明，土木学会第63回年次学術講演会，pp.437-pp.438，2008.9

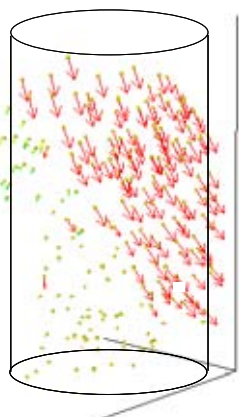


図-1 3次元変位ベクトル図

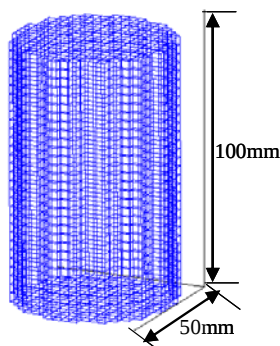


図-2 3次元メッシュ図

表-1 土質パラメータ

λ	0.0084
κ	0.0060
R_{cs}	4.7
β	-0.60
α	0.85

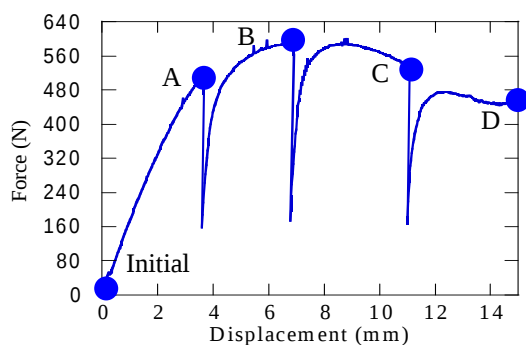


図-3 荷重—変位曲線

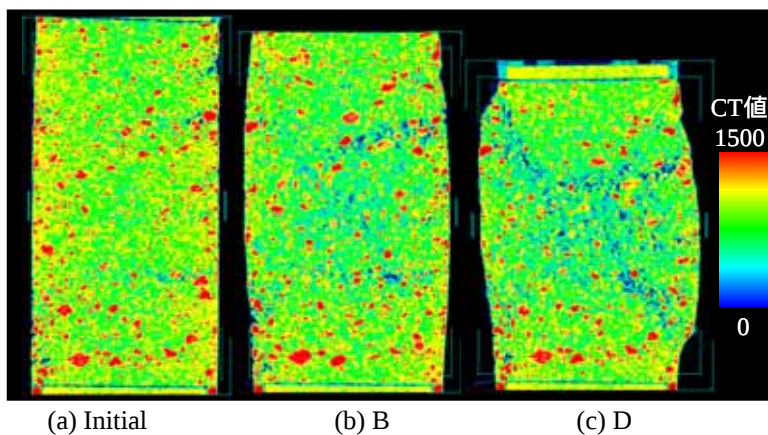


図-4 鉛直 CT 断面画像

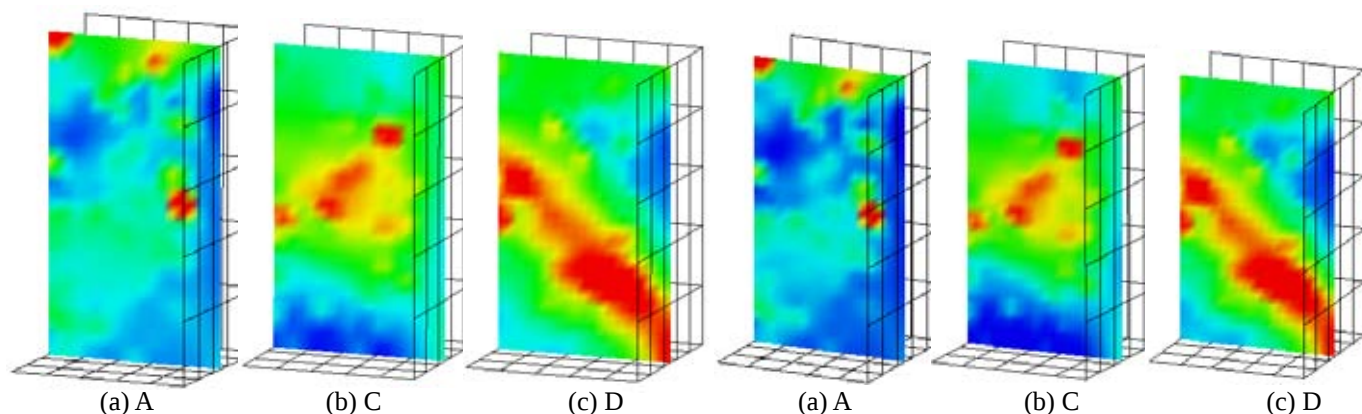


図-5 せん断ひずみ分布図 0 0.1

図-6 せん断応力分布図 0.5 5 (N/mm²)