X線CTデータおよび画像相関法を用いた砂のひずみ場の測定

熊本大学大学院 学生員 ○渡邉 陽一(日本学術振興会特別研究員) 熊本大学大学院 正会員 大谷 順 Northwestern University, U.S.A. Lenoir Nicolas CNRS, Grenoble University, France Steve Hall

1.はじめに

地盤工学の分野において,砂の変形挙動および破壊現象の解明は重要な研究課題のひとつであり,砂の破壊現象 は局所ひずみの進展により生じると考えられている.近年では,非破壊試験法のひとつである X 線 CT を用いて, 土中のひずみの局所化およびその進展メカニズムを 3 次元的に評価する研究が行われている¹⁾.しかしながら,X 線 CT から得られる密度変化による考察は,せん断帯の進展メカニズムを定性的には評価しているものの,ひずみ の定量的評価には至っていない.本研究では,X線 CT スキャナおよびデジタル画像相関法(以下,DIC と呼ぶ)を用 いて,砂の三軸圧縮試験を実施することで,砂の変位特性および局所ひずみの進展過程を 3 次元的に解明すること を目的とした.ここでは,DIC 解析を用いて X線 CT データより土中内部の変位および,3次元せん断ひずみおよ び体積ひずみを求めることで,砂中の局所ひずみの進展についての定量的考察を試みるものである.

<u>2.実験概要</u>

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.供試体は高さ100mm,直径50mmの円筒形供試体とし, 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%/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.

<u>3.DIC解析の概要</u>

DIC 解析は 20 年以上前から様々な材料力学分野において適用されており, 近年では地盤材料にも広く適用されて いる. DIC 解析は画像間での空間変換を評価するための重要な数学的手法のひとつである.本研究では,フランス の研究所 Laboratoire 3S-R で開発された画像解析プログラム 3Dvolumetric DIC を用いて,まず CT 画像間での 3 次元 変位ベクトルを求め,これを用いてせん断ひずみや体積ひずみを計算した.

4.実験結果およびDIC解析結果の考察

図-1 は拘束圧 50kPa で行った三軸圧縮試験における荷重一変位曲線である. 図中の Initial および A~D は X 線 CT 撮影を行った軸ひずみレベルを示す. 図-2 には, Initial を含む変位レベル A~D における鉛直 CT 断面画像である. これらの画像は 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 断面画像である.CT 画像は 256 諧調の白黒濃淡レベルにより表示されることから,低密度領域は黒色,高密度領域は白色で表示される. 応力ピー ク前の StepB において供試体中心部では低密度領域が発生していることが確認できる.また,StepD では StepB で 確認された低密度領域が供試体中心部から局所化した帯状の低密度領域として供試体の右上部から左下部に向かっ て分布している.以上のことから,CT 画像から得られる密度変化から,応力ピーク後に帯状の局所化した低密度 領域が発生していることが確認され,CT 画像により供試体内部の局所化現象を詳細に検討可能であると言える. しかしながら,CT 画像から得られる結果は密度変化であるために現象を定性的には評価しているものの,定量的 評価には至っていない.そこで,DIC 解析を用いて CT データより 3 次元せん断ひずみおよび体積ひずみ量の算出 を試みることで,砂中内部の局所ひずみの進展について定量的考察を行う.

図-3 には、砂中内部の変位特性を把握するために 3 次元変位ベクトル分布を示す. Initial-A では、供試体上部に おいて右側面に向かって土粒子が移動し、A-B では土粒子が内部に向かって移動していることが確認できる. 応力 ピーク後の B-C では土粒子群を形成して左側面に移動し、最終ステップの C-D では、顕著に土粒子群が一定方向に 移動していることが確認できる. 図-4 はせん断ひずみ分布を 3 次元的に抽出した画像である. これらの図は可視化 しやすくするために、各ステップのせん断ひずみ量を A-B では 0.1 以上、B-C では 0.15 以上および C-D では 0.2 以 上の値で示している. 応力ピーク前の A-B では、せん断帯が 2 本交差していることが確認できる. 応力ピーク後の B-C では、2 本のうち片方のせん断帯が進展しており、C-D では最終的に板状のせん断帯を形成していることが確 認できる. 以上のことから局所ひずみの進展を 3 次元的に可視化することができた. 図-5 には、体積ひずみ分布を 示す.ここでも、せん断帯内部の体積ひずみ分布を確認するために、実験結果と同様な位置にあたる体積ひずみ鉛 直断面画像を作成した.ここでは体積ひずみ-0.4(圧縮)以下を黒色、また 0.4(膨張)以上を白色で示している.50kPa において、StepB 以降ではせん断帯内部に圧縮領域を確認することができる.StepD では、せん断帯内部の全体にわ たって膨張と圧縮の領域が現れている.一般的に供試体内でのせん断帯の形成にはダイレイタンシーの影響が重要 であると考えられるが、ここでの DIC 解析結果ではせん断体内部において膨張と圧縮の両方が現れていることが観 察される.以上のことから X 線 CT と DIC を組み合わせることで、砂の三軸圧縮下における供試体内部に発生する ひずみ場の局所化進展過程を定量的に評価することを可能とした.

<u>5.まとめ</u>

本報告では、砂を対象とした破壊現象、すなわちひずみの局所化現象を解明するために、砂の三軸圧縮試験と CT 撮影を連動させ、その CT データを用いた DIC 解析を行うことにより、これまでの CT 画像としての密度変化のみ の考察から、ひずみ量の定量的考察を可能とした. 今後は、本手法を模型実験に適用することで、地盤としての破 壊現象解明に取り組む予定である.

参考文献

1) 渡邉陽一,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

