

京都大学
京都大学大学院
京都大学大学院

学生会員 ○中島康介 太田浩史 佐名川太亮
正会員 肥後陽介 木元小百合
フェロー 岡二三生

1.はじめに

地盤材料の変形局所帯は、従来から研究されてきたせん断帯(shear bands)と圧縮帯(compaction bands)に大別される¹⁾。compaction bandsとは、最大圧縮主応力方向に対して垂直または極めて垂直に近い形で発生する水平または低角度な変形局所帯であり、大きな体積圧縮ひずみの発生を伴うひずみの変形局所帯を言う。実地盤での圧縮帯の発生は想定外の地盤沈下の原因となり得る上、周囲と比べ間隙の減少による透水係数の低下が報告されており、流体の流れを妨げる障害となり得る。一方、供試体レベルでの圧縮帯の発生は、高拘束圧条件下における多孔性砂岩の排水三軸圧縮試験で確認されており²⁾、貝殻混じり砂などの結合力を有する人工材料の圧縮試験でも圧縮帯の生成が報告されている³⁾。一方、能登珪藻泥岩は有効拘束圧のレベルに応じて様々な破壊形態を呈し、特定の拘束圧条件下では一次元的な圧縮変形をすることが報告されている^{4), 5), 6)}。本研究ではこの珪藻泥岩を用いて排水三軸圧縮試験を行い、PTVによる供試体表面のイメージアナリシスと μ フォーカスX線CTを用いた供試体内部の密度分布の可視化から変形帯を観察する事を目的に実験を行った。

2.圧密排水三軸試験

実験試料として用いた珪藻泥岩は珪藻の遺骸と粘土を主体に一部火山灰が堆積して形成した、多孔質軟岩である。脆性的な変形特性を持つが繰り返し作用を与えると強度は低下し、粘性が増加する。未風化、不攪乱、飽和状態を満足した状態での採取が可能であり、さらに均一性が高く再現性にも富むという理想的な自然材料である。採取した試料は堆積方向に留意し4×4×8cmの四角柱に整形した。供試体は試験機に設置した後に脱気水により飽和化した。各ケース毎に定めた有効拘束圧で圧密を行い、その後軸ひずみ速度0.01%/minで軸ひずみ20%まで軸圧縮した。0.5、1.0、2.0(MPa)と、三種類の有効拘束圧で実験を行った。軸差応力~軸ひずみ関係、軸ひずみ~体積ひずみ関係を図1、図2に示す。

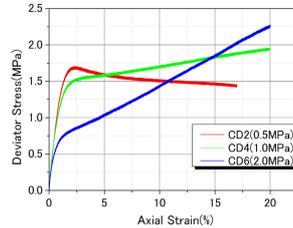


図1: 軸差応力~軸ひずみ関係

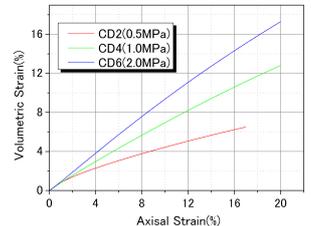


図2: 軸ひずみ~体積ひずみ関係

図1では、拘束圧が高くなるに従って応力~ひずみ関係の折れ曲がり点での軸差応力が小さくなる傾向にある。またケースCD2ではひずみ軟化が、ケースCD4、CD6ではひずみ硬化が見られる。図2では全てのケースにおいて体積ひずみが単調増加しており、軸ひずみに対する体積ひずみの急増などは見られない。

3.PTVによるイメージアナリシス

試体側面に発生したひずみを定量的に計測するために、メンブレンに2mm間隔でターゲットを描き、固定したCCDカメラで圧密排水三軸試験中に軸ひずみ0.5%毎に撮影し(図3)、得られた画像を二値化して、粒子追跡法を用いてひずみを評価する方法。また、メンブレンと供試体の追従性を確認するために、供試体に直接2.5mm間隔のメッシュを書き込み、試験の前後でデジタル写真を撮影し、格子点座標の変化からひずみを定量化した。

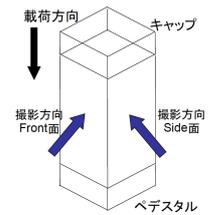


図3 供試体撮影方向

4. μ フォーカスX線CT

本研究で用いたX線CT装置は μ フォーカス機能により、画像鮮鋭度を落とすことなく高拡大率条件で撮影することができる。供試体整形直後に試験前の状態を撮影し、試験後の供試体を同じ条件で撮影した。CTスキャンの条件は管電圧130kV、管電流200 μ A、FCD468mm、FID885mm、拡大率2.837、スライス厚0.2mm、一画素サイズ0.06mmである。

5.象解析結果

図4~6にPTVによる供試体表面のひずみ(上段:せん断ひずみ γ 、下段:体積ひずみ ϵ_v)分布を示す。体積ひずみは正が圧縮で負が膨張である。ひずみ分布図を見ると、供試体に直接格子を書き込んだ場合の解析結果も、

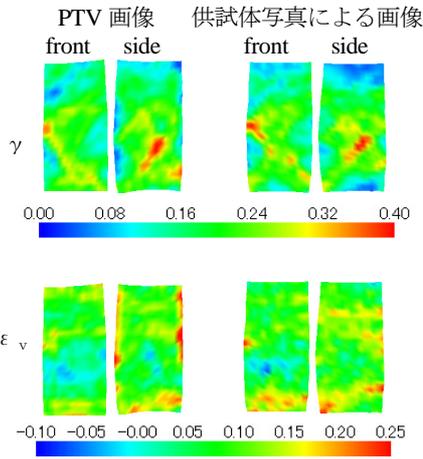


図4 軸ひずみ18%時のひずみ分布図
ケース CD2 (0.5MPa)

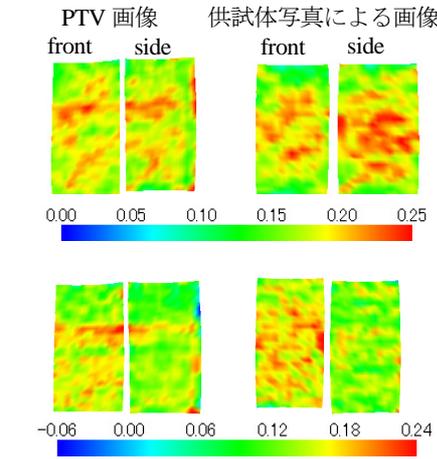


図5 軸ひずみ20%時のひずみ分布図
ケース CD4 (1.0MPa)

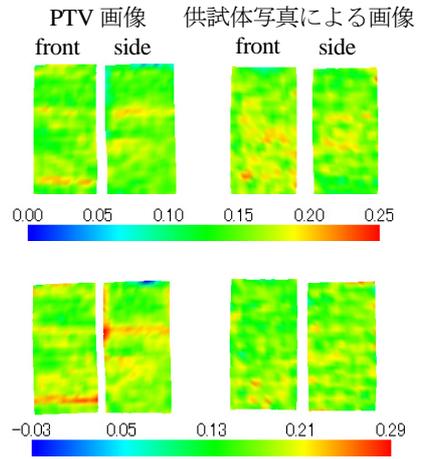


図6 軸ひずみ20%時のひずみ分布図
ケース CD6 (2.0MPa)

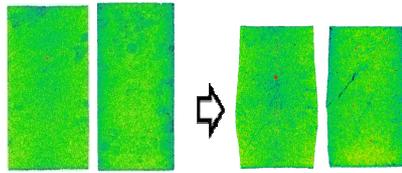


図7 ケース CD2 試験前後のCT画像

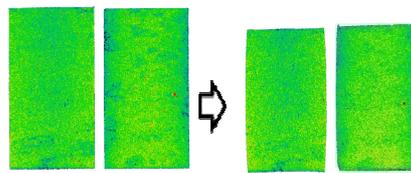


図8 ケース CD4 試験前後のCT画像

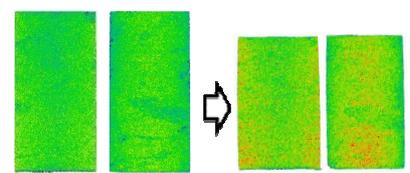


図9 ケース CD6 試験前後のCT画像

粒子追跡法の結果と比べて同じような特徴が出ており、メンブレンが供試体に追従していることが分かる。

有効拘束圧 0.5MPa のケースにおいてせん断ひずみと体積膨張ひずみが見られる部分が供試体中央部に存在し、これはせん断帯と考えられる。有効拘束圧 1.0MPa のケースにおいては、0.5MPa のケースよりせん断ひずみが小さく、ひずみの局所化がより水平状に見られるようになっている。せん断ひずみと体積圧縮ひずみの両者が確認できることから、せん断帯から圧縮帯への遷移状態と見る事ができる。有効拘束圧 2.0MPa ではせん断ひずみに比べて卓越した体積圧縮ひずみが水平状に見られ、これは圧縮帯であると考えられる。

図7~9にμフォーカスX線CTを用いた供試体内部及び供試体表面近くの密度分布画像を示す。各断面図の供試体上での位置はfront面に平行して約1mm内部と、約20mm内部の二か所である。CT値のレジェンドを図9の下に示す。赤色の方が高密度の領域を表す。

試験前のCT画像を見ると局所的な低密度領域が見られる。これは珪藻泥岩試料が自然堆積状態不均質性によるものとれる。図7(d)には、図4に見られるせん断帯と同じ位置に低密度の線がみられた。この様な線は供試体内部(図7(c))にも見ることができ、供試体内部にまでせん断帯が発生している様子がよく分かる。

図10に圧縮帯が見られたケースCD6の試験後の供試体写真による画像と、CTスキャン画像を並べて表示した。

体積圧縮ひずみの卓越した部分と高密度箇所をそれぞれの図に黒い実線で囲んだ。二種類の画像には軸圧解放前後

という条件 図10 ケースCD6(2.0MPa)試験後圧縮部分の比較の違があるため、影響を受けやすい供試体上下側方の表面部を除いて見た場合、圧縮部分に対応する高密度部分がいくつも見られる。このことから、CTスキャン画像中の高密度領域の偏在には局所的な体積圧縮ひずみが関わるものと思われる。

6.まとめ

珪藻泥岩を用いた排水三軸圧縮試験を行い、PTVによる画像解析では異なる有効拘束圧条件下の供試体表面のせん断帯と圧縮帯を観察した。そして有効拘束圧が高くなるに従ってせん断帯から圧縮帯へと遷移する、という既往の研究結果⁸⁾と一致する特徴がみられた。またX線CTスキャンでは珪藻泥岩供試体内部の密度分布に見られる特徴を確認し、せん断帯による体積膨張箇所と、圧縮ひずみに関わる高密度領域を観察した。

(参考文献)

- 1) Mollema, P.N. and Antonellini, M.A. : Tectonophysics, 267, 209-228, 1996.
- 2) Wong, T-f., Baud, P. and Klein, E. : Geophys. Res. Lett., 28, (13), 2521-2524, 2001.
- 3) Castellanza, R. and Nova, R. : Prediction and Simulation Methods in Geomechanics, 34, 37-40, 2003.
- 4) 前川晴義, 宮北啓: 土木学会論文報告集 No.334, pp.135-143, 1983.
- 5) 北原, 小高, 岡, 太田, 今井: 画像解析による能登珪藻泥岩のせん断帯ならびに圧縮帯の観察, 第41回地盤工学研究発表会概要集, 2006.
- 6) 太田, 小高, 岡, 北原, 今井: 第41回地盤工学研究発表会概要集, 2006.