

X線CTによるベレア砂岩と多胡砂岩の空隙構造の比較

大成建設株式会社 正会員 ○増岡 健太郎, 山本 肇

1. はじめに

近年, 地盤工学の分野においてもX線CTを活用した研究事例が増加している。著者らは, X線CTなどによって土や岩石の空隙構造を抽出し, その構造形態を直接的にモデル化した流体シミュレーションにより, 透水試験やトレーサー試験などの室内試験での現象をコンピュータ上で再現する技術開発を進めている。本稿では, 基礎的な検討として, ベレア砂岩と多胡砂岩に対してX線CT撮影を行い, 岩石内部の空隙の構造を三次元で可視化し, 空隙の構造の連続性などの特徴を比較したので報告する。

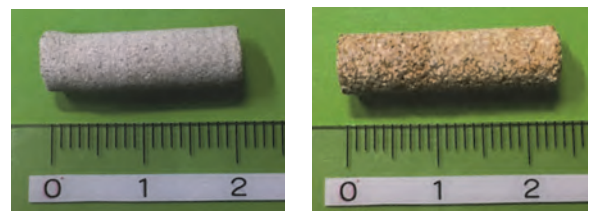
2. 試験方法

ベレア砂岩と多胡砂岩に対して, 直径7mm, 長さ20mm程度の円柱供試体を作成し(写真-1), 十分に乾燥させた供試体に対してX線CT撮影を行った(inspeXio SMX-225CT FPD HR, 島津製作所)。撮影条件として, 解像度を $4\mu\text{m}$, 画像サイズを 2048×2048 pixel, スライス数を1592とした。供試体端面で生じるノイズ(ビームハードニング)の影響を取り除くために, 得られたCT画像から供試体中心部分の 1024×1024 pixelの範囲を切り出し

(図-1), 画像解析を実施した。画像解析では, 比較的大きな空隙部の形状を目安にして, 8bitのグレースケール画像に対して閾値を定め, 空隙部と基質部のボクセルからなる二値化画像を作成した。二値化画像に対して, 空隙部のボクセルが面で接する場合には一つのまとまった空隙であるとし, 空隙毎にラベリング処理を行った。また, 各岩石に対してMICP(Mercury Injection Capillary Pressure)試験を行い, 空隙径分布を調べるとともに, X線CTの解像度未満の大きさの空隙の割合を調べた。

3. 試験結果

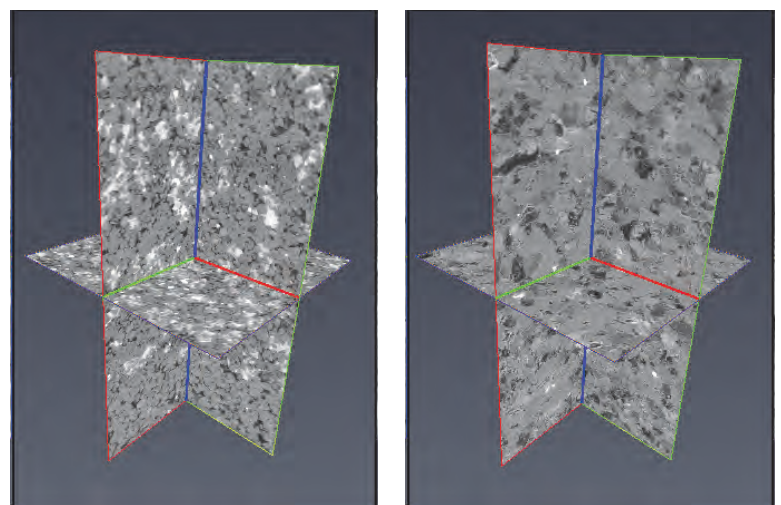
ラベリング処理した空隙の三次元描画を図-2に, MICP試験の結果を図-3に示す。CT画像から計算された空隙率は, ベレア砂岩で0.16, 多胡砂岩で0.04であった(表-1)。また, MICPにおける $4\mu\text{m}$ 以上の空隙率は, ベレア砂岩で0.13, 多胡砂岩で0.05となった。CT画像から計算した空隙率(解像度 $4\mu\text{m}$)とMICPにおける $4\mu\text{m}$ 以上の空隙率は同程度であり, 画像解析で与えた空隙判別の二値化閾値は妥当と言える。また, MICPによる空隙率は, ベレア砂岩で0.18, 多胡砂岩で0.27と, それぞれ $\phi 50\text{mm}$ コアで測定した値に近い結果である。図-2に示す三次元画像での空隙部の色は, 近傍の空隙同士で同じ色にならないように処理されている。ベレア砂岩の空隙は全体的にほぼ赤色, 多胡砂岩の空隙は全体に様々な色に分かれて分布する結果が得られた。画



(a) ベレア砂岩

(b) 多胡砂岩

写真-1 試験供試体 (直径約 7mm)



(a) ベレア砂岩

(b) 多胡砂岩

図-1 X線CT画像 (1024×1024×1592)

キーワード X線CT, ベレア砂岩, 多胡砂岩, 空隙構造, 透水性

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設(株) 技術センター TEL045-814-7217

像解析による空隙体積の最大値は、ベレア砂岩で約 17mm^3 、多胡砂岩で 0.1mm^3 であった。

4. 考察

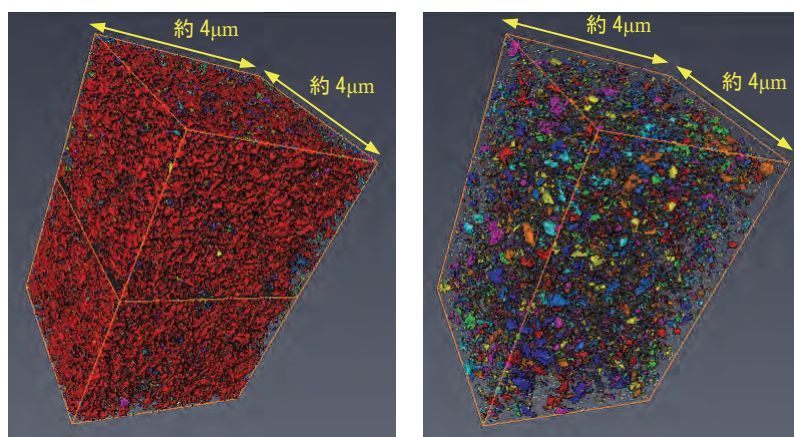
ベレア砂岩では、図-2 の三次元の空隙画像において広く分布する赤色の空隙の体積は、CT で識別した空隙の全体体積の 98%とほとんどを占めている。また、図-3 および表-1 より、X 線 CT で識別された空隙体積は、全空隙の約 72%程度 ($=0.13/0.18$) である。したがって、ベレア砂岩では、本検討での 1 ボクセルの大きさ (1 辺 $4\mu\text{m}$) より大きいサイズの空隙が全体的に連結した系を形成していることが分かる。

多胡砂岩では、図-2 の三次元の空隙画像において様々な色の空隙が全体に分布している。図-3 および表-1 より、X 線 CT で識別された空隙は、全空隙の約 19%程度 ($=0.05/0.27$) である。以上より、多胡砂岩では、 $4\mu\text{m}$ より大きいサイズの空隙の連結性は乏しいことが分かる。ただし、それより小さい空隙を介した連結の可能性はある。

別途、直径 50mm のコアで実施した透水試験では、ベレア砂岩で $1.8 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ 、多胡砂岩で $2.0 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ の透水係数が得られた。すなわち、ベレア砂岩では $4\mu\text{m}$ 以上の大きい空隙が互いに連続して全体の空隙を構成するため透水係数が高い値を示し、多胡砂岩では $4\mu\text{m}$ 以上の大きい空隙だけでは連続性が乏しく、今回の CT 画像で識別できないような小さい空隙を介して全体の空隙を構成するため、ベレア砂岩よりも透水係数が 1 オーダー程度低い値を示したことが考えられる。

5. まとめ

X 線 CT を用いたベレア砂岩と多胡砂岩の空隙の三次元描画と画像解析により、ベレア砂岩は $4\mu\text{m}$ よりも大きい空隙の連続性が認められ、全空隙の大部分を占めていることがわかった。多胡砂岩では $4\mu\text{m}$ より大きい空隙の連続性は乏しいことが分かり、それより小さい空隙を介して全体の空隙が形成されていることが推察される。上記の特徴は、別途実施した透水試験で、多胡砂岩の透水係数の方がベレア砂岩よりも 1 オーダー程度小さい結果と整合する。今後は、空隙構造を直接モデル化した流体シミュレーションの結果と比較し、室内試験結果の原因とメカニズムを評価する上での有用性をさらに検討していく予定である。なお、本研究の一部は (独) 日本学術振興会の科学研究費助成事業 (課題番号 17H01291) による助成を受けたものである。



(a) ベレア砂岩

(b) 多胡砂岩

図-2 X 線 CT で抽出した空隙の三次元画像

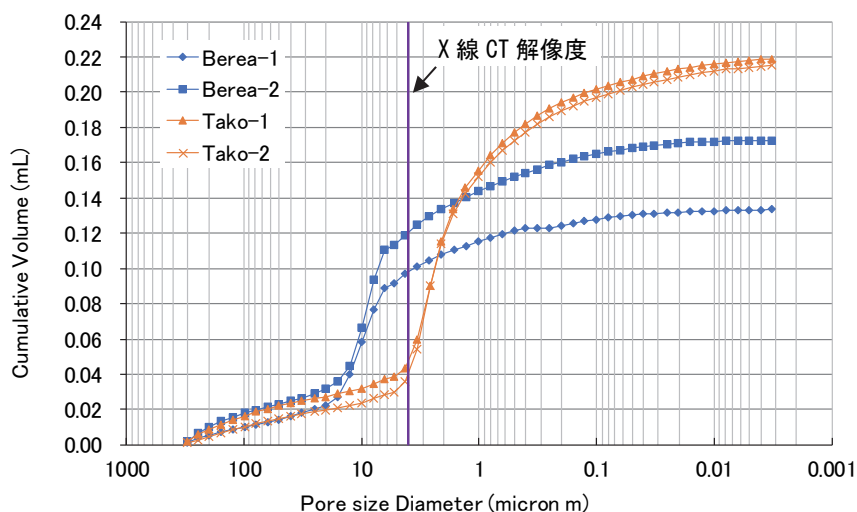


図-3 MICP 試験結果

表-1 各測定方法での空隙率

	ベレア砂岩	多胡砂岩
CT 画像	0.16	0.04
MICP ($4\mu\text{m}$ 以上)	0.13	0.05
MICP	0.18	0.27
$\phi 50\text{mm}$ コア	0.18	0.25