多孔質媒体の3次元空隙幾何情報の抽出と ベレア砂岩の静水圧依存性への適用

高橋 学*・加藤昌治**・漆松雪彦***・朴 赫*

要 旨

ベレア砂岩の流体移動に関連した空隙構造を定量化するため、LINDQUIST *et al.* (2000)による3DMA手法を取り入れた。その結果、マイクロフォーカスX線CTから得られた、応力状態が異なる空隙の3次元情報を取得することができた。直径600 μm のガラスビーズを用いたCTボリュームデータおよび3DMA解析を用いたポアとスロートの幾何学情報(ポアサイズ, スロートサイズ, チャンネル長さ, 配位数等)に関するデータの検証結果を紹介する。また、ベレア砂岩の大気圧, 25MPa静水圧条件下におけるこれら幾何学情報の定量的な差異について報告する。

Key words : 空隙幾何 pore geometry, 3次元空間情報 3 dimensional spatial information, ポアとスロート pore and throat, マイクロフォーカスX線CT micro focus X ray CT

1. はじめに

岩石の空隙構造は、岩石の強度や変形特性、物性から水理的な定数まで幅広く影響している。例えば、岩石中の空隙を3次元的な形状で近似することで、強度特性や弾性波速度などの物性値を定量的に説明することができる。この場合、空隙の形状をアスペクト比で代表させ、このアスペクト比と量比(クラック密度などの定義)で説明することが多い。アスペクト比が“1”に近づくほど円形や球形になり、“0”に近づくほど扁平なクラック状の形状を示すことになる。しかし、これらのモデルはあくまでも岩石中の空隙を3次元回転楕円体として扱っており、個々の具体的な空隙形状分布や幾何学的位置関係に関しては何の情報も持ち得ない。

実際の情報から空隙構造を定量化するためには、岩石の内部空隙構造の観察が必要である。これまで種々の観察手法や計測手法が実用化されてきた。その一つに、水銀圧入

式ポロシメータを使った計測手法がある。水銀圧入式ポロシメータを用いることにより、空隙のサイズ分布や空隙率を評価することができる。同測定手法は、ASTM (American Society for Testing and Materials)¹⁾によりその詳細が基準化されており、国内においては土質および岩石への適用^{2)~5)}が行われている。さらに、水銀圧入式ポロシメータで得られる細孔分布や計測の過程で得られる密度(bulk, skeletal)のデータを用いて、細孔容積と圧入圧力との関係からフラクタル次元が定義される⁶⁾。また、高い圧力で微細孔まで測定するため、圧縮率や屈曲度が求められる。さらに、浸透率や導電率を求める手法も提案されている^{7), 8)}。細孔分布から等価管路モデルに基づいて透水係数を評価する試みも行われ、砂および砂とカオリンの混合土について透水係数の推定が行われている⁹⁾。岩石に対しては、水銀圧入式ポロシメータで得られる細孔分布から、透水係数を推定する各種評価モデルの検討を行った林ほか(1999)¹⁰⁾のレビューを挙げることができる。

以上のように、水銀圧入式ポロシメータのデータを用いることにより、空隙の寸法分布情報を適用した各種物性情報の評価が可能となっているが、やはり個々の空隙に関する空間的位置情報は得られていない。

近年では、X線CTを用いることにより、非接触・非破壊で空隙率を評価することも可能となった^{11)~15)}。この場合には、高分解能な3次元ボリュームデータを取得し、ま

*産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門地下環境機能研究グループ Institute for Geo-Resources and Environment, AIST(会員)。

**北海道大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Hokkaido University(会員)。

***産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門地下環境機能研究グループ Institute for Geo-Resources and Environment, AIST

た空隙とそれ以外の判別を客観的に行う(通常は閾値による判定)必要がある。しかしこれらCTを用いた手法でも、空隙のサイズに関する情報とバルク全体における空隙率の情報を提供するのみで、個々の空隙に関する位置関係や3次元幾何学的情報を引き出すことは容易ではない。

そこで今回、マイクロフォーカスX線CTを用いて岩石の空隙に関する3次元ボリュームデータを取得し、このデータから以下に述べるような空隙の詳細情報を評価する手法を導入した。その内容を紹介し、さらに、ガラスビーズを用いた検証法やベレア砂岩の静水圧による空隙構造変化に関する結果について報告する。

2. マイクロフォーカスX線CTによる3次元ボリュームデータの取得

今回使用したマイクロフォーカスX線CTに関しては、既に、高橋ほか(2004, 2007)^{16), 17)}・TAKAHASHI *et al.* (2007)¹⁸⁾で述べている装置と同一であり、詳細なスペックに関しては引用文献を参照していただきたい。実験には、直径20mm、高さ30mmの透明なアクリル容器に平均粒径600 μm のガラスビーズを自然落下状態にて充填したものを使用した。表-1に具体的な撮影条件を示した。

図-1(a)には、得られた3次元ボリュームデータから5.6 mm立方を切り出したものを示している。同図(b)は(a)のデータからガラスビーズのみを抽出した場合、そして(c)は空隙のみを抽出した場合を示している。これらの図から、平均粒径600 μm のガラスビーズのパッキングの様子を伺うことができる。整然とパッキングしている箇所もあれば、空隙が平均粒径よりも大きくなるような不揃いのパッキング、球形が保持されていないビーズの存在など詳細な情報

を知ることができる。

図-2には、空隙を抽出する際に用いた各画素が保持しているX線の吸収係数あるいは物質の密度に相当する値を示しており、通常“ヒストグラム”と呼ばれている。このヒストグラムを用いて空隙とガラスビーズを区分する処理(閾値処理)を実施することになる。

今回のように単一の物質で構成されている材料を撮影する場合には、ヒストグラムは図-2に示すように典型的なbimodal分布を示す。右側の密度が大きいものがガラスビーズに相当し、左側のピークは空隙に相当する。ヒストグラムの“谷”にあたる部分は、空隙とガラスビーズの双方を示していることになる。この“谷”の領域をどのように評価するかで、画像処理による空隙率の値は大きく異なってくる。最も単純な方法は、一定の値で両者を完全に区分する閾値処理である。しかしながら、この処理では、実際の値を過小評価したり過大評価する危険性が高い。そこで、

図-2 ガラスビーズのX線減衰係数分布
(Distribution of X-ray attenuation coefficient of glass bead)

表-1 CT撮影条件(Measuring condition of μ focus X-ray CT)

	X線管電圧	X線管電流	視野サイズ	スライス幅	View / Average	撮影枚数
A	100 kv	0.2 mA	5.2mm(マトリクス1024)	10 μm	1000view / 15average	211枚
B	100 kv	0.2 mA	13.0mm(マトリクス1024)	30 μm	1000view / 6average	281枚
C	100 kv	0.2 mA	21.0mm(マトリクス1024)	40 μm	1000view / 6average	501枚

図-1 ガラスビーズ(5.62 mm立方)の各種ボリュームデータ

(a)CTボリュームデータ, (b)ガラスビーズボリュームデータ, (c)ポアボリュームデータ

(Each volume data of glass bead (5.62 mm cube)(a)CT volume data (b)glass bead volume data (c)pore volume data)

“谷”領域の画像処理を行う場合には、各ボクセルについて、CT原画像上でガラスビーズなのか、それとも空隙なのかを周囲の状況から判定し分類することによって、より正確な状況を判定することができる。今回の画像処理では、この判定プログラムを用いて図-1(b)に示すガラスビーズと空隙の判定を行っている。その結果、空隙率は33%台を示している。

3. Medial Axis Analysisについて

本ソフトウェア(Ex Fact Analysis, 日本ビジュアルサイエンス)を用いることで、多くの欠陥や空隙を持つ試料のX線CT画像データに関して、その3次元構造や形態を解析・評価することができる。従来、このようなサンプルを、画像として撮像することはできたが、その評価・解釈は一般的ではなかった。処理の概要は以下に述べるとおりである。

図-3は多孔質媒体を粒子と空隙で近似し、その状態を模式的に示した図である。空隙部分のみに注目すると、粒子間距離が最小となる箇所(図中赤の破線で表示)と、そこよ

図-3 空隙中心軸の2次元概念図
(Two dimensional illustration of medial axis)

1: bum layer 1 2: bum layer 2 3: bum layer 3 4: bum layer 4

図-4 バーンアルゴリズムの概念
(Concept of the burn algorithm)

りも長い箇所が存在する(図中青の破線で表示)。この場合、粒子間の距離が最短となる所を「スロート(throat)」と定義し、スロートとスロートとにはさまれたスロートよりも距離がある部分を「ポア(pore)」と定義する。ポアは当然のことながら複数粒子に囲まれた領域を示し、スロートを介して他のポアと接続することになる。同図において、2次元ではあるが、ポアP1は4個の粒子に囲まれているので、この場合「配位数(coordination number)」は4となり、同様にポアP2は配位数3となる。

空隙中心軸(medial axis)とは、球であればその中心を通り、円柱であれば断面の中心を通る回転中心軸に相当する。一般的には不定形な3次元形状において空隙中心軸を決定するには、“burn algorithm”(LINDQUSIT *et al.* (1996))¹⁰⁾が採用されている。図-4は図-3の右上の一角を拡大表示し、“burn”アルゴリズムの概念を示したものである。同図においてグレイ領域は粒子を、それ以外は空隙領域を示している。この2次元平面上にてボクセル単位で表示し、粒子に接しているボクセルから“burn layer 1”として定義し、離れるごとに“burn layer 2”, “burn

図-5 ガラスビーズのバーンナンバー分布
(Distribution of the burn number in glass bead)

図-6 ガラスビーズの空隙中心軸状況
(Schematic view of medial axis for glass bead)

layer 3”と定義する．この操作を各粒子境界から実施し，“burn number”が高く、しかも同じナンバーのボクセルを“medial voxel”と定義することにより、空隙中心軸が得られることになる．最終的な空隙中心軸を決定するための種々のアルゴリズムに関しては、LINDQUSIT *et al.* (1996)¹⁰⁾に詳しく述べられている．ちなみに図-5は、このサイズにおける“burn number”の頻度分布がわかる．“burn number 3”～“burn number 5”のボクセルが卓越していることを示している．こうして得られた空隙中心軸とその寸法、粒子との関連を一例として図-6に示す．空隙の幅を示す空隙中心軸の“burn number”がレインボー表示され、3次元的な位置関係および幾何学的情報を示している．細線化は各空隙の中心を通るように線をつなぎ、細線化された中心線と、空隙の壁までの距離に応じてレインボー表示を行っている．暖色系が空隙の幅が狭いことを意味している．

このような基本的なデータを元に、空隙のネットワーク構造は可視化され、定量化されることになる．この表示によって、CTデータから得られた空隙に関するすべての情報が表示可能となる．

4. 平均粒径600 μm ガラスビーズの解析結果

上記した内容に従い、図-1で得られた平均粒径600 μm のガラスビーズを解析し、その結果を図-7に示す．同図(a)は空隙中心軸の3次元分布を、そして同図(b)は視覚的に把握しやすいようにガラスビーズそのものと重ね合わせたものである．ガラスビーズの充填に応じた空隙のサイズ、そして空隙中心軸の寸法などが、再現性の高い結果となっていることがわかる．ちなみに図-8には、これらの元になったポアおよびスロートのサイズ頻度分布が示されている．ポアの半径で100～130 μm に分布のピークが、そしてスロートでは60～85 μm に分布のピークが存在している．

当然ながらポアの数よりもスロートの数が多くなっている．ポアに隣接してスロートが存在することになるので、具体的には図-7および図-8(b)を見ることによって、視覚的に理解することができる．

図-9はポアの半径と配位数の関係を示している．半径が平均粒径の約半分程度の260 μm を超えるポアが存在し、

図-8 (a)ガラスビーズのポアサイズ分布 (b)ガラスビーズのスロートサイズ分布

((a)Distribution of effective pore radii for glass bead
(b)distribution of effective throat radii analyzed for glass bead)

図-7 ガラスビーズの空隙中心軸解析結果

(Analysis on medial axis for glass bead (a)medial axis transparent network computed for glass bead (b)some indication of glass bead and medial axis)

このとき配位数は最大値19に達している. 平均的には配位数は, 3~4 にピークが存在している.

ガラスビーズのような単純な空隙構造に移流による物質移動を考えた場合, 流体は図-7の空隙中心軸分布に示すように流れることは容易に想像できる. この場合, 一辺の両端間の距離に対する実際の流路の距離を「屈曲度(tortuosity)」として評価している. 図-10は, この屈曲度を図-1に示す3方向についてその分布を示したものである. 粒径がそろっているガラスビーズを用いていることから, いずれの方向においても屈曲度の値には差がなく, 1.45から1.7の範囲内に分布している.

図-9 配位数解析結果

(a)配位数とポア半径との相関 (b)配位数分布
(Analysis for coordination number (a)relation between effective pore radius and pore coordination number (b)distribution of coordination number)

図-10 X, Y, Z軸方向における屈曲度分布(Tortuosity distribution for X, Y, Z axis direction)

5. ガラスビーズにおける空隙率評価の検証

ガラスビーズのような球の規則的な集まりの幾何は, 土質力学の粒状体の力学で体系付けられている. 例えば, 球の規則的なパッキングの形態(図-11参照)とその空隙率は, 表-2のようにまとめられる(最上(1969)²⁰⁾. パッキングの形態による空隙率(空隙率)は, simpleパッキングの47.64%から細密パッキングと考えられるtetrahedralパッキングの25.95%の値を示している. 図-1のCT 3次元画像から, ガラスビーズの細密パッキングを形成している箇所も存在するが, ガラスビーズ同士が大きく離れている箇所も散見される. これは配位数とポアの半径との関係を示した図-10からも理解できることである.

したがって, CT画像から得られるガラスビーズのサイズと空隙率との関係(表-3参照)からもわかるように, 空隙率は粒径に関係することなく, 約34~37%の値を示す. 理想的かつ平均的な集まり方としては, tetragonal sphenoidal(30%)からcubical tetrahedral(39.5%)パッキング状態にあると考えられる. そこで, 600 μmの3次元画像から, 粒径に等しい600 μmピッチで断面画像の手前から

表-2 各種パッキング条件と幾何学データ(最上(1969)を参照)
(Each packing system and geometrical data (Refer to MOGAMI(1969)))

つまり方	接触点の数	層の間隔	密度	間隙比	間隙率(%)
simple cubic	6	$2R$	$(\pi/6)$ 0.5236	0.9098	47.64
cubical tetrahedral	8	$2R$	$(\pi/3\sqrt{3})$ 0.6046	0.6539	39.54
tetragonal sphenoidal	10	$\sqrt{3}R$	$(2\pi/9)$ 0.6981	0.4324	30.19
pyramidal	12	$\sqrt{2}R$	$(\pi/3\sqrt{2})$ 0.7405	0.3504	25.95
tetrahedral	12	$2\sqrt{2}/3R$	$(\pi/3\sqrt{2})$ 0.7405	0.3504	25.95

表-3 ガラスビーズの粒径とCTから得られた空隙率
(Glass bead size and porosity obtained with μ focus X-ray CT processing)

粒径	撮影条件	whole	grain	空隙率(%)
0.2mm	A	44.01	27.84	36.74
0.4mm	A	44.01	28.74	34.70
0.6mm	B	732.58	473.28	35.40
0.8mm	B	732.58	482.90	34.08
1mm	B	732.58	464.63	36.58
2mm	C	4847.82	3025.38	37.59
3mm	C	4782.49	2996.00	37.35
4mm	C	4685.43	2922.77	37.62

奥部への切り出しを行い、ビーズのパッキング状態を観察した(図-12)。

とくに、パッキング状態などの著しい変化とまでは言え

ない。局所的に空隙の大きな領域(寒色系)が存在するものの、画像全体にパッキング状態がほぼ一定であると考えられる。

図-11 粒状体パッキングの概念(最上(1969)を参照)(Illustration of several granular packings (Refer to MOGAMI(1969)))

6. ベレア砂岩の静水圧増加に伴う空隙率変化への適用

静水圧が作用する条件下での岩石の内部構造変化を把握するため、マイクロフォーカスX線CT用の圧力容器を開発し、ベレア砂岩の静水圧25MPa 载荷時のCT画像を取得した。25MPaの静水圧は、単純に深度1,000mレベルにおける地圧に相当し、この深度レベルにおける地質媒体の構造変化、とくに空隙構造変化を把握する際には有効な手法である。

図-13は大気圧下および静水圧25MPa 条件下における(a)(d)CT画像、(b)(e)空隙のみを抽出した画像、そして(c)(f)細線化処理を施した場合の画像である。

図-14にはスロートとポアの寸法分布、そしてポア半径と配位数との関係を示した。静水圧が負荷されることで、空隙に関する情報の詳細変化を把握することが可能

図-12 空隙中心軸の奥行き分布(600 μ mごとの変化)(Inner distributions in Medial axis)

となる。静水圧の増加は空隙の低下を引き起こすと認識されており、空隙構造の空間情報としてのデータをこれら一連の処理によって可視化することができたことになる。これらの結果は、75~90 μm の大きなポアが減少していること、配位数の減少すなわち空隙の連結性の可能性が減少しており、流体移動としてのルートがより選択的になることを示唆している。また、図-15には3方向の屈曲度の変化を示したが、いずれの方向においても静水圧の増加に伴い、屈曲度が増加していることがわかる。これは流体の通路としてのパスが静水圧の増加に伴い増加すること、すなわち、

透水係数が小さくなることに相当する。

なお、静水圧の増加に伴うベレア砂岩の体積収縮量を図-16に示しておく。25MPaの静水圧の増加で0.7%の体積収縮を示している。これは他の白浜砂岩や来待砂岩などの細屑性岩片を多く含む砂岩に比べ少ない収縮量であり、石英粒子90%以上の構成成分からも納得できる。

以上により、多孔質媒体における透水係数の静水圧依存性の具体的な原因が明らかになったものと思われる。さらに各方向に屈曲度の絶対値の違いが確認されているが、これは透水係数の異方性を示すものと考えられる。

図-13 大気圧下および25 MPa静水圧下におけるベレア砂岩の各種ボリュームデータ (a)大気圧下におけるCTボリュームデータ (b)大気圧下におけるポアボリュームデータ (c)大気圧下における空隙中心軸ネットワーク (d)25MPa下におけるCTボリュームデータ (e)25MPa下におけるポアボリュームデータ (f)25MPa下における空隙中心軸ネットワーク

(Each volume data computed for Berea sandstone under atmospheric and 25 MPa pressurization (a)CT volume data under atmosphere (b)pore volume data under atmosphere (c)medial axis network under atmosphere (d)CT volume data under 25 MPa pressurization (e)pore volume data under 25 MPa pressurization (f)medial axis network under 25 MPa pressurization)

図-14 大気圧及び静水圧25MPa下におけるBerea砂岩の解析結果 (a)スロート分布, (b)ポア分布, (c)ポア半径と配位数との関係 (Analysis for Berea sandstone under atmospheric and 25 MPa pressurization (a)distribution of effective throat radii (b)distribution of pore radii (c)relation between pore coordination number and effective pore radii)

図-15 ベレア砂岩のX, Y, Z軸方向の屈曲度分布
(Tortuosity distribution in X, Y, Z axial direction for Berea sandstone)

図-16 静水圧下における体積歪(収縮)
(Volumetric strain for Berea sandstone under increasing of hydrostatic pressure)

7. お わ り に

マイクロフォーカスX線CTデータから、空隙の幾何形状に関する詳細かつ空間的な解析データを取得する手法を採用し、ガラスビーズを用いた検証結果からその有効性を確認した。また、ベレア砂岩を用いて静水圧25MPaの载荷に伴う空隙率の減少をポアやスロート、配位数などの空間的・幾何学的な情報として取得することができた。今後、具体的な実施適用例を増やし、その有効性の確認を行う必要がある。

引用文献

- 1) American Society for Testing and Materials(1985) : Standard test method for determination of pore volume and pore volume distribution of soil and rock by mercury intrusion porosimetry, Designation D 4404-84, *Annual Book of ASTM Standards*, Vol.04.08, pp.860-867.
- 2) 内野健一・一ノ瀬政友(1984) : 挟炭層岩石の空隙構造に関する研究, 応用地質, Vol.25, pp.195-205.
- 3) 一ノ瀬政友・後藤研(1993) : 乾湿の履歴を与えた岩石の空隙の容積・分布の変化, 応用地質, Vol.34, pp.163-168.
- 4) 池永均・山口晴幸(1992) : 土の間隙径分布の測定, 土質工学会新しい物理試験方法に関するシンポジウム発表論文集, pp.113-120.
- 5) 林為人・高橋学・杉田信隆(1995) : 稲田花崗岩の温度上昇に伴ったマイクロクラックの開口幅について, 応用地質, Vol. 36, pp.300-304.
- 6) ANGULO, R. F., ALVARADO, V. and GONZALEZ, H. (1992) : Fractal dimensions from mercury intrusion capillary tests, *SPE Latin America Petroleum Engineering Conference*, Caracas, pp.8-11.
- 7) KATS, A. J. and THOMPSON, A. H.(1986) : Quantitative prediction of permeability in porous rock, *Physical Review B*, Vol.34, pp.8179-8191.
- 8) KATS, A. J. and THOMPSON, A. H.(1987) : Prediction of Rock Electrical Conductivity from Mercury Injection Measurements, *Journal of Geophysical Research*, Vol.92, pp.599-607.
- 9) JUANG, C. H. and HOLTZ, R. D.(1986) : A Probabilistic permeability model and the pore size density function, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, Vol.10, pp.543-553.
- 10) 林為人・高橋学・西田薫・張銘(1999) : 透水挙動に関する等価管路モデルおよび堆積岩への適用例, 応用地質, Vol.39, No. 6, pp.533-539.
- 11) VAN GEET, M., LAGROU, D. and SWENNEN, R.(2003) : Porosity measurements of sedimentary rocks by means of microfocus X-ray computed tomography (μ CT), In *Application of X-ray Computed Tomography in the Geosciences* (ed., MEES, F., SWENNEN, R., VAN GEET, M. and JACOBS, P.), Geological Society, London, Special Publications, Vol.215, pp.51-60.
- 12) ANDERSON, S. H., WANG, H., PEYTON, R. L. and GANTZER, C. J.(2003) : Estimation of porosity and

- hydraulic conductivity from X-ray CT-measured solute breakthrough, In *Application of X-ray Computed Tomography in the Geosciences* (ed., MEES, F., SWENNEN, R., VAN GEET, M. and JACOBS, P.), Geological Society, London, Special Publications, Vol.215, pp.135-149.
- 13) KARACAN, C. O., GRADER, A. S. and HALIECK, P. M. (2003) : Evaluation of local porosity changes in limestone samples under triaxial stress field by using X-ray computed tomography, In *Application of X-ray Computed Tomography in the Geosciences* (ed., MEES, F., SWENNEN, R., VAN GEET, M. and JACOBS, P.), Geological Society, London, Special Publications, Vol.215, pp.177-189.
- 14) LINDQUIST, W. B., VENKATARAMAN, A., DUNSMUIR, J. and WONG, T.-F.(2000) : Pore and throat size distributions measured from synchrotron X-ray tomographic images of Fontainebleau sandstones, *Journal of Geophysical Research*, Vol.105, B9, pp.21509-21527.
- 15) KETCHAM, R. A. and ITURRINO, G. J.(2005) : Non-destructive high-resolution visualization and measurement of anisotropic effective porosity in complex lithologies using high-resolution X-ray computed tomography, *Journal of Hydrology*, Amsterdam, Vol.302, pp.92-106.
- 16) 高橋学・竹村貴人・加藤昌治(2004) : マイクロフォーカスX線CTを用いた拘束圧下における岩石の構造観察について, 応用地質, Vol. 45, No. 4, pp. 192-196.
- 17) 高橋学・藤野翔・竹村貴人・道口陽子(2007) : マイクロフォーカスX線CTを用いた拘束圧および間隙水圧変化による岩石の変形挙動観察について, 応用地質, Vol.48, No.5, pp.253-257.
- 18) TAKAHASHI, M., TAKEMURA, T., LIN, W. and URUSHIMATSU, Y.(2008) : Microscopic visualization of rocks by micro X-ray CT under confining and pore water pressures, *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, Vol.27, No. 12, pp.2455-2462.
- 19) LINDQUIST, W. B., LEE, S.-M., COKER, D. A., JONES, K., W. and SPANNE, P.(1996) : Medial axis analysis of void structure in three-dimensional tomographic images of porous media, *Journal of Geophysical Research*, Vol.101, B4, pp.8297-8310.
- 20) 最上武雄(1969) : 土質力学, 技報堂出版, pp.904-914.

(2009年6月15日受付, 2009年8月21日受理)

Jour. Japan Soc. Eng. Geol., Vol.50, No.5, pp.280-288, 2009

Quantification of 3 Dimensional Pore Geometry in Porous Rock and Application to Hydraulic Pressure Dependency of Berea Sandstone

Manabu TAKAHASHI, Masaji KATO, Yukihiro URUSHIMATSU and Hyuck PARK

Abstract

To quantify the flow-relevant geometrical properties of the pore structure in Berea sandstone, we used the 3DMA method of LINDQVIST *et al.* (2000) and verified three-dimensional data for different stress conditions obtained by micro focus X-ray CT. We showed the original CT data and an example of medial axis analysis for the packing of glass beads with 600 μm diameters, and confirmed visually the accuracy of the medial axis analysis. We verified the geometric information between pore and throat, such as distributions of pore size, throat size, channel length, and coordination number, by the 3DMA method. In addition, we presented the quantitative characterization of each distribution for intact Berea sandstone and Berea sandstone pressurized to 25 MPa.

Key words : pore geometry, 3 dimensional spatial information, pore and throat, micro focus X ray CT