

(Ⅲ-91)堆積軟岩(大谷石)における粘土鉱物の含有率と剛性との関連性について

宇都宮大学大学院 ○学生会員 松枝 真吾
宇 都 宮 大 学 正 会 員 清 木 隆 文

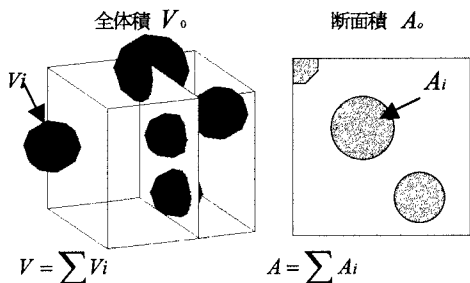
1. 研究目的

多孔質岩の変形、強度特性や透水性は、内部空隙の量、大きさ、形状や方向性などの幾何学的特性によって大きく影響を受けると考えられている。

栃木県大谷地区において産出される大谷石は、地質学分類上で言えば流紋岩質溶結凝灰岩にあたり、構造上の大きな特徴として、“みそ”と呼ばれる基質部分とは強度が異なる粘土鉱物を含む。この粘土鉱物の含有率を知ることが、大谷石の力学的挙動を推定する際に重要であると考えられる。そこで、大谷石の内部含有率を定量的に評価し、含有率と剛性との関連性を評価する。また、岩盤ブロック供試体の代表要素 REV の検討を実施した。さらに、X線CT装置により大谷石の断面を連続的に撮影し、コンピュータ上で再構築することにより、岩石内部の可視化を行い、三次元的な定量評価を実施し、Stereology法¹⁾から推定した含有率との検証を行う。

2. 研究方法

幾何学的確率論(定量形態学)を基礎とするStereology法は、対象となる粘土鉱物の幾何学的含有量を断面形状から推定する方法である。Stereology法により、大谷石の任意断面(試験平面)に現れる粘土鉱物の面積比 $\sum A_i/A_0$ を多数の断面について求めると、その期待値は単位体積中に含まれる粘土鉱物の体積比率 $\sum V_i/V_0$ に等しくなる(図-1)。つまり、(1)式のように試験平面にお



A_i : i 番目の切断面の内在物断面積の総和

V_i : i 番目の内在物の体積

図-1 stereology 法による含有率の測定

る粘土鉱物の面積率から岩石中の粘土鉱物の体積含有率 V_v を推定できる。

$$\frac{\sum A_i}{A_0} = \frac{\sum V_i}{V_0} = V_v \quad (1)$$

表-1 のような3種類の断面(試験平面)を準備し、デジタルカメラにより断面を一定条件で撮影する。円柱供試体は角柱供試体から、角柱供試体はブロック供試体からそれぞれ切り出した。岩石の内部含有率を実際に求めることは非常に労力を要するため不可能である。しかし、円柱供試体切断面を内部含有率として評価するには無理がある。そこで、含有率は供試体の高さによってある一定の周期で変化すると考え、フーリエ変換により含有率の頻度の切断間隔を調査した。この結果から、円柱供試体の切断間隔を2cmとし、この切断面の平均含有率を内部含有率とした。本研究では、切断面から粘土鉱物の断面含有量を画像処理により計測し、簡易で人為的誤差が少なくなるような過程を施し、体積含有率の算定を行った。

3. 実験結果

堆積方向に垂直な面におけるそれぞれの供試体表面積含有率を画像から測定した。図-2は角柱供試体切断面から測定した含有率(表面含有率)と円柱供試体切断面から算定された含有率(内部含有率)との比較を示す。図中の●、▲、■、は円柱供試体の平均含有率を示す。平均値を見れば表面含有率に近いことが認められ、供試体の表面または断面から推定した内部含有率と円柱供試体切断面から求められる内部含有率とを同程度に評価できる。図-4に、試験平面の面積と測定した含有率の関係を示す。試験平面面積を変化させると、含有率はある一定の含有率に収束する。以上の結果から、試験平面の領

表-1 供試体寸法と試験平面面積

	ブロック供試体	角柱供試体	円柱供試体
寸法 $W \times D \times H$ (cm)	30×30×30	12×22×12	$\phi=5$ $H=10$
試験平面面積 (cm^2)	900	264	19.6

キーワード：大谷石、Stereology、REV、X線CT

連絡先：栃木県宇都宮市陽東1-7-2 エネルギー環境科学 TEL(028)-689-6218 (Fax 共通)

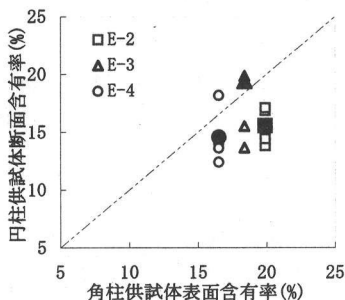


図-2 表面含有率と内部含有率の比較

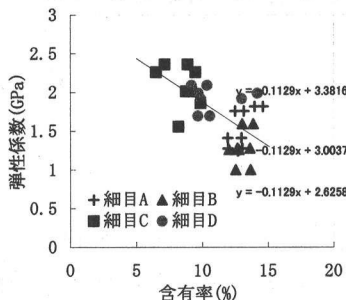


図-3 弾性係数の許容範囲

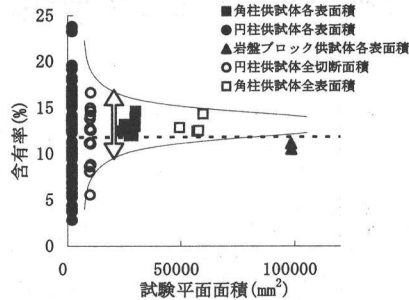


図-4 試験平面と含有率との収束関係

域を広くとり含有率の測定を行えば、より精度の高い含有率の推定が可能となる。

円柱供試体を対象に一軸圧縮試験を実施し、剛性と含有率との比較を行った(図-2)。弾性係数は大きくばらつくが、含有率が増加するにつれ、弾性係数が減少する傾向にある。

採取した試料の周囲の強度特性を知るためには、その供試体の代表要素への適用性を検討することが重要である。本実験では円柱供試体断面積がブロック供試体あたりの代表し得る大きさの要素を求めた。図-3において、近似曲線に標準偏差を加え(図中点線部)、弾性係数をある一定値とすると、表面含有率は最小で6%の許容値において評価することができる。図-4より含有率の誤差±6%の許容値をとったときの試験平面とすべき面積は約2,500mm²となる。このことから円柱供試体約1.3本(面積2,500mm²)のボーリングコアを抜くことにより、周囲30cm角の岩盤ブロックにおける弾性係数を最大1.2GPaを偏差の許容値とする範囲で求められる。

4. X線CT装置を用いた岩石内部構造の可視化

今回の表面情報から内部含有率を推定する手法では、粘土鉱物の3次元的な分析を評価することはできない。そこで、X線CT装置により断面画像を連続的に撮影し、コンピューター上で再構築することにより、岩内部の可視化を行い、3次元的な定量評価を実施する。

大谷石を基質、粘土鉱物、空隙から形成されと考え、それぞれにおいて閾値を決定し、3次元可視化を試みた(図-5)。供試体にX線を1mm間隔で照射し、それぞれの断面でCT画像から含有率を測定し、粘土鉱物の体積率を測定した(図-6)。断面写真(2断面)から求めた含有率は平均値で見ると2%の絶対誤差があるが、この範囲内において表面含有率から内部含有率を推定できる。

5. まとめ

(1) Stereology法を用いて表面含有率から内部含有率の推

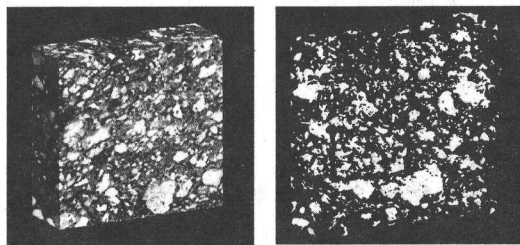


図-5 CT画像の3次元構成と粘土鉱物の抽出

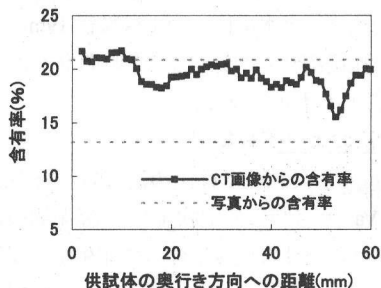


	写真	CT画像
平均含有率(%)	17.021	19.443
標準偏差		1.279

図-6 CT画像からの含有率と写真画像からの含有率の測定比較

定が可能となる。

- (2) 円柱供試体から推定された内部含有率と内部切断による含有率とを同程度で評価できる。
- (3) 弾性係数と含有率との関係から、粘土鉱物の断面含有率が増加するにつれ弾性係数が減少する傾向にある。
- (4) 円柱供試体約1.3本のボーリングコアを抜けば、周囲30cm角の岩盤ブロックにおける弾性係数を最大1.2GPaを偏差とする許容値とする範囲で求められる。
- (5) X線CT装置により、供試体の非破壊による内部構造を可視化し、定量的な評価ができる。X線CT画像の計測により、Stereology法による含有率の算定は、平均で2%程度の誤差で含有率を推定できる。

参考文献

- 1) 諏訪紀夫：定量形態学，岩波書店，pp1-295，1977。