Stereology 法による多孔質岩(大谷石)の内部含有率の推定について

## 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 く影響を受けることが知られている.

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把握 することは,大谷石の力学的挙動を推定する際に重要で あると考える.しかし,岩石の内部構造を把握すること は非常に困難なため,確率理論に基づくStereology法<sup>1)</sup> を用いて大谷石の断面から含有率を定量的に評価する方 法を用いる.さらに,この手法の検証を行うため,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 ユーター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する.

#### 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  $\sum Ai/A_0$ 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 $\sum Vi/V_0$ に等 しくなる(図-1). つまり、(1)式のように試験平面におけ 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.



- 図-1 stereology 法による含有率の測定

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

$$\frac{\sum A_i}{A_0} = \frac{\sum V_i}{V_0} = V_v \tag{1}$$

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 ことは現実的ではない.さらに,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,円柱 供試体を2cm間隔で切断し,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.また,円柱供試体を対象とする一軸圧縮試験を実 施し,含有率と剛性との関連性を求めた.

# 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断面含 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. 図-3 は剛性と含有率との関係を示す. 弾性係数は少しばらつくが,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

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×D×H (cm)	$30 \times 30 \times 30$	$12 \times 22 \times 12$	φ=5 H=10
試験平面面積 (cm <sup>2</sup> )	900	264	19.6



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 2,500mm<sup>2</sup>となる.このことから円柱供試体約1.3本(面 積 2,500mm<sup>2</sup>)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

本実験で用いた Stereology 法の検証を行うため, X線 CT 装置を用いて岩内部の可視化を行い,粘土鉱物の3 次元的な定量評価を試みる.

大谷石を基質,粘土鉱物,空隙の3要素から構成され ていると考え,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).一般的に,大谷石の空隙率は約 10~20%と非常に大きいが,含まれる粘土鉱物の一つ一 つの大きさから,粘土鉱物の強度に与える影響のほうが 大きいと考えられるため,粘土鉱物のみを抽出するよう に閾値を設定した.1mm間隔で供試体にX線を照射し, それぞれの断面で撮影したX線CT画像から含有率を測 定した.さらに,その断面写真を重ね合わせることで, 供試体における真の含有率の測定を行った.図-6より大 谷石の断面写真(2断面)から求めた内部含有率は平均値 で見るとX線CT装置から求めた真の含有率と2%の絶 対誤差がある.しかし,Stereology法より,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と言え る.

# 5. まとめ

Stereology法を用いて岩石の表面画像から内部含有率の推定を行い含有率と剛性との関連性を示した.また,



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

この手法の検証を行うため、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、真の含有率を求める ことでこの手法の有用性を確認した.

今後の課題として、材料定数が未知な大谷石に統計的 な処理を施すことである程度の幅を持った弾性係数を求 め、栃木県宇都宮市大谷地区に存在する巨大地下空間の 安定度評価に対し貢献を目指す.

## 参考文献

1) 諏訪紀夫:定量形態学, 岩波書店, pp1-295, 1977.