

宇都宮大学 学生会員 ○海老原 和

宇都宮大学 正会員 清木 隆文

1. はじめに

土木工学および地盤工学における役割には、生活基盤の整備と環境保全に対する貢献がある。近年では、高レベル放射性核種の処理問題への対策として地層処分が計画されていることなどから、より一層地下空間を有効利用する需要が高まると予想され、堅固な岩盤の構造解明は重要な課題であると考えられる。従来、岩石の工学的性質の判定はハンマーの打撃感覚や音の判断、あるいは感覚的な色彩などの要素をもとに技術者が経験をもとに行ってきた。また、一軸圧縮試験などの室内試験を基準とする方法もあるが、大規模な岩盤の評価には莫大な時間とコストを要する。そこで既往の研究¹⁾では花崗岩のデジタル画像のピクセルを用いて有限要素メッシュへのマッピングを自動化し、有限要素法解析による一軸圧縮試験のシミュレーションを行ってきた。本研究は、その際の画像サイズをボックスカウンティング法によるフラクタル次元解析により決定し、粒界クラックを考慮した幾何構造を再現し、解析精度の向上を図る。

2. 画像サイズの決定

2.1 フラクタルの概念と解析方法

フラクタルとは Mandelbrot(1983)によって提案された概念であり、部分と全体との関わりで扱うことのできる図形、構造、現象、分布を指す言葉である。このフラクタルの特徴は次の2点で表される。

①あらゆる点で微分不可能であること

②自己相似性を有する

自己相似性とは自分自身を縮小した形状が自分自身を構成する形状の一部になるような入れ子構造をしていることである。フラクタルの定量的な性質はフラクタル次元で表す事ができ、フラクタル次元は形状の細部を表現する場合や空間的な偏りを表現するときに必要な指標であり、(1)、(2)で表される。



図-1 フラクタルの例(Sierpinski の Gasket)

$$N(r) = r^D \quad (1)$$

$$D = \frac{\text{Ln}N(r)}{\text{Ln}r} \quad (2)$$

r :対象となる図形を縮小した図形の縮尺の逆数

N :縮小した図形で元の図形を被覆するために最低限必要な個数

D :フラクタル次元

このフラクタル次元解析法には複数の方法があるが、本研究ではボックスカウンティング法を用いて解析を行った。ボックスカウンティング法とは一辺の長さ L の画像を一辺の長さ d のピクセルで小領域に分割し、対象とする図形、ここでは鉱物のピクセルを含む小領域の個数 N を数えることによって求める方法である。よって(2)式は以下のように修正される。

$$D = \frac{\text{Ln}N(r)}{\text{Ln}\left(\frac{L}{d}\right)} \quad \because \quad r = \frac{L}{d} \quad (3)$$

本研究は、(3)式を用いてフラクタル次元を求めるのではなく、対象とする画像に自己相似性が成立しているならば、(3)式の分子と分母の変化の関係が直線的になるという性質に着目し、画像サイズ L のみに変化を与え、自己相似性が成立しなくなる画像のサイズを見つけてることにより画像サイズの決定を行う。

2.2 画像解析方法

まず、稲田花崗岩のデジタル画像をスキャナで取り込みグレースケールに変換する。変換したら CYBERNET 社の MATLAB によりボックスカウンティング法のプログラムを作成し解析を行う。このプログラムは画像の中の対象となる領域 $L \times L$ を徐々に拡大していき、そのなかの各鉱物のピクセルを閾値により振り分け、カウントし、(2)式の分子と分母を求めるものである。

2.3 解析の結果

解析に用いた数枚の画像の代表例を図-2に示す。自己相似性の成立の判断はグラフが直線的になっているかどうかで判断するのであるが、目視でこれを判断することは困難であるので相関係数も用いて判断する。

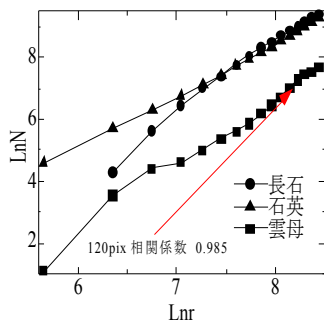


図-2 解析結果

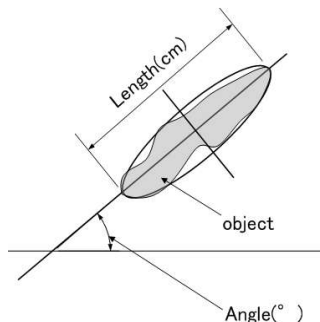


図-3 長さや方向の概念

この点について大野ら²⁾は相関係数が 0.995 以上のとき極めてよく成立するとしている。この結果、様々な画像において画像サイズが約 120 ピクセル前後で、自己相似性が成立することがわかった。

2.4 まとめ

既往の研究¹⁾では、有限要素法解析により要素数と弾性係数の関係から代表要素の大きさを 3.8cm 四方で抜き出すことが適当であると判断した。本研究ではピクセル寸法が 0.035cm/pix であるので代表要素の大きさは $120 \times 0.035 = 4.2(\text{cm})$ となった。このように、二種類の解析法で近い値になり、ボックスカウンティング法の有効性が確認された。

3. 粒界クラックを考慮した有限要素法解析

3.1 粒界クラックの抽出の手順

鏡面処理を施しできるだけ人工的な凹凸を無くした花崗岩供試体の表面をレーザー顕微鏡(OLYMPUS 製 OLS1100, 名古屋大学)を用いて走査し、表面の微細な凹凸をグレースケールの濃淡差で表した画像を取り込む。画像に Adobe 社 Photoshop を用いて、新たにレイヤーを設け、粒界クラックを線でなぞり明確にする。こうしてできた粒界クラックのみのレイヤーを用いて画像解析を行い情報を抽出する。

3.2 粒界クラックの長さや角度の測定

前節でクラックのみを抽出した画像をもとに Media Cybernetics 社 Image-Pro を用いて、長さや角度を測定した。長さや角度は図-3 のようにオブジェクト(粒界クラック)を相当楕円としたときのものである。解析結果を図-4, 図-5 に示す。

3.3 粒界クラックを考慮した有限要素モデルの作成

粒界クラックの方向分布において、75 度から 120 度の方向頻度が多く、その他の方向頻度が少ないという特徴が見られた(図-4)。そこで、75 度から 120 度方向の粒界クラックを 90 度方向の粒界クラックで代表させ、その他の方向の粒界クラックを 30 度と 150 度方向の粒

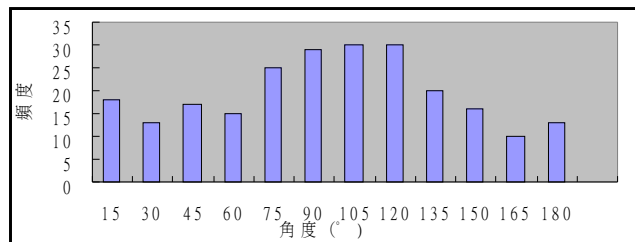


図-4 方向頻度分布

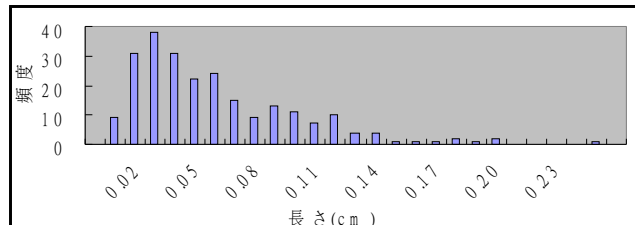


図-5 長さ頻度分布

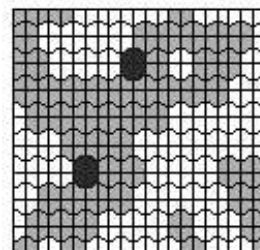


図-6 有限要素モデル

長石
石英
雲母

表-2 弾性係数の比較

弾性係数 (GPa)	クラック無し	クラック有り
	100.26	97.66

界クラックで代表させた。粒界クラックは、joint 要素で表現し、四角形要素を組み合わせた六角形鉱物群を作成し、鉱物群の材料は要素内に一番多く含まれる鉱物で占められるとし、図-6 のように有限要素モデルを作成した。

3.4 解析結果および考察

先に作成した有限要素メッシュについて、一軸圧縮試験を二次元平面ひずみ有限要素法による弾性解析で再現し、弾性係数を算出した。その結果、粒界クラックを考慮したモデル化を行うことによって、弾性係数が低下する傾向が見られた(表-2)。実際の花崗岩の弾性係数は約 90(GPa)¹⁾であることから、粒界クラックを考慮したモデル化は解析精度の観点から見て適切な処置であったと考えられる。

4. 今後の課題

粒界クラックの抽出は、手作業で行っているので人為的誤差が生じる。そこで、厳密な判定基準を設け自動化することが今後の課題である。

参考文献

- 1) 亀原大道, 画像解析による岩石の鉱物再組成と力学的性質に関する研究, 平成 12 年度宇都宮大学卒業論文, 2000.
- 2) 大野博之, 安田実, 丹澤純, 河川構成要素に見られるフラクタル特性の分析, 環境情報科学論文集, 26-1, p68-74, 1997.
- 3) 合原一幸, カオス時系列解析の基礎と応用, 産業図書 p121-132

