

ヘッセ行列を用いた画像解析に基づく 岩石の割れ目面積の評価

安 昶完^{1*}・長田 昌彦²・高橋 学³

¹埼玉大学大学院 理工学研究科環境システム系工学専攻
(〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255番地)

²埼玉大学 地圏科学研究センター (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255番地)

³(独)産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 (〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 中央第7)

*E-mail: s07me131@saitama-u.ac.jp

本論文では、岩石中に形成されている割れ目の形状や分布といった情報を抽出するために、ヘッセ行列に基づいた画像解析手法について検討した。まずモデル画像を作成し、この画像を用いて画像の平滑化方法について検討した。その結果、ガウス平滑化が最も精度の良い手法であることが分かり、ガウス平滑化を行った画像に対して実際にヘッセ行列に基づく線強調フィルタにより割れ目を抽出した。最後に、実際の岩石を撮影した画像を用いて、本手法の適用性について検討した。

Key Words : image processing technic, Gaussian distribution, Hessian matrix, fracture area

1. はじめに

岩石の変形特性、透水特性を考える上で、割れ目の分布や形状を理解することは重要である。これらの情報を抽出し、評価することが出来れば、岩石の変形特性、透水特性を理解する上で重要なものとなると考えられる。

これまでに割れ目の形状や分布を評価する方法については、地形・地質の分野で古くから行われている現地での手書きによるスケッチ、また朴ら¹⁾は、室内試験中に撮影した岩石の画像上において、手書きによる割れ目のマッピングを行い、岩石中に形成された割れ目の面積を算出している。手書きによるマッピングは、長時間を有する方法であり、また測定者によって誤差が生じてしまう可能性があるため、短時間でかつ精度の良い割れ目抽出方法が必要であると考えられる。このような方法が確立すれば、地形や地質あるいは岩盤工学の分野でなくとも様々な分野において活用できると考えられる。

また近年、画像処理技術の発達により、対象物を撮影した画像を用いた画像処理により岩石の割れ目やコンクリートのひび割れを抽出する方法が提案されている。楠田ら²⁾や喜多ら³⁾は、岩石中に蛍光染料を浸透させ、紫外線を照射させることにより割れ目を可視化する蛍光法と画像処理を合わせた手法を用いている。藤田ら⁴⁾は、Sato et al.⁵⁾の手法をもとに、画像上の線上構造を強調し、コンクリート中に形成されたひび割れの抽出を行っている。

本研究では、まず岩石中に一本の卓越した割れ目が形成されていると仮定したモデル画像を作成し、これらの画像に対して、画像の前処理として行う画像の平滑化手法について検討を行った。その後で、平滑化を行った画像に対して、線強調フィルタを用いて割れ目の抽出を行った。最後に、実際に割れ目を含んだ岩石画像を用いて、画像解析により割れ目面積を算出し、デジタルマッピングにより算出した割れ目面積の値と比較した。

2. 画像解析手法

(1) 画像解析の流れ

撮影されたデジタル画像から割れ目面積を算出するまでの流れを図-1に示す。まず、撮影された画像に対して、前処理として画像の平滑化を行う。次に、画像内にある線構造を抽出するために、ヘッセ行列に基づく線強調フィルタ法^{4),5),6)}を用いて、岩石画像の中から割れ目を抽出する。その結果に対して2値化処理を行い、割れ目と考えられる画素 (pixel) 数から割れ目の面積を算出する。

また、画像解析による割れ目面積算出方法の妥当性を検討するため、岩石中に任意の幅 (面積) を持った1本の割れ目が形成しているモデル画像を作成した。作成したモデル画像を図-2に示す。Sample01, 02, 03は、それぞれ1, 3, 5ピクセルの幅を持った仮想割れ目であり、またSample04, 05には、多様な幅を



図-1 割れ目面積算出までの流れ

持つ仮想割れ目を配置した。画像上で、黒色の線構造が仮想割れ目である。

(2) ヘッセ行列に基づく線強調フィルタ法

本研究では、ヘッセ行列を用いたフィルタ法により岩石の画像上から割れ目を抽出する方法を適用した。この方法は、医療現場で胸部CT画像から血管などの情報を抽出する際に活用されている^{5,6)}ものであり、また、前述した藤田ら⁴⁾は、ヘッセ行列を用いてコンクリートの表面を撮影したデジタル画像からひび割れの抽出を行っている。

以下にヘッセ行列の定義式を示す。

$$I_{xx} = (I(x+\alpha, y) - I(x, y)) - (I(x, y) - I(x-\alpha, y)) \quad (1a)$$

$$I_{yy} = (I(x, y+\alpha) - I(x, y)) - (I(x, y) - I(x, y-\alpha)) \quad (1b)$$

$$I_{xy} = (I(x+\alpha, y+\alpha) - I(x-\alpha, y+\alpha)) - (I(x+\alpha, y-\alpha) - I(x-\alpha, y-\alpha)) = I_{yx} \quad (1c)$$

$$\text{ヘッセ行列} \quad \begin{bmatrix} I_{xx} & I_{xy} \\ I_{yx} & I_{yy} \end{bmatrix} \quad (1d)$$

ここに $I(x, y)$ は、座標 (x, y) における輝度値を表しており、 α は任意の整数である。式(1d)のヘッセ行列の固有値問題を解くことで、線構造を抽出することができる。

3. 平滑化手法の検討

平滑化は、画像に含まれるノイズなどの不要な濃淡変動を軽減するために用いられる方法であり、これまでに様々な方法が提案されている。この中で、画像上のノイズを減らしながら、かつ割れ目の情報抽出に影響が少ない手法を選択するために、画像処理を行う上でよく用いられている平均化フィルタ、

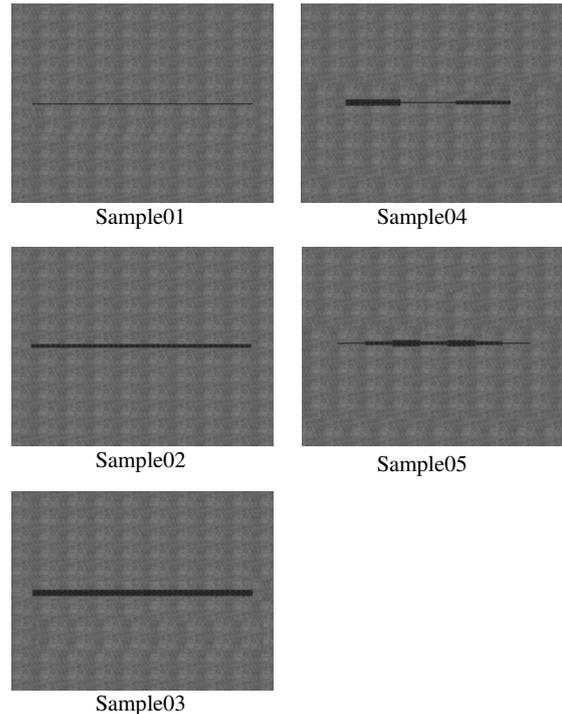


図-2 モデル画像

メディアンフィルタ、ガウスフィルタの比較検討を行った。一般に平均化フィルタは、他の方法に比べてノイズ除去の効果が大きく、メディアンフィルタは、入力画像のエッジへの影響が小さく、かつスパイクノイズを除去する効果大きい。またガウスフィルタでは、フィルタによるエッジへの影響や画像の鮮明さを、パラメータの設定により任意に選択することができる。式(2)に、ガウスフィルタの作成に用いたガウスの分布式を示す。

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

ガウスフィルタを用いる際、岩石の場合はスパイクノイズも多く、そのためノイズ部分が割れ目と判断されてしまうような場所が数多く存在する可能性がある。そこでノイズの影響を小さくするとともに、割れ目を抽出する際に影響を与えないようなパラメータの選択が必要である。

これら3つの方法による画像の平滑化の比較検討を行った結果を図-3に示す。ここで誤差は、抽出された割れ目領域のピクセル数と入力画像での割れ目領域のピクセル数の比率で表している。図-3からSample01のような1ピクセル程度の幅を持つ割れ目はどの方法においても抽出されにくく、同時にSample04, 05においても、幅の小さな割れ目を精度よく抽出することが出来ず、誤差が大きくなっていく。その理由として、平滑化はノイズを除去するために行う処理であり、1ピクセル程度の幅を持つ割れ目はノイズとして判断され、このような誤差が生じる。

それぞれの平滑化フィルタについては、平均化フィルタでは、入力画像をぼかしすぎてエッジに与える影響が強く、そのため誤差も大きくなる。メディアン平滑化では、3ピクセル以上の幅を持つ割れ目の場合は、誤差も小さく抽出することができるが、1ピクセルの幅を持つような割れ目の抽出はほとんどできなかった。ガウス平滑化では、Sample01以外の誤差はほとんどない結果となった。以上のことから、本研究では前処理としてガウス平滑化を用いることとした。

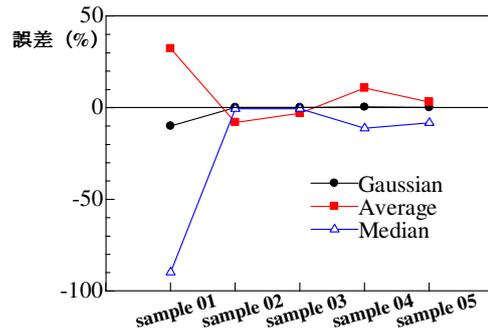
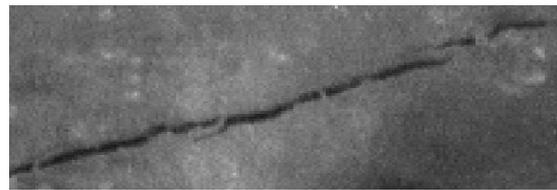


図-3 平滑化方法の比較検討結果

4. 割れ目領域の抽出

実際に撮影した岩石画像を用いて、本手法の適用性を検討した。適用した岩石は珪藻泥岩⁷⁾であり、また撮影された画像から割れ目を含む画像を切り出して(170×80ピクセル)割れ目の抽出を行った。

図-4に画像処理結果を示す。(a)は実際の岩石画像、(b)はその画像においてガウス平滑化を行った結果、(c)は平滑化した画像において線強調フィルタを用いた結果、(d)は線強調した画像において2値化処理したものである。画像上で右上から左下にかけて形成された割れ目が、(c)、(d)では白く表示されており、2値化処理した画像では、割れ目部分が鮮明になっている。(d)の画像から、白く表示されている部分のピクセル数が、452ピクセルであり、また比較のために行ったデジタルマッピング(図-5参照)により数えられた割れ目と考えられる部分のピクセル数は440ピクセルであった。これらの値は割れ目の面積を表している。1ピクセルの実面積は、 0.047mm^2 に相当するので、二つの方法での結果の差は 0.564mm^2 に相当することになる。対象になった画像の面積が 639.2mm^2 であるので、この誤差は小さいといえ、画像解析により割れ目を精度良く抽出できた。



(a) 元画像



(b) ガウス平滑化



(c) 線強調



(d) 2値化

図-4 画像解析による割れ目抽出

5. おわりに

本研究では、ヘッセ行列に基づく線強調フィルタ法を用いて、割れ目を含む岩石の画像から割れ目を抽出する手法について検討した。その結果、撮影された画像に対してガウス平滑化、線強調フィルタを用いた画像に対して2値化処理をすることにより、岩石中に形成された割れ目を抽出することが出来た。今回は鮮明な画像を選び割れ目の抽出を行ったが、今後は不均質な材料などサンプルを変えてその適用性を検討していく予定である。

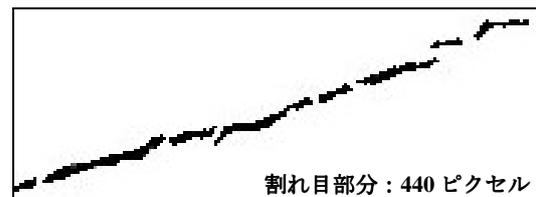


図-5 デジタルマッピングによる割れ目抽出

参考文献

- 1) 朴赫, 長田昌彦, 渡邊邦夫: 岩石のせん断-透水-可視化同時試験装置の開発とそのデータ解析法, 応用地質, 2008.(印刷中)
- 2) 楠田啓, 西山孝: 画像処理による微細な割れ目の抽出と評価一風化した花崗岩と一軸圧縮試験を行った安山岩における微細な割れ目の解析一, 応用地質, 第34巻6号, 1994.
- 3) 喜多治之, 伊藤俊秀, 前川良太, 陳友晴, 西山孝: 三軸圧縮試験により形成されたマイクロクラックの細分類と破壊の進展にともなう変化, 情報地質, 第14巻, 第3号, pp. 241-248, 2003.
- 4) 藤田悠介, 三谷芳弘, 浜本義彦: 画像処理によるコンクリート表面のひび割れ抽出法, 非破壊検査, 第56巻7号, pp. 371-377, 2007.
- 5) 倉光智也, 清水健治, 柴田裕士, 田中稔, 安原美文, 池添潤平, 佐藤嘉伸, 田村進一, 柳原宏: Gauss平滑化とHessian行列の固有値にもとづく腫瘍(結節)血管の識別, *Medical Imaging Technology*, Vol. 19, No.3, May 2001.
- 6) Y.Sato : Visualization and Quantification of Medical Volume Data Based on 3D Local Intensity Structures, *IEICE technical report*, Vol. 101, No.59, pp. 31-38, 2001.
- 7) 宮北啓, 前川晴義: 能登地方における珪藻質軟岩(珪藻土)の工学的性質, 土と基礎, Vol. 131, No.1, pp. 83-88, 1983.

EVALUATION OF THE FRACTURE AREA BY USING IMAGE ANALYSIS BASED ON HESSIAN MATRIX

Changwan AHN and Masahiko OSADA

In this study, an emphasis was placed to study the extraction of cracks information in rock specimens such as their distribution pattern and orientation by using the image analysis method, analytically based on Hessian matrix. First, the model image was built and smoothing was applied. It indicated that Gaussian smoothing method was more precise and best extracted the cracks when integrated with line emphasis filter based on Hessian matrix. The applicability of this technique is examined and validated by images taken on rock samples and field mapping digital photography