

岩石不連続面の開口幅分布計測のための X 線 CT 画像処理法の検討

山口大学大学院	学生会員	○吉田龍人
山口大学大学院	正会員	中島伸一郎
山口大学大学院	正会員	清水則一

1. はじめに

X 線 CT は、室内試験において岩石き裂をその場観察する¹⁾有効なツールであるが、CT 画像からき裂の詳細な形状や開口幅を、定量的かつ自動的に測定することは必ずしも容易ではない²⁾。本研究では、従来の二値化法やエッジ検出法の課題を踏まえたうえで、輝度の極小位置からき裂を自動抽出する方法を新たに試みた。

2. X 線 CT による花崗岩き裂の撮像と二値化法、エッジ検出法によるき裂の抽出

図-1 に示すような割裂による縦割れき裂を有する花崗岩試料(直径 15 mm×高さ 30 mm)を、マイクロフォーカス X 線 CT により撮像し¹⁾、その CT 画像からき裂壁面の形状と開口幅分布を測定する。CT 画像のサイズは水平断面が 1024 px×1024px で、空間分解能は水平方向、軸方向ともに 17 μm/px である。

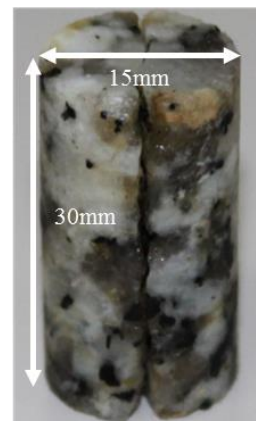


図-1 花崗岩試料

図-2 は試料上端面から 5.36mm の位置での水平断面 CT 画像である。CT 値を 256 階調のグレースケールで表示しており、密度が高く CT 値が大きい領域(鉱物)ほど明るく、密度が低く CT 値が小さい領域(空気や水)ほど暗く表示される。図-2 より、試料の直径方向に、やや右下がり黒いラインが横断していることが確認でき、これがき裂であることがわかる。

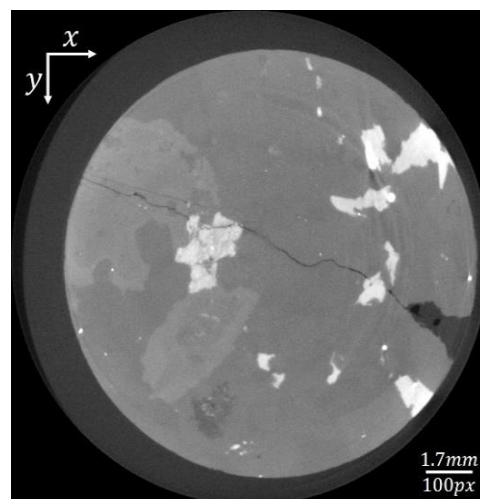


図-2 CT 画像 (1024² px)

これまで CT 画像からき裂を抽出する方法として、CT 値に閾値を設定して白(非き裂)と黒(き裂)の 2 階調に置き換える二値化法¹⁾や、画素間の輝度勾配を算出するエッジ検出法²⁾が利用されてきた。図-2 の CT 画像に対して二値化法とエッジ検出法を適用した結果を、それぞれ図-3 と図-4 に示す。二値化法では閾値設定が課題で、き裂抽出精度が低いこと、エッジ検出ではき裂位置を高精度に特定できるものの、ノイズ処理が課題で、き裂抽出効率が悪いという問題を抱えている。

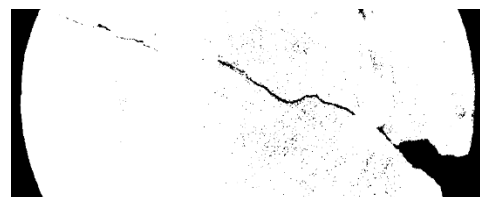


図-3 二値化された試料断面図
(閾値 110)

3. 明暗作法によるき裂抽出

(1) 明暗差法の概要

CT 画像のき裂において、y 方向の画素値の分布は必ず下に凸の形を描く。そこで画素値が極小となる点とその近傍の点を抽出することでき裂の抽出が可能になると考えた。このき裂抽出方法を以下では明暗差法と呼ぶ。明暗差法の手順は次のとおりである。

- ① CT 画像の任意座標 (x, y) の画素値を $P_{x,y}$ とする。
- ② 着目座標 (x, y) から $\pm y$ 方向に 3 画素を取り出し、式(1)の関係が満たされる場合には、着目座標 (x, y) が極小点であると判定する。

$$\begin{aligned} P_{x,y-2} + P_{x,y-1} &> P_{x,y} + P_{x,y+1} \\ P_{x,y+2} + P_{x,y+3} &> P_{x,y} + P_{x,y+1} \end{aligned} \quad (1)$$

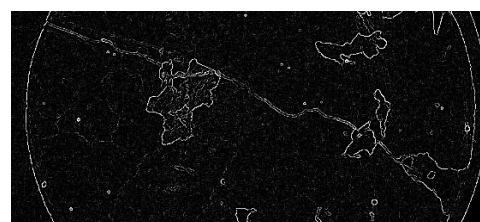


図-4 エッジ検出された試料断面図

キーワード 岩石, X 線 CT, 画像処理, き裂, 岩石不連続面, 三軸透水試験

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科 TEL(0836)-85-9334

この手順による処理を図-2のCT画像に対して行った結果を図-5に示す。図-5で赤く示された領域は、式(1)の処理によって抽出された、y方向における輝度の極小値を示す地点である。図-5より、明暗差法は二値化では抽出できない、開口幅の小さなき裂が抽出されていることが分かる。ここからき裂だけを抽出するために、画素の連結性を考慮した処理を行った。この処理とは、明らかにき裂である画素を開始地点とし、その画素に隣り合う8画素に含まれる赤色画素を「き裂画素」と自動判定していく、という操作を順次行うものである。ここで図-2の画像右側に存在するような開口幅の大きなき裂は、明暗差法では抽出できないため、二値化による抽出を行い、明暗差法の結果と組み合わせた。

(2) き裂抽出結果の比較

本研究で提案する明暗差法と二値化法の複合手法と、従来のエッジ検出法のそれぞれを用いて図-2からき裂を抽出し、き裂壁面の座標を計測したものを図-6および図-7に示す。図より提案手法による壁面座標抽出結果は、精度の高いエッジ検出法の結果とほぼ一致しており、図中の拡大図からも、相互の差は5px以下であることが分かる。図-8は壁面座標から求めたき裂開口幅である。図-8より、き裂開口幅の結果については、明暗差法のほうがエッジ検出法よりも、わずかながら小さく測定される（開口幅が狭く測定される）結果となった。

(3) 考察

本研究の手法は、二値化法単独では抽出が困難な、微細なき裂も抽出可能で、省力的にき裂の座標分布を取得できるという利点を持つ。一方、現段階では着目点から上下に2画素しか探索しないため、開口の大きなき裂に対しては、誤差が生じやすいという課題を持つ。今後は、明暗作法、二値化法、エッジ検出法の3手法を複合的に使用するき裂抽出手法を検討し、測定精度を向上させる予定である。

4. 結論

新たなき裂抽出手法である明暗差法により、X線CT画像を用いて岩石き裂の形状と開口幅の計測を行った。提案手法は、従来の二値化法単独では抽出が困難な微細なき裂の抽出が可能であり、エッジ検出法と同程度の精度でき裂の形状と幅を測定できることがわかった。

参考文献

- 1) 石川智優：μフォーカスX線CTを用いた三軸拘束圧下における岩盤不連続面形状の抽出と透水特性の実験的評価、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻修士論文、2016。
- 2) 中島伸一郎、石川智優、坂本隆、岸田潔：X線画像のエッジ検出による岩石亀裂開口幅の評価、第14回岩石の力学国内シンポジウム講演集、一般社団法人岩石の力学連合会、講演番号069、2017。

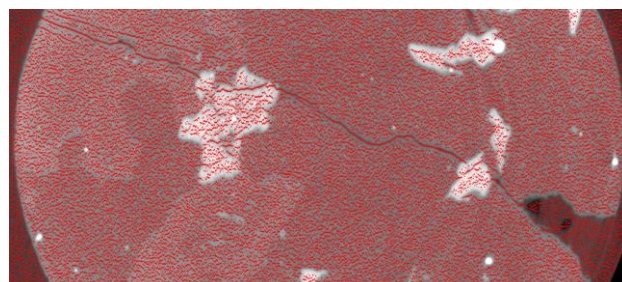


図-5 明暗差法による極小点の抽出結果

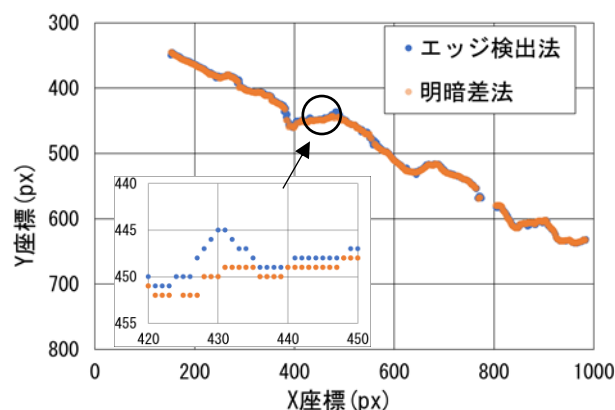


図-6 上部不連続面抽出結果

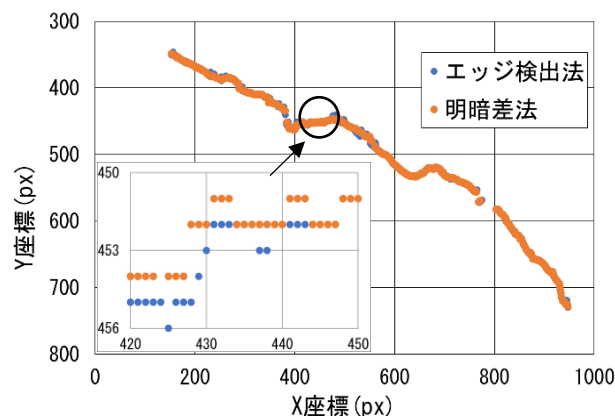


図-7 下部不連続面抽出結果

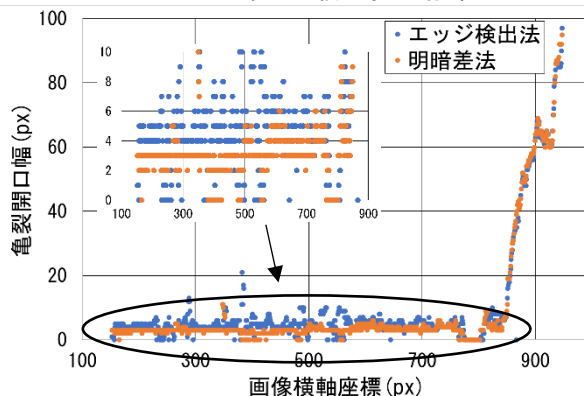


図-8 き裂開口幅分布測定結果