

X線 CT 画像処理による岩石不連続面のラフネス測定

山口大学大学院
山口大学大学院
山口大学大学院

学生会員
学生会員
正会員

○上野徳馬
吉田龍人
中島伸一郎

1. はじめに

岩盤不連続面の開口状況の変化は、放射性廃棄物地層処分や地熱発電の分野において重要な問題である。閉じた不連続面内の開口幅を室内で非破壊的に観察する方法として X 線 CT が用いられている¹⁾が、膨大な枚数の CT 画像から不連続面のラフネスを測定する有効な手段は確立されていない。本研究では X 線 CT 画像処理によるラフネス標高分布の測定方法を試みた。

2. X 線 CT による花崗岩断面の撮像

マイクロフォーカス X 線 CT 装置 (inspeXio SMX-225CT, 島津製作所製) を用いて、図-1 に示す縦割れき裂を有する花崗岩試料 (直径 15 mm×高さ 30 mm) の断面を撮像した。CT 画像の空間解像度は約 $16.95 \mu\text{m}/\text{px}$, スライス厚は約 $23 \mu\text{m}$ である。画像サイズは 1024^2px である。図-2 は供試体水平断面の CT 画像の一例である。供試体中央におおむね水平方向に見える黒い帯領域が不連続面に相当する。長さ 31 mm の供試体に対して CT 画像を 1654 枚取得した。

3. 画像処理

CT 画像から供試体不連続面のラフネスを測定するには、CT 画像から不連続面ピクセルを抽出する必要がある。本研究では供試体の不連続面ピクセルの座標を取得することで、ラフネスを測定した。

(1) エッジ検出 エッジ検出とは画素値の勾配が大きな部分を強調させる画像処理である²⁾。今回は Canny 法を用いた。図-2 から上部供試体部分を切り取った CT 画像 (図-3) に対しエッジ検出を行った (図-4)。これにより、供試体部分の輪郭が強調されていることが分かる。

(2) 二値化 供試体不連続面のピクセルをさらに強調させるために二値化を行った。二値化とは図-4 の画像のように画素値 0 (黒) ~ 255 (白) の 256 階調のグレースケール画像に対して、閾値を設けることで白と黒の 2 階調に置き換える処理である。図-4 の画像に対して二値化を行ったものを図-5 に示す。今回は、閾値を 254 とすることで画素値 1~254 のピクセルを 255 に変換させた。この処理により、白以外のピクセルが黒色に変換され、供試体の輪郭がさらに強調されていることが分かる。

(3) 不連続面ピクセル探索 これらの画像処理を行った 1654 枚すべての画像から OpenCV を用いて不連続面ピクセルの座標を求め、得られた座標を基に供試体全体のラフネスを求めた。以下に座標取得方法の手順を示す。

1. y 座標が最大の点から y 軸負方向に向かって黒ピクセルを探索し、最初に探索された黒ピクセルを不連続ピクセルとみなす。下部供試体画像に

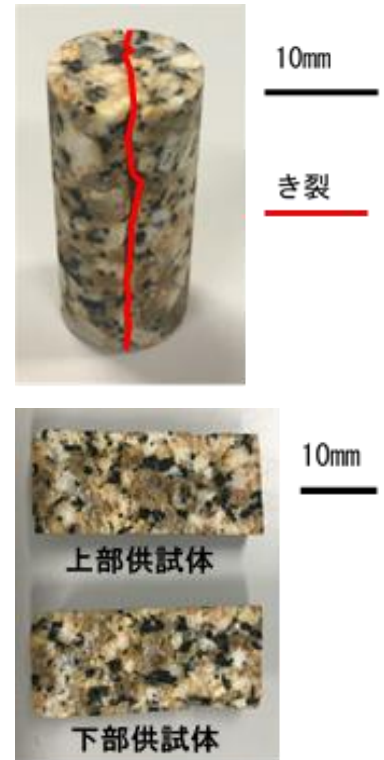


図-1 花崗岩供試体

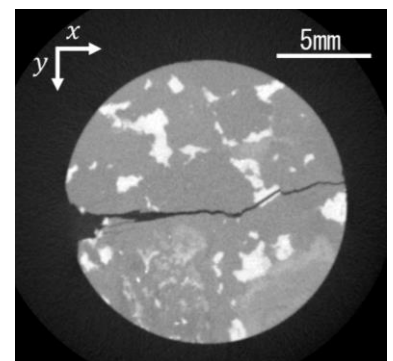


図-2 供試体断面の CT 画像

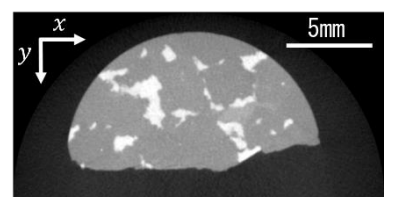


図-3 上部供試体断面の CT 画像

キーワード 岩石, X 線 CT, 画像処理, 岩石不連続面, ラフネス

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

対しては、 $y=0$ の点から y 軸正方向に向かって黒ピクセルを探索する。

2. 黒ピクセルが1つ探索できたら x 軸方向へ1進み、同じ処理を行う。
この時、探索した不連続ピクセルの y 座標を取得する。黒ピクセルが探索できない場合は、その x 座標上の y 座標を0とする。
3. これらの処理を画像の左端 ($x=0$) から右端 ($x=1024$) まで繰り返す。

(4)ノイズ除去 図-5 の不連続面部分を拡大すると (図-6)、不連続面ピクセルから独立した黒ピクセル (以下、ノイズと表記する) が確認できる。このため、上記に示した手順で不連続面ピクセルの探索を行うと、ノイズを不連続面ピクセルと見なしている箇所があることが分かった。そこで、このノイズを除去するため、ノイズを白色に変換する画像処理を行った。以下にノイズ除去の手順を示す。

1. 図-5 の画像から、全ての 3×3 px を抜き出し、その内、黒ピクセルの数が2以下で中心に黒ピクセルを有するものを探索する。
2. この条件を満たした 3×3 px のうち、中心の黒ピクセルを白に変換する。

4. 測定結果および考察

図-7 にノイズ除去後に求めたラフネス標高分布図を示す。分布図の画像サイズは、上部供試体が 1655×791 px, 下部供試体が 1655×755 px であり、1px あたり約 $23\mu\text{m}$ の正方形で構成されている。上部供試体の最高点は $1932\mu\text{m}$, 最低点は $0\mu\text{m}$, 下部供試体の最高点は $3390\mu\text{m}$, 最低点は $0\mu\text{m}$ であった。図-7 (b) において、最小値を $1695\mu\text{m}$ としているのは、標高の分布状況を視覚的に分かり易くするためである。なお、図-7 を見ると分かる通り、ラフネス内にごま塩ノイズが散在している。これらのノイズ箇所では周囲と比べて明らかに標高が異なることから、CT 画像からラフネスを探索する際の計測エラーと推測される。ラフネス全体のうちのエラー箇所の面積率を計算したところ、上部供試体で 0.30% , 下部供試体で 0.77% となった。全体の 1% 未満であるので、ラフネス計測精度としては大きな問題とはならないが、例えば、ラフネス計測結果から、不連続面を重ねた場合の開口幅分布を求めたり、接触点箇所を特定したりする場合には、影響が生じる可能性もある。この影響度については今後の検討課題である。また、エラーの発生原因のひとつとして、エッジ検出を水平断面のみで実施している点が挙げられる。今後は、2 次元的なエッジだけでなく、3 次元的なエッジ検出も実施して、精度の改良を検証する必要がある。

5. まとめ

- ・ CT 画像から、エッジ検出、ノイズ除去を経てラフネス標高分布を求める手法を考案した。
- ・ CT によるラフネス測定では 0.8% 未満の領域で計測エラーを生じた。エッジ検出を2次元で実施していることがエッジ検出ミスに繋がっている可能性があるため、今後は3次元のエッジ検出を検討する。

参考文献

- 1) 石川智優：μフォーカス X 線 CT を用いた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) Irwin Sobel : An Isotropic 3 3 Image Gradient Operator, pp.1-5, 2014.

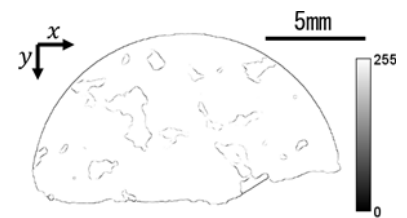


図-4 エッジ検出後の図-3



図-5 二値化後の図-4

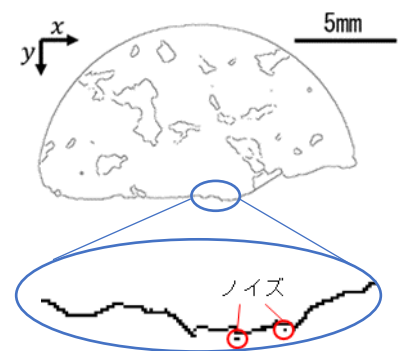
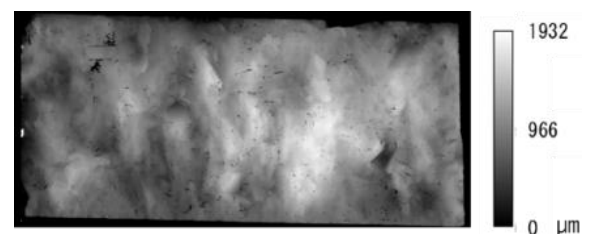
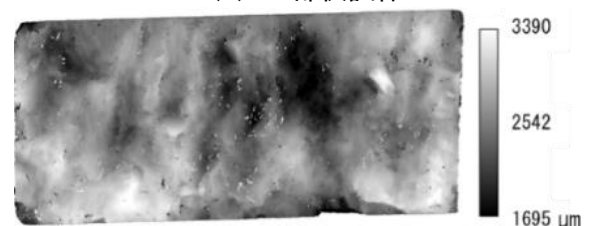


図-6 ノイズ部分の拡大図



(a) 上部供試体



(b) 下部供試体

図-7 ラフネス標高分布図