

花崗岩き裂内部の X 線 CT 値の経時的変化

山口大学大学院 学生会員 ○田川 千尋
 山口大学 (研究当時) 伊住 友里
 山口大学大学院 正会員 中島 伸一郎
 京都大学大学院 (研究当時) 宋 忱潞
 京都大学大学院 正会員 岸田 潔

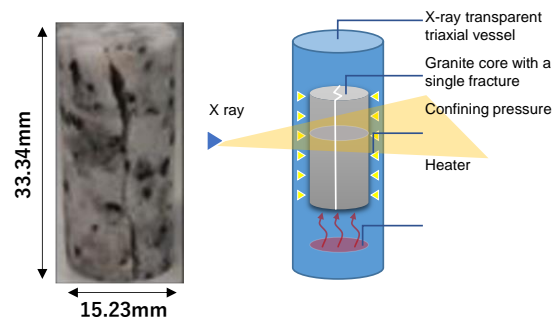
1. はじめに

放射性廃棄物の地層処分や地熱などの深地層の研究では、岩盤の応力・温度に大きく影響される岩盤き裂内の地下水流動や岩石鉱物の化学的溶解が重要な問題となっている¹⁾。Song ら²⁾は、岩石き裂の長期変形や透水性を調べるため、圧裂によって作成した単一き裂を有する花崗岩供試体を用いて、拘束圧と温度条件をパラメータとした長期透水試験を実施している。図-1(a)には解析に用いた花崗岩供試体と実験装置の模式図を示す。図-1(b)に示す様に、飽和状態の供試体に対して 20°C と 60°C の条件下で 3 MPa の拘束圧を 6 ヶ月以上維持し、所定のタイミングで X 線 CT 撮影を行っている。本研究では、Song ら²⁾の実験におけるき裂表面の化学的溶解を調べるために、撮影時期の異なる一連の CT 画像を用いてき裂内の CT 値を解析した。

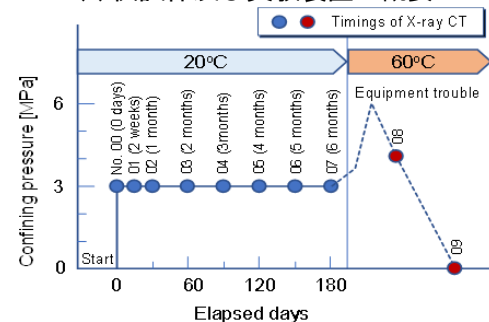
2. 多時期 CT 値画像の位置合わせと CT 値補正

図-1(b)に示す所定の撮影条件で撮影した、10 セットの CT 画像 (No.00~No.09) から、同一断面を収集した。異なる時期に撮影された CT 画像は、画面内の試料の位置や姿勢が異なることから位置合わせが必要である。まず、SIFT 法 (Scale Invariant Feature Transform) を用いて抽出した No.00 と対応する特徴点から、回転角度、並進移動量、スケール倍率を算出し、画像上で供試体の位置のずれを修正した。なお、拘束条件や温度条件の変化によりき裂そのものが変形している可能性があることから、き裂を境に半分の領域のみで位置合わせを行った。No.00 は拘束圧 3 MPa, 20°C 飽和状態の条件下で経過日数 0 日目の供試体である。

本研究では、供試体岩石部分の測線上 CT 値を用いて、基準となる No.00 の CT 値とその他ケースの CT 値の関係式により画像の CT 値補正を行った。補正に用



(a) 供試体及び実験装置の概要



(b) X 線 CT の撮影時期

図-1 Song ら²⁾の実験概要

いた CT 値は時間・圧力・温度による CT 値の変化がない岩石部分のみとした。例として、No.00 を基準とした No.01 との相関図と校正直線を示し、補正の手順を説明する。図-2 に示す断面画像内の黄色測線上の CT 値をグラフに示す (図-3)。横軸に No.01、縦軸に No.00 の CT 値をとり、線形近似曲線を求める。求められた一次式に No.01 の CT 値を代入することで No.00 を基準とした CT 値補正が完了する。同様にして、No.02~No.09 の CT 画像の補正を行った。

3. CT 値の結果と分析

図-4 に補正前と補正後の測線上 CT 値のグラフを示す。補正前 (図-4(a)) に比べて補正後 (図-4(b)) は、全てのケースにおいてグラフの形状が重なり合っていた補正值を用いて画像全体で CT 値補正を行った。補正後の画像全体の CT 値ヒストグラムを図-5 に示す。

キーワード 花崗岩, X 線 CT, SIFT, CT 値補正

連絡先 〒755-0039 山口県宇部市東梶返 3-9-4 ジュールミラン 202 TEL 090-7874-5757

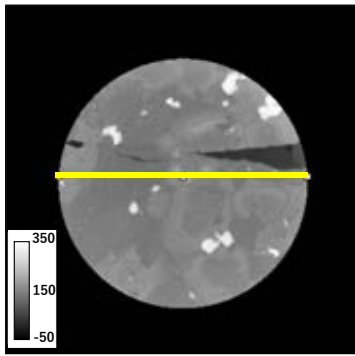


図-2 供試体断面画像上に示す測線

補正後の画像から、時間の経過に伴う供試体の CT 値変化を観察するため、供試体鉛直方向 Z 軸下端より Z (mm) = 3.97, 9.74, 24.0, 26.3 の 4 断面における、き裂内部の 20×20pixel の平均 CT 値をプロットしたグラフを図-6 に示す。き裂部分の CT 値はいずれの断面においても時間の経過に伴って増加傾向にあることが確認できる。CT 値の増加すなわち密度の上昇が生じた原因として、き裂に作用する接触圧力と温度によって岩石が溶け出し (圧力溶解), 化学物質の濃度が変化したことが考えられる。

4. まとめ

現段階の CT 値補正では、画像全体の CT 値ヒストグラム左右のずれが補正できたが、上下の分布のずれを補正できていないため多少の誤差が生じていると考える。今後、より精度の高い CT 補正方法を検討する必要がある。

き裂内部の CT 値は、時間の経過に伴って増加傾向にあることが確認された。き裂内部に岩石が溶け出したことによって CT 値が増加したと考えるが、これらは推測でしかない。CT 画像のみでの情報では、証明することは難しい。採水分析等によりき裂液体内の物質濃度を測るなどして、溶解の有無や変化を調査する必要がある。

参考文献

- 1) Lima, M.G., Vogler, D., Querci, L., Madonna, C., Hattendorf, B., Saar, M.O., Kong X.Z. :Thermally driven fracture aperture variation in naturally fractured granite, Geothermal Energy, 7 (23), 2019.
- 2) Song, C., Nakashima, S., Yasuhara, H, Iseki, K., Kishida, K.: Long-term permeability of a single fracture in a granite under thermal conditions and evaluation of the aperture distribution through microfocus X-ray CT, Proc of the 53rd US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium ARMA-2019-A393, 2019.

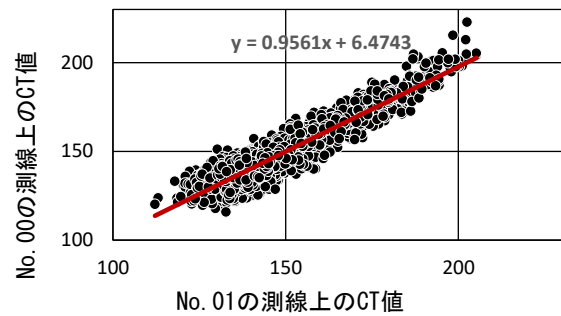
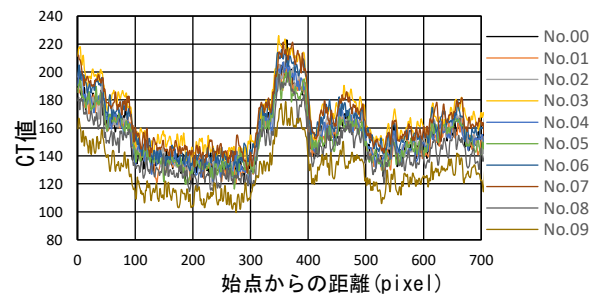
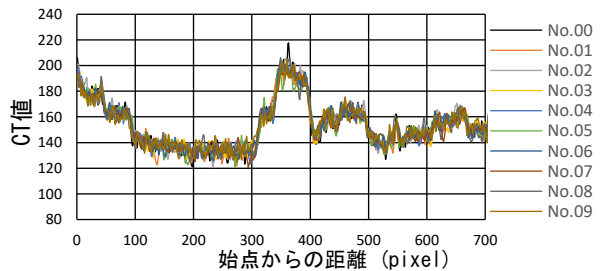


図-3 測線上 CT 値と線形近似曲線



(a) 補正前



(b) 補正後

図-4 補正前後での測線上の CT 値プロフィール

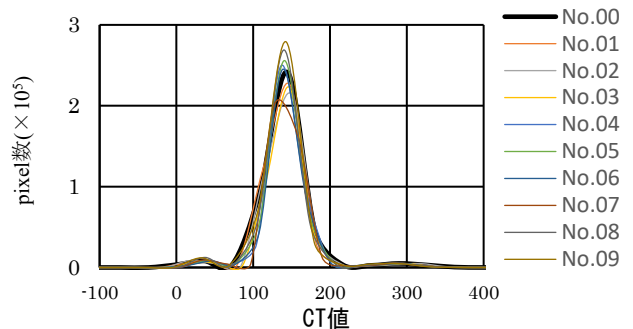


図-5 CT 値ヒストグラム (補正後)

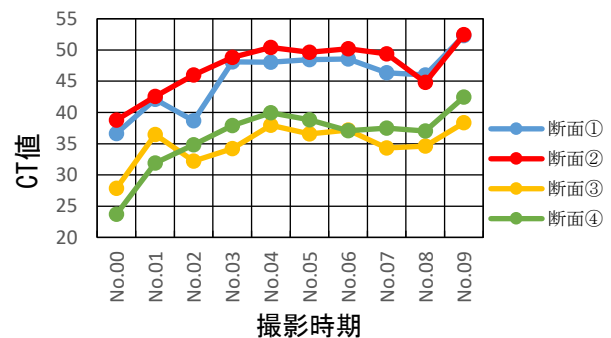


図-6 き裂内部の CT 値の経時的変化