

フォトCDを用いた岩石内クラックの画像処理に関する研究

西松建設 木村幸雄

徳山高専 ○工藤洋三

山口大学 佐野 修

1. はじめに 載荷に伴って発生したクラックがどのような経路を経て破壊に至るかという問題は、岩石の破壊機構を解明する上で重要である。岩石のようにさまざまな鉱物粒によって構成され、内部に多くの先在クラックを含む材料では応力下のクラックは複雑な経路をたどる。鏡下で行う従来のクラック解析は、多くの労力を必要とした。一方、コンピュータを用いた画像処理では、画像の品質が問題になるか、そうでなければ非常に高価なシステムの導入を必要とした。

近年、パーソナルコンピュータの処理速度が飛躍的に向上して高解像度の画像が高速で扱えるようになった。また写真情報を高解像度でデジタル化できる、フォトCDという媒体の登場によって、解析に十分な精度で画像処理が行えるようになった。

本研究では、ダブルトーション試験によって得られたクラックを含む岩石薄片の写真をフォトCDによって取り込み、載荷に伴って生じるクラックの解析を行った。

2. 実験方法 花崗岩には岩石内部の構造と関連した割りやすい面があり、これらの面は割りやすい順に、rift 面, grain 面, hardway 面と呼ばれており、互いにほぼ直交している。ここではこれらの面に直交する軸を、それぞれ、R 軸, G 軸, H 軸と定義し、クラックの伸張方向と開口方向を考慮して供試体を製作した。本研究では供試体をこの伸張方向と開口方向で定義する。たとえばGR供試体というのは、クラックの伸張方向がG軸に平行で、R軸に平行に開口するように製作されている。

供試体はダブルトーション試験（以下DT試験）によってクラックを発生させた。用意された供試体はすでにプレクラッキングが行っており、載荷後の供試体に赤で着色したシアノアクリレート系接着剤を浸潤させ、底面から岩石薄片を製作した。薄片の大きさはおよそ45mm×110mmであり、クラックは55mm程度伸ばした。

3. 解析方法 偏光顕微鏡を用いてクラックを観察し、クラックの経路に沿う部分を35mmネガフィルムを用いてオープンニコル、クロスニコルで写真撮影した。このネガフィルムから専用のラボでフォトCDの媒体に変換される。フォトCDは、人間の目がルマ（輝度）成分には敏感で、クロマ（カラー）成分には比較的鈍感であることを利用して、画像信号をルマとクロマに分離し、クロマ成分のみ間引きを行うという方法を採用している。このため、圧縮の過程が可逆的ではなく、本来の意味での圧縮とはいえない面を含んでいるが、実用上はほとんど問題にならない程度の再現性を与える。プログラミング言語としてGUI機能をサポートしたBASIC言語を用い、フォトCDの画像をビットマップ形式に変換して取り込んだ。この種の画像処理では、画像の比較的広い領域を覆うには細部の解像度が犠牲になり、細部の解像度を重視すれば領域全体を覆うことが困難になるという問題があった。本研究では、細部を重視して元の画像を取り込み、取り込んだ後に画像処理によって合成するという方法をとった。同一平面上で撮影された画像の合成は、基本的には、並進と回転によって合成することがで

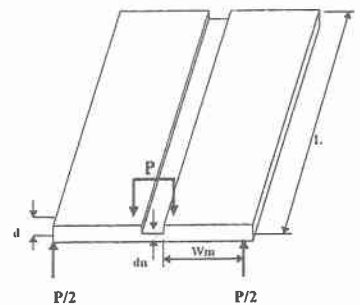


図-1 ダブルトーション試験

きるが、回転処理による煩雑さを避けるため、原画像を取得する段階で回転成分を生じないように配慮した。

載荷に伴って生じたクラックは、オープンニコルによって得られた画像の中の赤色成分を、適当な敷居値によって抽出するという方法を基本とした。この方法であれば一回の処理でクラックの抽出が可能である。しかし、クラックによるロッキングなどによって必ずしも着色の程度が充分でない部分が存在し、そのような場合は、当該の部分について敷居値を変えて再度クラックの抽出を試みた。

抽出されたクラックは、二値化してフラクタル次元の計算に供するとともに、合成されたクロスニコルの画像に重ね合わせて、クラック経路とそれを取り巻く鉱物の関係について考察した。

4. 載荷によって生じたクラックの観察 クロスニコル画像による観察によって、以下のような特徴が認められた。

1) クラックは多くの場所で屈曲しており、結晶質岩石では、鉱物粒の粒界やへき開が伸張経路となることが多い。2) 丸みを帯びた石英粒の形状がクラック経路の屈曲に貢献している。このことは石英粒の存在がクラック伸張に対する抵抗性を増大させることを意味している。3) 伸張クラックの経路に不連続部が認められることがある。これは材料の不均質性と先在クラックの存在に関連していると考えられ、応力場の変化に伴ってクラック進行方向とほぼ平行な先在クラックが伸張を開始し、それまでの主クラックを停止させることを示している。4) 石英粒内の先在クラックの方向と巨視的なクラックの方向が直交する場合に、クラックの経路が大きく変化することが認められた。このことは、クラック伸張方向が同じであっても、クラック開口方向が異なることにより、クラックの抵抗性が異なることを示している。

このような観察結果はもちろん、鏡下での直接観察によっても可能であるが、広い視野の中で相対的な位置関係を確認しながら細部を観察できる利点はこの種の画像処理に固有のものである。

5. クラック経路のフラクタル次元 フラクタル次元の計算には、ボックスカウント法を用いた。図-2に示すように、まずデジタル化の分解能と等しいボックスの径でクラックの占有ボックスの数を求め、順次ボックスの径を増大させた。この方法では、前段階の計算結果を利用することによって、計算時間を大幅に短縮することができる。またクラック経路を数値化する必要も連続量として取り込む必要もない。

図-3に、各供試体について、粗視化の度合いとカウントされたボックスの数との関係を示した。いずれの供試体についても、両者の関係はほぼ線形となり、クラックの経路が測定された区間で特徴的な長さを持たないことが示されている。

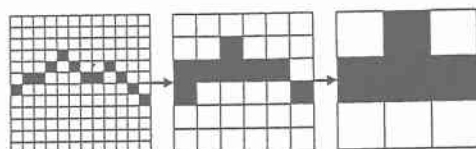
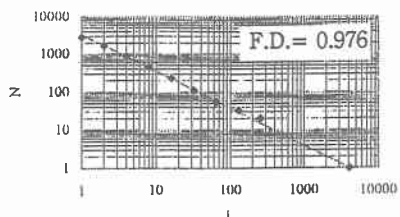
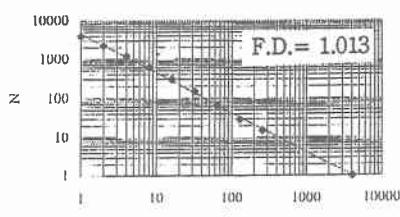


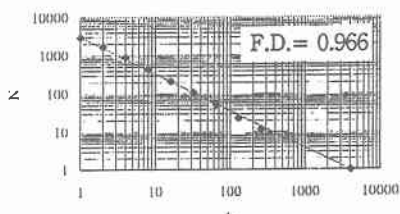
図-2 ボックスカウント法



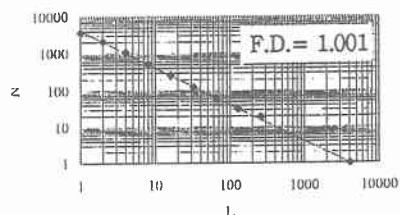
(a) RG 供試体



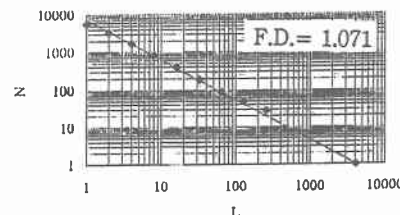
(b) RH 供試体



(c) GR 供試体



(d) GI 供試体



(e) HG 供試体

図-3粗視化の程度とカウントされたボックス数