

III- 626 岩石内部の微視的き裂進展への均質化手法の適用に関する基本的考察

名古屋大学大学院 学生会員 ○ 鄭 教澈
 名古屋大学大学院 学生会員 木村吉彦
 名古屋大学工学部 正会員 市川康明

1. はじめに

岩石内部の微視的き裂は岩石の脆性挙動に大きな影響を与えると考えられ、これら微視的き裂に作用する応力とき裂の構造的な変化の関係を知ることは重要である。しかしながら、岩石の場合にはその微視的な構造の複雑さのためにき裂周辺の微視的な応力分布を評価することが困難である。そこで、数学的な均質化手法(Homogenization Method)¹⁾を適用することによって、微視的き裂周辺の局所的な応力分布を求め、その後に破壊力学を導入してき裂の進展を議論することを試みた。

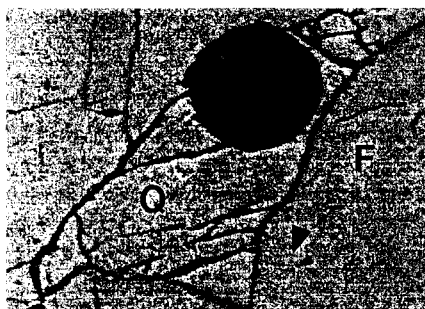
2. 岩石への均質化手法の導入

均質化手法は、微視的周期構造を持つ物体に対し、その平均物性を求められるばかりでなく、物体全体の力学挙動の解析結果を用いて個々の微視的構造内部の応力やひずみを求められるという特徴がある。しかし、実在の岩石内部の微視的き裂は一見、無秩序ともいえる構造を持っているので、均質化手法の適用に当たっては岩石の微視的構造から何らかの周期性を見い出す必要がある。一般に微視的き裂の構造的性質として、き裂の長さおよびアスペクト比、結合性、間隔、単位体積あたりのき裂の数などが議論されることが多い。そこで、このようなき裂構造の幾何学的性質に何らかの統計的处理を施すことにより構造的な周期性を見い出すことがまず考えられよう。そして、岩石が、その周期構造を成す単位の構造（基本構造単位）の繰り返しから構成されていると理想化できることによって、はじめて均質化手法を適用することができる。

3. 微視的き裂先端の応力解析

ここでは、らの実験装置²⁾を用い、実体顕微鏡観察下で花崗岩の一軸圧縮実験を行った結果、長石と石英の接触部において実際に微視的き裂の進展が観察された部分（写真1）を例として取り上げ、き裂付近の応力解析を行った結果を示す。また、進展初期のき裂の進展方向は載荷軸と平行に近いという従来³⁾に基づき、載荷軸と直交方向に作用する引張り応力とモードIのき裂に注目することとする。

図1は微視的き裂進展部の基本構造単位モデルである。まず、載荷開始直後、先在き裂が進展せず、石英が周囲の長石と一体となって挙動する場合を想定した解析を行った。すなわち図1のモデル内部に不連続な部分がなく、全体が一体となって挙動すると仮定した。モードIのき裂に注目するため、載荷軸と直交方向に作用する引張応力を求めたところ、載荷軸方向と直交する方向に最大で一軸載荷応力の23%程度の引張り応力が粒界近傍で局所的に作用することが示された（図2）。



(a) 載荷前

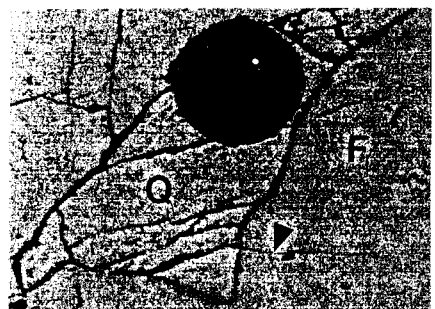
(b) $\sigma_{axial}=450 \text{ kgf/cm}^2$

写真1 一軸圧縮応力下でのき裂進展の様子（写真横方向が載荷軸方向。中央の黒丸は位置決め用の印。）

このような応力集中が見られるのは石英の形状による効果が大きく、その応力集中部分では実際にき裂の進展が見られた。また、石英と長石の力学的性質の相違の影響も考えられる。

次に先在き裂が開口した場合を考える。先の解析で引張り応力が集中した場所に一番近いき裂（図1内の矢印の部分）が開口し、引張りに対して抵抗できなくなったと想定した。また、この場合のき裂の取扱いは扁平な空隙であるとした。この場合も载荷軸方向直交する方向に作用する引張り応力を求めた結果、開口したき裂の先端にあたる部分の長石に局所的に引張り応力が集中し、その大きさは最大で载荷応力の約3.2倍となった（図3）。これは石英と癒着している部分の長石の変形が拘束され、き裂先端部に全体の変形の影響が集中するためと考えられる。この応力集中により、長石内でも载荷軸方向にき裂が進展する可能性が惹起される。

ここで図3に示される応力分布から、载荷応力とき裂の先端付近の応力拡大係数の関係を求め、Zhang ら⁴⁾による長石の限界応力拡大係数と考え合わせた結果、長石内部へき裂が進展するときの载荷応力は約 270 kgf/cm^2 と求められた。

4. おわりに

本来不均質な岩石材料に、微視的周期構造を前提とする均質化手法を適用するにはいくつかの問題が解決されなければならない。しかし、数学的な均質化手法と破壊力学を併せて用いることにより、岩石内部の微視的なき裂の力学挙動と、巨視的に作用する応力が定量的に関連づけられる可能性が示された。

参考文献

- 1) Guedes, J.M. and Kikuchi, N.: Preprocessing and Post-processing for Materials Based on the Homogenization Method with Adaptive Finite Element Methods, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 83, 1990, pp.143-198.
- 2) 鄭 教澈, 芥川真一, 市川康明, 川本 眺 万: 三軸応力下における岩石中クラックの実体顕微鏡観察用試験機の作成及びその適用, 平成3年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.342-343.
- 3) 工藤洋三, 橋本堅一, 佐野 修, 中川浩二: 花崗岩内に発生するクラックと鉱物粒の関係, 資源・素材学会誌, 107, 1991, No.7, pp.423-427.
- 4) Zhang, J., Wong, T.-F., and Davis, D.M.: Micromechanics of Pressure-Induced Grain Crushing in Porous Rocks, Journal of Geophysical Research, vol.95, No.B1, 1990, pp.341-352.

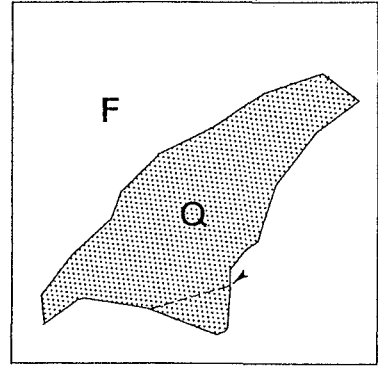


図1 基本構造単位モデル

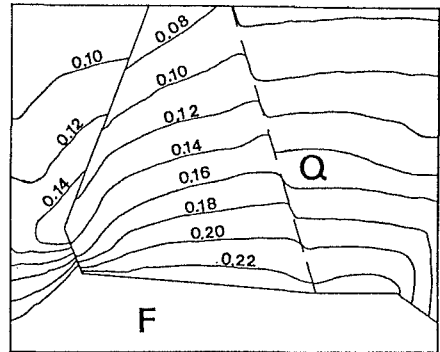


図2 き裂開口前の応力分布図（図中の数字は軸圧縮応力と载荷軸に直交する方向に作用する引張り応力の大きさの比）

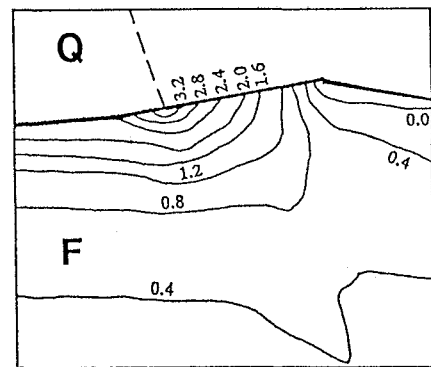


図3 き裂開口後の応力分布図
（図中の数字は図2に同じ）