講演要旨

岩石内マイクロクラックの分布特性評価

加藤昌治*・米田哲朗*・金子勝比古*

Characterization of Microcrack Distribution in Rock

Masaji Kato*, Tetsuro Yoneda* and Katsuhiko Kaneko*

*北海道大学大学院工学研究科環境資源工学専攻 Division of Environment and Resources Engineering,
Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Sapporo 060-8628, Japan. E-mail: kato@geo-
er.eng.hokudai.ac.jp

キーワード：微視き裂，クラックトレース，計量形態学，体積密度，方位分布

Key words: Microcrack, Crack-trace, Stereology, Volume density, Distribution of orientation

1. はじめに

岩石の物理特性（強度，透水性，弾性波伝播速度など）は，その内部に存在するマイクロクラックの分布に規制されていると考えられる．とくに，岩石物性の異方性に関しては，マイクロクラックの方位分布に調和的であることが報告されている（例えば，加藤ほか，1998，1999）．また，岩石物性の不均質性は，クラックの3次元的な空間分布の非一様性に依存していると思われる．その意味から岩石内のマイクロクラックの分布特性評価は重要であり，著者らは岩石内マイクロクラックの3次元幾何分布特性の定量評価と，その結果に基づいた岩石物性の解釈を目的として研究に取り組んでいる．

本報で述べるクラックの分布とは，クラックの空間的な分布とクラックの各幾何要素の確率分布といった二つの意味を併せ持っている．なお，本研究で取り上げるマイクロクラックとは，インタクトな岩石に存在する目視では観察されない微視（微小）き裂のことである．以下，マイクロクラックとクラックとを同義に扱う．また，岩石端面で観察されるクラックのことをクラックトレースと称する．すなわち，クラックトレースとは観察平面とクラックとの交差線分として表現される．

2. 供試岩石

供試体としては稲田花崗岩（茨城県笠間市産）を用いた．一般的に，花崗岩にはその物性に異方性が認められる．稲田花崗岩もそのような異方性を有し，力学的弱面が採石場においては石目として知られている．ここでは，その石目を採石場において割れやすいほうから順に rift, grain, hardway 面とする（第1図）．以下に説明する顕微鏡観察には，すべて定方位試料を用いている．

マイクロクラックの観察には西山ほか（1990）の蛍光剤浸透法を用いた．薄片作成前に蛍光剤入りのアクリル樹脂を岩石に含浸させるため，薄片作成時に発生する2次クラックの抽出を避けられ，また樹脂が浸透していることから観察されるクラックは岩石の透水性に直接関与するものであることがわかる．紫外線を照射しながら顕微鏡観察した画像を直接コンピュータに取り込み，その画像を基にして目視によりクラックの抽出を詳細におこなった．

3. クラックトレースの二次元幾何分布特性

3.1 面積密度

今回の顕微鏡観察では，観察面積は各面 7.36 mm^2 であり，クラックの面積密度（単位面積当たりのクラック数）は rift, grain, hardway 面においてそれぞれ 144.3, 273.0, 236.0 (mm^{-2}) であった．

3.2 二次元方位分布

今回観察されたクラックの方位分布には，加藤ほか（1998）が稲田花崗岩を用いて行った観察で見られたほどの顕著な異方性が認められなかった．

3.3 トレース長さ

観察結果から得られた各面でのクラックトレース長 l の確率密度関数（PDF） $h_l(l)$ は第2図のようである．本観察において，トレース長の測定限界は約 $10 \mu\text{m}$ であった．

3.4 トレースの厚み

トレースの厚みは，三次元的にはクラックの開口幅に対応する．その観察においては，トレース長との関係，いわゆるアスペクト比の評価も同時におこなおうとしたため，低倍率でもその長さが観察可能なクラックだけを抽出する結果となった．そのため，観察から得られたアスペクト比も大きな値となった．

第1図 稲田花崗岩ブロックとその力学的弱面

第2図 直交3面で観察されるクラックトレース長の確率密度関数

4. クラックの三次元幾何分布特性の評価

観察されたクラックトレースの二次元データから三次元のクラック分布特性を再構築する場合には、計量形態学 (DeHoff and Rhines, 1968) が有用である。ここでは、本手法の適用において、クラックは空間的に一様分布であるとした。

4.1 体積密度

クラックの体積密度 ρ は、加藤ほか (1998) が定義した次式を用いて求めることができる。

$$C = \rho \langle r \rangle \tag{1}$$

ここで、 C はクラックトレースの二次元方位分布データから計算される定数であり、 r の期待値 $\langle r \rangle$ は 4.3 節で求められる。

4.2 三次元方位分布

ここでは、加藤ほか (1998) で得られたクラックの三次元方位ベクトル $\mathbf{n}$ の分布を第3図に示す。図の暗色部は、クラック面の法線ベクトルの卓越方向を表している。

4.3 長さ

クラックの長さに関する確率密度 $f_R(r)$ は、(2)式のように負の指数関数を仮定することにより、(3)式から数値的に求めることができる。

$$f_R(r) = ae^{-ar} \tag{2}$$

$$h_L(l) = \frac{1}{\langle r \rangle} \int_l^{r_{\max}} \frac{f_R(r)}{\sqrt{r^2 - l^2}} dr \tag{3}$$

ここで求められた a の値は、58.4 であった。

4.4 開口幅

加藤ほか (1999) は、マイクロクラックの開口幅 t を水銀圧入式ポロシメーターにより評価した。その結果から算出された開口幅 t の確率密度を第4図に示す。

第3図 マイクロクラックの三次元方位分布を表すシュミットネットの上半球投影図 (加藤ほか, 1998)。暗色部がクラック面の法線ベクトルの卓越方向を示す。

第4図 マイクロクラックの開口幅の確率密度関数

5. おわりに

本報では、岩石内マイクロクラックの幾何要素の確率分布特性の評価について述べた。クラックの空間的な分布特性の評価についてはここで触れなかったが、地球統計学を用いた評価が可能であると考える。著者らは、現在、ここで得られたクラックの分布特性に基づき、岩石の物理特性の定量評価に取り組んでいる。

最後に、マイクロクラックの顕微鏡観察を実施するにあたりお手伝いいただいた西浦伸重君 (当時北大学生) に感謝する。

文 献

DeHoff, R. T. and Rhines, F. N. (1968) *Quantitative Microscopy*. McGraw-Hill, New York. 牧島邦夫・篠原靖忠・小森尚志共訳 (1972) 計量形態学. 内田老鶴圃, 670p.

加藤昌治・小池克明・米田哲朗・金子勝比古 (1998) 岩石内マイクロクラックの 3 次元方位分布の定量評価法. 資源と素材, vol. 114, no. 12, pp. 909-917.

加藤昌治・山田隆宏・西浦伸重・高橋学・張銘・米田哲朗・金子勝比古 (1999) 岩石の透水性とマイクロクラックの分布特性に関する研究. 資源・素材学会春季大会講演集 (I) 資源編, pp. 186-187.

西山孝・楠田啓・北川元紀 (1990) 蛍光剤を添加した樹脂による微小割れ目の視覚化と自動抽出. 資源と素材, vol. 106, no. 10, pp. 573-579.

Oda, M. (1983) A method for evaluating the effect of crack geometry on the mechanical behavior of cracked rock masses. *Mechanics of Materials*, vol. 2, pp. 163-171.