

亀裂ネットワークモデル化のための亀裂 3 次元分布特性の測定

信州大学工学部 正会員 中屋 眞司

信州大学工学部 木口 太介

信州大学大学院 橋本 健志

1. はじめに

亀裂性岩盤の場合、亀裂が互いにつながったネットワークを形成している。流体はそうした亀裂ネットワークを透水経路として移動する。したがって、亀裂性岩盤内の流体の移動を問題とする場合、亀裂の位置や大きさ、つながりといった亀裂データが必要になる。

最近、亀裂の位置や大きさの分布がフラクタル（自己相似性）であることが測定からわかってきた。フラクタルというのは、例えば、視野をどんどん拡大しても、あるいは反対にどんどん縮小しても、現れる亀裂の分布やパターンが変わらない性質、特徴的な長さのないスケールフリーな性質を言う。多くの場合、亀裂の位置や大きさの分布のフラクタル性は、野外の露頭やトンネル壁面など二次元平面に現れた亀裂のトレースデータから測定されており、2 次元平面上でのデータ収集がほとんどである。これは、3 次元空間の亀裂の位置や大きさが測定困難なためである。微小地震震源を亀裂（断層）の中心位置とすると、その空間分布についてはフラクタルであることは多くの報告がある(例えば、Nakaya and Hashimoto, 2002)¹⁾。

そこで、本研究では、花崗岩岩石を使って、その中に分布する 3 次元空間の亀裂位置、大きさを測定し、3 次元空間において亀裂はフラクタルであるのか、また、3 次元空間でフラクタルであるなら、3 次元と 2 次元のフラクタル次元にいったいどのような関係があるのかについて実験的に調べた。

10 cm 程度の大きさの岩石サンプルの測定結果を補足するために、数 km から 10 km 程度の領域に起こった多数の地震データも合わせて解析した。

2. 方法岩石亀裂データ

長野県大田市葛温泉高瀬川沿いで採取した花崗岩の岩石片を複数のスライス面でカットし、スライス面に現れた亀裂をトレースした。正方形ウィンドウ内の亀裂トレース線の屈曲点の 3 次元座標および、2 次元座標を 1 次亀裂座標データとした。3 次元空間の亀裂中心点の 3 次元座標と亀裂の大きさの測定方法を以下に示す。まず、1 次亀裂座標データを基に 3 次元空間内の同一亀裂平面上に属す亀裂トレースをグループ分けする。次に、同一グループの 1 次亀裂座標データの組を $z = a + bx + cy$ の平面に多重回帰する。得られた平面を亀裂平面とする。亀裂平面上に円を仮定し、円周と亀裂トレースの端点に当たる 1 次亀裂座標の距離が最小となる円を最小二乗法によって求める。この亀裂平面上の円を 3 次元亀裂とし、円の中心座標と直径を各々、3 次元空間の亀裂中心点の 3 次元座標と亀裂長（3 次元岩石亀裂データ）とした。また、各スライス面の亀裂トレースからその中心点座標とトレース長を任意の正方形ウィンドウ内で得た 2 次元岩石亀裂データとした。

地震亀裂データ

大地震の余震域や群発地震域の地震カタログデータをサンプリングし、震源の 3 次元座標とマグニチュードを得た。震源の空間分布に $\log(S) = M - 4.07$ (S : 地震亀裂の面積, M : マグニチュード) で表される関係式 (Sato, 1979)²⁾ を適用し、ランダムな 3 次元亀裂群を発生し、立方体ウィンドウ内の 3 次元亀裂中心点（震源）の 3 次元座標と円盤近似の亀裂直径を 3 次元地震亀裂データとした。その後、任意のスライス面でカットし、スライス面に現れた地震亀裂をトレースした。この亀裂トレースからその中心点座標とトレース長を任意の正

キーワード：亀裂，岩石，地震，フラクタル，測定

連絡先（住所：長野市若里 4-17-1 信州大学工学部，電話：(026) 269-5316，Fax：(026) 223-4480）

方形ウィンドウ内で得た2次元地震亀裂データとした。表1にサンプルの種類と大きさを示す。

表1 サンプルの種類と大きさ

サ ン プ ル No.	1	2	3	4	5	6
種 類	花崗岩	花崗岩	地 震	地 震	地 震	地 震
サンプリング場所	葛・七倉	葛・七倉	神 戸	神 戸	鳥 取	伊 豆
大 き さ	38x50x50	48x70x70	2x2x2	10x10x10	10x10x10	10x10x10
	(mm)	(mm)	(km)	(km)	(km)	(km)

亀裂のフラクタル次元

亀裂の中心点分布に関するフラクタル次元, D は, ボックスカウンティング法(Mandelbrot, 1982)³⁾によって求めた。亀裂の大きさ分布に関するフラクタル次元, α は, 両対数グラフの横軸に亀裂の大きさ, 縦軸に累積頻度を取り, その回帰直線の傾きとした。また, 回帰直線と横軸の交点の亀裂の大きさを最大亀裂長 $R_{\max}$ (3次元)及び $L_{\max}$ (2次元)とした。

4. 結果

測定した亀裂群は3次元の亀裂中心点位置と大きさ分布に関して各々, フラクタルであった。図-1は D_2 - D_3 関係を示している。両者に線形関係が認められ, $D_2 = D_3 - 0.90 \sim D_3 - 1.15$ の関係が得られた。また, 亀裂長分布のフラクタル次元について, α_3 と α_2 に線形関係が認められ, $\alpha_3 > \alpha_2$ が成立している(図2)。さらに, 3次元および2次元の領域に出現する最大亀裂長を領域長で正規化すると, バラツキは大きい $R_{\max}/R$ と $L_{\max}/L$ との間に線形関係が見られた(図3)。

本研究では3次元空間に分布する亀裂の分布特性についての予察的測定であったが, 2次元面上に現れる亀裂と同様に3次元空間においても亀裂中心点位置と大きさ分布に関して各々, フラクタルであること, 2次元と3次元のフラクタルに線系関係があることを見出した。

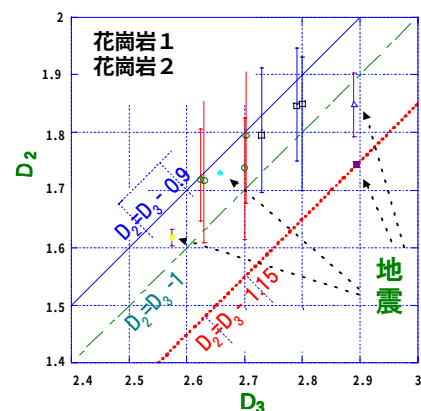


図1 D_2 - D_3 関係

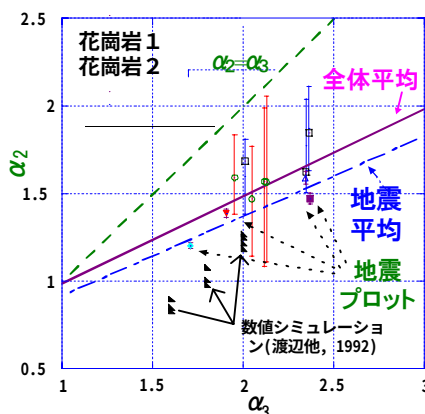


図2 α_2 - α_3 関係

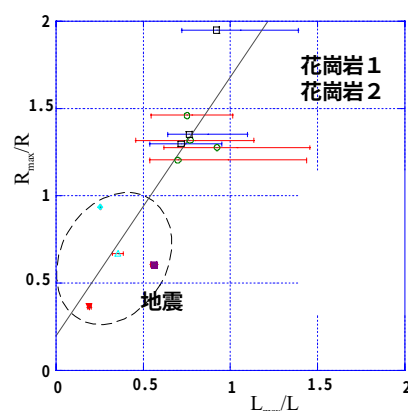


図3 $R_{\max}/R$ - $L_{\max}/L$ 関係

参考文献 1) Nakaya, S. and T. Hashimoto(2002), Geophys. Res. Lett.(印刷中). 2) Sato, R(1979), J. Phys. Earth, 27, 353-372. 3) Mandelbrot(1982), 広中平祐監訳, フラクタル幾何学(日経サイエンス社, 1984). 4) 渡辺・中山・高橋(1992), 地下亀裂のキャラクター化ワークショップ論文集.