

(45) 割れ目系のフラクタル特性の計測
— 不連続パラメータ測定システム (DISPARMS) を用いて —

東京大学工学部	学生会員	○大野 博之
応用地質株式会社	正会員	鶴原 敬久
東京大学工学部	正会員	小島 圭二
応用地質株式会社	正会員	近藤 達敏

Measurement for Fractal Properties of Fracture System
— Using Discontinuity Parameter Measuring System (DISPARMS) —

Hiroyuki OHNO,	University of Tokyo
Takahisa TURUHARA,	OYO Corporation
Keiji KOJIMA,	University of Tokyo
Tatsutoshi KONDOH,	OYO Corporation

Abstract

The distribution of fracture frequency is fractal in most rock mass. But scaling (transformation of scale) of fractures is not always practical in geo-engineering because of large variation of fractal distribution (σ in Fig. 2). The fracture system has some dominant orientations of fractures, and these orientations are affected by the mechanism of occurrence of fracture system. It is one of the reason why the variation is so large. Therefore, grasping these orientations, there is a possibility that the appropriate fractal properties are understood. In this paper, set of fracture-traces was classified with respect to dominant orientations by using discontinuity parameter measuring system (DISPARMS), then the distribution of fracture-trace lengths and fractal properties were examined.

The results of this study are the following. 1) For grasping fractal properties of fracture-traces, DISPARMS is effective measurement on comparing with traditional method (sketch). 2) Using DISPARMS, the orientations of fractures are measured easily and quickly in comparison with traditional method. 3) From the measured data of fractal properties classified by dominant orientations, it suggests us that fractal dimension and properties are affected by the mechanism of occurrence of fracture system, and that this mechanism is one of the reason of the variation.

1. はじめに

花崗岩体中の二次元断面上にみられる割れ目のトレース長さや破砕幅はフラクタル分布に従っている¹⁾。一方、割れ目系はいくつかの卓越方向を持ち、この方向が割れ目形成のメカニズムにも関連している。従って、この卓越方向を捉えることにより、より適切なフラクタル特性の把握が可能になると考えられる。しかしながら、このような計測を行うにはクリノメータ等を用いた従来の方法では限界がある。そこで、不連続パラメータ測定システム (DISPARMS) を用いて²⁾、割れ目の長さを卓越方向毎に捉え、その上で、トレース長さの分布とフラクタル次元について検討することを試みた。ここでは、まず、DISPARMS

による計測データと人間の目による計測データを比較し、フラクタル分布の把握に当たってのDISPARMSの利点・欠点について述べ、この点を捉えた上で、卓越方向毎のフラクタル分布とそのフラクタル特性について報告する。

2. 不連続パラメータ測定システム (DISPARMS) ²⁾

不連続パラメータ測定システム (DISPARMS) については、いくつかの報告がなされているので²⁾、ここでは、簡単に述べるにとどめる。

DISPARMSは、大きく3つのステップによって構成されている。第1ステップとして、現場でステレオ写真の撮影を行う。この時、割れ目の方向を把握するために、標定点を設置し、その測量を行っておく。第2ステップでは、室内において、写真上に観察される割れ目を評定し、コンピューターを用いて三次元座標の計算を行い、割れ目の方向とトレース長さを求める。第3ステップでは、様々な応用計算を行うわけであるが、本研究の目的はフラクタル分布の把握であるから、第2ステップで得られた割れ目のトレース長さの分布を卓越方向毎に求める。

3. 計測対象地域の地質

ある堆積岩の分布した地域で割れ目の計測を行った(この地域を、ここでは、Sd. A地域と呼ぶ)。Sd. A地域の地質は、古生代の粘板岩・輝緑凝灰岩・石灰岩から成り、地層の走向・傾斜がN10°~30°W, 60°~80°Sの単斜構造である。また、N30°~50°E, 60°~70°Nの走向・傾斜を持った比較的大きな断層系とN50°W, 80°SWの小断層系が認められる。

4. DISPARMSによる計測と人間の目による計測

本計測では、坑壁の岩盤を1m×1m及び50cm×50cmに分割し、各格子毎にそこに認められる割れ目の方向とトレース長さの現地計測と室内での解析を行い、全割れ目のトレース図と卓越方向毎のそれとを作成した。各々の調査地点の数は、1m×1mが8地点、50cm×50cmが12地点である。DISPARMSの計測に当たって、

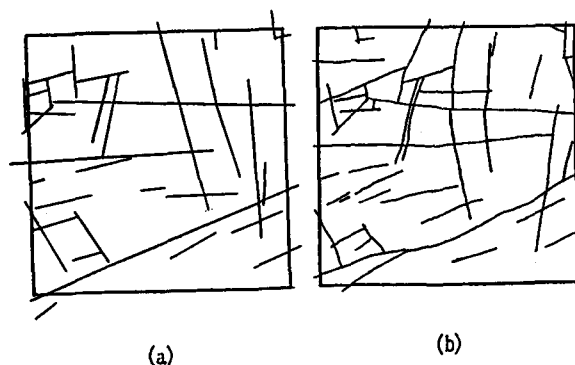


Fig. 1 An example of the fracture pattern.
(1m×1m area)

(a) Fracture pattern by DISPARMS

(b) Fracture pattern by sketching

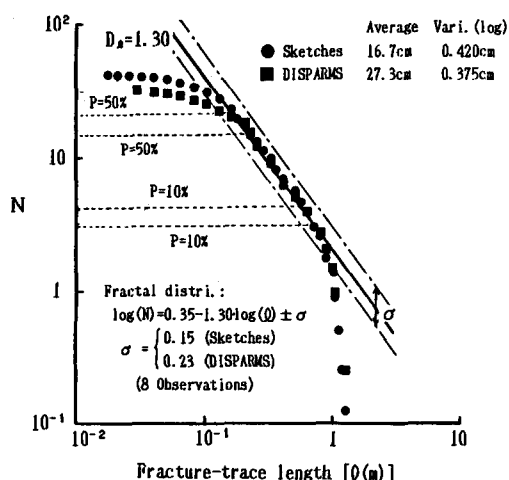


Fig. 2 The distributions of fracture-trace lengths by DISPARMS and by sketching.

N : Number of fractures which are longer than $Q(m)$ per $1(m^2)$ area.

σ : Standard deviation around average fractal distribution.

D_A : Fractal dimension.

P : Cumulative probability of fracture-trace length within a scale ($P \propto N$).

富士カラーフィルム(ASA100)を用い、焦点距離40mmの一般カメラで、壁面より約1m離れて撮影し、解析においては、縮尺1/10(1m×1m)と1/5(50cm×50cm)の写真を用いた。

ここでは、調査横坑内で得られた1m×1m領域のDISPARMSによる割れ目の計測データと人間の目による計測データ(スケッチ図)の比較検討を行った。

Fig. 1にDISPARMSにより作成された二次元の割れ目トレース図とスケッチ図の一例を示す。この図にみられるように、お互いにはほぼ同様な割れ目を認識している。しかしながら、スケッチの方が、DISPARMSによるデータよりもより細かい割れ目を多く認識していることがわかる。これは、写真では、写真の縮尺、フィルムの分解能や照明の仕方等の違いで、割れ目を認識しにくい部分があることも一因であろう。

また、どちらの計測データもトレース長さの分布がほぼ対数正規分布に近似され、平均値や分散の値から考えて、ほぼ同一の分布と見なすことができる(Fig. 2)。花崗岩などの塊状岩体中で割れ目のトレース長さが対数正規分布にみえるのは計測上の問題であり、本来は、一つの対数正規分布の内、超過確率にして、概ね50~10%の範囲において、両対数グラフ上で直線関係を示すフラクタル分布となることが報告されているので¹⁾、仮に、Sd A地域のような堆積岩体においてもトレース長さがフラクタル分布に従うと考えると、Fig. 2を見直すと、全体としては、多少ばらつきはあるものの両対数グラフ上で傾き-1.3の直線(フラクタル次元DI=1.30のフラクタル分布)と解釈できる。このばらつき(Fig. 2のσ)については、DISPARMSの方がばらつきが大きくなっており、今後上記の写真計測上の原因の検討が必要と思われる。

また、現地におけるクリノメータなどを使った割れ目方向の計測では、多大な時間を費やすのに対して、DISPARMSの場合には、大量の割れ目でも比較的早く計測することが可能である。DISPARMSによって求めた割れ目の方向と実際の方向とがほぼ一致することは既に報告した通りである³⁾。このような割れ目の方向を計測することで、割れ目形成メカニズムの把握が可能となる。

以上のことから、卓越方向毎の割れ目のトレース長さを捉える上では、簡便性や迅速性の点で、DISPARMSによる計測が有効であると思われる。さらに、ある距離からの一回の撮影のみで、写真の拡大・縮小を行うことによって、粗視化の度合を変えられるので、より精度よくフラクタル次元を求めることもできよう。

5. 卓越方向毎のフラクタル分布

計測領域の大きさによる割れ目のトレース長さの分布がどうなるかを、50cm×50cm格子と1m×1m格子の2種類の計測データを用いて、卓越方向毎に検討した。

まず、割れ目系全体についてどうなるかを検討した。フラクタル性があれば、Fig. 3(d)に典型的に示されるように、超過確率が概ね50~10%の範囲では、計測領域が異なってもほぼ同じ直線上に乗る。Fig. 3(a)についても多少ばらつきはあるが、全体としては同じ直線に乗り、一つのフラクタル分布になっていると考えられる。

次に、このデータをDISPARMSを用いて卓越方向毎に分類した。卓越方向は、Table 1に示すように概ね4方向に分類することができる。この内、N25°W, 10°Nの割れ目群は、ほぼ層理面に垂直な方向の割れ目と考えられる。また、N15°W, 75°Sの割れ目群は、層理に平行な割れ目と解釈でき、N45°E, 80°NとN70°W, 85°Sの割れ目群は地表踏査によって認識された断層系に沿った割れ目と解釈できる。ここで、断層系に沿った割れ目は同じ成因(せん断破碎割れ目系)と考えられるので、2方向の割れ目を1つの割れ目群とした。これらの割れ目群毎に、割れ目のトレース長さの分布を求め、Fig. 3に示すような結果を得た。この図に示されるように、割れ目群毎に、分布特性が多少異なっている。

層理面に平行な割れ目群についてみると、1m×1m領域の分布と50cm×50cm領域の分布が両対数グラフ上でほぼ平行にずれていることがわかる(Fig. 3(b))。50cm×50cm領域内にみられる10cm以上の割れ目の超過

Table 1 The dominant orientations of fractures.
(Number of fractures : 775)

Strike/Dip	Frequency (%)	
N25°W, 10°N	64.8	perpendicular to bedding plane
N15°W, 75°S	21.1	parallel to bedding plane
N45°E, 80°N	4.7	parallel to large faults
N70°W, 85°S	2.4	parallel to small faults
OTHERS	6.9	—

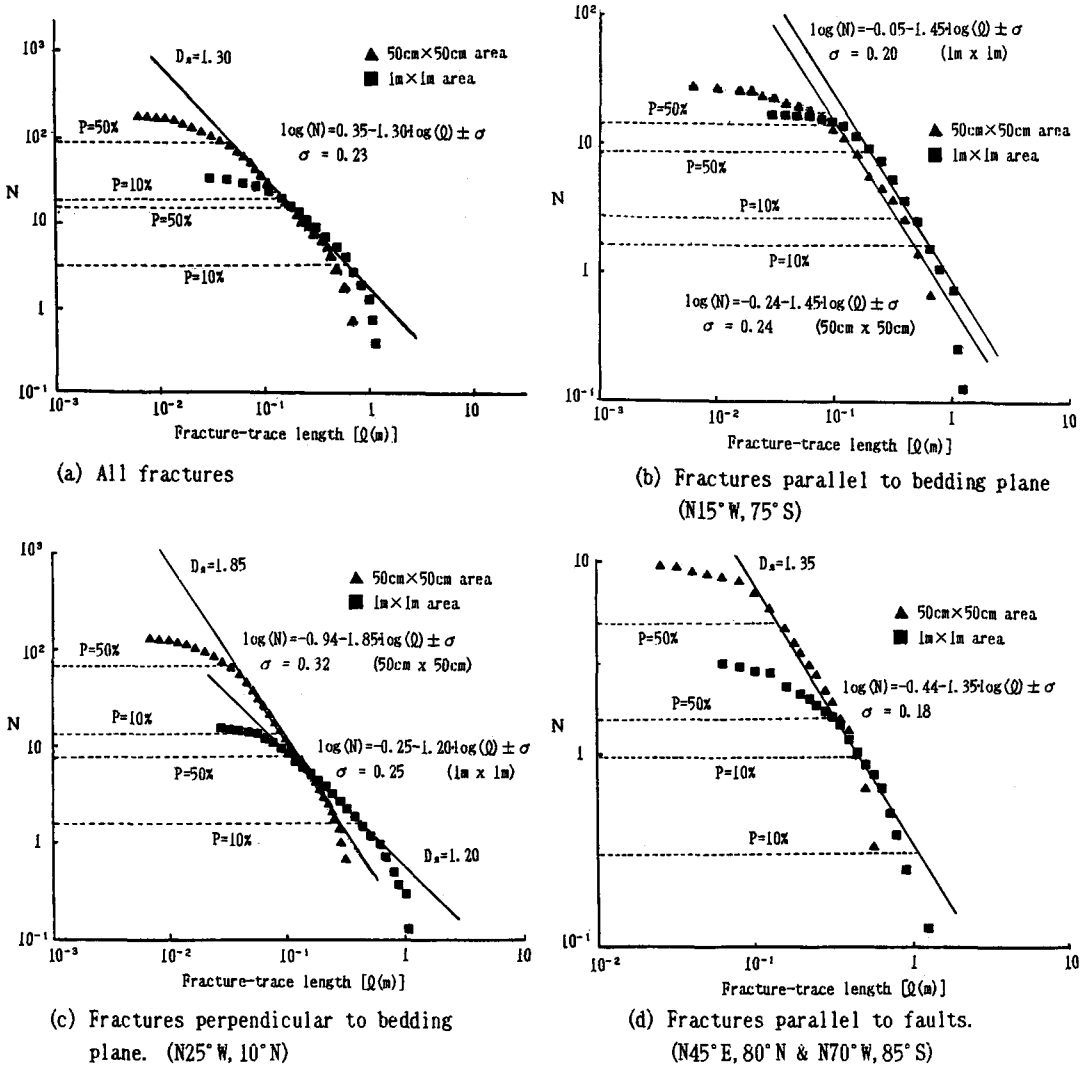


Fig. 3 The distributions of fracture-trace lengths classified by dominant orientations.

N : Number of fractures which are longer than $Q(m)$ per $1(m^2)$ area.

σ : Standard deviation around average fractal distribution.

D_s : Fractal dimension.

P : Cumulative probability fracture-trace length within a scale ($P \propto N$).

本数は、 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 領域内のそれよりも少なくなっている。このように計測領域を変えても、割れ目の超過本数が変化しないことから、フラクタルではない可能性がある。しかしながら、各計測領域のばらつき ($\log(N)$ の標準偏差 σ)⁴⁾ について検討すると、この両者のずれは、ばらつき内にほぼ収まっていることがわかる。片理が発達した地層沿いの割れ目の長さは測定しにくいことを考慮すると、フラクタル分布ではないとは断言できず、再度検討し直す必要があろう。

層理面に垂直な割れ目群については、超過確率が概ね50～10%の範囲でみると、各計測領域で、フラクタル次元が1.85と1.20の2つの分布と解釈することができる (Fig. 3(c))。このSd.A地域では、単層の平均層厚が約10cmの粘板岩と石灰岩との互層部分と層厚が数m以上の粘板岩または輝緑凝灰岩で構成されている。つまり、互層部分の影響により、十数cm以下の短い割れ目の本数が、これよりも長い割れ目の本数に比べて急激に多くなっていると考えられる。こうしたことは、フラクタル次元1.85の分布の方がばらつき ($\log(N)$ の標準偏差 σ) が増加していることからわかる。この方向の割れ目群は層厚に影響されるのが一般的であるので、岩相の違いが割れ目分布に及ぼす影響について今後検討が必要であろう。

断層系については、計測領域を小さくすることにより、より短い割れ目の超過本数が両対数グラフ上ではほぼ直線的に増加している (Fig. 3(d))。つまり、超過確率が50～10%の範囲でみると、フラクタル次元が1.35のフラクタル分布を示している。

以上のことから、卓越方向毎に割れ目の分布特性が異なることが考えられ、フラクタルを用いて割れ目の寸法効果を評価するためには、卓越方向毎のフラクタル特性を求めることがばらつきを減少させる要因の一つと考えられる。こうしたことを把握する上で、DISPARMSによる計測は、卓越方向をより簡便・迅速に計測できること、場合によっては写真の拡大・縮小により、より多くの粗視の範囲のデータで精度のよいフラクタル特性を得ることができる可能性を含めて、フラクタルによる岩盤評価をより実用化させる計測方法といえよう。

6. まとめ

DISPARMSを用いて、堆積岩中の割れ目のトレース長さの分布について検討し、次の結果を得た。

- 1) 割れ目のトレースのフラクタル特性を求める上で、従来方法 (トレースのスケッチ) と比較してDISPARMSは、充分実用的である。
- 2) DISPARMSは、従来方法と比べて、簡便・迅速に割れ目の方向を計測できる。特に、卓越方向毎のフラクタル特性を把握する上で、有力な方法である。
- 3) DISPARMSによる卓越方向毎のフラクタル特性の計測から、割れ目の形成メカニズムの違いによって、フラクタル次元や分布特性が異なること、及び、これがフラクタル分布のばらつき (Fig. 2の σ) の大きな一因であることが示唆された。

参考文献

- 1) 大野・小島(1988) : 応用地質, Vol. 29, No. 4
- 2) 近藤(1986) : 第18回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会
- 3) 鶴原・近藤(1987) : 第7回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 岩の力学連合会
- 4) 大野・小島(1988) : 日本応用地質学会昭和63年度研究発表会講演論文集