

京都大学大学院	正会員	大西 有三
京都大学大学院	正会員	大津 宏康
京都大学大学院	正会員	西山 哲
核燃料サイクル開発機構	正会員	澤田 淳
京都大学大学院	学生会員	○中井亮太郎

1. はじめに

岩盤のモデル化を行う際、重要となってくるのが岩盤内の不連続面の空間分布特性を把握することである。不連続面の空間分布特性を把握するには不連続面の方向・大きさ・分布密度・不連続面の粗さや連結状態などの要素が挙げられるが、ここでは不連続面の大きさ、特にトレース長に着目しどのような確率分布に従うのか検討を行う。既往の研究では典型的な不連続性岩盤である花崗岩を対象として行われてきたが、ここでは堆積岩についても検討を行い、火成岩と堆積岩のトレース長に関する分布の関係についても検討する。

2. トレース長解析

岩盤内の不連続面は3次元的な面構造として存在するものだが、実際には岩盤掘削面に現れた2次元的な不連続面のトレース長から不連続面を捉えなければならない。トレース長の分布形としては、従来トレース長のヒストグラムを指数分布・対数正規分布で近似する方法がよく用いられてきた。しかし、こうした分布形は観察精度によって大きな影響を受ける。実際の岩盤では、短いトレース長を持つものが多く存在しているが、掘削面を観察する際、短いトレース長を持つ不連続面の観察は困難であったり、工学的には重要でないと判断され記録されない場合が多い。特に、大きな観察断面積を持つサイトで、長いトレース長を持つ不連続面を中心に観察が行われる場合、短いトレース長を持つものは記録されない。このような亀裂マップの場合、対数正規分布や指数分布では近似することが困難である。なぜならば、トレース長のヒストグラムを対数正規分布などで近似する際、短いものが十分に観察されていないために各トレース長を持つ亀裂の全亀裂数に対する割合が不正確となるからである。その結果、対数正

規分布などでの近似は観察精度に大きく依存してしまうことになる。

そこで、本研究では自然界の現象は統計的フラクタルで表せるという観点からトレース長分布を考察する。2次元平面上に見られるトレース長を a として、そのトレース長が存在する密度関数を $p(a)$ とすると、分布関数 $P(a)$ は

$$P(a) = \int_a^{\infty} p(s) ds \quad (2.1)$$

で与えられる。この分布関数 $P(a)$ は、トレース長が a 以上の亀裂の累積頻度を表す。また、得られた分布がフラクタルであれば、

$$P(a) \propto a^{-d} \quad (2.2)$$

となる関係が得られるはずである¹⁾。この d はフラクタル次元である。また、比例定数 K を用いて両辺に自然対数をとると、

$$\log\{P(a)\} = \log K - d \cdot \log a \quad (2.3)$$

となるので、この関係を両対数軸上に表せば直線と関係づけられる。実際に岩盤のトレース長とその長さに対する累積頻度を両対数軸上にプロットしたものが直線状になれば、不連続性岩盤のトレース長の分布はフラクタル分布で表現できる。

3. 実岩盤への適用

トレース長解析を実施した12サイトの岩種、観察断面規模を table.1 に示す。特に、東濃リニアメントは観察範囲が数十 km 四方にわたっており、不連続面も数 km 規模のものが多く観察されている。この東濃リニアメントでは他のサイトでは得られなかった大きさのトレース長を持った不連続面が観察されたことが特徴である。Table.1 の①～⑦のサイトは掘削面の観察の際、短いトレース長を持った不連続面も詳細に観察されており従来の研究のように対数正

table.1 各サイトにおける亀裂データ一覧

No	場所	断面方向	断面規模	岩種
①	赤石発電所立坑	鉛直	約64×41m	砂岩・頁岩互層
②	大島ダム	水平	約40×90m	溶結凝灰岩
③	奈良俣ダム	水平	約450×95m	花崗岩
④	神岡鉱山試験坑道	鉛直	約145×5m	片麻岩地
⑤	伊奈川地下発電所	鉛直	約25×32m	花崗岩
⑥	赤石発電所発電気室	鉛直	約11×28m	砂岩・頁岩互層
		水平	約12×25m	
⑦	音羽ダム	水平	約190×140m	チャート・粘板岩他
⑧	菊間地下石油備蓄基地	水平	約500×500m	花崗岩類
⑨	久慈地下石油備蓄基地	水平	約500×540m	花崗岩
⑩	串木野地下石油備蓄基地	水平	約500×550m	安山岩
⑪	神岡鉱山スーパーカミオカンデ	鉛直	φ 5m	片麻岩
⑫	東濃リニアメント	水平	約22×19km 約30×30km	花崗岩

規分布や指数分布での近似が可能であった。しかし、⑧～⑫のサイト²⁾については、トレース長の短いものが詳細に観察されておらず対数正規分布や指数分布での近似は適用できなかった。

次に、フラクタル分布について考察する。各サイトの観察断面積が異なるため面積換算を行い、1km²あたりの累積亀裂本数として計算したものを累積亀裂頻度〔本/1km²〕とした。そして、縦軸に累積亀裂頻度、横軸に亀裂トレース長をとり、全サイトのデータを同じグラフにプロットしたものを Fig.1 に示す。不連続面のトレース長は自然界のものであるから完全な自己相似ではなく、統計的な自己相似であり一直線上には存在せずばらつきが生じている。

不連続面のトレース長分布をフラクタル分布と考へ、Fig.1 より比例定数 K とフラクタル次元 d を求める。本研究では、全サイトのデータに対し一般的によく用いられる最小 2 乗法を用いて Fig.1 に示すような直線を求め、K=5.9871, d=1.88 という値を得た。東濃リニアメントのデータが最小 2 乗法で求めた回帰直線からずれている理由としては、リニアメ

ントデータを解析対象としており、すべての断層や不連続面を抽出できているとは考えられずダムサイト等のデータに比べてデータの取りこぼしの可能性が多いためと考えられる。このようにフラクタル分布を導入することで、対数正規分布などでは近似できなかった⑧～⑫のサイトも他のサイトと同じフラクタル分布に従っているという結果が得られた。

また、地質条件を table.1 に示したが、不連続面は岩種により形成過程が異なり、亀裂のトレース長分布も異なると考えられるが、この結果からトレース長の累積頻度は花崗岩や堆積岩といった岩種にはかわらずばらつきはあるものの一直線上に並んでいることが分かる。

4. 結論

本研究では、花崗岩と共に堆積岩を用いて検討を行った結果、堆積岩も花崗岩と同様に不連続面のトレース長分布がフラクタル分布に従うという結論が得られた。また、東濃リニアメントのような 10km にもおよぶ不連続面に対しても、他の 100m クラスのトレース長を持つサイトと共に一様なフラクタル分布で推定できるという結論が得られた。よって岩盤構造物建設の際、例えば 1km 以上もの範囲の不連続性岩盤の透水性などを考えなければならない場合など、その範囲のすべての不連続面のトレースマップを得ることは不可能に近いが、Fig.1 のフラクタル分布を用いればそのような範囲のトレース長の分布の推定が可能となる。

参考文献

- 1) 大野博之、小島圭二：岩盤中の割れ目系に見られるフラクタル、応用地質 29 巻 4 号、1988。
- 2) 大津宏康ら：核燃料サイクル開発機構レポート、我が国の岩盤における亀裂特性とそのモデル化に関する研究（亀裂モデルの信頼性評価手法の開発）－先行基礎工学分野に関する平成 12 年度報告書一、2001。

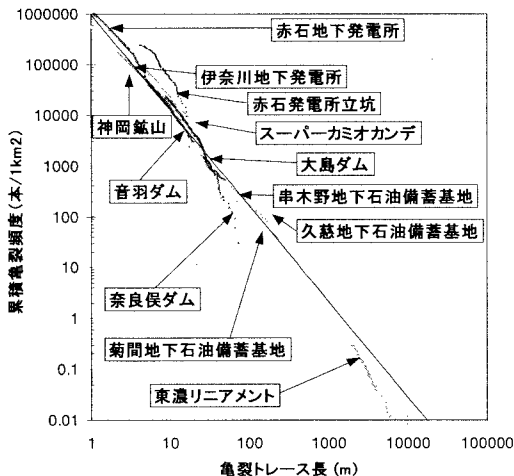


Fig.1 不連続面のトレース長累積頻度分布