

フラクタル次元による岩石内部のマイクロ損傷に関する基礎的研究

名古屋大学大学院 ○ 太田 泰基
 名古屋大学大学院 学生会員 鄭 教澈
 名古屋大学工学部 正会員 市川 康明

1. はじめに 今までに行われた研究から、岩盤の力学的特性は岩石内部に見られる微視的構造による影響が大きいことがわかってきた。その構造は結晶粒子、微細な空隙および微視的なクラックの組み合わせにより成り立っている。これらの形状は一見複雑で何の法則性も見出すことのできない非線形なものとして扱われてきた。そのため岩盤力学における特徴のひとつであるクラックや不連続面などの不規則性を考えるのは最も困難な点であった。しかし、自然界に存在する複雑な形状を合理的に取り扱う手法としてマンデルブロがフラクタル幾何学を発表した¹⁾。この幾何学を使って岩盤内の節理や表面部の荒さなどに適用させるなどの研究が今までに行われており、岩石内部の微視的構造にもフラクタルの性質を有すると考えることができる。そこで実体顕微鏡を用いて岩石内部に見られる微視的な粒子やクラックを観察し、その構造の複雑性をフラクタル次元により表わし、フラクタル次元数と破壊との関係について考察を行う。今回の報告ではその観察方法と次元解析の手法ならびにこれからの展望について述べる。

2. フラクタルについて フラクタル(Fractal)というこの言葉はマンデルブロが『Fractus (ラテン語で壊れる・破片などの意味)』からつくった造語¹⁾で、小さな破片などが集まったような状態を表すと考えればよい。フラクタルの特徴としてはどこでも微分が定義できないランダムな形であること、特徴的な長さのなさ、言い換えれば自己相似性を持つことと言われている。この自己相似性はよくコッホ曲線(図1)を使って説明される³⁾。この曲線の任意の部分を拡大すると、もとのコッホ曲線と同じ様な曲線になる。このことが自己相似性である。

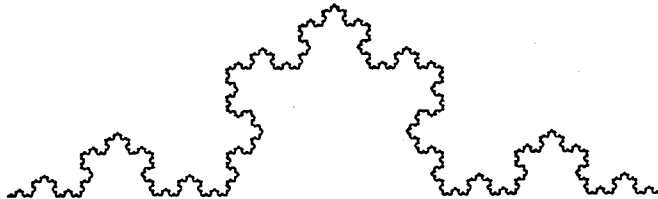


図1 コッホ曲線

3. フラクタル次元の解析方法 自己相似性を持つフラクタルを定量的に表す指標としてフラクタル次元がある。これは次のようにして求められる^{2)~5)}。まず計測したい図形を写真撮影し(写真1)、その写真からイラストを描く(図2.1)。こうしてできたイラストの上にトレーシング方眼紙を張り付ける(図2.2)。次にできあがった方眼紙の升目を一辺の長さ l (l は1~10mm)の正方形として考えて、クラックの存在する正方形の数 $N(l)$ を数える(図2.3)。これは l が小さくなればなるほどクラックを正確に表すことができ、この l と $N(l)$ は次の関係を持つ。

$$N(l) \propto l^{-D}$$

この式の D が粒内クラックのフラクタル次元数である。両対数方眼紙にX軸に l を、Y軸に $N(l)$ をとってグラフを描けば(図3)、その傾き

$$-\Delta \log N(l) / \Delta \log l$$

が D の値となる。



写真1 クラックの状態

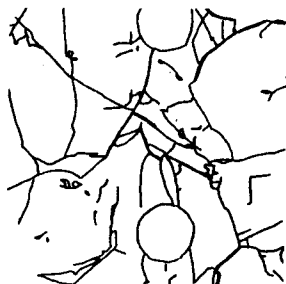


図2.1 クラックのイラスト

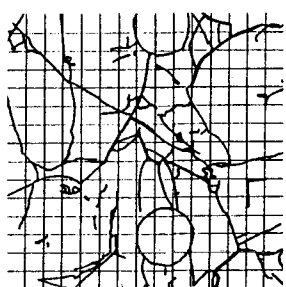


図2.2 方眼紙を貼った状態

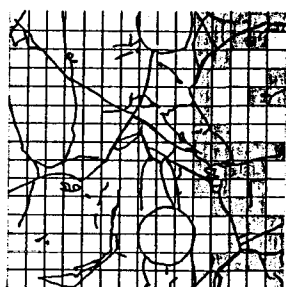
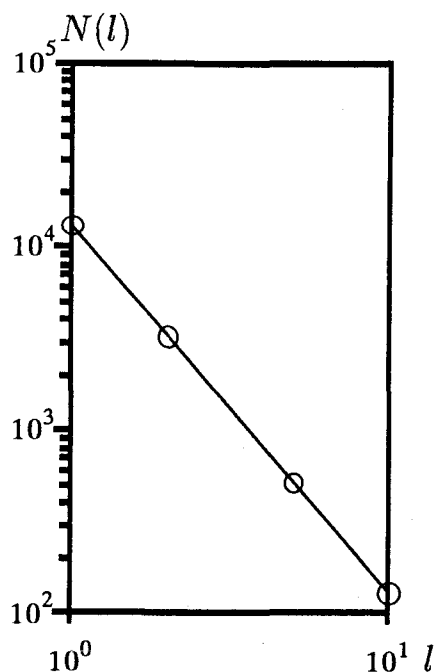


図2.3 升目を数える (黒い升)

図3 l と $N(l)$ の関係

4. 実験について まず岩石供試体の一軸圧縮試験を行い、岩石内部の粒子形状やマイクロクラックの様子を観察する。この時、クラック進展の観察を注意深く行うために載荷荷重が $1500 \text{ kgf/cm}^2 \sim 2000 \text{ kgf/cm}^2$ の段階で一度終了して、詳しく観察した後改めて破壊まで実験を行う。そして破壊前後の状態や試験中の様子をビデオプリンターやビデオレコーダーにより記録する。ビデオプリンターによって記録された写真を使用して、先に述べた方法でフラクタル次元の計算を試みる。求められたフラクタル次元数と破壊についての考察を行う。

5. 今後の展望 まず、岩石内の粒子形状および粒内クラックを観察し、それぞれのフラクタル次元数を求める。そこでフラクタル次元と載荷荷重との関係をグラフにすれば何らかの関係が求まると思われる。また、求めたフラクタル次元数より粒子の形や内部分割状態を決めて様々な岩石粒子のモデルを作成する。このモデルを均質化手法に適用させてそのモデルの物性値計算を試みる。この物性値を比較検討してフラクタル次元と破壊の関係について調べることができると期待される。

6. 参考文献

- 1) B.B. マンデルブロ著, 広中平祐訳: フラクタル幾何学, 日経サイエンス, (1985).
- 2) 高安秀樹: フラクタル, 朝倉書店, (1986).
- 3) 宇田川義夫: ダム工学, 10, 20, (1993).
- 4) 大西有三, 鍵本広之: 岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 18, 186, (1986).
- 5) 若林成樹, 福重郁経: 岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 23, 132, (1991).