

III-115

端野トンネルにおける岩盤クラックの定量化について

開発土木研究所 正員 城野 忠幸 正員 金子 学
正員 小野 裕二 正員 中野 修

1. はじめに

岩塊の工学的性質は、一般に岩石自体の強度よりも岩塊内部の地質学的分離システムに依存しており、岩塊の変形性・異方性・弾性係数・ポアソン比は、ほとんど岩石構造内部の単位ブロックの内部変形が関係している。さらに岩石試料の破壊強度は割れ目の間隔に関係があり、微細ひびや小さな割れ目のパターンは岩塊を横切る大きな割れ目のごく小さな縮図であると言われている。実際のトンネル施工においても岩盤割れ目の状態を把握することは重要な要素であり、切羽スケッチ・坑内観察記録という形で記録されている。現在、岩盤指標については、岩石コアレベルでの判定法としてはBartonのRODやこの値にさらに多くのパラメータを加えたQシステム、不連続面のせん断強度に影響を与える表面粗さについてはBartonのJRC値があるが、これらは岩盤物性の一面的な指標であり、総合的指標として捉えることは難しい。

本研究では、今まで重要視されながら定性的あるいは主観的に記述されてきた切羽スケッチ・坑内観察記録を定量的に表すために、複雑な形の記述に適したフラクタル次元を用いて実際のトンネル断面の岩盤クラックの記述を試み、その断面での計測結果とフラクタル次元との相関を検討している。

2. 調査概要

本調査の対象である端野トンネルは北見盆地の北縁に位置し、山地の標高は40～320m、裾野には屈斜路軽石流堆積物、中腹より上は堅硬な中世代の仁頃層群が分布している。トンネルのルートは急峻な山地を通過し、その最大土被りはトンネル中央部で約130mとなっている。地質は中世代・ジュラ紀の仁頃層群各層（輝緑凝灰岩・玄武岩・輝緑岩）と第4紀の地層で構成されており、輝緑凝灰岩はトンネル起点側で厚く分布し、岩質は堅硬であるが一部脆弱帯が挟在している。

また玄武岩はトンネル中央部～終点側に多く見られ、岩質は

堅硬であるが全体的に亀裂質の岩盤となっている。調査断面は通常のA計測（天端沈下量・内空変位量計測）を行う断面とし、岩盤分類でいうところの節理のある岩盤を対象としている。図-1に調査断面の位置関係を示すが、一般に地山の物性値は対象とする岩材の大きさにより性状が異なり、それぞれの大きさで寸法効果が存在するためその選定は非常に難しい。しかし本調査では、岩塊と節理のある岩盤が自己相似であるという仮定のもと、天端と切羽の両方で1m四方の範囲を設定し岩盤クラックのトレースを行っている。実際のトレースには透明のビニールシートと油性のマジックインクを使用し、トレースの対象は岩盤力学でいうところの大きな割れ目と断層および極端に大きな割れ目とし、それぞれ黒色と赤色に区別してトレースを行った。

トレースに際しては、現場技術者の判断によりその岩塊の全体強度と性質にとって重要と思われるもの、あるいはトンネル断面全体を通して見られる一般的な割れ目とした。

3. 解析方法

フラクタル次元の実用的な定義の仕方はいくつかあるが、本解析では一般に使用されている粗視化の度合いを変える方法を用いた。具体的には図-2に示すように、トレース用紙に描かれたクラックの上に一辺の長さ r のグリッドを重ね、クラックの一部でも含むような正方形の数を $N(r)$ とする。 r を変化させたときの r と $N(r)$ の関係を図-3のように両対数グラフ上に描き、 $\log N(r) = A + B \log r$ なる関係があるときフラクタル次元 D は $D = |B|$ により求めることができる。しかし岩盤クラックの

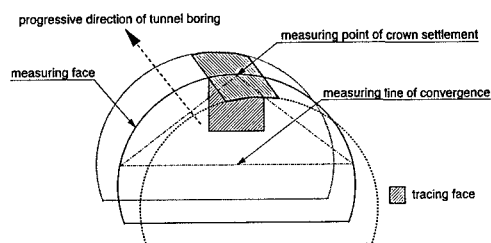


図-1 調査断面の位置関係

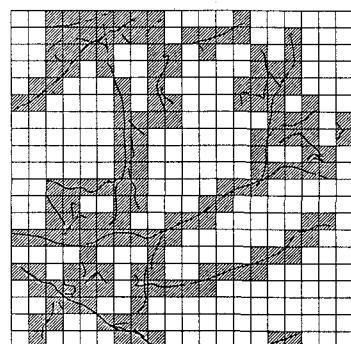


図-2 グリッドで被覆された岩盤クラック

観測尺度の範囲でのみフラクタル性が成立しているため、グリッドサイズ r の上限値・下限値を慎重に決定する必要がある。本調査の場合 r の下限値としては、得られたトレース用紙の正確さを考慮し、縦横それぞれ1,000分割(120dpi)の解像度とした。またその上限値は、回帰直線の切片が(1,1)とならないことから、縦横それぞれ5×5分割としている。さらに得られたイメージデータに対する編集は、トレースの際生じたとされるノイズを除去する以外は特に行わなかった。これは実際に解像度を変化させ細線化の有無に分けて調べてみると、その条件によってフラクタル次元が異なってくるからである。

4. 解析結果

最終的に天端および切羽の各6断面ずつ、計12断面についてデータを回収した。そのデータについて、大きな割れ目、断層および極端に大きな割れ目、その両方それぞれのフラクタル次元と天端沈下量および内空変位量との相関を調べた。その結果、断層および極端に大きな割れ目のフラクタル次元と天端沈下量はよい相関（相関係数0.9654）を示した。図-4にその関係を示すが、標本数が少ないことから母集団の相関係数の検定および推定を行っている。これによると、自由度4に対する危険率1%および5%で母集団は相関があることを示した。また母集団の相関係数の95%信頼区間を求めると0.6745～0.9954、99%信頼区間を求めると0.3499～0.9977となった。同様に他の相関について調べてみると、危険率5%においても相関が見られなかった。

本調査で得られた切羽および天端のクラックトレース図は、クラックのすべてが連続したものではないので、厳密な意味では2次元におけるフラクタル的な形とは言えない。したがって今回求めた次元は、岩盤のクラック分布のフラクタル次元ということになる。しかし岩盤クラックは3次元的に分布するものであり、その意味では連続性を有していると考えることができる。言い換えると、節理の3次元的分布そのものがフラクタル的であり、その形も2次元以上の非整数値を持つものと考えられる。表-1に今回求めた各測点ごとのクラック種類別の次元と計測結果を示す。これらの値は前述したように、解像度およびグリッドの上限・下限を限定し、さらに細線化を行わないという条件のもとに算出したものであるが、フラクタル次元の誤差は、各データの次元のレンジの平均をとると $\pm 0.025 \sim \pm 0.037$ 程度と考えられる。

5. まとめ

今回の調査・解析の結果、フラクタル次元を用いることによって、これまで困難とされていた岩盤クラックの複雑な様相を定量的に表現し得ることが確認できた。具体的には、フラクタル次元だけでは岩盤変位の重要な要素である方向性・異方性を表現できないものの、節理面の粗さ・節理の頻度・分布・形状といったパラメータの総合指標となり得る可能性を示していた。またイメージスキャナによる読取りの解像度により次元が変化するという事実から、グリッドの上限・下限は厳密に規定する必要があることが再確認できた。さらに今回の成果として、天端の断層および極端に大きな割れ目のフラクタル次元が天端の最終沈下量と相関のあることが確認され、95%信頼区間推定では標本数が少ないにもかかわらず高い相関を示した。今後は岩盤の方向性・異方性をも記述できる適当なパラメータを用いて、岩盤クラックのより詳細な定量化を行う必要があると思われる。

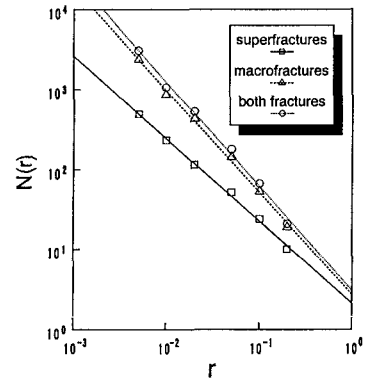


図-3 クラック種類別の r と $N(r)$ の関係

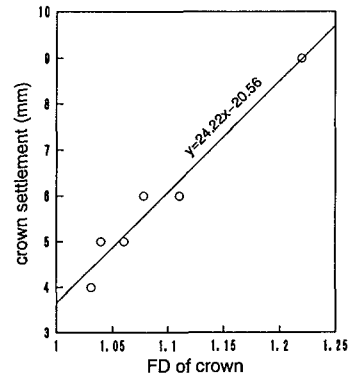


図-4 天端の次元と沈下量の関係

表-1 各測点ごとのクラック種類別の次元と計測結果

Section Point	Face or Crown	Super-fractures	Macro-fractures	Both fractures	Crown Settlement (mm)	Convergence Measure (mm)
SP.2014.17	face	1.0228	1.2041	1.2420	6.00	10.27
	crown	1.0783	1.1496	1.2462		
SP.2034.17	face	1.0699	1.1498	1.2781	9.00	12.10
	crown	1.2197	1.0869	1.2305		
SP.2084.17	face	1.0465	1.0739	1.1978	5.00	18.95
	crown	1.0606	1.1420	1.1967		
SP.2104.17	face	1.0454	1.0991	1.2399	5.00	6.28
	crown	1.0398	1.1509	1.2824		
SP.2124.97	face	1.0376	1.2436	1.2593	6.00	10.45
	crown	1.1105	1.2484	1.2563		
SP.2144.17	face	0.9802	1.1165	1.2119	4.00	13.43
	crown	1.0314	1.1509	1.2824		