

トンネル切羽画像のフラクタル次元解析による岩盤評価（新生代新第三紀堆積岩の事例）

清水建設 正会員 ○宇田川 義夫, 長谷川 裕員, 邊見 涼

1. はじめに

亀裂性岩盤において建設されるトンネルの安定性は、亀裂や風化の発達程度といった地質的特性に影響を受けやすい。山岳トンネルにおける落盤・崩壊といった重大災害の原因は、このような地山の地質的要因に負うところが多いにもかかわらず、事前調査段階では経済的な理由から、施工段階においては時間的制約等の理由から、必ずしも十分な地質調査が行われていないのが現状である。また、切羽地質観察も観察者の主観的な判断となっていることが多い。このような背景にあつて、トンネル切羽岩盤の地質評価は、防災およびトンネルの経済的施工の観点から非常に重要であり、地質状況を客観的かつ迅速に評価するシステムが必要とされている。本研究では、岩盤の亀裂分布のフラクタル特性に着目して、トンネル切羽岩盤の地質評価を迅速・簡便かつ客観的に行なう手法として、画像処理とフラクタル次元解析によって岩盤評価をおこなった。

2. トンネル切羽画像のフラクタル次元解析による岩盤評価

2.1 概要

岩盤評価システムは大きく、①画像処理、②フラクタル次元解析の2段階に分けられる。第1段階「画像処理」では、トンネル切羽画像から必要とする地質情報（亀裂、風化脆弱部）のみを抽出する。第2段階「フラクタル次元解析」では、トンネル切羽の2値化画像として抽出された地質情報（亀裂、風化脆弱部）を客観的な数値（フラクタル次元）として評価する。解析に使用する切羽面の画像は、現場で日常の切羽観察記録の一環で撮影されたデジタルカメラによる画像（Jpeg形式）によっておこなった。

2.2 画像処理

現場で撮影されたトンネル切羽画像は、明るさ・コントラスト調整、2階調化などの処理を経て、最終的に72pixels/inchの解像度の2値化画像（白黒画像）として処理される。この画像の2値化によりトンネル切羽画像から必要とする地質情報（亀裂・風化脆弱部）のみが抽出される（図1、図2）。

2.3 フラクタル次元解析

画像処理後のトンネル切羽岩盤の2値化画像（トンネル切羽面以外は消去）を、ボックスカウンティング法によるフラクタル解析を行い、フラクタル次元を求めた。ボックスカウンティング法によるフラクタル次元は次式で表わされる。

$$D = -\frac{\Delta \log N(\eta)}{\Delta \log \eta}$$

ここで、 D はフラクタル次元、 η はボックスカウンティング法における格子網の幅（単位はピクセル）、 $N(\eta)$ は格子網の幅が η のときの亀裂が存在する格子の総数である。



図1 画像処理前のトンネル切羽画像



図2 画像処理後のトンネル切羽画像

キーワード 山岳トンネル, 切羽, 画像解析, フラクタル, 数量化理論1類

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 E-mail: yudagawa@shimco.jp

3. トンネル施工現場での適用

トンネルの地質は、新第三系中新統の泥岩、シルト岩、砂岩および礫岩の互層からなる。シルト岩、砂岩の新鮮部では、淡灰色～暗灰色を呈し岩質は非常に堅硬である。新鮮部ではインタクト部分の一軸圧縮強度は 80～100MPa 程度と想定されるが、発破による掘削ずりが大塊ではなく、径 10cm 以下の岩片状に破碎され、破断面に赤褐色の酸化がみられることから、岩盤には潜在的な細かい割れ目が多く存在するものと考えられる。事前調査の地山弾性波速度値が 2.0km/sec 程度と低いのは、この潜在的な割れ目が原因と思われる。地質構造はほぼ水平の堆積構造を成しているが、堆積物が未固結状態時のすべり等による破碎帯を伴わない断層によって所々切られている。

3.1 切羽距離とフラクタル次元の分布

図3は、坑口からの切羽距離とフラクタル次元の関係を示したものである。地質状況とフラクタル次元の間には、強風化帯 1.75～1.85、弱風化帯 1.7～1.8、新鮮部 1.6～1.7 の相関を示す。

3.2 支保パターンとフラクタル次元の分布

図4は、支保パターン毎のフラクタル次元の分布を箱ひげ図で示したものである。各支保パターンにおいて、フラクタル次元はばらついているものの、全体の傾向として支保パターンが重くなるほどフラクタル次元の数値分布が大きくなる傾向にある。

3.3 切羽評価点項目とフラクタル次元との関連性

図5に、数量化理論1類によって、従属変数（目的変数）をフラクタル次元、独立変数（説明変数）を切羽評価点の各評価項目（評価区分）として、切羽評価点の各評価項目とフラクタル次元の相関性について分析した結果を示す。

評価項目は、「圧縮強度」「風化変質」「割れ目間隔」「割れ目状態」「湧水」「劣化」の6項目で、不確実性の大きい「亀裂の走向傾斜」などは省いている。また、切羽評価項目の点数は、 $\{(\text{天端部の点数}) \times 2 + (\text{右肩部の点数}) + (\text{左肩部の点数})\} \div 4$ で求めた値の小数点以下を切り上げた値を用いた。切羽評価項目とフラクタル次元の相関性であるが、評価項目「風化変質」

の偏相関係数 0.21、寄与度 1.99 と最も高く、岩石の風化変質程度（色合い）との相関性が高いことが分かる。また、地質構造的に岩相の変化が少ないため、各評価項目の偏相関係数ならびに寄与度に大きな差異は認められない。

4. まとめ

トンネル切羽画像のフラクタル次元の分布では、地質状況の変化と関連性が認められた。支保パターンごとのフラクタル次元の分布では、中間値で比較すると支保パターンが重くなるほどフラクタル次元が高くなる傾向にあった。

トンネル切羽岩盤の肌落ちは亀裂の密集している箇所や風化変質が進んでいる箇所でも多く発生している。このような箇所ではフラクタル次元が高くなっている。トンネル切羽の岩盤評価のみではなく、日常の安全管理の観点からも、この岩盤評価システムは意義があるものと考えている。

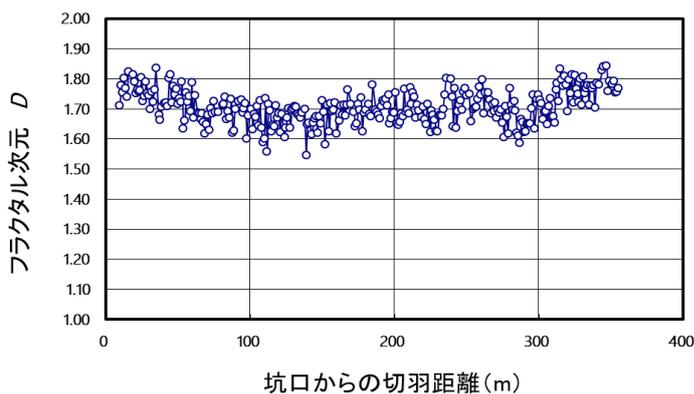


図3 切羽距離とフラクタル次元の分布

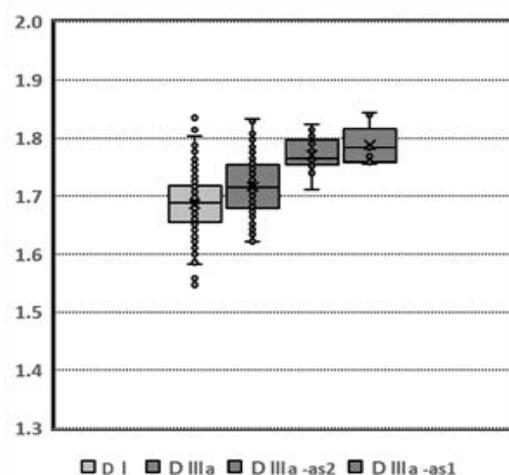


図4 支保パターンごとのフラクタル次元の分布

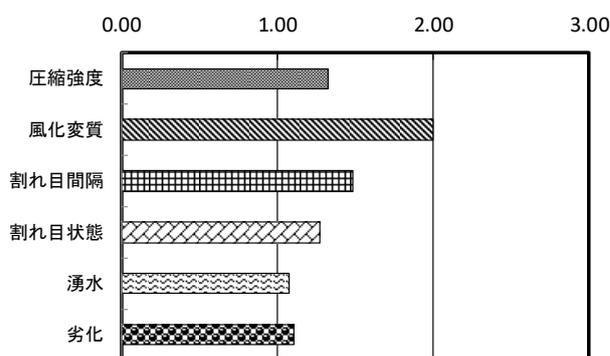


図5 独立変数の寄与度 t 値(数量化理論1類)