

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 (中生代白亜紀深成岩の事例)

(株)フジタ 正会員 ○宇田川 義夫, 根岸 善徳, 北浦 敦志

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って、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(ボックスカウンティング法によるフラクタル次元)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。

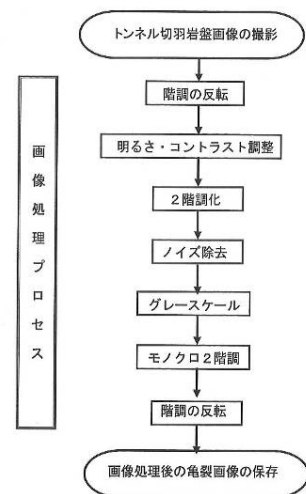


図1 画像処理アルゴリズム

2.2 画像処理

画像処理は、図1のアルゴリズムに沿って実施される。

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2, 図3)。

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2 画像処理前のトンネル切羽画像



図3 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 〒151-8570 東京都渋谷区千駄ヶ谷 4-25-2 E-mail: udagawa@fujita.co.jp

3. トンネル施工現場での適用

この岩盤評価システムを適用したトンネルは、岩手県内で建設中の道路トンネル（発注者：岩手県、 $L=771\text{m}$ ）である。トンネルの地質は中生代白亜紀の花崗閃緑岩となっている。全体的に岩質は非常に硬いものの、トンネル軸線方向の数多くの縦亀裂が発達しており、この亀裂に沿って湧水、黄褐色の風化ならびに粘土分の介在が部分的に見受けられる。

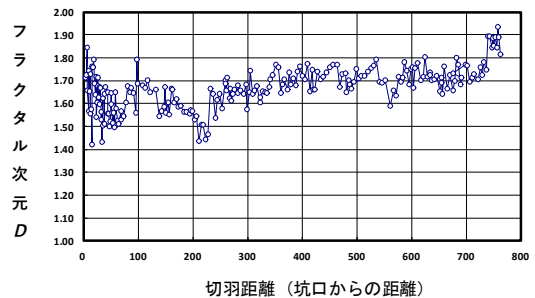


図4 フラクタル次元の分布

3.1 フラクタル次元の分布

図4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。切羽距離 0～15m までは強風化帯、15m～30m 付近までは弱風化帯が分布しておりフラクタル次元は 1.8～1.5 で推移している。切羽距離 30m 以降は、塊状岩盤が 150～250 区間で分布し、フラクタル次元が 1.4～1.6 を示すほかは、全体的に亀裂が多く発達しており、フラクタル次元は 1.7 前後で推移している。切羽距離 730m 以降の強風化帯でフラクタル次元は 1.8 を超えている。

3.2 支保パターンとフラクタル次元の分布

図5は、実施された支保パターンごとの岩盤評価システムによるフラクタル次元の頻度分布を示したものである。フラクタル次元はばらついているものの、平均値は、CII-b パターンで $D=1.647$ 、DI-b パターンで $D=1.697$ 、DIIIa パターンで $D=1.739$ となり、支保パターンが重くなるほどフラクタル次元の平均値が大きくなっている。

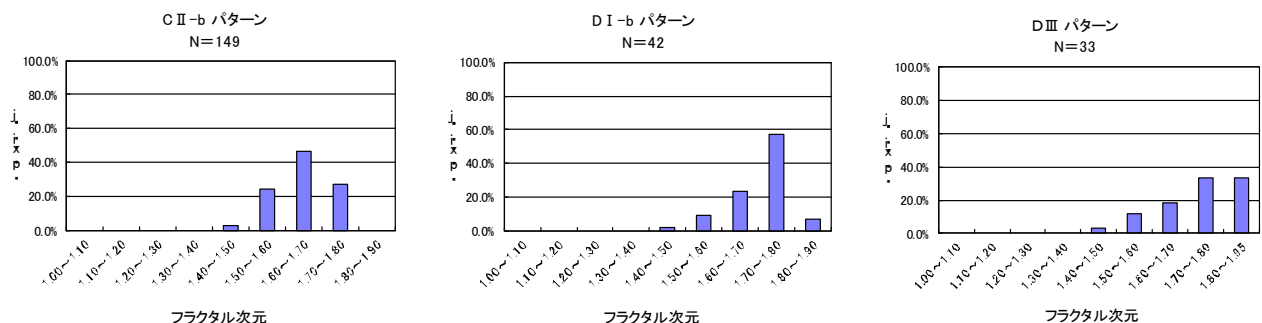


図5 支保パターンごとのフラクタル次元の分布

3.3 切羽評価点項目とフラクタル次元との関連性

図6は、他現場の事例であるが、数量化理論 1 類によって、切羽評価点の各項目を独立変数、フラクタル次元を従属変数としたときの分析結果である。寄与度 t 値でみると、フラクタル次元との関連性は「劣化」が一番高く、次いで「風化変質」、「割れ目間隔」、「圧縮強度」、「割れ目状態」の順になっている。「湧水」はほとんど関連性がなかった。

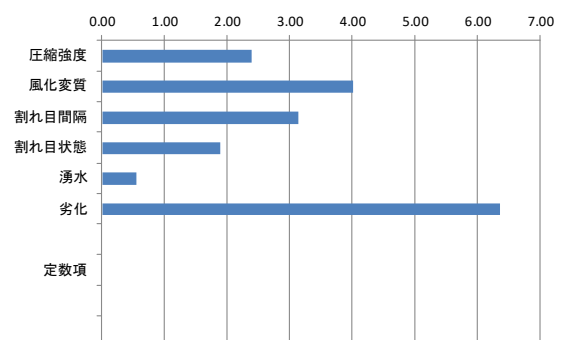


図6 独立変数の寄与度 t 値(数量化理論 1 類)

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、平均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が多く発生している。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。