

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（新生代第四紀火山岩類の事例）

(株)フジタ 正会員 ○宇田川 義夫, 伊藤 由明, 押村 嘉人

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（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。

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。

3. トンネル現場での適用

岩盤評価システムを適用した中尾トンネルには新生代第四紀長崎火山岩類（輝石安山岩・凝灰角礫岩）が分布している。輝石安山岩の岩質は非常に硬いものの、亀裂発達部では、鏡に平行～斜交する縦方向の亀裂に沿って湧水、茶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。火山岩は、溶岩流や火砕流が流下した時の旧地形に分布が左右されるため、堆積岩のように層状の分布ではなく、不規則な分布を示している。また、溶岩流の周縁部では、急速に固結しながら流下するため、自破碎状の岩相を示す部分がある。これらの複雑な岩相変化を、トンネル切羽のフラクタル画像解析によって評価を実施した。

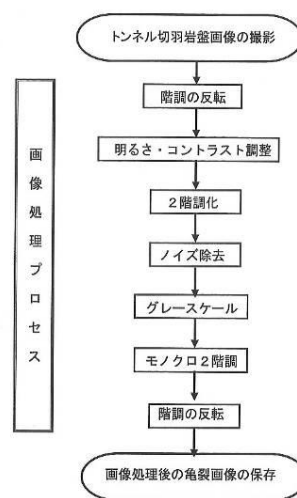


図1 画像処理アルゴリズム



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 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

3.1 地質状況とフラクタル次元の相関性

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との間には以下に示す相関性が認められる。

①強風化帯…1.7~1.9, ②断層破碎帯…1.8 以上, ③凝灰角礫岩亀裂密集部…1.8 以上, ④弱層貫入部…1.7~1.8, ⑤弱風化帯…1.6~1.7, ⑥輝石安山岩亀裂発達部…1.6~1.7, ⑦凝灰角礫岩の硬質部…1.6 以下, ⑧輝石安山岩塊状岩部…1.5~1.6 を示す。

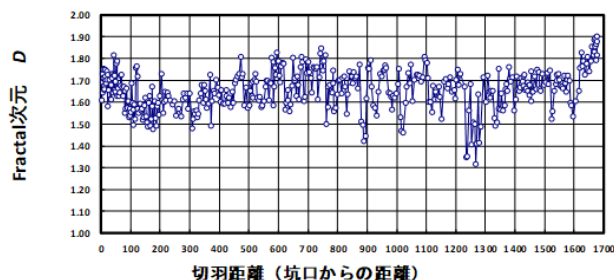


図3 フラクタル次元の分布

3.2 フラクタル次元の分布

図4, 図5は、実施された支保パターン毎の岩盤画像解析システムによるフラクタル次元の分布を、輝石安山岩、凝灰角礫岩それぞれについて、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、支保パターンが重くなるほどフラクタル次元の最大値が大きくなる傾向にある。

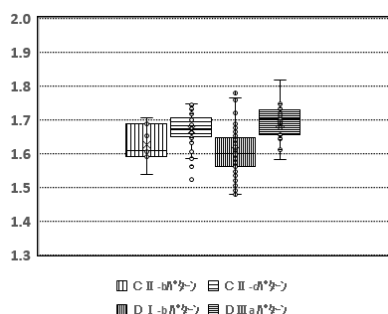


図4 支保パターンとフラクタル次元(輝石安山岩)

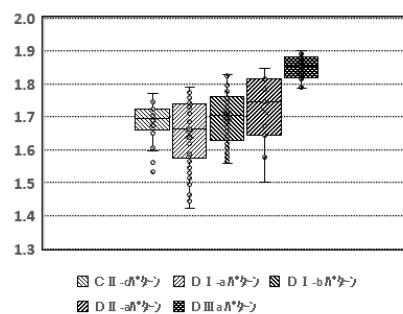


図5 支保パターンとフラクタル次元(凝灰角礫岩)

3.3 切羽評価項目とフラクタル次元の相関性

図6, 図7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、輝石安山岩と凝灰角礫岩における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」は省いている。また、切羽評価点に寄与する度合いが大きい「天端部」のデータを用いた。輝石安山岩では、圧縮強度の偏相関係数 0.41, 寄与度 6.31 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。一方、凝灰角礫岩では、輝石安山岩ほど明瞭な亀裂が少なく、各評価項目の偏相関係数は 0.2 以下, 寄与度 0.2~0.3 程度と、際立って相関性の高い評価項目はないことが分かった。これは、凝灰角礫岩では岩相の変化があまりないことが原因と思われる。

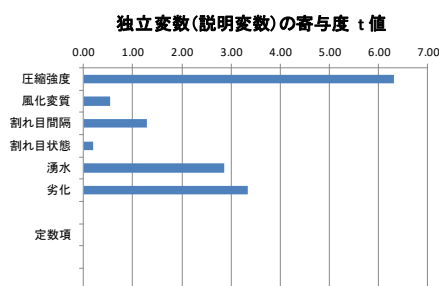


図6 数量化理論1類による分析結果(輝石安山岩)

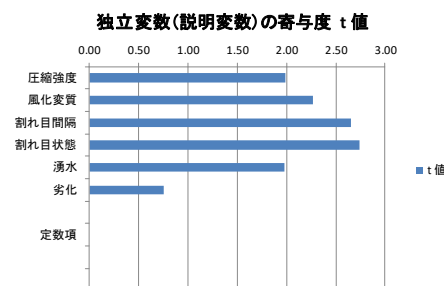


図7 数量化理論1類による分析結果(凝灰角礫岩)

4. おわりに

以上より明らかになった点について、以下に要約する。

- ① 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る。
- ② 支保パターンごとのフラクタル次元の分布では、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る。
- ③ 数量化理論1類で分析すると、岩種によってフラクタル次元と相関性の高い評価項目が異なることが分かった。山岳トンネルにおける天端崩落や肌落ちは、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多く発生しており、そのような地山ではフラクタル次元が高い。日常の安全管理の観点からも、このフラクタル画像解析システムは意義があるものと考えられる。