

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

(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のにもかかわらず、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。

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、長崎県内で建設中の道路トンネル（事業主体：西日本高速道路(株)、 $L=1,686\text{m}$ ）である。トンネルの地質は第四紀更新世の長崎火山岩類（輝石安山岩、凝灰角礫岩）となっている。坑口から現地点まで、フラクタル次元解析を実施した区間には輝石安山岩が分布しているが、岩質は非常に硬いものの、数

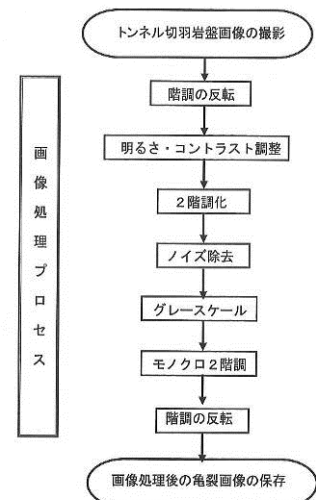


図1 画像処理アルゴリズム



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

多くの亀裂が発達しており、特に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。

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 0～34mまでは土砂、35m～45mは強風化帯が分布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 46～100m付近までは弱風化帯が分布しておりフラクタル次元は 1.7 から 1.6 へと低下傾向にある。その後、フラクタル次元は 1.5～1.6 のレンジで推移しているが、部分的に弱層の貫入があり、フラクタル次元が 1.7 程度を示す箇所もある。

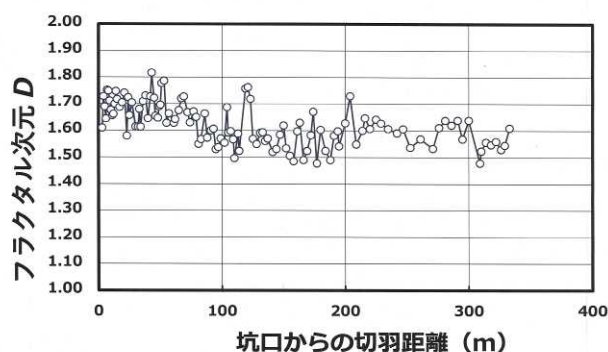


図4 フラクタル次元の分布

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、C II-b パターンで $D=1.585$ 、D I-b パターンで $D=1.601$ 、D IIIa パターンで $D=1.690$ 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。

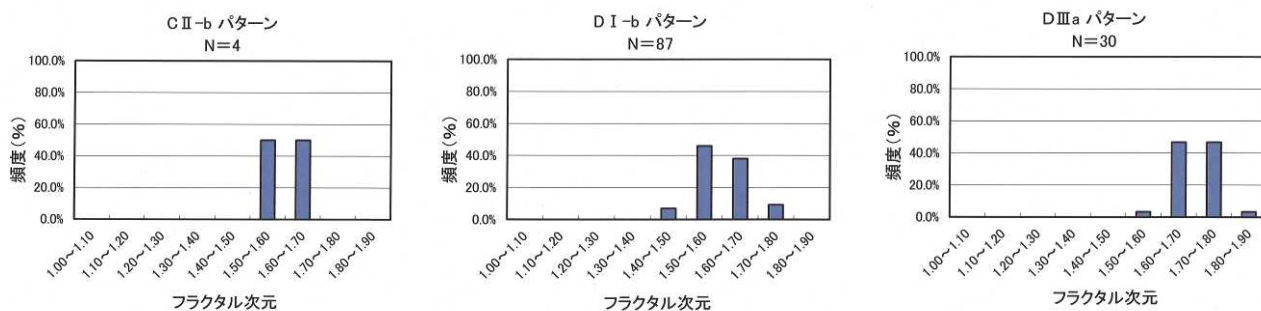


図5 支保パターンごとのフラクタル次元の分布

3.3 切羽評価点とフラクタル次元の相関性

図6は、切羽評価点とフラクタル次元の相関を示したものである。切羽評価点 25～30 で大きくばらついているが、概ね右下がりの傾向が見られる。すなわち、切羽評価点が大きく岩盤状況が良好になるほどフラクタル次元が低下する傾向にある。

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。支保工ごとのフラクタル次元の分布では、フラクタル次元の値にばらつきが認められたものの、平均値で比較すると支保パターンが重くなるほど切羽画像のフラクタル次元が高くなる傾向にあった。また、切羽評価点とフラクタル次元とのあいだにはやや相関性が認められた。

近年、山岳トンネルにおける切羽岩盤の肌落ちによる死亡災害や重大災害が相次いでいる。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。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。トンネル掘削はまだ続くので、今後も継続してフラクタル次元解析による岩盤評価に取り組んでいく所存である。

参考文献

宇田川義夫：トンネル切羽画像のフラクタル解析による地質評価手法の開発，応用地質，第 48 巻，第 3 号，pp.116-125，2007 年 8 月。

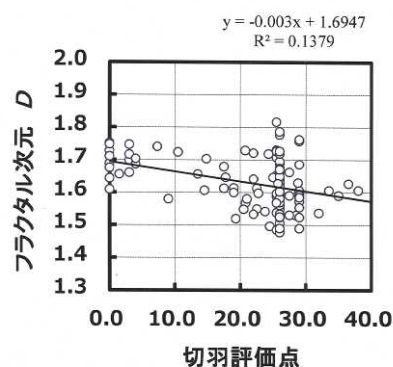


図6 切羽評価点とフラクタル次元の相関性