

トンネル切羽の地質不均質性の定量的評価手法に関する研究

清水建設 正会員 ○宇田川 義夫, 三枝 修平

1. はじめに

亀裂性岩盤に建設されるトンネルの安定性は、亀裂の発達程度や風化変質の度合いなどの地質特性に影響される。地質特性分布が不均質なトンネルでは、施工時において事前調査で想定した地質条件とは異なる場合が多く、支保パターンなどの設計条件の見直しが必要となることが多い。また、このような不均質な地質では、施工中に切羽崩落などの地質リスク事象が発生する可能性がある。このように、地質不均質性の評価は、安全かつ経済的な施工の観点、すなわち地質リスクマネジメントの観点から、施工時の地質評価において非常に重要であり、地質不均質性の客観的かつ定量的な評価システムが必要とされている。

2. 画像解析によるトンネル地質不均質性の評価

岩盤画像解析による地質不均質性の評価手順は、①画像処理（2値化）、②2値化画像の分割、③フラクタル次元解析、④地質不均質性評価の4段階で構成される。第1段階の「画像処理」では、岩盤切羽画像から必要な地質情報（亀裂、風化変質部分）のみを2値化画像として抽出する。第2段階の「2値化画像の分割」では、第1段階で得られた2値化画像を任意の大きさに分割する。第3段階の「フラクタル次元解析」では、第2段階で分割された2値化画像ごとに、ボックスカウンティング法によりフラクタル次元を計算する。ボックスカウンティング法によるフラクタル次元は式（1）で表される。

$$D = -\frac{\Delta \log N(P)}{\Delta \log P} \quad (1)$$

ここで、 D はフラクタル次元、 P 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）、 $N(P)$ は格子網の幅が P のときの亀裂が存在する格子の総数である。第4段階の「地質不均質性評価」では、第3段階で得られた2値化画像の各分割セルのフラクタル次元の標準偏差から地質的不均質性を決定する（地質不均質性指標 S_f : 式（2））。

$$S_f = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2} \quad (2)$$

3. トンネル施工現場での適用

トンネルの地質は中生代白亜紀の細粒黒雲母花崗岩である。縦方向の亀裂や熱水変質が発達し、地質は不均質性を有し、その程度は切羽ごとに異なる。

図1は iPhone で撮影したトンネル切羽画像である。この画像から必要な地質情報（亀裂、風化変質部）のみを2値化画像として抽出する（図2）。図3は切羽2値化画像を72分割したものである。



図1 画像処理前のトンネル切羽画像



図2 トンネル切羽の2値化画像



図3 トンネル切羽の2値化分割画像

		1.365	1.746	1.718	1.592	1.844	1.836	1.701	1.535		
	1.271	1.354	1.76	1.842	1.699	1.743	1.776	1.876	1.793	1.655	
	1.735	1.37	1.753	1.642	1.338	1.782	1.817	1.894	1.85	1.758	1.689
1.72	1.907	1.644	1.418	0.8	1.252	1.712	1.87	1.821	1.842	1.847	1.842
1.702	1.851	1.877	1.708	1.503	1.756	1.771	1.692	1.865	1.934	1.879	1.93
1.74	1.847	1.807	1.792	1.814	1.855	1.78	1.796	1.909	1.944	1.844	1.747

凡例

1.5以下 1.5~1.6 1.6~1.7 1.7~1.8 1.8~1.9 1.9以上

図4 トンネル切羽の不均質性評価
(数値はボックスフラクタル次元)

キーワード トンネル, 切羽, 画像解析, フラクタル, 不均質性

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 清水建設土木技術本部地下空間統括部 E-mail: yudagawa@shimz.co.jp

この各分割セルについて、ボックスカウンティング法によるフラクタル次元を求めた(図4)。さらに式(2)から、このトンネル切羽の地質不均質性指標 S_f は $S_f = 0.200$ と計算される。

3.1 トンネルの地質条件とトンネル切羽のフラクタル次元の相関

図5に切羽距離(支保番号)とフラクタル次元 D の関係を示す。切羽ごとに変化はあるものの、切羽距離1080まではフラクタル次元が減少傾向にあり、切羽は花崗岩貫入岩体の中心に向かって安定してきているように見えたが、切羽距離1080以降は地質状態が悪化し、フラクタル次元は再び上昇傾向になった。

切羽距離1133以降、フラクタル次元 D は1.8前後の値を示しており、暗灰色の安山岩岩脈と明灰色のアプライト岩脈が発達しており、地質条件は悪い状態が続いている。硬質岩盤であっても縦方向に多くの亀裂が発達し、特に切羽面に近い走向の間隔の狭い亀裂が発達している。

3.2 トンネル切羽の地質不均質性の評価

図6と図7に切羽距離(支保番号)と地質不均質性指標 S_f の関係を示す。切羽ごとに変化はあるものの、地質不均質性指標 S_f が0.18以上と高い切羽もある。

地質不均質性指標 S_f が高い値を示す切羽は、亀裂の少ない場所と多い場所が混在している場所や、風化変質の少ない場所と多い場所が混在している場所と考えられる。

切羽距離1380付近から切羽距離1430付近では、地質不均質性指標 S_f が0.10～0.25と大きく変動し、切羽の不安定化が見られた。しかし、切羽距離1430以降では、地質不均質性指標 S_f は0.15以下で安定している。

4. まとめ

本論で提案したトンネル切羽の地質不均質性の定量的評価手法の特長を以下にまとめる。

- ① トンネル切羽の地質不均質性指標 S_f は、切羽の2値化画像を画像処理して分割したボックスフラクタル次元の標準偏差として定義でき、切羽の地質特性分布の不均質性は、地質不均質性指標 S_f によって評価することができる。
- ② 本手法は、岩盤斜面の不安定領域の判定やダム基礎地盤の定量的な岩盤不均質性評価(岩盤分類)にも役立つ。

参考文献

UDAGAWA, Y., SAEGUSA, S.: The Geotechnical Study on the Quantitative Evaluation Method of Geological Heterogeneity in Tunnel Face, *International Symposium on Earth Science and Technology 2022, Cooperative International-Network for Earth Science and Technology, Fukuoka, Japan, December 2022.*

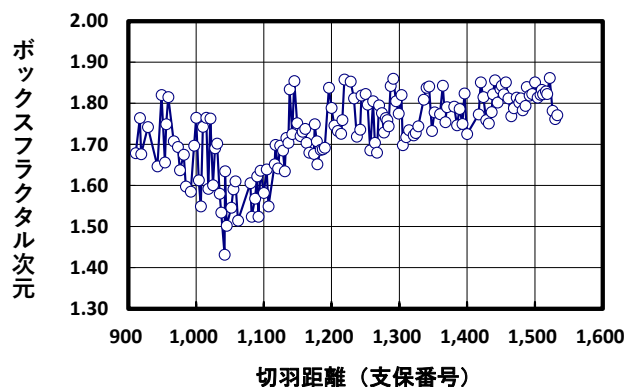


図5 切羽距離とフラクタル次元の分布

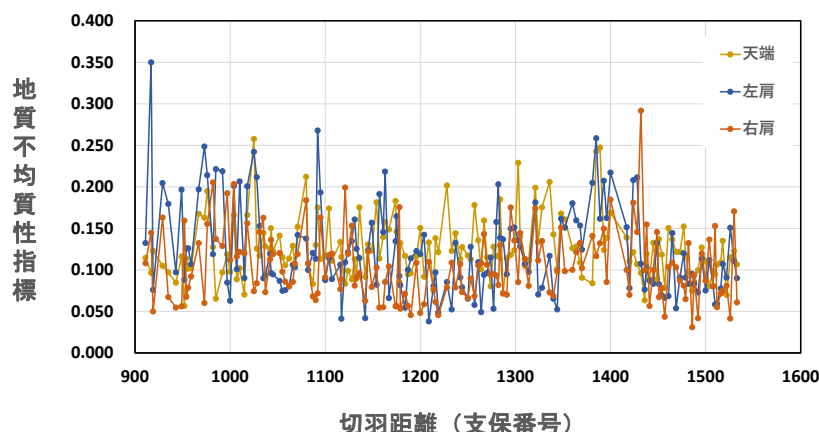


図6 切羽距離と地質不均質性指標(天端・左肩・右肩)の分布

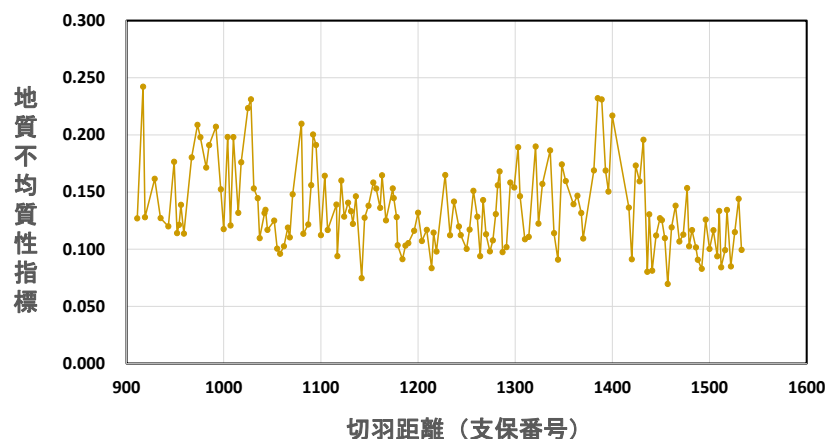


図7 切羽距離と地質不均質性指標(切羽全体)の分布