

トンネル覆工コンクリートにおける表面ひび割れのフラクタル性について

東北工業大学 ○須藤 敦史

(株)構研エンジニアリング 佐光 正和, 五十嵐 隆浩

1. はじめに

山岳トンネルの覆工コンクリートにおける定期点検は、①ひび割れ、②浮き・剥離、③漏水、④目地ズレ・開き、⑤豆板・空洞、⑥遊離石灰の6種類の項目を基本としており、これら点検結果を基にしてトンネル覆工コンクリートにおける劣化の判定区分を定めている。しかし、トンネル覆工コンクリートの表面におけるひび割れの評価は、ひび割れの数、幅や形状・形態などによってなされているが、ひび割れの形状・形態における進展やそれらの分布遷移などは定量的に評価ができず、現状では定性的な表現・評価をせざるを得ない。

そこで本研究では、北海道（寒冷地）における山岳トンネルの覆工コンクリート表面のひび割れに対してフラクタル解析を実施して、フラクタルの特性とひび割れ状態の損傷程度に対する定量評価の基礎資料を検討・整理したものである。

2. Box Counting法 とフラクタル特性

フラクタル次元を求めるには幾つかの方法が提案されているが、岩盤やコンクリート構造物におけるひび割れのフラクタル解析では、図-1 に示す被覆法のうちの Box Counting 法^{2),3)}が用いられることが多い。この方法は、1 辺 R の正方形ひびわれパターンを一边の長さ r_0 の正方形格子に分割し、ひびわれを含む一边の長さ r_0 の正方形の個数 N を求めるものである。ここで、分割数(ε)を変えたとき N と ε の関係は式(1)のように表される (例: $\varepsilon=1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16\dots$)。

$$N \propto \varepsilon^{-D} \quad (1)$$

また、フラクタル次元 (D 値) は以下のように求められる。

$$D = \frac{\log N}{\log \varepsilon} \quad (2)$$

実際には、それぞれの N と ε を両対数上にプロットして、その勾配からフラクタル次元が求められる。

ここでフラクタル次元は、覆工表面のひび割れではおおよそ $1 \leq D \leq 2$ の値をとる。これは単純な線では1次元以上、また面では2次元以下のフラクタル次元 (D 値) となるため、複雑な覆工表面のひび割れは平面に近いフラクタル次元となる。

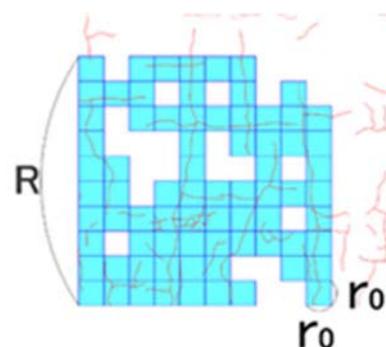


図-1 Box Counting 法



図-3 トンネル覆工のひび割れ(1)

3. トンネル覆工ひび割れにおけるフラクタル解析

本研究で対象とした山岳トンネルは、北海道（札幌地区）の4トンネルに対する覆工コンクリートの表面における定期点検値（CADデータ）を用いている。

(1) ひび割れ状態とフラクタル解析の範囲

フラクタル解析の範囲に対するひび割れ状態の影響を検討するために図-2 に示す。図-2 に示すようにトンネルの覆工コンクリート表面のひび割れにおいて、全体と黒線で囲んだ部分を除いたフラクタル

キーワード：トンネル覆工, ひび割れフラクタル解析, 劣化現象

連絡先 〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町 35-1 [Tel:022-305-3507](tel:022-305-3507) E-mail : atsu-sutoh@tohtech.ac.jp

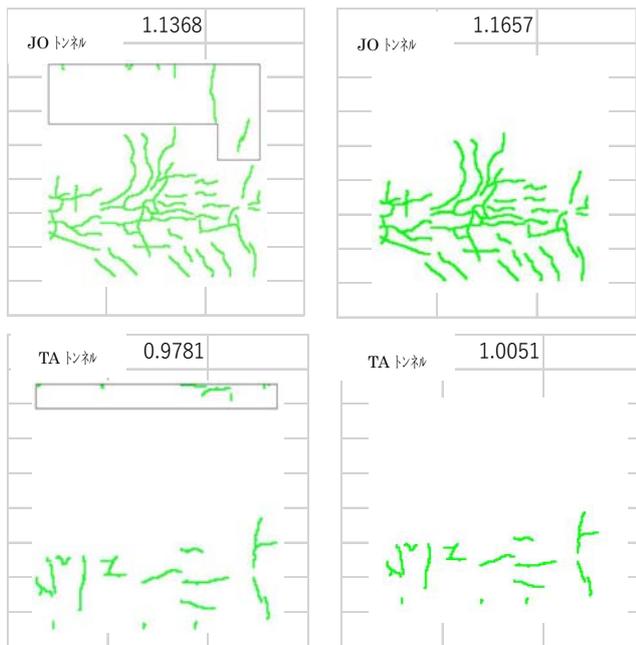


図-2 トンネル覆工のひび割れ (2)

次元 (D値) を求めた結果、覆工コンクリート表面のひび割れの解析範囲でフラクタル次元は異なるため、フラクタルの解析において、ひび割れの範囲や状態におけるD値を検討する必要がある。

(2) ひび割れ状態とフラクタル解析

さらに、図-3に示すようにトンネルの覆工コンクリートのひび割れにおいて、フラクタル次元 (D値) を求めたものを図-4に示す。図-4より、ある程度、密な覆工コンクリート表面のひび割れにおいて求めたフラクタル次元は相関係数0.999と高い値を示している。

4. 札幌地区における山岳トンネル覆工のひび割れに対するフラクタル次数

最後に、北海道 (札幌地区) の4トンネルに対する覆工コンクリートの表面における定期点検値 (CAD データ) から、それぞれ6ヶ所の覆工表面のひび割れ範囲を選択した。ここで Box Counting 法を適用してフラクタル次元 (D 値) と相関係数を求めたものを表-1 に示す。表-1 より、フラクタル次元 (D 値)、および相関係数とも高い値であることより、フラクタル解析はひび割れ状態と損傷程度の定量評価等に用いることができる。

5. 結 論

本研究は、寒冷地の山岳トンネルにおける覆工コンクリート表面のひび割れに対してフラクタル解析を実施した結果、以下の結論が得られた。

- 1) 覆工コンクリートのひび割れが密な場合に対してフラクタル次数 (D値) は大きな値を示す。
- 2) フラクタル次数 (D値) は、ひび割れの状態と解析範囲で変動するため、状況と範囲の検討が必要である。
- 3) フラクタル次元 (D値) による、覆工のひび割れ状態と損傷程度の定量的な評価が可能である。

参考文献

- 1) 阿部忠行,小川 進:舗装ひびわれのフラクタル解析,土木学会論文集,No.442/V-16,pp.119-126,1992.2.
- 2) 松下貢:フラクタルの物理,裳華房,2002.
- 3) 土屋範芳,松川陽介,中塚勝人:岩石断面の割れ目の分布と計上のフラクタル解析,日本地熱学会誌,第16巻,第2号,pp.153-171,1994.

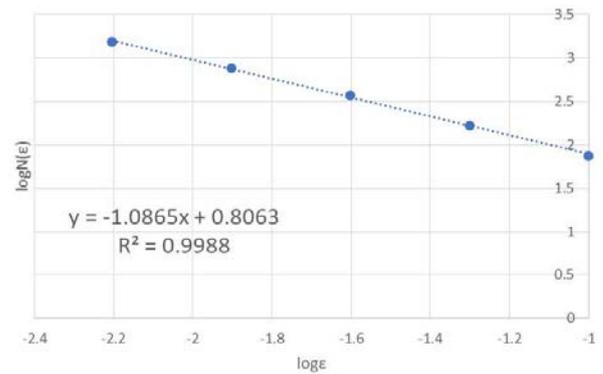


図-4 フラクタル次数 (JO トンネル)

表-1 フラクタル次数と相関係数 (4 トンネル)

トンネル名	場所番号	D値	相関係数 (n)	トンネル名	場所番号	D値	相関係数 (n)
Tトンネル	①	1.3424	0.9899	TAトンネル	①	1.1128	0.9948
	②	1.3215	0.991		②	1.095	0.9978
	③	1.268	0.9802		③	1.0074	0.9998
	④	1.259	0.9823		④	1.0366	0.999
	⑤	1.1776	0.9247		⑤	0.9781	0.9989
	⑥	1.1556	0.9905		⑥	0.9486	0.9995
JOトンネル	①	1.0865	0.9988	TEトンネル	①	1.1205	0.9947
	②	1.1368	0.9931		②	1.0433	0.9953
	③	1.0376	0.9999		③	1.0532	0.9963
	④	1.0753	0.9976		④	0.9892	0.9988
	⑤	1.081	0.9976		⑤	0.9492	0.9998
	⑥	1.0209	0.9999		⑥	1.0211	0.9995