

フラクタル次元解析による覆工表面劣化度評価に関する基礎的研究

長崎大学工学部 学生会員○中川剛樹

長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静 フェロー会員 棚橋由彦

(株)パスコ九州事業部技術部 趙 暁東

1. はじめに

わが国では 1999 年 6 月に発生した山陽新幹線トンネル内覆工剥落事故以来、既設トンネルの維持管理のあり方が議論されている。高度経済成長期には多くの社会資本が整備され、それらは建設及び供用されてから約 40 年経過しており、補修・改修時期が迫っている。財政ひっ迫の中、公共事業への投資は減少しており、限られた財源により合理的な維持管理が求められている。このように維持管理への関心が高まっているものの、山岳トンネルについては設計段階において不確定要因を多く含んでおり、適切な補修箇所・時期を決定する維持管理手法が定められていないのが現状である。

そこで本研究では、これまで開発に取り組んできた変状要因解明と対策工検討を支援するための「覆工コンクリート表面亀裂解析システム」の検証を行い、覆工コンクリート表面亀裂解析に基づく劣化度評価を検討する。

2. トンネル劣化解析システムの概要

「覆工コンクリート表面亀裂解析システム」は本研究で用いている ArcGIS 上で VB6 (Visual Basic 6.0) を用いてカスタマイズして開発したものである¹⁾。まず、覆工コンクリートの亀裂部分をデジタルカメラで撮影したデジタル画像を GIS 内に取り込み、亀裂の RGB 値を抽出する。ここで、設定した範囲内の RGB 値を持つピクセルについてポリゴンに変換し、亀裂の面積、周長と割合の計算を行う。同時に、亀裂中心線の抽出と細線化処理を行い亀裂の長さを計算する。この二つの解析結果から亀裂の平均幅を計算する。さらにフラクタル次元算出も行う。また、本システムはフラクタル次元を求める方法として Box Counting 法²⁾を用いている。この方法は、画像をある Pixel 数で分割し、その分割幅と亀裂を含む格子の個数 (N) をもとにフラクタル次元を算出する方法である。例えば、図-1 に示すように横軸方向に A (Pixel)、縦軸方向に B (Pixel) を考える。この状態で画像を分割幅 s (Pixel) で分割すると、分割数は横軸方向が A/s、縦軸方向が B/s となる。この分割幅 s を 2 倍、3 倍、…、n 倍と変化させると、亀裂を含む格子の個数 (N) も変化する。これにより得られる n 対のデータを対数データとしてプロットし、その回帰曲線の傾きからフラクタル次元を求める。

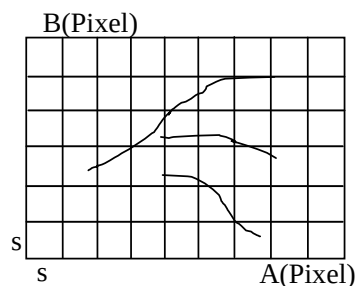


図-1 亀裂を含む格子のカウント

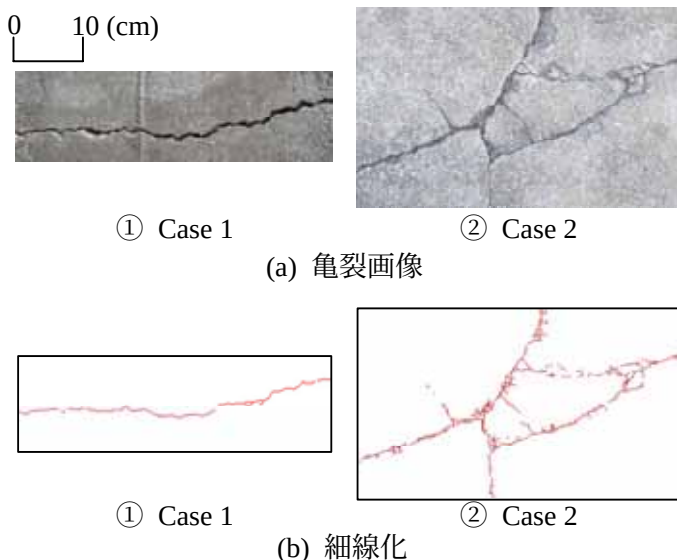


図-2 亀裂分布の細線

3. 解析システムの検証

3.1 K 値の決定

JPEG ファイルは 3 つの Band (R・G・B) によって構成されている。K 値とはこの内の Band1 (R) の

値に対応する。本システムは RGB 値によって亀裂を識別するため、亀裂部分の RGB 値を抽出する必要がある。そこで、GIS 内に取り込んだ画像の属性テーブルより選択し、選択フィーチャを表示させた。表示された選択フィーチャと RGB 値を照らし合わせ、Case 1 については 4 から 70、Case 2 については 41 から 140 に選択範囲 (K 値の範囲) を決定した。検討例として図-2 (a) の Case 1 に一本の亀裂を、Case 2 に複雑な亀裂を示す。また、図-2 (b) にそれぞれの亀裂について細線化処理を行った分布図を示す。この図からも設定した K 値の範囲は妥当であるといえる。

3.2 Box Counting 法における分割幅の決定

Box Counting 法を用いる場合、分割幅によって、計算結果は大きく異なってくる。本研究では、相関係数から最大分割幅を決定した。図-3 に最大分割幅と相関係数の関係を示す。今回は最大分割幅を 30 から 100 まで変更し、相関係数の変化について検討した。その結果、すべての場合において相関係数は 0.99 以上を示した。よって、今回はその中でも最も相関係数が高い分割数を図より検討し、Case 1 については 44Pixel、Case 2 については 90Pixel に最大分割幅を設定したが、すべての分布状態について相関係数が今回のように高いとは限らないので、ケース毎に最大分割幅を設定する必要があると考えられる。

4. 解析結果と考察

亀裂の分布とフラクタル次元との関係を明らかにするために図-2 に示す 2 ケースについて解析を行った。表-1 にパラメータと解析結果を示す。また、図-4 に Box Counting 法の結果によるグラフを示す。この表と図からも分かるように、より複雑な亀裂ほどその分布が広がることからフラクタル次元は大きな値を示した。また、図-3 の相関係数と図-4 のプロット点より、複数の亀裂が分布する場合、相関係数が高く、フラクタル次元があまり最大分割幅の影響を受けないため、本解析手法は実現場への適用が容易であると考えられる。

5. おわりに

本研究では、形状の異なる亀裂について K 値の決定に関する検討、Box Counting 法における分割幅の決定方法の検討を行い、解析を行った。その結果、亀裂の分布特性をフラクタル次元によって定量的に表すことができた。今後は、亀裂の分布特性とフラクタル次元との関係を追求するため解析ケースを増やし、トンネル劣化度評価における本システムの活用の有効性を検討していく。

【参考文献】

- 1) 蔣宇静, 棚橋由彦, 藤井崇博, 趙曉東, 井出永重孝: GIS を用いた道路トンネル維持管理データベースの構築と活用, 土と基礎, 第 52 巻, 第 6 号, pp. 25-27, 2004
- 2) 高安秀樹: フラクタル, pp.10-13, 朝倉書店, 1986

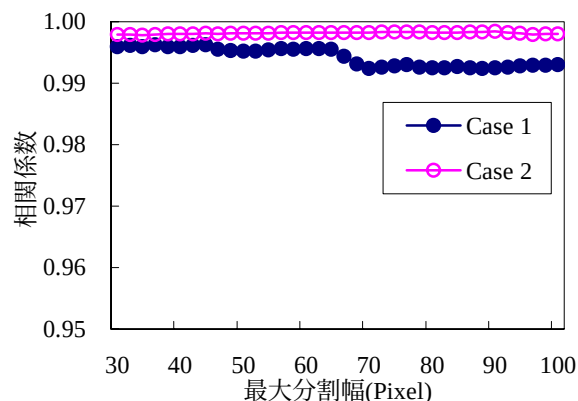


図-3 最大分割幅と相関係数

表-1 パラメータと解析結果

項目		Case 1	Case 2
K 値	最小値	4	41
	最大値	70	140
変換する亀裂の最大幅		10	10
1Pixel 当たりの長さ(cm)		0.035	0.035
最大分割幅(Pixel)		44	90
亀裂の解析結果			
亀裂の長さ(cm)		29.8	212.0
亀裂の平均幅(cm)		0.189	0.206
フラクタル次元解析	相関係数	0.9963	0.9984
	フラクタル次元	1.0233	1.1914

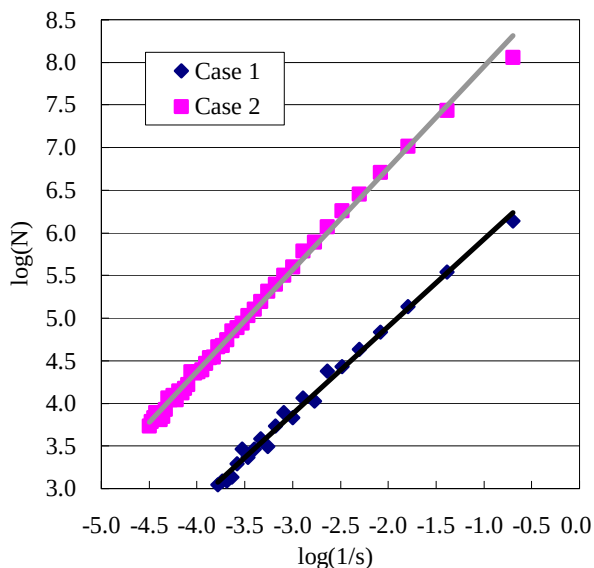


図-4 $\log(1/s) - \log(N)$ 関係