

計測に基づくトンネル覆エコンクリートの健全度評価の試み

西日本高速道路エンジニアリング九州株式会社 正会員 ○谷口徹也

西日本高速道路株式会社 正会員 山戸隆秀

長崎大学大学院工学研究科 学生会員 草場雅哉 フェロー会員 蔣 宇静

1. はじめに

トンネル覆エコンクリート（以下、「覆エ」という）の健全度は、一般的に近接目視や打音により把握した覆エの劣化状況から判定している。しかし現評価方法のみでの補強工の要否は判定し難い。そこで本研究では、覆エ耐力を評価するために覆エのひび割れと覆エ本体の振動特性に着目し、覆エ表面画像を用いて定量化したひび割れ状況と、覆エの常時微動計測による振動特性との相関性を検証した。

2. 研究手順

本研究の手順を図-1に示す。1982年に矢板工法で建設された道路トンネルの覆エの対象範囲 10 箇所について、覆エ表面画像から抽出、図化したひび割れの分布状況の定量的表現法としてフラクタル次元を求め、同範囲の常時微動を計測してフーリエ解析した振動特性との相関性を検証した。

3. フラクタル次元とひび割れ分布状況の相関性

図-2に示すとおりに覆エ表面画像から抽出したひび割れ展開図から、フラクタル次元の算出を行った。フラクタル次元とひび割れ分布状況の相関性検証にあたっては、西日本高速道路株式会社のトンネル詳細点

検の健全度評価に用いられる Tunnel Crack Index (以下、「TCI」という)を使用した¹⁾。TCI 算出式を(1a)に、図-3に TCI 算出のための展開図を示す。

$$F_{ij} = \frac{1}{A} \sum_{k=1}^n \left(l^{(k)} \right)^a \left(l^{(k)} \right)^b \cos \theta_i^{(k)} \cos \theta_j^{(k)} \quad (1a)$$

ここに、 A : 対象とする覆エコンクリートの面積

n : ひび割れの本数

$l^{(k)}$: k 番目のひび割れの長さ

$t^{(k)}$: k 番目のひび割れの幅

$\theta_i^{(k)}$: k 番目のひび割れの法線ベクトルが x_i 軸となす角(反時計回りを正)

$\theta_j^{(k)}$: k 番目のひび割れの法線ベクトルが x_j 軸となす角(反時計回りを正)

a : ひび割れ幅の重み付けに関する係数

b : ひび割れ長さの重み付けに関する係数

図-4に TCI とフラクタル次元との相関を示す。相関係数 0.92 と、正の相関があることが確認できた。

4. 常時微動計測による現地覆エの振動特性

対象範囲の現地覆エにおいて、常時微動計測により取得した加速度波形を用いてフーリエ解析を行った。常時微動計測は、覆エ天端部表面の軸方向、横断方向、鉛直方向の3方向に振動計を設置して180秒間連続で計測を行った。計測データはスパイクノイズを取り除き、100秒間の加速度波形に整理したうえでフーリエスペクトルを算出し、15Hz～250Hz間での平均値および3方向成分の合成値として整理した^{2),3)}。

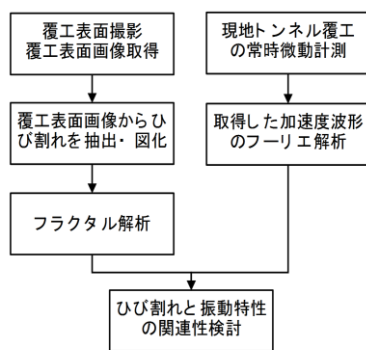


図-1 研究手順

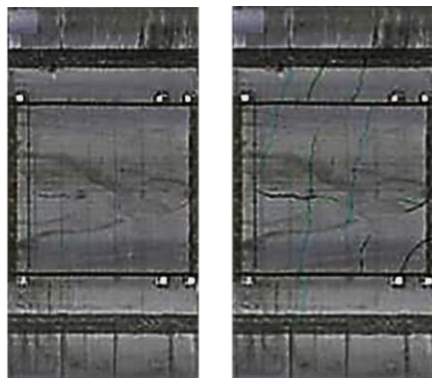


図-2 ひび割れ抽出、図化

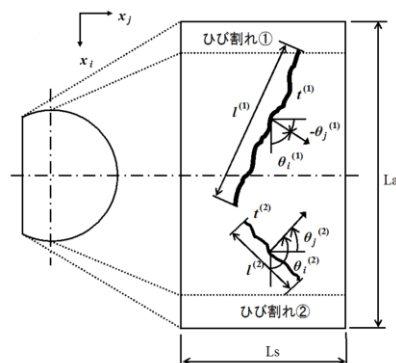


図-3 TCI 算出のための展開図

キーワード フラクタル次元, TCI, フーリエスペクトル, 健全度評価

連絡先 福岡県福岡市中央区舞鶴1-2-22 TEL 092-771-1414 TEL 092-771-6882

5. フラクタル次元と現地覆工の振動特性との関連

(1) TCI と現地覆工のフーリエスペクトルとの相関性

TCI と現地覆工のフーリエスペクトルの相関性について、軸方向、横断方向、鉛直方向、3 方向合成のそれぞれ検証を行った結果、図-5 に示すとおり相関係数が 0.72 と、横断方向のフーリエスペクトルが最も TCI と正の相関性が認められた。

(2) フラクタル次元と横断方向フーリエスペクトルとの相関性

フラクタル次元と横断方向フーリエスペクトルの相関を図-6 下に示す。相関係数 0.64 と正の相関性が認められた。但し、既往論文^{2),3)}でのひび割れ分布とフーリエスペクトルとの相関の傾向が異なることから、振動計の取付方法など計測方法を検証する必要がある。

(3) 推定覆工厚比、推定覆工背面空洞跡深さとの関連

フラクタル次元と横断方向フーリエスペクトルとの相関性は確認できたが、個々の計測値にバラつきがある。バラツキの原因は、既往調査結果の推定覆工厚比および推定覆工背面空洞跡深さ（以下、「空洞深さ」という）との関連性を検証した。その結果、例えば図-6 下中破線枠内において、フラクタル次元が異なり横断方向フーリエスペクトルが同様の値の場合、空洞深

さの違いが影響している可能性があるなど、覆工背面空洞が存在する場合や覆工厚が厚くなる場合はフーリエスペクトルが上がりにくくなる傾向にあると推定した。

6. おわりに

本研究の結果、TCI とフラクタル次元、横断方向フーリエスペクトルと TCI、およびフラクタル次元と横断方向フーリエスペクトルのそれぞれに相関性があることを確認できた。しかし、個々の計測値にバラつきがあり、その要因として覆工厚と背面空洞が関連している可能性があると推定した。また、既往論文と相関性の傾向が異なることも分かった。今後は、現地覆工のひび割れと常時微動計測データを蓄積し、本研究で得た知見をさらに検証し、覆工耐力に着目した健全度評価手法の確立を目指す所存である。

参考文献

- 1) 西日本高速道路株式会社：保全点検要領（構造物編），2015.4
- 2) 蔣宇静，谷川征嗣，山内淑人，安田亨，田近宏則：常時微動測定に基づくトンネル覆工の健全度評価手法の提案，トンネル工学報告集，第 20 巻，pp.205-209，2010
- 3) 山内淑人，蔣宇静，李博，小川能克，大嶽剛志：常時微動測定によるトンネル覆工コンクリート健全度評価の可能性，JCROSSAR 2011 論文集，pp.645-648，2011

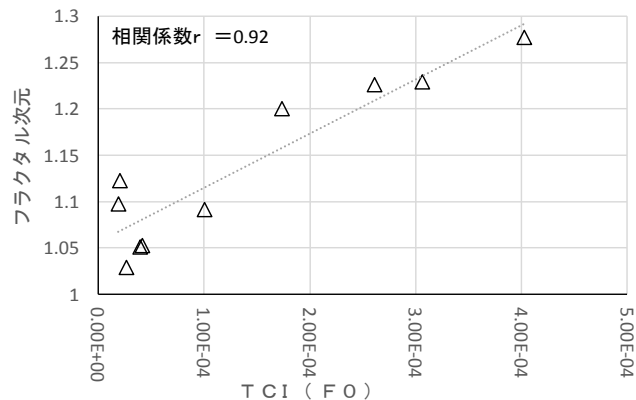


図-4 TCI とフラクタル次元との相関

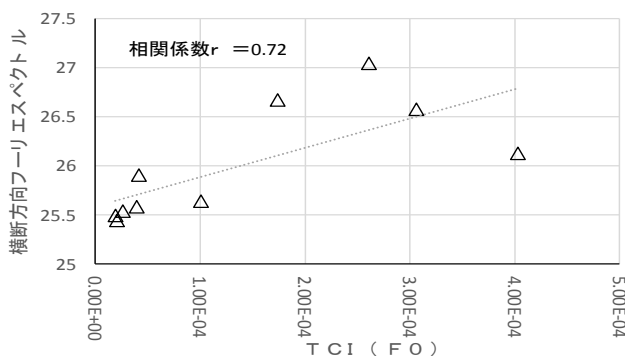


図-5 横断方向フーリエスペクトルと TCI との相関

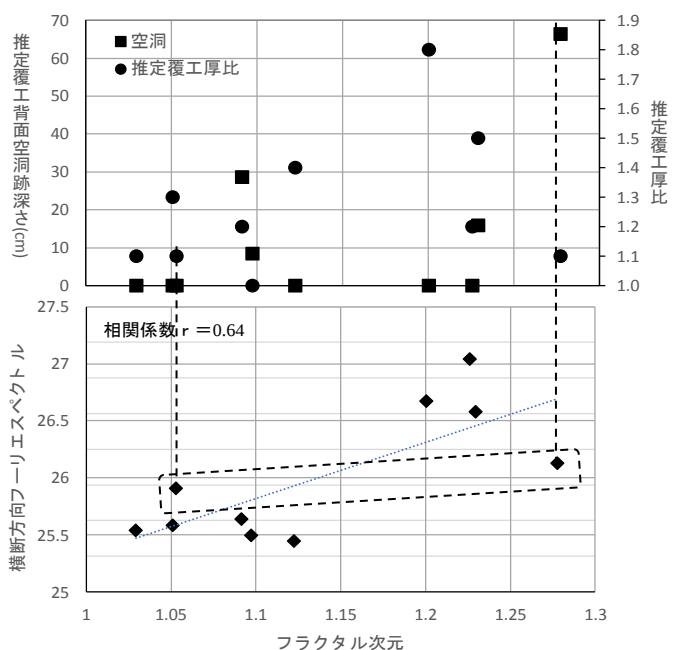


図-6 フラクタル次元と横断方向フーリエスペクトルとの相関および推定覆工厚、空洞深さとの関連