覆工振動計測に基づく老朽化トンネルの健全度評価

長崎大学工学部　学生会員　○川島康誠　長崎大学大学院工学研究科　フェロー会員　蒋宇静
長崎大学大学院工学研究科　学生会員　斎藤隆史　正会員　大嶺聖　正会員　杉本知史
西日本高速道路エンジニアリング九州(株)　　正会員　谷口徹也

1. はじめに

現在の日本には 10000 箇所以上のトンネルが存在しており，2040 年には建設後 50 年以上経過したトンネルが全体の約 50%を超え，補修が必要となる老朽化トンネルが増大している．そのため，健全度の的確な判断と合理的対策が必要とされている．本研究では，現地の計測に基づいたひび割れの分布や振動特性に着目した覆工健全性の推定を行うことを目的とする．

2. 対象トンネルの概要

対象トンネルは，K トンネルである．上り線は全長 663.7m，下り線は全長 691.8mである．また，トンネルは矢板工法により施工されており，トンネル内は覆工表面ひび割れや漏水，うき・はく離などの変状が多く見られる．

3. 覆工表面ひび割れ分布と振動特性との相関分析

3.1 ひび割れ分布

覆工表面ひび割れの分布密度について，フラクタル次元解析を行った際，既往の研究では，ひび割れが多いほどフラクタル次元は大きくなる傾向がある [1)]．**図 1** は対象トンネルの覆工表面ひび割れ分布の展開図を示す．**図 2** は対象スパン内における計測箇所を示す．　**図 3** は，断面横断方向の計測位置を示す．対象スパンのフーリエスペクトルとフラクタル次元の値は**表 1** にまとめた．

3.2 振動特性

背面空洞の有無とひび割れが多い箇所，少ない箇所を考慮して 24 スパンを選び，覆工面の軸方向，接戦方向，法線方向に加速度計を設置して常時微動計測を行った．既往の研究では，測定された加速度波形はフーリエ解析を行い，フーリエスペクトルを算出した [2)]．なお，算出した各スパンのフーリエスペクトルも**表 1** に示す．フーリエスペクトルは，軸方向，接線方向，法線方向の 3 方向の合成値である．

3.3 ひび割れ分布と振動特性との相関

K トンネルのフラクタル次元とフーリエスペクトルのグラフを，計測地点別に分けた．①地点は**図 3**，②地点は**図 4**，③地点は**図 5** に示す．対象スパンの計測地点別に

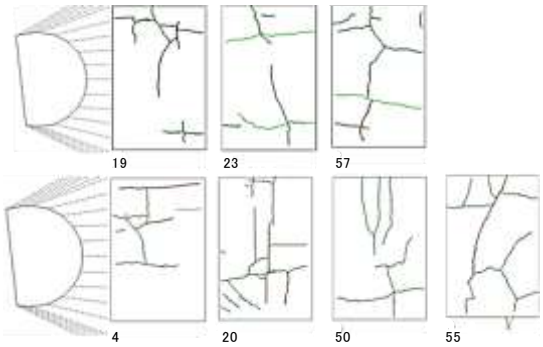

図 1　対象トンネルの覆工表面ひび割れ分布
（上図；上り側　下図；下り側）

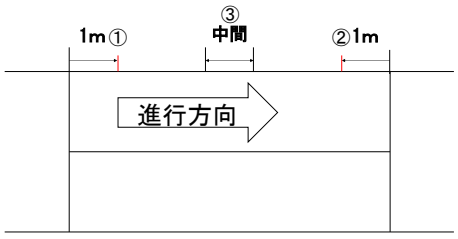

図 2　対象スパン内における計測地点

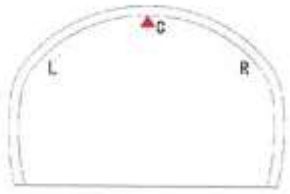

図 3　断面横断方向の計測位置

表 1　上り線のフーリエスペクトルとフラクタル次元

No.	フーリエスペクトル(m gal・sec)	フラクタル次元
19①	13.280	1.062
19②	13.436	
19③	13.213	
23①	13.158	1.036
23②	13.138	
23③	13.154	
57①	13.091	1.046
57②	13.746	
57③	13.219	

分けたグラフは，どれも強い相関関係を示さなかった．

3.4 固有値解析

固有値解析は，構造物の動的特性を表す指標である固有振動数を計算する方法である．計算方法は（1）の通りである．

$$\Phi(x)=A_1\cos\alpha x+A_2\cos\alpha x+A_3\cosh\alpha x+A_4\sinh\alpha x \cdots (1)$$

Φ(x)；固有モード　　x；距離

Aì；境界条件

固有振動数は，構造物が自由振動できる一種の固有形状である．与えられた形に変形させるための必要なエネルギーは，ひび割れの影響があるかを解明するために固有振動数とフラクタル次元のグラフを**図 6** に示した．

4. 考察

図 3～図 5 でスパン 50 とスパン 55 のフーリエスペクトルが高い値を示している．スパン 50 とスパン 55 では，背面空洞に対しエアモルタルを注入している．そのため，覆工背面が地山に接しているスパンよりもフーリエスペクトルが高くなっていると推測する．また，これらの図から強い相関関係を得ることは出来なかった．これはスパン内で，ひび割れに偏りがあるためだと推測する．そのため，覆工健全性の推定を行う際は，1 スパン内で少なくとも 3 箇所は計測したが良いと考える．**図 6** においては，スパン 20 を除くと強い相関関係を得ることができた．よって，固有振動数にひび割れが与える影響は大きいと考える．スパン 20 は，覆工厚が他のスパンに比べて極端に薄いからだと推測する．

5. おわりに

本研究では老朽化トンネルの維持管理における覆工コンクリートの健全性評価について，ひび割れ密度を表すフラクタル次元と健全度を表すフーリエスペクトル及び固有値解析の 3 つの特性値を用いて相関関係を考察した．ひび割れ分布状況との関連性は認められなかったが、地質等他の要因が複合していることが考えられるため、今後は複合要因の研究を行いたい．

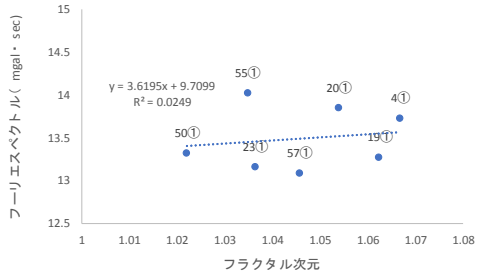

図 3　フーリエスペクトルとフラクタル次元との関係（①地点）

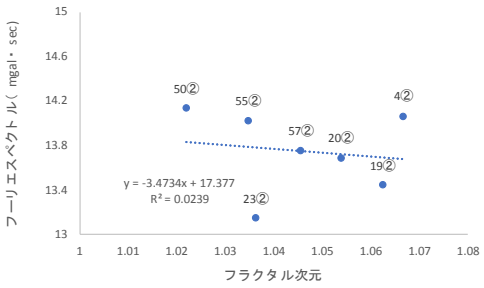

図 4　フーリエスペクトルとフラクタル次元との関係（②地点）

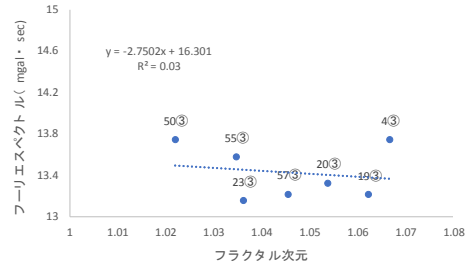

図 5　フーリエスペクトルとフラクタル次元との関係（③地点）

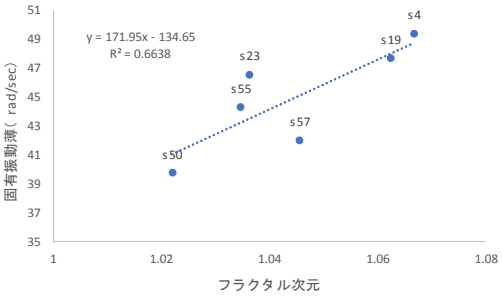

図 6　フラクタル次元と固有振動数との関係（スパン 20 を除く）

参考文献

1) 草場雅哉，ほか：トンネル覆工コンクリートのひび割れ発生状況と振動特性との相関に関する評価，平成 28 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，Ⅲ-72，2017

2) 蒋宇静，谷口征嗣，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