

ひび割れ分布と振動特性との相関に基づくトンネル覆工の健全度評価

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
長崎大学工学部 学生会員 的場亮 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 10,000 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、工事・点検による社会的影響が大きくなると予想されている。特に、高度経済成長期に建設されたトンネルや橋梁等インフラの老朽化が進む中、効率的な維持管理を行うための高速かつ自動化された安全性診断システムの確立が必要とされている。現状の点検は定量的評価が少なく、点検者の技術力で差異がみられ、確実な手法が確立しているとは言えない。トンネル覆工の剛性については、点検診断の健全度評価に考慮されていないので簡易的に評価できる手法の確立が必要である。そこで、本研究では覆工コンクリートの表面ひび割れの分布を定量的に評価し、構造物としてのトンネル覆工の振動特性（健全度）と表面ひび割れや覆工背面空洞との関係性を明らかにすることを目的とする。さらに、背面空洞による緩み領域がトンネルの健全に対する影響を地山劣化モデルにより解明する。

2. 対象トンネルの概要

本研究では供用後 26 年経過した O トンネルを対象とし、トンネルの諸項目を表 1 に示す。トンネルの覆工表面ひび割れや漏水がみられ、現状では補修が適宜実施されている。なお、覆工表面ひび割れの密度やインパートの有無等を考慮して対象スパンを選定している。

表 1 対象トンネル概要

対象トンネル	O トンネル
トンネル延長	950m
竣工年	1992 年
施工法	NATM

3. 覆工コンクリートの表面ひび割れ分布の評価

本研究では、対象スパンのひび割れ分布密度を評価するためにフラクタル次元を定量的に算出した。フラクタル次元とひび割れの連結性には相関関係があり、一般的にはひび割れ分布が多いほどフラクタル次元は大きくなる¹⁾。

4. 覆工の固有振動特性による評価

覆工コンクリートに対し、非破壊計測手法である常時微動計測を実施し、測定された加速度波形についてフーリエスペクトル解析を行い、振動特性の 1 つであるフーリエスペクトルについて比較検討する。なお、計測はトンネルの対象スパンにおいて、トンネルの軸方向と横断方向、天井付近の上下方向の 3 方向で軽量振動計を取り付けて、180 秒間で計測した。加速度波形からフーリエ解析で得られた 3 方向成分のベクトル値を合成した値をそのスパンの代表値とした²⁾。既往の研究により、フーリエスペクトル合成値が大きくなるにつれて不健全となる¹⁾。

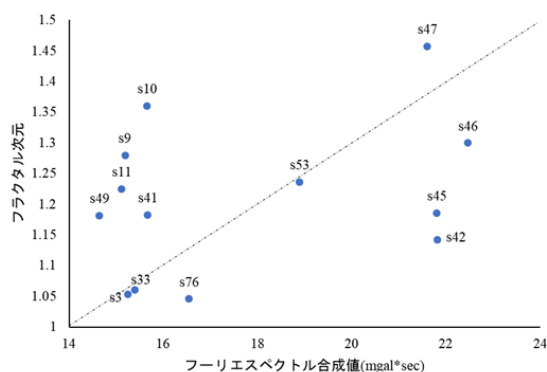


図 1 フラクタル次元とフーリエスペクトル合成値との関係

5. ひび割れ分布と振動特性との相関

図 1 に対象トンネルにおけるフーリエスペクトル合成値とフラクタル次元との関係を示す。これよりフーリエスペクトルとひび割れ密度（フラクタル次元）との間には必ずしも明確な相関関係がないと考えられる。その理由として、フラクタル次元があくまでも覆工コンクリート表面のひび割れ分布の評価であり、覆工コンクリートの背面空洞等コンクリート内部の損傷まで推測できないためである。現在のトンネル評価は覆工コ

ンクリート表面のみの評価が多いため、トンネル覆工の健全度を的確に評価するためには振動特性などのような強度パラメータを取り入れる必要があると考えられる。

6. 地山劣化による影響の評価

覆工背面空洞が覆工の健全度に与える影響について有限差分法を用いて評価する。覆工の発生応力や変形量とともに、周辺地山の応力状態や劣化状況（塑性領域）などを評価し、覆工の力学挙動だけでなく周辺地山の応力状態についても取り扱うことのできる地山劣化モデルによる変状予測手法³⁾を用いる。解析モデル概要を図2に示す。例として、天端覆工厚30cm、空洞厚さ15cmとし、解析期間は対象トンネルの供用年数の30年とした。図3に覆工背面空洞の有無による塑性領域の変化を、図4に空洞の有無による鉛直変位の比較を示す。覆工背面空洞の存在による塑性領域の拡大が確認され、鉛直変位量も1.85倍に増大している。背面空洞の存在により覆工に引張応力が作用して、表面ひび割れの進展や背面空洞部の岩塊落下による覆工の崩壊が懸念される。さらに、図5にFRP(Fiber-Reinforced Plastics)グリッド吹付の有無による周辺地山の変位量の比較を示す。FRPグリッド吹付は覆工上半を施した結果、無対策に比べて鉛直変位が40%低減しており、FRPによる補強効果を確認することができた。

7. おわりに

老朽化トンネルについて、覆工コンクリート内の劣化損傷状態の違いにより、ひび割れ分布だけでは評価できない箇所があり、固有振動特性によりコンクリート内部の不健全部の存在が確認できた。さらに、数値解析によって、背面空洞の有無が覆工の剛性へどのように影響しているのかを示し、対策工の必要性を検証した。今後は、常時微動測定をより多くの現場に適用することにより、予測精度の高い覆工健全度評価手法の確立を目指す。また、地山強度劣化を考慮できる数値解析によりひび割れと背面空洞の規模が覆工の健全度に及ぼす影響を詳細に解明していく。

参考文献

- 1) 野口捺菜, 蔣宇静, 草場雅哉, 米田裕樹, 宇都宮隆: ひび割れ分布と振動特性に基づく老朽化トンネルの健全度診断, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, III-82, 2018
- 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) 大隈祥平, 東幸宏, 棚橋由彦, 蔣宇静: FRPグリッドを用いたトンネル覆工補強効果の評価, 第45回地盤工学研究発表会講演集, pp.1343-1344, 2010

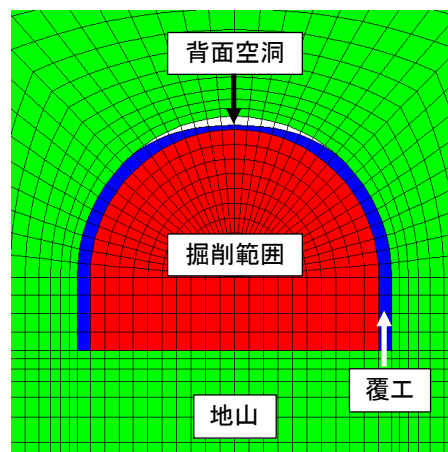
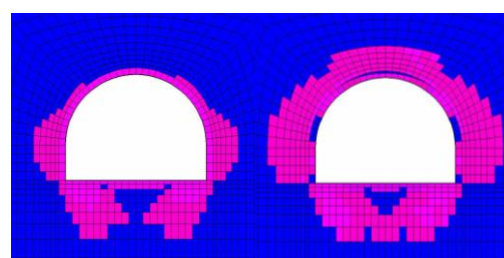


図2 解析モデル概要



(a) 空洞なし (b) 空洞あり

図3 塑性領域の変化(引張応力: ピンク部分)

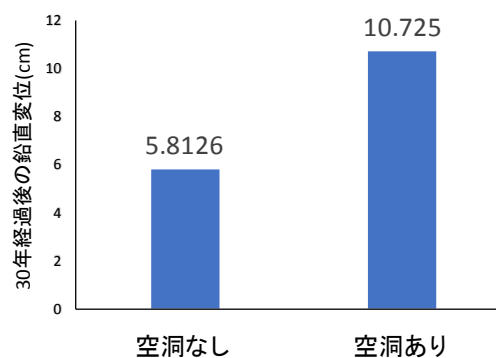


図4 空洞の有無における鉛直変位比較

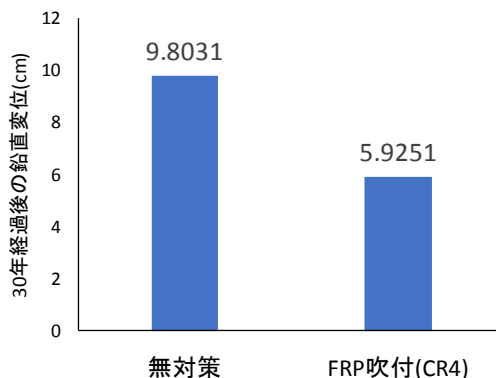


図5 対策有無における鉛直変位量比較