

覆工コンクリートの表面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

長崎大学院工学研究科 学生会員 ○草場雅哉 フェロー会員 蔣宇静 松尾建設株式会社 非会員 野口捺菜
協同エンジニアリング株式会社 正会員 米田裕樹 正会員 宇都宮隆

1. 研究の背景・目的

現在の日本には 10000 箇所以上のトンネルが存在しており、10 数年後には建設後 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。中でも、大分県内のトンネルは 500 本近くあり、都道府県別では全国 1 位となっている。その大半は、供用年数が 30 年以上のものであり、覆工コンクリートの劣化進行に伴い、健全度の的確な判断と対策が必要とされている。本研究では、大分県内の実トンネルに基づいたひび割れの分布や振動特性に着目した健全度の推定を行うことで、構造物としての覆工の振動特性とひび割れ評価、覆工背面空洞との相関を明らかにすることを目的とする。

2. 対象トンネルの概要

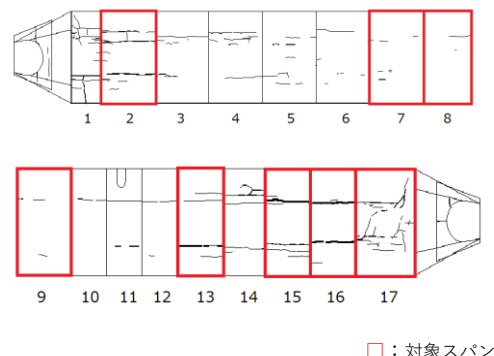
対象トンネルである A トンネルは、昭和 29 年に施工された幅員 4.1m、高さ 4.9m の一車線トンネルである。供用後 60 年経過しており、トンネル内は覆工表面ひび割れや漏水、うき・はく離などの損傷が多く見られる。

3. 覆工表面ひび割れ分布の定量的評価

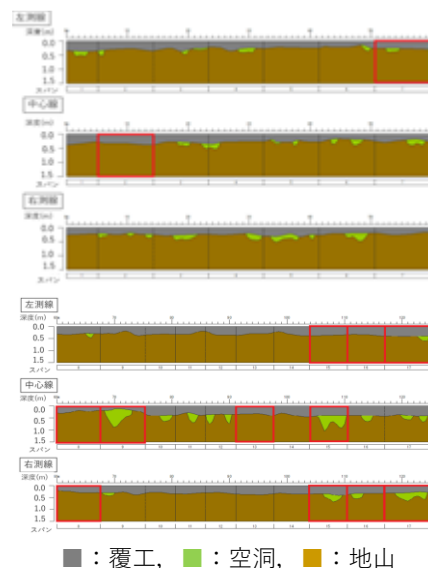
対象トンネルの全スパンの覆工表面ひび割れの分布密度について、フラクタル次元解析を行った。一般にひび割れが多いほどフラクタル次元は大きくなる¹⁾。図 1 は対象トンネルの覆工表面ひび割れ分布展開図と覆工背面空洞分布図を示す。スパンごとおよびスパンを左右に分けた場合の 2 回について比較を行った。各スパンのフラクタル次元の値を表 1 にまとめた。ひび割れの集中するスパンでは、フラクタル次元は大きな値を示す。

4. 固有振動特性による評価

空洞とひび割れが多い箇所、少ない箇所を 8 スパン選別し、非破壊計測手法である常時微動計測を 2 回行った。測定された加速度波形についてフーリエ解析を行い、振動特性の 1 つであるフーリエスペクトル値について比較検討した。本研究で用いた加速度センサの最大測定周波数が 250Hz であるため、フーリエスペクトル波形も 250Hz までの値を用いた^{2),3)}。得られた加速度波形の一例を図 2 に示す。また、算出した各スパンのフーリエスペクトル値を表 2 に示す。1 回目に測定した値を表の左側、2 回目を表の右側に示す。



(a) 覆工表面ひび割れ分布



(b) 覆工背面空洞分布

図 1 対象トンネルの覆工表面ひび割れ分布

表 1 フラクタル次元と推定覆工厚

スパンNo.	推定覆工厚 (cm)	フラクタル 次元	フラクタル 次元(左)	フラクタル 次元(右)
1	21.3	1.435	1.3299	1.5334
2	17.7	1.302	1.3431	1.4655
3	23.1	1.221	1.2076	1.2465
4	20.9	1.355	1.3308	1.4803
5	18.1	1.110	1.0925	1.1
6	13.3	1.058	1.3709	1.1159
7	16.3	1.094	1.1608	1.0052
8	18.4	1.095	1.3338	1
9	12	1.145	1.2492	1.2193
10	28.6	1.320	1.3167	1
11	18.4	1.380	1.2955	1.437
12	20.2	1.393	1.2293	1.111
13	25.5	1.430	1.4757	1.4961
14	20.4	1.471	1.522	1.4372
15	33.5	1.491	1.5017	1.5175
16	32.3	1.413	1.5272	1.6371
17	26.5	1.393	1.3816	1.4166

キーワード：老朽化トンネル、健全度評価、フラクタル次元、振動特性、覆工背面空洞

連絡先：〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部社会環境デザイン工学コース TEL：095-819-2626

表中の L はトンネル左側壁部, R は右側壁部, C は天端部を示す. 天端部分では, フーリエスペクトルが大きな値を示した.

5. ひび割れ分布と振動特性との関係

天端部を除いた対象スパンのフーリエスペクトルとフラクタル次元の関係を図 3 に示す. フラクタル次元の値が健全全部該当の値ならば, フーリエスペクトルも同様の傾向を示す. ひび割れに対する判定結果と比較すると, 健全部ではひび割れ判定 II b (健全), 不健全部ではひび割れ判定 III (不健全) となった³⁾.

6. 振動特性と覆工背面空洞との相関

対象スパンのフーリエスペクトルと電磁波探査³⁾に基づいて算出した覆工背面空洞の体積との関係を図 4 に示す. 背面空洞の体積の増加に伴い, フーリエスペクトルがおおよそ増加傾向にある.

スパン 2C, 8R, 8C, 13C はすべて背面空洞の体積がゼロであるが, フーリエスペクトルの値には差が生じた. 今回の測定では天端部にひび割れが多く存在しているため, 全体的に天端部のフーリエスペクトルが大きな値を示したと考えられる.

また, スパン 9C については他のスパンと比較してフーリエスペクトルの値が大きくなった. これは, スパン 9C に大きな背面空洞があったためと考えられるが, スパン 15C は他のスパンと比較してもそれほど大きな値を示していない. 表 1 に電磁波探査結果に基づいて推定した覆工厚を併せて示す. これより, 覆工厚が大きいほどフーリエスペクトル値は小さくなるため, スパン 15C においてフーリエスペクトル値が小さくなったと考えられる.

7. 結論

本研究では大分県内の老朽化トンネルを対象に覆工コンクリートの健全度評価を試みた. 覆工表面ひび割れと振動特性との相関, 振動特性と覆工背面空洞との相関についてそれぞれ考察した. その結果, 振動特性と覆工背面空洞には相関関係があるが, 振動特性は, 覆工背面空洞の大きさだけでなく, 覆工厚による影響も考慮する必要があることを明らかにした.

参考文献

- 1) 半田兼一, 大西有三, 西山哲, ほか: デジタル画像処理を利用したひび割れ抽出による道路トンネル健全性評価, 第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.13-18, 2008
- 2) 蔣宇静, 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, トンネル工学報告書, 第 20 巻, pp.205-209, 2010
- 3) 宇都宮隆, 米田裕樹, ほか: 老朽化トンネルにおける覆工表面ひび割れ分布の評価, 第 27 回トンネル工学研究発表論文集, 報告 I -2, 2017

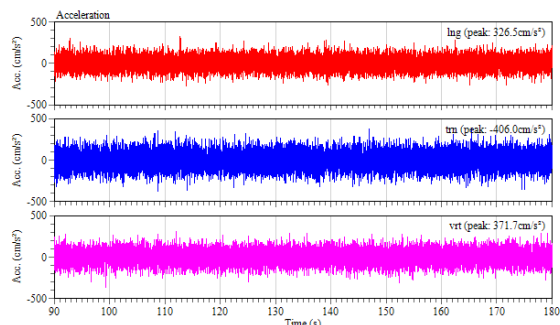


図 2 加速度波形の一例

表 2 フーリエスペクトル値の比較

1回目		2回目	
スパンNo.	フーリエスペクトル (mgal*sec)	スパンNo.	フーリエスペクトル (mgal*sec)
7L	44.777	2C	48.518
8R	45.549	7L	42.564
15L	44.600	8C	49.386
15R	45.502	8R	43.866
16L	45.050	9C	60.390
16R	45.711	13C	46.491
17L	44.903	15C	49.267
17R	45.710		

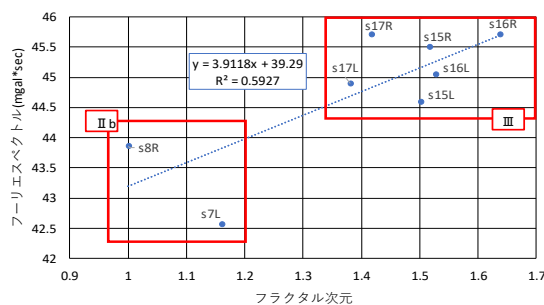


図 3 フーリエスペクトルとフラクタル次元との関係

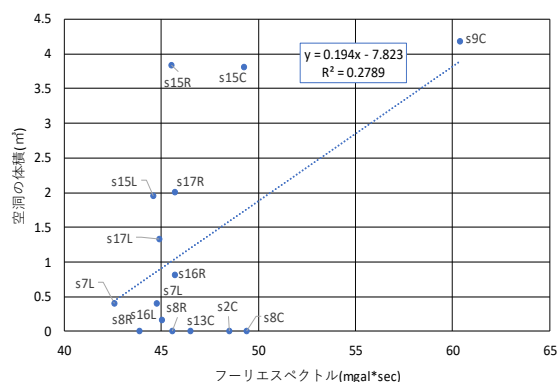


図 4 フーリエスペクトルと背面空洞の体積との関係