

老朽化トンネルの覆工表面ひび割れ分布と固有振動特性との相関について

長崎大学工学部 学生会員 ○的場亮 長崎大学大学院工学研究科 フェロー会員 蔣宇静
長崎大学大学院工学研究科 学生会員 草場雅哉 正会員 大嶺聖 正会員 杉本知史
協同エンジニアリング(株) 正会員 米田裕樹 正会員 藤山啓太

1. はじめに

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、健全度の確かな判断と対策が必要とされている。本研究では、健全度評価手法の現状と課題を述べるとともに、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固有振動特性と覆工表面ひび割れ分布、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 35 年に施工された幅員 7.26m、高さ 5.45m の二車線トンネルである。トンネル自体は、供用後 58 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. ひび割れ分布の定量的評価

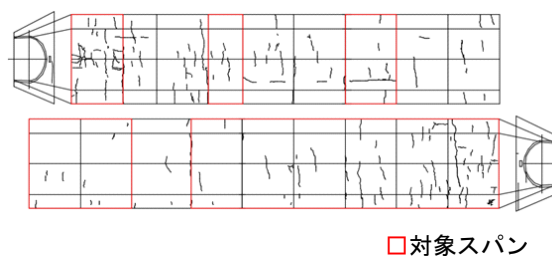
対象トンネルの全スパンの覆工表面ひび割れの分布密度について、フラクタル次元解析を行ったが、一般にひび割れが多いほどフラクタル次元は大きくなることから¹⁾、図 1 は対象トンネルの覆工表面ひび割れ分布展開図と覆工背面空洞分布図を示す。スパンごとに比較を行い、各スパンのフラクタル次元の値を表 1 にまとめた。

4. 固有振動特性による評価

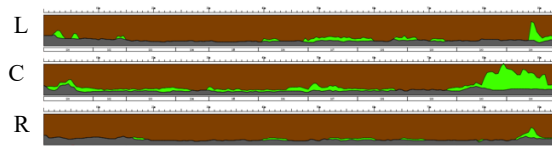
空洞とひび割れが多い箇所、少ない箇所を選別し、11 スパンを選び、トンネルを左側、天端、右側で分けた計 33 か所で非破壊計測手法である常時微動計測を行った。測定された加速度波形についてフーリエ解析を行い、振動特性の一つであるフーリエスペクトル値について比較検討した²⁾³⁾。なお、算出した各スパンのフーリエスペクトル値を表 1 に示す。

5. ひび割れ分布と振動特性との関係

対象スパンのフーリエスペクトルの平均値とフラクタル次元の関係を図 2 に示す。フラクタル次元の値が大きければ、フーリエスペクトルも同様の傾向を示す。



(a) 覆工表面ひび割れ分布



■:地山 ■:空洞 ■:覆工
L:左側 C:天端 R:右側

(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 (mgal・sec)				フラクタル次元
	左側	天端	右側	平均	
1	15.3856	15.1121	14.5384	15.01202	1.2739
4	14.8117	17.4587	16.4182	16.22953	1.2641
7	14.2887	14.3719	16.4050	15.02186	1.0641
10	14.4936	14.5243	14.8730	14.63029	1.2424
11	14.2273	14.0085	14.4049	14.21358	1.0100
13	15.0784	14.4719	14.8527	14.80101	1.1928
14	14.1129	14.4335	14.1792	14.24189	1.1295
15	14.7300	15.1234	14.9519	14.93508	1.1326
16	19.0698	20.2621	14.3964	17.90945	1.4068
17	19.9959	22.2261	14.8914	19.03779	1.2751
18	19.1456	23.5108	14.2400	18.96548	1.4623

6. 重回帰分析

フーリエスペクトル値が大きくなる要因として、覆工厚、空洞厚、フラクタル次元の中で一番起因するものを判明させるために重回帰分析を行った。トンネルの左側、天端、右側で求めた寄与率を表 2 に示す。フラクタル次元の寄与率が左側、天端、右側で共通して一番大きくなった。このことから、フーリエスペクトルの値はフラクタル次元、つまり覆工表面ひび割れに大きく起因することがわかった。

7. 振動粒子軌跡

振動粒子軌跡は 2 成分の計測データの振動軌跡・振幅の大きさと同時にその方向も視覚的に見比べることができるため、不安定性の評価に役立つ。また、平面内での計測点の動きを示すものなので、振幅に加えて卓越する振動方向が把握でき、覆工コンクリートの不安定性や同一性に加えて、不安定な方向を判断する材料となる。常時微動計測で得られた加速度波形をもとに作成した振動粒子軌跡(縦軸: トンネル上下方向, 横軸: トンネル横断方向)の一例を図 3 に示す。

図 3(a) の振動粒子軌跡からスパン 17 はフラクタル次元が 1.2751 と比較的大きいため、上下方向の振動が大きくなり不安定である軌跡を示した。また図 3(b) のスパン 11 は空洞が大きく覆工厚は小さいがフラクタル次元が 1.0100 ととても小さいため、円形に近く上下方向も横断方向も同程度の振動のあまり不安定でない軌跡を示した。

8. おわりに

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、振動粒子軌跡による覆工コンクリートの不安定性とその方向の判定、フーリエスペクトル値に最も影響を与える要因の判定をしてきた。その結果、振動特性とひび割れ分布には相関関係があり、振動特性は、フラクタル次元、覆工厚、空洞厚の中でフラクタル次元に最も起因することが分かった。

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) 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) 野口操菜, ほか: 覆工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, 平成 29 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, III-82, 2018

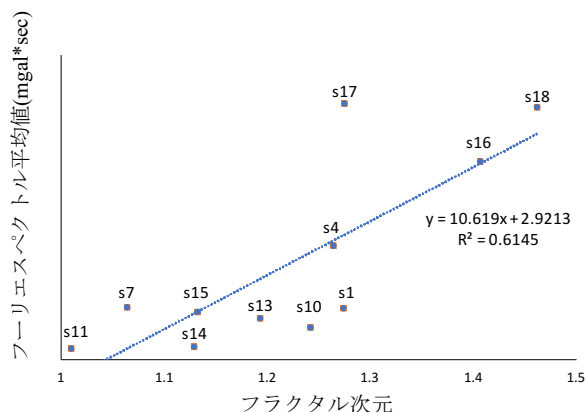
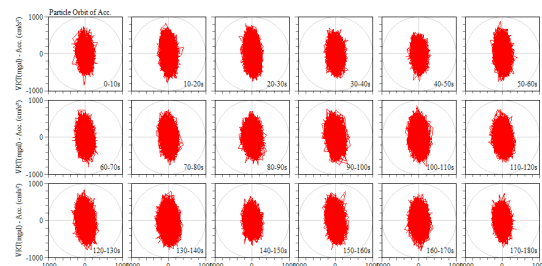


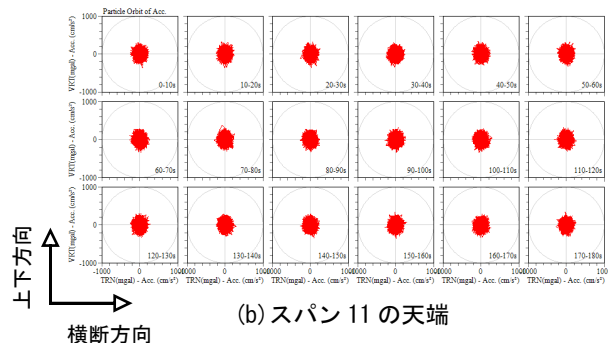
図 2 フーリエスペクトルとフラクタル次元との関係

表 2 フーリエスペクトルに対する寄与率

	寄与率		
	左側	天端	右側
フラクタル次元 (ひび割れ)	68.5254413	65.12066919	72.33256692
覆工厚	25.3209222	27.67289341	6.602270382
空洞厚	6.1536365	7.206437402	21.06516269



(a) スパン 17 の天端



(b) スパン 11 の天端

図 3 振動粒子軌跡の一例