

固有振動特性に基づくトンネル覆工の健全性評価に関する研究

長崎大学工学部 学生会員 ○ 吉田 慎平
長崎大学大学院 学生会員 高 陽

長崎大学大学院 フェロー会員 蔣 宇静
長崎大学大学院 正会員 李 博

1. はじめに

高度経済成長期に建設されたトンネルの多くは建設後数十年を経過し、補修・補強が必要になるトンネルが増大しており、財政的負担や工事・点検による社会的な影響が拡大する中、道路トンネルにおける効率的な維持管理を行うための適切な健全性評価技術が要求されている。

トンネルの覆工コンクリート内に生じる亀裂や空洞がトンネルの健全性に与える影響は大きく、様々な探査手法が開発されてきたが、覆工コンクリートの劣化による構造物の剛性低下を検討する事例が未だ少ない。そこで、本研究では、覆工コンクリート内に亀裂や空洞が存在しない健全なトンネルのモデルと、亀裂や空洞が存在するモデルにそれぞれ生じている常時微動を測定し、加速度波形から振動特性の1つであるフーリエスペクトル値を算出し、トンネル健全度との比較・検討を行うことを目的とする。

2. 解析モデルの概要

本解析では、トンネル覆工コンクリート内部の劣化状況の違いによる振動特性の変化を調べるため、2次元有限要素法を用いて図-1に示すような覆工コンクリートを含めたトンネルモデルを作成した。覆工コンクリート上の2点(図-1に示すC1, C2点)の加速度を0.001秒間隔で計2048点測定し、鉛直方向、水平方向の加速度波形を得た。これらの加速度波形をフーリエ変換してフーリエスペクトル値を算出し、モデル間または計測点間での比較を行った。

フーリエ変換は次の式(1)が示すように、フーリエ積分により行われる。

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \exp(-i2\pi ft) dt \quad (1)$$

ここで、 t は時間や空間座標、 f は周波数を表す。

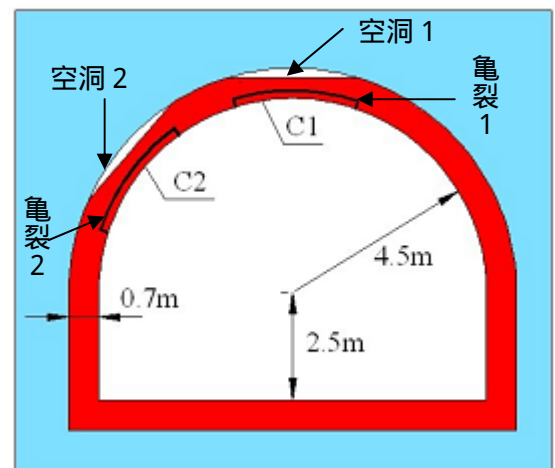


図-1 解析モデルの概要

3. 解析モデル

空洞と亀裂が存在しない健全なモデルを1つ、空洞が存在するモデルを2つ(空洞1・空洞2)、また、亀裂が発生したモデルを2つ(亀裂1・亀裂2)、計5つのモデルを解析対象とした。図-1に示される空洞や亀裂は同時に生じているのではなく、それぞれ独立して発生しているものであり、個別に解析を行った。モデルの下部に入力した波形は、劣化損傷が顕著であるトンネルで計測した常時微動波形を用いた¹⁾。また、解析に用いた地盤、コンクリートの物性値は表-1に示す。

表-1 解析モデルの物性値

物性値	自由地盤	コンクリート	コンクリート (亀裂)
ポアソン比	0.18	0.2	0.2
単位体積重量 (kN/m ³)	26.068	24.5	24.5
せん断弾性係数 (kN/m ²)	2.2×10^7	1.07×10^7	1.071×10^5
減衰定数(%)	2.0	2.0	2.0

4．解析結果と考察

解析結果の一例として、健全モデルの C2 点における鉛直方向加速度のフーリエスペクトルを図 - 2 に示す。周波数 110Hz を境にフーリエスペクトルの分布状況が異なることが分かる。各周波数における分布特性を詳細に調べるために、周波数を 0~110Hz、110~500Hz、0~500Hz の 3 パターンに分け、それぞれの区間におけるフーリエスペクトル値の平均を算出し評価した。

表 - 2 に示すように、0~110Hz の区間において、覆工コンクリート内部の状態に関係せず、鉛直方向では C1 より C2 の平均フーリエスペクトルが大きく、水平方向では C2 より C1 が大きくなっている。また、健全なモデルは空洞における C1 と C2 の鉛直方向を除き、平均値が最も高くなっている。これは、微動がひび割れを含んだ劣化損傷部を透過する際にエネルギーロスが発生し、健全なモデルと比べて、平均フーリエスペクトルが低下していたためであると考えられる。

110~500Hz の区間では、亀裂の存在場所と計測箇所が一致する場合に、平均フーリエスペクトルは大きいことが分かる。また、空洞 1 では方向や計測箇所による差が小さく、空洞 2 では空洞の存在場所と計測箇所が一致する場合に、平均フーリエスペクトルは大きいことが分かる。以上のことから、周波数の高い区間では、背面に損傷を有する箇所が高いフーリエスペクトルが生じることが分かった。C1/C2 について健全なモデルを基準に他のモデルと比較すると、天頂部に空洞や亀裂が存在する空洞 1・亀裂 1 では大きく、反対に空洞 2・亀裂 2 では小さくなるという傾向が見られた。

5．おわりに

本研究では亀裂や空洞が存在するトンネルと健全なトンネルをモデル化し、覆工コンクリートにおける常時微動特性とトンネルの健全度との関係を考察した。覆工コンクリート内の劣化損傷状態の違いにより、フーリエスペクトル値

に顕著な差が生じること、また、空洞や亀裂の存在箇所は微動特性と強く関係していることが分かった。今後は、異なる条件での解析を行い、評価の精度を高め、常時微動測定によって亀裂や空洞の有無や箇所の特定を実現し、トンネルの健全性評価へ適用していきたい。

参考文献：

- 1) 山内淑人，蔣 宇静，李 博，小川能克，大嶽剛志：常微動測定によるトンネル覆工コンクリート健全性評価の可能性，JCOSSAR 2011 論文集，2011

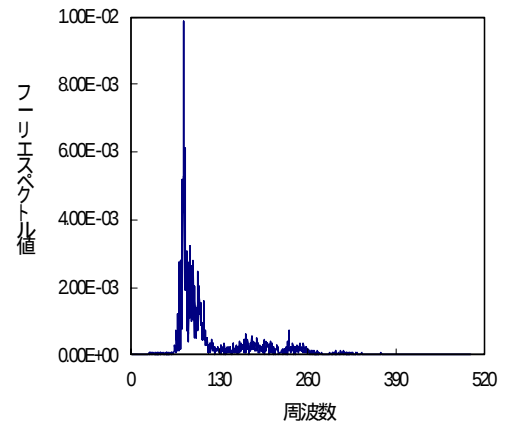


図 - 2 フーリエスペクトル
(健全なモデル：C2 点、鉛直方向)

表 - 2 フーリエスペクトルによる評価結果

モデル	周波数 (Hz)	平均フーリエスペクトル (mgal*sec)					
		鉛直方向			水平方向		
		C1	C2	C1/C2	C1	C2	C1/C2
健全	0~110	3.62	21.9	0.17	50.9	39.7	1.28
空洞 1		4.91	18.9	0.26	36	27.9	1.29
空洞 2		2.91	27	0.11	37.2	36.1	1.03
亀裂 1		3.46	19.1	0.18	41.1	27.9	1.47
亀裂 2		2.49	15.9	0.16	37.4	29.9	1.25
健全	110~500	1.07	2.69	0.40	2.74	3.23	0.85
空洞 1		2.13	2.55	0.84	2.79	2.98	0.94
空洞 2		0.785	6.32	0.12	2.95	5.46	0.54
亀裂 1		2.91	2.58	1.13	9.65	3.08	3.13
亀裂 2		0.756	8.47	0.09	2.89	9.83	0.29
健全	0~500	1.63	6.92	0.24	13.3	11.3	1.18
空洞 1		2.74	6.16	0.45	10.1	8.48	1.19
空洞 2		1.25	10.9	0.12	10.5	12.2	0.86
亀裂 1		3.03	6.22	0.49	16.6	8.55	1.94
亀裂 2		1.14	11.3	0.10	10.5	14.3	0.74