

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

長崎大学大学院 学生会員 〇 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 杉本 知史
長崎大学工学部 学生会員 吉田 慎平

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ひび割れや空洞がトンネルの健全性に与える影響が大きいため、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、トンネル覆工全体を非破壊的手法で健全性評価する手法として、トンネルが持つ固有振動特性に基づいてトンネル覆工の健全性を評価することを目的とする。

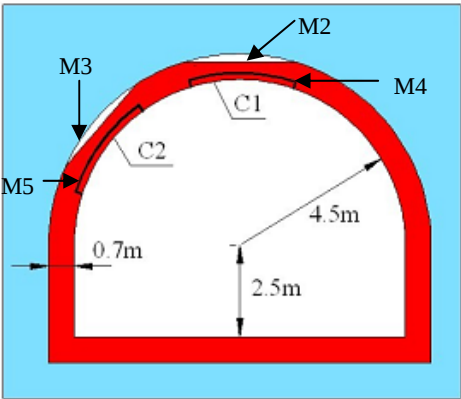


図 - 1 解析モデルの概要

2. 研究概要

本研究では、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、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。2次元有限要素法プログラムであるSuperFLUSH/2Dを用いてモデルに常時微動波形を与え、振動解析を実施し、図 - 2 の天端部C1、アーチ肩部C2の2点に働く鉛直方向・水平方向の加速度波形を得た。この時、モデルに与える常時微動はせん断波のみの場合とせん断波＋縦波を与える場合に分けて、解析を行った。モデルの下部に与えた波形は、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⁾。振動解析で得られた加速度波形をフーリエ変換することにより振動特性の1つであるフーリエスペクトル波形を得り、劣化の種類や損傷箇所によるフーリエスペクトル値の比較・検討を行った。

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

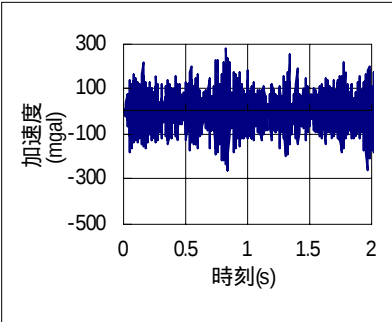


図 - 2 加速度波形

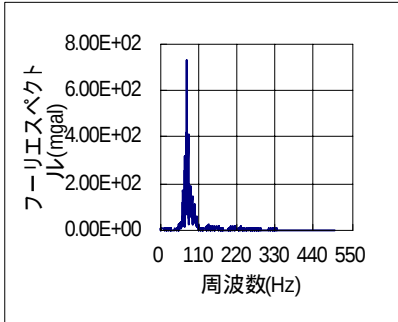


図 - 3 フーリエスペクトル

3. 解析モデル

天端部に空洞が存在するモデル(M2)、アーチ肩部に空洞が存在するモデル(M3)、覆工背面の天端部にひび割れが存在するモデル(M4)、覆工背面のアーチ肩部にひび割れが存在するモデル(M5)、そしてこれらと比較を行うために覆工コンクリートに劣化が見られないモデル(M1)の計5つの解析モデルを作成した。従って、図 - 1 に示す空洞や亀裂は同時に生じているものではなく、それぞれ独立して発生しているものであり、個別に解析

キーワード トンネル覆工，固有振動特性，常時微動，フーリエ変換，フーリエスペクトル

連絡先 〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14 長崎大学工学研究科 TEL：095-819-2626

を行った。また、解析に用いた地盤、コンクリートの物性値は表 - 1 のように設定した。

4. フーリエ変換

フーリエ変換とは、時間や空間座標が変数の関数を周波数が変数の関数に変換することであり、式(1)で与えられる。

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

ここで t は時間や空間座標、 f は周波数を表す。図 - 2 は振動解析で

得られた波形の一例で、せん断波のみを与えた場合に、モデル M1 の C1 で測った垂直方向の波形である。この波形をフーリエ変換した結果を図 - 3 に示す。図 - 3 から分かるように、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。これは計測されたトンネルの固有振動特性に関連するものであると考えられる。また、フーリエスペクトルを全周波数で平均化し、平均フーリエスペクトルを求めた。

5. 解析結果と考察

解析で求めた垂直と水平方向のフーリエスペクトルを合成し、トンネル覆工の接線方向と中心をさす半径方向のフーリエスペクトルを求めた。表 - 2 にせん断波を与えた場合、表 - 3 にせん断波 + 縦波を与えた場合の平均フーリエスペクトルの結果を示す。図 - 4 は表 - 2 の結果を M1 を基準とした接線と半径の比を図示したもので、図 - 5 は表 - 3 の結果を M1 を基準とした接線と半径の比を図示したものである。ここで、「M1 を基準」とはすべてのモデルの平均フーリエスペクトル値を健全モデルである M1 の値で割ったものの対数をとることであり、M1 の値は 0 へ変換される。

図 - 5 に示すように、M2 の C1 における接線/半径の値と M3 の C2 における接線/半径の値は他のモデルと比べて小さくなっている。このことから、健全部と比べて、空洞が存在する箇所での平均フーリエスペクトル比(接線/半径)が小さくなることがわかる。それに対して、ひび割れが生じている場合には、接線/半径の値が若干大きくなる傾向が示された。図 - 4 では明確な傾向が見られなかった。

6. おわりに

本研究では、ひび割れ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ていく。

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，pp.723-725，2011

表 - 2 平均フーリエスペクトル

計測断面	平均フーリエスペクトル (mgal・sec)			
	接線方向		半径方向	
	C1	C2	C1	C2
M1	50.89	17.40	3.62	42.21
M2	36.16	13.50	4.91	38.69
M3	37.31	13.64	2.92	42.94
M4	41.22	14.11	3.46	30.69
M5	37.60	15.67	2.49	33.22

表 - 3 平均フーリエスペクトル

計測断面	平均フーリエスペクトル (mgal・sec)			
	接線方向		半径方向	
	C1	C2	C1	C2
M1	14.17	25.79	12.36	17.68
M2	10.98	26.45	15.95	17.18
M3	14.78	24.07	12.17	24.39
M4	15.20	26.45	13.00	17.56
M5	14.80	29.73	12.21	18.83

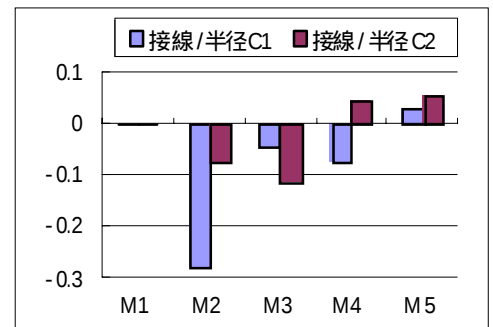


図 - 4 M1 の値を基準とした接線方向と半径方向の比較（せん断波）

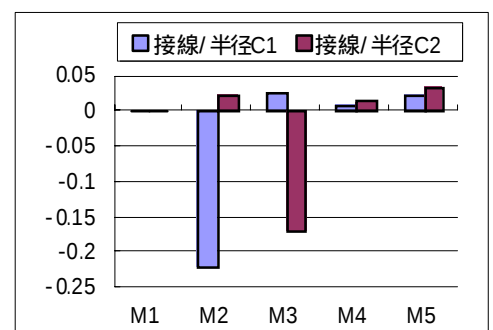


図 - 5 M1 の値を基準とした接線方向と半径方向の比較（せん断波+縦波）