

トンネル覆工コンクリートにおける常時微動を用いた劣化診断の提案

東京都市大学 学生員 ○糸井 謙介

東京都市大学 正会員 丸山 収, 須藤 淳史

(独) 土木研究所寒地土木研究所 正会員 佐藤 京, 西 弘明

1. はじめに

我が国では 1950 年代以降, 特に高度経済成長期において多くのトンネル構造物が建設されている. ひび割れなどの経年劣化が進行すると, コンクリート片の落下する危険性が増加して交通に対する影響は極めて大きくなる. したがって, 日々の点検による劣化箇所の早期発見と適切な対策が重要となる. 現状では定期点検は目視点検や写真撮影によるデータ抽出により行われており, 膨大な数のトンネルの劣化データを管理するのは困難である.

本研究の目的は, 常時微動によるモニタリングシステムを構築することである. 旧サロマトンネルを研究対象とし, 常時微動データのスペクトル解析を行い, トンネル覆工コンクリートの振動特性と劣化の関係性を明らかにする. 次に観測データを AR モデル (Autoregressive Model) にモデル化し, 健全部と不健全部における AR 係数の差異の抽出を試みた.

2. 常時微動測定概要

検証対象とした覆工コンクリートは目視点検により, ひび割れのある不健全部とほぼひび割れの無い健全部を評価し, 選定した. 図-1 にこれらの写真と常時微動測定時の測定配置図を合わせて示す.

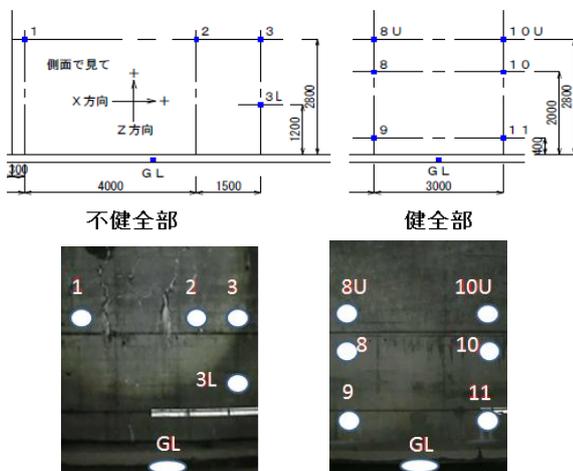


図-1 対象とした覆工コンクリート

一般的に常時微動とは, 地盤中を伝播する人工的または自然現象による種々の振動のうち, 特定の振動源から直接的に影響を受けない状態で, 様々な振動によって誘起される微小な地盤振動である. したがって, 構造物における常時微動の観測波形は地盤振動特性の影響を受けない構造物のみの振動特性であるため, 劣化特性の状態も含んだ波形であると考えられる.

本測定ではサーボ式加速度計を用いて微振動を計測した. 測定機器を図 2, 加速度計の仕様を表 1 に示す. 測定は選定した側壁面で, それぞれトンネル軸方向 (X), 横断方向 (Y), 上下方向 (Z) の 3 成分を 15 分間計測した. 図-3 に常時微動波形を示す.



図-2 測定機器

表 1 測定機材の仕様

使用機器	メーカー	機種	測定レンジ
測定器	共和電業	EDX-2000A	2V
サーボ加速度計	リオン	LS-10C	10mm/s ²
汎用振動計(アンプ)	リオン	VM-83	10mm/s ²
延長ケーブル	リオン	EC-40シリーズ(20m,50m)	-

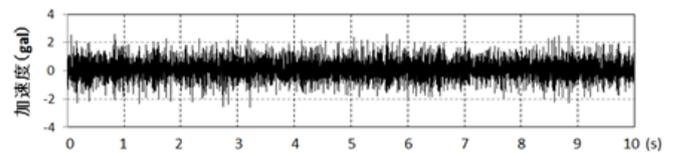


図-3 常時微動波形一例

3. 覆工コンクリートの振動特性

健全と不健全に評価されたスパンにおいて, 測定した常時微動波形のフーリエスペクトルを算出し, 覆工コンクリートの振動特性評価を行った.

解析ではトンネルに影響を及ぼす振動特性として考えにくい高周波成分が検出されたため、カルマンフィルタ手法を用いて除去作業を行った。フーリエスペクトルは以下の式で表せる。

$$F(\kappa) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{2\pi\kappa x} dx \quad (1)$$

(1) 式より算出した3成分を合成し、健全部と不健全部におけるフーリエスペクトルを図4に示す。

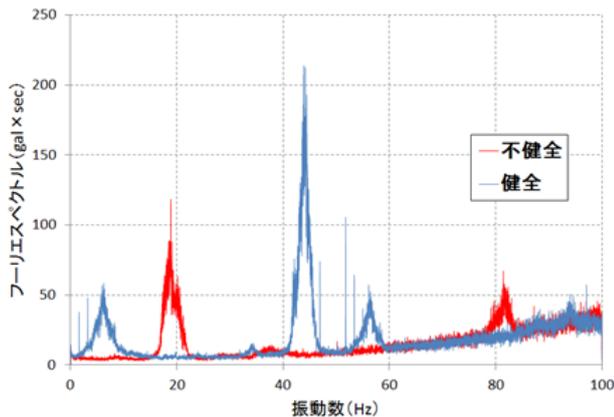


図-4 フーリエスペクトル一例

図-4 から健全部では特に45Hz付近の卓越周波数が大きいのに対し、不健全部では18Hzあたりに卓越周波数がみられる。これらから、健全部と不健全部の振動特性に違いがみられた。

4. ARモデルによる劣化成分の抽出

ARモデルは、時系列自身における過去の値を説明変数とする回帰モデルである。これらの性質を利用し、覆工コンクリートの劣化を認知する値として、トンネルの構造要因からでなく時系列の決定パラメータであるAR係数から劣化要素を数値化する。以下にARモデル式を示す。

$$y(n) = \sum_{i=1}^m a(i)y(n-i) + \varepsilon(n) \quad (2)$$

ここで m はモデル次数、 a は自己回帰係数、 ε は期待値0、分散一定のホワイトノイズ(白色雑音)を示す。AR係数はユールウォーカー方程式³⁾を解くことで求められ、次数の決定にはAIC(Akaike's Information Criterion, 赤池情報量規準)を用いる。算出にはFortranを用いて、常時微動データよりAR係数の推定を行った。健全部と不健全部の代表例を図5に示す。今回は算出次数を共通して30として行った。Z図-5にAR係数における比較を示す。

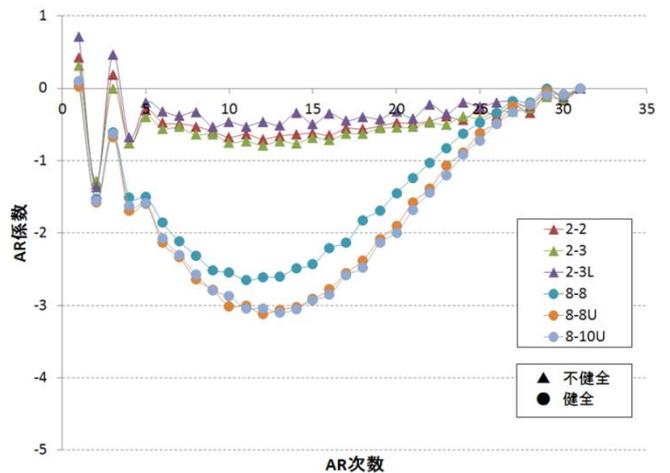


図-5 AR係数の分布一例

AR係数は次数3から26において、不健全なものはAR係数値-0.5付近を直線的に分布し、健全なものはAR係数値-3を最小として曲線状に分布している。このように時系列構造からも不健全な断面と健全な断面に違いがみられた。

5. 今後の課題

今回の測定では、覆工コンクリート断面における健全部と不健全部では振動特性の違いを確認できた。また、AR係数からも健全不健全の違いを読み取ることができた。しかしながら、AR係数による比較においては高周波成分のノイズを考慮しなければ、差異を読み取ることができなかった。

今後は、フーリエ解析による振動特性の顕在化やマイクロな視点による詳細な劣化データと振動特性の関係性(同断面)から考察を行い劣化検知の精度についても評価する。また、AR法による数値化より得られたデータから、サポートベクターマシンより劣化状態の検知を試み、常時微動を用いた劣化診断手法の確立を目指す。

参考文献

- 1) 広兼 道幸, 野村 泰稔ほか: コンクリート構造物のひび割れ形状に基づく損傷度分類への線形SVMの適用, 土木学会論文集64号, 4頁, pp739-749
- 2) 蔣 宇静, 谷川 征嗣ほか: 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20号, pp205-209, 2010-11
- 3) 得丸 英勝ほか, 昭和59年2月20日, 計測・測定ランダムデータ処理と応用, 培風館