常時微動を用いたトンネル覆工の劣化診断に関する基礎的検討

○東京都市大学　学生員　糸井　謙介
東京都市大学 正会員　丸山　收・須藤　敦史
（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

2.1 検討対象とする覆工コンクリート

検証対象としたのは北海道旧サロマトンネルである．まず目視点検により，ひび割れのある不健全部とひび割れの無い健全部を評価し，測定点を選定した．**図-1** に常時微動測定時の計測器配置図を示す．

2.2 常時微動測定

常時微動は，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．常時微動は，この微小な地盤振動を測定し，地盤の振動特性の推定や地盤種別の判定などに利用される．また，構造物上の常時微動を測定することにより，構造物の振動特性を推定することも可能である．[1)]

本測定ではサーボ式加速度計を用いて計測した．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．

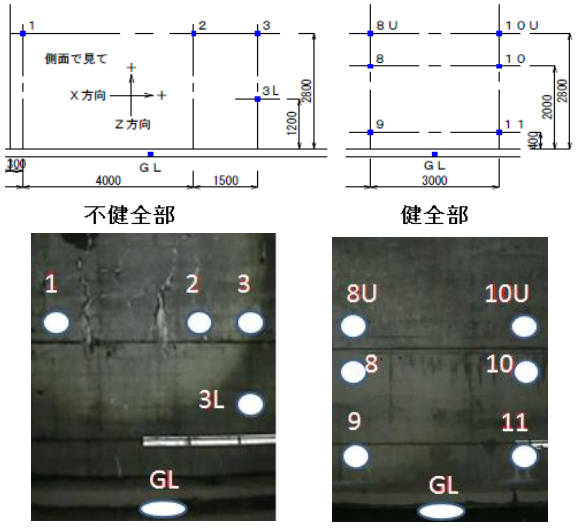

図-1 対象とした覆工コンクリート

図-2　測定機器

表-1　サーボ式加速度センサーの仕様

最大測定加速度	±30 m/s²
測定周波数範囲	DC～100 Hz（±10 %）
分解能	10^{-5} m/s²

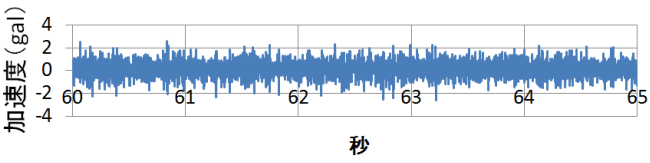

図-3　常時微動波形の一例

キーワード　トンネル，覆工コンクリート，常時微動，AR モデル

3. 覆工コンクリートの振動特性

目視により健全と不健全と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．

解析では計測ノイズと思われる高周波成分が検出されたため，100Hz 以上の成分を除去した．算出したフーリエスペクトルの 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．

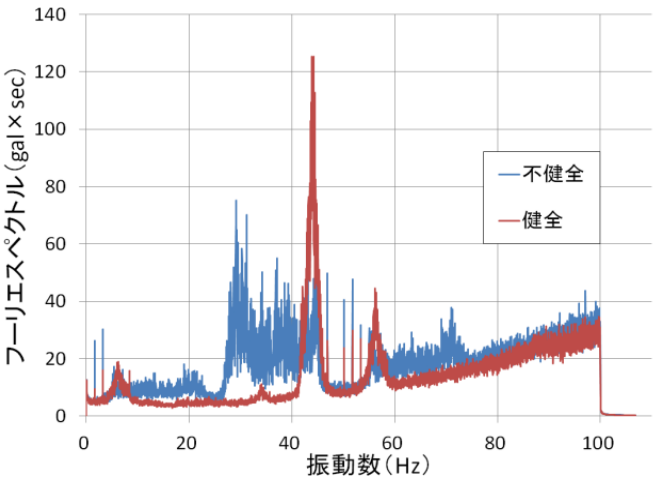

図-4 フーリエスペクトル

図-4 から健全部では 45Hz 付近の卓越周波数が大きいのに対し，不健全部では 30Hz から 45Hz あたりに卓越成分が見られる．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，時系列データの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検知する値として，AR 係数に着目して劣化推定を試みる．以下に AR モデル式を示す．

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

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 [2] を解くことで求められる．常時微動データより AR 係数の推定を行い，健全部と不健全部の推定結果を**図-5** に示す．今回は AR モデルの次数を 30 として計算した．

AR 係数は次数が大きくなるほど収束に向かい，次数 19 から 24 付近で多少の差が生じたが健全部と不健全部の明確な差は無く，健全部と不健全の判別を行うことはできなかった．

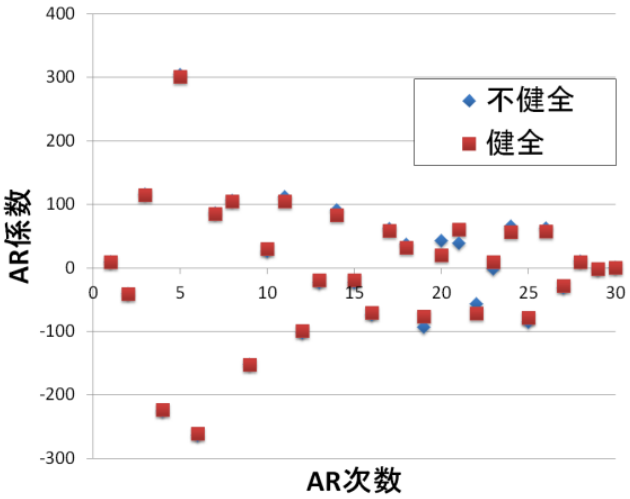

図-5 AR 係数の分布一例

5. 今後の課題

今回の測定では，スペクトル解析により覆工コンクリート断面における健全部と不健全部の振動特性の違いを確認できた．しかし，AR 係数から健全，不健全の違いを読み取ることは困難であった．また，各フーリエスペクトルにはノイズが混入している傾向がみられ，卓越周波数の特性表示が顕在化していない可能性がある．

今後は，多くのデータを用いてフーリエ解析による振動特性の把握やミ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 法による推定制度を再度検討する．その後，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)蒋 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

2)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