

デジタル打音検査を用いたトンネル診断技術開発

(1) 背面空洞・路面下空洞への適用性検討

国土交通省中部地方整備局 高山国道事務所
中央復建コンサルタンツ株式会社
株式会社テイコク
原子燃料工業株式会社

非会員 尾崎俊彦, 竹内由紀, 木村元
非会員 栗山廣志, 正会員 寒竹英貴, 非会員 竹林正晴
非会員 天野俊一, 西園裕一, 白井健純
正会員 ○藤吉宏彰, 松永嵩, 非会員 磯部仁博

1. はじめに

矢板工法のトンネル覆工コンクリートでは、覆工背面に空洞が形成されやすいことが知られている。また、路面では、トンネル周辺地山の地下水位が高い場合、コンクリート舗装下の路盤が地下水で満たされ、重交通の走行による舗装版の振動が起これば、路盤内で液状化が発生し、路盤内の細粒分が中央排水工に流出し、空洞が生じる場合がある。これらの背面空洞・路面下空洞は、構造物の健全性を著しく低下させ重大な事故に発展する可能性がある。

国土交通省は「道路トンネル定期点検要領」にて突発性崩落の発生の観点から、覆工巻厚の状態や背面空洞の有無を把握するための調査を検討する必要があるとしている¹⁾。

背面空洞の検出方法としては、赤外線や電磁波レーダによる技術も開発されているが、赤外線は温度差が必要であり、電磁波レーダは鉄筋が密な場合や、厚みが大きい場合は一般的に検出精度が低下する²⁾。

一方で、打音検査では、構造物の拘束状態や物性によって振動が変化するため、センサを用いたデジタル打音検査技術を用いて、背面空洞の検出性について検証した。

2. デジタル打音検査技術の概要

2.1. 測定装置

本技術は、国土交通省の「点検支援技術性能カタログ(案) 令和2年6月」に「デジタル打音検査とデジタル目視点検の統合システム」として掲載された技術であり、測定対象を打撃し、励起された振動を広帯域 AE センサで捉える(図1(左))。測定対象の形状、拘束状態に依存する振動特性に基づき経年変化等の構造物の状態を評価する。

AE 打音検査で得られた振動波形を高速フーリエ

変換して得られる周波数分布を解析することで背面空洞・路面下空洞の有無を評価することを試みた。

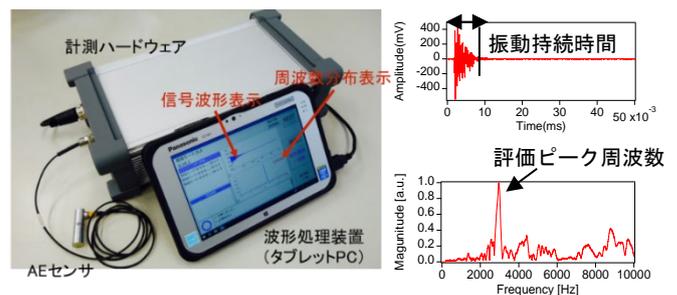


図1 現場検査装置および評価指標

2.2. 検出原理

欠陥のないトンネル覆工や舗装面での振動測定では、縦波共振の固有振動ピークが励起されることが想定される。これは式(1)のように厚みに対応する周波数である。ここで、図2に示すように、背面空洞がある場合は、地山への振動の拡散が抑制されることにより、このピークがシャープになると著者らの先行研究から推定される³⁾。従って、空洞の有無を把握できるこの特性を利用し、デジタル打音検査による背面空洞、並びに路面下空洞の検出を試みた。

$$f = \frac{V}{2D} \quad (1)$$

f : 固有周波数[Hz] V : 弾性波速度[m/s] D : 厚み[m]

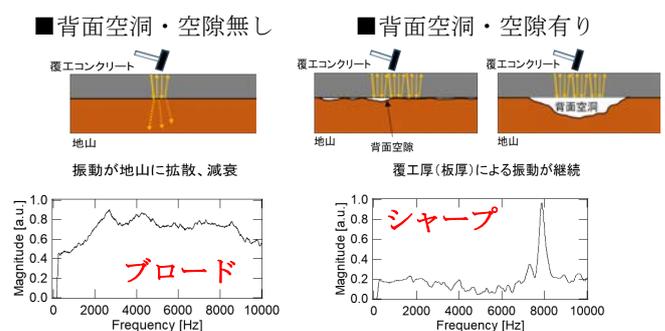


図2 得られる周波数分布と背面空洞の関係

キーワード 背面空洞, トンネル覆工, 舗装, AE センサ, 打音

連絡先 〒590-0481 大阪府泉南郡熊取町朝代西一丁目 950 番地 原子燃料工業株式会社 TEL 072-452-7221

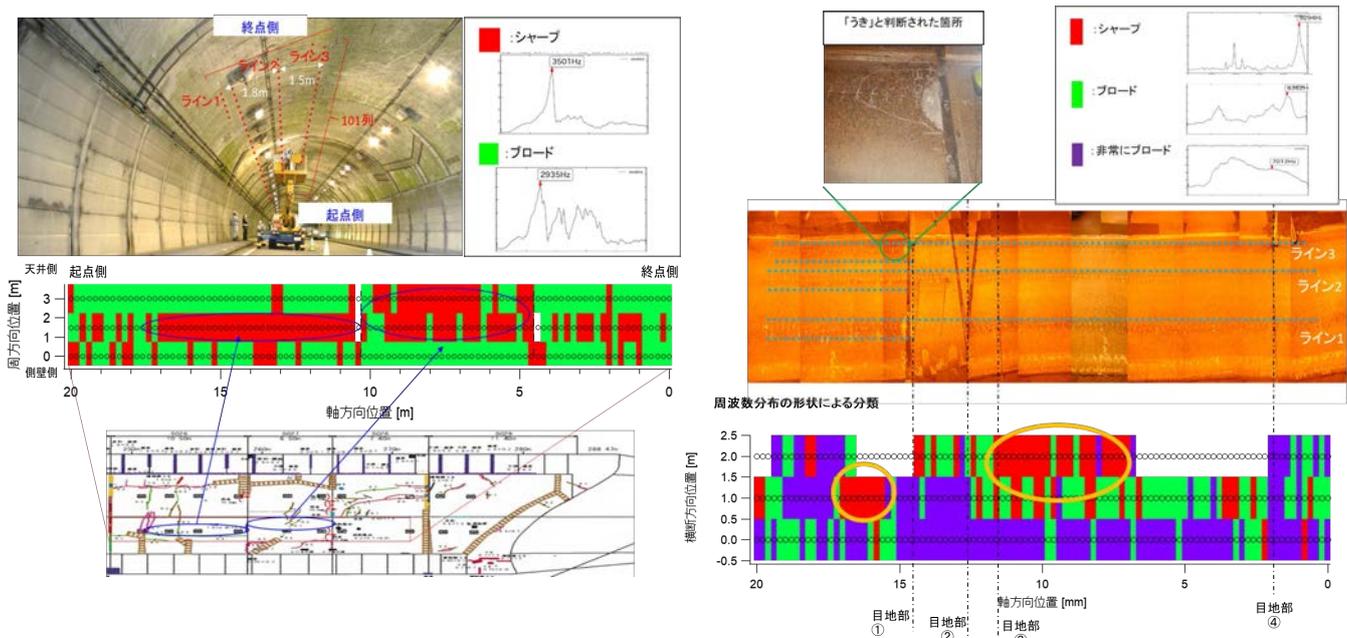


図 3 トンネル覆工及びコンクリート舗装におけるデジタル打音検査の周波数分布形状評価結果
 左図：トンネル覆工の結果 右図：コンクリート舗装の結果

3. デジタル打音検査の現場適用結果

3.1. 検査箇所

トンネル覆工に背面空洞がある場合、偏荷重の影響でトンネル縦断方向にひび割れが生じている可能性がある⁴⁾。したがって、測定箇所は、トンネル縦断方向のひび割れがある箇所とした。

コンクリート舗装に路面下空洞がある場合、繰り返しの交通荷重の影響で舗装表面でも「うき」等の変状が生じている可能性がある。したがって、測定箇所は通常の打音点検でうきが生じている箇所とした。

3.2. 解析結果

図3はトンネル覆工及びコンクリート舗装においてデジタル打音検査を実施し、得られた周波数分布の形状を3段階（シャープ、ブロード、非常にブロード）で評価した結果を示す。2.2節に記載した通り、周波数分布がシャープであるほど、背面空洞・路面下空洞の存在の可能性が高いと仮定する。

トンネル覆工については、トンネル軸方向にひび割れが生じている箇所において、周波数分布がシャープとなる箇所が多く、背面空洞の可能性を示唆する結果となった。ひび割れのない箇所については、概ねブロードな波形が得られ、地山と覆工が密着している箇所が多いと推測される。

次に、コンクリート舗装については、うきの生じている箇所の周囲において、周波数分布がシャープ

となる傾向があり、路面下空洞の可能性を示唆する結果となった。うきの生じていない箇所については、概ねブロードな周波数分布が得られ、舗装と路盤が密着している箇所が多いと推測される。

4. まとめ

背面空洞および路面下空洞の検出に関して、デジタル打音検査で得られる周波数分布の形状に着目した。その結果、背面空洞が生じている可能性のある箇所において、周波数分布形状がシャープとなる傾向を得た。今後、覆工及び舗装の補修のタイミングで、空洞の実測を行い、今回の評価方法の妥当性確認を行う計画である。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局“道路トンネル定期点検要領”，平成 31 年 3 月
- 2) 山本ら：走行型計測によるトンネル覆工巻厚・空洞探査技術について，トンネル工学報告書集，第 25 巻，I-22，2015.11
- 3) Susumu MIURA et al.: Hammering inspection using AE sensor for embedded hardware, E-Journal of Advanced Maintenance Vol.11 No.1, pp.16-26, 2019
- 4) 森充広ら：覆工背面に空洞を有するトンネル覆工および周辺地盤の変形挙動に関する模型実験，農業農村工学会論文集 IDRE Journal No. 300 (83-6), pp.I-195-I-205, 2015