

トンネル覆工健全性評価を目的とした自動打音調査システムの開発

ウォールナット* 正員 稲垣 正晴, 新 弘治
 ハザマ** 正員 笠 博義, 清水 学, 正員 谷口 裕史, 関 俊一郎
 ダイヤコンサルタント*** 杉田 信隆, 正員 小泉 和広, 正員 川上 義輝

1. はじめに

トンネル覆工表面の浮きや剥離またはジャンカ等を対象とした点検・検査には、目視観察と合わせてハンマ打撃による点検が一般的である。特に、最近のトンネル覆工コンクリート剥落事故以来、旧来から実施されてきた打音調査の重要性が改めて認識されてきている。打音調査は高所作業車等を利用して人力で調査されているのが現状である。現在、いくつかの機関で打音調査の自動化を目指した研究・開発が進められており、既に実用的なシステムも完成している。しかし、これらの技術は大型の専用機を必要とするなどから、調査の機動性や小断面トンネルへの適用等において課題を有している。

一方、電磁波探査装置は、トンネルの大きさによって測定台車や保持装置が可変で、迅速に連続した情報を入力することのできるシステムで構成されている。いわば、機動性と柔軟性を持っているため、電磁波探査法（地中レーダー探査）は、トンネル覆工背面調査に広く適用されている。

筆者らは、以上のような背景を受けて、打音調査を電磁波探査法と同等に迅速かつ容易に実施することを目的として、自動打音調査システムの開発を行ってきた。本報告は、打音調査の自動化を行う上での問題点を整理した上で、自動打音調査システムの開発について報告するものである。

2. ハンマ打撃による調査法の問題点と自動化に向けての課題

ハンマ打撃による調査の自動化を行う前提として、現状の問題点を整理し、自動化に向けての課題と対応策を表-1のように整理した。表に示すように、現状の方法では、評価規準の客観化、調査結果の記録・保存、作業全体の効率化などが大きな課題であり、自動化する場合はこうした課題に加えて、経済性や安全性についても考慮する必要がある。

表-1 ハンマ打撃による方法の問題点と自動化に向けての課題

項目	現状の問題点	自動化に向けた課題	対応策
評価規準	主観的であり個人差がある	客観的で安定した評価の実現	音響エネルギー分析手法の導入
作業性	多大なマンパワーを要する	迅速で少人数での調査の実現	自動打撃装置の開発 トンネル軸方向での連続調査
結果の記録・保存	調査結果の記録ができない	データ保存・表示が容易	調査結果のインデックス化
その他		安全で経済的なシステム開発	既存技術の有効活用

評価の個人差を避けるために、打撃音をマイクロフォンで収録し、その音響エネルギーを分析する手法を採用した。これは、打撃音全体の音響エネルギーと特定帯域の音響エネルギーとの比を用いて0~200の間の数値で示される音響エネルギー指数としてインデックス化し、健全性を評価・判定するもので、従来よりコンクリート構造物の点検に用いられてきた手法を改良したものである¹⁾。また、このデータは距離情報とともに保存されるため、後処理によりデータを加工することや分布図を作成することも容易である。

作業性は人力排除と測定システムの機動性によって確保される。このためハンマの替りに自動打撃装置を開発した。装置の軽量化を計るため、ハンマをモータで周期的にスイングさせる極力単純な機構を採用した。また、トンネルの周方向に点検・調査を実施する場合は打撃部分を周方向に移動させるための駆動装置が必

キーワード：トンネル、打音調査、覆工健全性、システム開発

連絡先* 〒190-0002 東京都立川市幸町 1-19-13 TEL042-537-3838、FAX042-537-3820

** 〒107-8658 東京都港区北青山 2-5-8 TEL03-3423-1801、FAX03-3405-1854

*** 〒330-8660 埼玉県さいたま市北区吉野町 2-272-3 TEL048-654-3011、FAX048-654-3833

要で、システム全体が大型かつ専用車両とならざるを得ない。このため、機動性のある連続的な調査を可能とするために、トンネル軸方向探査を基本とした。これによって、電磁波探査に使用されるアンテナ保持機構をほとんどそのまま適用することができ、保持装置自体を小型・軽量化することが可能となり、専用車両も不要となった。反面、十分な調査密度を確保するためには、軸方向に一定間隔の測線を設けて、調査を行うことで対処することとした。

3. 自動打音調査システムの構成

前述のような設計思想により、自動打音調査システムを開発した。本システムは、打撃ユニット、保持ユニット、打音分析ユニットから構成される。打撃ユニットは一定の力で覆工をハンマ打撃するためのガイド装置にマイクロフォンとともに保持ユニットのブーム先端に取り付けられている。保持ユニットはレーダー探査用のアンテナ保持装置をベースに構成されており、天端～肩部までの調査が可能である。打音分析ユニットは移動車輛の運転台に搭載され、調査結果をリアルタイム表示するとともに記録・保存を行う。なお、打点位置は移動車輛に取り付けた距離計によって計測し、同時に記録・保存するものとした。図-1に2tトラック

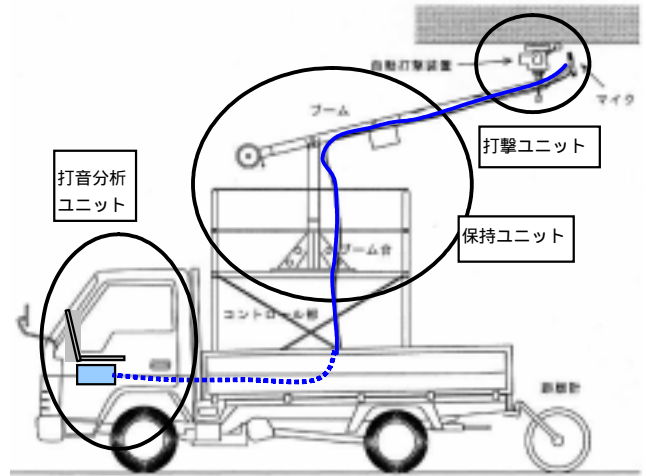


図-1 自動打音調査システム構成例

をベースとして組み立てた本システムの構成例を示す。なお、本システムに用いている距離計は、測定誤差が測定距離の1%未満であることから、調査区間を適切に設定し、マーキングを入れることで誤差が加算されないようにすることにより実用上の問題は生じないものと考えられる。

本システムは、実績のある既存技術を適切に組み合わせ、単純・軽量化という設計思想のもとで開発を行っており、安全で経済的な打音システムを実現することができた。

4. 試験測定と結果の表示・活用法

システムの適用性を調べるために試験測定を行った。保持装置により安定した打撃が確保され、移動しながらの測定が十分可能であることがわかった。取得データ例を図-2に示す。値は安定しており、目地を打撃したときの異常値も的確に捉えている。図-3は複数測線の測定から作った平面分布図である。これに目視観察を盛り込んだ展開図として表示することにより、総合評価用資料としても有効に活用できる。

こうしたデータを定期的に取り得し、データベース化を図り、トンネル施工時の情報や背面の地質情報などとともに「トンネル覆工カルテ」として記録することで、計画的なトンネル覆工の維持管理が可能となるものと考えられる。

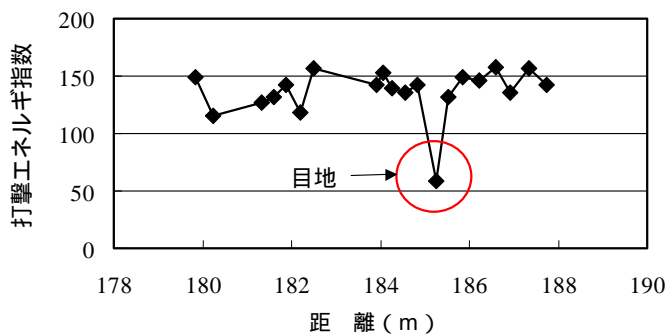


図-2 調査結果の縦断表示

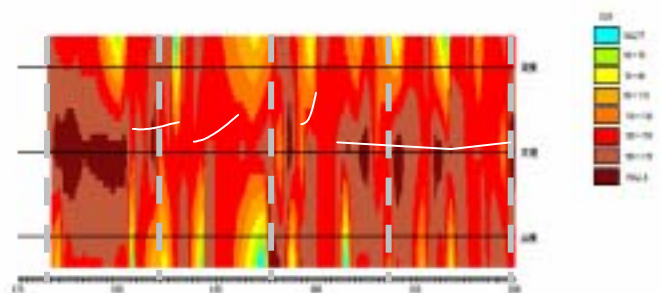


図-3 調査結果の展開図表示