

## トンネル覆工打音検査自動化システムの動作性能確認

佐藤工業(株) 正会員 篠川俊夫 正会員 歌川紀之  
 正会員 伴 享 正会員 北川真也

## 1. はじめに

従来のトンネル覆工コンクリートの打音検査は手作業によるたたき検査であり、足場の設置あるいは高所作業車等を用いて検査者が覆工コンクリート付近まで近づき、ハンマなどの検査器具を用いて行っている。この方法は、覆工コンクリートをハンマで打撃したときの音を覆工コンクリート面から離れた位置で検査者が耳で聞き、聴覚により音質の違いからコンクリートの健全性を判断している。そのため、検査者の経験と勘に頼るところが大きい、評価が主観的となり定量的に行えない、検査結果をデータベース化しにくいなどの問題点がある。また、トンネル天端付近では上向きに叩くことから苦渋作業となり、多大な労力と時間を要している。さらに、壁面からの深さが10cm程度を超えた位置にある変状は見つけることが難しい<sup>1)</sup>。

このような手作業によるたたき検査の問題点を解決するために、インパルスハンマ（打撃力を電圧等で出力できる機構を有し、打撃入力に加振力や周波数などの特性を把握できる）を用いてコンクリート構造物を打撃し、フード付きマイクを用いて発生する打撃音を測定する打音法の開発を行ってきた<sup>2)</sup>。

しかしながら、この打音法は、従来のたたき検査と同様で、検査者が人力で打撃と打撃音の測定を行うため作業の効率化を図る必要があった。そこで、打音測定部分をユニット化して打撃と打撃音の収録・評価を自動的に行うトンネル覆工打音検査自動化システム「ライニングヒッターⅡ」を開発し、実際のトンネルで動作性能を確認した。

## 2. システムの概要

ライニングヒッターⅡは、測定ユニットを含む走行レールとベースマシンからなり、以下のような構成および機能になっている（写真-1参照）。

- ①延長6mの走行レールに測定ユニットが取り付けられている。
- ②6mの走行レールのうち測定範囲は約5mである。
- ③測定ユニットは打撃、収録、評価（部材厚さ推定）、不良箇所のマーキング、移動を自動的に行う。
- ④CCDカメラを取付け、測定箇所の表面状態をモニタリングできる。
- ⑤ベースマシンはトラックに据付け、走行レールを壁面に接触させるための機構と測定ユニットを含む走行レールを円周方向へ移動させる機能を有している。

コンクリートの健全性の診断では、得られる打撃音を簡単なパラメータに置き換えて、パラメータの面的な分布や長期的変化を評価する方法が有効である。ライニングヒッターⅡでは、振幅に着目して、打撃音最大振幅値（ $A_m$ ）をインパルスハンマ加力振幅最大値（ $A_i$ ）で除した値である振幅比から評価する。

$$\text{振幅比} = A_m / A_i$$

$A_m$  : 打撃音最大振幅値

$A_i$  : 加力振幅最大値

振幅比から部材厚さを推定し、設計巻厚より薄い箇所

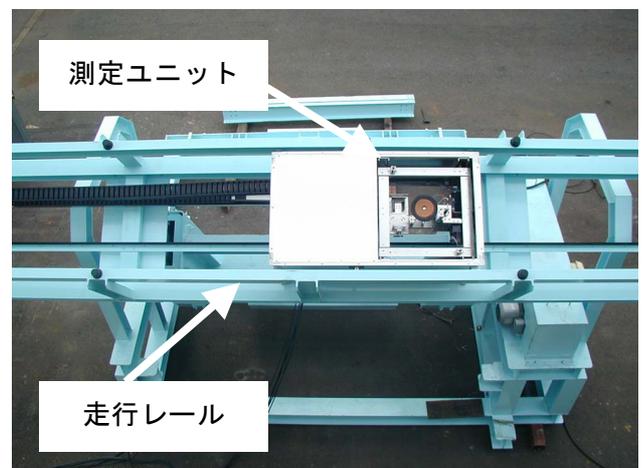


写真-1 ライニングヒッターⅡ

キーワード：トンネル、覆工コンクリート、診断、打音法、自動化

連絡先：〒243-0211 神奈川県厚木市三田 47-3 TEL：046-241-2172, FAX：046-242-9420

を不良箇所と判定する。設計巻厚と比較して薄い場合には、厚さ不足、背面空洞の存在、内部ではく離などが想定される。多くのトンネルや橋梁および試験体レベルでの実績から、振幅比と部材厚さの関係には負の相関があることがわかっている<sup>2)</sup>。試験体によるキャリブレーションから得られた振幅比と部材厚さの関係式を図-2に示す。

### 3. 動作性能確認

ライニングヒッターⅡの動作実験を直径 4.7mのトンネルで行い、その性能を確認した（写真-2参照）。

測定手順は以下のとおりである。

- ①ベースマシンを測定位置に固定する。
- ②走行レールを壁面付近へ移動する。
- ③走行レールを壁面に接触させる。
- ④フード付きマイクを壁面に押付ける。
- ⑤インパルスハンマで打撃し、フード付きマイクで打撃音を収録する。
- ⑥判定を行い、不良と判断された場合はマーキングをする。
- ⑦フード付きマイクを壁面から離し、次の測定位置へ移動する。
- ⑧軸方向への一連の測定が終了したら走行レールを壁面から離し、トンネル壁面に沿って円周方向へ次の測線まで移動する。
- ⑨一断面の測定が終了したら次の測定断面までベースマシンを移動する。

現地実験から以下のようなことが明らかになった。

- ①打撃・収録・評価・マーキング・移動の基本動作を確認した。
- ②50cm間隔の測定時間は1打点あたり約15秒、円周方向への走行レールの移動時間は約2分であった。  
（この結果、50cm格子での1断面(7m×5m=35㎡)あたりの測定時間は約60分となる。）
- ③測定精度は検証のために行ったレーダ探査および人力での打音の結果とほぼ同様であった。
- ④マイクのフードを壁面に密着するように押付ける機構が必要である。
- ⑤ハンマ打撃時の振動がマイクに伝わらないような対策が必要である。
- ⑥コンクリート表面が荒れて骨材が表れているような状況では、ハンマが骨材や空隙を打撃してしまい、現状では適切な測定ができない。

### 4. おわりに

トンネル覆工打音検査自動化システム「ライニングヒッターⅡ」の動作実験を実際のトンネルで行い、その性能を確認した。現地実験により実トンネルへの適用性が確認された。今後は、よりスピードアップを図り、改良を進めていく予定である。なお、本システムは、対象トンネルに合わせてベースマシンを製作することにより、道路、鉄道、水路などさまざまな用途のトンネルへの適用が可能である。

#### <参考文献>

- 1) 伴ら：検査ハンマーなどの簡易な点検器による剥離検知性能の評価，第11回トンネル工学研究発表会，2001
- 2) 伴ら：打音法によるコンクリート構造物の非破壊検査手法の開発，佐藤工業技術研究所報，No. 27，2001

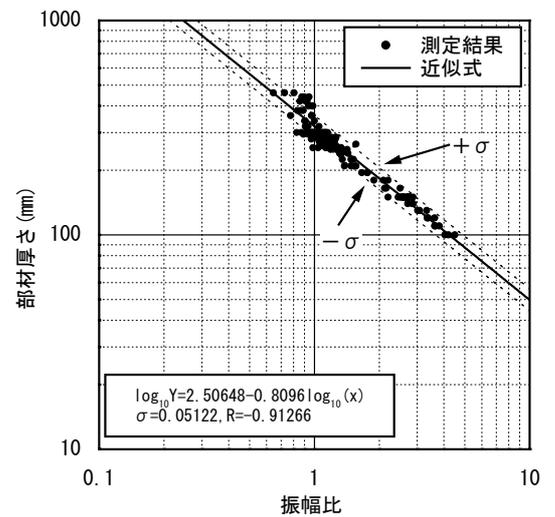


図-2 部材厚さと振幅比の関係



写真-2 動作性能確認実験の状況