

トンネル覆工連続打音点検システムの現地適用性試験

国土交通省 関東技術事務所 正会員 ○持丸 修一

国土交通省 関東技術事務所 二瓶 正康

(社) 日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 フェロー会員 竹之内博行

(社) 日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 正会員 榎園 正義

(社) 日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 正会員 竹本 憲充

1. はじめに

近年、トンネル覆工ではコンクリートの剥離、落下が報告されており、欠陥部を精度良く、かつ効率的に検出することのできる点検手法の確立が急務となっている。また、今後覆工の剥落事故を防止し、通行の安全性を確保するためには、定期的な点検と保守が極めて重要である。トンネル覆工の剥離・空洞診断技術としては超音波法、電磁波法、熱赤外線法等の非破壊検査が提案されているが、簡便性や処理の迅速性に欠けるため、人力による打音検査が主体となっている。しかし、打撃音を人の聴覚で判断するために個人差が生じたり、点検データを定量的に保存できない等の欠点がある。

本報告は、トンネル覆工を対象とした打音検査に広く活用することを目的に、平成12年度から、独自の連続打音方式による打音点検システム（以下、トンネル点検車と呼ぶ）を開発し¹⁾²⁾実際にトンネル点検作業を実施して、その適用性を検証した結果について述べるものである。

2. 開発システムの概要

本システムは、現場での点検作業を行うトンネル点検車と現場で取得した打音、画像、点検位置（距離、角度）等の計測データを事務所等で詳細に解析するための打音詳細解析装置とで構成する。各装置の主要性能を表-1にまとめて示す。トンネル点検車は、図-1に示すように、作業デッキ部に打音発生装置、フローティング装置を搭載し、キャビン部に打音解析装置を搭載している。この装置では、打音・画像・位置情報を同期させて収録・保存する。また、本システムの点検作業は、車両の指揮・誘導者(A)、運転者(B)、計測装置操作者(C)、前方監視・覆工の近接目視点検者(D)、作業台・打音機操作者(E)の5名で実施する。

表-1 連続打音点検システムの主要性能

種 別	機 能	性 能 (諸元)
①車両本体	・昇降装置の作業デッキ部に打音発生装置、フローティング装置を搭載した車両。 ・車体部に集塵装置、発電装置、センサー類を搭載し、キャビン内に打音解析装置を搭載する。	最大作業速度；2.0km/h以上 対象トンネルの 最小～最大寸法；高さ4.5～7.0m (7フー部曲率半径；3.5～6.0m) ロー付き7フリカ；全油圧式 車両総重量；7,900kg
②打音発生装置	・チェーンに繋がれた鋼球（打撃部）を、回転軸に複数取付け、これを回転させて、覆工表面に連続的な打撃力を加え打音を発生する。	点検幅；500mm 回転径；φ300mm 回転数；200～400rpm 玉の取付け；円周8等分（130個）
③フローティング装置	・打音発生装置を任意の仰角において把持するアームで、走行時の蛇行やトンネル壁面の凹凸の変化に追従し、壁面に一定の力で押しつけ、障害物等を速やかに回避する装置。	エアシリンダストローク；±150mm 油圧シリンダストローク；300mm 仰角シリンダ；0～110度
④打音解析装置	・打音データ、画像データおよび位置データを保存すると共に、点検作業中に異常箇所等のリアルタイム判定を行い、平面図として表示する。	音響解析技術；ゆらぎフィルタ 打音データ（騒音計）；20～12500Hz 画像データ（CCDカメラ）；35万画素 位置データ；第五車輪、角度データ
⑤集塵装置	・連続打撃により落下したコンクリート片や粉塵を吸引回収する装置。	10～15mmφサイズのコンクリート片を吸引可能
⑥発電装置	・上記①～⑤の装置へ電力を供給する。	電源；電圧200V、100V 電源容量；50Hz、5.0kVA 60Hz、13kVA
⑦打音詳細解析装置	・トンネル点検車で取得したデータを、オフラインで詳細に解析するための装置。 ・判定マップ表示、画像、打音データの表示、および再判定解析操作を行う。 ・必要なトンネル情報の編集、トンネル判定マップ等の出力を行うと共に、計測データを保存（データベース化）する。	パソコン本体；Pentium4；2.53GHz 本体メモリ；512MB ハードディスクドライブ；120GB DVD-Rドライブ；FDドライブ リムーバブルハードディスク；60GB

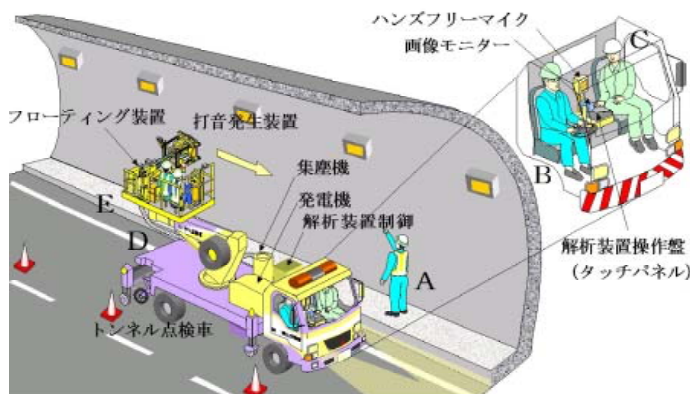


図-1 システム構成図



写真-1 打音発生装置

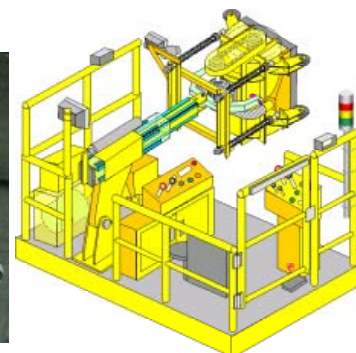


図-2 フローティング装置

キーワード：診断技術、非破壊検査、コンクリート構造物、打音検査、連続打音、音響解析

連絡先：〒417-0801 静岡県富士市大淵3154 (社) 日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 Tel：0545-35-0212 Fax：0545-35-3719

3. 適用性試験結果

実トンネルにおける適用性試験の実施状況を写真-2, 3 に示す。また、図-3 に既存の人力打音点検による変状調査結果と、本システムによる打音点検で出力される異常音判定マップを比較した例を示す。適用性試験および両データの比較により、以下の点を確認した。

- ①変状展開図に記載された欠陥部（浮き、剥離箇所）のほぼ全てで、異常音箇所を示す赤・黄の判定結果が確認された。
- ②人力点検では変状が記載されていない箇所でも、本システムでは異常音部が検出され、人力打音点検で生じる恐れがある点検漏れや判定の個人差等が解消できることが確認された。また、打音点検結果の再現性が非常に高い。
- ③純点検能力は約 $1000 \text{ m}^2/\text{h}$ が実証でき、従来の他の点検方法と比べると、飛躍的に点検能力が向上したものである。

現地で記録されたデータは全てリム・ハブ・カードに記録される。このデータを現地より持ち帰り、打音詳細解析装置を用いて打撃音、覆工面の画像および判定結果を再生することにより、現地と同様の点検状況を確認できる。また、打音点検結果をトンネル展開図として表示し、展開図中の任意箇所

所に近接目視結果等のコメントを記入できる。点検結果およびコメントは、図-4 の打音点検結果展開図および点検台帳として出力することができる。これらの点検結果はデータベース化され、その後の打音調査との比較により、異常音箇所分布の経時変化を把握することができる。

4. おわりに

人力による叩きに代わり、剥離や内部空洞を効率的に検知できる点検システムを開発した。今後はシステム改良によって性能向上を図り、国道トンネルの覆工を対象とした打音点検に広く活用するとともに、本システムを用いたトンネルの点検管理システム構築を進める計画である。

【参考文献】

- 1) 持丸修一、他：コンクリート構造物の連続打音点検システムの開発、土木学会第 56 回年次学術講演会、2001.10
- 2) 小笠原保、他：トンネル覆工連続打音点検システムの開発、土木学会第 57 回年次学術講演会、2002.9



写真-2 Oトンネル側壁部点検状況

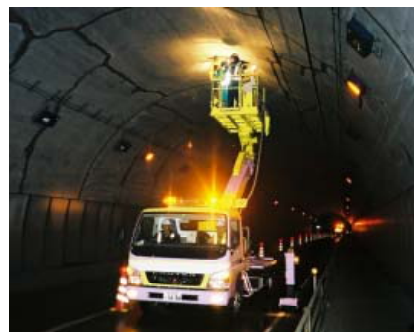
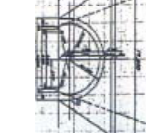
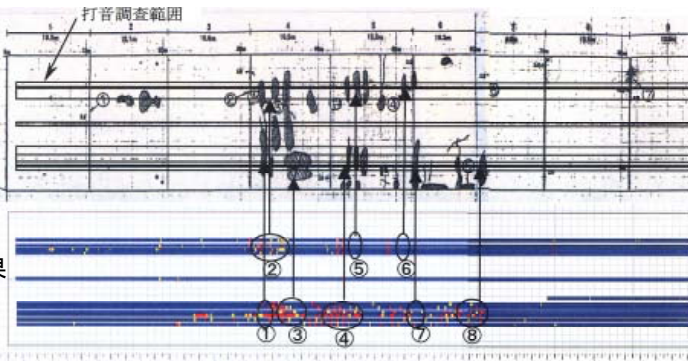


写真-3 Tトンネル天井部点検状況

変状調査書
(目視点検)



打音調査結果
(本システム)

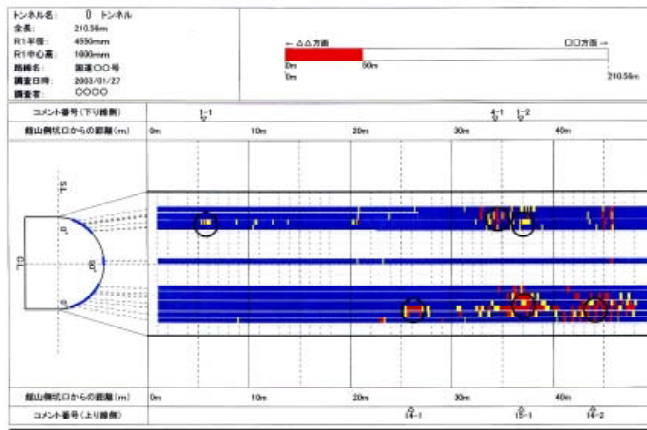


変状調査書と
打音調査結果
の比較

No.	判定	変状調査書	No.	判定	変状調査書
①	赤・黄	浮き・剥離	⑤	赤	浮き・剥離
②	赤・黄	浮き・剥離	⑥	赤	剥落跡
③	赤・黄	浮き・剥離	⑦	赤・黄	浮き・剥離
④	赤	浮き・剥離	⑧	赤・黄	浮き・剥離

図-3 Oトンネル異常音部検出結果と変状調査書との比較

0 トンネル 連続打音点検結果：判定結果展開図



0 トンネル 連続打音点検結果：所見

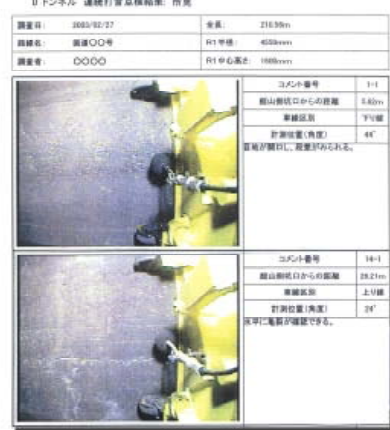


図-4 打音点検結果展開図と点検台帳出力例