

トンネル点検システムの開発について

No. 151

国土交通省関東地方整備局関東技術事務所 機械課長

はらやま ゆきひこ

原山 幸彦

にへい まさやす

専門職

二瓶

正康

1. はじめに

トンネル覆工等のコンクリートについて、剥離落下がたびたび報告されており、コンクリート構造物の的確な維持管理のため異状部の迅速な点検手法の開発が求められている。

そこで人力による叩きで行われているコンクリート覆工点検に代わって、剥離や内部空洞を検知し、かつ剥離部の除去を効率的に行える打音点検システムの開発を行った。本報告では開発した打音発生装置および打音解析装置の概要と基礎実験、現地試験および実用機と詳細解析装置について述べる。

2. 概要

コンクリートの非破壊検査技術として、打撃、電気、磁気、音波、電磁波、赤外線等を使用したものが研究されているが点検の迅速性やコストなどの面から人力点検に置き換わるには至っていない。

本開発は、人力での点検ハンマーによる打音点検と劣化部分の叩き落とし作業を機械化したものである。装置は連続的に打音を発生させる打音発

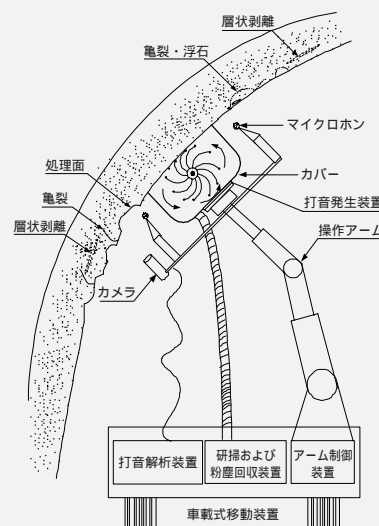


図 1 システムイメージ

生装置と迅速に移動しながら調査を行うための懸架装置およびベースマシン、発生音をリアルタイムで解析する装置、粉塵回収用の周辺機器で構成される(図 1)。

3. 開発内容

(1) 打音発生装置(写真 1)

打音発生装置は、迅速な点検を目的として連続的に打音を発生させる装置であり、チェーンに繋がれた鋼球を回転軸に複数取り付け、これを回転さ

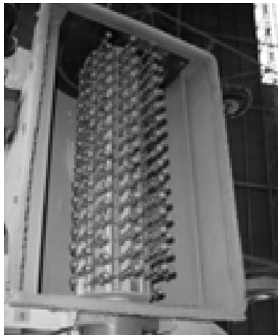


写真 1 打音発生装置

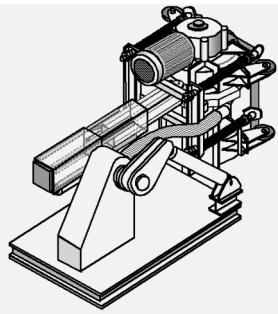


図 2 フローティング装置

せながら安定した打撃力を構造物に加える機構とし、内部異状の検知と同時に表層の剥離部を叩き落とし、これを吸引して回収する機能も有する。

(2) フローティング装置 (図 2)

フローティング装置は、打音発生装置をトンネル覆工面に適切な力で押し付けるとともに、緩衝機構によって路面、覆工面の不陸にも対応するものである。

(3) 搭載ベース車両

次の理由から、既存のトンネル点検車に搭載するシステムを開発することとし、既存のトンネル点検車を使った実証試験を行うこととした。

- ① 短期間で開発が可能
- ② 開発コストが比較的安価
- ③ 壁面に人間が接近できる

実証試験の機器構成を図 3 に示す。



図 3 実証試験機構

(4) 打音解析装置

打音解析装置は、コンクリート表面を連続打撃して発生する打音の変化を、マイクで集音し音響解析技術により分析、コンクリート内部の欠陥を検出するものである。

単打音に対して連続打音では多くの周辺打音がノイズとなり解析を困難としていた。

ここで、近年の音響解析技術である、「ゆらぎ

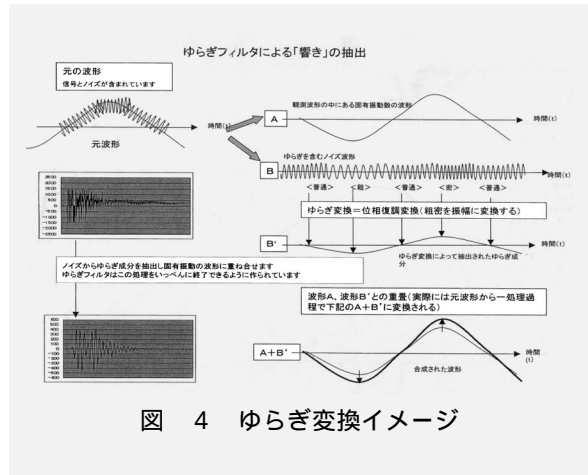


図 4 ゆらぎ変換イメージ

フィルタ (ゆらぎ変換)」を導入した。これによりノイズの多い環境下でも、特殊な防音設備を必要とせずに異常を検出可能となった。

また、音圧波形から欠陥部を視覚的に判別するソフトを合わせて開発した。

4. 試験内容

(1) 実験装置による基礎実験

コンクリート覆工の内部欠陥を模擬した供試体により基礎実験を行い以下の内容を検証した。



写真 2 試験状況

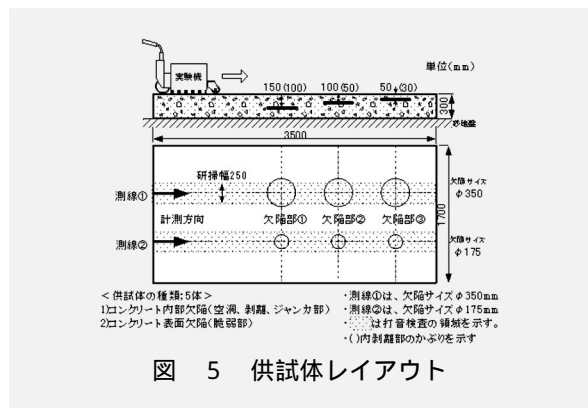


図 5 供試体レイアウト

- ① 欠陥部分判別性能検証
- ② 探査速度検証
- ③ 研掃性能検証

内部欠陥の種類は、内部空洞、剥離、ジャンカ、表面欠陥（脆弱部）を模擬した、試験状況（写真 2）、供試体レイアウト（図 5）を以下に示す。

試験結果は次のとおり。

- ① 欠陥部の打音は、健全部に比べ大きな音（音圧が大きい）となる。
- ② 欠陥部は、打音発生装置の回転数が高い方が容易に確認できる。
- ③ 内部欠陥の大きさが直径175mm より大きいものは、深さ15cm まで発見できる。
- ④ 移動速度は、30m/min までは良好な精度が確保できる。
- ⑤ 研掃機能は、回転数400rpm において、3 mm 程度の層状剥離を除去できる。

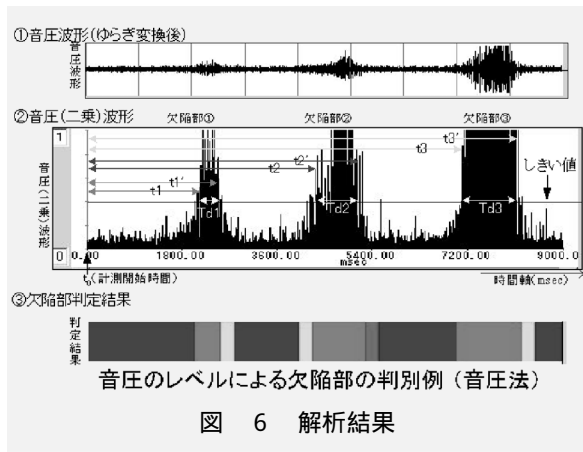


図 6 解析結果

(2) 実証機による適用性試験

実証機を用いて以下の試験を実施した。

① 実物大トンネルモデルによる予備試験

実証機の予備試験を行い、適用性の確認と実トンネルでの現地試験に向けて問題点の抽出を行った。

試験による確認結果は次のとおり。

- 1) 支援車には、必要機器類一式を積載して搬入することが可能であった。
- 2) 作業範囲は、搭載重量の影響で、低所、高所作業姿勢では、想定していた範囲よりも狭くなることが判明した。



写真 3 試験状況

3) フローティング装置は、壁面に安定して押しつけることが可能であることが判明した。

② 実トンネルでの適用性試験

さらに、供用中の実トンネル（3カ所）で、点

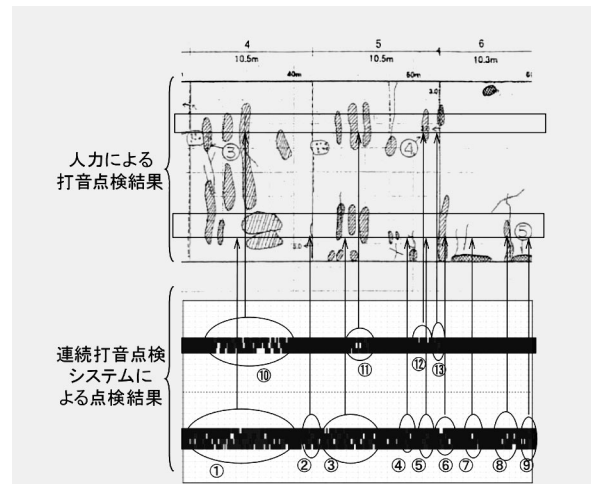


図 7 既存トンネル変状展開図と本システムによる健全度判定マップの比較例

表 1 判定部の詳細

No.	本システムの判定結果	変状調査書記載内容
①	赤, 黄	浮き, 剥離
②	赤, 黄	目地
③	赤, 黄	浮き, 剥離
④	赤, 黄	ひび割れ
⑤	赤	記載なし
⑥	赤, 黄	目地, 浮き, 剥離
⑦	赤, 黄	ひび割れ
⑧	赤, 黄	浮き, 剥離, ひび割れ
⑨	赤, 黄	記載なし
⑩	赤, 黄	浮き, 剥離
⑪	赤, 黄	浮き, 剥離
⑫	黄	浮き, 剥離
⑬	赤	目地, 剥離
備考	赤: 強い異常音発生箇所 黄: 異常音発生箇所	

検システム現地試験を実施し、本点検システムによる点検結果と人力による既存点検結果の比較を行った。

本点検システムによるトンネル健全度判定マップと、既存トンネル変状展開図を比較したものを示す(図 7, 表 1)。

健全度判定マップは、健全部に対して変状部の可能性がある箇所を黄色、変状部を赤で示している。

既存トンネル変状展開図に記載されている浮き、剥離および目地部の浮き等の位置で健全度判定マップ上に黄色、赤色が検出された。

本システムによって検出された異常箇所が、既存トンネル変状展開図に記載された欠陥部とほぼ一致していることが確認できた。また、点検能力は最大約1,000m²/hが実証でき、本システムは従来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だといえる。

(3) 実用機導入

平成14年度末に、本調査結果を取り入れたトンネル点検車の実用機を導入した。

① トンネル点検車(写真 4)

実用機については、作業性・操作性を向上させるために各装置の小型・軽量化を図りすべての装置を1台の専用車に搭載した。

また、有効な点検範囲を確保するためブーム配置も見直しを行った。

点検車では、現場で打音、画像、点検位置等の



写真 4 トンネル点検車

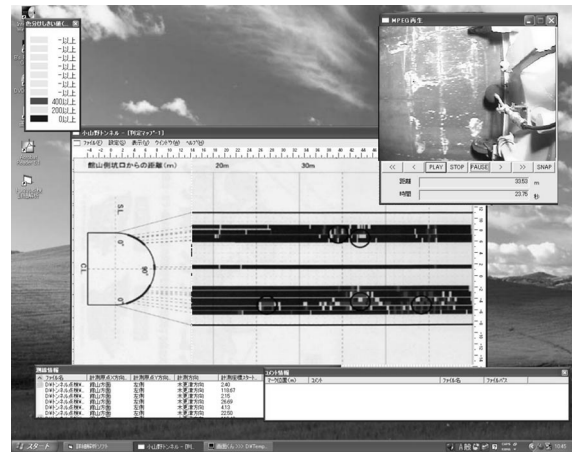


写真 5 点検結果表示画面

計測データを取得しリアルタイム判定を実施する。

② 詳細解析装置

取得したデータを事務所で詳細に解析するため、現地で記録されたデータはすべてリムーバブルハードディスクに記録される。このデータを持ち帰り、詳細解析装置を用いて点検結果を再生することで、覆工面の画像、打撃音など現地と同様の点検状況を確認できる。また、点検結果と点検箇所の画像を合わせて表示できるソフトも開発した(写真 5)。

打音点検結果はトンネル展開図として表示し、展開図中の任意箇所付近接目視結果などの所見を入力でき、これらの情報はデータベース化して保存することで、以後の打音調査との比較により経時変化の把握を可能としている。

5. おわりに

人力による打音点検に代わって、コンクリートの内部欠陥を効率よく検知できるシステムが開発できた。

今後もさらなる改良を積み重ね、本システムを用いたトンネルの点検管理システムを構築し、効率的なトンネル点検に資する予定である。