

18. トンネル覆工連続打音点検システムの開発

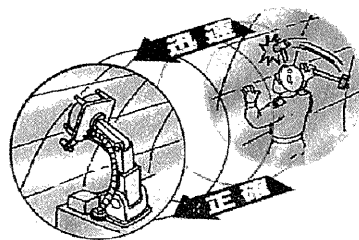
国土交通省 関東地方整備局：田中 義光、持丸 修一、

*二瓶 正康

1. はじめに

近年、トンネル覆工の巻き立てコンクリート等での剥離落下がたびたび報告されており、異状部の効率的な点検手法及び対策手法の開発が求められている。

現在の点検方法で主流となっている、人力による叩きで行うコンクリート覆工点検に代り、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う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及び打音解析装置と基礎実験、現地試験を行った結果について述べる。



2. 開発したシステムの概要

コンクリートの非破壊検査技術としてはこれまでも、打撃、電気、磁気、音波、電磁波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、実績のある点検手法である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り、装置は連続的に打音を発生させる打音発生装置と移動しながら調査を行うための懸架装置及びベースマシン、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類で構成される(図-1)。

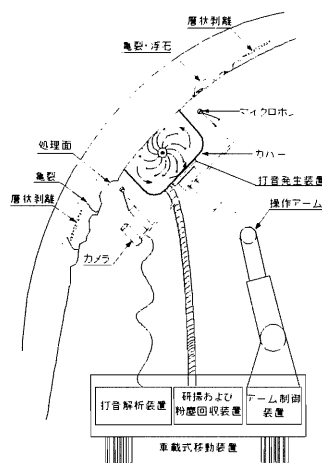


図-1 システムイメージ

(1) 打音発生装置

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、これを回転させながら適正な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(写真-1)。

(2) フローティング装置

フローティング装置(図-2)は、打音発生装置を覆工面に適切な力で押しつけると共に、緩衝機構により路面、覆工面の不陸に対応するものである。

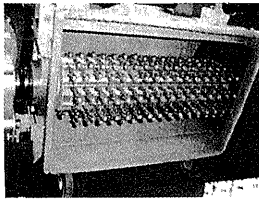


写真-1 打音発生装置

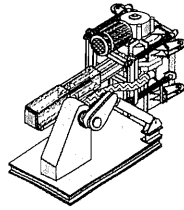


図-2 フローティング装置

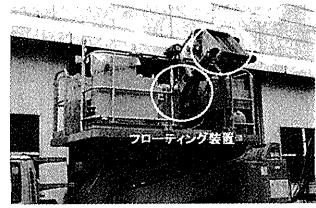


写真-2 搭載状況

(3) 搭載ベース車両

下記の理由から、既存のトンネル点検車に搭載する方式とした。

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

実証機の構成を図-3に示す。

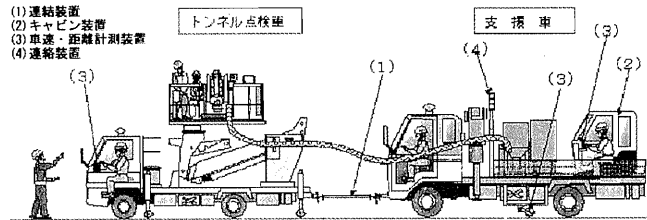


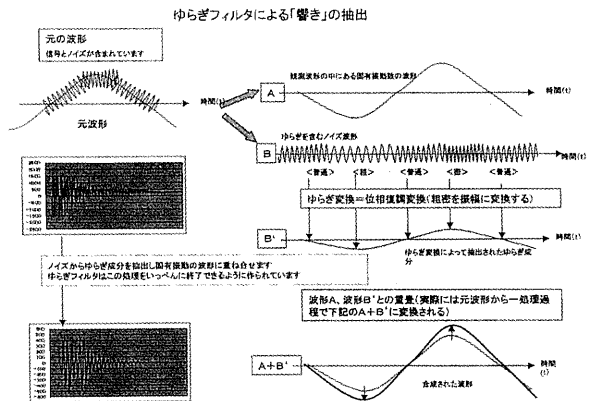
図-3 実証試験機構成

(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的に打撃して発生する連続打音の変化を、マイクで捉えて音響解析技術により分析し、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打音がノイズとなる。連続打音の解析に近年の音響解析技術である、「ゆらぎフィルタ(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

に異常を検出できる。これにあわせ、音圧波形から欠陥部を視覚的に判別するソフトを開発した。



3. 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った。

- (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

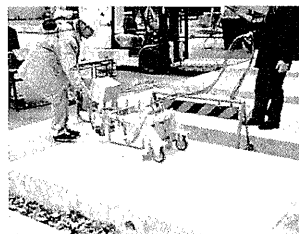


写真-3 試験状況

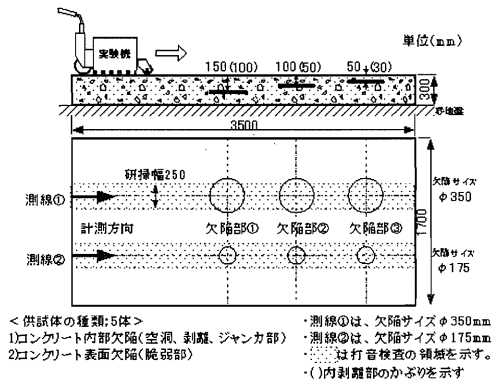


図-6 供試体レイアウト

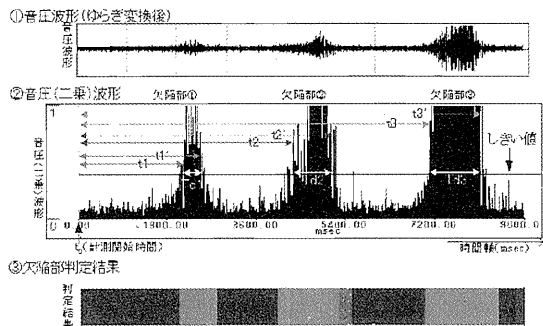


図-7 解析結果

模擬した内部欠陥の内容は「内部空洞」「剥離」「ジャンカ」「表面欠陥(脆弱部)」である。

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、3mm程度の層状剥離を除去できる。

4. 実証機による適用性試験

実証機を用いて以下の適用性試験を実施した。

(1) 実物大トンネルモデルによる予備試験

実物大トンネルモデルで、実証機を用いて予備試験を行い、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。

試験による確認事項は次のとおりである。

- 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。
- 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。
- ③ フローティング装置は、壁面に安定して押しつけ可能である。

(2) 実トンネルでの適用性試験

実証機を用いて、供用中の実トンネル(3箇所)での、点検システム適用性試験を実施し本点検システムによる点検結果と既存点検結果の比較を行った。

試験結果は次のとおりである。

本点検システムによるトンネル健全度判定マップと、既存のトンネル変状展開図と比較した例を図-8に示す。



写真-3 試験状況

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。

変状調査書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マップ上に黄色、赤色が検出され、本システムによって検出された異常箇所が変状調査書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、施工能力は最大約1000m²/hが実証でき、本システムは従来の他の点検方法と比べると飛躍的に施工能力が向上したものと見える。

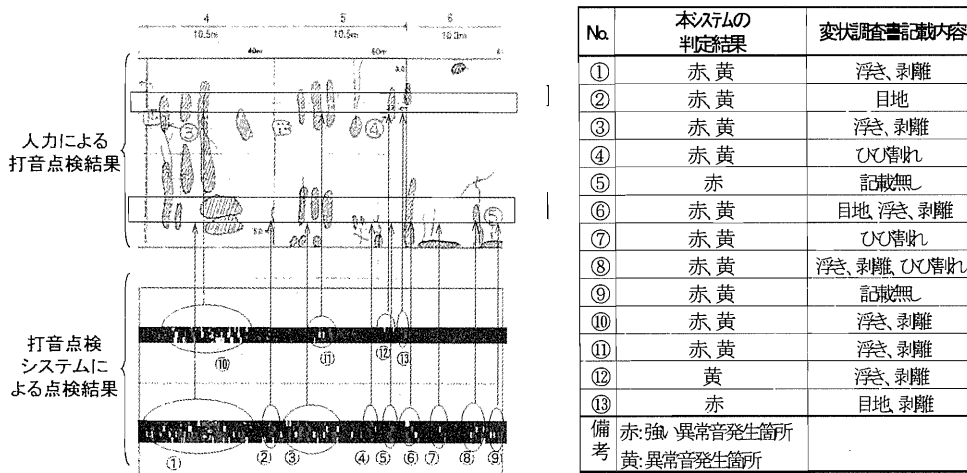


図-8 既存トンネル変状展開図と本システムによる健全度判定マップの比較例
(小山野トンネル)

5. 技術的課題の抽出と改善策の検討

実証機による実トンネルでの適用性試験結果から、本点検システムの作業・操作性をさらに向上させるためには、図-9に示すように各装置の小型・軽量化を図り、全ての装置を専用車一台に搭載することが必要である。

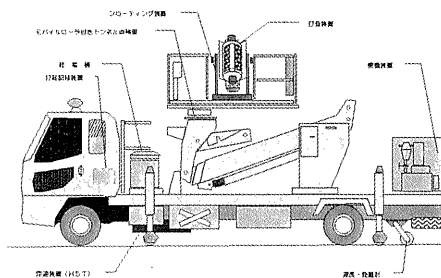


図-9 実用機イメージ図

6. おわりに

本システムは、トンネル点検において、欠陥部の検出がこれまでの人力打音検査と同等かつ施工能力では飛躍的に向上することが明確となった。

これにより、危険と苦渋を伴う人力での高所作業を削減させ、また点検員の技量に因らない定量的かつ客観的な評価ができる。

また、トンネル点検記録のデータベース化を進めることで欠陥箇所の経年変化が把握できる。

今後は、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、効率的なトンネル点検に資する予定である。