

走行型計測によるトンネル覆工巻厚・空洞探査技術の開発

パシフィックコンサルタンツ(株)*) 正会員 ○山本秀樹 重田佳幸 小平哲也 安田亨
(株)ウォールナット**) 正会員 北澤隆一 名古屋淳

1. はじめに

トンネル点検は、近接目視で行うことが基本であるが、従来の点検技術においては、①スケッチによる変状の記録、②点検者の主観による打音の判定、③暗所で狭隘の作業であるなどの理由のため、安全性や客観性に乏しく、見落としの発生や変状の進行を適正に評価できないなどの課題が指摘されている。

上述した課題に対する解決策として、MMS（共同開発者：三菱電機(株)）と MIS（共同開発者：計測検査(株)）を搭載した走行型トンネル点検車「MIMM（ミーム）」を2010年に開発した。同時に国土交通省近畿地方整備局の産官学連携プロジェクト「新都市社会技術融合創造研究会：プロジェクトリーダー大西有三京都大学名誉教授」にて、走行型計測技術によるトンネル健全性評価の実用化を検証し¹⁾、以降多数のトンネルにおいて実用レベルで活用されている。

この車両は、覆工壁面の連続画像計測やレーザー計測ができ、交通規制を必要とせず、高速走行しながら精度の良い客観的な変状把握が可能である。ただし、覆工巻厚や背面空洞の調査ができないという課題が残っていたため、2014年2月に走行型レーダー探査装置を(株)ウォールナットと開発した(図-1)。

本稿は、非接触型電磁波レーダーを用いた走行型計測によるトンネル覆工巻厚・空洞探査技術の開発と実用性検証結果について報告するものである。

2. 非接触型電磁波レーダー探査技術の開発

(1) 従来型調査方法の問題点と非接触型電磁波レーダー探査技術の概要

従来方式のレーダー探査では、アンテナを覆工面に接触させる必要があるため、障害物の多いトンネル内では、高所作業車等を用いて人力で行う必要があった。そのため、探査速度も遅く、交通規制を必要とするなどの課題があった。

今回開発した非接触型レーダー探査装置は、50～70km/hで走行しながら、覆工巻厚と背面空洞を探査することが可能となっている。(図-2)

(2) 非接触型レーダー装置の開発

非接触レーダーは、探査対象までの離隔が大きいと、電磁波の減衰・拡散により反射波のパターン解析が難しいという課題があった。そこで、図-3に示す電磁波の極性・反射係数を考慮した原理解析²⁾により、探査性能が低下する非接触レーダーの解析を解決した。

また、従来型の接触型アンテナでは、指向性がなく感度が低いなどの電磁波拡散の問題のため調査対象物との離隔を取れないという課題があった。

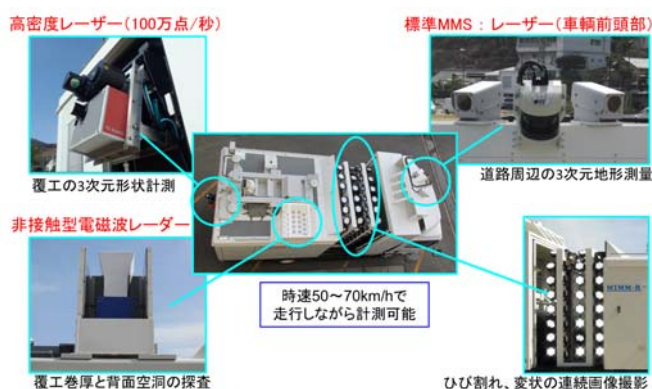


図-1 走行型計測車両 MIMM-R の計測システム

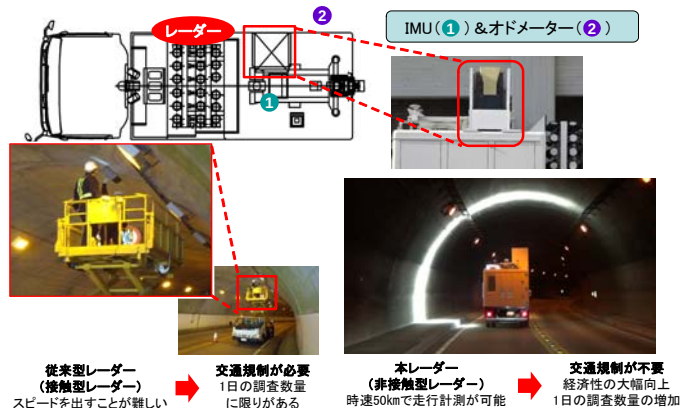


図-2 従来技術によるレーダー探査と今回開発技術

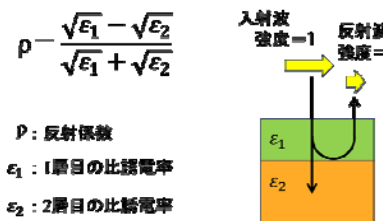


図-3 極性・反射係数の概念図

キーワード トンネル点検 非接触レーダー探査 空洞探査 巻厚探査 走行型計測

連絡先：*) 〒163-6018 東京都新宿区西新宿 6-8-1 TEL. 03-5989-8321 FAX. 03-5989-8329

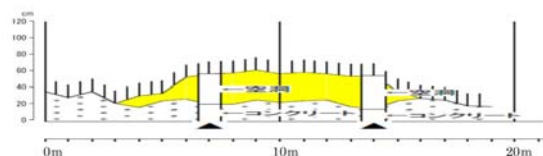
**) 〒190-0002 東京都立川市幸町 1-19-13 TEL. 042-537-3838 FAX. 042-537-3820

そこで、指向性が高く、感度の高いホーンアンテナを採用し、高速でのデータ取得可能なコントローラーの改良を施した走行型計測による非接触型レーダー装置を開発した。³⁾

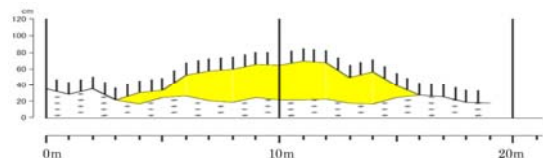
3. 実用性検証

実用性の検証は、同一トンネルに対して、接触型レーダー探査と非接触型レーダー探査の双方で調査を実施し、結果の比較により行なった。

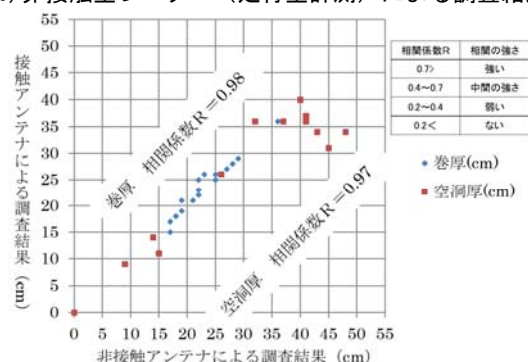
今回の検証は、覆工巻厚が比較的薄いHトンネル（平均巻厚 25cm, 図-4）と、覆工巻厚が厚いSトンネル（平均巻厚 41cm, 図-5）に対して実施した。覆工巻厚が薄いHトンネルでは、巻厚・空洞高さともに高い相関性が得られた。覆工巻厚が厚いSトンネルでは、非接触型レーダー装置の性能上探査深度 45cm 以上が計測不能となることからHトンネルに比べてやや相関性は低くなっているが、突発性崩壊の可能性を評価するための覆工巻厚 30cm, 背面空洞高さ 30cm の有無を判断する上では問題のない結果が得られた。



(a) 従来技術による調査結果（▲はコア抜き箇所）

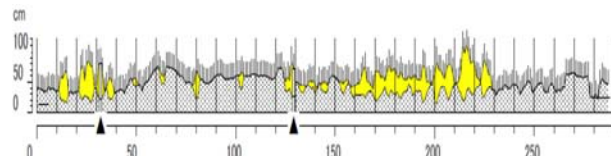


(b) 非接触型レーダー（走行型計測）による調査結果

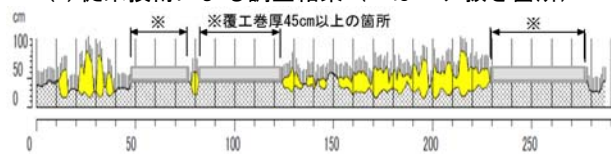


(c) 従来技術と非接触型レーダー調査との相関性

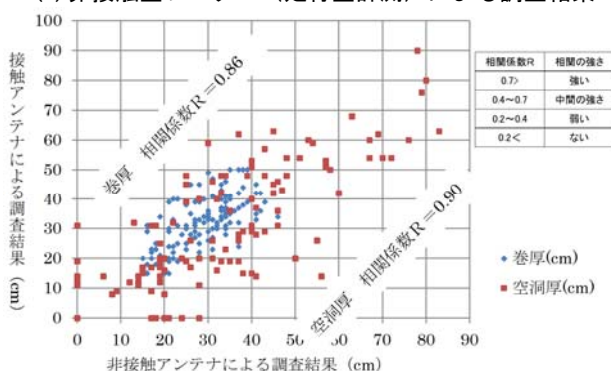
図-4 Hトンネルにおける検証結果



(a) 従来技術による調査結果（▲はコア抜き箇所）



(b) 非接触型レーダー（走行型計測）による調査結果



(c) 従来技術と非接触型レーダー調査との相関性

図-5 Sトンネルにおける検証結果

4. まとめ

非接触型レーダーを走行型計測技術を開発したことで、突発性崩壊の恐れがあるとされている覆工巻厚不足箇所や大規模な背面空洞箇所を、交通規制を行わずに調査することが可能となった。今回開発した非接触型レーダー探査装置は、覆工巻厚不足箇所や突発性崩壊の恐れがある箇所を調査する技術として実用レベルにあり、すでに14トンネル（総延長12km）の調査実績がある。ただし、非接触型レーダーの特性上、覆工打設目地付近などの特定の部位における局所的な巻厚不足や、レーダー探査範囲に照明灯具等がある場合、RC覆工構造で鉄筋が密に配置されている場合における検出精度低下などの課題を十分理解した上で、適切に計測・解析結果を評価する必要がある。現在、内閣府による戦略的イノベーション創造プログラムにて、より高性能な非接触型レーダーによる内部欠陥探査技術（打音検査補完技術）の開発を行なっている。今後は、これら走行型計測を活用したトンネル点検・診断技術の開発・改良を進め、より効果的な点検手法の確立に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 新都市社会技術融合創造研究会 道路トンネル健全性評価技術研究プロジェクト：走行型計測技術による道路トンネルの健全性評価の実用化研究 研究成果報告書，2013.2
- 2) 稲垣正晴，齋藤豊：電磁波による地中検査技術，検査技術(No.9)，pp.5～8，1997
- 3) 安田亨，山本秀樹，北澤隆一：時速50kmでトンネル空洞探査，建設機械施工(Vol.66, No.12)，pp.51～56，2014