

# 講演概要 地中レーダー技術を活用した トンネル覆工背面調査の可能性

白崎 広和<sup>1</sup>・栗林 健一<sup>1</sup>・齊藤 岳季<sup>1</sup>  
戸部 征雄<sup>2</sup>・永井 延史<sup>2</sup>・五江 渕 通<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 東日本旅客鉄道株式会社フロンティアサービス研究所

(〒331-8513 埼玉県さいたま市日進町一丁目2-479)

E-mail:hiroказu-shirasaki@jreast.co.jp

<sup>2</sup> 株式会社ジオファイブ (〒336-0931 埼玉県さいたま市緑区原山一丁目12-1)

E-mail:y\_tobe@geo5.co.jp

山岳工法で建設されたトンネルは覆工頂部周辺の背面と地山との間に空洞が存在することがある。線区によりトンネルの延長が長く、その空洞の存在を調査するためには、コアボーリングによる直接的な調査が確実であるが、事前調査により精度良くスクリーニングを実施できれば、全体を短時間で調査することが可能である。

近年、道路下空洞やコンクリート道路橋の床版の内部欠陥の調査で活用されているマルチチャンネルタイプで多断面の測定が可能な地中レーダーに着目し、トンネル覆工背面の調査が可能か検証した。

検証に用いた試験設備ではトンネルの覆工厚、トンネル覆工背面の空洞、木矢板、鋼製支保工、水脈、地山の状態等の条件を変えて測定を行った。

**Key Words :** tunnel lining backside survey gpr technology

## 1. はじめに

JR 東日本では新幹線構造物の耐震性や安定性を向上、延命化を目的とした新幹線大規模改修工事を2031年度より10年間で計画している。トンネルやコンクリート土留壁については改修工事範囲を設定するため、トンネル覆工の背面およびコンクリート土留壁背面の空洞の有無を調査する計画がある。

現在の調査方法は、コンクリートの覆工、壁面を接触型 (Ground-coupled antenna) 地中レーダーで空洞を探索し、その後コアボーリングにより穿孔、ゲージを挿入して空

洞の規模を直接計測している。この手法の利点として、穿孔の本数を増やすほど高い精度で空洞の規模が把握でき、その後、耐震性、構造物としての安定性を確保するために施工する裏込注入などの対策工の設計、品質管理に反映することが可能となる。

しかしながら、短期間において対策工の計画を策定するとなると調査に多大な費用を要することになるため、非接触式 (Air-coupled antenna) の地中レーダーで空洞の有無のみを探索する方法について、その可能性の検証試験を行ったので報告する。

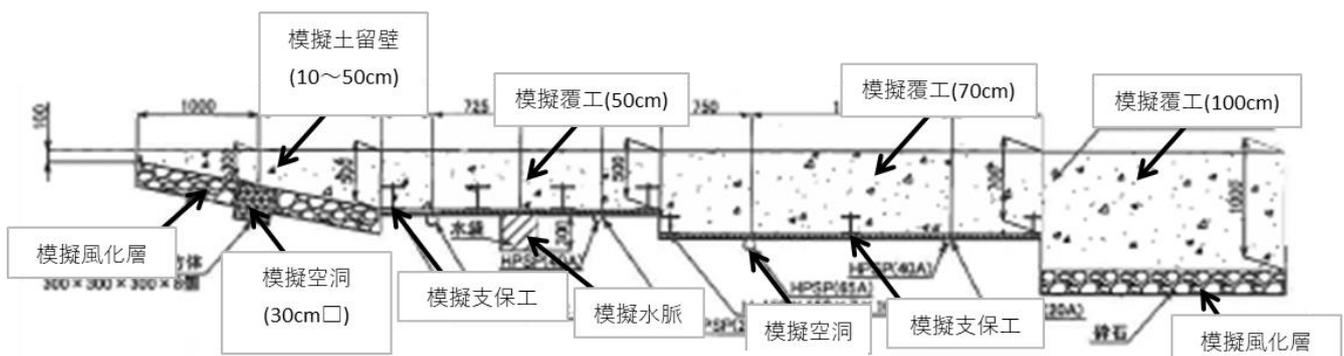


図-1 試験設備 (側面図)

## 2. 試験内容

### (1) 試験設備

地中レーダーを用いた試験に先立ち、新幹線トンネルの覆工と土留壁を模した試験設備を設置した(図-1)。

覆工を模した試験設備には、鋼製支保工を再現したH型鋼、木矢板を設置し(図-2)、背面には空洞を再現した発泡スチロール、水脈を模した水袋を設置した。

また、土留壁を模した箇所の底面には風化岩を模した碎石層を設置した。

### (2) 試験に用いた地中レーダー

今回の試験には、離散的に変化する多周波数において、各周波数毎の送信波に対する反射波の振幅・位相を計測する変調連続波方式 (Stepped Frequency-Modulated Continuous Wave) の地中レーダーシステムを使用した。

アンテナに複数の送受信素子を配置して測線直下を面的に捉え、ステップ周波数方式により超広帯域で取得した周波数スペクトルデータをリアルタイムでフーリエ逆変換して時間領域の地中レーダー波形を生成するマルチチャンネルタイプの三次元地中レーダーである(図-3)。

この地中レーダーの特徴は以下のとおりである。

#### a) マルチチャンネル

チャンネル数が多いため三次元画像の取得が容易。

#### b) 複数の周波数

ステップ周波数方式を採用することで、中心周波数の異なるパルスレーダーアンテナを複数使用した場合と同様の結果が一台の測定で得られる。

#### c) 高速測定

高速走行で多成分のデータを同時に取得できる。

#### d) 高分解能

200MHz～3GHzの超広帯域周波数により表層面では高い分解能で測定が可能である。

### (3) 測定方法

設置した試験設備では、不整地運搬車の後方に単管パイプを用いた架台を設置して、アンテナを吊り下げて測定した(図-4)。不整地運搬車の荷台等が金属製でアンテナからノイズが入るため、電波吸収材を周辺に設置して対策を行った。

### (4) 測定回数

今回設置した試験設備にコンクリート材料を使用しているため、材齢により内部の水和反応が進行して比誘電率に変化が出るのが既往の研究により判明している。

そのため弱材齢では、測定結果が悪くなるため、複数回(材齢2ヵ月、6ヵ月、10ヵ月)測定を実施した。

## 3. 試験結果

### (1) 反射波を検知できる対象物と深さ

試験設備のコンクリートは材齢が高くなるほど埋設物をよく捉えるため、材齢10ヵ月の測定結果にて評価する。

図-5で示した番号に対応する結果を表-1に示す。

厚さ100cmのコンクリートの下にある碎石の検知は困難であったものの、厚さ50cm、70cmのコンクリート内部のH型鋼やコンクリート下部の模擬空洞などを検知することができた。

### (2) コンクリート表面からの離隔の影響

レーダーがコンクリート表面にほぼ接触している条件と、約5cmの離隔をとって測定した条件で比較を行った。

その結果、5cmの離隔であれば、接触した状態と同程度の記録が得られることが確認された。



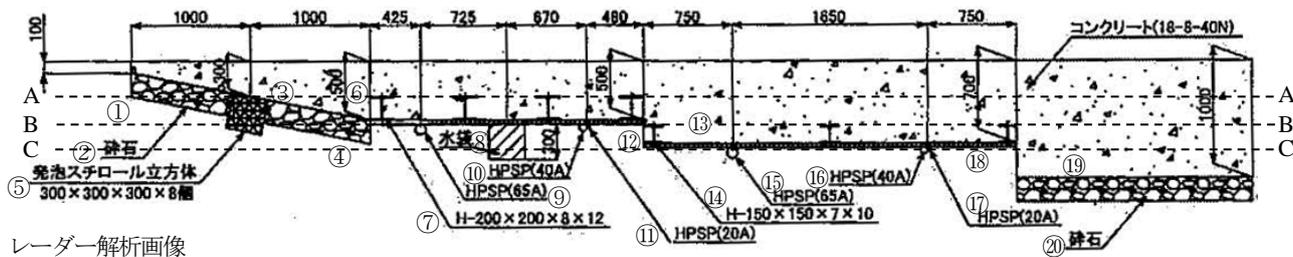
図-2 試験設備内部の埋設物の状況



図-3 使用したレーダー(アンテナ部)



図-4 測定状況



レーダー解析画像

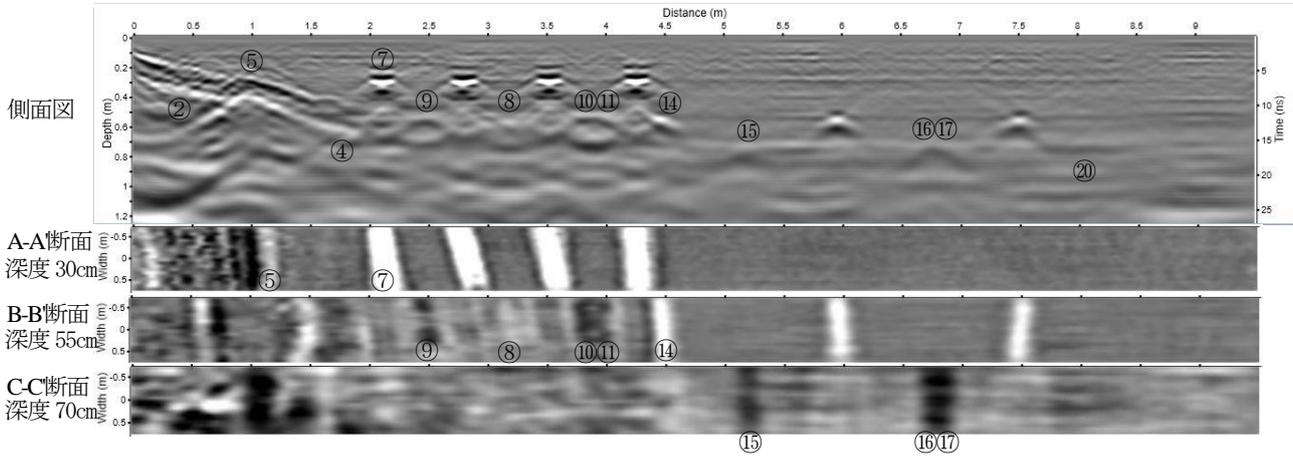


図-5 試験設備側面図, およびレーダー解析画像 (側面図, 平面図 (深度 30cm, 55cm, 70cm))

表-1 レーダーによる各対象物の検知結果

対象物No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑳	
判定結果	○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	△	△	○	○	△	△	△	△	○	×

○ : 対象物の反射波形確認可能、△ : 対象物と思われる反射波形反応が見受けられる、× : 対象物の反射波形確認不可

(3) コンクリート表面への散水の影響

トンネルの覆工が漏水で濡れている実際の作業を想定し、コンクリート表面が濡れている条件で測定を行い比較した。その結果、埋設物や空洞からの反射波の強度は、乾燥時と比べて、表面の濡れている条件では小さくなった。ただし埋設物や空洞については、乾燥時と同程度に検知することができた。

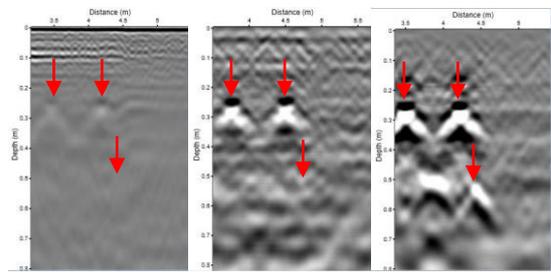


図-6 材齢によるレーダ解析画像の違い (材齢は、左 : 2 ヶ月, 中央 : 6 ヶ月, 右 : 10 ヶ月)

(4) コンクリート材齢の影響

図-6に、深さ30cmと55cmに設置したH型鋼の材齢2ヶ月と6ヶ月、10ヶ月の捉え方の差をしめす。図中の矢印で示した3カ所にH型鋼が存在する。

コンクリートの材齢の影響は次の3項目に大きく依存することが判っている。<sup>1)</sup>

- ・電磁波の反射
- ・電磁波の拡散
- ・電磁波の吸収

材齢2ヶ月では反射波が大きく減衰しており、深さ30cmのH型鋼がわずかに捉えられている。

材齢6ヶ月では深さ30cmのH型鋼は捉えられているが、深さ55cmのH型鋼は捉えきれていない。

材齢10ヶ月では深さ30cm、深さ55cmのH型鋼とも捉え

4. まとめ

今回の検証試験では、アンテナとコンクリート表面の離隔が5cmの場合、深度70cmまでの空洞を含む対象物を検知できることが検証できた。またトンネル覆工が漏水による濡れのある状態でも、影響を受けにくいことが判明した。

レーダーを用いることで、非接触でも空洞の有無を探索できる性能を有していることが検証できた。

## 5. 今後について

今回の試験では道路下の地中探査用の汎用製品を使用した。今後は、鉄道トンネル等の調査用として、調査対象とする空洞の規模、変状規模を明確にしたうえ専用機の開発が必要と考えている。

また今後の課題としては信号処理の評価が必要である。具体的には、ノイズを除去するフィルタリング手法、誘電率の推定、反射波から実際の形状を推定するのに欠か

せないマイグレーション等、現在実施しているレーダーによる探査の課題の解決に取り組んでいきたい。

### 参考文献

- 1) 物理探査学会：コンクリートの誘電的性質，1987.

(2018. 4. 6 受付)

## POSSIBILITY OF BACKSIDE SURVEY OF TUNNEL LINING USING GROUND PENETRATING RADAR TECHNOLOGY

Hirokazu SHIRASAKI, Kenichi KURIBAYASHI, Takeki SAITOU  
Yukio TOBE, Nobuhito NAGAI, Toru GOEBUCHI

It takes a lot of time to investigate the cavity between the back of the tunnel lining and the ground.

The ground penetrating radar device used in the survey of the under the road cavity, it was examined whether the cavity can be investigated using the test equipment which simulated the lining of the tunnel.