

鉄道トンネルの路盤沈下対策に向けた地中レーダー探査の適用

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○米原 慎
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 宮崎 真弥
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 伊藤 信

1. はじめに

りょう盤構造を有する鉄道トンネルにおいて路盤コンクリートの沈下（以下、「路盤沈下」）が生じることがある。路盤沈下は軌道変位をもたらすことがあるうえ、沈下が進行するほど路盤の復旧に時間と費用を要するため、変状の初期段階で進行を抑制する必要がある。

図-1に路盤沈下のメカニズムと注入による対策イメージを示す。路盤沈下の原因は、路盤下面付近に地下水位が存在し、かつ軟弱な地山を有する箇所において、繰り返し列車荷重が作用することにより地山が噴泥化・流出し、空洞が生じることによる¹⁾。したがって空洞の発生を早期把握し、空洞が成長する前に迅速に対策することが有効である。空洞の調査方法としてボーリング調査が確実であるが相応の時間と費用を要するため、より効果的かつ効率的な探査手法が必要である。本稿では、トンネル覆工背面の空洞探査等において実績のある地中レーダー探査（以下、「レーダー探査」）に着目し、トンネル路盤下空洞に対するレーダー探査の適用性検証と路盤沈下対策の効果検証を行なった。

2. 対象および調査手法

2.1 対象トンネルおよび調査目的

本稿では以下の2項目について調査を実施した。

調査①：ボーリング調査とレーダー探査の結果比較

調査②：注入前後のレーダー探査結果比較

調査対象としたトンネルの諸元および調査内容を表-1に示す。Aトンネルでは、路盤下に空洞があることがボーリング調査より確認されている。その空洞付近においてボーリング調査を追加し、レーダー探査を実施した（調査①）。Bトンネルにおいても路盤沈下が確認されたため、注入による対策を実施し

た。対策の効果検証のため、注入実施前後にレーダー探査を実施した（調査②）。

2.2 調査手法

各種調査位置を図-2に示す。レーダー探査は路盤コンクリート上面に対して軌道スラブの両側に測線をそれぞれ配置した。レーダーアンテナについては、深度1m程度の探査性能を有する900MHzアンテナを採用した。ボーリング調査は軌道スラブの両側で孔径φ66mm、削孔長1.2mのコアリングを行い、地山状況の判定を行った。

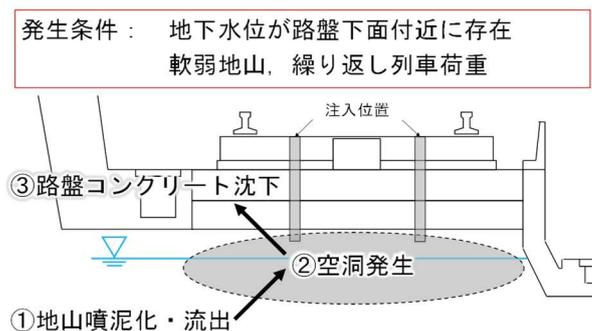


図-1 トンネル路盤沈下のメカニズムと対策イメージ

表-1 調査対象トンネルの諸元

	Aトンネル	Bトンネル
断面	複線	
軌道種別	スラブ軌道	
覆工厚	70cm	50cm
施工法	底設導坑先進上部半断面工法	
路盤構造	りょう盤20cm 路盤鉄筋コンクリート25cm	りょう盤20cm 路盤鉄筋コンクリート20cm
地質	凝灰質砂岩	泥質砂岩、凝灰岩
直近の注入歴	2018年2月	2020年2月
調査内容	ボーリング、レーダー探査	レーダー探査（注入前後）

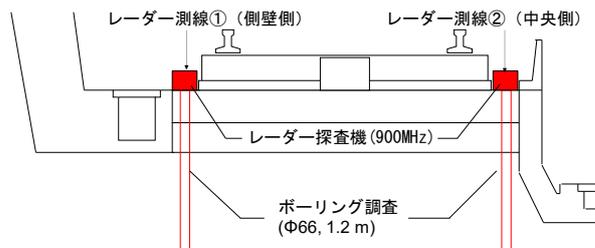


図-2 トンネル断面に対する調査位置

キーワード 鉄道トンネル、維持管理、路盤沈下、地中レーダー探査

連絡先 〒983-0853 宮城県仙台市宮城野区東六番丁 東日本旅客鉄道(株) 仙台土木技術センター TEL 022-266-2397

3. ボーリング調査とレーダー探査の結果比較

A トンネルでのレーダー探査結果(延長 15m)とボーリング調査(8箇所)の結果を図-3に示す。測線①については12m地点付近で縞状のレーダー反応がみられる。同じ箇所のボーリング結果より、りょう盤コンクリートと路盤コンクリートの間に厚さ40mm程度の空洞が存在し、これが検出された可能性が高い。次に、測線②については9m地点から14m地点にかけて明瞭なレーダー反応がみられる。ボーリング結果では10m地点で厚さ90mm程度の空洞がみられるほか、5m~13m地点に礫層が連続的に分布している。13m地点付近では厚さ200mmの礫層がみられ、空洞は存在しないが、明瞭なレーダー反応が得られていることから、レーダーは空洞と礫層の両方を捉えうるといえる。一方で、5m~8m地点に厚さ100mm以下の礫層が分布しているにも関わらず明瞭なレーダー反応が得られていないことから、十分な厚さのない礫層は検出されないと考えられる。なおこれらの礫層は、建設時の余掘りに伴う埋め戻し土であると考えられる。過去の注入材もボーリングで確認されたが注入前後でレーダー探査を行っていないため、対策の効果検証についてはBトンネルで検討する。

4. 注入前後のレーダー探査結果比較

Bトンネルでの注入作業は、軌道スラブの注入孔を利用してポンプ圧送により行い、圧力を管理しながら路盤天端まで注入材が上昇するまで行った。注入材は急硬性、水中不分離性および弾性を付与したセメント系材料を使用した。注入前後のレーダー探査結果を図-4に示す。延長10mの注入範囲において反射波が弱まっており、注入材が空洞に充填されたことが示唆される。これより、注入による対策の効果検証にレーダー探査が活用できるといえる。

5. まとめ

本研究では、りょう盤構造を有する鉄道トンネルにおける路盤沈下対策に向けて、地中レーダー探査による路盤下空洞探査への適用性を検討した。レーダー探査結果は空洞および礫層の存在を一定の精度で検出しており、その有効性が示された。また、注入による対策前後でのレーダー探査を実施し、結果を比較することで、対策の効果検証に活用できるこ

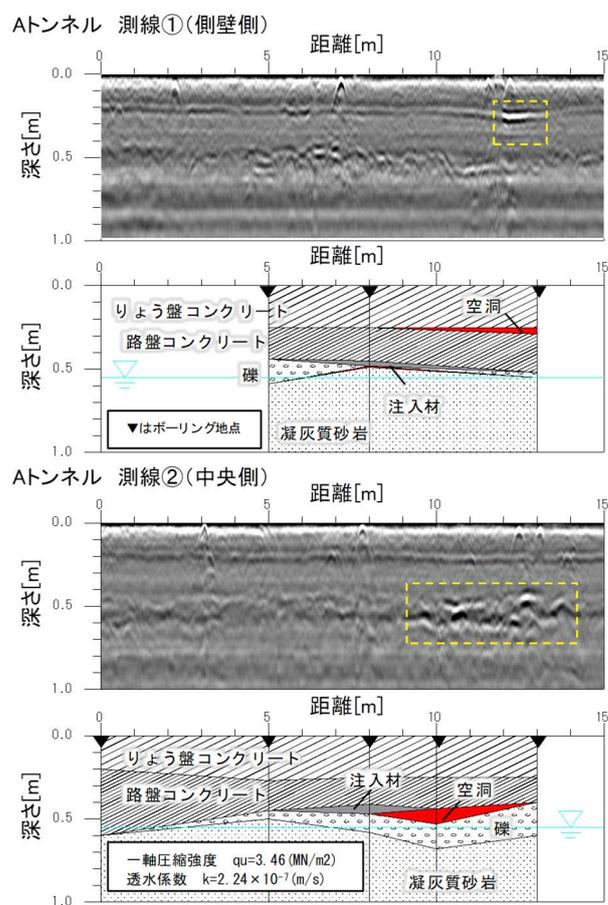


図-3 レーダー探査結果とボーリング結果 (A トンネル)

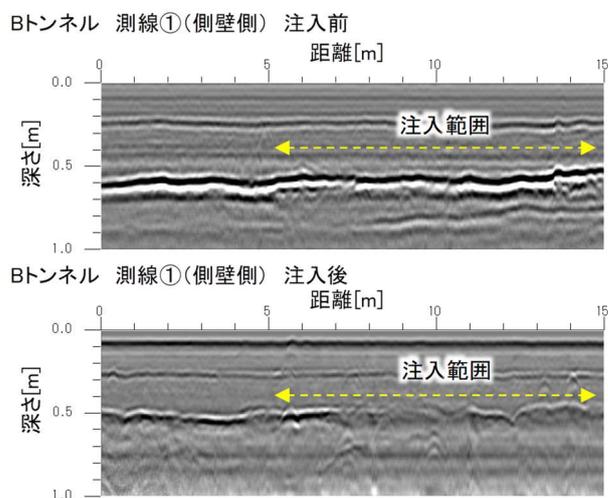


図-4 モルタル注入前後のレーダー探査結果 (B トンネル)

とが示された。本取組みにより、トンネル路盤沈下の早期把握・早期対策が可能になると期待される。今後はレーダー探査を対策実施の判断等に活用していくとともに、調査対象を増やし検証を進めていく。

参考文献

- 1) 森山智明, 富田修司, 清水満, 松田芳範, 齋藤貴. (1998). トンネル内の路盤噴泥対策の検討. トンネル工学研究発表会論文・報告集, 8, 225-230.