

レンガ造トンネルにおけるレーダ探査手法の一考察

東海旅客鉄道株式会社 静岡土木技術センター 正会員 ○竹内 照造
東海旅客鉄道株式会社 静岡土木技術センター 正会員 大上 卓司

1. はじめに

レンガ造トンネルは覆工内部に目地切れ等の欠陥が存在すれば、地圧を均一に配分することが出来ず、地圧がせん断力として働き、目地切れ箇所が一体で剥落する恐れがある(図1)。このことから、トンネル覆工内部(0~40cm程度)の欠陥や覆工裏の状態を検査により把握することは重要である。しかし、現在覆工内部の欠陥を把握する手法として用いている打音検査は、診断可能な範囲がトンネル覆工内部のごく浅い部分に限られることや、検査員により個人差が生じるという問題がある。一方、トンネル覆工表面については、写真撮影、光波測量器によるトンネルの断面形状を測定する検査など、機械を用いる検査方法が主流となっており、覆工内部の検査についても機械化を図り検査精度を向上する必要がある。そこで本研究では、トンネル覆工内部の欠陥が把握でき、判定に個人差が生じないレーダ探査手法に着目し、モデル試験を行って、実用性を検証した。

2. レーダ探査を用いたトンネル覆工内部検査

レーダ探査によるレンガ造トンネルの覆工内部検査は、覆工厚及び覆工裏の空洞の存在は確認できるが、覆工内部の目地欠陥の把握については、実用に至っていない。一方、当センターで準備試験として御殿場線の箱根第2号廃線トンネルで1GHzの周波数を持つレーダ探査装置を用いて検査を行ったところ、トンネル覆工表面より10cm程度の位置に、目地欠陥に反応したと思われる赤色の反射波が出ることが分かった(図2)。そこで本研究では1GHz周波数のレーダ探査装置の精度をモデル試験を用いて実証することとした。レーダ探査装置の種類と探査範囲について、表1に示す。

3. モデル試験について

モデル試験体は、覆工内部目地劣化の程度を、目地材を完全に充填した「完全充填区間」、目地内に一部空洞を入れ欠陥状態にした「不完全充填区間」、目地を全く充填していない「未充填区間」の3つに分類した(図3)。また、漏水状況を再現するために、それぞれの分類について完全乾燥状態から湿潤状態へ4段階(ケース1~ケース4)に分け、合計12種類に分類して実験した(図4)。この実験は、準備試験

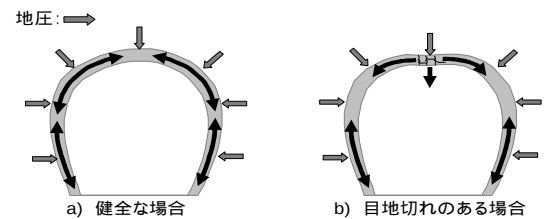


図1 - トンネル覆工の力学的メカニズム

表1 - レーダ探査装置の種類と探査範囲

使用周波数	探査可能範囲
400MHz	探査深度5m程度 トンネル覆工用 覆工背面の状態を探査
800MHz	探査深度2~3m程度 トンネル覆工用 覆工背面の状態を探査
1GHz	探査深度20~30cm程度 鉄筋探査用 覆工内部の状態を探査

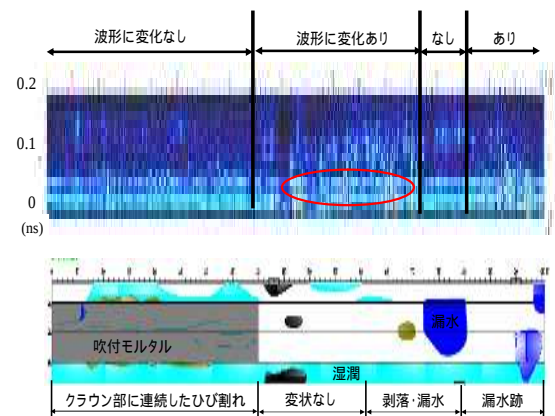


図2 - 箱根第2号トンネル覆工内部の状態

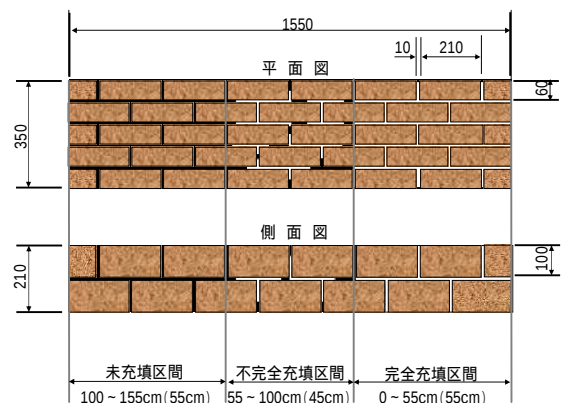


図3 - 試験体断面

キーワード レンガ造トンネル, 打音検査, 目地切れ, レーダ探査

連絡先 〒420-0851 静岡県静岡市葵区黒金町64番地 静岡土木技術センター TEL 054-284-2234

で確認された赤色の反射波が、覆工内部の目地切れに反応したものの、当該トンネルに多く確認された漏水によるノイズから生じたものかどうか判定する必要があるために行った。検証項目として、「赤色の反射波のある箇所と目地欠陥箇所の関係」と「漏水が目地欠陥箇所のレーダ波形に及ぼす影響」の2項目について、モデル試験により検証を行った。

湿潤状態の再現については、試験体外周に水槽を製作し、試験体内部を乾燥から湿潤状態へ移行しながら実験を行った。

4. モデル試験結果

モデル試験で得られた反射画像を図5に示す。

4-1. 赤色の反射波のある箇所と目地欠陥箇所の関係

図5のケース1(乾燥状態)におけるレーダの画像とレンガ試験体の図を比較することで内部欠陥をレーダが捕らえることが出来るかを確認した。「完全充填区間」では赤色の反射波が現れなかったことから、目地材を完全に充填していることを捉えることができた。また「不完全充填区間」では赤色の反射波が現れたことから、目地内の空隙を捉えることができた。「未充填区間」では赤色の反射波が現れなかったが、これは目地材が存在しないため、様々な方向への反射波が相殺されることになったからであると推定される。以上より、1GHzレーダを用いれば目地内の空隙の有無を検出できることが分かった。なお「未充填区間」については、レンガ目地が全くない状況は実構造物としては存在しえない状況であることから、実用上問題ないと思える。

4-2. 漏水が目地欠陥箇所のレーダ波形に及ぼす影響

図5のケース1(乾燥状態)からケース4(湿潤レベル3)の結果から、「完全充填区間」ではレーダに差が現れなかったことから、漏水の影響でノイズが発生しないことが分かった。また「不完全充填区間」と「未充填区間」では漏水により反射波が弱くなるものの、赤色の反射波が確認された。この結果、漏水がレーダ反射波に影響を及ぼし欠陥を見逃す恐れがないことが分かった。なお、ケース4は覆工厚全長に漏水がいき届る状況を想定したものであり、これより漏水が多いことは実トンネルでは存在しえない。以上のことから覆工表面より10cm程度は探査可能範囲であることがわかった。

5. まとめと今後の課題

本研究では、レンガトンネル覆工内部へのレーダ探査手法の実用性を検証するためモデル試験を行った。その結果レーダ探査は、従来からの覆工厚及び覆工裏空洞の確認への適用に加え、新たにトンネル覆工内部より10cm程度の目地欠陥の把握にも適用できることを実証できた。今後は本手法の実用化に向けて、目地欠陥の種類を細分化した実験、覆工内部10～40cmの範囲への適用を検証する実験等を継続して研究を進めていく。

参考文献

- ・日本鉄道施設協会 日本鉄道施設協会誌 Vol.46 2008年2月号 pp18-20
- ・日本鉄道施設協会 鉄道土木構造物の維持管理 pp235-360

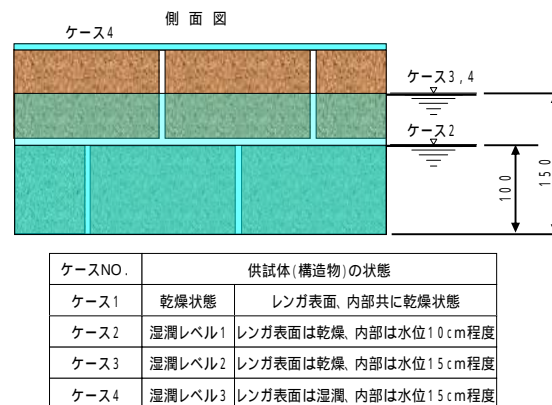


図4 - モデル試験における乾湿状態

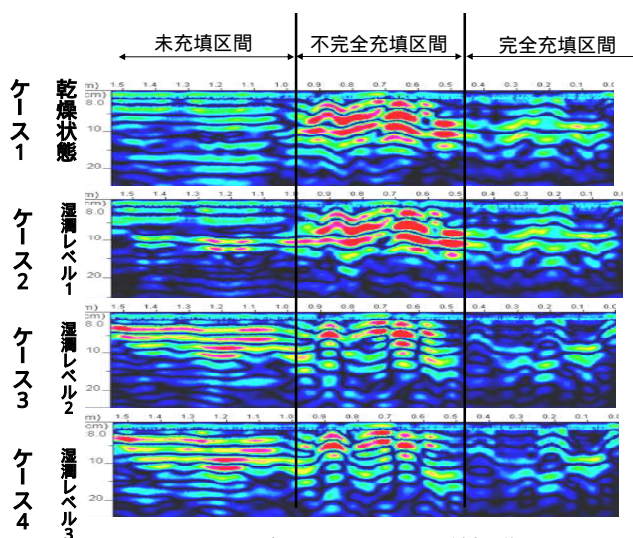


図5 - 各ケースにおける反射画像