

電磁波レーダを用いたトンネル空洞化調査の一事例

株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング 斉藤 倫久

1. はじめに

コンクリート構造物の調査の手順は、初めに構造物台帳等を用いた机上調査（書類調査）を行い、事前に劣化原因を推定し、調査・点検計画を立案した上で現地調査を実施する。現地調査では、基本的に目視調査により損傷箇所を確認し、触診や打音調査を用いて更なる変状の確認および評価を行う。

しかし、目視や触診・打音調査のみでは、コンクリート構造物の変状（浮き、剥離・剥落、亀裂など）を表面的にしか把握できず、三次元的な把握までは困難である。

そこで、変状の詳細な把握のために、目視・触診・打音調査で確認した変状箇所に対し、電磁波やX線、弾性波などを利用した非破壊調査や採取したコンクリートコアを用いて物理・力学試験を実施する等の詳細調査を実施することが望ましい。

本論文では、私が初めて携わった構造物の補修設計のための調査として、電磁波レーダを用いたトンネル空洞化調査事例を紹介する。

2. 電磁波レーダ探査

電磁波レーダ探査とは、電磁波を利用して地下構造や埋設物などの分布状況を把握する手法である。送信アンテナから放射された電磁波は、電気的性質（比誘電率・導電率）の異なる物質同士の境界面で反射して受信アンテナで受信される。それにかかる往復の伝搬時間から反射物体までの距離を計算することでその位置を把握することができる。また、電磁波レーダ探査で得られる反射波は、波形として磁気記録され、断面図として可視化することができる（図-1参照）。

電磁波レーダ探査の長所は、取扱いが簡単かつ短時間で広範囲の調査が可能なことである。また、電磁波の周波数を変えることで探査可能な範囲や対象物の大きさ等を調整することができる。しかし、簡便である一方、解析面で作業者の技量・経験への依存が大きいのという面もある。

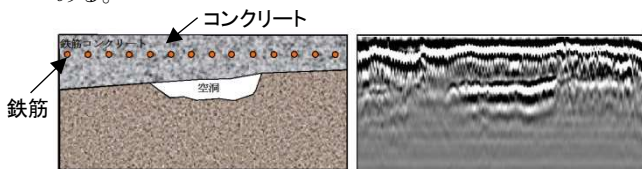


図-1 反射画像記録の例（鉄筋コンクリート背面空洞）

3. トンネル補修設計のための詳細調査

(1) 探査概要と課題

本調査は、水力発電用の圧力隧道トンネル（延長約2000m）における補修設計のための調査である。本調査の

課題は、覆工コンクリート壁面全体に1~2cm程度の汚泥が付着していること、トンネル入口が狭く高所作業車の搬入が不可能であること、が挙げられた。

(2) 調査手法の選定

覆工コンクリート壁面には汚泥が付着しているため、近接目視による変状の詳細な把握や打音調査、電磁波レーダ探査の実施は困難であった。また、水質汚染防止の観点から、汚泥の全面撤去はできない状況であった。

以上を踏まえ、調査手順は以下の通りとした。

- ①目視調査は坑内全面で実施する。
- ②目視調査で変状が把握された箇所について、周囲の汚泥の撤去と打音調査を実施する。
- ③目視調査・打音調査を踏まえて覆工背面の空洞化が疑われる箇所について、周囲の汚泥の撤去と電磁波レーダ探査を実施する。

これら作業の実施にあたっては、高所作業車の搬入が不可能であったため、坑内でキャスター付き単管足場を組み、対応した（図-2参照）。

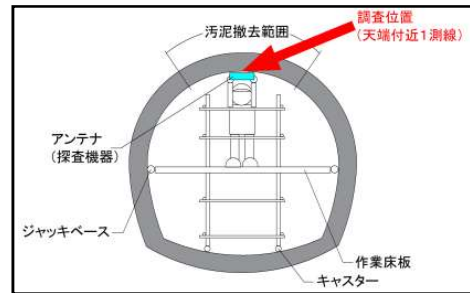


図-2 作業風景模式図

(3) 探査結果および結果の解釈

目視調査の結果、「漏水の浸出・流下」、「浮き・剥離」、「漏水+浮き・剥離」等、合計約500箇所の変状が確認された。特に、起点~380m付近、TN入口~300m付近では、「漏水」や「浮き・剥離」が連続している箇所が多く確認された。しかし、打音調査による異常は確認されなかった。目視・打音調査の結果をもとに、電磁波レーダ探査の測線を図-3に示した位置に設定した。

【トンネル縦断面図】

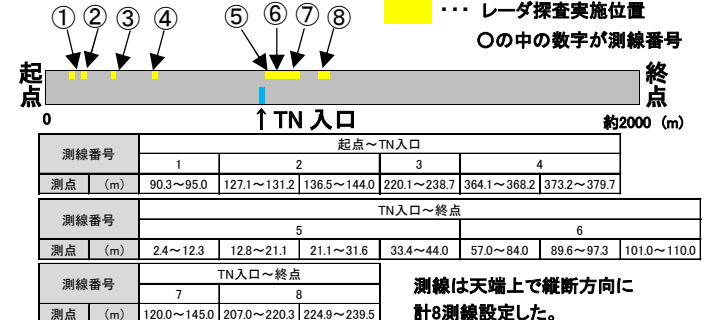


図-3 レーダ探査実施位置

電磁波レーダ探査で得られた反射画像記録から読み取れる反射パターンを表-1に示すようにA～Cに分類し、目視調査との比較・検討を行った。今回実施した電磁波レーダ探査から得られた反射画像記録の代表を図-3.2に、目視調査の結果との比較表を表-2に示した。

電磁波レーダ探査で得られた反射画像記録と目視調査の結果を比較すると、反射画像記録で変状Bに分類した箇所では、目視調査で漏水の流下や広範囲で浮き・剥離が確認され、反射画像記録で変状Cに分類した箇所では、目視調査で部分的な漏水浸出や浮き・剥離が確認されているため、電磁波レーダ探査の結果は目視・打音調査の結果との相関性が認められるが、中には他と比べて漏水が多いが反応が弱い箇所も認められた(図-4参照)。地形判読により、漏水が連続している区間は沢部に位置しており、漏水の変状は覆工内部の状態だけに依存していないと推定される。また、変状Aに分類される箇所が確認されなかったことから、現状では早急な対策工事を必要とする変状・空洞は存在しないと考えられる。

表-1 反射パターンの分類一覧

変状ランク	変状の度合い	説明
A	空洞	地盤中に空洞が発生した状態。落盤などを起こす危険性が高く、早急な対策工事を必要とする状態。反射画像では、強い反射反応が確認でき、多重反射や回折波を有する。
B	ゆるみ	地盤中に空隙が発生し、周囲よりも緩んだ状態。または覆工背面に数cm程度の薄い空洞が発生している状態。反射画像ではやや強い反射反応が確認できるものの、空洞反応に比べて弱い。
C	乱れ	地盤中に空洞や空隙は発生していないが、地盤構成粒子が乱れており周辺地盤よりもやや緩んだ状態。反射画像では凹凸や周辺よりも若干強い反射反応を有する。

表-2 電磁波レーダ探査と目視調査との比較

測線番号	測点(m)	変状ランク	目視調査の結果	
起点 ↓ TN入口	1	90.3~95.0	C	漏水浸出、浮き・剥離
	2	127.1~131.2	B	漏水流下
	3	136.5~144.0	B	漏水浸出、浮き・剥離多数
	4	220.1~238.7	B	漏水浸出、広範囲の浮き・剥離
TN入口 ↓ 終点	4	364.1~368.2	C	漏水浸出、浮き・剥離
	5	373.2~379.7	B	漏水浸出、広範囲の浮き・剥離
		2.4~12.3	C	漏水浸出、流下多数
		12.8~21.1	B	広範囲の浮き・剥離
	6	21.1~31.6	C	浮き・剥離多数
		33.4~44.0	B	広範囲の浮き・剥離多数
		57.0~84.0	B	広範囲の浮き・剥離多数
	7	89.6~97.3	C	漏水浸出、浮き・剥離
101.0~110.0		C	漏水浸出、浮き・剥離	
120.0~145.0		C	漏水浸出、浮き・剥離多数	
207.0~220.3		C	漏水浸出、浮き・剥離	
8	224.9~239.5	C	漏水浸出、浮き・剥離	

※今回は、「ランクA=空洞」は確認されなかった。

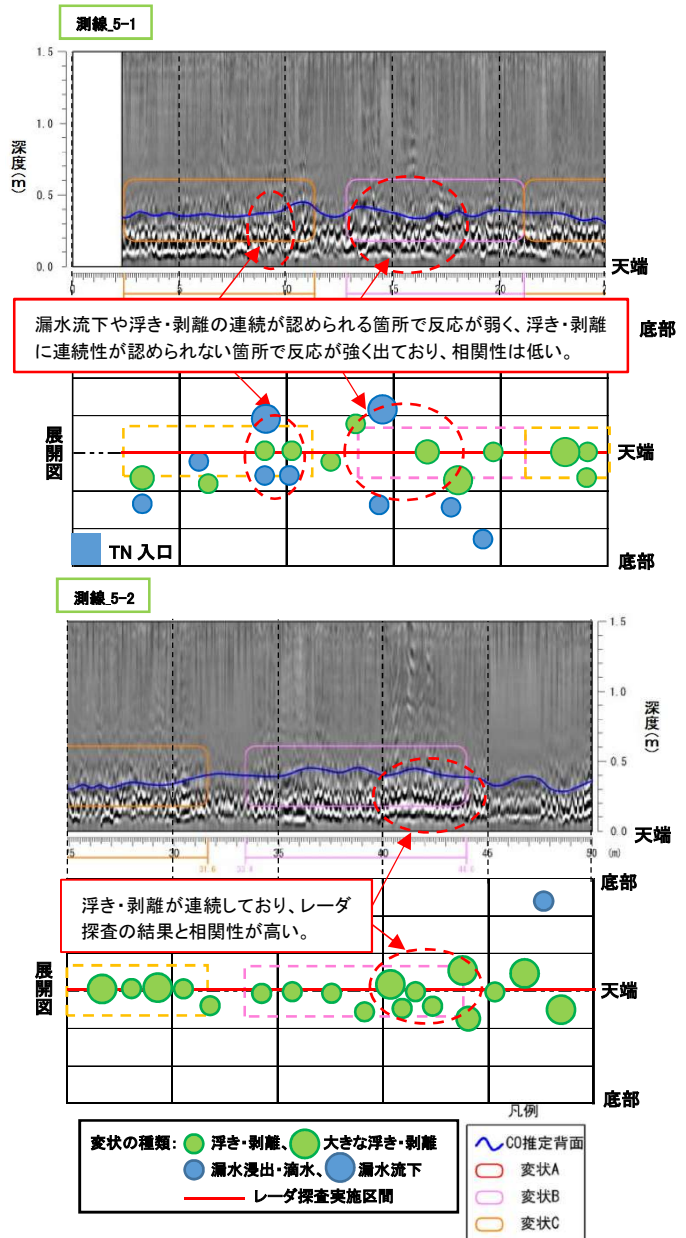


図-4 今回の探査で得られた反射画像記録(測線5)

4. おわりに

今回、トンネル補修詳細設計の調査にあたり、電磁波レーダ探査を利用することで、覆工背面に空洞が無いこと、早急な対策工の必要性が無いことを確認することができた。

しかし、反射画像記録の反射パターンの判断は作業者の経験に依存するところが大きく、目視調査との相関性が低い箇所も認められた。そのため、さらに詳細な結果が得たい場合は、縦断方向と横断方向でも実施することや、コンクリートコアを採取し物理・力学試験を実施するとともに、ファイバースコープやポアホールカメラを利用して劣化状況を断面的に目視するなど、他の調査方法も併用して調査を実施する必要がある。

《引用・参考文献》

- (社)日本コンクリート工学協会編:コンクリート診断技術'06 基礎編, p.67~126, 2006.1.