

電磁波反射法によるトンネル底盤下の空洞調査

ハザマ 正員 ○笠 博義*、大内悟**、向田恵三**、佐々木照夫**

川崎地質 鈴木敬一***

1. はじめに

トンネルの長期間に渡る安定性の確保においては、トンネル周辺部の地質状況に応じた支保構造とする必要がある。特に、石灰岩地域に見られるような空洞が路線上に出現する場合は、掘削時の安全性の確保はもとより、長期的なトンネルの安定性を確保するために、十分な調査と対策が必要である。こうした空洞の調査は、従来より電磁波や弾性波探査または重力探査などの物理探査技術を用いてきたが、十分な精度や探査距離が得られないなどの問題があった。このうち、電磁波反射法（地中レーダー法）は高い精度での探査が可能であり、短時間に広い範囲の調査が可能であることから、道路下の空洞や埋設管探査およびトンネル覆工背面の空洞調査等に広く適用されているが、探査深度が数m以内と小さいことからより深い範囲の調査には適用できないという欠点があった。

本検討は、掘削断面内に比較的大きな空洞が出現した岩手トンネル摺糠工区内における路盤下空洞の調査について報告するもので、これまでの電磁波反射法では探査ができなかった路盤下 10～15m の範囲を連続波による電磁波反射法を用いて高い精度での調査を行った事例について、その概要と効果について述べるものとする。

2. 調査地域の概要

調査を実施した東北新幹線岩手トンネルは、日本鉄道建設公団が現在施工中の延長約 26km のトンネルである。この周辺の地質は、古生代の砂岩・粘板岩およびチャートを主体とした堆積岩から構成され、部分的に幅数m程度の方解石脈が分布する。問題となった空洞は方解石の岩脈に隣接した風化粘板岩を掘削中に出現したもので、その規模は最大のもので 100m³ を越えていた。空洞の形状は平面的にはトンネル軸方向にやや細長い楕円状で、垂直断面的には楕円状もしくは直線的な境界面を持つ矩形に近い形状をしていた。また、これらの空洞内は地下水で満たされている場合が多く、周辺部には土砂状の堆積物が見られる場合もあった。

こうした空洞は石灰岩地域のカルスト地形で見られるように自然の要因で形成される場合と、古い鉱山跡地のように人為的な要因によるものもあるが、本トンネルによる空洞はその何れにも該当していない。このようにこの空洞の成因は明確ではないが、方解石の岩脈と出現位置が関連していることから、岩盤中への熱水等の流入とその後の風化・変質作用によるものと考えられる。

3. 調査方法

3.1 調査範囲・調査方法の選定: 調査を実施する前に、探査が必要な範囲を明確にした上で、適切な探査方法を選定する必要がある。今回の検討では、トンネル路盤下 10m 程度を探査範囲として、分解能 10～20cm 程度で探査が可能な方法として、連続波を用いた電磁波反射法を選定した。なお、探査範囲はこれまでの経験をもとに想定したものであり、分解能は本トンネルで実際に出現した空洞の規模より決定したものである。一方、平面的な範囲としては、地質状況と空洞の出現状況から、主に方解石の岩脈が粘板岩中に貫入している範囲の 670m 区間とした。

3.2 調査手法の概要: 電磁波反射法は送信アンテナから電磁波を発信し、空洞や地層の境界などの比誘電率が異なる面から反射した反射波を受信アンテナで測定し、一般には、その到達時間と波形の振幅をもとに地

キーワード：トンネル、空洞、電磁波反射法、連続波

*東京都港区北青山 2-5-8、Tel 03-3423-1801、Fax 03-3405-1859（土木本部トンネル統括部）

**岩手県二戸郡一戸町中山字軽井沢 48-4 Tel 0195-62-4071、Fax 0195-35-4073（岩手トンネル出張所）

***東京都港区三田 2-11-15、Tel 03-5445-2091、Fax 03-5445-2096（環境防災事業部）

盤の断面情報を画像として表示する手法である。従来はこの探査に用いる電磁波にはパルスを用いていたが、この方法では探査が容易でシャープな波形を得られる反面、探査深度が表層から数m以内と限定されていた。これに対して、連続波法は送信する電磁波を連続波としたもので、探査深度を大きくすることを可能としたものである。ただし、探査時間がパルス法より長くなり、分解能的にもやや粗くなることから、それぞれの目的に応じて使い分ける必要がある。

こうした特長を考慮の上、本調査に置いては表層から5 m程度までを詳細に探査するためにパルス法による電磁波反射法も併用することとした。こうした組み合わせにより、図 - 1 に示すように路盤下のほぼ全領域を効率よく探査することが可能である。

4 . 探査結果

4.1 電磁波反射法による探査結果：パルス法による探査結果からは、探査範囲には上に凸型となる明瞭な空洞に相当する反射波のパターンは確認されなかったが、不明瞭な凸型の反射パターンが見られる部分が複数確認された。こうした部分は掘削時に確認された地質状況から強風化部に相当するものと考えられる。

連続波法による探査結果では1箇所のみ空洞の疑いがある反射パターンが見られた（表 - 1 の波形参照）が、それ以外の箇所では明瞭な空洞による反射パターンは確認されず、パルス法と同様に強風化部や地質の境界に相当すると考えられる不明瞭な反射が確認されるに留まった。

4.2 ボーリングによる確認：連続波法によって抽出された空洞の疑いがある反射パターンが得られた部分の地質状況を確認するために、ボーリングを行った。その結果は表 - 1 に波形と比較した形で示したように、空洞の疑いがあるとされた深度8～10m部分は空洞ではなく、風化チャート内の破碎帯や亀裂帯に相当して

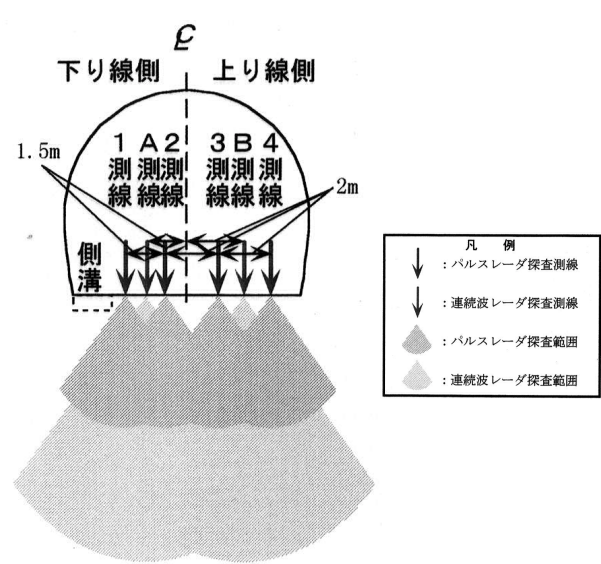


図 - 1 連続波レーダとパルスレーダの測線配置

表 - 1 探査結果とボーリング結果の比較

深度(m)	探査結果		ボーリング結果	
	波形	評価	地質状況	RQD(%)
2		強風化部	チャート	60
4		強風化部	(細片状)	5
6		強風化部	粘板岩	80
8		強風化部	粘板岩	80
10		強風化部	ヒン岩	20
12		強風化部	ヒン岩	10
14		強風化部	チャート	60
16		強風化部	チャート	80
18		強風化部	チャート	60
20		強風化部	チャート	60
22		強風化部	チャート	100
24		強風化部	チャート	100
26		強風化部	チャート	100
28		強風化部	チャート	100
30		強風化部	チャート	100
32		強風化部	チャート	100
34		強風化部	チャート	100
36		強風化部	チャート	100
38		強風化部	チャート	100
40		強風化部	チャート	100
42		強風化部	チャート	100
44		強風化部	チャート	100
46		強風化部	チャート	100
48		強風化部	チャート	100
50		強風化部	チャート	100
52		強風化部	チャート	100
54		強風化部	チャート	100
56		強風化部	チャート	100
58		強風化部	チャート	100
60		強風化部	チャート	100
62		強風化部	チャート	100
64		強風化部	チャート	100
66		強風化部	チャート	100
68		強風化部	チャート	100
70		強風化部	チャート	100
72		強風化部	チャート	100
74		強風化部	チャート	100
76		強風化部	チャート	100
78		強風化部	チャート	100
80		強風化部	チャート	100
82		強風化部	チャート	100
84		強風化部	チャート	100
86		強風化部	チャート	100
88		強風化部	チャート	100
90		強風化部	チャート	100
92		強風化部	チャート	100
94		強風化部	チャート	100
96		強風化部	チャート	100
98		強風化部	チャート	100
100		強風化部	チャート	100

5 . おわりに

本研究では、トンネルの路盤下の空洞調査に連続波による電磁波反射法を適用した結果を報告したが、この検討を通じて、その有効性が確認されたものと考えられる。特に、探査を効率的に行うために浅層を対象としたパルス法との組合せが効果的であったものと考えられる。今後は、天端や側壁などの背面の空洞調査方法についても効果的な調査技術を考えていく必要があるものと考えられる。