

## 地表ソース型空中電磁法と空中磁気法によるトンネル地山の地質評価事例 Case study of geotechnical estimation by GREATTEM and a helicopter-borne magnetic survey over a tunnel construction site

岡崎 健治<sup>1\*</sup>, 伊東佳彦<sup>1</sup>, 茂木 透<sup>2</sup>, 橋本武志<sup>2</sup>, 山谷祐介<sup>3</sup>, 宇津木 充<sup>4</sup>, 伊藤久敏<sup>5</sup>, 海江田秀志<sup>5</sup>, 佃 十宏<sup>5</sup>, 結城洋一<sup>6</sup>, 城森 明<sup>7</sup>

Kenji Okazaki<sup>1\*</sup>, Yoshihiko Ito<sup>1</sup>, Toru Mogi<sup>2</sup>, Takeshi Hashimoto<sup>2</sup>, Yusuke Yamaya<sup>3</sup>, Mitsuru Utsugi<sup>4</sup>, Hisatoshi Ito<sup>5</sup>, Hideshi Kaieda<sup>5</sup>, Kazuhiro Tsukuda<sup>5</sup>, Youichi Yuuki<sup>6</sup>, Akira Jomori<sup>7</sup>

<sup>1</sup>(独)土木研究所寒地土木研究所, <sup>2</sup>北海道大学, <sup>3</sup>産業技術総合研究所, <sup>4</sup>京都大学, <sup>5</sup>電力中央研究所, <sup>6</sup>応用地質(株), <sup>7</sup>ネオサイエンス(株)

<sup>1</sup>CERI, PWRI, <sup>2</sup>Hokkaido Univ., <sup>3</sup>AIST, <sup>4</sup>Kyoto Univ., <sup>5</sup>CRIEPI, <sup>6</sup>OYO Co. Ltd., <sup>7</sup>Neoscience Co. Ltd.

### 1. はじめに

近年、広域での調査やアクセスが難しい山岳地帯などでの調査において、ヘリコプターを利用した物理探査手法が適用され、その地下地質構造の推定や火山活動のモニタリングなどに活用されている。一方、トンネルの地質調査では、通常、地質踏査、屈折法弾性波探査およびボーリング調査の結果から、トンネル設計に向けた地質モデルを構築するが、実際の施工時には、地山深部のより精度が高い多くの情報が不可欠である。本調査では、北海道北部のトンネル建設計画箇所において、ヘリコプターを利用した地表ソース型空中電磁法ならびに空中磁気法を実施し、既存の地質調査結果との対応を整理することで、本手法の土木地質調査への適用性について検討したので、その事例を報告する。

### 2. 調査概要

調査は、延長 2.7km、最大土被り厚さ 380m の国道トンネルを対象とした。トンネル箇所の地質は、堆積岩類とこれに進入する蛇紋岩からなる。蛇紋岩は、トンネル中央部の南北に伸びる尾根に分布し、その両側に堆積岩類が分布する。蛇紋岩は、一般にトンネル掘削にともなう緩みや内空変位量の増大など、施工では問題の多い地質である。このような蛇紋岩の地山深部での分布状況を評価する手法として、地表ソース型空中電磁法を選定して実施した。あわせて、蛇紋岩は、強い磁性を有することから、堆積岩類との分布の違いを明確にするため、空中磁気法も同時に行った。本調査では、これらの探査の結果とトンネル事業者が実施した比抵抗法 2 次元探査、CSAMT 法、地表での磁気探査、ボーリング調査、電気検層およびコアの比抵抗測定の結果との対応を整理し、トンネル施工時における留意点を抽出することで、本手法のトンネル地質調査への適用性について検討した。

### 3. 調査結果

地表ソース型空中電磁法の結果、比抵抗分布は、表層～深度 100m 程度において相対的に高く、それ以深では相対的に低いことを確認した。比抵抗法 2 次元探査、CSAMT 法および電気検層の結果では、浅部で相対的に高く、深部で低い傾向にあり、地表ソース型空中電磁法の結果は、これらの従来の手法による結果と同様な傾向を示すことを確認した。また、地表ソース型空中電磁法の結果、トンネル掘削位置において、比抵抗のコントラスト(比抵抗が高～低と混在する箇所、比抵抗が変化する箇所など)を抽出した。ここで、トンネル中央部などで実施したボーリング調査では、塊状～角礫状を主体とする蛇紋岩、葉片状を主体とする蛇紋岩を確認している。また、それらのコアの比抵抗は、前者で相対的に高く、後者で相対的に低い。このため、トンネル掘削位置における比抵抗のコントラストは、形態の異なる岩石の分布に対応していると評価した。また、このような箇所におけるトンネル掘削では、断層、破砕帯、地質の変化にともなう偏圧、湧水の発生などが想定され、トンネル施工時には、より留意が必要といえる。

次に、空中磁気法の結果、磁力強度(ヘリ飛行時の最高高度付近である標高 900 m に上方接続)の分布は、トンネル地山の両側で低く、中央部に向かうに従い高くなる傾向を確認した。このことから、トンネル地山の中央部では、高く磁化した地質体が存在することを推定できる。ここで、磁力強度の高い値が認められる箇所は、地質図幅やこれまでの地質調査結果に示される蛇紋岩の存在する位置と概ね一致している。また、林道、沢およびトンネル計画測線に沿って、携帯型オーバーハウザー磁力計により地磁気全磁力を測定した結果、トンネル地山の中央付近で、直行方向に高い磁力強度の分布が確認できたことから、これらの箇所は、蛇紋岩の分布に対応すると判断した。ただし、磁力強度の分布は、深部における磁力の積算値を平面的に示していることから、磁力強度だけによる深度方向の地層の分布や構造についての評価は難しいといえる。

以上のことから、地表ソース型空中電磁法と空中磁気法の結果をあわせて評価することで、トンネルの施工時に発生が想定される地質工学的な問題の整理が可能といえる。また、このような一度の探査飛行で同時に比抵抗と磁力強度の物理量を取得できる本手法は、トンネルの地質調査において有効であり、適用は十分可能であるといえる。今後は、実際のトンネルの掘削で判明する地質性状との対応について検証を進めたい。

キーワード: 地表ソース型空中電磁法, 空中磁気法, ヘリコプター, トンネル, 地質調査

Keywords: GREATTEM, HMS, Helicopter, Tunnel, Geological investigation