

空中電磁法とCSAMT法のジョイント再解析について

- 東北中央自動車道 栗子トンネル西避難坑工事 -

東日本高速道路株式会社 山形工事事務所 法人会員 前川 秀人
○増田 弘明

1. はじめに

東北中央自動車道（福島～米沢）の栗子トンネルは、福島・山形県境に位置する延長約9kmの長大トンネルである（図1）。福島・山形側両坑口から避難坑の掘削を行い平成20年12月に貫通した。山形側の施工は延長約3.5kmである。当初設計段階でのトンネル地質調査においては、栗子トンネルが最大土被りH=620mにも及ぶことから、通常の弾性波探査（土被り100m程度までの調査）では深部の調査ができず、空中電磁法とCSAMT法を用いた調査に、地表踏査及び部分的なボーリング調査を組合せて、地質縦断面図を作成した。しかし、山形側の実施工（栗子トンネル西避難坑工事）では、坑口から概ね1,700m進んだあたりから実際の地山状況と違いが見られたため、切羽において電気探査・物理試験を実施し、得られた地質データを用いて再解析を行ったので報告する。

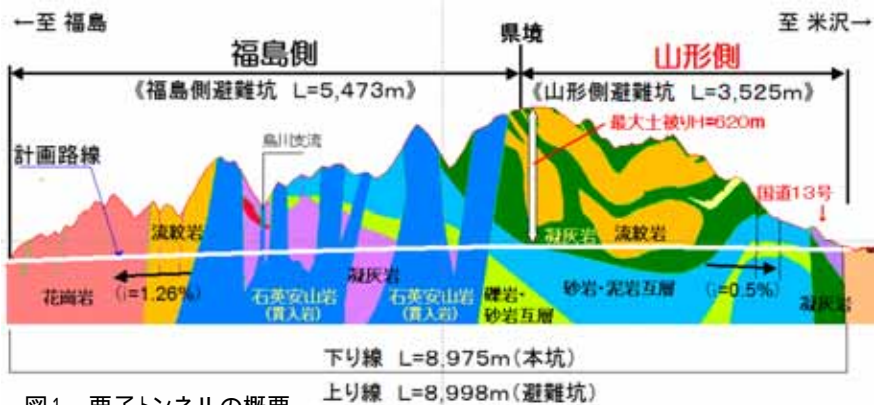


図1—栗子トンネルの概要

2. 空中電磁法とCSAMT法のジョイント解析について

(1) 空中電磁法(図2)；地下の電気比抵抗を測定する電磁探査の一種で、ヘリコプターを用いて空中から人工的に発生させた交流磁場が地中を透過する際に生ずる電磁誘導現象を利用し、地盤の比抵抗値を測定する調査手法である。最大探査深度は、地山の比抵抗特性に依存するが、標準的には約150mである。

(2) CSAMT法(図3)；空中電磁法と同じく地盤の比抵抗分布を調べる電磁探査法であり、最大の利点は探査深度500～700mと大深度の探査に優れているところにある。測定は、地表面に設置した一対の電極(1～4km)から地盤に交流電流を流すことにより、電極から4～10km離れた測定位置で擬似平面磁場を発生させ、その電場と磁場の強度を測定することで大深度地盤の2次元的な比抵抗分布を調べ、地質状況を推定する。

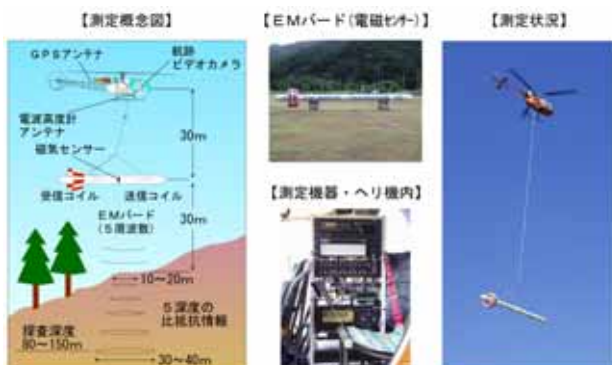


図2——空中電磁法の概要

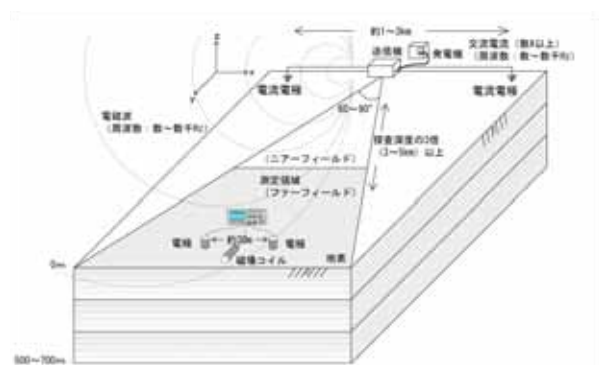


図3——CSAMT法の概要

(3) ジョイント解析；全ての物理探査において探査深度と分解能は背反関係にあり、浅部の影響が深部まで及ぶため、深部を正確に知るためには浅部の状況を高精度で把握する必要がある。空中電磁法とCSAMT法は周波数領域の電磁探査法であり、両者とも探査深度は共通の式(式1)で求め、高周波数ほど浅部の情報を、(キーワード)トンネル、土質、地質、調査

(連絡先) 山形県山形市西越 42-2, 東日本高速道路株式会社 山形工事事務所 TEL023-633-0353, FAX023-625-8353

低周波数ほど深部の情報を反映する。ジョイント解析とは両者の利点を活かし、浅部の信頼性が高い空中電磁法データを基準に深部のC S A M T法データを補正する方法である。

$$Z_d=503 \times \sqrt{(\rho_a/f)}$$

Z_d ; スキンデプス(表皮深度)
 ρ_a ; 見掛け比抵抗 f ; 周波数

式1——スキンデプス(表皮深度)算出式

3．当初設計段階におけるジョイント解析（地質予測）と実施工との相違

当初設計段階におけるジョイント解析（以下「当初解析」という）では、坑口から概ね1,700～2,600mあたりの地質について全体的に高比抵抗の地質が分布しており、堅硬緻密な流紋岩や火山礫凝灰岩が出現し、地山等級もC程度であると予測した。しかし、坑口から1,700～2,000m間の実施工では泥岩が主体で地山等級もD Iの判定が続き、切羽前方の地質予測の基となる地質縦断面図を見直す必要が生じたため、STA180+20（坑口から約2,000m、土被り約H=500m）地点の切羽にて、坑内電気探査と調査ボーリング・物理試験を実施し、当初解析を検証することとした。

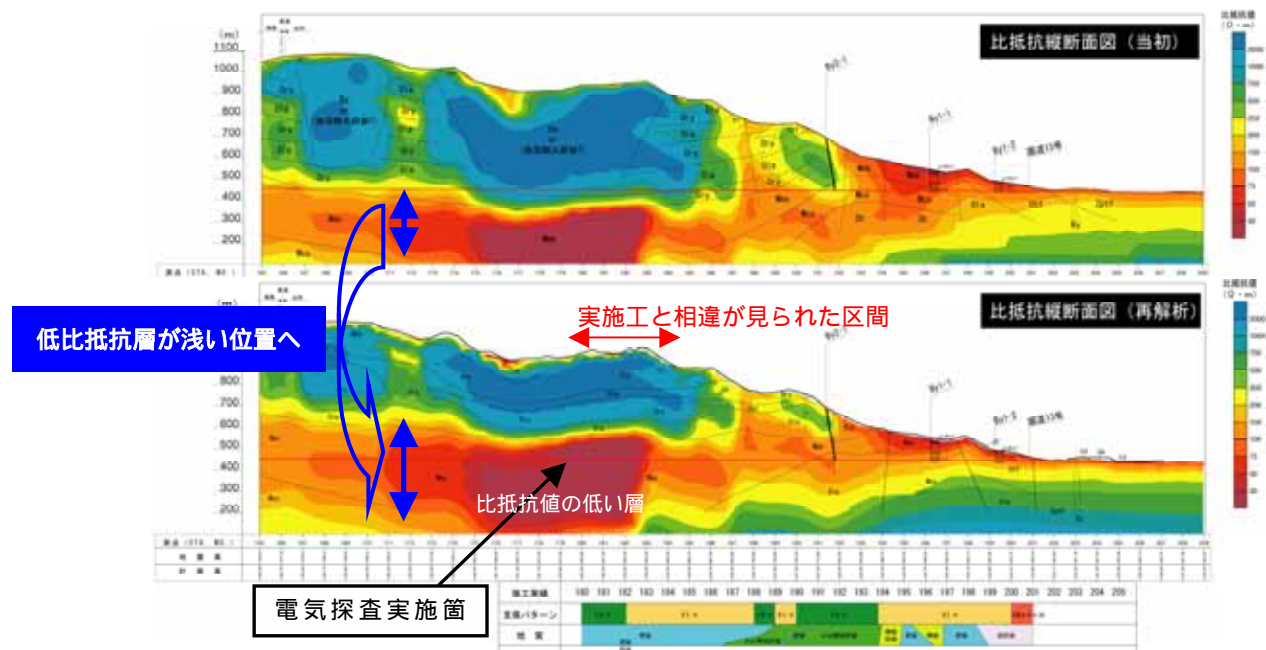
4．トンネル切羽から得られた地質データを用いた再解析結果

坑内電気探査で得られた比抵抗値と当初解析の比較を表1に示す。坑内電気探査では40Ω・mの測定値が得られ、C S A M T法の該当周波数を逆算すると約10Hzとなる。当初解析では約70Ω・mの値を示し、深度を式1から再計算すると655mとなり、160m程度深く計算していたと考えられる。当該箇所における当初解析では、浅部に高比抵抗、深部に低比抵抗という比抵抗構造は明らかで、地表踏査やボーリング調査との整合も確認していたが、全般的に深さ方向に

表1——当初解析と再解析結果の比較

	周波数(Hz)	比抵抗(Ω・m)	深度(m)
当初解析(H11年度)	10	70(当初採用値)	655(計算値)
坑内電気探査(H19年度)	10(計算値)	40(今回測定値)	500(トンネル位置)

深度誤差が累積し実施工と相違が生じたものとする。今回、切羽位置での地質と比抵抗値が得られたので、当初解析全データの補正量を求め比抵抗縦断面図を補正（図4）すると、高抵抗・比抵抗層共に浅くなり、これに基づき地質縦断面図を見直した。その後の実施工において切羽前方の地質予測に活用したが、実際の地山状況とは概ね合致した。



5．おわりに

図4——比抵抗縦断面図の補正

高土被りの長大トンネルの設計にあたり、地質予測を行う探査技術は進歩しているものの、やはり実際の地質区分とは誤差が生じてしまう。しかし、今回のように掘削工事が進捗した段階で、切羽において簡単な電気探査と物理試験を行えば、地質縦断面図の補正は可能となる。トンネル掘削において、切羽前方の地質をより正確に予測し工事を効率的かつ安全に進めて行くためには、設計段階で予測された地質に対して、実施工で得られた地質データを適宜フィードバックしていくことが大切である。