

TDEM法による第三紀層膨潤性地山の探査(その2)

戸田建設(株) 正会員 ○原敏昭<sup>※1</sup>  
早稲田大学 磯真一郎<sup>※2</sup> 斉藤章<sup>※2</sup>

1. 目的

山岳トンネルでは、膨潤性を示すトンネルでは、変位が大きく難工事となる事が多い。そこで、膨潤性地山ではCEC値が低下することにより比抵抗値が小さくなることから、比抵抗値が低いとされる泥岩地山の中で、膨潤性の無い地山と有る地山を探査によって判別できるか、またどの程度まで感度良く、膨潤性地山を捉えることができるかをTDEM法による現場での探査結果により検証するとともに、どの程度まで低比抵抗層の判別に対する感度があるかを、数値シミュレーションを通して探査精度を確認した。

2. 膨潤性地山での岩盤特性

トンネルで問題となる地山の膨潤性は、スメクタイトの含有量、陽イオン交換容量(CEC)等の岩石の膨潤性と、一軸圧縮強度・単位体積重量・土被りによって求められる地山強度比を総合的に判断し、その膨潤性の可能性を評価する。その中で陽イオン交換容量(CEC)等は地山の膨潤性を示す指標として重要な要素である。トンネル施工管理の際に、陽イオン交換容量(CEC)が大きい地層を、TDEM法を用いた比抵抗探査により事前に捉えることができれば、非常に有意義なことである。スメクタイト等の膨潤性粘土鉱物を含有する泥質岩は、それを含有しない泥質岩よりも比抵抗値が低くなるとされる<sup>1)</sup>。例えば、粘土鉱物の比抵抗値に与える影響は、粘土鉱物がもつ陽イオン交換容量(CEC値)の大きさと深く関連する。物理検層では、CECの値をパラメーターとした(式1)、(式2)の実験式<sup>2)</sup>が提案され、岩石に含有される粘土鉱物の影響を定量的に評価している。

$$\sigma_R = \frac{1}{F}(\sigma_w + BQ_V) \quad \dots\dots(式 1)$$

$$Q_V = CEC \cdot \rho_d \frac{(1-\phi_1)}{\phi_1} \quad \dots\dots(式 2)$$

ここで、Fは $\sigma_R$ (岩石の電気伝導度)と $\sigma_w$ (水の電気伝導度)をグラフ上にプロットしたときの傾きで定義される実験的な地層係数、 $Q_V$ は孔隙容積1000 cm<sup>3</sup>あたりの交換性Naイオンのグラム当量数、Bは対イオン(粘土鉱物表面の電荷に対して異符号の電荷をもつイオン)であり、岩石の乾燥密度を $\rho_d$ 、全孔隙率を $\phi_1$ とする。この実験式(式1)、(式2)より、岩石の比抵抗値(電気伝導度の逆数)は、陽イオン交換容量(CEC)の増加に伴い、低下する。そこで、岩石の比抵抗値と陽イオン交換容量(CEC)の関係及び岩石の膨潤特性を用いて、TDEM法をトンネル事前調査に用いることにより、膨潤性泥岩の分布を検討した。図-1に土被りが300mを超えるトンネルにおいてTDEM法を用いて第三紀層の泥岩の中から膨潤性泥岩の分布を抽出した探査結果を示す。

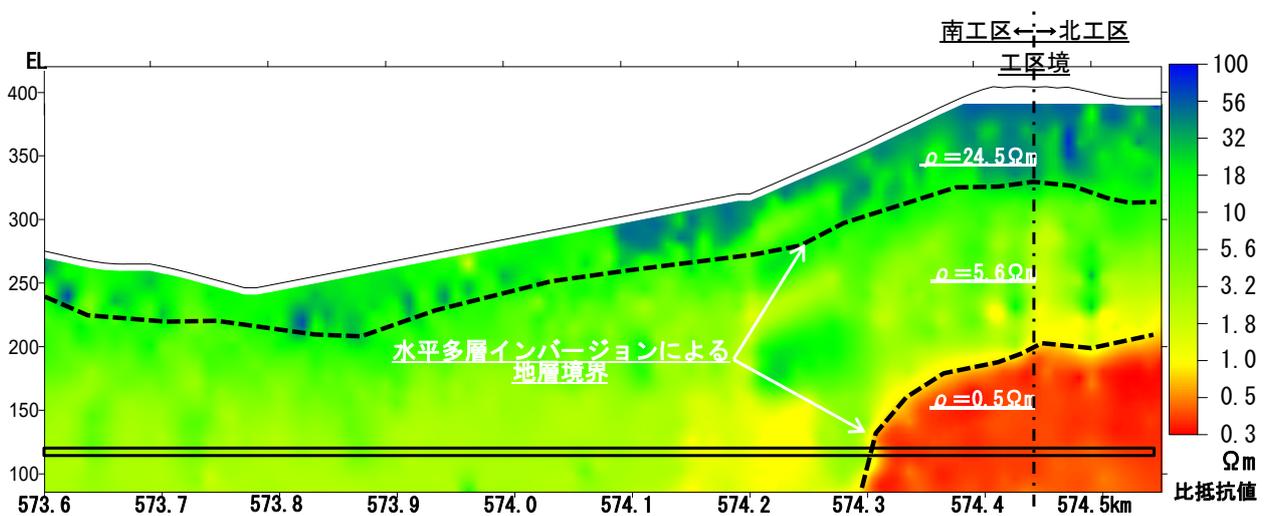


図-1 AトンネルでのTDEM法事前探査結果

キーワード トンネル、膨潤性地山、TDEM、比抵抗値、数値シミュレーション

連絡先 〒104-8388 東京都中央区京橋 1-7-1 戸田建設(株)土木工事技術部 TEL 03-3535-1614

〒471-0831 東京都新宿区大久保 早稲田大学創造理工学部環境資源工学科 TEL : 0565-35-7787

### 3. 数値シミュレーション

TDEM法による探査及び解析によって得た結果の精度を検証するため、地層モデルからフォワード計算によって、測定されるであろう電磁応答を計算した。地層モデルはAトンネルの解析結果を元に表-1の通り作成し、この最下層である第3層の値を様々に変化させ、低比抵抗層に対する探査精度を検証した。

表-1 Aトンネル地層モデル

	比抵抗値( $\Omega\text{m}$ )	層厚(m)
第1層	24.5	84.3
第2層	5.6	104.8
第3層	0.5	

#### 3.1 フォワードモデル

本検討は、AトンネルでTDEM法によって明らかとなった低比抵抗層中に存在していた膨潤性を有する極低比抵抗層が、数値計算によりどの程度まで探査・解析が可能であるかを計算するものである。Aトンネルで使用したPROTEM57の直流電流遮断後のサンプリング時間は、測定時間帯H, M, Lのそれぞれ20 gateで測定しており、その測定範囲は0.008813~69,780msecでデータを取得している。水平成層モデルは、表-1に示すAトンネルで実際に得られた3層構造の解析結果を用いた。図-2に測定時間帯Hでの受信コイルの起電力を、3層目比抵抗値を0.1~5.0  $\Omega\text{m}$ まで変化させた場合の各々の受信コイルの起電力を示す。各起電力は、0~1.0 msまではほぼ同じ値を示しているが、1.0 msを過ぎた点から第3層の比抵抗値による起電力に変化が見られた。

#### 3.2 インバージョン解析

Aトンネルの構造を模した比抵抗3層構造の最下層の比抵抗値を0.1  $\Omega\text{m}$ から5.0  $\Omega\text{m}$ まで様々なTDEM法の数値モデル計算を行った結果をスムーズインバージョンで解析できるかを検証した。図-3に3層目の比抵抗値を変化させた場合のTDEM法でのスムーズインバージョン結果を示す。比抵抗値の変化は各測定値とも上層から、地表~GL-50mまで約25  $\Omega\text{m}$ を示し、その後徐々に低下し、GL-100~GL-150m間で約5  $\Omega\text{m}$ を示す。そしてGL-160m以下で各計算時に設定した第3層の比抵抗値を示し、最初に設定した3層構造が反映されていることが分かる。この結果からTDEM法は、低比抵抗の5.6  $\Omega\text{m}$ 層の下位に存在するさらに低い比抵抗層に対して敏感で、膨張性岩石の比抵抗値である0.5  $\Omega\text{m}$ を十分探査・解析出来ることが示された。

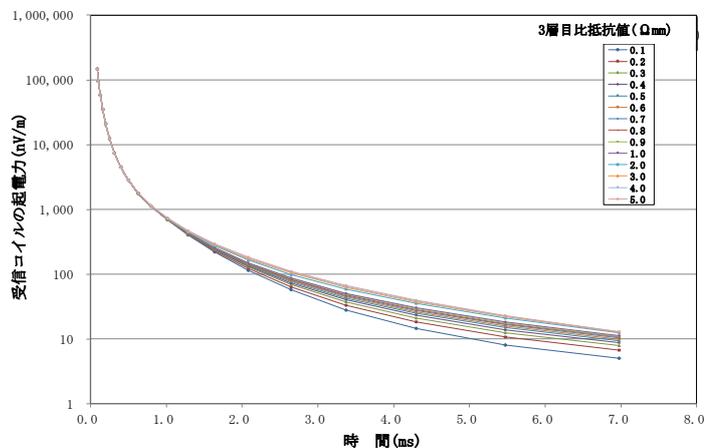


図-2 測定時間帯Hでの受信コイルの起電力

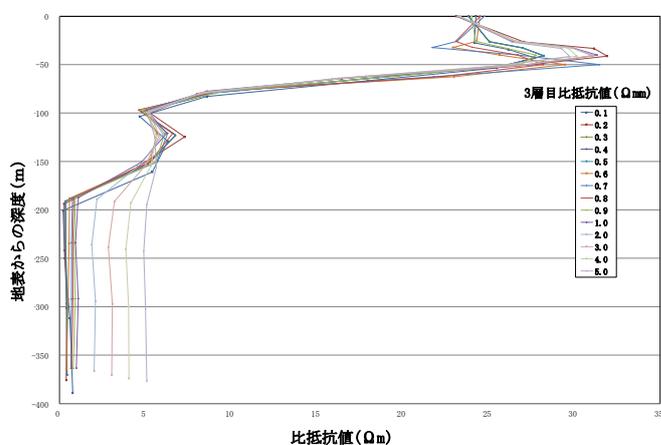


図-3 3層目の比抵抗値を変化させた場合のTDEM法でのスムーズインバージョン結果

### 4. まとめ

トンネル掘削時に問題となる膨潤性地山に対し、低比抵抗層中で膨潤性の無い低比抵抗層と、膨潤性のある極めて低い比抵抗層を分離して探査することができた。また、数値シミュレーションによる検討により、極めて低い低比抵抗層に対するTDEM法の有効性を検証した。その結果、TDEM法は低比抵抗層に対する感度が高く、5.6  $\Omega\text{m}$ という低比抵抗層の下位に存在する膨潤性の有るさらに低比抵抗の0.5  $\Omega\text{m}$ 層が精度良く探査できることがわかった。本論文では、TDEM法を用いることにより、膨潤性地山の評価指標の一つとして低比抵抗値を加えることができる可能性が示された。

#### 【引用文献】

- 1) 高倉伸一: 高密度電気・電磁探査法による比抵抗構造の調査と解釈に関する研究, 博士論文, 京都大学工学部, 第5章, 2004, p97
- 2) M. H. WAXMAN, L. J. SMITH: Electrical Conductivities in Oil-Bearing Shaly Sands, Transactions Volume 243, 1963, p10-108