

(107) TDEM電磁探査法の土木分野への適用（その2）

戸田建設株式会社 ○正会員 原 敏昭、西牧 均
正会員 関根 一郎
三井金属資源開発株式会社 斎藤 章、 和田 一成

Application of Time Domain EM Survey in Civil Engineering (No.2)

Toshiaki HARA, , Toda Corporation Co.,Ltd.
Hitoshi NISHIMAKI , Toda Corporation Co.,Ltd.
Ichiro SEKINE , Toda Corporation Co.,Ltd.
Akira SAITO , Mitsui Mineral Development Engineering Co.,Ltd.
Kazushige WADA , Mitsui Mineral Development Engineering Co.,Ltd.

Abstract

We are applying Time Domain Electro-Magnetic (TDEM) method to estimate the precise resistivity distribution in tunnels and other civil engineering projects. We reported the application the TDEM to shallow sounding and tunnel assessments, and the TDEM is utilized to make site-evaluation more precisely by compiling with geological information, seismic structure, and so forth.

In this report, we present some detailed resistivity surveys carried out around tunnel profiles. The resistivity knowledge derived from conventional soundings by using a small source loop, turam array, and slingram array measurement modes, revealed import geological information which are fault-like structure and hydrothermal alteration zones.

1. はじめに

筆者らは、トンネル調査におけるTDEM電磁探査法の適用性を把握するため、試験探査を継続して実施している。前報では、TDEM電磁探査法の浅層探査への適用性実験と、2ヶ所のトンネルでの探査結果を示し本探査法がトンネル調査に有効であることを示した。今回の報告では、新たなトンネルでの試験探査で実施した探査方法の改良（トンネル地山の傾斜に沿った探査及び小断面ループによる探査等）や、断層・破碎帯等の地質構造を明確に把握するための探査方法（チューラム測定等）について述べるとともに、従来の水平多層インバージョンだけでなくオッカムインバージョンによる解析結果を示す。また、TDEM電磁探査法による探査結果と、事前調査（地表踏査・弾性波探査・ボーリング調査等）結果を対照し、本探査法の土木分野での比抵抗調査の有効性について述べる。

2. 現地調査

2. 1 Aトンネル

Aトンネルは、延長約260m、最大土被り45mの比較的短い道路トンネルであり、地山はトンネル西側（坑口側）が凝灰角礫岩、東側が安山岩である。図-1に事前調査（ボーリング調査、弾性波探査）の結果を示す。この図-1によると、N0.685付近には $V_p=1.5\sim 1.7\text{km/s}$ の低速度層の存在が指摘されていた。

(1) 調査方法

①トンネル測線に沿った探索

a) TDEM電磁探査法

トンネル測線上の比抵抗構造を求めるため、1成分(z成分：磁場の鉛直成分)TDEM探査(測定間隔5m、測定点数：36点)を実施した。送信は図-2に示す通り1辺60mの正方形ループを4ヶ所設置し約2.3Aの送信

電流で行った。サンプリングは、u(送信電流遮断後 6.8~696 μ sec)、v(35~2792 μ sec)、H(88~6978 μ sec)の各測定モードで行い、イメージングは3m~150mを19層に分割し、各層毎の比抵抗値を拘束条件付きのオッカムインバージョンにより求めた。なお、使用機器は、GEONICS社PROTEM-47である。また、室内比抵抗試験により各岩石の比抵抗値を求めた。

b) 2極法(比抵抗映像法)

TDEM電磁探査法との比較のため、トンネル測線上で2極法比抵抗調査(電極間隔5m、測線長235m)を実施した。使用機器は、McOHM-21である。

②チューラム測定

図-2に示す測線E・W上(トンネルに直交する方向)で、破碎帯の検出を目的に3成分TDEM調査(測定間隔10m、2測線、合計60点)を行った。送信ループは図-2に示すように約160m×100mのループを調査地域の南側に設置し、測定モードはHのみを使用した。

(2) 測定結果

①トンネル測線に沿った測定

図-3にTDEM電磁探査法によって得られたデータを、オッカムインバージョンによって解析したイメージング結果を示す。以下に測定・解析結果を示す。

- 1) TDEM法によって求められた比抵抗値は、全体として100ohm-m以下の低比抵抗地帯である。
- 2) 本調査地の堅硬な安山岩の室内比抵抗試験から得られた試験値は600(ohm-m)前後である。
- 3) 事前に東側坑口から行った水平ボーリングでは数十m区間にわたり破碎された(RQD=0)安山岩が分布しているが、その周辺部(N0.740~780)の比抵抗値は約50(ohm-m)であり、破碎の影響が見られる。
- 4) N0.640~680のGL-30m付近には地表調査・斜めボーリングにより、熱水変質帯が予測されていたが図-3に示す通りその付近に10ohm-m以下の低比抵抗帯が西傾斜で伸長しており、事前調査とよく一致している。
- 5) 2極法で行った測定は地形の影響を強く受け、また熱水変質帯も明確ではなかった。

②チューラム測定

図-4にチューラム法の3成分測定による正規化電圧値を示す。3成分解析はMOTEMによるプレートモデル計算により行った。事前調査からは、トンネルに平行(W-E方向)の断層の存在が懸念されていた。もし測線Wに直交する走行の低比抵抗帯が存在すれば、調査地域南部の送信ループからの渦電流はその走行方向

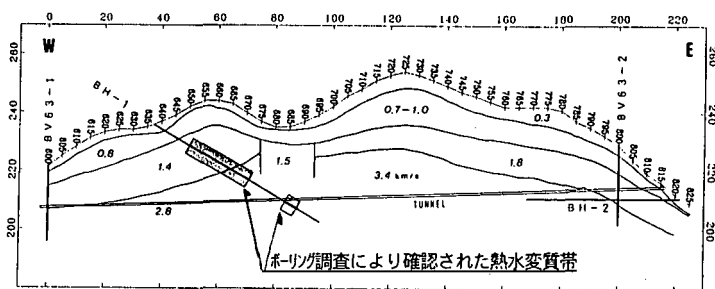


図-1 Aトンネル事前調査結果

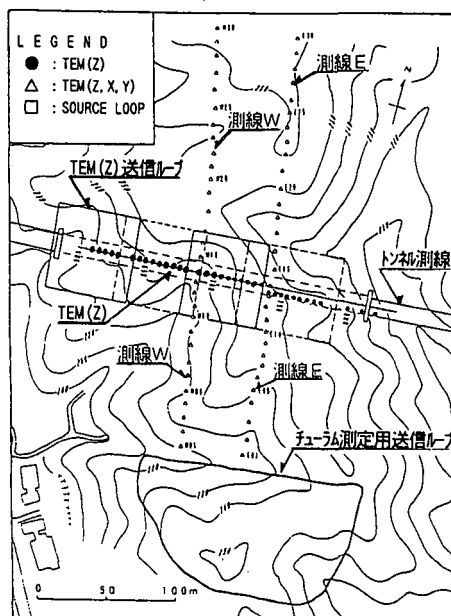


図-2 Aトンネルの調査位置図

に渦電流が流れ込み、Y成分（W-E方向）の磁場強度がその断層直上でピークを示すことになる。図-4は測線Wで測定したY成分の全20ゲートの正規化電圧値を示したものある。この図によれば、測点 W14付近（トンネル測線上では、N0. 200N 地点）に電圧強度のピークが見られる。これは、前述①で述べた地表探査から得られた低比抵抗帯（熱水変質帯）の地表延長部に一致する。また、測点 E14付近にも同様のピークが見られ、これを解析すると、トンネルに低角で斜交する断層構造が抽出された。

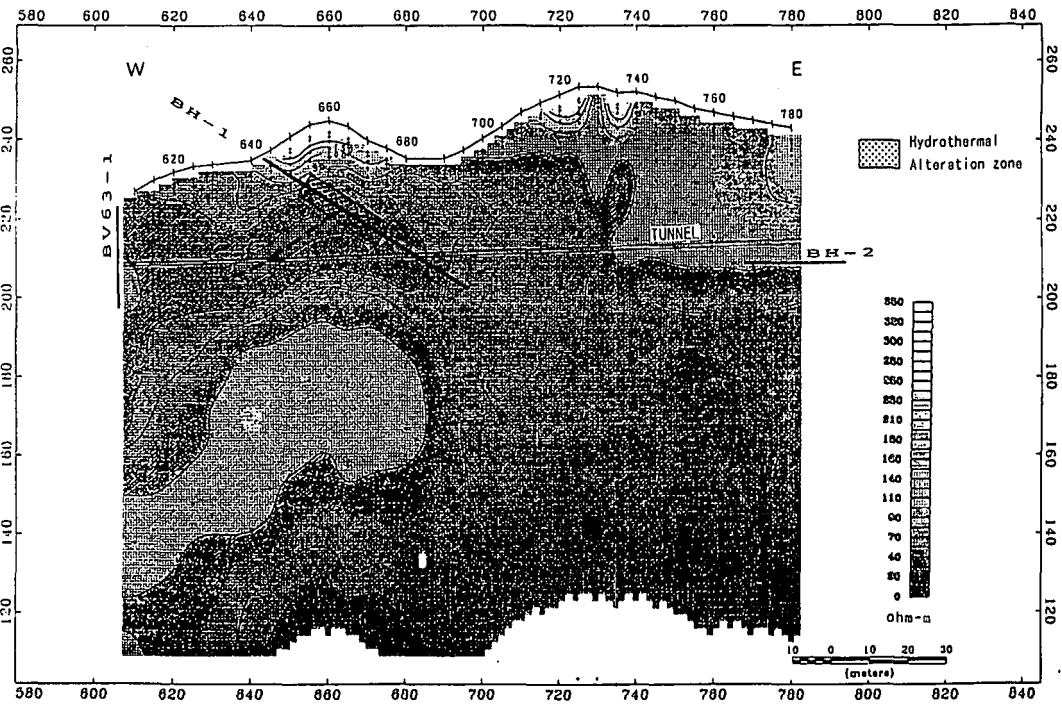


図-3 TDEM電磁探査法によるイメージング結果

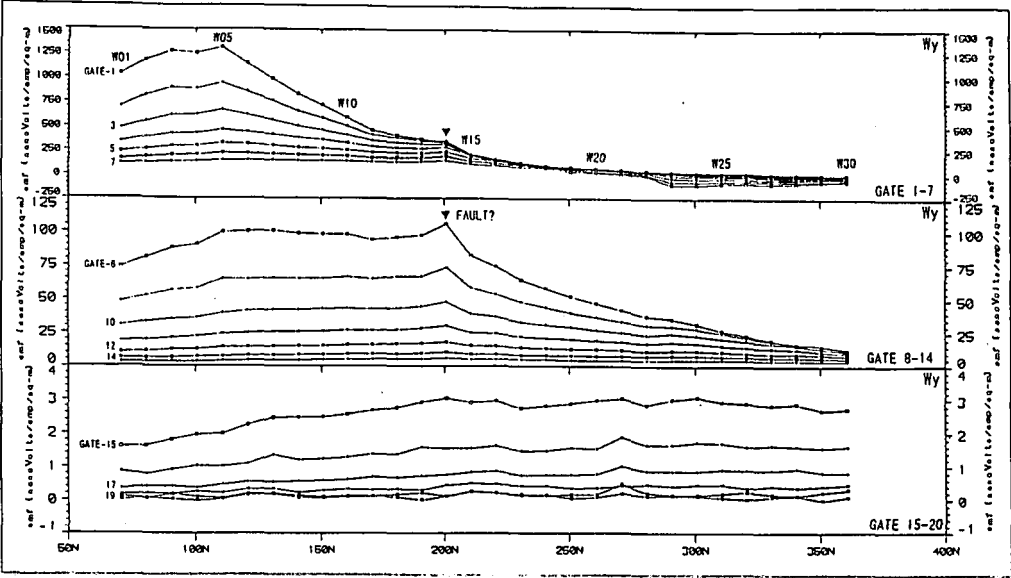


図-4 チューラム法の3成分測定による正規化電圧値

2. 2 Bトンネル

Bトンネルは、延長約1,000m、新第三紀の砂岩及び砂岩・泥岩互層からなる道路トンネルである。このBトンネルの西側約500m区間について探査を行った。

(1) 測定方法

① TDEM電磁探査法

測定は GEONICS社製のPROTEM47を用い、サンプリングはu、v、Hの測定モードでz成分（磁場の鉛直成分）を測定した。また、この測定では、測定及び解析に関して、下記に示す1)～4)の工夫を行った。

1) 送信ループに対して、平行にセンサ（受信コイル）を設置した（急峻地形対策、図-5参照）。

2) 20m の小ループを用いて送信ループから10m、20mの地点でオフセット測定を行った。

（測定の効率化）

3) トンネル測線だけでなく、その付近一帯の探査を行うことにより、水平断面の比抵抗構造を求めた。

4) 水平多層インバージョンとオッカムインバージョンの両方を用いて解析を行った。

図-6に測定配置図を示す。

② 2極法（比抵抗映像法）

TDEM電磁探査法との比較のためトンネル測線上で2極法電気探査（電極間隔5・10m、測線長320m）を実施した。使用器械は、McOHM-21である。

(2) 測定結果

図-7は、TDEM電磁探査法により得られたデータを、水平多層インバージョン法及びオッカムインバージョン法によって解析し、その結果をイメージングしたものである。以下に測定・解析結果について記す。

1) センサを送信ループ（地形）に対し平行に設置したため、急傾斜地にもかかわらず、解析不能な極性反転は発生しなかった。

2) 1辺20mの小型送信ループによる10m、20m地点でのオフセット測定は、インバージョン及びイメージングとも良好な結果が得られ、作業も効率的であった。

3) 水平断面の比抵抗構造を求めることにより、深度毎の地質構造の把握が容易になった。

4) 図-7に示した水平多層インバージョンとオッカムインバージョンの両者の解析図を弾性波探査の結果と比較すると、地山状態の推定が考えられ、また比抵抗値を地山評価の一要素として捉えられる可能性が見出せる。一方、この表示方法では、比抵抗構造だけではなく、ある比抵抗帯中における異常を抽出することが可能である。

5) 解析結果の比抵抗構造を、弾性波探査、ボーリング結果と比較すると地下水面、低速度層等が比抵抗境界として捉えられた。

また、2極法電気探査では、急峻地形の影響が大きく、解析による地形補正を行っても地形の影響を除去しきれなかった。また、土被りの厚い（最大200m程度）こともあり信頼性のあるデータは得られなかった。

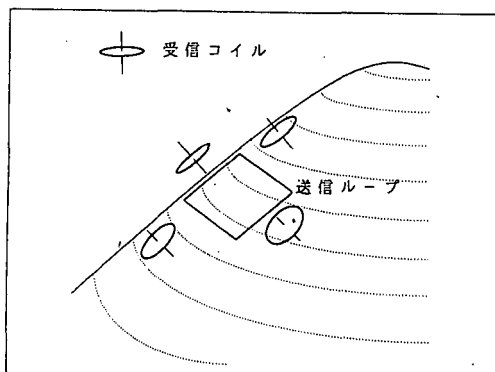


図-5 急峻地形での測定概念

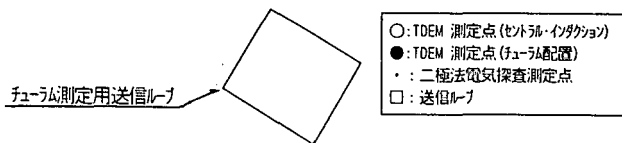
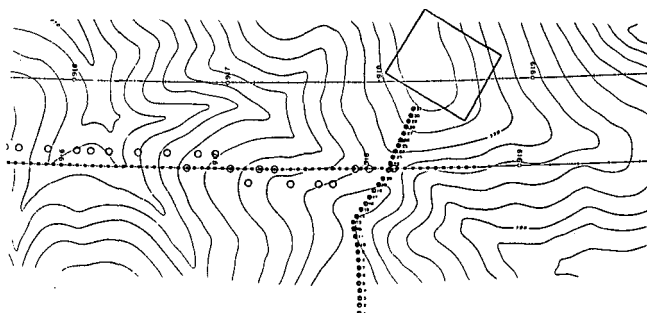


図-6 測定点配置図

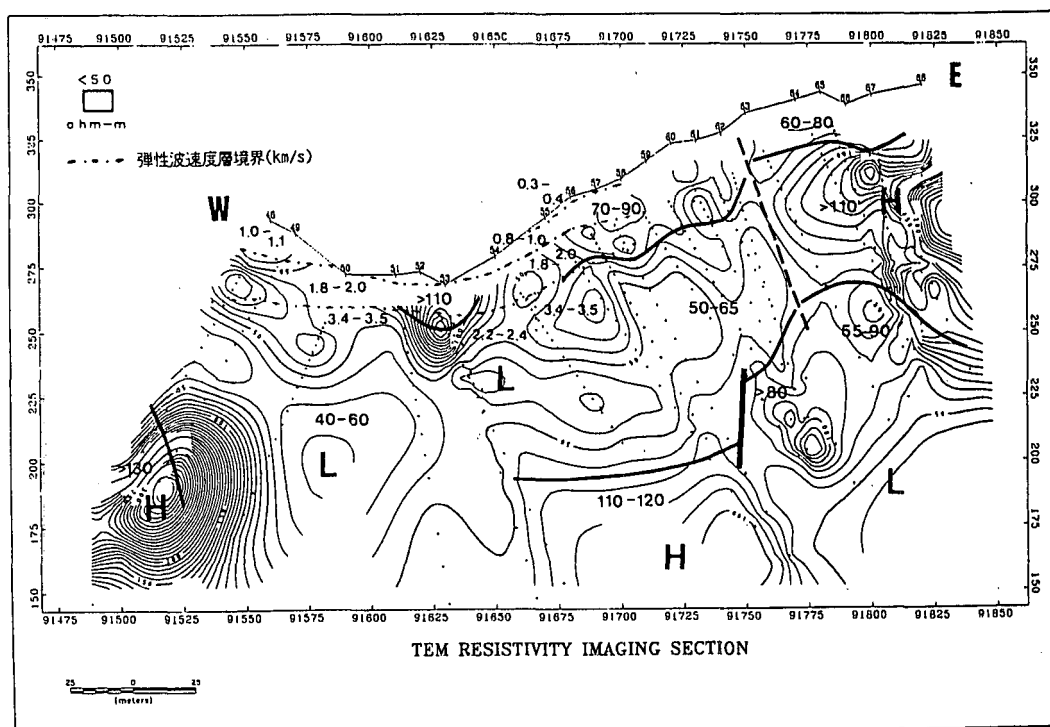


図-7 比抵抗イメージング断面図

5. おわりに

今回の報告では、TDEM電磁探査の測定方法の改良（小断面ループ及び地山の傾斜に沿った測定）、破碎帯等の地質構造を特定するための測定方法（チューラム測定）及び解析方法の工夫（水平多層及びオッカムインバージョンの並列）について述べた。これらによればトンネルにおいてTDEM電磁探査で調査を行う場合、調査地山の地形或は調査目的等により測定方法を選択し、多様な必要性に応じた解析方法を選択できることが示された。今後はさらにトンネルでの地表からの探査実績の積重ねと坑内からの切羽前方探査技術の開発を行い、探査・解析技術を向上させるとともに、これらの探査から得られた比抵抗値をトンネル地山評価の一要素として加えるべく研究開発を行っていく予定である。

《参考文献》

- 1) 物理探査学会, 1989. 図解物理探査
- 2) 斎藤, 1990. 電磁探査, 物理探査学会基礎講座テキスト
- 3) 石川、斎藤、和田、原、岡村, 1993. TDEM電磁探査法のトンネル調査への適用. 物理探査学会第89回学術講演会
- 4) 原、岡村、斎藤、和田, 1994. TDEM電磁探査法の土木分野への適用. 岩の力学シンポジウム
- 5) 和田、斎藤、原、岡村, 1994. TDEM電磁探査法のトンネル調査への適用（その2）. 物理探査学会第90回学術講演会
- 6) 原、西牧、斎藤、和田, 1994. TDEM電磁探査法によるトンネル調査. 第49回土木学会年次学術講演会
- 7) 斎藤、和田、原、関根, 1994. TDEM電磁探査法のトンネル調査への適用（その3）. 物理探査学会第91回学術講演会