

TDEM法による山岳トンネル調査 のための基礎的検討

THE FOUNDAMENTAL EXAMINATION OF TUNNEL SURVEY BY TDEM METHOD

原 敏昭*・和田 一成**・斎藤 章**・関根 一郎*・西牧 均*

Toshiaki HARA, Kazushige WADA, Akira SAITO, Ichirou SEKINE, Hitoshi NISHIMAKI

Geological sounding method, such as seismic refraction, geo-electrical methods and others have been utilized to investigate faults, crush zones and others. But there is sometimes a lack of clear geological information obtained by these conventional methods. So we are applying TDEM (Time Domain Electro-Magnetic method) in site assessment for civil engineering projects, especially tunnel survey. In this report TDEM survey was conducted around the planned 'K' tunnel to estimate the geological structure. The exploration before construction indicated "Granite" which is high resistivity in the tunnel line.

Key Words: TDEM, Tunnel survey, Electric-Magnetic method, Resistivity, Granite

1. まえがき

トンネルの事前調査としては、計画トンネルの地山条件により、各種の調査・検討が実施される。一般的には地表踏査、ボーリング、弾性波探査等が行われ、その結果に基づき、地山評価が行われている。しかし実際にトンネルを掘削すると、その地質状況は事前調査結果と大きく異なり、大幅な設計変更を余儀なくされることがある。そこで最近では、現状の調査法では把握できない地質構造を捉えるため、比抵抗映像法等の電気探査や電磁探査を行い、比抵抗分布に基づき、トンネル地山区分を行っている例もある。しかし、一般的な直流電気探査法や電磁探査法(CSAMT法、AMT法等)の場合、スタティックシフト、ニアフィールド効果、地形補正の問題や高圧線などのノイズ等問題点が多く、調査精度や深度に限界が生じ、測定範囲が限られることがある。そこで筆者らは従来、鉱山・石油・地熱などの地下数百mから数千mの深部資源探査に多用されてきたTDEM法を、土木分野で地下数m～数百m程度の地盤を対象とした浅層探査技術に改良を行い、主にトンネル調査への適用してきた。このTDEM法で得られた比抵抗値により、トンネルの地山評価への展開を研究している。図-1にTDEM法の概要を示す。本報告では、比較的高比抵抗とされている花崗岩を主体とするKトンネル地山にTDEM法を適用した結果と掘削結果との対照により、地山の比抵抗分布による地山評価の可能性について言及する。

* 正会員 戸田建設(株)土木技術開発室

** 三井金属資源開発(株)物探部

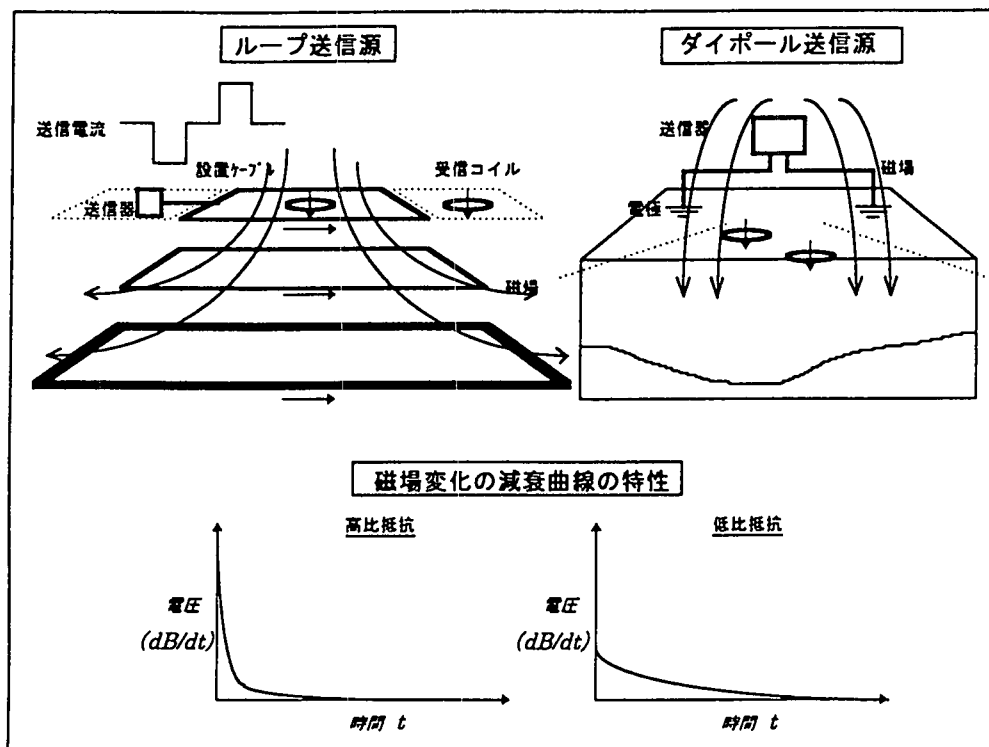


図-1 TDEM法の概要

2. トンネル調査

2.1 地質概要

調査地域は標高100m前後の比較的平坦な丘陵地形で、中生代白亜紀に貫入した粗粒の花崗岩よりなる。事前の地表踏査・ボーリング調査・弾性波探査の結果を図-2に示す。それによれば、地表付近は風化が進み、種々の風化度の異なる風化帯を形成している。しかし、トンネル掘削部付近は弾性波速度が $V_p=3.8\sim 5.5\text{ km/s}$ 程度、岩石コアの一軸圧縮強度が $f=1,000\text{ kgf/cm}^2$ 以上と堅固であり、割れ目も少ない良好な岩盤だと予測されていた。地質構造は、トンネル軸上のN0.39~N0.40付近にNE-SW方向のトンネル測線とほぼ直行する流紋岩の貫入がみられ、またN047~N0.48付近には断層の存在も予想されていた。なお、本トンネルは既に施工を終了しており、一般道路として供用されているトンネルである。

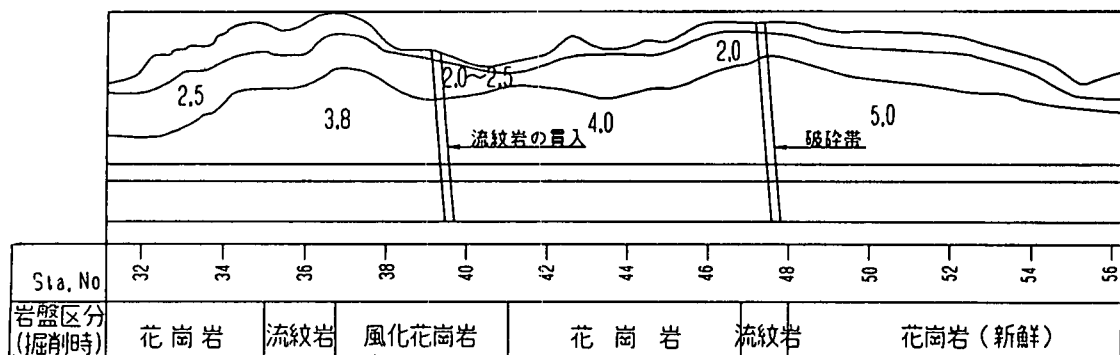


図-2 Kトンネル事前調査結果

2. 2 探査方法

・TDEM法による探査

トンネル測線に沿った断面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10m、測定点数：43点）を実施した。送信は図-3に示す通り1辺60mの正方形ループを6箇所設置し、約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

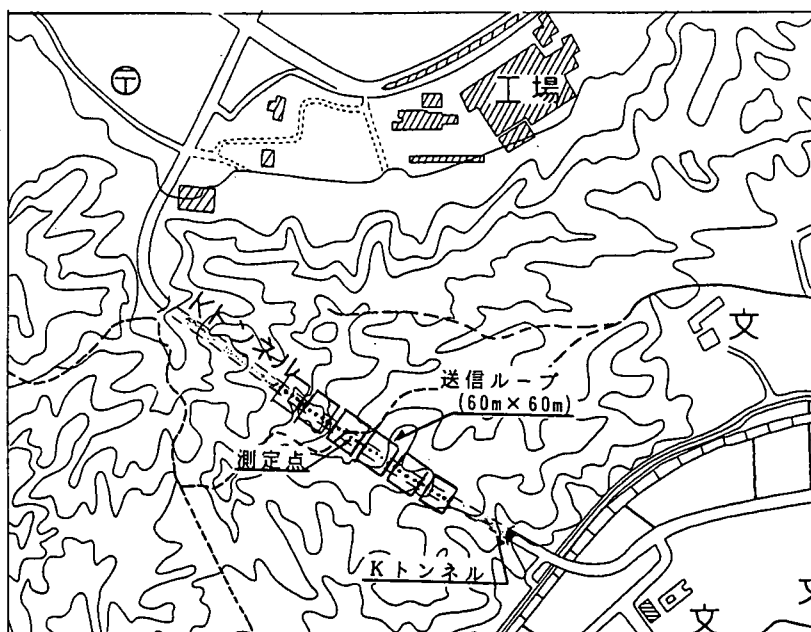


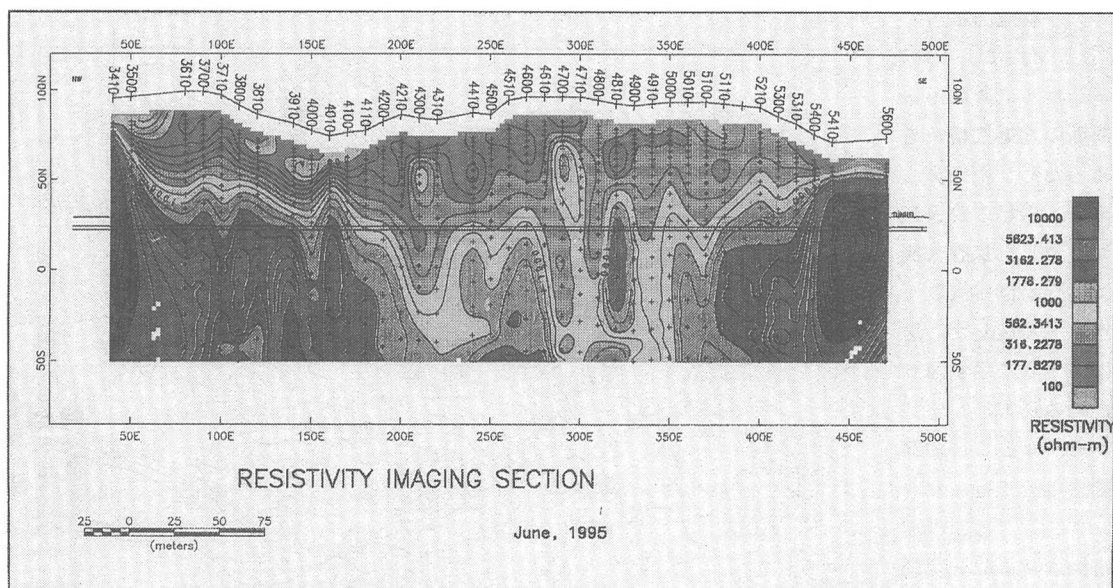
図-3 Kトンネル調査位置図

行った。使用機器はGEONICS社製のPROTEM-47である。なおイメージングは10m~150mを19層に分割し、各層毎の比抵抗値を拘束条件付きのスムーズ・オッカムインバージョンにより求めた。また、水平多層インバージョンでの解析を行い、スムーズ・インバージョンの結果と比較検討した。なお、室内比抵抗試験により当地において典型的な状態だと考えられる花崗岩の比抵抗値を求めた。

2. 3 探査結果

図-4にスムーズ・インバージョンによって解析した比抵抗値のイメージング結果及び掘削結果を示す。以下に探査・解析結果について述べる。

- 1) 探査地域全域は主に数百~数千($\Omega \cdot m$)で、地表近くで一部数十($\Omega \cdot m$)の部分がある。全体として高比抵抗地域ではあるが、比抵抗値のコントラストがかなりみられる。
- 2) 主に地表から数十mの浅部は低比抵抗値を示している。それに対し深部になるにしたがい比抵抗値は高くなる傾向が見られる。これは、地表付近ほど風化が進んでいることを示しているものと考えられる。
- 3) N0.39+10~N0.40+10にかけて、比抵抗値のコンターが落ち込み、トンネル掘削部で低比抵抗となっている。この部分は施工結果によれば、流紋岩の貫入により周辺岩盤が亀裂質で崩壊性が強くなり、岩級区分もC₁となっている。
- 4) N0.46+10~N0.48付近は、周囲が1,000($\Omega \cdot m$)以上なのに対して数百($\Omega \cdot m$)以下と低くなっており、周囲と明瞭なコントラストを呈している。この部分は、事前調査では破碎帯が予想されていたところで、トンネル掘削時の観察によれば、流紋岩の貫入により周辺が破碎され、岩盤区分もC₁と低い評価になっている。
- 5) N0.49以降は1,000($\Omega \cdot m$)以上の高比抵抗地帯が連続している。これは、N0.49以降での掘削時の岩盤区分がC₂となっていること、及び、事前の弾性波探査結果($V_p=5.5km/s$)を反映しているものと考えられる。すなわち、周囲に比べ高比抵抗値が連続している部分は、比較的岩盤が良いと判断される。
- 6) 本トンネルでは、断層・破碎帯等の地質構造がトンネル測線に対し、ほぼ直交しており探査測線を設定し易いものであった。一般には、事前調査結果に基づき、地質構造を捉え易いTDEM探査測線の設定を考える必要がある。



図－４ TDEM法によるイメージング結果

3. おわりに

今回の報告では、一般的に高比抵抗とされている花崗岩地域にTDEM法によるトンネル探査を適用し、その有効性を確認した。その際、調査地域の比抵抗値のコントラストを詳細に把握するため、インループ測定によりデータを取得し、スムーズ・インバージョンによる解析を行った。その結果、花崗岩のような高比抵抗の塊状岩盤地域では、比抵抗値の絶対値ではなく周囲との相対的な比較により探査結果を評価すれば、地山の性状が把握できることが示された。

今後は、TDEM法による探査を積み重ね、本探査法の特徴を明らかにし、比抵抗値による地山評価を研究する必要がある。また、現在開発中である原位置比抵抗測定装置(IN-SITU RESISTIVITY METER)を用いてトンネル掘削中の切羽の比抵抗値を測定し、室内比抵抗試験の結果とともに活用していく予定である。

4. 参考文献

- 1)物理探査学会：1989. 図解物理探査
- 2)斎藤 章：1990. 電磁探査，物理探査学会基礎講座テキスト
- 3)和田一成他：1994. 5. TDEM電磁探査法によるトンネル調査（その2），物理探査学会第90回学術講演会講演論文集pp364-368
- 4)斎藤光義他：1994. 10. TDEM電磁探査法によるトンネル調査（その3），物理探査学会第91回学術講演会講演論文集pp157-161
- 5)原 敏昭他：1995. 1. TDEM電磁探査法の土木分野への適用（その2），土木学会第26回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集pp510-514
- 6)関根一郎他：1995. 7. 岩石の比抵抗と力学的性質の関係について. 第30回土質工学研究発表会
- 7)原 敏昭他：1995. 10. TDEM法による地質構造調査，日本応用地質学会平成7年度研究発表会講演論文集