

安山岩地山における各種物理探査結果の比較

COMPARISON OF THE RESULTS OF VARIOUS GEOPHYSICAL EXPLORATION METHODS ON NATURAL GROUND OF ALTERED ANDESITE

鈴木哲也¹⁾・疋田貞良²⁾・横山博之³⁾・宍戸政仁⁴⁾

Tetsuya SUZUKI, Sadayosi HIKITA, Hiroyuki YOKOYAMA, Masahito SHISHIDO

On natural ground consisting of altered andesite lava and pyroclastic rock of the Neogene period of the Miocene epoch, two-dimensional resistivity method and VLF-EM survey were conducted in addition to seismic wave exploration using the refraction method - which is commonly used for geological surveys in tunnels. Comparisons of the results of these surveys were made along with comparisons of these results with actual geological conditions found through pilot boring.

As a result, geological conditions which were not clear with only the results of seismic wave exploration using the refraction method could be further elucidated by the other two methods. It was also confirmed that the differences in geological conditions within the natural ground, such as the physical and mechanical properties of bedrock and subterranean water conditions, were well refracted in the contrast of the resistivity and seismic wave velocity in the natural ground. It was also through that different geological conditions within the natural ground were probably caused by mineral composition variations due to differences in the extent of past alterations.

Key Words : altered andesite, two-dimensional resistivity method, VLF-EM survey, x-ray diffraction tests

1. はじめに

現在開発土木研究所地質研究室では、トンネル地山地質調査法の改良に関する研究を実施している。そのうちの1つは、トンネル施工中の水平ボーリング結果を補完または代替することを目的とした坑内での反射法弾性波探査による切羽前方地質の予測である。他の1つはトンネル施工に先立つ地質調査法の改良を目的としたものであり、本文は後者の成果の一部についてまとめたものである。

従来トンネル施工に先立つ地質調査の手法としては地表地質踏査、屈折法弾性波探査およびボーリング調査などが一般的であるが、必ずしもそれらが地山の地質状況を把握するうえで最適な手法であるとは限らない。より正確に地山の地質状況を把握するためには、現場条件を勘案して多様な地質調査法の中から適切な手法を選択的に利用または併用することにより、互いの成果を補完またはクロスチェックすることも場合によっては必要であると考えられる。

1) 正会員 理博 北海道開発局 開発土木研究所

2) 正会員 北海道開発局 開発土木研究所

3) 正会員 北海道開発局 網走開発建設部

4) 北海道開発局 開発土木研究所

本文では、以上のような観点から屈折法弾性波探査のみでは地質状況を的確に判断しきれないと思われると予想されたあるトンネル現場において、補足的に2次元比抵抗法電気探査およびV L F法電磁探査を実施し、先進水平ボーリングによって得られた湧水量などの各種地質情報、コア観察結果、コアサンプルを利用して行った岩石試験結果およびX線回折試験結果などをもとに、各探査結果の比較を行った結果について述べる。

2. 地質概要

調査地は積丹半島南西部に位置するトンネル現場であり、その地山を構成する地質は新第三紀中新世のカプト火砕岩層中部層および上部層である。中部層はトンネル中央部から終点側に分布し、全体に変質を被り緑灰色を呈する安山岩を主体とし同質貫入岩を伴う。本層の最上部には自破砕状安山岩が分布し、土砂状変質帯がみられる。上部層はトンネル中央部から起点側に分布し、安山岩質火山角礫岩を主体とし小規模の同質貫入岩を多数伴う。火山角礫岩は成因的に水冷破砕岩と考えられ、まれに巨大な溶岩塊を含む。中部層と上部層は漸移的な関係にあり、上位ほど水冷破砕が著しい様相を呈している。

地層の走向・傾斜はN-S~NNE-SSW、 20° ~ 50° Wであり、概ねトンネル終点側から起点側に傾斜しているが、終点側抗口付近では地層の走向とトンネル方向がほぼ一致している。

3. 物理探査

屈折法弾性波探査は約1,100mのトンネル全長にわたって実施されているが、比較のため補足的に同延長にわたって2次元比抵抗法電気探査を実施した。さらに土被りの小さい沢部の延長200mの区間（この沢部の前後で電気探査で得られた比較的浅部の比抵抗値が強いコントラストを示した。）において、比抵抗法電気探査結果のクロスチェックのためにV L F法電磁探査を実施した。さらに掘削の進むトンネル切羽においても2次元比抵抗法電気探査を行い、地表から行った電気探査結果との比較を行った。なお、地表からの探査は2極法電極配置で、切羽における探査をダイポール・ダイポール電極配置でそれぞれ行った。

V L F法電磁探査は大電力の送信局から常時発射されているV L F波（周波数3~30kHz）を利用する受動式の電磁探査法であり、軽量の測定装置で簡便に探査ができるため迅速なマッピングに適している。原理的には送信局から発射されるV L F波により地下の導体に誘導される電流によって発生する磁場と電場を測定することにより、地下30m程度までの見掛け比抵抗を求めるものである。V L F送信局は世界各地に設置されており、日本でも宮崎県霧島にある。本調査では霧島局（22.2kHz）に加えオーストラリアの送信局のV L F波（22.3kHz）も利用し、その両者の結果の比較も試みた。

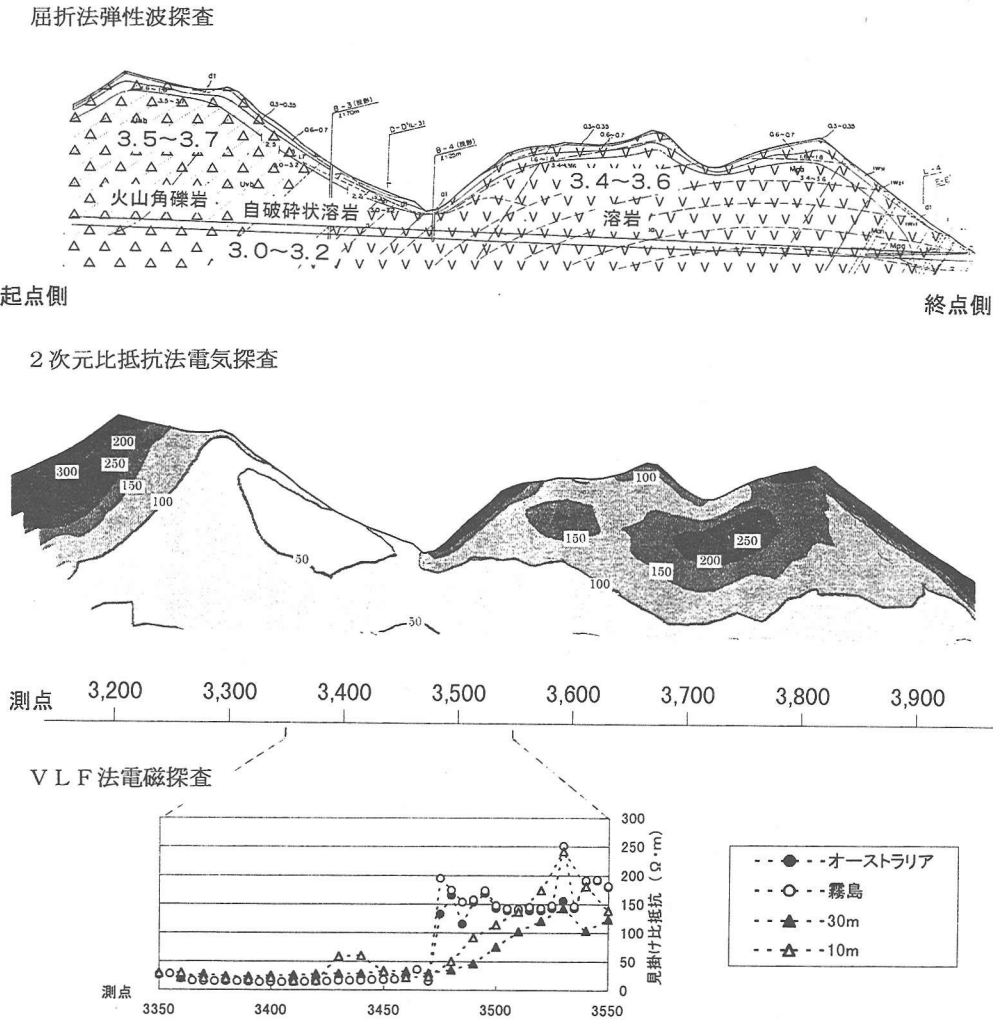
4. 物理探査結果の比較

今回行った3種類の物理探査の結果を概略の地質とともに図-1に示す。弾性波探査から求めた速度層は、地表から順に第1~第4層に区分できる。起点側および終点側の第4速度層の弾性波速度は概ね3.5km/s程度であるのに対して、その中間に位置する最も土被りの小さくなる沢部の起点側の延長150m程度の区間の第4速度層の弾性波速度は3.0~3.2km/sとなっている。また、この区間にのみ低速度帯も認められる。

2次元比抵抗法電気探査では、起点側の地山の浅部および終点側の浅部は比較的高比抵抗であり、一部には300 $\Omega \cdot m$ 以上の部分も見られる。これに対して、上述の弾性波探査で比較的低速度を示す区間およびその周辺においては全般に100 $\Omega \cdot m$ 以下の傾向を示している。また、切羽での比抵抗測定結果も、地表からの探査結果とほぼ同様の傾向を示している。

以上より、弾性波速度と比抵抗値それぞれに基づく地山分類はほぼ同様の傾向となるが、後者の方がコントラストがより明瞭であるといえる。

V L F 法電磁探査結果としては、霧島およびオーストラリアの送信局の V L F 波を利用して測定した深度約 30m の見掛け比抵抗を示した。また比較のため 2 次元比抵抗法電気探査の電極間隔 10m および 30m の場合の見掛け比抵抗値を併せて示した。図から V L F 電磁探査結果は送信局に関係なくほぼ同様の測定値を示していることがわかる。また、電気探査結果も電極間隔 30m のときの測定値の方が電極間隔 10m の場合よりも低い比抵抗値を示しているが、その両者はほぼ同様の傾向を示すことがわかる。さらに、見掛け比抵抗は土被りが最も小さくなる上述の沢部を境として変化しており、その変化は 2 次元比抵抗法電気探査よりも V L F 法電磁探査によってより明瞭に補足されていることがわかる。



図－１ 各物理探査結果の比較

５．物理探査結果と先進ボーリング結果の比較

先進ボーリングによって得られた岩相、供試体の一軸圧縮強度および P 波速度、準岩盤圧縮強度、湧水量、R Q D などの地質状況を、電気探査結果を簡略化して示した断面図とともに図－２に示す。概ねトンネル終

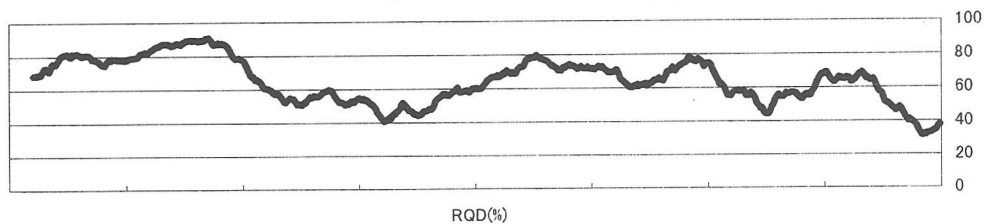
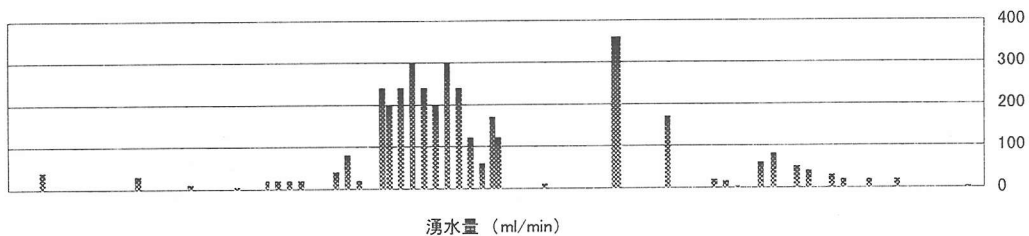
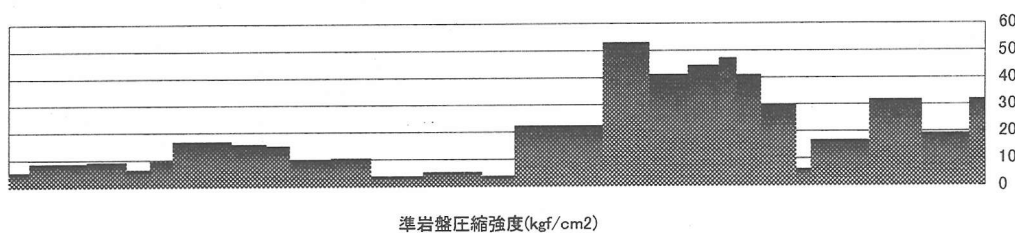
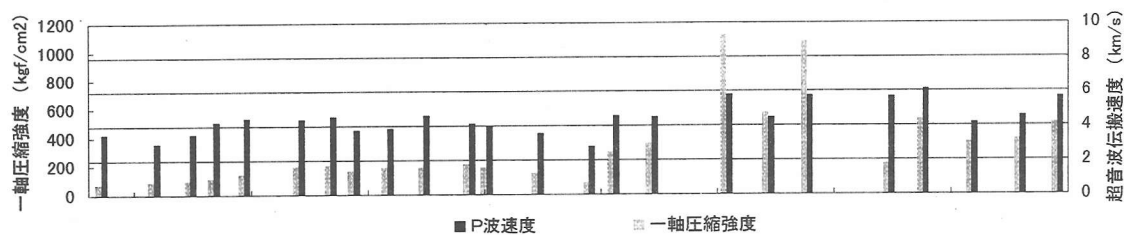
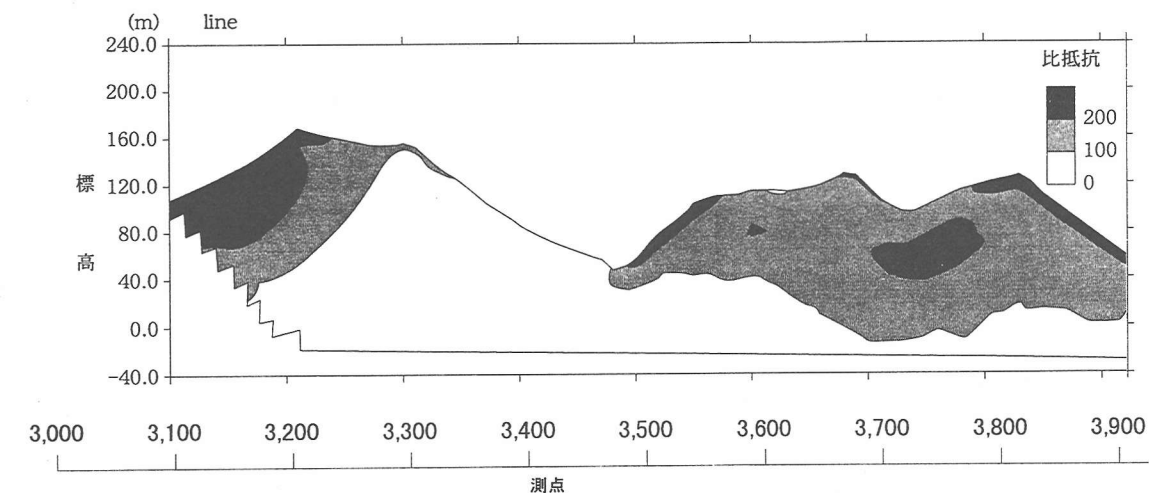


図-2 先進ボーリング結果の比較

点側には安山岩溶岩が、起点側には自破碎状溶岩～火山角礫岩が分布し、その境界は測点3,300m付近であるが、その境界付近から自破碎状溶岩、火山角礫岩分布域にかけては、しばしば土砂化または粘土化した部分が認められる。

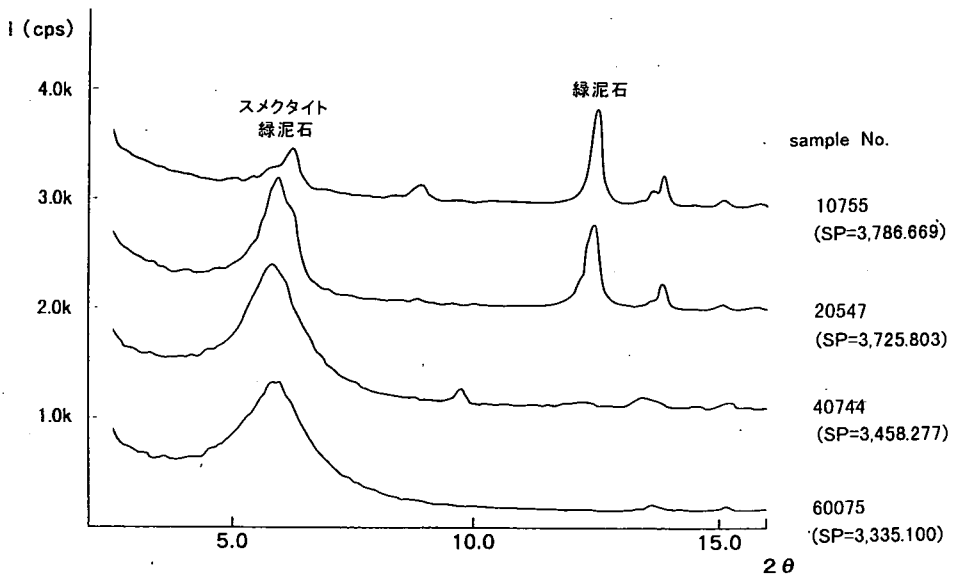
図－2をもとにコア観察、岩石試験などの結果と物理探査結果をまとめると表－1のようになり、物理探査結果は地山の物性および地下水状況などをよく表しているのがわかる。

表－1 物理探査結果と実際の地山状況の比較

	高比抵抗・高速度の部分	低比抵抗・低速度の部分
供試体の一軸圧縮強度	大きい	小さい
供試体の超音波伝播速度	速い	遅い
準岩盤圧縮強度	大きい	小さい
湧水量	少ない	多い
R Q D	大きい	小さい

6. 地山の変質状況

上述の地山状況の違いについてさらに詳細に検討するために、先進ボーリングのコアを用いて約30点についてX線回折試験を実施した。各点について、不定方位試料および定方位試料を用いた試験を行うとともに、必要に応じてエチレングリコール処理および塩酸処理を行い含有鉱物の同定を行った。試験結果の中から4点の不定方位試料の試験結果の一部を図－3に示す。図に示した4試料のうち10755番と20547番の2試料は上述の高比抵抗・高速度の部分のものであり、他の2試料は低比抵抗・低速度の部分のものである。これら4試料に見られる主な粘度鉱物は $2\theta = 12.5^\circ$ 付近に最強回折線が現れる緑泥石と $2\theta = 6^\circ$ 付近に最強回折線が現れるスメクタイトの2つであるがその量比は試料によって異なり、低比抵抗・低速度の部分では緑泥石はほとんど認められずスメクタイトが特徴的となる。さらに石英も緑泥石とほぼ同様の分布を示してい



図－3 X線回折試験結果（不定方位法）

る。

以上より、トンネル区間は全体に中性の変質を被っているが、主に測点3,400~3,500mより終点側に分布する高比抵抗・高速度の部分は緑泥石、石英によって特徴づけられる比較的高温の変質を被っているのに対して、それより起点側に分布する低比抵抗・低速度の部分はスメクタイトによって特徴づけられる比較的低温の変質帯である、という違いがあることがわかる。

7. まとめと考察

2次元比抵抗法電気探査、VLF電磁探査および屈折法弾性波探査の3つの物理探査結果を総合すると、このトンネル地山は、前述のとおり低比抵抗・低速度の部分と高比抵抗・高速度の部分の2つに明瞭に分類できた。また、地山内の比抵抗値および弾性波速度のコントラストは、岩盤の物理的・力学的性質および地下水の状況などの地山内の地質状況の違いをよく反映していることが確認できた。さらに、地山内の地質状況の違いはおそらく過去に被った変質程度の差異による含有鉱物の違いに起因しているものと考えられる。すなわち、比較的高温の変質を被って緑泥石が生じている部分に比べて、比較的低温の変質を被った部分では多量のスメクタイトが生成していることから岩盤の強度低下が著しいことに加え、粘土化に伴う透水性の低下により地下水位が高く保たれているものと推定される。

8. おわりに

変質を被った新第三紀中新世の安山岩溶岩および同質火砕岩からなる地山において、トンネル地質調査で一般的に用いられる屈折法弾性波探査のほかに、2次元比抵抗法電気探査およびVLF電磁探査を実施し、それらの探査結果の比較とともに先進ボーリングによって得られた実際の地質状況との比較を行った。その結果、屈折法弾性波探査結果のみでは明らかではなかった地質状況が他の2つの手法によってより明瞭になった。また、先進ボーリングにより得られた地質状況ともよく一致した。このことから、地山条件によっては電気探査および電磁探査が弾性波探査より有効な場合があり、かつこれら3種類の物理探査結果は互いに効果的に補完しあうことがうかがえる。トンネルの地質調査においては、その結果が直接設計に反映できる屈折法弾性波探査を用いるのが一般的であるが、場合によっては電気探査および電磁探査などの方がより正確に地山の地質状況を捉えることができる場合もあることを念頭に置くべきであると考えられる。

参考文献

- 1) 鍛冶義和ほか：物理探査結果と地盤特性の相関，土と基礎，vol.45，No.9，1997.
- 2) 物理探査学会 編：図解 物理探査，物理探査学会，1989.
- 3) 島裕雅ほか：比抵抗映像法，古今書院，1995.
- 4) 関根一郎ほか：岩石の比抵抗とその力学的性質との関係，土木学会論文集Ⅲ，No.541，1996.
- 5) 日本粘土学会 編：粘土ハンドブック 第二版，技報堂出版，1987.
- 6) 立見辰雄 編：現代鉱床学の基礎，東京大学出版会，1980.