

(79) 岩石の比抵抗値に関する基礎的実験

FUNDAMENTAL EXPERIMENT IN SPECIFIC RESISTANCE OF ROCKS

松原 哲也*, 真下 英人**

Tetsuya MATSUBARA and Hideto MASHIMO

This experiment have collected fundmental data of electrical prospecting for the high degree of feasibility stydy in tunnel constructions. In this paper, we measured the specific resistance, the physical and mechanical properties of rock specimens. From this experiment, we could get the following results, with the decrease of the degree of saturation, the specific resistance will increase and the degree of change of specific resistance differ according to the rock. The specific resistance and the physical and mechanical properties of rock have a good correlation.

1. まえがき

トンネルは地下深部に建設される線状の構造物で、建設にあたっては掘削予定地盤の事前調査を必要としている。事前調査手法としては主に地上踏査、弾性波探査法、ボーリング調査、文献調査、過去の施工実績の調査などが行われており、調査結果に基づき掘削地山の岩盤分類、掘削手法の選定、支保構造の設計が行われている。また、最近では地下水位・破砕帯などの推測方法として電気探査法を適用する事例が増えてきている。電気探査法は地下資源、地下水の調査を主流に適用されており、土木の分野では解析結果が解析者の主観に左右されるなど客観性に欠けたものであったため探査技術としての信頼性に欠け、適用される事例が少なかったが、近年のコンピューターの発達により複雑な二次元構造の解析が可能となったためトンネルの事前調査に電気探査法を使用する事例も増えてきた。電気探査法は弾性波探査と同様に岩盤分類に適用する事も可能と考えられるが、新しい手法のため適用事例が少なく正確な岩盤分類を行うためには数多くの課題が残されている。

土木研究所では、事前調査の調査精度の向上を図ることを目的とし、岩石供試体を用いた比抵抗値の基礎的実験として、比抵抗値と物理的・力学特性岩データの収集を行い、その相関関係についてをまとめた結果について報告する。

* 正会員 建設省土木研究所 道路部トンネル研究室 研究員

** 正会員 建設省土木研究所 道路部トンネル研究室 室長

2. 実験方法

表-1 供試体一覧

試料 No.	岩石名	年代
1	凝灰岩(河津)	新第三紀 中新世
2	複雲母花崗岩	中生代 白亜紀
3	緑泥片岩	中生代 白亜紀
4	砂岩	古第三紀末～新第三紀
5	チャート	古生代 二疊紀
6	石灰岩	古生代 二疊紀
7	頁岩	古生代 二疊紀
8	石英安山岩	新第三紀 中新世
9	流紋岩	新第三紀 中新世
10	カンラン石玄武岩	新第三紀 中新世
11	角閃石片麻岩	古生代
12	標準砂	-
13	マサ土	-
14	土丹	第四紀
15	凝灰岩(大谷)	新第三紀 中新世
16	普通輝石紫蘇輝石安山岩	第四紀 更新世
17	フズリナ石灰岩	古生代 二疊紀
18	凝灰質砂岩	新第三紀 中新世
19	泥岩	新第三紀 中新世

2.1 供試体および測定項目

実験は、表-1に示す19種類の岩石供試体(直径 ϕ = 30mm、高さ h = 60mm)を用いた。測定項目としては、比抵抗値、超音波伝播速度(P波、S波)、見掛け比重試験、吸水率試験、有効間隙率試験、一軸圧縮試験および陽イオン交換容量試験を実施した。比抵抗値および超音波伝播速度の測定は、浸透水の比抵抗値を100 Ω m、水分飽和度4段階(100%、70%、50%、30%)について実施した。供試体は真空ポンプを用いて強制湿潤させ水分飽和度100%の状態から測定を実施した。

2.2 比抵抗値の測定

比抵抗値の測定は、図-1に示すような簡易測定装置を用いて測定した。測定方法は、供試体を測定装置のサンプルホルダーにはさみこみ、外側の2本の電流電極間で電流を流し、内側の電位電極で供試体両側の電位差を測定する方法とした。測定した電位差、電流値および供試体の断面積、高さから図中の式を用いて比抵抗値を算出した。

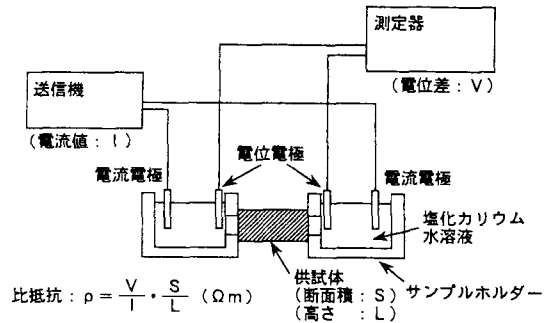


図-1 比抵抗値測定装置

2.3 超音波伝播速度の測定

超音波伝播速度の測定は、図-2に示すように超音波パルス透過法によりP波およびS波の測定を行った。測定方法は、P波あるいはS波の発振子と受振子の間に供試体をはさみ、パルス波の到達速度により超音波伝播速度を求める方法とした。発振子から受振子までの波の伝播時間はデジタルオシロスコープで測定し、供試体の高さで除することにより超音波伝播速度を算出した。測定は供試体の上下逆にしてそれぞれ2回行った。

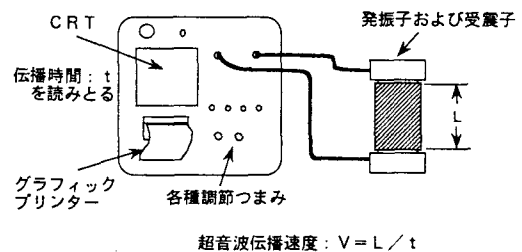


図-2 超音波伝播速度測定装置

2.4 水分飽和度の調整

比抵抗値および超音波伝播速度の測定は4段階の水分飽和度について測定を行うこととしたが、実験時の水分飽和度は供試体を乾燥重量の計測を行わないと求まらないため、供試体の重量と飽和度の関係を事前に求めておき、供試体の重量によって実験時の水分飽和度の制御を行い、また所定の飽和度に相当するであろう状態で5～10回の測定を行った。実験終了後、強制乾燥させることによりの実験時の水分飽和度を求め、所定の水分飽和度における比抵抗値および超音波伝播速度に換算する方法とした。供試体の乾燥方法としては、供試体を均一に乾燥させるため高温高湿槽を用い、槽内温度を摂氏20度、湿度98%に保ち、ゆっくり乾燥させる方法とした。

2.5 陽イオン交換容量の測定

陽イオン交換容量とは、多くの粘土鉱物などに一般的に見られる性質であり、これらの鉱物を塩類溶液に浸漬するとその鉱物に存在する陽イオンと溶液中の陽イオンの間に可逆的な交換反応が生じる。この性質を陽イオン交換容量と呼び、交換される陽イオンを交換性陽イオンと呼ぶ。陽イオン交換容量は乾燥試料100 gに保持されている交換性陽イオンのミリグラム当量(meq)で表され、一般的には粘土の含有量が多いほど陽イオン交換容量は大きくなる。

3. 実験結果

3.1 物理・力学試験の結果

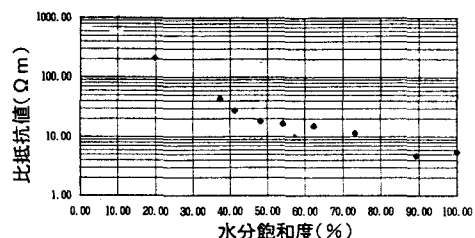
強制湿潤時の見掛け比重は $1.8 \sim 3.0 \text{ g/cm}^3$ の範囲で、最小値は土丹の 1.838 g/cm^3 、最大値は緑泥片岩の 2.978 g/cm^3 となった。また、強制乾燥後の見掛け比重も最小値は土丹の 1.345 g/cm^3 、最大値は緑泥片岩の 2.974 g/cm^3 となった。吸水率、有効間隙率は、土丹が最大値を示しそれぞれ36.6%、48.326%、最小値はスズリナ石灰岩の0.047%、0.128%となった。一軸圧縮強度は固結度の低い凝灰岩、砂岩、土丹、凝灰質砂岩、泥岩、風化の進んだマサは低い値を示し、最小値は土丹の 91.6 kgf/cm^2 となった。また、火成岩、変成岩については一軸圧縮強度は $1,000 \text{ kgf/cm}^2$ 以上を示し、最大値は輝石安山岩の $2,963 \text{ kgf/cm}^2$ となった。

3.2 比抵抗値の測定結果

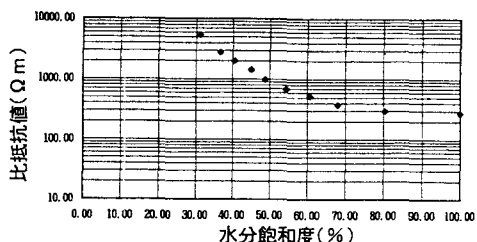
比抵抗値の測定値は岩種により様々な値をとり、水分飽和度100%時の比抵抗値は、小さいものでは土丹の $8.9 \Omega \text{ m}$ 、泥岩の $5.5 \Omega \text{ m}$ 、大きいものではスズリナ石灰岩、石灰岩が $200,000 \Omega \text{ m}$ 以上の値を示した。スズリナ石灰岩、石灰岩の比抵抗値が大きな値を示した原因としては、吸水率、有効間隙率および粘土含有量が他の岩石に比べて極端に小さいことが原因の1つだと考えられる。比抵抗値と水分飽和度の関係は、水分飽和度が減少するにしたがって指数関数的に比抵抗値は増加する傾向がみられた。増加の度合いは岩種により大きな差があり、水分飽和度が100%から30%に減少した場合の比抵抗値の変化は、凝灰質、凝灰質砂岩、土丹では約2.5倍と変化は小さいが、輝石安山岩、複雲母花崗岩では約25倍と大きな変化となった。比抵抗値測定結果の一例を図-3に示す。

3.3 超音波伝播速度の測定

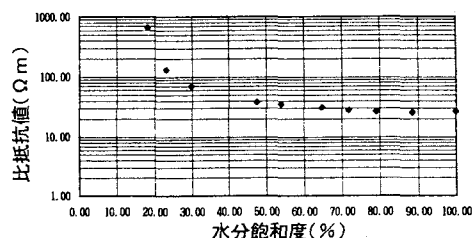
超音波伝播速度(P波、S波)の測定結果は、水分飽和度が変化しても比抵抗値ほどの大きな変化は示さなかった。P波では飽和度が100%から50%にかけて伝播速度は減少し、50%以下になると伝播速度が上昇す



(A) 泥岩



(B) 凝灰岩



(C) 輝石安山岩

図-3 比抵抗値測定結果

図-3 比抵抗値測定結果

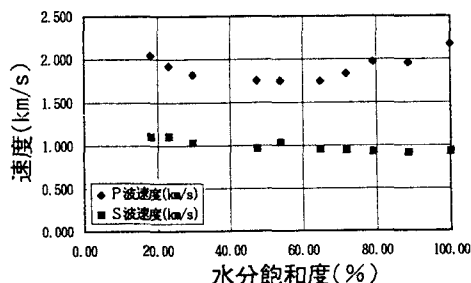


図-4 超音波伝播速度測定結果(凝灰岩)

る傾向がみられた。P波の伝播速は、凝灰質砂岩で1.5～2.0km/s、泥岩で1.3～2.0km/sと若干大きな変化がみられたが、ほとんどの岩石で0.3km/s程度の変化しか見られなかった。S波の測定結果に関しては、いずれの供試体においても大きな伝播速度の変化はみられない結果となった。超音波伝播速度の測定結果の一例を図-4に示す。

3. 4 陽イオン交換容量試験の結果

陽イオン交換容量試験の結果は、間隙率の小さいズリナ石灰岩、石灰岩、チャートでは1 meq/100g以下の小さな値を示した。逆に、凝灰岩(大谷)では約100meq/100g、泥岩、土丹、凝灰岩(河津)では20～40 meq/100gと大きな値を示した。

3. 5 比抵抗値と岩石の物理的・力学的特性の相関関係

岩石の比抵抗値と物理的・力学的特性の相関関係を調べるため、比抵抗値と一軸圧縮強度、超音波伝播速度(P波、S波)の相関関係を整理した。比抵抗値と一軸圧縮強度、超音波伝播速度の相関関係は比較的良好な関係がみられ、比抵抗値と一軸圧縮強度の相関関係(相関係数0.70)は、比抵抗値と超音波伝播速度の相関関係(相関係数0.87～0.90)と比較してやや劣る程度の結果となった。また、比抵抗値と有効間隙率、陽イオン交換容量の相関関係も同様に整理した結果、相関係数0.92、0.86と高い相関関係が見られた。図-5～図-8に水分飽和度100%時の比抵抗値と各種物理的・力学的相関関係を示す。これらの結果から、比抵抗値

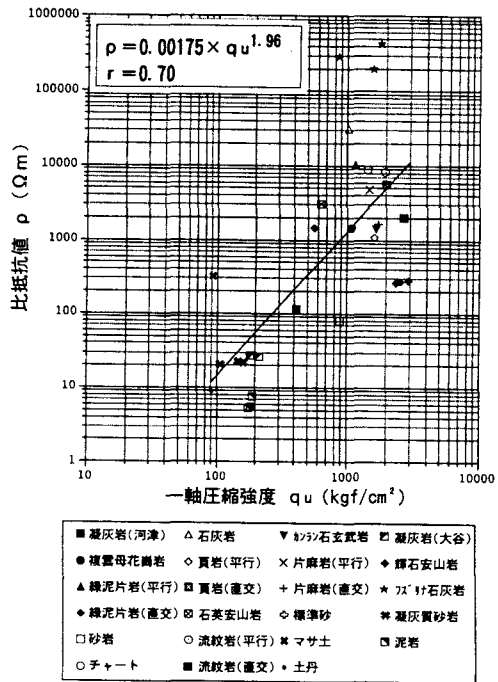


図-5 比抵抗値と一軸圧縮強度の関係 (水分飽和度100%)

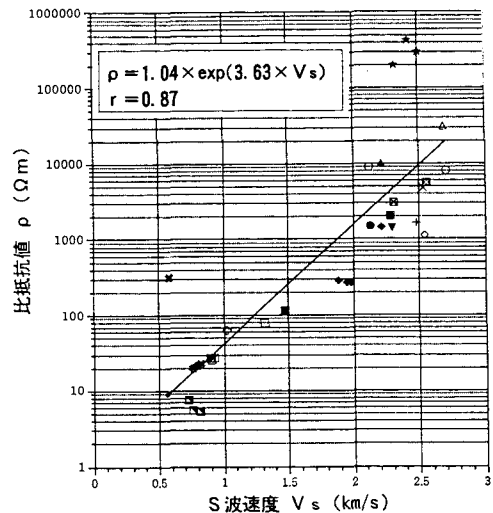
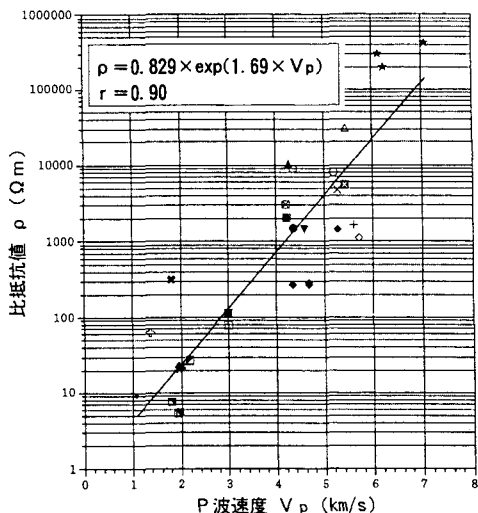


図-6 比抵抗値と超音波伝播速度(P波、S波)の関係(水分飽和度100%)

と岩石の物理的・力学的特性との相関関係は比較的良好な結果となっており、今後、比抵抗値から岩種分類するための基礎的データとして有効的なものと考えられる。

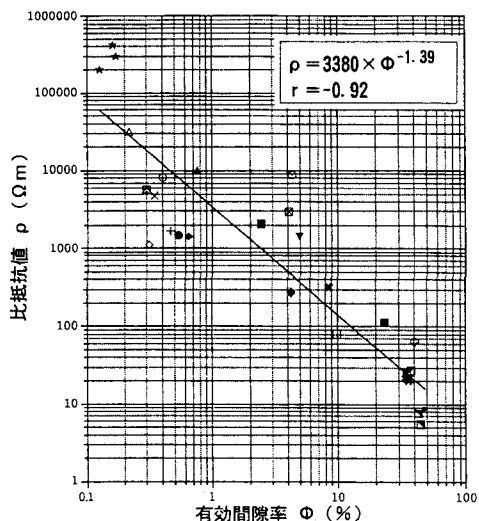


図-7 比抵抗値と有効間隙率の関係
(水分飽和度100%)

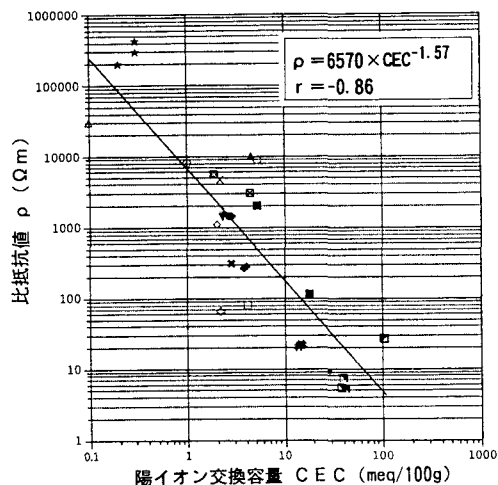


図-8 比抵抗値と陽イオン交換容量の関係
(水分飽和度100%)

4. まとめ

今回の実験の結果、比抵抗値は水分飽和度が減少するにしたがって指数関数的に増加する傾向がみられ、変化の度合も岩種により大きな差があることが分かった。また、比抵抗値と一軸圧縮強度、超音波伝播速度(P波、S波)および各種物理的・力学的特性の相関関係は比較的良好な結果であることが分かった。今後、より多くの岩種についてデータの収集を行うとともに、比抵抗値と浸透水比抵抗値、水分飽和度、粘土含有量等を考慮した比抵抗値と岩種の関係を調査することにより、電気探査の地山調査への適用性を明確にする必要があると考えられる。

5. 参考文献

- 1) 松原哲也・猪熊明・石村利明：岩石の比抵抗値に関する基礎的調査、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集、Ⅲ-A、pp32～33、1994.9
- 2) 松原哲也・猪熊明・石村利明：岩石の比抵抗値に関する基礎的実験、土木学会第50回年次学術講演会講演概要集、Ⅲ-A、pp62～63、1995.9
- 3) 真下英人・石村利明・松原哲也：岩石の比抵抗値に関する基礎的実験、第21回日本道路会議 一般論文集(B)、pp120～121、1995.10