

大阪大学工学部 正会員 松井 保

大阪大学工学部 学生会員○藤原 寛

大阪大学大学院 学生会員 朴 三奎

1. まえがき

近年、新しい地盤調査技術として地下情報可視化に適した比抵抗高密度探査が注目を集めている。比抵抗高密度探査は大量のデータが迅速に得られるだけではなく、数値解析によって多次元的に比抵抗分布を再構成する手法が導入され、トンネルや地すべりなどの土木調査分野にその適用範囲が急速に拡大している。筆者らは、地盤の比抵抗分布状態とともに既存の地盤調査手法によるデータとも合わせて検討することによって、地山分類、地質分類、地盤構造や地下水特性の把握等がより精度よく行いうるシステムの構築を目標に研究を進めている¹⁾²⁾。このため、岩石物性が比抵抗に及ぼす影響やそのメカニズムについて明らかにすることが重要である。

本研究は、高精度の岩石比抵抗測定システムを構築し、砂岩、頁岩、礫岩及び凝灰岩からなる堆積岩供試体の間隙を純水及びNaCl濃度の異なる電解質溶液によって飽和させて比抵抗測定を行い、その結果から堆積岩の物性と比抵抗との関係を明らかにしたものである。

2. 岩石供試体及び比抵抗測定方法

比抵抗測定に用いた岩石供試体は、ボーリングコアから採取された砂岩、頁岩、礫岩及び凝灰岩の堆積岩19個を用いた。

比抵抗測定方法は、千葉・熊田³⁾が提案した供試体全体を使って比抵抗を測定するGS社(Geoscience社)式サンプルホルダを用いている。電流電極、電位電極とも80メッシュの銅網を用い、電極や供試体の間に挟む濾紙に含まれる溶液は0.1NのNaCl溶液を用いた。供試体の比抵抗値を求める際には円柱の断面積に、供試体軸方向に平行な電流が測定区間の長さ に流れたときの軸方向の電位差を測定し、式(1)より比抵抗を算出した。

$$R_o = \frac{S}{\ell} \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

ここに、 R_o は比抵抗($\Omega \cdot m$)、 S は円柱の断面積(m^2)、 ℓ は測定区間の長さ(m)、 I は軸方向に平行な電流(A)、 ΔV は軸方向の電位差(V)である。

各供試体の間隙を純水及び濃度の異なる8種類のNaCl溶液によって強制飽和させて比抵抗測定を行った。その際、間隙水の比抵抗は供試体を浸していた溶液の比抵抗と等しいと見なし、間隙を飽和させた直後の溶液の比抵抗値とした。また、供試体の比抵抗測定は10分間行い、その平均値を求めて岩石の

比抵抗値とした。

3. 測定結果及び考察

(1) 堆積岩比抵抗と間隙率の関係

図-1は横軸に間隙率 n を、縦軸に間隙水の比抵抗値が $8.84 \Omega \cdot m$ の時の堆積岩供試体の比抵抗 R_o の対数をとってプロットしたものである。砂岩、頁岩及び堆積岩全体について回帰線を求めているが、それぞれ岩石の比抵抗と間隙率には相関性がある。

(2) 堆積岩比抵抗と間隙水の比抵抗の関係

水で飽和された砂岩層については、岩石の比抵抗 R_o 、間隙水の比抵抗 R_w 及び間隙率 n との間に、Archieの式⁴⁾として式(2)で表される関係が認められている。

$$F = \left(\frac{R_o}{R_w} \right) = an^{-m} \quad (2)$$

ここで、 F は地層比抵抗係数であり、 a は実験定数である。 m は膠結係数と称し、間隙の幾何学的形態の影響、固結の度合いによって異なる。Archieの式は石油を胚胎するような多孔質の砂岩などを対象とする経験式であり、地層の電気伝導が間隙水のみに依存している場合に適用できる。

図-2は両対数グラフの横軸に間隙水の比抵抗 R_w 、縦軸に供試体の比抵抗 R_o をとって、砂岩、頁岩、礫岩、凝灰岩それぞれの実測値とArchieの式より求めた計算値の比較を示したものである。供試体の比抵抗は、いずれの供試体でも R_w が大き

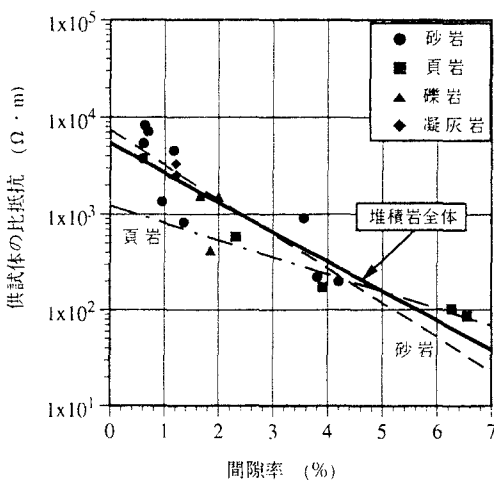


図-1 堆積岩供試体の比抵抗と間隙率の関係

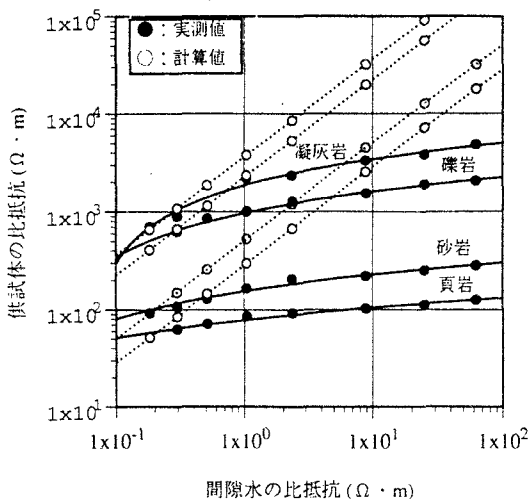


図-2 堆積岩供試体の実測値と計算値の比較

くなるにつれ、実測値と Archie の式より求めた計算値が合わなくなっている。これは堆積岩において岩石の比抵抗が間隙水の比抵抗のみに依存していないことを示している。

(3) 堆積岩比抵抗と岩石構成物質の比抵抗の関係

Bussian⁵⁾によると、水で飽和された“Clay sand”のような異質物質が混ざっている場合、すなわち、岩石構成物質が電気伝導性を持っている場合には、式(3)が適用できる。

$$\frac{1}{R_0} = n^m \left(\frac{1 - \frac{R_w}{R_r}}{1 - \frac{R_0}{R_r}} \right)^m \frac{1}{R_w} \quad (3)$$

ここで、 R_r は岩石構成物質の比抵抗であり、岩石構成物質によって $0 \sim \infty$ の間の値となる。一般の地層では $R_w < R_0 < R_r$ の関係があり、式(3)を岩石の導電率 ($1/R_0$) 及び間隙水の導電率 ($1/R_w$) に関する 1 次関数に整理すると、式(4)のように表される。

$$\frac{1}{R_0} \cong \frac{1}{R_w} n^m + m \frac{1}{R_r} (1 - n^m) \quad (4)$$

式(4)に基づけば、横軸に $1/R_w$ 、縦軸に $1/R_0$ をとって測定値をプロットし、最小二乗法で回帰線を求めると、直線の傾きが n^m 、切片が $m(1 - n^m)/R_r$ として得られる。切片を用いて岩石の構成物質の比抵抗 R_r を求める際には、岩石構成物質の比抵抗がほぼ無視できるように間隙水の比抵抗を $0.182 \, \Omega \cdot m$ にして測定した飽和供試体の比抵抗より求めた膠結係数 m を用いている。

図-3 は堆積岩供試体の測定比抵抗値と Bussian の式より求めた計算値を比較したものであるが、測定比抵抗と Bussian の式より求めた計算値がほぼ一致している。

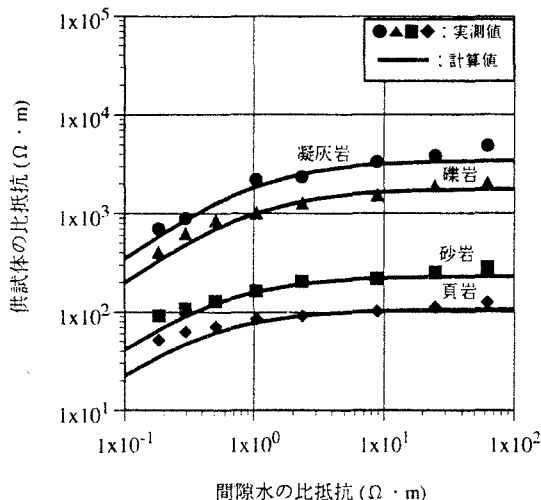


図-3 各供試体の測定比抵抗値と Bussian の式より求めた計算値の比較

4. まとめ

本研究は、高精度の岩石比抵抗測定システムを構築し、岩石供試体の比抵抗測定を行い、その結果より、堆積岩の比抵抗に対する間隙率、間隙水の比抵抗及び岩石の構成物質の比抵抗の関係を示した。その結果、堆積岩の測定比抵抗と Archie の式より求めた計算値とは合わず、 R_w が大きくなるにつれ計算値からの離れ方が大きくなる傾向があった。また、砂岩供試体の測定比抵抗と R_r を用いて Bussian の式より求めた計算値を比較した結果、ほぼ両者が一致したことから、岩石構成物質の比抵抗を考慮した Bussian の式が岩石物性と比抵抗の関係式として適用可能であることが分かった。

【参考文献】

- 1) 松井保・朴 三奎：比抵抗高密度探査結果の定量的評価によるトンネル地山区分、第 92 回学術講演会論文集、物理探査学会、pp.418～421、1995。
- 2) 松井保・朴 三奎：比抵抗高密度探査結果の定量的評価による地山区分と適用性、第 40 回地盤工学シンポジウム、地盤工学会、pp.307～14、1995。
- 3) 千葉昭彦・熊田政弘：花崗岩及び凝灰岩供試体の比抵抗測定、物理探査、Vol. 47, No.3, pp. 162～172、1994。
- 4) Archie, G. E. : The electrical resistivity log as a means of determining some reservoir characteristics, Trans. A.I.M.E., 146, pp. 55～67, Dallas Meeting, October 1941.
- 5) Bussian, A. E. : Electrical conductance in a porous medium, Geophysics 48, pp. 1258～1268. 1983.