

III-A 370 表面伝導を考慮した岩石の比抵抗と弾性波速度との関係について

戸田建設（株） 正会員 関根一郎・西牧 均  
 ” 正会員 石垣和明・原 敏昭  
 三井金属資源開発（株） 斉藤 章

1. はじめに

電気・電磁探査や比抵抗トモグラフィで得られる岩盤の比抵抗分布は現在定性的に解釈されているが、適切な考察を加え、将来的には定量的な岩盤の評価に結びつけていくことが肝要である。そのためには比抵抗の支配要因を実験検討したうえで、岩盤の評価に利用されている他の物性値と比抵抗値との関係を明らかにしていく必要がある。本文では、間隙水の比抵抗を変化させて測定した種々の岩石の比抵抗値と比表面積を測定した結果から、表面伝導の影響について述べ、それを考慮した比抵抗と弾性波速度との関係について検討する。

2. 検討に用いた実験データ

実験データは、既発表の比抵抗を変えた水の中で飽和させた岩石の比抵抗測定結果（図-1）<sup>1)</sup> と、比抵抗80Ω・mの水の中で飽和させた岩石の比抵抗測定結果<sup>2)</sup>に新たに岩種を追加したデータに加えて、新たに比抵抗0.05Ω・mの水の中で飽和させた岩石の比抵抗を測定した結果を用いた。比抵抗の測定は4電極法によって実施したが、測定方法の詳細については文献<sup>1)</sup>を参照されたい。

3. データの検討および考察

図-1の結果は、間隙水の比抵抗が小さい範囲では間隙水の比抵抗の増加に伴って岩石の比抵抗が増加するが、間隙水の比抵抗が大きな範囲では岩石の比抵抗値は一定値に近づくことを示している。この関係は次式で表される。<sup>3)</sup>

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{F} \cdot \frac{1}{\rho_w} + \frac{1}{\rho_c} \quad \dots \dots \dots \text{①}$$

ここに、Fは地層比抵抗係数、 $\rho_c$ は間隙水の比抵抗に依存しない電気伝導現象で決まる比抵抗である。図-1から比抵抗の逆数である導電率を求め、岩石の導電率と間隙水の導電率との関係をグラフ化した結果の一例を図-2に示す。図-2の直線の勾配からFが、またY軸の切片から $\rho_c$ が得られる。図-1のデータに加えて、比抵抗80Ω・mと0.05Ω・mの水中で飽和させた岩石の比抵抗測定結果からFと $\rho_c$ を求め、それらと透過式超音波測定装置で求めた弾性波速度Vpとの関係を図-3、4に示した。図-3

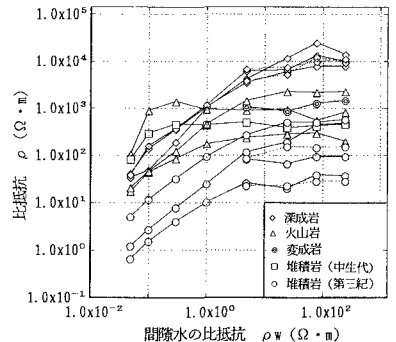


図-1 間隙水の比抵抗と岩石の比抵抗

で地層比抵抗係数と弾性波速度が高い相関性を示すのに対

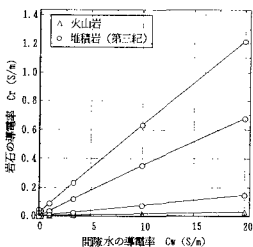


図-2 間隙水と岩石の導電率

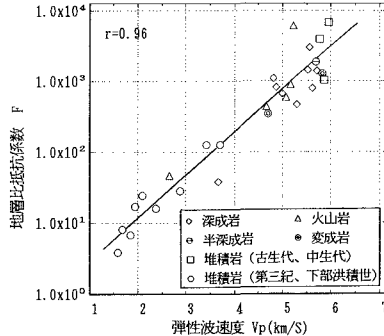


図-3 地層比抵抗係数と弾性波速度

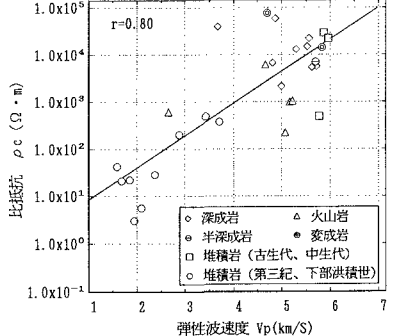


図-4 ρcと弾性波速度

し、図-4はバラつきが大きい。これは、地層比抵抗係数Fが間隙率に依存するのに対し、 $\rho_c$ が固体と液体の界面を電気が流れる表面伝導に起因するため、同じ弾性波速度を示す岩石でも表面伝導の違いで $\rho_c$ が2オーダーも異なっているものと考えられる。

山岳トンネル等の地盤調査を対象とした場合、地下水の比抵抗が比較的高く、岩石の比抵抗値に間隙水の比抵抗値の影響が小さいケースが多いため、以下は $\rho_c$ の支配要因について検討した。図-5に $\rho_c$ と有効間隙率の関係を示すが、相関性があるものの同じ有効間隙率の岩石でもバラつきが大きい。そこで図-5の中の代表的な岩石について BET法で比表面積を測定し、それと有効間隙率との関係を図-6に示した。有効間隙率と比表面積には相関性があるが、同じ有効間隙率でも比表面積に差が認められる。次に比表面積を有効間隙率で除した  $A/n$  と、図-5の回帰直線と各岩石の $\rho_c$ との比  $\rho_c/(bc \cdot n^{-\alpha})$  を求め、それらの関係を図-7に示した。両者には良好な相関性があるが、これは有効間隙率  $n$  に比べて比表面積  $A$  の大きい岩石では、表面伝導が大きいために  $\rho_c$  が  $n$  の割りに小さくなることを示している。図-7の関係は次式で表される。

$$\frac{\rho_c}{bc \cdot n^{-\alpha}} = s \cdot \left(\frac{A}{n}\right)^t \quad \dots \dots \dots \text{②}$$

ここに、 $s, t$  は実験で求まる係数である。①式の  $F$  は、 $F = b \cdot n^{-\alpha}$  の関係があることから、①、②式より、

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{b \cdot n^{-\alpha}} \cdot \frac{1}{\rho_w} + \frac{1}{s \cdot bc \cdot n^{-\alpha}} \cdot \left(\frac{A}{n}\right)^{-t} \quad \dots \dots \text{③}$$

が得られる。 $\rho_w$  が大きい時、第1項は無視され、図-4、5より

$$\rho_c = bc \cdot n^{-\alpha} = \beta_c \cdot \exp(\alpha_c \cdot V_p) \quad \dots \dots \dots \text{④}$$

が得られることから、この④式と③式より、次式が得られる。

$$\frac{1}{\rho} = \frac{(A/n)^{-t}}{s \cdot \beta_c \cdot \exp(\alpha_c \cdot V_p)} \quad \dots \dots \dots \text{⑤}$$

図-4より  $\alpha_c = 1.5$ 、 $\beta_c = 2.0$  が、また、図-7より  $s = 860$ 、 $t = -1.8$  が得られるので、各岩石の  $\rho_c, A/n$  から弾性波速度  $V_{pca1}$  を計算し、それと測定弾性波速度  $V_p$  との関係を比較したのが図-8である。比較のため表面伝導を考慮しないで④式によって求めた弾性波速度を併記したが、前者の  $V_{pca1}$  の方が  $V_p$  との相関が良好である。

4. まとめ

表面伝導の影響を考慮した比抵抗と弾性波速度の関係式によって比抵抗を弾性波速度に換算できることを示した。今後、現地の測定結果に適用し、さらにデータを蓄積したいと考える。

(参考文献)

- 1) 関根・西牧・石垣・原・斎藤：間隙水の比抵抗と含水状態が岩石の比抵抗に与える影響について、日本応用地質学会平成7年度研究発表会，1995年10月
- 2) 関根・西牧・石垣・原・斎藤：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，p.1175-1178, 1995年7月
- 3) 千葉昭彦・熊田政宏：花崗岩及び凝灰岩試料の比抵抗測定，物理探査，第47巻，第3号，p.161-172, 1994年6月

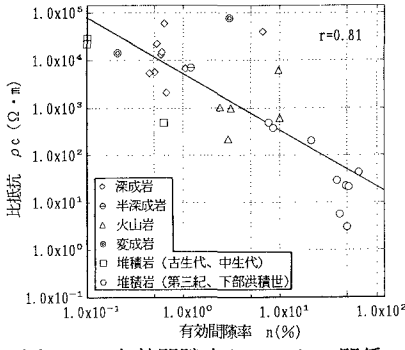


図-5 有効間隙率と  $\rho_c$  との関係

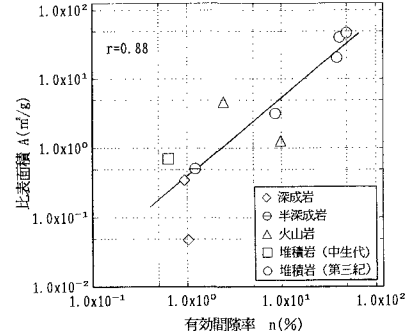


図-6 比表面積と有効間隙率の関係

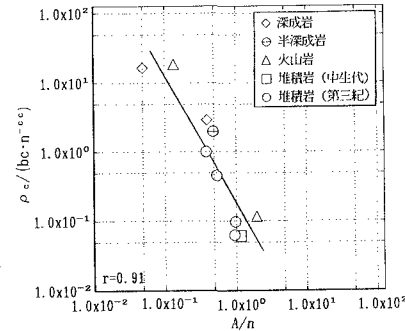


図-7  $\rho_c/(bc \cdot n^{-\alpha})$  と  $A/n$  の関係

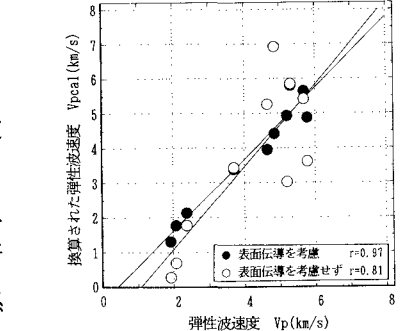


図-8 換算された弾性波速度と測定した弾性波速度の比較