

Ⅲ - A302

岩盤の比抵抗における割れ目の影響について

戸田建設 正会員 関根一郎・西牧 均

〃 〃 石垣和明・原 敏昭

三井金属資源開発 斎藤 章

1. まえがき

近年、トンネルを始めとした地下構造物の地盤調査に電気探査や電磁探査がしばしば適用され、探査結果として得られる抵抗分布の解釈が重要になっている。比抵抗に対する割れ目の影響については、割れ目の多い岩盤では比抵抗が小さくなるのが一般的に認識されているが、その取り扱いが定性的にされているのが現状である。本文は、加熱して組織を緩めることによって多数の開口割れ目を有する花崗岩、閃緑岩の供試体の比抵抗を測定した結果から、多数の割れ目を含んだ岩盤の比抵抗について考察するものである。

2. 多数の割れ目を含む岩盤の比抵抗を表わすモデルの検討

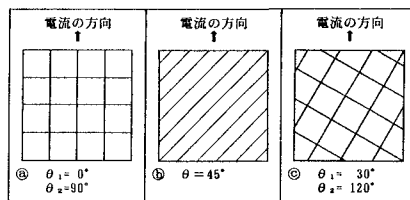
岩石実質部分を伝わる電気伝導を考慮した場合、割れ目を含む岩盤の比抵抗は割れ目部分の比抵抗と岩石実質部分の比抵抗が並列になったモデルで表わされると考えられる。岩石実質部分を流れる電流は随所で割れ目を横切るが、比抵抗に対する横断方向の亀裂の影響は小さいので¹⁾無視できると思われる。したがって割れ目を含む岩盤の比抵抗は、式(1)のように表わされると考えられる。

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\alpha \cdot t \cdot N}{\rho_j} + \frac{1}{\rho_i} \quad (1)$$

ここに、 ρ_i は岩石実質部分の比抵抗、 ρ_j は割れ目部分の比抵抗、 t は割れ目の開口幅（調査測線に沿った見かけの開口幅）、 N は単位長さあたりの割れ目の個数である。 α は割れ目の形態によって決まる係数である。次に、図-1 に示したモデルについて α の値を検討する。電流は2系列の割れ目に沿って流れる電流と岩石実質部分を流れる電流からなるので、割れ目を含む岩盤の比抵抗は次式のように表わされる。

$$\frac{1}{\rho} = \left| \frac{t_1 \cdot N_1 \cdot \cos \theta_1}{\rho_{j1}} \right| + \left| \frac{t_2 \cdot N_2 \cdot \cos \theta_2}{\rho_{j2}} \right| + \frac{1}{\rho_i} \quad (2)$$

$t_1=t_2, N_1=N_2, \rho_{j1}=\rho_{j2}$ ならば、図-1 ㉔は $\theta_1=0^\circ, \theta_2=90^\circ$ なので $\alpha=0.5$ 、㉕では $\theta_1=\theta_2=45^\circ$ なので $\alpha=0.71$ 、㉖は、 $\theta_1=30^\circ, \theta_2=120^\circ$ なので $\alpha=0.68$ が得られる。



θ: 電流の方向と割れ目の方向のなす角

図-1 割れ目を含む岩盤のモデル

3. 実験方法

多数の割れ目を含む岩盤の比抵抗について検討するのは、現地実験、室内実験ともに容易ではない。そこで、亀裂を含む岩盤のモデルとして、花崗岩および閃緑岩を加熱して組織を緩めた供試体を作成し、その供試体を様々な比抵抗の水の中で飽和させて比抵抗を測定した。加熱は電気マッフル炉によって行い、昇温率 $100^\circ\text{C}/\text{時}$ で $450 \sim 1,000^\circ\text{C}$ まで加熱した後徐々に冷却した。このようにして作成した供試体に対して、水の比抵抗が大きい方から順に、飽和⇒比抵抗測定⇒乾燥⇒次の比抵抗の水で飽和⇒を繰り返した。飽和の方法や水の比抵抗調整方法、比抵抗の測定方法は既に発表しているので省略する²⁾。

4. 実験結果および考察

図-2 は、飽和させた水の比抵抗 ρ_w が、 $5.0, 1.0, 0.3, 0.1 \Omega \cdot \text{m}$ の時の比抵抗測定結果と、間隙率との関係を示したものである。図中の間隙率が1%以下の実験結果は、新鮮な岩石のものである。実験結果は、Archieの法則に従い、両対数上でそれぞれ直線関係がある。この実験結果を割れ目を含む岩盤の実験結果と
キーワード：比抵抗、弾性波速度、割れ目

考えて考察する。新鮮な岩石の比抵抗を岩石実質部分の比抵抗 ρ_i 、飽和させた水の比抵抗は加熱によって発生した亀裂を満たす水の比抵抗なので、割れ目部分の比抵抗 ρ_j と見なせる。そこで、図-3に加熱した供試体の比抵抗 ρ を新鮮な岩石の比抵抗 ρ_i で除した値と、間隙率 n との関係を整理した。 ρ 、 ρ_i はともに ρ_w に比例しているので、実験結果は ρ_w に無関係になっている。式(1)の妥当性を検討するために、図-3に式(1)の計算結果を併記した。計算に当っては新鮮な岩石の状態から加熱によって増加した間隙率が $t \cdot N$ に等しいと見なし、 α は0.1から1.0まで変化させた。実験結果は、計算結果の $\alpha=0.3$ にほぼ相当している。図-1のモデルでは、0.5~0.7程度の値が得られているので、それより小さめの値が得られた。

この原因を考察するために、加熱した供試体の割れ目の状態を偏光顕微鏡で観察したが、開口幅の大きい連続性の比較的良好な割れ目の他、途中で消滅する不連続な割れ目やポケット状の間隙があり、また、割れ目は曲っていることがわかった。このように不連続な割れ目、ポケット状の間隙、割れ目の曲りの影響があるため α は小さめの値が得られたものと考察される。

次に、割れ目を含む岩盤の比抵抗が、岩石実質部分の比抵抗からどの程度変化するか調べるために、パラメータスタディーを行った。式(1)の α 、 $t \cdot N$ を変化させて、岩石実質部分の比抵抗と割れ目部分の比抵抗の比 ρ_i/ρ_j に対する、割れ目を含む岩盤の比抵抗と岩石実質部分の比抵抗の比 ρ/ρ_i の関係を計算した結果を図-4に示す。 α は0.2~1.0の範囲で変化させているが、図-3に示した割れ目を含む供試体の実験で、 α が0.3程度との結果が得られていることが参考になる。また、 $t \cdot N$ は割れ目部分による間隙率に等しく、図-4では0.01~1.0の範囲で変化させているが、一般的には0.02以下であるという報告がある³⁾。図-4から、割れ目を含む岩盤の比抵抗と岩石実質部分の比抵抗の比 ρ_i/ρ_j が、100以上のように大きく、割れ目の密度や開口幅が十分大きい場合、割れ目の影響が顕著になることがわかる。

5. まとめ

多数の割れ目を有する岩盤の比抵抗を検討するために、加熱によって組織を緩め亀裂を発生させた花崗岩および閃緑岩の比抵抗を測定した。割れ目を含む供試体の比抵抗は、割れ目の部分の比抵抗と岩石実質部分の比抵抗を並列にしたモデルで取り扱えることがわかった。また、岩石実質部分の比抵抗と割れ目部分の比抵抗の比 ρ_i/ρ_j 、亀裂の方向や曲り等の状態によって変化する係数 α 等をパラメータとして割れ目を含む岩盤の比抵抗を試算した。この試算結果から岩盤の割れ目の状態に応じた比抵抗が推定可能である。

<参考文献>

- 1) 関根他：岩石の比抵抗における不連続面と挟在物の影響について，第28回岩盤力学に関するシンポジウム，1997年 1月
- 2) 関根他：岩石の比抵抗値とその力学的性質との関係，土木学会論文集，No.541，Ⅲ-35，pp.75-86，1996.6
- 3) Keller G.V.: Electrical methods in geophysical prospecting, PERGAMON PRESS, 1966

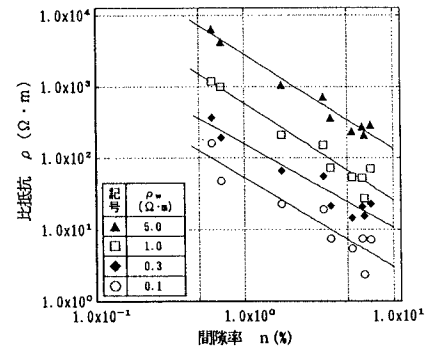


図-2 供試体の比抵抗と間隙率

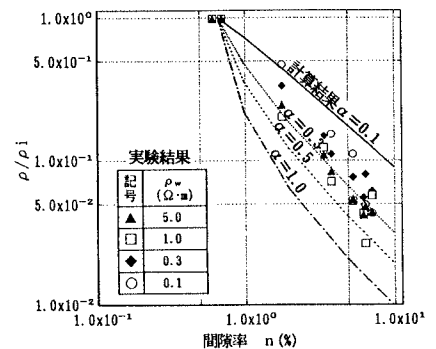


図-3 計算結果と実験結果の比較

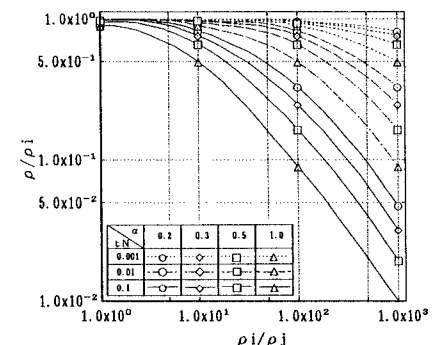


図-4 岩盤の比抵抗の試算結果