

Ⅲ-309

岩石と人工亀裂性供試体の含水状態と比抵抗について

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

近年、電気・電磁探査など地盤の比抵抗分布を探索する手法が土木分野にしばしば適用されている。筆者らもTDEM電磁探査法によるトンネルの地山探査に取り組んでおり、探査した比抵抗構造を考察し岩盤の評価に結びつけていくために必要な課題について実験検討を行っている¹⁾。比抵抗探査結果を考察する際に地下水面が1つの比抵抗境界になると考えられるが、飽和度が変化した場合の比抵抗値の変化は従来原油の探査を対象に研究されており²⁾、建設分野に適用する場合、間隙率や間隙水の比抵抗などの条件が異なってくる。間隙率の小さい岩石については伊関の研究³⁾があるが報告例は少ない。本文では種々の岩石試料と、加熱処理して組織を緩めた花崗岩、閃緑岩を亀裂性岩盤のモデルとして、含水状態が地山の比抵抗に与える影響について実験検討した。

2. 実験方法及び試料

表-1、2に示す11種類の岩石と17種類の人工亀裂性供試体について、飽和状態の供試体を徐々に乾燥させながら飽和度と比抵抗の関係を検討した。人工亀裂性供試体は花崗岩、閃緑岩を電気マッフル炉により昇温率 100℃/時で 450~1,000℃まで加熱した後徐々に冷却することによってopen crackを発生させたものである。供試体は 110℃で48時間炉乾燥した後、比抵抗80Ωm の水中で96時間以上強制飽和させ、比抵抗と重量を測定した。その供試体を少量の乾燥剤(シリカゲル)を入れたデシケーター内で乾燥させた後、乾燥剤を入れないデシケーター内で48時間放置し、供試体内の含水状態の均一化を図った。この状態で比抵抗、重量を測定した後、再び次の乾燥を行う作業を繰り返した。供試体の比抵抗の測定は、古くから一般的に行われている4極法によって実施した。測定法については既に述べているので¹⁾省略する。

3. 実験結果及び考察

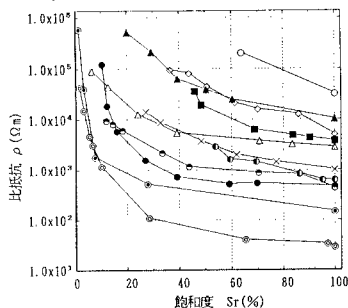
図-1に岩石試料と人工亀裂性供試体について比抵抗と飽和度の関係を示した。従来比抵抗 ρ は間隙水の比抵抗 ρ_w で除して地層比抵抗係数 ($F = \rho / \rho_w$) で表示されるが、別途実施している実験で通常の山岳トンネル

表-1 岩石試料

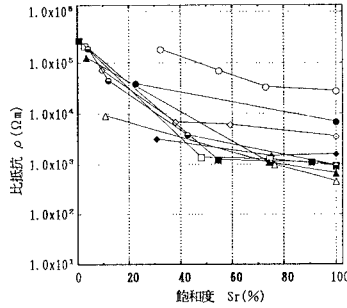
記号	分類	岩種	採集地	有効間隙率 n (%)
○	深成岩	花崗岩	茨城県笠間市	0.70
▲	〃	閃緑岩	愛媛県喜多郡S島	0.66
◇	〃	〃	〃	0.67
■	半深成岩	ひん岩	広島県広島市	2.07
×	〃	安山岩	山梨県甲府市	3.13
△	〃	〃	石川県鳳至郡能登町	3.55
○	堆積岩	砂岩	岩手県東磐井郡東山町	1.01
△	〃	頁岩	宮城県牡鹿郡	0.64
●	〃	溶結凝灰岩	秋田県仙北郡田沢湖町	8.21
●	〃	〃	福島県西白川郡	21.8
○	〃	凝灰岩	栃木県宇都宮市	39.1

表-2 人工亀裂性供試体

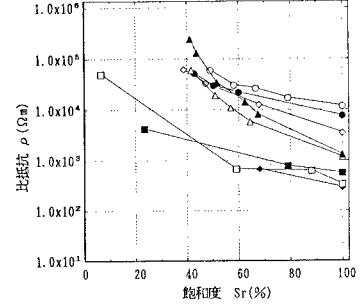
人工亀裂岩（花崗岩）			人工亀裂岩（閃緑岩）		
記号	有効間隙率 n (%)	備考	記号	有効間隙率 n (%)	備考
○	0.75	新鮮岩	○	0.61	新鮮岩
●	2.12	人工亀裂岩	◇	1.44	人工亀裂岩
◇	2.82	〃	●	1.57	〃
□	4.36	〃	▲	1.83	〃
△	4.96	〃	△	2.66	〃
▲	5.82	〃	■	5.97	〃
○	5.73	〃	□	8.50	〃
■	6.85	〃	●	12.1	〃
◆	7.55	〃			



a) 岩石試料



b) 人工亀裂性供試体(花崗岩)



c) 人工亀裂性供試体(閃緑岩)

図-1 比抵抗と飽和度の関係

の間隙水程度の比抵抗では岩石の比抵抗と間隙水の比抵抗は比例しないことが確かめられているので、本報では比抵抗 ρ のままで整理した。岩石試料と人工亀裂性供試体はほぼ同様な傾向を示しており、飽和度の低下に伴う比抵抗の増加は飽和度60%程度まではそれ程大きくなくおおむね1オーダー以内であり多くは3倍程度であることがわかる。図-2は、図-1a)の岩石試料の結果を飽和度100%の時の比抵抗値 ρ_i で正規化して示したものである。飽和度と比抵抗の増加率との関係は次式で表される。

$$\rho / \rho_i = a \text{Sr}^{-b} \quad \dots \quad \textcircled{1}$$

係数 b は従来2程度と言われているが²⁾、本実験では岩石試料で1.74、人工亀裂性供試体で1.47が得られており、ほぼ整合した結果が得られたと考えられる。また、図-3は岩石試料の体積含水率と比抵抗の関係を示したものである。体積含水率が小さくなると岩種による差が認められ頁岩で特に比抵抗が小さくなっている。これは従来指摘されているように頁岩に粘土鉱物が含まれているためと思われる。体積含水率1%以上では図-4に示すように比抵抗と体積含水率の関係は岩石試料、人工亀裂性供試体ともにほぼ同じ直線で表され、次式で表現されることがわかる。

$$\rho = c (\text{Sr} \cdot n)^{-d} \quad \dots \quad \textcircled{2}$$

最小自乗法により体積含水率1%以上の時の係数 c 、 d の値を求めると、 $c=7.26$ 、 $d=1.60$ が得られた。係数 c 、 d が岩種によりどのような値を示すか研究されており²⁾、図-4も岩種により分類することが可能と思われる。しかし巨視的に見れば比抵抗と体積含水率の間には良好な相関性がある。これにより、探査で得られた比抵抗値から概略の体積含水率が推定可能である。

4. まとめ

- ① 地下水面は1つの比抵抗境界となるがその基礎データとして、飽和度に対する比抵抗の変化を検討した。飽和度60%程度までは比抵抗の増加は大きくとも1オーダー以内で多くは3倍程度であることが明らかになった。
- ② 体積含水率と比抵抗は密接な関係があり、体積含水率が大きくなると岩石試料、人工亀裂性供試体ともほぼ同一の直線状に乗り、べき級数型の関係式で表される。尚、この関係は、実験データが蓄積されれば岩種により再整理される性質のものである。

(参考文献)

- 1) 関根他：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，1995年
- 2) G.V.Keller：Electrical properties of rocks and minerals, Handbook of Physical Constants, The Geological Society of America, 1966
- 3) 伊関：岩石の含水状態と比抵抗の関係について，物理探査学会第91回学術講演会論文集，1994年10月

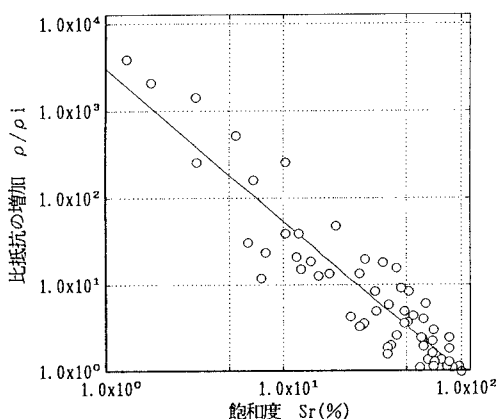


図-2 比抵抗の増加と飽和度の関係

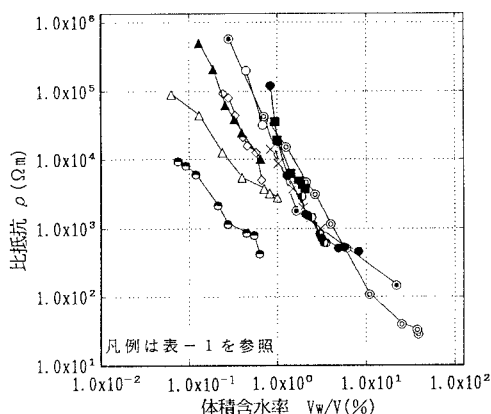


図-3 岩石の体積含水率と比抵抗の関係

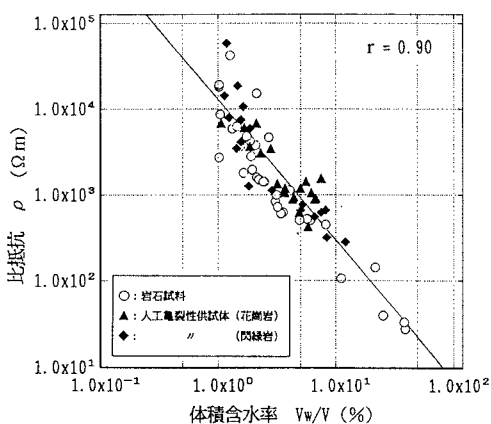


図-4 体積含水率と比抵抗の関係