

III-349

岩石試料の比誘電率の含水状態・周波数依存性について

大成建設技術研究所 正会員 今井 博

1. はじめに

電磁波探査は非破壊・非接触で探査が行えるという大きな長所があり、また、トモグラフィや反射法など、弾性波探査技術と比較して解析手法の類似性、解析処理の迅速性を持ち、しかも、解像度がよいことから、その探査技術が重要視されつつある。自然地盤の性状の正確な把握は各方面からのニーズが多く、電磁波による探査技術は、弾性波探査、電気（比抵抗）探査とともに自然地盤の性状をより正確に把握する手段であり、より精度の良い計測が望まれている。そのための1つの項目として、計測結果を時間軸から深度軸に変換する際に電磁波の速度、即ち、比誘電率を精度良く測定する必要がある。本報では、岩石試料の比誘電率について若干の計測を行ったのでその結果を報告するものである。

2. 電磁波の速度と岩石の比誘電率

電磁波探査で重要なのは岩盤内を伝搬する電磁波の速度 V_r であり、それは対象岩盤の比誘電率で決まる。しかし、岩石の比誘電率 ϵ_r は使用する周波数 f 、含水率 w などに依存することが実験的に指摘されている：

$$V_r = \frac{V_0}{\sqrt{\epsilon_r(f, w, \dots)}} ,$$

ここで、 V_0 は光速で $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ である。

3. 岩石の比誘電率の測定

本研究では、岩盤調査のための標準岩種として10種類程度の岩石を選定し、乾燥状態・湿潤状態において1 MHz～120 MHzで比誘電率を測定した。測定装置はHPのネットワークアナライザ4195Aを用い、治具はコンデンサタイプのもので実際に測定するのは試料の電気容量である。図1はネットワークアナライザに測定治具に装着した状況である。装着前に、治具の補正を行うため、オープン・ショート・ロード（50 Ω）のキャリブレーションを行なう。試料の電気容量から比誘電率を計算するには：

$$\epsilon_r = \frac{t \times C}{A \times \epsilon_0} = \frac{t \times C}{\pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times \epsilon_0} ,$$

ここで、 t 、 C 、 A 、 d 、 π 、 ϵ_r 、 ϵ_0 はそれぞれ試料の厚さ[m]、試料の電気容量[F]、試料の面積[m²]、試料の直径[m]、円周率、試料の比誘電率、真空の誘電率（ $= 8.85 \times 10^{-12} \text{ [F/m]}$ ）である。ここで、図2に示す様にエッジ容量を補正する（即ち、 $C' = C - C_d$ として、 C の代わりに C' を使用する）必要がある（この時は d および t はcm単位である）：

$$C_d = (0.029 - 0.058 \log t) \times \pi \times (d + t)$$

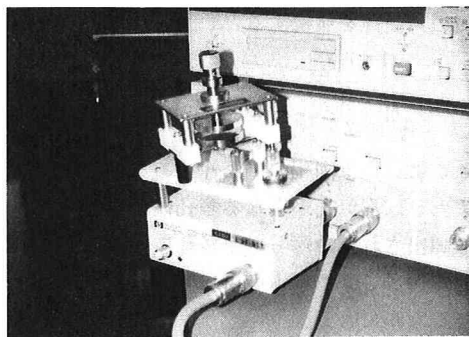


図1 比誘電率測定装置

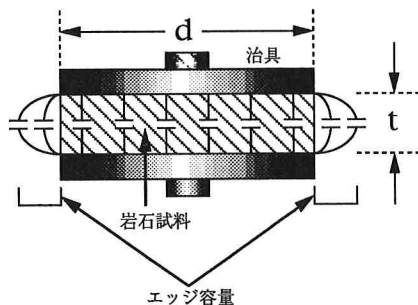


図2 エッジ補正

4. 岩石の比誘電率の測定結果

図3は乾燥状態における10種の岩石の比誘電率の測定結果である（乾燥状態：岩石試料を恒温槽に60℃で3週間放置）。また図4は湿潤状態における8種の岩石に対する比誘電率の測定結果である。（湿潤状態：岩石試料を水中に入れ、圧力を低下させ湿潤状態にし、2週間水中に放置）。10MHzおよび40MHzあたりでデータに飛びがある。この原因は共振であると考えられる。

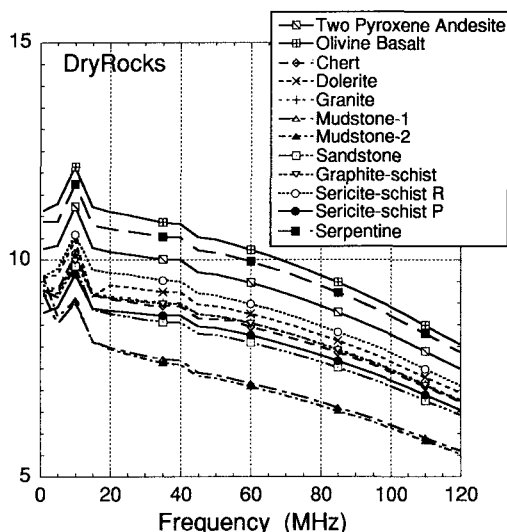


図3 比誘電率（乾燥状態）

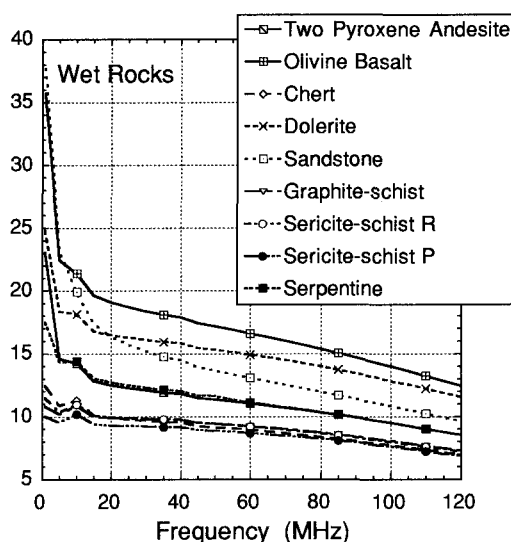


図4 比誘電率（湿潤状態）

図5に絹雲母片岩（Sericite schist）の測定結果を示す。「-P, -R」はそれぞれ片理面に沿う比誘電率（電磁波の速度）かそれに直交する方向の比誘電率を表す記号である。

5. まとめ

図3および4から明らかであるが、乾燥状態、湿潤状態に関わらず周波数が高くなるにつれ、また、同じ岩種では湿潤状態よりも乾燥状態の方が比誘電率が小さくなる（電磁波の速度は速くなる）。

図5では電磁波の速度に関して異方性があり、片理面に沿う電磁波の速度（-P）は片理面に垂直な方向の速度（-R）よりも速い事を示す。これらの特徴は弾性波の持つそれとよく似ている¹⁾。

このように、特に電磁波による反射法探査においても弾性波のそれと同様に、時間軸から深度軸に変換する際あるいはトモグラフィ解析の際に、精度の良い解析結果を得るためには電磁波の速度異方性を考慮した解析が必要がある。

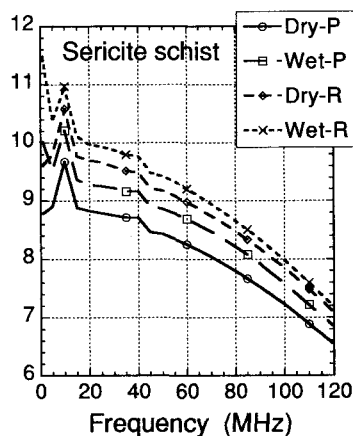
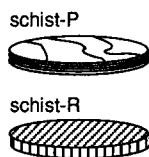


図5 絹雲母片岩の異方性

参考文献

- 1) 今井 博, 川上 純, 1993, 稲田花崗岩の原位置および岩石サンプルの異方性, 土木学会第48回年次学術講演会講演概要集.