

Ⅲ-32

花崗岩の比抵抗と間隙率及び間隙水との関係

日本原子力研究所 ○正会員 岩本 宏

熊田政弘

飯 博行

住友金属鉱山（株） 正会員 千葉昭彦

1. まえがき

岩石の比抵抗について、砂岩や泥質岩では岩石の比抵抗と間隙水の比抵抗との関係式が提案されているが、花崗岩などの結晶質岩ではほとんど報告されていない。筆者らは異なる間隙率の花崗岩コア試料を用いて室内比抵抗測定試験を行い、花崗岩の比抵抗と間隙率及び間隙水の比抵抗との関係について考察を行った。

2. 試料

室内比抵抗測定に用いた試料は、瀬戸内海に位置する小島で清水掘りした全長550mのボーリング孔から採取した中世代白亜系の領家変成岩類に属する片麻状花崗閃緑岩で、直径5 cm×長さ8 cmの8本の円柱形に整形して使用した。

3. 室内比抵抗測定

比抵抗の測定は、試料両端に取り付けた電流電極間に電流を流し、すぐ外側の電位電極間の電位差を測定する方法で行った。試料を飽和させる溶液には、水道水及び濃度の異なる3種類のKCl溶液を用い、溶液の比抵抗の高い方から順に飽和させた。試料及び電極を保持するホルダーを、底に水を張った密閉容器内に収め、安定した湿度で湿潤状態の比抵抗測定ができるようにした¹⁾。

4. 岩石の比抵抗と間隙率

砂岩層については、岩石の比抵抗 ρ_R 、間隙水の比抵抗 ρ_w 及び間隙率 ϕ との間に、Archieの式²⁾として(1)式及び(2)式で表される関係が認められている。

$$\rho_R = F \cdot \rho_w \quad (1)$$

$$F = a \cdot \phi^{-m} \quad (2)$$

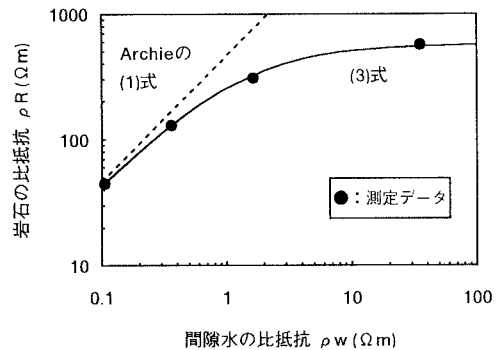
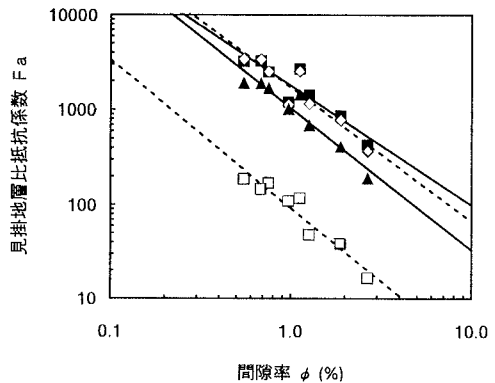
ここで、 m は膠結係数、 a は迂回率係数、 F は地層比抵抗係数と呼ばれる定数である。また、泥質岩については、

$$\frac{1}{\rho_R} = \frac{1}{F \rho_w} + \frac{1}{\rho_c} \quad (3)$$

なる実験式がある。(3)式は ρ_w が低いところでは(1)式で近似でき、 ρ_w が高くなると ρ_R が一定値 ρ_c に収束することを示している。Patnode・Wyllie³⁾は、(3)式の ρ_c を岩石に含まれる粘土質分による過剰伝導と考え、液相と粘土質分の並列回路モデルとして表した。一方、Katsube・Hume⁴⁾は間隙の表面すなわち固-液界面に生じる表面伝導によって ρ_c を解釈した。千葉・熊田¹⁾が示したように粘土質分を含まない新鮮な花崗岩においては(1)式よりむしろ(3)式の方が実験結果と良い一致を見せており(図-1)、 ρ_c は表面伝導に起因する比抵抗と考えることができる。一方、

$$F_a = \frac{\rho_R}{\rho_w} \quad (4)$$

で表される見掛け地層比抵抗係数 F_a を間隙率 ϕ との関係でプロットした図-2においては、 F_a と ϕ の相関が良い。

図-1 $\rho_w - \rho_R$ 関係図 (花崗岩)

間隙水の比抵抗 ρ_w ※ () 内は相関係数
 ■ : 0.105 Ω m ($r=0.844$) ◇ : 0.357 Ω m ($r=0.830$)
 ▲ : 1.62 Ω m ($r=0.906$) □ : 34.9 Ω m ($r=0.894$)

図-2 $\phi - F_a$ 関係図

しかしながら、定数であるはずの m や a が ρ_w の値に応じて変化しており(2式)の関係を満足しているわけではない。

5. 岩石の比抵抗と間隙水の比抵抗

(4)式は、(3)式を用いれば次のように整理できる。

$$F_a = \frac{\rho_R}{\rho_w} = \frac{1}{\frac{1}{F} + \frac{\rho_w}{\rho_c}} \quad (5)$$

ここで $\rho_c = g(\phi)$ と表すことができれば、 F は(2)式のように ϕ の関数として表されるから、最終的に F_a は ϕ と ρ_w の関数として表すことができる。我々の測定で得た F 及び ρ_c を間隙率 ϕ との関係でプロットしたものが図-3である。 F, ρ_c ともに ϕ と高い相関性を示している。このデータに対し、べき乗回帰を行い(5)式に代入すれば、

$$F_a = \frac{1}{\frac{1}{6.56} \phi^{1.23} + \rho_w \frac{1}{0.73} \phi^{1.88}} \quad (6)$$

なる実験式が得られる。Archieの(2)式が ρ_w の一部の領域で適用できるのに対し、(6)式は全ての ρ_w の領域で適用できる(図-4)。

6. 原位置比抵抗測定

試料を採取したボーリング孔で実施した、電気検層(ノルマル法)による岩盤の比抵抗 ρ_R と、孔内水検層による孔内水の比抵抗を測定した。室内試験に用いた試料の採取位置における検層結果を表-1に示す。 ϕ はコア試料の間隙率である。同ボーリング孔から採取した間隙水の化学分析の結果では、G.L-150m以深の間隙水に Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 等を多く含み、比抵抗が数 Ωm 程度であることがわかっていて、ボーリング孔は、周囲を海で囲まれた島で掘削されたものであり、岩盤の間隙水は海水の影響を受けていると考えられる。ここで、岩石コアの間隙率 ϕ と電気検層による ρ_R から、(6)式が原位置に対しても適用できるものとして ρ_w を計算すると、孔内水の比抵抗値よりかなり小さく、間隙水の化学分析の結果得られた比抵抗値に近い。これは、実験的に(6)式を求めておけば、原位置の電気検層結果から、原位置の岩盤中の間隙水の比抵抗が推定できることを示唆しており、例えば、岩盤中への海水の浸入の程度を知ることができる場合にも有効と考えられる。

参考文献

- 1) 千葉昭彦、熊田政弘(1994): 花崗岩及び凝灰岩試料の比抵抗測定 — 間隙水の比抵抗が岩石比抵抗に及ぼす影響について —, 物理探査 第47巻、第3号、pp161-172
- 2) Archie, G.E.(1942): The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, Trans. A.I.M.E., 146, pp54-67
- 3) Patnode, G.E. and Wyllie, M.R.J.(1950): The presence of conductive solids in reservoir rocks as a factor in electric log interpretation, Trans. A.I.M.E., 189, pp47-52
- 4) Katsube, T.J. and Hume, J.P.(1983): Electrical resistivities of rocks from Chalk River, Proc. Ws. Geophys. Geosci. Res. at Chalk River, pp105-114

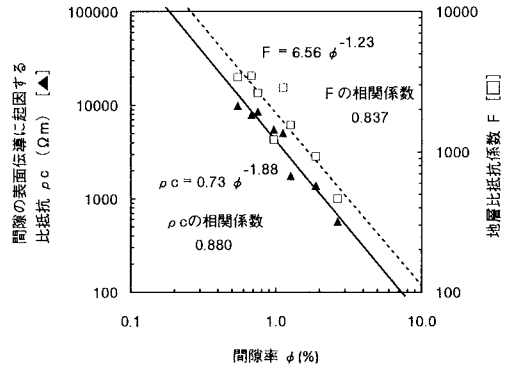


図-3 $\phi - F, \rho_c$ 関係図

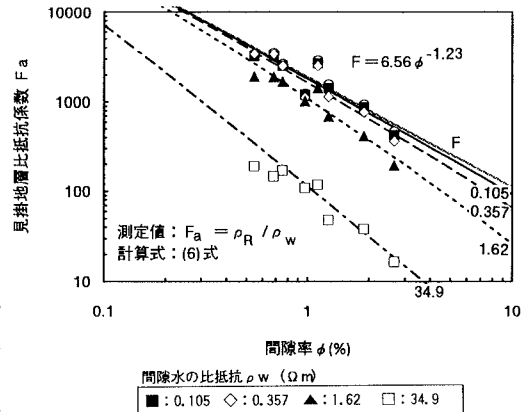


図-4 $\phi - F_a$ 関係図 (測定値と計算式の比較)

表-1 原位置比抵抗測定結果

採取深度 G.L.-(m)	間隙率 ϕ (%)	電気検層に よる ρ_R (Ωm)	孔内水比抵抗 検層による ρ_w (Ωm)	ρ_R と計算式 から計算した ρ_w (Ωm)
57.5	2.66	600	80	10.7
76.0	1.12	2000	78	3.0
159.7	0.97	3000	73	4.7
249.4	0.75	3700	70	2.9
279.4	0.68	270	69	0.1
320.1	1.26	600	63	0.5
408.2	0.55	4100	63	1.5
425.3	1.89	1600	66	(-7.2)