

地層比抵抗係数による岩盤の評価

ふじ 藤 原 忠 一*
つか 塚 田 基 治*

うめ 梅 内 勝 彦*
やす 安 盛 義 人**

1. ま え が き

岩盤調査ボーリングに、電気検層が利用されているが、その評価はあまり行なわれていないのが現状である。そこで筆者らは、岩盤調査ボーリングにおける電気検層結果を検討中、その応用として、地層比抵抗係数 (F) による岩盤評価を試みたので報告する。ここでいう岩盤評価は、調査ボーリングの地下水面以下について検討したものである。

2. 地層比抵抗係数 (F)

岩盤の比抵抗は、岩盤中のクラック (孔ゲキ) とその内部を充滿する水の飽和度によって決まることになる。したがって、地表付近の風化岩盤のように乾燥していたり、あるいは、新鮮な岩盤 (ち密) の場合、比抵抗は無限大に近くなり、き裂が多くなるとともに比抵抗が減少する傾向を示す。また風化が進行すると岩盤は細粒化し、孔ゲキはさらに増加し、場合によっては岩質の一部は粘土化して比抵抗をより減少させる役割を果たす。

以上の関係を式で示すとつぎのようになる。

$$R_0 = F \cdot R_w \quad \dots\dots\dots (1)$$

R_0 : 岩盤内の帯水部分の比抵抗

R_w : 岩盤の孔ゲキを飽和している孔ゲキ水の比抵抗

ここでは F は比例定数で地層比抵抗係数と称し、孔ゲキ率 ϕ によってつぎのように表わすことができる。

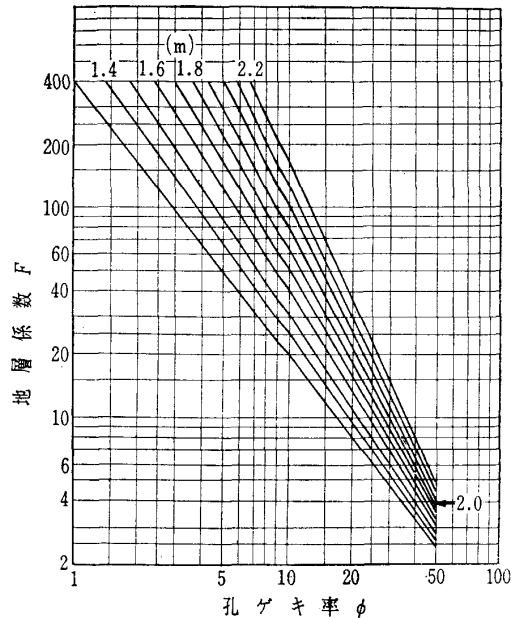
$$F = 1/\phi^m \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 m は充てん指数と称し孔ゲキの幾何学的形態の影響、固結の度合に関係し、未固結の砂では 1.3~1.8、砂岩、ドロマイトでは 1.7~2.0、多孔質な石灰岩では 1.7~2.3 で堅硬な地層 (岩盤) では 2.3 以上になる。

(1)式と(2)式から

$$R_0 = R_w / \phi^m$$

これらの関係は、もとの孔ゲキ水が別の水、つまり泥水などで置換された場合にも適用できる。すなわち、泥水の比抵抗 R_m 、泥水浸入部分の比抵抗 R_i とすれば、近似的に



図—1 地層比抵抗係数について

$$F \doteq R_i / R_m \quad \dots\dots\dots (3)$$

となる。また孔中の水が不飽和状態の場合、孔ゲキ率 ($S_w \times \phi$) に変化したことと等しく、最終的に岩盤の真の比抵抗 R_t は、(1)~(3)式から次式によって表わされることになる。

すなわち

$$R_t = R_w / (S_w \cdot \phi)^m \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで S_w は水の飽和率である。これらの式は実験式で、比抵抗結果の解析に用いられる重要な基本式である。

3. 地層比抵抗係数における評価

3.1 石油開発井の場合

石油開発における場合、地下構造の究明と産油量の推定で、それぞれ地層見かけ比抵抗係数との関係を検討したも

注) 見かけ地層比抵抗係数 (F')

石油開発の場合、地層比抵抗係数 (F) に対して、見かけ比抵抗係数 (F') が使用される。

すなわち、水層 (水分飽和率=100%) の地層比抵抗係数に対して、地層の真の比抵抗に対する地層水の比抵抗の関係を見かけ地層比抵抗係数と呼んでいる。

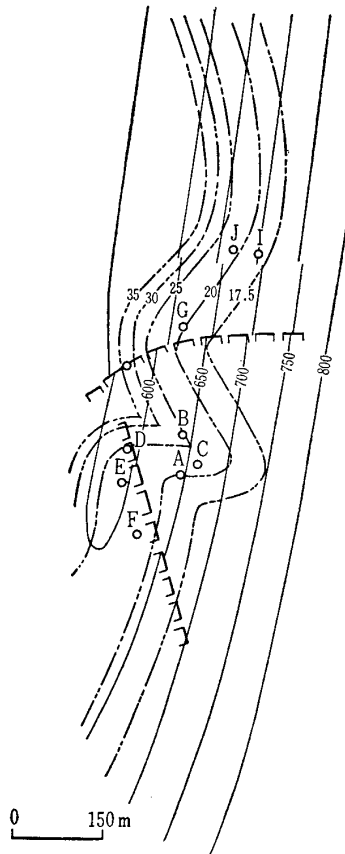
これらの関係は、 $F(R_0/R_w)$ に対して

$$F' = R_t / R_w$$

で表わされ、 F' を見かけの地層比抵抗係数と呼ばれており、油層の性質を究明するためには重要な考え方である。

* (株)物理計測コンサルタント

** (株)日本開発コンサルタント



図一 2 等見かけ比抵抗係数図

のである。

1) 油層の見かけ比抵抗係数と地下構造の等係数図を作成し検討したものである(図一 2)。

等係数図より地下構造の頂部と翼部では、その比抵抗係数を異にしていることがわかる。これは等高線と全く平行ではなく、油層の厚さの変化に近似した傾向を示しているように見える。これからも油層の構造究明するうえにも有効であることが、判明している。

2) 地層比抵抗係数と浸透率および産油量の関係

油層の地層比抵抗係数と浸透率と浸透率および産油量(kl/D)の関係を検討したものである。

比抵抗係数と浸透率の関係は図一 3 のとおりであるが、比抵抗係数は浸透率にほぼ比例していることがわかる。

この関係を数式で検討すると、次式で表わすことができる。

$$k_{1/2} = c \frac{\phi^3}{S_w} = c \frac{\phi^3}{\sqrt{\frac{FR_w}{R_t}}} = c \frac{\phi^3 \sqrt{R_t}}{\sqrt{\phi^m R_w}} \dots (5)$$

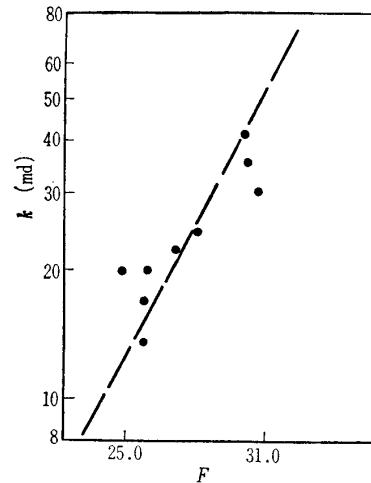
ここに、 k : 浸透率

ϕ : 孔ゲキ率

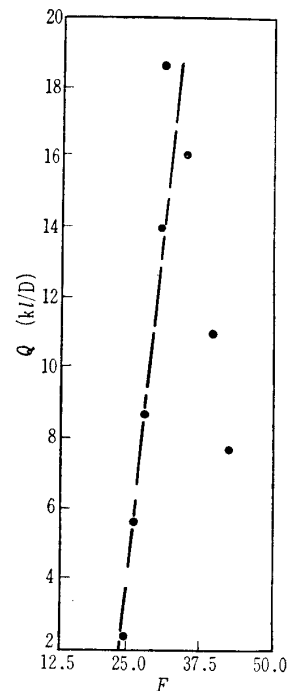
S_w : 水飽和率

したがって油層がある程度、孔ゲキ率、地層水の比抵抗が一定であると仮定した場合、比抵抗係数は、浸透率に関

注) 油層の岩質は「凝灰質砂岩」である。



図一 3 見かけ地層比抵抗係数と浸透率



図一 4 見かけ地層比抵抗係数と産油量 (kl/D) の関係

係あることがわかる。ただし比抵抗係数と浸透率が比例関係にあるとすれば、比抵抗係数と産油量(kl/D)にも関係が考えられるので、これを検討したものである。

その結果、比抵抗係数と産油量(kl/D)の間には相関関係がある。これも(5)式によって証明できる。

浸透率、産油量(kl/D)の解釈の困難な点は、岩相の問題を考慮に入れれば解釈できる(図一 4)。

これらの関係からも油層の性質を究明するうえにも有効であることが判明している。

3.2 岩盤調査井の場合

ある花コウ岩地域における調査ボーリング孔の電気検層(比抵抗)結果から Depature Curve により岩盤の比抵抗を算出し、地層水との関係から、地層比抵抗係数を算出し検討したものである。

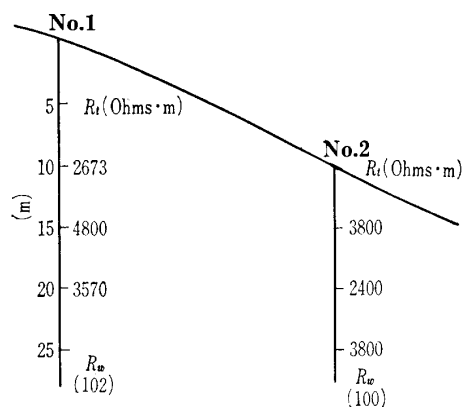
なお、深度は、対比できるように同一基準に補正した。

1) 山岳部における例

地層水の比抵抗は、ほぼ等しいので、岩盤の比抵抗のみで比較できる。

この結果、No. 1 孔が No. 2 孔に比べて比抵抗が高いことから、比抵抗係数が高く、良好な岩盤であることが考えられる。

また、各孔を垂直に見た場合、深度15m～25mで20m付近が抵抗が低いことから、このゾーンは、上下に比べてき裂などが多くなっていることが考えられる。



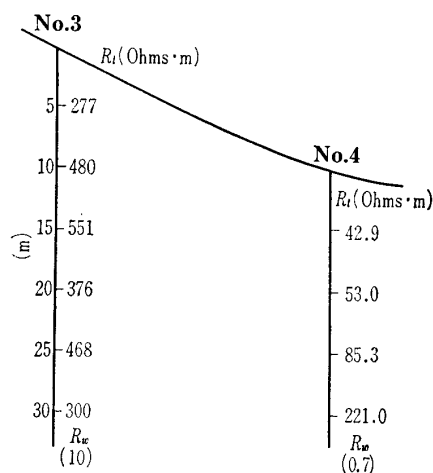
図—5 山岳部の例

表—1

深 度(m)	比 抵 抗 係 数	
	No. 1	No. 2
5.0	—	—
10.0	26.2	—
15.0	47.0	38.0
20.0	35.0	24.0
25.0	46.1	38.0

2) 海岸に接した場合

海岸に接しているため、地層水の比抵抗も低く、特に



図—6 海岸に接した場合

表—2

深 度(m)	比 抵 抗 係 数	
	No. 3	No. 4
5.0	27.7	—
10.0	48.0	—
15.0	55.1	61.3
20.0	37.6	75.7
25.0	46.8	121.8
30.0	30.0	315.8

No. 4 孔では、海水の比抵抗に近くなっている。山岳部に比べて、岩盤の比抵抗も低い、比抵抗係数を算出すると表—2になる。

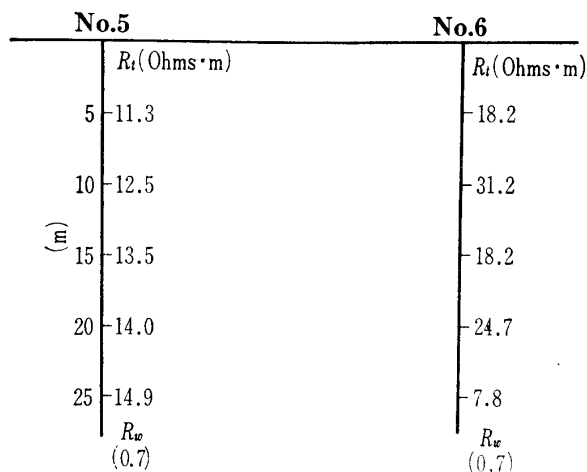
この結果、岩盤の比抵抗は No. 4 孔のほうが低く一見 No. 3 孔より良くないよう考えられるが、比抵抗係数では No. 3 孔よりかなり良好なことが考えられる。No. 3 孔の比抵抗係数の小さいのは、地層の問題のほか、岩盤のき裂、あるいは粘土化によることが考えられる。

3) 海面下における場合

海面下同一レベルにおける2孔間の比較である。

地層水の比抵抗は全く等しいことから、岩盤の比抵抗比較で評価できる。

したがって、No. 6 孔のほうが No. 5 孔よりも良好な岩盤であることがわかる。



図—7 海面下における例

表—3

深 度(m)	比 抵 抗 係 数	
	No. 5	No. 6
5.0	16.1	26.0
10.0	17.9	44.6
15.0	19.3	26.0
20.0	20.0	35.3
25.0	21.3	11.1

表—4

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
F	26.2 47.0	24.0 38.0	27.7 55.1	61.3 315.8	16.1 21.3	11.1 44.6
F_{av}	38.6	33.0	36.0	143.7	20.9	28.6
R_w	102	100	10	0.7	0.7	0.7
	山 岳		海 岸		海 面 下	

ただ、No.6 孔の下部が小さい値を示していることは、上部に比べてかなり悪いことが、考えられる。

4) 比抵抗係数の比較検討

山岳部、海岸近接部、海面下の例についてそれぞれの条件で比較してきたが、これを総合すると、表—4 のとおりである。

この結果いえることは、

- i) 同一地域における岩盤の比抵抗は、地層水の比抵抗に左右されるので、その関係は地層比抵抗係数に置き換えて検討することが望ましい。
- ii) 地層水が同一比抵抗でも、地層比抵抗の異なるのは、岩盤の性質、すなわち風化度、ち密度、き裂、孔ゲキ粘土化などの問題を検討すべきである。

3.3 岩盤試験結果との関連

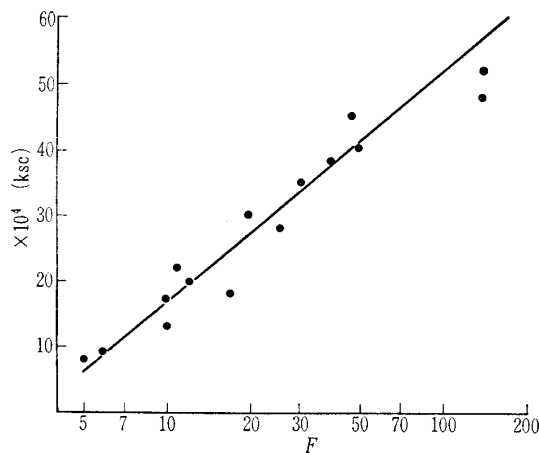
前述の地層比抵抗係数を岩石試験、あるいは、岩盤区分との関係を検討したものである。

1) 岩盤の地層比抵抗係数とヤング率の関係

岩盤の比抵抗 (R_t) が水分飽和率 (S_w) 100% の場合、孔ゲキ率によって定まることは前述のとおりである。この関係は、地層比抵抗係数によって置き換えることができる。

図—8 調査ボーリング孔で採取されたコア (花コウ岩) について試験結果と地層比抵抗係数をプロットしたものである。

この結果いえることは、地層比抵抗係数とヤング率の間



図—8 地層比抵抗係数とヤング率

には、ある程度相関性のあることが考えられた。

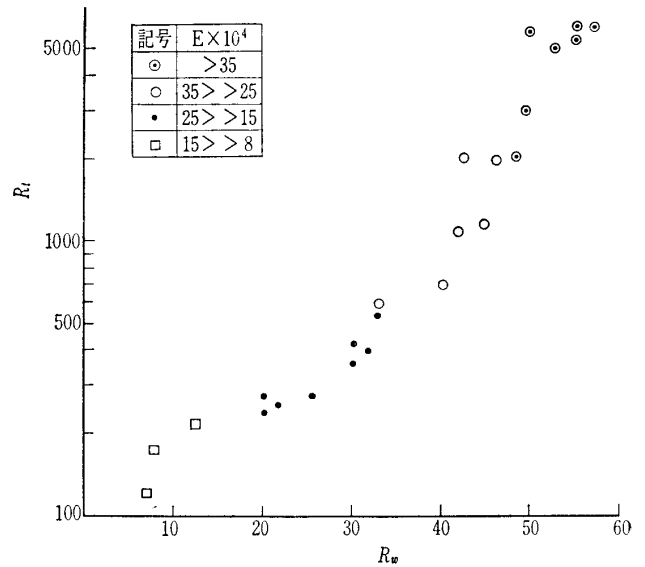
もし、これが比抵抗のみで関係を検討した場合には、地層水の比抵抗の関係で、その解釈に大きな間違いを生ずることになる。

2) 岩盤の地層比抵抗係数と岩盤区分について

図—9 はボーリング孔で採取されたコア (花コウ岩) について、地層比抵抗係数と岩盤区分の関係を検討したものである。

この結果いえることは、地層比抵抗係数と岩盤区分の間には、ある程度相関性のあることが考えられる。

ただ、岩盤試験結果が $<25-15>$ の低い値でその傾向が変化している。これは、岩盤の性質、すなわち風化度、ち密度、き裂孔ゲキ粘土化などの問題を検討すべきである。



図—9 地層比抵抗係数と岩盤区分

付. 地下水調査井の場合

地下水調査井の場合、最終的には帯水層の状態を定性的、定量的に解析し、その産出との関係を検討しなければならない。

これについて、山口久之助氏の研究「地層比抵抗係数と湧水能」を引用する。

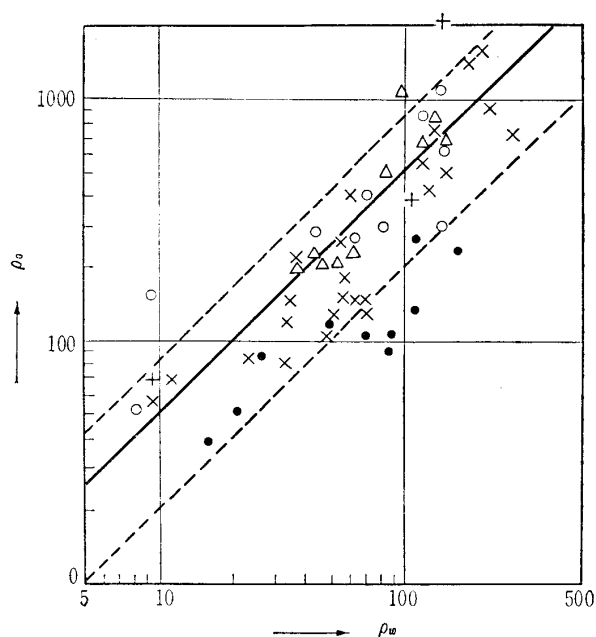
図—10 は各種岩石の地層係数 (水分 100% 飽和した岩石の比抵抗 (ρ_0)/地層水の比抵抗 (ρ_w))

また、地層比抵抗係数 F と湧水能 μ との関係は図—11 のようである。

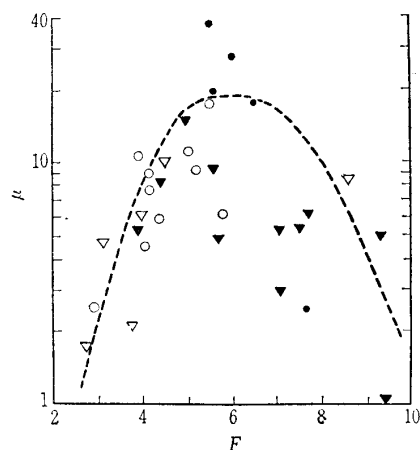
これによると F の値が 5.5 付近で μ に極大に表われている。そして、 $F=4.4 \sim 7.7$ で比較的高い湧水能を有し、この範囲外 No.16 については、粘土分、固結度、孔ゲキなどの問題があることが考えられる。

4. あとがき

岩盤評価の一方法としては地層比抵抗係数の応用について石油、岩盤、地下水の調査井における結果の考え方を具



図一10 地下水比抵抗と地層の比抵抗の関係
(地層比抵抗係数) (山口原図による)



図一11 地層比抵抗係数と湧水能

体的に述べると同時に、岩盤試験との関係についても検討した。

今後は、現場試験との関連で問題点を究明すれば利用面での可能性を見いだすことができる。

なお、最後に本報告作成にあたって、種々ご教示いただいた、室蘭工大山口久之助氏、石油資源開発(株)山下武男氏に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) Schlumberger: Log Interpretation Principles, Copyright U.S.A. (1969), Schlumberger Well Surveing Co.
- 2) Schlumberger編: Document No. 3 Resistivity Departure Curve, Schlumberger Well Surveing Co. (1949)
- 3) D. Guyod, L.E. Shane: Geophysical Weell Logging Vol. 1.
- 4) 山下武男: ある花崗岩地域における物理検層の応用, 土木学会講演要旨(1974)
- 5) 山下武男: 比抵抗検層の応用, 物理探鉱技術協会, 電気探査研究会講演要旨(1975)
- 6) 山下武男・藤原忠一: 岩盤調査における物理検層の応用, 土と基礎 Vol. 24, No. 9 (1976)
- 7) 山口久之助: さく泉の電気検層
- 8) 山口久之助: 帯水層の地層係数と湧水能の関係, 現代日本
- 9) 藤原忠一: 電気検層曲線解析の基礎的研究(第一報), 東北鉱山, Vol. 6, No. 2 (1959)
- 10) 藤原忠一: 電気検層曲線解析の基礎的研究(第二報)東北鉱山 Vol. 6, No. 4 (1960)
- 11) 藤原忠一: 油層の S.P 減退率とその応用, 物理探鉱, Vol. 17, No. 1 (1964)
- 12) 藤原忠一: 油層の比抵抗と産油量の関係・石油技術協会誌, Vol. 29, No. 2 (1964)
- 13) 藤原忠一: 電気検層の基礎的事項と応用, 物理探鉱技術協会土木物探研究会講演要旨 (1974)
- 14) 藤原忠一: 岩盤調査における物理検層の応用, 日本鉱業会東北支部講演要旨 (1974)
- 15) 藤原忠一: 土木における電気検層の現状と問題点, 物理探鉱技術協会, 電気探査研究会講演要旨 (1974)

(原稿受理 1977. 6. 14)

『アース・アンカー工法』

発行 土 質 工 学 会

定価 3,300円 会員特価 2,500円

B 5 判・235ページ 送料 1 冊 240円

社団法人 土 質 工 学 会

東京都港区西新橋1丁目13番5号(東亜別館)

〒105 ☎(03)502-6256~9 振替 東京4-40786