

大阪大学工学部 正 会 員 松 井 保
大阪大学大学院 学生会員 ○ 朴 三 奎

1. はじめに

最近、トンネルや地すべりをはじめ種々の地盤調査に比抵抗高密度探査が実施されるケースが増加し¹⁾、この結果の定量的評価に基づくトンネルの地山区分手法の必要性も高まっている。

本報告においては、岩石の構成物質が電気伝導性を持っている場合について、岩石の比抵抗値を弾性波速度に換算する理論式を比抵抗検層データと速度検層データを用いて確立し、トンネルにおける定量的評価による地山区分手法を提案するものである。

2. 比抵抗検層データに基づく地層の換算速度の算出方法

比抵抗検層データから得られた岩盤内帯水部の比抵抗を R_o とし、その間隙（割れ目含む）を飽和している間隙水の比抵抗を R_w とすれば、

$$R_o = F_R R_w \quad (1)$$

となる。ここに、 F_R は地層比抵抗係数と称し、Archie(1942)の実験式²⁾によると、次のように表される。

$$F_R = K_r \phi^{-m} \quad (2)$$

ここに、 K_r は実験定数であり、通常1または1以下の値である。 ϕ は間隙率、 m は充填指数と称し、間隙の幾何学的形態の影響、固結の度合によって異なる。式(1)と式(2)より、次式が得られる。

$$R_o = K_r \phi^{-m} R_w \quad (3)$$

式(3)から $K_r=1$ として整理すれば、次式が得られる。

$$\phi = \left(\frac{R_w}{R_o} \right)^{1/m} \quad (4)$$

式(4)は元々“clean sands”から求めたもので、岩石の構成物質の比抵抗が無限大に近くなる場合には適用できる。これに対して、岩石の中に粘土が含まれている場合には、式(4)が合わないことがある。

Bussian(1983)³⁾によると、“clay sands”のような異質物質が混ざっている場合、すなわち岩石の構成物質が電気伝導性を持っている場合には、次式が適用できる。

$$\frac{1}{R_o} = \phi^m \left(\frac{1 - \frac{R_w}{R_r}}{1 - \frac{R_o}{R_r}} \right)^m \frac{1}{R_w} \quad (5)$$

ここに、 R_r は岩石の構成物質の比抵抗である。式(5)において、岩石の構成物質の比抵抗が無限大に近づくとき、すなわち $R_r \rightarrow \infty$ になると、

$$\lim_{R_r \rightarrow \infty} \left(\frac{R_w}{R_o} \right) = \phi^m \quad (6)$$

となり、式(4)と一致する。式(5)を間隙率に対して整理すると、

$$\phi = \alpha (R_o)^{-1/m} - \beta (R_o)^{-(m-1)/m} \quad (7) \quad \text{となる。}$$

表-1 計算に用いた条件

パラメータ	計 算 値	
	花崗岩地層	堆積岩地層
構成物質の比抵抗(R_r)	50,000 ($\Omega\cdot m$)	3,000 ($\Omega\cdot m$)
間隙水の比抵抗(R_w)	62.0 ($\Omega\cdot m$)	20.0 ($\Omega\cdot m$)
マトリックスの通過時間(t_m)	203.1901 ($\mu sec/m$)	181.5541 ($\mu sec/m$)
間隙水の通過時間(t_r)	636.9430 ($\mu sec/m$)	636.9430 ($\mu sec/m$)
充填指数(m)	2.1	1.9

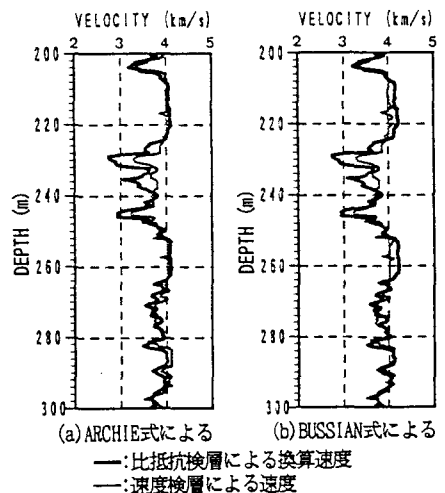


図-1 花崗岩地層における換算速度と測定速度との比較

ここに、 $\alpha = (R_w)^{1/m} R_r / (R_r - R_w)$ 、 $\beta = (R_w)^{1/m} / (R_r - R_w)$ である。

一方、Wyllieら (1956)⁴⁾によると、速度検層において音波が岩盤中を通過する時間 t は、

$$t = \phi t_r + (1 - \phi) t_m \quad (8)$$

として表される。ここに、 t_r は音波が岩石内に含まれる水中を通過する時間、 t_m は岩石を構成する物質中の通過時間である。

Archieの式(4)を式(8)に代入し、整理すると、次式が得られる。

$$t = \left(\frac{R_w}{R_o} \right)^{1/m} t_r + \left\{ 1 - \left(\frac{R_w}{R_o} \right)^{1/m} \right\} t_m \quad (9)$$

また、Bussianの式(7)を式(8)に代入し、整理すると、

$$t = A(R_o)^{-1/m} + B(R_o)^{(m-1)/m} + C \quad (10)$$

となる。ここに、 $A = \alpha(t_r - t_m)$ 、 $B = \beta(t_m - t_r)$ 、 $C = t_m$ である。

3. 比抵抗検層データから求めた換算速度と速度検層結果との比較

式(9)と式(10)に基づいて、水で飽和されている新鮮な花崗岩地層と堆積岩地層を対象として、比抵抗検層データから地層の換算速度を求める。表一は花崗岩地層と堆積岩地層のそれぞれの計算条件を示す。その中で、マトリックスの通過時間(t_m)はコアの超音波伝播速度測定より求めた値であり、間隙水の比抵抗(R_w)は比抵抗検層データから求めた値である。 R_r は岩石の構成物質の比抵抗で花崗岩試料では2,000~6,000 $\Omega \cdot m$ 、凝灰岩試料で約200 $\Omega \cdot m$ (千葉・熊田, 1994)の報告があり、同じ岩石でも試料によって大きく異なる値を示すようである。本研究における R_r 値は、比抵抗検層データから換算した速度と速度検層データの間に残差が一番小さくなるように最小二乗法で決めた。

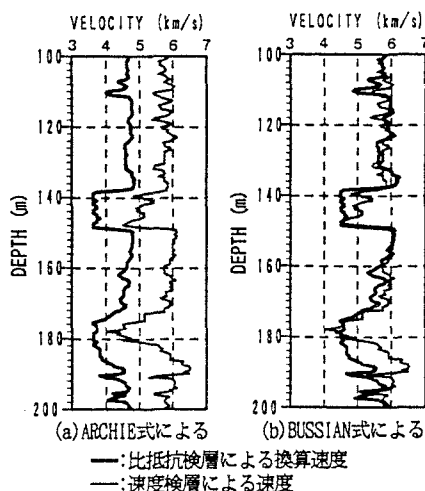
図一は新鮮な花崗岩地層において比抵抗検層による換算速度と速度検層による速度を比較したものである。図(a)はArchieの式を用いて換算速度を求めたものであり、図(b)はBussianの式を用いて換算速度を求めたものである。両図とも換算速度と測定速度がほぼ一致しており、それらの相関係数はいずれも0.844である。これらの図から分かるように、新鮮な花崗岩の場合岩石の構成物質自体の比抵抗がかなり高いために、両式とも同じの結果を示していると考えられる。図二は砂岩、頁岩及び礫岩の互層となっている堆積岩地層において換算速度と測定速度を比較したものである。図(a)と図(b)はそれぞれArchieの式とBussianの式を用いて換算速度を求めたものである。図(a)では、換算速度と測定速度がかなり離れている。これに対して、図(b)では、換算速度と測定速度がほぼ一致しており、この相関係数は0.717である。以上の結果より、堆積岩地層における岩石の比抵抗は間隙率と間隙水の比抵抗の外に、岩石の中に含まれている微粒の粘土分などの導電性粒子の比抵抗の影響を受けていることが推察される。

4. おわりに

上記に述べた新鮮な花崗岩地層と堆積岩地層の比抵抗検層による換算速度と速度検層による速度を比較した結果、一般的なトンネル地山区分手法としてBussianの式を用いる方法を提案する。今後、実際のトンネルを対象として、提案した地山区分手法の適用性を検討する予定である。

参考文献

- 1) 松井 保(1993):高密度電気探査技術とトンネル地盤調査への適用性, 地下空間利用シンポジウム, 土木学会, pp.37-48.
- 2) Archie, G. E. (1964): The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, Trans. A. I. M. E., 146 pp.55-67.
- 3) Bussian, A. E. (1983): Electrical conductance in a porous medium, Geophysics 48, pp.1258-1268.
- 4) Wyllie, M. R., Gregory, A. R. and Gardner, L. W. (1956): Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media, Geophysics 21, pp.41-70.
- 5) 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, 物理探査, Vol. 47, No. 3, pp.162-172.



図一 堆積岩地層における換算速度と測定速度との比較