

Ⅲ-352

比抵抗高密度探査によるトンネル地山区分と適用性

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。そこで, 筆者らはすでに岩盤の比抵抗値と弾性波速度がそれぞれ間隙率と一義的な関係にあることを用いて, 比抵抗高密度探査データから得られる岩盤の比抵抗値を弾性波速度に換算する手法を提案し, この手法が地山区分に適用しうる可能性を示した²⁾。

本報告においては, 筆者らが提案した手法をもとに実際のトンネルにおける比抵抗高密度探査結果の定量的評価による地山区分の適用性を検討するものである。

2. 地山比抵抗に基づく換算弾性波速度の算出方法

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³⁾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)⁴⁾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り, 一般の地層では $R_w < R_o < R_r$ の関係がある。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,

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

となる。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)⁵⁾によると, 音波が岩盤中を距離 l m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。式(7)を式(8)に代入し, 整理すると,

$$t = A (R_o)^{-1/m} + B (R_o)^{(m-1)/m} + C \quad (9)$$

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. 地山比抵抗の定量的評価によるトンネル地山区分

対象トンネルは延長 715m の鉄道トンネルで主に新第三紀の石英安山岩が分布する。トンネル両坑口付近を除き, 水で飽和されている区間を式(9)に基づいて比抵抗高密度探査データから地層の換算弾性波速度を求める。表一1は計算に用いた条件を示す。その中で, コアの弾性波速度(V_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)は深層地下水の一般値を適用している。 R_r は岩石の構成物質の比抵抗で式(5)の $R_w < R_o < R_r$ の関係から地山比抵抗より少し高い値として決めている。表一2は計算条件のもとで定量的評価手法による計算結果に基づいて作成した比抵抗分布に対する換算弾性波速度による地山区分を示す。ここでは, 鉄道トンネルの地山分類基準⁶⁾に従って, 地山比抵抗から換算した弾性波速度が 2.5km/sec以下はⅠ等級, 2.5 ~ 3.0 km/secはⅡ等級, 3.0km/sec 以上はⅢ等級として分類している。図一1は地山比抵抗の定量的評価による地山区

分と実績支保パターンの対比を示す。この図において、トンネルルート沿いの弾性波速度は2.4～3.4km/secの範囲で、比抵抗は60～400Ω-mの範囲で分布している。実績支保パターンと提案する手法による地山区分はⅠ等級～Ⅲ等級で分類されているが、全体を通して、定量的評価による地山区分と実績支保パターンとの間にほぼ良い一致が見られる。ただし、比抵抗が200Ω-m以上に分布する距離程160～180mと320～350m区間では、提案する手法による地山等級が実績支保パターンより1ランク高く評価されている。これについては、距離程320m～350m区間は探査測線下にダム堤体等のマスコンクリート構造物があるため、補助測線による探査結果（比抵抗が100Ω-m以下）を支保パターンの設定基準とした部分である。しかしながら、切羽観察によるトンネル地山評価は補助測線による探査結果とはあまり整合性がみられず、むしろ本測線の探査結果と整合性があり、結果的には実績支保パターンより1ランク高くなるのが妥当であると思われる。

4. まとめ

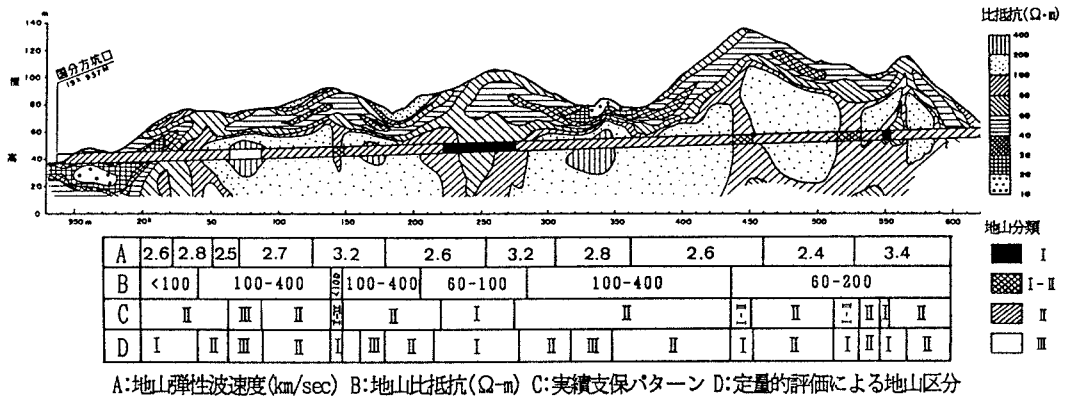
筆者らが提案する手法をもとに実際のトンネルにおける岩盤の比抵抗値を弾性波速度に換算し、換算弾性波速度に基づいて、鉄道トンネルの定量的評価による地山区分を行った。その結果とトンネルの実績支保パターンと比較した結果、良い一致が見られた。

表一1 計算に用いた条件

パラメータ	トンネルルートの弾性波速度分布				
地山の弾性波速度 V_p (km/sec)	2.4～2.5	2.6～2.7	2.8	3.2	3.4
コアの弾性波速度 V_m (km/sec)	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0
地下水の弾性波速度 V_f (km/sec)	1.5	間隙水の比抵抗 R_w (Ω-m)		20.0	
構成物質の比抵抗 R_r (Ω-m)	520.0	充填指数 (m)		1.9	

表一2 比抵抗分布に対する換算弾性波速度による地山区分

比抵抗値 (Ω-m)	トンネルルートの弾性波速度 (km/sec)				
	2.4～2.5	2.6～2.7	2.8	3.2	3.4
230以上	Ⅲ	Ⅲ			
220			Ⅲ	Ⅲ	
210					Ⅲ
200					
190	Ⅱ				
180		Ⅱ			
170			Ⅱ		
↑				Ⅱ	
110					Ⅱ
100					
90	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	
80以下					Ⅰ



図一1 地山比抵抗の定量的評価による地山区分と実績支保パターンの比較

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) 松井 保, 朴 三奎 (1994): 比抵抗高密度探査データによる地山区分手法の研究, 第29回土質工学研究発表会, pp. 153-154.
- 3) 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.
- 4) Bussian, A.E. (1983): Electrical conductance in a porous medium, Geophysics 48, pp. 1258-1268.
- 5) Wyllie, M.R., Gregory, A.R. and Gardner, L.W. (1956): Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media, Geophysics 21, pp. 41-70.
- 6) 土木学会 (1986): トンネル標準示方書 (山岳編)・同解説.