

III-A 397 比抵抗および弾性波探査を用いた岩級区分の算定について

関西電力(株)正会員 西方 卯佐男
 (株)ニュージェック 正会員 大友 譲
 (株)建設企画コンサルtant 正会員 小里 隆孝
 (株)建設企画コンサルtant 正会員 ○澤井 清人

1. まえがき

トソ地山の地質調査法に近年、物理探査法がよく用いられるようになり、従来の弾性波探査法に併せて電気・電磁探査法による比抵抗探査法もよく採用されている。現在、比抵抗を岩盤物性値としてとらえ、これによって、比抵抗の急変部を検出し、断層・破砕帯や地下水ゾーンの判定を行う試みが報告されつつある¹⁾²⁾が、まだ一定の解釈法が確立されていないのが現状である。また、山岳トソの調査では、弾性波探査や電気探査等の物理探査を行ってトソ設計に反映しているが、その結果は別々に用いられているに過ぎない。

筆者らは、MT法や電気探査法によって得られた地山の2次元比抵抗分布結果と、これに弾性波探査結果を併せて変換し、地山の間隙率分布や飽和率分布をもとめ、さらに、地山の岩級区分を2次元断面的に表示する一連の手法を検討した。そして、S地点の導水路トソ工事掘削中における切羽観察資料を用い、本算定手法の検証を行った。

2. 変換式による算定の概要

弾性波速度と比抵抗とは異なる物理量ではあるが、Wyllie(1956)の公式(1)式や、Archie(1941)の式(2)式など、岩盤の間隙率や飽和率をパラメータとして関係付けることができる。

$$\frac{1}{V_p} = \frac{(1-\phi)}{V_m} + \frac{\phi \cdot S}{V_f} + \frac{\phi \cdot (1-S)}{V_a} \dots\dots\dots(1)$$

$$\rho = a \cdot \rho_w \cdot \phi^{-m} \cdot S^{-n} \dots\dots\dots(2)$$

ただし、

- V_p: 岩盤のp波速度(km/sec) V_m: マソトソの弾性波速度(km/sec)
- V_f: 間隙水の弾性波速度(≈1.5km/sec) V_a: 間隙の空気における弾性波速度(≈0.33km/sec)
- ρ: 岩盤の比抵抗(Ω・m)で比抵抗探査で求めたもの ρ_w: 間隙水の比抵抗(Ω・m)
- φ: 間隙率 S: 飽和率 a, m, n: 地質の違いによる係数

(1)式と(2)式とはφ, Sをパラメータとみれば、ひとつの岩盤要素について連立的に関係づけられるはずである。(2)式については、修正を加え岩盤の比抵抗を空隙, 間隙水, 岩実質部に分解した、次の式を採用するものとした。

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{F \cdot \rho_w} + \frac{1}{\rho_c} + \frac{1}{\rho_o} \dots\dots\dots(3)$$

ここに、

- F: 地層比抵抗係数 (= ρ / ρ_w = a · φ^{-m} · S⁻ⁿ)
- ρ_c: 間隙の粘土等による導電性粒子の比抵抗 ρ_o: 岩石実質部の比抵抗

(1)式と(3)式とはφとSをパラメータとすれば、ひとつの岩盤要素についてそれぞれ次の関数関係に書き換えられる。

$$V_p = f(\phi, S) \dots\dots\dots(4) \quad \rho = g(\phi, S) \dots\dots\dots(5)$$

いま、要素について弾性波速度V_pと比抵抗ρとが与えられれば、(4)式と(5)式を満足するひと組のφ, Sとが逆解析で求められる。従って、弾性波速度と比抵抗とが既知の地山について各要素ごとにV_pとρからφ, Sを求め、さらに算出された間隙率φから岩級区分を推定することができる。以上の作業手順をフローとして表すと図-1のとおりである。なお、φ, Sを求める際にV_pとρのどちらを重視するかを考え、重み係数α, βを導入した。

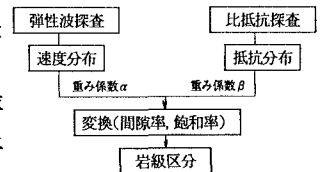


図-1 岩級区分の算定方法のフロー

3. 算定手法の検証

3-1 算定方法

算定手法を検証するため、S地点の導水路の補工における弾性波探査(図-2)及びCSAMT法による2次元比抵抗探査(図-3)を逆解析により、間隙率分布及び飽和率分布に変換した。当域の地質は、古第三紀の流紋岩類にひん岩・輝緑岩などの岩脈が小規模に貫入している。また、地表踏査とボーリング調査の結果から風化が深部まで進み、破碎帯を伴う弱層もいくつか見られる。検証は地山の岩に対する岩級区分と間隙率との実測値がないため、表-1に示す関係を用いて間隙率から地山の岩級区分の分布図を計算し、これと掘削実績の岩級区分と対比して整合性をみるものとした。

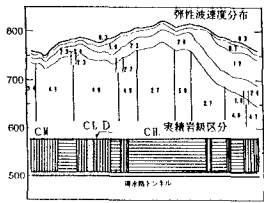


図-2 弾性波速度分布
及び掘削実績岩級区分

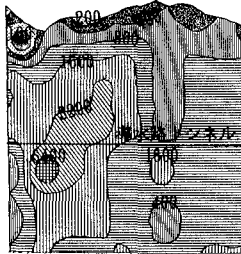


図-3 比抵抗分布

表-1 岩級区分と間隙率

| 岩級 区分 | 既往文献による区分 | | 逆解析 |
|----------|------------|------------|------------|
| | RQD (%) | 間隙率 (%) | 間隙率 (%) |
| D | 0~10 | 14以上 | 14以上 |
| CL | 0~25 | 10± | 14~7.0 |
| CM | 0~50 | 5± | 7~3.5 |
| CH | 25~75 | 3± | 3.5以下 |

(出典:土質工学会編,土質工学会誌16
花崗岩による事例)

3-2 諸係数の設定

間隙水の比抵抗 ρ_w は、地山の湧水地点における電気伝導率測定結果より、平均値の $50 \Omega \cdot m$ とした。また、導電性粒子の比抵抗 ρ_c については研究文献³⁾とS地点のボーリングコアの比抵抗測定結果とから $3,000 \Omega \cdot m$ を仮定した。岩実質部の比抵抗 ρ_s については、コアの自然乾燥状態における比抵抗測定値を参考に $10,000 \Omega \cdot m$ を与えている。コアの弾性波速度 V_m は、同じくコアの V_p 測定値より $6.5 km/sec$ を設定した。

次に、地層比抵抗係数 F に関する係数^{4) 5)}の a や m 及び n については、変換結果の整合性をみながら想定される範囲内について種々の組合せに対し計算したが、S地点としては次の係数の組合せが良好であった。

$$a=0.001 \quad m=2.2 \quad n=2.5 \quad V_p \text{の重み係数 } \alpha=0.5 \quad \rho \text{の重み係数 } \beta=0.5$$

3-3 検証結果

変換した検証区間の岩級区分の2次元断面図を図-4に示す。また、図-5はトコ軸上での岩級区分の実績比率と変換結果の整合性をみたものである。参考として $(\alpha=0, \beta=1.0)$ と $(\alpha=1.0, \beta=0)$ の場合も示すが、重み係数の α と β の組合せについては、種々計算したが今のところ $\alpha=\beta=0.5$ 程度が最も良い整合性を示した。

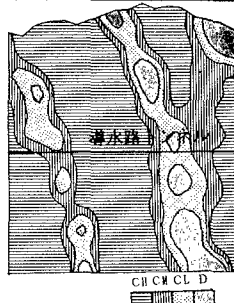


図-4 変換結果岩級区分

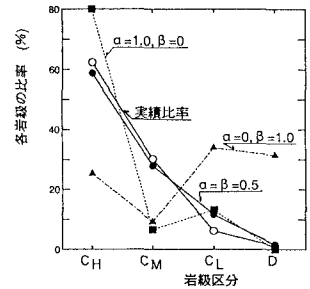


図-5 変換結果の整合性

4. まとめ

複数の物性値を別の物性値に変換して、さらに実際のトコ施工計画を検討する上で重要となる岩級区分まで求めることができ、この変換による算定方法の実用性が検証できた。今後、変換精度を上げる研究及び他のフィールドでの適用性を検討してゆくことにより、この方法の実用性はさらに高まることと考える。

参考文献

- 1) 松井 保・朴 三奎: 比抵抗高密度探査による地山区分手法の研究, 第29回土質工学研究発表会, 1994
- 2) 内浦慎一 他: 比抵抗密度探査結果の定量的評価による地山区分手法について, 第9回岩の力学国内シンポジウム講演会論文集, 1994
- 3) 千葉昭彦・熊田政弘: 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 vol. 47, No. 3, 1994
- 4) T. J. Katsube and J. P. Home: 「Permeability determination in crystalline rocks by standard geophysical logs」, GEOPHYSICS vol. 52, No. 3, 1987
- 5) 藤原忠一・橋本憲和: 岩盤の比抵抗と孔隙率について, 物理探探, 第34巻第2号, 1981