

III-A 396

比抵抗および弾性波速度分布を用いた湧水箇所の推定について

関西電力 ○正会員 西方 卯佐男
 ニュージェック 正会員 大友 謙
 建設企画コンサルタント 正会員 小里 隆孝
 建設企画コンサルタント 正会員 澤井 清人

1. はじめに

導水路トンネル等地下深部に建設される構造物では、事前調査としてボーリング調査や弾性波探査などが行なわれ、その結果に基づいて岩盤分類や支保の設計が行なわれている。また、最近では比抵抗値を用いる電気探査や電磁法探査が用いられることがある。比抵抗法電気探査は弾性波探査に比べ、地下水の影響をよく反映しているものの、直接設計に結びつけられることは少ない。著者らは、弾性波速度と比抵抗の測定結果を間隙率と飽和度に変換する手法を提案し、掘削の完了しているS地点にこの手法を適用して、推定した湧水箇所と実際の湧水箇所の比較を行ない、本手法の検証を行なった。

2. 調査概要

地質は主に古第三紀系の流紋岩からなり、これに小規模ではあるがひん岩と輝緑岩の岩脈が貫入している。そして地表踏査とボーリング調査の結果から風化が深くまで進み、破碎帯を伴う弱層もいくつか見られる。

導水路トンネル敷高付近の深部の岩盤は、電研方式でC_H～C_M級である。

C S A・M T探査の測定ピッチは15～60mピッチで実施した。また、地質構造の解析にあたり、湧水、沢水およびボーリングコアの弾性波速度および比抵抗の測定を行なった。

3. 比抵抗と弾性波速度による地質構造の解釈

(1) 比抵抗と弾性波速度からの間隙率と飽和度の推定

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する式が報告されている。

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

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

ただし、

V_p: 岩盤のp波速度(km/sec) V_m: テストピッチの弾性波速度(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をパラメータとして、各々の岩盤要素について関係づけられる。(2)式については、岩盤の比抵抗を空隙、間隙水および岩盤実質部に分割した次のモデルを採用する。

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

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

(2) 変換式のパラメータ決定

いま、各岩盤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、各要素ごとのφ, Sとが求められる。従って、弾性波速度分布と比抵抗とが既知の地山について適当な要素分割を行ない、各要素ごとにV_pとρとからφ, Sに変換すれば、2次元断面の間隙率分布と飽和率分布とが求められる。以上の変換手法のフローは図-1のとおりである。

S地点の導水路トンネル工事における弾性波探査結果（図-2）及びCSAMT法比抵抗探査結果（図-3）を用いて図-1のフローにより間隙率及び飽和率の分布を求め、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の平均値の $50 \Omega \cdot m$ を与えた。また、導電性粒子の比抵抗 ρ_c については文献³⁾と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_o 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検討し⁶⁾、S地点としては次の係数の組合せが良好であった。上述の飽和率と間隙率から体積含水率を求めた。

パラメータ	a	m	n	α	β
値	0.001	2.2	2.5	0.5	0.5

4. 掘削時の湧水箇所と体積含水率の関係

推定した検証区間の体積含水率の分布およびトンネル掘進時の坑口での湧水量の変化を図-4に示す。

トンネル軸に沿った体積含水率の変化と湧水量箇所は比較的整合し、湧水量の急に増える位置は、体積含水率分布のコンター間隔の急変する付近に対応している。体積含水率は地下水の存在を示すものと考えられ、トンネル湧水ゾーンの推定にはこのような手法が有効と考えられる。

5. おわりに

トンネル湧水量の多いと思われる断層・破碎帯や亀裂の多い岩盤は一般的に低比抵抗を示すことが多い。しかし、筆者らのこれまでの経験では必ずしも低比抵抗ゾーンで湧水があるとは限らないことが多々あった。したがって、やはり体積含水率まで変換して評価することにより湧水ゾーンの推定するこの手法が有効的であることが判った。今後、体積含水率と湧水量の関係についてさらに検討することにより、この手法の実用性はさらに高まるものと期待する。

参考文献

- 1) 松井 保・朴 三：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、物理探査誌、第34巻第2号、1981。
- 6) 西方卯佐男 他：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、土木学会第51回年次学術講演会論文集、1996。

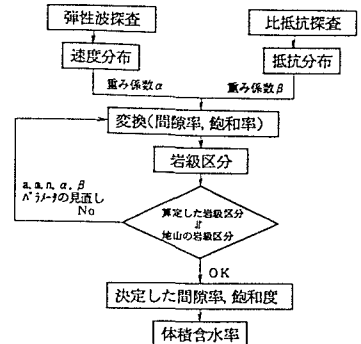


図-1 体積含水率の算定方法のフロー

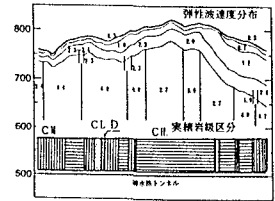


図-2 弾性波速度分布及び掘削実績岩級区分

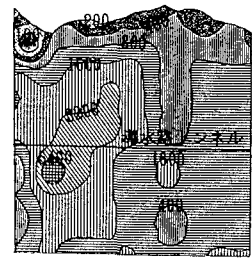


図-3 比抵抗分布

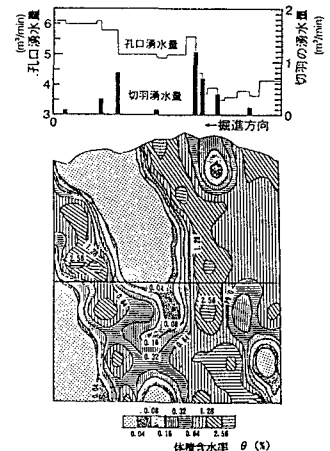


図-4 推定体積含水率分布