

Ⅲ-38

比抵抗値分布を用いたトンネル地下水解析手法の検証

梶谷エンジニア㈱ 正会員 ○上出 定幸
 大阪大学工学部 正会員 松井 保
 ㈱ 鴻 池 組 正会員 嶋村 貞夫

1. まえがき

山岳地域における深層地下水の分布や性状を把握するには、種々の方法がある。筆者らは、対象トンネルにおいて縦・横断方向に比抵抗高密度探査を実施し、地山の比抵抗値の分布状況によって地質構造や地下水の分布を把握した。その後、ボーリング調査や湧水圧試験などの詳細調査を行った。

この報告は、トンネル掘削に伴う地下水挙動に対して、比抵抗値と水理定数の関係を利用して行ったシミュレーション解析結果と坑内湧水量などの実測結果を比較することによって、比抵抗高密度探査による地盤の比抵抗値分布が地下水分布や性状の把握に有効であること、提案するトンネル地下水解析手法が有用であることを明らかにしたものである。

2. 比抵抗高密度探査の結果を用いた地下水解析手法

2-1 透水性区分

地山の透水性区分は比抵抗値と透水係数の関係および地層係数(=地山の比抵抗/地下水の比抵抗)の概念から区分した。

湧水圧試験からの透水係数と比抵抗値を比較すると、400~800Ω-mの範囲で透水性が最も大きく、それより比抵抗値が大きくても、小さくても透水性は小さくなる。また、比抵抗値が地層係数=2以下の150Ω-m以下では粘土分が多く、地層係数=10以上の800Ω-m以上では岩盤状態が良くなり、何れの場合も透水性が低く地下水の賦存量が少ないゾーンとした。なお、比抵抗値が150~800Ω-mの範囲では、透水性が大きく地下水の賦存量が多いゾーンとした。これらの結果から表-1に示す比抵抗値によるゾーニング表を作成した。

2-2 入力データ

表-1 比抵抗値によるゾーニング表^{1) 3)}

地形データはブロック毎の地盤高と植生データ、地質データは地山の比抵抗値分布が地下水分布や岩盤状態を良く反映していることから、地山の透水性分布はトンネル縦・横断方向毎に比抵抗値分布図を作成し、表-1に示すゾーニング表に基づいて比抵抗値分布によるゾーニングを行った²⁾。

地質コード 区分コード	比抵抗値 (Ω-m)	石英閃緑岩	変質岩	岩盤区分	透水性	透水係数 (cm/s)	有効孔隙率 (%)
ゾーンⅠ (1)	150以下	著しく風化し、粘土分を多く含む強風化帯 砂質土状(マサ土)を呈する	著しく変質し、粘土分を多く含む強風化帯 砂質-粘性土状を呈する	DⅡ E級 ~ D級	低い	2×10^{-5}	10
ゾーンⅡ (2)	150 ~ 400	全体に風化の程度は低い。所々著しく風化したところを挟む。そこでは砂質土化し、砂-粘土分を多く含む	全体に変質の程度は低い。所々著しく変質したところを挟む。そこでは粘土分を多く含む	DⅠ C級土体、所々にD級、B級を挟む	全体に中程度であるが所々に風化・変質あるいは劣化した所を挟み。そこでは透水性は低い	5×10^{-5}	5
ゾーンⅢ (3)	400 ~ 800	風化の程度は低く、粘土分はほとんど含まない 亀裂等は比較的新鮮で、開口する場合がある。亀裂は多い	変質の程度は低く、粘土分はほとんど含まない 亀裂等は比較的新鮮で、開口する場合がある	CⅡ、CⅠ C級土体、所々にD級、B級を挟む	亀裂が発達しており、透水性は高い	1×10^{-4}	5
ゾーンⅣ (4)	800以上	僅かに風化した程度で、新鮮岩あるいは新鮮岩に近い 亀裂の発達は少ない	僅かに変質した程度で、新鮮岩あるいは新鮮岩に近い 亀裂の発達は少ない	B B級土体、C級土体	亀裂は少なく、透水性は低い	1×10^{-5}	3

シミュレーション解析は、各計算ブロックの水収支量の変化を逐時時系列計算することによって行った。

3. 比抵抗高密度探査結果を用いた地下水解析と検証

トンネル掘削時の地下水解析は、①周辺の地下水位の低下、②表流水流量の検討、③恒常湧水量の検討、④突発湧水量・排水工法の検討などを目的として実施される。この論文での解析は、比抵抗値分布図からより精度の高い水理地質構造を構築し、また地山の比抵抗値と水理定数との関係を用い、詳細な表流水および地下水解析を行った。以下に、比抵抗値分布とその解釈に基づいた地下水シミュレーション解析結果とトン

ネル掘削に伴う地下水挙動の実測データを示して、その解析手法の有用性を示す。

3-1 トンネル掘削に伴う地下水挙動の実測値と解析値との比較

トンネル掘削に伴う地下水挙動の実測値と解析値との比較を行うと、以下のとおりである。

① 図-1に比抵抗値分布と坑口湧水量との関係を示した。その結果を見ると、集中湧水は、a～cの3地点で $Q=1.0 \sim 2.1 \text{ m}^3/\text{min}$ の湧水が発生している。

湧水の集中部は、比抵抗値が急激に変化する区間で、透水性がより大きくなる箇所である。解析値と実測値を比較すると、湧水の集中部や湧水量が概ね一致している。

なお、貫通点付近では、実測湧水量が解析値より約5割程度大きい。これは西側工区が施工されておらず、西側工区に流出すべき地下水が施工中の東側工区へ流出したために湧水量が多くなったものと考えられる。

② 地下水位低下量の解析値と実測値を表-2に示す。いずれの地点も解析上はトンネル切羽が通過後、10ヶ月で平衡状態を示す。中央部では実測値は解析値より2.5 m低下し、貫通点ではトンネル通過後3ヶ月で、解析値より9 m高い位置にある。地下水位低下量は解析値と実測値とは概ね一致した状態を示す。

③ 東側工区の中央沢の基底流量は、 $Q=270 \sim 300 \text{ l/min}$ である。解析結果では、その90%程度はトンネル掘削によって減少すると予想された。しかし、実測データでは、沢水流量は切羽が通過し、切羽が距離+295mの時点で完全に枯渇した。この違いは、対象年が異常渇水年で、降水量に影響を受けたことによると考えられる。

4. ま と め

以上のように、比抵抗高密度探査は地山の比抵抗値の分布状況を精度よく把握でき、その結果を適正に解釈することによって、岩質や破碎帯の分布や物性のみならず、地下水の賦存状態やトンネル掘削に伴う表流水、地下水の挙動を把握することができることを確認した。

今後、比抵抗高密度探査の探査手法、解析手法をより簡潔にし、数多くの探査を行って基礎的資料を集積して、種々の岩種や岩質などの岩盤状況や地下水状況に応じた比抵抗値を見い出せば、その有用性が高くなるものとする。比抵抗値分布を水理定数に置き換えて行った地下水挙動のシミュレーション解析結果と、現場実測値とは概ね良好な一致を見ており、今回採用した手法は、新しい手法として今後トンネル地下水解析に採用できるものとする。

参考文献

- 1) 松井 保, 上出 定幸 他 : 高密度電気探査による破碎帯の分布把握と地下水解析への適用
破碎帯の工学的性質に関するシンポジウム発表論文集 pp81 ~ 88, 1992
- 2) 松井 保 他 : 新しい電気探査法のトンネル調査への適用性(その5)
第28回土質工学研究発表会 平成5年発表講演集, pp205 ~ 208, 1993
- 3) Matsui T. et al. : Application of resistivity image profiling to fractured zone delineation for tunneling, International Symposium on Hard Soils - Soft Rock, Athens, pp 1513 ~ 1520, 1993

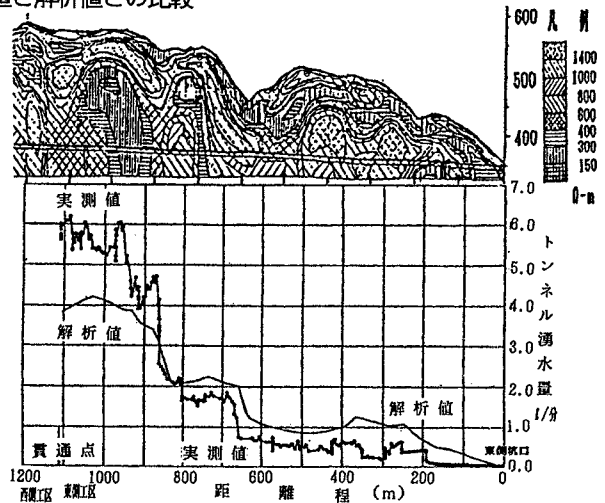


図-1 比抵抗値分布と坑口湧水量の関係

表-2 地下水低下量の解析値と実測値^{1) 3)}

地点	解析値		実測値	
	'93.4	貫通時低下量	'93.4	'95.1 低下量
東側中央沢	464.3	370.0	94.3	464.3
貫通点付近	517.3	383.0	97.0	367.4
			517.3	429.1
				88.2m