

TDEM 法のトンネル調査への有効性の検証(その 2)

戸田建設(株) 正会員 ○原敏昭^{※1}
早稲田大学 齊藤章^{※2}

1. 目的

トンネル調査の精度・効率を上げるために行った 25 本の TDEM 法によるトンネル探査の結果、得られた比抵抗値と実際にトンネル掘削によるトンネル切羽観察簿を 25 本のトンネルで対照し、TDEM 法によるトンネル探査の有効性を、(その 1)で数量化理論Ⅰ類を用いた解析結果により述べた(表-1 参照：外的要因(目的変数)は TDEM 法による比抵抗値と弾性波探査による弾性波速度を、説明要因としては切羽観察記録の観察項目の中で直接岩盤性状を評価していると考えられる 5 項目(一軸圧縮強度、風化変質、割れ目間隔、割れ目状態、湧水)を用いた。今回の(その 2)では、同じく、同解析の結果得られた偏相関係数と、同一現場で実施した TDEM 法・弾性波探査・電気探査の結果を比較対照した結果を述べる。

表-1 切羽観察簿での比抵抗・弾性波速度に対する決定係数、偏相関係数

トンネル No.	岩 質	岩石グループ	湧水	TDEM法比抵抗値			弾性波速度		
				決定係数	カテゴリ	偏相関係数	決定係数	カテゴリ	偏相関係数
1	泥質片岩	d	○	0.856	F	0.836	0.751	B	0.535
	④層状岩盤-L				C	0.801		C	0.463
					A	0.764		A	0.378
2	砂質片岩	d	○	0.644	B	0.611	0.934	A	0.956
	④層状岩盤-L				C	0.553		F	0.772
					F	0.516		B	0.771
3	未固結堆積物	d	○	0.871	C	0.823	0.915	D	0.846
	④層状岩盤-L				B	0.773		C	0.813
					A	0.761		A	0.766
24	砂質・泥質片麻岩	a	○	0.775	F	0.457	0.251	D	0.428
	①塊状岩盤-H				C	0.406		F	0.316
					B	0.031		A	0.168
25	砂岩泥岩互層	d	○	0.973	C	0.525	0.328	D	0.424
	④層状岩盤-L				A	0.436		A	0.352
					D	0.364		C	0.239

観察項目：A:圧縮強度(N/mm²) B:風化変質 C:割れ目間隔 D:割目状態 E:湧水 * : No 4と No 9トンネルは逆転層のため、弾性波速度は求められていない。

2. 偏相関係数

偏相関係数は、他の変数の影響を除去することにより、2 つの変数間の関係を表すものである。表-2 に、説明変数間の相関が強いとされる 0.4 を超えるトンネル数を示す。説明変数の数が多いトンネル数と、説明変数の中で最も高い観察項目の数は、TDEM 法と弾性波探査で異なる結果となった。係数が 0.4 以上のトンネルは、TDEM 法は高い項目から、亀裂間隔、風化変質、および圧縮強度となり、弾性波探査法では圧縮強度、亀裂間隔、風化変質の順となった。この結果から、弾性波探査法の特徴は、圧縮強度と密接に関連していることが示された。

表-2 各トンネルの解析で、偏相関係数≥0.4 示したトンネル数

	TDEM法(比抵抗値：25現場)								弾性波探査(弾性波速度：23現場)							
	最上位観察項目				偏相関係数≥0.4項目				最上位観察項目				偏相関係数≥0.4項目			
	①	②	④	合計	①	②	④	合計	①	②	④	合計	①	②	④	合計
一軸圧縮強度	1	1	2	4	2	4	10	16	4	3	4	11	4	5	8	17
風化変質	2	0	4	6	2	3	8	13	0	0	3	3	2	3	6	11
割れ目間隔	1	2	4	7	3	5	13	21	1	0	1	2	2	2	8	12
割れ目状態	1	3	0	4	1	3	6	10	2	2	3	7	1	3	4	8
湧 水	1	1	2	4	2	2	4	8	0	0	0	0	1	1	2	4

キーワード トンネル, TDEM, 比抵抗値,

連絡先 ※1:〒104-0032 東京都中央区八丁堀 2-8-5 戸田建設(株)土木工事技術部 TEL 03-3535-1614

※2:〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学術院創造理工学部環境資源工学科 TEL : 03-5286-2488

3. 岩石グループ

岩石グループの塊状岩盤と層状岩盤の2つのグループに分け、切羽観察簿と比抵抗値及び弾性波速度との関係を検討した。表-3 に岩石グループごとに分けた比抵抗値、同じく表-4 に弾性波速度のカテゴリ(説明変数)毎の偏相関係数を示す。比抵抗値と切羽観察簿との決定係数は、層状岩盤の方がやや大きく、信頼性の高いデータが得られていた。これは、層状岩盤の方が低比抵抗であることが多く、TDEM 法の信号が大きく、良好なデータが得られた考える。すなわち、塊状岩盤における複雑かつ不規則な地層構造よりも、単純な水平成層を基調とする層状岩盤の方が高い探查精度を得ることができた。なお、塊状岩盤は、説明変数の偏相関係数 ≥ 0.4 であるものは、割れ目間隔に依存するトンネルが多く、次いで圧縮強度となった。一方、表-4 の弾性波速度では、決定係数については塊状岩盤と層状岩盤での差異はみられなかった。説明変数では、塊状岩盤及び層状岩盤とも一軸圧縮強度の偏相関係数が高い値を示し、岩盤での差異はない。説明変数では、塊状岩盤及び層状岩盤とも圧縮強度の偏相関係数が高い値を示した。

表-3 岩石グループによる説明変数毎：TDEM 法

観察項目	塊状岩盤 (20現場) 決定係数：0.755		層状岩盤 (5現場) 決定係数：0.899	
	説明変数中 最上位	偏相関係数 ≥ 0.4	説明変数中 最上位	偏相関係数 ≥ 0.4
圧縮強度	5	13	1	5
風化変質	8	12	1	2
割れ目間隔	6	18	2	5
割れ目状態	4	10	1	1
湧 水	2	5	0	0

表-4 岩石グループによる説明変数：弾性波探查

観察項目	塊状岩盤 (18現場) 決定係数：0.880		層状岩盤 (5現場) 決定係数：0.654	
	説明変数中 最上位	偏相関係数 ≥ 0.4	説明変数中 最上位	偏相関係数 ≥ 0.4
圧縮強度	10	13	1	5
風化変質	3	9	0	1
割れ目間隔	2	10	0	4
割れ目状態	3	3	4	5
湧 水	0	4	0	0

4. 同一トンネルでの3 探査法の比較

表-1 に示した 25 トンネルの解析結果で、3 本のトンネルで TDEM 法、弾性波探查、電気探査法の 3 探査を実施した。この 3 本のトンネルについて、トンネル掘削結果(切羽観察簿)と各探査の解析閣下を比較してまとめたものを表-5 に示す。No11 トンネルでは、3 探査法とも決定係数が 0.700 前後と探査結果とトンネル掘削結果が良い相関を示した。No 24 は、TDEM 法では 0.774 という良好な決定係数が得られたが、弾性波探查では、逆転層と 150 m 以上の土被りにより、決定係数が 0.251 と低くなり、電気探査法でも決定係数を 0.497 と低かった。No 25 では、TDEM 法の決定係数は 0.972 と高かったが、弾性波探查と電気探査の決定係数はそれぞれ 0.328 と 0.398 であった。0.5 未満のこれらの決定係数の低い値は、100m 以上の土被りが原因であると考える。

表-5 同一トンネルでの3 探査法の探査と掘削結果

No	岩 種	最大土被り	TDEM法	弾性波探查	電気探査法	備 考
11	花崗閃緑岩	95.4	0.709	0.729	0.669	
24	砂質片麻岩	151.9	0.774	0.251	0.497	逆転層
25	砂岩泥岩互層	128.8	0.972	0.328	0.398	
	平 均 値	125.4	0.819	0.436	0.521	

4.まとめ

数値化理論I類での偏相関係数解析結果から、TDEM 法は、割れ目間隔・一軸圧縮強度・風化変質を、弾性波速度は一軸圧縮強度・割れ目の間隔・風化変質をよく反映していた。また、同一トンネルにおいて対比した TDEM 法、弾性波探查及び電気探査では、土被り厚が 100 m以下であれば、3 探査法とも良い結果を示したが、土被り厚が 100 m を超えると、弾性波探查と電気探査は決定係数が著しく低下した。岩石グループごとの解析では、TDEM 法、弾性波速度とも塊状岩盤、層状岩盤で、決定係数についての大きな差異はみられなかった。

【参考文献】

Toshiaki Hara, Shinichiro Iso and Akira Saito : Applicability of the Time Domain Electro-Magnetic methods to investigation of ground classification along tunnel routes, International Journal of the JSRM, pp1-8,2018.7

原敏昭,斎藤章：TDEM 法のトンネル調査への有効性の検証(その 1),第 75 回土木学会年次学術講演会VI - pp1111－1112