

TDEM 法のトンネル調査への有効性の検証(その 1)

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のトンネル掘削によるトンネル切羽観察簿を対照し、TDEM 法によるトンネル探査の有効性を検討した。また、同じく弾性波探査結果とトンネル切羽観察簿を対照し、TDEM 法の結果と比較した。

2. 探査対象トンネルとデータ解析方法

TDEM 法をトンネル調査に適用するにあたり、25 本のトンネルで実際に調査を実施した。25 本について、切羽観察結果と、事前調査で行われていた弾性波探査により得られた弾性波速度及び TDEM 法により得た比抵抗値を対照した。解析方法として数量化理論Ⅰ類を用い、トンネル掘削時の切羽観察結果と、弾性波速度及び比抵抗値を解析した。数量化理論Ⅰ類とは、説明変数が定性的データ、被説明変数(目的変数)が定量的データである多変量解析で、離散量の説明変数と連続量の目的変数との関係を調べ、各説明変数が目的変数に対してどれくらいの影響度があるのか見ることができる。数量化理論Ⅰ類を適用するにあたり、外的要因は 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 項目を抽出して解析を行った。抽出した 5 項目は、一軸圧縮強度、風化変質、割れ目間隔、割れ目状態(開口性)、湧水である。本論文では、決定係数(関係式の精度を表す)について述べる。

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 ④層状岩盤—L	d	○	0.856	F	0.836	0.751	B	0.535
					C	0.801		C	0.463
					A	0.764		A	0.378
2	砂質片岩 ④層状岩盤—L	d	○	0.644	B	0.611	0.934	A	0.956
					C	0.553		F	0.772
					F	0.516		B	0.771
3	未固結堆積物 ④層状岩盤—L	d	○	0.871	C	0.823	0.915	D	0.846
					B	0.773		C	0.813
					A	0.761		A	0.766
}}									
24	砂質・泥質片麻岩 ①塊状岩盤—H	a	○	0.775	F	0.457	0.251	D	0.428
					C	0.406		F	0.316
					B	0.031		A	0.168
25	砂岩泥岩互層 ④層状岩盤—L	d	○	0.973	C	0.525	0.328	D	0.424
					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。

3. 解析結果

3.1 決定係数

25 本のトンネル切羽観察結果と、比抵抗値及び弾性波速度の決定係数及び偏相関係数を、トンネルごとにまとめたものを表-2 に示す。表-2 から、比抵抗値と弾性波速度は、それぞれの決定係数が 0.783、0.705 と両者とも高い値を示しており、それぞれがトンネル切羽の性状を表しているものとする。また、屈折法弾性波探査による弾性波速度と、TDEM 法による比抵抗値のト

表-2 決定係数まとめ (トンネル本数)

岩石グループ	TDEM法トンネル本数					弾性波探査トンネル本数				
	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
R ² ≥ 0.800 非常によい精度	2	4	0	9	0	3	2	0	5	0
0.800 > R ² ≥ 0.500 よい精度	3	3	0	2	0	1	3	0	5	0
0.500 > R ² よくない	1	0	0	1	0	2	0	0	2	0
データ無し	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
総 数	6	7	0	12	0	6	7	0	12	0
決定係数平均値	0.667	0.817	—	0.887	—	0.652	0.736	—	0.696	—
決定係数最大値	0.840	0.942	—	0.973	—	0.860	0.948	—	0.934	—
決定係数最小値	0.170	0.645	—	0.487	—	0.251	0.692	—	0.442	—
決定係数全体平均値	0.783					0.705				

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

ンネルごとの相関係数を求めたところ 0.387 と低い値を示した。また、図-1 に屈折法弾性波探査と TDEM 法の決定係数の比較を示す。

1)TDEM 法による比抵抗値

両者の相関が良いとされる決定係数が 0.800 以上は 15 本、比較的良い精度とされる 0.500 以上 0.800 未満は 8 本、0.500 未満は 2 本であった。決定係数が 0.800 以上のトンネルが解析対象 25 本のうち 23 本と多く、平均値が 0.783 であったことは、おおむね比抵抗値が切羽観察結果と相関することを示している。決定係数が 0.5 未満で低かった H トンネル、J トンネルでは、トンネル測線付近に高圧線、自衛隊の無線中継基地等があり、共に非常にノイズが大きかったことが決定係数の低かった理由と考えられ、TDEM 法が人工的な電磁ノイズに弱いことをよく示していた。したがって、低ノイズのデータを取得するには、このようなノイズ源を避けることが重要である。

2)弾性波探査による弾性波速度

両者の相関が良い精度とされる決定係数が 0.800 以上は 10 本、比較的良い精度とされる 0.500 以上 0.800 未満は 9 本、0.500 未満は 4 本であり、平均値が 0.705 であったことは、弾性波速度はトンネルの地質状況と相関するということを示している。

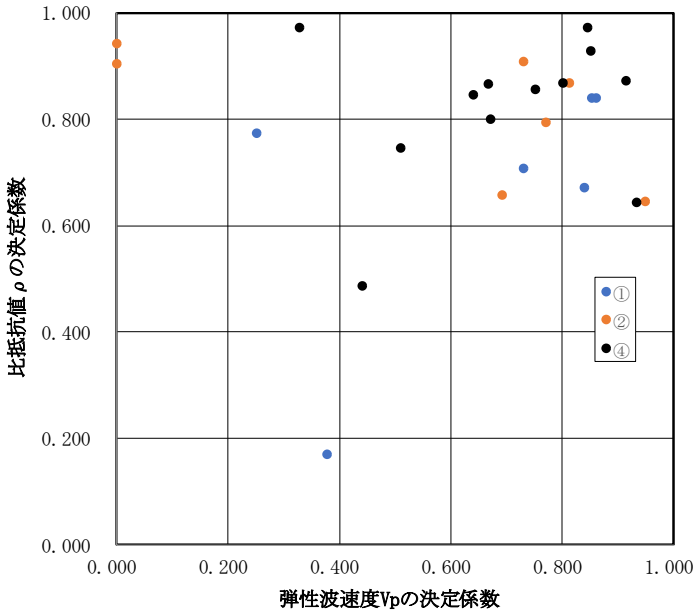


図-1 屈折法弾性波探査と TDEM 法の決定係数の比較

3.2 土被り

表-1 に示した各トンネルでの探査結果をもとに、土被りの厚さごとに $0\text{ m} < d \leq 50\text{ m}$ 、 $50\text{ m} < d \leq 100\text{ m}$ 、 $100\text{ m} < d \leq 150\text{ m}$ 、 $150\text{ m} < d \leq 200\text{ m}$ 、 200 m 以上の 5 つに区分し、それぞれの探査結果の差異を検証した。結果を表-3 に示す。

①比抵抗値

表-2 によれば、土被りによる探査精度の低下はなく、決定係数はどの土被りでも平均して高い値を示した。

②屈折法弾性波探査（弾性波速度）

土被り 150 m 以下($0\text{ m} < d \leq 50\text{ m}$ 、 $50\text{ m} < d \leq 100\text{ m}$ 、 $100\text{ m} < d \leq 150\text{ m}$)では、決定係数がいずれも 0.700 を超えており、探査精度は非常に良い。しかし、土被りが 150 m を超えると探査精度は著しく低下した。さらに土被り 200m 以上のトンネルでは、2 本のトンネルでは弾性波速度が捉えられていない。

表-3 土被り毎による各探査結果と切羽観察結果との対照

土被り d(m)	TDEM法 (比抵抗値)		屈折法弾性波探査 (弾性波速度)		備 考
	トンネル 本数	決定係数	トンネル 本数	決定係数	
0m<d≤50m	11	0.793	11	0.733	
50m<d≤100m	4	0.813	4	0.857	
100m<d≤150m	2	0.677	2	0.839	
150m<d≤200m	3	0.684	3	0.422	
200m以上	5	0.842	5 (3本探査不可)	0.323 (3本探査不可)	逆転層
平均値	25	0.783	25	0.705	

4. まとめ

弾性波探査と TDEM 法の両結果は、全体および土被り 150 m までは決定係数が非常に高く、良い制度を示していた。しかし、弾性波速度は逆転層の存在及び土被りが 150m を超えると決定係数が著しく低下する。一方、TDEM 法は土被りが 200m を超えても決定係数は低下しないが、高圧線のノイズの影響が大きいという両探査法の特徴が明らかとなった。

【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