

高精度切羽前方探査システムの構築

戸田建設(株) 原 敏昭(正)、熊谷 成之(正)

西松建設(株) 木村 哲(正)、石山 宏二(正)、平野 享(正)

1. まえがき

山岳トンネルの工事において、切羽前方の断層破碎帯・帯水層・地質変化等の情報を事前に高精度で得ることは施工の安全性及び効率化の上で極めて重要である。しかし、事前調査として一般に行われている地表踏査・弾性波探査・ボーリング等の結果だけでは掘削をする上で不十分であることが多く、施工中に突発的な湧水・地質急変箇所遭遇することがある。この問題に対し、発注者、施工者は標準的な調査以外のトンネル切羽前方探査を行っているが、施工者の保有技術の提案によるものが多く、技術の適用・精度の上でもバラツキが大きい。そこで戸田建設及び西松建設の両社は、トンネルの情報化施工を目的として、両社がこれまでに蓄積してきた事前および施工中の調査技術（TDEM法、TSP、DRISS）をお互いに活用し、評価・検証・補完することで、それらの特徴を組合せ、より合理的で精度の高い探査技術を構築することを目的に共同研究を行ってきた¹⁾。本論文では、トンネルの事前調査から施工管理に至る合理的探査手法の1つとして、両社が構築した高精度切羽前方探査システムについて述べる。

2. 高精度切羽前方探査システムの構築

山岳トンネル工事では、地山や現場の状況によって、必要となる情報は異なる。そこで、表-1に3手法により判明する物性値を、表-2に地山の性状と物性の関連を示した。組合せて使用する探査技術としては、TDEM法（地表からの電磁法による比抵抗調査。地表からの探査深度 700m）、TSP（トンネル坑内からの地震波による切羽前方 100m～150m の探査）、DRISS（穿孔用ジャンボのドリフターを利用したトンネル切羽から 30m～50m の探り削孔）の3つである。この3技術について、個別に地山状況に応じた特性（長所・短所）および適用範囲とその限界を再検証し^{1),2),3)}、地山状況あるいは施工状況に応じた効率的な技術の組合せを探るとともに、各探査法によって得られる異なる物性値（比抵抗値、弾性波反射面、穿孔油圧データ）の総合的検討による探査システムフローに基づいて探査を実施する。複雑な地質構造や土被りが大きいなど事前調査による情報が不十分な場合、表-1 表-2 に示した物性と、各探査法の長所・短所をふまえ、図-1 のフローに基づいて適切な探査を段階に応じて選択・適用し地山情報を得る。また、トンネル掘削によって得られた切羽情報を探査結果にフィードバックし、再検討することにより地質構造の解析技術の向上をはかる。なお適用事例については、別掲論文^{2),3)}にて述べる。

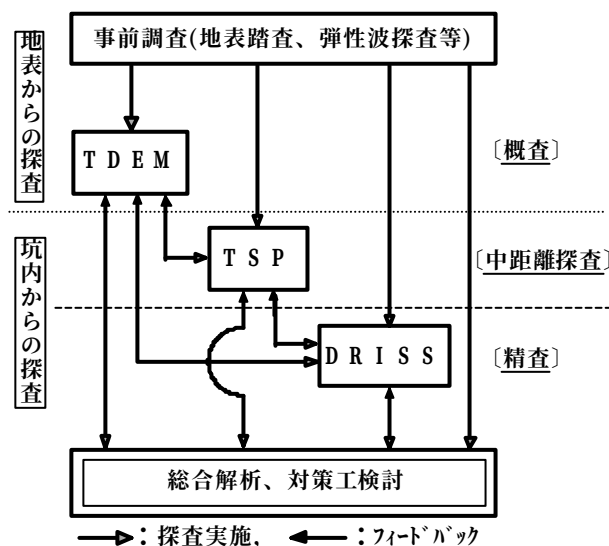


図-1 高精度切羽前方探査システムの適用フロー

Key Word: 切羽前方探査、TDEM法、TSP、DRISS(穿孔探査)

戸田建設(株)土木工事技術部: 東京都中央区京橋1-7-1 新八重洲ビル TEL.03-3535-1614 E-mail toshiaki.hara@toda.co.jp

西松建設(株)技術研究所: 神奈川県大和市下鶴間 2570-4 TEL.046-275-0055 E-mail hirat@ri.nishimatsu.co.jp

表-1 各探査により判明する物性値

地山の物性			探 査 法		
			TDEM	TSP	DRISS
弾性波速度	V _p	m/s	—	△	—
	V _s	m/s	—	△	—
密度(γ)		kN / m ³	—	△	—
一軸圧縮強度(q_u)		MPa	—	—	△
弾性定数(E, i)		MPa	—	△	△
音響インピーダンス($\gamma \cdot V$)		kN/s・m ²	—	○	—
比抵抗値($\bar{\rho}$)		Ωm	○	—	—
穿孔エネルギー		J/cm ³	—	—	○
ダンピング圧		MPa	—	—	○
回転圧		MPa	—	—	○
地質構造の走向傾斜		度	△	○	△

○：判明、△：判明する場合もある、—：不可

表-2 地山の性状に関わる物性

地山の物性			地山の性状				
			岩質	地層境界	地下水	断層	変質帯
弾性波速度	V _p	m/s	△	△	△	○	○
	V _s	m/s	△	△	△	○	○
密度(γ)		kN/m ³	△	△	—	○	○
一軸圧縮強度(q_u)		MPa	○	△	—	△	○
弾性定数(E, i)		MPa	○	—	—	△	△
音響インピーダンス($\gamma \cdot V$)		kN / s・m ²	—	△	—	○	△
比抵抗値($\bar{\rho}$)		Ωm	○	△	○	○	○
穿孔エネルギー		J/cm ³	△	△	—	○	○
ダンピング圧		MPa	△	△	—	○	○
回転圧		MPa	—	△	—	△	△
地質構造の走向傾斜		度	—	○	—	○	△

○：判明、△：判明する場合もある、—：不可

3. 高精度切羽前方探査システム適用の効果

複数の探査法を組合せた切羽前方探査システムを戸田・西松で共有し、トンネル現場に適用することで、従来の1社内での適用・検討に比べ、以下の点でまさと考えられる。

(1) 探査実施位置及び探査方向が各探査により異なるため、対象となる地質構造を多角的に捉えることができる。特に有効な地質条件を以下に示す。

- ① 土被りが 200m 以上や地質構造が複雑など事前調査の弾性波探査が有効でない場合、TDEM 法による概査、TSP、DRISS による坑内からの精査の組合せにより、問題となる地質構造が絞り込まれる。
- ② TDEM 法は地表からの探査、TSP、DRISS はトンネル坑内からの探査であるので、トンネルに対し水平な地質構造でも垂直な地質構造でも探査を組合せることにより捉え易くなる。

(2) 過去のトンネル現場での探査実績シート（設計・探査・掘削の対照、施工への反映）および解釈法のノウハウを共有し、探査の適切な実施を図る。施工中においては、トンネル掘削結果と実施した探査結果の比較対照を行い、かつ探査実績シートを参照し、支保工・補助工法の変更資料とすることができる。

(3) 両社で探査技術を共有することにより、探査器械の有効活用と探査技術・解釈に精通した人材を共有することになり、技術力の向上が図られ、探査結果から対策工への展開等の施工の効率性に寄与する。

4. まとめ

本論文では、トンネル施工上問題となる地質構造の把握を、異なる探査法の組合せによって行う手法を示した。各探査法は、個別には数多くの実績を有するが、それらを組合せてより合理的で精度の高い探査法を目指した事例は少ない。現時点では、上記3技術を基本として組合せ方法を検討しているが、現場の状況によっては、高密度弾性波探査による再解析や他の探査法等の導入も考慮する。今後さらに両社内での円滑な探査システムの水平展開をはかり、安全かつ効率的、経済的な施工に寄与していくとともに、探査データの収集・分析を継続して行い、より高精度な探査システムの構築を目指していきたい。

【参考文献】

- 1) 原敏昭、岡村光政、木村哲、石山宏二、平野享：高精度切羽前方探査システムの提案，第56回土木学会年次学術講演会講演概要集Ⅲ，2001.10
- 2) 石山宏二、木村哲、平野享、山下雅之、熊谷成之、原敏昭：高精度切羽前方探査システムの適用，第57回土木学会年次学術講演会講演概要集Ⅲ，2002.9
- 3) 平野享、木村哲、石山宏二、堀場夏峰、熊谷成之、原敏昭：TSP202とTSP203の性能比較を目的とした現地試験，第57回土木学会年次学術講演会講演概要集Ⅲ，2002.9