

山岳トンネルにおける掘削発破を利用した切羽前方探査の適用事例

安藤ハザマ 土木事業本部 正会員○中谷匡志 正会員 山本浩之
 安藤ハザマ 大阪支店 安宅トンネル(作) 浅野雅史 奥西健二

1. はじめに

山岳トンネルにおいて、掘削発破を起振源とした坑内弾性波探査システム「トンネル フェイステスター(以下、TFT 探査)」を開発した。TFT 探査は、掘削発破を利用することで施工サイクルに影響を与えずに、安全に切羽前方探査を可能としたものである¹⁾。測定システムの概念図を図-1 に示す。

今回、実際のトンネル現場に TFT 探査を適用し、切羽前方に想定される破碎帯の位置を予測したところ、良好な結果が得られたので報告する。

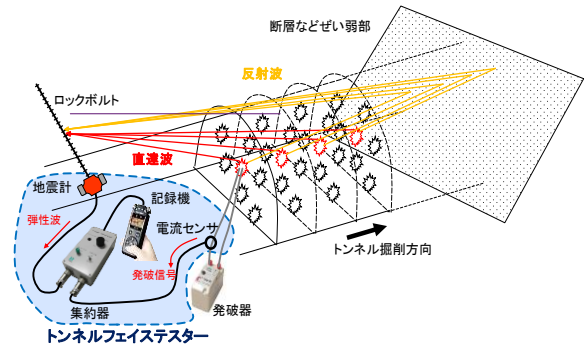


図-1 測定システムの概念図

2. 探査方法

TFT 探査は、「集約器」「電流センサ」「記録器(24bit/96kHz)」「地震計(固有周波数 28Hz)」から構成される(図-1 参照)。

探査方法は、切羽から 50m 程度後方の支保として設置されるロックボルトの頭部に地震計を機械的に固定する。掘削発破毎に、発破母線に取付けた非接触の電流センサから得られる発破信号(トリガー)と、地震計から得られる弾性波を、集約器を通じて記録器で同期収録する。計測波形例を図-2 に示す。

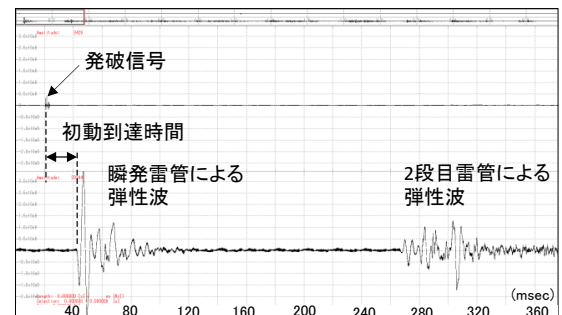


図-2 計測波形例

発破信号と弾性波波形データは同一時間軸で出力されることにより、発破信号と弾性波(P波)の到達時刻の差から、初動到達時間を読み取ることができる。なお、TFT 探査では、瞬発雷管を起振源とする弾性波を使用し、2段目雷管による弾性波が到達するまでの約 250msec 間で測定した反射波のみを使用する。

3. 探査結果

近畿地方整備局発注の安宅トンネル工事(L=1,708m、内空断面=66m²)は、古第三紀四万十累帯牟婁層群の砂岩優勢・泥岩互層から構成されている。本トンネルの地質縦断面を図-3 に示す。

図-3 に示すように、TD.1,350~1,523m 区間(土被り約 180~250m)において 2 条の破碎帯が想定されており、これらの破碎帯の切羽出現位置を予測するために TFT 探査を実施した。具体的には、探査区間を TD.1,249~1,550m とし、地震計を TD.1,249m のロックボルトに設置し、TD.1,302~1,368m 区間の発破を利用して弾性波データを取得した。探査区間の地質は、砂岩優勢砂岩・泥岩互層(M-Alt-Sd)で比較的均一な地質状況であった。37 回の掘削発破の位置(TD.(m))と受振点に弾性波の初動が到達した時間とを整理したグラフ(走時曲線)を図-4 に示す。

図-4 より、相関係数は $r=0.99$ を示し、精度良く探査が実施できているものと考えられる。反射面の予測では、37 データを用いてデフラクシオンスタックマイグレーションにより、各解析点における反射エネルギーを算出した。解析結果を図-5 に示す。

解析は、受振点を原点とする半径 r ($0 \leq r \leq 300\text{m}$) が 2m、中心角 θ ($0 \leq \theta \leq 90^\circ$) が 2° 間隔毎の座標点($r \cos \theta$, $r \sin \theta$)を解析点として設定した。なお、図中のバブルは各解析点の反射エネルギーの大きさを表している。

キーワード：トンネル、切羽前方探査、掘削発破、反射法弾性波探査

連絡先：〒107-8658 東京都港区赤坂六丁目 1 番 20 号 TEL:03-6234-3670 FAX:03-6234-3704

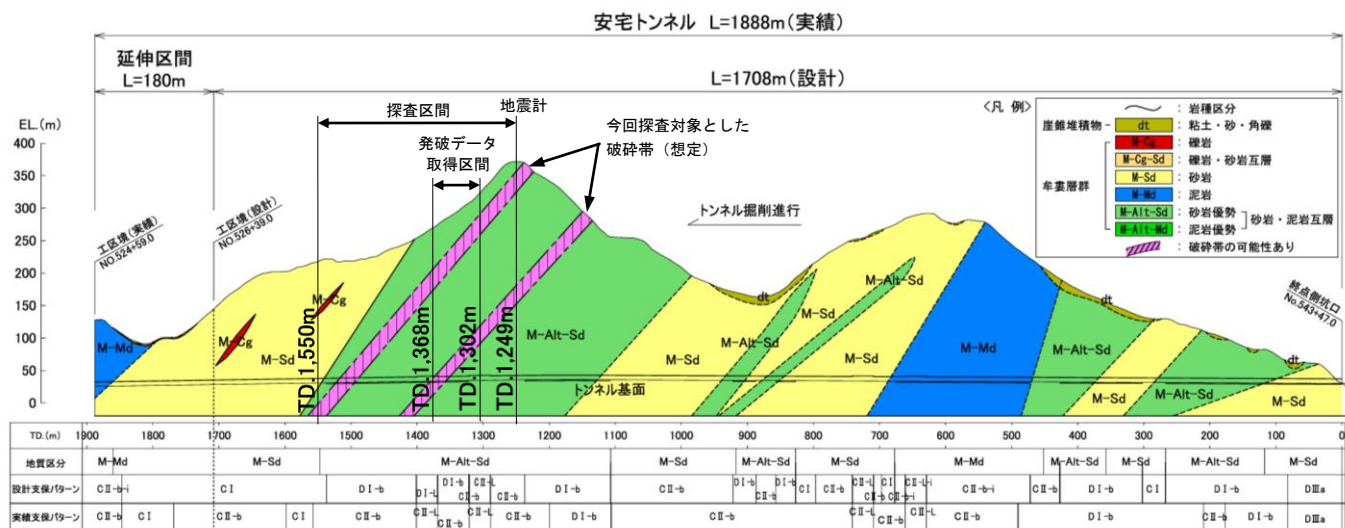


図-3 地質縦断図(設計-実績)

図-5 から、トンネル基面付近では、4 箇所では反射面が捉えられていることがわかる。なお、TD.1,249~1,400m、離れ 180~300m 付近の反射面については、探査区間の土被りと一致することから、地表面からの反射と考えられる。

得られた 4 箇所の反射面はそれぞれ、TD.1,395, 1,440, 1,475, 1,530m においてトンネル基面と交わることから、この付近において切羽での地質の変化が予測された。これに対して、実際の切羽では TD.1,401 ~ 1,503m 区間において、最大 1,300L/min 程度の湧水を伴う粘土を挟在する破砕帯が確認され、特に TD.1,395~1,475m で捉えた反射面はこの破砕帯を予測したものと考えられる。

4. おわりに

今回、施工中のトンネル現場においてTFT探査を適用した。得られた反射波を用いて解析を行ったところ、切羽前方4箇所では反射面を捉えることができた。その後掘削を進めると、解析と同程度の位置において大量湧水を伴う破砕帯の出現が確認され、TFT探査による予測と合致しているものと判断された。今後は、様々な地質での適用を行うとともに、走向傾斜など地質構造の予測方法などの検討を行う予定である。

参考文献

1) 中谷ほか：掘削発破を用いた反射法弾性波によるトンネル前方探査技術の開発と適用事例，土木学会第69回年次学術講演会講演概要集，VI-036，pp.71-72，2014。

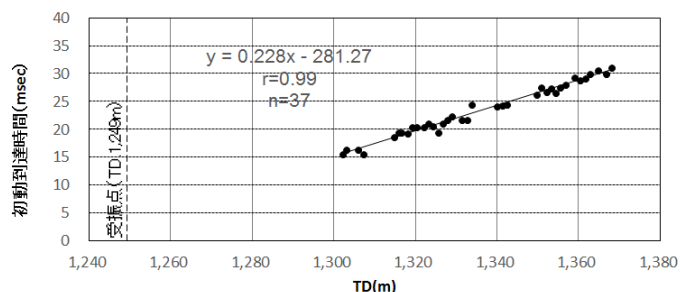


図-4 走時曲線

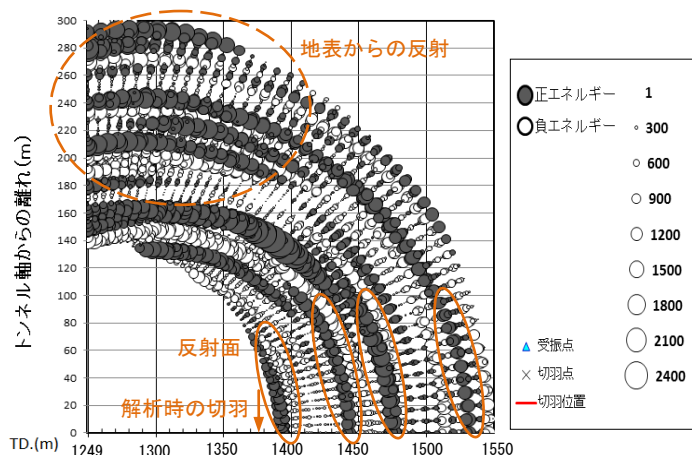


図-5 解析結果 (TD. 1, 249 ~ 1, 550m 区間)



図-6 切羽写真 (TD. 1401.75m, No. 529+45.25)