

坑内反射法弾性波探査の比較実験

大成建設(株)技術センター 正会員 ○山上 順民、市来 孝志
 大成建設(株)関西支店作業所 非会員 大石 裕基
 サンコーコンサルタント(株) 非会員 村田 和則
 (株)ジオファイブ 非会員 岡谷 智一

1. はじめに

山岳トンネルの工事において、施工上問題となる可能性のある地山（破碎帯、湧水帯）情報を事前に把握することは安全性、効率性の上で重要である。事前にこれらの地山情報を把握する目的として、反射法地震探査の原理を用いた切羽前方探査が行われてきた。この代表的な方法として、探査用の発破を震源とする TSP（Tunnel Seismic Prediction）¹⁾ が挙げられるが、掘削作業を中断する必要があった。そこで最近では、TFT（Tunnel Face Tester）²⁾ のように掘削作業に影響が及ばない掘削発破を震源とする探査法が開発され適用が進んでいる。著者らもこの簡便化に対応すべく掘削発破を震源とする探査法の開発に取り組んだ。この際、探査距離を長くできるように発破方法と受振器設置方法を工夫した（以下、開発法）。TSP303、TFT および開発法を同じ切羽位置から実施し、比較検証した結果を報告する。

2. 各探査方法の概要

TSP303、TFT、開発法の特徴を表-1 に示す。TSP303 と TFT は探査距離が 100~150m であるが、受振器の設置や探査が簡便で要する時間が短い。開発法の受振器は側壁に水平孔を 6.7m 削孔した後、3 深度に 3 成分センサーをモルタル充填で設置し、ノイズ低減による高感度化を試みた（図-1）。掘削発破は DS 段発電気雷管（通常間隔 250ms）の 2 段目を省略することで約 500ms の計測時間を確保した（図-2）。

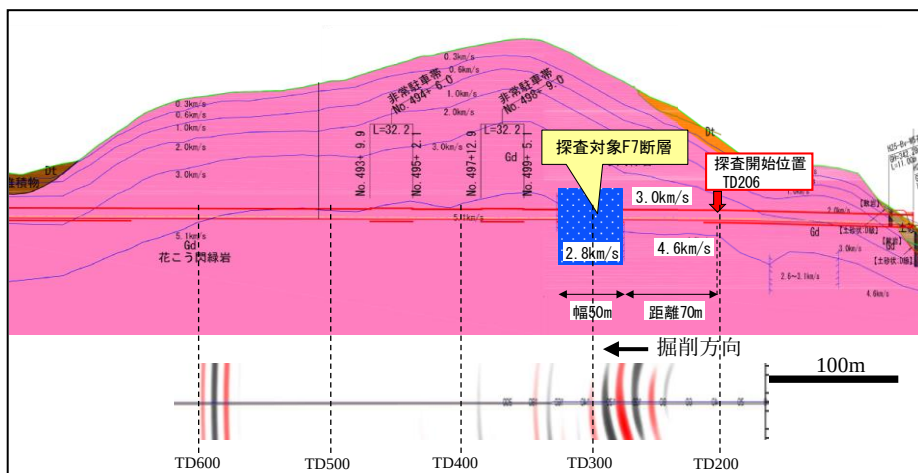


図-3 探査位置概要と開発法による結果

表-1 探査手法の概要

	TSP303 ¹⁾	TFT ²⁾	開発法
発振	探査用発破	掘削用発破	掘削用発破
受振	孔内 2m・埋設	ロックボルト 頭部	孔内 数m・埋設
探査距離	100~150m	100~150m	400m
探査時間	準備:1~2時間 探査:約2時間 解析:2~3時間 合計:最大7時間	準備:2時間 探査:0時間 解析:3時間 合計:約5時間	準備:6時間 探査:1時間 解析:3時間 合計:10時間
表示	2次元・3次元	1次元	2次元・3次元

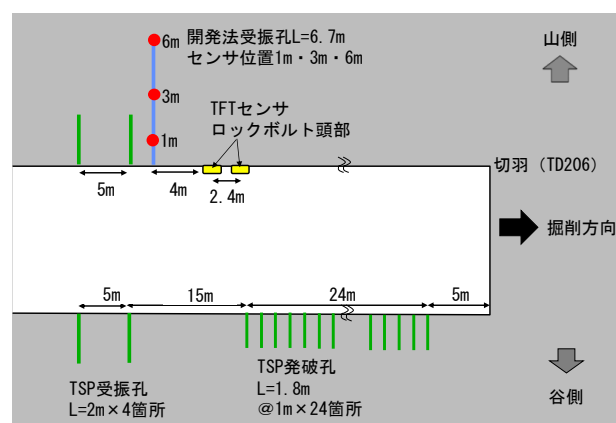
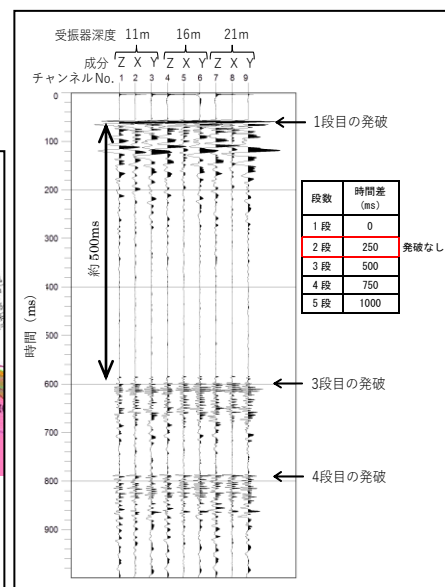


図-1 探査手法の概要

図-2 発破の概要
(3 成分受振器での受振結果)

キーワード 山岳トンネル、坑内反射法弾性波探査、切羽前方探査、TSP303、TFT
 連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 TEL 045-814-7217

このため、開発法は1段目の発破を用いて切羽前方のより深い位置からの反射波を受振できるようになった。

3. 検証実験サイトと検証方法

検証実験サイトは近畿地方整備局の荒島第一トンネルである。本トンネルは新第三紀の花崗閃緑岩を掘削する。実験位置での土被りは約100mであった。設計時に実施した地表からの屈折法弾性波探査において幅約50mの低速度帯(P波速度2.8km/s)が確認されたため、この低速度帯が探査範囲に入るように区間を設定した(図-3)。TSP303実施日にTFTと開発法の受振器設置等を行った(図-1)。掘削に合わせ10~20発破分のデータを取得しTFTと開発法の解析を行った。開発法では3次元マイグレーションによる解析を行った。

4. 検証結果

先進ボーリングとBHTV結果で得られた岩級分布を切羽観察で延長することでスライス平面図を作成し検証データとした(図-4上)。探査区間の地質は、切羽からTD250までがトンネル軸方向

にD/CL級が層状に分布した。その先が軸と斜交方向の破碎帯でTD250~285がCM主体、TD285~330がD/CL主体であった。本区間の支保工はCIIパターンが適用され、内空変位10mm程度、天端沈下が20mm程度であった。TSP303の結果、P波による評価ではD/CL主体区間の分布と相対的な低速度帯の分布が整合しなかった。一方、S波による評価では整合的な分布を示した。この理由は、TSPの解析特性の詳細が公開されていないため不明である。TFTと開発法に関しては、破碎帯の分布方向が変化するTD250付近と、D/CLが層状に分布する境界のTD285付近を把握することができ、脆弱地山の事前予知に有効であることがわかった。また開発法は探査時の切羽前方約150m(TD350)と約400m(TD600)の反射面を確認できた(図-3)。図-4範囲外であるが約150m(TD350)地点は明瞭にCL主体からCM主体に変わる位置であり、F7断層の端部をとらえたと解釈できた。

5. まとめ

掘削発破を用いた坑内反射法弾性波探査法を開発し、現状の代表的な探査法であるTSP303とTFTと比較実験を行った。この結果脆弱地山のD/CL級の位置や方向性に関して事前に兆候をとらえていることがわかった。しかしながら開発法は代表的な2つの手法と比較すると、準備や探査の簡便性の点で劣ることがわかった。反射面位置を求める際に速度を一定としているため切羽からより深部の位置精度は浅部と比べて低いと考えられるが、開発法は探査距離において優位な点を確認された。切羽前方400m地点も検証を行う予定である。今後は数mの受振孔に簡便に受振器を設置する技術を開発し、探査距離400m程度をコンスタントに実施できる方法の確立を目指したい。

参考文献

1) 四塚, 篠原: トンネル切羽前方探査システム TSP303, 建設機械施工, Vol.68, No.5, 2016
2) NETIS 登録番号 TH-170003-A 技術名称 トンネルフェイステスター (TFT 探査)

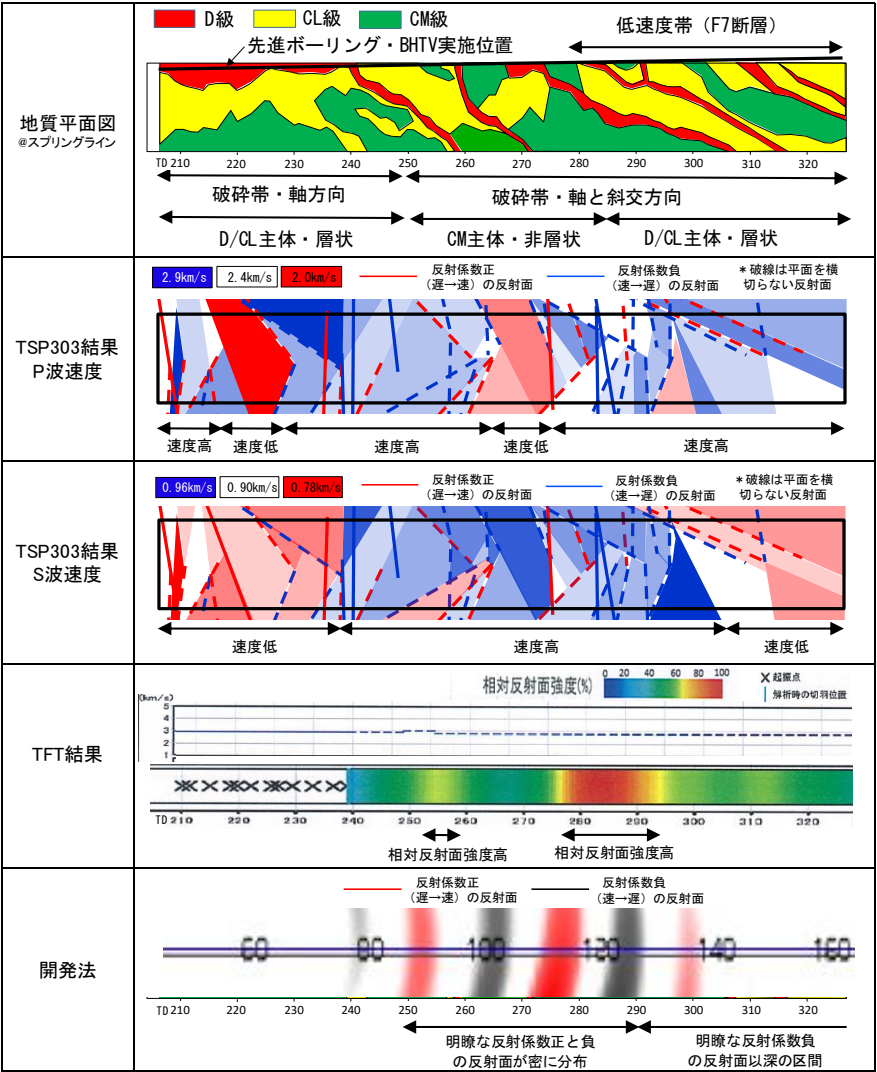


図-4 調査結果一覧図