

坑内反射法弾性波探査の比較実験における追加検証

大成建設(株)技術センター 正会員 ○山上 順民, 正会員 市來 孝志
サンコーコンサルタント(株) 非会員 村田 和則

1. はじめに

筆者らは、掘削作業に影響が及ばない掘削発破を震源とする坑内反射法弾性波探査として、発破方法と受振器の設置方法に工夫を施した探査法を開発し(図-1, 以下, 開発法), 現状の代表的な反射法弾性波探査法である TSP (Tunnel Seismic Prediction)¹⁾と TFT (Tunnel Face Tester)²⁾の比較実験を行った。この結果, 探査開始位置から切羽前方約 150m において, 開発法は脆弱地山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はすでに報告した³⁾。今回はトンネル掘削実績の記録が追加された前方約 150~400m に関して, 追加検証を行った結果について報告する。

2. 開発法の特徴

開発法の特徴は受振波の高感度化と探査距離の長距離化である。ノイズ低減による受振波の高感度化のため, 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た(図-2)。また, 探査距離の長距離化に関しては, 掘削発破において 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。これにより, 開発法では 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。地質は新第三紀の花崗閃緑岩である。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で幅約 50m の低速度帯(P 波速度 2.8km/s で F7 断層と表記)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)。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。

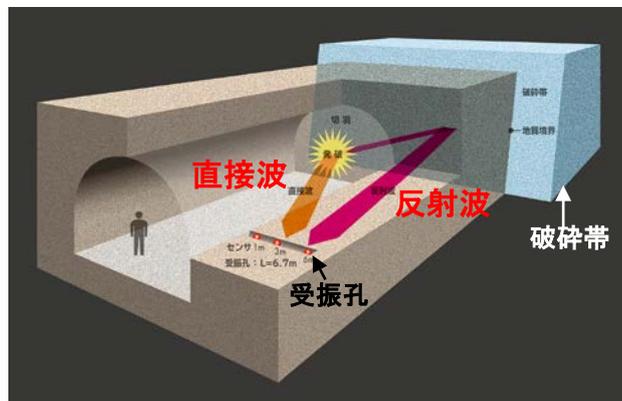
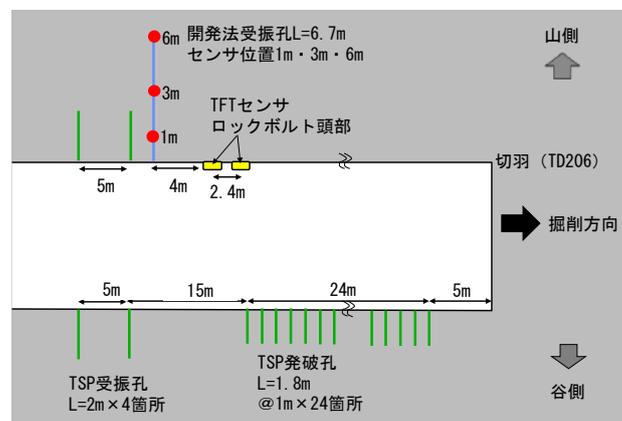
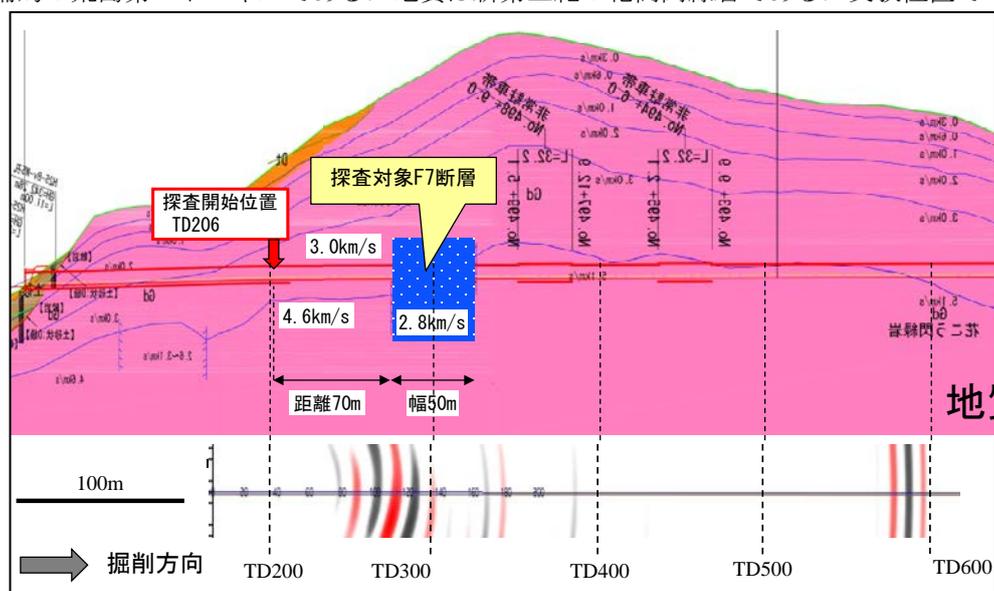


図-1 開発法の概要

図-2 探査手法の概要³⁾図-3 探査位置と開発法による結果³⁾

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

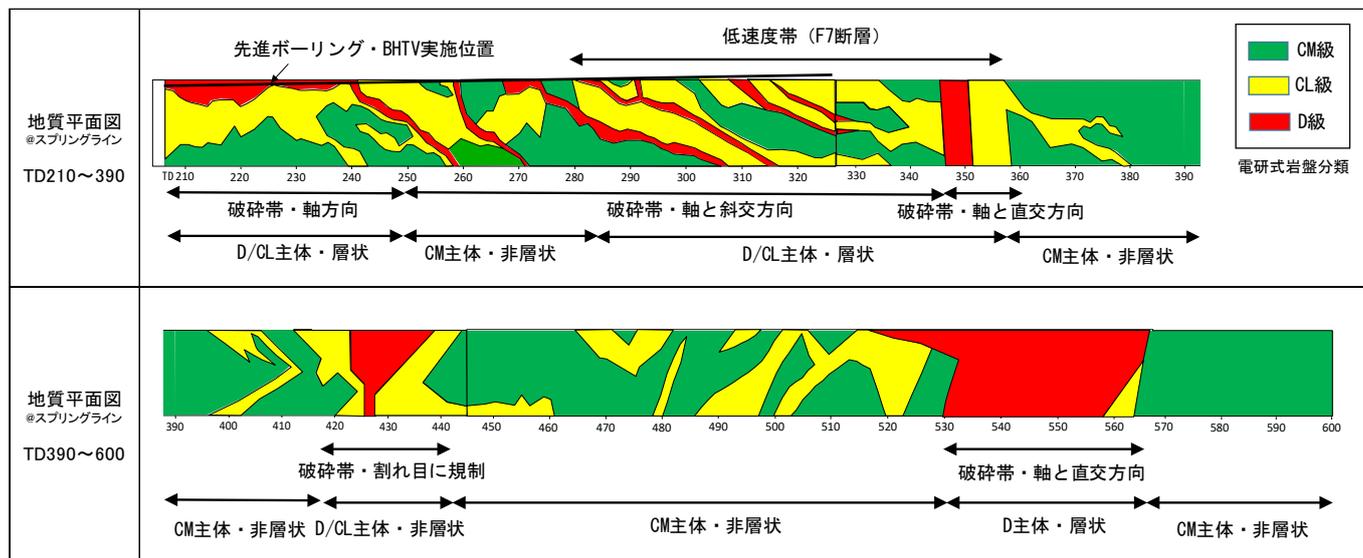


図-4 検証結果

4. 追加検証結果と考察

実験実施時の切羽位置 TD206 から TD326 の区間は、先進ボーリングのコアと 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)。一方、TD326 から TD600 の区間は切羽観察のみから作成したスライス平面図であるため、岩級分布の連続性評価に関しては上記区間より精度が低い。探査区間の岩質は、TD206 から TD250 までトンネル軸方向に D/CL 級が層状に分布した。その先はトンネル軸と斜交方向の破碎帯であり、TD250~285 が CM 主体、TD285~347 が D/CL 主体であった。TD347~360 は軸と直交方向の破碎帯であり、周辺で湧水が確認された。TD360~415 は CM 主体であった。TD415~440 の区間は D/CL 主体で、CL 級の割れ目帯に規制された特徴的な破碎帯の分布を示した。TD440 以降は、TD530~565 が D 主体 (トンネル軸直交方向) の破碎帯である以外は、部分的に CL を伴うが CM 主体であった。本区間の支保工は C II パターンが適用された。内空変位は TD400 までは 10mm であり、TD400~600 はばらつきが大きく変位の傾向を把握することが出来なかった。天端沈下は概ね 15mm 程度であり、TD367 と TD538~577 で 20~30mm となった。

岩質状況と変位結果から、前回未報告の TD326 以降に関しては、TD350~360 に F7 断層の端部が確認され、近傍で湧水と天端沈下の増大も確認された。TD415~440 の破碎帯に関しては特徴的な変形が確認されなかった。TD530~565 の破碎帯に関しては 20~30mm の天端沈下が確認された。上記した破碎帯と開発法で確認された反射面を比較すると (図-3)、TD360 の F7 断層端部の位置が TD340~350 の正と負の反射面、TD530~565 の破碎帯の位置が TD565~600 の正負を繰り返す反射面に相当すると解釈できる。TD415~440 の破碎帯が反射面として確認できなかった理由としては、割れ目帯の交差部であることや変形が小さいことから局所的な分布の破碎帯と推定している。

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検証実験を行った。切羽前方 365~400m に確認された明瞭な反射面の区間は前回の報告で未掘削区間であったが、約 40m 手前で同様な幅の破碎帯を確認できた。一般的に、反射法弾性波探査では反射面位置を求める際に弾性波速度を一定としているため、切羽から離れるに従って位置精度は低くなる。今回、開発法によって約 40m の誤差で破碎帯を検出できたことは、仮定した地山速度が実際に近かった効果大きい。代表的な探査法である TSP303 と TFT の探査可能範囲の 2~3 倍を超える探査距離の可能性を示すことができた。今後は数メートル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タスター (TFT 探査)
- 3) 山上ほか: 坑内反射法弾性波探査の比較実験, 令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会, III-93, 2020.