

道路トンネルにおける掘削発破を利用した坑内弾性波探査の実証実験

安藤ハザマ 土木事業本部 正会員○山本浩之 正会員 中谷匡志
 安藤ハザマ 四国支店 三木トンネル(作) 折元重信 西山秀哉

1. はじめに

山岳トンネルにおいて、掘削発破を起振源とすることにより、施工サイクルに影響を与えずに、弾性波探査および前方探査を可能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 (TFT)」を開発¹⁾し、実証実験を進めている。測定システムの概念図を図-1に示す。本報告では、実際のトンネル現場において本システムによる探査を試験運用したことから、探査状況および探査結果について示す。

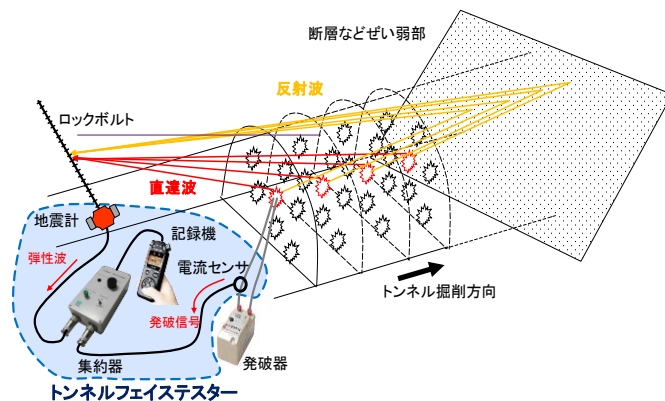


図-1 測定システムの概念図

2. 探査方法

本システムは、「集約器」「電流センサ」「記録器(24bit/96kHz)」「地震計(受振点、固有周波数28Hz)」から構成される(図-1参照)。探査方法は、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、切羽後方10~50mのロックボルト頭部に設置した地震計から得られる弾性波(直達波、反射波)を、集約器を通じて記録器で同期収録する。さらに、10~20回程度の掘削発破で得られた弾性波データより、直達波から切羽近傍の弾性波速度、反射波から切羽前方の不連続面(断層や地質境界など)の位置を算出する。

3. 探査状況

本検討は、西日本高速道路株式会社発注の高松自動車道三木トンネル工事(工事延長L=4,200m中、トンネル延長L=784m)におけるTD.67~89m区間で弾性波探査、TD.128~162m区間で切羽前方探査を実施した。地質は、中生代白亜紀領家花崗岩類から構成されている。地質縦断面図を図-2に示す。探査を実施した2区間の地山等級(当初設計)は、DⅠ($V_p \leq 2.6$ km/s)であり、切羽前方探査による予測を実施した切羽位置(TD.128m)では、10~30m前方に低速度帯($V_p=2.0$ km/s)が想定されていた。

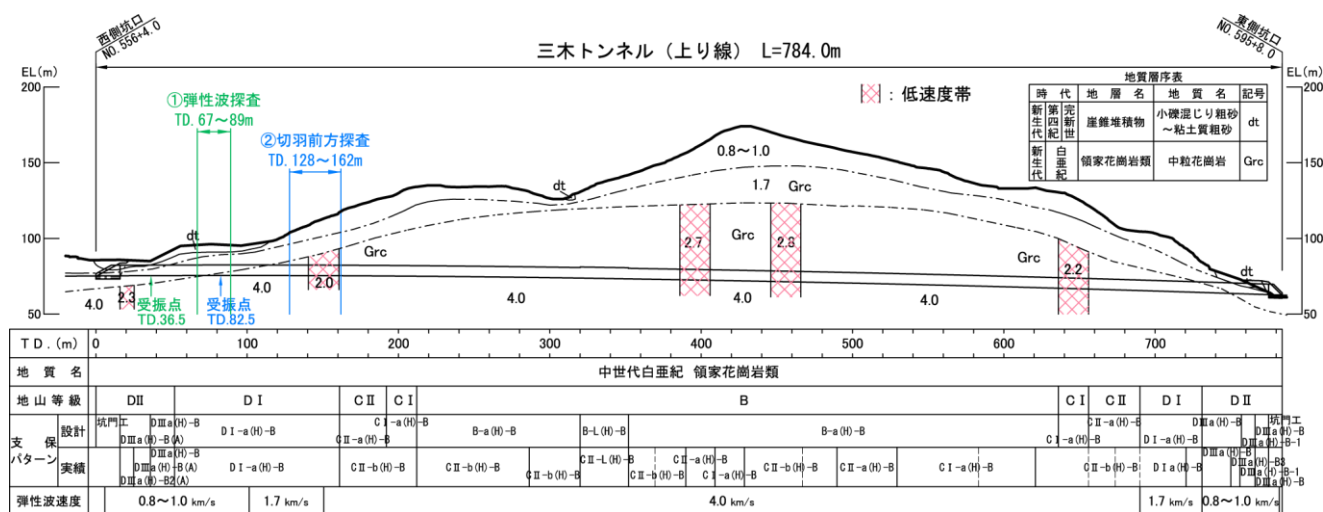


図-2 地質縦断面図(当初設計)

キーワード：山岳トンネル、弾性波探査、前方探査、掘削発破

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

4. 探査結果

4-1. 弾性波探査結果 (TD.67～89m 区間)

弾性波探査結果を図-3 に示す. 図-3 は, 地震計(受振点, TD.36.5m) の位置を原点として探査距離と初動到達時間との関係を整理したものである.

図-3 より, 得られた弾性波速度は V_{p2} (第2速度層) = 4.3km/s であり, 相関係数 $r=0.93$ を示すことから, 精度良く探査されているものと考えられる. ここで, 勾配変化点を $X_0=34.7\text{m}$ として, V_{p1} を (第1速度層) 推定すると, $V_{p1} \leq 2.9\text{km/s}$ となる. さらに, 掘削による弾性波速度の低下領域 V_{p1} 層を「緩み領域」とし, 水平2層構造の走時曲線²⁾を仮定した場合, V_{p1} の層厚は $d=7.5\text{m}$ (最大) となる (図-4 参照).

これらの結果に対し, 探査区間での実績支保パターン D I -a(H)-B (地山等級 D I 相当) の設計値は, $V_p \leq 2.6\text{km/s}$ であり, やや高い数値を示す. この原因としては, 片走時による推定であり切羽から受振点までの離隔が大きいことから, 第1速度層を正確に捉えていないものと考えられ, 今後防爆養生などにより地震計を切羽へ近接させることや増設することで, 探査精度を向上させる必要がある.

4-2. 切羽前方探査結果 (TD.128～162m 区間)

切羽前方探査結果を図-5 に示す. 図-5 は, 得られた 19 回の弾性波データを用いて, デフラクションスタックマイグレーション (DS 法) により, 各解析点における反射エネルギーを算出し, 上図にバブルチャート, 下図にバーチャートで反射面の探査距離とトンネル軸からの離れを整理したものである.

図-5 より, 切羽前方 2 箇所 (TD.136～144m, TD.148～151m) で, 反射面が捉えられている. 実際の切羽では, TD.137～154m 区間で花崗岩体中に多亀裂のひん岩脈 (貫入岩) がトンネル軸方向で出現し, この地山不良部が想定された低速度帯と判断された.

5. おわりに

今回実際のトンネル現場において, 開発したシステムによる坑内弾性波探査を実証実験し, 概ね良好な結果が得られたものの, いくつかの課題も挙げられた. 今後, 本システムの実用化へ向けて精度向上の改良を実施する予定である.

参考文献 1) 山本浩之・中谷匡志・浅野雅史・佐々木照夫: 掘削発破を利用した坑内弾性波探査によるトンネル切羽評価方法の検討, 土木学会第69回年次学術講演会講演概要集, VI-035, pp.69-70, 2014. 2) 物理探査学会: 物理探査ハンドブック手法編第2章屈折法地震探査, pp.118-121, 1998.

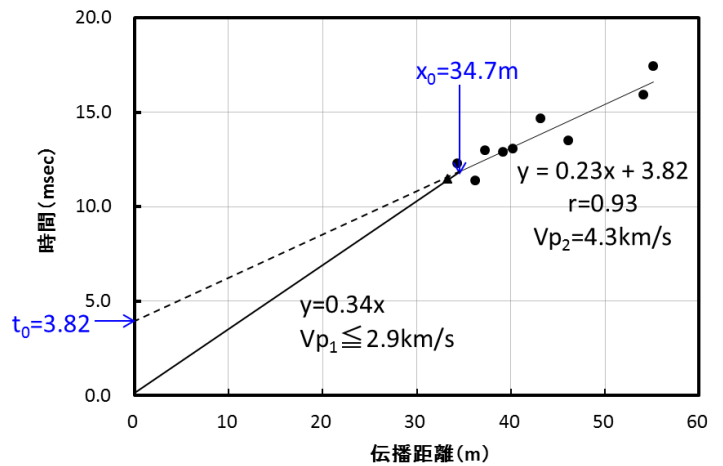


図-3 弾性波探査結果 (走時曲線)

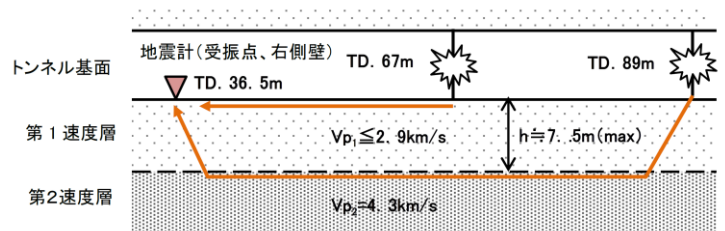


図-4 速度領域モデル概念図 (平面図)

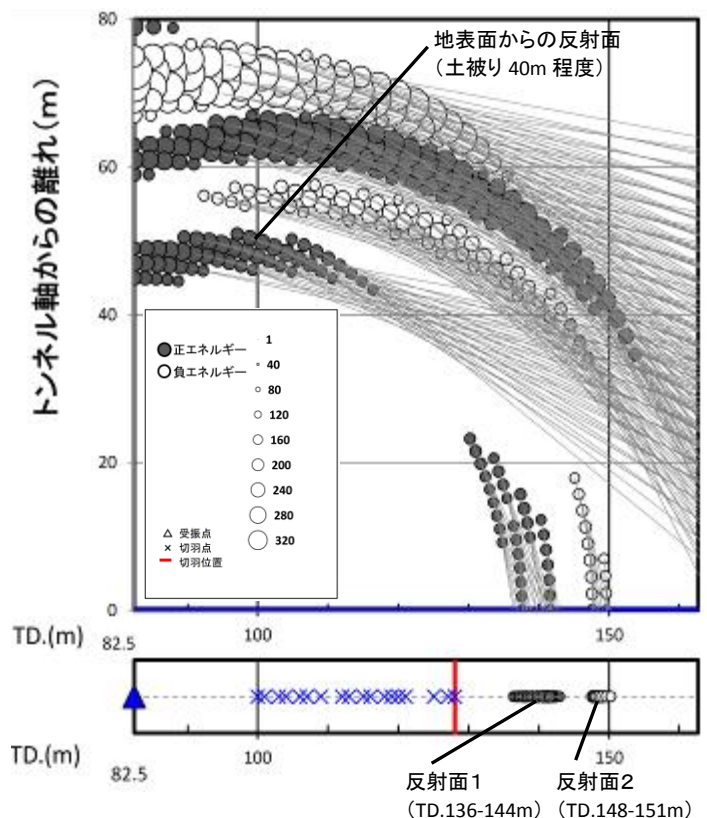


図-5 切羽前方探査結果 (DS 法)