

掘削発破を利用した坑内弾性波探査による緩み領域評価の検討

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 大阪支店 大庭トンネル (作) 靱山雅彦 瀧口裕介

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 (TFT)」を開発した。本システムは、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、安全に弾性波探査および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。

本報告は、実際のトンネル現場において探査し、切羽近傍の弾性波速度を得るとともに緩み領域の評価を行い、B 計測によるロックボルト軸力計データとの検証結果について示す。

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 (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 10～100m 後方のロックボルト頭部に地震計を設置し固定する。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直達波 (弾性波) を、集約器を通じて記録器で同期収録する。弾性波探査方法の概念図を図-2 に示す。

10～20 回程度の掘削発破で得られた探査データに基づき、切羽～地震計までの弾性波 (直達波) の到達時間と切羽～地震計までの距離を、図-3 に示すような走時曲線を描くことで、切羽近傍の弾性波速度を算出する。なお、屈折距離: ℓ 、第 1 速度層: V_{p1} 、第 2 速度層: V_{p2} より、第 1 速度層厚: d は、次式で表すことができる²⁾。

$$d = \ell / 2 \sqrt{(V_{p2} - V_{p1}) / (V_{p2} + V_{p1})} \quad (1)$$

3. 探査結果

本検討は、兵庫県発注の (国) 178 号浜坂道路大庭トンネル工事 (L=749m) における TD.8.0～57.1m 区間で実施した。地質は、新第三紀中新世北但層群豊岡累層の礫岩および安山岩類 (貫入岩) から構成され、探査区間は礫岩が分布している。地質縦断図を図-4 に示す。

設計支保パターンは、D I -b (一部坑口: DIII, $V_p=1.5\sim3.0\text{km/sec}$) および C II -b ($V_p=3.0\sim3.5\text{km/sec}$) であったが、実績支保パターンは切羽観察結果に基づき、D I -b (一部坑口: DIII) が採用されている。

探査は、TD.22.0～57.1m 区間の掘削発破データ (全 27 回) により弾性波速度を算出した。地震計は、切羽後方 14m に位置する TD.8.0m の右側壁のロックボルト頭部に設置し固定した。地震計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図-5 に示す。

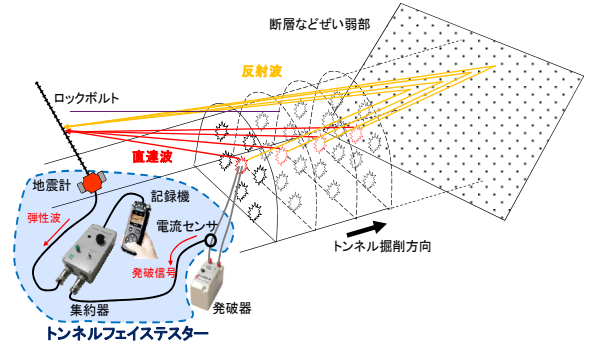


図-1 測定システムの概念図

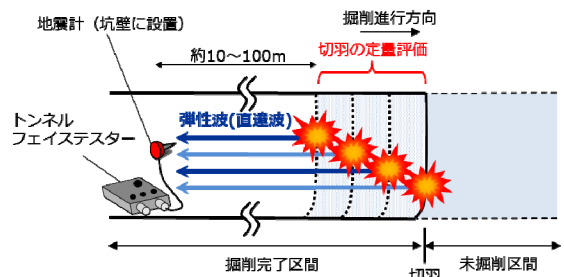


図-2 弾性波探査方法の概念図

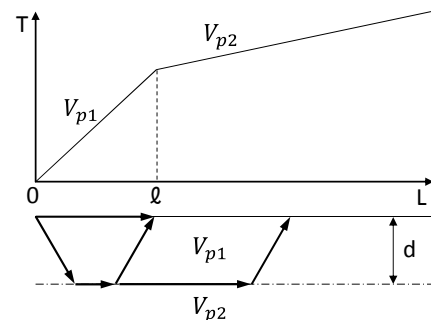


図-3 水平2層構造の走時曲線

キーワード: トンネル, 弾性波探査, 掘削発破, 緩み領域

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-5 より、得られた弾性波速度は V_{p2} (第2速度層) = 3.3km/sec であり、相関係数 $r=0.98$ 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 $\ell=14\text{m}$ として、 V_{p1} (第1速度層) 推定すると、 $V_{p1}=1.7\text{km/sec}$ 以下となり、探査区間の実績支保パターンはD I -b であることから、探査結果で得られた V_{p1} 速度値とほぼ整合する。

ここで、掘削による弾性波速度の低下領域 V_{p1} 層を「緩み領域」とした場合、式 (1) より V_{p1} の層厚は $d=4.0\text{m}$ となる。探査結果をまとめた速度領域モデルを図-6 に示す。

これに対して、TD.44.1m で実施した B 計測 (ロックボルト軸力計) の結果を図-7 に示す。

図-7 より、坑壁より 1.5~3.5m 程度の付近に応力のピークが見られる。今回探査を行った右側壁に注目すると、3.5m 付近まで緩み領域が推定されることから、図-6 で得られた範囲 ($d=4.0\text{m}$) はほぼ同程度の結果が得られているものと考えられる。

4. 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弾性波探査を実施した。その結果、相関係数 $r=0.98$ が得られており、精度良く探査できているものと判断される。また、探査で得られた V_{p1} と採用された支保パターンの設計 V_p 、 V_{p1} 層厚と B 計測 (ロックボルト軸力計) 結果で得られた緩み領域範囲において、ほぼ整合した値が得られており、切羽近傍の定量評価において有効なデータが簡易に得られるものとする。

今後、本システムの弾性波速度や緩み領域の精度を検証する上で、様々な岩種、各支保パターンにおける関係、孔間弾性波探査や地中変位計との比較実験など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。

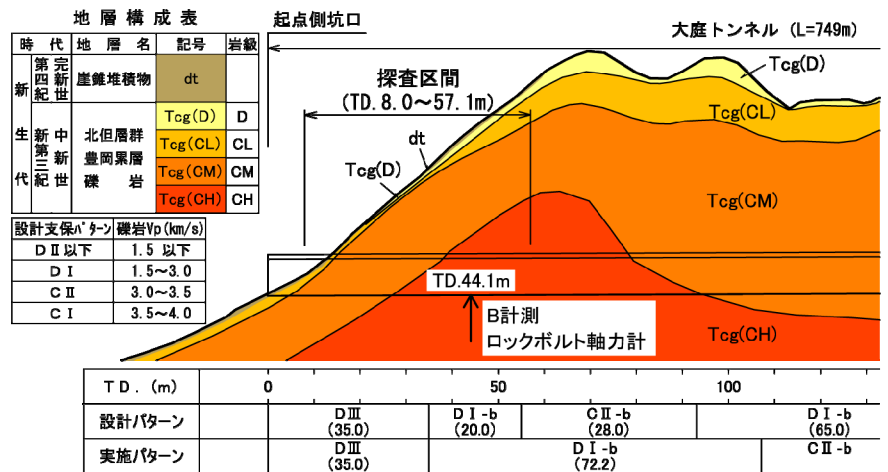


図-4 地質縦断面図 (設計—実績)

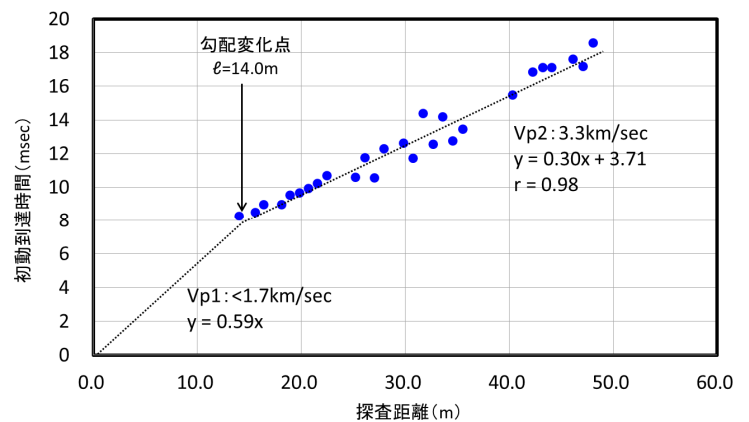


図-5 探査結果

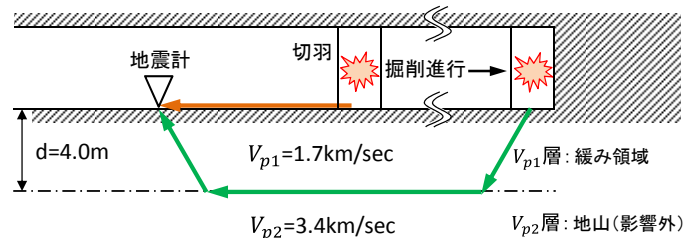


図-6 速度領域モデル概念図 (平面図)

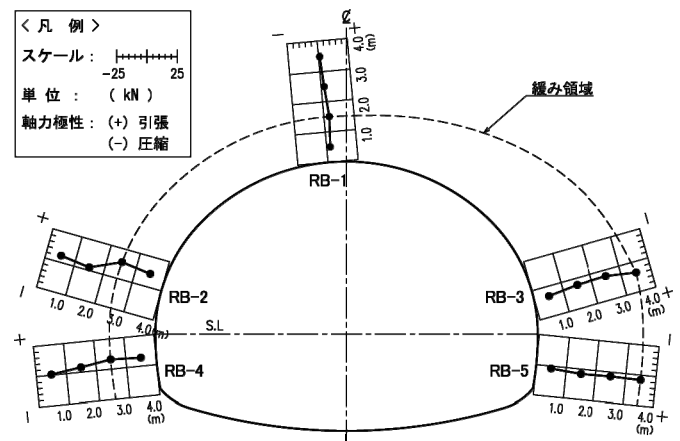


図-7 ロックボルト軸力測定断面分布図 (TD. 44. 1m)