安藤ハザマ 土木事業本部 正会員〇中谷匡志 正会員 山本浩之 安藤ハザマ 名古屋支店 佐久間トンネル(作)上林凡人 湯本健寛 平方宏朋

## 1. はじめに

筆者らは山岳トンネルにおいて,掘削発破を起振源とす る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)」の開発を行っている.TFT 探査は,施 工設備を利用(起振源:掘削発破,受振器:ロックボルト) することで,施工サイクルの中で弾性波探査を実施し,ト ンネル基面における定量的な地山評価および切羽前方の地 質状況を予測することが可能な探査システムである<sup>1)</sup>.

しかしながら、従来の有線システムの課題として、設置 作業にある程度の時間を要することから、複数の受振点で の計測が困難であった.そこで、ケーブル類を不要とする システムに改良することで、設置作業を簡略化し多点での 計測を可能とした.システムの概念図を図-1に示す.また、 本システムでは掘削発破による切羽前方探査とともに、ハ ンマー打撃を起振源とした、トンネル基面における定量的 地山評価が可能となっている.

本稿では、開発したシステムの構成を示すとともに、実際のトンネル坑内における探査実験について報告する.

## 2. システム構成

本システムの構成を図-2に,機材配置例(掘削発破による切羽前方探査の場合)を図-3に示す.

弾性波データを記録する「①AD ユニット」は、地震計、ロ ガー、バッテリーなどが一体化されたもので、2 基での探査 を標準仕様とする.また、設置は固定用治具と既設の支保 エロックボルトを利用することで、坑壁に密着した固定を 行う.これにより、発破振動による機械自体の共振を防ぐ ことで、ノイズの影響が少ない良好なデータを取得するこ とが可能である.AD ユニットの諸元を表-1 に示す.

データの記録については、「②トリガーセンサー」が、起 振信号を捉えると、「③トリガーユニット」から「①AD ユ ニット」にトリガー信号(送信周波数:800MHz 帯,通信

![](_page_0_Figure_11.jpeg)

 ①AD ユニット
 ①AD ユニット

 No. 1
 No. 2
 ②トリガーセンサー

 ③トリガーユニット
 ●
 ●

 ③トリガーユニット
 ●
 ●

 ⑤タブレット PC
 ④
 ●

 ④
 ●
 ●

図-2 改良システムの構成

![](_page_0_Figure_14.jpeg)

図-3 機材配置例(平面図,掘削発破利用時)

表-1 AD ユニット諸元	
成分数	1成分(水平切羽方向)
センサー	GS-20D(28Hz)
サンプルレート	5kHz,10kHz,20kHz
A/D分解能	24ビット
外寸	底面直径280mm,厚さ64mm

距離:最大 110m 程度)を送信することで記録を開始する.なお、「②トリガーセンサー」は、発破母線に設置する「掘削発破用」と、ハンマーに設置する「ハンマー打撃用」から選択する.

計測時には、「④起動スイッチ」を遠隔操作(送信周波数:426MHz,通信距離:最大150m程度)することによ
 キーワード:山岳トンネル、ケーブルレス、切羽前方探査、掘削発破、簡易弾性波探査
 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

り機材①②の起動を行い,記録後は自動停止する.このよう に,計測時のみ機材を起動することで,消費電力を低減し, 無給電での連続探査が1ヶ月程度可能となっている.

なお,解析に必要なデータ数については,原則24データ(12 発破(3日程度の計測))とし,この期間は機材の移設は行わ ない.また,解析時のデータ収集および解析作業は,専用ソ フトウェアをインストールした「⑤タブレッド PC (Panasonic 社製,FZ-G1)」を用いて行い,Bluetoothによるデータ収集後, 1時間程度の作業で解析結果が出力可能である.

## 3. ハンマー打撃による定量的地山評価

受振点を2点とすることで、両走時による弾性波速度の算 出が可能となり、高精度の地山評価が可能となる.以下に実際のトンネル現場における探査実験について詳述する.

実験を行ったトンネルは,全長 L=2,400m 程度の道路トンネルで,実験区間の地質は領家変成岩類珪質片岩泥質片岩互層から構成される.図-4 に実験時の機材配置を示す.

受振点となる AD ユニットは, TD.431.8m, 447.4m の坑壁 に設置した.また, TD.433.0-446.2m 区間の支保工ロックボ ルト(1.2m間隔, 12点)を起振点とした.計測状況を図-5, 計測データの最大振幅値を一定とした波形を図-6に示す.

図-6から、ハンマー打撃によりノイズの少ない明瞭な弾性 波波形が得られていることがわかる.また、専用ソフトを用 いて各データの初動を読取った結果を図-7に示す.

近似直線(相関係数 r=0.99)の勾配から算出される弾性波 速度は、 $Vp_1=2.0$ km/s、 $Vp_2=2.7$ km/s となった(図-7 上図). また、水平 2 層構造の仮定に基づく萩原の方法から、走時曲 線の折点と弾性波速度から得られる緩み領域厚( $Vp_1$ 層厚)は d=0.69m となった(図-7 下図).

以上より、本システムによる簡便な計測により、トンネル 基面における定量的地山評価を実施できることを確認した.

## 4. おわりに

今回,従来のTFT探査システム(単受振,有線)から,複数 の受振点での計測が可能となるケーブルレスシステムへと改 良を行った.本報告では,ハンマー打撃を起振源とした探査 実験を実施し,施工中のトンネル坑内において高精度かつ簡 便な定量的地山評価が可能であることを確認した.

今後は、様々な地質でデータを蓄積し精度の向上を図ると ともに、3成分計測による切羽前方探査を検討する計画である. 1) 中谷ほか: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、土木学会第70回年次学術講演会講演概要集, VI-676, pp.1351-1352, 2015.

![](_page_1_Figure_13.jpeg)

![](_page_1_Figure_14.jpeg)

図-5 計測状況

![](_page_1_Figure_16.jpeg)

![](_page_1_Figure_17.jpeg)