

## 自動計測によるトンネルトモグラフィ探査を活用した掘削管理

鹿島建設(株) 正会員 ○宮嶋保幸 栗原啓丞 松下智昭 井戸歩 横井克典 中嶋翔平  
 三重県伊賀建設事務所 富田朋史  
 日本工機(株) 正会員 村田健司

### 1. はじめに

筆者らはこれまでに、トンネルと地表間で広域弾性波トモグラフィを行うトンネルトモグラフィ探査技術を開発してきた<sup>1)</sup>。今回筆者らは、トンネルの掘削発破を探査振源に利用しながら、計測システムを自動化させたトンネルトモグラフィ探査システムを開発し、三田坂トンネルにおける実適用を行った。トンネルトモグラフィ探査を自動計測化することで、計測作業に負担をかけずに、日々のトンネル掘削サイクルの中で切羽前方の広域弾性波探査を連続的に行うことを可能とした。また、探査コストの抑制や探査結果の迅速なフィードバックによるトンネル掘削管理に貢献することができたので、ここに報告する。

### 2. トンネルトモグラフィ従来手法の課題

トンネルトモグラフィ探査では、精度の良い地山評価を行うために、複数回の発振データを取得し解析しなければならない。トンネル掘削発破を振源に利用する場合、データを取得するたびに現場で受振器の設置作業や計測作業を行っていても、汎用性に欠け、探査コストも高くなってしまふ。また、特に山間地域などの場合、計測作業後に専門の調査員が事務所に戻るのに時間がかかり、解析結果の迅速なフィードバックが困難な場合もあった。そこで、探査システムの自動化を試み、これらの課題解決に取り組んだ。

### 3. 自動計測システムの開発

トンネル坑内では、発破の点火信号検出器、坑内用データロガー、GPS 装置などを使用するが、扱いは簡易であり、それぞれを発破器に接続するだけで発振データを記録できる。自動計測システムを開発するにあたっては、地表探査システムに次の課題があった。

- ① 複雑な地表計測システム操作の自動化
- ② 野外計測で長期駆動が可能な電源の確保
- ③ 精密機器である受振器やケーブル、その他計測機器を長期間野外に放置

一つ目の課題に対しては、計測システムに取り付けた携帯電話に電話を掛けるだけでシステムが自動で立ち上がり、計測待機モードになるように専用プログラムを開発した。計測待機モードになれば、掘削発破振動による弾性波を自動で観測し記録することが可能である。二つ目の課題である野外電源は、ソーラーパネルを利用することで解決した。計測時、つまり掘削発破を行う 1~2 時間前からシステムを立ち上げ、発破振動による弾性波を観測した後は、自動でシステムが終了する仕組みとした。三つ目の各計測機器の長期設置については、受振器、受振ケーブル類をフレキシブル保護管で包み、持ち運び易さと保護性を確保した。写真 1 は地表の計測システムである。

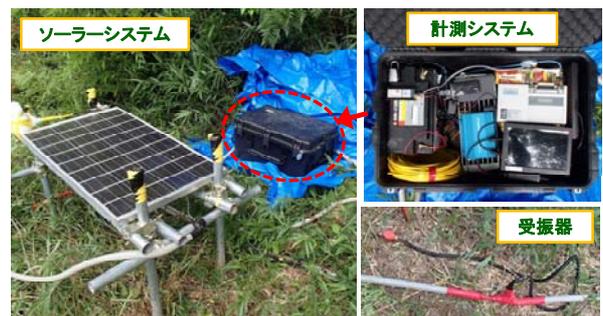


写真 1 地表の計測システム

### 4. 三田坂トンネルにおける現場適用

- (1) 探査地概要：三田坂トンネルは、国道 422 号三田坂バイパスの延長 L=1528m のトンネルで、三重県の伊賀上野市街地の北方にある。本トンネルの地質は中央構造線のすぐ北、領家帯の花崗岩に属している。特に、北側の起点側坑口は谷底低地にあり、土被り 20m 程度のトンネル上部を国道が横断する。また、トンネル断面内には、地表の強風化したマサ土が現れることに加え、幅 2~3m の粘土化破碎帯 F-1~F-4 が密集していることから、天端崩落が懸念された。そのため、地質状況を事前に把握しながら施工を行うことが求められた。
- (2) 探査方法：切羽の進行に伴い計 13 回の掘削発破に

キーワード 山岳トンネル、切羽前方探査、自動化、弾性波トモグラフィ、発破掘削振動

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6598

よる発振データを取得した。受振器は地表面のトンネルCL上に水平距離で2.5~5.0m間隔に23個設置した。図1はトンネル地質縦断図及び探査レイアウトである。

### 5. 探査結果

蓄積した13回の発振データを用いてトモグラフィ解析を行うことで、坑口部の詳細な弾性波速度分布を得られた。図2は得られた弾性波速度分布図と先進ボーリング結果及び切羽評価点の比較図である。解析結果より、TD.1440~1460m付近に  $V_p=2.5\sim 2.6\text{km/sec}$  程度のわずかな低速度領域がみられた。当区間では先進ボーリングでも強風化花崗岩を確認したが、トンネルトモグラフィでは部分的な分布であり、天端部には比較的良好な岩の分布が予測されたため、切羽状況やA計測結果からCIIパターンを適用した。TD.1485~1500m付近には、 $V_p=3.5\text{km/sec}$  程度の高速度領域がみられた。実際の切羽には、風化は見られるものの比較的新鮮な花崗岩が切羽全面にみられる状況を確認することができたが、土被りが薄いためDIIIパターンを適用した。また、TD.1510m以降には、 $V_p=2\text{km/sec}$  程度の低速度領域が地表からトンネル高さまで垂れ下がってくるこ

とが確認されたため、本区間では、先進ボーリング及び事前調査結果と総合的に判断して、AGF工法と注入式フォアボーリングを採用し、坑口部の掘削を安全に完了することができた。

### 6. おわりに

トンネルトモグラフィ探査の自動計測化により、日常の掘削サイクルの中で施工を妨げることなく、連続的に探査データを取得できるようになった。この結果、多くのデータを蓄積しながらトモグラフィ解析を行えるため、探査精度の向上を期待でき、同等の調査数量でもコストを大幅に削減できるようになった。また、計測後すぐに現場からデータを転送して解析を実施することで、迅速な掘削管理への貢献が可能となった。三田坂トンネルでは、起点側坑口での支保パターンと補助工法の迅速な選定に資することができた。

### 参考文献

- 1) 栗原啓丞, 山本拓治, 横田泰宏, 宮嶋保幸: トンネルトモグラフィ探査手法の開発と現場適用事例, 第24回トンネル工学研究発表会(報告), I-27, 2014.

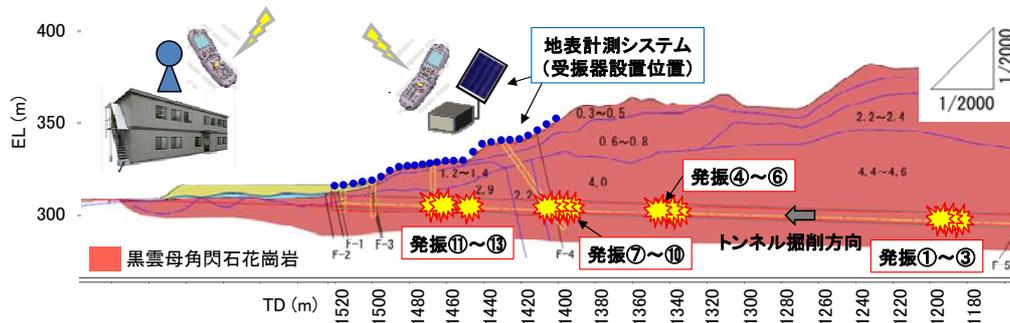


図1 地質縦断図と探査レイアウト概要図

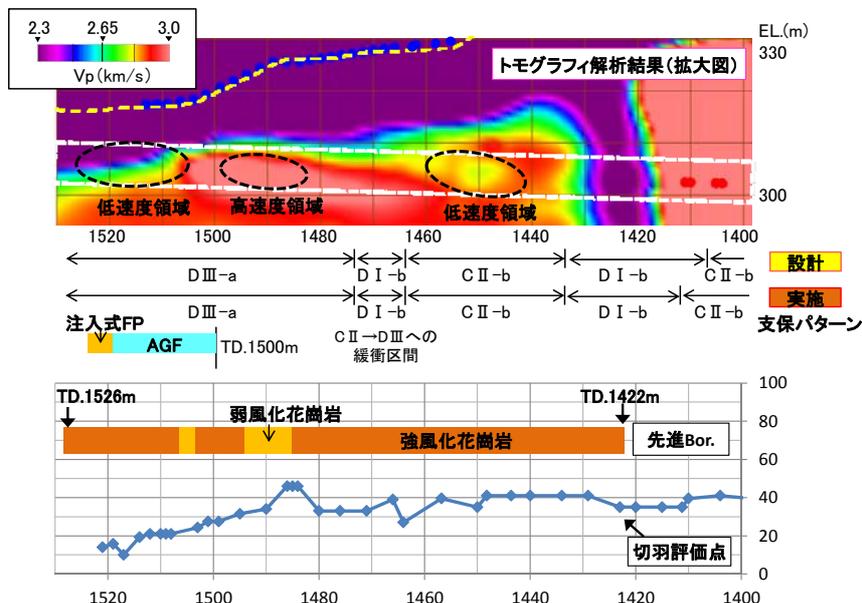


図2 トンネルトモグラフィ解析結果と先進ボーリング結果及び切羽評価点の比較図