

## 削孔振動を利用した切羽前方クロスホール弾性波トモグラフィ探査の開発

前田建設工業株式会社 正会員 ○水谷 和彦, 後藤 信男, 大久保 弘, 中山 泰起

### 1. はじめに

山岳トンネルの施工条件は、土被りが大きく施工範囲が広域におよぶことから、設計段階では十分な精度の地質情報を得ることができない。施工時の調査法として、反射法による切羽前方の弾性波探査があるが、その結果は実際の地質状況と異なる場合もあり、危険予知的な利用に留まっている。水谷らは<sup>1)</sup>、高精度な前方探査手法として、切羽前方クロスホール弾性波トモグラフィを試みた。従来までの本手法は弾性波の起振源として雷管発破を利用しており、振動伝播の為に起振孔へのゲル状充填材の注入や複数の雷管を設置するのに時間を要し、起振方法の改善が求められていた。そこで本取組みでは、施工で用いるドリルジャンボの削孔振動を利用した切羽前方クロスホール弾性波トモグラフィを開発した（図-1）。

### 2. 探査システムおよび工場試験

測定概念図（図-2）を示す。以前実施した現場試験より、ドリフタに設置した加速度計では、ビッド先端打撃がロッドを通じて到達した振動が捉えられており、打撃した瞬間よりも時間差が生じることが判っていた。そこで、工場試験によりビッド先端打撃と加速度計で捉えられる弾性波の時間差を測定し、ロッド本数に応じた弾性波到達の時間差式を算出した（式1）。

$$\Delta T = 0.8 + 0.6(n-1) \cdots \text{式1} \quad \Delta T(\text{ms}) : \text{ロッド } n \text{ 本つないだ際の時間差, } n(\text{本}) : 3\text{m ロッドの本数}$$

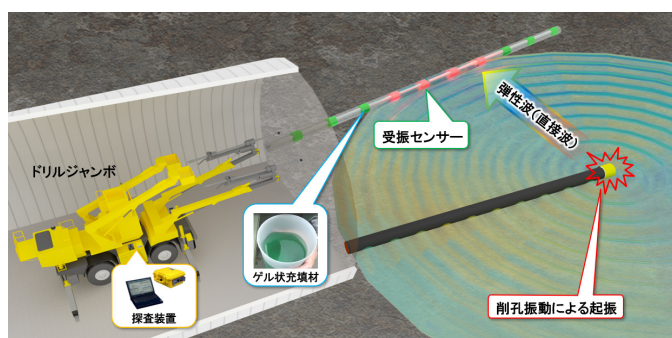


図-1 本探査手法の概念図

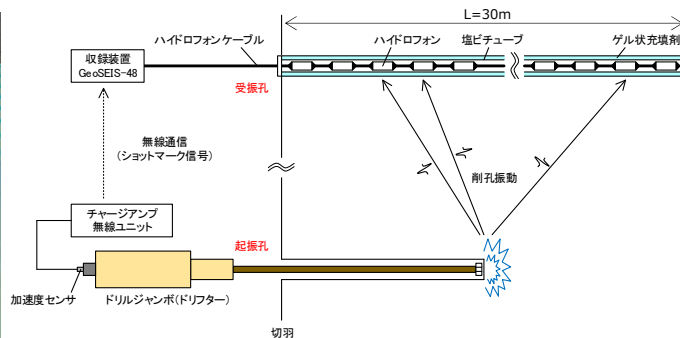


図-2 測定概念図

### 3. 現場試験手順

現場試験状況（写真-1）および測定フロー（図-3）を示す。受振孔は、受信器であるハイドロフォンの設置が容易な SL+1m 付近の切羽右側に設置した。また、起振孔は切羽の左側および天端に設置し、3 次元的な弾性波速度分布を把握可能な測線とした（断面①：起振孔①～受振孔、断面②：起振孔②～受振孔、）。



写真-1 現場試験状況

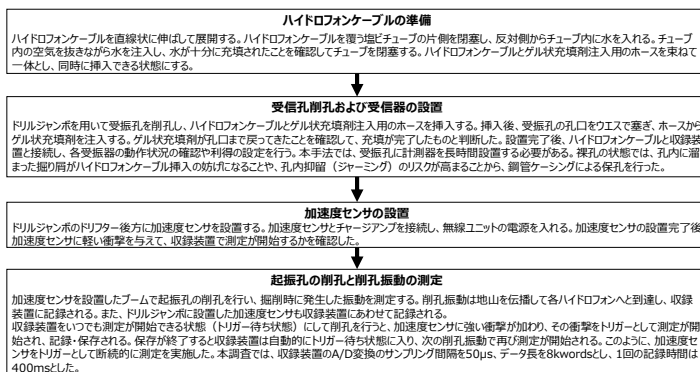


図-3 測定フロー

キーワード 山岳トンネル, 切羽前方探査, 弾性波トモグラフィ, 削孔振動, ゲル状充填剤

連絡先 〒102-8151 東京都千代田区富士見 2-10-2 TEL 03-5276-5166 FAX 03-5276-5268

## 4. 解析手順

### ① 収録波形の分割

ドリルジャンボは高速で打撃を繰り返しており(図-5), 収録データの中には複数回起振記録が含まれていることからデータを分割する。

### ② 分割波形のスタッキング

S/N 比向上の為, 分割した波形データをスタッキング処理する。

### ③ ショットマーク時間補正

記録の開始時間を, ショットマーク信号や起振時のロッド本数を用いて補正(式1)し, 座標ファイルと統合してデータファイルを作成する。

### ④ 走時曲線の作成・調整

各起振記録から読み取った初動走時を横軸に受振器の位置, 縦軸に時間をとったグラフにプロットし, 走時曲線を作成して入力データを作成する。

### ⑤ 理論走時計算

速度モデルに対して, 全ての起振点と受振点の組合せの初動走時と波線経路を計算し, 走時残差計算, 収束判定繰り返し速度モデルを決定する。

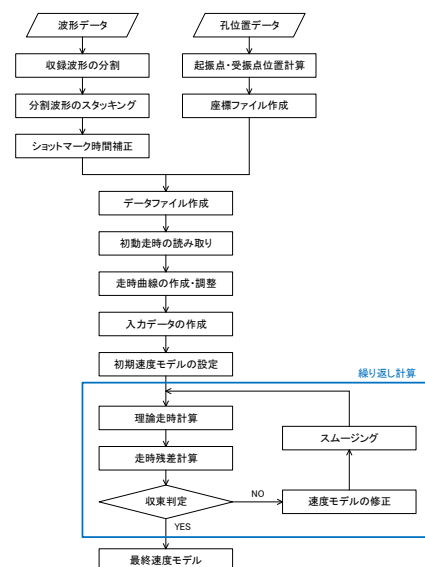


図-4 解析フロー

## 5. 解析結果

解析結果を図-6 に示す。断面①, ②の解析結果を3次元的に配置し, 地球統計学的手法であるクリギング法による3次元補完を行い, 3次元速度モデルを作成した(図-7)。3次元速度モデルよりトンネル横断方向の速度分布を取出す事により掘削時の切羽予測を可能となる。速度分布および切羽状況例を図-8, 写真-2 に示す。

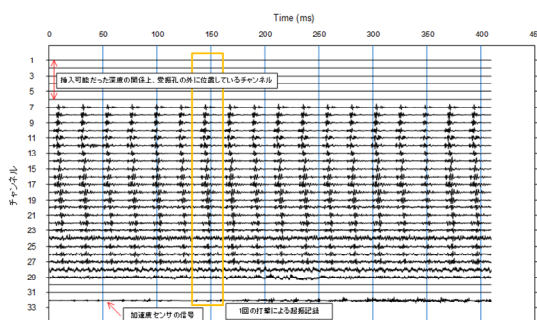


図-5 削孔振動による波形記録例

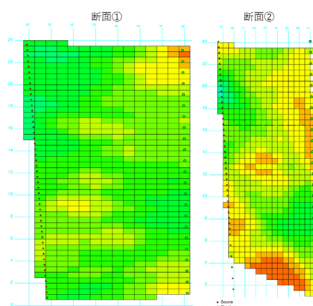


図-6 最終速度モデル

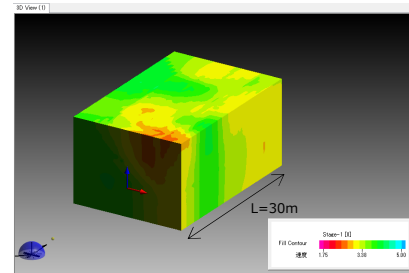


図-7 3次元速度モデル

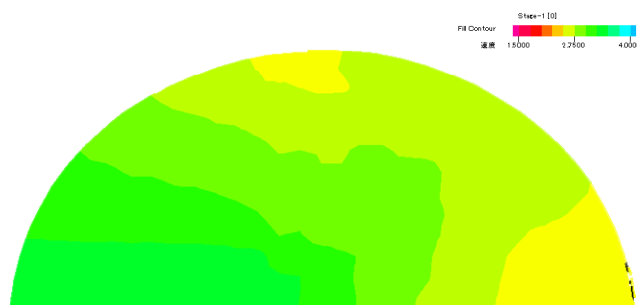


図-8 トンネル横断方向の速度分布例

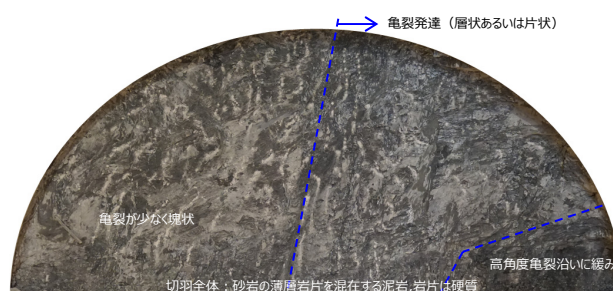


写真-2 切羽状況例

## 6. おわりに

高精度な探査結果は施工管理への活用だけでなく, AI を用いた切羽判定のための質の良い教師データとなり, 将来は切羽撮影のみで弾性波速度分布を予測可能な AI 技術構築が期待できる。技術開発に協力いただいた応用地質(株), (株)ジオファイブ, 古河ロックドリル(株), (株)カテックス, (株)地層科学研究所に感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 水谷和彦・赤木英治・袋井孝洋：ゲル状充填材を用いた切羽前方水平孔間弾性波トモグラフィの試み、土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集、VI-384、2016. 8