

## ノンコア削孔を利用した切羽前方弾性波探査システムの開発

(株)大林組 正会員 ○三宅 由洋, 正会員 奥澤 康一  
 日本基礎技術(株) 非会員 佐藤 栄介  
 (株)日本地下探査 非会員 佐藤 礼

### 1. はじめに

山岳トンネル工事では、事前に地表踏査やボーリング調査、弾性波探査等が行われ、得られた岩種や弾性波速度分布などの指標に基づいてトンネルの支保設計が行われる。しかし、土被りが大きい場合や地質が複雑である場合、地表からの事前調査から地下の地質構造を予測することは困難である。したがって、山岳トンネル工事の施工段階では、トンネル坑内からの切羽前方探査などにより、予期せぬ断層破砕帯や脆弱地山の出現、突発湧水などの地質リスクをいかに低減させるかが課題となる。

近年、切羽前方地山の弾性波速度を評価する調査法として、Tunnel Seismic While Drilling (以下、TSWD) が注目されている<sup>1)2)</sup>。従来のTSWDでは、データ取得時のパイロットセンサの位置が課題とされていた。今回、この課題を克服した探査システムを開発し、探査長約150mでの現場実証実験を行った。

### 2. 従来のTSWD

TSWDは、トンネルにおいてTBMや先進ボーリングの掘削時に発生する振動を利用し、トンネル前方の弾性波速度を取得することで、地下構造を推察する手法である。山岳トンネルでTSWDを行う場合は、先進ボーリングを利用し、ドリルビットが岩石を砕く際に生じる弾性波を震源とする。このとき、ドリルビット付近で振動を記録するのが理想的であるが、通常のボーリングマシンではドリルビット付近にパイロットセンサを設置することは困難であった。そのため、トンネル坑内のボーリングマシンにパイロットセンサを設置し、ドリルビットの打撃振動を、ロッド等を介して間接的に取得する方法がとられていた。ただし、この方法では打撃振動がロッドを伝搬する時間を考慮しなければならない。また、ロッドの継ぎ目での振動の多重反射、およびボーリングマシン

から発生する振動がノイズとなるため、探査精度への悪影響が懸念される。

### 3. 開発したTSWD探査システム

#### 3.1 概要

前述の課題を克服するために、ドリルビットの直下にパイロットセンサを設置可能なTSWD探査システムを開発した(図1)。本システムの開発にあたって、先端の打撃振動を震源とするため、後端打撃型の油圧ハンマではなく、先端駆動型の水圧ハンマをベースに開発を行った。パイロットセンサ部は内部に加速度計を内蔵しており、パイロットセンサ部からスイベル部までは、ドリルビットへの高圧水の送水とデータ送信の両立が可能な構造とした。本システムの計測時には、切羽付近のトンネル側壁に受振孔を掘って内部に受振器を設置し、パイロットセンサと側壁の受振器の振動波形を計測本部で記録する。

#### 3.2 原理

地山の弾性波速度を算出するためには、ドリルビットの打撃振動が地山を伝搬して切羽に到達するまでの時間(走時)の記録が必要である。図1に示すように、パイロットセンサとトンネル側壁に設置した受振器で、それぞれ先端部の打撃振動と地山を伝搬してきた振動波形を記録する。この2つの波形の

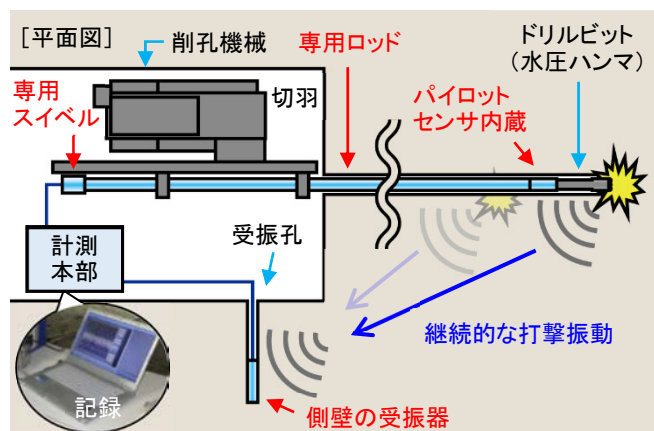


図1 開発したTSWD探査システム

キーワード TSWD, 弾性波探査, 水圧ハンマ, ノンコア削孔, 山岳トンネル, 切羽前方探査

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640 (株)大林組 技術研究所 TEL042-495-1015

類似性を相関係数として定量的に求める相互相関処理により、ドリルビットの打撃振動が後方受振器まで到達する走時を求め、探査深度に対する区間弾性波速度を求める。

#### 4. 実証実験

本システムの実証実験を、山岳トンネル工事現場で実施した。地質は中生代の付加体の頁岩と珪質頁岩である。

図1のレイアウトで実験を行った。受振器は切羽付近の側壁を削孔した受振孔内に設置した。トンネル掘削後に、右側の坑壁を利用してかけや起震による屈折法探査を実施し、走時トモグラフィにて解析を行った。その後、TSWD結果と屈折法探査結果、および掘削時の切羽観察記録とを比較した。

#### 5. 実験結果・考察

図2にTSWD結果、屈折法探査結果、および切羽観察記録を示す。探査区間は145.5mであった。TSWD結果では、 $V_p$ は深度0~20mおよび深度55~87mの区間では、2.7 km/sec および 2.8 km/sec とやや低く、深度87m以降は4.0 km/secになると予測された。図2の屈折法探査結果は、トンネル坑壁から1mの深度の地山の $V_p$ を示している。TSWD結果と屈折法探査結果を比較すると、両者は類似しており、深度約60~85mで $V_p$ が低くなり、深度約100m以

降で $V_p$ が高くなった。

切羽観察記録は、深度約70~100mで地山がやや悪く、深度約110~145mでは地山が良くなる傾向を示した。これとTSWD結果とを比較すると、深度がやや手前にずれてはいるが、TSWDは地山の状態を定性的に予測できていると評価できる。探査区間周辺では、地質構造とトンネル軸がやや低角で交わっていた。そのため、この地質の方向性に起因して、TSWD結果の変化点が実際の切羽と比べて手前に位置したと考えられる。

#### 6. まとめ

ドリルビット直下にパイロットセンサを設置したシステムを用いたTSWDにより、トンネル前方約150mの地山の弾性波速度を把握することができた。本TSWDは、坑内からの屈折法探査と同程度に地山の変化を捉えることができ、実際の切羽とも整合的な結果が得られることを確認した。

#### 参考文献

- 1) Petronin, L. and Poletto, F.: Seismic-while-drilling by using tunnel boring machine noise, *Geophysics*, Vol. 67, No. 6, pp. 1798-1809, 2002.
- 2) 山上 順民, 今井 博, 青木 智幸, 中原 史晴: 穿孔振動を用いたトンネル切羽前方探査法の開発, *トンネル工学報告集*, Vol. 22, pp. 157-161, 2012.

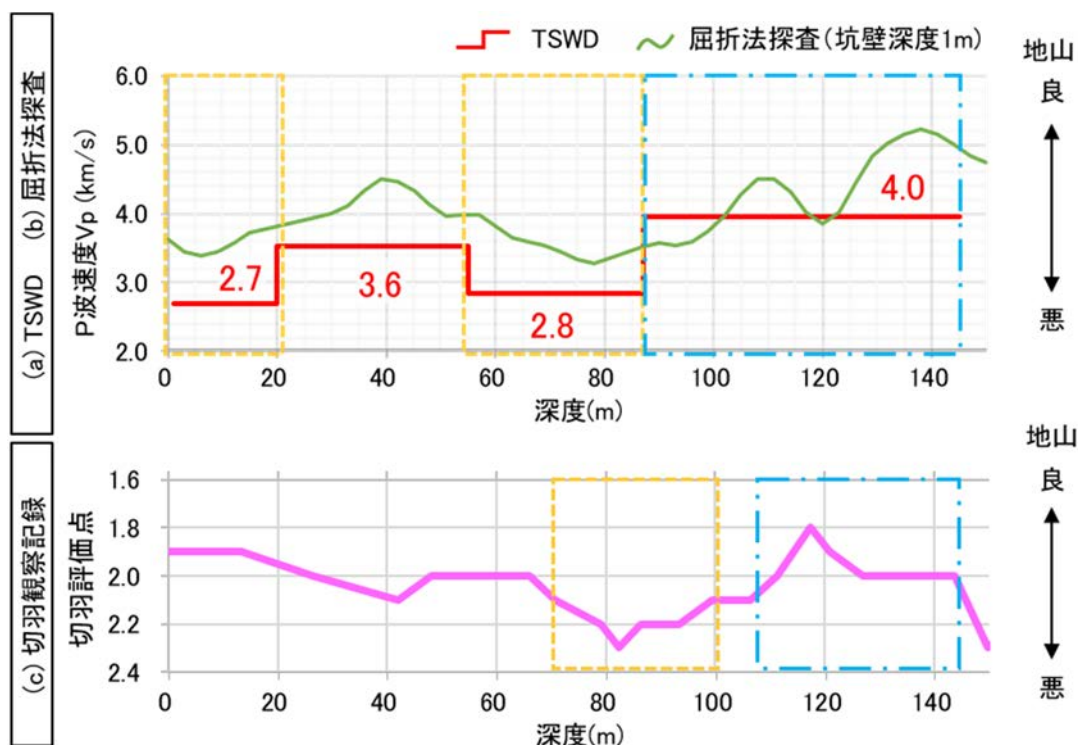


図2 TSWD・屈折法探査・切羽観察記録の比較