

水圧ハンマを用い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, 岡崎 雄一

日本基礎技術(株) 正会員 東芝 崇

(株)日本地下探査 非会員 佐藤 礼

国土交通省 北海道開発局 函館道路事務所 正会員 古市 圭典, 鹿嶋 辰紀

1. はじめに

山岳トンネル工事では、事前調査として地表踏査、地表からのボーリング調査や屈折法探査等が行われ、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、土被りが大きいトンネルでは屈折法探査の精度が下がるため、予測した結果と実際の地山が異なる場合がある。この場合、トンネル坑内からの切羽前方探査が有効である。

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^{1),2)}。従来のTSWDではデータ取得時のパイロットセンサーの位置が課題とされていたが、今回この課題を克服した探査システムを開発した。本システムは、150mの削孔が可能な水圧ハンマを用いた先進ボーリングへの適用を前提としている。

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。先進ボーリングを利用する場合は、ドリルビットが岩石を砕く際に生じる弾性波を震源と

するため、ドリルビット付近で振動を記録するのが理想的である。しかし、ドリルビット付近にパイロットセンサーを設置することは困難であった。そのため、従来のTSWDではトンネル坑内のボーリングマシンにパイロットセンサーを設置する方法がとられていた。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、ロッドの継ぎ目で振動が多重反射するため、ノイズに対する有効な信号の割合(S/N比)の低下による探査精度への悪影響が懸念される。

3. 新たな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ーを設置可能な、新たなTSWD探査システムを開発した(図1)。本システムは、打撃の振動を記録するパイロットセンサー部、ロッド部、スイベル部、トンネル坑内で振動を記録する受振器、および記録した波形データを解析するソフトで構成される。パイロットセンサー部は、内部に加速度計を内蔵しており、水圧ハンマのドリルビット直下に設置される。パイロットセンサー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。

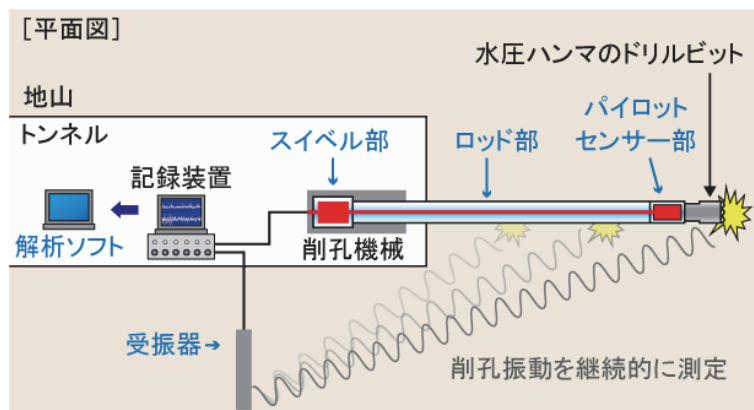


図1 開発した探査システムの概要

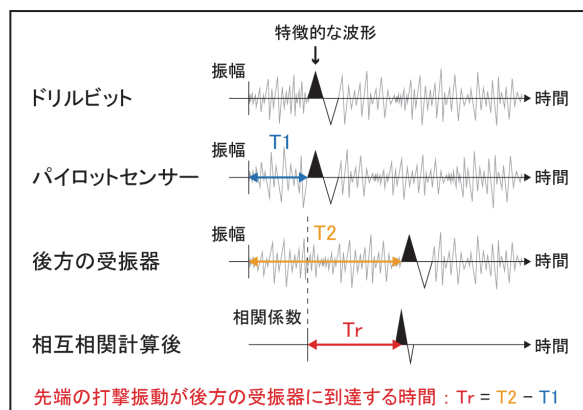


図2 相互相関による走時算出のイメージ

キーワード TSWD, 弾性波探査, 水圧ハンマ, 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

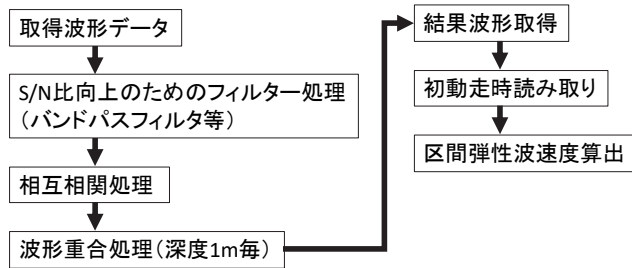


図3 解析フロー

3.2 原理

本システムを用いたTSWDの原理は次の通りである。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、パイロットセンサー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 (T_r) を求めることができる(図2)。この処理を特定の区間ごとに行い、各深度に対する T_r を求めて距離と到達時間の座標上にプロットすることで、この傾きより区間弾性波速度を求めることができる。

4. 実証実験

本システムの実証実験を、北海道縦貫自動車道七飯町大沼トンネル西大沼工区工事で実施した。

4.1 実験方法

削孔機械に水圧ハンマを使用し、図1のレイアウトで実験を行った。受振器は、ノイズ源となる坑内の機械等の影響を減らすために、切羽の側壁を削孔した計測孔内に設置した。探査区間は製作したロッド延長に当たる51mとした。得られた波形データは、図3に示した手順で解析した。まず、パイロットセンサーと坑内の受振器から取得した波形データに、S/N比向上のためのフィルター処理を行った。その上で、2つの波形データを相互相関処理し、両者で共通の波形を示す部分が見つかる相互相関波形を求めた。その後、この相互相関波形を1m毎に重合し、S/N比を向上させた波形を得た。

4.2 実験結果

結果として、図4(a)の相互相関波形が得られた。赤線で示した位置は、直達波の到達（初動）を読み

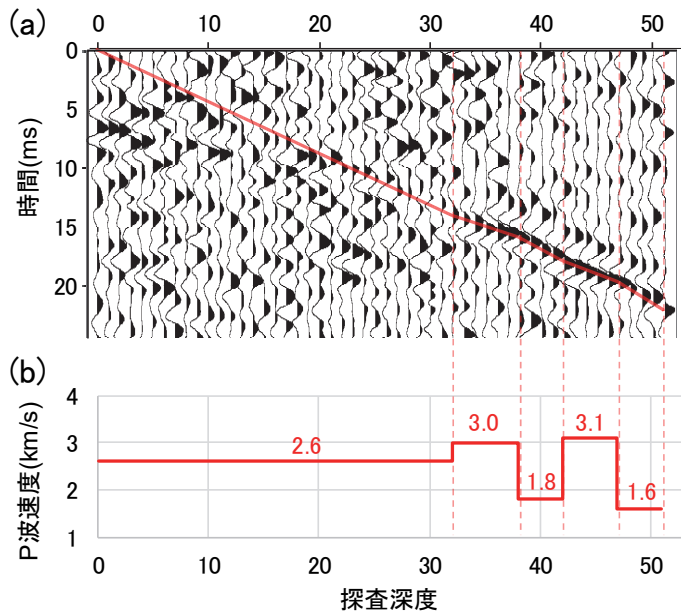


図4 TSWD 実験の結果

(a: 相互相関波形、b: TSWD より得られた区間弾性波速度)

取った位置を示す。図4(a)を見ると、深度0~38mの区間では、初動がやや読み取り難くなっている。これは、孔壁を崩さないように低出力で削孔したために打撃の振動が小さくなり、S/N比が低くなってしまったことが原因と考えられる。38m以深では、初動を明瞭に確認することができた。これにより、図4(b)に示すように、深度38mまでは2.6km/s、それ以降は変動しつつ1.6km/sまで低下する弾性波速度が推定された。

5. まとめ

ドリルビット直下にパイロットセンサーを設置可能なシステムを用いたTSWDにより、トンネル前方51mまでの地山の弾性波速度を把握することができた。今後は実験結果の評価、探査深度を延長した場合の有効性の検証等を進め、水圧ハンマの通常探査深度である150mまでのTSWD実用化を目指す。

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.