

# トンネル切羽前方弾性波探査 「水圧ハンマーVチェッカー™」 Seismic Prediction Method Ahead of Tunnel Face “Water Hammer V-Checker”

三宅 由洋  
奥澤 康一

Yoshihiro Miyake  
Koichi Okuzawa

## 1. はじめに

山岳トンネル工事では、地表踏査や地表からのボーリングなどの地質調査をもとに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、施工段階ではトンネル坑内からの切羽前方探査を行い、予期せぬ地質の急変、断層破碎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。

切羽前方探査技術のひとつに、先進ボーリング削孔中の打撃を利用して地山のP波速度の分布を取得するTSWD (Tunnel Seismic While Drilling) がある<sup>1)</sup>。従来の手法では、パイロットセンサをボーリングマシンに設置するため、ノイズが多く計測精度が低かった。大林組では、パイロットセンサをドリルビット近傍に設置した「水圧ハンマーVチェッカー™」(Fig. 1)の開発を進めてきた<sup>2)3)</sup>。本稿では、この技術の概要、及び現場適用実験をもとにした探査結果とその評価例を示す。

## 2. 水圧ハンマーVチェッカーの概要

水圧ハンマーVチェッカーの特徴は次のとおりである。

- 1) 本技術は、先進ボーリングを利用して地山の硬軟を調べる探査（以下、削孔検層）と、同区間のP波速度分布を取得する探査（以下、TSWD）を同時に行う技術である。本技術の削孔検層は大林組独自の指標値を用いたもので、削孔検層のみを実施する場合には水圧ハンマーナビ™と呼ばれている<sup>4)</sup>。
- 2) 高い水圧の力で岩盤を打撃して掘削する水圧ハンマー<sup>4)</sup>をベースにしておき、切羽前方150mを約8時間で削孔可能である。
- 3) 開発した専用機材を削孔機械に取り付け、側壁に受振器を設置して探査を行う (Fig. 1)。
- 4) パイロットセンサはドリルビットの近傍に設置される。専用機材は専用スイベル、専用ロッド、およびパイロットセンサである (Fig. 2)。これらは高圧水の供給とデータ送信の機能を担う。

トンネルの先進ボーリングを利用してTSWDを行う場合、通常用いられる削孔径が小さいために、従来の装置ではドリルビット近傍にパイロットセンサを設置することは困難であった。一般的な削孔機械でTSWDを行う

場合、先端のドリルビット近傍ではなく、ロッドの後端部にパイロットセンサを設置することになる。しかし、この方法では震源としているドリルビットの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。加えて、ロッドの継ぎ目で振動が多重反射するため、S/N比の低下による探査精度への悪影響が生じる。この課題克服のために、水圧ハンマーVチェッカーでは、専用機材によりパイロットセンサをドリルビット近傍に設置可能とした。これにより、削孔延長が増加してもパイロットセンサの信号レベルは低下しないため、取得データのS/N比が向上する。

## 3. 実証実験

水圧ハンマーVチェッカーの実証実験を、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。実験では、受振器を切羽に向かって右

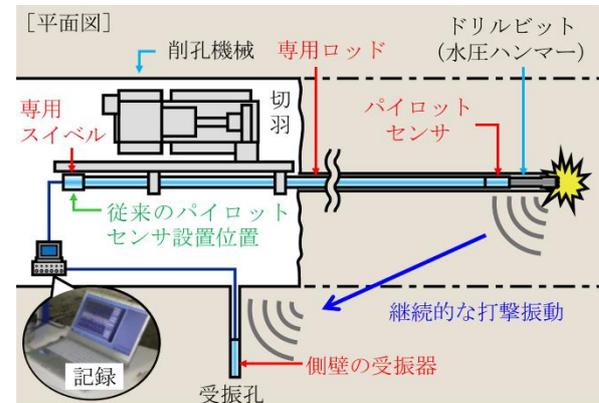


Fig. 1 水圧ハンマーVチェッカーによるTSWD Schematic View of TSWD by “Water Hammer V-Checker”



Fig. 2 削孔機械に取り付けるデータ送信装置 Devices for Acquisition of Pilot Signal

の側壁に設置して探査を行った (Photo 1)。

Fig. 3 に今回の探査で得られた削孔検層と TSWD の結果、および検証のための切羽観察記録を示す。Fig. 3 では、地山が比較的良好な区間を水色、比較的不良な区間を黄色の破線で囲んで表示する。

削孔検層と TSWD の結果を比較すると、両者は Fig. 3 の①の不良部が見られる点で類似していた。ただし、検証のための切羽観察記録では、①に相当すると考えられる不良部は約 10m 遅れて現れる。探査区間周辺では、切羽の右側から地質が変化する地質構造であった。切羽観察では、掘削が進んで地質の変化が切羽全面に広がることで評価に反映される。そのため、変化点が切羽観察記録と比べて手前に位置したと考えられる。

一方、削孔検層は②と③の位置でも不良地山を検出しているが、TSWD にそれらには見られない。切羽観察では、この位置の切羽は部分的な不良部は見られたが、全体的には健全であった。これは、削孔検層があくまで削孔位置の状態を反映するのに対し、TSWD は削孔位置の周辺領域の状態を反映することに起因すると考えられる。すなわち、削孔検層のみで悪い結果が出る箇所は、不良部が局所的に分布する地山であると推定できる。

以上から、本技術は地山の性状の変化を適切に捉えることができ、実際の切羽とも整合的な結果を得られることが確認された。

#### 4. おわりに

本報では、先進ボーリングと同時に、トンネル切羽前方150mのP波速度分布を取得可能な「水圧ハンマーVチェッカー」を紹介した。トンネル現場において、本技術を用いた探査により、切羽前方約150mの地山の硬軟、およびP波速度分布を計測した。この2種の探査結果と、現場の切羽観察記録を用いて、本技術の精度検証を行ったところ、切羽観察と整合する結果が得られた。すなわち、本技術は切羽前方の地質を精度よく探査できることが確認された。

今後は、本技術の実施を推進し、実用時のノウハウの蓄積に努める。

#### 参考文献

- 1) 山上順民, 山中義彰, 高橋亨: 超長尺先進ボーリングの削孔振動を震源とする切羽前方弾性波探査法の開発と検証, 土木学会論文集F1 (トンネル工学), Vol. 75, No. 1, pp. 26-39, 2019.3
- 2) 三宅由洋, 奥澤康一: ノンコア削孔時の新たな弾性波探査手法を用いたトンネル切羽前方探査, 大林組技術研究所報, Vol. 84, No. 10, 2020
- 3) 三宅由洋, 岡崎雄一, 奥澤康一, 東芝崇, 佐藤礼: ノンコアボーリング削孔時におけるトン

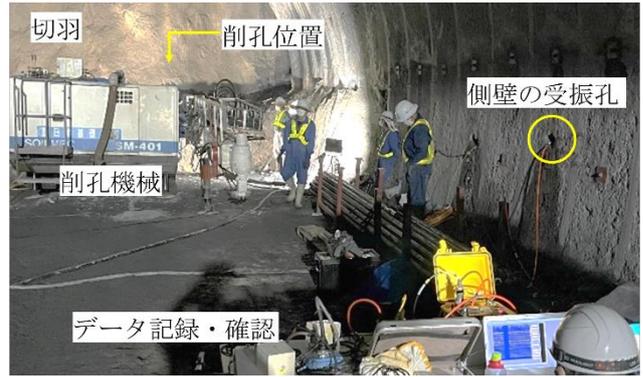
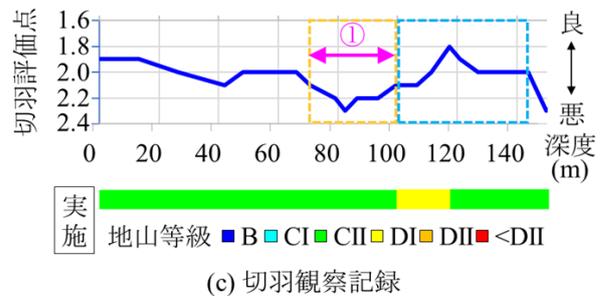
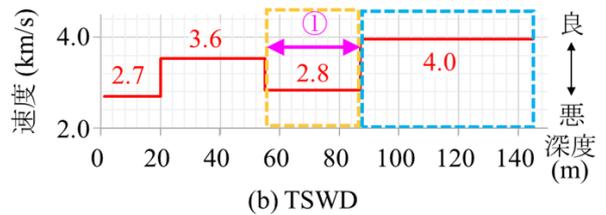
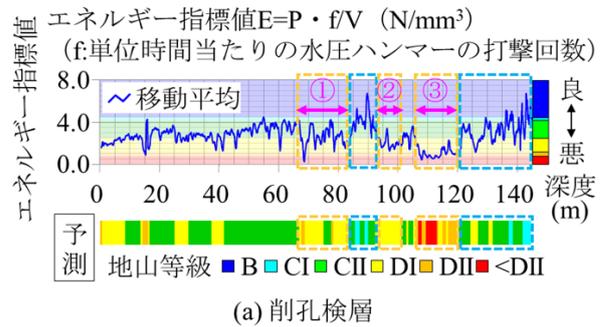


Photo 1 水圧ハンマーVチェッカー実施状況  
Photograph of "Water Hammer V-Checker"



■ 地山が比較的不良な区間 □ 地山が比較的良好な区間

Fig. 3 水圧ハンマーVチェッカーの精度検証  
Precision Inspection of "Water Hammer V-Checker"

ネル切羽前方の弾性波探査技術, 岩の力学国内シンポジウム講演論文集, Vol. 15, 2021

- 4) 磐田吾郎, 伊藤哲, 木野村有亮: 水圧ハンマーを用いた高速ボーリングによる切羽前方探査の開発, トンネルと地下, Vol. 46, No. 10, pp. 49-58, 2015.10