

# 発破振動を活用した反射法切羽前方探査器および切羽 Vp 測定器について

平野 享\* 石山 宏二\*  
 Toru Hirano Koji Ishiyama  
 木村 哲\*  
 Tetsu Kimura

## 1. はじめに

山岳トンネル施工における切羽安定は重要な課題である。切羽安定のために地山の性質とゆるみを把握することが不可欠であるが、その全容の予測は難しい。そこで、進捗に応じた坑内観察や調査を充実させて、常に最新の切羽状況を把握することが望ましい。そのためのツールは、頻繁に使用されることを考慮して、作業量とコストの負担の少ないものでなければならない。

そこで本研究では、TSP や HSP で知られる弾性波切羽前方探査技術を応用して、簡易に使用できる、日々の掘削発破を活用した反射法切羽前方探査器と切羽 Vp 測定器の開発を目標とした。

現在は、機械の試作器が完成し、これを現地適用して実用上の問題点を洗い出す段階にある。本抄録では、この探査器の概要と最近実施した現地適用での問題点について述べる。

## 2. 切羽前方探査器と切羽 Vp 測定器の原理

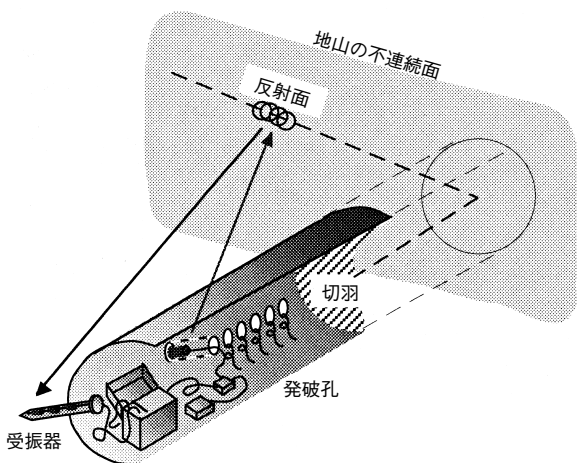


図-1 TSP 法切羽前方探査

切羽前方探査器の原理は TSP や HSP と同様である。TSP や HSP では、少量爆薬の点火によって発生させた振動を切羽前方に送り、破碎帯などの反射面で反射する波を観測して切羽前方の地山構造を探査する (図-1)。

TSP や HSP の問題として、準備を含めて所用時間は半日以上かかる点がある。そのため掘削作業に影響しない休日を探査にあてる必要がある。加えて、目標 (= 地山不良箇所) と適度に接近した位置での探査が必要なので、実施のタイミングは限られる。

開発した切羽前方探査器は、TSP や HSP で必要であった探査用の発破を、トンネルの掘削発破に置き換えて工程を簡単にし、実施のタイミングを増やすとともに、探査コストを軽減したものである。

このように、薬量も火薬種も異なる掘削発破を探査用発破に置き換えると、探査データの品質はいくらか低下する。しかしながら、現状の TSP や HSP への不満として精度の割にコストが高いとの意見が多い。そこで同種の探査で精度を多少犠牲にしても、実施コストが大幅に下がるなら需要はあると判断した。

つぎに、切羽 Vp 測定器とは、切羽前方探査器の別な活用方法である。掘削発破の振動がセンサーに届く最短時間を切羽毎に評価し、その変化量から進捗分の地山弾性波速度を推定する仕組みである (図-2)。

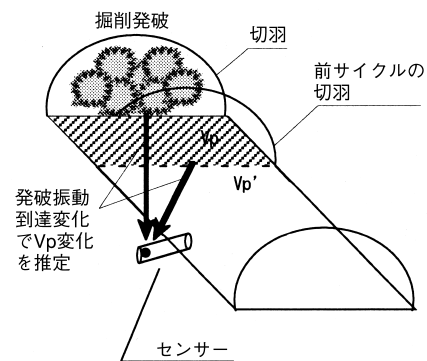


図-2 切羽 Vp 測定器の原理

従来の測定法は、トンネル側壁で行う屈折法のほか、シュミットハンマーや簡易弾性波速度測定器での測定、メロディウェーブによる速度検層があった。この切羽 Vp 測定器は、これらと比較して、測定のための切羽作業が不要であることを特長としている。

## 3. 探査器の概要

図-3 に探査器の概要を示す。掘削発破を利用するため既存の発破装置と探査機を組み合わせた点に特徴がある。同期クリップ③の使用によって、探査機の追加が掘削発破に悪影響を与えない構造となっている。

\*技術研究所土木技術研究課

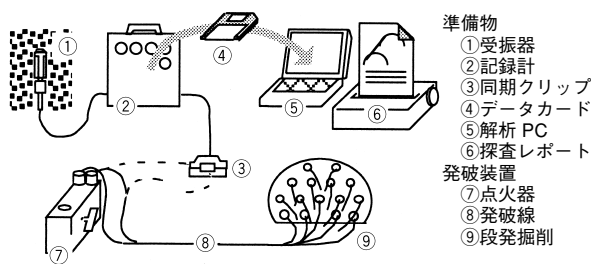


図-3 探査器の概要

#### 4. 探査器の使用方法

探査サイクルは図-4に示すとおりで、掘削サイクルの点火段階において双方がリンクする。設置と調整作業は、そのほかの掘削サイクルと平行して行える。

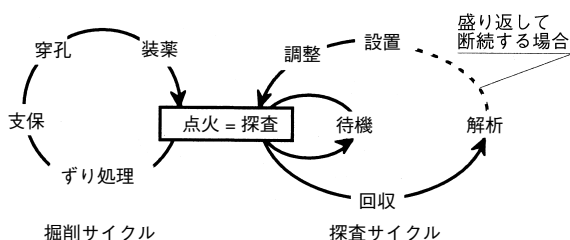


図-4 探査サイクル

設置の時期は探査したい区間を基準として、図-5にしたがって決める。

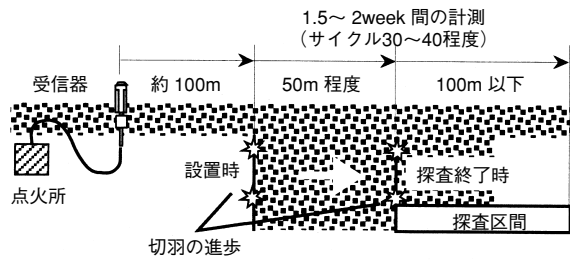


図-5 設置と撤去のタイミング

探査作業はきわめて簡単で、クリップに発破線を通し、探査器の電源と待機の2ボタンを押すだけである。調査技術者が担当できなくても、操作が簡単なので掘削作業者に指示することができる。

#### 5. 現地適用の概要

試作の探査器を現地適用して問題点の洗い出しを行った。現場は中部支店小鳥トンネルで、TSP探査の機会を利用して行った。現地適用の試験項目は次のとおりとした。カッコ内は評価項目である。

##### ① 設置作業 (作業性)

##### ② 掘削発破とのリンク (作業性と動作チェック)

##### ③ データ取得性能 (S/N比, 感度設定)

##### ④ そのほかの改善すべき点の発見

試験では、以上に加えて、可能であれば取得データを解析して探査性能をTSP探査と比較評価する計画とした。

#### 6. 現地適用の評価と考察

試験項目別の評価はつぎのとおりであった。

##### ① は、受信器の取り付け方法に少々の改善を要する

##### ② は、とくに問題なく良好である

##### ③ は、感度設定に抜本的な対策が必要

##### ④ は、探査器が坑内環境に耐えうる防護補強が必要

また、③に関連して、今回取得したデータは解析できる品質ではなく、TSP探査との比較評価は持ち越しの課題となった。

以下、③の対策について考察する。図-6は反射法探査にあたり探査器に必要な感度を説明する図である。

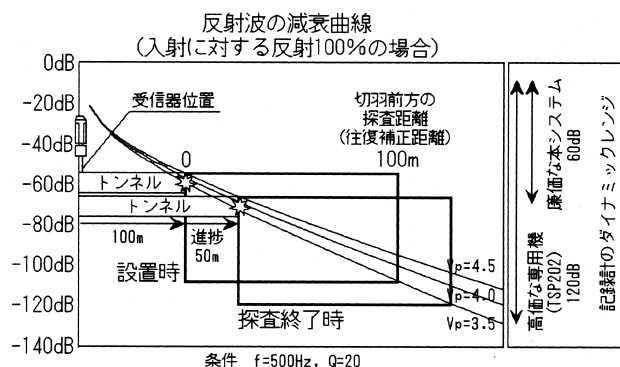


図-6 探査距離と必要感度の推定

縦軸は発破振動に対する反射波の減衰の度合い、横軸は発破 (切羽) 位置と探査対象 (反射面≒地質不連続面) までの距離である。曲線が反射波の振幅レベルを示し、距離が遠く、 $V_p$ が遅いほど減衰は大きい。図中に2つ記載した四角枠は設置時と探査終了時の切羽前方100mにある目標を捕らえるのに必要な感度の範囲である。

探査器のコストダウンを図るため、記録計のダイナミックレンジを最小限の60dBに設定した。図-6から、60dBであっても、記録計のレンジを直接波の振幅に一致させるとおおむね探査対象をカバーできることがわかる。試験計画ではこのレンジ調整を手動で行えると見込んだが、直接波の振幅は火薬や地山の影響で発破毎に異なり、事前の感度設定は難しいことが判明した。現在、オートゲイン機能の追加を主とした解決策を検討中である。