

発破掘削時の振動を利用した高精度トンネル切羽前方探査法の開発

株式会社 奥村組 技術研究所 正会員 ○塚本 耕治
株式会社 奥村組 東日本支社 正会員 今泉 和俊

1. はじめに

トンネル切羽前方の地山状態を予測する TSP 法や HSP 法などの反射法地震探査では、切羽近くで計測するため施工を一時中断する必要があること、切羽前方に幅の広い断層破碎帯が存在する場合に実際と予測の反射面位置が大きく異なるなどの問題があった。このようなことから、施工への影響が少ない 3 次元トンネル切羽前方探査法を開発した。開発した探査法では、発破掘削時の振動を利用して探査ができること、事前調査の屈折法探査から求めた地山の弾性波速度（以下 V_p ）を利用して反射面（速度境界面）位置の予測精度を向上できるなどの特徴がある。本稿では、開発した探査法の概要と現場での実証実験の結果について述べる。

2. 掘削時の発破振動を利用した切羽前方探査法の概要

2.1 探査の概要

探査の配置を図-1、おもな計測機器を表-1 に示す。探査では、切羽後方 45~60m の範囲にある 12 か所のロックボルト頭部に受振器を取り付けて発破振動を計測した。図-2 は実際の発破振動の波形である。芯抜き発破の前に瞬発雷管を用いて切羽中央で探査用の小規模な発破を行い、2 段目の芯抜き発破の振動が受振器に到達するまでの振動波形 180ms のうち 100ms の波形を探査に用いる。

2.2 屈折法探査の V_p を利用した反射エネルギー評価

反射波形は計測波形に振幅補正やバンドパス、F-K、デコンボリューション等の各種フィルタ処理を適用して求めた。イメージング処理には、ディフラクションスタック法¹⁾を用いた。この方法は、図-3 のように探査領域の 3 次元空間に反射エネルギーを計算する仮定の格子点を 1m 程度で等間隔に設け、発振点から格子点までの走時 (T_s) と受振点から格子点までの走時 (T_r) の合計した走時 ($T_s + T_r$) に対応する反射波の振幅から反射エネルギー（反射波振幅の 2 乗）を求めて格子点の値とする。受振点ごとの反射波形から計算される反射エネルギーを各格子点で足し合わせることで反射面をイメージする。

従来の方法が受振器を設置した地山の V_p を用いて反射面の位置を予測するため、 V_p の異なる層があると反射面の位置を精度よく求めることができなかった。そこで、屈折法探査で求まる地山の V_p を用いてレイトレーシング法により精度よく走時を求め、反射面位置の予測精度を向上させた。

3. 現場での実証実験

3.1 適用現場と周辺の地質状況

滋賀県内の道路トンネルにおいて現場実験を行った。地質は、古生代ペルム期の北鈴鹿層群を基盤岩とし、火成岩（緑色岩類）・チャート・粘板岩が分布する。

実験は図-4 のように終点側坑口から 140m 手前のトンネル坑内で行

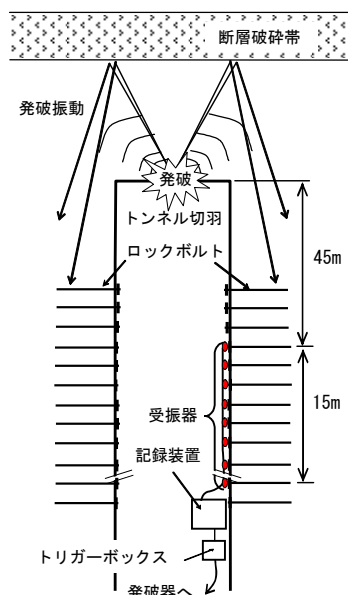


図-1 反射法探査の平面配置

表-1 おもな計測機器一覧

機器名称	おもな仕様
受振器	可動線輪型 (MC 型) 受振器 共振周波数: 28 (Hz) 感度: 35.4 (V/m/s)
地震波記録装置	入力チャンネル数: 16ch AD 分解能: 24 ビット サンプリング周波数: 12 (kHz)

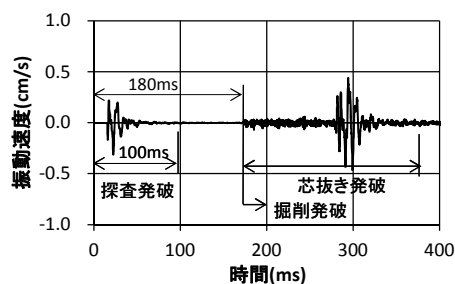


図-2 発破振動波形

キーワード 反射法地震探査, 弾性波速度, ディフラクションスタック法, レイトレーシング

連絡先 〒300-2612 茨城県つくば市大砂 387 (株) 奥村組 技術研究所 TEL 029-865-1779

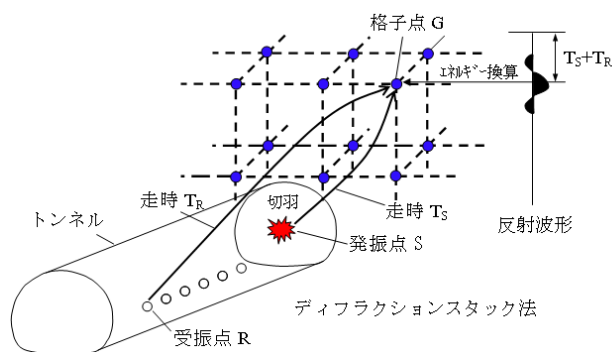


図-3 反射エネルギー評価の概念

った。図中には、事前の屈折法探査による V_p 分布の結果を示している。坑口部にかけての低土被り部は V_p が 4.6km/s の $C_M \sim C_H$ 級岩盤の上部に 2.6km/s および、 1.0km/s の低速度層が存在している。

3.2 探査結果

反射面の評価は図-5 のように空間 ($100\text{m} \times 160\text{m} \times 140\text{m}$) を 1m 間隔で離散化した格子点で反射エネルギーを求める。反射エネルギーはトンネル中心を通る鉛直断面で評価した。図-6 は TSP 法など従来の方法による反射エネルギーの分布であり、図-7 は屈折法探査の V_p を利用した反射エネルギーの分布である。暖色になるほど硬～軟に変化する反射が強く、寒色になるほど軟～硬に変化する反射が強いことを表している。図中には屈折法探査による速度境界を重ねている。従来の解析法による反射エネルギーは発振点と受振点を焦点とする楕円状に分布して速度層境界と整合していない。これに対し、 V_p を利用した反射エネルギー分布はトンネル切羽周辺の地表面、上部速度境界面、下部速度境界面などの反射面と整合する分布になっている。

この結果、従来の方法では予測が難しかったトンネルが反射面に低角度で交差する場合でも切羽前方の速度境界の位置を精度よく求めることが可能になった。

4. おわりに

これまでに掘削発破の振動を利用して GPS の時刻情報をもとに坑内の発振時刻と地表に設置した受振器の受振時刻から走時を求め、屈折法探査の計測データと合せてトモグラフィ解析を行い、切羽前方地山の V_p を求める探査法を開発している²⁾。今後、この探査法から求めた V_p を開発した探査法に用いることにより、切羽前方地山予測の更なる精度向上に取り組む予定である。

参考文献

- 1)塚本ほか, トンネル切羽前方探査における高精度化の検討, トンネル工学報告集, 10, pp.191-196, 2000
- 2)篠原ほか, トモグラフィ的解析手法によるトンネル切羽前方の弾性波速度分布の予測, トンネル工学報告集, 14, pp. 77-82, 2004

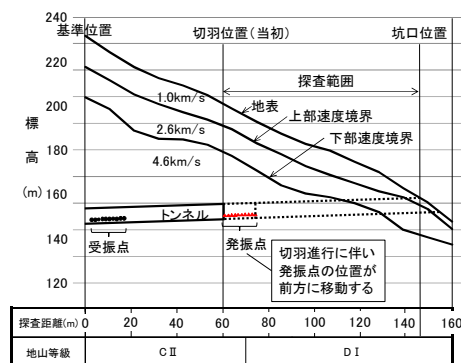


図-4 実験位置と周辺の地質状況

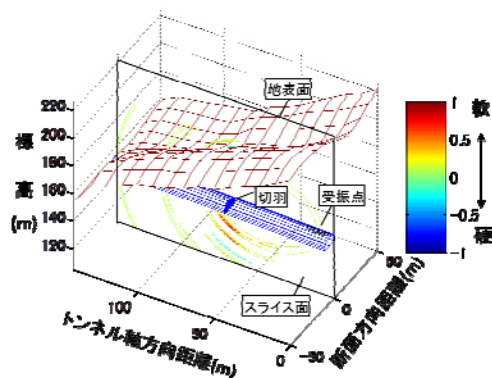


図-5 反射エネルギーの評価断面

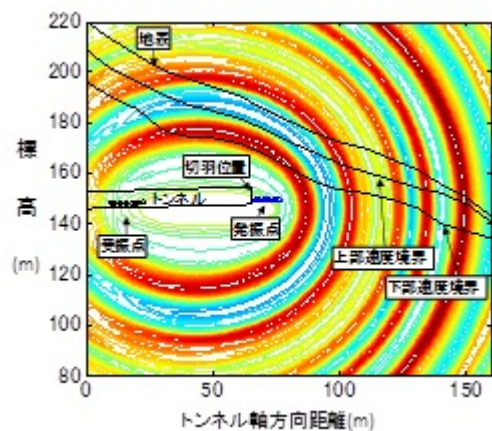
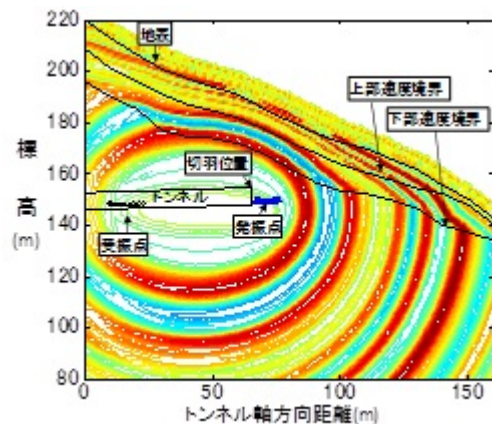


図-6 従来方法による反射エネルギー分布

図-7 V_p を考慮した反射エネルギー分布