

非火薬爆薬を用いた坑内反射法弾性波探査の適用性に関する検証

清水建設（株）正会員 ○Al Adzam Shah Bin Azman, 小島 英郷, 淡路 勲太

1. はじめに

山岳トンネルにおいて安全で効率の良い掘削を実現するためには切羽前方の地質リスクを効率よく評価する必要がある。坑内反射法弾性波探査を用いた切羽前方探査の地質状況の予測は、比較的短時間で広範囲の状況を把握できることが特徴である。探査は爆薬による起振が理想的だが、火薬が使用できないトンネル現場（機械掘削現場：ロードヘッダ、TBM 等）でも探査可能な方法が求められている。

2. 反射法弾性波探査と非火薬の適用性の目的

通常坑内反射法弾性波探査（TSP303）は、トンネル坑内において、切羽近傍の側壁で少量の爆薬を用いて起震し、その地震波を受信することにより、切羽前方の地質状況を三次元的に把握する方法である。しかし、現場の状況によっては、周辺環境への影響や保安上の問題で火薬を使用できないことがある。こうした状況下で坑内反射法弾性波探査を実施するためには、非火薬破砕剤などの適用が選択肢の一つとなる。そこで、本稿では、火薬と非火薬探査の探査精度、探査可能範囲について比較検討を行った。今回使用した非火薬破砕剤は、テルミット反応による膨張圧で岩盤を破砕する方法である。非火薬破砕剤は①ハンマーやブレーカよりも高い起震エネルギー、②保管や消費許可等に係わる簡便な取扱い、③発破工法と類似した作業手順などのメリットがある。探査状況、非火薬発破の瞬間、非火薬破砕剤の形状を図1、図2、図3に示す。



図1 発振孔削孔の状況

図2 非火薬発破の瞬間の状況

図3 非火薬破砕剤の形状

3. 検討方法

今回の試験施工を実施した A トンネル工事では、事前の地質調査により大規模な断層破砕帯が想定されていたことから、その断層の 60m 手前において火薬と非火薬探査を同一状況下で実施した。TSP の探査測線は比較的硬質で均質な砂岩であり、直接波の特定は良好で探査条件として比較的理想的な地質状況であった。はじめに火薬探査を行った後、同じ孔を利用して非火薬探査を行い、それぞれの予測結果の比較を行った。

4. 非火薬探査と火薬探査の解析結果の比較

火薬探査では、取得した火薬 24 本のデータの最大振幅（エネルギー）はほぼ 100mV 以上であり、高い SN 比をとらえており、十分な予測精度・範囲が得られた。これに対して、非火薬の最大振幅は相対的に低く、高周波数の減衰が大きいことが分かった（図4）。これは、非火薬から得られるエネルギーが低いことに加えて、火薬探査と同じ孔を使用したために、発破孔周辺の緩みが影響した可能性がある。

火薬探査の予測結果（図4）によると、事前調査より 20m 手前（予測距離～100m）で断層破砕帯が予測

キーワード

切羽前方探査, TSP303 探査, 非火薬爆薬

連絡先

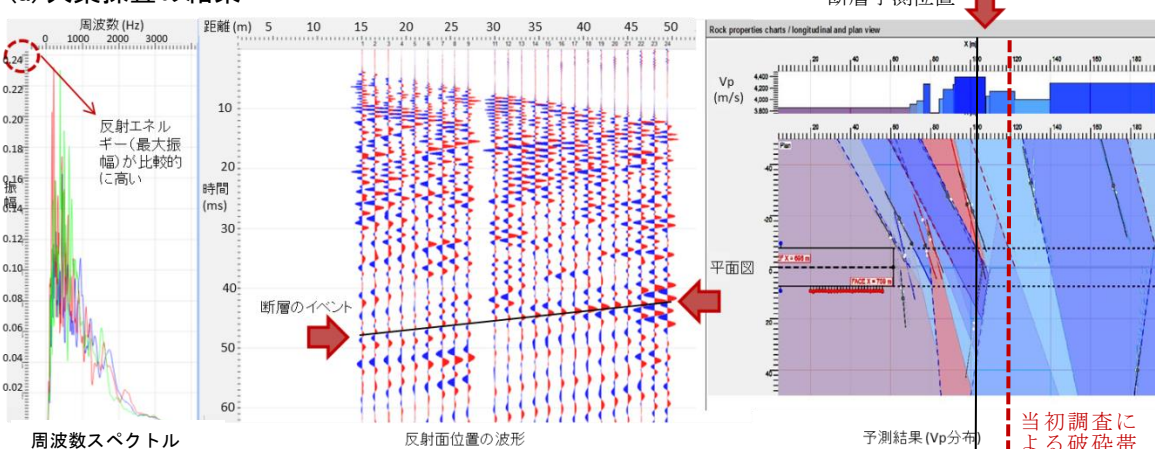
〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 TEL.03-3561-3891 FAX.03-3561-8672

されたため、支保パターン変更と補助工法の計画を事前に実施することができた。切羽で観察された断層破碎帯の走向は左から右への変化を示し、予測した境界面とほぼ同一の性状であった。

地質的に顕著な不連続面があると想定される場所をピックアップすることによって、反射面位置推定時を作成することができる。その顕著な反射面における火薬と非火薬の探査結果を比較したところ、断層イベントにおいて両方の反射波は概ね一致したが、火薬探査のイベントの方がよりきれいに反射面が揃っている結果を示した。それに対して、非火薬探査の結果は大規模断層破碎帯の予測位置が火薬探査より 5m 早い、両者の顕著な反射面における V_p 落差はおおよそ 500m/s と同程度であった。また、反射波の抽出ステップの中で、火薬探査における最大振幅（エネルギー）は非火薬より 3 倍大きいことが確認された。

TSP の予測範囲は切羽より 150m 程度となる探査実績が多いが、今回非火薬探査では距離減衰の影響が大きく、予測範囲は切羽より 70-80m 程度であることが確認された。一方、両者の探査結果における断層破碎帯の位置は十分な精度で予測できたが、その破碎帯の幅（実績約 120m）は把握することができなかった。

(a) 火薬探査の結果



(b) 非火薬探査の結果

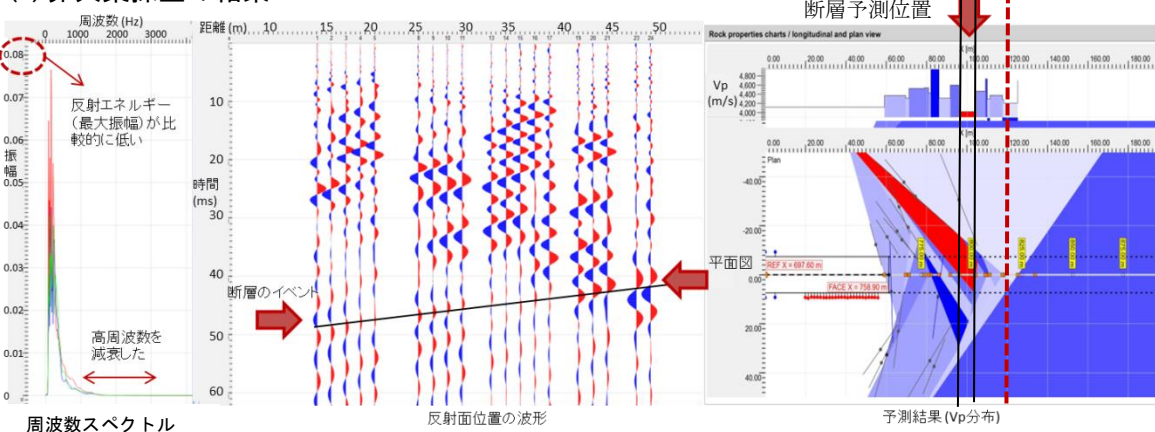


図4 火薬探査と非火薬探査の結果と反射特定波形

5. まとめ

今回の検証により得られた知見は以下の通りである：

①反射法坑内弾性波探査の実施により、大規模な断層破碎帯の境界面を正確に予測でき、安全かつ早期に対策工の計画に着手できた。②火薬探査と非火薬探査の結果を比較するとリスクレベルが高い断層の出現位置に関する予測精度は十分確保できていることが確認できた。③一方、非火薬探査は、得られるエネルギーが相対的に低いため、探査可能範囲は火薬探査 150m に対して 70-80m 程度である。④今後、緩みの影響がない発振孔と起爆力を増した非火薬破碎剤を使用することで非火薬 TSP 探査の精度、範囲を向上できるものと期待している。