

3次元TSPシステムの現場への適用

佐藤工業（株）
同上

正 瀬谷正巳 正 篠川俊夫
吉野隆之 F 山本松生

1. はじめに

TSPシステムは、反射法地震探査の原理を応用した山岳トンネルにおける切羽前方の探査手法である。他の探査手法と比較して、比較的安価・簡便に調査を行うことができるので、トンネル工事を安全かつ経済的に進めることを目的として広く行われている。ただし、従来のシステムでは、弾性波の計測に当たって2成分の弾性波しか計測できないなど、いくつかのシステム上の制約が残されていた。

今回、それらの点について改善した新しいシステムが開発された。本稿では、従来のTSPシステムと新しいTSPシステムの相違点、現場に適用した結果などについて述べる。

2. システムの概要

TSPシステムは、反射法地震探査を現場で適用しやすくシステム化したものである。基本的には、トンネル坑内において20数回の小発破を行い、戻ってきた反射波をセンサーで捉える。そして、その反射波データを処理して解析し、トンネル切羽前方やトンネル周辺に存在する反射面（断層破砕帯、地層境界など）の状況・位置・地層変化の度合いを予測する。概念図を図-1に示す。

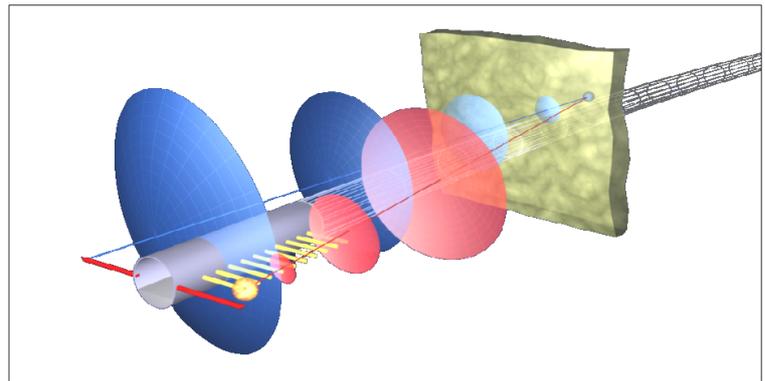


図-1 TSPシステム概念図

3. 新しいシステム（3次元TSPシステム）の特徴

従来までのシステムがトンネル軸方向と鉛直方向の2成分の反射波データだけを用いて解析を行うのに対し、新しいシステムではトンネル軸方向、鉛直方向およびトンネル直交方向（水平方向）の3成分の反射波データを用いて切羽前方の地質状況を3次元的に推定する。このために、今まではできなかった地質不連続面（地層境界、断層破砕帯など）の方向と傾きを確定できるようになった。

さらに、切羽前方地山の弾性波速度をP波とS波の双方について推定できるようになり、その V_p/V_s 比を元にして弾性係数、ポアソン比、密度などの切羽前方の岩盤物性値まで推定することが可能となった。

従来のシステムと比較した新しいTSPシステムの特徴を以下に列記する。

- 1) X, Y, Zの3成分のデータが測定できる。
- 2) 地層境界や断層破砕帯などの地質不連続面の位置, 方向, 傾きをより正確に推測できる。
- 3) P波とS波の両方を解析に用いる。
- 4) 切羽前方地山の弾性波速度や弾性係数、ポアソン比などの物性値が推測できる。
- 5) 解析結果をビジュアルに3次元表示できる。
- 6) 測定・解析のソフトがWindowsNT上で動き、操作性が向上した。
- 7) 解析に要する時間が2時間程度から1時間程度に短縮される。
- 8) 測定装置が軽量・コンパクトとなり、取り扱い性が向上した。

4. 解析の手順

- (1) 初期値の入力：トンネルの形状, 大きさ, 切羽位置, 受振孔・発振孔の位置などを入力する。
- (2) バンドパス・フィルター：受信波形をスペクトル（周波数成分）に分解して、ノイズなど必要な領域以外のスペクトルを除外する。
- (3) 初動の決定：初動は、最初の波（直接P波）の到達時間であり、以下の解析の基本となる。
- (4) S波の初動の決定：S波の初動についても同様に決定する。
- (5) 弾性波エネルギーの減衰の補正：弾性波のエネルギーは、岩盤中を伝播する過程でしだいに減衰していくが、その補正を行う。

キーワード：TSP, 3次元, 反射法地震探査, トンネル

連絡先：〒243-0211 神奈川県厚木市三田 47-3 TEL: 046-241-2172 FAX: 046-242-9420

- (6) 反射波の抽出：切羽前方の地山を調べるには、反射波の情報だけが必要なため、記録した波形から反射波だけを取り出して表示する。
- (7) P波とS波の分離：X, Y, Zの3成分の表示であった波形を、P波, SH波, SV波成分に変換して表示する。
- (8) 速度分布の解析：P波, S波について伝播時間の2次元グリッドを作成し、繰り返し計算によって、最適な速度分布モデルを求める。
- (9) 反射エネルギーの計算：2次元モデル上で、反射波の振幅の大きさから、各グリッド毎に反射エネルギーの大きさを計算して表示する。
- (10) 反射面の抽出：反射エネルギー分布図において、反射エネルギーは円弧状の連なりとして表示されるが、その中でエネルギーの大きいものを抽出して表示する。これが、切羽前方の反射面に当たる。
- (11) 地山物性値の計算： V_p , V_s および、その他の資料からポワソン比など各種の地山物性値を求める。
- (12) 結果の出力：求められた結果は、2D表示、3D表示など様々な表現で出力することが出来る。3D表示の例を図-2に示す。

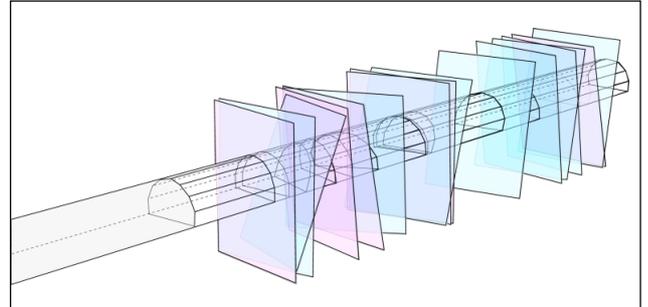


図 - 2 TSP試験結果（3D表示）

5. 現場への適用例

ここで、新しいTSPシステムを実際の現場に適用した事例について紹介する。測定を行ったトンネルは、幅員15m、トンネル内空断面積約150m²の大断面トンネルで、地質は、チャート、粘板岩、輝緑凝灰岩を主体とし、石灰岩、千枚岩、変輝緑岩、変斑れい岩等を伴っている。

図-3に測定結果と、実際の地山状況の対比図を示す。

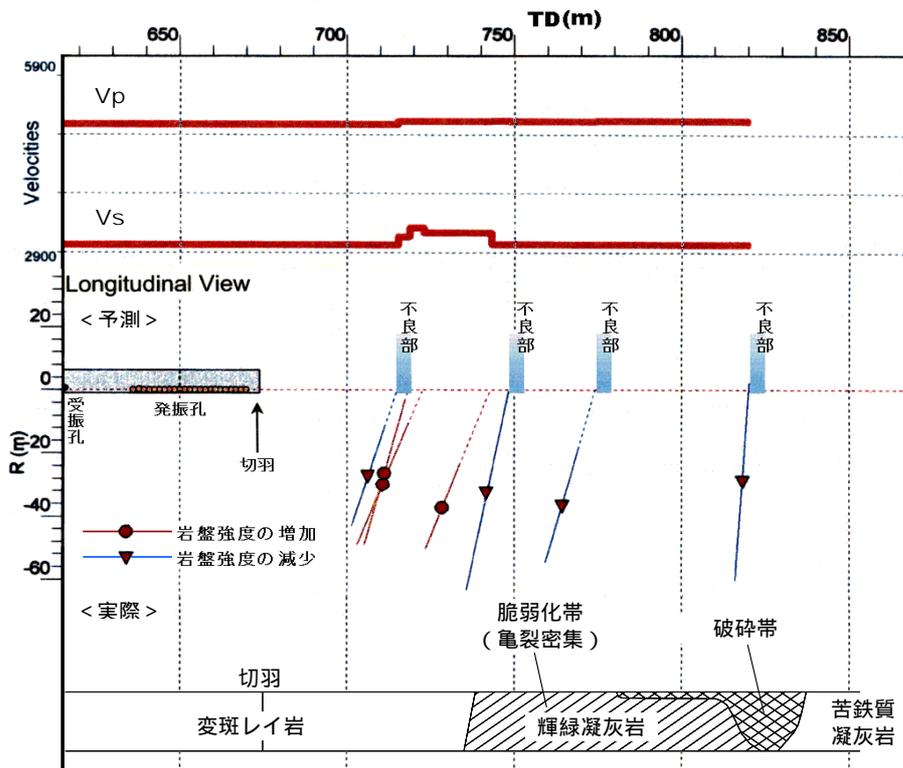


図 - 3 予測結果と実績の対比図

この図を見ると、多少の誤差はあるものの、予測による不良部の位置と、実際の地山における不良区間および岩種の境界とが概ね対応していることが分かる。

6. まとめ

新しいTSPシステムは従来のものと比べて、様々な面で性能が向上している。特に3次元で不連続面の様子が把握できるようになったことと、切羽前方の地山物性値を予測できるようになったことは、大きな違いであり、今後はこの特徴を生かして、システムの有効利用を図って行きたいと考えている。