

弾性波による切羽前方探査における高精度イメージングに関する研究

関西大学工学部 正会員 楠見 晴重
 関西大学大学院 学生員 ○野口 哲史
 京都大学大学院 正会員 芦田 譲

1. はじめに

山岳トンネルにおける切羽前方の地質状況を予測する目的とした探査法として、TSP (Tunnel Seismic Prediction) や HSP(Horizontal Seismic Profiling)が開発され施工現場において適用が試みられている。これらは現場での必要性および適応性が高い手法であることもあり、これまでに多くの事例報告や現場適用の論文が公表されているが、解析方法であるイメージングに関する研究は多くなされていないのが現状である。著者らはすでに、反射波の波動方向を考慮したイメージングを用いることで高精度に反射面を把握することができた事例について示している¹⁾。

そこで本研究では、切羽前方探査の問題点を検討できる数値シミュレーションを用いて、波動方向を考慮するイメージングが効果的に反射面を推定できることについて検討する。

2. イメージング手法

トンネル切羽前方探査におけるイメージングには、反射振幅エネルギーを半径に換算し反射エネルギー強度円から反射面を求める方法と振源と受振点を焦点とする楕円として表現される等走時面を用いる方法があり、前者では IP 法、後者では著者らが提案しているイメージング法や DS 法がある。基本的には共通しており、切羽前方の弾性波速度を一定と仮定し、受振器で得られた情報である走時と振幅値の関係から距離に変換し、重合することにより反射面を強調させ推定する方法である。通常地表面から行われている反射法では CMP 重合により速度解析ができるが、切羽前方探査ではトンネルという限られた空間のために速度解析が出来ない。このことからイメージングがより一層重要であると言える。

3. 数値シミュレーションを用いた検討

(1)検討課題

適用事例の報告が増えるに従い切羽前方探査における問題点がいくつかあげられているが、その一つとして反射面の傾きにより推定しにくい範囲があり、トンネル軸と平行あるいは鋭角な反射面では推定が困難であると報告²⁾されている。これは報告されている IP 法や DS 法が、主に 1 成分受振器を用いているために反射波の伝播方向を考慮しておらず、そのために虚像を生んでしまい、反射面の推定が困難な箇所が存在しているものと考えられる。そこで、波動方向を考慮することの有無について検討する。そして、波動方向を考慮したイメージングでのトンネル軸との角度による反射面の推定に検討する。

(2)数値シミュレーション

数値シミュレーションは、解析を容易にするために 2 次元モデルとし、解析モデルを作成し、モデル上で振源から波動を伝播させ受振器記録を作成する。この記録を用いて反射波の波動方向を考慮したイメージングを行うものとした。本研究では受振器記録を作成する計算において運動方程式を擬スペクトル法を採用したアルゴリズム³⁾により作成した。モデルにおいてトンネルとして設定した場所は、空気で満たされていると考え P 波速度を 340m/s とした。なお、振源は切羽中心に設定し、振源関数としてリッカーウェーブレットを用い、受振器は切羽後方 4m から左右壁面に 3m 間隔でそれぞれ 5 個設定した。

(3)シミュレーション結果及び考察

図-1 は設定したモデル A を示す。トンネル軸と直交に近い反射面を想定し、トンネル軸に対する傾きを

キーワード：トンネル 切羽前方探査 弾性波探査 数値シミュレーション

連絡先：〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 TEL06-6368-0837

80°としてモデルを作成した。図-2 は、解析モデル A に対する波動方向を考慮していないイメージング結果を、図-3 は波動方向を考慮したイメージング結果を示す。図-2 では、虚像を含んでいるために複数反射面を推定できることが可能となり、反射面を特定できないことがわかる。一方、図-3 ではイメージング結果より推定できる反射面は、モデルで設定した反射面と一致していることがわかる。

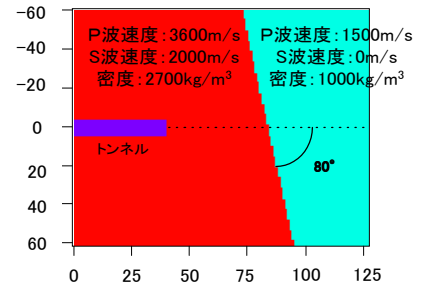


図-1 解析モデル A

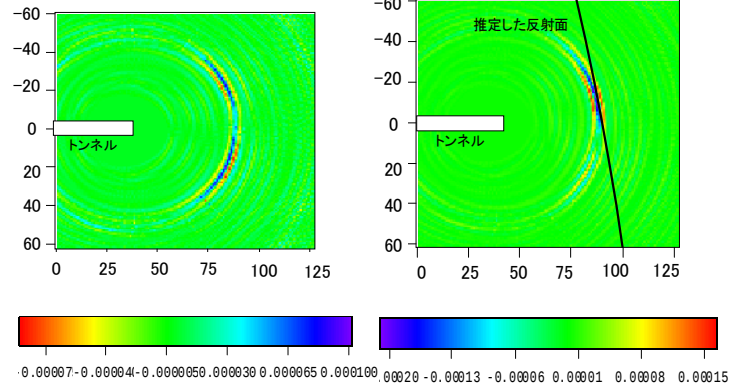


図-2 波動方向を考慮しない イメージング
図-3 波動方向を考慮した イメージング

次に反射面がトンネル軸と鋭角に交わる反射面についてシミュレーションを行った。図-4 はモデル B を示す。もっとも推定しにくい角度として、トンネル軸に対する傾きを 0°つまりトンネル軸と平行に設定した。図-5 は、解析モデル B に対するイメージング結果を示す。イメージング結果より推定できる反射面は、トンネル軸に対して傾きのある反射面と推定できる。しかし、モデルで設定した反射面はトンネル軸に対して平行であると設定していることから実際の反射面と一致していないといえる。これは、トンネル軸に平行な反射面ほど、反射面側にない受振器(図-4 では右壁面受振器)において、反射点から受振器へと波が伝播する経路上にトンネル空間が存在するため走時にずれが生じ、重合の効率が悪くなったためと考えられる。その結果、反射面側にない受振器がイメージングの精度を低下させている。

そこで、図-4 のモデルを用いて反射側の受振器のみでイメージングを行った。図-6 は反射面側の受振器のみでのイメージング結果を示す。図-6 ではトンネル軸に平行な反射面を再現できていることがわかる。

4. まとめ

トンネル切羽前方探査ではイメージングが重要であり、反射波の伝播方向を考慮したイメージングすることで、高精度に推定できることがわかった。トンネル軸に平行な反射面では反射面の推定に誤差が生じるが、反射面側の受振器のみを利用することにより精度よくイメージングでき反射面を推定できることが判明した。

<参考文献>

- 1) 野口哲史・楠見晴重・芦田 譲・岩崎博海・西田一彦:3成分受振器記録を用いたトンネル切羽前方探査,土木学会第55回年次学術講演会概要集, -B49, pp.100-101, 2000.
- 2) 笠 博義・大沼和弘:坑内弾性波探査法により得られる反射パターンの解釈に関する検討,トンネル切羽前方探査に関するシンポジウム・講演会論文集,土木学会関西支部, pp63-68, 2000.
- 3) 村山靖彦・芦田 譲・佐々宏一:フーリエ変換による地震波動現象のシミュレーション(1)-計算理論と計算方法-,物理探査, Vol.44, No.1, pp.18-26, 物理探査学会, 1991.

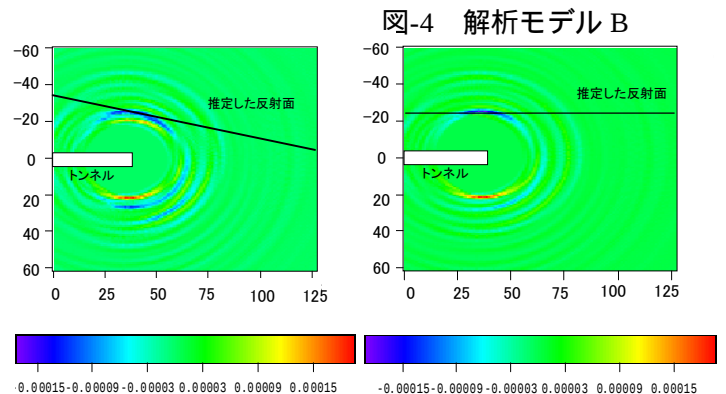


図-5 モデル B の
イメージング結果

図-6 反射面側の受振器
のみのイメージング結果