

切羽前方探査における反射面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

山岳トンネル施工中に坑内から実施できる切羽前方探査として、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。著者らも、3成分受振器記録を用いることで、反射波の波動方向を特定でき高精度にイメージングを行える手法を提案し、実際のトンネル建設現場で行った探査結果と地質状況が一致したことを報告している¹⁾。

しかし近年、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、今までの切羽前方探査では主に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、反射波の波動方向を考慮したイメージング手法における反射面の角度による影響について検討を行った。

2. 反射波波動方向を考慮したイメージング手法

本研究では、反射波の伝播方向の情報を利用するイメージング手法を用いている。等走時面イメージング手法とは、反射点は振源と受振点からの距離の和が一定である点の軌跡上にあるといえ、平均速度を用いると反射点は走時が一定上の軌跡上にある、つまり等走時面上にあるといえ楕円体として表現できる。この等走時面を複数の振源と受振器の組に対して描くことにより、楕円体の共通接面が反射面と推定できる方法である。そして描いた等走時面上に、反射波の伝播方向の情報から反射点を推定することにより、反射点およびその周辺だけに大きな振幅値を与えること重み付けが可能となり、反射面を精度よくイメージングできる手法である。

3. 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想定した場所は、空気で満たされていると考えP波速度を340m/sとして与えた。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。

4. シミュレーション解析および考察

図-1に設定したモデル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 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、モデルで設定した反射面と一致していることがわかる。このことからトンネル軸

と鈍角に交わる反射面は精度良く推定できることが判明した。

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-3 はモデル b を示す。トンネル軸と平行に近い反射面を想定し、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-4 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、反射面側にはない受振器（図-3 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に走時にずれが生じ、重合の効率が悪くなると考えられる。その結果、反射面側にはない受振器がイメージング精度を低下させている。

そこで次に、図-3 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-5 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-4 のイメージング結果と違い、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。

5. まとめ

伝播方向を考慮したイメージング手法においても、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ことがわかった。しかし、反射面側の受振器のみを利用する方法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第 3 部 (B)，III-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)ー計算理論と計算方法一，物理探査，Vol.44，No.1，pp.18-26，物理探査学会，1991.

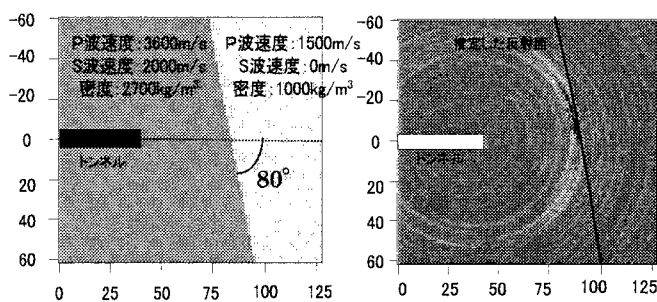


図-1 解析モデル a

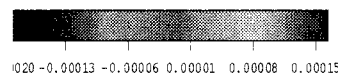


図-2 モデル a のイメージング結果

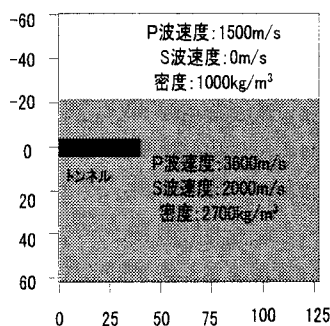


図-3 解析モデル b

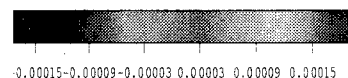


図-4 モデル b のイメージング結果

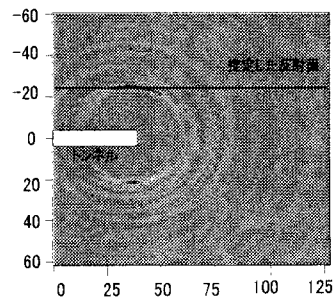


図-5 反射面側の受振器だけのイメージング結果