

フルウェーブインバージョンを利用したトンネル切羽前方探査の基礎的研究

関西大学大学院 学生員 ○武川 順一
 関西大学工学部 正会員 楠見 晴重
 京都大学大学院 正会員 芦田 讓

1. はじめに

近年、トンネルの大断面・長大化と複雑な地山へのトンネルの施工例の増加により、断層破碎帯などの地質不良部をあらかじめ予測しておくことが重要となってきた。トンネル切羽前方探査において、従来は反射波の到着時間から反射面の位置を推定するという方法が主に行われてきた。しかし、この方法では反射面の位置は推定できても、地山の具体的な物性値はわからなかった。

そこで本研究では、フルウェーブインバージョンを用いてトンネル切羽前方を定量的に評価することを試みた。

2. フルウェーブインバージョンの計算理論

フルウェーブインバージョンとは、現場で観測された波形と設定したモデルに対して波動場モデリングを行った結果から得られた計算波形との差が、反復計算するにしたがって小さくなるように速度モデルを修正していく方法である¹⁾。

本研究では、波形の差から得られる真のモデルと設定したモデルとの誤差を次式で定義した。

$$S = \sum_s \sum_r \int dt \delta p(x_r, t; x_s)^2 \cdots (1)$$

ここで、 x_s, x_r はそれぞれ振源と受振器の位置であり、

$\delta p(x_r, t; x_s)$ は現場の観測波形と計算波形との残差である。(1)

式で定義したモデルの誤差が小さくなるということは、設定したモデルが真のモデルに近づいているということである。修正前の弾性波速度分布を $V(x)$ 、修正後の弾性波速度分布を $V'(x)$ とすると、

$$V'(x) = V(x) + \alpha \cdot \gamma(x) \cdots (2)$$

となる。ここで $\gamma(x)$ は現在の速度分布 $V(x)$ に関する誤差の最大傾斜方向であり、次式で与えられる。

$$\gamma(x) = \frac{1}{V(x)^3} \sum_s \int dt \dot{p}(x, t; x_s) \dot{p}'(x_r, t; x_s) \cdots (3)$$

ここで、 $\dot{p}(x, t; x_s)$ は振源から伝播していったモデル内の波動場であり、 $\dot{p}'(x_r, t; x_s)$ は残差 $\delta p(x_r, t; x_s)$ を振

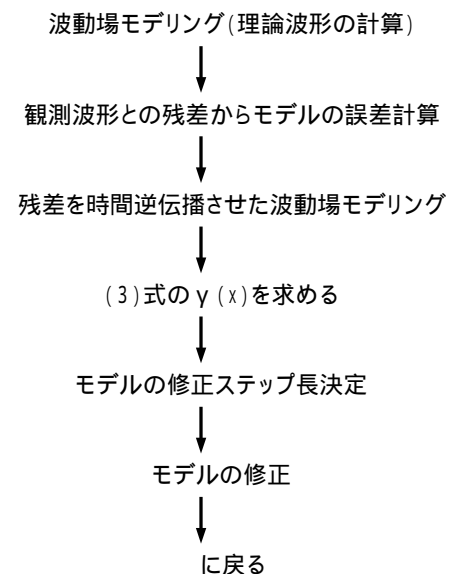


図 - 1 解析の手順

キーワード フルウェーブインバージョン トンネル 切羽前方探査 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 関西大学 TEL 06-6368-0837(6507)

源波形、受振点 x_r を振源位置として時間逆伝播させたときの波動場である。また、 α は速度分布の修正量のステップ長である。(3)式は真のモデルと設定したモデルとの誤差がどこで生じたものかを表している。

また、(2)式の α は誤差修正量のステップ長であり、本研究では次式のように設定した。

$$\alpha = \max(V(x))/100 \cdots (4)$$

すなわち、速度の最大値の 100 分の 1 を誤差修正量のステップ長とした。

図 - 1 にその解析のフローチャートを示す。

3. 結果

図 - 2 に解析を行ったモデルを示す。トンネルの切羽前方 45m の位置に幅 5m の低速度帯が存在している構造で、地山の弾性波速度が 3000m/s、低速度帯の弾性波速度が 2800m/s とした。解析の初期モデルは弾性波速度が 3000m/s で一定の構造とした。振源はトンネルの切羽に設置し、受振器はトンネルの側壁に左右 4 個ずつ計 8 個設置した。図 - 3 に解析結果を、図 - 4 にトンネル軸上における切羽前方の弾性波速度の変化を示す。図 - 3・図 - 4 によると、切羽前方の低速度帯の存在する境界において弾性波速度が変化していることにより、切羽前方の特徴を捉えることが出来ていると言える。しかし、その弾性波速度値については正確に推定できていないとも言えない。また、切羽前方 10m 付近と低速度帯の後方 10m 前後において真のモデルにはない速度の変化する部分が現れている。

4. まとめ

本研究では、トンネル切羽前方探査におけるフルウェーブインバージョンの適用性について検討した。その結果、十分に高い精度が得られたとは言いがたい。その原因として考えられるのは、トモグラフィなどの手法と比べて直接波ではなく反射波のみを用いて探査を行っていること、探査領域を囲みこむように振源と受振器を配置するのではなく片側にしか振源と受振器を設置していないこと、そして、探査対象に対して受振器の平行な展開ができないこと等が挙げられる。今後の課題としては、切羽前方の速度分布の改善や低速度帯後方のノイズ、全体的な精度向上が上げられる。

< 参考文献 >

- 1) 渡辺俊樹、上坂進一、佐々宏一：音響波動方程式に基づくフルウェーブインバージョンの数値実験(1)—解析手法の評価—、物理探査、Vol.50, No.3、pp. 208～218、1997。

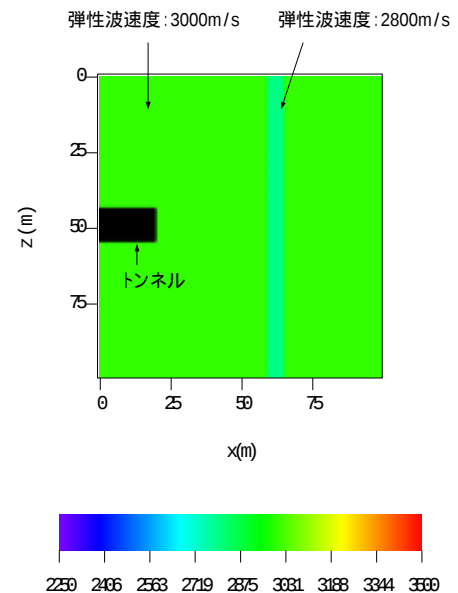


図 - 2 真のモデル

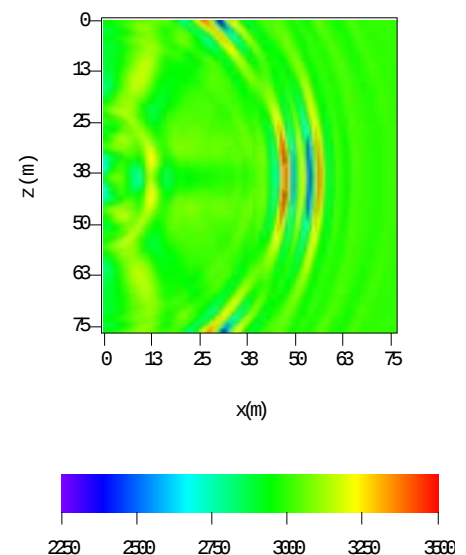


図 - 3 解析結果

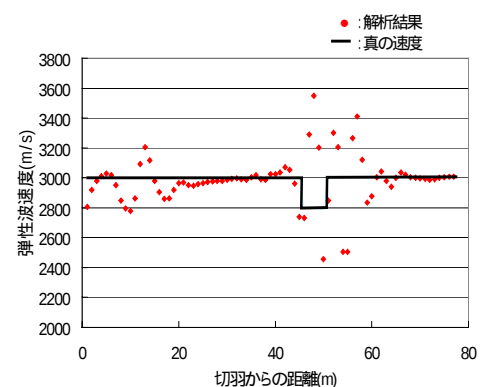


図 - 4 トンネル軸上の速度分布