

関西大学大学院 学生員 ○高橋 重行

関西大学工学部 フェロー 楠見 晴重

京都大学大学院 学生員 武川 順一

1. はじめに

トンネル掘削では、安全性や施工性および経済性が求められており、切羽前方の地質状況をあらかじめ把握するための事前調査が必要不可欠である。また近年では TBM (Tunnel Boring Machine) の使用が主流になっていることから、効率的にこれを機能させるため切羽前方探査の向上が望まれている。しかしながら、現在用いられている手法では、地山構造を正確に把握できているとは言いがたい。そこで本研究では地山の物性値を定量的に評価できるフルウェーブインバージョンに注目した。本研究では地下水や断層破砕帯とみなした低速度帯とトンネルを含んだ二次元地盤モデルを作成してインバージョンを行い、本手法のトンネル切羽前方探査への適用性を検討した。

2. フルウェーブインバージョン

フルウェーブインバージョンは現場で得られる観測波形と、設定したモデル地盤（初期モデル）に対して計算された理論波形をデータとし、両者の差が小さくなるように速度モデルを修正して弾性波速度分布を求める方法である¹⁾。本研究では、初期モデルから理論波形を得るために差分法を用いている。

差分法は、本来不均質な地盤を多くの微小なグリッドで分割し、各々のグリッドの中では弾性的な性質は均一であると仮定し、波動方程式を有限差分式で表すものである²⁾。この数値解析手法は説くべき微分方程式を割り算で近似するものであって、原理が極めて単純であり、計算機の容量が小さくても大きな問題が解けるという利点がある。

フルウェーブインバージョンでは、観測波形と理論波形との振幅の差で誤差を定義している。この差が最小となるように最小二乗法を用いて物性値分布を反復的に求めている。反復計算を行うことによって誤差関数を小さくしていくことは、観測波形を理論波形との差が小さくなり、正しい速度モデルに収束していることを意味している。従って、誤差関数を最小にする速度モデルを求めることがフルウェーブインバージョンの目的である。誤差関数が収束したとみなせるまで反復計算を行い、最終的な速度分布を求める。

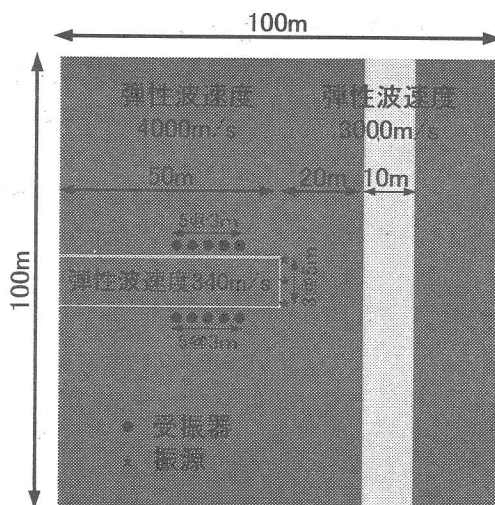


図 - 1. 真のモデル地盤

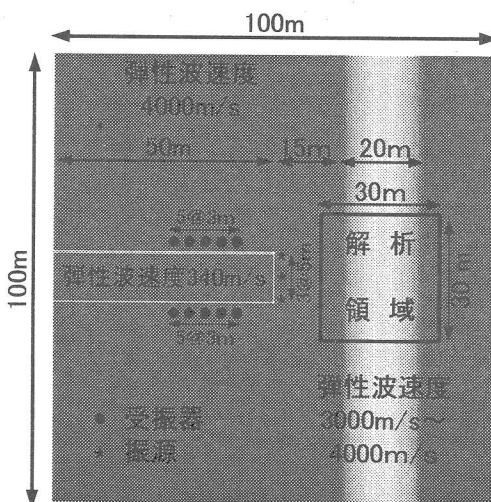


図 - 2. 初期モデル

3. モデル地盤の設定

解析を行うにあたって、まず真の地山構造を図-1のように設定する。トンネルの全長は50mで、その切羽面前方20mに弾性波速度3000m/sの低速度帯が存在している。トンネル坑内は大気中の音の伝播速度340m/sとする。受振器はトンネル両側壁に5個ずつ計10個、振源はトンネル切羽面に3個設定した。この時、振源・受振器の数と位置および観測波形のみを既知とし、地山構造は未知とする。

次に図-2のように初期モデルを仮定する。低速度帯の速度構造は、中央部に向かって徐々に速度が低くなっていくように設定した(図-4参照)。振源、受振器配置は真の地盤モデルと同様である。初期モデルは既知とし、このモデルから理論波形を得る。真の地盤モデルから得られた観測波形と初期モデルから得られた理論波形を用いてフルウェーブインバージョンを行い、初期モデルを修正させて誤差を最小にする速度モデルを求める。

4. インバージョン結果

図-3は解析後の領域内における弾性波速度分布を示している。また図-4はトンネル切羽面前方における弾性波速度を比較したものである。この図では、真の地盤モデル、初期モデル、インバージョン結果を比較している。両図からわかるように低速度帯構造のばらつきが目立ち、また低速度帯として仮定されていない部分にも速度補正が施されているが、低速度帯の幅をほぼ正確にインバージョンでき、トンネル前方探査としては充分な結果が得られた。

5. まとめ

本研究では、フルウェーブインバージョン手法を用いて、トンネル掘削現場を想定したモデル地盤のイメージングを行い、本手法の適用性を検証した。その結果、地山構造の定量的な評価が可能になり、本手法がトンネル切羽前方探査においても精度良く解析が行えることが確認できた。

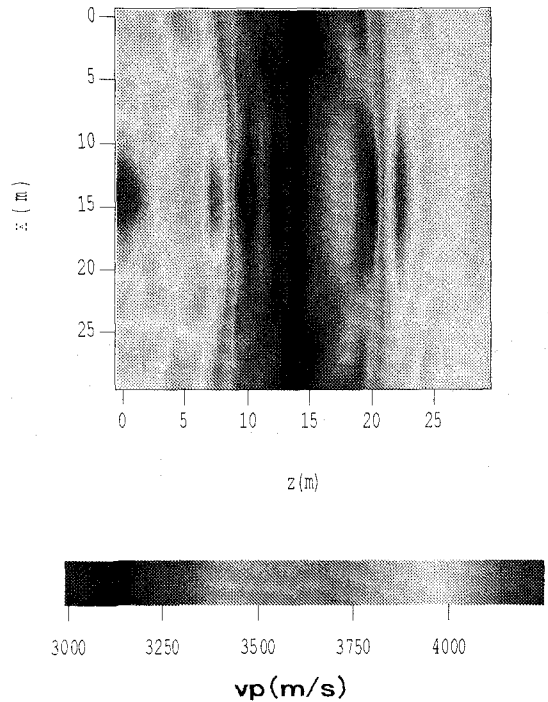


図-3. インバ

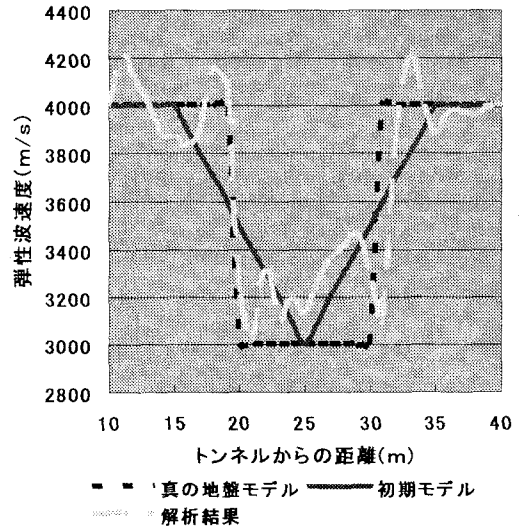


図-4. 切羽面前方の弾性波速度分布の比較

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。
- 2) 常旭、芦田譲、佐々宏一：差分法による弾性波探査における波動現象のシミュレーション、水曜会誌、Vol.21、No.3、pp.201-210