

トモグラフィ的弾性波探査解析法の初期条件設定に関する検討

九州大学大学院 学生会員 ○庄井義和
 基礎地盤コンサルタンツ 正会員 三木 茂
 山口大学工学部 フェロ-会員 中川浩二

前田建設工業 正会員 寅岡千丈
 山口大学工学部 正会員 進士正人

1. はじめに

山岳トンネルにおける弾性波探査の解析法として、探査精度の向上が期待できる「トモグラフィ的弾性波探査解析法」が適用されはじめている。この解析法は、地表面に設置された起受振点により観測された走時データを用いた逆解析である。しかし、データ数に比べて未知数が多い解析となるため、初期条件（特に初期速度分布）の与え方で、解析結果が異なってくる可能性が考えられる。そこで本研究では、実際の地山状況を精度良く再現するためのトモグラフィ的弾性波探査解析法における初期条件の設定法について検討を行うものである。

2. 初期速度分布の検討

解析で与える初期速度分布は、地山内部を一様速度構造として与える場合から、地中深部になるほど速い速度分布となるなどの地学的見識を考慮した層速度構造、あるいは真の速度分布と同じ速度構造を与える場合まで、解析で与える初期条件の情報量を変化させることとした。また検討には、地山の速度分布をあらかじめ想定した「モデル地山」、および実際の現場で得られた弾性波探査の走時データを用いた場合により行った。

(1) モデル地山による検討

図-1に示すような弾性波の速度分布をもつ地山モデルを想定し、解析で与えた初期速度分布は、図-2に示すように「地山全体を一様速度構造とした場合（パターン①）」、「解析プログラムが走時データより自動的に想定する層速度構造とした場合（パターン②）」、「図-1で想定した真の速度構造と同じとした場合（パターン③）」の3パターンにより検討を行った。解析により得られた速度分布を図-3に示す。

解析結果の評価は、モデル地山の真の速度分布（図-1参照）と解析後に得られる速度分布（図-3参照）を用い、式(1)より算出される「速度誤差率」により行った。なお、速度誤差率が低いほど、真の速度分布と解析後の速度分布の速度誤差が少ないことを意味する。

$$\text{速度誤差率} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \left(\frac{V_{mi} - V_i}{V_{mi}} \right)^2}{M}} \times 100 \quad (1)$$

V_{mi} ：理論走時， V_i ：解析速度， M ：メッシュ数

各パターンの速度誤差率を図-4に示す。この図より、地山の初期速度分布を一様速度として与えたパターン①よりも、層速度構造として与えたパターン②、③の方が、速度誤差率は小さくなっていることがわかる。また、若干の差ではあるが、真の速度分布と同様な速度分布を与えたパターン③よりもパターン②の方が良い結果となっている。

(2) 実際の地山による検討

実際の現場において得られた弾性波探査の走時データを用い、「一様速度構造（CASE ①）」、「自動層速度構造（CASE ②）」、「地質縦断面図

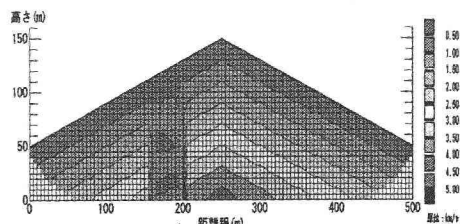


図-1 真の速度分布

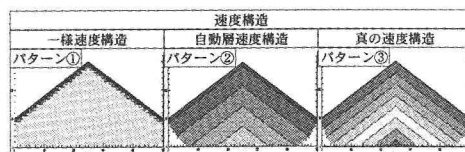


図-2 各パターンの初期速度分布

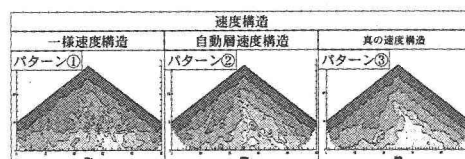


図-3 解析により得られた速度分布

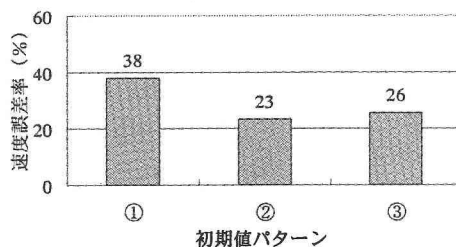


図-4 各パターンの速度誤差率

表-1 各トンネルの解析結果の評価

トンネル名	一様 CASE①	自動層 CASE②	地質図 CASE③
A	○	△	×
B	○	△	×
C	×	○	△
D	△	○	×
E	×	○	△
F	×	○	△
G	△	×	○
H	△	○	×
総合評価	△	○	×

切羽強度指数一致率

最も良い○，2番目に良い△，最も悪い×

より得られる速度構造 (CASE ③)」の3 ケースを解析で与える初期速度構造として解析を行った。

ここで、実際の地山において、モデル地山のように真の速度分布の把握は困難である。したがって、解析結果の評価は「切羽強度指数一致率¹⁾」により行うこととした。なお、切羽強度指数一致率とは、切羽観察記録の「圧縮強度」と「風化変質」の評価点の合計点である「切羽強度指数」と解析の速度分布から算出した「推定切羽強度指数」をトンネル全線で比較したものである。切羽強度指数一致率が高いほど、解析精度が良いことを意味する。

各トンネルにおいて、検討結果を表-1 に示す。この図より、初期速度分布を自動層速度構造として与えた CASE ②が他の2 ケースに比べて、切羽強度指数一致率が良いとの結果が得られている。

以上より、モデル地山での結果も合わせ、解析における初期速度分布の設定は、今回の解析に関しては、走時データより想定する層速度構造とする場合が最適であると考えられる。

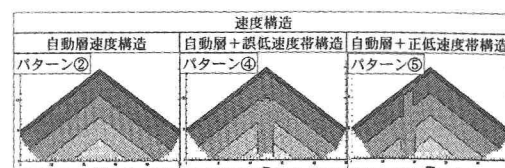


図-5 低速度帯を考慮した初期速度構造

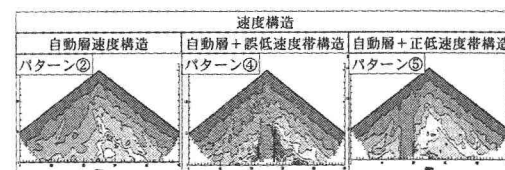


図-6 解析により得られた速度分布

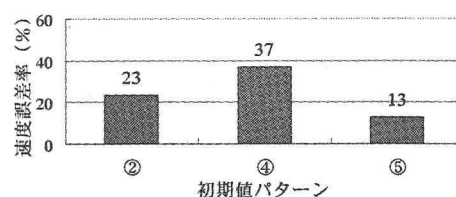


図-7 モデル地山におけるの速度誤差率

3. 低速度帯を考慮した初期条件の設定法の検討

トンネルの設計する際には、低速度帯のような地山不良を事前に把握しておくことが求められる。しかし、低速度帯のように局所的な速度変化部分は、解析結果に大きく影響を与えることが予想される。そこで、初期速度構造を設定するときの低速度帯の有無が、解析結果へ及ぼす影響についての把握を行う。

(1) モデル地山による検討

先ほどと同様に図-5 に示すような低速度帯の存在を考慮したモデル地山を作成し、解析を行った。その解析後の速度分布を図-6 に、各パターンの速度誤差率を図-7 に示す。これらの図より、低速度帯の間違った位置に設定し解析を行ったパターン④は、低速度帯を考慮せずに解析を行ったパターン②よりも速度誤差率が大きくなる結果が得られた。

以上より、その存在が確定な低速度帯は考慮せずに解析を行う方が、地山全体の速度構造の把握を行う上では、適切に行えることがいえる。

(2) 実際の地山による検討

実際の地山により検討を行った結果を図-8 に示す。モデル地山の場合と同様に、正確な低速度帯の位置が解析前に把握できている場合に初期値として入力することは、解析精度を向上させるが、誤った位置の低速度帯の位置情報は解析誤差を大きくする要因となることがわかった。よって、正確な低速度部分の位置がわからない場合には、初期値には低速度部分を考慮すべきでないことがわかった。

4. まとめ

本研究では、トモグラフィ的弾性波探査解析法における初期条件の設定法について検討を行った。その結果、解析における初期速度構造は、走時データから作成される層速度構造とすることで、実際の地山の弾性波速度分布を適切に再現できることがわかった。

参考文献

- 1) 井上浩一：トモグラフィ的弾性波探査解析によるトンネル地山調査の評価，山口大学修士論文，2001.3.
- 2) 鈴木守，富田宏夫：トンネル地質調査の正確と問題点(2)，トンネルと地下，第24巻10号，pp49-59，1993.10.

表-2 各トンネルにおける検討ケースの評価

トンネル名	一様	自動層	地質図	考案
	CASE①	CASE②	CASE③	CASE④
F	×	◎	△	○
G	○	×	◎	△
H	△	◎	×	○
総合評価	×	◎	○	△

切羽強度指数一致率

最も良い◎，2 番目に良い○，
3 番目に良い△，最も悪い×