

CS-11 ボーリング坑を利用した弾性波地盤構造調査法

日本大学 学生員 小林 義和

日本大学 正 員 塩尻 弘雄

1. はじめに

地盤の弾性波伝播速度は、その材料物性と密接な関係を持っているため、その分布を調査することによって、おおよその地盤特性を知ることができる。このため、地中の弾性波伝播速度分布を逆解析によって求めるさまざまな方法が開発されている。

ここでは、ボーリング坑を利用した坑井間探査を仮定し、初動走時を用いた同時反復法及び非線型最小二乗法による同定結果について比較検討した。

2. 解析概要

解析対象地盤は、層厚2[m]の成層地盤とし、図. 1のよう
に1辺1.0[m]のセルに分割する。解析対象地盤の左右両
辺は、ボーリング坑に接していると仮定し、その辺上の節
点は観測点及び発信点とする。発信された波動は、発信さ
れた点の反対側の辺上の節点で受信される。このモデルに
対して16方向点波源による波線追跡を行うことによって
各受信点の初動走時を求める。この初動走時を用いて逆解
析を行ない、各セルの弾性波伝播速度を同定する。

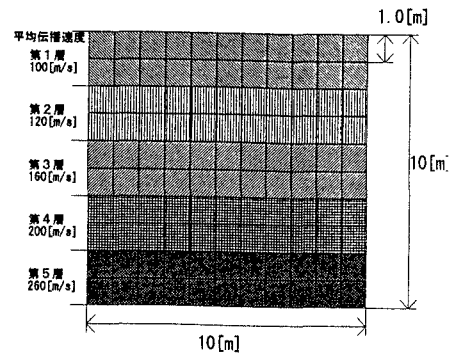


図. 1 モデル図

3. 解析方法

(1) 16方向点波源による波線追跡法

波源となる節点から、図. 2のように16方向に発信
し、発信先の初動走時を求める。発信先の走時が、以前
求められていたものよりも早かった場合のみ、その節点
から再び16方向に発信する。これを新たな発信点があ
くなるまでくり返し、すべての節点の初動走時を計算す
る。

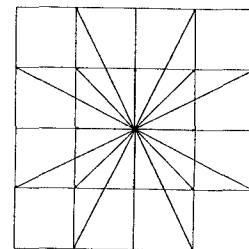


図. 2 16方向波線発信図

(2) 同定方法

1) 同時反復法

波線追跡によって得られた理論走時 T_{ci} と観測走時 T_{oi} の差である走時残差 ΔT_i を、波線が通過したセルに、セルを通過した波線長を重みとして式(1)のように割り振る。

$$\Delta T_i = T_{oi} - T_{ci} \quad (i=1, 2, \dots, N)$$

$$\Delta t_{ik} = \frac{\Delta T_i \cdot l_{ik}}{L_i} \quad (1)$$

ここで、 i は走時番号、 T_{ci} は理論走時、 T_{oi} は観測走時、 k はセル番号、 Δt_{ik} はセル k への走時残差割り振り量、 L_i は走時 i の全波線長、 l_{ik} はセル k を通過した走時 i の波線長である。

この結果を用いることによって、セル k のスローネス修正量 ΔS_k は、式(2)のように与えられる。

$$\Delta S_k = \frac{\sum_i \Delta t_{ik}}{\sum_i l_{ik}} \quad (2)$$

これによって、各セルのスローネスを修正し、走時残差が十分小さくなるまで繰り返す。

2) 非線型最小二乗法

観測方程式として、式（3）を考える。

$$\{y\} = [L(x)] + \{v\} \quad (3)$$

ここで、 $\{y\}$ は観測量、 $\{v\}$ は観測誤差、 $[L(x)]$ は、スローネス $\{x\}$ を独立変数とした非線形関数である。この観測方程式を用いて、事前情報を与えた評価関数を、式（4）のように考える。

$$J = \frac{1}{2}(\bar{x} - \bar{x})^T M^{-1}(\bar{x} - \bar{x}) + \frac{1}{2}(y - L(x))^T R^{-1}(y - L(x)) \quad (4)$$

ここで、 $\bar{x}$ はスローネスの平均値、 M はスローネスの誤差共分散、 R は観測誤差共分散である。スローネスの平均値及び共分散は既知であるとする。

以上の結果より、この評価関数を最小化するような $\{x'\}$ は、式（5）を満足する。

$$\{x'\} = \{x_i\} + P^{-1}L^T R^{-1}\{y - L(x_i)\} + P^{-1}M^{-1}(\bar{x} - x_i) \quad (5)$$

ただし、 $P = (L^T R^{-1}L + M^{-1})^{-1}$ 、 $L = \frac{\partial L(x)}{\partial x}$ である。

式（3）をガウスニュートン法を用いて解いて、推定値 $\{x'\}$ を得る。

4. 解析結果

真値を図. 3に、同時反復法による結果を図. 4に、非線型最小二乗法による結果を図. 5に示す。

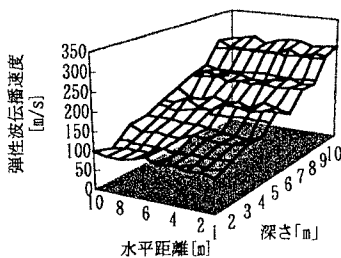


図. 3 真値

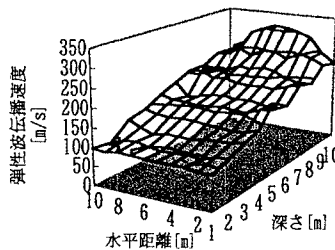


図. 4 同時反復法

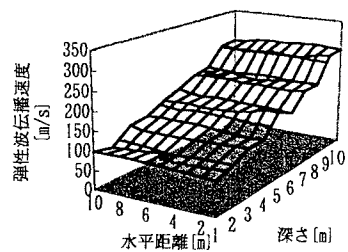


図. 5 非線形最小二乗法

同時反復法による結果は、モデルの下部中央において、弾性波伝播速度が速く算定され、また、層の境界が判別しにくいなど、真値とは異なった傾向の結果が得られている。それに対し、非線型最小二乗法を用いたものは、事前情報として各層におけるスローネスの平均値及び共分散の情報が与えられているために、真値と同様な値を示しており、妥当な結果が得られていると思われる。

5. 終わりに

ボーリング坑を利用した坑井間探査を想定し、初動走時を用いた同時反復法と非線形最小二乗法による結果を比較検討し、後者が有効であることを示した。

参考文献

- (1) 佐々 宏一、芦田 譲、菅野 強：防災技術者のための物理探査、森北出版株式会社、1993. 7