

III-300

変分法に基づくジオトモグラフィーの新しい定式化について

大成建設（株） 正会員 ○岩野 政浩
 同 上 正会員 下茂 道人
 同 上 正会員 亀村 勝美
 トータルシステム研究所 久保 紳

1. はじめに

ジオトモグラフィー法は、地下構造物の建設において、サイトの広範囲な地質構造を把握する技術の一つとして、各方面で研究開発^{1) 2)}が進められている。また、ジオトモトモグラフィー法の現位置への適応を試みた報告^{3) 4)}もなされるようになり、計測技術の改良、データの評価手法の向上等と併せてその有用性が認められつつある。我々は、このような現状を背景に、より効率的なジオトモグラフィー法の完成を目指して、新しい解析アルゴリズムの開発を進めている。本報告においては、新しい定式化と数値計算結果を示し、本手法の有効性について検討を加えた。

2. 基本的考え方

サイスマックトモグラフィー（弾性波探査に基づくトモグラフィー手法）においては、対象とする領域を囲むように、弾性波の発信装置及び受信装置を設け、これより対象を通過する多数の測線を配して、その初動走時を解析のデータとして用いる。従来の解析手法においては、この平均的情報に基づき、図-1に示すように対象領域をいくつかのセルに分割して、各セルに測定結果を最も良好に説明しうる物性値を割り当てることによって、対象領域の物性値（弾性波速度）の不均一性を表現するものである。

このような手法においては、弾性波走査線の屈折、回折は、セル境界面でのみ考慮され、また、速度値の分布は設定したセルの配置に依存することになる。そこで、我々は、空間内の速度構造を連続的な関数として求める方法を考案した。本手法は、弾性波による初動走時から、速度構造を再構成する点では従来の手法と変わらないが、波動伝播経路を変分法を基に算定する点に特徴がある。この様な手法を採用することにより、セル分割に伴う誤差の導入を低減することができると考えられる。

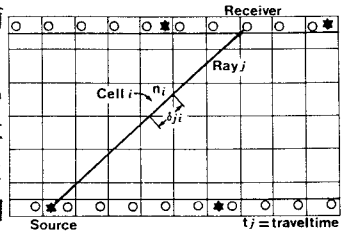


図-1 解析手法の概念

3. 解析手法

本解析アルゴリズムを図-2に示す。フロー自体は、従来の手法と変わらないが、本手法においては、速度構造の表現方法と波線および理論走時の決定法が大きく異なるのが特徴である。

〔速度構造の表現方法〕 スローネスとは、単位波線長当りの伝播時間であり、弾性波速度の逆数である。本手法では、解析領域として、図-3に示すような調査領域を含む矩形 ($a_0 \leq x \leq a_1, b_0 \leq y \leq b_1$) を設定し、これを解析上 $N_x \times N_y$ の小領域に分割する。解析領域内のスローネス分布 $F(x, y)$ は座標の関数とし、以下のように与える。

$$F(x, y) = \sum_{i=-N}^{N_x-1} \sum_{j=-N}^{N_y-1} a_{ij} f_N\left(\frac{x - a_0}{D_x} - i\right) f_N\left(\frac{y - b_0}{D_y} - j\right) \quad (1)$$

基底関数 f_N としては、 $[0, N + 1]$ で定義されるBスプライン関数を用いた。なお、 N は次数、 D_x, D_y は小領域の長さを示す。ここで、 N_x, N_y を固定すれば、スローネス分布を求めることは、式(1)の係数 a_{ij} を求めることと等価になる。

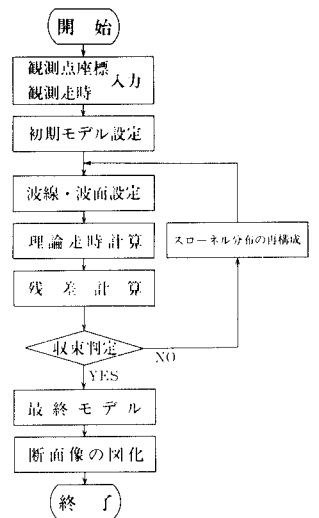


図-2 解析アルゴリズム

〔波線および理論走時の決定法〕 スローネス分布 $F(x, y)$ が与えられれば、図-3に示すように、発振点 S 、受信点 R 間の波線を C とすると、最小走時を与える波線は、次の汎関数 $T(C)$ を極小にするのとして算定される。

$$T(C) = \int_{\mu_0}^{\mu_1} F(x, y) \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \quad (2)$$

上式において、変数 μ は積分パラメーターである。ここで、 $\phi = F(x, y) \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}$

とすると Euler の公式により

$$\ddot{x} \dot{y} - \dot{y} \ddot{x} = (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) (F_x \cdot \dot{y} - F_y \cdot \dot{x}) \quad (4)$$

なる2階の微分方程式を得る。さらに時間 t をパラメーターとして、波線の方法 θ を導入すれば、波線的位置を決定する方程式として次式を得る。

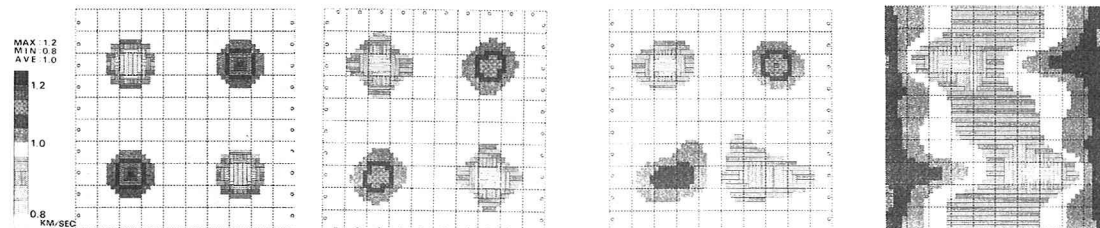
$$x \cdot t = \cos \theta / F, \quad y \cdot t = \sin \theta / F, \quad \theta \cdot t = (F_y \cos \theta - F_x \sin \theta) / F^2 \quad (5)$$

上式を初期条件 (x_0, y_0, θ_0) のもとで前進差分展開すれば、発振点より生じる初期方向 θ_0 の波線となる。 θ_0 を適宜設定することで発振点を中心とする波線ネットが構成され、理論走時は、このようにして決定された各波線上のスローネスを線積分することにより算定される。

4.解析結果 本手法の解析精度を検討するため設定した解析モデルと結果を図-4に示す。図中(b)は、対象領域を全て囲むように走査線網を設定した場合であり、分布・速度値共に良好な像が得られている。図中(c)は3つの辺に発・発信点を設定した場合であり、走査線の密な領域は、良好な像となっているが粗な部分は像が若干不明瞭となっている。図中(d)は、対応する2辺のみから走査線を生じた場合であり、像は走査線に直交する方向に縞状となって現われる。以上の結果より、本解析手法によれば、モデルに設定したような複雑な構造を有する領域を対象としても、適切な走査線配置を実施すれば、良好な結果を算定することが可能であり、従来のレイトレーシングに比べ計算時間も大幅に短く、実用的な手法であるといえる。

5.あとがき

本報告では定式化を中心にその有効性の検討例を示すに留まったが、今後、解析精度や原位置試験への適応性等のより詳細な検討を継続する予定である。



(a) 解析モデル

図-4 解析モデルと解析結果

参考文献 1) 大友秀夫：ジオトモグラフィ技術の現況、物理探査第39巻、PP・384-397, 1986
 2) 高橋幸夫他：地質断面法、物理探査学会春季講演予稿集、PP.18-21, 1984
 3) T.L.By: Crosshole Seismics including Geotomography, PP.286-297, 2nd FMGM, 1987
 4) 岩野政浩他：原位置弾性波探査による岩盤ピラー内の速度構造調査、第20回岩盤力学シンポジウム, 1988