

弾性波ジオトモグラフィーにおける 平滑化フィルターの選択

岐阜大学工学部 学生会員 ○三尾大輔
岐阜大学工学部 正会員 本城勇介
岐阜大学工学部 正会員 小尻利治

1. はじめに

近年、トンネルなどの地下構造物の建設が盛んに行われているが、これら地下空洞の建設において、岩盤の状態を適切に把握することは重要である。

地盤の内部を非破壊で調査する方法としてジオトモグラフィー技術がある。コンピューター処理技術の高速化に伴い、施工段階の地質調査、あるいは施工後の地盤のモニタリング技術としてさまざまな局面で利用されるようになってきた。従来の地表からの探査法に比べ、対象とする地下深部領域の周辺で測定を行うことから、精度良く地盤の情報を抽出でき、また物性断面として、地下を視覚的に画像化できるという利点がある。

しかしながら画像を復元する際、対象となる断面を理想的に測定点を取り囲めないために、解析断面を正確に復元できないという問題点がある（不適切性、共線性）。そのため本研究では、この問題点の解決法として拡張ベーズ法を用いた定式化を行い、特に、従来から用いてきた平滑化フィルターに加えて周辺のボーリング孔で得られた情報を直接取り入れる方法について検討することを目的とする。

2. 弾性波ジオトモグラフィー

弾性はジオトモグラフィーとは、例えば図1のように2本のボーリング孔間ですべてを含むメッシュを設定し、弾性波を発生させ、発振-受振点間で最早到達時間の測定をおこない、あるセルを通る複数の測線について、各受振点で得られた情報をもとに、最も辻褃が合うように地盤の物性値を割り付けることで、地盤内部の状態を画像化する計測法である。これを数式によって示すと以下ようになる。

まず、観測方程式を示す。（ここでは、弾性波の

直線性を仮定）：

$$z = H_{ij}x + \varepsilon \quad (1)$$

z ; 測定値（最早到達時間）ベクトル

x ; 物性値（伝播速度の逆数）ベクトル

H_{ij} ; 第*i*測線の第*j*セルの切片

ε ; 誤差ベクトル

最小二乗法では(1)式における ε を最小にすることにより x を推定する。

$$\min J = \varepsilon^T \varepsilon = (Hx - z)^T (Hx - z) \quad (2)$$

これは、解析的に解かれ、

$$\hat{x} = (H^T H)^{-1} H^T z \quad (3)$$

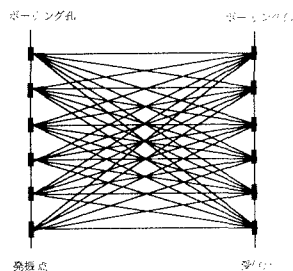


図1 計測法概念図

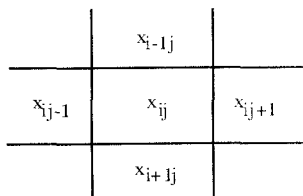


図2 平滑化フィルターの概念図

3. 平滑化フィルタと事前平均フィルタ

(i) 平滑化フィルタ

多くのジオトモグラフィーの問題では(3)式の HTH の逆行列を計算するとき、ランク落ちなどの問題が生じる(共線性)。これを改善するために平滑化フィルタを用いる(図2)。近接するセルはより近い物性値を持つと考えられるので、(4)式のような制約を加えることにより、解の安定化を計る。

$$x_{ij} = \beta_v(x_{i+1j} + x_{i-1j}) + \beta_h(x_{ij+1} + x_{ij-1}) + \delta_{ij} \quad (4)$$

ここに、

$$\beta_h + \beta_v = 0.5, \quad \beta_h > 0, \quad \beta_v > 0$$

(4)式の β_h 、 β_v は、物性値の平均を取るときに異方向性を考慮するための重みで物性値の相関性が高い方向に大きな重みがいくように操作することができる。また、 δ_{ij} は確率変数であり、平均は0、分散は σ^2 の正規分布で与えられる。このフィルタを与えられた観測データとのかね合い(ε_i と δ_{ij} の比率)で、どの程度強く作用させるかが問題となる。さらに β_v 、 β_h の最適値の選択法も問題となる。本研究では、これらを赤池のABIC(赤池のベーズ型情報量基準)を導入し、決定することにより最適のモデルの選択をして解析を行う。

以上をマトリックス表示にすると

$$X = SX + \delta_1$$

$$\delta_1 = (I - S)X = TX \quad (5)$$

(ii) 事前平均フィルタ

もしモデルパラメーター(X)について何らかの情報(X_0)が得られているとき、次式のようなモデルを新たなデータとして加える。

事前情報モデル

$$X = X_0 + \delta_2 \quad (6)$$

ここに、 X : スローネス(物性値)ベクトル
 X_0 : スローネスの事前情報ベクトル
 δ_2 : 誤差ベクトル

(iii) 目的関数とABIC

(5)(6)式を、観測モデル(2)式に加えると目的関数は次のようになる；

$$\begin{aligned} \min J &= \varepsilon^T \varepsilon + d_1^2 \delta_1^T \delta_1 + d_2^2 \delta_2^T \delta_2 \\ &= (Hx - z)^T (Hx - z) + d_1^2 (TX)^T (TX) \\ &\quad + d_2^2 (X - X_0)^T (X - X_0) \end{aligned} \quad (7)$$

となる。

ここで、 d_1 、 d_2 目的関数の相対的な重みであり、次のABIC(赤池のベーズ型情報量基準)を最小にする組み合わせを探すことにより求められる。

$$\begin{aligned} \text{ABIC} &= -2(\text{ベーズモデル最大対数尤度}) \\ &\quad + 2(\text{超パラメーター数}) \end{aligned} \quad (8)$$

4. 計算手順と結果

横方向、縦方向、斜め方向、円弧状の4パターンの地盤について 53×53 のセルで物性値分布データを作成し、順解析を行い、それぞれ100本の測線について最早到達時間ベクトルを求めた。ここで、物性値分布データを 53×53 にしたのは、現実の地盤状態にできるだけ近づけるため、地盤の物性値を連続的に変化させるためである。

現在平滑化フィルタ及び、ボーリング孔(2面)での物性値を事前平均として与えた場合の計算を進めており(表1)、計算結果の詳細は講演時にゆずる。

表1 計算パターン表

パターン	平滑化	事前平均
横	○	
横		○
横	○	○
縦	○	
縦		○
縦	○	○
斜め	○	
斜め		○
斜め	○	○
円弧状	○	
円弧状		○
円弧状	○	○

[参考文献]

Honjo, Y. and N, Kasiwagi ; On the optimum design of a smoothing filter for geophysical tomography, Soils and foundations Vol.31, No.1, 1991
 山上利昭：弾性波ジオトモグラフィーにおける平滑化フィルタの選択、長岡技術科学大学大学院工学研究科修士論文、1994