

地盤モデルの統合的推定システム構築へ向けての基礎研究

東電設計（株）正会員 ○吉田郁政 福井史朗
東京電力（株）正会員 寺田賢二 高尾 誠

1. はじめに 放射性廃棄物処理施設の地点選定、設計・施工に向けて、地盤の物性分布を3次元的に的確に捉えておくことは重要な課題であり、調査の様々な段階における物性の3次元空間分布をその信頼度とともに示すことができれば大変有効な情報となる。空間分布推定手法は、確率論から考えることにより kriging や逆解析、Kalman Filter などを含む統合的な推定手法として定式化することができる¹⁾。文献2)では基本的な定式化およびその計算例を示し、観測量誤差の考慮の重要性を述べた。本報告では実測データを用いた推定例を示すとともに、情報量基準 AIC を用いて特性パラメタに関するモデル選択（自由パラメタの数）を行う方法についても述べる。AIC はモデルとデータの適合度を表す基準であり、値が小さいほどよいモデルであることを表す。AIC を用いたモデル選択の例もあわせて示す。

2. 基本的定式化 観測量ベクトルを z 、各観測点におけるトレンド成分、ランダム成分を $\bar{x}_1, w$ とし、観測量誤差のベクトルを v とすると式(1)のように表せられる。 w, v が互いに独立な正規分布とし、その共分散行列が M_{11}, R で与えられるとすると、情報量基準 AIC は式(2)で定義される。

$$z = \bar{x}_1 + w + v \quad (1)$$

$$AIC = (z - \bar{x})^T (M_{11} + R)^{-1} (z - \bar{x}) + \ln |M_{11} + R| + m \ln(2\pi) + 2n_h \quad (2)$$

ここで、 $\ln$ ：底を e とする対数， m ：観測量の数， n_h ：特性パラメタに関する自由パラメタ，である。AIC の第1項から第3項は対数尤度に相当するので、特性パラメタは最尤推定の考え方により AIC を最小にするように決めればよい。ここでいう特性パラメタとは $\bar{x}$ や M_{11}, R といった場のトレンド成分、自己相関距離、観測量誤差の標準偏差などを意味する。AIC はこれらの関数となっていることから、場の特性値に関して AIC の最小化を行うことにより場の特性パラメタの最尤推定量を求めることができる。さらに自由パラメタ数の異なるモデルの AIC を比較することによりモデル選択も行うことができる。

観測点における推定値のベクトルを x_1 、観測点以外における推定値のベクトルを x_2 とし、その平均値ベクトルが $\bar{x}_1, \bar{x}_2$ で、事前の共分散行列が M_{11}, M_{22} 、両者の共分散成分が M_{12} で与えられるとする。この場合の推定値 x_2 とその共分散行列は式(3)、(4)で与えられる¹⁾²⁾。

$$\begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} M_{11} \\ M_{12}^T \end{Bmatrix} [M_{11} + R]^{-1} \{z - \bar{x}_1\} \quad (3)$$

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{12}^T & P_{22} \end{bmatrix} = E \begin{bmatrix} M_{11} - M_{11}(M_{11} + R)^{-1}M_{11} & M_{12} - M_{11}(M_{11} + R)^{-1}M_{12} \\ M_{12}^T - M_{12}^T(M_{11} + R)^{-1}M_{11} & M_{22} - M_{12}^T(M_{11} + R)^{-1}M_{12} \end{bmatrix} \quad (4)$$

なお、事前の共分散行列 M は、自己相関関数を基に設定される。以下の計算では式(5)で示される Gauss 型の自己相関関数を用いた。

$$R(d_1, d_2, d_3) = \sigma^2 \exp \left[- \left\{ \left(\frac{d_1}{a_1} \right)^2 + \left(\frac{d_2}{a_2} \right)^2 + \left(\frac{d_3}{a_3} \right)^2 \right\} \right] \quad (5)$$

キーワード：3次元空間分布、クリッキング、最尤法、情報量基準、モデル選択

連絡先：東電設計（株） 〒110 台東区東上野 3-3-3 TEL 03-5818-7663 FAX 03-5818-7585

ここで、 σ^2 : 場の分散, $\{d_1, d_2, d_3\}^T$: 2点間の距離ベクトル, a_1, a_2, a_3 : 各座標方向への自己相関距離

3. 実測値を用いた数値計算例 A地点におけるボーリング孔の配置を図-1に示す. およそ深さ200mまでせん断波速度が計測されている. これを観測データとしてせん断波速度の3次元分布状態の推定を行った. その一例を図-2に示す. このケースでは深度依存のトレンド成分モデル(トレンド成分に関する自由パラメタ2個)を仮定しているが, 深度依存を仮定しないモデル(自由パラメタ1個), 深度依存の他に東西方向のトレンドを仮定したモデル(自由パラメタ4個), 有限要素法6面体8節点要素の内挿関数を用い8個の自由パラメタを持つモデルについてもAICを算定した. その結果を図-3に示す. このように自由パラメタ2個の場合にAIC値が最小となっており, トレンド成分としては深度依存だけを考慮すればよいことを示している.

提案手法では, このように客観性を持ったモデルの設定が可能であり, 大量, 多種の計測データを用いた地盤モデルの設定に対して有効であると考えられる. 今後は逆解析も組み込んだ統合的な地盤物性推定システムの構築を目指す予定である.

【参考文献】 1)Hoshiya,M. and Yoshida,I., Identification of Conditional Stochastic Gaussian Field, Jour.of EM, ASCE, Vol.122, No.2, pp101-108, 1996. 2)吉田郁政, 小室和之: 空間分布評価手法の基礎的研究, 土木学会第52回年次学術講演会, I-A101, pp.202-203, 1997.

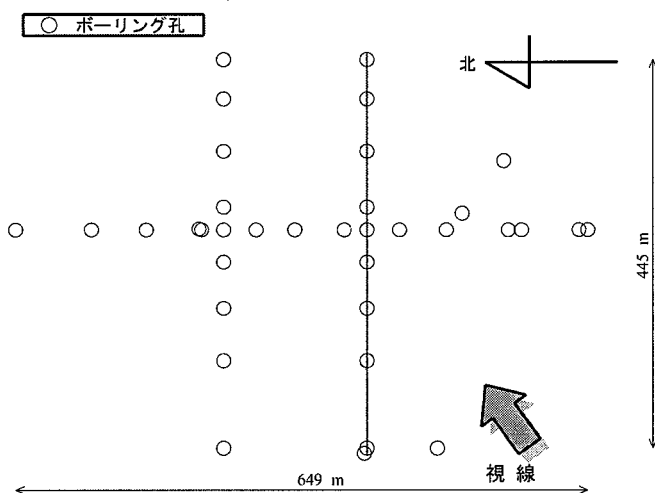


図-1 ボーリング配置平面図

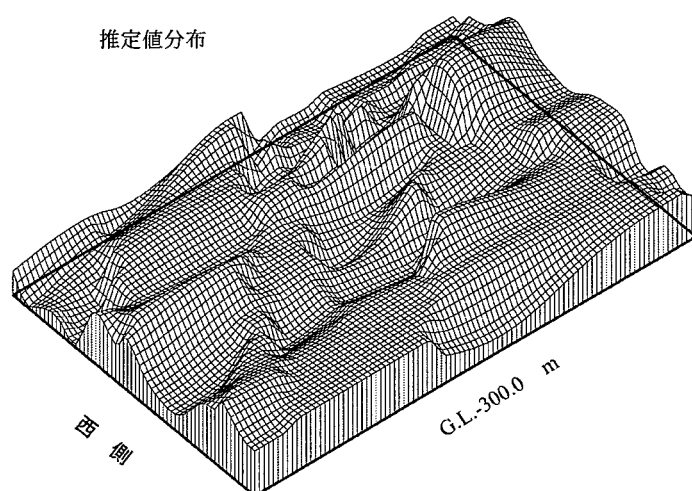


図-2 推定された物性値分布と推定誤差の標準偏差

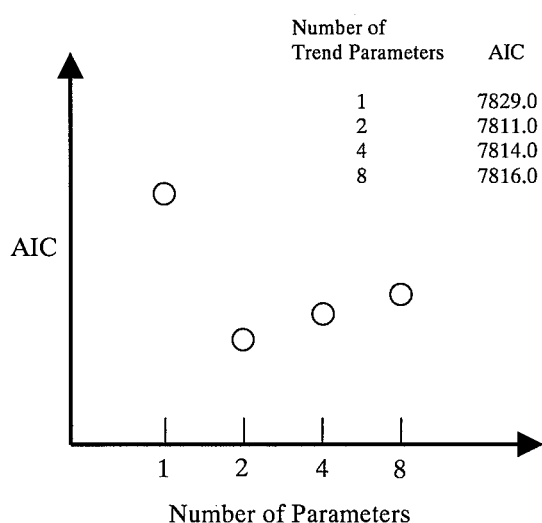


図-3 情報量基準 AIC によるモデル基準

