

III-A 361

GAによる杭基礎地盤面調査のための追加ボーリング計画

清水建設 正会員 本多 眞・鈴木 誠
 中部電力 正会員 上田 稔

1. はじめに

山岳地域に変電所などを構築するときには、支持杭設計のために限られた調査ボーリングデータから基礎地盤面を精度良く推定することが求められる。一般に調査ボーリングは、まず工法選定や基礎の配置などの概略設計のために事前ボーリングを実施し、その後実施設計のために目的とする構造物に応じて追加ボーリングを実施することが多い。しかし追加ボーリングの配置には客観的な基準がないため、専門家の判断により決定されているのが現状である。そこで基礎地盤面推定の精度を目的関数として最適化を図れば、推定精度の向上を目的とした客観的な追加ボーリング配置が可能となる。ここではクリッキングリにより求められる構造物対象位置での基礎地盤面の推定誤差を目的関数とする。追加調査が唯一カ所であれば推定誤差の最小となる位置を求めることは容易であるが、数カ所計画することになると組合せ問題となり、逐次探索法等では計算量が多大となる。そこで組合せ問題の最適化に有効なGA(Genetic Algorithms)²⁾を用いた。本論文では実際の電気所造成工事の基礎地盤面調査に対して、追加調査の最適化検討を実施した結果について報告する。

2. GAによる追加ボーリング配置計画

GAは未だ発展途上の手法であり、問題特性に応じて種々に拡張されたものが提案されているが、ここでは最も基本的な単純GAを用いた。図1に単純GAの処理手順を示す。単純GAではまず設計変数を文字列に変換(コード化)して遺伝子型を決める。そしてこの文字列の初期集団(第一世代)を生成して、適応度の評価値を基に遺伝的操作により選択淘汰して新たな集団(世代)を生成する。これを繰り返すという簡単な手続きによって最適化を行う手法である。GAの探索能力の重要な鍵を握っているのが、GAパラメータの設定である。単純GAにおけるパラメータは集団数、交叉率、突然変異率の3つであり、今回は試行錯誤により決定した³⁾。

空間的な相関性を考慮した確率モデルに基づき、統計量から空間分布を推定する手法がクリッキングである。クリッキングは任意位置の値を標本値の重み付け線形和で推定する手法で、推定位置が点であるか領域であるかにより、ユニバーサル・クリッキングとブロック・クリッキング⁴⁾に分かれる。次式がクリッキング理論により与えられる対象地点 z_i あるいは領域 V における推定値(\hat{z}_i, \hat{z}_V)および推定誤差($\sigma_{z_i}^2, \sigma_V^2$)である。

$$\text{【ユニバーサル・クリッキング】} \quad \hat{z}_i = [\mathbf{q}_{z_i}^T \cdot \mathbf{Q}_{zz}^{-1}] \cdot \mathbf{z} \quad (1), \quad \sigma_{z_i}^2 = \text{var}\{z_i\} - \mathbf{q}_{z_i}^T \cdot \mathbf{Q}_{zz}^{-1} \cdot \mathbf{q}_{z_i} \quad (2)$$

$$\text{【ブロック・クリッキング】} \quad \hat{z}_V = [\mathbf{q}_{zV}^T \cdot \mathbf{Q}_{zz}^{-1}] \cdot \mathbf{z} \quad (3), \quad \sigma_V^2 = \text{var}\{V\} - \mathbf{q}_{zV}^T \cdot \mathbf{Q}_{zz}^{-1} \cdot \mathbf{q}_{zV} \quad (4)$$

ここで \mathbf{z} は標本値、 $\text{var}\{z_i\}$ 、 $\text{var}\{V\}$ は地点 z_i 、要素 V の分散、 \mathbf{q}_{z_i} 、 \mathbf{q}_{zV} は標本値 \mathbf{z} と地点 z_i あるいは領域 V の共分散ベクトル、 \mathbf{Q}_{zz} は \mathbf{z} の共分散行列である。

式(2)、(4)の推定誤差分散は標本値に関係なく、その標本位置のみに依存することがわかる。そこでいま位置ベクトル \mathbf{x} の位置に追加調査を実施すると、推定誤差分散は、

$$\sigma_{z_i}^2(\mathbf{x}) = \text{var}\{z_i\} - \mathbf{q}_{[z+x]z_i}^T \cdot \mathbf{Q}_{[z+x][z+x]}^{-1} \cdot \mathbf{q}_{[z+x]z_i} \quad (5)$$

$$\sigma_V^2(\mathbf{x}) = \text{var}\{V\} - \mathbf{q}_{[z+x]V}^T \cdot \mathbf{Q}_{[z+x][z+x]}^{-1} \cdot \mathbf{q}_{[z+x]V} \quad (6)$$

となり \mathbf{x} の関数となる。これを適応度(評価関数)とすれば、推定誤差を最小とする追加調査位置の最適化を行うことができる。

3. 実サイトにおける杭基礎地盤面の追加調査計画

GAを用いた追加調査計画をここでは南福光電気所造成工事⁵⁾における杭基礎地盤面推定のための追加調査に適用検討を行った。当該工事は73万 m^3 におよぶ切盛造成工事で、盛土部では中部電力の南福光連系所を新設し、各種機器基礎や建屋基礎を杭基礎で設計する。図2は対象サイトの平面図である。今回適用したのは図中右側枠内の杭基礎構造物に対してである。図中の●が杭の位置、網掛け矩形

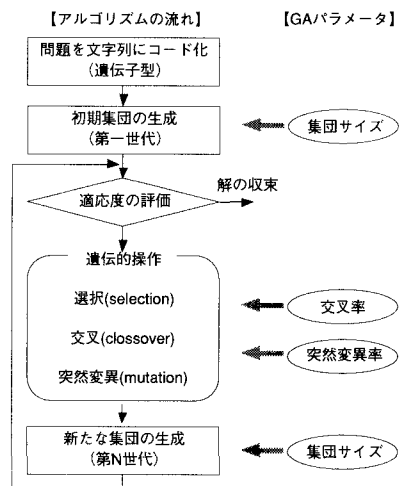


図1 単純GAの処理手順

部分が各種機器や建屋の範囲を示しており、この位置でのクリッキングによる基礎地盤面の推定誤差を最小化するように追加ボーリングの配置を決める。当該工事では調査ボーリング(★印)の他に弾性波探査(破線)、さらには2本の沢(グレー線)沿いに基礎地盤面の露頭が存在し、これらをすべて基礎地盤面レベルの標本値としている。クリッキングを適用するためには確率モデルを仮定してモデルのパラメータを推定する必要がある。詳細は省略するが、推定されたモデルは以下の通りである。

平均値関数： $\mu(x) = 321.9 - 0.025x - 0.164y$

共分散関数： $C(\Delta x) = (10.0)^2 \exp(-\Delta x / 46.7)$

ここでは追加ボーリングを3カ所計画する問題を考える。まず、基礎領域全体における推定誤差分散(ブロック・クリッキング)を評価関数とし、最小化により最適配置を求めた。その結果を図3に示す。濃淡コンターは1カ所追加する場合の推定誤差分散を5m格子点で求めて作成したものであり、濃いほど推定誤差分散が小さくなる。これを見ると濃い部分は、標本のない基礎領域に分布しているのがわかる。★印が最適追加ボーリング位置を示しており、最も面積の大きい基礎領域に2カ所、右上の基礎領域に1カ所配置された。

これに対して、対象とする全ての杭位置での推定誤差分散(ユニバーサル・クリッキング)の平均を評価関数とし、最小化により最適配置を求めた。その結果を図4に示す。同様に1カ所追加する場合の推定誤差分散の分布を濃淡コンターで示している。推定誤差分散の小さくなる濃い部分は、杭が密に配置されている右上部分に分布しており、3カ所の最適追加ボーリング位置ともこの部分に配置されている。これは杭の本数が全体に占める割合が高いために、この部分に集中したと考えられる。なおこの時の推定誤差は3.76mで、追加調査しない時の4.25mから約0.5m精度が上がるのが予想される。

4. おわりに

本報告では、支持杭設計のための基礎地盤面の推定を目的とした調査計画についてGAを適用した。本手法は基礎地盤面に限らず、空間的にばらつきを持って分布する様々な地盤物性値の調査計画に有効であり、適用性が高いと考える。

参考文献

- 1) Matheron, G. : Principle of geostatistics, Economic Geology, Vol.58, pp.1246-1266, 1963.
- 2) Holland, J. : Addaptation in Natural and Artificial Systems, The Univ. of Michigan, 1975., and MIT Press, 1992
- 3) 本多眞ほか: GAによる地盤調査の追加配置計画に関する最適化シミュレーション, 第4回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集, pp.89-94, 1995.
- 4) Burgess, T.M. and Webster, R. : Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties, 2, Block Kriging, Jour. Soil Sci., Vol. 31, pp. 333-341, 1980.
- 5) 上田雅司ほか: 南福光電気所造成工事概要, 土木学会第50回年次学術講演会, 第III部(B), pp.1612-1613, 1995.

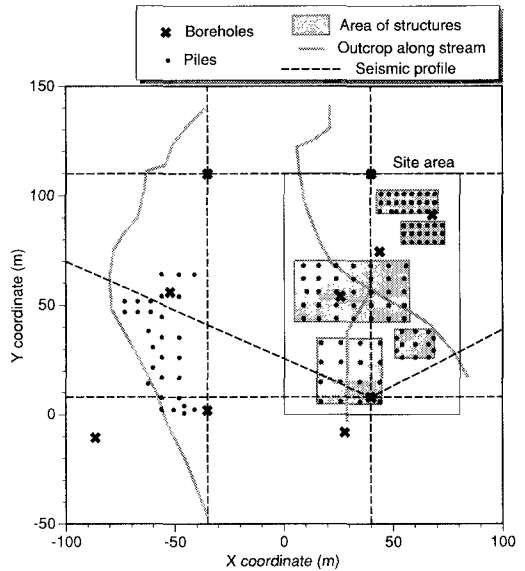


図2 対象サイト

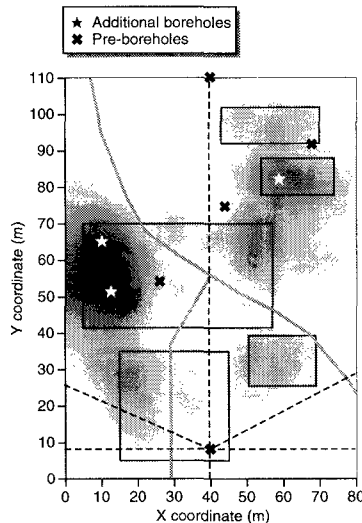


図3 基礎領域の推定誤差を目的関数

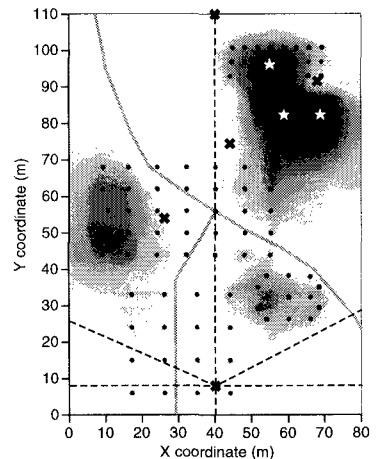


図4 杭位置の推定誤差を目的関数