

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

清水建設(株)和泉研究室 正会員 ○本多 眞
清水建設(株)和泉研究室 正会員 鈴木 誠

1. はじめに

地盤物性値は空間的にばらつきを持って分布しており、互いに相関性を有している。限られた調査・試験データから工法や構造物の設計を行うためには、地盤物性値の空間分布を確率統計学的に推定することが重要となる。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¹⁾である。そこで追加調査に対して、クリッキングにより求められる構造物対象位置での推定誤差を最小とする評価関数として最適化を図る。追加調査が唯一か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²⁾、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。このような組合せ問題の最適化に非常に有効となるのが、GA(Genetic Algorithms)である。GAは、生物進化(選択淘汰・突然変異)の原理に着想して考案されたアルゴリズムであり、最適化・確率的探索・学習の一手法である³⁾。

本論文では、直接基礎の設計を目的として地盤の鉛直支持力の空間分布から追加調査の最適配置計画に関して、GAによる数値実験を行った結果について報告する。

2. GA (遺伝的アルゴリズム)

GAの特徴の一つは選択・交叉・突然変異の3つの遺伝的操作により、組合せ問題のような計算量の多い問題の解を比較的容易に見つけることができる点にある。図1にGAの基本処理手順を示す。GAは基本的にはGenerate-and-Test型のアルゴリズムで、まず問題を文字列に変換(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。これを繰り返すことで集団全体の評価値を向上させ、収束条件を満たすまで続けていくものである。

GAの研究は、遺伝子型の表現方法、性の導入、選択方法、交叉方法などいまだ発展途上であるが、ここでは'01'の文字列で表現した複数個の個体により、選択、単純交叉、突然変異を確率的に行う単純なGAを用いた。

3. 最適追加調査計画

クリッキング理論により、対象要素Vにおける推定誤差分散 σ_V^2 は次式で与えられる。

$$\sigma_V^2 = \text{var}\{V\} - \mathbf{q}_{zV}^T \cdot \mathbf{Q}_{zz}^{-1} \cdot \mathbf{q}_{zV} \quad (1)$$

ここで $\text{var}\{V\}$ は要素Vの分散、 $\mathbf{q}_{zV}$ は標本位置ベクトル $\mathbf{z}$ と要素Vの共分散ベクトル、 $\mathbf{Q}_{zz}$ は $\mathbf{z}$ の共分散行列である。いま位置ベクトル $\mathbf{x}$ の位置に追加調査を実施すると、上記推定誤差は、

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

となり、 $\mathbf{x}$ の関数となる。これを評価関数とすれば、対象領域の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。ここではこれを模擬的に作成した鉛直支持力の空間分布に適用した。図2は解析条件を示しており、●印の位置で平板載荷試験が実施されており、網掛け長方形の位置に直接基礎を設計するものとした。図中の数字は鉛直支持力度で次式の共分散関数に基づいて作成した。

$$C(h) = \sigma^2 \exp\{-h/a\} \quad \left(h = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}, \sigma^2 = 900, a = 50 \right) \quad (3)$$

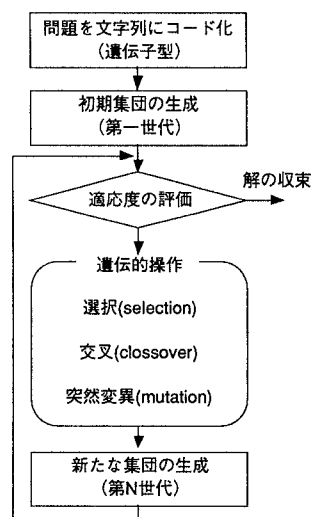


図1 GA処理手順

表1 GA探索の設定パラメータ

	CASE-1	CASE-2	CASE-3
追加調査地点数	1	2	3
変数の数/ビット長	2 / 10	4 / 20	6 / 30
集団サイズ	100	200	500
交叉率	0.6	0.6	0.6
突然変異率	0.01	0.01	0.01
世代交代率	0.5	0.5	0.5

いま追加調査を1、2、3カ所計画するときの最適位置を求める問題をそれぞれCASE-1, 2, 3とする。GA探索には多くのパラメータの設定が必要であるが、表1にそれぞれの設定値を示している。図3～5は各ケースの最適調査位置を×印で示したものである。図3は1カ所の追加であるため、領域全体を10m間隔で推定誤差を求めたコンター図も併せて作成した。これ見るとGAによる探索がコンター図のピークに一致しているのがわかる。また推定誤差分散は35.4である。最適位置が基礎の中心ではないのは既存の試験位置の影響が考慮されているためである。図4、5はそれぞれ2カ所、3カ所追加の最適配置を示しており、推定誤差分散はそれぞれ25.9、19.5である。この結果から、GAを用いることで複数の追加調査の配置を客観的に計画・評価できることがわかった。

4. おわりに

クリッキングにより地盤物性値の空間分布を推定することができ、その推定誤差が確率論的に評価できることから、これを評価関数とする追加調査の最適配置計画について検討した。地盤支持力の模擬データによるシミュレーションから、この最適化問題にGAの適用が有効であることを示した。今後は、実データに対して適用を図っていく所存である。

参考文献

- 1) Matheron, G. : Principle of geostatistics, Economic Geology, Vol.58, pp.1246-1266, 1963.
- 2) 鈴木誠: 地盤物性値の空間分布のモデル化と最適問題, 第3回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集, pp.231-236, 1993.
- 3) Holland, J. : Addaptation in Natural and Artificial Systems, The Univ. of Michigan, 1975., and MIT Press, 1992

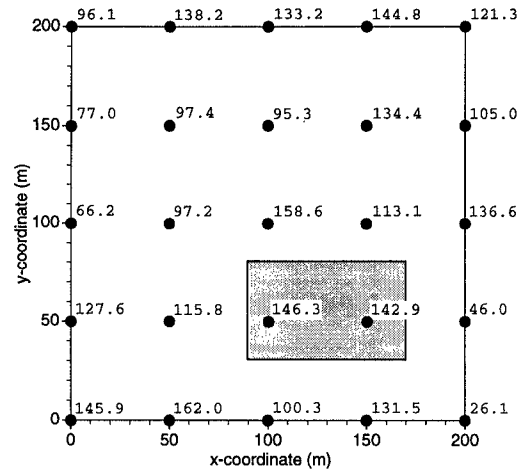


図2 解析条件

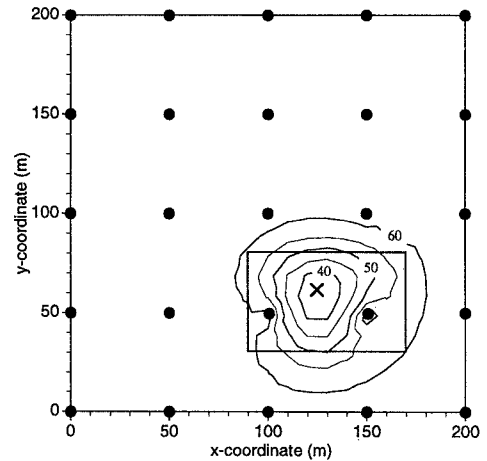


図3 CASE-1 (1カ所追加)の最適配置

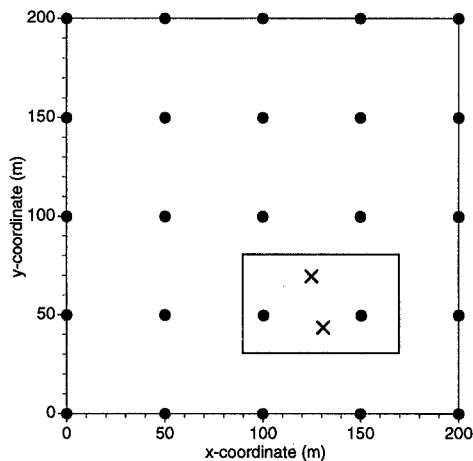


図4 CASE-2 (2カ所追加)の最適配置

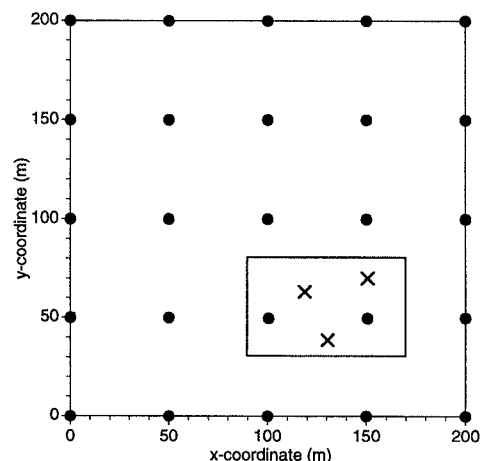


図5 CASE-3 (3カ所追加)の最適配置