

III-325

土質定数の空間分布推定法を用いた確率有限要素法

清水建設(株)	大崎研究室	正員	鈴木 誠
同	上	正員	石井 清
同	上	正員	○ 奥村 俊彦

1. まえがき

確率有限要素法¹⁾では、土質定数の空間分布を確率過程(正確にはエルゴード過程)と仮定して、一般には平均値、分散値および相関モデルの3つにより与えられる確率特性を満足する母集団すべてを解析の対象としている。しかし、土質調査が行われた地点におけるサンプル値は、測定・実験誤差を無視すれば確定値として与えられるはずであるため、地盤工学のように特定のサイトにおける自然地盤を対象とする場合には必ずしも適合しない。すなわち、解析の対象とする地盤モデルは母集団ではなく、土質調査により一部の土質定数がわかっているサンプル過程(母集団からの1つの標本)であると考えの方が妥当である。また、現実的には有限個のサンプル値から土質定数を推定することになる。本研究では、サンプル値から土質定数の空間分布を合理的に定め、確率有限要素法と組み合わせることにより、沈下量などを確率論的に予測することを目的とした。

2. 解析方法

サンプル値より土質定数の空間分布を推定するために、クリッキング(kriging)とよばれている手法を導入する^{2),3)}。クリッキングは推定値の不偏性と推定値の分散を最小にするという条件をもって求められる線形推定法であり、クリッキングにより求められる空間分布の推定値はサンプル値を通り、サンプルのない点の推定誤差はサンプル点からの距離が増加するに従って大きくなるという特徴がある。土質定数の空間分布をサンプル過程として、一次ガウス近似法による確率有限要素法を用いて沈下量の予測を行った。一次ガウス近似法⁴⁾は、変位や応力などを求める非線形の式(性能関数)を破壊点においてテーラー展開し、確率変数が非正規分布のときは正規化近似を行う手法で、本研究ではクリッキングによる推定値および推定誤差を入力データとしている。さらに、得られた結果と条件付シミュレーション法⁵⁾による確率有限要素法の結果とを比較することにより、一次ガウス近似法による確率有限要素法の適用性と精度を検証した。条件付シミュレーション法は、土質調査位置において判明しているサンプル値およびその統計量をもつ土質定数の空間分布を、確率過程としてシミュレートして、しかる後、有限要素法を直接に適用して地表面の沈下量と不等沈下量を求め、同様のシミュレーションを多数回行うことにより解の統計量を算定する方法である。

3. 解析結果

解析モデルは、深さ6m、幅24mの地盤を図-1に示すように168個の三角形要素に分割し、地盤の弾性定数を確率過程とした。統計量は、平均値を500tf/m²、変動係数を0.3として、自己相関係数を水平方向は鉛直方向に比べて強い相関性を有するモデルとして、以下に示される式に従うものとした。

$$\rho(\Delta x, \Delta y) = \exp[-\{(\Delta x/5.0)^2 + (\Delta y/1.0)^2\}] \quad (1)$$

解析条件として、平面ひずみ条件を仮定して、荷重として図に示されるような単位体積重量 $\gamma=1.85\text{tf/m}^3$ の盛土を想定した。確率場を1つ発生させ、それを実際の弾性定数の空間分布と仮定し、◎印の位置でサンプル値を入力データとした(図-2)。次に、クリッキングの適用して、地盤の弾性定数について推定値(図-3)と推定誤差(図-4)を求め、その結果を確率有限要素法に入力した。図-5には、条件付シミュレーション法により発生させた弾性定数の標本例を示した。図-3と図-5は、わずかであるが異なった結果となっている。これは、クリッキングによる推定値は、実現可能な不偏推定量であり標本そのものではないからである。解析対象節点は、No.94, No.96, No.98, No.100, No.102の5節点とし、各節点の沈下量の累積分布関数を算定した。解析の結果を図-6に示す。ここで、実線が条件付シミュレーション法による試行回数1000回の結果であり、破線が一次ガウス近似法による結果である。条件付シミュレーション法と比較すると、累積確率を50%としたときに沈

下量の誤差は2%以下になった。これは、土質定数の変動係数が大きくても、クリッキングによる推定誤差が小さくなっているためである。また、No.100とNo.96は中心軸から左右対称の位置にあるが、両者の沈下量が異なり、確率過程では考慮できないサンプル値の偏りを考慮できていることがわかる。

4. まとめ

土質定数を確率過程として、変動係数を0.3と比較的大きな値にしたときは、一次ガウス近似法を用いた確率有限要素法の精度が性能関数の非線形性のためにあまりよくなく、土質定数の変動係数を考えると適用性に限界があった。しかし、今回の手法では、土質定数の変動を推定誤差と考えることにより、変動係数が比較的大きな場合でも精度がよいことがわかった。

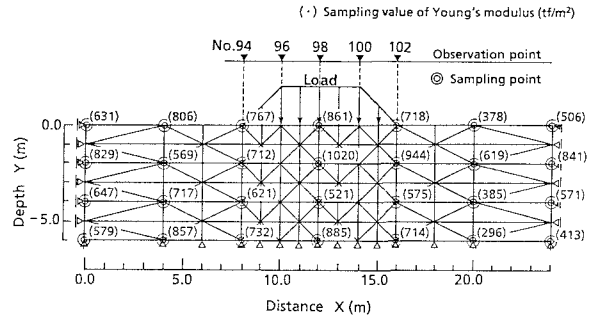


図-1 解析モデル

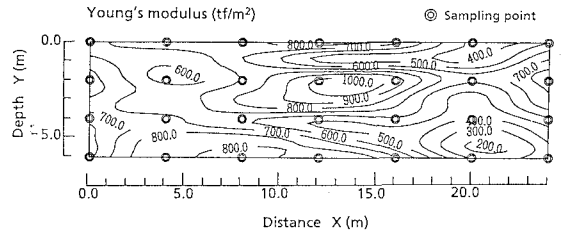


図-2 弾性定数の空間分布

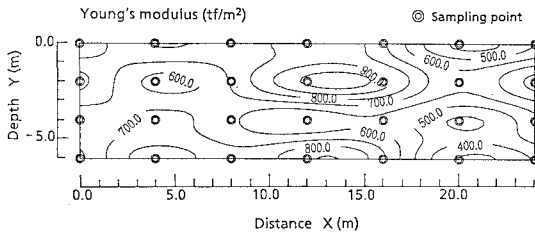


図-3 クリッキングによる推定値

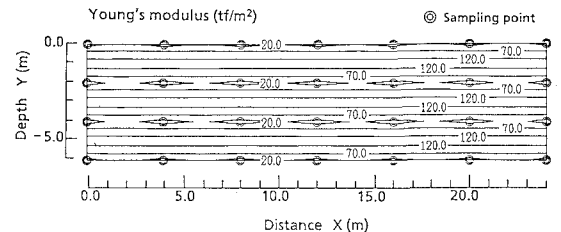


図-4 クリッキングによる推定誤差の平方根

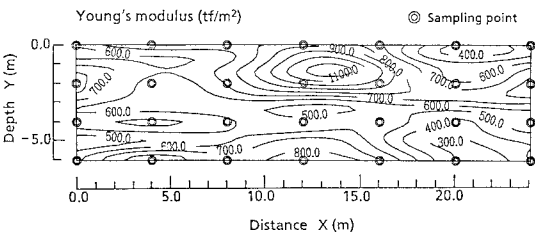


図-5 条件付シミュレーション

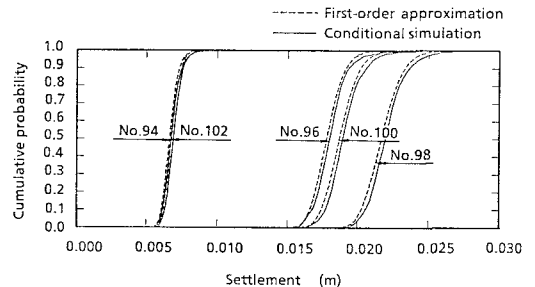


図-6 沈下量の累積分布

参考文献

- 1) 鈴木 誠・石井 清：確率有限要素法と要素分割，土木学会論文集，第386号/I-8，1987.
- 2) Journel, A.G. and Huijbregts, Ch. J.: Mining Geostatistics, Academic Press, 1978.
- 3) 上田 貴夫・本城 勇介・波多野 敬・坂口 修治：造成工事における残留沈下量の平面的予測および誤差，土と基礎，Vol.34, No.6, 1972.
- 4) 星谷 勝・石井 清：構造物の信頼性設計法，鹿島出版会，1986.
- 5) Dagan, G.: Stochastic Modeling of Groundwater Flow by Unconditional and Conditional Probabilities, 1, Conditional Simulation and the Direct Problem, Water Resources Research, Vol.18, No.4, 1982.