

竹中技術研究所 正員 本城 勇介 森嶋 章
(株)竹中土木 正員 坂口 修司

1. まえがき：造成地などに直接基礎を用いて建設された構造物では、地盤全体の絶対沈下量よりも、構造物下の地盤の不同沈下量のほうが構造物に与える影響が大きい。しかしながら不同沈下量の予測は、その絶対沈下量に対する割合によって推定するといった経験的方法によっているのが現状である（建築基礎構造設計規準・同解説P.174）。著者らは先に、造成地内の多数の観測点で得られた約900日間のデータに基づき各点での今後5年間の残留沈下量を予測し、これより敷地内での絶対残留沈下量の平面的分布予測およびその誤差を推定する方法について報告した。⁽¹⁾ 本文ではこの方法を発展させ、残留不同沈下量の予測法およびその予測誤差の推定法について報告する。

図1に本研究で用いている方法を模式的に示した。従来この種のデータの解析に広く用いられるのは、全体のデータの傾向を少数のパラメーターによって縮約する事を特徴とする回帰分析である。これに対して本方法（BLUEと呼ぶ）は、確率過程の統計量（平均、分散、自己相関関数）と観測値という、知りうるすべての情報に基づいて生起しているサンプル関数を直接に内挿する事を特徴としている。今回の報告では、この方法をさらに発展させ、各観測点を通過しかつ既知の統計量を満足するような、生起している可能性のある多数のサンプル関数をMonte Carlo法によって生成し、その沈下勾配の統計量を直接求める事により不同沈下量の推定を行なった。この方法は、条件付きシミュレーション（Conditional Simulation）法と呼ばれている。⁽²⁾

解析では計算機容量の便宜上、先の報告⁽¹⁾で用いたデータの一部を用いた（図2）。

2. 絶対沈下量の平面的分布予測と誤差：絶対沈下量の分布とその予測誤差の求め方を要約すると、任意点 x の沈下量は N 個の観測値 $Z(x_i)$ の線形結合 $\hat{Z}(x) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i)$ によって表わされると仮定し、不偏性を条件として二乗誤差の期待値を最小化するように λ_i を決定する事によって $\hat{Z}(x)$ が計算される。推定誤差の $\sigma^2(x)$ も同時に求められる。今回の解析では $Z(x)$ の定常性を仮定しており、その平均と分散は定数である。この方法では沈下量の平面的自己相関関係をいかに仮定するかが重要である。図3に図2のデータより推定した自己相関関数を示した。データ数の少ない事に起因すると思われる傾向が表われているが、今解析では図に示した自己相関関数を用いて計算を行なった。⁽³⁾ 図4と5にBLUEによって推定された絶対残留沈下量の平均値及び推定の標準偏差を示した。

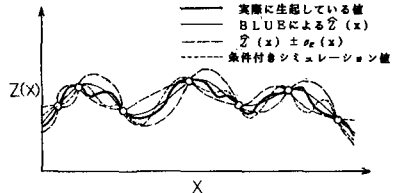


図1 条件付きシミュレーションの概念図

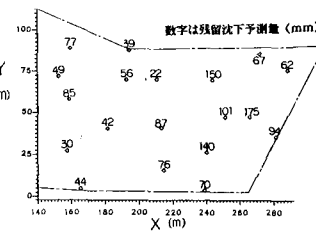


図2 観測点平面図

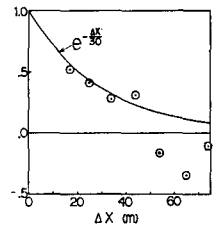


図3 自己相関関数の推定

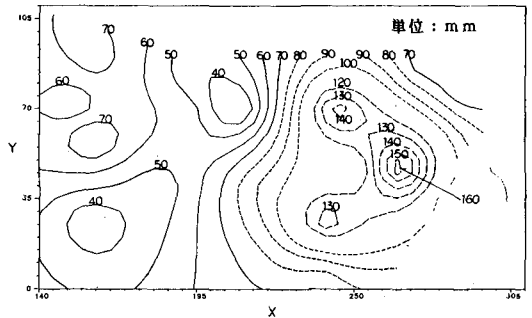


図4 BLUEによる絶対残留沈下量の推定値分布

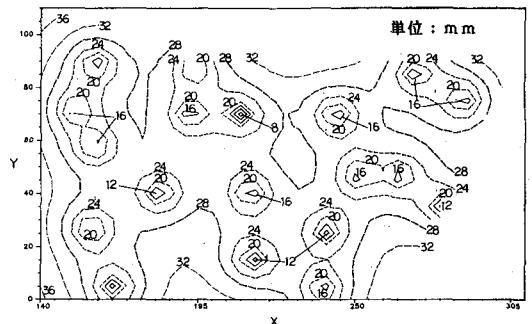


図5 BLUEによる推定における標準偏差分布

3. 不同沈下量の平面的予測と誤差： 先に述べた条件付シミュレーション法を用いて、各観測点での沈下量が所与であるという条件のもとで生起可能な多数の平面沈下形状を生成し、これに基づいて不同沈下量の予測を行なう。図6にこの手順を簡単化して示した。図中 $x_1 \cdots x_n$ は観測点を示し、各観測値 $Z(x_1) \cdots Z(x_n)$ に基づいたBLUE、 $\hat{Z}(x)$ はすでに求められているとする。まずStep1では、与えられた統計量（平均、分散と自己相関関数）に基づいたあるサンプル関数 $S(x)$ を通常のMonte Carlo法によって生成する。次に $S(x)$ より、 $x_1 \cdots x_n$ の各点における値をサンプルし、これらに基づくBLUE $\hat{S}(x)$ を求める（Step2）。Step3では $S(x)$ と $\hat{S}(x)$ の残差 $e(x)$ を計算する。最後にStep4では、先に求めておいた $\hat{Z}(x)$ に $e(x)$ を加える事により条件付シミュレーション値 $Z_c(x)$ を得る。以上の手続きより理解されるように、 $Z_c(x)$ はすべての観測値を通過し、かつ所与の統計量を満たすという意味で、生起可能なサンプル関数である。図6の手順を必要なだけ繰り返す事によって任意個数のサンプル関数を生成できる。

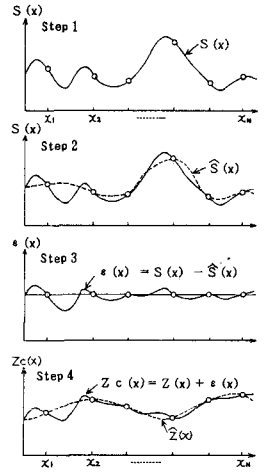


図6 条件付シミュレーションの手順

このような条件付シミュレーションを行なう理由は、 $\hat{Z}(x)$ は与えられた観測値の下での $Z(x)$ の挙動の平均値を推定しているのみで、今回の問題のように $Z(x)$ の勾配の統計量を求めるような事はできないからである。図7に生成されたサンプル関数の一例を示す。図4の $\hat{Z}(x)$ に比べ、はるかに変動の激しい曲面である。今回の計算では、このようなサンプル関数を5m間隔に設けられた格子点上に100回生成し、各々の点で計算される4方向の沈下勾配中最大の勾配を、その点での不同沈下量とした。格子の大きさは構造物の大きさより決定した。なお2次元正規過程の生成には、文献(4)の方法を用いた。

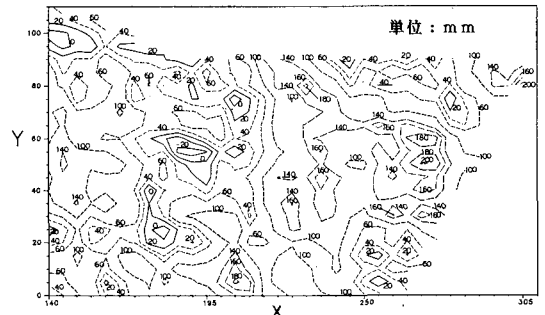


図7 条件付シミュレーションの例

図8と9に以上のようにして求められた不同沈下量の平均値と標準偏差のコンター図を示した。たとえば中央上部の比較的観測点の隔たった部分では不同沈下量の平均と標準偏差の双方が大きくなっている。また周辺部分で不同沈下が少ないのは、この部分では最大勾配を探索する方向が限定されているためである。さらに、ほとんどの部分で平均値は5/1000の範囲におさまっている。

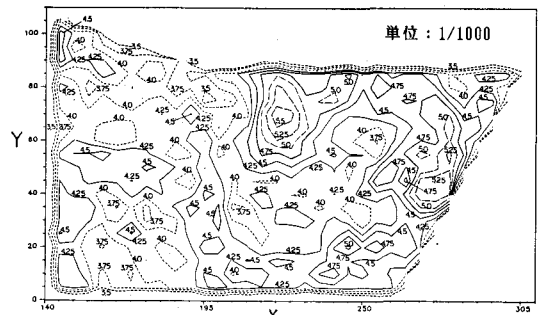


図8 不同沈下量の平均値分布

4. むすび： 今後の課題は数多い。主なものは、(1) 定常、非定常な土質データからの合理的な自己相関関数の推定法 (2) 各点の残留沈下量予測誤差など種々の不確実性のモデルへの取り込み (3) 本手法の他の問題、(たとえば支持層までの深度予測)への適用検討などが考えられる。

〔参考文献〕

- (1) 上田, 本城, 波田野, 坂口(1986):「造成工事における残留沈下量の平面的予測及び誤差」土と基礎6月号
- (2) Ripley, B.D. (1981): "Spatial Statistics", John Wiley
- (3) Baceher, G.B. (1984): "On estimating autocovariance of soil properties", Proc. ASCE Special Conf. (ed. Y.K. Wen)
- (4) Shinozuka, M. (1970): "Simulation of Multivariate and Multidimensional Random Processes", J. Acoust. Soc. Am. Vol. 49, No. 1

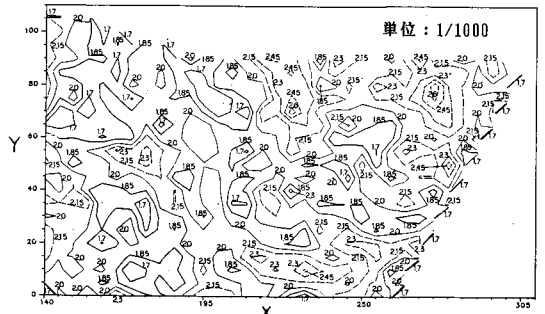


図9 不同沈下量の標準偏差分布