

VI-173 拡張クリッキング法を適用したボーリング資料の補間と施工計画への利用

清水建設(株)大崎研究室 正員○石井 清
同上 土木東京支店 正員 隈元 力
名古屋工業大学 社会開発工学科 趙 衍剛

1. はしがき

建設サイトが広がりをもつ場合、あるいは地盤・地形の不陸が相当に大きいと予測される場合には、構造物の設計や施工計画の作成、また工事費の算定等に当たって事前の地盤・地形調査が重要なポイントになる。しかしながら、実際においては、このような状況が事前に予測されるときにおいても、調査に多大の費用をかけるようなことは少なく、結果として、数少ない調査資料に基づいた設計や施工計画の不具合が施工段階で明らかになり、工事の遅延や工事費の増大を生じさせることもある。このようなことから、調査により得られた地盤や地形データから、サイト内における推定値を推定誤差も含めて定量的に評価できる方法が確立すれば、設計や施工計画の作成において大変便利な道具となろう。例えば、ボーリング調査により、支持地盤の深さが何点かで分かっているとき、他の平面位置における支持地盤の深さをこれらのデータから補間するとともに、その推定誤差を明らかにすることができれば、設計や施工計画等の変更の程度やその可能性、さらには工事費の増減についても評価することができる。本研究では、このような試みとして、拡張クリッキング法を用いて、建設サイトにおける支持地盤深さの推定を行なった(AICによる判定を含むクリッキング法を拡張クリッキング法と呼ぶ)。

2. 建設サイトとボーリング調査の概要

建設サイトは、図-1に示すように縦110m、横295mの矩形のサイトであり、内側の破線部分、すなわち、縦60m、横270mの部分に構造物が建設される。支持地盤の深さは、位置により-3mから-39mと起伏にとんだ地形となっている(平均値は-23m、標準偏差は8.9m、変動係数は0.39である)。

ボーリング調査は、第1期の66地点(図-1の○印)、第2期の49地点(△印)の計155地点において行なわれている。また、基礎工事は、現地盤高さを+3.8mとして、床付け位置-9.7mまで掘削し、場所打ち杭を打設する。場所打ち杭は、縦横に1.9mピッチで、計4,416地点の格子点において施工されるものとする。

3. 拡張クリッキング法の概要

ボーリング調査資料から支持地盤深さを補間する方法として、ここでは拡張クリッキング(Kriging)法を用いる。クリッキング法は、座標 x 点における推定量 $z^*(x)$ を標本値 $z(x_i)$ 、($i=1, \dots, N$)の線形和:

$$z^*(x) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i) \quad (1)$$

で表し、推定量の不偏性を満たしながら、推定誤差を最小とする推定法である。ここで、 λ_i は推定誤差を最小とするような推定演算子であり、標本値はボーリング調査により既知となっている支持地盤深さとなる。さらに、 $z(x)$ は、地形の大きい起伏を表すトレンド成分 $m(x)$ とランダム成分 $w(x)$ との和により表されるものとする。ランダム成分については平均値ゼロの定常確率過程と仮定され、異なる2地点間の相関性は既知であると仮定される。このように、推定演算子 λ_i の他にも、トレンド成分を決定するパラメータやランダム成分について2地点間の相関性を表すモデルなどが計算に導入されることから、拡張クリッキング法では、赤池による情報量規準(AIC)により、モデルの適合性を総合的に判断することとした。

4. 拡張クリッキング法の計算結果

いま、第1,2期のボーリング調査を合わせた115地点の支持地盤深さのデータに拡張クリッキング法を適用する。ここで、トレンド成分は0~6次の多項式(曲面)を考慮する。さらに、ランダム成分を表す2地点間の相関性を表すモデルとして、ここでは、セミバリオグラムを用いて、表-1のようなモデルを考慮した。

計算結果を表-2に示す。表中の $\Sigma \sigma_i$ は、図-1の実線の範囲を推定領域とした5m間隔のグリッド1,380点から計算される推定誤差の標準偏差の合計値である。表-2からは、AICによれば、セミバリオグラムにNo.5のモデルを用いて、トレンド成分として5次の曲面を用いた結果が最適な組み合わせになっている。また、表中の $\Sigma \sigma_i$ も最小になっている。この組み合わせによる計算結果を図-2に示す。図-2において、実線が支持地盤深さの補間値(推定値)を示し、破線が推定誤差の標準偏差 $\pm \sigma$ を示している。なお、b)やc)に見られる推定誤差がゼロとなる点は、ボーリングにより支持地盤の深さが既知となっている点である。

5. 追加ボーリングによる推定誤差の減少

ボーリング調査の本数により、推定誤差がどのように減少していくかを調べる。トレンドとセミバリオグラムは、第1期の66地点の資料から計算されたものを用いて、以下はボーリング資料のみを変化させ、図-1の破線で示さ

れる領域を1.9m間隔のグリッドで分割した格子点における推定誤差の平均値を求めた。結果として、推定誤差(標準偏差)の平均値は、第1期の66点では2.23m、第1,2期を合わせた155点では2.00m、さらに50点を既知として205点としたときには1.80mとなった。ボーリング資料が増えるに従って、推定精度は当然、向上するが、拡張クリッキング法によれば、その程度についても定量的に評価できることがわかる。

6. まとめ

本研究では、ボーリング資料として支持地盤深さに対して拡張クリッキング法を適用し、その適用性を確認した。この方法は、推定値の他に推定誤差を与えることから、設計や施工計画の作成等に際してに有用な検討資料を与えることができる。

参考文献: Journel, A. G. and Huijbregts, Ch. J.: Mining Geostatistics., Academic Press, 1978.

坂本、石黒、北川: 情報量統計学、共立出版、1983.

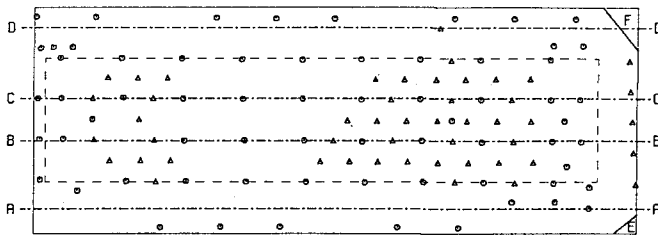


図-1 建設サイトとボーリング位置

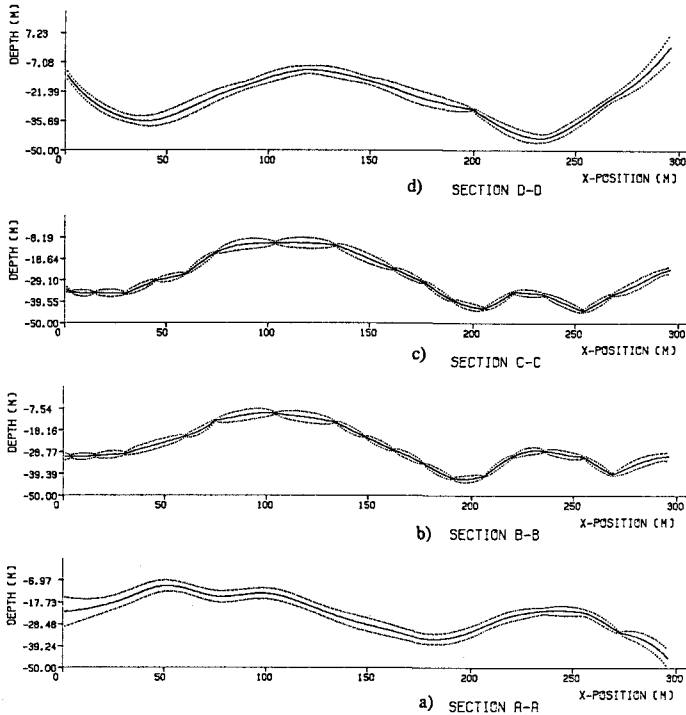


図-2 支持地盤深さの計算結果
(セミバリオグラム: No.5 モデル・
トレンド: 5次曲面)

表-1 セミバリオグラムのモデル

Model	Expression $\gamma(\Delta x, \Delta y)$
No.1	$\sigma^2 \left\{ 1 - \exp\left[-\sqrt{(\Delta x/a)^2 + (\Delta y/b)^2}\right] \right\}$
No.2	$\sigma^2 \left\{ 1 - \exp\left[-((\Delta x/a)^2 + (\Delta y/b)^2)\right] \right\}$
No.3	$\sigma^2 \left\{ 1 - \exp\left[-\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}/a\right] \right\}$
No.4	$\sigma^2 \left\{ 1 - \exp\left[-(\Delta x^2 + \Delta y^2)/a^2\right] \right\}$
No.5	$\sigma^2 \left\{ \frac{3}{2} \frac{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{a} - \frac{1}{2} \left[\frac{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{a} \right]^3 \right\}$ for $\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \leq a$ σ^2 for $\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} < a$

表-2 AIC等の計算結果

Model	Trend	n	L	AIC	$\sum \sigma_i$
No.1	0	4	320.0	648.0	3802
	1st	6	319.4	650.8	3815
	2nd	9	316.2	654.4	3841
	3rd	13	314.0	654.0	3805
	4th	18	307.4	650.8	3775
No.2	impossible for this data set				
No.3	0	3	319.4	644.8	3872
	1st	5	319.3	648.6	3882
	2nd	8	318.2	652.4	3875
	3rd	12	315.5	655.0	3867
	4th	17	309.0	652.0	3820
No.4	impossible for this data set				
No.5	0	3	313.5	633.0	3675
	1st	5	312.6	635.2	3660
	2nd	8	311.4	638.8	3661
	3rd	12	308.0	640.1	3632
	4th	17	301.2	636.4	3555
	5th	23	275.8	597.6	3347
6th	30	268.8	597.6	3585	
Note	In this table, n is the number of parameters and L is the value of likelihood. AIC = 2L + 2n, $\sum \sigma_i$ is the sum of the Kriged deviations				