

Ⅲ-A 398

地盤統計学的手法による杭基礎地盤面調査のための調査ボーリングの最適配置例

中部電力(株)電力技術研究所 正会員 西村 均・上田 稔
 中部電力(株)中央送変電建設所 正会員 上村 均
 清水建設(株)和泉研究室 正会員 本多 眞・鈴木 誠

1. はじめに

地盤統計学(Geostatistics)に基づく空間分布推定では、未知量の推定精度は確率的なばらつき(推定誤差分散)として表される。この推定誤差分散は、データ間の幾何学的な位置関係のみから与えられ、データそのものの値には依存しない。このためこれを利用することで、予め調査配置を決めるにあたって、推定値の信頼性(推定精度)に基づく定量的・客観的な配置が可能となる。このような考えを基にした最適調査配置を検討した研究は、地盤統計学が確立された1960年代から地下水挙動の把握のための水位観測点配置の問題に関して、数多く存在する^{1),2)}など。

著者らは限られた調査ボーリング結果から杭基礎地盤面を精度よく推定する手法として、地形情報を補助データとして地盤統計学の一手法であるCokrigingを採用し、実際の現場に適用、その妥当性を示したり、また追加調査ボーリングの配置計画にKrigingの推定誤差分散を用い、推定誤差に基づいた客観的な配置計画を提案したり³⁾。推定誤差分散を最小にする配置は、データの値に依存しないため、平たくいえば均等(等間隔)な配置となる。しかしながら実際問題では、基盤面が複雑に変化すると予想される地点を重点にボーリングを配置したいという要求がある。そこで本研究ではCokrigingによる基盤面の推定値を基にして、基盤レベルが平均的な値からばらつきと推定される点をより重要な調査位置とする新たな評価指標を提案⁴⁾し、実際の変電所造成現場における追加調査計画に適用した。

2. 追加調査ボーリングの最適配置のための評価指標

ここでは既に実施済みの一次調査ボーリングの結果から、基盤レベルの確率場モデルを定義し、確率論に基づいた追加ボーリングの最適配置を考える。ここで提案する評価指標は、ボーリングの位置関係だけでなく、基盤レベルの変化が著しい地点を重視するという基盤レベルの値にも着目したものである。すなわち平均から離れた値が得られると想定される点をより重要な調査位置となるように、平均値からのばらつきで推定誤差分散を重み付けした評価指標を提案する。平均値からのばらつきの指標としては、地表面を考慮したCokriging推定値⁵⁾と地表面を考慮しないKriging推定値との差(ここでは偏差と呼ぶ)を用いた。偏差は、Cokriging推定値が地表面レベルを補助データとしているため、地表面の影響をうけて地形起伏の著しい点ほど大きくなる。この偏差により重み付けをした推定誤差分散(偏差加重推定誤差分散)を評価指標とする。

$$OC_{wv}(x) = \rho \cdot \frac{\sum_{i=1}^N \{ |z_k - \hat{z}_c| \cdot \sigma_{kii}^2 \}}{\sum_{i=1}^N |z_k - \hat{z}_c|} + (1 - \rho) \cdot \frac{\sum_{i=1}^N \sigma_{kii}^2}{N} \quad (1)$$

ここで、 $\hat{z}_k$ および $\hat{z}_c$ はそれぞれ、既存ボーリングから求めた評価位置 i における Kriging 推定値、Cokriging 推定値であり、 σ_{kii}^2 は Kriging 推定誤差分散の (i, i) 成分である。同様の研究として大気汚染のモニタリング計画に関して、汚染濃度によって重み付けした推定誤差を評価指標としたものがある⁶⁾。

上式で第1項は、偏差の大きさにより推定誤差分散 σ_{kii}^2 を加重平均したもので、第2項は推定誤差分散を単純平均したものである。本評価指標はこれらを基盤レベルと地表面レベルとの相関係数 ρ によって加重和したものである。したがって基盤面と地表面に相関性がない場合には、 $\rho=0$ となり基盤面の起伏に関係なく、位置関係のみによって決まる従来の指標と等価になる。

3. 実サイトにおける追加調査ボーリング配置の検討

提案指標の有効性は数値実験により確かめられており³⁾、ここでは実際の変電所造成サイトにおける追加調査ボーリングの計画に適用した例について報告する。図1にサイトの地形と14本の一次調査ボーリング位置を示す。図中のグレーの領域が造成領域、その中の矩形領域が杭基礎領域である。対象サイトの地形は標高約800mの丘陵地で、造成領域の中心部が尾根部に相当し谷部との標高差は10～15m程度と、起伏は緩やかである。地質は表層約2mが崖錐堆積物で覆われ、その下部に第四紀更新世の砂岩、泥岩、火山砕屑岩類が分布し、浅部は固結度が低くN値10～25程度、深部になると50以上となる。ここではN値50以上を基盤面とし、ボーリング調査から深度10～20mの範囲にある。図に示す●印が一次調査ボーリングの位置であり、造成地周辺の概略の地質を把握する目的で実施された。

構造物のレイアウト決定後の追加調査ボーリングを計画する際に、追加調査ボーリングの最適な配置と本数を決定するために、今回の評価指標の適用を試みた。最大のボーリング本数を8本として、追加ボーリング本数と推定誤差の関係を求めるために、1～8本それぞれの最適配置を上記の評価指標を用いて求め、その時の推定誤差分散を求めた。図2に最適配置の4本、6本、8本の例を示す。地形が緩やかであることと基盤面と地表面の相関係数 ρ が0.58と小さいことから、最適配置は地表面の影響をあまり受けていない。しかし6本と8本の最適配置で最も東(図の右側)に位置するボーリングについて見ると、地形の尾根部に位置するように基礎領域の端に寄った配置となっている特徴的である。

図3は各配置での推定誤差標準偏差を示したグラフである。追加調査を行わない場合、平均推定誤差が2.6mであるのに対して、1カ所を最適配置で行うことにより2.44mと約16cm減少する。2カ所以上になるとその減少の割合は小さくなり、5～7カ所以上になると1カ所の追加での減少幅は1cm以下となる。また減少幅の変化も5～7カ所以上ではほぼ一定となる。すなわち5～7カ所以上の追加ボーリングは、推定精度は与える影響は小さく、ほぼ一定になると考えられる。そこで今回は、構造物基礎調

Keywords: 地盤統計学, 杭基礎地盤面, ボーリング調査, 最適化

連絡先: 〒459 名古屋市緑区大高町字北関山20番地の1 中部電力(株) TEL052-624-9187 FAX052-623-5117

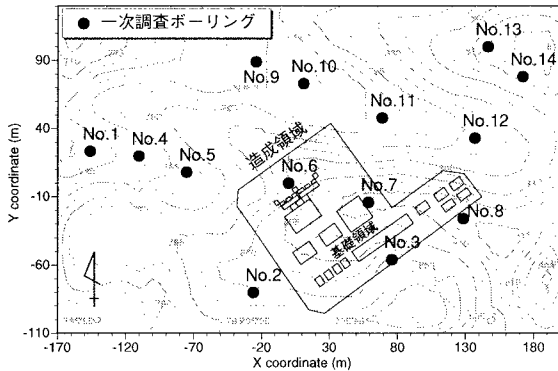


図1 対象サイトの地形および調査ボーリング

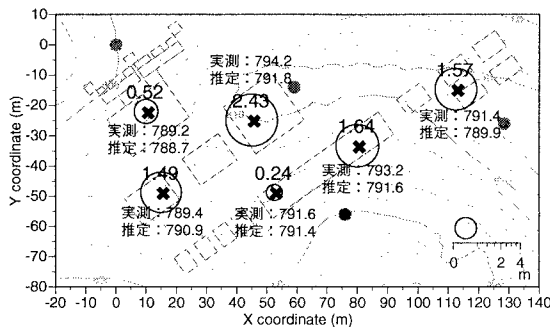


図4 実測値と推定値の残差（ブラインドテスト結果）

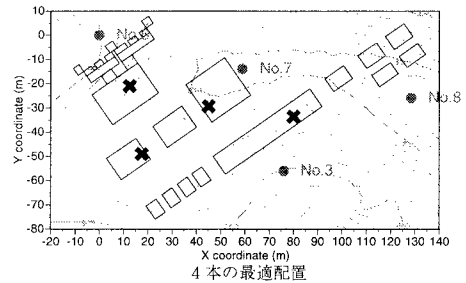
査のための追加ボーリングとして6本程度が最適と考え、実際に図2で示した6本の配置で追加調査ボーリングを実施した。追加ボーリングの妥当性を検証するために、各ボーリングデータを1カ所ごとに取り除いて、その位置での推定値を求め実測値との比較を行う、いわゆるブラインドテストを実施した。図4はブラインドテスト結果の推定値と実測値の残差を球グラフで示したものであり、円の面積が残差の大きさを表している。これを見ると残差はすべての3m以下であり、真ん中の1カ所が2.4mであるほかは、2m以下と精度の良いことがわかる。6本の平均残差は1.3mであり、追加ボーリング調査の妥当性が示された。

4. おわりに

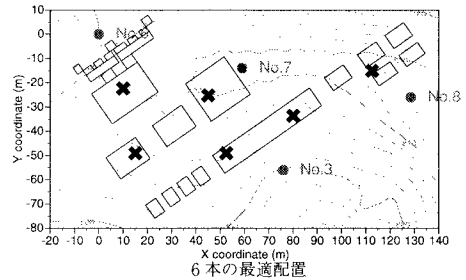
本報告では支持杭設計のための基盤面推定を目的とした調査ボーリングの配置について、新たな評価指標を提案し、実際のサイトで適用した例を示した。最適配置の妥当性を示すために、追加ボーリングデータを各々1本ごとに取り除いて、その位置での推定結果の比較（ブラインドテスト）を行った。その結果、推定精度は平均1.3m以下となり、調査ボーリング配置の妥当性が示された。またこのような客観的な指標は、最適配置や調査の必要性、さらには調査数量の削減等の判断材料の一つとして、有効に利用できるものと考えられる。

参考文献

- 1) Fiering, M. B. : An optimization scheme for gaging, Water Resources Research, Vol.1, No.4, pp.463-470, 1965.
- 2) Rouhani, S. : Variance reduction analysis., Water Resources Research, Vol.21, No.6, pp.837-846, 1985.
- 3) 本多 眞・鈴木 誠・上田 稔・近藤寛通: 地形情報を用いた基礎地盤面のモデル化と推定, 土木学会論文集, No.561/III-38, pp.63-74, 1997.
- 4) 本多 眞・鈴木 誠・上田 稔: 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, 土木学会第51回年次学術講演会梗概集, 第III部, pp.774-775, 1996.
- 5) 本多 眞・鈴木 誠・上田 稔・西村 均: 基礎地盤面推定のための調査ボーリングの最適配置計画, 土木学会論文集, 第III部門, 投稿中.
- 6) Trujillo-Ventura, A., and Ellis, J. H. : Multiobjective air pollution monitoring network design., Atmospheric Environment, Vol.25A, No.2, pp.469-479, 1991.



4本の最適配置



6本の最適配置

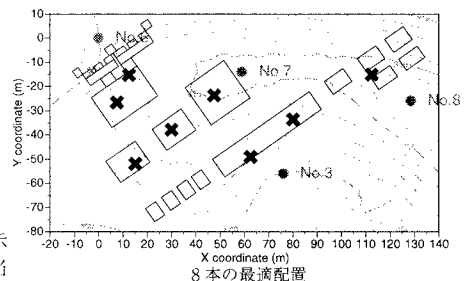


図2 追加調査ボーリングの最適配置

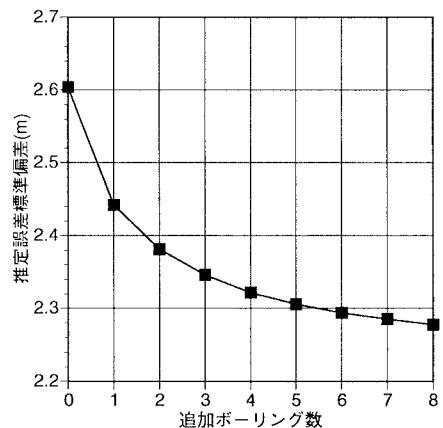


図3 推定誤差標準偏差の変化