

### III-A 364 地形情報を用いた基礎地盤レベル推定の事例報告（その2）

—専門家による推定との比較—

中部電力 正会員 天野智之・上田 稔・依田 眞  
清水建設 正会員 本多 眞・鈴木 誠

#### 1. はじめに

本報告は支持杭の杭長設計を目的として、杭基礎地盤面の推定に地盤統計学の一手法であるCokriging<sup>1)</sup>を適用を試みた事例について報告するものである。起伏の比較的大きな山間丘陵地では、基礎地盤面の起伏は少なからず地表面の起伏と相関を有していることが多い。Cokrigingは互いに相関性をもつ2変量以上の確率場に対して、相互相関係数から空間分布を推定する手法である。したがって調査ボーリング数が限られる場合、地形情報を用いることでより精度の高い推定ができる。本報告は、長野県北佐久郡に計画中の変電所の造成工事における適用結果について報告するものである。

#### 2. 対象サイトの概要

対象サイトは、長野県北佐久郡の千曲川と鹿曲川に挟まれた標高約800mの丘陵地に位置する。図1は対象サイトの地形と調査ボーリング位置および支持層推定断面の測線を示したものである。当該地域の地形は、2つの谷と2つ（途中で分岐して3つになる）の尾根が北西-南東方向に延びている。谷と尾根の高低差は10m程度と、起伏は比較的緩やかである。地質状況は表層を層厚約2m程度の崖錐堆積物および崩積土で覆われ、比較的浅い深度から砂岩、泥岩、凝灰岩、火山礫凝灰岩、凝灰角礫岩およびこれらの互層から構成される第四紀更新世の瓜生坂層が分布している。N値では砂岩、泥岩、凝灰岩の各層ともばらつきが大きい。砂岩、泥岩は下部では50以上だが、風化の著しい表層部では10~25程度、泥岩の上部は最小値5である。火山礫凝灰岩、凝灰角礫岩は50以上が大半を占めている。ここでは支持杭の基礎地盤面を、N値50以上と定義している。

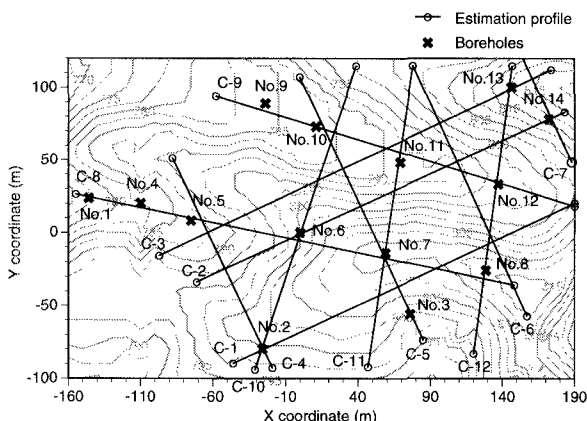


図1 対象サイトの概要

14本の調査ボーリングのうち、図に示すNo.4孔周辺には固結度の低い砂岩層が分布しており、基礎地盤面は周囲に比べて極端に深い。このためNo.4孔は統計的均質性を満たさない異質なデータとして、統計量の推定の際には入力データから除外した。ただし基礎地盤面の推定の際には、その位置での基礎地盤面データは真値であるため入力データに加えている。また弾性波探査結果の速度帯分布は、調査ボーリング位置で確認できた地層との整合性があまり認められていない。このような場合従来より、専門家がボーリングデータや地表踏査、弾性波探査結果等を総合的に判断して基礎地盤面を推定しているのが現状である。本サイトでも図1に示す測線C-1~C-12において、専門家による推定基礎地盤面が得られている。そこでCokrigingによる推定結果と比較することにより、その妥当性を検討した。

#### 3. 基礎地盤面の推定

基礎地盤面と地表面の起伏の相関性を考慮して、Cokrigingにより基礎地盤面の推定するために、基礎地盤面と地表面の関係をトレンド成分とランダム成分に分けた確率場としてモデル化する。具体的にはいくつかの関数モデルを設定<sup>2)</sup>して、そのパラメータを統計的に推定、最も良いモデルを情報量基準AIC<sup>3)</sup>により選択する。選択された最良モデルは次の通りである。

【トレンド成分】

【ランダム成分】

$$\begin{cases} \mu_1(x, y) \\ \mu_2(x, y) \end{cases} = \begin{cases} 794.3 + 0.11x - 0.06y \\ 784.8 + 0.07x - 0.05y \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} C_{11}(\Delta x, \Delta y) = (6.34)^2 \exp\{-[(\Delta x/63.7)^2 + (\Delta y/16.4)^2]^{1/2}\} \\ C_{22}(\Delta x, \Delta y) = (3.65)^2 \exp\{-[(\Delta x/63.7)^2 + (\Delta y/16.4)^2]^{1/2}\} \\ C_{12}(\Delta x, \Delta y) = (0.58) \cdot (6.34) \cdot (3.65) \exp\{-[(\Delta x/63.7)^2 + (\Delta y/16.4)^2]^{1/2}\} \end{cases} \quad (2)$$

ここでランダム成分の63.7と16.4が、それぞれx方向とy方向の相関距離(m)であり、空間的な相関性を表している。つまりx方向に相関性が大きく、y方向に小さいというのが特徴である。これは尾根と谷が東西方向(x方向)に延びていることに起因する。図2はトレンド成分を取り除いた後の基礎地盤面と地表面との関係を示した図であるが、弱い正の相関性(r=0.50)が認められる。これを示しているのが式(2)のC<sub>12</sub>の0.58である。これがランダム成分モデルの中の基礎地盤面と地表面の相関性を表すパラメータである。したがってCokrigingによる基礎地盤面の推定に対して、地表面の影響はそれほど大きくないことが予想される。

Cokrigingによる空間分布推定には、全ての調査ボーリング位置での基礎地盤面データと地表面データに加えて、

対象領域の10m間隔格子点（計828点）での地表面標高を地形図から読みとったものを用いた。基礎地盤面の推定結果をコンター図で示したものが図3である。左図が基礎地盤面レベルの推定値、右図が推定誤差である。推定値のコンター図の形は地表面の起伏にある程度類似している。ただし、No.4、No.9孔付近で周辺より基礎地盤面が深く、窪地になっている。大まかに基礎地盤面は、対象領域の西側で地表面レベルから-2~3m、東側で-10~15m程度に分布している。推定誤差は、当然ボーリング孔周辺で小さいが、その分布（広がり）がX軸方向に大きく、Y軸方向に小さいのが特徴的である。これはランダム成分モデルがX方向とY方向で相関距離が異なっているためである。

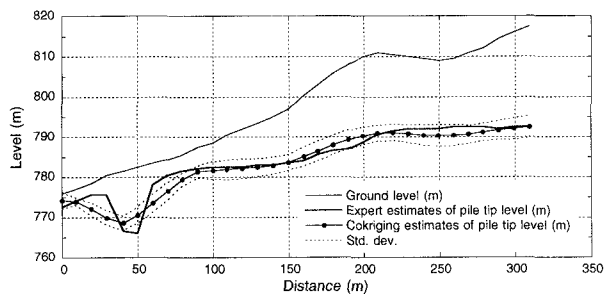
この推定結果と専門家が総合的に判断して推定した結果を比較したものが、図4である。ここでは図1に示した測線のうちC-8とC-11の断面で10m間隔にCokrigingにより推定した結果を示している。図中の最も上の細線が地表面、太線が専門家による推定基礎地盤面、そして点で結ばれた線がCokrigingによる推定基礎地盤面を表している。また破線は推定誤差の範囲を示している。C-11断面からわかるように、地表面の起伏をわずかに反映した緩やかな起伏を示しており、地表面との相関特性をうまく反映している。C-8断面を見るとNo.4孔周辺の未固結層の存在を、専門家の推定ではボーリング孔を中心に直径約20m程度の狭い範囲で周辺地盤に対して不連続に存在していると捉えているのに対して、Cokrigingによる推定では、統計的な均質場を仮定しているため、連続的に変化しており推定結果に違いが認められる。しかし全体的に見て、専門家の推定結果とかなり類似しており、全ての断面で比較した結果、平均1.7m、標準偏差1.4mであることがわかった。

#### 4. おわりに

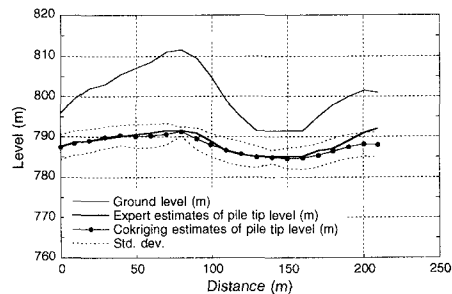
適用した基礎地盤面の推定法は、地表面と基礎地盤面の相関性を利用して限られた調査データから精度良く推定しようとするものである。今回の適用例では、地表面と基礎地盤面の相関性は弱いものであったが、その相関特性をうまく反映した推定ができることがわかった。

#### 参考文献

- 1) Journel, A. G. and Huijbregts, Ch. J. : Mining geostatistics, Academic Press, Inc., pp.324-343, 1978.
- 2) 鈴木誠ほか: 地形情報を用いたCokrigingによる基礎地盤面推定(その1), 第31回地盤工学研究発表会梗概(投稿中), 1996.
- 3) Akaike, H. : A new look at the statistical model identification., IEEE Trans. Automat. Control, AC-19, pp.716-723, 1974.



a) 断面C-8



b) 断面C-11

図4 基礎地盤面の推定結果と専門家による推定結果の比較

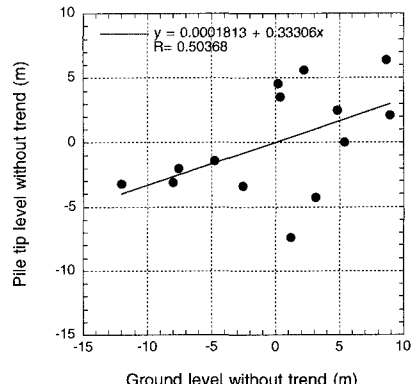


図2 基礎地盤面と地表面の相関性

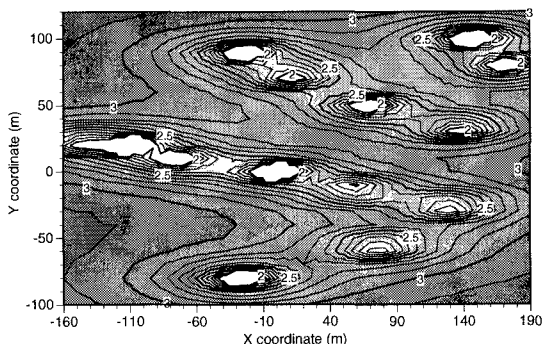
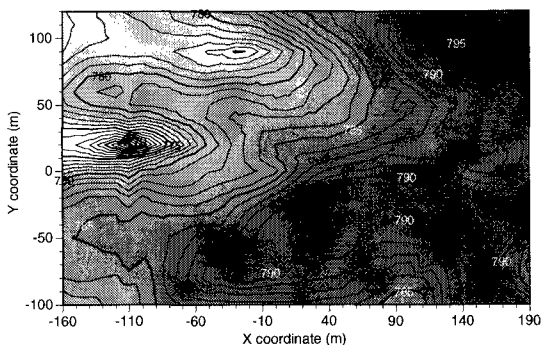


図3 基礎地盤面の推定値(上)と推定誤差(下)