建設プロジェクトにおける地下リスクの評価に関する研究

京都大学大学院　　正会員　大津宏康
京都大学大学院　　正会員　大西有三
京都大学大学院○　学生会員　高橋　徹
淺沼組　　正会員　黄瀬周作

１．はじめに

今日、日本経済の情勢は深刻さを増し、至る所で財政難の状況が見られる。公共事業に関しても例外でなく、プロジェクト件数の減少、建設コストの縮減を行う必要が生まれてきた。そのため、建設コストの妥当性について、十分に検討する必要性が出てきた。そのためには調査段階で得られた情報から合理的な建設コストの見積をしなくてはならない。そのためには、コストオーバーラン・遅延を引き起こす要因をリスク要因とするプロジェクトマネジメントを行う事が必要となる。

数あるリスク要因の中でも、特に影響の大きいものの一つに予見できない地盤条件の変動がある。これは発生頻度も比較的高く、大幅なコスト変動に結びつく可能性がある。しかしながら、現状では地盤条件を完全に把握する事は極めて難しいと思われる。したがって、有限の情報から地盤全体の物性を推定する必要が生まれてくる。ここに地盤・岩盤の不確実性が発生する所以がある。そして、それに起因するリスク、いわゆる地下リスクを把握するためにも、施工に必要なデータである地盤・岩盤内の状況を推定し、地盤条件の不確実性を推定する必要がある。

そこで、本研究では地盤条件の不確実性を推定するための手法として、地盤統計学の補間手法の一つである kriging を用い、地盤内の空間的分布推定を行い、地下リスクを定量化する手法を提案するものである。

２．解析手法について

本研究では、計測値から未計測値の物性値を推定補完するために kriging を用いた。kriging により推定を行う物性値 $Z(x)$ を、トレンド成分 $\mu(x)$ と、ランダム成分 $\varepsilon(x)$ の和として表現できると仮定する。ここで x は、Z が観測された地点を表す。

$$Z(x)=\mu(x)+\varepsilon(x) \qquad (2.1)$$

ここで $\varepsilon(x)$ の平均は 0 である。

$$\gamma^*(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N}\{Z(x_i+h)-Z(x_i)\}^2 \qquad (2.2)$$

ここで、N は距離 h で隔てられた観測点対の数である。そして、$\gamma^*(h)$ を縦軸に h を横軸にとった散布図を作成し、$\gamma(h)$ の関数形を推測する。本研究では関数形を指数型として最小 2 乗法により決定した。$\gamma^*(h)$ は、場が一般的な空間的相関関係を持つ場合には単純増加となり、Z の分散の値が∞でないのならば $\gamma(h)$ の割合は減少し、ある距離からは距離が増加しても $\gamma(h)$ の値は増加しなくなる。このときの距離を range(影響範囲)、そして $\gamma(h)$ が到達する値を sill(閾値)という。sill は理想的には Z の分散になる**（図 1）**。

次に、得られたセミバリオグラムを用いて kriging を行った。kriging は最適線形不偏推定法と呼ばれている。推定値 Z_0^* は複数の計測値 Z_i にそれぞれ重み λ_i をかけ、その和で表現される。その重みの総和が 1 となるため線形である。

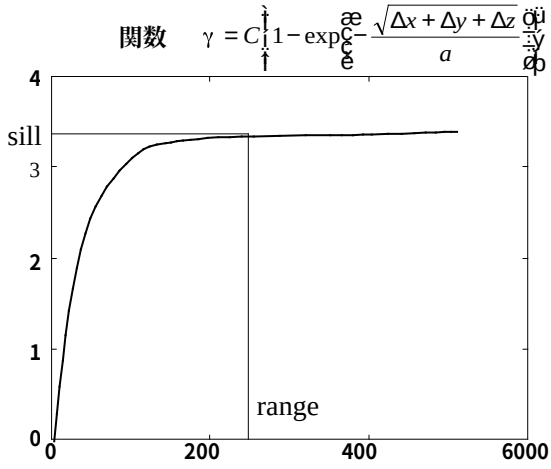

図１　セミバリオグラム

キーワード　地盤、リスク、プロジェクトマネジメント
連絡先　　〒606-8501　京都市左京区吉田本町　ＴＥＬ075-753-5128

$$Z_0^* = \sum_{i=1}^{n} \lambda_0^i Z_i \quad , \quad \sum_{i=1}^{n} \lambda_0^i = 1 \qquad (2.3)$$

また、誤差平均を 0 にしているため不偏であり、誤差分散を最小化しようとしているために最適ということができる。推定したい領域の各位置で kriging を行うことにより、全領域での地盤物性値の空間分布と推定誤差分布を得ることができる。なお、推定誤差分布は次式で表される。

$$var\left[Z_0^* - Z_0\right] = \sum_i \lambda_0^i \gamma\left(x_i - x_0\right) + \mu \qquad (2.4)$$

3．地下リスクの評価

上記で述べた手法を用い実際の地盤で地層厚を推定する。地盤の地層厚は、構造物の支持層、基礎の根入深さを把握するために重要である。なお、kriging は地層厚以外にも空間分布を推定する物性値の推定に適用できる。今回、解析対象とした地盤は、沖積砂層と沖積粘土層が全域に分布し、所々にレキ層などが観測される場所である。ここで、砂層厚、粘土層厚、沖積層と洪積層の境界面の標高を推定する。このうち砂層厚に関する推定結果について取り上げてみる。**図 2** は約 800m おきの計測値より求めた最適推定値μ (黒点線)、μ ±σ（σ^2：推定誤差分散) (青線)、200m 間隔のボーリング孔からの計測値を直線で結んだもの(赤線)である。

この図は 800m 間隔のデータによる kriging によって求められた最適推定値がある幅で変動する可能性を持っている事を意味する。プロジェクトの予備費を算出する上で、重要となるのはどれだけ工事費が変動するのかを考慮する事である。そして、変動幅をどのような基準で推定するかが重要である。

そこで計測間隔を狭くし、より詳細なデータを用いた場合と比較する。具体的には、200m 間隔のボーリング孔で得られた情報を単純に結んだ結果、最適推定値とほぼ同じ動向を示し、さらにμ ±σの範囲内に収まる事が分かる。これより地層厚の変動幅を求める事が出来、施工箇所の工事費の変動幅を算出する事が可能である。

4．まとめ

1. 今回解析対象とした地盤の地層厚の推定において、実測値は kriging による推定誤差範囲内にあり、この手法は有効である。
2. 地下リスクを評価する際、 kriging を用いる事で、地盤条件の変動幅を把握する事が出来、建設プロジェクトの工事費の変動幅も積算する事で求める事が出来る。

参考文献

・ 大西有三・田中誠・大澤英昭：不均質地盤内の地盤定数の推定に関する基礎的研究、土木学会論文集 No.457/III-21,pp51-58,1992.12

・ 本多眞・鈴木誠・上田稔・近藤寛通：地形上方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,pp63-74,1997.3

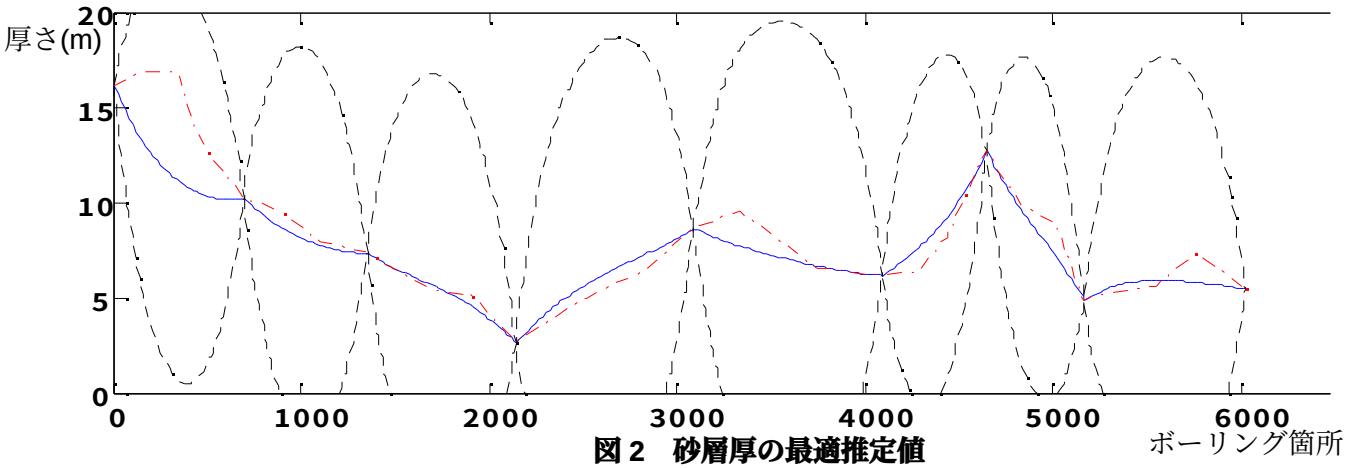

図 2　砂層厚の最適推定値