

セミバリオグラム及びクリギングを用いた支持層予測

正会員 ○井口 佳也\*1,2  
 正会員 酒井 盛幸\*1,3

正会員 荻原 克典\*1,4  
 正会員 小林 輝幸\*1,5

地盤調査 支持層 地球統計学  
 セミバリオグラム クリギング

1. はじめに

建築物の基礎設計において、地盤調査方法、箇所数を適切に計画し支持層の把握を行うことは、最適設計を行うと同時に工期、コスト管理にとって重要な要素である。

本研究では、標準貫入試験（SPT）とラムサウンディング（RAM）により把握した支持層分布を、地球統計、空間統計の解析手法であるセミバリオグラムにより分散傾向を評価、予測計算を2モデルのクリギングにより行い、全点調査結果との比較を行ったものである。

2. 計画地、地盤調査結果の分散

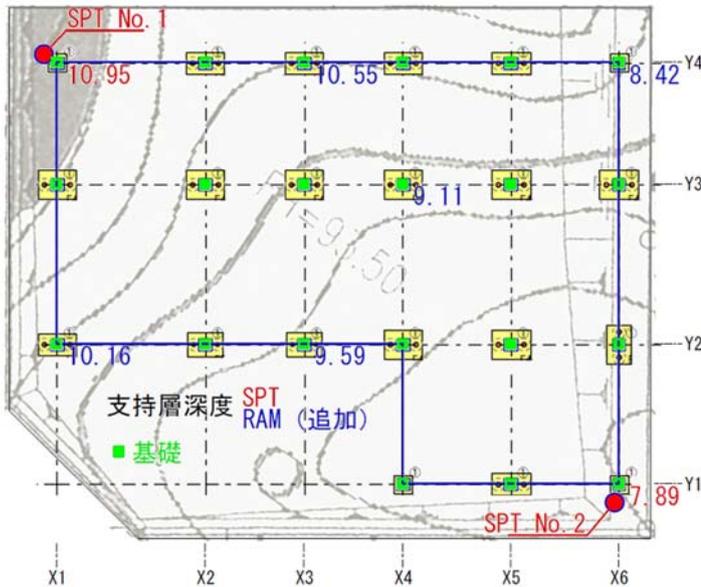


図1：計画地・支持層深度

計画地は丘陵地における造成地となっており、旧地形の把握は可能であるものの、支持層深度の分布把握は困難である。2箇所の SPT では支持層モデル作成に限界があったため RAM 追加補間調査を5ポイント、計7ポイントのデータを基に、最も支持層深度の深い SPT No.1 を起点としたバリオグラム雲の作成を行った。図2にバリオグラム雲を示す。バリオグラムは次式で与えられる。

$$\gamma(h) = \frac{1}{|N(h)|} \sum_{(i,j) \in N(h)} (Z_i - Z_j)^2 \quad (1)$$

ここに、 $\gamma(h)$ ：バリオグラム、 $N(h)$ ：2点間の距離が  $h$  となる点  $(i,j)$  の集合、 $|N(h)|$ ： $N(h)$  の要素数、 $Z_i, Z_j$ ：点  $(i,j)$  における観測値。

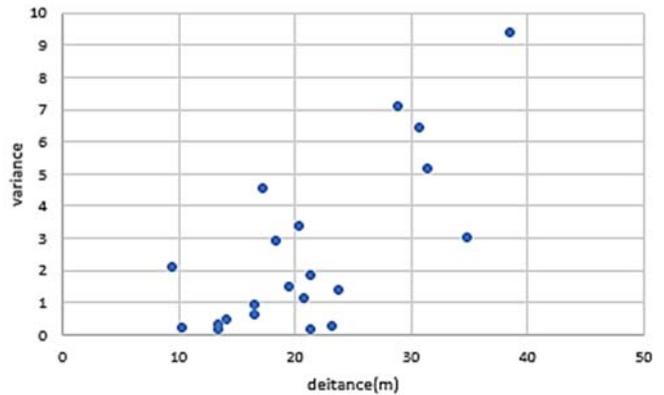


図2：バリオグラム雲

次に距離  $h$  を指定範囲 1m としたセミバリオグラム  $\gamma^*(h)$  を求める。通常、セミバリオグラムはバリオグラムの 1/2 の値であるが、異常な観測値に対する抵抗性をもたないため、外れ値に強い推定量として Cressie-Hawkins 頑健推定量式を採用した。

$$\gamma^*(h) = \frac{\frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{|N(h)|} \sum_{(i,j) \in N(h)} |Z_i - Z_j|^2 \right\}^4}{0.475 + \frac{0.494}{|N(h)|}} \quad (2)$$

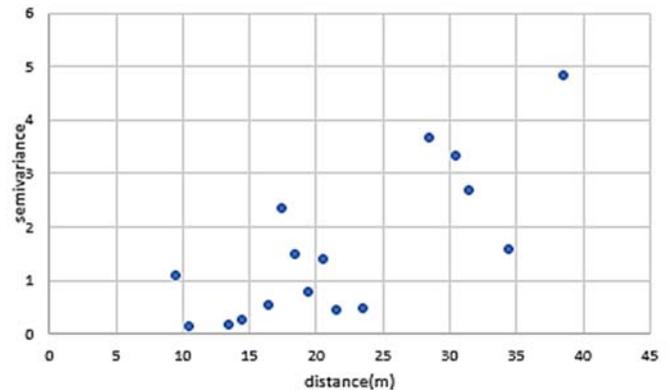


図3：セミバリオグラム

求められたセミバリオグラムより近似曲線を求める。

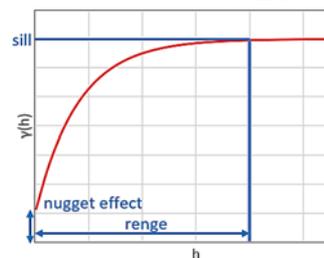


図4：近似曲線モデル

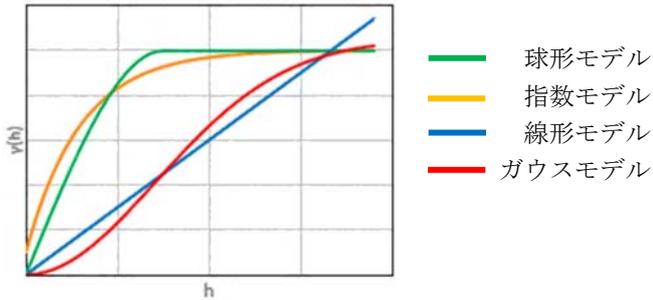


図5：曲線モデル例

一般的な曲線モデルはさまざまなものが提案されており、これらの中からマッチングする曲線を選定する。当該データにおけるマッチングモデルは、nugget effect 非搭載とした線形モデルとガウスモデルを選択した。図6に近似曲線を示す。直線モデルは最小二乗法を用い、ガウスモデルは目視にて近似を行った。

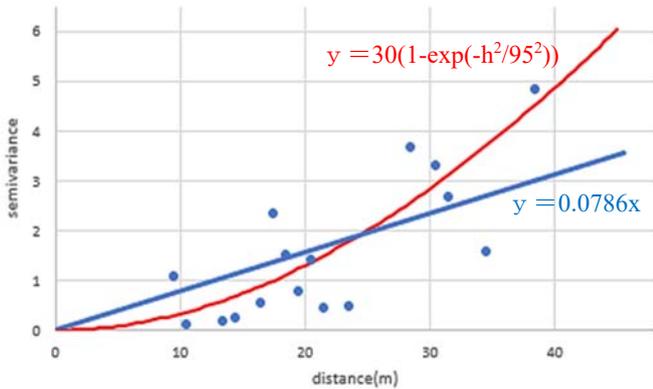


図6：セミバリオグラム近似

### 3. クリギング

以上より得られた近似式を用いて、次式に従って予測計算を行う。

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^N w_i(x_0) \cdot Z_i \quad (3)$$

※ここで、w は重み係数

$$A \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \\ \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma(x_1 - x_0) \\ \vdots \\ \gamma(x_n - x_0) \\ 1 \end{pmatrix} \quad \lambda : \text{ラグランジュ乗数} \quad (4)$$

$$A = \begin{pmatrix} \gamma(x_1 - x_1) & \cdots & \gamma(x_1 - x_n) & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma(x_n - x_1) & \cdots & \gamma(x_n - x_n) & 1 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

※(4)式の右边を B と置くと

$$W = A^{-1} \cdot B \quad (6)$$

### 4. クリギングによる予測計算と、全点調査結果

図7に線形モデル、図8にガウスモデルのクリギングによる想定支持層深度を示す。図9に全点調査による測定支持層深度を示す。

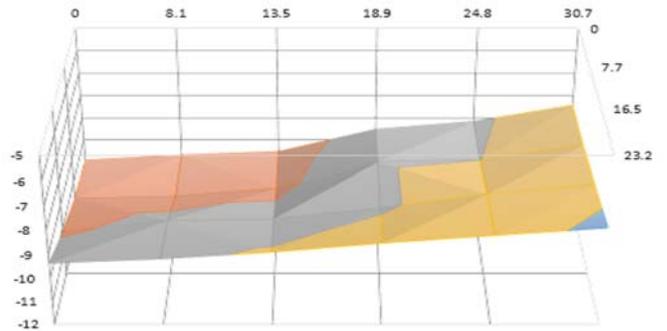


図7：線形モデルによる想定支持層深度

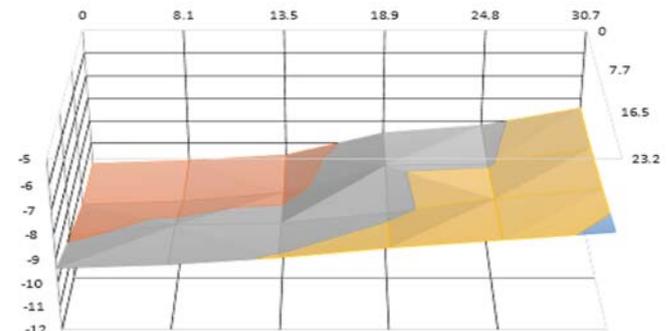


図8：ガウスモデルによる想定支持層深度

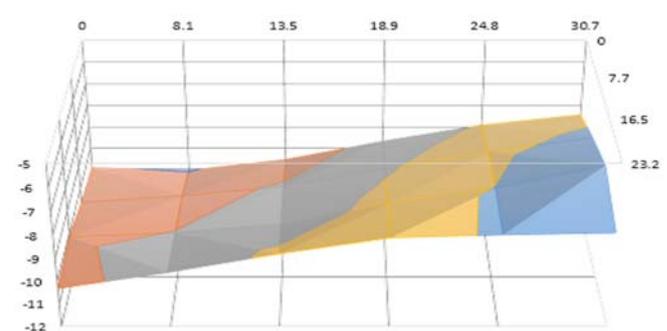


図9：全点調査による測定支持層深度

### 5. まとめ

線形モデルとガウスモデルの差異は概ね 0.3m以内、全点調査とクリギングによる差異は概ね 1.1m以内の結果となった。セミバリオグラムを用いることは、支持層のバラつき度合いと傾向を把握することができるため、調査ポイント数の指標とすることができる。今回のモデルでの予測計算は線形モデルとガウスモデルの差異が小さい結果となったが、支持層が2次曲線的な傾向を示す場合はクリギングを活用するメリットがあると考察する。

【謝辞】本研究は(敬称略)グラウンダーユニオン、(株)バンゼン、兼松サステック(株)、(株)奈良重機工事、三和興業(株)、(株)浪速試験工業所、中村基礎工業(株)、(株)P.E.C、(株)ジオックス、出雲建設(株)、(株)土木管理総合試験所、(株)ケンシンテクノ、(有)ジオワークスのご協力を頂きました。ここに記し深く感謝し、厚く御礼申し上げます。

【参考文献】1)地球統計学とクリギング法：間瀬茂

2)空間統計学：瀬谷創、堤盛人

\*12345 グラウンダーユニオン \*2(株)バンゼン  
\*3 兼松サステック(株) \*4(株)奈良重機工事 \*5 三和興業(株)

\*12345 Groundartunion \*2Banzen<sup>co.LTD</sup> \*3Kanematsu Sustech<sup>co.LTD</sup>  
\*4Nara jukikouzi<sup>co.LTD</sup> \*5Sanwa kogyo<sup>co.LTD</sup>