

### Ⅲ-A350 地表面レベルと弾性波探査結果を利用した基盤面レベル推定 (その2 実サイトへの適用)

中部電力(株) 正会員 ○西村 均・上田 稔  
清水建設(株) 正会員 本多 眞・鈴木 誠

#### 1. はじめに

著者らは杭基礎の設計に重要な基盤面レベルの推定に、地質統計学的手法<sup>1)</sup>を適用してきた。そしてこれまでに基盤面と地表面が地質学的な観点から相関性を有することが多いことに着目して、地表面レベルを補助データとした基盤面レベルの推定法を提案し多くの実績をあげた<sup>2)</sup>。しかし沖積平野などの地表面が平らな場合や、地質状況によっては基盤面が必ずしも地表面の起伏と相関が大きいとは限らない場合、地表面レベルだけでは推定精度に限度があり、このような地域では弾性波探査などの物理探査による調査も併用して行われることが多い。そこで地表面レベルだけでなく、弾性波探査結果も取り込むことのできる推定法を提案し、実際のサイトでの適用性を検討したので報告する。

#### 2. 地表面レベルと弾性波速度境界面レベルを取り込んだ基盤面レベル推定法

互いに相関のある2変量以上のデータの補間のできる推定法がCokrigingであり、これまでは地表面レベルと基盤面レベルの2変量を用いて適用してきた。これに弾性波速度境界面レベル(以下弾性波データと称す)を加えて3変量とすることも可能であるが、共分散、相互共分散モデルのパラメータが増大し、データからの正確な特定が困難となる。そこで地表面レベルは外部変数トレンド成分として扱い、基盤面レベルと弾性波データの2変量としたCokriging手法を提案する。

$Z(x)$ ,  $S(x)$ をそれぞれ位置 $x$ における基盤面レベルおよび弾性波速度境界面レベルの確率場とし、 $y(x)$ を地表面レベルの関数とすると、 $Z(x)$ ,  $S(x)$ それぞれのトレンド成分を次式で表す。

$$\begin{cases} E[Z(x)] = \sum_{k=1}^K b_k^{(Z)} f_k^{(Z)}(x) + b_{K+1}^{(Z)} y(x) \\ E[S(x)] = \sum_{k=1}^K b_k^{(S)} f_k^{(S)}(x) + b_{K+1}^{(S)} y(x) \end{cases} \quad (1)$$

各々の式で第1項は位置座標 $x$ の多項式 $f_k^{(Z)}$ ,  $f_k^{(S)}$ で表される関数で従来よりトレンド成分として用いてきたものである。これに対して第2項は地表面レベル $y(x)$ の関数であり、係数 $b_{K+1}^{(Z)}$ ,  $b_{K+1}^{(S)}$ の大きさが地表面との相関性を示すことになる。トレンド成分をこのように定式化することで、従来の位置座標によるトレンドと地表面の影響を取り入れたトレンドのどちらも扱うことができ、データから自動的に最適なモデルを選択することが可能である。

#### 3. 対象サイトの概要

図1は対象サイトの地形と弾性波探査測線および調査ボーリング位置を示したものである。当サイトでは基盤面調査として、調査ボーリングを計21本、弾性波測線A~H

の8本で実施している。ボーリング位置および岩盤の露頭状況などから弾性波速度帯の第II速度層(0.5~1.0km/sec)と第III速度層(1.8~2.3km/sec)の境界面レベルがN値50以上の基盤面レベルに対応づけられるものと考えられ、この境界面レベルを測線上に約5m間隔でデータ化した。

当サイトの地質は頰家変成岩類を基盤とした風化帯で、尾根部には10~15m厚の風化層を有し、谷部では薄く露岩している。いわゆる典型的な風化岩盤地域であり、基盤面と地表面の起伏は強い相関性を有している。

#### 4. 統計量の推定

Cokrigingを用いて基盤レベルを推定するために、空間構造のモデル化を行い、モデルのパラメータを統計的に推定する。具体的にはトレンド成分(平均値関数)とランダム成分(共分散関数)に分けて、それぞれいくつかの関数モデルを仮定して、情報量規準AICにより最も良いモデルを選択する。表1は選択された最良のモデルで推定された統計量を示したものである。この中でランダム成分モデルの $\rho$ が基盤面レベルと弾性波データとの相関性を表すパラメータであり、推定結果は0.39と比較的小さい。これに対してトレンド成分モデルの $b_k^{(Z)}$ は、地表面レベルとの相関性を示しており、0.74と大きい。したがって基盤レベルの推定には地表面レベルの影響が強く、弾性波探査結果は

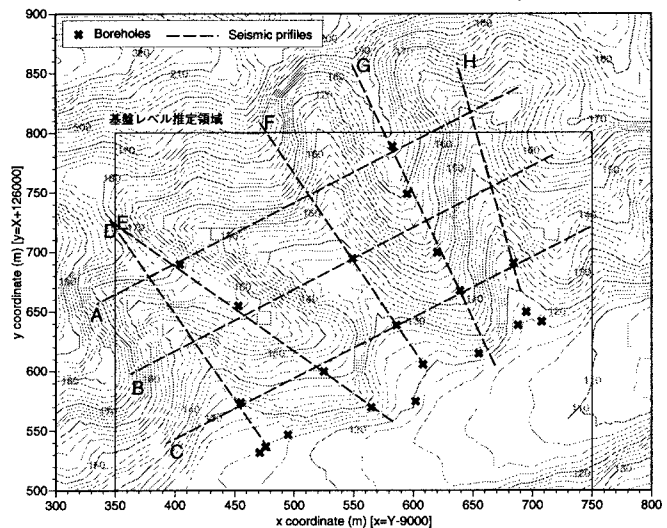


図1 対象サイトの概要

**Keywords:** 杭基礎, 基盤, 地質統計学, 弾性波探査, Cokriging

**連絡先:** 〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2-2-2 富国生命ビル 清水建設(株) TEL03-3508-9052 FAX03-3508-2196

あまり強く影響を及ぼさないと考えられる。

### 5. 基盤面レベルの推定

図3b)のコンターは、上記の統計量を用いて基盤面レベルを推定した結果を示したものである。比較のために図a)には従来の地表面レベルとのCokrigingによる推定結果を示している。岩盤の風化地域のため地表面との相関性が強く、推定結果は地表面の起伏に良く追従していることがわかる。弾性波データの有無による違いはコンターの比較からは読みとれないので、弾性波の影響の大きい弾性波測線断面での推定を比較したものが図2である。例として測線Bの断面を推定したもので、下図はその弾性波速度境界面を示したものである。弾性波を考慮した場合としない場合を比較すると、例えば断面位置110m付近の尾根部で従来より5m程度高く推定していたり、270m付近の尾根部では尾根の頂上部が若干ずれているなど、弾性波データの影響を受けていることが明らかである。次に推定精度の評価を行うために、ボーリング位置での基盤面レベルの真値に対して、ボーリングがなかったとした時のその位置の推定値を比較した、いわゆるブラインドテストを実施した。15本のボーリング1カ所ごとに行い、結果を示したものが図3の大きさの異なる円で示したものである。円の大きさが真値との差の大きさを表しており、値も同時に示している。a) b)を比較するとほとんどのボーリング位置で差が小さくなっている。平均では3.39mから2.28mと約1.1m、30%以上精度が向上しており、弾性波データの効果が得られている。ただし、ほとんどのボーリングは弾性波探索測線近傍にあるため、領域全体の推定精度に額面通りの期待はできないが、弾性波データの効果はある程度期待できることがわかった。

### 6. おわりに

これまで開発してきた地表面レベルを利用した基盤面レベルの推定法に弾性波探索結果のデータを加えることのできる推定法を開発、実際のサイトデータに適用した。今回の例では地表面との相関性が強く、弾性波探索の効果があまり大きくはなかったが、沖積平野などの地表面の情報が利用できない場合や、ボーリングデータが少ない場合など有効に働くものと考え、今後適用例を増やしていく予定である。

### 参考文献

- 1) Journel, A.G. and Huijbregts, Ch.J.: Mining geostatistics, Academic Press, Inc., pp.324-343, 1978.
- 2) 上田ほか：地形データを用いた基礎地盤面推定手法の適用性に関する研究，土木学会論文集，No.561/III-38, pp.62-74, 1997.

表1 統計量推定結果

| トレンド成分 (平均値関数)                                                                                                                                                                                                |             |             |             |             |             |             |             |  | ランダム成分 (共分散関数)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                    |        |        |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|
| $\begin{Bmatrix} E[S(x)] \\ E[Z(x)] \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} b_0^{(S)} + b_1^{(S)}\{y(x) - b_2^{(S)}x_1 - b_3^{(S)}x_2\} \\ b_0^{(Z)} + b_1^{(Z)}\{y(x) - b_2^{(Z)}x_1 - b_3^{(Z)}x_2\} \end{Bmatrix}$ |             |             |             |             |             |             |             |  | $\begin{cases} C_S(x, x') = (\sigma^{(S)})^2 \exp\left\{-\sqrt{\frac{(x_1 - x'_1)^2}{a_1} + \frac{(x_2 - x'_2)^2}{a_2}}\right\} \\ C_Z(x, x') = (\sigma^{(Z)})^2 \exp\left\{-\sqrt{\frac{(x_1 - x'_1)^2}{a_1} + \frac{(x_2 - x'_2)^2}{a_2}}\right\} \\ C_{SZ}(x, x') = \rho \sigma^{(S)} \sigma^{(Z)} \exp\left\{-\sqrt{\frac{(x_1 - x'_1)^2}{a_1} + \frac{(x_2 - x'_2)^2}{a_2}}\right\} \end{cases}$ |                    |        |        |        |
| $b_0^{(S)}$                                                                                                                                                                                                   | $b_1^{(S)}$ | $b_2^{(S)}$ | $b_3^{(S)}$ | $b_0^{(Z)}$ | $b_1^{(Z)}$ | $b_2^{(Z)}$ | $b_3^{(Z)}$ |  | $(\sigma^{(S)})^2$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $(\sigma^{(Z)})^2$ | $\rho$ | $a_1$  | $a_2$  |
| 68.8                                                                                                                                                                                                          | 0.30        | -0.28       | 0.34        | 27.7        | 0.74        | -0.04       | 0.03        |  | 187.6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 287.7              | 0.39   | 1191.3 | 1178.1 |

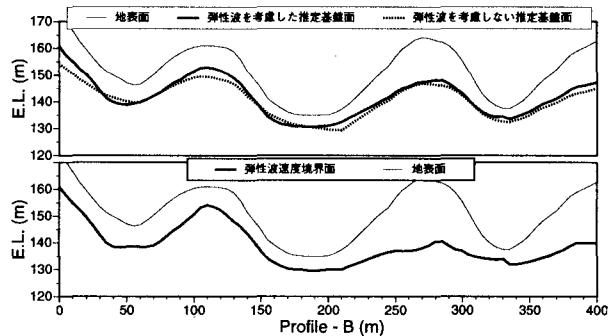


図2 弾性波データを考慮しない場合と考慮した提案手法の推定例（断面B）

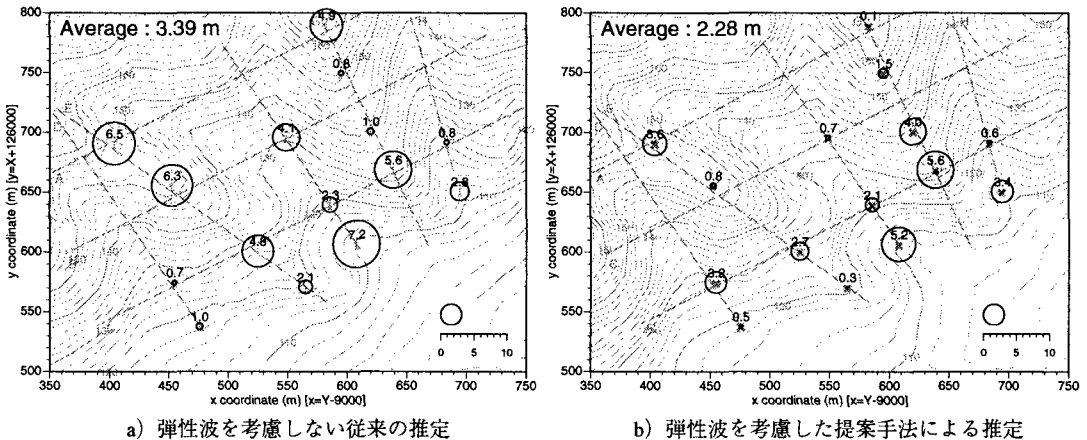


図3 基盤レベルの推定結果とボーリング位置でのブラインドテスト結果