

III-344

地盤物性値の空間分布推定と追加調査計画に関する検討

東京電力(株)送変電建設本部 正会員 小川 保 正会員 竹内友章
清水建設(株)大崎研究室 正会員 〇本多 眞 正会員 鈴木 誠

1. はじめに

トンネル工事における土質調査は、まず工法や概略の設計を行うために掘削する幾つかの事前ボーリングや既存の文献等を用いて評価し、その後さらに詳細構造設計や処理プラント等の設計に必要なと考えられる追加調査を行うのが一般的である。しかしながら、これまで追加調査の計画には客観的な基準がなく、定性的な判断の下にその数量、配置が決められてきている。一方、地盤物性値は空間的にばらつきを持って分布しており、互いに相関性を有している。そこで本研究では、このようなデータ間の相関性を有効に利用し、事前ボーリングデータから追加ボーリングの客観的かつ最適な配置計画を行うための基準について検討を行った。今回、用いたデータは、実際の地中送電用シールドトンネル工事に伴って実施した土質調査のうち、土砂中の細粒分含有率である。

2. 細粒分含有率の空間分布推定

地盤物性値の空間分布の推定には、空間的相関特性を表す確率モデルに基づいてクリッキング(kriging)といわれる手法を用いる。クリッキングは、任意点の推定量を標本値の線形和で表し、推定量の不偏性を満たしながら推定誤差分散を最小とする推定法である。これにより任意点(領域)の推定値および推定誤差を得ることができる。図-1はここで用いた土質調査のボーリング位置とシールドの路線を示しており、ボーリング28本で計142点の実測点を入力データとしている。

空間的相関性を表す確率モデルは最尤法によりそのパラメータを推定して決定することになるが、ここでは次式で示される2次元の指数関数モデルについて推定した結果を用いる²⁾。

$$C(h) = \sigma^2 \exp \left\{ - \sqrt{ \left(\frac{h_1}{a_1} \right)^2 + \left(\frac{h_2}{a_2} \right)^2 } \right\} \quad (1)$$

分散 σ^2 : 24.152
相関距離 $a_1 (= \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2})$: 64.683
 $a_2 (= \Delta z)$: 2.4695

ここで $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ はそれぞれx,y,z軸方向のデータ間の距離である。

図-2はシールド路線上に設定した推定点61点において得られた細粒分含有率の推定値と推定誤差を示した図である。太線が推定値、細線が推定値±推定誤差を示しており、既存ボーリング位置との相対的距離が小さい推定点ほど推定誤差が小さくなっている。

3. 追加調査計画

3.1 最大推定誤差による追加調査位置の選定

クリッキングで得られる推定誤差は、調査データそのものの値には無関係であり、確率モデルと調査地点の配置のみに影響され、周囲の調査地点の影響が大きいほどその値は小さくなる。すなわち、推定誤差が大きい地点は、周りの調査地点の影響を受けていない地点であり、調査地点の配置が疎な部分といえる。そこで計画対象区間において推

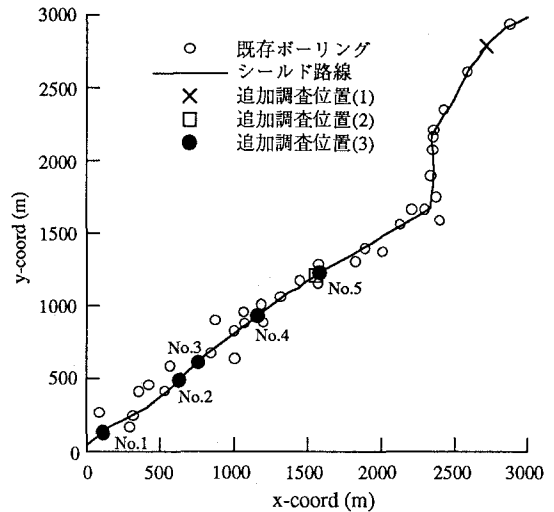


図-1 既存ボーリング位置とシールドの路線図
および最適追加調査位置

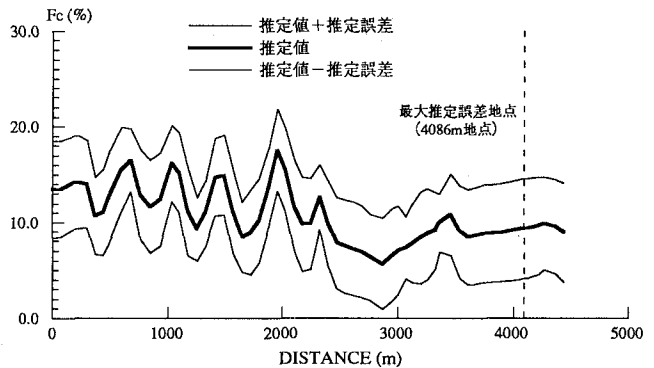


図-2 細粒分含有率の推定値および推定誤差

定誤差が最大となる地点を追加調査位置とすれば、偏りのない調査地点の配置を行うことができる。図-2に示すように今回のシールド路線区間で推定誤差が最も大きい地点は、起点より4086m地点（x; 2720, y; 2782.5）と選出された。

3.2 処理プラント規模の余裕度評価に基づく追加調査位置の選定

泥水式シールド工法の設計で問題となるのが、掘削土砂の処理プラント規模の設計である。この処理プラントの規模は、掘削土砂の細粒分含有率で決定されるため得られた推定値から処理プラント規模に対する余裕度を評価することができ、この値の最も低い地点に追加調査を配置することで、処理プラント規模の余裕度に対するより詳細な評価が可能となる。処理プラントの規模は次式に示す2次処理装置フィルタプレスの容量である濾過面積 Au を用いて評価することとした。

$$Au = 2.0 \times R \times Fc \quad (2)$$

必要濾過面積 Au からフィルタプレスの能力の余裕度を次式で求められる安全性指標 β と呼ばれる指標により表現する。なおフィルタプレスの能力は $Au_{max} = 260m^2$ とした。

$$\beta = \frac{Au_{max} - \mu_{Au}}{\sigma_{Au}} \quad (3)$$

図-3は安全性指標 β を求めた結果を示しており、起点より1956m地点で最も小さい値 $\beta = 0.978$ 、すなわちフィルタプレスの容量を超える確率が16.7%と最も大きくなることを示している。

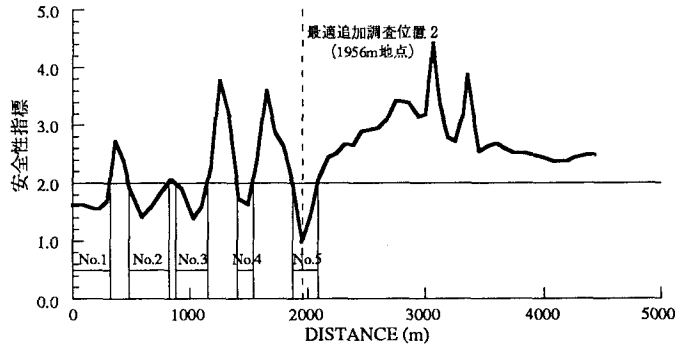


図-3 安全性指標 β の分布

3.3 推定誤差変化率に基づく追加調査位置の選定

ここでは基準となる余裕度を逸する区間を選出し、その区間を対象として追加調査計画を実施することで最適位置の選定を行う。そこで安全性指標 β に対してその基準値を $\beta = 2$ 、すなわちフィルタプレスの能力を超えない確率が97.7%を設定すると、図-3に示すように対象区間は5区間となった。いま、 N 個の実測データから得られる、ある区間の推定誤差を $\sigma_{E(N)}^2$ とし、地点 x に1個の追加調査を行って $N+1$ 個のデータから得られる推定誤差を $\sigma_{E(N+1)}^2$ として、次のような x の評価関数を設定する。

$$G(x) = \frac{\sigma_{E(N)}^2 - \sigma_{E(N+1)}^2}{\sigma_{E(N)}^2} \quad (4)$$

これは地点 x に1つの調査を追加したときの、ある地点（領域）の推定誤差の減少率を示しており、この関数 $G(x)$ が最も大きくなるときの地点 x が、1点の追加調査を行う最適な位置となる。そこで、各対象区間で関数 $G(x)$ のコンター図を作成して、最適な追加調査位置を選定する。

図-4は推定誤差変化率のコンター図の一例（No.3区間）である。このように各区間のコンター図を作成して、推定誤差の変化率の最も大きい地点を求めることができる。図-1に各対象区間で求めた最適追加調査位置（最大変化率点）をシールド路線上に示した。

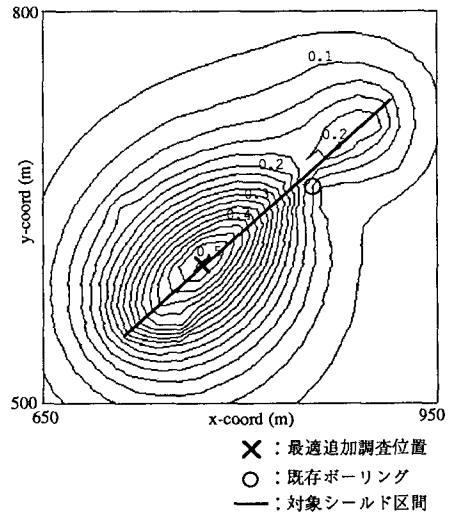


図-4 推定誤差変化率のコンター図(No.3)

4. おわりに

本報告では、土質調査実測値からその推定値および推定誤差を基にした追加調査計画に関する検討を行い、目的に応じて3つのパターンについて、追加調査位置選定の例を示した。その結果、それぞれ追加調査計画に対するある程度有効な情報を与えることができることを示した。今後はこのような線の構造物だけでなく、平面的に広がりをもった面的構造物に対しても適用を図るとともに、土質調査計画全体に対する検討を行う予定である。

参考文献

- 1) Journel & Huijbregts : Mining Geostatistics, Academic Press, 1976
- 2) 小川・竹内・本多・鈴木: AICによる地盤物性値の空間分布に関する確率モデル選定, 第27回土質工学研究発表会