

比抵抗センサーを用いた介在砂層探査技術の開発

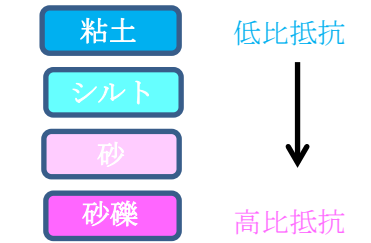
清水建設(株) 正会員 ○大木 智明, 正会員 金丸 清人
清水建設(株) 正会員 西川 泰司, 正会員 三上 尚美
応用地質(株) 正会員 斎藤 秀樹, 佐野 康

1. はじめに

近年、道路トンネルの分岐合流部等の施工においては、構造物の大深度化や地上部の制約から、非開削工法による地中からの切り開き（地中拡幅）が採用される例がある。地中からの切り開きを行う場合には、まず拡幅部周辺地盤を防護する必要がある。その際に、対象地盤が砂や砂礫を含む互層地盤で防護工として薬液注入を選択する場合には、止水品質確保のため注入対象土質の事前把握（介在砂層の位置を事前に把握）が特に重要となる。しかし、現状では地上からのボーリング調査等断片的な情報しかない。特にトンネルが大深度の場合は、詳細なボーリング調査自体が困難である。そのため、詳細な地質を探査する技術が望まれていた。本技術はシールドマシンのカッター側面に比抵抗センサーを設置し、このセンサーによりシールド機外周部の介在砂層を連続的に測定・探査できるものである。

2. 探査原理

本技術の測定原理は、電気を地中に流すことでその電位差(抵抗値)を測定し、土質の比抵抗値を求めるものである。これは、地盤調査でよく行われる比抵抗検層（電気検層）と同じ原理である。地層の比抵抗は土質の違いによって異なることが知られている（図－1）。



図－1 土質と比抵抗の関係

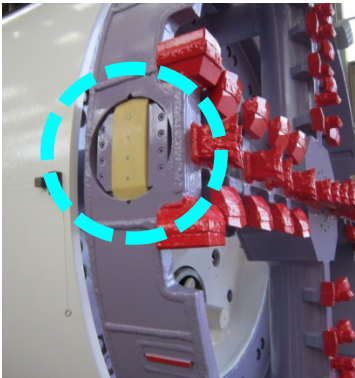
3. 実証実験概要

要素実験を経て、比抵抗センサーの実地盤における性能確認・実証を目的として、実工事でシールド機に比抵抗センサーを装備し掘進中に常時計測を行った。適用した工事概要を表－1に示す。比抵抗センサーはカッターヘッド側面に2か所設置した（内1箇所は予備）。シールド機への設置状況を写真－1、2に示す。

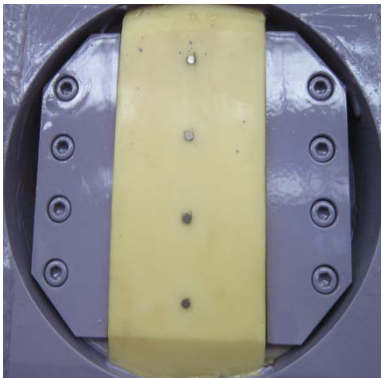
砂層と粘土層を判別するための境界値（以後しきい値と呼ぶ）を設定するには、実際に測定した比抵抗値と実際の地山の土質との対比（キャリブレーション）が必要となる。これは、同じ砂層であっても、土粒子や生成年代等の諸条件により抵抗値に相違があり、対象土質の固有値を把握する必要があるからである。本実証においては、実際の地山の土質分布を把握するため、シールド機通過後セグメント近傍において3箇所土質調査ボーリングを地上から行った。1箇所は前述のとおり、キャリブレーション用、残りの2箇所が検証用である。

表－1 工事概要

用水路建設工事	
工法	泥土圧式シールド
掘削外径	2,620mm
カッターヘッド外径	2,570mm
セグメント外径	2,450mm
一次覆工延長	2,832m
掘削対象地盤	砂質土、粘性土の互層



写真－1 センサー設置状況



写真－2 センサー部拡大

キーワード 介在砂層探査、比抵抗センサー、連続探査、地中拡幅
連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設(株)土木技術本部 TEL:03-3561-3886

4. キャリブレーション

掘進延長約440m地点にて、キャリブレーション用の調査ボーリングを実施した。得られた柱状図と、測定された比抵抗値との比較を行い、しきい値を設定した。結果を図-2に示す。なお、比抵抗値は連続で測定されているため、掘進方向0.5m分のデータを使用し、断面方向に36分割(10度毎)して集計、分割角度毎に平均値を算出し比較した。比較の結果、比抵抗値 $27\Omega\cdot m$ 以上を砂層、 $27\Omega\cdot m$ 未満を粘土と区分すると柱状図の土質と合致した。この結果により、しきい値を $27\Omega\cdot m$ とした。

5. 検証結果と考察

掘進距離約880m地点と約1100m地点の2箇所において調査ボーリングを実施し検証を行った。結果を図-3、4に示す。調査ボーリング3では約8割の的中率であったが、調査ボーリング2では約5割程度であった。的中率一覧を表-2に示す。

砂層を見逃さないという本技術の安全側の目的からみれば、地層中の砂層の的中率は約8割である。

誤差の原因としては、探査範囲にあるオーバーカット分の掘削泥土の影響及び、泥土中の砂分が下方に堆積した状態であると推測される。したがって、今後の改善案としては、オーバーカット分の泥土の比抵抗を別途測定する補正センサーを搭載し、泥土分の影響を排除すれば、的中精度は向上すると考えられる。

6. 砂・粘土判別結果表示システム

本技術の特徴は、掘進中にリアルタイムかつ連続計測が可能な点である。従って、当初の目的である掘進後地中拡張防護計画のための介在砂層探査のみに限らず、密閉型シールドの掘進中においてもシールド機周辺の土質探査がリアルタイムに可能である。そのため、掘進中の加泥材の選択や泥水管理等といった掘進管理においても非常に有効な情報を提供できるものである。そこで、今回掘進管理への情報提供ツールとして、比抵抗センサーによる砂・粘土の判別結果をリアルタイムに表示するシステムも同時に開発した(写真-3)。なお、写真中砂層と判定した部分は赤、粘土層と判定した部分は青で表示されている。

7. おわりに

今後は、シールド機に比抵抗センサーだけでなく補正センサーを搭載して実工事において検証し、さらに精度向上を図っていくとともに、砂・粘土の判別結果の見える化として、3次元表示システムの開発を進めていきたい。

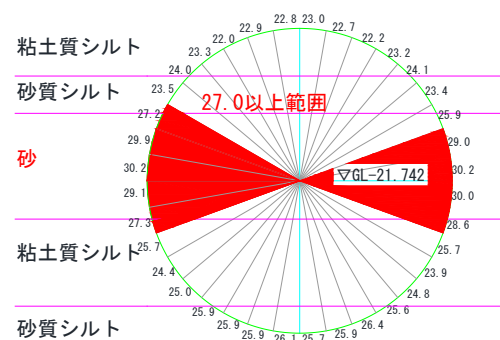


図-2 キャリブレーション

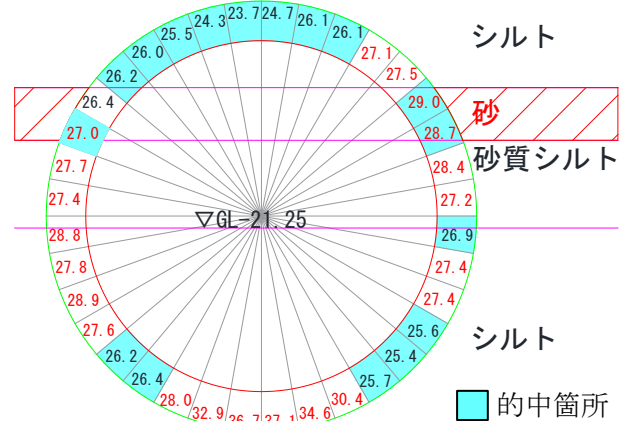


図-3 調査ボーリング2結果

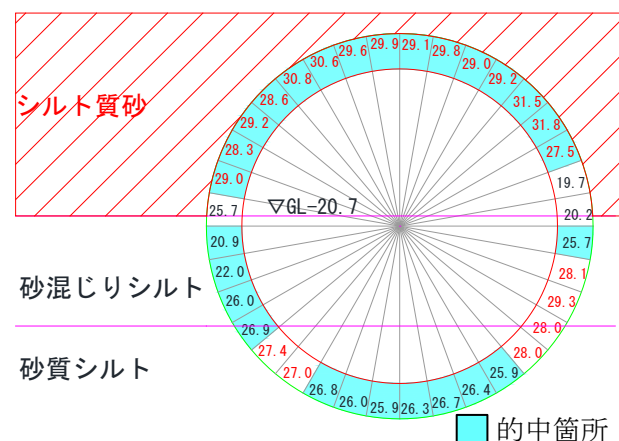


図-4 調査ボーリング3結果

表-2 的中率一覧

	調査ボーリング2	調査ボーリング3
全体	47% (17/36)	75% (27/36)
砂層	75% (3/4)	83% (15/18)



写真-3 表示システム