

シールド切羽可視化システムの構築と実現場への適用 (その1：切羽可視化システムの導入)

(株)奥村組 正会員 ○外木場康将 (株)奥村組 正会員 木下 茂樹
(株)奥村組 正会員 中村 誠喜 (株)奥村組 正会員 榊原 光義

1. はじめに

近年、都市部において立坑用地の問題や地下埋設物の輻輳を理由に、シールドトンネルの長距離化が顕著である。そのため掘進中に地盤変化を伴い、地盤の状態に応じた掘進管理が求められる。特に、土質急変部や岩盤層の出現・消失部がある場合は注意が必要である。一般的に、土質変化は排土性状、切羽土圧やカッタートルク値などで評価する。これは切羽を「点」として捉えており、切羽の地盤構成を判定するような「面」としての評価ではない。結果としてシールド機の硬質地盤への乗上げ・横滑りなどが生じることがあり、縦断・平面線形の確保が困難になる。この問題に対して、過去に大口径シールドにおいて、センサーを取り付けた特殊ビットを用いて切羽を面的に評価した事例¹⁾がある。しかし、大口径のスポーク型シールドに特化したものであり、中小口径や面板型シールドに適用できないなどの課題点があった。

そこで今回、シールドの径・種類に関係なく切羽の土質を面的に評価できる切羽可視化システムの構築を行う。さらに、ミニシールドに本システムを適用し、掘進途中の土質変化ならびに切羽地盤構成を評価した事例について報告する。

2. シールド切羽可視化システムの概要

本システムは、シールド面板に取り付けた加速度センサにより、切削時の地盤応答加速度の違いから、切羽の土質変化や地盤構成を把握する。

(1) 加速度センサ

図-1に加速度センサの取付位置、図-2に切羽可視化システム概要を示す。加速度センサは、カッターヘッドの最も外周に位置するビットの背面に取り付ける。計測は2方向測定し、X方向をカッター回転方向、Y方向をローラーカッター回転軸に対し垂直方向とする。なお、ノイズや機械振動キャンセル用として、隔壁部に1箇所加速度センサを設置する。加速度センサに接続されたケーブルはロータリージョイントを通じて、専用アンプに接続する。

(2) データの収集

計測の頻度 $\Delta \theta$ は、データ収集の時間間隔 Δt とシールド面板の回転速度 $r(\text{rpm})$ から決まる。今回のシールドは、小口径で回転速度が速いため、計測時間間隔を0.1sに設定して収集を行う。また、加速度センサの円周上の切削位置 θ° を把握するため、センターシャフトに接点スイッチを設置し、シールド天端をゼロ点として毎回通過時にリセット処理する。

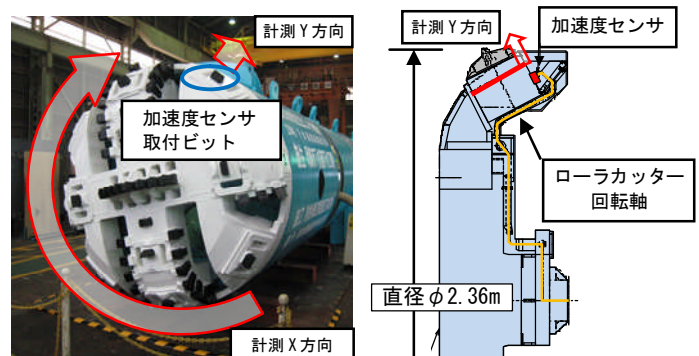


図-1 加速度センサ取付位置

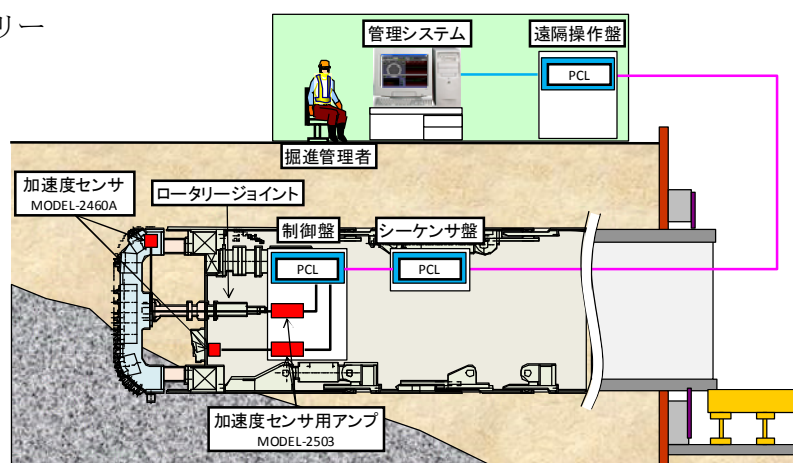


図-2 切羽可視化システムの概要

キーワード シールドトンネル、切羽、可視化、応答加速度

連絡先 〒108-8381 東京都港区芝 5-6-1 (株)奥村組 TEL:03-5427-8041 FAX:03-5427-8114

$$[\text{データ収集間隔}] \quad \Delta \theta = r/60 \times \Delta t \times 360^\circ$$

$$[\text{今回の計測間隔}] \quad \Delta \theta = 2.3/60 \times 0.1 \times 360^\circ = 1.38^\circ$$

また、専用アンプから出力された信号は、制御盤、シーケンサ盤を通過することで、その他の掘進管理データと同じ伝送システムを通じて、運転管理室に送られる。運転管理室では、計測された加速度値と掘進管理データを時系列で統合し、掘進リング No.で紐付したデータとして保存する。

(3) データの可視化

加速度データは、加速度－切削位置のグラフによる整理と、切羽断面を模した円の外周にリング状に配置した図を用いて可視化する。この方法は、過去の評価した事例¹⁾に倣っている。また、評価については、地盤応答加速度の違いにより、シールド切羽面の地盤構成をリング毎に行う。さらに、これまでの断面内地盤状況を分析し連続的に並記することで、今後掘削予定の地盤構成が予測可能になるとともに、計測結果を縦断方向に評価し、地質実績図の作成も可能²⁾となる。

3. 断面土質判別結果

本システムを下水道管渠築造工事のシールド工に適用する。シールドは、泥土圧ミニシールドで外径φ2360mm、内径φ1800mmであり、延長が1266.5mである。土質調査による土質縦断図を図-3に示す。この図より、発進地点は礫質土であり、路線後半になるにつれ風化岩へと変化し、到達地点では花崗岩になることがわかる。当現場に適用した計測の仕様については、過去の実績¹⁾をもとに計測レンジは0～2100gal、対象周波数帯は100～8000Hz、分解能を4000、最小計測値を0.5galと設定した。1リングあたりの計測は、掘進開始よりシールドジャッキ又は推進ジャッキストロークが100mm進んだ時点から開始し、5回転分計測する。

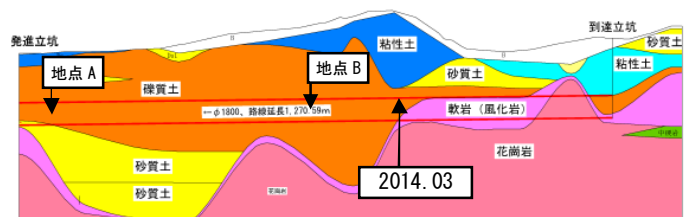


図-3 土質縦断図

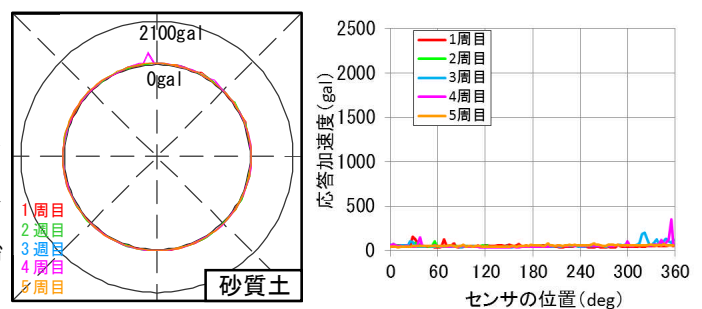


図-4 計測結果 (地点 A)

図-4は、図-3の地点Aにおける計測結果である。地点Aは、土質縦断図では礫質土であるが、排土の粒度分析結果では、2.0mm以上の礫含有率が23%の砂質土である。計測結果は、応答加速度が33gal～350galと、非常に小さな値を示している。一方、図-5は、図-3の地点Bにおける計測結果である。排土の粒度分析結果では、2.0mm以上の礫含有率が67%の礫層の卓越した地盤である。計測結果は、応答加速度が77gal～2085galと幅が広く、大きな値を示す。以上の結果より、計測結果と実際の土質分布は合致していると判断できる。

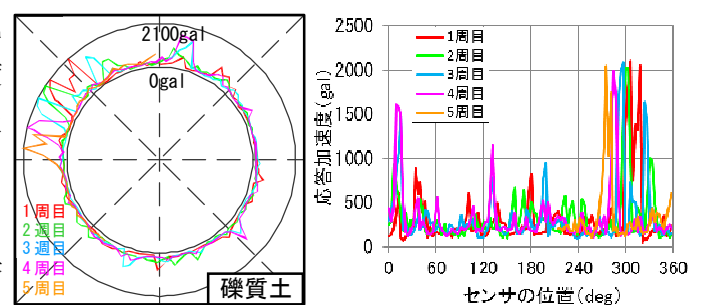


図-5 計測結果 (地点 B)

4. まとめ

汎用性の高い切羽可視化システムを構築し、実現場での計測を実施した。加速度計測結果から、掘削地盤の砂質土と礫質土の違いを明確に捉えた。また、結果を切羽断面を模した円の外周にリング状に配置した図を掘削中にリアルタイムで表示することで、地盤の変化を把握した掘進管理に役立てている。掘削予定の地盤構成予測、計測結果の縦断方向での評価については、その2で報告する。

参考文献

- 1)篠原他：シールド掘削時の切羽土質分布の判明，土木学会，トンネル工学報告集第10巻/pp.337-342，2000.11
- 2)松田他：シールド切羽可視化システムの構築と実現場への適用(その2)，第69回土木学会年次学術講演会，投稿中，2014.9