

解説

管推進工法での Sリード適用の歩み および範囲拡大の試み

たむら しんじろう
田村 晋治郎

アースナビ推進工法協会
技術委員長
株式会社エアール総研情報システム

1 はじめに

アースナビ推進工法協会では、光ファイバジャイロセンサによる方位検出技術を応用した掘進機位置推定システム「Sリード」を小口径施工中心に普及拡大すべく活動を続け、施工実績件数は100件を超えた。現在に至るまで「管の目地開き量の予測と補正」「緩衝材縮みの予測と補正」「計測結果の基準となる第1直線方位の推定精度向上」「折り曲げ損失の補正」など段階的に品質改良を重ねてきた。

現在は小口径施工で培った技術ノウハウを中口径施工へ活用するための評価試験を進めている。ここでは、小口径施工において残された課題と中口径施工への適用事例および今後の展望について紹介する。

2 小口径施工で残された課題

2.1 推進工法上の問題点

Sリードは、計測器本体が搭載された管の向きを検出して推進量から位置を推定する仕組みである。鉄道線路のように設置された軌道上を進む場合であれば、単に管の向きと推進量のふたつの要素の単純な計算で位置を推定することができる。しかし推進施工は、元押装置からの力を掘進機先導管まで推進管を経由して伝達する仕組みのため、曲線区間に入ると図-1に示すように

直線区間では管の中心にあった推進力作用点がヒューム管と先導管の折れ曲りにより管の端部に移動するため管の半径と推進力を乗じたモーメントが先導管の曲線の外向きに発生する。この外向きの力は、土質硬度や余掘り量、掘進機の特性などの要素が複雑に関係している。N値が大きい岩盤層など強度が十分な土質であれば、壁面の変形（崩壊）などがなく、検出した掘進機先導管の方位をもとに前回計測結果から現在の計測結果を推定しても誤差量は少ない。しかし、N値が小さい、または操舵効果を得にくい土質条件での壁面の強度が不十分な条件では掘進機先導管が曲線の外側に押し出される形になり、方位検出で求めた計測結果のみでの位置推定は誤差が生じやすいことになる。

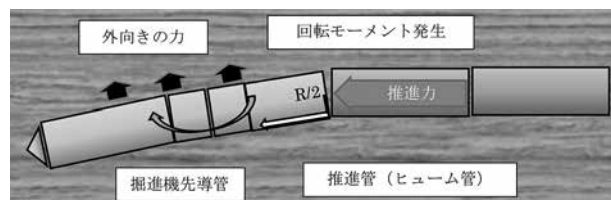


図-1 元押装置から掘進機先導管への力の伝達模式図

Sリードでは当初、この掘進機を外側に向かって押し出そうとする力の要素が考慮されておらず、掘進機が曲線の外側に向かって到達する事例がたびたび発生した時期があった。そこで、ある程度の実績件数が蓄積した段階で、Sリードの位置推定結果と実際の掘進機

位置（実測した到達位置、もしくはチェックボーリング実施で判明した実測位置）を分析した結果、この外側への掘進機進行とSリード計測結果に関しての法則に気づいた。具体的には、曲線区間では土質状況や操舵効果の状況によってSリード計測結果で示される軌跡よりも外側を掘進機が進行する傾向についての相違を確認した。この現象を「折り曲げ損失」と定義した。

その後、この折り曲げ損失をもとに施工実績データからN値が大きいもしくは地盤反力係数が大きい土質や掘進機の特徴などを数値化した参照テーブルを用意したうえで、掘進機が曲線の外側へ進行する度合いを予測して補正する仕組み「折り曲げ損失補正」を考案した。

2.2 「折り曲げ損失補正」適用後の状況

折り曲げ損失補正の適用以前は協会の設定する到達精度（=品質範囲内到達精度）を実現できず品質外到達は全体の13%存在していたが、適用後は全体の約6%（4件/67施工）に減少した（平成30年1月時点での集計）。

折り曲げ損失補正の適用以降に品質外到達の4件について分析した結果では、極めて軟弱な土質で3件、岩盤等の極めて硬質な土質で1件であった。現在では、このうち極めて硬質な土質の場合については原因が明らかとなったため対策を講じて改善している。極めて軟弱な土質施工については、掘進機の動きを直接推定可能なほかのセンサの適用等について検討を進めている。さらに計測精度を向上するために、Sリードをお使いいただいている各オペレータにヒアリングを行い、意見やアドバイスを得て新機能搭載に向けた有益な情報を収集している。

3 中口径施工での適用評価事例

小口径施工で培った実績をもとに、平成29年夏から中口径施工での評価試験を開始した。本稿を執筆している平成30年3月時点で3件の評価試験が完了している。ここでは「中口径施工向けSリード」の概要とともに、平成29年10月から11月にかけて埼玉県内と愛知県内で実施された施工での適用評価事例について紹介する。

3.1 中口径施工向けSリード

中口径施工向けSリードは、小口径施工向けSリードに中口径用新機能を備えたものである。中口径施工向けSリードでは、表計算ソフトを使用して行っていた管内測量データ管理を図-2のようにデータ入力を含む簡単な操作で座標計算、履歴管理ができるようにした。これにより煩雑な管内測量データ管理を簡便に行うことが可能となる。

また、入力されたデータをもとに計算される位置情報を活用した各種シミュレーション機能を提供するシステムを導入した。

区間名	距離(m)	角度	分	秒	X座標(m)	Y座標(m)	層数(m)
TP0~TP1	13.008	0	5	40	13.008	0.021	21

マシン名	距離(m)	角度	分	秒	X座標(m)	Y座標(m)	層数(m)
マシナーゲット	6.790	179	27	50	6.218	0.074	74
MF	4.700	179	45	20	8.308	0.034	34
1F	1.869	179	46	30	11.139	0.026	26

図-2 管内測量データ管理画面

3.2 施工適用事例

平成29年10月から11月にかけて、埼玉県さいたま市でのコマンド工法の呼び径800掘進機による施工にSリードを適用した事例を紹介する。コマンド工法の掘進機の適用事例は本施工を含めて2件存在する。

(1) 施工路線線形と掘進機へのSリード搭載について

本施工の施工計画路線図について図-3に示す。第1直線が18.7m、その先にR=70mの左曲線が14.7m続き、その後は到達まで66mの直線が続く路線線形であった。

また、本施工に使用したコマンド工法の呼び径800掘進機へのSリード搭載モード図について図-4に示す。Sリードは掘進機先導管に機械加工を施して取付けを行った。掘進機先導管とSリード取付け管の取付け精度に誤差が生じた場合には位置計算の過程において誤差が生じるため、高い取付け精度が必要である。