

解説

光ファイバジャイロを搭載した Sリード開発の経緯と施工事例

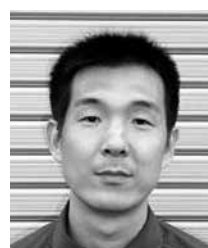
やまだ としのり
山田 俊則

アースナビ推進工法協会
事務局長



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
(㈱ジェイアール総研情報システム)



1 開発経緯と協会設立まで

小口径管推進工法における曲線施工では、先導体（掘進機）に装着する電磁波発生装置から放出する電磁波を計測することにより位置を特定するロケータ方式が主に活用されてきた。しかし、土中内に埋設物が多く交通往来の激しい都市部の施工、また河川横断等の難施工が増加したことで、ロケータによる計測手法が適用できない施工も増えてきた。そのため、新たに管内に計測ロボットを走行させてその走行軌跡から先導体（掘進機）先端の位置を計測するシステムや、プリズム屈折機構を管内に装着してレーザ光により位置を計測するシステムなど様々な計測装置が開発された。

そのような背景の中、(公財)鉄道総合技術研究所と㈱ジェイアール総研情報システムは、施工関係者から次のようなコンセプトを実現する新たな計測装置の開発依頼を受けて共同開発に着手した。

【開発実現コンセプト】

- ・先導体（掘進機）に装着して同時進行して計測可能
- ・簡単な操作で誰でも扱えるシステム

共同開発を行った2社は、鉄道関係の研究開発やシステム開発には知識とスキルを持っていたが、小口径管推進施工に関する知識やスキルが皆無であった。そのため、まずは施工関係者の協力を得て試作機を製造し

山口県下関市の現場施工に投入した。施工開始から施工終了まで実際に推進施工を行いながら試作機の評価試験を行った。試験期間中は、現場に常駐して掘削機関係者やオペレータなど施工関係者の意見やアドバイスを収集した。現場で活用される計測システムを開発するには、現場の意見を聞くことが最も重要な事であると考えたためである。

施工現場に向いて実際の推進施工の作業を観察することで機能や使い勝手についてのヒントを得ることができ改修をおこなうことができた。その後、数回の評価試験を経て2012年にアースナビ推進工法協会が設立された。

2 位置算定の原理

Sリードは、光ファイバジャイロで計測した鉛直方向と地球の地軸を基準とした方位角と推進距離から幾何学的な計算で位置を求める。位置算定原理図を図-1に示す。ここでは測定原点P0を基準に、現在の先端位置をP1、次の時点の位置をP2、…、Pnとする。

実際の管が通っている掘削軌跡に対して測定原点P0の座標が既知で2点間距離（推進距離に相当）をLとすると、管の真北からの角度 θ_1 がわかれば、現在の管先端位置P1（南北位置、東西位置）を式（1）の

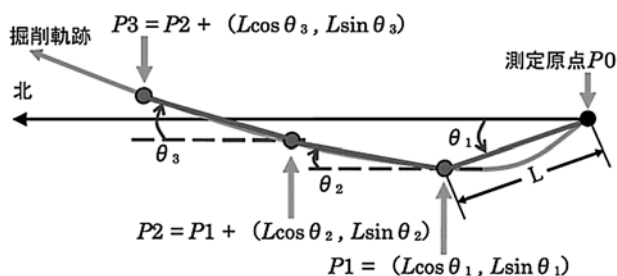


図-1 位置算定原理

形で表せる。

$$P_1 = (L \cos \theta_1, L \sin \theta_1) \dots\dots\dots (1)$$

さらに、管を推進した場合、前回の原点が位置P1にくるのでN番目の先端座標は式(2)により、掘削原点からの積算で求めることができる。

$$P_N = P_0 + \sum (L \cos \theta_i, L \sin \theta_i) \dots\dots\dots (2)$$

なお、実際の計算では機体の傾きを傾斜計で計測3次元空間での計算に拡張している。Sリードは、推進開始点から最初の曲線部(BC)までの直線の方位(初期方位)と施工中に検出した方位との差分で位置計算を行う相対方位の考え方が基本となっており、第1曲線開始地点では施工開始に設定した初期方位の妥当性を再検証して問題があれば補正する。また現場のニーズに合わせて、他計測手法との併用も行うことも可能である。

3 Sリードの特長

3.1 専用管を先導体(掘進機)に接続するのみで計測可能

図-2にSリードのシステム構成図を示す。開発コンセプトに従って、Sリードを搭載した管を先導体(掘進機)の先導管に組み込む形で使用する仕組みとした。管内に装着されたSリード計測器本体から方位計測情報を出発点坑側にデータ送信して位置の計算と結果の表示を行っている。

Sリード計測器本体は掘削機の構造に合わせて写真-1および写真-2の2タイプが存在する。写真-2のタイプはレーザー光を通す孔を確保したものであり、Sリード搭載管よりも前方にレーザーターゲットが存在する先導体(掘進機)に装着する場合に使用されている。

計測のための給電およびデータ通信の配線については現場関係者の要望から機能を1本に集約したが、Sリード計測器本体への給電を直流で行うため、推進延長増加に伴う供給電圧のドロップが問題となった。そのため、評価試験終了後にケーブルの電気的特性を調査し、本数増加による電気的特性変化から自動的に供給電圧を自動制御する仕組みを開発した。従って、施工関係者はケーブルの電圧ドロップを気にすることなく、ケーブルを継ぎ足すのみで計測が行える。

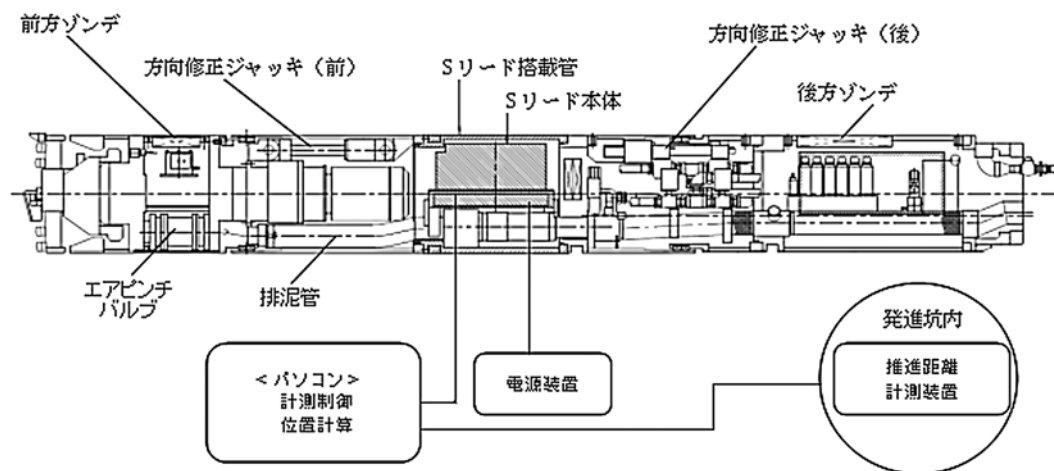


図-2 システム構成図