

総

論

測量技術の挑戦

自動測量技術の現状と課題

いなば とみお
稲葉 富男

(株)ソーキ常務取締役
(本誌編集委員)



1 はじめに

推進工事にとって測量技術は不可欠なものである。測量の限界が推進の限界になっていると言っても過言ではない。この測量技術が今日あるのは先人たちの不断努力によるものであり、ここでは測量技術の過去を振り返るとともに現在の測量技術について述べる。特に自動測量技術について概要を述べると共に、センサの考え方・誤差の要因・エラーの原因さらにシステムとして抱える今後の課題をまとめる。

2 推進測量の歴史

2.1 大中口径

(1) 手動測量時代

1980年以前はトランシットおよびレベルしかなく、狭い管内で苦しい姿勢による人力測量が行われていた。測量結果は方眼紙にプロットし掘進機(先導体)の方向を判断していた。

(2) レーザの出現

(直線 セオドライト内蔵)

1980年代になるとレーザ発光器を搭載したトランシットが開発され、立坑から推進基準線をレーザ照射するこ

とで位置管理が可能になった。このレーザ光線を利用することでリアルタイム計測が可能となった。この方式は直線施工で現在も使用されている。

(3) 自動測量時代

1990年半ばからモータ駆動方式の自動追尾トータルステーションが各測量機メーカーから発売され推進測量に応用された。今までの狭い空間での苦渋作業からの解放と、精度向上、計測時間の短縮を目指したシステムが開発され、長距離・曲線施工を可能にした。

2.2 小口径

当初はレーザ光線を利用した直線施工のみに限られたが、1990年代半ばから、電磁波、走行台車、ジャイロ、カメラ方式が開発され現在に至っている。特に近年はこの分野での開発がすすんでいる。この小口径管推進測量システムは工法と一体化されたものが多い。

3 推進測量の特長および求められる性能

3.1 測量システムの特長

推進工事の測量は他の土木工事の測量とは違う次のような特長がある。またそれらが推進自動測量システムの障壁を高くしている。

- ・管内に基準点を置くことができない(複数台の制御が必要)
- ・非常に狭い空間での作業
- ・解放トラバース測量(検証測量方法が無い)

(1) 複数台の制御

推進工事は管体そのものが移動するために管内に基準点を設けることができない。そのため立坑に設置した基準点から管内に設置した中間基準点を順次計測して掘進機(先導体)の位置を計測する必要がある。この時複数台(最大29台)の測量機の動きをコントロールする必要がある。特に計測時間を短くするには並列での測量が必要となり制御が複雑となる。

(2) 非常に狭い空間での作業

推進工事は狭く長い空間である。人の管内移動が極端に制約され、システムの動きを実際に見て確かめることができないため、エラー処理等が非常な苦渋作業となる。

(3) 検証測量方法が無い

測量精度の検証方法として、人力測量との比較を行うのが通常である。ところが推進管内での人力測量は、非常な苦渋作業でまた時間が掛かるので、実際上はできない。

3.2 推進測量への要求仕様

推進の自動測量システムに求められる技術的課題は表-1の通りである。

表-1 技術的課題

項目	内 容
測量精度	到達精度 5 0 mm程度が必要
計測時間	計測時間が短く、施工サイクルタイムに影響を与えないこと
大きさ	狭い管内に設置が可能
耐久性	管内の環境に耐えること
取り扱い	簡単であること
メンテナンス性	容易にできること

4 測量に用いるセンサ

4.1 基礎技術

推進の測量に利用される基礎技術は次の通りである。

- ①水レベル（高さ）
- ②レーザ（直線利用 折れ線対応）
- ③TS（トータルステーション）
- ④電磁波（地上で感知 到達で感知）
- ⑤ジャイロ
（掘進機（先導体）に固定 走行台車）
- ⑥画像処理（カメラ）

4.2 センサの種類

自動測量を行なうには何らかの計測センサが必要になる。推進の自動測量システムのような特殊な計測の場合、既存のセンサを使用する場合と、新たな計測方法の実現のため、センサ開発から行なう場合がある。それぞれの特長は次の通りである。

(1) 既存センサ利用の場合

自動追尾式のトータルステーションやジャイロが既存センサである。これらはメーカ製品でありそれぞれの仕様で製作されている。トータルステーションは測量機であり、角度および距離の計測にたいして精度は保証されている。ジャイロセンサは真北に対する角度を算出する。

これら既存センサを利用した場合、推進測量に対応させるための周辺機器の開発、制御ソフトの開発が必要である。またセンサ自体が既存製品であるため、大きさ・性能等は変更することはできない。市販製品であるので、性能に対するコストパフォーマンスは高いといえる。しかしセンサメーカの製品供給戦略という、大きな爆弾も抱えている。メーカがセンサの供給をやめ

てしまえば生産終了後何年か後にはシステムを動かすための機械がなくなるのである。

4.3 センサを開発

センサを独自に開発する場合でも、全くオリジナルな技術を開発することはまれで、通常は、計測の基本ユニットを組み合わせたり、改良を加えたりする場合が多い。基本ユニットとしては、距離計、角度計、レーザ技術、通信技術、その他いろんな分析技術等を組み合わせて開発する。それらはパーツとして提供されていることが多いので、いろんな形、性能の組み合わせが可能となる。ただでき上がったセンサの性能の評価は開発者自らの責任で行なう必要がある。小口径管推進の計測システムには、掘削方式および空間の大きさおよび形状から独自センサを使用したものが多く見られる。電磁波探知技術、レーザ光線を折り曲げてつないでいく計測技術、自動走行台車による計測技術、カメラ画像による計測技

術が独自のセンサを使用している。

この独自センサ技術による計測システムの開発には、計測システムの構想から基本ユニットの性能評価、アセンブルされたユニットの総合評価等、非常に大きな労力、幅広い技術者の確保と多大な開発費が必要となる。性能に対するコストパフォーマンスは低くならざるを得ない。

5 測量技術

推進工事は、 $\phi 800\text{mm}$ 以上の中口径管とそれ以下の小口径管に分かれる。そしてそれぞれに要求される技術内容が異なり、測量システムも全く違ったものとなっている。大中口径は管内へ人が入ることが可能であるが、小口径は管内へ人が入ることができない。それぞれに適した測量システムが開発されている。

5.1 測量システムの分類

表-2に測量システムの分類を示す。

表-2 測量システムの分類

用途	管径	平面位置	高さ	採用工法
直線	すべて	レーザ光線方式	液圧差法	すべて
		トータルステーション方式	同左	すべて
曲線	大中口径管	ジャイロ方式	液圧差法	すべて
		地上電磁波計測方式	液圧差法	アルティミット工法 エースモール その他
	小口径管	レーザ光線連結方式	液圧差法	エースモール
		走行台車方式	液圧差法	マイクロ工法 ベル工法
		カメラ方式	液圧差法	カーブモール ジャット工法 ジェッピー
		ジャイロ方式		Sジャイロ
その他	補助工法	地中電磁波計測方式	—	ネオジャスト