

解説

進化発展した技術

暗中模索、どこへ到達、最新技術が解決

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

推進工事において測量技術は難しい技術の一つである。立坑内の基準点を頼りにその何十倍、時には何百倍の距離の開放トラバース測量である。と同時に、非常に狭い空間での測量作業が要求される。この測量方法として、人力測量や数多くの自動測量が開発さ

れてきた。ここでは自動測量の最先端の技術を紹介するとともに、現状の課題、特に開発の難しさについて述べる。

2 大口径管と小口径管の計測技術

推進工事は、 $\phi 800\text{mm}$ 以上の大口径管とそれ以下の小口径管に分かれる。そしてそれぞれに応じた品質要求

があり、計測システムも違ったものとなっている。特に小口径管は管内へ人が入ることができないので全自動システムが要求される。大口径管は多少人が介在しても可能である。

3 計測システムの現状

3.1 直線施工時のレーザ光線方法

直線で距離が短い場合の計測システムは、平面はレーザ光線、高さは水レベルを採用するのが一般的である。これは大口径管、小口径管ともに広く使用されている。

ところが、レーザ光線での計測が難しくなるような長距離や、カーブが含まれてくると次に述べるような自動測量が採用される。

3.2 大口径管の自動測量

(1) トータルステーション方式

$\phi 800\text{mm}$ 以上の大口径管では自動追尾トータルステーション方式が採用される。これを自動整準台の上に配置し、通信システムを通じて管内の測量機を坑口から自動制御する方法である。センサとして用いるトータルステーションは通常の測量に用いるものであり、測量機メーカーの工場生産品の



写真-1 管内設置状況

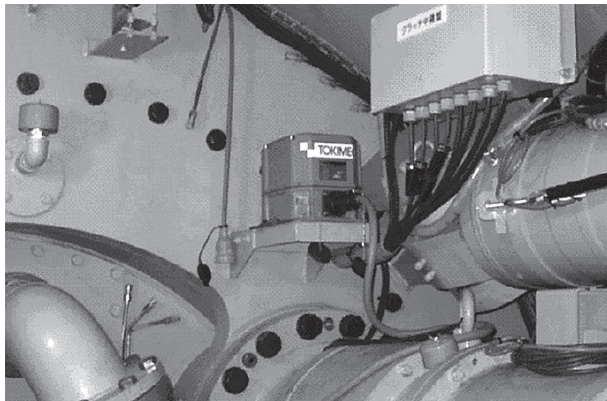


写真-2 ジャイロ装置 (出典：機動建設工業(株)HP)

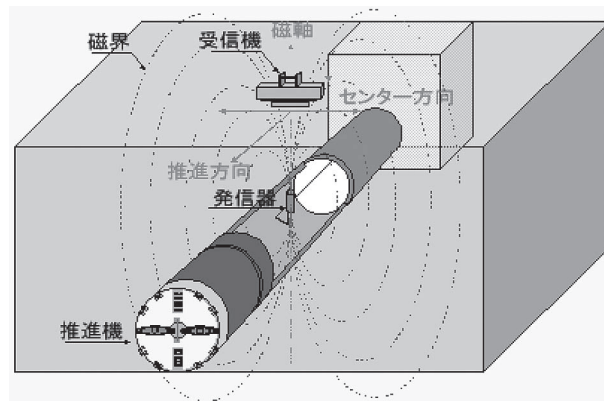


図-1 キャッチャーの原理 (出典：機動建設工業(株)HP)

ため、品質も安定し、測量精度も保証されている。計測システムとしては、工法に依存しない独立したものであり、機器の設置空間が確保できれば工法の制限は受けない。

(2) ジャイロ方式

マシンに精度の良いジャイロを取付け、ジャッキストロークによる進行とジャイロの角度変化を積分することで位置管理を行なう方法である。自動測量としては相対測量であり定期的にマシンの絶対値を計測する必要がある。

3.3 小口径管の自動測量

小口径の計測システムは、非常に狭い空間の中に機器を納める必要がある。そのため計測システムは工法と一体となったものが多い。

(1) 地上電磁波計測方式

地中のマシン等に設置された発生装置からの電磁波を地上で受信し、地下のマシンの位置を把握するものである。工法に対する自由度は広く様々な場面で採用されている。また発生装置の取り付け位置、個数等に改良を加え精度向上も進んでいる。欠点としては、地中に障害物がある場合や、施工深度が深い場合に測定ができなくなったり精度が悪くなる。また交通量の多い道路や、河川での計測は難しい。高さの管理は液圧差法を用いる。

(2) レーザ光線連結方式



写真-3 モールキャッチャー測定器

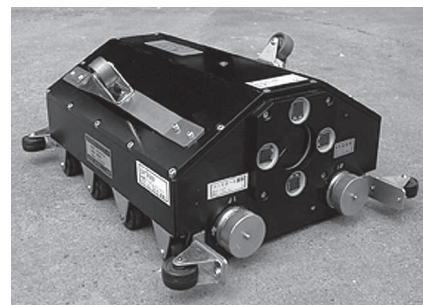


写真-4 プリズムユニット (中間)

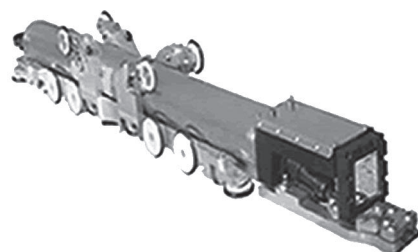


写真-5 測量ロボット (出典：マイクロ工法HP)

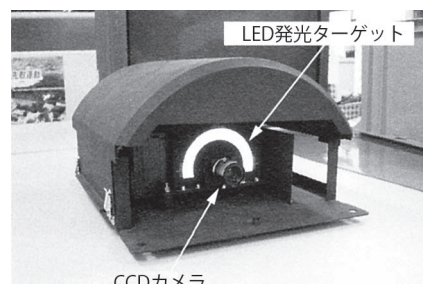


写真-6 カメラユニット

発進立坑から発信したレーザ光を掘進管内に配置した複数の中間ユニットにより順次屈曲させ、マシンに取付けられているターゲットを検出し水平位置を計測する方式である。高さの管理は液圧差法を用いる。

(3) 走行台車方式

自走式計測ロボットを発進立坑からマシンの間を走行させる方式である。走行ロボットにはジャイロおよび加速度計が搭載されており走行時に取得する距離および角度の値を積分することで、掘削機先端の位置、方位および施

工線形を求める。高さの管理は液圧差法を用いる。

(4) カメラ方式

背中合わせに設置したカメラ装置を、推進管内に複数台設置し、前後のカメラ装置に取付けたターゲットを撮像しその画像を解析することで、カメラ相互の水平角を求める方式である。カメラ相互の距離は別の手段で計測することで、先端のマシンの水平位置が算出できる。高さの管理は液圧差法を用いる。

4 推進の計測システムに要求される項目

推進の計測システムはその目的および現場条件から次のような条件が必要である。

- ①測量精度：到達精度50mm程度が必要である。測量誤差は、距離に応じて大きくなるので、長距離施工時でも所定の精度確保ができること。
- ②計測時間：計測に要する時間ができるだけ短く、施工サイクルタイムに影響を与えないこと
- ③大きさ：狭い管内で設置するという制約がある。
- ④耐久性：湿度が高い環境で長時間拘束される。
- ⑤取扱い安さ：複雑な構造のものは不適で、取扱いが簡単であること。盛替え作業が簡単で短時間に完了する必要がある。
- ⑥メンテナンス性：推進の工事は割と短期間に完了するので、工事完了後メンテナンスを行ない精度を確保する。これが簡単にできることが重要である。

5 計測システムの今後の課題

5.1 開放トラバース測量からの脱却

推進工事の測量方法は、立坑からの短い基線を頼りにした開放トラバース測量である。この計測方法では、測量そのものの精度が不明確となり、常に「何処に到達するのだろうか」という不安を持ちながらの施工となる。この不安を解消するには何らかの方法で確認をすることが必要となり、その有力な候補として到達立坑からの電磁波による誘導方法が提案されている。これについては後で詳しい説明を行なう。

5.2 リアルタイム計測

現在リアルタイム計測が可能な方法としては、直線施工時のレーザ光線方

法やジャイロ計測方法がある。このリアルタイム計測は掘進管理上非常に有利な技術である。ところが、現在の推進工法の計測システムの多くは、掘進中は計測するのが難しく施工を中断して計測するバッチ処理計測である。今後はこのリアルタイム技術の開発が必要と考える。このリアルタイム計測を実現するには、短時間で計測結果が出せる手法が有効であり、写真測量技術がこれに近いと考える。

5.3 多様な管種への対応

大口径管で用いられているトータルステーション方式は、赤外線誘導方式により隣のトータルステーションを追跡し計測をしている。この誘導方法は非常に安定したものであり条件が悪い管内でも誤作動が起こりにくい特長を持つ。しかし管内が反射するような材質、例えばレジン管のような場合、誘導光が乱反射を起こし測定不可能となる。これに対応するには直線性の高い追尾方法が優れている。いわゆるトータルステーションのプリズムロック方式である。この種のトータルステーションへの対応も今後多様化する管種への対策として開発する必要がある。

5.4 計測技術の独立

小口径管の計測システムは工法との関係が非常に深く、工法=計測システムという関係が成立している。ところが計測システムはそれぞれに特長があり、土被りが浅い場合は良いが深くなると精度確保が難しいものや、線形条件が整うと非常に高精度で計測できるが勾配が大きくなると計測そのものがうまくできない。と言ったようなことが起こる。今後はこのようないろんな条件に対応ができる様に計測技術が工法から独立することでさらなる発展が期待できる。

6 使用するセンサと計測システムの開発

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、全く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。

6.1 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・性能等に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。

6.2 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。

7 推進測量システム開発の問題点 (なぜ進化が遅いのか)

推進工事の背景を考え、推進の計測管理システムの開発を行なう場合の問題点を抽出する。

7.1 技術的な問題

推進の計測システムは他の工事のシステムに比較して格段に難しい。管内に基準点を設けることができないので常に立坑からの計測となる。この時マシンの位置を計測するには見通し範囲内に次の計測点が必要となる。そのため恐ろしい数の中間ユニットが必要と

なる。そのため次のような課題を抱える。

- ①多数のユニットを有機的に繋げる必要がある。
- ②短い基線で多数のユニットを繋いで、高い精度が要求される。
- ③狭い管内での計測作業である。

7.2 金銭的問題点

工事に対する計測ユニットの数が莫大になる。それに伴い工事金額に対する計測システムの金額の比率が非常に高くなる。開発に関しても特殊な環境下での計測システムなので既存のシステムの流用が難しく、独自開発をせざるを得なくなる。制御プログラムも多数の機器を繋ぐ複雑なものになり高額になる。

トンネルやシールドに比べて市場規模が小さいため全体工事金額が少なく、計測システム費の償却に時間がかかる。時には償却しない。

7.3 新規参入が難しい

そんなに大きくない市場規模や技術的難しさ、さらに金銭的負担が大きいことが新たな業者の進出を妨げる要因となっている。その結果、競争原理が働きにくく、技術開発に関しても「今、計測できているシステムがあるのでわざわざ新しいものを作る必要が無い」的な考えが支配的になり、結果開発スピードが落ちる。

計測システムの開発は特定のマンパ

ワーで可能となるが、開発後の実際の運用には、計測システムを維持するためのメンテナンス体制作りが重要となるが、これに相当なパワーを必要とする。

8 課題を克服する新しい試みおよび提案

推進の計測システムは、その難しさ故新しい発想が生まれるのが難しい。そんな中であって、システムの課題を克服しようとする新たな試みが芽生えつつある。ここではそのような事例について述べる。

8.1 ネオジャスト

(ヤスダエンジニアリング)

推進の計測システムの最大の弱点である「開放トラバー測量」からの脱却を目指せる技術である。

電磁波をマシン先端から推進方向に発信させ、受信コイルを到達立坑のエントランスの中心に設置することで、推進の最終目的地点である到達立坑のエントランスの中心に、マシンを導き到達させるシステムである。電磁波の磁力線(磁気力線)の方向と強さ(ベクトル)を測定し、磁場強度から磁力線の方向をベクトルで得る。このベクトルを解析し、磁力線の指し示す方向にマシンを操縦していきさえすれば、マシンは磁石に吸い付けられるように目的地点に到着する。到達20m手前よ

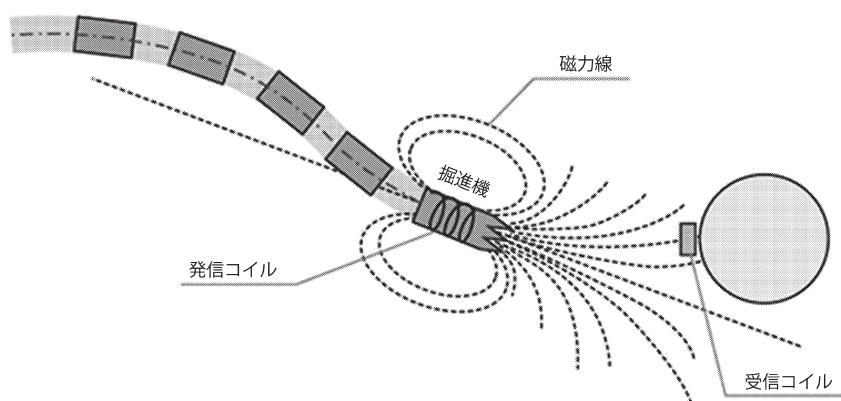


図-2 平面図

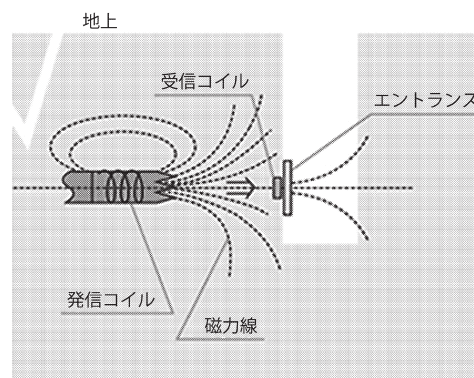


図-3 断面図 (出典: ジャット工法協会)

り電磁誘導計測装置(ネオジャスト)を作動させ、測量による計測と併用する。

ネオジャストはシールド工事および推進工事全般(泥水、土圧、泥濃)のあらゆる現場で利用できる。今後この技術の精度をより高めることで今までに例のない新たな推進工事のあり方が可能となる。

8.2 計測システムの独立

特に小口径管において、計測技術は工法と一体となって開発が行なわれている。それぞれの掘進施工方法による、マシンの構造、排泥方法等による空間の占有の仕方や操作方法が先にありそれに適合するシステムとなっている。これはある面仕方のないことである。しかし計測システムには長所・短所がありその長所を生かすことで更なる進化があるのである。ここでは提案にとどめるが、計測システムを独自の技術として独立させるというのも一つの方向である。

9 計測システムは今何歳

計測システムは生き物である。開発期、成長期、安定期、そして終わりを向かえる。現在、大中口径管推進で用いられている、トータルステーション方式のシステムは安定期の後半にあると思う。まず計測できるという開発時代から、いろんな機能を追加してより便利に計れる時代を過ぎ安定期に入っただが、その後の進化のスピードは鈍っている。また時の経過とともにセンサとして使用している測量機の代替わりが起きているのである。

小口径管推進で使用されている計測システムは、自社開発センサが多く、開発期、成長期、安定期といろんな時代のもが存在すると思う。今後の開発によりいろんな可能性を秘めている。

10 まとめ

推進工事の歴史は60年であるが、計測システムが開発されてからは約15年である。この15年という長さはシステムにおいてはちょうど1サイクルぐらいと考えられる。つまり世の中のセンサの社会的寿命が来て、新しいものへ変わる周期である。そのため今の時期は、既存の計測システムの延命化を計るとともに、新しいセンサへの移行する必要がある。また全く新たな考え方の新しい計測システムの開発も重要課題である。

推進の計測システムは推進工事があって初めて成り立つものである。今後の推進工事の動向に大きく影響されるので、推進工事そのものが社会発展に寄与し、新たな展開をすることで、計測システムも新しいものへ挑戦できると考える。