

解説

大口径管推進における自動測量の意義

ふなばし とおる
船橋 透
機動建設工業(株)
関東支店長
(本誌編集委員)



1 はじめに

今日、推進工事では、水平線形において曲線を含む施工が多くなっています。また、電力などにおいては、縦断曲線も付加され、多種多様な線形が施工されています。その測量方法は、トータルステーションを用いた開放トラバース測量で行い、掘進先端の位置確認を左右上下の誤差から掘進機の修正を導き出しています。今では、その測量に自動測量システムを用い、長距離・急曲線施工は確立され、各工法協会では、それ以上の付加価値を見出すために様々な過当競争のなかで生き残りをかけているのが現状であり、土質変化や施工環境に対応しながら推進力や推進精度のリスクと隣り合わせで日々奮闘しています。今日では、当たり前のように

測量が自動化になっていますが、このところ、結果だけが顧客満足重視となり、計画、プロセスが蔑ろとなってしまうような危惧を感じません。そこで、本稿では、推進工事における昔の測量方法など自動化されるまでの軌跡をたどり、今や自動測量システムが推進工法の発展に寄与してきたことを改めてご理解いただくために記することにしました。

2 推進の測量の昔話

2.1 刃口式推進では塩ビ管を路線に挿入

推進工法の歴史は、刃口を用い、開放された切羽を人力で掘削し、トロバケットに積み込み、坑外へ搬出したのが始まりでした。その頃は、今のような地下埋設が

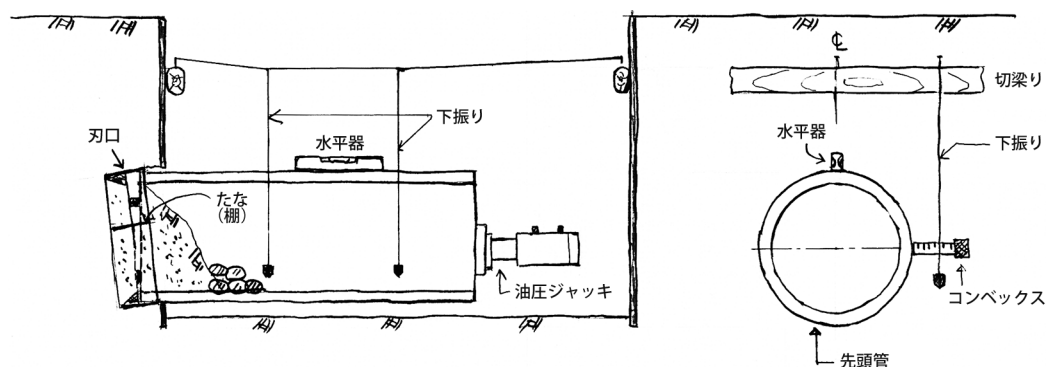


図-1 刃口式推進工法の初期推進状況¹⁾

輻輳するようなことはなく、関東地方では、ローム層をまさに刃口式推進に適した土質で、地下水もない施工状況において行われていました。線形も直線で、100mを超えるようなこともなく、発進立坑から、トランシットで視準可能な距離を測量していました。当時、立坑内に地上の法線に移設し、その移設した切込み溝に合わせて水系を張り、その水系に下振りをぶら下げ、その二本の水系の延長を目視し、先端切羽に設置したバカ棒を視準するやり方でした。とても原始的であり、手前の水系が太くぼやけて見えたのが今でも思い出します(図-1)。距離が長くなればセオドライトを据付して、切羽先端のずれを確認しながら先掘をする職長に結果を言い、あとは職長任せで行っていました。時々、刃口式推進工法で曲線推進も施工するようになり、地下埋設がない路線では、曲線以降の路線を地上から推進管1本間隔にボーリングマシンにて削孔し、その穴に細い塩ビ管を落し入れ、掘進中その塩ビ管を目指しながら推進をしていく方法をしていた時代もありました。この方法は、推進中の管内開放トラバース測量を省くためでした。当然、高さの管理は、レベル測量はおこなっていましたが、ある意味、安心して推進できた方法と言えます。

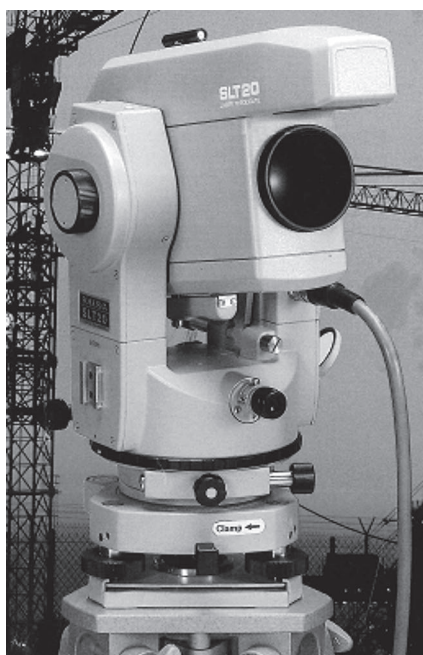


写真-1 レーザトランシットの一例 (SLT20)²⁾

2.2 密閉式推進では、トランシットと巻き尺で測距

それから、刃口式では不可能な地盤（湧水や崩壊性の高い地盤）を推進するために密閉型推進工法が採用されるようになり、その代表が泥水式推進工法です。その密閉式推進でも曲線施工が行われるようになりました。当時の曲線測量は、セオドライトと巻き尺を使用し、管内の距離の測量を巻き尺にて測距していたため、多少の誤差が生じていたようです。

その後、トランシットが進化し、光波距離計を備えたセオドライトが開発され、これによって正確な管内を正確な開放トラバース測量ができるようになり、その管理において、ロールの方眼紙に測量結果を書き入れ、次の掘進機の動きを予想し、掘進機の方角修正を決定指示していたのを思い出します。

このように、光波距離計によって測量誤差が小さくなり測量精度が向上してきましたが、徐々に、急曲線施工や複合曲線と共に、長距離推進となって、測量計算を電卓からポケコンに変わっていきました。計算結果はすぐにポケコンが出してくれますが、長距離施工になればなるほど、測量時間にかかる労力が負担となり、推進サイクルの中で、測量時間のウェイトが大きくなって日進量が低下していくのを痛感するようになってきました(写真1～3)。



写真-2 光波距離計²⁾
(トプコンHPから)



写真-3 シャープのポケコン (PC-1501 + CE-150)²⁾

2.3 画期的な自動測量システムであったが、あらゆるエラーを克服し、わが社では今や必要不可欠な存在

このような時代背景を不安に思いながら、出会ったのが自動測量システムでした。私と自動測量の出会いは、東京都水道局発注で、呼び径1200を土圧式推進工法にて長距離推進を行った時でした。当時の自動測量システムは、トータルステーションの真上にRTM（リモートターゲット）を乗せたもので、自動正準台、測量機本体、RTMとの構成によって高さ約60cmで、呼び径1200の管内に据付けたときの存在が大きく印象に残っています。当時は、自動測量システムとして確立させようとの意欲もあり、測量システムのエラーが続出する中で、推進完了後にみんなで居残りし何回も測量を繰り返し、システムの改良・改善をしていたことを思い出します。その苦労が実り今日の自動測量システムが確立されたと思うと感無量です。

3 自動測量システムの現状

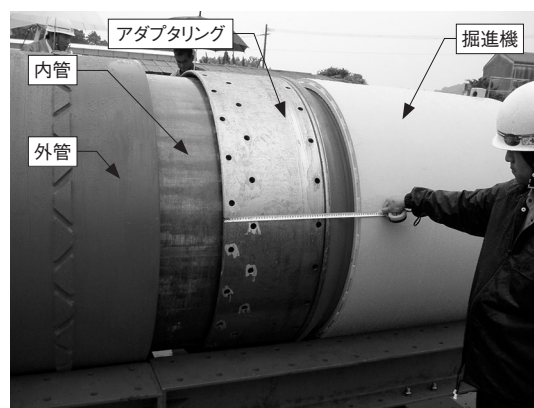
3.1 されど自動測量システム

推進工事では、平面線形、縦断線形と現場によってさまざまな管径や施工条件が異なります。そのような、条件変化に伴い、測量機器の据付台数や位置を増設し、移設していかなければなりません。複合曲線施工では、推進工法では、推進管が発進から順番に推進管が追随する中で、曲線が左右交互にある場合、測量機械視準が容易な場所は管内ではカーブの外側です。従って、右カーブでは管芯より左側、左カーブでは、管芯より右側に設置することにより、より測量機器の間隔を遠ざけることができると、機械の台数を節約することが重要です。これは、コストに反映するためです。しかし、大口径管推進工事では、容易に移設ができますが、呼び径800のような管内では、その機器を頻繁に移設することは過酷な作業となってしまいます。このような場合は、移設なくても測量可能な台数を設置していかなければなりません。従って、測量台数が多くなることは、いくら呼び径800で小さいとはいえ、自動測量にかかるコストが増大となってしまうことが逆風になることもあります。また、管径が小さいと、測量中に機械的なエラーが発生

した場合は、その機械のところまで中に入り、対処しなければなりません。その不都合な位置が、発進から遠い場所であれば手前の機器をかわして中に入らなければならない、非常に過酷な作業となってしまいます。しかし、デメリットだけではなく、自動測量を使用することにより、測量時間の短縮や測量者を削減できると同時に日進量が確保できるため、トータルコストパフォーマンスに貢献できることが最大のメリットと確信しています。

3.2 超長距離推進で直線推進施工

当社の推進施工実績で最長距離は、呼び径1000にて、1スパン $L=1,265\text{m}$ を埼玉県比企郡吉見町～吹上町（荒川横断）を直線昼夜で施工しました（写真－4～6）。この工事では、掘進機先端にジャイロコンパスを搭載し、リアルタイムに掘進機の姿勢を監視し、自動測量機器は、20台使用しました。超直距離推進での課題は、電圧降下の懸念を払しょくするために管内の測量機



写真－4 外管から内管の抜け出し作動³⁾



写真－5 1スパン1,260mを施工した二重管推進工法の掘進機³⁾

器の電圧の確保でした。前方650m分を発進から200Vで賄い、電灯（蛍光灯）線から設置個所にトランスを介し100Vに変換して自動測量の電源としました。残りの600mは別な電線を引き込み、同様に200Vから100Vに変換しました。立坑の法線のチェック測量は、ジャイロトランシットを使用し600m、900m、1100m時点と3回行いました。推進工事は順調に推進していましたが、1000mを超えたところから、自動測量システムに不都合が生じ始めました。

それは、制御機器が全く動

かなくなる症状となり、原因究明に苦慮したのを記憶しています。開発者の(株)ソーキも原因究明に戸惑い、あらゆる対応を検討し、対処してみました。具体的な対策は、

- i 電圧降下確認
- ii 専用ケーブル交換
- iii 制御ボックス交換等

行いましたが、原因がわかりませんでした。

最後に、200V(RST)3相を単相配線しなおしたところ、制御システムが漸く作動しシステムが正常に作動するようになりました。

この時は、確たる原因がわからず、電気の性質の相違による制御システムの信号が流れなくなったことだという結果に結論付けたことにしましたが、本当にそうだったのか今でも半信半疑です。

3.3 測量管理の確立

当社では、アルティミット工法にて、長距離、急曲線施工実績を重ねています。急曲線ではジャイロコンパスと自動測量システムを使うことで、カーブの入りはじめを安定させ、カーブの出口から直線を確実に安定させる最大の見せ所です。当時、ジャイロコンパスもなく、自動測量も開発されていなかったときは、BCに差し掛かる



写真-6 施工位置³⁾

前は、外側から早めのカーブの切りはじめを行いカーブ内では内側を通過させるように施工していたのを記憶しています。カーブの外は怖いというイメージが強かったのでしょうか。しかし、内カーブで推進していると、EC付近に近づくにつれて直線に立て直す難しさが伴います。EC位置に寄せることだけで管理していけば角度が付いたままの姿勢となり、外に膨らんだり、逆に内に入りすぎてS字カーブになってしまったりもありました。今では、その心配もなく、所定の位置から曲線を切りはじめ、自動測量の測量回数を増やし、所定の位置に来ているかを確認しながら余裕をもって精度管理ができます。この様に、曲線線形でのBCやEC付近の安定確実な方向制御管理ができるようになったことは、施工管理者にとって一番の成果と言えるでしょう。

3.4 立坑内基準点の重要性

精度管理において特に重要なのは、基線です。推進工事では、立坑内に設置した法線とダボ点（基準点）が少しでもズレていれば、いくら推進中基線にズレなく推進していても到達で大きくずれてしまいます。推進工事での立坑は大きくても10m、小口径では2mのケーシング立坑からの発進を思うと、数ミリ基準線がズレていれば、立坑の大きさに比例して誤差が生じるのが当たり前

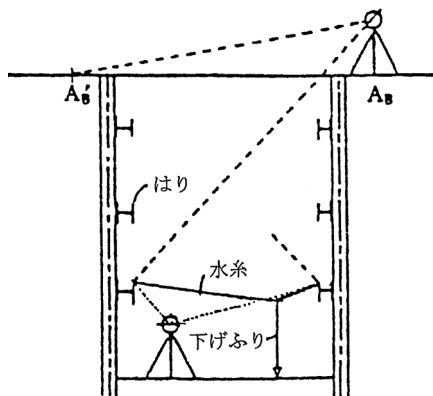


図-2 立坑内の中心線の設定⁴⁾

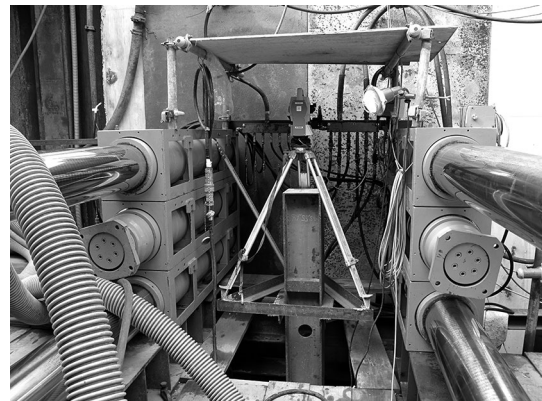


写真-7 発進立坑の基点となる測量機

です。仮に、10mの立坑で1mmズレていれば、推進延長500mであれば、 $1\text{mm} \times 50 \text{ 倍} (500/10) = 50\text{mm}$ の誤差が生じます。また、測量機器にも機械誤差を持っていますので、お互いに打ち消す結果となれば結果オーライですが、逆になってしまえば信用問題となってしまいます。従って、500mを超えるような超長距離といった推進工事では、ジャイロトランシットを用いたチェック測量が必須です。

4 システムの課題と展望

移設作業を無くし、更なる無人化

これまで、自動測量が多様な線形に対応可能となっていることを理解していただけたと思いますが、測量機器も精密機械です。その機器を使用する環境では、推進工事での管内、立坑内環境は決して良好な条件下ではありません。むしろ、都市土木の中では一番過酷な条件と思われます。実際は、立坑と管内の温度差、高湿度、悪天候による立坑内と狭隘環境等です。その中で、推進に携わる我々推進専門者は、常に、機器に気を使い、トラブルなく1、2mmの世界で精度管理に奮闘してきています。このような状況において、ますます推進技術を発展、向上していくためにも自動測量システムのような未来志向のシステムの発展が必要不可欠です。そのためには、管内移設を省くだけの機械台数を導入し、より粗悪な環境に耐えうる新たな機器（完全防水や耐振構造等）でのシステムの構築を希望したいと思います。

5 おわりに

今回、大中口径管推進工事に於いて、長距離、急曲線施工に必要な不可欠となった自動測量システムについて述べさせていただきました。しかし、これらは推進工事が発展した背景の一部にすぎません。これからの推進工事は、更なる顧客ニーズを基に、立案、設計、計画、積算され、線形、距離、工法が決定されますが、近年では、施工環境条件を鑑み、地域住民等の理解協力が必須です。

更なる推進工法の発展は、安心・安全・品質を最優先とすることを基本とし、より推進工法の必要性では、多様な顧客ニーズに対応可能であることを理解し認識してもらうことが大切と考えています。従って、推進専門者は施工だけではなく、すべての推進に精通した技術者の育成を目指していけるよう希望します。

【参考文献】

- 1) 「刃口式推進の原理は推進工法の『きほんのき』」西村重一、月刊推進技術、Vol.27 No.6（2013年6月号）
- 2) 「推進測量の現状と課題『先達の取り組みに学ぶ』」西田広治、月刊推進技術、Vol.29 No.4（2015年5月号）
- 3) 「アルティミット工法・長距離推進のこれまでの道のりと今後の課題」和田浩治、月刊推進技術、Vol.24 No.10（2010年10月号）
- 4) 「立坑内の中心線の設定」推進工法体系Ⅱ2015年版 第10編関連基礎知識第2章測量、(公社)日本推進技術協会