

解説 推進測量システム

大口径管推進工事における 測量技術と今後の課題



よしだ けいそう
吉田 桂三
機動建設工業(株)
土木本部技術課課長

1 はじめに

今回のテーマ「大口径管推進工事の最新測量技術」について執筆依頼を受けて真っ先に頭に浮かんだ事は率直に「困ったな。何について執筆しようかな?」という感想だった。これは推進工事における最新測量技術の「材料がない」ということではない。しかしながら、取り上げて紹介する程の画期的な新規技術というものがあるかと言われれば特に思い当たる節がないことも事実である。見方を変えればこれは現状の推進工事の測量技術がある程度確立されたものであるとも言える。また大口径管の場合は管内作業が可能のためにコストパフォーマンスを考えれば人力作業のほうが優先されるため新たな測量技術がこれ以上求められていないととれる。

これまで推進工事の測量技術に求められていたものは、掘進機の位置や進行方向を「正確に(精度)」、「迅速に(時間短縮)」、「省力化して(作業負担の軽減、無人化)」、「安価に(コスト削減)」行うことが求められてきた。そのニーズに応えるために当社で取り入れたものが、ジャイロコンパス、自動測量システ

ム、液圧差レベル計である。その他に路上から非開削で掘進機の位置を探索する電磁誘導測量システムがある。これらは今から15～20年程前に長距離多曲線(急曲線)工事が施工され始めたことから需要に応じて技術開発されたものである。いずれも現場への導入当初はトラブルの連続で日中管内を重たい荷物を持って這いずり回った苦い思い出がある。また折角の計測機器をどのように活用したら良いか試行錯誤した記憶もある。しかし各社メーカーの協力もあって少しずつマイナーチェンジを繰り返したことや現場で工夫することで今では欠かすことのできない確立された測量技術となった。そして現在でも推進工事における実用性、計測精度の向上を目的に確実により良いものへと進化している。しかし現在のシステムに課題が残されていない訳ではない。

私はメーカーエンジニアではなく推進工事の現場作業を管理する立場である。本稿ではこういった測量技術を簡単に紹介するうえで、システムの利用方法やさらにより良い測量技術として進歩していくために課題も含めて記載したいと思う。

2 測量システムの紹介

2.1 ジャイロコンパス (東京計器(株)製)

ジャイロコンパスとは、「ジャイロの特性」と「地球の自転角速度・地球の重力」を利用して回転軸を常時真北に向けておくことで方位を測定する装置である。簡単にいうと真北からの絶対方位角度を測定する装置のことである。長年船舶用ジャイロコンパスとして使用されていたものをトンネル用掘進機方位計測として改良を加え高精度化したものである。当社は、東京計器(株)製のジャイロコンパスを使用している。ジャイロコンパスセンサユニットには、方位角度の他にピッチング・ローリング計測器も内蔵してある(写真-1)。

ジャイロコンパスは掘進機の水平方向角度をリアルタイムに監視することにより掘進中に修正をかけることができる。

管理水平座標の「進行方向をX軸」、「横方向をY軸」とすると推進架台据付時の角度が初期方位角度となる。表示計内でオフセットをかけて初期方位角を0°とすることもできる。従って掘進中の「ジャイロ指示角」－「初期方位角」＝「管理座標上の掘進機の機首角

度」となる。また光学測量により掘進機内の任意の点を1点測量すれば掘進機先端位置座標を算出することができる(図-1)。

曲線造成時は決して掘進機先端方位の方向に進むとは限らない。これは推

進工事によく耳にする横ズレ現象が発生するからである。横ズレ現象は地山の地耐力や掘進機の中折れ配置構造や後続の管列、曲線半径等様々な条件によって異なって影響を受ける。しかし曲線造成変移角度はトータル的には同じ

である。従って、ジャイロコンパスで変移量を追いかけることができれば熟練者にとって曲線管理は容易である。特に1本あたりの変移角度量の大きな急曲線では曲線進入時の修正の遅れや修正Jを出し過ぎた場合に設計法線に戻すことは容易ではない。また推進精度不良は「推進力の伝達」「推進管の追従性」を妨げる要因となる。以上のことよりジャイロコンパスは曲線造成管理を行う上で欠かせないものであると言える。

従来のジャイロコンパスは、精密機器であることで取り扱いには十分注意が必要であった。特に振動や無電源時であっても傾きに対しては機器の故障の原因となる。そのため現場で掘進機に取付ける際や現場への運搬方法にも注意が必要である。運搬用の収納木箱にはショックセンサとチルトウォッチ(転倒監視板)を取付けジャイロコンパス専用の運搬業者に依頼して現場への納入・搬出を行う。また振動に弱いため巨礫地盤や岩盤等を掘進する場合は計測不良となるためセンサユニットと台座との間に衝撃干渉材を取付ける等の工

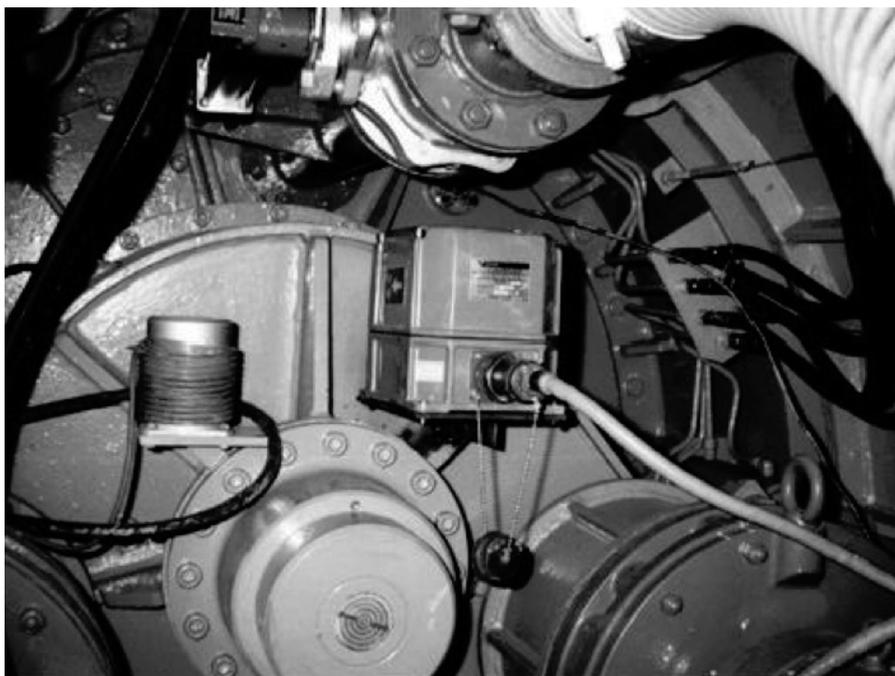


写真-1 掘進機に搭載したジャイロコンパスセンサユニット

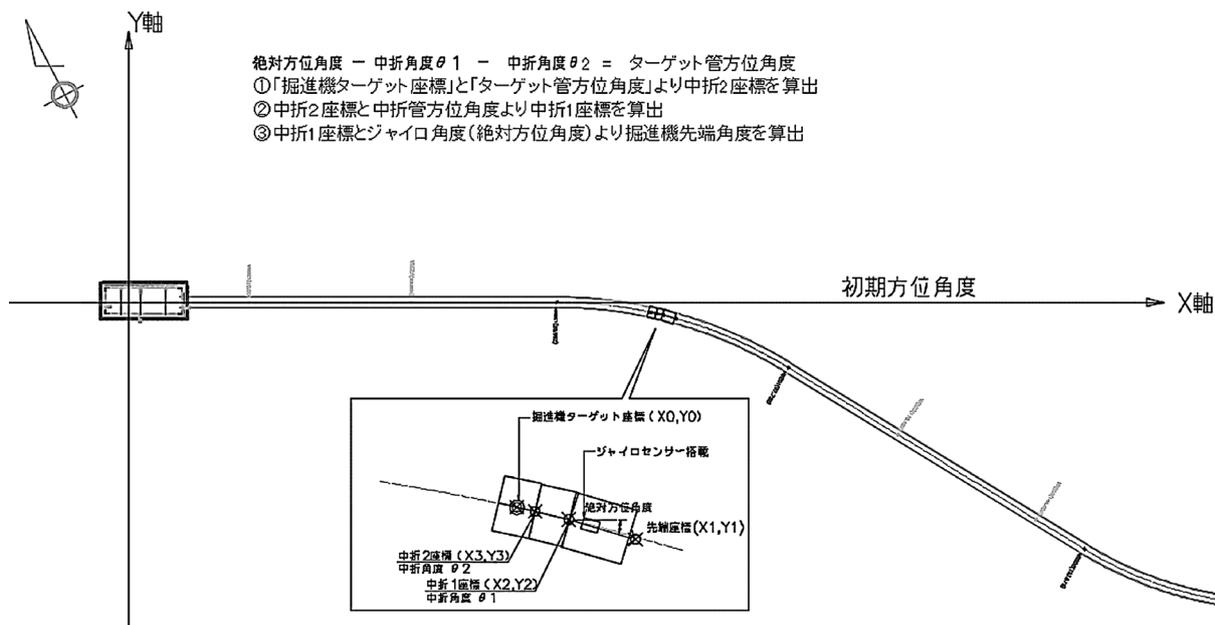


図-1 ジャイロコンパス曲線座標管理参考図

夫が必要である。不測の障害物等により掘進機が急激にローリングした場合に機器が故障したケースも過去にあった。そして精密機器であるためメンテナンス頻度も多くなる。

上記の問題を解決するために新規開発されたものが、光ファイバを利用したTGM-12F機である。TGM-12F機は振動・ローリングに強く構造上オーバーホールが必要ないためメンテナンスフリーである。そのため掘進中の振動、ローリングだけでなく機器の運搬に関する問題も解消された。また管径の小さな掘進機の場合はジャイロコンパスセンサーの設置空間が限られるが予め工場を組み付けた状態で出荷が可能となった。当社は導入前にメーカーとの協力を得て現場実証実験でTMG-12BSとTMG-12F機を同じ掘進機に搭載して比較実証実験を行った。結果、掘進中であっても従来ジャイロコンパスと比較して振動、ローリングに左右されず安定し

た数値を示した(図-2)。

新型ジャイロ TGM-12Fは、これまで振動・ローリングに影響される巨礫地盤や岩盤推進等の悪環境化においても安定した計測データが得られることが期待できる。

2.2 液圧差レベル計(東京計器株製)

液圧差レベル計とは、差圧検出器と基準タンク(大気圧)を水ホースで繋ぎ合わせて水頭差を換算して数値化する単純な仕組みである。仕組みが単純であることで推進工法のみならず一般的な測定に使用されている。

推進工場の液圧差レベル計は測定精度が求められるため、高性能な差圧伝送器が使用されている。液圧差レベル計を使用する際には以下の留意点がある。

- ① 温度が氷点下になる場合は凍結防止措置が必要である。
- ② 基準タンクの水位を常に一定に保つことが必要である
- ③ 掘進機に取付けられた差圧検出器

は、掘進機のピッチング・ローリングを考慮して換算する必要がある。

④ 差圧検出器には測定スパン(高低差)によって検出器が異なる。

⑤ 推進管接続時は接続ホースにエアが入らないように注意する。また脱着は容易に行えるカプラが必要である。

液圧差レベル計は、取扱いに注意すれば高精度の数値を示す計測器である。また、掘進中はリアルタイムに計測数値を表示するため勾配のある線形や縦断曲線造成、長距離推進工事等ではレベル管理が容易で測量負担の省力化に有効な計測器である(図-3)。

2.3 トータルステーションを使った自動測量システム(株ソーキ)

トータルステーションとは、コンピュータを搭載した光波距離計のことである。自動測量は自動追尾式トータルステーションを管内の見通し可能距離に設置する。管内のトータルステーションは自動整準台の上に設置する。自動計測を

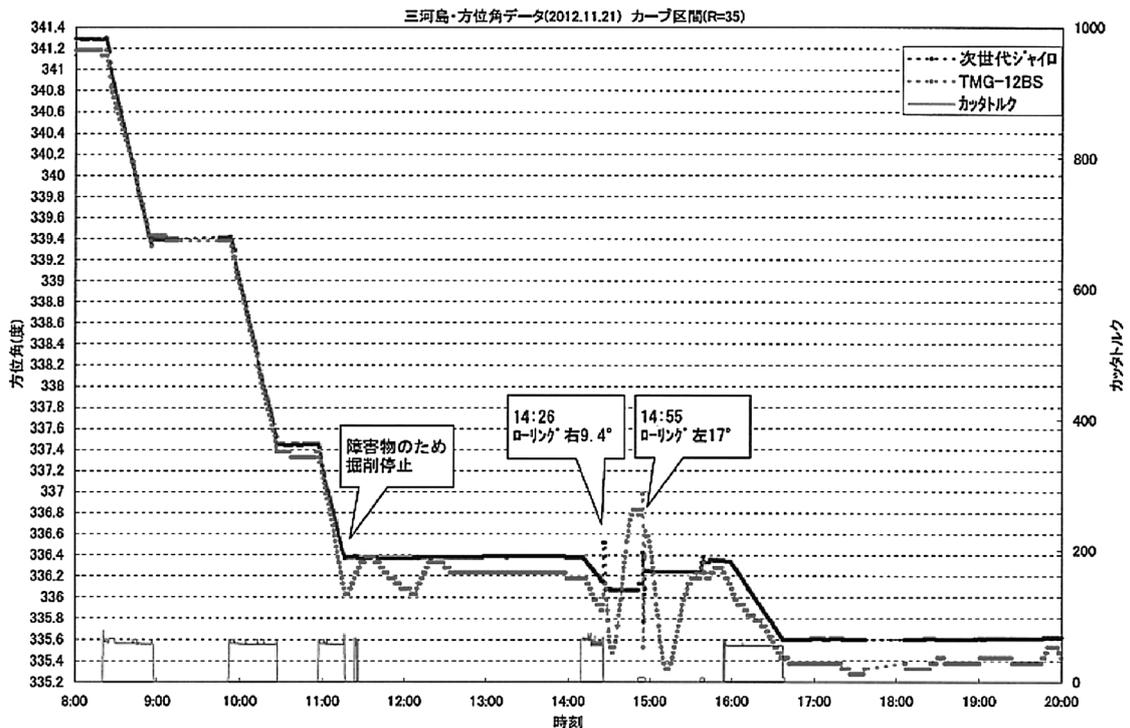


図-2 実証実験比較データ

開始すると各トータルステーションが自動的に計測・通信を繰り返しパソコンで演算して測量結果を座標化する。さらに演算した測量結果を基本法線と比較することで計画位置とのズレを表示するシステムである。従来は人力で行って

いた管内開放トラバース測量を自動化したシステムである。

自動測量システムは、設計管路の長距離化・多曲線化によって測量人員や測量時間、作業負担の省力化が望まれていくうえで広く普及したシステムと言

える。

現場導入当初は完成度が低く、計測時間も長く、システムエラーや通信エラー、誤視準等が連発して測量の省力化どころか逆にシステムを使用することが大きな作業負担となっていた。しかし、実用を重ねる度に改良を加え現在では長距離多曲線（急曲線）推進工事では欠かせない存在となった（図-4）。

次に自動測量システムの今後の課題について触れたいと思う。

追尾式トータルステーションは測量が開始すれば全て自動で計測を行うが、推進管路の可視位置に盛り替えセッティングする作業は人力作業である。推進工事は管路全体が動くため頻繁に管内での盛り替え作業が必要である。単純に盛り替え作業と言っても狭くて障害物の多い推進管内では移動するだけでも重労働である。そして盛り替え作業も容易ではない。1ユニット当たりトータルステーション7.5kg（収納箱を入れれば8kg以上）、コントロールユニッ

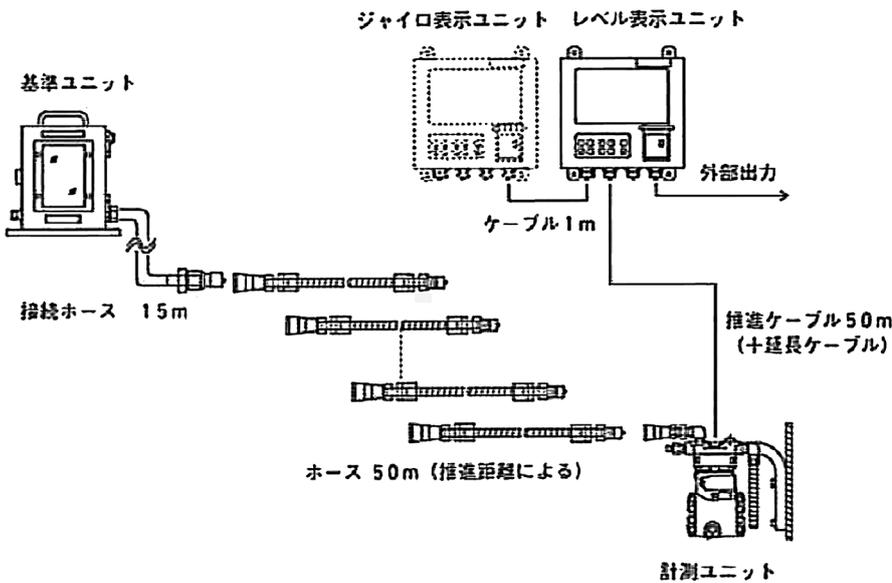


図-3 液圧差レベル計機器構成図（推進工法用）

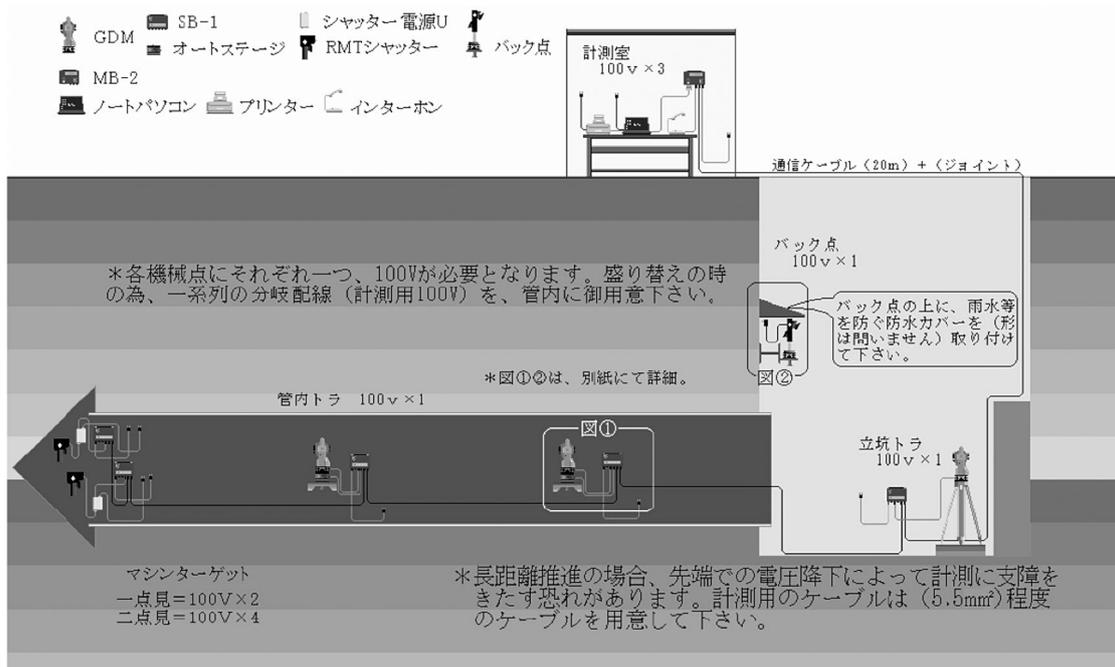


図-4 自動計測システム配置参考図

ト2.7kg、自動整準台1.7kg（収納箱を入れれば2kg程度）、測量台がある。そして測量ユニットの解体・障害物を乗り越えての移動・組立作業といった一連の作業を行わなければならない。その他に通信ケーブルの移動配線作業も伴う。こういった作業は掘進作業中に終わらさなければ掘進作業全体の省力化にならない。従って盛り替え作業には時間的制限も発生する。管内の盛り替え作業は重労働作業である。

この課題は簡単に解決する問題ではない。しかし、この課題に真剣に取り組まなければ本当の意味での「推進工事の自動測量技術」とは言えない。例えば盛り替え機器の軽量化や通信ケーブルの一部無線化、自動整準台の可能整準スパンの拡張等の改善策も考えられる。また、現場サイドでは通路を確保した測量台の制作や運搬移動手段の省力化など管内の作業空間を工夫することで省力化は図れる。

測量技術とは精度やシステム、作業時間の短縮等にばかり目が向けられる。従ってこういった現場作業における作業負担に目を反らしがちとなる。昨今推進技術の進歩に伴い超長距離多曲線（急曲線）推進工事が可能となったが、トンネル工事という過酷な作業条件下を理由に現場を管理する技術者が減少している。そのため昔のように1現場で複数の技術職員を配置することは現実的に難しい。そのため現場作業の負担を少しでも軽減することがこれからの測量技術の課題と言える。

2.4 電磁誘導測量システム・モールキャッチャー（自社製）

電磁誘導測量システムとはトンネル内から発生させた電磁発信機を路上の

受信機で探査する測量システムである。主に管内測量のできない小口径管推進用測量管理のために開発されたものであるが、大中口径管では到達前チェック測量や既設管きよの探査測定（電磁ロケータシステム）に使用されている。

電磁誘導測量システムの課題は、土被りに制限があることや地中にある埋設管路に磁力が引っ張られることで誤差を生じる場合がある。従って現場条件によっては適用不可能となる。また路上での探査測量作業のため一次的に誘導員を連れて路面占有が必要となる。交通量の多い幹線道路等で規制できない場合には適用できない。

3 今後の課題

推進工事の測量技術は紹介したもの以外にも様々なものが開発されてきた。そして現在ではなくてはならない測量技術として実用化されている。しかし開発された測量技術は、掘進機の制御や管内での測量技術に特化している。推進工事は地中を推し進める工法であって到達するまでは掘進機の顔を拝むことはできない。すなわち予期せぬ間違いや思い込みがあっても気付かない場合が時としてある。管理座標上どれだけ高精度で掘進が行えても到達立坑で誤差を生じていては意味がない。推進工事は「管内の測量」と「地上基線測量」の整合がとれなくては精度誤差が生まれる。また発進立坑は大きな推進力を発生させる場所であって立坑全体が変位してもおかしくない。わずかな基線角度の誤差が到達時に大きな誤差になることは周知のことである。また基準となる測量機器のオフセット管理も線形

によっては到達時の精度に大きく影響を与える。

これからの測量技術はそういった管理面の補助的役割をもつシステムや絶対不動点を基準とした計測管理が求められる。

4 おわりに

推進工事の測量技術や計測機器の進歩と同時に使いこなす技術者の管理能力も進歩しなければならない。地中では、土質の変異や掘進機の癖、推進力伝達材の配置等によってなかなか思いどおりに数字が動いてくれないこともある。その場合は熟練技術者の経験や知識が必要である。また今後の課題も含め現場を管理する熟練技術者の経験をもとにメーカーやシステムエンジニアに意見・要望・話し合いを進めていくことでさらなる測量技術の進歩に繋がることを望みます。

〇お問い合わせ先

機動建設工業(株)

技術本部

〒553-0003

大阪市福島区福島4-6-31 機動ビル

Tel : 06-6458-6183

Fax : 06-6545-0274

関東支店

〒101-0035

東京都千代田区神田紺屋町38

エスポワールビル6F

Tel : 03-3289-4771

Fax : 03-5294-1281

<http://www.kidoh.co.jp/>