

24. TBMの自動位置・姿勢計測システム

佐藤工業(株)：*小林 恒雄・板津 賢治
大西 豊

1. はじめに

トンネル施工の合理化・急速施工を目的として、TBMの導入が進められているが、TBMによる施工の場合、掘進速度が早いいため、線形管理測量を迅速かつ高精度で実施する必要があり、この線形管理はトンネルの施工上特に重要である。

このほど、シールド用に開発したジャイロコンパスを用いた自動位置・姿勢計測システムをTBM用に改造して実施工に用いたところ、良好な結果が得られたので以下に報告する。

2. ジャイロコンパスによるTBMの自動位置・姿勢計測システムの概要

TBMに真北からの方位を検出するジャイロコンパスと、水平からの角度を検出する重力加速度計を搭載し、TBMの姿勢（ヨーイング・ピッチング・ローリングの三成分）を計測する。掘削切羽のジャッキストロークからの信号とともに、地下信号処理装置を経て地上のパソコンに伝送され、TBMの位置・姿勢を演算するとともに、計画線との離れおよび計画方向とのずれを算出し、地上・地下のモニター画面にリアルタイムに表示する。さらに、これまでのTBMのセット角と実際の進行方向との関係を演算処理することにより、TBMが計画線上に沿って掘進するための最適セット角が表示されるようになっている。このようなシステムを採用しているため、狭隘な作業空間や曲線施工などの制約を受けることなく、TBMの姿勢を高精度でかつリアルタイムに計測することが可能である。

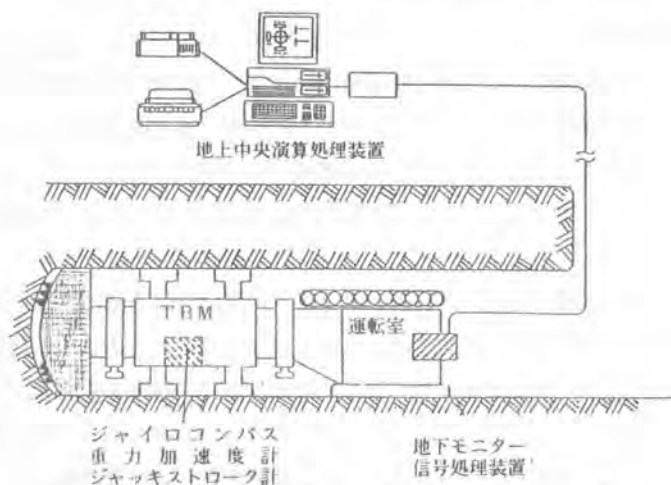


図-1 TBMの自動位置・姿勢計測システム概要図

3. 開発経緯

3-1. 線形管理測量の現状

一般に、トンネルの線形管理測量は、作業の交代時、すなわち2回/日程度行われている。TBMの場合、掘進速度が早いので、この測量と測量の間の線形管理は、むずかしく蛇行発生の大きな要因となっている。このような状況に対応し、測量と測量の間もTBMの位置情報を得る目的で、レーザーが用いられる例がある。しかし、TBMではトンネル断面一杯にTBM駆動装置・トレンローダー等、各種設備が設置されているため、レーザーを通す空間を確保することが困難になる場合がある。とくに、カーブ区間では、レーザーをTBMに照射できる距離が短くなり、レーザー盛り替えの頻度が多くなる。さらに、レーザーでは線形管理を行う上で重要な情報であるTBMの姿勢を高精度で計測できないという問題を有していた。

3-2. TBMの検討

シールド工法への適用を目的に開発した自動位置・姿勢計測システムを山岳トンネルのTBM工法に導入するに当たりTBMとシールドの構造上、掘進管理上の違いを検討した。TBMの推進方法は、トンネル壁面に張ったグリッパーで推進反力を取る方法が一般的である。グリッパーは、1スパン(1m前後)の掘進後盛り変えながら順次掘進していく。

TBMの方向の制御には次のような2つの方法がある。どちらもグリッパーを基準にして方向の設定を行うものであり、1つは、グリッパーを張ったときにマシン方向を設定し、1スパンの掘進中は、マシン方向は固定され変更できないもので、本工事のTBMはこの方式である。もう1つは、掘進中にも自由に方向の変更のできるものがある。前者の方法では、方向制御まで自動化するには、方向設定時にマシンを自動制御する装置を開発すれば可能である。後者の方法では、シールドの方向制御と同様であり、すでに多くの実績のあるシールド自動方向制御システムをほとんどそのまま適用できる。



写真-1 TBM(正面)

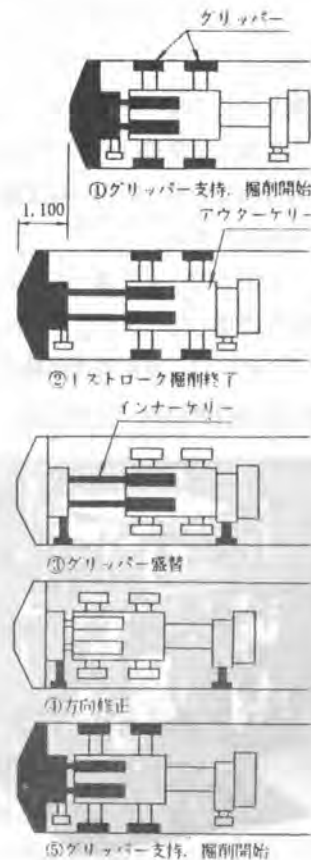


図-2 TBMの掘進手順

これらのことから、TBMの位置・姿勢のリアルタイムの自動計測さえ高精度にできれば、TBMの掘進の自動化の中核をなす自動方向制御システムは開発可能であると判断している。

3-3. 耐環境性の検討

TBMの特殊な高温、多湿な環境に設置されるジャイロコンパス、重力加速度計などのセンサーや地下信号処理装置などの耐環境性について検討した。

まず、TBMに設置するジャイロコンパス、重力加速度計のセンサーは、TBMの振動の影響を受ける。また、TBMの置かれている環境は、切羽に近いこともあり気温の変化が激しく、通常は、高温多湿であり、ずりや吹き付けコンクリートなどの粉塵がある。このためセンサーは、防音、防湿、防塵性のコンテナに密封し、このコンテナを防振構造にした。さらに、信号処理装置や坑内用モニターなどは、空調設備を施した収納ケースに収めた。

4 実施結果

4-1. 工事概要

本工事は、ダム式水路発電所の放水路トンネルを建設するものである。放水路は、内径7.1m、延長3.6kmであり、このうち3.35kmをφ3.3mのTBMでパイロット導坑を掘削し、その後リーミング機によって拡幅するものである。地質は、主に黒色片岩、緑色片岩からなっており、平均一軸圧縮強度は400kgf/cm²程度である。

このように、本工事はTBMによって長大トンネルを急速施工するとともに、リーミング機による拡幅を考慮してパイロット坑掘進時の蛇行を最小限に抑えなければならないという特徴を有している。このためには、線形管理測量を迅速かつ精度良く実施する必要があり、本自動方向制御システムの一部である自動位置・姿勢計測システムを採用することとした。

表-1 工事概要

工事件名	秋葉第三発電所新設工事
企業者	電源開発株式会社
工事場所	静岡県天竜市横山町
TBM	パイロット、リーミング方式 パイロット外径 3.300mm リーミング外径 7.100mm
TBM掘進延長	3.330m

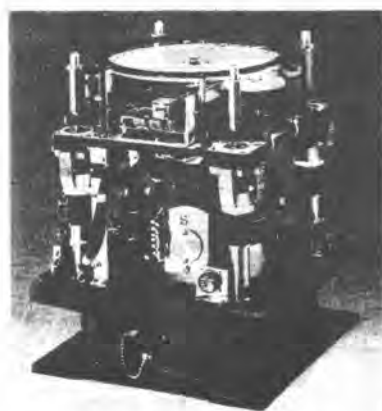


写真-2 ジャイロコンパス

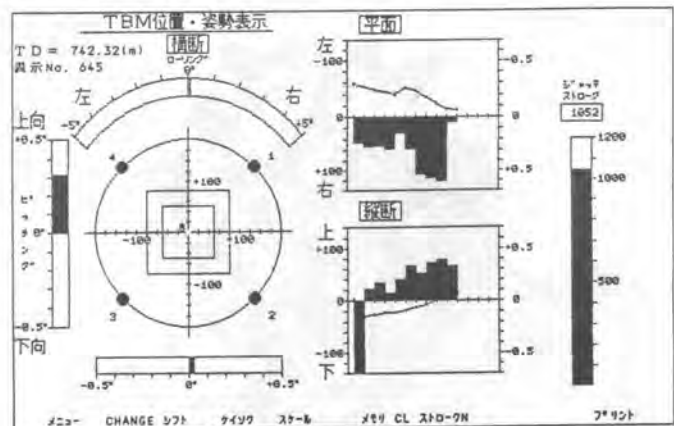


図-3 モニター画面

4-2 施工結果

TBMはトンネル壁面に張ったグリッパーに反力を取り、メインブームの方向を設定した後、1ストローク1.1mを掘進する。1ストロークの掘進中は方向の変更ができないため、線形管理を実施する上では、メインブームの設定が非常に重要となる。これまで、TBMの蛇行はある程度避け難いものとされていた。すなわち、線形管理を入念に行おうとすれば、測量頻度を増やさざるを得ず、TBM本来の施工速度を阻害することになる。

本システムの採用により、TBMの位置・姿勢をリアルタイムに知ることができ、さらに、メインブームの設定方向とTBMの掘進線形との関係の実績データが得られ、線形管理に非常に有効であることが実証された。

本工事における線形管理実績を図-4に示す。今回の実績から、TBMの特徴を生かしながら高精度の線形管理を行うことができることが確認できた。

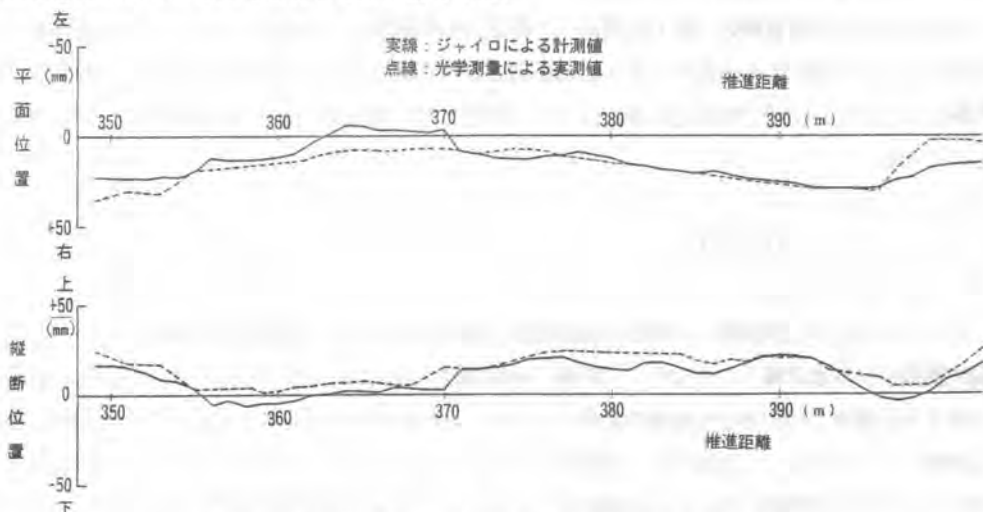


図-4 自動位置・姿勢計測システムによる掘進結果

5 おわりに

これまで線形管理を入念に実施しようとするれば、測量頻度を多くしなければならず、TBM本来の施工速度を阻害することになり、TBMの蛇行はある程度仕方のないものとされていたが、今回の実績から、TBMの特徴を生かしつつ高精度の線形管理を行うことができるという本システムの有効性を十分確認することができた。

今後は、本システムをベースにTBMの自動方向制御システムへ向けて開発を進める計画である。本報告が類似工事の参考になれば幸いである。

<参考文献>

- 田口、東、「隅田川河底を対抗シールドで掘進・京葉線隅田川トンネル」
日本トンネル技術協会誌 トンネルと地下・8 1989.8
- 古川、吉岡、「ジャイロコンパスによるTBMの自動位置・姿勢計測システムについて」
- 桐谷、大西、「ジャイロコンパスによるシールドの自動方向制御システム(2編)」
以上 土木学会第44回年次学術講演会 1989.10