

22. シールド機械の自動測量装置の開発

(株)奥村組；*三島 亨介・中永清次郎

1. はじめに

地下鉄、上・下水道、電力や通信など、市街地の地下にはりめぐらされているさまざまな用途のトンネルを築造するには、今日ではシールド工法が多く用いられている。工事においては、あらかじめ定められた路線に沿って正確にシールド機械を掘進させなければならない。そのためにシールド機械を測量して、計画路線とずれている場合には掘進方向を修正して路線に近づける操作をする。基本的な修正方法は、シールド機械を推進する油圧ジャッキを用いる方法によるので、掘進と同時に方向が修正される。従来では、ジャッキがストロークエンドになり掘進を停止している時に測量が行なわれるので、それにもとづく方向修正の判断は1ストロークにつき1回に限られる。この方法には次のような問題点があるため、自動的に測量したり方向修正する方法が研究開発されている。

- ①トランシットやレベルなどの測量器械を用いる従来の測量作業には煩雑さをともなう。とくに曲線路線部では見通しのきく距離が限られるので、器械を設置しなおす頻度が高くなる。
- ②計画路線からのずれを小さくするには、ずれのできるだけ小さい内に修正を加えるほうが望ましい。そのためには掘進中のいつでも測量データを入手できることが必要である。

本稿で紹介する自動測量装置は曲線部に適した光学的測量方法として、大阪府立大学・津村教授の技術指導により、(株)奥村組と(株)東京航空計器が共同開発したものである。

2. 自動測量装置の概要

(1) 測量方法

本装置の基本的な測量方法は、トランシットによるシールド機の測点と後方の測量基準点との角度測定値、および各点間の距離測定値から求める従来のトラバース測量と同じ方法である。本装置ではシールド機および後方基準点には光反射器（コーナーキューブ）を設置しておき、測距測角器で角度と距離を測定する。その方法は、測距測角器から光反射器に向けてレーザー光を投射し、その反射光を検出することにより光反射器の方位を測定する。また、光波距離計によりその距離を測定する。このような測定操作を複数の光反射器に対し順次に自動的に行う。この測定値から基準座標上のシールド機の位置および方向が計算され、また、掘進計画路線との位置ずれ（水平、鉛直）および角度ずれ（水平、鉛直）が求められる。

本装置の特長は次のとおりである。

- ①受光部には光反射器を置くだけでよいので、システム構成が簡素でありとり扱いが容易である。
- ②光反射器は外径が60mmと小さいので、狭いスペースでもとり付けることができる。
- ③測距測角器は小型、軽量であるので、とり扱いが容易である。

④シールド機の進行にともなう装置の前方への移設において、他の測量手段の支援を必要としないので、移設作業が容易である。

(2) システム構成

本装置のシステム構成は図-1に示すように測距測角器、駆動装置、データ処理装置、データ伝送装置、光反射器などからなる。測距測角器と光反射器とは互いに見通しのきく場所に設置する。データ処理装置はシールド機の運転管理室に設置し測距測角器とデータ伝送装置で接続する。駆動装置は測距測角器の付属装置であり、駆動装置の作動の指令や、検出データの1部の処理などを行う。

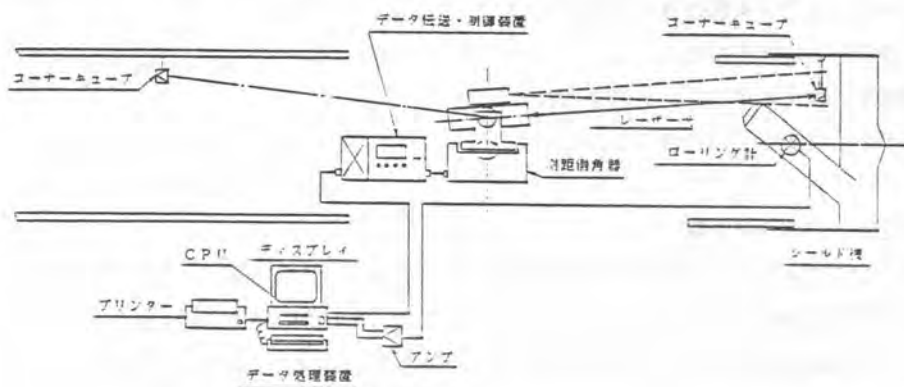


図-1 システム構成

(3) 測距測角器の構造と機能

測距測角器は光反射器の角度、距離を測定するために次のような構造と機能を備えている(図-2、写真-1参照)

- ①光反射器にレーザー光を照射するために、光軸を水平、鉛直の任意の方向に向けることができる。
- ②光反射器からの反射光を受けてその時の光軸の角度を読みとることができる。
- ③距離測定のための光波距離計を搭載している。
- ④設定した範囲内でレーザー光を巡回走査して、光反射器の方向を見つけたし角度測定、距離測定する。この一連の作動は自動的に行われる。

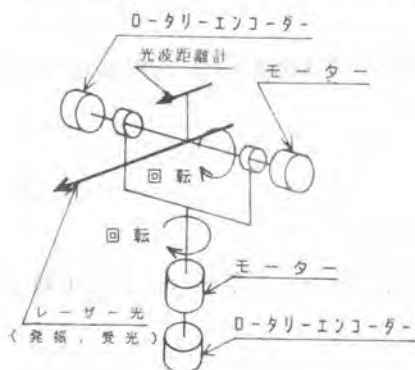


図-2 測距測角器の構造



写真-1 測距測角器

(4) 角度および距離の測定方法

測距測角器および光反射器の配置例を図-3に示す。シールド機には2つの反射器（CCS1、CCS2）をとり付ける。位置のみを検出する場合には反射器は1つでよい。測距測角器の後方基準点には2つの反射器（CC1、CC2）をとり付ける。

測距測角器および反射器は互に見通せる場所に設置する必要があるため、トンネルの上部空間を利用しセグメントの継手ボルトを支点として設置用の枠台にとり付ける。

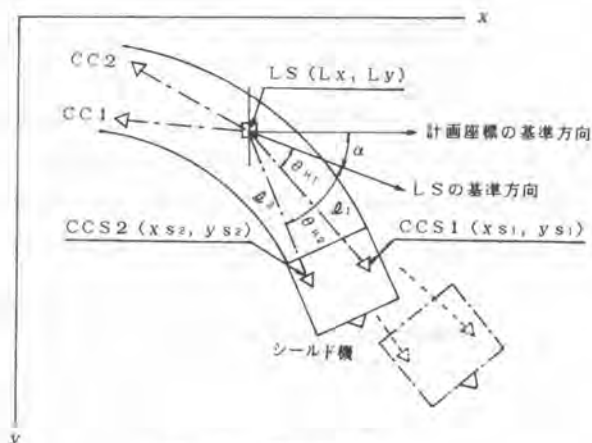


図-3 機器の配置

(5) 測定データの測量計算

角度および距離の測定データからの座標計算においては次の2種類の計算を行うことができる。

- ① 測距測角器の座標上の位置と方向が既知である場合、反射器の座標上の位置を求める
- ② 3つの反射器（CCS1、CC1、CC2）の座標上の位置が既知である場合、これらを測定することにより測距測角器の座標上の位置と方向を求める

初期測量および装置の移設時の測量ではこの2つの機能を組み合わせて座標を求める。初期測量では、測距測角器および反射器を任意の場所にとり付け、従来の測量方法で3つの反射器を測量し、その座標位置をあらかじめ入力しておく。次に測距測角器でこの3つを測定すれば上記②の計算により測距測角器の位置と方向が求められる。

シールド機の進行による前方への装置の移設においては、まず、測距測角器を前方の任意の場所に移設し、上記②の測定により測距測角器の位置を決める。次に後方基準点の2つの反射器を任意の場所に移設し、上記①の測定によりその位置を決める。この操作を繰り返せば他の測量手段の支援なしに移設することができる。

なお、初期測量時および移設時には反射器の位置は未知であるため、測定にあたってレーザー光軸の走査範囲への誘導は手動による必要がある。

掘進計画路線に対するシールド機の位置ずれおよび方向ずれを求めるために必要な次の事項をあらかじめ設定し、入力しておく。

- ① 掘進計画路線の線形
- ② シールド機の2つの反射器のとり付け位置
- ③ シールド機体の測量基準点の位置

なお、シールド機にとり付けたローリング計のデータを用いてローリングによる影響が補正される。

3. 現場測量

(1) 測量条件

本測量装置を東京でのミニ地下鉄工事におけるシールド機の測量に用いた。工事現場においては次のような測量条件であった。

- ①掘削径は5440mmと比較的大きいが、シールド機の後続台車の占める断面スペースが広いいため測量スペースが少ない。
- ②掘進路線長1265mの85%が曲率352mのS字曲線であり、後方からシールド機の見通しのきく範囲が狭い。

(2) 測量方法

測量のために利用する空間はトンネル上側部としたので、測距測角器の設置にはセグメントの継手ボルトを支点とする架台にとり付けた。反射器は測距測角器の見通しのきく場所を選び、シールド機およびセグメントにとり付けた。また、データ処理装置はシールド機後部にある運転管理室内に設置した。

(3) 測量結果

本装置による測量結果と、従来の測量方法による測量結果を比較した1例を図-4に示す。

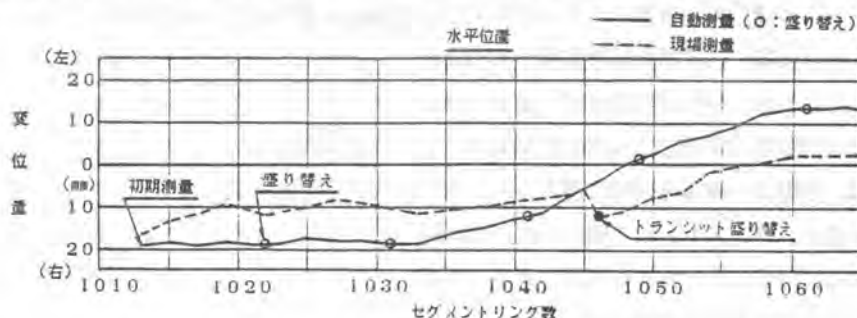


図-4 測量結果

両者の差は水平方向、鉛直方向ともに10mm以下であった。従来の測量方法にも誤差を含むので、この差が本装置の誤差を示すものではないが、目標精度を満たす良好な精度であった。装置の移設において生じる誤差について、5回の移設後の測定値の差は5mm以下であった。本現場での1回移設する距離は約20mであるから、移設にともなう誤差は100mにつき5mmであり移設誤差も小さいことがわかった。

4. あとがき

最近、光学式やジャイロコンパスを用いるさまざまな自動測量方法が開発され、試みられている。光学式はジャイロ式と比べて、トンネル内に測量のための空間を確保しておく必要があること、前方への装置の移設にともなう作業が必要であることなどの欠点がある反面、次の利点がある。

- ①測量精度が高い。
- ②ジャイロコンパスのようにシールド機の掘進方向転換による回転の影響を受けないので、掘進中における測定値でも信頼できる。

シールド機の掘進方向の自動制御においては、入力データが高精度であることや安定性などが必要である。また、掘進中に計測-制御のフィードバックループが形成されていることが望ましい。これらの点で上記の特長を生かすことができると思われる。