

8. シールド自動測量システムの開発

村 上 譲 二

要 旨

近年、シールド工事における掘進機の姿勢位置の計測方法については様々な研究開発が行われているが、その多くは大口径シールド用として開発されたものであり、小口径シールドについてはスペースの制約から利用できていないのが実状である。

今回、小口径シールドにおいても使用できる回転レーザーとレーザー追尾センサーを組み合わせた簡単な姿勢位置計測システムを開発したので、実施例を通じて、その概要と特徴について報告する。

キーワード

シールド／自動測量／レーザー／追尾センサー

目 次

1. はじめに
2. システムの概要
3. 自動測量装置
4. 計測方法
5. 自動測量システムの実施例
6. ま と め
7. あとがき

8. DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC SHIELD MEASUREMENT SYSTEM

Joji Murakami

Abstract

In recent years, there has been much research into excavation machine position measurement systems for use in shield tunnel. Their development, however, has centered on large-dimension shield tunnel due to the limited installation space associated with small-dimension shield tunnel. Now, we have developed a position measurement system whose simple and compact structure enables use in small-dimension shield tunnel. The system consists of a rotary laser and a laser detection sensor. Here, we describe its features by citing examples of on-site use.

1. はじめに

これまで、省力化と施工精度の確保を目指して、様々なシールド自動測量システムの開発が進められているが、現在、精度面においては人為測量と比べ、全く遜色のないものが開発されている。

その代表的なものとして、①レーザー付トータルステーションとレーザー光線検出器によるシステム、②ジャイロとジャッキストロークによるシステムがあげられる。しかし、いずれも大口径シールドを対象に開発されたためか、小口径シールド工事には、ほとんど使用されていない。

その理由として、①の方式は、小口径シールド工事で使用するには、機器設置面で場所の制約を受けることが多く、またトータルステーションの盛り替えを行う際、作業が煩雑となること、②の方式は、①のように設置条件には制約を受けないが、測定にあたってある点からの相対位置しか求められず、またシールド特有の横スベリやその他の原因によって誤差が生じやすく、そのためシールド機の絶対位置を確認するための定期的な測量を行い、ジャイロの誤差の補正を行わねばならないことなどがあげられる。

この様に、小口径シールド工事に使用できる実用的な自動測量システムは皆無といってよく、その早急な開発が望まれていた。

今回、開発した自動測量システムは、既製の回転レーザーと、レーザー追尾センサーを組み合わせたものであり、小口径シールドに使用できる上に盛替作業も容易に行えるようにと考案したものである。

2. システムの概要

本システムは、2台の回転レーザーとレーザー追尾センサーとを組み合わせ、トンネル工事におけるシールド掘削機の計画線上からの水平偏位、鉛直偏位を連続的に計測できるよう考案した自動測量システムである。

本システムは大別して、レーザー発光部、受光部、情報処理部の3部分に分けられる。

レーザー発光部は、既製の回転レーザー（ヘリウムネオンガス使用）を使用している。

受光部は、電子検出器（レーザーセンサー）、デジタル式測長器、DCモーターおよび通信回路からなるレーザー追尾センサーであり、水平偏位、鉛直偏位を

測長器で取込み、RS-422によって情報処理部へ伝送する。

情報処理部は伝送アダプター、パーソナルコンピューター等で構成され、マルチプレクサと傾斜計から送られてくるデータを処理して、計画線上からの変化量をディスプレイ上に表示し、フロッピーディスクに記録する。

3. 自動測量装置

本装置は、回転レーザーによって計画ライン上にレーザービームの回転面を構成し、シールドマシンに設置したレーザー追尾センサーによって水平偏位、鉛直偏位を検出するものである。

3.1 回転レーザー

可視光ヘリウムネオンレーザーを使った既製の工事用回転レーザーであり、縦置きで鉛直偏位用、横置きで水平偏位用として使用し、いずれも自動レベル機能を備えている。



写真-1 回転レーザー

表-1 回転レーザーの仕様

寸 法	360mm×160mm×160mm
重 量	7.25kg
光線の種類	ヘリウムネオンガス
回転ヘッド	2方向、1方向選択可能
自動整準範囲	±5°
勾配調整範囲	±9%
方向調整範囲	100mの距離で18mの横移動
回転調整範囲	0～300回転/分
電 源	直流(D.C) 12V
精 度	水平モード：±10秒 垂直モード：±15秒

3.2 レーザー追尾センサー

電子検出器（レーザーセンサー）、デジタル式測長器、DCモーター、通信回路からなる。電子検出器は回転レーザーより発射されたレーザービームをキャッチすると、電子検出器の中心がレーザービームの左右、上下のどこにあるかを検出する。この検出された情報からDCモーターによって電子検出器の中心にレーザービームが合致するように、電子検出器が動かされる。

この電子検出器にはデジタル式測長器が組み込まれており、動いた距離（変位）を測定してRS-422によってパソコンに伝送される。

この追尾センサーの機構図を図-1に示す。

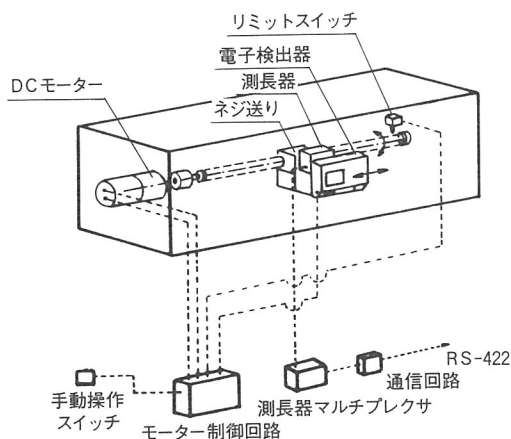


図-1 レーザー追尾センサー機構図

* マルチプレクサ：複数のデータ入力を選択するロータリースイッチのような役割をするため、今回の場合は、水平・鉛直のデジタル式測長器のどちらかを選択（交互に取り込む）する。

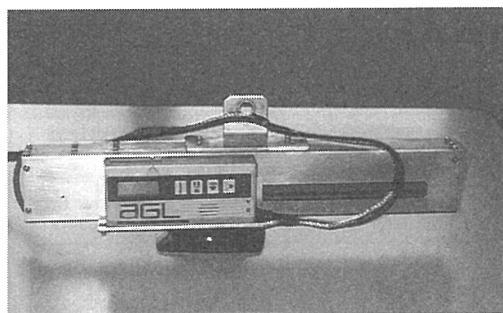


写真-2 レーザー追尾センサー

3.3 情報処理部

情報処理部は、各センサーの計測データを変換器を通して入力し、ノイズの処理や測量演算、さらに平均処理などを行ってシールド機のズレ量や傾き量の表示または記録を行う。

これらのプログラムは、計測データや初期測定データを入力する入力プログラムと、入力されたデータを記憶したり演算したりする演算処理プログラム、さらに、演算結果の表示、記録を行う出力プログラムから構成されている。

4. 計測方法

機器の設置および自動測量作業は、以下の手順に従って行う。

a. 回転レーザーの設置

[シールド機の水平偏位計測]

- ①回転レーザーを取り付け治具でセグメントに設置する。
- ②レーザービームの発射点をトランシットで視準して計画線上に調整する。
- ③レーザービームを計画線に合わせる。
- ④レーザーを回転させる。

[シールド機の鉛直偏位計測]

- ①回転レーザーを取り付け治具でセグメントに設置する。
- ②傾斜設定ダイヤルで設計勾配に設定する。
- ③レーザーを回転させる。

b. レーザー追尾センサーの設置とデータの取り込み

- ①水平偏位計測の場合、マシンの中心線直上のレーザー光が見通せる場所に追尾センサーを固定する。
- ②鉛直偏位計測の場合、マシンの左側のレーザー光が見通せる場所に鉛直に追尾センサーを固定する。
- ③機器の固定と必要な配線を行った後、手動スイッチを入れてレーザー光線の位置を探しだす。
- ④追尾センサーにレーザー光が入光すると自動的に追尾状態に入り、計測が開始される。

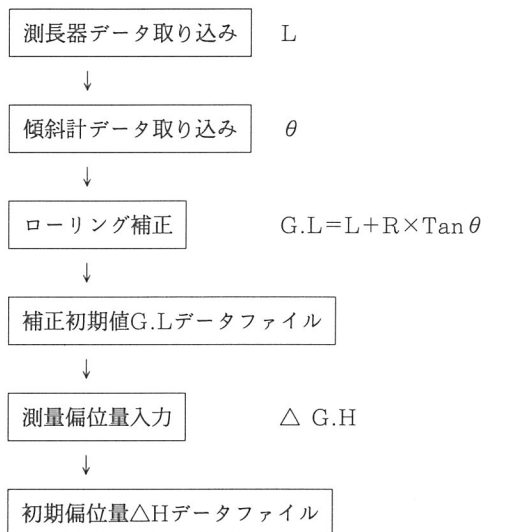
[ローリング補正]

追尾センサーが出力するデータは、シールドマシンの水平（鉛直）移動量とセンサーの設置されている位置のローリングによる移動量を合成した値となる。

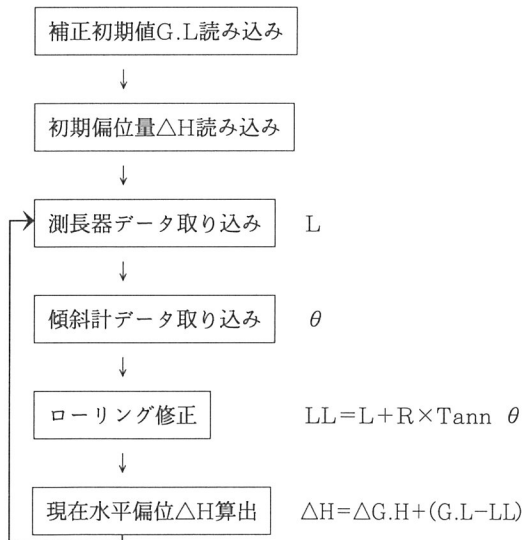
したがって、マシンの傾斜計からローリング角度を取り込み、「ローリング補正」を行わねばならない。

そのデータの取り込みのフローを図-2に示す。

＜初期値入力＞計測開始前の準備作業



＜計測開始＞



図－2 データ取り込みのフロー

c. 情報処理システム

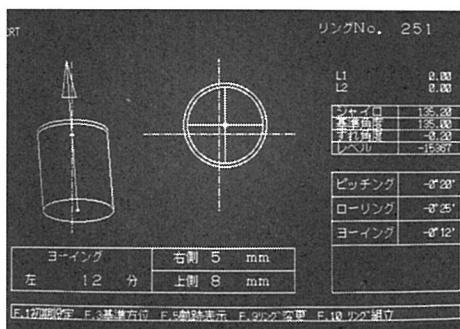
人為測量結果から得られた初期値の入力は、ディスプレイとの対話形式によって簡単に行えるように配慮した。

シールドマシンを取り扱うオペレーターが掘進状況をリアルタイムに監視できるようにしてあり、計測データは1リングに1データだけ記録できるように、また記録されたデータを用いて、過去の軌跡を表示できるようにした。

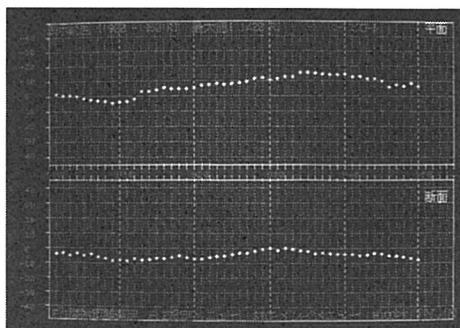
その出力例を写真－3，4，5に示す。

リングNo.	測長器	傾斜計	ローリング	ヨーイング	現在偏位	初期偏位	現在傾斜	初期傾斜
250	1366.529	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
251	1366.529	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
252	1366.529	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
253	1366.529	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
254	1366.529	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
255	1366.529	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
256	1366.529	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
257	1366.529	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
258	1366.529	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
259	1366.529	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
260	1366.529	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

写真－3 データの表示画面の例



写真－4 掘進機位置図可処理例



写真－5 軌跡の表示例

5. 自動測量システムの実施例

本測量システムの性能およびその効果を確認するため、シールド工事現場で試用した。実施した現場は、広島県発注の流域下水道工事であり、シールド外径φ2670mm、工事延長L=1366.529mの土圧式シールド工事である。

本システムの構成、概要図を図-3に、その設置状況を写真-6, 7, 8, 9に示す。

この実施例では、コンピューターおよびディスプレイを坑内の後方台車の運転室内に設置してシールド機のズレ量や傾き量をオペレーターが確認しながら運転できるようにした。

水平偏位の測量に使う回転レーザーは、セグメント上端に取り付け、鉛直偏位の測量に使うレーザーは、切羽に向かってセグメント左側に取り付けた。この現場は、比較的小断面であり、土圧シールド工法のため設置位置に限定を受けた。

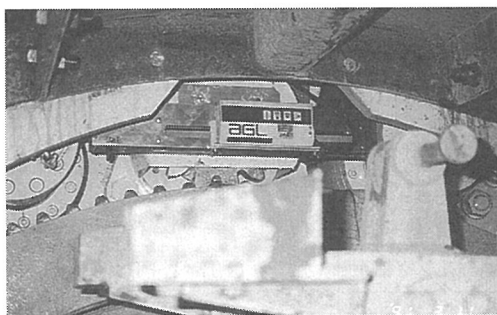


写真-7 レーザー追尾センサー設置部

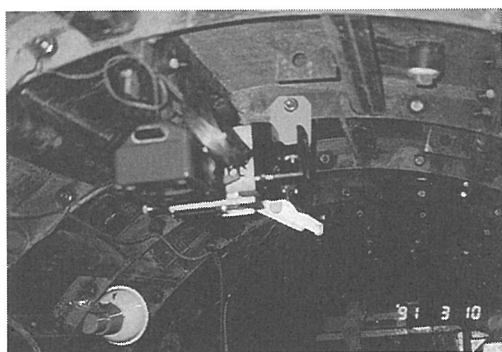


写真-6 回転レーザー設置部



写真-8 坑内情報処理部



写真-9 地上管理室

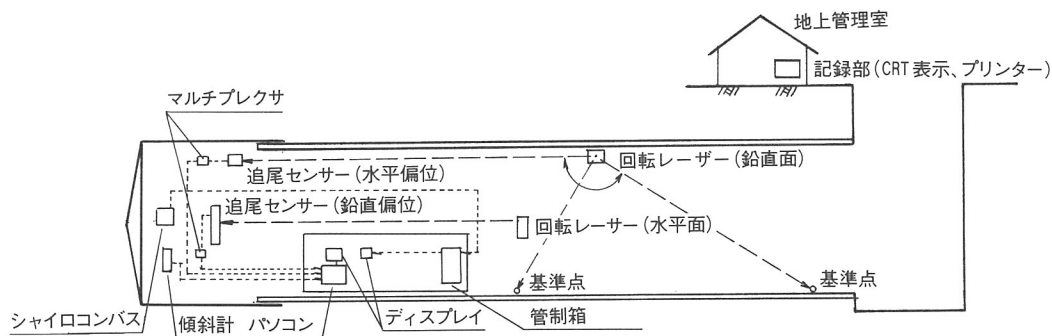


図-3 自動測量システムの構成、概要図

6. まとめ

6.1 実施例でのトラブルとその対策

①測長器データの取り込み誤差

当初、測長器のデータ取込みはミニプロセッサで行い、約1秒毎にRS232CからRS422に変換してデータ伝送を行った。しかし、ローリングと測長器のデータ取り込みにタイムラグがあり、ローリング補正誤差が大きく出た。

その対策として、ミニプロセッサをマルチプレクサに変更し、コンピューターとのハンドシェイクを行い、その結果、傾斜計データ取込みとのタイムラグを小さくすることができた。

②測長器のノイズによる異常発生

測長器自体は、インクリメンタル的なデータ出力を行う機構となっている（例えば任意の点を0とし、そこからの相対距離を計測する）。

当初、測長器の左（下）端を0点にセットして計測を行っていたが、この原点0の値が次第に変化し、測定データが大幅に狂い始めた。

マルチプレクサの設置位置がシールド機内のソレノイドバルブ近くに設置していたため、この電磁ノイズがケーブルに入り、測長器がミスカウントを起こしたのが原因と思われたため、その対策としてケーブルの二重シールド化、計測器ケースのアースなどを行った。また、マルチプレクサをソレノイドバルブからできるだけ離して設置したところ、測長器のデータは正常になった。

6.2 システムの適用性

①水平方向管理

このシステムだけでは現在のところ、直線部しか使用できないが、今回の実験については、ジャイロと併用したため、十分に実用に耐え得るものにできた。

今後、自動的に角度を振れる機構を回転レーザーに付加し、曲線部にも対応できるシステムの開発を進めていく予定である。

②鉛直方向管理

鉛直方向の管理は、初期値に従来のレベル測量で計測した偏位を入力しておけば、その後は設計勾配に合わせて回転レーザーをセットするだけでよく、これまでのように盛替時にバックサイトを視準する必要がなくなり、非常に簡便に測定を行うことができた。しか

しレーザー光が通過する空間が狭いため、シールド内で作業する作業員によってレーザー光がたびたび遮断された。

7. あとがき

以上、本自動測量システムの装置の構成ならびに測量方法についてまとめた。

自動測量システムについては、他社も独自のシステムを開発し使用しているが、必ずしも使用勝手が良いとは言えず、本来の意味で実用化されているように思われない。

本システムは、原理が簡便な上、機器の構成が単純であり、従来の坑内測量の考え方に近く、現場におけるチェックが非常に簡単であり、この開発により、坑内測量が大きく省力化されていくものと期待している。

今後、さらに、現場への適用例を増やすことによってその性能確認を行い、必要に応じて改良を加え、将来はシールド自動掘進システムの開発へと研究を進めていく予定である。

今回、この開発を行うにあたり、多大の御協力をいただいた日本スピードショア㈱ならびに芦田川シールド作業所の方々に、心より感謝の意を表します。