

小断面急曲線シールドにおける自動測量システム

Automatic survey system in small-bore and curved geometry shields

中山 晃¹⁾・西野 憲明²⁾・山口 潤¹⁾

Akira NAKAYAMA, Noriaki NISHINO, Jun YAMAGUCHI

Many optical method of automatic survey systems in large-bore shields have been reported .However, small-bore and especially curved geometry tunnels have little internal work space, reason why automatic survey in such cases have been considered difficult to perform. We aimed at developing the automatic survey system in this case and This system has already been implemented on site

This paper reports on the development of 'Automatic survey system in small-bore and geometry shield tunnels'.

Key Words : automatic survey, small-bore shield, curved geometry shield, optical survey, system

1. はじめに

小断面急曲線シールド工事の坑内測量は狭隘な場所での作業となるため、過大な時間と労力を要する。線形管理に伴う測量は、従来、工事進捗に影響を与えないように坑内作業終了後、あるいは昼食時に実施されてきたが、急曲線部分を施工する場合、十分な管理を行うためには作業を中断させてでも、坑内測量を実施する必要に迫られる。また、シールド工事は、昼夜勤での施工が殆どで、この測量業務を遂行するために、夜勤に最低2名の配員が必要になってくる。このように、坑内測量は工数がかかるばかりでなく、精度が要求されるため、その作業自体も緻密である。人員配置の合理化を考えた場合、夜勤の配員を削減することが最も有効であり、管理者にとっても精神的負担を和らげることになる。小断面工事になればなるほどこの要求が強く、何とか夜勤の人員削減を図りたいところである。

そこで、人員の合理化施工を目標に、小断面急曲線シールド工事を対象とした自動測量システムを開発し、現場導入を果たしたので、ここに報告する。

2. システム概要

(1) 開発に際しての留意点

これまで自動測量についての開発は、大断面シールド工事を対象にした事例が多く、その殆どが計測精度を重要視した光学系器械を採用している。しかし、小断面シールド工事(マシン外径φ2000mm級)における自動測量は、スペースの問題から光学系器械を採用した事例はなく、もっぱらジャイロコンパスとジャッキストローク計の値でシールド機の位置をモニタする程度であった。ジャイロコンパスには、掘進中のシールド機の横滑りを検知する能力がないため、この方式による位置出しには精度面で問題がある。現場管理者からシステムとしての信頼を得、しかも測量工数の削減を実現するためには、手測量に近い計測精度が必要に

1) ㈱青木建設 研究所

2) 正会員 ㈱青木建設 研究所

なってくる。このことを踏まえ、精度を確保するために、光学系によるシステムの開発を目指した。

当然のことながら、光学系の自動測量は、スペースの問題、すなわち見通し距離を十分にとれないと言う問題がある。これを解決するために、測量器械を頻繁に盛り換えたのでは、運用面での工数がかかり、実用的でない。そこで、開発に際し、「狭いスペースの有効利用」と「運用工数の削減」の2点に留意して開発に着手した。

(2) システム概要

本システムの最大の特徴は、測量器械を後続台車に搭載したところにある。(図-1)

これにより、マシンプリズムと測量器械までの距離が一定に保たれるようになり、狭いスペースでも光学系測量に必要な見通し距離が確保できるようになる。さらに、急曲線に対しては測量器械を回転台の上に載せ、曲線に応じて張り出すようにした。運用管理も、見通せなくなった後方プリズムを順次盛り換えるだけで済む。

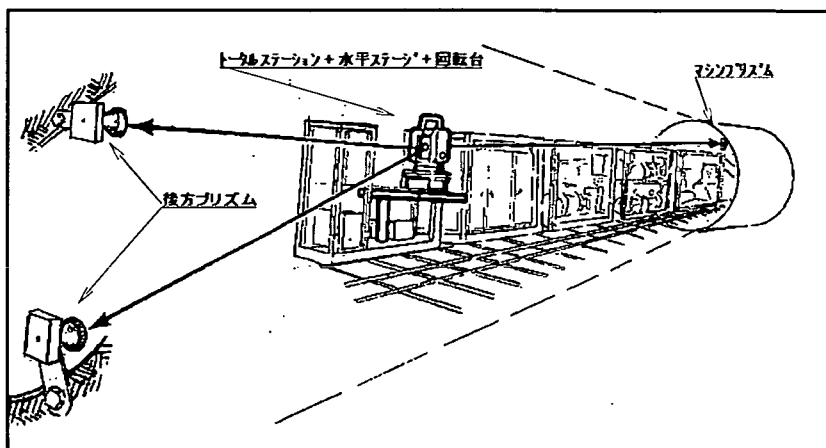


図-1. 自動測量イメージ図

この方法ではシールド機が停止中でないと測量することが出来ない。これを補うために、掘進中はジャイロコンパスの値でリアルタイム情報を積算し、自動測量は掘進終了後、毎リング行うことにしている。

本システムの機器構成は次のようになっている。

①自動追尾式トータルステーション（トータルステーション）

自動追尾式トータルステーションは、測量用のプリズム中心を自動で追尾し、計測した水平・鉛直角、及び距離を地上に伝送する。また、正反の測量機能も有している。

②水平ステージ

自動で測量するには、トータルステーションを水平に保つ必要がある。このため、トータルステーションを自動水平ステージの上に搭載した。この水平ステージは、指令により10秒精度で水平を保つ雲台である。

③回転台

坑内のスペースを有効利用するために、トータルステーションと水平ステージを回転台の上に載せ、自動測量時、線形を考慮した最適な位置に旋回するよう指令できる。限られたスペースで見通し距離を確保するには資材搬入に使われる空間も、自動測量時に利用することにした。自動測量開始時に、プリズムの位置関係を考慮し、地上からの回転角指令で、回転台を資材搬入空間方向に旋回する。

④測量用プリズム

測量用プリズムは、トータルステーションが計測するターゲットとなるもので、通常測量で使われるプリズムと同じものである。本システムでは、トータルステーションの位置が任意となるため、トータルステーションの自座標を後方交会法で求めた。したがって、後方プリズムをトータルステーションから坑口側既知点（セグメント）に2個設置し、マシンプリズムをシールド機内に1個設置した。

⑤ジャイロコンパスと水レベル計

本来ならシールド機内に測量用プリズムを2個設置し、計測することで、シールド機の姿勢角を演算できるが、小断面急曲線トンネル坑内では、プリズム2個を同時に計測することが非常に難しい。従って、シ-

ルド機内にジャイロコンパスを搭載し、その指示値をシールド機の姿勢角とした。掘進中はジャイロコンパス、水レベル計、及びジャッキストローク値をもとに、シールド機の三次元位置を積算し、パソコン画面上にモニタリングした。

(3) 測量手順

自動測量開始の信号を受けてからの測量手順は次のようになる。

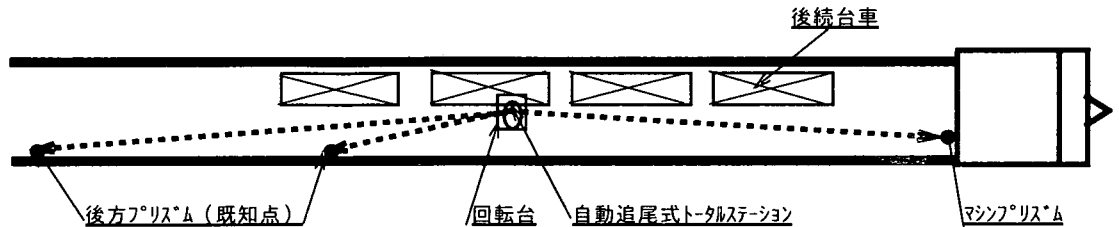


図-2. 自動測量手順図

- ①必要に応じて、回転台が所定の位置に旋回し、見通し距離を確保する。
 - ②水平ステージが稼働し、トータルステーションの水平状態を保持する。
 - ③シールド機内プリズム1点、後方プリズムを2点を正反対計6回の計測をする。
 - ④データの信憑性をソフトで判断し、問題ない場合は回転ステージが旋回し、後続台車内に格納される。
- 以上のような手順で、所要時間約3分で自動測量を完了する。また、自動測量の開始は、地上の中央管理室からの指令を合図にしている。掘進完了後、中央管理室では、開始に問題ないかテレビモニタで安全性を確認し、開始を指令する。このように、自動測量は掘進終了後毎リング実施されるよう施工サイクルの中に組み込まれている。

(4) 結果の出力

自動測量の計測結果とジャイロコンパスの指示値からシールド機的位置・姿勢を演算し、シールド機のヘッド、センター、テール位置での線形からの蛇行量と次回掘進時の目標方位角をパソコン上に表示する。

尚、掘進中は自動測量が実施できないため、ジャイロコンパス、水レベル計、ジャッキストロークでシールド機的位置をモニタリングする。

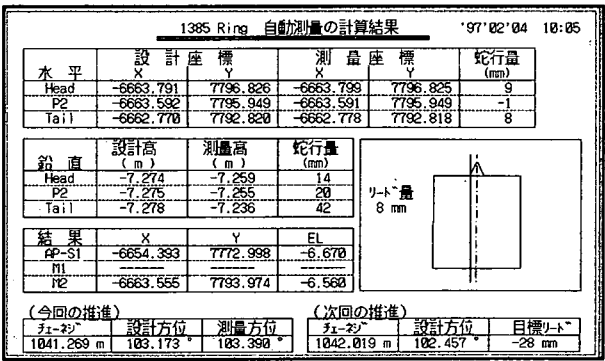


図-2. 結果出力画面

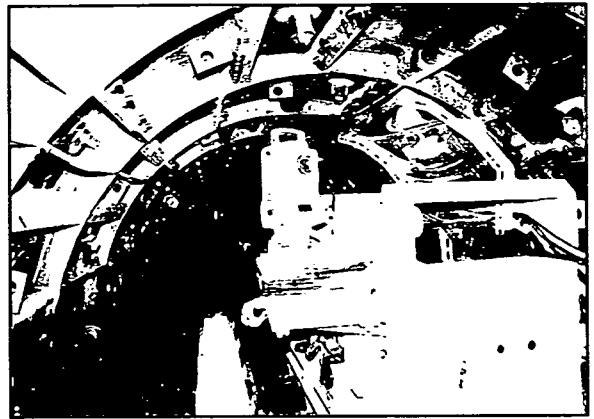
(5) 後方プリズムの自動盛り替え

トンネルの進捗と共に発生する日常のメンテナンス作業として、曲線によって見通せなくなった後方プリズムの盛り替え作業がある。盛り換え頻度は曲率半径と断面によって異なるが、シールド機外径φ2000mm、曲率半径R=15mで、1日に1回～2回盛り替えなければならなくなる。この作業を出来るだけ簡単にするために、システムの中に自動盛り替え機能を追加した。この機能は、基本的には通常の自動測量と同じような手順で実施するが、シールド機内のプリズムを計測する替わりに新規に取り付けた後方プリズムを計測し、その座標を演算出力する。従って、作業としてはマグネット台に取り付けたプリズムを順次盛り替えるだけで済む。但し、累積誤差を解消するために、手測量可能なときにプリズムを測量し、座標の補正を実施するよう励行している。

3. 導入工事概要

導入した現場の工事概要は次のようになっている。

工 法 : 泥水シールド工法
 施工延長 : 1368.3m
 シールド機外径 : $\phi 2140\text{mm}$
 セグメント内径 : $\phi 1850\text{mm}$
 セグメント幅 : 300mm, 450mm, 750mm
 曲率半径 : R15m～R300m (19カ所)



図－４．現場導入状況

4. 導入結果

システムを導入した結果としてその評価をしなければならないが、その１つの評価方法として人力測量と比較した計測精度は次のようになった。

水平蛇行量差 $1\sigma=7.5\text{mm}$ 、鉛直蛇行量差 $1\sigma=6.2\text{mm}$ 、シールド機方位角差 $1\sigma=0.095^\circ$

しかし、この精度は人力測量による誤差も含まれた値で、評価としては充分でないと考えられる。

シールド工事で線形管理を行う場合、最も重要な情報は、現在のシールド機の蛇行量と共にこれからシールド機がどの方向にどれくらいの力で進もうとしているのか、いわゆるシールド機の進行方向をベクトルとして捉えたデータである。システムの評価として、シールド機の進行方向をトレンドとして把握できるかどうか重要なポイントとなる。本システムは、毎リングの自動測量の結果が連続性を持ったなめらかな線になる傾向を示した。この結果から、今後のシールド機の進む方向が容易に推測できるようになり、現場管理者の信頼を得ることができた。

測量工数は夜勤の測量作業を可能な限り廃止することができ、従来の60～70%を削減した。

表－１．従来方法との所要時間比較表

	従来工法					自動測量システム					減少 比率 (%)
	平均測量時間（分）			測量 頻度 (回/日)	合計 時間 (分/日)	平均測量時間（分）			測量 頻度 (回/日)	合計 時間 (分/日)	
	通常のシールド機測量					後方プリズム測量					
	マシン 測 量	デ-ータ 演 算	計			プ-リズム 測 量	デ-ータ 演 算	計			
急曲	70	10	80	6	480	90	10	100	2	200	60
緩曲	80	10	90	4	360	90	10	100	1	100	70
直線	80	10	90	2	180	90	10	100	0.5	50	70

5. おわりに

今回、導入したシステムは大断面用シールド工事向けに開発したもので、当初、小断面急曲線シールド工事の導入に対しては、比較的消極的であった。しかし、小断面用に製作した回転台がうまく機能し、予想以上の測量工数の削減が達成できた。システムの開発には発想の他に、実行力も大切であり、難題解決に対し粘りを持った姿勢で取り組む必要がある。現場責任者の理解と協力を得ることも、さらに重要なステップとなる。今後も、土圧シールド工事や推進工事での、自動測量の水平展開を実現していきたいと考えている。