

シールド自動測量運転システムの開発

清水建設	土木本部	土木第1部	○池田昭栄
	土木本部	土木第1部	酒井俊一
	土木本部	技術第1部	後藤 徹
	情報システム部		大西 誠

1. はじめに

最近、都市域では、都市機能の拡大や交通量の増大に対処するため地下空間の再利用が求められてきている。現在、計画中の各種プロジェクトも地下空間に関するものが多く、今後限定された区域での機能拡大を計画するならば、勢い同種の計画が継続して発生してくると思われる。

さて、これらの計画を実現する手段（工法）としては、現在のところ都市域での施工実績が多いシールド工法が有望視されているが、これらの区域には、既に数多くの地下管路と地下構造物が存在することや使用上の要求からその施工精度は厳しいものが必要となってきた。本システムは、このような背景よりシールド機の位置と姿勢情報をリアルタイムに採取し、その情報を基に短いサイクルでシールド機の方向制御を可能として施工精度を高める目的で開発されたものである。更に、将来のシールド専門技術者の不足を予見して掘進データを蓄積し、これを統計処理して方向制御に役立てるソフトを構成しており、これを利用した全自動化運転への移行も目指している。

2. 開発での考慮点

2.1 目標設定

今回の開発にあたり以下の目標を設定した。

- ①シールド機とセグメントの位置・姿勢を常時監視できるようにする。
- ②測量精度を人為測量と同等以上とする。
- ③機器作動中に人によるメンテナンス作業を極力なくす。
- ④人の違いによるジャッキ選択の優劣をなくし、未経験者でもすぐに適切なシールド操作（ジャッキ選択）が行なえるようにする。

2.2 目標への対応

上記目標を達成するため、以下の工夫を当システムでは行っている。

- ①に対して 測量機器、受光盤、シールド機からの各データを、パソコンで即時に演算処理し測量ビッチを20秒とした。又、ひずみゲージを利用したクリアランス測定器を開発し、セグメントのシールド機に対する位置を常時把握できるようにした。
- ②に対して 精度的に秀れた受光盤（読取精度 $\pm 1\text{mm}$ ）を採用し、レーザー発振器と、光波距離計、デジタルトランシットを組合せたトータルステーションを新たに製作した。
- ③に対して シールドの移動に合わせてレーザー・光波の振り角が自動追従出来る様、トータルステーションの微動調整ネジ部に小型モータを取り付けパソコンと連動させた。その他機器も全てパソコン制御とし全自動化を図った。
- ④に対して 事前にシールド現場のジャッキ操作データを収集し、シールド変位とジャッキ偏心力とに高い相関があることが判明した。（係数0.87, $n=387$ ）この関係を利用して、シールド変位とジャッキ偏心力とのデータを蓄積し、この相関より所定のシールド変位を得る偏心力（ジャッキパターン）を選定するソフトを構成した。

3. システム構成

図-1にシステム構成を示す。

当システムは狭いシールド坑内での使用を前提としているため、坑内に設置可能なパソコンによるデータ処理、機器制御をおこなっている。右図の中央線の下部分が運転室内に設置するもので極力コンパクト化を図っている。

ソフトウェアは原則として対話形式をとっており、重要な判断については技術者の入り込む余地を残している。今後の全自動化への移行ではこの部分を徐々に消去していくこととなる。

ハードウェアは、計測機器類とコントローラ、シールド機制御装置、各種センサーおよびこれらの作動を制御するパソコンよりなる。これらの機器類は、計測機器類を除いて運転室内に設置しているが、最近 2 km を越える長距離シールドで採用され始めたため、坑内に信号増幅機を置いて中継し、全ての制御を坑外の中央制御室で行う方式も行っている。

当システムで使用しているデータを表-1に示す。

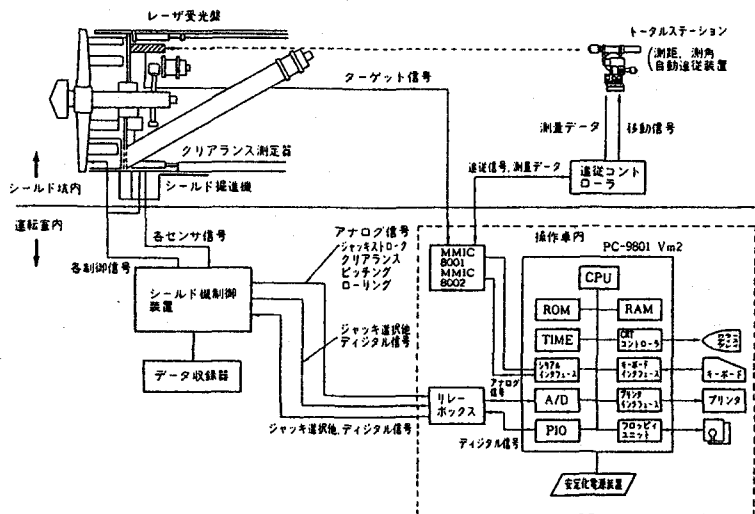


図-1 システム構成図

表-1 データ一覧表

データ種別	項目	信号機	内 容	方 向	信 号
デジタル	1.シールドジャッキ選択 2.掘進開始 3.掘進終了 4.掘進モード 5.シールドジャッキ「自動」 6.シールドジャッキ「手動」	3 2 1 1 1 1 1	各ジャッキのON-OFF状態 カッター回転 and ジャッキ押でON 2の逆でON セグメント組/掘進の種別 自動/手動の選択	シールド機⇒パソコン	ドライ接点 (無電圧接点)
	1.シールドジャッキ実選択	3 2	シールドジャッキ自動操作時 ON-OFF	パソコン⇒シールド機	
アナログ	1.シールド油圧	1	0~350 ^{kgf} /cm ²	シールド機⇒パソコン	4~20mA DC
	2.ピッチング	1	0±50/1000		
	3.ローリング	1	0±3°		
	4.ジャッキストローク	4	0~1500 ^{mm}		
	5.クリアランス量	4	0~50 ^{mm}		
RS-232C	1.レーザー受光位置	2	ターゲット上の座標値	受光器⇒パソコン	
	2.測量機読値	3	L 距離, θ _H 水平角, θ _V 垂直角	トータルステーション⇒パソコン	
	3.追従信号	2	小平振り角, 垂直振り角	パソコン⇒トータルステーション	

4. 処理フロー

本システムは、基本データの入力・登録から最適ジャッキの選択までを図-2に示すように一連のソフトで処理する。

(ソフトはBASIC)

以下にその概要を説明する。

(1) 計画ブロック (図中②～⑤)

該当工事ごとのデータを計画段階で入力しておくブロックである。

- ・基本データ …… シールド機仕様、セグメント仕様、計測機器、計画基点座標等のデータ入力。
- ・路線計画 …… 路線計画情報(設定R、勾配等)の入力。
- ・セグメント組立 …… 計画路線に合わせて、使用セグメントを設定する。モニター画面でのスタンダード、テーパセグメントの選定及び角度指定を行なう。

(2) 施工ブロック (図中⑥、⑦)

シールド掘進時に使用するブロックで、過去の位置情報及び現時点でのシールド位置、姿勢情報をモニターする。

- ・掘進状況表示 …… モニター画面により、現在のシールド位置、姿勢を監視し、異常時には警報を発生させる。
- ・シールド位置向き計算等 …… 計測結果より、シールド、セグメントの位置・向きを計算し登録する。

(3) 予測ブロック (図中⑧～⑩)

得られた情報から、今後10リングのシールド運転に対する予測を行なうブロックである。

- ・セグメント選定位置予測 …… 計画路線からのズレを少なくするため、今後選定すべきセグメント種別角度を指示する。
- ・シールド位置、向き予測 …… 上記セグメントを選択した場合のシールド位置と向きを表示する。
- ・ジャッキ選定予測 …… 上記選定後、過去の掘進データを統計処理して次の1リングの最適ジャッキパターンを表示する。自動運転時には、このジャッキパターンでシールドは推進される。

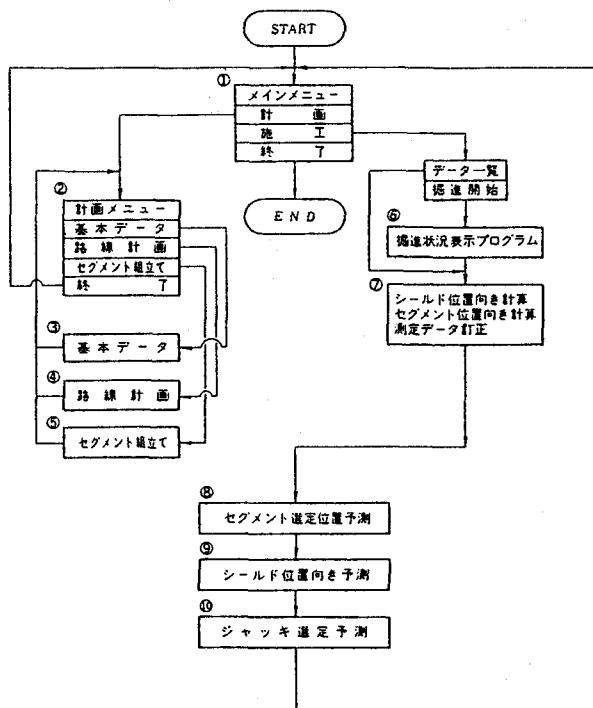


図-2 処理フロー図

5. 現場適用状況

5.1 適用現場

本システムは、昭和62年より以下の現場で適用され始めている。

- ①鉄建公団 京葉、都心、東越中島T他 (φ7.35^m 泥土圧式シールド)
- ②名古屋市 高速度鉄道6号線那古野工区 (φ7.25^m 泥水式シールド)
- ③水資源公団 霞ヶ浦、利根川連絡水路 (φ5.23^m 泥水式シールド)

各々の現場で若干の修正を加えながら現システムに至っているが、考え方の大幅な変更は行っていない。次項で現場での適用結果を示す。

5.2 適用結果

(1) 掘進状況

該当工事では、本システムによる自動測量を全リングで継続して行なった。これと共に従来のトランシット・レベル測量（以下人為測量と略す）でシールド機の軌跡チェックを行なっており両者の測量比較が可能である。代表例として2番線の451～500リングについて図-3に測量結果を示す。両者の差は約10mm以内に収まっており、良好な結果が得られている。現場のシールド掘進は、当初の調整期間でシステムの実用性が評価されたため、オペレーターが常時、表示されたズレ表示・方向表示のモニターを見てシールドジャッキのON-OFFを判断し行なった。

このシステムによって測量作業が省力化でき、その結果稼働日平均7.2リングの掘進スピードを確保する事が可能となった。

(2) システムの評価

1, 2番線の路線での自動・人為測量値について統計処理を行ってみた。人為測量は昼夜作業の交替時に行うことから、比較データ数は187組と135組であった。処理は路線計画の座標値を「真値」とし、自動・人為の各データはこの真値よりの差分で入力した。処理結果を表-2, 3に示す。

この結果によると、平均値に若干の差はあるものの、標準偏差にはほとんど差がなく、本システムでの測量と従来の人為測量のバラツキの程度は、同一の状況にあると考えられる。次に、本システム測量値(Y)と人為測量値(X)との相関は、全ての係数が0.8を越えており両者間の相関がかなり高い事を示している。回帰式では、1番線水平方向の定数項が大きく、これが先の平均値の差に現れているといえる。この原因は設置誤差により、常に自動測量値が誤差を上載せして記録したためと考えられる。

なお、他現場で行った自動運転については、直線部ではほぼ人の判断に一致して制御が行われる事が判明しているが、微妙な操作を繰り返す曲線部などでは人の判断と異なるケースが多く、経験者の操作方法・規制方法・処置方法などが、まだ充分ソフトに反映されてないと考えている。

6. おわりに

以上、システムの概要と現在の適用状況について述べたが、本システムは最終的にシールド機の自動運転を目指しており、まだ完成状態とは言えない。今後、上記誤差原因をつぶした上で現在稼働中の現場の自動運転データを加えて、検討・分析を行ない最終的な全自動化運転へ移行していきたい。

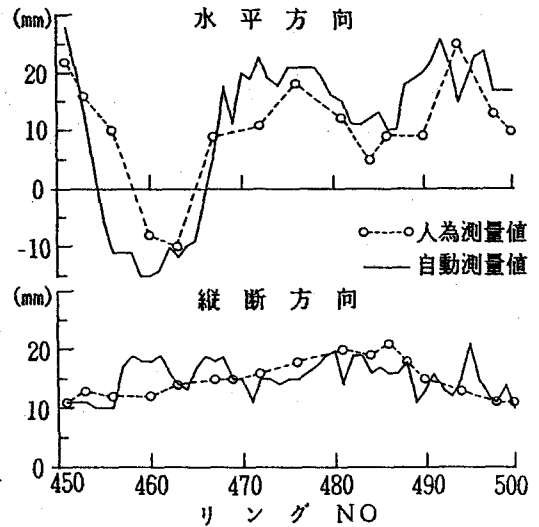


図-3 測量結果実績

表-2 「真値」に対する各測量値

		1 番 線 (n=187)		2 番 線 (n=135)	
		水平	縦断	水平	縦断
平均 値 (x) mm	自動	16.80	-2.05	7.13	3.88
	人為	6.32	0.22	4.39	-1.31
標準偏差 (σ) mm	自動	21.53	16.05	22.64	17.28
	人為	20.03	15.88	19.27	17.04

表-3 自動・人為測量値の相関

		1 番 線	2 番 線
水 平	相 関 係 数	0.84	0.84
	回 帰 式	$Y=0.90X+11.08$	$Y=0.99X+2.78$
縦 断	相 関 係 数	0.82	0.87
	回 帰 式	$Y=0.83X-2.23$	$Y=0.89X+5.04$