

## 59. シールド自動掘進管理システムの開発

飛鳥建設(株)：\*八巻 秀一、滝本 幸夫  
下境 常男

### 1. はじめに

本報告は、東京湾横断道路川崎トンネル築造に採用された、泥水式シールド工法の施工管理のため開発・導入したシールド総合施工管理システムSERV (Shield Engineering seRVice system) の機能と工事における検証結果をまとめたものである。

### 2. システム概要

シールド総合施工管理システムは、ワークステーションとネットワークを利用した、泥水式シールド機によるシールド掘進工全般を管理するもので、既存の類似システムにない以下の特徴を有する(図-1)。

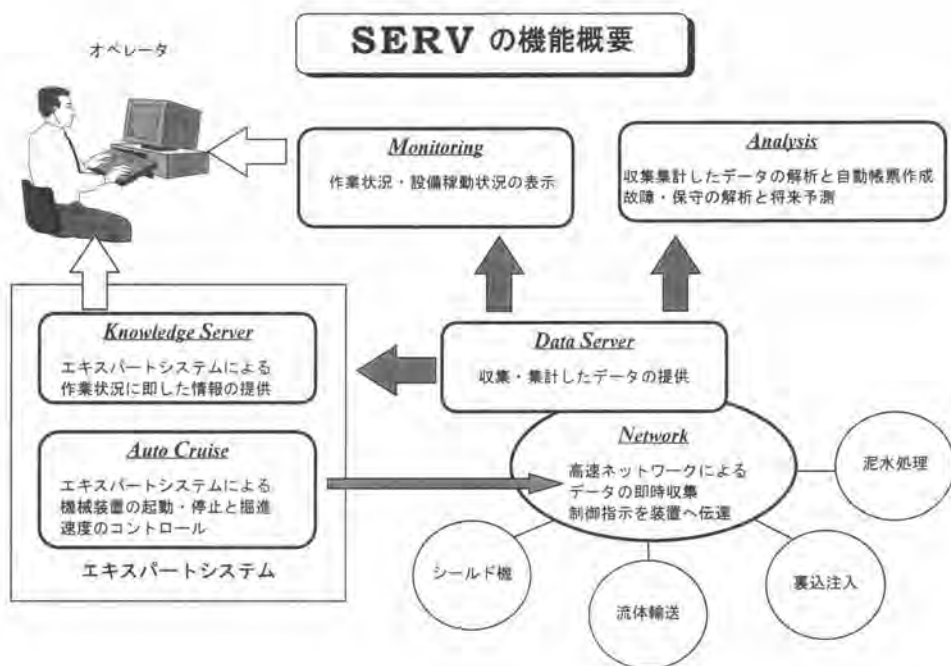


図-1 機能概要

- ①全ての計測信号を24時間計測・記録可能なデータ収集機能を有する。
- ②機器類の稼働を示す接点信号（ON/OFF）や警報信号などのデジタル信号を記録・表示することが可能である。
- ③記録したデータを外部コンピュータで容易に利用可能なデータ構造と通信インターフェイスを有する。
- ④シールド機と流体輸送設備の自動運転機能を有する。

### 3. 自動運転機能の検証

#### 3. 1. 機能概要

本システムの自動運転機能は、シールド掘進開始、終了時の作業を自動化するシーケンス制御機能と掘進中の掘進速度制御機能に大別され、どちらもシールド機と流体輸送設備を連動して操作することで機能を実現している。シーケンス制御は、シールド機の稼働状態を停止・セグメント組立・パワーユニット運転・カッタ回転・掘進の5つのモードに分類し、流体輸送設備の稼働状態を停止・バイパス運転・切羽循環の3つのモードに分類する。モード間の移行に伴う機器類の制御は、シールド機、流体輸送設備それぞれの機器を管理しているシーケンサ内部においてプログラミングされており、本システムがモードの判定・目標となるモードの決定・シーケンサへのモード移行指示・モード移行時の安全性判断を、エキスパートシステムを用いて行うことで自動運転を実現している。

掘進速度制御は、設備の負荷を監視し負荷が大きい場合は掘進速度を低下させることで、負荷を軽減する速度制御を自動で行う。設備の負荷と関連のある監視項目が常用限界となる値（限界域境界値）を一定時間超えた場合、一定の時間（制御出力待ち時間）経過後に速度を落とすよう指示を出す（指示出力後一定時間（安定待ち時間）は、連続して速度低下指示を出さないよう抑制し、その後再び常用限界の監視を行う（図-2）。

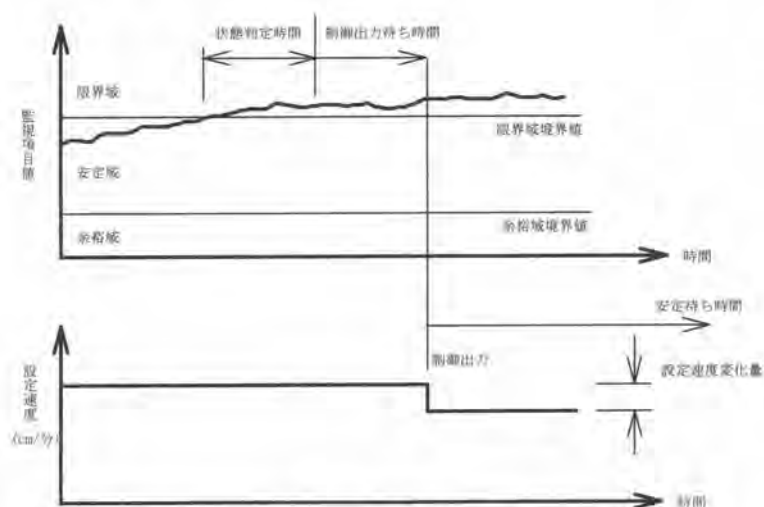


図-2 速度制御

### 3. 2現場運用によるシーケンス制御機能の検証

シーケンス制御機能の検証のため、シールド機－停止モード・流体輸送－バイパス運転モードの状態より自動運転を開始し、掘進開始時・終了時に各設備のモードがコンピュータの判断によりどのように移行するかを確認した。

- ①各設備のモード判定は、問題なく行われた。
- ②シールド機－パワーユニット運転モード・流体輸送－切羽循環モードになるまでは、相手のモードに関係なく個々に掘進に向けてモードを移行させていった。
- ③カッタ回転モードへの移行は切羽循環の安定性の確認が終了した後、掘進モードへの移行はカッタ回転の安定性の確認が終了した後に行われ、当初のシステム設計通りの動きを示した。
- ④停止への移行は、両設備とも停止へ移行しようとした。しかし、本工事のシールド機の仕様として、掘進完了時にはバックリング防止のためにカッタ回転中に自動で掘進ジャッキを押し当て直す処理が存在し、この処理への対応が本システムに組み込まれていなかったため、この処理の完了前にカッタ回転を停止するのは望ましくないとの判断により自動運転を解除した。

④のような特殊な処理がなければ、自動運転の機能そのものは問題無く動作したと推測される。しかし、実際の運転においては、④以外にもオペレータの操作と自動運転の操作とに若干の差異が見られた。

差異のひとつは、シールド機のパワーユニットを稼働させるタイミングである。自動運転では即座にパワーユニットを稼働させているが、オペレータの操作では消費電力の節減のためカッタ回転直前まで稼働させなかった。

差異のもうひとつは、掘進停止後の切羽循環・バイパス運転の時間である。主に土質条件と配管長に左右されるが、泥水比重の調整とチャンパ内・機内配管での土砂沈降予防のために、それぞれ一定時間バイパス運転を行ってから停止する場合がある。本システムでは、泥水比重の調整は判断基準の一つとしていたが、チャンパ内、機内配管での土砂沈降予防に対する判断を想定していないため、オペレータは自動運転を解除してバイパス運転を継続した。

### 3. 3現場運用による掘進速度制御機能の検証

掘進中の速度制御は、(1)制御の必要性の判断と制御値の決定、(2)制御値のシールド機への送信という2つの段階に別れて動作する。ここでは(1)の判断・決定の結果を検証し、実際の速度制御はオペレータにより行った。

速度制御に関係する監視項目は、排泥流量・排泥密度・P2ポンプ電流・PEポンプ吸込圧・裏込ポンプ電流・カッタトルク・ジャッキ圧力の計測データおよび混練量不足・カッタスリップ・シールドPU負荷の警報を採用した。

掘進開始当初に凍結区間および改良土区間を掘進したが、凍結区間においてはカッタトルク負荷により、改良土区間においては流体輸送ポンプ負荷により、速度を低下させるよう演算された。また、450

m付近を掘進中に裏込ポンプのポンプチューブ劣化が発生し吐出量低下・ポンプ負荷増大という現象が発生したが、各設備のセンサーからの情報により速度を低下させるよう演算、指示された。いずれも実際にオペレータが掘進速度を低下させることで重故障発生を予防でき、この機能の有用性が確認された。

#### 4. データ収集機能の検証

##### 4.1 機能概要

自動運転をはじめ、本システムの様々な機能を実現させるためには、多くの計測データを収集し、必要に応じて各プログラムに提供しなければならない。本システムにおいては、データの分単位での集計、1リング単位での集計を独立したデータ収集機能として構築し、リアルタイムデータと併せて各プログラムからの要求に応じて随時配信する機構とした。なお、分単位データ集計機能は24時間稼働させて、取得データを記憶媒体に記録させた。また、専用のユーティリティの使用により、分単位・リング単位データをネットワーク接続したパーソナル・コンピュータ上の表計算ソフト等で利用できる機構とした。

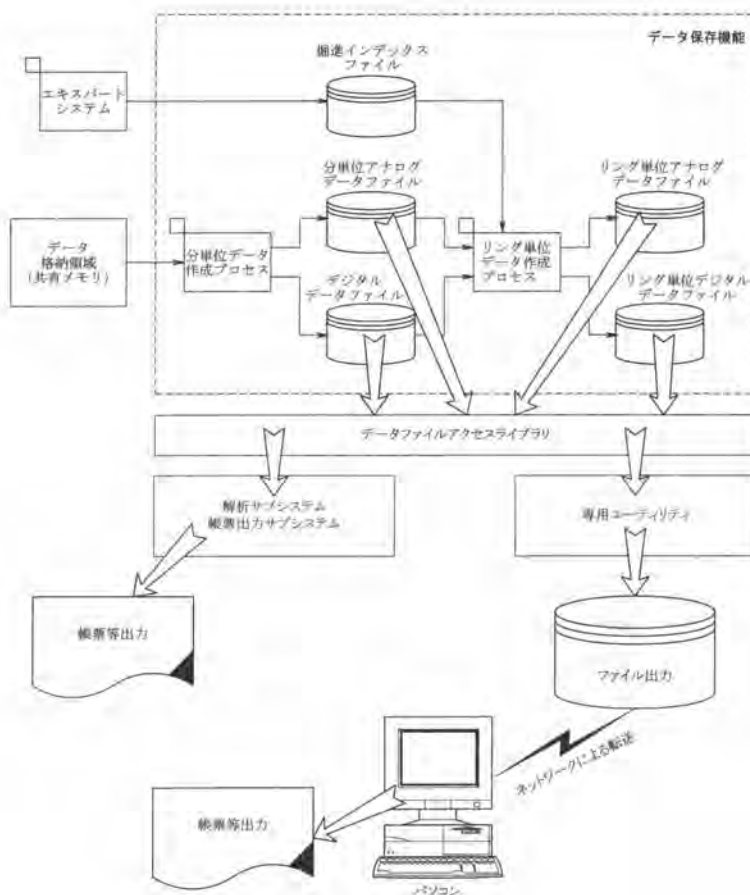


図-3 データの利用

#### 4. 2 帳票作成への利用

リング報などの一般的な帳票は、システムの機能として組み込み利用した。また、発注者への提出資料・施工管理上必要となる資料のうち、本システムで取得しているデータを利用可能なものについては、パーソナル・コンピュータの表計算ソフトを利用して作成処理を半自動化した。これらの資料の多くは運用を開始してからニーズとして発生したものであり、あらかじめ作成しておいても体裁やデータの処理方法が目的に合わない可能性が高いものである。本システムでは、必要とされる複数データを容易に抽出することが可能であり、抽出したデータをデータ資料作成のシステム化と修正が簡易なパーソナル・コンピュータの表計算ソフトで処理し、これらのニーズに対応したが非常に有効であった。このことから、帳票作成に関してはニーズとして発生する度に短時間で容易にシステム化ができるような仕組みを持たせておくことが非常に重要であることがわかった。

#### 4. 3 施工管理へのフィードバック

収集したデータを常時、または必要に応じて帳票化することにより、様々な用途に利用することができる。本工事において、施工管理へ利用した事例を2つ紹介する。

シールド機の方向は圧力制御方式によって制御されるが、その目標となる方位角およびピッチングを決定する際、出来形測量結果（1日1～2回）、自動測量装置による測量結果、掘進時の水平・鉛直の方向角、テールクリアランス、セグメントの偏心量、ジャッキストローク（以上は毎リング）の推移や相関をもとに分析を行い決定した。これらのデータのうち、測量結果とセグメント偏心量以外のすべてのデータは本システムで収集・蓄積し、日常的に帳票化していたものを利用した。また、セグメント偏心量も元データは本システムに専用プログラムを追加して収集したデータであった。大量のデータを短時間で帳票化することで、その後の再利用を促進した事例である。

本システムでは、警報や装置の稼働も二値の信号（ON/OFF）として24時間計測・収集・蓄積する。これを利用し、流体輸送ポンプのグリス不足警報の発生間隔を分析し、約3日に1回という結果を得た。これをもとにメンテナンス時期、すなわちグリス交換時期を決定し、施工手順に組み入れた。この作業は、警報のように点数の多い信号を過去にさかのぼって抽出し、かつ他の信号や計測値との相関も調べる必要があるため、同じ期間の他のデータも抽出するという複雑な作業となるが、本システムの場合はこのような要求に対応するべく製作されていたため、同様のニーズにおいて効果を発揮した。突発的なデータ分析の必要に柔軟にかつ迅速に対応できた事例である。

### 5. 考察

#### 5. 1 自動運転の今後の可能性

自動運転が現在のシステムでも実現可能であることは本システムにより実証されたが、現実の作業進行との不整合を解消し、経済的・合理的な運転を可能にするためには、より複雑な問題解決が可能なエキスパートシステムを構築する必要がある。また、各設備の個々の自動化が未だ無人運転を可能にするほどの信頼性のあるものになっておらず、設備からの情報のチェックや操作指示に複数のオペレータ

が必要となる。このような現状を考えると、現時点では完全な無人運転を目指すよりもより少ないオペレータ数による運転（ワンマン・コントロール）を確立する方が実効性が高いと考えられる。しかし、施工条件の多様化に対応して将来的には無人運転を目指す必要があると思われるが、これは各設備の自動化の信頼性向上に合わせる形で、トータル的な無人運転を目指していくことが望ましいと考える。

## 5. 2 収集データの有効利用

本システムのように、多種多量のデータを収集し、要求に従って自由に組み合わせて抽出・分析可能な状態で蓄積しておくことは重要である。しかし、あまりにも膨大なデータを抽出する場合には実用的な応答時間内に解答が得られなかったなど、性能面では改良の余地がある。今後はより速く、より簡単に、より高度な要求に答えることができるデータの収集・蓄積の方法を考案し、多くの工事で利用できる方策を検討する必要がある。

## 6. 終わりに

今回開発・運用した総合施工管理システムは、機械化の進む建設工事の将来における無人化の可能性を強く裏付けるものであると同時に、課題を明示するものでもあった。また、施工の情報化の重要性をあらためて認識する結果となった。

最後に、今回の開発ならびに運用にあたり協力していただきました関係者の方々に厚く御礼を申し上げます。