

8. シールド工事における統合制御システムの開発

五洋建設(株)：*植田 勝紀, 杉本 英樹
石関 潤一

1. まえがき

シールド工事の一次覆工では、多くの機械設備がシールド機の掘進作業に併せて連携動作する。この工事は次第に大型化・長距離化する傾向にあり、個々の設備の稼働バランスを図るための管理と、これを的確に制御する技術がさらに重要となっている。五洋建設(株)は、こうした工事を“安全に高速に”施工する技術として、「シールド統合制御システム」(以下、本システム)を開発推進してきた。

本システムは、過去数年間に渡って順次開発・実証してきた複数の装置をまとめ、運用性向上を目指して統合化したものである。現在、施工延長約3kmの長距離工事の現場に導入し運用中である。本報では開発システムの現場導入概要を報告する。

2. システムの概要

本システムの目的は、遠隔制御と遠隔管理の一元化である。司令塔となる統合制御室(写真-1)において施工情報を一括収集し、散在する機械設備を総合的な判断のもとで確実に制御するものである。また、統合制御室以外の場所(例えば、遠方事務所等)にも同様のシステムを設置し、状況監視装置として併用することができる。遠隔制御・管理の基本操作はタッチパネル式操作を採用した。1台のCRTはマルチウィンドウ操作により多機能を処理できる。



写真-1 統合制御室

2. 1 システム構成

全体のシステム構成を図-1に示す。表-1に統合化システムの機能及び操作位置の一覧を示す。統制制御室には6台（4台でも可）のCRTを設置し、図-1中の機能全てを遠隔操作・管理・監視する。オペレータは、通常NO.3部に位置しワンマンコントロールを行う。ローカルエリアネットワークは同軸ケーブルを用いているが、コンピュータ間的高速処理が重要となる制御室回りは光ファイバケーブルを使用した。

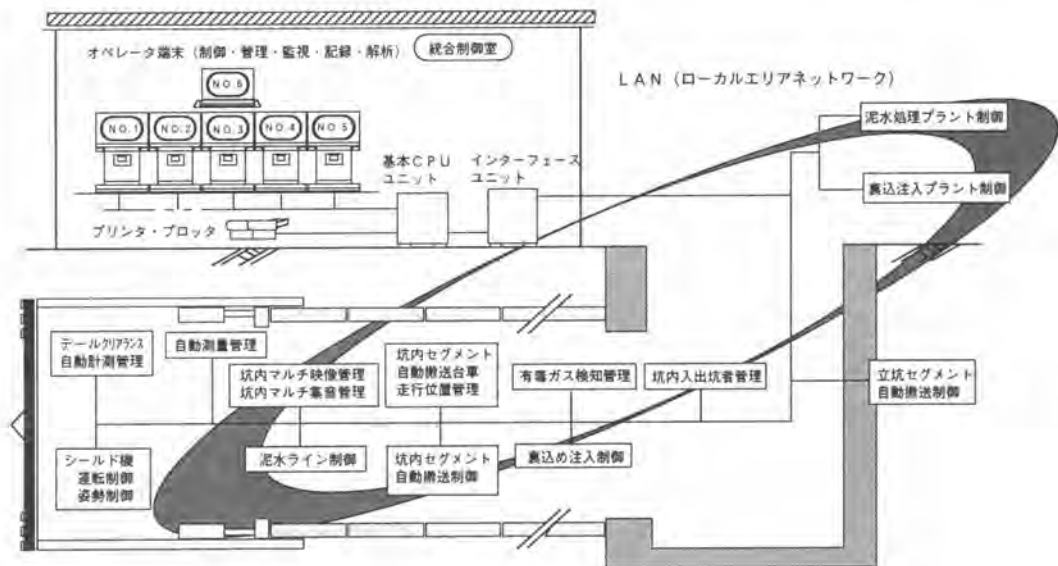


図-1 システム構成図

2. 2 システムの特徴

- (1) 施工情報の一元管理と遠隔制御
長距離施工を前提とした一元管理、および遠隔集中制御を行う。
- (2) 自動と半自動および手動制御の切替
姿勢制御装置等の制御は、状況に応じて自動・半自動・手動の切替えが可能。
- (3) フェイルセイフが基本の安全設計
電源のブラックアウト対策、誤操作時の安全確保インターロック、不慣れなオペレータに配慮した回避機能がある。
- (4) 画像と音信号のマルチ伝送と管理
施工上キーポイントとなる場所の映像

表-1 機能・操作位置

項	装置	機能	制御・管理項目	図-1 操作位置
1	遠隔制御・管理装置	制御	・シールド機運転制御 ・泥水輸送ライン制御 ・泥水処理プラント制御 ・裏込め注入制御 ・自動搬送制御	NO. 1 ～NO. 3 いずれにても可
		管理	・坑内入出坑者管理 ・坑内有毒ガス検知管理 ・自動搬送台車走行位置管理	
2	シールド機 自動姿勢制御装置	制御	・シールド機 ジャッキパターン選択	NO. 4
3	シールド機自動測量 ・軌跡管理装置	管理	・自動測量データ受信 ・シールド機掘進軌跡管理 ・テールクリアランス計測管理	NO. 5
4	坑内マルチ映像 ・集音管理装置	管理	・地上、地下6カ所の 映像監視・集音管理	NO. 6

および音をマルチ伝送し、統合制御室においてもオペレータの五感が十分発揮できるよう考慮した。

(5) 機器の盛替え、増線作業の簡素化

各種盛替え作業を容易化した。小型自動測量装置の開発や、坑内-制御室間の配線ケーブルを制御・管理系と映像・音声監視系の2系統にまとめ、トンネル工事進捗に伴うケーブル等増線作業の簡素化を行った。さらにSS無線による坑内無線技術のケーブルレス化試験も進めている。

(6) タッチパネル式操作による多機能化

タッチパネル式の操作切替えにより、1台のCRTのウィンドウ変更で全ての操作が行える。

2.3 構成装置の内容

(1) 遠隔制御・管理装置 (表-1、項1)

1台のコンピュータで5項目の制御、3項目の管理を行う。今回の実施例では当装置用に3台のコンピュータを設備し、複数のオペレータによるマルチ操作も可能なシステムとした。

①遠隔制御

図-2に示す制御要素を経時データの変化を確認しながら遠隔制御する。この5制御項目は、全体がバランス良く連動する必要があるため、本装置の総合的な状況判断のもとで最適制御が可能となる。写真-2にタッチパネルの一例としてシールドマシン制御画面を示す。

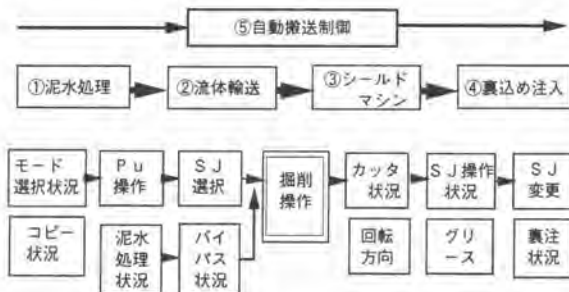


図-2 システム制御要素と概略フロー



写真-2 タッチパネル操作画面例

②遠隔管理

比較的優先度の低い管理要素を遠隔制御の裏処理で実行し、必要に応じて表示・運用する。但し、緊急を要する状況が発生した場合は、全ての画面に警告を表示し音声合成装置により注意喚起する。

・<入出坑者自動管理>

非接触式のIDカードを入退出ゲート部で自動検知し、各人の入出坑データが自動集計される。

・<坑内有毒ガス検知管理>

坑内数カ所に設置された有毒ガス検知センサ (O_2 、 CH_3 、 H_2S) の情報を常時自動管理する。

・<自動搬送台車自動位置出し管理>

セグメント自動搬送台車 (立坑搬送、坑内搬送) の運行状況管理を行う。図-3、写真-3に示した自動搬送システムにおいてセグメント無人搬送台車の走行位置を常時管理する。

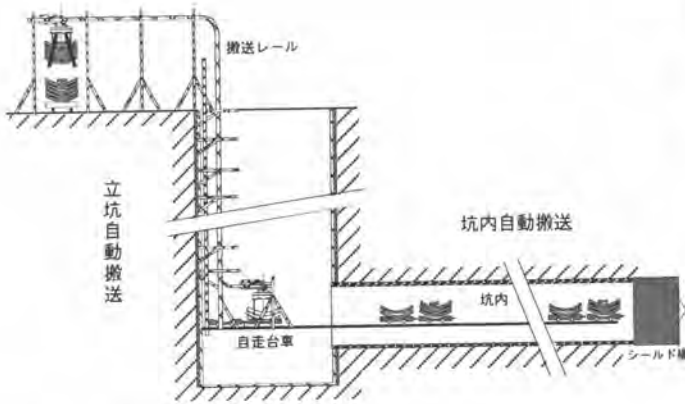


図-3 セグメント自動搬送システム概念図



写真-3 立坑搬送装置

(2) 自動姿勢制御装置

シールド機の姿勢制御は、単にトンネル施工路線を計画路線に誘導するだけに止まらず、セグメントに目開きや欠けのない高品質のトンネル築造のための重要な技術である。本装置は、こうした出来形精度向上を目的としたシールド機の自動姿勢制御を行うものである。制御モードには“手動”の他に以下の2種類がある。自動姿勢制御の制御フローを図-4に示す。

・<全自動モード>

シールド機を全自動で方向制御するモードである。現在のシールド機の位置・今後数リングの計画路線の線形・使用するセグメントを考慮して、目標とするシールド機の姿勢を算出する。この目標姿勢を達成するための最適なモーメントを直近数リングの掘進データから推定、この制御効果の変化をさらに学習しながら自動掘進する。

・<半自動モード>

シールド機自動姿勢制御の目標姿勢（掘進指示値）を手動入力し自動制御させるモードである。掘進開始直後や、土質変動が大きい場合、シールド機掘進特性が安定しない場合に用いる制御モードである。

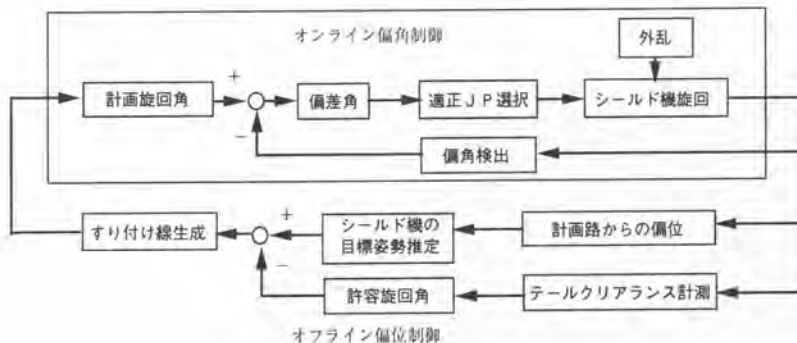


図-4 自動姿勢制御フロー

(3) 自動測量・軌跡管理装置

シールド機掘進中の詳細な掘進軌跡を計画路線に対する3次元相対位置で管理する。測量管理を行うと同時に前述自動姿勢制御装置の基本データとなる。鉛直旋回レーザを用いた本自動測量装置は開発以来8現場の運用実績があり、機能検討・改良を繰り返し現在に至っている。運用面での使い勝手を向上させるため、自動測量の生データ（測距、測角、レーザ受光ポイント値等）の誤差を確認・修正する逆演算シミュレーション機能等、特殊な技術要素を組み込んだ。写真-4、写真-5に示す小型自動測量装置およびターゲットは、シールド機外径2800mm、曲線半径30Rでの運用実績がある。また、セグメントとシールド機の間隙を自動計測するテールクリアランス計を具備し、セグメントの位置・変形管理も同時に行うことができる。このクリアランス計はシールド機掘進中常に作動するものであり、シールドの環境に十分耐えられるよう設計した。設置状況を写真-6に示す。



写真-4 小型自動測量装置 写真-5 受光ターゲット 写真-6 テールクリアランス計

(4) 坑内マルチ映像・集音管理装置

CATV（ケーブルテレビジョン）の幹線ネットワークを利用したシステムで、複数のカメラ映像と集音信号を1本のケーブルで伝送する。統合制御室では1台のCRT・スピーカでマルチ画面監視・集音管理でき、マウスによって操作切替えを行う。1本の同軸ケーブルで映像・音情報最大30チャンネル、デジタルデータ5チャンネルを双方向に送る性能を持っている。また、マルチドロップで端末機器を接続できるため、ネットワークケーブルの配線ルート付近であれば自由にカメラの増減設が可能である。また現在、坑内自動搬送台車搭載カメラのSS無線映像を当ネットワークに繋がる中継局で受信し、他信号と同様に地上へ伝送する実験も進めている。CRT映像表示画面例を写真-7、図-5に、全体システムの概念図を図-6に示す。



写真-7 マルチ映像画面例

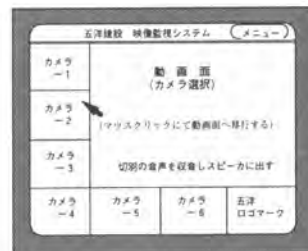


図-5 マルチ映像分割例

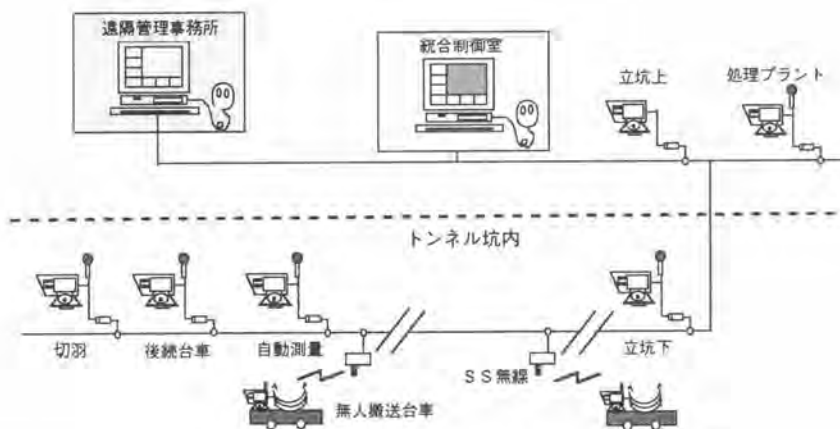


図-6 マルチ映像・集音管理装置概念図

3. 現場導入

本システムは、施工延長3 kmの横浜幹線シールドに導入し平成8年4月から運用開始した。本論文執筆の6月現在において、ほぼワンマンコントロールが可能な状況にある。工事が進捗し最終到達付近(3 km)になると、切羽まで人間が歩いて通常40～50分程度かかる。今後、職員全員が本システムに慣れることにより、さらに運用効果が向上することを期待している。

4. あとがき

導入したシステムの最大の狙いは、工事後半になってからの施工全般に渡った確実な状況判断と、的確な制御による効率的な設備運用である。当社は、ここ数年「シールド掘進自動化の開発」というテーマのもとでシールド自動化関連技術開発を順次手がけてきた。このため、単独装置としてはすでに数現場の実績を持っているものが多い。今般、統合制御システムとして組み込んだ装置は十数項目であるが、今後さらに追加されるもの、重要性が低く淘汰されるもの、等、様々な展開があるものと予想している。こうした実績の中から、真に必要とされる技術を見極め、多くの現場に受け入れられる使い易いシステムに仕上げていきたいと考えている。

<参考文献>

- 1) 五洋建設(株)：建設省技術評価書、「シールドトンネル掘削機の自動姿勢制御システムの開発」、1991年8月
- 2) 植田：シールド工法講習会「シールド機の自動測量システムと姿勢制御」、日本プロジェクトリサーチ編、1992年4月
- 3) 原、植田：「小口径シールド用自動測量装置」、(社)日本測量協会月刊「測量」、1993年2月号