

3. シールド工事の自動化システム

鹿 島：吉村 宗男・柴田 学
* 颯田 共志一

近年、地下空間の有効利用の必要性がたいへん高まってきている。そうした中で、地上への影響が極めて少なく地下構造物を建設する方法としてシールド工法は、鉄道・道路・電気・ガス・上下水道・通信・地下河川など幅広い用途に利用されている。さらに、都市の過密化による用地確保の困難や輻輳する地下構造物を避けるために、シールドは大深度化・大断面化・長距離化の傾向にある。それにとまなない施工においても作業の能率化・高速化・合理化がより求められている。

シールド工事において、シールド機の掘進制御・セグメントの搬送および組立は、現場作業の大部分を占めている。そこで、鹿島ではこれらの作業を自動化して安全性の向上・作業効率の向上・施工の省人化・省力化を進めるシステムを開発し工事に導入して成果を上げている。ここに、その概要を述べる。

2. 自動化システムの概要

当システムは、

- ①シールド機の位置・姿勢をリアルタイムに測量し、これらのデータをもとにファジィ理論を用いてシールド機を自動制御する『自動方向制御システム』
- ②地上のストック設備に仮置きしたセグメントを切羽まで自動で搬送する『セグメント自動搬送システム』
- ③切羽まで運んだセグメントを1ピースずつ自動で精度良く組立てる『セグメント自動組立システム』
- ④上記のシステムやその他のプラントを一元的に操作・制御・管理する『シールド総合施工管理システム (KSGS)』

から構成している。図-1 にシステム構成概要図を示す。

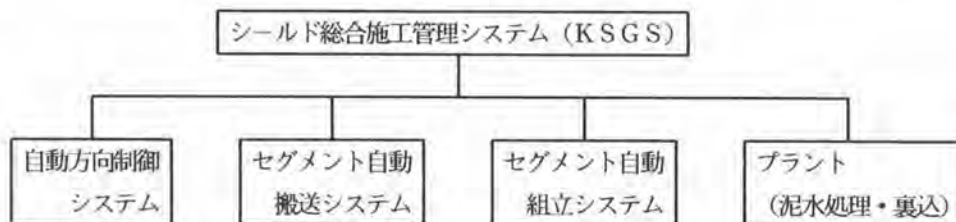


図-1 システム構成概要図

3. 自動方向制御システム

自動方向制御システムは、掘進経路の予測と掘進特性の学習にファジィ理論を導入して、熟練オペレータと同様の運転を自動で行うことができるシステムである。

このシステムは、シールド機の位置・姿勢をシールド機の後方に設置した光学式測量器（トータルステーション）とシールド機に取り付けたジャイロコンパス・傾斜計・ジャッキストローク計からリアルタイムに検出する。次に、これらのデータをもとにシールド機の計画線からのずれ量・動きの傾向・掘進履歴などからファジィ推論を行い蛇行のない経路を設定する。さらに過去の制御結果や曲りやすさの掘進特性を学習した結果により制御量を求め、方向修正に必要なジャッキパターンを自動的に選択する事により、シールド機の自動方向制御を行う。自動方向制御概要図を図-2に示す。

当システムの特徴は、以下の通りである。

- ①無理のない計画的な掘進経路の自動設定が可能である。
- ②土質の変化や掘進のクセなどを、掘進特性として自動学習を行う。
- ③現在位置・掘進特性・テールクリアランスなどを、考慮した制御が可能である。
- ④掘進経路設定と掘進特性の学習にファジィ理論を適用している。

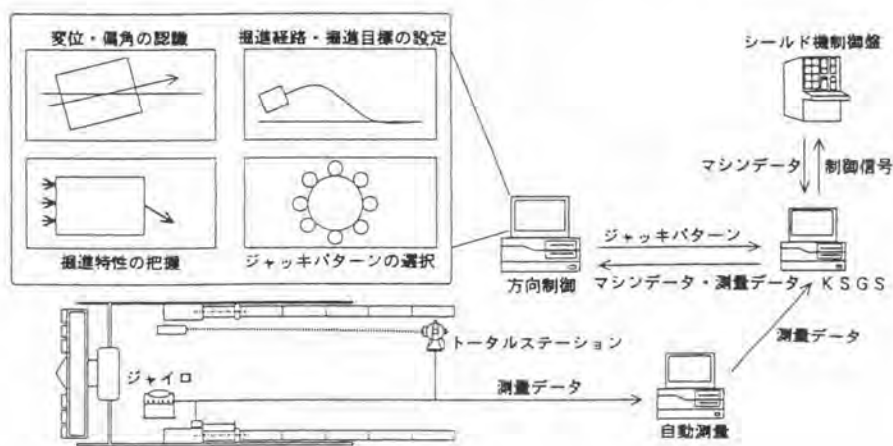


図-2 自動方向制御概要図

4. セグメント自動搬送システム

セグメント自動搬送システムは、セグメントを地上から切羽まで自動で搬送するもので、すべての作業が連動して行われ人力を必要としないため安全性の向上と施工の省人化・効率化を進めることが可能である。

このシステムは、

- ①立坑用地に搬入されたセグメントを地上に仮置きしセグメントリフトに移載するセグメントストック設備
- ②セグメントやその他資材を立坑の上から下まで降ろすセグメントリフト
- ③セグメントを坑内で切羽まで運搬する無人搬送車（バッテリーロコ）で構成している。

セグメント自動搬送システム概要図を図-3に、地上設備状況を写真-1に示す。

当システムの特徴は、以下の通りである。

- ①地上から切羽まで連動してセグメントを搬送するので待ち時間や無駄がない。
- ②クレーンによる揚重作業が減少し、安全性が向上するとともにセグメントの破損が減少する。
- ③無人搬送車には、レーザーセンサを用いた前方障害物検知システムが取付けられており、衝突・接触事故を確実に防止している。
- ④坑内の搬送が長距離の場合、ポイントを設置して無人搬送車を複数台運転することが可能である。

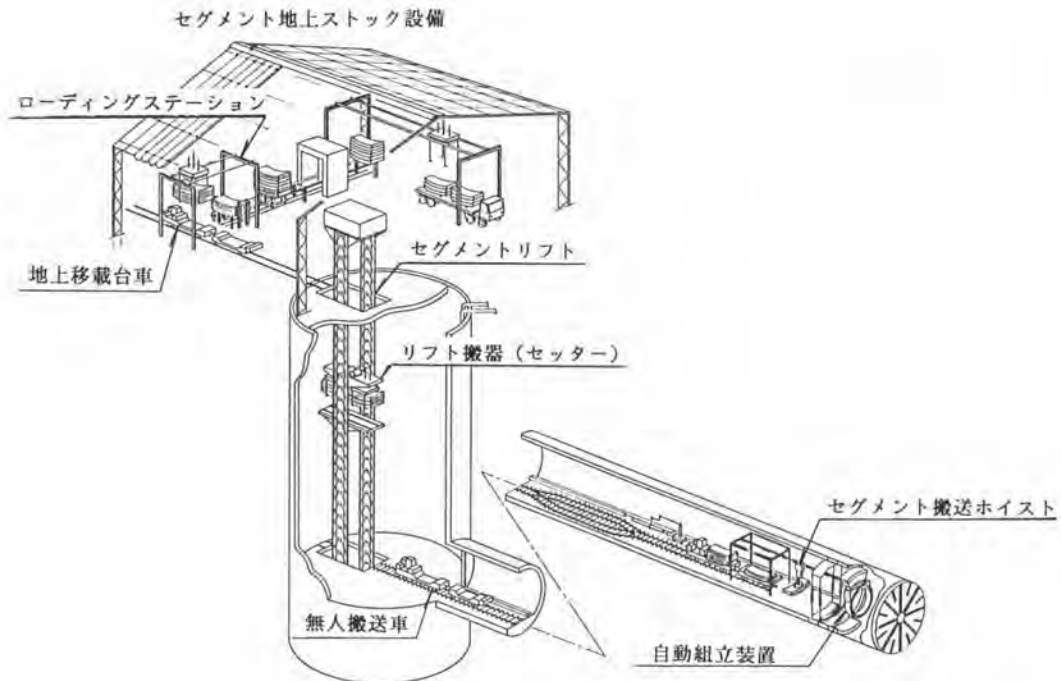


図-3 セグメント自動搬送システム概要図

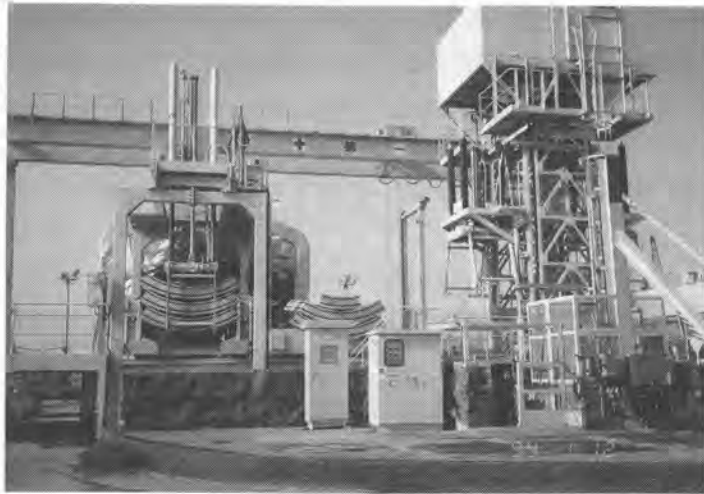


写真-1 地上設備状況

5. セグメント自動組立システム

セグメント自動組立システムは、無人搬送車からセグメントを受取った後、1ピースずつ自動で組立てていくシステムで、RC通しボルトセグメントを対象に開発したものである。

このシステムは、無人搬送車よりセグメントを受取りシールド機本体まで持つていく搬送ホイスト、そのセグメントの位置を調整しながら正確に自動組立装置まで送る供給装置、セグメントの把持・位置決め・ボルト締結までを行う自動組立装置により構成している。

セグメントの把持・移動・締結の一連の組立作業を自動化することにより、高所や狭い場所での作業が不要となり、安全性と組立精度を大きく向上することができる。図-4にセグメント自動組立システム概要図を、写真-2にセグメント組立状況を示す。

当システムの特徴は、以下の通りである。

- ①高精度エレクタを用いた「微い制御」と「センシングによる姿勢修正制御」により迅速にセグメントの組立位置決めを行うことができる。
- ②セグメントに埋込んだ金具を把持することによりフリクションパッドの摩擦力でエレクタにセグメントを固定する。
- ③通しボルトをあらかじめセグメントに仕込むことによりボルト締結装置を簡略化している。
- ④セグメントの組立形状（真円度など）を計測し、組立位置の補正を行い組立精度を管理することができる。

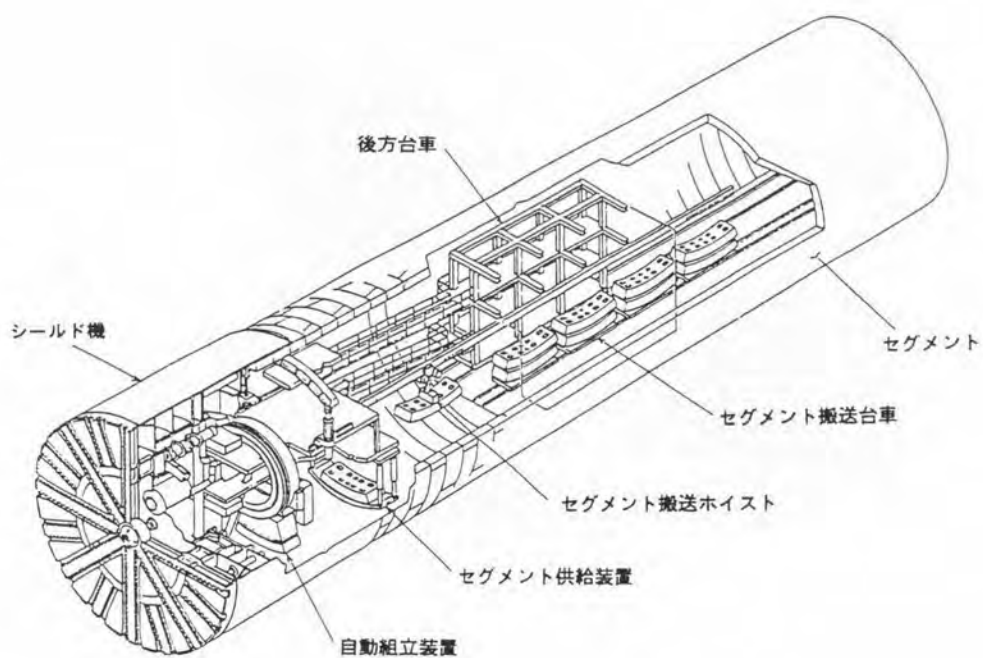


図-4 セグメント自動組立システム概要図



写真-2 セグメント組立状況

6. シールド総合施工管理システム (KSGS)

シールド総合施工管理システム (KSGS) は、シールド機や施工に必要な各種プラント、今まで述べてきた自動方向制御・セグメント自動搬送・セグメント自動組立システムなどの自動化設備を高速ネットワークで接続し、一元的に操作・制御・管理するものである。図-5に、KSGS概要図を示す。

KSGSの特徴は、以下の通りである。

- ①施工状況やプラント稼働状況を、リアルタイムに画面に表示するので操作・管理に必要なデータが容易に理解できる。
- ②タッチパネル方式により操作が簡単で、画面が切替式のため少ないCRTで操作・管理が可能である。
- ③施工における操作・制御・管理ツールを標準化することによりオペレータの習熟度が高まり、品質の向上ができる。

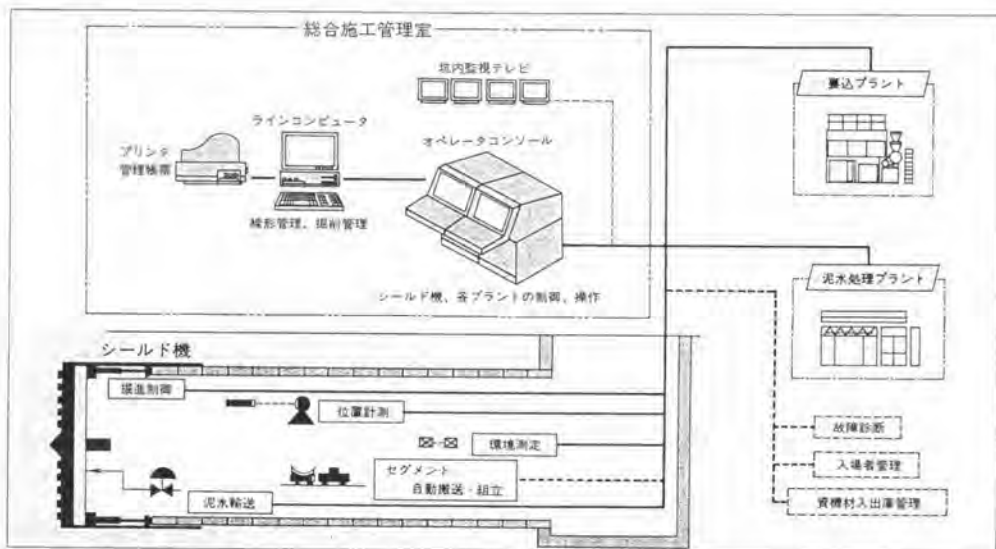


図-5 KSGS概要図

7. おわりに

人口の集中や都市の過密化が急速に進む中で、都市機能の維持と快適な生活を確保するためには、迅速なインフラの整備が必要になっている。地表空間は、すでに飽和状態になろうとしている。そこで、地下空間の利用が進められている。こうした背景から地下構造物を建設するシールドトンネルの需要は今後も続くと考えられる。さらにシールドの大深度・大断面・長距離の傾向も進むであろう。施工の高速化の必要も高い。また、そこで働く人達の環境をより良くすることも重要である。きびしい施工条件で品質の向上も求められる。これらの課題を解決する方法のひとつとして施工の自動化・機械化が上げられる。今回紹介した自動化システムがこの一助になるよう今後さらなる実用化を進めたいと考える。