

7. セグメント自動組立システム(SABIS)の開発

（株）間組：園田 徹士・配野 均
日本鋼管（株）：松下 利幸・村野 健一

1. まえがき

近年シールド工事では、掘進管理、路線測量などの自動化が図られ、施工の合理化が推進されてきている。当社では、すでに”シールド自動掘進管理システム（SDACS）”¹⁾を開発しており、さらにシールド工事の高度化施工システムの充実を図るための総合的な開発に取り組んでいる。現在その一環として”セグメント自動組立システム”についてNKKとの共同開発を進めている。本報告では自動組立システムおよび要素実験の概要について述べる。

2. 開発目標

シールド工法における一次覆工は、一般に鋼製あるいは鉄筋コンクリート製のセグメントをシールドマシン内のエレクタ装置を使用してリング状にボルト締結して組立られる。現状ではこの覆工作業は数人の作業員によって行われているが、以下のような問題が指摘されている。

- ・組立作業はシールド機内の狭所あるいは高所での重量物をハンドリングする危険作業である。
- ・人力組立では組立精度、施工品質の安定、向上が期待できない。
- ・将来、作業員不足が予想され自動化の必要がある。

このような問題点のほかに将来高度化、大径化したシールド工事に対応するためにも、セグメント組立作業の自動化はシールド工事の合理化に必要な不可欠な技術である。

本自動組立システムは、搬送台車上からのセグメント搬送に始まり、ボルト締結完了までの一連の作業を以下のシステムにより行うものとした。

- ①セグメントを搬送台車からエレクタ把持位置まで自動搬送する〔セグメント搬送・供給システム〕
- ②セグメントを自動的に把持、位置決め、開放する〔セグメント位置決め・組立システム〕
- ③セグメント接合用ボルト・ナットを自動供給締結する〔ボルト・ナット供給・締結システム〕

また、自動化のためにセグメントを大幅に改造することは避け、土木学会標準RCセグメントを対象とし、把持は在来のグラウトホールを利用するものとした。さらに、楔型Kセグメントの組立も可能な構造とした。

3. 本システムの概要と特長

図1に本システムの全体図を示し、自動組立フローを図2に示す。

- 1) シールドジャッキストロークを計測し、既設セグメントの方向、位置を演算しエレクタ方向調整機構によりエレクタ旋回面を既設セグメント接合面と平行になるように調整を行う。これにより組立時のピッチング、ヨーイング制御が不要となり制御自由度の減少が図れる（図3参照）。
- 2) 次にエレクタ中心と既設セグメントの内面との距離をレーザ式変位センサにより、エレクタを1

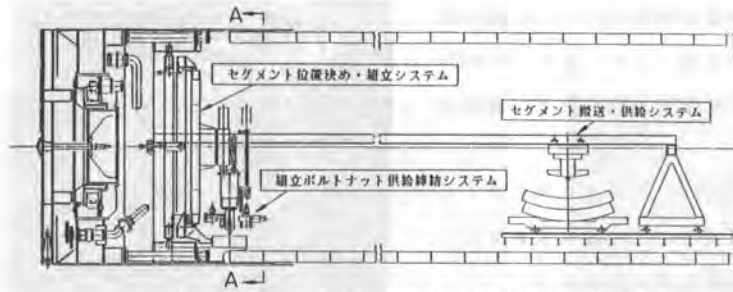
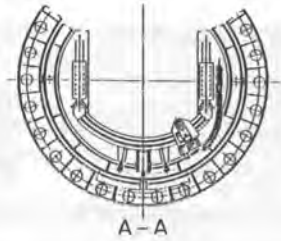


図1 セグメント自動組立システム全体図



回転させて計測し既設リングの中心との位置偏差を求める。

3) 計測結果から位置決め数値制御のための目標位置補正を行い、組立準備が完了する。

4) セグメント搬送装置によりセグメントをエレクタ把持位置に自動搬送しセットする。セグメント把持はセグメントグラウトホールを利用して把持する。把持のための位置決めは、グラウトホールをCCDカメラで撮像し画像処理により中心位置を検出して行う。

5) 同時にセグメント組立位置部のシールドジャッキを全縮させ、可動式の受け架台をセグメント供給位置(エレクタ把持位置)にセットする。

6) セグメント搬送装置により受け架台上に置かれたセグメントはエレクタに把持され、数値制御により所定の組立位置に1次位置決めされる。位置決め精度の確保のため、光切断法²⁾によるセグメント内面偏差の検出を行い2次位置決めを行う。

7) 位置決め完了後ボルト・ナットの締結を行う。プログラム制御により数台の締結装置がガイドレール上を走行しボルト・ナットの供給、位置決め、締結を行う。

8) 締結完了後、エレクタはセグメント開放して退避し、組立部のシールドジャッキを伸長する。

9) 以上の操作を繰返し、Kセグメントの組込み完了をもって終了する。

本システムの主な特長は以下の通りである。

1) 高精度制御を必要とするエレクタ本体は、シールドマシンにスライドピンで支持されており、外圧によるシールドスキンプレートの変形の影響を受けない構造としている。

2) 既設のセグメントリングの形状、位置を高精度計測し、

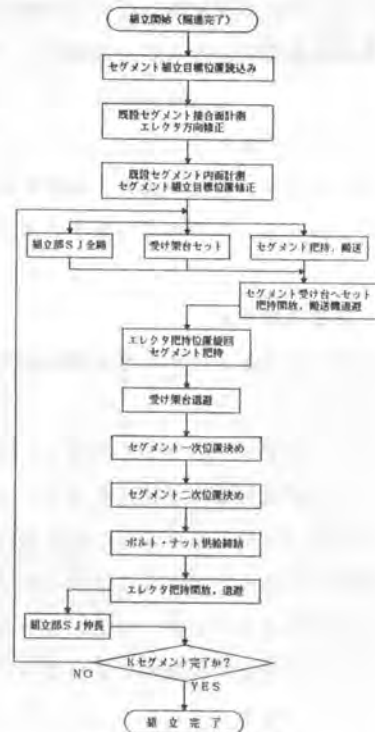


図2 自動組立フロー図

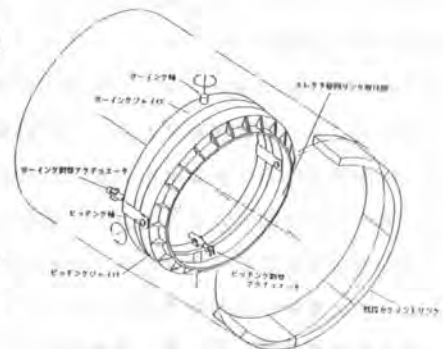


図3 エレクタ方向調整機構図

図3に示すようなエレクタ旋回面を既設セグメント継手面に平行にするエレクタ方向調整機構により、組立時の制御自由度を減少させ、セグメント位置決め的高速化、高精度化を図っている。

3) ボルト・ナット締結装置は走行式とし、あらかじめ1リング分のボルト・ナットを供給装置にセットしておくことで、少数の締結装置により自動締結が可能である。

4) 以上の一連のセグメント組立作業はシールド運転席のオペレータが状況監視しながら実施できる。

なお、本システムの設計にあたり3次元CAD/CAMシステムCATIA (Dassault Systems社商標) による3次元モデリング、動作シミュレーションを実施し、各構成機構の干渉チェック、静荷重解析、駆動系動力計算を行った。動作シミュレーションの例を写真1に示す。

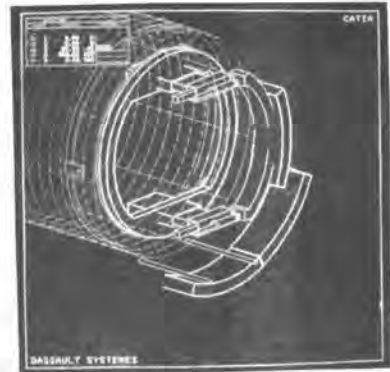


写真1 CATIA 3次元シミュレーション例

4. 要素実験概要

本システムを実現するための確認実験として以下の要素実験を実施した。

4. 1 位置決め用センサに関する実験

1) レーザ式変位センサによるセグメント内面計測実験

セグメント組立位置決めのため既設セグメントリングの形状計測が必要となる。本システムではレーザ式変位センサをエレクタに取り付け旋回させて、エレクタ中心と既設セグメントリングの内面間の距離および旋回角度を計測し形状測定を行い中心位置偏差を求める方法を採用している。これを模擬して既設セグメントを鋼管でモデル化した実験を行った。実験結果は良好であり、充分実用可能な方法であることが確認できた。(図4参照)

2) 光切断法によるセグメント位置計測実験

セグメントの位置決めにおいて1次制御のみでは機械的誤差、計測誤差のため位置補正調整(2次制御)が必要となる。本システムでは図5に示すように、組立および既設セグメントの内面に2本のレーザスリット光を投光し、その像をCCDカメラに撮像して画像処理により3次元位置偏差を検出する光切断法を採用している。実験はセグメントの縮小モデルを作製し、スリット光を投光しそのスリット光画像が判断で

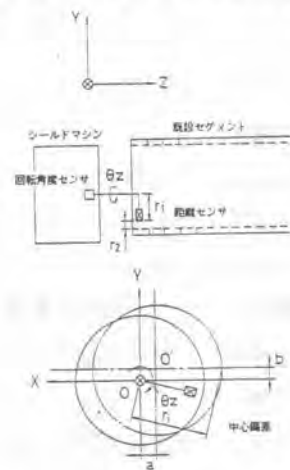


図4 セグメント内面計測概念図

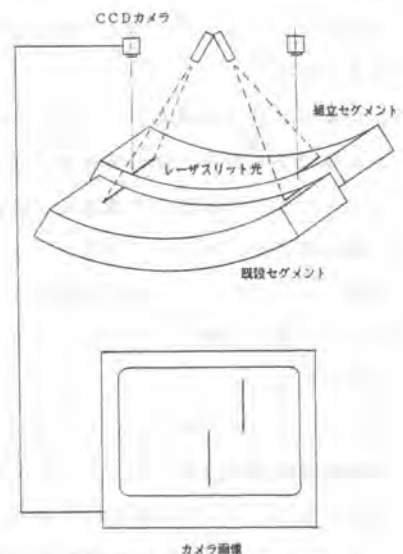


図5 光切断法による位置決め方法

きるかを確認した。実験装置を写真2に、画像処理結果を写真3に示す。実験より照明環境を考慮すれば良好な計測が可能であることが確認できた。



写真2 実験装置

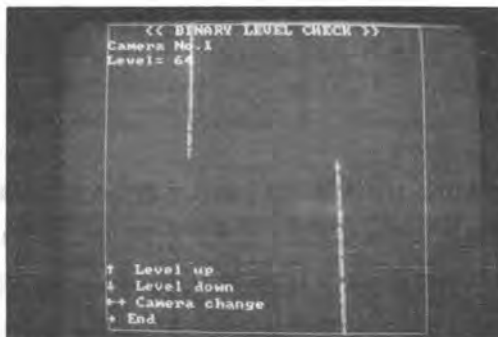


写真3 画像処理画面

4. 2 セグメント把持装置およびボルト・ナット供給締結装置の実験

外径7mクラスのシールドを想定し、写真4、5に示す実大のセグメント把持装置およびボルト・ナット供給締結装置を試作して機能、動作確認および位置決め制御実験を実施した。機能、動作、位置決めは当初計画通りの結果が得られた。

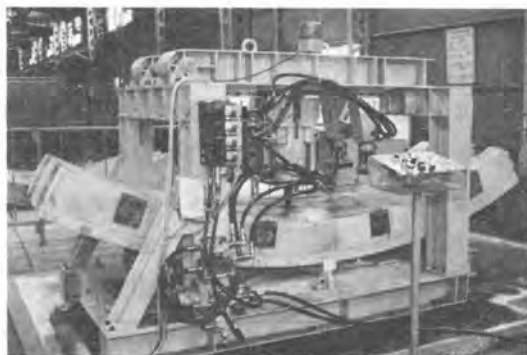


写真4 セグメント把持試作装置



写真5 ボルト・ナット供給締結試作装置

5. 今後の計画

本システムの主要装置であるセグメント把持およびボルト・ナット供給締結装置に関する機能動作実験と計測センサに関する実験は完了し、これらの実験結果をもとに実機設計を進めている。今後実機による工場実験、現場実証実験を計画中であり、早期に本システムの実用化を図り、さらには機能の高度化、安定化をも図って行きたいと考えている。

参考文献

- 1) 園田徹士ほか, Tunneling by Robot Shield Driving Automatic Control System, 5th ISRC Proceedings vol.2, PP.849~858, 1988
- 2) 加藤高明ほか, 光切断法による多層盛溶接ならいセンサ(第2報), 第27回自動制御連合講演会, PP.397~398, 1984