

29. セグメント自動組立システムの開発

西松建設(株)：*内田 克巳・野本 寿
田中 勉

1. はじめに

シールド工法に関する技術開発テーマには、大断面化・断面の多様化・長距離化・深層化など様々なテーマがあるが、なかでも施工の自動化は早急に取り組まなければならない技術開発の1つである。

当社でも、シールド工事の全自動化を目指し、1987年より“直ボルト継手短ボルト方式”を対象としたセグメント自動組立システムの開発を行ってきた。このシステムは、作業効率の向上、危険苦渋作業の除去および作業員不足の解消等に有効である。

本報告では、セグメント自動組立システムに関するシステム概要や本実証実験機の各装置の詳細を紹介する。

2. 開発目標

このシステムの開発に当たっては、以下の条件を取り入れることにした。また、図-1にセグメント自動組立システムの概要図を示す。

- (1) 密閉式(土圧式・泥水式)シールドへの適用を基本とし、シールド径を可能な限り小口径とすること。
- (2) セグメントの継手は、最も使用実績の多い“直ボルト継手短ボルト方式”とすること。
- (3) ボルト・ナット供給装置を取り入れること。
- (4) エレクタ装置およびボルト・ナット締結装置を分離すること。
- (5) 位置決めセンサーなどは、極力少なくすること。
- (6) 万一のトラブル発生時においても、容易に従来の手組み作業への変更ができるよう構造の簡素化を図ること。

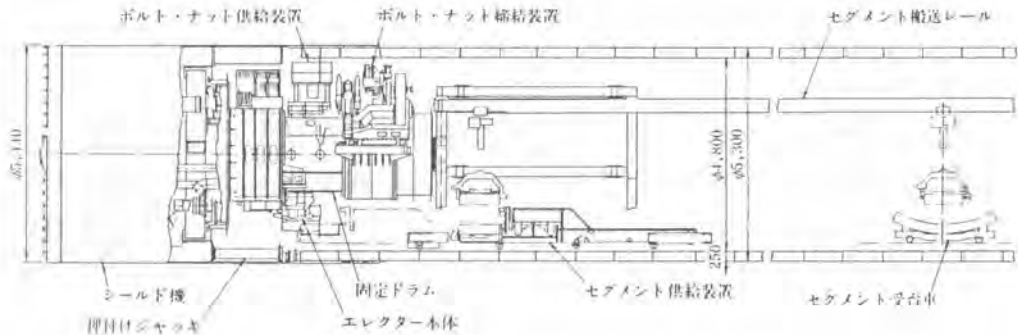


図-1 セグメント自動組立システム概要図

3. 全体システム

図-2にセグメント組立フロー、表-1に組立時間、表-2に実証実験機の仕様を示す。

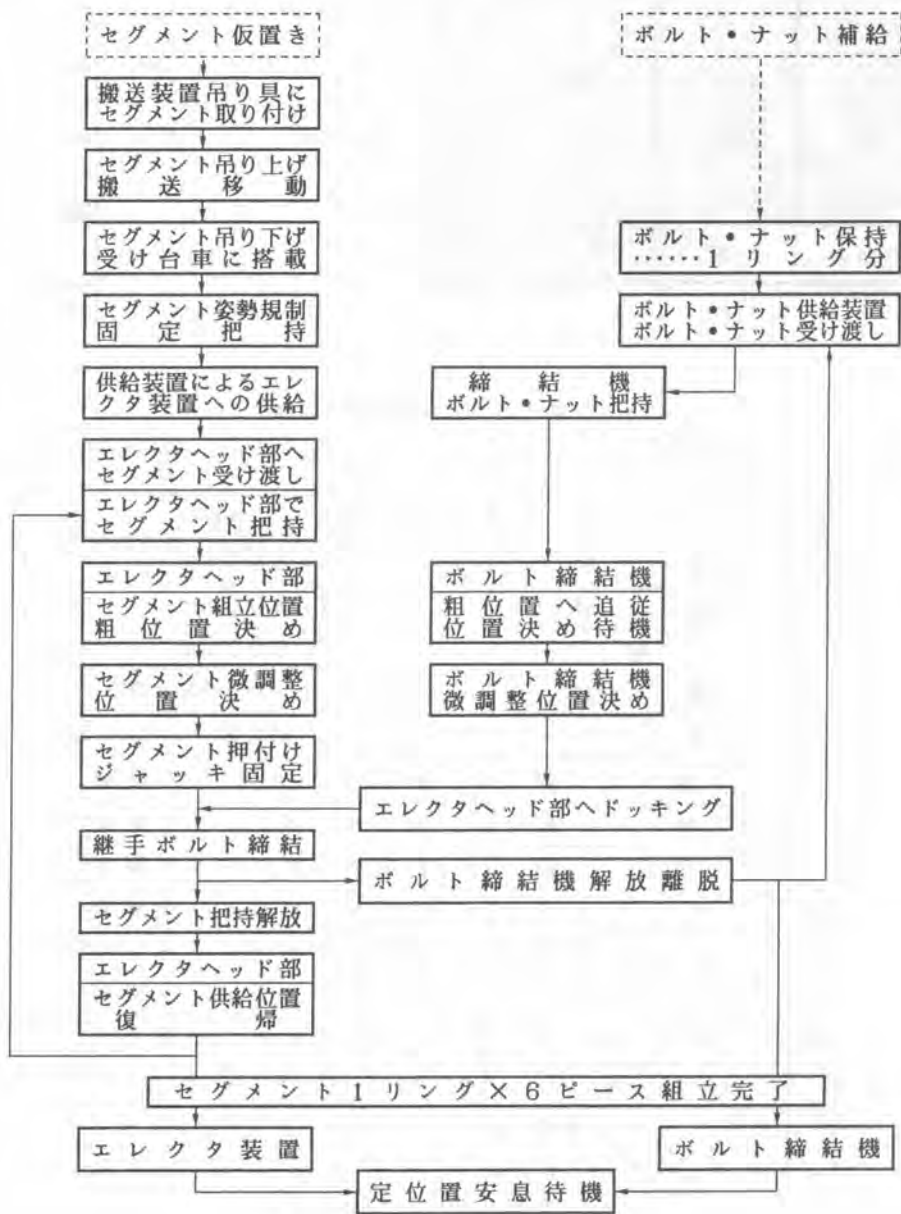


図-2 セグメント組立フロー図

表-1 1リング組立時の平均サイクルタイム

項目 セグメント	把持 ボルト供給	粗位置決め 締結機旋回	微調整	締結機摺動 ボルト締結	各装置 原点復帰	合計
A1	2'28"	1'06"	1'35"	2'55"	1'12"	9'16"
A2	2'28"	1'12"	0'44"	3'02"	1'18"	8'44"
A3	2'28"	1'28"	0'44"	3'02"	1'34"	9'16"
B1	2'28"	1'34"	0'44"	3'09"	1'40"	9'35"
B2	2'28"	1'50"	0'44"	3'09"	1'56"	10'07"
K	2'28"	1'50"	0'34"	5'20"	1'56"	12'08"
						59'06"

表-2 実証実験装置の仕様

項目		仕様	
使用 セグ メント	型式	ボルト継手 RC平板型	
	外径	5,300mm	
	内径	4,800mm	
	幅	1,000mm	
	重量	1ピース 2,000Kg標準	
	ボルト	M22	
組立 装置	姿勢 調整 方式	旋回	油圧サーボモータ駆動
		伸縮	油圧サーボジャッキ駆動
		摺動	油圧サーボジャッキ駆動
		ローリング	油圧サーボジャッキ駆動
		ヨーイング	油圧サーボジャッキ駆動
		ピッチング	油圧サーボジャッキ駆動
		センシング	レーザ変位計、画像処理
締結方式	ACサーボモータ		
ボルト・ナット供給	ボルト・ナット供給ロボット		
セグメント供給	セグメント供給装置		
セグメント把持	把持金具使用(グラウトホール)		
組立目標時間	1リング 60分以内		

4. 構造の詳細

今回開発した実験装置は、 $\phi 5300$ R Cセグメントの自動組立を対象としたものであり、そのシステム構成を以下に示す。また、写真-1には、実証実験装置全景を示す。

(1) セグメント供給装置

セグメント供給装置は、後方仮置き場所からチェーンブロックによりセグメントを吊り、供給台車まで搬送を行うセグメント搬送装置と、供給されたセグメントを姿勢制御し、エレクタヘッド部へ自動供給を図るセグメント供給台車よりなる。

(2) エレクタ装置

セグメント自動組立装置を簡素化するための大きな問題点は、セグメント把持部周辺の小型化である。この解決策として、ボルト締結装置分離型エレクタを開発した。すなわち、同一軸心の固定ドラム上に2ドラム方式でエレクタ部とボルト・ナット締結装置を独立分離させた。

また、このエレクタ装置では、3次元空間においてセグメントの位置決めを行うために6自由度を持っている。位置を決めるための旋回、伸縮、摺動と姿勢を決めるためのローリング、ヨーイング、ピッチングである。図-3にエレクタの構成図を示す。

(3) ボルト・ナット締結装置

ボルト・ナット締結装置は、エレクタ旋回軸と同一軸心を持つ固定ドラム上を独自の位置決め装置により、旋回、摺動を行えるようになっている。

なお、セグメントが位置決めを完了すると、同時にボルト・ナット締結装置もエレクタヘッド部へ自動的に微調整を行いながら摺動し、締結作業が行われる。図-4にボルト・ナット締結装置の構成図を示す。



写真-1 実証実験装置全景

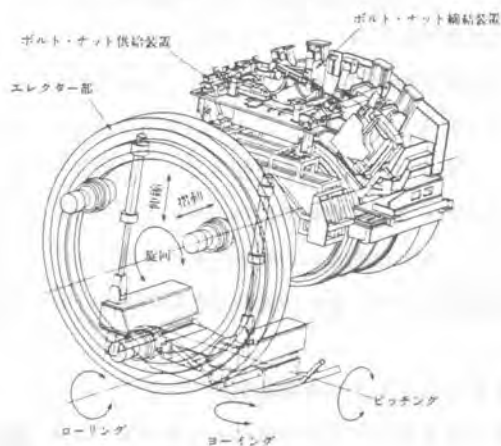


図-3 エレクタ構成図

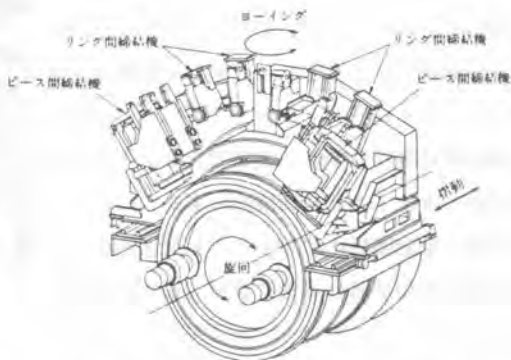


図-4 ボルト・ナット締結装置構成図

①締結装置の位置決め

締結装置の位置決めは旋回、摺動、ヨーイングの3自由度を持ち、8台の締結機を同時に位置決めする。個々の締結機は、挿入と引寄せの2自由度を持つ。併せて5自由度によって、ボルト・ナットをセグメント穴に位置決めしている。

締結装置の位置決めは、エレクタ装置の6自由度に対し、3自由度しか持っていない。このため、残りの3自由度の方向のずれに対しては次のように補正する。伸縮については、個々の締結機の挿入量の調整で対応する。ローリング、ピッチングのずれは、ボルトに対しては、軸方向と軸に直角な内面のずれとなって現れる。しかし軸方向のずれは、軸方向に余裕をとっているので問題とはならない。また内面のずれは、ボルトと穴のずれとなり、そのままではボルトが入らないことがある。その対応として、摺動または旋回と個々の挿入量を調整し組み合わせることで、締結動作が行える。

②締結機

締結機は、セグメントをトンネルの軸方向にボルトで締結する4台、4本分のリング間用締結機と、セグメントを円周方向にボルトで締結する4台、8本分のピース間用締結機とからなる。後者は、1台の締結機で2本のボルトを1度に締結できる。

ボルトの締め付けには、ACサーボモータを使ったナットランナを使用しており、1本のボルトに1台ずつ装備されている。ボルトは油圧チャックで固定されており、ナットランナはチェーンを介してナットを回転させる。またこのナットランナでは、締め付けトルクの管理も行っている。

ボルト・ナット締結機には、挿入と引寄せの2軸がある。挿入軸にはボルトの締め付けに同期したボルト・ナットの軸方向の移動を行う。また、ピース間用ボルト締結機には、Kセグメントのテーバー角に対応するため、2台の締結機に同時にテーバー角を与えるねじり軸がある。

(4) ボルト・ナット供給装置

ボルト・ナット供給装置は、エレクタヘッド把持部と180°反対側に設置されており、ボルト・ナットを締結機のソケット部に自動的に供給装填を行うものである。また当装置は、カートリッジにセグメント1リング組立に必要なボルト・ナットを保有し、1ピース組立毎に自動的に締結機に供給を図ることができる。写真-2にボルト・ナット供給装置を示す。



写真-2 ボルト・ナット供給装置

従来、締結装置へのボルトの自動供給は、その装置を締結装置の近傍に設置し行われてきた。しかし、この方法では、締結装置廻りが大型化し、小口径のシールドへの適応が困難となる。

そこで今回開発したシステムでは、エレクタとボルト・ナット締結装置を分離したメリットを生かし、

エレクタが6時の位置でセグメントの供給を受けている間に、ボルト・ナット締結装置は12時の位置でボルト・ナットの供給を受けることにした。

ボルト・ナット供給装置の役割は、8台の締結機、12台のナットランナに、高速かつ正確にボルトを供給することである。そこで、ピース間用締結機4台、リング間用締結機4台の2台ごとに1台ずつ供給装置を設け、1台の供給装置が2回繰り返すこととした。ピース間用の締結機は、1ボックス2本の締結を行うため、締結機には2本のボルトが同時に供給できるようにした。

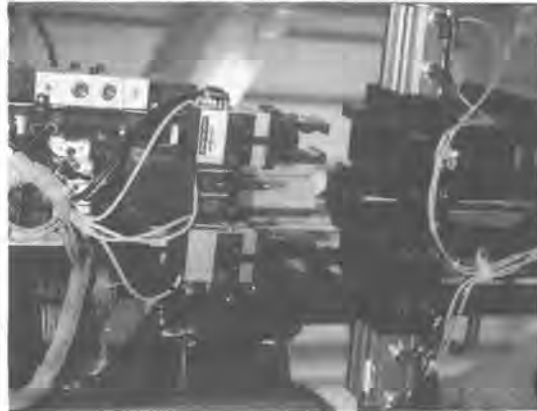


写真-3 ピース間用供給装置

また短ボルト方式では、締結機にボルトとナットを別々に供給する必要があるが、ここでは、ボルトとナットを組み合わせた状態で供給し、締結装置がボルトを受け取った後に、ナットランナを逆回転することでボルトとナットを分離することとした。

ピース間用のボルト・ナット供給装置を写真-3に示す。また、このボルト・ナット供給装置のアクチュエータはすべて空気圧駆動とした。

(5) 制御システム

このシステムの制御はシーケンサによって行われる。エレクタとボルト・ナット締結装置を1台のシーケンサが、ボルト・ナット供給装置をもう1台のシーケンサが制御し、お互い通信を行いつつ自動で作業を進める。

セグメントの位置決めにはレーザー光使用の距離センサーを使用しており、締結機の位置決めには光電方式のボルト穴検出センサーを使用している。ボルト・ナット締結装置とボルト・ナット供給装置の間の位置決めは、供給装置がいつも一定のため、内界センサーのみを使用している。

5. おわりに

今回の実験の目的は、全体システムでのセグメント位置決め、ボルト・ナット供給および締結等の連係動作の完成度を確認することにあった。

実験の進行は、組立フローの各作業を試行錯誤を重ねながら、一步一步完全自動化に近づけていく作業の繰り返しとなった。そのため、当初の予定工程から一年以上の遅延を余儀なくされ、今回の報告では、各装置の問題、改良点等の詳細データをまとめるまで至らなかった。今後とも現場対応を可能にするため、数々の改良を重ねていく必要性を痛感している次第である。