

セグメント自動組立システムの開発（その2）

Automatic Segment Assembly System (Part 2)

田中 勉*	内田 克巳**
Tsutomu Tanaka	Katsumi Uchida
桑原 資孝***	野本 寿****
Yoshitaka Kuwabara	Toshi Nomoto
藤井 利侑*****	三戸 憲二*****
Toshiyuki Fujii	Kenji Mito

要 約

本文は、シールド工法自動化の主テーマの1つである“セグメント自動組立システム”に関する報告である。当該システムは、直ボルト継手短ボルト方式を対象としたもので、短ボルト自動締結装置に関する要素実験（西松建設技報 Vol.15セグメント自動組立システムの開発・その1）の成果を反映させ、中口径以上のシールド機におけるセグメント自動組立システムの確立を図ることを目指したものである。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験機の各装置の詳細を明らかにしている。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 全体システム
- §3. 組立フロー
- §4. セグメント
- §5. 構造の詳細と仕様
- §6. おわりに

§1. はじめに

シールド工事の全自動化を目指し、当社では昭和62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に取り組んでいる。

当報告では、前回報告した短ボルト自動締結装置の要

素実験を踏まえ新たに開発したボルト・ナット供給装置を組み込み、自動化の度合いを高めたセグメント自動組立システムの全体システムについて、その各構造要素ごとに詳細を紹介するものである。

§2. 全体システム

Fig. 1 にセグメント自動組立システムの概要図を示す。また、当システムの主な特徴は以下の通りである。

- 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化するためエレクター装置とボルト・ナット締結装置を分離した。
- ②セグメント継手は、最も使用実績の多い直ボルト継手短ボルト方式とした。
- ③1リング組立に必要なボルト・ナットを収納したカートリッジ式のボルト・ナット自動供給装置を組み込んだ。
- ④万一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った。

*技術研究所機電課
 **機材部機械課係長
 ***機材部副部長
 ****技術研究所土木技術課長
 *****土木設計部設計課長
 *****土木設計部設計課係長

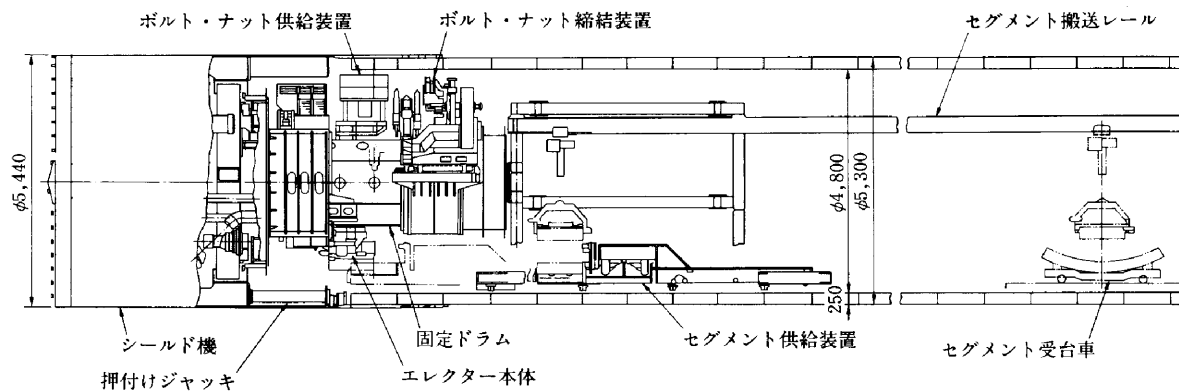


Fig.1 セグメント自動組立システム概要図

§3. 組立フロー

今回開発したセグメント自動組立システムの機能動作組立フローを Fig. 2 に示す。

(3) セグメント継手ボルト

；ピース間継手 M22×80 L×2 本/ボックス

；リング間継手 M22×70 L×1 本/ボックス

(4) セグメント分割数

；5+1分割

§4. セグメント

本実験に使用したセグメント仕様を以下に示す。

(1) セグメント種別

；RCセグメント

；外径 $\phi 5300$ ×内径 $\phi 4800$ ×幅1000

Fig. 3 にセグメント配置図を示す。

(2) セグメントの形式

；軸方向挿入式

；テーパ量 (挿入テーパ量) $F=180/1000$

Fig. 4 に A 型セグメント, Fig. 5 に K 型セグメントの詳細図を示す。

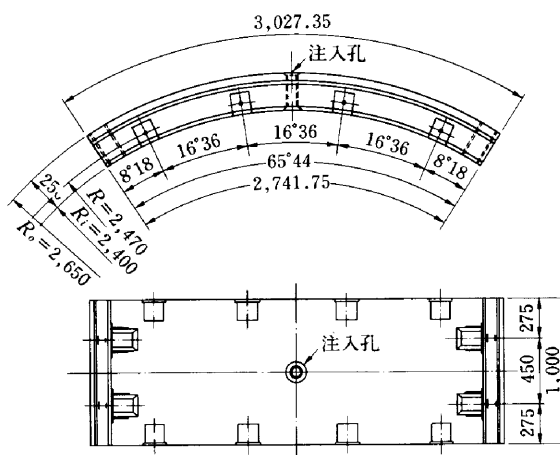


Fig.4 A型セグメント詳細図

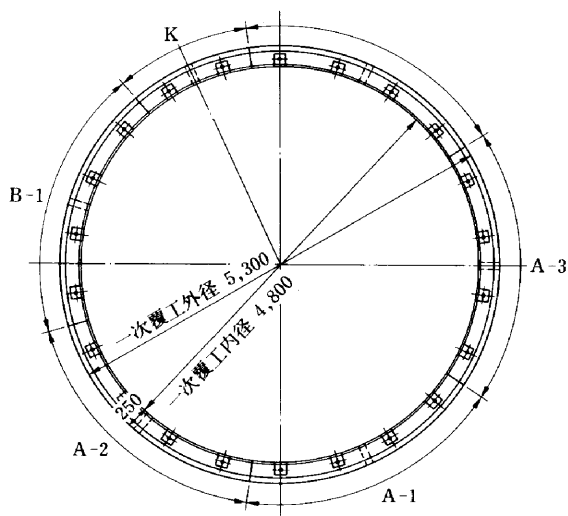


Fig.3 セグメント配置図

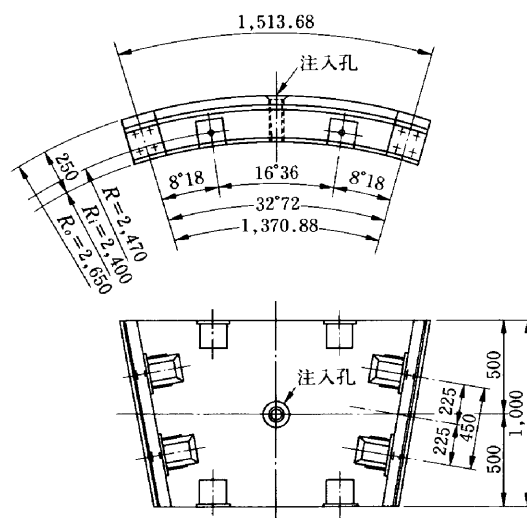
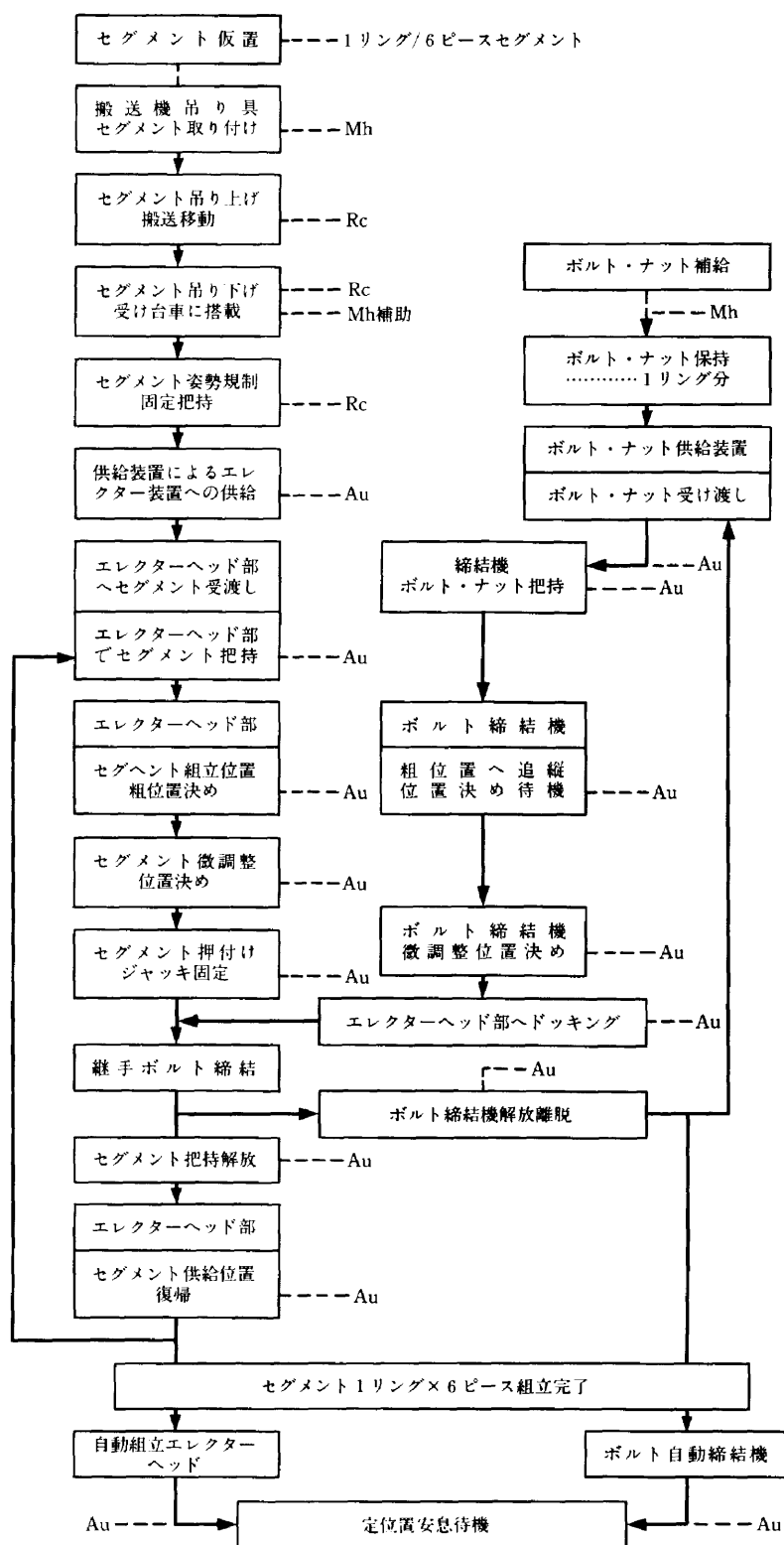


Fig.5 K型セグメント詳細図



- ※セグメント組立旋回動作.....200°時計および反時計方向旋回
 ※セグメント供給受け渡し位置.....下点 (時計6時)
 ※ボルト・ナット供給受け渡し位置.....上点 (時計12時)
 ※エレクターヘッド部およびボルト締結機の定位置待機位置
 (シールド掘進時).....上点 (時計12時)
 ※ボルト・ナット補給 (継手1リング分).....下点 (時計6時)
 ※Au:自動, Rc:遠隔操作, Mh:手動

Fig.2 組立フロー図

§ 5. 構造の詳細と仕様

本実験装置は、 $\phi 5300$ RC セグメントの自動組立を対象としたものであり、以下の構成よりなる。Photo 1 に実験機全景を示す。

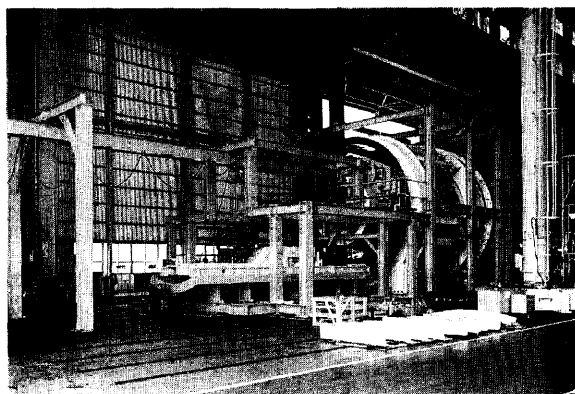


Photo 1 実験機全景

5-1 セグメント供給装置

セグメント供給装置は、後方仮置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、エレクター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。Photo 2 にセグメント供給装置を示す。また、Table 1 にセグメント供給装置の仕様を示す。

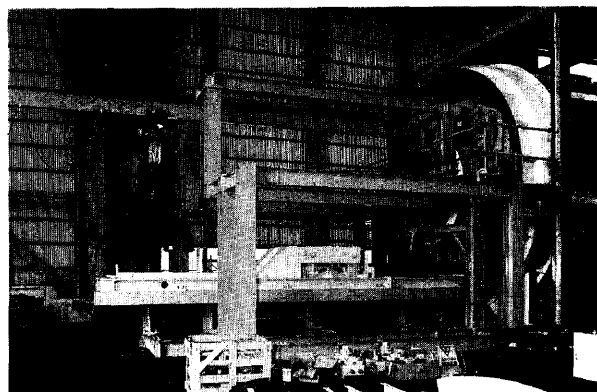


Photo 2 セグメント供給装置

5-2 エレクター装置

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。従来の自動組立装置では、セグメントの把持部周辺に、セグメントの姿勢調整装置、ボルトの自動締結装置、あるいは、ボルトの自動供給装置と多くの機能が付き、小型化を困難にしていた。この問題の解決策として、ボルト締結装置分離型エレクターを開発した。すなわち、ボルト・ナット締結装置は、エレクター部とは別に設けられた固定ドラム上に設置されている。

このエレクター装置では、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。旋回は油圧モータを使用し、残りは油圧シリンダーを使用している。

エレクターの構成図を Fig. 6 にエレクターヘッド部を Photo 3 に、Table 2 にはエレクター装置の仕様を示す。

5-3 ボルト・ナット締結装置

ボルト・ナット締結装置は、エレクター旋回軸心と同一軸心をも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、セグメント位置決めが完了すると、同時にボルト・ナット締結装置もエレクターヘッド部へ自動的に微

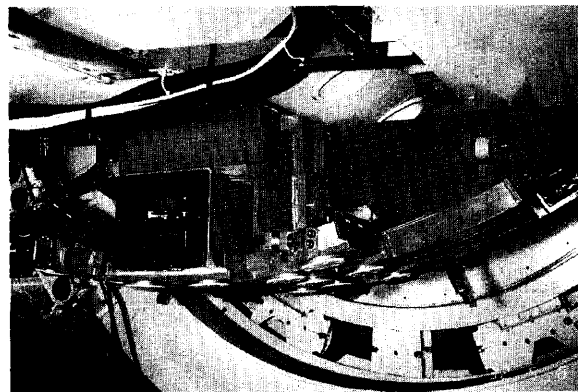


Photo 3 エレクターヘッド部

Table 1 セグメント供給装置の仕様

名 称	仕 様						負 荷 仕 様		制 御 方 式 (制御弁)	検出センサー
	定 格	諸 元	出 力	ストローク	数 量	形式・他	荷 重	速 度m/min		
供給台車			1.5 kW		1 台	インバータ形 $i=1/30$		走行：15	インバータ制御	近接SW
姿勢制御用 ジャッキ	5 kgf・cm (圧空)	$\phi 100$ mm $\phi 25$ mm	0.39 TON (0.3)	150 mm (120)	2 台		Full		ON-OFFシーケンサー 電磁弁	リードSW
搬送装置 (電動チェーンブロック)	3.0 kW 0.75 kW	(巻上用) (走行用)	2.8 TON 吊上げ力	4 m 揚程	1 台		Full	昇降：5.4/1.8 走行：24/6	遠隔操作 (SW-操作)	

Table 2 エレクター装置の仕様

名 称	仕 様					負 荷 仕 様		制 御 方 式 (制 御 弁)	検 出 セ ン サ ー
	定 格	諸 元	出 力	ストローク	形式・他	荷 重TON	速 度mm/sec		
旋 (X軸)	210 kgf・cm		530 kgf・m ^{Tom}		遊星G形 Pブレーキ付		12.0~0.71 rpm	数値制御・サーボ弁	リボンスケール（磁気パルス）
伸 (Y軸)	"	φ125 φ70	25.7 (17.7)	875 (750×75)	CA/T先 GY付	+12~-12 (±2.0)	125~10	同 上	GYリアセンサ（磁歪）
摺 (Z軸)	"	φ80 φ45	10.5 (7.2)	600 (500)	同 上	+2.0~-1.0 (+5.0)	"	同 上	同 上
ローリング	"	φ63 φ36	6.5 (4.4)	200 (130)	同 上	±1.0	100~20	同 上	同 上
ヨーイング	"	φ63 φ36	6.5 (4.4)	125 (65)	同 上	"	"	同 上	同 上
ピッチング	"	φ63 φ36	6.5 (4.4)	125 (75)	同 上	"	"	同 上	同 上
セグメント把持	"	φ125 φ71	27.5 (17.4)	50 (30)	特殊形		50	ON-OFFシーケンサー・電磁弁	近接SW
チャック	140 kgf・cm	φ30 φ16	0.9 (0.7)	30 (24)	FA/Y先 リードSW付		"	同 上	リードSW
ドッキング	"	φ63 φ35.5	4.3 (2.9)	50 (30)	FA/ネジ先 リードSW付		100	同 上	同 上
セグメント押し付け	"	φ80 φ45	7.0 (4.8)	650 (600)	CA/T先 近接SW×2		"	同 上	同 上
油圧ポンプユニット	210 kgf・cm	55 kW×6P						ON-OFFシーケンサー	

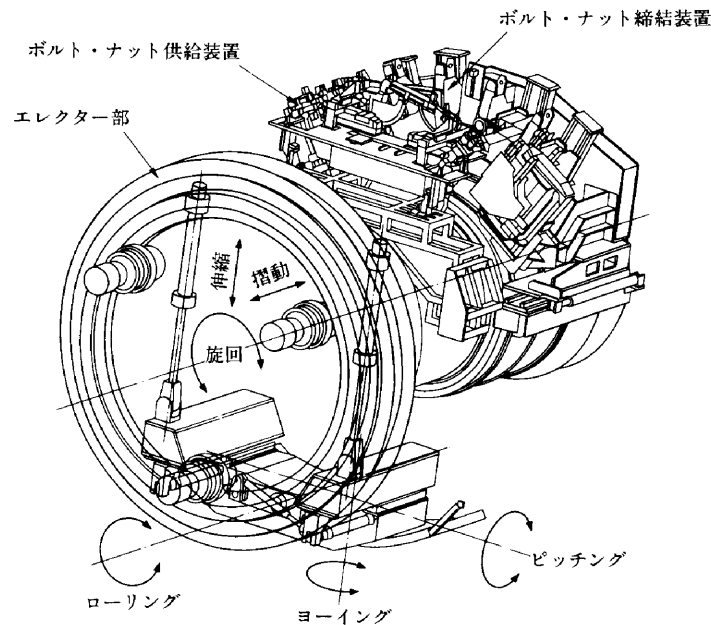


Fig.6 エレクター構成図

調整を行いながら摺動し、締結作業が行われる。Fig. 7 にボルト・ナット締結装置を示す。

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。

エレクター装置の6自由度に対し、締結装置の位置決

めは、3自由度しか持っていないが、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できる。ローリング、ピッチングのずれは、ボルトに対しては、軸方向と軸に直交な面内のずれとなって現れる。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。面内のずれは、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になるが、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、締結が可能とな

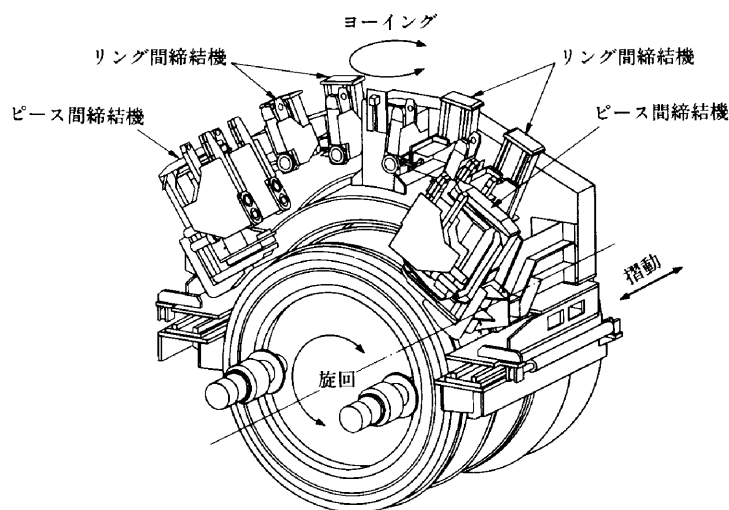


Fig.7 ボルト・ナット締結装置

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ーを使用しており、1本のボルトに1台ずつ装備されている。ボルトは油圧のチャックで固定されており、ナットランナー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ーでは、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。挿入軸にはボルトボックスの深さ方向の位置決めを行い、引寄せ軸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、ピース間ボルト締結装置には、Kセグメントのテーパ角に対応するため、2台の締結機に同時にテーパ角を与えるねじり軸があ

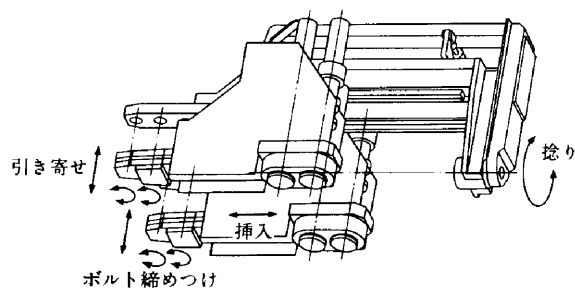


Fig.8 ピース間用ボルト締結装置

る。Fig. 8 にピース間用ボルト締結装置の概要図を示す。また、Table 3 にボルト・ナット締結装置の仕様を示す。

5-4 ボルト・ナット供給装置

ボルト・ナット供給装置は、エレクターヘッド把持部と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。Photo 4 にボルト・ナット供給装置を示す。

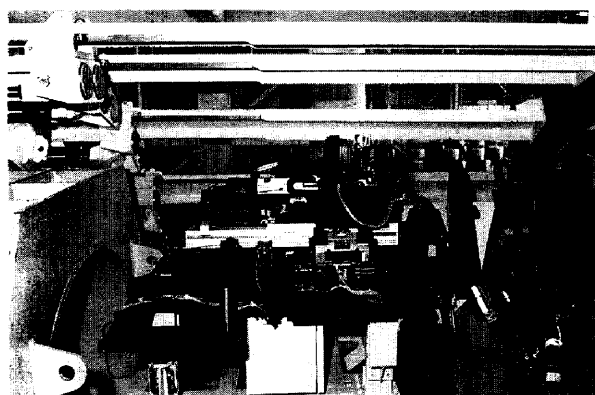


Photo 4 ボルト・ナット供給装置

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、エレクターとボルト・ナット締結装置を分離したメリッ

Table 3 ポルト・ナット締結装置の仕様

名 称	仕 様				負 荷 仕 様		制 御 方 式 (制 御 弁)	検 出 セ ン サ ー	備 考
	定 格	諸 元	出 力	ストローク	形式・他	荷 重	速 度		
旋 回 (X軸)	210 kgf・cm	mm	630 kgf・m	mm	遊星 G 形 Pブレーキ付		12.0~0.6 rpm	リボンスケール (磁気パルス)	
摺 動 (Y軸)	"	φ80 φ45	10.5 (7.2)	800 (700)	CA/T先 GY付	+2.0~-1.0 (±5.0)	125~10	GYリニアセンサー (磁歪)	
ヨ ー イ ン グ	140 kgf・cm	φ63 φ36	4.3 (2.9)	125 (65)	同 上	±1.0	100~20	同 上 レーザーリニアセンサー	
締 結 Y 軸	"	26.6 cc/rev φ44.5 φ16	2.5 kgf・m	325 ボールネジ	ORB-M26 オイルモーター	リリーフ弁	900 rpm	同 上 ロータリーエンコーダー	ピース間継手用
締 結 Y 軸 固 定	"	"	1.9×2	10	特殊ブロック 単動形			ON-OFFセンサー・電磁弁 近接SW	"
締 結 X 線	"	φ30 φ16	0.9 (0.7)	50 (34)	CA/T先 リードSW×2	±0.3 リリーフ弁	50	リードSW	"
締 結 引 き 寄 せ	70 kgf・cm	φ30 φ14	0.4 (0.3)	115 (107)	TA/Y先 リードSW×3	±0.3 リリーフ弁	"	同 上	"
ポルトチャック	"	φ15×2	123×2 kgf	5	特殊ブロック 単動形	"	"		"
F 角 設 定	140 kgf・cm	φ30 φ16	0.9 (0.7)	100 (70)	CA/T リードSW×2	±0.5	"	リードSW	"
締 結 Y 軸	"	26.6 cc/rev φ44.5 φ16	2.5 kgf・m	275 ボールネジ	ORB-M26 オイルモーター	リリーフ弁	900 rpm	数値制御・サーボ弁 当て決め…近接リニアセンサー	リング間継手用
締 結 Y 軸 固 定	"	"	1.9×2	10	特殊ブロック 単動形			ON-OFFセンサー・電磁弁 近接SW	"
締 結 X 軸	"	φ30 φ16	0.9 (0.7)	50 (34)	CA/T先 リードSW×2	±0.3 リリーフ弁	50	リードSW	"
締 結 引 き 寄 せ	70 kgf・cm	φ30 φ14	0.4 (0.3)	105 (97)	TA/Y先 リードSW×3	±0.3 リリーフ弁	"	同 上	"
ポルトチャック	"	φ15×2	123×2 kgf	5	特殊ブロック 単動形		"	同 上	"
油圧ポンプユニット	1140 kgf・cm (70 kgf・cm)	35 kW×6P						ON-OFFセンサー	
ナットランナー			40 kgf・m		ACサーボ	25 kgf・m		トルクセンサー	

Table 4 ボルト・ナット供給装置の仕様

名 称	仕 様				負荷仕様 荷重TON	制 御 方 式 (制御弁)	検出センサー
	定 格	諸 元	ストローク	数 量			
エアチャック	5 kgf・cm (圧空)	mm φ20	mm 10	6	Full	ON-OFFシーケンサ 電磁弁	オートSW
スライドユニット	"	φ15	75	4	"	"	"
ロータリーアクチュエーター	"	φ63	90	4	"	"	"
ロッドレスシリンダーA	"	φ40	300	3	"	"	"
ロッドレスシリンダーB	"	φ40	400	1	"	"	"
ロッドレスシリンダーC	"	φ15	300	2	"	"	"
ロッドレスシリンダーD	"	φ15	500	2	"	"	"
フリーマウントシリンダー	"	φ10	20	6	"	"	"

トを生かし、エレクトアーが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のナットランナーに、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回繰り返すことにした。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。

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、ナットランナー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Photo 5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にした。Table 4 には、ボルト・ナット供給装置の仕様を示す。

5-5 制御システム

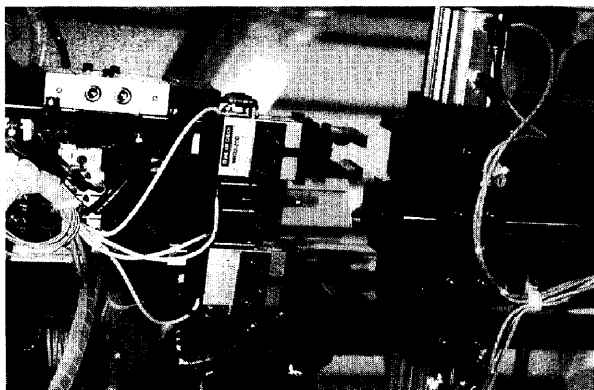


Photo 5 ボルト・ナット供給装置(ピース間用)

このシステムの制御はシーケンサによって行われる。エレクトアーとボルト・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、お互いに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、供給位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。

§ 6. 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、サイクルタイム等の詳細データをまとめるまでに至らなかった。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。

最後に、実証実験にあたり、ご協力を頂いた川崎重工(株)関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 田中 勉ほか：セグメント自動組立システムの開発（その1）、西松建設技報、第15号、pp.1～6、1992
- 2) PROCEEDINGS : The 9th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (Vol.2)