

セグメント自動組立システムの開発（その1）

Development of Segment Automatic Building Intelligent System (Part 1)

田中 勉*
Tsutomu Tanaka

桑原 資孝**
Yoshitaka Kuwabara

野本 寿***
Toshi Nomoto

藤井 利侑****
Toshiyuki Fujii

内田 克巳*****
Katsumi Uchida

三戸 憲二*****
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”のうちボルト自動締結装置に関する報告である。当該システムは、セグメント継手方式のうち直ボルト継手短ボルト方式を対象としたもので、ボルト・ナット供給を含めた総合的なセグメント組立の自動化を目指したものである。今回の報告では、短ボルト自動締結装置に関する要素実験についての結果と、機械および電装関係での改良点の必要性を明らかにしている。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 開発の概要
- §3. 要素実験機
- §4. 実験内容および結果
- §5. まとめ
- §6. おわりに

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り、自動化の主テーマの1つとされている。

この開発要求に対して、当社では昭和62年より“直ボルト継手短ボルト方式”を対象として川崎重工業㈱と共同でセグメント自動組立システムの開発に着手した。

今回報告する要素実験は、締結装置の基本動作確認および締結システムの信頼性等を検証することを目的として実施したものである。

§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、深層化を対象に様々なものがあるが、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。

なかでもセグメント自動組立システムは、作業効率の

§2. 開発の概要

2-1 全体システム

Fig. 1 にセグメント自動組立システム概要図を、Fig. 2 にシステム一連作業フロー図を示す。

今回、開発の対象としたセグメント自動組立システムの装置構成は以下の通りである。

セグメント搬送装置
セグメント自動供給装置
セグメント自動組立装置
ボルト・ナット自動供給装置
ボルト自動締結装置

*技術研究所機電課
**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
*****機材部機械課係長
*****土木設計部設計課

- ・リング間ボルト締結機×4台
- ・ピース間ボルト締結機×2台

2-2 開発目標

開発に当っては、以下の条件を取り入れることにした。

- (1) 密閉型（土圧タイプ）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・ナット自動供給装置を組入れること。
- (4) エレクター装置およびボルト・ナット締結装置を分

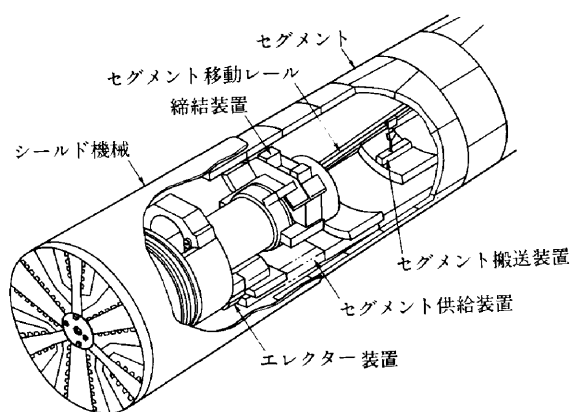


Fig.1 セグメント自動組立システム概要図

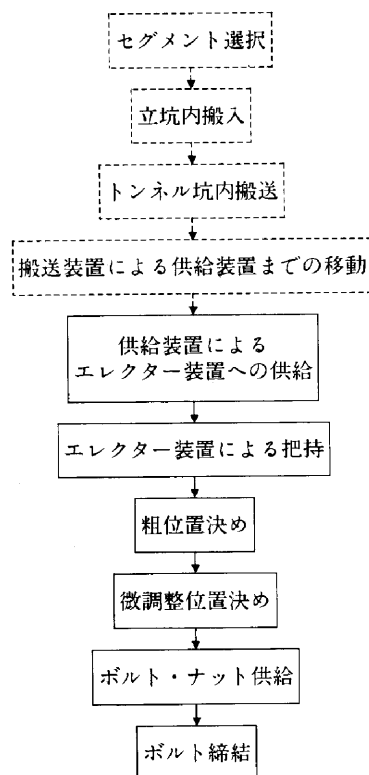


Fig.2 セグメント供給、組立フロー図
（実線部分が今回の対象範囲）

離すること。

- (5) 位置決めセンサー等は、極力少なくすること。

2-3 セグメント

開発の対象としたセグメント仕様を以下に示す。

- (1) セグメント種別・寸法；RCセグメント
・外径5300×内径4800×幅1000
- (2) Kセグメントピース間接合部の形式；軸方向挿入式；テーパ角（挿入テーパ角）・・90°×2/1000
Fig. 3にK型セグメント詳細図を示す。
- (3) セグメント継手ボルト；ピース間継手ボルト
M22×80L×2本/ボックス
（リング間継手ボルト M22×70L×1本/ボックス）
Fig. 4にボルト部詳細図を示す。
- (4) セグメント分割数；5+1等分周長分割

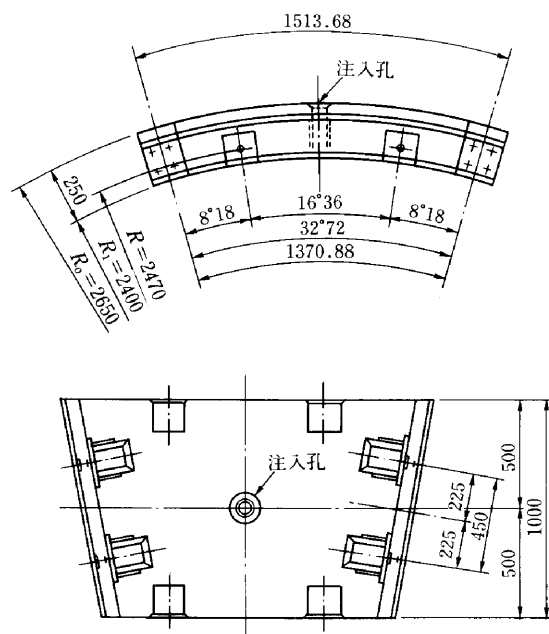


Fig.3 K型セグメント詳細図

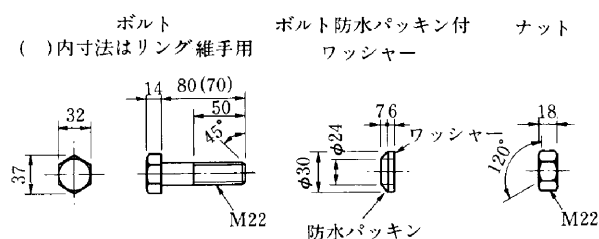


Fig.4 ボルト部詳細図

- (5) 締結アームがスイングできるので、万一故障した時ボルトの手締めが可能。

§ 4. 実験内容および結果

本実験は、セグメント自動組立システムに搭載するM22短ボルト自動締結装置の基本性能をチェックした後、模擬セグメント（スチール製セグメント）を使用して自動締結の確認を行うものである。締結装置をPhoto1に示す。

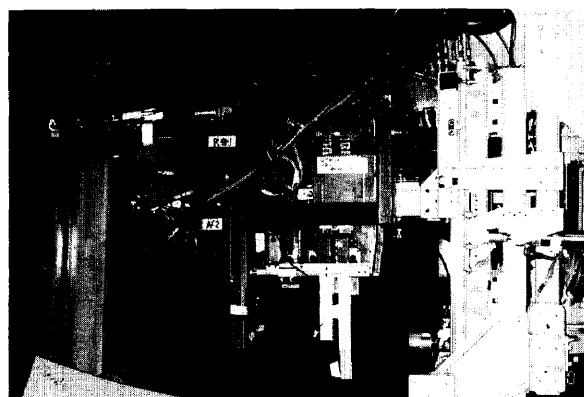


Photo 1 締結装置

4-1 締結機能テスト

自動締結を行うための基本機能を調べるため、以下の項目について実験を行った。

(1) ナット保持およびボルトチャッキング

改良前のナットソケットでは、ボルトの突出長さだけ後方に磁石を取り付け、その取り付け部を介してナットを保持する計画であったが、実験の結果、この方法では保持力を期待できないことが分かった。そこで、磁石とナットの間を小さくし、ボルトの突出量に応じてスライドする磁石取り付け部へと改良した。

ナットの保持力については、ナットソケット改良前と改良後について計測を行い、またボルトの把持力については、ボルトチャックした場合としない場合（磁石によるボルトの引き付けのみ）のそれぞれについて Fig. 6 に示すような方法で計測を行った。結果は、以下に示す。

①ナット保持結果

- ・改良前ナットソケットの場合；0 kgf (0 N)
- ・改良後ナットソケットの場合；3～4 kgf
(29.4～39.2 N)

②ボルトチャッキング把持力結果

- ・ボルトチャックしない場合；9～10 kgf
(磁石のみ) (88.3～98.1 N)
- ・ボルトチャックする場合；50 kgf (490 N)

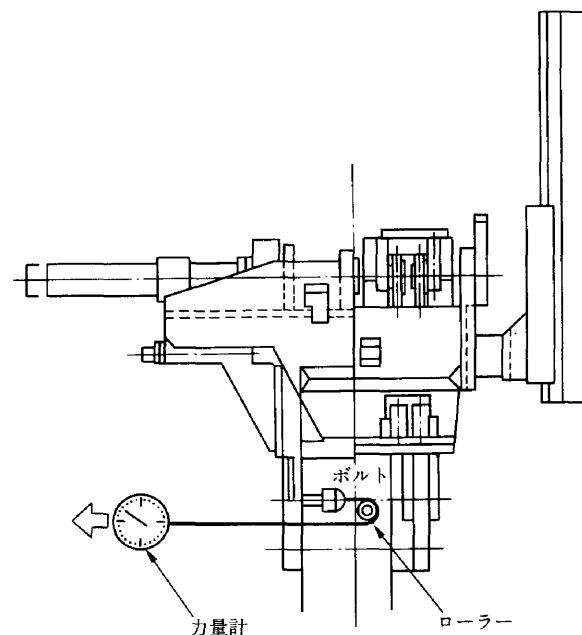


Fig.6 締結機能テスト

(2) 締結テスト

- ①ナットランナーシステムの設定
設定値を Table 1 に示す。

Table 1 ナットランナーシステム設定値

ナットランナーシステム	設定値
RATED LOAD	40 kgf・m
CHECK. F	0.0 kgf・m
コントロール機能	トルク法
ゼロポイントセット	00.00
トルク CONT	25 kgf・m
トルク HIGH	30 kgf・m
トルク LOW	20 kgf・m
SEAT	5～8 kgf・m
高速回転数	0.0 rpm
着座停止	ON
締めつけ時間 MIN	0.00 s
締めつけ時間 MAX	5.00 s
完了時間	20.00 s

また、繰り返し締結実験を行うため、動作確認用の締めつけトルクは10kgf・m (98.1N・m) とした。

②締結動作

本実験装置の締結動作の概略を Fig. 7 に示す。締結動作の所要時間は、約25～30秒であった。

4-2 単独位置決めテスト

流量制御サーボ弁を使用するアクチュエータの動作機能を確認するため、各アクチュエータごとに作動圧、動作時間等を計測した。各アクチュエータの計測結果をまとめたものを Table 2 に示す。

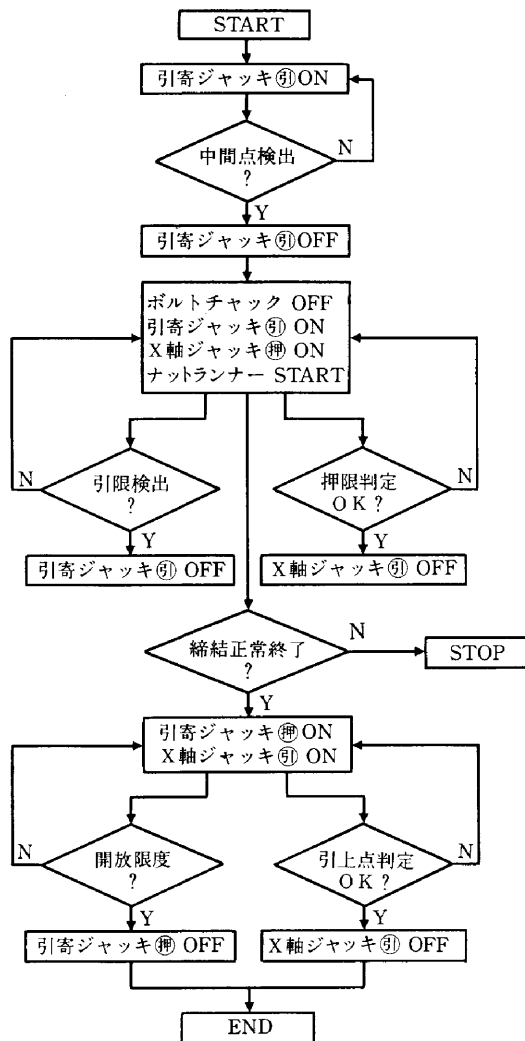


Fig.7 締結動作フロー

Table 2 サーボ弁使用のアクチュエータ単独位置決めテスト結果

		設定値 (計測値)	実測値	P_o kgf/cm ²	P_o kgf/cm ²	F_c kgf	備 考
X 軸 (K)	押	5 (mm/s)	4.9(mm/s)	49	88	267	磁歪センサー
	引	15 (mm/s)	13.8(mm/s)	92	108	220	
Y 軸 (K1)	下	21.6(mm/s)	22.6(mm/s)	84	72	88	磁歪センサー
	上	17.3(mm/s)	18.8(mm/s)	84	80	78	
Y 軸 (K2)	下	24.9(mm/s)	26.2(mm/s)	84	72	88	ボールネジ
	上	19.9(mm/s)	21.6(mm/s)	84	79	78	
Z 軸 (K)	A1 → K1	5 (mm/s)	4.7(mm/s)	83	82		ロータリーエンコーダ ボールネジ
	K1 → K2	43.5(mm/s)	44.9(mm/s)	82	70	88	
	K2 → A1	38.7(mm/s)	40.3(mm/s)	82	75	88	

本開発では、基本3軸の電気油圧サーボ機構の採用によって位置決め精度のアップ、締結アームのボルトボックスプレートへのあて決めによるボルト挿入位置規制を行っている。90°Aセグメント、K型セグメント締結実験状況をPhoto 2, Photo 3にそれぞれ示す。

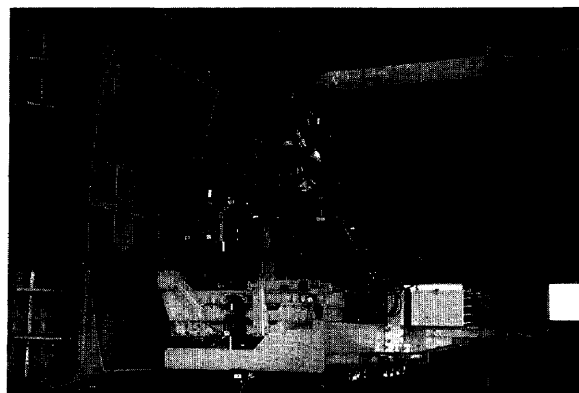


Photo 2 90°Aセグメント締結実験

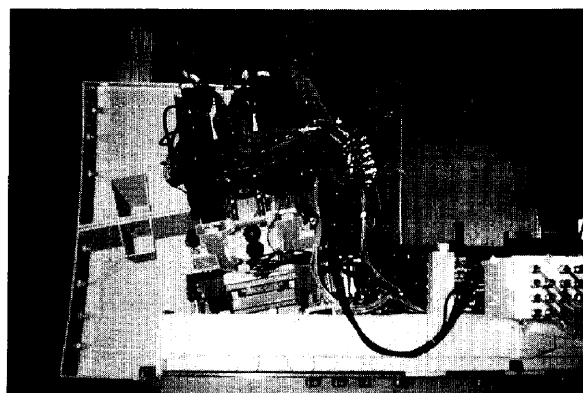


Photo 3 K型セグメント締結実験

§5. まとめ

5-1 機械関係

上記要素実験結果より、システムの基本的な性能、A-BセグメントおよびK-Bセグメントのボルト自動締結が可能であることを確認した。実験経緯の中で自動締結装置に改良、変更の必要がありその施した点を以下に示す。

(1) ナットソケットの改良

磁石とナットの間を小さくし、ボルトの突出量に応じてスライドする磁石取り付け部へと改良した。

(2) 締結動作の変更

複数のボルトを同時に締結する場合、接合面の傾き等やその他の理由により、ボルトごとに締結時間が異なることがある。このため先に締結終了したボルトが、その後締結終了するボルトの締めつけによって、緩むことがある。

したがって、このような事態を回避すべく、ボルトの2度締めを行うことにした。2度目の締めつけでも、締結時間差は生じるが、1度目に比べボルトはほぼ着座した状態にあるため、その差は僅かであり影響は少ない。す

なわち、2度目の締めつけが、所定の締めつけトルクを得るのに有効な手段となっているものと判断される。

(3) 腕振りの制御弁変更

腕振り制御弁をスプリングリターン型の2位置弁から、スプリングセンター型の3位置弁へと変更し、ポンプ起動時の動作の改善を行った。

5-2 電装関係

装置、制御での確認結果を以下に示す。

(1) 検出器

①セグメント衝突防止センサー

セグメント鉄棒端面検出用として、半導体レーザー式の限定反射型センサーを採用した。この反射型センサーは、締結機がボルトボックスに挿入した際に、深く入りすぎてセグメントに衝突しないようにするものである。

導入によって、センサーの取り付け位置に若干の調整は必要であることがわかったものの、十分に満足する結果が得られた。

②ボルト穴検出センサー

締結機がボルトボックス挿入時、ボルト穴検出用として薄形の透過形光電スイッチ2個を採用した。この2個の光電スイッチは、締結機がボルトボックス挿入時にボルト穴の両端を検出するのに有効であることが確認できた。

(2) 位置サーボ制御

高精度な位置制御を達成するため、位置サーボ制御による電油サーボ弁をX、Y、Z軸に採用した。ただし、従来のアナログ制御、専用の制御装置を使用するのではなく汎用化、低コスト化を目指し、処理速度が10秒程度速くなった新製品の汎用シーケンサを採用した。これで、サーボコントロールプログラムの作成を行なった結果、以下のことが得られた。

①PI制御プログラム

プログラムは定周期スキャン(10ms)でまわせる前提に作成された。

処理時間が遅くなるのを恐れ、整数演算でPI制御ソフトウェアを作成した経緯もあり、ソフトウェア上細かい制御が不可能であった。次回は、取り扱う数字の精度を考慮するとともにシミュレーションによる検討も行う

必要がある。

②センサー入力

X、Y軸に関しては、センサー入力をアナログ信号で入力したため、シーケンサ入力の最終ビットがフローティングの状態となり、その影響を受けてPIのメインゲインが上げられないという状態になった。これは当然センサーとの分解能の比較もあるが、センサー入力としては、デジタルタイプを検討し今後は採用すべきである。

③位置制御の向上

機器あるいは負荷の慣性のサーボ制御性への影響を和らげるため加減速レートを速度に持たせ、また一次遅れ関数でS字加減速を行ったことは位置制御の向上に寄与している。

(3) その他

①Z軸に関しては、移動速度を制御可能な範囲内で、スピードアップする必要がある。

②ナットランナーの締めつけ動作については、ナットランナーの標準動作として着座→一旦停止→同時締めつけという動作を行ったが、ボルトによっては所定トルクで締めつけていないこともあった。したがって、現状では、2度締めを行っている。原因としては、動作確認用の締めつけトルクを10kgf・m(98.1N・m)としたため、着座トルクが60%の6kgf・m(58.8N・m)となり、かなり低い数値となったこと、およびゴムパッキンの性状等が影響したと考えられる。実セグメントの組立までには、2度締めが必要か否か再度検討する必要がある。

§6. おわりに

各要素実験結果は良好であり、ボルト自動締結装置は充分実用可能であることが確認できた。この要素実験結果をもとに現在は、エレクター装置への供給から位置決めおよびボルト・ナット自動供給装置の実証実験を実施しており、その内容については、逐次報告する予定である。

なお本システムのうち、ボルト・ナット供給装置およびボルト・ナット締結装置は西松建設㈱と川崎重工業㈱との共同開発によるものである。