

## 47. 独立型セグメント組立ロボット “O-SERO”の開発と実用化

(株)大林組：上田 尚輝・\*森野 弘之

### 1. はじめに

産業界全体の課題でもある合理化、省力化の追及は建設業においても例外ではなく、多くの機関で施工の無人化やロボット化を目指した研究、開発が進められている。建設工事の工種のなかでもシールド工事は自動化に取り組みやすいため、早くから施工の自動化技術の開発に着手されてきた。

シールド工事の内、セグメント組立作業については依然としてエレクターを用いた熟練作業員による手組み作業で行われてきた。ところが、熟練技能者の不足に伴う作業能率と品質の低下の防止、狭小な空間での高所作業に対する安全性の確保、および近年の大口径化に伴い手組み作業が難しい工事が増えてきたことなど、セグメント組立作業にも自動化技術の導入が図られるようになった。

セグメント組立ロボットは数年前にはじめて開発され、その後いくつかの開発および試験施工例が報告されているが、組立にかなりの時間を要すること、開発費・実機の製作費が非常に高価であることなどから経済ベースでの実用化には多くの問題点が残されていた。そこで、(株)大林組では三菱重工業(株)と共同で、経済的で実際に運用する場合に扱いやすく、かつ信頼性の高いロボットの開発に取り組み、新しいタイプのセグメント組立ロボット「O-SERO」\*の開発に成功した。

(\*O-SERO ; Obayashi - Segment Erection Robot)

ここでは、「O-SERO」開発の経緯とその性能、および実効性について紹介する。

### 2. 「O-SERO」の概要と組立フロー

#### (1) 全体概要

「O-SERO」の概念図を図-1に示すが、最大の特徴は従来開発されてきたセグメント組立ロボットがシールド機内のエレクターを制御するためロボットはシールド機と一体型となっていたのに対して、このロボットはシールド機と完全に切り離された後方独立型となっていることである。この方式を採用した最大の理由としては、開発の基本方針の一つである複数の工事への転用が容易

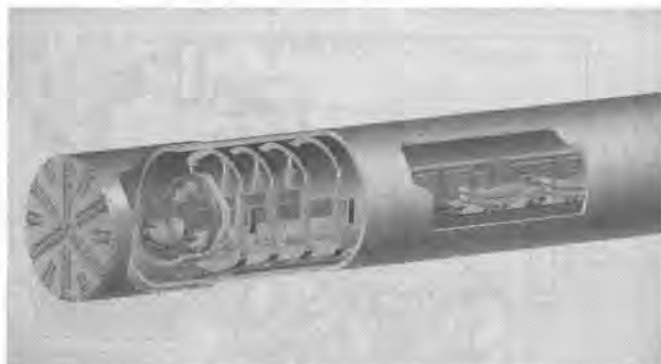


図-1 「O-SERO」の概念図

であることが挙げられる。もう一つの理由としては、セグメントを組み立てる際には推進用シールドジャッキの伸縮によりシールド機と既設のセグメントの相対位置関係が微妙に変化するため、シールド機と一体となったエレクターでは各セグメントピースを組み立てるごとに相対位置が変化し、自動組立を行う場合には組立時間がかかりすぎる恐れがあると判断したためである。

写真-1は今回製作した「O-SERO」実機の正面全景であるが、このロボットの主要な仕様と対象としたセグメントの仕様を表-1に示す。



写真-1 「O-SERO」正面全景

[O-SERO]		セグメント	
寸法	H=6m * L=7m	タイプ	RC
重量	70 ton	寸法	O.D.=6.5m, W=0.9m
昇降	23 tonf	分割数	7 (A*4+B*2+K)
締結力	30 kgf*m	最大重量	2 ton
締結機	13	ボルト数	39 pieces/ring

表-1 「O-SERO」およびセグメントの仕様

### (3) セグメントの組立手順

「O-SERO」によるセグメントの組立フローを図-2に示す。

#### ① プリセンシング

掘削終了時にロボット本体をほぼ所定の位置に据え付け、既設のセグメントとロボットとの相対的な位置関係をロボットに取り付けられたセンサーにより、1リング全周4箇所計測・演算する。この結果に基づき、ピッチングフレーム・ヨーイングフレームに取り付けられた修正ジャッキを制御して、ロボットのエレクター部の旋回面を既設セグメントの端面と平行にする。

#### ② セグメント供給

セグメント供給装置の最後尾に下ろされたセグメントを、ロボットに取り付けられた搬送コンベアに載せてトラベルジャッキにより所定の位置まで搬送する。

#### ③ セグメント把持

セグメント供給装置上でセグメントに埋め込まれた把持金物の位置をセンサーで計測したのち、エレクター部の直下までセグメントを供給する。把持に際しては、ワンタッチで把持でき、高精

度の位置決めを必要としない前述の把持フックを使用して早く確実に把持する。

#### ④セグメント粗位置決め

プリセンシングの結果より、数値制御にて各セグメントピースの組立位置の近くまで、位置決めを行う。

#### ⑤セグメント精位置決め

ロボットに取り付けられたセンサーにより既設セグメントの内周面を計測し、高精度の位置決めを行う。本ロボットでは、直接セグメントのボルト孔を検出せずに、セグメントの内周面を目違いのないように合わせることで、間接的にボルト孔合わせを行っている。

さらに、A型およびB型セグメントのピース間継手の両側には、ピース間ガイド機構と呼ばれるピン・ホソ機構が設けられているため、既に組立て済みのセグメントにこれから組み立てるセグメントを旋回方向に押し付け、微制御を行うことで制御を単純化して組立時間の短縮を図っている。

#### ⑥ボルト締結

精位置決め終了後、まずピース間ボルトを挿入して低圧トルクで締結する。次に、昇降方向の微調整を行ってリング間ボルトを挿入し、所定のトルクで締結する。このとき、同時にピース間ボルトも高圧トルクで締結する。

以上の手順を繰り返して1リング分の組立が完了すると、ロボットはシールド機の掘削・推進作業に合わせて4組ある支持装置を順次作動させて走行し、次のリングの組立位置まで移動する。

## 4. 「O-SERO」の組立性能

### (1) 工場内組立実験

「O-SERO」の実用化に際して、その機能および性能が当初計画どおりであることを確認するために工場内で実機を用いてセグメント組立実験を行った。実験装置は本ロボットが独立型で既設セグメントにより支持される構造になっているため、ロボットを設置する模擬トンネル構造とした。トンネルには、シールドジャッキが取り付けられた模擬のスキンプレートが接続されており、セグメントを2リング連続して組み立てることができるようになっている。また、トンネル部にはロボットの走行性能を確認するための十分な移動スペースが確保されている。

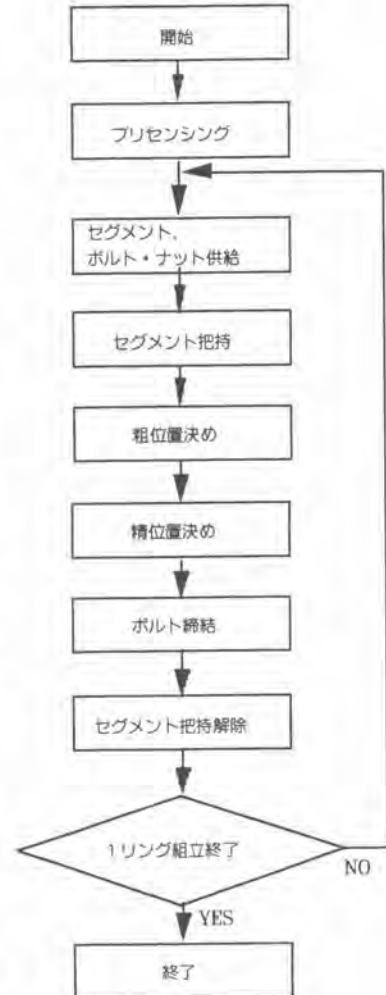


図-2 組立フロー図

当初、ロボットの油圧系および電気系の調整等に時間を費やしたが、約3ヶ月で1リングのセグメントを完全自動で組立可能となった。引き続き、組立時間の短縮、信頼性ならびに組立精度の向上およびAI化システムの検証等を目的として実験やソフトウェアの改良を行った。

表一2に1リング組立時の各工程の平均サイクルタイムを示す。これよりわかるように、組立時間は1ピース平均6～7分で、1リングあたりでは40～50分にまで短縮できた。この時間は、人間が組み立てる場合にほぼ匹敵する値であり、実用に供するにあたり満足のいく結果が得られた。

セグメント名称	把持	粗位置決め	精位置決め	ボルト締結	原点復帰	合計
A1	2'10"	0'40"	0'55"	1'10"	1'10"	6'05"
A2	2'10"	0'45"	1'25"	1'10"	1'05"	6'35"
A3	2'05"	1'00"	1'20"	1'10"	1'05"	6'40"
A4	2'10"	1'00"	1'40"	1'20"	1'00"	7'10"
B1	2'10"	1'00"	1'25"	1'35"	1'00"	7'10"
B2	2'10"	0'55"	1'30"	1'15"	1'00"	6'50"
K	2'10"	1'05"	0'15"	1'20"	1'10"	6'00"
						46'30"

表一2 1リング組立時の平均サイクルタイム

## (2) 現場実証実験

工場内組立実験に引き続いて現在、「O-SERO」の実用化を進めるために大阪府下のシールド工事の一部区間において適用し実証実験を実施した。

今回の実証実験は一部区間でのトライアル施工ということで、通常のエレクターにより220m施工した地点から「O-SERO」を採用することにした。平成4年8月末より現地での組立調整工事を行い、10月より「O-SERO」による施工を開始した。

実現場の施工条件は組立実験を行った工場内とは大きく異なり、ロボットの苦手とする湿度の問題や裏込注入の問題、およびノイズの影響など環境面で非常に不利な条件が揃っている。このため、当初は調整に手間取ったが、最終的に1リング（7分割）を約50～60分で組み立てることが可能となった。

## 5. おわりに

「O-SERO」は従来のロボットとは異なった後方独立型構造であるために様々な特徴を有しているが、そのほか人間の組立手順を解析して要素実験等で自動組立技術に応用できるような機構を開発し、実機に適用している点にも大きな特徴があると考えている。工場内での組立実験により、計画通りの性能を発揮することが確認され、所定の時間内でセグメントが組み立てられることが実証された。さらに、現場実証実験においても工場内実験とほぼ同等の性能が確認されたため、実施工においても省力化、安全性の向上、および品質の向上に関して自動化による効果が得られるメドがついたと考えられる。

最後に、「O-SERO」の開発に際して多大なるご指導、ご協力を賜りました共同開発者の三菱重工業(株)をはじめ関係各位の皆様には厚く御礼申し上げます。