

## 34. シールド掘進機の自動化 ～大口径セグメント組立ロボットの開発～

日立造船(株)：\*布村 進・宮脇 国男  
松永登志夫

### 1. 緒言

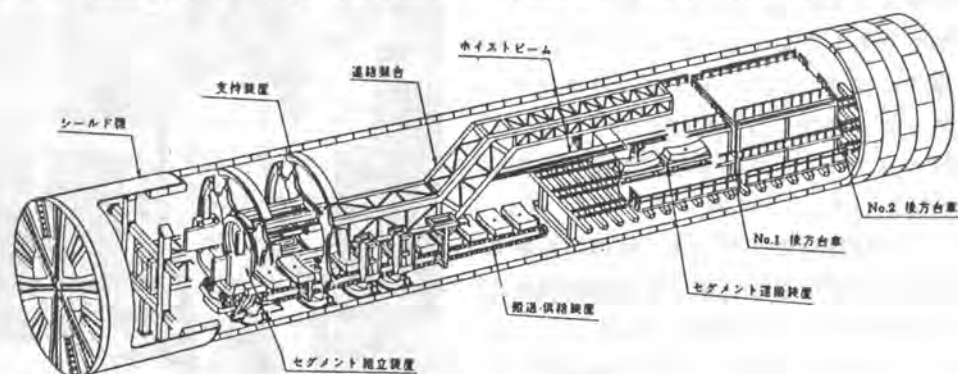
シールド工法は、地下空間利用などで社会基盤の開発に不可欠なものとなり、工事の大型化が進むにつれ安全性確保、品質向上、省力化などの目的で施工の自動化、高度化要求が高まっている。中でもセグメントの組立作業は足場の悪い狭隘な空間での高所作業にもかかわらず、重量物であるセグメントの把持、ボルト穴位置合せ、ボルトナット締結に至る複雑な作業工程を必要とするため自動化が遅れている。この程、高精度組立、安全、高速施工を目指した新型式の組立システムを開発した。このシステムは、セグメント搬送供給、把持位置決め、ボルトナット供給締結などの一連の工程を完全自動化したもので、さらに、組立ロボットをシールド機から分離し、セグメント組立後のトンネル側に独立した組立ロボットとして装備した後方支持方式で、今後進む工事の高度化に対応し易い発展性の備えたシステムである。

### 2. セグメント自動組立システムの構成と特徴

後方支持式自動組立システムを第1図に示す。本システムは、組立ロボット、支持装置、搬送供給装置から構成されている。また組立ロボットは、位置決め姿勢制御装置、把持装置、ボルトナット供給締結装置よりなっている。

従来のエレクタはシールド機後部に後ろ向きに装備されているが、後方支持式自動組立システムでは、シールド機から分離し、組立面である既設セグメント側に装備しセグメントと1体化しているため次の特長がある。

- (1)シールド掘進中に次セグメント組立のセンシングが行なえ、掘進作業に阻害されることなく組立面の正確な位置を把握できる。
- (2)セグメント組立ロボットと既設セグメントとの相対位置が変わらないため、組立精度が向上する。
- (3)セグメント搬送供給装置、真円保持装置との1体化が図れる。
- (4)シールド掘進とセグメント組立作業を同時に行う高速施工への対応が可能である。



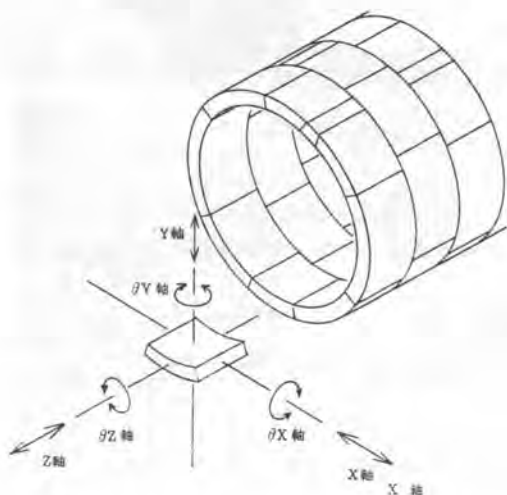
第1図 後方支持式セグメント自動組立システム

### 3. 位置決め制御方式

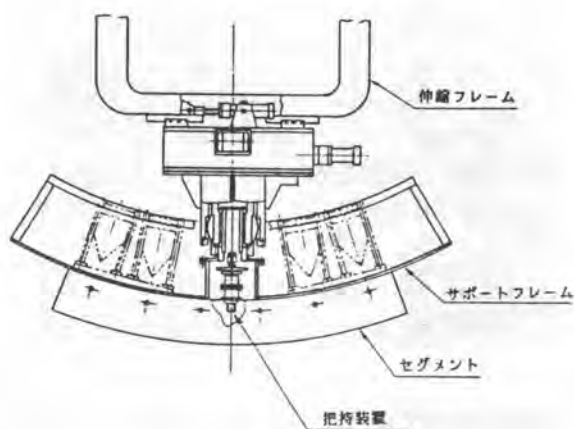
#### 3.1 セグメントの自由度と制御軸

従来のエレクタは、旋回、半径方向の伸縮及び軸方向のスライドの3軸を操作することによって位置決めを行なっていて、多少のねじれはセグメントとエレクタのガタによって吸収していた。自動化をするためには、これらのねじれ要素も独立軸として制御する必要がある。第2図はセグメントの自由度を表したものである。今回開発した装置は、従来の3軸(旋回方向: X、トンネル半径方向: Y、トンネル軸方向: Z)に加えて、ピッチング方向:  $\theta X$  軸、ヨーイング方向:  $\theta Y$  軸、ローリング方向:  $\theta Z$  軸及び旋回方向の微調整用軸: Xo軸によって位置出しを行なっている。第3図に姿勢制御装置を示す。

位置決め順序としては、既設のリング位置の計測データを基に X, Y, Z の3軸を使用して、粗位置へと移動させる。次に、サポートフレームに取り付けたセンサ(超音波距離計)で既設セグメント(把持時は把持セグメント)の計測を行ない微小位置決めを行なう。



第2図 セグメントの自由度



第3図 姿勢制御装置

#### 3.2 制御装置

制御装置は、演算制御部、サーボ制御部、締結機制御部の3つの独立した制御系より構成している。演算制御部では位置決めのための演算及びマンマシン部の制御を行なう。サーボ制御部では油圧サーボ7軸のコントロールを行なう。締結機制御部ではボルトナット締結制御及び位置決めに必要なセグメント姿勢計測データの収集を行なっている。

#### 3.3 センシング

セグメント位置決め時の各制御軸とセンシングとの関係は次の通りである。

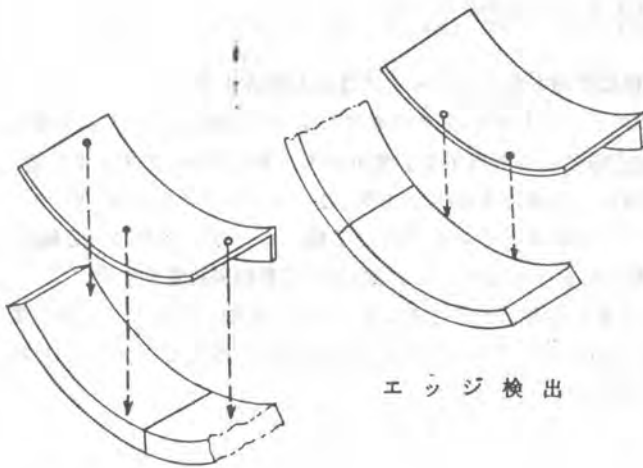
X方向——既設セグメントのボルトボックス穴のエッジを検知することにより測定。

Y方向——センサで直接、既設セグメントまでの距離を計測して調整する。

Z方向——既設セグメントのエッジを検知することにより測定。

$\theta X$ (ピッチング)、 $\theta Z$ (ローリング)方向——第4図のように3点計測から各調整値を求める。

$\theta Y$ 方向——Z方向の左右エッジを検知する事により調整を行なう。



3点計測

第4図 センシング方法

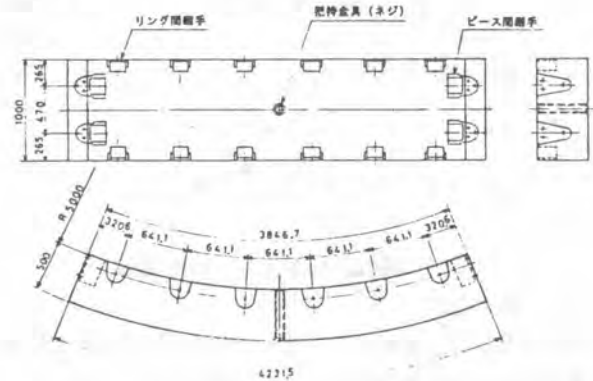


第5図 センサー

#### 4. 試作口ポットによる組立試験

組立試験は、実際のセグメントを用いて、Kセグメント付近の組立を行なえるもので実施した。セグメントは大阪市平野川調節池用トンネルに使用された我が国最大クラスのものと同じである。

形 式 ; RC平板セグメント  
 継手形式 ; ボルトナット(M30)  
 外 径 ; 11,000mm  
 内 径 ; 10,000mm  
 厚 さ ; 500mm  
 重 量 ; 5,500kg

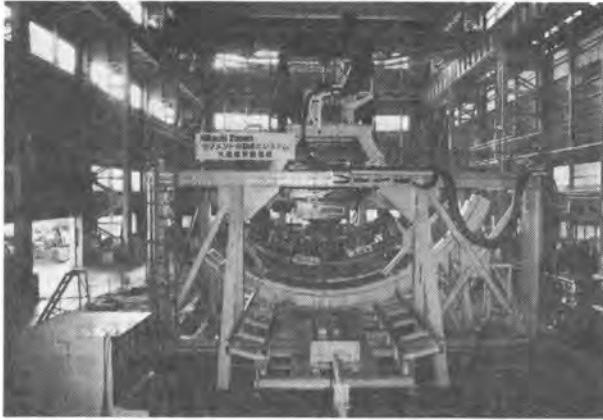


第6図 セグメント

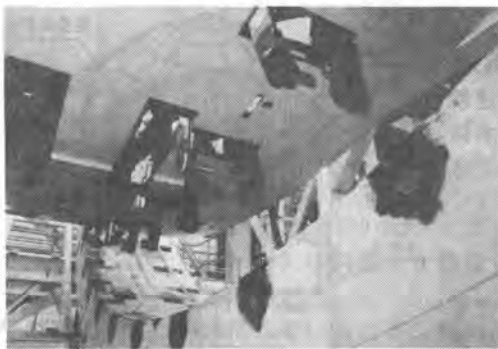
#### 4.1 試験項目

本試験において、セグメントの組立て実証は目的の1つであるが、実機製作への注意点等を考えて下記項目の検証を行なった。

- (1) 負荷の違いによる位置決め精度への影響。
- (2) 悪環境下でのセンサーの信頼性の確認。
- (3) 重量物ハンドリングに於ける問題点の抽出と対策。
- (4) ボルトナット締結機の信頼性の確認。
- (5) 制御方式の妥当性。
- (6) 各工程組立時間の測定と全組立時間の短縮化。



項目		仕様
使用セグメント	形式	ボルト継手 F/C平板型
	外径	11,000mm
	内径	10,000mm
	幅	1,000mm
	重量	1ピース約5,500kg
組立装置	トルク	100tf-m
	速度	0~0.5rpm
	駆動方式	油圧式
制御装置	形式	球面軸支持方式 (6輪自動制御)
	駆動方式	油圧サーボ式
	センシング	非接触式
	把持部	グラウトホールネジ込式
	ボルト、ナット締結機	油圧駆動



第7図 試作ロボット

#### 4.2. 組立て試験結果

本試験では、前項で述べた試験項目の他下記項目が確認できた。

- (1) 把持および把持解除の問題点と対策。
- (2) マンマシン制御の信頼性向上対策。
- (3) 制御軸位置決め精度の向上方法。
- (4) Kセグメントの取扱い。
- (5) セグメントシールの取扱い。
- (6) 制御軸位置決め精度 :  $\pm 0.5\text{mm}$
- (7) セグメント位置決め精度 :  $\pm 1.0\text{mm}$ 。



第8図 ボルト締結状態

#### 5. 結言

新方式の後方支持セグメント自動組立システムを開発し、ボルト締結式大型汎用セグメントでの組立試験による性能確認を行った結果、当初の機能、性能を満足できた。現在は把持工程での位置決めセンシングが必要なため1ピース約7分の組立時間を要しているが、一括センシングなどの手法を加え組立時間の短縮を図ると同時に、実際の工事条件に応じた試験を重ね、実用化を進めている。