

## 35. セグメントボルト増し締めロボットの開発

(株)大林組：風間 慶三・\*富岡 彰  
日立造船(株)：布村 進

### 1. はじめに

近年わが国では、都市部における利用空間が地上から地下へと進み都市トンネルの代表的工法であるシールド工法は、急速に進歩した。さらに、社会環境の変化や経済性等の面から、大口径化、長距離化への要求が高まってきた。

そのため、危険作業の回避、作業環境や労働条件の改善等が強く要求され、作業の効率化、省力化、安全性の向上をはかる為、施工の自動化・高度化が急速に進められている。掘削作業では自動化が定着し、セグメント組立等の覆工作業での自動化の開発も活発に進められているが、これら以外の付帯作業では実用的にまだ未完成の領域のものが多い。これは、作業が煩雑であるため自動化することが困難であることが大きな要因と考えられる。しかし、シールドトンネルの大口径化に伴いこれらの作業は危険性を増すため、その自動化は急務である。

この様な背景において著者らは、これらの付帯作業を自動化するため大型重量物ハンドリングマニピュレータを共通要素として開発し、セグメントボルト増し締め作業の自動化に適用した。

本論文は、外径11.3mのシールド工事のセグメントボルト増し締めロボットの開発を中心に報告を行う。

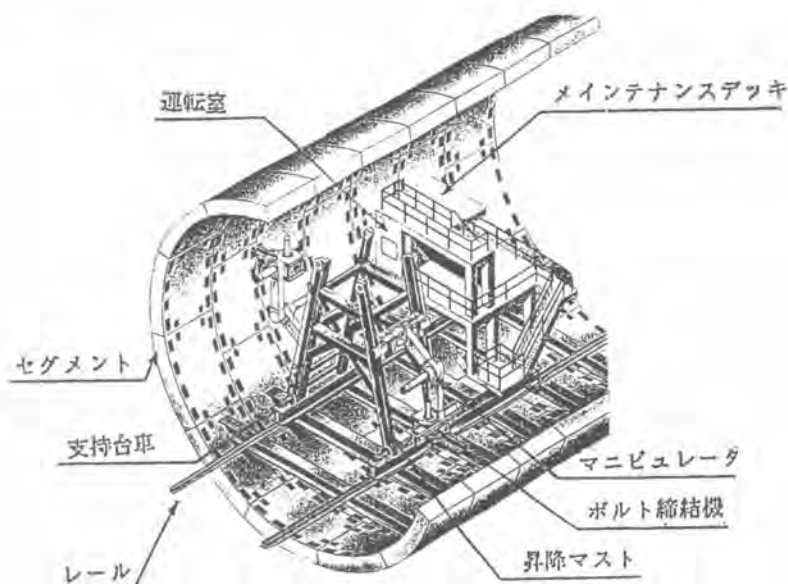


図-1 セグメントボルト増し締めロボット

## 2、セグメントボルト増し締めロボットの概要

本ロボットの開発にあたっては、締結機の自重および締結反力を支持し高精度に位置決めできるマニピュレータと、ボルトを検出し正確に位置決めするセンシングシステムがポイントであり、様々な要素実験を行い、その結果を実機の製作・設計にフィードバックしている。以下にロボットの構造とシステムについて述べる。

### 2-1 ロボットの構造

図-1は、セグメントボルト増し締めロボットの全体構造を示したものである。トンネル坑内に敷設されたレール上を移動する、自走式支持台車の両側に、2台の大型マニピュレータを配置している。各マニピュレータの先端には、ボルトナット締結機を装備している。先端に設けたセンサーにより、ボルトを認識し、増し締めを行うロボットである。すなわち、ボルトナットの検出から位置決め、ボルトナットの増し締めまでの工程を自動化したものである。

支持台車はトンネル坑内の軌上を自走でき、本ロボットのベースフレームとなるものである。シールドマシンの後方台車から独立しているため、掘削作業に影響を与えることなく進捗に応じて作業できる。支持台車の両側には、マニピュレータを上下に昇降させる昇降マストを設置している。これにより2台で全てのボルトナットの増し締めが可能であるが、作業性からここでは枕木より上のボルトナットを対象とした。そのほか、運転室とメンテナンスデッキを備えている。

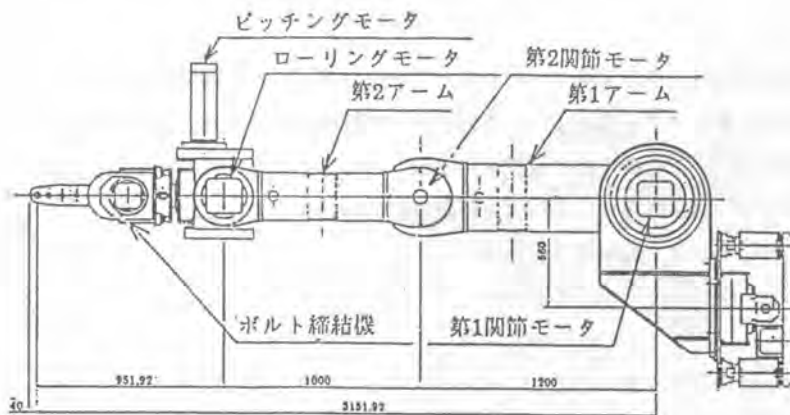


図-2 マニピュレータ

図-2に本ロボットの核をなすマニピュレータを示す。6関節6自由度を有するマニピュレータで、重量物をハンドリング出来るよう各関節には高トルクサーボモータを配置している。特に最もトルクが要求される第1関節の駆動には、2台のサーボモータによる同期運転を採用している。

実機実験では、重量物マニピュレータにもかかわらず、位置決め繰り返し精度が $\pm 0.1\text{mm}$ 以内と高精度な特性を有するとともに、最大許容可搬重量も970kgfと設計仕様を満足することを確認した。また、動特性においても、アームの速度パターンを適正に制御する事により、アーム先端の残留振動を小さく

抑え、重量ハンドリング用として良好な特性を有することも確認できた。

マンピュレータの先端には、ボルトを把持するグリッパとナットを回転するナットランナを一対にしたボルトナット締結機と、ボルトの位置を検出するセンサーを装備している。ナットランナーのソケットには、ボルト・ナットを傷つけない形状の六角ソケットを採用した。

## 2-2 制御システム

図-3に制御機器構成図を示す。プログラマブルコントローラ（PLC）と、アクチュエータ制御のモーションコントローラ、およびセンサー等を通信回線で結んでいる。

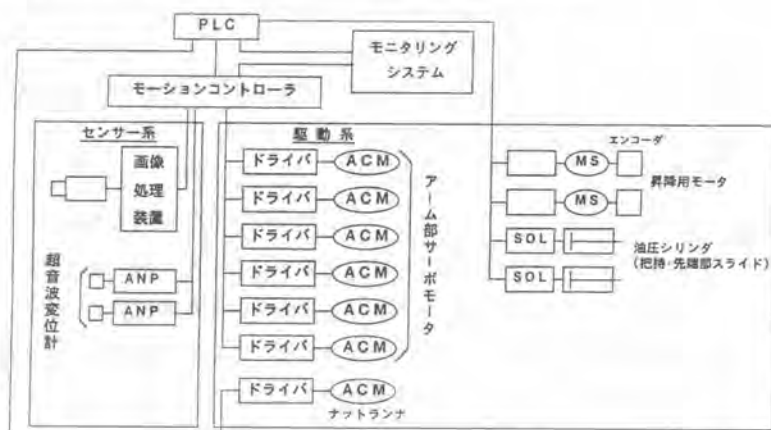


図-3 制御機器構成図

締結機の位置決めは、次の手順で行われる。①数値制御により、締結機先端に取り付けたテレビカメラの画像にボルトボックスが捕らえられる位置まで粗位置決めを行う。②画像処理によりボルトボックス中心位置を演算し、締結機をその位置まで移動しボルトボックスに挿入する。③締結機先端に取り付けた超音波センサーによりボルトボックス内壁までの距離を計測し、ボルト孔のセンターとの相対位置を演算する。そのセンターに対して締結機を精位置決めし、グリッパでボルトを把持する。

なおここで、ボルトとボルト孔のセンターは最大3mm ずれている可能性があるため、ボルト孔のセンターに対して位置決めされた締結機を最終的にボルトセンターに合わせる必要がある。ボルトチャッカは、ボルトセンターが数mmずれていても把持できる機構となっており、把持時にマンピュレータの第2、第3関節の保持トルクを低くすることで、ボルトのセンターに締結機及び

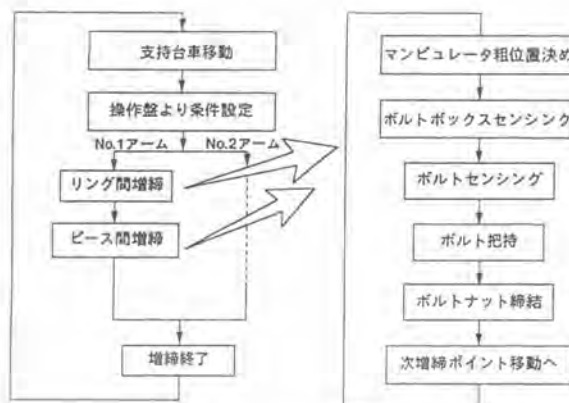


図-4 増し締め運転フロー図

アームを動かせることができる。ナットランナーはボルトチャッカと同軸に位置するので、ナットランナーとボルト位置の芯合わせも同時に行われる。その後、アーム部関節の保持トルクを回復させ増し締め作業を行う。図-4は、セグメントボルト増し締めの運転フローを示したものである。

### 3、ロボットの实機テスト

実工事に適用する前に、機器の調整やソフトウェアの検証等の目的で、工場にて実際のセグメントを用いて、増し締めテストを行った。写真-1に実機テスト状況を示す。

RCセグメントでは、枕木より上にあるリング間ボルト35本、ピース間ボルト42本の増し締りを、1本あたり約60秒、1リングあたり50分程度で行えることを実証できた。また、ボルトボックス内部の空間が極めて限定されており、締結機の先端が内面に接触しないよう様々な挿入・把持パターンを検討、実施したが、最終的に、所定のトルクで確実に増し締めを行えるシステムを確立することができた。ダクタイルセグメントでも実機テストを行い、良好な成果を得た。本年12月に現地へ搬入し稼働を開始する予定である。

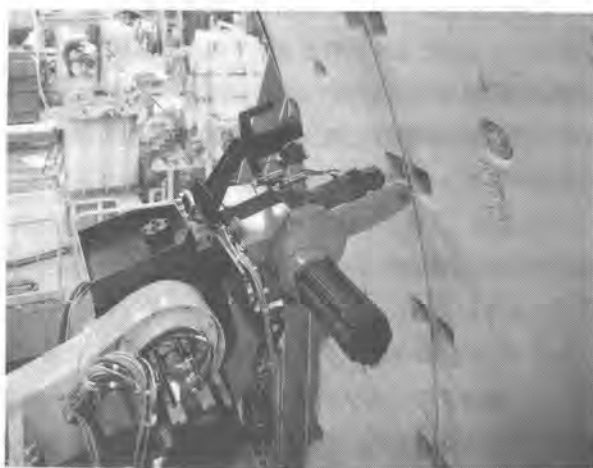


写真-1 実機テスト状況

### 4、おわりに

汎用性のある大型高精度マニピュレータを開発し、セグメントボルト増し締めロボットに適用した例を紹介した。シールド工事のみならず建設現場での自動化、省力化への取り組みは今後とも重要であり、汎用性のあるロボットが有効だと考える。今後我々は各種アタッチメントの開発を進め、枕木やレールの敷設、建築工事の間仕切り壁の立て込みなど、広範な作業への適用を目指していく方針である。