

13. 中口径シールドにおけるセグメント全自動組立

佐藤工業：鈴木 哲郎，*金田 富美男
守山 亨

1. はじめに

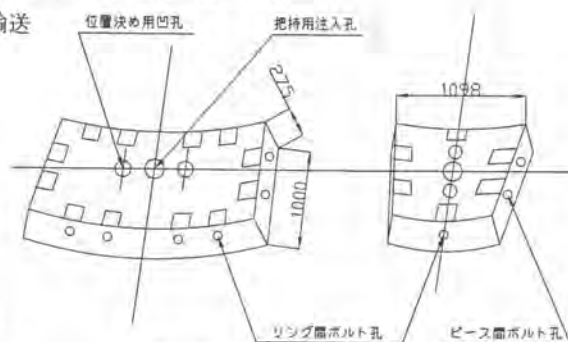
シールド工法におけるセグメント組立作業の自動化は、昭和63年にセグメント外径 7600mm の共同溝工事において最初に実用化された。自動組立ロボットは、組立作業時間の短縮化や組立作業員の省力化、重量物の取り扱いからの解放、あるいは組立精度の向上を図れるなどから、ロボットの設置空間に余裕のある10m以上の大口径シールドを中心に用いられた。

一方、施工件数の多い中口径のシールドにおいてもセグメント自動組立の実用化は潜在的に期待されており、昨今のシールド工事の長距離化、高速化からますます自動化の期待は高まっている。

建設省発注の調布共同溝工事では、中口径シールドとしては国内で初めてセグメントの搬送からボルトの締結までの作業の全自動化を図ったセグメント自動組立システムを開発、採用している。本システムは、①組立システムのコンパクト化、②組立て作業の高速化、③対応範囲の広い組立ロボット、という3つの大きな特長を有している。ここでは、1リングを27～30分で組立中の本組立システムの概要と実績について報告する。

2. シールド工事概要

工事延長	: 2,548 m
最小曲線半径	: R=150 m
縦断勾配	: i=0.3% (下り)
立坑	: 発進立坑1カ所、中間立坑4カ所、到達立坑1カ所
シールド工法	: 泥土圧シールド+流体輸送
シールド外径	: 6,340 mm
仕上がり内径	: 5,250 mm
セグメント	: 6分割RCセグメント
外径	: 6,200 mm
幅	: 1,000 mm
厚さ	: 275 mm
最大重量	: 2,500 kg/1ピース
Kセグメント	: 軸方向挿入型
ボルト	: M27単ボルト、締付トルク490N・m、ボルト本数33本/リング、シールパッキン付



図一1 セグメント構造概要図

セグメントシール：水膨張性シール

図一1にセグメント構造概要図を示す。

3. セグメント自動組立システム

3-1 システム概要

自動組立システムの主な構成は、運搬してきたセグメントを自動組立ロボットに供給する供給装置（フィーダー、供給台車）、搬送装置（ターンリフター、搬送コンベア）、セグメントを組み立てるロボットおよびこれらを自動制御する制御システムからなる。自動組立システムの概要を図-2に、自動組立ロボット構造概要図を図-3に示す。

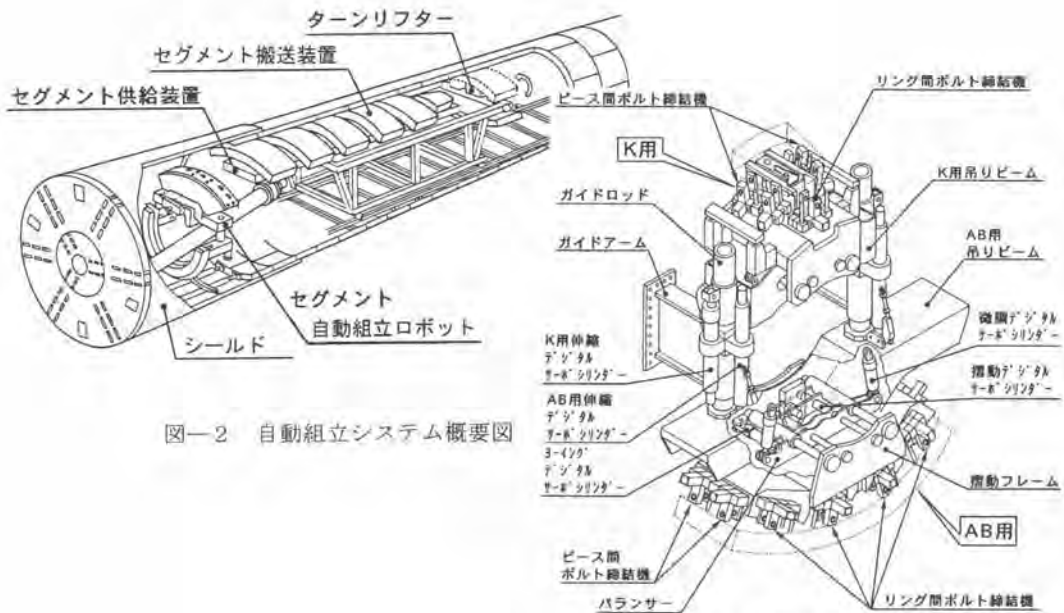


図-2 自動組立システム概要図

図-3 自動組立ロボット構造概要図

3-2 組立手順

図-4に自動組立ロボットの制御フロー図を示す。各作業のポイントは次のとおりである。

① セグメント運搬～組立待機

バッテリーカーで運搬したセグメントをターンリフターで吊り上げ、その位置で90度回転させた後、上下反転させながら搬送装置に搭載する。この作業を掘進中に6回行い、1リング分を組立待機の状態にする。

図-5にターンリフター概要図を示す。

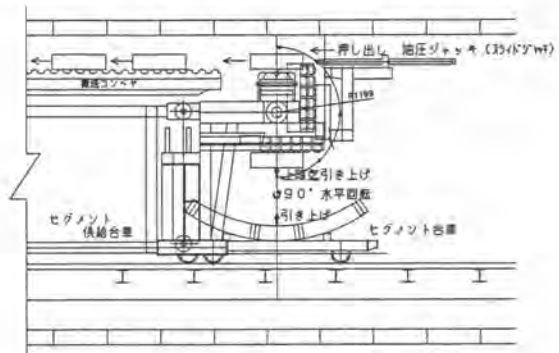


図-5 ターンリフター概要図

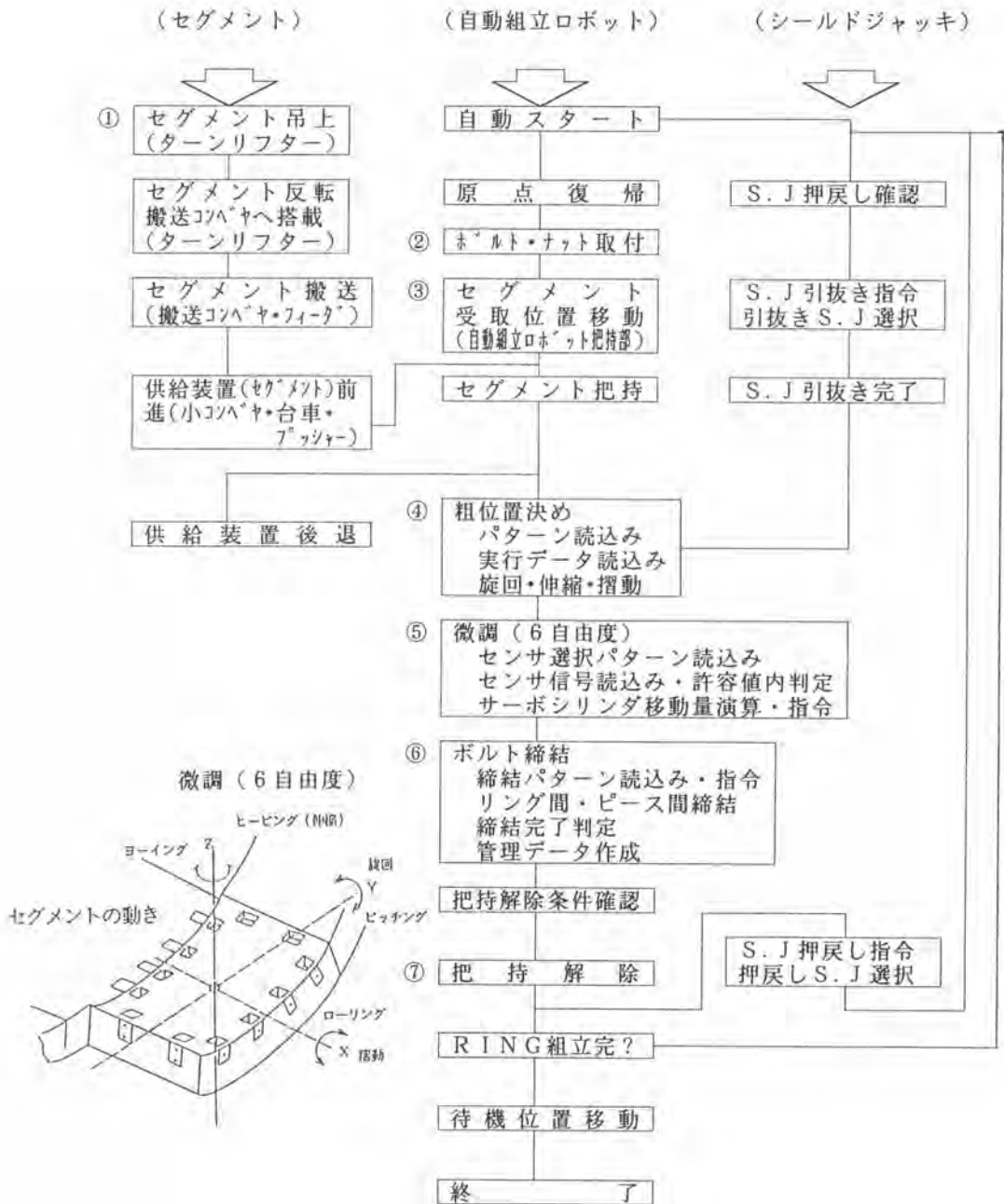


図-4 自動組立ロボット制御フロー図

② ボルト・ナット取付

セグメント組立開始とともに、待機位置にあった組立ロボットがボルト・ナット取り付け位置に旋回し、1ピース分のボルト・ナットを締結機に作業員が供給する。締結機はA・Bセグメントロボットにリング間、ピース間用として計8台、Kセグメントロボットに同じく計5台装着されており、ボルト・ナットは磁石により締結機に固定される。

③ セグメント供給・把持

組立ロボットは、セグメント受け取り位置まで旋回し、供給装置からセグメントを受け取り把持する。セグメントの把持は、セグメントに設けた2カ所の把持位置決め用凹部にロボットから位置決めピンを差し込み、注入孔にあらかじめ取り付けられている把持ピンをロボット側に引き寄せる。

④ 粗位置決め

あらかじめ入力してあるセグメント組立パターンに従いセグメントを組立位置まで旋回移動して粗位置決めを行う。また同時に組立位置付近のシールドジャッキを自動的に引き戻す。写真-1にAセグメント組立状況を示す。



写真-1 Aセグメント組立状況

⑤ 微調位置決め

センサーにより、既設セグメントとの位置ずれを検出しながら、許容誤差内に収まるように微調位置決めを行う。微調位置決めは、セグメントX、Y、Z軸および各軸まわりの回転（ローリング、ピッチング、ヨーイング）の6自由度の位置を制御する。（図-4参照）

⑥ ボルト締結

微調位置決め制御が終了すると、シールドジャッキは自動的に当該セグメントを押し固定する。締結装置がボルトボックスに挿入され、リング間、ピース間ボルトを同時にセットし、ピース間、リング間ボルトの順に締結する。

⑦ 把持解除

締結終了後、セグメントを把持解除し、ボルト・ナット取り付け位置に旋回する。

以上②～⑦の動作を6回繰り返し、1リングのセグメント組立てを完了する。

3-3 特長

本セグメント自動組立システムは、次の特長を有している。

① 組立システムのコンパクト化

- 後続台車の上方にセグメント搬送装置を装備した上部搬送・上部供給方式を採用している。これまで坑内のデッドスペースとなっていた空間を有効に活用することにより中口径シールド

での全自動組立てを可能とした。

- セグメント台車で搬送したセグメントを180度反転させ、上部搬送装置に搭載するターンリフターを新たに開発した。

② 組立時間の高速化

- 組立ロボット各駆動部の作動時間（ジャッキ伸縮、旋回、センシング）を分析し、組立時間の短縮に寄与する動作の絞り込みを行い、当該動作に関する駆動能力をあげ、高速化を図り1リングの組立時間を30分以内とした。
- あらかじめロボット制御システムに最適組立動作を教え込むティーチングプレイバックシステムを採用した。

③ 適用範囲の広い組立ロボット

- A・BセグメントとKセグメントにそれぞれ専用のロボットを装備した。
- A・BセグメントとKセグメントの形状寸法の違い、組立方法の違い（半径方向挿入式と軸方向挿入式）に対応しているため、従来のセグメントを改良することなくそのまま用いることができる。

4. 組立実績

平成8年6月末現在、1, 100m (1,100リング) 付近を掘進中であり、これまでにR=15.0mの曲線区間を3カ所（区間距離 右31m、左19m 左9m）、中間立坑を2カ所通過している。ここでは、セグメントの自動組立の実績について報告する。（図—6 参照）

4—1 組立時間について

初期掘進期間中、組立時間は当初計画の30分を大幅に越えたが、これらの原因を分析、検討した結果、メーカーによる組立ロボットの調整、操作指導、作業員の不慣れ、および組立ロボットの動作の一部に次のような不具合のあることが判明した。

- ①伸縮ジャッキの微調位置決め
- ②伸縮ジャッキの振動
- ③ヨーイングのずれ

本掘進段取替え期間中、前述不具合に対し制御ソフトの改良、部品の改良、交換および操作員の教育等を行った結果、90リングからの本掘進では、ほぼ当初計画を達成するにいたった。

4—2 ボルト締結手順について

本工事のボルト・ナットには、シールパッキンを接着したものを使用し、ボルト先端部は、特殊な加工を行っていない。このため、ボルト孔合わせの高い精度を確保する必要がある。

初期掘進時のボルト締結率（1リングにおける締結実本数/締結計画本数）は79%と低かった。組立状況の調査から締結率の低い箇所は、主にリング間であることがわかった。当初の締結順序はピース間ボルトを孔に通して締結し、次にリング間ボルトを孔に通して締結していた。このようにピース間ボ

ルトを先に締結した場合、組立セグメントの真円度が保持できなくなる現象が見られ、リング間ボルト孔に「ずれ」が生じた。そのためリング間およびピース間ボルト孔にボルトを通した後ピース間、リング間の順序でボルトを締結する制御ソフトに改良し、締結率を95～100%に向上することができた。

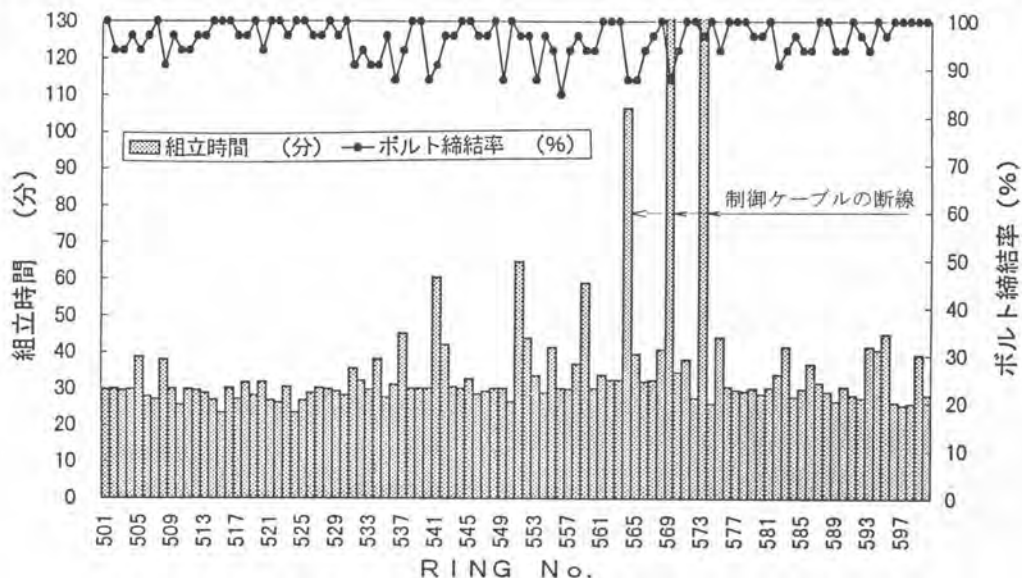


図-6 501～600リングの組立時間とボルト締結率

4-3 自動組立ロボットの成果について

覆工状況は写真-2にみられるように、セグメントの目違い、クラック漏水等、ほとんど見られない。中口径シールドの中央にスクリーコンベヤを有する狭小な空間にもかかわらず、通常のセグメントでしかも、Kセグメントが軸方向挿入式という条件のなかで1リング25～27分の実績を得て、当初計画の成果をあげることができた。



写真-2 覆工状況

5. おわりに

本ロボットの施工は、中口径以上のすべての形式のシールド、セグメントの種類に対応でき、これまでのセグメント自動組立の集大成といえる。本実績が今後のセグメント自動組立装置を採用する上で参考になれば幸いである。