

非円形断面シールドトンネル用セグメント組立装置

ラック&ピニオン駆動モノレール式セグメント組立装置の開発

栗生 暢雄・杉山 雅彦

都市部の地下での道路や鉄道の建設で既設インフラや地下構造物との干渉の回避並びに工事中の環境負荷の低減等のため、完成構造物の断面形状に近い矩形や楕円形のような非円形断面トンネルの採用事例が増えている。しかしながら、非円形断面のセグメントは円形断面のセグメントと比べて、その形状や重量がセグメントのピース毎に大きく異なるため、取り扱いが困難である。

この問題を解決する手段としてラック&ピニオン機構を用いたモノレール式セグメント組立装置の開発を行った。本論では開発したセグメント組立装置の実物大の矩形セグメントを用いた実証実験結果と、組立装置の有用性について報告する。

キーワード：非円形断面，セグメント組立装置，ラック&ピニオン

1. セグメント組立装置の要求仕様

2車線の矩形道路トンネル用セグメントの組立を想定する。セグメント組立装置はこの矩形トンネル断面形状に沿うようなモノレールを構築し、当該モノレール上を走行する。

このモノレール式セグメント組立装置に求められる要求仕様を次に検討する。

周方向に隣り合うピース間を繋ぐコッタとトンネル軸方向に隣り合うリング間を繋ぐピンブッシュを挿入する締結方法が、セグメント組立作業時間短縮と品質確保の上で求められている。そのため、従来のボルトナットにより接合するセグメント組立装置に求められるよりも、高精度の位置決めを行う必要がある。図1にセグメント構造を示す。矩形断面セグメントの特

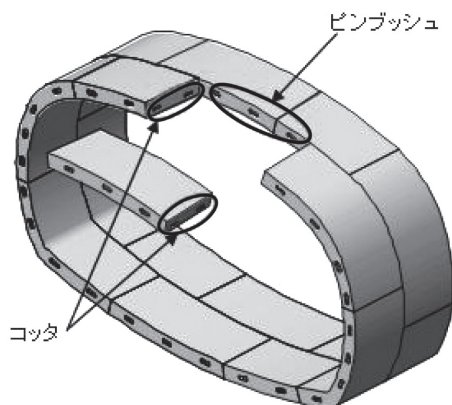


図-1 矩形セグメント構造

徴として、隅部ピースはL字形状となる。

この様なセグメントを所定の位置に組み立てるにあたり、考えられる問題点は下記の通りである。

第一にレール上を組立装置が走行するとその位置によってレールの曲率が変わることが挙げられる。そのため、走行動作のみでセグメントの位置合わせはできない。第二に下隅部L字型セグメントを組み立てた後に、スプリングラインより上方のセグメントを所定の位置まで移動通過させなければならないことが挙げられる。すなわち、下部から順にセグメントの組立が進むと、セグメントの走行通過可能空間が狭くなることになり、単純な走行動作だけでは組み立てたセグメントを回避できない。また、より多くの工事に適用するためには、掘削土搬出設備を自由に選定できるように有効内空間をできるだけ大きくする必要がある。

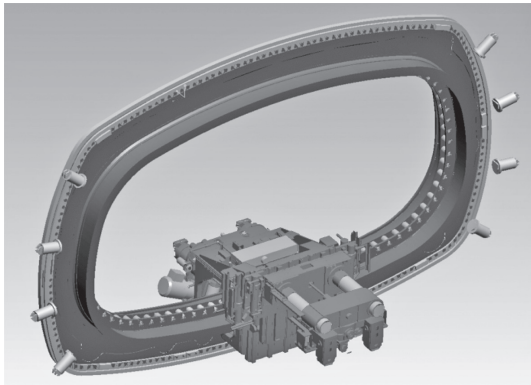
これらの問題点および課題の解決のために必要と考えた設計方針を下記に示す。

- ①ラック&ピニオン式の駆動とすることにより、垂直方向の力を増し、最大100 kNの荷重を扱う。
 - ②有効内空間をできるだけ大きくとるため非円形断面のトンネル形状に沿ったレール形状とする。
 - ③周方向の位置決め精度確保ができる駆動部、把持装置とする。
 - ④リングガータ部に安全ジャッキを装備し組立装置の走行に連動して伸縮させ、不慮の停電等による組立装置の落下・逸走に対しての安全装置とする。
- 上記方針に従い、実機を製作しその性能を実験にて

確認した。セグメント組立装置の概要と性能確認実験結果を次章より示す。

2. ラック & ピニオン駆動モノレール式セグメント組立装置の概要

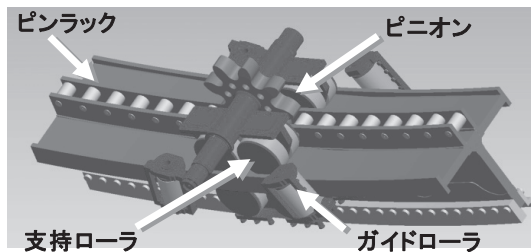
図一2に今回製作したラック & ピニオン駆動モノレール式セグメント組立装置（以下、本セグメント組立装置と記す。）の概要図を示す。



図一2 セグメント組立装置概要図

本セグメント組立装置は、円形セグメント用のリングギア式組立装置とは異なり、シールド機ガータ部内周にレールを設置し、そのレール上を走行する装置がセグメントを把持し、所定の位置までハンドリングし、組み立てるものである。

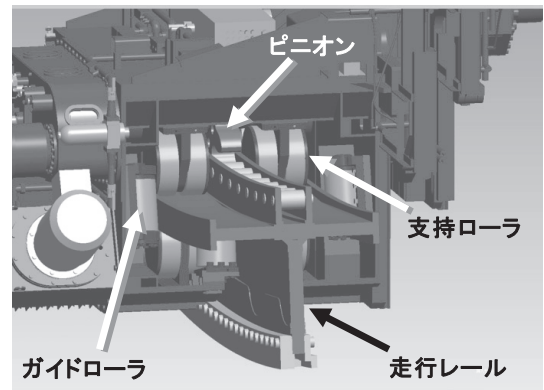
走行駆動部の詳細を図一3に示す。



図一3 走行駆動部詳細

走行駆動部は、T字断面形状のレールを支持ローラで挟み込み支持し、レール内側に取り付けられたピンラックと噛み合うピニオンを回転駆動させることにより、走行する。また、ガイドローラをT字レールのフランジ両端とウェブの両側に装備する。

図一4に組立装置断面図を示す。上記ローラとピニオンはボックス型の構造体に取り付けられ、このボックスにはピニオンを駆動する減速機および油圧モータ並びに油圧力を発生させるパワーユニットを搭載している。



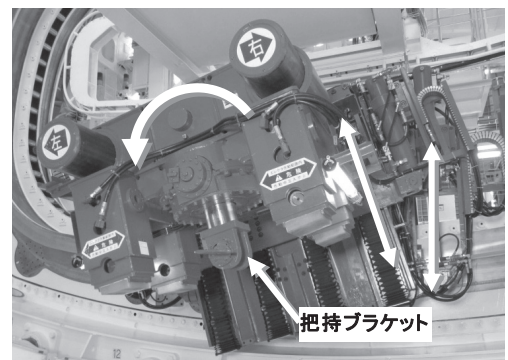
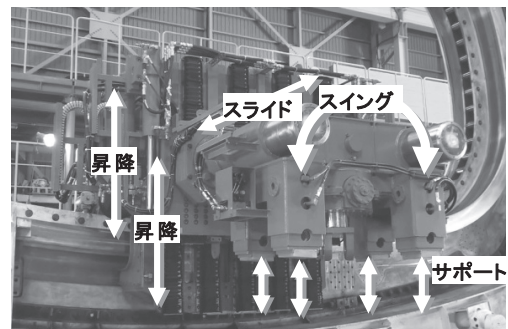
図一4 組立装置断面

図一5はセグメント組立時の動作を示している。

昇降・スイング機構部は、セグメントを組み立てるためにトンネル半径方向に昇降させるとともに、トンネル軸方向に対し±15°スイングさせるものである。シールド機の掘削土搬出設備との干渉を考慮し、また、全体の高さを抑えるために、2組の油圧ジャッキの伸縮によって2段階に昇降する機構とした。

セグメント把持部はセグメントをトンネル軸方向にスライドさせると共にセグメントを把持するブラケットを設け、把持したセグメントの姿勢を固定させるものである。

セグメントの把持は把持部の把持ブラケットとセグメント吊り金具のピン穴へピンを挿入固定することにより連結する。また、セグメントのローリングおよびピッチングの姿勢制御は把持ブラケット中心に対角に配置した4本の油圧ジャッキを伸ばすことにより行う。

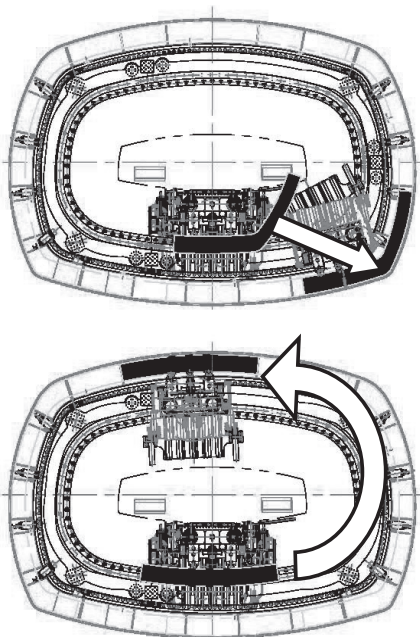


図一5 セグメント組立動作

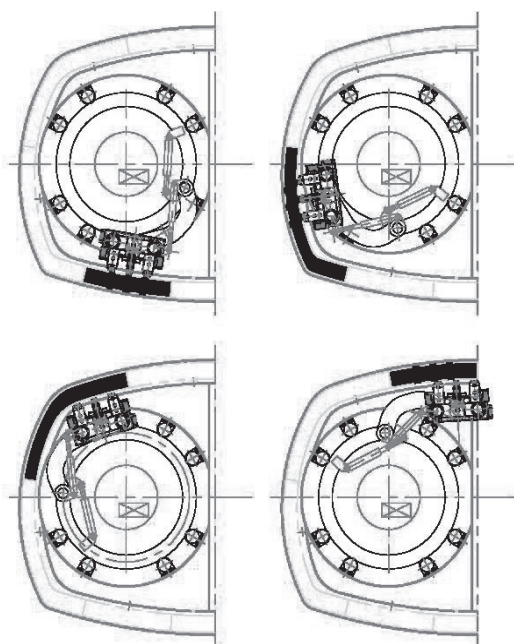
3. 既存技術との比較

図一六に本セグメント組立装置による組立状況を、図一七に従来型のリングギア・片アーム式によるセグメント組立状況を示した。

本セグメント組立装置のモノレールはトンネル形状に似た形状に設置できるため、組立装置による走行、昇降の移動軸がレール接線、法線方向に一致する。そのため、円形の組立装置と同様な直感的な操作が可能である（図一六）。



図一六 ラック&ピニオン駆動モノレール式セグメント組立装置による組立状況



図一七 リングギア・片アーム式によるセグメント組立状況

これに対し、リングギア・片アーム式組立装置は左右に2台設置しそれぞれリンク機構によるアームを設置する。セグメントの位置決めにはリングを旋回させる。さらに、アームの揺動により周方向への移動を行う（図一七）。

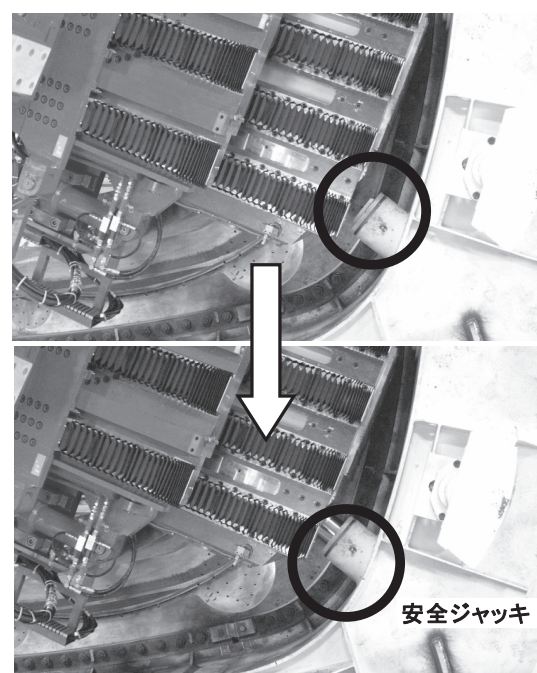
次頁、表一に両方式の特徴をまとめた。

4. 安全装置

要求仕様だけではなく、セグメント組立装置が安全に作動可能なこと、さらに装置周辺の作業員に対する安全性の確保も必要となる。例えば、供給電力の停電時や油圧装置等の機械的な故障で非常停止すること、特にセグメント組立装置が上昇中、または下降中において停電等が発生した場合、セグメント組立装置が落下・逸走することも想定しなければならない。そのような際に、安全性および信頼性の確保とセグメント組立装置の落下防止のために、油圧が供給されないとブレーキがかかる油圧ブレーキで対応し、さらに安全ジャッキをシールド機の左右8箇所に装備した。

安全ジャッキは周方向に所定間隔で設けており、組立装置本体の走行位置に応じて、自動的に出し入れされるシステムとなっており、組立装置通過後に安全ジャッキ装置が突出するように制御されている（図一八）。

安全ジャッキは伸びた状態であるとエレクタと干渉するので組立装置の走行方向との関連で前方の安全ジャッキが縮限でないと組立装置の走行を不可とするインターロックをかけて、安全性の向上を図った。



図一八 安全ジャッキ

表一 1 セグメント組立装置の比較表

	ラック&ピニオン駆動モノレール式	リングギア・片アーム式組立装置×2台
組立装置構造概要	シールド機の外形に相似な走行用モノレールを設け、油圧モータで駆動する走行、昇降、スイング、スライド、サポートおよび把持装置から構成される。有効内空間最大化のため昇降装置は2段式とし、2つの昇降機構の間に把持装置を回転させるスイング機構を装備する。	円形シールド機と同様の円形リング式セグメント組立装置を2台左右に設け、装置全体を旋回する。スライド装置、把持装置も円形シールド機と同様に装備する。昇降機構は、リンク式のアームを揺動させて行う。セグメント組立角度に対応するため把持部にスイング機構を装備する。
操作性	走行、昇降の移動軸がセグメントの接線・法線方向と一致するため、位置決め操作は比較的容易である。	旋回、アームの昇降移動軸がセグメントの法線方向と一致しないため、操作は複雑となり位置決めが困難となる。
安全性	セグメントを把持する機構がセグメントの法線方向と一致するため、セグメントの安定性が良い。走行装置の落下防止対策として、油圧ブレーキと油圧ジャッキ式の2重対策を装備。	セグメントを把持する機構は片持ちとなるため、セグメントの安定性に劣る。旋回ブレーキ機構は、一般的な円形用と同様である。
適用範囲	レールを設置できる寸法に限り、断面形状によらず適用可能。	縦と横の比が大きな形状には不向き。縦長の断面には適用が困難。
占有空間	装置の占有空間は小さい。有効内空間を中心部に大きく確保。	装置の占有空間が大きい。有効内空間が小さく、左右に分離。
設計自由度	組立装置レールがシールド機外周部にあり、シールド機前胴部との干渉が少ない。	シールド機前胴部から組立装置旋回リングを保持する構造が必要となり、排土設備などの設計自由度が少ない。
再使用可能性	レールは形状に応じて新作する必要があるが、走行組立装置は断面形状によらず再使用が可能である。	リングギアはシールド機の形状に左右され、また、そのアーム式組立装置も収まりから再使用は困難である。
費用	組立装置本体の金額はリングギア・片アーム式と比較すると高い。再使用ができ、LCCは低い。	構造は既存技術の応用であるため、1台当たりの費用は低い。一度の工事で処分されるため、LCCは高い。
セグメント設計	組立装置がシールド機内周全ての範囲で可動できるため、セグメント設計の自由度が増す。	組立装置は円周運動とアームの旋回運動のみであるため、機械の力学的な制約がセグメント設計に影響を与える。

また、安全ジャッキの他に以下の安全対策を実施した。

- ①組立装置のずれにより、セグメント組立時に作業員が手を挟まれる可能性を低減するため、ピニオンのバックラッシュを±0.6°となるようにピニオンの設計を行った。
- ②セグメント形状によって有効内空間への干渉状態が異なるため、セグメント把持を行う前に操作盤でセグメント形状の選択を行うこととした。
- ③組立装置の位置によって、組立装置の操作可能な動作が異なる。そのため、組立装置の位置を常に検知し、昇降とスイングを誤って操作ができないようにした。
- ④組立装置操作を誤らないように高速での動作には同時に2つのボタンを押す仕様とした。
①から④の対策をし、オペレータが不適切な動作を行うと強制的に低速となり不適切な動作であることを認識できるように回転灯と警報音で警告する。

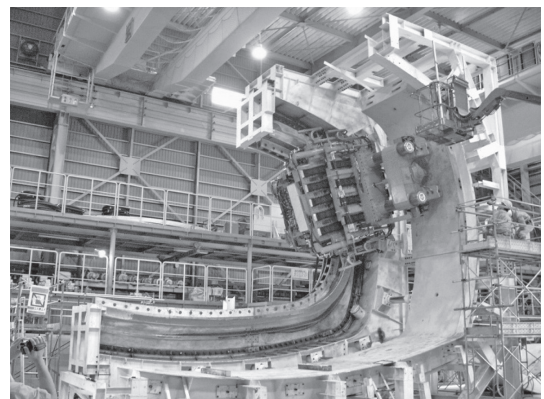
5. 実証実験

セグメント組立中の走行旋回時に、レールやセグメント組立装置の可動部に破損が発生しないように十分

な剛性、円滑な作動性があることを確認する必要がある。そこで、図一9に示す実機規模の試験装置を製作し、8分の3断面に相当するセグメントの組立試験を実施した。

模擬的な排土設備として、ベルトコンベヤフレームを実証実験架台の有効空間内に設置し、組立装置が走行する際のベルトコンベヤフレームと組立装置とのクリアランスを確認した。

矩形断面セグメントの組立性の確認は、8つのピースに分割されるセグメントのうち、上部の2つを除く6つのピースに対して組立を行い、位置決め精度確認



図一9 実証実験架台

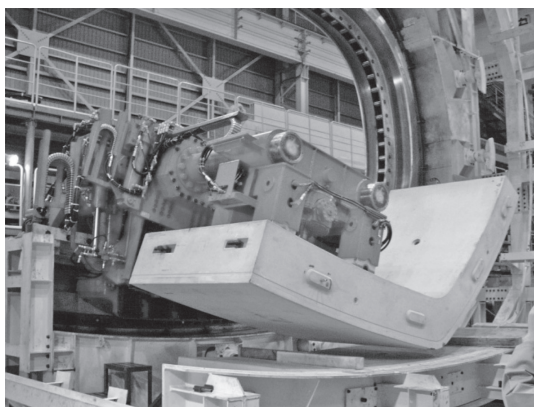
をした。また、周方向ピース間には防水用シールを貼付け、セグメント組立装置が、シールをつぶすのに必要な押付力を備えているかを検証した。さらに、インバート部および側部ピースを組み立てた後、頂部ピースが円滑に通過可能であることも合わせて検証した。

安全装置作動確認は、安全ジャッキの動作確認および各種インターロックの確認を行った。

6. 実験結果および考察

図—10はL字型セグメントの把持状況を示している。このようにセグメント組立装置には、大きく偏心した構造物を把持した状態での動作が求められている。

実験により周方向に隣り合うピース間を繋ぐコッタとトンネル軸方向に隣り合うリング間を繋ぐピンブッシュを挿入する際、セグメントに損傷を与えることなく組み立てることができることを確認した。また例えば、図—10に示すL字型セグメントの平均組立時間は約15分であった。実験結果より推定される矩形断面全体の組立時間は85分程度である。



図—10 L字型セグメント把持状況

7. おわりに

掘削断面形状に合ったレールを製作することで、比較的自由的な断面に適用できる非円形断面用トンネルセ

グメント組立装置を開発した。2車線道路トンネルを想定し、実物大の矩形セグメントを用いた実証実験を実施した。組立装置の走行、昇降、スイング、スライド及びサポートジャッキの操作の安全性、信頼性、組立性を確認することができた。

ラック&ピニオン駆動モノレール式非円形断面シールドトンネル用セグメント組立装置を適用することにより、縦方向に長い矩形断面や楕円形断面に対しても、適用可能性が広がった。これにより、都市部に非円形断面シールドトンネル構築の可能性を広げることができる。さらに、非円形断面シールドトンネルは円形断面と比較すると、必要空間に対して掘削断面を小さくすることができる。そのため、掘削残土の削減や掘削工程の短縮など環境負荷の軽減に貢献できる。本セグメント組立装置本体は再使用が可能であることから、LCCを下げることも可能となる。

今後、実工事への採用とそのフィードバックを得ることで本組立装置の改善を図りたい。

JICMA

[筆者紹介]

栗生 暢雄 (くりう のぶお)
 (株)大林組
 機械部 技術開発課
 課長



杉山 雅彦 (すぎやま まさひこ)
 三菱重工メカトロシステムズ(株)
 都市開発部
 担当部長

