

56. シールドトンネル二次覆工用鉄筋組立・結束ロボット

(株)大林組： 卯城 哲也，山本 幸信
*北岡 隆司

1. はじめに

シールドトンネル工事における二次覆工用の鉄筋組立作業は、作業場所の制約などから、苦渋作業のひとつとなっている。従来この作業では、鉄筋組立用の作業台車を設備し、配筋や結束など手作業で行ってきた。このため労働集約型の作業となり、作業効率も悪く多くの熟練工が必要であった。また、鉄筋の取り扱いや足場に起因する災害の危険性などもよく指摘され、今後の労働力の確保からも作業の自動化と作業効率向上が求められている。

そこで、安全性の向上、省力化・施工効率の向上、作業環境の改善をめざして、狭い坑内での鉄筋の「搬入、配筋、結束、取付」作業を、連続的に1台の機械で可能とするロボットの開発を行い、シールド現場への適用を行った。その結果、当初の予定どおり、ロボット化により安全や作業環境の改善と省力化及び施工効率の向上に寄与することが確認された。

本稿ではこの鉄筋組立・結束ロボットについて概要を述べる。

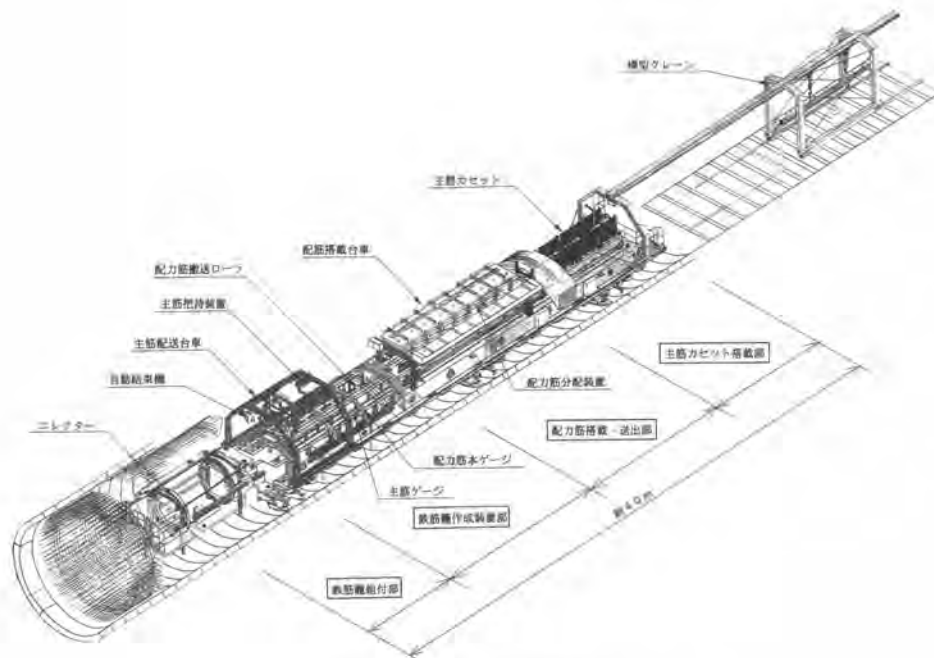


図-1 鉄筋組立・結束ロボット全体図

2. シールドトンネルの鉄筋組立作業

シールドトンネルの覆工には、掘進と共にトンネルを保持し推力を支える、セグメントを使用した一次覆工と、構造物として構造や機能強化を図るために一次覆工完了後に構築される二次覆工とがある。

通常、二次覆工は防水、防食、蛇行修正、および内装等を目的とすることから無筋コンクリートで行われるが、導水路トンネルなど内圧が作用するトンネルでは、さらに構造物の一部として考え、鉄筋コンクリートで覆工が行われる。この鉄筋組立は大部分が熟練鉄筋工による手作業で行われ、作業能率、組立品質、安全性などに問題を抱えていた。そこで、従来作業員が手で行っていた配筋・結束等の作業を自動化し、二次覆工における鉄筋組立作業の作業性、安全性の向上、品質の確保を実現するロボット技術の開発を行うこととした。

3. システムの概要

(1) 従来作業

従来の鉄筋組立作業は、主に次のように行われていた。

- ①鉄筋の加工は鉄筋加工場で行う。
- ②配筋は人力で一本つつ行う。
- ③鉄筋結束は結束線とハッカーを用い人力で行う。

(2) ロボット作業

ロボットでは従来方式をそのままこのまま機械化するのではなく、装置として機能しやすいように作業工程や補助装置を定め、次のように仕様を決定した。

- ①鉄筋の加工は従来と同一方法で行う。ただし主筋は専用のカセットに搭載する。
- ②鉄筋の坑内への運搬、ロボットへの搭載は人手で行う。
- ③ロボットは搭載された主筋、配力筋を自動的に搬送・配置・結束を行い、鉄筋籠を製作する。
- ④鉄筋籠のトンネルへの組付けは、作業員がロボットの旋回装置を用いて行う。
- ⑤サイクルタイム短縮のため、鉄筋籠製作と籠組付け作業が同時に可能な機構とする。

4. 現場適用

本ロボットを平成7年12月から平成8年8月にかけて、中部電力川越火力発電所放水路トンネル工事で使用した。このトンネルは掘削径6.8m、全長約2.6kmの放水路トンネル工事で、二次覆工は圧力トンネルのため、図-2の配筋図に示すように、大部分にわたり複鉄筋構造となっており、鉄筋量は1mあたり約11tと非常に多量であった。そして工程上1日に15mの進行が必要で、従来の方では1日に約30人の鉄筋工が必要とされていた。

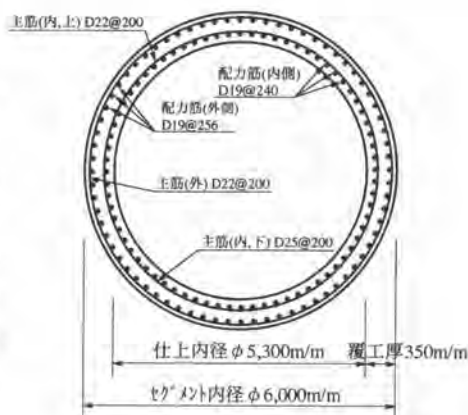


図-2 配筋図 (RCセグメント区間)

5. 鉄筋組立・結束ロボット

5.1 装置概要

鉄筋組立・結束ロボットを図-1に示す。本機はタイヤによる自走式で、主筋カセット搭載部、配力筋搭載・送出し部、鉄筋籠作成装置、鉄筋籠取付け部から構成され、全長は40mで総重量は約125t、所用動力60KWの一体型装置である。仕様を表-1に示す。

5.2 鉄筋組立手順

図-4にロボットの施工フローチャートを示す。

手順は、大別すると ①鉄筋加工・運搬 ②鉄筋のロボットへの搭載 ③鉄筋籠作成 ④鉄筋籠の組付けからなる。

① 鉄筋加工運搬

主筋の形状は、施工現場の条件により図-3に示すように4分割とする。この加工は地上で人力により行い、加工後は専用カセットに装填し、組立機まで坑内運搬する。配力筋は加工の必要がない直線形状のため束の状態での運搬する。

② 鉄筋の組立機への搭載

運搬してきた主筋・配力筋は、橋型クレーンで組立機の主筋カセット搭載部と配力筋搭載・送出し部へストックする。またこのクレーンはこの鉄筋搬送の他に坑内軌道設備の撤去にも用いる。

③ 鉄筋籠作成

1回の二次覆工用コンクリート打設長さ(15m=1ブロック)の鉄筋を16のパネルに分割し、これをロボットの組付け装置で組立てる方式とする。これは鉄筋籠寸法とトンネル空間の関係および施工性等から1ブロックの鉄筋組立を2回に分けて行うためである。鉄筋籠1パネルの概要図を図-3に示す。

パネルをつくる鉄筋籠作製装置の部分では、所定ピッチの主筋・配力筋ゲージを設け、主筋、配力筋の自動配置を行う。主筋は主筋搭載台車の主筋把持装置(最大14本搬送可能)で、配力筋は送出し装置で所定の本数(今回の場合は6本)配置し、搬送用ローラで配力筋ゲージまで搬送する。

表-1 鉄筋組立・結束ロボット仕様

項目	諸元
機能	鉄筋籠製作(配筋、鉄筋結束)、鉄筋籠搬送、*鉄筋籠組付け
能力	鉄筋量 16.5ton/15m・日 組立面積 535.4m ² /日
移動	タイヤ走行式
作業者	12人/日
寸法	5.3m×5.3m×40m
重量	125ton
動力	60kw×200V

*印：作業員が介助

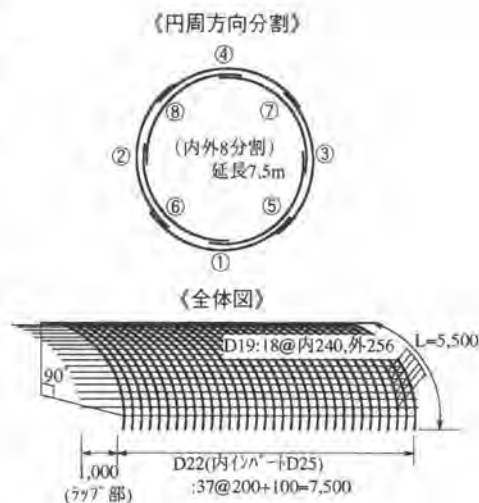


図-3 鉄筋籠概要図

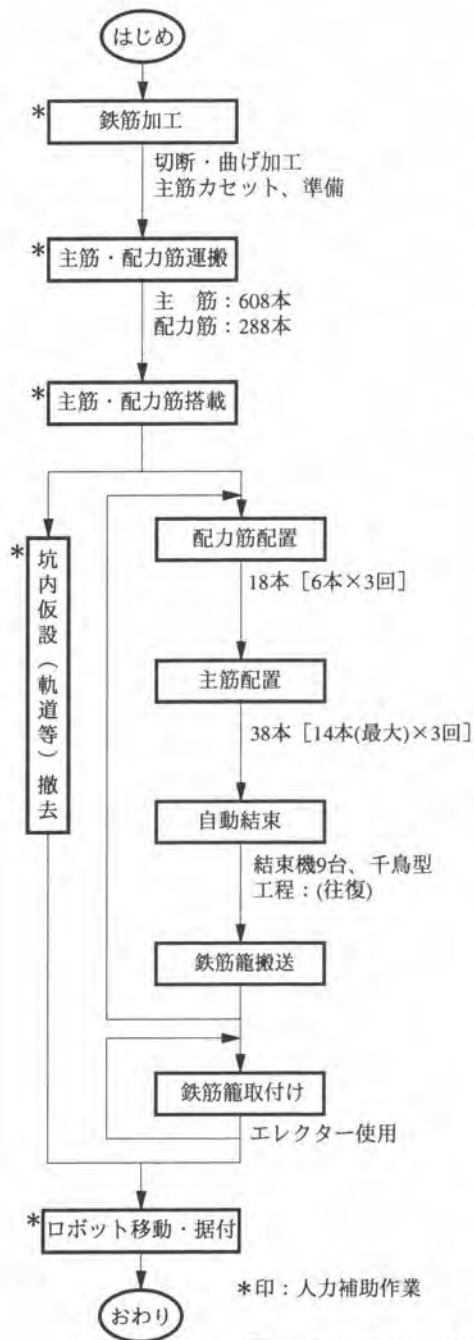


写真-1 主筋配置

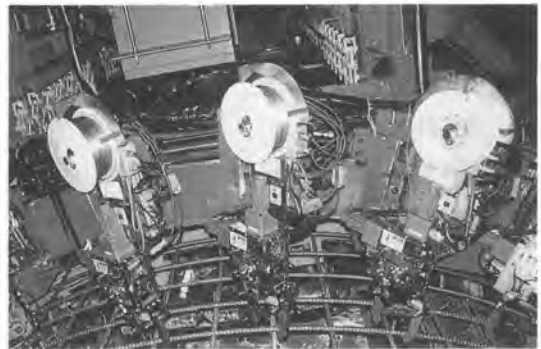


写真-2 自動結束



写真-3 鉄筋籠取付け

図-4 ロボット施工フローチャート

鉄筋の結束は、主筋・配力筋ゲージに1パネル分の鉄筋が設置された時点で、主筋搭載台車に装備された自動結束機により、配列された鉄筋の交差部を結束していく。この自動結束機は、従来人力で行われていた鉄筋の結束線による結束作業を完全自動で行うもので、9台装備された自動結束機が鉄筋パネル上を1往復する間に全結束作業が完了するようになっている。自動結束機による結束状況を写真-2に示す。

④ 鉄筋籠搬送・組み付け

作成された鉄筋パネルは、前方の鉄筋籠取付け部へ搬送されたのち、エレクターでトンネル内の所定の位置にセットされる。エレクター部はトンネル円周方向だけでなく、トンネル軸方向にも1,000mm移動可能な構造となっている。

さらに鉄筋パネルの把持部分には個別の油圧シリンダーを装備し、鉄筋パネルの挿入角度を自由に調整できるようにし、鉄筋籠取付け部に多くの自由度をもたせ、作業を円滑に行えるようにしている。

⑤ ロボット移動

鉄筋籠取付け完了後、ロボットのアウトリガーを格納しタイヤ走行で次の鉄筋組立位置へ移動する。

6. 導入結果

現場適用結果より以下のことが得られた。

(1) 施工能力・省力化

ロボットの導入による毎月の作業進捗は300m以上で、1ブロック(15m)あたりの所要人員は調整・試運転期間を除くと平均12人程度であった。これより1人あたりの平均鉄筋組立量を計算すると2.0t/人に達し、従来工法による鉄筋組立量0.3t/人と比較すると大幅に増大している。

鉄筋組立のサイクルタイムを表2に示す。この工程でも時間的な余裕があり、作業効率の向上が図られている。作業効率の向上の要因の一つとして、鉄筋籠作成と鉄筋籠取付け作業を同時に行えた点があげられる。これは鉄筋籠取付け作業が待ち時間無く行えた結果であり、ロボットにおいて鉄筋籠の作成部と取付け部を分離させたことは、作業効率向上に大きく貢献したといえる。

表-2 鉄筋組立サイクルタイム (一方あたりL=7.5m)

組付順序	3000	3750	4500	5250	6000
	配力筋分配	⑧	①	②	③
	主筋分配				
	結束				
	鉄筋籠搬送	①	②	③	④
鉄筋籠組付	1300	1450	1550	1650	1750
配力筋分配					
主筋分配					
結束					
鉄筋籠搬送	⑥	⑦	⑧	組立機移動・セット、鉄筋籠込	
鉄筋籠組付					

(2) 作業環境・安全性・品質

作業はロボットが主体に行い、組立作業の中で鉄筋等の重量物を扱う高所作業が無くなるなど、作業環境は大きく改善された。そして鉄筋組立における品質は良質であり、整然とした坑内環境の中、全工程を無事故で終了するのに貢献できたと思われる。

7. 今後の課題

今回の現場適応で一応の成果が得られたが、あくまでも1現場での実施であり、今後このロボットシステムをさらに発展させるには、装置の小型化やシステムの簡素化、製作費の低減などをおこない、適用範囲の拡大を図れるようにすることが必要となる。また適応現場の規模や工事量などロボットを導入する現場の施工条件によってもどのような規模や形態のシステムが最適なのか今後も検討して行く必要がある。いずれにせよロボットを導入するときの制約条件の克服は容易でないが、一つずつ克服することにより、汎用性を持たせ、急曲線など複雑な線形などにも対応できるロボットとする事が可能である。シールドトンネルにおける二次覆工の鉄筋組立作業にはロボット化が作業合理化の最も有効な方法であると考えている。

8. おわりに

今回開発した鉄筋組立・結束ロボットの実施工への導入により、省人化、作業能率の向上、安全性の向上等の効果が確認された。今後このロボットシステムの適応性の拡大を図るとともに、得られた要素技術の応用も含め、様々な鉄筋組立作業に活用させていきたいと考えている。

最後に、多大なご協力を戴いた中部電力川越建設所並びに川越JVの関係各位に謝意を表せて戴きます。

参考文献

- 1 「シールドトンネルにおける二次覆工の鉄筋加工・結束装置」
風間慶三、北岡隆司 Robot No.115.p69～p74 (社)日本ロボット工業会