

重量鉄筋配筋作業支援ロボット 【配筋アシストロボ】の開発

大木 智明¹

¹清水建設株式会社 土木技術本部 開発機械部

近年、鉄筋組立工における生産性向上が課題となっている。そこで、熟練技能労働者のコッを生かしながら作業負担を大幅に低減できる、ロボットアーム型重量鉄筋配筋作業支援ロボットを開発したので報告する。本ロボットは、操作グリップを動かしたい方向に軽く押すだけで、操作者の意のままに、重量負担なく鉄筋を移動することができ（ハンドガイド方式）、苦渋作業からの開放と、人とロボットの協働作業が実現した。

キーワード：アシスト、鉄筋、協働作業、ハンドガイド方式、省人化

1. はじめに

建設業では、高齢化による大量離職等により今後10年間で技能労働者が約130万人減少することが予測されている。このような中、必要なインフラを整備していくためには、生産性向上や3K（きつい、きたない、きけん）からの脱却による新規入職者の確保が早期に求められており、国土交通省主導のもとi-Construction施策による取組みが推進されている。

コンクリート工においては、近年の耐震化により鉄筋が太径化・高密度化し、鉄筋組立時の負担が増大している。さらに技能労働者の高齢化も相まって生産性が低下している。

そこで重量鉄筋の配筋作業に着目し、熟練技能労働者のコッを生かしながら作業負担を大幅に低減できる、人間の腕の動きを模した重量鉄筋配筋作業支援ロボット（配筋アシストロボ）（以下「本ロボット」という）を開発した。本ロボットは、配筋作業の省人化・省力化、苦渋作業の軽減が図られ、安全性も向上する技術であり、実現場での適用において優れた効果を確認した。写真-1に本ロボットを示す。



写真-1 本ロボット全景

2. 技術の内容

(1) 開発のコンセプト

構造物を構築する際、どこにどのような鉄筋をどれだけ配置するのか、その鉄筋の太さや長さ、配置間隔等、いわゆる配筋の仕様は構造物によって異なり、まったく同一のものはない。その上構築する場所も同じ場所ではないため、配筋作業自動化の弊害となっている。また、効率よく鉄筋配筋作業を行うには組立て順序等に熟練者のノウハウが必要である。しかし、配筋作業は体力が必要なため、熟練者が高齢化すると体力が落ち、配筋作業についてのノウハウを持っていても、体力的な面から配筋作業に従事することは困難であった。

そこで体力のいる力仕事部分はロボットで補い、高齢化した熟練技術者のノウハウを継続して活用可能とする‘人とロボットの融合したシステム’の構築をコンセプトにして、鉄筋組立作業の大幅な生産性向上を目指した。

(2) 技術の概要

本ロボットは、人間の肩、上腕、肘、下腕、手にそれぞれ相当する5パーツと制御盤で構成されている。図-1に構造概要を示す。サーボモータを採用しアーム関節をアシスト制御することにより、人間の腕に近い動作性を実現した。また、人力での運搬を可能にするため軽量化を図り4分割できる構造とし、各重量を約40kg～約60kgに収めた。諸元を表-1、水平可動範囲を図-2、鉛直可動範囲図を図-3に示す。また、操作グリップ内には圧力センサー（6軸力覚センサー）が内蔵されており、操作者の微妙な手の動きをも感知して本ロボットが動作するの

で、操作者の意のままに鉄筋を移動することができる（ハンドガイド方式）。さらに、鉄筋重量は本ロボットが負担するため、重量負担なく鉄筋の移動ができる。これにより、鉄筋組立時における苦渋作業からの開放と、人とロボットの協働作業が実現した。本ロボットは、配筋作業の省人化・省力化が図れ、安全性も向上し、労働環境の改善にも役立つ技術である。

(3) 技術の特徴

本ロボットは以下の特徴を持っている。

a) 【人とロボットの協働作業の実現】

力仕事は本ロボットが分担し、操作（ノウハウ）は人が分担することにより、お互いの強みを生かす‘協働作業’が実現した。

b) 【人間の腕のモデル化】

自らの腕のような直感的操作が可能となった。

c) 【分解組立方式の採用と軽量化】

軽量化の追求と分解組立方式採用により人力での組立・解体を容易に行うことが可能となった。

d) 【サーボモータとアシスト制御の採用】

なめらかな動作性を持ち、細かい調整が必要とされる詳細位置決めにも支障なく使用が可能となった。

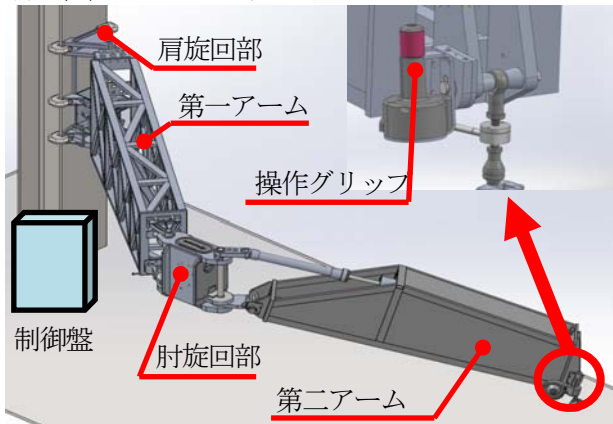


図-1 構造概要図

表-1 諸元表

定格荷重	250kg
作業半径	約5.3m
揚程	約2.0m
分割数	4分割
入力電源	三相AC200V
水平方向操作	操作グリッパ式 (6軸力覚センサー内蔵)
上下方向操作	ボタン式(昇降スイッチ式)
肩関節軸	100Wサーボモータ
肘関節軸	50Wサーボモータ
昇降軸	750Wサーボモータ

(4) 運用

本ロボットは、鉄筋配筋作業において、対象の鉄筋重量に関わらず操作者1名、介添者1～2名で使用することを基本としている。その使用イメージを図4に示す。操作者は、本ロボット先端にて操作をして鉄筋を移動する。介添者は、鉄筋端部に配置し、鉄筋移動時の荷ぶれ防止や鉄筋の正確な位置への誘導と鉄筋の固定を行う。配筋作業時は、本ロボットを固定した後昇降ボタンを操作して重量鉄筋を持ち上げる。その後、操作者が操作グリッパを移動したい方向に押すだけで、動きに合わせてサーボモータが稼働し、アームがアシスト制御され、操作者の意図する方向に水平移動できる。アームが操作者の意思と判断に合わせて直感的かつなめらかに動くため、計画線（墨）に合わせて難なく配筋できる。

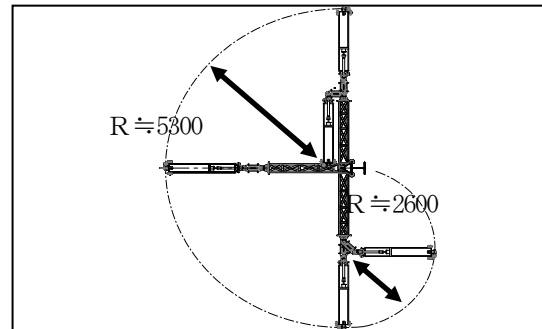


図-2 水平可動範囲図

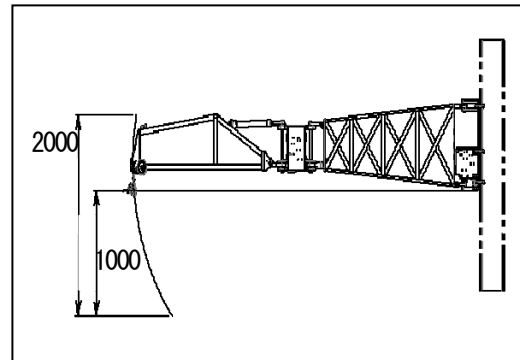


図-3 鉛直可動範囲図

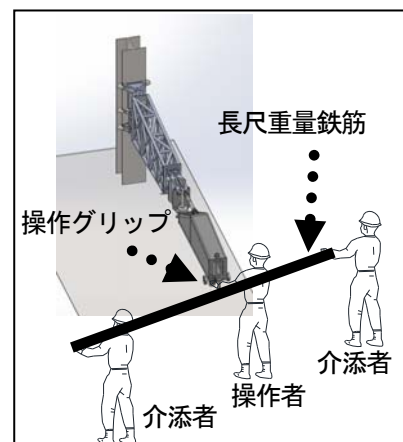


図-4 使用イメージ図

3. 技術の効果

(1) 現場への適用

平成28年12月より3つの現場に適用した。ここでは、そのうちの2つの現場の適用結果を報告する。

a) 適用結果1

ランプ道路用1連ボックスカルバートの頂版部の主筋D51で適用を行った。以下図-5に鉄筋加工図を示す。なお、本適用箇所は埋設型枠を使用しているため、鋼製リブ材や鋼材が存在し、特に鉄筋組立のしづらい場所であった。

本ロボットを使用した場合と従来通り施工した場合（人力組立）の比較を定量的に行った。以下に本ロボットを使用した場合と従来通り施工した場合の比較を表-2に示す。

ここでは生産性を評価する指標として、1分で1人あたりに施工した鉄筋重量を「物的労働生産性」と定義して比較した。この結果より、本ロボットにより物的労働生産性は約1.9倍となった。1箇所で配筋作業がおこなえる施工量は配筋の仕様（鉄筋間隔、鉄筋径、長さ）により変化するが、参考として本ロボットの準備・解体時間を考慮しても約1.4倍の効果があることが確認できた。



図-5 鉄筋加工図

表-2 適用結果1

	本技術(A)	従来(B)	(A)/(B)
鉄筋組立時間(分)	120	150	0.80
鉄筋工数(人)	4	6	0.67
物的労働生産性(*1)	8.33	4.44	1.88
一人あたり重量負担(kg)	0	28	
(参考)準備・解体時間(分)	20+20	0	
準備解体を含めた物的労働生産性	6.25	4.44	1.41

*1(施工量(kg)/(工数(人)×時間(分))

b) 適用結果2

道路用2連ボックスカルバートの頂版部の主筋D51で適用を行った。以下図-6に鉄筋加工図を示す。

本適用では2本を一度に運搬した。以下に本ロボットを使用した場合と従来通り施工した場合（人力組立）の比較を表-3に示す。

適用例2においては、鉄筋投入開口寸法の制約と人力で組立作業をすることを考慮して、1本6mに分割されて施工している。その上組立時には、当初から省力化・省人化の工夫を既に行っている。以上の対策をおこなった状況下であっても本ロボットを使用すれば物的労働生産性は約1.3倍あり、効果が十分あることが確認できた。

また適用例1と同様に重量負担軽減効果も大きい。

⊕ D51 × 6000



図-6 鉄筋加工図

表-3 適用結果2

	本技術(A)	従来(B)	(A)/(B)
鉄筋組立時間(分)	83	110	0.75
鉄筋工数(人)	2	2	1.00
物的労働生産性(*1)	24.10	18.18	1.33
一人あたり重量負担(kg)	0	48	
(参考)準備・解体時間(分)	20+20	0	
準備解体を含めた物的労働生産性	16.26	18.18	0.89

*1(施工量(kg)/(工数(人)×時間(分))

(2) 開発の効果

以上の適用結果を踏まえ、開発の効果を述べる。

a) 生産性向上

純粋な配筋作業の効率性を評価する指標として、1人が1分あたりに組み立てた鉄筋重量を物的労働生産性（施工鉄筋重量/施工人数/施工時間）と定義し比較を行った。比較の結果従来比1.9~1.3倍の生産性向上がみられた。また、長尺で重量のある鉄筋ほど効果を発揮し、生産性が上がることがこの結果からわかる。さらに、太径長尺鉄筋を分割しなくても施工可能なため、分割による継手数を削減できる効果がある。

b) 省人化

D51で10m程度（重量約160kg）の鉄筋を配筋する際には、従来6人前後必要であった。しかし、本ロボットを使用すれば、施工条件にもよるが、半分以下の2~3人で配筋可能であり省人化が図られる。また、本ロボット使用により削減できた人員は（3人で本ロボットを使用する場合の削減人数は6-3=3人）は他作業に従事できるため、施工効率が上昇する。さらに、複数台使用することで更なる施工効率上昇が見込まれる。

c) 省力化

鉄筋移動時の重量は、本ロボットが負担するため、作業員は重量負担がなく作業が可能で、苦渋作業から開放される。10mのD51鉄筋を6人で組み立てる際には、1本組立ごとに一人あたり約30kgの重量を負担しなければならなかったが、本ロボットを使用すれば、重量負担はなく意のままに操作可能であり、鉄筋作業の省力化が図られる。

d) 安全性向上・労働環境改善

鉄筋組立作業に必要な作業人員も取扱重量も減り、かつ自分で操作するため危険回避へのレスポンスもあがる。この結果、事故リスクが減り安全性が向上するとともに、重量物取扱い作業からも開放されるため、労働環境の改善につながる。

e) 機動的運用

本ロボットは人力で運べる重量になるように、ロボッ

ト本体は4分割が可能で（制御盤を入れて5分割）、移動が容易である。したがって、太径重量鉄筋の組立等の重量負担が大きく作業効率の悪い作業に機動的にピンポイントで使用することができる。そのため、人力での組立が効率的な場合（細径の配力筋、幅止め筋等）は人力で組立を行い、太径長尺の鉄筋等本ロボットによる組立のほうが効率のいい場合には本ロボットによる組立を行うといった具合に、効率のよい組立方法を自在に選択が可能となり、施工効率も上昇する。

f) 人とロボットの協働作業（高齢熟練工のノウハウの活用）を実現

本ロボットの完成により人とロボットの融合したシステムを構築した。本ロボットは、体力が低下した熟練高齢者でも使用可能で、ノウハウを生かした効率的な施工が継続して可能となる。したがって、将来懸念される労働者不足解消の一助となることが期待できるとともに、高齢熟練工による技術を伝承する機会が広がることも期待できる。

4. 今後の展開

本ロボットの設置方法は、今回適用時のようにH鋼（中間杭）に取り付ける以外にも、施工条件により変更が可能である。例えば移動用レールを事前に設置しておき移動式としたり（図-7）、またバックホウ等の建設機械に取付け自走式とすることも可能である（図-8）。さらに、建設分野以外でも、一般的な重量物の移動・設置作業に適用が可能であり、広い汎用性を持つ。今後、重量鉄筋を扱う現場に展開するだけでなく、鉄筋組立工

以外での適用も視野にいれ広く展開していく所存である。

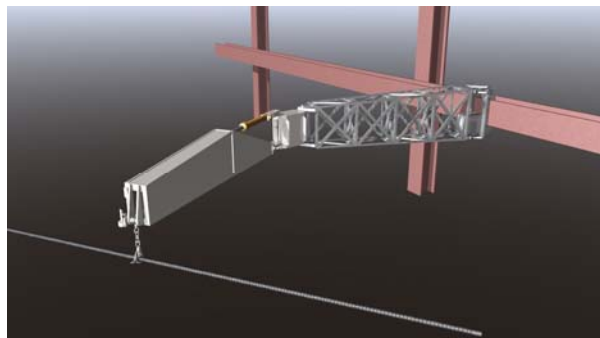


図-7 例：移動式

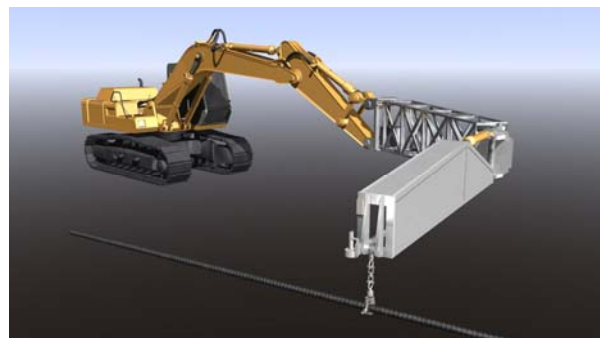


図-8 例：自走式

参考文献

- 1) 大木智明, 配筋作業をアシストするロボットアーム型作業支援ロボット『配筋アシストロボ』, 電力士木, 第388号, pp.97-99, 2017
- 2) 金丸清人, 配筋アシストロボの開発, 月刊技術士, 6月号, pp.4-7, 2017