

建設工事のロボット化システムの研究

清水建設(株) 研究所 ○吉田哲二, 早稲田大学教授 長谷川幸男

1. はじめに

建設業の就業人口は500万人以上であり、全労働者数の10%を占めている。このように建設業は我国の主要な産業であるにもかかわらず、その労働生産性は昭和40年代の後半以後はほとんど向上していない。また、熟練作業者の不足および老令化が顕在化してきている。一方、製造業では産業用ロボット等による省力・自動化を推進し、生産性を向上させて輸出を増大することによって業績を向上させている。このような状況の中で建設業への産業用ロボットの導入が検討されるようになってきた。昭和50年頃から(財)日本産業用ロボット工業会を中心として、製造業以外の分野への産業用ロボットの応用研究が進められている。本報では同工業会で行なわれた研究の中から「鉄筋組立作業労働安全システム策定研究」と「建築用コンクリート打込型枠のハンドリング組立自動化モデル策定研究」の2編について研究の概要を紹介する。

2. 建設工事のロボット化について

建設工事を製造業における工場作業と比較した場合、その特徴は以下のようにまとめられる。

- ①それぞれ異なる建設場所で作業が行なわれるため仮設的な設備の中で工事が進められる。
- ②屋外作業が多く、使用される機械は風雨にさらされる。
- ③物件ごとに設計が異なり、大量生産ということとはほとんどない。
- ④対象物の大きさが非常に大きい。したがって高所作業や重量物のハンドリング作業が多い。

以上のような特徴を考慮して建設工事ロボット化の利点と問題点を考察してみよう。まず、利点としては以下のことが考えられる。

- ①ロボットを導入することにより省力化が可能となりコストダウンにつながる。
- ②労働災害、悪環境作業がなくなり労働福祉の向上につながる。
- ③作業者の不足、高齢化といった労働問題に対処できる。

これに対して建設工事ロボット化の問題点は建設工事の特徴と関連して以下のようにまとめられる。

- ①作業は複雑でくり返し性が少なく、同じことをくり返すタイプのロボットは役に立たない。
- ②機械には耐候性が要求されるとともに、高度なメンテナンス技術は期待できない。
- ③現在の工法は手作業を前提としており、ロボット化を前提とした工法の開発が必要とされる。

3. 鉄筋組立作業労働安全システム策定研究

3-1 研究の目的 慢性的な作業者不足と工賃の高騰に悩まされている鉄筋工事は省力・自動化が強く望まれている。本研究の目的はロボットを始めとする最新の省力化技術を活用した鉄筋組立作業の省力・自動化システムを提案することである。

3-2 調査研究の方法と手順 調査研究の手順を表すフローを図1に示す。まず、鉄筋工事の現状と問題点をアンケート調査、現場調査等から明らかにし、問題の構造を把握した。次に設計条件を整理し、システムの目標設定と制約条件の確認を行なった。そこでモデルの概念設計を行ない、各構成要素に対する検討も合せて行なった。最後に問題点の確認と関連課題についての検討を行なった。

3-3 鉄筋工事の現状と問題点 各種統計資料の解析とともにアンケート調査を実施した。アンケートは①ゼネコン現場管理者 ②鉄筋工事業経営者 ③鉄筋工事作業員と立場の異なる3者に対して行なった。その結果、アンケート①では作業者の不足、配筋設計の複雑化が、アンケート②では企業経営の安定化、将来への不安が明らかになった。また作業員へのアンケートではつらい作業の解消など職場環境の改善が望まれていることが

判明した。その他にメモリーシ
ン等による鉄筋作業の解析を行ない、アンケート結果と合せて図2に示すように省カ・自動化に対するニーズを整理した。

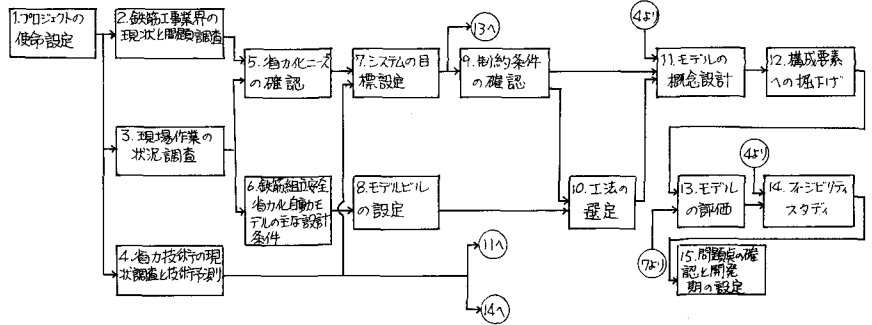


図1 調査研究の手順

3-4 ロボット化

モデルの設計条件の検討 まず、鉄筋の機械的性質、寸法、工事仕様、法律的制約について調査し整理した。次にモデル建物を設定した。これは、鉄筋組立作業の具体的な制約条件を明らかにするためのものであり、延べ面積約 3000m² の 6 階建 RC 造とした。また、鉄筋工事の作業場所を工場と建築現場に分割し、鉄筋作業の組合せを表 1 に示す 5 つのパターンに分類し比較検討した。その結果、省カ・自動化の観点から最もすぐれていると思われる鉄筋プレハブ工法を採用することとした。

3-5 ロボット化モデルの概念設計と構成要素 本研究ではモデル設計の範囲と設計の段階まで含めて行なうこととした。提案モデルは CAD/CAM (Computer Aided Manufacturing) による飛躍的な生産性向上を目指したものであり、その概略フローを図 3 に示す。また、その概略の流れは以下になる。

- (1) 配筋設計は CAD により行なう。標準化された加工パターンをコンピュータに記憶させておき CRT による対話方式により設計する。
- (2) 鉄筋種類・数量・施工方法等のデータを基に切断・曲げ加工に必要な情報を磁気テープ等で出力する。

- (3) この加工情報も加工工場あるいは工事現場の加工場へ送り、NC 加工機等で切断・曲げが行なわれる。

- (4) 先組みされた鉄筋は建設場所へ運ばれ、接合して取付けられる。

本研究では部材形状の違いから、柱・梁部材と壁・床部材を分けて、それぞれ別々

にロボット化システムを考察した。また、ロボット等のシステム構成要素に対する期待仕様の設定を行なった。

3-6 課題の検討 関連する技術課題として①ロボット化のための作業解析技術 ②配筋パターンの標準化 ③グループ作業の少人数化 の 3 つについて考察した。①については体系化がほとんどなされておらず、今後の研究が待たれる。②については CAD/CAM を実現するために是非必要とされるものであり、進めていく必要がある。③については、将来、ロボット化により省カ化が行なわれた場合に、ロボットと人間への適切なジョブの割付け等に対する研究が必要となる。さらに、本システム案を実現するための諸条件について検討し、最後に今後に残された開発課題をまとめた。

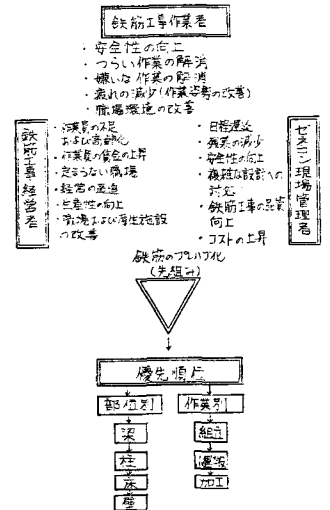


図2 省カ・自動化のニーズ

表 1 鉄筋作業の組合せ例

記号	場所	加工場	工事現場	建設場所	タイプ
A			加工	組立・組付	現場加工による在来工法
B		加工		組立・組付	工場加工による在来工法
C			加工・組立	組付	現場先組の鉄筋プレハブ工法
D		加工	組立	組付	〃
E		加工・組立		組付	工場先組の鉄筋プレハブ工法

4. 建築用コンクリート打込型枠のハンドリング組立自動化モデル策定研究

4-1 研究の目的 本研究は前節で述べた鉄筋組立自動化研究に続くものとして行なわれたものであり、あわせてRC造建築物の施工のロボット化を目指すものと言える。

4-2 調査研究の方法と手順 前節の鉄筋組立自動化研究を踏襲している。アンケート調査、現場調査、文献調査から型枠工事の問題点を明確にし、設計条件を明らかにして型枠工事省カ・自動システム案の概念設計を進めていた。

4-3 型枠工事作業の現状と問題点 各種統計資料の解析、アンケート調査、現場作業の実態調査を実施した。アンケート調査はゼネコン現場管理者、型枠工事業経営者、型枠工事業者の三者に対して行ないその解析結果を図4に示すように整理した。また、典型的な型枠工事が行なわれている作業所に対して現場調査を実施した。メモーションカメラ等を用いて作業を記録・解析した結果、型枠材料の種類や作業の種類が多いこと、せき板の固定・保持のための作業が複雑で時間がかかっていることが分かった。

4-4 ロボット化モデルの設計条件の検討 まず基本方針としてコストの低下、省カ化、安全化を挙げ5～10年先の適用を目指すシステムとした。また、鉄筋組立自動化研究の場合と同様にモデルビルを設定し、システムの設計をより具体化させている。

型枠工事のロボット化モデルを設計する場合に最も重要なポイントは、どのような工法を選択するかということであろう。そこで、各種型枠工法を在来工法、ユニット型枠工法、大型型枠工法、トンネル型枠工法、打込型枠工法の5つに分け、省カ・自動化の観点から比較検討を行なった。その結果、省カ・自動化を行なうのに最も適する工法として打込型枠工法を選定した。ここで提案する工法は図5に示すように、薄くて剛性の高いせき板とプレハブ鉄筋を一体化させた構造となっている。柱、梁、壁、床の各部位ごとに製造された部材を現場で組立て、コンクリートを打設して躯体を完成させる。

4-5 ロボット化モデルの概念設計と構成要素

打込型枠工法による省カ・自動化システムを設計計画、部材製造、施工に分け、概念設計と構成要素の検討を行なった。本システムでは設計計画から部材の製造指示に至るまでを一連のCAD/CAMシステムで行なうことを提案している。図6に基本設計から部材製造までのCAD/CAMによるフローチャートを示す。ここでは型枠部材だけでなく、配筋設計・加工も含めたトータ

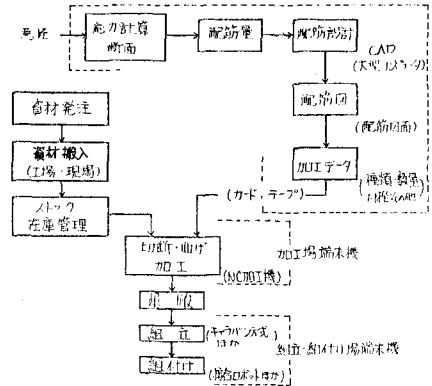


図3 システム案のフロー

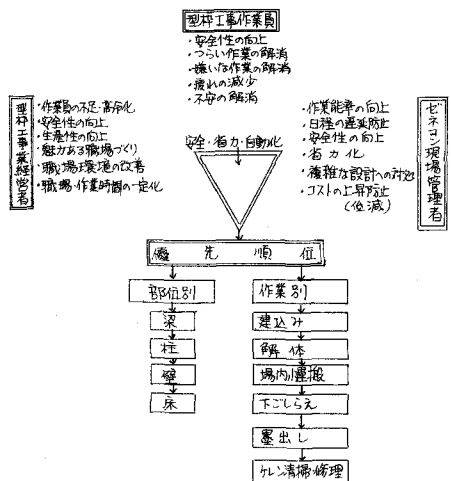


図4 省カ・自動化のニーズ

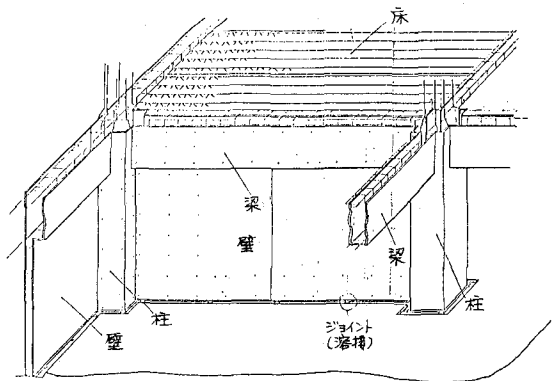


図5 前提となる工法の概要

ルシステムとして考えている。

部材の製造システムは型枠パネルの製造、先組鉄筋の製造、部材の組立の3つのコンポーネントから構成される。

型枠パネルの製造方法としては、連続生産可能な押し出し成形法を採用し、高密度・高強度のパネルとするために塩圧を行なう。その後、必要な長さに切断し穴明け等の加工をする。部材の組立では、先組鉄筋に取付けられた緊結材にパネルとリベットで固定する方法で行ない、型枠パネルと先組鉄筋を一体化する。

最後に工場において製作された部材の現場における建込みについて述べる。本研究では、吊り上げた部材の姿勢制御が可能なクレーンロボットと作業床上で部材を受け取るハンドリングロボット(図7)の協調作業による建込システムを提案している。作業の流れは概略、以下になる。

まず、トラックで搬入された部材を玉掛けしてやり、クレーンロボットは自動的に部材を所定の位置へ運搬する。作業床上のハンドリングロボットはこれを受取り、双方の協調動作により部材の位置決めを行なう。最後にアーク溶接ロボットにより部材を固定させる。これらの各ロボットについてその機能と骨格系を検討し、具体案を示した。

4-6 課題の検討 関連する技術課題として、ロボット化を指向した建設作業解析技術、ロボット化を前提とした工法設計技術等について検討した。また、本研究で提案したモデルを実現させるための諸条件について検討し、最後に今後必要とされる開発課題を設定した。

5. おわりに

建設業における省力・自動化はその特殊性から多くの問題を抱えている。つまり、省力機器を単に導入すれば良いということではなく、生産システムを根本から考えなおさなければならない。したがってシステム的なアプローチが是非必要であり、全体を見わたしながら研究を進めていかなければならない。建設工事ロボット化の研究はまだ始まったばかりであり、今後息の長い研究を続けていくことが必要である。以下に、本研究のワーキングメンバーを示す。*は鉄筋組立、**は型枠組立の名々の研究に参加したことを示す。

ワーキンググループリーダー	長谷川 幸男 ^{*,**}	(早稲田大学システム科学研究所 教授)
ワーキングメンバー	吉田 哲二 [*] 上野 高敏 ^{*,**} 菊地 公男 [*] 青柳 隼夫 ^{**} 益満 信男 [*] 川畑 七丸 ^{*,**} 森 正人 ^{**} 佐々木 晴夫 ^{**}	(清水建設), 新井 一彦 ^{*,**} (鹿島建設) (竹中工務店), 汐川 孝 ^{**} (大林組) (大成プレハブ) (大成建設)

(順不同、敬称略)

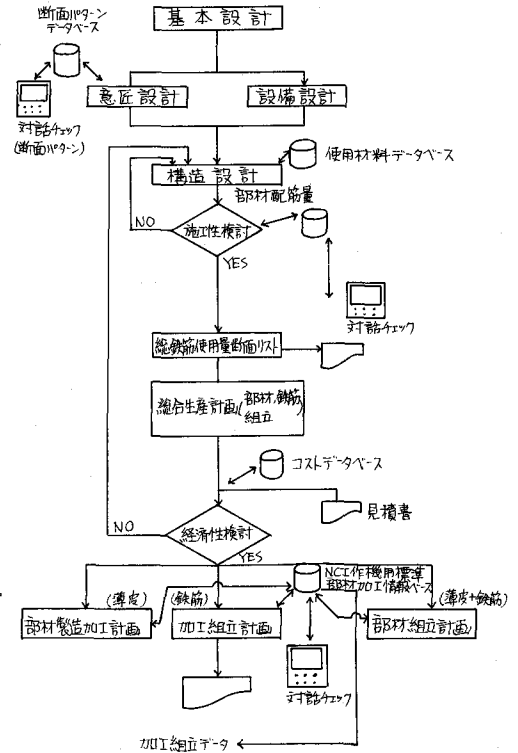


図6. 基本設計から部材製造までのCAD/CAMフロー

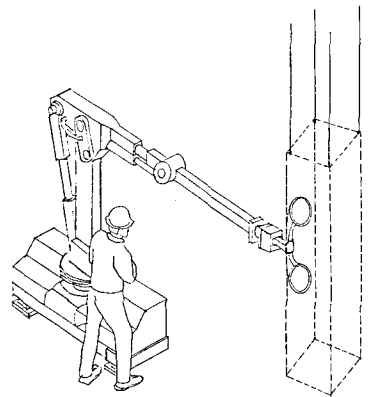


図7 協調型ハンドリングロボット