

超高層 RC 建物における施工の自動化

—41階建 RC 造マンションにおける開発事例—

浜田 耕史 竹本 靖 脇坂 達也
菱河 恭一 汐川 孝 井上 康夫

Automation in Constructing High-rise Reinforced Concrete Building

—Development of Automation System in 41-story Reinforced Concrete Condominium Project—

Koji Hamada Yasushi Takemoto Tatsuya Wakisaka
Kyoichi Hishikawa Takashi Shiokawa Yasuo Inoue

Abstract

In construction of a 41-story reinforced concrete building completed in the spring of 1992, various techniques were introduced with a view to automating operations and reducing manpower requirements. This paper describes details of development and outlines of automation/labor-saving systems and devices developed in reinforcement work, precast concrete curtain wall work and partition assembly work.

Especially, the system developed in reinforcement work was composed of a comprehensive management system by computer which supplied various kinds of information to certain automation/labor-saving equipment. It was a form of system aiming for CAD/CAM, but was not a complete on-line system.

Although these systems and devices developed were of low levels of automation, they were easy to use and were effective for labor-saving and speed-up of construction of the 41-story concrete building.

概要

1992年の春に竣工した超高層 RC 建物（41階）の施工に関して、システム化・省力化・自動化を目指した様々な研究・開発が行なわれた。本報は、これらの中から、① 鉄筋工事の自動化システム（鉄筋総合管理システム・X型鉄筋自動曲げ装置・梁鉄筋地組装置）、② 内壁パネル建込み装置、③ 外壁カーテンウォール PC 板取付装置について、それらの開発経緯・システムや装置の概要・適用実績などについてまとめたものである。今回開発した鉄筋工事における一連の自動化システムは、CAD/CAM化を目指したものであり、情報の一元化、管理業務の効率化、鉄筋の加工及び組立作業の省力化・高品質化を実現した。開発された省力化装置の自動化レベルは、種々の制約から必ずしも高くはないが、使いやすく省力化効果も大きいという評価を得た。

1. はじめに

大阪市内の旧国鉄貨物駅跡地を対象に、大阪市が中心となって1986年に実施した『桜ノ宮中野地区都市型集合住宅プロジェクト開発設計競技』において、応募21グループの中から、MKOグループ（松下興産(株)・近鉄不動産(株)・大林組）の案が最優秀案に選ばれた。

41階建の超高層 RC 建物は、このプロジェクトの中核をなす民間分譲マンションであり、当社の施工により約3年の工事期間を経て1992年3月に竣工し、RC造としては日本一の高さとなっている。

構造計画的には、ダブルチューブ構造の採用や、X型鉄筋・鋼板拘束柱・アンボンドスラブ・太径鉄筋によるラップジョイントの導入¹⁾など多くの新しい試みがなさ

れたが、施工に関しても、品質の保証、自動化・省力化、仮設の合理化などが強く求められ、様々な技術開発が行なわれた。

本報告では、開発された技術の中から施工の自動化に関する以下の項目について、開発を行なう上での基本的な考え方、システムの概要、現場への適用状況などを紹介する。中心となるのは、鉄筋工事に関して、設計情報を直接施工に反映させる CAD/CAM化を目指したシステムの開発である。

① 鉄筋工事の自動化システム

（鉄筋総合管理システム・X型鉄筋加工装置・鉄筋地組装置）

② 壁パネル取付装置

③ PC板取付装置



写真-1 建物の全景

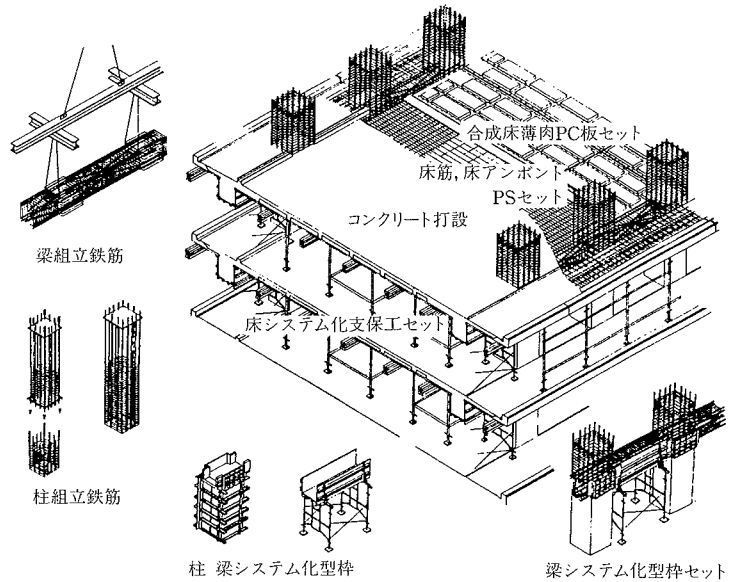


図-1 工法概要

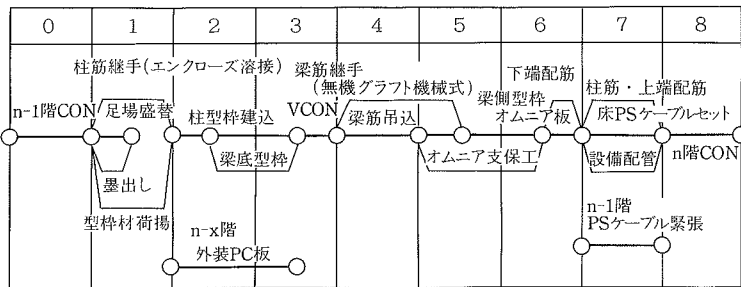


図-2 標準階サイクル工程

表-1 工事概要

工事名称	桜宮リバーシティ (仮称)MK Oマンション新築工事
建物用途	共同住宅(304戸)
設計施工	㈱大林組
敷地面積	15,852㎡
建築面積	1,530㎡
延床面積	47,114㎡
構造	鉄筋コンクリート造
規模	地下1階, 地上41階, 塔屋1階
建物高さ	129.4m(軒高), 135.8m(最高)
基準階階高	2.9m(2F~27F) 3.0m(28F~40F)

2. 工事概要と開発概要

2.1 工事概要

開発の対象となった建物の工事概要を表-1に、建物の全景を写真-1にそれぞれ示す。

高い品質の確保と安全かつ効率的に作業を進めるため、図-1に示す薄肉PC中空アンボンドスラブ、システム型枠、先組鉄筋、PCカーテンウォールなど様々な省力化構・工法が採用されている。

図-2に基準階の躯体サイクル工程を示す。各階は4工区に分けられ、2台のタワークレーンにより、1階当たり8日サイクルの目標で施工された。

2.2 開発概要

2.2.1 開発方針 自動化テーマの選定に当たり、設計競技による物件であるため、全面的なロボット化工法の組み合わせが時間的に困難となる制約を受けた。

在来工法では施工が困難な工事や比較的単純な繰返しで施工数量が多い作業の中から、自動化による省力化効果が高いと期待されるものを開発対象として選んだ。その結果、表-2に示すテーマが決められ、その中から、鉄筋工事・カーテンウォール取付・内壁パネル建込みに

表-2 開発テーマと開発技術

開発テーマ	開発技術
1. 鉄筋工事 (1) 発注リスト作成 (2) 配筋シミュレーション (3) 組立ブロック切断 (4) 配筋図作成 (5) 加工図作成 (6) 鉄筋加工 (7) 鉄筋地組	鉄筋総合管理システム X型鉄筋自動曲げ装置 長手梁地組装置 自動緊張管理、定着システム システム型枠 リモコン式コンクリートバケット
2. アンボンドPS工事 3. 型枠工事 4. コンクリート工事 5. 仕上工事 (1) カーテンウォールPC板取付 (2) 間仕切パネル建込	
	外壁カーテンウォールPC板取付装置 内壁パネル建込装置

対する自動化を『建設用ロボット研究開発グループ』の中のロボット化工法ワーキンググループが担当した。

鉄筋工事の自動化は高機能レベル目標型システムを、また他の作業については汎用性重視型システムを目指す方向で開発に取り組んだ²⁾。

2.2.2 開発スケジュール 工事の進捗状況に合わせ、図-3に示す工程で、それぞれの開発は進められた。開発を行なう上で必要となった基礎的実験・模型などによる検討・実証実験なども併せて同図には示している。これら工程の他に、装置などの導入に伴う作業者への教育・保守整備・施工性の評価なども適宜実施された。

2.2.3 開発の支援システム 自動化装置の開発を進める上で、施工実験による作業能率の把握や自動化による省力効果の分析などを多数実施する必要性が生じた。従来の作業測定システムでは、多大な労力と時間を要するので、開発の支援システムとして、携帯端末（ハンディターミナル）を電子野帳として利用することにより、データの収集から分析までを迅速に行なう写真-2に示すようなシステムを開発した。

入力方法は、タッチパネルとバーコードリーダの2種類であり、測定要素の大小に応じて使用された。

3. 鉄筋工事自動化システムの開発

3.1 開発のねらいと概要

3.1.1 開発の前提条件 鉄筋工事では、各階約90tf・全体数量も約3,000tfにも及ぶ太径鉄筋（D29～41）を用いた先組工法によるX型配筋構法の採用にともない、高精度の品質の要求や管理業務・加工組立作業の省力化が要求された。作業の省力化装置の開発を進めるに当たり、鉄筋の加工及び組立に関して次のような基礎実験を行なった。

(1) 鉄筋加工作業 鉄筋の曲げ加工に伴う伸び量やスプリングバックの値により、ベンダのジャッキストロークの制御データが毎回異なる。このため、鉄筋の径・曲げ角度・ローラの支点位置・ローラ形状などの変化に伴うストローク値と最終的に加工された各種の鉄筋の曲げ角度や寸法の関係を求める必要があった。そこで、鉄筋の曲げ試験を行ない、得られたデータから相関式を求め、鉄筋総合管理システムに反映させた。

また、従来方式のベンダによる曲げ加工実験を行ない、作業性や問題点などを明らかにした。

(2) 鉄筋組立作業 特に、鉄筋の組立作業については、作業手順や方法によって地組装置の要求される機能が大きく異なるため、開発以前に写真-3のごとき1/2・1/1モデルを用いた施工実験を繰返し行なった。

揚重回数の低減を目指した柱・梁の一体組施工方法や柱・梁分離先組方法など数種類の作業方法や手順について、モデルを用いて事前に検討を加えた。これらの作業データを、先に述べた作業測定の電算化システムによって収集・分析し、これを基に作業方法や作業手順などの最適化を図った。

この結果、一部分を除き柱・梁は分離して組立てる方法が採用された。梁鉄筋の作業手順についても、主筋を先行して以置決めし、スパイラルスターラップを後から挿入する作業手順が最も効率的であると判断された。

3.1.2 開発の基本的考え方 鉄筋工事全体の効率化を進めるには、現場作業の上流である施工計画や作業計画、さらに施工管理まで含めた広範な領域での情報の一元化が不可欠となる。このため、コンピュータを利用した総合的な鉄筋管理システムを中核にして鉄筋の加工や地組作業の自動化・省力化を図り、それらの制御や情報伝達も含めたCAD/CAM化を開発の基本方針とした。

3.1.3 基本構成 鉄筋工事における開発事例の基本構成は、図-4に示すように上流の情報処理を行なう鉄筋総合管理システムと、この情報に基づいて鉄筋の加工・組立を行なう鉄筋加工装置や地組装置である。

鉄筋総合管理システムは、構造設計や積算など上流の業務で作成されたデータに下流の業務に必要な処理を加えながら鉄筋工事プロジェクトデータベースを構築し、鉄筋の加工図や配筋図のCAD利用を始め、鉄筋の発注・保管・加工・地組・取付け等に必要情報の作成をコン

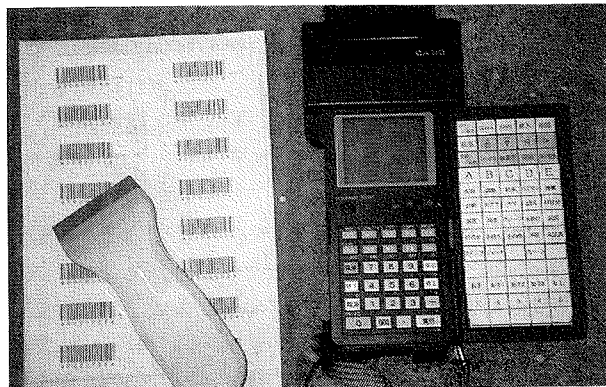


写真-2 携帯端末による作業測定

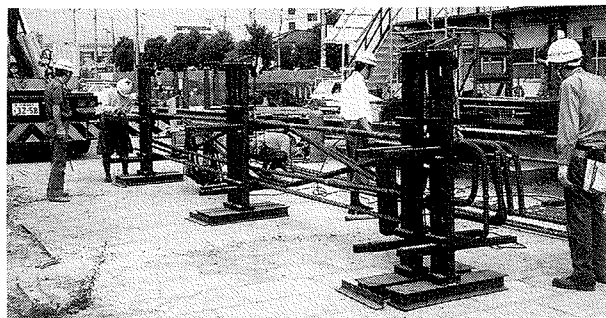


写真-3 施工実験

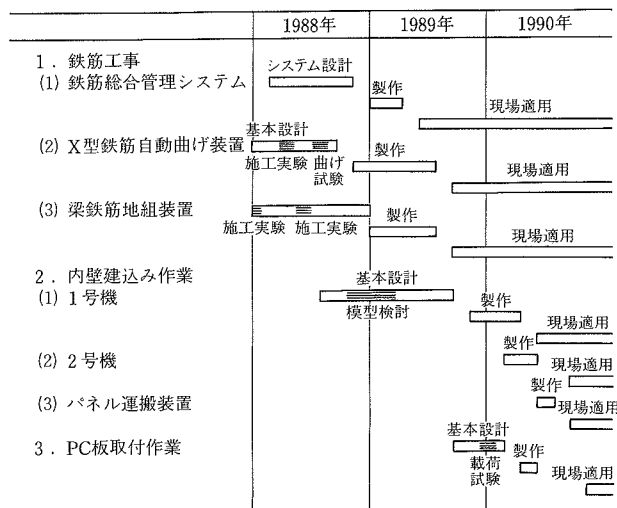


図-3 開発スケジュール

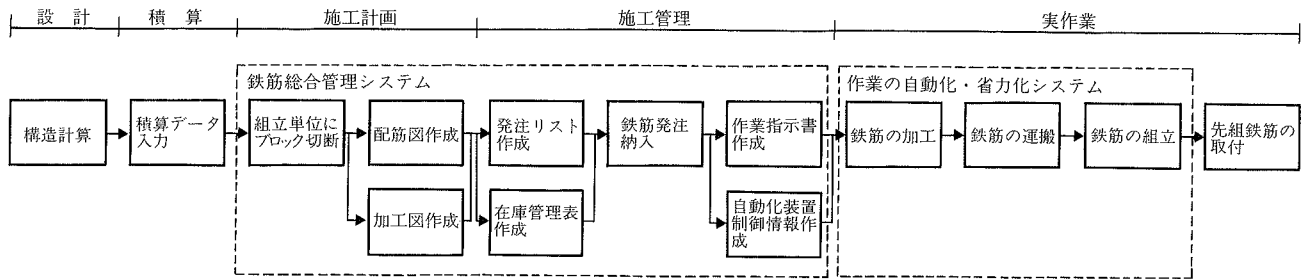


図-4 鉄筋工事の業務の流れ

コンピュータで一元的に実施するシステムである。

作業の自動化・省力化装置は、鉄筋総合管理システムで作成された制御情報により加工作業や地組作業を行なうものであり、太径鉄筋の主筋自動曲げ加工装置、X型鉄筋加工装置及び鉄筋地組装置から構成されている。

基本的には、各装置は個別の自動制御装置を持ち、その上位の制御を鉄筋総合管理システムで行なう方式で開発は進められた。

鉄筋加工装置は自動制御方式を採用しているが、費用対効果の点で手動による入力方式とした。ただし、鉄筋総合管理システムでは、先に述べたように、加工装置の制御に必要なベンダのジャッキ・ストロークと鉄筋曲げ角度の関係が相関式を基に計算され、装置の制御データとして加工図に表示されている。

3.2 鉄筋総合管理システム

図-5に示すように既存の積算システムのデータを利用すると共に、柱・梁の鉄筋断面リストや鉄筋位置データ等を付加することにより、鉄筋用プロジェクトデータベースを構築する。これを基本として、以下に示す情報処理が行なわれる。

(1) 配筋シミュレーション 超高層RC造では、柱・梁の主筋が密に配置されているため、全階にわたり鉄筋の干渉が起きない最適位置をコンピュータのシミュレーションより求めている。これにより、正確な配筋図や加工図を作成することができる。

(2) 先組鉄筋のブロック分割 先組工法におけるブロック分割は、クレーンの揚重負荷・ブロック数・接合箇所数・ブロック形状の種類に影響を及ぼすため、入念な計画を要する。総合管理システムでは、先組鉄筋の分割位置を簡単に設定できるため、複数のケースについての比較・検討が容易となり、適切な計画が可能となる。

(3) 配筋図作成 配筋干渉チェックやブロック分割の終了したプロジェクトデータベースに基づいて、ブロック単位の配筋図が作成される。配筋図は、汎用のパソコンCADソフトを利用して自動的に作成される。

鉄筋の加工や地組作業時点での効率化を図るため図-6に示すようにブロック単位で梁筋切断部に異なる色を自動的に割り振った。ストックヤードからの鉄筋取出し時に、配筋図に示された色のビニールテープを鉄筋端部に巻き付けることによって、加工ミスの防止、加工場の荷積みや地組場の荷卸時の混乱回避、組立位置の間違い防止等に役立っている。

また、配筋図には鉄筋位置と鉄筋径が表わされた柱・

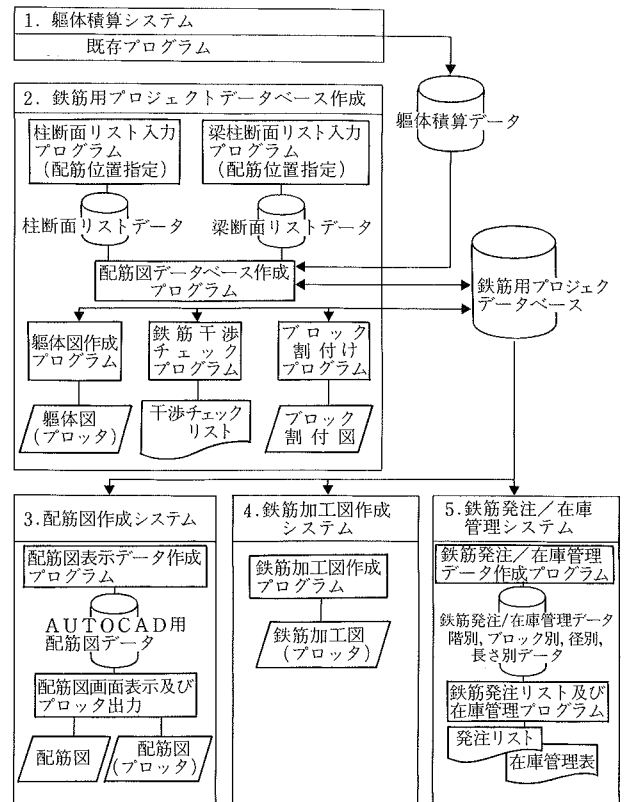


図-5 鉄筋総合管理システム構成図

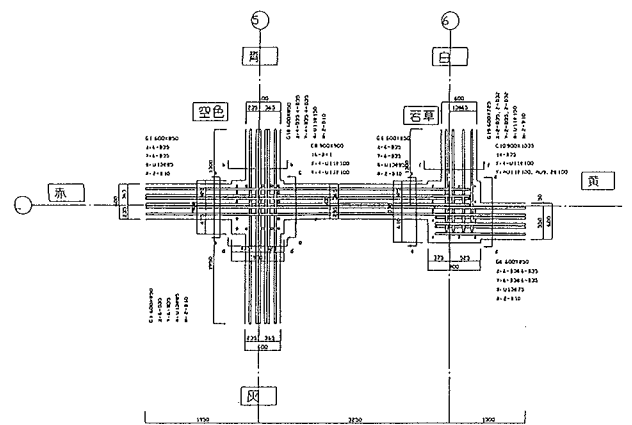


図-6 配筋図

梁断面図も併せて作図している。この図を用いて、鉄筋地組に使用する鉄筋の位置決め用型板を作成した。

(4) 鉄筋加工図作成 鉄筋加工図は、組立鉄筋ブロックを構成する1本1本の梁の主筋について、以下の項目が示された図面としてプロッターで作成されている。

- ① 加工寸法・角度
- ② 加工装置の制御情報
- ③ 加工後のチェック寸法

加工装置に与える制御情報として、鉄筋の曲げ試験結果に基づくストローク値を図-7のように表示している。

また、1本ごとの主筋について曲げ加工を要するものと不要のもの(直物)とに分け、鉄筋径・寸法・重量・前述のビニールテープの色を表示した鉄筋加工リストも出力している。加工物の鉄筋は加工番号が付与され、加工リストと鉄筋加工図の関係付けを図っている。

(5) 発注リスト作成 発注リストは、鉄筋用プロジェクトデータベースに蓄積された1本ごとの鉄筋メンバーリストを集約することにより作成される。発注リスト上には、部位別(柱・梁)、径別、寸法別(ミリ単位の鉄筋長さ)の鉄筋の本数が表示される。この発注リストの使用で実長による発注を行っており、鉄筋加工場での鉄筋切断がほとんど不要となっている。

3.3 作業自動化・省力化システムの概要

3.3.1 鉄筋の物流 鉄筋工事の流れを図-8に示す。鉄筋の加工場と現場とが約25km離れており、資材と情報の一体化が強く要請され、鉄筋の現場への搬入日時や鉄筋使用確認書等から構成される作業指示書を作成した。作業指示書は常に鉄筋に付帯され、加工場から地組場へ、作業が全て終了した時点で現場事務所に戻された。

X筋は寸法・曲げ角度・位置の相違などから極めて多くの種類となり、1種類ごとに加工したものをまとめて現場に搬入するならば、地組における仕分け作業の業務量が多くなり効率的ではない。そこで、鉄筋の地組を行なう1ブロック単位で専用のパレットに仕分けし、現場地組場に輸送することとした。

3.3.2 X型鉄筋加工装置 主筋の加工は、定着部などの90°の曲げとX型鉄筋における約10°~20°の浅い曲げとの2種類である。これらの加工は、支点ローラの形状や動きが異なるため別々の装置で行なった。

90°の曲げ加工は、鉄筋が自動的に供給され、任意の位置にて設定された角度で自動的に曲げることが可能な汎用型の装置によって行なわれた。

X型鉄筋に関して、従来のポータブルベンダによる加

工実験を行なった結果、以下の項目が明らかとなった。

- ① 鉄筋1本あたりの曲げ加工箇所数が多い
- ② 1ヶ所の曲げに作業者2人で約30分もかかる
- ③ ベンダのセットなどの段取り時間が大きい
- ④ 所定の曲げ角度を確保するために計測・修正作業の比率が高い

このため、図-9に示すように、加工中の鉄筋の曲げ

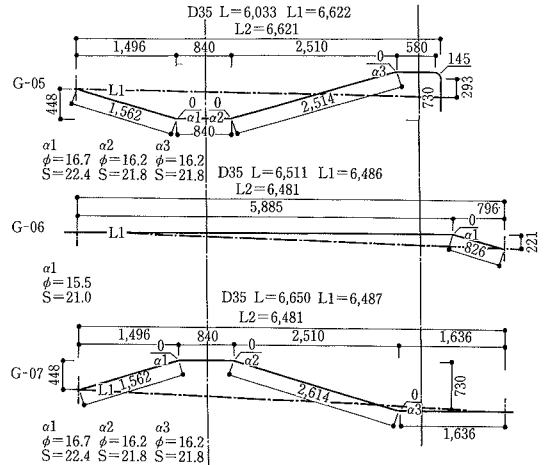


図-7 鉄筋加工図

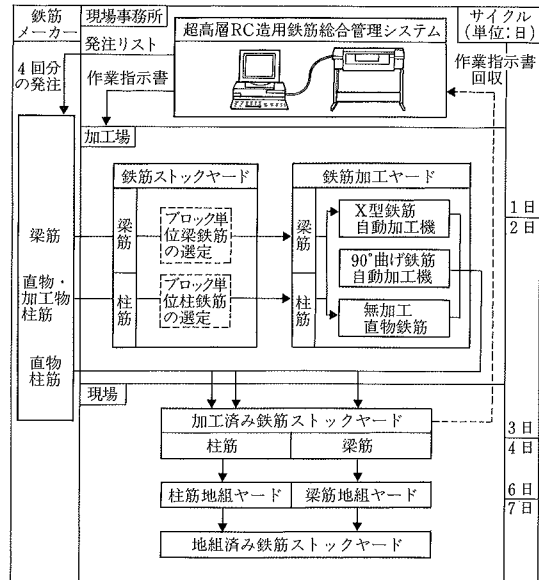


図-8 システム利用サイクル図

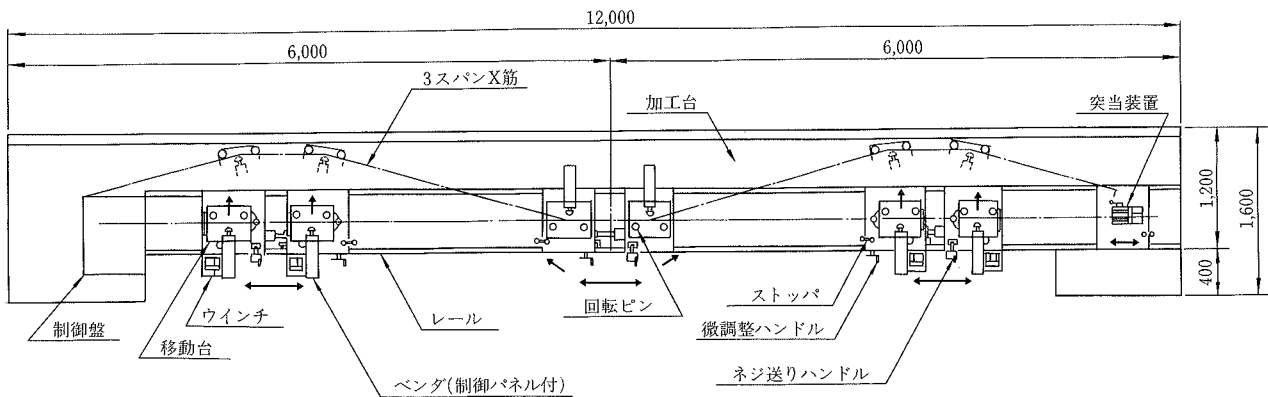


図-9 X型鉄筋加工装置概要

角度をセンシングしながら所定の角度を自動的に確保し、最大6箇所の同時曲げが可能となる装置を新たに開発した。この装置は、6台の電気油圧式ベンダ・装置架台・ベンダの移動台車及び制御装置から構成されている。装置の主な仕様を表-3に示す。

本装置による作業手順は、図-10に示すように、加工図に示されたデータに基づいて、ベンダの位置決めとストローク量をデジタルスイッチで設定し鉄筋を挿入する。当て止めによって鉄筋の位置が固定され、始動スイッチを押すことで自動加工が行なわれる。

自動運転時の各ベンダは、鉄筋の曲げ変形に追従して移動しながら加工を行なう。加工終了後、鉄筋を取り外しリターンスイッチを押すと、ベンダは自動的に最初的位置に戻る。引き続き同形状の加工を行なう場合には、ベンダの位置やストローク量の設定は不要である。

この装置では、曲げ角度の精度管理のために、加工角度設定値と加工後の角度をプリンターに記録することができ、ベンダのストローク量の算定データとして活用すると共に、将来のオンライン時でのフィードバック制御用データとして蓄積された。

3.3.3 鉄筋地組装置 今回の梁鉄筋にはX型鉄筋とスパイラルスターラップの組み合わせが多数使用されている。従来の方式では地組が困難となり、図-11に示す梁鉄筋の地組装置を開発し、鉄筋のハンドリングの負荷軽減を図ると共に、地組作業の効率化・省力化を目指した。なお、同図には、鉄筋パレットや地組作業の終了した鉄筋を揚重する門型クレーンも併せて示している。

地組装置は、油圧シリンダで駆動する5組の鉄筋支持アーム・2台の簡易型ジブクレーン・油圧ポンプ及び制御盤から構成されている。操作は全て手動で行なう簡易型の装置である。表-4に装置の主な仕様を示す。全長約10mの長手方向の梁鉄筋の地組作業(総重量 約2tf)を2人の作業員で行なうことができる。

- 本装置による地組作業の手順は、次のとおりである。
- ① 鉄筋支持アームを梁の断面形状に合わせて調整
 - ② 簡易ジブクレーンで鉄筋を支持アーム上に配置

表-3 X型鉄筋加工装置の主な仕様

項目	仕様
寸法	W 1,500mm × L 12,500mm × H 322mm
装置	電気油圧ポータブルベンダ 型式：HB-32型 キャスタ付き 単相：100V 15A 50/60Hz 押力：13tf 引力：10tf
移動機構	ネジ式送り機構
適用鉄筋	ネジ鉄筋 サイズ D29, D32, D35, D38, D41
曲げ範囲	0~20°
制御方式	シーケンス制御 曲げ角度ストロークフィードバック方式 設定値：3桁 精度：0.5mm
操作方式	自動運転時……中央運転方式 (最大6ヶ所同時曲げ) 手動運転時……機側運転方式

表-4 鉄筋地組装置の主な仕様

項目	仕様
寸法	W 1,750mm × L 8,000mm × H 2,015mm
油圧ユニット	200V 1.5Kw 60ℓ/min
支持スパン調整	手動式(ねじ式送り)
アーム上下駆動	油圧シリンダ st. 380mm
アーム伸縮駆動	油圧シリンダ st. 620mm
その他	屋外仕様
簡易クレーン	クレーン寸法 作業半径：R=3,500mm ポスト高さ：H=3,450mm
揚重能力	200kgf × 2台
昇降速度	高速 15m/min 低速 1.5m/min

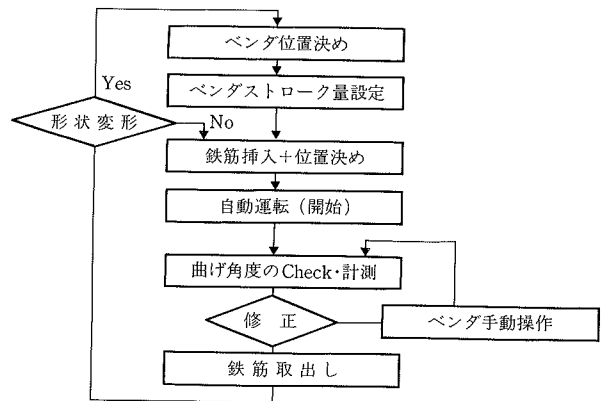


図-10 X型鉄筋加工装置による作業手順

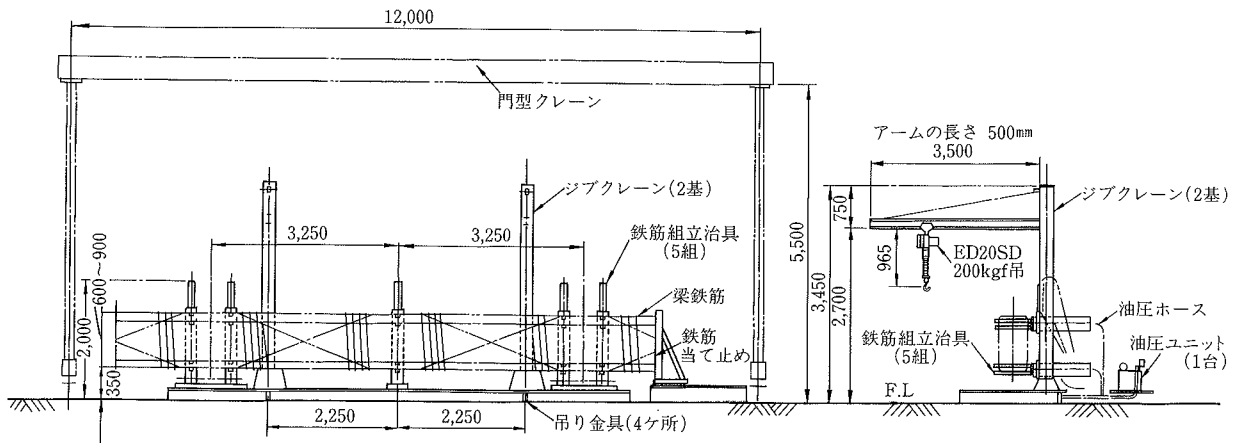


図-11 鉄筋地組装置概要

- ③ 鉄筋当て止めにて鉄筋端部の位置決め
- ④ 簡易型ジブクレーンでスターラップを配置
- ⑤ 支持アームを交互に引抜き、スターラップを配筋
- ⑥ スターラップの結束・カプラー等取付け
- ⑦ 地組完了後、門形クレーンに玉掛け
- ⑧ 支持アームを引抜き組立鉄筋を仮置場に盛替え

鉄筋支持アームの引抜きや上下移動では、押しボタンによる5組全体の同時操作や個別の操作が可能である。

3.4 現場適用

3.4.1 鉄筋総合管理システム 鉄筋総合管理システムは1989年当初から本格的に現場に適用され始め、最初に鉄筋用プロジェクトデータベースが作成され、これに基づいて鉄筋の発注等の業務が実施された。

鉄筋用プロジェクトデータベースの構築に約2.5ヶ月要したが、現場での運用は、1人の現場担当者により行なわれた。データベース構築後は、鉄筋加工図・配筋図のCADデータの出力、そして鉄筋の発注リスト・加工鉄筋リスト・直物鉄筋リスト等の出力が行なわれた。これらの作業は相当に簡略化、迅速化されているため、現場での管理業務は大幅に省力化されている。それぞれの管理業務における効果について以下に示す。

(1) 発注リスト このシステムにより工事の初期段階での正確な鉄筋発注数量が把握でき、オーダー生産方式の特殊な鉄筋の発注に際しても、ミリ単位による実長での納入が可能になった。定尺ものの切断に比べて、大幅なコスト減と現場における省力化に寄与している。

(2) 出力図 コンクリート軸組図・ブロック分割図・加工図・配筋図等の作図が2,000枚程度必要だったが、CADによる自動作図により大幅に省力化された。

(3) 在庫管理 作業指示書に加工場や地組場での作業結果を記載することにより、在庫管理に必要な情報を日常業務の中で収集することができた。

3.4.2 X型鉄筋加工装置 鉄筋の作業自動化・省力化システムは1989年中頃に現場に導入され、現場作業者への教育や性能確認試験などを経て実稼動に入った。

図-12は、D38における6箇所曲げ加工作業の作業時間を示したものであるが、従来の1台の電気油圧ベンダによる手動の鉄筋加工作業に比較して大幅な短縮になっている。また、3階の鉄筋加工作業時間は、1本当たり7.2分必要であったのに対して、7階における作業時間は、1本当たり2.9分となり、習熟効果も大きい。

作業内容に関しては、加工作業の準備に比較的多くの時間を要した。これは、鉄筋の加工位置にベンダを移動する準備作業であり、同種の曲げ加工を多数継続する場合、この作業比率は小さくなった。

当初は、鉄筋の1ブロックを基準とした運搬・加工・組立作業としているため、図のような結果になった。そこで、鉄筋の加工作業を効率的に行なう目的で、段取り替えの回数を減らすために、加工場での作業管理の単位をブロック単位から工区単位に拡大し、ロット生産により同種形状の加工繰返し数を増やした。

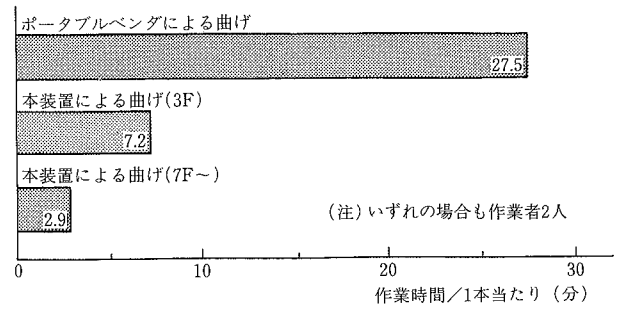


図-12 X型鉄筋加工作業時間

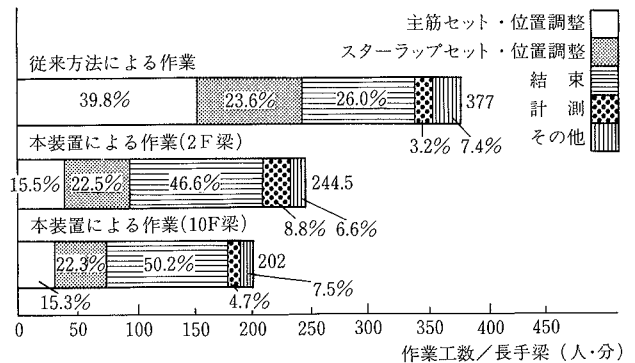


図-13 長手梁鉄筋地組作業工数

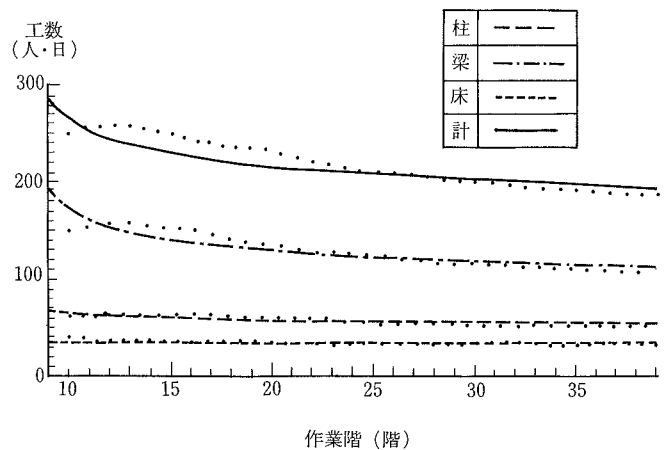


図-14 作業工数の変化

3.4.3 鉄筋地組装置 本装置は、1989年11月末から本格的に現場で使用された。比較的単純な装置であるが、鉄筋の位置決めやハンドリングが容易になり、2人の作業員で組立てを行なっている。

図-13は、同装置を用いて行なわれた2階と10階の梁に関する作業工数のデータである。図中の従来方法による作業は、先に述べた1/1モデルにより、同じタイプの先組梁鉄筋に対して、同様の作業を仮設的な装置や揚重機により実施して得られた作業工数データである。この装置を使うことにより、主筋・スターラップのセットや位置決めに必要な作業時間が半分程度となり、大幅に短縮されていることが明らかとなった。さらに、高層階

における地組作業では、習熟効果により、さらに省力化されており、作業能率が大幅に改善された。また、地組装置を使用することにより、鉄筋の組立精度の向上にもつながり、以降の工程に与える影響も大きかった。

3.4.4 鉄筋工事全体の生産性 図-14に9階～39階までの鉄筋工事を柱・梁・床の部位に分け、各階ごとの延べ作業者数（工数）の累計平均をプロットし、対数線型習熟モデルによる回帰曲線を示している。低層階及び40・41階の鉄筋工事は、大部分を在来工法によって行なったため、同図から割愛した。

梁の鉄筋工事に関しては、X型配筋の影響により加工・組立作業に関する習熟率は約90%と高く、最大で5割程度の工数低減となり、習熟による影響（相関係数：0.91）が、大きかったが、柱・床に関しては習熟による効果はあまり認められなかった。作業の歩掛りは、階数が増えるに従い施工数量が減少するため、習熟効果と相殺して、ほぼ一定の値となった。歩掛りについて、X型鉄筋を用いない23階建てのRC造建物における先組工法¹¹⁾のデータと比較するならば、自動化システムの導入にもかかわらず約7割の生産性となった。このことは、多くの種類の鉄筋の加工及び仕分け作業に多大な労力を要したためと考えられる。

4. 内壁パネル建込み装置の開発

4.1 開発の背景と経緯

4.1.1 開発の背景 開発対象の建物の内装壁は、一部の後打ちコンクリートを除き、ALCパネルなどによる乾式工法の施工であり、基準階で約350m²、全体で約14,000m²と膨大な施工数量である。

重量物である壁パネルのハンドリング作業に関しては、作業者が腰を痛みやすいなどの苦渋作業であり、労働者不足が深刻な職種でもある。

そこで、作業の自動化・省力化を目的として、作業者が容易にパネルのハンドリングを行なうことが可能となる写真-4に示す内壁パネル建込み装置を開発した。

4.1.2 開発経緯 ALCパネルの形状・現場におけるストック状況・施工方法・作業時のパネルの動き・把持方法などを勘案し、視覚的なチェックを行なうために、写真-5に示すような2種類の1/10の模型を作成した。

門型フレームで構成され、パネルを両端から把持するタイプと片持ちの腕によってパネルの表面を把持するタイプの模型とを用い、動作の確認・障害物との干渉状況などについて、問題点を明らかにして検討を行なった。この結果、作業性は若干劣るものの、装置の全体重量や作業の安全性などから門型フレームの案が選択され、これを基に開発が進められた。

当初、小型パネル用として手押し走行方式の1号機（パネル-125）の開発を進めたが、階高の大きい建物に対するニーズも大きいため、電動走行方式の2号機（パネル-150）を別途開発した。さらに、パネルの加工場から取付場所までの運搬専用機を製作した。

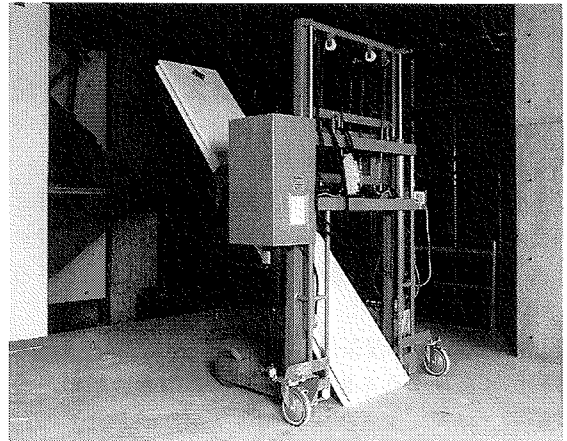


写真-4 内壁パネル建込装置（1号機）

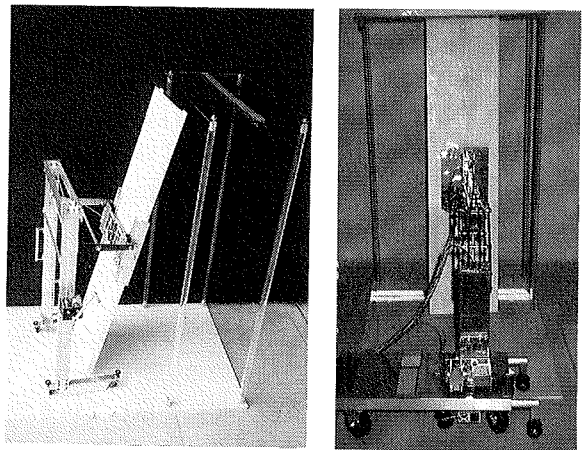


写真-5 1/10模型による検討

表-5 装置（1号機）の主な仕様

項目	仕様
積載物 積載重量 本体型式 形状寸法 自重	ALC, 繊維補強発泡石膏などによる乾式パネル 最大寸法 4,000mm×600mm×125mm×重量 200kgf 門型リフト H 2,800mm×W 1,430mm×D 700mm（下降時H 1,750mm） 約 300 kgf
移動台車	移動方式 4輪ウレタン旋回車 回転半径 スピンターン方式 移動 手押し
リフト部	リフト方式 電動油圧式（速度 0～11.5m/min）
把持部	クランプ式 電動油圧式（クランプ力調整可）
動力部	電源 バッテリー DC12V（充電所要時間約10H）

4.2 パネル取付装置の開発

4.2.1 1号機（パネル-125）の開発 1号機は、幅0.6m・長さ4m・重量200kgf以下のパネルを対象とし、門型フレーム・リフト部・把持部（ハンド）・動力部及び車輪から構成される。主な仕様を表-5に、装置の全体図を図-15に示す。

本装置は、次のような特徴を有する。

- ① 小型のため工事用エレベータで運搬可能である。
- ② 自在車輪により真横にも走行が可能である。
- ③ 補助車輪の使用により走行性が優れている。
- ④ 把持力はアキュムレータによって一定に保たれる。
- ⑤ 装置本体及び運転に関して法規制を受けない。

図-16に装置の基本的な動作手順を示す。装置は床上に約1m程度の高さに段積みされたパネルの中央付近まで移動してリフト部を降ろし、ハンドにより所定位置を把持する。さらに、装置全体を手押し走行により施工場所へ移動した後、リフト部を上昇させる。パネルは重心の移動で自動的に垂直に建て起こされる。最終的に、所定場所に設置され、位置決め動作を経て取付けられる。

現場への適用を繰返し行ない、問題点を把握して装置の改良を進めた。主な改良点は、パネルの把持部や補助車輪の追加など、安全性及び走行性に関する項目である。

4.3 現場適用

本装置は、対象現場の工事に先行して開発を終えたため、多くの工事で使用された。現在までに、事務所ビルや百貨店の建築工事など、約15現場に適用してきた。

この間、省力化効果に関する調査を実施した結果、それぞれの現場の施工方法や設計内容によって若干の違いはあるものの、作業全体を通して在来工法に比べ3～5割程度の省力化が図られている。在来工法では、パネルの運搬や建起こしに作業者が4人程度必要であるのに対し、本装置を使用した場合、1人の作業で容易に行なうことができた。

5. 外壁 PC 板取付装置の開発

5.1 開発の背景

当建物は全面タイル貼りの設計となっている。地震時の構造体変形、温度変化による歪みなどタイルの剝落に対する安全性を考え、基準階で約40枚・全体で約1,500枚のカーテンウォール形式のタイル打込PC板を採用している。

しかし、RC造のため、コンクリート打設階では外部足場が必要となり、建物から1m程度跳出して取付いている。この外部足場の下部で外壁PC板を取付けるためには、足場の跳出し分を引込む必要があるが、従来の方法による揚重ではクレーンの吊りワイヤは足場前面までしか近づくことができない。

そこで、以下に示すごとき問題点を解決するために、PC板取付装置を開発した。

- ① PC板を躯体まで引込むのに危険が伴う。
- ② PC板の引込みに大きな力が必要になる。
- ③ クレーンのワイヤが足場に接触して危険である。
- ④ 躯体工事と重複してPC工事が行なわれるため、クレーンを有効に活用しなければならない。

5.2 開発の経緯

PC板取付装置は、その信頼性などを考慮し、機械的に板を引き込める機構が検討された。装置の機構や動作を

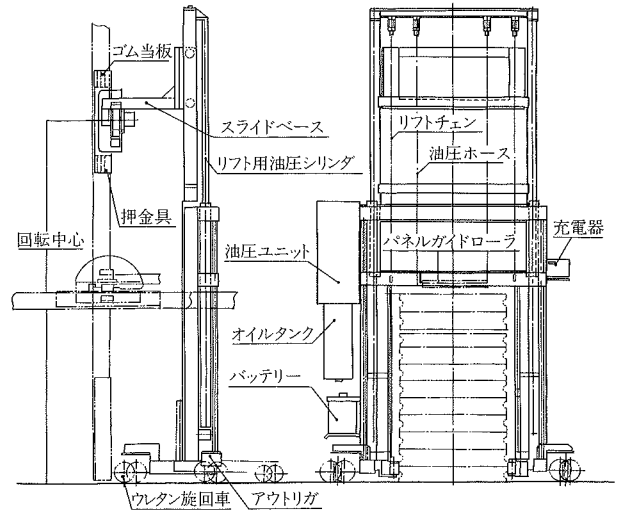


図-15 装置概要図 (1号機)

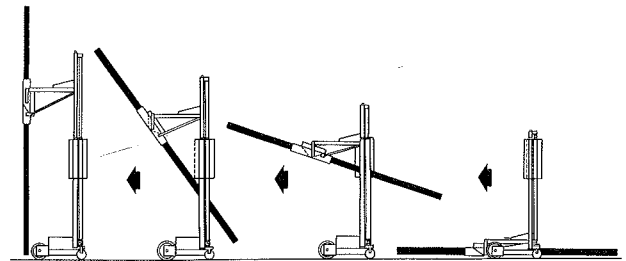


図-16 装置の動作手順

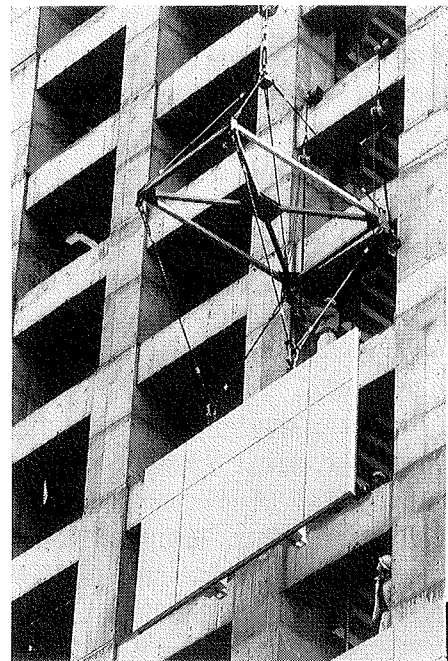
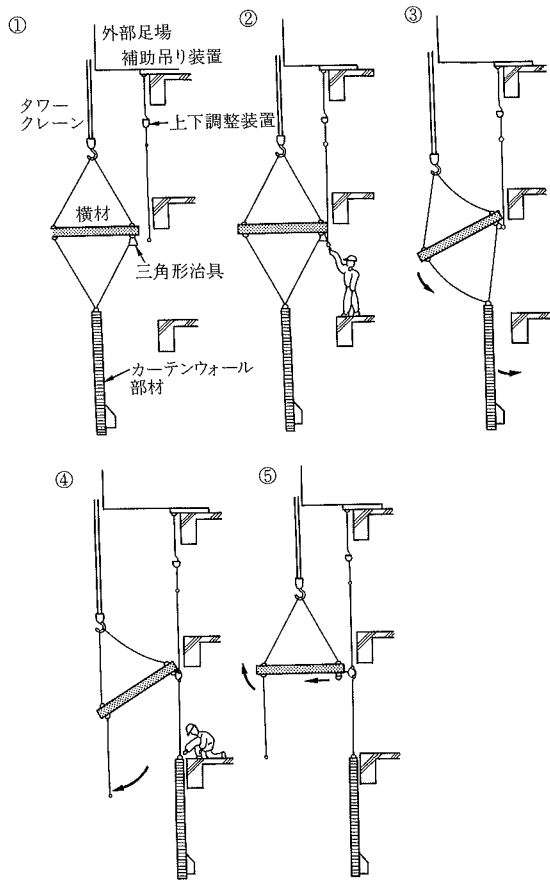


写真-6 外壁 PC 板取付装置

確認するために1/2のモデルによる検証と実物大の装置に対する載荷試験などを経て、現場に導入された。

5.3 装置の概要と現場適用

取付装置は、写真-6に示すようにワイヤで吊り下げられた四角枠と、その一方に取り付けた三角形の吊り治



図一七 PC板取付装置の動作手順

具、及び上下調整機構付きの補助吊り装置で構成されている。実際の作業の手順は、以下に示すとおりである。

① 吊り装置の横材と直角になるようにPC板を4本のワイヤで吊り上げる。

② 三角吊り治具が建物側になるように誘導し、補助吊り装置のワイヤを空いた吊り点に取り付ける。

③ タワークレーンを巻き下げると横材が回転し、PC板が建物に接近する。

④ 吊り装置のワイヤ(外側)を外し、PC板の全荷重が補助吊り装置に移る。

⑤ タワークレーンを巻き上げ、横材が水平になり、三角治具の取付部が回転により自然に外れる。

これらの作業手順を、図一七に示す。

PC板取付作業の微調整は、補助吊り装置のみを使用して行なうため、タワークレーンは次の揚重作業に移ることが可能となり、作業能率が約20%向上した。

また、タワークレーンの吊りフックが建物へ接触することを防止できたほか、作業員が建物の外へ身を乗り出す必要がなくなり、安全性も格段に向上した。

6. おわりに

今回開発したシステムや装置は、自動化レベルとしては必ずしも高くはないが、信頼性が高く、使用者から使い易いとの評価を得ており、作業や管理業務の省力化、

作業の安全性や建物の品質の向上に大きく寄与した。

鉄筋工事に関しては、作業の上流である管理業務の自動化や情報の一元化を含めたシステムの枠組作り(CAD/CAMシステム)が重要であった。自動化装置はオンライン制御されていないが、装置に必要な作業情報をオフラインで付帯することでもそれぞれの装置や作業が連係し、十分機能した。むしろ、作業環境が悪く変動要因の多い建築現場に向いていると評価できる。

なお、本報で紹介された一連の自動化システムの開発は、建設用ロボット研究開発グループにおける研究開発の一環として、技術研究所、機械部、情報システムセンター、工務部、設計部、特殊工法部及び桜宮工事事務所の協力の下に行なわれた。同開発技術の導入・評価にあたり、桜宮工事事務所、本店工務部から、実務上の貴重な意見やデータの提供を受けた。

参考文献

- 1) 八木, 他: チューブ構造による41階建 RC 建物の耐震設計 (その1), 日本建築学会大会学術講演会梗概集, p. 767~768, (1989. 10)
- 2) 脇坂: 開発担当者からみたロボット化施工の条件, 第4回建築施工ロボットシンポジウム予稿集, 日本建築学会, p. 62~65, (1990. 2)
- 3) 松並, 他: CAD システムの開発と現場への適用, 第4回建築施工ロボットシンポジウム予稿集, 日本建築学会, p. 1~10, (1990. 2)
- 4) T. Wakisaka et. al: Automatisation of Reinforcement Work in High-Rise Reinforced Concrete Buildings, 7th I. S. A. R. C (U. K), p. 79~86, (1990. 6)
- 5) 汐川, 他: 超高層 RC 建築物における施工の自動化(その1), 第1回建設ロボットシンポジウム論文集, 日本建築学会, p. 163~168, (1990. 6)
- 6) 脇坂, 他: 超高層 RC 建物(41階)における施工の自動化(その1), 日本建築学会大会学術講演会梗概集, p. 761~762, (1990. 10)
- 7) 汐川, 他: 超高層 RC 建物(41階)における施工の自動化(その2), 日本建築学会大会学術講演会梗概集, p. 763~764, (1990. 10)
- 8) 菱河, 他: 超高層 RC 建物(41階)における施工の自動化(その3), 日本建築学会大会学術講演会梗概集, p. 765~766, (1990. 10)
- 9) 井上, 他: 超高層 RC 建物(41階)における施工の自動化(その4), 日本建築学会大会学術講演会梗概集, p. 767~768, (1990. 10)
- 10) 浜田, 他: 超高層RC建物(41階)における施工の自動化(その5), 日本建築学会大会学術講演会梗概集, p. 769~770, (1990. 10)
- 11) 藤井, 他: 超高層 RC 造集合住宅における施工の自動化・省力化, 第5回建築施工ロボットシンポジウム予稿集, 日本建築学会, p. 49~56, (1991. 2)
- 12) 井上, 他: 壁パネル取付けロボット「パネラー」, 建設機械と施工法シンポジウム論文集, 日本建設機械化協会, p. 86~89, (1991. 11)