ビル自動化施工システムにおける作業実績データの収集方法とその分析結果

COLLECTION METHOD OF THE WORK RESULTS IN BUILDING AUTOMATION ON CONSTRUCTION SYSTEM AND THE RESULT OF ANALYSIS

汐川 孝 — *1

キーワード:

全天候, 自動化施工, 作業分析, 習熟効果

Keywords:

All weather, Automated construction, Work analysis, Learning effect

Takashi SHIOKAWA — *1

For the purpose of construction plan and management of building automation construction system, the total construction management system was developed. In this inside, the method for automatically recording work time and operation content by the crane was developed, and it was applied to the actual construction site. The method of data collection and result of analysis of got data are reported.

1. はじめに

建築生産の合理化を目指して、建築現場を部材の組立を中心とした施工工場として整え、工場製作された建物部材を組み立てる施工システムの開発を1990年頃より進めてきた。この施工システムは、雨や風の自然現象の影響を受けずに安定した作業環境の中で、部材の搬送・組立や接合作業に自動化機械を使用し、少ない人数で、短工期で、高品質の施工を行うことを目指している^{1), 2)}。

自動化機械を利用して、建物部材を組み立てるために、工場からの部材の搬送の指示やその組立の作業スケジュールなどの計画と管理を行う総合施工管理システムを開発し、適用している。この中で、自動化機械による作業内容や作業時間、機械の不具合を自動的に記録し、報告する機能を開発した。本報では、部材単位の作業実績データの収集方法およびそれによって得られた実績の分析結果について報告する。

2. ビル自動化施工システムの概要

2.1 開発の狙い

本システムは、鉄骨構造の高層建物を対象とし、建築現場における作業の大部分を機械化・自動化することにより、大幅な省力化と高い生産性の向上を目指している。その主なねらいを以下に示す。

- ①雨や風による影響を受けない作業環境下で、安定した工程と作業性を確保
- ②機械化に適した構工法の採用により、現場作業の単純化
- ③自動化や機械化による省力化、品質向上、安全性の向上
- ④IT利用による管理業務の省力化
- ⑤残材や梱包材の削減による環境負荷の低減など

2.2 基本構成

図1に示すように本システムの基本構成は、以下のとおりである。

- ①屋根架橋設備：建物の最上階の構造フレームを利用し、全天候型の作業空間を構築し、この中にこの設備を移動するクライミング装置や揚重・搬送設備を配して、仮設の施工工場（SCF：Super Construction Factory）としている。
- ②クライミング装置：この仮設の施工工場をせり上げて、次の作業空間を構成するための移動装置を言う。
- ③揚重・搬送設備：建物部材を揚重し、組み立てる設備で、垂直搬送と水平搬送を並列で行うように、貨物リフトおよび自動天井クレーン（ここでは、以下SCFクレーンと称する）で構成している。
- ④総合施工管理システム：このビル自動化施工システムによる施工

図1 ビル自動化施工システムの基本構成

*1 ㈱大林組技術研究所建築生産システム研究室 室長
(〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)

*1 General Manager, Obayashi Corporation, Technical Research Institute

御プログラムに無線で通知された。同プログラムは、②その部材のSCFクレーン運転データをクレーン制御PLCに転送し、これに基づいて、③クレーンが自動運転された。その運転内容は、SCFクレーン運転制御プログラムに通知され、④作業内訳や作業時間、クレーン稼働内容をプロジェクト・データベースに記録し、状態の表示を行った。⑤工程管理プログラムでは、実績内容に応じて日程の再計算を行い、日程を自動更新する。⑥進捗管理表示プログラムは、作業進捗を三次元CADで表示した。⑦作業日程の再計算により、部材の搬入指示内容の更新を行ない、通知した。

4.3 実績データの内容

同システムでは、クレーンで組立てられる各部材毎の

- (1) 作業開始時刻
- (2) 作業時間 (サイクル時間)
- (3) 作業内訳毎の作業時間

が記録される。また、クレーン運転時の作業モード (自動、手動) および故障内容等を発生時刻とともに履歴を記録し、その集計報告を表示した。

作業内訳については、図3に示すようにSCFクレーンによる部材搬送・組立作業の内容を①リフト移動 (貨物リフト前までのクレーンの移動時間)、②玉掛け+建越し (作業員が玉掛けをして、クレーンによる建越しをするまでの時間)、③取付位置移動 (クレーンによる水平運搬の時間)、④位置合わせ (クレーンの手動運転による位置合わせ時間)、⑤HPリターン (クレーンのホームポジションまでの移動時間) で構成した。

5. 実績データ収集結果とその分析

5.1 各部材単位の作業時間

表2に主な建物部材の各階毎の平均作業時間を示す。表中で、CW (カーテンウォール) 部材およびALC部材の一部で、他施工法とあるのは、SCFクレーンの調整や解体のために移動式クレーンなど他の方法によって施工したもので、このシステムでの実績データがない部分である。

表2 各部材の平均作業時間

部材種類		3F	4F	5F	6F	7F	8F
鉄骨柱部材	平均	11.87	9.67	8.58	8.33	7.75	11.25
	偏差	3.87	0.88	2.15	2.47	1.92	4.35
	データ数	12	12	12	12	12	12
鉄骨梁部材	平均	8.37	7.89	5.95	7.2	6.4	5.62
	偏差	4.87	4.08	2.98	2.83	3.82	3.36
	データ数	64	55	66	66	66	66
PC床部材	平均	5.83	4.82	3.68	3.02	3.4	2.72
	偏差	1.6	0.93	2.23	1.1	1.33	0.85
	データ数	81	128	128	128	127	127
CW部材	平均	9.07	9.22	9	8.78	他施工法	他施工法
	偏差	3.63	4.97	4.02	3.9	-	-
	データ数	28	28	28	28	-	-
ALC部材	平均	他施工法	11.18	11.05	9.5	8.5	他施工法
	偏差	-	4.57	7.7	2.15	2.83	-
	データ数	-	22	22	22	22	-

(単位:分/部材)

図4 各階平均作業時間の推移

図5 累積平均作業時間 (習熟効果)

タがない部分である。調整を行った2階での施工を除いて、ほぼ全ての部材の作業時間を自動で収集できた。各部材の各階におけるバラツキは、習熟によるものおよび位置調整時の人手作業によるもの、最終階の作業手順の変更による影響が出ているものと思われる。

図4は、部材毎の各階における平均作業時間の変化を示したものである。階を重ねるに連れて、一部には作業時間が短縮する習熟効果が見られている。なお、鉄骨の柱部材において、8階での作業時間が増えているのは、施工工場の一部となっている最上階の鉄骨柱と下の階の柱との間を繋ぐ狭い作業空間での柱部材を挿入する作業となったために、作業時間が増加した。部材による作業時間のバラツキは、部材の取付作業時の位置調整の難易度による影響が現れている。外壁で調整の難しいCWやALC部材は時間が掛かっている。

図5は、繰り返しによる習熟効果を調べるために求めた累計平均作業時間の推移を示したものである。CW部材を除いて、習熟効果

図3 作業内訳の内容

が見られている。鉄骨柱部材では、習熟率（繰り返し数が2倍になった時の累計平均作業時間の率を言う）90.2%、鉄骨梁部材で91.1%、PC床部材で84.1%、ALC部材で92.5%、CW部材で99.6%となった。一般の建築工事における習熟率75~95%³⁾に比較して、運転の一部が自動化して時間が固定された部分があることから、習熟効果は小さくなっているものと思われる。

5.2 作業内訳

各部材の平均作業時間の内訳を全階について集計したものを図6に示した。作業内訳では、躯体部材（鉄骨部材およびPC床部材）と仕上げ部材（CW部材およびALC部材）の取付作業で大きな違いが見られる。CW部材では、仮設施工工場の外周足場と躯体の間における狭い空間を移動して、下階の位置に取り付けるために、移動に制約が多く、時間が掛かった。また、ALC部材も外壁として取り付けるために、CW部材と同様に所定場所までの移動に時間が掛かった。この結果を受け、その後のビル自動化施工システムの構工法計画では、外壁や内壁の施工方法の改善を行った。

5.3 SCFクレーン稼働内容

SCFクレーンの稼働時間および稼働内容の記録より、各階毎の稼働時間の累計、その内訳をまとめ、図7に示した。4階の施工では、作業の公開を行ったために作業中断が頻繁に入り、作業日数も稼働時間も長くなった。また、初期故障もこの時期をピークに生じており、その後発生や故障停止時間が少なくなっている。平均で、1階当たりのクレーン稼働時間は、90.5時間となった。4階以降、繰り返されることで、稼働時間が減少している。ただし、8階では、先に記述したように限られた作業空間での鉄骨組立作業となり、作業時間が長くなったこと、一部解体作業が入り、稼働時間が増えた。

5.4 SCFクレーン故障内容

図8にSCFクレーンの故障原因別発生頻度に基づく、パレート図を示す。故障原因の内、PLC2（横行制御）、PLC3（旋回制御）、PLC1（PLC2、3の統括制御）およびリンク（通信）異常など制御系の不具合で全体の60%を占めた。PLCは機械制御を行うコンピュータデバイスで、自動運転や制御における重要な要素であり、自動運転の中心的役割を果たす。各装置との通信不良や運転プログラムのバグなどが初期には多かった。しかし、これらは1~2回の繰り返しの中でほぼ解決できた。

6. まとめ

ビル自動化施工システムは、自動化技術や情報化技術を活用し、現場作業の簡素化、省力化、工期短縮を実現しているが²⁾、一方で、総合施工管理システムにより

- 1) 部材単位での作業実績データをほぼ自動的に収集・蓄積することができ、各部材の平均作業時間や、習熟効果など、今後の計画や作業改善に必要な情報を得ることができた。
- 2) SCFクレーンの稼働や故障内容の実績データも自動で収集・蓄積することが出来き、その後の機械の性能向上や制御方法の改良などに活用できた。
- 3) また、今後の自動化施工システムの改善や発展に寄与するために、得られた作業実績の分析結果を報告した。

図6 平均作業時間の内訳（全体集計）

図7 クレーン運転時間の内訳

図8 SCFクレーン故障内容

謝辞

本報告は、全自動ビル建設システムの社内研究開発グループ（大川グループリーダー他）と共に実施した調査データに基づいて取りまとめたものであり、関係者の協力に感謝いたします。

参考文献

- 1) 建築生産自動化省委員会：コンストラクション オートメーションー建築施工自動化の現状と将来展望ー，日本建築学会，pp.103-118，2001.8
- 2) 汐川 孝：ビル自動化施工システムの開発と適用に関する研究（その1ー改善プロセスの分析とその工程・作業工数による評価），日本建築学会構造系論文集，No.582，pp.15-22，2004.8
- 3) 室 英治：設計施工競技による芦屋浜団地建設に関する調査報告（現場労務工数と揚重機の使用効率），日本建築学会論文集，No 313，pp.145-154，1982.3

[2006年4月20日原稿受理 2006年7月27日採用決定]