

4. RC造建物の自動化施工における 並列搬送システムの開発

(株)大林組：*堂山 敦弘，栗田 庸平，池田 雄一

1. はじめに

近年、建設各社では建設現場の生産性向上、労働力不足、作業環境の改善などを図る方策の一つとして全天候型の自動化建設工法の開発を進めている。このような状況の中で、当社ではトータル生産性の向上を目的として、鉄骨造対象の全自動ビル建設システム¹⁾の開発・実用化や高層RC造建物対象の自動化建設システム²⁾(以下、RC自動化建設システムと称す)の開発を進めてきた。

本報では、RC自動化建設システムの概要とシステムを構成する要素技術の一つである並列搬送システムの機能・特徴、および現場への適用結果について述べる。

2. RC自動化建設システムの概要

RC自動化建設システムは、(a)同調クライミング式の全天候仮設屋根架構、(b)貨物リフトと天井クレーンによる並列搬送システム、(c)部材のプレファブ化とユニット化、(d)施工図CADにリンクした資材総合管理システム、の4つの要素技術から構成されている。RC自動化建設システムを3件の工事に適用した結果、高い生産性や工期の短縮、作業環境の改善等の成果を確認し、さらにシステムの改良を重ねている。表1にシステムを適用した工事の概要を、写真1に各工事の外観を示す。

表1 RC自動化建設システム適用工事の概要

	Y工事	K工事	H工事
施工場所	千葉県八千代市	福岡県福岡市	兵庫県神戸市
工期	1995年1月～ 1997年2月	1996年9月～ 1998年3月	1997年4月～ 1999年6月
建物規模	地上26階 地下1階	地上20階	地上33階 地下1階
延床面積	25,540m ²	12,641m ²	28,505m ²
最高高さ	GL+90.5m	GL+69.1m	GL+114.25m



Y工事



K工事



H工事

写真1 システム適用現場の外観

3. 並列搬送システムの概要

並列搬送システムでは、部材の据え付け場所までの搬送行程を貨物リフトによる垂直搬送と天井クレーンによる水平搬送に分割し、これらの設備が同時に稼働する。この結果、(1)タワークレーンによる搬送よりも作業員の手待ち時間が減少する、(2)垂直搬送の設備が1基でまかなえる、といった効果が期待できる。Y工事とK工事において採用した並列搬送システムを並列搬送Aタイプと称し、H工事において採用した並列搬送システムを並列搬送Bタイプと称す。各並列搬送システムの構成機械の仕様を表2に、平面配置を図1に示す。

表2 並列搬送システムの構成機械仕様

	並列搬送Aタイプ	並列搬送Bタイプ	
貨物リフト	積載重量	6.0t	7.5t
	昇降速度	40~60m/min	55m/min
	荷台寸法	(幅)2500mm×(長さ)9630mm	(幅)2500mm×(長さ)9000mm
	電動機	インバータモータ55Kw×2	DCブラシレスサーボモータ 60Kw×4
天井クレーン	制御方式	インバータ制御方式	同調制御方式
	巻上	2~23m/min	1.2~17m/min
	走行	建方: 40m/min 搬送: 30m/min	50m/min
	横行	33m/min	40m/min
	旋回		1.0rpm
	定格荷重	建方: 7.5t 搬送: 7.5+7.5t	8.0t

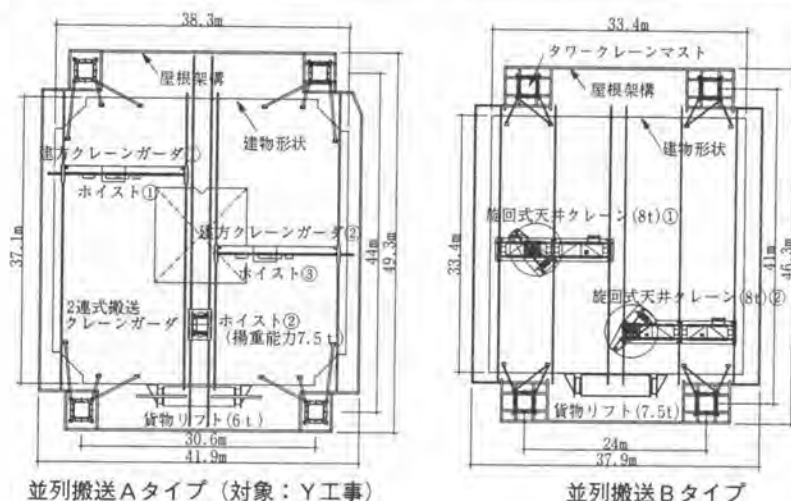


図1 並列搬送システム構成機械の平面配置

3.1 並列搬送Aタイプ

並列搬送Aタイプでは、部材の搬送に貨物リフトと乗移り式天井クレーンを使用する。貨物リフトは部材の垂直方向の搬送をおこなう。貨物リフトは昇降荷台、駆動部、ポストから構成される。駆動部は地上に設置され、ウィンチとインバータモータから構成される。昇降荷台は駆動部のワイヤー巻き取り・繰り出し動作にしたがって、ポストに沿って昇降する。乗移り式天井クレーンは施工階での水平搬送と建方をおこなう。乗移り式天井クレーンの構成は2連式搬送クレーン1基、建方クレーン2基、電動横行ホイスト3基、および無線操縦装置3台である。貨物リフトからの荷の吊上げ、および建方位置までの搬送の一部は中央の搬送クレーンがおこなう。左右の建方クレーンは荷を吊ったホイストを搬送クレーンから受取り、荷の搬送と建方をおこなう。図2(a)に示すように、搬送経路はラフテレーンクレーンから搬送クレーンまでは1本であり、乗移り以降2本となる。

3.2 並列搬送Bタイプ

並列搬送Bタイプでは、部材の搬送に貨物リフトと旋回式天井クレーンを使用する。貨物リフトは部材の垂直方向の搬送をおこなう。貨物リフトは昇降荷台、駆動部、ポストから構成される。駆動部は、昇降荷台下部に設置され、ピニオンギアとピニオンギアを駆動するサーボモータから構成される。昇降荷台はピニオンギアの動作によって、ポストに付いているピンラックに沿って昇降する。旋回式天井クレーンは施工階での水平搬送と建方をおこなう。旋回式天井クレーンの構成は本体クレーン2基と無線操縦装置2台である。図2(b)に示すように、搬送経路はラフテレーンクレーンから貨物リフトまでは1本であり、貨物リフト上での玉掛け以降2本となる。

なお、タワークレーン(2基)の搬送経路は、図2(c)に示すように地上での玉掛けから施工階での建方まで2本である。

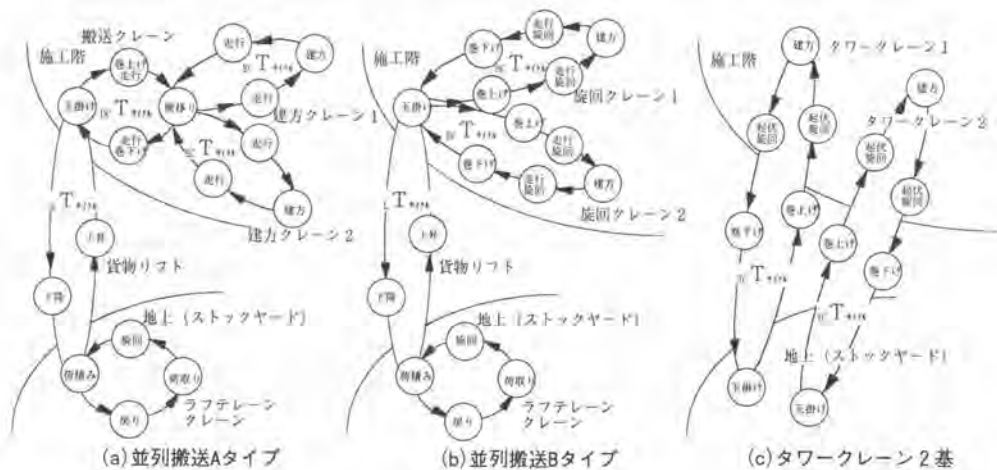


図2 部材搬送の流れ

4. 並列搬送システムのサイクルタイム

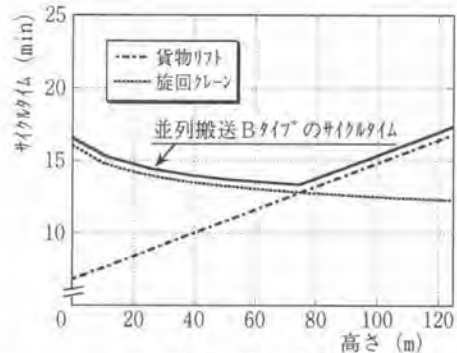
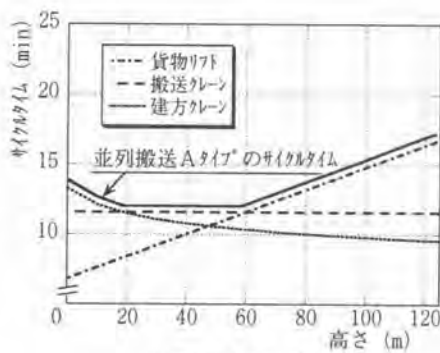
RC自動化建設システムを開発するにあたって、タワークレーンと並列搬送システムのサイクルタイムを比較・検討した。

4.1 サイクルタイムの算出

並列搬送システムは、複数の搬送機械間で部材を受け渡して搬送する。このため、各搬送機械のサイクルタイムのうち最大値がシステムのサイクルタイムとなる。また、各機械設備の台数が異なるため、少数の機械設備は、多数の機械設備に対する台数差分を負担する必要がある。並列搬送システムの各搬送機械のサイクルタイムは式(1)で表すことができる。したがって、並列搬送システム全体のサイクルタイムは式(2)に示すように各機械のサイクルタイムの最大値となる。一方、タワークレーンのサイクルタイムは台数によらず一定であり、その値は式(3)で表せる。式(1)~(3)における記号の左下の添え字は機械を、右下の添え字は図2に示した作業内容を示す。式(2)で貨物リフトと搬送クレーンのサイクルタイムを2倍にして、最大値を選択しているのは、建方クレーンとの台数差を考慮してのことである。式(1)において、貨物リフトの昇降時間 $[L T_{\text{上昇}}]$ 、 $[L T_{\text{下降}}]$ は施工階が高くなるにしたがって増加する。また、部材の建方時間 $[E c T_{\text{建方}}]$ 、 $[B c T_{\text{建方}}]$ は施工が進捗し、建方

作業者が習熟するにしたがって減少し、その減少の推移は式(4)で示す対数線形モデルを用いて表現できる³⁾。式(1)に示す他の記号で表した時間は、部材の種類や機械の仕様から求めた。各搬送機械のサイクルタイム算出値と施工階高さとの代表的な関係を図3に示す。図3中の建方クレーンと巡回クレーンのサイクルタイムが施工階が高くなるにしたがって、減少しているのは建方作業の習熟効果が考慮された結果である。図3で示した各搬送機械の数値のうち、同一施工階高さでのサイクルタイムが最も大きい数値(実線)が、並列搬送システムのサイクルタイムとなる。

貨物リフトサイクルタイム $[LT_{\text{サイクル}}] = [LT_{\text{荷揚げ}}] + [LT_{\text{上昇}}] + [LT_{\text{下降}}]$	}	(1)
搬送クレーンサイクルタイム $[DC T_{\text{サイクル}}] = [DC T_{\text{取上げ}}] + [DC T_{\text{巻上げ・走行}}] + [DC T_{\text{乗降り}}] + [DC T_{\text{走行・巻下げ}}]$		
建方クレーンサイクルタイム $[EC T_{\text{サイクル}}] = [EC T_{\text{乗降り}}] + [EC T_{\text{走行}}] + [EC T_{\text{建方}}] + [EC T_{\text{走行}}]$		
巡回クレーンサイクルタイム $[BC T_{\text{サイクル}}] = [BC T_{\text{取上げ}}] + [BC T_{\text{巻上げ}}] + [BC T_{\text{巡回・巡回}}] + [BC T_{\text{建方}}] + [BC T_{\text{巡回・巡回}}] + [BC T_{\text{巻下げ}}]$		
並列搬送Aタイプサイクルタイム $[HA T_{\text{サイクル}}] = \text{Max}([LT_{\text{サイクル}}] \times 2, [DC T_{\text{サイクル}}] \times 2, [EC T_{\text{サイクル}}])$		
並列搬送Bタイプサイクルタイム $[HB T_{\text{サイクル}}] = \text{Max}([LT_{\text{サイクル}}] \times 2, [BC T_{\text{サイクル}}])$	}	(2)
タワークレーンサイクルタイム $[TC T_{\text{サイクル}}] = [TC T_{\text{取上げ}}] + [TC T_{\text{巻上げ}}] + [TC T_{\text{巡回・巡回}}] + [TC T_{\text{建方}}] + [TC T_{\text{巡回・巡回}}] + [TC T_{\text{巻下げ}}] \dots$		
部材の建方時間: $[T_{\text{建方}}] = t_1 x^n \dots \dots \dots$ (4)		
※Lは貨物リフト, DCは搬送クレーン, ECは建方クレーン, BCは巡回クレーン, HAは並列搬送Aタイプ, HBは並列搬送Bタイプ, TCはタワークレーンを示す。; t_1 は第1回目の建方時間, x は繰返し回数, n は習熟係数を示す。; $\text{Max}(a,b,c)$ で示した関数は、 a,b,c のうち最大のものを選択することを表す。; 各搬送機械の動作時間は表2に示した仕様から算出した。タワークレーンの動作時間は、JCC-200Wを参考に算出した。		



並列搬送Aタイプ 並列搬送Bタイプ
 図3 施工階高さと各搬送機械のサイクルタイムの関係

4.2 サイクルタイムの比較・検討

並列搬送システム(Aタイプ、Bタイプ)とタワークレーン2基のサイクルタイムを施工階高さに関連づけて図4に示す。図には各工事の最高施工階高さも示した。第1回目の建方時間 t_1 として、5分、10分、20分の3ケースを想定して示した。図4より、以下のことが確認できる。

- (1) 並列搬送システムAタイプとBタイプのサイクルタイムは低層階ではことなるが、施工階高さがある一定値を超えると等しくなる。

(2)建方時間 t_1 が長い場合、低層階においては、並列搬送システムAタイプのほうがBタイプより有利となる。

(3)建方時間 t_1 が長くなるにしたがって、並列搬送システムのほうがタワークレーンのほうが有利となる。

(4)施工階が高くなるにしたがって、タワークレーンのほうが並列搬送システムより有利となる。

(1)の理由は、図3で示したように施工階高さがある一定値以上になると、貨物リフトのサイクルタイムが並列搬送システムのサイクルタイムとなるためである。(2)の理由は、並列搬送Aタイプでは、建方中に搬送クレーンでの搬送がおこなえるため

である。(3)の理由はタワークレーンでは、部材搬送と建方が連続しておこなわれるのに対して、並列搬送システムでは部材の建方中でも部材搬送がおこなえるためである。(4)の理由はタワークレーンでは垂直搬送を2基でおこなうのに対して並列搬送システムでは1基(貨物リフト)でおこなうためである。

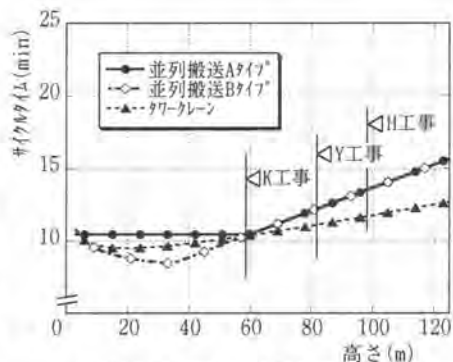
PCa工法では、第1回目の建方時間 t_1 は10分以上となることが過去の実績から確認されており、また、対象工事の最高高さが100m以下であることを考慮すると、上記(1)~(4)より、対象工事では、タワークレーンよりもRC自動化建設システムを適用したほうが有利であると判断した。

5. システムの適用結果

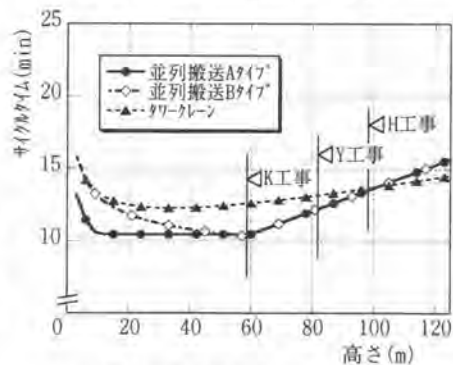
5.1 サイクルタイムの推定と実績との比較

Y工事とH工事における柱と梁部材のサイクルタイムの実績と、両工事のサイクルタイムの推定値を図5に示す。推定値の算出にあたり、式(2)中に用いる第1回目の建方時間 t_1 および $[T_{\text{玉掛け}}]$ 等の各作業時間には、両工事の作業実績より得られた値を用いた。Y工事の施工実績にもとづく作業改善により、H工事の t_1 の値はいずれの部材もY工事よりも小さくなった。

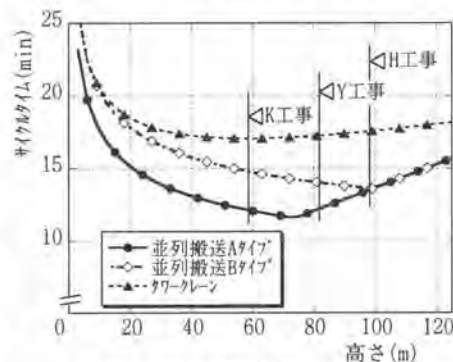
実績値との比較から、並列搬送AタイプのY工事の実績値は推定値を下まわった点や、並列搬送BタイプのH工事の柱部材の実績値は、 $[L T_{\text{ホイッスル}}]$ が推定値よりも低層階から最大となった点など、細部に若干の相違が見られるものの、推定値はほぼ実績と対応している。以上により、第1回目の作業時間 t_1 と各作業時間を適切に仮定することにより、両並列搬送システムのサイクルタイムは式(2)によって推定可能と考えられる。



(a) 第1回目の建方時間 $t_1 = 5$ 分



(b) 第1回目の建方時間 $t_1 = 10$ 分



(c) 第1回目の建方時間 $t_1 = 20$ 分

図4 施工階高さとサイクルタイムの関係

5.2 並列搬送システムとタワークレーンの比較

Y工事における23階施工時の部材建方時間を、タワークレーンJCC-200H 2基を用いて施工された他工事の施工実績と比較し、図6に示す。この比較した工事ではY工事と同様のPCa工法を採用している。図8から、23階施工時の並列搬送システムの建方時間はタワークレーンJCC-200H 2基の約80%となり、23階施工時の並列搬送システムの搬送能力はタワークレーンJCC-200Hの2.5基分であることが確認できる。なお、並列搬送システムがタワークレーンより優れている点として、作業者の手待ち時間が少なくなることがあげられる。

6. まとめ

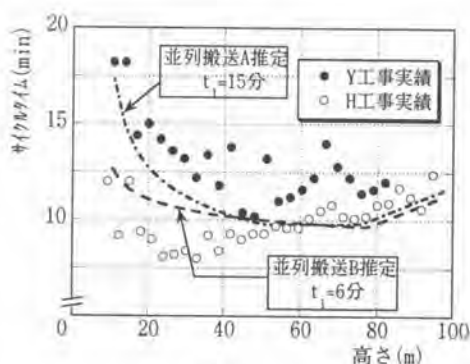
RC自動化建設システムを3つの実工事に適用し、2種類の並列搬送システムについて、考察および稼働状況の調査をおこなった。その結果、以下のことを確認した。

- (1)第1回目の建方時間 t_1 や搬送・玉掛け等の作業時間を用いて、並列搬送システムのサイクルタイムを推定し、適切な機械仕様を設定することにより、効率のよい搬送・建方を実現することができた。
- (2)並列搬送システムの搬送・建方効率はタワークレーンの2基以上に相当し、天候に左右されない快適な作業環境のもとに、工期の短縮をはかることができた。

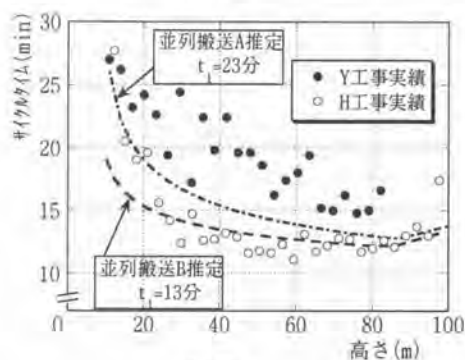
今後は並列搬送システムをさらに改善し、システムを発展させていく予定である。最後に、開発・適用にあたって協力をいただいた関係者各位に対し、深く感謝する次第である。

<参考文献>

- 1)森, 他:全自動ビル建設システムの開発, その1~3, 日本建築学会大会梗概集, 日本建築学会, 1993.9
- 2)脇坂, 他:RC自動化建設システムの開発, その1~10, 日本建築学会大会梗概集, 日本建築学会, 1996.9; 1997.9; 1998.9
- 3)作業能率測定指針, 日本建築学会, 1990.2



(a)柱



(b)梁

図5 施工階高さとサイクルタイムの関係

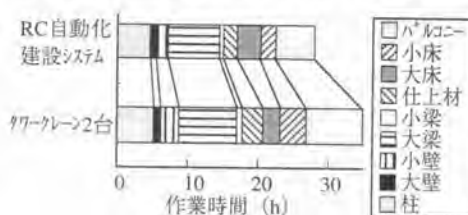


図6 サイクルタイムの比較