

全自動ビル建設システムの開発 (その2)

—— 鉄骨造高層事務所ビルへの適用結果 ——

浜田 耕史 汐川 孝 古屋 則之 栗田 康平
大島 勝之 宮川 宏 池田 雄一 落合 諄一
(建築事業本部 生産技術部) (同) (同) (N工事事務所所長)

Development of an Automated Building Construction System (Part 2)

—— Application to a Structural-Steel High-Rise Office Building ——

Koji Hamada Takashi Shiokawa Noriyuki Furuya Kohei Kurita
Katsuyuki Ohata Hiroshi Miyakawa Yuichi Ikeda Jyunichi Ochiai

Abstract

ABCS, an automated building construction system, has been developed for construction of high-rise structural-steel buildings. SCF (Super Construction Factory), an all-weather automated construction factory, comprises automated delivery equipment mounted on top of buildings under construction. The SCF is raised with construction progress by automated climbing equipment. This automated equipment comprises computer controlled. ABCS has been applied to construction of a 26-story structural-steel high-rise office building after application to construction of a dormitory. From results in construction of the high-rise office building, the authors found that ABCS reduces manpower and improves working and environmental conditions compared with conventional construction methods.

概要

全自動ビル建設システム (ABC S : Automated Building Construction System) は、鉄骨造の高層建物を対象にした全天候型ビル自動化建設システムである。各種の自動化搬送設備を搭載した自動化工場部分であるSCF (Super Construction Factory) を工程の進捗にあわせて順次上階へクライミング装置によって上昇させる。これらのハードウェアと、それらをコンピュータによって一元管理するソフトウェアとが統合された建設システムである。都内の独身寮新築工事 (S工事) への初めての適用に続き、各種の改良を重ねて26階建て事務所ビルの新築工事 (N工事) に適用された。N工事に適用した結果、在来工法と比べ約4割の省力化効果が得られるなど、ABC Sの効果が明らかとなった。

1. はじめに

全自動ビル建設システム (ABC S : Automated Building Construction System) は、鉄骨造の高層建物を対象とした全天候型ビル自動化建設システムであり、鉄骨や外装等の取付にタワークレーンとは異なった搬送システムを採用すると共に、作業空間をシェルターで覆って全天候化し、自動化・情報化技術を融合したものである。1993年4月から7月にかけて、東京都内の地上10階建て独身寮棟新築工事 (S工事) に適用した。この結果、ABC Sは、天候に左右されない快適な作業環境の確保、資材の搬送・組立作業および鉄骨材の溶接作業の自動化による省力化などを実現したことが分かった¹⁾。

S工事の適用後、地上26階建ての本格的な高層事務所ビル新築工事 (N工事) への適用に当たり、S工事の適用実績やN工事の規模に合わせて主要な構成要素の見直し

を図り、ABC Sの改良を行ってきた。本稿では、N工事への適用結果を中心に報告する。

2. 適用工事の概要

ABC S適用工事の概要は、table 1に示すとおりである。高層棟 (26階) ・低層棟 (4階) ・人工地盤から構成される。高層棟の基準階は、平面的に9 m×9 mの基本グリッドからなり、両サイドにコアを配置した事務室と、それに付属するエレベータ棟で構成される。

ABC Sは高層棟7階から26階のエレベータ棟を除く基準階に適用された。在来工法による第4節 (5~7階) の鉄骨建方、床コンクリート打設の終了後、SCFの構築が1998年10月から開始され、12月からABC Sの本格的な稼働が始まった。翌年5月に最上階に到達したSCFは、機械装置を取り外し、その構造体を建物の最上階

として使用した。

3. ABC Sの概要

3.1 システムの基本構成

ABC Sの主な構成要素は作業空間を覆う構造体と、並列搬送システムである。作業空間を覆う構造体はSCF (Super Construction Factory)と呼ばれ、ABC Sの自動化工場部分である。SCFは全天候型の屋根と足場を兼ねた外周架構から構成され、建物本体の鉄骨柱柱頭に建てられたクライミング支柱によって支えられる。並列搬送システムは、フォークリフト・貨物リフト・天井クレーンの搬送設備から構成され、それぞれストックヤードからリフトまでの水平搬送、地上から作業階までの垂直搬送、作業階での水平搬送を分担する。

躯体工事と外装工事はSCFの内部で天候に左右されずに行われ、1階分の施工が終了すると、支柱に組み込まれたクライミング装置によりSCFが1階分上昇する。これを繰り返すことによりビルを建設する。

ABC Sの概要についてFig.1に断面を、Fig.2に平面をそれぞれ示す。また、ABC Sの内観写真をPhoto 1に、外観写真をPhoto 2に示す。

3.2 主要な機械設備

(1) SCF SCFは、屋根とシートで覆われた外周架構によって、Photo 1のように雨や風に影響されることなく建築作業が可能な空間を形成している。SCFは幅33m、奥行き96m、高さ28mの大きさで、クライミング装置、SCFクレーン等を含めた全装備重量は約2,200tである。SCF骨組の主要部分は本体構造の屋上階を使用し、最終的に本体建物となる。N工事では7階からABC Sを適用するため、7階床上でSCFの組立てを行った。

(2) クライミング装置 本体鉄骨柱頭に建てられたクライミング支柱は、Fig.1に示すようにSCF骨組みを貫通し、上部にクライミング装置が設置されている。S工事では、全ての本体柱にクライミング装置を設置したが、今回はクライミングステップを工夫し、クライミング装置を半分の数量でまかなうことができる方式を採用した。クライミング機構そのものも、前回のラック・ピニオン方式からベアロックジャッキ方式に変更し、装置をコンパクトにすることでSCFへの負荷を軽減した。

(3) SCFクレーン SCFクレーンは、作業階において鉄骨柱・梁、PC床板、妻側外装パネルの搬送・取付けを行う天井クレーンで、横行・走行等の動作はあらかじめプログラムされた自動運転で行うことができる。SCFクレーンの操作は、無線による遠隔操作による手動運転も行うことができる。SCFクレーンは、各スパンに1基ずつ合計3基設置した。鉄骨柱を吊る両端のクレーン2基は吊り能力13.0tで旋回式アーム(Photo 3)を備え、中央のクレーンは吊り能力7.5tでアームが横にスライドする機構(Photo 4)である。いずれのSCFク

レーンも走行・横行・巻き上げ下げ等の動作速度を、S工事に比べ大幅に向上させた。

(4) 貨物リフト 並列搬送システムにおいて、貨物リフトは1階から躯体施工階まで、鉄骨部材やPC床板等の垂直揚重を行うための搬送設備である。N工事では荷台長さが8.0m、幅が2.5mと大型の貨物リフトを2基設置した。いずれも積載荷重が13.0t (S工事：5t)、資材積載時の上昇最高速度が70m/min (S工事：40m/min)とS工事に比べ能力アップを図った。

S工事では建物の外部に貨物リフトを設置したが、N工事では外装材の仕様などの点から、建物内部に仮設開口を設けて設置した。このため、柱や梁鉄骨などの長尺材を貨物リフトの前まで水平搬送するために、軌道式の

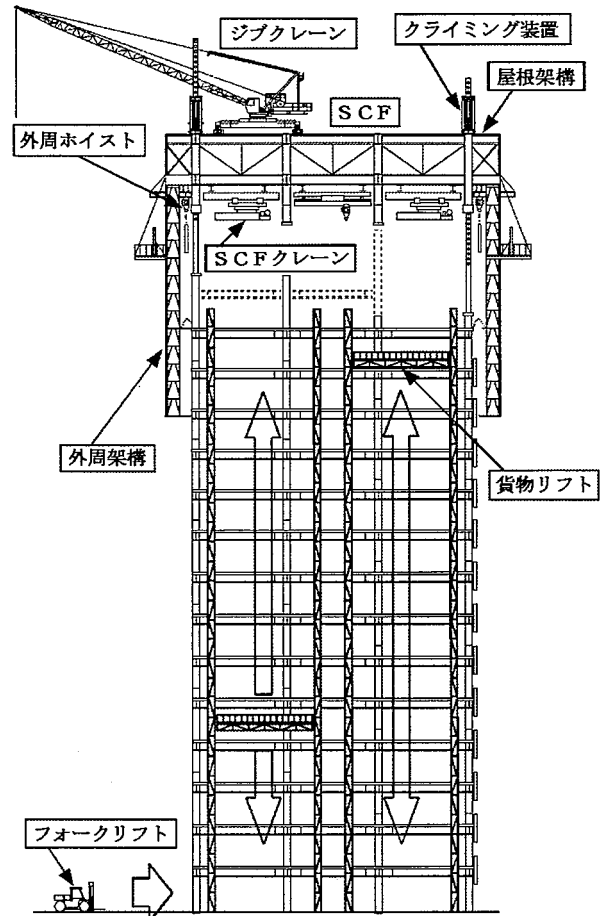


Fig. 1 ABC S概要図(断面)
Abstract of ABC S (Section)

Table 1 N工事の概要
Abstract of N Project

構造	地下：SRC造、一部RC造 地上：S造、一部SRC造
用途	事務所
階数	地上26階、地下2階、塔屋2階
延床面積	79,752.4m ²
基準階面積	約2,700m ²
基準階階高	4.0m
工事場所	神奈川県川崎市
工期	1997年10月1日～2000年1月31日
ABC S稼働期間	5ヶ月

水平搬送台車（トラバーサ）を別途2台設置した。

(5) ジブクレーン ジブクレーン（JCC-120N）を Fig. 1 に示すようにSCFの上に設置した。ジブクレーンはSCFの仮設部分の解体、SCF側面に設置した跳ね出し構台までの外装パネルの揚重のほか、SCFで覆われていないエレベータ棟の鉄骨建方を行った。

(6) 外周ホイスト 外装はPCパネルとアルミパネルであるが、桁行方向の大型PCパネルは、Photo 5に示すような外周に設置した専用のホイストによって取付けた。ホイストは定格荷重4.8 tのものを2機連動させて使用した。S工事中では外装材取付作業もSCFクレーンによって行ったが、N工事中では外装材の搬送・取付に別系統の設備を用いることで、鉄骨材やPC床板などの主要資材の搬送・取付作業の負荷の低減を図った。

3.3 ABC S総合管理システム

ABC S総合管理システムは、①生産管理システム、②設備運転管理システム、③機械制御システムの3つのシステムで構成される。制御室をPhoto 6に示す。

生産管理システムは、設計CAD情報を施工モデルに変換し、各部材の現場搬入や取付けなどのスケジューリングと実績管理を行うものである。実績管理では設備運転システムから送られてくる情報をもとに、Fig. 3のように進捗状況を3次元でパソコン上に表示した。

設備運転管理システムは、SCFクレーンの自動運転を支援するシステムである。自動運転データは、生産管理システムで計画したスケジュールに基づいて、あらかじめ作成されており、部材に貼り付けられたバーコードを読み取ることにより部材を識別し、運転データに従い取付位置までクレーンで自動搬送される。Fig. 4に示すように運転状況はリアルタイムで表示され、複数のクレーンの稼動状況を中央制御室のパソコン上で常時把握することができる。

機械制御システムは、クライミング装置の運転制御を行うシステムで、中央制御室に設置された操作盤からSCFのクライミングをコントロールする。

4. ABC Sの適用結果

4.1 タクト工程

タクト工程表をFig. 5に示す。図中のN階が躯体工事の施工階であり、直下のN-1階、N-2階が外装工事の施工階である。これらN階からN-2階までをSCFが覆っている。N階では、スライド式クレーンの走る中

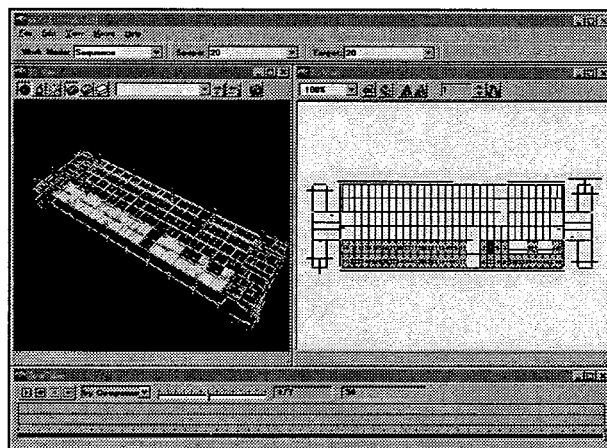


Fig.3 3次元CADによる進捗管理画面
Progress Control with 3-D CAD

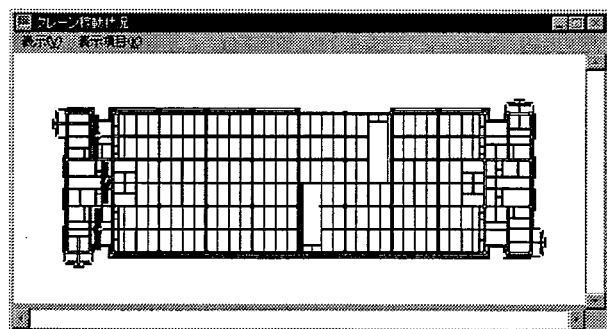


Fig.4 SCFクレーン稼動状況のモニタリング画面
Monitoring for SCF Cranes

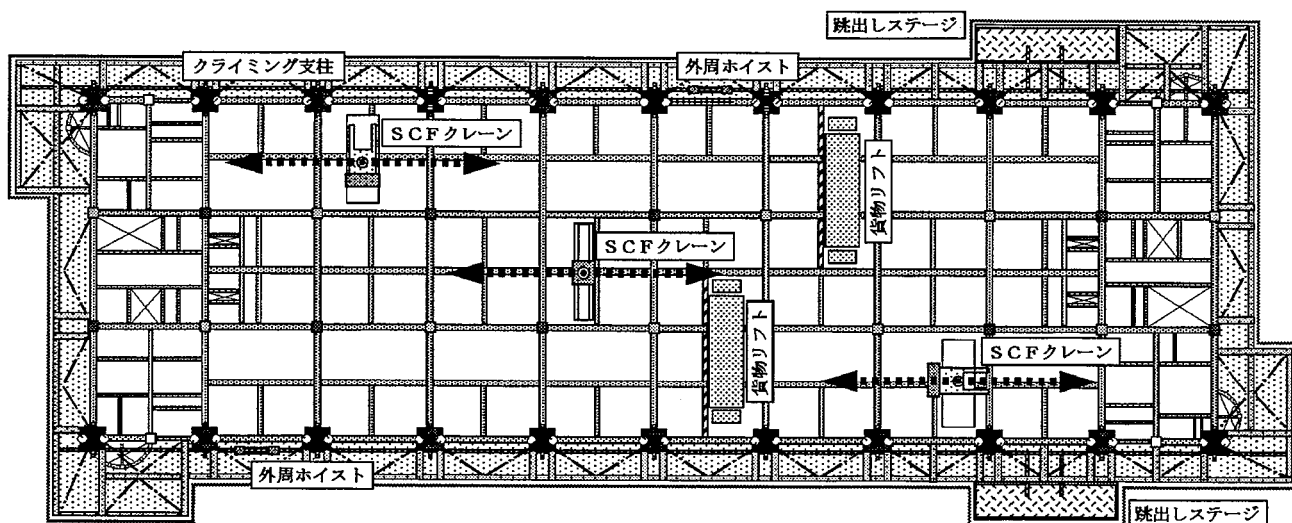


Fig. 2 ABC S概要図(平面)
Abstract of ABC S (Typical Floor Plan)

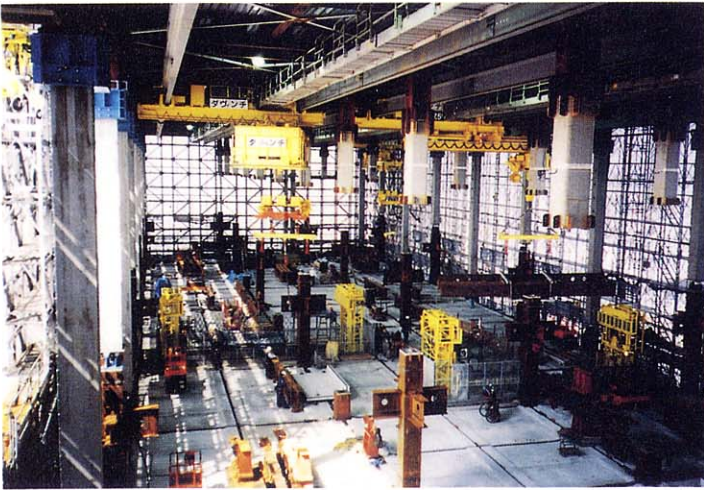


Photo 1 ABC Sの内観
Internal View of ABC S



Photo 2 ABC Sの外観
External View of ABC S

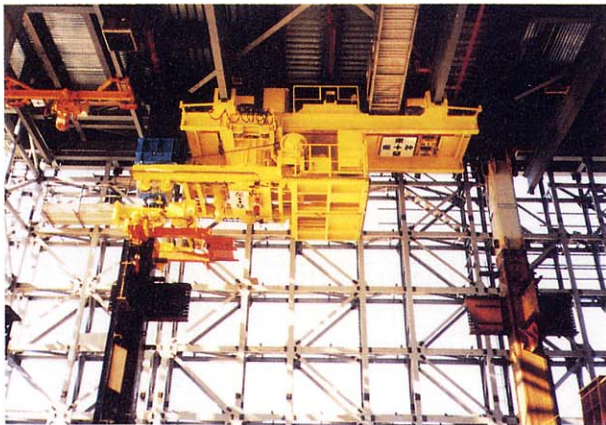


Photo 3 旋回アーム式SCFクレーン
SCF Crane with a Circling Arm



Photo 4 スライドアーム式SCFクレーン
SCF Crane with a Elastic Arm

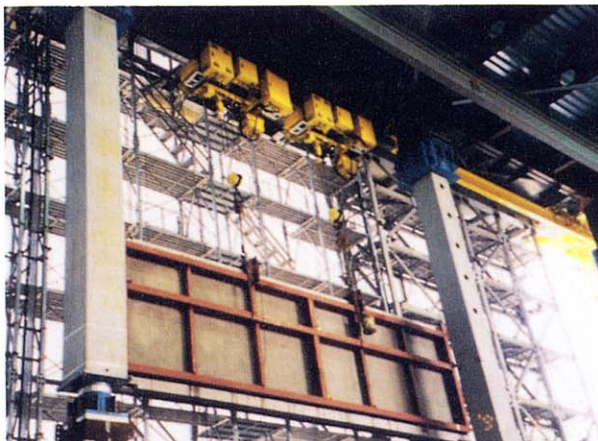


Photo 5 外装材取付用ホイス
Hoist for External Panels



Photo 6 制御室
Control Room

中央部分1スパン(先行工区)と旋回式クレーンの走る外側部分2スパン(後続工区)とに工区分割して施工したため、柱鉄骨建方からPC床板敷込みのサイクルが2回表現されている。SCFをクライミングする手順の中で、中央スパン鉄骨柱上の仮設クライミング支柱でSCFの荷重を支えるステップが必要なため、タクト工程3日目にSCFの降下による定着作業が行われた。タクト工程は6日で計画され、実施も6日であった。

4.2 労働生産性

タクト工事における床面積当りの作業工数(労務歩掛り)比較をFig.6に示す。図では在来工法によるN工事の労務歩掛りを100とした比率で示した。ABC SによるN工事の歩掛りは作業が軌道に乗り安定した状態にあった上層階における施工時の作業日報を集計した。歩掛り算定の対象とした工事は、躯体工事(鉄骨建方、PC床板、鉄筋、コンクリート打設)、外装工事(PCカーテンウォール、アルミパネル、ガラス、コーキング)および関連仮設工事である。在来工法の歩掛りは、在来工法で施工した部分の実績などから推定した。ABC Sの労務歩掛りはN工事における在来工法と比較して61%であった。これは、効率の良い並列搬送システム、床のPC化、多能工の採用等による効果である。

S工事の結果との比較では、労務歩掛り全体は、ほぼ同様な値となった。PC床板の仕様の差違や外装工事が



Fig. 5 タクト工程 Cycle Process for Basic Floor

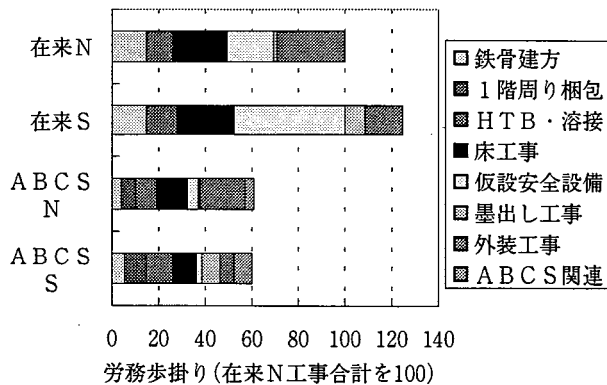


Fig. 6 労働生産性の比較 Labor Productivity Comparison

より複雑化したことで、これら関連工事の歩掛りは悪くなったものの、搬送設備の効率化により鉄骨建方作業をはじめとした主要な工事は省力化された。

4.3 搬送設備の作業時間

柱・梁・床の平均建方時間をS工事と比較したものがFig.7である。柱鉄骨に関しては同様な時間であったが、大梁は約8割、床板は約7割と減少した。特に、「走横行」等の搬送時間の減少が顕著であり、クレーンの走行・横行速度の性能向上による影響が大きかった。

同様の作業を繰返すことで、習熟効果によって作業時

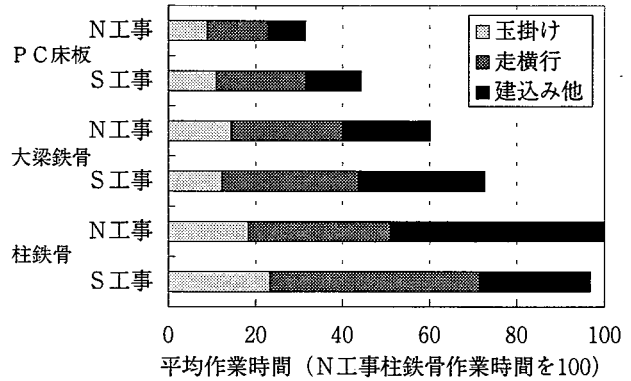


Fig. 7 搬送時間の比較 Delivery Time Comparison

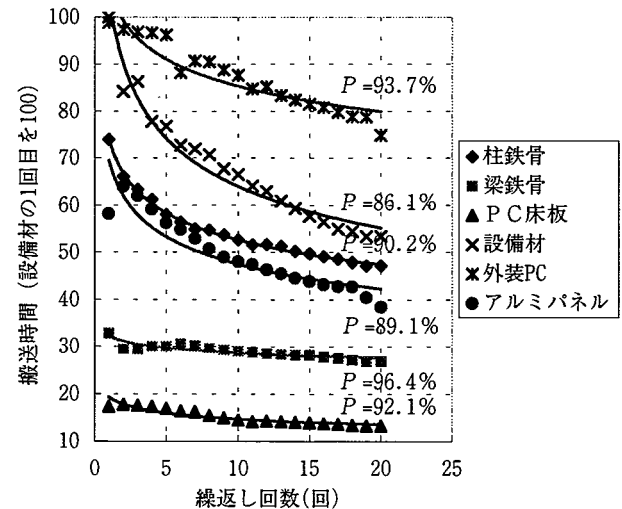


Fig. 8 搬送時間の習熟効果 Learning Effect for Delivery Time

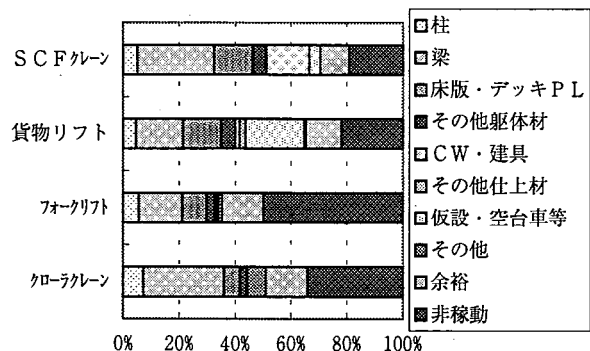


Fig. 9 搬送設備の稼働率 Operation Rate of Delivery Equipment

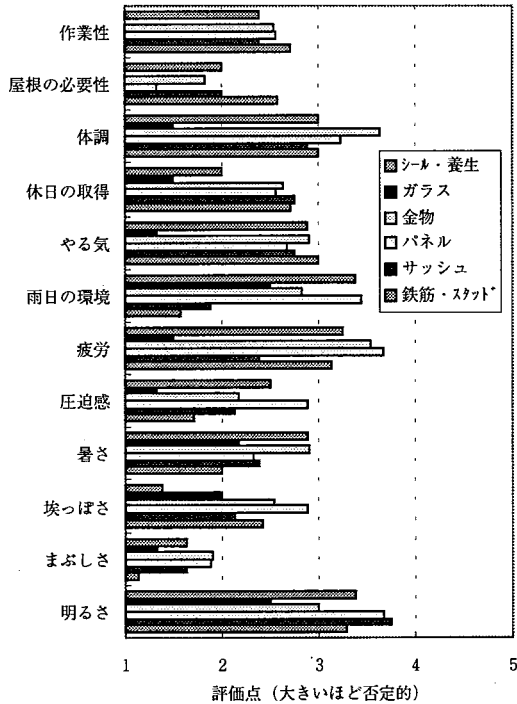


Fig. 10 アンケート回答結果1
Result 1 for a Questionnaire of Working Environment

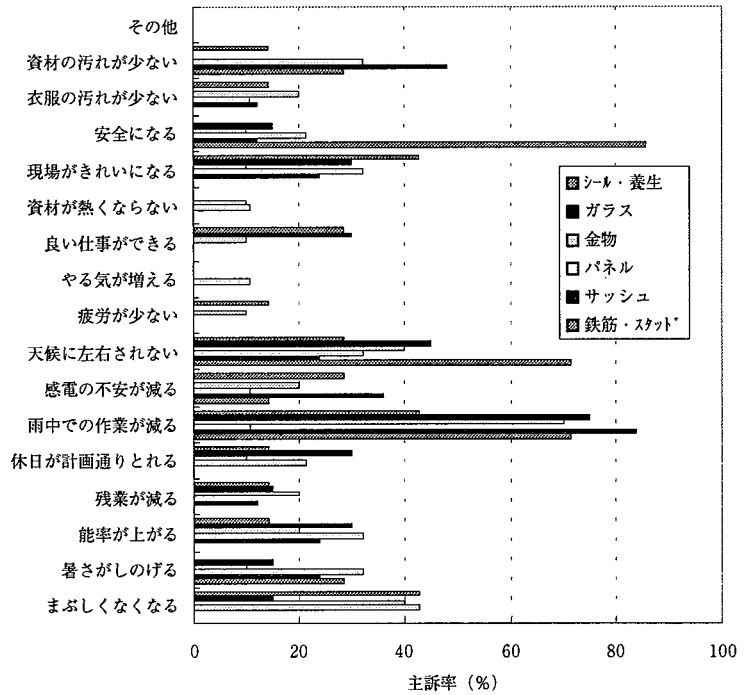


Fig. 11 アンケート回答結果2
Result 2 for a Questionnaire of Working Environment

間や工数が減少することはよく知られている。SCFクレーンによる部材ごとの搬送時間（サイクルタイム）の実績データを基に、8階における設備材の搬送時間を100として1部材当りの累計平均搬送時間を図化したものがFig. 8である。一般的な建築工事における習熟率(P)は80~95%であり、アルミパネルや設備材に対する搬送時間の習熟率は90%を下回る習熟効果が認められた。

各搬送設備による搬送対象の時間比率を示し、稼働率を求めたものがFig. 9である。稼働率は、1日の作業時間を8時間として各設備の稼働時間を8時間で割って求めた。大型貨物リフトによって、躯体資材の揚重作業の合間に仕上・設備資材を揚重するなど効率的な運用がなされた。最終的な部材取付を行うSCFクレーンの稼働率が80%を超え、複数設備の搬送系全体は有効に機能したことが分かる。

4.4 作業員の感想（アンケート調査）

ABC Sによる施工終了後、120名の作業者を対象としたアンケート調査を実施した。Fig. 10は、作業環境に関連する12の因子を5段階で評価する仕上業者に対する回答結果の一部であり、数値が大きいほど否定的だったことを表す。概ねSCFによる仮設屋根の効果を肯定している。特に、「まぶしさ」と「屋根の必要性」に対する評価は2点未満と職種を問わず高くなった。Fig. 11は、17項目から仮設屋根の設置によって作業環境が向上したと考えられる項目を3つ選択する回答結果の一部であり、「雨中での作業が減る」、「天候に左右されない」「暑さがしのげる」といった項目への回答が多く寄せられた。仕上業者は、「良い仕事ができる」「現場がきれいになる」「資材の汚れが少ない」の項目に対する

回答が躯体業者に比べて多かった点が特徴的だった。

5. おわりに

ABC SをN工事に適用した結果、在来工法と比べ約4割の省力化、作業環境の改善等の効果や、S工事に比べて搬送時間が短縮するといったABC Sの改造による効果も明らかとなった。

近年の建設業界を取り巻く環境は大きく様変わりしてきたが、技能労働者の不足や年々進む高齢化といった労働問題は、依然として重要な解決すべき課題であり、生産性向上を目指した技術開発に対する息の長い取り組みが必要である。

また、ABC Sは作業環境や周辺環境への影響だけでなく、地球環境を視野にいれた工法としても高い評価を得た。環境への影響は、施工技術を評価する指標として近年大きくクローズアップされてきており、この種の環境問題は施工者のみならず発注者にとっても大きな関心事である。今後も地球環境を視野にいれた施工法の改善・開発が重要であり、尽力していく所存である。

参考文献

- 1) 汐川他：全自動ビル建設システムの開発，大林組技術研究所報，No.49，(1994.8)
- 2) 宮川他：全自動ビル建設システムの開発，第13回建築施工ロボットシンポジウム，日本建築学会，(2000.1)
- 3) 大島，池田，汐川，浜田，他：全自動ビル建設システムの現場適用 その1～その4，日本建築学会学術講演会梗概集，(2000.9)