

全自動ビル建設システム「ABC S」の開発(その3)

システム改良と超高層ホテルへの適用

池田 雄一 汐川 孝
川上 宏伸 宮嶋 秀則
(本店 建築生産技術部) (本店 J 工事事務所)

Development of Automated Building Construction System (Part3)

Improvement of System and Application of Super High-rise Hotel

Yuichi Ikeda Takashi Shiokawa
Hironobu Kawakami Hidenori Miyajima

Abstract

The Automated Building Construction System, (ABCS), which was developed for construction of high-rise structural-steel buildings, applies the ideas of factory automation to the construction site and allows work to be done in a comfortable factory. It applies automation, robotics, and computer technology to building construction. ABCS integrates the Super Construction Factory, (SCF), which provides all-weather warehouse facilities, automated conveyer equipment and a centralized computer control system.

This thesis describes the third application of the system, incorporating some improvements and reforms, to a super-high-rise hotel building. The effect and the actual construction results are reported. The labor productivity for a term of assembling and dismantling of SCF was reduced about 20% in comparison with the previous application. The construction period could be shortened about the half of previous application.

概 要

1989年、建設業に従事する労働者の高齢化対策、技能工不足の解消および3Kに代表される作業環境の改善を目的として鉄骨造の建物を対象とした全自動ビル建設システム(以下、「ABC S」(Automated Building Construction System))のコンセプトを発表した。ABC Sは建設現場に製造業におけるFA(ファクトリ・オートメーション)の概念を導入することによって建設工事の自動化・ロボット化を図り、情報化を積極的に推進した建設システムである。作業空間を全天候型のビル建設工場「SCF(Super Construction Factory)」で覆うことによって天候に左右されない工事を実現できる。

2001年、3回目の事例となる地上33階建の超高層ホテル新築工事へ適用するにあたり、過去2回の実績を踏まえ、工期短縮・労務削減に向けた高い次元の計画目標を掲げ、システムの改良を行った。工事適用の結果、SCF組立・解体工事における労務は前回工事比約2割減となり、工期を半分に短縮することができた。基準階工事におけるフロアあたり要した労務は前回工事とほぼ同等の結果を得た。工程については前回工事の1フロア6日に対し、4.5日サイクルを実施でき、最短で3.5日も達成した。その他、良質な作業環境の提供、周辺環境への調和などの効果も改めて確認することができた。

1. はじめに

全自動ビル建設システム「ABC S」は、建設現場に製造業におけるFAの概念を導入することによって建設工事の自動化・ロボット化を図り、情報化を積極的に推進した鉄骨造高層ビルを対象とした建設システムである。作業空間を全天候型のビル建設工場「SCF(Super Construction Factory)」で覆うことによって天候に左右されない工事を実現できる。1993、1998年に実施された過去2回の適用工事では、生産性の向上や作業環境の

改善を実現し、労務削減および施工品質向上などの成果を得た^{1),2)}。一方でSCF組立・解体工事を含めた全体工期および労務について改善の余地が残された^{3),4)}。

2001年、第3回目となる地上33階建の超高層ホテルへABC Sを適用するにあたり、SCFの組立・解体工事を含んだ全体工期短縮および労務削減を高い次元で達成するため、前回までの工事の実績を踏まえてシステムを一部改良した。本報では、第3回目の適用工事についてシステムの改良および適用計画の内容とそれに対する工事実績およびシステムの改良効果を中心に報告する。

2. 工事概要

適用工事現場の周辺の様子をPhoto 1に示す。現場(Photo 1における4)は昨年大阪市にオープンした世界的テーマパーク(同1)の最寄駅街区の一部である。直下に鉄道営業線駅(同2)やテーマパーク来場者用通路・商業施設(同3)およびホテル(同5)が隣接している。適用工事(以下、J工事)の概要をTable 1に示す。建物は地上33階建の高層客室棟と5階建の低層部ホテル施設からなる。高層棟は約16m(2スパン)×70m(7スパン)の形状で両サイドにセットバックしたコアを配置し、その間は客室空間となっている。地下工事は無いものの全体工期20カ月の短工期である。

J工事の工事計画上の重要なポイントは、(1)高層部施工の早期完了と低層部仕上工事期間の十分な確保、(2)飛来落下災害の防止と周辺環境との調和である。在来のタワークレーンを利用した工事では、資材搬入動線と荷捌き場所を確保するため、低層部に大きな後施工部が残る計画となった。(1)を満足する対策として、ABC Sの要素技術である並列搬送システムを適正に配置することによって低層部に資材搬入用の後施工部を残さず、高層部の上棟を待たないで低層部の仕上工事に着手できる計画とした。(2)を満足する対策として、SCFで作業



Photo 1 現場周辺状況
Situation around J Project Construction Site

Table 1 工事概要
Abstract of J Project

発注者	総合商事
設計・監理	村井敬合同設計
施工	大林・大成・鹿島・ハザマ・大鉄共同企業体
所在地	大阪市此花区
建物用途	ホテル
階数	地上33階、塔屋1階
構造	S造(一部、CFT造)
敷地面積	6,975.82m ²
建築面積	5,573.07m ²
延床面積	47,538.62m ²
最高高さ	約137.75m
工期	2000.8.01～2002.3.31(20ヶ月)
適用床面積	約1,100m ² ×26F=28,600m ²

空間を覆うことで、高層部と低層部の工事を分離でき、飛来落下災害の防止や周辺環境との調和などのメリットを見出せる計画とした。これらの計画経緯からABC Sを採用することになった。

3. システム適用計画

3.1 システム概要

ABC Sは、SCFや機械設備などのハード技術と施工支援システムを始めとするソフト技術を組み合わせることで成立している^{1),2)}。ハード技術は主としてSCFと並列搬送システム、ソフト技術は計測システムとABC S総合管理システムとに分類される。システムを構成する要素技術についてTable 2に、システム断面図をFig. 1に、システム平面図をFig. 2にそれぞれ示す。

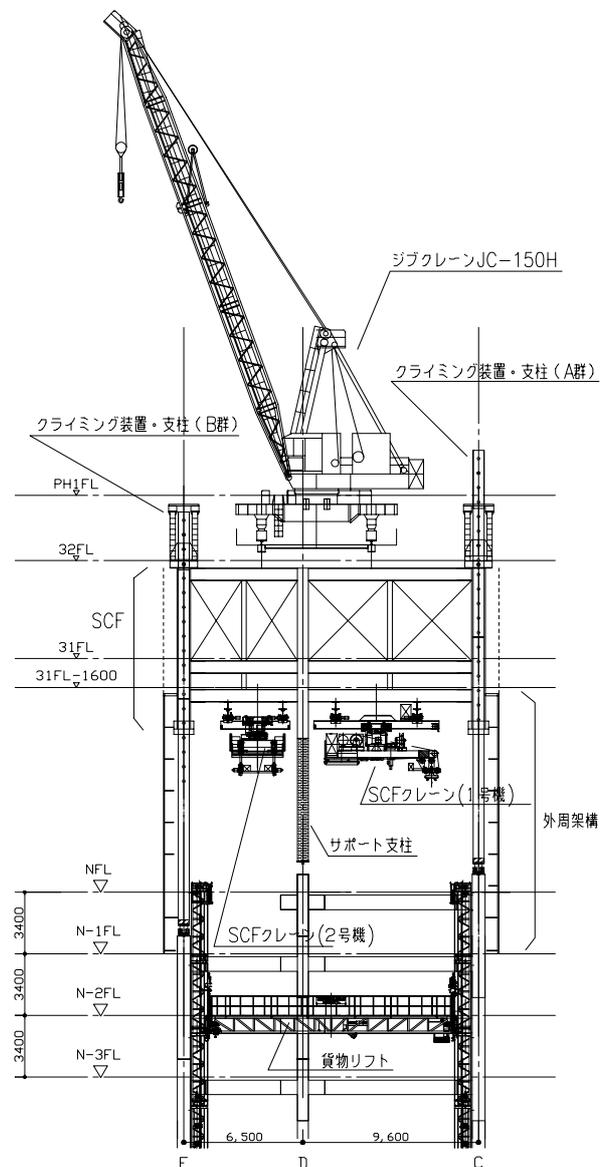


Fig. 1 システム断面図
Section of ABCS

3.2 システム適用計画

前回工事(以下、N工事)から建物の用途および形状・寸法の変更に起因した項目、N工事の実績を分析して改良の必要性が特に高い項目について、システムの改良を行いJ工事に適用する計画とした。改良は主としてハード技術について行った。以下、ハード技術について項目ごとに説明する。

3.2.1 SCF SCFは最上階の本設鉄骨を骨組として利用した屋根架構および作業空間の外周を覆い足場を兼ねた外周架構によって構成される。工事計画時にSC

Fクライミングの各ステップごとに構造解析を行い、必要に応じてSCF鉄骨に補強を施すこととした。1フロアの施工が完了するたびに、建方の完了した本設柱に反力を取り、SCFを1フロア分上昇させる。クライミング装置は屋根架構の外周柱を貫通するクライミング支柱の上部に設置する。J工事では、建物は最上部の塔屋部分で外周の桁方向がセットバックするため、基準階の上部である31、32階部分をSCFとした。骨組は本設鉄骨を利用し、一部補強を施した。設置される機械などの重量を含めて、全体重量は約1,600tとなった。クライミング装置は外周の16本の柱に設置し、この部分の柱を外ダイヤフラム形式とした。内部の柱にはクライミング装置およびクライミング支柱の設置を省略し、サポート支柱と呼ばれる仮設の柱を取付けた。Photo 2にSCF屋上の様子を示す。SCF屋上には、ジブクレーン(走行式)を1基設置し、SCF組立・解体工事、外装工事に使用した。

3.2.2 外周架構 外周架構には外部作業のための外周足場と作業空間となるSCFを覆う養生壁の2つの機能がある。N工事では外装仕上工事に外部足場を必要としたため、外周架構はN-3階まで覆うものとなり、規模が大きく組立・解体に多くの労務と工期を費やした³⁾。それに対し、J工事の外装工事は外部足場を特に必要としない

Table 2 システム構成
Component of ABCS

SCF	W18m×L75m×H21m, 重量: 約1,600t
クライミング装置	油圧式, 1,960kN/基×16基
SCFクレーン	旋回式×2基, 定格荷重: 10t, 揚程: 15m
貨物リフト	1基, 定格荷重: 11t, 定格速度: 70m/min
ジブクレーン	JC-150H走行式×1基 (解体時JCC-120N×1基増設)
鉄骨計測	トータルステーション+専用システム
SCF位置計測	
生産管理/ 機械制御システム	ABC S総合管理システム

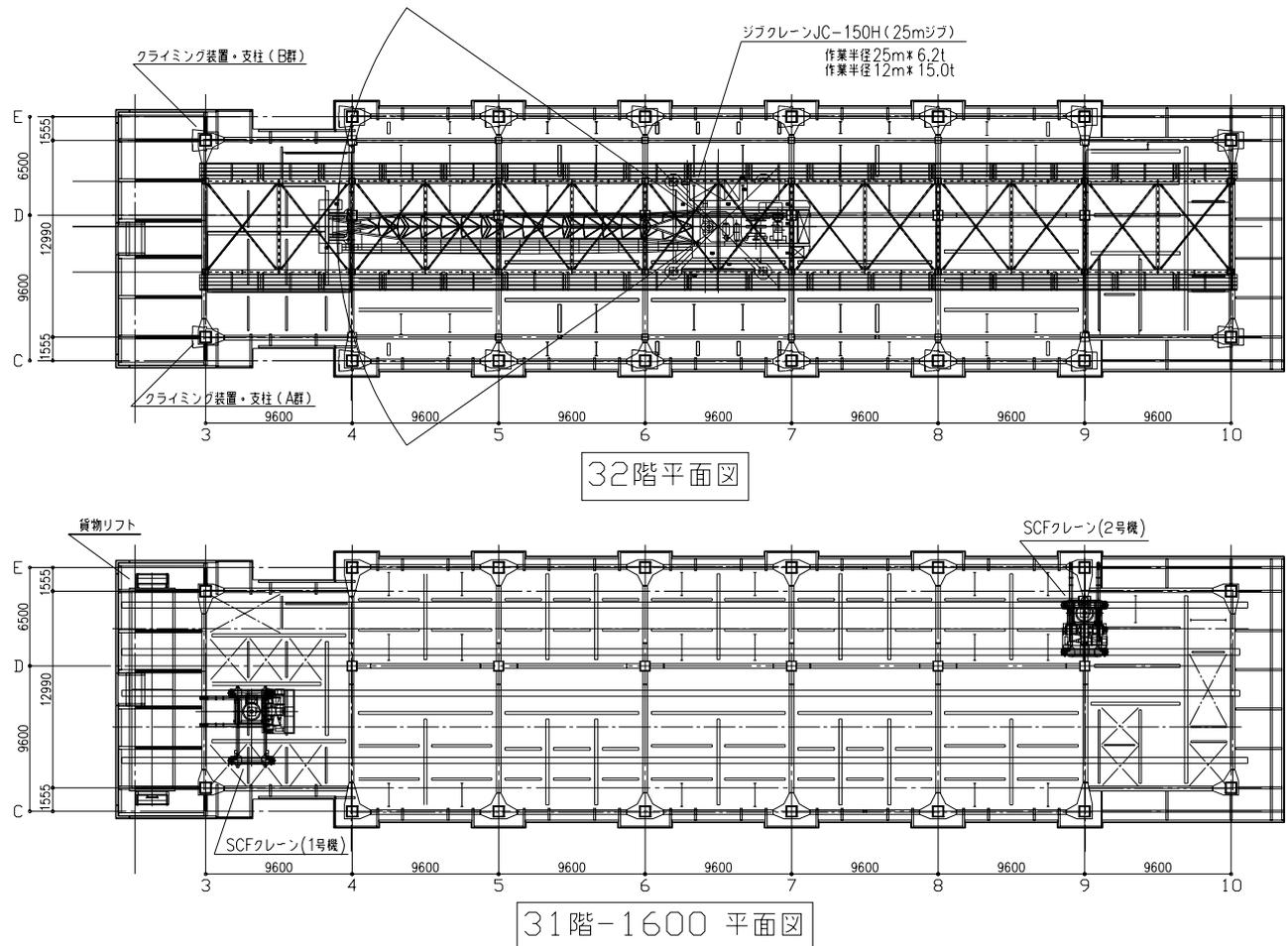


Fig. 2 システム平面図
Floor Plan of SCF

収まりであること、SCF組立・解体工事の工期短縮を図ることを理由に外周架構の機能を見直した。外周架構を簡略化し、組込む足場を鉄骨工事に限定するとともに外装工事を基準階サイクル工程から外した。改良した外周架構の外観をPhoto 3に示す。鉄骨フレームのユニット足場を柱周りにのみ取り付け、ユニット間を上弦材と下弦材で接続し、ワイヤー巻取り方式の養生シートを設置した。ユニット足場はN階の本締め用足場とN-1階の溶接

用足場である。外周架構のSCF内部からの様子をPhoto 4に示す。塗装工事用のシールータイプの養生シートを使用したため、作業環境は明るい状態を保てる。また、一部のユニット足場に昇降階段を設置し、作業階とSCF上部との連絡通路とした。

3.2.3 並列搬送システム ABC Sでは、在来工法におけるタワークレーンによる連続した揚重・取付作業とは異なり、揚重と水平搬送・取付を別々の機械で同時並



Photo 2 SCF屋上
Top of SCF and Traveling Type Jib Crane



Photo 5 SCFクレーンによる水平搬送
Horizontal Conveyance by Ceiling Crane



Photo 3 改良した外周架構
Improved External Wall



Photo 6 パッキング化された鉄骨部材
Package of Steel Frame



Photo 4 内部から見た外周架構
External Wall Inside of SCF



Photo 7 鉄骨建入直し治具
Tool for Adjustment Steel Frame

行して行く。タワークレーンによる揚重と比較して搬送効率が向上し、部材供給量が大幅に増加するため、生産性の向上が図れる⁴⁾。揚重を貨物リフト、SCF内の水平搬送をSCFクレーンにて行う。鉄骨柱搬送時の様子をPhoto 5に示す。搬入動線の確保と低層部の後施工範囲を縮小するため、資材揚重用の貨物リフトを道路側の建物妻側外部に1基設置した。水平搬送のSCFクレーンは、建物短辺スパンに1基ずつ計2基設置した。建物平面プランの形状に合わせて、主桁長などを改造した。貨物リフト前に仮置されたパッキング済み鉄骨部材をPhoto 6に示す。N工事と異なり、現場敷地内に鉄骨やPCa部材のストックヤードを十分に確保できなかったため、梁パレットへのパッキングを鉄骨ファブの工場にて実施し、その荷姿で現場へ搬入した。

3.3 システム改良・変更点のまとめ

システムの改良・変更点を要素技術ごとにまとめる。各項目末尾の括弧付き英字は改良・変更の目的を分類したもので、(A) 物理的制約の回避、(B) 工期短縮、(C) 労務削減・作業効率向上、をそれぞれ表す。

<クライミング装置>

- ・荷重検出精度の向上(C)
- ・装置剛性が見直しとジャッキ固定方法の変更(C)

<外周架構>

- ・外周足場を鉄骨工事に限定、ユニット化.....(B)(C)
- ・ユニット足場間は、巻取りシート養生化.....(B)(C)
- ・外装工事はジブクレーンを利用して直接取付(C)

<貨物リフト>

- ・内部仕上工事を考慮して建物外部に設置.....(A)(C)
- ・クライミング作業を2フロアに1回の実施.....(B)(C)
- ・長尺梁揚重のため搬器の大きさ拡大(A)

<SCFクレーン>

- ・建物形状に合わせて主桁長の改造(A)
- ・鉄骨柱建起こし用の機能の追加(A)

<鉄骨工事>

- ・建物階高の減少に伴い、建物内部の本締め用足場としてアルミ製立馬を利用(C)
- ・鉄骨ファブで梁のパッキングを実施.....(A)(C)

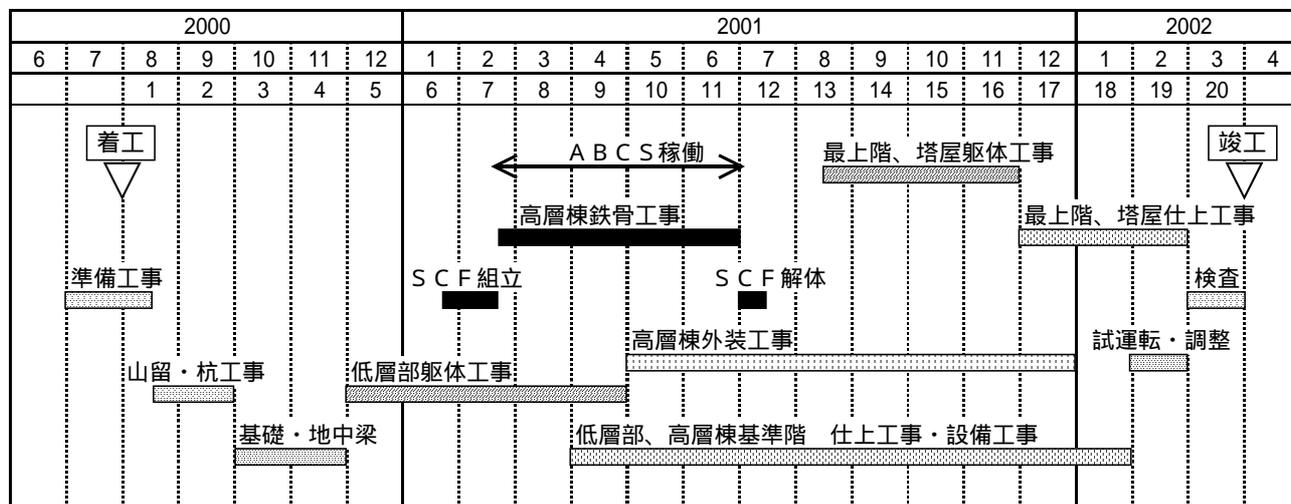
3.4 その他の採用技術

J工事で、工期短縮や労務削減効果を得るため、システムの改良以外にも新たに構工法・技術の採用および工事手順の見直しを計画した⁵⁾。

3.4.1 SCF組立・解体工事 SCFの柱はクライミング装置やクライミング支柱を組込むため重量が過大となる。J工事ではSCF組立高さが低く上部クライミング支柱の分割組立が可能となった。柱の重量軽減に貢献し、使用重機を300tクラスから150tクラスのクローラクレーンに変更でき、仮設栈橋の規模を縮小し、仮設工事費を低減することに貢献した。また、SCF屋上に設置するジブクレーンを早期に組立て、SCF組立工事途中から使用する計画とした。

3.4.2 基準階工事 短工期を達成するため積極的に短工期化・省力化技術の採用を検討した。鉄骨柱の継手部に在来工事でも最近頻りに使用されている汎用の鉄骨建入直し治具を採用した。Photo 7に鉄骨建入直し時の作業の様子を示す。治具採用によって、作業自体の省力化および柱の建方サイクルタイム内で建入直しが完了してボルト本締め作業が早期に着手できることを見込んで計画した。大梁継手部のうち、外周大梁に高摩擦・高靱性スプライスプレート、内部大梁に通常使用する高力ボルトの1.5倍の耐力を有す超高力ボルトをそれぞれ採用した。スプライスプレートの面積縮小と薄肉化による軽量化やボルト本数低減効果により作業の効率化・省力化を見込んだ。客室床部分には遮音性と軽量化に優れるフォローコアタイプのハーフPCa床板を採用し、堅固な作業床を兼ねる計画とした。また、ユニットバスの床段差部分にフルPCaを採用し、工期短縮と労務削減を図った。

Table 3 全体工程
Total Progress Schedule of J Project



4. 適用結果

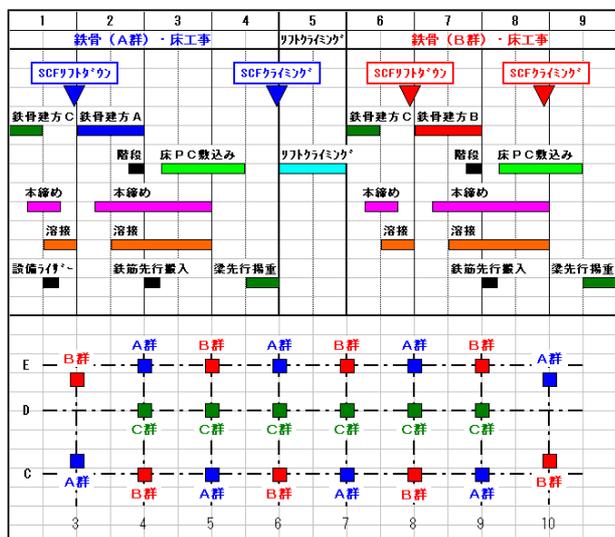
4.1 工程

4.1.1 全体工程 J工事の全体工程をTable 3に示す。全体工程上重要なポイントは、()搬入動線確保のため3階人工地盤の早期構築、()高層部施工と低層部施工の分離および低層部仕上工事期間の十分な確保、の2点である。ABC Sの適用によって、高層部の上棟を待たずに低層部仕上工事の着手が可能になり、()を満足することができた。在来工法の計画工程より工事の進捗を約1ヵ月早めることができ、2002年3月末に竣工した。

4.1.2 ABC S工事期間 工事規模の違いはあるが、SCF組立・解体工事をN工事の半分にするという目標を挙げた。システムの改良を行い、外周架構を中心として組立・解体工事の作業量を削減したことにより、目標通りSCF組立工事を1ヵ月、解体工事を0.5ヵ月で完了させることができた。ABC Sによる基準階工事は26階分の施工を約4.3ヵ月で終えた。

4.1.3 基準階サイクル工程 ABC S工法採用による工期短縮効果を確実に得るため、具体的目標として在来工法の1節(3フロア)15日サイクルを上回るサイクル工程の計画を行った。すなわち、1フロア5日未満となる工程を検討した。N工事では毎フロア実施していた貨物リフトのクライミングを2フロアに1回の実施とし、鉄骨・床工事を1フロア4日で計画したので、合計2フロア9日サイクルの工程となった。計画したサイクル工程をTable 4に示す。鉄骨・床工事は大きく前半(1日)と後半(3日)に分けられる。前半にC群の柱とそれにジョイント可能な大梁の建方、ボルト本締め・柱溶接後、SCFをリフトダウンさせ、C群の柱にSCFの荷重をあずける。後半にA群またはB群の柱と残りの鉄骨工事を行い、床PCの敷込みを行う。A群(1~4日目)とB群(6~9日目)の間の日(5日目)に貨物リフトのクライミングを実施し

Table 4 基準階サイクル工程
Cyclic Progress for Typical Floor



た。5階から19階の低・中層部の工事では、計画通り2フロア9日の工程で実施した。作業の習熟とともにフロアあたりの要した工数は徐々に減少し、習熟率は約90%を示した。その結果、20階工事から2フロア8日、さらに26階工事から2フロア7日へと段階を踏んでサイクル工程を短縮できた。

4.2 労務実績

4.2.1 SCF組立・解体工事 SCF組立・解体工事に要した労務をN工事と比較するため工数を基準階面積で除した単位面積あたりの労務を指標として用いた⁴⁾。S

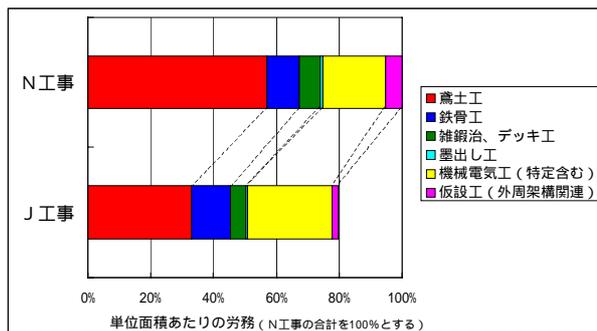


Fig. 3 SCF組立・解体工事の労働生産性(全体)
Total Labor Productivity
for a term of Assembling and Dismantling of SCF

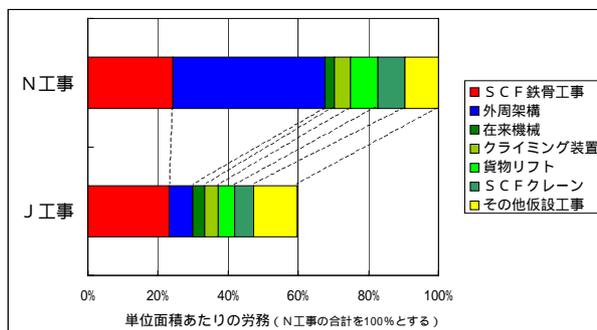


Fig. 4 SCF組立・解体工事の労働生産性(鶯工)
Labor Productivity of Scaffolding Men
for a term of Assembling and Dismantling of SCF

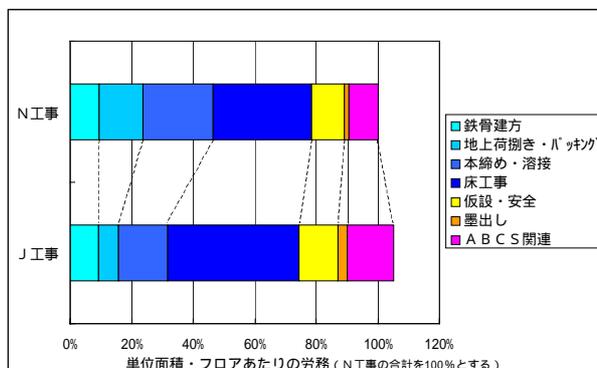


Fig. 5 基準階工事の労働生産性(全体)
Total Labor Productivity
for a term of Typical Floor Construction

C F組立・解体工事に従事した全職種について職種別の集計をFig. 3に示す。また、鳶工について作業内容別の集計をFig. 4に示す。両図ともN工事における労務の合計を100%とした。全体では、鳶工の労務が大きく削減したことによって、N工事に対し全体労務を約2割削減した。鳶工労務を作業内容別に分析すると、外周架構に関する労務はN工事と比較して8割以上削減し、鳶工の労務削減分の大半を占めている。この結果、鳶工全体で約4割の労務を削減した。その他、貨物リフト、SCFクレーンなどの機械に関する作業の削減率が大きく、双方とも3割以上の減少となった。

4.2.2 基準階工事 基準階工事に要した労務をN工事と比較するため工数を適用基準階延床面積で除した単位面積あたりの労務を指標として用いた⁴⁾。基準階工事に従事した全職種について作業内容別の集計をFig. 5に示す。同図では、N工事の労務の合計を100%とした。作業内容別には、床工事とABC S関連工事が増加し、地上荷捌き・パッキング、本締め・溶接作業が減少した。合計ではN工事とほぼ同等の結果を得た。なお、N工事では在来工法に対して約4割の労務を削減しており、今回も同等の削減効果を得ていると考えられる。

4.3 環境保全

4.3.1 作業環境 ABC S稼働期間中に基準階工事に従事した職種を対象に作業環境アンケートを実施した。アンケートは、SCF内での作業環境に関連する項目に

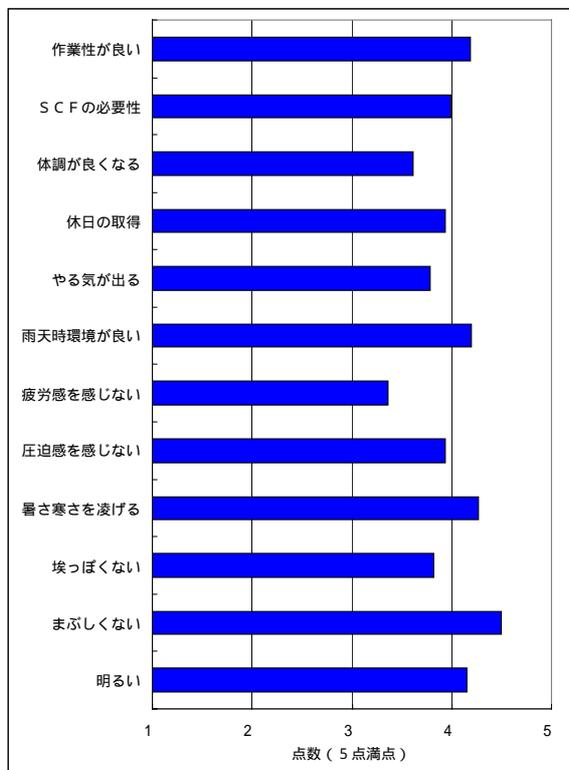


Fig. 6 作業環境アンケート結果
Result for Questionnaire
of Working Environment in SCF



Photo 8 SCF内観
Internal View of SCF



Photo 9 ABC S外観
External View of ABC S



Photo 10 立馬を利用した本締め作業
High Tension Bolt Tightening Work
with Platform Type Aluminum Scaffolding

対し、5点満点で評価する方式である。点数が大きいほど評価は高い。アンケートの回答者は7職種35名におよび、平均年齢39歳、平均経験年数14年である。アンケートの分析結果をFig. 6に示す。同図から、「まぶしくない」、「暑さ寒さを凌げる」、「雨天時の環境が良い」などの項目で高い評価を得ており、SCF内での作業環境が優れていることが読み取れる。作業環境が向上した結果、「SCFの必要性」、「作業性が良い」といった項目も2次的に高い評価を得ており、Photo 8のようにABC Sの基本コンセプトである良質な作業環境の提供が実現できたと言える。

4.3.2 周辺環境 ABC S稼働期間中の外観をPhoto 9に示す。テーマパークの隣接地区での施工であったが、来場者に対して未来の建設現場を強く感じさせ、周辺のテーマパークと調和した環境を創出できた。また、隣接する鉄道営業線に対しても、外周架構の養生シートによって飛来・落下災害を完全に防止することができた。

5. 結果考察

5.1 工期短縮

5.1.1 ABC S全体工程 SCF組立・解体工事および基準階工事を合計したABC S適用工事期間は全体で5.8ヵ月であった。在来工法におけるSCF部分を含めた29フロア(10節)分の施工は、タワークレーンの組立・解体期間を考慮し、1節15日サイクルで計算すると全体で6.5~7ヵ月を要することになる(実働:25日/月)。したがって、J工事では在来工法に対し、約1ヵ月の工期短縮効果を得たことになる。全体工期が短工期である工事における工期短縮メリットは非常に大きい。

5.1.2 SCF組立・解体工事 SCF組立・解体工事期間中はクレーンを使用する躯体工事、外装工事は中断せざるを得ない。システム改良のうち、最も効果的であった外周架構の簡略化をはじめ、工事手順の見直し等によって作業量を減少させ、工事期間短縮が可能となった。

5.1.3 基準階工事 N工事では予定された1日のすべての作業終了後、SCFクライミング・リフトダウン作業を実施していた。クライミング装置改良の結果、装置の信頼性が向上した。そのため、作業の所要時間を約半分に短縮でき、定時内での実施も可能になった。貨物リフトのクライミング作業も回数を重ねるごと作業時間を徐々に短縮できた。このため、工程の柔軟性が増し、サイクル工程の短縮が比較的容易に実現できた。

5.2 労務削減

5.2.1 SCF組立・解体工事 N工事の実績を踏まえ外周架構について機能と範囲を徹底的に見直したことで部品点数・工事量を削減できたことが、労務削減の最大の理由である。第二の要因は機械の組立・解体作業の標準化によって少しずつ労務削減を積重ねたことである。

5.2.2 基準階工事 労務の増加、減少理由について項

目ごとにまとめる。床工事では、用途がホテルとなり床段差を多く有したことおよび軽量化と遮音性に優れたフォローコアタイプのハーフPCa床板を採用し単位面積あたりのピース数が増したことが増加の理由である。ABC S関連では、外装工事が範囲外となり外周手摺の盛替や垂直ネットの架け出しの作業が新たに生じたため労務が増加した。本締め・溶接では、本締め作業においてアルミ製立馬の利用(Photo 10)が可能だったことおよび大梁継手に高摩擦・高靱性スプライスプレートと超高力ボルトを採用し作業効率が向上したことが減少の理由である。地上荷捌きでは、鉄骨ファブで梁パッキングを実施したことで現場労務を削減することができた。

5.3 コストダウン

ABC Sに関する工事費をN工事と比較するため、工事費を適用面積で除した単位面積あたりの工事費を算出した。その結果、システム改良に関する項目を含んで3割以上コストダウンすることができた。また、仮設工事に関するコストを当社施工の在来現場と比較したところ、坪単価・工事原価比率の双方においても同規模の事務所やホテルの物件と比較して同等以下に抑えられた。

6. まとめ

ABC Sのコンセプトを発表して以来10年以上が経過した現在、建設業を取巻く状況は大きく変化した。昨今の厳しい受注環境においては、ABC Sの開発のベクトルはコストダウン・工期短縮を追求する方向へ向かわざるを得ない。J工事適用にあたっては、こういった背景から工期短縮・労務削減を特に目標に掲げ、システム改良を行った。その結果、難条件の重なった厳しい要求をほぼ満足することができた。

ABC Sの継続的な工事適用と普及を図るには、システムの汎用性を拡大し、工事の標準化を推進する必要がある。今後も研究開発を継続的に実施し、ABC Sを発展させていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 汐川 孝他：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 宏他：地球環境保全に配慮したエコ活動と自動化施工，建築の技術「施工」，彰国社，(1999.11)
- 3) 池田雄一他：全自動ビル建設システムによる鉄骨造高層ビルの施工，第8回建設ロボットシンポジウム論文集，(2000.7)
- 4) 浜田耕史他：全自動ビル建設システムの開発(その2)，大林組技術研究所報，No.61，(2000.7)
- 5) 池田雄一他：超高層ホテルへの全自動ビル建設システムの適用，第14回建築施工ロボットシンポジウム予稿集，(2002.2)