

# 全天候型自動化施工システムの開発と実施

## —その3：サイクル施工と情報化施工—

吉田 成男\* 金川 武雄\*  
 高杉 正和\* 増谷 正治\*  
 古谷 陽侍\*\*

### 要 旨

本システムによる躯体構築は全天候の環境で、1階分のリフトアップごとに鉄骨建方、床、外壁などの工事を行うサイクル施工である。フレーム下部の階では、設備・仕上げ工事をサイクルに合わせて順次完了する。最適なサイクル工程や情報化施工などの施工技術を実現し、安定したサイクル工程の確保と現場作業の省力化を図った。下記におもな取組みとその結果を示す。

- ①外壁やシステムトイレのユニット化による工数の削減（大型化）、揚重回数の削減（梁まとめ吊り装置の使用）、工種間の緻密な連携作業、先行作業（プレカット、先行加工）などの対策を実施した結果、基準階において6～7日のサイクル工程を確保することができた。
- ②ユニット化の採用、側壁足場などを活用したことで約20%の現場作業の省力化や、雨天稼働による現場管理上（雨天不稼働日に起因する工事調整作業が少なくなる）の省力化も実現した。
- ③自動搬送部材の登録、車輛・資機材搬入管理などの施工情報の共有化を実施し、作業の計画・指示・修正の迅速化や管理業務の省力化を図り、サイクル施工への迅速なフィードバックを可能にした。

### 1. まえがき

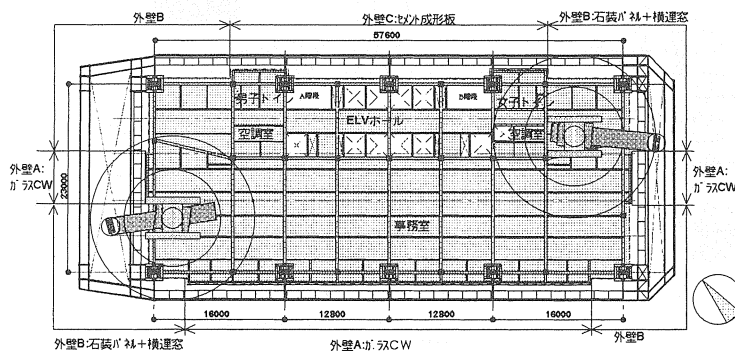
前稿（その2）では機械と機械、および機械と人の協調作業を基本方針にした機械化・自動化の適用状況について述べた。これらの技術の適用範囲は全天候の作業空間の提供、吊り荷の揚重・搬送、および取付け作業である。したがって、多くの協調作業と調整業務で進められる建築工事で本システムの目的（品質・生産性・安全性の向上、工期短縮の他に環境改善、省力化）を実現するには、機械化・自動化能力の活用、最適なサイクル工程の確立などが重要である。そこで、工種間の緻密な連携作業、および施工情報の共有化（作業進捗状況の資材搬入・搬送計画への迅速な反映など）を実施した。

以下、本稿（その3）ではサイクル工程の短縮・安定化への取組みと適用結果、各階の施工状況、情報化施工の実施状況などについて報告する。

### 2. 基準階の施工概要

本建物は1～2階が玄関ホール・店舗、3～17階が事務室、18～20階が住居である。本システムによるサイクル施工で1階ごとに鉄骨建方、床コンクリート打設、外壁取付けを建物3層にわたって実施する。

1階から塔屋構築まで本システムで施工し、そのうちサイクル施工となるのは3～17階の基準階事務室部分である。図-1に基準階平面図とおもな仕様を示す。



<p><b>基準階仕様：</b>                  床面積：1452～1488㎡                  階高：3750mm                  鉄骨：204～234階、232p（柱20p、大梁44p、小梁137p、                  フレース8p、間柱20p、階段4p）                  スラブ：合成床板用デッキh75-t1.2+溶接金網φ8-150×150                  +85mmコンクリート（LC210）                  外壁：南面・妻側中央部 ガラスカーテンウォール                  角部 石装パネル+横連窓サッシュ                  北面 セメント成形板横張り+一部単窓・ガラリ</p>
--

図-1 基準階平面図とおもな仕様

3. サイクル工程短縮への取組み

サイクル工程の短縮のため、躯体工事、および外壁工事において緻密な工種間連携作業を実施した。

以下の二つがおもなクリティカルな工事の連携協調作業であった。

- ①サイクル初日の鉄骨建方（N階）からサイクル最終日のスラブコンクリート打設（N-1階）までの各工種の協調作業。
- ②建物コーナー部分の石装パネル・横連枠取付け、ガラス入れ、および外周部シール打ちまでの外壁工事の協調作業。

4. 省力化への取組み

現場作業を省力化するため、外壁、トイレなどのユニット化と情報化施工を実施した。

- ①現場での組立作業を削減するため、工場でガラス、およびシール打ちまで完了したフルユニットのカーテンウォール(CW)を使用した。
- ②基準階で発生するトイレ部分の集約作業を削減して工事の平準化を図るため、壁、天井、衛生機器、配管などを工場で組込んだトイレユニットを使用した。

- ③現場管理業務の省力化と施工情報の共有化を図るため、自動搬送部材の登録、資材の搬出入の管理、および施工階進捗管理にコンピュータを活用した。

5. サイクル施工

5. 1 サイクル工程

以上の取組みを踏まえ、1フロア7日のサイクル施工を計画・実施し、施工の後半では6日サイクルも実施した。図-2にフレーム内での各階の作業と7日サイクル工程を示す。N階の鉄骨建方をサイクル前半の3日間で行い、後半でN-1階のスラブコンクリートを打設した。N-3階までの外壁工事は4～6日目にパネルものの揚重取付けを行い、ロックダウンの部分も含めリフトアップの前日までに完了した。

なお、揚重スペースには、低層棟部分を活用した。

図-3に資材搬入作業の実施例を示す。

(本システムでの高層部施工は地下部分の逆打ち工事と並行して行ったので、高層部の1階部分は地下資材や地上部の設備・仕上げ材の搬送スペース、および耐火被覆のプラント置き場として活用した。)

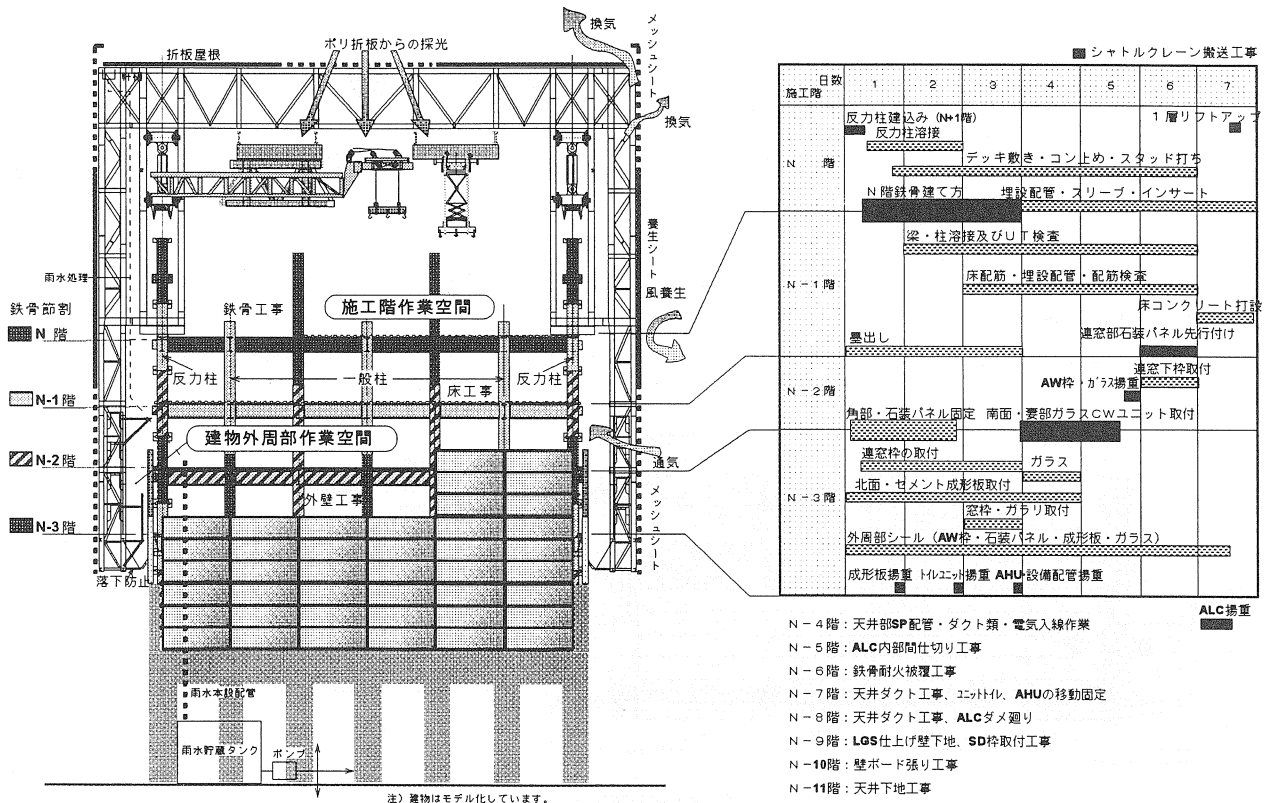


図-2 フレーム内の各階作業と7日サイクル工程表

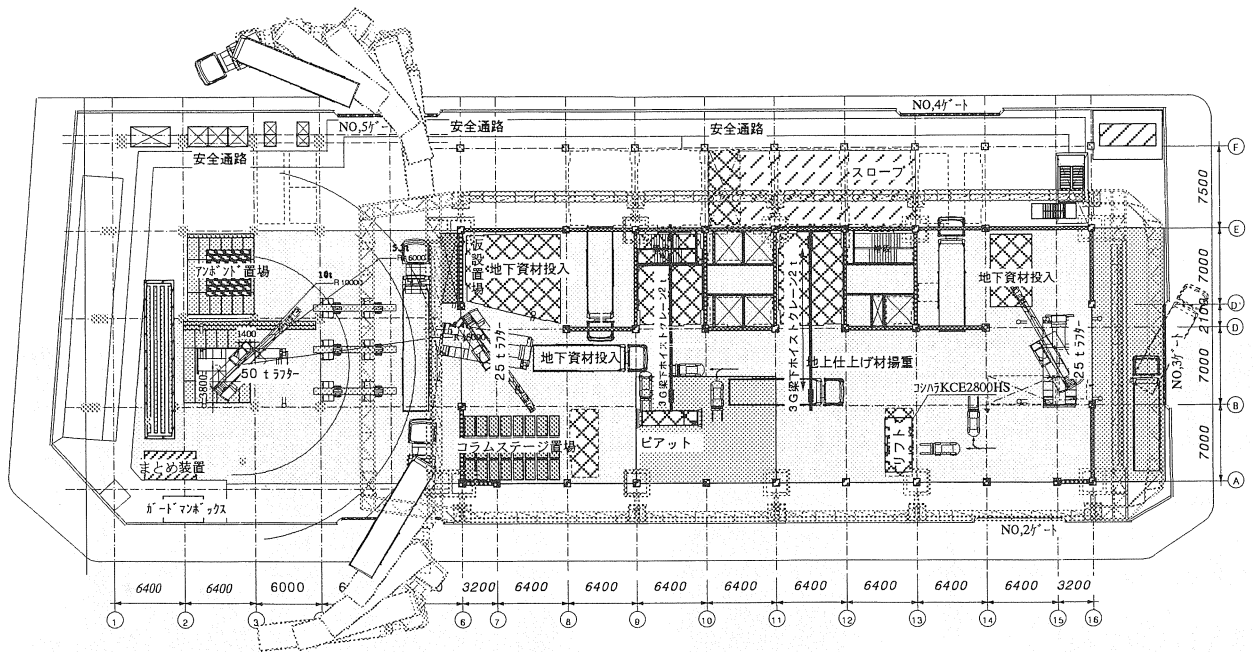


図-3 資材搬入作業の実施例

5. 2 鉄骨工事と床躯体工事

サイクル初日から鉄骨工事を開始し、3日間で約230ピースの鉄骨部材と15回程度のデッキ揚重を完了する必要がある。そこで、柱の先行建て入れ調整や梁まとめ吊り装置を適用し、作業時間を短縮した。また、早期に外壁工事に着手するには鉄骨工事と合成デッキ布設作業の協調を図り、サイクル内にN-1階のスラブコンクリートを打設する必要がある。そこで、基準階を3工区に分け、建物東側から順次、鉄骨建方、梁ウェブの本締め、梁溶接部を除いたデッキの先行布設、梁溶接、およびUT検査を行った。

鉄骨建方階の下のN-1階では溶接金網布設や外周部の配筋作業を行い、サイクル最終日にスラブコンクリートを打設した。

1) システム導入による鉄骨の変更点

本建物は日本建築センターの構造評定物件であり、鉄骨部材断面などの変更は行っていない。システム構成上、鉄骨部材のジョイント位置を以下のように変更した。

①柱の節割の変更

- 一般柱部分(19本)：3層1節を2層1節に変更
- 反力柱部分(10本)：3層1節を1層1節に変更

②反力柱のカンヌキ支持部分の大梁ジョイント方式変更

- ノンブラケット方式をブラケット方式に変更
- (なお、支柱フレームを補強し、リフトアップフレーム

の高さを現状より3m伸すことで、一般柱を3層1節、反力柱を2層1節にすることも可能である。)

2) 鉄骨建方

西側の荷取りヤードから揚重し、所定の取付け位置までフレーム内を水平搬送する。サイクル初日に反力柱を支柱フレーム内に建て込み、その後建物東側から順次、一般柱・大梁・小梁の建て方、デッキ揚重を片押し作業で行った。そして各種の自動化吊り具を使用し搬送時間・玉架けは少し時間の短縮、および安全性の向上を図った。

写真-1に自動玉外し装置を使用した一般柱の搬送状況、写真-2にまとめ吊り装置を使用した小梁の搬送状況を示す。(梁まとめ吊り装置は、地上のラックにセットしてある梁3本を一度に把持することができ、搬送時間と玉掛け作業時間の短縮に寄与した。)

3) 建て入れ調整

梁取付け後のワイヤロープによる歪み直し作業を削減するため、梁取付けに先行して柱建て込み時に小型油圧ジャッキを使用して建て入れ調整を行った。建て入れ後の精度は、上下のエレクションピース間のくさびで保持した。

写真-3に柱の建て入れ調整状況を示す。

一方、柱の目違い調整は、柱4面中央に十字状に配置してあるエレクションピースの接合部に調整プレートを挿入することで対応した。

4) 柱の自動溶接

柱溶接の一部に自動溶接ロボットを使用し溶接工1名で対面する2台のロボットを操作した。盛り替え作業を削減するため、制御盤や溶接電源は屋根フレーム内部に、溶接ロボット本体は側壁フレームに設置した。

溶接開始後は溶接状況の監視とスラグを除去するだけでよく、苦渋作業の軽減になった。しかし、作業の能率向上の観点からはレールやロボットの取付け作業の簡略

化、および取付け時間の短縮化を進める必要があり、今後の改善事項である。写真-4に柱の自動溶接状況を示す。

5) 床躯体工事

N階ではデッキ布設完了後、スタッド・インサート打ちや電気管の布設作業を行い、その下のN-1階では溶接金網布設作業や外周部の配筋補強作業の完了後、コンクリートを打設した。

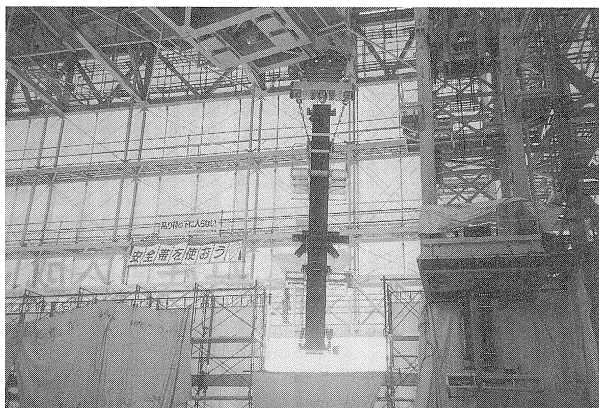


写真-1 一般柱の搬送状況

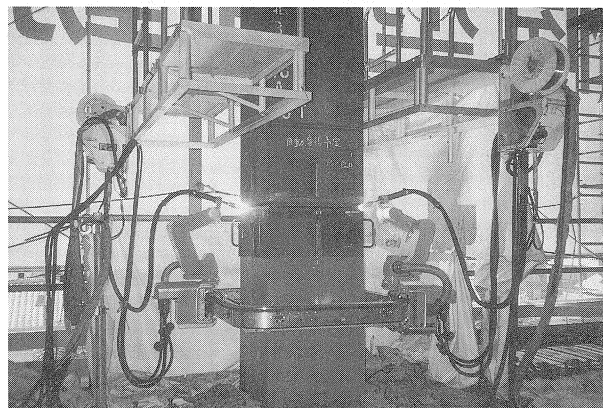


写真-4 柱の自動溶接状況

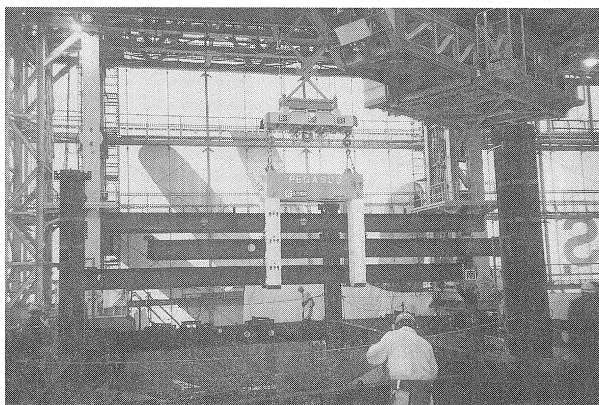


写真-2 小梁の搬送状況

5. 3 外壁工事

サイクル施工の後半、シャトルクレーンにより外壁パネルの揚重取付けを行った。写真-5に外壁パネル取付け後の建物の外観を示す。

ガラスCWユニットは1フロア当たり24ピースあり、実質1日半で取付けた。建物角部には、スチールフレー

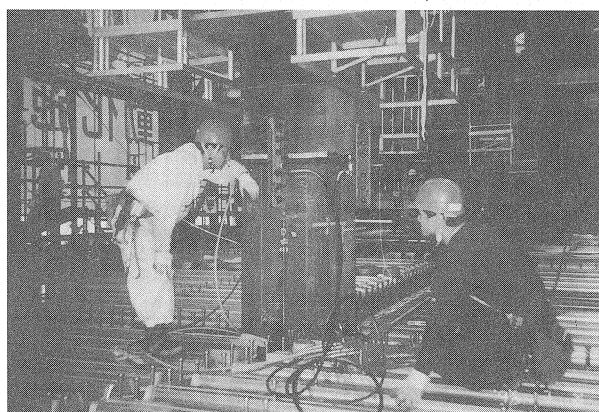


写真-3 柱の先行建て入れ調整状況



写真-5 外壁パネル取付け後の建物の外観

ムにモルタルを裏打ちした石装パネルを横連窓の上下に、建物北面には押し出し成形板を採用した。

図一4～6に、各種外壁の断面と立面図を示す。

以下、3種類の外壁の作業内容を示す。

1) 建物南面・妻面：ガラスカーテンウォール

ロックダウン方式では、上下のスラブコンクリート完了階であるN-2～N-3階で、方立て組立、ガラス入れ、ガラス廻りのシール作業を行う必要がある。しかし、これらの作業を1サイクル内で完了できないと判断しフルユニット方式を採用した（基準パネルのサイズ3,200×3,750mm）。工場で、枠組、ガラス入れ、シール打ち、およびバックボード（ガラスの裏面の耐火ボード）取付けまで完了したフルユニットを、パネル建て起こし用の

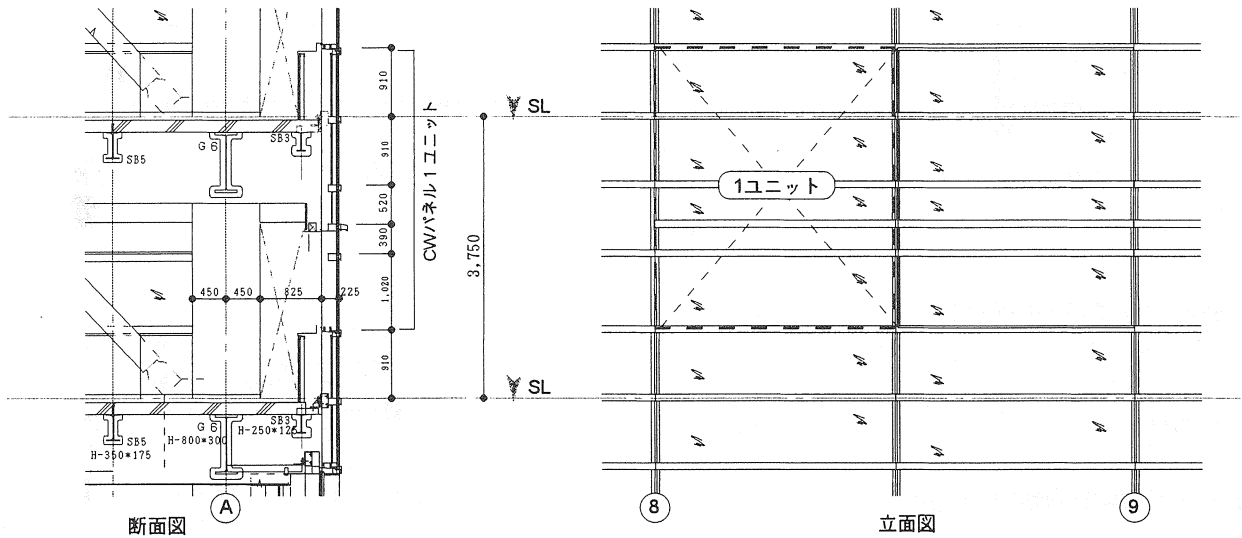
架台にセットした状態で現場搬入した。

強風時にパネルが旋回して建物の外壁と干渉する恐れのある場合には、パネルを架台ごと水平揚重して風の影響のないフレーム内部で建て起こしを行った。

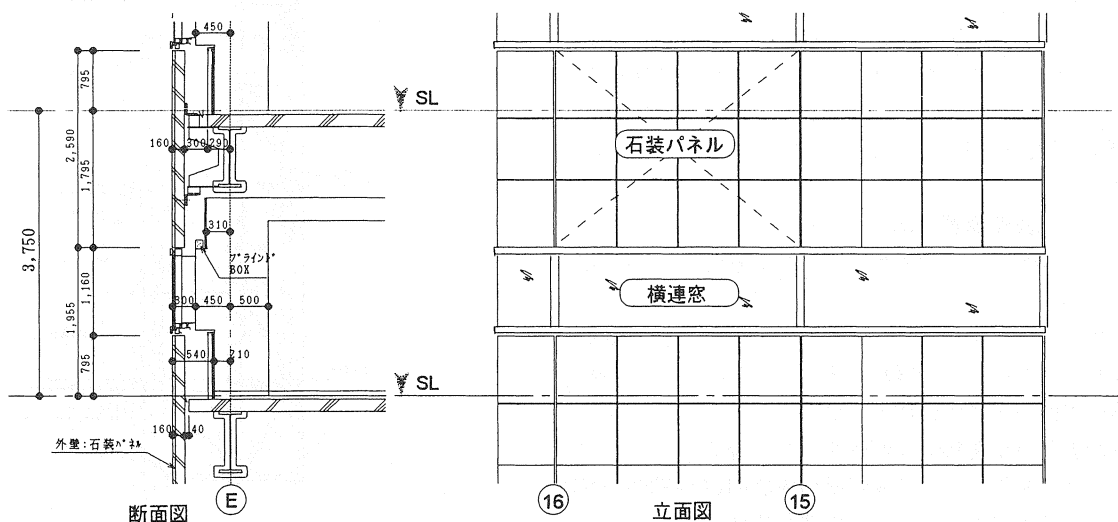
2) 建物角部：石装パネル+横連窓

前述したように、サイクル工程上、工種間の緻密な連携と調整が必要な作業である。

スパンドレルタイプのPCa版となる石装パネルを、N-1階のスラブコンクリート打設前に仮固定し、リフトアップの翌日にN-2階の基準墨出し、石装パネルの位置決め後、下階のN-3階で連窓枠を取付けた。連窓枠の取付け固定後、ガラス入れ、外周部のシール打ちなど一連の作業を6～7日のサイクル施工の中で完了した。



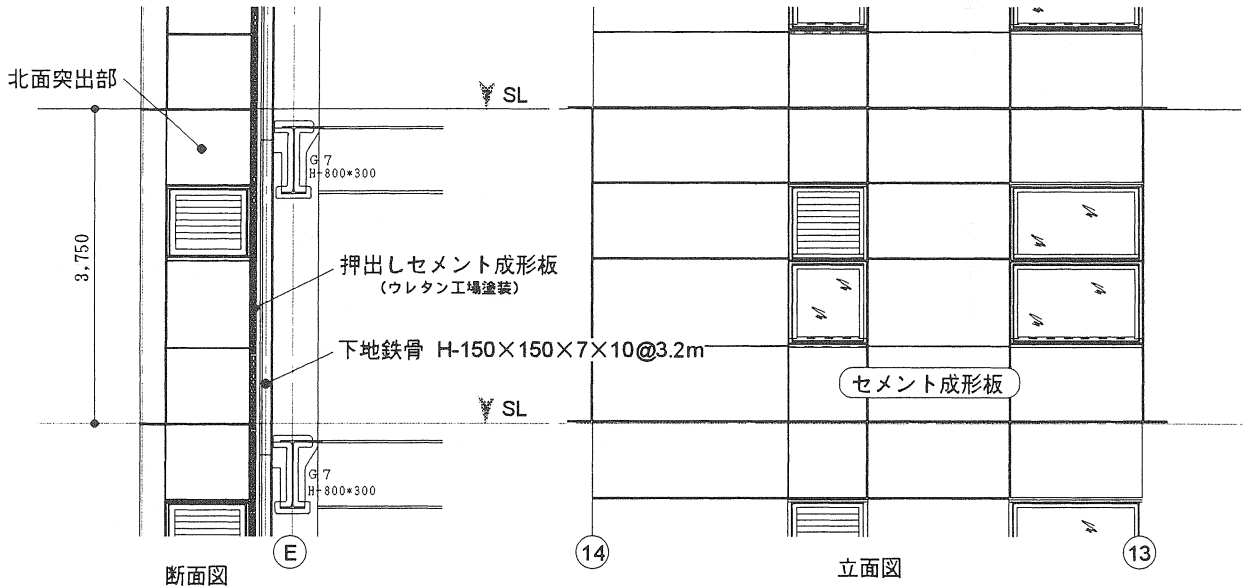
図一4 外壁（南・妻部分）：ガラスカーテンウォール



図一5 外壁（コーナ部分）：石装パネル+横連窓

3) 建物北面：押し成形セメント板  
工場塗装した成形板をクレーンで荷揚げ後、側壁外部足場を活用して上方に設置した移動式ウインチで取付け

た。単窓サッシのある部分を先行して完了し、窓枠取付け、ガラス入れ、およびシール作業までをサイクル施工の中で完了した。



図一六 外壁（北面部分）：押し成形セメント板

4) 側壁作業足場

側壁の最下段と建物との間は、作業時の飛来落下防止や安全を確保するためゴムシートで密閉してある。そのため押し成形セメント板取付け作業などにこの側壁足場を積極的に活用することで、安全・迅速に作業することができた。図一七に押し成形セメント板の取付け作業における側壁作業足場の実施例を示す。

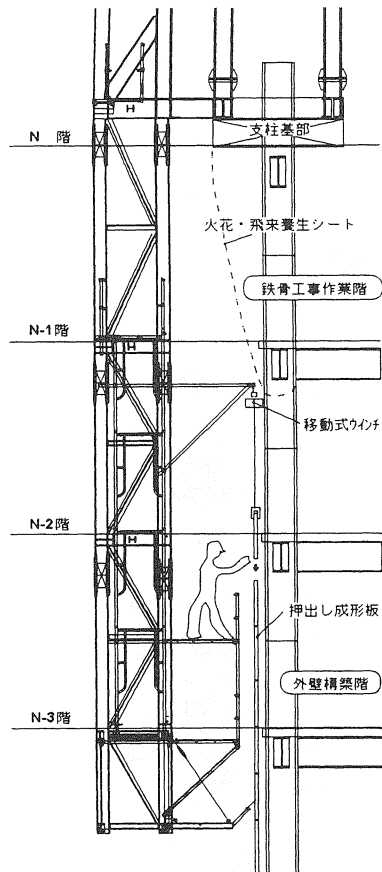
また、オープンジョイントのCWパネルも側壁内部で取付けることで、風の影響を受けずに安全・迅速に作業することができた。

以上のように、外壁工事においてはユニット化による省力化、ロックダウン仕様の部分では工種間の協調作業によるサイクル工程の最適化、およびシステム独自の側壁足場（機械）の活用による「機械と人」の協調による省力化も図った。

5. 4 設備機器のユニット化

通常、事務所ビルの工事においては各階のトイレ部分が最も工数がかかる。そこでトイレ室をユニット化して配管や仕上げ作業などの工数を削減することで、現場作業の省力化を図った。写真一六にトイレユニットの揚重状況を、図一八に平面図を示す。

壁、天井、衛生機器、配管などを工場でプレファブ化し、シャトルクレーンで施工階の仮設開口から取付け階に搬入し床の上に仮置きする。内部の間仕切り作業・耐火被覆工事の進捗に合わせて所定位置に移動後、床にボル



図一七 側壁作業足場の実施例



ト固定する。設置後は豎配管と接続するだけであり現場作業を省力化することができた。

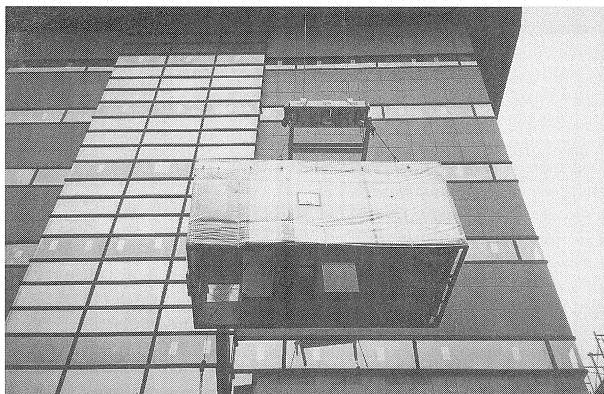
空調制御機に関しても、通常、3～4分割で組立るものをW1210×L3840×H2450mmの大きさに一体化して、これもシャトルクレーンで先行揚重した。

写真一七に空調制御機の搬入状況を示す。

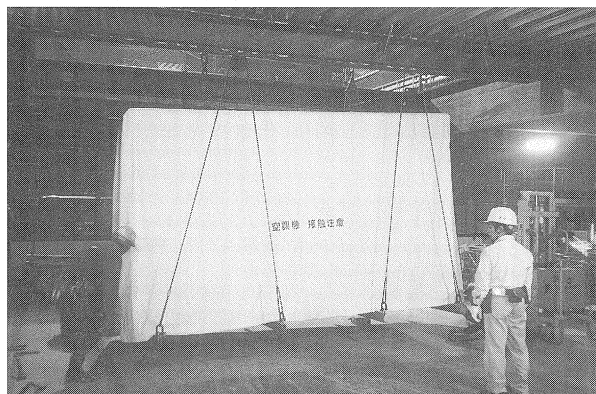
また、スプリンクラー配管用フランジの工場先行加工

による現場廃材の削減も実施した。

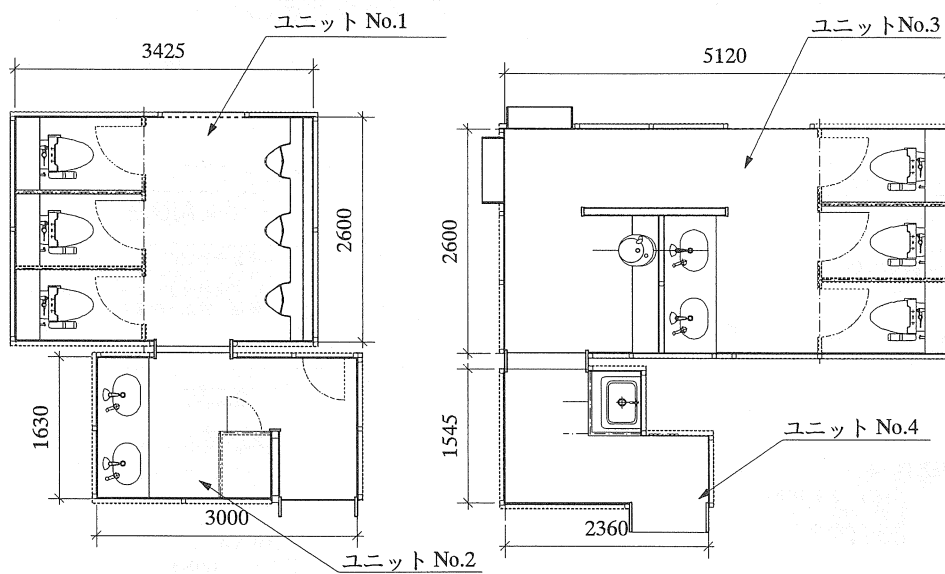
一方、シャトルクレーンの2フック姿勢制御機能を有効に使用することで、これらのユニットや押し成形セメント板などの荷降ろし時の作業員の補助が不要になった。しかも、同一開口に対して、2台のクレーンがアクセスできるため手待ちの少ない揚重作業を実施することができた。



写真一六 トイレユニットの揚重状況



写真一七 空調制御機の搬入状況



トイレユニット (男子)

トイレユニット (女子)

図一八 トイレユニットの平面図

6. 情報化施工

施工階監視、品質管理など施工情報の共有化を中心に実施した。図-9に情報化施工の構成要素を示す。

1) 施工階監視システム

リフトアップ、および搬送制御の状況だけでなく、機器の異常監視も事務所においてリアルタイムに把握することができた。これにより指示・連絡を迅速に行うことが可能になり、施工を安全・確実に進めることができた。

2) 労務管理システム

IDカード式作業員入退場管理、作業日報の電子化などにより管理業務の省力化と作業指示書発行の迅速化を図った。

3) 搬送部材登録システム

搬送部材の形状・取付け位置を事前に現場事務所にて登録し中央制御室に送信する。搬送が完了した部材は取付け完了状態表示になるので、事務所にてリアルタイムに工事の進捗状況を確認できた。

4) 資材の搬出入管理システム

現場内スペースが狭いため日々の搬出入の調整作業は管理上重要である。そこで、事前に各工種の職長が予約状況を確認しながら搬入予定を入力し、打ち合わせではその内容だけを確認する資材の搬出入管理を行うことで、現場管理業務の省力化と情報の共有化を図った。

図-10に搬出入管理システムの入力画面を示す。

5) 携帯端末による安全・仕上げ管理

携帯端末に建物の平面図を事前に登録し、現場では安全指示や仕上げ状況を入力して打ち合わせ時に使用することで、現場作業に迅速に反映することができた。

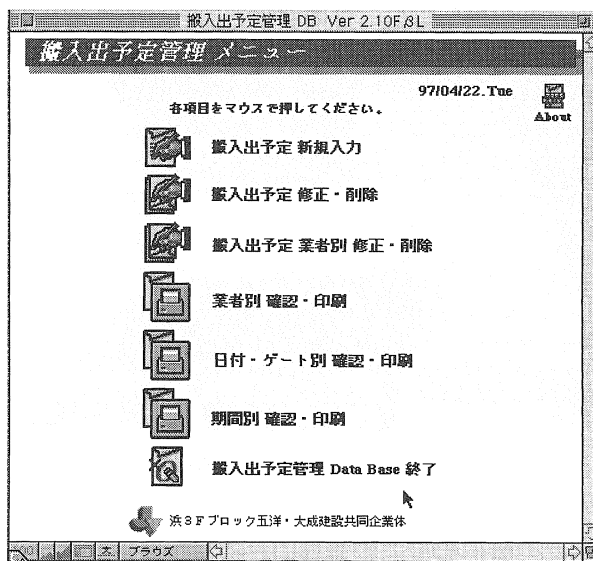


図-10 搬出入管理システムの入力画面

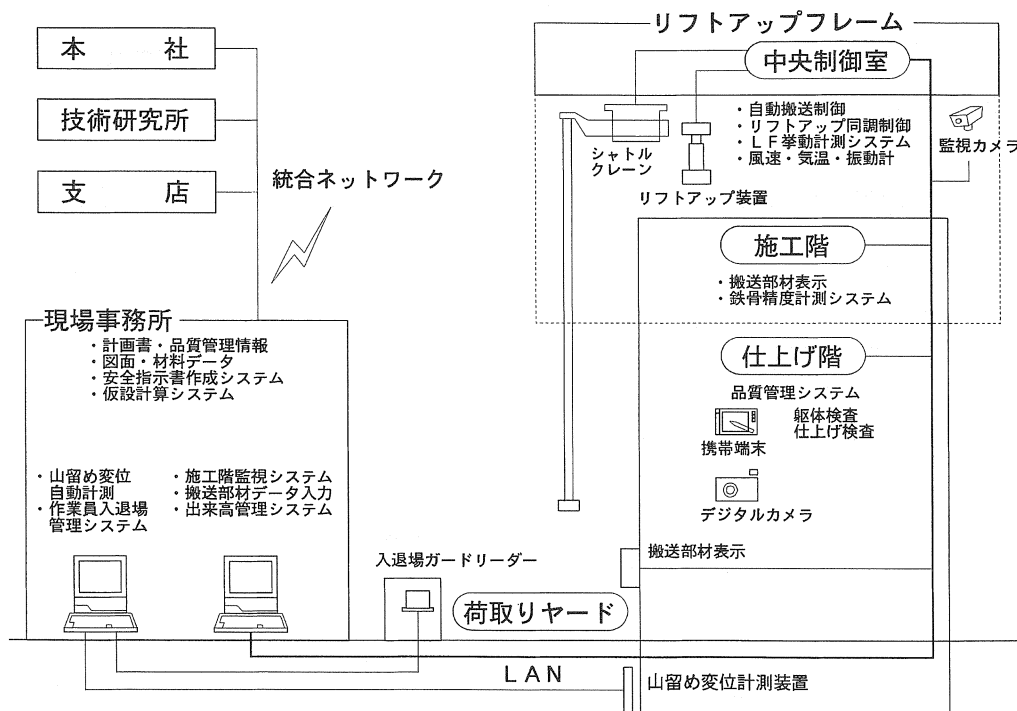


図-9 情報化施工の構成要素



7. 適用結果

7. 1 サイクル施工の適用結果

1) 所要人工と作業の平準化

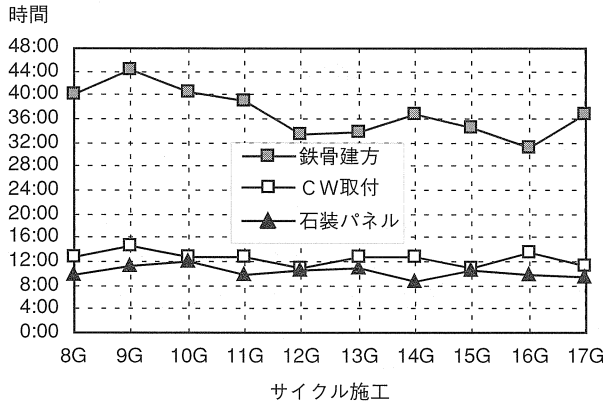
サイクル施工における各工種の人工数は一定でないが、次のようにして平準化を図った。

- ① 鷹工：建て方日以外は高速リフトの盛り替え、コラムステージの撤去、低層部の仮設の整備を行う。
- ② CW工：パネル取付け以外の日はファスナーセット、ブラインドボックスや膳板の取付け作業を行う。
- ③ シール工：外部作業がないときは外壁完了階の内部のシール作業を行う。

2) 作業の習熟効果

表-1 に鉄骨建方、および外壁取付けの8~17G施工時のクレーン活用時間（2台の合計）の推移を示す。鉄骨に関しては、3日間要していた作業が2日半でできるようになり、施工後半の6日サイクルの実現が可能になった。外壁作業に関しては効果はみられないが、階高が高くなっても垂直搬送時間の増加を抑えており、このことは若干の習熟効果を示していると考えられる。

表-1 鉄骨建方・外壁取付けのクレーン活用時間



3) 6日サイクルの実施

表-2 に示すように鉄骨建方、CWの取付けを半日早めることで6日サイクルが実施できた。図-1 1 に6日サイクルの施工フローを示す。

表-2 サイクル工程の短縮

日数	1	2	3	4	5	6	7
7日サイクル	鉄骨建て方 (反力柱を含む)		CWユニット			石装パネル	LU
6日サイクル	鉄骨建て方 (反力柱を含む)		CWユニット		石装パネル	LU	

LU: リフトアップ

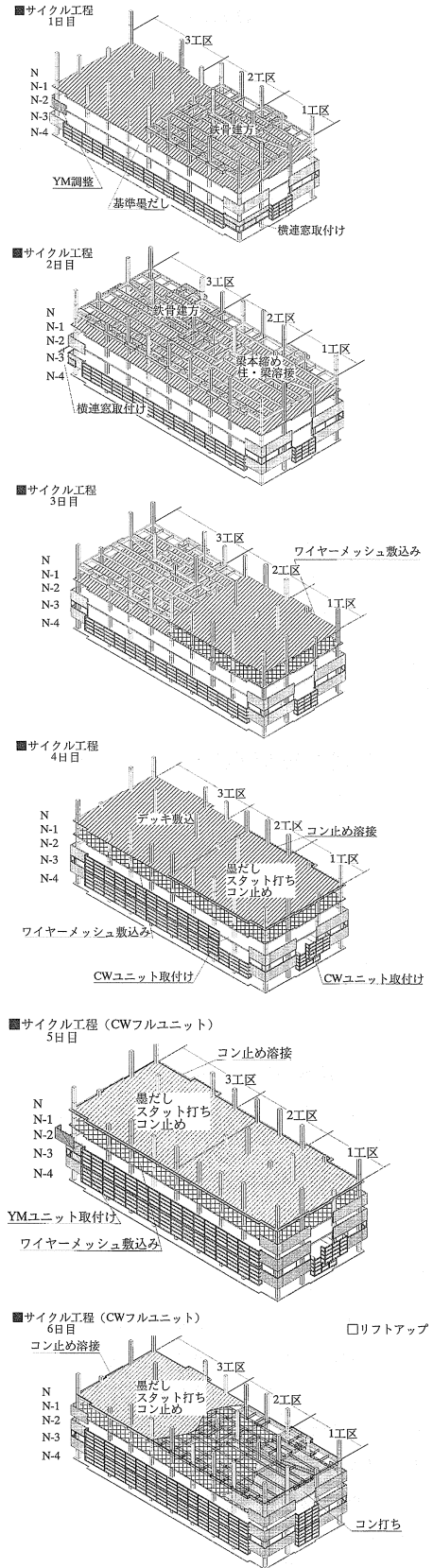


図-1 1 6日サイクルの施工フロー

## 7. 2 ユニット化の適用結果

外壁、およびトイレ室をユニット化したことで在来工法に比べ1/4～1/6に省力化することができた。その他、下記の利点もあった。

- ①重量に比べて受圧面が大きいガラスCWのフルユニットは、取付け時に風の影響を受けやすい。その点、側壁内では風の影響がなく迅速かつ安全に作業できた。
- ②天井や壁などの仕上げを完了したトイレユニットは雨水や強風に対して何らかの養生が必要になるが、本システムでは軽微なシート養生を施しただけであった。

## 7. 3 側壁作業足場の効果

このようなシステムで初めて側壁部分を外部作業足場に活用したことで在来工法に比べ2/3～1/2に省力化することができた（従来、PCa板やガラスの外部シールは屋上設置のゴンドラが使用できるようになって実施していた）。

この足場は連窓部では外部シール作業だけでなく、ガラス取付けの容易化と外部押さえ仕様によるサッシ断面形状の簡略化にも寄与している。また、北面の成形板取付けにおいても、跳ね出し式の高所作業車を使用することなく取付け作業を迅速に実施できた。

## 7. 4 全天候作業環境の効果

### 1) 品質の確保

屋内での外壁パネル取付け直後のガラスのシール打ち作業やスラブコンクリートの押さえ作業の実施、また、雨天日においても内部の耐火被覆や仕上げ材が雨に濡れることもなく、建物の品質や耐久性の向上を図ることができた。（通常、外部シール作業はゴンドラを使用することが多く、その場合はシール部分の清掃が必要になる）

### 2) 安定工程の確保

高層部躯体工事開始後、1ヶ月の雨天日においても、各工種の作業員は予定した日に予定した量の作業を実施でき、安定工程の確保、作業の平準化・省力化を図ることができた。そのため、雨天中止後の増員や搬入材の調整作業などは発生していない。

### 3) 全体工期の短縮

在来工法との工期の比較は、本システムの構築に要する日数と、施工期間中の雨天や強風による不稼働日の累積日数である。その他、早期に各階の仕上げ工事に着手できる利点があるものの、システム解体時の地上工事への影響なども考慮する必要がある。

同一規模の建物であっても、敷地条件や建物の仕様によって全体工期は異なるが、本システムでは20階建て程度の高層建築物が工期短縮の分岐点である。

### 4) 全天候による省力化

下記に全天候による省力化効果を示す。

- ①工程が安定しているため、作業の変更や工程調整などの現場管理業務が減少する。
- ②搬入部材をスケジュール通りに荷降ろしできるので、地上荷捌きヤードを効率よく活用でき、鉄骨搬送車の現場外待機などの損失が少ない。
- ③雨水の処理や止水階の設置手間が不要である。
- ④雨後に施工部位が乾くまでは作業できない工種も多々あるが、本システムではそのようなことがない。

### 5) 作業環境の向上

風雨の影響や、直射日光のデッキからの照り返しがなく快適な作業環境を確保することができた。夏場には作業員の体感温度を低減するため送風機による強制通風を行った。また、外部足場を活用することで高所作業を削減し部材取付け時の安全性も向上した。

今後は、フレーム構成の設計段階で開閉式の通風口などを検討し、より快適な環境を確保したい。

### 6) 現場周辺の環境

鉄骨建方や外壁取付け工事などが外部からは見えないため、工事現場のイメージが少ないとの印象を近隣の方々からいただいた。

一方、地上の仮設タンクに雨水を回収し、周辺への飛散を防止するとともに、場内の仮設トイレや清掃作業などに有効利用した。（図-2参照）

## 7. 5 情報化施工の適用結果

現場事務所で作業の進捗状況、作業員の入退場管理、資材の搬出入の状況などをリアルタイムに監視できるようになり、現場管理の電子化の第一歩になった。

特に、各工種の職長自身が搬入予定を職長室の端末で入力できるようになり、現場管理業務の省力化だけでなく品質管理データの電子保存化の促進を図る足がかりになった。今後とも、現場関係者全員の情報の共有化による無駄のない情報化施工を推進していく所存である。

## 8. まとめ

以上、本システムによる施工内容とその結果について報告した。工種間の協調作業を基本理念としてサイクル工程を構築し、異なる工種間の緻密な連携協調作業を行うことで、当初の7日サイクルから6日サイクルに短縮できた。そして、風雨の影響を受けない快適な作業環境が創造できたと考える。

## 9. あとがき

延べ床約35,000m<sup>2</sup>の高層ビル施工を通して、本システムの効果や今後の改良点などを確認することができた。これらを踏まえ、今後も検討・改良を行い高層ビル施工の一工法に確立していきたい。