

## 20. FCF 工法による高層大型煙突の施工

(株)フジタ：\*森本 正一、松尾 宗義

### 1. はじめに

当社では高橋脚等の高層構造物の施工を対象に①安全性向上、②工期短縮、③コストダウンを目的に昇降ロボットジャッキを中枢とする、FCF工法（Fast Failsafe Climbing Form）を開発し、これまでに多数の現場へ導入してきた。

このたび本工法を更に進化させて、作業空間を全天候型とし、種々の付加価値を加え、高層構造物である高さ118mのRC造の煙突を施工した。本文にて、施工内容を記述すると共に、当工法の高層構造物の施工に対する有効性を述べる。

### 2. 工法概要

FCF工法は、高橋脚等の塔状あるいは筒状の高層コンクリート構造物の施工のために開発された工法である。当工法は複数台の昇降ロボットジャッキ群を用いてフレーム全体の上昇のみでなく、下降もできることを最大の特徴としている。

図-1にFCF工法の構造概要を示す。橋脚の周囲にはシステムの受け台であるメインフレームがその大きさにより通常4～8本の鋼管ロッドを介して躯体周囲に設置される。ここで、鋼管ロッドは移動時のガイド及び鉛直荷重に対する支え支柱になっている。メインフレーム上には作業用の足場が、通常5～7段（約8～12m：鉄筋長さによる）に組み、さらに大型型枠（高さ約5m）、上昇・下降を行うための昇降ロボットジャッキを制御するローカルマイコン及びシステム全体を制御する中央制御盤が組み込まれている。

図-2に制御システムの概念図を示す。各々の昇降ロボットジャッキの設置箇所に据えられているレベルセンサのデータ、及び機器への動作指令、モニタ信号は各昇降ロボットジャッキに組み込まれたローカルマイコンと中央制御盤のLANにより送受信される。中央制御盤では、各レベルセンサに現れる相対的な差異を高低差情報として処理し、この高低差を許容範囲内に制御するための制御データを、各ローカルマイコンへ送信する。ローカルマイコンはそれに基づき油圧ユニット、鋼管を把持するためのチャック等を作動させて上昇または下降を行う。

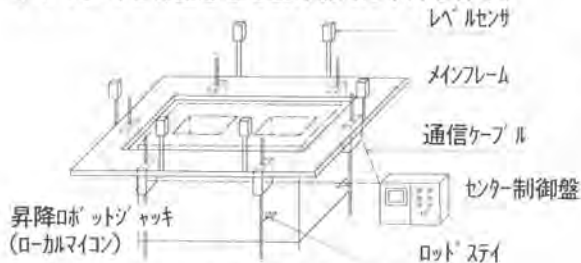


図-1 FCF工法構造概要



図-2 制御システム概念図

図-3に今回、本工法を適用した施工現場を示す。

施工対象はRC造、高さ118m（内筒120m）の煙突である。底部は対辺寸法10.4m、一辺の長さ4.3m、コンクリート厚さが、0.8mの正八角形の形状である。コンクリート厚さは上部になるほど数度にわたり段階的に薄くなる構造である。GL+9.8mから真円となり、最上部の約10mは設備のための複雑な形状になっている。

本工法では、作業床、型枠、鉄筋用足場を、メインフレーム上に一体化し、閉閉式屋根を備えた全天候作業空間を形成している。この作業空間全体は、施工する煙突の外周及び内周に立設した鋼管ロッドにより支持され、昇降ロボットジャッキシステムにより上昇、下降できる。図-4にこれらの施工状況を示し、図-5に施工対象煙突の立面図・平面図を示す。

### 3. 施工用設備

工法関連の主な設備とその特徴は以下のとおりである。

#### (1) 昇降ロボットジャッキ

本機は、その中心を貫通しているロッドを開閉可能なチャック装置で把持しこれを反力として上昇又は下降できる装置である。1ストローク15cmの作業を繰り返し所定の高さ分の移動を行う。通常は6～8台程度の複数台を中央制御盤でコンピュータ制御し一元管理する。これにより装置全体が水平を維持しながら上昇、下降できる。

今回は、煙突外周については、そのメインフレーム上に構成される種々の施工設備全体の総荷重は約70tでありジャッキ能力を考慮し、且つ躯体が正八角形であることから各辺1台の合計8台とした。

煙突内周については、その総荷重は約20tであり、躯体が正八角形ではあるが、ジャッキ能力より合計3台としそのセット位置は荷重バランスを考慮し設定した。これら

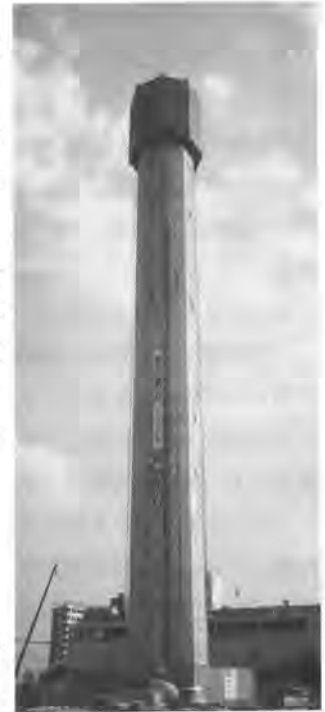


図-3 施工現場

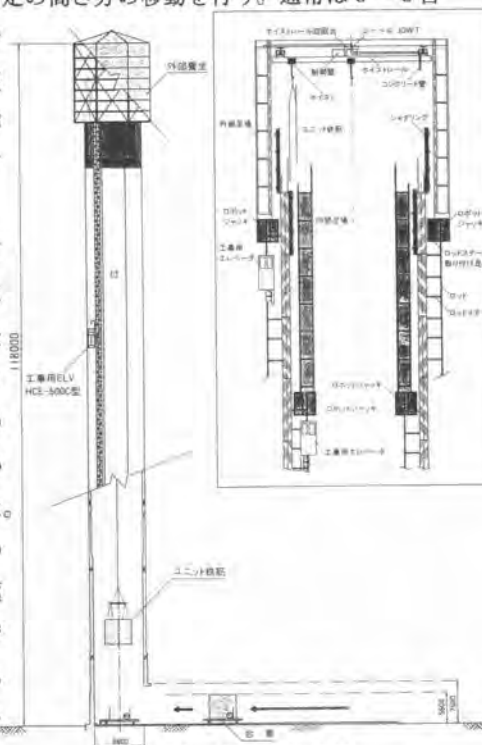


図-4 施工状況

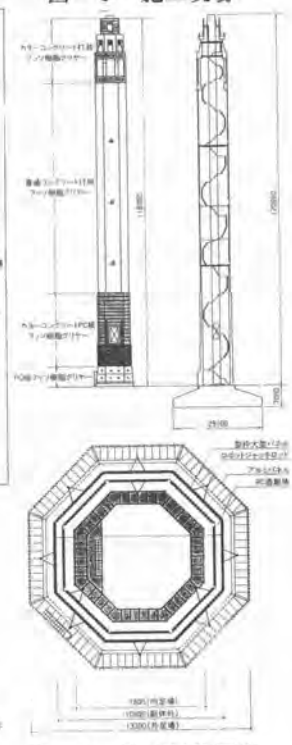


図-5 施工対象煙突

は、各々中央制御盤を持ち、別途システムとして作動する。

図-6に昇降ロボットジャッキの外観図を示し、表-1に主要仕様を示す。

また当該現場へのセット状況を図-7に示す。

### (2) 揚重クレーン

作業空間上部に資材の揚重設備として専用サークルクレーンをセットした。装置は揚

重能力1.4t、揚重高さ120m対応の電動チェーンブロックで、360度の旋回機能、横行機能により作業エリア全体に有効である。操作はラジコンにより行う。巻き上げ速度は最大で6.6m/min100mを越える揚重時には、15分以上の時間がかかるため、電動チェーンブロックを2台設置し、巻き上げとフックの下降を同時に行うシステムとした。

### (3) コンクリートディストリビュータ

コンクリート打設作業のうちの分配作業を省力化するため、サークルクレーンにコンクリートディストリビュータを合体させた。サークルクレーンの360度旋回機能を利用し、配管の振り回しを機械化し従来の重労働を無くし省力化した。

### (4) 鉄筋運搬台車

ユニット鉄筋は地上で約1,280kgのメッシュ鉄筋パネルに地組みされ揚重される。その結果、揚重回数が低減し、大きな効果が得られる。このユニット鉄筋を煙突内部に搬入するため、搬入口に電動の搬送台車を設置し、外部で搬送台車上に、メッシュを縦置きし、揚重の準備を整えてから煙突内に搬入する。

この方式により、煙突内部での上下作業の時間を極力減らし、安全性と作業効率の向上を図った。

### (5) 大型型枠

型枠面には合板を、根太材に木製トラスを用い軽量化された型枠は、正八角形の各辺1枚に大型化されて

表-1 昇降ロボットジャッキ主要仕様

項目		内容
装置能力	推力	15.3tonf/台(120kgf/cm <sup>2</sup> )
	速度	31.5cm/min(単体速度)
	寸法	1,100H×620W×450D
油圧ユニット	ポンプ	(50Hz)3.5ℓ/min 1500rpm (60Hz)4.8ℓ/min 1800rpm 圧力 MAX 140kgf/cm <sup>2</sup>
	電動機	1.5KW 4P 200V 3φ
油圧シリンダ	タンク	20ℓ
	シリンダ径	内径 φ90 ロット径 φ50
	ストローク長	200mm(作業ストローク 150mm)
	受圧面積	押側63.6cm <sup>2</sup> 引側44.0cm <sup>2</sup>
本数	2本/台	

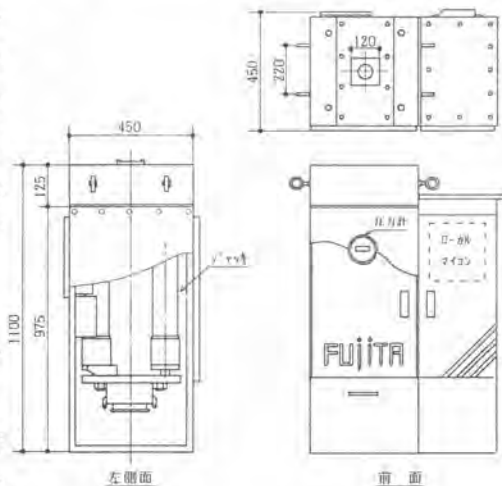


図-6 昇降ロボットジャッキ外観



図-7 昇降ロボットジャッキセット

いる。大型型枠は昇降フレームのブラケット上にセットされており、脱型後昇降フレームと共に上昇する。

#### (6) 全天候作業空間

昇降可能な全天候型作業空間は昇降ロボットジャッキ上に配置されたメインフレームの上に構成されている。これらは、鉄骨構造で構成され、屋根部分は開閉式テントで覆われている。作業空間の総高さは、約13mである。

この作業空間は躯体施工前地上で組み立てられ、躯体完了後、仕上げ工事を行いながら地上まで下降し、地上で解体したため安全性が大きく向上した。

#### 4. 施工手順

FCF工法による施工開始までの準備工を図-8に示す。

これらの作業の後、1ロット（標準部4、2.5m高）毎に図-9に示すサイクルで施工を繰り返す。クライミング動作は、全天候作業空間（ハウス）内の最下部にセットされた昇降ロボットジャッキが、その中心を貫通しているロッドを開閉可能なチャック装置で把持し、これを反力として行われる。

1ストローク15cmの上昇を繰り返す。

途中ロッドステイを1.4m毎に取り付け、1ロットのクライミングを約2時間で終了する。今回外部型枠と内部型枠の両者にクライミング工法を採用した。このため、まず全天候作業空間及び外部型枠をクライミングし、その後型枠剥離作業、組鉄筋の取り込み、組立、サークルクレーンによる内部型枠の上昇剥離作業、内部作業足場クライミング、型枠セットまでの一連のコンクリート打設前作業を行う。

コンクリート打設は地上よりポンプ車で圧送され、全天候ハウス天井部に設けられたコンクリートディストリビュータにより各辺型枠内に効率よく分配される。その後養生期間を経て型枠脱型する。これらのサイクルを繰り返し、最終施工完了後装置全体を準備工の組立位置まで下降させ地上で解体する。

これらの施工手順を図-10に示す。

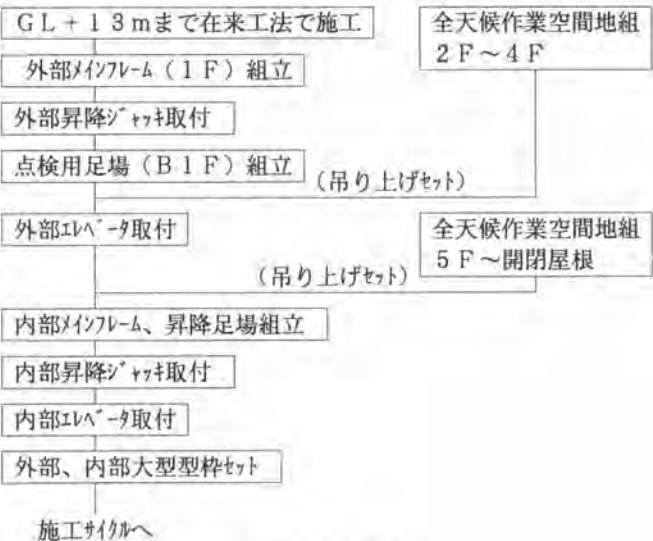


図-8 準備工



図-9 施工サイクル

## 5. 施工対策

### (1) 風荷重

工事場所は都市部であるため山岳部の強風発生地に比べて風は少ないものの、高さ100m超までクライミングを行うため、全天候作業空間の設計は入念に実施された。この作業空間は総高さ約14mである。このため設計上、風荷重が大きな検討対象となった。統

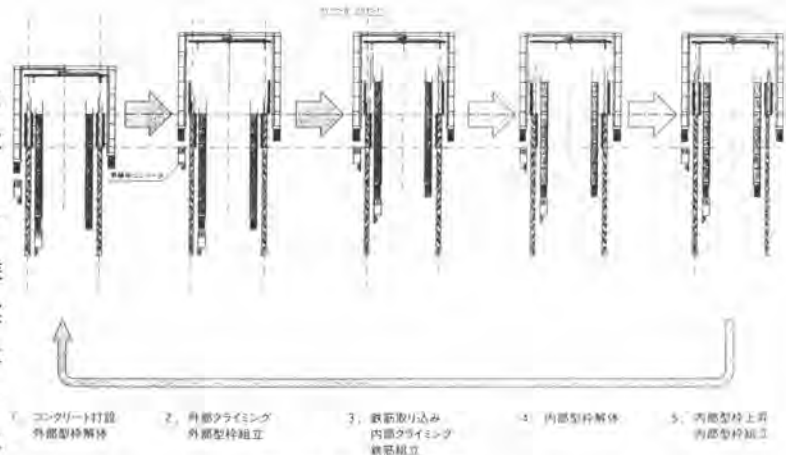


図-10 施工手順

計上当地において、 $35\text{m/sec}$ 以上の強風発生率は3日/年である。対策として風向・風速は常時計測記録した。またクライミング時以外はメインフレームを躯体等に固定する等の対策を施した。全天候作業空間の設計強度上、風速による作業条件を表-2のように定めた。

### (2) クライミングロッド軸力荷重

昇降可能な作業空間を全天候型とし揚重装置も設備したためロッド軸力が大きくなった。また、気温の上昇によりロッドが熱膨張し、結果的に軸力が増加することも考えられた。このためロッド座屈防止の検討を入念に行った。座屈に直接的に影響するロッドステイ取り付け間隔は設計値を前提とし、施工実績を参考に、より安全側に設定した。更に今回の施工に先立ちロッドの圧縮試験を行い、安全性を確認した。

表-2 作業条件

風速	対策
0~25m/sec	クライミング作業
25~35m/sec	足場上での作業
40m/sec以上	メインフレーム下降 (足場を躯体に固定)

## 6. 施工結果

### (1) 工程

FCF工法による第16回クライミング作業までの累積施工日数は、図-11のとおりである。

計画工程に沿って順調に推移した。

### (2) 風荷重

高さ60mを施工中に、戦後最大級の台風(中心風速 $45\text{m/sec}$ )が関東地方を通過した。当現場への直撃は避けられたものの、最大風速 $23\text{m/sec}$ 、2時間に亘り $20\text{m/sec}$ の風を受けた。特別な対策として、全天候作業空間をワイヤで

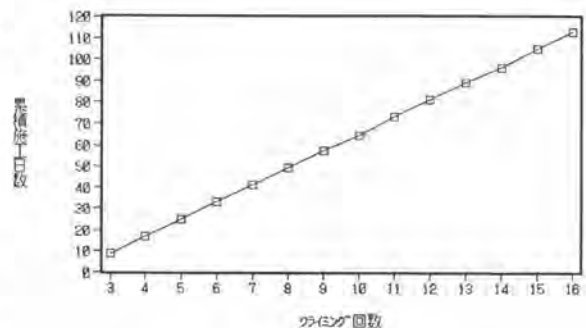


図-11 累積施工日数

煙突躯体に緊結処理したが、風に対する検討を充分に行っていたため問題なかった。

### (3) ロッド軸力

クライミング時各昇降ロボットジャッキは、その相対高さを設定レベル差（通常15mm）以内になるよう自動制御され上昇（下降）する。レベルは一定以内に収まるが、微妙なレベル差が各ロッドの軸力の差として現れる。また、気温の上昇によりロッドが熱膨張し、それが原因と考えられるロッドの軸力の増加が認められた。

これらの変動幅は、設計時の安全性をクリアーできる範囲のものであった。

## 7. 終わりに

ハイピアーに施工実績のある昇降ロボットジャッキを中核とするFCF工法に、今回、種々の新機能を付加し、高層煙突施工にも威力を発揮できる新システムになった。

本システムを用いて高さ118mの高層煙突を施工した。

これにより以下の成果が得られた。

- ①高所での作業にもかかわらず、安全作業で施工できた。
- ②全天候作業空間を実現し作業効率を向上した。
- ③機械化された作業空間を実現できた。

- ・昇降ロボットジャッキシステム
- ・昇降ステージ
- ・大型型枠
- ・自動開放テント
- ・サークルクレーン
- ・コンクリートディストリビュータ
- ・鉄筋運搬台車

を合理的に配置できた。

- ④工期短縮、省力化を実現できた。

今回の施工を終了し、本工法は高さ100m超の高層構造物の施工に充分に対応でき、有効な工法であることを実施工により確認できた。

今後、高層橋脚、高層煙突を中心に本工法を広く展開していきたい。