

### 3. 頂部球形仕上部（ゴールデンボール）を有する煙突工事合理化施工法の計画と実施

榎竹中工務店： 佐藤 豊優，菊池 公男  
\*岡崎 直人

#### 1.序 論

本工場の建設地である舞洲は、現在招致推進中の 2008 年オリンピックのメイン会場に予定されており、「環境創造型モデル都市」として、都市と環境の共存を目指して計画されている。エコアイランド舞洲の立地を考慮し、工場の外観は環境保護建築で世界的に有名なウィーンの巨匠フンデルトヴァッサー師によりてがけられた。なかでも煙突は、頂部に直径 22m のゴールデンボールと呼ばれる立体トラスに金色ホローパネルを施した球体が計画されていた。「直線に神は宿らず」という師の言葉通り、その駆体外径も 90m から最上部にかけ緩やかな傾斜を描いた先細り形状となっている。また、煙突の機能上必要となるプラント内筒工事の着手時期を厳守するためには施工の合理化が必要不可欠となる。今回、変断面の外筒躯体工事にスリップフォーム工法を、ゴールデンボールの施工にリフトアップ工法を採用した。それぞれの工法は既に確立された技術であるが、本煙突工事の特性を考慮し、種々の改良を加え、成果を得たので報告する。

#### 2.本 論

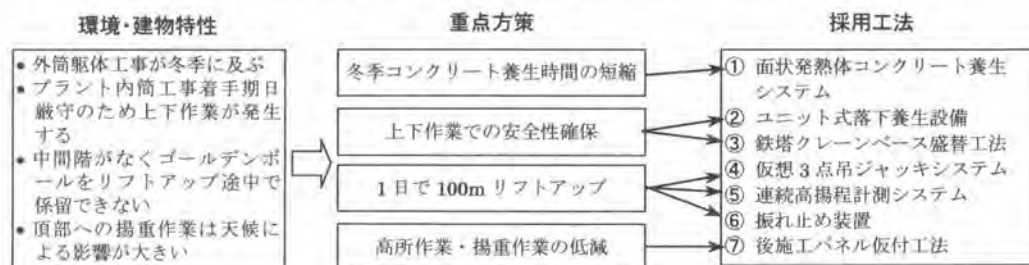
##### 2.1 煙突工事概要

工事名称 環境事業局舞洲工場建設追加工事  
所在地 大阪市此花区北港白津 1 丁目  
建築主 大阪市環境事業局  
設計監理 大阪市都市整備局営繕部・(株)昭和設計  
施 工 竹中・大成・錢高特定建設工事共同企業体  
構造規模 RC 造（一部 S 造）地上 120m、地下 6.5m  
外筒躯体 外径φ12400～10400mm  
壁厚 700～1400～300mm  
ゴールデンボール 立体トラス+金色ホローパネル仕上  
外径φ22000mm  
工 期 1998 年 9 月 28 日～2001 年 1 月 31 日



##### 2.2 採用工法の設定

環境・建物特性を考慮して煙突工事での重点方策を立案し採用する工法を設定した。(図-1)



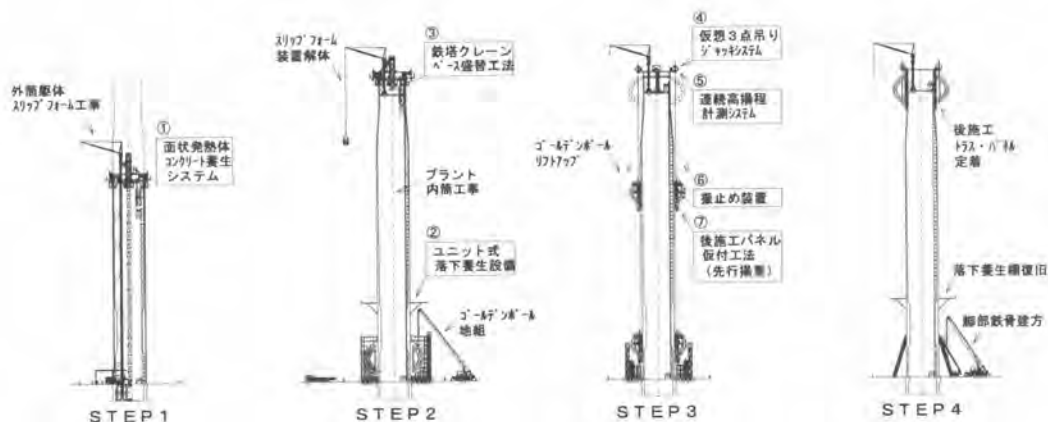


図-1 煙突工事施工段階及び採用工法

### 2.3 採用工法の検討課題と対策

採用する工法の課題を抽出し対策を立案した。(表-1)

表-1 採用工法の検討課題と対策

工 法	検討項目	検討課題	対 策
外筒躯体 スリップフォーム工法	面状発熱体 コンクリート 養生システム	放熱対策	● 現場廃材ガラスウール再利用
	弱材令 コンクリート管理 手法	定量的確認手法の確立 (監理事務所対応)	● 弱材令圧縮強度試験の実施 ● パネ秤付貫入試験棒の製作 ● パソコンによる積算温度管理
ゴールデンボール リフトアップ工法	ジャッキシステム	吊り点間レベル差による 過大応力発生対策	● ジャッキグループ化による仮想 3点吊りシステムの採用 ● 強制変位導入試験の実施
	計測管理手法	高揚程対応型揚体レベル差 計測手法	● 光波距離計による連続高揚程計 測システムの採用
	振れ止め機構	リフトアップ時の風対策	● 吊り点6ヶ所にソリ式振れ止め装 置を採用
	後施工パネル仮付工法	後施工パネルの施工手順	● 伸縮式吊り足場の採用

### 2.4 採用工法の計画と実施

#### (1)スリップフォーム工法による外筒躯体工事

##### ①面状発熱体コンクリート養生システム

スリップフォームの型枠は縦寸法 1200mm の鋼製メタルフォームを採用し、コンクリート打設高さ 200mm 毎にスライドを繰り返し、標準壁厚部 (300~700mm) では 1日 2.4m のコンクリート打設が必要となる。打設時期が冬季に及ぶとコンクリート強度発現待ちが発生し、1日約 0.4~0.6m 打設高さが低くなることが予想される。その対策として、冬季でのコンクリート凝結時間短縮のため面状発熱体による採暖養生を実施した。



写真-1 面状発熱体取付け状況

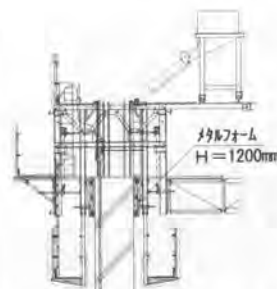


図-2 スリップフォーム装置概要

メタルフォーム裏面に炭素繊維面状発熱体を取付け、放熱対策として現場廃材のグラスウールを再利用し保温のための断熱層を設けた。本システムの採用により冬季においても所定の打設高さを確保することができた。(写真-1)

## ②弱材令コンクリート管理手法

スリップフォーム工法ではスライド後型枠下部より現れる弱材令コンクリートの強度管理が重要となる。スライド可能な弱材令コンクリート強度は、自重によりコンクリートが圧壊する強度より算定でき、安全率を2.5倍見込み7.07N/cm<sup>2</sup>に設定した。従来、その管理として貫入棒をコンクリートに突き入れ貫入量を測定するスティック法が用いられているが、定量的に確認できないため、以下の3通りの管理手法を実施し、安全にスライドを行うことができた。

### ・圧縮強度試験 (写真-2)

テストピースを作成し約4時間養生後弱材令用圧縮強度試験器にて強度を確認する。

### ・スティック法 (写真-3)

パネ秤付き貫入棒をコンクリートに挿入し先端の強度を確認する。

### ・積算温度法 (写真-4)

型枠に熱電対を装着しパソコンによる温度測定を行い積算温度により強度を推定する。



写真-2 弱材令圧縮強度試験状況



写真-3 貫入試験状況



写真-4 積算温度管理状況

## (2)上下作業対応施工法

### ①ユニット式落下養生設備

外筒躯体工事完了後は、スリップフォーム装置解体とゴールデンボールの地組、ゴールデンボールリフトアップ後は、ゴールデンボールの定着と脚部スカート状鉄骨建方等、特殊仕上げを有する煙突の特性上、プラント試運転時期を厳守するためには上下での同時作業は免れない。外装仕上げ仕様の異なる30m地点に落下養生設備を設けた。落下養生はゴールデンボールリフトアップ工事の関係上、組立解体を2回繰り返す必要があるため、柱梁をブロック化したブラケット状の棚ユニットとその間を繋ぐ床ユニットに分け、計12回の揚重作業により組立解体を可能にし、省力化を図った。写真-5に落下養生下部でのゴールデンボール地組状況、写真-6に落下養生設備解体状況を示す。



写真-5 ゴールデンボール地組状況



写真-6 落下養生棚解体状況

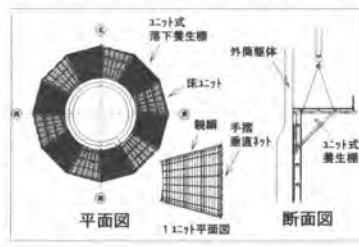


図-3 ユニット式落下養生設備

## ②鉄塔クレーンベース盛替工法

外筒躯体工事の揚重設備として煙突内部の耐圧盤上に鉄塔クレーンを設置した。下部にクライミング装置を有し、スリップフォームの進捗に合わせて地下煙道部よりマストを供給しクライミングを行った。躯体工事完了後は、プラント内筒工事が着手されるため、地上110m地点（7FL）でプラント工事と建築工事を区画する必要があった。クレーン盛替え用ベースが後付けできるよう特殊マストを新規製作し、7FL部にあたる箇所にて標準マストの間に組み込んだ。図-4の手順でクレーンベースを7FL鉄骨梁に盛替え、マストのジョイント部を外し逆クライミングにより40本のマストを下部に搬出し、プラント内筒工事の着手時期を厳守した。

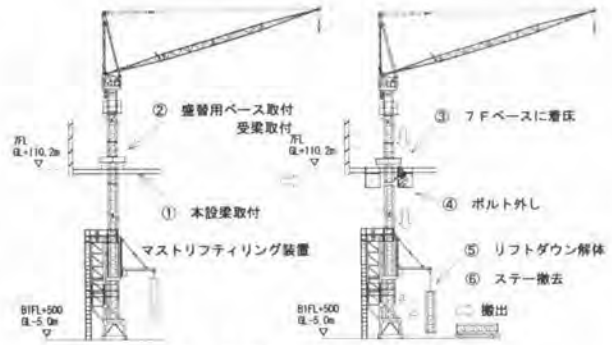


図-4 鉄塔クレーンベース盛替手順

## (3)ゴールデンボールリフトアップ工事

### ①リフトアップ工事概要

ゴールデンボール	外径φ22000mm 高さ12000mm 構造部分—立体トラス 仕上部分—金色ホロー鋼板パネ張り
リフトアップ重量	105t
リフトアップ揚程	100m
リフトアップ速度	約40分/10m
ジャッキシステム	VSLジャッキ (50t×6台)
制御システム	ジャッキストローク制御 制御値—レベル差20mm
計測システム	ジャッキ反力—圧力変換器×6台 ストローク量—ストローク計×6台 揚体レベル差—光波距離計×3台

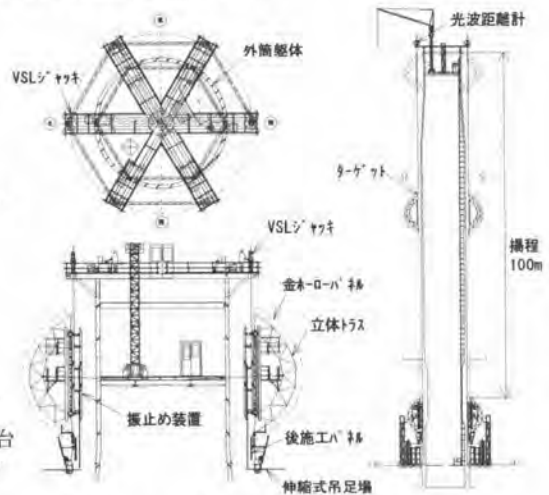


図-5 リフトアップ工事概要

### ②ジャッキシステム

煙突頂部にリフトアップ用反力梁を架設し VSL ジャッキ装置を6台設置し、立体トラスに本設として取付けた形状保持鉄骨を吊り上げる機構とした。本来、煙突躯体に8ヶ所の支承部で支持される構造体を6点で吊り上げるため、吊り点間に折れ角が生じるとトラス



写真-7 VSL ジャッキ

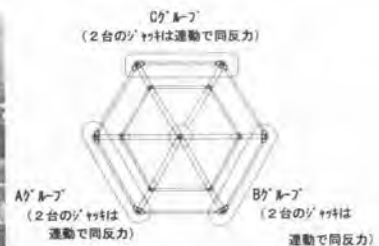


図-6 ジャッキグループ化

に過大な応力が発生する。その対策として、図-6に示すように6台のジャッキをABCの3グループに分け、同グループのジャッキの油圧を連動させた。グループ内の2台のジャッキは常に等反力

となり、全体を3点で支持するため、揚体が傾くことがあっても部材角は生じない。この原理を実証するため、テストリフトアップにより強制的に変位を与えトラスに発生する応力状態を計測し、グループ化による仮想3点吊りシステムの信頼性を確認した。

### ③計測管理手法

リフトアップ工事の多くは、揚体の上昇量をエンコーダにより計測しレベル制御しながら吊り上げていく方法が採られている。今回、100mの揚程ではエンコーダによる計測は不向きであり、当初の計画では10m上昇毎に三次元測量器により上昇量を計測しレベル修正する方法が提案されていた。この場合、10m上昇中の揚体レベルが確認できない、計測中時間待ちが発生する、外注人件費が発生する等の課題が残されていた。その解決策として、高速にデータが取込める光波距離計(写真-9)



写真-8 揚程計測システム



写真-9 光波距離計

の採用を当社技術研究所とタイアップして計画した。光波距離計をジャッキ架台に、ターゲットを揚体側にセットして、司令室のパソコンで揚体のレベルをリアルタイムに監視した。それにより、リフトアップを途中で中断すること無く、当初の計画より約3時間短縮することができた。

### ④振れ止め装置

煙突内部には中間階が無く、リフトアップ途中で予想できない風が吹いた場合、ゴールデンボールを躯体に仮固定することができない。各吊り点の形状保持鉄骨に、風速25m/sまで耐えうるソリ形式の振れ止め装置を取付けた。(写真-10) また、ソリと躯体の間にキャンパーを取付けることにより、地切り完了後からリフトアップまでの仮固定として利用した。



写真-10 振れ止め装置



写真-11 ゴールデンボールリフトアップ工事状況

### ⑤後施工パネル仮付け工法(先行揚重)

煙突躯体の外径は下部で12.4m、頂部で10.4mであり、下部で地組するゴールデンボールは、トラス、パネルともリフトアップ後の施工となる。地上120mへのクレーンによるパネルの揚重は、時間を費やすばかりでなく、天候の影響を受けやすく工程の遅れが懸念された。また、ゴールデンボール下端部の後施工パネルは取付け用足場の組立が高所での危険作業となる。そこで、ゴールデンボールの地切り完了後、更に2mのリフトアップを行い、作業床が水平に伸縮可能な吊足場を取付け、後施工パネルを縦方向に吊り込みトラスと吊足場に仮固定した。後施工パネル、吊足場ともゴールデンボールと共にリフトアップし、トラスの仮固定後吊足場の作業床を壁面まで伸ばし、後施工パネルを揚重作業無しで安全に取付けることができた。



### (4)計測管理・通信システム

スリップフォーム、リフトアップ工事共、当社開発の汎用型計測管理システムを適用した。また、煙突頂部のパソコンを無線LANで接続し、内線回線の利用により作業所事務所のパソコンでの管理を可能にした。

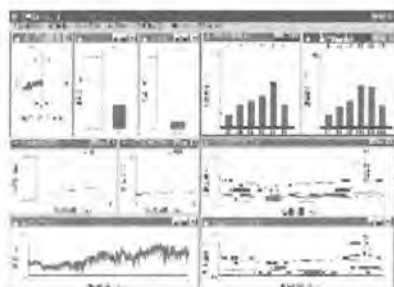


図-7 計測画面

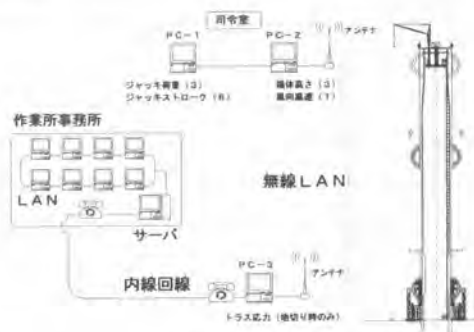


図-8 計測通信システム

### 3. 結論

- ①面状発熱体コンクリート養生システムにより冬季においても所定のスライド高さを確保した。
- ②弱材令コンクリート強度を定量的に把握できる管理手法を確立した。
- ③ユニット式落下養生設備及び鉄塔クレーンベース盛替工法により上下作業での安全性を確保した。
- ④仮想3点吊りジャッキシステム、連続高揚程計測システム及び振れ止め装置の採用によりゴールデンボールのリフトアップを1日(7時間)で完了した。
- ⑤後施工パネル及び吊足場をゴールデンボールと共にリフトアップし、高所への揚重作業、高所での危険作業を低減した。
- ⑥スリップフォーム、リフトアップ工事共、汎用型計測管理システム及び無線LANによる通信システムを採用し、煙突頂部の状況を共有できるシステムをローコストで確立した。

本報では特殊仕上げを有する煙突工事の施工事例について報告した。今後は、今回得た成果を特殊事例にとどめることなく、一般建築の機械化施工へも応用、展開していきたい。