

17. 特殊形状超高 RC 塔状構造物の施工技術

(株)大林組：*原田 恒則，伊藤 正己

1. はじめに

発電所・清掃工場等に計画される超高煙突は、多方向から眺望されるため、景観に与える影響が少なくない。したがって、近年は周辺環境・景観に配慮した特殊形状の煙突が増えており、六角形・台形・楕円形のような様々なデザインが採用されている。また、道路や鉄道に近接した狭隘地での施工等、敷地条件の制約を受ける場合も多く、難易度の高い工事が増えている。

しかし、このような特殊形状超高 RC 塔状構造物は従来のスリップフォーム技術では施工が難しく、ますます高度な施工法の開発が必要となっていた。そこで、これらの特殊形状超高 RC 塔状構造物を高精度・高品質に施工できる「新型スリップフォームシステム」を開発し、従来技術では施工が難しい構造物の施工を可能にした。

「新型スリップフォームシステム」は、特殊形状対応システム・精度測定システム・計測制御システム・非付着型枠等の新技術から成り、実際に「四国電力(株)橘湾発電所」・「電源開発(株)磯子火力発電所」での煙突工事に採用して成果をあげた。



写真-1 四国電力(株)橘湾発電所

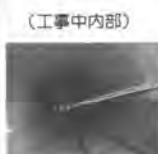


(工事中内部)

台形



写真-2 電源開発(株)磯子火力発電所



(工事中内部)

楕円形
↑
円形

2. 新たに開発が必要とされた主要要素技術

多様化・高度化の傾向にある発注者のニーズや、環境重視の社会的要求に応え、特殊形状超高 RC 塔状構造物を高精度・高品質に施工するためには、スリップフォーム技術の進歩が必要不可欠である。そこで、今回新たに開発が必要とされた主な技術は、以下の通りである。

- ① ヨークの剛性を高め各種の形状変化に対応できるヨーク移動機構
- ② 複雑な形状変化に対応できる型枠機構
- ③ 複雑なヨーク・型枠の動きを正確に計測し制御するシステム
- ④ 高さ・中心変位・ねじれ・気象状況を常時正確に測定するシステム
- ⑤ 特殊な形状の壁体に高所で埋込物の設置位置を測量するシステム
- ⑥ 複雑な形状の躯体出来形を測量するシステム
- ⑦ 美しい壁表面を実現するコンクリートの付着しない型枠

3. 新型スリップフォーム装置の概要

スリップフォーム装置は主に、コンクリートを成形させる型枠・装置全体を上昇させる上昇ジャッキ・平面形状を変化させる各種調整機構・型枠及び作業床を支持するヨーク・形状変更の反力材となる上段ビームと、鉄筋組立・コンクリート打設・壁左官仕上げ等の一連の作業を行なう作業床から成る。(図-1参照)

新型スリップフォーム装置は、様々な特殊平面形状・高さに応じた断面変化に対応可能であり、以下のような特徴がある。

- ① ヨークの配置と移動方向が自由に選択できるシステムである。(図-2参照)
- ② 新型ヨークは、上昇ジャッキ・パネル勾配調整スピンドル・壁厚調整ジャッキ・形状調整ジャッキなどの形状変化に必要な調整機構を備え、壁厚 1,200~250mm、勾配±13°に対応できる。
- ③ 様々な調整機構を正確に操作・作動させるために、中心変位計測制御システム・形状計測制御システムを備えている。
- ④ 数種類の特殊パネル・特殊腹起こしを組み合わせることにより、様々な特殊平面形状と断面変化に対応可能である。また、周長伸縮機構(フリーパネル部)の数を最小限に抑え、平坦で段差の少ない壁面を構築することができる。
- ⑤ 周長変化に対応可能な形状保持機構を有する。

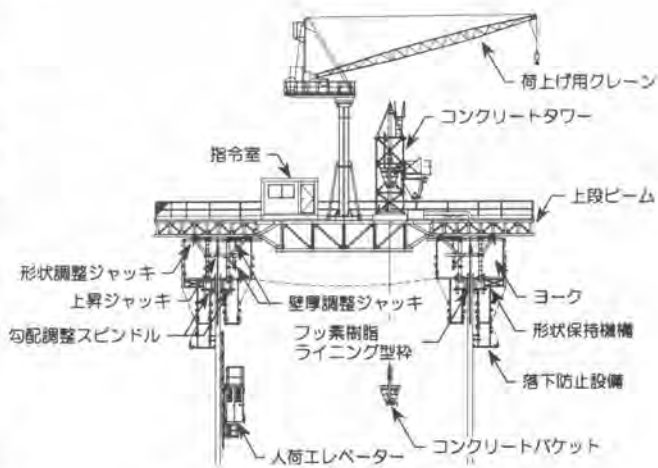


図-1 スリップフォーム装置の構成

4. 特殊形状対応システム

4-1 ヨーク配置と移動方向

平面形状に沿って配置されたヨークは形状変化に伴い移動し、変化量が多い場合には必要に応じて増減させる。新型スリップフォーム装置は、ヨークの動き(形状の変化)に合わせた上段ヨーク

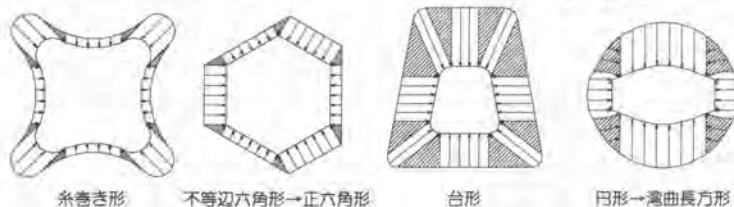


図-2 特殊形状に対応したヨーク配置と移動方向の計画例

ガイドビームと、ヨーク移動量を多系統計測制御するシステムにより、ヨーク毎に異なる移動量・移動方向を選択することができ、これによって非相似的な形状変化も可能となった。

4-2 複雑な形状変化に対応する型枠・腹起こし

型枠・腹起こしは、周長変化に伴い伸縮可能であると同時に、複雑な形状変化に対応して滑らかに動く機構としなくてはならない。新型スリップフォームシステムでは、角度可変ヒンジ付鋼管腹起こし・メタルフォームフレキシブルジョイントにより、形状の微妙な調整を可能にした。腹起こし母材には構造用鋼管を採用し、躯体形状にあわせて分割してピン接続とし、接続部すべてにターンバックルによる調整可能な角度可変機構を設けた。併せて、角度変化に伴い生じる周長の変化を吸収できるように伸縮機構を設けた。また、ヨークとの固定部についても、側圧を伝達しつつ腹起こし・型枠との取合い角度を可変な機構とし、ヨーク相互は形状変化に対応しつつ形状保持できるスライド機構により連結した。

この型枠・腹起こしにより、型枠の盛替なしに、コーナー部の角度を変えたり直線から曲線へ等の滑らかな変化が出来るようになった。(図-3参照)

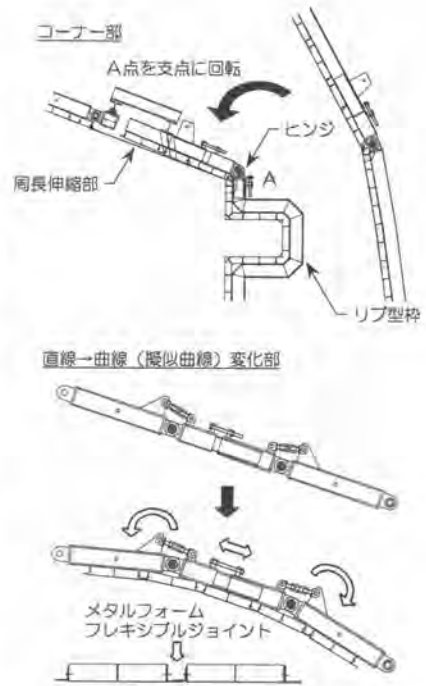


図-3 伸縮・角度可変腹起こし

5. 計測制御・精度測定システム

平面形状が単純な円筒型に比べて、特殊な形状になるほどスリップフォーム工法における精度管理は施工上重要な課題となる。様々な形状調整機構を持つ新型スリップフォームシステムでは、コンピューターと各種センサーを用いて高度に自動化した精度管理システムにより、各部の計測と形状調整機構の操作を迅速化・合理化した。高さ・形状・壁厚・勾配・中心位置のずれ及び気象情報等の施工中のあらゆるデータが自動計測され、指令室のコンピューターで計算・表示される。(図-4参照)

このシステムにより、スリップフォーム装置をリアルタイムで監視・コントロールすることができ、複雑な形状の構造物の高精度な施工が可能になった。

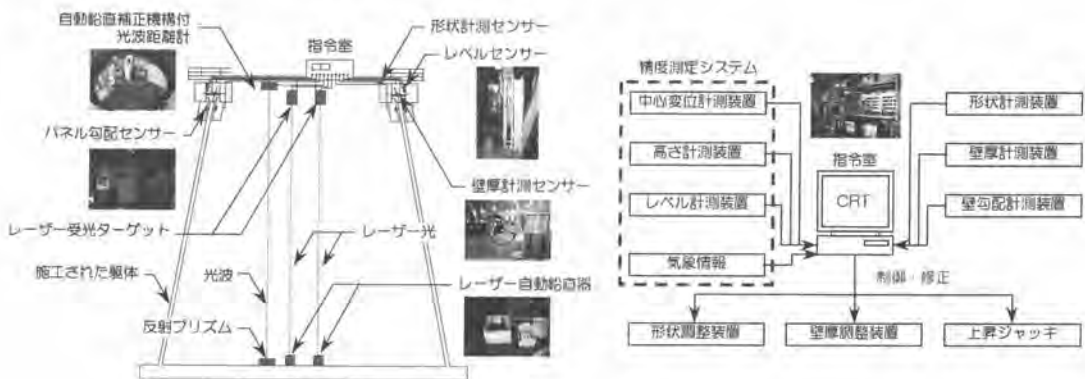


図-4 計測制御・精度測定システム概略図

6. 3次元測量システム

施工中に必要となる埋込金物等の墨だし及び躯体の出来形計測に、3次元測量器を用いた計測システムを採用した。測量には精度管理システムで使用しているレーザー自動鉛直器をそのまま利用し、基礎上の基準点 $(X_1 \cdot Y_1)$ ・ $(X_2 \cdot Y_2)$ を装置上に写し、その2点を基準として3次元測量器で墨だしを行なう。その際の高さのデータは同様に精度管理システムで使用している光波距離計の計測値を用いた。パソコンとの組み合わせにより操作性が良く、測量技術者でなくても簡単に墨だしができることから、墨だし作業の合理化と精度の向上につながった。(図-5参照)

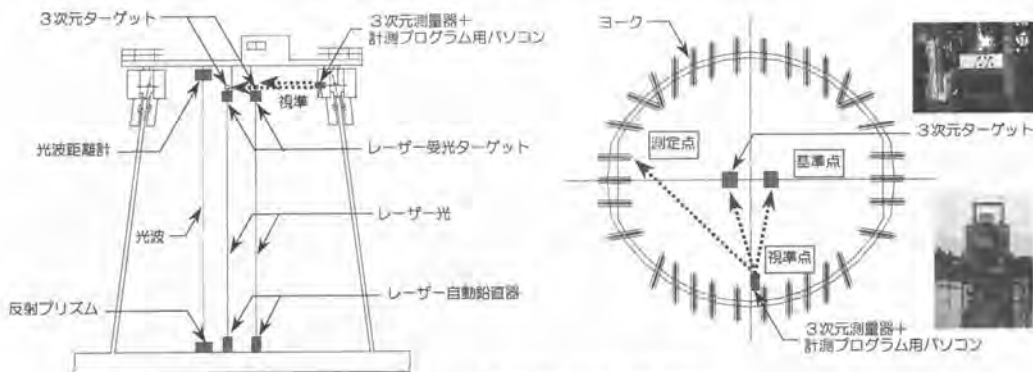


図-5 3次元測量システム概略図

7. 非附着型枠（ハイパーフォーム）

型枠表面にコンクリートが付着すると、コンクリート表面に部分的な剥離や欠損等の不具合が生じる。このような不具合を防止し高品質の躯体を施工するための型枠ケレン作業はスリップフォームにおいて重要な作業であるが、施工能率を低下させる要因となる。また、スライド中断時の縁切スライドは夜間の居残り作業となり、同様に施工能率を低下させる。

そこで、型枠表面にフッ素樹脂のシートを貼り付けたハイパーフォームを開発した。ハイパーフォームは、表-1に示すように、コンクリートとのせん断付着力がメタルフォームの1/250と非常に小さく、ケレン・清掃作業が容易にできるため付着によるコンクリートの不具合を解消できると同時に、縁切スライドを省略し大幅な省力化を実現した。

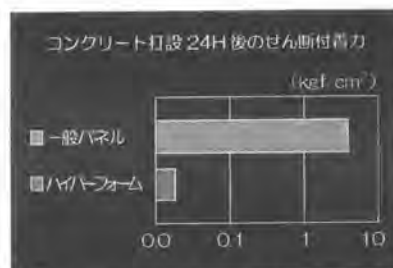


表-1 型枠表面によるせん断付着力の差

8. おわりに

新型スリップフォームシステムは、多くの施工実績により蓄積された技術とその改良に加え、CADによる精密な座標の抽出に基づく各種調整機構や高度な精度管理システムにより、複雑な形状変化のRC塔状構造物の施工を可能にした。スリップフォーム工事は、連続施工による工期短縮・品質向上という特色を活かすため昼夜作業となることも多く、長時間労働となるため、機械化による省力化・合理化は重要な課題である。今後もさらなる改良により、多様なニーズに答えていきたい。