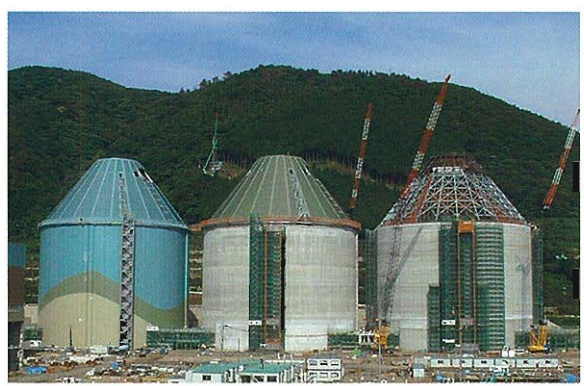


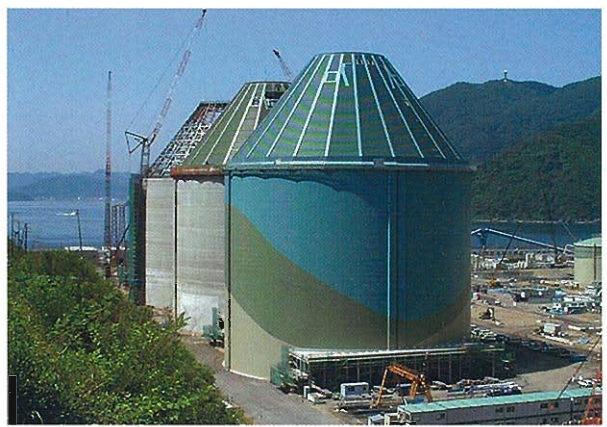
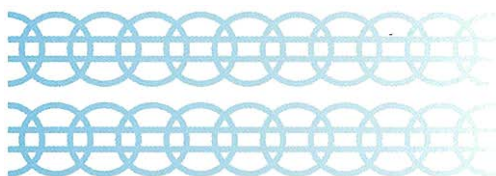
大規模塔状構造物建設向け スリップアップ工法



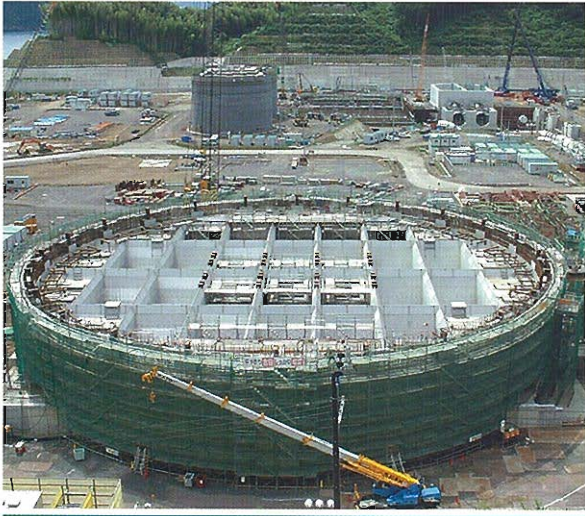
⇨サイロ筒体スリップアップ工事中



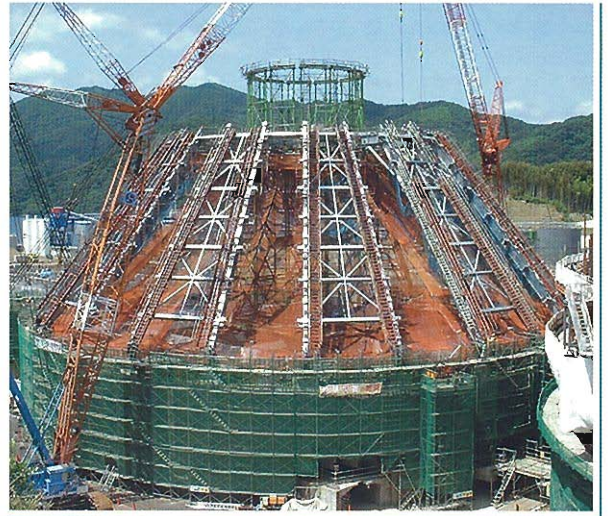
⇨筒体スリップアップ工事完了



⇨筒体塗装仕上工事



⇩ホッパー工事



⇩屋根鉄骨組立



⇩スリップアップ装置組立⇩



⇩スリップアップ中 内観



⇩スリップアップ装置解体

大規模塔状構造物建設向け 「スリップアップ工法」の開発

— 関西電力舞鶴発電所10万t級石炭サイロ建設工事における適用例 —

河合勝実・加藤靖彦・中尾育廣・原田恒則・伊藤正己

「スリップアップ工法」は、RC塔状構造物を短工期で施工する「スリップフォーム工法」と、大型鉄骨屋根を地上で組立てて所定の位置まで引上げる「リフトアップ工法」を一体化した画期的かつ合理的な工法であり、鉄骨屋根をもつ大規模塔状構造物の施工法として、工期短縮、品質向上、経済性などが期待される工法である。しかし、技術的な難易度が高いため、大型石炭サイロへの適用例はこれまでなかった。

今回、大規模の鉄骨屋根をスリップフォーム装置に搭載して同時に上昇させる本工法を開発・実用化し、世界最大級といわれる関西電力舞鶴発電所石炭サイロ建設工事に採用して期待通りの成果を上げた。本報文にその詳細を適用例と併せて報告する。

キーワード：大型石炭サイロ、スリップアップ工法、スリップフォーム工法、リフトアップ工法、コンクリート型枠、高流動コンクリート、RC塔状構造物

1. はじめに

従来、大規模石炭サイロ等の施工では、RC造躯体をスリップフォーム工法等で築造後、鉄骨屋根をリフトアップ工法もしくはベント工法（仮設支柱を設けクレーンで鉄骨屋根を組立てる）で構築するのが一般的であった。これらの工法では、工期が長くなりリフトアップ機材や仮設構台などが必要となりコストも割高となる。

そこで、コンクリートを連続的に打設しながら、型枠の上昇を行うスリップフォーム装置に、大規模の鉄骨屋根を搭載して同時に上昇させる「スリップアップ工法」（以下、SU工法と略記する）を開発・実用化し、実施した。

本工法は、工期短縮、品質向上、経済性、安全性などを実現する画期的かつ合理的な工法であり、今回、関西電力株式会社舞鶴発電所石炭サイロ建設工事に適用し、世界最大級の石炭サイロを円滑に施工することができた。

2. 工事概要

関西電力舞鶴発電所は、京都府舞鶴市の大浦半島に現在建設中の出力90万kW×2基、合計180万kWの石炭火力発電所である。本工事は、この

内石炭サイロ5基他を建設するもので（図-1参照）、サイロ1基当たりの貯炭量は10万tに及ぶ世界最大級の屋内式貯炭サイロとなる。表-1、表-2、表-3に、工事概要、施工数量、工程表等を示す。



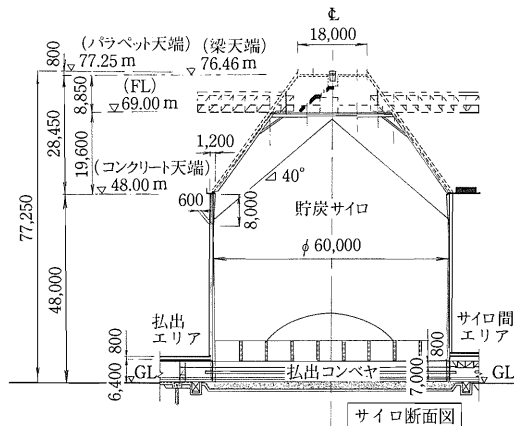
写真-1 石炭サイロ工事全景

表-1 舞鶴発電所石炭サイロ工事概要

工事名称	関西電力舞鶴発電所新設工事の内主要建築工事（第2工区）
施工場所	京都府舞鶴市大字千歳及び大字大丹生
発注者	関西電力（株）
設計	（株）ニュージェック
工事監理	関西電力（株）舞鶴火力建設所建築課
施工	大林・佐藤・西松・三井・淺沼・不動・新井・福田共同企業体
全体工期	1999年5月1日～2008年3月25日
筒体工事工期	2001年4月3日～2002年5月15日（1号機）

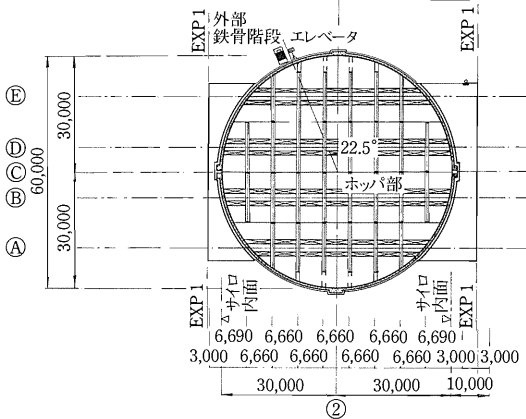
表一 石炭サイロ総合工程表 (1号機)

項目	年	H 11 (1999年)												H 12 (2000年)												H 13 (2001年)												H 14 (2002年)												H 15 (2003年)																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
5	抽出C																																																	鉄骨~仕上																							
6	No.3 サイロ	準備		WF		MMR		基礎		ホップ筒体 (~GL+10.771)						鉄骨		S-UP		屋根		PS		仕上																																																	
7	抽出D																																																	鉄骨~仕上																							
8	No.2 サイロ	準備		WF		MMR		基礎		ホップ筒体 (~GL+10.771)						鉄骨		S-UP		屋根		PS		仕上																																																	
9	抽出E																																																	鉄骨~仕上																							
10	No.1 サイロ	準備		WF		基礎		ホップ筒体 (~GL+10.771)						鉄骨		S-UP		屋根		PS		仕上		取合い部仕上																																																	



表一 石炭サイロ施工数量 (1基分)

筒体構造:	プレストレスト鉄筋コンクリート造
筒体頂部高さ:	GL+48.0 m
最高部高さ:	GL+77.25 m
外径:	φ62.2 m
内径:	下部60.0 m/中間部61.0 m/頂部59.8 m
壁厚:	下部1.1 m/中間部0.6 m/頂部1.2 m
コンクリート量:	約6,500 m ³
鉄筋量:	約1,500 t (SD 345 D 13~38)
P C 鋼材:	約120 t (PC 鋼捻線, φ15.2)
	シース φ82~102, 約7,400 m
屋根構造:	鉄骨造
鉄骨屋根規模:	高さ28.45 m/重量800 t
筒体構築工法:	スリップアップ工法
構築高さ:	GL+10.77 m~48.0 m (37.23 m)
上昇速度:	1.2 m/day



図一 サイロ平面図と断面図

置に数十トンの鉄骨屋根等を載せて施工した例はあるが、大規模になると難易度が格段に高くなり実施例はなかった。

SU工法を当工事に採用するに当たり、

- ① 鉄骨屋根を支持するSU装置の架構および屋根接続部ディテールの詳細検討、
- ② 鉄骨屋根を搭載したSU装置に作用する地震力及び風圧力に対する耐力の検討、
- ③ 若材令コンクリートの性状把握と地震力及び風圧力に対するコンクリートの応力検討、
- ④ 大重量物を上昇させるジャッキの配列と制御方法、反力を受けるロッド耐力の確認、
- ⑤ 鉄骨屋根定着時の施工方法、

等、種々の検討を行いSU工法を開発実用化した。

図一2に、その施工手順を示す。

3. 施工法・技術の概要

これまで直径40 m程度のセメントサイロ等の小規模塔状構造物に対して、スリップフォーム装

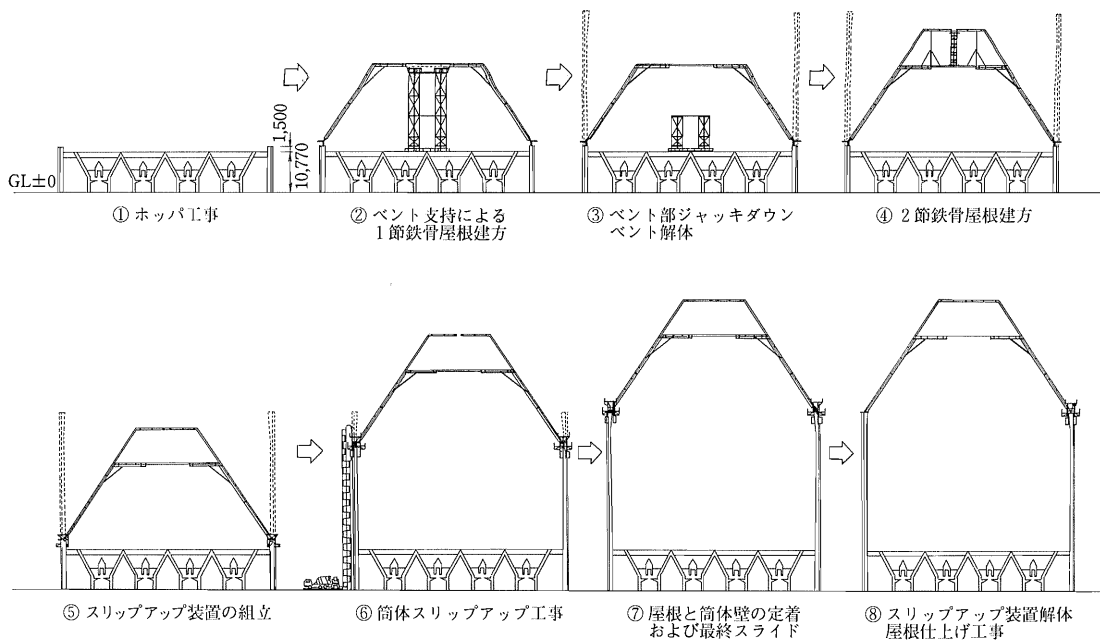


図-2 スリップアップ工事施工手順

1,600 tとなる。その内訳は、以下の通りである。

4. 主要工事機械一覧

SU工法に適用した主要工事機械を表-4に一覧する。

表-4 主要工事機械

名称	形状	数量
1 スリップアップ装置	大型特殊ヨーク, BOX トラス, 各段作業床	24組
2 同上パネル	内側: ステンレス型枠 外側: PTFE型枠	1式
3 上昇ジャッキ	15 t, 40 mm/1 ストローク	144台
4 同上油圧ユニット	3.7 kW 14 MPa×3.6 ℓ/min	24台
5 同上レベルコントロール装置	水盛り管方式	24組
6 高さ測定装置	光波距離計 トプコン DMA 5	2台
7 三次元計測装置	トプコン GTS 603	1台
8 揚重機械	100 tクローラクレーン 4.8 t門型クレーン	1式
9 バキューマ	真空ポンプ 8 m ³ /m 排出ユニット	2組
10 ジェットクリーナ	有光 TW-5 H 型	5台
11 偏位計測装置	パソコン, レーザレベル等	2組
12 コンクリートポンプ車	ニイガタ SWING 11 FB, 110 m ³ /h	2台
13 その他雑機械	水中ポンプ, 掃除機他	1式

表-5 スリップアップ装置にかかる推定荷重

鉄骨屋根重量	800 t
SU 装置等	500 t
作業時積載荷重	150 t
型枠上昇抵抗	150 t
合計	1,600 t

(1) スリップアップ装置の機構

従来施工された小規模の SU 工事では、鉄骨が筒体の内部に納まる方式が一般的で、重量も軽量なため、内部側のヨークに鉄骨をあずける支持形式によっていた。しかし、今回のように大規模の場合、屋根は山型で筒体部の頂部に固定される納まりとなっている。また、重量も大きいため従来方式では成り立たない。

そこで、大重量、山型鉄骨屋根対応の大型特殊ヨークを考案した。

図-3 にスリップアップ装置の機構を示す。全体としては、鉄骨屋根 24 脚のそれぞれを左右一对のヨークが支え、15 t 上昇ジャッキを 6 連に配置した上昇機構を支点にスリップアップする構造・機構としている。

(a) 大スパンのヨーク間隔

一般のスリップフォーム工法では装置を支持す

5. スリップアップ装置の詳細

今回工事で SU させるための推定荷重は、合計

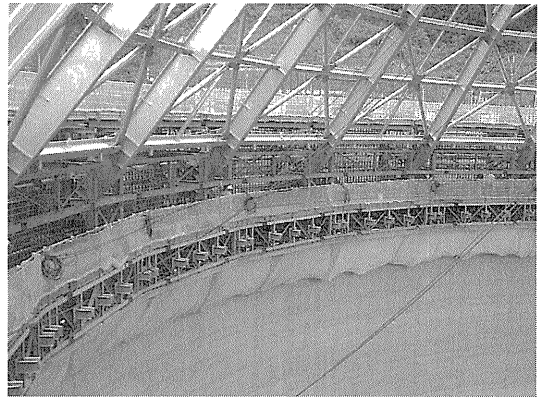


写真-2 スリップアップ装置 (左:外側, 右:内側)

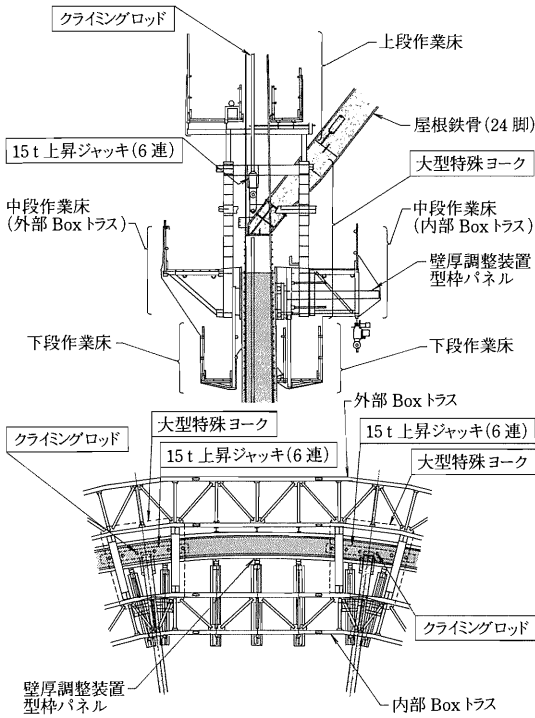


図-3 スリップアップ装置の機構

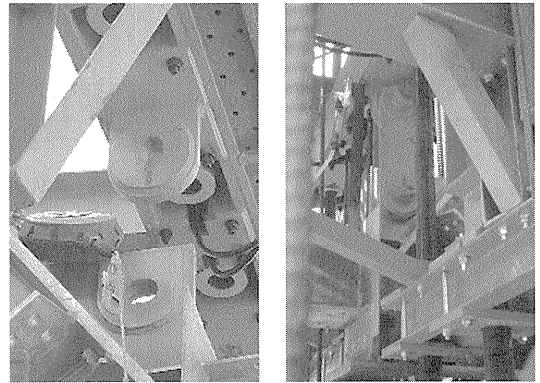


写真-3 鉄骨屋根とヨークの接続

(c) 上昇機構 (写真-4 参照)

上昇ジャッキの能力は、

$(15 \text{ t}/1 \text{ 台}) \times (6 \text{ 台}/1 \text{ 箇所}) \times 24 \text{ 点} = 2,160 \text{ t}$ となり、作業時の全体荷重はジャッキ能力に対し、 $(1,600 \text{ t}/2,160 \text{ t}) \times 100 = 74.1\%$ となる。

上昇ジャッキの制御は、司令室で集中制御し、鉄骨屋根を背負う 24 点の作用荷重、レベル状態を確認しながら作業を行った。上昇ジャッキの制

るヨークは 1.5 m 間隔の配置が基本であるが、今回は荷重が集中する鉄骨屋根柱脚部が約 8 m 間隔で壁上にある事を利用して、ヨークをこの部分のみに配置し間隔を約 6 m に広げる計画とした。

これにより今までヨークが障害になっていた、組立て鉄筋をクレーンで建込む工法の採用が可能となり、大幅な省力化を進める事ができた。

(b) 鉄骨屋根と SU 装置の接続取合い

鉄骨屋根と SU 装置の取合いは、写真-3 のように吊りプレートを介して接続する。



写真-4 上昇ジャッキと反力ロッド

御で特に留意した点は、以下の通りである。

(i) レベルコントロールシステム

鉄骨屋根の支点各部のレベル差を許容値内で上昇させるため、水盛り管式のレベルコントロールシステムを採用した。

(ii) 偏位計測システム

2組の偏位計測装置を用い、筒体の1.5m外側のSU装置下側に自動読取りターゲットを90度方向4箇所セットし、レーザー鉛直器を地上に配して、司令室(写真—5参照)で常時偏位計測管理しながら施工を行った。



写真—5 司令室内部

(d) クライミングロッド

クライミングロッドは、上昇ジャッキの反力をすべて支持する重要な役割を果たす。当現場で使用したロッドの仕様は、表—6に示す通りである。ロッドは、上昇に併せて継足していき、筒体コンクリート中に埋設していく。

継足しジョイントは、断面性能が落ちることなく短時間で現場溶接できる構造とした。

表—6 クライミングロッド仕様

サイズ	φ76.3, t=9.5mm
材質	STK490
長さ	6.0m
*特殊継足しジョイント付き	

(2) コンクリート非付着型枠

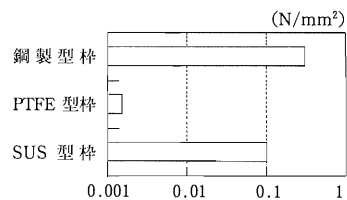
スリップアップ時の型枠上昇抵抗の低減とコンクリートの持上がり防止のため、外側はコンクリート非付着型枠(以下、PTFE型枠と略記)を、内側はステンレス型枠(以下、SUS型枠と略記)を用いた。

PTFE型枠は、メタルフォームの表面に、優れた付着防止効果のあるフッ素系(PTFE)特殊シートを貼付し、コンクリートとの離型性を格段に高めた型枠である。付着防止性能は、一般の鋼材と比較して1/200程度ときわめて小さい。

筒体頂部付近で急激に壁厚が変化する内側型枠には、耐久性のあるSUS型枠を使用した。

SUS型枠の付着防止性能はPTFE型枠には劣るが、鋼製型枠の1/2倍程度である。

この結果、型枠上昇抵抗は大幅に軽減された。また、付着によって起こりやすいコンクリート表面の持上がりは、PTFE型枠より非付着性能が劣る内側には補助材を併用することで、内側・外側共に持上がり防止することができた。型枠表面の違いによるコンクリート付着力の差を図—4に示す。



図—4 コンクリート打設24時間後のせん断付着力の違い

6. スリップアップ工法の詳細

SU工法の場合、鉛直力はクライミングロッドで支持されるが、水平力(地震力及び風圧力)は型枠近傍のコンクリートで抵抗することになり、しかもその部分が若材令で強度発現が極めて低い。したがって、この部分の健全性についての検討・確認が大規模SU工事の重要なポイントとなる。そこで、有限要素法(FEM)解析を用いて必要脱型強度及び応力のレベルや応力分布を把握・確認した。

この結果、打設コンクリートの翌日に必要な脱型強度を確保することにより十分な健全性を保持できることが確認できた。これにより、型枠高さを1.5mとし、1日の上昇量は1.2mとした。

(1) スリップアップ工事施工手順

施工手順の概要は3章「施工法・技術の概要」の図—2に示した通りである。具体的作業の詳細

を、以下に記す。

(a) スタート時の鉄骨屋根荷重移行

鉄骨屋根は1回目上昇前にSU装置と吊りプレートを通じて接続され、上昇と同時にSU装置によって吊り上げられる。

(b) 通常時の連続SU作業

生コンを打設しながら同時に鉄筋組立て、配筋、ロッド継足しを行い、型枠を上昇させていく。1回当りの上昇量は40mmで、1時間に5回程度の上昇を行い、連続的なSU作業を行う。

1日の合計上昇量は、1.2mである。

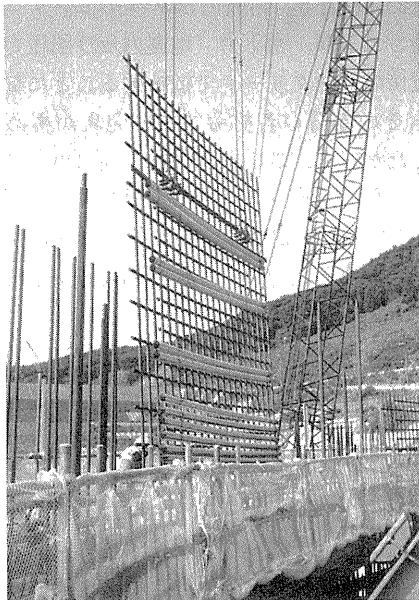
(c) 鉄骨屋根切離しと定着

通常作業を繰返し鉄骨屋根が所定の高さまで達したら上昇を一旦停止し、架台を設置して鉄骨屋根荷重を架台で受替後、SU装置との吊りプレートを撤去する。

その後SU装置を再び上昇させ、筒体頂部までコンクリートを打設する。

(2) 鉄筋工事

ヨーク間を大スパン化(5章(1)節参照)し、鉄筋とPC用シース管をあらかじめ地上で大型ユニットに組立て、建込むことにより省力化を図った(写真—6参照)。本工事に使用している鉄筋は、縦筋・横筋とも $\phi 29 \sim \phi 38$ であり、一般的なスリップフォーム施工で使用される鉄筋径に比べ



写真—6 鉄筋ユニット建込み状況

て相当な太径であるため、本工事における組立て鉄筋使用の効果は非常に大きい。

(3) コンクリート工事

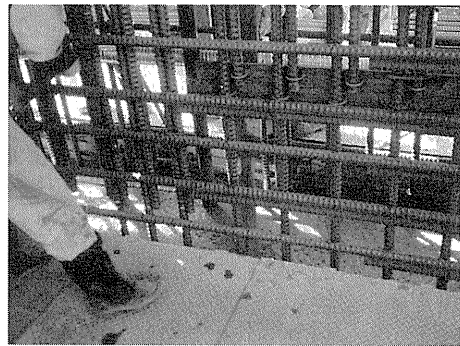
筒体のコンクリートは、自己充填性が良く締め作業の省力化が図れる、高流動コンクリートを採用した。

一般に高流動コンクリートは、

- ① セメント量が多く粘性が高いため、型枠への付着力が大きくなる。
- ② ポンプ圧送した場合、圧送圧力が普通コンクリートに比べ高くなる。
- ③ 混和剤添加量が多いため若材令時初期強度の発現が遅い。
- ④ 普通コンクリートに比べ、高価である。

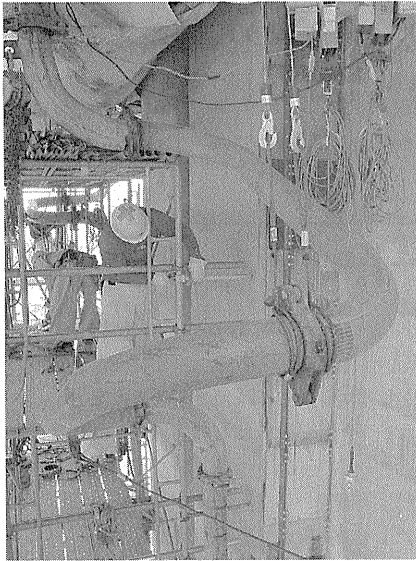
等の理由により、これまでスリップフォーム工法には採用されなかった。

今回、以下のような計画検討及び新技術の採用を行い、高流動コンクリートをSU工事に適用する事により大幅な省力化を実現した(写真—7参照)。



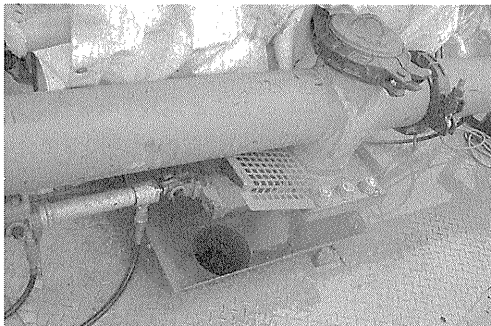
写真—7 コンクリート打設状況

- ① PTFE型枠及びSUS型枠を採用し、型枠のコンクリート付着を防止。
- ② コンクリート投入口の数を減らし、大スパン化のメリットを活かす。
- ③ バイブレータを使用せず、打設作業人員の削減を図る。
- ④ ポンプ圧送配管を6インチ管とし、圧送圧力を低く押さえる。
- ⑤ SU装置の上昇への追従機構として、また、圧力損失を押さえるため写真—8に示すパンタグラフ式配管を採用。



写真—8 バンタグラフ配管

- ⑥ 分配設備に写真—9の改良型自動ゲートバルブを採用。



写真—9 自動ゲートバルブ

- ⑦ 配管長さ・圧力損失を考慮したポンプ選定。
 ⑧ SU工事に適した調合・品質管理方法。
 ⑨ 季節毎の外気温の変化に対応したフライアッシュ添加量の設定。

7. まとめ

「スリップアップ工法」は、「スリップフォーム工法」と「リフトアップ工法」を一体化した画期的かつ合理的な工法で、従来行われていた施工法と比較して、

- ① スリップフォーム装置の上昇ジャッキを鉄

骨屋根リフトアップに兼用するため、リフトアップ用の新たな設備が不要。

- ② 筒体躯体施工と鉄骨屋根リフトアップを同時に行うため、工期の短縮化が図られる。
 ③ 鉄骨屋根を低い位置で組立てるため、小型クレーンにより安全に施工できる。
 ④ ベントの必要量が少なく設置期間も短い。
 等の優れた特徴が挙げられる。

本工法が大規模の塔状構造物の施工法として合理的で信頼性も高い工法であることが確認できたことは十分な成果として評価できるものであり、さらに今後の活用を図りたい。

最後に、本工法の実施に当たり、ご指導、ご協力頂いた関係各位に深く感謝申し上げます。

J C M A

【筆者紹介】

河合 勝実（かわい かつみ）
 関西電力株式会社
 舞鶴火力建設所
 建築課長



加藤 靖彦（かとう やすひこ）
 大林・佐藤・西松・三井・淺沼・不動・新井・福田共同企業体
 所長



中尾 育廣（なかお いくひろ）
 株式会社大林組
 関電舞鶴特殊工法工事事務所
 所長



原田 恒則（はらだ つねのり）
 株式会社大林組
 関電舞鶴特殊工法工事事務所
 工事長



伊藤 正己（いとう まさみ）
 株式会社大林組
 建築本部特殊工法部
 副部長

