

大空間屋根鉄骨建方新工法 (ベアロックジャッキシステムによる プッシュ・アップ装置の開発)

New Method for Erecting Roof Steels of Large Dome (development of lifting equipment from bear lock jack system)

西垣 登* 相澤 達也**
Noboru NISHIGAKI Tatsuya AIZAWA

Summary

The Sun-Dome Fukui was built as the main site for the world gymnastics championships scheduled to take place on October 1995 at Sabae City in Fukui Prefecture. The roof steel of the giant dome (116m in diameter and 55m high) was erected using an unusual method which was adopted in consideration of the ease, safety and period of construction work. The steel members were assembled at a low height into a folded roof frame weighting about 4,500 tons. The assembly was then lifted to a height of 35.5 m, unfolded and fixed in place. This was the fourth time such a method had been used (the most recent previous instance was a multi-purpose sports facility in Barcelona). The weight involved was unprecedented for this construction method.

This paper outlines the lifting work, which was accomplished safely and efficiently using 32 jacks automatically controlled by a centralized lifting control system which Miyaji Construction & Engineering newly developed by incorporating new features into an existing bear lock jack system.

1. まえがき

ここに報告する大空間屋根鉄骨建方工法は、光ヶ丘サスペンドームとサンドーム福井の大屋根鉄骨建方工事において、新しく開発したベアロックジャッキによるプッシュ・アップ工法である。サンドーム福井は直径116m・高さ55mの大規模ドームであるため、施工性および安全性を考慮し大屋根鉄骨を低位置で組立て32台のベアロックジャッキシステムによるプッシュ・アップ装置を用いて、4500tの大屋根鉄骨を1FLから55mの高さまでプッシュ・アップ支柱を継ぎたしながら押し上げた。この工法は法政大学川口衛教授考案のパンタドーム構法で、バルセロナの多目的スポーツ施設に続いて世界で4例目、

プッシュ・アップ重量は世界一であった(写真-1、2)。

2. プッシュ・アップ工法 (パンタドーム構法) の概要

大空間屋根鉄骨建方工法としては、トラベリング工法・リフトアップ工法・プッシュアップ工法・仮受ペント工法などがあり、プッシュアップ工法については以前宮地技報No.7でパンタグラフ式プッシュアップ装置の開発について報告した。これは中規模ドーム・体育館の屋根鉄骨建方工事に適用し現在稼働中であるが(写真-3)今回報告するプッシュアップ工法は、前述のものとはまったく異なり大屋根鉄骨を低位置で折りたたんだ状態に



写真-1 プッシュ・アップ前

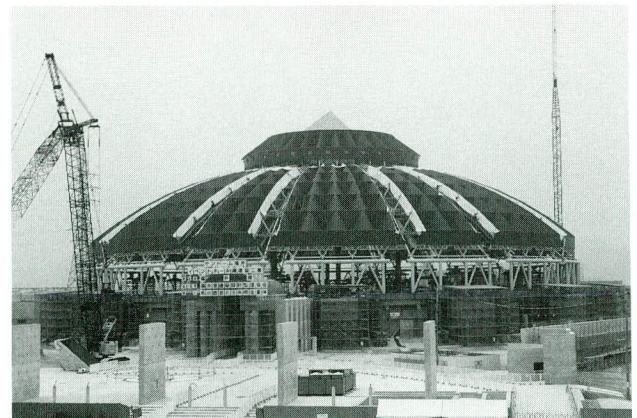


写真-2 プッシュ・アップ完了

* 宮地建設工業(株) 鉄構事業部工事部計画課長
** 宮地建設工業(株) 鉄構事業部工事部

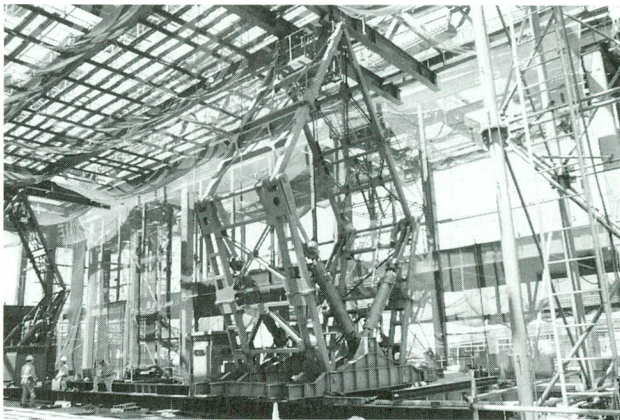


写真-3 パンタグラフ式プッシュ・アップ装置

組立て、これを一齐に押し上げて固定させることによりドームの建方を行うもので図-1にパンタドーム構法によるプッシュアップ工法のステップ図を示す。この構法はドームの最終形状が幾何学的に拘束されており、プッシュアップ中は骨組全体の立体効果が働き、風や地震などの水平力に対して抵抗機能を持っているのが大きな特徴である。サンドーム福井ではプッシュアップ設備をセンターのコンプレッションリング直下に8組配置し、32台のベアロックジャッキシステムを集中制御方式で荷重ならびに変位を管理しながらプッシュアップ工事を行った。

3. ベアロック(BEAR-LOC)ジャッキシステム

(1) メカニズム

ベアロックの主要部品はスリーブとロッドで、スリーブはロッドの外径部に対し締めりばめの状態になりストロークのいかなる位置でも機械的にロッドをロックできる(図-2)。スリーブとロッドの間に圧油が流入するとスリーブは円周方向に拡大され、スリーブとロッドの干渉を解きロッドが最小の抵抗でストロークするクリアランス(約1/100mm)が与えられる(図-3)。アンロックポートを通して圧力を除去すれば、ベアロックは再びロック機能を回復する。

(2) ベアロックジャッキシステム作動原理

ベアロックジャッキ本体はセンターホール型ジャッキシリンダーとロングロッド、上部下部各1組のベアロック(図-4)でシンプルに構成されており今回使用したジャッキ仕様を表-1に示す。作動原理は400mmストロークのジャッキシリンダーと上・下のベアロックを連動さ

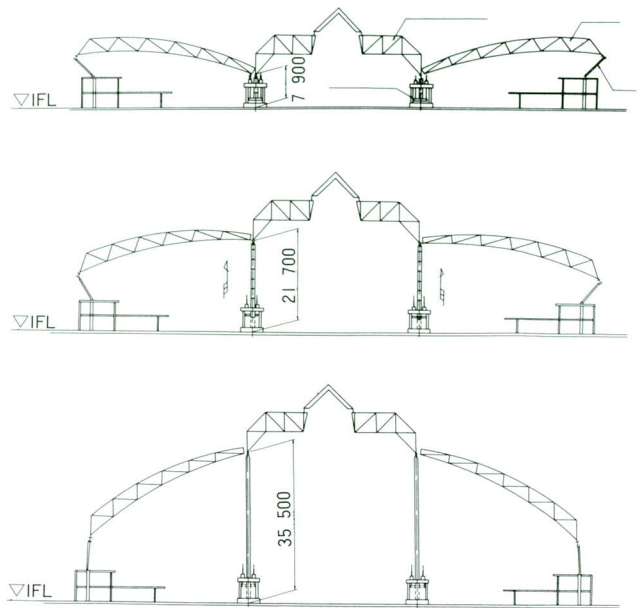


図-1 プッシュアップ工法ステップ図
(パンタドーム構法)

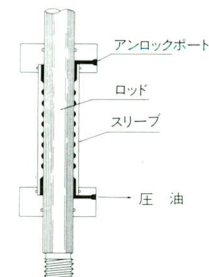


図-2 ロック状態

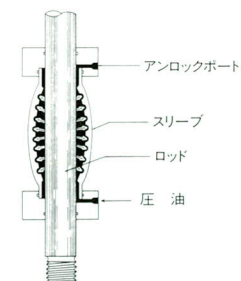


図-3 アンロック状態

せ「ロック」「アンロック」操作を繰り返し、ロッドを上昇または下降させる。ロッドの移動量は最大2.40mでジャッキシリンダーの盛替えは6回必要となる。図-5に作動ステップ図を示す。

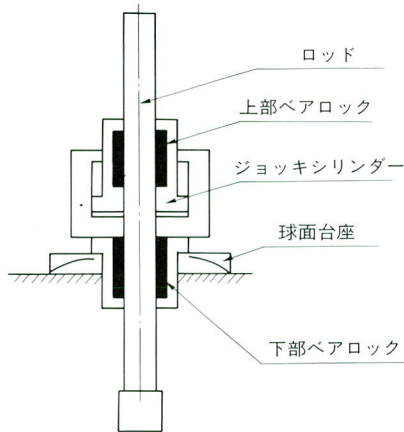


図-4 ベアロックジャッキ概略図

表-1 ベアロックジャッキ仕様

1) シリンダー出力	120t・f
2) シリンダーストローク	400mm
3) ロッド径	150mm
4) ロック方式	締めバメ方式 (BEAR-LOC機構)
5) ロック力	(作動時) 120t・f (停止時) 240t・f
6) 有効ロッドストローク	2.400m

(3) ベアロックジャッキシステムの安全性

- ① 圧力を受けるとスリーブが弾性変形する性質を利用したシンプルなロッキング装置で、任意の位置で確実にロッドをロックすることができる。
- ② 油圧制御系の圧力降下等の事故に対しても、ベアロックはスリーブ内圧が低下すれば、自動的にロック力を回復しその位置でロックする構造のため自重落下などの危険がない。さらにベアロックはメカニカルロックのため、まったく動力を必要としないで長時間のロックができロック位置の保持も高精度である。
- ③ ロック力を超えた過荷重を受けた場合でも、スリップするだけでこわれたりせず、荷重が正常に戻れば直ちにロック機能を回復する。また許容値以下のスリップが発生した場合、瞬時にダブルロック状態になりロック力は2倍になる。
- ④ 上、下部ベアロックが同時に開放状態にならぬようにするため、アンロック圧力印加回路は3ポジション方向制御弁によって制御している。上部のみロック状態から下部のみロック状態へ移行する場合、必ず方向制御弁の中立位置を通過するため、一度はダブルロック状態となる。さらに電気系統のトラブルが発生した時には、方

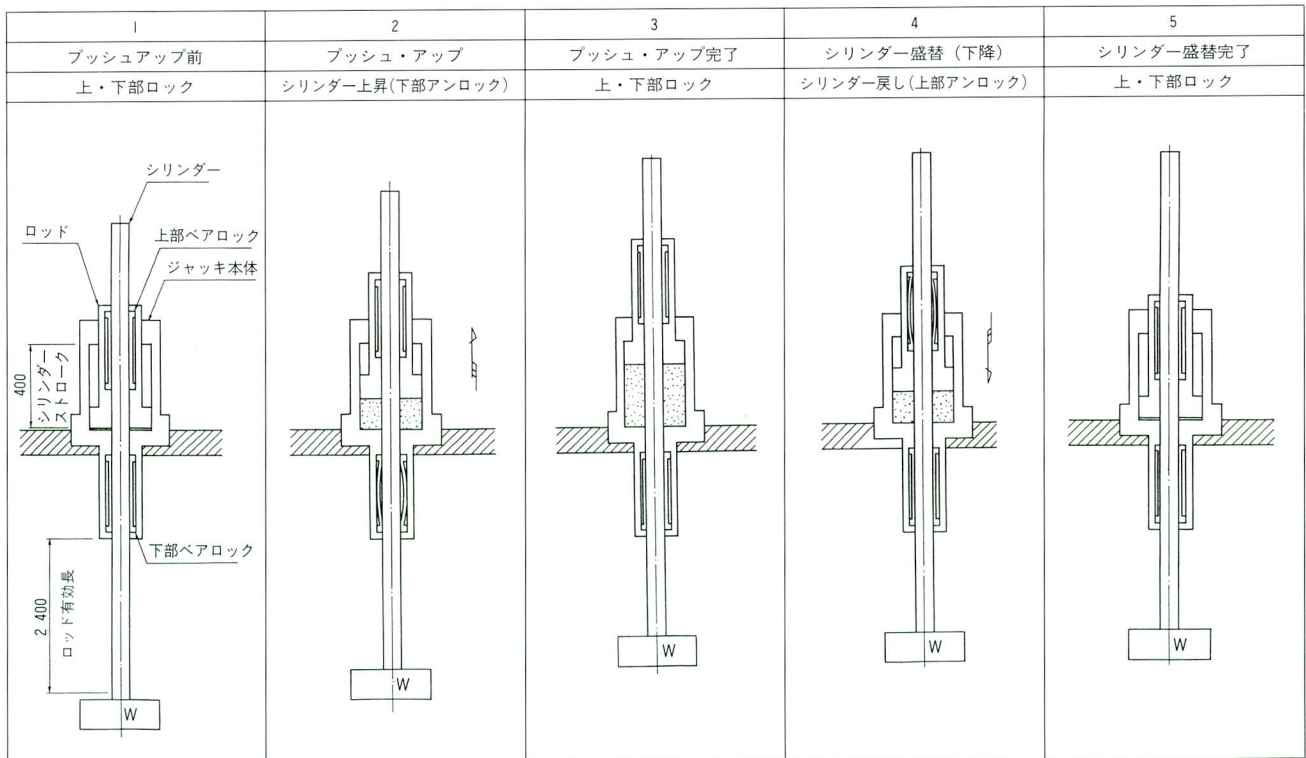


図-5 ベアロックジャッキ作動ステップ図

向制御弁は中立位置に戻り上・下部ダブルロック状態になる。

- ⑤ ジャッキシリンダー上昇中（荷重吊上げ時）にシリンダー作動回路のみに異常が発生した時は、下部ロックは開放状態になっているため油圧回路上で吊り荷重の落下防止をする必要がある。対策として吊上げ側のポート付近にパイロットチェックバルブを設け、作動油の逆流を防止しシリンダーの下降を阻止すると同時に、吊上げ回路圧力を監視しているプレッシャースイッチの信号によって、システムを非常停止する。システムの非常停止が働くとダブルロックとなる。
- ⑥ ジャッキシリンダーの動作は必ずダブルロック状態から始まるため、上・下部のベアロックの内圧をプレッシャースイッチによって検出し両方ともロック状態にあることを確認してから次の動作に入る。

4. プッシュアップ装置

サンドーム福井では図-6の要領で、センターのコンプレッションリング直下に8組のプッシュアップ装置を設置した。1組につき4台のベアロックジャッキを配しその4台のジャッキに荷重が均等に作用する装置の開発を行った（図-7）。

- ① ベアロックジャッキの受架台に球面台座を配置しジャッキ本体が荷重作用方向へ自由にスイングできる構造とし、ロッドに無理な曲げ応力が作用しないよう考慮した。
- ② ロッド下端にロードセルと荷重分配器を設けているため正確に荷重を読み取ることができ、アンバランス荷重が作用した場合は左右2台の荷重分配器が自動的に作動する。
- ③ プッシュアップ支柱からの荷重は、1本のカンザシ桁と2本のバランスビームを介して4台のベアロックジャッキに荷重が伝達するが、バランスビームは各ジャッキのストローク差を吸収することができる。また各ピン連結部には任意の方向へ自由に回転できるスイベルジョ

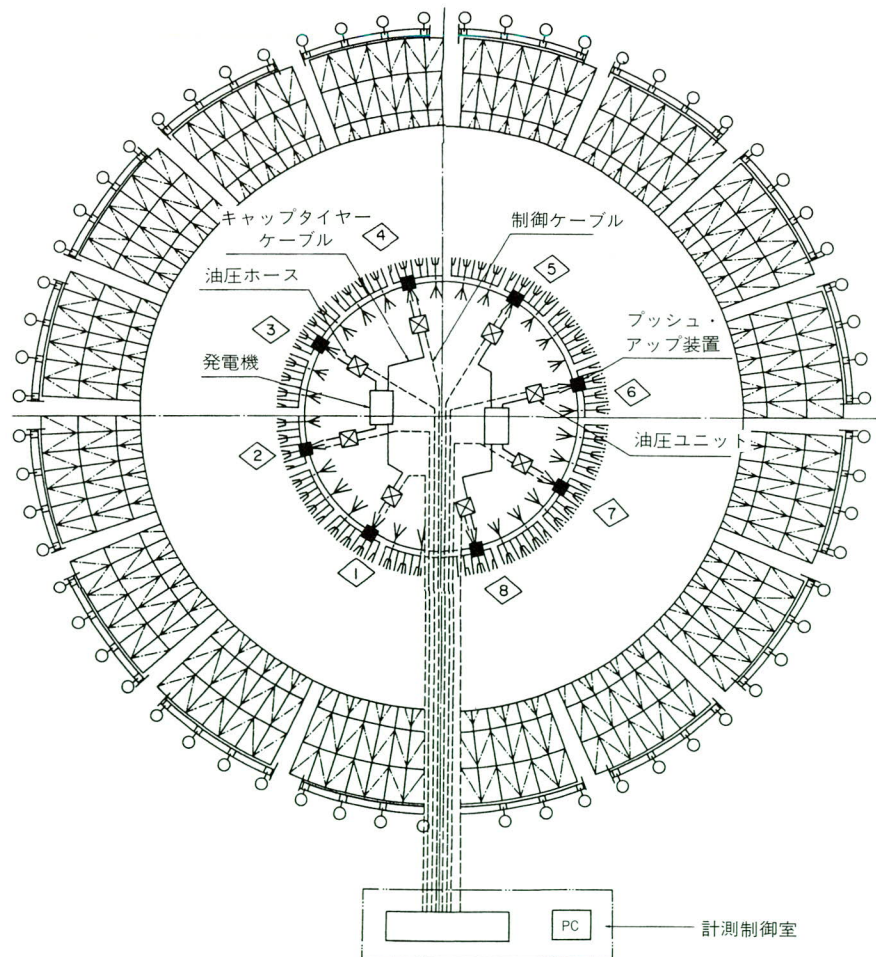


図-6 プッシュアップ装置平面配置図

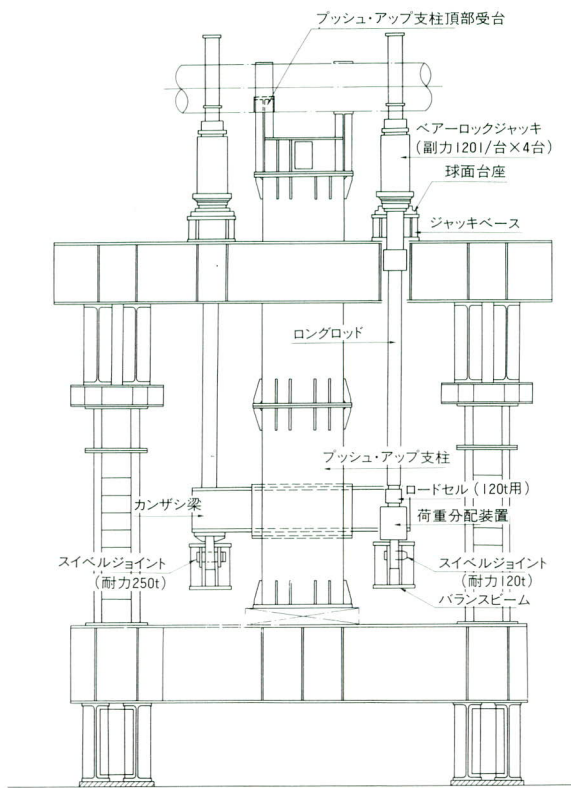


図-7 ブッシュアップ装置概要図

イントを組込んだ（写真-4）。

5. 集中制御管理システム

32台のベアロックジャッキは4台1組とし、4連異重油圧ユニットを8台設けて荷重ならびに変位をリアルタイムに計測し自動管理できるシステムを開発して、ブッシュアップ時の架構形状を管理した。

(1) 変位管理

変位制御は各ブッシュアップ支柱にポテンショメータを使ったワイヤー式の変位計を1台ずつ取り付け、移動量を計測して変位管理を行った。管理幅の設定は1mm毎に可能であるが、管理幅内設定のためのON、OFFが頻発して作業能率が低下するため、管理幅10mm（±5mm）以内で制御を行うようにし、それ以上では危険領域として自動的に停止させた。

(2) 荷重管理

ブッシュアップ支柱の作用荷重は、ベアロックジャッキのロッド下端に装着したロードセル（1組当たり2台）で負担荷重を計測し荷重管理を行った。管理幅の設定は

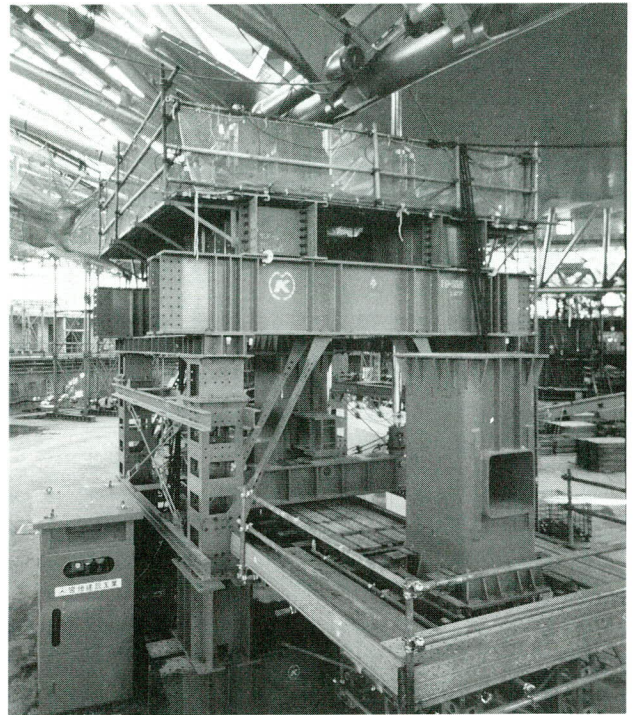


写真-4 ブッシュアップ装置配置状況

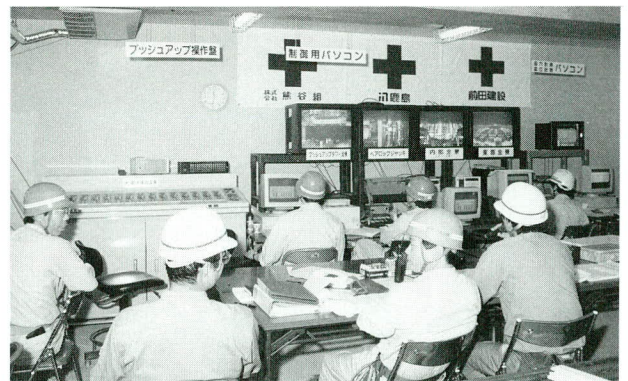


写真-5 集中制御管理システム

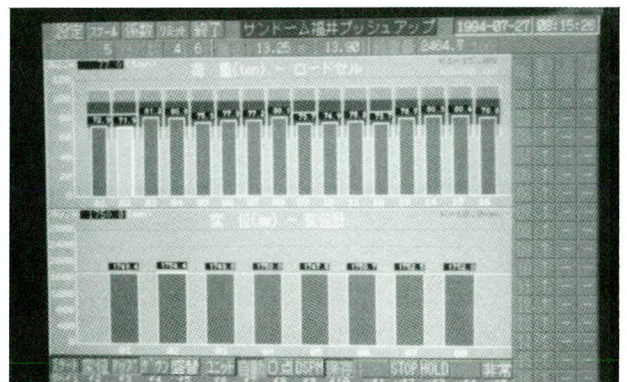


写真-6 監視モニター

ジャッキ能力ならびに屋根鉄骨の剛性等を考慮して、管理荷重を設定しその±10%を安全領域とし、±10%から±20%以内で注意領域、±20%を超えた場合は危険領域とし自動停止状態とした。

以上の要領で変位ならびに荷重を自動制御し、運転状況の確認は操作室内に設けた監視モニター（写真-5、6）で行った。

6. プッシュアップ工事説明

屋根鉄骨の低位置組立は、まず中央部分のファンルーム鉄骨（コンプレッションリング含）を1FLより、7.9mの高さで組立て、次に屋根鉄骨を放射方向に16ブロックに分割し外周廻りの柱およびテンションリング・屋根鉄骨の順に中間仮受ベントを用いて組立を行い、 $H_1 \cdot H_2 \cdot H_3$ ピンジの3箇所をピン連結構造とし折りたたんだ形状（パンタドーム構法）で低位置組立を行った（写真-7、8）。屋根仕上材その他諸設備の組立据付け完了後、全体重量4500tの大屋根をコンプレッションリング直下に、あらかじめ配置した8組のプッシュアップ装置（32台のベアロックジャッキ）にて、1本2.3mの支柱をプッシュアップをしながら12本継ぎたし、1FLより35.5m

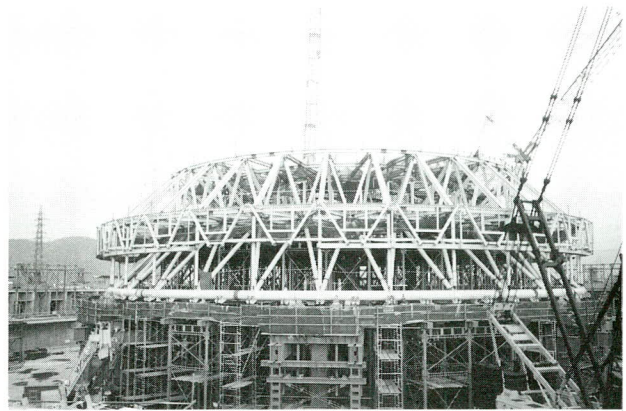


写真-7 ファンルーム鉄骨組立状況

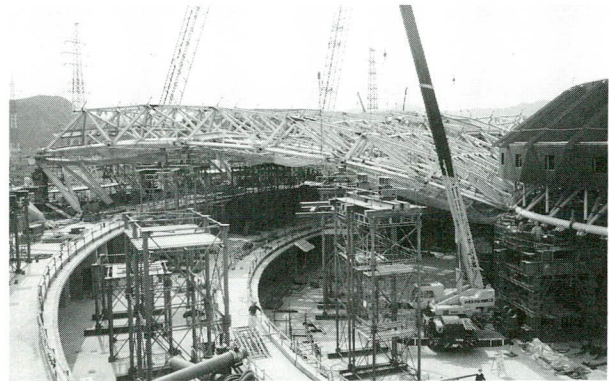


写真-8 屋根鉄骨組立状況

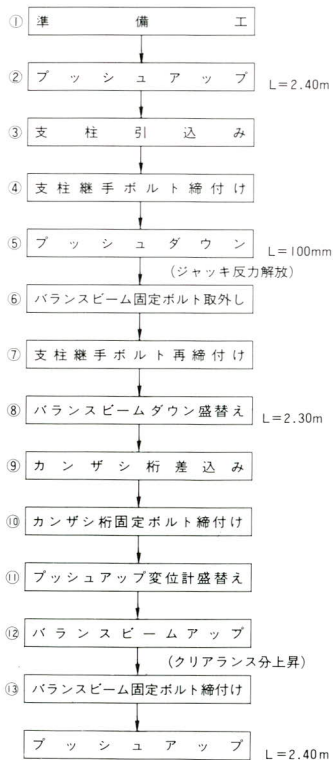
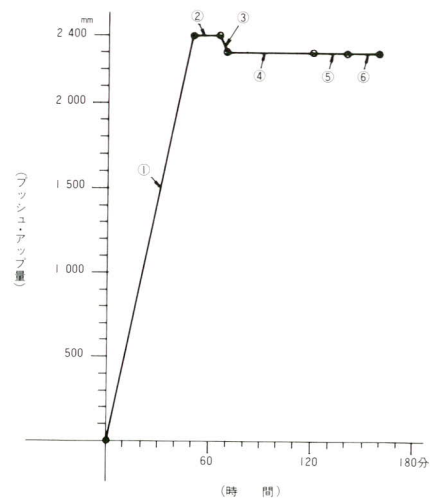


図-8 プッシュアップ工事フロチャート



①	プッシュアップ(2,400mm)	50分
②	支柱継ぎたし	15
③	プッシュ・ダウン(100mm)	5
④	ベアロックジャッキ盛替	50
⑤	カンザシ桁セット	20
⑥	準備、計測	20
		160分

図-10 プッシュアップサイクルタイム

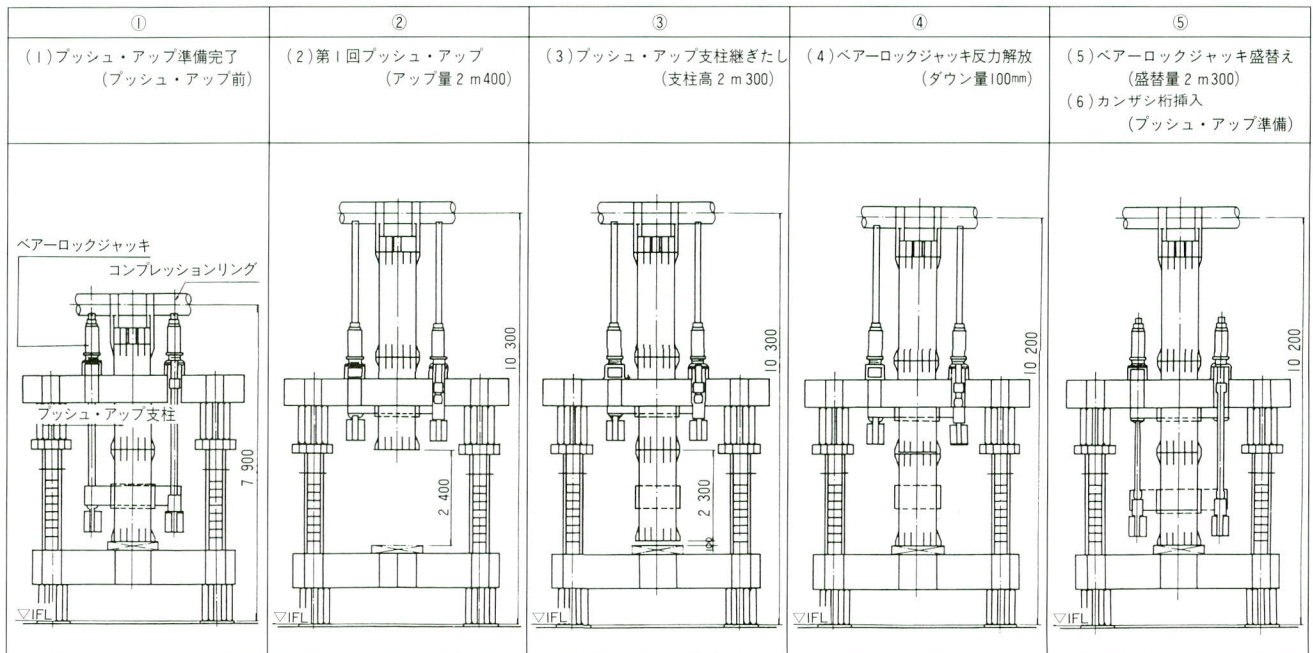


図-9 プッシュアップサイクルステップ図

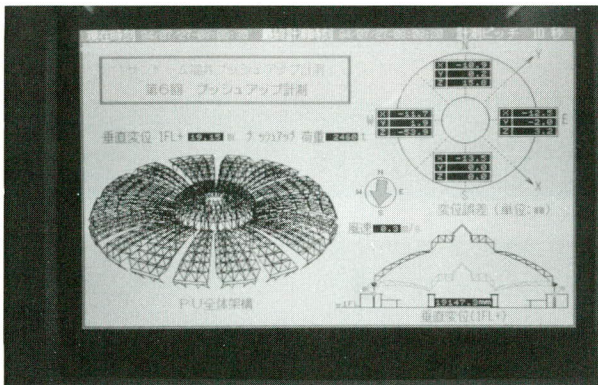


写真-9 プッシュアップ架構計測

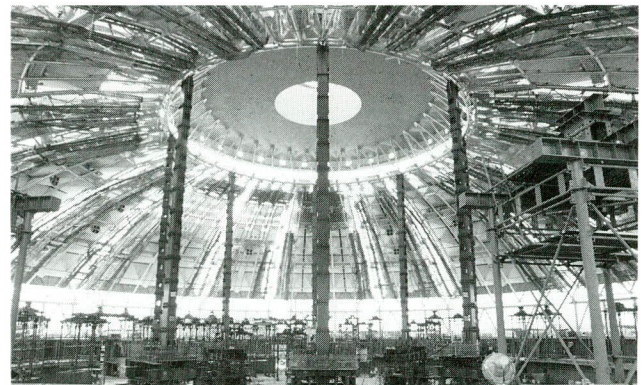


写真-11 プッシュアップ状況

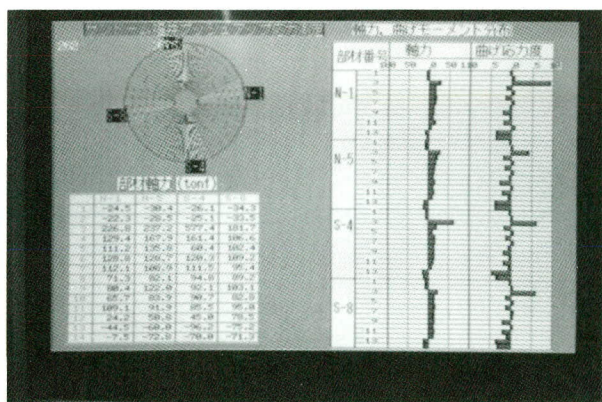


写真-10 部材応力計測

の高さまで押し上げた。図-8 にプッシュアップ工手順を、図-9 にステップ図を示す。プッシュアップに要した日数は、システム調整を除いて実質3日間で行い1日当たり最高9.2m(支柱4本分)のプッシュアップを行った。図-10 にサイクルタイムを示す。パンタドーム構法は大屋根架構形状が刻々と変化するが、施工管理上最も重要なポイントはプッシュアップ点(8点)の水平精度の確保であり、前述の集中制御管理システムによりジャッキコントロールを自動的に行った。また併行して部材応力ならびに架構形状(写真-9、10)をリアルタイムに計測し、中央操作室内の監視モニターで状況把握が迅速にでき安全かつ効率的にプッシュアップ工事を進めることができた(写真-11)。

7. あとがき

サントーム福井は、1995年10月に開催される世界体操競技選手権鯖江大会（アジア地区初開催）の主会場で、福井県（発注者）は今回のプッシュ・アップ工事を、サンライズフェスティバルと銘打って県民の建設工事に対する協力と理解を深めることを目的とし、多彩な催しが企画された。現場見学会には一般市民ならびに建設技術者が延1万8千人（6日間）も訪れ大盛況であった。パントーム構法によるプッシュ・アップ工法は、技術的

に非常に難しい施工方法であったが、施工性・安全性・工期等の面において大きなメリットがあり十分に成果をあげることができた。また当社で開発したベアロックジャッキシステムならびにプッシュ・アップ装置を使用したことにより4500tもの大屋根鉄骨を安全にしかも高精度にプッシュ・アップをすることができた。これも一重に御指導をいただいた川口衛構造設計事務所をはじめ共同企業体その他関係各位の御協力、御支援の賜物であり誌面を借りて厚くお礼申し上げます。

1994.6.25受付

グラビア写真説明

音無瀬橋

本工事は、京都府の北部に位置する福知山市に計画された、架替工事である。現橋は、昭和7年に架けられた鉄筋コンクリート橋で、由良川の大規模な改修計画に伴ない、今回約50m上流に新橋が架けられることとなった。全体の工事概要は橋長478m、その内バスケットハンドル型ニールセンローゼ桁の237mを、日立・三菱・宮地・日橋・鋼管の5社JVにて施工した。宮地の施工区分としては、上弦材のP₂側のJ10から、P₃側のJ5までを担当した。現在、平成7年春の供用開始に向けて、残りの左岸側の二径間連続非合成箱桁の工事と取付道路を施工中である。完成すれば、福知山市の景観的シンボルとなり、音無瀬橋一帯で開催される、福知山おどり、堤防まつり、花火大会にも彩りを添え、市民の憩いとなるであろう。

(塩見)