

54. 支柱格納式連続プッシュアップ工法による傾斜ドームの施工

(株)竹中工務店：*小山 良樹・野本 和章
古川 政彦

1. はじめに

近年、ドーム球場に代表される大規模・大空間施設の建設が増加している。それに伴い、各施設の特長をアピールすべく、施設設計の多様化と共に構造的・意匠的主張を持たせた建物が多い、また、施工技術面では、労働者の安全性・労働環境の改善を目的とした工法の開発、改善も着実に進められている。

現在、大阪府で建設中の大阪府立門真スポーツセンターは、長辺長さ 125m、短辺長さ 109m、高さ 42mの楕円形で、かつ屋根全体が5度傾斜した形状の多目的ドームである。このドームの施工法にパンタドーム構法（法政大学川口 衛博士の特許構法）が採用された。

このせり上げ方法として実施された、過去のプッシュアップ工法は、垂直方向へのせり上げのみであり、かつ支柱継ぎ足し方式のため完了までに1～2週間の期間を要していた。

今回、この5度傾斜したドームのせり上げ工法として支柱格納式連続プッシュアップ工法を開発し、わずか1日で28mのプッシュアップを完了した。

ここに、その計画と実施結果について報告する。

2. 工事概要

工事名称	大阪府立門真スポーツセンター(仮称)新築工事
発注者	大阪府
設計	大阪府建築部管轄室 (株)昭和設計
設計指導 [ドーム屋根]	法政大学教授 川口 衛 博士
監理	(財)大阪府建設監理協会 (株)昭和設計
建築施工	竹中・鴻池・浅沼・住友・東海共同企業体
建設地	門真市大字三ツ島308-1 外
敷地面積	45,795.38㎡
建築面積	25,461.40㎡
延床面積	37,660.81㎡
構造・規模	RC,S,一部SRC/B1,3F
最高高さ	SGL+42.65m
外装	タイル打込炭素繊維強化セメント板、 打放しコンクリート、ステンレス屋根

図-1 工事概要

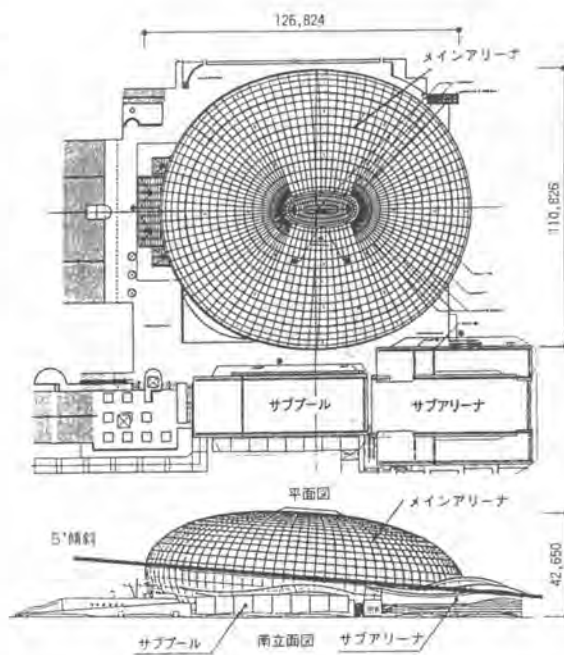


図-2 建物形状

3. プッシュアップ工法の検討

パンタドーム構法の実施に当っては、施工性・安全性・コストを考慮して実施計画を行なった。このプロジェクトのポイントは屋根全体が5度傾斜している点である。そのため、プッシュアップ中に水平分力が働くため、水平変位、荷重、揚程の管理が非常に重要となり、短期間に完了させなければならない。以下に各検討事項について示す。

3-1. パンタドーム構法の概要

この構法は、法政大学川口 衛博士の考案された特許構法である。その仕組みは、構造体にヒンジを設置し、低い位置で構造体を組立て、これをドームの最終形状までジャッキなどによってせり上げるというもので、その結果在来工法と比較して、安全性が高く工程も短縮できるメリットがある。また、アップ中の横力をドーム全体で効果的に拘束する大きな特徴がある。

3-2. プッシュアップ概要

プッシュアップ工法の概要を図-3、表-1に示す。

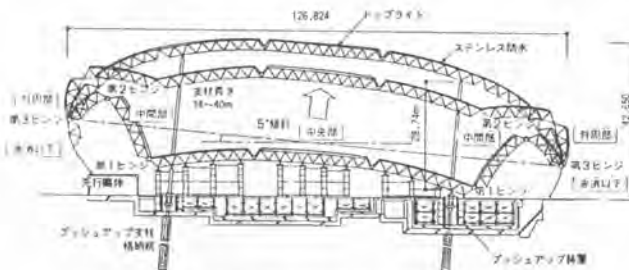


図-3 プッシュアップ概要

項目	数量・仕様				
プッシュアップ面積	中央部	4,467㎡		10,138㎡	
	中間部(除く29㎡)	3,534㎡			
	外周部(除く29㎡)	2,137㎡			
プッシュアップ重量	項目	中央部	中間部	外周部	小計
	鉄骨	425t	348t	327t	1,100t
	仕上げ	93t	49t	29t	171t
	キャットウォーク	75t	37t	—	112t
	照明・電気設備	88t	—	—	88t
	仮設	198t	38t	22t	258t
合計	879t	472t	378t	1,729t	
上昇量	28.736m				

表-1 重量表

3-3. プッシュアップ方式の検討

パンタドーム構法の実績はこれまでに4件ある。この4件のプッシュアップは、いずれも垂直方向へのプッシュアップであり、支柱継ぎ足し方式により行なわれた。今回は前述のようにドーム全体が5度傾斜しているため、プッシュアップ方向、支柱供給方法について検討を行なった。表-2にプッシュアップ方式の検討比較表を示す。架構の安定性、工期、コスト面から検討を行ない、5度傾斜、格納方式で実施する事とし、大幅な工程短縮をわらった。

表-2 プッシュアップ方式

押し上げ方向 支柱供給方法	垂直方式		5 deg 傾斜方式	
	案① 継ぎ足し方式	案② 格納方式	案③ 継ぎ足し方式	案④ 格納方式
概要図				

3-4、プッシュアップ装置の検討

プッシュアップ装置は、主にプッシュアップ支柱・反力構台・油圧ジャッキから構成され、中央部トラス周辺部に16ヶ所配置した。

1) プッシュアップ支柱

プッシュアップ支柱は、最大111tの鉛直荷重および5度傾斜分の自重による曲げ力を受ける。その仕様は、全長34~40m、直径558.8mm、板厚22mm、材質STK400の鋼管である。柱頭は、トラスの変形時にトラスおよび支柱に曲げが発生しないようにテフロンシートにより縁切りを行ない、その固定は、ワイヤロープ(2-φ18)を絞り込んで行なった。柱脚は、PC鋼より線のアンカー装置と、支柱と格納鋼管がせらないようガイドローラーが取り付けられている。図-4に概要図を示す。

2) ジャッキシステム

油圧ジャッキの選定にあたっては、ステップロッド式・VSL式・ベアロック式について検討を行なった。その結果、ロッドの盛り替え、下部支持装置が不要で、プッシュアップ完了まで連続上昇が可能なVSL式を採用する事とした。このシステムは、支柱の最下部に定着されたPC鋼より線をVSLジャッキで引き上げる事により支柱を上昇させるというものである。また格納鋼管と支柱の隙間に7本のPC鋼より線を有効に収めるため、方向調整およびガイドシーブを取り付ける工夫をした。1支柱当り2台、合計32台のジャッキを使用し、各支柱間の高低差があらかじめ設定された管理値を超えないようにコントロール可能なシステムとした。

表-3 プッシュアップ装置概要

名称	数量	仕様
支柱格納坑	16t	φ800mm t=12mm L=34.5m
支柱	16t	φ558.8mm t=22mm L=34.0m~40.0m STK400
反力構台	16t	鉄骨構台方式 4台 軽体利用方式 12台
ジャッキシステム	油圧ジャッキ	VSLジャッキ 60t用 20台 100t用 12台
	PC鋼より線	12.7φ×7-34m 15.2φ×7-34m
	油圧ポンプ	LEP-11A 吐出量 13ℓ/min 200V 11KW LEP-11B 吐出量 9.6ℓ/min 200V 11KW
	バルブユニット	使用圧力 700kg/cm ² 流量 12ℓ/min
	FAモニター装置	2台
	姿勢制御装置	8台
間隔方向調整シーブ	32台	シーブ径 φ300mm
ガイドシーブ	32台	シーブ径 φ200,270mm

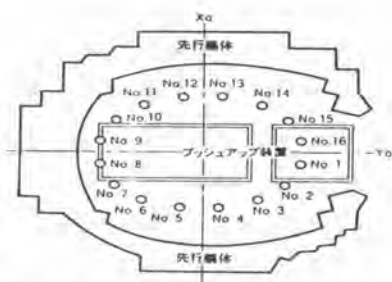


図-4 プッシュアップ装置配置



図-5 プッシュアップ装置概要

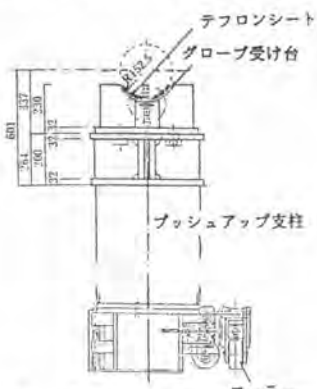


図-6 プッシュアップ支柱概要

3-5. 計測管理システム

プッシュアップを成功させるためには、プッシュアップ中の鉄骨トラスの挙動や応力状態、およびジャッキの作動状況を正確に把握する事が必要である。そのため、鉄骨トラスの水平変位量・揚程量・荷重等を計測し、結果をリアルタイムに処理し施工に反映させる計測管理システムを開発した。本システムでは、多項目の計測を同時に行ない、すべての計測結果を司令室に設置された4台のパソコン画面で確認でき、また計測結果が管理値を超えた場合には表示色が変わり、司令者に注意をうながす機能を持っている。

表-4に計測管理項目及び管理値、図-7に計測機器配置を示す。また、各種計測管理状況のうち、写-1に水平変位、写-2に揚程量・ジャッキ荷重の司令室内パソコン画面表示例を示す。

表-4 計測管理項目・管理値

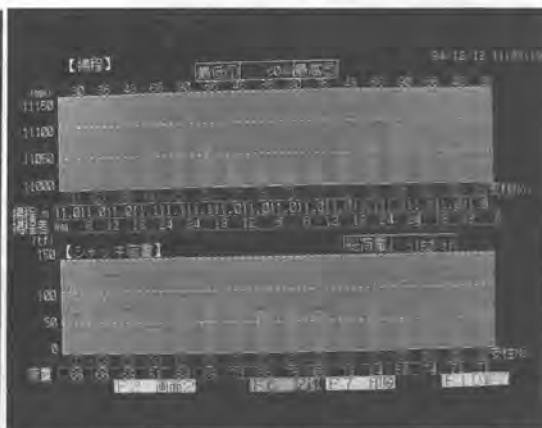
計測項目	計測機器	方式	点数	管理値
揚程量	エンコーダ	自動	16	隣接支柱間高低差
	光波距離計	自動	1	20mm以下
支柱反力	圧力変換器	自動	16	支柱許容耐力125tf以下
水平変位	三次元測量器	半自動	5	
部材応力	歪みゲージ	自動	136	短期許容応力度以下
風向・風速	風向風速計	自動	1	10分間平均16m/秒以下



図-7 計測機器配置



写-1 水平変位量



写-2 揚程量・ジャッキ荷重

4. プッシュアップ工事の実施

4-1. 施工手順

図-11にプッシュアップまでの施工フローを示す。工事は、支柱格納斜杭の打設から始まり、トラス柱脚部分の躯体工事を行なう。ドーム周辺の躯体工事が完了すると、トラス鉄骨建方のための支持構台の組立て及びプッシュアップ支柱の挿入を行なう。仕上工事は極力地組時に地上で完了させ、高所での作業は少なくしなければならない。今回は、屋根全体の仕上げに対して78%を完了させた上でプッシュアップを行なった。

以下主要項目について述べる。

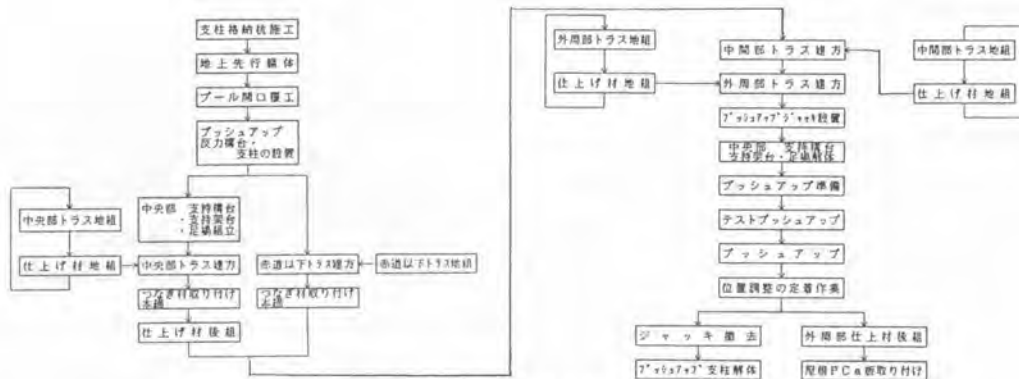


図-11 プッシュアップ施工フロー

4-2. 支柱格納斜杭の施工

支柱格納斜杭は16本あり、4本は仮設杭、12本は本設兼用杭となっている。斜杭の仕様は図-12に示す。

工法は、剛性の高いケーシングを使用するベント工法を採用した。過去に場所打ち杭で斜杭を打設した実績はなく、また、要求精度が高いため、掘削機械の改造、ガイドトレンチの設置、傾斜測定装置の開発・位置調整ジャッキの設置等を行ない施工した。その結果、全て所要の管理値以内で完了した。

4-3. トラス鉄骨の建方

ドームトラス鉄骨は総重量1,186t、約15,000ピースあり、安全に効率よく建方を行うために地上で地組み、仕上げまで完了させた。写-3～5に建方状況を示す。

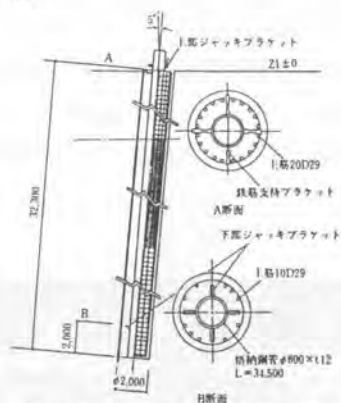


図-12 支柱格納斜杭の概要



写-3 トラス建方(1)



写-4 トラス建方(2)

4-4. ジャッキダウン・地切り

トラス鉄骨建方、仕上げ工事、設備工事が完了すると、それまで建方用構台にかかっていた荷重を全てプッシュアップ支柱に移換させる作業を行なう。地切り作業である。今回は16柱一斉自動運転を繰り返して、荷重を全て支柱に受け替えた。地切り時に支柱に作用する荷重は、16支柱合計1,254t（解析値1,310t）であった。水平変位は最大南に13mm、東に96mm（傾斜方向）であった。この値は、事前解析結果とほぼ一致した。

4-5. プッシュアップ

写-5~7にプッシュアップの状況を示す。作業はほぼ計画通り順調に進み、約8時間半でプッシュアップが終了し、従来の所要期間を大幅に短縮できた。

上昇速度は62mm/minで、当初の計画(60mm/min)通りであった。図-13にプッシュアップ経過グラフを示す。

隣接支柱間の最大高低差は、ジャッキの自動制御運転の結果、常に管理値内で推移した。支柱反力は、トラス屋根の上昇に伴い中央部の荷重が外部のトラスへ伝達され徐々に減少し、地切り時の60%(749tf)となった。中央部変形量は、最大で南に54mm(解析値15mm)、東に104mm(解析値72mm)であった。

図-14に支柱間最大高低差、図-15に支柱反力を示す。

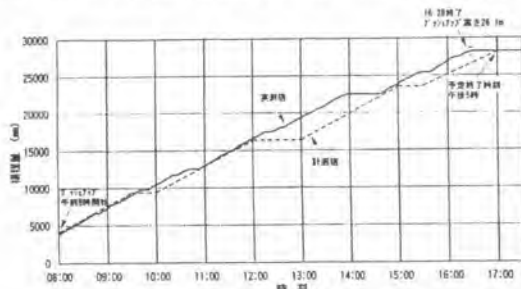


図-13 プッシュアップ経過グラフ

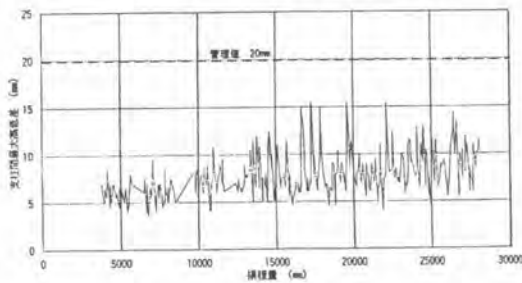


図-14 支柱間最大高低差



写-5 プッシュアップ開始



写-6 プッシュアップ中



写-7 プッシュアップ終了

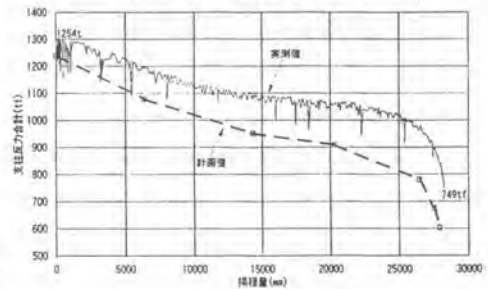


図-15 支柱反力

5. おわりに

大規模傾斜ドームの施工にパンタドーム構法を採用し、そのせり上げ工法として支柱格納式連続プッシュアップ工法を開発し、わずか1日でプッシュアップを完了することができた。

また、高所危険作業の低減(仕上率87%)とドーム施工品質の確保に大きな成果をあげることができた。

最後に本工事の計画、施工にあたり、御指導、御協力戴いた関係者の方々に心より謝意を表します。