

# 鋼管アーチで支持する吊屋根構造屋内球技場の施工

## 一駒沢オリンピック公園総合運動場(26)屋内球技場・第一球技場改築工事一

Construction of the field house with hanging roof supported by steel tube arch

小林茂樹\*1 女屋 智\*2

### 概 要

「駒沢オリンピック公園総合運動場」は1964年の東京オリンピックの第2会場として使用された歴史を持つ、敷地面積約41万3千㎡の総合スポーツ施設である。毎年多様なスポーツ大会が開催され、多くの都民がスポーツ観戦を楽しんだり、施設を利用して自らの身体を動かしたりと、スポーツ振興の拠点として重要な役割を担っているが、各施設は築50年を超えるものが多く、老朽化が進んでいた。このほど、このうちの「屋内球技場・第一球技場」の改築を終えたので報告する。新屋内球技場はバスケットボールコート2面が入る大きさで、観客席は約1,580席(車椅子席含む)を有する。金属板と屋上緑化で仕上げる短辺約62m、長辺約84m、約5mのむくりのついた屋根は、高さ約28mの鋼管アーチ材から降ろしたケーブルによる吊り構造で、シンボル性のある外観を有している。

key words : 屋内球技場、鋼管アーチ、屋上緑化、事前解析

### 1. はじめに

前回の東京オリンピックで、当社施工の旧屋内球技場はバレーボール、第一球技場はホッケーの会場となった。日本女子バレーボールチームが金メダルを獲得し、『東洋の魔女』と呼ばれた舞台がこの屋内球技場である。なお、当社施工範囲を含む『東京都立駒沢オリンピック施設』は、第6回BCS賞(1965年)を受賞している。

新屋内球技場はバスケットボールコート2面が入る大きさで、バレーボール、ハンドボール、バドミントン、フットサルにも対応できる。観客席は約1,580席(車椅子席含む)を有する。

金属板と屋上緑化で仕上げる短辺約62m、長辺約84m、約5mのむくりのついた屋根は、高さ約28mの鋼管アーチ材から降ろしたケーブルによる吊り構造で、シンボル性のある外観を有している。ここではこの屋内競技場の施工について報告する。

写真-1に、完成建物の東面外観を示し、写真-2に改築前の建物全景を示す。

### 2. 工事概要

工事名称	駒沢オリンピック公園総合運動場(26) 屋内球技場・第一球技場改築工事
発注者	東京都
設計監理	東京都・株式会社梓設計
工事形態	銭高組・TSUCHIYA・共立建設
工期	2014年6月25日～2017年3月14日 (32.5ヶ月)
建物用途	スポーツ施設
建築面積	5,224.87㎡
延床面積	9,716.48㎡
構造規模	RC造・S造 地下1階 地上2階
最高高さ	GL+28.5m



写真-1 完成建物外観



写真-2 改築前建物全景(竣工時)

\*1 Shigeki KOBAYASHI

東京支社建築支店建築部 作業所長

\*2 Satoru ONAYA

東京支社建築支店建築部 副所長

### 3. 建設地

図-1、図-2 と写真-3 に示す「駒沢オリンピック公園総合運動場」は1964年東京オリンピックの第2会場として使用された後、毎年多様なスポーツ大会が開催され、多くの都民がスポーツ観戦を楽しんだり、施設を利用して自らの体を動かすなど、スポーツ振興の拠点として重要な役割を担ってきた。



図-1 位置図

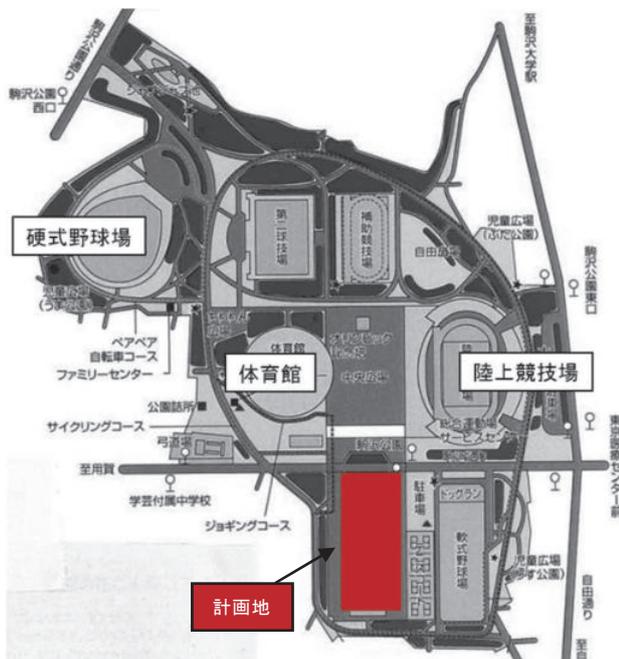


図-2 駒沢オリンピック公園敷地図



写真-3 敷地俯瞰写真

### 4. 建物の構成

図-3 に屋内球技場の構造概要を示す。構造架構は、アリーナ大空間を覆う鉄骨造のアーチ架構と屋根架構からなる上部構造、およびそれらを支える鉄筋コンクリート造の下部構造と基礎構造から構成されている。

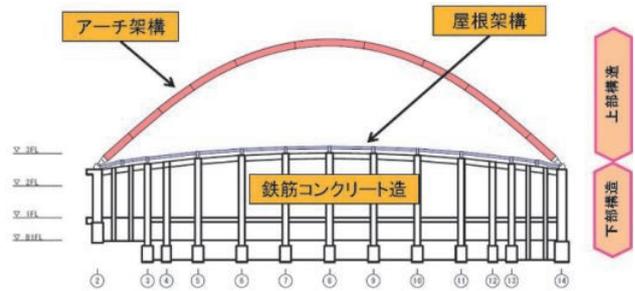


図-3 構造概要

図-4 にアーチ架構の概要を示す。アーチ架構はφ1100の2本の鋼管と鋼管を繋ぐ頂部のH形鋼、および面剛性を確保する水平ブレースからなり、下部RC躯体とピボット支承を介して繋がっている。支承間は極厚H形鋼で連結されている。

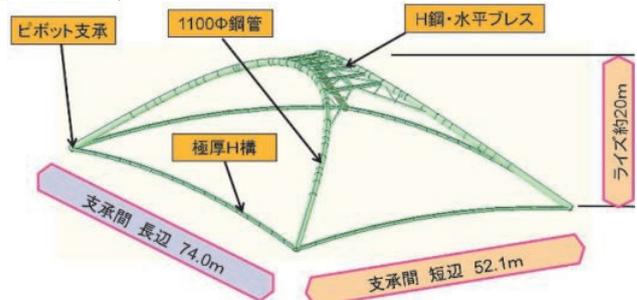


図-4 アーチ架構概要

図-5 と写真-4 にアーチ鉄骨脚部のピボット支承を示す。アーチ部材の温度伸縮に対してもピボットの回転で処理される考え方で、支承間は極厚H形鋼で接合する事により、アーチ架構が閉じた自己釣り合い架構を形成している。

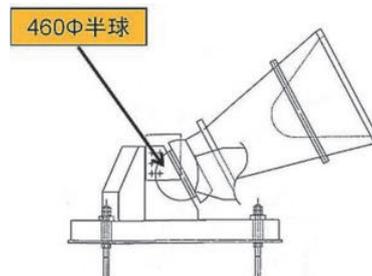


図-5 ピボット支承略図



写真-4 ピボット支承(施工中の状況)

図-6に屋根鉄骨のイメージを示す。屋根は、鋼管アーチから吊り下げられた計28本のケーブルによって支持されている。

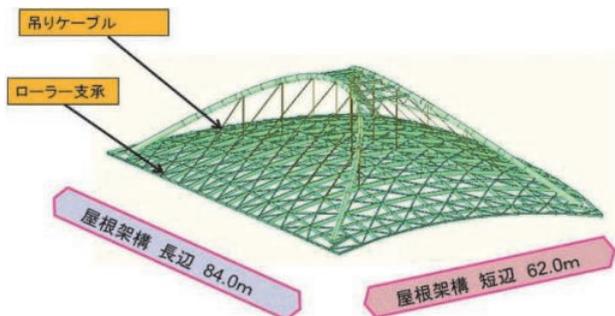


図-6 屋根鉄骨概要

写真-5に屋根鉄骨下部のローラー支承を示す。下部躯体に緊結された支持プレート上面にステンレス板を取付け、屋根鉄骨ベースプレートはテフロン板を挟んでルーズホールでボルト固定されている。



写真-5 ローラー支承

表-1にアーチ鉄骨と屋根鉄骨の主要材料のメンバーを示す。アーチ鉄骨は各12分割、南北合わせて24ピースのφ1100鋼管で構成され、下部ほど肉厚で製作されている。

表-1 屋根鉄骨構造メンバー (単位 mm)

部位	サイズ
アーチ鉄骨	φ1100×50、45、36
水平ブレース	H-400×400×13×21 他
屋根フレーム	H-800×300×14×25 他
吊りケーブル	φ40 16本、φ50 12本
ローラー支承	ステンレスPL t3+テフロンPTFE t2.4

## 5. アーチ鉄骨の施工

### 5.1 施工計画

図-7にアーチ鉄骨に始まる屋根の施工計画の概要を示す。今回の施工には、ペント工法を採用した。アーチ鉄骨建方用のペントは、鋼管の溶接が完了した時点でジャッキダウンし、解体する。続いて屋根鉄骨用のペントを設置し、アーチから懸垂するPCケーブルに所定の緊張力を導

入した後、ジャッキダウンして屋根用ペントを解体する。アーチと屋根とは支点の位置が異なるため、兼用はしなかった。

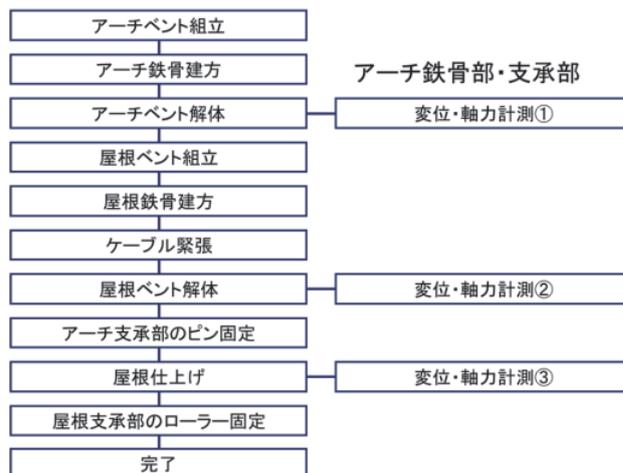


図-7 上部構造の施工フロー

### 5.2 事前解析

当建物の構造設計は、主要な施工状態および完成形について行っている。従って、施工順序や部材端部の支持条件が不適切な場合、一部の部材に想定していない応力が生ずる危険がある。特に、アーチ脚部が外側に広がろうとする力(スラスト力)の大半をアーチ下部の鉄骨に負担させる必要があった。このため、施工順序を考慮した事前解析を実施した。解析は以下の条件、仮定の基に行った。

- a) 本設部材：アーチ鉄骨、屋根鉄骨、ケーブル
- b) 仮設部材：アーチ鉄骨用建方ペント、屋根鉄骨用建方ペント
- c) 荷重：本設部材重量を1.2倍とし、更にアーチ用鉄骨には吊り足場の重量を積載荷重として最終ステージまで考慮した。また最終ステージでアーチ仕上げ工用足場の重量を積載荷重として作用させているが、その足場の施工に先立って屋根仕上げの一部を施工する計画であったため、その分の屋根仕上げ重量を最終ステージ直前に積載荷重として考慮した。ペント頂部の転倒防止用ワイヤは安全側の評価として無視した。
- d) 解析条件：静的線形解析で、部材はケーブル以外を梁要素とし、ケーブルはトラス要素とした。施工ステージは、アーチ鉄骨第1節の建方よりアーチ仕上げ工用足場の屋根鉄骨上架設まで全62ステージとなった。

事前解析の結果、アーチ鉄骨建方時のアーチ支承部は仮設で固定し、アーチ鉄骨のジャッキダウン直前に仮設の固定を外してローラー支承とすることとした。その後、特記仕様と同条件にするため、屋根鉄骨用建方ペント解体直後で屋根仕上げの一部の先行施工前に本設のピン接合となるようにした。

検討荷重は長期荷重とし、最終ステージまで本設部材は全て長期許容応力度以下となったため、本施工計画は構造的には妥当であると考えられた。

変形については屋根仕上げ前のアーチ支承をピンにする直前でベースプレートがX方向に約6mm、Y方向に8mmずれる結果となった。屋根支承もそれぞれ相応のずれが発生するため、各支承のボルト孔にはこれらのずれを考慮したクリアランスを設定した。また、各計測点の変形が解析値より著しく大きくなった場合には想定外の状況が発生していると考えられるため、施工中の計測点を設定して適時変位計測を実施した。図-8に、設定した計測点を示す。

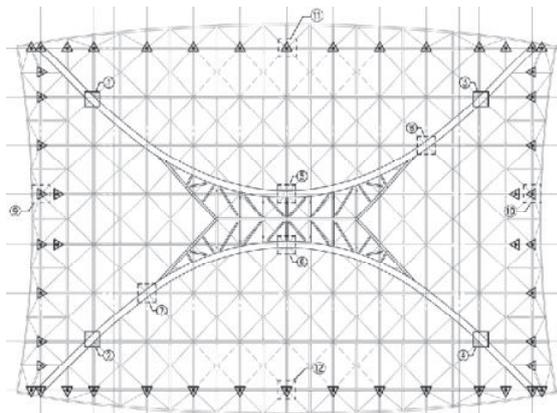


図-8 施工中の計測点

### 5.3 仮設計画

図-9、図-10、図-11にアーチ鉄骨仮設時の施工計画図を示す。

アーチ鉄骨、および屋根鉄骨用ベント支柱には鋼製支保工 (RORO システム) を採用し、短辺方向3m長辺方向3m×2スパン、最高高さは32.4mである。支柱1本の許容荷重は50tで、1基のベント支柱に架かる最大荷重の34.9tに対応した。

揚重機は500tクローラー、相番機に65tラフタークレーンを各1基使用した。北側アーチ架設後に、南側に移動する形で、両側から施工することでスペックダウンした。

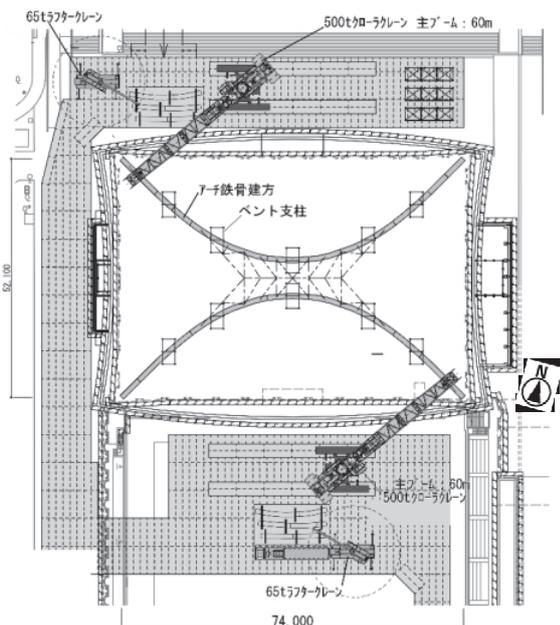


図-9 アーチ鉄骨架設時の総合仮設計画図

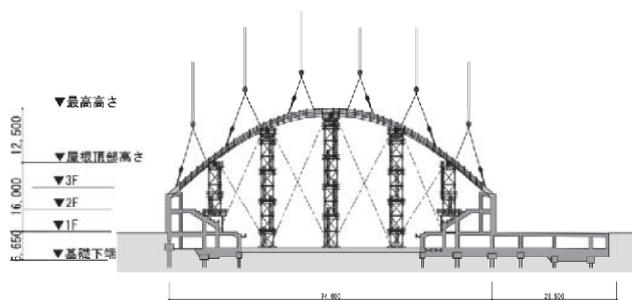


図-10 東西断面図

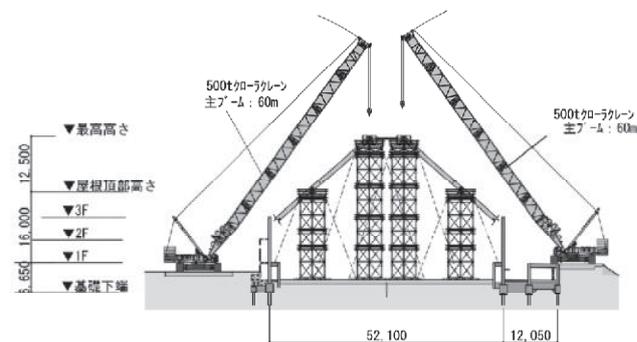


図-11 南北断面図

クローラークレーンの走行路は全て地盤改良を行い、敷き鉄板による養生を行って安全を確保した。北側からの施工時には、作業半径の制約から施工済の地下躯体の一部にクローラークレーンが乗ることになったが、構造検討結果に従い、山留材を使って梁とスラブを補強することで問題なく施工を進めた。

## 6. 施工

### 6.1 ベント支柱の組立

図-12にアーチ鉄骨用ベント支柱の詳細を、写真-6に組立状況を示す。設置場所の沈下防止措置として、t300mmのベースコンクリートを打設したが、屋根工事終了後の解体撤去を避けるため、コンクリート天端は床の均しコンクリートと同レベルとした。支柱の転倒防止対策としては、脚部のM22アンカーボルトによる固定、頂部および中段から各4方向への転倒防止ワイヤを設置した上、頭繋ぎを設置して安定性を補強した。

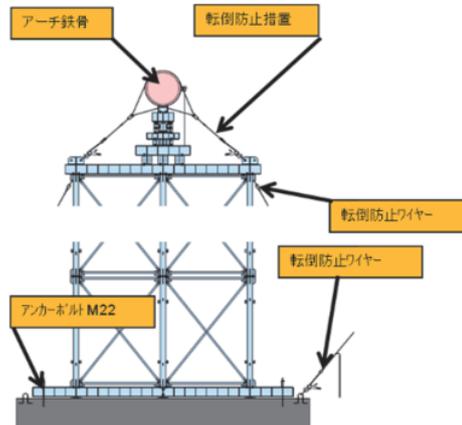


図-12 アーチ用ベント支柱詳細



写真-6 アーチ鉄骨用ペント支柱の組立状況

## 6.2 アーチ鉄骨架設

写真-7 に建方ヤードにおけるアーチ鉄骨地組の状況を示す。1本のアーチ鉄骨は12分割で搬入後、南北の作業ヤードで揚重可能な2本繋ぎに地組した。本溶接のあとタッチアップ塗装まで行い、吊り足場材を取り付けてペント支柱上に、端部から順に架設した。写真-8に、500tクローラークレーンと65tラフタークレーンの相吊りによる地切りの状況を示す。このあと500tクローラークレーン単独での吊りに移行し、チェーンブロックを調整して架設に適した角度に修正して吊り上げた。最大重量は31.2tであった。



写真-7 アーチ鉄骨の地組状況



写真-8 地切りの状況

写真-9 に1本目のアーチ鉄骨架設状況を示す。躯体最上階に配置されたピボット支承と、1本目のペントの間に架設した。写真-10、写真-11、写真-12に2ピース目以降のアーチ鉄骨架設の状況を示す。片側をエレクトロニクスピースで仮固定し、もう一方をペント上に仮受け後、光波測量による3次元計測を行いながらジャッキおよびレバブロック等で調整を行った。

工場で仮組をしている上に、建方中はペント支柱上の鉄骨端部の位置を常時計測するために、途中までの架設は問題なく進んだが、溶接時のルート間隔調整のために、最終ピースの架設は時間を掛けて慎重に行った。

## 6.3 ジャッキダウン1回目

吊り足場を架設してジョイントの溶接、タッチアップを完了し、外周繋ぎ梁の本締めが終わった段階でペント支柱をジャッキダウンし、解体した。



写真-9 1本目のアーチ鉄骨架設状況



写真-10 北側アーチ鉄骨建方状況



写真-11 北側アーチ鉄骨最終ピース取り付け状況



写真-12 南側アーチ鉄骨取り付け完了

図-13 にアーチ鉄骨ジャッキダウンのフローを、表-2 にジャッキダウン時の変位量を示す。ジャッキダウンはベント最上部 10 箇所所に設置した油圧ジャッキを使い、電動ポンプユニットで荷重を確認しながら同時に 6 段階で行った。変位量は各点共に事前解析結果以内となった。

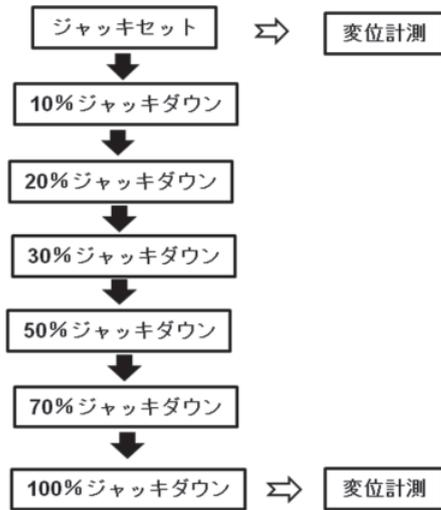


図-13 アーチ鉄骨ジャッキダウンのフロー

表-2 1回目ジャッキダウン時の計測点の変位

計測点	⑤	⑥	⑦	⑧
解析値	-4.2	-3.7	-29.8	-31.5
計測値	-3.0	-3.0	-17.0	-12.0

注) 計測点位置は、図-8 による。(単位: mm)

写真-13 にベント支柱解体後の状況を示す。



写真-13 アーチ用ベント支柱解体後

#### 6.4 屋根鉄骨架設

アーチ鉄骨用ベントを組替えて、最高高さ 19.3m、3m×3m のベント支柱を 7 本の大梁に対して各 4 基計 28 基、四角支柱のベント支柱を両端の大梁に各 4 基計 8 基設置した。1 基のベント支柱に架かる最大反力は 14.0t であった。図-14、図-15 に屋根用ベント支柱の設置計画図を示す。

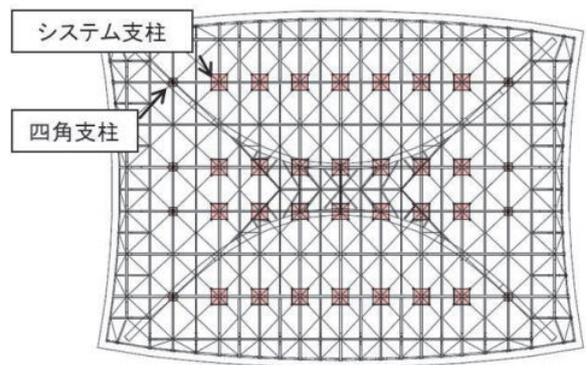


図-14 屋根用ベント支柱設置計画図

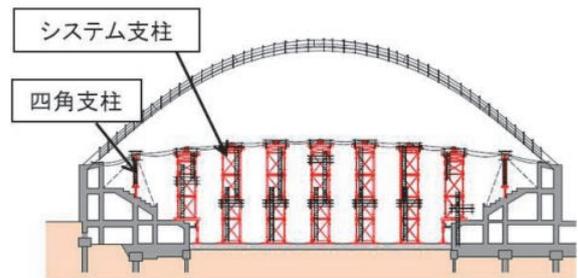


図-15 屋根用ベント支柱設置計画断面図

写真-14、写真-15 に屋根鉄骨の組立状況を示す。組立は、南北両面に 200t ラフタークレーンを設置して両側から行った。



写真-14 屋根鉄骨組立状況 (屋外より)



写真-15 屋根鉄骨組立状況 (屋内より)

### 6.5 吊りケーブルの緊張

屋根鉄骨の建方完了後、吊りケーブルの取付けを行った。

写真-16、写真-17 に吊りケーブルの取付け状況を示す。



写真-16 吊りケーブル取付け状況



写真-17 吊りケーブル下部状況

図-16 に、吊りケーブルの緊張要領を示す。吊りケーブルは4回に分けて4セットずつ、外側から順に張力を導入し、1回の緊張毎に本設ナットを締付けた。吊りケーブルの張力は油圧ポンプの圧力ゲージにて確認した。鉛直方向の外側より各2箇所ずつが400kN、中央の2箇所と斜め方向すべてが200kNであった。

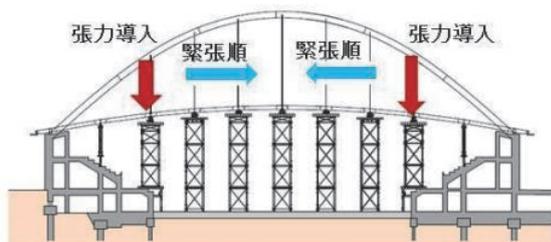


図-16 吊りケーブルの緊張要領

### 6.6 2回目の変位と応力の計測

吊りケーブル緊張後にベント支柱への荷重が無くなったため、緊張時の変位量がジャッキダウン2回目の変位量に相当すると判断して2回目の変位計測、およびアーチ脚部に張付けたひずみゲージによる応力計測を行った。表-3に応力計測、表-4に変位計測の結果を示す。応力は、事前想定と相応の値になった。

X、Y変位でわずかに解析値を超えている箇所が生じたが、これはクリアランスを設けていた鉄骨脚部の横ずれに

因るものであり、Z変位が超えていないことから問題ないと判断できる。

表-3 応力計測結果

計測点	種別	ジャッキダウン2回目
①	設計値	4106kN
	計測値	4044kN
②	設計値	4106kN
	計測値	3784kN
③	設計値	4106kN
	計測値	3953kN
④	設計値	4106kN
	計測値	4200kN

注) 値は、ひずみ計測値から求めた軸力を示す。

表-4 2回目変位計測

部材	計測点	種別	ジャッキダウン2回目変位量		
			X	Y	Z
支承部材	①	解析値	-5.8	-8.3	0.0
		計測値	-7.0	-3.0	0.0
	②	解析値	5.8	-8.3	0.0
		計測値	5.5	-12.0	0.0
	③	解析値	-5.8	8.3	0.0
		計測値	-6.0	3.0	0.0
	④	解析値	5.8	8.3	0.0
		計測値	3.0	5.0	0.0
アーチ鉄骨	⑤	解析値	0.2	-0.3	-28.3
		計測値	-3.0	-4.0	-26.0
	⑥	解析値	0.0	-0.2	-27.7
		計測値	-1.0	-12.0	-27.0
	⑦	解析値	-30.2	-7.7	-47.3
		計測値	-36.0	-23.0	-47.0
	⑧	解析値	30.4	8.8	-46.3
		計測値	36.0	11.0	-43.0
支承部材	⑨	解析値	0.8	-4.0	0.0
		計測値	1.0	1.0	0.0
	⑩	解析値	-0.8	-3.2	0.0
		計測値	0.0	-3.0	0.0
	⑪	解析値	0.3	0.0	0.0
		計測値	7.0	-3.0	0.0
	⑫	解析値	0.3	0.0	0.0
		計測値	-8.0	1.0	0.0

注) 計測点位置は、図-8による。(単位: mm)

### 6.7 屋根仕上げ工事

写真-18、写真-19 に屋根仕上げ工事の状況を示す。屋根外周部には屋上緑化を施し、空調負荷低減を図っている。中央部はガルバリウム鋼板噴き仕上げであるが、球面を施工するために長尺物は使えず、手間がかかった。写真-20 に、屋根の完成状況を示す。



写真-18 野地板：木毛セメント板 t40 施工状況



写真-19 アスファルトルーフィング施工状況



写真-20 屋根完成状況

### 6.8 3回目計測

屋根仕上げが完了し、設計時の荷重が全て積載された段階で3回目の変位計測を行った。最終的に、それぞれ事前の想定相当の値に収まっており、問題なく施工されたことが確認出来た。表-5に変位計測の結果を示す。

表-5 3回目変位計測の結果

部材	計測点	種別	屋根仕上げ後の変位量		
			X	Y	Z
アーチ鉄骨	⑤	設計値	0.2	0.0	-35.8
		計測値	-5.0	-3.0	-32.0
	⑥	設計値	-0.2	0.0	-35.8
		計測値	1.0	-6.0	-34.0
	⑦	設計値	-55.9	-14.5	-70.8
		計測値	-35.0	-14.0	-58.0
	⑧	設計値	55.9	14.5	-70.8
		計測値	33.0	13.0	-52.0
屋根支承部材	⑨	設計値	0.8	-8.7	0.0
		計測値	1.0	-5.0	0.0
	⑩	設計値	-0.8	8.9	0.0
		計測値	0.0	3.0	0.0
	⑪	設計値	-8.3	0.0	0.0
		計測値	-6.0	-1.0	0.0
	⑫	設計値	8.3	0.0	0.0
		計測値	5.0	-1.0	0.0

注) 計測点位置は、図-8による。(単位: mm)

### 7. おわりに

構造設計においても施工段階を考慮した解析が行われていたが、特殊な構造物の実施工にあたっては、さらに詳細な施工段階を模擬した特殊な解析が必要である。今回は技術研究所で事前解析を実施したことで、その結果を基に施工を進めることが出来た。

アーチ鉄骨は工場で全体仮組を行い、実測データを基に建方を行ったが、ルート間隔についての詳細データが不足していたため、調整に手間取った。北側アーチ鉄骨、南側アーチ鉄骨共に、内側に寄る傾向があり、閉合鉄骨を納める際、想定以上に時間がかかった。今後の同様建物の施工にあたっては建方用だけではなく、位置調整用の仮設を検討する必要がある。

最後に、竣工検査直前まで非常に慌ただしい状況ではあったが、無事工期内に引き渡すことが出来た。発注者、設計監理者をはじめ、社内各部署関係者の皆様には、この場を借りて感謝の意を表します。