

論文・報告

すみだ文化学習センタープラネタリウムの施工

Construction of Planetarium for Sumida Cultural Center

野田 行 衛*
Yukie NODAサイヤド サイド アハマト**
SYED Saeed Ahmad古 村 崇***
Takashi FURUMURA島 辺 政 秀****
Masahide SHIMABE佐喜間 英 則*****
Hidenori SAKIMA保 坂 和 人*****
Kazuhito HOSAKA

Sumida Cultural Center is build in Sumida ward of Tokyo metropolitan to provide office space, restaurants, a multipurpose hall, a planetarium and other specially designed rooms for various cultural activities in the area. The design proposal for the project is selected from submissions of a design competition. Kawada Construction Co. is selected for the construction of planetarium which forms the upper most part of the main building.

The dome of planetarium is semi spherical in shape with a radius of 10.4 m. It is made up of triangular precast concrete panels joined together to make complex geometrical pattern. The complicated geometry of the dome made it essential to closely monitor the accuracy during casting of panels as well as to have strict geometry control during erection. Computer aided modeling techniques are used to acquire exact shapes of the panels. This paper describes the computer modeling, casting of panels and erection process in detail.

Key word : computer modeling, precast panel, product tolerance, composite structure, erection tolerance

1. 工事の概要

すみだ文化学習センターは、墨田区が生涯学習の拠点として計画したもので、設計は、長谷川逸子・建築計画工房によるものである。この建物は、墨田区が行った指名設計コンペの中から選ばれた作品で、外装としてアルミパネルを用いた現代的な建築構造物である。

この建物は、事務所、視聴覚室、音楽スタジオ、レストラン、多目的ホールなどからなり、西棟の屋上にはプラネタリウムがある。

主要施設の一つであるプラネタリウムは、半径が10.4 mの球形のドームで、三角形のプレキャストコンクリートパネル(以下PCaパネル)で組み立てる構造であり、わが国においては、この形式の施工例はきわめて少ない(図-1)。プラネタリウムにPCaパネルが採用された理由は、遮音性の良さが認められたもので、特に、ドームの近くを東武電車の高架が走るため、騒音に対して注意が払われた。

工事全体は、安藤・東武谷内田・東京長谷川JVにより行われたが、この中の特殊な構造を有するプラネタリウムのパネルの製作と現場の架設を川田建設が担当した。

今回の工事を行うにあたり、最も注意すべき点は、パネルの製作精度と現場における施工精度の確保であった

が、構造が複雑であるためパネルの正確な寸法出しから始めなければならなかった。このため、三次元CADによる解析を行い、パネル一つ一つの寸法を求め、躯体との取り合いと接合構造を検討した。

また、パネルの精度を確保するため鋼枠の製作方法やコンクリートの品質管理などの検討を行った。

今回のパネル取り付け方法は、パネルの各格点でのみ支える工法であったため、三次元座標を現場でそのつど測量しなければならなかった。

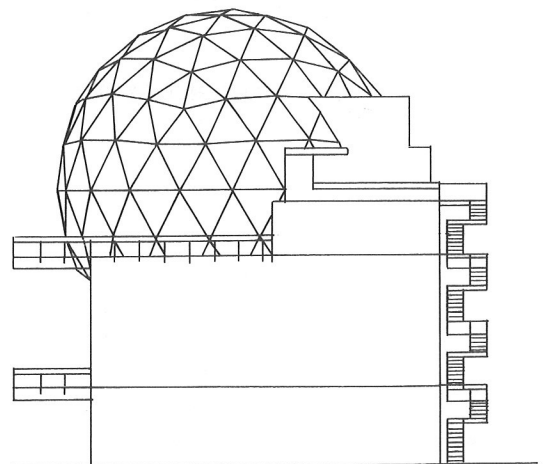


図-1 プラネタリウム一般図

*川田建設(株)工事本部開発部技術開発課課長 **川田建設(株)工事本部開発部技術開発課 ***川田建設(株)プレキャスト事業部那須工場製造課課長

****川田建設(株)土木保全事業部工事部技術課課長 *****川田建設(株)東京支店工事二部工事課主任 *****川田建設(株)土木保全事業部工事部工事課主任

本論においては、パネルの製作および施工に関する技術的な問題点とその検討結果について述べる。

2. パネル形状の決定

立体である球の表面を、平面的な集合体で表現するには、さまざまな手法が考えられる。プラネタリウムに使用した“Icasahedron”と呼ばれる方法は、等しい断面の組み合わせにより球面を形成するものである。この球面は正三角形で作り出された正20面体であり、その辺長は次式により求められる。

$$\text{辺長 } m = \frac{1}{5} R \sqrt{10(5 - \sqrt{5})} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 R ：球の半径

また、正20面体の各頂点座標は、図-2に示すように1辺が長さ N の立方体の面に接する点であり、その点を頂点とする正三角形の1辺の長さと N との関係は次式で与えられるものである。

$$N = \frac{m(1 + \sqrt{5})}{2} \dots\dots\dots(2)$$

さらに、求められた各正三角形は、3辺の中点を結ぶことにより、四つの三角形に分割することができる。この作業を再度繰り返すことにより、最終的に、一つの正三

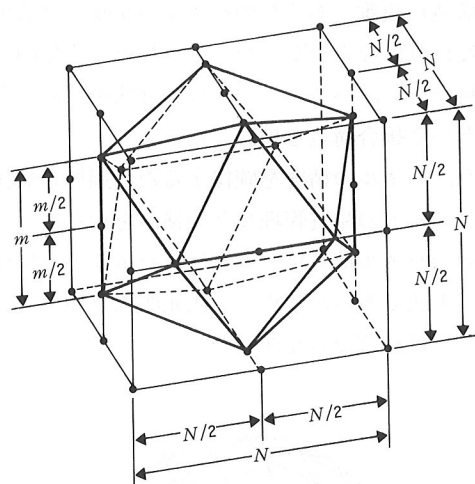


図-2 立方体に内接する20面体

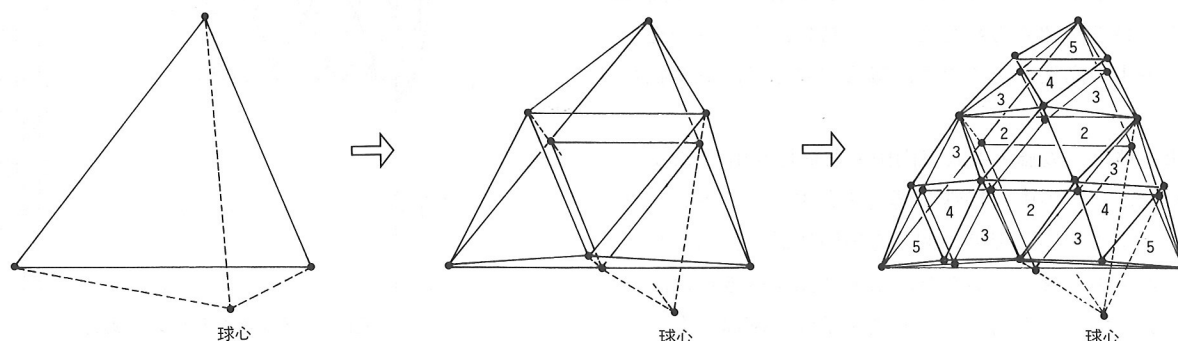


図-3 パネル製作用小三角形への分割方法

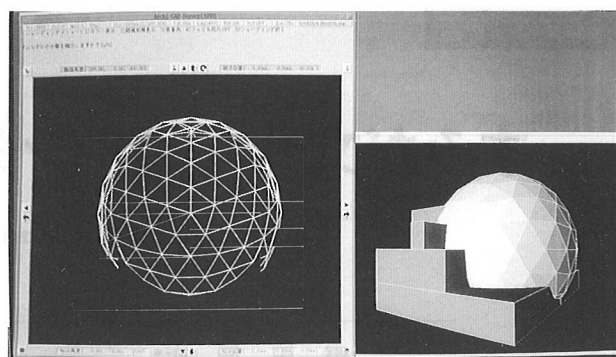


写真-1 CAD解析

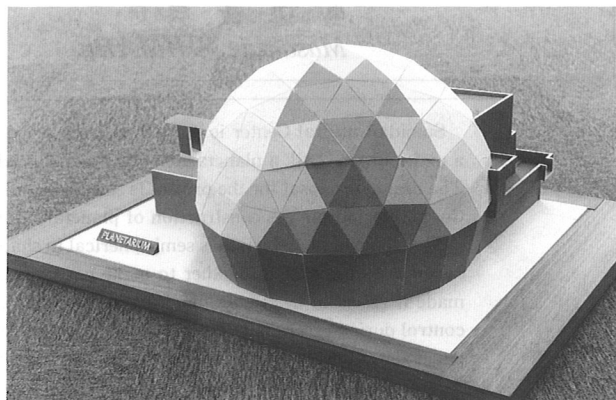


写真-2 プラネタリウム (1/40模型)

角形は16の小三角形に分割される (図-3)。

これらの小三角形は5種類からなり、標準パネルと称するドームには、この多面体球の半球分を使用するが、ドームの後方部においては躯体と接合するため、パネル形状はより複雑となっている。特殊パネルは、そのような部位の異種形状のものであり、躯体との交線において標準パネルを切り取ったものとなっている。ここで使用したパネルは136枚で、そのうち、119枚が標準パネル、17枚が特殊パネルであった。

また、ドーム形状をしているため、プレキャストパネル部材の正確な寸法を割り出すことはきわめて困難であり、幾何学計算と視覚処理が可能である3次元CADにて

解析を行った(写真-1)。

小三角形の全接点座標および辺長はすべてCAD解析結果から求めた。なお、ここでは、パネルの製作や架設誤差による部材同士のラッピングを考慮し、プレキャストパネル周辺には一定量の隙間を持たせる寸法を採用した。その量はお互いのパネル間につき8 mm, 特殊パネルと壁との間は40 mmである。写真-2は、これらパネル寸法の確認をするために製作した1/40の模型である。

3. 構造細目

(1) プレキャストパネル

標準プレキャストパネルは1辺がおおよそ3 mの正三角形形状を有し、重量は1枚あたり0.9 tである。パネル厚は、鋼枠のある辺周近傍において140 mm, パネル中央にて70 mmである。その詳細寸法を図-4に示す。

パネルは、図に示すように溝形鋼を外フレーム材とし、鉄筋をメッシュ状に組み、コンクリート打設後の乾燥収縮に起因するひびわれ発生を抑止するため、チャンネル材には各周辺部3ヵ所においてリブを取り付け、そこに鉄筋を溶接した。

なお、前記パネル厚は、力学的に決められたものでなく、むしろ遮音効果を考慮して決定されたものである。

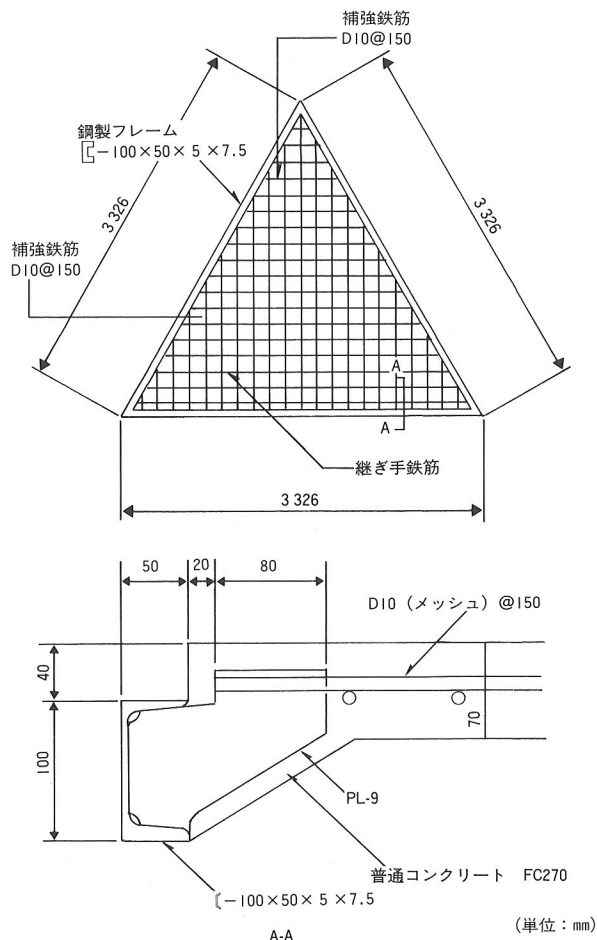


図-4 パネルの鋼材配置と断面

足場材および外装用のアルミパネル設置用のインサートは、コンクリート内に埋設した。

(2) ジョイント

本工事のドームを構成するジョイント部は、特に重要であり、施工性を考慮した構造を検討した。また、精度が全体形状に与える影響が大きいことから、精度を確保できる据え付け方法も工夫した。

a) パネル間の連結

プレキャストパネル間の接合には2種類の方法が採用されており、一つは、パネルの鋼枠に取り付けられたコネクションプレートを互いにパネル内側面でボルト締めするもので、そのボルトには高力ボルトが使用された。もう一つは、9 mm厚のプレートを用いて、パネル上縁を溶接にて連結するものである(図-5)。

b) パネルと躯体壁との連結

パネルと躯体壁との連結部は、プラネタリウムの入り口付近にあり、ドームの自重を支持する構造とする必要があった。躯体壁側のアンカーは、躯体コンクリートを打設する際にあらかじめセットした。躯体壁のアンカープレートとパネルとは、小さいプレートを互いに溶接して連結した(図-6)。

c) ベースアンカー

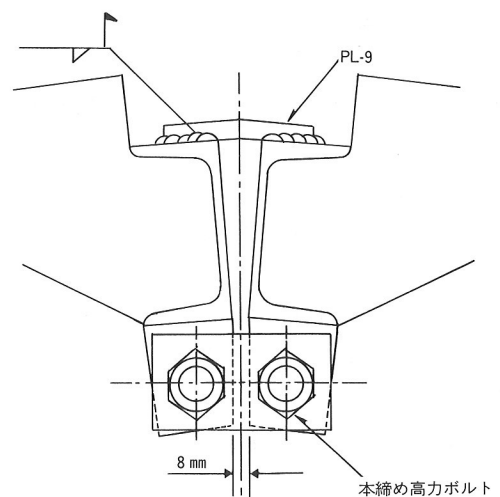


図-5 パネル間の連結

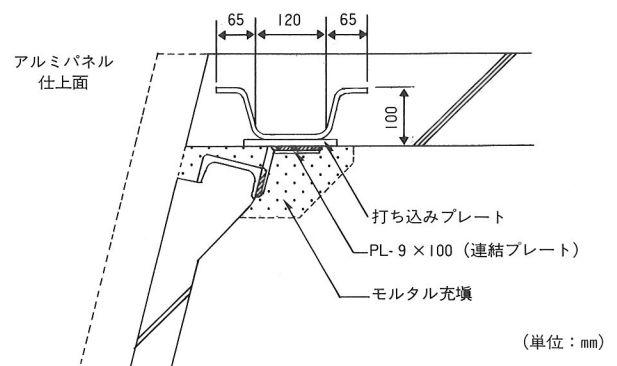


図-6 パネルと躯体壁との連結

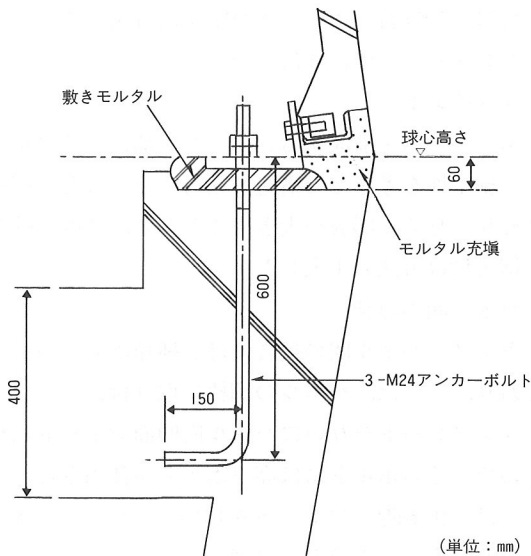


図-7 ベースアンカー

ドーム構造物は24個のベースアンカーにより躯体に固定される。その基本寸法を図-7に示す。このベースアンカーの据え付け精度は、ドーム全体の施工誤差に直結するため、設置地点の墨出しは、きわめて慎重に行った。パネルは、はじめに高さ調整用のモルタルを敷き、あらかじめ躯体に埋め込まれたアンカー筋で固定した。

4. 架設時の検討

各施工段階における部材応力度およびたわみ量をあらかじめ把握するために、各施工段階のFEM解析を行った。ここでは、溝形鋼枠のみを梁要素として考え、ドーム構造を立体トラスとしてモデリングした。パネルのコンクリートは、その自重を梁要素に受け持たせ、剛度は考慮しないものとした。

このモデリングの解析結果から、各施工段階におけるトラスの支持力は十分であると判断した。また、計算上の最大たわみは、ドーム頂上において、1.89 mmであり、上げ越し上特に問題となる量ではなかった。

5. パネルの製作と仮組

パネルの製作は、川田建設の那須工場で行った。製作順序は、溝形鋼の切断、外枠フレームの組立、メッシュ筋の取り付け、コンクリート打設の順で行った。

(1) 外枠の製作

溝形鋼は、100×50×5×7.5 mmの市販されている鋼材を使用した。JIS寸法の値では、すでにいくらかの誤差が許容されている。一方、組立時のパネル間隔は、8 mmに限定されていることから、外枠の出来上がり精度は±3 mmを目標にした。

このため、切断後の部材のゆがみなどを完全に直し、さらに、溶接後は機械加工した治具をセットして、寸法

精度の確認を行った(図-8)。

(2) コンクリート打設と製品のストック

製作ヤードは、5枚のパネルが同時に製作できる場所を確保し、型枠設置のためのベースを設けた。ベースには、H形鋼を使用し、上面の高さの差は、±1.5 mm以内になるように設置した。このH形鋼の上に鋼製の定板を敷き底枠をセットし、また側枠は押え治具で固定した(図-9)。

コンクリート打設前に次の検査を行った。

- ① 型枠寸法・組立精度
- ② 鉄筋の位置と数量
- ③ 付属品の位置と数量

コンクリート打設は、ホッパーをクレーンにて吊り上げ型枠内にコンクリートを投入し、パイププレートにて十分な締め固めを行った。

パネルは外枠が鋼製であることから、コンクリートの乾燥収縮を拘束し、ひびわれの原因となることが考えられたので、コンクリートは単位水量を少なく抑え比較的スランプの小さい調合とした。

コンクリート養生後、 $F_c=180 \text{ kgf/cm}^2$ になった段階で脱型し、パネルの移動を行った。

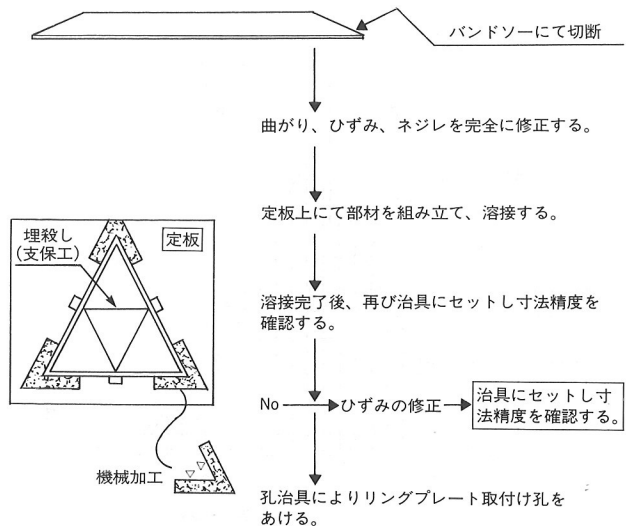


図-8 パネル製作の精度管理

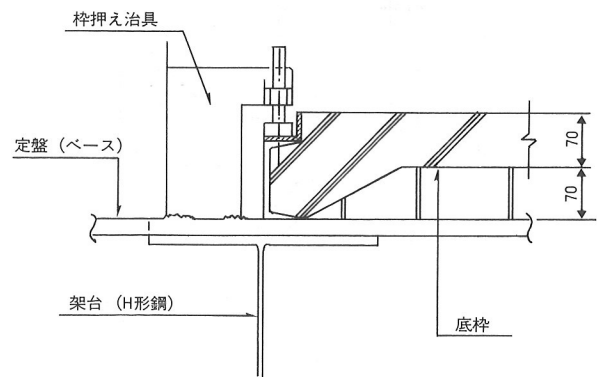


図-9 パネルの型枠

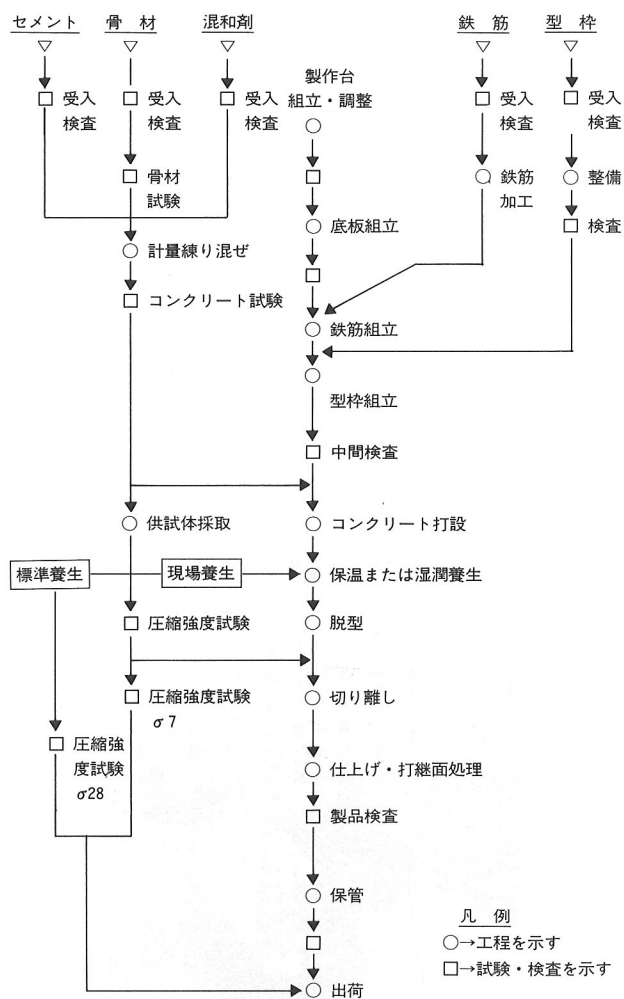


図-10 パネルの製造工程

その後、製品寸法検査、製品仕上げ、製品外観検査を行い、最終的にストックヤードに保管するが、保管時には台木の位置を製品吊り金具位置とし、積み重ねるときは台木に位置を揃え、ねじれないように注意した。図-10にパネルの製造工程を示す。

(3) 仮組検査

各パネルの製作精度をチェックするために、6枚のパネルの頂点が交わる一つの格点部分を取り出して、仮組検査を行った。この場合、三角形の辺に取り付けた架設用のボルトと本締め用の高力ボルトの接合状況も調べた。写真-3は、仮組検査の状況を示す。

架設用のボルトは、6枚のパネルを1点で結合するプレートを連結するもので、その下の治具とそれを支えるパイプサポートは、さらにボルトで固定されている(写真-4)。

6. 施工方法

(1) 支保工施工

ドーム内の支保工兼作業用足場は、その基礎となるコンクリート床面に段差が多く、平面的にも球構造であるため、変化に対応できる構造が必要であった。

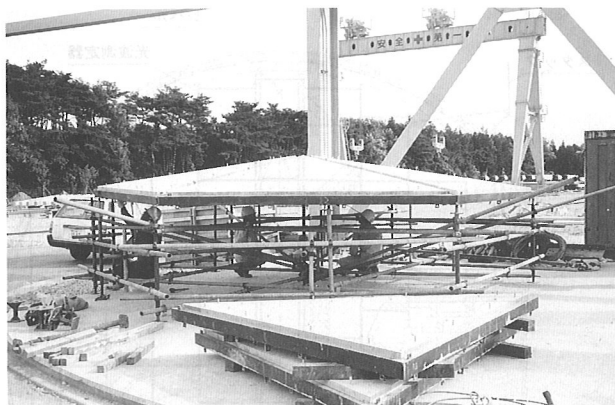


写真-3 仮組検査

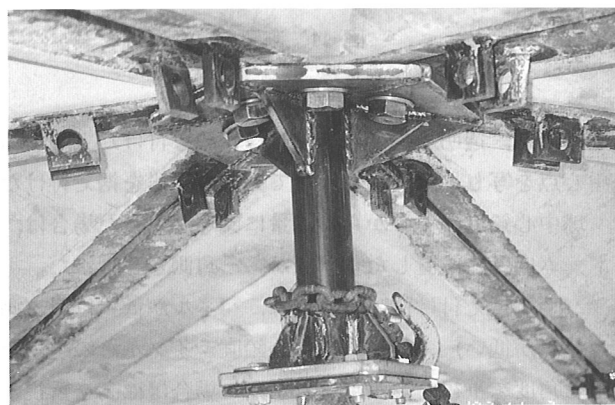


写真-4 パネル格点部の連結

そのため、平面的にも自由に組み立てられ、段差の調整が容易にできるオメガシリーズの支保工を採用し、支柱リング間隔が300 mmのものを格子状に組み立てた。

支柱パイプ間隔はドーム中心部を1800 mmとし、外側に行くほどその間隔を小さくした。これによってパネルを直接支持するパイプの反力を、多くの支柱パイプに分散することができた。また、パネル閉合後の支保工解体時を考慮し、支保工部材の最大長さは4.5 mとした。

今回は、このように格子状に組み立てたが、計画では支柱パイプの配列を球中心から放射状に組み立てることで、作業性や構造的にも有利と考えた。しかしながら、パネルの架設時に支えるリングプレートの位置や方向を事前に設置することが困難であると判断されたので、格子状に変更した。

(2) 測量方法について

パネルの架設、組立時に行う測量は、主な方法として、ドーム中心上に単独で頑丈な足場を組み立て、そこに光波測定機を据え付け、球中心鉛直ラインからの水平距離と角度を測定し、レベルによる標高測定により三次元的に管理した(図-11)。

ここで球中心の鉛直ラインに光波測定器を据え付けるにあたり、下のコンクリート床面に鉛直を覗けるトランシットを球中心線上に設置し、光波測定器を据え付ける

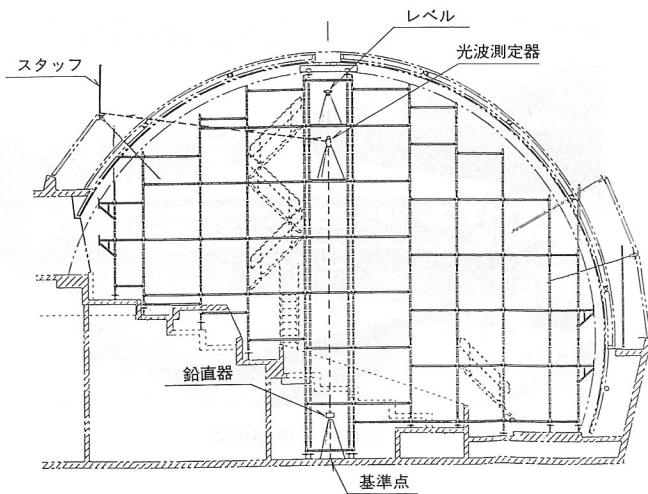


図-11 測量状況

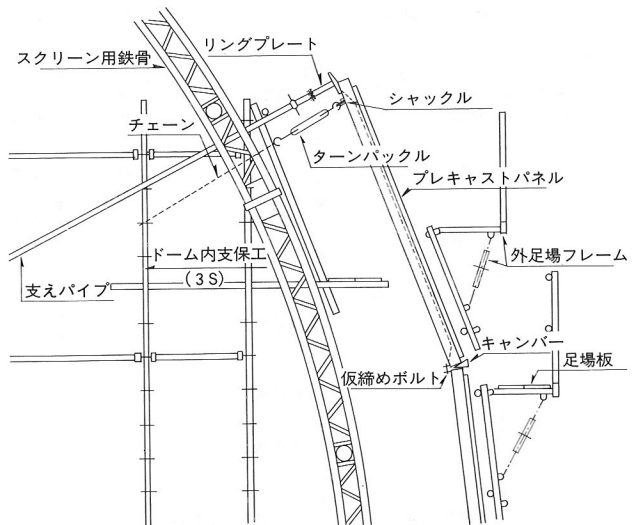


図-12 パネル組立方法

足場上に、透明なプラスチック板に印を付けたものに球中心点を写し、それに合わせて光波測定器を据え付けた。

球中心鉛直ラインからの測量に支障が生じた場合は、ドーム内外に設置した基準点から三角測量を行った。

パネル据え付け位置の決定は、パネルが低い位置（測点位置が低い）の時は、球中心鉛直ラインからの水平距離と角度を重視し、測点位置が高い場合は標高を重視することにより、円滑に精度良くパネルの組立を行うことができた。

(3) パネルの架設

パネルの架設順序は△・△・▽・△・▽・△と一段ずつ繰り返し架設した。

タワークレーンを使用しパネルの角度、傾きを容易に調整できるよう3点吊りのチェンブロック、レバースブロックを用いて調整を行った（図-12）。

パネルを直接支持するリングプレートの取り付けは、パネルの頂点を距離と角度で管理できるので、パネルの底辺2点をボルトで締め付けれることで位置が決まる。倒れについてはパネルの腹部にジャッキベースで仮受けし、吊り治具をはずしてから頂点の調整を行った。調整完了後、リングプレートの方角を確認したうえで再度微調整を行った（写真-5）。

このドームは6段のパネルから形成されており、1段架設終了後、全周調整したのち、パネルとパネルを溶接プレートで固定し、これが終了したら次の段を架設した。

7. おわりに

工場出荷から現場搬入までは、現場のストックヤードが制限されていたので計画的に行った。

パネルの架設は1日7～8枚のペースで行い、組立は1ヵ月で完了し、ほぼ工程どおりに進めることができた。

今回のような特殊なドームの施工は、わが社にとって



写真-5 パネルの架設

初めての経験であったが、施工の半年以上前から施主側と打ち合わせを重ね、考えられる技術的な問題に対し一つ一つ解決したことが、成功の鍵であったと考えられる。特に、1/40の模型を製作しパネルの寸法や足場の確認を行ったことは、実際の施工に対して大きな自信に繋がった。

最後になりましたが、安藤・東武谷内田・東京長谷川JVの安部所長、佐々井副所長、竹内主任、田上主任には、種々ご指導いただき、心より感謝致します。

参考文献

- 1) NIKKEI ARCHITECTURE, pp.136～138, 1994年4月25日。