

プレキャスト合成パネルを用いたジオゼシックドームの施工 — すみだ生涯学習センター —

佐々井 一嘉^{*1}・竹内 宏幸^{*2}・野田 行衛^{*3}・サイヤド サイド アハマト^{*4}

1. 工事の概要

すみだ生涯学習センターは、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（写真-1）。

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（図-1）。

主要施設の1つであるプラネタリウムは、半径が10.4mの球形のドームで、三角形のプレキャストコンクリートと鋼製フレームとの合成パネル（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-2）。

プラネタリウムにPCaパネルが採用された理由の一つは、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が走るため、遮音に対して注意が払われた。

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が



写真-1 すみだ生涯学習センター

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1つ1つの寸法を求め、躯体との取合いと接合構造を検討した。

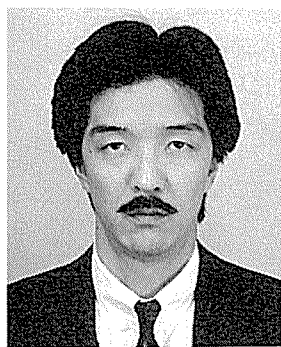
また、パネルの精度を確保するため鋼枠の製作方法やコンクリートの品質管理などの検討を行った。

今回のパネル取付け方法は、パネルの各格点を支える工法であったため、格点の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。

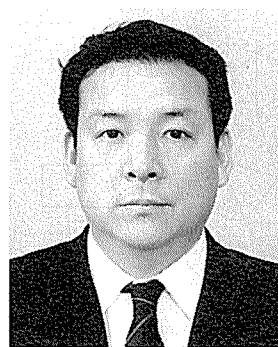
本論においては、パネルの製作および施工に関する技術的な問題点とその検討結果について述べる。



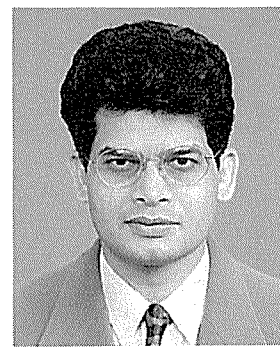
^{*1} Kazuyoshi SASAI
安藤建設（株）
東京本店工事部



^{*2} Hiroyuki TAKEUCHI
安藤建設（株）
東京本店工事部



^{*3} Yukie NODA
川田建設（株）
開発部技術開発課



^{*4} Syed Saeed Ahmad
川田建設（株）
開発部技術開発課

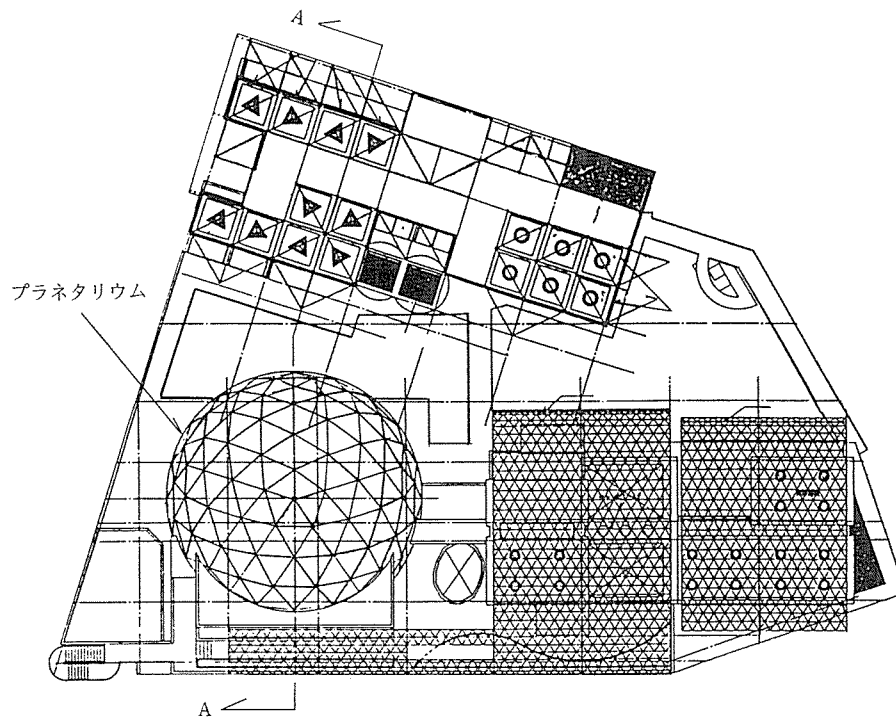


図-1 (a) すみだ生涯学習センター (平面図)

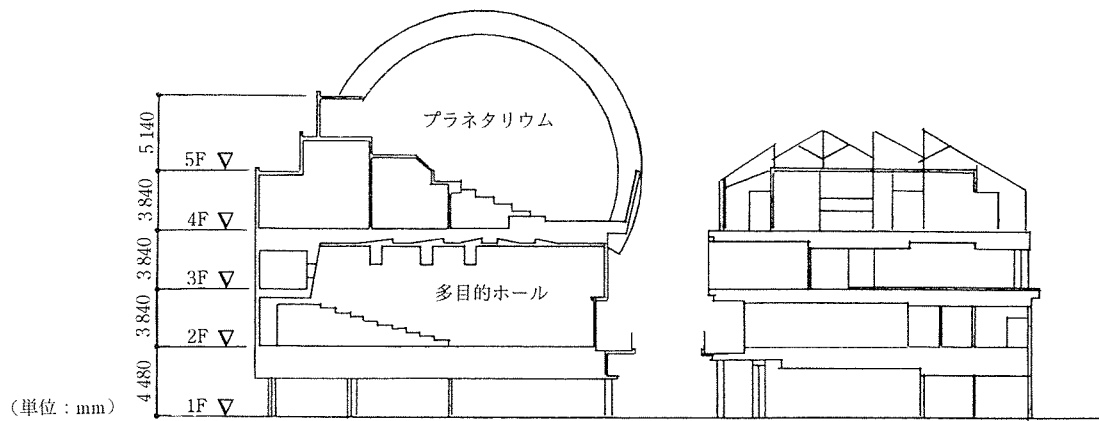


図-1 (b) すみだ生涯学習センター (断面図)

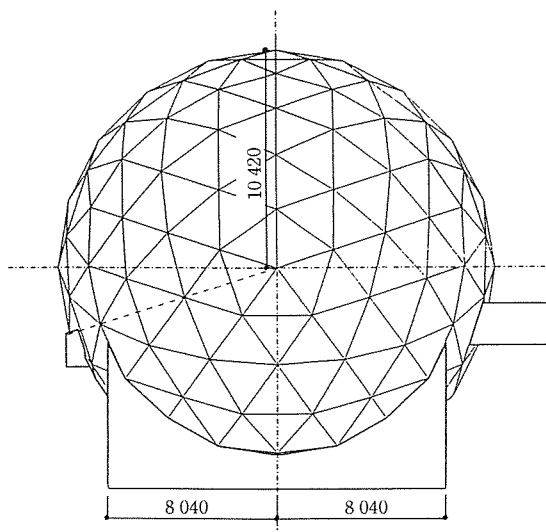


図-2 (a) プラネタリウム (平面図)

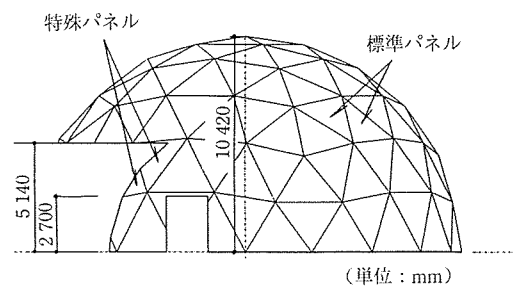


図-2 (b) プラネタリウム (断面図)

2. 建築概要

名 称：すみだ生涯学習センター
 所 在 地：東京都墨田区東向島 2-38-7
 発 注 者：墨田区
 設 計 者：長谷川逸子・建築計画工房（建築）
 梅沢建築構造研究所（構造）
 施 工 者：安藤・東武谷内田・東京長谷川 JV（建築
 全体）、川田建設（プラネタリウムパネル
 製作と架設）
 施工期間：1992 年 7 月～94 年 9 月
 仕上げ（プラネタリウム屋根）：アルミパンチングメ
 タル

3. パネル形状の決定

立体である球の表面を、平面の集合体で表現するには、さまざまな手法がある。プラネタリウムに使用した“Icosahedron”と呼ばれる方法は、辺が等しい平面の組合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、その辺長はすべて等しく次式により求められる。

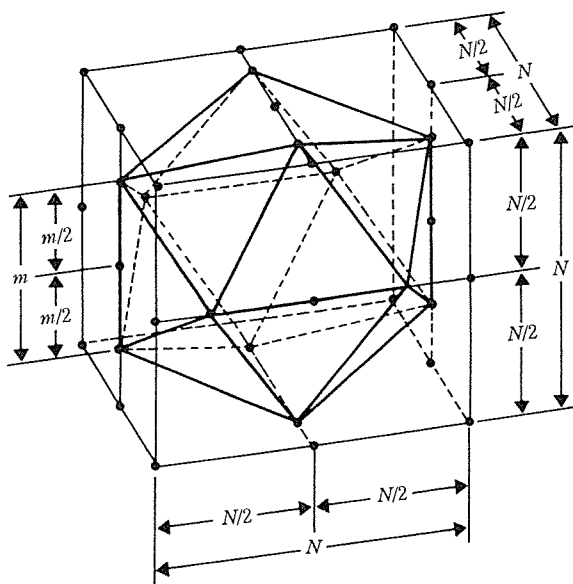


図-3 立方体に内接する 20 面体

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

ここで、 R ：球の半径=10.4 m

また、正 20 面体の各頂点座標は、図-3 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 m と N との関係は次式で与えられる。

$$N = m(1 + \sqrt{5})/2 \quad (2)$$

正 20 面体の 1 面である正三角形では大きすぎ、製造運搬上の支障があるために、さらに求められた正三角形の中点を通る球の半径と球面が交わる点を求めることにより、4 つの三角形に分割することができる。この作業は再度繰り返すことにより、最終的に 1 つの正三角形を、すべての頂点が球面上にある 16 の小三角形に分割される（図-4）。

これらの小三角形は、5 種類の形状からなる。これらの 5 種類の小三角形パネルを標準パネルと呼ぶ。すなわち完全に球形のドームであればこの 5 種類のパネルでドームを形造ることが可能であるが、ドームの後方部においては、これらのパネルが機械設備の躯体壁と接合するために、不規則な形状となる。

このため、この部分の特殊なパネルは、標準パネルを一部切り取った形状を有し、一辺は躯体壁と接するものである。

ここで使用したパネル数は 136 枚で、そのうち、119 枚が標準パネル、17 枚が特殊なパネルである。

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、きわて困難であり、幾

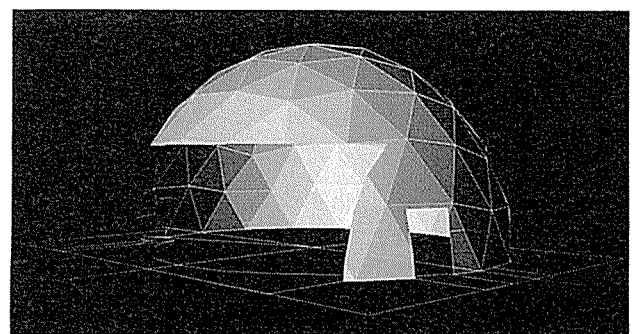


写真-2 CAD 解析

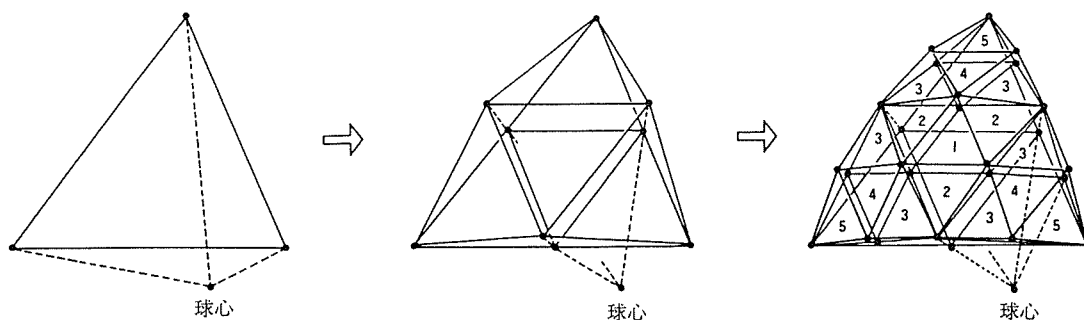


図-4 パネル製作用小三角形への分割方法

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-2)。

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、パネルの製作誤差や架設誤差による部材相互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(目地)を考慮した寸法を採用した。パネル間相互の目地幅は8mm、特殊なパネルと壁との間は40mmである。写真-3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。

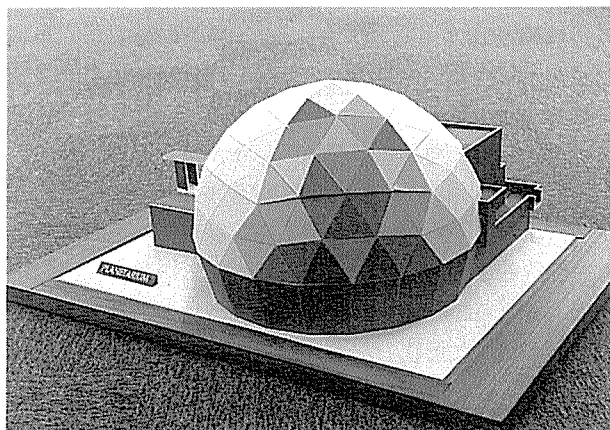


写真-3 プラネタリウム模型 (S=1/40)

4. 構造細目

4.1 PCa パネル

標準PCaパネルは1辺がおよそ3mの三角形形状を有し、重量は1枚当たり0.9tである。パネル厚は、鋼枠のある辺周近傍において140mm、パネル中央にて70mmである。その詳細寸法を図-5に示す。

パネルの構造は、溝型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箇所においてリブを取り付け、そこに鉄筋を溶接した。

なお、本ドームは、構造的にはピン接合された外フレーム材により応力を伝達すると仮定しており、PCaパネル厚は遮音効果を考慮して決定された。

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。

4.2 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付け方法も工夫した。

(1) PCa パネル間の連結

PCa パネル間の接合には2種類の方法が採用されて

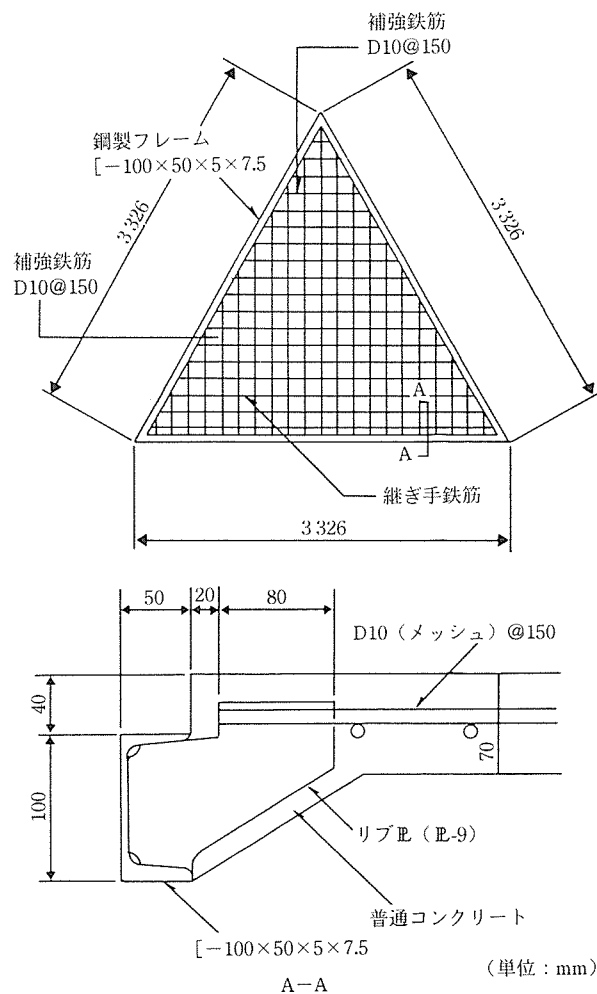


図-5 パネルの鋼材配置と断面

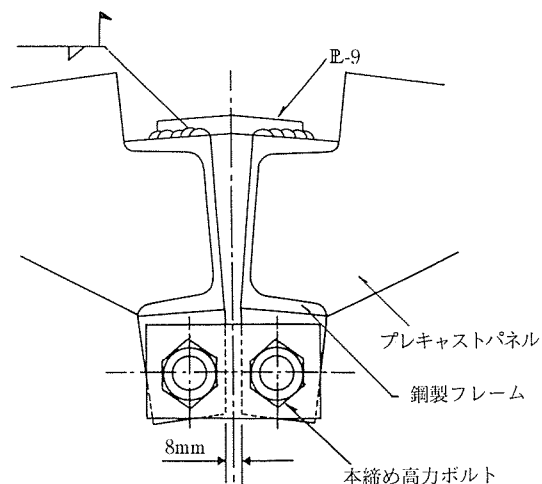


図-6 パネル間の連結

おり、1つは、PCa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PCaパネル相互の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1つは、9mm厚の鉄板を用いて、PCaパネル上縁を溶接にて連結するものである(図-6)。

(2) PCa パネルと躯体壁との連結

PCa 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プレートは、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 PCa パネルとは、 $\text{PL-9} \times 100$ のプレートをお互いに溶接して連結した (図-7)。

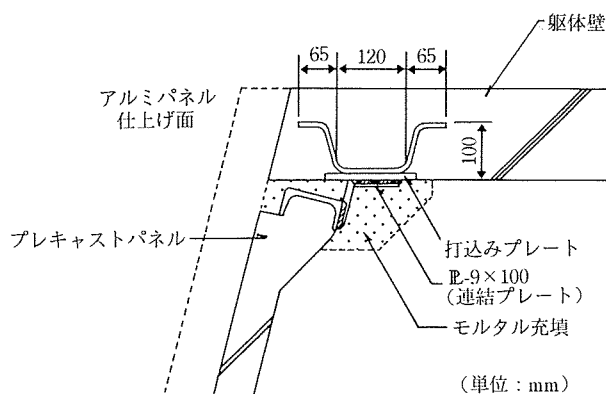


図-7 パネルと躯体壁との連結

(3) 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-8 に示す。このベースアンカーの据付け精度は、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、厳密に行った。PCa 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。

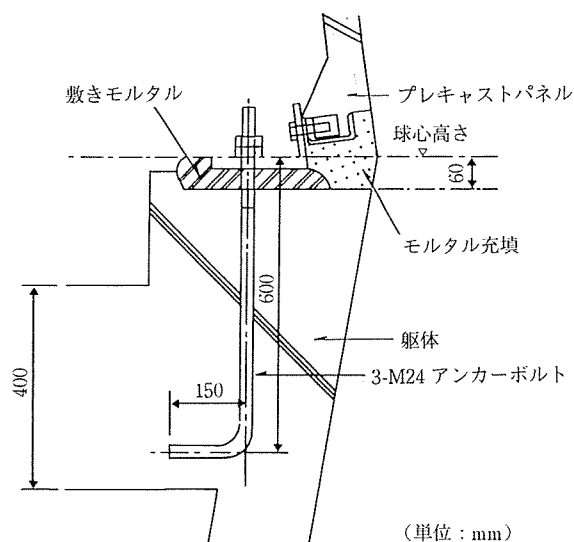


図-8 ベースアンカー

5. 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、溝型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、剛性には考慮しないものとした (図-9)。荷重としては自重、足場荷重、施工荷重が考慮されており、風荷重は構造の剛性が高く強度に余裕があるため考慮されておらず、架設中の温度の影響も無視している。なお、計算では架設中の 1 辺あたりに生じる溝型鋼の最大圧縮応力度は 456 kgf/cm^2 であった。

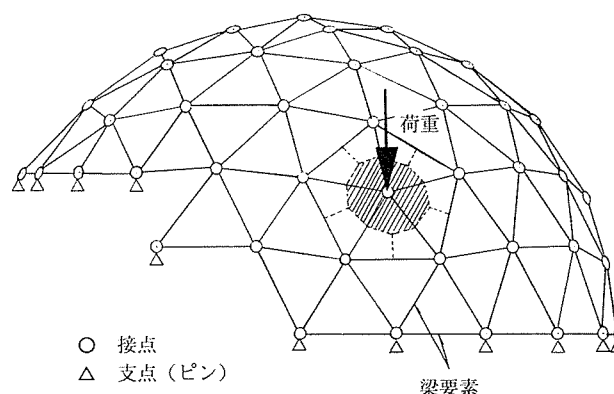


図-9 FEM モデル

このモデリングの解析結果から、1) 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。2) 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。3) ドーム形状は躯体により切り取られているため、ドームにかかる力の分布が均一ではない。ドーム底部では自重により円周方向に引張力が生じるが、半径方向の広がりに対し結合部は次の段を施工する前に強固に固定した。

6. パネルの製作と仮組

製作の順番は、溝型鋼の切断、外枠フレームの組立て、メッシュ筋の取付け、コンクリート打設の順で行った。

溝型鋼は、 $100 \times 50 \times 5 \times 7.5$ 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含まれている。一方、組立て時のパネルとパネルの間隔は、 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 $\pm 3 \text{ mm}$ を目標にした。

コンクリート養生後、コンクリート圧縮強度が 180 kgf/cm^2 になった段階で脱型し、パネルの移動を行った。

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 1 つの格点部分を取り出して、仮組検査を行った。この時に、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-4 は、仮組検査の状況を示す。

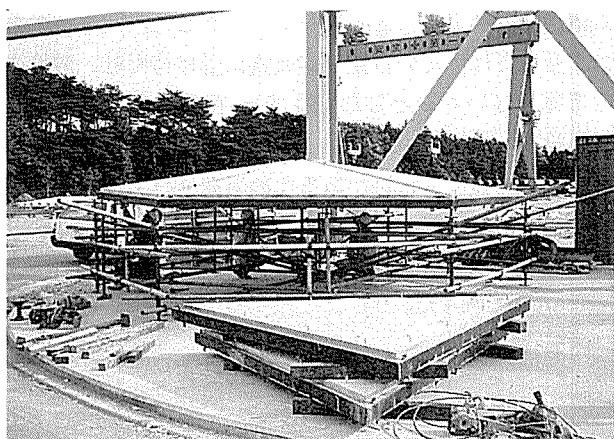


写真-4 仮組検査

7. 施工方法

7.1 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だった。

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ものを選定し、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 1 800 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、当初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が、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、格子状とした。

7.2 測量方法について

パネルの架設、組立てを行う測量は、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で管理した(図-10)。

ここで球中心の鉛直ラインに光波測定機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、光波測定機を据え付ける足場上に、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機を据え付けた。

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。

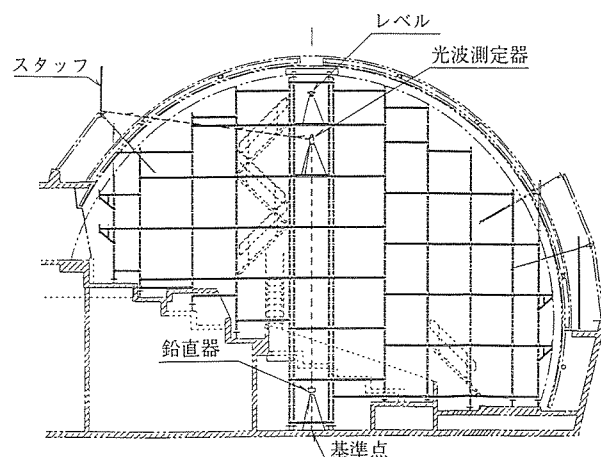


図-10 測量状況

パネル据付け位置の決定は、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、円滑かつ精度良くパネルの組立てを行うことができた。

7.3 パネルの架設

パネルの架設順序は△・△・▽・△・▽・△と一段ずつ繰り返して架設した(図-11)。

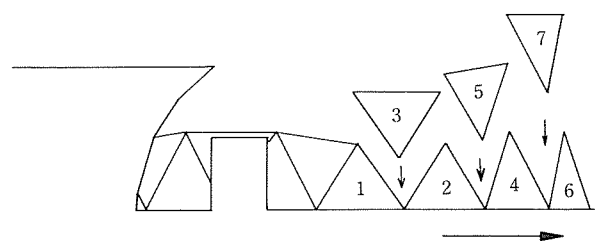


図-11 架設順序

タワークレーンを使用したパネルの角度、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、レバブロックを用いて調整を行った(図-12)。

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-5)。

パネルを直接支持するリングプレートの取付けは、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ることで位置が決まる。倒れについてはパネルの腹部を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向を確認したうえで再度微調整を行った(写真-6)。

このドームは 6 段のパネルから形成されており、1 段架設が完了したら全周調整し、その後パネルとパネルを溶

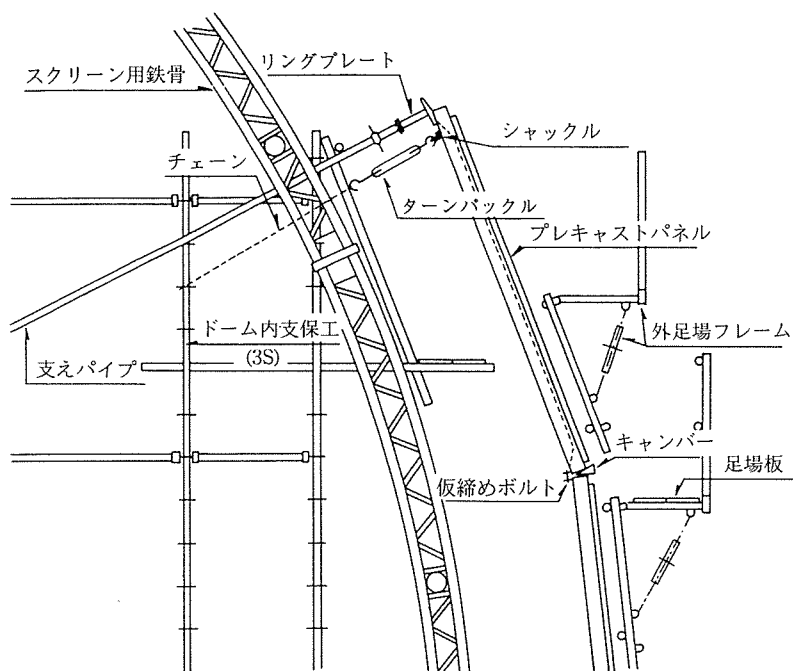


図-12 パネル組立て方法

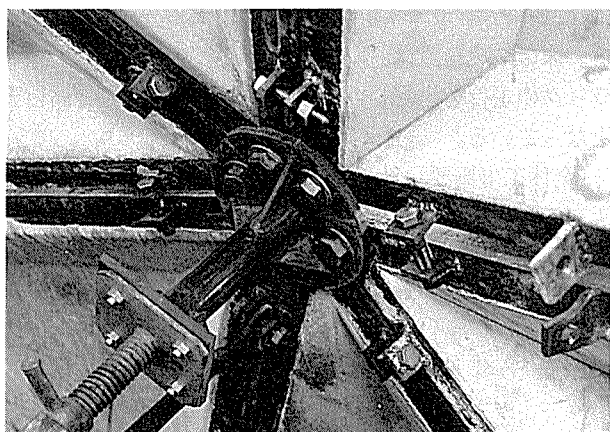


写真-5 パネル格点部の連結

接プレートで固定し、終了したら次の段を架設した。

工場出荷から現場搬入は、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、組立ては1ヶ月で完了し、ほぼ工程どおりに進めることができた。

謝 辞

本施工の検討にあたり終始ご指導いただいた梅沢所長に対して心から感謝いたします。

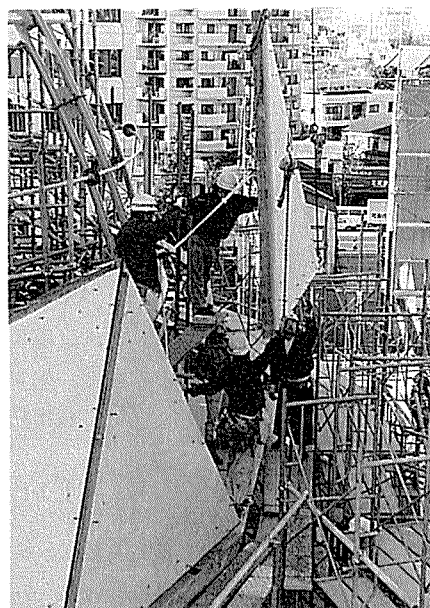


写真-6 パネルの架設

参 考 文 献

- 1) NIKKEI ARCHITECTURE, 1994年4月25日, pp. 136～138
- 2) NIKKEI ARCHITECTURE, 1994年12月19日, pp. 114～123
- 3) 梅沢良三, 建築家と構造家のパートナーシップ, GA JAPAN-ENVIRONMENTAL DESIGN, Vol. 12, 1995年12月, pp. 163～165

【1995年3月7日受付】