

# 福岡ドーム開閉式屋根鉄骨架設工事

## Steel Frame Erection for the Movable Roof of the Fukuoka Dome

西 垣 登\* 野 垣 正 幸\*\*  
Noboru NISHIGAKI Masayuki NOGAKI

### Summary

The Fukuoka Dome is the first large movable-roof dome to be built in Japan. The dome will house the home field of the Fukuoka Daiei Hawks professional baseball team.

The roof structure consists of three roof panels of equal size supported by a steel roof framework which is 200m in diameter, dollies that support the panels and travel along the circumference of the framework, continuous ring tracks for them, and the base of the roof structure. When fully opened, the three panels are stacked. The innermost panel is fixed, and the middle and outside panels move by means of the dollies to open and close the roof. The steel framework weighs 12,000 tons and was erected using the space block technique, in which large temporary supports are used together with crawler cranes. This technique made it possible to construct the roof such that the three panels would be stacked when the roof is fully open.

### 1. まえがき

福岡ドームは、地元ダイエーホークスの新しい本拠地球場として建設されたもので、福岡市中心街西方の博多湾埋立地に位置する。この建物は、開閉可能な屋根を持つ円形のスタジアムで、野球以外にも各種のスポーツ・コンサート・集会・展示など、多目的利用に対応することができる競技場である。本報告書は、日本で初めての大規模球形開閉式ドームの屋根鉄骨架設工事の概要を記すものである。

### 2. 工事概要

このドームの構造は、直径200mの3分割された鉄骨造屋根パネルと、屋根を支持し回転走行する駆動台車並びに円環状に連続する走行路と、下部躯体よりなる。

全開状態の屋根パネルは3段重ねとなり、下段屋根パネルは固定で中段・上段屋根パネルの2パネルは、駆動台車により回転移動させることで開閉する仕組みとなっている。開閉時間は約20分で開口率は60%である。屋根鉄骨の架設工法は、大型仮受ベントと超大型クローラクレーンを併用した立体ブロック工法で、全開状態の3段重ね方式で架設を行った。図-1、全体構造図、図-2に屋根パネル骨組図を示す。また表-1に実施工程表を示す。

建物概要並びに施工数量等は次のとおりである。

- 1) 建築面積 72,740㎡
- 2) 軒 高 地上40,08m
- 3) 最高高さ 地上84.0m
- 4) 屋根構造 鉄骨造(3分割開閉式)
- 5) 屋根仕上げ チタン板(t=0.3mm)
- 6) 屋根全体重量 約12,400t  
重量内訳 主要鉄骨 9300t  
二次鉄骨 3000t(木毛板含)  
チタン板 100t
- 7) 高力ボルト数量 約56万本(M22サイズ)

### 3. 構造

3枚の屋根パネルは、それぞれ中心角125°の扇型に両翼部を拡げて安定性を高めた球形曲面形状で、骨組はパラレルラメラトラス構造である。トラス高は4.0m、屋根パネル相互の弦材中心間隔は1.7mとなっている。中段・上段屋根パネルの開閉には、各々24台の走行台車が配置され、その内14台は駆動台車で、残り10台は従動台車である。

開閉方向は、中段屋根パネルが反時計廻り、上段屋根パネルは時計廻りに各々120度まで回転移動が可能である。走行路は45度に傾斜したRC造のリング形状で、走行レールは6条設置されている。下段屋根パネルは固定で、

\* 宮地建設工業(株) 東京支店工事第2部計画二課課長補佐

\*\* 宮地建設工業(株) 大阪支店工事部課長補佐

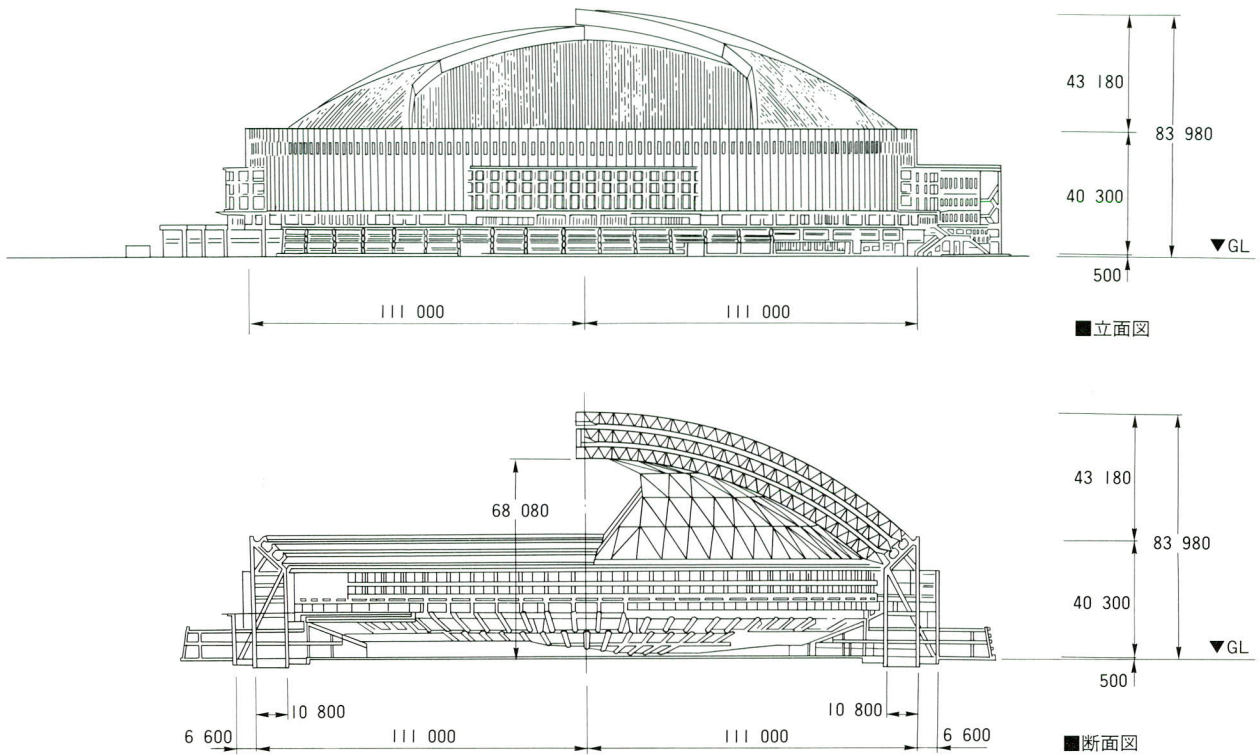
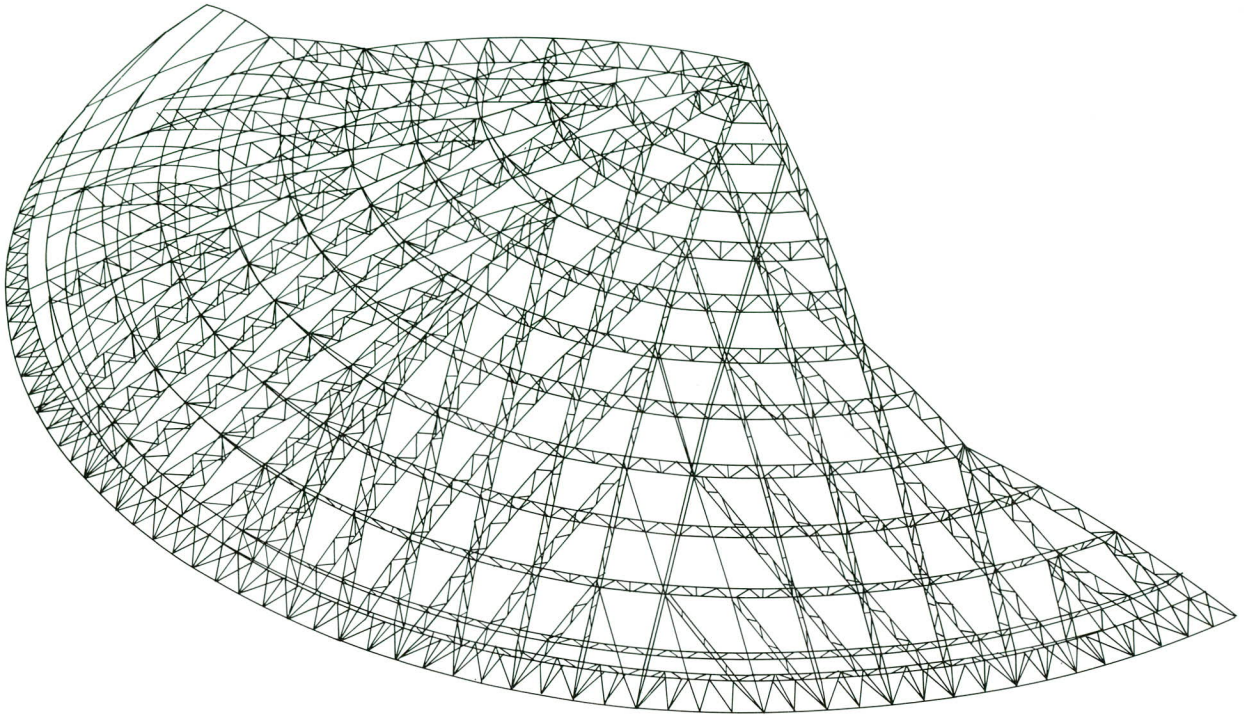


図-1 全体構造図

表-1 実施工程表

	1991	1992												
	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
仮受ベント組立		外周ベント(12基)					内周ベント(5基)			中央ベント(1基)				
面組及び立体ブロック組立		面組及び立体ブロック組立												
A工区架設			下段屋根パネル		中段屋根パネル		上段屋根パネル							
B工区架設								(下)	(中)	(上)				
C工区架設										(下)	(中)	(上)		
ジャッキ・ダウン														
仮受ベント解体他														

立体图



平面图

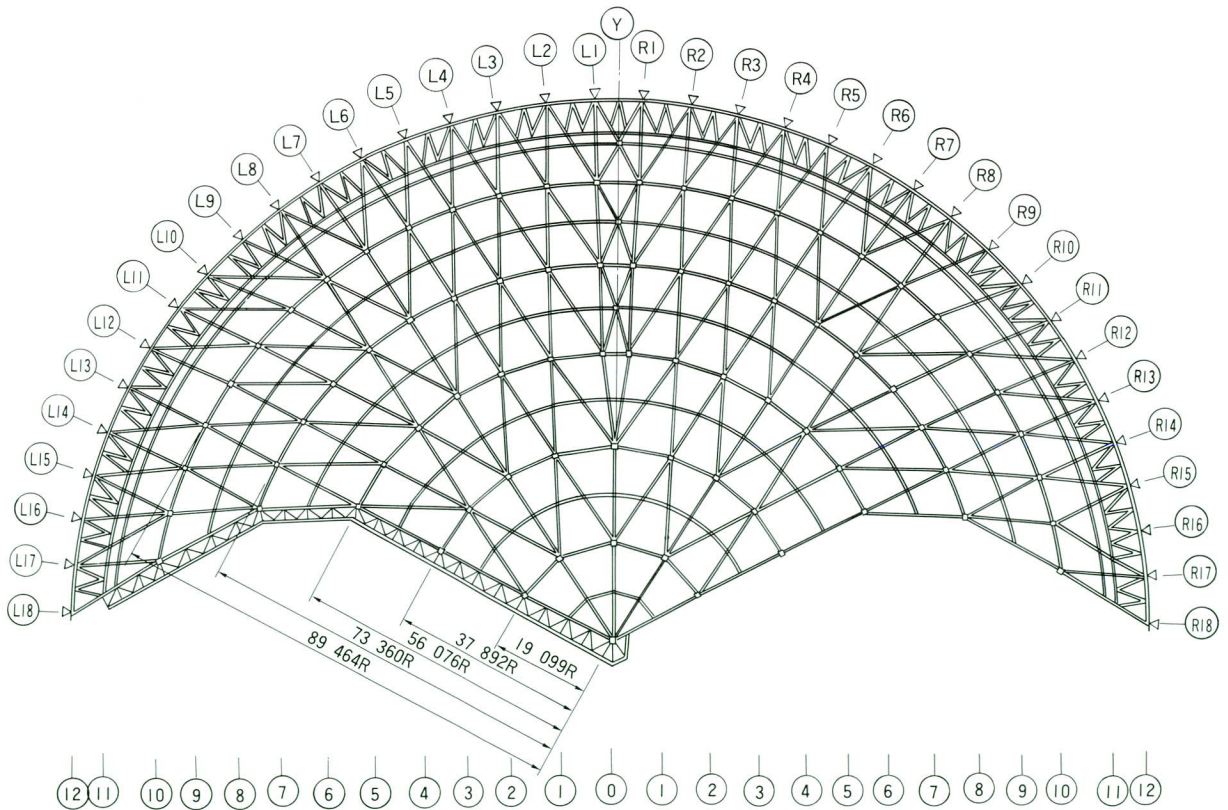


图-2

屋根の基部にヒンジ支承を36台配置し、下部躯体に固定されている。また各屋根パネル先端には、上下方向の動きを拘束するための制振ダンパーが設置されている。全開・全閉状態平面図を図-3に示す。

## 4. 架設工法の選定と架設概要

### 4-1 架設工法の選定

架設工法を選定するにあたり留意した条件を列記する。

- 1) 工事ヤードは、各種作業が重複するため使用スペースは限定される。
- 2) 全体工期24ヶ月の内、屋根鉄骨架設工事は約10ヶ月で架設の難しさからみて非常に短い。
- 3) 屋根鉄骨トラスは、製作工場より単部材で搬入される。
- 4) 屋根パネルは割球形状で、3枚のトラス骨組は1点の球芯方向にむいており、すべての部材が傾きを持った複雑な構造である。
- 5) トラス骨組は、比較的「柔」で変形しやすく、中段・上段屋根パネル付き走行台車は、ブレーキが解放されているため移動防止を施す必要がある。
- 6) 仮受ベント設備は、高さ40mから60mと非常に高く設備工事に多くの危険性を伴うため、できるだけ少なくする。

以上の条件を考慮し、総合的に判断した結果、屋根パネルを全開状態（3段重ね）にした大型仮受ベントと超大型クローラクレーンの併用による立体ブロック工法を選定した。この併用工法の選定理由は次の通りである。

1) 3段重ねで組立てることにより、作業スペースを少なくすることができる。またパラレルラメラトラス構造の骨組特性を利用し、大型仮受ベントの使用基数を少なくできる。

2) 地上で面材並びに立体ブロックに組立てることにより、高所作業を大幅に低減でき、作業の効率化と安全性の向上をはかることができる。

しかし、この工法には次の様な不安要因もあった。

1) 走行躯体側から順に、3段重ねに積上げるため走行路工事・レール敷設工事・走行台車据付け工事等の技術的難度の高い工事が、クリティカルパスとなり作業条件が繁雑になる。

2) 屋根パネルを中途半端な形状で、3段重ねることにより形状調整並びに管理が難しくなる。

しかしながら、事前に綿密な架設計画を進め、様々な問題点を解決すべく検討を行った。

### 4-2 架設概要

下部躯体の施工に合わせて、準備作業として超大型クローラクレーン（450t～650t吊）走行範囲の地盤補強並びに大型仮受ベント基礎杭等の施工を進め、各種の埋

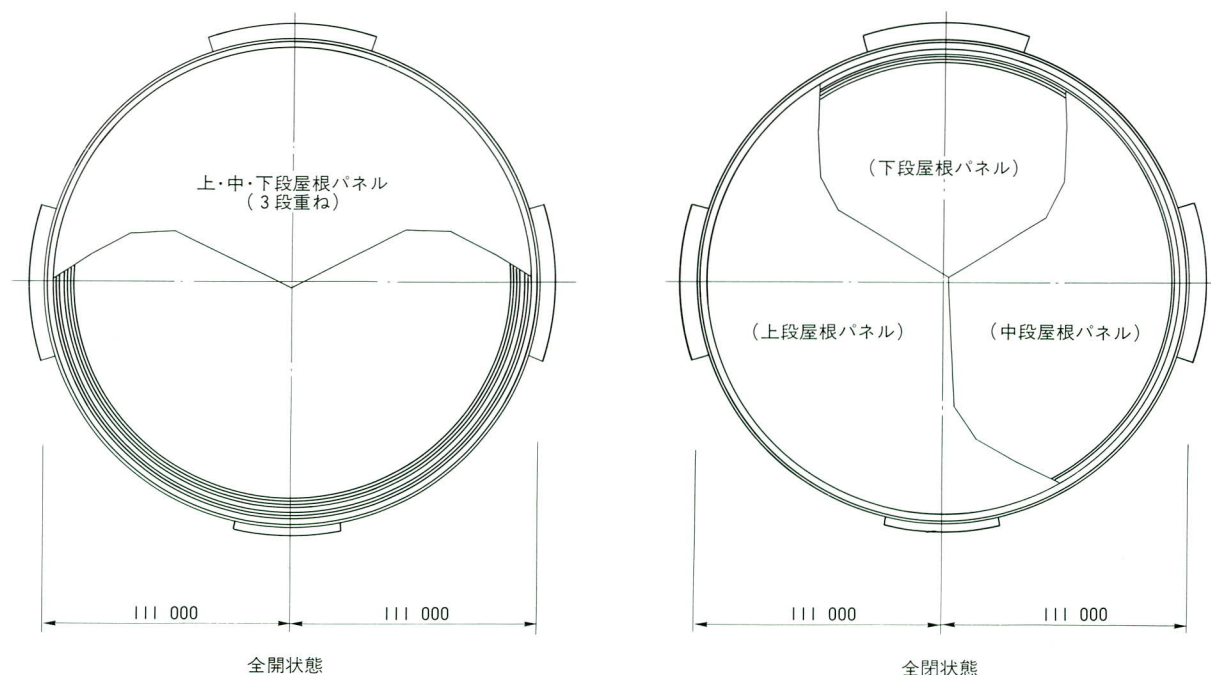


図-3 屋根パネル全開・全閉状態平面図

設金具類も併行して躯体及びアリーナ内に埋設した。架設順序は、まず単部材で搬入されたトラス部材を面材組立ヤードで面組みし、高力ボルトの締付け・仕上げ塗装まで行った後、アリーナ内ヘトレーラーで運搬して立体ブロックに組立てた。架設は図-4に示すように3工区に分け、超大型クローラークレーンを用いてA工区より順に、下段→中段→上段屋根パネルの順に積重ねて架設を行った。また各工区の先端部分には、予め大型仮受ペント並びに仮受架台を設置し支持できる構造とした。安全設備として、落下防止用ネットを各工区の最下段下面全面に展開し、ワイヤーブリッジを作業通路とした。A～C工区の架設が完了したら、上段屋根パネルより順にジャッキダウン（走行台車反力解放含）を行い、仮受ペントの反力解放を行った。形状管理は面材組立時・立体ブロック組立時・各工区架設時等の段階において、直接テープ測定又は光波を用いた三次元計測を実施し形状寸法の確認をした。図-4に架設要領図を示す(写真-1)。



写真-1

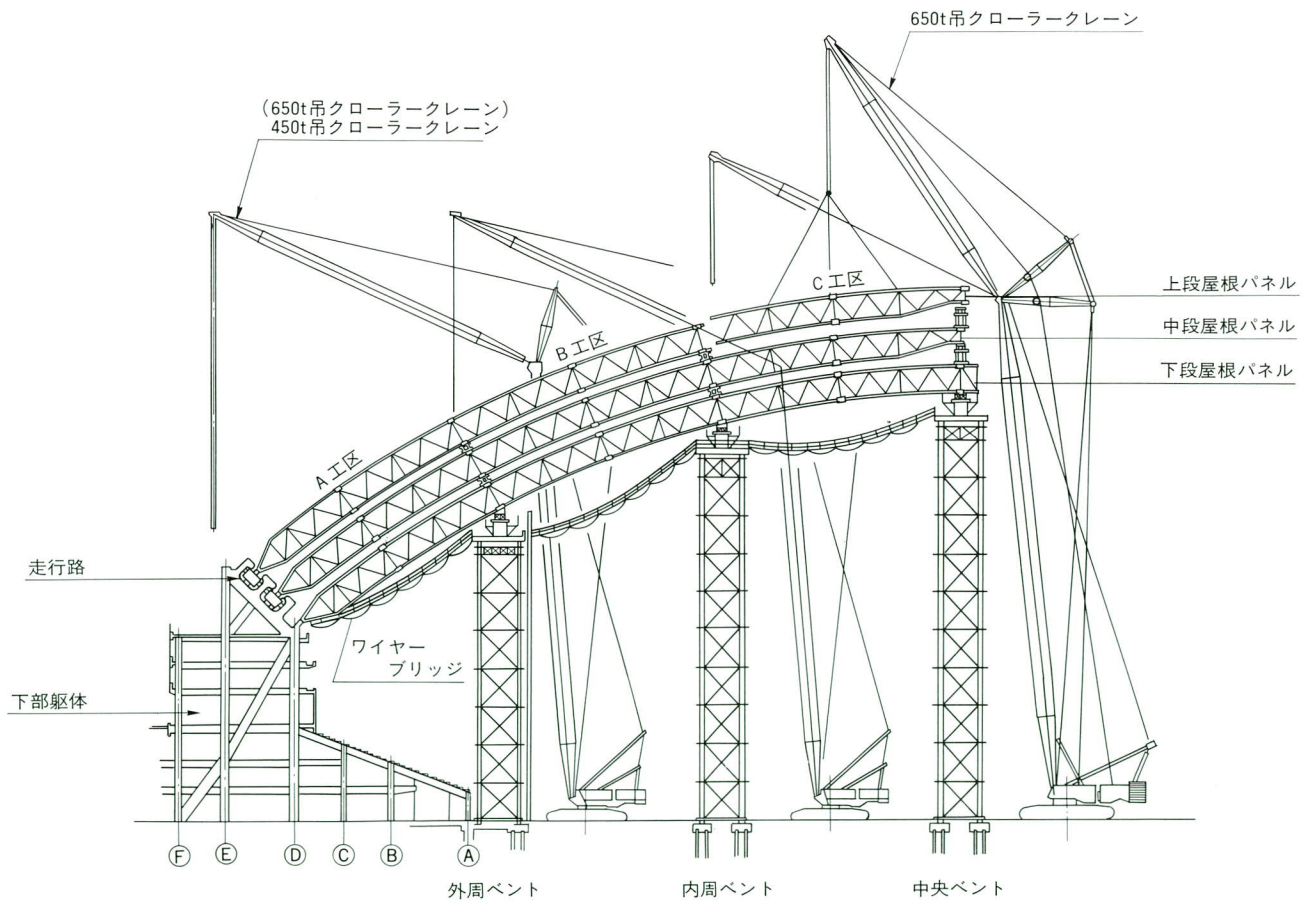


図-4 架設要領図

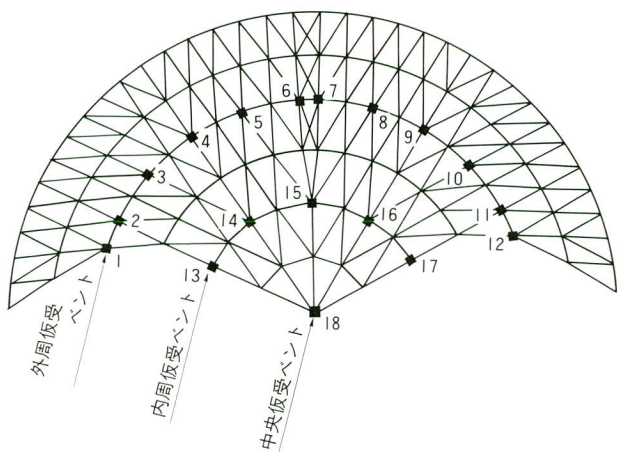


図-5 仮受ベント配置平面図

## 5. 大型仮受ベント設備

架設設備の中で最も大規模かつ大重量の設備で、A工区に12基(外周ベント)、B工区に5基(内周ベント)、C工区に1基(中央ベント)で合計18基の大型仮受ベントを架設順序に合わせながら組立てた。仮受ベントは4本(一部8本)の鋼管又は角型支柱と水平材・斜材で組立て作用反力も平均350t前後と非常に大きいため、仮受ベント頂部に調整可能な油圧ジャッキを4台ずつ全仮受ベントに組み込み、リアルタイムに反力測定ができる管理システムをとり入れた。架設途中に於ける風荷重等による水平力に対しては、控ワイヤーロープを用いて転倒を防止するものとした。図-5に仮受ベント平面配置図、図-6に仮受ベント構造図を示し表-2に各仮受ベント作用反力値(実測値)を示す。

## 6. 面材並びに立体ブロック地組立

面材と立体ブロックの地組立は、工程の進捗を大きく左右すると判断し、全体工事ヤード使用計画の中に盛り込み、面材組立ヤードはアリーナに近接して約22,100㎡(170m×130m)を確保し、メインラス並びにサブラスを合わせて約100面、同時に組立てできる構台を設置した。更に悪天候により組立作業が遅れることのないよう、移動式上屋を設備した(写真-2)。立体ブロックの組立は、面材をトレーラーでアリーナ内へ運び、超大型クローラクレーン作業半径内に於いて、転倒防止架台を設置し組立時の安全確保と形状調整を容易にした(写真-3)。

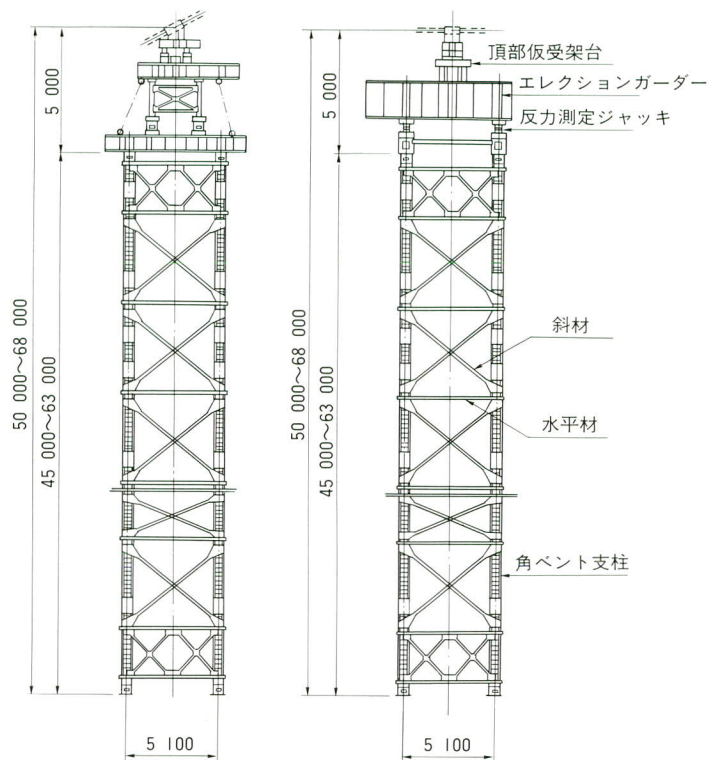


図-2 仮受ベント作用反力表

表-2 仮受ベント作用反力表

(屋根架設完了時)

仮受ベント番号	作用反力(t)	備考
B 1	332	
B 2	346	
B 3	310	
B 4	433	
B 5	317	
B 6	306	外周ベント
B 7	316	
B 8	355	
B 9	447	
B 10	347	
B 11	327	
B 12	345	
B 13	239	
B 14	478	
B 15	405	内周ベント
B 16	444	
B 17	261	
B 18	315	中央ベント



写真-2

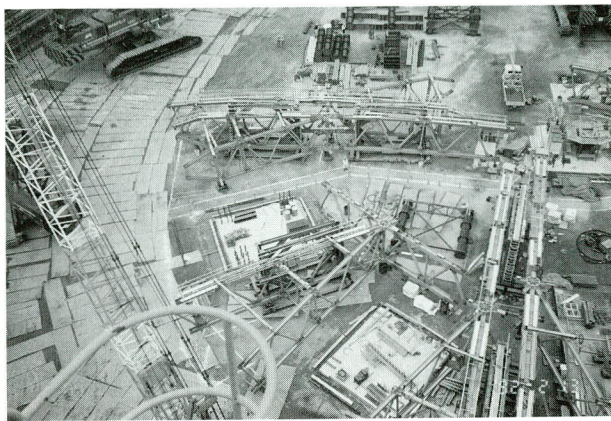


写真-3

地組立した面材並びに立体ブロックには、予め安全設備（親綱・作業通路・作業足場他）を取付け高所での危険作業を低減した。

## 7. 走行台車仮固定

中段・上段屋根パネルは、回転移動台車が配置され走行レール上の定位置に、前もって正確に仮据付けされた走行台車24台（1パネル）を仮固定し、架設時の移動防止を行った。仮固定はテンションロッド方式（図-7）と仮固定フレーム方式（図-8）があり、テンションロッド方式はA工区の架設完了後解放し、仮固定フレーム方式はジャッキダウン時まで、水平反力を拘束するものとした。

従って仮固定フレーム方式による拘束期間は、4月から10月までの7ヶ月間で、温度応力が仮固定フレーム・走行台車並びに屋根パネル下端のテンションリング等に悪影響を及ぼすことが予想されたため、仮固定フレームと走行台車の間に水平ジャッキを組込み、常時台車反力の計測と調整ができるシステムを導入し、設計値と対比しながら管理を行った（写真-4）。

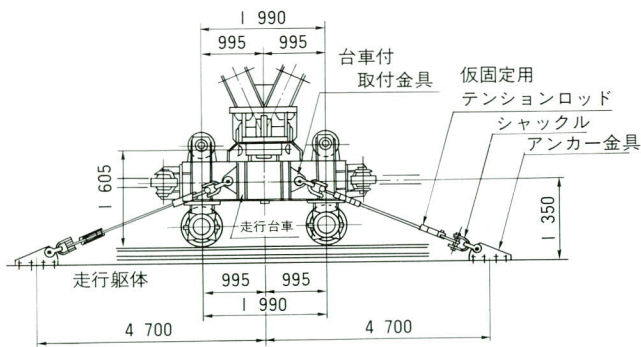


図-7 テンションロッド方式  
(10台)

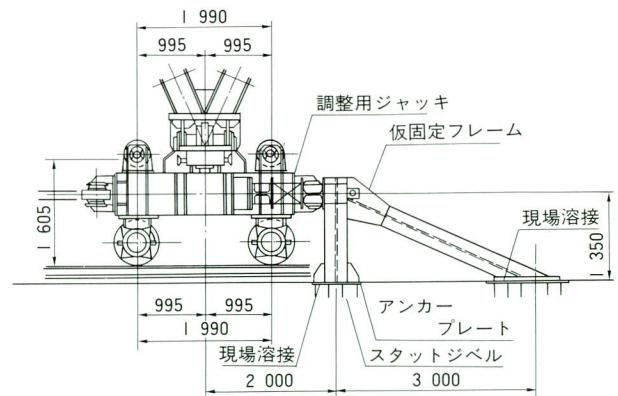
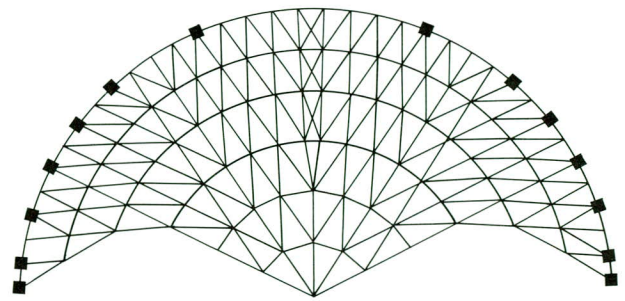
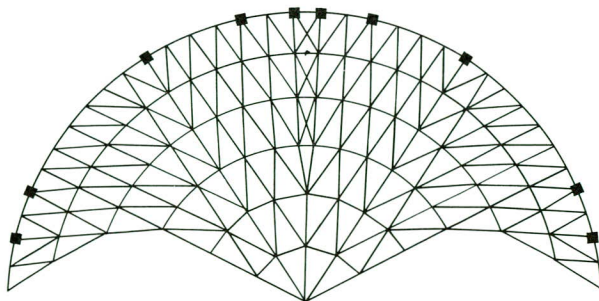


図-8 仮固定フレーム方式  
(10台)



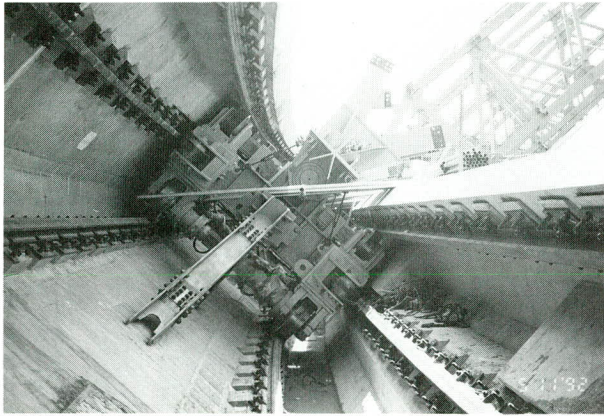


写真-4

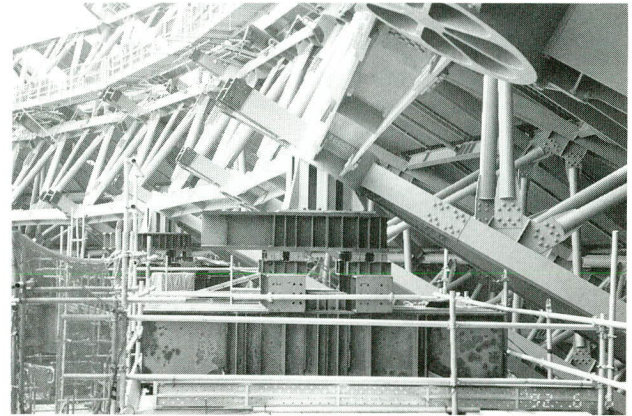


写真-5

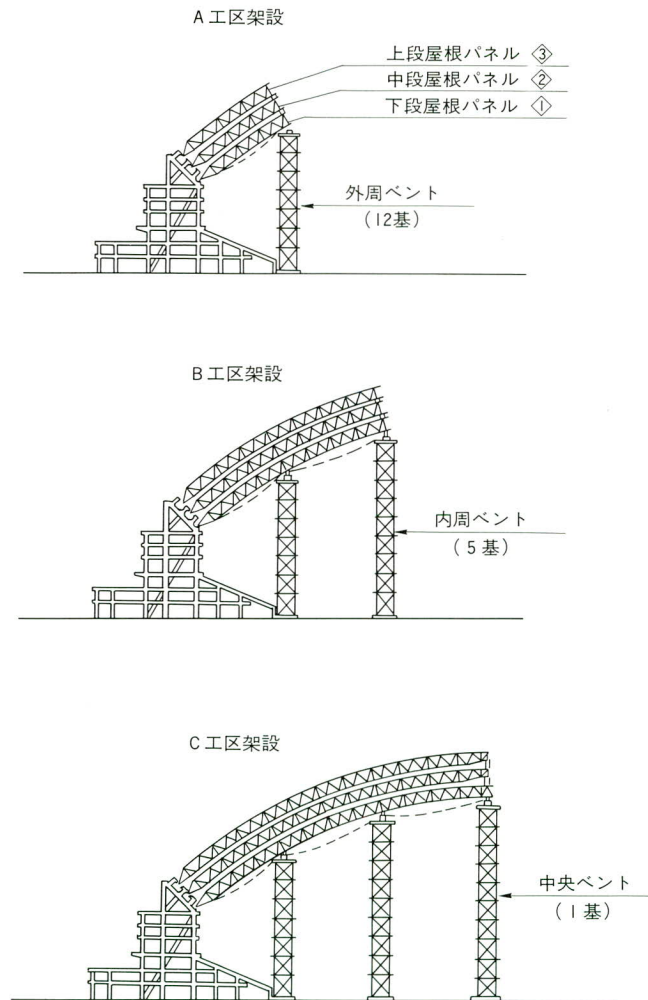


図-9 架設ステップ図

## 8. 架設

屋根パネル架設範囲の下部躯体並びに走行路の施工が  
 終わったら、架設ステップ図（図-9）の要領で、超大型

クローラークレーンをアリーナ内に3台配置し、A工区下  
 段屋根パネルの中央部から両翼方向にむかって、予め地  
 組立した面材及び立体ブロックの架設を進めた。下段屋  
 根パネルは固定で、脚部のヒンジ支承（36台）を下部軀



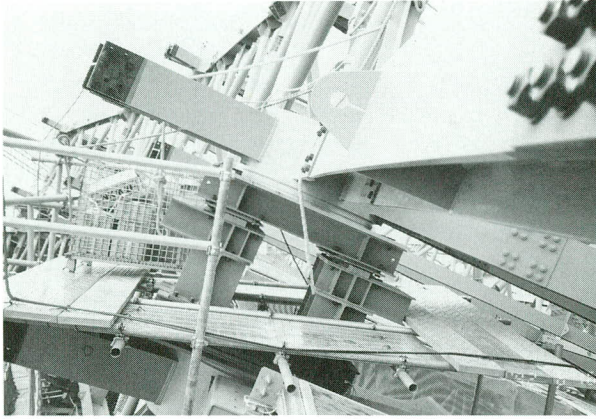


写真-6

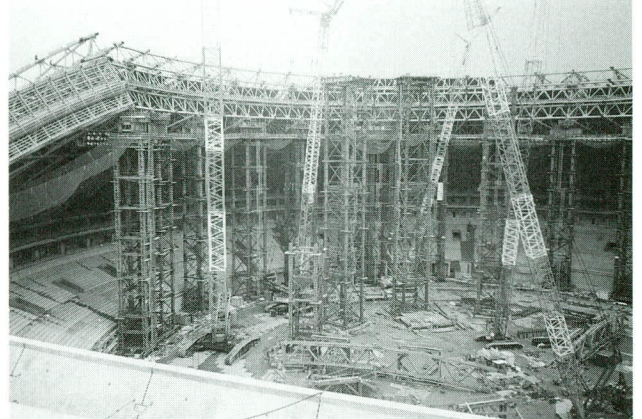


写真-8

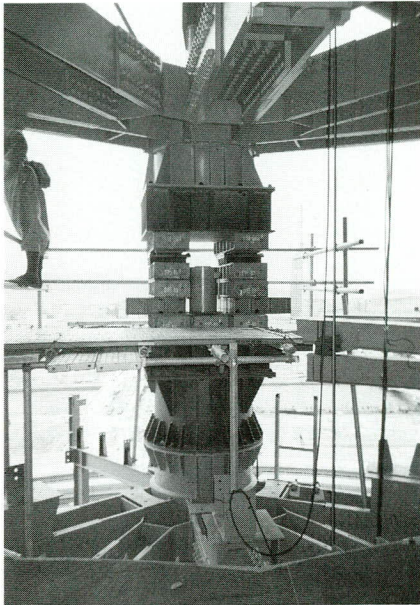


写真-7

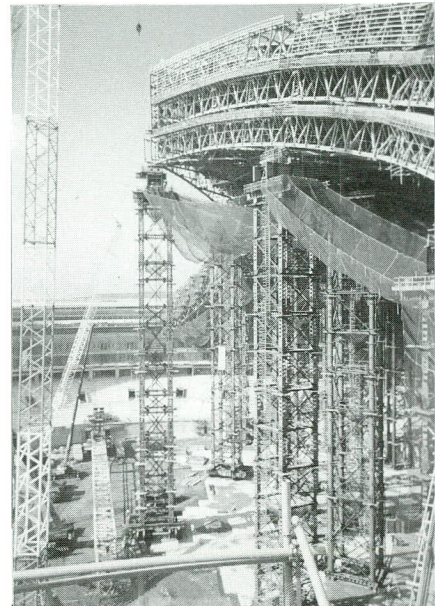


写真-9

体に厳密に固定した。立体ブロック下弦材先端ノード下面に水平面を構成した仮受架台を予め工場にて取付け、各仮受ベント上部の頂部架台とボルト連結した(写真-5)。据付高の調整は、その都度油圧ジャッキ(手動式)を仮受架台と頂部架台の間に配置し、シム板を入れ替えて慎重に繰返し行った。下段屋根パネルの架設に続いて、高所添接部の高力ボルト締付け・塗装・キャットウォーク他付属物等の取付けを行い、必要以外の作業足場を解体し、母屋パネル敷設工事に順次引渡した。次に仮受ベント位置と同一節点上弦材材のノード上に、中間仮受架台を勾配なりに設置し、中段屋根パネルの立体ブロック、先端ノードを仮受けできるようにした。反力は垂直材(補強済)を介して仮受ベントに伝達できるようにした。また中間仮受架台には、乾式潤滑材を塗布した滑支承板を

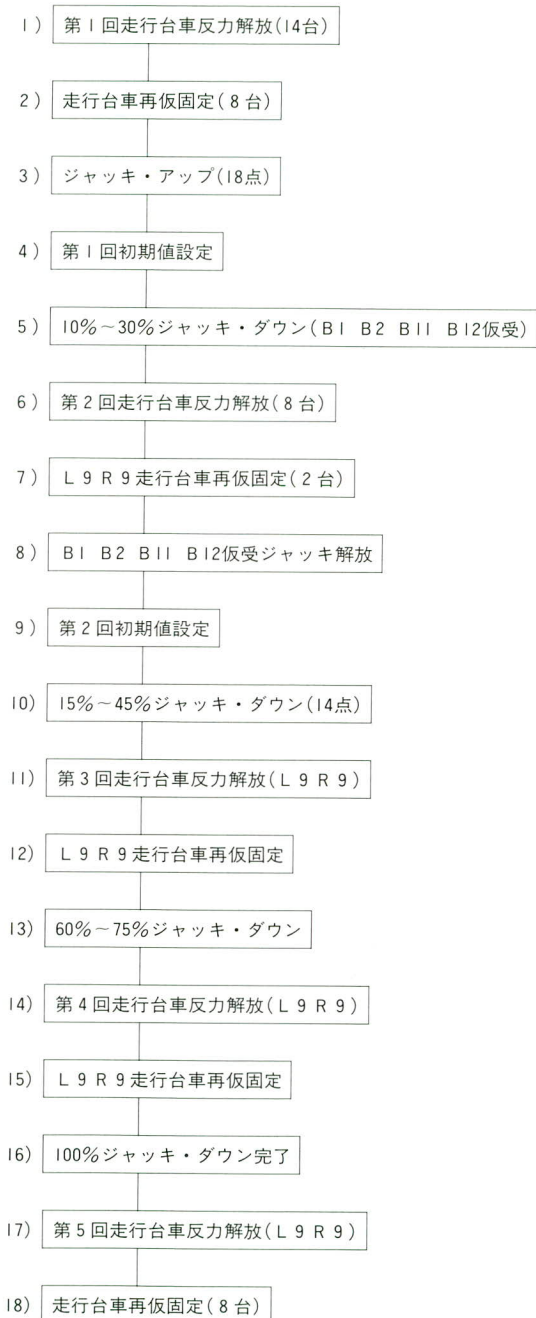
組込み、温度変化による鉄骨の伸縮を吸収できる構造とした(写真-6.7)。架設は前もって仮固定された走行台車に、テンションリングを取付け下段屋根パネルと同じ要領で、中央から両翼方向へ架設を進めた。以降B工区→C工区も同様に行った(写真-8.9)。

## 9. ジャッキダウン

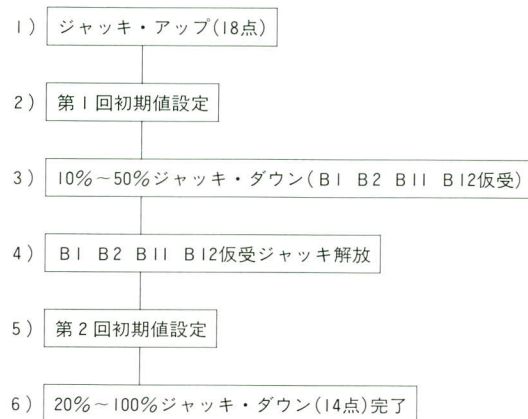
架設された屋根パネルは、仮受ベント(中間仮受架台)18点で支持し、走行台車24台(1パネル)の内、8台を仮固定フレームで拘束した状態であり、各継手部の高力ボルトを締付けその後ジャッキダウン(以降J-DNと記す)を約2週間かけて行った。J-DNは表-3フローチャートに従い、上方から上段屋根パネル→中段屋根パネル→下

表-3 ジャッキ・ダウンフローチャート

(1) 上段(中段)屋根パネルジャッキ・ダウンフローチャート



(2) 固定屋根パネル ジャッキ・ダウンフローチャート



段屋根パネルの順序で行った。要領は上・中段屋根パネル(走行台車付)と下段屋根パネルで異なるが、仮受部に油圧ジャッキを設置し、遠隔集中操作方式によりジャッキを作動させ徐々にJ-DNを行い、屋根パネル自重を仮受架台から、走行台車並びにヒンジ支承部(固定)に移行し反力解放を行った。油圧ジャッキの配管は対称位置にある反力は、ほぼ同じであるため同一回路とし図-10の要領で配管した。

9-1 上段屋根パネル(中段屋根パネル)

上段屋根パネルのJ-DN前に、走行台車仮固定フレーム(8台)の架設時反力を一旦解放し再拘束した。J-DN用の油圧ジャッキは、中間仮受架台のセンターに挿入し、ノード中央にジャッキヘッドが当るよう球芯方向にむけて設置した。また屋根パネルをJ-DNすると、天頂(x)・円周方向(y)に大きく変位量が発生するため、ジャッキヘッドとノード間にスライド板を組込み、水平力(水平移動)を解放できるようにした。J-DNを開始するにあたり、リハーサルを実施し人員配置・連絡合図・作業手順等について事前確認を行った。作業はまずJ-UPをして、反力をジャッキに移動し初期値設定を行い(表-4)、次に中間仮受部のシム板を少しずつ抜取りながら、初期値の30%反力解放を10%毎一斉に行った。ただし外周ベントの両翼部(B1, 2, 11, 12)の4点は、屋根骨組特性より浮上りが発生し、反力が減少するため手動ジャッキを配置し仮受状態とした。またJ-DNを行うことにより走行台車(ブレーキ解放)は、円周方向に変位するため台車仮固定フレーム(8台)の水平反力が増加し耐力不足

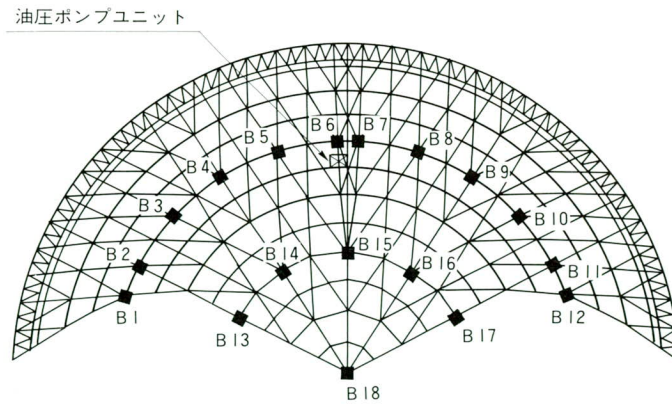
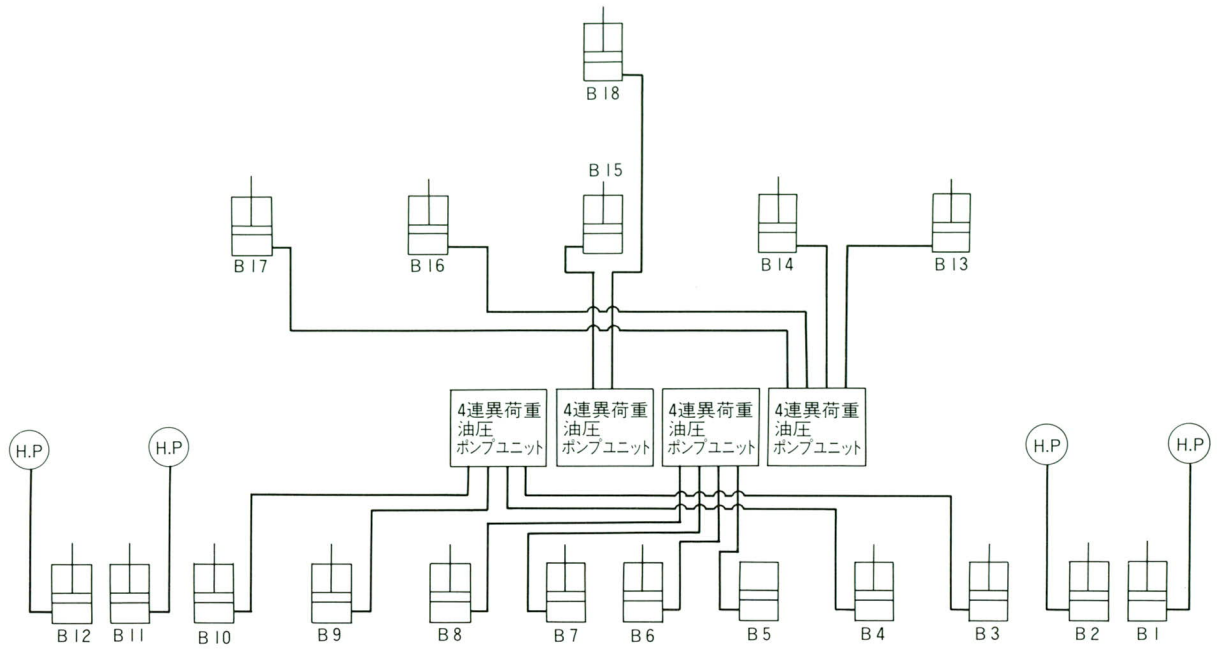


図-10 (1) 仮受部ジャッキ配管系統図

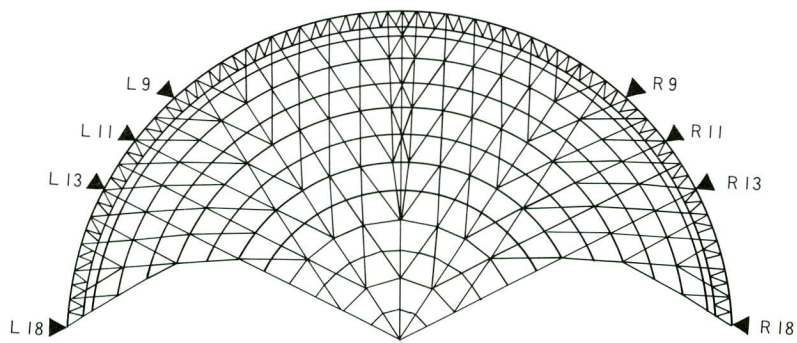
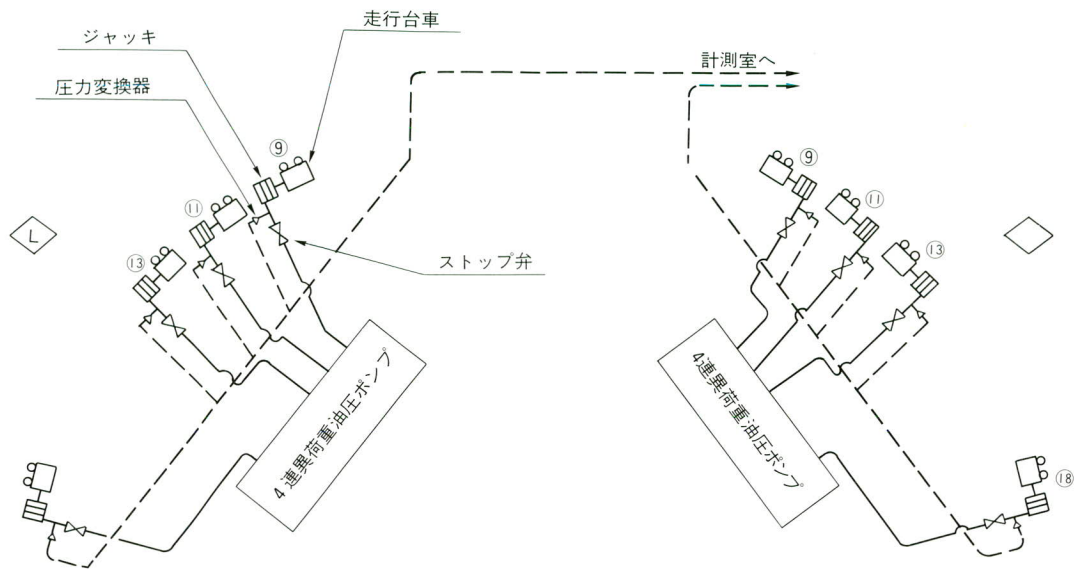
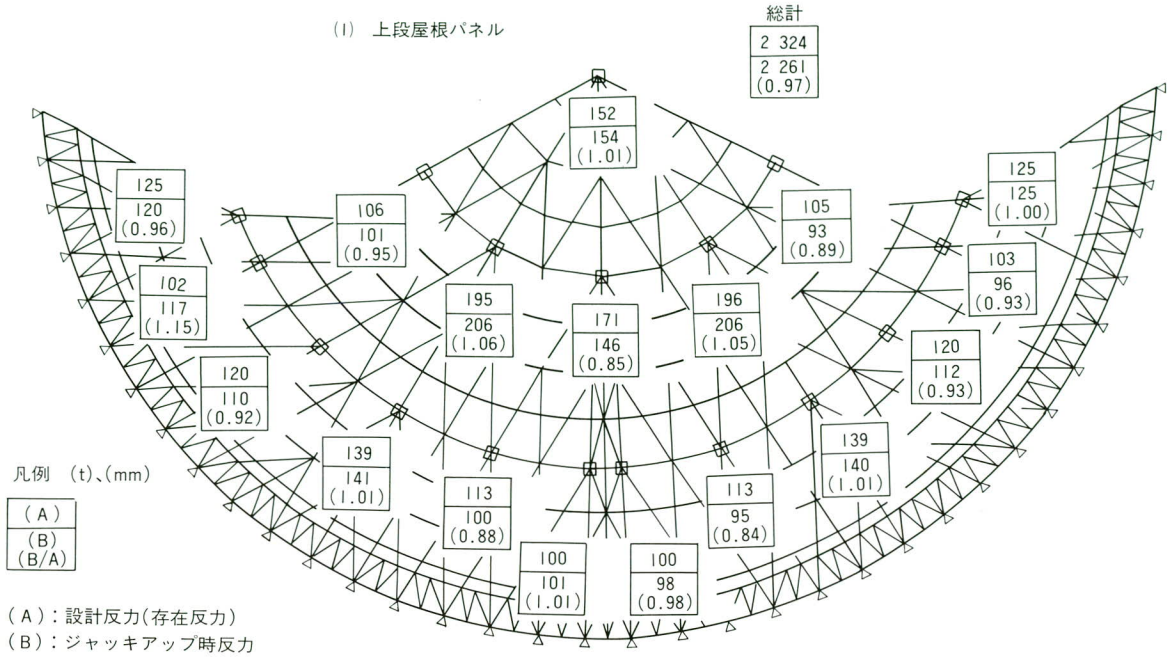
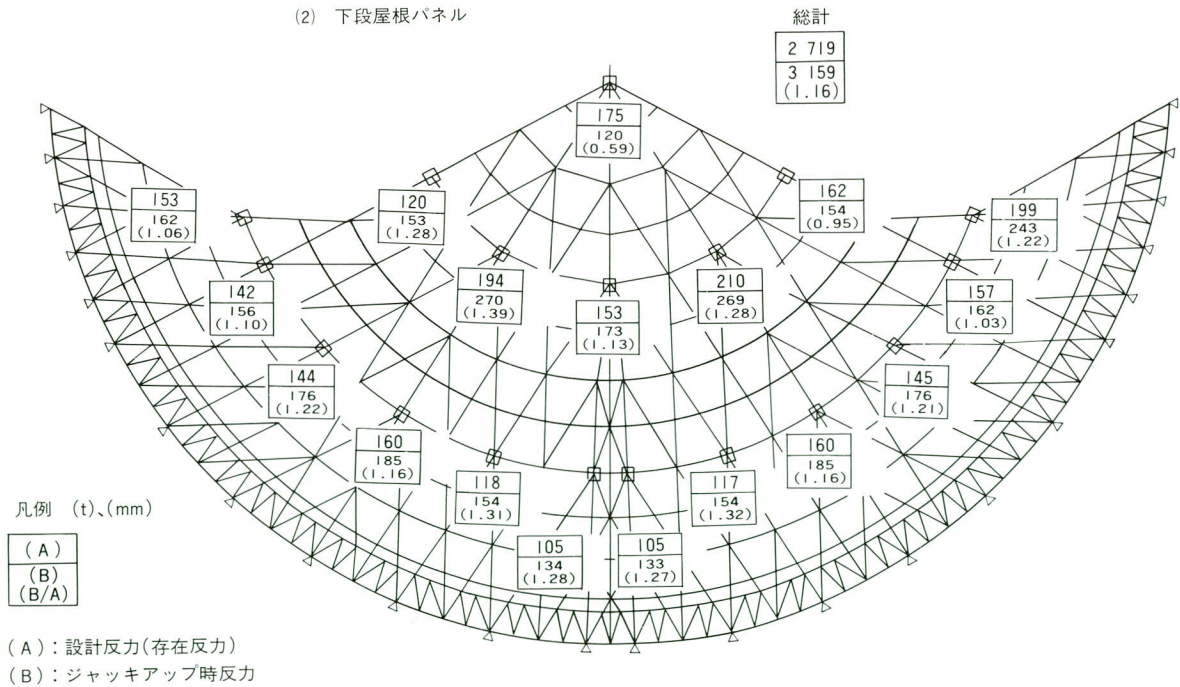


図-10 (2) 走行台車反力解放ジャッキ配管系統図

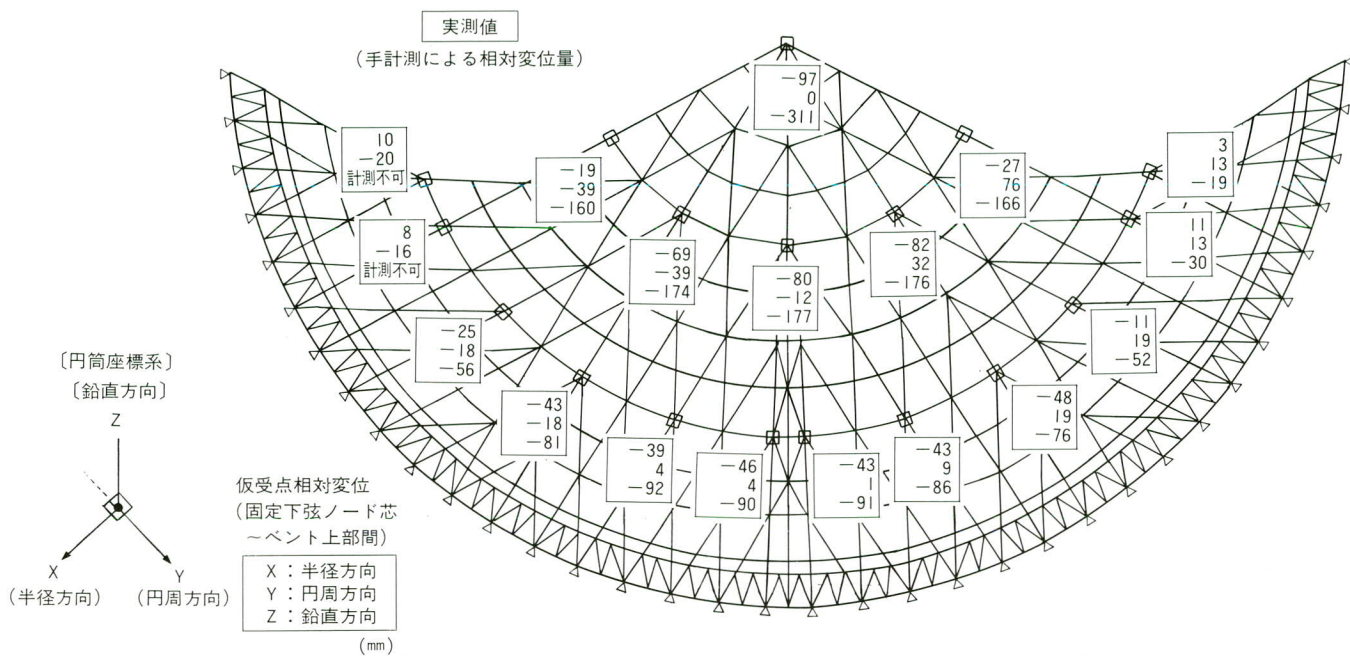
表-4 屋根パネルジャッキダウン時反力・変位実測値



各ベント位置におけるジャッキダウン開始時の反力分布



各ベント位置におけるジャッキダウン開始時の反力分布



各ベント位置におけるジャッキダウン時の変位

となるので、一旦ジャッキ反力を中間仮受架台に受けかえ、走行台車の反力解放は予め仮固定フレームに設置した、水平ジャッキを用いて連動操作方式で行った。その後屋根パネルの回転防止を目的として、L9 R9 走行台車の再拘束をした。その他の走行台車は、最終変位量に余裕を見込んで隙間を確保した。次に両翼部の手動ジャッキを先行して解放を行い、J-DNとL9 R9 走行台車の反力解放を繰返しながら、ジャッキ反力を全て解放し150 mの遊間を確保した。走行台車はブレーキ解放状態で、風・地震等に対して不安定であるため、仮固定フレーム部の水平ジャッキ8台で再拘束した。J-DN時の計測は各部位の反力・変位・部材応力等細部にわたって行われ、計測データは指令室パソコンにて処理し、CRT画面上にリアルタイムで表示され、計画値と対比しながら慎重にJ-DNを行った。中段屋根パネルのJ-DNも上段屋根パネルと同じ要領で行った。表-4に変位実測値を示す。

### 9-2 下段屋根パネル

上・中段屋根パネルのJ-DN完了後、下段屋根パネルのJ-DNを行った。基本的には上段屋根パネルのJ-DNと同じ要領であるが、固定屋根で走行台車の反力解放がなく多少簡素化された。また油圧ジャッキの据付けは、仮受ベント頂部架台に鉛直に設置し、ノード付水平仮受架台とジャッキヘッドの間に、スライド板を組込みJ-DN時に

発生する水平力を自由に解放できるようにした。仮受ベントは組合せ長柱部材で水平変位のしやすい構造なので、ベント頂部と屋根鉄骨の間にチェンブロックを設けて振止め防止とした。更にJ-DNが進み仮受ベント反力が減ってくると、ベント頂部に張り渡したワイヤーブリッジの水平力が、中央ベント1基に大きく作用するため、予め転倒防止用バックステーロープを緊張して慎重に行った。表-4にJ-DN反力・変位実測値を示す。

## 10. あとがき

弊社では、平成3年に有明コロシアムの平行スライド方式による開閉式屋根鉄骨架設工事(宮地技報No.8報告)の実績もあるが、福岡ドームはその規模をうまわる大規模な回転移動方式による球形開閉式ドームであった。今まで我々が専業としてきた、長大スパン橋梁架設技術と有明コロシアムなど特殊鋼構造物の架設技術を取り入れ、さまざまな問題点を解決すべく事前検討を十分に行い、関係各位皆様方の御協力を得て、計画どおり無災害で架設工事を完了することができました。特に竹中・前田共同企業体の皆様方には、深く感謝の意を表し本報告を終りとします。