

万国博お祭り広場大屋根工事について

万国博お祭り広場建築工事
共同企業体工事事務所

所長代理 新 開 信 之
(株式会社 大林組)

日本万国博覧会の会場の建設は、未来都市のモデルであり、またその実験であるといわれ、その南北中心軸線上、巾150m×長さ1,000mのベルト状に配置したシンボルゾーンと呼ぶ一連の基幹施設によって、330万 m^2 の会場を東西に二分している。この基幹施設の中心がお祭り広場で、会場の正面玄関であると共に南半部は日本万国博のテーマ「人類の進歩と調和」の世界を展開し、北半部はお祭り広場と呼ぶ催しの空間として、ここへ集まる人々の交歓・いこい・祭典の場を提供するという重要な役割を担っている。このような機能を果たすためにお祭り広場はテーマ展示部を含む31,500 m^2 を覆う巨大な屋根を持ち、これを地上38mに架設して大空間を形成するとともに、厚さ7.6mの屋根骨組の内部に空中テーマ館を造って未来の空中都市の提案を試みている。またテ

マ展示部には大屋根を突抜けてそびえる高さ63mの太陽の塔を中心として、そのまわりに母の塔、青春の塔と呼ぶ三つのテーマ塔を持っている。これらの塔の下部には屋上に広場を持つ2階建のデッキがあり、太陽の塔周辺の地階は地下テーマ館となり、一般階は管理や食堂のためのスペースとなっている。

以上の諸工事（大屋根工事・テーマ塔工事・デッキ工事・空中テーマ館工事）を総括してお祭り広場建築工事と称し、その概要は図1、表1、写真1、写真2に示すとおりで、掘削土量65,000 m^3 、埋戻し土量40,000 m^3 、RC及びPC杭2,600本、コンクリート23,000 m^3 、鉄骨11,500t、鉄筋2,200tに達し、工期は17ヶ月という質・量ともに超ハード・スケジュールを課された工事である。その中でも5,000tの大屋根躯体は、その巨大さと部材

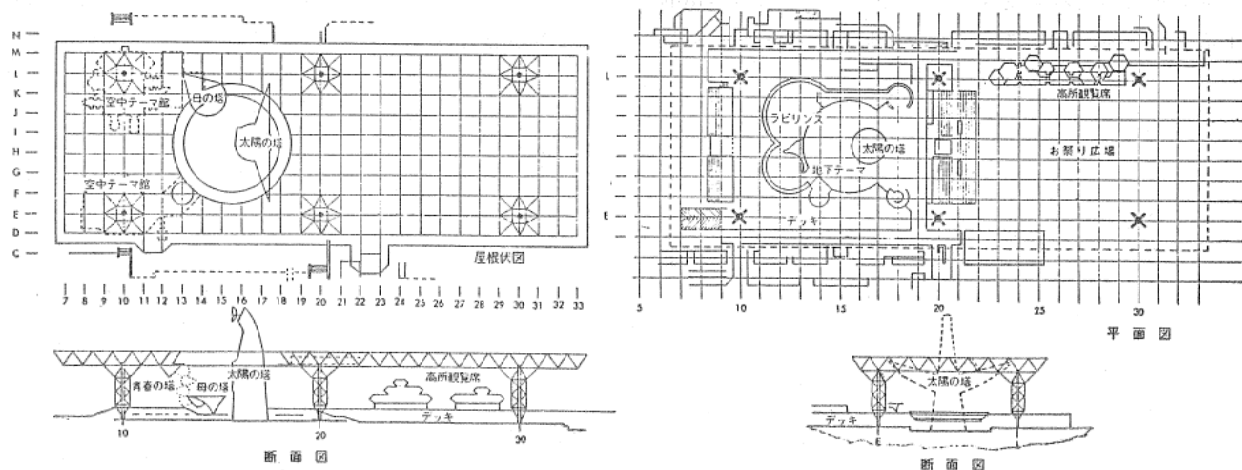


図-1 お祭り広場概要

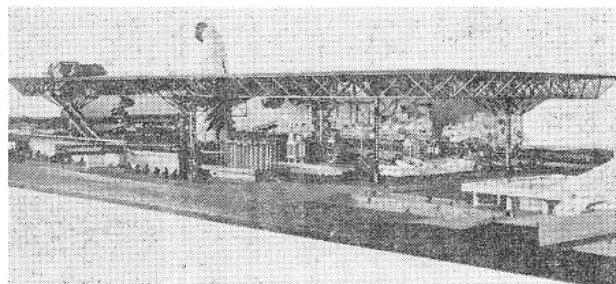


写真-1 全景（模型）東面より見る。

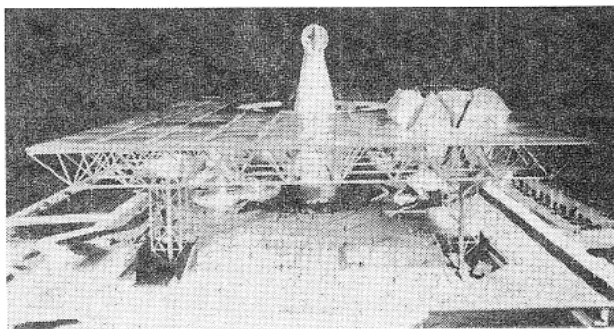


写真-2 全景（模型）南面より見る。

表1 お祭り広場建築工事概要

工事名称	お祭り広場建築工
事発注者	日本万国博覧会協会
設計者	万国博基幹施設設計グループ
監理者	お祭り広場施設群監理共同企業体
施工者	お祭り広場施設群工事共同企業体 (大林組・竹中工務店・藤田組)
工事金額	約60億円
工期	着工 昭和43年9月 竣工 大屋根およびデッキ躯体工事 昭和44年11月30日 その他の工事 昭和45年2月末
建築概要	地下1階，地上4階，軒高：81.00m 最大高さ：61.00m 延床面積：52.270m ² 構造：RC，SRC および S 造

表 1.2

工事名	延床面積	備 考
大 屋 根	81,500m ²	高さ：GL+88.00 構造：スペースフレーム (鋼構造) 鉄骨総重量 4,900TON 塵機：ルミラー (ポリエステル積層フィルム) 10.8m×10.8m243BAY
デ ッ キ	86,400m ²	人間の広場・カフェテラス・ロイヤルボックス・コンピューター室 他各種設備室共 構造：SRC 造
テーマの塔 太陽の塔	1,806m ²	直径：約19.00m 高さ：約63,200m 構造： GL+82.00m迄 RC造 GL+32.00~63.00m S造 仕上：外部：ショット・クリート 内部：吸音パネル貼り
母 の 塔	406m ²	構造：S 造 仕上：塩ビ系特殊樹脂吹付 高さ：約9.00m
青春の塔		構造：S 造および F.R.P 高さ：約22.00m
生命の樹 (太陽の塔内部)		構造：S 造 高さ：49.00m
空中 テーマ館	2,800m ²	構造：S 造 生活テーマ館 1,011m ² 世界テーマ館 1,800m ²
地下 テーマ館	4,600m ²	いのち，ひと，こころ 構造：S，RC 造
そ の 他		トラバーサー&トロリーレール 延1,082m キャットウォーク 延1,280m 回転歩廊 延780m ² WL(8.4×215m) 演出デッキ 延 860m ² 高所観覧席 延1,150m ²

及びその結合方法の独特な設計など，未がかって試みられたことのない未知の技術的内容を含み，機械工作に匹敵する組立精度が要求される工事である。しかもこの工事の成否は EXPO' 70 の死命を制するという精神的重圧をも内臓して，万国博開幕までの竣工を危ぶまれながら，昭和43年9月工事を開始した。ここではこの工事の施工法について工事計画の経緯も含めて紹介する。

大屋根工事の概要

これは108m×291.6m=31,500m² のスペース フレームで，一辺10.8mの倒立正四角錐を東西に10列・南北に27列並べ，その錐頂をグリッド状につないだ Doble Layer Grid Space Frame で，上下弦材間の高さは7.637m になる。弦材及び斜材は外径 500mm と 350mm の鋼製パイプ，ジョイントは外径800mm及び1,000mm の球形鋳鋼製でパイプ部材とポール・ジョイントはボルトと一組のシムによって結合される(図2)。

柱は6本，外径 1,803mm の円柱(長さ 40.650m)を主柱とし，外径 600mm の側柱との間に外径 500mm と 400mm の斜材・横材を配し，立体トラス状に構成されており，側柱とつなぎ用部材，それらのジョイント及び結合方法は屋根フレームと同要領である。斜材と主柱との仕口は溶接である。また大屋根のスペース・フレートが主柱に取付くジョイントはリング状の特殊ジョイント(柱頭ジョイント Structure Ring と呼ぶ)を使用し，柱頭剛接，柱脚ピン形式，柱脚基礎は RC 造のタイ・ビームで相互に結ばれている(図3)。

これらの部材は表2のような大きさ，材質でそれぞれ単品の形で現場へ搬入される(写真3，写真4)

現場におけるフレーム部材の接合は完全なメカニカルコネクションで，溶接は柱頭ジョイント，主柱と側柱斜材，

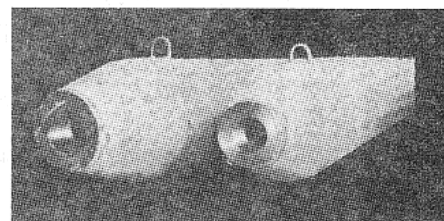


写真-3 弦材・斜材



写真-4 ポールジョイント

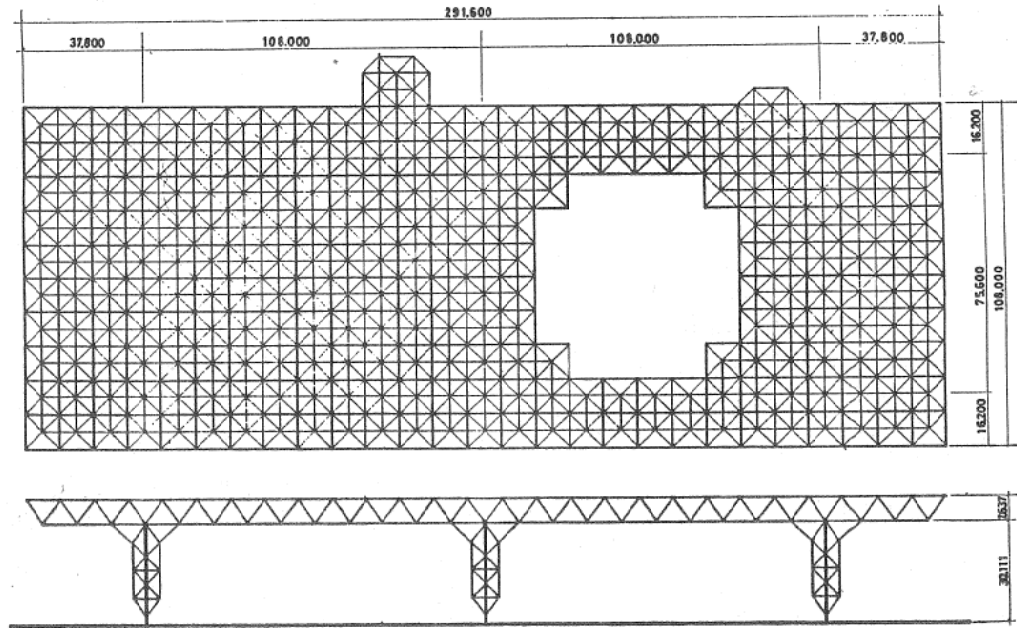


図-2 大屋根躯体構造概要

主柱自身を除いて全く使用していない(図4)。

ボール・ジョイントにはハンド・ホールと称する直径250mm程度の孔が明いていて、部材接合用の大径ボルトは工場においてこのハンド・ホールを経て、ボール・ジョイントの内部より所定のボルト孔にセットされる。

弦材及び斜材はその両端にこれらのボルトに対応するメネジ加工を施したコーン型の鋳鋼製(材質 SM50A 相当品)特殊キャップが溶接されて1本の部材となって

おり、接合はこれらの高強度大径ボルト1本を直接1本のパイプ部材に、次のような方法で材軸方向に締込むことにより行われる。

すなわち、一般にボール・ジョイント1ヶに対して弦材4本、斜材4本の合計8本が集まるので、まずパイプ部材軸心のボール・ジョイント球心に対する Centering の検査と調整を行って正しい状態が確認出来たら、ボルトを締込む。つぎにボール・ジョイントとパイプ部材のキャップ端面との間にはさんだ特殊シムの締込みにより

表2 大屋根躯体の部材

部 材	形 状	材 質	総 数	重 量 (1ヶ当り)
弦 材, 斜 材	φ500mm または φ350mm の鋼管の鋼管の両端を仕口に合わせて特殊加工したもの、長さ約10m	肉厚13mm 以下	1,904本	0.4 t ~ 4.0 t
		肉厚14mm 以上		
ボールジョイント	φ800mm または φ1,000mm の鋳鋼度	鋳鋼品 JIS G5111 SCA2	528ヶ	0.7 t ~ 2.0 t
ボ ー ル ト	φ188mm 乃至 φ75mm の高強度ボルトの一組のシム	軸径150mm以下	3,838本	15kg~190kg
		軸径150mm以下		
シ ム	回転シムと球面シム及び1枚乃至3枚の調整シムより成る。	圧延鋼材 JIS G3106 SM50A	3,838組	調整シムは別で4 kg~52kg
柱頭ジョイント (Structure Ring)	鋳鋼品と圧延鋼材を溶接で組立てたもの、高さ約2.0m	鋳鋼品 JIS G3106 SM50A と圧延鋼材 JIS G3106 SM50A	6ヶ	26.0 t
柱 (実施案)	φ1.8m の鋼管柱を主柱とし、そのまわりに φ600mm 乃至 φ300mm の弦材と同じような部材をトラス状に組立てたフレーム柱、全高40,650m	主柱 圧延鋼材 JIS G3106 SM50A の板 巻溶接鋼管で板厚は 55mm~20mm	主柱 6本 管状部材 288本 ボール・ジョイント 72ヶ	1組 200 t

ボルトにプレストレスを与えて仕口全体をタイトに緊結して、接合は完了する。特殊シムと称するボール・ジョイント側のシムと、回転シムと称するパイプ部材のキャップ側のシムとの2組を1セットとしてボルトを取巻く形であらかじめはめ込まれているが、ボルトに対しては空廻りするようになっていて、ねじは切っていない。両シムにはその相互接触面にラセン加力が施してあって、相対的な回転によってその総厚が連続的に変化できる。1セットのシムの最小総厚は55mmで厚さの変化可能量は約1mmである（ラセンシムの開き過ぎを防ぐため約1mmに規制している）。回転シムとパイプ部材のキャップとの間には調整シムがあって、1mm~20mmの厚さのものを適当に組合せて最大25mmまでの調整を可能とし、外部からはさみ込めるように半円形2枚を所要厚さの1組として使用する。このようにこのスペース・フレームはジョイント部分の応力伝達を全て接触圧いわゆるメタルタッチに依存する detail をもつ設計であって、したがってパイプ部材のキャップ端面、球面・回転・調整シム、ボルト頭部のあご、ボール・ジョイント仕口の内外端面の応力伝達に必要なすべての接触面は25-S以下の機械削り仕上げを施している。これらの特殊シムは部材の加工や組立ての長さ方向の誤差を互いに隣接する一節点長間で吸収するために工夫されたもので、現場に

おける組立て誤差の累積を避けるようにしている。加工、組立ての誤差要因と吸収可能量は表3のようであって、組立て時における節点の座標誤差は座標測定誤差、ボール・ジョイントの据付け誤差を含めて±10mm以内を要求している。角度誤差に対してはボルトとこれに対応するボール・ジョイントの孔の間に6mmのクリアラン

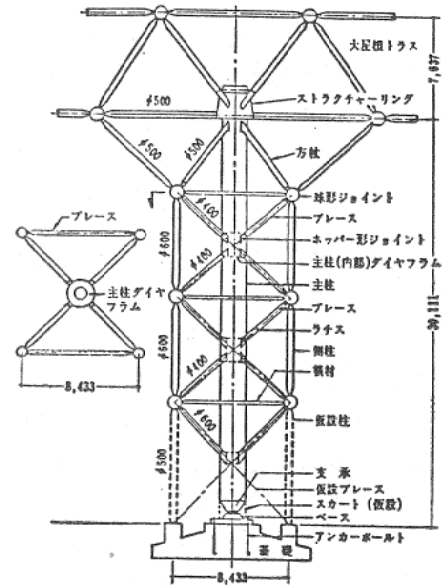


図-3 柱の構造

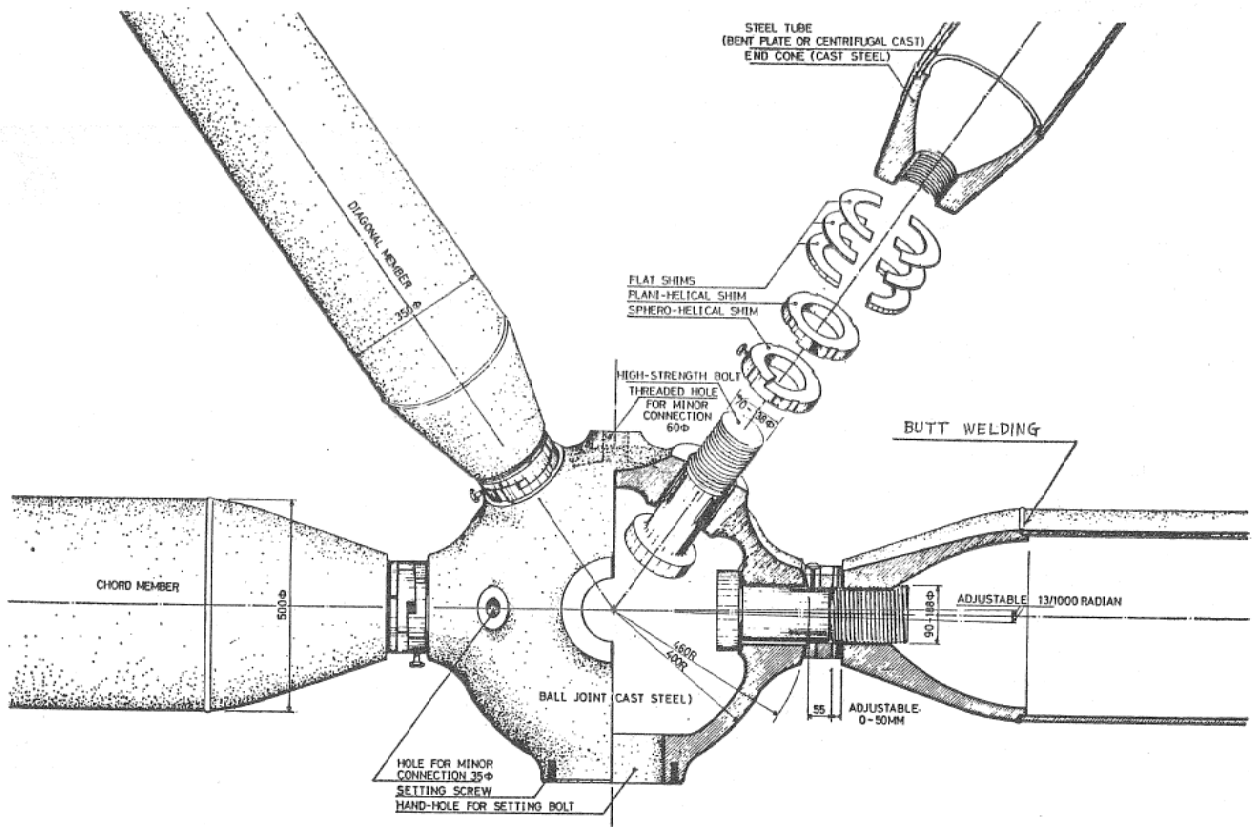


図-4 DETAIL OF CONNECTION

No	要因	角度誤差 (rad)	長さ誤差 (mm)	備考	No	要因	角度誤差 (rad)	長さ誤差 (mm)	備考
1	ボールジョイント位置の相対誤差	$\frac{0.3}{1000}$	20		8	ボルト半径公差	$\frac{0.25}{1000}$	0	
2	ボールジョイント掘付け角度誤差	$\frac{1.0}{1000}$	0		9	シム厚さ公差	0	2 × 1	
3	パイプ部材長さ公差	0	3		10	パイプ部材の自重によるたわみ	$\frac{1.0}{1000}$	0	
4	パイプ端部角度公差	$\frac{1.1}{1000}$	0		11	組立て完了後におけるフレームの熱変形	$\frac{1.1}{1000}$	2 × 6	±20°C
5	ボールジョイント外径公差	0	2 × 2		12	取付け部材の熱変形	$\frac{3.9}{1000}$	3	±15°C
6	ボールジョイント孔あけ角度公差	$\frac{0.83}{1000}$	0		13	ムクリ勾配	$\frac{3.2}{1000}$	0	
7	ボールジョイント孔の位置公差	$\frac{0.83}{1000}$	0			計	$\frac{15}{1000}$	44	片側22mm→25mm

表3 誤差の要因と量

スをとって、両者間の球面移動によって誤差を吸収せしめるために、球面シムのボルト・ジョイント側の端面、ボルトのあごおよびそれらと接触するボール・ジョイントの仕口端面を、ボール・ジョイントの球心に対して球面加工をしている。なをシムの締込は Pneumatic chipper を使用して、回転シムに円周方向の打撃力を与え回転させる方法によったが、実験結果によればこの方法により connection 部分に約30 t のプレスを与えることができる。このように組立て、締込みの一連の現番作業はすべて外部から行えるように設計されている(図4)。

大屋根工事の施工法

この種の立体トラスの組立てが一般の鉄骨工事とも異なる点は、全部材の組立てが完了しなければフレームそのものが成立し得ないことである。したがってその組立てが完了する起全部材を支持するか、またはフレームとして成立し得る範囲で部分的に支持することを考える必要がある。このスペース・フレームの工法についても、

- (1) 所定の設計高さ(下弦材中心が地上+30.111m)で部材を組立てる。
- (2) 地上でフレーム部材を組立て(地組み)た後所定の高さに持上げ前もって建方された柱に据付け、固定する。(リフトアップ工法)

の2つの工法が考えられるが、それに加えて前述のようにこのフレームが従来の建築特の観念とおよそかけ離れた巨大な規模と細密な detail を持ち、組立て作業に厳しい精度が要求されている画期的な構築物であることを念頭におかねばならない。その組立方法、検査、確認の方法、作業の安全性、殊に高所作業における危険性と能率低下、重機械の能力、工事費と工期特に大屋根フレームと全く重なった平面全体に拡がるデッキ工事や太陽の塔工事との関連、絶対日限がきまっている過少な工期など

あらゆる観点から施工性の研究と検討を繰返した。

この間、従来施工性を重要な Factor として設計段階から考慮に加える設計はほとんど見られなかったのに対し、この工事の場合は設計と施工計画を併行して進めることにより施工性に十分立脚した工法に即応する設計へ進展して行く過程で、設計原案に大きな変更が加えられた。このような設計施工の協力体制はわが国の建築生産の現状では一步の前進であって、特殊・大型のプロジェクトがますます増大すると予想される将来の建築界に示唆するところが大きい。

(1) 実施した工法が採用されるまでの経緯

当初示された基本計画は図5に示すごとく、その柱が下部RC造の上に屋根フレームと同じ構造で構成される立

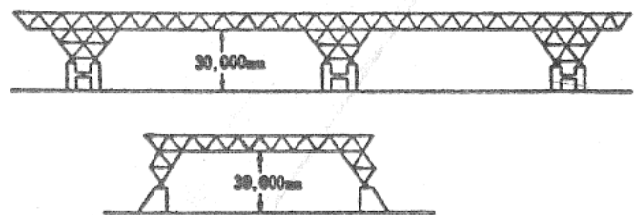


図5 大屋根の当初基本計画

体トラスとなっている。従って施工計画の検討は、この基本計画を元に進めて行ったものである。

- この計画に対して
- ① 所定の設計高さ(地上30m)で屋根フレームを組立て、柱を取り付ける。
 - ② 地上で屋根フレームを組立(地組)てた後、所定の高さに持上げ、前もって建方された柱に据付け、固定する。(リフトアップ工法)
- このうち①については図6に示す(イ)(ロ)(ハ)の3案が考えられ、②については、図7の(イ)(ロ)(ハ)案が考えられる。①②案を比較したものが表4である。この比較の結果、②案に踏切ることになったのである

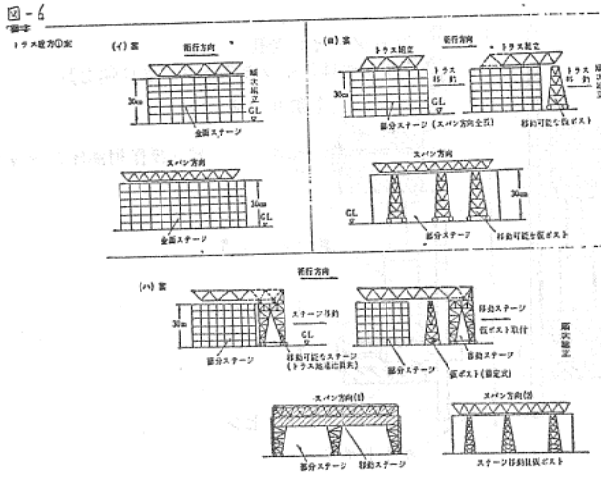


図-6 トラス建方①案

が、この案をより有利なものにするため、第1項については、下部工事の少ないお祭り広場から基礎工事を先行して、フレームの地組を早めることにより全体工程を短縮する。また第5項のリフトアップ装置については、それに必要な仮設のガイドタワーを本工事の構造柱とし、ガイドタワーが仮設の場合に生じる、種々のフレーム組立時の残工事もなくすることが、このプロジェクトに対してもっとも有利な工法であるという結論を得たのである。

このことから、設計者側の協力により、本工事の構造柱を利用してリストアップする最終案が出現したのであるが、これは②案の(イ)の(ロ)はそのまま利用できるものとし、新たに図8に示す③案が考えられた。

一方、この最終案がまとまるまでの期間、施工者側はリフトアップ装置の検討を行い、②案の(イ)は、PC鋼棒のカップラー・ジョイントおよびその経済性に未解決な点があり、(ロ)は小重量のものでは成功しているが、揚重量の増加に伴い吊りワイヤーとジャッキのチャック装置との関係に問題を生じるため、この②案は一応見送る形

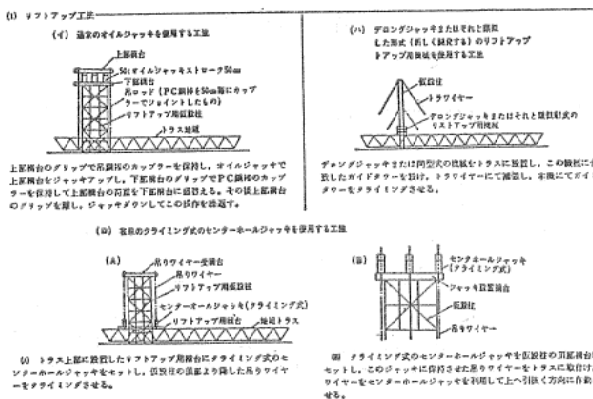


図-7 トラス建方②案

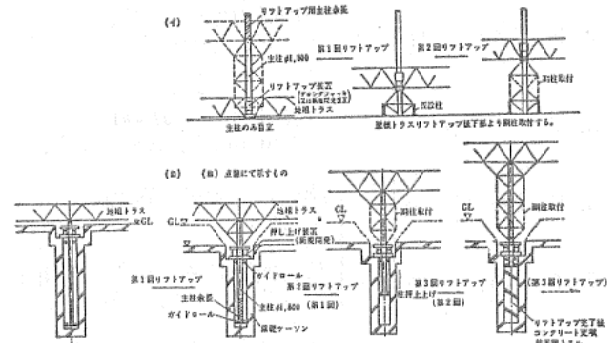


図-8 トラス建方③案

表4 工法の比較

項目	工法	①案	②案
1. トラス組立と下部工事の併行作業	○	(ロ)案の場合は可	△ 下部工事先行によるラップ作業は可
2. トラス組立の仮設構台	×	大規模なものとなり、現場労務工数を増す	○ 簡易なものにて、省力化
3. トラス組立の施工性	×	全てが30m以上空の高所作業となり安全性が損われるとともに非効率、また高所への荷揚げ作業が必要	○ 低所での安全かつ能率的で、十分な施工荷揚も簡単
4. 建方機械	×	大型	○ トラククレーンにて可
5. リフトアップ装置	○	不要	×
6. 現場労務工数	×		○
7. 工法の経済性	×		○

となった。

従ってこの新しい案に対する検討は、もっぱら③案を対象とすることになるのであるが、この両者を比較すると、(3)(イ)案はデロング・ジャッキおよび新規開発の装置(図9)のいずれも可能であるのに対し、③(ロ)案は、ジャッキの最終的な撤去を考えると、その形式上、買取りまたは解体を認めないデロング・ジャッキは適用できず、(イ)(ロ)案の選定は一にリフトアップ装置の選択に左右されるものである。

この両者の装置を比較したものが表5である。この結果、いずれの装置にも一長一短はあるが、主にデロングジャッキは装置の信頼性にメリットがあり、他は構造物に対してメリットがあったため、施工者側と設計者側との

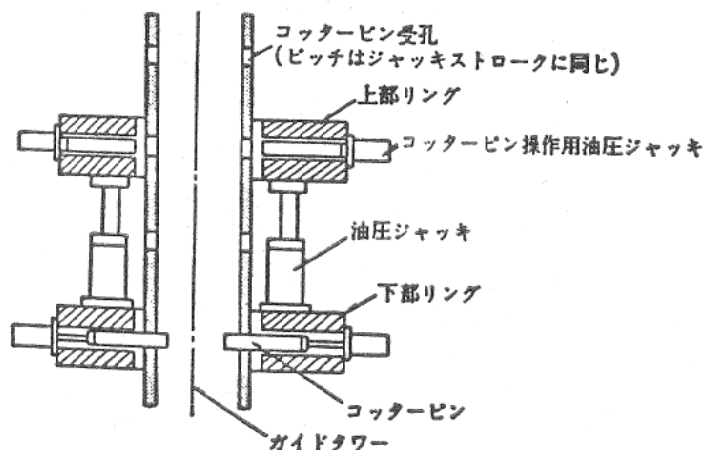


図-9 リフトアップ装置 (新規開発)

表5 ③案の装置の比較

項目	装置	デロング・ジャッキ	新規開発装置
1. 揚重量	○	許容揚重量450 t/台のため、2台連動すれば可	○ ある程度自由に設計出来る。
2. 安定性	○	使用動力は圧縮空気であり、これがエアークッションの作用をし操作中のショックを吸収する。	△ 使用動力は油圧
3. ガイドタワー	○	本設計の主柱φ1800にて可 ア25m/m以上あればよい。	△ コッターピン孔による断面欠損をカバーするだけの外径が必要となる。
4. 実施経験	○	開発して30年実施段階に入って20年の経験を持つ。	× 製作期間短いため、発部実施となる。
5. 経済性	△	賃貸機械であるためその期間に左右される。アメリカの技術である。	○ 費用の算出に近至らなかったため考明であるが、国産の技術開発に期待。
6. 構造物への影響	△	(イ)案を採用することになるので、リフトアップ中は柱脚固定、柱頭はリング状の特殊ジョイントになり、完成後の柱脚ピン、柱頭固定という構造との間に大きな差異を生じそのための補強を要する。	○ (ロ)案を採用すれば、柱頭は最終の形に地上でコネクタ出来るので、リフトアップ中と完成後の構造との間に差異はない。基礎に大規模な基礎を必要とする。
7. 柱建方の問題	△	副柱の建方はリフトアップの進行に伴い、ますます高所の作業となる。	○ 剛柱の建方はリフトアップが進行しても絶えず低所での作業が可能。

間に意見の食い違いを見たのであるが、施工側としては、このような大規模のプロジェクトを遂行するに当っては、その装置の信頼性、とくに表5の第3項を重視することを強調し、設計者の了解の元に、ここにデロングジャッキによる③(イ)案の決定を見るに至ったのであった。

(2) 施工計画と実施

① フレームの地組

このフレームを地組するについては種々の方法が考案出来るが、フレームの構成条件を考え、節点であるボールジョイントを与えられた公差内に正確に据付け、据付けを完了した節点間に所定のパイプ部材をアプローチし、締付けを行うという手順で計画し実施した。

地組の第一段階は上、下のボールジョイントを三次元的に正しい座標へ据付けることでこれは正確な位置と方向性が要求されるとともに、つぎの段階で能率的なパイプ部材の据付け、connectionの十分な縮込みとその検査・確認が完全に行なえねばならない。このためボールジョイント据付け用の定盤をもち上下左右の微調整可能な特殊架台(地組台)を開発し、その据付け床面は全面鉄筋コンクリート版を打設して絶対地墨みと組立て用重機の稼動に耐え得るように計画した(写真5)。下弦材軸心を地上1.5mに計画したので上弦材軸心は約9.1mとなる(上、下弦材の高さは7.637m)ので下弦用、上弦用にそれぞれ別のものが必要である。このスペースフレー

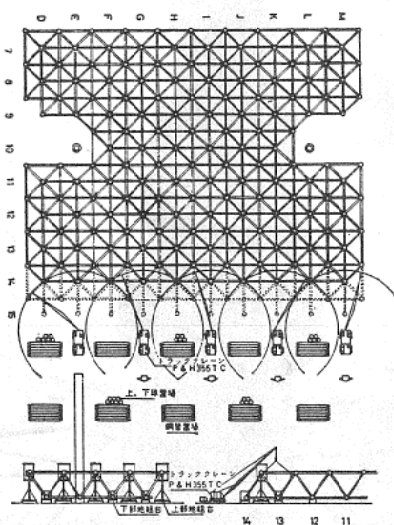


図-10 大屋根地組計画図

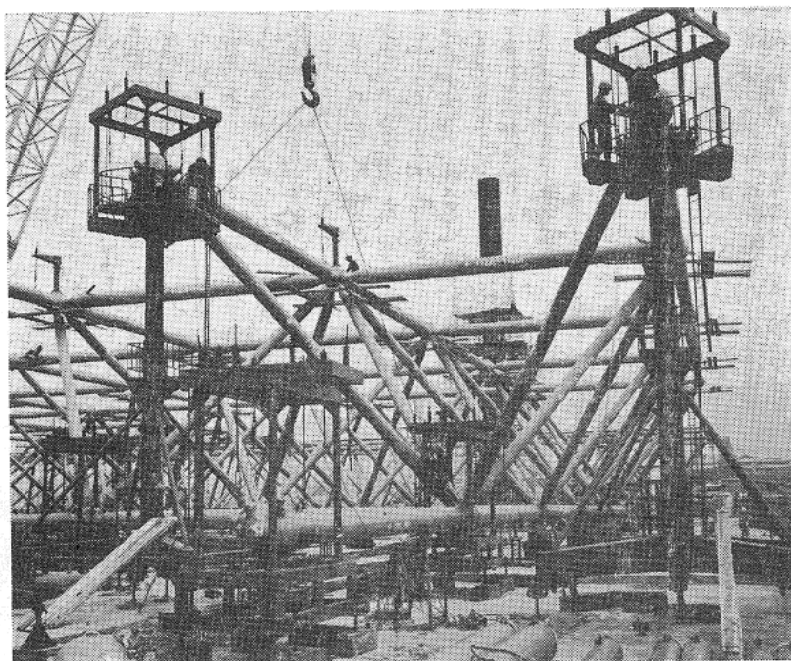


写真-5 フレーム地組中の状況。下弦材用地組名と上弦材用地組合

ムは一節点長10.8mで10スパン×27スパンあり、地組合の試作と実部材による地組み実験結果から図10、図11のように計画実施した。すなわち下弦材地用組合20台、上弦用地組合1台1台合計31台を使用し、短辺方向の10スパンを1セットとし、能力22t級のトラッククレーン5台を稼動して地組合を順次仮受架台に盛替えながら長辺方向27スパンの方向に作業を進めた。したがって作業順序は

(1) 弦ボールジョイントの支持を下部地組合から仮受架台に盛替える。

(2) 下部地組合を移動し次の作業位置に据替える。まずRC造土間上の地墨位置に地組合を据付け、つぎにその定盤を微調整によって定盤上の罫書線とボールジョイントのマークを合わせればボールジョイントが位置、高さ方向、傾きとも自動的に正確な据付けができるようにセットする。

(3) 下弦材ボールジョイントを下部地組合上に固定する。

(4) 下弦材を取付けて仮締めする。

(5) 上部地組合と上弦ボールジョイントを(2)(3)と同様に据付ける。

(6) 斜材を取付け仮締めする。

(7) 上弦材を取付け仮締めする。

(8) 各弦材、斜材のセンターリングを行ない本締めする。

(9) 上弦材支持台(次の上弦材取付けのための支持金具)を上部ボールジョイント上側のハンドボールに取付

ける。

(10) 上部ボールジョイント廻りの吊足場を架設する。が1サイクルである(図11)。パイプ部材のボールジョイント球心に対するセンターリングはシム総厚をその全周においてノギスで、またはシムの隙間をシムネゲージで計測検査する方法をとり、これに伴うパイプ部材の微調整はあらかじめ地組合に仕込んだパイプ部材仮吊り用ばね付きボルトのターンバックルで行なった。またフレームのむくり(最大245mm)も地組合据付けの段階で調整した。

⑩ リフト アップ

この工法は「採用までの経緯」で説明したように、デロングジャッキを使用する③(イ)案である。

デロングジャッキは米国の De LIONG 社からリースする高圧 Air Jack System であって、摩擦力による反力装置として上下に Gripper と称する Ring 状の厚い Rubber Tube を有し、その中間に Air Jak 12台を円周上に配置した外径・高さともに約3m、自重18t(写真6、図12)の Jacking Device で海上または河川工事に使用されているものである。運転時の空気圧は350 psi (24.5 kg/cm²)、操作にも高圧空気を使用し、揚重能力は480t/台である。作動はその1 cycle が(図13)。

(1) 下部 Gripper を inflate してガイド兼友柱を掴み、上部 Gripper を deflate して解放する。

(2) Jack の Hoisting Cylinder を expand させて Jack-up する。

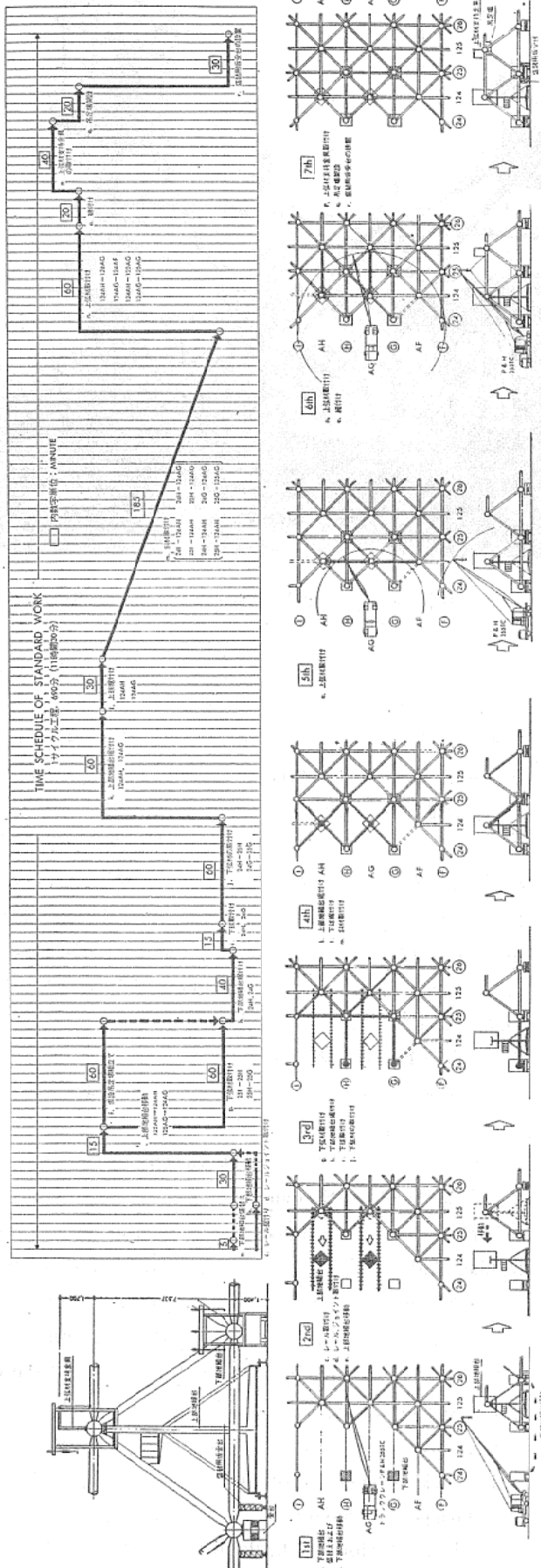


図-11 標準地組順序説明図

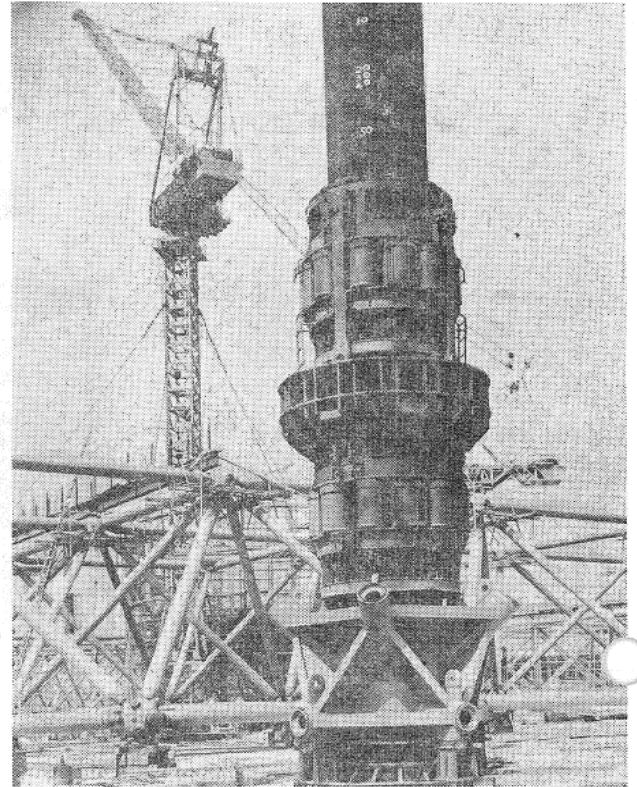


写真-6 主柱に挿入された下から Structure Ring, Lower De LONG Jack, Ring Girder, Upper De LONG Jack. 遠景の Tower Crane は太陽の塔工事用のもの。

(3) 1 Stroke の Jack-up 完了後上部 Gripper を inflate してガイド柱を挿む。

(4) 下部 Gripper と Hoisting Cylinder を deflate して Jack-up 前の状態に引きあげる。

であって、揚重物の重量は Gripper とガイド柱との Friction によって支持し、作動・操作はいわゆる Fail Safe な機構としてあり、この作動を繰返してちょうど木登りの要領で上部 Gripper から吊った揚重物を持ちあげる。工費・工期のメリットからガイド兼支柱に本設柱の主柱を使用することとしたので1柱当り Jack 1台の計6台では揚重量が不足するから、柱1箇所について Jack 2台を縦に連結し Tandem System とした。Tandemize には1台毎の Jack からそれぞれに揚重物を吊る方法でなく、2台の Jack の間に Ring Girder と称する装置をはさみ、あたかも下の Jack はこれを押し上げ、上の Jack はこれを吊上げて連動する2台の Jack の揚重力を Ring Girder に集中し、これからフレームの Structure Ring を吊る機構とした。なおこの懸吊装置には揚重力重心と Structure Ring に働くフレーム合力の重心との偏心を防ぐために平衡維持装置 (Equalizer) が

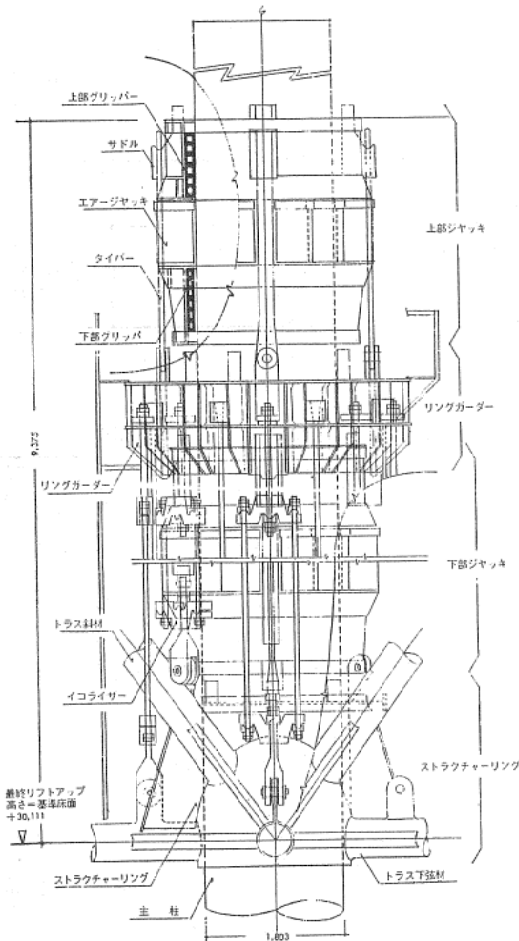


図-12 Tandem Jack System By De Long Jack.

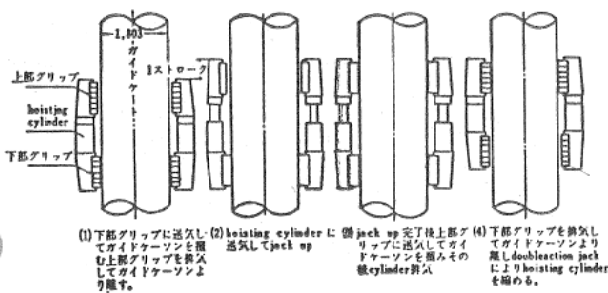


図-13 デロングジャッキの作動説明図 (1 cycle)

考えられている(写真6, 写真7, 図12, 図14). この Tandem System はわれわれが工夫したものであって De LONG 社として初めての試みであったが非常に有効かつ好調であった. この Tandemize によって揚重能力は 1 箇所当り最大960 tとなるが稼働能力は800 tに押え, フレーム自重3,450 t, Structure Ring と Equalizer 330 t, 仮設物重量と許容し得る限度重量内の本設物 (樋, キャットウォーク等) 1,020 tを加えて合計4,800 tとしてリフトアップを実施した. もちろん各主柱の反力は

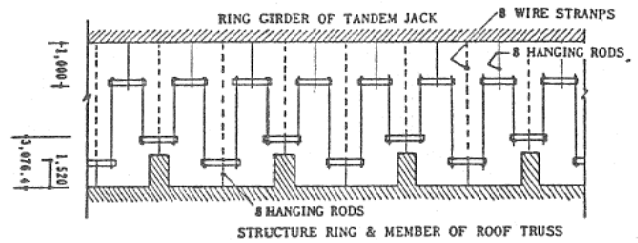


図-14 Unfolding Illustration Of Equalizer.

800 tをこえないように積載物の配置を工夫した. またリフトアップ時にフレームの支持点すなわち Structure Ring の相対的変位は100mm 以内という設計上の要求のため Jack up 中のレベル測定, Jack の連動誤差を25 mm と想定して1ストローク75mm とした (De LONG Jack の標準1ストロークは300 mm).

リフトアップは, 本構造体の6カ所の柱の主柱を利用して行うものであるが, この柱はリフトアップ完了後は柱脚ピンとなるため, その下部に球面支承を内蔵しているので, リフトアップ中は Skirt Plate とによって柱脚剛の剛をとるようにした. またこの柱脚の状態のままでは, リフトアップ最終までの水平力に対して, 耐力の不足を来たすので, リフトアップ進行につれて, 側

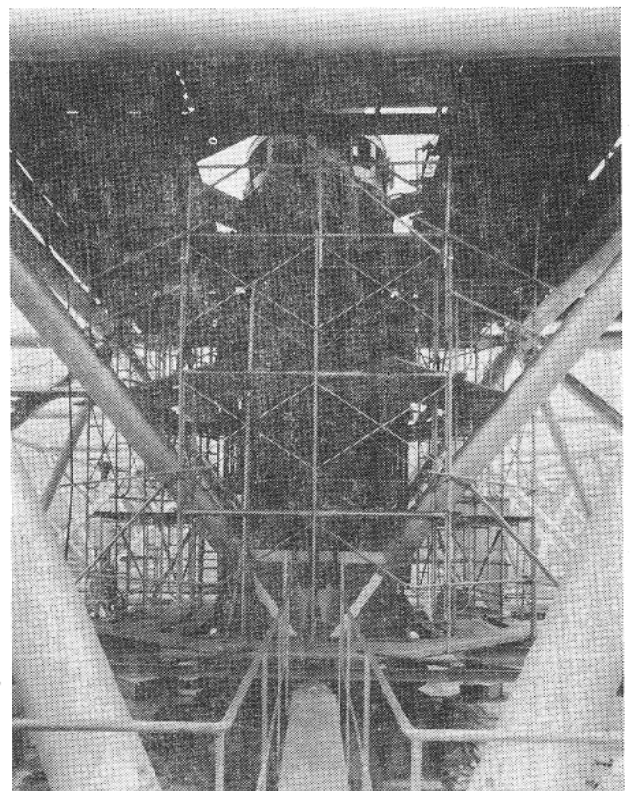


写真-7 Tandem Jack System と Equalizer.

下から Structure Ring, Lower Jack, Ring Girder, Upper Jack の順に組立ててある.

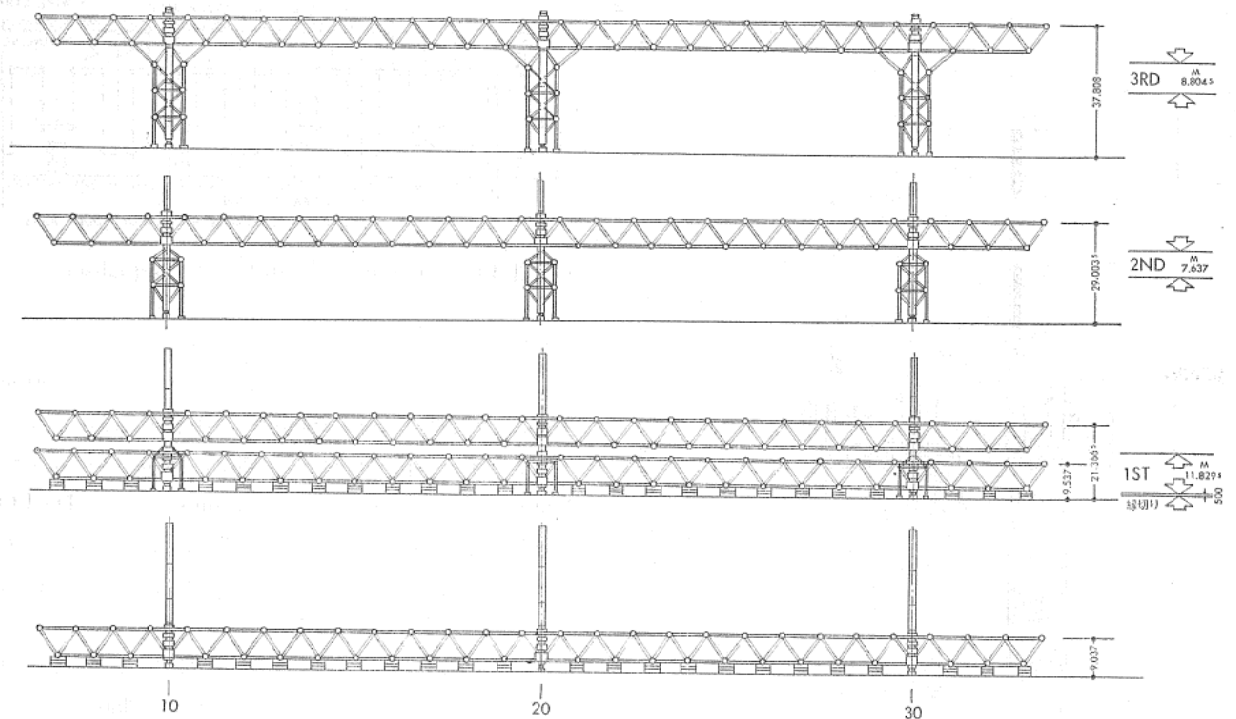


図-15 リフトアップ順序説明図

柱および柱脚補強用の仮設柱によって主柱を補強することとした。

さらにこのフレームを吊り上げる Jack System はフレーム下弦材より上部にセットされるため、その主柱は、最終的な下弦材位置より Jack System の全高 (約 10 m) だけの余長が必要である。

このことから、リフトアップ作業は、柱の側柱の建方の各節に合わせて3段階に分け、その間に側柱の取付による主柱の補強工事を折り込んだものとなる。この考えによるリフトアップ工事計画は図-15説明図に示す。

Tanden Jack System は柱の建方と併行して組み込み、昨年 (44年) 5月半ばにフレーム地組が完了するとただちに Jack 用 Air pipe Line の検査・テストに続いて6組の個々の Tandem Jack についての作動テストを実施した。6月14日短辺方向 (東西方向) に相対する Jack 2組を順番に繰返し連動させて全フレームを仮受台から浮上させる作業 (縁切り作業) を行ない、第3回目のストローク完了直前の総リフトアップ量 156mm でフレームが完全に仮受台から離れた状態が確認された。この時点でスペースフレームが初めて構造的に成立したことになり部材応力が発生して組立て時とは全く違った状態となるのでシムの再締込み (増し締め) を実施すると同時に、フレームの変形量計測を行なった。フレームの最大たわみ量は理論値の20%増し程度以下で地組み開始後間もなく行なった実験結果から推定していた値より10%程度少

なく、またたわみ曲線も推定とよく一致するという好結果を得ることができた。また引続いて実施した Tandem Jack 6組の Synchronization Test にも好結果を得ていよいよ本格的な Lift up を6月23日に開始した (写真8, 写真9)。Jack の個々の操作は De LONG 社のオペレーターを3名によって行なったが、Lift up 工事はあくまでわれわれの責任において実施した。すなわち6組の Jack 位置に Gripper Gauge, Hoisting Cylinder Gauge, Stroke 量の確認, Lift up 量の計測要員をまた高圧 Compressor および Air Pipe Line には運転・保守要員を総員60名配置して、各 Station 中央司令台とはスピーカー、電話、信号ランプ、トランシーバー等の通信網を結ぶとともに、別に6個のストローク計を各 Jack 位置に配置して Oscillograph 化した Stroke の連続的記録を中央司令台で監視・自記できるようにした。

Lift up の個々の操作 (上下 Gripper の inflate および deflate, Hoisting cylinder の expand および retract) 毎に工事責任者 (司令) が各 Station から集まる報告を確認・整理・判断して指令を出し、これにしたがって Main Control Panel を Chief Operator が操作し、他の Operator 2名が Jack の調整・点検を行なった。各支柱位置の相対レベル誤差の修正は規制量 100 mm をこす前にローカル (任意の主柱 1 箇所のみについての操作) または簡易ストローク調整を行なったが、その回数 は総ストローク 354回のうち50回であった。このように

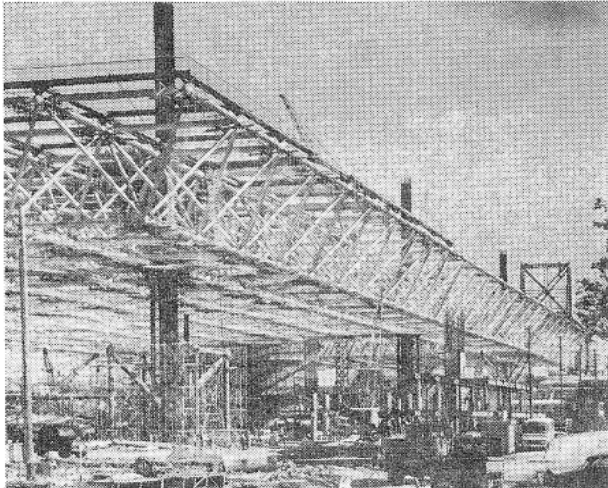


写真-8 Lift up 中の大屋根フレーム。側柱の建方、デッキ鉄骨の建方も始まっている。

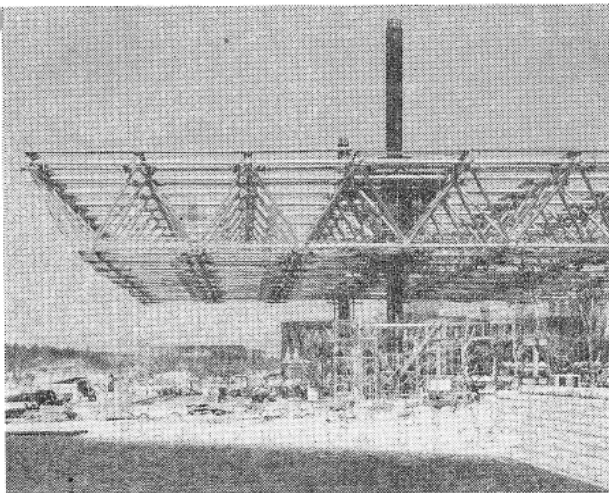


写真-9 Lift up 中の大屋根フレーム。

してリフトアップが完了したのは7月31日で、総リフトアップ量28.784m、作動テストを含め実働延時間延85時間、定常運転後の平均1ストローク所要時間約12分、延48日間を要した(写真10)。実作業日数は14日間であって他の34日間は雨天による作業不能日数11日間と第2斜材までの側柱トラスの建方・溶接に要した日数である。

Lift up 作業と側トラスの組立てを繰返し最終位置で主柱に孔をあけ、柱頭ジョイント (Structure Ring) の斜材に内蔵されている固定用ボルト4本を引出し、主柱内にあらかじめ取付けられた受け台に固定する。方杖部材を取付け住頭剛接の完了後、不必要になった Jack と懸吊装置を撤去し、主柱余長部を切断し、仮設側柱を取外すと同時に柱脚を一時的に固定していた Skirt Plate をガス切断して柱脚支承部がピン支持の状態となり、大屋根スペースフレームの構造体は地組み開始以来10ヶ月

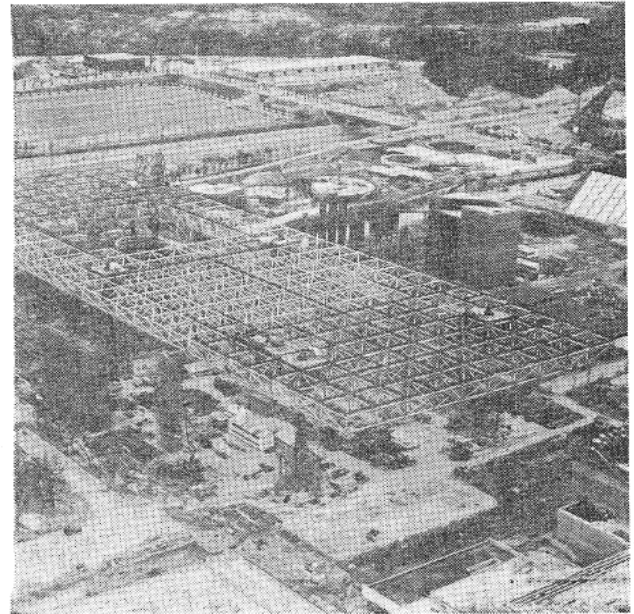


写真-10 Lift up 完了直後の大屋根フレーム

を費し昨年9月末に完了した(写真11)。完了後のたわみ量は縁切り時点と変わらず、したがって地組み時点にセ

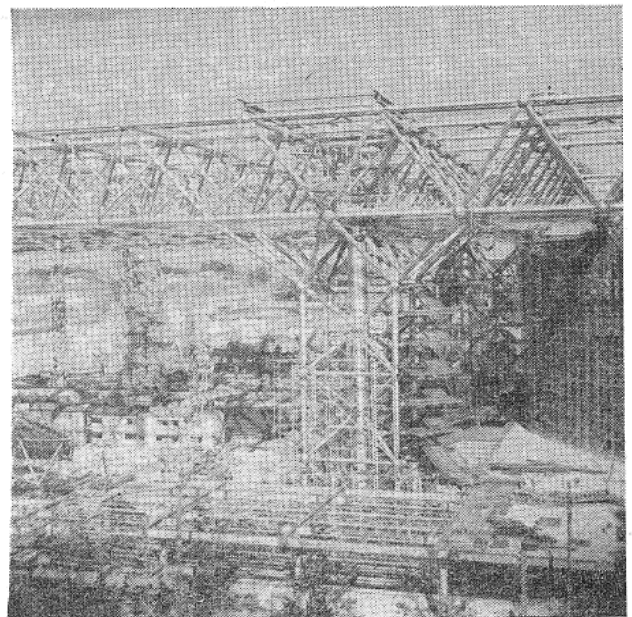


写真-11 完成した大屋根フレーム。

この時点では大屋根下部のデッキ工事、太陽の塔工事も進捗中である。

生産と技術

ットされた最終的 設計荷重に対する 最大むくり量 245 mm は85m程度残ったことになる。このむくりの残量は、リフトアップに引続いて実施する屋根工事、空中テーマ館工事などの積載荷重に見合うべき量であって、Connection 部分のシムの締込みが設計に対応する高い精度で十分に行われたことを示している。

このようにして大屋根躯体の工事は完成し、以後の工事すなわち大屋根仕上工事、テーマ塔工事、デッキ工事、空中テーマ館工事を、短い工期に終始苦しみながらも万国博開幕に間に合わせる大きな原動力となった。表-6の KEY NETWORK によっても、各単独工事に適正工期を与える余裕は全然なく、むしろ全体工事を総観して各個に可能な限りの最長時間を与えるようぎりの配慮をして、すべてが Critical Path でつながる工事となり、中でも大屋根躯体工事の時間的位置づけが、この NET WORK 最大の KEY POINT になっていることを理解出来るであろう。

1960年代におけるわが国の急激な経済成長と国際情勢

の変化は、技術の進歩を背景として経済の国際化を促すとともに、産業構造の変貌に拍車をかけつつある。このような時点で「人類の進歩と調和」のテーマを掲げて開催される日本万国博覧会の意義は非常に大きく、ことにその会場建設に投入されたエネルギーの結集には瞠目すべきものがある。今後これを契機として地域・都市の再開発、海洋開発、空中・宇宙開発など、開発のスケールが拡大且つ多角化するにつれて、技術の占めるウエイトはますます増大するであろう。

このような趨勢とともに、今後建築工事の大型化、プレハブ化、施工の機械化とくに高能力の重機械の利用は当然の方向であって、これらに伴う精度の向上や安全性の確保はますます必要となり、労務問題の深刻化と相まって現場作業の単純化、工程管理の科学化・合理化・合目的化や生産組織及び体制の近代化など、建設産業が当面している課題は数多い。

万国博会場建設工事という大きなプロジェクトはこのような面でも建築界に大きな刺激を与えたと思う。

表 6 お祭り広場建築工事 KEY NETWORK

