

パイプ構造による多曲面大空間屋根の施工

Construction of Multi-Curved Space Structure Composed of Steel Pipes

小池 一之* 藤井 邦康**
Kazuyuki Koike Kuniyasu Fujii

矢野 寿志***
Hisashi Yano

要 約

本報告は埼玉県久喜市総合体育館新築工事のメインアリーナ棟における鋼管構造による屋根架構について述べたものである。大屋根は支点間距離70m、高さ22.6mの4本の大アーチトラスと、それに直交、斜交する梁によって分割された複数の面から成っている。この4本の大アーチで屋根荷重を支えており、トラスと母屋等の構造体自重によるたわみ変形に対しては、トラス脚部を全方向に滑らす構法が用いられている。

工事開始当初、久喜市建築課および設計事務所担当者の発案、協力を得て、鉄骨トラスの主部材を形鋼から鋼管構造（以下パイプ構造と称す）へ設計変更を行うとともに、アリーナの天井架設および屋根材の仕様の変更も行った結果、工期、工費の面で満足のいく施工結果となった。ここではパイプ構造の特質、構法の施工計画および実施結果を中心とした工事記録について報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. パイプ構造の特徴
- § 4. アリーナ鉄骨構造の概要
- § 5. 仮設計画
- § 6. 施工上の基本方針
- § 7. 測定報告
- § 8. おわりに

§ 1. はじめに

近年、日常生活の中にゆとりと豊かさを求め、余暇活動が多岐にわたりつつある。特に、その一環として推奨

されているスポーツは、現代人の生活にとって必要不可欠なものとなっている。単に競技するためだけのものではなく、誰もが気軽に参加できる生涯スポーツ、すなわちスポーツの生活化が重要であると認識されている。

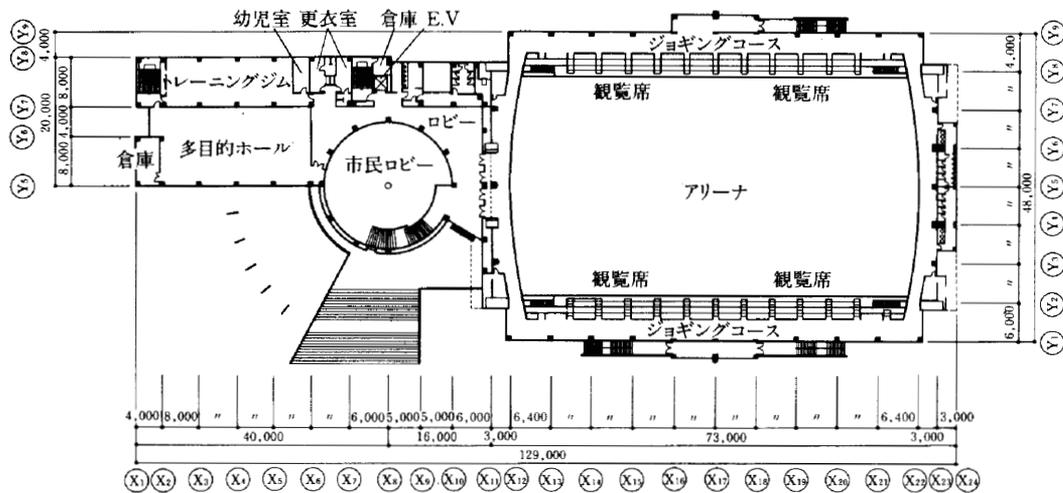
このような状況の中で、久喜市ではスポーツに対する関心も高く、スポーツ施設充実への要望に応え、市の中央に位置する13.9ヘクタールの敷地に総合運動公園の設置を計画している。ここで報告する当総合体育館新築工事はその総合運動公園の中核施設として建設されたものである。建物は、アリーナ棟、武道館棟の2棟により構成されている。用途としてアリーナ棟には主体育場、武道館棟には管理事務室、トレーニング室、多目的ホール、柔剣道場等が計画されている。

外壁はコンクリート打放し工法で、アリーナ大屋根は鉄骨主部材を鋼管としたトラス鉄骨構造を採用し、ステンレス円筒葺厚さ0.4mmを使用している。屋根自体の形状は、3次曲線によるダイナミックな構造となっている。特に、屋根の上屋と下屋を結ぶ3次曲面の開口部には、

* 東京建築(支)J.T住宅(作)工事主任

** 東京建築(支)ライオンズ千葉(出)所長

*** 東京建築(支)東京農業大学(出)副所長



図一 建物平面図

アルミサッシおよびアルミパネルが採用されているため、下地の鉄骨は相当の精度が要求されることになる。

§ 2. 工事概要

工事名称：久喜市総合体育館新築工事
 工事場所：埼玉県久喜市大字江面字大原1616
 企業先：久喜市役所建築課
 設計監理：岡・福原設計特別共同企業体
 施工：西松・三ツ和・和光特別共同企業体
 工期：平成4年1月7日～平成5年7月31日
 敷地面積：139,082.84m²（総合運動公園敷地）
 建築面積：5,108.10m²
 延床面積：7,989.22m²
 最高高さ：23.62m
 軒高：16.0m
 構造：アリーナ棟 鉄筋コンクリート造2階建
 屋根鉄骨造（鉄骨重量：460t）
 武道館棟 鉄筋コンクリート造（1,2階）
 鉄骨鉄筋コンクリート造（3階）
 鉄骨造（R階,屋根）
 仕上：外部 塗装合板型枠コンクリート打放し,および浸透性撥水剤塗布
 ラスタertイル貼
 屋根 ステンレス円筒葺厚さ0.4mm

平面図を図一に示す。

§ 3. パイプ構造の特徴

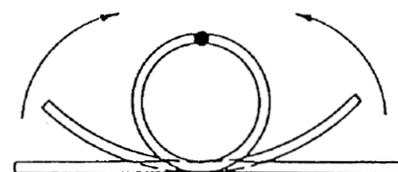
パイプ構造の特徴として以下のものが挙げられる。

①構造として単純明快でスマートである。

- ②美観的要素が強い。
- ③部材が丸いためにゴミやほこりがたまりにくく、さびの発生および進行の危険性が少ない。
- ④表面積が小さいために塗料の節約となる。
- ⑤屋外での風に対する抵抗が小さく、台風時にも安全かつ経済的な施工ができる。
- ⑥力学的特徴として座屈に最も有利な形状である。
- ⑦部材相互が直接溶接され、ガセットプレート等補助材が一切不要という利点もあって、鋼材使用量は一般的に形鋼による従来構造の60～80%といわれている。
- ⑧鉄骨重量すなわち建物の重量が軽くなることから、埋立地など軟弱な地盤上の建物では、基礎工事にかかる費用が大きく節約される。

以上のようにパイプ構造は多くの利点を有する構造物ではあるが、従来よりそれを採用した建物の施工事例は少ない。その理由としては、鋼管自身の製造方法並びに鋼管同志の接合法の難しさが挙げられる。

一方、最近になってパイプ構造による建物の施工が増加しつつあるが、これは溶接技術の著しい進歩によるところが大きい。すなわち、図二に示すように薄鋼板の縁を丸めて電気抵抗溶接する電縫鋼管の出現が、鋼管のコストダウンを成功させたためである。また、図三に示すように鋼管相互を相貫線に直接溶接する方法が開発され、接合部の問題も解決された。



図二 電気抵抗溶接接合

§ 4. アリーナ鉄骨構造の概要

アリーナ屋根鉄骨の大きさは、約70m×48mの平面形状をしている。その上屋は、高さ22.6mにおいて平行する2本の大アーチと、外側に湾曲した2本の大アーチから構成されている。さらに、それぞれの大アーチに直交、

斜交する梁によって接続された複数のトラス面によっても構成されている。下屋は、観客スタンド後方から外側へ湾曲し、大アーチの下端と直交するトラス梁から成っている。鉄骨屋根伏図を図-4に、鉄骨断面図を図-5に示す。

アーチ脚部および下屋トラス脚部は、当初ローラー接合された。特に、アーチ脚部は上下に杓を用いた支承形式となっている。ローラー接合時点には、鉄骨本体、母屋鉄骨、キャットウォーク等の荷重が作用しており、ジャッキダウンを行って水平移動を生じさせた後、杓廻りにクサビを入れピンで支持するようになっている。すなわち、下部の柱には水平力を生じさせない設計である。その後の仕上荷重に対してはピン支持の状態では荷重を受ける。仕上荷重および積雪、地震等による水平力は下部柱にて抵抗する構造形式である。

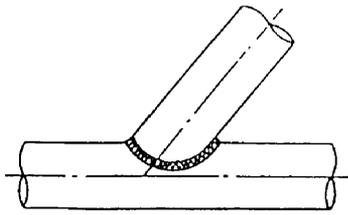


図-3 鋼管相互溶接

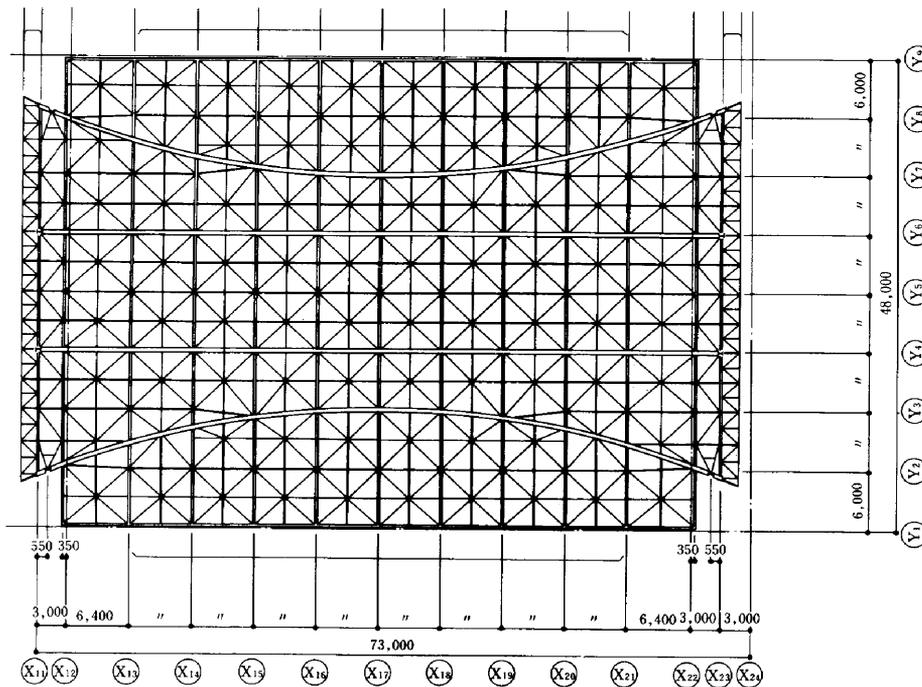
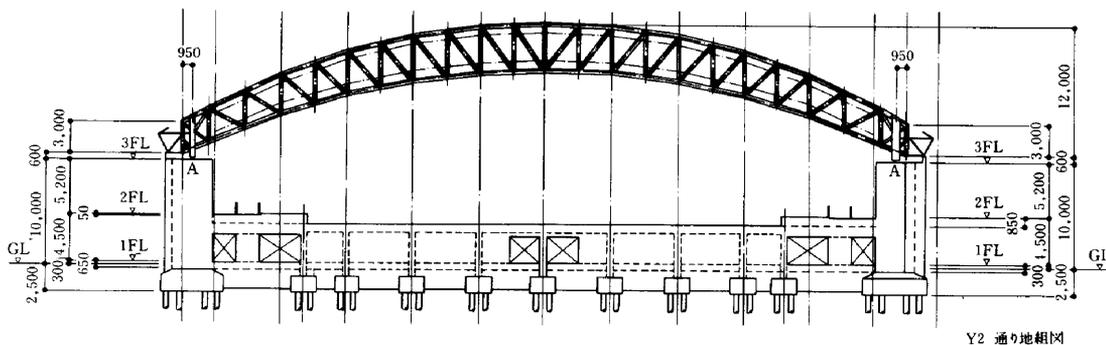


図-4 鉄骨屋根伏図



Y2 通り地組図

図-5 鉄骨断面図

§ 5. 仮設計画

以下に鉄骨工事の施工上の基本計画を示す。

- ①安全施工，工期短縮のため地組を最大限に行い，大ブロック化する。
- ②塗装工事は，現場接合を除き，上塗りまで工場塗装とする（サビ止め塗料を兼ねる仕上塗料材カラーラスゴンを使用）。
- ③建方時の安全対策としてワイヤーブリッジ方式による先行安全ネット張りを行う。

以上の点を留意し，鉄骨建方作業および大屋根部の天井取付作業における仮設計画について以下で紹介する。

すなわち，鉄骨工事においては，吊り足場にて作業床を作成した。アーチ断面が中央で4.5mと大きく，上屋部分については，2段の吊り足場を作成し，接合部の溶接，ボルト締めおよび塗装作業を行った。

アリーナの天井はシステム天井であり，上屋についてはメッシュ仕上，下屋についてはグラスウール仕上となっている。上屋の天井取付用の作業床として，吊り足場を使用しているが，足場吊りチェーンによって生じる塗装等のダメ工事は吊り足場解体後，高所作業車を使用して行った。下屋の天井取付用の作業床としては，足場の省力化を図るために数台の高所作業車を使用して天井取

付作業を行うとともに，観客席部分の天井については下から枠組足場並びに足場板を組んで作業床を作成し，天井取付作業を行った。仮設計画図を図-6に示す。

§ 6. 施工上の基本方針

6-1. 施工計画

大スパンアーチの建方工法としては，ステージ工法，リフトアップ工法などがある。当建物については，トラスの施工精度の良否が仕上げを含めた全体架構の品質に大きく影響するため，極力工場製作で行うことが決められた。アーチ断面が中央で4.5mと大きく，また3次元曲線の形状を有していることから，リフトアップを行う際にはアーチを分割し，仮受台によるステージを設けるベント工法が採用された。

6-2. 工場製作

アーチトラス材は，輸送可能最大の形状に分割製作する。また，製作段階で部分的に一体組を実施する。長さに対する精度は，製品，地組の両方で±3mmとした。屋根，建具等の受ピースなども製作図を作成する段階で十分な検討を加え，原則としてすべて工場付けとした。

6-3. 現場施工

①仮受台（ベント）の設置

大アーチ 1本を 2基のベントで仮受けし，大アーチ 4

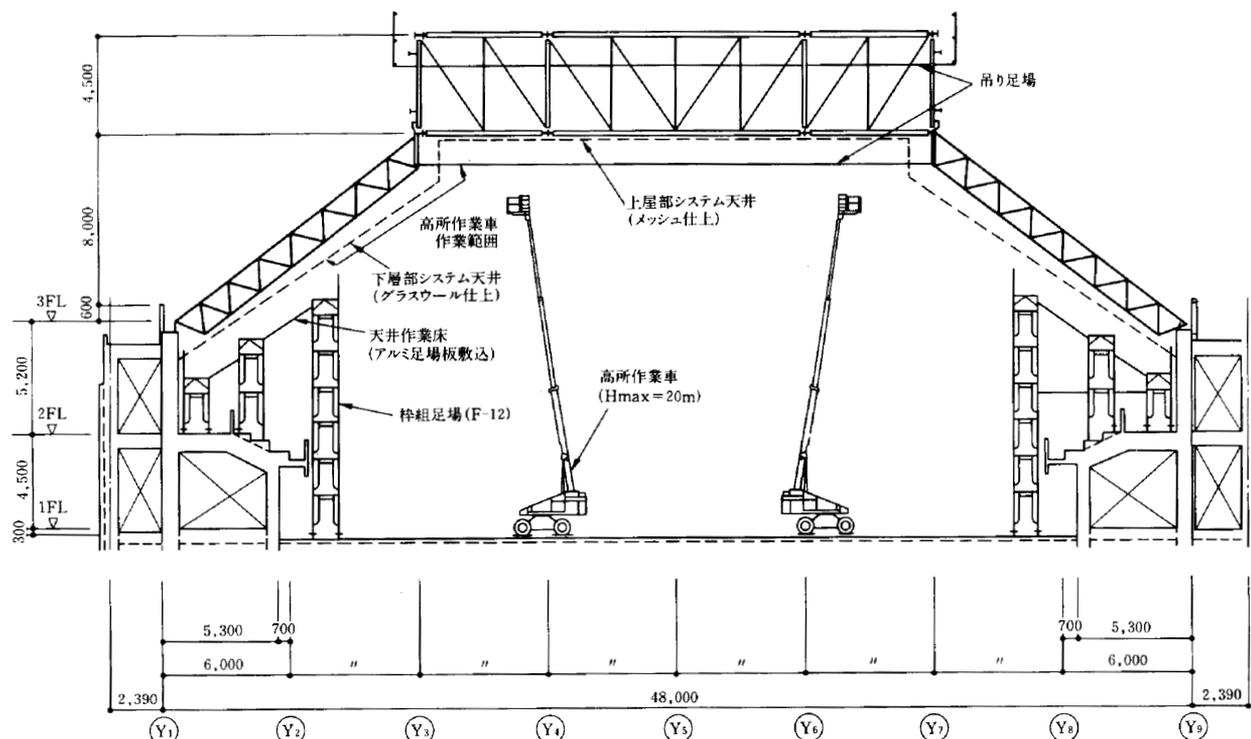


図-6 仮設計画図

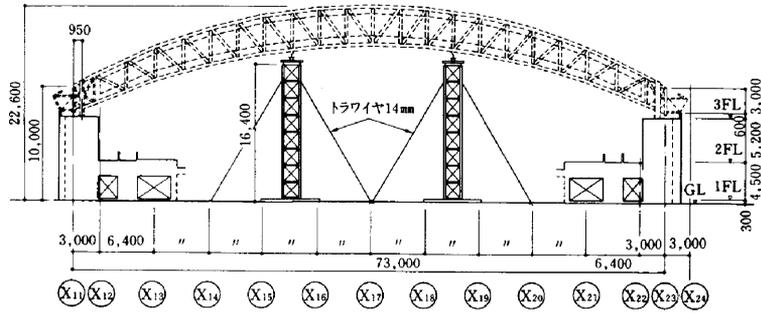


図-7 仮受台設置計画図

本で計 8基のベントを使用した。ベントの概要は以下のとおりである。

ケミカルアンカーを用いて基礎地中梁に締結したH鋼(H-400×400×13×21)を敷設し、その上にベント支柱(φ165.2×5.0, スタンス2.0mで4本建柱)を立上げ、周囲に繋ぎ材(L-75×75×6)および斜材(L-65×65×6)の構成で設置する。なお、スパン方向にトラワイヤを設け、風等による倒壊防止に備えた。計画図を図-7に示す。また、ベント機能設定に当たっては下記事項を考慮した。

- a. 大アーチおよび構造材の重量支持
- b. 架構(構造材)の変形防止
- c. 建方中の不完全な架構に加わる水平力(地震, 台風, 衝撃)に対する補構
- d. 建方完了後の撤去

②トラスの地組

本工事では鉄骨トラス製作工場から工事現場に至る間の輸送限界(道路制限)により、アーチトラスについては許容値(梁背または長さ)を超えるため分割して搬入され、架台を使用し建方に先行して地組を行った。なお、アーチトラスは面材を上下1/2ブロック(長さは12m程度)ずつにして搬入した。

地組工事は建方に先行して行い、かつ建方工事と位置的にラップしない計画とした。分割して搬入された部材を地組架台上にセットし、接合および接合部の溶接(または高力ボルト締)を行い、検査後建方に入る。また、地組架台は溶接(全姿勢)および高力ボルト締の姿勢を確保できる架台とした。地組図を図-8に示す。

③建方計画

本工事における鉄骨建方工事は、4本のアーチトラス

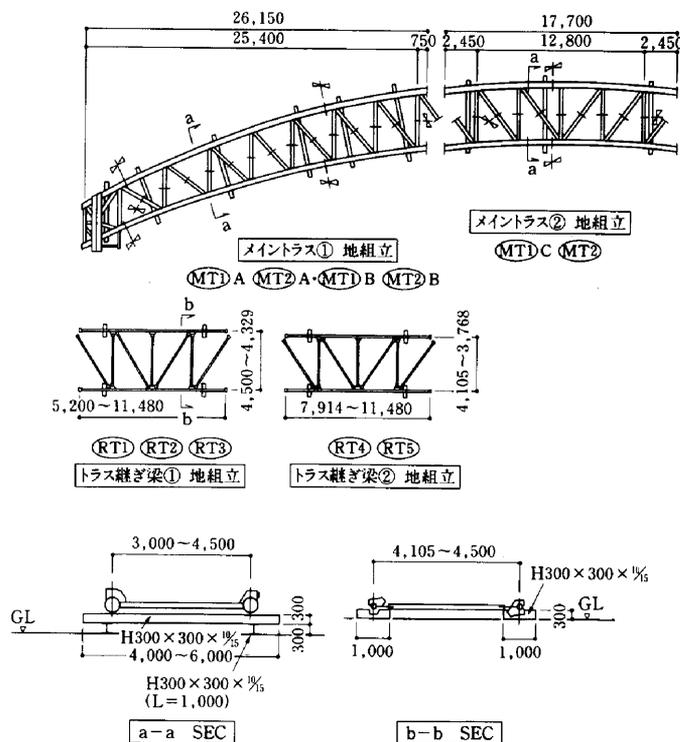


図-8 地組図

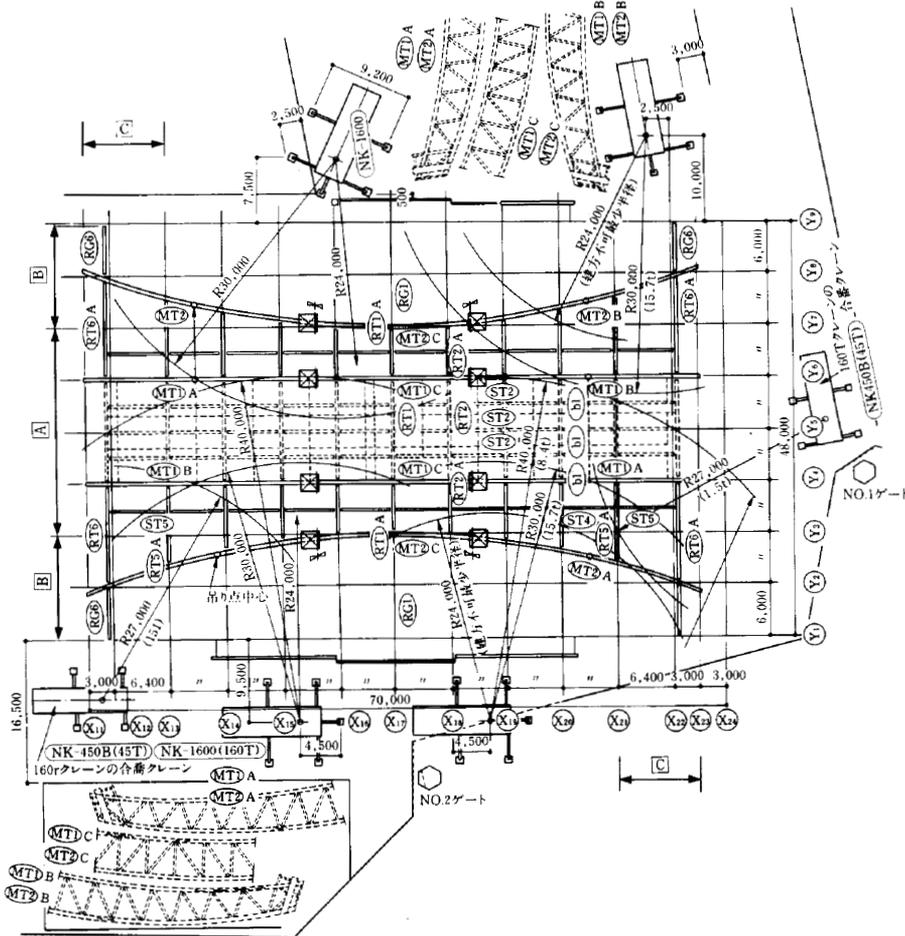


図-9 建方計画図

(スパン73m, 桁行48m, 以下MTトラスと略す)を周辺部支帯で両端部を支持する。また、主要構造部はMTトラス, 下屋の主要梁であるRGトラスおよびMTトラス間を繋ぐRTトラスにより構成される。母屋は、RTトラス間を繋ぐSTトラスにより受けられ、屋根材を受ける構造となっている。

建方は建物全体を3工区(A, B, Cゾーン)に分け、建物外周部から160t, 45t等の油圧クレーンを配置し建方を行った。160tクレーンにてMTトラスおよび繋ぎ梁(RTトラス)を合番クレーンにて行い、45tクレーンにて下屋梁および軒梁の建方を行う計画である。

まず、両側より地組されたMTトラスをベント上に置く。そして、MTトラス同士を繋ぐサブトラス(RTトラス)の建方を行う。サブトラス自体でも幅3.5mを越えるため、地組をした後建方を行った。次に、サブトラスの建方が終了した時点で建入れ調整をし、第1段階の本締および溶接を行った。Aゾーンの建方終了後、続いてMTトラスに直交するBゾーンの側トラスの建方、引き続きCゾーンの軒梁の建方を行った。各ゾーン建方完了後、順次本締および溶接を行った。

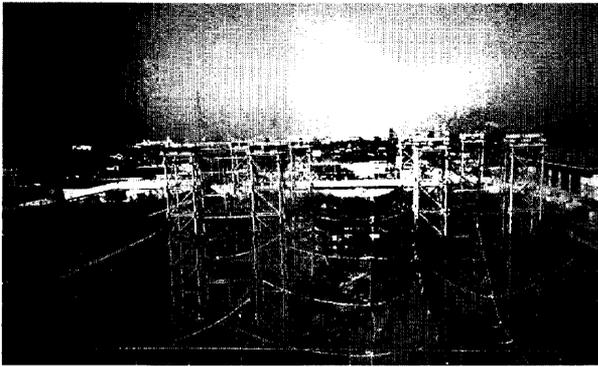
建方の実施工期として年末年始休暇を含め、ほぼ2ヶ月を要した。建方計画図を図-9に示す。また、建方の状況を写真-1~写真-4に示す。

④ジャッキダウン

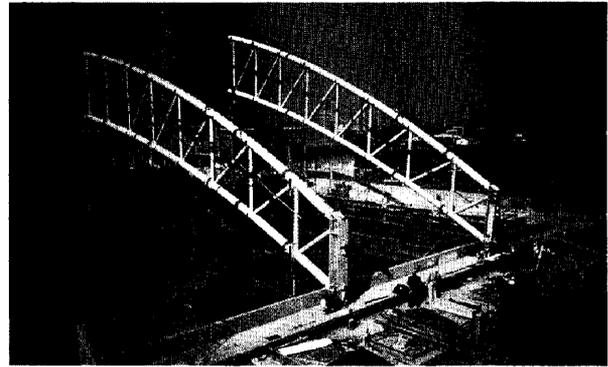
ジャッキダウンは、平成5年1月21日 10時~13時に久喜市役所、設計事務所、当社技術研究所およびJV関係者立ち合いのもとに実施された。

ジャッキダウンは、全部材の建方および所定の溶接並びに高力ボルトによる本締作業終了後、ベント支点のジャッキ8台を同時に数回に分けて行い、荷重を解放させた。なお、この時のアーチトラス中心部の最大ダウン量は11cmと予測されていたため、今回は7回に分けてジャッキダウンを実行した。また、ジャッキダウン時において、たわみによりサブトラスが回転し、不要な内部応力が発生することが予想された。これを防ぐために母屋および下屋プレースを仮ボルトによって仮固定しておき、本締はジャッキダウン完了後行われた。

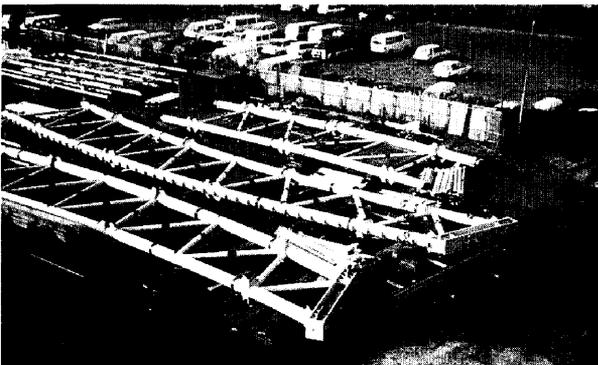
ジャッキダウン1回ごとの変形量を管理コントロールするため、測定機材および無線機を使って集中管理を行った。測定結果については次に述べる。



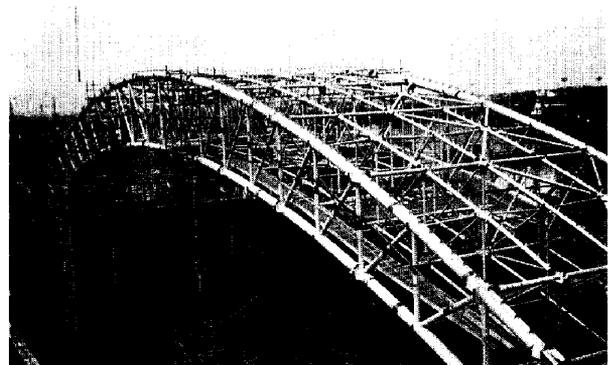
写真一 べントおよび安全ネット設置状況



写真三 鉄骨建方1



写真二 地組状況



写真四 鉄骨建方2

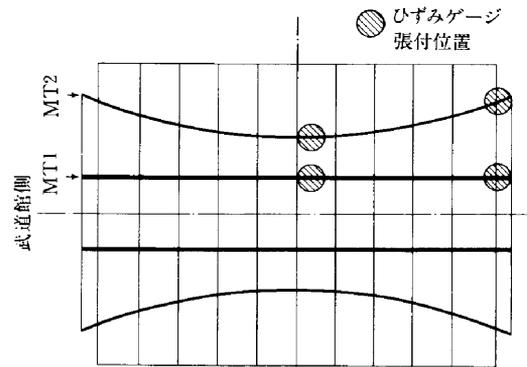
§ 7. 測定報告

7-1. 測定計画

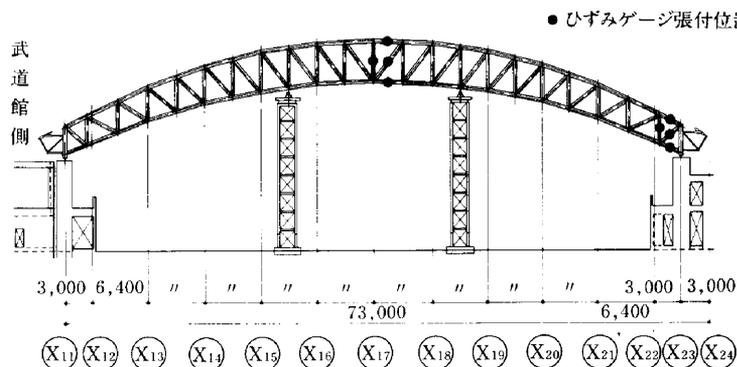
アリーナ大屋根鉄骨トラスのジャッキダウン時、および大屋根仕上完成時における屋根の変形量と鉄骨各部分のひずみ量の測定は、久喜市建築課、設計事務所指導のもと、当社技術研究所が主管となって実施された。なお、測定位置は図一10～図一12に示すとおりである。

7-2. 測定結果

ジャッキダウン時にトラスの各部材に加わる軸方向応力は、一部の部材を除いて設計軸力のほぼ60～70%程度



図一10 ひずみ測定位置図（平面図）



図一11 ひずみ測定位置図（立面図）

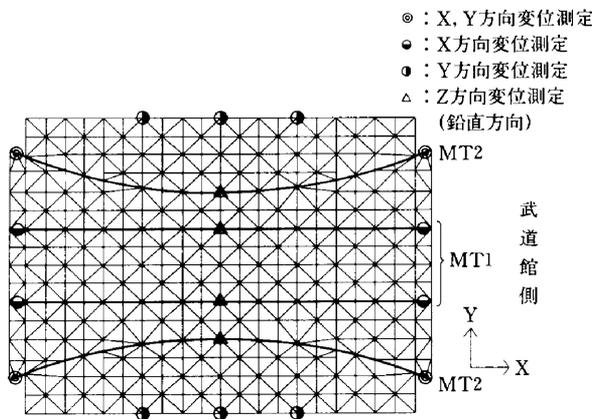


図-12 変位測定位置図（平面図）

の範囲にあった。一方、設計軸力を越える応力が発生した部材でも長期許容圧縮応力度および長期許容引張り応力度と比較すれば、その値は十分小さく、構造上問題にならないものと判断された。また、ジャッキダウン時における各支承部変位量は、設計値の約60%程度であった。

大屋根仕上完成時におけるひずみ測定結果として、トラス部材に加わる軸方向応力は、設計軸応力と良好対応

を示した。さらに、設計軸力が100tを越す部材では、最大でも設計値の85%になっていた。

設計値が小さな値の部材においては、圧縮・引張逆方向の応力状態を記録したり、設計値の数倍の応力を記録したものもあるが、これらの応力度は許容応力度と比較して非常に小さな値であり、構造上なら問題となるような値ではなかった。詳細については、「総合体育館(仮称)建設(建築)工事、アリーナ大屋根の変形量ひずみ量測定、最終報告書(当社、技術研究所編集)」を参照されたい。

§ 8. おわりに

当総合体育館は、平成5年8月1日に無事柿落としを迎えるに至った。これもひとえに現場関係各位の努力の賜物であるが、現場開始以前より関係して頂き、技術的支援・指導を頂戴した本社建築部有坂副部長、建築設計部後藤副課長には、深く感謝致します。

最後に、本工事の施工に当たり、御指導・御尽力を頂いた久喜市建築課、岡設計、福原設計事務所の皆様に厚くお礼申し上げます。