

複雑な曲面を持つ大スパン 空間構造の鉄骨(東京体育館)の製作検討

Steel Fabrication for a Large-Span Space Structure with a Complicated Curved Surface—the Case of Tokyo Metropolitan Gymnasium

鳴 澤 明 雄* 清 沢 勝 登** 高 嶋 隆 志***
Akio NARUSAWA Katsuto KIYOSAWA Takashi TAKASHIMA

Summary

Tokyo Gymnasium is a large-space structure consisting of a large-span arch and trusses. The total structure has a complicated three-dimensional curved surface.

This paper reports on the problems involved in the fabrication of the steel parts for this structure and the measures taken to overcome them.

1. まえがき

東京の明治神宮外苑に、1991年に開催予定の国際競技大会会場として使用する東京体育館の建設が進められている。

この建物は大アーチとトラスにより大空間を形成する構造で、全体が曲面となる建築物である。

当社は本工事の鉄骨製作・建方を受注し、現在工場加工も終盤に近づいているが、形状が複雑なため鉄骨加工図作成についてみても約2ヶ年を費やした難工事であった。

本稿においては、このような複雑な鉄骨加工における問題点と、その対策について、加工図作成を主に報告する。

2. 工事概要

工事概要を以下に示す。

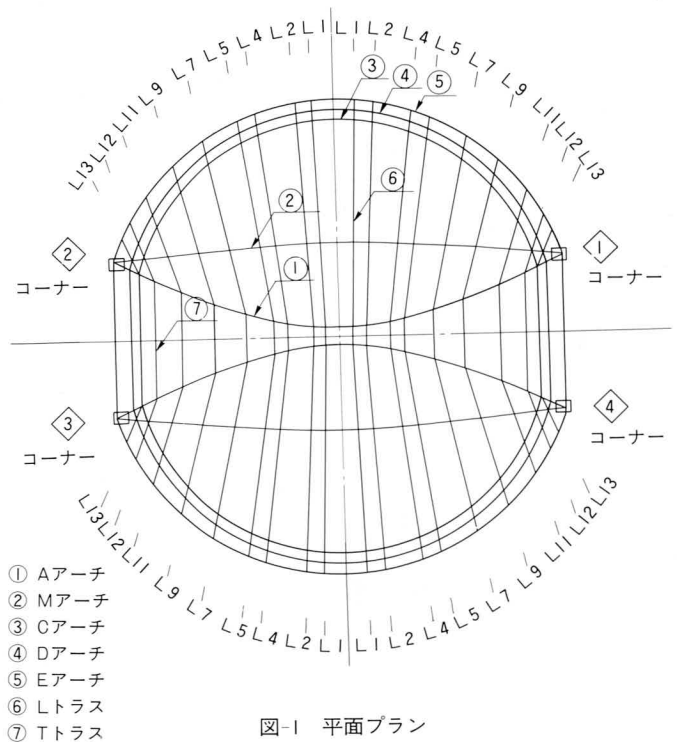
工事名称 東京体育館改築工事
工事場所 東京都渋谷区千駄ヶ谷1-17-1
施 主 東京都
設計・監理 (株)楨総合計画事務所
(株)木村俊彦構造設計事務所
工事監理 東京都財務局営繕部
施 工 清水・東急・鴻池・大日本・勝村・小川

建設共同企業体

鋼 重 約3000 t

製作期間 昭和62年5月～平成元年4月

この建物はコーナー柱4本の上にAアーチ、Mアーチが架かり、各々をLトラス、Tトラスで結び、その外周をCアーチ、Dアーチ、Eアーチで囲う構造となっている。平面プランを図-1に、全体模型を写真-1に示す。



* 松本工場製造部製造管理課長 *** 松本工場製造部生産設計課
** 松本工場製造部生産設計課

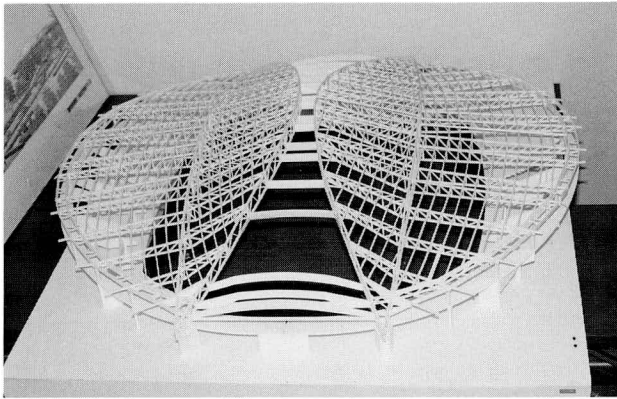


写真-1 全体模型

3. 設計図

本工事の設計図は、意匠図、構造図共に曲面立体構造を表すために、位置が立体座標で示されている。この結果主構造相互の関係、附帯工事の関係は加工図・原寸にてX・Y・Zの座標を基に決定しなくてはならない。

又原寸においては、展開しながら形状を決定しなければならず、しかも意匠的な美観、機能に関する形状についてはその都度設計変更となり、設計図に記載されていない箇所は設計事務所がイメージする形を作図して何回も打合せしながら決めるという長期間の作業であった。

このような打合せの中で、工場製作上少しでも加工しやすい方法を提案し、検討を行い実施した事項を以下に述べる。これらの決定に当っては、設計者の鉄骨に対する前向きな姿勢と、当社の提案に対して御理解があったことを付け加えさせていただく。

(1) 工場製作を容易にした方法

(a) エンドタブの省略

一般に突合せ溶接部の始端および終端には、母材と同厚、同形状、同材質の鋼製エンドタブや固形フラックスタブを取り付けて溶接しなければならない。

本工事に於いては立体を構成するため、部材が複雑に取り合い、エンドタブの形状がすべて異なり又外観上からみても好ましくないのがウジング・廻し溶接工法を提案した。採用にあたっては施工試験で確認を行い、承認を受けた。試験内容と試験体形状を表-1、図-2に示す。

(b) 裏当て金の2枚割り

主材のロールH形鋼が交差する箇所の溶接は、ウェーブにスラップを取りフランジの突合せ溶接をすることになるが、交叉は直角でなく曲面に合わせる為、すべて

表-1 溶接端部処理(廻し溶接)施工試験内容

試験内容	母材の板厚・材質	溶接方法	試験項目	
レ形突合せ 下向き (溶接線直角)	R-36 S M50 A	CO ₂ 半自動 溶接	廻し溶接処理 6体 (ガウジング有)	外観検査 放射線透過試験 引張試験 曲げ試験 マクロ試験
			廻し溶接処理 3体 (ガウジング無)	
レ形突合せ 下向き (溶接線斜)	R-36 S M50 A	CO ₂ 半自動 溶接	廻し溶接処理 1体 (ガウジング有)	外観検査 放射線透過試験 引張試験 曲げ試験 マクロ試験
			廻し溶接処理 1体 (ガウジング無)	

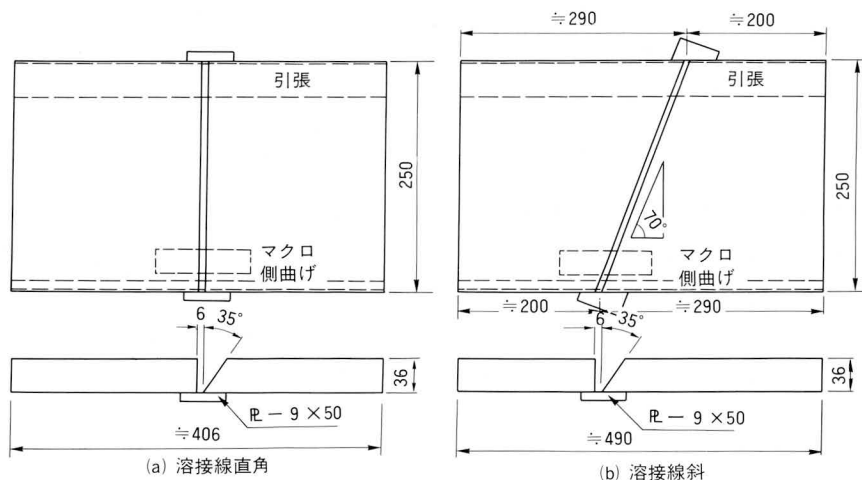


図-2 試験体形状

のスカラップの大きさが異り、加工するにも仕上げ等の問題もあり、この部分の溶接はスカラップを取らないで裏当て金2枚割り工法を提案し採用された(図-3)。

しかし、裏当て金の長さや部材の切断角度が多種類となり工数が増加することになった。

(c) 斜材ウェブのプレート加工

弦材を弱軸方向で使用している為、斜材のウェブを弦材に差し込む形となり、フランジの開先加工を行う際ウェブにノッチが入り易くなる。この為斜材は、フランジとウェブをそろえて切断し、弦材へ差し込むウェブはプレートで組立て溶接を行った(図-3)。

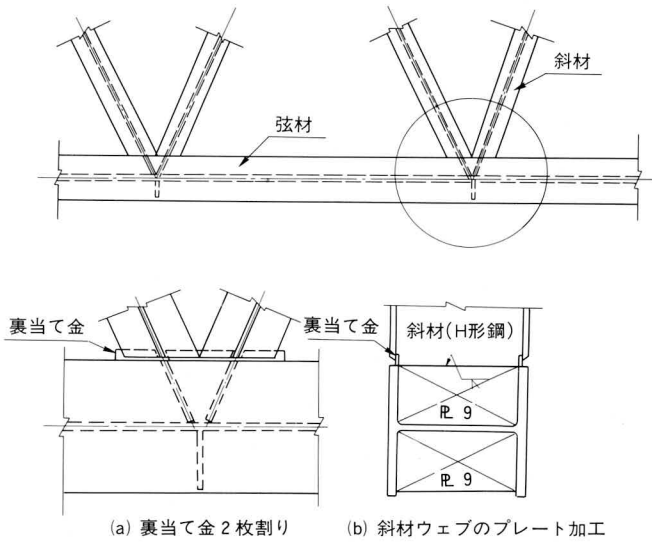


図-3 弦材と斜材の交叉部詳細

(d) Aアーチ尻、Lトラス尻のプレート加工

Aアーチ尻、Lトラス尻は、主材の終結部となっているので、C、Dアーチの取合部が狭くなり、溶接の不可能な箇所が発生する。そこで、端部を主材断面に合う様なプレート加工とした。特にAアーチ尻は複雑に入り組む為、組立順序、溶接順序を加工図に特記した(図-4)。

(e) C・Dアーチの構造変更

C・Dアーチは、Cライン、Dラインの勾配が違うので、高さがそれぞれ異なり、一体化するには組立作業を治具を変えながら立体的に行なわなければならない。この為CラインとDラインの部材を別々に製作できるように、斜材の溶接接合をHTB接合に変更することを提案し、採用された。これにより、工場製作は平組で組立可能となった(図-5)。

(f) A・Mアーチ格点部の工場継手変更

A・Mアーチの格点部の垂直材には、Gコラムが使用

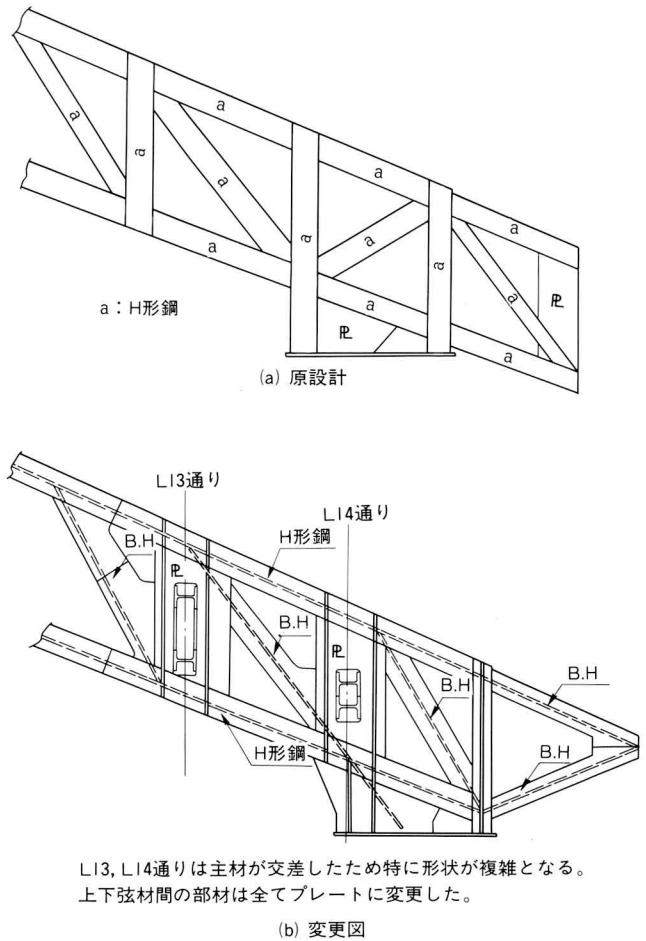


図-4 Lトラス尻変更図

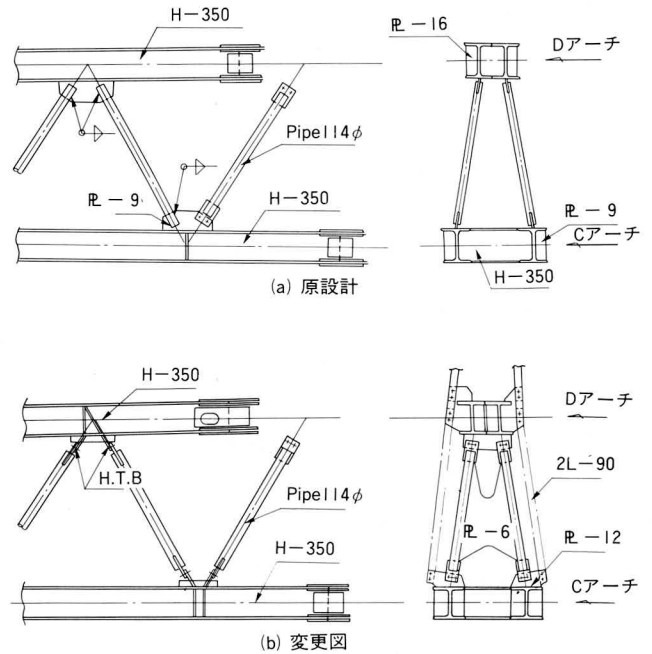
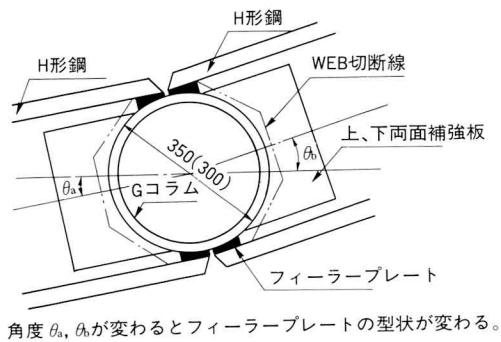
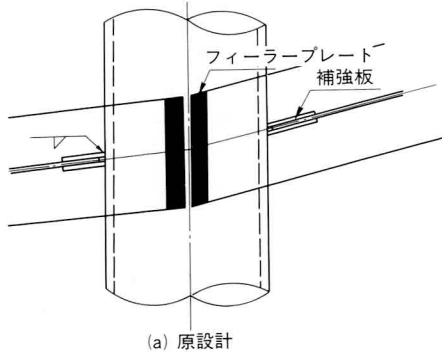


図-5 C・Dアーチ構造変更

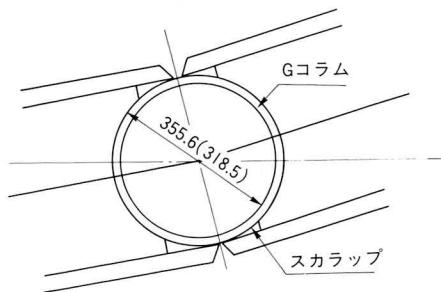
されており、そのGコラムに弦材のH形鋼が弱軸で曲面に沿った角度で取り合う構造となっている。原設計では、弦材のウェブを切り欠いてカバープレートで補強し、Gコラムの外径とH形鋼の内寸法の差はフィーラープレートで調整する構造となっている。この方法は、弦材の角度によりフィーラープレートが多種類となるので、Gコラム外径をH形鋼のフランジ内寸法に合わせ、フィーラープレートを省略して溶接する方法を提案した(図-6)。



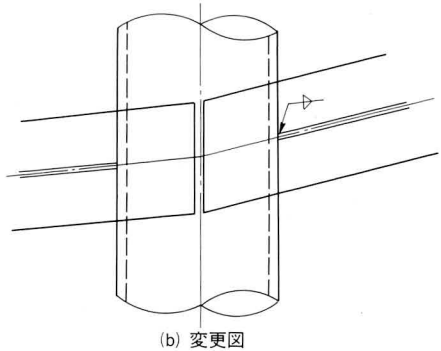
角度 θ_a , θ_b が変わるとフィーラープレートの型状が変わる。



(a) 原設計



フィーラープレートを省略しGコラム径をH形鋼内寸法と同じにする。



(b) 変更図

図-6 アーチ接点部継手

(2) 加工図作成上の問題点

(a) 屋根面の構成と母屋

構造体は、部分的に直線で全体的には曲線をなしており、その上に曲面の屋根を形造るため、下地となる母屋の設計は複雑を極めた。

屋根面には次の要素がある(図-7)。

- ① A、B、C、Dの高さ
- ② AC間とBD間の間隔
- ③ ABとCDの勾配
- ④ ABとCDの長さ

以上が全部異なる値となる事により、トラス間に入る母屋の製作には次の問題が発生した。

- ① 母屋の長さがすべて違う。
- ② 母屋端部の切断角度が違う。
- ③ 母屋に取付くピースの割付け寸法が違う。
- ④ 母屋に取合うピースの角度が違う。

これらの事により、母屋は一品一様となりすべての取り付け位置を電算処理で、座標を求めなければならない。

又この母屋には、天井吊り、キャットウォーク吊り、照明設備関係のピースが取り付けが、この位置は取合の角度、製品の取り付け位置、高さ、長さ等を考慮して5~6項目の計算を必要とする。しかもけがき作業用の定規、型板も多種類となり作成、区分けに注意を必要とした。

母屋の定規作成のための計算例をAアーチからMアーチ間について記す(図-7)。

隣接するLトラスの若番側を L_i トラス、老番側を L_j トラスとすれば、Aアーチ、Mアーチ、 L_i トラス、 L_j トラスのそれぞれの芯線によって、3次元空間にねじれた四辺形が出来上る。この四辺形の L_i トラス、 L_j トラス間の母屋の長さを表-2の手順により計算する。

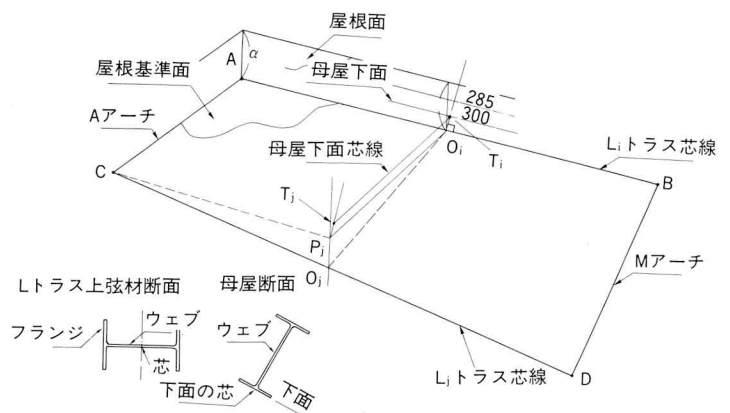


図-7 屋根面概要図

表-2 母屋の計算手順

手 順	計 算 方 法
1. L_1 、 L_2 トラス芯線を定義する。	2点を通る直線の式。 ①
2. L_1 、 L_2 トラス芯線を通る鉛直面を定義する。	2点を通る平面（鉛直面）の式。 ②
3. 屋根基準面を定義する。	3点を通る平面の式。 （A～Mアーチ間の場合、図-7のA、B、C点を通る平面） ③
4. 屋根面を定義する。	（屋根面は、屋根基準面から鉛直に測って α の高さをもち、屋根基準面に平行な平面） ③の方程式の定数項のみ異なった平面。 ④
5. 母屋下面（H形鋼下フランジの下面）を定義する。	（母屋上面は、屋根面から直角に285mm下がった平行面で、下面はさらに300mm下がった平行面） ④の定数項から、(285+300)を引いた平面。 ⑤
6. XY平面において、 L_1 、 L_2 トラストと母屋芯線との交点を求める。それぞれ O_1 、 O_2 点とする。	（XY平面内において、母屋群は、同心円の弦、Lトラスは円の中心を通る直線で定義されている） （XY平面における）直線と円の交点。
7. 屋根基準面と、 O_1 点を通る鉛直線との交点 P_1 を求める。	x、y座標は、 O_1 と同じだから、④の式からz座標のみ求める。
8. 母屋ウェブ面を定義する。	2点（ O_1 、 P_1 点）を通り、屋根基準面に直角な平面。 ⑥
9. 母屋両端の点（ T_1 、 T_2 点）を求める。	3平面の交点。 （②の鉛直面と、⑤の平面と⑥の平面の交点である。）
10. 長さを計算する。	T_1 ～ T_2 間の長さ。

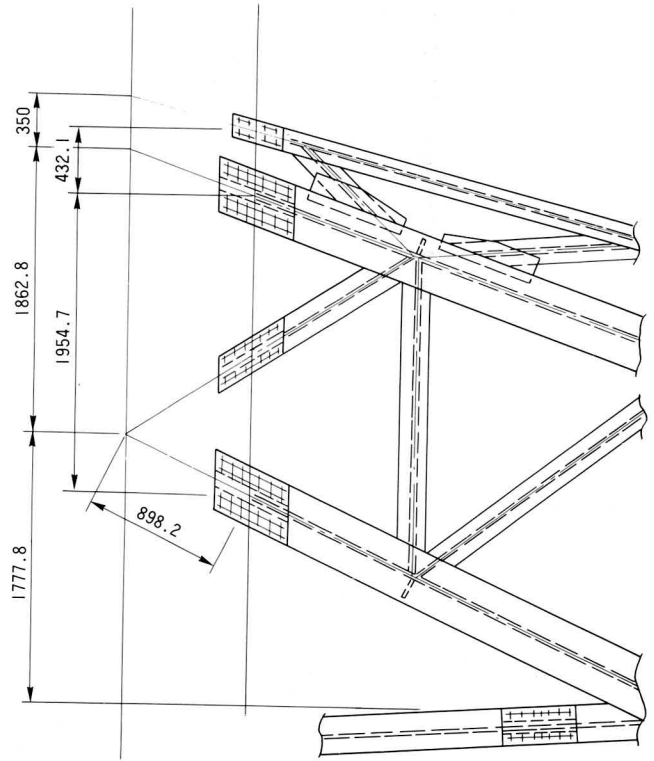


図-8 現場継手

4. あとがき

本工事は加工図作成の段階での検討事項が多く、良い製品を安く作り、より機能的な建物にするため設計者と一体となって問題解決に取り組んでできました。そして施主、設計者の要望に沿える様多大の労力を投入してきました。良かった点悪かった点等沢山ありましたがこれらを反省して次の仕事に役立てたいと思います。

今回は設計図を基にした加工図作成の為の問題点を記述しましたが、工場製作と現場架設については次回に報告します。

(b) 現場継手形状

現場架設方法が、アーチ、トラスともトラッククレーンによる上からの落し込みで、すべての現場継手は鉛直となり、同部材でも角度の関係で主材の切断角度、添接板の形状、ボルト穴位置がすべて異種となる。また輸送可能な大きさを分割したため、継手数も増加した（図-8）。

グラビア写真説明

西新宿Kビル 昭和63年11月に竣工し、「西新宿木村屋ビルディング」となった。名前から分るように、明治2年に我国で初めてパン店を開いた木村屋総本店が、創業120年記念事業の一環として同社新宿工場跡地に建設したインテリジェントビルである。この建物の特徴は、その平面形状が敷地の関係と、ビル風対策も考慮してユニークなダイヤモンド形（菱形）になっていることである。このことから、鉄骨の柱は全て遠心力鋳鋼管（Gコラム）が使用された。なお、敷地の約50%を公開空地として、緑豊かな憩いの空間を造り出している。（永瀬）