

【技術ノート】

EXPO'85サントリー館鉄骨工事

Steel Works of SUNTORY Pavilion in TSUKUBA EXPO'85

梅澤宣雄*
Nobuo UMEZAWA

浅利徳雄**
Tokuo ASARI

曲率を有する水平長さ 34 m, 短辺方向は直線長さが 1

1. まえがき

サントリー館のテーマ¹⁾は“鳥たちのいのち、私たちの明日”である。これは昭和48年から展開している「愛鳥キャンペーン」の思想に基づいている。

パビリオンは図-1に示すように、展示・映像・サービスの三つのゾーンから構成されている。展示ゾーンは森の中を散策しているようなイメージでまとめられ、珍鳥を自然の生態そのままにジオラマ手法（精巧な情景模型）で展示したり、エレクトロ技術を駆使した小鳥の大コーラスなどが回廊状に設けられている。この展示ゾーンに囲まれて映像ホールがある。ここにはカナダのIMAX社の開発した縦26m×横35mの単一スクリーン方式では世界最大の巨大映像システムが導入されている。

パビリオンの外観は、美しい自然環境を取り戻したいという願いをこめて、全体をやわらかな曲面だけで構成し、あたかも会場の中に丘陵が出現したようなイメージをつくっている。

設計当初に意図された曲面は、木造ラチスシェル+膜構造であった。しかし、木材の強度や防災上の問題等により、最終的には張弦梁構造²⁾ (Beam String Structure, 略称BSS) による立体架構が採用された。

ここでは、曲面を有する立体架構の鉄骨工事の概要について報告する。

2. 工事概要

工事概要を表-1に示し、建物の構成を図-1および図-2に示す。

中央部は長辺方向は2辺が半径50mおよび40mの

表-1 工事概要

名 称	サントリー館
所 在 地	茨城県筑波研究学園都市科学万博会場内
企 業 者	サントリー㈱
設 計	国際環境研究所(IIE)
構 造 設 計	TIS & Partners + 日大斎藤研究室
総 合 施 工	㈱竹中工務店
鉄骨製作	川田工業(㈱)
監 理	IIE + TIS
用 途	展示・映像パビリオン
建築規模	階数 地上2階、地下1階
建築面積	2,420m ²
延床面積	3,234m ²
構造種別	張弦梁構造
総鋼重量	360t(3,080P, 117kg/P)
使用鋼種	STK50, STK41, SS41
接合方法	工場、現場：溶接及び高力ボルト
工 期	1984年2月～9月

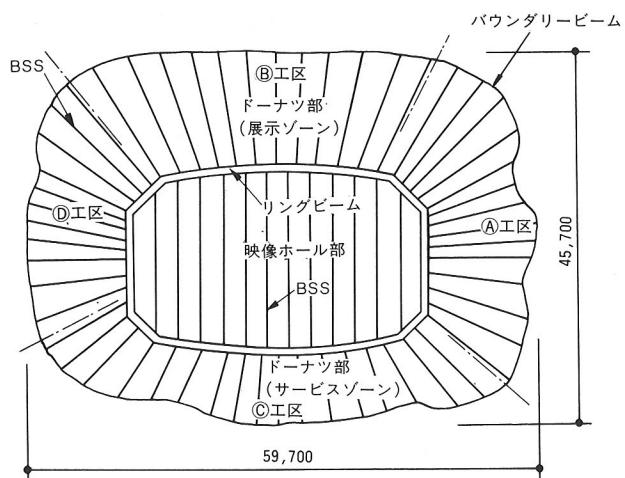


図-1 平面配置図

* 川田工業(㈱)木工場設計課課長 **川田工業(㈱)木工場生産技術課係長

8.4 mで、最大スパン 25 mを有する平面形であり、最高高さが 23.9 mの楕円球面状の屋根形式である。また、ドーナツ部はスパン 6~16 m、高さ 13~23 m の逆さカテナリーの連続曲面構造となっている。

映像ホールと展示・サービスゾーンを間仕切る壁構造は、1階部分がRC壁式構造で、2階部分は2重の鉄骨プレース構造である。壁頂部は2本の鋼管の曲げ加工したリングビームを全周に配置してある。リングビームは壁の面外方向に対してローラー支持（支承面はt=5 mmのテフロン板使用）、面内方向に対してはピン支持になっている。

映像ホールの屋根は10本の張弦梁が主構造になっている。張弦梁はリングビームにピン支持で支えられ、ビームには曲げ加工した鋼管、ストリングにはターンバックル付の丸鋼、ストラットには鋼管が使用されている。また、ドーナツ部の屋根は映像ホール部と同様に、54本の張弦梁から構成されている。この張弦梁は内周端部は壁頂点のリングビームにピン支持され、外周端部は三角錐支柱（鋼管と鋼板で構成）とそれに連結するバウンダリービーム（鋼管を三次元曲げ加工した梁）にピン支持されている。

3. 構造概要

本パビリオンの基本計画の最大のポイントは、前述の出展構想、巨大スクリーンを納める内部空間およびならかな自然曲面を具現化することであった。そこで採用されたのが、A・ガウディにより考案された「逆さカテナリー」による自然曲面構成の実験的空間形成手法で

あった³⁾。

この自由曲面構成を得るために、種々の模型実験による検討がなされた。最終的には、図-3に示すように張弦梁構造を連続配置して自由曲面を構成し、かつ、外力に対して平面骨組タイプの構造型式が採用された。すなわち、なめらかな曲線である「逆さカテナリー」は鋼管を曲げ加工した曲がり梁で構成する。また、スクリーンへの映写に影響ない空間を利用して配置した弦材（ストリング）は、風荷重に対して曲がり梁の変形を拘束して曲げ応力を少なくする役割をもっている。

構造解析のモデルは次のようにして決定した。まず、設計者が決定したカテナリーによる自然曲線の支持2点と頂点を模型から測定して決定した。次に、その結果を基にして式(1)に示す双曲線を使用して断面形状での近似式を作り、電算機に記憶させた。

$$f(x) = -A \cosh \{(x - B)/A\} + C \quad (1)$$

この結果と、各々のカテナリーの平面配置角度を入力

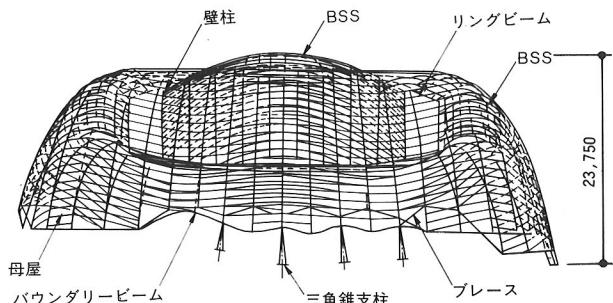


図-3 カテナリー曲面の構成

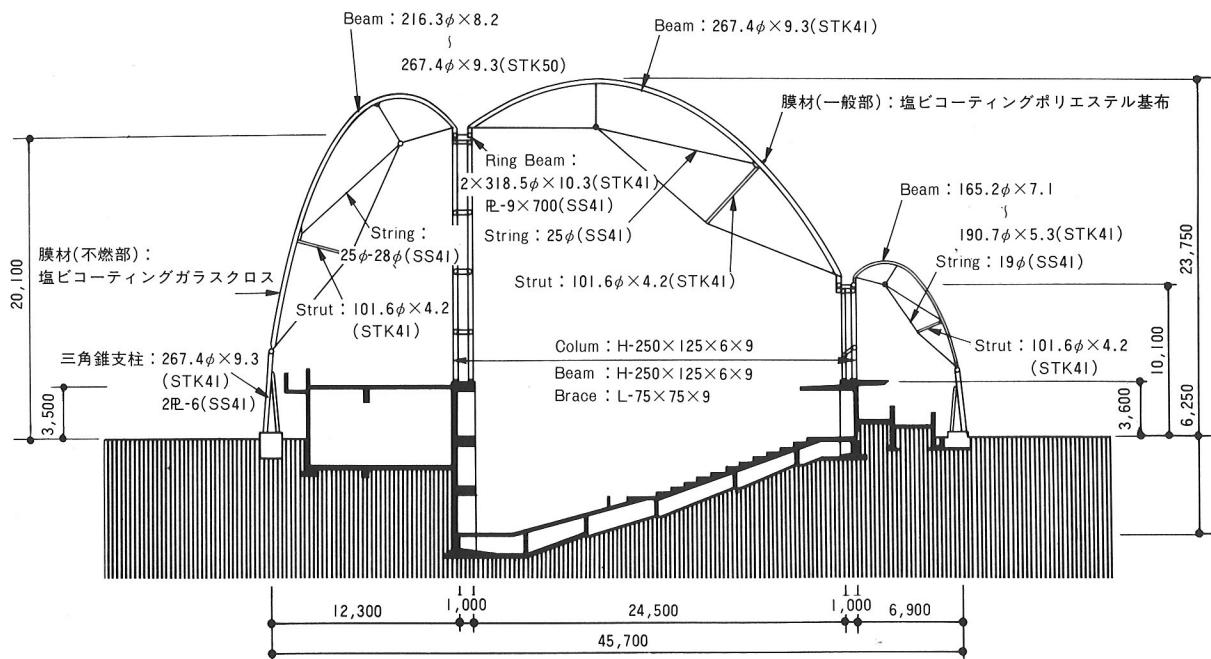


図-2 構造要素と使用部材

することにより座標変換を行ない、立体骨組を構成して解析モデルを作成した。

また、この双曲線による逆さカテナリーは、材長500間隔で座標を三次元で出力し、鉄骨の製作時に利用した。

本建築物で採用された張弦梁構造は、鋼管による曲がり梁と鋼棒による引張材を組み合わせた平面骨組構造である。自重に対しては曲がり梁の圧縮力で抵抗し、面内の風荷重に対しては鋼棒の引張力ができるだけ抵抗し、曲がり梁の曲げ応力の発生を抑えるようにしている。

曲がり梁は2m間隔の母屋材と8m間隔のプレース、ストラット（引張材の中間支点）は隣接する張弦梁と結合させており、面外の横倒れ防止と全体剛性の確保につとめている。

4. 鉄骨の製作

(1) 製作上の問題点とその対策

本建築物の鉄骨は、壁柱、リングビーム、張弦梁（BSS）、バウンダリービーム、母屋とプレースから構成されている。これを一般的な鋼管構造と比較した場合、次のような特徴がある。

- ① 鋼管を曲げ加工した曲がり梁で構成された張弦梁構造である。
 - ② 64本の張弦梁は各々違ったカテナリー曲線を有している。
 - ③ 鋼管を三次元曲げ加工したバウンダリービームとリンクビームがある。
 - ④ 母屋とプレースは空間座標で取りつく。
 - ⑤ 張弦梁の建方方法と建方精度を検討する必要がある。
- このような特徴のある鉄骨を従来の方法で製作することは、精度と工期ともに不可能であることがわかった。そこで、上述の問題点を解決するために次のような方法を採用した。
- ① カテナリー曲線を数個の単円の連続曲線に置き換え、曲げ加工精度と鉄骨製作精度の確保をはかる。
 - ② 各部材座標、部材長や部材取付角度は電算機を利用して算出する。
 - ③ 工作図や現寸型板を自動製図機を利用して作成する。
 - ④ 鋼管の曲げ加工精度と張弦梁の建方を検討するためには、張弦梁1本製作して試行実験を行なう。

(2) 鉄骨の製作

張弦梁の試作の結果、前項に示した方法を採用すれば、曲げ精度も製作精度も十分確保されることがわかった。そこで、実際の鉄骨の製作は次のように行なった。

- ① 鋼管の曲げ加工は曲率の小さい部材に対しては冷間、曲率の大きい部材に対しては熱間の各加工方法を使いわけた（写真-1）。
- ② 曲げ精度は応力計算の結果より、楕円化率（真円度）



写真-1 鋼管の曲げ加工

を5%以下とした。

- ③ 鋼管が3方向から取り付く箇所はボールジョイントを使用した。その上、鋼管端部にレジューサーを使用して径を小さくし、ボールジョイントがあまり大きくならないようにした。
- ④ 組み立て作業は全て定盤現寸上で治具を利用して横組み立てを行なった。
- ⑤ 溶接完了後の部材は定盤現寸上にセットして加熱矯正してその精度を確保した。
- ⑥ 張弦梁と母屋およびプレースのスパン調整は、取合いガセットプレートの長孔で対処した。

5. 鉄骨建方

(1) 建方上の問題点とその対策

張弦梁は単体としては非常にたわみやすく、また、面外の安定性に問題があった。そこで、応力解析や建方実験の結果、次のような方法をとった。

建方には写真-2に示すように、45t トラッククレーン1台を用い、張弦梁の中間部を二点吊りとし、まず上端の支持位置を仮ボルトでセットする。次に、下端はチルホールで水平方向に力を加えながらクレーンを徐々にゆるめて所定の支持位置にセットする。

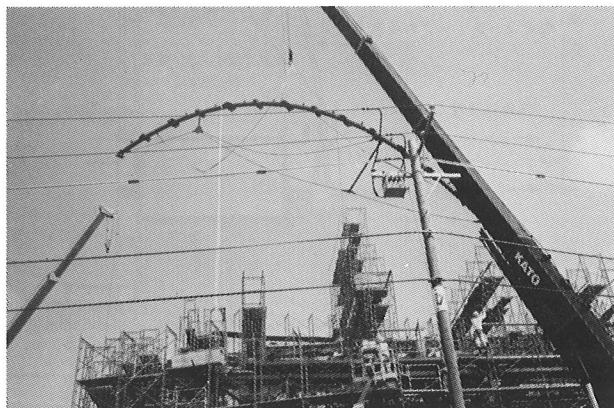


写真-2 張弦梁の建方

(2) 建方の順序

建方はクレーンの配置、建方誤差の吸収や膜の取付け等を考慮して次に示す順序で実施した。

① 映像ホール部

壁柱→鉛直プレース→リングビーム→張弦梁→母屋とプレース→膜支持金具（写真-3）

② ドーナツ部

三角錐支柱→バウンダリービーム→張弦梁（図-1に示す4工区を各々右回りで建方）→母屋、プレース→膜支持金具（写真-4）

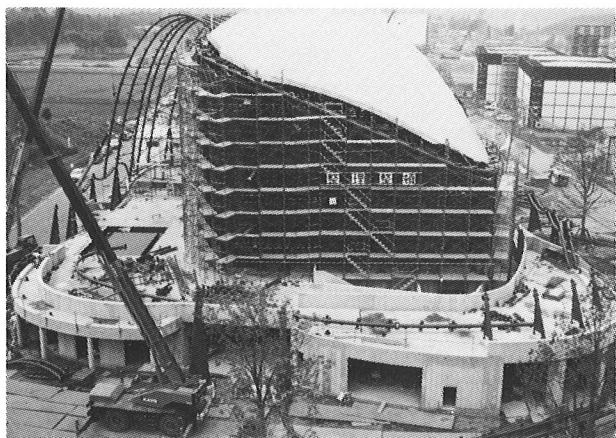


写真-3 映像ホール部の建方

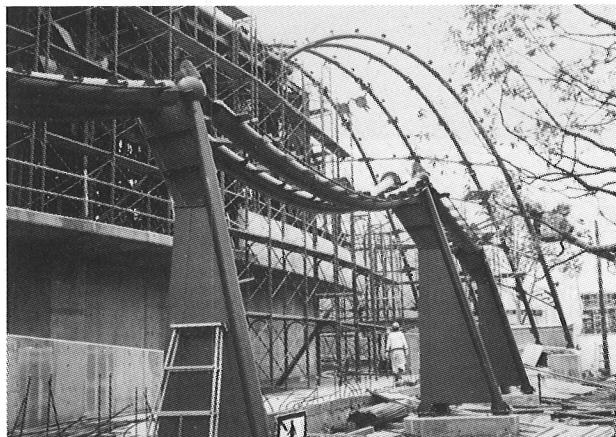


写真-4 ドーナツ部の建方

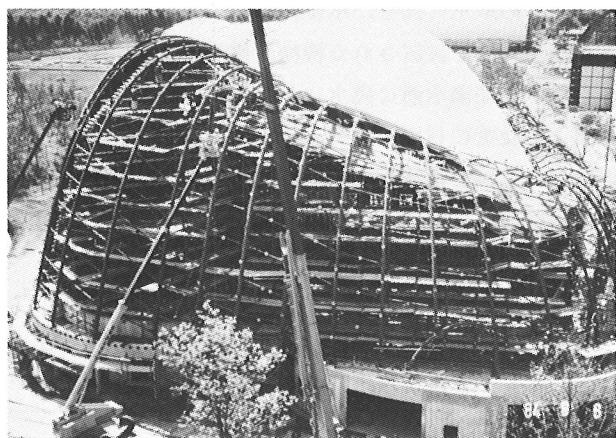


写真-5 鉄骨の建方完了時

(3) 鉄骨の建方

鉄骨の建方のうち、壁柱、鉛直プレースおよび三角錐支柱はアンカー位置の座標の割り出し以外は特に困難な作業ではなかった。しかし、リングビーム、張弦梁およびバウンダリービームはその精度を確保するために次のような方法を用いた。

① リングビームは輸送ができるように7~10mの部材を製作し、そのまま壁柱上部に建込み、エレクションピースを仮締めした。壁柱とリングビームがすべて仮締め状態で直しを行ない精度を確保した。その後壁柱は本締め、リングビームは現場溶接を実施した。

② 張弦梁は輸送できるように2~4分割して製作した曲がり梁をまず地組みした。地組みは本体床スラブ上に設置した定盤上で行ない、精度を確保した上で溶接を行なった。曲がり梁、ストラットおよびストリングを組み合わせた張弦梁が、所定の寸法になるようにストリング中間に設けたターンバックルで調整した。

③ バウンダリービームも輸送できるように7~10mの部材を製作し、張弦梁と同様に地組みしてから三角支柱に取りつけた。全てのバウンダリービームの建方が終了して直しを行ない、精度を確保した上で現場溶接を行なった。

以上のような方法を採用することにより、三次元空間に取りつく母屋やプレースを含めて、手直しもほとんどなく、予定の工期内に建方を完了することができた。

6. あとがき

本建築物はカテナリー曲線で連続させた曲面構成を、鋼管の曲げ加工を利用した張弦梁構造で構成している。これは今までに例のない複雑な鉄骨工事であった。

しかし、電算機や製図機を利用した工作図と現寸型板の作成、鋼管の曲げ加工の工夫、試行実験の実施等を行なうことにより、空間座標に配置された部材を精度よく製作することができた。また、定盤上の地組みや現場溶接と長孔による高力ボルト接合の併用等により、建方も精度よく納めることができた。

本鉄骨工事を実施するにあたり御指導頂いた日大斎藤研究室、T I Sの今川代表、株竹中工務店の井口所長、馬場主任に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国際科学技術博覧会：EXPO '85 国内館の出展構想、1983.
- 2) 斎藤公男：張弦梁構造の原理と応用、カラムNo.75、新日本製鉄㈱、1980.
- 3) 斎藤公男、今川憲英：サントリ一館、ビルディングレター、日本建築センター、1984.10.