

三重らせん形状をした水戸芸術館展望塔の建方

Construction of Mito Art Museum Triple Spiral Observation Tower

大友 勉* 西 垣 登**
Tsutomu OHTOMO Noboru NISHIGAKI

Summary

This is a tower constructed in commemoration of the 100th anniversary of the city of Mito and as a symbol of the Mito Art Museum.

The tower is a spiral made of a triangular-section, self-standing truss, between the corner of which tetrahedrons are formed. Steel pipes were used for the ironwork with cast steel block nodes where the cut ends of the pipes protrude, cresting a complicated configuration.

Presented here are the structural characteristics of the tower and an outline of the construction work.

1. まえがき

ここに報告する水戸芸術館展望塔は、水戸市の市政百周年を記念し、古い歴史の町の中心に、コンサートホール、劇場、美術展示室、会議室を備えた複合型文化施設「水戸芸術館」のシンボルタワーとして建設された。高さは100mでその塔芯にエレベーターが設備され、86mの位置にある展望室から水戸市を一望することができる。このシンボルタワーは、従来からの一般的な自立式タワーと異なり、正三角錐の骨組を積み上げていく立体トラス構造で、外観は三重らせん形状をなし、天に向かって伸びゆく垂直な塔となっている。その施工方法並びに外観形状が注目をあびた工事であった。本報告はシンボルタワーの構造特性と建方工事の概要を記すものである。

2. 工事概要

シンボルタワーの主体構造は、直径500φの遠心力鋳鋼管（材質SMK50）で構成された立体トラスで、厚さは21~60mmまで使用している。立体トラス1辺の長さは9.6mで、その交差部は鋳鋼ブロックと称し、6本の鋼管取合仕口が複雑に枝分けされ突出している。鋼管と鋳鋼ブロック仕口部の継手は、すべて溶接継手で立体トラスが構成され、全体構造は28個の正三角錐からなり、32の節点がある(図-1)。タワーの中心部にはエレベーターシャ

フトが配置され、更にそのシャフトの周りに階段が取付けられた。また外装板にはチタン鋼板材を使用している。立体トラスの製作並びに現場施工を進めるにあたり、鋳鋼ブロック仕口部の溶接施工性試験と強度試験を行った。現場での建方工事は、410t吊超大型ホイールクレーンを用いて、あらかじめ地組立した正三角錐のブロック（以降立体トラスと呼ぶ）を吊上げ、エレクションピースによる仮連結後、逐次手溶接により連結を行った。概算施工数量を表-1に示す。

表-1 施工数量表

| 部 材 名 | 重量(t) | 備 考 |
|----------------|-------|---------|
| 鋼 管 | 610.8 | 鋳鋼ブロック含 |
| エレベーター シャフト | 149.8 | 支持梁含 |
| 階 段 | 34.0 | 受梁含 |
| メンテナンス タラップ | 22.2 | |
| 外 装 板 受 鉄 骨 | 58.4 | |
| そ の 他 | 15.3 | |
| 合 計 | 890.5 | |

溶接延長（6mm換算）10 168m

3. 溶接施工性試験並びに強度試験

材料の特殊性および現場溶接部の溶接姿勢の多様性により、建築センター評定書に於いて溶接施工性試験の実

* 宮地建設工業(株)東京支店工事第二部工事課長

** 宮地建設工業(株)東京支店工事第二部計画二課課長補佐

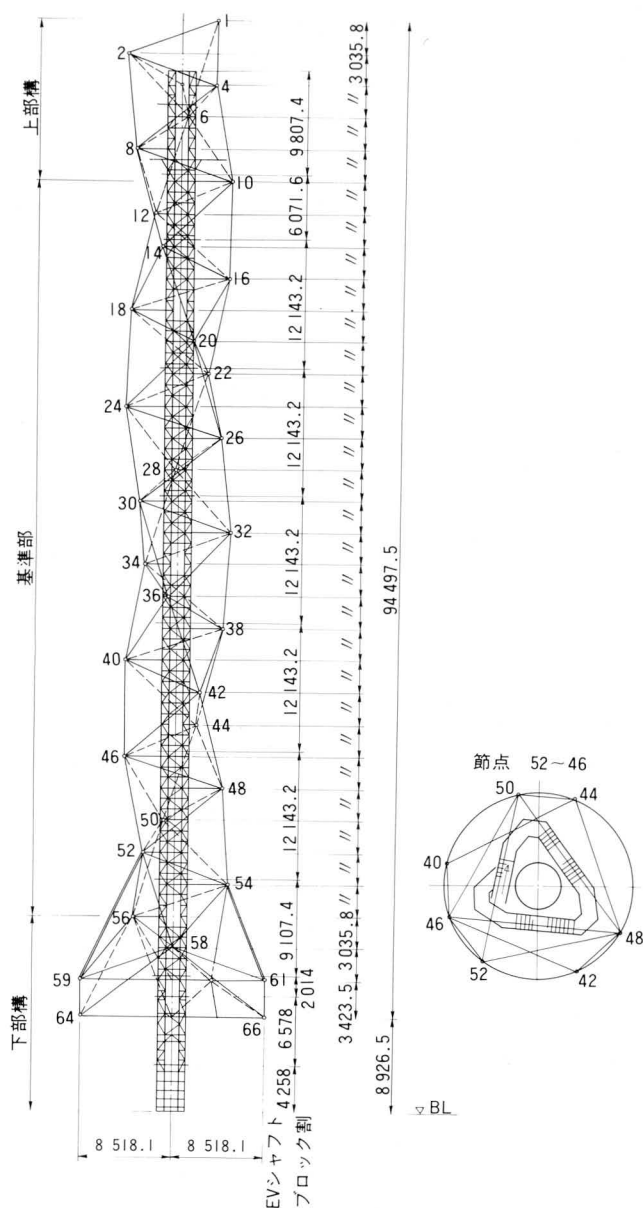


図-1 構造一般図

施が義務づけられた。試験は現場での溶接姿勢と同一の環境を工場内に再現し、実大鋳鋼ブロックと鋼管（ $t = 21, 36, 60\text{mm}$ ）の溶接を行った（写真-1、2、3）。試験並びに確認項目は下記の通りである。

- ① 構造形状
- ② 開先形状（レ形、V形）
- ③ 溶接姿勢等
- ④ 溶接時間並びに作業進捗
- ⑤ 予熱パネルの取り付け方法及び予熱時間
- ⑥ エレクションピース取付け位置
- ⑦ 非破壊試験
- ⑧ 破壊試験

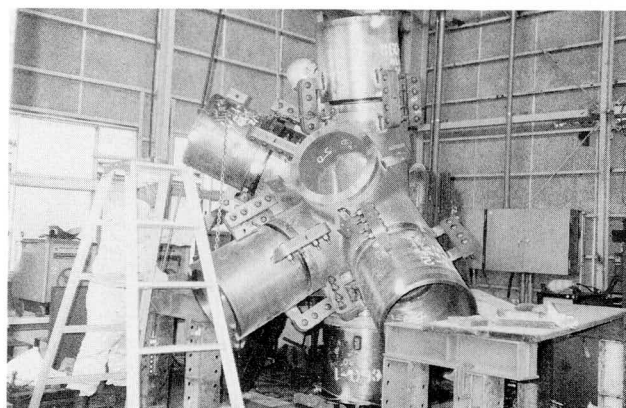


写真-1 試験体組立状況

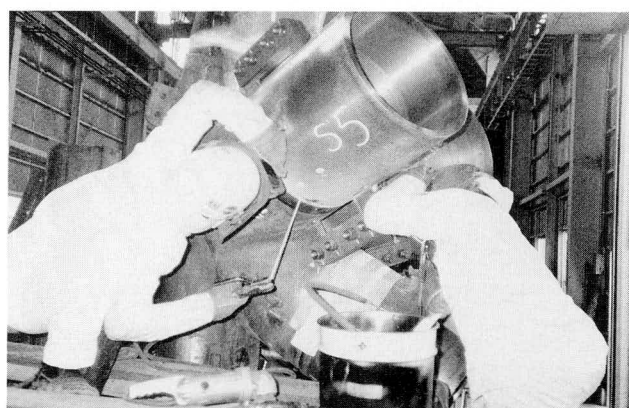


写真-2 試験体溶接状況



写真-3 試験体溶接完了状況

その結果、次の改善項目が掲げられた。

(1) 鋼管はGコラムを使用しており、その表面はベルグーマシン仕上げのため、外径500mmより4mm程度大きく、最大2mmの食違いが生じた。このことから外径を500mmにするためには、機械仕上げ100Sとして $500 \pm 1\text{mm}$ の外径精度を確保する。

(2) エレベーターシャフトの支持採用ガセットプレートが溶接作業時に支障するため、現場での後付けとする。

(3) 鋳鋼ブロック側の開先面にペンキが付着していたが、ブローホールの原因となるので、現場搬入時は開先内に関しては完全に除去する。

(4) 開先のルート面を2mmとしたが、鋼管単体の場合は特に問題とはならないが、現場組立が完了した時点では、ルート部の溶接が困難になる要素となり、欠陥発生の原因となった。よってルート面を1mm程度とする。

(5) 予熱はパネルヒーターで行った。板厚60mmでは、約1～2時間程で120℃に達し、予熱範囲についても、かなり広範囲に母材を予熱する事ができた。

(6) 溶接速度は棒径に関係なく、横向きで14cm/分程度で、立向き（上進の全姿勢）では7cm/分程度であった。

(7) 板厚60mmの開先について、レ形30度とV形25度を比較した結果、レ形30度では49パス、V形25度の時で34パスとなった。パス数を見てもV形25度の方が少なく、作業性も良く欠陥の入る確率も低くなるなど、総合的に判断した場合、板厚60mmの現場溶接部の開先は、V形25度が有利である（図-2）。

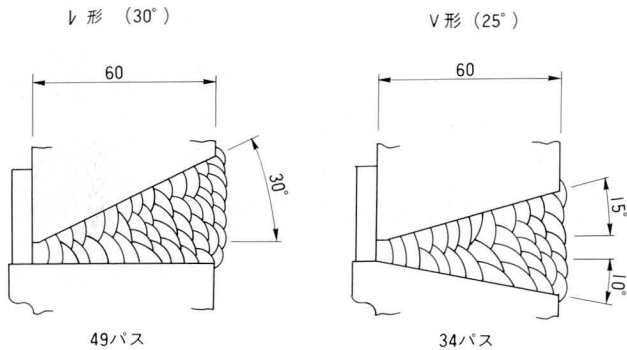


図-2 開先形状及び積層方法（t=60mm）

(8) 不合格となる溶接欠陥が、一部分において発生したが、その一因として溶接電流が低めであった事も推定されたので、特にルート初層の溶接に関しては、あまり低くならないように注意し、また6mm棒は使用しないことにした。

(9) 超音波探傷検査で検出された欠陥発生位置は、溶接開始部で2名の溶接工の溶接が重なる部分がやや多かった。

(10) 現場での検査方法として、表面欠陥の検出については目視で、内部欠陥は超音波探傷検査方法で十分検出できる（写真-4）。

(11) テストピースを採取しマクロ試験・硬さ試験・引

張試験・側曲げ試験・衝撃試験を行った結果、すべて基準値内で特に問題はなかった（写真-5、6）。

以上の試験結果を考慮して、製品加工並びに現場施工計画を進めた。

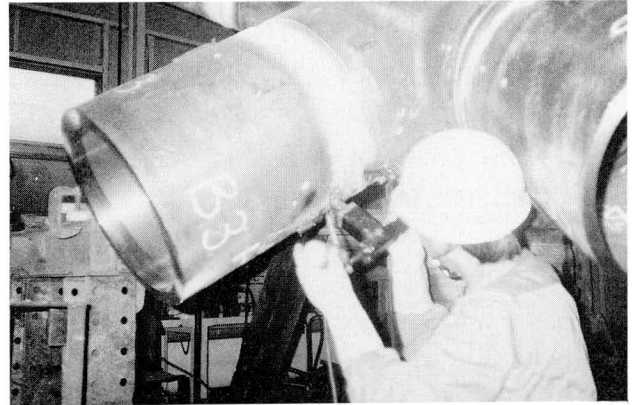


写真-4 非破壊検査状況

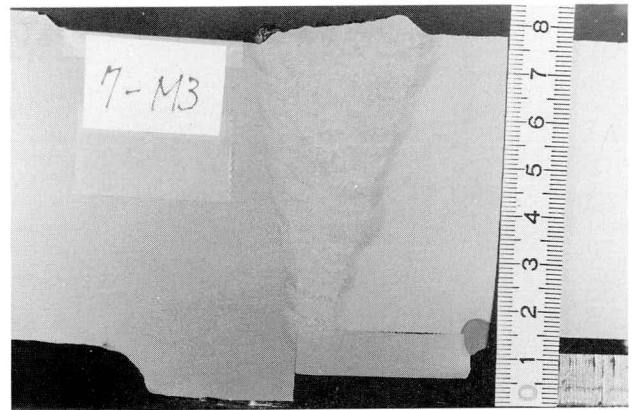


写真-5 マクロ試験（t=60 V型25°）

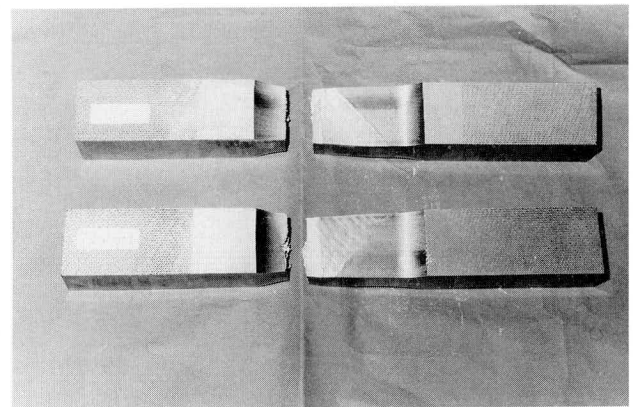


写真-6 引張試験破断状況

4. 建方

現場の作業スペースは狭く、地下駐車場のスラブ上を作業ヤードとして使用した。建方時の主要機械である410

t吊超大型ホイールクレーンの組立は、スラブ上に構台を敷設しクレーン自重約380tを分割搬入し、5日間で組上げた。このクレーンは電気駆動方法による移動式クレーンであるが、当工事に於いては定置式とし4点のアウトリガー位置を決め、作業時最大集中反力約120t/点に耐えるよう地下構築物の補強並びに杭基礎の設計等を詳細に行い据付けた。図-3に建方概要図を示す。次に重要な架設設備である立体トラス（正三角錐）の地組立架台は建方サイクル工程を考慮して2組用意した。この地組立架台の据付け精度がそのまま立体トラスの組立に影響し、更にシンボルタワーの建入精度を大きく左右するため、架台の製作並びに組立固定は慎重に行った。また組立てた立体トラスをスムーズに吊上げられるよう、定着架台はスライド構造とした（写真-7）。立体トラスの組立お

よび溶接に必要な節点足場は、高所作業時の重要な設備で、構造特性を把握し複雑な立体トラス形状に対し、簡単に着脱できるように2ヒンジ開閉式の固定リングを考案した。この節点足場は立体トラス地組立時にあらかじめ取付け使用した。節点足場は仕上げ塗装まで使うため、作業の流れを考えて8台用意した（写真-8）。エレベーターシャフト（EVシャフト）の添接足場は、EVシャフトの外周にブラケットをボルトで取付けできる構造とし、取付け・取外しはすべて手作業による小ばらしとなるため軽量化をはかった。建方の基本計画を実施するにあたり、次の点に留意し詳細に検討を行った。

- ① タワー主構造と二次部材の取合構造
- ② 主体トラスとEVシャフトの建方時に対する干渉部の有無並びに作業性
- ③ 各作業足場の配置
- ④ 安全通路の確保

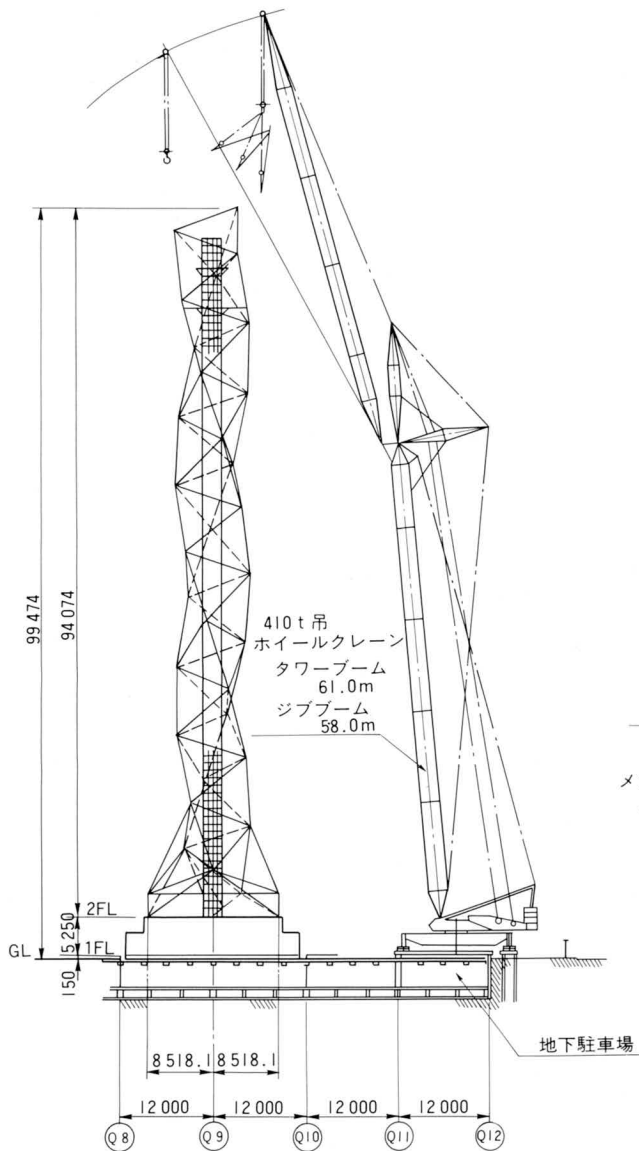


図-3 建方概要図

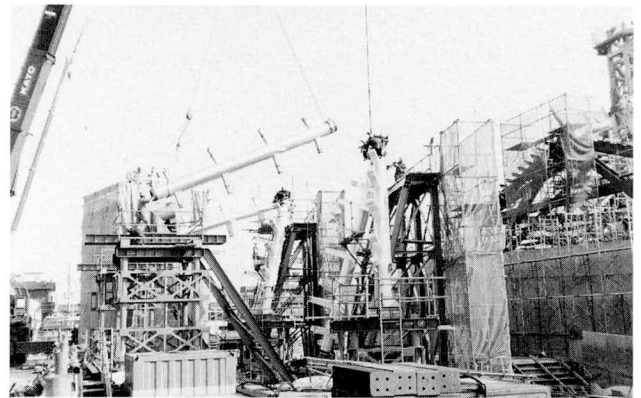
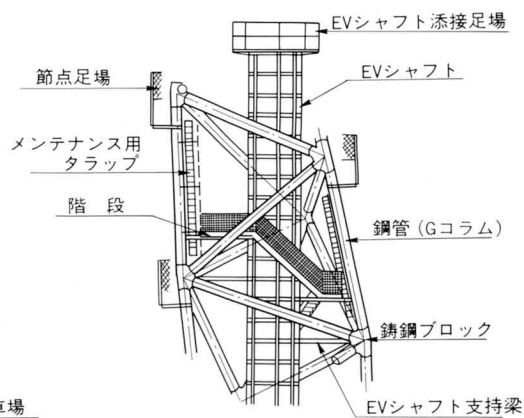


写真-7 立体トラス地組立状況



建方実施工程を表-2に、建方基本サイクル工程を図-4に示す。

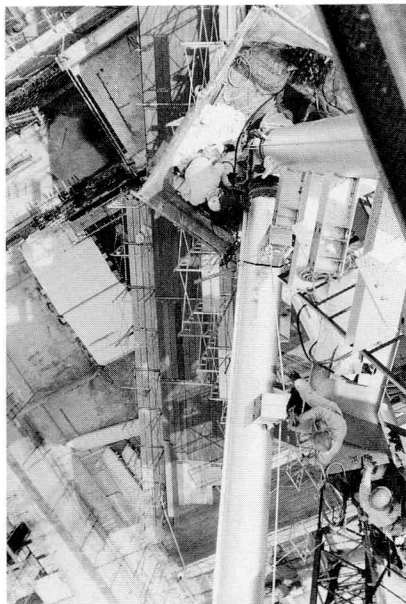


写真-8 節点足場取付状況

表-2 実施工程表

| 1988年 | | 1989年 | | | | | | | | | | | |
|--|----|----------------------------|----|----|----|------------------------------------|----|----|----|---|----|----|----|
| 12月 | | 1月 | | 2月 | | 3月 | | 4月 | | 5月 | | 6月 | |
| 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 |
| 410t H.C組立 (構台舎) | | | | | | | | | | | | | |
| | | 架台組立、EVシャフト建方(1) | | | | | | | | | | | |
| | | 下部構・立体トラス⑤ EVシャフト(2, 3) | | | | 立体トラス⑥ EVシャフト(3, 4) | | | | 立体トラス⑧ EVシャフト(5, 6) | | | |
| | | | | | | 立体トラス⑩ EVシャフト機械室(1) (一部架台撤去) | | | | 立体トラス⑪ EVシャフト⑧ 410t H.C解体 (構台撤去) | | | |
| (注) EVシャフトはブロック番号を示す。 立体トラスは節点番号を示す。 | | | | | | | | | | | | | |

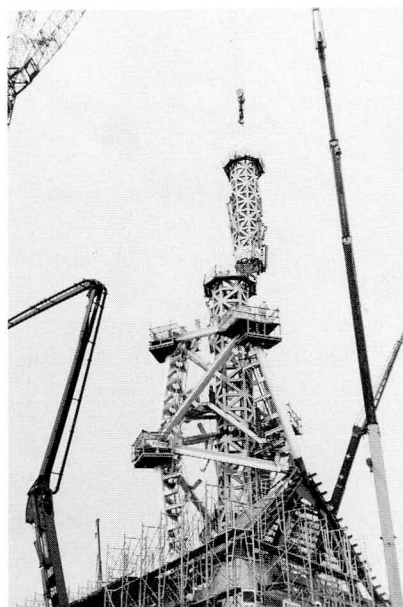


写真-9 エレベーターシャフト建方状況

(1) EVシャフトの建方

EVシャフトは8ブロック(地下部は除く)からなり、各単体ブロックは工場溶接され、現場搬入後固定架台上に立て、仕上塗装・支持梁の仮取付け・添接ブラケット足場の組立等を行った後に、410t吊ホイールクレーンで吊上建方を行った。EVシャフトの継手は高力ボルト(一部溶接あり)で締付けた。なおこのEVシャフトはタワーの主構造としては設計されていない(写真-9)。

(2) 立体トラスの建方

立体トラスはタワーの主構造で、29個の立体トラス(正三角錐)から構成されている。立体トラスの地組立は鋳鋼ブロックを頂部に配し、下側3本の鋼管を溶接する。ただしこのうち最も垂直に近い鋼管1本は、あらかじめ工場で鋳鋼ブロックに溶接した。地組立された立体トラスは4点で吊上げ、鋼管付き3点の下方にはチェーンブロックを仕込み、微量な傾きを調整できるようにした(写真-10)。立体トラス1ブロックの重量は約16tで、高所での仮連結は各仕口部に設けた4枚のエレクションピースをボルトで連結した。これらの作業は、すべての節点足場並びにメンテナンス用タラップが地組立時に取付けられているため、安全に行う事ができた。また張出し落下防護設備を1組(3面分)用意し、建方進捗に合わせて逐次上方へ盛替えながら工事を進めた。

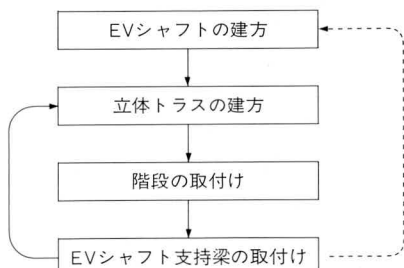


図-4 建方基本サイクル

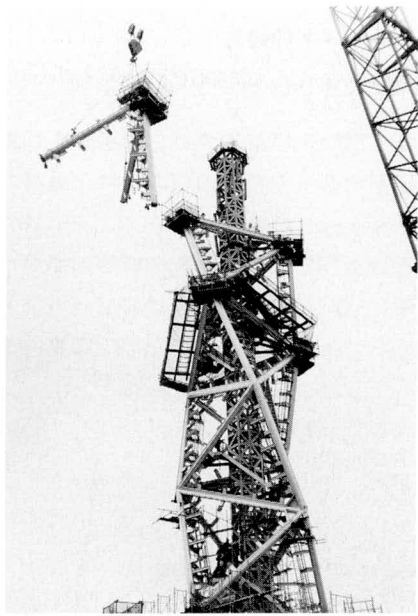


写真-10 立体トラス吊上げ状況

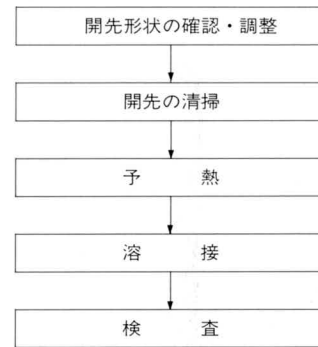


図-5 溶接作業順序

5. 現場溶接

立体トラスの建方にもない各節点継手部の現場溶接を行った。溶接はすべて被覆アーク溶接（手溶接）で、地組立時の地上溶接と建方時の高所溶接を並行して進めた。溶接作業は溶接施工性試験の結果をもとに、施工方法等を詳細に検討した。溶接工はJIS Z 3801のA-2V・A-2Hに合格した者またはこれと同等以上の資格を有し、かつ溶接技量付加試験に合格した者を8名従事させ、開先調整およびエレクションピースの切断仕上げを行う鍛冶工2名で溶接作業を進めた。当工事の溶接継手は、水平・垂直・直交といった箇所（下部構は除く）は1箇所もなく総て角度を持っており、全姿勢による極厚鋼管の溶接で非常に高度な技術を必要とした。しかし全箇所超音波探傷検査を実施したが、欠陥はほとんどなく溶接工と施工管理者が一体となり、細心の注意を傾注した事により最良の品質管理ができたものと思う。図-5に現場溶接作業順序、図-6に開先形状図を示す。

(1) 開先確認および調整

溶接継手部はあらかじめエレクションピースで仮連結されているが、製作並びに組立誤差はこの仕口部に集積されるため、ジャッキ・金矢等を用いて開先調整を行った。

(2) 開先清掃

開先部とその周辺は、予熱前に水分・油脂、ゴミその

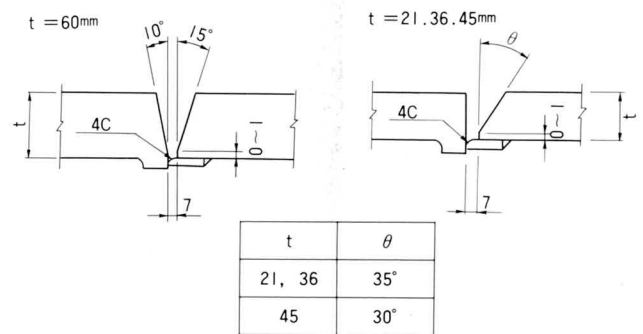


図-6 開先形状図

他溶接に悪影響を及ぼすものを、ウェス及びワイヤーブラシで完全に除去した。

(3) 予熱

溶接線にそって両側各々100mmの範囲を予熱した。予熱方法は板厚36mm以上はパネルヒーターで、それ以下の板厚についてはプロパンガスバーナーによる水分除去を行った。温度の確認は接触温度計を用いて計測した。予熱温度は表-3による（写真-11）。

(4) 溶接

予熱の適温を検測後、パネルヒーターを取外し溶接作業に入るが、板厚36mm以上のところは1継手2名で作業し、それ以外は1名で行った。材質はSM50相当であるので低水素系の溶接棒を使用した。初層から8層目までは

表-3 予熱温度基準

| | 材 質 | 板厚と予熱温度 | | |
|----------------|--------|------------------|-----------------|----------------------|
| | | t=21, 27 (不要) | t=36 60℃±10℃ | t=45, 60 100℃±10℃ |
| 鋼 管 (Gコラム) | SMK50 | t=21, 27 (不要) | t=36 60℃±10℃ | t=45, 60 100℃±10℃ |
| 鑄 鋼 ブ ロ ッ ク | SM50相当 | t≤36 60℃±10℃ | | t>36 100℃±10℃ |

4 mm棒で行い、それ以降は5 mm棒を主に使用した。なお、4層目前後まではエレクトロニクスが付いておりビードが寸断されるため、終始端部はカスケード法により、サンダー等を用いて入念に仕上げた。またスラッグの除去はエア式チッパーにより行った(写真-12、13)。

(5) 非破壊検査

1 継手の溶接がすべて終わった後、表面を清掃し目視検査を行い、次に超音波探傷検査により全周確認を行った。

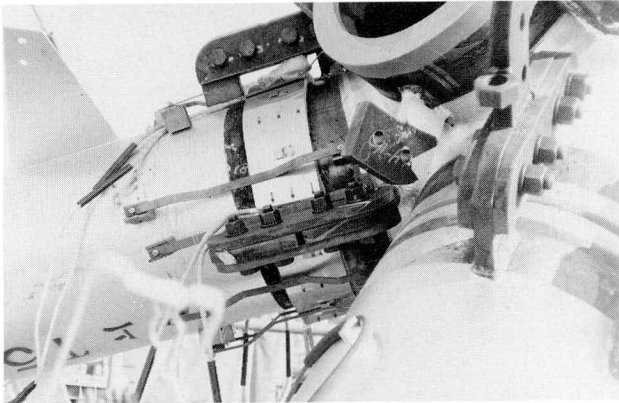


写真-11 予熱状況(パネルヒーター使用)

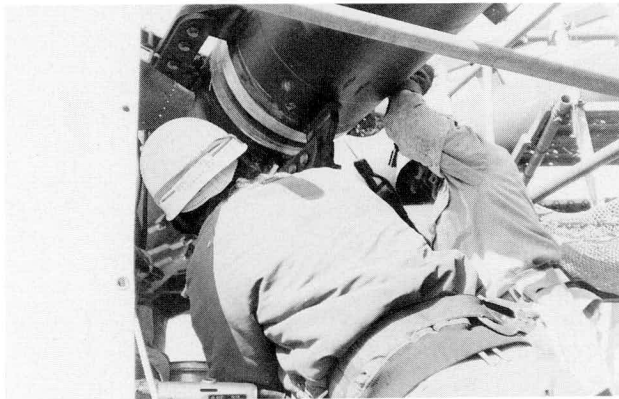


写真-12 現場溶接状況



写真-13 現場溶接完了状況

6. 建入測定

タワーの建入測定は、設計図に記載されている中芯を基準とする各節点の座標(鋳鋼ブロックの中芯)から、鋳鋼ブロック背面の中芯座標を求めそこを測定ポイントとした(図-7)。その測定ポイントにプリズムを取付け、あらかじめ地上に設置しておいた任意の座標上に光波距離計を据えプリズムを視準する。この時、光波距離計本体の座標位置を内蔵するコンピューターに入力する事により、反射プリズムの座標を自動演算しX・Y・Zの座標を表示させた。その測定要領を図-8に示す。建入測

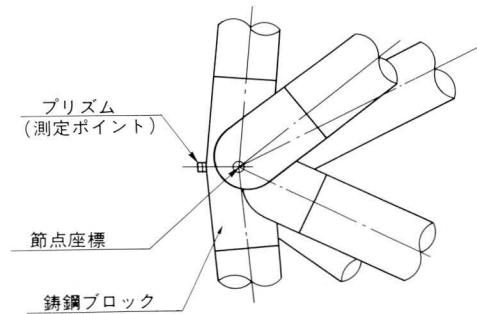


図-7 測定ポイント図

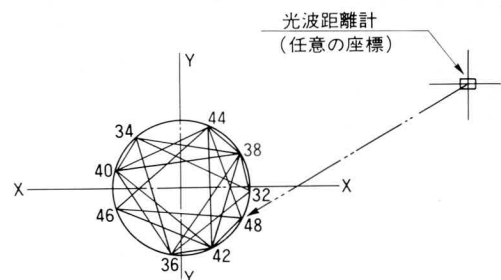
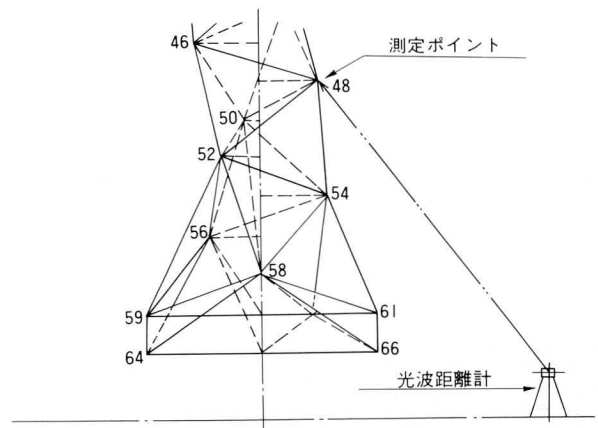


図-8 測定要領図

表-4 建入測定成果表

(mm)

| 節点番号 | X座標 | 実測値 | 倒れ | Y座標 | 実測値 | 倒れ | Z座標 | 実測値 | 変位 |
|------|----------|--------|-------|----------|--------|-------|----------|--------|-------|
| 1 | 3 582.6 | 3 525 | -57.6 | 3 909.8 | 3 899 | -10.8 | 99 473.6 | 99 459 | -14.6 |
| 6 | 652.5 | 602 | -50.5 | 5 262.7 | 5 254 | - 8.7 | 90 366.2 | 90 354 | 12.2 |
| 12 | -2 519.2 | 2 562 | -42.8 | 4 666.4 | 4 658 | - 8.4 | 81 258.9 | 81 248 | -10.9 |
| 18 | -4 757.9 | -4 800 | -42.1 | 2 341.8 | 2 332 | - 9.8 | 72 151.5 | 72 144 | - 7.5 |
| 24 | -5 234.4 | -5 267 | -32.6 | - 850.1 | - 858 | - 7.9 | 63 044.2 | 63 033 | -11.2 |
| 30 | -3 772.3 | -3 802 | -29.7 | -3 727.2 | -3 736 | - 8.8 | 53 936.8 | 53 932 | - 4.8 |
| 36 | - 913.0 | - 933 | -20.0 | -5 223.8 | -5 227 | - 3.2 | 44 829.4 | 44 826 | - 3.4 |
| 42 | 2 284.5 | 2 272 | -12.5 | -4 785.7 | -4 780 | 5.7 | 35 722.1 | 35 721 | - 1.1 |
| 48 | 4 635.8 | 4 629 | - 6.8 | -2 575.1 | -2 569 | 6.1 | 26 614.7 | 26 620 | 5.3 |
| 54 | 5 270.2 | 5 267 | - 3.2 | 589.3 | 589 | - 0.3 | 17 507.4 | 17 517 | 9.6 |
| 60 | 3 952.7 | 3 957 | 4.3 | 3 535.3 | 3 537 | 1.7 | 8 400.0 | 8 405 | 5.0 |

定の結果を表-4に抜粋して記載したが、最も倒れ量の大きい頂部（節点1）で、X Y方向の倒れを合成すると58.6mmとなり、高さとの比で表わすと1/1698となった。1/2000の目標値(許容倒れ量50mm)をわずかに超過したが、塔体の製作・建方難度と構造の特殊性を考えると、ほぼ満足できる値であると思われる。

7. あとがき

水戸芸術館展望塔の建方工事について概要を報告した。当社は特殊鋼構造物（鋼橋・鉄塔を含む）のエレクションに対して数多くの実績があり、技術的ノウハウも蓄積されているが、今回のようなシンボリックなタワーは今まで建設した事がなく、あらゆる面で非常に難しい工事であった。施工計画を進めるにあたり社内は勿論、磯崎新アトリエ・木村俊彦構造設計事務所・共同企業体各社の関係各位の御指導と、各製作会社の御協力を賜り深く感謝致します。またその計画が実施工に於いて、100%反映されスムーズに工事が遂行し、品質管理、安全管理面に於いても高い成果をあげる事ができたことを重ねて報告致します。今後増々施工難易度の高い構造物が建設されると思われるが、構造特性を充分把握し、その構造物並びに現場環境に合った架設方法をさがし出し、事前詳細検討を確実に言い設計、製作に折込む事が、工事を成功させる基本であると改めて認識した次第であります。