

# 曲面部材断面を持つニールセン橋(辰巳新橋)の製作

## Manufacturing Members of Nielsen System Bridge with Curved Member Cross Section (Tatsumi-Shimbashi Bridge)

成 宮 隆 雄\* 沢 季 彦\*\* 森 下 統 一\*\*\* 引 間 隆\*\*\*\*  
 Takao NARUMIYA Suehiko SAWA Touichi MORISHITA Takashi HIKIMA

### Summary

The Tatsumi-Shimbashi Bridge is a Nielsen system bridge of basket handle type. Remarkable characteristics of its members are : the section of the arch rib is rhomboid ; the upper flange is curved and in torsion toward the bridge axis ; only field welded joints were used on the exposed portion of the arch rib ; and field welded joints were used on the outside web of the stiffening girder and the lower flange.

Pilot members were produced experimentally for this bridge and the results of tests on the pilot members were reflected in the construction of the actual bridge.

This paper reports on the manufacturing and assembly methods, with pilot member, of the right and left members of the arch crown, and also tests of field welding.

### 1. まえがき

辰巳新橋は「新中川橋梁整備計画」の上流域でのシンボル橋としてランドマークとなる景観重視のバスケットハンドルタイプのニールセンローゼ橋であり、景観設計の概要は「設計と架設」編で記述した通りである。

本橋の製作部材の製作上の特徴はアーチリブまたは補剛桁下弦材のウェブを同一平面上に保つため部材形状が菱形であることおよびアーチリブを含めて外部から見える箇所は全て溶接であることである。特に、アーチリブが球状に橋上内部空間を包み込む景観をコンセプトとしており、フランジの形状は曲面化されている。従って、アーチリブの製作部材は橋軸方向にも、橋軸直角方向にも

も曲面形状をもつ非常に複雑な断面形状の部材となり、3次元の曲げ加工も必要となり、精度維持も難しい製作となる。そこで、パイロット部材を試作し、加工法、製作手順等十分検討し、製作に反映させることとした。

本報ではパイロット部材の試作によって得られた製作上の特異点および留意点を中心に報告する。

### 2. アーチリブ部材の形状および現場溶接継手の設計

辰巳新橋の平面図、側面図および断面図は「設計と施工」編に示したが、図-1にアーチリブクラウン部の部材断面図を示す。

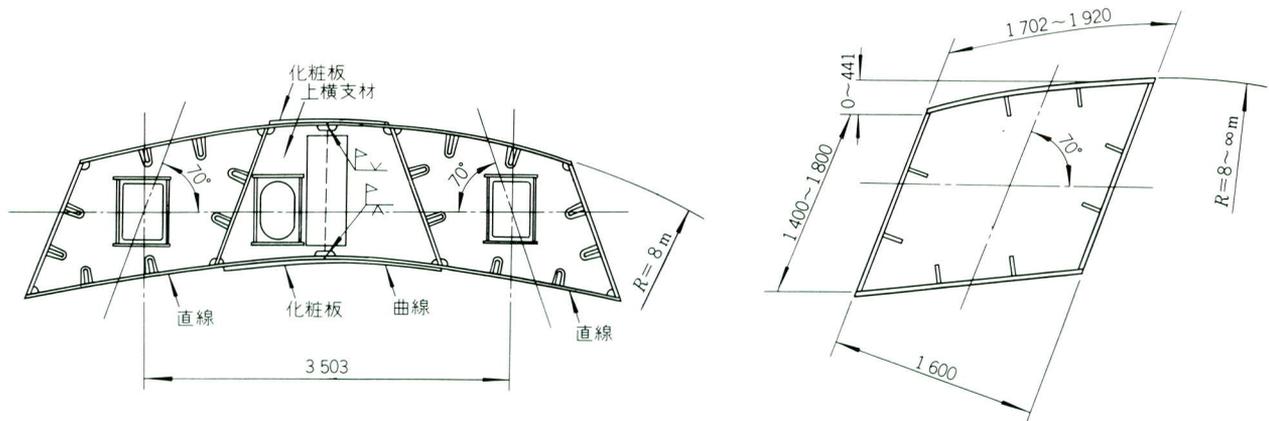


図-1 アーチリブクラウン部の断面

\* 技術本部品質保証部長                      \*\*\* 千葉工場製造部生産技術課長  
 \*\* 千葉工場製造部工場長付部長            \*\*\*\* 技術本部第一設計部設計第一課課長代理

アーチリブ部材のウェブは完成時に鉛直に対して $20^\circ$ の同一平面上にあり、ウェブ間隔は一定で、上フランジは橋軸直角方向に対して曲面上にあり、その曲率は橋軸方向に対して $R = 8\text{ m} \sim \infty$ まで刻々と変化する。従ってアーチリブ部材の内外ウェブの天端位置の高さが変化していくため、ウェブとフランジのなす角度も刻々と変化してフランジは振じれていく複雑な部材形状となる。

アーチリブの全断面現場溶接継手、補剛桁下弦材の外ウェブおよび下フランジ、および鋼床版の現場溶接継手の位置は「設計と架設」編の図-9に示した。箱形状部材の寸法が小さく、菱形断面でかつ景観重視のため、ハンドホール、排煙口等が明けられないため溶接は全て外側から行うこととした。従って溶接姿勢はさまざまな角度を有する全姿勢となり、それに対応できる自動溶接法を採用した。

### 3. アーチリブのパイロットメンバーの製作

前述したように本橋のアーチリブ部材は、かつて経験したことの無い複雑な形状であり、上フランジの振じれの入った曲面曲げの精度により部材精度と景観上の形状が決まること、アーチリブおよび補剛桁下弦材の一部が現場溶接であり溶収縮によるキャンパー、通り等の形状管理にどう対応するかが重要な課題であった。そこで、これらの課題の解決と事前の製作上および景観上の問題点の抽出とその対応を行うため、最も曲面形状の大きいアーチクラウン部のパイロットメンバーを製作し、併せて全断面溶接施工を行い、高所、狭隘足場での溶接施工性、溶収縮量と変形挙動および溶接品質の確認を行った。

アーチリブパイロットメンバーの製作フローチャートと本部材製作上の留意点を図-2に示した。

一般橋梁部材の加工に比べて特異な工程および留意点を下記に示す。

#### (1) アーチリブ上フランジの3次元曲げ工程

本橋は側面的にスパンライズ比 $1/5.5$ （ライズ $22\text{ m}$ ）の放物線形状をもつため、アーチリブ部材は橋軸方向に曲率をもち、かつ上フランジは橋軸直角方向にも曲面が付くので、上フランジは予め所定の形状に3次元曲げを行っておくことが必要であった。

パイロットメンバーはアーチリブクラウン部全断面での景観形状の検証という目的もあり、左右2部材製作し

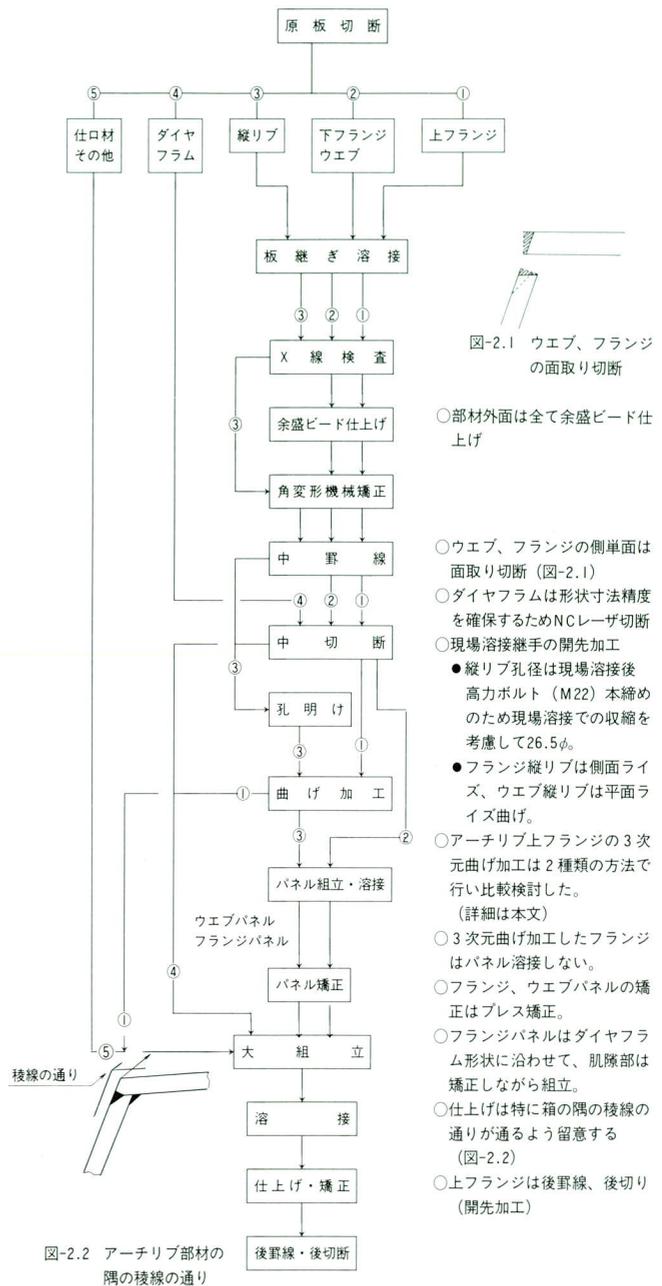


図-2.2 アーチリブ部材の隅の稜線の通り

図-2 アーチリブの製作フローチャートと留意点

ている。上フランジの3次元曲げを要所の曲げ形状に合わせた曲げ型を作成し厳密な型曲げを行うと、曲げ型の数が多くなるため膨大な曲げ加工費となる。従って、曲げ角度で確認しながら、橋軸方向のプレス1次曲げと橋軸直角方向の2次曲げの組み合わせによる通常プレス曲げ加工法と、加熱矯正の併用での3次元曲げ加工の2種類を行い、組立精度および形状上の問題点を抽出しその対応を検討した。

パイロットメンバー2部材のうち、1部材は1次曲げ

(アーチ側面ライズ)としてローラ矯正機で反りをつけ、2次曲げ(断面ライズ)をプレス曲げする方法(3次元プレス曲げ法と称す)とし、他の1部材は上フランジに1次曲げをローラ矯正機で反りをつけ、2次曲げを加熱矯正で行う方法(加熱矯正併用法と称する)により行った。図-3に曲げ加工後のライズ値として、フランジ長さの中央と、断面方向中央の計測値を示す。

### 1) 3次元プレス曲げ法

橋軸方向にはダイヤフラム位置で5箇所、橋軸直角方向5箇所(6@270)を曲げ位置および曲げライズ管理位置とした。1次曲げは、橋軸方向(アーチ側面ライズ)とし、ローラ矯正機により規定ライズに相当する反りをつけ、次にプレスにて断面方向のライズ曲げを行った。ライズ量の管理はいずれの場合もダイヤフラム位置で行った。

### 2) 加熱矯正併用法

曲げ位置、曲げ量管理位置および橋軸方向のキャンパーライズのローラ曲げは①と同様であるが、断面方向は加熱矯正により、度型による確認を行いながら曲げ加工を行った。加熱矯正による断面ライズ量は、ほぼ設計値に近い量を付与することができたが、橋軸方向に逆反りが付き、再度加熱矯正での調整が必要であった。曲げ形状は①のプレス曲げより滑らかであった。

## (2) アーチリブ部材の組立・溶接

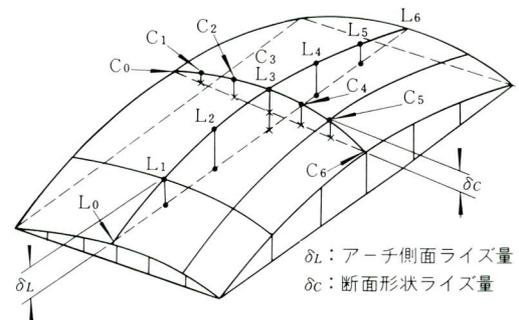
下フランジとウェブに取り付く縦リブは予め所定の側面および平面ライズをプレス曲げで付けておき、パネル組立を行った。パネル組立・溶接を完了後、縦リブ溶接による角変形をプレスで矯正した。その際、下フランジパネルのアーチライズは度型を用いて確認し、必要に応じて修正した。

組立は下記の手順で行った。

- ① 正立組とし、下フランジパネルを所定の組立受台に設置し、レーザー切断により精密な形状としたダイヤフラムを建て込んだ。
- ② ウェブの横払い込みを行い、ウェブの建て込みを行った。特に下フランジとウェブの稜線(図-2.2)の通りおよび滑らかさに留意した。
- ③ コの字組立完了後、予め3次元曲げ加工した上フランジをかぶせて、ウェブ及びダイヤフラムとの密着度を確認した。著しい隙間のある場合は、加熱矯正で矯正を行った。上フランジのかぶせ形状確認後、予め所定の形状に曲げ加工した縦リブを仮付け溶接

で取りつけた。再度、フランジをかぶせ、上フランジとウェブおよびダイヤフラム等との密着を計るため、治具等を用いた引き込み、押しつけ、および加熱矯正による形状調整を行いながら組立てを行った。予め曲げ加工を行った上フランジとウェブまたはダイヤフラム等の形状一致性は加熱矯正法の方が良好であった。

- ④ 溶接完了後、端部断面形状の矯正と上フランジの罫線を行ない現場溶接継手の開先加工を行った。
- ⑤ 上フランジの3次元曲げ方法の見栄えおよび部材の隅の稜線の通りおよび形状、さらに塗装色の景観的な確認等を目的として、パイロットメンバーを塗装し、地上約20mまで吊り上げ、四方八方からの観察を行った。



(a) 上フランジのアーチライズ測定量

位置	C0	KC1	KC2	KC3	KC4	KC5	C0
設計値	0	28	71	98	71	28	0
①プレス法	0	31	74	105	75	30	0
②加熱矯正法	0	20	65	108	60	25	0

(b) 上フランジ断面形状ライズ測定量

位置	L0	KL1	KL2	KL3	KL4	KL5	L0
設計値	0	55	56	65	56	55	0
①プレス法	0	60	64	69	60	60	0
②加熱矯正法	0	50	55	60	50	43	0

図-3 曲げ加工後の測定結果

## 4. アーチリブの全断面現場溶接と現場溶接施工試験結果

本橋は景観を重視し、景観的な滑らかさを出すため補剛桁下弦材、アーチリブ部材等の現場接合部は全断面現場溶接を採用した。これらの全断面現場溶接は全て外側からの全姿勢片面裏波自動溶接である。

全断面現場溶接の施工方法と溶接継手品質の確認を行うため、パイロットメンバー部材を用いた実断面での全姿勢全断面現場溶接の施工試験を行った。パイロットメンバー部材の部材長さの位置を輪切りにし、縦リブ等を所定のHTボルトにより添接した全断面現場溶接継手を作成した。

図-4 にパイロットメンバーを利用した実断面アーチリブ全断面現場溶接施工試験体の概略図を示した。図-5 にアーチリブ溶接断面の寸法、溶接姿勢、エレクションピースおよび各継手の開先形状等試験継手部の詳細を示した。また、溶接方法および溶接条件を表-1、2 に示した。

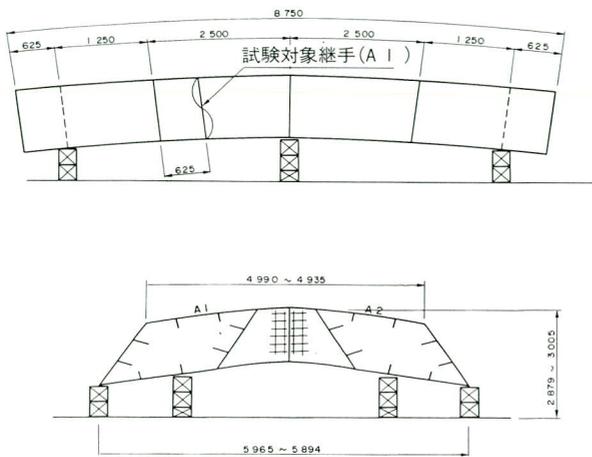


図-4 全断面現場溶接施工試験体の概略図

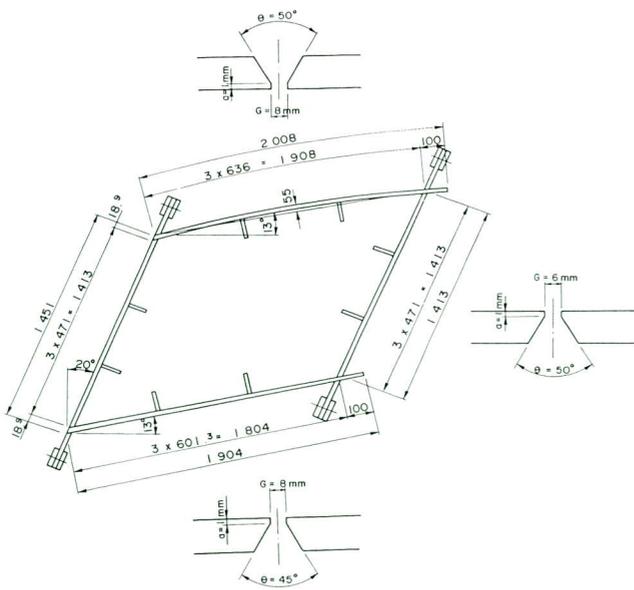


図-5 全断面現場溶接部の断面形状

全断面溶接継手の非破壊検査は現場検査に採用予定の自動超音波探傷試験を用いて全長検査を行った。自動超音波探傷試験の詳細については後述するが、判定基準はJIS Z3060 L検出レベル2級以上を合格とした。全断面溶接継手全長が1級合格であった。

全断面溶接前後の試験体の溶接局部収縮量、部材長の変化、キャンバー変化および溶接局部角変形量等を測定した。

1) 全断面溶接における局部溶接収縮量

溶接はウエブ立向き上進CO<sub>2</sub>自動溶接を左右同時に行い、ウエブ継手の局部収縮とウエブの溶接によるフランジ継手開先の詰まりを測定した。その後下フランジ、上フランジの順で溶接を行い各溶接継手の溶接局部収縮量を測定した。これらの測定結果を図-6 に示した。ウエブの最終変位量は2~2.5mm程度、フランジの最終変位量はウエブ溶接による開先の詰まりも含めて3.5~4.0であり、下フランジの変位の方が平均0.5mm程度大きかった。

2) 溶接による試験体長の変化

全断面溶接継手を含めて試験体長約8.7mに対して溶接前後の試験体長の変化は4隅の平均で-3.2mm(2.5~3.5mm)であった。これは全断面溶接のフランジ継手とウエブ継手溶接変位の平均値程度であった。

表-1 溶接方法および溶接材料

溶接継手	溶接順序	溶接姿勢	溶接方法 (ガスシールドアーク溶接 *2)	適用自動溶接機器	溶接材料	
					ソリッドワイヤ	バックিং
ウエブ	1*1	立向	C O 2 片面溶接	PICOMAX-2	SF-1(1.2φ)	SB-4I
下フランジ	2	上向	M A G 片面溶接	OH-AUTO	DWA-50(1.2φ)	SB-4I
上フランジ	3	下向	C O 2 片面溶接	PICOMAX-2	SF-1(1.2φ)	SB-1

\* 1 : 両ウエブ同時溶接 \* 2 : MAG : (CO<sub>2</sub> ガス20% + Ar ガス80%) の混合ガス

表-2 溶接条件表

溶接継手	溶接姿勢 (角度*1)	溶接順序	材質板厚	バス数	溶接条件 (①: 初層条件)		
					電流 (A)	電圧 (V)	速度 (CPm)
ウエブ A	立向 110°	1 *2	SM490 16×16	3	① 170	① 26	① 6
					200	30	11~9
ウエブ B	立向 70°	1 *2	SM490 16×16	3	① 170	① 26	① 5
					200 229	30	8~6
下フランジ	上向 13°上進	2	SM490Y 16×16	7	① 140	① 15	① 4
					180 ~ 210	25~26	7~18
上フランジ	下向 13°上進	3	SM490Y 16×16	5	① 180	① 32	① 12
					200 ~ 250	32~35	15~20

①: 登り勾配溶接 \* 2: 同時溶接施工  
110° 外内内外 70° 溶接面

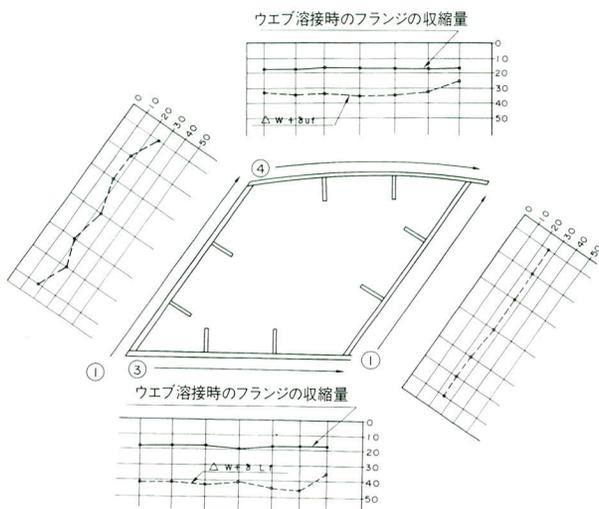


図-6 各溶接継手の溶接局部収縮量

実橋架設時の継手の拘束状態は試験体と比べて、構造的な拘束が大きいため、溶収縮を主体とした溶接変位はこれほど大きくはならないと考え、実橋の部材長は全断面溶接による収縮量として、全断面継手1ジョイント当たり2mmの伸ばしを入れた。

### 3) 全断面溶接による試験体の曲がり量

試験体の全断面溶接後の平面方向(通り)および上下方向(キャンバー)の曲がり量を測定した。平面および上下曲がりとも、溶接前後ピアノ線を4隅に張り部材との距離を測定した。いずれも、変化量は±1mm以内であり、ウェブ両側同時溶接を先に行うことにより、全断面溶接による通り、キャンバー等の変形は特に配慮する必要が無いことが分かった。

### 4) 溶接継手部の局部的面外変形

道路橋示方書の精度基準によると、板の平坦度の許容値はフランジで $W(\text{幅})/150$ 、ウェブで $h(\text{高さ})/250$ であり、これを本橋に適用すると、フランジ12mm、ウェブ6mmである。景観を重視した本橋では現場溶接継手が全て片面裏波溶接であり、溶接継手の局部的面外変形が景観上の阻害要因となることに憂慮した。測定結果によると面外変形は橋軸方向および橋軸直角方向ともウェブが最大値2mm、フランジが最大値4mmであり、許容値の $1/3$ 程度であった。なお、面外変形は部材断面中央で最大となっているが橋軸方向の変形では溶接継手の前後のダイヤフラムから徐々に変形しており、余盛りビード仕上げ後の目視検査の結果でも特に目立つものではなかった。

この程度の面外変形なら景観的にも阻害感はないと考えた。

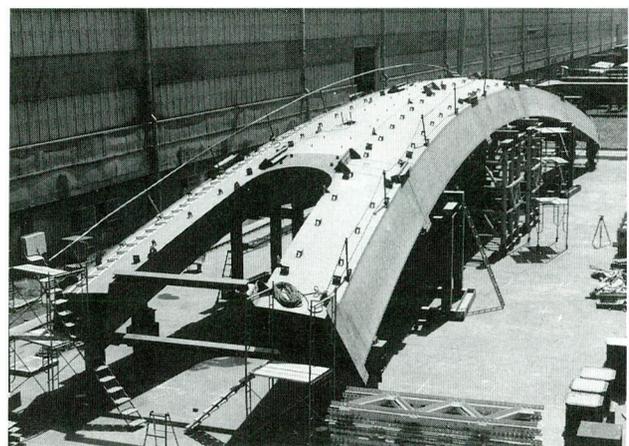


写真-1 アーチクラウン部の立体仮組立

## 5. 事前検討項目と実橋への反映

### (1) パイロットメンバー製作結果の実橋への反映事項

- ① アーチリブ断面形状が菱型であり、鋭角部分のかど継手およびフランジとダイヤフラムとのすみ肉溶接は溶接施工が困難なため、スカラップ形状の変更および縦リブ位置の変更、またクラウン部化粧板の取り付け方法の変更等、パイロットメンバー製作施工を通して施工上の問題点を抽出し、ディテールの設計変更を行った。
- ② 上フランジの3次元曲げをプレス法と加熱矯正併用法で行い、完成部材を塗装し、地上20mに吊り上げ、景観的観察試験を行ったが、景観的にはいずれの方法でも大差がないことが分かった。  
前述したように、加熱併用法の方が曲げ外観は滑らかであるが、加熱矯正は個人技量に頼るところが多く、また再現性に難があり手間がかかる。いずれの場合でも組立時に加熱矯正による若干の修正が必要であり、機械的に行えるプレスによる3次元曲げ加工を採用した。
- ③ 菱型部材形状のため、幅切断時にフランジの面取り(斜め切り)およびウェブ開先加工前の面取り切断を行い、組立精度の向上と部材の隅の稜線の通りおよび形状確保を計ることとした。
- ④ 現場全断面溶接ジョイント部の上フランジ形状は溶接完成後に必要に応じて、加熱矯正を行うためガバリ(形状型)を作成しておくこととした。
- ⑤ 仮組立は補剛桁と鋼床版の一体仮組立、アーチリブの平面仮組立およびアーチリブクラウン部の

立体仮組立に分けて行った。補剛桁とアーチリブの接合部は仮組立重複部材を設け、数値シミュレーションにより取合い精度確認を行った。写真1にアーチリブクラウン部の立体仮組立状況を示した。

## (2) 現場全断面溶接施工試験結果の実橋架設への反映

- ① 試験体による全断面溶接結果によると、今回計画した溶接方法では断面的に一律な溶接収縮のみを考慮すれば良いことが分かった。部材長は予め1ジョイント2mmの伸びを入れて製作した。
- ② 補剛桁および鋼床版は先架設を行い、現場溶接および高力ボルトの締めつけを完了後、アーチリブの架設を行う。アーチリブは現場溶接収縮を加味した伸ばしにより全長で28mm (14@2mm) 伸びているためその分アーチリブは上げ越して架設する。
- ③ 現場溶接は両端より中央に向かって順次行ったが、溶接収縮による応力緩和のため、途中2回にわたりベント部でのジャッキダウンを行うことと

した。

## 6. あとがき

本橋はバスケットハンドル型のニールセンローゼ橋である。本橋のアーチリブの断面が菱形となり、フランジとウェブのなす角度が変化し、上フランジの一边が曲面となる形状である。当社においては初めての断面形状を持つアーチリブで加工法、組立順序等いくつかの難問をかかえた部材製作であった。そのため、パイロット部材を試作して各問題点を検討し、実橋に反映させて製作を行なった。

本橋はすでに竣工し供用されており、江戸川区の新中川上流域のランドマークとなっている。本橋の製作にあたり、終始御指導、御鞭撻をいただきました江戸川区役所、東工大の三木教授、東大の篠原教授ならびに関係各位に紙上を借りまして謝意を表します。

1994. 6. 25受付

## グラビア写真説明

### 名港中央大橋

本工事は第二東名・名神、名古屋環状2号線、東海環状自動車道を結ぶ伊勢湾岸道路の中核をなす名港三大橋のメイン橋梁である。

当初は吊橋として計画されていたが、工期、工費等の問題により、昭和60年に斜張橋として決定したが、中央に内港航路が設けられており、1日400隻余りの船舶の航行と航路を挟んで立地する9号地や金城埠頭に200mを超える大型船が離着岸する関係から290+590+290mというスパン割りになり、世界的な規模の斜張橋となった。

長大斜張橋は風との戦いとなるが、本工事では、様々な風洞実験により、主塔においては有害な発散振動の発生を防ぐ為に八角形断面として、主桁についても偏平多室断面形式でフェアリングを有する流線型断面となっている。また塔と主桁はケーブルを用いて弾性固定することにより、地震力の低減と主桁の橋軸方向変位を抑制している。このケーブルを利用した弾性固定方式を名港ケーブルダンパーシステム(MCD)と呼んでいる。これらを採用したことにより、製作においても、切断精度を高めるほか断面寸法の確保に最心の注意がはらわれた。

架設については、主塔基部、下層柱、下段水平梁をFCによる大ブロック架設をし、斜ベントを設け主桁の大ブロック架設、塔上部は110tタワークレーンによる単材架設を行った。

現場作業ではFCによる大ブロック架設が真冬で風の影響を受け、主塔の現場溶接では酷暑の中で行うなど、苦勞の連続であったように聞いている。

現在、平成9年度を目標に工事進捗中であるが、供用時には東・西大橋と名古屋港の三大橋として注目されることであろう。

(加藤)