

名港中央大橋 東塔の下段水平梁の製作

Production of the Lower Horizontal Beam for the East Tower of the Meikochuo-Ohashi Bridge

松枝 隆^{*1}
Takashi MATSUEDA

千葉 新次^{*2}
Shinji CHIBA

村上 貴紀^{*3}
Takanori MURAKAMI

Summary

The lower horizontal beam of the Meikochuo-Ohashi Bridge has an octagonal section at the rigid joint with the tower column. The 60mm-thick end of the beam was joined to the tower column by full penetration welding. The most important issue in producing the lower horizontal beam was how to secure accuracy by considering the influence of heat welding on the squareness of the end face of the main tower to its vertical axis. Squareness was to be achieved with an accuracy of 1/10,000. The dimensional accuracy of the octagonal section was also important.

1. まえがき

伊勢湾岸道路は、愛知県豊田市から三重県四日市市に至る延長約53kmの自動車専用道路で、東は第二東名高速道路に、西は第二名神高速道路へと連結を計画している主要幹線道路の一部である。

この道路の名古屋港を横断する部分には、名港中央大橋を中心に、名港東大橋と名港西大橋の三つの斜張橋があり、平成8年度の完成後には、伊勢湾岸地域の発展に大きく寄与することが期待される。

名港中央大橋は、支間割が290m+590m+290mの3径間連続斜張橋で、世界的規模の橋梁である。この上部工の施工は6JVの16社が行い、当社もその一翼を担って東塔（P3）工事の製作・架設を行った。

この橋の特徴は、風が強い伊勢湾に建設する橋の耐風安定性を確保するために主塔の断面が四隅を面取りした八角断面柱になっていること、及び塔と主桁を弾性固定して地震時の主桁の橋軸方向の過大な変位を抑制するために弾性拘束ケーブル（MCD）を採用していることである。

また、高さ190mの主塔の下から約50mの位置に左右の柱を連結した下段水平梁があり、これが桁幅37.5mの主桁を受ける構造になっている。

ここでは、この下段水平梁の製作から地組立について報告する。

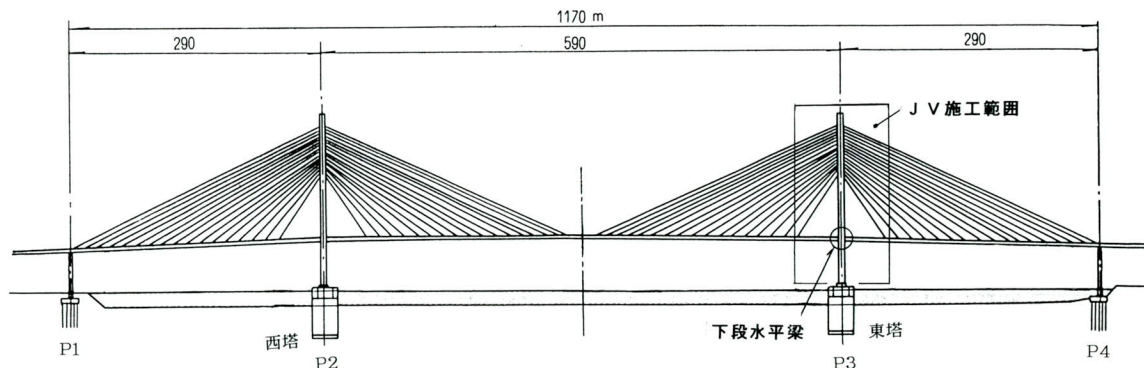


図-1 名港中央大橋の一般図

*1 千葉工場技術管理室次長
*3 千葉工場製造部品質管理課

*2 千葉工場製造部製造第一課課長代理

2. 下段水平梁の製作概要

下段水平梁は図-3に示す通り、塔柱部材とそれを連結する横梁部材から成り、高力ボルトとヤード溶接で地組立を行い、約1,200tのブロックにして現地まで海上輸送し、一括架設を行った。

この部材の特徴は、主桁の大きな応力を受ける柱の隅角部材の材料がSM570の板厚60mmで完全溶込み溶接を行うことであり、厚い材料による開先溶接の熱変形が今回初めて製作する八角断面柱の製作寸法に与える影響がこの部材製作の焦点であった。

塔柱の鉛直度に影響する継手部の端面直角度は特記仕様書で定める20" (1/10000)の精度を確保するためにフェーシングマシンによる端面切削を行った。

下段水平梁より下の下層柱及び上の中層柱とは、結合状態を確認するために、別々に二段仮組立を行った。

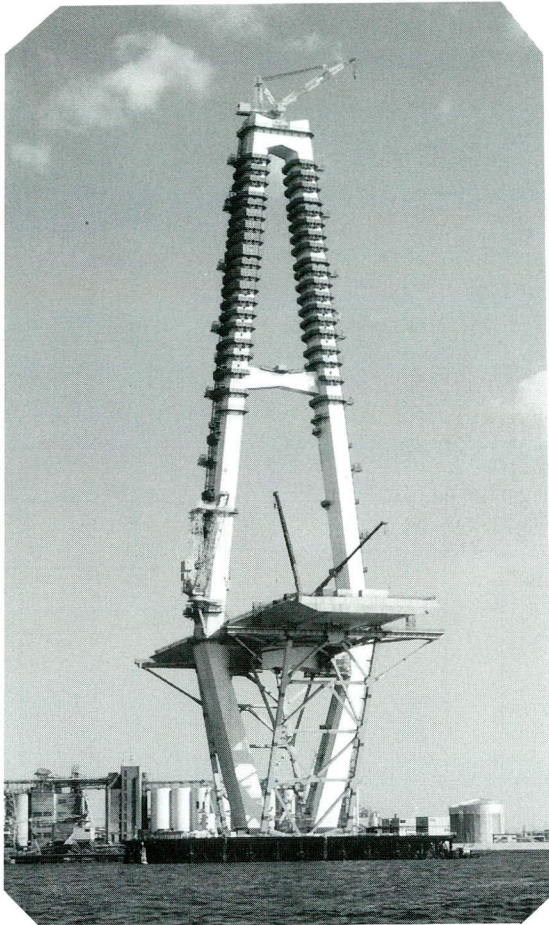


写真-1 架設完了

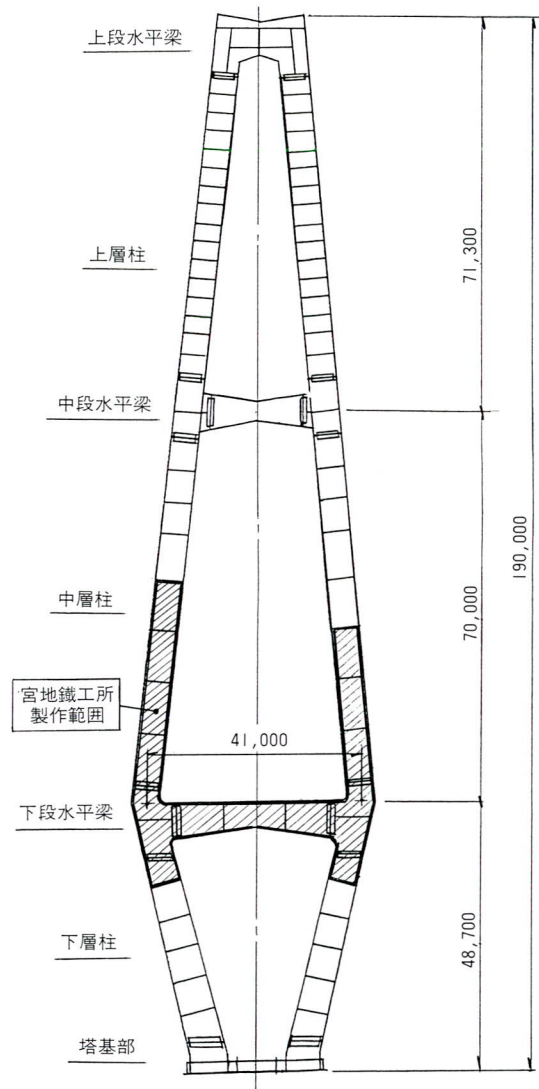


図-2 東塔一般図及び製作範囲

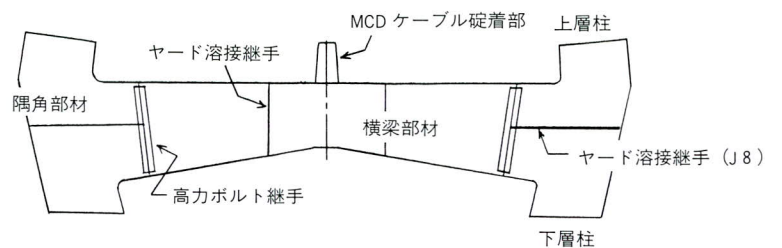


図-3 下段水平梁の構成図

3. 下段水平梁の製作

(1)製作精度

公団のこの工事の特記仕様書で定める製作基準は下記の通りであった。

表-1 製作基準

特記仕様書	
・底板の上下面の傾き	1 / 10,000
・塔柱の鉛直度	1 / 3,000
・現場継ぎを行う端面鉛直度	20"
塔以外の製作精度は共通仕様書10-6-1による。	

部材精度は下記の通りとした。

表-2 部材製作精度

計測項目		許容値
隅角部材	部材長	±1mm
	端面鉛直度	1/10000
	断面のねじれ	±3mm
断面寸法	辺長	±4mm (2mまで) 2m又はその端数を増やす毎に±1mmを加える
	対角線長	
横梁部材	部材長 (L)	10 ≥ L 10 < L
	断面寸法	辺長 対角線長
		±3mm ±4mm
		±4mm (2mまで) 2m又はその端数を増やす毎に±1mmを加える

(2)部材の組立及び溶接

1) 隅角部材の組立方法の検討

下段水平梁の隅角部材は図-3の通りのヤード溶接継手で分かれて上下2部材になっている。

組立方法を組立精度及び安全面を考慮しながら、一体組立と単体組立の比較検討を行った。

①組立受け台の高さは一体組立が2.7mに対し単体組立は2.0mと低い。また、一体組立は形状が大きくなり重量も重くなるなど安全面で好ましくない。J8の水平継手の断面確保の点では一体組立は望ましいが、安全面を優先して単体組立で行うこととした。

②組立基準面を外フランジとウェブの何方にするか比較検討した結果、ウェブを基準面Iすると部材反転の際に大がかりな補強材が必要になるので外フランジを組立基準面とした。

③八角断面の確保は本工事の重要なポイントであるため、この精度を高める方法を検討した。

そのために船形治具(図-5①)を用いて組立を行い断面の各コーナーには形状保持材(図-5⑥)を取付け組立形状の精度を確保した。

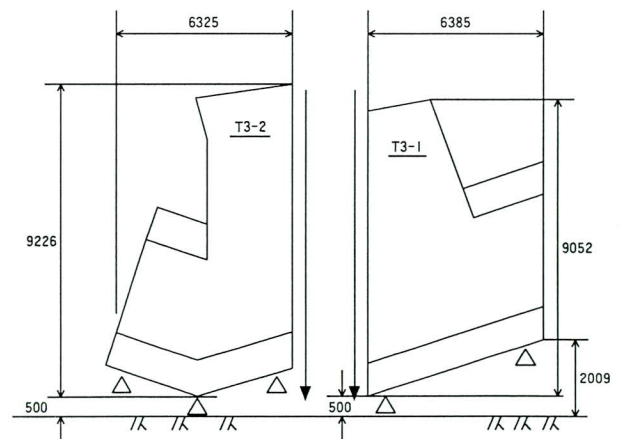


図-4 単体組立形状図

2) 隅角部材の組立順序

- ①外フランジを下に置き、ダイヤフラムと船形治具を建てる。
- ②両ウェブを取付ける。
- ③外コーナープレートを取付ける。
- ④フランジ押さえ治具（H 鋼）を建てて内フランジを取付ける。
- ⑤内コーナープレートを取付ける。
- ⑥断面の各コーナー部に形状保持材を取付ける。

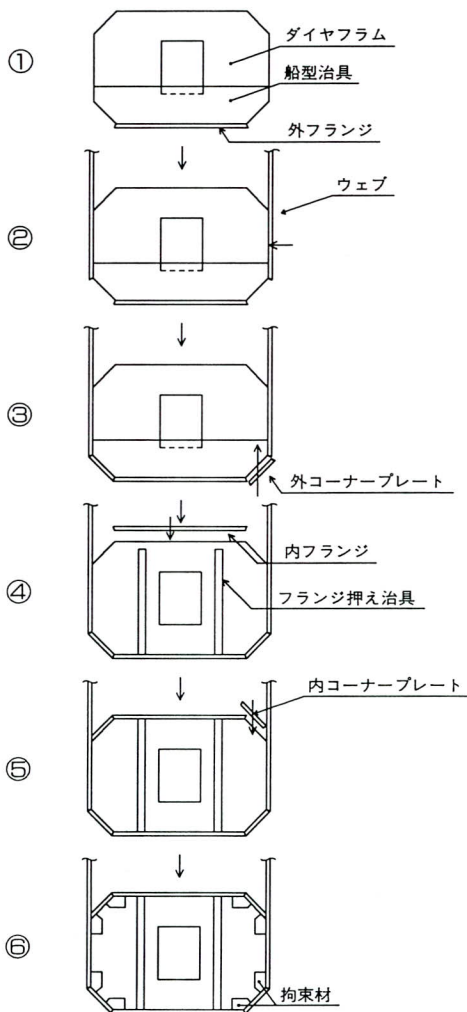


図-5 組立順序説明図



写真-2 ダイヤフラムの建て込み

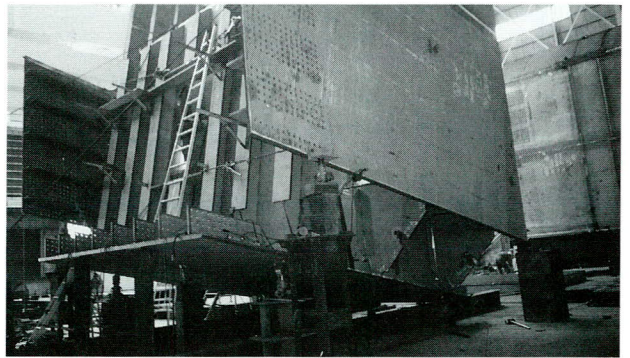


写真-3 ウェブの取付け

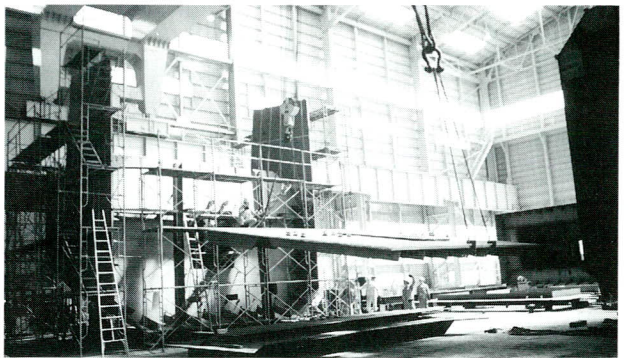


写真-4 形状保持のH鋼



写真-5 断面形状保持材

3) 横梁部材の組立

横梁は3部材で構成されているが、隅角部材に比べ板厚は最大30mmと薄く、部分溶け込み溶接が多くなっている。

しかし、東塔には架設時主桁を受ける斜ベントがありこの横梁部材を斜ベントが貫通する構造になっている。そのため、ウェブを下に置く形で組立を行なった。

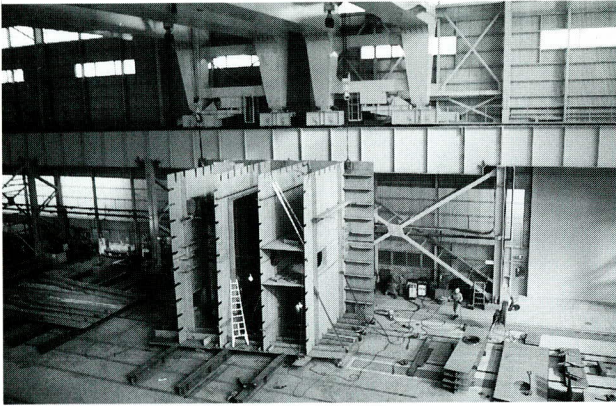
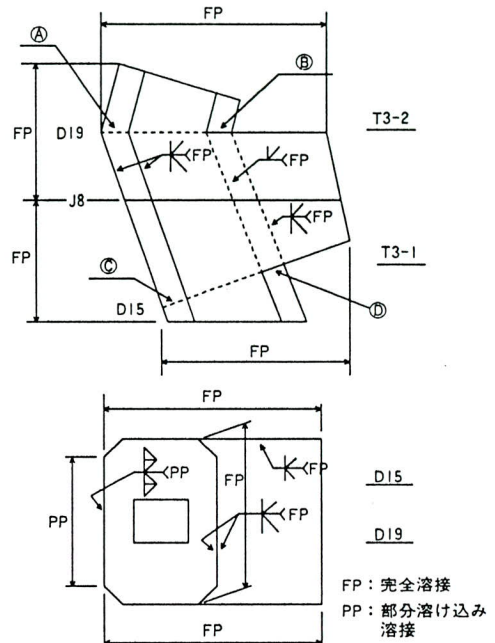


写真-6 横梁の組立



4) 隅角部材の溶接

隅角部材の八角断面柱のかど溶接、及びフランジやウェブとダイヤフラムとの溶接部は全て材質SM570、板厚60mmの完全溶け込み溶接を行った。

開先形状は図-6に示す通りで溶接施工上の留意点は次の通りであった。

- 溶接変形を少なくするため可能な限りパネル工法で先溶接を行った。
- 完全溶け込み溶接部の裏ガウジング後はカラーチェックを行い欠陥の有無を確認した。
- 開先部の溶接で角変形を小さくするため対称箇所溶接部を交互溶接し、溶接割れを防ぐために最低3層以上とした。

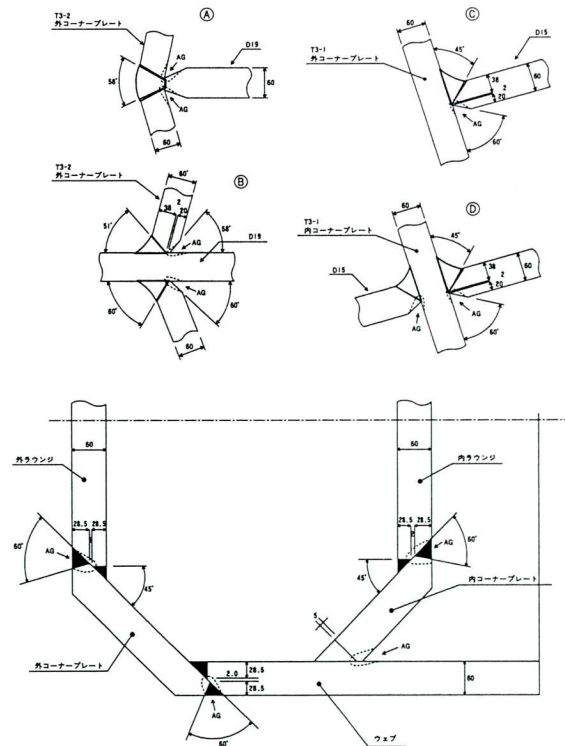


図-6 隅角部材の完全溶け込み溶接部

5) 溶接方法と開先形状

表-3 溶接方法と開先形状

対象箇所	開先形状	溶接方法	銘柄と棒径 ☆開先内 ★仕上げ層
塔柱角溶接	K開先	CO2半自動溶接	☆YM-60C (1,2φ)
内コーナープレートとウェブの角溶接	K開先		★SF-60 (1,2φ)
外コーナープレート突き合わせ溶接	V開先		
内コーナープレート突き合わせ溶接	K開先		

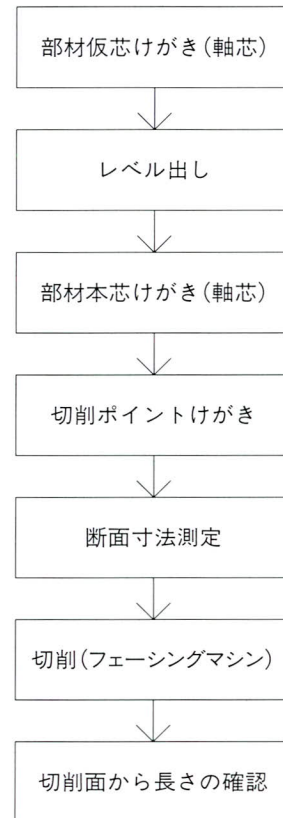


図-8 芯だし野線の手順

(3) 芯だし野線

隅角部材は端面鉛直度 1/10000、部材長 ± 1mm を確保するためにフェーシングマシンによる端面切削を行ったが、その切削線のけがき作業である芯だし野線は部材の温度差と工場の振動がない夜間に行った。

芯だし野線の精度は ± 0.15mm とし、レベル トランシットで視準しながら直接ケガキ針で行った。隅角部材のケガキ時のセットは下図の通り。

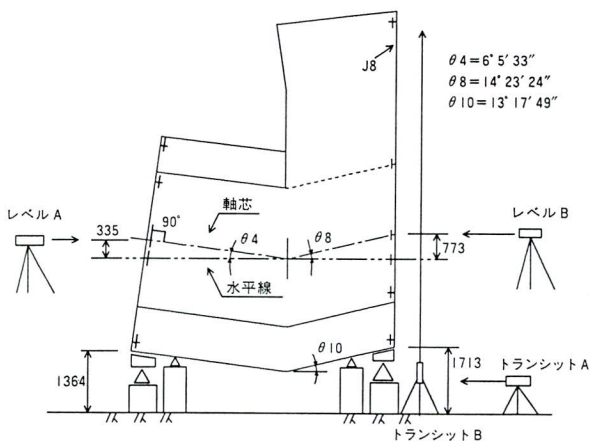


図-7 部材のセット

(4) 部材反転作業

隅角部材の重量は T3-1 は 160t、T3-2 は 153t で小さい部材で重く形状と反転作業を考慮した吊り金具を用いた。

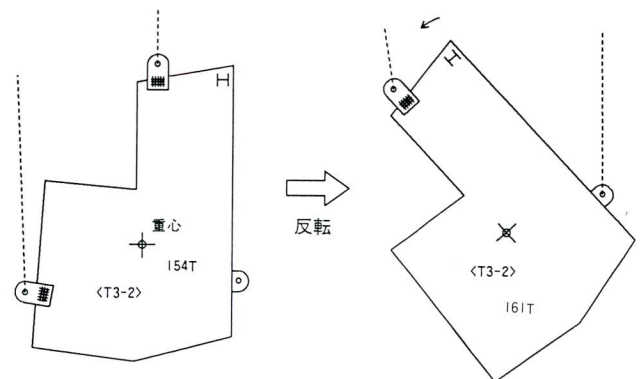


図-9 部材反転作業図

(5) 端面切削

下段水平梁の塔柱部分は特記仕様書の規定に基づき端面直角度20°を確保するためフェーシングマシンによる端面切削を行った。

部材が特異形状であったので写真に示す切削方法によって行い、計測は部材温度差が少ない夜間に行った。

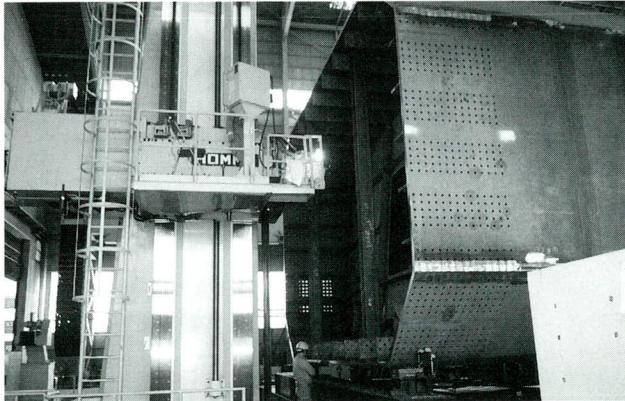


写真-7 切削状況

(6) 二段仮組立

(a) 下層柱との二段仮組立

T2-6部材は下層柱の大ブロック部材として他社の部

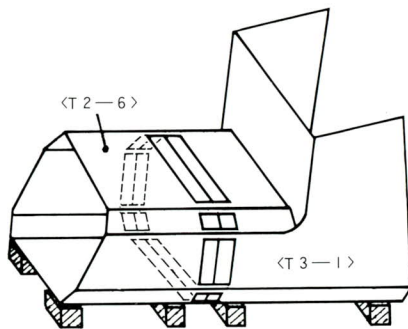


図-10 下層柱との二段仮組立

材にヤード溶接される前に下段水平梁との二段仮組立を行った。

(b) 中層柱との二段仮組立

中層柱は単材架設なので、下段水平梁の地組立の最終段階において南北柱を別々に中層部材を立てる状態で接合する仮組立を行った。

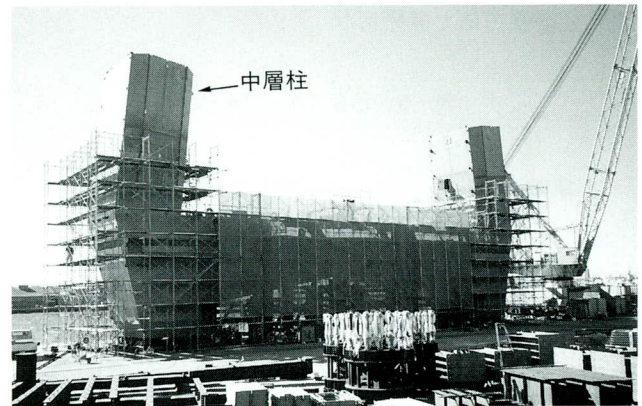


写真-8 二段仮組立

(c) 仮組立精度

表-4 仮組立精度

計測項目	許容差		
仮組立長	(±1×N) N:ブロック長		
通り	(フランジ面・ウエブ面) 1/3000 (芯ズレ ±2mm以内)		
高力ボルト 貫通率 停止率	位置	貫通率	停止率
	本体	25φ	27φ
	縦リブ	25φ	29φ
	率	100%	80%
添接部の精度	現場添接部の隙間		5mm以内
	現場添接部の肌隙		1mm以内

(d) 仮組立の結果

二段仮組立の結果は良好で八角断面柱の計画と施工の成果であり、その後の架設においても部材の接合状態で問題はなかった。

4. 地組立

(1) 概要

a) 地組立順序

最初に横梁部分の3台の地組立を行い、J39のヤード溶接を完了した後、全長、曲り、ねじれ等の検査を行い問題がないことを確認した後に隅角部の地組立に移行した。隅角部材は下側のT3-1の部材を両側取付け、柱間隔や鉛直度等を確認した後、上側のT3-1の部材を取付け全体の寸法と構造のチェックを行った。

b) 地組立精度

下段水平梁の地組立精度は下表の通りである。

ヤード溶接のJ8水平継手の熱変形の影響を考慮して許容値と管理目標値を設け、後者をヤード溶接前の段階での目標とし、出来得る限り誤差が生じないように入念な調整を行った。

表-5 地組立精度

(mm)

項目	許容値	管理目標値
値組立高さ	± 4	± 3
柱端相対高さ	± 4	± 2
塔柱間隙	± 7	± 5
通り	1/3000	—
断面ねじれ	± 3	—
MCD部の位置	± 2.5	—
沓ベース位置	± 5	—
沓ベース相対高さ	± 4	—

(2) ヤード溶接

1) ヤード溶接施工試験

下段水平梁ヤード溶接に先立ち、隅角部の水平継手を(材質 SM570Q、板厚60mm) 試験体対象継手としてヤード溶接施工試験を行った。

溶接方法は、作業性を考慮してPICOMAX溶接機による外面からのCO2片面裏波自動溶接(横向き姿勢)を採用した。開先形状は過去の種々な実験結果から、横

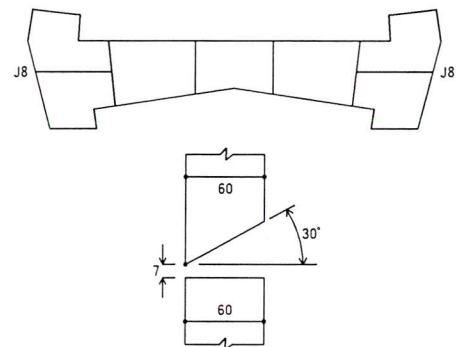


図-11 ヤード溶接施工試験継手

向き姿勢でのCO2片面裏波自動溶接の場合は開先角度35°レ型開先としていたが、本工事は板厚が60mmと厚く、開先断面積が大きく、溶接量が多くなる。従って、開先角度を30°とし開先断面積を小さくして行うこととした。

溶接材料は、初層および仕上層にはフラックス入ワイヤーのSF-60(1.2φ)を、中間層にはソリッドワイヤーのYM-60C(1.2φ)を用いた。

施工試験の結果、開先角度30°でも溶接施工性は良好であり、放射線透過試験および機械試験の各試験項目においても、判定基準を十分満足する結果が得られた。

試験結果は下記の通り。

表-6 溶接施工試験結果

試験項目	判定基準	試験結果	
引張試験	引張強さが母材の規格値以上。 ($\geq 570\text{N/mm}^2$)	T-1	700N/mm ²
		T-2	697N/mm ²
曲げ試験	原則としてキレットが生じてはならない。	B-1	欠陥なし
		B-2	欠陥なし
衝撃試験	3個の平均値が母材の規格値以上。 ($-5^\circ\text{C} \geq 47\text{J}$)	S	Av=139J
マクロ試験	欠陥があってはならない。	M	欠陥なし
放射線透過試験	2級以上	F-1	欠陥なしⅠ級
		F-2	欠陥なしⅠ級
		F-3	欠陥なしⅠ級

なお、本工事のように板厚が厚い横向き姿勢での片面裏波自動溶接を場合には開先角度を30°とし、どのくらいの板厚から30°とするか今後検討して行くこととした。

2) ヤード溶接

下段水平梁は千葉工場岸壁にて地組立を行い、横梁のJ39と隅角部J8のヤード溶接を行った。

横梁の溶接は上下フランジ、ウェブとも外面からの片面裏波自動溶接で行い、隅角部の水平継手は、内面コーナープレート部分に自動溶接機の作業スペースが確保で

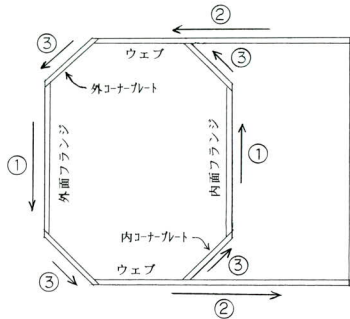


図-12 隅角部の溶接順序

きないため両面からのCO₂半自動で行い、それ以外は全てCO₂片面裏波自動溶接で行った。

溶接順序は図-12に示す通りで、溶接による変形を考慮して対面同時溶接とした。

ヤード溶接継手の開先形状、溶接方法、溶接材料は下表の通り行なった。

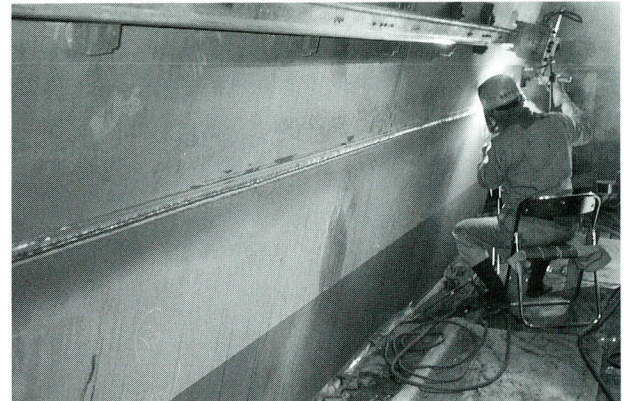
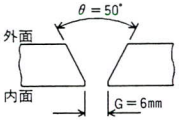
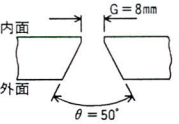
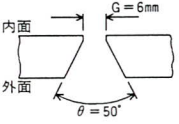


写真-9 J8のヤード溶接状況

表-7 隅角部ヤード溶接部の開先形状・溶接方法・溶接材料 (J8)

継手位置	箇所	材質・板厚	開先形状	溶接方法	溶接姿勢	溶接材料
隅角部 J8	外面 フランジ	SM570Q t=60		CO ₂ 片面 裏波自動溶接 (PICOMAX-2)	横向き	ワイヤ： 初層、仕上層 SF-60 (1.2φ) 中間層 YM-60C (1.2φ) 裏当材：SB-41P
	内面 フランジ	SM570Q t=60		CO ₂ 片面 裏波自動溶接 (PICOMAX-2)	横向き	ワイヤ： 初層、仕上層 SF-60 (1.2φ) 中間層 YM-60C (1.2φ) 裏当材：SB-41P
	ウェブ	SM570Q t=60		CO ₂ 片面 裏波自動溶接 (PICOMAX-2)	横向き	ワイヤ： 初層、仕上層 SF-60 (1.2φ) 中間層 YM-60C (1.2φ) 裏当材：SB-41P
	外面 コーナー プレート	SM570Q t=60		CO ₂ 片面 裏波自動溶接 (PICOMAX-2)	横向き	ワイヤ： 初層、仕上層 SF-60 (1.2φ) 中間層 YM-60C (1.2φ) 裏当材：SB-41P
	内面 コーナー プレート	SM570Q t=60		CO ₂ 半自動溶接	横向き	ワイヤ： 中間層 YM-60C (1.2φ) 仕上層 SF-60 (1.2φ)

表-8 横梁部ヤード溶接部の開先形状・溶接方法・溶接材料 (J39)

継手位置	箇所	材質・板厚	開先形状	溶接方法	溶接姿勢	溶接材料
横梁部 J39	上フランジ	SM490YB t=30		片面裏波 サブマージアーク 溶接	下向き	ワイヤ: Y-D(4.8φ) カットワイヤ: YK-C(1φ) フラックス: YF-15A(20×200) 裏当材: SB-5I
	下フランジ	SM490YB t=23		MAG片面 裏波自動溶接 (OH-AUTO)	上向き	ワイヤ: DWA-50 (1.2φ) 裏当材: SB-4IP
	ウェブ	SM490YB t=25		CO ₂ 片面 裏波自動溶接 (PICOMAX-2)	立向き	ワイヤ: SF-1 (1.2φ) 裏当材: SB-4IP

隅角部 J8 の水平ヤード溶接において、溶接完了後の収縮量 (標点距離100mm) および面外変形量の測定を行った。その結果、収縮量の平均値は2.5mmであり事前にヤード溶接の収縮量を3mmに予想して、部材長に付加したが、結果としてはほぼ妥当な値であった。

なお、横梁部 J39については伸ばし量2mmとした。面外変形量は最大値が5mmであり、溶接量が多いが板厚が厚い分自拘束が大きくなるため、さほど大きくはならなかったと思われる。

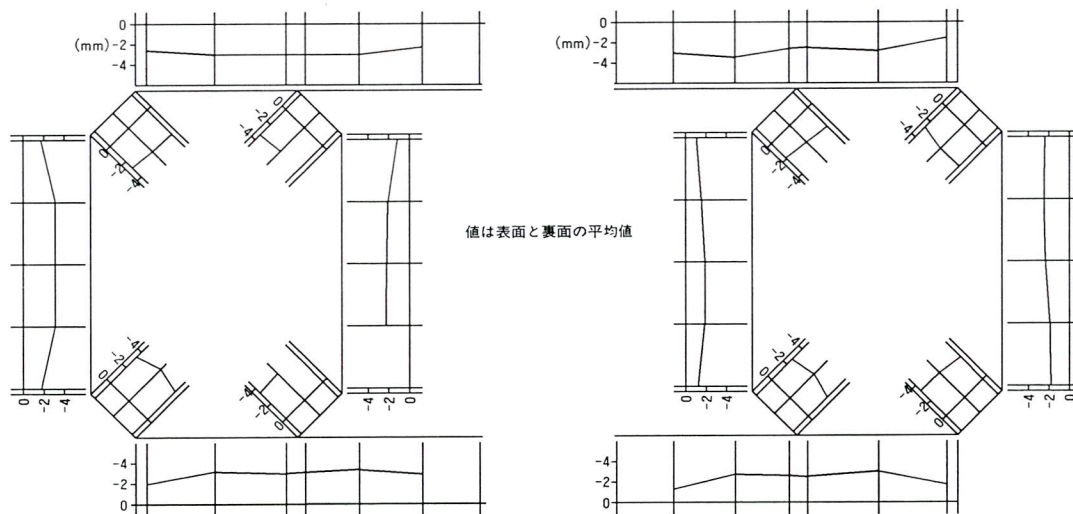


図-13 下段水平梁ヤード溶接部 (J8) の収縮量

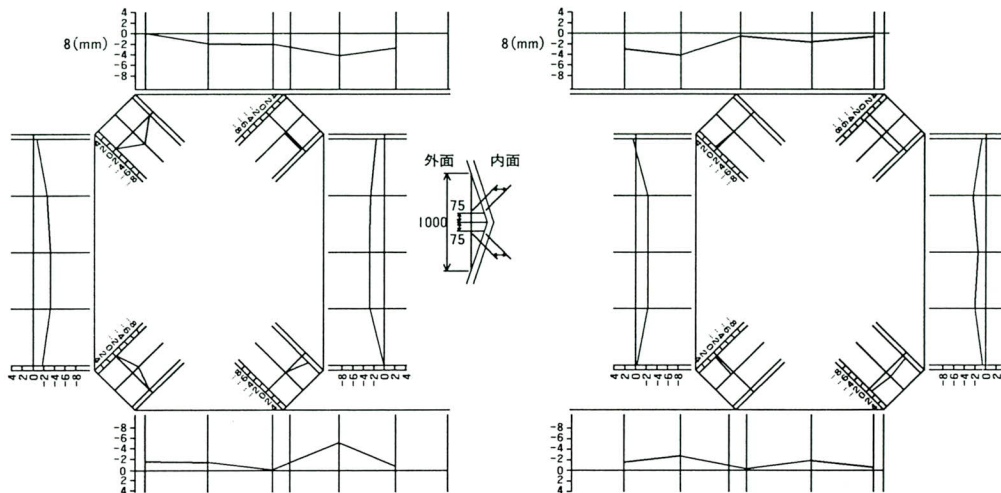


図-14 下段水平梁ヤード溶接部（J8）の面外変形量

3) 自動超音波探傷試験

ヤード溶接後、溶接線の全線について自動超音波探傷試験を行い品質の確認を行った。

検査の方法は JIS Z3060 に基づいて行い、探傷装置は CKUT-04 システムを使用し、1 検査単位の検査長を 250mm として L/2 検出レベルでの探傷結果が 2 級以上を合格として行った。

探傷結果は良好であった。

5. 塗装

(1) 仕上げ塗装

名港中央大橋の完成色は技術委員会において種々検討がなされ、白色系の「10/PB9/2」に決定した。

この色は、藤色が少し入った白色で、青色の東大橋と赤色の西大橋の中央に白く輝く長大橋をイメージして決められたと思われます。

なお、仕上げ塗装の管理は標準色見本を基に入念に行った。

(2) 下段水平梁の塗装

塗装仕様は、塗装便覧の外表面が C3（ふっそ樹脂塗料仕上げ）内面は D4（変性エポキシ樹脂）であった。

下段水平梁は地組立時の塗膜の損傷を考慮し、外表面の中及び上塗り塗装をヤード溶接完了後の最終段階で施工

した。

6. あとがき

本工事は平成7年3月15日に無事竣工したが、その際に行った主塔の出来形計測結果は下記の通りであった。

表-9 出来形計測結果

測定項目	結果	目標値
横軸方向の倒れ	1/7000 (P4方へ27mm)	1/3000
縦軸直角方向の倒れ	1/7600 (南方へ25mm)	1/3000
高さ	-19mm	±35

「東塔出来形最終報告書」より抜粋

本工事を製作するにあたり、日本道路公団伊勢湾岸道路工事事務所の方々を初め、JV関係各位には大変お世話になりました。

この誌上をお借りして御礼申し上げます。

当社として、この工事を通じて得た貴重な経験を今後の施工に生かして行きます。

1995.9.5受付