

# 生口橋の補剛桁の製作

## FABRICATION OF THE BOX GIRDER OF IKUCHI BRIDGE

岡本 澄豊<sup>1)</sup>東 隆行<sup>2)</sup>

### SYNOPSIS

Connecting Innoshima and Ikuchi islands, Ikuchi Bridge is a cable-stayed bridge located in the Onomichi-Imabari Route of the Honshu-Shikoku Bridges. With a center span length of 490m, this bridge ranks among the longest cable-stayed bridges in the world. The central span of steel box-girder, together with the side spans of prestressed concrete constitute one of the few cases of hybrid structure applied to cable-stayed bridge in the world, being the first case in Japan.

Of the total project, about half of the central span box-girder, on the Ikuchi island side, was designed and fabricated by our company in a joint venture with another two companies. This paper reports briefly on the fabrication of the steel box-girder, as well as on the various investigation carried out concerning the fabrication.

### 1. まえがき

生口橋は、西瀬戸自動車道（本州四国連絡橋尾道～今治ルート）のうち、因島・生口島間に架けられる斜張橋である。

本橋は、中央支間長490mの世界最大級の斜張橋で、補剛桁は、中央径間が鋼箱桁、側径間がプレストレスコンクリート（PC）箱桁で構成されており、鋼とコンクリートのそれぞれの特徴を生かした複合構造形式となっている。この構造形式は、世界にも例が少なく、日本においては最初の橋梁である。

当社は、本橋の中央径間の内、生口島側約1/2の鋼箱桁の設計・製作を瀧上・日橋・春本3社の共同企業体で受注し、そのうちの中央径間中央部を担当した。本文では、上述の鋼箱桁の工場製作に焦点を絞って報告する。以下に、製作上の特徴を記す。

- ① 本橋は、世界でも有数の斜張橋であり、架設現場での形状管理およびケーブルの張力管理の点から、工場での製作精度を確保することは非常に重要である。とくにケーブルの定着部に対しては、高い製作精度が要求される。
- ② 架設工法として直下からの吊上げ工法を採用しているため、架設ブロックは工場ヤードにおいて付属物を含

めて完成形状に近い状態に組立てる必要がある。また架設ブロックの現場接合部において、鋼床版が溶接継手であるため、現場溶接による種々の影響を製作に反映することが重要である。

以上の特色などを踏まえ、本橋は下記のような製作方針に従い製作することとした。

- ① 実物大の模型製作による施工法の確認、および実施工への反映
- ② 溶接施工試験による溶接方法の確認
- ③ 品質管理の徹底、誤差防止
- ④ 作業の標準化の徹底

### 2. 構造概要

生口橋の架橋位置を図-1に示す。構造一般図を図-2に、主要諸元を下記に示す。

路線名	一般国道317号
架橋地点	自 因島市田態町（因島） 至 因島市洲江町（生口島）
車線数	4車線（暫定2車線供用）
橋の等級	1等橋（TL20, TT43荷重）
橋梁形式	3径間連続複合箱桁斜張橋
構造形式	主桁 中央径間 逆台形鋼床版2箱桁 逆台形PC4室箱桁
塔	鋼A形下絞形状
ケーブル	2面マルチファン形式

1) 和歌山工場製造部次長 Sumitoyo OKAMOTO

2) 和歌山工場製造部生産技術課 Takayuki AZUMA

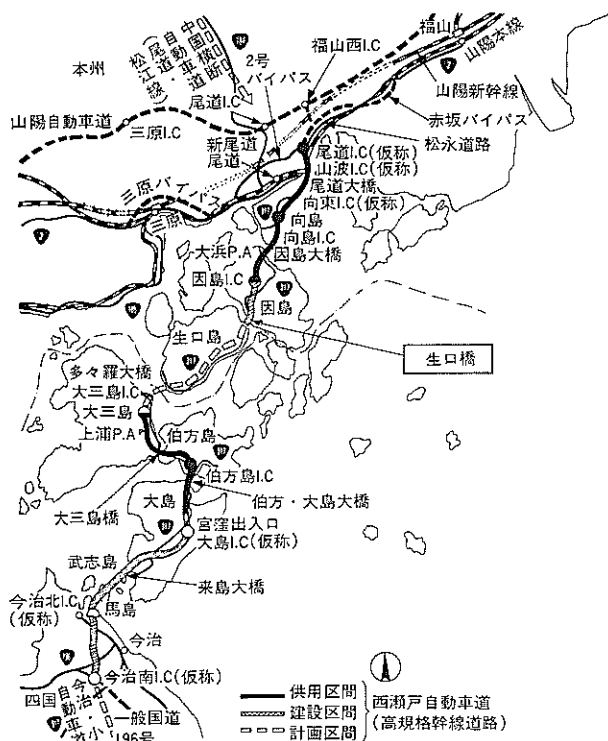


図-1 位置図

鋼 重 鋼桁 5990 t  
 塔 4334 t  
 ケーブル 1111 t

### 3. 製作

#### 3.1 製作手順

本橋の補剛桁の製作手順を図-3に示す。工場において、付属物を含む架設ブロックに組立てるため、作業性を考え、付属物は本体の製作状態に対応させ、3段階に分けて取付けた。標準架設ブロックを図-4に示す。

塗装は、仮組立および仮組立時のハンドリングや部材の矯正による補修塗装を極力少なくするために、2段階に分けて行った。

#### 3.2 ケーブル定着鋼管

定着鋼管の標準的な構造を図-5に示す。特徴としては、下記の諸点が挙げられる。

- ① 溶接構造用遠心力铸造管 (SCW50-CF) および溶接構造用铸鋼品 (SCW49) を使用している。
- ② 腹板と定着鋼管の突合せ溶接部は、構造上重要な箇所であり、非破壊検査を放射線透過試験により行う必要がある。また、応力伝達をスムーズにするためにヒレ付定着鋼管としている。ヒレの突出量は、鋼管の製作上30mmが最大であった。
- ③ 定着鋼管の製作は、経済性、施工性を考え、外面はヒレ付のため铸放しのまま、内面は、機械加工仕上げとした。外面は铸放しのため、試作品を製作し製品精度および品質の確認を行った。

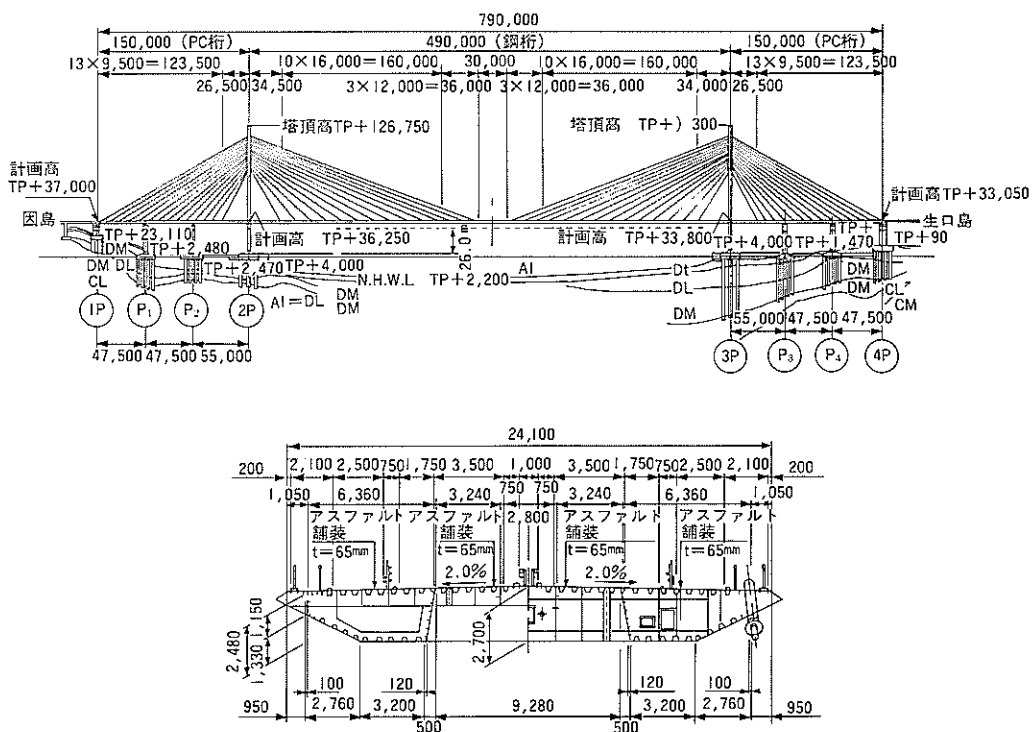


図-2 構造一般図

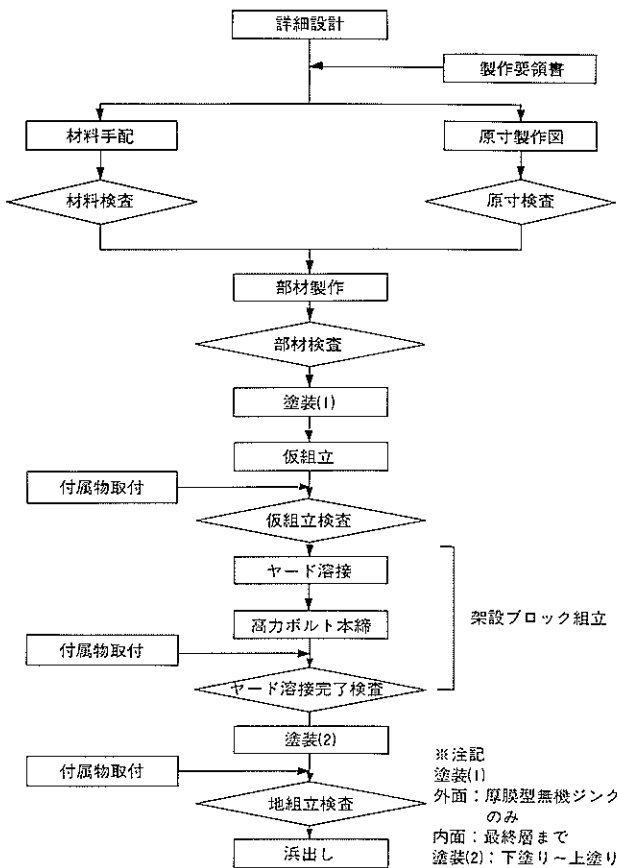


図-3 製作手順

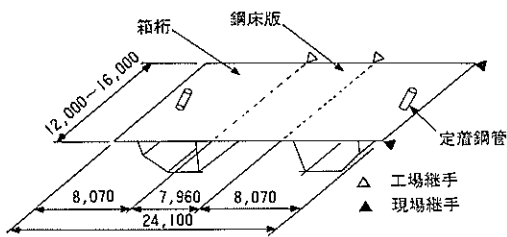
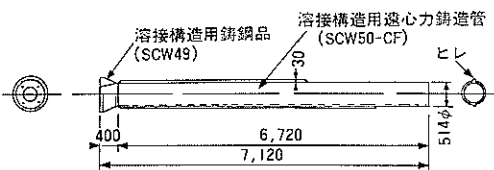


図-4 標準架設ブロック



中央径間 中央部

図-5 定着鋼管標準構造

3.3 原寸

補剛桁の架設工法および現場接合方法から、製作キャンバーには、現場溶接による溶接部の収縮の影響を考慮する必要があった。そこで、1つの現場溶接線につき収縮量として2mmを見込み、図-6に示すように、下フランジを基準に角折れ変形を考慮して上げ越し量を求めた。上げ越し

量は、中央径間の中央で1168mmとなった。添接板は、図-7に示すように仮組立時において母材のボルト孔と添接板のボルト孔とが一致するようにした。

ケーブル定着部の構造としては、腹板中心定着形式(パイプ形式)を採用しており構造的にかなり複雑なものとなっている。当社の製作部分は、とくに定着鋼管角度が小さく狭いいため、実物大の模型を製作し、作業性・作業方法等の検討を行って原寸作業を進めた。ケーブル定着部の詳細図を図-8に示す。

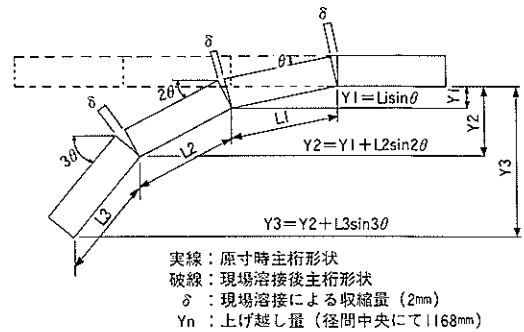


図-6 上げ越し

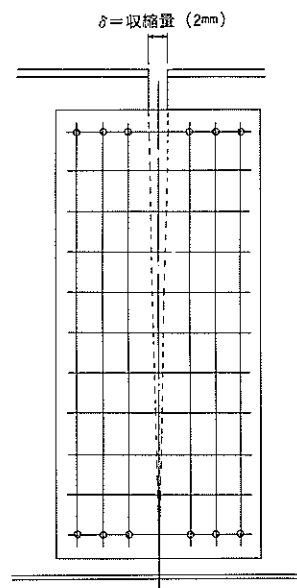


図-7 添接板の形状

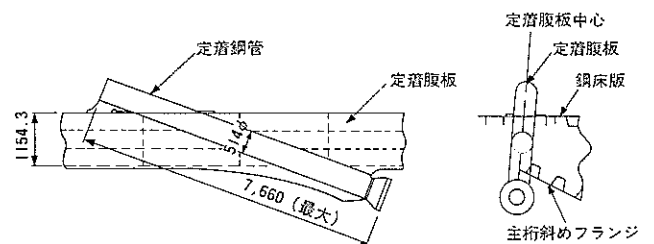


図-8 定着部詳細図

### 3.4 孔明

孔明は、部材組立前の段階で実施する先孔工法により行った。これは、部材の大きさ、形状および重量を考え、部材完成後に孔明加工を行うのが困難であると判断したからである。

### 3.5 面取り

部材の自由端は、部材端部の塗料付着量、防錆力および経済性を検討した結果、箱桁の内外面共2R以上の面取りを行った。<sup>1)</sup>目視では、2R以上という面取り量が確保されているかどうかを判断することが困難なため、その限界を示す見本を製作し、これを用いて作業を進めた。

### 3.6 部材組立

部材の組立は、総組立方法によって行った。この方法は、部品を仮付け溶接ですべて組立て、高さ・幅・長さを調整した後、手溶接、または半自動溶接により部材を構成する方法である。

本橋の箱桁断面は、逆い形状の五角形であるため、所要の断面形状が確保できるよう種々な検討を加えた。とくに、ダイヤフラムの形状・寸法が箱桁の断面形状を確保するうえで極めて重要であり、これを基準に組立てを行うの

で、ダイヤフラムの切断時における寸法精度の管理を徹底して行った。

図-9に組立順序を、写真-1～3に組立状況を示す。

### 3.7 溶接

#### (1) ケーブル定着鋼管部

ケーブル定着鋼管部の溶接は、鋼管の回りに多くの部材が交差していて複雑で狭いこともあり、3種類の溶接施工試験を行い、施工性および継手性能に問題がないことを確認して行った。

#### a) 腹板と定着鋼管（遠心力鋳鋼管）の突合せ溶接部の溶接施工試験

橋梁の製作においては、遠心力鋳鋼管の溶接例が少なく、また遠心力鋳鋼管にヒレを設けているため、その溶接性および継手性能を確認するために溶接施工試験を行った。試験要領を表-1に示す。

試験の結果から、溶接部の施工性および継手性能は、実施工においても十分確保できることを確認した(写真-4)。

#### b) 定着鋼管と定着ダイヤフラムの溶接施工試験

定着鋼管と定着ダイヤフラムとが種々の勾配で取付くため、継手部の開先形状は管の上部、中間、下部で複雑に変

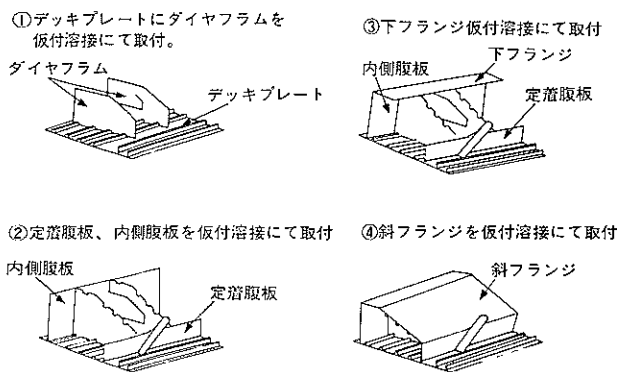


図-9 部材の組立順序

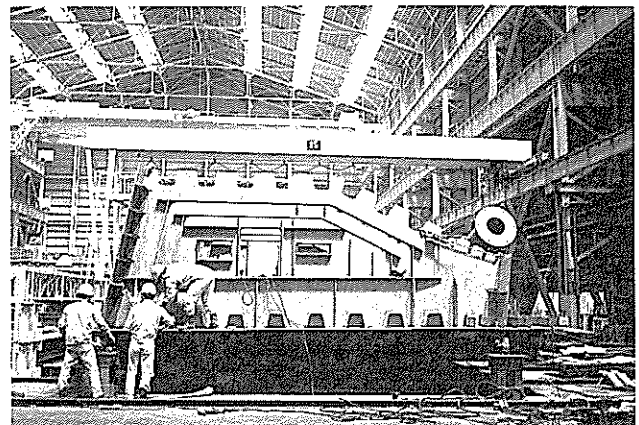


写真-2 組立状況(その2)

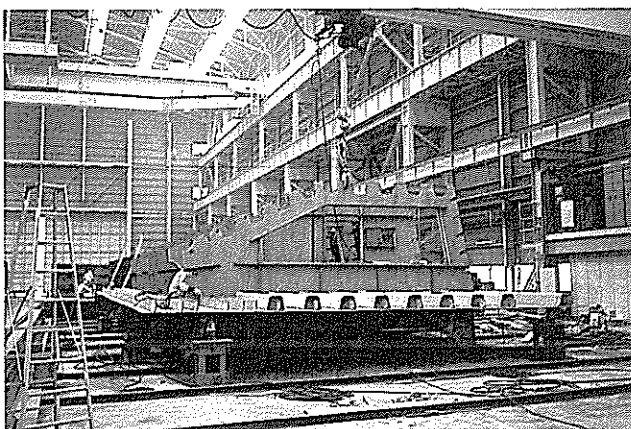


写真-1 組立状況(その1)

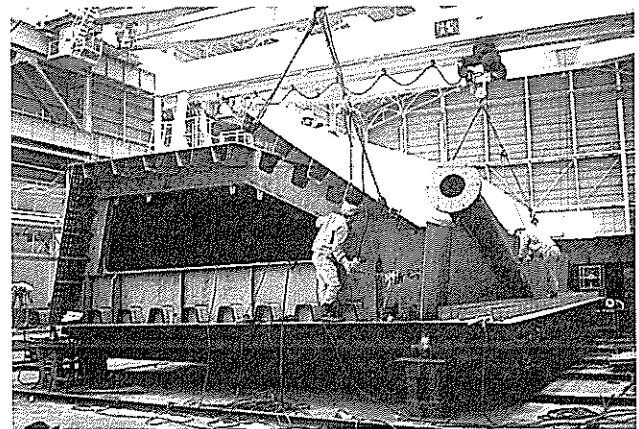


写真-3 組立状況(その3)

化する。また、構造上狭あい部のため、実物大の試験体を製作し、その溶接性および継手性能を確認した。表-2に試験要領を示す。

試験の結果、溶接作業は十分可能であり、継手性能にも問題がないことが確認された。当社の製作部分は、定着鋼管角度がとくに小さいので、溶接の作業性が悪く、品質を確保する上で若干心配な点もあった。しかしながら、溶接施工試験の結果に基づき、実施工における溶接順序および溶接方法を定め厳格な管理基準に従って入念に施工した結果、所要の品質を確保することができた。

c) 定着鋼管とデッキプレートの溶接施工試験

定着鋼管は、デッキプレートに対して種々の勾配で取付くため、継手部の開先形状は複雑に変化する。また、箱桁の内面側は、狭あいなため、実物大の試験体を製作し、施工性・継手性能を確認した。試験要領を表-3に示す。

外観、溶込み状態についても十分満足し得る結果が得られ、実施工に際しての有用な資料とすることができた。

(2) フランジの溶接

下フランジおよび斜フランジの縦リブには、外観に対する配慮から、溶接に伴うやせ馬が少なくなるように、溶接

時の入熱量が少なくすむJSS規格のU形鋼を使用している。このU形鋼の溶接は、手溶接で行い、極力やせ馬が生じないように配慮した。

(3) 下フランジと斜フランジの交点の溶接

下フランジと斜フランジの交点部の溶接は、作業能率のことも考え、片面CO2自動溶接(PICO MAX-2)により行った。非破壊検査は、超音波探傷で溶接部の両側1mを含めて全体で20%以上について行った。

3.8 仮組立

製作した部材をヤード溶接および高力ボルト接合により架設ブロックに組立てるが、接合する前段階の組立を仮組立と称した。仮組立は、ドリフトピンと仮締ボルトにより部材を接合し、取合状態、全長およびキャンバーなどを確認することとした。

仮組立は、当社の製作分全量について下記の手順で行った。

- ① 仮組立ヤードに支持台を配置後、芯出し、支持台の高さ調整を行う。
- ② 主桁→中鋼床版→主桁の順で現場継手毎に部材を配置し、全体の寸法調整を行う。
- ③ 現場継手部の開先調整を行う。

表-1 腹板と定着鋼管の突合せ溶接施工試験要領

溶接方法	試験体	開先形状	試験項目
サブマージ アーク溶接			・機械試験 (引張、衝撃、硬さ) ・マクロ試験 ・X線検査

表-2 定着鋼管と定着ダイヤフラムの溶接施工試験要領

溶接方法	試験体	開先形状	試験項目
半自動溶接			マクロ試験

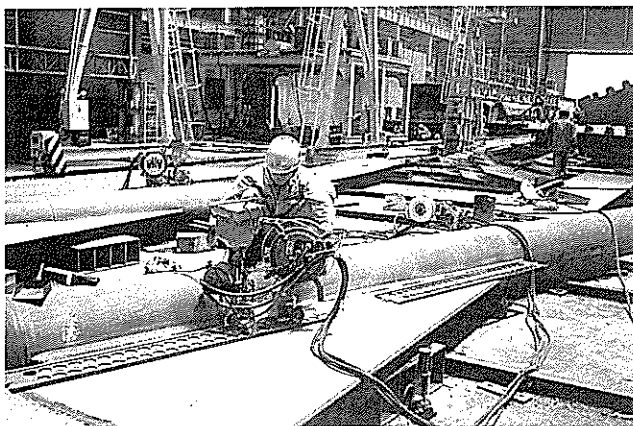


写真-4 腹板と定着鋼管の突合せ溶接状況

表-3 定着鋼管とデッキプレートの溶接施工試験要領

溶接方法	試験体	開先形状	試験項目
半自動溶接			マクロ試験

とくに、架設工法より現場溶接に伴う収縮量を原寸時に見込んだ2mmにおさえる必要があった。開先形状と収縮量とは、密接な関係にあるため、鋼床版は幅および長さについて、余長として10mmを考慮して製作した。部材の完成後、設計値に基づいて二次切断し、所定の開先形状が得られるようにした。

他社との取合は、検照治具により確認し、重複仮組立は行わなかった。検照治具は、取合部の断面形状が全て確認できる構造とし、機械切削等により製作精度を高めることにした。

仮組立状況を写真-5、6に示す。

### 3.9 地組立

仮組立後、ヤード溶接および高力ボルトの締付を行い架設ブロックに組み立てた。ヤード溶接は、サブマージーク溶接により行った。溶接条件を表-4に示す。

溶接施工上の配慮としては、この溶接法を用いると溶接熱によって開先が変化し、とくに終端部において高温割れが発生することがあるため始末端部から500mmの範囲内では開先を拘束して溶接した。

ヤード溶接による収縮量は、ゲージレングスを200mm、400mmおよび600mmとして測定した結果、原寸時に見込んだ2mm/1 Jointに対しそれぞれ2.4mm、2.3mmおよび2.2mmとなり、ほぼ予測した値に一致していた。測定結果を表-5に示す。

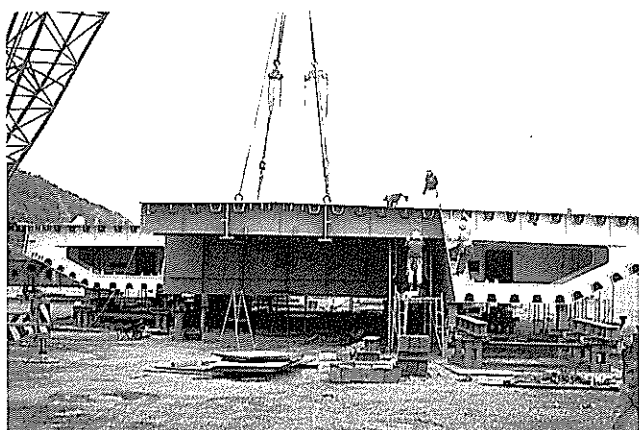


写真-5 仮組立状況

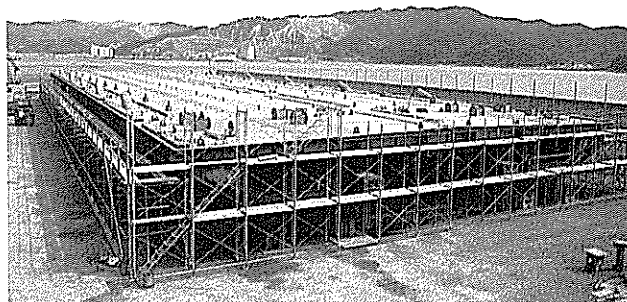


写真-6 仮組立全景

表-4 ヤード溶接条件

板厚	材質	溶接法	溶接条件			溶接材料				開先形状
			電流	電圧	速度	溶接	フラックス	充根材	裏当材	
12	SS41	サブマージーク溶接	750~800A	33~34V	20~25 (m/min)	US-36 (神鋼)	MF-38 (神鋼)	RR-2 (神鋼)	FAB-1 (神鋼)	

表-5 ヤード溶接による収縮量 (単位mm)

ゲージレングス	測定数	範囲	平均
200	68	1.0~4.0	2.4
400	68	1.0~4.0	2.3
600	68	0~4.0	2.2
備考			

ヤード溶接の非破壊検査は、現場溶接扱いとして1つの溶接線につき15枚X線撮影した<sup>2)</sup>。

高力ボルトの導入軸力の管理は、耐力点法で行った。

4. 検査と精度

4.1 部材検査

製作された全部材主桁12ブロック、主桁間の鋼床版6ブロックについて、部材検査を実施した。

部材精度の検査項目および許容誤差は、本四公団「鋼橋等製作基準」(以下「製作基準」)<sup>3)</sup>に基づき、表-6に示すとおりとした。仮組立以後の作業において、とくに重要と思われるものについては、「管理目標値」を設定した。

製作誤差の測定結果を表-7に示す。この表より、製作誤差の測定値は、全ての項目において許容誤差および管理目標値の範囲内におさまっており、とくに部材長については、12m~16mの長尺部材にもかかわらず、管理目標値±2mmの範囲内に入っていることがわかる。

4.2 仮組立検査

仮組立の精度は、「製作基準」を基にして表-8に示すとおりとした。定着鋼管の取付精度は、橋梁の構造形式、架

表-6 部材精度

検査項目	条件	許容差 (mm)	備考	
部材高	-	± 2		
断面寸法	フランジデッキプレート幅	W ≤ 1 m : ± 2 W > 1 m : ± 3	管理目標値 ± 2	
	腹板間隔	B ≤ 1 m : ± 2 B > 1 m : ± 3	管理目標値 ± 2	
	対角線長	箱断面	± 3	
	断面のねじれ	箱断面	± 3	
	下フランジ斜フランジデッキプレート	W: リブ間隔 又は 腹板間隔	W/150以下	管理目標値 ※リブ間は3mm以下 ※腹板間は隣接部材相対差を3mm以下とする。
板の平面度	主桁・縦桁の腹板	h: 腹板高 又は リブ間隔	h/150以下 管理目標値 ※リブ間は3mm以下 ※腹板全高間は隣接部材相対差を3mm以下とする。	
	フランジ直角	b: フランジ幅	b/100以下	
部材長	L ≤ 10 m	± 2	管理目標値 ± 1	
	L > 10 m	± 3	管理目標値 ± 2	

表-7 部材の製作誤差 (mm)

項目	許容誤差	誤差範囲	平均
部材長	± 3 (± 2)	- 2 ~ + 2	+ 0.3
部材高	± 2	- 2 ~ + 2	+ 0.6
部材幅	± 3 (± 2)	- 3 ~ + 3	+ 0.5
対角線長	± 3	- 3 ~ + 3	+ 0.4
腹板間隔	± 3 (± 2)	- 3 ~ + 2	- 1.0
断面のねじれ	± 3	- 2 ~ + 1	- 1.3
デッキプレートの平面度	2以下	- 2 ~ + 1.7	- 0.3
斜フランジの平面度	2以下	- 2 ~ + 1.0	- 0.6
下フランジの平面度	2以下	- 2 ~ + 1.2	- 0.6
腹板の平面度	2以下	- 2 ~ + 1.6	- 0.8
フランジ直角度	1.9以下	- 1.6 ~ + 1.7	+ 0.5

( ) 内は管理目標値を示す

表-8 仮組立精度

検査項目	条件	許容差 (mm)	管理目標値
桁全長	主桁L: 仮組長(mm)	± (10 + L/10)	± 3√NN: ブロック数
桁間隔	主桁間隔 B: 中心間距離(m)	± (3 + B/2)	± 5
鉛直度	箱断面H: 桁高	3 + H/1000	H/1000
デッキプレート全幅		± 10mm	± 5mm
キャンバー	主桁 L: 仮組長(m) L ≤ 20 20 < L ≤ 40 40 < L ≤ 80 80 < L ≤ 200	± 5 - 5 ~ + 10 - 5 ~ + 15 - 5 ~ + 25	仮組長間わず - 5 ~ + 10
	隣接する格点位置での差	5	
通り	主桁 L: 仮組長(m) L ≤ 20 20 < L ≤ 40 40 < L ≤ 80 80 < L ≤ 200	5 10 15 25	L/1000
	隣接する格点位置での差	5	
平面及び横断面の対角線長		D1 - D2 ≤ 10 (差)	± 3√NX (D1 or D2 / L)
			± 3
現場継手(HTB)の隙間	主桁	± 5	± 3
現場溶接のルート間隔	デッキプレート	- 3 ~ + 5	
現場溶接の目違い	デッキプレート	+ 2	
(桁作業車軌条)		± 5	± 3
レール間隔		≤ 10	
レールの曲り		≤ 1	
レール継目の段差		≤ 1	
// 芯ずれ		≤ 1	
// すき間		5 ~ 10	

設方法を考えて表-9に示すとおりとした。仮組立における寸法等の誤差の測定結果を表-10に示す。製作時に考慮した開先形状に関する誤差は、全て規定値内に入り、十分な精度が得られた。また、定着鋼管の取付精度としては、非常に高い精度が要求されたが全て管理目標値内におさまり十分満足できる結果が得られた。

4.3 ヤード溶接完了検査

ヤード溶接完了検査項目としては、仮組立検査項目と同じとし精度も同様に考えた。寸法等の測定結果は、仮組立検査時に測定した結果とほぼ同じ傾向となった。なおデッキプレートの全幅はヤード溶接による収縮に伴い仮組立時よりも3mm小さくなった。

5. 塗装

本橋の塗装は、海上に架かる橋梁であるため、長期防錆型塗装とし、本四公団「鋼橋等塗装基準」<sup>4)</sup>に伴って行った。

内面については、従来のタールエポキシ〜アルミニウムペイントがブリードしやすいため、変性エポキシ塗装に変更した<sup>5)</sup>。これらの塗装は、現場溶接部や現場添接部のごく一部を除き、すべて工場上で塗りまで施した。

6. あとがき

本橋は、当社としては初めての長大斜張橋であり、部材重量も60tを越え、構造的にも複雑であったが、各部署の綿密な計画と創意工夫の結果、品質的にも満足し得る製品ができた。

最後に、本橋の製作に対してご尽力いただいた方々に厚くお礼申し上げます。

なお、現在、主塔部のPC箱桁との接合部を有する補剛桁の架設が完了し、側径間のPC箱桁の架設が進行中である。当社が製作した補剛桁は、平成3年2月頃より架設が開始される予定である。

(工期：昭和62年9月20日～平成3年3月20日)

表-9 定着鋼管の取付精度

測定項目	許容差	測定器具	管理目標値
①定着鋼管の上方突起長	±10	テープにて直読	下方突起長±2
② // 上方突起高	±10	レベル測定	
③ // 定着角度(橋軸方向)	≤25分	角度計測定又は下げ振り	±10分
④ // 間隔(断面方向)	±10	テープにて直読(下面は下げ振り使用)	±5
⑤ // ピッチ(橋軸方向)	±11	テープにて直読	±5
⑥ // 断面方向角度	≤25分	トランシット・テープ(角度換算)	±10分

表-10 仮組立の実績(単位mm)

	許容誤差	誤差範囲	平均
桁 全 長	±17 (±7)	+1~+5	+3.5
桁 間 隔	±7 (±5)	-3~0	-1.6
デッキプレート全幅	±10 (±5)	-3~-1	-2.3
通 り	15 (7)	-1~+2	+0.2
キ ャ ン バ ー	-5~+15 (-5~+10)	-1~+12	+7.8
現場溶接のルート間隔	-3~+5	-2~+5	+2.3
現場溶接の目違い	2	0~1.8	0.8
定着鋼管の上方突起長	±10	-2~+6	+3
// 下方 //	±10 (±2)	-1~+2	+0.9
// 上方突起高	±10	-2~+2	+0.3
// 定着角度(橋軸方向)	≤25' (≤10)	-9.47~+3.52	-5.79
// 間隔(断面方向)	±10 (±5)	-3~-2	-2.8
// ピッチ(橋軸方向)	±11 (±5)	-1~+5	+3.8
// 断面方向角度	≤25' (≤10')	-5.08~+6.22	+0.9

( ) 内は管理目標値を示す

参考文献

- 1) 本四公団 鋼橋等製作基準, 昭和63年4月, 一部改訂
- 2) 本四公団 鋼床版現場溶接施工要領, 昭和54年3月
- 3) 本四公団 鋼橋等製作基準, 昭和52年3月
- 4) 本四公団 鋼橋等塗装基準, 昭和55年3月
- 5) 本四公団 鋼橋等塗装基準, 昭和63年4月, 一部改訂