

此花大橋（モノケーブル自碇式吊橋）の製作・架設

岡 正 英* 田 中 洋* 小 林 真 二*
村 田 省 三** 和 田 充 巧** 高 木 正 明***

あ ら ま し

此花大橋の主橋梁部は、「斜めハンガーを有する自碇式吊橋」を採用しており過去に例がない形式であった。このため当社の有する高度の橋梁技術を結集して本工事に臨んだ。

本橋の詳細設計の技術的要点については既に報告されているが^{(1),(2)}、本稿では架設を主として製作を含む技術的特徴を報告した。

Fabrication and Erection of the Konohana Bridge

By Masahide Oka, Hiroshi Tanaka, Shinji Kobayashi
Shozoh Murata, Mitsuyoshi Wada and Masaaki Takagi

Abstract

The Konohana Bridge is a self-anchored mono-cable suspension with inclined hangers. This type of a bridge is the first realization in the world. Therefore new technologies were developed to construct it. This paper presents the outline of technical features about its fabrication and erection.

1. 緒 言

此花大橋（旧名称：北港連絡橋）は、北港北地区と此花区の既成市街地区を結ぶ延長約1.7kmに及ぶ長大橋梁群である。本工事は、当社を含む4社JV（日立・三菱・横河・川重建設工事共同企業体）が大阪市より受注し設計・製作・架設した。そして、平成2年5月に北港北地区の埋立地を造成する目的で本橋は開通した。此花区側では阪神高速道路公団が建設中の大阪湾岸線に接続されており、将来、関西国際空港と神戸市へのアクセスとして使用される。本報告はその主橋梁部のモノケーブル自碇式吊橋（図1）に関する製作と架設の概要を述べたものである。本橋梁の特徴として次のものが挙げられる。

(1) 橋梁形式は、中央径間300m、側径間120mの三径間連続自碇式吊橋であり、主ケーブルが1本（モノケーブル）でかつ斜めハンガーを採用した新形式吊橋である（図2）。

(2) 製作は、分割ブロックと溶接性能の精度の工場と工程の短縮を図った。

(3) 架設工法はベント上に大ブロックの補剛桁を上げ越して接合し、主ケーブルを張り渡した後、ハンガーを設置して最終的に補剛桁をジャッキダウンさせることにより主ケーブルとハンガーに張力を導入する大ブロックベント工法による。

本報告では、まず工場製作においては製品精度の向上に努めた箇所を中心に紹介し、架設工法においては補剛桁の大ブロックベント工法及びケーブル架設を中心に述べ架設管理も言及する。参考文献(2)の設計編とを併せて参照すれば、自碇式モノケーブル吊橋についての総合的な技術資料になることを企図している。

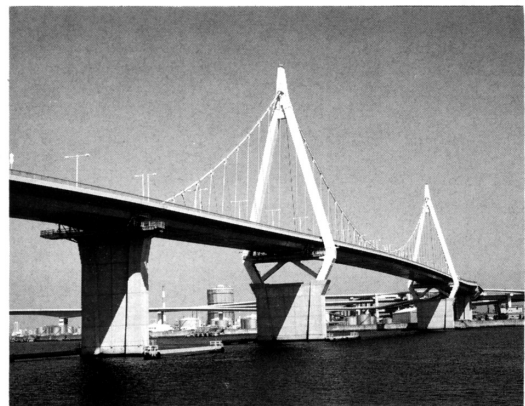


図1 此花大橋主橋梁部

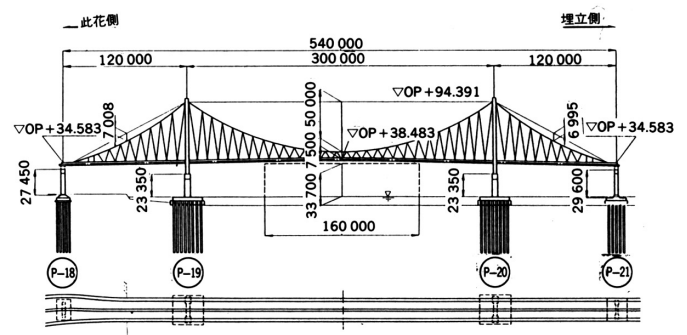


図2 此花大橋主橋梁部一般図

2. 製 作

2.1 概 要

本工事における当社の製作範囲は、図3に示すように此花側径間

* 日立造船(株) 鉄構・建機事業本部

** 日立造船(株) 機械事業本部桜島工場

*** 日立造船エンジニアリング(株) 鉄構事業部

当社製作範囲
(着色部)

計画値(平面投影)	120 000	300 000	120 000	540 000
測量結果	120 031	299 992	120 013	540 036
仮組立計測基準値	120 083	300 086	120 068	540 237
仮組立検査時実測値	120 079 (-4)	300 101 (+15)	120 081 (+13)	540 261 (+24)
仮組立計測基準値	114 081	100 027	61 809	150 256
仮組立検査時実測値 (各社仮組立完成後より)	114 077 (-4)	100 030 (+3)	61 807 (-2)	150 270 (+14)
			114 078 (+13)	540 262 (+24)

図 3 当社製作範囲及び補剛桁出来高記録

補剛桁とその近傍の塔及びケーブル類・支承・その他で、その数量を表 1 に示す。製作における特徴は、ケーブル定着桁端の施工法、補剛桁及び塔上部の大ブロック一括架設のための地組立、地組立溶接等があげられる。

2.2 桁端ケーブル定着ブロックの組立

主ケーブルを定着させる桁端部ブロックは、ケーブルがスプレー状に広がり、アンカー梁と座金で固定されるためアンカー梁の位置及び角度が重要となる。慎重に組立て溶接した後、座金の角度ゲージで精度を確認し、継手部は工場において高力ボルト締めを行った(図 4)。

2.3 全体組立

(1) 概要 製作を完了した補剛桁及び塔ブロックは、単品で製品検査を行い塗装を施し仮組立を実施した。補剛桁は 5 つのブロックに分けられたが、大ブロック(5分割)を 3000t 級起重機船(フローティングクレーン)で運搬したので一括吊上げの可能な岸壁付近を仮組立場所とした(図 5)。一方、塔ブロックの仮組立は一般の仮組立作業場において全体平面仮組立を行い岸壁まで運搬した。その時、塔上部ブロックはドーリ輸送により一括運搬し効率化を図った。仮組立の基準精度は表 2、表 3 のとおりである。また、補剛桁の仮組立完了時の全体出来形記録を図 3 に示す。

(2) 補剛桁組立 補剛桁の仮組立及び地組立は、工程、定盤計画、揚重機の選定、ブロック搬入順序等の詳細計画を行い図 6 の手順で組立を実施した。

(3) 塔組立 塔の仮組立及び地組立は、全体平面仮組立の後、全断面地組立溶接を実施した。

2.4 塗装

架設地点での塗替えが困難なので重防食塗装仕様とし、防錆ボ

表 1 鋼重表

(単位:t)

	JV4社分	当社分
補剛桁	8208	1984
塔	1821	919
ケーブル	947	474
支承(サドル含)	192	96
その他	46	23
合計	11 214	3 496

表 2 補剛桁仮組立基準精度

(単位:mm)

項目	許容値
支間長、全長	$\pm(10+L/10)L$: 全長または支間(m)
全幅	
ケーブル定着部距離	$\pm(10+L/10)L$: 距離(m)
平面曲り	$5+L/5$ (最大25) L : 測線長
反り	$80 < L \leq 200$: $-5 \sim +25$
桁端出入り	± 10



図 4 桁端ケーブル定着ブロックの組立



図 5 補剛桁の仮組立

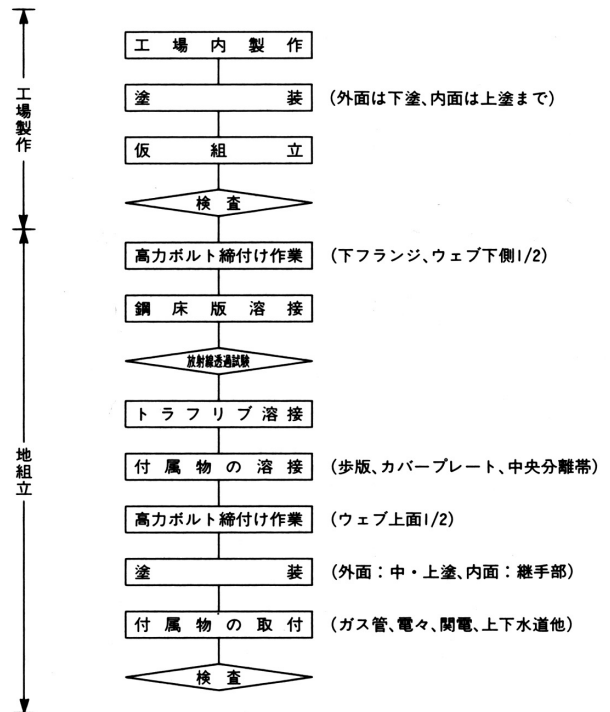


図 6 工場製作及び地組立手順

表 3 塔仮組立基準精度

(単位:mm)

項目	許容値
全高および斜長	$\pm(10+H/10)H$: 全高、または、斜長
主構中心間距離	基部: ± 4 (ただし、基準線に対しては ± 2) 水平材: $\pm(3+B/2)B$: 格点間距離
主構の通り	25以内
現場継手のすき間	溶接部: 0~3、 高力ボルト継手: 原寸時のすきまに対して ± 2
塔下部の出入差	5以内
平面直角度	± 25 以内
主構の鉛直角	4以内

トを使用した。美観を重視してカラーシミュレーションにより橋体の塗装色は決定された。塗装仕様区分を表 4 に示す。

2.5 ケーブル

主ケーブル (PWS184:φ5.2) の製作は、亜鉛メッキ鋼線基準ワイヤを 1 本 (製作精度:1/20 000) ならびにゲージワイヤを 30 本 (製作精度:1/15 000) 製作し、全長において 9 箇所ハンガーケーブル (PWS127・163:φ7.0) には、疲労に強い Hi-Am ケーブルを使用した。

2.6 工場製作工程

工場製作における実施工程を表 5 に示す。

2.7 輸 送

輸送は、海上と陸上を利用した。5 分割した大ブロック補剛桁及

表 4 塗料使用区分表

区 分	工 程	塗 料	標準膜厚(μm)	
工場塗装	外 面	オ1層 無機質ジクリッチプライマ	15	
		オ2層 厚膜形無機質ジクリッチペイント	70	
		オ3層 厚膜形エポキシ樹脂下塗料(ミストコート)	—	
		オ4層 厚膜形エポキシ樹脂下塗料	50	
		オ5層 エポキシ樹脂系M10塗料	50	
		オ6層 ポリウレタン樹脂塗料用中塗り塗料 桁:2.5PB 6.5/3淡(ブルーグレー) 塔:7.5Y 8.7/0.5淡(オフホワイト)	30	
		オ7層 ポリウレタン樹脂塗料用上塗り塗料 桁:2.5PB 6.5/3(ブルーグレー) 塔:7.5Y 8.7/0.5(オフホワイト)	25	
	内 面	オ1層 無機質ジクリッチプライマ	15	
		オ2層 ノンブリード形タールエポキシ樹脂塗料 NB20F(K5-332淡)	120	
		オ3層 ノンブリード形タールエポキシ樹脂塗料 NB20F(K5-332)	120	
	鋼床版上面	オ1層 厚膜形無機質ジクリッチペイント	30	
	高力ボルト継手部	オ1層 厚膜形無機質ジクリッチペイント	70	
	現場塗装	外 面	オ1層 厚膜形エポキシ樹脂塗料下塗	50
			オ2層 厚膜形エポキシ樹脂塗料下塗	50
オ3層 厚膜形エポキシ樹脂塗料下塗			50	
オ4層 厚膜形エポキシ樹脂塗料下塗			50	
オ5層 ポリウレタン樹脂塗料用中塗り塗料 桁:2.5PB 6.5/3淡(ブルーグレー) 塔:7.5Y 8.7/0.5淡(オフホワイト)			30	
オ6層 ポリウレタン樹脂塗料用上塗り塗料 桁:2.5PB 6.5/3(ブルーグレー) 塔:7.5Y 8.7/0.5(オフホワイト)			25	
内 面		オ1層 ノンブリード形タールエポキシ樹脂塗料 NB20F(K5-332)	80	
		オ2層 ノンブリード形タールエポキシ樹脂塗料 NB20F(K5-332淡)	80	
		オ3層 ノンブリード形タールエポキシ樹脂塗料 NB20F(K5-332)	80	
		その他	外 面	中央分離帯色 7.0Y7.5/0.8(NF1375)

表 5 工場製作実施工程表

年 月	1983												1984												1985												1986												
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7				
項目	[Blank]																																																
材 料	[Blank]																																																
原 寸	[Blank]																																																
主桁	加工	[Blank]																																															
	仮組立	[Blank]																																															
塔	加工	[Blank]																																															
	仮組立	[Blank]																																															
塗 装	[Blank]																																																
ケーブル	[Blank]																																																

び、立て起こした塔上部ブロックは吊起重機船を使用して吊りえい航輸送をした。塔下部ブロックは単材としての台船による海上輸送を行った。一方、側径間の単材ブロック、ペント、支承、付属物などは陸上輸送とした。

3. 架設工法の概要

3.1 架設条件と工法⁽³⁾

架設工法として以下の条件を考慮した。

第1に、本橋の形式が補剛桁端部に主ケーブルを定着する自碇式となっているため、主ケーブルを架設する前に補剛桁を架設する方が施工性がよい。第2に、架設位置が大阪湾内の北港であり、船舶の航行が多いことから次の条件を考慮した。

- (1) 船舶の航行幅110mを確保する。
- (2) 航路閉鎖は短時日とする。
- (3) 工事期間中も航路高 (DL+33m) を確保する。

こうした条件から、施工性、経済性を検討した結果、工期を短くでき、仮ペントの設置数を最小にできる大型起重機を使用する大ブロックペント工法を補剛桁、塔の架設に採用した。上部工架設工事の架設ステップ図 (図 7) とそのフローチャート (図 8) を示す。

3.2 架設方法⁽³⁾

架設方法の概要は次のようであった。

(1) 塔 塔は図 9 に示すように、塔上部と塔下部に大別される。まず塔下部が補剛桁の架設に先立ち単材ブロック架設で橋脚部の SRC 構造のフレームと接合された。補剛桁架設終了後、塔頂サドルと側部に工事用エレベータのステージ等の仮設備を工場 で取付けた塔上部を 3 500t 吊起重機船を用いて大ブロック一括架設を行った。

(2) 補剛桁 分割された補剛桁の地組立を行い、各ブロックは 3 500t 又は 3 000t 吊起重機船により、水きり後、吊りえい航され現場架設が行われた。なお、塔下部を架設後、中央径間に 2 基、此花側に 3 基の架設ペントをあらかじめ設置しておいた。

(3) 主ケーブル 主ケーブルは、ストランド (PWS184) を 30 本束ねている。これは吊橋のストランドとしては最大級である。ストランドの架設方法は、ホーリングシステムによるキャットウォーク上の引出し工法を採用した。

(4) ハンガー ハンガーは補剛桁を上げ越して設置され、最終的に補剛桁をジャッキダウンして張力を導入した。各ハンガーに導入される張力の架設管理は、精度の高いケーブル張力計測システムを用いて行われた。

3.3 実績工程

工事全体の実績工程を図 10 に示す。

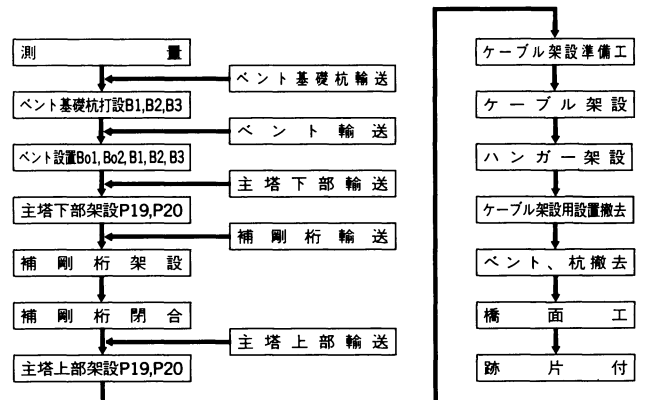


図 8 上部工架設工事フローチャート

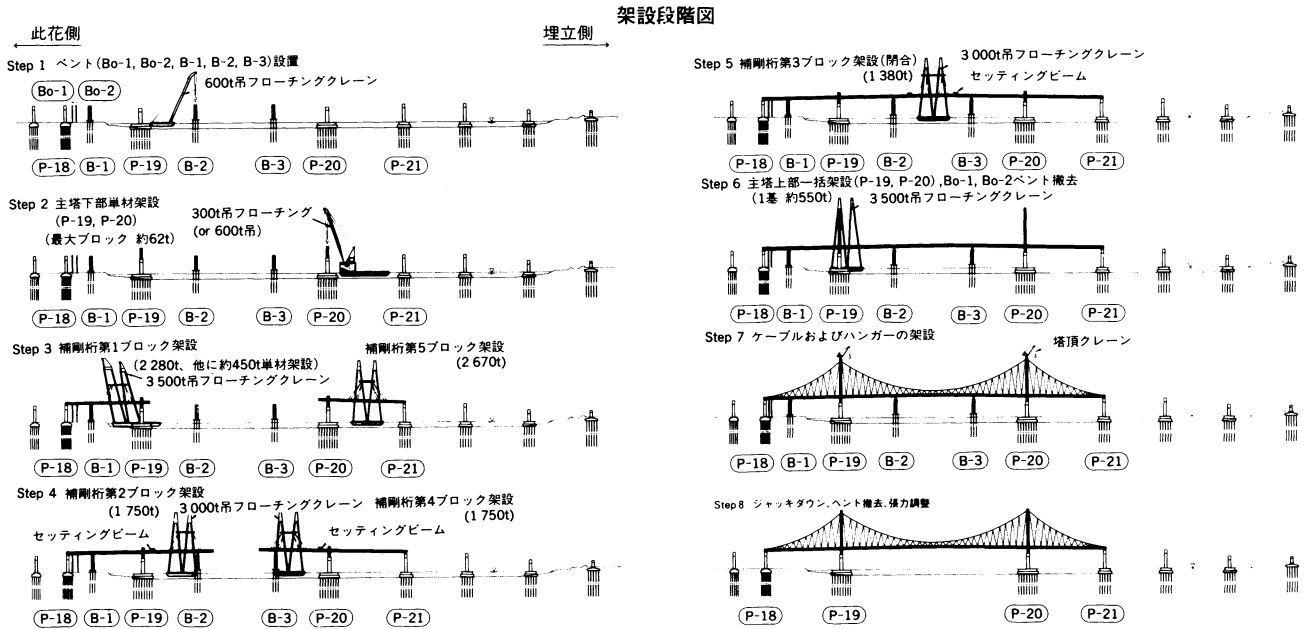


図 7 上部工架設工事の架設ステップ図

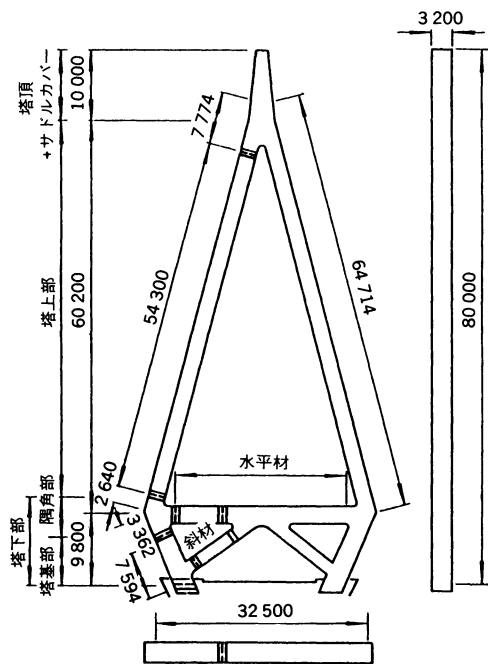


図 9 塔一般図

4. 塔の架設

塔形式はA型1室構造のフレキシブルタワーである。部材構成は塔上部・隅角部・塔基部・水平材・斜材からなっているが、以下では隅角部・塔基部・水平材・斜材を総称して塔下部と呼ぶことにする。工事工程を表6に示した。

4.1 塔下部の架設

塔下部部材は工場から浜出しを行い、2 000t積台船に搭載し、現地まで海上輸送を行った。台船上では塔下部柱及び水平材の地組立を300t・600t吊海上起重機船を使って行った。

4.2 塔上部の架設

補剛桁の大ブロック架設の後、工場から塔上部の浜出しを行い現場に設置した(図11)。塔の架設精度を表7に示す。

4.3 耐風対策

架設完了後の塔自立状態での、耐風安定性を向上させるために、塔付ハンガーロープ定着金具から補剛桁ケーブル定着金具を利用してワイヤロープを前後に張り渡した。このため有害な振動は発現しなかった。

全体工程表

項目	83												84												85												86												87											
	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12							
設 計	[Progress bar]																																																											
実 験	[Progress bar]																																																											
製 作	[Progress bar]																																																											
地 組 立	[Progress bar]																																																											
ケーブル・ハンガー製作	[Progress bar]																																																											
主 塔 架 設	[Progress bar]																																																											
補 剛 桁 架 設	[Progress bar]																																																											
ケーブル・ハンガー架設	[Progress bar]																																																											
橋 面 工	[Progress bar]																																																											
附 属 物	[Progress bar]																																																											

図 10 此花大橋工程表

表 6 塔架設工程表

年 月	1985				1986		
	9	10	11	12	1	2	3
P19	■ 塔下部架設準備				■ 塔上部架設準備		
	■ 塔下部架設 (補剛桁架設)				■ 塔上部架設		
P20	■ 塔下部架設準備				■ 塔上部架設準備		
	■ 塔下部架設				■ 塔上部架設		

表 7 塔の架設精度

(単位: mm)

	P ₁₉	P ₂₀	摘 要
橋 軸 方 向	+16	-12	側径間側を+とする
橋 軸 直 角 方 向	- 6	-32	北側を+とする

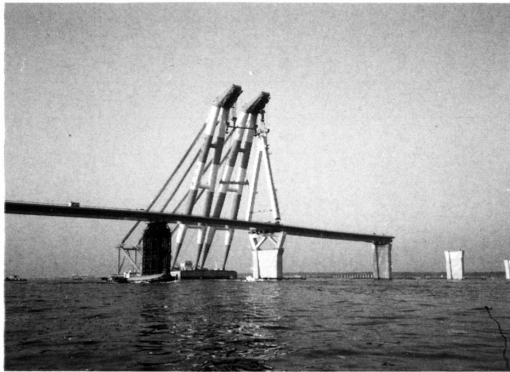


図 11 塔上部の架設

4.4 仮設備

主な仮設備は以下のようであった。

- (1) 電力設備 塔下部架設用として、橋脚基部に配備した台船上の発電機 (45kVA) を架設工具・架設照明の電源として使用した。また、塔上部架設用としては発電機 (175kVA) を桁上に配備した。
- (2) 塔基部作業台 塔下部架設準備時の資機材の仮置き及び揚重設備として50tクローラークレーンを300t積台船に搭載して両橋脚基部に配備した。
- (3) その他 昇降設備、足場設備、塔下部架設用のペントや吊天秤、スパーサビームなどを使用した。

5. 補剛桁の架設

補剛桁は耐風安定性を考慮して2室の逆台形箱桁が採用されている(図12)。工場からの吊上げ浜出し→吊運搬→架設まで同一起重機船による大ブロック架設工法を採用した。先に述べた塔下部架設完了後、補剛桁第1ブロックは昭和60年10月27日に工場吊上げ、翌28日に現地架設した。以下第5ブロック以降も気象、海象条件に恵まれ予定どおり昭和60年12月7日無事第3ブロックを閉合し架設完了となった(表8)。

5.1 第1, 2, 4, 5ブロックの架設

第1ブロックは拡幅部が端部にあるため重量が最も大きかった。3500t吊起重機船の能力が斜め吊りのためフルに活用できないので単材ブロックとに分割された。

(1) 吊上げ浜出し 当社桜島工場製作分の第1ブロックは、安治川内港の航路幅360mのうち180mを占拠するため、不定期大型船等航行の比較的少ない日曜日を選び、3500t起重機船で吊上げ浜出しを行った。

(2) 吊運搬 安治川内港は航路幅等の関係から吊上げ後直ちに

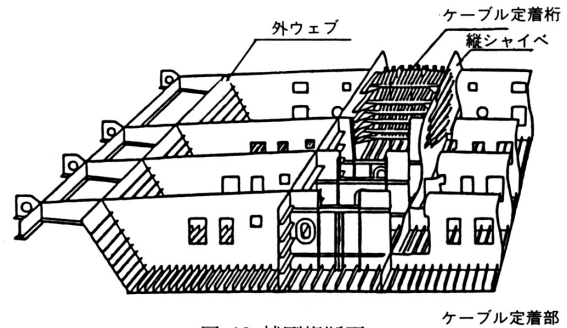
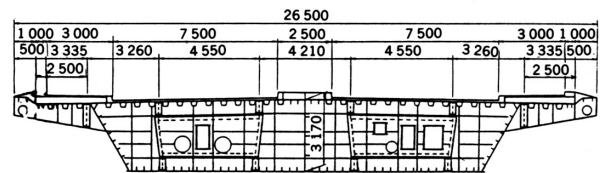


図 12 補剛桁断面

表 8 補剛桁ブロック架設日と使用起重機船

桁番号	架設年月日	船種	橋体形状
第1ブロック	昭和60年10月28日	3500t	W=2280t
第2ブロック	11月27日	3000t	W=1750t
第3ブロック	12月7日	3000t	W=1380t
第4ブロック	11月15日	3500t	W=1750t
第5ブロック	11月1日	3000t	W=2670t

架設位置まで運搬して仮停泊した。

(3) 架設 桁を海上約40m吊上げた状態で架設位置まで起重機船を前進させて位置決めのために、脚上0.5mまで巻下げた。P18・P19より橋軸及び橋軸直角方向にチェーンブロック等で引き寄せ、更に杓のガイドピン等ジグを利用してP19杓にセットした。同様にして桁を橋軸線のズレを修正しつつP18受け梁上にタッチさせた。その後B1ペント上に桁がタッチするまで徐々に巻下げた。P18・B1・P19のすべての杓と架台上に桁が据付けられた後、起重機船の荷重を段階ごとに移行低減させ架設完了した。

(4) 単材ブロック架設 単材ブロックは、250tクローラークレーンにて下流側から架設を行った。この時、単材ブロックを無応力状態に近い状態で接合しなければならない。このためB01・B02の補助ペントをP18橋脚の近くに設置してエレベーションを工夫して無応力状態とした。なお、補助ペントはこの後解体された。

次に、第5ブロックは埋立側の側径間ブロックであるが、斜め吊りの必要がなかったため、3000t吊起重機船により一括架設した。

第2及び第4ブロックは各々3000t及び3500t吊起重機船を使用して工場から吊上げて浜出し後、吊運搬され仮停泊して架設された(図13)。

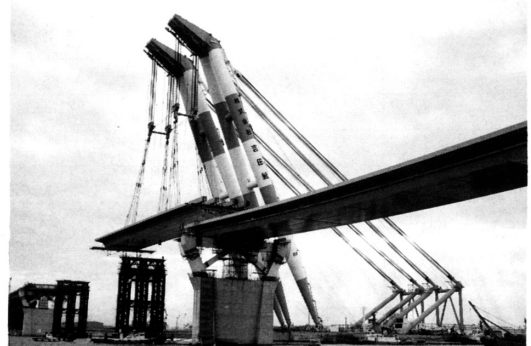


図 13 第4ブロックの架設

5.2 閉合ブロック（第3ブロック）の架設

他のブロックと同様に工場から吊上げ浜出し後、吊運搬され仮停泊後架設された。架設に先立ち閉合ブロック桁長の実測及び第2・第4ブロック間のスパン・高さ・仕口回転を計測して閉合の準備をした。海上約45mで吊運搬された桁は徐々に降下して、接合部の仕口高さを合わせて仮ボルトを締付けた。他方の接合部はラッシングで心合わせしつつビームに約100t負荷してビーム下面にライナーを挿入してHTBの締付けを行い無事終了した。なお、閉合時の航路閉鎖については45日前より架設日を決定して航泊の禁止を関係各位に周知させた。

5.3 仮設備

大ブロック一括架設の場合、架設準備の善し悪しが架設手順、工程、コスト等に大きく影響するので十分過ぎると考えられるほど慎重に対応することが肝要である。仮設備区分(表9)、架設現地分(表10)と工場浜出し時桁に搭載分(表11)を分類した。なお、次の特殊機械の転用化を行った。すなわち、補剛桁架設吊天秤→閉合部補剛桁架設セッティングビーム→塔架設吊天秤→アプローチ桁架設吊天秤への転用をはかり経済効果を発揮した。

5.4 大ブロック接合時の特殊設備

補剛桁の鋼床版の接合は、橋面舗装の施工断面均一性の向上のため現場自動溶接継手を採用した。鋼床版現場溶接の施工精度を高める目的から、継手部の開先精度を確保した。このため、次の特殊設備を使用した。

表 9 仮設備区分

機器名	数量	ブロック1	ブロック2	ブロック3	ブロック4	ブロック5
セッティングビーム	8基		○	○	○	
吊天秤	一式	○				
トラッククレーン	一式					
トラック	一式					
発電機	一式	○	○	○	○	○
油圧ジャッキ	一式	○	○	○	○	○
HTB締付工具	一式		○	○	○	
溶接機	一式		○	○	○	
照明設備	一式		○	○	○	

表 10 使用重機(架設現地分)

機種	能力	用途	○:個数
油圧式クレーン	80 t 吊	吊ビーム組立・解体	①
〃	20 t	足場組立	①
〃	35 t	ベント組立	①
機械式クレーン	250 t	単材ブロック架設	①
油圧式クレーン	45 t	〃	①
〃	80 t	ベント解体	①
〃	45 t	〃	
〃	20 t	〃	
〃	20 t	足場組立	⑤
〃	5 t	桁上	⑤
油圧クレーン	80 t	セッティングビーム組立	④
〃	45 t	〃	
〃	20 t	桁上	④
トラック	4 t 車	桁上	④
油圧式クレーン	120 t	セッティングビーム組立	②
〃	45 t	〃	②
〃	20 t	足場組立	③

表 11 補剛桁に搭載した仮設備(工場浜出し時)

名称	規格	ブロック1	ブロック2	ブロック3	ブロック4	ブロック5
チルホール	3 t 用	●	●	●	●	●
油圧クレーン	20 t		●			
トラック	4 t 車		●			
発電機	150KVA	●				
溶接機		●	●	●	●	
油圧クレーン	5 t					●
発電機	150KVA		●	●	●	
トラック	11 t 車	●				
コンプレッサー						
自動溶接機		●	●	●	●	
カウジング		●	●	●	●	
桁内照明設備		●	●	●	●	
桁内換気設備		●	●	●	●	
油圧ジャッキ		●	●	●	●	●
セッティングビーム	4(8)基		●	●	●	
吊天秤	2 本	●				

し、開先高さの微調整を可能とした。

(2) 補剛桁支点部 (P19・P20) 上に大型油圧ジャッキ (700t) を設置し、補剛桁を降下させることにより、開先幅ならびに開先精度の調整を図った。

(3) 鋼床版上面に油圧中空ジャッキ (200t) を設置し、開先幅の微調整を可能とした。

6. ケーブル工事

主ケーブルの形状は、中央径間300mに対し、サグが50mでサグ比1/6となっており、通常のサグ比 1/8~1/11に比較して大きく設計されている。また、主ケーブルに使用したPWS184は吊橋のストランドとして世界最大級であった(表12)。

ケーブル工事は、此花大橋現地工事期間31か月のうち16か月を要した。架設手順は図14であり、実施工程表は表13のとおりである。また工事の範囲と数量は表14に示した。

6.1 キャットウォーク

通常の吊橋におけるキャットウォークでは、塔頂及び橋台以外は

表 12 ケーブル諸元の比較

項目	本橋	因島大橋	関門橋	摘要
ケーブル重量(t)	680	2 550	2 540	1条当り
ストランド本数(本)	30	91	154	1条当り
ストランド長さ(m)	584	1 360	1 162	
ストランド構成素線本数(φ×本)	5.2×184	5.17×127	5.04×91	
中央径間長(m)	300	770	712	
中央サグ(m)	50	75.9	64	
サグ比	1/6	1/10.1	1/11.1	
1ストランドの断面形状(単位:mm)				
ストランドの配列				

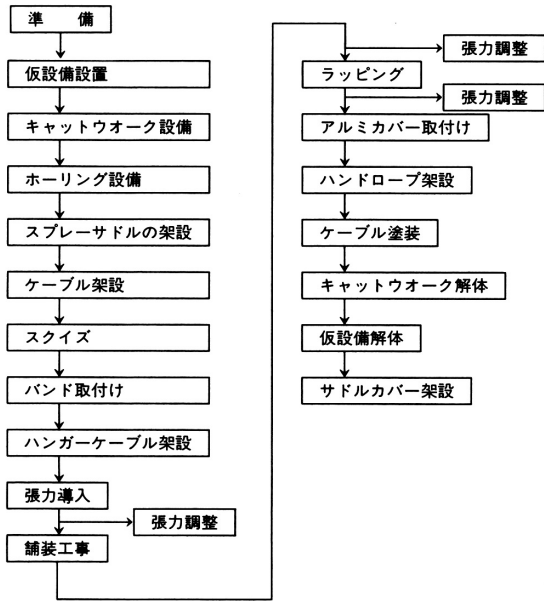


図 14 ケーブル架設手順

表 13 ケーブル工事実施工程表

工事名	年 月	1986												1987						
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7		
仮設備		□																□		
キャットウォーク		□	□															□		
ケーブル架設				□	□	□	□													
スクイズ						□	□													
バンド取付								□	□											
ハンガー取付									□	□										
張力導入										□	□			□						
ハンドロープ													□							
アルミカバー																	□	□		
ラッピング													□	□						
塗 装																	□	□		

表 14 ケーブル工事の範囲と数量

区 分	内 容	数 量
ケーブル 本 工 事	スプレーサドルの架設	2基 19t
	ケーブルの架設	584m * 30ストランド 554t
	スクイズ	560m
	バンドの架設	48組 121 t
	ハンガーロープの架設	92本 196 t
ケーブル 付 属 工 事 ケーブル 防 錆 工 事 張 力 導 入 工 事	スプレーサドルカバー	2組
	塔頂サドルカバー架設	2組 31 t
	ハンドロープ架設	7 t
	ケーブルラッピング	451m 15 t
	ケーブル塗装	913m ²
	桁ジャッキダウン	1式
	ハンガー張力調整	1式

すべて海上作業となるが、本橋では補剛桁を先に架設しているため桁上を利用してキャットウォークを架設する方法とした。キャットウォークロープは 6 × Fi (25) 28mmG種を使用した。側径間での架設はロープを桁上に展開して測長した後、桁側・塔側共にクリップ止めにした。その後ロープ端を定着金物に取付けた。サグ調整は35tセンターホールジャッキをセットして行った。中央径間の架設は、中

央に耐風ペントを設け桁上でロープの測長後、桁側・塔側共にクリップ止めにした。同様にその後ロープ端を定着金物に取付けた。P19・P20側に滑車ブロックを取付け、滑車間にワイヤロープを繰込み尻手にチルホールをセットしてサグを調整した。塔頂クレーンで間隔保持材を取付けロープ間を一定にした。床組は、すべて桁上で取付けながら塔頂へロープ上を引出す方法とした。作業足場は、側径間は桁側定着金物の前面に、中央径間は耐風ペント前面に各々設けた。ハンドロープ (16mm) は角パイプの支柱に固定した。ストームロープは側径間の1/2点、塔側1/4点、中央径間では1/4点、塔側1/8点とした。形状の調整は工程の各段階で行った。なお、解体はケーブル塗装の完了後行った。

6.2 ホーリングシステム

ホーリングシステムはループ (エンドレス) 方法とレシプロ (往復) 方法が一般的に多用されている。本橋には、施工規模・使用頻度・経済性を考慮してレシプロ方法を採用した。図15に示すようにP18・P21の両支点上に設置したウインチ (50馬力油圧式) を使用し、いわゆる“ケンカ巻”方法を行った。ホーリング稼働時にストランド引出し張力を一定に保つようにカウンターウェイト方式の定張力装置 (W=616kgf(6.0MN)) を設けた。ストランドの引出し時、そのソケットを引出してローラ上に干渉させないようにトラムウェイサポートロープより吊下げた。またトラムウェイサポートロープのサグ調整のため、側径間にはチルホール、中央径間にはウインチを配置した。

6.3 ストランド架設方法

一般に施工されているホーリングシステムによるキャットウォーク上の引出し工法を採用した(図16)。まず、ストランド架設に先立ち、スプレーサドルの架設を桁上のトラッククレーンで施工した。スプレーサドルは完成時には空中吊り状態となるためケーブル架設中はサドル下に架台を設けて仮受けした。サドルのセットバックは塔頂サドルが塔本体とボルト固定しているため、塔頂を引張ってセットバックした。側径間端部と塔頂間に、ケーブル調整装置を付けたワイヤケーブル (2 × 48mm) を張り、引込んでセットバックした。セットバック量はP19側塔で525mm、P20側531mmとした。引出し作業はリール巻したストランドをP18桁端のアンリールにセットして、

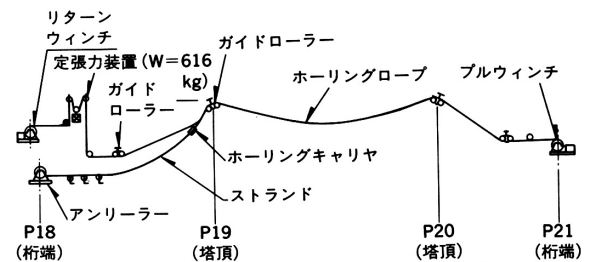


図 15 ホーリングシステム概念図



図 16 ストランド架設

ストランド先端ソケットをホーリングロープに取付け、キャットワークのローラ上に展開した。引出し完了後、サドル部にて移設・整形・アンカーへの定着を行い、夜間サグ調整を行った。一般の吊橋に比べ、サグ比が若干大きく塔頂サドルでのケーブル曲率の変化が大きいため、ストランドの整形及びサドル納めに日時を要した。ストランド架設工程は図17のとおりである。P18桁上におけるストランド架設の作業内容と手順を図18に示した。

6.4 ストランド架設の技術的解決事例

過去に施工経験のない自碇式吊橋のケーブル工事であった。補剛桁の端部に主ケーブルを定着する構造的な制約もあり、多くの技術的課題を解決する必要がある。ストランド架設の主な技術的問題点は以下のようであった。

- (1) 1本のストランドは素線構成が184本（PWS184）となっており、前例のない太径が採用されたため、展開作業時に「うねり」や「ツイスト」現象が随所に発生し、その修正に時間を要した。
- (2) 桁内にストランドをコンパクトに納めるため、フラットトップ（通常はポイントトップ）形式のストランド配列を採用した。このため、六角形から四角形への「断面整形」ならびに「サドル納め」作業に手間取った。
- (3) サグ比が1/6と大きいため、塔頂部でのケーブル曲率が小さくなり、最大傾斜度が37度に達することから「バードケーシング」現象が多発した。

これらを解決するため、ケーブル工場の熟練者から貴重な助言を

ストランド配列	0	10	20	30	40	50	70
ストランド層	5	5	5	5	5	5	5
1	28 29 30	15	6/2	(14)	6/16		
2	24 25 26 27			(9)	6/25		
3	19 20 21 22 23				7/4		
4	13 14 15 16 17 18				(6) 7/11		
5	8 9 10 11 12				(6) 7/17		
6	4 5 6 7				(5) 7/22		
7	1 2 3						

ストランド配列
 オ7層 — ①②③
 オ6層 — ④⑤⑥⑦
 オ5層 — ⑧⑨⑩⑪⑫
 オ4層 — ⑬⑭⑮⑯⑰⑱
 オ3層 — ⑲⑳㉑㉒㉓
 オ2層 — ㉔㉕㉖㉗
 オ1層 — ㉘㉙㉚

着色は基準ストランドを示す

図 17 ストランド架設工程表

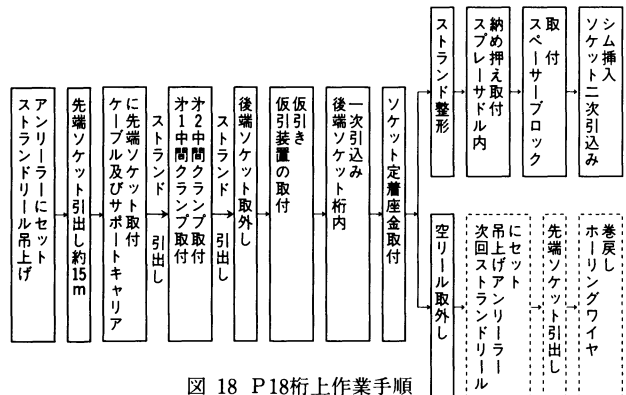
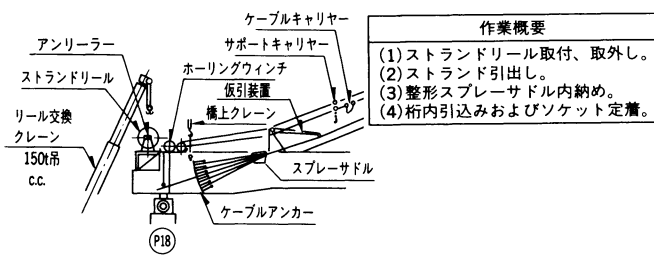


図 18 P18桁上作業手順

仰ぐとともに、現場作業者を含む工事担当者35名によるQCサークル活動で次の解決策を考案した。

- (1) 工程管理における特性要因図を作成した（図19）。
- (2) ストランドの「うねり現象」の発生を抑制する目的で以下の対策を行った。
 - (i) 中間クランプの取付けをワイヤージング位置の近傍とした。
 - (ii) 第2中間クランプの一部をトラムウェイでサポートした。
 - (iii) キャットワーク上の引出しローラを密に配置した。
 - (iv) キャットワーク上の引出しローラの傾きを修正した。
 以上の対策は、万全ではなかったが、ある程度の効果が認められた。
- (3) PWSの「整形・保持」のため次の対策を行った。
 - (i) 塔頂ベント上部に、仮のストランド吊天秤を設置した。
 - (ii) 整形・保持金具を改善した。
 - (iii) 四角形状の中間クランプにおいて素線の選別作業を容易にした。
 - (iv) スプレーサドルスペースを分割し、整形保持の効率を図った。
 以上の対策から、当初は2～3回の作業やり直しがあったが、その後は1回で確実にできるようになった。
- (4) その他の対策として仮引クランプを改善して、取付け・取外しの作業時間を半分以上に短縮した。

以上のことから架設日数は当初約4日/本を必要としたが、改善対策を施し約1日/本で行えるようになった。

6.5 今後の解決課題

ストランド工場の今後の解決すべき課題として次の事項が挙げられる。

- (1) ストランド製作時に、展開施工性確認実験及び整形施工性確認実験を行い、これらのデータに基づいて施工諸設備ならびに施工計画を立案するのがよい。
- (2) 実験データに基づいて、ストランドのシージング位置・テープの巻層・間隔及びリールリングの形状を決定する。
- (3) サドル及びスペースの形状についても実験データに基づいて設計する必要がある。
- (4) PWS184の特性と思われるが、リールリング時の巻くせや展開時の復元性が完全でないようなので、テープシージング部の素線ずれに注意が必要であり今後の課題である。
- (5) 本工法によるケーブル定着時の引込力は通常に比べ極端に小さく、ストランド架設時の自重による張力では、素線間の摩擦抵抗が残存するためバードケーシングが発生しやすい。この処理は入念に行う必要がある。

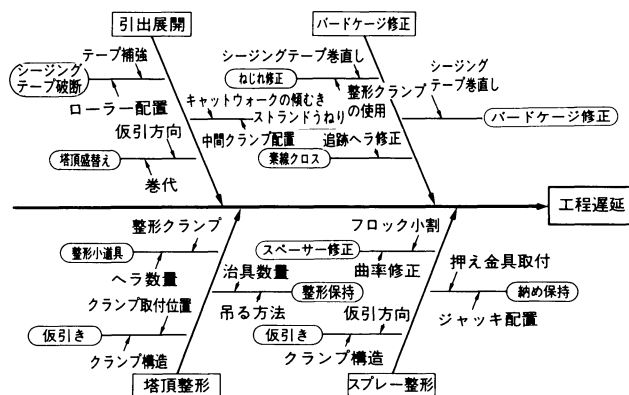


図 19 ストランド工事特性要因図

以上のほかに現地計測精度を高くすることが要求された。そのため目標管理基準値に対し4本の基準ストランドを設置して、① ケーブル支間長、② サグ量、③ 桁支間長、④ 塔の高さ・傾き、⑤ 仮シム量、⑥ 温度計測などに注目し温度影響の少ない夜間の時間帯に計測して調整シム量の決定を行った。こうして目標基準値に対して高い精度が得られた。

6.6 スクイジング

ストランドの架設完了後、ストランド間及びストランド自身のすきまをなくし、緊密なケーブルとするスクイジングを行った(図20)。

(1) 配列調整 温度の安定した夜間においても配列の乱れが残っていたため、各ストランドをワイヤロープ(4mm)で拘束して配列調整を行った。

(2) プレスクイズ スクイジングマシンによる本スクイズを容易にするため、ケーブル断面をほぼ円形に仕上げるプレスクイズを夜間行った。ケーブルレバブロックで締付けた後、かけやでたたきケーブルをほぼ円形にして、ワイヤロープ(12mm)を巻き円形を保持した。施工は、中央径間・側径間共1/2点、1/4点、1/8点、1/16点の順に行い、その後更に3m間隔でステンレス帯板を巻付けた。

(3) 本スクイズ 夜間のプレスクイズ完了後、スクイジングマシンを使って本スクイズを行った。スクイズ間隔は、一般部1m・バンド部50cmとしてステンレス帯板(20mm×2mm)を使ってバンディングした。スクイジング時の計画目標は、空げき率を18%(一般部432

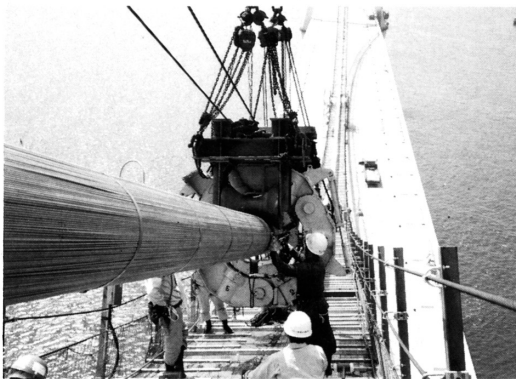


図 20 スクイジング

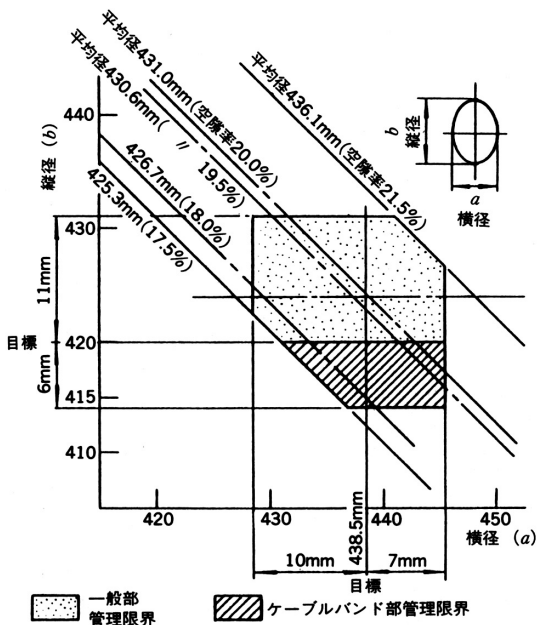


図 21 本スクイズ時のケーブル径管理限界マップ

mm・バンド部427mm)とすることであったが、ケーブルバンドを取付けやすくする配慮から縦445mm・横420mmを目標とした。図21に空げき率とケーブル径の管理限界の関係を示した。スクイジングマシンの仕様は表15のとおりである。

6.7 ケーブルバンド

スクイズした後、ケーブルバンドを取付けバンドボルトの締付けを行った。ケーブルバンド総数48個の取付けは次の手順によった。

(1) 取付け位置マーキング ストランド製作の基準ワイヤをケーブルと同じサグ量に合わせて平行に張り渡し、ケーブル実長を測り、設計値と比較してバンド取付け間隔の補正量を求めた。作業は基準ワイヤとケーブルの温度差がなくなる夜間に行った。

(2) 架設 塔頂付近の高いバンドを80tf吊油圧式トラッククレーンで、低いバンドは20tf吊油圧式トラッククレーンで行った。

(3) バンドボルトの締付け ボルトテンショナ(引張力100tf{98kN}×ストローク20mm)を用いて全ボルトの軸力導入を行った。締付けの後、測長器を用いて全ボルトの長さを測り軸力導入による伸び量を算定して一次締付け目標軸力の78.9tf{773.7kN}以上であることを確認した。

(4) 締付け管理 軸力管理は次の要領によった。

(i) バンドのボルト軸力はバラツキを少なくするため、上段と下段に分けて締め付けた。

(ii) ボルト軸力は、ボルトテンショナの解放後、ボルトの伸びを計測して行った(図22)。

(iii) ボルトの設計軸力は78.9tf{773.7kN}+7.8tf{76.5kN}としたが軸力の低減を考慮して上限値をオーバーしても良いものとした。

(iv) 経時計測は、締付け後一週間、それ以降は10日ごととして夜間に計測を行った。架設の進行に伴い、計3回の増締めを行ったが、計測したボルト軸力の経時変化は図23のようだった。また工程を表16に示す。なお、締付け順序は側径間・中央径間とも高い箇所より低い箇所へ締め付けた。経時計測の対象バンドは最終日にまとめて締め付けた。また、バンドボルトの締付けによってケーブルの素線がバンド上下のすきまに入り込むため、亜鉛メッキ板をフィルターとして挿入した。

表 15 スクイズマシン仕様

ケーブル圧縮力	100tf {981kN}×6台
ストローク	110mm
整形後ケーブル径	φ420mm
常用圧力	700kgf/cm ² {68.6MPa}
ケーブル最大通過径	約φ640mm
重量	約2200kg

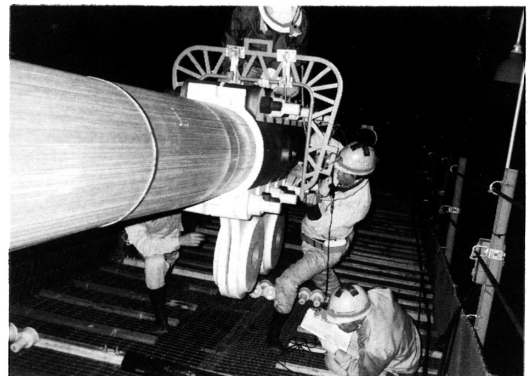


図 22 ボルト軸力計測

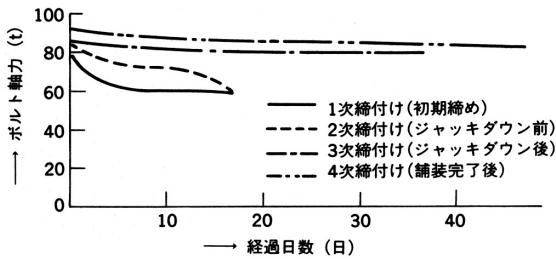


図 23 ボルト軸力の経時変化

表 16 ケーブルバンドボルト締め工程

	時間	締付け日	備考
1次締付け	バンド取付け時	1986. 9. 5～9.30	初期締め
2次締付け	ジャッキダウン前	1986.10.15～10.21	増締め
3次締付け	ジャッキダウン後	1986.11.11～11.15	増締め
4次締付け	舗装完了後	1987. 1. 7～1.11	増締め

6.8 ハンガー架設

ハンガーは、アイバーを除いて製作長さにより次の2種類の荷姿で搬入し、異なった架設機材を使用した。なお、総数94本のハンガーにおいて最短ハンガー（2本）はケーブルが短すぎるためアイバーを使用した。

(i) リール巻 ケーブル長さ7m以上（72本）

(ii) 枠梱包 ケーブル長さ7m以下（20本）

リール巻ハンガーケーブルは、取付位置の桁上でアンリールにセットして、ケーブル側ソケット基部にスリングケーブルを取付け、20tf又は80tf吊トラッククレーンで吊上げながらリールから外し架設した。枠梱包のハンガーケーブルは20tf吊トラッククレーンで架設を行った。いずれもケーブル側のケーブルバンドに定着した後、桁側ソケットをレバーブロックにて引込み桁側に定着し、ソケット穴部にロードセル及びシムを挿入した（図24）。

6.9 ジャッキダウン及び張力導入

ハンガーケーブルの定着後、上げ越し状態の補剛桁をジャッキダウンして死荷重張力をケーブルに導入した。ハンガーソケットに組込んだロードセルによる張力を計測し、コンピュータに入力してシムによる張力調整量を決定した。ジャッキダウンの設備は図25に示すとおり塔の水平材上に700tfジャッキの4連動を配置した。B2、B3ベント上には500tfジャッキの4連動と2連動を配置した。補剛桁のジャッキダウンはハンガーケーブルに過大な張力が生じないよ



図 24 ハンガーケーブル架設

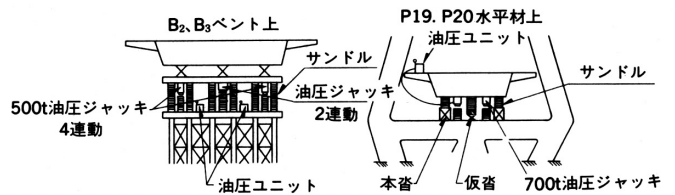


図 25 ジャッキダウン設備

うに表17の順序で段階的に行った。

6.10 ラッピング

主ケーブルの防錆処理方法として実績のあるワイヤラッピング方法を採用した（図26）。ラッピング用ワイヤは3.5mmの亜鉛メッキ鋼線を使用した。作業は、車道アスファルト舗装完了後、主にラッピングマシンを使用して機械巻きして施工した。設備として① ワイヤ巻取り機、② ラッピングマシン、③ 定張力ウインチなどを使用した。ラッピング直前にラスゴンペーストを主ケーブル表面に塗布して防水・防食層を作った。定張力ウインチを作用してワイヤが重ならないように、またすきまができないようにラッピングした。ワイヤの接合はデカウエルドWT型によるスポット溶接によった。溶接部はグラインダで平滑にした。

6.11 その他のケーブル工事

以上のほかに、① ハンドロープの架設、② アルミカバー（ハンガーの防食用）取付工、③ ケーブル防錆工を行ったが割愛する。

7. 架設精度管理

7.1 概要

本橋は前例のない架設工事であったため、架設精度基準値は、誤

表 17 ジャッキダウン順序 (単位: mm)

	P18	P19	B2	B3	P20	P21
目標下量	0	856	1278	1293	859	0
ステージ 1						
" 2			-378			
" 3				-693		
" 4			-300			
" 5		-556				
" 6					-559	
" 7			支点解放			
" 8				支点解放		
" 9		-300				
" 10					-300	



図 26 ラッピング作業

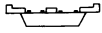
差解析等の検討を行い慎重に決定した⁽⁴⁾。また、2次元全体模型(縮尺:1/20)により架設実験を行い架設の安全性を事前に照査した⁽⁵⁾。架設時及び完成時の基準値の一覧を図27に示す。ここでは架設精度管理の重点事項を述べる。詳しくは文献(4)を参照されたい。

7.2 ストランドのサグ調整⁽³⁾

最初に架設したNo.29ストランドを基準ストランドとして、絶対及び相対サグ量を計測した。自碇式吊橋なのでケーブルスパン・ケーブル角度・主塔の倒れ・定着スパン等の計測も行って橋体形状を把握しサグ量を補正した。No.29のストランドの上に架設したストランドは絶対サグ量を変化させるため、No.19・No.8・No.2のストランドも絶対サグの計測を行ったが、そのほかは相対サグ調整とした。サグ調整方法は、昼間ストランドを約100mm上げ越しておき、夜間に正規の位置にセットした。調整順序は以下である。

(1) P19塔頂サドル中心とストランドのマーキングを合わせて固定した。

完成系の精度

項 目	検査基準値	備 考	
補剛桁	全長、支間長	10+L/10	*ケーブルのサグ誤差によるものを除いた誤差
	計画高(キャンバー)	±85mm	
	主構の通り	5+L/5	
塔	塔高	27mm	道路公団検査基準値(L>40m) ±(25+(L-40))mm (L=100mとすると±85)
	倒れ(橋軸、橋直)	75(H/1 000)mm	
ケーブル	サグ	側径間 ±32mm 中央径間 200mm	
	バンド締付ボルト張力	本文参照	
ハンガー	張力	-10t<ΔT<20t	

検査時点……JV竣工時
(舗装+後死荷重載荷前)

架設段階での精度

塔自立時

(単位: mm)

項 目	許容値
塔高(サドルEL)	27
倒れ(橋軸、橋直)	75 (H/1 000)

桁架設



ケーブル架設



項 目	検査基準値	備 考
キャンバー	±85	道路公団検査基準値 ±(25+(L-40))
通り	5+L/5	

項 目	検査基準値	
ケーブル完了	サグ 中央	-100~+100
	側	-20~+20
架設時	第1ストランド	-10~+10

図 27 架設精度基準一覧

(2) 中央径間ストランドのサグ調整を行った。

(3) 側径間ストランドのサグ調整(埋立地→此花側)を行った。

調整サグ量を引込み量に換算し送込みを行った。中央径間の送込みは塔頂のレバーブロックで、側径間はアンカー定着部においてセンターホールジャッキにより、ソケット前面にシムプレートを挿入した。

7.3 ハンガーの張力調整

斜めハンガーを採用しているため、各ハンガーにはプレストレスが導入されている。このため張力調整は完成後の安全性の関わる重要なプロセスである。そこで、全ハンガーの補剛桁ソケット部にロードセルを挿入し、瞬時に張力を計測して施工管理を行った。当社の大型計算機とパーソナルコンピュータなどからなるケーブル張力管理システムを用いた。張力調整はシムプレートの増減により行った。架設の各ステップで全6回の張力調整を行った。調整後のハンガー張力誤差は15tf{147.1kN}以内となり、安全性が確保された。

8. 結 言

此花大橋(主橋梁部)は、世界で前例のない新しいタイプの吊橋であり、構造や架設方法に種々の新しい試みがなされた。

本橋の建設後、斜めハンガーを採用した吊橋に橋梁関係者の関心が高まってきている。このような情勢に対し本報告がなんらかの参考になれば幸いである。なお、本橋は平成2年度土木学会の田中賞(作品部門)を受賞した。

最後に、本報告をまとめるにあたって、大阪市建設局をはじめ大阪市港湾局及び本橋建設工事共同企業体の工事関係諸氏のご協力に対して深甚なる謝意を表します。

注記) 本稿では橋脚番号などは架設時に用いた旧番号を使用した。

参 考 文 献

- (1) 松川昭夫ほか: 北港連絡橋・主橋梁部の上部構造設計概要, 土木学会誌, 5月号(1987)
- (2) 岡 正英ほか: モノケーブル自碇式吊橋「北港連絡橋(仮称)」の詳細設計, 日立造船技報, 第48巻, 2号(1987)
- (3) 松村 博, 芦原英治, 石田 貢: 北港連絡橋(仮称)の架設及び各種測定, 橋梁と基礎, 3月号(1988)
- (4) 松川昭夫, 亀井正博, 田中 洋: 斜めハンガーを有する自碇式吊橋(北港連絡橋)の架設施工管理, 土木学会第41回全国大会(1986)
- (5) 松川昭夫ほか: 斜めハンガー吊橋・北港連絡橋の2次元全体模型実験, 橋梁と基礎, 7月号(1986)