

# 複合斜張橋・生口橋の施工

## Construction of IKUCHI Bridge

松井 邦夫\*  
Kunio MATSUI

梶川 靖治\*\*  
Yasuharu KAJIKAWA

森谷 久吉\*\*\*  
Hisayoshi MORIYA

新井 伸博\*\*\*\*  
Nobuhiro ARAI

竹之熊 邦志\*\*\*\*\*  
Kunishi TAKENOKUMA

IKUCHI Bridge is a hybrid cable-stayed girder bridge which was constructed in ONOMICHI-IMABARI route of the HONSYU-SHIKOKU Bridge Project. The center span of this bridge 490 m is the world record. The main girder is a steel-concrete mixed structure which is consisted of a steel girder and prestressed concrete (PC) girders for both side spans. The steel girder was rigidly jointed to the PC girder near at the supports of the towers.

The distinctive features on the construction of the PC girders and those on the cyclic erections of the stay cables and the steel girder are reported herein. An outline of the accuracy control during the erection of the superstructure is also described.

Keywords : hybrid cable-stayed bridge, construction, accuracy control

### 1. まえがき

本州四国連絡橋の生口橋は、本州と四国を結ぶ三つのルートの中で最も西側の尾道～今治ルート(道路名, 西瀬戸自動車道)の中にあつて、因島西岸と生口島東岸に挟まれた長さ約2.5 km, 幅約0.5 kmの水路状の海峡の南部を横断する橋梁である。計画段階における種々の検討を経て、最終的に、地形条件、平面線形、工費、橋梁全体の剛性などの面からスパン比15:49:15の混合主桁を有する複合斜張橋形式が採用された。

この橋の最大の特徴は、側径間部に生ずる負反力を考慮して短い側径間にプレストレストコンクリート(PC)箱桁を採用した点であり、中央径間部の鋼桁と合わせて混合主桁構造となっていることである。このような複合斜張橋は、国内では最初のものであり、国外でも数が少なく、斜張橋の規模(中央径間長490 m)としても世界最大級のものである。

ここでは、生口橋上部工の施工について、側径間PC桁の着工から中央径間鋼桁の閉合完了までの各種作業における特色と、全体架設の精度管理に対する基本的な考え方などを紹介する。

### 2. 全体構造の概要

以下に生口橋の主要諸元を示す。

路線名：一般国道317号

架橋地点：自 因島市田熊町(因島)  
至 因島市洲江町(生口島)

規格：第1種第3級

設計速度：80 km/h

車線数：4車線(暫定2車線供用)

等級：1等橋(TL-20, TT-43荷重)

橋梁形式：3径間連続複合箱桁斜張橋

径間割：150 m + 490 m + 150 m

構造形式：主桁 中央径間 逆台形鋼床版2箱桁

側径間 逆台形PC4室箱桁

：塔 鋼製A形下絞り形状

：ケーブル 2面マルチファン形式

図-1に示すように、両側径間部が各々3径間連続PC桁となっているのは、PC桁自立時の死荷重モーメントの均等化・支承反力の均等化・鋼桁部分と桁高統一をめざした検討結果によるものであり、本橋は実質的には7径間連続の斜張橋である。

側径間部の端橋脚と二つの中間橋脚はすべてRC製であり、これらの橋脚上には1基当たり4個のゴム支承が配置されている。主桁はこのゴム沓により橋軸水平方向にバネ支持され、地震時には地震力が各橋脚に分散するいわゆる分散弾性固定方式と呼ばれる耐震固定法となっ

\*川田建設(株)東京支店工事二部部長 \*\*川田建設(株)工事本部開発部次長 \*\*\*川田建設(株)工事本部技術部技術二課課長  
\*\*\*\*川田建設(株)大阪支店工事部工務課係長 \*\*\*\*\*川田建設(株)大阪支店工事部工事課

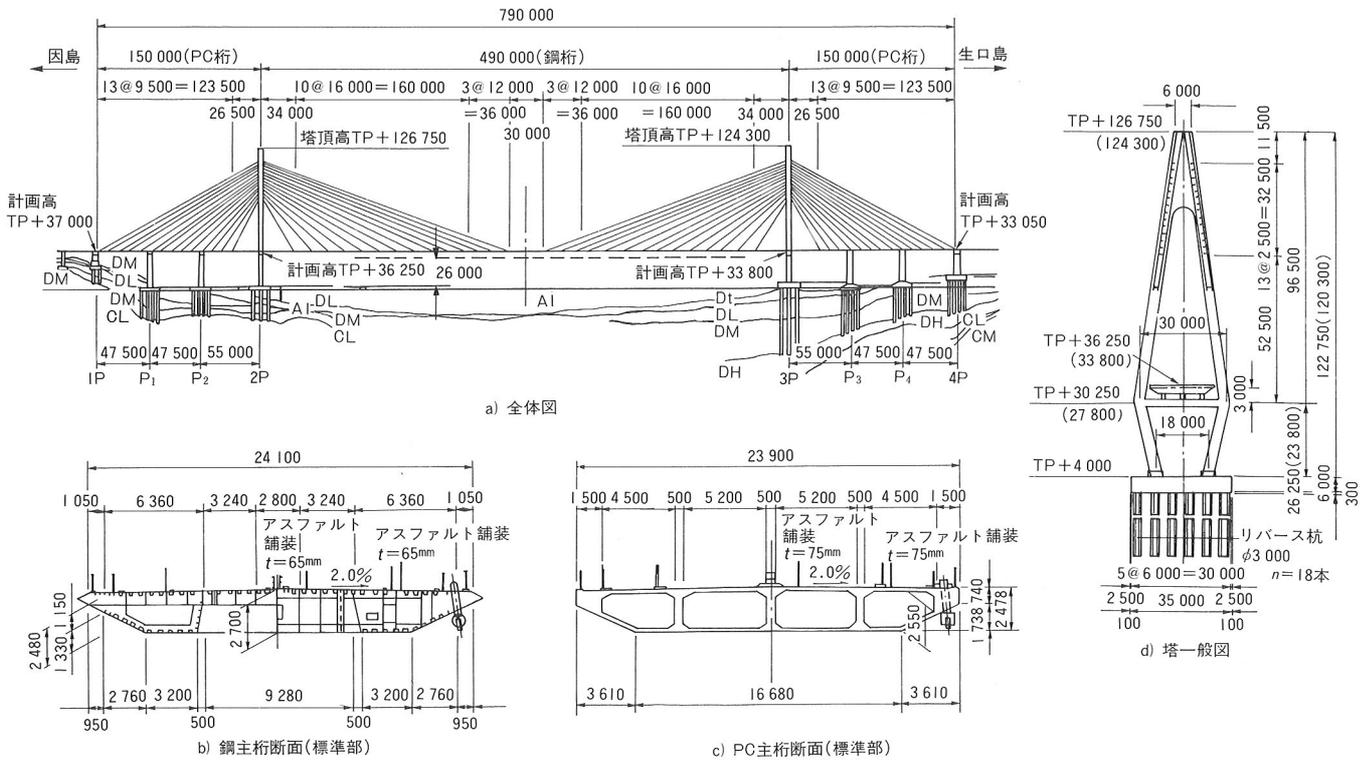


図-1 生口橋一般図

表-1 上部工工事数量表

		材 質	数量 (t)
鋼桁	本体内	SM50Y	2 007
		SCW50CF, SCW49	144
		SS41他 (小計)	2 809 (4 960)
	付属物	SS41他	1 030
斜ケーブル関係			1 111
塔	本体内	SM58	686
		SM50Y	2 861
		SS41他 (小計)	590 (4 137)
	付属物	SC46	307
		SS41他	197
(総鋼重)			(11 742)
PC桁	コンクリート		8 200 (m <sup>3</sup> )
	PC鋼材		530
	鉄筋		1 100

ている。また、タワーの水平梁上には鋳鋼製の2個の橋軸方向水平可動沓と1個の耐震ラテラル沓（橋軸直角方向を固定）がセットされ、さらに、両端橋脚部（1P、4P）には橋軸直角方向水平移動を固定するための鋼角ストッパーがセットされている。

表-1に上部工の全体工事数量を示す。また、図-2に全体の概略施工順序を示す。なお、PC桁と鋼桁との接合は図中Step 2に示すように側径間部の3径間連続PC桁完成後に実施した。

### 3. 側径間（生口島側）PC桁部の施工

側径間PC桁（ここでは主として生口島側に着目する）

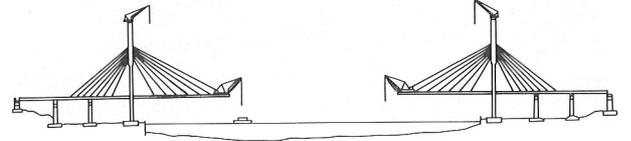
Step 1 ・側径間部のPC3径間連続桁の施工（張り出し施工、支保工施工）。  
・塔基部、下段部（水平梁部）の海上起重機船による架設。



Step 2 ・塔上段部（ケーブル定着部）接合桁の海上起重機船による架設。  
・側径間部PC連続桁の完成、接合部の施工。



Step 3 ・直下吊り工法による鋼桁ブロックの施工、側径間横桁横締の緊張斜ケーブルの引込み定着。



Step 4 ・最終ブロックの吊り上げ閉合、付属物工。

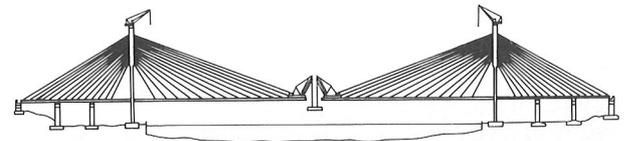


図-2 概略施工順序

は、図-3に示すように二基の中間橋脚（P<sub>3</sub>およびP<sub>4</sub>）からの張り出し施工と主塔（3P）と端橋脚（4P）付近での支保工施工とによって現場打設した。また、PC桁の斜ケーブル定着部は、桁の両側約9.5m間隔で合計28カ所有り、それぞれ外観の形状が異なり、内部的には斜ケー

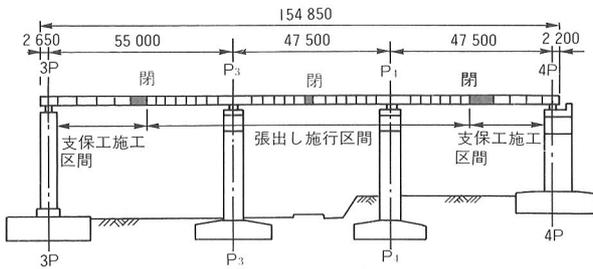


図-3 ブロック割り

ブルの定着・貫通用の支圧板付きケーシングパイプを埋め込むのに特別の注意を払った。本章ではこれらPC桁施工上の特色などについて述べる。

(1) 張り出し施工

全幅員が23.90 (拡幅部の最大25.004) mであること、および斜ケーブルの定着部横桁の重量が大きいことなどから、5主構タイプの中型移動作業車 (トラベラー) を用いて張り出し部を施工した。1ブロックの長さは、移動作業車の耐力より決定し3 mとした。橋脚1基当たりの片側への張り出しブロック数は6個であった。写真-1は柱頭部ブロック上での移動作業車の組立状況である。

(2) 支保工施工

支保工施工の長さは主塔 (3P) 側で30 m, アプローチ (4P) 側で23.5 mであったが、いずれもコンクリート量が800 m<sup>3</sup>と一括打設の可能数量を超えていたことから、



写真-1 5主構移動作業車の組立状況

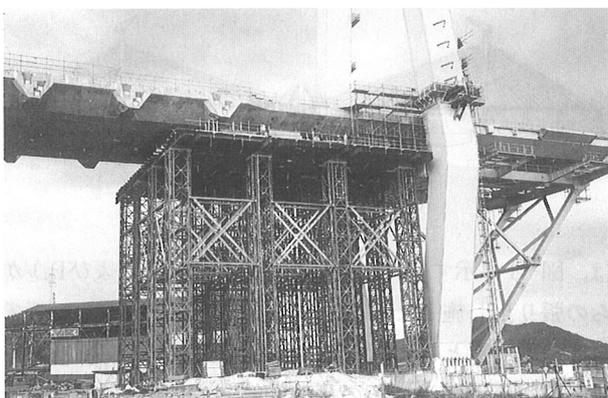


写真-2 側径間支保工の組立状況

橋軸方向に5~7 m間隔に分割し、いわゆる縦目地によるブロック施工とした (図-3参照)。縦目地は横桁部付近に設定した。支保工区間の中間横桁は橋体と一体打ちでコンクリート打設を行った。

支保工はいずれも支柱式とし、不等沈下を防止するため十分な支保工基礎を設置した。写真-2に主塔付近の支保工の組立状況を示す。

(3) 斜ケーブル定着部

a) 概略構造と試験施工

斜ケーブル定着部は、いわゆるベアリング・プレート・タイプ (支圧板形式) と呼ばれるもので逆台形上の定着ブロック (定着突起) 中にダクト (貫通孔) を設け、その下端に支圧板 (極厚鋼板) を埋め込んだ構造となっている。ダクトを貫通した斜ケーブルのソケットは座金を介して支圧板に定着され、最終的に斜ケーブル張力は定着部コンクリートに支圧応力として分散・伝達される。なお、定着ブロック内にはダクト形成用の薄肉鋼管 (ケーシングパイプ、以下単にパイプという) が埋め込まれ、これにはコンクリート打設時の型枠としてだけでなく、斜ケーブルの角折れ緩衝材および防水装置の設置上からも、孔内補強を兼ねてある程度の剛性を有するものが必要とされた。

定着突起の形状が複雑であったことから、型枠組立と型枠材の選定のために縮尺1/3のモデルについて試験施工を実施した。ウレタン化粧板による仕上がり、斜め型枠部の水あばた・空気孔の発生状況、布型枠による仕上がり、水切り形状の選定、床版横締め孔の後埋め仕上がり等を事前にチェックした。

b) 支圧板の据え付け

先述のような定着部構造から「斜ケーブルの定着」に関し最も重要な点は、支圧板をいかに精度良く定着突起内の所定の位置にセットできるかである。しかるに、本橋では支圧板とパイプとをあらかじめ溶接にて一体化しておくよう設計されていたため、支圧板のセットはパイプの据え付けに置き換えて考えることができた。そこで、現場での据え付けを容易にするため、鋼アングル製の仮固定用架台 (以下「パイプ固定架台」という) を工場製作し、この上に支圧板付きパイプをセットして一体化し、定着突起内に埋め込むようにした。すなわち、十分な精度管理が可能な工場製作により必要精度を確保し、現場においては必要最小限の労務にて据え付け可能となるよう考えたものである。

パイプ固定架台は上り下り合わせた28タイプを製作し、各ケーシングパイプには角度調整の完了したパイプ固定架台ひとつを組み合わせた。運搬時の振動等による組み上がりの狂いを防止するために工場仮組立後は2分割し、現場へ搬入した。パイプの最も長いものは4.688

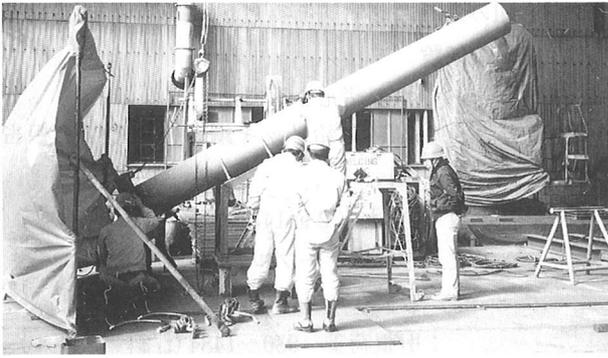


写真-3 パイプ固定架台の仮組検査

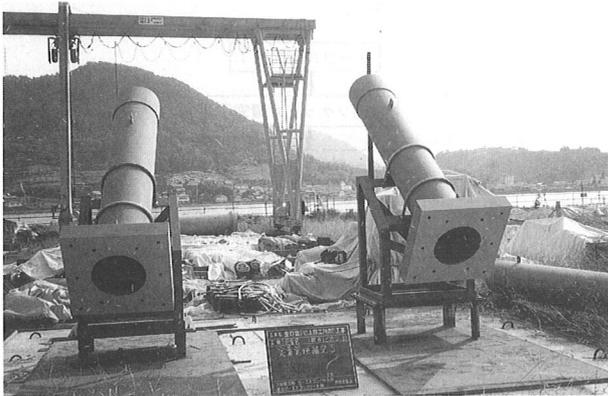


写真-4 パイプ固定架台の地組

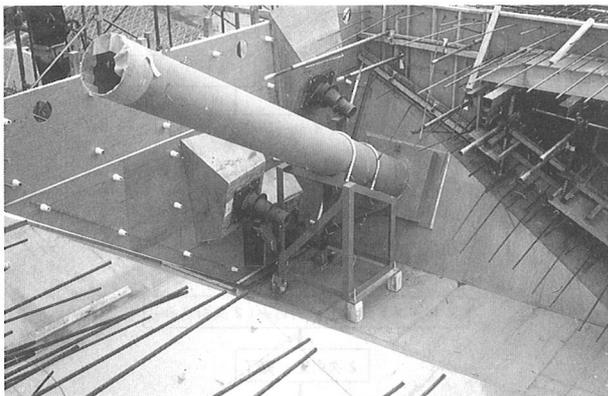


写真-5 パイプ固定架台の据え付け

m, 重量では支圧板を含めて最も重いものでおよそ850 kgであった。現場内仮組立ヤードにて再組立を行い一体化した。精度管理は工場検査のほかに現場の仮組立ヤードでの一体化後と型枠上のセット（橋軸方向、橋軸直角方向および高さ）位置で行い、所定のマーク合わせを行い確認した。平面位置の測量は中間橋脚を結んだ基準線と中間橋脚上の基準点から毎回測量して求め、同様に高さの水準測量も行った。据え付けはクレーンを用い、組立ヤードから型枠上の4個のスペーサーブロックまで場内移動を行い、スペーサーブロックを貫通した4本のボルトで締め付けるのみで作業を完了した。現場型枠上の微調整を前提としないこの据え付け方法は、作業の省力

化につながり、工程上もきわめて有効であった。写真-3～5にその状況を示す。

#### c) 補強筋の組立

定着突起内の支圧・割裂用背面補強筋のスパイラル筋からグリッド筋への変更など補強筋の設計については前号<sup>2)</sup>で詳述したとおりであるが、パイプ周辺にはグリッド筋、横桁横締め用定着具とシース（3組）ならびにその補強筋、さらに鉛直鋼棒およびその他の補強筋が複雑に交差し、これらの配置は困難を極めた。張り出しブロックにおいてはこの定着突起の配筋作業がクリティカルパスとなった。

#### 4. 斜ケーブルおよび中央径間鋼桁の架設

側径間の3径間PC桁の施工終了後、あらかじめ主塔基部の斜メント上に据え付けした鋼桁第1ブロック（接合ブロック）をPC桁に接合した後（図-2のStep 3の状態）、中央径間鋼桁の張り出し架設を開始した。この基本的な手順としては、まず最初にPC桁側の斜ケーブル定着部横桁の横締め用緊張材（以下「PCケーブル」という）を先行して緊張し、次いで中央径間鋼桁ブロックの直下吊り工法による架設、この鋼桁ブロックの連結作業と並行してPC桁側の斜ケーブルの架設、そして最後に鋼桁側の斜ケーブルを引き込むというサイクルで架設を進めた。

本章では、これらサイクル架設における特色および架設の精度管理の概要について述べる。

##### (1) PC横桁の横締め作業

側径間の各斜ケーブル位置に設けた横桁の両端定着部に2面吊りの斜ケーブル張力が導入されると、横桁下面に引張応力が作用するため、これを打ち消すべく3本のPCケーブルにより横締めするように設計されていた。この緊張作業は、斜ケーブル張力導入前後の作用応力度の変化を考慮して2回に分けて行うものとし、まず3本の内2本を斜ケーブル架設前に緊張（1次）、残り1本は架設後に緊張（2次）した。

また、その定着工法はフレシネーモノグループシステム27K15とし、1本当たり約500 tの緊張力を導入した。緊張力の管理は、マノメーター示度と伸びによった。このような大容量ケーブルの国内の実績は原子力容器・LNGタンク等以外では、まれである。定着具の詳細を図-4に示す。

写真-6に横締め緊張作業の様子を示す。斜ケーブルの架設とPCケーブルの緊張時期が一致しないので専用の移動可能な簡易的な作業足場を製作し、2回の緊張作業のほかに、グラウトおよび後埋めコンクリート等の作業を行った。

以下に、PCケーブルの諸元を示す。

P C 鋼 材 : SWPR7B φ15.2

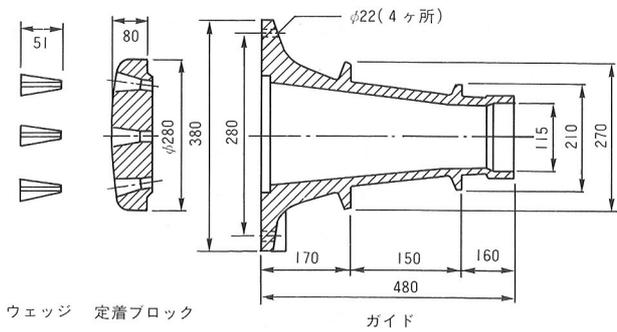


図-4 27K15用定着具

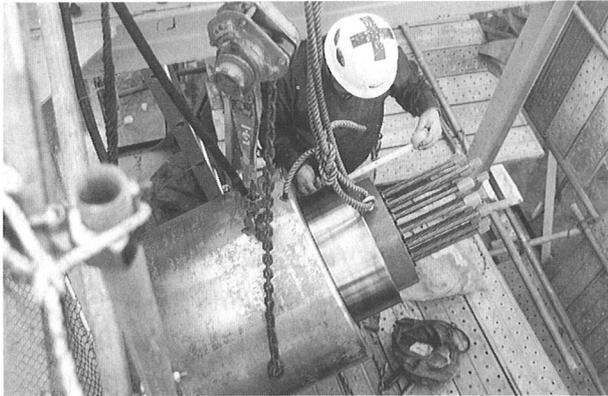


写真-6 PC横桁の横締め緊張作業

ケーブル構成： φ15.2 mm×27本  
 :引張荷重 718 (t/ケーブル)  
 降伏荷重 610 (t/ケーブル)  
 設計荷重 431 (t/ケーブル)

P C 定着具：フレッシュモノグループシステム 27 K15

ジャッキ：フレッシュH800型  
 ポンプ：フレッシュLLEP型

(2) 斜ケーブルの架設

斜ケーブルの架設は、鋼桁ブロックの引き上げを行い、その鋼桁ブロックの連結作業と並行して側径間側の引き込み作業を行う。そして鋼桁ブロックの連結完了後に中央径間側の引き込みを行った。

表-4に斜ケーブル諸元を、また、図-5に斜ケーブルの架設フローを示す。橋面上に展開された斜ケーブルの引き込みは、塔側ソケットより定着し、その後桁側の引き込みを行った。塔側では塔頂クレーンを用い、桁側では塔頂クレーンおよびトラッククレーンを使用した。特に桁側の引き込みでは長い斜ケーブルをトラッククレーンで中間吊りし桁側への引き込みを行った。

斜ケーブルの展開・架設・引き込みなどの一連の状況を写真-7～9に示す。鋼桁側では斜ケーブル緊張ジャッキ(能力600t)を架台にセットし、トラッククレーンにて直接支圧板へ取り付け付けた。また、PC桁側ではコンクリート橋面から吊り下げた作業台車に自由度のあるテーブルリ

フターを組み込み、ジャッキの上下移動・回転を行った。

(3) 鋼桁の架設

以下に斜ケーブルの諸元を示す。

素線：φ7 重鉛メッキ鋼線(SWRS77B相当品)

ケーブル本数：112本(2面14段)

ケーブル構成：平行線ケーブル

φ7mm×151～241本(3タイプ)

:引張荷重 930～1484 (t/斜ケーブル)

設計荷重 372～594 (t 斜ケーブル)

除錆処理方法：ノングラウトタイプ(黒色PE被覆)

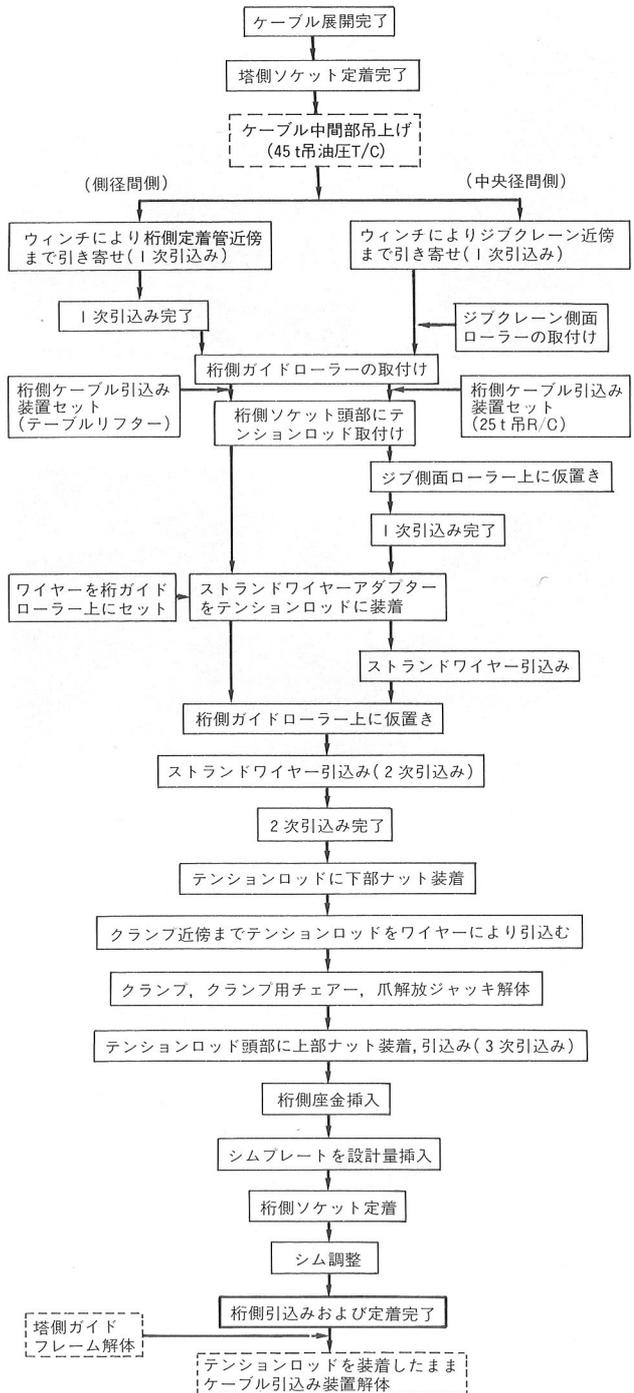


図-5 斜ケーブルの架設フローチャート

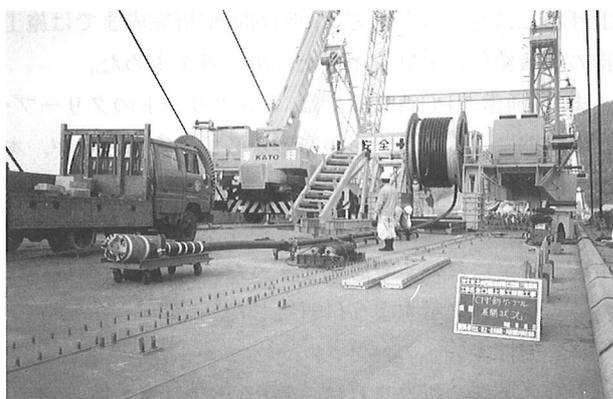


写真-7 斜ケーブルの展開

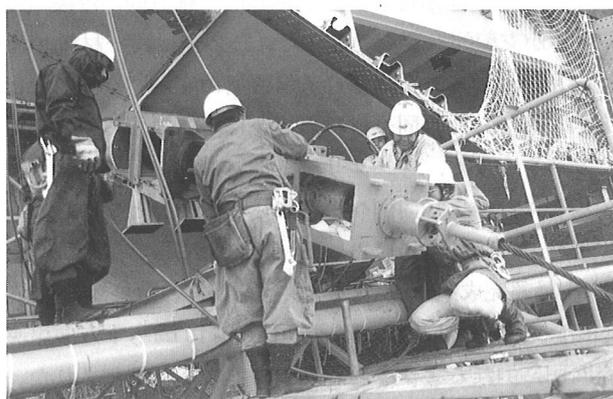


写真-8 斜ケーブルの引き込み(中央径間側)

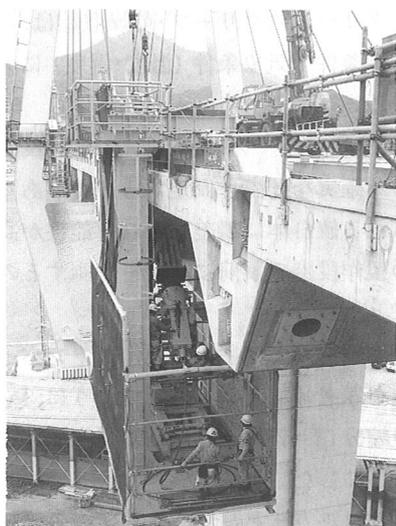


写真-9 斜ケーブルの緊張(側径間側)

定着ソケット：HiAmソケット(中央径間に使用)

NSソケット(側径間に使用)

鋼桁部の床版は最小の舗装厚を前提とした鋼床版で設計され、ボルト接合ではなく溶接継ぎ手となっていたため、鋼桁の張り出しブロックの連結は、ボルトと溶接継ぎ手とを併用した。デッキプレートおよび鋼床版裏面のトラフリブ以外はボルト接合とし、桁架設時の自立に必要な最少ボルト本数を締め付けて、ジブクレーンによる仮吊り状態の時間短縮を図った。

鋼桁の架設手順は次のとおりである。

- ① 橋面上ジブクレーンの固定：油圧式水平ジャッキにより前進させ、架設ブロックの直下吊り位置にて既設桁に固定する。
- ② 台船の定点係留：仮泊地の台船を主曳船、補助曳船にて曳航し、直下吊り位置に一点アンカー方式で係留する。
- ③ 架設ブロックの吊り上げと移動防護工の前進。
- ④ セッティングビームの取り付け：架設ブロックを連結位置までチェーンブロック等にて引き寄せ、セッティングビームを取り付け、既設桁と架設桁の変位を取るための調整を行う。
- ⑤ 1次ボルトの締め付け：箱桁下面より全数のおよそ30%の高力ボルトを締め付ける。
- ⑥ 鋼床版部の現場溶接：鋼床版溶接面の開先および目違いの修正を行い、サブマージアーク自動溶接(片面溶接)を行う。
- ⑦ トラフリブの溶接。
- ⑧ 2次ボルトの締め付け：残りの高力ボルトの締め付けを行う。

写真-10は架設ブロックの吊り上げ状況であり、また、写真-11はデッキプレートの溶接状況である。鋼床版の現場溶接作業は気象条件の影響を受けやすく、結果的に工程を大きく左右した。

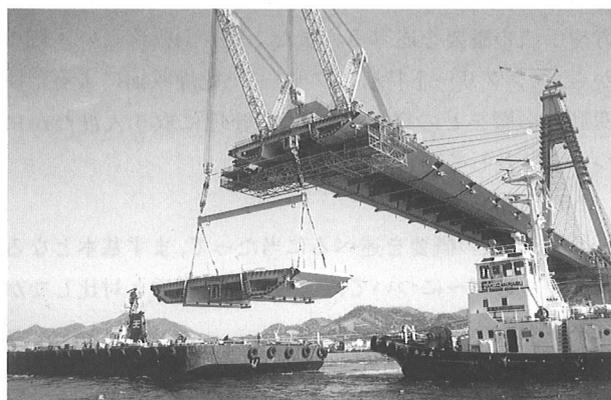


写真-10 鋼桁ブロックの架設



写真-11 サブマージアーク溶接

鋼桁中央部の閉合は、塔水平梁上鉛直支承に準備したジャッキにより既設のPC桁と鋼桁全体をそれぞれ両側にセットバックして(片側約10 cmずつ)左右の桁間隔を拡げておき、閉合ブロックを引き上げセッティングビームにより仮受けした後、セットフォーにより所定の接合間隔とし、最終の連結作業を行った。ジブクレーンを撤去した後、形状確認作業を実施し、混合主桁の閉合を完了した。

#### (4) 精度管理

##### a) 概要

一般に斜張橋は主桁・塔・斜ケーブルで構成される高次の不静定構造物であるため、その解析や精度管理は非常に複雑でむずかしい。特に、本橋の場合は、PC桁(側径間)、鋼桁(中央径間)、鋼主塔および斜ケーブルで構成される複合斜張橋であることから、個々の材料特性や剛性に差異がある。さらに、その値自体が経時変化するコンクリート材料を含むため、複合斜張橋の精度管理は一般のPCあるいは鋼斜張橋に比べ、より一層複雑なものになることが予想された。

斜張橋の精度管理としては、橋体応力、橋体形状およびケーブル張力が重要な管理項目と考えられる。これはケーブル張力を調整することによって主桁や塔の応力・形状を改善できるという、斜張橋形式独特の自由度の高さに起因している。

本節では、生口橋についての精度管理の基本的な考え方や手法の概要を述べる。また、複合斜張橋という観点から、コンクリート特有のクリープ・乾燥収縮による塑性変形の影響をどのような形で計測・管理に取り入れたかについて言及してみる。

##### b) 製作キャンパー

計測・管理の概要を述べるに当たって、まず基本となる製作キャンパーについて、一般的な斜張橋と対比しながら本橋の考え方を示す。

##### イ) 基本方針

一般に鋼斜張橋の場合、最終完成系を基準として、死荷重全載の状態での完成時ケーブル張力を有するという条件から、鋼桁部の無応力形状すなわち製作キャンパーが決定される。また、その際に主塔が直立するという条件から、主塔・ケーブルの無応力長すなわち製作長が決定される。

一方PC斜張橋の場合では、施工時の形状変化の累計が製作キャンパーと考えられ、この累計値をもとに各施工段階でのキャンパー(PC橋の場合、一般に「上げ越し」と称している)値が決定される。

本橋は複合斜張橋であるが、まず側径間PC桁を完成させ、しかる後に中央径間鋼桁および斜ケーブルを架設するというように各々異なる状態で施工、架設が行われた。

上げ越しに対する考え方は、側径間PC桁完成までは施工時の形状変化の累計値より上げ越し量を求めた。

また、通常のPC斜張橋では、コンクリートのクリープ・乾燥収縮による塑性変形の影響が必ず考慮されるが、本橋ではPC橋の施工段階についてのみ考慮し、鋼桁、主塔および斜ケーブルについてはそのキャンパーあるいは製作長の算定において考慮しなかった。具体的な取扱いについては以下に示すように対処した。

##### ロ) 塑性変形への対処

事前の要因分析によれば、鋼桁・PC桁・鋼主塔・斜ケーブルと性状の異なる材料で構成される本橋の場合、PC桁の塑性変形が他部材に及ぼす影響は、軸方向の収縮(軸短縮)が支配的な要因であった。この点は同一材料(PC桁、RC桁)のみで構成される斜張橋の変形パターンとは大きく異なった。同一材料の場合は塔に対して一般に対称変形をなすが、コンクリート部材のみが短縮する今回の場合には中央径間側への倒れ込みの変形となった。

最終詳細設計段階において、側径間PC桁の塑性変形により、最終完成系( $t=\infty$ )で中央径間鋼桁の中央部で約270 mm鉛直方向下方にたわみ、塔頂で約110 mm水平方向中央径間側に倒れるような変形を生じることが予測された。

またそのほかにも要因分析から以下のことが考えられる。

- ① コンクリートのクリープ・乾燥収縮は、コンクリートの配合条件や気象条件(温度・湿度)に大きく左右される。
- ② 解析では、クリープ・乾燥収縮の進行度と最終値の2つの不確実な要素を仮定する必要があるが、解析から得られる値自体に誤差を含む可能性が高く、鋼桁・主塔の製作段階で事前に誤差を予測するのは困難であること。

したがって、鋼桁および主塔の製作キャンパーには塑性変形の影響を考慮せず、図-6に示すように、PC桁の桁長を軸方向短縮分( $\delta=77$  mm)だけ長く製作することにより対処することにした。

なお、別の対処方法として、ケーブルの無応力長を軸方向短縮分短く製作することも考えられたが、設計シム厚にクリープ・乾燥収縮による誤差の影響を考慮する必要があり、本橋では採用しなかった。

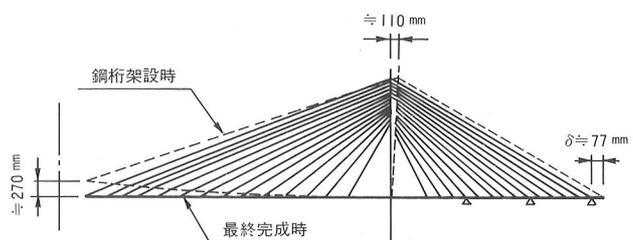


図-6 塑性変形の製作キャンパーへの対処

表-2 計測項目および設置計器

部材	項目	計器	備考
PC桁	ひずみ	埋め込み型ひずみ計 (測温機能付き)	
	温度	〃	
	応力度	有効応力計	
	材料	ひずみゲージ	PC桁サンプリング
	特性値	埋め込み型ひずみ計 (測温機能付き)	PC桁内設置
鋼桁	形状	軸方向変位計 光波測距儀 レベル(水準測量)	軸短縮 橋長 鉛直変位
	温度	熱電対	
	形状	レベル(水準測量)	鉛直変位
主塔	応力度	ひずみゲージ	
	温度	熱電対	
	形状	トランシット(鉛直度測量)	橋軸方向の倒れ
ケーブル	ケーブル張力	加速度計	振動法
	温度	熱電対	グミー供試体

c) 計測項目

通常、斜張橋のケーブル架設期間中の計測対象および項目は、次のとおりである。

- ① 主桁 (PC桁, 鋼桁の変形)
- ② 主塔 (塔の倒れ)
- ③ 斜ケーブル (ケーブル張力)

また、上記実測値を補正するために、斜張橋各部の温度計測が必要となる。

本橋の場合、複合斜張橋であることに加え、以下の事項を考慮に入れて表-2 に示す項目について計測することにした。

- ① 一般に、PC斜張橋ではケーブルの張力管理に、また、鋼斜張橋では形状管理にそれぞれ重点をおいている。
- ② PC桁部はケーブル架設時で、鋼桁部は常時でそれぞれ断面が決まっている。
- ③ 桁変形量の変動幅は、PC桁部で小さく、鋼桁部で大きい。
- ④ 塑性変形による鋼桁および主塔へ影響は、PC桁部の軸方向の収縮が支配的であるため、この軸短縮量を埋め込み型ひずみ計で直接計測すること、およびマクロに軸短縮を測定すること、でクリープ等の進行度合いを推定することが可能である。

なお、実際の測定現場では、測定位置が広範囲に分散するので、測定とデータ収集をパーソナルコンピュータの自動制御により行い、現場条件に左右されずに測定の自動化や省力化を図った。

d) 管理項目

本橋の精度管理における管理作業手順を図-7 に示す。また、基本的な管理方針は以下のとおりとした。

- ① 管理項目は主桁(PC桁・鋼桁)形状、塔形状およびケーブル張力とし、これらの管理値と各種誤差量を含む計測値との差異を調整し、完成後に有害な誤差を残留させないことを基本に管理する。
- ② 精度管理における部材応力については管理項目としないが、設計値との比較により架設中の安全性の確認および架設状態を検証する目的で応力測定を行う。特に、PC桁部については、剛性が高いため応力には敏感でありかつ架設時に断面が決定されていることを考慮して、過大な応力が発生しないか監視する。
- ③ ケーブルのシム調整作業(各架設段階の管理作業時において挿入、あるいは引抜かれるシム量)の対象は、各架設段階の最上段ケーブル1段とし、ケーブル張力の測定は、それによる張力変動の大きい範囲のケーブルに着目し行う。
- ④ コンクリートの材料特性(クリープ・乾燥収縮・弾性係数等)の影響は架設計算値として見込むものとする。また、コンクリート材料特性値と設計値との誤差は、継続的な計測によって挙動の確認を行う。
- ⑤ 各架設段階における実際の管理値は、その時点の

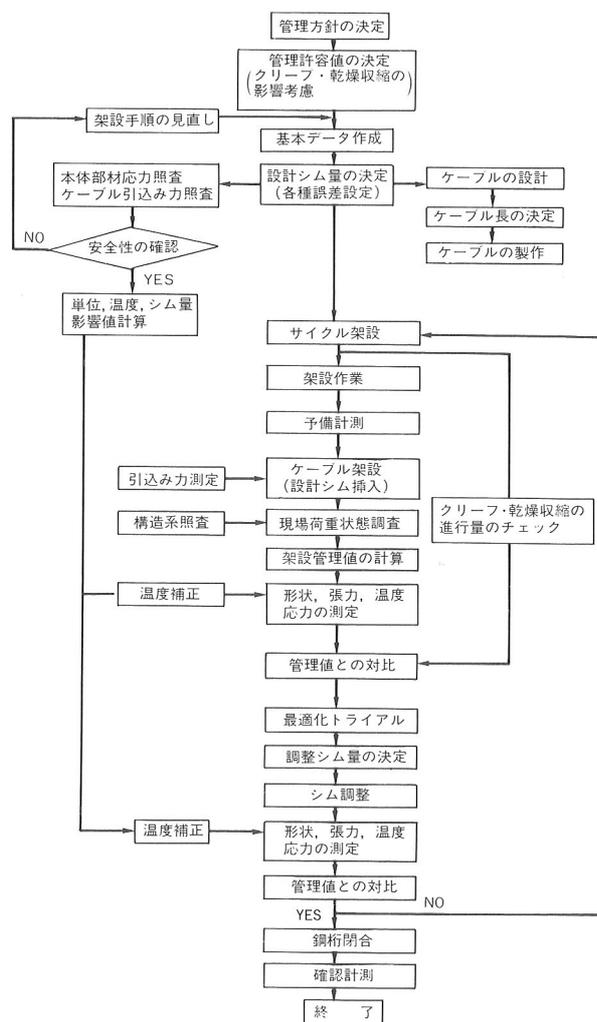


図-7 管理フローチャート

表-3 管理目標値

管理項目	目標値
主桁キャンバー	$\pm 135 \text{ mm}$ かつ $\pm \{25 + 0.25(L-50)\}$ ただし、 $L=490 \text{ m}$ : 中央径間長
主塔鉛直度(橋軸方向) ケーブル張力	$\pm 100 \text{ mm}$ 設計上の余裕張力に後死荷重誤差・計測誤差を考慮しケーブルごとに張力を設定した

実橋での荷重載荷状態に基づいた架設管理値(各架設段階の管理作業時における実際の外荷重載荷状態を考慮して得られる最終的な管理値)を使用する。

e) 管理目標値

架設精度の管理目標値は、従来の同種橋梁の実績および設計上見込んだ製作架設誤差を参考にして表-3に示す値とした。ケーブル張力の誤差の許容値は、斜張橋の工事ごとに定められているのが実状であり、現在のところ一般的な基準はない。

f) 精度管理

本橋の精度管理システムの機器構成を図-8に示す。各架設ステップにおける架設機材の忠実な載荷状態をリアルタイムに再現でき、また架設計算・シム計算を迅速に行うため現場事務所にEWS(エンジニアリングワークステーション)を設置し、シム調整に必要な管理目標値を求め、並行してシム量の最適化も行った。また、自動計測された各種測定データは通信回線により、EWSに連動したパーソナルコンピュータに送られ、集中管理された。

ケーブル張力の調整は、シム厚を変化させることにより行った。1本のケーブル長の調整によって、隣接するケーブルの張力や主桁の形状は比較的敏感に変化するため、本橋では橋体形状とケーブル張力双方の最適化を考慮した調整法を採用した。

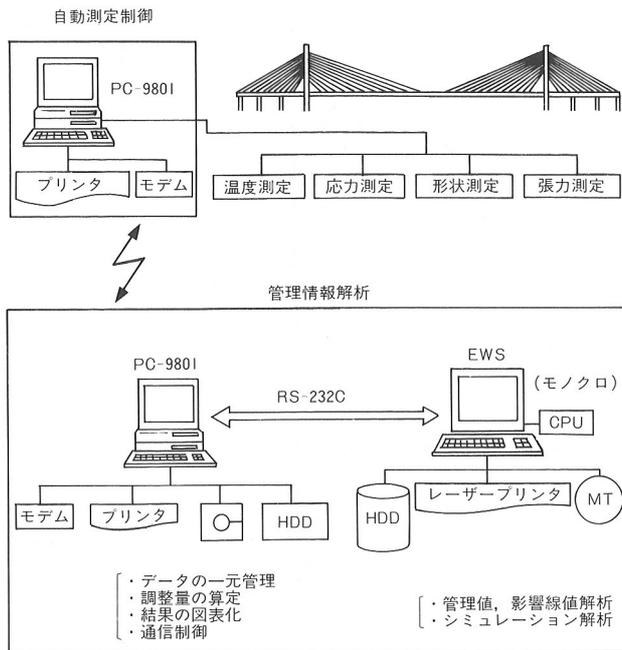


図-8 精度管理システム機器構成

シム調整量は、ケーブルの単位長さ変化によって生じるケーブル張力や主桁形状の変化の影響値をあらかじめ算出しておき、これをもとに最適化手法を用いて決定した。最適化の手法は、解析技術の進歩、材料の高強度化、製作精度の向上などに呼応して、それぞれの工事現場で合理的な手法が採用されているが、本橋では、最小自乗法とファジィ理論を用いた算定法の使い分けを以下のように行った。

- ① ケーブル張力、主桁キャンバーおよび塔の倒れに着目して調整シム量を決定する場合は、平面モデルを使いケーブル2本一組として、ファジィ理論を用いた算定法を適用した。
- ② ケーブル張力の断面左右のアンバランスを消去するに必要な調整シム量を決定する場合は、立体モデルを用いて最小自乗法を適用した。

なお、本橋でのシム調整は、架設途上の各ケーブル架設段階ごとに行っており、調整作業を最小としながら最終的に調整不可能な架設誤差が累積しないように配慮して行った。

g) クリープ・乾燥収縮による挙動

最後に、これまで追跡計測した実測値をもとに、クリープ・乾燥収縮による、PC桁側径間製作時から中央径間鋼桁閉合完了までの短縮量を設計値と比較した。

実測結果によれば、クリープ・乾燥収縮によるひずみ変化は設計値とほぼ一致した進行度合いであり、中央径間閉合直後において、 $t=\infty$ に至るまでの約35%が進行した状態であることがわかった。

5. あとがき

側径間PC桁の現場施工および斜ケーブル・中央径間鋼桁の架設という生口橋上部工の主要な工事に参画でき、無事故・無災害でわが国初かつ世界的規模の複合斜張橋を完成させることができたことは筆者らの望外の喜びである。

本工事の設計・製作・施工に当たり本州四国連絡橋公団第三建設局向島工事事務所の方々にご指導いただいた。また、設計事務所開設中は関連共同企業体のスタッフの方々にも数多くの有意義な御意見を賜った。ここに、関係各位に対し深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 松井邦夫・梶川靖治・森谷久吉・岩崎祐次・新井伸博・木本輝幸：複合斜張橋・生口橋主桁接合部の設計・施工，川田技報，Vol.10，pp.60～67，JAN.,1991.
- 2) 松井邦夫・梶川靖治・森谷久吉・岩崎祐次・新井伸博・木本輝幸：複合斜張橋・生口橋の斜ケーブル定着部の設計，川田技報，Vol.10，pp.68～75，JAN.,1991.