

## 論文・報告

# 松川浦大橋の設計・施工

Design and Construction of MATSUKAWAURA Bridge

秋山 照義\* 小藤 金弥\*\*  
Teruyoshi AKIYAMA Kinya KOFUJI

大澤 浩二\*\*\*  
Koji OSAWA

MATSUKAWAURA bridge is constructed at MATSUKAWAURA fish port inside the natural park in Fukushima prefecture. It is a concrete cable stayed bridge with semi-fan pattern of stay cables. Large number of stay cables has been beautifully patterned to give the bridge a unique shape. This report aims to describe the characteristics and fundamentals of the design and construction.

*Keywords : MATSUKAWAURA bridge, prestressed concrete cable stayed bridge, free cantilever erection, external cable*

## 1. まえがき

松川浦大橋は、福島県相馬市に所在する松川浦漁港の修築事業の一環として、航路を跨いで既存漁港の原釜地区と新設漁港の鶴尾崎地区を連絡する新設道路橋である(写真-1)。本橋は県立自然公園の特別指定区域に位置するとともに、福島県で初めて発注されたPC斜張橋であるため、景観および施工に対してそれぞれ委員会が設けられ、専門的な検討が加えられた。本報告は、アプローチ部を含む全体橋長520.3mのうち、主橋部286.6mの設計と施工の概要について述べる。

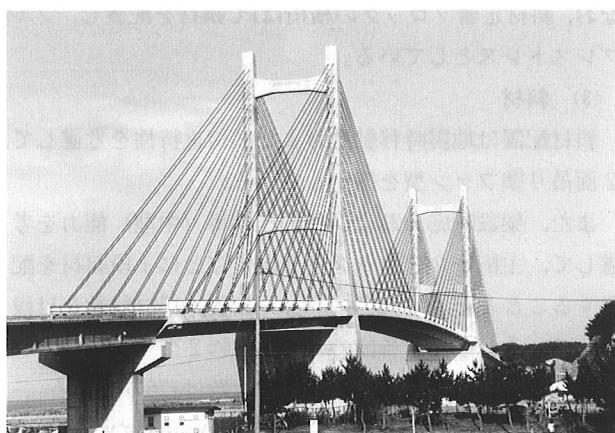


写真-1 松川浦大橋完成写真

## 2. 工事概要

本橋の工事概要は、以下のとおりである。

工事名：平成3年度 工第1-0-2号

漁港修築工事(松川浦大橋)

工事場所：松川浦漁港

福島県相馬市尾浜字追川地内

工 期：自 平成3年7月12日

至 平成6年3月10日

発注者：福島県(相馬港湾建設事務所)

施工者：川田・オリエンタル特定建設工事共同企業体

構造形式：3径間連続PC斜張橋

橋種：1等橋(TL-20)

橋長：286.600m

支間：70.0m+145.0m+70.0m

主桁断面：桁高2.0m, 3室箱桁

総幅員：12.950m

幅員構成：車道7.250m, 歩道2.500m

平面曲線：直線( $R=\infty$ )

勾配：縦断5.0%, 横断2.0%

斜材形式：2面吊り準ファン型 SEE工法F-PH型

塔形式：H型RC構造

定着方式：主桁PAC工法, 横桁SEE工法F型

全体一般図を図-1に、主要材料を表-1に示す。

\*川田建設(株)東京支店工事二部工事課課長 \*\*川田建設(株)東京支店工事二部工事課係長 \*\*\*川田建設(株)工事本部開発部技術開発課係長

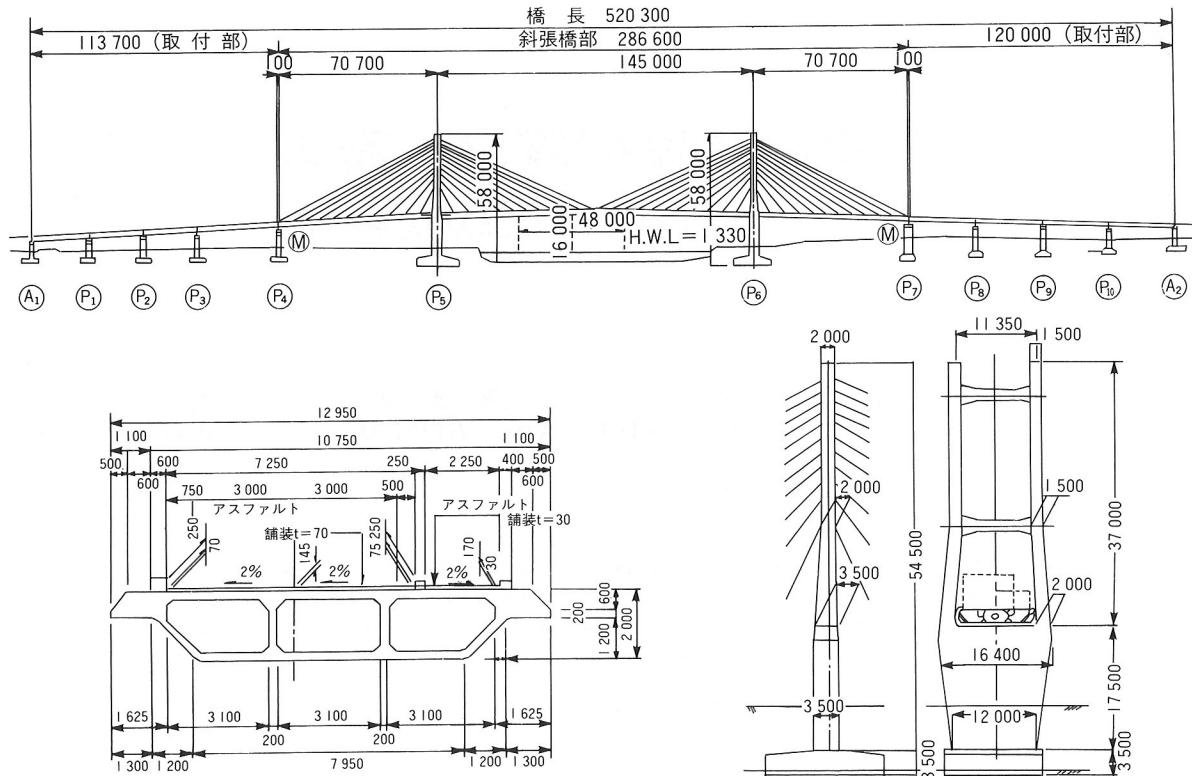


図-1 松川浦大橋全体一般図

表-1 主要材料

区分	種別	仕様	単位	数量
主塔	コンクリート	$\sigma_{ck} = 400 \text{kgf/cm}^2$	m <sup>3</sup>	630
	鉄筋	SD295A	t	125
	鉄骨	SS400	"	25
主桁	コンクリート	$\sigma_{ck} = 400 \text{kgf/cm}^2$	m <sup>3</sup>	2580
	鉄筋	SD295A	t	720
	PC鋼材	SWPR7B 7T12.7	"	6.7
		SBPR930/1080 $\phi 26$	"	0.7
斜材	PC鋼材	F190, F200, F230	"	8.8
		F160PH	"	3.0
		F230PH	"	65.1
		F270PH	"	15.2
		F310PH	"	8.0

### 3. 構造および設計概要

主な特色としては、以下の点が挙られる。

#### (1) 構造形式

主桁の支持形式は地震力の低減が図れるフローティングタイプ（主塔と橋脚は剛結、主桁は主塔部で支承による鉛直支持をしない形式）である。

#### (2) 主桁

主桁断面形状は塩害に対する有効性および耐風安定性の向上を考慮して、斜ウェブおよびウインドノーズを有する箱型断面を採用している。また、RC床版としたため3室構造となっている。

桁高は、箱桁の施工性より2.0mとしている。これは近

年の斜張橋の中では比較的剛性が高いものになっているが、逆に主桁の応力レベルを低く抑えられ、斜材により主桁に作用する軸力を活用することで、主桁をRC構造とすることが可能になっている。図-2に示すように、PC鋼材は、活荷重に対して径間部にわずかに配置されているだけである。

張り出し施工の初期段階（斜材全11段中5段目緊張以前）は、斜材により導入される軸力が少なく、 $-40 \text{kgf/cm}^2$ 程度の上縁引張応力が発生する。ひびわれ防止のため仮設鋼棒（ $\phi 32$ ）を4段目までの斜材定着ブロックの横桁間に配置し、上縁引張応力を $-30 \text{kgf/cm}^2$ 程度に抑えている。なお、斜材定着ブロックの横桁はPC鋼材を配置し、フルプレストレスとしている。

#### (3) 斜材

斜材配置は地震時移動量および活荷重特性を考慮して、2面吊り準ファン型を採用している。

また、架設時応力および移動作業車（中型）能力を考慮して、主桁を2ブロック張り出すごとに1段斜材を配置することとし、吊点間隔を6.0~7.0m、斜材段数を11段としている。なお、各段の斜材は並列2ケーブルで構成されているため、ケーブルの合計本数は176本である。

ケーブルは、ポリエチレンで表面を被覆したノングラウトタイプのSEEEケーブルF-PH型を使用し、その破断荷重は160tf~310tfである。

#### (4) 主塔

主塔形状は施工性に優れ、主塔高と幅員の関係から景

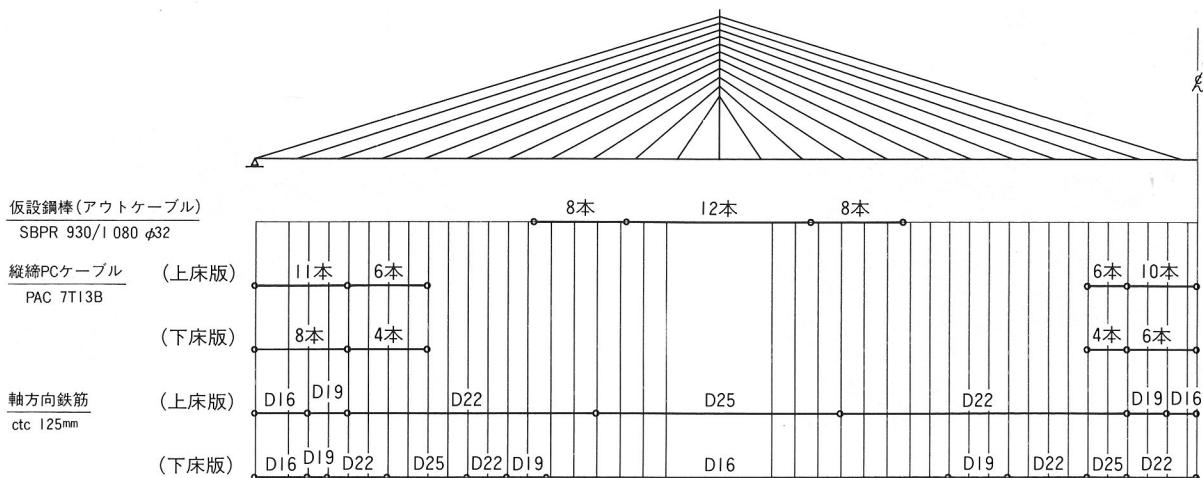


図-2 主桁の鋼材配置

観上のバランスのとれるRC構造のH型を採用している。

#### 4. 施工概要

本橋の施工は、以下の順序で実施した（図-3）。

##### （1）主塔部の1次施工

主塔の施工は本体部および横梁部から成り、主鉄筋・斜材ケーシングパイプ配置用鉄骨（写真-2）を2ブロックごとに圧接・接続した後、パケットにより1ブロックごとにコンクリートを打設した。また、主桁張り出し部のサイクル施工で主塔施工がクリティカルパスにならないようにするため、全11ブロックのうち6ブロックおよび下段横梁の施工を主桁施工に先立ち完了した。ここまで施工で、斜材2段分の定着が可能となる。

1次足場は地上からの総足場とするが、主桁柱頭部の施工を考慮して柱頭部支保工も同時期に施工し、資機材仮置きヤードとした。また下段横梁の支保工は、橋脚天端からの枠組支保工とした。主塔1次施工部完了後、1

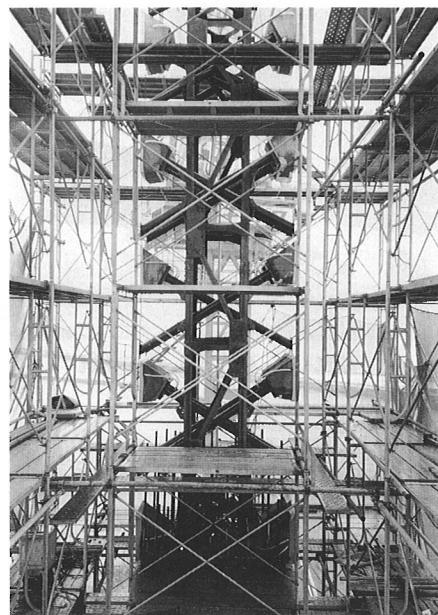


写真-2 主塔鉄骨配置状況

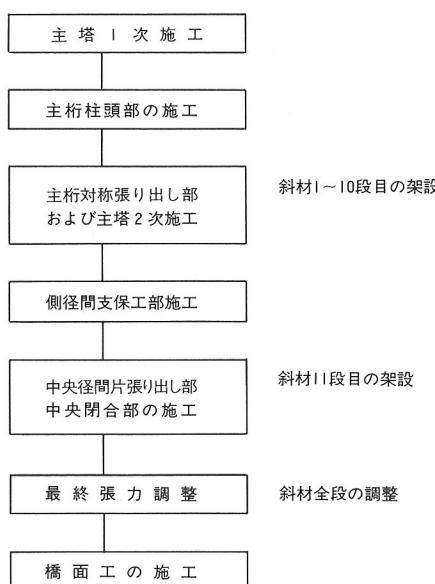


図-3 施工順序

次足場を解体し、鋼製プラケットによる2次足場に移設した。

##### （2）主桁柱頭部の施工

仮固定工の下沓を施工後、あらかじめ組み立てておいた支保工上で長さ16mの柱頭部を施工した。ここで、コンクリートは2回打ちとした。仮固定鋼棒・斜鋼棒・横縛ケーブル・仮設鋼棒を緊張後、支保工を解体した（写真-3）。

##### （3）主桁対称張り出し部および主塔部の2次施工

移動作業車を組立完了後、柱頭部に定着される1段目の斜材を架設・緊張した。

その後はサイクル工程に従い、左右対称に片側18ブロックの張り出し部（ブロック長3.5mおよび3m）の施工、主塔の残り5ブロックの施工および斜材2~10段目の施工を行った。主桁のコンクリートは、ポンプ車による配管およびブーム打設とした（写真-4）。

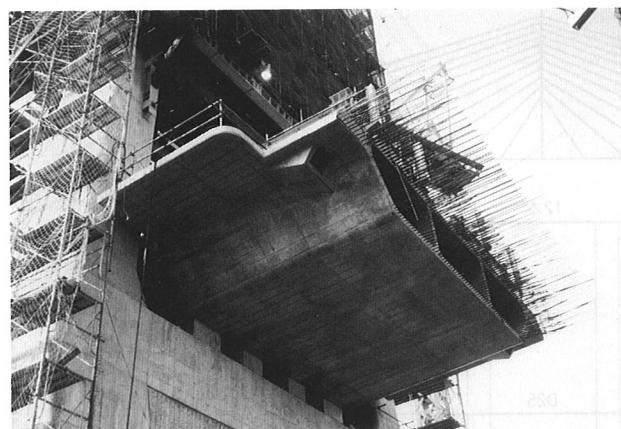


写真-3 主桁柱頭部完成

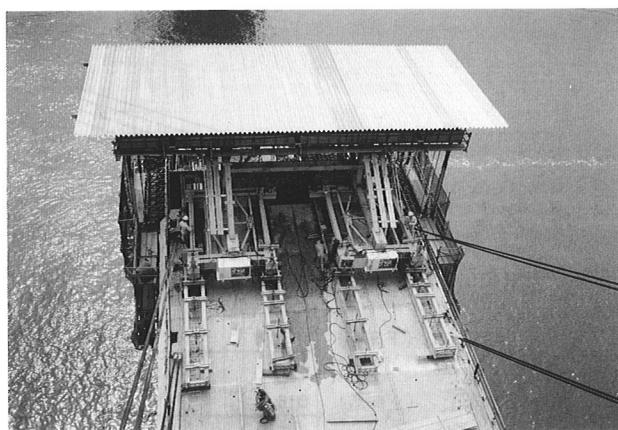


写真-5 移動作業車

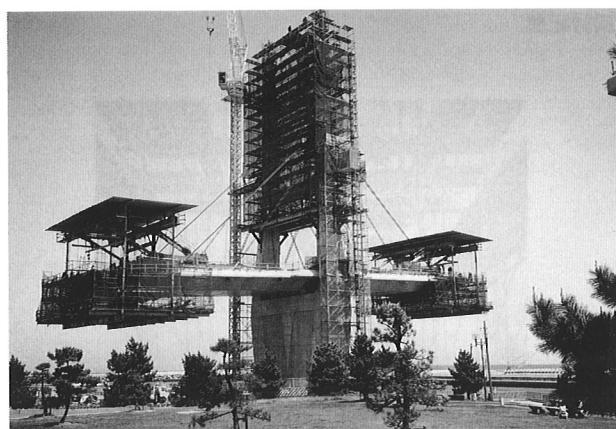


写真-4 張り出し施工状況

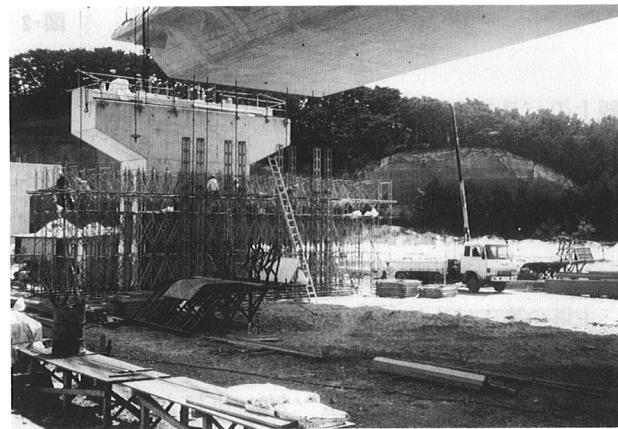


写真-6 側径間支保工

サイクル工程は、

- ① 主桁左右各2ブロックの施工  
(標準ブロック, 斜材定着ブロック)
- ② 主塔1ブロックの施工
- ③ 斜材左右各1段の架設・緊張  
(主塔側緊張) である。

移動作業車の構造は、以下の条件を考慮して主桁部の立体FEM解析を行い、2主構4本レール（主構間隔6.5m）構造とし、主桁各ウェブの主応力度およびたわみが同程度になるようにした（写真-5）。

- ① 張り出し施工時の主桁はRC構造。
- ② 主桁断面が斜ウェブ（45°）を有する3室箱桁で、ウェブ厚が薄い。
- ③ 作業車の重量制限より、2主構造。

#### （4）側径間支保工部の施工

枠組支保工で施工するが、別に既設張り出し先端部の風による揺れ・温度差による桁のたわみ・変動等を考慮して、フレ止めを設けた。フレ止めは、桁下に重りコンクリート（45m<sup>3</sup>）を打ち、四角支柱とPC鋼棒により桁先端部を仮固定する構造である（写真-6）。

また、側径間の桁内部に、カウンタウェイト用の重りコンクリート（62m<sup>3</sup>）を施工するようになっている。当初、この重りコンクリートは構造完成後に施工するよう

に計画されていたが、中央径間側の片張り出し施工時のアンバランスモーメントを少なくするため、側径間支保工部施工時に打設した。

主桁コンクリート養生後、側径間部に配置される縦締めPCケーブル（PAC 7 T13B）19本をアプローチ側からの片引きで緊張し、支保工を解体した。

#### （5）中央径間側片張り出し部・中央閉合部の施工

中央径間側の非対称ブロックの施工区間は、移動作業車があたるため、P6系の施工完了（作業車撤去）後、P5系の施工を実施した。

最終ブロックのコンクリート養生後、最終11段目の斜材を架設するが、緊張は移動作業車解体後とした。中央径間閉合部は吊り支保工としたが、重量制限（30t）および航路上であることを考慮して、以下の構成とした。

- ・吊り支保工：既製の軽量梁使用（写真-7）
- ・作業台：P5系の移動作業車の下段作業台
- ・フレ止め：P5系の移動作業車の後方レール、PC鋼棒

閉合部コンクリート養生後、中央径間部の縦締めPCケーブル全16本中6本だけを交互片引きで緊張した。次に、柱頭部の仮固定工を解放・撤去し、残りの10本のケーブルを緊張した。この時点で、フローティング型式の構造が完成となる。

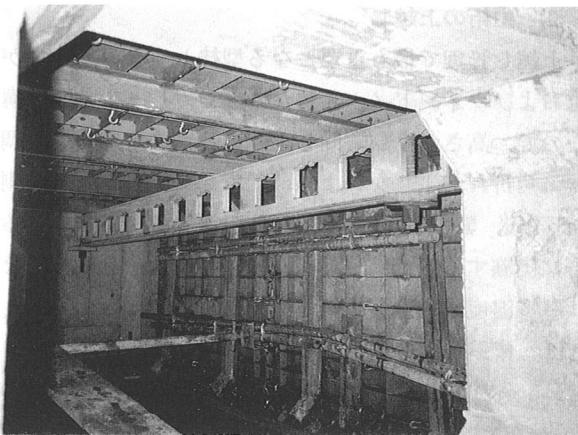


写真-7 中央閉合部吊り支保工

## (6) 最終張力調整および斜材端部処理の施工

橋面高さおよび全斜材の張力の実測値を基に最終張力調整量を決定し、調整作業を実施した。橋面工に対する調整も、この時点で前もって導入した。調整作業は、P5・P6系同時に最上段から下に向かって全斜材を順に実施した。調整後の斜材張力実測結果が所定の誤差内に納まつたため、調整作業は1回で完了とした。

調整作業終了後、定着部にステンレス製のキャップを取り付け、キャップおよびケーシングパイプ内にウレタンを注入し防錆した。ウレタンは、2液混合常温硬化型液状ゴム（ポリブタジエン系ポリウレタン）を使用した。ウレタンの養生後、主塔側箱抜き部はコンクリートにより後埋めし、主桁側ケーシングパイプ上端はポリエチレン製のソケットを取り付け、端部処理を完了した。

## (7) 橋面工

排水ますを設置した後、アルミ高欄を建て込み、地覆コンクリートを6回に分けて打設した。

また、斜材制振対策として3本の対角ケーブルで斜材ケーブル相互を連結する方法が計画されていたが、制振効果および維持管理の容易さを考慮して、川田工業㈱・オイレス工業㈱の共同開発であり、既に数多くの使用実績がある粘性せん断型ダンパー（写真-8）を採用した。

## 5. 斜材ケーブル工

主桁・主塔の架設時耐力が少ない橋梁の場合、張力緩和および最終張力調整という既設斜材の微調整作業が必要となる。特に、本橋のように架設時の主桁がRC構造の場合には、主桁内にカンチケーブルを配置しておらず、新設斜材で負担することになり、本緊張力が大きくなる。そのため、次のステップで別の新設斜材を緊張した段階でこれを緩めることによって、安定した状態にしている。

当初設計では、斜材の張力導入ステップごとに全既設斜材の張力調整を行うように計画されていた。つまり、全斜材吊り点を支点とする連続桁の応力状態にするよう設計されていた。しかし、このような張力調整をサイ

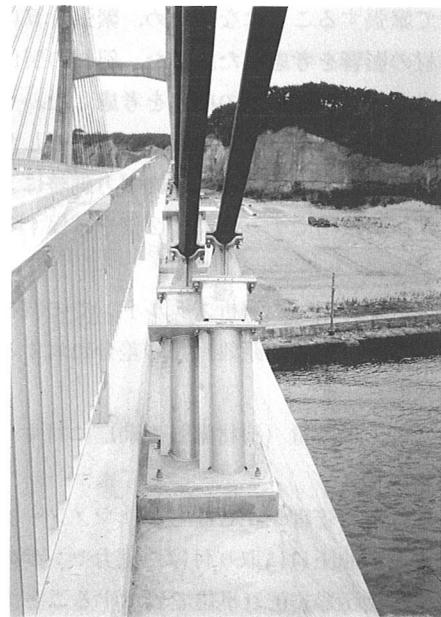


写真-8 斜材制振装置

クル施工の中で実施することは不可能なため、本橋では先端2段の斜材だけを張力調整するように変更した。この変更に伴う設計照査は、川田テクノシステム㈱所有の電算プログラム「FCC設計施工支援システム・斜張橋版」を使用し、当初設計と同じ結果が得られることを確認した上で変更を実施した。

斜材ケーブルの施工要領は、図-4に示すとおりである。斜材の架設・緊張時期は、斜材定着ブロックを打設した後、移動作業車を移動し次の標準ブロック打設まで行った。斜材の架設は、緊張端となる主塔側定着部を後埋めする必要があるため、主塔側の仮定着を行った後に、主桁側の本定着をセンタホールジャッキ（20t）を用いて行い、施工および製作誤差は主桁側で吸収した。なお斜材の緊張は、新設斜材を本緊張（約100t／ケーブル）した後に、既設最上段の斜材を張力緩和（約40t／ケーブル）した。

1段の斜材は合計8本のケーブルで構成されており、これを4台のセンタホールジャッキ（200t×200st）で2

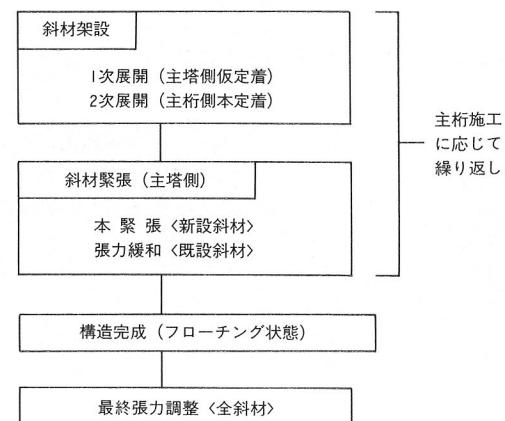


図-4 斜材施工要領

回に分けて緊張することになるため、緊張計算には同斜材・異斜材の影響を考慮した。また、斜材の製作長を決定するに当たっては、以下の項目を考慮した。

- ① 斜材の余長はナット高の2倍を原則とした。緊張端は、本緊張・張力緩和・最終張力調整により変動するが、各段階でナット高の2倍を確保するようにした。
- ② 設計計算で用いた解析スケルトンでの斜材長と実際の斜材長（定着間距離）との差分に対する伸び量を補正した。
- ③ 主桁の上越し量（斜材緊張直前）に対する斜材長を補正した。

緊張管理は張力管理が主となるが、マノメータの代わりにジャッキの油圧口に取り付けた圧力センサの読み値を、デジタル指示器に0.1t単位で表示することで正確を期した。

斜材の緊張状況を写真-9に示すが、主塔側での緊張作業は緊張台車が不要であること、ジャッキの盛り替えがタワークレーンで可能であること、管理が1箇所に集中して行える等の利点があった。

## 6. 施工管理

施工管理の中で重要な管理項目である斜材張力・主桁上越し・構造各部の応力度は、それぞれ以下のように行った。

### （1）斜材張力

強制振動法により既設斜材の張力を実測し、設計値との比較を行う。これは斜材を強制的に加振し、そのときの周波数から張力を逆算する方法であり、既知張力が導入されている時点で周波数と張力の関係（キャリブレーション値）を全ケーブルについて求めておく必要がある。キャリブレーション値は、新設ケーブルの本緊張時に5点計測し、平均値を最小二乗法により求めた。

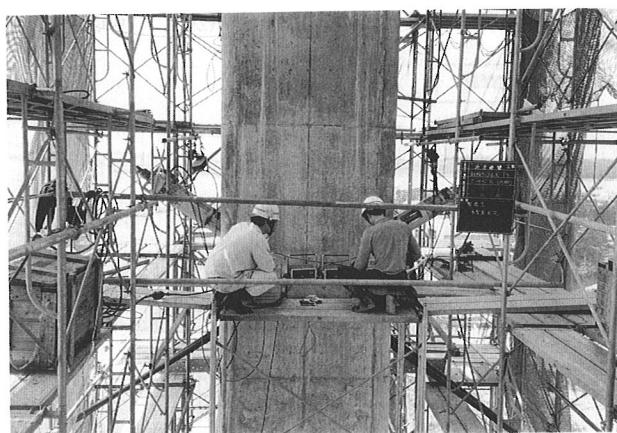


写真-9 斜材緊張状況

### （2）主桁の上越し

上越し管理で最も重要となる型枠セットは、桁高が一定およびウィンドノーズ部が地覆でカバーできない構造なので、高さおよび方向を正確に管理するほかに、調整時に角折れが生じないように配慮した。定時レベル測定（打設後、緊張後等）は構造全体の温度が一定している朝方に実施するほかに、計測システムによる温度補正を行い基準温度（15°C）に対する管理を行った。

### （3）構造各部の応力度

P5系の主塔・主桁には、温度補正に必要な熱電対のはかに、ひずみ計・有効応力計・無応力計を埋設し、設計値との比較を行った。当初設計では主桁縦断勾配が考慮されていなかったが、主塔の応力度に勾配の影響が見られてきたため、勾配を考慮した解析を実施し管理値の補正を行うとともに、最終張力調整時に応力改善を実施した。なお、調整量の計算は川田テクノシステム（株）開発の「最小二乗法による最適化プログラム」を用いた。

## 7. あとがき

この工事を施工するに当たり、「松川浦大橋検討委員会」塙田陽一委員長、「同架設計画検討委員会」および「同架設現地検討会」池田尚治委員長をはじめとする各委員の皆様、および関係各位の多大なる御指導のもとに完了したことを、ここに記し感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 高野勝昭：「松川浦大橋（仮称）の計画・設計概要」橋梁, Vol.26, No.10, 1990.
- 2) 高野勝昭・曾川文次・川原史直・秋山照義：「松川浦大橋（仮称）の設計・施工」PC技術協会, 第3回シンポジウム論文集, 1992年11月.