

## 碓氷橋 (PC斜張橋) の施工について

城戸 正行\*1・柳澤 敏彦\*2・大塚 一雄\*3・千明 藤男\*4・三島 康造\*5

### 1. はじめに

上信越自動車は、首都圏と上信越地方を結ぶ高速道路として計画され、東京都練馬区を起点とし、埼玉県、群馬県、長野県を経て新潟県上越市に至る全長約 280 km の路線である (図-1)。

碓氷橋はこのうち松井田妙義 IC~碓氷軽井沢 IC 間の群馬県松井田町に建設中の橋長 1 267 m の橋梁である。本橋は上信越高原国立公園と妙義荒船佐久高原国立公園に隣接し、JR 信越本線、一級河川霧積川、一級国道 18 号および一級河川碓氷川を横過するが、このうち JR 信越本線および霧積川を跨ぐ部分が橋長 222 m の

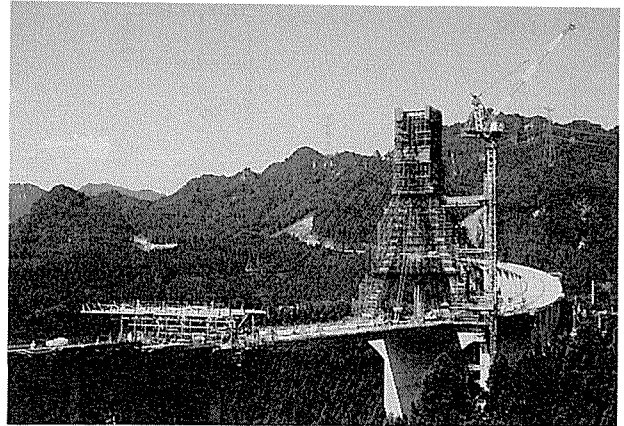


写真-1 碓氷橋全体施工状況

2 径間連続 PC 斜張橋となっている。

本 PC 斜張橋は高速道路橋として建設される我が国初の本格的な一面吊り PC 斜張橋であり、曲線を多用した逆 Y 形主塔 (高さ 113 m, SRC 構造)、主塔受け梁部 (PC コーベル) および斜材定着部の構造等に特徴がある。また斜材には引張強度 1 500 tf 級の大容量工場製作ケーブルを我が国の PC 斜張橋で初めて採用している。本橋は平成 5 年 3 月の供用開始を旨として現在施工の最終段階を迎えているところである。本論文では上記特徴に関する施工法を中心に上部施工の概要を報告するものである。

### 2. 工事概要

本橋の工事概要は以下のとおりである。また全体一般図を図-2 に示し、主要工事数量を表-1 に示す。

路線名：関越自動車道上越線  
 工事名：上信越自動車道碓氷橋東 (PC 上部工)  
 工事  
 工事場所：群馬県碓氷郡松井田町  
 橋種：プレストレストコンクリート道路橋

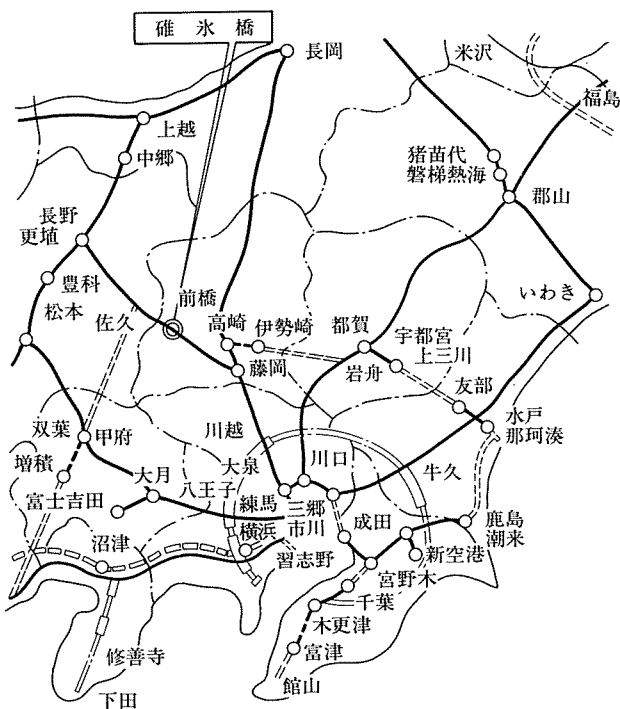


図-1 碓氷橋位置図

\*1 Masayuki KIDO : 日本道路公団 東京第二建設局富岡工事事務所工事長  
 \*2 Toshihiko YANAGISAWA : 日本道路公団 東京第二建設局富岡工事事務所  
 \*3 Kazuo OTSUKA : (株) ピーエス・鹿島建設 (株) 共同企業体 設計主任  
 \*4 Fujio CHIGIRA : (株) ピーエス・鹿島建設 (株) 共同企業体 工事主任  
 \*5 Kouzou MISHIMA : (株) ピーエス・鹿島建設 (株) 共同企業体

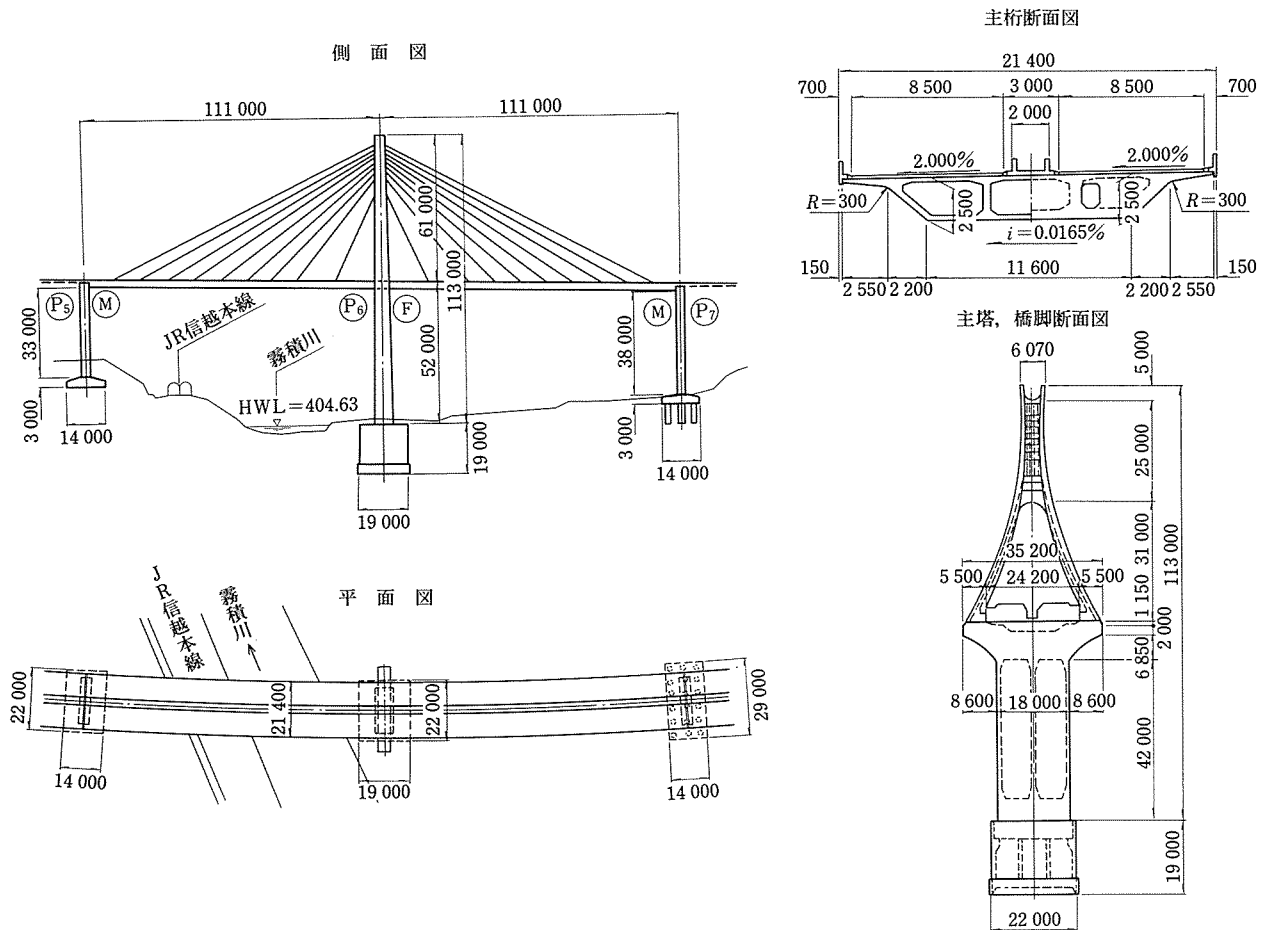


図-2 碓氷橋全体一般図

表-1 主要工事数量

区分	種別	仕様	単位	数量	備考	
下部工	橋脚・主塔受梁部	コンクリート	$\sigma_{ck}=300 \text{ kgf/cm}^2$	m <sup>3</sup>	2 405	橋脚
		コンクリート	$\sigma_{ck}=350 \text{ kgf/cm}^2$	m <sup>3</sup>	997	主塔受梁部
		コンクリート	$\sigma_{ck}=400 \text{ kgf/cm}^2$	m <sup>3</sup>	435	主塔受梁部鉄筋
	鉄筋	SD 345	tf	652		
	PC鋼材	$\phi 32$	tf	10	主塔受梁部（鉛直締め）	
		19 T 15.2	tf	29	主塔受梁部（横締め）	
	鉄骨	SM 490 Y, SS 400 ほか	tf	229		
上部工	橋	コンクリート	$\sigma_{ck}=400 \text{ kgf/cm}^2$	m <sup>3</sup>	3 725	
		鉄筋	SD 345	tf	696	
	桁	PC鋼材	$\phi 32$	tf	223	縦締め, 鉛直締め
		PC鋼材	12 $\phi 7$	tf	34	床版横締め
		PC鋼材	12 T 12.4	tf	2	横桁横締め
PC鋼材	19 T 15.2	tf	16	横桁横締め		
主塔	コンクリート	$\sigma_{ck}=350 \text{ kgf/cm}^2$	m <sup>3</sup>	1 257		
	鉄筋	SD 345	tf	177		
	PC鋼材	$\phi 32$	tf	1		
	鉄骨	SM 490 Y, SS 400 ほか	tf	106		
	斜材ケーブル	NEW-PWS ( $\phi 7$ )	tf	192	ポリエチレン被覆	

橋 格：第1種3級B(1等橋TL-20, TT-43)  
 橋梁形式：2径間連続PC斜張橋  
 橋長・支間割：222 m (2×110.2 m)  
 有効幅員：2×8.5 m  
 平面線形：R=1 600 m  
 勾 配：縦断 2.039 %  
           横断 2.000 %  
 基礎形式：主塔部 ニューマチックケーソン  
           両端部 直接基礎, 深礎杭基礎  
 橋 脚：主塔部 2室中空断面 (SRC 構造)

主 塔：逆Y形 (SRC 構造)  
 主 桁：3室箱桁断面 (PC 構造)  
 斜 材：ファン型, 一面吊り  
 工 期：平成元年6月～平成4年12月

### 3. 施 工

#### 3.1 概 要

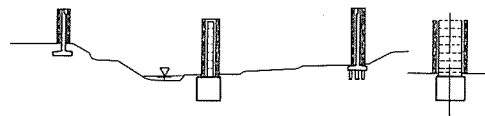
本橋の全体施工順序を図-3に、全体工程表を図-4に示す。

#### 3.2 主塔受け梁部・柱頭部の施工

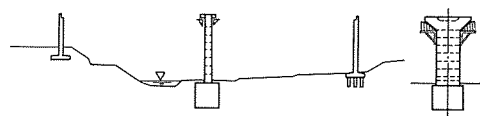
主塔受け梁部はPCコーベル部材となっている。コーベル部材の上縁に生じる引張力はPC鋼材SWPR 7 A 19 T 15.2を40本配置し、プレストレス力により対処した。主塔受け梁部・柱頭部の施工はH鋼によるブラケット式足場支保工を用いて行った。

またロット割はコンクリートの打設量、鉄筋・PC鋼材の配置等を考慮して、3ロットに分けて、施工した。なお、第3ロットと柱頭部は同時施工した。1ロット当

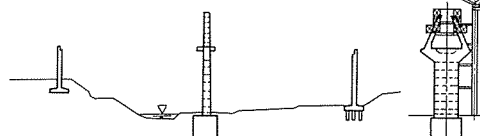
#### ① 橋脚部の施工



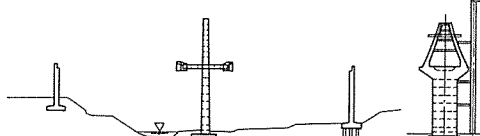
#### ② 主塔受け梁部(コーベル)の施工



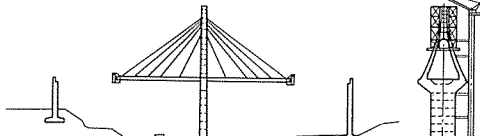
#### ③ 主塔下部の施工



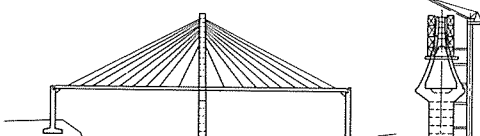
#### ④ 主塔斜材定着部および主桁の施工



#### ⑤ 斜材ケーブルの架設・緊張 (主桁との併行施工)



#### ⑥ 主桁閉合部の施工



#### ⑦ 完 成

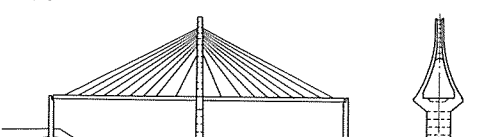
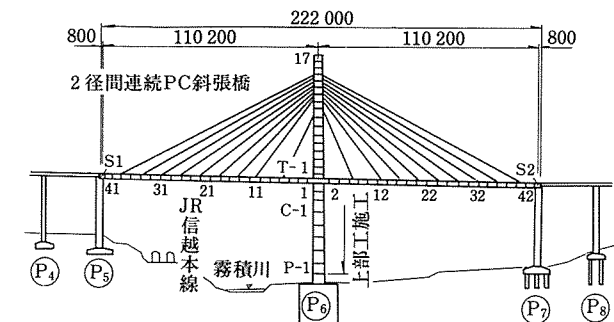


図-3 全体施工順序



年	月	工 事 内 容
平成2年	1	
	2	
	3	
	4	P-1 橋脚部
	5	
	6	
	7	
	8	C-1
	9	主塔受け梁部, 柱頭部
	10	
	11	
	12	
平成3年	1	T-1
	2	
	3	No.1ワーゲン組立
	4	No.1ストラット
	5	
	6	No.2ストラット
	7	No.2ワーゲン組立
	8	
	9	
	10	
	11	
	12	
平成4年	1	
	2	
	3	
	4	No.2ワーゲン解体
	5	
	6	
	7	斜材最終緊張
	8	橋面工
	9	橋面工
	10	No.1ワーゲン解体
	11	斜材跡処理工
	12	足場・タワークレーン解体

図-4 全体工程表

### ◇工事報告◇

たりの打設量が約 500 m<sup>3</sup>であったことから、セメントの水和熱に起因する温度応力および温度ひびわれの発生の可能性が考えられた。このため事前に温度応力解析を実施し、ひびわれの発生の可能性や対策について検討した。この結果から、構造上問題となるひびわれの発生の可能性は少なく、また対策を施しても大幅なひびわれ指数の改善はみられなかったことから、当初計画の方法で打設した。ただし構造上有害なひびわれが発生した場合には補修することとした。実施工においては、最も温度上昇の大きかったのは打設後5日で、温度上昇値は解析値とほぼ同じであった。また打設ロット表面に縦方向に最大0.2 mm程度のひびわれが一部にみられたが、貫通ひびわれ等の有害なひびわれは認められなかった。

本部分は橋脚、主塔、柱頭部、主塔受け梁部の鉄筋・PC鋼材が交差して配置されていたためワーカビリティを確保する必要があったこと、および耐久性の確保を目的として流動化コンクリートを使用した。スランプは

ベースで7±1.5 cmであったものを流動化により12±2.5 cmとした。運搬路は産業および観光道路であり渋滞等が想定されたため、品質管理上現場内でベースコンクリートに流動化剤を添加した。添加量は流量管理とした。

### 3.3 主塔の施工

主塔の施工は、1リフト3~4 mの17リフトに分割して総足場工法で施工した。傾斜面の施工足場としては特注足場を製作し使用した。

主塔形状は曲線となっているが、大きい曲率部分については1リフト当たりのシフト量が小さいので直線型枠で施工した。型枠は木製としリフトごとに各面が変化しているため一回使いとした。また耐久性向上・景観上より透水性材料(2層の繊維)を型枠表面に貼付したシルクフォーム工法を採用した。

傾斜部内面の型枠支持装置は図-5に示すようなトラス構造とした。支持部は、既設コンクリートにPC鋼棒

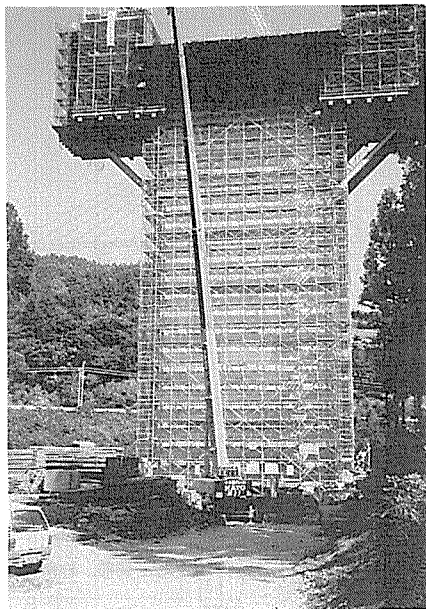


写真-2 主塔受梁部ブラケット支保工



写真-4 主塔施工状況

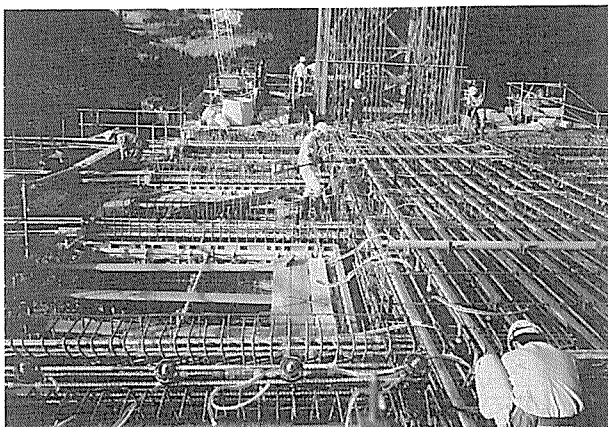


写真-3 主塔受梁部鉄筋・PC組立

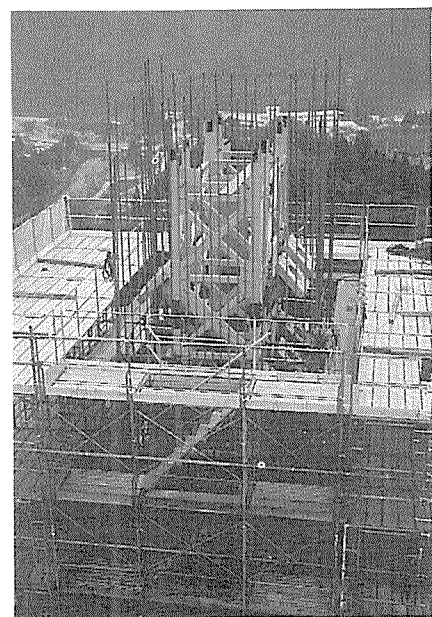


写真-5 主塔鉄骨・斜材定着体組立

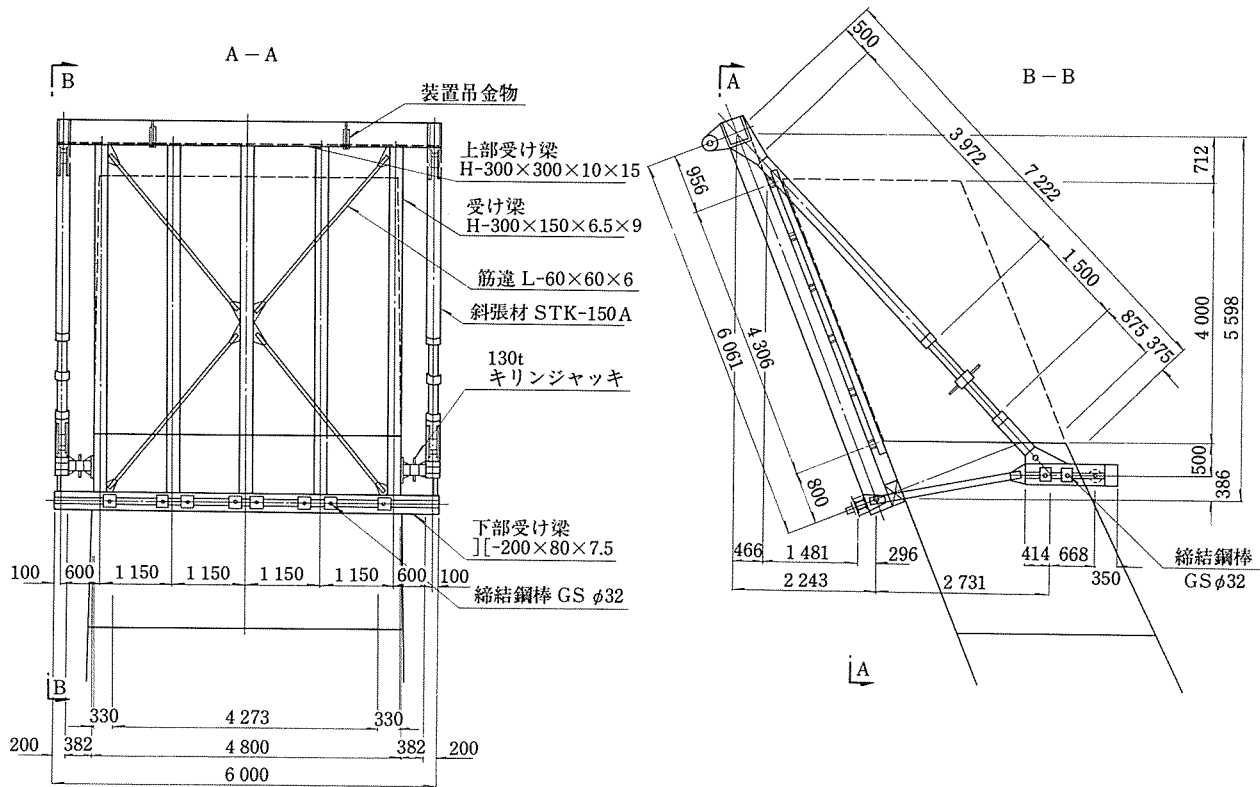


図-5 主塔型枠支持装置

で締め付け固定した。角度調整は両サイドに取り付けたターンバックルにより行った。傾斜部は主塔の倒れ防止用のストラットを2段用いて施工した。

鉄筋・型枠・斜材定着体の組立精度を確保するため鉄骨を用いた。主塔が曲線形状であるためロットごとにジョイントを設けた。また主塔断面中央部には塔頂部への管理用通路として直径800mmの鋼管を配置した。

主鉄筋(D38, 32)には、施工性、品質、工程管理の面から機械式継手を用いた。

コンクリート打設は、流動化コンクリートを使用しポンプ車配管打設方式により行った。

### 3.4 主桁の施工

張出し架設部は、ワーゲンにより施工した。本橋の場合は特に広幅員であり、1ブロックの長さが5mと長い。さらに斜材ケーブルがあり、かつJR信越本線の上で解体できないため、斜材ケーブルをかわしながらバックできる4フレームから成る特殊大型ワーゲンを使用して施工した。また、PC斜張橋では主桁の剛性が少なく、温度変化・風により主桁のたわみ変動が大きいため、側径間閉合部は型枠設置等の施工上の理由およびコンクリート出来形・品質面から、橋脚に固定したブラケット支保工とゲビンデ鋼棒を用いて、主桁を固定して施工することとした。

主桁型枠は、外型枠については形状が一定であり、転用回数・工程・景観を与えステンレス型枠を大パネルと

して使用した。内型枠については通常の桁橋と異なり、斜張橋がゆえに、1つおきにブロック中央に斜材定着部横桁が設けられるため、木製型枠を使用し各ブロックごとに組立て解体した(写真-6参照)。また斜ウェブ部分についてはシルクフォーム工法を採用し耐久性を確保した。鉄筋のかぶりは耐久性向上のため5cmとした。斜材定着ブロックの鉄筋組立作業は鉄筋やPC鋼材の取合いが非常に複雑であり手間を要した(写真-7参照)。コンクリート打設はポンプ車配管打設(鉛直圧送長52m、最大水平圧送長110m)方式で行った。高所打設・鋼材配置の複雑さ・耐久性の確保等の理由から、主塔・主塔受梁部と同様流動化コンクリートを使用した。

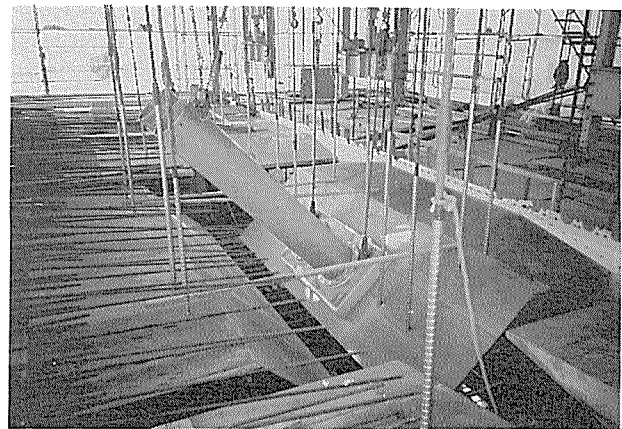


写真-6 定着ブロック型枠・定着体組立

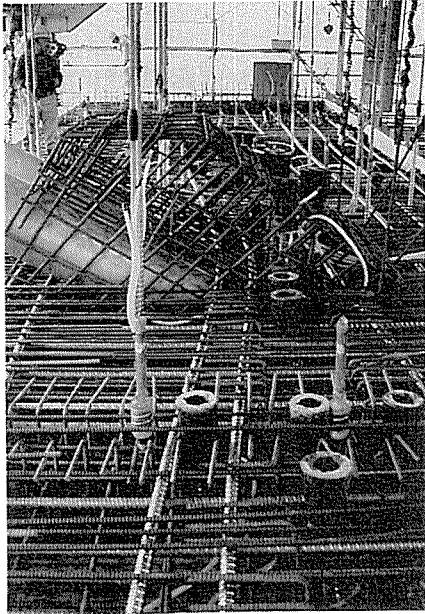


写真-7 定着ブロック鉄筋・PC組立

設計上の理由から、PC鋼材の緊張は、鉛直締めPC鋼棒、主鋼棒、床版横締めPC鋼線、斜材定着部横桁横締めPC鋼線の順に行った。ただし、斜材定着部横桁横締めPC鋼線の緊張は、斜材ケーブルの一次緊張前までに実施した。PC斜張橋では大型特殊ワーゲンの荷重や斜材張力による施工時のウェブの斜め引張応力度が一般に課題となっているが、本橋でもこれに関する照査を実施し、ウェブ鉛直鋼棒により施工時荷重に対して補強を行った。

PC斜張橋は桁橋に比べて主桁の剛性が小さく斜材で吊られた構造であるため、施工の各段階で主桁のたわみ量は大きく変化する。また、温度変化や設計計算で用いられた仮定値と実際の値との差などの要因に対しても変化量は敏感である。したがって施工にあたっては、施工各段階ごとの詳細な計画値を算出しそれに基づいて管理を行うとともに、温度変化やその他の要因の影響量を考慮して主桁のたわみを各施工段階で迅速かつ正確に算出

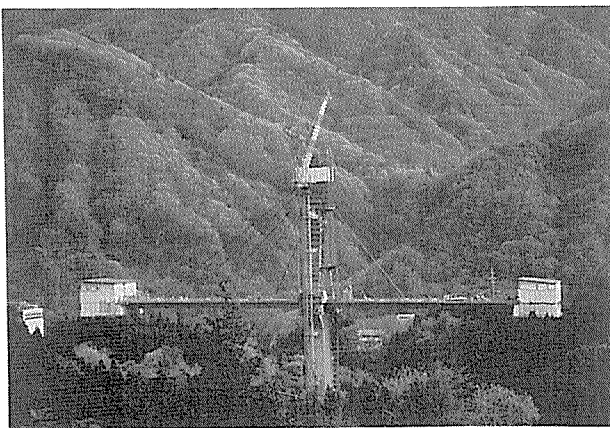


写真-8 主桁張出し施工状況

するため、作業現場内に小型コンピュータを設置して管理を行った。

本橋では、斜材を3段、6段、9段架設した時点および桁完成時において、主としてたわみ管理を目的として点検時を設けた。点検時においては、各施工段階で測定したたわみデータをもとに計画値と実測値とを比較して蓄積したたわみの補正係数を用いて主桁たわみの予測解析を行い、必要に応じてたわみの修正方法を検討し最適斜材調整量の検討を行うこととした。

### 3.5 斜材の施工

#### (1) 概要

本橋の斜材は一面吊りでダブルケーブル方式を採用している。ケーブルにはポリエチレン被覆されたノングラウトタイプの工場製作ケーブルを使用しており、ケーブル1本当たりの容量は $7\phi 163$  ( $P_u=1\,003$  tf)~ $7\phi 241$  ( $P_u=1\,484$  tf)で、ケーブル長は約45~120mであった。架設はケーブルを橋面上に展開し、タワークレーンで吊り上げて行った。緊張は、主桁側では緊張スペースを確保できないこと、および施工性からすべて塔側で行った。ケーブルの定着方式は塔側はリングナットによるネジ定着方式、桁側はシム定着方式とした。また、工場製作ケーブルであるため、ケーブル長・主塔や主桁の施工・たわみについて十分な精度管理が要求された。

斜材ケーブル架設や緊張用ジャッキセット等の足場は、主塔鉛直部施工用の足場を利用したが作業に支障となるものはその都度解体・組立した。揚重設備は、タワークレーンを用いたが、この他に桁側へのケーブル挿入に橋上クレーン・ウィンチ・フォークリフト・チェーンブロック等を、塔側へのケーブル引寄せ等に引込み緊張装置(1000tジャッキ、ストランド用20tジャッキ等)、ウィンチ、チェーンブロック等を使用した。

#### (2) 斜材定着体のセット

斜材鋼管および支圧板からなる斜材定着体は高い据付け精度が要求されたため、塔側は鉄骨に受台を取り付けこの上にセットした。主桁側についてはワーゲンからチェーンブロック、ターンバックル等を用いて8か所支持し位置決めをした。

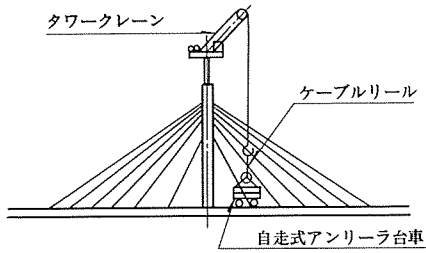
#### (3) 架設・引込み・一次緊張

架設要領図を図-6に、主塔側引込み、一次緊張要領を図-7に示す。

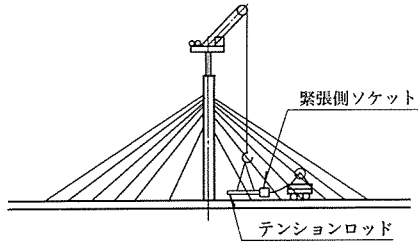
主塔をはさんで片側2本ずつのケーブルが配置されているが、左右のバランスを保つため2台のジャッキを用いて $P_5$ 、 $P_7$ 橋脚側対称に1ケーブルずつ同時緊張した。この際、先行して緊張するケーブルについては後のケーブル緊張の影響を考慮して緊張力を定めた。

斜材ケーブルの緊張は圧力管理を基本とし、伸び量はこのための参考値とした。緊張に先立ち、桁と斜材ケー

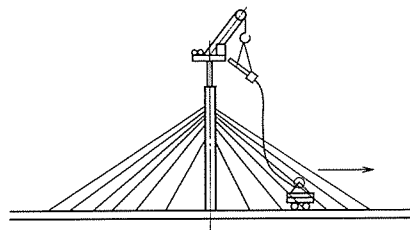
- ① タワークレーンにてケーブルリールを台車に載せる。



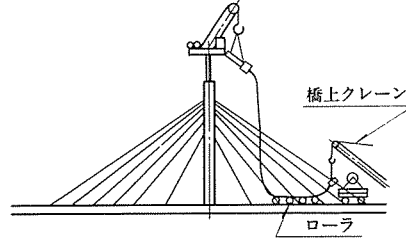
- ② 緊張側ソケットにテンションロッドを取り付ける。



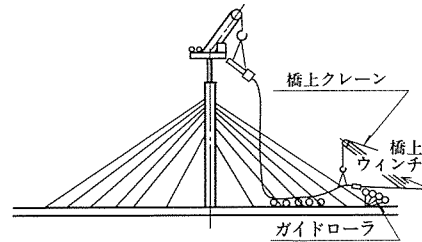
- ③ タワークレーンにてソケットを吊り上げて展開する。



- ④ 台車を移動し、橋面上に展開する。固定側ソケットをケーブルリールより取り外す。



- ⑤ ケーブル展開終了後、橋上クレーン、橋上ウィンチにて、桁側定着体に引き込みソケットを固定する。



- ⑥ タワークレーン、塔側引込み緊張装置にて塔側定着体に引き込み、ソケットを固定する。

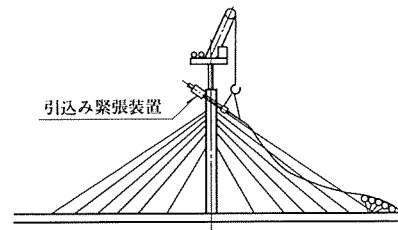
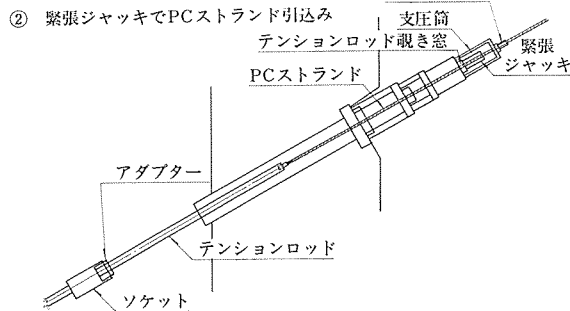
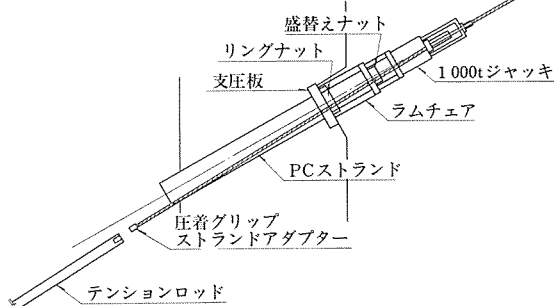
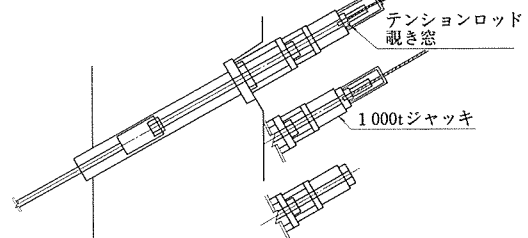


図-6 斜材架設要領図

- ① (イ) 1000tジャッキ、ラムチェア、ストランド緊張装置を接続  
(ロ) リングナット、盛替えナットをラムチェアに仮固定  
(ハ) 上記組み立てた引込み緊張装置を塔側支圧板に固定  
(ニ) PCストランドの圧着グリップにアダプターを装着し上記引込み装置に仮固定  
(ホ) 吊り上げてきたテンションロッドにPCストランドを接続



- ③ (イ) テンションロッド先端が1000tジャッキを越した時、1000tジャッキを20cm緊張  
(ロ) PCストランド、緊張ジャッキ、支圧筒を撤去  
(ハ) 1000tジャッキに盛替え



- ④ 1000tジャッキで引込み
- 

- ⑤ ソケットが支圧板より出た時リングナットを越し、一次緊張後固定

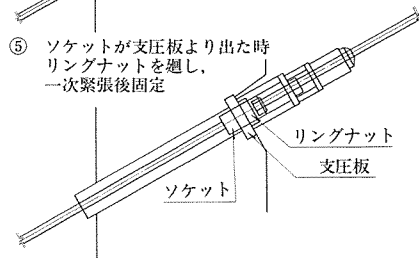


図-7 主塔側引込み・一次緊張要領図

◇工事報告◇

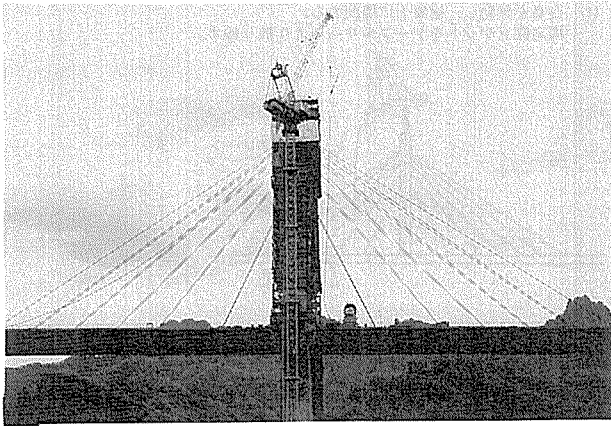


写真-9 ケーブル架設全景

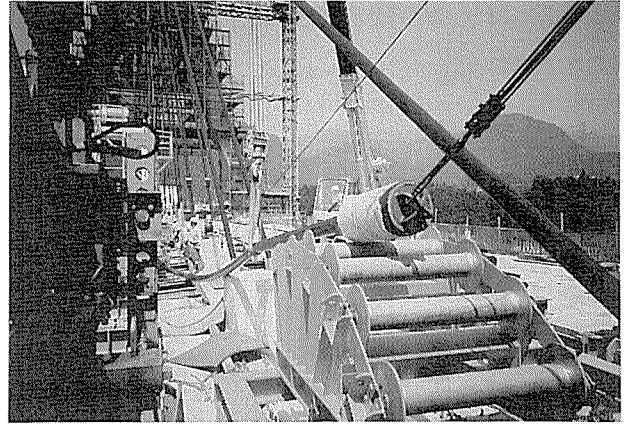


写真-11 桁側への引込み

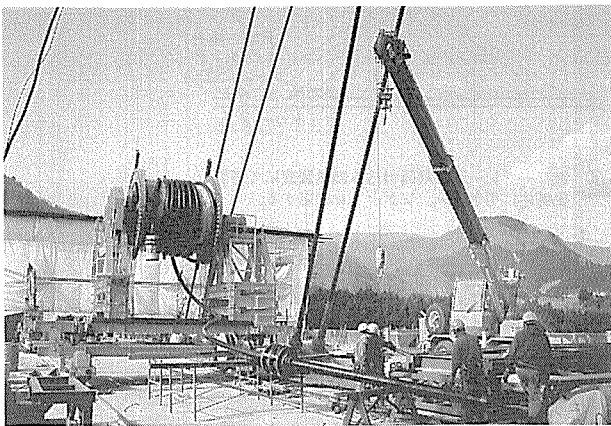


写真-10 テンションロッド取付け

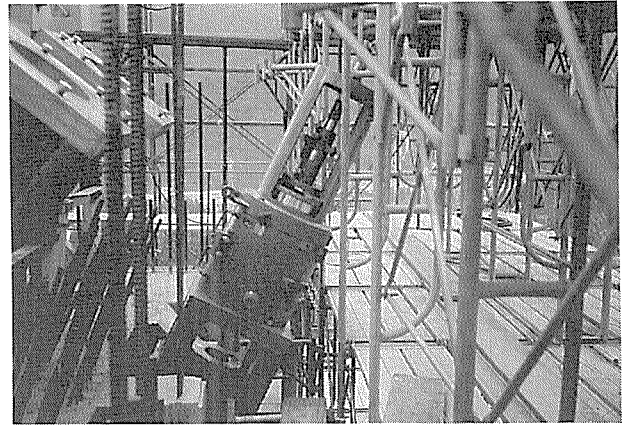


写真-12 引込み・緊張用ジャッキ

ブルの温度測定を実施し、設計緊張力をあらかじめ補正した。緊張時にはその都度ロードセルを用いてジャッキ・ポンプのキャリブレーションを行ったうえで、ポンプの読みをデジタル表示器により読み取った。また、構造系変化ごとに振動法により全斜材ケーブルの張力を測定し経時変化をとらえ、常に設計値と比較しながら施工を進めた。

#### (4) 二次緊張・調整緊張

二次緊張は新たに架設した斜材を一次緊張した後、一段下の斜材張力を緩めるものであり、調整緊張はたわみ誤差が生じた場合または桁閉合直後に行う緊張であるが、この場合も、一次緊張と同様の方法で緊張・管理を行った。

#### 4. ま と め

本橋は平成5年3月の開通をめざして、平成4年9月現在、側径間閉合部の施工を行っているところである。本論文ではこの時点までの施工について報告したが、各種計測機器・マイクロコンピュータを用いた情報化施工や斜材ケーブル付属物の施工等についてはまた別の機会

に報告したいと考えている。

本報告が今後の同種工事の参考になれば幸いである。

最後に本橋の施工にあたり貴重な御指導・御協力を頂いた碓氷橋(PC斜張橋)上部工施工検討委員会(委員長:國島東京大学教授)の委員はじめ関係各位に深く感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) 城戸, 飯東, 田中, 大塚, 北国: 碓氷橋(PC斜張橋)の設計について, プレストレストコンクリート Vol. 33 No. 6
- 2) 城戸, 大塚, 小林, 北国: 碓氷橋(PC斜張橋)の設計, プレストレストコンクリート技術協会 第2回シンポジウム論文集 1991.11
- 3) 大谷, 城戸, 堀, 大塚, 三島: 碓氷橋(PC斜張橋)の計画と設計概要, 橋梁 1992.4
- 4) 大谷, 城戸, 池田, 中村: 碓氷橋(PC斜張橋)上部工の設計(上), 橋梁と基礎 1992.4
- 5) 佐々木, 城戸, 飯東, 竹田: 碓氷橋(PC斜張橋)上部工の設計(下), 橋梁と基礎 1992.5

【1992年9月25日受付】