

## 青森ベイブリッジPC斜張橋の施工

藤森 伸一\*1・大庭 光尙\*2・藤田 和仁\*3・石原 重孝\*4・伊東 祐之\*5

### 1. はじめに

青森港はJR 東日本青森駅を中心にして青森市とともに東西に分かれた形で発展し、現在に至っている。この東西港湾施設の一体化と物流の円滑化を図ることを目的として、混雑する市街地を通過せずに駅構内を跨ぐ臨港道路——青森ベイブリッジ——の建設が計画された。

青森ベイブリッジ全長 1 219 m のうち、主橋となるのが橋長 498 m の 3 径間連続プレストレストコンクリート (PC) 斜張橋である。本橋は中央支間長 240 m

を有し、幅員 25 m の広幅員主桁を逆 Y 形 RC 主塔から一面吊りした我が国では例のない大規模な PC 斜張橋である<sup>1)・2)・3)</sup>。

さらに、本橋の特色として、主塔コンクリートに高強度コンクリート (設計基準強度 600 kgf/cm<sup>2</sup>) の使用、斜材に規格引張強度 1 942 t の大容量現場製作ケーブルならびに美観を考慮して斜材外套管に金色の FRP 管が採用されたことが挙げられる。

本文では、主塔と斜材の架設を中心に上部工の施工の概要について報告する。

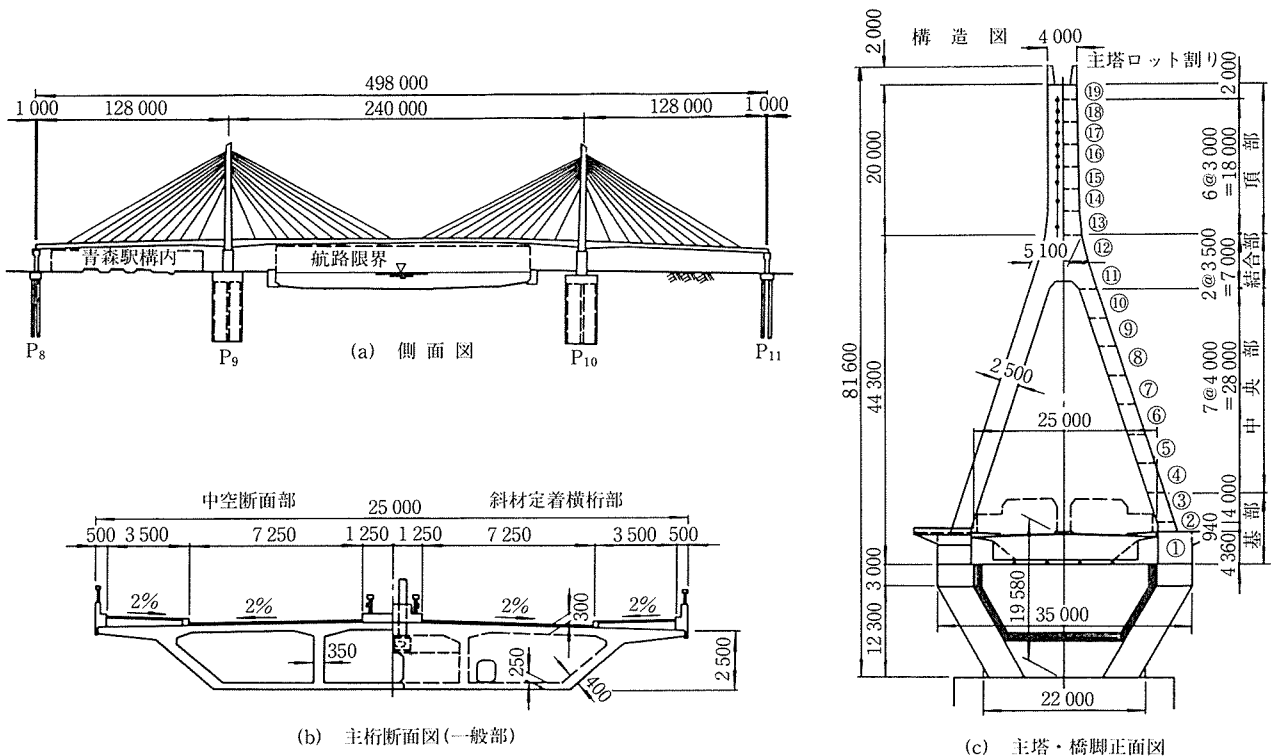


図-1 構造一般図

\*1 Shin-ichi FUJIMORI : JR 東日本東北工事事務所青森工事区区长

\*2 Mitsuaki OHBA : JR 東日本東北工事事務所青森工事区助役

\*3 Kazuhito FUJITA : 青森ベイブリッジ建設工事 鹿島・鉄建・大林・住友 JV 所長

\*4 Shigetaka ISHIIHARA : 青森ベイブリッジ建設工事 鹿島・鉄建・大林・住友 JV 設計課長兼工事課長

\*5 Yuushi ITOH : 青森ベイブリッジ建設工事 鹿島・鉄建・大林・住友 JV

◇工事報告◇

2. 工事概要

本橋の工事概要、主要工事数量ならびに構造一般図をそれぞれ表-1, 2, 図-1 に示す。  
また、上部工全体の施工順序を図-2 に示す。

表-1 工事概要

工 事 名	青森大橋建設工事
工 事 場 所	青森市柳川1丁目青森駅構内～安方1丁目1番地
橋 種	コンクリート道路橋
橋 格	4種1級(1等橋, TL-20)
橋 梁 形 式	3径間連続PC斜張橋
橋 長 (支間割)	496 m (128+240+128 m)
幅 員	全幅 25m, 車道 2×7.25 m, 歩道 2×3.5 m
勾 配	縦断: 最大 4%, 横断: 2%
平 面 線 形	R=∞~800 m
桁 下 空 頭	青森駅構内上: H=12.5 m 以上 海上部: H=17.8 m 以上 (青森港基準面)
基 礎 形 式	主 塔 部: 地中連続壁剛体基礎 (6室型) 端橋脚部: 場所打ち杭基礎
主 桁	PC 構造, 桁高: 柱頭部 3.5 m, 一般部 2.5 m, 3室箱桁断面
主 塔 斜 材	逆Y字形 RC 構造, 橋脚・主塔全高 81.6 m 配置形状: ファン形, 1面吊り

表-2 主要工事数量

区分	種 別	仕 様	単位	数量	備考
主桁	コンクリート	$\sigma_{c,k}=400 \text{ kgf/cm}^2$	m <sup>3</sup>	10,800	橋体工
		$\sigma_{c,k}=240 \text{ kgf/cm}^2$	m <sup>3</sup>	1,590	橋面工
	PC 鋼 材	SBPR 95/120 他	t	580	
	鉄 筋	SD 35	t	2,030	
主塔	コンクリート	$\sigma_{c,k}=600 \text{ kgf/cm}^2$	m <sup>3</sup>	3,100	
	鉄 筋	SD 35	t	520	
斜材	PC 鋼 材	SWPR 7 Bφ15.2 mm	t	526	フレシネー Hシステム

3. 主塔の施工

3.1 概 要

主塔は全体で19ロットに分割(図-1)し、以下の手順で施工した。

主塔基部を支保工施工した後、傾斜した中央部はクライミングフォームにより2段の仮設用ストラットを併用

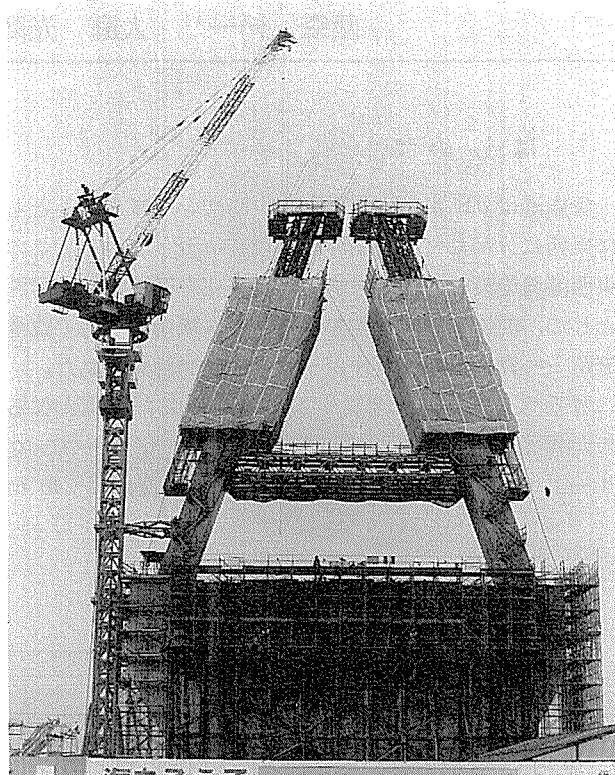
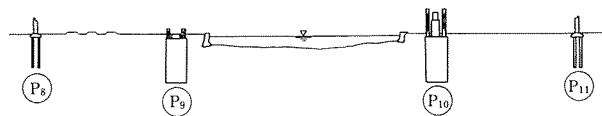
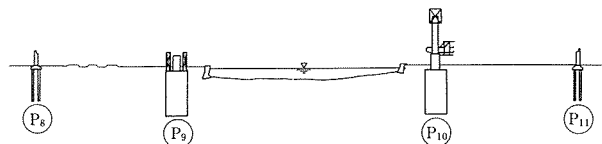


写真-1 主塔中央部の施工状況

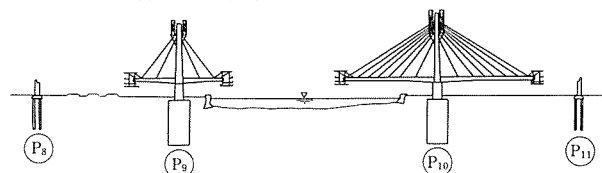
① 橋脚・主塔基部の施工



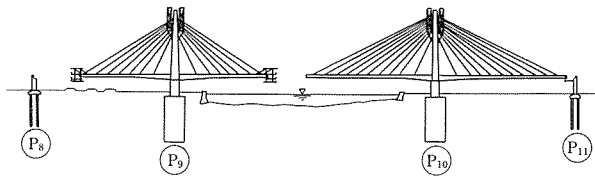
② 主塔中央部のクライミング施工  
主桁柱頭部支保工施工・ワーゲン組立



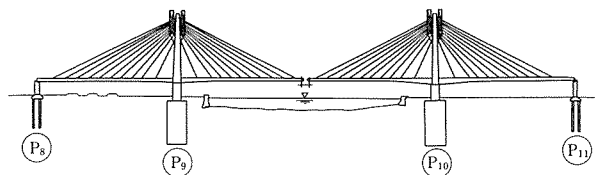
③ ワーゲンによる主桁張出し施工  
それと併行した斜材, 主塔頂部の施工



④ 側径間吊支保工施工



⑤ 中央連結ブロック吊支保工施工・最終斜材調整



⑥ 橋面工施工・完成

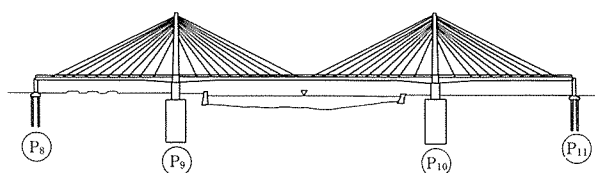
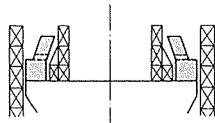
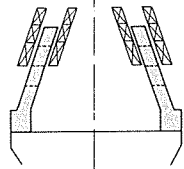


図-2 全体施工順序

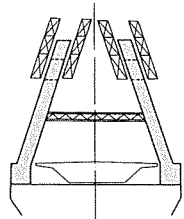
① 主塔基部〔1～3ロット〕の施工



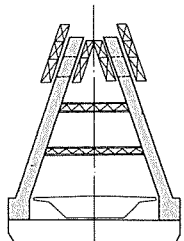
② クライミングフォームの組立  
主塔中央部〔4～6ロット〕の施工



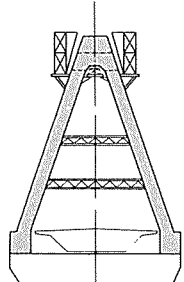
③ 第1ストラットの組立  
主塔中央部〔7, 8ロット〕の施工



④ 第2ストラットの組立  
主塔中央部〔9, 10ロット〕の施工  
クライミングフォームの解体



⑤ 主塔結合部〔11, 12ロット〕の施工



⑥ 主塔頂部〔13～19ロット〕の施工  
化粧壁・バルコニーの施工

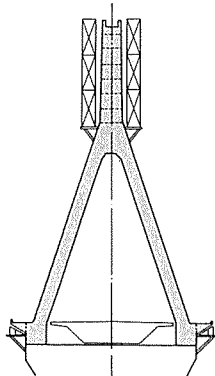


図-3 主塔の施工手順

して施工した。その後、主塔側面に設置したブラケット上に足場・支保工を組み立て、結合部および頂部を施工した。これら一連の施工手順および主塔中央部の施工状況をそれぞれ図-3, 写真-1 に示す。

主塔施工の特徴は、設計基準強度  $600 \text{ kgf/cm}^2$  の高強度コンクリートを地上高 80 m までポンプ圧送打設したこと、および鉛直面に対し  $18^\circ$  傾斜した主塔中央部をクライミングフォームにより施工した点にある。

高強度コンクリートの施工については、文献4), 5) に詳述されているので参照されたい。

### 3.2 主塔中央部の施工

クライミングフォームは大別して、上部ステージ、フレーム、作業床およびガイドレールで構成されている。その構造概要を図-4 に示す。

主塔1ロット当たりの標準施工サイクルは以下のとおりである(図-5)。

#### ① 鉄骨・管理用通路の据付け

主塔には、型枠・鉄筋の支持ならびにクライミング

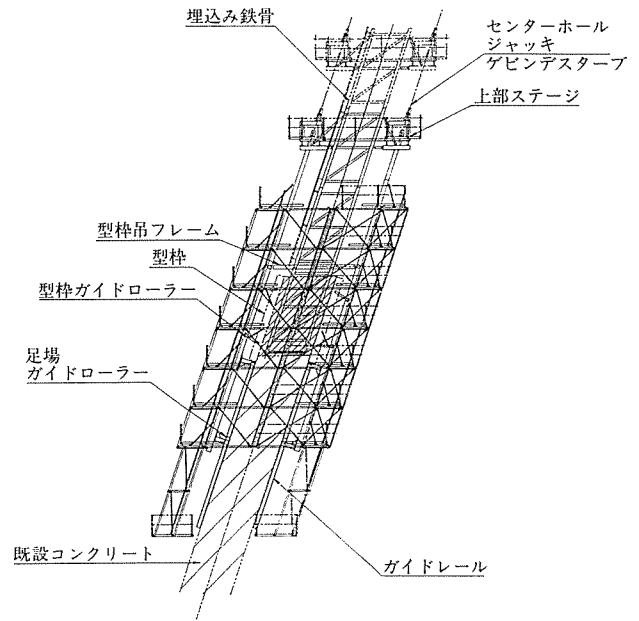


図-4 クライミングフォームの構造概要

作業項目	日数											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
鉄骨, 管理用通路組立	■											
鉄筋圧接, 組立, フレア溶接		■	■	■	■	■						
型枠脱型, 上昇, セット						■	■	■	■			
上部ステージ盛替え, ガイドレール移設, クライミングフォーム上昇							■	■	■	■		
コンクリート打設											■	

図-5 主塔の標準施工サイクル工程

## ◇工事報告◇

フォーム上昇に利用する仮設用鉄骨と塔頂部までの管理用通路として利用する内径 800 mm の鋼管が埋設される。

鉄骨は 4 m、管理用通路は 8 m にそれぞれ分割地組みし、タワークレーン (JCC 180) にて据え付けた。

### ② 鉄筋組立

中央部の主鉄筋 (D 38, SD 35) は一本ずつタワークレーンにて吊り上げ、熱間せん断押抜きガス圧接工法により継ぎ足した。この工法は鉄筋のガス圧接部の膨らみを赤熱の状態でせん断刃で押し抜くもので、不良圧接の場合は圧接部に線条キズが現れ、目視により不良判定が容易にできる方法である。

横方向鉄筋 (D 25) は断面の横方向拘束効果を向上させるため、重ね継手部をフレア溶接 (V 形、溶接長 250 mm) することにより閉合した。

### ③ 型枠組立

型枠は美観を考慮し、傾斜部上面には空気あばたを除去するために繊維型枠を使用し、他の 3 面にはステンレスフォームを使用した。

型枠は各面とも地上にて大型パネルに組み立て、タワークレーンでクライミングフォーム内の型枠フレームに建て込み、その後はクライミング足場内をスライドして上昇させた。繊維型枠は 3~4 回使用した後、繊維部を張り替えた。

コンクリート養生後、脱型した型枠パネルを清掃し、次ロットの鉄筋組立後、型枠フレームとともに上昇・セットした。型枠セットに際しては、上げ越しを考慮した。上げ越しには、コンクリート打設とクライミング足場等の作業荷重による鉄骨と型枠フレームの変形量を考慮し、平面骨組解析により算定した。

### ④ クライミング足場の上昇

クライミング足場の上昇は次の手順で行う。

新しく設置した鉄骨最上部にタワークレーンにより上部ステージを盛り替え、ガイドレールの移設をチェーンブロックにより行う。上部ステージの四隅に装備したセンターホールジャッキを介してゲビンデシュターブ (総ネジ PC 鋼棒) で懸垂された足場全体を引き上げていく。1 ロット 4 m 高の上昇には約 2 時間を要した。

### ⑤ コンクリート打設・養生

主塔コンクリートは橋脚・主塔側面に 6 インチ管を配管し、地上からポンプ車にて圧送し、打設した。ポンプ車には McSWING 11 FB [最大吐出量 110 m<sup>3</sup>/hr、ポンプ最大前面圧 80 kgf/cm<sup>2</sup> (高圧仕様)] を用いた。

養生に際しては、硬化時の温度ひびわれ発生が懸念されたため、事前に各種養生条件に基づいた温度応力解析を実施し、さらに、初期段階において躯体各所に熱電対を埋設し、解析をフォローして、コンクリート温度と養

生条件を設定した。

## 3.3 主塔頂部の施工

主塔頂部には斜材定着体 (固定側) が埋設される。

定着体は PC 鋼線を定着する定着ブロック、支圧板、内管および外套管で構成されており、あらかじめ工場で組み立てられ現場に搬入される。重量は 1 体あたり 2~3 t、長さは 5~9 m ある。定着体の据付けは以下の手順で行った。

仮設用の鉄骨に定着体据付け位置を測量により求め、定着体の支持および位置決め鋼材を鉄骨に溶接する。

地上にて定着体の外套管に支持鋼材位置をマーキングしておき、タワークレーンにて 1 体ずつ吊り込む。定着体を支持鋼材上に仮置きし、チェーンブロック等でマーキング位置が合致するように微調整し、外套管と支持鋼材を点溶接することにより固定した (写真-2)。

固定後、再測量した結果では、据付け位置の精度は鉛直・水平位置誤差で 10 mm 以下、角度誤差は 0.2° 以下であった。

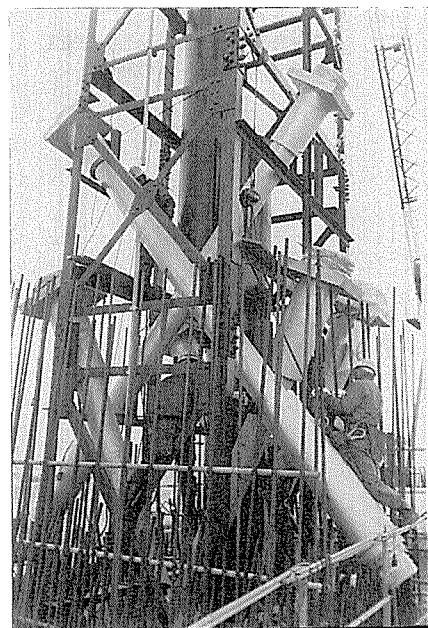


写真-2 主塔側斜材定着体据付け

## 4. 主桁の施工

### 4.1 概要

主桁は桁高 2.5~3.5 m、幅員 24.8 m の 3 室 4 主桁箱形断面の PC 構造である。

主桁の施工区分は柱頭部支保工施工部、張出し施工部、側径間吊支保工施工部および中央径間吊支保工施工部に分けられる (図-6)。

柱頭部は橋脚上にゴム支承 4 基、ダンパー式鋼角ストッパー 3 基および張出し施工中の仮固定用コンクリート沓を施工した後、基礎頂版から組み上げた鋼製支保工

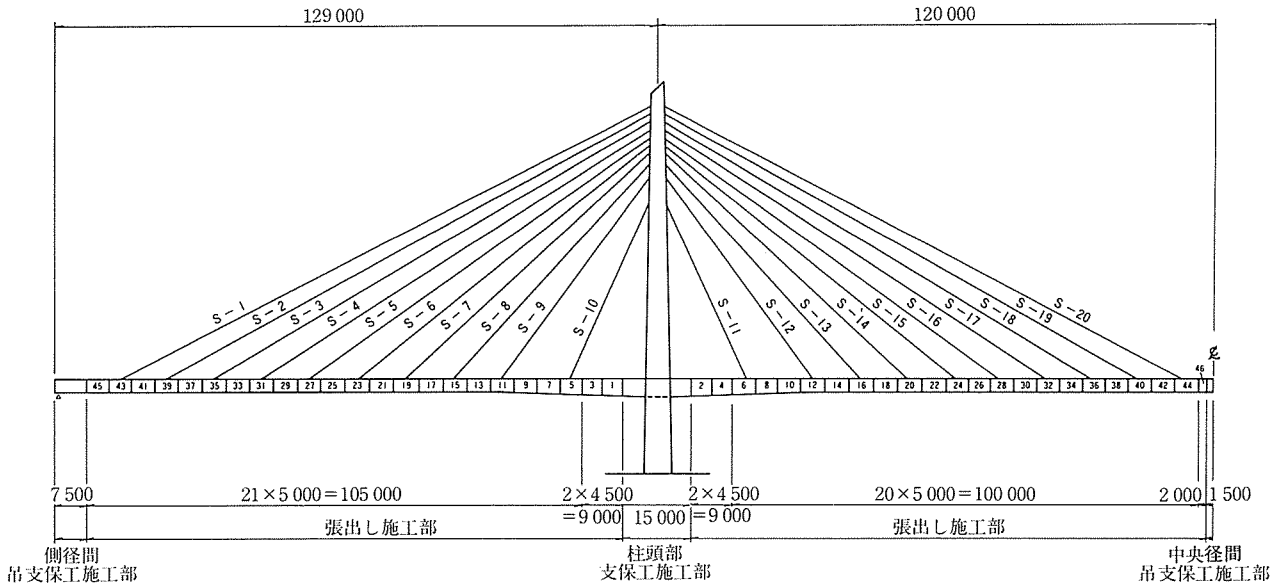


図-6 主桁の施工区分

上で上下2層に分けてコンクリート打設した。

張出し施工部は全体で46ブロックに分割し、4フレームから成る大型特殊フォルバウワゲンにより、標準ブロック長5.0mで施工する。張出しブロックは斜材が定着される斜材定着ブロックとそうでない一般ブロックに分けられる。コンクリート打設量は斜材定着ブロックで110~140 m<sup>3</sup>、一般ブロックで80~100 m<sup>3</sup>である。

張出し工が終了すると、ワーゲンは柱頭部まで後退させ、解体する。その後、側径間連結部、中央径間連結部を順次吊支保工施工し、柱頭部の仮固定を解放する。

最後に、主桁連結後の橋面荷重、活荷重およびクリープ・乾燥収縮に対する応力・たわみ補正のため、全斜材の張力調整を行い、橋体は完成する。

4.2 主桁張出し部の施工

主桁張出しブロックの標準サイクル工程を斜材の架設と合わせて図-7に示す。この図からも明らかなように斜材の架設は主桁斜材定着ブロック施工後から一般ブ

ロックのコンクリート打設前までに行うことになる。

主桁の張出し施工は通常の桁橋と同様であるので、ここでは本橋の特徴ある点を以下に列挙する。

(1) 斜材定着体の据付け

斜材定着ブロックには張力調整緊張側の定着体が埋設

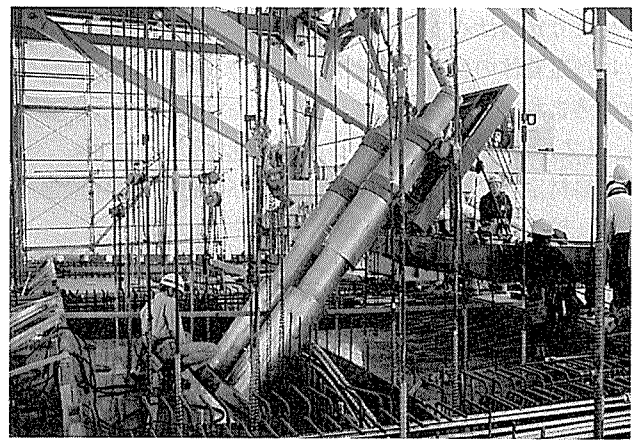


写真-3 主桁側斜材定着体据付け

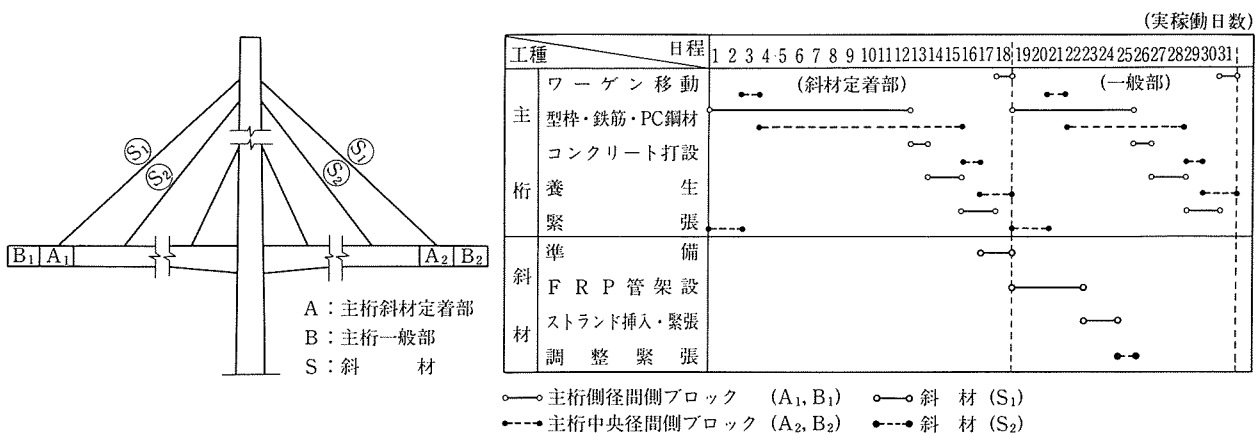


図-7 主桁の標準施工サイクル工程

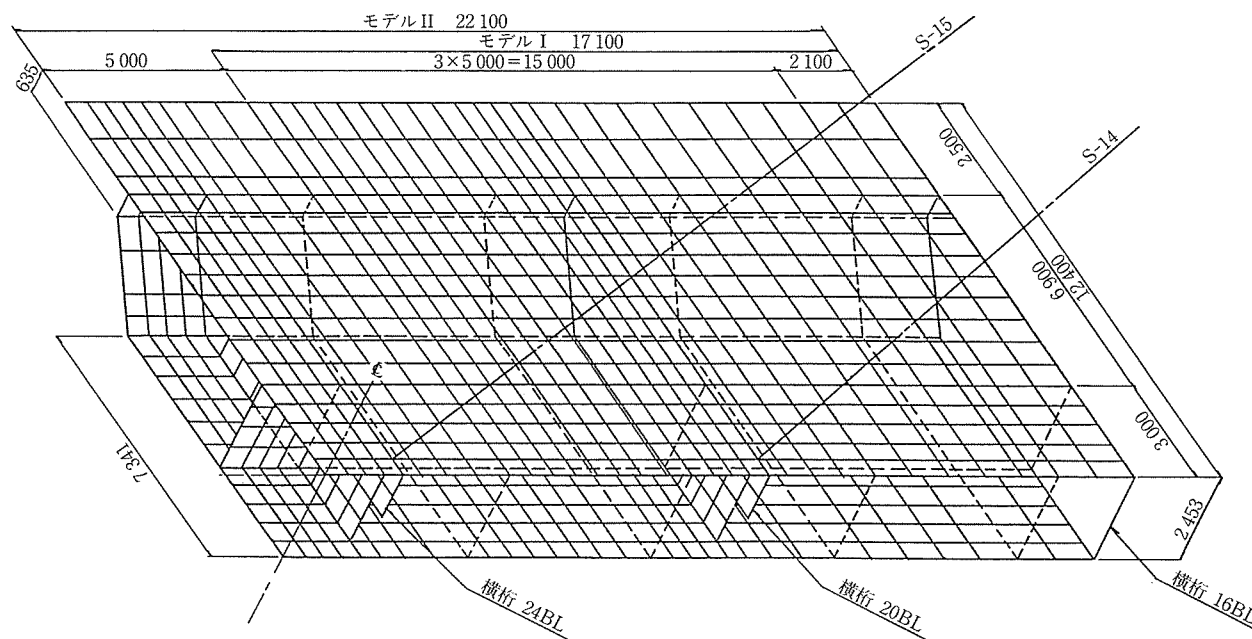


図-8 立体 FEM 解析モデル図

される。この定着体の据付け精度の確保が斜張橋施工上の重要なポイントであり、事前に種々の検討を行った。

その結果、コンクリート打設によるワーゲン、型枠の吊り材および型枠の変形の影響に左右されない方法、すなわち、既設のコンクリート桁に固定した鋼製フレームにより定着体を支持する方法を考案した。このフレームには定着体の位置・角度を微調整できるような機構が組み込まれている。その据付け状況を写真-3 に示す。

### (2) 斜材定着ブロックの PC 鋼材緊張工

斜材定着ブロックには横桁および斜材定着突起部があり、縦横に多数の PC 鋼材が配置されている。これら PC 鋼材の緊張手順の決定と張出し施工中の主桁各部位の局部応力照査を目的に施工サイクルに合わせて立体 FEM 解析を実施した (図-8)。

その結果、主桁・横桁せん断鋼棒 (SBPR 95/120,  $\phi$  32), 主桁主鋼棒 (SBPR 95/120,  $\phi$  32), 床版横締め鋼線 (SWPR 1, 12  $\phi$  8), 横桁横締め鋼線 (SWPR 7 B, 19 K15), 斜材の順序で緊張することとした。

### (3) 型 枠 工

型枠には、品質・美観を考慮して、主桁外周面にはステンレスフォーム、斜材定着突起部の傾斜面と主桁斜ウェブの内面には繊維型枠を使用した。

## 5. 斜材の施工

### 5.1 概 要

斜材のケーブルは PC 鋼より線 (SWPR 7 B  $\phi$  15.2 mm) を 61~73 本束ねて現場製作するフレシネー H システムが採用されており、斜材 1 段当たり 2 本のケーブルで構成されている。

この PC 鋼より線の空中部分は外套管で防護され、その内部はセメントミルクを充填する構造となっている。

外套管には耐久性・耐候性に優れた FRP (硝子繊維強化プラスチック) 管が採用され、その表面は金色に塗装されている。

### 5.2 FRP 管の架設

FRP 管 (外径 212 mm, 肉厚 6 mm) は標準長 6.0 m で、両端をテーパ加工し、その片方に接合用の外ソケットを接着し、表面塗装された状態で現場に搬入される。

斜材定着ブロックを施工し、ワーゲンを移動した後、FRP 管架設用ケーブル (PC 鋼より線  $\phi$  15.2 mm) を張る。FRP 管は橋面上に据え付けた接合用架台上で順次接合し、架設用ケーブルからハンガーにより吊り下げながらワイヤーロープで引き上げていく。その架設要領および状況をそれぞれ図-9、写真-4 に示す。

FRP 管の接合には 2 液混合型エポキシ樹脂系接着剤

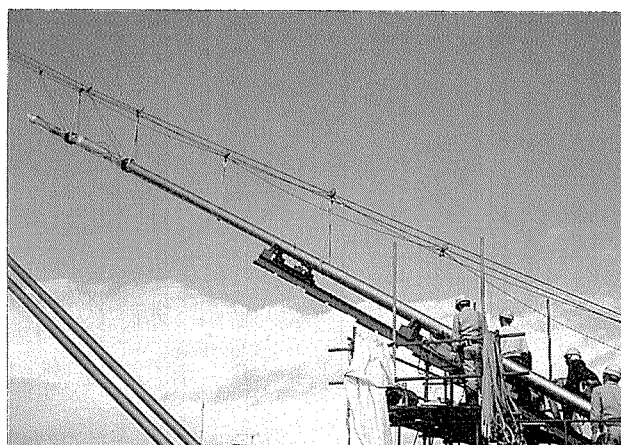


写真-4 斜材 FRP 管架設

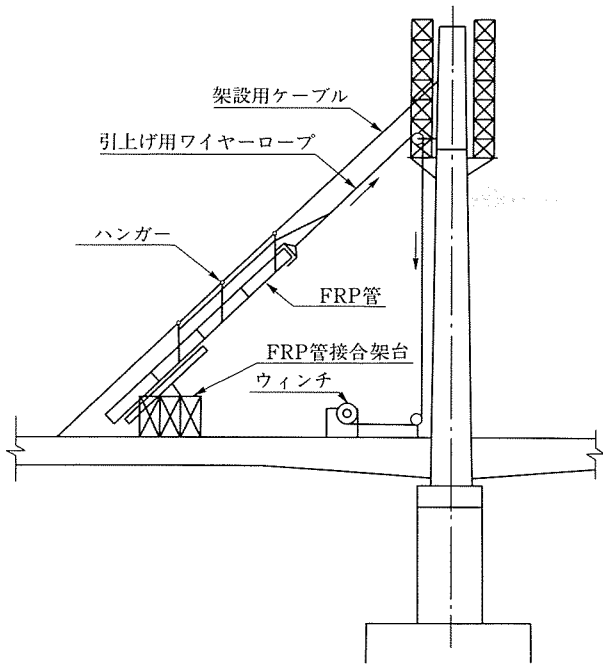


図-9 FRP 管架設要領

を使用し、硬化促進のため加温ボックス内で60～100℃の加温養生を施した。養生時間は夏場で17分、冬場で20分程度である。

所定長さのFRP管を引き上げた後、直ちに、後述するケーブルの本線であるPC鋼より線1～3本をFRP管内に挿入・仮緊張してFRP管を保持し、その後、ハンガーおよび架設用ケーブルを撤去した。

### 5.3 PC鋼より線の挿入・斜材1次緊張

PC鋼より線はあらかじめ工場で所定の長さに検尺・マーキングした後、ドラムに巻き取られた状態で現場に搬入される。マーキングは切断位置と緊張による引止め位置が識別できるように2色に分けられている。

また、マーキングの精度は斜材の許容張力から逆算して、1/5 000以下とした。

橋面上に設置したドラムスタンドから引き出したPC鋼より線を、プッシングマシンにより主塔側面に配管したガイドパイプを経由して主塔頂部へ押し上げ、主塔側の斜材定着孔から挿入する。

主塔側斜材定着体出口でPC鋼より線の先端にキャップを取り付け、FRP管内へ誘導し、橋面出口まで送り込む。

FRP管内を経て橋面まで到達したPC鋼より線先端のキャップを取り外し、主桁側定着体の所定の定着孔から挿入した迎え棒にPC鋼より線の先端を差し込み、定着孔へ誘導する。その後、主桁・主塔両定着端にウェッジを打ち込み、挿入を完了する。

PC鋼より線挿入後、これを主塔側切断位置にて切断し、シングルストランドジャッキにて引止め位置まで緊

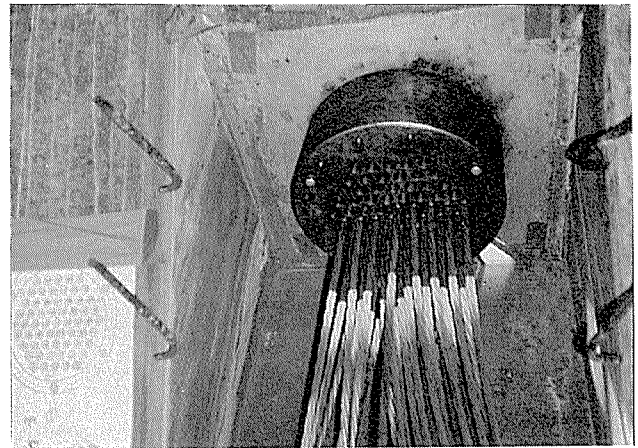


写真-5 斜材1次緊張（主塔側）

張し、定着する（写真-5）。

以上の作業をPC鋼より線1本ごとに順次繰り返して、斜材に所定の張力を導入（1次緊張）する。

斜材の1次緊張は主塔・主桁を極端な偏載荷状態にさせないため、同一段の斜材2本のケーブルのうち、1本目のケーブルは所定本数の50%、2本目は100%、1本目の残り50%の順で挿入・緊張した。また、側径間側と中央径間側においては、相対するケーブルを同時に挿入・緊張した。

緊張の引止め位置は、緊張直前に斜材定着点間を光波測距測角儀により測長し、斜材緊張による斜材定着点間の弾性短縮が緊張本数に比例して生じるものとして緊張計算し、設定した。また、緊張管理の基本は長さ管理とした。

実際の緊張においては、最初のPC鋼より線数本を緊張した時点で計算値と照合した。圧力と伸びが対応することを確認した後はPC鋼より線間のバラツキを制御するためマーキング位置が揃うように緊張し、圧力は参考値とした。

### 5.4 斜材張力調整緊張

主桁の張出し施工に伴い、斜材の張力を調整する必要がある。標準的な調整緊張は新しく架設した斜材の1次緊張後、その1段下の斜材の張力を減らす調整である。

調整緊張作業は主桁内に搬入した1100tの緊張能力を有する大容量のセンターホールジャッキを調整緊張側の定着体に装着し、ケーブル全体を緊張しながらリングナット位置を調整することで行う（写真-6）。

この1100tジャッキはラムチェア、テンションロッドとともに全体を前後・左右・上下の移動と角度調整ができる特殊台車に組み込まれていて、主桁内を所定の斜材緊張位置へ移動できるように設計されている<sup>6)・7)</sup>。

緊張作業は主塔および左右の主桁のバランスを保つため、側径間側と中央径間側にジャッキを配置し、相対するケーブルを同時に緊張した。また、緊張管理は圧力管

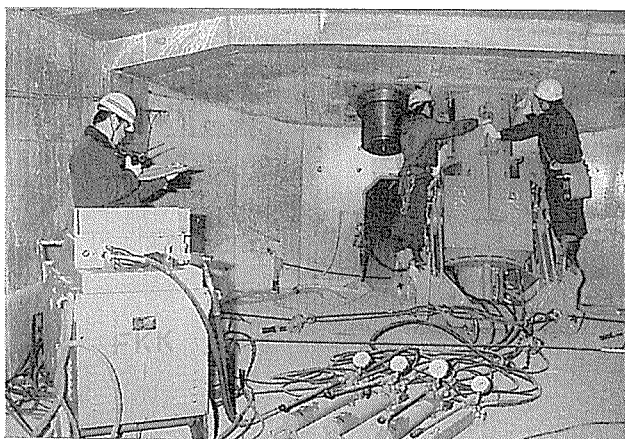


写真-6 斜材調整緊張（主桁側）



写真-7 工事全景（平成2年12月）

理を基本とし、調整緊張時点における設計張力に合致させるように緊張した。このとき、斜材緊張による弾性短縮は2本のケーブルの緊張順序に比例して生じるものと仮定して緊張計算した。

主桁連結後の最終調整は同様に実施する予定である。

## 6. おわりに

青森ベイブリッジは平成4年夏の開通に向けて、平成2年12月現在、2つの主塔は完成し、主桁はP<sub>9</sub>側が19ブロック（斜材3段）、P<sub>10</sub>側が38ブロック（斜材8段）まで施工を完了している（写真-7）。

“青森ベイブリッジ”という名称は、一般公募され命名された。これには、静穏な青森港に雄大に横たわり、金色の斜材を擁してそびえ立つ2本の主塔はあたかも北の凱旋門として青森市のどこからでも望まれ、青森から世界に向けて7つの海を渡る夢の架け橋となる願いがこめられている。

本文では主に、直接工事面を中心に報告した。このほか、施工管理面においても、マイクロコンピュータを用いた情報化施工、各種計測等を実施中である。これらの成果についても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甚である。

最後に、本橋の施工にあたり、適切な御指導・御協力

を頂いた青森ベイブリッジ技術委員会（委員長：樋口東京理科大教授）の委員、青森県の方々をはじめ関係各位に深く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 奈良豊規：青森大橋（仮称）の全体計画，橋梁，1987年1月
- 2) 石橋忠良，高木芳光：青森大橋（仮称）の設計，橋梁，1987年3，4，5，6月
- 3) 石橋忠良，高木芳光，大庭光商：青森大橋（PC斜張橋）の設計概要と斜材定着部実験，プレストレストコンクリート，Vol. 30，No. 4，1988年7月
- 4) 岩本光男，大庭光商，竹内研一：青森大橋（仮称）主塔の施工，橋梁，1990年4月
- 5) 石橋忠良，吉田彦三郎，大庭光商，竹内研一：ポンプ圧送による高強度コンクリート（ $\sigma_{c,k}=600 \text{ kgf/cm}^2$ ）の施工，コンクリート工学，Vol. 28，No. 5，1990年5月
- 6) 石橋忠良，館石和雄，大庭光商，竹内研一：青森大橋（仮称）上部工の施工計画，橋梁と基礎，1990年6月
- 7) 末弘 保，藤森伸一，大庭光商，石橋忠良：青森ベイブリッジ（PC斜張橋）における開発事項，プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，1990年10月
- 8) 松淵得郎，狩野紀男，石原重孝，内藤静男：青森ベイブリッジ（PC斜張橋）の施工，プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，1990年10月

【1991年1月11日受付】