

# 海外における長大エクストラードードPC橋の施工 —フィリピン・第2マクタン橋—

本田 英尚\*1・柏村 友彦\*2・蓬萊 晃文\*3・山崎 啓治\*4

## 1. はじめに

フィリピン・セブはフィリピン・ビサヤ諸島のほぼ中央に位置し、首都マニラに次ぐフィリピン第二の都市である(図-1)。その歴史は古く、1521年世界一周航海中の冒険家マゼランがセブ島沖合いに浮かぶマクタン島に立ち寄ったことから始まる。マクタン島に上陸したマゼランは、時の酋長ラプラブと交戦状態に入り、結果、マゼランは戦死することとなる。この「ラプラブ」の名は地元マクタン島の行政市の名前として、現地の獷猛な魚(非常に美味)としてその名が受け継がれている。その後、スペインによる統治、アメリカによる統治そして真の独立を経て現在に至っている。

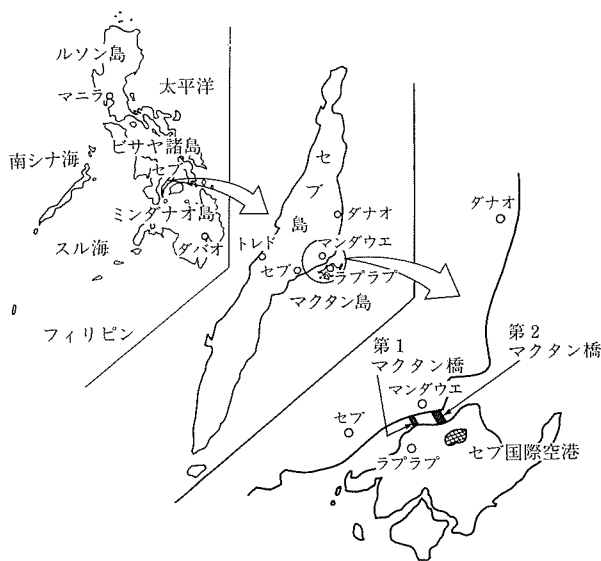


図-1 工事位置図

メトロ・セブ地区(セブ市を中心とする都市群)は、ここ十数年の間に、日本企業も多く進出する輸出加工区(Mactan Export Processing Zone Authority)の建設、セブ国際空港の整備など、フィリピン南部の経済の中心として活発な発展を続けている。また、セブは古くから数多くの大学が立地し、多くの学生を集め文化の中心としての役割も担っている。

これら、商業・経済都市としてだけでなく白い砂浜のビーチ、島全体を取り囲む珊瑚礁に代表されるようなリゾート・アイランドとしても開発が進み、日本からはもち

ろん、アジア全域から多くの観光客が訪れている。

本文では、中央径間長185mという世界最大のエクストラードードPC橋の上部工の施工について技術的特徴を報告する。

## 2. プロジェクト概要

交通の要であるセブ国際空港は、セブ本島マンガウエ市沖合いに浮かぶマクタン島に位置している。セブ本島からマクタン島への海峡部は、1972年に日本の建設業者によって建設された第1マクタン橋(鋼トラス橋)で結ばれているが、対向2車線のため最近の交通量の増大に伴い慢性的な交通渋滞が進んでいる。これを解消すべく日本の海外経済協力基金(Overseas Economic Cooperation Fund)の資金援助により、フィリピン共和国公共事業省の国際工事として第2マクタン橋の建設が4車線道路として計画された。全長3900m区間のうち主橋部を除く取付け高架橋および土工区間3500mあまりを現地の建設会社JVが、主橋部410mを鹿島・住友JVが担当した。

架橋地点は、セブ国際空港に近接しており高度制限がある。そのため主橋部には、主塔高さを低く抑えることのできる構造形式、エクストラードードPC橋が比較検討の結果採用された。

## 3. 工事概要

本橋の工事概要、主要工事数量および全体一般図をそれ

表-1 工事概要

工事名	SECOND MANDAUE-MACTAN BRIDGE PROJECT (PACKAGE1)
企業者	フィリピン共和国公共事業省
コンサルタント	(株)片平エンジニアリング インターナショナルほか
施工者	鹿島建設(株)・住友建設(株)共同企業体
工事場所	フィリピン共和国 セブ島～マクタン島海峡部
工期	1996年10月29日～1999年10月31日(上・下部)
橋種	コンクリート道路橋
荷重	B活荷重
橋梁形式	3径間連続エクストラードードPC橋
橋長(支間割り)	410.0m (111.5m+185.0m+111.5m)
幅員	総幅員 21.0m 車道7.25m×2+歩道1.50m×2
勾配	縦断：最大5.5%、横断：2.0%
平面線形	R=∞
桁下空間	航路限界：幅 112.78m、高さ 22.86m
基礎形式	主橋脚：多柱式場所打ち杭基礎 端橋脚：場所打ち杭基礎
主桁	PC構造、桁高：柱頭部 5.1m、一般部 3.3m 3室箱桁断面
主塔	H形柱RC構造、橋脚・主塔全高 42.636m
斜材	配置形状：ファン形式、2面吊り、サドル形式

\*1 Hidenao HONDA：鹿島建設(株)・住友建設(株)共同企業体 副所長

\*2 Tomohiko KASHIWAMURA：鹿島建設(株)・住友建設(株)共同企業体 工事課長

\*3 Akinori HORAI：鹿島建設(株)・住友建設(株)共同企業体

\*4 Keiji YAMAZAKI：鹿島建設(株)・住友建設(株)共同企業体

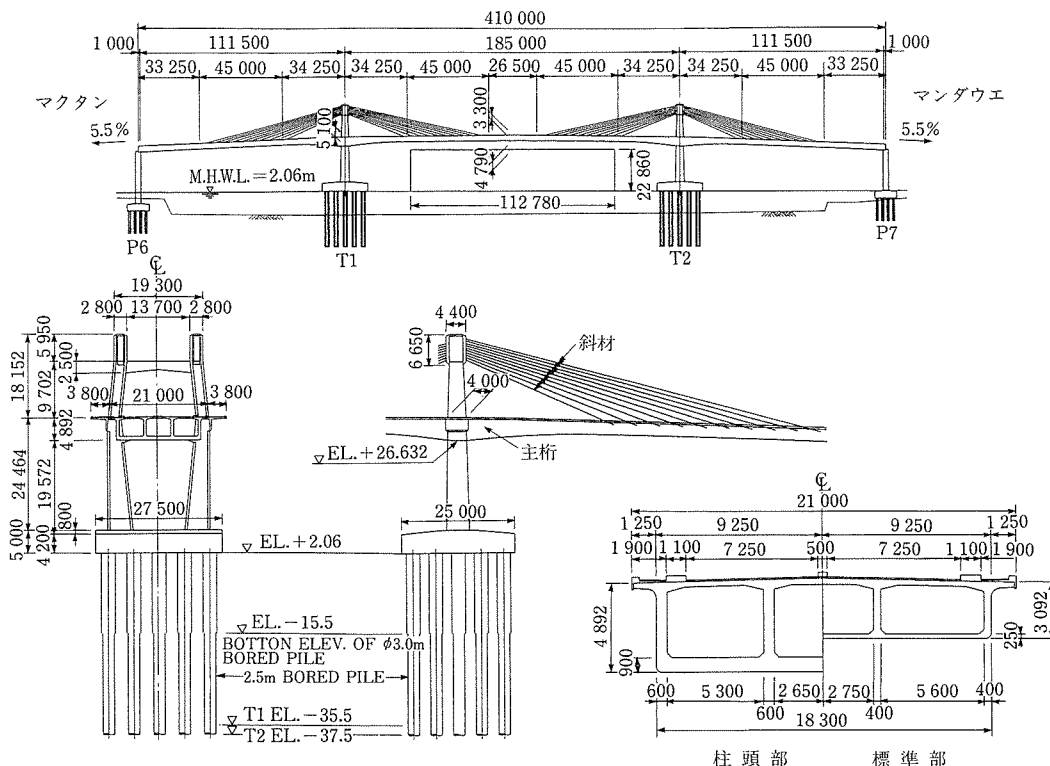


図-2 全体一般図

表-2 上部工主要工事数量

区分	種別	仕様	単位	数量	備考
主桁	コンクリート	$\sigma_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$	m <sup>3</sup>	9 099	橋面工含む
	PC鋼材	Grade270 12S12.7	tf	181	
		Grade270 4S15.2	tf	73	
		SBPR930/1 180 $\phi$ 32	tf	85	
主塔	鉄筋	SD345, SD295, Grade40	tf	1 595	
	コンクリート	$\sigma_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$	m <sup>3</sup>	737	
	鉄筋	SD345, SD295, Grade40	tf	152	
斜材	PC鋼材	Grade270K 48S15.2	tf	251	エポキシ樹脂塗装

それぞれ表-1, 図-2, 表-2に示す。

### 3.1 施工順序

施工順序および工事工程を図-3, 4に示す。

T1およびT2橋脚は多柱式場所打ち杭基礎、P6およびP7橋脚は場所打ち杭基礎を施工後橋脚を立ち上げる。その後、上部工（主桁）施工に移る。主桁の施工は柱頭部、張出し部、側径間端部（施工上、側径間支保工部、側径間連結部に区分）および中央径間連結部に区分される（図-5）。

柱頭部を固定支保工方式により施工の後、移動作業車（以下、フォームトラベラー）による張出し施工を開始し、それと同時に主塔の施工を行う。側径間端部は、全23mのうち18mは工期短縮のため張出し施工の途中より、柱頭部と同様に固定支保工方式による施工を行う。張出し施工終了後、側径間連結部をフォームトラベラーによる吊り支保工、中央径間連結部を同様に吊り支保工で施工を行う。

### 3.2 上部工の設計

設計は、日本道路協会「道路橋示方書・同解説」（平成6年2月）に準拠した（表-3）。

主桁は桁高が柱頭部で5.1m、標準部で3.3m、幅員20.8mの3室4主桁箱形断面のPC構造である。張出し部は左右それぞれ17ブロックに分割し、桁高さ一定区間では標準ブロック長5.0mとする。ブロック長に合わせ主桁側斜材定着間隔を5.0mとし、斜材を10段配置とした。

主塔・橋脚の耐震設計は、American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Specifications for Highway Bridges（以下、AASHTO規準）の地震力を作用させ、「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」（平成8年12月）（以下、道示V）により照査・配筋量の決定を行った。このAASHTO規準の地震力は、道示Vの地震時保有水平耐力法に用いるタイプIの地震力に相当する。

## 4. 主桁の施工

### 4.1 柱頭部の施工

柱頭部は大型のフォームトラベラーの組立てを同時に行えるように長さ19mとした。柱頭部横桁は、2枚の隔壁（Transom）で左右2本の橋脚を結び、主桁と剛結する複雑な構造となっている。横桁には、柱頭部に生じる主桁のアンバランスモーメントがねじりモーメントとして作用するため、その配筋はD35スターラップとなり非常に密な鉄筋配置となる（写真-1）。

コンクリート打設は、1回あたりの打設量および鉄筋の配置状況を考慮して3回打ちとした。

支保工は、橋脚形状が2脚式となっておりブラケット方式が困難となるため、H鋼製の支柱式支保工とした（写真-2）。国内では四角支柱等で行うのが一般的であるが、海外工事ではレンタル製品の入手が容易でないため、仮設棧橋

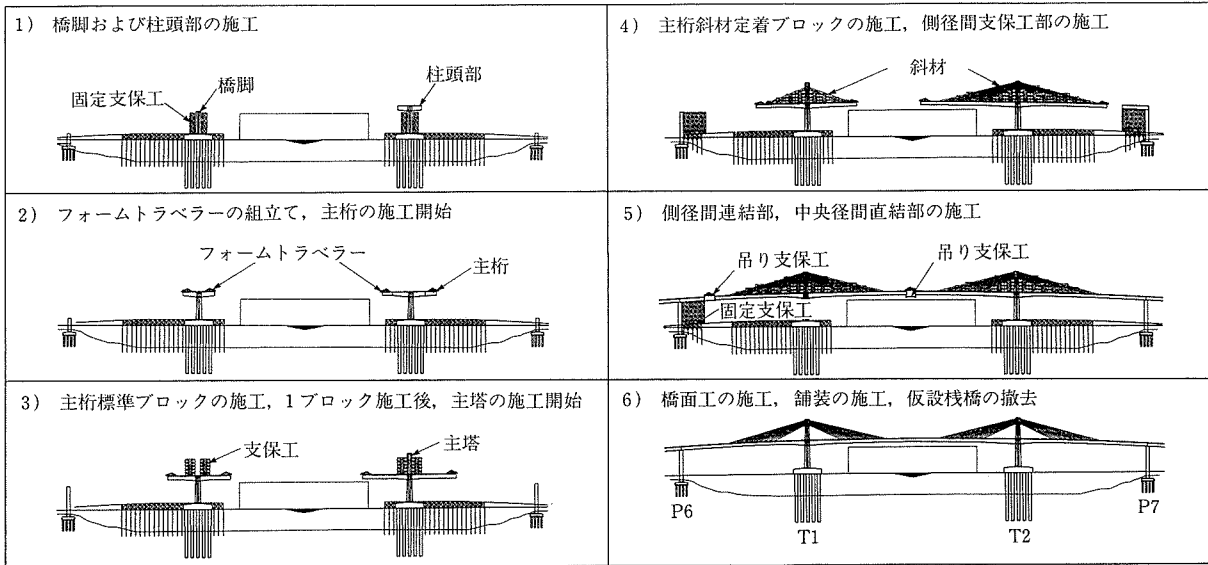


図-3 施工順序

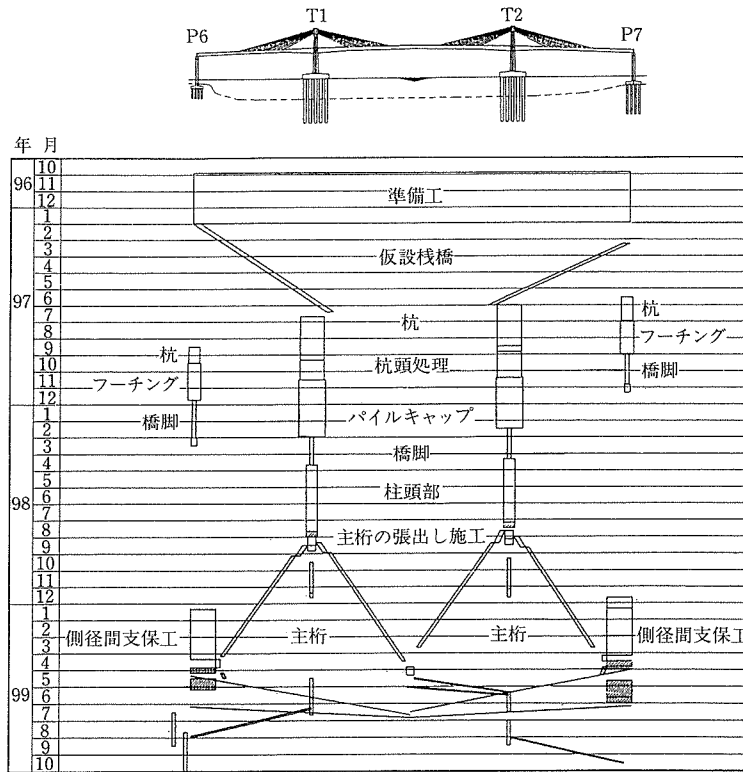


図-4 工事工程

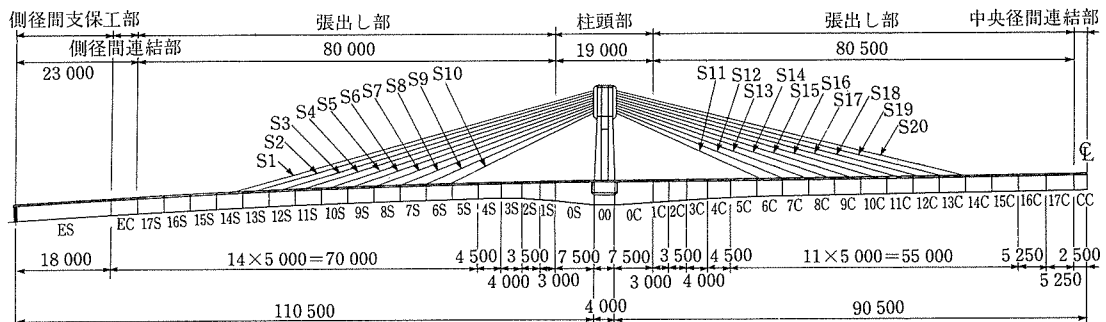


図-5 主桁の施工区分図

表-3 設計条件および使用材料

適用示方書	道路橋示方書・同解説 ただし、耐震設計はAASHTOの地震力の照査を行った	
活荷重	B活荷重	
温度	± 4℃	
床版温度差	6℃	
斜材温度差	±12℃	
地震震度	K <sub>H</sub> =0.19 (橋軸方向) K <sub>H</sub> =0.21 (橋軸直角方向)	
コンクリート	主桁・橋脚・主塔	$\sigma_{ck}=400 \text{ kgf/cm}^2$
鉄筋	主桁・主塔	SD295
	橋脚(主筋)	SD345
	橋脚(せん断)	Grade40
	その他(φ12)	Grade40
PC鋼材	縦締め	Grade270 12S12.7 SBPR930/I 180 φ 32
	横締め	Grade270 12S12.7
	床版横締め	Grade270 4S15.2
	鉛直締め	SBPR930/I 180 φ 32
斜材		Grade270K 48S15.2

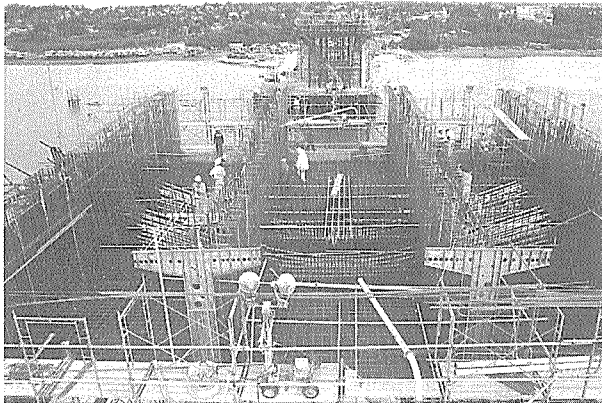


写真-1 柱頭部施工風景

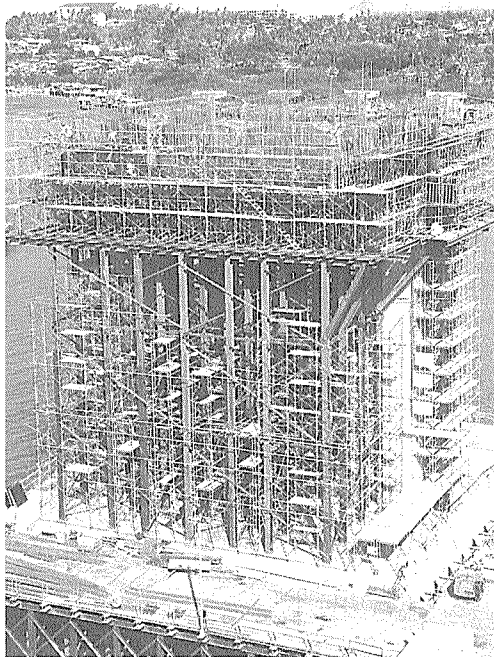


写真-2 柱頭部支保工

のH杭を転用した。

型枠材は、メタルフォームの入手が困難であるため内枠、外枠とも木型枠とした。ただし、ウェブ上下付け根の曲線部型枠については、張出し施工部にも転用が可能のため、鉄板を現地ファブリーケーターで加工したものを使用した。

柱頭部の施工には約3ヵ月半の時間を要した。これはほぼ作業員全員が本格的なPC橋建設の経験がないこと、橋脚・主塔および主桁と非常に鉄筋・PC鋼材が錯綜する一番難しい部分から施工が始まることなどによる。

#### 4.2 張出し部の施工

張出し部の施工は、両橋脚に各2基計4基の大型フォームトラベラーをほぼ同時に組み立て、通常の桁橋と同様、側径間側、中央径間側それぞれ17ブロックの施工を行った。ここでは、張出し部の施工について本橋の特徴ある点を以下に報告する。

##### (1) フォームトラベラー

主桁の張出し施工にはDSI社 (Dywidag-Systems International) 製の4基の大型フォームトラベラーを用いた(写真-3)。特徴としては、トラベラーを構成する部材類に高強度の鋼材が用いられ、軽量化が図られている。構造的にもメインフレームはピン構造となっている。また、トラス類などはユニット化が図られており、最小の改造で転用が可能になるよう工夫がなされている。

##### (2) フォームトラベラーの組立て

柱頭部施工終了後に、上部工施工中の主要揚重設備となる20tクレーンを、300tクレーン台船にて橋面上に吊り上げた(写真-4)。クレーン台船は、架橋地点とは反対側のセブ島西岸にある造船所から1日半かけて曳航させた。

この橋面上に設置した20tクレーンと仮設栈橋上の50tクレーンによりフォームトラベラーの組立てを行った。床材はフーチング上で仮組みし、10tチェンブロック5基により人力で2.5日間で引き上げた(写真-5)。

##### (3) 主桁施工サイクルと主方向PC鋼材

斜材定着ブロックのサイクル工程を表-4に示す。

主方向PC鋼材は、張出し架設用にはPC鋼棒(φ32)を使用し、それ以外の完成系で必要な柱頭部および連結用のPC鋼材についてはPC鋼より線(12S12.7)を使用した。斜材定着ブロックでは、コンクリート打設量が多く、1日で側径間側と中央径間側のコンクリートを打設するのは困難となる。このため、両径間側の緊張作業が工程に影響を受けないPC鋼棒を使用した。ただし、14・15ブロックでは、側径間側のコンクリート打設による中央径間側の斜材付け根位置(6ブロック)での主桁下縁でのコンクリート引張応力度が大きくなるため、作業員を増員して同時刻にコンクリート打設を行った。コンクリート打設量は、標準ブロックで70m<sup>3</sup>~85m<sup>3</sup>、斜材定着ブロックで約100m<sup>3</sup>である。

##### (4) ボンドヘッドアンカーを有する床版横締めPC鋼材

床版横締めPC鋼材には日本では見られない4S15.2FAシステムを採用した(写真-6)。これは、4本のストランドが偏平なフラット・シースを通り、緊張側では長方形をしたフラットアンカーが、固定側ではボンドヘッドアンカーが配置される。このボンドヘッドアンカーは、特別な装置を用



写真-3 大型フォームトラベラー



写真-4 20t クレーンの吊上げ



写真-5 フォームトラベラーの床材吊上げ



写真-6 床版横締めPC鋼材

いて現場にて簡単に製作でき、労務費が安い海外ではコストダウンが可能となる。4本のストランドの緊張作業は、シン

グルストランド・ジャッキにより1本ごとに行う。

(5) 斜材定着ブロックの施工

エクストラード橋では、斜材が毎ブロック連続して配置される場合が多く、各斜材定着体は近接している。そのため斜材定着体の施工は、前ブロックの斜材緊張作業が終了し、緊張用ジャッキを取り外してから作業開始が可能となる。本橋でも斜材が6ブロック～15ブロックに連続して配置されていたが、斜材の定着がボックス内定着であり、

主桁構造が3室構造であるため、前ブロックの斜材施工中には外型枠の組立て、下床版鉄筋および中ウェブのスタラップの組立て等の斜材定着突起部とは離れた場所での作業が可能となり、工程的ロスはなかった(表-4)。

斜材定着体の施工は、斜材定着突起部の型枠・鉄筋作業の後、フォームトラベラーに取り付けたH鋼材よりチェーンブロックで吊りながら移動・設置を行った。設置角度の設定は、定着体背面側より定着体上部出口、主塔サドル側の管出口の3点を見通して行った。ただし、斜材のサグの影響を考慮した角度にセットできるよう、見通す主塔サドル側の点には補正した点を設けた。

エクストラドーズドPC橋は、一般にPC斜張橋のようにすべての斜材定着点に中間横桁を有しているわけではなく、桁橋と同様に支間内に数カ所の中間横桁を有しているのみである。したがって、施工日数は中間横桁の施工がない斜材定着ブロックでは標準ブロックに比べ2日だけ長い。

表-4 主桁施工サイクル工程

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
コンクリート							打設	養生	
内ケーブル緊張	より線								鋼棒
フォームトラベラー移動									
型枠組立て									
鉄筋組立て									
PC組立て									
斜材		ケーブル挿入							
			緊張						
			サドルグラウト						

(6) フォームトラベラーの解体

フォームトラベラーの解体は、本体を上下に分離しメインフレームなどの上部部材は橋面上で解体し、床版フレームなどの下部部材は2種類の方法によった。

側径間側は、フォームトラベラーを側径間連結部施工の吊り支保工として使用した後、側径間端部施工用の支保工上まで前進させ、上部部材を解体した後、下部部材を支保工上にいったん預けて、陸上の35tクレーンにて順次解体を行った。

中央径間側は、1基を中央径間連結部施工の吊り支保工として使用した。その後、上部部材は橋面で解体し、下部部材は柱頭部まで後退させ解体作業を行った。ただし、斜材との取合いから、そのままの状態では後退できないため後退用の装置を製作し後退させた(写真-7)。

4.3 側径間端部の施工

(1) 側径間支保工部の施工

側径間端部全23mのうち18mは、工期短縮のため張出し施工の途中より先行して施工を開始し、張出し施工終了とほぼ同時に完成させた。

支保工は、柱頭部施工で使用したH鋼を転用し支柱式支保工とした。コンクリート打設は、1回あたりの打設量を考慮し2回打ちとした。

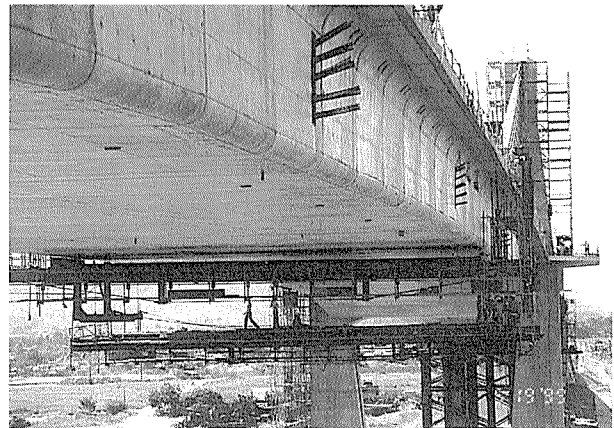


写真-7 フォームトラベラー後退装置

(2) 側径間連結部の施工

側径間連結部は、張出し施工に用いたフォームトラベラーを前進させ、吊り支保工として使用し施工を行った。

コンクリート打設は2回打ちとした。張出し施工側の主桁先端は、柱頭部からの張出し長が90mあまりと長いこと、またエクストラドーズドPC橋は桁橋に比べ柱頭部桁高さが低く剛性が小さいためたわみやすい構造となっている。一方、側径間支保工側は支保工により固定されており、たわみは生じない。したがって、連結部両端でのコンクリート打設によるたわみ差が大きくなることが予想されたため、張出し先端でのたわみ量を最小にするよう2回打ちでコンクリート打設を行った。

また、熱帯地域での施工では、1日の気温変動(日較差)が大きいので、温度変化の影響によるたわみ量(主に床版温度差による影響)が大きく、側径間連結前の構造系で張出し先端で40mm~50mmのたわみが生じる。この温度変化による影響をゼロにしてコンクリート打設を行うことは不可能であるため、気温の変動(時刻)とたわみの関係をつかんでおき、コンクリート打設・初期養生の時刻に相当する温度変化の影響によるたわみ分をあらかじめ上越し計画で考慮した。

4.4 中央径間連結部の施工

中央径間連結部は、側径間連結部と同様にフォームトラベラーを吊り支保工として使用し施工を行った。温度変化の影響によるたわみ量(主に床版温度差による影響)が非常に大きく、中央径間張出し先端で70mm~80mmのたわみが生じる。そこで、両張出しブロック先端でのたわみ変動差を拘束するため、橋面上にH鋼を設置し主桁間を固定した(写真-8)。コンクリート打設は1回打ちで行った。

5. 斜材の施工

5.1 サドル

主塔側の斜材定着方式にはサドル構造(図-6、写真-9)を採用した。サドルは日本の工場で作成したものを使用し、全10段を4分割した鉄骨フレームにセットしユニット化を行った。現場での作業は、橋面上に設置した20tクレーンで順次架設を行うのみとなり、定着体据付け精度の向上、作業の省力化による工程短縮を図った。

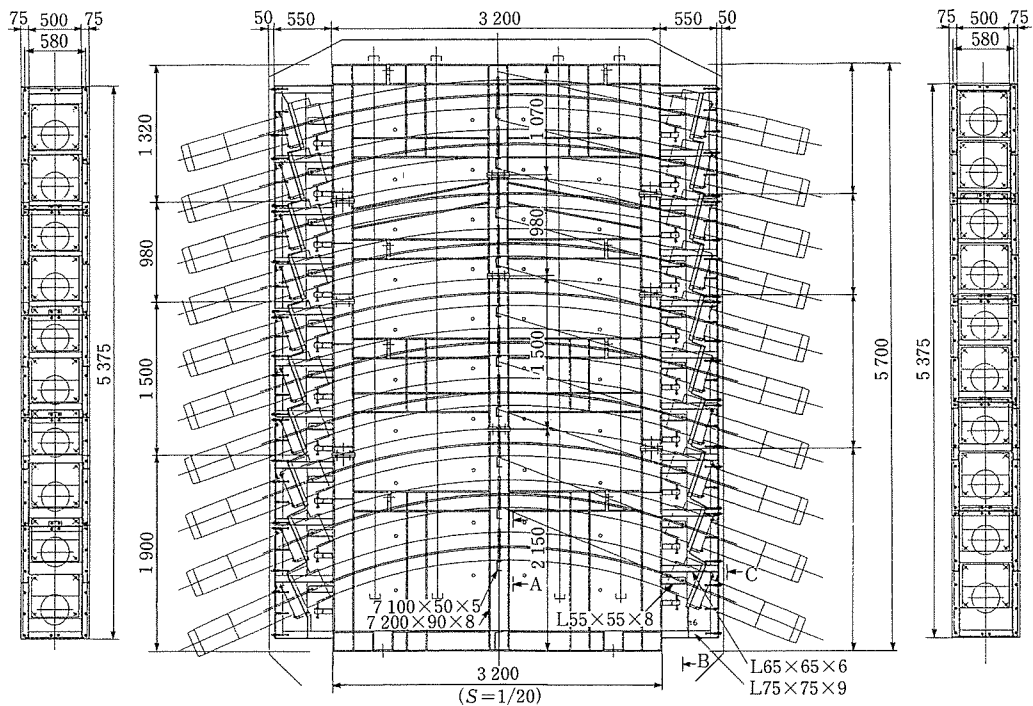


図-6 サドル構造

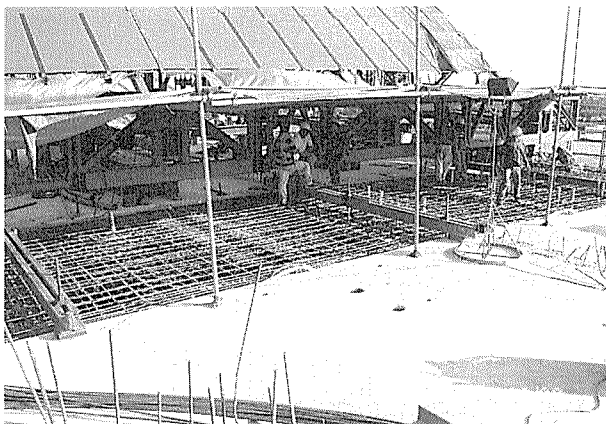


写真-8 中央径間連結部

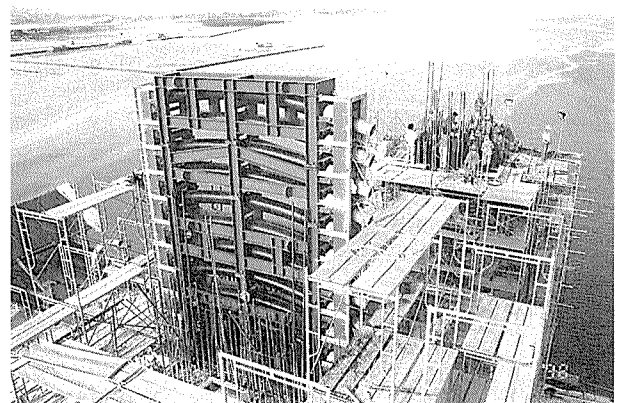


写真-9 サドルの施工

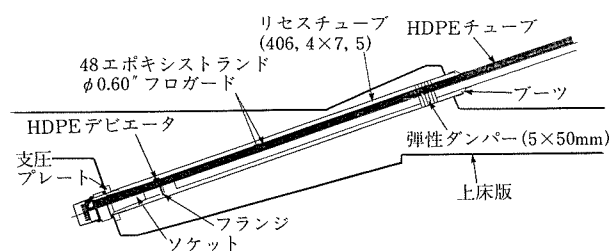


図-7 斜材システム

## 5.2 斜材

斜材ケーブルには、PC鋼より線 (Grade270K φ15.2) を48本束ねて現場で製作するデビダーク・ステイクケーブルシステム48S15.2を採用した(図-7)。架橋地点は海上であり、耐久性能確保のため、鋼材にはエポキシ樹脂塗装PCストランド(フロガードタイプ)が用いられ、さらにセメントグラウト、PE管による三重の防錆使用となっている。

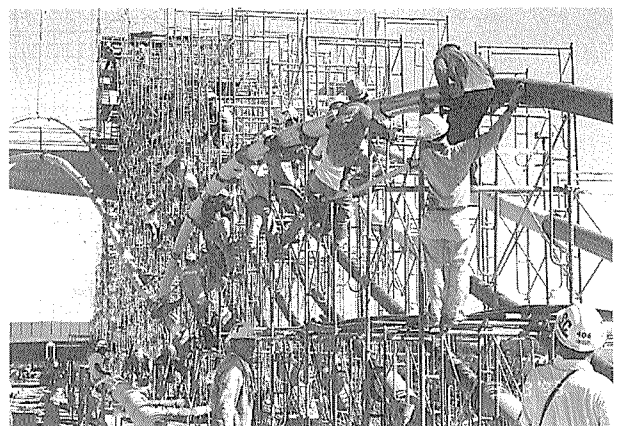


写真-10 斜材保護管の架設

斜材保護管には10段中、上3段にはゴールドメタリックに着色されたPE管(φ200)が採用された。

### 5.3 斜材架設

斜材の架設は、PE管を橋面上の20tクレーンおよび斜材架設用の足場を利用して人力により一括架設を行った(写真-10)後、ストランドの挿入を行った(図-8)。ストランドは橋面上に設置したプッシングマシンを使用し、主桁斜材着体から挿入し、PE管内に送り出され、サドル部を経た後、反対側の着体体に到達する。その際、ストランドの先端には部材保護および既設ストランドへの絡み防止のため、先端キャップを取り付けた。プッシングマシンにはDSI社のドイツ製のものを使用した。当初心配された挿入時のトラブルは1度も発生せず、良好に鋼線挿入作業が行えた。

### 5.4 斜材緊張

斜材の緊張は、緊張用ジャッキ(W=2.0t)4台を使用し同時に行った。サドル部でのストランドのスリップ防止の

ため、スリップ量も確認しながら行った。サドル部でのスリップ量は、たるみ取り時には20mm程度になることもあったが、ある程度張力が導入された後のレベルではほとんどなかった。

### 5.5 サドル部のグラウト

斜材緊張後、直ちにサドル部のグラウトを行った。現地には高強度グラウト材がなく、日本よりグラウト材を輸入し現地セメントと混合して使用した。グラウト注入後、強度を確認したうえで、主桁の次ブロックのコンクリート打設を行った。

### 5.6 保護管部のグラウト

PE管の強度は温度に大きく影響を受け、高温になるに従いその強度は半減する(70℃で30%に減少)。このため保護管部のグラウト作業は夜間に2回~3回に分けて行った。

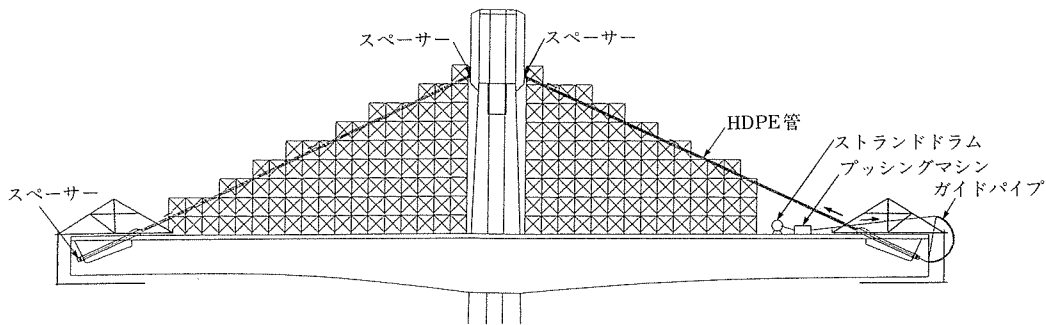


図-8 斜材ストランドの挿入要領

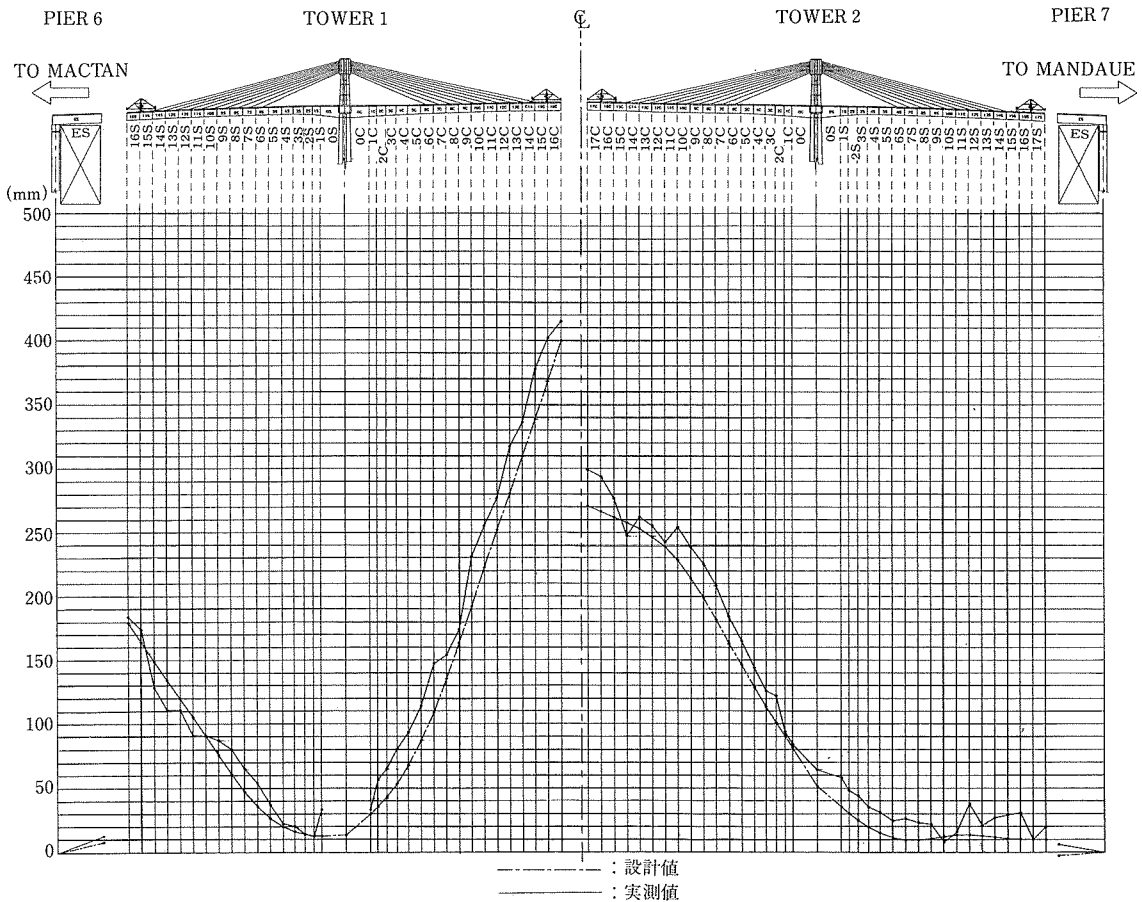


図-9 上越し管理図



## 6. 施工管理

エクストラドーズド橋において、斜材は張出し施工時に緊張されるのみであり、主桁閉合後の調整緊張は行われな  
ない。したがって、施工時の上越し管理は通常の桁橋と同様に型枠セット時の調整のみとなる。上越し管理のための測  
量は、温度変化の影響も少なく、橋面上での作業も行われていない(クレーンなどの重機類は原則、作業終了時に柱頭  
部の定位置に戻すこととした)毎朝7時に行った。施工途中での上越し管理図を示す(図-9)。主桁コンクリート打設お  
よび斜材緊張による個々のたわみ量は計算値とほぼ一致し、桁橋の施工管理と同様の管理活動で十分精度よく施工  
可能であると言える。ただし、前述のように連結部の施工では比較的たわみが大きいため十分な事前検討が必要であ  
ると考えられる。

## 7. 確認実験

本橋の施工では、本施工に先立ち種々の確認実験・試験を行った。これらについては別途報告する予定であるが、  
ここでは試験項目について記す。

- ① 3次元動的解析：AASHTO規準に従った3次元動的解析を実施し、橋脚・主塔の耐震設計を行った。

- ② クリープ試験：現地で使用される骨材を用いたクリープ試験を実施し、設計で用いられたコンクリートのクリープ特性との比較を行った。
- ③ エポキシストランド(フロガードタイプ)ーサドル実物大付着試験
- ④ 48S15.2斜材実大疲労試験
- ⑤ 風観測およびレインバイブレーションの検討
- ⑥ 振動実験：主桁の連結後、日本から起振機を持ち込み、振動特性の確認のため振動実験を行った。

## 8. おわりに

フィリピン・第2マクタン橋は、1999年4月30日に中央連結部が閉合し、引続き橋面工・舗装の施工を行い7月にはすべての施工を完了した。8月3日にはエストラダ大統領出席のもと、盛大な開通式が執り行われ名実ともフィリピン・セブの人達のものとなった。

最後に、フィリピン・第2マクタン橋の設計・施工にあたって終始貴重な助言をいただいたフィリピン共和国公共事業省の本プロジェクトのSpecial Technical Assistance Team (S.T.A.T)、山崎 淳 日本大学教授および関係各位に感謝の意を表する次第である。

【1999年11月15日受付】