

ニヤッタ橋の鋼管矢板基礎・主塔とアプローチ橋下部工の施工

三井住友建設株式会社 土木設計部 ○三村 光太郎
三井住友建設株式会社 国際支店 山 地 斉
三井住友建設株式会社 国際支店 澤 田 修
三井住友建設株式会社 国際支店 柳 瀬 進

1. はじめに

本工事は、ベトナムの首都ハノイ市中心部を流れる紅河に架かる橋長1,500mの主橋とそれに続く橋長1,580mのアプローチ橋建設工事である（図-1）。

工事名称は、Contract Package-1 : Main Bridge and North Approach Bridge under Nhat Tan Bridge (Vietnam - Japan Friendship Bridge) Construction Projectであり、日越友好橋と称される。本橋は、ハノイの玄関口であるノイバイ国際空港からハノイ市中心部へと向かう国際ゲートウェイ関連事業の一つであり、将来の輸送力強化、交通渋滞の緩和に対する効果が期待されている。

施主はベトナム交通運輸省PMU85、設計が長大・大日本コンサルタントJVで日本の円借款STEPが適用された。請負者はIHIインフラシステム・三井住友建設の乙型JVであり、当社は下部工グループとして、主橋の鋼管矢板基礎と主塔工およびアプローチ橋の場所打ち杭基礎と橋脚工事を担当した。表-1に工事概要を示す。

2. ベトナム初の鋼管矢板基礎

鋼管矢板基礎の形状は、小判形48.7m×16.9m、仮設部を含む最大長さは50m、中打ち単独杭（P13, P14, P16のみ）を含む鋼管の本数は118～148本/1基である。

表-1 工事概要

主橋	
橋梁形式	： 6径間連続合成2主1桁斜張橋
橋 長	： 1,500m(150m+4@300m+150m)
有効幅員	： 33.2m
主 塔	： A型コンクリート構造, 高さ111m
基 礎	： 鋼管矢板基礎
アプローチ橋	
橋梁形式	： 11径間+10径間+10径間連結PCスーパーT桁橋, 7径間連続PC箱桁橋
橋 長	： 1,580m(11@40m+10@40m+10@40m+340m)
下 部 工	： 橋脚39基(高さ5～24.5m), 橋台1基
基 礎	： 場所打ち杭
主要工事数量	
コンクリート:200,000m ³ , 鉄筋:20,000t, 鋼管矢板:14,200t	

地盤は上層部が沖積シルトと砂、支持地盤は洪積砂礫層であり、このような比較的硬質な地盤に、長尺な鋼管矢板を如何に精度良く打設・閉合するかが最重要課題となった（図-2）。

(1) 鋼管矢板の打設と衝撃載荷試験

本工事では、鋼管矢板の打設方法として、日本では例のないウォータージェット併用バイプロハンマ工法を採用した。本工法は、ウォータージェットで地盤を切削しながら油圧バイプロハンマにより鋼管を沈設するため、硬質な砂地盤における杭打設精度の向上に威力を発揮する。

図-3 に鋼管矢板基礎の施工フローを示す。鋼管矢



図-1 主橋完成予想図（紅河上流からの眺め）

キーワード 鋼管矢板基礎, ウォータージェット, 場所打ち杭, 主塔, セルフクライミング, プレファブ鉄筋
連絡先 〒104-0051 東京都中央区佃二丁目1番6号 三井住友建設株式会社 土木設計部 TEL 03-4582-3063

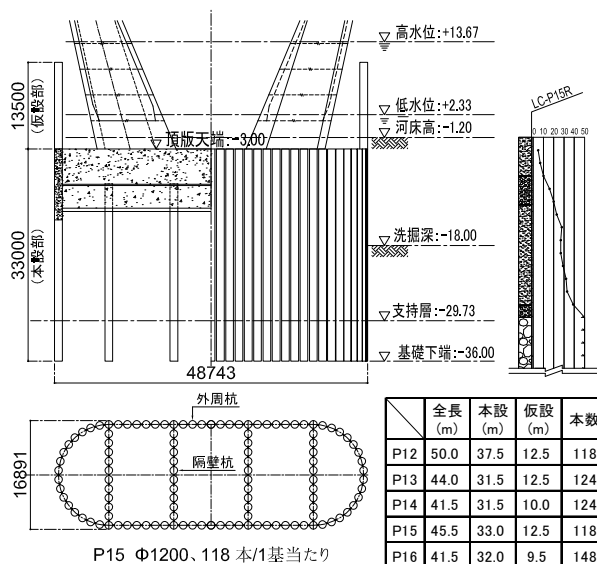


図-2 P15 鋼管矢板基礎の形状と地盤

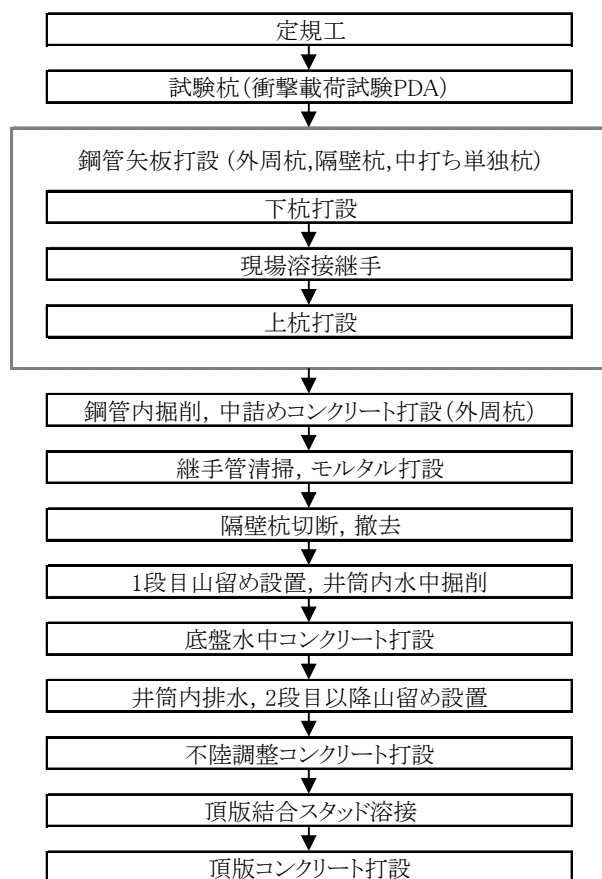


図-3 鋼管矢板基礎の施工フロー

板の打設手順としては、まず、ウォータージェットを併用しながら外周下杭を沈設し、先行閉合させた(写真-1)。次に、上杭を現場溶接接合した後、同様の手順で所定の位置まで沈設を行った。その際、ウォータージェットによる支持層の乱れを防止するために、ウォータージェットの使用範囲は基礎下端から上方 6D (D は鋼管矢板径で 6D=7.2m) までとし、残りはディ

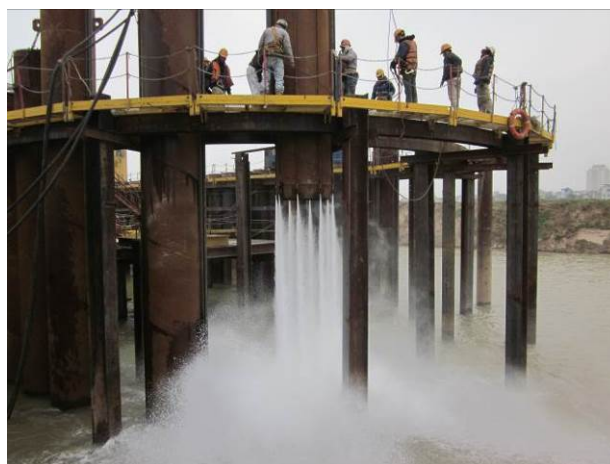


写真-1 ウォータージェットによる下杭の沈設



写真-2 ディーゼルハンマによる上杭の打設

ーゼルハンマを用いて所定の位置まで最終打撃した(写真-2)。全ての外周杭が閉合完了した後、40 本の隔壁杭も同様に打設した。

各基礎の外周杭 1 本目は、試験杭として衝撃載荷試験 (PDA) による支持力確認が行われた。PDA 試験は、杭頭部に衝撃を与えて杭体に生じる加速度とひずみを計測・解析して支持力を推定するものである。今回は、施工性・安全性の面から 23t の重錘 (P14, P15 は鋼管矢板打設用のディーゼルハンマ) を 3m 落下させることとした。試験により計測された支持力は単杭としての設計極限支持力の 70%~90%であり、基礎杭として十分な支持力を有することが確認できた。

ウォータージェットを駆使した打設方法の採用により、井筒閉合直後の出来形寸法および鉛直精度は、それぞれ±100mm, 1/500 の要求に対して満足いく数値を維持し、井筒内掘削後の鋼管矢板の変形も計算値以内となり、鋼管矢板基礎としての品質を確保することができた。

(2) 資機材の調達と組織体制

鋼管矢板と鋼管杭(中打ち単独杭)は日本調達品で、総本数 632 本、総重量約 14,200t である。これらは、日本港を船出した後ハイフォン港で通関、そこから 200km の河川を現場まで水上輸送された。

鋼管矢板基礎の施工会社と施工機械はシンガポールから調達し、組織体制は、P12・P13・P15 を担当する水上施工班と P14・P16 を担当する陸上施工班で構成された。

水上・陸上それぞれの施工機械を表-3 に示す。その他、鋼管矢板仮置きヤードには、ウォータージェット管の取り付けと場内運搬用に 2 台の 150t クローラークレーンとロングボディのトレーラを配置した。

準備工から鋼管矢板打設完了までに要した時間は、水上施工で 2 ヶ月/1 基、陸上施工で 3 ヶ月/1 基であり、施工性で劣る水上施工には、2 倍の施工機械を投入して対応した。

表-2 鋼管矢板基礎施工機械一覧表

施工場所	使用機械
水上施工 (P12,13,15)	鋼管矢板施工 ・4,000t バージ+350t クローラークレーン ・3,000t バージ+275t クローラークレーン ・1,500t バージ2隻+150t クローラークレーン2台 ・タグボート2隻 材料運搬 ・500t バージ3隻+タグボート2隻
陸上施工 (P14,16)	鋼管矢板施工 ・200t クローラークレーン ・150t クローラークレーン

(3) 鋼管内中詰めコンクリートと継手管処理

井筒内掘削に先立ち、外周杭内の中詰めコンクリート工および継手管処理を実施した。中詰めコンクリートは、鋼管内の土砂をサンドポンプにより排土した後、トレミー管により打設した。各鋼管矢板を連結する継手管処理は、継手管内をウォータージェットで清掃後、グラウトミキサーとポンプを用いてグラウト注入することとし、河床面より上の水中部(仮締切り部)はモルタルジャケットを併用した。地盤が砂とシルトであったため、管内洗浄後の土砂の戻りが早く、数回の再洗浄が必要となったものの、排水後の目立った水漏れもなく、良好な充填ができた。

(4) 井筒内掘削と底盤コンクリート

井筒内の水中掘削は、約 8,000m³/基であり、ウォータージェットで地盤を乱しながらサンドポンプで排

土する工法を採用して、工程短縮を図った。

水中掘削完了後、厚さ 3.5m の底盤コンクリートをトレミー管で水中打設した。底盤コンクリートは、外周杭と隔壁杭により 5 室に分かれるものの、最大打設量は 555m³/室となり、長時間にわたるコンクリート打設が予想された。このため、層毎の打ち重ね時間を適切に管理し、コンクリート打設時におけるコールドジョイントによる水みちの発生を防止した。

(5) 井筒内排水と土留め工

井筒内の排水と並行して設置する山留め材は、曲線部の腹起し材は現地加工品、直線部材は日本製山留め材を使用して作業の効率化を図った(写真-3)。

排水・山留め設置完了後、底盤コンクリート表面に不陸調整コンクリートを打設し、隔壁杭と中打ち単独杭の杭頭処理後、頂版工へと引き継いだ。

(6) 鉄筋スタッドと頂版工

頂版構築前に、頂版と外周杭を連結する鉄筋スタッド(D22)を多連自動溶接機により施工した(写真-4)。



写真-3 井筒内排水と山留め設置状況



写真-4 多連自動溶接機による鉄筋スタッド溶接

この溶接機は、同時に4本の鉄筋スタッドを溶接することが可能であり、1基当たり14,040本（約33t）のスタッドを2週間で施工した。施工時には、リアルタイムに溶接電圧・電流値、鉄筋の引上げ・押込み量をモニターで管理して、溶接部の欠陥が検出された場合は即時補修することで品質確保を行った。

頂版はコンクリート3,560m³、鉄筋量380tという大規模なものであり、コンクリート打設時における温度ひび割れが懸念された。このため、鉄筋は一気に組み立て、コンクリートのみ3層（高さ1.7~2.1m）に分けて打設することとし、温度応力解析結果に基づいて各層の打設間隔を2~3日と短くすることにより、打継部の外部拘束ひび割れを防止した。1層のコンクリート打設量は最大約1,400m³であり、陸上部とバージ上に設置した合計3基のコンクリートパッチングプラントから供給した。

3. アプローチ橋下部工の施工

アプローチ橋下部工の施工は、場所打ち杭、パイルキャップ、コラム、ピアヘッドの手順となる。図-4に標準断面図を示す。

場所打ち杭は、杭径が1.2mと1.5mの二種類で、杭長は28~38m、総本数737本である。海外での場所打ち杭の施工管理基準は、日本のそれより厳しいものがあり、支持力確認試験から始まり、施工中には多種の品質確認試験が要求された。全39基の橋脚は、橋脚高さが5~24.5mであり、橋脚高さに応じてピアヘッドの支保工形式を使い分けた。

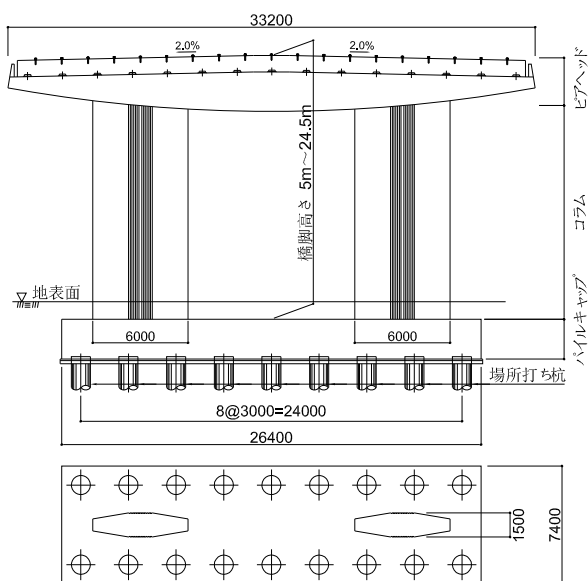


図-4 アプローチ橋下部工の標準断面図

(1) 載荷試験による場所打ち杭の支持力確認

場所打ち杭の施工では、代表する2箇所での静的載荷試験、11箇所での衝撃載荷試験（PDA）による支持力確認を行った。静的載荷試験は、ASTM基準に準拠して、設計杭反力の2倍まで載荷した。約890tのコンクリートブロックを積み上げ、油圧ジャッキを用いて二段階で載荷・除荷を繰り返した（写真-5）。

静的載荷試験の結果、試験荷重まで載荷した状態で支持地盤の降伏は見られず、残留沈下量も0.41mmと非常に小さいことが確認された（図-5）。また、衝撃載荷試験では、設計極限支持力13,480kNを上回る支持力15,590kNを確認することができた。



写真-5 静的載荷試験の状況

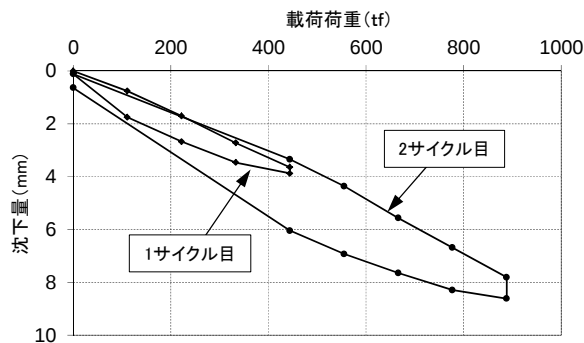


図-5 静的載荷試験結果（荷重～沈下曲線）

(2) 場所打ち杭のコンクリート打設と品質管理

施工時における品質管理として、杭体の健全性を確認する超音波探傷試験、杭先端のコンクリート充填状況を確認する杭先端コア抜き試験を実施した。超音波探査試験は、杭体コンクリートが硬化した後、鉄筋かごに取り付けられた4本の鋼管内に発信子、受信子を挿入して超音波により杭体コンクリートの充填不足やスライム混入の有無を調査するものであり、全本数の杭で実施した（図-6）。

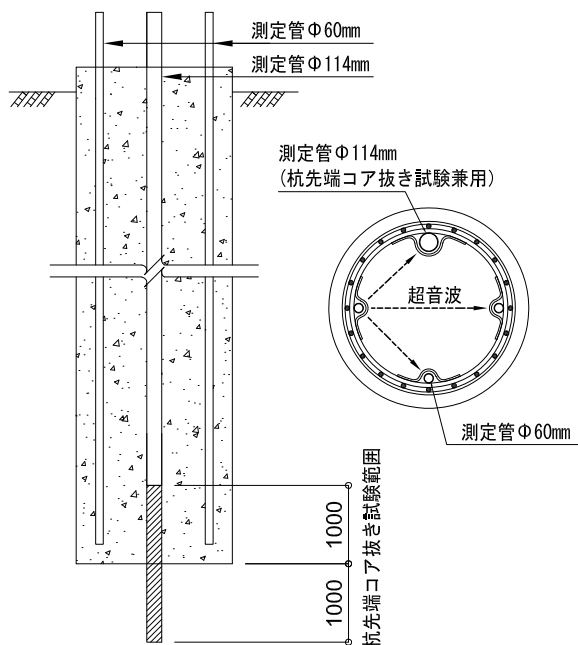


図-6 超音波探傷試験と杭先端コア抜き試験

杭先端コア抜き試験は、杭先端から上・下部 1m の範囲をサンプリングして、杭体と地盤の境界にスライムがないことを確認するという、日本では見慣れない試験であった（図-6）。試行錯誤の末、コンクリート打設開始時に底部に沈殿するスライムを確実に上方へと押し上げる方法として、容量 2m³ の大型ホッパーにコンクリートを溜め置き、それを一気に流し込む方法を採用した。この工夫が功を奏し、その後は全くスライムがない健全な杭の施工が可能となった。

(3) 二つの支保工形式によるピアヘッドの構築

ピアヘッドの構築には、サポートシステム（NK サポート）に加えて、セルフクライミング仕様の梁形式支保工の導入を試みた（写真-6、写真-7）。

セルフクライミング梁形式支保工は、大梁（I 形鋼）・底版型枠・作業床を地組で一体化した後、コラムに取り付けられたレールを掴みながら油圧ジャッキで自動上昇する。上昇後、PC 鋼棒によって堅固にコラムに定着されるため、支持地盤の状態にかかわらず、支保工の安定性が保たれる特徴を持つ。今回は、事前にピアヘッドの実荷重相当のコンクリートブロックを用いて事前載荷試験を行い、大梁のたわみや PC 定着部の安全性を確認した。

橋脚高さに応じてサポートシステムと使い分けることにより、工程短縮、コスト低減、安全性の向上に大きな成果をあげた。



写真-6 軽量サポートシステム（NK サポート）



写真-7 セルフクライミング梁形式支保工

4. 主塔の構造と技術的課題

高さ約 111m、A 型構造の主塔は、鉛直に対して下部主塔で 22 度、上部主塔で 14 度傾斜している（図-7）。下部・上部主塔の基部およびクロスビームとの接合部は充実断面、その他は壁厚 750mm の中空断面であり、断面形状は基部から頂部に向かって常に変化している（図-8）。鋼製アンカーボックス部は、ボックス表面に設置されたスタッドジベルにより、アンカーボックスとコンクリートが一体化されている。AASHTO 基準で設計された配筋は、主鉄筋が D51、帯鉄筋と中間帯鉄筋が D22～D28 であり、中空断面部で最大 550kg/m³ と非常に過密な配筋となっている。このように、構造的に難易度の高い構造物を施工するに当たり、安全性・品質を確保しつつ、工程を遵守しながら施工するためには、入念な施工計画と様々な工夫が必要となった²⁾。

5. 主塔の施工

(1) セルフクライミング作業床の採用

急な傾斜と複雑な断面変化への対応、高所作業における安全性の確保を目的として、主塔工事の足場には

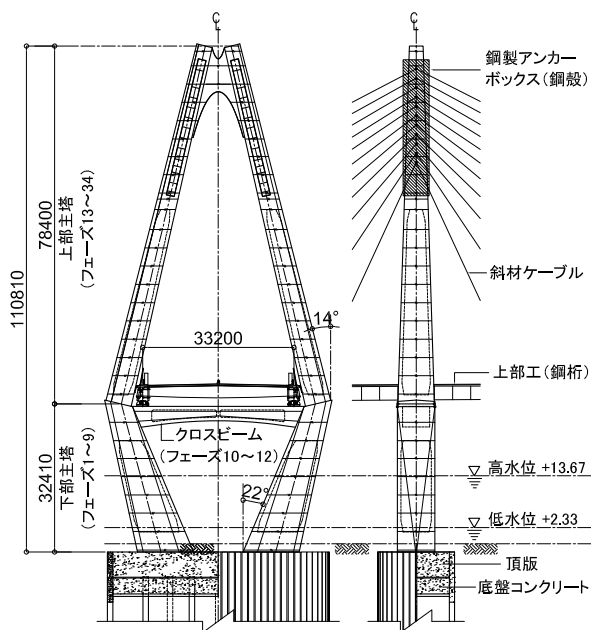


図-7 主塔構造図 (P15)

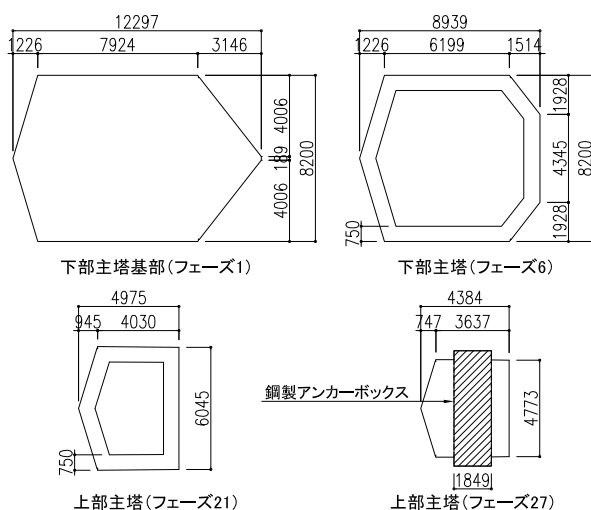


図-8 主塔の断面形状

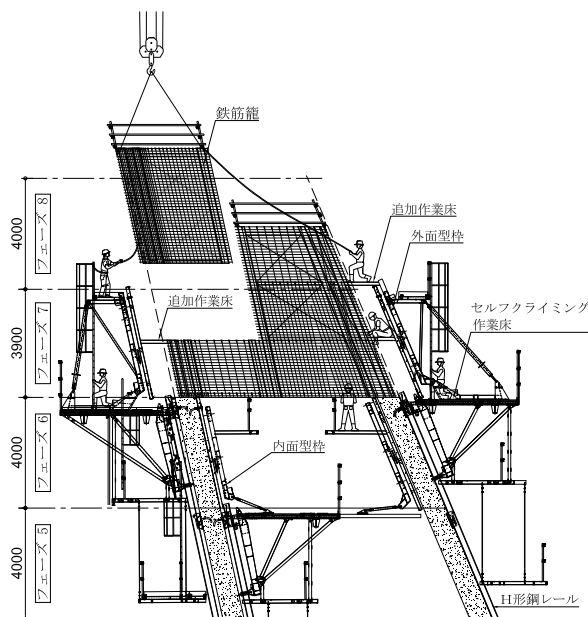


図-9 セルフクライミング作業床による施工

セルフクライミング作業床を採用した。セルフクライミング作業床は、躯体に取り付けられた H 形鋼製のレールを掴みながら油圧ジャッキで自動上昇する。このため、躯体の傾斜が急な場合には、クレーンで吊り上げるジャンピング形式の作業床よりも施工性に優れる特徴を持つ (図-9)。型枠は作業床に支持される鋼製システム型枠であり、型枠の水平移動は自動油圧ジャッキ、建ちの調整はサポートジャッキで行われる。

(2) 主塔鉄筋のプレファブ化

過密な配筋への対応と工程短縮を目的として、鉄筋のプレファブ化 (鉄筋かご) を行った。合計 6 基の鉄筋プレファブヤードで地組みされた鉄筋かごは、200t クローラークレーンでバージに荷詰みされて施工箇所まで運搬される。そこから 550t・m タワークレーンもしくはバージに搭載された 200t クローラークレーンで所定の位置に架設される。この際、タワークレーンの能力により鉄筋かごの重量は 26 t 程度に制限する必要があったため、鉄筋かごは 2 分割で架設した (写真-8)。



写真-8 2 分割で地組されたプレファブ鉄筋

(3) 下部主塔とクロスビーム

施工サイクルは、前フェーズの養生・出来形検査の後、型枠脱型と仕上げ、内外作業床の上昇、プレファブ鉄筋の架設と鉄筋継手・位置調整、内外型枠の組立て、コンクリートの打設である。特記仕様書で規定された「コンクリートの打設時温度 32℃以下」を遵守すべく、冬期を除くコンクリートの打設は夜間に限定した。下部主塔の平均的な断面であるフェーズ 6 のサイクルタイムは 15 日間を要した (表-3)。

クロスビームは中空ボックス断面の PC 構造であり、

19S15.2mm×30 本、鋼線長 48.5m、定着具は VSL 方式で、1 主塔当たり約 30t の PC 鋼材が配置されている。支保工の構造は、中央部が日本製の強力サポート（3S-DOBOKU）、端部は下部主塔に PC 鋼棒で固定したブラケット構造とした（写真-9）。

工程短縮のため、クロスビームと上部主塔は並行施工で進め、約 40 日間を要した。

表-3 下部主塔のサイクルタイム

工種	日数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
フェーズ5 コンクリート打設		●																
養生・出来形検査			●															
型枠脱型・仕上げ				●														
作業床上昇(内側)					●													
作業床上昇(外側)						●												
鉄筋籠架設 +鉄筋組立							●											
型枠組立(外周)								●										
型枠組立(内周)									●									
フェーズ6 コンクリート打設																	●	

フェーズ6
1サイクル = 15日
打設数量 = 86m³
鉄筋重量 = 45ton



写真-9 クロスビームの施工状況

(4) 上部主塔と仮設ストラット

上部主塔の施工では、クロスビームの緊張と躯体の構築による主塔の内側への倒れ(変位)が懸念された。このため、解析結果に基づいて倒れ越しを実施するとともに、仮設ストラットを2箇所設置して主塔の位置管理を行った(図-10)。仮設ストラットは鋼製のトラス構造で、下段が約 67t、上段が約 45t であり、下段はフェーズ 19 構築後、上段はフェーズ 23 構築後に設置した。上段ストラット設置時には、約 120t の水平加力を実施して、アンカーボックス基部(フェーズ 24)での主塔の平面位置を設計位置に調整した。

上部主塔の断面は中空 5 角形であり、下部主塔と比べて断面が小さく、型枠・鉄筋の数量が少ないため、上部主塔のサイクルタイムは 10 日間であった。プレファブ鉄筋の架設、コンクリートの打設、資機材の揚

重作業は全てタワークレーンで行う必要があったため、タワークレーンの稼動効率を考慮して左右の脚の施工ギャップは 5 日とした。

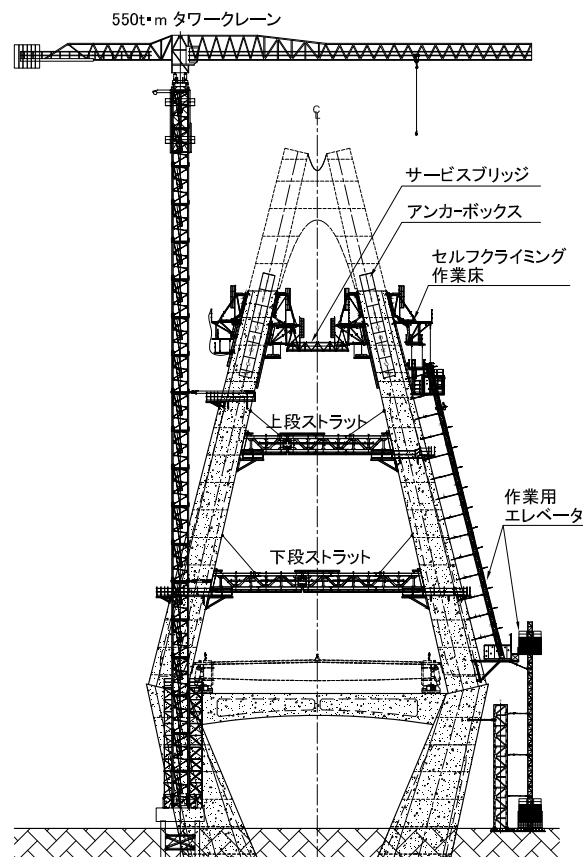


図-10 上部主塔の施工状況

(5) アンカーボックスとトップストラット

アンカーボックス部は、スタッドジベルを介してアンカーボックスとコンクリートが一体化した構造であり、コンクリートの温度応力や斜材ケーブルの緊張力に起因するひび割れの発生が懸念された。事前に FEM 解析による検討を行い、ひび割れ幅を部材表面側(外側)で 0.2mm、アンカーボックスとの界面側(内側)で 0.5mm 以下に制御するために、解析結果に基づいて帯鉄筋を D22@300mm から D25@150mm にランクアップした(図-11)。

アンカーボックスの形状は、幅 1.8m、長さ 5.7m、標準高さ 2.25m で、板厚は 40mm と 34mm である。1 ボックスの最大重量は約 16t であり、全 14 ボックスが据付け・溶接接合される。溶接方法は炭酸ガスアーク溶接(CO2 溶接)であり、日本からの自動溶接機と溶接工の導入、超音波探傷試験の全箇所実施を行い、工程遵守と品質確保に万全を期した(写真-10)。

最下段のアンカーボックスは、直径 110mm、長さ

3.2m, 本数 18 本のアンカーボルトで主塔コンクリートに定着される。また、左右両側のアンカーボックスは、頂部でトップストラットと呼ばれる鋼製部材によってボルト接合されるため、この閉合が当初からの重要課題であった（写真-11）。最下段ボックスの位置決めから始まり、高精度な据付け・溶接接合、途中段階での位置調整が必要となった。

施工手順としては、最下段の No.14（フェーズ 25）から No.7（フェーズ 28）までは、セルフクライミング作業床を足場として 2 段のアンカーボックスを据付け・溶接接合した後、両外側のコンクリートを打設した。フェーズ 29 以降の施工では、これまでの手順とは異なり、コンクリート打設に先行して残りのアンカーボックスを全て据付けてトップストラットの閉合を行った。トップストラット閉合後、アンカーボックスの溶接接合、位置調整用ストラットを撤去して、残りの主塔コンクリートを打設した。

6. おわりに

2009 年 10 月の着工以来、約 3 年半の歳月を要して全てのアプローチ橋下部工と主塔工事が完了した。現在は、上部工グループによる鋼桁架設作業も完了し、2014 年 10 月に予定される開通式に向けて橋面工が進められている（写真-12）。

本工事は厳しい工程、膨大な物量に対応するため、作業の殆どは 24 時間体制で進められた。過酷で緊張感の続く毎日であったが、ここまで来られたのも施主・エンジニアと JV リーダーのご指導の下、我々職員と協力業者の全員が一丸となって取り組んだ成果だと確信する。

日本人技術者として、ハノイのランドマークとなるニャッタン橋の建設工事に携われたことを誇りに思うとともに、本工事の成果がベトナム人若手技術者の成長に貢献できれば幸いである。

参考文献

- 1) 山地斉，青木孝典：ハノイ日越友好橋の鋼管矢板基礎，基礎工 Vol.38 No12，2010.12
- 2) 山地斉，澤田修，柳瀬進，北山民彦，長谷川隆志，三村光太郎：ハノイ紅河に架けるニャッタン橋 主橋下部工の施工，橋梁と基礎 Vol.47，2013.5

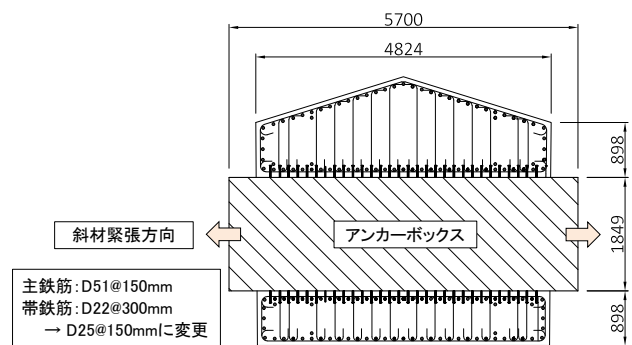


図-11 アンカーボックス部の構造



写真-10 アンカーボックスの溶接状況

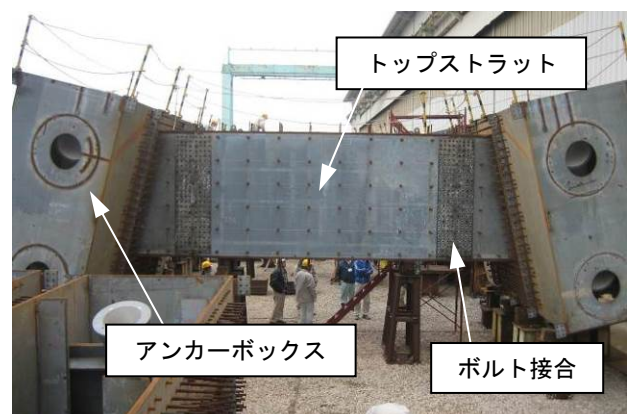


写真-11 トップストラットの仮組検査



写真-12 完成した主塔と上部工