

ストーンカッターズ斜張橋

— PC 側径間の大規模支保工の開発と施工 —

山本 茂治 *1・山根 薫 *2・川井 晴至 *3・松本 拓也 *4

1. はじめに

中国本土からの流入による人口増が続く香港では、1997年の中国返還後においても社会資本整備は順調に進められている。

そのなかで、世界第2位となる中央径間をもつ斜張橋、ストーンカッターズ橋は香港国際空港アクセスの改善のため、2004年から建設が進められている。図-1に完成予想図を示す。中央径間は鋼桁、側径間はプレストレストコンクリート桁、主塔はRCコンクリート構造である。ここでは主に側径間の施工およびその検討について報告する。



図-1 完成予想図

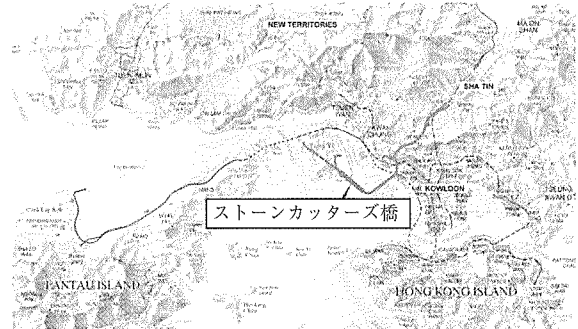


図-2 位置図

もつ箱桁で、片側3車線を有す。側径間桁の一部および中央径間は鋼製桁で、残りの側径間は橋軸方向および橋軸直角方向に緊張されたプレストレストコンクリート構造である。高さ298mの主塔はRC構造で、小判型断面から円形断面に変化する中空断面である。

本橋の概要を次に示す。

工事名：STONECUTTERS BRIDGE

橋梁形式：鋼コンクリート複合斜張橋

発注者：香港特別行政区 路政署

設計・監理者：Ove Arup & Partners Hong Kong Ltd

請負者：前田建設・日立造船・横河ブリッジ・新昌營造 共同企業体

橋全長：1596m

中央径間：1018m

側径間：289m + 289m

幅員：全幅51.0m (コンクリート桁), 53.3m (鋼桁)

主塔：298m高, 2基

基礎：岩着場所打ち杭

コンクリート：場所打ち杭 約32000m³ (45MPa)

フーチング 約32000m³ (45MPa)

側径間 約45000m³ (60MPa)

主塔 約33000m³ (60MPa)

普通鋼材：34400t

ステンレス鋼材：1840t

斜材：7000t PWS型

橋梁一般図を図-3に示す。

2. 橋梁概要

このストーンカッターズ橋は、世界有数のコンテナターミナルの入口にあたるランブラー海峡を跨ぐ車両専用橋である。橋の建設位置は香港中心部から眺望できる位置にあるため、橋そのものに香港のランドマーク的な意味合いが込められている。橋はシャティン地区とチンイ地区とを結ぶ香港特別行政区のルート8プロジェクトの一部をなす。図-2に位置図を示す。橋の下をコンテナ船が通るため、橋桁は海面より80mの位置にある。

中央径間は1018mで、世界最大支間長の斜張橋となる中国の蘇通長江公路大橋の1088mに次ぐ長大斜張橋になる。斜材ケーブルは高さ298mの主塔上部からファン型に張られ、片面28本、合計224本のPWS型式のケーブルである。主桁断面はコンクリート桁部で片側18.4mの桁幅を

*1 Shigeji YAMAMOTO：前田建設工業 香港支店 ストーンカッターズ橋作業所 所長

*2 Kaoru YAMANE：前田建設工業 香港支店 ストーンカッターズ橋作業所 工事課長

*3 Seiji KAWAI：前田建設工業 香港支店 ストーンカッターズ橋作業所 工事係

*4 Takuya MATSUMOTO：前田建設工業 国際支店 土木部 課長

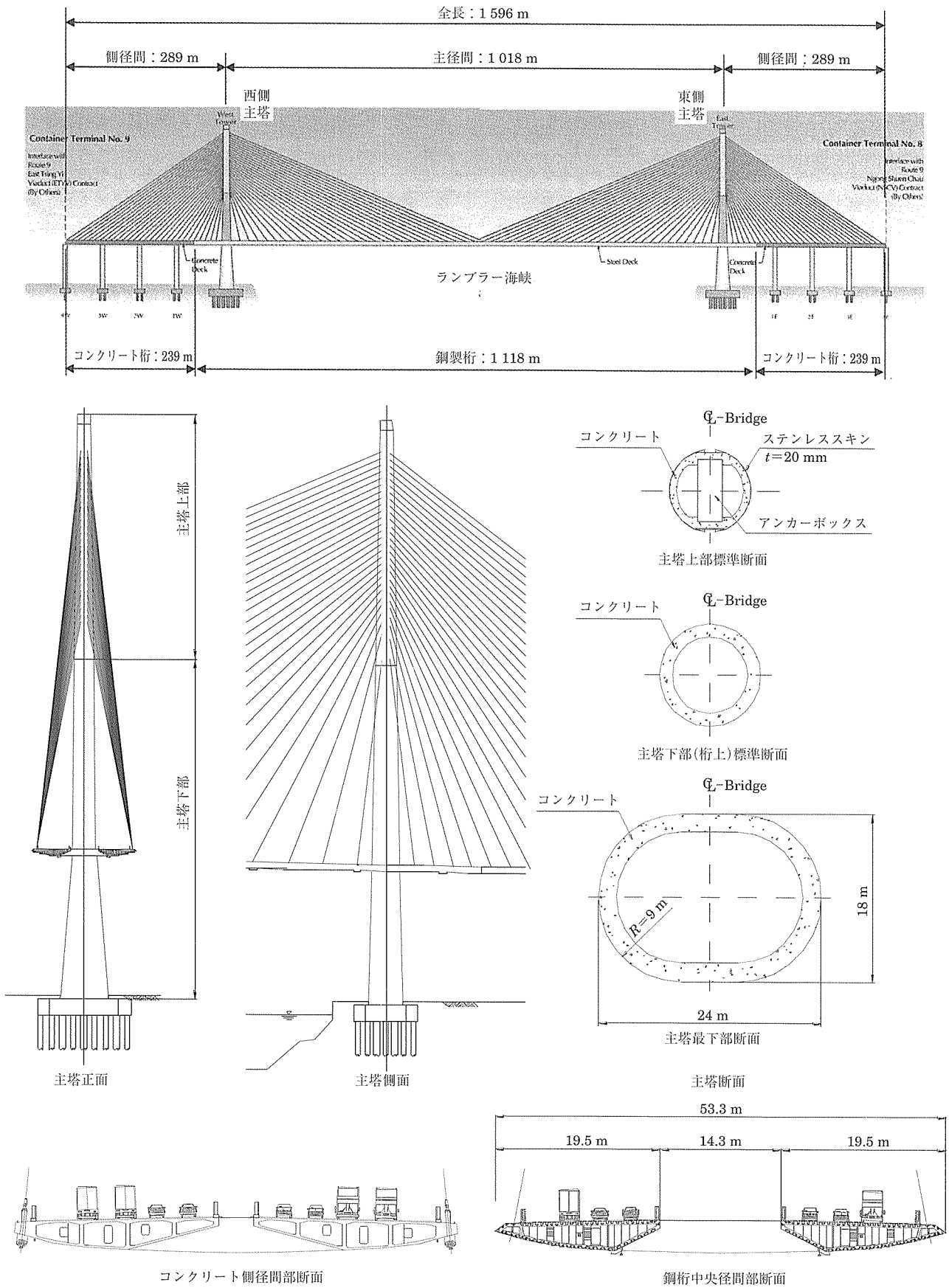


図 - 3 橋梁一般図

3. コンクリート側径間の構造

コンクリート側径間の概要図を図 - 4 に示す。コンクリート側径間は、全長 239 m、全幅 51.0 m、上下線おのおの幅 18.4 m、桁高 3.6 m のプレストレストコンクリート桁で、4 本のコンクリート橋脚と剛結合されている。側径間長は、主径間長 1 018 m に比べ相対的に短く、鋼製で軽い主径間の桁と重量バランスをとるためにコンクリート桁とされている。主塔側 3 本の橋脚 (P 1 ~ P 3) は一本柱で、柱頭部は拡幅され桁の上下車線と一体化される。最遠端の橋脚 P 4 は、本橋につながる高架橋の支承を据え付けるため、2 本柱の門形橋脚となっている。側径間の基礎は、直径は 2.0 m または 2.5 m の岩着の場所打ち杭で岩着部では拡底されている。

主塔から伸びる斜材は 10 m ごとに橋桁の両端に取り付く。PWS と呼ばれる工場製作の 1 本ものの斜材で、端部のアンカーまで工場で製作し現場に搬入される。コンクリート桁の斜材取り付け部には、アンカーチューブと呼ばれるステンレス鋼材と普通鋼材が組み合わされた定着用の鋼材が埋め込まれる。

橋脚間は標準で約 70 m であり、おのおの 3 本のプレストレストコンクリート横梁が配置されている。この横梁は上部工の断面の一部を成し、長さ 51 m、幅 4 m、高さ 3.9 m、壁厚 500 mm の箱形断面であるが、横梁の両端は斜材のアンカー部となるため、中実コンクリート構造となっている。横梁に入るプレストレスは、斜材で両端を吊ったときに桁自重および活荷重と釣り合う設計となっている。

橋軸方向には外ケーブルおよび内ケーブルのプレストレスが配置されている。もっとも長い橋軸方向のケーブルは約 200 m である。

このようにコンクリート側径間の桁には、橋軸方向・橋軸直角方向にプレストレスが導入されるが、そのプレストレスだけでは各径間のコンクリート桁自重を保持できない構造である。

また、コンクリート側径間は、プレストレス導入前の段階、導入後の段階、斜材施工後の段階、そして支保工撤去の段階を経ることにより段階的に形状が変化する。施工中の桁および横梁の形状管理の面で複雑な構造といえる。

4. 側径間の施工手順および下部工施工

本章では、コンクリート側径間の施工手順および下部工施工について述べる。

4.1 側径間の施工手順

コンクリート側径間の施工は、設計者の設計コンセプトに基づき図 - 5 の手順で行うこととした。また、コンクリート側径間の施工概要図を図 - 6 に示す。

この順番で施工すると、支保工上で横梁および上部工構築を行い、その後斜材が取り付けくまで約 2 年間、支保工で上部工を支持する必要がある。支保工高さは約 60 m であり、体積にして約 150 万空立方メートルとなるコンクリート上部工を支える適当なリース材の支保工は見つからなかった。既存の市販支保工システムを新規に発注して作ることも検討したが、買い取りに近い金額になるため市販システムの適用は断念した。

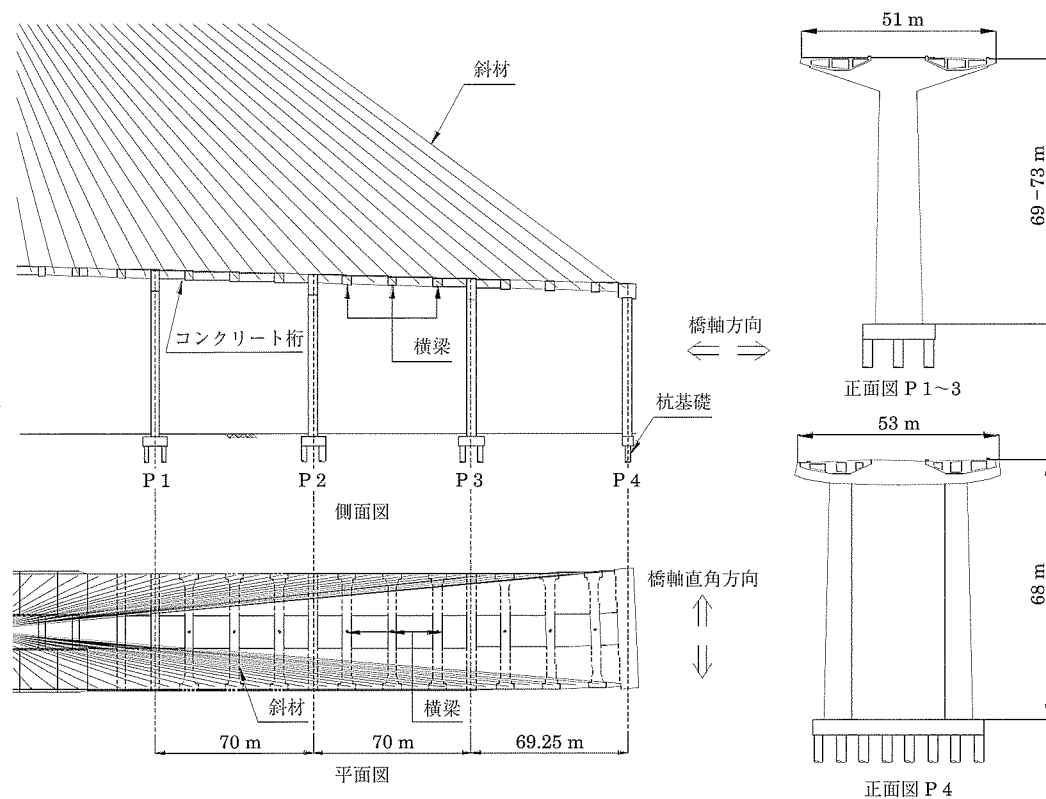


図 - 4 コンクリート側径間概要図

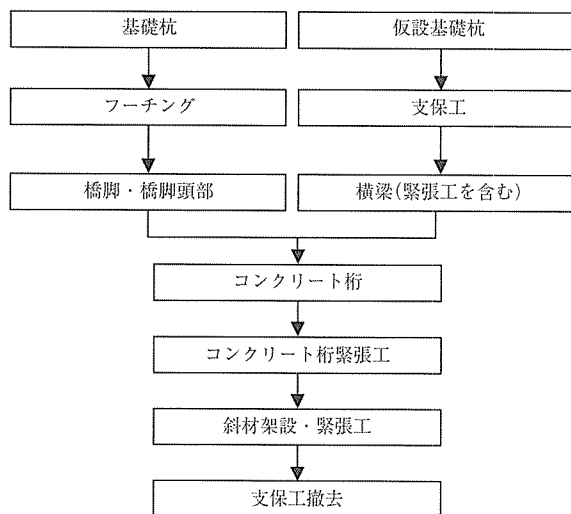


図-5 側径間施工手順フロー図

そのため今回、このコンクリート側径間構築のための支保工を新たに開発・製作することとなった。側径間支保工および上部工施工については次章以降に述べる。

当現場は、東工区と西工区の海を挟んで2箇所に分かれている。西工区は、他業者による埋立て完了を待たため、東工区より半年間ほど当JVへの引渡し時期にずれが生じた。このことは先行する東工区での施工工法の習熟や東工区から西工区への仮設材料の転用という点で大きな利点となった。実際に、側径間上部工コンクリート工においては西工区では東工区より約20%の工期短縮を図ることができた。

4.2 下部工施工

(1) 基礎杭の施工

オールケーシング工法で施工を行い、岩盤部分はRCD

で掘底杭を形造った。杭長は岩盤ラインの位置により、長いものは80mに達した。

(2) フーチングの施工

杭頭をつなぐフーチングは1箇所約840m³のコンクリート量で、1回打設で施工を行った。打設後は上面を湛水養生し、側面は合板型枠および発泡スチロール板で養生を行った。

(3) 橋脚の施工

橋脚は1リフト4mのジャンプアップ型枠工法で施工した。標準1週間サイクルで上昇し、橋脚下部はポンプ打設、上部はバケット打設を用いた。

(4) 柱頭部の施工

柱頭部は、T型と門形の2タイプに分けられる。T型の柱頭部は、橋脚最上部に左右に張出し設置したトラス支保工上で構築した。多室構造のため、コンクリートは8回に分けて打設した。門形の柱頭部は、橋脚最上部間に渡したトラス支保工および外側の張出しトラス上で構築し、コンクリートは15回に分けて打設した。

5. 支保工開発および支保工・上部工の施工

5.1 支保工開発

開発コンセプトとして、①現場での施工が簡易でなおかつ撤去も簡易、②現場での溶接作業およびボルト接ぎ作業を必要としない構造③横梁を支持する支保工は2年程度残置し、型枠支保工部分は転用する、とした。①は大規模な支保工のため、架設工および撤去工が工事全体の工程に与える影響をなるべく小さくする。②は現場での接合作業は、現場での作業を煩雑にし、また材料の品質の面で好ましくないと考えた。③は製作する仮設備材数を最小限にするためである。

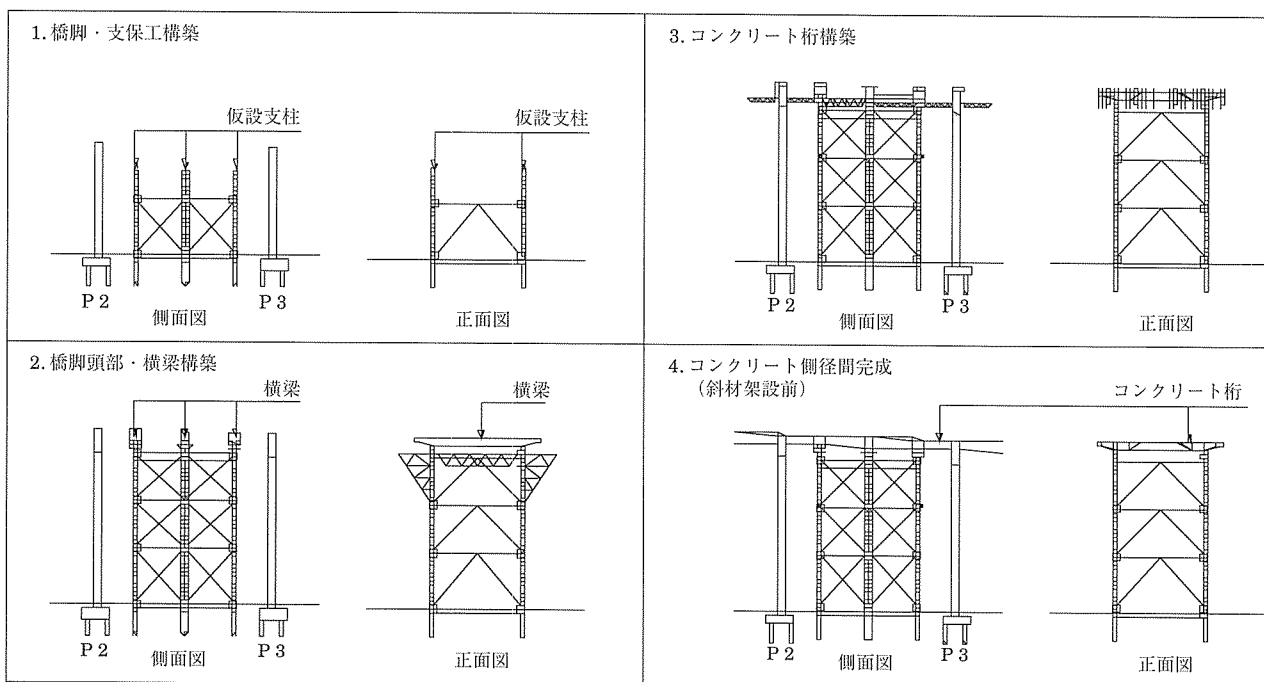


図-6 コンクリート側径間の施工概要図

まず、横梁の構造検討から行った。躯体の構造、施工順番の制限、形状管理などを検討の結果、横梁の外側から2番目の堅壁の下を支保すると、梁軸方向のプレストレス導入後は、単純梁として横梁は自重を支えることができることが判明した。この結果より、横梁の外側から2番目の堅壁の下の位置に、仮設支柱を配置することを決めた(図-7)。仮設支柱2本×11列×2(東西工区) = 44本の配置が決まった。

仮設支柱の必要軸耐力は約2000tで、高さは60mである。クレーン能力や施工性を考慮し、標準部は1個10トン程度の中空断面プレキャストコンクリートセグメントとした。標準寸法は2m×2m×2mの立方体で壁厚300mmである(写真-1)。撤去の容易さを考慮してプレキャストセグメント間の継目はエポキシ系接着剤を使わないドライジョイントを採用し、マッチキャスト工法でセグメントを製作した。コンクリートは55MPaを設計基準強度とした。鉛直方向には直径32mmのPC鋼棒を12本配置し、プレストレスを仮設支柱基礎部から仮設支柱頂部の間に導入した。プレストレスを上載荷重前に導入することにより、それを載荷試験として捉えることができ、その弾性変形をあらかじめ確認することもできるメリットもあった。

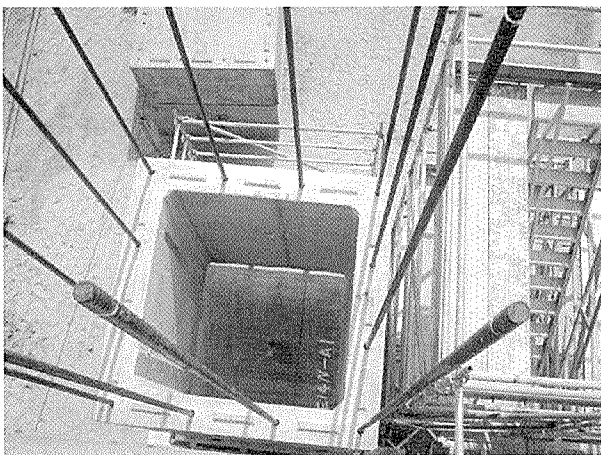


写真-1 仮設支柱

この仮設支柱を支える基礎として、岩着の場所打ち杭を各支柱に1本配置した。段階的に増える施工荷重および躯体荷重に対し鉛直方向力に対する信頼性を確保できる基礎としては、この基礎形式が最善であると考えた。直径1.8mのRC杭で、岩に2mから3m根入れする杭とした。

水平方向の安定をとるためのブレース材も鋼材で新規に設計・製作した。香港の風荷重を考慮して、秒速80mの風速を設計荷重とした。アンガル材を主に用い、桁高800mmから1200mmのトラス構造とした。ブレース材は場所により、X型、K型、直線型を使い分けた。

横梁構築後に行う横梁へのプレストレス導入による梁の弾性短縮、クリープによる変形、橋軸方向のプレストレス工の影響および斜材の軸力導入による桁の変位などを吸収させるために仮設支柱と横梁の間には積層ゴム支承を設置した(写真-2)。この積層ゴム支承は一般に橋梁支持部に

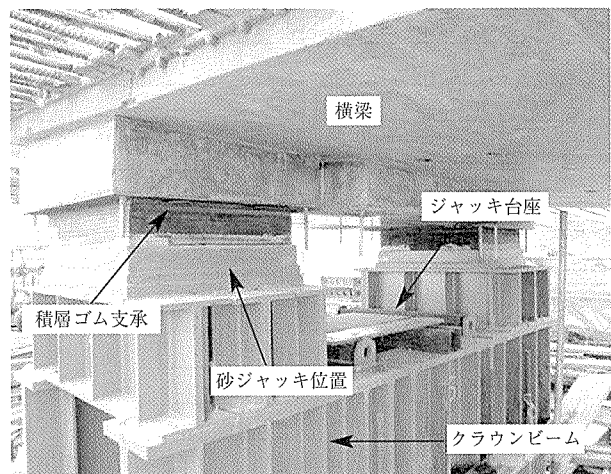


写真-2 支保工ゴム支承

用られる支承と同様の鋼板とゴムの積層タイプである。また、橋完成後に行う支保工の解体を容易にするため、仮設支柱と積層ゴム支承の間に、砂ジャッキを導入した。砂ジャッキは、鋼板の上に鋼材で四方を囲い、その中に粒度を調整した砂を入れよく締め付けたものである。コンクリート桁施工中に桁自重および仮設材の自重で仮設支柱が弾性収縮するため、撤去時には横梁と支保工の間の縁をきることが困難である。そのため、その予測収縮量の2倍の厚さの砂ジャッキを設置し、解体時には砂の除去を行い、仮設支柱と躯体との縁を切る役目を果たす。

また、横梁施工後および横梁間コンクリート桁構築完了後に、躯体の鉛直方向の高さ調整を行うことができるように、クラウンビームと名づけた仮設支柱頂部の上部工支持部上に油圧ジャッキを据える台座を設けた。上部工底面にはジャッキ反力を受けるためのコンクリート製のスラブをあらかじめ施工し、その上に横梁コンクリートを打設して一体化した。

横梁コンクリート施工のためには、仮設支柱間に大型トラスを渡し、コンクリート型枠を受ける構造とした(写真-3)。大型トラスは桁高5.5mのものを4枚配置した。仮設支柱外側にも横梁の中実コンクリート部を受ける支保工が

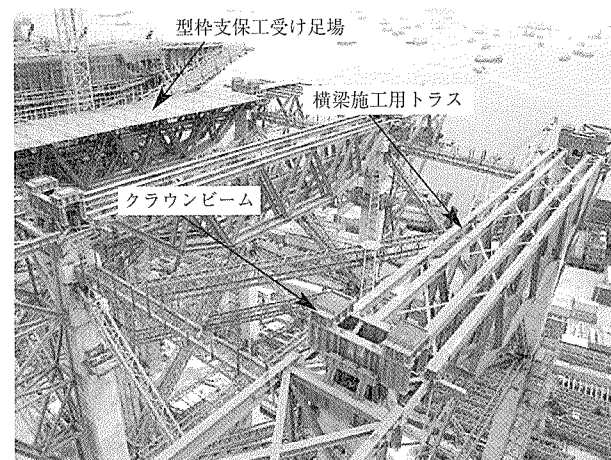


写真-3 横梁施工用トラス

必要であったため、高さ 20 m の三角形の張出しトラスを配置した。

横梁構築後、横梁間をつなぐ桁施工を行う。型枠支保工を受ける支保として横梁間にトラス材を渡し、平場を設けることとした(写真-4)。このトラスは横梁の上下に配置されたハンガービームと呼ばれる型钢から PC 鋼棒で吊られる構造である。トラスは桁高 1.6 m で長さは 9 m から 17 m、標準で 2 m 間隔で配置した。この吊支保工からの荷重に対し、横梁の断面では支持できないことが解析により判明したため、横梁の仮設支柱点付近の上スラブ部分に仮設のプレストレスを配置した。



写真-4 コンクリート桁構築用トラス

5.2 支保工および上部工の施工

(1) プレキャストセグメント製作

プレキャストコンクリートセグメントは、プレキャスト部材専門工場で製作した。仮設支柱高さ以上の全長 80 m の製作ラインを 2 列設け、マッチキャスト方式で端から製作した(写真-5)。鋼製システム型枠を合計 12 組製作し、1 列に 6 組の型枠を据え、1 日最大 12 個のセグメントを製作した。合計 1 636 個のプレキャストコンクリートセグメントを製作し、トレーラーで現場に搬入した。仮設支柱の継手にドライジョイントを用いたため、セグメント製作に

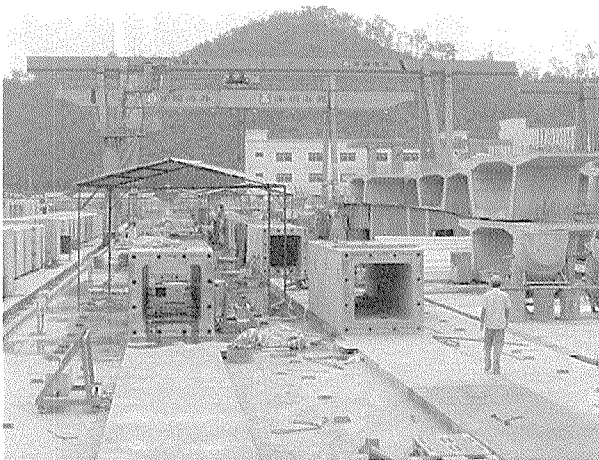


写真-5 コンクリートセグメント製作状況

においては、ジョイント接合面の仕上がりおよび有効接触面積に非常に厳しい要求が設計・架設面から課せられたため、それらの確認を重点的に行った。

(2) プレキャストセグメント架設

プレキャストコンクリートセグメントの架設はまず、クローラクレーンで第 3 段まで積み、鉛直性の確認後、第 1 段目のセグメントとフーチングの間にグラウトを施工した。グラウト養生後、3 段目のセグメントの上で手締めによる PC 鋼棒への緊張力を導入し、全体の安定を図った。4 段目から最初のブレース材が取り付く高さまでセグメントを積み、そこで最初のジャッキによるプレストレス導入を行った。100 t 電動油圧ジャッキを用いて、PC 鋼棒全 12 本におのおの 700 kN のプレストレスを導入した。プレストレス導入では、緊張力および伸び量で施工管理を行った。仮設支柱の鉛直性の要求施工精度は高さ 60 m の柱に対し水平に 25 mm と非常に厳しいものであったため、施工時の接合面の念入りな異物の除去・確認作業、3 段ごとの測量による確認などを念入りに行った。

(3) ブレース材・頭部の施工

水平および斜めのブレース材をクレーンで順次架設した。ブレース材の固定も同じ 32 ミリ径の PC 鋼棒で行い、おのおの緊張工を行った(写真-6)。微調整はブレース材端と仮設支柱間に設けたグラウト代で行った。

仮設支柱およびブレース材の施工が終わると、支柱頭部にクラウンビームを設置した。このクラウンビームは、初期には横梁構築のためのトラス受けの機能を持ち、横梁完成後には横梁を単純梁として受ける支持点の機能をもつ。

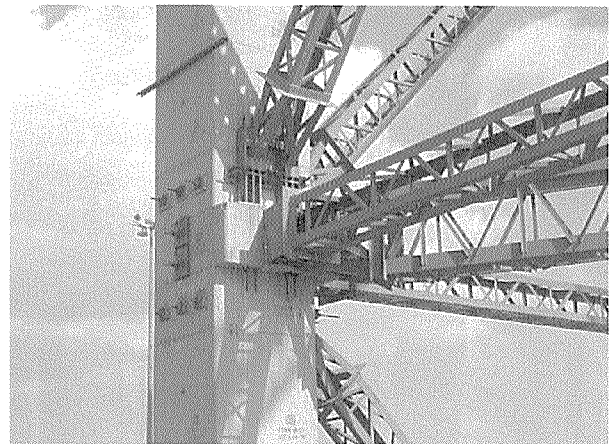


写真-6 支保工ブレース材端部

(4) 横梁の施工

横梁構築のためのトラスを架設後、その上に型枠支保工受け足場板を固定し型枠支保工を構築した。仮設支柱間のトラスおよび仮設支柱外側の三角形トラスも地面で一体に組みクレーンで架設した。これらのトラス上に、足場および型枠支保工受けとなる型枠支保工受け足場板を敷き並べ、下スラブ、堅壁、上スラブの順番で構築した。

スラブには緊張用の本設および仮設用シースをアンカーとともに埋め込んだ。アンカーシステムは、VSL 工法を採

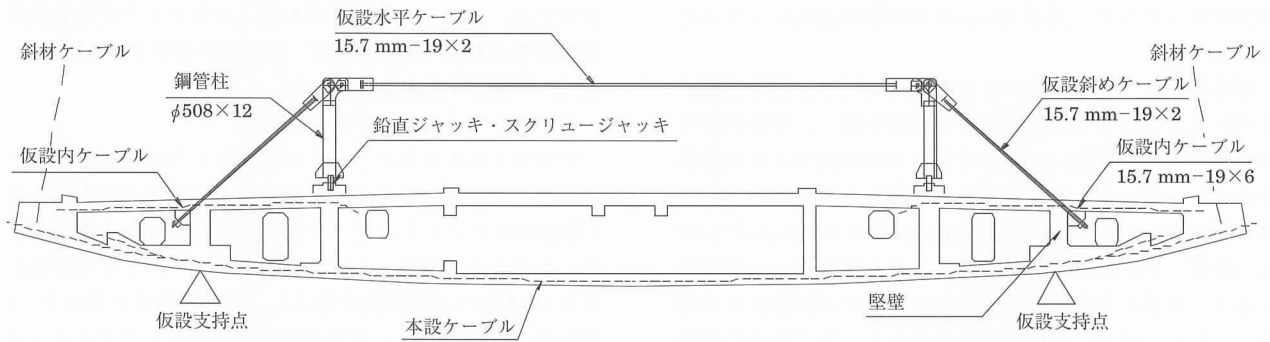


図 - 7 横梁のプレストレスおよび仮設支持位置

用し、緊張には1000tジャッキを使用した。上スラブの施工後、横梁のプレストレスを一部導入した。また、完成時に橋の設計者の考えた応力状態になるよう、横梁のプレストレスと逆向きの仮設プレストレスを外ケーブルにて導入した。

各横梁に約5000kNから6000kNのプレストレスを外ケーブルに導入し、正曲げモーメントを作用させた。この仮設プレストレスは次の手順で施工した。①鋼管柱を設置し、チェーンブロックで仮固定する。②中央部の水平ケーブルを支柱に取り付ける。③外側の斜めケーブルを支柱に取り

付ける。④斜めケーブル下端でジャッキを用いて50%の導入力で緊張する。⑤支柱下部の鉛直油圧ジャッキで100%の導入力を入れ、スクリーージャッキに受け変えて油圧ジャッキを撤去する。この工法は、ケーブルへの導入力を最後に容易に確認しながら施工できる利点がある。

スクリーージャッキはあらかじめ伸張させておき、撤去時には鉛直油圧ジャッキのみを用いて仮設プレストレスを解除ができるようになっている。横梁施工時を写真-7に示す。

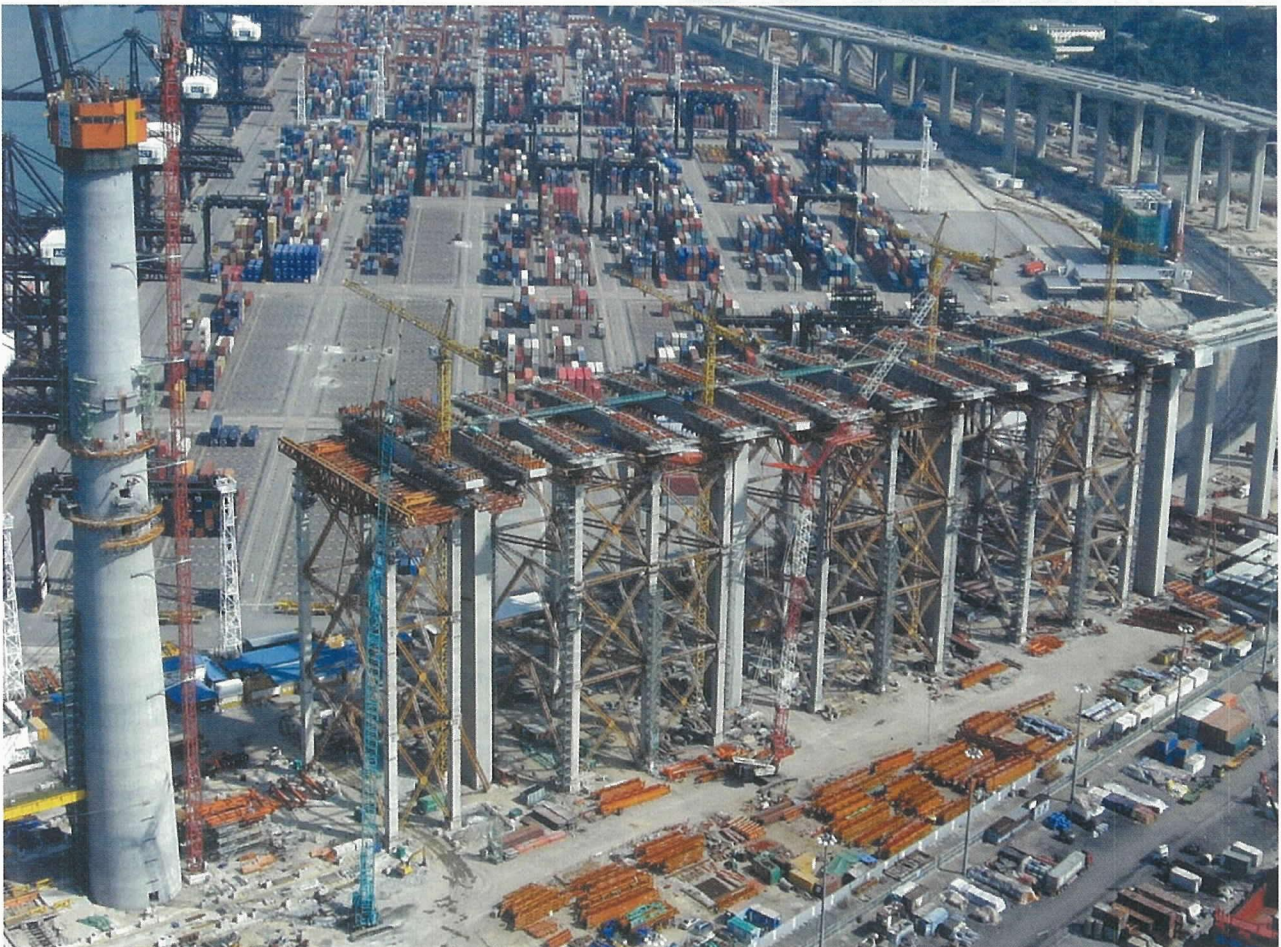


写真 - 7 側径間支保工全景

(5) コンクリート桁の施工

上部工は、柱頭部および横梁の構築後その間を埋めていくかたちで施工した。

横梁コンクリート養生後、桁コンクリート構築のための橋軸方向トラスを架設した。トラス上に型枠支保工受け足場板を設置するため、トラスの上弦材の水平性差がないように注意してトラスを架設した。

その後、橋脚間にある3本の横梁の間の上部工を構築した。上部工コンクリートは、横梁と同様下スラブ、堅壁、上スラブの順番で施工した。ここで形状管理の測量を行い、桁の位置および変形に問題ないことを確認後、外側横梁と柱頭部をつなぐ上部工を横梁間と同様に構築した。70 mの鉛直配管を行い、ポンプ圧送を用いたコンクリート打設を行った。

コンクリート桁構築完了後、橋軸方向に配置された内ケーブルおよび外ケーブルのプレストレス工を行った。設計図面どおり内ケーブルのプレストレス工完了後に外ケーブルを施工、また橋軸中心線に対し、上り線と下り線の軸力が均等になるようにバランスをとる緊張順番とした。

6. 側径間施工中の形状管理

側径間上部工施工中の形状管理は、3次元FEMを用いた施工逐時解析の結果をもとに行った。仮設支保工および本設躯体施工について、施工中の躯体の応力度の確認およ

び形状の変化を予測した。それに基づき、支保工およびコンクリート型枠の上げ越し量を決定し、そのとおりに型枠を設置した。施工中は測量によりモニタリングを行い、解析値と照らし合わせながら問題のないことを確認して工事を進めた。なお、解析の条件となるコンクリートのクリープや収縮量は、室内試験により求めた。

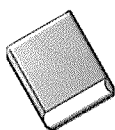
施工中の形状管理においては①横梁の高さ位置②斜材アンカーパイプの角度がとくに高い施工精度を要求された。スパン中央の横梁では25 mm、そのほかの梁は12 mmが基準高さ位置からの施工誤差における許容値とされた。アンカーパイプは0.2度の角度の施工誤差における許容値であった。

コンクリート桁施工完了後、形状確認測量を行い、上部工の位置・形状およびねじれなどに問題がないことを確認した。

7. 終わりに

主塔および側径間のコンクリート工はほぼ完了し、現在主径間の鋼桁架設を行っている。2008年秋の中央径間閉合、防水・舗装工事を経て、2009年中頃の工事完了を目指している。工事完了まで安全と品質に留意し、完成後この橋が香港市民の交通の便向上に役立てることを祈念している。

【2008年2月4日受付】



図書案内

PC技術規準シリーズ

貯水用円筒形PCタンク設計施工規準

頒布価格：会員特価 3,500 円（送料 500 円）

：非会員価格 4,200 円（送料 500 円）

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編
技報堂出版