

(S1) 「ストーンカッターズ橋」の施工

上田 達哉¹・山根 薫²

¹ 前田建設工業株式会社 土木事業部土木部設計グループ (〒179-8903 東京都練馬区高松5-8-20)

E-mail:uedat@jcity.maeda.co.jp

² 前田建設工業株式会社 香港支店ストーンカッターズ橋作業所 (中国香港特别行政区)

E-mail:yamanek@jcity.maeda.co.jp

本論では香港で建設中の斜張橋、ストーンカッターズ橋の施工について報告する。完成時には中央径間1018mは世界第2位のスケールの斜張橋になる。主塔は下部が鉄筋コンクリート、上部はステンレス材とコンクリートとの複合構造である。側径間の一部を除く橋桁はコンクリート構造であり、その残りとの中央径間を含む桁は鋼製である。また、主塔鉄筋コンクリートの一部にステンレス鉄筋が配置されていることも特徴的である。

Key Words : cable- stayed bridge, Hong Kong, PWS, stainless steel

1. はじめに

2004年に着工した香港の斜張橋ストーンカッターズ橋は、2009年3月に支間長1018mの中央径間の閉合を終え、現在施工の最終段階が進行中である。この橋は大陸と島をつなぐ道路専用橋であり、二つの構造体に複合構造を持つ。一つは高さ298mの単柱である主塔上半分が鉄筋コンクリートとステンレス鋼板の複合構造で成り立っていることである。もうひとつは中央径間と一部の側径間の桁が鋼製であり残りの側径間の桁がコンクリート桁という複合構造である。

ここではこの橋の構造の紹介および材料・施工を中心に述べるものとする。

2. 橋の概要



図-1 完成予想図

表-1 橋の概要

工 事 名 :	STONECUTTERS BRIDGE
橋梁形式 :	鋼コンクリート複合斜張橋
発 注 者 :	香港特别行政区 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32000m ³ (45MPa)
フーチング	約32000m ³ (45MPa)
側径間	約45000m ³ (60MPa)
主塔	約33000m ³ (60MPa)
普通鋼材 :	約34400t
ステンレス鋼材 :	約5100t
斜 材 :	約7000t PWS型

本橋は、2003年にイギリスに本社のあるArup社により設計され、2004年に香港特别行政区と前田建設・日立造船・横河ブリッジ・新昌營造（香港企業）共同企業体が施工の請負契約を締結し、工事が開始した。本工事の概要を表-1に、完成予想図を図-1に、橋梁一般図を図-2に、位置図を図-3に示す。

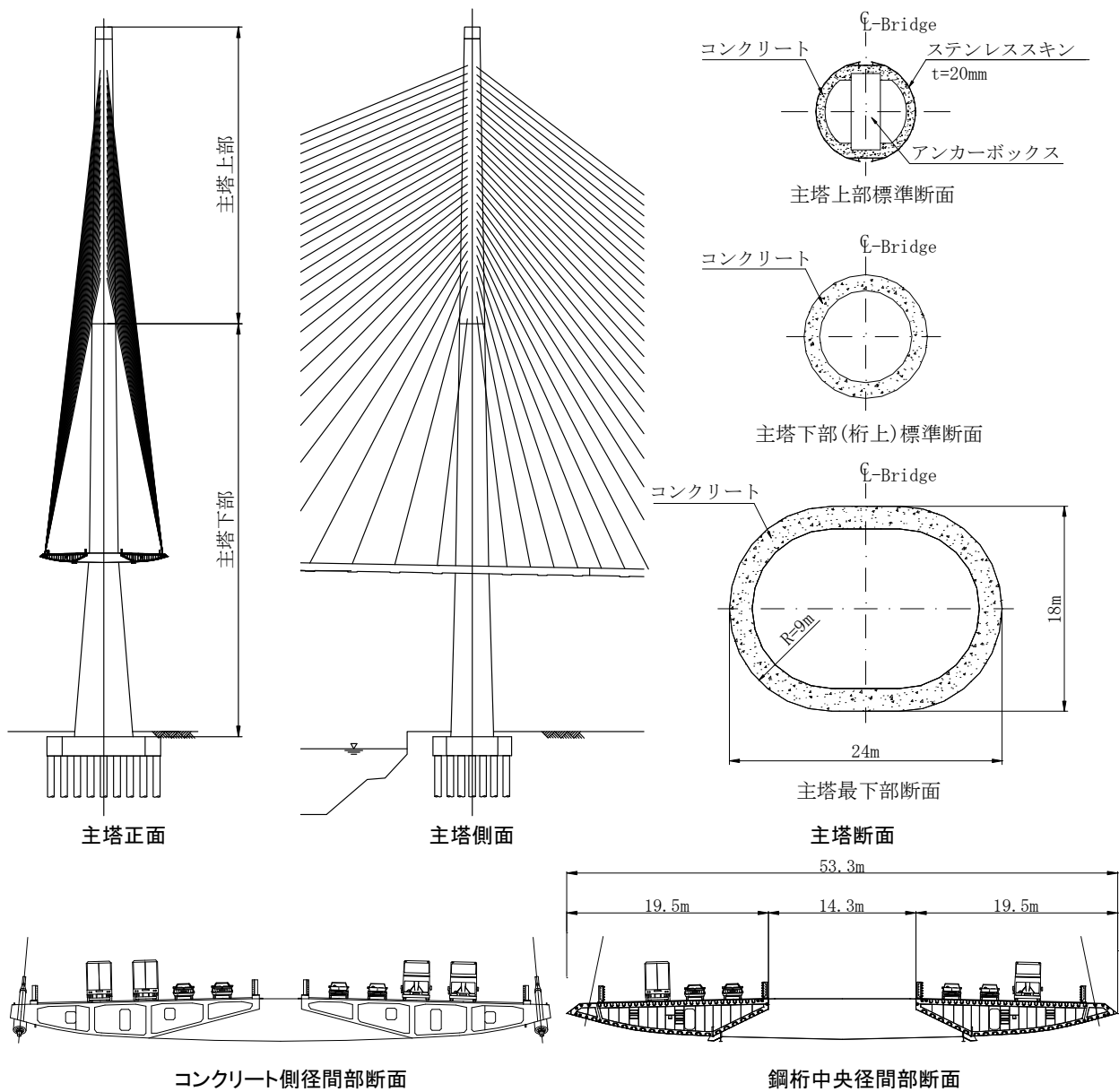
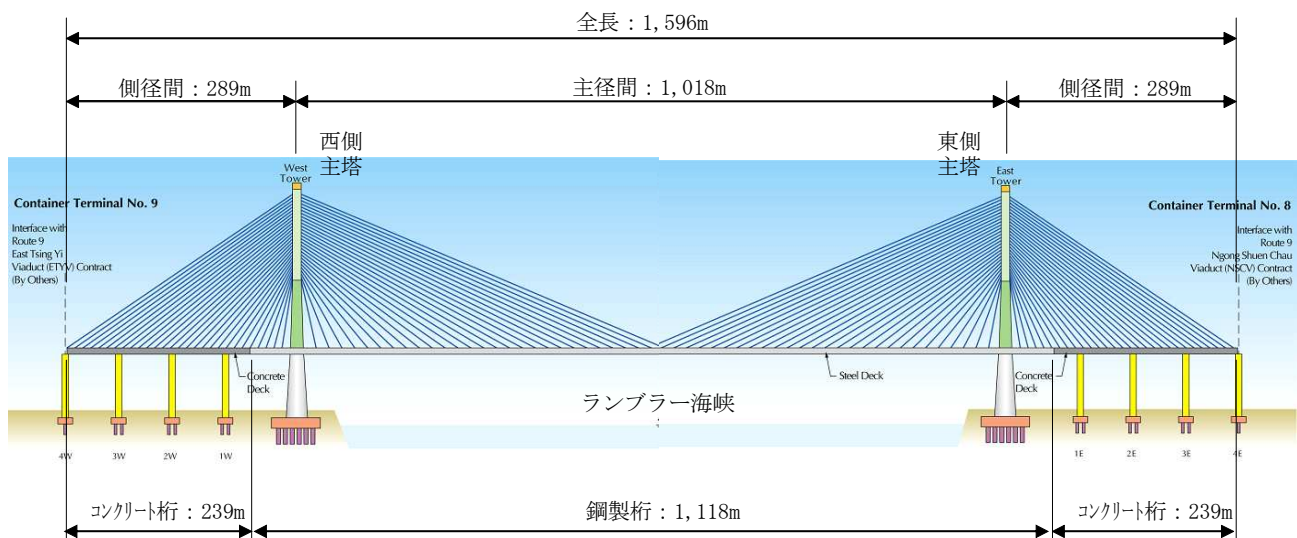


図-2 橋梁一般図



図-3 位置図

本橋は、香港の主要なコンテナターミナルの玄関口であるランブラー海峡を跨ぐ位置にあり、中央径間1018mと桁下空間が73.5mがコンテナ船の航行のため取られている。

斜張橋の主塔は中空断面の単柱であり、断面は基礎部の小判型から始まり途中で円形に変わる変断面で、最大で横24mで縦18mの大きさである。海拔175mまでは鉄筋コンクリート構造であるが、その特色は最も外側の主筋にステンレス鉄筋を用いていることである。直径50mmのステンレス鉄筋を主筋としており、それに接する帯筋もステンレス鉄筋を用いている。海拔175m以上は、外側が厚さ20mmのステンレス鋼板で覆われ、その内側にドーナツ状の

断面の鉄筋コンクリート、そしてその内側に斜材を定着するアンカーブロックと呼ばれる鋼製の定着体がコンクリートの内側にスタッドを介して埋め込まれている。主塔の最上部の5mは照明器具およびメンテナンス用のゴンドラ設備を収めるガラスとステンレス鋼材で構成される部屋が設けられている。基礎は直径2.5mの岩着の場所打ちコンクリート杭である。杭は岩盤線の傾斜により長いものは90mを越えた。フーチングは横47.4m、縦36.4m、厚さ8mの矩形に近い形である。

側径間桁は岩着の杭で支持された4基の橋脚で支えられている。最端部の橋脚を除いてはT型橋で、T部の上部が桁と剛結となっている。最端部の橋脚は2本の橋脚と横梁からなる門型橋脚で、本橋につながる高架橋の支承および桁が設置されている。桁は上り線・下り線の2本の桁からなり、それらをつなぐ横梁を含めたプレストレストコンクリート構造である。総復員は51mあり、片側3車線が設けられている。(図-4)

中央径間と側径間の一部の桁は鋼製桁で、標準部ブロックは幅53.3m、長さ18m、桁高3.6m、重さ600トンである。各ブロックの両端には斜材が取り付けアンカーチューブが埋め込まれている。

斜材はPWS (Parallel Wire Strands) とよばれるシステムが採用されている。このシステムは予め工場で各々の斜材を定着部まで含んで一本物として製

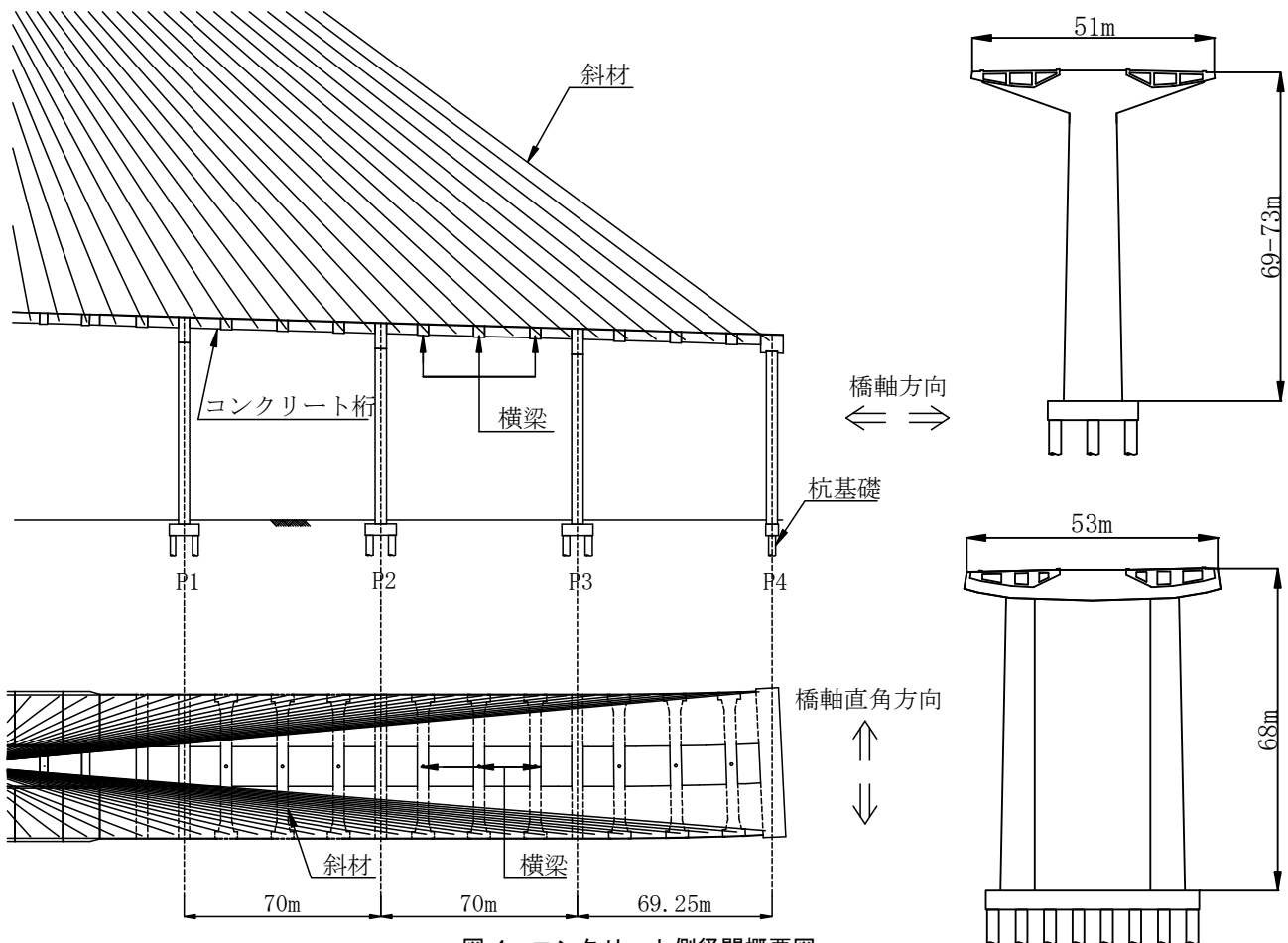


図-4 コンクリート側径間概要図

作し、現場で一気に施工するものである。このシステムの大きな利点として、素線を束ねて外側に被覆を施すために斜材の直径を小さくすることができることが上げられる。このPWSの採用は契約図書に盛り込まれている。

すべての構造物は120年間の耐久年数として設計されている。

3. 橋のステンレス材

橋の主な材料は1章で概要を述べたが、この橋の特徴のひとつに構造物として用いられているステンレス材が挙げられる。(表-2) ステンレス材の総数量は5000トン超である。これらの材料は、イタリア、スウェーデン等から調達し、中国で加工した。ここではその中でステンレス鉄筋とステンレススキンについて詳しく述べる。

(1) ステンレス鉄筋

主塔の基礎部から海拔175mまでの鉄筋コンクリート躯体にステンレス鉄筋が用いられている。ステンレス鉄筋が用いられたのは、最も外側の鉛直方向の主筋とそれを囲む帯筋および中間帯鉄筋である。この材料指定は契約図書に規定されているものであり、橋の設計者の意向である。主筋の大きさは直径50, 40, 32mmであり、帯筋などは直径32, 20mmでありこれらすべて異形棒鋼である。(図-5)

材質はヨーロッパコードEN10088の1.4301の規定に沿うもので、JISコードではSUS304に相当する。無垢のステンレスで強度は500MPa(0.2%耐力)である。

また、ステンレス鉄筋を用いる主筋には、機械式継手材も鉄筋と同じ材質であることが規定されている。そのような機械式継手は市販されていないため、特注で製作を行う必要があった。

施工時にはもらい錆を受けないように保管場所、加工場所を専用に設けたり、やむをえなく現場で切断する必要がある場合にはグラインダー切断と表面処理をするなどの対策をとった。

表-2 主なステンレス材

部 材	形状	数量 (トン)	用 途
ステンレス鉄筋	棒	3,300	主塔の鉄筋
ステンレススキン	板	1,530	主塔上部の外殻
ウェザーガード	板	15	コンクリート梁防護
検査車レール	板	132	桁上面配置のレール
主塔頂部照明建屋	形鋼	42	建屋フレーム
斜材アンカーチューブ	管	68	ガイドパイプ



図-5 ステンレス鉄筋

(2) ステンレススキン

主塔の海拔175m以上は、中空断面鉄筋コンクリートの外側がステンレス鋼板で覆われている。これはステンレススキンと呼ばれ、スタッドを介して鉄筋コンクリートと一体化される。ステンレススキンの厚さは20mmで規格はヨーロッパコードEN10088の型番1.4462の仕様、いわゆるオーステナイト・フェライト二相ステンレス鋼である。(図-6)

板材はスウェーデンの工場で作製され、中国の加工工場でステンレススキンの形に製作された。また、表面仕上げとしてショットピーニングを施した。これは交通障害防止のために乱反射しやすい表面パターンを形成するための設計仕様によるものである。

4. 橋の施工

施工は大きく(1)主塔(2)側径間(3)中央径間の鋼桁・斜材の3つの工区に分けられる。これらの施工概要を以下に述べる。

(1) 主塔の施工

主塔は、基礎部、基礎部から海拔175mまでの主塔下部と175mより上の主塔上部の3つの部位に分けられる。

a) 基礎部

主塔基礎部は、直径2.5mの杭が東主塔に27本、西



図-6 ステンレススキン・アンカーボックス



図-7 側径間支保工

主塔に29本配置されている。東と西で杭の本数が異なるのは岩盤線の違いによる。岩盤より上の部分はオールケーシング工法で掘削を行い、岩盤部はRCD工法で掘削および拡底部の形成を行った。杭施工は深いものでは地表より110mを記録した。

b) 主塔下部

主塔下部は中空断面の鉄筋コンクリートであるため、約4m高を1リフトとする自昇型枠システムを導入した。内外の断面寸法・曲線部分の局率が毎リフト変わるので、測量を行いながら慎重に調整を行う必要があった。一度のコンクリート打設の量は平均で300立方メートルで、打設には容量3.5立方メートル用のバケットを用いタワークレーンでコンクリートを運搬した。

c) 主塔上部

主塔上部は鉄とコンクリートの複合構造である。



図-8 側径間へビーリフト工法

外側からステンレススキン、鉄筋コンクリート、アンカーボックスの順番の配置になっている。施工は、①アンカーボックスの設置②ステンレススキンの設置③鉄筋コンクリート工の順番で行った。斜材の定着体であるアンカーボックスは工場で製作し、海上輸送で現場へ搬入しクレーン架設した。ステンレススキンも工場でアンカーボックスと併せて製作し、アンカーボックスと仮組みで精度確認後、海上輸送で現場へ搬入した。設置は地上で半割り状に組立てたステンレススキンをクレーンで架設し、接合はアンカーボックス、ステンレススキンともボルトによる。アンカーボックス、ステンレススキンの設置精度を測量により確認後、鉄筋コンクリートを施工し一体化を行った。

d) 施工機械

主塔の主要な施工機械はタワークレーンである。基礎部から桁付近までの高さをカバーする下部タワークレーンと、それ以上をカバーする上部タワークレーンの2機をそれぞれの主塔に配置した。下部タワークレーンはフーチングに基礎を取り壁つなぎをとりながら上へと伸ばしていった。上部タワークレーンは、主塔に基礎となるブラケットを取り付けそこから同じく壁つなぎをとりながら主塔施工に合わせて上に伸ばした。下部クレーンは鋼桁施工に干渉するために、鋼桁施工前に撤去した。

(2) 側径間の施工

本章では、コンクリート桁施工のための支保工と、コンクリート桁・鋼桁の接合部の施工について以下に述べる。

a) 桁施工の支保工

コンクリート側径間は、全長239m、全幅51m、上下線各々18.4m、桁高3.6mのプレストレストコンクリート桁である。桁は地上65mより上に位置するために、側径間の施工においてはコンクリート工のための支保工設備が最大の課題であった。それは次の3つの課題を克服する必要があった。(図-7)

①高さ60m、総数量150万空立方メートルという大規模な支保工の確保

②70mスパンあたり12000トンを受ける支保工構造性能

③桁施工に影響を及ぼさない変形性能

これらの条件を満たす支保工が市場から確保できなかったため、新規に支保工を開発・製作して桁施工に間に合わせた。その支保工は岩着の場所打ち杭を基礎とし、プレキャストコンクリートブロックを用いたプレストレストコンクリート柱、そして鋼製トラスで全体の安定を確保する構造である。

b) コンクリート桁・鋼桁の接合部

コンクリート桁と鋼桁の接合部は、主塔から側径間側の50mの位置にある。その接合は、①鋼桁に近い最後の2mを残してコンクリート桁の構築②鋼桁の施工③残りのコンクリート桁2mの施工、の施工順番である。2m幅の間詰めコンクリート部分には、鋼桁



図-9 鋼桁架設

とコンクリート桁をつなぐPC鋼棒、プレストレストケーブルのダクト、そして鋼桁の端面に配置されているスタッドなどが埋め込まれる。間詰めコンクリート施工は、桁コンクリートの温度収縮の影響を避けるため、気温が一定となる夕方過ぎに行った。

(3) 鋼桁・斜材の施工

ここでは、側径間部の鋼桁の一括吊り上げ工法（ヘビーリフト工法）、中央径間の鋼桁架設および斜材の施工について述べる。

a) 側径間ヘビーリフト工法

全部で65個ある鋼桁ブロックの内、12ブロック（片側6ブロック）は側径間の地上に位置する。そのため海上からブロックを直接吊り上げることができないため、別の施工方法をとる必要があった。今回は桁を一括して吊り上げるヘビーリフト工法を採用した。（図-8）まず、上下線各々6個の鋼桁ブロックを地上で溶接により結合し、全長88m、片側約2000トンの鋼桁2本を構築する。溶接作業に並行して主塔およびコンクリート桁に設置したジャッキ装置を用いて、合計4000トンの桁を1日で地上80mへ引き上げて一括架設した。この工法はブロックを支保工の上で結合する工法と比べ、大幅に仮設材料を削減し、高所作業を削減できる、経済性・安全性に富んだ工法である。

b) 中央径間の鋼桁架設

中央径間の鋼桁53ブロックは、1ブロック毎に東



図-10 斜材架設

西両主塔から張出し架設工法により架設した。中国の工場で作製した鋼桁ブロックを、鋼桁搬送バージ船で香港に搬入した。所定の吊り上げ位置の真下までバージ船を移動し、ウィンチが組み込まれた桁上の吊り上げ装置でおよそ40分ほどで橋桁位置へ吊り上げ、現場溶接により前ブロックに接合した。現場は船の航行が激しい海峡のためにイカリを使うことが許されないため、4台のスクレーパーをGPSの情報を基にバージ船の位置を自動制御するシステムを採用し安定した吊り上げを行うことができた。（図-9）

c) 斜材架設

斜材は中国で作製し海上輸送で現場へ搬入した。素線は直径7mmで最大で499本が束ねられており、防護被覆を含めて最大直径192mmである。長い斜材は540mあり1本の重量は最大で80トン越である。また、斜材表面は雨・風の影響を小さくするためのディンプル加工が施されている。（図-10）

桁上で斜材を全線展開し品質確認を行った後、まず主塔側の端部をタワークレーンを用いて定着した。その後、桁側の端部を定着パイプに挿入し1400トンジャッキを用いて設計シム量を入れて定着した。

5. おわりに

本橋は香港の中心部から眺望できる位置にあるため、ランドマーク的な期待が込められている。年末の引渡し予定であるが、一日も早く開通し香港市民の交通利便の向上に寄与することを願いつつ最後の仕上げ工をしているところである。

なお、支保工に使用した1800個のプレキャストコンクリートブロックは、一部転売したものを除いて香港政府が建設している漁礁の材料として海中に設置された。また、工事開始当初より、当作業所では「グリーンポリシー」と名づけた環境にやさしい工事を目指しており、上記のプレキャストブロックの再利用を含めた廃棄物の減量、粉塵対策、濁水対策、騒音対策などを積極的に活動し、2005年より香港特別行政区などから毎年環境対策に対する表彰を受けていることを付け加えておく。（図-11）



图-11 工区全景

CONSTRUCTION OF STONECUTTERS BRIDGE

Tatsuya UEDA and Kaoru YAMANE

This report describes the construction of Stonecutters Bridge, a major cable stayed bridge in Hong Kong. At the time of completion, the 1018m main span is the second longest cable stayed bridge in the world. The lower parts of the 298m with towers consist of reinforced concrete and the upper parts are composite with a concrete core and a stainless steel outer shell. The bridge side span girders are concrete apart from a short length near the towers which are steel. The remaining deck girders in the main span are steel with a total weight of 34400 tonnes. It is also characteristic that the stainless iron reinforcement bars are arranged in main towers.