

## サフティリンク橋（シンガポール）の施工

松川 和史\*1・Low Koon HENG\*2・杉本 亨\*3

### 1. はじめに

サフティリンク橋はシンガポール南西部ジュロン地区に位置し、シンガポールを東西に走る主幹高速道路である P.I.E. (Pan Island Expressway) を跨ぐ道路橋である (図-1)。

本橋は P.I.E. を挟んで東と西に位置する Military Camp とごく最近開設された S.M.I. (Safti Military Institute) をつなぐ連絡橋としてシンガポール防衛省 (MINDEF) によって計画されたものである。また、それとは別に、現在建設中であるシンガポール～マレーシアを結ぶ第2 コーズウェイを通してマレーシアからシンガポールへ入国してくる人々が必ず目にするため、シンガポールのランドマークとしての意味も込められている。

本橋はシンガポールのランドマークとなるべく、「世界的に希で美しい橋」をテーマに Dr. T.Y. Lin の手に



写真-1 サフティリンク橋全景 (その1)

よりデザインされている。橋長は 100 m、幅員 14.5 m、 $R=180$  m の曲線橋で、主桁の断面にも曲線を多く使った形状となっている。斜張橋の場合、主塔は一般的には橋軸上にあるが、本橋では主塔基礎を橋軸の外側に設置し、そこから  $66^\circ$  の角度の傾斜をもたせ、主塔頭部を橋

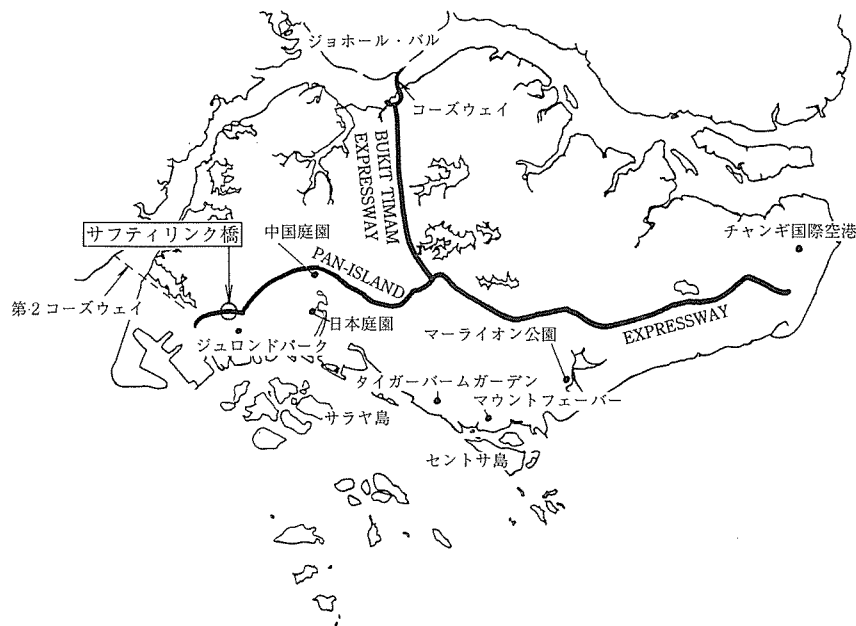
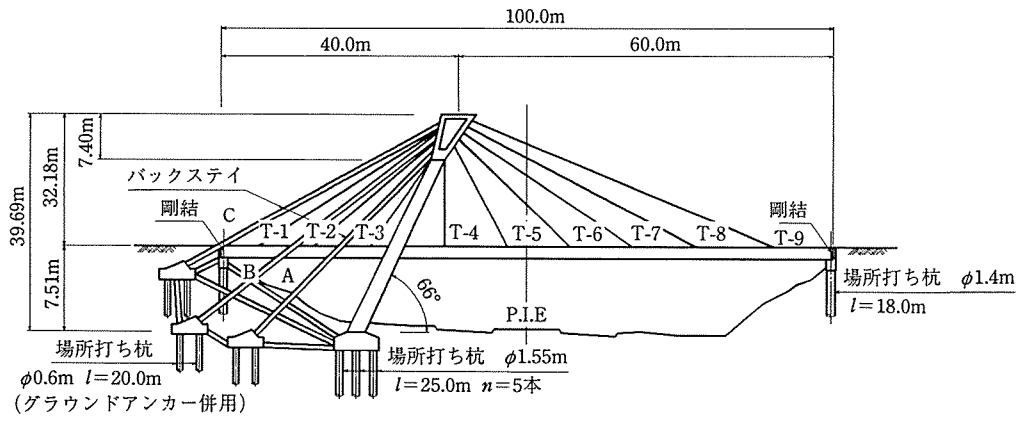


図-1 サフティリンク橋位置図

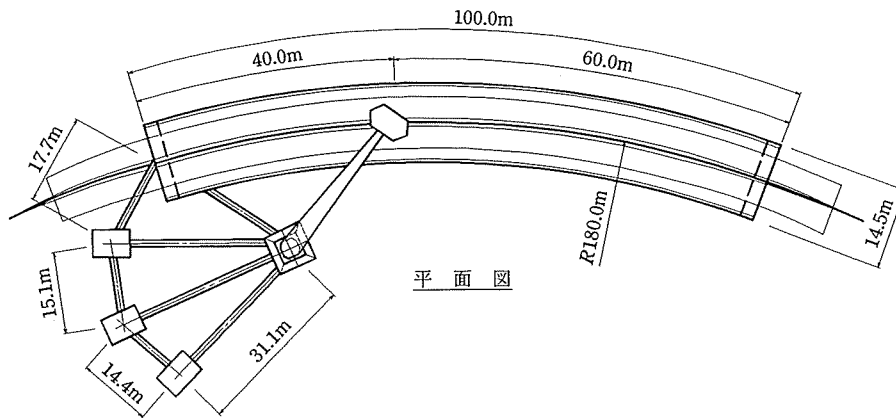
\*1 Kazufumi MATSUKAWA : 佐藤工業(株) 技術本部土木設計部 課長

\*2 LOW Koon Heng : 佐藤工業(株) シンガポール支店サフティリンク橋作業所 所長

\*3 Toru SUGIMOTO : 佐藤工業(株) シンガポール支店サフティリンク橋作業所 副所長



側面図



平面図

図-2 構造一般図

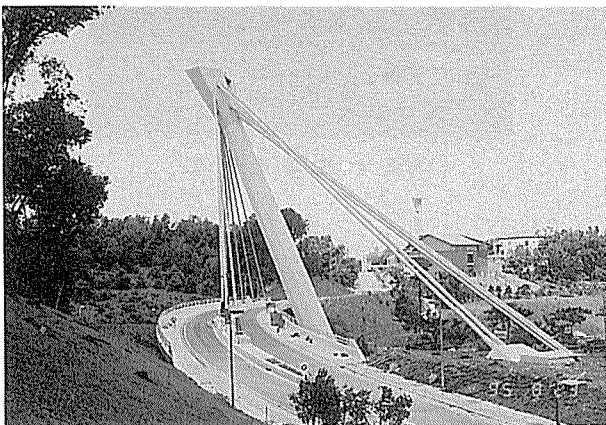


写真-2 サフティリンク橋全景(その2)

軸線上に持ってくる設計になっている(写真-1, 2)。

また、このようにスレンダーで特異なデザインをしているため、主塔と主桁にはグレード 80 (80 N/mm<sup>2</sup>) の高強度コンクリートが使用されている。

この報告は世界的にも希なデザインである本 PC 斜張橋の、施工概要について報告するものである。

## 2. 工事概要

本橋の工事概要は以下のとおりである。また、一般構造図を図-2 に示す。

### 工事概要

発注者：MINDEF

(シンガポール政府防衛省)

工事名：Safti Link Bridge Project

工期：1994年6月～1995年7月

設計：T.Y. Lin South East Asia Office

工事場所：シンガポール ジュロン地区

橋種：プレストレストコンクリート道路橋

橋梁形式：一面吊り PC 曲線斜張橋

橋長：100 m (R=180 m)

幅員：14.5 m (2車線)

桁高：2.0 m (一定)

主桁形状：3室箱桁断面 (グループ表面)

主塔形状：8角形変断面、壁厚 650 mm、傾斜角 66°

主塔高さ：地上 39.69 m、橋上 32.18 m

斜材：φ15.7 mm (亜鉛メッキ加工)

ブリッジステイ 6-39 6本

6-43 3本

バックステイ 6-65 6本

斜材形状：ファンタイプ (変形)

コンクリート：主桁、主塔 G 80 (80 N/mm<sup>2</sup>)

橋台、主塔基礎、バックステイ基礎

G 40 (40 N/mm<sup>2</sup>)

◇工事報告◇

縦断勾配：-2.56%，1.775%，V.C=50 m

横断勾配：1：36

定着工法：V.S.L. 工法

基 礎：場所打ち杭 ・φ600 (l=20 m) 12本  
 ・φ1 400 (l=20 m) 8本  
 ・φ1 550 (l=25 m) 5本

グラウンドアンカー φ250 24本

3. 施 工

3.1 概 要

本工事は、傾斜した主塔および曲線橋の工事であり、高い施工精度が要求された。さらに交通量が多い主幹高速道路上の施工となるため安全には特に配慮した。

本工事の実施工程表、施工手順を表-1 および図-3 に示す。

3.2 基礎の施工

地質はジュロンフォーメーションと呼ばれる地層で、地表より6~10 mまでは砂質シルト層、その下に風化砂岩が広がっている。

主塔基礎はφ1 550の場所打ち杭5本よりなる杭基礎である。載荷試験は設計荷重の2倍の載荷荷重(2 300 t)を試験杭および本設杭の2本に対して行った。荷重はコンクリートブロックのケントリッジを積み上げたものを用いた(写真-3)。

また、橋台基礎、バックステイ基礎(Back Stay Pad)および主塔基礎が各々地中梁で連結されており、全体で一体の構造となっている(図-2)。

3.3 主塔の施工

主塔は8角形の中空断面で、66°の角度で傾斜してお

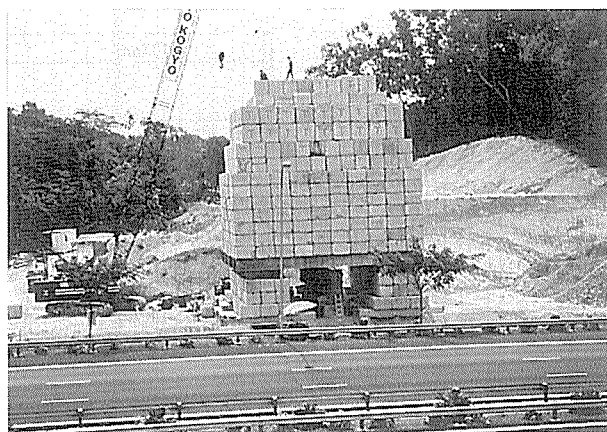


写真-3 杭の載荷試験

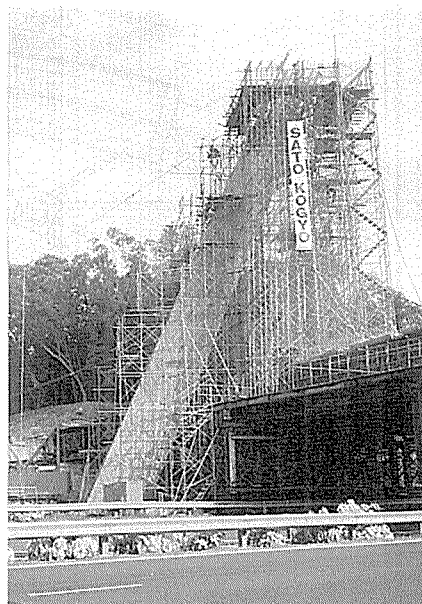


写真-4 主塔の施工

表-1 実施工程表

		1994						1995								
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
		▼着工														完工
	杭 工 事	試験含む														
下部工	橋台(西側)															
	橋台(東側)															
	主塔基礎工															
	バックステイ基礎															
	地 中 梁															
上部工	支 保 工															
	主 桁 工															
	主 塔 柱 部															
	主 塔 頭 部															
	斜 材 製 作															
	斜 材 架 設															
	斜 材 緊 張															
	支保工足場解体															

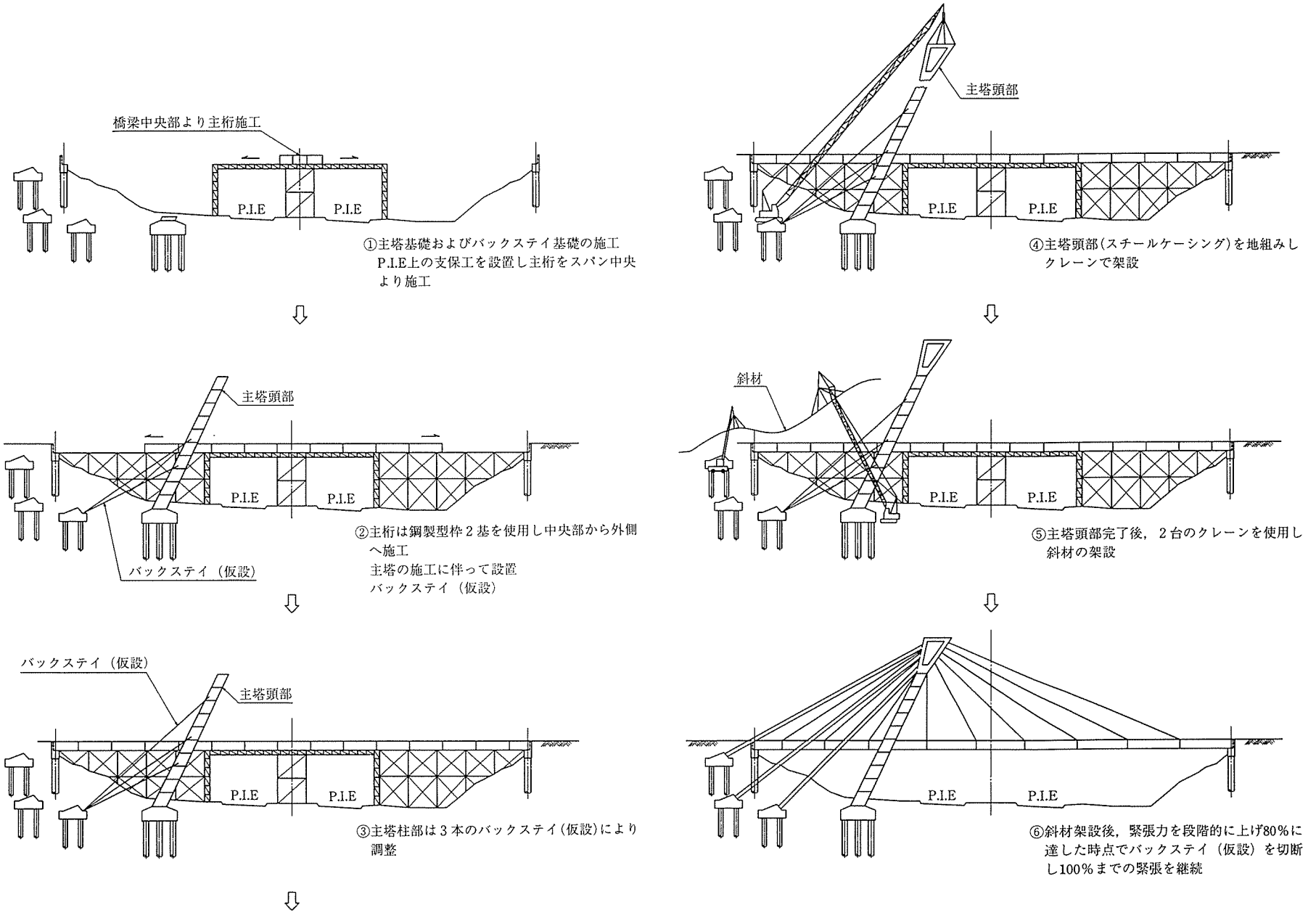


図-3 施工順序図

表-2 コンクリート配合表

## CONCRETE MIX DESIGN COMPUTATION &amp; SUMMARY

1. 1.1	Characteristic Strength	Specific 80 N/mm <sup>2</sup> at 28 days which 5% of test results may be expected to fail						
1.2	Designed Standard Deviation	9.2 N/mm <sup>2</sup>						
1.3	Designed Margin	15.088 N/mm <sup>2</sup>						
1.4	Target Mean Strength	95.088 N/mm <sup>2</sup>						
1.5	Cement Type	Ordinary Portland Cement						
1.6	Aggregate Type : Coarse	Crushed Granite : 20 mm						
	: Fine	Natural Sand/Manufacture Sand						
1.7	Free-water/cement ratio specified	0.25						
2. 2.1	Slump for Concrete	150-200 mm						
2.2	Maximum Aggregate Size	20 mm						
2.3	Type of Concrete	HIGH STRENGTH CONC						
2.4	Free-water Content	145 kgf/m <sup>3</sup>						
3. 3.1	Cement Content/Silica Fumes	550 kgf/m <sup>3</sup> / 40 kgf/m <sup>3</sup>						
4. 4.1	Relative Density of Aggregate	2.65						
4.2	Concrete Density	2 385 kgf/m <sup>3</sup>						
4.3	Total Aggregate Content	1 690 kgf/m <sup>3</sup>						
5. 5.1	Grading of Fine Aggregate	B.S. 882 Table 5						
5.2	Proportion of Fine Aggregate	36.09 Percent						
5.3	Fine Aggregate Content	610						
5.4	Coarse Aggregate Content	1 080						
6.	SUMMARY							
	Mix	Slump	Cement	Coarse Aggre	Fine Aggre	Water	A/C	W/C
Grade	80	150-200	550	1 080	610	145	3.07	0.25
Admixture 1	DARACEM 100 Dosage-1 300 cc per 100 kgf of cement							
Admixture 2	SUPER 20 Dosage-800 cc per 100 kgf of cement							

り、頭部が橋軸中心にくるようになっている。また、頭部は鋼製のケーシングになっており、内部は中詰めコンクリートを打設、外部は厚さ 10 cm の吹付けコンクリートとなっている。コンクリートは 80 N/mm<sup>2</sup> の高強度コンクリートで、その実施配合は表-2 のとおりである。

施工は、主塔が傾斜していること、断面が 8 角形であり、しかも次第に細くなっているため、総足場およびブラケットによる支保工を採用した(写真-4)。

コンクリートの打設は 11 ロットに分割し、1 回の打設を 3 m として打ち継目を水平にした。足場は地上より組み上げ、支保工については 2 ロットまでは地上で、3 ロットからは片側に付けたブラケットで受けるようにした。

また、主塔背面に仮設のバックステイケーブルを設け、本設のバックステイ基礎に仮設のアンカーを埋め込み、測点をモニターしながら、モノストランドジャッキにより緊張し、変位を管理しながら施工を行った。

### 3.4 主塔頭部(斜材定着部)の施工

構造上、すべての斜材がこの主塔頭部に集中しており、この頭部には BS 4360 の High Tensile Steel Grade 50 C よりなるスチールケーシングを使用している。スチールケーシングの内部はグレード 40 の中詰め

コンクリートで、外側は 100 mm 厚のコンクリートであったものを吹付けコンクリートに変更した。

頭部の製作においては、設計上の座標が与えられているだけで、複雑な形状を平面上に表現するのは困難であった。このため 3 D-CAD を用いて施工図を作成した。

本 PC 斜張橋では斜材定着に V.S.L. 工法を採用している。主塔頭部には斜材のためのガイドパイプを設置しなければならない。当初このガイドパイプのベアリングプレートは 30 mm 厚のスチールケーシングの外側に取り付ける予定であったが、全斜材が主塔頭部に集中し、各アンカー部分が非常に近接していて実質的にベアリングプレートをケーシングの外側へ配置することが不可能な部分がでてきた。さらにアンカー部を外側へ露出させることによる美観上の問題があるため、アンカー自体をケーシング内部に埋め込むように変更した。そのためガイドパイプ自体にシェアプレートを付け、ケーシングとの間に補強プレートを溶接し、十分な強度を確保した。

ガイドパイプ設置を含めたスチールケーシングの製作にあたって 3 D-CAD でイメージ図(図-4)を作成し、これを展開してスチールケーシング用各プレート、および各ガイドパイプの製作用図面を作成した。

スチールケーシングの製作にあたってはガイドパイプ

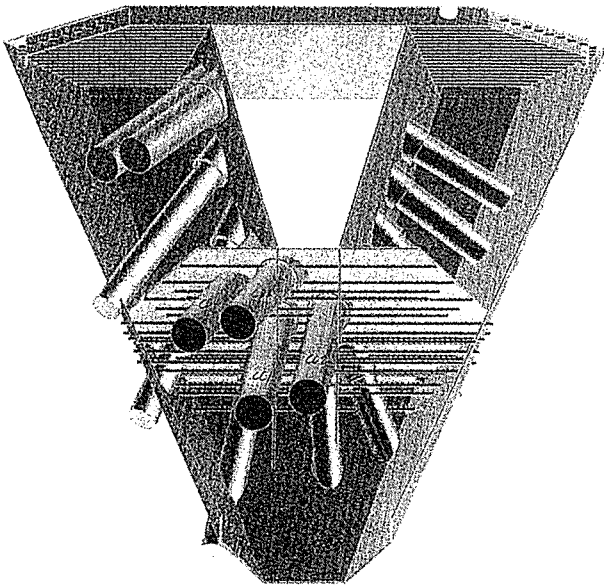


図-4 主塔頭部 3D-CAD イメージ図

の位置に最も精度を要した。またスチールケーシング（高さ 10 m、重量 53 t）の設置方法を考え、主塔基礎近くにヤードを設けて地組を行った。

主塔のスチールケーシングのうち下部は主塔最終打設コンクリートに埋め込んでおき、頭部設置時にボルトによって仮に取り付け、その後溶接によって本連結を行った。

頭部据付けは、300 t クローラークレーンにて行った（写真-5）。

ガイドパイプの設置誤差は Max 3 mm であり、設計上の許容値  $\pm 5$  mm を満たすことができた。

### 3.5 主桁の施工

主桁は幅員 14.5 m、 $R=180$  m の曲線桁で、5 m 間隔にダイヤフラム、10 m 間隔に斜材定着部が設けられており、定着部は車止めにより防護されている。また、主桁断面は美観上、曲線を多く用いた形状になっている。また、P.I.E. を通る車の運転手への光の反射を考慮して、表面にはグループが設けてある。施工は総支保工による現場打ち工法とし、スチール型枠を 2 セット用意して、中央より橋台へ向かい順次施工した（図-3）。

型枠は曲線部を鋼製型枠、底部および翼部の平面部を木製型枠とした。型枠は、レール方式を用いチェーンブロックにより移動した。横方向の微調整は、ジャッキの下にテフロン板を重ね摩擦を減らし、同じくチェーンブロックで行い、移動後にテフロン板を取り外し、上下方向の調整を行った。コンクリートの打設は、まず下側スラブと側壁の途中までを打設し、その後残りの側壁部と上側スラブを同時に打設した。斜材の定着部は特に精度を要するため、後で施工した。下側スラブの施工では内側の型枠を浮き型枠とするよう考えたが、フォームタイの使用が認められないこと、スラブ厚が 150 mm と薄くコンクリートの打設が困難なため、内型枠は設けずコテ均して施工することにした。このためコンクリート（80 N/mm<sup>2</sup>）のスラブは設計値 150~200 mm であったが、混和剤の量を調整することにより 100~150

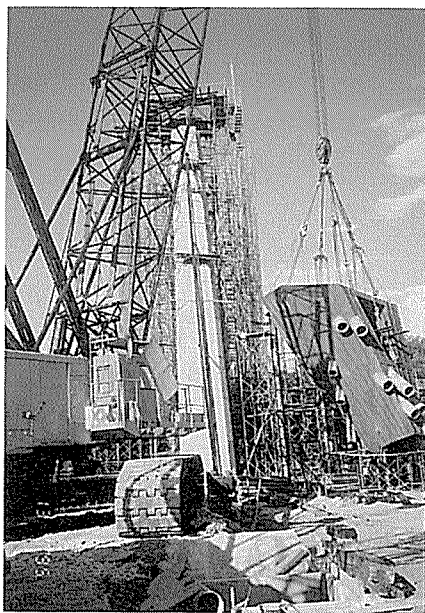


写真-5 主塔頭部の設置

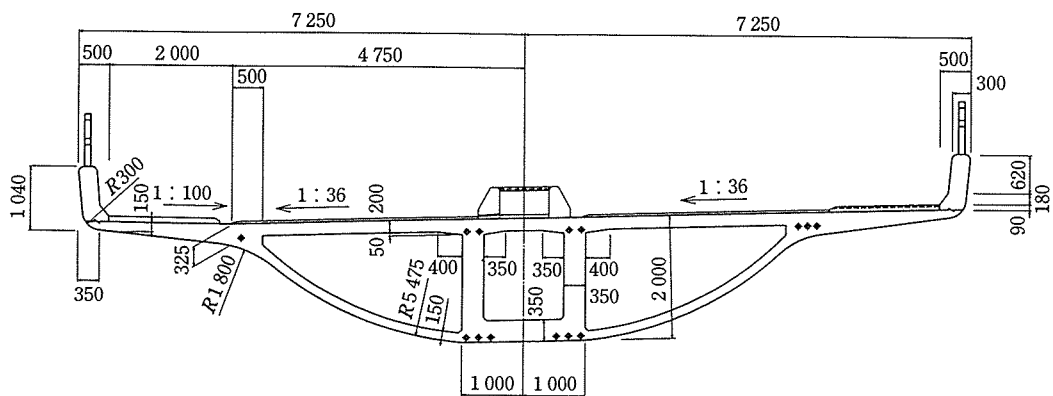


図-5 主桁断面図

◇工事報告◇

mmに変更した。

3.6 斜材の施工

(1) 斜材の架設

本 PC 斜張橋の斜材は将来取替えが可能な構造となっている。

使用ストランドは7φ15.7の垂鉛メッキしたもので、そのまわりにはグリースをまき、さらに P.E. 被覆されたもので、このストランド自体が交換可能となっている。材料は英国 Bridon 社から輸入した。防錆をさらに高めるため、この HDPE チューブをさらに HDPE 管の中にいれ、このすき間をポリウレタン材で注入する仕様となっている(図-6)。

製作は橋梁の延長上にある道路部に製作ヤードを設け、製作したものをそのまま橋梁上に移動し架設した。

定着は主塔頭部側はデッドエンド・シム定着方式とし、主桁側およびバックステイ側はリングナットによる定着方式とした。

斜材の架設は、主塔側ではトランジションパイプに HDPE チューブおよび HDPE 管が連結したものを予め製作して行った。また主桁側およびバックステイ側は、トランジションパイプ自体を設置し、架設時に斜材部 HDPE 管がチューブの連結を行う方法を取った。

ポリウレタンの注入は斜材部分のみをヤードにおいて行い、架設後に主桁側、バックステイ側の連結部分の注入を行うこととした。

架設は重量を軽くするため HDPE 管に本設ストランドを投入せずに行い、仮設ストランドを3本主塔側より挿入し、この仮設ストランドを緊張することにより斜材用 HDPE 管を固定した。この時点で設計プレストレス

力の10%の緊張を与えている。

HDPE 管架設後は本設用ストランドを各斜材長に切断し、1本ずつロール上に巻いたものを準備して、主塔側から挿入した。挿入が終わった時点で、本設用ストランドにウェッジを取り付け、仮設ストランドの緊張を解放し、マルチストランドジャッキによる緊張に備えた。

HDPE 管の架設にあたっては、中にストランドが入っていないため屈折するおそれがあり、ダクトに6mおきにクランプを付け、2台のクレーンにより吊り上げて架設した(写真-6)。

架設時においては、主塔頭部のスチールケーシングの表面にフックを溶接して、そこからチルホールブロックを利用しアンカーブロックを規定位置まで上げた。セット時にはガイドパイプのリセス部分が非常に狭いため、スプリットシム、セボリットプレート(絶縁版)の設置には慎重を要した。

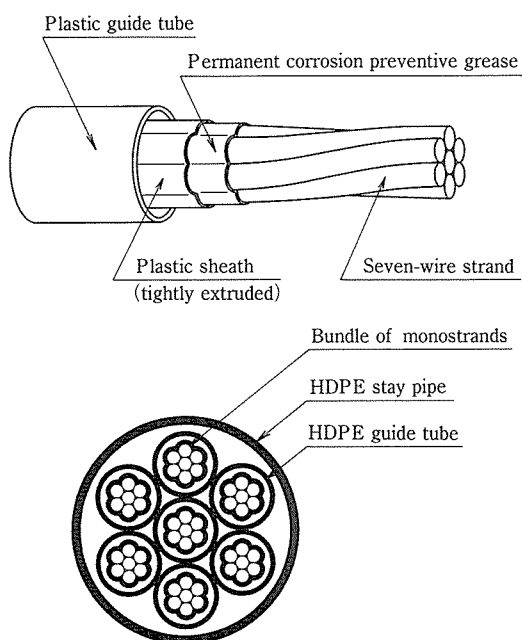


図-6 斜材詳細図

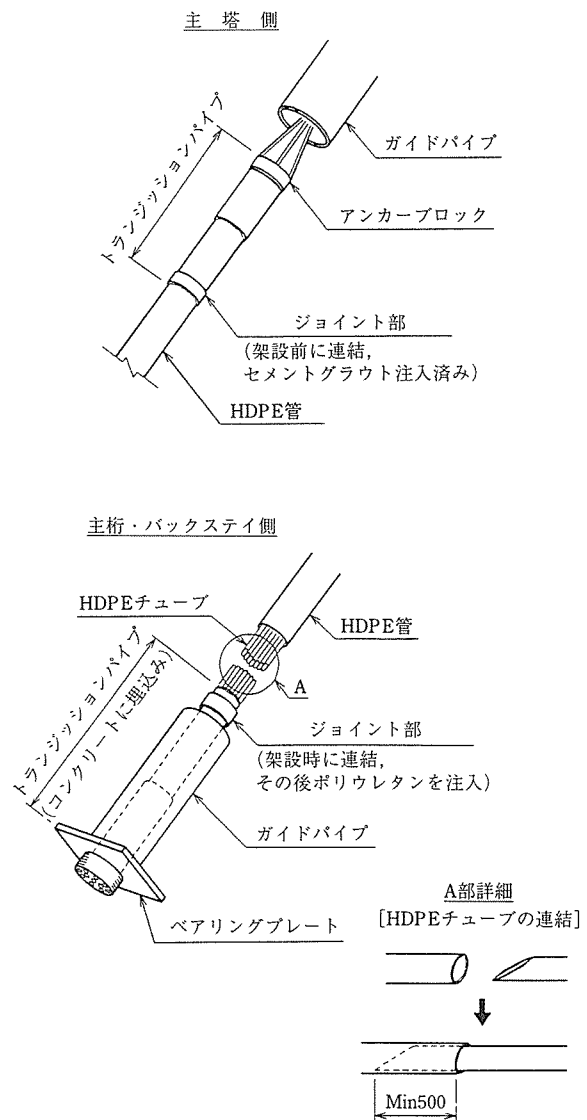


図-7 斜材架設図

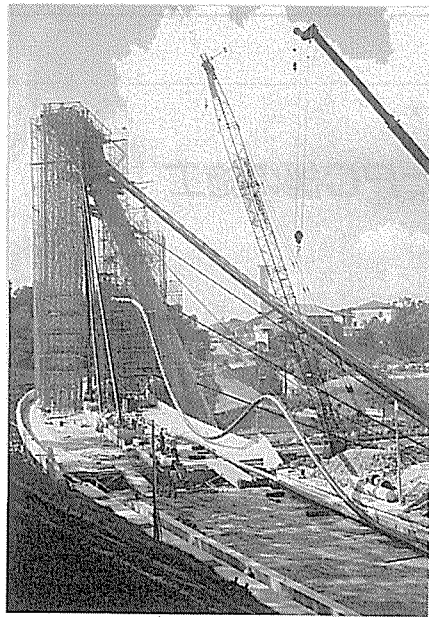


写真-6 斜材の架設



写真-7 マルチストランドジャッキ

## (2) 斜材の緊張

斜材の緊張は主桁側9本とバックステイ側6本の計15本の緊張を10%、50%、80%、95%、100%のステップに分けて行った。これは主桁側およびバックステイ側からの緊張力による偏荷重によって、主塔に引きおこされるねじれを極力小さく抑えるために行ったものである。

斜材の最終緊張力を表-3に示す。なお斜材番号は図-2に対応している。

斜材の架設時の10%の緊張はモノストランドジャッキによって行い、50%以降の緊張はマルチストランドジャッキによって行った。当初、緊張は主塔頭部側から予定されていたが、作業スペースが狭く、作業性が極端に悪いことから主桁側からの緊張に変更した。さらに、主桁における作業スペースの制約からジャッキそのものを特別に製作した(写真-7)。

緊張の手順は、まず50%緊張時点までは主桁部を仮

表-3 斜材一覧表

斜材番号	ストランド本数	斜材長(M)	緊張力(kN)
T-1	43	48.6	2 920
T-2	39	39.5	2 492
T-3	39	32.4	2 170
T-4	39	28.6	2 024
T-5	39	31.3	2 143
T-6	39	37.7	2 469
T-7	39	46.0	2 903
T-8	43	54.9	3 391
T-9	43	64.4	3 905
A	2×65	63.9	8 546
B	2×65	67.3	8 044
C	2×65	69.3	7 996

設支承により橋軸方向に移動可能としていたものを、50%緊張後には東側の橋台との連結コンクリートを打設することにより剛構造とした。

また80%緊張によって実質的に主桁部の重量が斜材に転嫁される。この時点で、それまで設置していた仮設のバックステイケーブルの撤去を行い、完全に本設の構造系にした。

斜材の緊張に際しては、主塔の変位を逐次計測し、常に許容値内になるように管理した。実際の変位は、いずれの場合も設計値を下回っており、無事斜材の緊張を終えることができた。

これにより、斜張橋の実質部分の施工は完了し、その後パラペット、舗装等の施工を行い、工事は完了した。

## 4. おわりに

本報告は、特異な形状を持つPC曲線斜張橋の施工の概要の報告であり、今後の同種工事の参考になれば幸いである。

本橋は、1994年6月に着工し、1995年7月に完工、同年8月25日のシンガポール国ゴー首相の手でS.M.I.とともにオープニングされた。「世界的に希な美しい橋」をテーマにデザインされた、曲線を多用した特異な形状を持つこのPC斜張橋は、発注者であるシンガポール防衛省と設計者のT.Y. Lin South East Asia Officeの協力のもと無事完工することができた。ここに、本橋の施工にあたり貴重なご意見やご指導をいただいたT.Y. Lin South East Asia OfficeのチーフデザインエンジニアMr. S.C. TanとMr. M.N. Yamoutに深く感謝の意を表する次第である。

【1995年9月27日受付】