

バンコク チャオプラヤ川における橋梁建設動向
特に斜張橋建設を中心に

Bridge construction over the Chao Praya river in Bangkok Thailand
focusing on cable-stayed bridge construction

綿引透 *

Toru Watabiki

ABSTRACT This paper outlines bridge construction over the Chao Praya river in Bangkok where the traffic congestion has always been the social concerns since the substantial motorization commenced in the area. Apart from several efforts to develop public transportation such as light railway systems and subway networks, road and bridge construction is still extensively under way in an attempt to mitigate this never ending regional problem. 14 bridges have been in service and 5 are under construction over the river including twin cable stayed bridges for the Industrial Ring Road Project which is one of the main topics highlighted herein.

KEYWORDS: 海外工事、斜張橋、合成構造

Overseas project, cable-stayed bridges, composite structures

1. まえがき

18世紀後半に現在のチャックリー王朝の始祖ラーマー世がタイの首都をバンコクに移して以来、海拔1mのこの地における主要な交通は縦横に発達した水路によってなされバンコクは「東洋のベニス」と呼ばれていた。ところが、本格的な自動車社会の到来と経済発展に伴いかつての水路は次々と埋め立てられ道路に変わり、車が氾濫し高層ビルが乱立する現在の「世界一の渋滞都市バンコク」へとその呼び名も変わっていった。

バンコクの道路面積率は現在8%にしか過ぎず、しかも行き止まりの道路が多数存在する。また、市内を蛇行して流れるチャオプラヤ川によって主要な地域が分断され、ネットワークとしての道路網の整備は著しく遅れている。この整備の遅れによる経済損失は多大なもので、国連とアジア開発銀行の調査では、毎日1億5000万円の燃料が無駄になり、労働者は一年に44日を路上で過ごさなければならないと指摘している。

道路網整備の一環として、チャオプラヤ川にはバンコク周辺で19橋の道路橋が供用もしくは建設中である。本文は、これらの橋梁の概要、特に斜張橋に注目し各橋の特徴とそれぞれの比較、著者が現在担当しているIndustrial Ring Roadプロジェクト(IRRプロジェクト)の現状、を報告するものである。

なお道路整備以外の渋滞緩和対策として、現在のタクシン政権は03年からの5年間で鉄道整備網の拡充のために2兆7000万円を投資する計画を明らかにしている。また、自動車税制を改正し、年10%を超える自動車保有台数の伸びの緩和と税の増収による道路補修の充実を図ることも計画している。

* JFEエンジニアリング(株)鋼構造技術部 IRRプロジェクト プロジェクトマネージャー
(〒23-8611 横浜市鶴見区末広町2丁目1番地)

2. チャオプラヤ川に架かる橋梁の紹介

図1にバンコク周辺における橋梁の架橋位置を示す。また、表1に各橋の形式、橋長、完成年月を示す。図-1、表-1から以下の特徴が読み取れる。

- 形式は、多連の鋼単純トラス（5橋）、連続コンクリート箱桁（9橋）、斜張橋（5橋）の3種類に大別できる。
- 橋梁建設は、1950年代（3橋）、1980年代（5橋）。2000年代（6橋）に集中している。それぞれの年代を特徴付ける形式として、
- 1950年代までは鋼トラス橋のみ建設されている。
- 1980年代は80%が連続コンクリート箱桁である（5橋中4橋）
- 2000年代は70%弱が斜張橋である（6橋中4橋）
- クルンテープ橋（⑮）を境に、それより上流は桁下空間が小さく、多連もしくは連続形式で橋脚を河川内に設置している。一方、下流側はクロントイ港へ往來する大型船舶を通過させるため、河川内に下部工もしくは建設用の支保工の不要な斜張橋形式が採用されている。

なお、19橋中、14橋が日本からの円借款によって建設もしくは補修されているとのことである。また、12橋が日系企業によって建設されている。

表-1 チャオプラヤ川に架かる橋梁の概要

番号	名称	形式	橋長	完成年月
①	バトムタニ橋	コンクリート連続箱桁橋	239m	1984年9月
②	ノンタブリ橋	鋼曲弦単純トラス橋	260m	1959年6月
③	バックレット橋	コンクリート連続箱桁橋	410m	2006年9月(予定)
④	ブランクラオ橋	コンクリート連続箱桁橋	329m	1985年7月
⑤	ラマ5世橋	コンクリート連続箱桁橋	320m	2000年
⑥	ラマ6世橋	鋼単純トラス橋	444m	1926年1月
⑦	ラマ7世橋	コンクリート連続箱桁橋	290m	1992年9月
⑧	クルントン橋	鋼曲弦単純トラス橋	290m	1958年3月
⑨	ラマ8世橋	合成斜張橋	475m	2002年9月
⑩	ブラ・ピンクラオ橋	コンクリート連続箱桁橋	280m	1973年9月
⑪	メモリアル橋	鋼単純トラス橋(開閉式)	234m	1932年4月
⑫	ブラ・ボックラオ橋	コンクリート連続箱桁橋	212m	1984年11月
⑬	ブラ・チャオ・タクシン橋	コンクリート連続箱桁橋	224m	1982年5月
⑭	ラマ3世橋	コンクリート連続箱桁橋	476m	1990年
⑮	クルンテープ橋(バンコク橋)	鋼曲弦単純トラス橋(開閉式)	350m	1959年6月
⑯	ラマ9世橋	鋼斜張橋	782m	1987年12月
⑰	IRR 北橋	合成斜張橋	578m	2006年(予定)
⑱	IRR 南橋	合成斜張橋	702m	2006年(予定)
⑲	ORR	合成斜張橋	941m	2007年(予定)

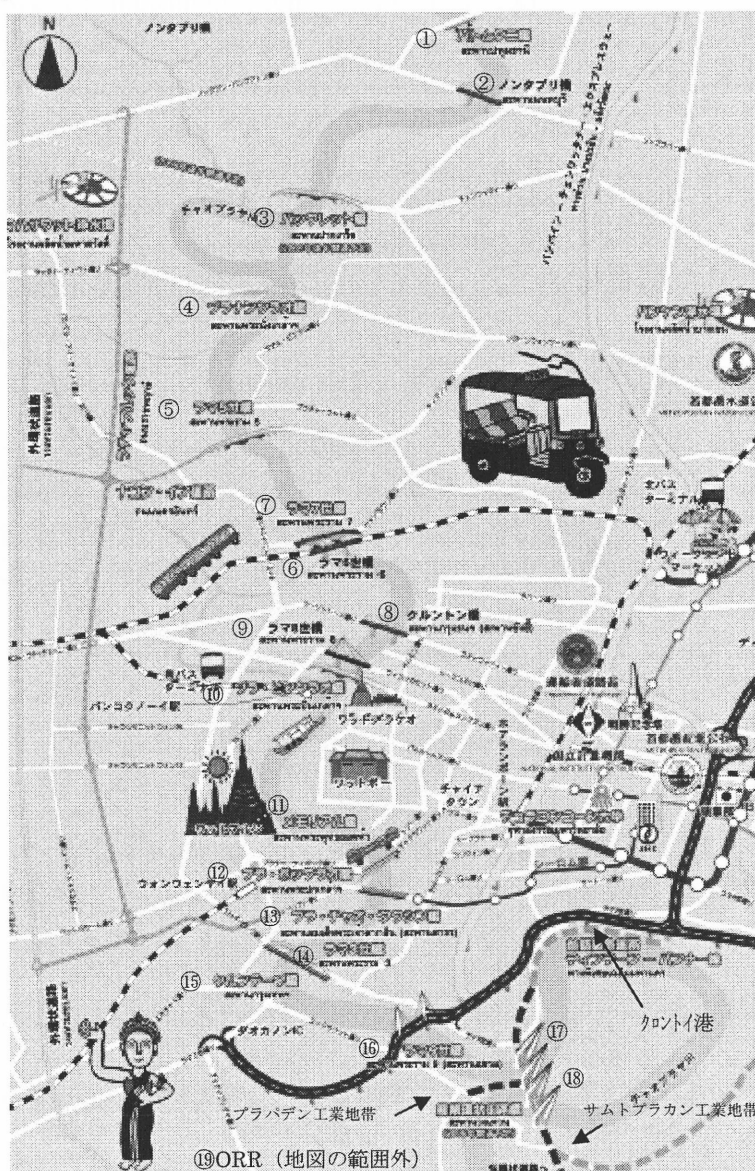


図-1 バンコク チャオプラヤ川 橋梁群

(出典：バンコクODAローンプロジェクトマップ、JBIC 番号、矢印は著者が追加)

3. チャオプラヤ川に架かる斜張橋の紹介

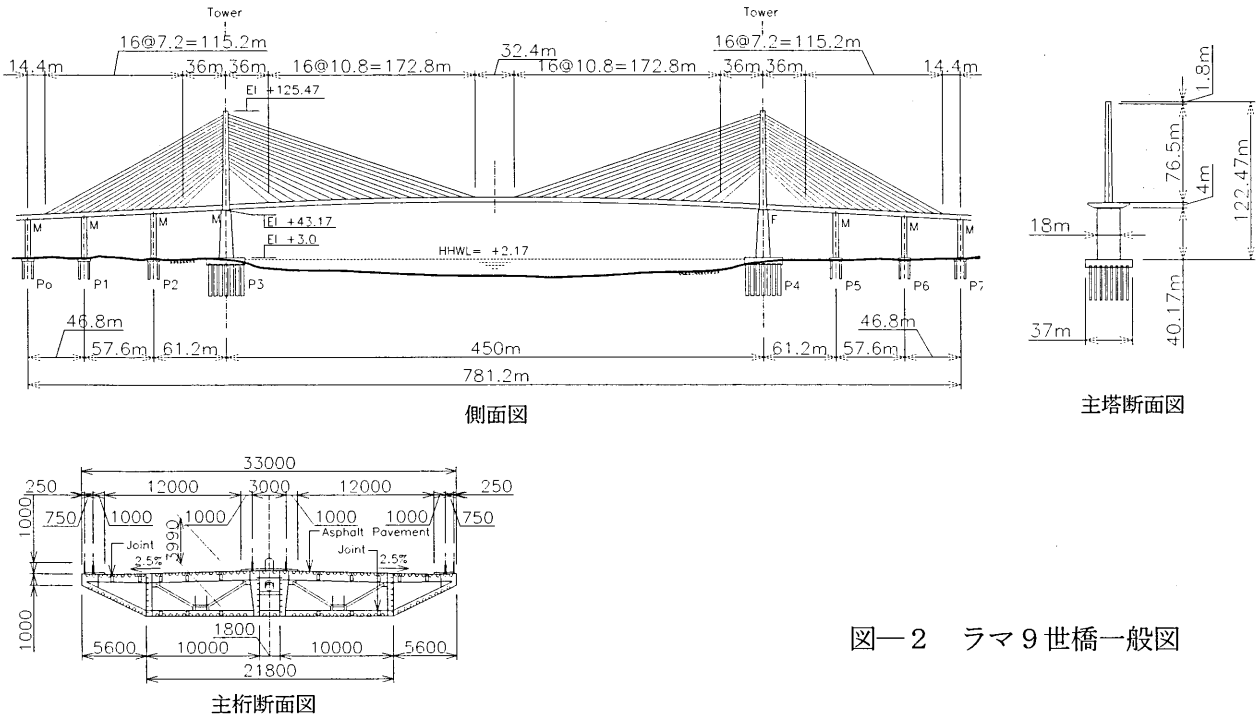
3. 1 概要

前章で述べたように、現在、チャオプラヤ川には5つの斜張橋が供用（2橋）もしくは建設（3橋）中である。以下ではそれぞれの橋の概要を述べた後、各橋の比較を行なう。なお、報告は鋼上部工を中心に行なう。

3. 2 ラマ9世橋（図—1 ⑩番）

本橋はバンコク首都圏高速道路のダオカノン〜クロントイ港線がチャオプラヤ川を渡河するために、1987年に日立造船をリーダーとする日泰5社JVによって施工された。建設資金は第9次円借款によるものであった。概要は以下である。

- 上部工の設計は、ドイツの Dr-Ing. Hellumut Homberg & Partner が実施。適用仕様書は DIN規格である。
- 中央径間450mの鋼斜張橋で、主桁は耐風安定性の観点から斜めウェブを有する鋼床版箱桁、主塔は独立一本中でケーブルは一面吊りである。ケーブルはロックドコイルをプレストレッチせず用いている。使用鋼材はSM490Y材クラスである。図2 一般図参照。
- 車線数は6車線、荷重はDIN1072に基づいているがAASHTO HS20-44と現地超過荷重トラックについても照査している。縦断勾配は5%。
- 耐風安定性確保のために、主桁内と主塔頂部にTMDを設置している。
- 架設工期は上下部合わせ36ヶ月。



図—2 ラマ9世橋一般図

表—2 ラマ9世橋の橋梁諸元

形式	7径間連続鋼斜張橋、桁の支持はペンデル杵、主塔は桁開口部を貫通し直接下部工に固定
支間割	46.8m + 57.6m + 61.2m + 450m + 61.2m + 57.6m + 46.8m = 781.2m
幅員	総幅員 33m、車道 2 x 12m (6車線)
主塔	鋼1本主塔、塔高86m (橋面上 78.3m)
ケーブル	1面マルチファン形式 (17段)、ロックドコイル (亜鉛メッキ)
主桁	鋼床版箱桁、桁高 3.99m
基礎工	杭基礎 (場所打ち杭)
主要数量	主要鋼材 SM490Y 主桁 13,950 t、主塔 2,000t ケーブル 1,250t (DIN17140, fu=1,550N/mm ²)

3. 3 ラマ8世橋 (図-1 ⑨番)

本橋はバンコク市内でも特に渋滞の激しいプラ・ピンクラオ橋 (⑩番) の交通量緩和のために、2002年に China State Construction をリーダーとするJVによって施工された。概要は以下である。

- 本工事はデザイン&ビルドで発注されている。上部工の詳細設計は、カナダの Buckland & Taylor が実施。適用仕様書はAASHTOである。ただし、鋼桁の断面検討には、ウェブの後座屈耐荷力を期待できるBS5400を適用し経済性の向上を図っている。
- 張り出し径間300mは合成桁 (2主桁のエッジビーム)、側径間は75mの定着径間を有するPC桁である。定着径間は直接地盤面に設置されている。主塔は逆Y字型でコンクリート箱構造である。ケーブルはスイスのBBRシステムによるマルチストランド形式。床版は250mmのプレキャスト床版を用いている。使用鋼材はSM490Yクラスである。図3 一般図参照。
- ケーブルの張り方は、張り出し径間側はねじり剛性を上げるために2面吊り、側径間側は定着径間への取り付けを考慮し1面吊りとしている。側径間側のケーブルは主塔箱断面の張り出し径間側の壁に張り出し径間側ケーブルと交差するように定着している。この詳細により箱桁断面であっても断面内にプレストレスを導入する必要が無い。
- 車線数は4車線、両側に自転車道が付く。活荷重はAASHTOのHS20を30%増ししたものを考慮している。
- 耐風安定性は2次元モデルを用いた風洞実験で確認している。フラッターに対しては風速60m/sまで安定している。渦励振に対してはASCEのacceleration comfort criteriaで照査している。
- 鋼桁の防食は、エンクロージャーシステムと除湿機により行なっている。
- 主塔の架設はジャンプフォームによる。
- 主桁の架設は、地組みした鋼桁ブロックをバージで所定位置まで運搬し一括架設している。鋼桁の継ぎ手は、地組み場 (主桁と横桁)、現場 (各ブロック間) ともボルト接合である。張り出し架設の進捗に合わせ定着径間にバラストコンクリートを打設した。
- 床版は、鋼桁架設後、桁上に架設し打ち継ぎ目部を現場打ちしている。
- 張り出し架設は4日サイクルで実施した。

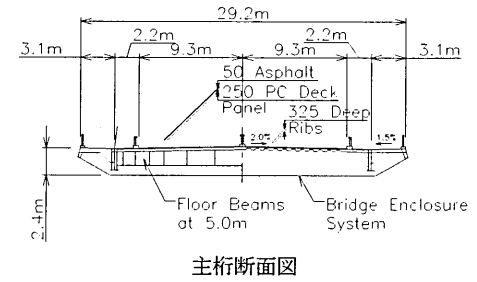
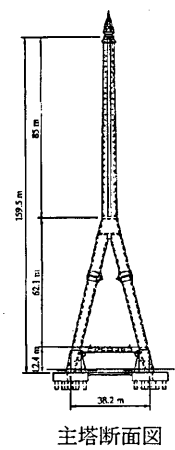
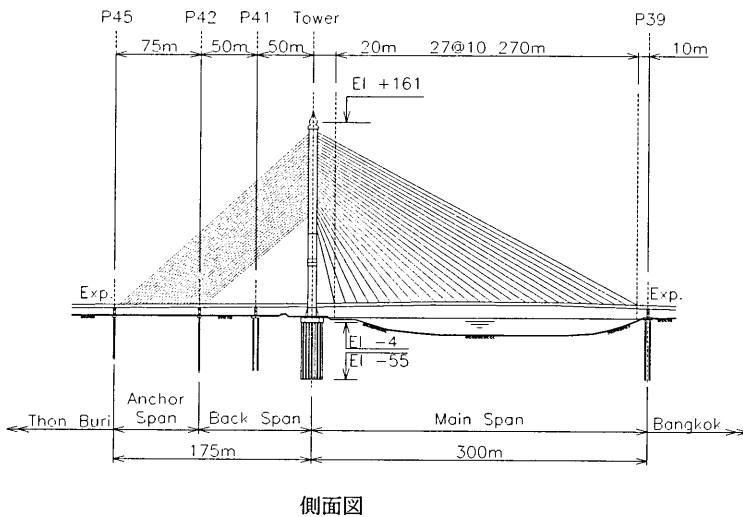


表-3 ラマ8世橋の橋梁諸元

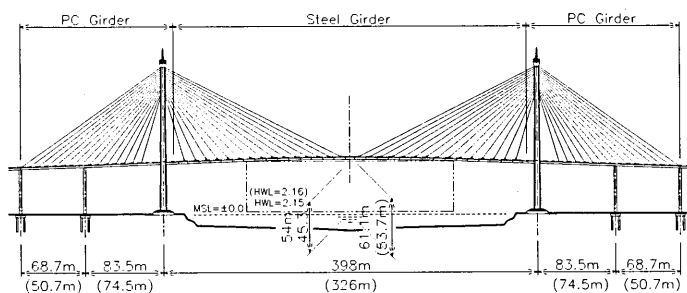
形式	4径間連続複合斜張橋、桁の支持は主塔位置ではゴム沓 (鉛直、水平)
支間割	75m + 50m + 50m + 300m = 475m
幅員	総幅員 29.2m、車道 2 x 9.3m 4車線、歩道 2 x 5.3m
主塔	コンクリート構造 逆Y型主塔、塔高 159.5m、橋面上 147.1m
ケーブル	側径間1面・中央径間2面吊りマルチファン形式 28段、マルチストランド BBRシステム、11~65ストランド、亜鉛メッキ+ポリエチレン被覆
主桁	定着径間 PC箱桁 (ポストテンション) 幅 10m x 桁高 9m、側径間 PC箱桁 (ポストテンション) 幅 10m x 桁高 2.4m、中央径間 合成21主桁、主桁高 1.6m、横桁高 1.33m 横桁配置 5m間隔
基礎工	杭基礎 (場所打ち杭)
主要数量	主要鋼材 Grade 345 (ASTM A 709) 主桁 3,958t ケーブル fu=1,770N/mm ²

図-3 ラマ8世橋一般図

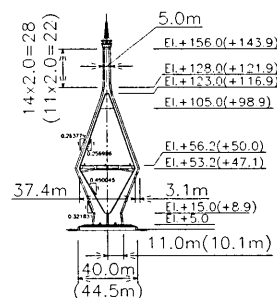
3. 4 Industrial Ring Road (IRR) プロジェクト (図-1 ⑰、⑱番)

本橋は、バンコク南部の2工業地帯 プラパデン工業地帯、サムトプラカン工業地帯とクロントイ港の3箇所を連結する産業環状線 (Industrial Ring Road) がチャオプラヤ川を横断するために建設される。本環状線はチャオプラヤを2回渡河する必要があるため2つの斜張橋 南橋と北橋が必要となる。現在、大成建設・西松建設・JFEエンジニアリング・STECON (タイのゼネコン) の4社JVで南北2橋を同時に施工中である。また、南北斜張橋の間にはインターチェンジが建設されるが、この部分は鹿島・東急・UNIQUE (タイのゼネコン) の3社JVで施工中である。建設資金は第22次円借款による。概要は以下である。

- 上部工の設計はノルウェーの Norconsult が実施。適用仕様書はBSである。
- 南橋の中央径間398m (北橋は328m、以下括弧書きとする) は合成桁 (4主桁のエッジビーム)、側径間は張り出し床版を両側に有するPC箱桁である。主塔はダイヤモンドと逆Y字型を組み合わせたコンクリート箱構造からなる。ケーブルはスイスのVSLシステムによるマルチストランド形式である。床版厚は、軸力の大きな主塔近辺が350mm、支間中央付近が250mm。床版は地組み場で鋼桁上に打設され完全合成桁として機能する。使用鋼材はSM490Yクラスである。図4 一般図参照。
- ケーブルの張り方は中央径間、側径間とも2面吊りである。主塔箱断面の各径間側の壁に定着されるので、箱の周方向にプレストレスを導入し橋軸方向に発生する大きな引張力に備えている。
- 車線数は3+4車線の合計7車線である。活荷重は、BSのHA荷重とHA/HBの組み合わせ荷重である。
- 耐風安定性は2次元モデルを用いた風洞実験で確認している。フラッター発現風速は65m/s以上。たわみの渦励振は風速12m/sで発生するが振幅が4,5cmと小さい。またねじりの渦励振は風速48m/sで1度程度であり発現風速が高いので問題とはならないと判断されている。
- 鋼桁の防食は、エポキシ系を主体とする5層塗りの塗装によって行なわれる。また、塗り替えが困難な現場継ぎ手部の摩擦接触面はアルミ溶射で防食している。
- 主塔の架設はスライディングフォームによる。
- 主桁は地組み場で地組みされ床版コンクリートも地組み場で打設される。1ブロックの架設重量は約500トンとなる。床版打設が完了したらバージにより所定位置まで運搬しストランドジャッキを用いて一括架設を行なう。鋼桁の現場継ぎ手はボルト接合である。



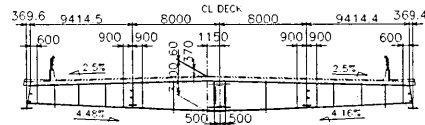
側面図



主塔断面図

表-4 IRR 橋の橋梁諸元 (括弧内は北橋を示す)

形式	5径間連続複合斜張橋、桁の支持は主塔位置で剛結
支間割	68.6m + 83.5m + 398m + 83.5m + 68.6m = 702.3m (50.6m + 74.5m + 326m + 74.5m + 50.6m = 578.3m)
幅員	総幅員 35.9~55.2m、車道 14.4m + 10.8m 4車線 + 3車線
主塔	コンクリート構造 逆Y型主塔、塔高176m (164m) 橋面上 120m (114m)
ケーブル	2面吊りマルチファン形式 15段 (12段)、マルチストランド VSLシステム、42~90 (40~80) ストランド 垂鉛メッキ+ポリエチレン被覆
主桁	側径間 PC箱桁 (ポストテンション) 幅 18.6m x 桁高 3.5m 中央径間 合成4I主桁、主桁高 外桁 2.13m、内桁 2.03m 横桁高 3.2m 4m間隔
基礎工	杭基礎 (場所打ち杭)
主要数量	主要鋼材 S355J0, S355J2G3 (BSEN10025) 鋼桁 3,832t (3,047t) ケーブル BS5896 1.321t (850t)



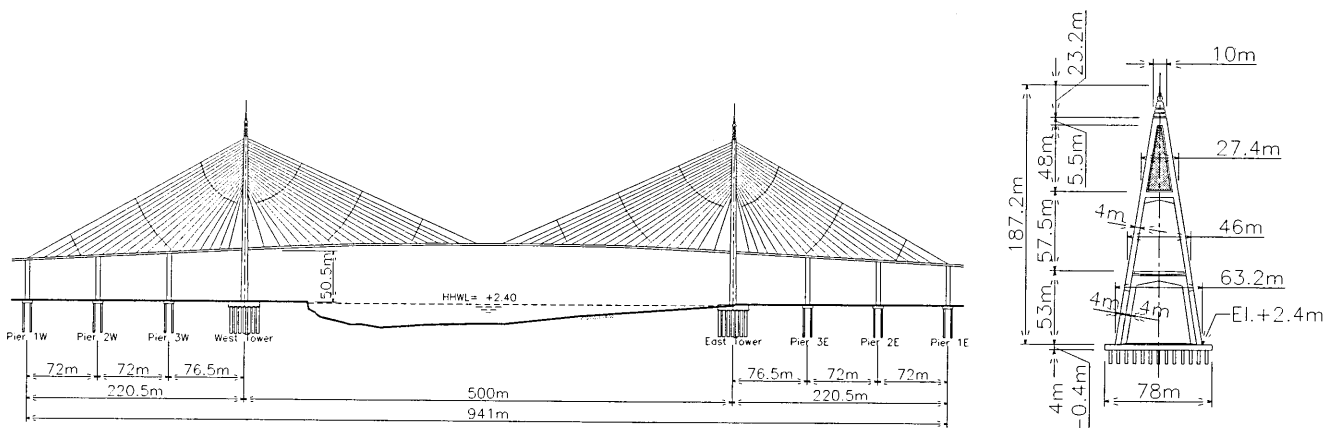
主桁断面図

図-4 IRR 一般図

3. 5 Outer Ring Road (ORR) プロジェクト (図-1 ⑱番 IRRのさらに下流)

本橋は、バンコク市の周辺地域を環状する170kmのOuter Ring Roadがバンコクの南部でチャオプラヤ川を横断するために建設される。現在、タイのゼネコン Chor Karnchang が施工を実施している。概要は以下である。

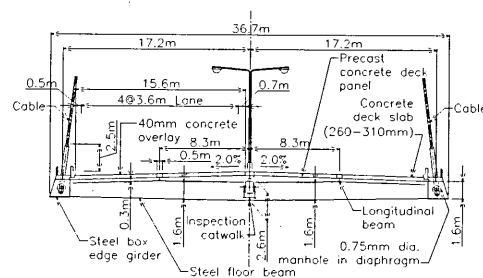
- 上部工の設計は Parsons Brinckerhoff が担当している。適用仕様書は AASHTO である。
- 中央径間 500m、側径間 220.5mとも合成桁 (2箱主桁のエッジビーム) である。本橋が完成すればタイで最長の橋となる。主塔はA型のコンクリート箱構造からなる。ケーブルはマルチストランド形式である。床版は310mmのプレキャスト床版を用いている。使用鋼材はSM490Yクラスである。図5 一般図参照。
- ケーブルの張り方は中央径間、側径間とも2面吊りである。主塔への定着方法は不明。
- 車線数は4+4車線の合計8車線である。活荷重はAASHTOのHS20を30%増ししたものを考慮している。
- 耐風安定性は2次元モデルを用いた風洞実験で確認している。フラッター発現風速は56m/s以上。渦励振は風速25m/sで発生するが、その時の加速度はASCEのacceleration comfort criteriaの許容範囲に収まっている。
- 鋼桁の防食は、人目につきやすいエッジガーターは3層塗りの塗装によって行なわれる。横桁とストリンガーは無塗装仕様の耐候性鋼板を用いている。
- 主塔の架設方法は不明。
- 主桁は地組みした鋼桁ブロックをバージで所定位置まで運搬し一括架設する。側径間もエッジビーム形式であるためバラシングキャンチレバーで主塔より両側に張り出し架設される。鋼桁の継ぎ手は、地組み場 (主桁と横桁)、現場 (各ブロック間) ともボルト接合である。
- 床版は、鋼桁架設後、桁上に架設し打ち継ぎ目部を現場打ちする。



側面図

主塔断面図

主箱桁断面図



主桁断面図

表-5 ORR 橋の橋梁諸元

形式	7径間連続複合斜張橋、桁の支持は主塔位置で支承支持、側径間は橋脚に剛結
支間割	72.0m + 72.0m + 76.5m + 500m + 76.5m + 72.0m + 72.0m = 941.0m
幅員	総幅員 36.7m、車道 2 x 15.5m 8車線
主塔	コンクリート構造 A型主塔、塔高 187m
ケーブル	2面吊りマルチファン形式 20段、マルチストランド 亜鉛メッキ+ポリエチレン被覆
主桁	合成2箱主桁、主桁高 主桁 1.63m、横桁高 2.27m 4m間隔
基礎工	杭基礎 (場所打ち杭)
主要数量	主要鋼材 Grade 50 (AASHTO M 270) 鋼桁 13,000t (推定) ケーブル ASTM A416-90A, Grade 270

図-5 ORR一般図

4. 各斜張橋の比較

4. 1 代表的諸元について

表-6に各斜張橋の代表的諸元を比較したものを示す。なお、エッジゲーター式の斜張橋が大部分を占めるので他国における代表的な実施例であるアナシス橋も参考に比較する。なお、アナシス橋の架橋地点は、河口より20km上流の河川内でありまた桁下空間も56mとバンコク斜張橋群の架橋地点と類似している。

表-6 各斜張橋の代表的諸元、詳細の比較

諸元	単位	Rama 9 th	Rama 8 th	IRR South	IRR North	ORR	Annacis
中央径間長 L (鋼桁長)	m (m)	450 (781)	300 (300)	398 (398)	328 (328)	500 (941)	465 (930.5)
総幅員 B	m	33	29.2	36	36	36.7	32
L/B	NA	14	10	11	9	14	15
桁高 d	m	3.99	1.6	2.13	2.13	1.63	2
B/d	NA	8	18	17	17	23	16
d/L	NA	1/113	1/188	1/187	1/154	1/307	1/233
鋼重	t	13,950	3,958	3,832	3,047	13,000 *	5,600
橋面積鋼重	kg/m ²	541	452	267	258	376	188
ケーブル段数	数	17	28	15	12	20	24
桁位置での ケーブル間隔	m	10.8	10	12	12	12	9 *

* 推定

いずれの斜張橋もチャオプラヤ川岸に主塔を建設しているため中央径間は川幅300~500mを横断できるものとなっている。またこの程度の中央径間長は斜張橋が経済的となる径間長でもあり斜張橋が盛んに建設される理由となっている。

幅員は大交通量を渡河させる必要があるためラマ8世橋を除き6車線以上で36m程度の広幅員となっている。

中央径間長と幅員は架設地点と必要な渡河交通量が大きく影響するため、鋼斜張橋であるラマ9世橋と他のエッジゲーター形式で大きな差は出ないが、橋梁形式が大きく影響する桁高は、ラマ9世橋の約4mに対してエッジゲーターでは2m程度であり、桁高・支間比も1/180~300と非常に扁平な断面となっている。これは斜張橋の主要断面力であるケーブルにより桁に伝達される軸圧縮力の大部分をエッジゲーター形式では床版コンクリートが負担し、主桁は床版を支持する床組みとしての機能が大きいと考えられる。このことは中央径間長が最も大きなORRの主桁桁高が最も小さいことから伺える。

同様のことが鋼重についても言うことが出来る。いずれのエッジゲーター形式も鋼斜張橋のラマ9世橋よりも橋面積あたりの鋼重が少なく、平均すれば約半分と言うことが出来る。IRRの鋼重がラマ8世橋、ORRよりも低いのは床版を地組み場で打設し床版自重も合成桁で抵抗する完全合成桁としたことが理由の一つと考えられる。一方、同じエッジゲーター形式の中でアナシス橋の橋面積鋼重が少ないが、これはバンコクの斜張橋群が支持する活荷重がAASHTO HS20の30%増しであること、アナシス橋のケーブル本数が多いこと、が大きく影響していると思われる。

耐風安定性に関係する支間長・幅員比(L/B)、幅員・桁高比(B/d)に関しては、前者が10~14、後者が20前後の範囲に収まっているが、耐風安定性には様々な要因が影響するため個々の橋梁の耐風安定性は風洞実験によって確認されている。なお、耐風安定性の検討をする場合にはB/dのdには地覆、防護柵などを考慮する必要があるが、今回は比較が目的であるため便宜的に鋼桁高を用いている。

4. 2 構造詳細について

表-7に各斜張橋の構造詳細を比較したものを示す。

表—7 構造詳細の比較

構造詳細	Rama 9 th	Rama 8 th	IRR South	IRR North	ORR	Annacis	
主塔形状	1本柱	逆Y	逆Y	逆Y	A	H	
主塔材料	鋼	コンクリート	コンクリート	コンクリート	コンクリート	コンクリート	
主桁	1箱桁	2 I桁 1ストリンガー	4 I桁	4 I桁	2箱桁 3ストリンガー	2 I桁	
主桁断面	上フランジ	NA	30 x 700	25 x 500		45 x 1500	不明
	ウェブ	NA	12 to 30 x 1600	20 to 25 x 2130		2 x 45 x 1500	不明
	下フランジ	NA	50 to 100 x 750	45 to 95 x 1000	45 to 70 x 1000	60 x 1900	最大板厚 80mm
主桁補剛材	Uリブ	水平1本	水平2本	水平2本	フランジ、ウェブ共無し	不明	
横桁	ダイヤフラム	I桁	I桁	I桁	I桁	I桁	
横桁間隔		5m	4m	4m	4m	4.5m	
主桁・横桁連結	NA	ボルト	溶接	溶接	ボルト	ボルト	
床版厚 床版架設法	鋼床版	250mm プレキャスト 現場架設	250,350mm 地組み場で打設		310mm プレキャスト 現場架設	215mm プレキャスト 現場架設	
防食法	塗装	エンクロージャー	塗装		塗装+耐候性	耐候性	

(1) 主塔形状

架橋地点のシンボルとなる主塔形状には仏教建築の影響を見ることが出来る。逆YやAのような尖塔とその頂部に搭載される黄金色の装飾の組み合わせは、タイの仏教寺院の典型的なデザインを反映している。また、このようなデザインはバンコクの高層建築の多くでも見ることが出来る。

(2) エッジガーター斜張橋の合成桁について

主桁本数が2本のラマ8世橋とORRは広幅員であるためストリンガーを中間に配している。

いずれのエッジガーター斜張橋も上フランジとウェブはほぼ当断面を全長に渡り通している。一方、下フランジは断面力の変化によって板厚も大きく変化している。IRRの上フランジ断面が他よりも小さいのは、4主桁であることと完全合成桁であることが理由と思われる。表には示していないが主桁同士の連結はボルト継ぎ手で行なっている。ボルトのサイズは、IRRのみがM24で他はM22である。ただし、IRRはメッキボルトを使用するためボルトの材質は強度区分8.8である。

横桁間隔は4,5m程度である。主桁と横桁との連結はIRRを除きボルト継ぎ手となっている。ラマ8世橋、アナシス橋は主桁がI桁でねじり剛性が小さいので連結はウェブのみで行なっている。主桁が箱桁のORR橋は上下フランジも連結しているが、主桁と横桁のフランジ板厚差はフィラーを用いず添接板をフランジ面が合っている面だけに配置する1面摩擦とすることで解消している。

ケーブル定着部の構造はいずれも鋼管を用いたRigidタイプで、桁側を固定端としケーブルの引き込みを主塔側で行なっている。ORRでは鋼管を箱桁内に貫入させ、それと平行に箱断面内に斜めダイヤフラムを配しケーブル張力をウェブに伝達している。

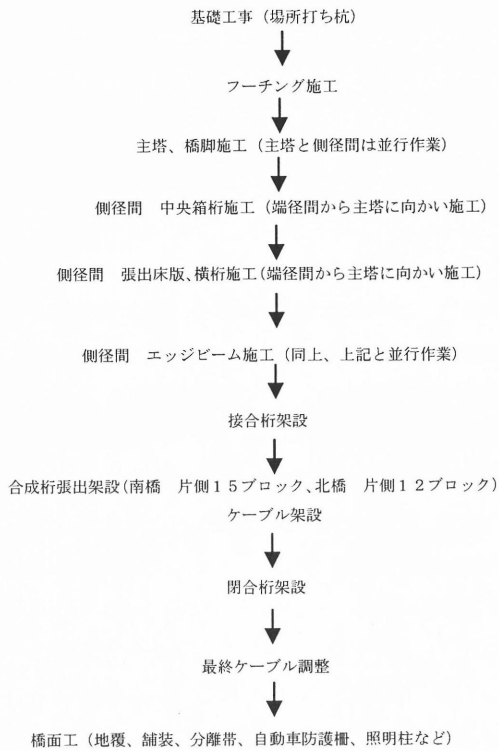
鋼桁の防食法は、IRRが5層の塗装による防食法を採用しているのに対し、他橋では塗装以外の防食法が採用されている。ORRでは人目につきやすい主桁のみ塗装とし横桁は耐候性を無塗装で使用する予定である。アナシス橋も耐候性の裸仕様を適用している。ラマ8世橋ではエンクロージャーの内部を除湿機により結露しないよう湿度を管理している。

床版厚はIRRを除き全長に渡り一定厚となっている。IRRでは桁の軸圧縮力が大きくなる主塔付近で床版厚を増している。床版との連結はいずれの橋梁でもM22の頭付きスタッドボルトで行なっている。

5. IRRプロジェクト斜張橋工事の現状紹介

5.1 斜張橋工事全体フローと工事進捗状況(2005年6月末時点)

図-6に斜張橋全体の工事フローを、図-7に主塔の施工状況を、図-8に側径間の施工状況を示す。



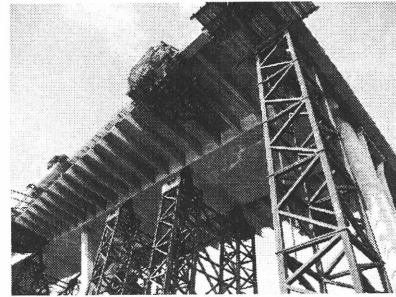
図一六 斜張橋工事フロー

(1) 主塔工事は、Upper legs と呼ばれる桁よりも上部の主塔脚の施工が完了しダイヤモンド形状を形成している。現在、ケーブルが定着される Pylon stem と呼ばれる逆Y字の鉛直部分を施工中である。

(2) 側径間は、中央部箱桁の施工が完了し、桁上に配置された移動型枠を用いて張出床版・横桁、エッジビームをそれぞれ施工中である。



図一七 主塔施工状況

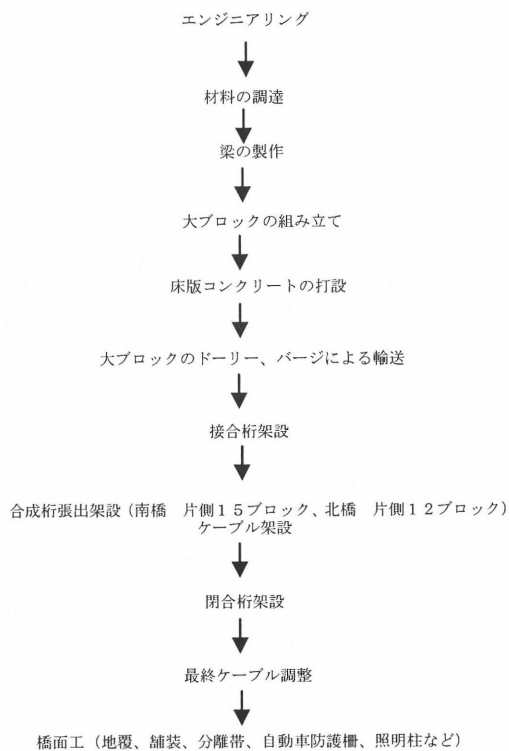


図一八 側径間施工状況

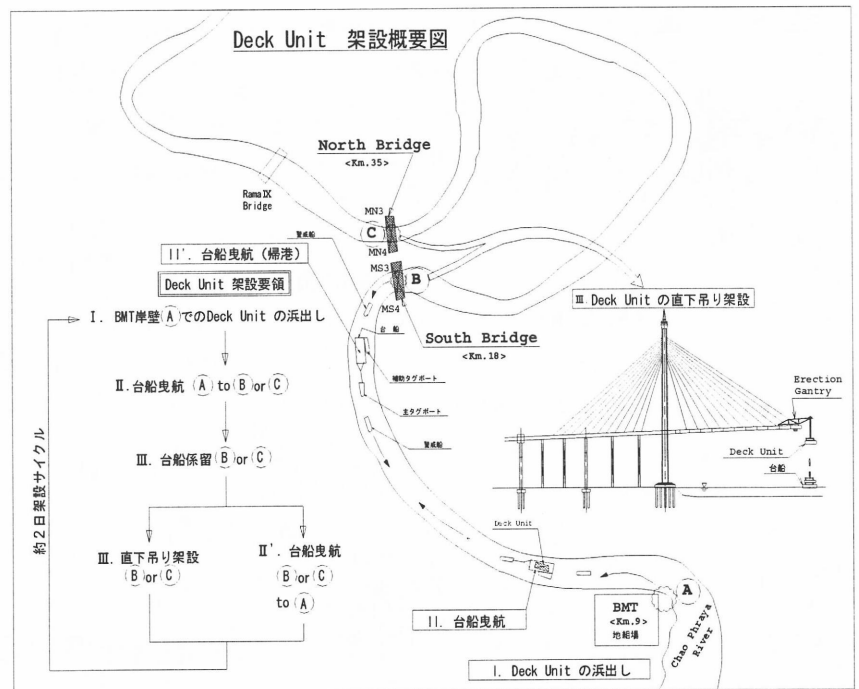
5. 2 鋼桁工事の現状

(1) 鋼桁工事フロー

図一九に鋼桁工事のフローを、図一〇に架設概要図を示す。



図一九 鋼桁工事フロー



図一〇 架設概要図

(2) 鋼桁工事の現状と予定(2005年6月末時点)

現時点で、製作はほぼ100%完了し、地組み立てが進行中である。大ブロックを輸送するためのドーリーとバージの業者、吊り上げ架設の業者の選定も完了している。今後の予定は、7月から吊り上げガントリーのPC桁上への架設を実施し、9月より鋼桁の架設を実施する予定である。

(3) 各作業項目の概要と特記事項

1) エンジニアリングについて

- ① 施工業者に求められる契約上のエンジニアリング業務には、工事遂行に必要なすべての業務が含まれる。具体的には、設計業務、施工法、施工体制、施工管理、工程管理、品質管理、安全、環境保全などであり、すべての項目について要領書などの書面作成と施主側エンジニアの承認が必要になる。
- ② 施工業者の責任範囲における特記事項として、設計に対する責任がある。契約上、施工業者には完成後の構造物の設計責任はない。設計図書も支給されず照査義務、責任もない。設計に関して疑義がある場合は、その都度質問を出しエンジニアが回答する。
- ③ ただし、施工業者は、架設時の構造物の安定と架設時に発生する応力で完成系に持ち越しとなる分が完成系の応力状態に悪影響がでないことを保証し、問題が生じた場合は責任を取らなければならない。
- ④ また、ケーブル定着部の構造は施工業者が設計計算も含め詳細を決定することになっている。当然これに伴う責任は施工業者が取ることになる。発注図面ではケーブル定着部の板厚構成タイプが3タイプあったが、実施工時には2タイプのみとし設計作業の省力化を図った。
- ⑤ 発注図の鋼桁に関する図面は8枚しかなくそこから日本の発注図に相当する製作図(working drawings)を施工者側で2橋で200枚程度作成した。下請けの工場ではこの製作図にキャンパー、製作伸ばし、部材番号、開先情報などの製作情報を加え、さらに800枚程度の工作図を作成し製作に供した。

2) 材料の調達

- ① 鋼材はすべて日本からの調達とした。理由は、タイでは高炉を有する一貫製鉄所がないため鋼材の納期は海外からのスラブの調達に大きく左右されるが、本プロジェクトの鋼材調達時期は世界的な厚板需要の逼迫期にあたりスラブの調達が不透明で納期に不安があったためである。さらにタイのミルの製造可能最大板厚は50mm程度で当プロジェクトに必要な板厚をカバーしきれないこと、品質に対する信頼性が今ひとつ疑問なことも理由となった。本プロジェクトの納期遅延金(Liquidity damage)は非常に高額であるためまずはプロジェクトの遂行を最優先とした。
- ② 一方、当プロジェクトの鋼材調達時期にタイ政府が海外からの輸入鋼材に対してアンチダンピング課税を実施し、日本製鋼材についても関税7.5%に加えて36.25%ものアンチダンピング税が課せられることになった。契約時にはアンチダンピング税は施行されておらず、本プロジェクトの実施時期に施行されるのか、また、いくらの税率で課せられるか予想は不可能であったので、本税負担は発注者側にクレーム可能と判断し、上述したようにプロジェクト遂行の観点から納期、品質の確実な日本製鋼材の使用に踏み切った。
- ③ ところが実際の納入時期に、自動車製造業を中心とするタイの鋼板ユーザーからアンチダンピングに対する大きなクレームが起り、アンチダンピングは6ヶ月間凍結されことになった。偶然ではあるが当プロジェクトの大半の鋼材調達時期がこの凍結期間と一致し巨額のアンチダンピング税を免れることが出来た。
- ④ アンチダンピングは幸運にも免れたものの、輸入鋼材に対してはT I S(Thai Industrial Standards)通関・検査が別の大きな問題として立ちはだかった。T I S通関とは輸入に先立ち、輸入される品目がタイで製造可能なものかどうか、そうであれば何故輸入が必要かを審査するも

ので理由が妥当なものでなければ輸入が許可されないこともありうる。T I S検査とは、輸入されるものがT I Sに適合しているかどうかを照査するもので、不合格となればタイ国内での使用は許されず、国外撤去が求められる。具体的には各船積みごとに同一板厚から最低3枚試験片を採取し機械的試験とプロダクトテストによる化学成分分析を行い、その結果がT I Sに適合しているかどうかを確認することが求められる。

- ⑤ T I S通関・検査を完了するのに最低でも1ヶ月、もし何らかの問題が生じた場合は数ヶ月にわたり通関されず納期に支障をきたす可能性があることが判明したので、以下⑥の対策を取りT I S通関・検査を短期間で円滑に通し製作工程に支障が生じないようにした。
- ⑥ 事前にT I Sを管轄する官庁にプロジェクトの概要、何故日本から鋼材を輸入しなければならないかの説明を実施し先方の理解と輸入の承認を得た。また、鋼材はT I SとB Sの規格の厳しい側を満足するダブルスタンダードで製造を行なった。理由は輸入鋼材はT I Sを満足する必要があるが、エンジニアから本プロジェクトに使用する鋼材はあくまでB Sに従うことを要求されたためである。さらに、通関にはT I S通関になれた業者を採用し業務の円滑化を図った。
- ⑦ 板厚の変化は5mmピッチを基本としておりあまり決めの細かい板厚変化を行い鋼重を最小化することは求められていない。板厚の範囲は10mmから100mmまでで、50mm以上の厚板で溶接時に両側から拘束を受ける部材についてはZ35仕様が求められた。また、同時にそれらの鋼材にはマイナス20度でシャルピー値を保証することが求められた。

3) 梁の製作

- ① 梁の製作はタイのファブリーケーターS T P & I社で全量実施した。この会社を選定した理由は、工場の設備、能力、価格に加えて、本プロジェクトに先立ち類似の構造であるラマ8世橋の製作を要領書、工作図の作成などエンジニアリングも含めて一式で実施した実績を評価したためである。
- ② ラマ8世橋の実績から下請け契約はエンジニアリングも含む一式契約としたが（ただし鋼材は支給）、契約後、タイの建設ブームの影響で大量の転職者、特にエンジニアクラスが発生しこの会社のエンジニアリング能力が著しく低下してしまった。そこで、工作図の作成、各要領書の作成、品質管理計画書などのエンジニアリング作業に元請が深く関与する必要性が生じた。
- ③ 製作開始後も、労務管理、操業管理自体は下請けが実施したものの、工程、品質管理に関しては元請が主体となって実施する必要性があった。
- ④ 工程に関しては週間ターゲットを定め予実の管理をきめ細かく行なった。予実の乖離が激しい場合、原因を特定し改善策を現実のものとするを根気強く行なう必要性があった。
- ⑤ 品質に関しては、品質上のキーポイントであった定着部の形状管理・仮組立て、溶接、素地調整を含めた塗装作業、アルミ溶射にそれぞれ、元請のエンジニア、第三者非破壊検査会社、塗料メーカーのエンジニア、金属溶射政府研究機関からの派遣エンジニアを配し、操業指導とあわせ品質をコントロールした。
- ⑥ 本プロジェクトでは、工場に施主側のエンジニアが常駐し品質のチェックを行なった。上述したキーポイントに関しては、スペック上はほぼ全数立会い検査が求められており、製作がある程度進むまでは実際に全数立会い検査となった。検査はその性格上、結果に問題がないとしても事前準備やエンジニアとの時間調整などで工程の遅延要因となる。製作の進捗に合わせ、エンジニアと適宜交渉し立会い検査項目と頻度を緩和していった。立会い検査は減らせたものの検査自体は実施する必要性があり、検査報告書は膨大なものとなった。すべての報告書には、エンジニアも含めた関連する担当者の署名が必要となり、検査書類の完成にはかなりの時間を要した。
- ⑦ 品質では特に防食関連の品質要求に厳しいものがあつた。タイでは鋼橋はそれほど一般的ではないため施主側エンジニアに鋼橋の経験、知識があまりなく、その結果、評価に関しては常に安全側すなわち厳しい側となる傾向にあつた。特に防食関連の検査は素地調整に代表されるように目

視によるものが多く感覚での判断となる。機能には問題がないと判断できても見た目に悪いものに関しては評価が低くしばしば再施工を求められ工程上の支障となった。

- ⑧ 本プロジェクトの塗装系はエポキシ系塗料4層とポリウレタン系上塗り1層の計5層 最小乾燥塗膜厚450 μ である。工場では下の4層までの塗装を実施した。また、主桁の現場継ぎ手部の摩擦接触面には塗装作業に先行してアルミ溶射を施す必要があり、塗装のみの場合に比べて作業の段取り、所要日数が増加し、工程上のネックになった。



図-11 工場内の製作状況

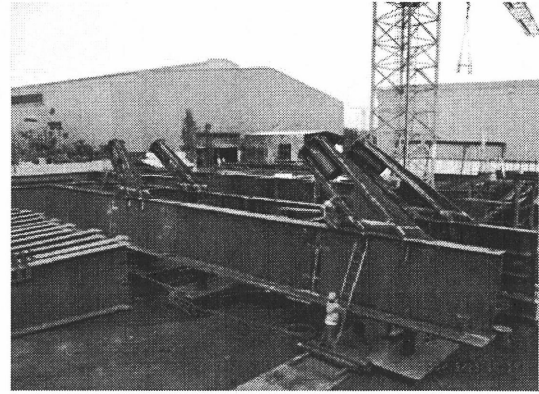


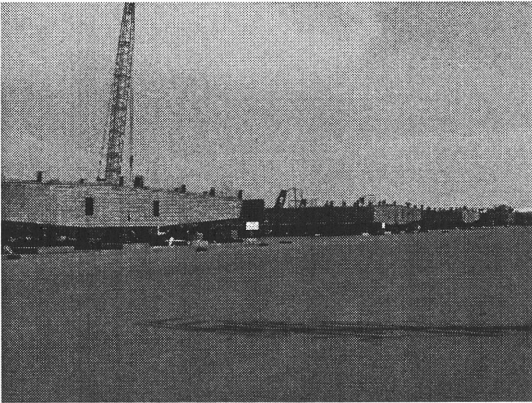
図-12 工場における仮組立て状況

4) 大ブロックの地組み立て

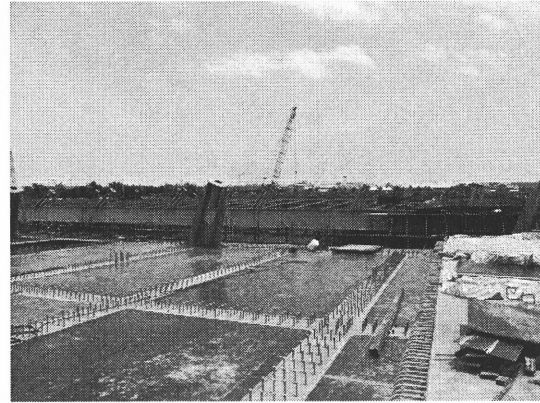
- ① 地組み立て場の選定に当たっては、場所(ファブリケーターから地組み場への製作部材の輸送性、架設現地へのブロックの輸送性、床版用コンクリートプラントの有無など)、土地の形状(張り出し架設4箇所分の収容、ブロックの搬入、地組み用重機の振り回し、床版用型枠、支保工の展開性など)、土地の状態(造成、地盤改良、排水設備などの要否、電気、水道、電話などの接続性)、広さ(収容可能ブロック数)、岸壁設備の有無、経済性、などを総合的に判断した結果、南橋の現場から約10km下流と現場に近く、60ブロック全量の収容が可能で、地耐力が60t/m²と非常に高く、チャオプラヤ川に面した岸壁も既に整備されている Bangkok Modern Terminal(BMT)という既設のコンテナターミナルの土地を借用し地組み立て場とすることになった。地組み立て場の位置を図10に示す。
- ② 本プロジェクトでは南北2橋のそれぞれの両側主塔からほぼ同時期に張り出し架設を行なう必要があるため、地組みはそれぞれの張り出し架設ごとに4列配列して実施した(図-11参照)。また、架設と並行して地組み立て作業を行い、ブロックが搬出されたら開いたスペースで地組みを実施し地組み立て場の必要面積を小さくすることも検討したが、作業が輻輳すること、なんらかの作業に支障が生じた場合、全体工程への影響が大きいこと、から架設工程に左右されずに地組みを行なえるよう全ブロックを収容できる広さを確保するものとした。
- ③ 鋼桁の地組み立てはコンクリート基礎の上に配置された鋼管による支持柱の上で行なわれる。支持柱の高さは、その上に製作した梁を乗せれば鋼桁のキャンバーが再現できるように調整されている。鋼桁の地組みは2台の150tクローラークレーンで実施した。なお、支持柱を鋼管としたのは地組み完了後のコンクリート廃材の量を減らすためである。
- ④ 地組み立ては、連続する3ブロックの現場継ぎ手、ケーブル定着部の位置に問題がないかどうかを確認しながら実施した。3ブロック組み終わったら先行側の2ブロックの最終溶接を実施した。3ブロック内の最終ブロックは次回の3ブロックの地組み立ての基準となる必要があるため最終溶接はさらに2ブロックの地組み立てを待つ必要がある。
- ⑤ 最終溶接完了後、溶接部の塗装を実施した。素地調整にはサンドブラストを用いた。並行して工場出荷後に発生した塗装損傷部の補修も実施した。
- ⑥ 4層までの塗装が完了したら床版コンクリートの打設を行なった。型枠は木製型枠を用い支持は

地面から直接とった。

- ⑦ 型枠脱型後、現場継ぎ手部を除き上塗り塗装を行い、検査車用レール、検査路を取り付け地組み立ては完了する。



図一 1 1 地組みブロック配列状況



図一 1 2 床版型枠施工状況

本文を著している 2005 年 6 月末では、鋼桁フローの中の上記作業が進行中もしくは完了している。従い以下の作業については計画のみ記す。現時点の計画では各張り出し架設ごとの架設サイクルは 8 日で、4 張り出し架設同時施工時には 2 日に一回、大ブロックの輸送と架設を実施することになる。

5) 大ブロックのドーリー、バージによる輸送

- ① 床版コンクリート打設後、大ブロックの重量は 500 トン程度となる。地組み場から岸壁への輸送、バージへのロードアウトはドーリーを用いて行なう。
- ② BMT の岸壁前面水深は 8 m 程度あるためロードアウト時にバージを着底させて安定を計ることは出来ない。バージの安定はバラスト調整にて行なう。
- ③ バージはタグボートによって架設現場まで曳航し、ワイヤーによって位置決めされる。

6) 接合桁架設

- ① 接合桁の架設に先立ち、吊り上げガントリーの PC 桁上への架設が実施される。
- ② 接合桁の架設位置にはフーチングの仮締め切りが設置されているためバージが直下まで進入できない。このため接合桁は斜め吊りで架設を行なう必要がある。
- ③ 接合桁と PC 側径間は間詰め部へコンクリートを打設し、コンクリート硬化後、PC 鋼棒にて締め付けを行なうことで PC 側径間との結合を行なう。

7) 合成桁の張り出し架設

- ① 合成桁部の張り出し架設のサイクルは、合成桁の吊り上げ架設、現場継ぎ手の施工、床版コンクリート打ち継ぎ目部の施工、ケーブル架設、吊り上げガントリーの前進、で予定では 8 日サイクルでこれを実施する。
- ② 吊り上げ架設には、ストランドジャッキを用いる。吊り上げ速度は、20m/時間で約 60 m の高さを 3 時間で吊り上げる予定である。
- ③ 現場継ぎ手には High Strength Friction Grip bolts(HSFG bolts)を用いる。締め付け方法はナット回転角法にて実施する。締め付けトルクは 270 N・m 以上、トルク導入後のナットの回転角は、ボルト首下長 160 mm までは 180 度以上、350 mm までは 270 度以上である。
- ④ 打ち継ぎ目部の床版コンクリートが硬化するまでは吊り上げ大ブロックの重量は吊り上げガントリーで保持する。

- ⑤ マルチストランドケーブルの架設は、ストランド一本ずつを架設していくいわゆる isotensioning で行なう。
- ⑥ ケーブル張力導入が完了したら吊り上げガントリーをジャッキによって次の吊り上げ位置まで前進させる。

8) 閉合桁の架設

- ① 本橋は主塔、主塔部横梁が剛結されており側径間も橋脚と剛結のため、閉合桁架設時にセットバックを行い閉合部の間隔を広げることが出来ない。そこで、閉合桁は設計値よりも200mm短くして製作している。この隙間は桁断面と同一のフィラーを挿入することで埋めるものとする。

6. あとがき

チャオプラヤ川に架かる橋梁群を特に斜張橋を中心に紹介した。また、現在進行中のIRRプロジェクトの斜張橋工事について鋼桁工事部分に焦点をあて報告した。

本プロジェクトは日タイ両国出身者を中心に実施しているものの、工事関係者の出身国は10数以上に及んでいる。工事の遂行には技術的課題の克服だけでなく、異なる文化、習慣、輻輳する利害関係を調整することが非常に重要となっている。

2005年6月末時点、架橋地点では陸上部分におけるコンクリート工事が大規模に行なわれている。本年秋口にはいよいよチャオプラヤ川上への張り出し架設が2橋同時に開始となりプロジェクト全体が大詰めを迎えることになる。

本橋の架橋地点はバンコク市の南部産業地帯の中心に当たり地上より約60mの位置に架設される。シンボリックなデザインの主塔を有する2つの斜張橋はバンコクに新たなランドマークを提供するものと期待される。

参考文献

- 1) Department of Rural Road, Ministry of Transport, Thailand : Bridges in Bangkok and Boundary
- 2) 国際協力銀行バンコク駐在員事務所 : バンコクODAローンプロジェクト・マップ、2004年7月
- 3) 横井勉、大崎洋一郎：ラマ9世橋、橋梁と基礎、pp.50-52、1988年1月
- 4) 沖野真：メナム川に架ける斜張橋（チャオプラヤ橋）、橋梁と基礎、pp.22-26、1985年2月
- 5) Frank Gregory, Ralph Freeman : The Bangkok Cable Stayed Bridge, 3 F Engineering Consultants, 1987
- 6) Chaiyuth Nanakorn, Larp Chitnuyanondh, Ekasit Limsuwan : Rama VIII Bridge, Bangkok, Thailand, Structural Engineering International, pp.158-160, March 2002
- 7) Charles R. Heidengren : Regal Crossing, Civil Engineering, pp.35-43, July 2003
- 8) Ruchu Hsu : Bridge to the Future, Civil Engineering, pp.56-61, November 2004
- 9) 渡貴司、市橋俊夫：タイ・リングロード斜張橋、橋梁と基礎、pp.150-151、2004年8月
- 10) 土木学会鋼構造委員会：鋼斜張橋一技術とその変遷一、土木学会、1990年9月
- 11) 海洋架橋調査会：橋と景観 北アメリカ編、(財)海洋架橋調査会、1990年12月
- 12) 日本道路協会：道路橋耐風設計便覧、(社)日本道路協会、1991年7月