

チュニジア/ラデス・ラグレット橋の施工

— チュニジア初のエクストラードーズド橋 —

田崎 信一*1・ククリット・トゥーン*2

チュニジア共和国は、北アフリカに位置する国であり、フランス語圏の一国である。

本プロジェクトは、首都チュニスにおける交通網整備を目的とした有償案件であり、スパン 120 m のエクストラードーズド橋のほか、インターチェンジ・アプローチ道路から成る全 5 工区のプロジェクトである。本稿では、弊社が施工したチュニジアで初となるエクストラードーズド橋、およびインターチェンジの施工について報告する。

キーワード：フランス基準、設計施工、エクストラードーズド橋、連続 PC 橋

1. はじめに

本プロジェクトは、2004 年 8 月に着手され、2009 年 3 月に供用開始された JICA（発注当初は JBIC）の有償案件である。

プロジェクトの目的は、チュニジア共和国（以下、チュニジアと略述）の首都チュニスに新たな交通網を形成するものであり、スパン 120 m のエクストラードーズド橋、延長約 1.8 km のインターチェンジ、および既設道路と接続するアプローチ橋・新設道路から成る。

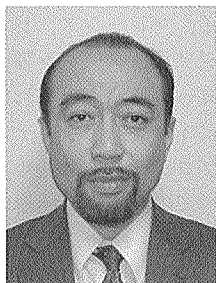
本プロジェクトは、入札時の基本設計に準じて詳細設計を行う設計施工の案件であった。チュニジアはフランス語圏の主要国であり、設計基準・材料規格はフランス基準が適用された。なおチュニジアでは、エクストラードーズド橋のような斜吊り形式の橋は初めての構造であった。

本報告では、施工面を中心に記載し、そのほかに設計面やチュニジアでの工事を振り返ってトピックスを紹介する。

2. 工事概要

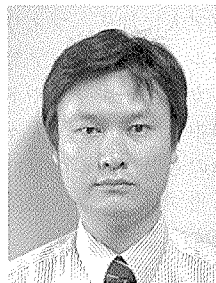
2.1 プロジェクトの概要

チュニジアは、地中海を挟んでイタリアの向かいに位置する北アフリカの国である。西にアルジェリア、東にリビアが位置し（図 - 1）、南方にはアルジェリアに跨る広大なサハラ砂漠を有している。



*1 Shinichi TASAKI

大成建設(株)土木本部プロジェクト部次長（当時：国際支店ラデス・ラグレット橋（作）所長）



*2 Kukrit TOONGOENTHONG

大成建設(株)国際支店土木積算部（当時：国際支店ラデス・ラグレット橋（作）設計主任）

一般の方には、世界史で有名なカルタゴ（現場から車で 20 分）や、2002 年の日韓ワールドカップの際、決勝トーナメント進出を決めた予選リーグ第 3 戦の相手として馴染みがあるであろう。

首都チュニスは、人口は約 100 万人でチュニジア最大の都市であり、都市開発が鋭意進められている。

図 - 2 に示すように、市の中心部には北チュニス湖と南チュニス湖の 2 つの大きな湖が隣接し、その間には運河が流れ、また運河に並行する鉄道・道路で湖の東西が結ばれている。よって、市内の南北方向のアクセスは湖の西側の市街地および東側のフェリーにかぎられ、慢性的な混雑状態が続いていた。

本プロジェクトは、この渋滞を解消してチュニス湖周囲の円滑な交通網を形成し、湖の周囲に点在する空港や港湾施設等の拠点を有機的に繋ぐことを目的として計画され

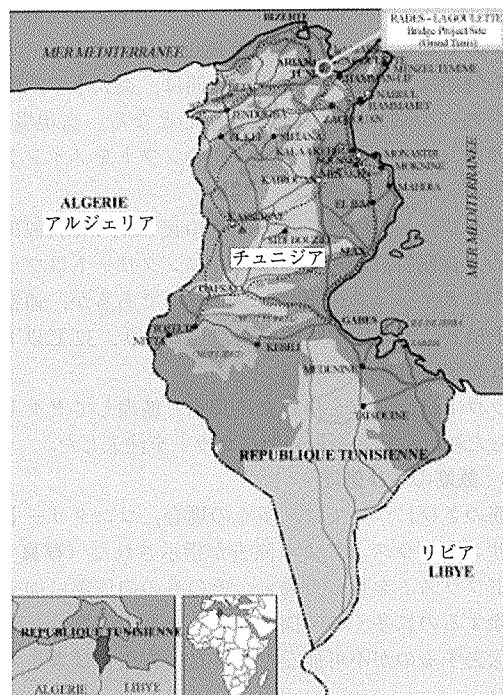


図 - 1 チュニジアの位置図

た。新たな南北方向のルートを通り、運河を跨ぐ橋梁で設け、市街地とラグレット港を東西に結ぶ幹線道路とをインターチェンジで繋ぐ構成である (図-2、写真-1)。

プロジェクトは、次の5工区から成る。

- ・ Lot 1 : 運河を跨ぐ主橋梁であり、スパン 120 m のエクストラードード橋 (弊社施工)
- ・ Lot 2 : 主橋梁南側のアプローチ部 (日本企業とエジプト企業のJVの施工)
- ・ Lot 3 : 主橋梁北側のインターチェンジであり、東西方向の幹線道路と接続 (弊社施工)
- ・ Lot 4 : インターチェンジと既存道路を繋ぐ新設道路

(地元企業の施工)

- ・ Lot 5 : 照明等の電気設備 (地元企業の施工)

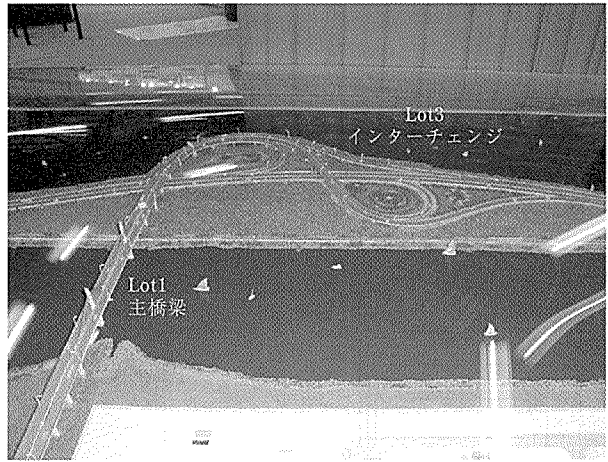
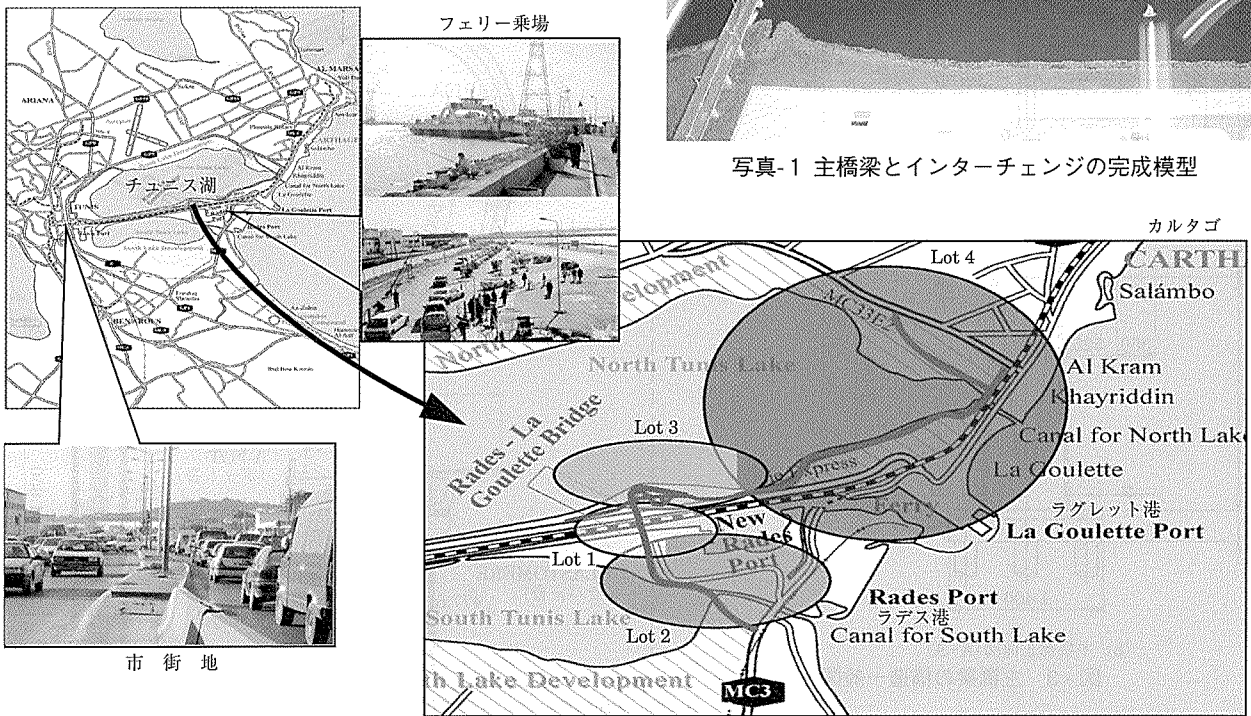


写真-1 主橋梁とインターチェンジの完成模型

図-2 プロジェクトの位置付け

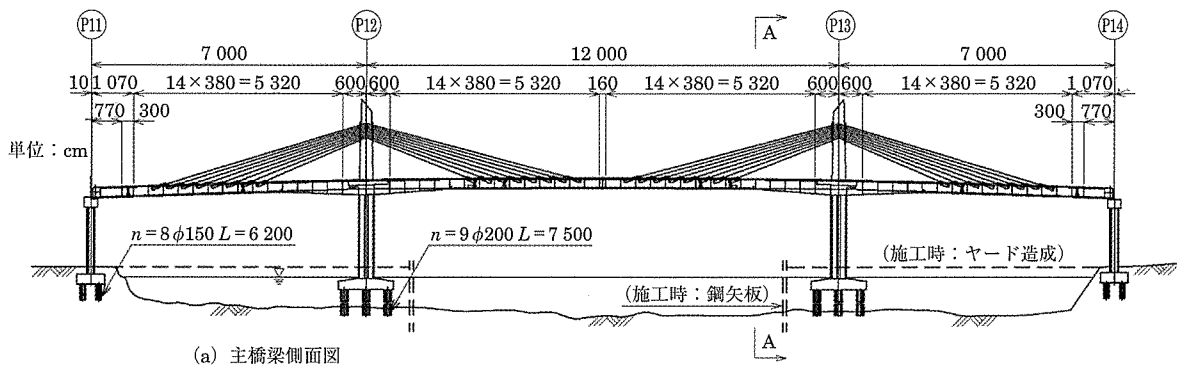
2.2 主橋梁、インターチェンジの概要

主橋梁 (Lot 1) は、全長 260 m (70 m + 120 m + 70 m) のエクストラードード橋である。図-3に、主橋梁の構造

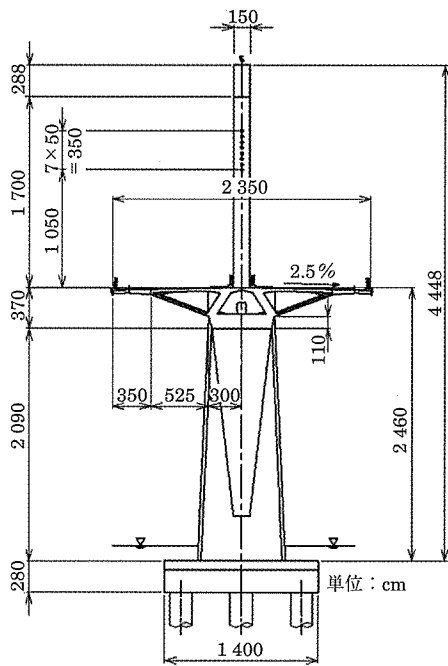
一般図を示す。なお、図面の単位は契約図面どおり“cm 単位”であるので、注意されたい (5.2 に後述)。

表-1 実施工程表

	2004				2005				2006				2007				2008												
	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Lot 1 : 主橋梁																													
場所打ち杭																													
下部工																													
上部工																													
仕上げ																													
Lot 3 : インターチェンジ																													
土工、舗装																													
杭																													
下部工																													
上部工																													
仕上げ																													

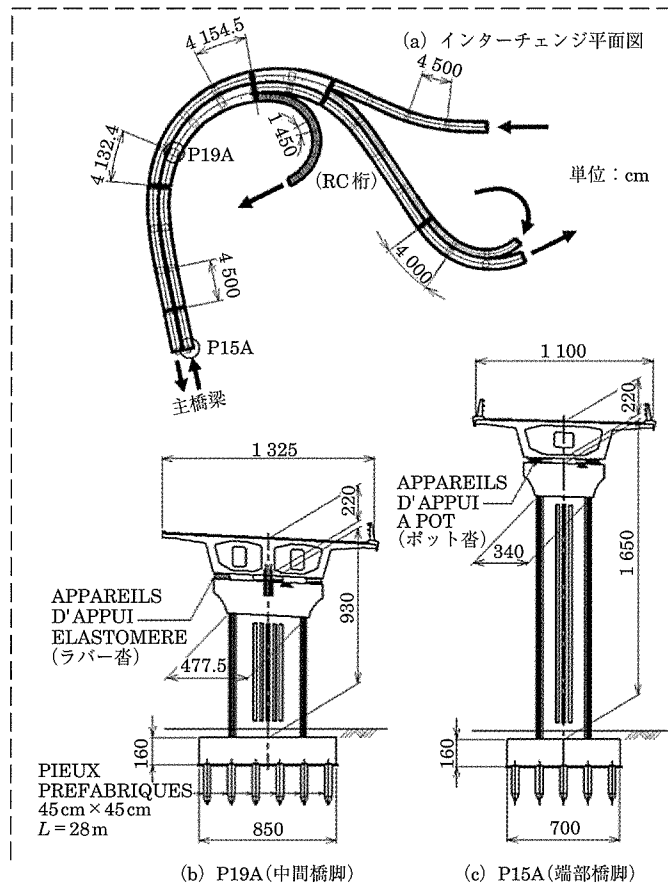


(a) 主橋梁側面図



(b) 主塔部正面図(A-A)

図-3 主橋梁の構造一般図



(b) P19A(中間橋脚)

(c) P15A(端部橋脚)

図-4 インターチェンジの構造一般図

表-2 主要工事数量

	Lot 1 主橋梁				Lot 3 インターチェンジ				備考		
	材料	単位	数量	仕様	材料	単位	数量	仕様			
上部工	コンクリート	m ³	4 788	B40, B30	コンクリート (PC桁)	m ³	11 600	B40	B コンクリート B40 : 圧縮強度 40 N/mm ² (注記がない場合は普通セメント) HRS : 耐硫酸塩セメント Fe 鉄筋 E400 : 引張強度 400 N/mm ²		
	鉄筋	t	703	Fe E400 (147 kg/m ³)	鉄筋 (PC桁)	t	2 018	Fe E400 (174 kg/m ³)			
	PCストランド (断面内)	t	185	19T15S (39 kg/m ³)	PCストランド	t	464	12T15S (40 kg/m ³)			
	PCストランド (内空部)	t	54	27T15S	コンクリート (RC桁)	m ³	827	B30			
	斜材	t	60	37T15S	鉄筋 (RC桁)	t	249	Fe E400 (301 kg/m ³)			
橋脚	コンクリート	m ³	1 179	B30HRS	コンクリート	m ³	3 286	B30HRS, B30			
	鉄筋	t	242	Fe E400 (205 kg/m ³)	鉄筋	t	291	Fe E400 (89 kg/m ³)			
フーチング	コンクリート	m ³	1 607	B30 HRS	コンクリート	m ³	3 051	B30 HRS			
	鉄筋	t	401	Fe E400 (250 kg/m ³)	鉄筋	t	869	Fe E400 (285 kg/m ³)			
杭	杭 (P 12,13)	本	18	φ 2000, L = 75 m	杭	本	972	□ 45 cm x 45 cm, L = 28 m			
	杭 (P 11,14)	本	16	φ 1500, L = 62 m							
	コンクリート	m ³	6 005	B35HRS	コンクリート	m ³	5 667	B35HRS			
	鉄筋	t	475	Fe E400 (79 kg/m ³)	鉄筋	t	1 256	Fe E400 (222 kg/m ³)			
計	コンクリート	m ³	13 579		コンクリート	m ³	24 431		コンクリート	m ³	38 010
	鉄筋	t	1 821	(134 kg/m ³)	鉄筋	t	4 683	(192 kg/m ³)	鉄筋	t	6 504
	PCストランド	t	299		PCストランド	t	464		PCストランド	t	763

基礎杭は場所打ち杭であり、主塔基礎（P12, P13）は ϕ 2.0 m, $L = 75$ m, 9 本, 端部基礎（P11, P14）は ϕ 1.5 m, $L = 62$ m, 8 本である。

主桁の支持形式は、主塔・桁・橋脚を剛結するラーメン型式である。主塔は高さが 20 m であり、GL からは約 43 m の高さとなる。主桁は 3 室ボックス断面であり、桁高は柱頭部で 3.7 m, 一般部で 2.63 m である。

インターチェンジ（Lot 3）は全長約 1.8 km であり、11 連の 2~4 径間 PC 連続桁、および 10 径間の RC 版桁で構成される。図-4 にインターチェンジの構造一般図を示す。

本工事は、インターチェンジ部の施工ヤードの埋立てから始められた。基礎杭は、現場製作の RC 杭である。PC 桁の桁拡幅部は 2 室ボックス、標準部は 1 室ボックス断面である。両工区の実施工程表を表-1 に、主要工事数量を表-2 に示す。

3. 施 工

3.1 施工体制, 施工管理

両 Lot とも、杭は専門工業者（第三国および現地の業者）と、下部工は現地の建設会社と契約した。上部工に関しては、主橋梁は弊社直轄の直備体制、インターチェンジは直備と請負の両体制で施工した。ただし、構造面で根幹となる PC 工事に関しては、すべて弊社直轄で施工した。

作業員は、スベックで第三国人は不可と規定されていたので、すべて現地での雇用であった。作業員を管理する SV（Supervisor）は、躯体には日本のエンジニア、主橋梁の上部工にはフランスのエンジニアを配した。また施工全般の補佐の立場として、スリランカ人を配した。

本プロジェクトにおける施工管理上の特徴は、請負者に対して独立した外部の立場から管理するエクスターナル・コントローラーの配置が要求されていた点である。この立場は現場常駐ではなく、フランスの設計コンサルタントと専門工業者があたり、主に杭・PC・路面防水工の第三者的管理を行った。

3.2 主橋梁の施工

(1) 基礎杭工

基礎杭は、場所打ち杭である。地盤には明確な支持層が

ないため、摩擦杭として設計された。着手後の地盤調査で杭長・本数が変更されたため、支持力確認用の試験杭を本体とはべつに施工し、载荷試験を行った。

主塔基礎は完成時には運河の中に位置するが、施工時は鋼矢板を打設して施工ヤードを造成した（図-3）。杭の施工は、アースドリル工法と RCD 工法の組合せで行った。現地業者が保有するアースドリルでは主塔基礎の杭は先端部まで掘削できないため、5 m を残してアースドリル工法で施工し、RCD 工法でアースドリル部の修正掘削と杭先端部の仕上げ掘削を行った（写真-2）。なお孔壁の測定は、日本から測定器を輸入して行った。

(2) 橋脚躯体工

橋脚の施工にはシステム型枠（足場併設の移動型枠）を用い、施工の効率化を図った。1 リフトの標準高さは 5.4 m であり、4 リフトで施工した（写真-3）。



写真-3 主橋梁の橋脚の施工状況

(3) 柱頭部工

柱頭部の支保工は、鋼製の大型トラス形式とし、PC 鋼棒で橋脚に固定した。設置は、4 つのブロックを 200 t クレーンで架設した。構築完了後の解体は、安全を最優先にし、重機を使った葺工による高所作業ではなく、ブロック間の繋ぎ材のみを上部で外した後、ブロックごとにジャッキダ



写真-2 場所打ち杭の施工状況



写真-4 柱頭部完成後（支保工解体）の状況

ウンさせて地上で小払しを行った（写真 - 4）。

(4) 主塔工

主塔は、斜材無しの片持ち状態で桁を架設する期間（5ブロック）に、主桁と並行して施工した。

斜材がスルー形式（貫通固定方式のサドル定着）だったため、鋼製のサドルを工場で製作し、主塔内に配置した（写真 - 5）。主塔の左右で生じる斜材の張力差は、グラウトの付着でサドルに伝達する構造である。このグラウト定着に関しては、日本の実験結果を参考に設計した。

サドルの設置では、受け架台で位置・姿勢を微調整して据付精度を確保した。サドル部での斜材の定着は、細かい施工技術を要する作業であったため、写真 - 6 に示すように試験施工を実施してから臨んだ。



写真 - 5 主塔に設置したサドル



写真 - 6 サドル部の斜材定着に関する試験施工

(5) 桁架設工

桁の架設（14ブロック）は、移動作業車による張出し施工で行った（写真 - 7, 8）。1サイクルの工程は、斜材の無いブロックで標準 11 日、斜材のあるブロックで標準 14 日であった。

中央閉合後の移動作業車の解体は、橋脚部まで後退させずに桁中央で作業船にジャッキダウンし、ヤードに水切りして小払しを行った（写真 - 9）。

写真 - 10 に、完成後の橋面上の姿を示す。



写真 - 7 移動作業車による主桁の架設状況

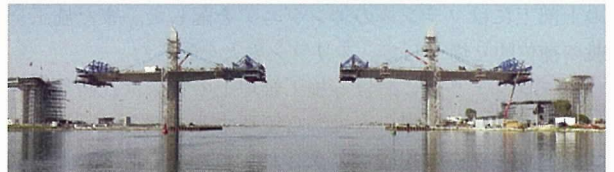


写真 - 8 主桁の張出し状況



写真 - 9 中央閉合後の移動作業車のジャッキダウン



写真 - 10 主橋梁の完成後の橋面

3.3 インターチェンジの施工概要

(1) 基礎杭工

基礎杭は現場製作の RC 杭であり（平均長 28 m, 2 本継ぎ）、ハンマー打撃工法で施工した（写真 - 11）。最近の日本では見なくなった工法であるが、1 km 離れた事務所まで聞こえるハンマーの鈍音に、久しぶりに“建設現場の音”を感じた（40 代以上の数名が）。



写真 - 11 RC 杭のハンマー打設

(2) 躯体工

フランス基準の配筋要領では、日本基準との違いを何点か感じた。たとえばフーチングでは、日本では主筋の上筋・下筋は端部で折り曲げて側面をつなげるが、写真 - 12 に示すように、本構造では両端に円形フックを設けて定着させる方式であった。フーチングの主筋は 2~3 段であり、とくに隅各部でのフックの納めに苦勞したことを思い出す（配筋に関しては、4.3 も参照されたい）。

また主橋梁ともども、橋脚および桁の試験施工が義務付けられていたことも本工事の特徴である。写真 - 13 は、試験施工で製作したインターチェンジの橋脚と桁である。写真に見られるように、この試験桁の橋面には説明用のパネルを置き、見学者用の展望台として活用した。



写真 - 12 フーチングの配筋状況



写真 - 13 試験施工で製作した橋脚と桁

(3) 桁架設工

桁の架設は、総支保工で施工した（写真 - 14, 15）。施工地点は湖を埋戻した場所なので、コンクリート打設時の支保工の沈下が懸念された。したがって、載荷試験を行って上げ越し量を定めた。



写真 - 14 支保工基盤の載荷試験



写真 - 15 上部工の支保工・型枠の設置状況



写真 - 17 舗装完了後のインターチェンジ



写真 - 16 上部工施工中のインターチェンジ

写真 - 16, 17 にインターチェンジの全景を示す。なおインターチェンジの向こうに見えるのがカルタゴである。

4. 設計面、管理面でのトピックス

4.1 設計体制

設計は、概略設計・主橋梁全体・インターチェンジの下部工を日本の設計会社、主橋梁の細部構造・インターチェンジの上部工をフランスの設計会社とともに実施した。

以下に、フランス基準での設計面の話題を紹介する。

4.2 設計荷重について

(1) 活荷重としての戦車荷重

本設計では、戦車の載荷状態が設計断面力となったケースが多く発生した。われわれ日本人にとって、この状況は頭では理解できても違和感を感じたのが正直な感想である。戦車荷重にも耐えうる設計・施工を行ったが、実際に載荷されないことを願う。

(2) 偶発荷重としての片側のみの移動作業車の落下

日本では設定しない状況であるが、本プロジェクトでは検討すべきケースの1つであった。

実は、前述したサドル部での斜材定着のグラウト強度は、この状態から決定された。強度の発現が工程にも影響するため、検討ケースからの削除をエンジニアと協議したが認められなかった。もしもこの状態が発生したら、桁の張出しを新たな作業車で再開することは困難だと思うが・・。

4.3 床版の配筋について

箱桁の上床版に関し、日本ではせん断を配置しないのが一般的であるが、本構造では、フランス基準にのっとりて上筋・下筋を口の字型に囲むせん断筋が配置された。ただし千鳥配置ではないため、逆に各列の梁のプレファブ化が容易になり、工程短縮に寄与した。せん断筋の配筋では苦勞する場面が多いが、思わぬ効果であった。

4.4 PC 鋼材の緊張管理について

PC ケーブルの緊張管理において、日本では μ 管理を行うため摩擦係数が大きな意味をもつが、フランス基準では日本での鋼棒の緊張管理に似ていた。つまり、所定の緊張力を与えた際の伸び量が計算値のプラス側 10%、マイナス側 5% が許容値であった。

とくにインターチェンジは PC ケーブルの線形が複雑であり、この許容範囲を外れるケーブルが何本か発生した。日本流の管理手法でデータをまとめると問題はなかったが、エンジニアに“日本の基準は理解できる。ただし、ここではフランス基準だ。”と却下された。海外案件ではよくある話であり、“郷に入っては郷に従え”を改めて痛感した。

5. チュニジアでの工事を振り返って

チュニジアは、モロッコ・アルジェリアとともにマグレブ地方と呼ばれている。マグレブとは“日の沈むところ”の意味であり、日本から遠く離れた国ではあるが、“日が昇る国”日本との浅からぬ関係を感じた。

4 年強にわたりさまざまな苦勞はあったが、今は懐かし

い思い出となっている。以下に、チュニジアでの工事にまつわるトピックスを紹介する。

5.1 チュニジアの気象

首都チュニスには、緯度は日本の福島県と同じであるが、地中海性気候のため気温は日本より5～10℃高い。夏場は40℃を超えるが、湿気が低いのが幸いであった。

4～10月はほとんど雨が降らないが、11～3月は雨が多い。1日中続く雨ではないが、地域や時間ごとの詳しい天気予報がないため（われわれがアラビア語の情報を理解できていなかったのかもしれない）、コンクリート打設や舗装を実施するか否かの判断には悩まされた。

春から夏は、気象的には工事を進める絶好の期間であるが、イスラム圏特有の約1カ月のラマダンをちょうど重なり、この間の作業は7:00～14:00に限定された。しかしコンクリート打設などの長時間作業では、飲まず食わずの作業員に作業時間の延長を協力してもらった。

5.2 言葉の問題

本プロジェクトにおける公式言語はフランス語である。われわれ日本人は、着任時点では一部を除いてフランス語をほとんど話せなかったため、現地およびフランス人エンジニアの雇用は、英語を話せることが条件であった。

現場の作業では会話のミスコミュニケーションによる問題は特段生じなかったが、スペックの単語の捉え方で意見が食い違った場面もあった。PCジャッキのキャリブレーションで用いる原器（仏語 *étalon*）に関し、どの時点まで *origin* を遡るかで協議が長引いたことが思い出される。

図面の表記は、“mm単位”ではなく“cm単位”である（本稿では、そのまま掲載した）。新たに着任した職員が間違えないよう、まず最初に教育したのがこの点である。

金額の表示では、小数点の代わりにコンマが使われる。さらに少数3桁まで表示されるので、日本での1,000がチュニジアでは1,000,000となり、一見は百万に見える。着任間もない職員が、「所長、見積りをとったら予算より3桁高くなってしまいました！」と驚いて報告してきたのは、今は笑い話となっている。

5.3 技術交流

本プロジェクトはチュニジアにとって初めての大規模橋梁工事であり、単なるインフラ整備だけでなく、技術者の育成という観点でも注目を浴びた。

“ラデス・ラグレット橋を通じた技術者育成”というテーマでテレビの特別番組が放送されたり、また職業訓練校の学生を現場研修で受け入れたりもした。

チュニス建築大学の学生が授業の一環として日本に研修に行く際は、事前に当現場の見学を行い（写真-18）、橋梁と日本の知識を習得していった（朝夕の満員電車には注意するように、とアドバイスした）。また、これが縁となり、日本では弊社の技術研究所を見学してもらった。

一方、われわれもチュニジアの技術に驚いた点がある。カルタゴの遺跡は有名であるが、そのほかにも全長132kmという世界最長の水道があり、現在でも約20kmの水道橋が残っている（写真-19）。これほどの長距離にわずかな勾配だけで配水するための測量技術、また実際に見る古代



写真-18 日本に研修に行った学生達と



写真-19 チュニジアに現存する古代の水道橋

のアーチ構造に、土木技術者として意を新たにしたいがある。

5.4 現地の習慣

作業の節目（フーチング打設時、移動作業車の発進時、初めての斜材架設時、ほか）では、現地の習慣に倣い、羊を用意して儀式を行った。われわれ日本人には目を背けたくなるものであるが、現地の人達は女性・子供まで喜んでおり、習慣の違いを感じた（ただし、前述の日本を訪れた学生達は、刺身に同じ感覚をもったかもしれない）。

羊にかわいそうではあったが、作業員達とのコミュニケーションを密にし、彼らのモチベーションを高めた意味で、約10回の儀式に参加した羊は陰の功労者である。

6. おわりに

2009年3月、大統領のご出席のもと、開通式が行われた。開通によって交通渋滞の解消に役立ち、発注者から感謝の言葉をいただいた。また、夜にはライトアップされて市民の憩いの場ともなっており、観光都市チュニスのランドマークとなったことも嬉しく感じる。

施工中の2006年は、日本とチュニジアの国交樹立50周年であり、



写真 - 20
国交樹立 50 周年の
記念切手

記念切手が本プロジェクトを図案として発行された（写真 - 20）。聞くところでは、富士山・金閣寺・本プロジェクトの3つの図案が候補となったが、両国の友好の証の観点から本プロジェクトが採用されたとのことである。弊社は切手やコインになった海外案件をいくつか経験しているが、完成前に切手となったのは初めてであった。

最後に、JICA・発注者を始め、支援していただいた日本大使館・現地の日本人の方々、そしてわれわれとともに汗を流した作業員やスタッフ等、本プロジェクトに関わったすべての方に深い謝意を表して本稿を終える。

【2009年9月25日受付】



刊行物案内

第37回 PC 技術講習会テキスト

PC技術・最近の動向

平成21年 2月

定 価 6,000 円／送料 500 円

会員特価 5,000 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