

## ビルマにおける PC 技術移転

柳 田 和 朗\*

## 1. ま え が き

私も昔、先進国に行って PC 技術を研修してきたが、今回東南アジアのビルマに PC 技術の移転をはかってきた。このことにより実感として日本も技術輸出国になったのだなという一種の感慨を感じた。

ビルマというと映画「戦場にかける橋」を思い出す方もいるに違いない。その内容は第二次大戦時、日本軍が戦略物資輸送用のタイ緬鉄道建設時、難工事のクワイ河架橋工事のためイギリス軍捕虜に頼み込み、その技術により架橋するというもので、日本の橋梁技術の水準を問われるものであった。しかし今回国際協力事業団の専門家としてビルマに派遣され日本の PC 橋梁技術移転に従事し、日本の技術水準の高さをビルマに示し得たことは私の望外の喜びである。

## 2. ビルマとは

ビルマというところある年代の人々にとって郷愁を感じる国であるに違いない。現在のビルマは中立主義をとっている社会主義国で、訪れる人も少なく秘境というにふさわしい。

ビルマは日本の2倍の面積に3000万の人口で、イラワジデルタの米作を中心にした農業国である。

人口の60%はビルマ人であるが、インド系、中国系も混ざった多民族国家で、地方では反乱軍が反政府活動を行っている所もあるが、都市では治安もよく、アジアでは数少ない親日的な国民である。

内陸部には石油、天然ガス、銅、鉛、亜鉛、タングステン、ヒスイなど多種の地下資源に恵まれている。しかしインフラストラクチャーが不十分なため開発されていない状況である。

## 3. PC 技術移転の背景

ビルマのイラワジ河により発達したデルタ地帯は、穀倉地であると同時に無数の河川およびクリークよりなり、豊富な漁業地帯でもある。

しかし現在のところ、そのデルタ本流を渡る橋は一つも存在しない。それがビルマ経済発展の大きな障害とな

っている。

ビルマには製鉄所がなく、鋼材はすべて外国からの輸入で、普通棒鋼も輸入鋼塊を圧延しているだけであり、鋼橋を製作することは苦しい外貨事情を更に圧迫することになる。一方、セメントは日本からの援助でできたセメント工場があり、石灰岩にも恵まれ年産40万t生産している。それゆえに、PC鋼材さえ外国より輸入すれば内貨でPC橋梁を建設できることになる。そこでビルマ政府は、日本の高度なPC技術水準にかんがみ、同国で不足している長大橋のPC技術者を養成し、技術水準を向上させるため「橋梁技術訓練センター」の設置を要望してきたのである。その後、数回にわたる調査および協議チームを派遣し、昭和54年7月より同センターが発足した。

同センターはビルマ建設省の建設公社にもうけられ総裁の直轄機関である。

## 4. 技術移転の目標と内容

## 4.1 教育機関

ビルマ唯一のラングーン工科大学(Rangoon Institute of Technology)の土木コースは200名の学生がおり、教授陣は1名の教授と32名の講師から成り、橋梁関係では橋梁工学、構造力学に6名の講師、その他にアメリカ人の構造力学担当の客員教授が1名いる。

教材はコンクリート関係では我が国とほとんど同程度の英文のテキストが用いられている。

しかしビルマでは、近年は鋼橋を含め規模の大きな橋梁がほとんど建設されていないこともあり、理論的なものが中心であり、実務的な構造解析はあまり行われていないようである。

また建設公社独自でも所属技術者の技術水準アップを目ざした講習会が開かれているが、橋梁関係の講義は、RC関係10時間、PC関係14時間、橋梁関係17時間程度であり、新しい技術の紹介などが主で、設計演習等も取り入れられていない。

次いで日本の高専に相当するものとしてGTI(Government Technical Institute)があるが、職業訓練的な実習に重点がおかれており、設計部門に属することは少なく、現場に配属されている。

このように教育機関におけるPC教育についてみる

\* 首都高速道路公団湾岸線建設局次長(ビルマ橋梁技術訓練センター前チームリーダー)

と、実際の橋梁建設の実績が少ないせいもあり、センター発足当時の技術水準は低いものであった。

#### 4.2 施工機関

ビルマにおける土木、建築の総括は建設省であるが、日本とは異なり、建設省内には大臣と建設委員会 (Construction Committee) しかなく、建設に関する主要議題の検討、決定を行うだけである。

その下に建設公社、石材公社、住宅局があるが、そのうちでも建設公社が最大の組織であり、都市計画、道路橋梁、工場、住宅、空港等の計画、設計、施工、維持管理などを受け持っている。

したがって社会主義下のビルマでは、建設公社は日本の建設省、道路公団、住宅公団などの諸公団、更に請負会社、下請会社と4つの顔をもっている。

例えば日本の建設会社が、借款、無償援助の工事に進出してきても建設公社の組織を使わざるを得ないが、それは発注先でもあり、下請でもあるという奇妙な関係になる。

ここには土木、建築、電気、機械などの技術者、労務者が4700名おり、大学卒の職員は350名である。

#### 4.3 設計技術移転

イラワジデルタに架設される橋梁は、河幅(1~2km)、基礎地盤等の条件を考慮すると、スパンは100m以上の長大橋が経済的に有利であると思われる。

当センター発足前のビルマのPC橋梁設計・施工の状況を調査したが、カナダが1965年、無償援助によりタケダ橋というスパン30m程度のPC単純合成桁の建設を行っており、更に中規模のRC、PC橋が年間2~3橋施工されているので、それ相応の技術者が養成されていると思われていたが、現実には設計計算書もなく、タケダ橋のコピーもしくは多少修正を加えただけであり、長大橋の設計を教えられる水準には達していないことがわかった。そのためセンターの目標を30m程度の中小橋設計にひとまずおき、1年間のコースで20人の訓練生を教えた。

訓練生は前述のラングーン工科大学卒業後3~7年たったもので、日本でいう工事事務所の課長、所長クラスのエリートであり、センター隣接の寮に居住し、土、日のみ帰宅を許されていた。

教育内容は、1学期4か月間はコンクリート材料、構造力学、鉄筋コンクリート、プレストレストコンクリート、土質力学、基礎工学など橋梁に必要な基礎的な講義、演習を中心に行い、2学期には、RC、PC橋の設計、基礎設計、3学期には各前学期までの基礎的な設計理論の補習と、グループ別に実橋の土質、測量データを与えスパン割、基礎工法の選定、設計計算、図面作成、



写真-1 教室風景

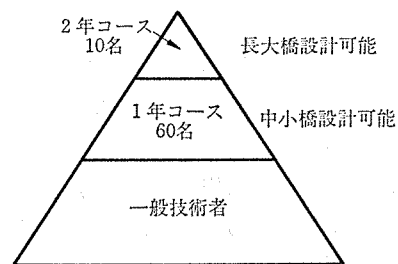


図-1 橋梁技術者分布

材料算出までを行わせた。

講義内容も試行錯誤しながら毎年改善し、例題を多くするなど実務的な理解しやすい内容とし、3年間で60名の卒業生を送り出した。

しかし1年間のコースでは十分な技術移転は困難であり、ビルマ政府が要望している長大橋設計可能な技術者を養成することはできないため、卒業生およびカウンターパートより10名の優秀な訓練生を選抜し、2年コースに変更し写真-1に示すような教室でマンツーマンで教えた。

すなわち図-1に示すように、ピラミッドの頂点の長大橋設計可能な訓練生を養成するためには60名の中小橋の設計可能な技術者の裾野の上にこそ初めて可能であり、周辺技術ともあいまって技術移転が可能になる。

まず1年目には後述する施工訓練橋(OJT)の設計計算書を理解させることに重点をおき、同時にそれらに含まれていない施工計算など、例えば緊張計算、片持ち部施工時の応力検討、弾性短縮、クリープ、PCロス、上げ越し量の計算などを行わせた。

2年目からはビルマにおける次期の長大橋建設予定地を選び、自らの手で設計させている。

更に周辺技術である図面工の養成についても、乗り込んだ時点では1年間に数枚の図面しか作成できなかったのが、ようやく1か月に1枚程度はこなせるようになりつつある。

表—1 PC 橋梁設計技術移転達成度

	中 小 橋 (スパン 20~40 m)	長 大 橋 (スパン 100 m 前 後)
1. 橋梁計画 (F.S)		
㊸ 調査, 経済効果	×	×
㊹ 構造検討	△	△
2. 概略設計 (P.D)		
㊸ 概略設計, 図面作成	○	○
㊹ 概略施工計画	△	△
3. 詳細設計 (D.D)		
㊸ 詳細設計, 図面作成	○	△
㊹ 施工計画, 積算	△	△

凡例 ○:十分できる, △:ほぼできる, ×:不十分

橋梁計画, 概略設計, 詳細設計に分け, PC 設計に関する 2 年後の技術移転達成度を示したものが表—1 である。

これに示すごとく, 橋梁計画は調査, 経済効果などに必要な交通量, 生産量, 地形, 地質, 河川などの基礎資料がなく難しい。

例えば, 河川も自然河川なので堤防もなく, 河岸は 1 年に数 m 移動するところもあり, 将来の河川状況を予想して橋梁を計画することは我々にとっても難しい。

概略設計 (Primary Design) の施工計画などは, 施工実績が少ないため施工経験が少ない点に問題がある。

詳細設計 (Detail Design) についても, 中小橋については可能であり, 100 m 程度の長大橋についてもほぼ可能となるであろう。

しかし構造系の異なる斜張橋等の複雑なものについてはほとんど不可能であろう。

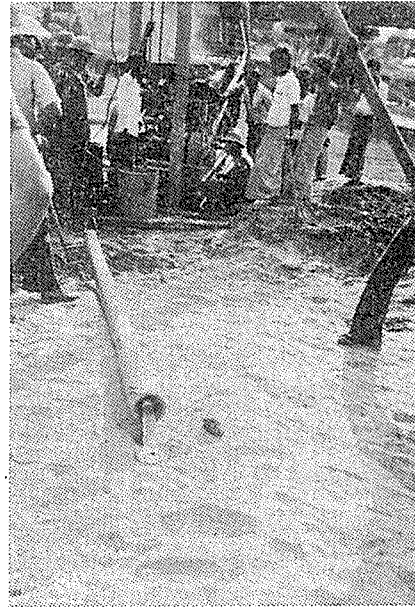
これらの設計に用いた基準は, 荷重は AASHO を用いたが, 示方書関係は日本の土木学会, 道路協会の示方書を使用した。ただ地震荷重は日本人専門家の検討により震度 0.12 を採用した。このように日本の基準も将来ビルマに根づいていくものと思われる。

#### 4.4 施工技術移転

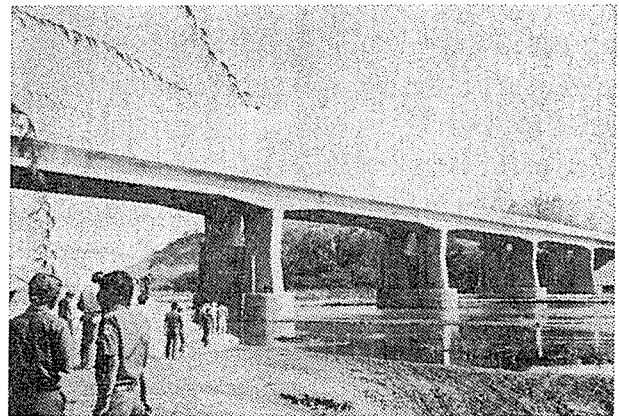
前述のカナダの援助によるタケダ橋で施工された基礎工法は, 日本では既に過去の工法である木製フローティングケーソンである。陸上で製作しスライディング方式により進水し, 沈設は H 形鋼ガイドによるグラブ掘削で

ある。コンクリート打設などの作業はケーソン両側に組んだバージ上で行った。しかしケーソン沈下時沈木にひっかかる事故があり, ケーソンが転倒し 1 年半工事が中止したそうである。

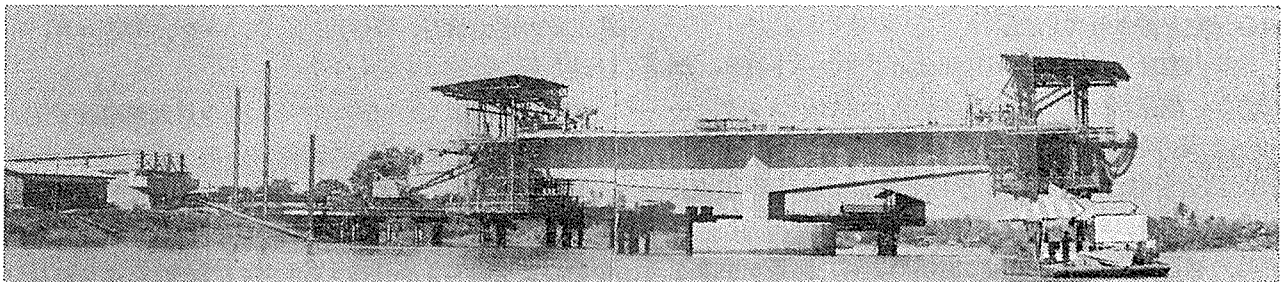
その他ビルマでよく使われる基礎には, 40 cm × 40 cm × 12 m のプレキャスト杭がある。また石油掘削に使用する径 30 cm 前後の打込み井戸方式の杭もあるが, 施工速度は非常に遅い。泥土を筒中につめ込み, 球で孔をふ



写真—2 打込み井戸方式刃口



写真—3 RC ゲルバー橋



写真—4 片 持 ち

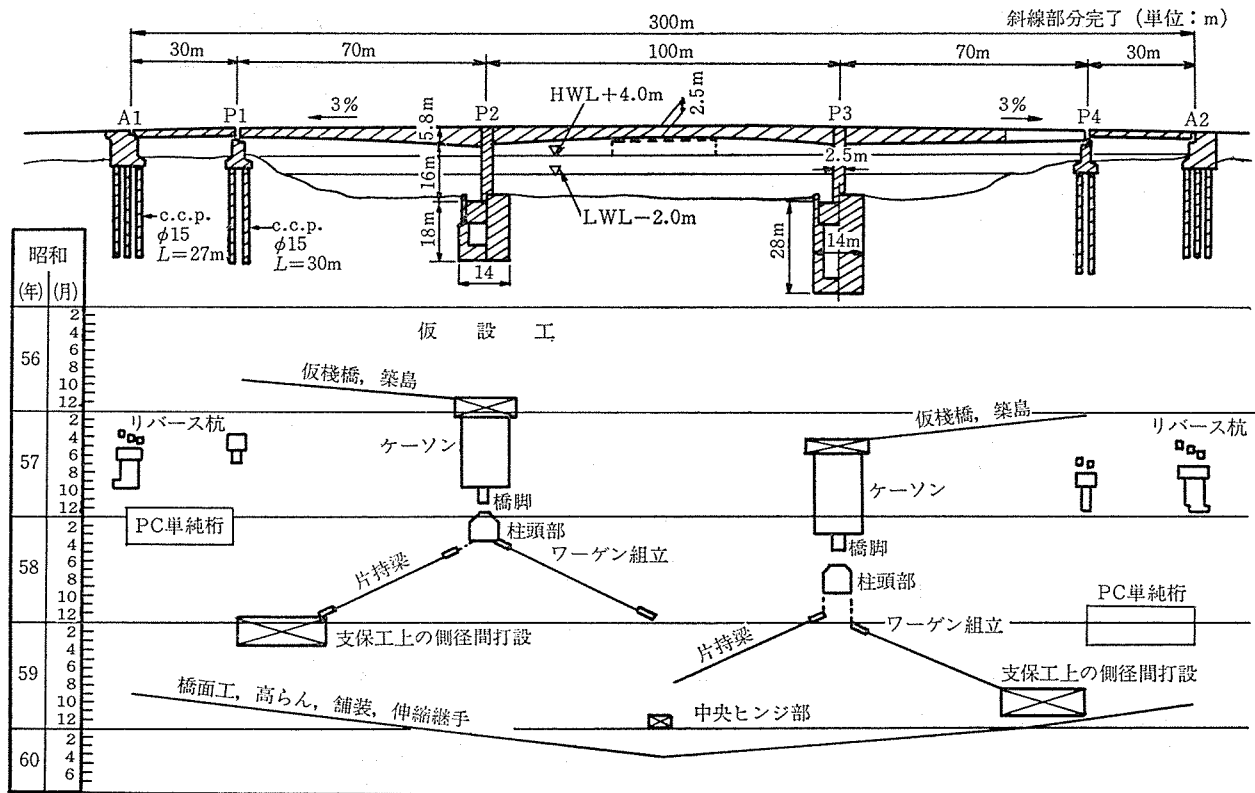


図-2 訓練橋の一般図および工程表

さいで引き上げるのである（写真-2）。

ビルマの今までの橋梁建設は、専門のプロジェクトチームを組み、RC、PC の中小スパンを年間 2~3 橋建設

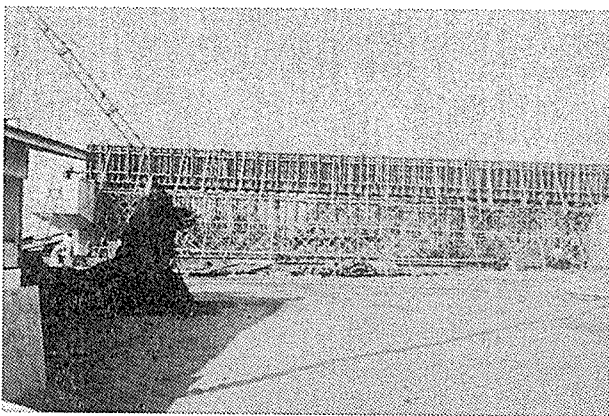


写真-5 単純合成桁施工時

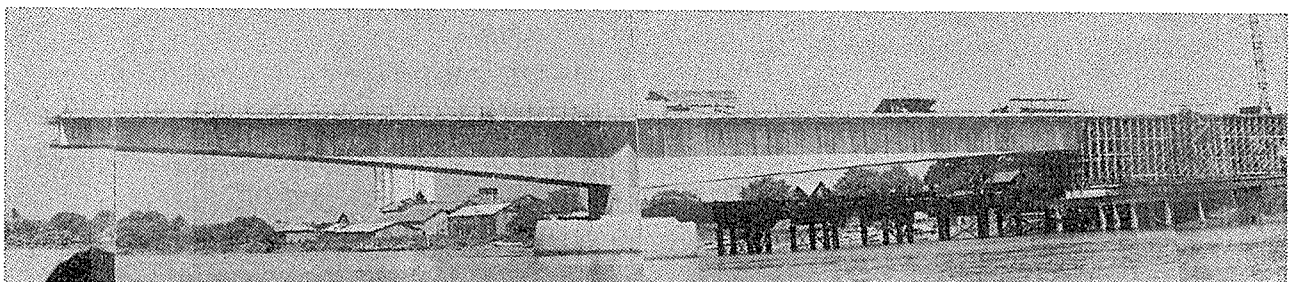
している。一例として写真-3 に示す RC ゲルバー桁がある。PC 橋の現場でも骨材等の計量は計量器があるにもかかわらず、容積配合をしており、品質管理についても技術向上が必要であることがわかった。

PC 施工技術移転は、センターにおける設計技術移転をふまえ、訓練用橋梁を建設しながら施工計画、積算、工程検討、施工、安全管理など実務的なものを教えることにより達成される。

建設地点はセンターから 2 km 程度離れた比較的近距离で、訓練生も頻繁に訪れやすい地点とした。

しかも訓練用とはいえ、ラングーン市の都市計画に有効な市の中心部と工場、住宅地帯を結ぶ位置が選ばれた。

この橋梁は、図-2 に示すように、全長 300 m (30+70+100+70+30 m) で中央径間 100 m のディビダーク



部 施 工 時

# 報 告

橋（写真—4）と、単純合成桁（写真—5）の側径間からなる。

幅員は車道2車線（2×4.0m）、両側歩道（2×1.5m）で、合計11.8mである。

下部工は、河川中は径14m、長さ18、20mのオープンケーソン、陸上部は径1.5mのリバース杭で長さは30m前後である。

これらの上下部工を施工することにより標準的なPC橋の施工法が技術移転できると思われる。

工程としては、図—2の工程表のように昭和55年より建設機械の購入輸送を行い、56年10月起工式を行った後仮架橋、築島、ケーソン、リバース杭、フーチング等の下部工を終わり、柱頂部、片持ちエレクション、単純桁もほとんど終了し、現在中央ヒンジおよび対岸の側径間の施工を継続中で、今年11月頃PC本体工事が終了する予定である。

その後、引き続き高欄、舗装、伸縮継手などの橋面工を施工し、開通は60年2月の「ビルマ各州合併記念日」（Union Day）に行う予定である。

このようにビルマは、国を挙げての記念行事の一環に組み入れるほど、この橋梁建設に対し期待をこめてい

る。

## 技術移転した内容としては、

### 1) 下部工

① 仮架橋設置および撤去、② 鋼矢板による築島工、③ 直径14mのオープンケーソン構築・掘削、④ リバース杭（φ1.5m）、⑤ フーチング、橋脚の施工、⑥ 上記工事施工のためのクラッシュファイバー・バッチャープラントの組立およびコンクリート配合・製造・運転および維持管理技術などである。

### 2) PC 上部工

① PC 単純合成桁の支保工、鉄筋・PCW 配置、緊張管理、グラウト、② 柱頭部、③ ワーゲン組立・移動、④ 片持ち部の鉄筋・PC 鋼棒配置、コンクリート打設、緊張、グラウト、⑤ 中央ヒンジ部施工、⑥ 側径間施工。

これらの技術移転をするためのビルマ建設公社の施工組織としては所長、副所長各1名、技師10名、技師補11名、事務員、作業員180名、計200名の構成であり、熱心に技術習得に努め、PC 施工水準は飛躍的に向上したと思われる。

この訓練橋の工事費は、表—2に示すごとくビルマ側は18億円、日本側援助は16億円で合計34億円である。

内訳としては日本側は詳細設計、仮設用鋼材、鉄筋、PC 鋼材、各種施工機械、ワーゲン、沓、照明ポール等

表—2 訓練橋工事費

(単位：百万円)

	ビルマ側	日本側 援助	合計	摘 要
1 調査、設計費	10	106	116	
2 準備工	120	30	150	
3 仮設工	71	140	211	
4 下部工	238	99	338	
5 上部工	185	237	422	ワーゲン、 PCW
6 取付道路	314	388	314	
7 共通機械類	42	—	430	
8 海上運賃、関税等	681	560	681	
9 諸雑費	178	—	738	派遣費等
合計	1840	1560	3400	

この国で生産できないものを受け持っており、ビルマ側は仮設建物、取付け道路、骨材、セメント、労務費を受け持っている。

ついでに材料関係について述べると、

### ㊸ セメント

小野田セメントの技術援助によりチャンギンにおいて普通セメントのみが生産されているが、外貨不足のため飢餓輸出しており、慢性的な供給不足である。政府は工場増設をはかっているが、未だ解決していない。

しかも工場建設当時のビルマの状況からみて目標強度が300kg/cm<sup>2</sup>程度であるため、訓練橋の350kg/cm<sup>2</sup>強度を得るためには品質管理等を厳重に行う必要があった。

### ㊹ 骨材

粗骨材は、ラングーンより300km上流のイラワジ河岸プロームよりダルマ船で運搬されている。粒度分布、材質も良好で、クラッシュファイバーで洗浄、選別して使用している。砂はラングーン地方産の細砂とシタン河支流ピンボージ産の荒目砂とを混用している。

### ㊺ 水

デルタは海中に土砂が堆積してできたので、低地では干満の影響を受けるため水に塩分を含んでいる。現場では3本目の深井戸でようやく土木学会基準ギリギリの水質を得ることができた。

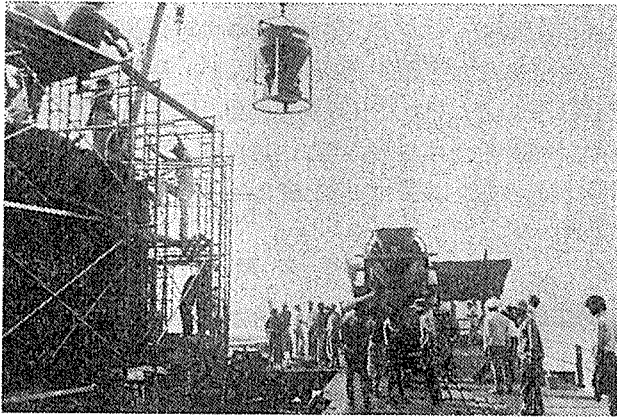
しかしグラウトに使用する水については、塩分を含まない内陸部よりタンクローリーにより運搬し、使用している。

### ㊻ 混和剤

40~45°Cの夏中コンクリート打設時のスランプドロップが問題となり、ポゾリス300Rを搬送したが、2年間の貯蔵により材質低下を起こしたため、ダラタードを輸入した。

### ㊼ PC 鋼棒

この工事開始2年前にPC鋼棒を発注し、搬入済みであったが、縦断の変更、施工性を考慮し、継手位置の変



写真—6 クレーン打設

更などを生じた。

地域的に遠く、発注搬入に時間のかかる場合はネジ切り長を大にし、総ネジ鋼棒の比率を高めるなどの考慮が必要であろう。

#### ④ 型枠材料

ビルマで有名なのはチーク材であるが、外貨獲得のため輸出に振り向けられるので高価である。そのため型枠はジャングルウッドと混用したが、それはソリも多く釘止りも悪く、施工性が悪かった。少なくとも高欄などには仕上りのきれいな耐水合板を使用する方がよいと思われる。

#### ⑤ コンクリート

ビルマでのコンクリート打設で問題となるのは亜熱帯特有の長期間の雨期と乾燥している暑期である。

雨期5か月間に降雨量は約3000mmで、日本の3倍あり、スコール時はバケツの水をひっくり返したような感じである。

この間は雨の少ない時をねらい、ワーゲン上に屋根をかけ、シートをかけたバケツをクレーンで昇降し、コンベアーの上にもシートをかけて打設した。

暑期は約3か月、40°~45°Cでビルマ産セメントが偽凝結することもあり打設方法に苦慮した。

種々の配合、混和剤を使用し、対岸への運搬時間とスランプドロップを考えた結果、セメントと相性の良いダラタードを用い、打設直前にアジテーターを高速回転しながら混入し、良好な結果を得た(写真—6)。

当現場での最大コンクリート打設量は、ケーソン底板および頂版、柱頭部で約300m<sup>3</sup>であり、プラントが電圧低下のため時間当たり10m<sup>3</sup>しか練れないこともあり30時間以上かかった。

### 5. 専門家派遣

最盛期は11名派遣されていた長期専門家も、終盤に近くなり8名となった。センターにリーダー、構造力

学、コンクリート、基礎関係4名、訓練橋に施工管理、PC上部工、PC工、機械工など4名である。

短期の専門家は延べ30名近く派遣されており、クレーン、リバース、シース製造、コンクリート製造、コンピュータープログラミング、土質、耐震、基礎等多岐にわたっている。

### 6. カウンターパートの日本派遣

日本人専門家の手足となり、技術移転に直接的にたずさわるものをカウンターパートと言う。約24名を日本に平均3か月派遣し、日本の先端技術について具体的な実地訓練を与えることによりPC技術移転を効果的に行った。ついでながら日本においてお世話していただいた諸官庁、公団、建設会社の方々に紙上を借りてお礼申し上げます。

彼らは「百聞は一見にしかず」で、帰国してからも親日家として今後ビルマにおけるPC工事の中心的な人物となるに違いない。

### 7. アフタープロジェクト

現在ビルマにおいて新設、改良計画のある道路は、

- 1) ラングーン、ペゲー、マンダレー、道路改良工事(世界銀行借款約600km)
- 2) バセイン、モニワ道路165kmの建設(オーストラリア技術援助)
- 3) ペゲー河シリアム橋の建設(鉄道・道路併用鋼トラス橋、橋長945m)(中国援助約150億円)
- 4) バセイン-ラングーン道路(約200km)

などがある。

バセイン-ラングーン道路は、イラワジ河を渡るため長大橋建設が不可避である。とりあえず計画中のものはラングーン郊外ライン河橋(Hlaing River Br.)で、河幅600m、水深12m、大型船航行のため縦断を上げる必要があり、全長で約1000m程度の橋梁となる。

その他に計画中のものはプローム市のイラワジ橋(700~1250m)、モニワ橋(約1000m)などがある。

これらの点を考えると橋梁技術訓練センターによるPC技術移転はビルマに無限のPC橋梁建設の可能性を残したことになるであろう。

そのため、このプロジェクト終了後について建設公社総裁とも話し合っているが、この橋梁技術訓練センターを拡大し、他の土木試験所と統合し、橋梁設計事務所のようなものを公社内に組織として残すよう勧告している。そうすればその事務所ではビルマ国内の橋梁設計をすべて行えるようになるであろう。

## 8. あとがき

ビルマにおける PC 設計・施工技術移転については我々の予想どおりの成果をおさめられたと思っている。

しかしそれらの技術移転以外にも種々の問題が訓練生をとりまわっている。

一例として、訓練生が教えられた技術を生かすためには国家予算として橋梁建設費が多く組み込まれていなければならないが、前述のとおり年間 2~3 橋程度の予算しかなく、橋梁建設で多くの経験を積み、PC 技術水準を向上していくことは難しい。

しかし国情の差は当然あるわけで、ビルマに合った息の長いやり方でやっていかざるを得ない。

そうすることによって一粒の麦をまいた我々の努力も報われるのではないかとと思っている。

末筆ながら、この PC 技術移転のプロジェクトを推進していくことは至難の業ではあったが、手弁当の奉仕で支援していただいた在日設置委員会、技術部会の方々に深くお礼申し上げると同時に、建設省、外務省、JICA、PC 業界の方々に感謝の意を表したい。

### 参 考 文 献

- 1) ビルマ橋梁技術訓練センター実施協議チーム調査報告書、昭和 54 年 9 月、国際協力事業団
- 2) ビルマ橋梁技術訓練センター計画打合せチーム報告書、昭和 56 年 10 月、国際協力事業団
- 3) ビルマ橋梁技術訓練センターエバリュエーションチーム調査報告書、昭和 58 年 3 月、国際協力事業団
- 4) 柳田和朗：ビルマ橋梁技術訓練センターによる協力、道路、1983.7

【昭和 59 年 8 月 6 日受付】

## ◀刊行物案内▶

### プレストレストコンクリート構造物の設計・施工の現状

本書は第 11 回 PC 技術講習会のためのテキストとして編纂したもので、PC 構造物の設計・施工の現状について、我が国のみならず、諸外国の現状にまで言及・解説しています。また、耐久的な PC 構造物作製のための注意点や、新しい建築設計規準法の解説なども盛り込み、大いに参考になることと思います。

ご希望の方は、代金を添えて（社）プレストレストコンクリート技術協会宛お申し込みください。

- 体 裁：A 4 判 112 頁  
定 価：3,500 円 送 料：450 円  
内 容：(A) 諸外国における PC 橋梁設計・施工の発展（第 9 回 FIP スtockホルム大会セミナー報告）1) 架設工法の発展、2) プレキャスト技術応用範囲の拡張、3) 断面形状とその構成、4) 複合構造物、5) 結論。(B) PC 構造物の設計基本——考え方 1) まえがき、2) 許容応力度設計方法から限界状態設計法へ、3) 限界状態、4) 水準—1 の安全検証法、5) プレストレストコンクリートの限界状態、6) 断面応力の計算、7) 曲げ破壊に対する安全度の検討、8) せん断。(C) 耐久的な PC 構造物構築のための注意点 1) まえがき、2) 橋梁における PC 構造物に関して、3) 建築における PC 構造物に関して、4) 構造物の欠陥に対する一般的注意、5) あとがき。(D) PC 建築構造物の新しい設計法について 1) まえがき、2) 新耐震設計法の概要、3) PC 造建築物に対する新耐震設計法の適用、4) PRC 造の設計、5) 結語。(E) 最近施工された PC 橋 1) 新プレストレストコンクリート鉄道橋設計標準の概要、2) 注目される施工法、3) 実施例。