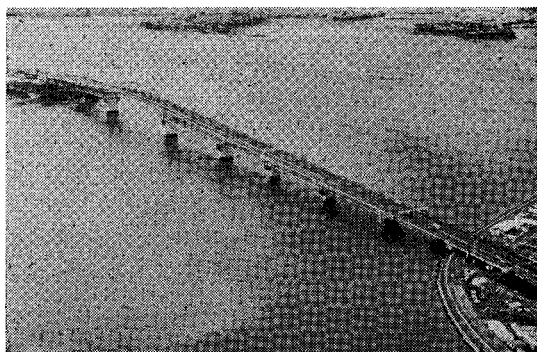


オークランド ハーバー橋拡幅工事

楯 淳 市*
 下 瀬 健 雄*
 梅 本 尚 孝*

1966年4月ニュージーランドのオークランドハーバー橋拡幅工事について国際入札が行なわれ、独創的な工法が決め手になって、石川島播磨重工業(株)がその一括受注に成功した。契約後ただちに土木工事に着手し、3カ年でこのプロジェクトを完成させ、1969年9月無事開通式を終えた(写真-1)。日本の橋梁輸出史上でも画期的なこの大きなプロジェクトを責任施工してきた間に、われわれは多くのことを経験し、学んだ。そこで誌上を借り、本工事の特徴と海外工事の問題点について報告する。

写真-1 完成したオークランドハーバー橋



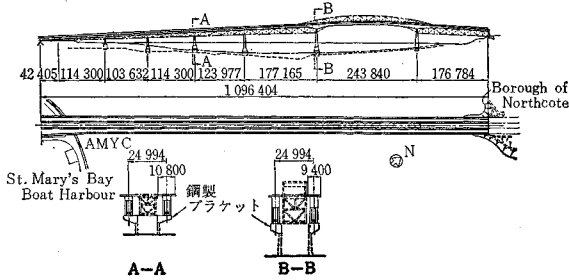
1. 工事概要

1959年6月イギリス人の手によって4車線幅のゲルバートラス橋がオークランド湾を南北に横切って架設され、湾の北岸部から市中心部への交通は非常に便利となり、北岸郊外の人口は急速に増加し、交通量は7年間で2.5倍にもなった。そこでAHBA(Auckland Harbour Bridge Authority)は、この橋の輸送量を倍増させるための検討をイギリスのコンサルタントFFP(Freeman Fox & Partners)に依頼した。その結果、新しい橋を建設するよりも既設のゲルバートラス橋を特殊な工法で

拡幅するほうが約20億円の工費節減になることが明らかになり、この計画が採用された。すなわち、上部構造は既設トラス橋の両側に並列して2車線ずつの鋼床版箱桁橋を全く独立して新設するが、下部構造は既設橋脚躯体の頭部を改修して鋼製ブラケットを両側に張り出させ新設上部構造を支持しようという計画であった。このため新設される鋼床版箱桁は既設トラスと同じスパン割りとなり、図-1に見るようにその最大スパンはこの種の橋では世界第3位に当る243.840mであり、橋の北端部に固定ラーメン脚をもつ8径間連続橋梁である。橋の南端部は連続桁長1100mの伸縮量に相応した構造を持つローラー沓で支持されているが、他の支点では鋼製ロッカー柱によって支持され、陸上部を除きこのロッカー柱はすべて橋脚頭部の両側に張り出した鋼製のブラケットにより受けられている。両側の鋼製ブラケットどうしは上端を24本のPC鋼棒で相互に緊張され、曲げ引張力に抵抗する構造となっている。橋の桁高はアプローチスパン部では4.2mであり、航路スパン部では桁下空間の確保のため3.6mまで減少されているが、その両側支点部では9.2mにも達している。航路スパン部を除き標準路面幅は10.8mであり、3.7mの2車線と内側2.1m、外側1.05mの路肩から成っている。既設トラス橋の路面はアプローチスパン部では上路形式でレベルが合致しており、両橋のすき間はわずか50mmであるため、緊急時の相互乗り入れが可能である。これによって待避車線のない既設橋で事故が起っても、事故車を速やかに新橋の路肩へ移すことができるなど、交通混雑を防止することができる。この拡幅工事の内容は、大別して現地土木工事、国内製作工事、外洋輸送工事、橋体架設工事および舗装仕上げ工事の5つから成っている。現地土木工事は、南北岸の橋台、橋脚の新設と海上部橋脚の改造および鋼製ブラケットのプレストレス導入を含み、全体の契約工事費は約37億円、鋼重は9920tである。本工事に対しては、社内の橋梁部門はもちろん、技術研究所、船舶部門、運搬機械部門を含めた海陸一体

* 正会員 石川島播磨重工業(株)鉄構事業部

図一 オークランドハーバー橋一般図



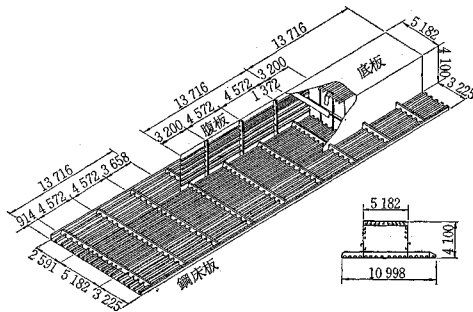
のプロジェクトチームを組織して臨み、鋼箱桁の製作、輸送、架設を通じて一貫してプレハブ大ブロック工法による急速施工を旨とし、省力化、無災害化とあわせて製品精度の向上を計った。

2. 本工事の技術的特徴

(1) 構造設計

図一に示されているように、箱桁は鋼床版と2枚の腹板および底板からなっている。桁の自重を軽くするため、アプローチスパンの一部を除いてはすべて高張力鋼 (SM 53) を大量に使用し、思い切って構造の薄肉化を計っている。鋼床版は 11~18 mm の鋼板を U 形リブ

図一 箱桁の構成



で補強した構造であり、腹板は全長にわたり 9 mm 厚さの鋼板が多数の山形鋼によって水平方向に補強されている。このように、腹板が薄いため支点上では腹板から流れてくるせん断力をダイヤフラムに伝え、それを支持する構造を採用している。底板はやはり長手方向に不等辺不等厚山形鋼で補強され、ハンチ部では厚い鋼板リブで補強されている。鋼床版、腹板、底板ともに横方向には、約 4.6 m 間隔に補強されているが、腹板と鋼床版および底板の横方向補強位置は、半ピッチずつずらし、組立時の取合いを簡素化している。このように多くのリブによって薄板を補強しているが、これらのリブはすべてロールされた山形鋼や、プレスされたペントプレートであり、溶接組立部材は一切用いられていない。次に注目すべきことは、リブと鋼板の取付けである。鋼床版

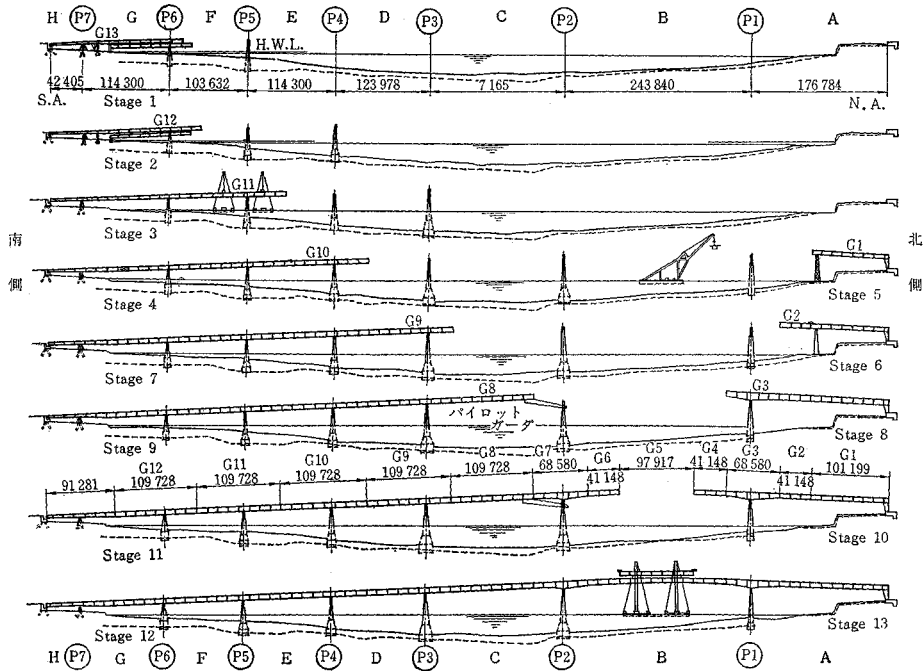
のデッキプレートと L 形リブの取付けには鋼床版が直接荷重を受けるので連続溶接を用いているが、直接荷重を受けない腹板と底板においては、すべてビード長 75 mm、ピッチ 300 mm の千鳥断続溶接によって、リブの取付けを行なっている。その結果、溶接によるやせ馬やひずみはほとんど出ず、線状加熱などによるひずみの矯正はほとんど必要なかった。また、箱桁の組立溶接においても、大たんな合理化を行なっている。すなわち、腹板と鋼床版および底板との取付けは、必要なせん断力を伝えるに十分な隅肉溶接を箱桁外側から行なうのみで、箱内側からの溶接は行なっていない。この溶接脚長は 8 mm が最大であって、一層溶接で施工できるようにしてある。箱桁の構成パネルは、設計段階において定尺ユニット化を行ない、互換性をもたせ、現寸作業の省略と量産体制への足がかりをつくった。また、製作、組立、架設に必要な治具はその大半を設計段階で図面化し、本体構造に組み入れ、本体架設後も美観上問題のあるもの以外除去しなかった。

現場継手は、鋼床版デッキプレートのみならず、全断面が溶接によって施工された。開先合せや製作、組立作業を容易に確実にするため桁はすべて同一断面で溶接されている。

(2) 大ブロック工法

本工事で最も注目すべき点は、国内岸壁で最大 110 m、400 t という長大ブロック 26 個を組み立て (写真一2)、23 000 t 中古タンカーを下取りして改造した専用船を 7 往復させて現地へ運び、2 隻のリフト 60 m 250 t 吊りフローティングクレーンで短期間に架設したことである。すなわち、この輸送専用船や本工事のために新造された 2 隻のフローティングクレーンを始めとし、以下に述べるように大小 13 隻にのぼる各種作業船を駆使した海陸技術の総合力をもって、プロジェクトを達成した点である。初め、この橋の計画をした FFP は鋼床版、腹板、底板などリブで補強された多数のパネルを現地に運び、地上で長さ 13.7 m の箱桁に組み立て順次カンチレバー工法で架設することを考えていた。しかしこの工法では、現地で多数の熟練工を必要とするし、工期も長引くことは明らかであった。入札前の綿密な現地調査の結果、本工事を成功させるには現地での工事量を極小化することであると結論に達した。その方法としては、すでに東京都の佃大橋で試みられた大ブロック架設工法が最適であると考え、製作、輸送を通じてこの工法を最適化するための計画がなされた。その結果、現地での工事量の縮小 (たとえば、現場溶接断面は 160 ヶ所から 24 ヶ所に減少) と工期の大幅な短縮による現場工事費の大幅な削減、および架設工法の簡素化と合理的なブロック

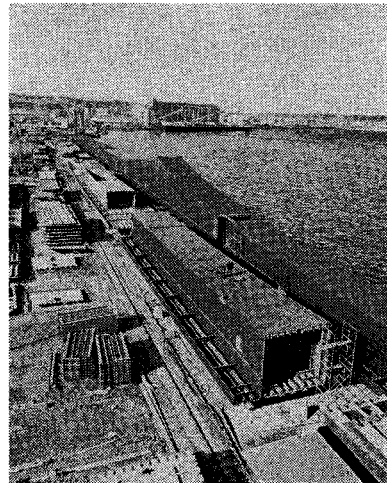
図-3 架設計画図



割による橋体重量の節減も可能となり、これらが工事受注成功の決め手となった。全長約 1100 m の橋桁は製作架設および輸送を総合的に検討して 13 ブロックずつ合計 26 ブロックに分割された(図-3)。これらのブロックの最大重量は約 400 t である。本工事全体の工程は日本からニュージーランドまでの 9000 km を往復 40 日のサイクルでピストン輸送する専用船の動きをベースに計画され、実際に 26 本の桁は 7 航海約 10 ヶ月で輸送された。国内製作、大洋輸送、現地架設の 3 工程がよくマッチして工事が進められた点に成功の要因があった。製作されたおのおののパネルは、塗装工場でグリッドプラスト、亜鉛メタリコンを下地とする特殊塗装を施され、岸壁にそった仮組の支持台上にならべ、順次組立て溶接を行なった。写真-2 に示されているように、天地逆の状態を組み立てた。このため、現地で桁を海面に浮かべ反転し正位置に戻すという橋梁工事にとっては大たんな作業がふえたが、組立時の溶接が大部分下向姿勢となり、自動溶接を採用できたし、輸送上も好都合であった。組立作業は、工程の関係で横浜と呉の 2 ヶ所の工場で行なった。ブロック重量が大きいため、部分的に支持すると地盤沈下を起こす恐れがあったし、屋外での組立てであるので日射の影響を強く受けるなど、桁の形状寸法の維持には常に神経を使った。また、このような薄肉の長大構造物に対する溶接ひずみの影響についても未経験であったため、常に桁の形状を測定し寸法精度の確保には非常な注意を払った。

3 本ないし 4 本ずつ現地へ運ばれてきた橋桁は、

写真-2 岸壁で行なわれている大ブロック組立作業



38000 t 老朽タンカーの船体を改造してつくられた巨大バージ上に仮置きされた。架設に先立ち、桁は海面におろされて反転され、2 隻の 300 t ポンツーン上にあずけられ清水によって洗浄された。海面上で橋桁を反転するというアイデアは、サルベージの経験から出てきたものである。この反転作業については、事前に十分検討し反転治具の設計、反転中の安定計算、反転時の衝撃の検算等、設計上から万全を期するとともに、2 隻のフローティングクレーンによる共同作業についても入念に打合せを行なった。その結果、実際作業は非常にスムーズに施工できた。

写真-3 大ブロックの架設作業
(スパンAの架設)

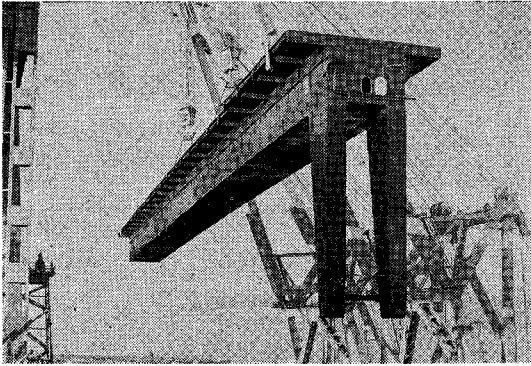


写真-4 最終桁(G5)の架設作業

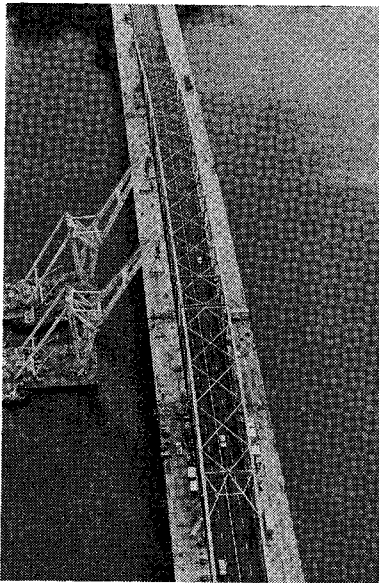


図-3 に示されているように、南端陸上部の橋桁 G 13 は、フローティングクレーンで一気に架設することができないので、あらかじめ水際に架設した別の橋桁の上に置き、南へ 80 m ころ引きした。その他の桁はすべて海上から直接架設した。同図からわかるように、約 1100 m の橋を架設するのに使用されたステージングは、スパン A にただ 1 ヶ所あるだけである。スパン C においては、パイロットガーダーを活用するなど、海上部には、できるだけステージングを建てないようにしたことも本工事の特徴である。

常時交通頻繁な既設トラス橋と新設橋とのクリアランスは、架設時 150 mm 程度しかなく、しかも架設には既設橋を利用することは許されないため架設作業には非常に神経を使ったが、架設作業中の接触事故は全くなかった。そのうえ、10 m/sec 程度の風や 4 ノット程度の潮流がある場合でも、2 隻のフローティングクレーンは

熟練した日本人作業員により相互に緊密な連絡を取りながら連携作業ができたので、桁のデリケートな制御が可能であった。さらに桁を最終的にセットするときは、チルホールやチェンブロックなどで桁の小さな動きまで完全に制御して杓を納め、桁断面を閉合せた。

本工事海上作業のやま場は 110 m のブロックにパイロットガーダーをつけた長さ 150 m、重さ 530 t の大ブロックを一挙に架設するという世界でも、まだ例を聞かない作業にあった。この場合、パイロットガーダーの装着と架設作業の複雑さにもかかわらず、約 6 時間で架設できた。さらにほかの桁の場合には、ブロックを吊り上げてから架設完了するまでわずかに平均 2 時間半というスピーディーな作業であった。このように、2 隻のフローティングクレーンによる大ブロック架設工法では、デリケートな調整が可能であり、安定したスピーディーな作業のできることを経験した。

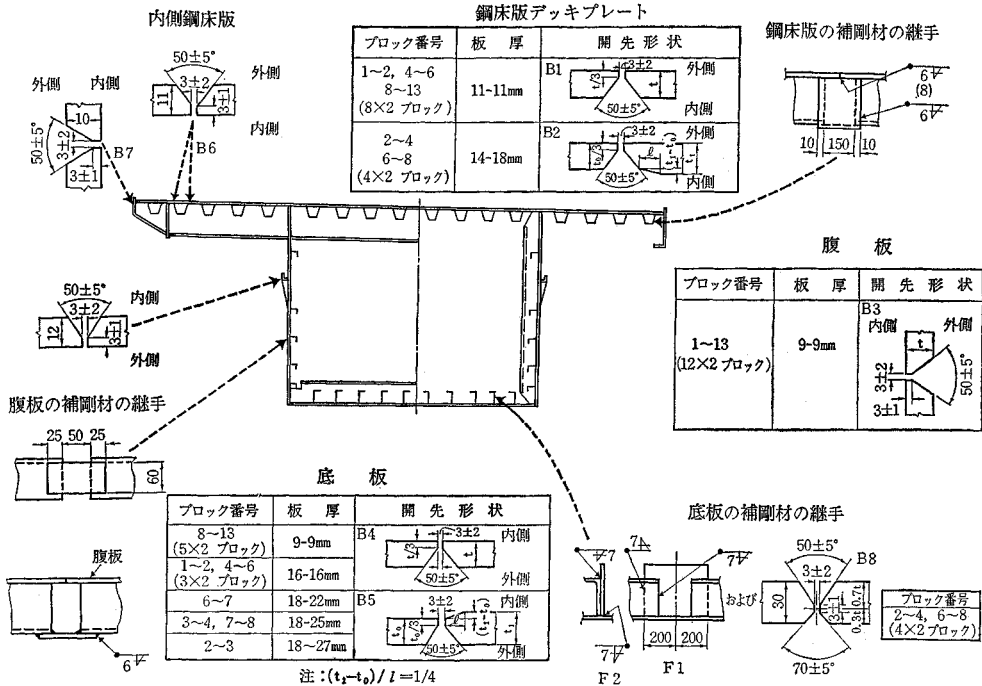
(3) 形状管理

アプローチスパンにおいては、新橋の路面レベルを既設橋のそれに完全に一致させることが要求された。したがって、架設各段階の桁の形状を計算で予測し、それを基準に実際の桁の動きを追跡していった。しかし、箱桁のたわみは計算値よりも常に大きく、そのうえ製作時の溶接ひずみや誤差も加わり、キャンパーは常に不足気味であった。そこで、現場継手断面の溶接を残して次のブロックを架設し、たわみ変化を観察してキャンパー調整を行ってから継手の溶接を行なった場合もあった。キャンパー不足は、継手断面の底板を必要量切り取り、そのギャップを引き寄せることによって、桁に純曲げモーメントを作用させ、桁に変形を与えて補った。この作用によって、桁にはプレストレスが導入されるわけであるが、その量はあらかじめ設定されていた許容内に納めた。橋軸方向の通り芯もトラス橋に平行させるよう、現場溶接部の開先間隔を多少変えることによって調整した。このような調整が可能であったのは、現場継手部が全断面溶接継手であったからであるが、現場での形状調整や管理が早く容易にできるための配慮も計画上の一つのポイントである。

(4) 現場溶接

本橋の現場継手はすべて溶接で施工されたため、継手効率が高められ材料の節減が計られたうえに、外郭線の流れがスムーズで美観を増している。現場溶接はニュージーランドの溶接工の技術水準と桁の形状管理の容易さを考慮して、すべて手溶接で施工した。溶接部の開先は図-4 のように決定した。鋼床版、底板ともに上向溶接の開先としたのは、鋼床版および底板上面に架設用工具

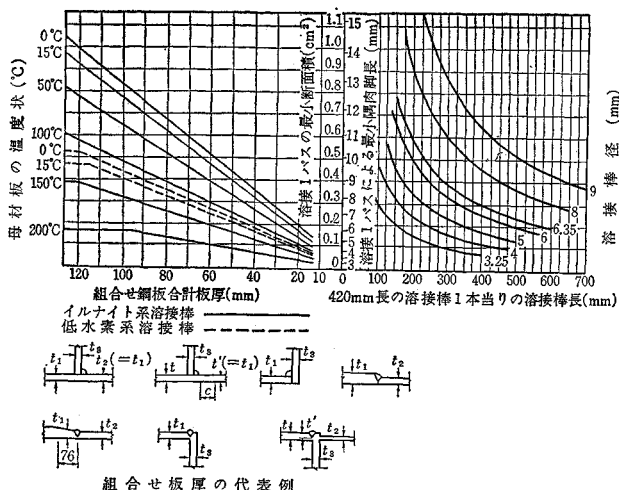
図-4 現場継手要領



と肌合せ治具とが多数配置されているのを考慮したためである。もし自動溶接を採用する場合には、別の考え方が必要になろう。また、図-4 に示されているようにリップの継手は、すべてラップジョイント形式を用い継手の形成を簡単にしている。架設時フローティングクレーンが離れる前に、箱桁の四隅の相対位置を合致させるとともに、鋼床版デッキプレートの溶接開先ルート間隔を調整した。それには、デッキプレート上と底板上に配置された間隔保持治具間にライナープレート进行そう入して、高張力ボルトで締めつけルート間隔を保持した。しかし

日射の影響が予想以上に大きく、あらかじめ底板上で4本 P C 鋼棒で導入した約 200 t の力を上回り、底板が口あき状態になってしまう場合もあって追加処理を必要とした。溶接棒の乾燥は現場倉庫にオープンを用意して完全を期し、溶接工はその中から必要量の溶接棒をもらい受け、携帯用のホットボックス中に入れて保温し、一本ずつ取り出して溶接を行なうようにした。高張力鋼の溶接条件としては図-5 に示す値を標準とした。図-5 によれば、溶接棒と鋼材の温度および組合せ板厚が定まれば、1パスにおける最小脚長が決定できる。また、溶接の最小ビード長は 50 mm とした。

図-5 手溶接の板厚と予熱



溶接作業の能率化と、高所作業の安全化のために、エンジン駆動の移動足場を桁から吊って、その上で作業を行なえるようにした。この移動足場は、溶接作業終了後は塗装工用足場として使用された。

オークランド湾の天候は非常に不安定であり、1日に数度も通り雨が降る場合もあるうえ、強風を伴うので作業箇所はすべてシートでおおい、天候による溶接工程の遅延に備えた。しかし、現地溶接工の作業能率は日本の技能者に比べ大きく劣ることは否めない事実であって、溶接工程の確保にはかなり苦勞した。また実際の溶接にあたっては、ニュージーランドの溶接工は必要以上に深くガウジングするので能率上も悪く、形状管理の面での影響もあり、技術管理にも細かく気を配って

満足すべき製品を納めた。

(5) 塗 装

橋梁の維持管理の点から考えると、長期間防錆効果を保持できる表面処理を施すことが望まれることは明らかである。本橋の箱桁外面にはメンテナンスフリーを目ざし、鋼板をグリットブラストしたのち亜鉛メタリコンを行なって、その上に5層の防食塗装を施すという塗装系が採用された。一方桁内面はレッドレッドペイント2回塗である。箱桁外面の塗装系の適用は、イギリスではかなり一般化されているが、わが国では最初の試みであった。したがって、施工上の問題点を事前に検討し、塗装工場を新設して施工した。特にグリットブラスト面のあらかさや、施工時の湿度は施工結果に大きな影響をおよぼすので、厳重に管理した。なにしろ、このような大面積に亜鉛メタリコンを施工するのは初めてであったから、施工過程で今までの塗装系に対してとは、異なった技術面、管理面での多くの体験をした。今後、特に長大橋梁に、このような塗装系が採用されると予想されるので、このことについては誌面の都合もあり別の機会に報告したい。

3. 海外工事の体験

戦後 25 年へた今日、一口に海外工事といっても、すでに数多くの企業が種々の分野で全世界にわたって進出しており、多くの報告が発表されている。本工事の場合 40 億円に近い大規模な鋼橋プロジェクトと土木工事も含めて日本の一私企業が一括責任施工したという意味で、特に施工中に体験した二、三の事情について述べてみたい。

(1) 現 地 工 事

海外工事で最も重要なことは、適格な現地調査とそれに基づく工事計画であることは論をまたない。本工事の場合も、この国では特殊技術者以外の労働者の入国は許可しないことになっているため、主として労働事情と下請業者の調査のために、数回にわたり事前調査が行なわれた。ニュージーランドは、一人当りの国民所得は世界第7位、平均寿命は世界第3位という白人の楽園であり、労働者天国といわれるほど社会保障が行き届き、移民制限をして労働者を保護している。また、職種別労働者組合の力が非常に強い国であり、労働閉鎖的先進国ともいえる。それゆえ、他国からの安い労働者の流入には極度に敏感で、自分達の権利が少しでも侵されると、ただちに労働争議が発生する。

本工事における大ブロック工法はこれらの事情に対す

る重要な解決策でもあった。2隻のフローティングクレーンを操作する約 40 名の日本人作業員は、すべて特殊技能者であり、本橋の橋桁上架作業はすべて海上からの作業であり、日本人部隊の手で行なうことができた。

しかし、鋼桁の現場継手溶接工事や土木工事、塗装工事、海上荷設運搬工事、その他多種多様な工事があり、すべて現地業者に下請させねばならなかった。一般には請負別で下請業者を選択決定するのが普通であるが、もし直接管理に自信がある場合は下請業者を通さず、直接現地人を雇用する形式が望ましい。

この国では週5日制であり、休日の労働は 2~3 倍の賃金となる。また、1日の労働が朝8時から夕方5時までであって、昼休み以外に午前と午後各1回ティータイムと称する休憩時間がある。このような労働条件については、工事を始める前十分に認識してかからないと長期間にわたる工事については工程計画に狂いが生じたり、労働争議を起こしたりすることになる。また、日本式の突貫作業は通用しないと考えるべきであろう。なお、海外で現地人を使って現地工事を成功させるには、現地工事事務所の責任者とスタッフの人選に、特に意を用いなければならないのは論をまたない。

(2) 管 理 体 制

海外工事を成功させるには、これを実施する管理体制が円滑な運営を期待させるものでなければならない。特にプレハブ大ブロックによる急速施工を生命として工事を進めてゆく場合、わずかな停滞が大きな損失となつてはね返ってくるので、コンサルタントとの折衝、工場や現地事務所との連絡、従請負者への指示など、リアルタイムの意志決定とレスポンスを必要とする。本工事の場合、舞台はロンドン、東京、ニュージーランドの3ヵ国にまたがり、それぞれの間の業務連絡、意志調整など相互の往来が簡単でないだけに大きな困難が予想されたが、おびたしい往復文書としばしば国際テレックス、国際電報で常に相互の意志疎通を計り、しばしばお互いに往来して工事の進行を円滑にした。東京には、このような連絡と指令の中心となり全工事を管理する特別の意志決定機関と専従スタッフを置いた。

(3) イギリスのコンサルタント

日本では、ここ数年建設コンサルタントの育成充実が叫ばれ、施工主よりコンサルタントに構造物などの工事の調査・計画が依頼されるケースが多くなってきている。本工事のコンサルタントは、イギリス屈指のセパン橋で有名な名門 FFP であったが、3年間にわたり交渉をもったわれわれは、これが本当のコンサルタントだという実感を身をもって感ずることができた。FFP の本

拠はロンドンにあり、約300人の従業員がイギリスはもとより世界各地の工事現場に進出して工事事務所をもっている。その仕事は、主として道路計画、交通計画で、構造部門も世界的に信用がある。イギリスには歴史のあるコンサルタントが数多くあるが、FFPも今世紀はじめから続いている名門のコンサルタントである。しかし、われわれの注目を引いたのは、そのような伝統や歴史につかわれたその業務範囲の広さであり、優れた物の考え方と合理的な仕事の処理法である。イギリスでは一つの工事における施主、コンサルタント、請負者の仕事の区分とそれぞれの立場がはっきりと確立されている。特にコンサルタントは大きな権限を施主より委任され、施工管理を行なうようになっている。その業務範囲は、調査、計画から始まり、入札のための設計や契約書類の作成、入札審査と請負者の決定についての施主に対する勧告、詳細図面や各種施工要領の承認を含む請負者の施工管理、請負者の支払い請求に対する査定、決裁等の広範囲にわたるもので、施主はコンサルタントを決めさえすれば工費金の用意と、請負者との契約と、コンサルタントの勧告にしたがって請負金を支払うだけでよい。

FFPの仕事のやり方で面白いことは、ロンドン本社と現地事務所とが全く対照的な取り組み方をしている点である。設計図面と施工計画を承認するのは、本社の管轄範囲であるが、その間においてFFP本社の技術者は非常にフレキシブルな態度で常に合理的な考え方を追求し、しかも請負者の立場にたって施工の容易な、優れたやり方を忠告し採用してゆく。一方現場事務所では取り決められた仕様書には真に忠実で、製品に対しては徹底的な検査を行ない、ややもすると工程を無視してまで過度の品質を求めることもあった。しかしながら両者に共通していることは、理論もさることながら実際の経験を重視する点と、何事によらず文書でやりとりして証拠を残しておく点である。

むすび

このオークランドハーバー橋が完成したとき、工業で立ち遅れ、大きなプロジェクトはすべて外国人の手にその施工を依存しているニュージーランド国の人々が、「あなたがたは3つの新しい記録をつくった」と祝ってくれた。その3つとは

- ① 工期遅延がなかったこと
- ② 工事の犠牲者を出さなかったこと
- ③ 労働争議を起こさなかったこと

である。この3つの点は、海外工事を成功させる大きな柱でもあろう。そしてこの成功の第一の要因は、なんといっても、設計、製作、輸送、架設に対し一貫して大ブロック工法を採用し、また組織の上でも、陸海一丸となってこのプロジェクトに取り組んできたことにあると信じている。工事の省力化、急速化、無災害化が社会的要請となりつつある現在、本稿が多少なりとも、それらの方面での工法の発展と、日本の橋梁技術の海外進出への足がかりになれば幸いである。

最後に本工事を推進するにあたり多大の援助と協力を賜った国内外の関係者各位に誌上を借り深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 橋 淳市：オークランドハーバーブリッジの概要、石川島播磨技報、1968年8月
- 2) 橋 淳市：Auckland Harbour Bridge, 土木技術, 22巻6号
- 3) 橋 淳市・原 公：Auckland Harbour Bridge (1), 土木技術, 25巻2号
- 4) G. F. J. Nash : Auckland Harbour Bridge Extension., Civil Engineering and Public Works Review. April 1968.

(1970.2.9・受付)

橋 1968~1969

カラー写真入り
A4判 96ページ

1600円(〒100円)

東名高速道路の橋梁一計画・設計・施工の概要■〔受賞作品〕尾道大橋・浜名湖橋・第3綾瀬高架橋■鋼橋 1968年の展望■多摩川橋梁/無意根大橋/荒川・中川橋梁/新桂川橋梁/第1江戸川橋梁/新石狩大橋/安芸大橋/新瀬戸大橋/飯田橋歩道橋/川崎ターミナル歩道橋/横浜駅東口歩道橋/新伊東線地下道架道橋/福島仮設高架橋■コンクリート橋 1968年の展望■岡多線矢作川橋梁/東北本線荒川PC下路橋/総武本線荒川東高架橋/地震滝橋■1968年竣工主要橋梁一覧■〔受賞論文〕長大つり橋の地震応答と耐震設計法に関する研究(小西・山田・高岡)ほか