

メグナグムティ橋の建設

小川 直哉*1・吉川 潤一*2・近江 英家*3・石原 達久*4

1. まえがき

バングラデシュの国土の大部分は、図-1に示すようにガンジス川とブラマプトラ川の2大河川によって形成された世界でも有数のデルタ地帯にある。さらにこれらの2大河川の支流となる中小河川が網の目のように流れており、雨期には上流からの影響をうけて河川が増水し、毎年のように各地で洪水が発生する。

同国の道路交通網の整備はかなり遅れ、主要幹線道路

においてさえ、渡河部ではフェリーに頼っているのが現状である。バングラデシュ国の首都ダッカと、第2の都市であり国際港を有するチッタゴンを結ぶ同国の最重要幹線道路でさえも、メグナ川本流、支流の2渡河地点でフェリー運行となっており、道路交通の障害となっていた。

日本政府はバングラデシュ政府の要請に応じて、1986年10月上記2渡河地点のうちメグナ橋建設計画にかかる無償資金協力援助を決定した。メグナ橋建設工事（橋長930m）は1987年3月4日に契約調印され、1988年に未曾有の大洪水に見舞われるなどいくつかの予期せぬ事態が発生したが、これらを克服して1991年2月18日無事竣工にいたった。

再びバングラデシュ政府は1990年3月、もう一つの渡河地点であるメグナグムティ橋建設計画について日本政府に無償資金協力援助を要請した。国際協力事業団（JICA）は同橋建設基本設計調査を1990年5月から同年11月まで、また同詳細設計を1991年2月から6月まで実施した。そして日本国政府とバングラデシュ政府間で1991年8月29日、メグナグムティ橋建設計画のための贈与に関する交換公文が締結され、1992年2月1日メグナグムティ橋建設工事（橋長1410m）が契約調印された。

本文はこのメグナグムティ橋の建設における工事概要と施工状況について報告するものである。

2. 工事概要

工事名称：メグナグムティ橋建設工事

発注者：バングラデシュ人民共和国、運輸省道路局

施工場所：同共和国ダッカ市の南東40km

メグナ川・グムティ川上

工期：1992年3月10日～1996年2月28日（48ヶ月）

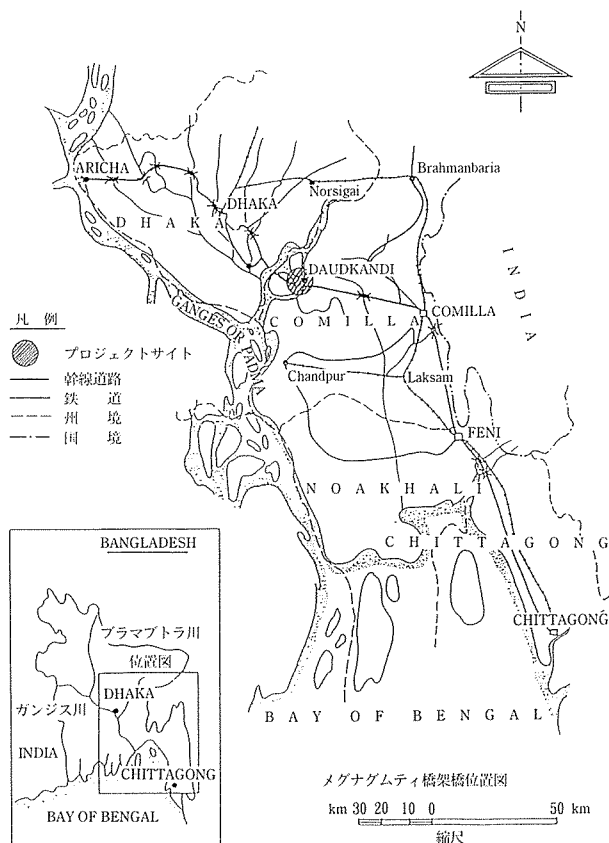


図-1 位置図

*1 Naoya OGAWA：パシフィックコンサルタンツインターナショナル メグナ工事事務所 所長

*2 Junichi YOSHIKAWA：(株)大林組 メグナ工事事務所 所長

*3 Hideya OMI：(株)大林組 土木本部海外土木部 課長（前：メグナ工事事務所 副所長）

*4 Tatsuhisa ISHIHARA：(株)大林組 土木技術本部技術第三部 課長代理（前：メグナ工事事務所 工事長）

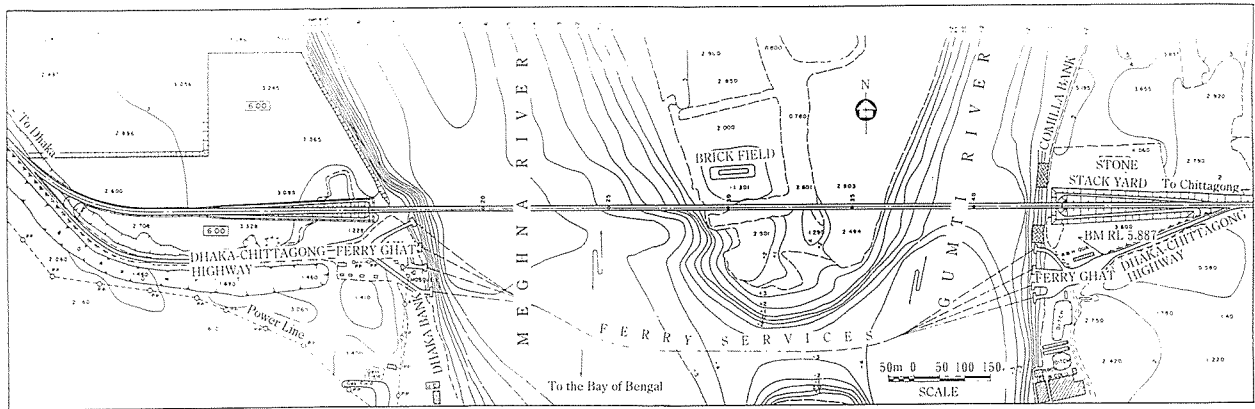


図-2 平面図

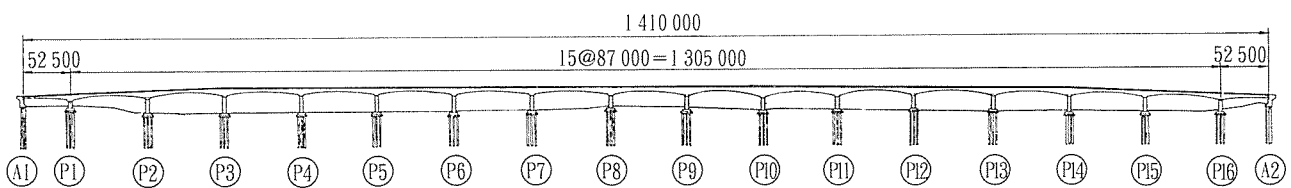


図-3 橋梁縦断面

工事内容：

- 準備工；キャンプヤード造成・仮設岸壁1式
取付け道路；右岸（ダッカ側）870 m
左岸（チッタゴン側）470 m
- 下部工；橋台 A₁・A₂ 2基 (H=9・11 m)
橋脚 P₁～P₁₆ 16基 (H=8～20 m)
仮締切 鋼管矢板 11ヶ所 φ1 m
L=28.5 m
仮締切 鋼矢板 5ヶ所 V型
L=16.0 m
基礎工 リバース杭 (φ1.5 m) 138本
- 上部工；17径間連続有ヒンジラーメン箱桁橋
スパン割 52.02 m+15×87.0 m+52.02 m

付帯工事；捨石工・護岸工 1式

主要工事数量：

- コンクリート； $\sigma_{ck} = 350 \text{ kgf/cm}^2$ 上部工 14 500 m³
 $\sigma_{ck} = 300 \text{ kgf/cm}^2$ 基礎杭 16 000 m³
 $\sigma_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$ 下部工 8 800 m³
- P C 鋼材；SWPR 7 A 12 T 12.4 500 t
SWPR 19 1 T 19.3 1 T 21.8
75 t
SBPR 930/1 080 φ32 120 t

- 鉄筋；SD 295 A 相当 3 900 t
- 型枠；47 000 m³
- 盛土；670 000 m³

3. バングラデシュ国の環境

3.1 労働環境

バングラデシュ国は労働力に恵まれており、中近東諸国等の建設工事に多くの労働力を派遣し、十分建設作業に従事し得ることが実証されている。同国における建設作業はほとんど機械化されておらず、人力に頼っている。クレーン、掘削・積込み機械等の建設機械は外国企業以外の建設現場ではほとんど見られず、砂利等の運搬はトラックで行われるが、積込み、荷下ろしは人力で行われている。したがって当工事にて使用する建設機械はすべて国外から調達した。また骨材製造設備、生コン工場もなく、粗骨材は玉石大 (20 cm 程度) のものを人力で破碎し、エンジン掛けのミキサー (0.1 m³ 程度) にて練り混ぜし、人力にて運搬し打設している。したがってこれらの設備もすべて国外から調達し自主管理している。足場・支保工材、型枠材も木製品が主で、最近になってダッカ市内の建築現場で鋼製のものが使われるようになったがまだまだ普及していないため、これらの仮設材も国外から調達した。

3.2 気象環境

同国の気象は雨期と乾期にはっきりと分かれ、5月から10月の雨期には年間降雨量 (首都ダッカでは2 500 mm) の約80%が集中し、月降雨量が500 mm～650 mmに達することがある。またこの時期にヒマラヤからの雪融け水が流下してくるため、水位が上昇し架橋地点の年間水位差は4 mにもなっている (図-4)。また

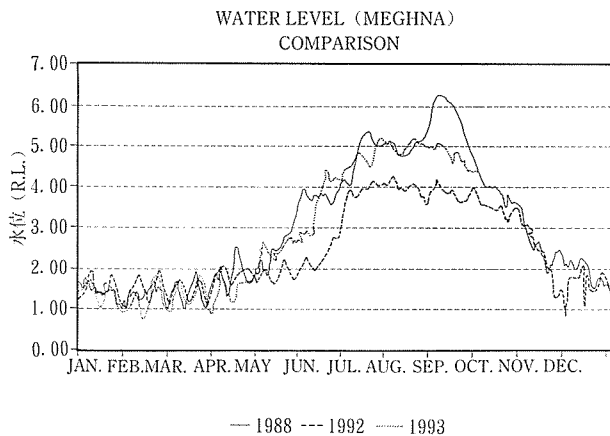


図-4 河川水位図

架橋地点は感潮河川であり、乾期における最大日変化は1 m を超えることもある。雨期の気温は日中35~38度程度で、夜になっても25度以下に下がる日はまれである。月のうち20日以上も雨が降るため湿度も下がらず、毎日蒸し暑い日が約半年間続く。

また雨期前の3月~4月にかけては、当地方では“NORWESTER”と呼ばれる竜巻がインド亜大陸内陸部より来襲し、この通過経路にあたった場所は甚大な被害をこうむる。雨期明けの9月~11月にはベンガル湾に発生するサイクロン(台風と同じ)が内陸部にまで到達し、これも周囲に大きな被害をもたらす。同国では防災に対するシステムが発達しておらず、特に前者の移動速度は迅速であるため、メグナ橋建設時も橋脚の鉄筋・PC鋼棒がなぎ倒されたり、セメント倉庫が壊されたり、作業船・バッチングプラント船が数回流されたりと、大きな被害をこうむった。

3.3 セメント

セメントはクリンカーを輸入して同国にて製造されているものもあるが、国内需要の80%は輸入にたよっており、国内産品は品質にもばらつきがある。輸入セメントについて日本にて化学試験および物理試験を実施した結果良好な結果が得られた。本工事では工程を維持するために、厳しいコンクリートの品質管理および安定供給が要求されることより、輸入品を使用した。

3.4 コンクリート用骨材

コンクリート用骨材は、メグナ川上流のインド国境に近いシレット地方(架橋地点の北東約200 km)にて採取されたものを使用している。これらの骨材は川底から人力によって採取されているので、河川の水位によって供給量が左右されるため、乾期の水位の低いときにまとめて購入し、貯蔵しておく必要があった。細骨材は粒度分布の良いものが直接得られたが、粗骨材は5~20 cm程度の玉石をクラッシングプラントにて破碎して使用した。

3.5 鉄筋

同国で使用されている鉄筋はほとんどが丸鋼または、冷間ねじり加工鉄筋で、異形鉄筋の使用もまれにはみられるが、ほとんどはD16以下である。使用されている鉄筋が細ものであるためもあり、ほとんどのものの長さは不揃いで、トラックに積込み可能な長さに折り曲げられている。廃船のスクラップや洗鉄から加工されるものが多かったが、現在ではビュレットを輸入して加工する工場もあり、太ものの加工も可能となり、品質も安定してきている。また数量がまとまれば長さ別にも注文でき、12 m以内ならばまっすぐのものをトレーラーで運搬している。当工事ではこの工場の鉄筋を使用することとし、納入された鉄筋については、毎回径別に引張試験を行い品質を確認してから使用した。

3.6 その他の資材

同国ではPC鋼材、定着具、シース、コンクリート用混和剤、グラウト用混和剤、結束線、凝結遅延剤等ほとんどの資材を入手不可能であるため輸入した。輸入方法は、日本よりチッタゴン港(架橋地点の南東約200 km)またはモングラ港(架橋地点の南東約150 km)まで海上輸送され、そこで小型の船舶に積み替えられ、河川を利用して架橋地点まで水上運搬される。水上輸送されるため、PC鋼材は防水紙にて2重または3重に梱包され輸出された。しかし前述の積替え作業が雑であるので、この防水梱包が破れてしまい、一部錆の発生したもののや、PC鋼棒のネジ部に傷がついていたこともあった。このため注文時には必ず予備を注文する必要があった。

4. 準備工

4.1 キャンプヤード

キャンプヤードはメグナ川右岸側(ダッカ側)の架橋地点の上流側に、過去の水位データより判断しEL.+6.0 m(現地盤はEL.+3.0 mの耕作地)までメグナ川よりシルト混じり細砂を浚渫して造成した。このうち約



写真-1 キャンプヤード

◇工事報告◇

15 000 m²を資材置き場として有刺鉄線で囲み、鋼材、ワーゲン、仮設材は屋外に仮置きしたが、機械部品、基礎工・下部工用資材、上部工用資材、PC 鋼材は、この中にレンガ造りの倉庫を5箇所設け、それぞれ分けて保管した。また川側部分はV型鋼矢板 L=16 m を使用して長さ 165 m の仮設岸壁を設け、作業台船を接岸させ資機材の積み込みを可能とした(写真-1)。

4.2 航路浚渫

本架設現場は、メグナ川とグムティ川にはさまれて中州があり(P₉~P₁₂)、この中州部分への資機材の運搬路の確保が要求された。そこで深さ約 5 m、幅 70 m、長さ 300 m にわたり中州を浚渫し、航路を確保した。

4.3 コンクリート打設

本橋では3種類のコンクリートを打設しているが、いずれも混和剤を輸入し使用している。一般構造物および基礎杭用のコンクリートには気温が高いことから遅延剤を使用し、上部工用には早期強度が要求されるので高性能減水剤を使用している。配合設計を決める前に、輸入セメントのサンプルを日本におくり、物理試験および化学試験を実施して品質を確認した。その後混和剤の製造業者からの配合設計のアドバイスをもとに、仕様書の規定を満足し、設計基準強度の 20 % 増しの強度を目標とし、上部工用のコンクリートについては 48 時間後に主ケーブル緊張可能強度 300 kgf/cm² が得られるよう、現場にて試験練りを行い配合を決定した。

コンクリートの練混ぜ、運搬、打設には、バッチングプラント船を使用することとした。バッチングプラント船は、フラットバージに、骨材貯蔵・運搬設備、セメン

トサイロ、ミキシングプラント、コンクリートポンプを積み込み、材料の積み込みはキャンプヤードの仮設岸壁にて行い、これをタグボートにて打設箇所まで移動し、ブーム付きコンクリートポンプにて打設した(写真-2)。

5. 基礎工

5.1 設計概要

本架橋地点はルーズな砂層・未固結のシルト層が厚く堆積する軟弱地盤であり、本設計計画のような橋梁規模に対する支持層としては、N 値 50 以上の砂層によることと決定された。このような砂層が現れるのは RL-80 m 付近で、基礎構造物の施工長は 70 m 以上の計画となる。そこで、この施工規模において一般的である杭基礎が採用され、品質管理・施工機械の簡便さ等の面から、リバースサーキュレーション工法による径 1.5 m の場所打ちコンクリート杭に決定された。

5.2 施工状況

前述のとおり杭の支持層が深いところでは RL-80 m 付近であり、掘削長が 80 m を超えることより、通常のサクショポンプによる掘削は困難であると予見され、本杭開始前に試験掘削を行った。サクショポンプによる試験掘削では、掘削長が 65 m 付近になるとドリルパイプ 1 本(3 m)掘削するのに 2 時間、これを超えて 70 m 付近になると 4 時間もかかり、連続掘削時間が 24 時間以上かかっても 80 m を掘削できなかった。そこで第 2 案として考えていたエアリフト方式による掘削に段取り替えした。この結果目標としていた最大掘削長 83 m は 23 時間で掘削することができ、ドリルパイプ 1 本当たりも最長 2 時間以内におさまった。以上より掘削はエアリフト方式とすることに決定した。

1 橋脚当たり 8 本の杭があったが、1 本当たりの施工時間が 21.5~30.5 時間かかることおよび施工上杭間隔に制限があることより、1 週間に 4 本の杭を施工し 2 週間で 1 橋脚を完了した。メグナ橋建設工事で技術指導された現地人の職長(フォアマン)や作業員を再び雇い、日本人スーパーバイザー 2 名の管理のもとで、昼夜 2 交代制で工事を進め、1992 年 4 月 28 日の試験掘削から 1993 年 3 月 3 日まで 296 日で 138 本のリバース杭を終了した(写真-3)。

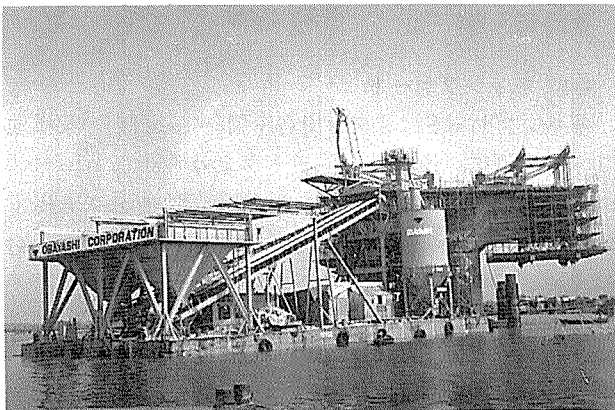


写真-2 バッチングプラント

表-1 コンクリート配合表

工種	設計強度 kgf/cm ²	スランブ cm	W/C %	S/A %	W kg/m ³	C kg/m ³	S kg/m ³	G kg/m ³	ポゾリス 300 R Lit/m ³	レオビルト NL 1450 Lit/m ³
下部工	240	8	50.0	38.0	172	344	688	1 132	0.860	-
杭	300	18	48.9	40.0	186	380	698	1 055	0.951	-
上部工	350	12	34.0	42.0	162	476	725	1 009	-	4.050

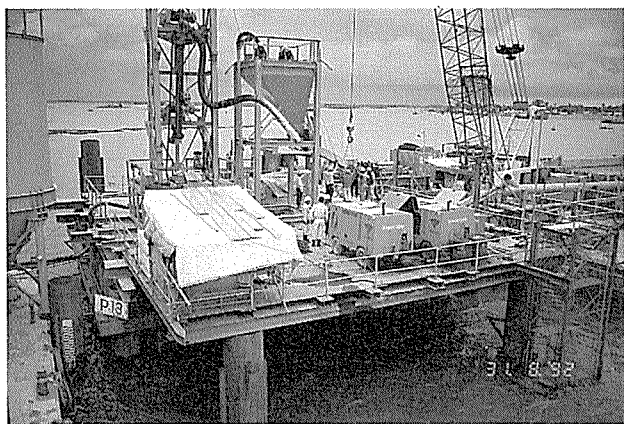


写真-3 リバース杭施工状況

6. 下部工

6.1 設計概要

本橋は上部構造と橋脚の一体構造のラーメン構造で計画しているため、橋脚の形状はその断面性能を橋脚中心に対して線対称になる形状に計画したいこと、河川流の阻害に対して水理学的に問題の少ない形状に計画したいこと、また美観上外観を統一すること等の観点から全橋脚について直径 4.9 m の円形形状とし、橋脚高の変化による断面力の変化に対しては鉄筋量で調整することとされた。またコンクリート量を軽減するために中空断面とするが、柱頭部付近は上部桁と一体構造にするため充

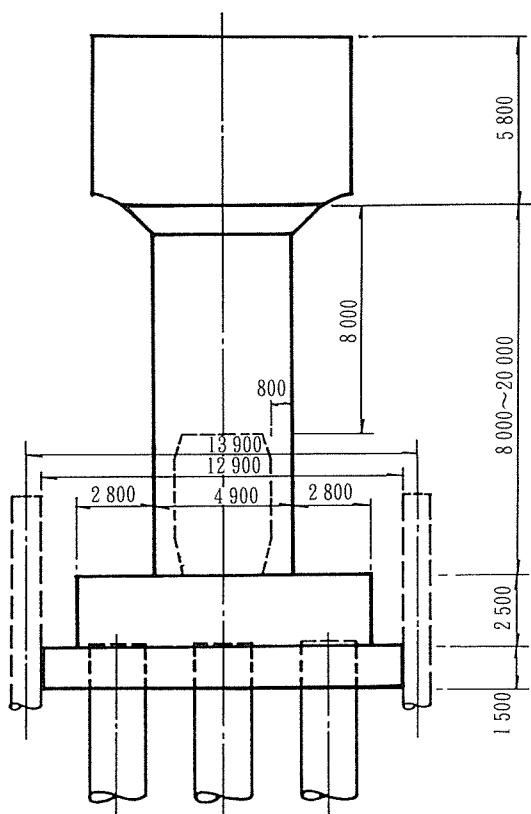


図-5 橋脚断面図

実断面とされた。

橋脚の基礎が杭基礎で計画されたことにより、フーチングはパイルキャップとして計画される。フーチングの施工位置を河川水位より上方で計画すると、杭基礎が河床から最大 11 m も突出するような箇所が生じ、不安定であり、杭が流水中に林立することになり、河川水理学的にも好ましくない状態となることより、河床より下方に計画された。

6.2 施工状況

(1) 仮締切

フーチングを河床下に構築するために、水深 10 m 程度の河川内に仮締切を設ける。仮締切は径 1 m、長さ 28.5 m の鋼管杭 44 本を使用した。水深の浅い所では、打込み深さが河床から 20 m にもなることや、 N 値 40 を超える締まった砂層がレンズ状に介在する場所があり、150 kW のバイプロハンマーでも所定の高さまで打ち下げられない箇所もあった。この際には、エアリフト方式にて鋼管杭の内部を中掘りすることによって打ち下げることができた。44 本の鋼管杭の打設は 10 日間、引抜きは 7 日間で完了した。

(2) 橋脚工

橋脚部の型枠は 1 リフト 6 m 打設可能な円周を 4 分割した大型パネルにて施工した。大型パネルによる施工は、基礎工に使用したクレーンにて組立 1 日、解体半日で終了し工程の短縮にたいへん有効であった。下部工は 4 セットの仮設材を使用し、1992 年 8 月 27 日にシールコンクリートを初打設し、1993 年 7 月 7 日に橋脚の最終コンクリートを打設し終了した（写真-4）。

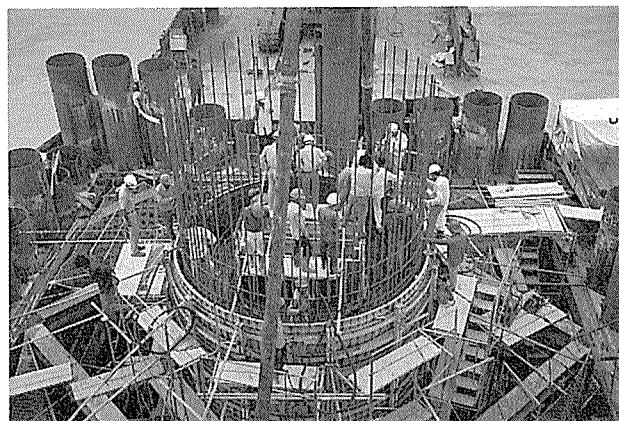


写真-4 下部工施工状況

7. 上部工

7.1 設計概要

本橋は前述のとおり幅員 9.2 m、スパン割 52.02 m+15 m×87.0 m+52.02 m、橋長 1 410 m のカンチレバー工法により施工されるプレストレストコンクリート

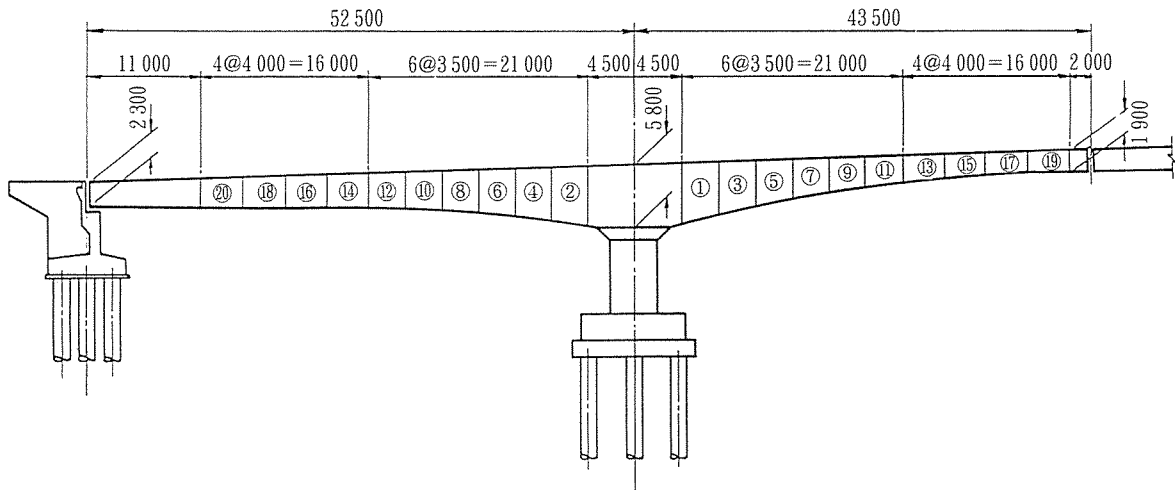


図-6 上部エブロック割り

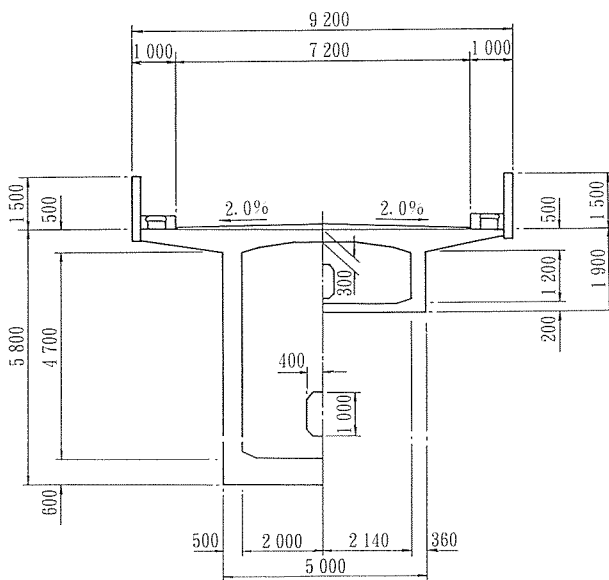


図-7 上部工標準断面図

17 径間連続有ヒンジラーメン箱桁橋である。中間橋脚では橋脚と剛結された構造になっており、両端橋台部では可動支承によって支持されている。主桁断面は1室箱形断面で、桁高は柱頭部で5.8 m、側径間部で2.3 m、中央径間中央で1.9 mの変断面である。桁高の変化は橋梁全体の美観を配慮してsin曲線とした。施工は柱頭部から200 t・mの中型ワーゲンによる張出し架設を行い、側径間閉合部を支柱式支保工施工後、中央径間閉合部を順次吊り支保工施工し、完成させるものとする。

設計条件は全般にAASHTO(アメリカ各州道路・交通行政官協会)基準に従うが、風・地震・気温のような自然条件から生ずるものについては、IRC(国際道路委員会)基準に基づいて修正した。

使用するPC鋼材は、主方向については、架設・連続ともにフレッシュケーブル12 T 12.4(SWPR 7 A)、ヒ

ンジ部連続には1 T 21.8(SWPR 19)、床版横締めには1 T 19.3(SWPR 19)、柱頭部締付け、せん断鋼材および横桁鋼材には普通PC鋼棒φ32 mm(SBPR 930/1080)とする。

7.2 施工順序

上部工の施工順序は自然環境に左右される下部工の施工順序によって決定され、 $P_{16} \rightarrow P_{15} \rightarrow P_{14} \rightarrow P_{13} \rightarrow P_{12} \rightarrow P_7 \rightarrow P_6 \rightarrow P_5 \rightarrow P_4 \rightarrow P_{11} \rightarrow P_{10} \rightarrow P_9 \rightarrow P_8 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$ という順序に決定した。

本架橋地点は河川の状態から3箇所で大別される。工事始点側の $P_1 \sim P_8$ はメグナ川支流に位置し水深が12~16 mである。中間の $P_9 \sim P_{12}$ は中州部分に位置し、乾期には陸上施工が可能である。工事終点側の $P_{13} \sim P_{16}$ はゴムティ川に位置し、水深は4~8 mである。そこで、中州部分はV型鋼矢板で乾期施工が可能であると、仮締切用の仮設材として鋼管矢板を4セット、V型鋼矢板を2セット準備した。工事は2月に契約され、約半年間の準備期間を経て雨期明け頃から下部工の施工を開始することとし、まず水深の浅いゴムティ川の4橋脚($P_{16} \sim P_{13}$)を鋼管矢板で施工した。この部分の橋脚の施工を約3ヶ月で完了し、同乾期の間にメグナ川部分の中州側の4橋脚($P_7 \sim P_4$)に転用した。またこの間の下部工用仮設材の転用計画をたて、中州部分($P_{12} \sim P_9$)の施工を並行して行った。そして残る橋脚($P_8, P_1 \sim P_3$)は次の乾期に施工する計画であった。したがって上部工施工時に必要なたわみ管理計算はこの順序によって行われ、この順序に従って上部工は施工されており最終的に P_3 と P_4 の中央閉合部で完了する計画である。

実際は好運なことに1992年の雨期の水位が例年に比べ1 m程度低かったことと、その期間が短かったために、1992~1993年にかけての乾期に下部工の施工は完

了したが、前述の施工順序で工事は進められている。

7.3 仮設計画

(1) 柱頭部

下部工施工時に橋脚にアンカーを埋め込み、これにて鋼製ブラケット(H-300)を橋脚に固定する。このブラケットを利用してH-300およびH-200の組合せにて作業場をつくり、この上に支保工および足場を組み立てる。

16箇所の柱頭部を施工するため、仮設材が何セット必要であるかが検討された。これは下部工施工完了後、遅滞なく柱頭部の施工が開始でき、また後述するワーゲンによる箱桁の施工開始にも影響がでないことを念頭においた。下部工の完了サイクルが、鋼管矢板打設のサイクルより約2週間おきであることと、柱頭部の施工サイクルが約2ヶ月間であることから、4セットの仮設材を準備すれば2週間おきに4箇所までの柱頭部の施工が開始でき、5番目の橋脚には1番目のセットが転用できると考え4セットに決定された。

(2) 張出し部

張出し部の施工は前述のとおり、2主桁コンクリートブロック打設用2フレームの200t・m中型ワーゲンによって施工する。ワーゲンのセット数が工程および工事費に与える影響は多大なものであるため、メグナ橋の実績より1橋脚の張出しサイクルを5ヶ月として、慎重に検討された。ワーゲンの転用回数としては、2回、3回、4回の3案があった。転用回数を2回とした場合は全張出し行程は下部工完了時期のズレを考慮して14ヶ月と短期間で終了するが、ワーゲンが16基も必要になり転用回数からしても不経済である。また4回としたときはワーゲンは8基で済み経済的には有利であるが、全張出し行程が22ヶ月となり、雨期に下部工の施工が不可能になった場合、工期に間に合わなくなる可能性がある。10基とした場合はすべて3回以上転用され、2基だけ4回転用となる。転用4回目の橋脚は、他の3回転用の橋脚の施工完了時より3ヶ月遅れて完了する。しかし中央閉合部が同時に施工できず、1箇所の閉合が1ヶ月かかると考えられるため、この施工と同時期に、最終橋脚の施工を行えば、全体工程には影響しない。したがって10基のワーゲンにて張出し施工をすることに決定した。

(3) 側径間部

側径間部は両橋台側とも地盤より支柱式支保工にて施工可能であり、施工時期が異なることより仮設材は1セットのみとし、柱頭部の仮設材を一部転用するように計画された。

(4) 中央径間部

中央径間部4mの施工については、片側のワーゲンをそのまま前進させ施工する案もあったが、ワーゲンの

転用の効率が悪くなることから、別に仮設材を用意し、吊り支保工にて施工することとした。型枠用仮設材は柱頭部のものが転用できるので、吊り支保工用の資材を3セット用意した。

7.4 施工状況

(1) 柱頭部

橋脚より柱頭部への形状の変化は、円形断面の橋脚から八角形の柱頭部取付け部、それから長方形断面の柱頭部へと断面が変化し、この断面変化に縦断勾配(最大3%)が影響してくるという複雑な形状であり、当初仕上がり心配されたが、原寸をおこし化粧合板を組み合わせることによって、目地の通ったきれいなコンクリートを打設することができた。また外型枠はキャンプヤードにて大型パネルを組み立て、これをクレーンにて据え付けたため工期を短縮することができた。

現在16箇所の柱頭部の施工がすべて完了しているが、この施工サイクルは約45日間であった。当初施工計画時は2ヶ月を考えていたが、これを約2週間短縮できたのは、上記のような工法の改善もあったが、メグナ橋建設工事にて教育された現地人がこの経験を生かしてくれたことが大きな要因となっていると考えられる(写真-5)。

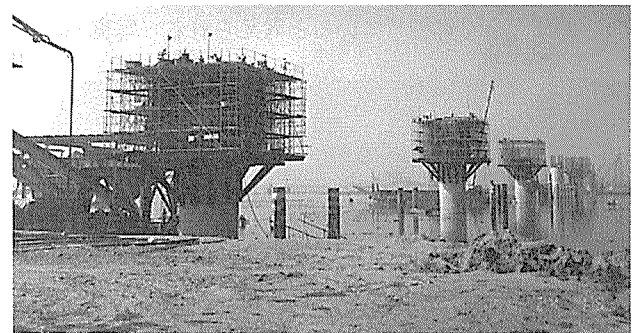


写真-5 柱頭部施工状況

(2) 張出し部

本橋は柱頭部の橋軸方向の長さが9mであるため、同時に2基のワーゲンが組み立てられない。そこで、まず1ブロックのワーゲンを組み立て、コンクリート打設、緊張後このワーゲンを次のブロックへ移動し、反対側の2ブロックのワーゲンを組み立て、3、4ブロックより同時施工となる。施工サイクルから見てもここでこの工程が約2週間かかっている。本橋のようにワーゲンの転用があり、柱頭部の先行施工が可能である場合は、柱頭部の長さを13mとしワーゲン2基を同時に柱頭部に組み立てられるようにすれば、柱頭部の施工サイクルは長くなるにしても全体工程が1回転用当たり約2週間短められると考えられる。

当初ワーゲンの施工サイクルは、メグナ橋の実績よ

◇工事報告◇

り、5ヶ月間と考えていた。メグナ橋では、10橋脚のうち最終の2橋脚（いずれも約4ヶ月）を除く8橋脚はすべて5ヶ月から6ヶ月かかっていたためである。しかし現在は、3ヶ月半で1橋脚の施工が終わるようになった。これは前述のとおり、前メグナ橋で指導を受けた現地人が、率先して作業に当たり、またメグナ橋で6基であったワーゲンが、本橋で10基となり現地人作業員が当時の約1.5倍になっているものの、現地人が現地の言葉で新しい作業員に指示しているの、すぐに作業を覚えて即戦力となって働いているためと考えられる。

ワーゲンの組立・解体については、当初組立7日、解体5日と考えていたが、ワーゲン転用時に基礎工にて使用した100tクレーン船および作業台船があり、またクレーン作業に制約を受けるものが周囲に全くないため、作業床、主トラスおよび上方横梁を小ばらしすることなく一体のまま解体・組立ができた。したがって解体は2日、組立は3日で完了している。

またこのほかにも河川上に資機材運搬用のクレーン船(35t油圧クレーン)と作業台船が3台、キャンプヤードに25tと20t油圧クレーン、10tユニットトラック2台があり、鉄筋、型枠、シース、PCストランド、PC鋼棒、緊張用ジャッキおよびポンプ、バイブレーター等の資機材を作業に遅れることなく運搬していることが工期の短縮に大きく影響していると考えられる(写真-6)。

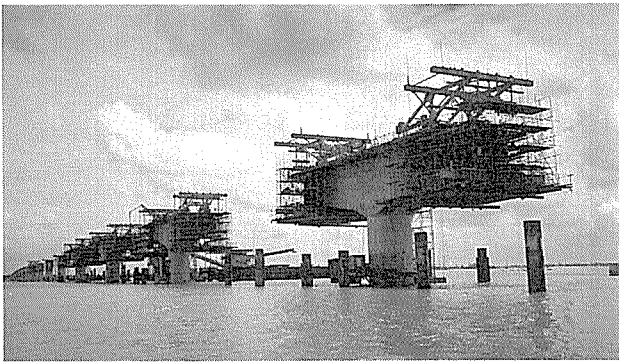


写真-6 張出し部施工状況

(3) 緊張管理

現在までPC鋼棒(φ32mm)が2400本、フレッシングシングルストランドシステム1T19.3が1900本、1T21.8が40本、マルチストランドシステム12T12.4が560本の緊張が完了しているが、柱頭部締付け鋼棒2本を除きすべて設計計算どおりの緊張圧力で必要な伸びが得られている。伸びの得られなかった鋼棒について検討したところ、原因はカップラーシースジョイントの上部が何らかの原因でつぶれ、カップラーが鋼棒の伸びに追従できなかったためと考えられた。これらについては周囲の鋼棒を増締めすることによって必要な応力を導入した。図-8に12T12.4の緊張結果から得られた摩擦係数のヒストグラムを示す。

(4) たわみ管理

たわみ管理では、施工中に生じる弾性たわみおよびコンクリートのクリープによるたわみ、桁完成後に生じるコンクリートのクリープによる塑性たわみを考慮して各施工段階でのたわみ管理値を計算した。張出し桁先端部ではワーゲン撤去後に設計計画高より20mm~30mmの上げ越しとなる。さらに美観上の上げ越しとして、上

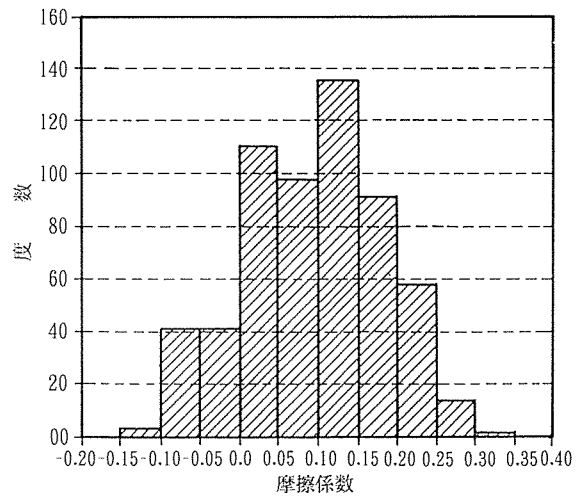


図-8 主ケーブル摩擦係数ヒストグラム

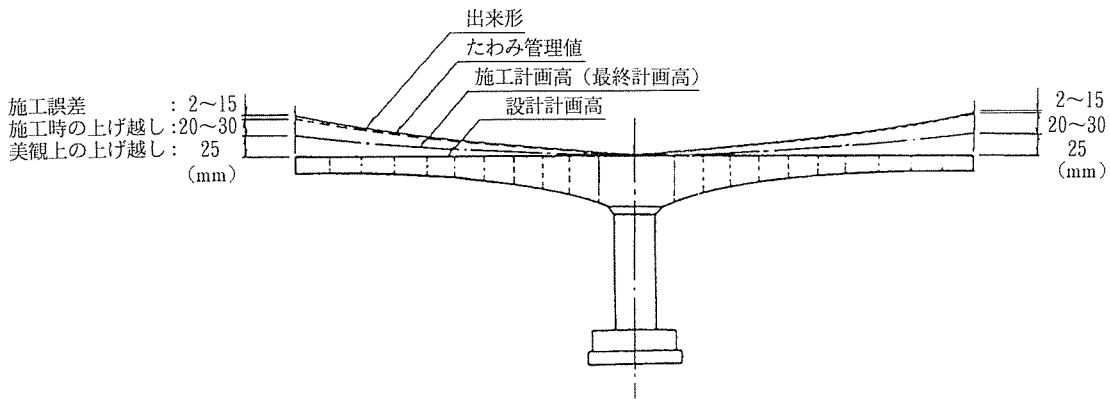


図-9 たわみ管理概要図

床版とウェッジ・下床版の温度差によるたわみ、および活荷重によるたわみを径間中央部で 25 mm 考慮し、これを橋脚位置で 0 になるように二次曲線（放物線）ですり付け、計画高に加えている。図-9 にワーゲン解体後の実測値を含め、前述の関係を示す。現在 6 橋脚の張出し施工が完了しているが、張出し先端部の設計値との誤差は+2 mm から+15 mm となっている。

(5) コンクリートの品質管理

コンクリートの品質管理の面からいうと、主ケーブル緊張可能強度 300 kgf/cm^2 を 2 日間で得られるよう、高性能減水剤を使用している。現在コンクリート打設後 44 時間で 85 %、49 時間で 98 % の確率で 300 kgf/cm^2 以上の結果が得られている（図-10）。バッチングプラントでは計量がすべてコンピューター化されており、また骨材ホッパーの上にスライド式の屋根を取り付けてあり、雨期には雨を防ぎ、乾期には散水し、直射日光をさけ、骨材の湿潤状態を一定にするよう管理している。またセメントについては 1 回に約 1 000 t（約 1 ヶ月分の打設量相当）を入荷し、入荷するごとに試験練りを行い品質を確認している。キャンプヤードには 25 m×30 m、高さ 4.5 m のセメント倉庫を設け、ここに貯蔵している。このセメント倉庫は万一セメントの供給が止まることを考えて、2 500 t 貯蔵することが可能である。この安定したコンクリートの供給および品質の管理が、工程の短縮につながっている。

(6) 材料管理

材料については、前述のとおり PC 用資材はすべて輸入に頼らなくてはならない。PC 鋼材はストランド 575 t、PC 鋼棒 120 t、定着具は 12 T 12.4 用 2 220 組、1 T 19.3 用 7 252 組、1 T 21.8 用 360 組、PC 鋼棒用 8 048 組である。また当現場ではシースマシンを日本から持ち込み、前記各 PC 鋼材用のサイズのシースを製作している

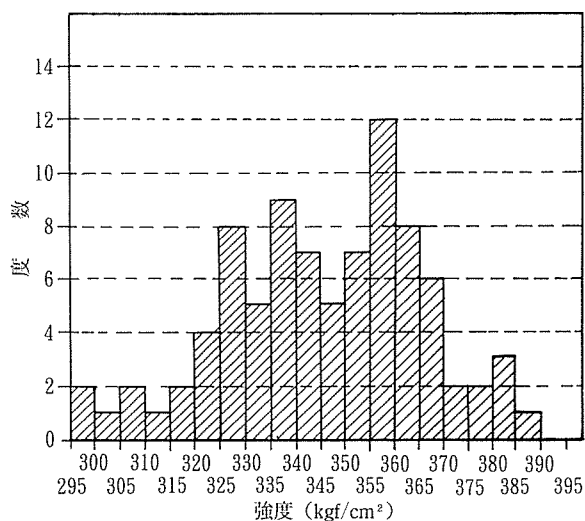


図-10 コンクリート強度 (49 時間後)

ので、3 種類の厚さのシーす用鋼帯が 60 t 必要とされる。日本からの船便は半年に 1 回、全上部工工程を約 2 年と考えると、4 便で全資材を納入する計画であったので、前記の約 30 % を保管できる場所を確保した。ストランドについてはコイルで輸入されるので、10 m×20 m の屋根付き倉庫をたて、クレーン作業の必要性から、屋根を取外しできるようにし、コンクリートのたたきの上にバタ角を敷き、コイルが直にたたきに触れないようにして、シートにて覆った。PC 鋼棒はすべて長き別にして管理する必要があることから、10 m×40 m の屋根付き倉庫をたて、シーす加工・保管場所と共有し、コイル同様バタ角を敷き、シートで覆った。定着具、シーす用鋼帯ほか、PC 鋼材以外の上部工用の資機材の保管のために、25 m×10 m のレンガ造りの倉庫をたてた。すべての倉庫の床の高さは、1988 年の未曾有の大洪水といわれたときの最高水位 RL+6.23 よりも 50 cm 高くした。また倉庫のある場所是有刺鉄線による柵で囲み、ここに資材担当者を常駐させ、資材の必要なときはすべて資材請求伝票を書き、各担当土木技術者のサインを得た後、倉庫より持ち出すというシステムを徹底させ、すべての資材の出し入れを管理した。

(7) ワーゲン

本橋においては前述のとおり 10 基のワーゲンを使用しているが、このうち 6 基は標準型のものであり、他の 4 基はジャッキ操作を主体トラス上方で行い、下部作業台と下部型枠受梁を兼用した低床型のものである。本橋においても施工箇所下方を船舶が航行しているため、張り出すにつれて作業床を引き上げる必要があり、この点では低床型の方が便利であった。しかし標準型のもでもチェーンブロック (5 t) 4 台にて作業床を引き上げることが可能であり、この作業が特に工程に影響を及ぼすことはなかった。また低床型のは、河床版下部の勾配の変化にともない作業床に勾配が生じ、作業床上に組んだ足場が傾いてくるので、張出し途中で作業床の勾配を直す必要があった。しかし、これも工程に影響を与えることはなかった。

(8) 現場組織

当現場の最盛期は、下部工の施工が続くなか、5 橋脚でワーゲンが稼働し、4 橋脚で柱頭部の施工が行われ、金曜・祭日（当地の宗教はイスラム教であるので金曜日が休日である）を除くと、ほとんど毎日コンクリート打設および緊張作業が行われた。この時期を通し現在まで、上部工担当としては、日本人土木技術者 4 名、日本人スーパーバイザー（上部工専門業者より派遣）2 名が、現地人土木技術者 4 名、職長 11 名および協力業者の作業員 250 名が協力し合い無事故にて、十分に品質管理された施工がなされている。

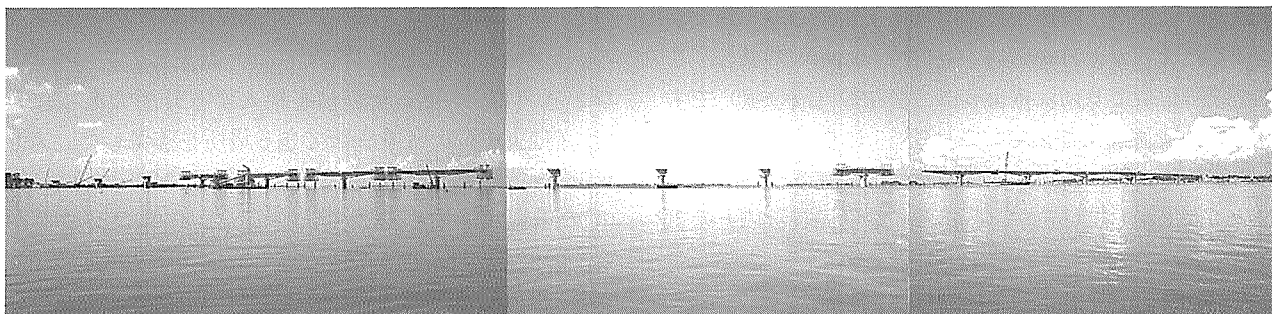


写真-7 橋梁全景

8. 技術移転

メグナ橋建設工事同様、今回の援助の目的の一つとして技術移転がある。この目的のためにバ国運輸省道路局より8~12名1班で2週間、毎年4班ずつ土木・機電の技術者が派遣され、コンサルタント業務および施工について各1週間ずつ講義および現場実習を行っている。また、大学・専門学校・地方技術協会等からも、道路局を通じて研修の依頼を受け、工法の説明および現場見学を実施している。しかしバ国ではPC単純桁による短いスパンの設計・施工は行われているものの、当橋梁のようなカンチレバー箱桁橋の建設は、外国企業を除いては行われていない。したがって今回の講習を直接当国の橋梁技術の進歩には結び付けることはむずかしいが、彼らが実際にこのような長大橋の施工に触れ、その技術について学んだことが、バングラデシュ国の将来の技術の発展に貢献することと期待される。

これとは別に、現場にて実作業に従事している技術者・職長・作業員についてみると、技術移転の効果はめざましいものがある。ほぼ同様の工法で施工されたメグナ橋も橋脚は10箇所あり各工種共工事の進捗につれて施工サイクルが短縮されてきた。しかし当時はまだ彼ら主体に作業を進めることはできなかった。そして現在当時のローカルスタッフおよび作業員の約半数が当現場で働いており、彼らが率先して働きまた進入者を教育してくれ、メグナ橋後半の施工サイクルをいずれの工種においてもさらに短縮している。

技術者については仕様書に基づき厳しい品質管理のもとで施工することと、工程表にそって翌日の作業・資機材運搬の予定をたてる習慣を身につけ、毎日午後1時からの作業打合せも彼らを中心に行うことが可能になった。緊張作業も作業員を指示し、緊張管理グラフに従い自らグラフを書き、引止め点を決定し、このデータシートを持ち帰り提出書類を作成できるまでになった。職長については、当初は資機材の名前すらわからなかつ

たが、今では作業予定表に従い次の作業に必要な資機材を段取りし、協力業者と打合せをして必要な職種の作業員の数を表示し、工程に遅れることなくスムーズに施工を進めている。作業員においては、もともと手先が器用であるためか、一度作業方法を覚えると多少時間はかかるがしっかりと仕事をしてくれ、最近では手戻りとなるようなことはほとんどなくなった。時には作業方法・手順について彼らから提案され、この案を採用し改善されるという場合もでてきた。

現時点では現地の人間だけでこのような長大橋の設計および施工は、技術的にも、資材の入手という点からも困難なものがあるが、潜在的には十分な能力があり、このような機会を経験するごとに成長していくことと考えられる。

9. あとがき

メグナグムティ橋建設工事は、1992年2月の着手以来順調に進捗しており、1993年9月末の完工率は73%となりました。橋の早期開通に対するバングラデシュ国関係者の期待は非常に高く、工事関係者は早期開通に向けてさらに努力を重ねております。本報告書の作成時まで、大きなトラブルもなく工事が進んできたことは偏りに日本政府関係者、日本国際協力事業団の方々の御尽力の賜物であります。同時に、一般に繁雑になりがちな当国行政手続きを非常に効率的に処理してくれる運輸省道路局の技術官の協力なくしては、ここまでの成功はあり得なかったと考えられます。工事はまだ27%を残しております。関係各位の今までの御尽力に感謝するとともに、さらなる御厚意と御協力をお願いして報告を終わります。

参 考 文 献

- 1) 小川ほか：メグナ橋の設計と施工，橋梁と基礎，Vol. 25, No. 7

【1994年1月11日受付】