

Bangladesh People's Republic
 Bangladesh Railway

Bangladesh Jamuna Railway Special Bridge Construction Project Supplemental Investigation

Final Report

November 2015
 (2015)

Independent Administrative Agency
 International Cooperation Agency (JICA)

Chiyomasa

南ア
CR (5)
15-053

	Page
要約	S- 1
第 1 章 調査の背景と必要性	
1.1 調査の背景	1- 1
1.2 調査の目的	1- 3
1.3 調査対象地域	1- 6
第 2 章 調査実施体制	
2.1 調査団構成	2- 1
2.2 調査工程	2- 1
2.3 調査計画	2- 2
2.4 情報収集先	2- 5
第 3 章 現地条件の整理	
3.1 自然条件	3- 1
3.2 航路条件	3- 5
3.3 ジャムナ多目的橋の状況	3- 9
3.4 設計条件の整理	3-26
3.5 積算条件の整理	3-38
第 4 章 橋梁形式の選定 (Step 1)	
4.1 上部工形式の選定	4- 1
4.2 下部工・基礎形式の選定	4-12
第 5 章 最適橋梁形式の選定 (Step 2)	
5.1 先進技術の活用	5- 1
5.2 最適径間長の選定	5-11
第 6 章 F/S 案と代替案との比較 (Step 3)	
6.1 F/S 提案の工事費再計算	6- 1
6.2 本調査提案の工事費計算	6- 4
6.3 両者 LCC 費用の比較検討	6- 4
6.4 結論	6- 7
第 7 章 事業実施計画	
7.1 施工計画	7- 1
7.2 調達手続き	7- 6
7.3 事業費と実施スケジュール	7- 8
7.4 その他留意事項等	7-13

表一覧

	Page
[表 1.1.1] 旅客と貨物輸送の交通機関別分担	1- 1
[表 1.1.2] バングラデシュの鉄道網	1- 2
[表 1.2.1] ADB-F/S による技術提案の概要	1- 3
[表 1.2.2] ADB-F/S の要検討点の例	1- 4
[表 2.2.1] 調査の手続きに関するスケジュール	2- 1
[表 2.2.2] 現地調査スケジュール	2- 2
[表 3.2.1] 必要航路幅と桁下高	3- 5
[表 3.2.2] バンガバンドゥ観測所の至近 10 年間の水位特性	3- 6
[表 3.3.1] ジャムナ多目的橋の現状	3- 9
[表 3.4.1] 必要航路幅と桁下高	3-33
[表 3.5.1] 代表的なバングラデシュの資材単価抜粋と日本の単価との比較	3-40
[表 3.5.2] 工事費概算に用いた単価	3-40
[表 4.1.1] 適用可能な上部工構造形式	4- 2
[表 4.1.2] 架設工法の特徴	4- 6
[表 4.1.3] 鋼トラス橋の鋼重算出結果	4-10
[表 4.1.4] 支承反力	4-11
[表 4.1.5] スパン長 105m~135m の 3 径間鋼下路トラス橋の支承	4-11
[表 4.2.1] 河川内橋脚基礎形式比較表	4-19
[表 5.1.1] 頭鍛レールの使用基準	5- 6
[表 5.1.2] 線路等級毎の交通量	5- 6
[表 5.1.3] ジャムナ鉄道専用橋線路諸元	5- 7
[表 5.2.1] 鋼トラス橋と下部工との合計工事費の比率	5-12
[表 6.1.1] PC 箱型橋の工事費積算に用いた工事単価	6- 1
[表 6.1.2] 鋼トラス桁案の工事費積算に用いた工事単価	6- 2
[表 6.1.3] ADB-F/S による PC 箱桁橋案の工事費積算内訳	6- 3
[表 6.1.4] ADB-F/S 推奨案における上部工工事費の計算	6- 3
[表 6.2.1] 鋼トラス橋案の上部工の工事費の計算	6- 4
[表 6.2.2] 鋼トラス橋案の下部・基礎工の工事費の計算	6- 4
[表 6.3.1] ADB-F/S 案と本調査案の初期コストの比較	6- 6
[表 6.3.2] コスト比較のために用いた単価の取得先	6- 6
[表 6.4.1] ADB-F/S 案と本調査案の比較まとめ	6- 8

	Page
[図 1.1.1] バングラデシュの鉄道網	1- 2
[図 1.3.1] 事業地の地図	1- 7
[図 3.1.1] タンガイル気象観測所位置	3- 1
[図 3.1.2] 月平均気象（タンガイル気象観測所）	3- 2
[図 3.1.3] バンガバンドゥ水位観測所	3- 3
[図 3.1.4] バンガバンドゥ観測所とシラジガンジ観測所との水位の比較	3- 4
[図 3.1.5] ジャムナ多目的橋付近の衛星画像（1978～2009）	3- 5
[図 3.2.1] 舟運状況（現地調査時）	3- 6
[図 3.2.2] 河床横断測量のための測線位置	3- 7
[図 3.2.3] 河床横断測量成果（測線：N25000）	3- 8
[図 3.2.4] ジャムナ多目的橋下流側の砂州の状況	3- 9
[図 3.3.1] PC 箱桁のひび割れ①と②	3-20
[図 3.3.2] PC 箱桁のひび割れ③～⑧	3-20
[図 3.3.3] バングラデシュの鉄道橋の活荷重	3-22
[図 3.3.4] ガイドバンドとハードポイントの位置図	3-24
[図 3.3.5] ガイドバンドとハードポイントの写真	3-25
[図 3.3.6] HP の状況	3-25
[図 3.4.1] ジャムナ多目的の橋脚による下流への影響	3-27
[図 3.4.2] 300m 上流の鉄道橋の橋脚による下流橋脚への影響検討	3-27
[図 3.4.3] ハーディング橋とパクシー橋	3-28
[図 3.4.4] 鉄道橋平面線形案	3-29
[図 3.4.5] ジャムナ多目的橋と新鉄道橋との縦断線形比較	3-30
[図 3.4.6] 航路限界上端位置から橋面までの距離の差	3-31
[図 3.4.7] 桁の構造形式の違いによるレールレベルの影響	3-32
[図 3.4.8] 日本の列車荷重（NP 荷重）	3-35
[図 3.4.9] バングラデシュの列車荷重	3-36
[図 3.4.10] JR の建築限界（在来線）	3-37
[図 3.4.11] バングラデシュの建築限界	3-38
[図 4.1.1] バランスドカンチレバー工法による道路橋の架設状況	4- 3
[図 4.1.2] スパンバイスパン工法による架設工程	4- 3
[図 4.1.3] P&Z 工法によるジャムナ多目的橋の架設の状況	4- 4
[図 4.1.4] トラス桁の送り出し架設の状況	4- 5
[図 4.1.5] 与島橋単材張り出し架設	4- 5
[図 4.1.6] 関空連絡橋 FC 船による大ブロック架設	4- 6
[図 4.1.7] ADB-F/S による鋼トラス橋の桁断面	4- 8
[図 4.1.8] 本調査で提案する鋼トラス橋の桁断面	4- 8
[図 4.1.9] 3 径間連続鋼下路トラス橋案	4- 9

[図 4.1.10] 鋼下路トラス橋のモデル化	4-10
[図 4.1.11] 3 径間連続下路トラス橋の配置案	4-11
[図 4.2.1] 橋脚形式の提案	4-13
[図 4.2.2] 鋼橋脚の構造	4-13
[図 4.2.3] SPSP-F の構造	4-15
[図 4.2.4] 支持層の違いによる SPSP-F の使い分け	4-15
[図 5.1.1] 耐候性鋼材と普通鋼塗装使用の工事費比較	5-2
[図 5.1.2] 鋼直結軌道	5-3
[図 5.1.3] ダッカ～チッタゴン間鉄道改修事業における例	5-3
[図 5.1.4] 現橋上の列車脱線状況	5-4
[図 5.1.5] 脱線防止ガード付き 3 線軌条の軌道構造図	5-5
[図 5.1.6] 頭鍛レールの性能	5-5
[図 5.1.7] レール欠損事例	5-7
[図 5.1.8] 尼崎付近福知山線分岐点	5-8
[図 5.1.9] 瀬戸大橋与島橋	5-8
[図 5.1.10] アルマグ溶射支承	5-9
[図 5.1.11] レール圧接機	5-11
[図 5.2.1] 鋼トラス桁橋の 1 ユニット (3 スパン連続トラス桁)	5-11
[図 5.2.2] ジャムナ多目的橋と新鉄道橋の位置関係	5-12
[図 6.3.1] 橋梁アプローチ区間の略図	6-5
[図 7.1.1] 鋼トラス桁の架設方法	7-2
[図 7.1.2] SPSP-F の概略図	7-3
[図 7.1.3] SPSP-F の概略施工手順	7-4
[図 7.1.4] 工事工程図	7-5
[図 7.3.1] 全体工程図	7-12

資料一覧

	Page
[資料 7.2.1] コンサルタントの選定に関する JICA 調達ガイドライン規定	7-7

添付資料一覧

	Page
[添付 3.5.1] バングラデシュの建設資材単価表	A-1

略号

1989-F/S	ジャムナ多目的橋にかかる事業化調査 (Feasibility Study conducted in 1989 for Jamuna Multi-purpose Bridge)
AASHTO	米国全州道路交通運輸行政官協会 (American Association of State Highway and Transportation Officials)
ADB	アジア開発銀行 (Asian Development Bank)
ADB-F/S	ADB が作成を支援した本事業の F/S (Feasibility Study conducted by BR under ADB's Loan-2688-BAN(SF))
BBA	バングラデシュ橋梁局 (Bangladesh Bridge Authority)
BG	広軌規格の軌道 (Broad Gauge)
BIMSTEC	ベンガル湾周辺国国際協力枠組 (Bay of Bengal Initiative for Multi-Sectoral Technical and Economic Cooperation)
BIWTA	バングラデシュ内航運輸局 (Bangladesh Inland Water Transportation Authority)
BMD	バングラデシュ気象庁 (Bangladesh Meteorological Department)
BOQ	数量表 (Bill of Quantity)
BS	英国技術規格 (British Standards)
BR	バングラデシュ国鉄 (Bangladesh Railway)
BUET	バングラデシュ科学技術大学 (Bangladesh University of Engineering and Technology)
BWDB	バングラデシュ水利委員会 (Bangladesh Water Development Board)
CEGIS	バングラデシュ環境地理情報センター (Center for Environmental and Geographic Information Service)
CFRP	炭素繊維強化樹脂 (Carbon Fiber Reinforced Plastic)
C/S	施工管理 (Construction Supervision)
CTC	列車中央制御方式の信号システム (Centralized Traffic Control)
DF/R	最終報告書案 (Draft Final Report)
D/B	設計込み施工契約方式 (Design and Build)
D/D	詳細設計 (Detailed Design)
DDC	本調査実施のための現地協力企業名 (Development Design Consultants Limited)
DFC	インドの貨物専用線 (Dedicated Freight Corridor)
DPP	バングラデシュの公共事業予算要求のための要望書 (Development Project Proposal)
DPWH	フィリピンの公共事業道路省 (Department of Public Works and Highways)
EIA	環境影響評価 (Environmental Impact Assessment)
	計画省の ECNEC (Executive Committee of National Economic Council)
EMP	環境管理計画 (Environmental Management Plan)
EMoP	環境監視計画 (Environmental Monitoring Plan)

EOI	入札の応募意思表示 (Expression of Interest)
E/N	政府交換公文 (Exchange of Note)
E/S	役務事業借款 (Engineering Services)
FC	浮きクレーン (Floating Crane)
F/F	円借款供与検討事業の事前調査 (Fact Finding)
E&M	電気・機械関連工事 (Electricity and Machinery)
F/R	最終報告書 (Final Report)
F/S	事業実施可能性調査 (Feasibility Study)
GB	河岸が脆弱なバングラデシュ特有の堤防で、橋台の後側が侵食されないように橋台を巻き込む形で湾曲させたもの (Guide Band)
GDP	国内総生産 (Gross Domestic Product)
GOB	バングラデシュ政府 (Government of Bangladesh)
GOJ	日本政府 (Government of Japan)
HDR	高減衰積層ゴム支承 (High Damping Rubber Bearing)
HP	バングラデシュ特有の堤防で、全長にわたって築堤できないために水流が激しい箇所だけ護岸を強化したもの (Hard Point)
HSR	高速鉄道 (High Speed Railway)
IC/R	調査実施計画書 (Inception Report)
IABSE	国際構造工学会 (International Association for Bridge and Structural Engineering)
ISO	国際標準化機構 (International Organization for Standardization)
JBIC	国際協力機構 (Japan Bank for International Cooperation)
JFE	日本の鉄鋼メーカー名 (JFE Engineering Corporation)
JICA	国際協力機構 (Japan International Cooperation Agency)
JSCE	日本土木学会 (Japan Society of Civil Engineers)
JSJCP	日本・バングラデシュ間総合パートナーシップ共同声明 (Joint Statement on Japan – Bangladesh Comprehensive Partnership)
JV	共同企業体 (Joint Venture)
KMG	カチプール、メグナ、グムティ 3 橋 (Kanchpur, Meghna, and Gumti)
L/A	借款協約 (Loan Agreement)
LA	用地収容 (Land Acquisition)
LCC	生涯費用 (Life Cycle Cost)
LRFD	荷重耐力係数設計法 (Load and Resistance Factor Design)
LSD	限界状態設計法 (Limit State Design)
MG	メーター軌規格の軌道 (Meter Gauge)
MIC	世銀が規定する中所得国 (Middle Income Country)
M/M	コンサルタントの人工の単位 (Man-Month)
MOP	計画省 (Ministry of Planning)
MOR	バングラデシュ鉄道省 (Ministry of Railways)
MOS	Ministry of Shipping (船舶省)

MOT	バングラデシュ運輸省 (Ministry of Transport)
MOU	円借款供与にかかわる合意書 (Minutes of the Understanding)
MWR	バングラデシュ水資源省 (Ministry of Water Resources)
ODA	政府開発援助 (Official Development Assistance)
OECF	海外経済協力基金 (Overseas Economic Cooperation Fund)
PC	プレストレストコンクリート (Pre-stressed Concrete)
PEC	事業評価委員会 (Project Evaluation Committee)
PIU	公共事業の事業実施部門 (Project Implementing Unit)
P/Q	入札の事前資格審査 (Pre-qualification)
PWD	バングラデシュの標高基準 (Public Work Datum)
P&Z	Polensky and Zöllner girder erection method (工法名)
QBS	技術評価コンサルタント選定 (Quality Based Selection)
QCBS	価格評価付きコンサルタント選定 (Quality and Cost Based Selection)
RAP	住民移転計画 (Resettlement Action Plan)
RC	鉄筋コンクリート (Reinforced Concrete)
RFP	提案書提出公示 (Request for Proposal)
RR-2	第2環状線 (Ring Road No. 2)
RR-3	第3環状線 (Ring Road No. 3)
RTW	護岸工事 (River Training Work)
SAARC	南アジア地域協力連合 (South Asian Association for Regional Corporation)
SAPI	円借款事業促進調査 (Special Assistance for Project Implementation)
SAPROF	円借款事業形成調査 (Special Assistance for Project Formation)
SHDR	超高減衰積層ゴム支承 (Super-High Damping Rubber Bearing)
SHWL	標準高水位 (Standard High Water Level)
SLWL	標準低水位 (Standard Low Water Level)
SMA	碎石マスチックアスファルト舗装 (Stone Mastic Asphalt)
SPSP-F	鋼管井筒矢板基礎工法 (Steel Pipe Sheet Pile Well Foundation)
STEP	円借款の本邦技術活用条件 (Special Terms for Economic Partnership)
T/A	入札補助 (Tender Assistance)
TAPS	プラズマアーク溶射 (Transfer Arc Plasma Spraying)
TAR	アジア横断鉄道 (Trans-Asia Railway)
TOR	コンサルタントの業務対象 (Terms of Reference)
WB	世界銀行 (World Bank)

要約

1. 調査の背景

1998年に開通したジャムナ多目的橋は、世界銀行、アジア開発銀行、日本の援助を受けて建設された。国土を東西に分断するジャムナ川に架けられたこの橋は、バングラデシュ国にとってなくてはならない重要な存在となっており、紙幣のデザインになるほど、広く国民に親しまれ、国の誇りにもなっている。

ジャムナ川は、毎年、川の流れが激しく変動し、砂洲の位置や面積も年間を通じて大きく変化する、いわゆる暴れ河である。ここに当初は道路専用橋の建設が計画されたが、より経済効果を高めるために、列車荷重と速度を制限した上で鉄道も併用させた多目的橋に計画変更され、難工事を経て1998年に開通した。

他方で、今後、バングラデシュの経済成長や南アジア地域の連結性向上により、自動車や鉄道の輸送需要が拡大することが見込まれており、現在BBAにて実施中の橋梁の補強工事に加え、列車本数に増加に対応して列車荷重や速度規制の無い複線の複合軌道による鉄道専用橋の必要性が高まってきた。

こうした課題と将来の交通需要に対応するため、現在の橋に平行してジャムナ鉄道専用橋を建設する計画が立案され、2014年5月、ハシナ首相訪日の際に、重要プロジェクトとしてハシナ首相から安倍首相に対して支援要請がなされた。

ジャムナ鉄道専用橋は、ジャムナ多目的橋に並ぶ大規模橋梁になり、これはバングラデシュ国の誇りとなるだけでなく、日本との友好のシンボルとすることは間違いない。

ジャムナ鉄道専用橋建設のために、実施機関であるバングラデシュ国鉄 (Bangladesh Railway、以下「BR」という。) は、アジア開発銀行 (Asian Development Bank、以下「ADB」という。) の融資を受けて事業化調査¹ (以下、「ADB-FS」という。) を実施したが、構造形式の比較や、日本とバングラデシュの友好を象徴するにふさわしい技術的先進性についての検討が十分ではなく、追加の調査が必要であることがわかった。そこで、JICAが補足調査を行うこととなり、その結果、ADB F/Sの提案には、橋の構造形式、船舶の通行の利便性、鉄道の安全走行、基礎の構造、完成後の橋梁維持管理、などの面で修正が必要であることがわかった。

2. 調査の重点項目

補足調査では主に以下の点を重視して実施した。即ち、

- 各国で鉄道橋として標準的に採用されている構造形式とする、
- 初期投資だけでなく、維持管理の負担も含めて建設費を試算し、ライフサイクルコスト

¹ REGIONAL COOPERATION AND INTEGRATION PROJECT -RAIL COMPONENT: CONSULTANTS' SERVICES
Subproject 7: Feasibility Study for Construction of Railway Bridge over the Jamuna River near Phulchari-Bahadurabad
Ghat Including Approach Rail Links (June 2015)

(LCC)を抑えることができる構造形式とする、

- 高品質でかつ工期の短縮につながる工法を採用する、
- 日本のバングラデシュ支援プロジェクトとしてふさわしい先進技術を取り入れること。

3. 構造形式の選定

3.1. 予備的選定

重点項目達成のため、まず、上部工と下部工それぞれについて以下の構造形式の中から一次選考を行った。

- 上部工
 - ① 鋼トラス橋
 - ② 鋼アーチ橋
 - ③ 鋼斜張橋
 - ④ PC 箱桁橋 (ADB-F/S 案)
 - ⑤ PC 斜張橋
 - ⑥ PC エクストラドーズド橋
- 下部工基礎形式
 - ① 鋼管杭多柱基礎 (斜杭にしたものが ADB-F/S 案)
 - ② 鋼管矢板井筒基礎
 - ③ ケーソン基礎

その結果、上部工の構造形式として鋼トラス下路橋を、下部工の基礎形式として鋼管矢板井筒基礎 (SPSP-F) を最有力候補として選定した。

上部工に選定した鋼トラス下路橋については、重量がコンクリート桁に比べて軽いことから下部工の規模を小さくすることができ、上部工のスパンを長くして下部工の箇所数を少なくし、工事費を削減することができる。逆にスパンを長くすると上部工の単位長さ当りの工事費が大きくなる。従って、上部工と下部工とを組み合わせた工事費が最小になるようなスパンを決定した。その結果、最適スパンは 120m となった。

さらに、鋼トラス下路橋の場合は PC 箱型橋に比べて、確保が必要な航路高さ 12.2m を変えずにレールレベルを約 5m 低くできるため、両岸における橋梁へのアプローチ区間 (高架橋と盛土で構成) の長さを両側合計で約 2km 短縮できることから、工事費削減にも貢献する。

定性的には、工期を短縮できる、施工品質が高い、世界的に鉄道橋の標準形式となっている、という利点がある。

下部工に選定した SPSP-F については、施工品質が高い、施工が容易、先進技術の現地移転のような定性的優位に加えて、工期を短縮できる、河川流の乱れを小さくし洗掘防止に役立つ、耐震性能が高い、仮締め切り工の本体利用で経済的になる、という技術的利点がある。それに加えて、上部工形式に鋼トラス下路橋を採用することで、下部工の数を ADB-F/S 提案の 49 基から 41

基に減らすことができた。

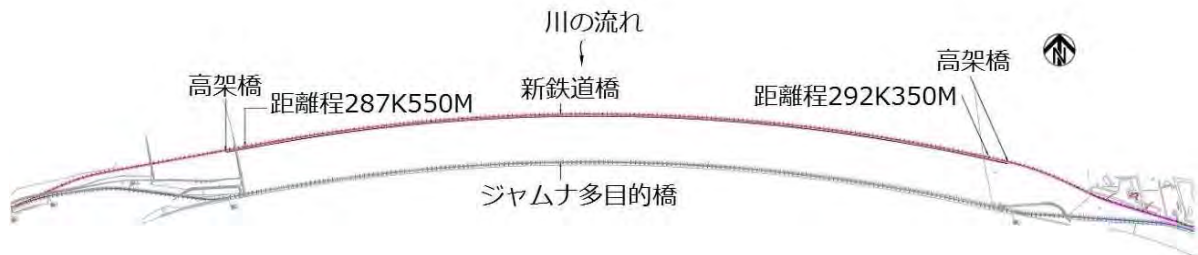
3.2. ADB-F/S との比較方法

ADB-F/S では、上部工の構造形式として PC 箱型端形式を、下部工の基礎形式として鋼管多柱打ち込み杭基礎を提案している。ADB-F/S では工事費の積算を行っているが、その根拠となる詳細な情報が提供されていないので、図面から上部工数量を推定し、近隣国における施工実績から単価を推定して概算数量に乗じることで工事費積算をし直した。アプローチ区間の工事費単価など、ADB-F/S 案と本調査提案の構造形式の比較に関係ない工事項目については ADB-F/S から単価を推定して両案の工事費を推定した。また、砂州部分の浚渫のように、両案ともに発生し、かつ季節変動が大きく予測が難しい工事項目については、両案ともに工事費を計算していない。以上の通り、本調査で提示される工事費については以下の注意が必要である。

- 本調査で算出した工事費は、構造形式の比較による違いを算出するためのものであり、予定価格ではない。
- 工事項目間で工事費単価が統一されていないが、両案における同一工事項目間では統一されている。
- 構造形式の比較による工事費の違いに影響しない工事項目については、工事費を算出していない。

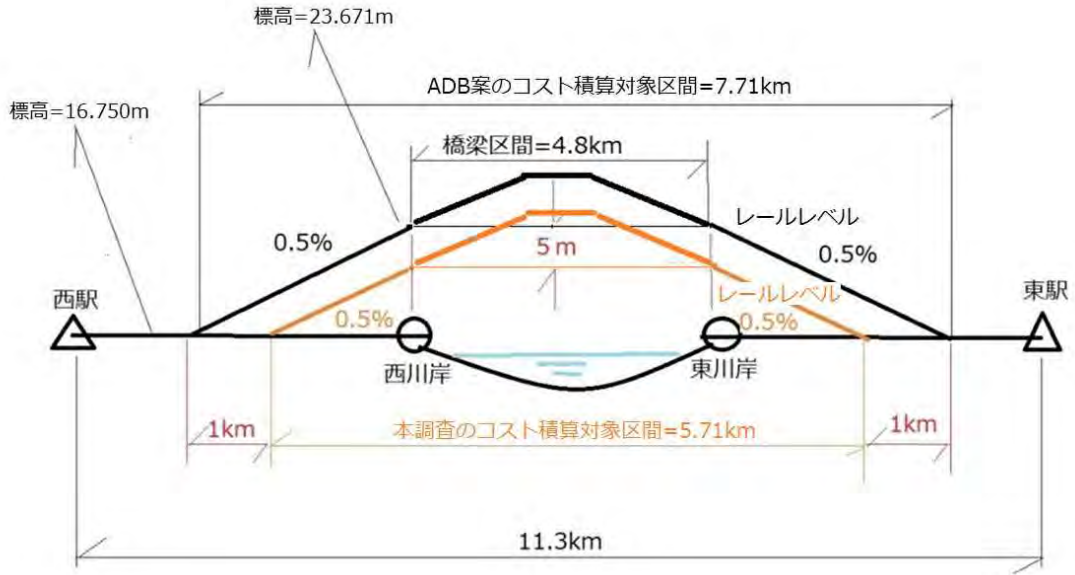
ADB-F/S と本調査の比較のための平面線形と縦断線形については、以下の図の通りとした。

平面線形は【図 1】のとおりで、赤線（黒線はジャムナ多目的橋）で、ADB-F/S 案も本調査案も同じ曲線橋とした。



【図 1】 平面線形

縦断線形は【図 2】のとおりで、赤線（黒線はジャムナ多目的橋）で、ADB-F/S 案は本調査案よりレールレベルが約 5m 高く、従ってアプローチ延長が片側で約 1km 長くなっている。



【図 2】縦断線形

4. 先進技術の利用

先進技術については以下の点を基準に選定した。

- 技術移転が期待できるもの。
- 工事品質の向上に貢献するもの。
- 施工速度の向上に貢献するもの。
- 維持管理費の削減に貢献するもの。
- 大幅な工事費増にならない。

その結果、以下の先進技術を採用した。

- 基礎構造として SPSP-F：施工品質、施工速度、耐震性能などを考慮した。
- 上部構造に鋼トラス桁を採用する場合には耐候性鋼板：塗り替えの手間と費用の削減を考慮した。
- 上部構造に鋼トラス桁を採用する場合には曲線鋼橋：円滑な列車走行性能を考慮した。
- 鋼直結軌道：維持管理費の削減、上部工重量削減を考慮した。
- (特段先進技術ではないが安全性向上のため) 脱線防止ガードつき 3 線軌道：安全性向上を考慮した。

以下については、詳細設計段階で議論する対象として提案した。

- 頭鍛レール：レール磨耗と取替えの手間と費用の削減を考慮した。
- レールのガス圧接技術：品質向上と技術移転を考慮した。
- アルマグ溶射支承：維持管理の手間と費用の削減を考慮した。
- 超高減衰ゴム支承：維持管理の手間と費用の削減を考慮した。

5. 工事費比較

以上の前提のもとに ADB-F/S 案と本調査案の工事費を比較したのが【表 1】である。表のよ

うに、上部工に鋼トラス下路桁、下部工の基礎に SPSP-F を組み合わせた場合が、総額で ADB-F/S 案より工事費の面で有利であることがわかった。ここで、上部工だけを比べると、PC 箱桁を採用した場合の方が安価であるが、この場合には上部工の自重が約 3 倍になり、従って下部工の数量が増えて工事費が 1.3 倍以上になるため、SPSP-F を採用した場合でも総額で不利になっている。

【表 1】 工事費比較

(単位：%)

	ADB-F/S 案		本調査提案	
	形式	価格	形式	価格
上部工	PC 箱桁	27.7	鋼トラス桁	38.0
下部工+基礎工	大口径斜打込杭	62.5	SPSP-F	42.4
軌道 ・ ADB 案 7.71km ・ 調査案 5.71km	橋上：4 線スラブ軌道 アプローチ：3 線軌道	8.2	橋上：3 線鋼直結軌道 アプローチ：3 線軌道	6.4
	通常レール	0	HH レールによる増	0.1
	脱防ガードなし	0	脱防ガードあり	1.8
アプローチ（盛土 +高架）	延長 2.91km（両岸の 合計）	1.6	延長 0.91km（両岸の合 計）	0.7
合計		100.0		89.3

6. 工事の品質確保

ジャムナ鉄道専用橋は、ジャムナ多目的橋に並ぶ大規模鉄道橋になり、これはバングラデシュ国の誇りとなるだけでなく、日本との友好のシンボルともなることから、ADB-F/S 案に比べて工事費や工期の面で有利なだけでなく、この機会を利用して先進技術の採用を提案している。この場合、特段の品質管理を行わないで外形だけの先進技術を適用すれば、所期の性能を発揮しないばかりか構造物の安全性にも危害を与えるものである。そのため、調達段階における厳格な資格審査が必要となる。本調査では以下のような調達手続き上の提案を行っている。

- コンサルタントの雇用について、ジャムナ多目的橋の建設で採用したデザインビルド方式ではなく、経験ある専門コンサルタントを選定し、設計・施工分離方式とする。
- コンサルタント契約は 1 本であるが、F/S 見直し、詳細設計、施工管理に加えて、マネジメントコンサルタントの機能を持たせる。
- 本体の調達について、パッケージ分けは、主要パッケージ（上部工と下部工一体）で東西に分けて 2 本、信号通信工事について 1 本、軌道工事については詳細設計時に検討する。
- 主要パッケージの応札者が非常に限られることが予想される場合には、P/Q 込み入札方式（Single-Stage Two-Envelope）方式を採用する。
- 先進技術の P/Q 要件として、品質を確保するのに十分な施工実績を求める。
- 日本にしか性能規格が無い技術については、工事の質を担保できる性能規格を求める。

第 1 章 調査の背景と必要性

1.1. 調査の背景

1.1.1. 交通セクター概観と開発政策

バングラデシュの経済発展は近年目覚しく、国内総生産（GDP）成長率は約 6%台を達成している。1975 年から 2005 年までの 30 年間に、旅客と貨物の輸送量はそれぞれ 6.5 倍と 7.7 倍となっており、それ以降も同様の成長を続けている。バングラデシュの主要な交通モードは道路、鉄道、内陸水運であり、道路のシェアが年々伸びているのに対して、鉄道と内陸水運とはそのシェアが低下傾向にある。[表 1.1.1]に示すとおり、2005 年の道路のシェアは、旅客と貨物ともに約 80%である。

[表 1.1.1] 旅客と貨物輸送の交通機関別分担

暦年	旅客				貨物			
	人・キロ (十億)	分担率 (%)			トン・キロ (十億)	分担率 (%)		
		道路	鉄道	内陸水運		道路	鉄道	内陸水運
1975	17	54	30	16	2.6	35	28	37
1985	35	64	20	16	4.8	48	17	35
1989	57	68	17	15	6.3	53	17	30
1997	90	72	11	17	12.0	65	7	28
2005	112	88	4	8	20.0	80	4	16
2009	155	69	12	19	28.0	74	7	19

出典：バングラデシュ国 5 ヵ年計画

新たな道路建設がままならず、また、既存の道路網についても維持管理能力が追いつかないために、このような道路への過大な依存が、増え続ける道路交通需要に対して道路インフラの不足をもたらす結果となっている。このような中、旅客と貨物の両方で効率的な輸送が可能な鉄道輸送への期待が高まっている。

バングラデシュ政府（GOB）は「経済発展の促進と貧困撲滅」政策を立案し、その中で、2021 年までに中進国（MIC）への仲間入りを目指している。この目標達成のために最も重要で喫緊な課題は、電力需給の大幅な改善のために発電能力向上と送電効率改善のためのインフラ整備と、旅客と貨物の輸送力向上のための交通網の増強を掲げている。

日本政府（GOJ）のバングラデシュに対する援助実施方針は、輸送力向上のための交通網の増強に対する支援であり、とりわけ道路セクターに対しては道路橋や幹線道路の建設を援助しており、バングラデシュに対する援助の中で最大のシェアを占めている。

他方、道路輸送への過大な依存を緩和し、増加傾向に転じた貨物の鉄道輸送に対応するために、GOJ はバングラデシュの内陸輸送モードの多様化と輸送手段モードの分散化に対する検討を行うことを表明している。

1.1.2. 鉄道セクターに期待される役割

バングラデシュの鉄道の歴史は 1862 年に遡り、最初の広軌規格の鉄道がダルサナ (Darsana) からジャガティ (Jagatti) 間 53.1km 区間に開業し現在も運行している。現在、バングラデシュの鉄道網総延長は[表 1.1.2]と[図 1.1.1]に示すおり 2,884.7km である。しかし、ほとんどの施設

や設備は英国植民地時代に建設・設置されたもので、損傷が進み、輸送品質や輸送力の低下をきたしている。鉄道輸送の輸送分担率は1975年時点では約30%を占めていたが、以降年々減少し、2005年には4%となった。ただし、理由は不確かであるが、2009年には輸送分担率が1997年当時の数値まで上昇している。

[表 1.1.2] バングラデシュの鉄道網

状態	メーター軌 (1,000mm)	広軌 (1,676mm)	複合軌	合計
運行区間 (km)	1,784.68	507.10	346.15	2,655.93
閉鎖区間 (km)	53.65	175.09	0	228.74
合計 (km)	1,838.33	682.19	364.15	2,884.67

出典：BR Information Book

短期的には、増大する輸送需要に対応するために道路交通セクターへのインフラ投資は優先せざるをえないが、GOBが2004年に制定した「全国陸上交通運輸政策」では、明確に、鉄道輸送がこれからの輸送の主流にすることを掲げている。このように、鉄道輸送は道路輸送への過剰な依存を緩和する手段として期待が寄せられている。

バングラデシュ鉄道マスタープラン（2013年6月）によれば、鉄道には次の4つの課題が与えられている。即ち、(1) 荷姿としてコンテナ輸送の促進、(2) 都市鉄道システムの開発、(3) バルク輸送の効率改善と道路との接続性改善、(4) アジア横断鉄道の一環として国際鉄道輸送に貢献しインドなどの近隣国との交易促進、である。さらに鉄道輸送の役割は、バングラデシュ国内の貨物輸送の活発化を促進し南アジア地域間の連結性の改善にも貢献することである。

1.1.3. 日本の援助実施方針

「対バングラデシュ人民共和国国別援助方針」（2012年6月）によれば、大目標として「中著得国化に向けた、持続可能かつ公平な経済成長の加速化と貧困からの脱却」を掲げている。

GOJはその枠組みにおける議論に積極的に参加し、現在、交通セクターへの支援会議の議長を務めているため、交通セクターへの各援助機関の支援を調整する立場にある。これまで、日本の鉄道分野への援助は幅広く、車両や設備の調達、ダッカ(Dhaka)～チッタゴン(Chittagong)間の鉄道改良、ダッカやその他の都市の都市鉄道整備への資金援助がある。

バングラデシュ中央部に位置するジャムナ川にかかる、既存のジャムナ多目的橋は、国際協力機構(JICA)、世銀(WB)、アジア開発銀行(ADB)による協調融資を利用して建設され、この橋によ



出典：JARTS 「世界の鉄道」

[図 1.1.1] バングラデシュの鉄道網

り国の東西の交通の隘路の解消に大きく貢献している。ジャムナ多目的橋は国の東西の地域間の経済交流を促進することで地域間格差を是正し、ひいてはバングラデシュ全体の経済開発にも貢献している。

鉄道輸送セクターに対する援助は、輸送モードの多様化促進と多モード内陸輸送網の開発を目指す交通セクター開発に対する援助政策の一環を成し、「ジャムナ川 (Jamuna) 鉄道専用橋建設事業」(本プロジェクト)はこの方針に沿ったものである。

本プロジェクトは「日本・バングラデシュ間の包括的パートナーシップ」の共同声明で打ち出された5つのプロジェクトのひとつであり、ハシナ首相 (H. E. Sheikh Hasina) が2014年5月に日本を訪問した際に要請があったものである。従って、本プロジェクトはとりわけ重要であり、当該地域の連結性を大きく促進するものと期待されている。

1.2. 調査の目的

1.2.1. F/S で提案された構造形式の検討

本プロジェクトのF/Sは、ADBの資金援助を受けて2015年5月に作成された(ADB-F/S)。F/S作成に関わったコンサルタントは、CANARAIL(カナダ)、SMEC(オーストラリア)DB(ドイツ)、ACE(バングラデシュ)のコンソーシアムである。本プロジェクトは、ハシナ首相が2014年5月に日本を訪問した際にGOJに直接資金要請した5つのプロジェクトのひとつである。

調査団がADB-F/Sを検討したところ、日本の鉄道橋計画の観点からは不自然な点がいくつか見出された。その代表的なものを[表 1.2.2]にまとめた。また、ADB-F/Sにおける技術提案の概要をまとめたものが[表 1.2.1]である。なお、本調査の主要関心事は技術面であり、通常のF/S調査と異なり、経済・財務面や需要予測などは本調査の対象外である。

[表 1.2.1] ADB-F/S による技術提案の概要

項目	F/S による提案
上部工	平均スパン長 100m の PC 箱型桁 5 連を 1 単位とする連続桁 10 単位からなる橋梁。
上部工の工法	プレキャスト PC 箱型セグメントをバランスト・カンチレバー工法で連結。
下部工	直径約 3m で長さ約 80m の鋼管打ち込み杭を、地盤条件に応じて 3 本または 6 本束ねた杭基礎の上にコンクリート橋脚を建設。
軌道構造	UIC 60kg 規格のレール 4 本で構成されるメーター軌 (MG) と広軌 (BG) の複合軌道で、桁のコンクリートスラブ上に直結。
線形	平面線形は半径 12,000m の曲線橋で、縦断線形の最大勾配は 5‰ (0.5%)。
工程と費用	建設期間は 51 ヶ月で、建設費は 10.3443 億ドル (物的予備費 3% と価格予備費 2% を含む)。

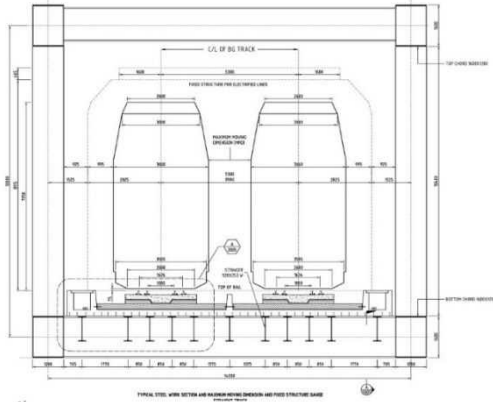
出典：ADB-F/S

[表 1.2.2] ADB-F/S の要検討点の例

ADB-F/S の記述	要検討点
<p>第 10 章：軌道工事 (10-1 ページ)</p> <p>軌道はメーター軌(MG)と広軌(BG)との複合軌道とし、レールは 4 本で、外側の 2 本と内側の 2 本を互いに脱線防止レールとして機能させる。</p>  <p><写真は現橋に設置された複合軌道></p>	<p>ADB-F/S が提案する軌道構造では外側レールと内側レールの間隔が 300mm 以上になり、この距離では、日本の経験では脱線防止の効果は少ないことがわかっている。調査団としては経済性及び維持管理面を考慮して、レールを 4 本から 3 本に変更し、それぞれに脱線防止ガードを設置することを提案する。</p>  <p><ハーディング (Harding) 橋の脱線防止ガード></p>
<p>第 11 章：上部工構造形式の検討 (11-14 ページ)</p> <p>上部工の構造形式として、下路鋼トラス桁に比べてレールレベルが約 5.0m 高くなる PC 箱型桁を提案している。</p>  <p>Figure 11.10: Typical Sections at Pier and Mid Span Typical Section at Support</p>	<p>PC 箱型桁は鋼桁に比べてレールレベルが高く、また死荷重が鋼桁に比べて大きくなるため、橋脚の規模が大きくなる欠点がある。</p> <p>また、PC 箱型桁は、下路鋼トラス桁に比べてレールレベルが約 5.0m 高くなるため、アプローチ部の高架橋又は盛土延長が両岸で 2.0km 増えることも欠点である。</p>
<p>(11-13 ページ)</p> <p>下部工の設計は船舶衝突荷重と地震荷重とで決定されるため、どの上部工形式 (タイドアーチ桁、鋼トラス桁、PC 箱型桁) を採用しても、下部工の規模に変わりはない。</p>	<p>下部工の規模を、実際の荷重条件を用いて小型にできないか否かを検証する必要がある。即ち、実際に通行する船舶が極めて小型であること、上部工の構造形式により死荷重は大きく変わることを、洗掘の程度、などである。</p>  <p><現橋の下を通行する典型的な船舶></p>
<p>上部工の単位工事費は、PC 箱型桁で 250 万ドル/m、鋼トラス桁で 650 万ドル/m (2014 年 12 月版)。これらの数字は 2015 年 5 月版では大きく変更され、PC 箱型桁で 625 万ドル/m、鋼トラス桁で 963 万ドル/m となった。</p>	<p>日本の経験からは、この PC 箱型桁と鋼トラス桁との差が大きすぎることから、検証を要する。</p>

図面番号 No. 5060089-3.1-BR-2004

鋼トラス桁の比較検討図において、レールがトラス組の上に設置されたコンクリートスラブの上に敷設されている。

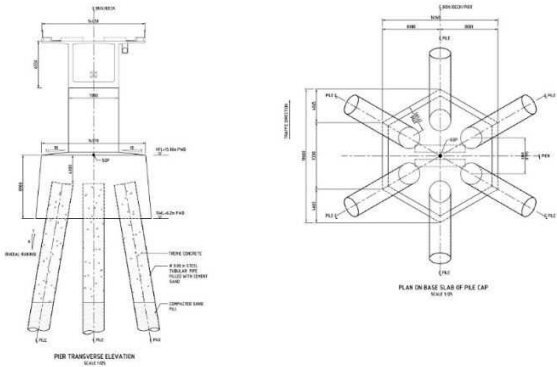


鉄道橋に鋼トラス桁を用いる場合には、特に騒音・振動に配慮する場合を除いて、トラス組の上にコンクリートスラブを設置してわざわざ死荷重を大きくすることは、どの国でも行っていない。鋼トラス桁の死荷重を削減して工事費を削減する可能性を検討する必要がある。

図面番号 5060089-3.1-BR-1004

第 11 章：下部工構造形式の検討 (11-16 ページ)

橋脚の基部に、直径約 3m で支持層までの深さ約 85m の打ち込み鋼管杭が、地盤条件に応じて 3 本から 6 本植え込まれている。



支持層が 85m もある場合には、打ち込み杭が支持層に到達する前に柔らかい土の層の部分で横方向に逸走してしまう恐れがあり、杭の支持力に不安が出る。

また、打ち込み杭の口径が大きくて斜杭の場合、施工が困難であることに加えて、杭の支持力管理ができていない中で耐震性能が劣る恐れがある。

加えて、打ち込み杭と橋脚の締結のためには大規模なパイルキャップが必要となり、これが水流を乱し、ひいては洗掘を助長する恐れがある。



<写真は現橋の橋脚のパイルキャップ部分>

出典：調査団

1.2.2. 先進技術の活用可能性の検討

本調査における次の主要課題は、プロジェクトが成功し効率的に実施するために先進技術を取り入れられないか否かを検討することである。ここで、先進技術は、工期を短縮し、費用を削減するだけでなく、現地への技術力向上や技術移転に貢献するものが望ましい。ただし、ここに言う費用とは生涯費用 (LCC) を意味し、初期費用だけではなく、維持管理費、残存価値、橋の寿命後の取り壊し費用、を含めた概念とする。

先進技術として、実施機関であるバングラデシュ国鉄 (BR) との議論の結果、適用を検討す

るものとしては以下のようなものを考えている。

- 上部工の急速施工
- 上部工の品質管理の軽減
- 上部工の維持管理の手間軽減
- 軌道の維持管理の手間軽減
- 基礎構造の品質管理の手間軽減
- 基礎構造の急速施工

適用された先進技術が実際に機能するか否かについては、単に入札書類の技術仕様書で指定するだけでは不十分である。応札者から提案のあった先進技術の機能が有効であることが証明される必要がある。それは、上記に例示した先進技術は、表面的な模倣が容易で、品質が悪くて実際には機能しない場合があるからである。過去の施工実績だけでなく、その結果を検証しなければならない。ここに、調達手続きの重要性がある。残念ながら、これまで機能性に疑問がある技術を判別するための有効な調達手続きはまだ確立されていない。しかし、これは非常に重要な課題であり、品質が不十分な技術で施工されると、事故発生リスク、追加予算確保リスク、工期遅延リスク、などを増大させることになる。本調査では、こうした施工中・施工後のリスクをできるかぎり排除するための調達手続きを検討した。例えば以下のような方法である。

- 品質保証を確認するための方法の提示
- 過去の適用実績の結果証明の厳格なトレース
- 完成後一定期間の維持管理費を含めた入札金額の提示
- 品質にとまなう損害を保証するためのボンド積み立て
- 品質にとまなう損害に対する保険
- 品質に重点を置いた入札評価の方法

1.3. 調査対象地域

新鉄道橋の建設予定地はダッカの北西約 100km の位置で、[図 1.3.1]に示すとおりである。新鉄道橋はジャムナ多目的橋の上流 300m の位置にジャムナ川を跨いで架けるよう計画されている。現在のジャムナ多目的橋に敷設された鉄道は、ジョイデブプール（Joydebpur）～イシドリ（Ishurdi）間 170km の一部として 1998 年に開通した。新鉄道橋の区間はバンガバンドウ・セツ東駅（Bangabandhu Setu East）とバンガバンドウ・セツ西駅（Bangabandhu Setu West）との間の約 11.3km である。当該鉄道区間は、特にインドやミャンマーなど近隣国との間の貨物輸送で輸送需要が大きいものの、現状は、橋梁区間が単線であること、通過する列車の重量が制限されていること、同じく速度も制限されていることで、輸送力が制限されている状態である。

ジャムナ川は、その川幅がモンスーン期間中の激しい降雨の度に常に変化することから、いわゆる暴れ川である。平均の川幅は 2014 年には 9.74km で、2005 年には 14.03km であった。新鉄道橋建設予定地の川幅は約 4.8km で、川に沿っていくつかの大きさのことなる砂州が形成されている。なお、新鉄道橋建設にあたっては用地収容も住民移転も必要ない（バングラデシュ橋梁局

(BBA) から BR への用地引渡し手続きは必要)。

以上の気象や地形条件に加えて、 Bangladesh は地震国であることに留意しなければならず、建設予定地は、地震地域分類のカテゴリーⅡの地域に属している。



出典：Google Map をもとに調査団が加工

[図 1.3.1] 事業地の地図

第 2 章 調査実施体制

2.1. 調査団構成

調査団は総勢 5 人から構成され、構成は、①総括・鉄道計画、②副総括・上部工、③下部工、④調達手続きと工事計画である。調査を確実にかつ効率的に実施するために、業務の専門性に応じて、調査団員の他に(株)長大の職員を割り当て、現地情報の提供や専門性の高い技術に関する作業などを行った。調査団の総括と副総括との役割分担に関しては、副総括が、大規模橋梁に従事した経験を生かして橋梁建設に関する技術事項を指導するのに対して、総括は、その鉄道プロジェクト計画や政府開発援助（ODA）に関する経験を生かして、調査目的、技術事項、先進技術の活用、プレゼンテーション、先方との協議などの面で調査全体の調整を担当した。このように総括業務を 2 人に分けることで調査の品質を向上した。

また、現地調査期間中においては、ダッカ市内に、執務スペースを借り上げ、そこを調査の拠点とした。

2.2. 調査工程

本調査の主要な目的は、(1) 現在 ADB-F/S で提案されている橋梁の構造形式をレビューすること、(2) プロジェクトに先進技術を活用する可能性を探ること、(3) 円借款要請のあった新鉄道専用橋について、当該事業の事業費、実施スケジュール、実施（設計・調達・施工）方法等、我が国円借款事業として実施するための審査に必要な情報収集・分析及び提言を行うこと、であり、F/S の完全な見直しではないため、需要予測、経済・財務分析、環境社会影響の評価、などは対象となっていない。従って、JICA により示された調査期間は 5 ヶ月間であり、2015 年 6 月末に着手し 11 月中旬まで続いた。F/S 調査ではないものの、調査団が現地入りした際には、2 次データの形で、交通量、鉄道運行・維持管理状況、環境社会状況、などに関する情報の収集を行い、JICA の円借款審査の際の資料に活用できるようにした。[表 2.2.1]は調査の手続きに関するスケジュールを示したものである。

[表 2.2.1] 調査の手続きに関するスケジュール

日付	手続き
2015 年 6 月 19 日	契約締結
2015 年 11 月 26 日	最終報告書（F/R）提出
2015 年 12 月 18 日	契約履行期限

出典：調査団

調査期間が比較的短いため、調査団の現地訪問は 1 度のみで、期間は 2015 年 6 月 26 日からラマダン明け前の 2015 年 7 月 9 日までの約 2 週間であった。調査団の現地訪問の第 1 の課題は、新鉄道橋を設計するのに必要な設計条件を決定するための現場条件を把握できるデータ収集である。次に、設計条件を決定するための関連情報、例えば交通量、鉄道関連規程、設計標準、鉄道運行・維持管理マニュアル、調達手続きの慣例、物資や人材の価格水準、建設技術水準、労働者の技術水準、などを収集した。

現地訪問中の作業を効率的に行うために、調査団はあらかじめ質問状を関連機関に送付し、実施機関であるバングラデシュ国鉄（BR：Bangladesh Railways）との協議の際に回答を回収したが、その際に質問内容についての補足説明を行った。ADB-F/S の最終版を入手したのが現地調査の直前であったため、調査団があらかじめ送付しておいた質問内容を協議中にその場で若干修正することもあった。プロジェクト関係機関との協議を行う際には、毎回調査団がインセプションレポート（IC/R）に基づいたプレゼンテーションを行い、本調査の観点を明確にした。なお、協議の場の設定は、ダッカ市内の超過密な交通事情を勘案して十分に余裕のあるものとした。[表 2.2.2]は現地調査中の行程を示したものである。

[表 2.2.2] 現地調査スケジュール

日付	日程
2015年6月27日(土)	バングラデシュ到着
2015年6月28日(日)	DDC と協議、調査事務所設立
2015年6月29日(月)	JICA と協議、本邦企業の現地事務所と協議
2015年6月30日(火)	BR と協議、移動（ダッカ→ジャムナ）
2015年7月1日(水)	BBA と協議、現場視察
2015年7月2日(木)	現場視察
2015年7月3日(金)	現場視察、移動（ジャムナ→ダッカ）
2015年7月4日(土)	予備日
2015年7月5日(日)	本邦企業の現地事務所と協議、BUET と協議、BWDB と協議
2015年7月6日(月)	BR と協議、 APU と協議
2015年7月7日(火)	BIWTA と協議
2015年7月8日(水)	DDC と協議
2015年7月9日(木)	日本到着

注：DDC: Design Development Consultant, JICA: Japan International Cooperation,
BR: Bangladesh Railways, BBA: Bangladesh Bridge Authority, OC: Oriental Consultants
BUET: Bangladesh University of Engineering and Technology
BWDB: Bangladesh Water Development Board, APU: Asia Pacific University,
BIWTA: Bangladesh Inland Water Transportation Authority

出典：調査団

日本側における活動としては、本調査の目的を達成するために、JICA の本邦企業向け説明会（2015年8月3日及び10月30日に開催）に参加し、本プロジェクトに関する技術的説明を行った。

2.3. 調査計画

調査の根幹部分は、新鉄道橋の上部工と下部工について、先進技術を取り入れつつ最適構造形式を選定することである。この選定結果を現実的なものとするための準備作業、例えば、ジャムナ多目的橋に関する情報・データを収集するための現地視察を行った。最適構造形式選定後には、ADB-F/S 提案と本調査提案との費用の比較を行った。さらに、適用した先進技術が有効に機能するために、調達手続きを提案した。

2.3.1. 準備作業

準備作業は以下の3種類の作業から構成される。

(1) 情報収集

JICA から提供された追加情報、例えば、JICA と BR との調査に関する 2015 年 5 月 14 日付けの議事録 (M/D: Minutes of Discussion) や 2015 年 5 月版の ADB-F/S などの内容を検討した。準備的な本邦企業からの情報、例えば、現地における調達慣習、本邦先進技術、現場環境、などを収集した。(株)長大内部における情報収集活動、例えば、現地経験者への聞き取りを行ったり、コンサルタントの自己負担で現地に先遣隊を派遣したりすることを通じても現地環境の把握に努めた。先遣隊派遣時には、現地作業を円滑に行うための現地拠点の設営作業も行った。

収集した情報に基づき、調査にあたって必要な特定情報項目を整理し、それを質問状にまとめ、質問状の内容に応じて質問先を選定し、調査団の現地訪問前にバングラデシュ側に送付し、調査の実施計画をインセプションレポート (IC/R : Inception Report) 案の形でまとめた。IC/R 案につき JICA と協議後、内容を更新して最終版とし、それに基づき現地プレゼンテーション資料を作成した。

(2) プロジェクト関係機関との協議

調査団のダッカ到着後、速やかに JICA の現地事務所を訪問した際に、議論の中で JICA から追加情報が提供されたので、それを取り込んで現場訪問や面談の計画を修正した。

調査カウンターパートである BR との協議は、IC/R についてのプレゼンテーションから始め、続いて質問状に沿って質疑応答へと進んだ。時間的制限から、BR との協議は、現場訪問後にも続けることとなった。当初は BBA¹、BUET²、BIWTA³などのプロジェクト関係機関との面談取り付けは BR を通じて行う予定であったが、調査団独自に行った。

(3) 現地視察と協議

現地視察にはまる3日間を要し、ジャムナ多目的橋の外観及び内部の視察、両川岸の護岸工事の視察、新鉄道橋の建設予定地の視察、さらに参考までにハーディング (Harding) 橋の視察も行った。ジャムナ多目的橋の管理者である BBA からは多くの貴重な情報が提供され、BBA は調査団の目視検査のために船も提供した。BBA が提供した情報には、ジャムナ多目的橋の建設計画、建設史、技術的難題、道路・鉄道・船舶の交通状況、維持管理、監視業務、などがあり、それらはプレゼンテーション、意見交換、現場質問、の形で提供された。

現地視察の結果は帰国後速やかに調査団から直接 JICA に報告され、意見交換を通じて最終報告書 (F/R : Final Report) の方向性を定めた。

2.3.2. 最適構造形式の選定

¹ BBA: Bangladesh Bridge Authority

² BUET: Bangladesh University of Engineering and Technology

³ BIWTA: Bangladesh Water Transport Authority

最適構造形式の選定作業は以下の3段階からなっている。準備作業で収集した情報は、先進技術を活用した最適構造形式選定作業に使われた。

(1) 第1スクリーニング

橋梁構造形式選定の第1スクリーニング作業は候補構造形式の得失表作成により行なわれた。調査団の日本における鉄道橋構造決定に関する知見を基とし、現地訪問の際に収集した現地条件を勘案して行った。この過程においては、不合理な構造形式を除外することを主としたため、正確な費用比較は行っていない。

(2) 第2スクリーニング

第1スクリーニングで残った構造形式に対して、比較のためのおおまかな費用を積算して最適構造形式を選定した。上部工と下部工との組み合わせによる総合的な検討や、最適スパン長の検討、橋脚の位置や数の検討、費用、工程、調査カウンターパート機関との議論における関心事項から判断した先進技術活用、など、総合的な観点から最適構造形式を選定した。

選定した構造形式に対して、概略設計、概略図面（骨組み図、平面図、側面図、断面図）、部材数量、工法、費用積算、概略工程を作成した。積算は、JICAが円借款プロジェクトの審査で使用している費用積算キットに則って行った。

(3) 比較

総合的な比較調査、即ち、費用、工事行程、品質管理能力、維持管理能力、先進技術の活用可能性、などを勘案して、ADB-F/Sの提案と第2スクリーニングで選定した構造形式との間で行った。ただし、ここで用いる費用は初期の建設費用ではなく生涯費用（LCC：Life Cycle Cost）である。さらに、現地技術力の向上や技術移転を前提とした先進技術の取り入れ機会は優先課題として評価した。比較結果は表形式にまとめた。

2.3.3. 先進技術を機能させるための方策

この作業は以下の3面から成っている。

(1) 先進技術の適用可能性

本プロジェクトに適用可能性のある装置・工法に関する先進技術について、それらの製造者・コントラクターへの聞き取り調査を行い、同時にプロジェクトへの参入意思も聞き取り、これを整理した。

当初は、具体的な先進技術の本プロジェクトへの適用可能性について本調査のカウンターパート機関と議論する予定だったが、議論では具体的な先進技術は提示せず、先進技術の適用についての効用についてのみ議論することとし、具体的先進技術の適用可能性についてはF/Rにて提案することとなった。

(2) 調達手続き

調達手続きを提案することの第1義的目的は、十分な業務実績を有しない応札者を排除し、プロジェクトの工事品質を高めることであり、これは先進技術を適用する際には先進技術に期待される性能が発揮されるための重要な要件である。調達手続きの提案は、JICAの「円借款事業におけるコンサルタントの雇用及びものと工事の調達に関するガイドライン」を元にしており、ここでは入札の前に事前資格審査（P/Q：Pre-Qualification）の実施を基本としている。

最後に、選定された構造形式による工事の施工計画を立案した。これには事務手続きや調達手続き、即ち、プロジェクトの政府承認手続き（環境影響評価（EIA：Environment Impact Assessment）、予算要求（DPP：Development Project Proposal）、など）、コンサルタント選定手続き、工事契約入札手続きを含むスケジュールである。

2.4. 情報収集先

本調査のカウンターパート機関はBRであるが、本調査ではプロジェクト形成に関わる以下のような諸関連機関からの幅広い情報を収集した。例えば、ジャムナ多目的橋の維持管理標準、その橋の保守履歴と現状、現地の設計標準、航路要件、自然環境要件、現地調達慣習、現地建設市場、などの情報を収集した。

- アジア太平洋大学（APU=Asia Pacific University）：ジャムナ多目的橋建設・維持管理に関する技術面の支援
- バングラデシュ橋梁局（BBA=Bangladesh Bridge Authority）：ジャムナ多目的橋建設の実施機関・維持管理機関
- バングラデシュ内航運輸局（BIWTA=Bangladesh Inland Water Transportation Authority）：ジャムナ川の航路責任者
- バングラデシュ国鉄（BR=Bangladesh Railways）：本プロジェクトの実施機関
- バングラデシュ工科大学（BUET=Bangladesh University of Engineering and Technology）：ジャムナ多目的橋建設・維持管理に関する技術面の支援
- バングラデシュ水資源開発委員会（BWDA=Bangladesh Water Development Board）：河川管理者
- DDC（Development Design Consultants Limited）：類似工事のコンサルタント
- 日本橋梁建設協会（JBCA=Japan Bridge Construction Association）：日本の橋梁技術団体
- 水資源省（MWR=Ministry of Water Resources）：河川管理者の上位機関

第3章 現地条件の整理

3.1. 自然条件

気候については、対象地域は熱帯モンスーン地域にあり、4つの明確な季節的な区分が認められる。冬/乾季（12～2月）、暑季/モンスーン以前（3～5月）、雨季/モンスーン（6～9月）及び秋季/モンスーン以後（10～11月）である。対象地域は洪水の影響は受けていない（近年の大洪水である2004年を含めて）。

対象地域はバングラデシュ東部・北部地区の第IIゾーンに位置し、地震の発生頻度が比較的多い地域である。バングラデシュでは過去150年間に7回の大地震（マグニチュード7以上）が発生しており、このうちの2つが国内に震源地があった。

3.1.1. 気象条件

新鉄道橋建設予定地に最も近い気象観測所はタンガイル気象観測所（バングラデシュ国気象局（BMD: Bangladesh Meteorological Department）管轄）で、新鉄道橋の東南20kmにある（[図3.1.1]参照）。当観測所で観測した気象状況を示したものが[図3.1.2]である。

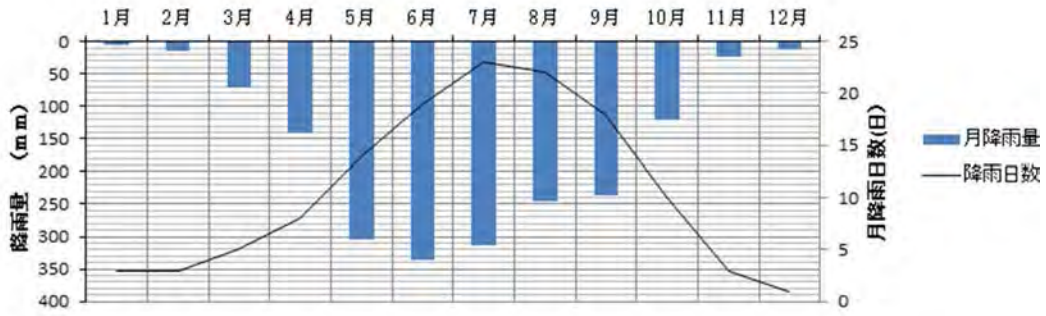


出典：調査団

[図 3.1.1] タンガイル気象観測所位置

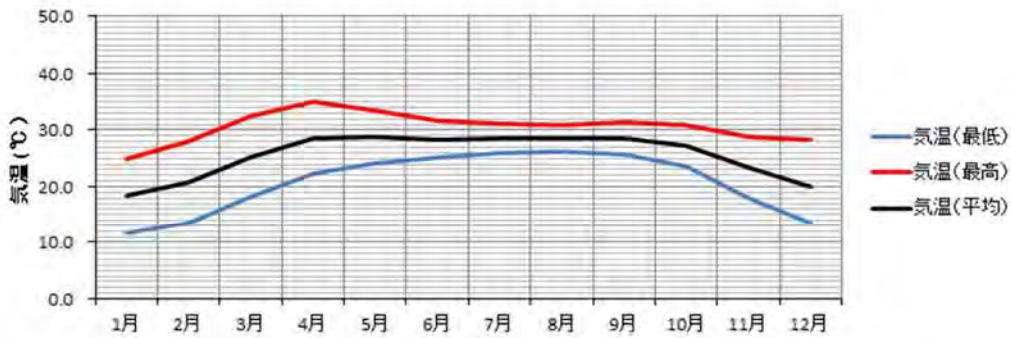
これによれば、月降雨量は5～335mm/月と変動幅が大きく、年降水量は1,872mmである。降雨は雨季に集中しており、5～7月は300mm/月を超える。平均気温は25.5℃（19.3～28.8）、最高気温は30.6℃（25.0～35.0）、最低気温は20.7℃（11.7～25.9）である。3～5月は最高気温が32.5～35.0℃とかなり高温になる。

最大風速は年間を通じて70km/h（19.4m/s）程度で、ほとんどが南東の風である。相対湿度は乾季以外ではかなり高い。



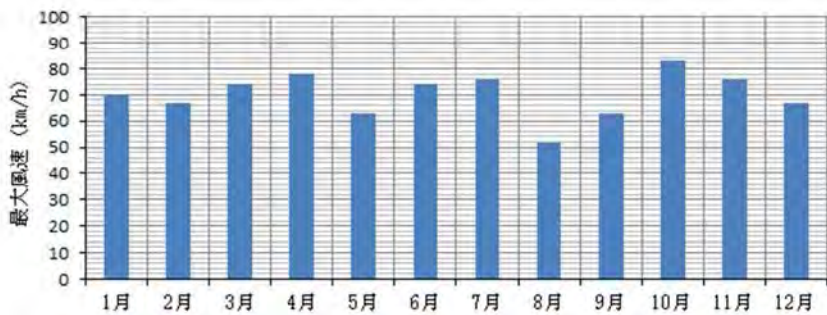
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
降雨量	6	14	70	141	305	335	313	246	237	120	24	12	1823
降雨日数	3	3	5	8	14	19	23	22	18	10	3	1	129

降雨量 (単位: mm)



	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
日最低	11.7	13.6	18.2	22.3	24.2	25.3	25.9	28.1	25.8	23.6	17.9	13.6	20.7
日最高	25.0	28.1	32.5	35.0	33.5	31.6	31.1	31.0	31.5	31.0	28.7	28.2	30.6
日平均	18.3	20.8	25.3	28.6	28.8	28.4	28.5	28.5	28.6	27.3	23.3	18.9	25.5

気温 (単位: °C)



	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
最大風速	70	67	74	78	63	74	76	52	63	83	76	67	70.3

最大風速 (単位: km/h)

出典: <http://www.myweather2.com/City-Town/Bangladesh/Tangail/climate-profile.aspx>

[図 3.1.2] 月平均気象 (タンガイル気象観測所)

3.1.2. 河川条件

ジャムナ川は非常に大きな網状河川で、川幅は 12~15 km であるが、新鉄道橋建設現場付近では、ジャムナ多目的橋により 4.8km に狭窄されている。年平均流量は 20,000 m³/s、最大流量は 100,000 m³/s と見込まれている (ADB-F/S, vol.3 p25)。洪水時の平均水面勾配は 7.5cm/km であ

る。河床材料の平均粒径（D50）は0.20mmで、粒度分布が均一である（Performance review of Jamuna Bridge River Training Works 1997-2009, CEGIS¹, 2009）。粒度分布が均一であるということは、締固めにくい砂で、浸食には脆弱であることを意味する。

新鉄道橋の下流300mにはジャムナ多目的橋があって、その左岸（東側）橋脚には、BBA管轄のバンガバンドゥ（Bangabandhu）水位観測所（水位標、観測所コード：SW-49）が設置されている。ここで2003年以降の日水位記録が利用でき、水位標の状況及び資料の状態から、良く管理されていると考えられる。

ADB-F/Sでは、新鉄道橋より約9km上流右岸にあるシラジガンジ（Sirajganj）水位観測所（バングラデシュ水資源開発庁：BWDB管轄、観測所コード：SW-49.3）の水位データが用いられている。本調査では、バンガバンドゥ水位観測所及びシラジガンジ水位観測所の水位データを収集・整理し、検討した。



出典：調査団

【図 3.1.3】バンガバンドゥ水位観測所

両観測所の2005年から2014年までの10年間の日水位を比較した（[図 3.1.4]参照）。各年の最低水位に注目すると、バンガバンドゥ観測所では10年間でPWD²+5.41m～+6.06mと安定しており、シラジガンジ観測所ではPWD+6.0m～+7.4mと変動が大きいことがわかる。

水文学的知見によれば、年最低水位は河床変動の影響がなければ、年による変動が少ないといわれていることから、バンガバンドゥ観測所の観測データの方がより信頼性が高いと考えられる³。ただし、観測期間が2003年からの13年間と短いため、確率解析には利用できない。

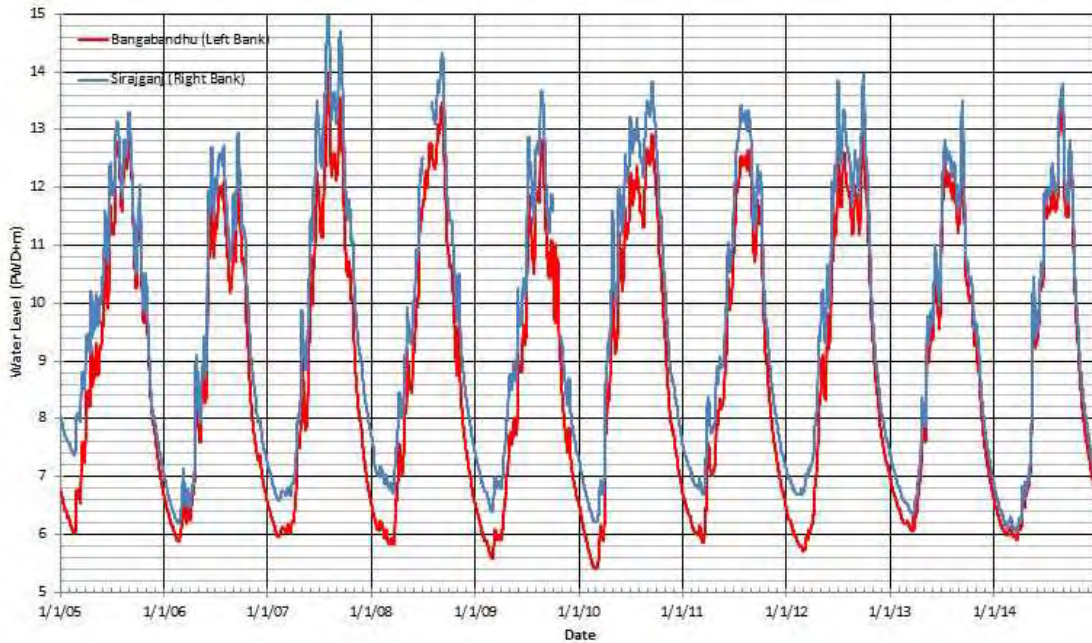
今回の現地調査（2015年7月1日）で水深を実測したところ、ジャムナ多目的橋の左岸（東

¹ Center for Environmental and Geographic Information Service の略で、Ministry of Water Resources, Bangladesh」傘下機関。

² PWD は the Public Work Datum のことで、バングラデシュでの基準標高（平均海面高さより0.457m低い）。

³ 最低水位は最低流量によってきまるが、その最低流量は、洪水のような一時的な（降雨→流量のような）現象ではなく主に基底流量（地下水流量の様なもの）で決まる。この長期的な傾向を持つ基底流量は年変動が少ないと考えられるので、年による水位の変化はあまりない（特に大河川では）。従って、シラジガンジのデータは年最低水位の差が大きいので、少し疑ってみる必要がある。恐らく、河床が上昇し、それにつれて水位が上昇していることが考えられる。但し、これは低水でのことであって、洪水時には当てはまらない。

側) 付近では 13.1m、中央部で 10.1m であった。



出典：調査団

[図 3.1.4] バンガバンドゥ観測所とシラジガンジ観測所との水位の比較

新鉄道橋架橋位置は河口から約 500km 上流にあり、気象変動による海面上昇の影響による水位上昇はないだろうと推測されている（西部 Bangladesh 橋梁改修事業準備調査、準備調査報告書、JICA、2015）。

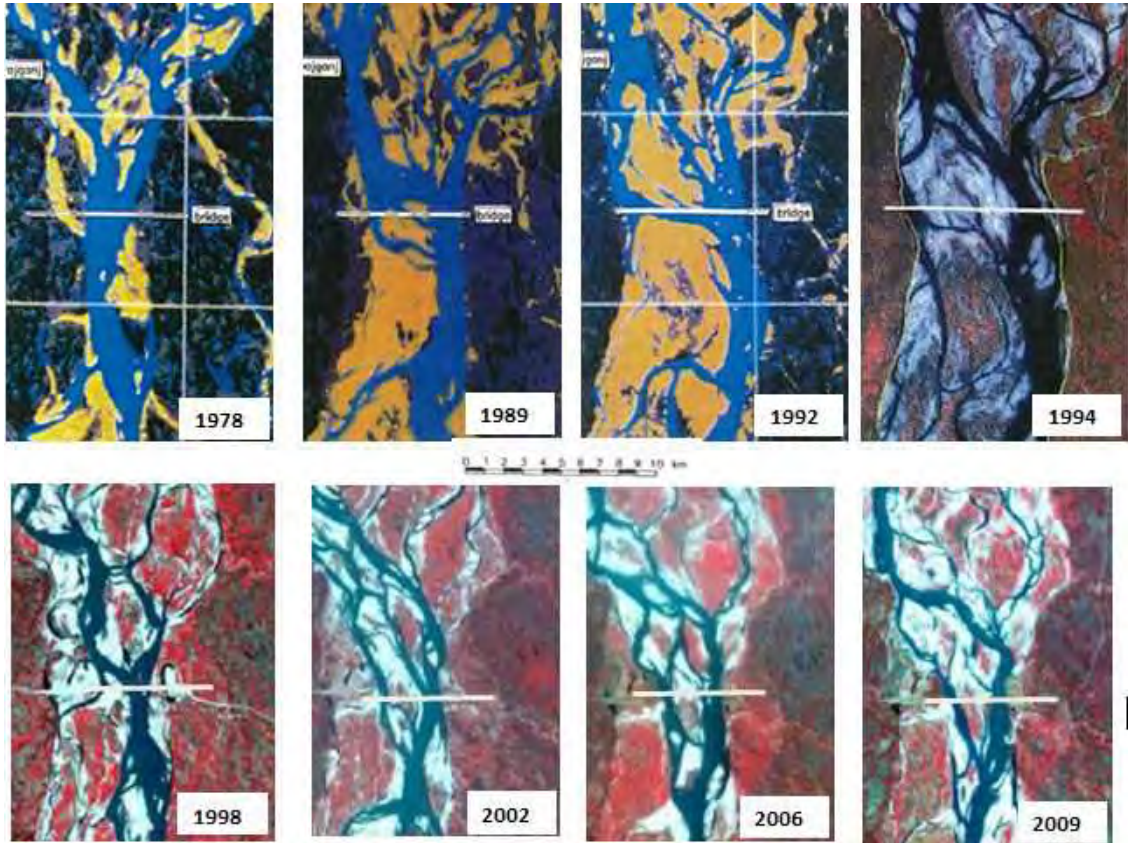
3.1.3. 流路の変遷

ジャムナ川が現在の流路になったのは、1787 年以降のことで、以前はマイメンシン (Mymensingh : 調査地点の東北約 80 km) の北を東南に流れ、メグナ (Meghna) 川に注ぐルートを通っていた。河道変遷の原因は、この年に発生した大規模な洪水だと考えられるが、地震による断層の発生がきっかけを作ったという説もある (Bangladesh, Sirajganj 付近で発生した大規模な河岸浸食、第 21 回水文・水資源学会総会・研究発表会、2008)。

1978 年から 1994 年までの流路変遷 ([図 3.1.5]の上参照) から、ジャムナ多目的橋竣工 (1998 年) より以前は橋梁近傍の川幅は、5~10km で変化していることがわかる。地形・地質的にみて、ジャムナ川付近では次世紀も河道の変化はないと予想されている (ADB-F/S)。

上記研究、「Bangladesh, Sirajganj 付近で発生した大規模な河岸浸食」によれば、「長期的には河道が西に移動しており、流路の一部が (新鉄道橋地点上流部で) さらに西に移動する懸念がある」としている。ただし、これは長期的な可能性としての話で、実際の土木工事に関しては、そのような懸念が顕在化しそうならば、その時に (新規の) HP の様な対策を考えればよいのであって、今から考えておく問題ではないと考える。

1998 年から 2009 年までの流路変遷 ([図 3.1.5]の下参照) から、ジャムナ多目的橋地点近傍の主流路は左岸、右岸にそれぞれ 1 本ずつあり、大筋ではあまり変化していないことが見られる。



出典：調査団

注：画像の太い白線が架橋位置。

【図 3.1.5】 ジャムナ多目的橋付近の衛星画像（1978～2009）

3.2. 航路条件

3.2.1. 航路管理者

BIWTA (Bangladesh Inland Water Transportation Authority) は内航海運を司るバ国政府機関である。局長のフセイン (Mohammad Hossain) 氏にインタビューし、下記の情報を得た。

バ国の河川は[表 3.2.1]のように、クラス分けされている。

【表 3.2.1】 必要航路幅と桁下高

航路クラス	航路幅 (m)	SHWL 上の必要桁下高 (m)
クラス I	76.22	18.30
クラス II	76.22	12.20
クラス III	30.48	7.62
クラス IV	20.00	5.00

注：[表 3.4.1]と同じ。

出典：Bridge Design Standards for Roads & Highways Department, BIWTA, 1991

ジャムナ川はクラス II (空頭制限 12.2m) である。ジャムナ多目的橋の空頭 15.5m はそれより大きくしてあるので問題ない。航路幅は 76.22m である。ジャムナ川架橋地点は、通常は極小型の船しか通行しないが、希にサルベージ船が通過し、クレーンの高さがあるので 12.2m は必要で

ある。インドから建設資材を満載した船が通行することもある。これは中央にタグボート、両側のバージで構成され、タグボートにはマストがついている。総幅 40m、長さ 150～200ft (45～60m)、高さは最大 40ft (12m) である。これを通すために 250ft (76.22m) の航路幅を設定している。ジャムナ川には現在は商業ベースのフェリーは走っていない。このため航路限界を支障する船は無い。しかし将来的にはフェリーが走る可能性もあり、この高さを確保している。これまで船舶の衝突事故は一度も発生したことがない。新鉄道橋が、全幅に渡って航路空頭を確保してくれるのであればありがたい。ジャムナ川は中間に砂洲ができたり消えたりし、また、その位置が年によりどこになるかわからないからである。

ジャムナ川の下流で現在パドマ橋を建設している。パドマ橋はクラス I (空頭制限 18.3m) である。この情報は海上から、ジャムナ鉄道橋架橋地点まで、資材を搬入する際に必要となる。



出典：調査団

[図 3.2.1] 舟運状況 (現地調査時)

3.2.2. 水文特性

バンガバンドゥ観測所の至近 10 年間の水位特性は以下の通りである。

[表 3.2.2] バンガバンドゥ観測所の至近 10 年間の水位特性

(単位：PWD+m)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	平均
年最高水位	13.16	12.33	13.97	13.48	12.81	12.91	12.65	13.35	13.08	13.43	13.12
年最低水位	6.01	5.88	5.96	5.83	5.58	5.41	5.86	5.70	6.06	5.92	5.82
年平均水位	9.21	8.67	9.05	8.95	8.40	9.17	8.72	9.01	8.83	8.76	8.88

出典：調査団

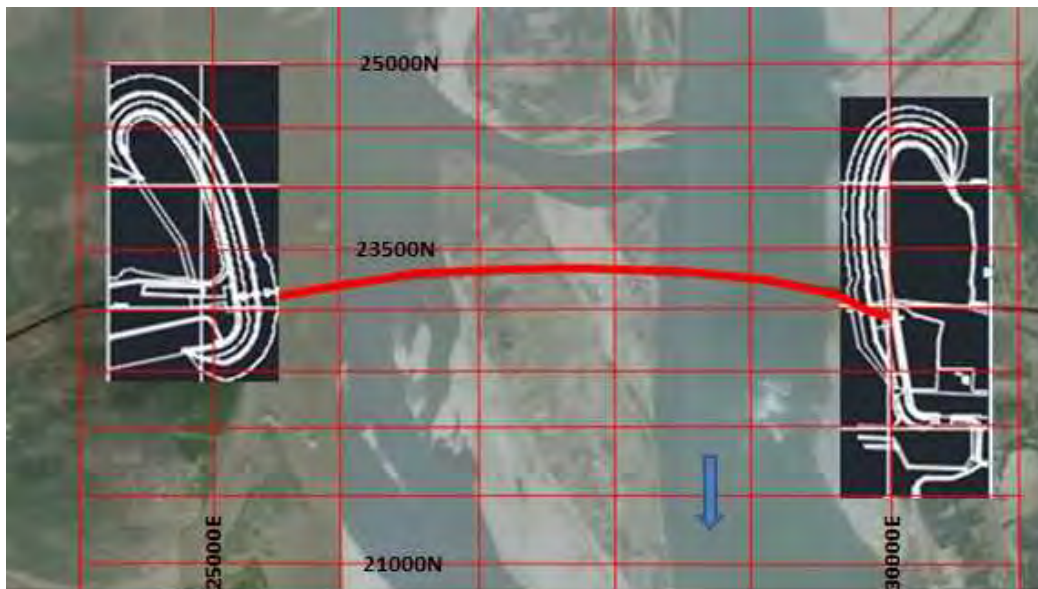
- 最高水位は PWD+13.97m (2007 年 8 月 2 日)、最低水位は PWD+5.410m (2010 年 3 月 1 日)。
- 10 年平均水位は PWD+5.827m、年平均水位の変動幅は 0.630m である。
- 年間の水位変動は、7.30m (PWD+5.82 m～13.12 m) と大きい。

3.2.3. 河道状況

至近 10 年間の最低水位 (PWD+5.41 m) に対し、平均的な河床高は PWD+4 m 程度である。「深掘れ部」は年により移動して、位置が変わったり深さが変わったりしているものの、少なくとも PWD-3 m 程度の「深掘れ部」はいつでもどこかに存在しているので、この部分は喫水の大きな船 (たとえば工船用船舶) でも航行できる。しかし位置がどこになるかは洪水の後でなければわからない。

(1) 河道横断

河道地形の変遷を把握するため、BBA から河道横断成果を入手した。ジャムナ多目的橋近傍では、1998 年から毎年 4、5 回の頻度で河道横断測量が行われている。測量は船による深淺測量 (測量船に音響測探機を取り付けて行う測量で現地調査時に乗船した船にも装備してあった) が主であるので、砂州部分は測量されていない。測量範囲は 21000N から 25000N 区間⁴で、500m 間隔で合計 9 測線である ([図 3.2.2]参照)。



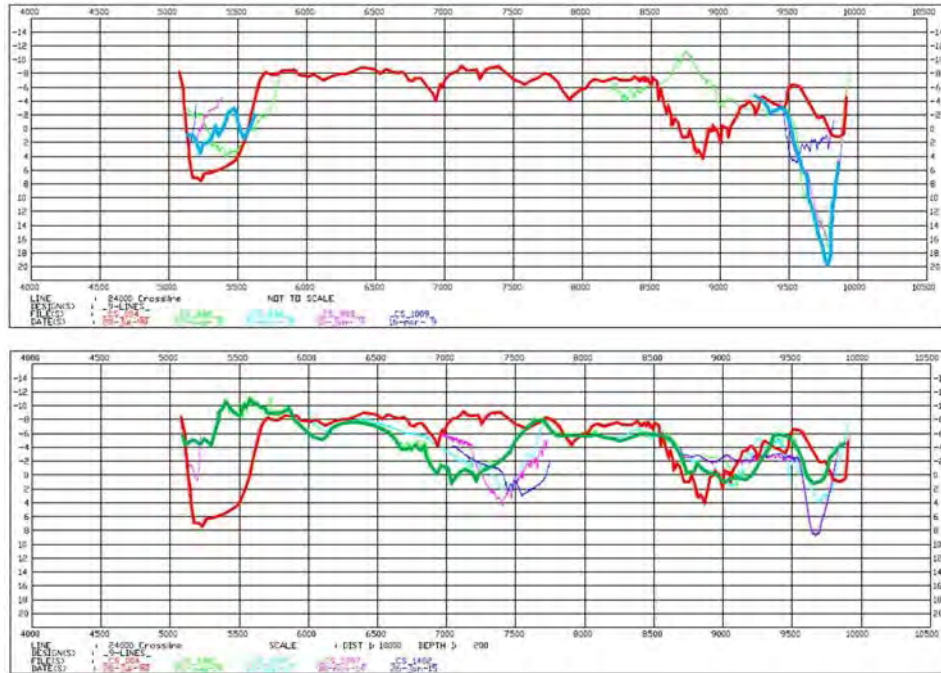
注：21000N～25000N の 9 測線につき 500m 間隔で実施。

出典：調査団

[図 3.2.2] 河床横断測量のための測線位置

ここでは、新鉄道橋の予定線形に近い測線 (24000N) に注目する。

⁴ 測線位置を決定するための、Bangladesh で使用している測量基準線から北への距離であるが、基準線がどこかは不明で、単位はメートル。



出典：調査団

【図 3.2.3】河床横断測量成果（測線：N25000）

【図 3.2.3】に河床横断測量成果を示す。図中、赤太線で示したのはジャムナ多目的橋竣工時（1998年7月28日）の横断面である。主流路（深掘れ部）は左右岸近くに1か所ずつあり、深さは、それぞれ PWD-4.0m 及び PWD-7.5m である。河道の中央部には幅約 2.8km（5700E～8500E）、高さ PWD+8.0m の砂州が存在していた。

主流路の河床高に関する 1998 年～2015 年の変動傾向は以下の通りである。

- 右岸主流路は PWD-7m～PWD+0m の間を変化しており、浅くなる傾向がある。
- 左岸主流路は PWD-4m～PWD-20m の間を変化しており、深くなる傾向がある。
- 河道中央部に関しては、2012年2月以前のデータはなく、砂州により測量できなかったと思われるが、2013年11月以降は PWD-3m 程度の深掘れが発生している。

(2) 砂州の状況

現地調査時（2015年7月1～3日）は水位の高い時期で、砂州の高い部分しか確認できなかった。新鉄道橋建設予定ルート付近の砂州はほぼ水没しており、緑の草が水面から顔を出している状態であった。

ジャムナ多目的橋の下流側（中央よりやや右岸より）には小規模な砂州が確認できた。この砂州には低い灌木があることから、数年間は砂州が水面から表出していることがわかる（【図 3.2.4】参照）。

1998年～2012年頃には、河道中央部（5700E～8500E）は河床高 PWD+6.0m 以上（平均最低水位は PWD+5.8m なので、水面より上になる）であった。このように、砂州の状況（位置及び

高さ) は年により不規則に変化している。



出典：調査団



[図 3.2.4] ジャムナ多目的橋下流側の砂州の状況

3.3. ジャムナ多目的橋の状況

ジャムナ多目的橋の状況について確認するため、ジャムナ多目的橋現地において、BBA (Bangladesh Bridge Authority) に聞き取り調査を行うと共に、橋梁路面からの観察、PC 箱桁内部に入ったの観察を行った。またダッカにおいて、バングラデシュ工科大学 (BUET : Bangladesh University of Engineering and Technology) のアミン (A.F.M. Saiful Amin) 教授、アミン教授の指導教授でバ国橋梁業界の重鎮であるチョードリー (Jamilur Reza Choudhury) 教授に面会し、ジャムナ多目的橋の現状について聞き取り調査を行った。さらに BIWTA (Bangladesh Inland Water Transportation Authority) に聞き取り調査を行い、バ国での航路限界について調査した。それらの結果概要を[表 3.3.1]に示す。

本橋は道路橋だけでは経済効果が十分でないとの判断で、ガス管、電力、鉄道も載せることとした経緯があるため多目的橋と呼ばれている (アジア太平洋大学チョードリー教授他)。

[表 3.3.1] ジャムナ多目的橋の現状

<p>1. 平面線形</p> 	<p>2. 桁の掛け違い部</p> 
<p>全長 4.8km で半径 12,000m が入っている。運転の単調さを避けるため、列車の前照灯が長時間、対向車の運転手に当たることを避けたため、美観を高めるため、曲線が入れられたとのこと。曲線による橋長増加は約 32m である。</p>	<p>多径間連続 PC 箱桁橋。スパン約 1/4 点で片持ち梁掛け違い部がある。スパン中央部では無いため、沈下の問題は起こっていない。沈下対策の PC ケーブル設置も出来る構造になっているとのこと。</p>

3. ガス管伸縮装置



4. 支承と耐震装置



5. 送電線



6. 桁下面橋軸方向のひび割れ



施工中に発生し、現代社が補修

7. 西側取り付け高架橋



RC床版橋である。この床版に多数の亀裂が発生した。

8. 床版橋裏面の補修後



縦方向に細長い鋼板を張り付けている。橋軸直角方向にひび割れが発生したようである。

9. ひび割れと補修後



10. 桁端のミツバチの巣



11. 橋上の状態



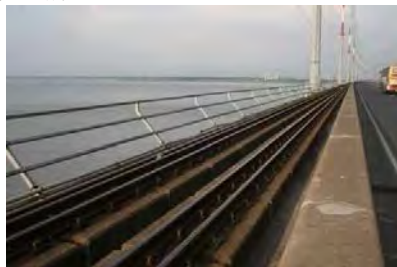
4車線道路橋の端部を鉄道にしたため、車線が狭くなっている。左のコンクリート高欄の外側が軌道部。

12. すれ違う列車



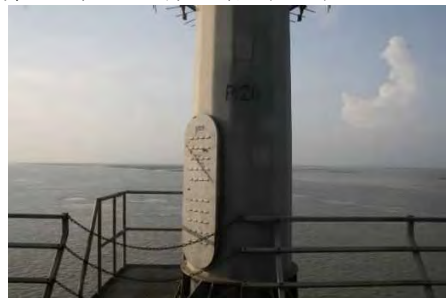
車の中なので解らなかったが、列車走行時には橋梁がかなり振動するとのこと。

13. 線路の構造



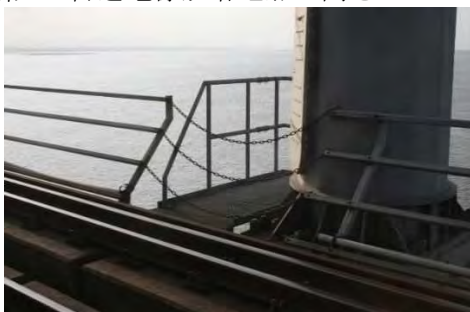
陸上部では3線軌条だが、橋梁区間のみ4線軌条としている。内軌と外軌との間隔は300mm以上開いており、脱線防止効果は無い。

14. 第26番送電線鉄塔 (P26)



このP26は26番目の橋脚の真上にあるとのことで、送電線鉄塔も100m間隔で設置されている。

15. 第26番送電線鉄塔地点の高さ



第26番送電線鉄塔の位置における水面までの高さは、デッキ位置から22mであった。7~8月の雨季高水位はさらに2mほど上がるとのこと。スパンの1/4における桁高を4mと仮定すると桁下空間は $22 - 2 \cdot 4 = 16\text{m}$ となり、BBAのアザド (Azad) 氏の、15.5mの航路高さを確保しているという言葉とほぼ一致する。

16. 試作セグメント側面



航路高さについては BIWTA のフセイン (Hossain) 氏によると、ジャムナ川はクラス 2 であり、航路高さは幅 76m (=250ft) × 高さ 12.2m で十分とのこと。

現在のジャムナ橋では、橋梁中央部で一ヶ所のみ幅 76m × 高さ 15.5m を確保しており、そこから両側に 5% で下っているとのこと。

このため、全径間に渡って航路高さを確保しているわけではないようである。それに対して、フセイン氏の意見は、将来の交通量の増加に備えて全長に渡って航路高さを確保してくれる方が良いとのこと。

水深を実測したところ、10m 程度であった。観測船に備えられた計測機では最深地点で 20m とのこと。

17. 試作セグメント断面



左側の張り出し部に軌道を載せている。桁内部の上側隅角部のハンチ部にも亀裂が発生している。ジャムナ多目的橋は現代社と T.Y.Lin 社 (T.Y.Lin 氏が売却後) との JV によるデザインビルドプロジェクトであった。このため現代社が責任を追及されている。実際には施工に問題は無いうようで、T.Y.Lin 社の設計が適切でなかった可能性が高い (例: 剛性不足)。

18. 橋を通過する列車



橋上では列車速度を 20km/h に制限しているとのことであったが、通過に 30 分かかるとのことであったため、実際の運行速度は 10km/h 程度と思われる。また列車のすれ違える東西駅間のアプローチを含むとさらに時間がかかるため、1 日に最大 26 本が走行可能とのことであった。

19. PC 箱桁内への点検口



21. 桁内部の配管



20. 箱桁内部



白線は隅角部ハンチに確認されているひび割れ

22. ひび割れの補修補強試験



隅角部のひび割れをカーボンファイバーで補強することが検討されている。しかし、これによりひび割れが見えなくなるという欠点もある。

23. 支承



とげ状のものは、暴露試験中の鉄板に鳥が来ないようにするためのもの。

24. 支承の反力受け



地震で桁が横移動した場合、桁下面に設置された突起が橋脚の受け台に当たって止まる構造になっている。

25. 反力受けと支承との位置関係



26. 耐震装置



これが地震時に塑性変形する仕組みのようである。

27. 暴露試験中の日本製耐候性鋼材



JFE、埼玉大学、BUET の共同実験。

28. 橋脚の夜間照明



29. 夜間照明装置



1 橋脚につき、航路側、上流側、下流側の計 4ヶ所に照明が設置されている。これは航路側のもの。

30. 夜間照明装置



下流側を照らしている装置。これらの照明のおかげで橋脚への衝突事故が発生したことが無いのかもしれない。

31. パイルキャップ施工中の写真



250tFC (Floating Crane) でパイルキャップを施工している。現在は航路高さ 15.5m があるため、FC を曳航してこれられない。

32. 基礎杭の施工中の写真



砂州を浚渫して船を近づけて下部工を施工している。

33. 下部工の施工中の写真



砂州を浚渫して下部工を施工。

34. 橋脚基礎図



2本杭と3本杭の基礎とがある。

35. 斜め杭の施工中の写真



36. P&Z 工法による桁の架設中の写真



37. 桁下を通過する砂採集船



通過するのはほとんどがこの程度の船である。

38. 桁下を通過する大き目の砂採集船



39. 桁下を通過する砂採集船



40. 東側ハードポイント



ジャムナ多目的橋の建設で川幅が狭められたため、上流で浸食が激しくなっている部分がある。この部分で浸食が始まっていたが、BBAが資金を出して土嚢を投げ込み緊急対策工事を行っていた。

41. 東側ハードポイントでの護岸工



ここには護岸工があった。その先の堆積した砂の部分に浸食が始まっていた。

42. 東側ハードポイントでの土嚢の投入



土嚢を人力で投入していた。

43. 東側ハードポイント上流側の浸食と人家



44. ジャムナ橋下流側の砂州



水没が進んでおり、あと 2m 程度水位が上がると完全に水没する可能性がある。

45. ほぼ水没した砂州



ジャムナ橋上流側の新鉄道橋架橋地点付近における水没した砂州。

46. 西側ハードポイント付近



47. 西側ハードポイントの砂採集船



船から砂を陸揚げしているようであった。

48. 西側ハードポイントのタグボート



このタグボートが最大級かもしれない。

49. 西側ハードポイント付近の護岸



今年は壊れていなかったが、昨年は少し上流側が壊れて補修したとのこと。

50. 西側ハードポイントの投入用割石

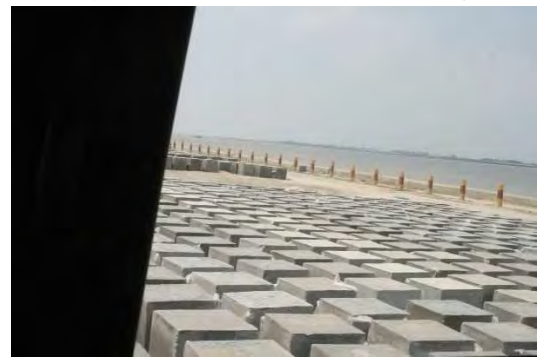


この石はバングラ国内産とのことであった。

51. 西側ハードポイントの砂採集船



52. 西側ハードポイントのコンクリートブロック



53. 東側の駅を出発する列車



54. 東側駅付近の列車



55. 東側駅付近で3線から4線への変更点



橋上では4線軌条の複合軌道になっている。

56. 東側区間の建物



現在の計画よりも路線を北に振ると、これらの建物を支障する可能性あり。

57. ハーディング (Harding) 橋



1915年完成。1スパンが110m程度。よく維持管理されている。最後の塗り替えは2012年。下流約280mの位置にパクシー橋 (Lalon Shah Br.) があり、スパン長を合わせている。

58. ハーディング橋を通過する列車



この橋は複線橋として建設されたものの、橋梁の前後区間は単線である。これはこの付近で強風が吹くため耐風安定性も考慮して幅の広い複線橋とされたとのこと。

59. 脱線防止ガード



ジャムナ多目的橋には設置されていない(複合軌道のメーター軌側に脱線防止ガードの効果を期待とのこと)が、この橋には設置されていた。

60. 軌道間の検査路



61. 隣接するパクシー橋



PC 箱桁橋は上路橋となるため路面が少し高くなる。歩道は、昔は開放されていたが、現在は保安上の理由から閉鎖されている。

62. ガンジス河川堰の建設計画



ハーディング橋の下流、50km 地点にガンジス河川堰 (Ganges Barrage) の建設が計画している。完成するとインド国境近くまで湛水域が広がる恐れがあることから、インド政府が気にかけているようである。同様にインドもバングラデシュ国境近くに堰を既に設置しているようである。ガンジス河の上は道路も建設予定である。

3.3.1. 上部工

現地での調査結果より、ジャムナ多目的橋はよく維持管理をされていることが解った。また、アミン教授やチョードリー教授からの聞き取り調査により、ジャムナ多目的橋計画の経緯や現状について、以下の通りであることが明らかとなった。

(1) ジャムナ多目的橋の現況

チョードリー教授は 1985 年のジャムナ多目的橋の F/S 作成にも関与した。当時、世銀は、橋梁に軌道を併設することには反対で、弱体の BR (Bangladesh Railways) に余計な負担を強いるだけとの考えだった。それに対して、ADB の担当者は鉄道推進派であった。このため、鉄道を通すか否かは橋脚基礎を建設した後に考えることで決着し、着工のゴーサインが出た。建設はデザインビルド方式で実施され、設計は T.Y Lin 社だった。同社の創業者は米国籍の著名な技術者であったが、当時既にレバノン国籍の会社に売却されており、技術力には疑問があった。道路専用橋としてデザインビルド方式の契約で入札が行われ、当初の入札価格は 248 百万ドルであった。これに 2 百万ドルの追加で鉄道を併設出来ると請負業者の韓国、現代建設社が請け負ったために、鉄道を追加することとなった。

鉄道は、本来は橋梁中央部に設置すべきであった。ところが、鉄道を中央部に配置すると、取り付け部分で軌道上に立体交差で道路を建設する必要があり、世銀が工費の増加を嫌った結果、箱桁のカンチレバー部分に設置するように計画変更された。こうしてジャムナ多目的橋は、世界で唯一の鉄道が端に位置する橋となった。

デザインビルド方式の契約により設計の責任も請負者にあるため、完成後にひび割れが発生した際には、BBA は現代社に補償工事を要求したが、同社はこれを拒否した（設計がコンサルタントの責任であれば、コンサルタントが責任を問われているはずであったが、デザインビルドプロジェクトであったため、現代社が責任を追及された）。鉄道については、当初メーター軌の軌道を想定し、列車の軸重を 11.9 トンで設計したが、後に広軌も入れた 4 線の複合軌道に変更された。

インドの鉄道基準では列車の軸重として 25t を採用しているため、インドからの国際貨物列車が通過できるためには軸重 25t に耐える構造が必要であった。このため、現在も国際貨物列車は通過していない。ただし、旅客列車については、一日に一便だけ国際旅客列車（軸重は聴取していないがジャムナ多目的橋の設計軸重以下である）が通行している。また走行速度も 20km/h 以下に制限されており、実際の運行速度は更に低く、10km/h 程度とのことであり（BBA より聴取）、橋を横断するのに約 30 分を要している。このため、風速を観測していても列車が橋梁上を通過中に風速が変わってしまい、強風で列車が横倒しになった事故も発生している。

現在、1 日に往復 26 本の旅客列車が通過し、燃料を運搬するためのタンク車を牽引する列車が 1 週間に 1 本通過している。輸送力の増強が望まれる鉄道においてジャムナ多目的橋区間がボトルネックとなっている。タンク車 1 両の重量は 30 トン（=現状、貨車は 2 ボギー 4 軸車のため軸重は 7.5 トン）であるが、列車走行時の振動はひどく、このままでは危険であり、輸送力と安全性の両面で早期の鉄道専用橋の開通が望まれている。なお、ADB-F/S によれば、現在の都市間列車、郵便特急列車、地域列車の本数はそれぞれ、現在、28 本、2 本、2 本の合計 30 本であるのに対して、2023 年には 48 本（連結数増で対応）、2033 年には 52 本、2043 年には 70 本を見込んでいる（ADB-F/S の表 3.15 参照）。

平面線形について、ジャムナ多目的橋を曲線橋にしたのには 3 つの理由があるとのことである。即ち、①長い直線道路を運転するとドライバーが眠くなる、②当初計画では軌道の位置が中央であったため（後で片側に変更）列車の前照灯が、対向車に対して長時間眩しくなる、③美観に優れる、である。しかし、曲線橋にした理由については誰もが疑問を持つようであり、ジャムナ多目的橋のウェブサイトにも多くの質問が投稿されたそうである。なお、調査団の試算によると、曲線半径 $R=12,000\text{m}$ の曲線長が 4,800m であれば、直線橋にすれば距離は 4,768m となり、橋長を 32m 短縮できることになるが、両岸が平行でないことから直線にしても距離に大差がないことがわかった。以上の理由から、新しい鉄道橋は直線としても問題は無いことが判明したが、BR としては、ジャムナ多目的橋が曲線橋で美しいため、新設鉄道橋もジャムナ多目的橋と平行にして、曲線を入れてほしいとの意見が多かった。

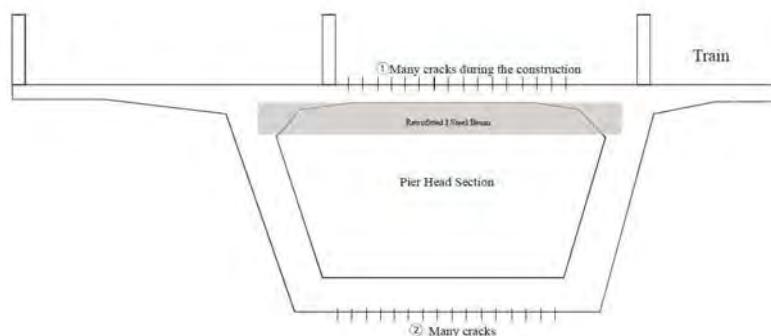
ジャムナ多目的橋の全幅 18.5m のうち 3.1m を鉄道用に使い、残りを 4 車線の道路用にするためには、中央分離帯を設置しているため、1 車線の米国 AASHTO 基準の 3.66m（=12ft）を確保できずに 1 車線は 3.1m しかなく、さらに路肩が無いのが現状である。これに対して、通行量の多いトラックの中には、スプリングが破損して車両の傾きが大きいものがあり、荷物をはみ出し、追い越しが非常に危険な状態となることもある。

(2) 上部工の損傷

ジャムナ多目的橋の維持管理について、調査、研究、修理指導を行っているアミン教授から、上部工の現況について、以下の情報を得た。アミン教授は国際構造工学会（IABSE: International Association for Bridge and Structural Engineering）報告書にジャムナ多目的橋のひび割れについて報告し、その後も原因究明や対策などで BBA に技術的助言を行っている。

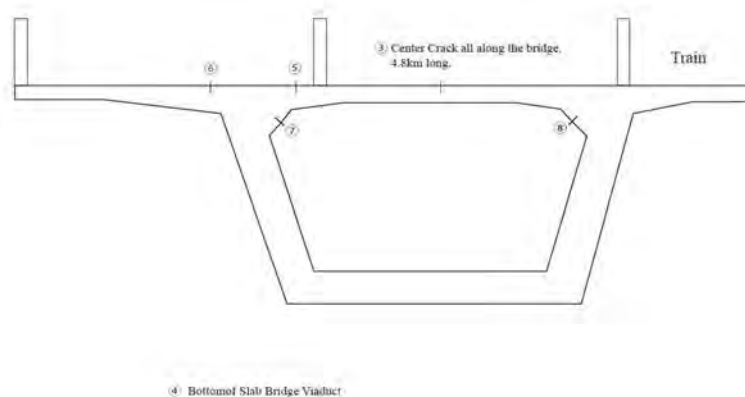
ひび割れ調査は 2005 年から行っている。アミン教授によれば、ひび割れはいくつかの段階で

発生し、合計 22 種類ある。そのうち 8 種類がアクティブあり、さらに進展する恐れがある。8 種類のひび割れを[図 3.3.1]と[図 3.3.2]に示す。



出典：アミン教授のプレゼン資料より調査団作成

[図 3.3.1] PC 箱桁のひび割れ①と②



出典：アミン教授のプレゼン資料より調査団作成

[図 3.3.2] PC 箱桁のひび割れ③～⑧

①のひび割れは、東側の 4～5 個のセグメントを製作した時に、上スラブの全面に橋軸縦方向に発生したもので、設計変更して I 型鋼で補強している。従って他のセグメントには発生しないで済んだ。しかし、2005 年～2006 年頃にひび割れが拡大した（原因不明）。

②のひび割れは、架設中に箱桁下スラブに発生したものである。コントラクターの現代社は、これをエポキシ樹脂で埋めて補修した（調査団が現地を見たものは工事中に補修したもので、工事後に補修したものではない）。①と②のひび割れは補修済みであるため現在は目視では確認できない。③のひび割れは現在も拡大中である。

③のひび割れは、上スラブの中央に橋軸縦方向に橋の全長 4.8km に渡って発生したものである。これは開業直前に現代社によりエポキシ樹脂シール（圧力はかけていないのでひび割れの奥深くは浸透していない）で補修した。このひび割れは、現地に展示してあるセグメントにも発生しており、架設後の荷重によるひび割れではないことがわかる。

④のひび割れは、橋梁両側の高架橋のひび割れで、施工時から発生していた。鋼帯をスラブ下面に貼り付けて修理している。

⑤のひび割れは、2005 年頃から現れ始めたもので、上スラブと箱桁ウェブの鉄道とは反対側の付け根の内側に橋軸縦方向に発生したものである。

⑥のひび割れは、その後、上スラブと箱桁ウェブの鉄道とは反対側の付け根の外側に橋軸縦方向に発生したものである。⑤も⑥も、片持ち梁上に 1 車線が存在しているため、片持ち梁が下方方向に押さえつけられて発生したひび割れと思われる。

⑦のひび割れは、その後、鉄道とは反対側の箱桁内側のスラブとの交差部についているハンチに橋軸縦方向に発生したものである。

⑧のひび割れは、その後、鉄道側の箱桁内側のスラブとの交差部についているハンチに橋軸縦方向に発生したものである。⑦と⑧とはいまだに拡大中で対策を検討中である。

このうち、③、⑤、⑥のひび割れのさらなる進展を防ぐために、中国の業者が補修工事を実施した。約 25cm 幅の CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) 板を全スパン 4.8km に渡って床版上に橋軸直角方向に張り付けた。最初は現代社に施工責任で補修させようとしたが、現代社が拒否したために BBA が外部業者に工事発注を行った。その後、その上にエポキシ樹脂を塗り、さらにその上に碎石マスティック (SMA : Stone Mastic Asphalt) 舗装を行った。補修後に、床版上で橋軸直角方向の振動数を計測し、振動数が上がったこと、橋軸直角方向の剛性が上がったことから補修の効果をj確認している。チョードリー教授によると、列車の走行に関しては、教授の予想に反して、メーター軌の列車による振動の方が、より重い広軌の列車による振動より大きかったそうである。これは、広軌の方が列車の走行安定性が高いためと考えられるとのことであった。

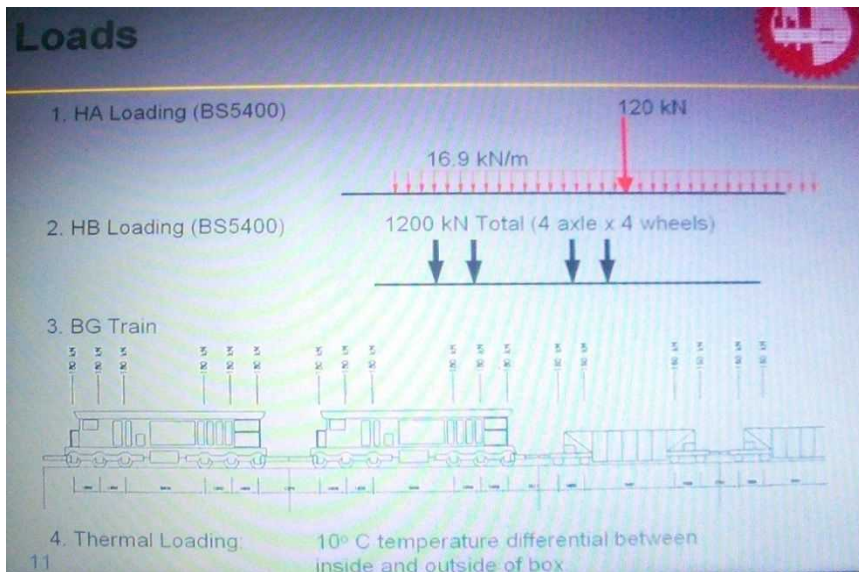
ジャムナ多目的橋は 1998 年に開通したが、当初は、舗装はされておらず、コンクリート床版がむき出しのままであった。このためひび割れの発生も容易に確認することが出来た。その後、2011 年にアスファルト舗装を行ったが、これは当初から予定されていたもので、開通後にコンクリートのクリープ変形が収まるのを待ってからするように計画されていたとの説明が BBA からあった。しかし、変形に追従するアスファルト舗装ならクリープ変形の終了を待つ必要は無いので、これは不合理な計画であるといえる。なお、施工管理のコンサルタントは英国の RPT 社であった。

設計上の舗装厚さは 50mm であるが、CFRP を張り付けて、その上にエポキシ樹脂を塗り、さらに 50mm の舗装を行ったので、当初計画より 8mm 厚い舗装となっている。8mm 厚いだけなので、設計上は誤差の範囲と考えられる。

アミン教授の研究によると、これらのひび割れの原因は下記の通りである。ひび割れは上床版に集中して発生しているのが特徴である。この原因はスラブの横方向鉄筋不足であると思われる。設計計算書を見ると橋軸方向の設計計算書は大量にあるが、橋軸直角方向についてはほとんど耐力の検討をしていないことがわかる。横方向のプレストレス鋼材量が不足している。上床版の表面温度は最高 55 度程にもなる一方、上床版の内側は 27 度程度であり、雨が降ったり、極端な場合、雹が降ったりすると (年に 4~5 回はある) 上床版の表面は急降下するのに対して、内側はあまり変化がない。ところが、設計ではこの温度変化をたった 10 度しかみていない。この温度変化で、上床版中央部を橋軸直角方向に引っ張る応力が発生するが、上床版の横方向鉄筋の継ぎ手が

スラブ中央部に集中していたため弱点となり、ひび割れが発生したと考えられる。なお、鉄道が載っている北側片持ち梁側はスラブ厚が大きい（道路部分は約 30cm 厚に対して鉄道部分は約 50cm 厚）温度変化が比較的小さくひび割れは発生していない。

温度変化の次に荷重組み合わせの検討不足とトラックの過積載の影響がある。バングラデシュの鉄道橋の活荷重は、①HA 荷重（民生用 BS5400 準拠の 16.9kN の分布荷重+120kN の集中荷重）、②HB 荷重（軍事用 BS5400 準拠の 1200kN の 2 軸 2 ボギー貨車）、③BG 列車、の 3 種類を使用している。列車荷重の有無、自動車荷重の有無、往復車線への自動車荷重の有無で 8 種類の荷重組み合わせで発生応力を検討する必要があるが、ジャムナ多目的橋ではその検討を行っていない（理由は不明）。



出典：アミン教授のプレゼン資料

【図 3.3.3】 バングラデシュの鉄道橋の活荷重

(3) BBA からの維持管理に関する情報

ジャムナ多目的橋は PC 箱桁 7 スパン連続橋 7 つから成り立っている。そのため 8 個の伸縮装置と 6 個のヒンジ（[表 3.3.1]の 2.参照）がある。スパン中間部にあるヒンジについては、50mm の沈下を許容しているが、18 年間で沈下の問題は生じていない。沈下した場合には、PC ケーブルで緊張する予定だが、その作業は行ったことが無い。

全ての通過トラックの軸重を計測しており、軸重 16t までは通過を許可し、それを 100kg でも越えた場合は走行を許可していないとのことだが、16t の軸重は大きすぎる（通常は軸重 10t まで）。橋梁の状態はリアルタイムで監視しており、2015 年 4 月 25 日の強い地震発生時の画像も記録されている。

3.3.2 下部工

下部工については、船上から目視したところ問題は無いようであった（[表 3.3.1]の 3.参照）。橋脚には、管理路が設置されており、そこから支承、耐震装置等を見たが、それらについても、良く掃除されており、維持管理、手入れがよく行われていた。BBA、アミン教授、チョードリー

教授からも下部工に特に問題があるという情報は無かった。

BBA より、以下の情報を得た。洗掘はガイドバンド付近で-33m になったことがある（ガイドバンド付近で流れが速くなるため）。設計条件は-30m なのでそれを少し上回っている。各橋脚付近の水深を定期的に測定しているが、水深が-9.5m になったことがあるものの、設計上の洗掘は-27m である。通常の水深は橋脚付近で-4m 程度である。これより橋脚周りについては、洗掘はそれほど激しくないことがわかる。

川には大きな船は通っていない。BIWTA（Bangladesh Inland Water Transportation Authority）の話では、将来的にバングラデシュ国内を運航している旅客船が通る可能性もあるとのことであった。しかし、本調査の現地提携コンサルタントである DDC の技術者で、もと国営浚渫会社の社長によると、バングラデシュ国では、イギリス統治時代には道路が発達していなかったために旅客船の航路が発達していたが、最近道路が発達してきており、旅客船の乗客はより早い路線バスに乗るようになってきているため、旅客船の需要は減りつつあるとのことであった。このことから考えると、ジャムナ橋の下を通る旅客船のサービスが新たに始められる可能性は低いと思われる。

これまでの 18 年間に橋脚基礎に船舶が衝突したことはない。これは一つには、橋脚が夜間に照明されていて、船からよく視認できるためであると思われる（[表 3.3.1]の 28.~30.参照）。

橋脚の沈下量も計測しており、沈下量は 50mm まで許容されているが、これまで計測した中で最大値は 24mm であり、安全であると判断されている。

杭基礎については、直径φ2.5m~3.15m の鋼管打ち込み杭を使用している。2 本または 3 本の斜め杭で 1 つの基礎を構成し、1 基礎あたりの本数は基礎条件によって変更している。最も深い杭は-72m まで打ち込み、全部で 121 本の杭を使用している。橋脚の建設には 250 トン能力の FC（Floating Crane）を使い、パイルキャップを設置した（[表 3.3.1]の 31.参照）。FC 船は韓国から曳航してきたもので、当時は下流に橋梁が無く、桁を架設する前だったので搬入出来たが、現在はジャムナ多目的橋があるため、その上流側に計画されている鉄道橋の建設に FC 船を使うことは難しい。

3.3.3. 河道保護工（RTW）

ジャムナ多目的橋建設時に 10km 程度あった川幅を橋梁部で 4.8km にまでに狭めたために、堤防の洪水に対する危険性が增大すると考えられた。

この危険性に対処するため、RTW（River Training Work）が建設された。RTW はジャムナ多目的橋の橋台及びアプローチ部を保護するために設置されたガイドバンド（GB: Guide Band）とジャムナ多目的橋上流部（約 10km）付近の河岸を保護し、流路を固定するために設置されたハードポイント（HP）の 2 つの施設で構成されている。



出典：調査団

[図 3.3.4] ガイドバンドとハードポイントの位置図

(1) 洗掘の状況

洗掘現象は流水により生じる。洗掘深は洪水ピーク時に最も深くなるが、減水期には再び埋め戻されるために、最大ピーク洗掘深を正確にとらえることは難しい。

最も大きな洗掘は、2006年に右岸 GB 付近で発生し、洗掘深 PWD-34m が記録されている。設計条件は PWD-30m なので、それを少し超過している深さである。

BBA によれば、橋脚部の洗掘は PWD-9.5m となったことがあるが、通常は PWD-4.0m 程度である（設計上は PWD-27.0m）。

主流路は毎年の洪水の影響で変化するので、最洗掘部がどこに発生するかは特定できない。橋脚での設計上の洗掘は PWD-27m であるが、既往最大の洗掘深さが GB 付近で PWD-34m であったことを考慮すると、橋脚での洗掘深さも PWD-34m とするほうが安全ではないかと考えられる。詳細設計時にはシミュレーションもしくは、実験等により検証されるべきである。

(2) ガイドバンド (GB)

堤防及び取り付け道路の保護のために、ジャムナ多目的橋の橋台部に GB が設置された（1997年）。GB の状況は以下の通りである。

- BBA により維持管理されている（民間に委託）。
- 2006年には右岸 GB で PWD-34m の洗掘が発生した。
- 2014年には右岸 GB 上流部が損傷した（既に修復されている）。
- 現地調査により、GB は良く整備されていることが確認された。



右岸ガイドバンドより上流を望む

左岸ガイドバンドより上流を望む

出典：調査団

[図 3.3.5] ガイドバンドとハードポイントの写真

(3) ハードポイント (HP)

洪水流の浸食から河岸を守り、流路を固定するためにジャムナ多目的橋上流側の両岸に HP が設置されている。HP の維持管理状況は以下の通りである。

- 左岸のブアプール (Bhuapur) HP (1995 年完成) は BBA により維持管理されている。
- 右岸のシラジガンジ HP は BWDB により維持管理されている。
- シラジガンジ HP は、定常的に護岸の破壊がある (詳細情報なし)。
- 2007 年に両岸の HP が損傷した (既に修復されている)。
- 現地調査により、HP は良く維持管理されていることが確認された。

現地調査により、以下が確認できた。

- シラジガンジ HP では、護岸の破損に備えて碎石 (国内産のやわらかい石) が準備してある。また、護岸用に大量のコンクリートブロックを製作している。
- ブアプール HP は、現地調査時では洪水流が岸を浸食している状態であった。浸食の拡大を防ぐため、BBA が土嚢を用意し、現地の住人がそれを投入している。
- ブアプール HP では、岸から約 150m 陸側に築堤がある。表面はバラストをアスファルトで固めたもので被覆してある。高水敷には、簡易住宅が見られる。
- ブアプール HP での住民からの情報では、雨季には高水敷上 1~2m まで水位が上昇するとのことであった (堤防天端までは 2m 程度の余裕がある)。



右岸上流

左岸、補修用土嚢の蓄積状況

出典：調査団

[図 3.3.6] HP の状況

現地調査により、護岸の維持・管理は適切に行われていることが確認された。

ADB-F/S で述べられているように、既存の RTW が利用できるもので付加的な RTW は必要ないであろう。

3.4. 設計条件の整理

ADB-F/S や現地調査結果等に基づき、以下の通り新鉄道橋の設計条件を整理した。

3.4.1 平面線形

ジャムナ多目的橋建設時に、東側と西側にガイドバンド（以下、GB⁵）が建設されている。これらの GB はオランダの建設会社が建設したもので、建設後にはほとんど補修を必要とするような損傷は生じていない。今回の新鉄道橋はこの GB をそのまま利用して建設することとなる。鉄道橋はジャムナ多目的橋の GB の範囲内で、上流側、あるいは下流側に建設することとなる。

ADB-F/S では、上流側 300m の位置に鉄道橋の建設を計画している。日本の「河川管理施設等構造令」によれば、「橋脚間が当該河川の川幅以上、又は 200m 以上離れている場合は近接橋の特則は適用しない」となっている。しかしながら、これは日本のような小規模な河川を対象とした場合のことであり、バングラデシュの河川のような大規模な河川には当てはまらないようである。それは、ADB-F/S において、ジャムナ多目的橋の橋脚への下流への影響や新設橋梁のジャムナ多目的橋の橋脚への影響を検討した[図 3.4.1]と[図 3.4.2]に示すとおりである。しかしながら、ADB-F/S においても、300m 程度上流に新設橋を建設したとしても、下流のジャムナ多目的橋の橋脚には大きな影響を与えないことが示されている。このため、本調査における検討においても、ジャムナ多目的橋の上下流いずれかの 300m 位置に鉄道橋を計画することとする。なお、ADB-F/S は、新設橋梁の橋脚位置をジャムナ多目的橋と合わせた場合の検討であるため、橋脚位置を変更する場合には別途詳細な検討が必要である。

⁵ ガイドバンド（Guide Band）という河岸が脆弱なバングラデシュ特有の堤防で、橋台の後側が侵食されないように橋台を巻き込む形で湾曲させたもの。



Figure 13.13: Scour and Deposition Patterns on Sand Bar Downstream of the Existing Bangabandhu Bridge. (Pier Spacing = 100 m, Scale Length = 200 m). Flow from Top to Bottom of Image

出典：ADB-F/S

[図 3.4.1] ジャムナ多目的の橋脚による下流への影響

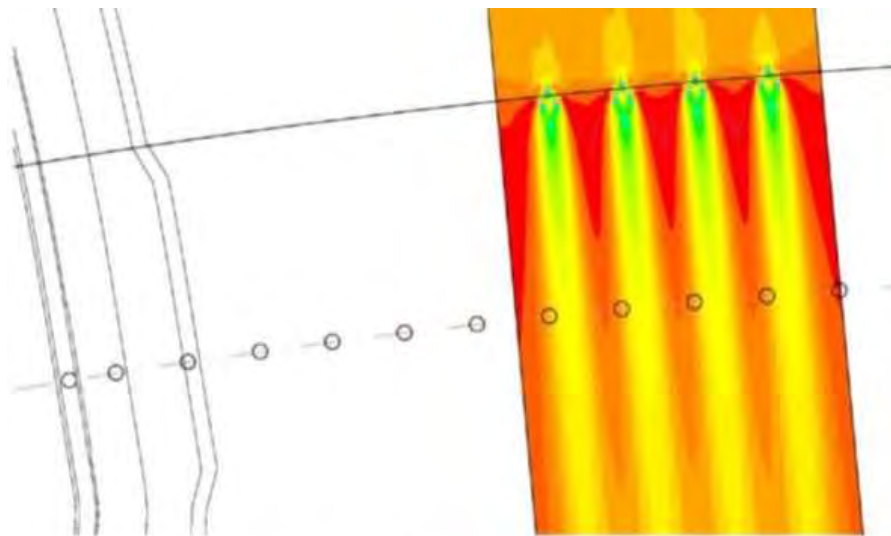


Figure 13.15: Velocity (no scale) Patterns Generated by Vertical Pile Groups Overlain on New Bridge Alignment (Near WGB with Circles Represent Existing Bridge Piers)

出典：ADB-F/S

[図 3.4.2] 300m 上流の鉄道橋の橋脚による下流橋脚への影響検討

ジャムナ川ではないが、下流方向に位置するパドマ (Padma) 川に建設されたハーディング (Harding) 橋の下流側、約 300m (270m~292m) の位置にパクシー (Lalon Shah) 橋がジャムナ多目的橋と同じ橋脚間隔で建設されたが、この橋梁は現在も健全であり、300m 上流の橋脚による悪影響は見られない。



出典：Google earth

【図 3.4.3】ハーディング橋とパクシー橋

次に、ジャムナ多目的橋の上流に新鉄道橋を計画するのか、または下流に計画するのかについて検討する。[図 3.4.4]にジャムナ多目的橋の航空写真を示す。写真の通り、半径 $R=12,000\text{m}$ の曲線橋であるが、これから解るように、西側（図の左側）の GB の長さが、ジャムナ多目的橋のすぐ下流側で終了している。このため、ジャムナ多目的橋の下流側に新鉄道橋を計画することは困難である。しかしながら、[図 3.4.3]に示すパクシー橋でも、既存 GB の切れている付近にこの橋を建設していることから、ジャムナ橋の場合でも、検討結果によっては GB の追加なしに下流側に鉄道橋を建設できる可能性はある。しかしながら、下流側（南側）に鉄道橋を建設すると、鉄道軌道が既存道路と交差するため、橋の両岸における道路と鉄道の取り付け部分で、道路が鉄道を横断することにあるため、跨線橋を建設する必要があり工費が割高になる。無理に下流側に橋梁を建設する大きなメリットもないため、そこで上流側に、ジャムナ多目的橋から、 300m の離隔距離を取った[図 3.4.4]に示す 3 案の線形について比較検討した。

第 1 案は、ADB-F/S の提案と同様であり、ジャムナ多目的橋 ($R=12,000\text{m}$) に平行に $R=12,300\text{m}$ の曲線をもつ橋梁を配置するものである。この橋梁の全長は約 $4,810\text{m}$ となる。

第 2 案は、ジャムナ多目的橋の中央部で 300m の離隔距離を確保して、新鉄道橋を直線橋とした案である。そもそもジャムナ多目的橋を曲線橋としたことについて、工学的合理性には乏しいが、聞き取り意見を集約すると、①車の運転手が、直線が長いと退屈すること、②直線であると、列車の前照灯が長い間対向車に当たり、運転手が眩しいこと、③曲線橋であると美観に優れること、の 3 つの理由がありそうである。このことから、鉄道橋であれば、直線橋にしても問題は無いはずである。第 2 案は直線であるため全長の短縮が期待できるが、GB が必ずしも平行ではないため、全長は第 1 案と同じく $4,810\text{m}$ となった。第 2 案とした場合は、[図 3.4.4]の右側の左岸側では既存の線路に接続するのに問題は無いものの、図の左、右岸側には軍関連の施設があり、その敷地を横断することは難しいため、測量に基づく詳細な軌道の線形計画が必要である。

第3案も直線橋案であるが、右岸側での軍基地との接触を避けて、右岸の取り付け点を第1案と同じにし、そのまま西側のGBへと直線を伸ばした案である。橋長が他案より長くなり、5,210mとなる。



注：(1)は曲線橋案、(2)は直線橋案、(3)は起点側を(1)案に合わせた直線橋案。

出典：Google earth

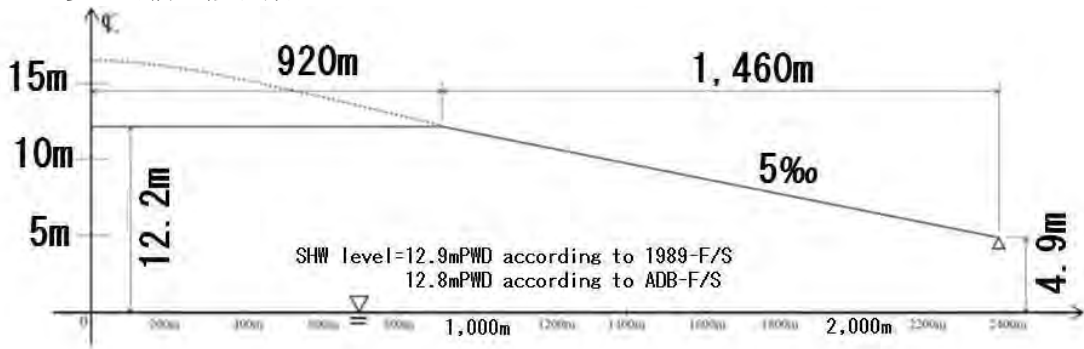
[図 3.4.4] 鉄道橋平面線形案

これらの3つの案を比較すると、第3案は橋長が長く不経済である。第1案と第2案とでは橋長が同じで工費差はほとんどない。第2案では軍関係施設を避けるために、取り付けの軌道線形を注意深く計画する必要があるのに対して、第1案ではそのような問題はない。また第1案は平面線形がジャムナ多目的橋に平行な曲線であり、ジャムナ多目的橋と並べた際にも美観的に優れている。バングラデシュ国側からも、新鉄道橋はジャムナ多目的橋と同じく曲線橋が望ましいとの意見も多かったこともあり、この第1案を平面線形として採用する。

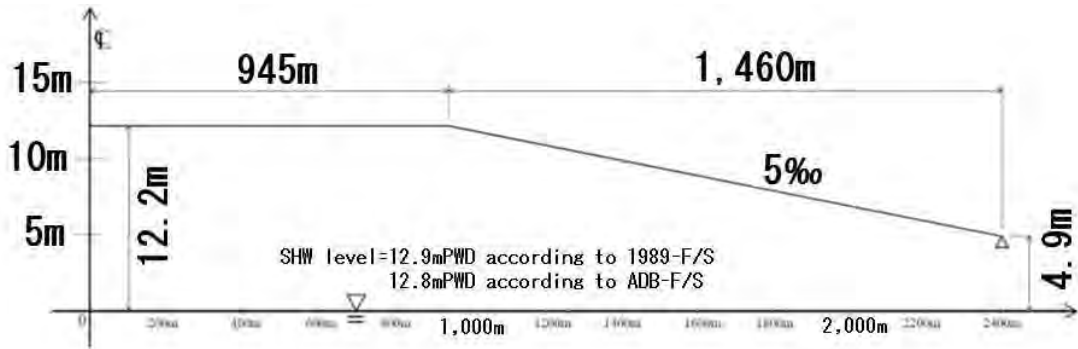
3.4.2. 縦断線形

ジャムナ多目的橋の縦断線形について、1989年8月作成の実施可能性調査（以下、1989-F/S）を調査した。1989-F/Sに基づく縦断線形と、ADB-F/S案に基づき調査団提案する縦断線形を作成して比較したものを[図 3.4.5]に示す。ここで、ADB-F/Sでは中央区間（図の945m区間）には、ジャムナ多目的橋と同様に曲線を挿入しているが、以下に説明する通り、鉄道専用橋ではこれは好ましくないため平面にしており、従って図では、「ADB-F/S案に基づき調査団が提案する縦断線形」と表記してある。

ジャムナ多目的橋の縦断線形



ADB-F/S 案に基づき調査団が提案する縦断線形



出典：ジャムナ多目的橋の F/S と ADB-F/S とから調査団が作成
 [図 3.4.5] ジャムナ多目的橋と新鉄道橋との縦断線形比較

ジャムナ川はクラスⅡの河川分類であるため（[表 3.4.1]参照）、航路幅は 76.22m（=250ft）で航路限界を 12.20m（=40ft）確保すればよいことになっている。

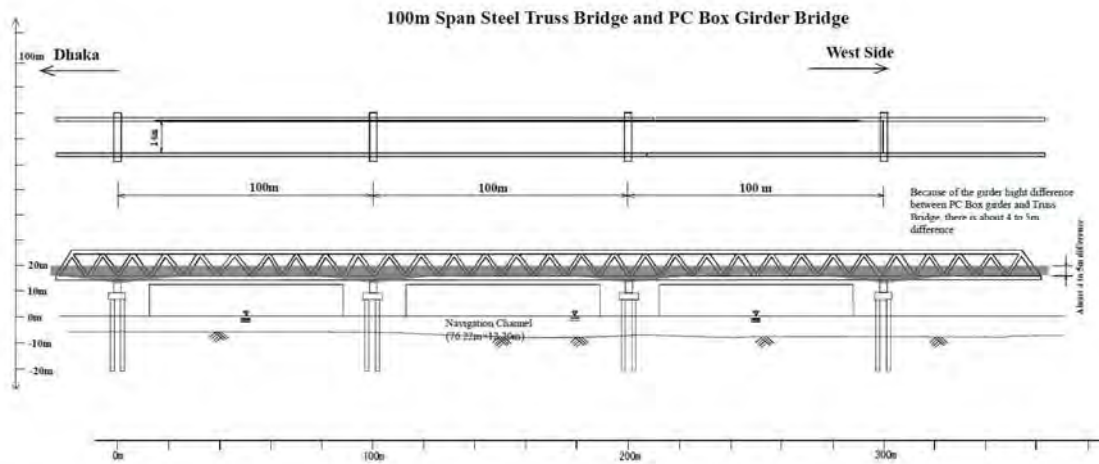
[図 3.4.5]の上段がジャムナ多目的橋 F/S にもとづいて桁下空頭を示す模式図を作成したものであるが、これによれば、中央の 920m×2=1,840m の幅の区間については 12.20m の桁下空頭を確保しており、そこから両岸に向かって 5‰（=0.5%）で下り、両岸の位置で桁下空頭が 4.90m となっている。図の点線は、中央部の 1,840m 区間を縦断線形として直線ではなく上方に曲線を挿入したものである。これについては、ジャムナ多目的橋 F/S の E.1-4 ページに、「当初は中央の 1.8km 区間を水平な縦断線形を予定していたが、後に曲線に変更した」と書かれている。ジャムナ多目的橋の完成図では中央部分 1880m（940m×2）について、両端部で 5‰となる円曲線（R=188,002.35m）を挿入している。このため中央部分で 2.35m 路面が高くなっている。中央部の 1.8km 区間を曲線にしたため、ジャムナ多目的橋では中央部がクラスⅡの規定の 12.2m より高くなっている。このことは、現地で BBA 担当者の、「橋梁中央部に 15.5m×76m の航路空間が確保されている」との発言と一致している。

次に、新鉄道橋では、ジャムナ多目的橋に合わせて橋梁中央部分の桁下空頭を 15.5m 確保する必要は無いこと（クラスⅡの 12.2m が確保できればよい）と、鉄道の縦断線形を計画する場合に、連続した登り勾配を長い距離とることを極力避けることとなっていることから、ADB-F/S が提案する縦断線形（ADB-F/S ではジャムナ多目的橋と縦断を合わせるとしている）を修正して、中央区間には曲線を挿入しないこととした。修正した縦断線形の模式図を[図 3.4.5]の下段に示す。図の通り、両岸の取り付け部分の 5‰の勾配部分をジャムナ多目的橋と一致させ、中央部分につい

では、ジャムナ多目的橋より、少し橋長が長くなっているために、水平部分の長さがジャムナ多目的橋 1,880m より若干長い 1,890m となる。

ここで、ジャムナ多目的橋も新鉄道橋も、橋の中央区間の約 1.8km 区間については、乾季には砂州の内側になってしまい、仮に将来クラスⅡぎりぎりの船舶が通行しようとした場合には通行できなくなる恐れがある。ただし、現在のところ大型の船舶は通行していないために、乾季には砂州の両側の空頭が小さい区間を通行可能で、問題とはなっていない。航行を所管する BIWTA によれば、将来を見越して、橋の全長に渡ってクラスⅡが確保されているのが望ましいとの聞き取り結果であった（3.2.1.参照）。下段の図で、提案する線形が平面と 5‰の 2 つの直線の折れ線になっているが、線路の縦断線形では、不連続点の前後に半径 10,000m の縦断曲線を入れることになる。

これに対して、構造形式を変更して、航路限界上端位置から橋面までの距離を短くすることで中央部の平面区間を延長することも可能である。具体的には、ADB-F/S では PC 箱桁を提案しているためこの距離が約 5m あるが、これを下路形式の桁を採用することで 1m 以内に短縮することができる。このためもし路面位置を PC 箱桁橋と鋼トラス橋とで同じとするならば、中央部の平面区間を延長することが可能である。



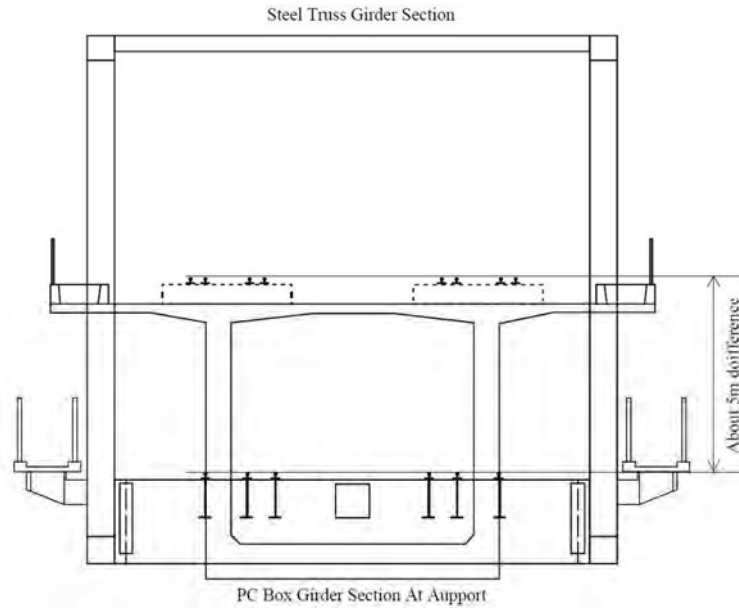
出典：ADB-F/S

[図 3.4.6] 航路限界上端位置から橋面までの距離の差

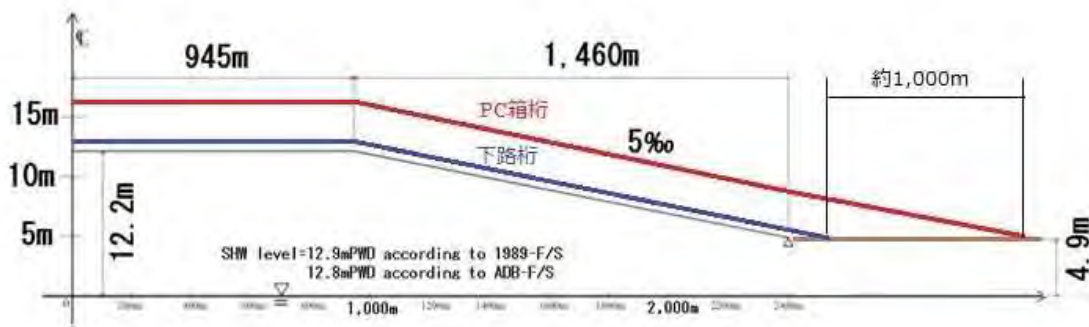
しかし、ジャムナ多目的橋の航路幅が約 1.8km となっているために、新鉄道橋だけ航路幅を拡大しても意味が無いことから、新鉄道橋の航路幅を桁の構造形式にかかわらず、上記の通り 1,890m とすることを提案する。

ただし、下路形式の桁を採用すれば、両岸部における橋面位置が ADB-F/S 提案の PC 箱桁よりも 5m 近く下になることから、現在、地上部の軌道と高低差を調整するために建設してある高架区間と盛土区間が両岸合計で約 2km 程度短縮することができ、その分の建設費が削減されることになる（[図 3.4.7]参照）。

1. 断面図



2. 側面図



出典：調査団

[図 3.4.7] 桁の構造形式の違いによるレールレベルの差の影響

3.4.3. 水理条件

(1) 水理諸元

新鉄道橋はジャムナ多目的橋の上流約 300m と近いので、ジャムナ多目的橋計画（1998 年）に適用された水理条件をそのまま用いることができるであろう。詳細を以下に示す。

- 計画流量（100 年確率） 91,000 m³/s
- 計画水位（100 年確率） PWD+15.50m
- 標準高水位（SHWL） PWD+12.80m
- 標準低水位（SLWL） PWD+6.30m
- 最大洗掘深 PWD -32.0m
- 最大流速 3.3 m/s

「解説・河川管理施設等構造令」（日本河川協会）によれば、上下流の橋脚間の距離が 200m 以上離れている場合には、近接橋とはならない。すなわち、新鉄道橋の建設がジャムナ多目的橋へ水理学的影響を及ぼさないとみなされている。

しかし、ジャムナ川の水理は非常に複雑であり、新鉄道橋の建設が下流のジャムナ多目的橋にどのように影響するか、詳細設計時に、より詳細な水理学的検討を行って確認する必要がある。

(2) 航路のクリアランス

橋梁の桁下高さは、舟運のない河川や航路部以外の区間では設計洪水位を対象に計画され、舟運のある河川では通過船舶用のクリアランスを考慮して決定される。

BIWTA は、航路の安全のために基準（Bridge Design Standards for Roads & Highways Department）を定めており、バガバリ（Baghabari）より上流に位置する建設予定地の区間はクラス II に分類されている（[表 3.4.1]参照）。舟運のためには少なくとも 1 スパンは基準を満たさなければならない。なお、橋梁の余裕高さは SHWL を基準としている。

[表 3.4.1] 必要航路幅と桁下高

航路クラス	航路幅 (m)	SHWL 上の必要桁下高 (m)
クラス I	76.22	18.30
クラス II	76.22	12.20
クラス III	30.48	7.62
クラス IV	20.00	5.00

注：[表 3.2.1]と同じ。

出典：Bridge Design Standards for Roads & Highways Department, BIWTA, 1991

新鉄道橋では、桁下高は SHWL より上に 12.2m 以上の余裕、航路幅は 1 スパン以上で 76.22m 以上が確保される必要がある。

砂州の位置及び深さは不規則に変化しており、現状では特定することは出来ない。また、新鉄道橋の 300m 下流には、ジャムナ多目的橋があるので、航路に関する整合性を考慮する必要がある。即ち、高さに関しては SHWL+12.2m を満足するよう計画されれば問題ない。

次に、新鉄道橋とジャムナ多目的橋との橋脚の位置関係については、流線方向に対して斜めに航行するよう規定することは安全上望ましくないため、少なくとも 1 スパンは幅 76.22m 上（流線方向に見て）にはどちらの橋脚もないことが必要。ただし、ここを航路に指定し、浚渫等を行って航路維持することに関しては、BIWTA の運用の問題である。

(3) 護岸のクリアランス

GB の計画高さは PWD+16.5m で、これは計画高水位⁶（100 年超過確率）である PWD+15.5 m に余裕高さ 1.0m を加えたものとなっている。

⁶ 計画高水位とは、採用された計画規模（100 年とか 500 年とか）に対して超過確率計算を行って XX 年対応の水位を決定する（長期の年最高日水位データを用いる）。これに対して、BIWTA が言う SHWL とは、(ADB-F/S, vol.1, p 8-8) で示されているように、（当該地点は非感潮区間であることから）2 週間平均洪水位の 5%超過確率（すなわち 20 年確率）を計算して SHWL としている。ただし、この水位は、長期間平均の年 18 位水位（年間で 18 番目に高い水位）を超える程度であるという記述があるので、年 18 位水位の平均で代用されるのかもしれない。

3.4.4 設計体系

(1) 設計コンセプト

日本の鉄道橋設計では従来許容応力度法に則って設計していたが、1983年の改定で限界状態設計法に、1999年以降は限界状態設計法を基本とした性能照査法に改定された。ここでは、限界状態として、終局限界状態（断面破壊の限界状態、剛体安定の限界状態、変位・変形の限界状態、メカニズムの限界状態）、使用限界状態および疲労限界状態に区分することを原則とし、安全係数（構造物係数、荷重係数、材料係数、部材係数、構造解析係数）と修正係数（荷重修正係数、材料修正係数）を定めて、それぞれの限界状態に対する安全性の照査を行う方法を採用している。耐震性能については、これとは別に特別の規定が設けられ、従来の震度法ではなく、動的解析法または静的解析法（非線形応答スペクトル法）によることとしている。

他方、バングラデシュで適用されている AASHTO では、荷重耐力係数設計法（LRFD : Load and Resistance Factor Design）が採用されており、ほぼ日本の鉄道橋設計と同様の設計思想を採用している。ただし、AASHTO は道路橋についての示方書であり、鉄道橋に適用する場合は、その他の鉄道基準を追加することを求めている。

(2) 荷重体系

日本の鉄道橋設計に用いる荷重は、死荷重、列車荷重、衝撃、遠心荷重、車両横荷重および車輪横圧荷重、制動荷重および始動荷重、軌道作業車荷重、群集荷重、ロングレール縦荷重、（コンクリートの場合は、プレストレスト荷重、乾燥収縮およびクリープの影響）、温度変化の影響、土圧、流水力および波力、風荷重、雪荷重、地震の影響、地盤変位および支点移動の影響、施工時荷重、その他荷重である。

バングラデシュで適用されている AASHTO は死荷重、活荷重、車両制動荷重、車両遠心力、車両衝突荷重、船舶衝突荷重、群衆荷重、流水力、風荷重、地震力等を考慮している。これらは自動車荷重に関する規定であって、鉄道荷重が同時に載荷される場合には、発注者が鉄道荷重を定義することを求めている。新鉄道橋では、自動車荷重は無いため、バングラデシュで定義されている鉄道荷重のみを考慮する必要がある。

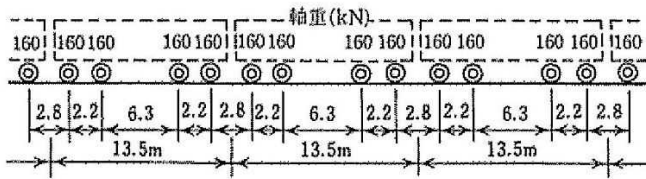
(3) 活荷重

活荷重とは構造物を設計する場合に用いられる荷重の種類の一つで、鉄道においては列車荷重などがこれに当たる⁷。

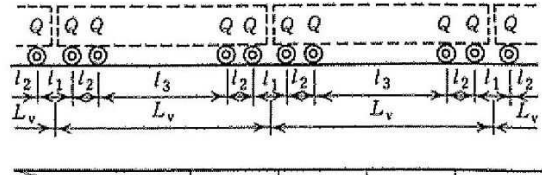
日本の鉄道設計に用いる活荷重は検討する限界状態によって異なるが、標準列車荷重としては [図 3.4.8] を用いている。

⁷ 出典：鉄道技術用語辞典（鉄道総合研究所）

(1) NP 荷重 (新幹線荷重)



(a) N標準活荷重



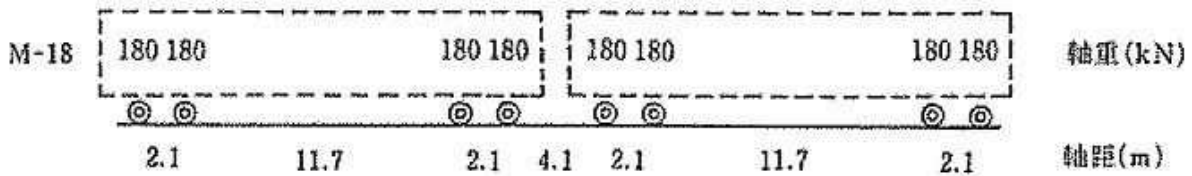
軸重 Q (kN)	長さ (m)	L_v	l_1	l_2	l_3
160		20.0	2.8	2.2	12.8
170		20.0	3.5	2.2	12.1

(b) P標準活荷重

(2) EA 荷重 (機関車荷重)

	(kN)											(kN/m)		(kN)			
E-10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	29	A-10	76	112	112
E-11	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	32	A-11	84	123	123
E-12	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	35	A-12	92	134	134
E-13	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	38	A-13	99	145	145
E-14	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	41	A-14	107	156	156
E-15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	44	A-15	115	168	168
E-16	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	47	A-16	122	179	179
E-17	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	50	A-17	130	190	190

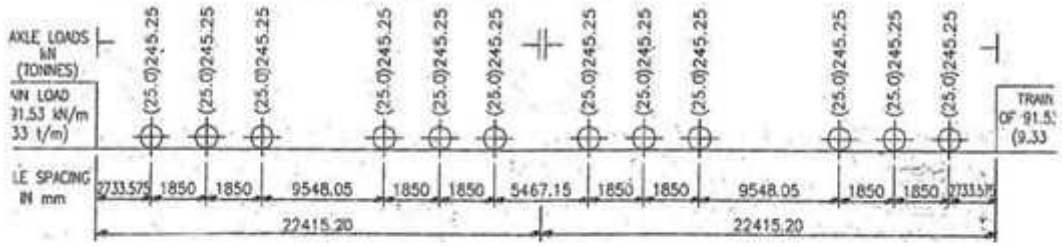
(3) M 荷重 (電車と気動車)



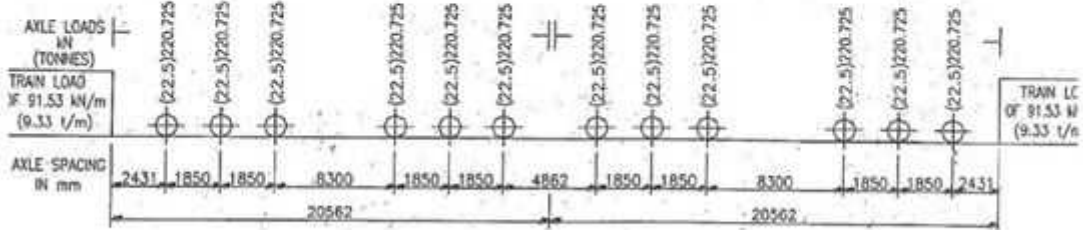
出典：建造物設計標準 (鉄道総合研究所)
 [図 3.4.8] 日本の列車荷重 (NP 荷重)

バングラデシュでは基本的にインド規格の列車荷重を使用しており、具体的には[図 3.4.9]を用いている。

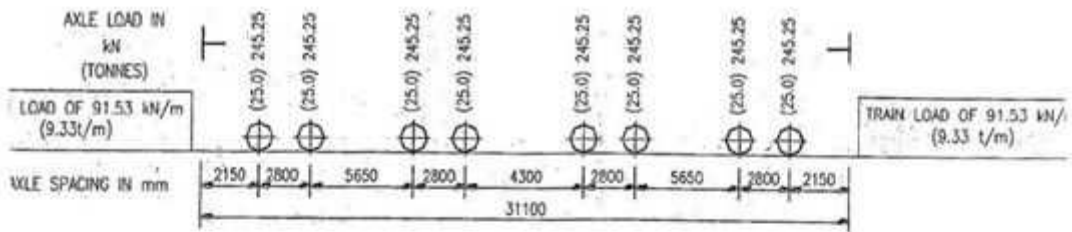
COMBINATION-1: DOUBLE HEADED DIESEL LOCO



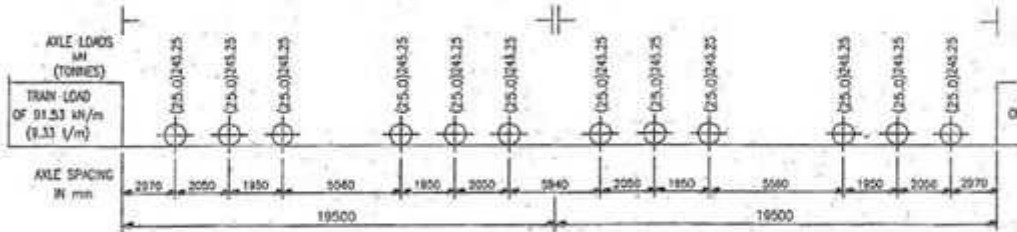
COMBINATION-2: DOUBLE HEADED ELECTRIC LOCO (2 WAG9H)



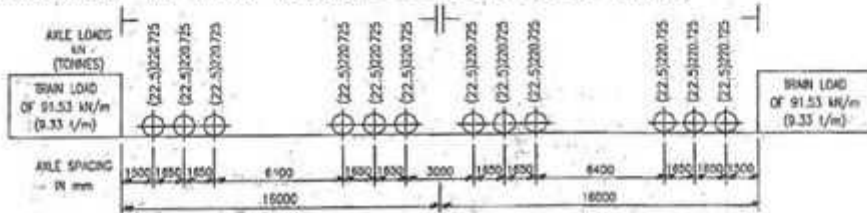
COMBINATION-3: ELECTRIC LOCO [(Bo-Bo)+(Bo-Bo)]



COMBINATION-4: WITH DOUBLE HEADED 25t LOCO



COMBINATION-5: WITH DOUBLE HEADED 22.5t LOCO



出典：BR

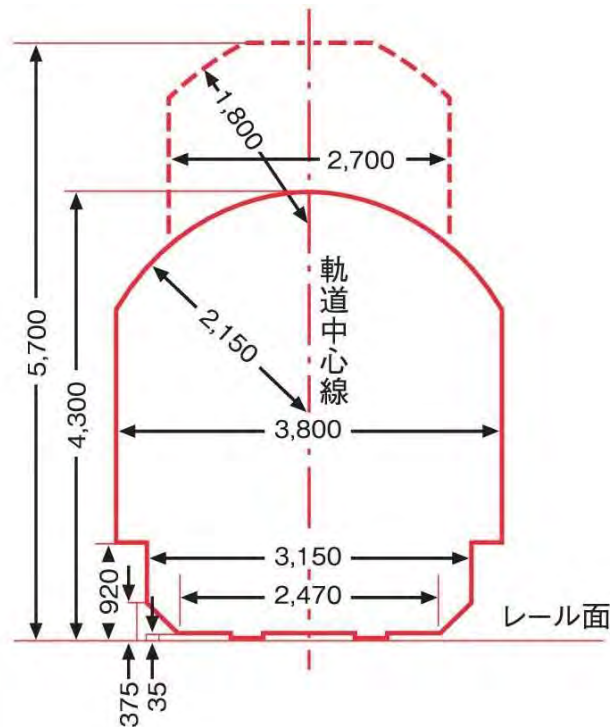
【図 3.4.9】 バングラデシュの列車荷重

(4) 建築限界

建築限界とは、鉄道車両を安全に運行するため、車両にいかなるものも触れないよう、施設のいかなる部分も侵すことが許されないものとして、軌道上に確保された空間の境界線。車両が直線上に静止した状態での車両断面の最大寸法である車両限界に、車両のばね等による変位に対し

て、電化区間においては感電に対しても安全になるように、相当の余裕をもって決める。また、曲線区間では、車両の曲線偏り分だけ拡大し、カント量に応じて傾けて設定する⁸。

日本の鉄道設計に用いる建築限界は、基本的には国土交通省の定める下で鉄道運行者毎に変えることができる（平成 14 年 3 月 31 日付け国土交通省令「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」）。また、在来線と新幹線とでも異なるが、[図 3.4.10]は JR が使っている在来線の建築限界である。



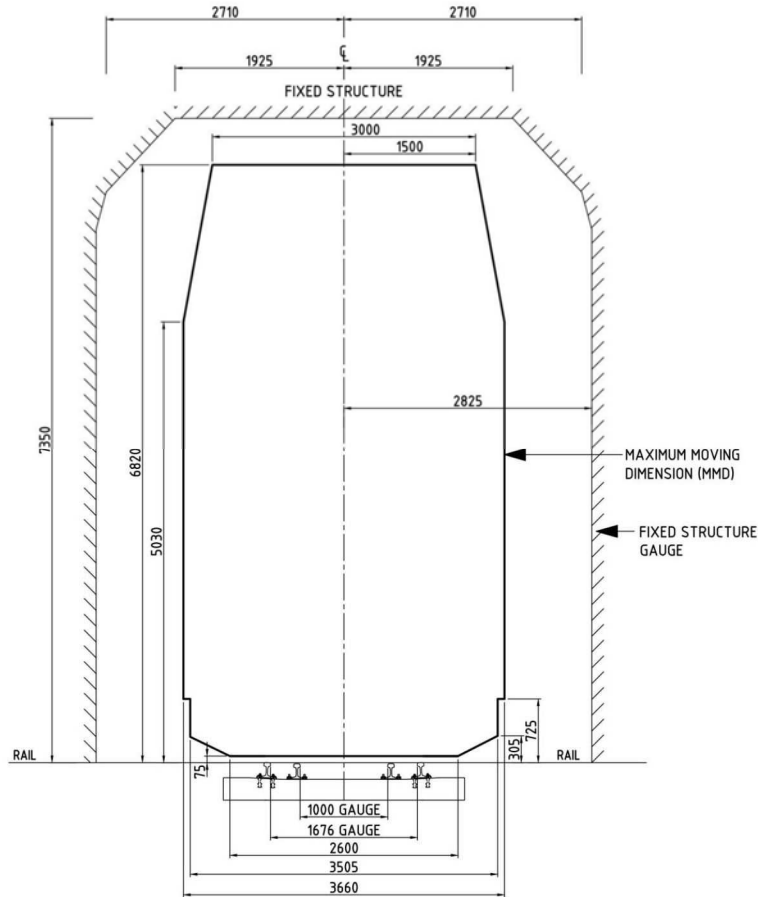
注：実線が基礎限界で、破線が架空電車線から直流の電気の供給を受けて運転する線路における架空電車線並びにその懸垂装置及び絶縁補強材以外のものに対する限界。

出典：新生テクノスウェブサイト

[図 3.4.10] JR の建築限界（在来線）

バングラデシュで適用されているインド鉄道基準は[図 3.4.11]のとおりである。ただし、将来、インドの貨物専用線（DFC）で使用する二段積みコンテナ列車を運行する場合や、新鉄道橋が位置する線区を電化する場合には、それぞれの使用状態に応じた建築限界を設定する必要があるもので、詳細設計段階で検討すべきである。

⁸ 出典：鉄道技術用語辞典（鉄道総合研究所）



出典：ADB-F/S

[図 3.4.11] バングラデシュの建築限界

3.5. 積算条件の整理

3.5.1. 施工条件

(1) 建設機材の搬入路

新鉄道橋の建設予定地は海から 300km 程度さかのぼった位置にある。またダッカからも陸路で 100km 程度離れた位置にあるため、資機材の輸送にかなりの困難を伴う。現在、下流にパドマ橋を建設中であり、この橋梁は BIWTA の分類によるとカテゴリー I の河川に架かる橋梁であるため、航路高さ 18.3m を確保しているが、ジャムナ多目的橋はカテゴリー II の河川区間のため 12.2m の航路高さを確保している。

ジャムナ多目的橋の建設時にはパドマ橋はまだ無く、他の橋梁も無かったため、海側から河川をさかのぼって、大型の FC (Floating Crane) 船等を回航することも可能であった。このため、ジャムナ多目的橋の基礎工のパイルキャップの施工には 250 トン吊り FC 船を使用している。しかしながら、新鉄道橋は、ジャムナ多目的橋やパドマ橋の上流に位置するため、背の高い FC 船を回航することはほぼ不可能である。このため、大型のクローラークレーン (500 トン吊り等) を現場で使うためには、これを分解して台船に載せて建設現場に搬入し、組立用の 25 トントラッククレーン等を使って現地で組み立てる必要がある。

(2) 建設資材の入手

バングラデシュでコンクリート構造物を建設する場合、骨材の調達が問題となる。バングラデシュ国内には良質の粗骨材（強度の高い）を産出しないようであり、インドやミャンマーなどの近隣国から輸入しているようである。碎石の輸入は容易ではないので、他の大規模工事ではどのようにしているかをよく調査する必要がある。バングラデシュでは粗骨材の入手が困難であるために、コンクリートの単価が高くなっているようである。

バングラデシュは河川が運んできた土砂でできている国であるため、細骨材の入手は容易であるように思えるが、土砂にはシルト質が含まれているため注意が必要である。良質な細骨材を得るためには、シルト質を除去しなければならない可能性がある。

(3) 建設ヤード

新鉄道橋の建設位置は郊外であり、兩岸にはガイドバンドを建設したときに出来た広大な敷地がある。これはジャムナ多目的橋建設時に建設資機材置き場や労働者の宿营地として使用されたようである。現在はその一部に公園や橋梁の管理者である BBA の管理事務所、宿舍等がある。ガイドバンド付近の敷地は、建設資機材置き場や鋼材の仮組み立ての場所として利用することが可能である。

(4) 建設労働者

一般労働者の雇用について、バングラデシュは人口が多く、ジャムナ多目的橋の建設時にも多くの労働者を雇用しているが、BBA の説明によれば、特に労働者の雇用に問題があったという話は聞かなかったことから、問題は無いものと思われる。

現地での日本業者からの聞き取り調査によると、バングラデシュの国内業者による地質調査や測量調査の品質については、残念ながらその精度は信頼できないとのことであった。また現地の技術者については、有能な技術者は海外に出ようとする傾向があり、国内に残っているのは、若い未経験な技術者と年配の技術者が多く、その中間の有能な働き盛りの技術者の雇用は難しいとのことであった。

3.5.2. 類似工事の状況

現在、バングラデシュでは、建設場所はダッカ近郊ではあるが、円借款「カチプール・メグナ・グムティ第 2 橋建設及び既存橋改修事業」（以下、「KMG3 橋」という。）の建設工事が始まるようとしている。新鉄道橋を計画する場合の資機材等の調達については、これらの工事が参考となる。またパドマ橋もバングラデシュ政府予算で建設中であり、この橋の建設についても、今後どのような工法が採用されるか、また、鋼上部工の輸送方法や架設工法なども参考にすることが出来るが、現段階ではいずれも施工段階に入っておらず本調査の参考にすることはできなかった。

パドマ橋では、ジャムナ多目的橋と同じく、下部工に大口径斜杭が採用されており、施工には中国の建設業者が選定されている。ジャムナ多目的橋では大口径斜杭の支持力確認に問題があったことを本調査の第 4 章で指摘しているが、パドマ橋についても、今後の施工段階で支持力確認

作業を実施するか否かを確認する必要がある。

また、パドマ橋の上部工の構造形式はダブルデッキの鋼トラス橋であることから、新鉄道橋が鋼トラス橋を採用する場合には、パドマ橋の施工段階で施工方法を確認することで、新鉄道橋の工事計画立案の参考とすることが出来る。ただし、パドマ橋の建設地点の下流には高さ制限のある橋梁がないため、パドマ橋ではある程度大型の FC 船を使用することが可能である。

KMG3 橋では、鋼管井筒矢板基礎 (SPSP-F) が採用されており、新鉄道橋が SPSP-F を採用する場合には施工計画立案の参考と出来る。ただし、KMG3 橋では、ジャムナ多目的橋の補強にも SPSP-F を採用しているため、例えば高さ制限など施工上の制約条件が厳しく、特殊な機材を使う必要があるため、それが主な原因となり基礎工事の費用が新鉄道橋よりも高くなっている。

3.5.3. 建設物価

第 6 章の工事費概算に用いる建設物価については、本調査で BR より、バングラデシュで積算に用いる建設資材の単価表 ([別添 3.5.1]参照) を入手しており、それから推定することとした。代表的なバングラデシュの労務、資材単価を[表 3.5.1]に示す。

[表 3.5.1] 代表的なバングラデシュの資材単価抜粋と日本の単価との比較

バングラデシュ価格				日本価格(建設物価(2015年9月東京))		
種類	単位数量	単価(タカ)	円換算単価(円)	種類	単位数量	単価(円)
現場監督	人日	567	907	土木世話役	人日	32,800
塗装工	人日	423	677	塗装工	人日	35,700
溶接工	人日	423	677	溶接工	人日	38,200
重機操作者	人日	423	677	運転手(特殊)	人日	30,400
ポルトランドセメント	50kg 袋	470	752	ポルトランドセメント	25kg 袋×2	880
19mm 低質砕石	m ³	5,370	8,593	5~20mm 砕石	m ³	4,150
12mm 低質砕石	m ³	5,000	8,000			

注：円換算は 1.6 円/タカとした。

出典：BR

[表 3.5.1]より、バングラデシュでは労務費は日本よりもはるかに安い、セメントの価格は日本とほぼ同様、骨材の価格は日本の倍程度となっている。このことから、バングラデシュでは、品質の保証されたコンクリートの入手は非常に高価となることが解る。

以上の検討結果より、本調査の工事費概算で用いる単価を[表 3.5.2]の通り想定した。計算根拠については 6.1 と 6.2 とを参照のこと。

[表 3.5.2] 工事費概算に用いた単価

	単位	単価 (百万円)
PC 箱桁橋	百万円/m	3.8940
鋼管打ち込み斜杭基礎	百万円/基	879.0000
鋼トラス橋	百万円/m	5.3357
SPSP-F	百万円/基	698.0000

出典：調査団

第 4 章 橋梁形式の選定 (Step 1)

4.1. 上部工形式の選定

構造形式を決定する最も大きな要因は径間（スパン）長である。最適径間（スパン）長がいくらになるかについては、地盤条件、基礎工形式等が複雑に影響するので一概には言えないが、過去の実績などから、ある程度の幅を持って考えた場合、概ね以下の関係が目安とされている。

$$\text{最適径間長} : L = (1.0 \sim 2.0) \times H \cdots \cdots \cdots \text{[式 4.1.1]}$$

ここに、 H =橋脚高+1/3(基礎構造の根入れ深さ)である。

これを新鉄道橋に当てはめると、橋脚高さは、鋼管矢板基礎の場合に 31m で、基礎構造の根入れ深さは、鋼管矢板基礎やケーソン基礎の場合で約 30~50m であることから、概ね以下の値が最適径間長となる。

$$\begin{aligned} L &= (1.0 \sim 2.0) \times H \\ &= (1.0 \sim 2.0) \times (\text{橋脚高} + 1/3(\text{基礎構造の根入れ深さ})) \\ &= (1.0 \sim 2.0) \times (31\text{m} + 1/3(30 \sim 50\text{m})) = \text{約 } 50\text{m} \sim 100\text{m} \end{aligned}$$

次に、航路限界、洗掘深など、総合的な条件を踏まえて最適径間長を修正する。洗掘時には橋脚高 55m 程度になり、基礎長が 5~25m となるとすると、その 1/3 の約 10m を値入深さとする、最適径間長は以下ようになる。

$$\begin{aligned} L &= (1.0 \sim 2.0) \times (\text{橋脚高} + 1/3(\text{基礎構造の根入れ深さ})) \\ &= (1.0 \sim 2.0) \times (55\text{m} + 10\text{m}) = \text{約 } 65 \sim 130\text{m} \end{aligned}$$

以上より、洗掘を考慮しない場合と考慮した場合の 2 つのケースの試算から、最適径間長は約 50m~130m と考えられる。このスパン長を基本にして、下記事項に留意しながら最適な構造形式の選定を行う。

- (1) 上部工と下部工との構造形式の最適組み合わせによる総合評価：上部工が軽ければ下部工の規模は小さくなる。スパンが長くなれば桁単価は上がるが下部工の数は少なくてよい。
- (2) 維持管理費用を含む LCC（生涯費用：Life Cycle Cost）を考慮
- (3) 品質管理の容易性を念頭に施工方法を含めた評価
- (4) 施工工期の長短による工事費比較
- (5) 自然環境条件による制約を考慮（雨季、乾季）
- (6) 軌道の維持管理の難易度を考慮

また、当該構造形式の鉄道橋への適用実績の多寡も考慮する。ジャムナ多目的橋上の単線軌道は列車の軸重が 16 トンに、運転速度も 10~20km/h に制限されており、鉄道輸送ルートボトルネックとなっているため、1 日も早い新鉄道橋の開通が望まれている。このため、工期の短縮が構造形式選定の大きなウエイトを占めることになる。

4.1.1. 上部工形式の抽出

日本で一般的に鉄道専用橋に採用されている構造形式とその特徴を[表 4.1.1]に示す。

[表 4.1.1] 適用可能な上部工構造形式

桁	橋種	概要と評価の理由	概略評価	
上部工	鋼	トラス橋	長スパン（50m 以上）の鉄道橋において、下部工を含めた橋梁全体で考えた場合に経済性が最も優れる可能性の高い構造。	◎
		アーチ橋	景観性に富むが、経済性はトラス橋よりやや劣る。	○
		斜張橋	長スパンの橋梁に適用できるが、工費は高い。水深の深い部分が常に動いているジャムナ川では、斜張橋位置を決めることが困難であり、この形式を採用するメリットが少ない。	×
	コンクリート	PC 箱桁橋	長スパンの橋梁における上部工の工費では、最も経済性が高い構造。100m 程度のスパン長まで適用可能。適用に当っては、下部工も含めた経済性の検討が必要。	◎
		斜張橋	水深の深い箇所のスパン長を長くすることが可能であるが、スパン長が長くなると工費が非常に高くなる。ジャムナ川は水深の深い部分が常に動いているため、斜張橋位置を決めることが困難であり、この形式を採用するメリットが少ない。振動が大きくなることが多く、鉄道橋での実績は少ない。	×
		エクストラードーズド橋	斜張橋と PC 桁との中間的構造である、斜張橋に比べて主桁の剛性が高いため、主塔高さを低くすることが可能で、たわみも小さい。PC 箱桁橋と比較するとスパン長を長くすることが可能であるが、経済性に劣る。	△

出典：調査団

なお、日本では長スパンの鉄道橋はほぼ全て鋼橋であったが、山陽新幹線建設頃から、騒音・振動問題への対策のために PC 橋の採用が開始された。従って、日本では、騒音・振動問題が無い場合には鋼橋が採用されるのが一般的である。また、鋼橋の場合には、橋梁の耐用年数経過後に鋼材として利用できるため残存価値が大きい点、橋梁取替え工事の際に旧橋の撤去費用も小さくなる利点がある。[表 4.1.1]より、以下では主に鋼トラス橋と PC 箱桁橋とを比較検討の対象に選定する。ここに、PC 箱桁橋については、ADB-F/S で提案された諸元をもとに比較検討の材料とする。なお、以下では、参考までに、鋼トラス橋のバリエーションとして鋼斜張橋案についても比較検討してみた。

(1) PC 箱桁橋の場合

PC 箱桁橋を架設する代表的架設工法としては、バランストカンチレバー工法（張出し工法）と架設桁によるスパンバイスパン工法、P&Z (Polensky Zöllner) 工法の 3 種類がある。PC 箱桁橋のバランストカンチレバー工法の例を[図 4.1.1]に示す。

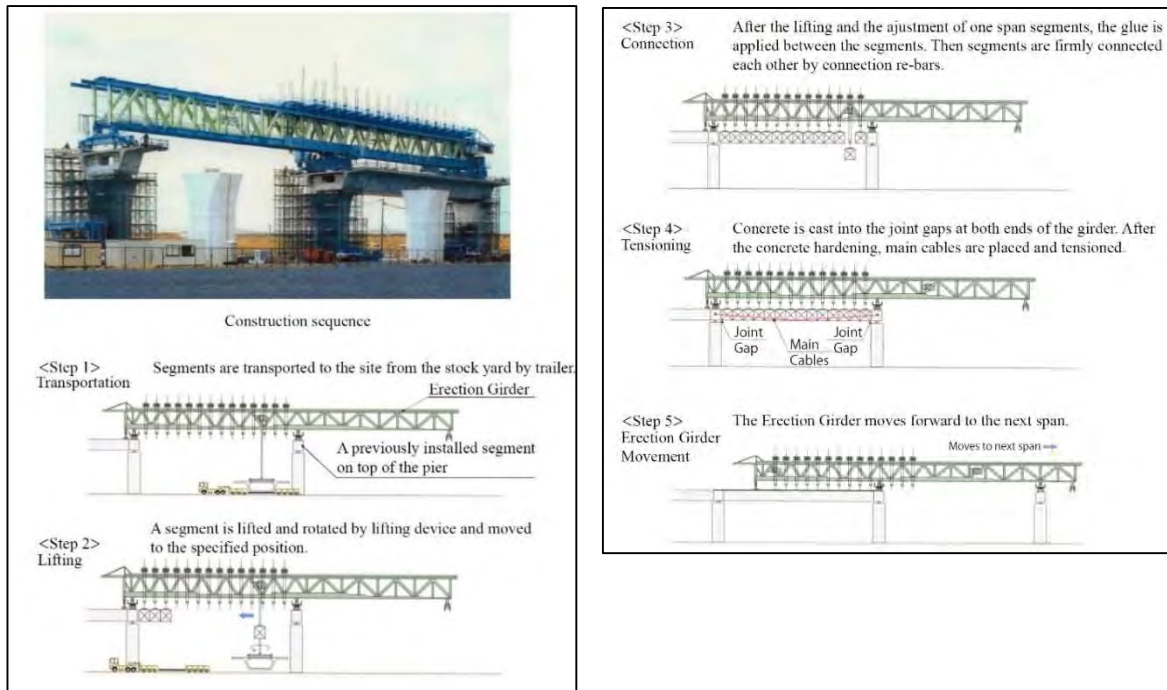


出典：清水建設ウェブサイト

[図 4.1.1] バランスドカンチレバー工法による道路橋の架設状況

バランスドカンチレバー工法では、4.5m 程度の長さのセグメントブロックを、架設桁（ワーゲン）を使用して現場で製作する。コンクリートが硬化してから PC ケーブルの緊張を行い、その後でワーゲンを前進させ、次のセグメントブロックを製作するという手順をとるため、仮設備は少なく済む利点があるが、架設工期が長くなるのが欠点である。

PC 箱桁橋のスパンバイスパン工法による架設サイクルを[図 4.1.2]に示す。プレキャストセグメントをストックヤードから工事現場にトレーラーで搬入し、搬入されたセグメントは架設ガーダーにより一つ一つ吊り上げられ、次に 1 スパン分のセグメントが剛結される。以下の写真は日本に於ける長島高架橋のスパンバイスパン工法による架設の様相である。



出典：http://www.nipponps.co.jp/kasetsukouhou-supanbai.htm を調査団が加工
 [図 4.1.2] スパンバイスパン工法による架設工程

スパンバイスパン工法で架設する場合、プレキャストセグメントを工事現場とは別の場所でまとめて製作し、これを順次工事現場まで搬入することになる。そのため、スパンバイスパン工法は架設速度が速いことに特徴があり、1 スパン分の箱桁を架設するサイクルはグロスで約 8 日、ネットでは 12 日である (8 日÷0.7 (効率) ≒12)。

欠点としては、スパンバイスパン工法の場合、コンクリート桁 1 スパン分の全重量を架設桁で支持する必要があるため、スパンが 60m 程度までしか適用できないことである。これ以上の長さになると、バランスドカンチレバー工法と同様に、橋脚から左右にセグメントを伸ばしていく P&Z 工法による必要がある。

P&Z 工法では、1 セグメントごとに PC ケーブルで固定してゆく必要があるため、1 スパンの架設に 1 カ月程度の日数が必要となる。実際に P&Z 工法により施工されたジャムナ既存橋の架設状況を [図 4.1.3] に示す。この橋梁では、セグメントの架設地点までの運搬を、既に架設が済んだ桁の上を経由しているために、工期の長さを決めるクリティカルパスは、セグメント輸送時間となる可能性がある。



出典 : http://www.panoramio.com/user/703267?comment_page=1&photo_page=3&show=best

[図 4.1.3] P&Z 工法によるジャムナ多目的橋の架設の状況

ADB-F/S の提案では、架設工法としてバランスドカンチレバー工法を選定している。このため今回の工期の比較においては、PC 箱桁橋の架設工法としてはこの工法を用いて、工期を算出する。バランスドカンチレバー工法は架設桁 (ワーゲン) を多数用意すればするほど工期が短くなるため、適切な工期の算出には適切な数のワーゲン数の設定が重要となる (ワーゲン数を増やせば工費が上昇するため)。

(2) 鋼トラス橋の場合

連続鋼トラス橋の代表的架設工法としては、送り出し工法 ([図 4.1.4]参照)、単材架設による張り出し架設工法 ([図 4.1.5]参照) と、大ブロック架設工法 ([図 4.1.6]参照) の 3 種類がある。

4.8km の橋長の橋梁を、送り出し工法により桁を両側から送り出すとすれば、送り出し長は

4.8km/2=2.4km と大きくなる。2.4km を送り出すことは不可能ではないが、桁を送り出す場合、支承より上の高さの位置で橋梁全体を支持しながら送り出す必要があるため、各橋脚位置において支持のための仮設備が必要となり、長距離を送り出す場合には、仮設備の数が非常に多くなり煩雑になる。

これに対して、単材張り出し架設にすれば仮設備の数が少なくて済む。また橋脚の施工が完了次第、桁を架設できるので、両岸から河川中央に向かって橋脚の建設を進めれば、それを追いかける形で鋼トラス橋を架設して行くことが可能であり、工期を短縮することが可能である。



出典：http://www.oxjack.co.jp/modules/example/index.php?op=productview&product_id=5

【図 4.1.4】 トラス桁の送り出し架設の状況



出典：(株)横河ブリッジホールディングス・ウェブサイト

【図 4.1.5】 与島橋単材張り出し架設

大ブロック架設は1スパン分の鋼トラス桁を台船の上に載せ、架設地点に曳航し、架設地点で、FC船（浮きクレーン船）を用いて、大ブロックを吊りあげて架設する工法である。架設現場が海の場合には、潮位差により台船が上下することを利用して架設することも可能である。



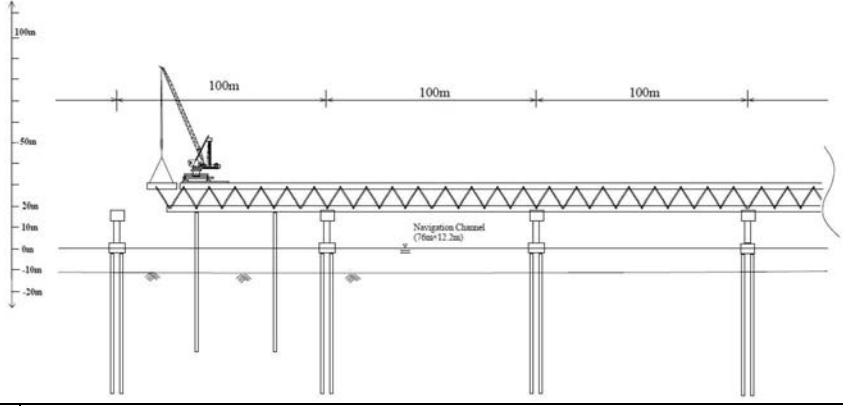
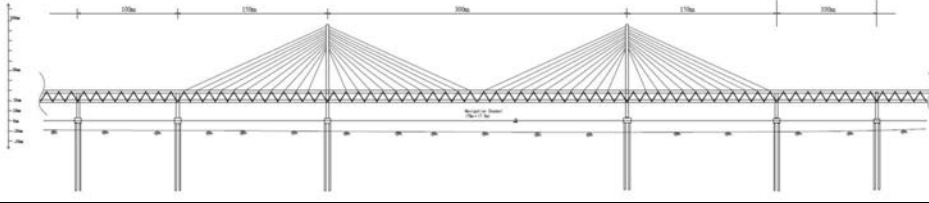
出典：<http://www.takadakiko.com/products/bridge/09.html>

[図 4.1.6] 関空連絡橋 FC船による大ブロック架設

しかしながら、新鉄道橋架橋地点では、現在は下流にパドマ（Padma）橋を建設中でありFC船を曳航してくることは困難である。また潮位差もなく、大ブロック工法を採用することは難しい。このため鋼トラス橋の架設工法としては、仮支持のためのベントを併用する単材架設による張り出し工法を採用することとする。[表 4.1.2]に比較検討結果を示す

[表 4.1.2] 架設工法の特徴

PC 箱桁橋 バランスド カンチレバ ー工法		
	橋梁形式の特徴	100m スパンの PC 箱桁橋、ジャムナ多目的橋と同じ形式。100m スパン程度が最大限である。重量が重くなり、それに伴って下部工も大きくなる可能性がある。
	架設工法	バランスドカンチレバー工法による場合、橋脚柱頭部 12m 分の施工:80 日、ワーゲン設置:20 日、10 ブロック×10 日=100 日、ワーゲン設置から一スパン打設終了まで約 120 日。
	工費	上部工の工費は、通常は鋼トラス橋より安い、下部工は基数も多く、荷重も大きいため高価。
	工期	使用するワーゲン数により異なる。
評価	工費のみで見ると最も安い可能性がある	

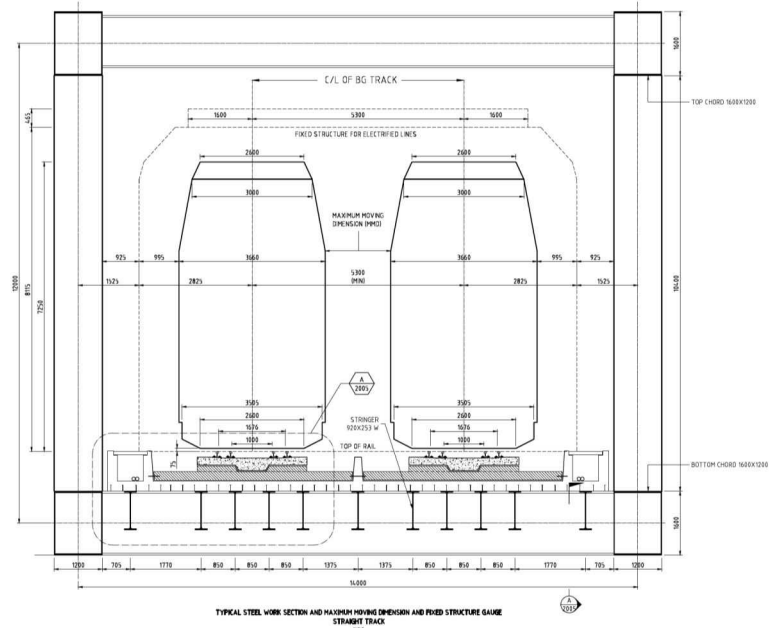
鋼トラス橋 単材張り出し架設		
	橋梁形式の特徴	鋼トラス橋は150m程度までスパンを伸ばすことができる。スパンを長くすると下部工の基数が減るので、最適なスパンを選ぶ必要がある。下路トラス橋であるため、線路位置が低くアプローチ橋が短くなる。耐候性鋼材や、フッ素樹脂塗料を用いると長期間メンテナンスフリーとなる。
	架設工法	下部工の工事が済み次第、鋼桁の架設を進めていくことが出来る。橋脚を左右岸から建設して行くとそれを追って、架設が出来る。また鋼桁は工場製作したものを現地にて高張力ボルトで締めていくだけなので、架設速度も速い。スパンの中間にいくつか仮設の橋脚を設置すれば、鋼トラス桁に過大な応力が発生しない。仮設橋脚は桁が1スパンを出来れば撤去でき、繰り返し転用できる。
	工費	鋼トラス桁は一般的にPC箱桁橋よりも高価である。下部工は上部工が軽いため、安価になる。また基数が減るとさらに安価。
	工期	100mの1スパンが15mの7パネルから成り立っているとすると、1スパン、30日程度で架設することができる。
	評価	工費のみで比較するとPC箱桁よりも幾分高価になる可能性もあるが、工期の短縮効果を経済換算すると、鋼トラス橋の方が、経済性が高い可能性がある。
鋼トラス橋 + 鋼斜張橋		
	橋梁形式の特徴	水深の深い部分に鋼斜張橋を計画した案。しかしながら、ジャムナ川は水深の深い部分が常に動いているため、斜張橋位置を決めることが出来ない
	架設工法	斜張橋の中央径間は張り出し架設となる。
	工費	橋梁はスパンが長くなると非常に工費が高くなるため合理的な案ではない。
	工期	中央径間の張り出し架設に時間がかかる。
	評価	高価かつ工期も長くなる。

出典：調査団

以上の比較検討より、第1スクリーニングにおいては、鋼桁としては鋼トラス橋を、コンクリート桁としてはADB-F/Sの提案であるPC箱桁橋を、比較検討の対象とする。鋼斜張橋案は高価であり、現在のジャムナ川の現場に適した橋梁形式ではないため、検討の対象から外した。なお、構造形式選定のための比較では、単純な上部工の工事費の比較ではなく、上部工の工事費に加えて、上部工+下部工の組合せ、工期、施工品質管理の容易性、維持管理の容易性、等を合わせた総合的な評価を行うこととする。

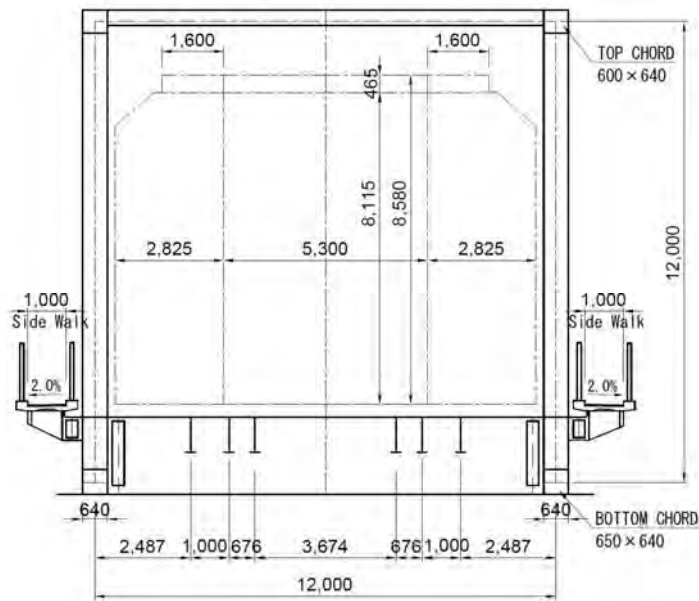
4.1.2. 鋼下路トラス形式の最適化

ADB-F/S では鋼鉄道トラス橋案の桁断面として[図 4.1.7]の断面を想定している。この断面ではコンクリート床版を設置していること、検査路を軌道横に設置しているため、トラスの全幅が大きくなっていること、など無駄な構造が多い。そのため、コンクリート床版を無くした構造で、検査路をトラス桁の外側に設置した断面を設定して、鋼トラス橋の構造計算を行い、鋼重を算出する。想定したトラス橋断面を[図 4.1.8]に示す。



出典：ADB-F/S

[図 4.1.7] ADB-F/S による鋼トラス橋の桁断面



注：建築限界は ADB-F/S と同じものを使用。

出典：調査団

[図 4.1.8] 本調査で提案する鋼トラス橋の桁断面

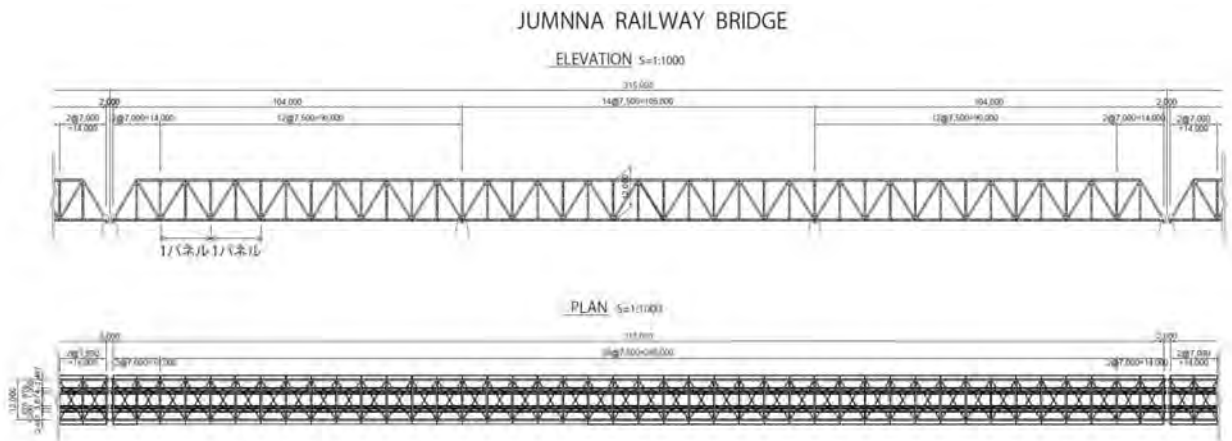
4.1.3. 最適鋼下路トラス橋の数量計算

4.1.1.の検討では、適切な径間長は約 50m～130m であることがわかった。ジャムナ多目的橋の構造形式は PC 箱桁橋でスパン長が 100m である。新鉄道橋は既存 PC 箱桁橋の上流に建設するために、既存橋橋脚への影響を避けるため既存橋よりスパン長が同じか長いほうが望ましい。基本的には鋼下路トラス橋は PC 箱桁橋以上に長いスパン長とすることができるので、鋼下路トラス橋のスパン長としては 100m 以上として検討する。

今回の検討は F/S の追加的比較検討であるため、以下の仮定を行って構造計算を行った。即ち、鋼下路トラス橋の 1 パネル（弦材の 1 区画、図 4.1.9 参照）を標準的な 15m とし、比較検討のためのスパン長を、15m×7 パネル=105m、15m×8 パネル=120m、15m×9 パネル=135m、の 3 種類とする。この 3 種類のスパン長（105m、120m、135m）について構造計算、鋼重計算を行った。これらの 3 種類のスパン長以外のスパン長の桁の鋼量が必要な場合には、これらの値から補完して算出することにする。

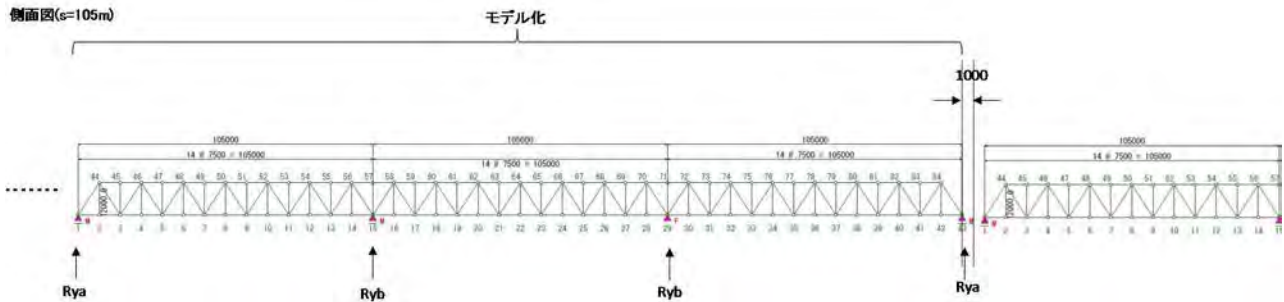
1 単位の橋梁の径間数については、橋脚の不当沈下による影響を小さくすることが出来るので 3 径間連続下路トラス橋が望ましい。また、鉄道橋は道路橋と異なり、橋梁の継ぎ目が多くなっても、レールがあることにより列車の走行性には影響しないため、多径間とする必要がないので、3 径間連続下路トラス橋を提案する。

連続径間数が多くなった場合でも、三径間連続橋とでは単位長さあたりの鋼重には大きな差は出ないため、最適な径間数については詳細設計の段階で検討するものとする。鋼下路トラス橋の全体一般図を[図 4.1.9]に示す。



出典：調査団

[図 4.1.9] 3 径間連続鋼下路トラス橋案



出典：調査団

[図 4.1.10] 鋼下路トラス橋のモデル化

3 径間連続鋼下路トラス橋の骨組み構造を[図 4.1.10]に示すようにモデル化し、構造計算を行い、鋼重を算出した。その結果を[表 4.1.3]に示す。この計算結果から、当然のことながら、スパン長が 105m から 135m に長くなるに従って、鋼下路トラス橋の鋼重は増加している。他方、スパン長が伸びると、下部工の基数が減るので、下部工の工費は減少して行く。このため、次の 4.2. で下部工形式の選定を行い、下部工の正確な工費を算出すれば、その合計を比較することで、上部工と下部工との最適な組み合わせが選定できることとなる。下表には下部工の暫定的な工費(一定値)を入れている。

[表 4.1.3] 鋼トラス橋の鋼重算出結果

	スパン (m)	105	120	135
		7.5m@14=105m	7.5m@16=120m	7.5m@18=135m
①	1 連分 (3 スパン) の長さ (m)	315	360	405
②	鋼重 (トン)	2,500	3055	3,711
③	単位長さ当たり鋼重 (トン/m) =②/①	7.937	8.486	9.162
④	橋長 (m)	4,810	4,810	4,810
⑤	橋長 4,810m 分の上部工鋼重 (トン) ③×④	38,177	40,817	44,070
⑥	上部工単価 (製作・架設込み) (千円/トン)	600	600	600
⑦	上部工工費 (百万円)	22,906	24,490	26,442
⑧	支承 (百万円)	1,131	1,175	1,296
⑨	上部工合計 (百万円)	24,037	25,665	27,738
⑩	下部・基礎工費 (百万円)	27,507	25,076	23,571
⑪	総工事費 (百万円)	51,544	50,741	51,309
	総工費比率 (スパン 120m を 1 とする)	1.016	1.00	1.011
	m ² 当り鋼重 (トン・m ²)	0.661	0.707	0.764
	主構高 (m)	12	12	14 (注)

注：支間 135m では、たわみ制限 (L/1000) を満足させるため主構高を長くした

出典：調査団

4.1.4. 支承工費の算出

ここでは、支承の工費の算出方法を説明する。支承反力は、構造計算の結果より下記の値が得られている。

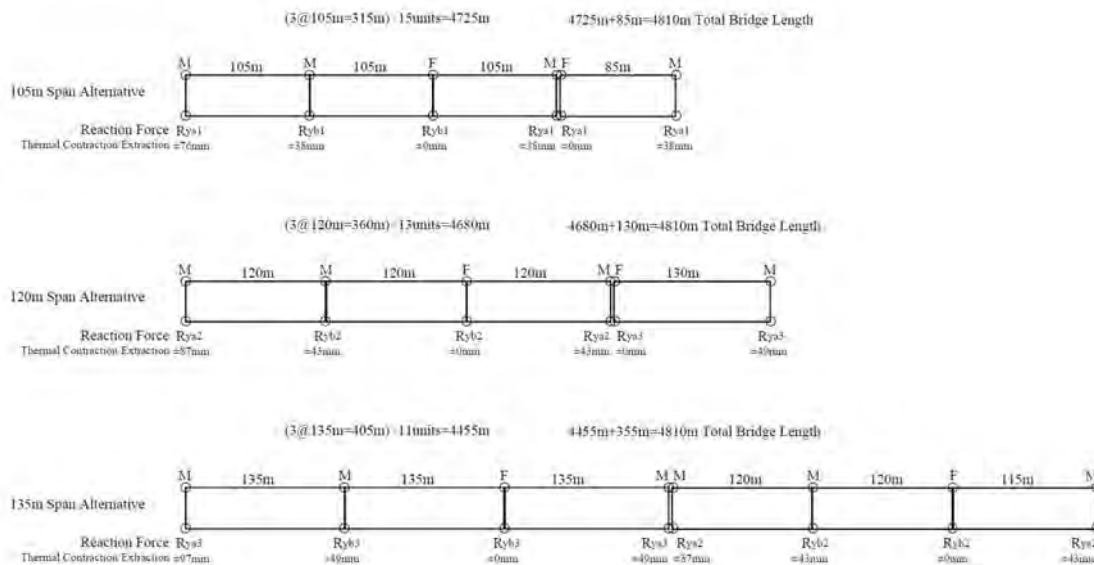
[表 4.1.4] 支承反力

支点反力	スパン長さ(m)	105	120	135
端支点鉛直反力 Rya=RyaD+RyaL+RyaI (KN/沓)	死荷重(RyaD(KN/沓))	2,255	2,704	3,201
	活荷重(RyaL(KN/沓))	3,845	4,388	4,932
	衝撃荷重(RyaI(KN/沓))	833	911	986
	合計	6,933	8,003	9,118
		Rya1	Rya2	Rya3
中間支点鉛直反力 Ryb=RybD+RybL+RybI (KN/沓)	死荷重(RybD(KN/沓))	6,200	7,447	8,828
	活荷重(RybL(KN/沓))	10,571	12,087	13,602
	衝撃荷重(RybI(KN/沓))	2,289	2,509	2720
	合計	19,060	22,043	25,151
		Ryb1	Ryb2	Ryb3

注：Rya、Ryb の意味については[図 4.1.15]参照。

出典：調査団

次に、橋梁全長を 4,810m としているので、105m～135m スパン 3 径間連続鋼下路トラス橋を適切に配置して支承数を算定する。3 径間トラス橋の配置案を[図 4.1.11]に示す。



出典：調査団

[図 4.1.11] 3 径間連続下路トラス橋の配置案

[図 4.1.15]の配置に基づいて支承数を算出したのが[表 4.1.5]である。

[表 4.1.5] スパン長 105m～135m の 3 径間鋼下路トラス橋の支承数

(1) 105m スパン案

	3 スパン連続トラス×パン連 + 85m トラス				
固定(F)・可動(M)別	M	M	M	F	F
支承反力(KN)	6,933	19,060	6,933	19,060	6,933
	Rya1	Ryb1	Rya1	Ryb1	Rya1
伸縮量(±縮量)	76	38	38	0	0
支承数	30	30	32	30	2

(2) 120m スパン案

	3 スパン連続トラス×パン連+130mトラス					
固定(F)・可動(M)別	M	M	F	M	F	M
支承反力(KN)	8,003	22,043	2,2043	8,003	9,118	9,118
	Rya2	Ryb2	Ryb2	Rya2	Rya3	Rya3
伸縮量(±縮量)	87	43	0	43	0	49
支承数	26	26	26	26	2	2

(3) 135m スパン案

	3 スパン連続トラス×パン連+(120+120+115m)トラス							
固定(F)・可動(M)別	M	M	F	M	M	M	F	M
支承反力(KN)	9,118	25,151	25,151	9,118	8,003	22,043	22,043	8,003
	Rya3	Ryb3	Ryb3	Rya3	Rya2	Ryb2	Ryb2	Rya2
伸縮量(±縮量)	97	49	0	49	87	43	0	43
支承数	22	22	22	22	2	2	2	2

出典：調査団

これらの表をもとに支承の工費を算出した（[表 4.1.3]を参照）。

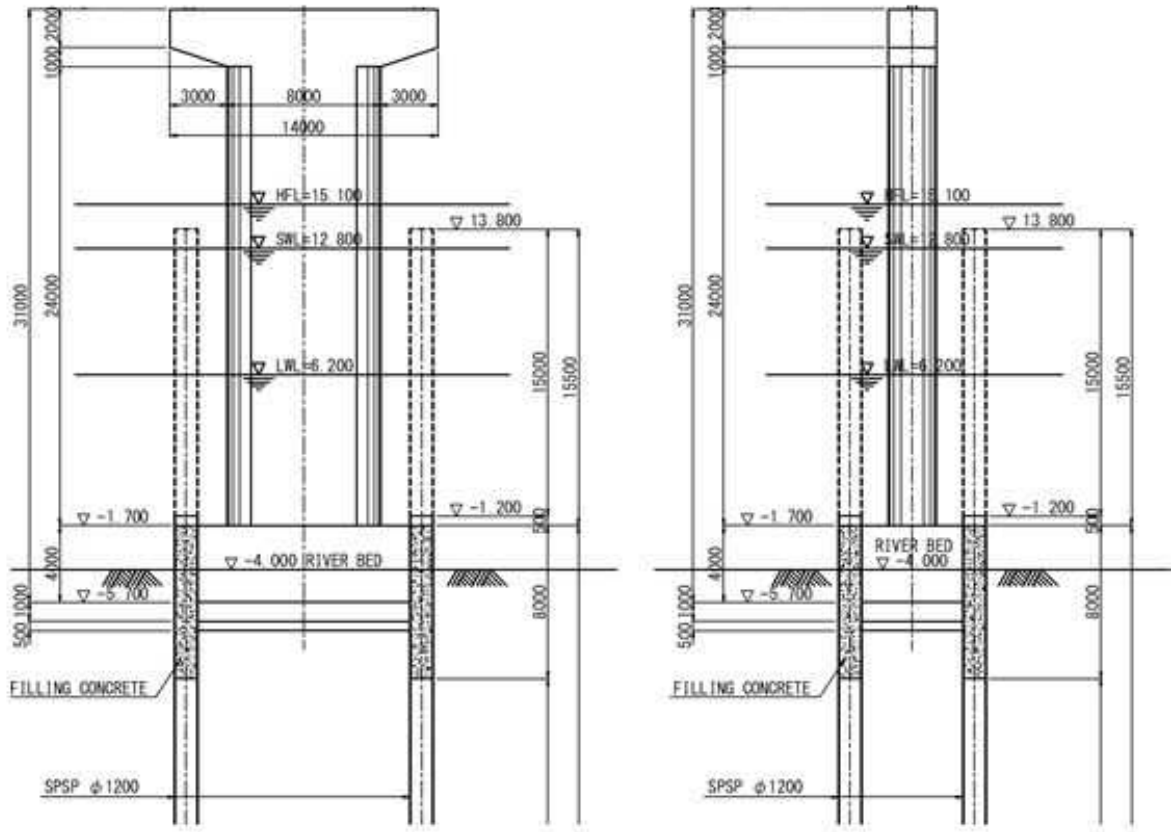
以上の通り、上部工、下部工、支承の工事費をもとに、上部工と下部工との最適組み合わせを考えて、最適スパン長の鋼下路トラス橋を選定する。

4.2 下部工形式の選定

4.2.1. 橋脚形式の選定

架橋地付近のジャムナ川は、ADB-F/S によるとジャムナ多目的橋の建設に伴い川幅を 4.8km まで狭めたことの影響などもあり、PWD-30m 付近まで洗掘されることが予測されている。したがって、洗掘を少しでも軽減する目的で、橋脚の断面形状は水流の抵抗が軽減できる小判型断面を基本とし、形状は[図 4.2.1]のものとする。

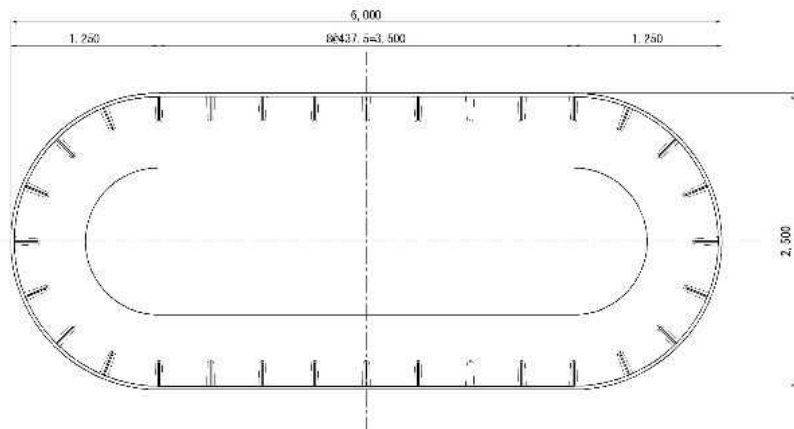
なお、橋脚の材料や形式については複数案考えられるが、以下の理由で鉄筋コンクリート (RC) 構造の張出橋脚を採用するものとした。



出典：調査団

[図 4.2.1] 橋脚形式の提案

橋脚高さは基礎形式により異なるが、脚高は概ね 15~30m 程度であることから材料としては鋼又はコンクリートの両方が考えられる。[図 4.2.2]に示すような鋼橋脚を選定する場合、柱形状は水流抵抗の軽減から RC 橋脚と同外面形状に工場製作した鋼製橋脚が前提となり、鋼重約 150 トン程度を想定すると明らかに不経済で、さらに大口径鋼管杭多柱基礎同様、河川水に鋼製橋脚が接することから防錆が課題で、それらを考慮して不採用とする。



出典：調査団

[図 4.2.2] 鋼橋脚の構造

4.2.2. 基礎形式の選定

ADB-F/S では、現ジャムナ多目的橋と同様の多柱基礎（大口径鋼管斜杭にコンクリートを充填）が提案されているが、基礎形状の特性から、パイルキャップ（Pile-cap：基礎杭の上端を束ねる構築物）や基礎杭の周辺に「うず」が発生しやすく、洗掘が助長される懸念があるという欠点がある。本追加調査では、その他にも、大口径鋼管斜杭の施工の難易度や信頼性、経済性などの点に着目して代替案を抽出して ADB-F/S 案を含めた複数の基礎形式案の比較検討を行う。

(1) 適用可能な基礎形式代替案の抽出

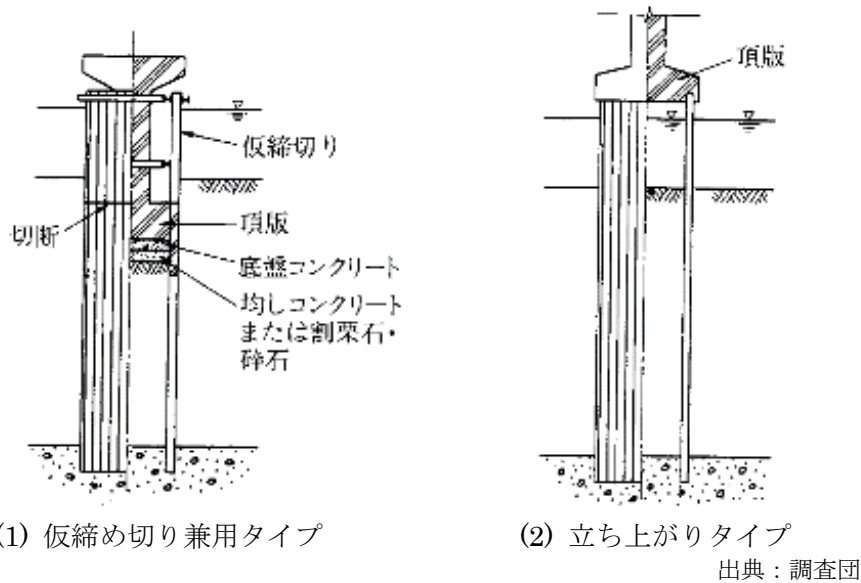
新鉄道橋の橋梁規模は概ね既存橋と同様かそれ以上で、その他自然条件なども既存橋と同様であると仮定し、適用可能な基礎形式の代替案を抽出する。

支間長が 100m を超える橋梁規模、基礎の根入れ長が 35m を超える地盤条件、出水期の最大水深は 15m を超え、さらに約 30m の深度まで洗掘が予測される河川条件において、施工の安全性、確実性、供用後の安定性に着目した場合、過去の実績から適用可能な基礎形式としては以下の 3 つの案が考えられる。

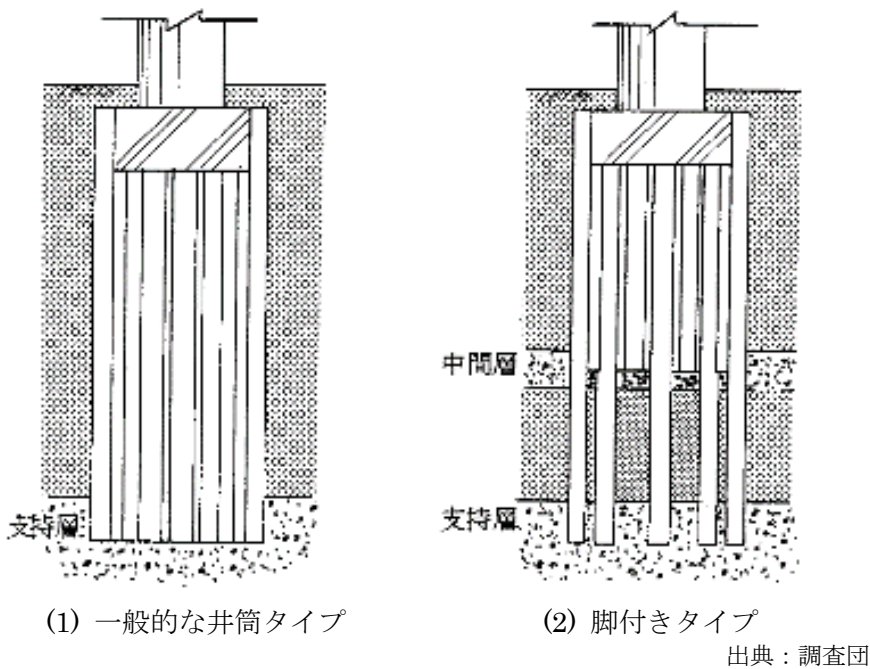
- 第 1 案：多柱基礎（大口径鉛直杭）
- 第 2 案：鋼管矢板基礎
- 第 3 案：ケーソン基礎

第 1 案の多柱基礎は、基本的に水位より上方でパイルキャップを構築する基礎構造であることから、大水深や水位の変動への対応が容易な基礎形式である。そのため、ベトナムやカンボジアなどのメコン水系に架る大規模橋梁において、特に河川内に位置する基礎に多く採用されている。なお、近年の施工実績は、施工の容易性や品質確保の観点から、ADB-F/S 案とは異なり鉛直杭が多く採用されている。耐震性能に関しては、各々の耐力が比較的小さな多柱で構成されていることから、一般論としては第 2 案や第 3 案に比べて劣る案であるが、現地での想定地震の規模から判断して、特に問題となる構造形式ではない。

第 2 案の鋼管矢板基礎（SPSP-F：Steel Pipe Sheet Pile Well Foundation）は、仮締切り兼用タイプや立ち上りタイプなど、河川条件や施工条件により、[図 4.2.3]に示すような使い分けが可能な基礎形式である。また、[図 4.2.4]に示すように、一般的な井筒タイプに加えて、中間支持層が存在し、且つ支持力に余裕がある場合には、工事費削減のために脚付きタイプの採用も可能である。SPSP-F の水平荷重に対する抵抗力は、鋼管矢板単独の曲げ剛性や地盤抵抗に加えて、継手のせん断抵抗に大きく依存する。そのため、大きな水平力が作用する荷重条件がある場合には、高耐力継手の採用も可能である。なお、近年ではベトナムやフィリピンを中心に、施工実績を増やしている基礎形式である。



[図 4.2.3] SPSP-F の構造



[図 4.2.4] 支持層の違いによる SPSP-F の使い分け

第3案のケーソン基礎は、大きくは沈設タイプと設置タイプとがあり、一般的には大きな支持力、曲げ耐力が期待できることから、より大規模な橋梁に適合性が高い基礎形式である。沈設ケーソンは、枕設方法によりオープンケーソン基礎とニューマチックケーソン基礎の2タイプがあるが、新鉄道橋の場合は、沈設荷重としての水荷重（ケーソン中空部への注水など）の自由度が大きいこと、刃口先端部の確実な掘削などの施工性の難しさ、新鉄道橋の地盤条件が沈下抵抗の大きい砂系地盤であることから、ニューマチックケーソン基礎が適合すると判断する。ケーソン基礎の断面形状には自由度があり、河床変動（洗掘）への対応としては鋼管矢板基礎と同様の利点がある。ただし、ニューマチックケーソン基礎は施工深度には限界があり、過去の実績から概

ね 60m 程度までである。なお、ニューマチックケーソン基礎は、近年では無人化が進んでいるが、日本国内以外での施工実績は少ない基礎形式である。

(2) 基礎形式の選定

ADB-F/S 案を含めた基礎形式の選定比較表を[表 4.2.1]に示す。ここでは、ADB-F/S で選定されている。多柱基礎（大口径鋼管斜杭）を含め、本業務で抽出した 3 案を加えた合計 4 案で比較した。各評価項目の検討結果を以下に示す。

1) 工期

各案 1 基当りの施工工期に大差はないが、順番をつければ、ADB-F/S 案と代替案の多柱基礎案が工期的には有利で、SPSP-F 案、ケーソン基礎案がそれに続く。工期の長短は投入する工事パーティ数にもよるが、基礎の数が全体で 41 基もあることから、わずかな差でも全体工期への影響は大きい仮に全体を 1 工区で発注して 4 パーティで施工した場合、ADB-F/S 案と SPSP-F 案には約 4 ヶ月の工程差となる。

2) 対船舶衝突

航路幅には十分な余裕がある径間長であり、船舶衝突に対しては各案とも大きな差はないが、ADB-F/S 案と代替案の多柱基礎案（第 1 案）はパイルキャップの規模が大きくなることから、航路幅への支障が他より大きく、船舶衝突に対しては若干不利な案である。

3) 対洗掘性

架橋位置付近のジャムナ川は、出水期を経ると毎年砂州位置が変化してしまうほどの河床変動がある。それは施工条件として想定していた橋脚位置の水深が、実際の施工時には変化してしまうことを意味している。

抽出した 4 つの基礎形式（ADB-F/S 案、代替第 1～3 案）は、どれもその施工条件に対して適合性が高い案であるが、完成後の洗掘に着目すると以下の点が指摘できる。即ち、ADB-F/S 案と代替案の第 1 案（多柱基礎案）は、5 本または 6 本の円柱（ $\phi 3.0\text{m}$ 以上）を近接して配置することの影響により、パイルキャップから河床の位置の間に「複雑なうず」が発生し易く、本調査では定性的な評価ではあるが、洗掘に対して劣る案である。特に ADB-F/S 案は斜杭の多柱基礎であることから、杭の断面位置が垂直方向に変化する円柱であることから、比較案中最も劣る案である。それに対し代替案の第 2 案（SPSP-F 案）と第 3 案（ケーソン基礎案）は、流下方向に平行に配置した小判型断面（流下抵抗が小さい断面形状）の柱からなる基礎形式であることから、対洗掘に対しては有利な案であり、とりわけ第 3 案は基礎構造物の壁面が滑らかであることから、最も有利な案である。

4) 施工性

施工の品質や難易度、施工速度に着目した施工性の比較においては、本調査では定性的な評価ではあるが以下の点が指摘できる。

● ADB-F/S 案と代替案の第 1 案：

厚板を巻きたてて製作する板巻き鋼管を用いているため、形状の統一性や溶接部の品質が問題となる。現場で溶接継手を施工する場合は、特に鋼管の直径が大きくなると板厚も大きくなるために、溶接部の品質や強度、溶接時間などが大きな問題となり、施工の品質確保や難易度の点で劣る案である。

● 代替案の第 2 案：

市場性が高く品質のばらつきが少ないスパイラル鋼管を用いていることから、製品自体に起因する品質の問題はほとんどない。また、現場で施工する溶接継手についても、過去の施工実績から判断して第 1 案に比べればはるかに問題が少ない案と言える。また、鋼管矢板と頂版の結合に使用する鉄筋スタッドについては、他案には無い余分な工程ではあるが、現在は機械化が進んでいるために大きな工期の延伸要因にはならない。新鉄道橋は新設橋なので、既存橋の基礎の補強工事の場合のように特殊な施工条件は存在せず、また、新鉄道橋の設計条件から判断して、鋼管径や打設深度については施工実績の多い範囲なので、特段、特殊な機械の調達も不要で、工事費の増大要因にもならない。

● 代替案の第 3 案：

ケーソン長が 50m 程度の基礎となり、仮に 2～3 交代で連続施工をしたとしても施工工期は比較検討案中で最も長い案である。施工性については、沈設深度が大きいことから作業室内にはヘリウムガスを送風する必要があること、水深が大きいことから鋼製の大型刃口（小ブロックで現場まで輸送した部材を構台上組立てる）を河床に着定させてケーソン沈設をスタートするので流速の速さに留意する必要があること、が欠点として挙げられる。

5) 経済性

代替案の第 1 案と第 2 案との間に大差はないが、それに比べれば ADB-F/S 案は大口径鋼管杭を斜めに打設する必要があること、特に杭長が長いとウォータージェット工法を併用する必要がある可能性があり、これは手間がかかる作業であることから、若干経済性に劣る案である。代替案の第 3 案は、施工深度が大きいために作業室内の圧気にヘリウムガスの注入が必要になるなどの理由から、経済性においては比較案中最も劣る案である。

なお、「カチプール・メグナ・グムティ第 2 橋建設・既存橋改修事業」において SPSP-F が採用されているが、これらは既存橋の補強工事を含み、特殊な機械の導入など、新設橋には無い特殊な条件での施工を要するため、これが工事費の増加に反映されている。これに対して、新鉄道橋が新設橋で、上空制限や近接施工など、特殊な施工条件ではないことから、経済性において代替案の第 1 案、第 2 案に大差がない結果となっている。

6) 技術移転可能性

ADB-F/S 案はジャムナ多目的橋と同じ基礎形式であり、同じ多柱基礎であることから、代替案の第 1 案も構造的には同様な基礎形式である。これら 2 案は、既にバングラデシュにおいて施

工実績があることから技術移転は望めない。それに対して、代替案の第 2 案と第 3 案とはバングラデシュではほとんど経験がない基礎形式であることから、技術移転効果が期待できる。なお、第 2 案は、補強工事を含む新設工事としてバングラデシュで先行して適用された実績はあるが、新鉄道橋は新設橋であり、また仮締め切タイプと立ち上りタイプの両方で施工する予定であり、バングラデシュでの適用は初めてとなる形式である。2 タイプで施工する理由は、仮締め切兼用タイプの施工限界（仮締め切高）が概ね 20m 未満であり、橋脚位置、施工時期によっては仮締め切高が 20m を超えることが予測されるため、仮締め切タイプと立ち上りタイプの中間的な形式での施工が予測されるためである。

7) その他

ADB-F/S 案と代替案の第 1 案は、大口径の鋼管杭（杭径 ϕ 3m 以上）を採用していることから、杭先端の閉塞効果に課題があり、特に ADB-F/S 案はウォータージェット工法を併用する可能性もあって、杭先端支持力の評価に留意する必要がある。また、杭本体が水上に突出する構造のため、水際付近の鋼管防錆に留意する必要がある、工事費増の要因となる。

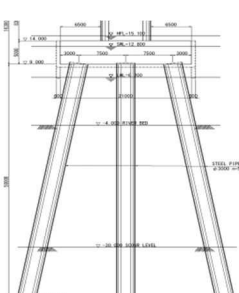
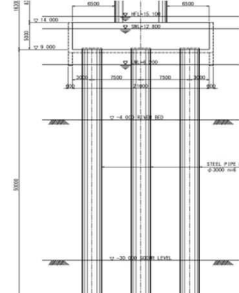
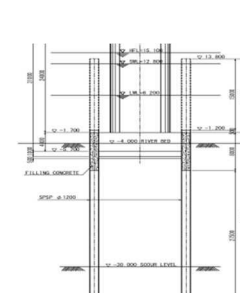
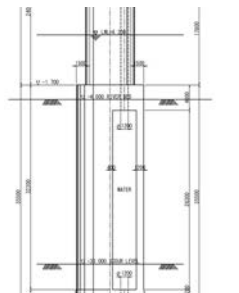
代替案の第 2 案は、基礎を河床付近に構築する構造であることから、ドライな環境で施工するために、（第 1 案や第 3 案と違って）仮締め切り工が必要となる。しかし、第 2 案は、仮締め切り材の一部を基礎本体として利用するため、仮締め切り工が無駄にならない合理的な構造である。

代替案の第 3 案は、最も形状がコンパクトになる基礎形式で、頂版、底版や側壁など、全ての部位をラーメン剛結した構造で、特に構造的な課題は少ない案である。

以上の検討結果から、工期や経済性、施工性、構造特性などを総合的に判断し、現時点においては代替案の第 2 案の SPSP-F を推奨案とする。以上をまとめたものが[表 4.2.1]であるが、この比較は、上部工が PC 箱桁に比べて軽量の鋼トラス桁として場合のものである。

ただし、現時点での評価では、深淺測量や原位置での地質調査を実施していないため、総合評価の点数の差は各案で大差がない結果となっていることから、代替案の第 1 案の多柱基礎も、F/S レビュー段階で再検討することを推奨する。

[表 4.2.1] 河川内橋脚基礎形式比較表

比較案	ADB-F/S 案	代替案		
	多柱基礎（鋼管杭φ3000：斜直杭）	第1案 多柱基礎（鋼管杭φ3,000：鉛直杭）	第2案 鋼管矢板基礎	第3案 ケーソン基礎
略図	 <p>PC箱桁に比べて鋼トラス橋は軽量なので、杭本数を1本減らした。 杭本数：5本</p>	 <p>杭本数：6本</p>		
施工工期	5ヶ月 (10/10)	5ヶ月 (10/10)	6ヶ月 (8/10)	8ヶ月 (5/10)
船舶衝突に対して	● Pile-Cap が大きく、船舶衝突に対しては不利な案である。 (4/5)	● Pile-Cap が大きく、船舶衝突に対しては不利な案である。 (4/5)	● 柱断面が小さく、船舶衝突に対しては有利である。 (5/5)	● 柱断面が小さく、船舶衝突に対しては有利である。 (5/5)
洗掘に対して	● 水面以下が多柱で、さらに斜部材であることから、渦が発生し易く、予測できない規模の洗掘の可能性がある。 (2/5)	● 水面以下が多柱で、渦が発生し易く、予測できない規模の洗掘の可能性がある。 (3/5)	● 河床付近まで、抵抗が少ない小判形状の柱であることから、洗掘に関しては有利である。ただし、鋼管矢板が突出した場合、表面形状の違いからケーソン案に比べて劣る案である。 (4/5)	● 河床付近まで、抵抗が少ない小判形状の柱であることから、洗掘に関しては有利である。 (5/5)
施工性	● 大口径鋼管は、製作精度や溶接など、品質管理が課題である。 ● 杭先端の閉塞効果が課題であり、先端支持力の低減など、配慮が必要である。また、閉塞効果を期待するための追加工事が必要になる可能性がある。 ● 水際付近の鋼管防食に対策が必要である。 ● 杭打ち込み機械の調達に課題がある。 (6/10)	● 大口径鋼管は、製作精度や溶接など、品質管理が課題である。 ● 杭先端の閉塞効果が課題であり、先端支持力の低減など、配慮が必要である。また、閉塞効果を期待するための追加工事が必要になる可能性がある。 ● 水際付近の鋼管防食に対策が必要である。 ● 杭打ち込み機械の調達に課題がある。 (8/10)	● 鋼管矢板径、打設深度とも実績が多い範疇で、新設橋であるので特に施工上の制約はなく、特殊な機械の調達も不要である。 ● 鋼管矢板径の調達も特に問題ない。 (10/10)	● 施工箇所付近に圧気設備を配置する必要がある。また、第1案、第2案と違い、施工箇所付近に仮設構台の設置が必須になる。 (8/10)
概算工事費	1.05 (11/15)	1.01 (14/15)	1.00 (15/15)	1.48 (8/15)
技術移転	● 既に「バ」国において経験があり、技術移転は望めない。 (3/5)	● 既に「バ」国において経験があり、技術移転は望めない。 (3/5)	● 新技術のため、技術移転が図れる。 (5/5)	● 新技術のため、技術移転が図れる。 (5/5)
評価	● 施工工期では有利であるが、品質管理や施工性に課題があり総合評価では劣る案である。 (36/50)	● 施工工期では有利である。斜杭案に比べて施工性は有利だが、品質管理の面に課題があり、総合評価では劣る案である。 (42/50)	● 施工期間では若干劣るものの、総合評価では最もすぐれる案である。 推奨案 (47/50)	● 施工工期、工事費とも他案に比べて劣る案で、総合評価でも劣る案である。 (36/50)

注：これらは、上部工を軽量の鋼トラス橋とした場合の比較である。

出典：調査団

第 5 章 最適橋梁形式の選定 (Step 2)

5.1. 先進技術の活用

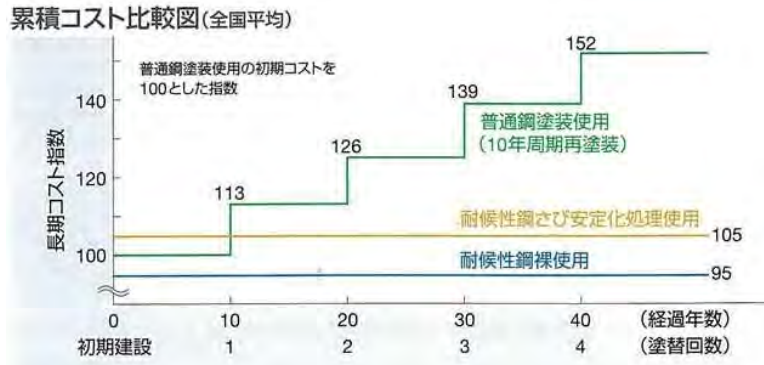
本調査で、適用が考えられる先進技術の検討対象としては、耐候性鋼板、低余熱型高張力鋼、曲線鋼トラス橋、SPSP-F、頭鍛レール、鋼直結軌道用軌道材料、アルマグ照射支承、超高減衰ゴム支承構造、がある。このうち、脱線防止ガードについては、その考え方は古くからあり、100年前に建設されたハーディング橋でも採用されているものの、ADB-F/S では採用されていなかった（複合軌道の内側レールと外側レールを互いに脱線防止レールに利用するとあるが、脱線防止効果は無い）ために、本調査で採用するよう提案したものである。また、SPSP-F については第4章でその特徴について説明してあるので、ここでの説明を省く。以下、それぞれの先進技術を、使用鋼材、軌道構造、その他に分類して説明する。

5.1.1. 使用鋼材の先進技術

第4章において、ADB-F/S 提案と比較検討する上部工の構造形式として鋼トラス桁を提案している。この構造形式に用いる使用鋼材の先進技術としては、低余熱型高張力鋼と耐候性鋼材とが考えられるが、低余熱型高張力鋼については、以下の5.2で検討するように、スパン長が100m程度の鋼トラス橋では応力的に厳しい場所は無く、通常鋼材の使用で十分である。スパンが200m以上にもなり発生応力が大きくなれば、低余熱型高張力鋼を採用して、鋼重を低減するメリットがある。従って、今回の新鉄道橋では、低余熱型高張力鋼の特長を發揮できないので採用しないこととする。それに対し耐候性鋼材は、維持管理の手間と費用の削減の点から効果が大きいと考えるため採用を提案する。

耐候性鋼材はもともとアメリカで考案されたものであり、戦後、コルテン鋼を新日鐵が扱っていた。鉄にクロムと銅を混ぜたものであり、鉄とステンレスの間の成分である。安定化された錆が鋼材の表面に形成されることにより、それが保護面となり母材の錆の進行が防止される効果を持つ。耐候性鋼材は、塗装の塗り替え作業の手間を省き、初期費用は大きくなるものの、[図 5.1.1]に示すように生涯費用（LCC）を低減することができる。塗装の塗り替え作業は、新鉄道橋のように全長4.8kmもある長大橋の場合には、特に鉄道が運行されている中では費用も手間も莫大になるため、これが無くなる効果は大きい。

また、バングラデシュでは「西部バングラデシュ橋梁改修事業準備調査」（2014年、JICA）のなかで、性能確認のために暴露試験を実施し、耐候性鋼材に対する信頼性を確認している。



注：本比較表には、日常の点検・維持・管理費用は含まれていない。また、物価上昇も考慮していない。
 出典：(社) 日本鉄鋼連盟パンフレット「高性能鋼の概要」

【図 5.1.1】 耐候性鋼材と普通鋼塗装使用の工事費比較

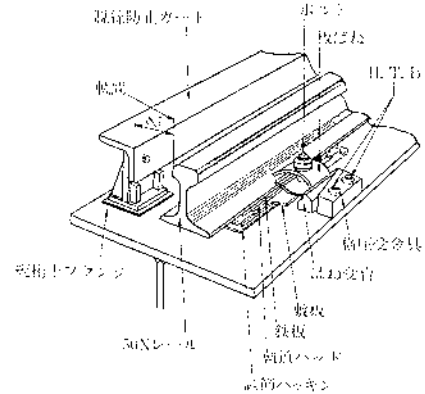
耐候性鋼材は、近年、複数国で生産されているが、使用実績が短く長期の性能確認が不十分と思われる。新鉄道橋で使用する場合には長期性能確認試験や長期間を想定した促進試験が行われた製品を使用する必要がある。

5.1.2. 軌道構造の先進技術

(1) 鋼直結軌道

鉄道橋では勾配規制が厳しいために、橋梁アプローチ区間の長さを短くして全体工事費を抑制するために、レールレベルを低い位置に設定できる構造物が採用される。レールレベルを低く抑えるための他の方法としては、軌道構造の高さを小さくする方法もある。それが鋼直結軌道であり、日本では鋼橋の軌道構造として一般的に採用されている。

鋼直結軌道の構造は、[図 5.1.2]に示すように、通常の軌道構造に比べて、路盤やマクラギ又は軌道スラブが無いもので、レールを専用の締結装置で鋼桁に固定し、縦断曲線に応じた高さの調節を専用の軌道パッドを用いて行うものである。これにより、構造高（桁最下端からレール頂面高の長さ）を低く抑えることができるため、その結果、新鉄道橋のように、航路空頭確保のために桁位置が地盤高より高い場合には、橋梁区間へのアプローチ区間の長さを短くでき、その分の工事費を節減できる（3.4.2.の通り概算では両側合わせて2km 区間）。また、路盤やマクラギ又は軌道スラブが無い分、構造物重量を低減できるために鋼桁の経済設計に貢献する。さらに、有道床軌道に比べてレール交換作業を容易に行うことができる等、保守作業上の利点大きい。ただし、列車走行時の騒音・振動が通常の軌道構造に比べて大きいために市街地などでの使用には適さない。



出典：写真集:本州四国連絡橋、海洋架橋調査会、鋼橋設計資料（第5版）
 [図 5.1.2] 鋼直結軌道

鋼直結軌道は、レールの縦断線形に合わせて鋼桁の下弦材を高精度で製作しなければならない。また、軌道パッドの性能が重要であり、日本においては鉄道総合研究所保有の試験装置により試験することが一般的であるが、それと同等程度の試験基準が必要と思われる。本調査の提案では、4.3.2.の通り桁下の航路空頭については、中央区間は平面で両裾側は5%の勾配をつけているものの、それらの直線の接合部分には、在来線では半径2,000m以上の円曲線を挿入することになり¹、これを鋼トラスの下弦材の加工で対応することとなる。

[図 5.1.3]は「ダッカ-チッタゴン鉄道網整備事業」における鋼トラス桁の軌道構造の施工例であるが、写真の通り、桁の下弦材を加工するのではなく、下弦材の上にH型鋼をマクラギ代わりに敷設している（設計はCANARAIL）。しかし、一見鋼直結軌道に見えるが、これでは、鋼直結軌道に期待される上部工重量の削減効果と、レールレベルの低下効果が得られない。

また、同写真によれば脱線防止レールとして線路の内側に30cm程度の間隔で設置しているが、これでは、下記2)で述べる、脱線防止効果が無い。この設計は、ADB-F/Sの提案と同じCANARAILが行っており、同じ発想の提案であると考えられる。



注：橋梁 No.207（スパン 120.5m）



注：橋梁 No.185（スパン 140.3m）

出典：調査団

[図 5.1.3] ダッカ～チッタゴン間鉄道改修事業における例

¹ 普通鉄道（新幹線を除く）の縦曲線は、半径2,000m（半径600m以下の曲線箇所にあつては3,000m）以上とする。ただし、勾配の変化が1,000分の10未満の箇所は、挿入しないことができる。新幹線にあつては、半径10,000m（列車を250km以下の速度で運転する箇所においては、5,000m）。（鉄道技術基準：国土交通省）

(2) 脱線防止ガード

[図 5.1.4]はジャムナ多目的橋上で発生した脱線事故の様子である。結果的に、幸いにも道路側のコンクリートフェンスで車両の転倒を防ぐことができた。車両が脱輪した場合に、車輪フランジがそのレールの下部構造を破壊しながら走るが、4線レールによる脱線防止は、それ以上外方に車両を出さないことを目的としているにすぎない。しかし、この効果が機能せず、更なる外方への脱線もしくはそれによる横転が発生した例である。これがもし反対側に脱線していれば、車両が落下して大事故になっていたはずである。新鉄道橋上の軌道の線形は曲線であることから、念のため車両の維持管理不足の状態を前提に、脱線事故の可能性を考えるべきである。

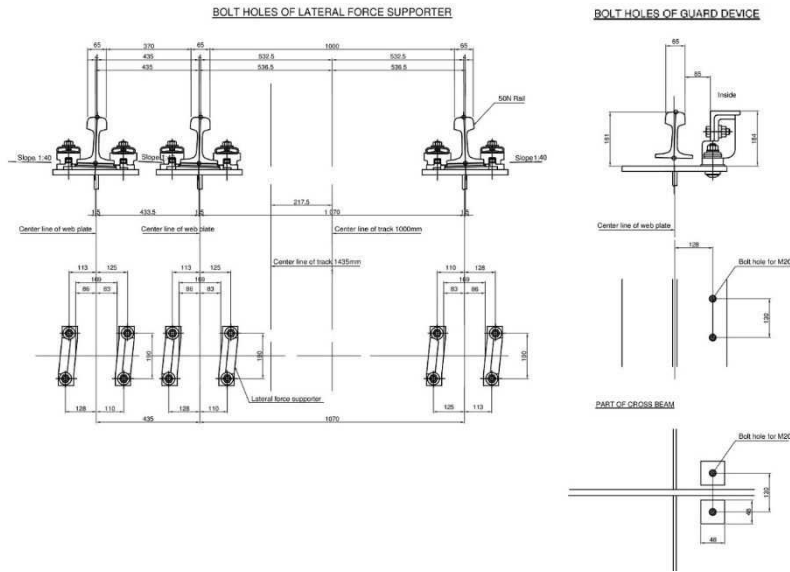


出典：Google Jamuna Bridge photos Bangabandhu

[図 5.1.4] 現橋上の列車脱線状況

ADB-F/S 案では、脱輪後の車両の落橋を防止するために複合軌道のレール数を4本とする4線軌条を採用しているが、新鉄道橋では、これを日本と同様に3線軌条とし、同時に、脱輪自体を制御する脱線防止ガード（[図 5.1.2]参照）を採用することを提案する。4線軌条とした場合、脱線防止ガードも4本必要になり、さらに鋼直結軌道を採用した場合には縦桁本数も4本必要になるのに対して、3線軌条ならいずれも3本で済むために経済的であるし、重量の軽減にも貢献する。

脱線防止ガードは特段目新しいものではないが、鋼直結軌道における脱線防止ガードについては、上記のように鋼直結軌道の品質に対する要求水準が高いことから同様な品質水準が求められる。[図 5.1.5]に3線軌条の軌道構造断面図を示す。



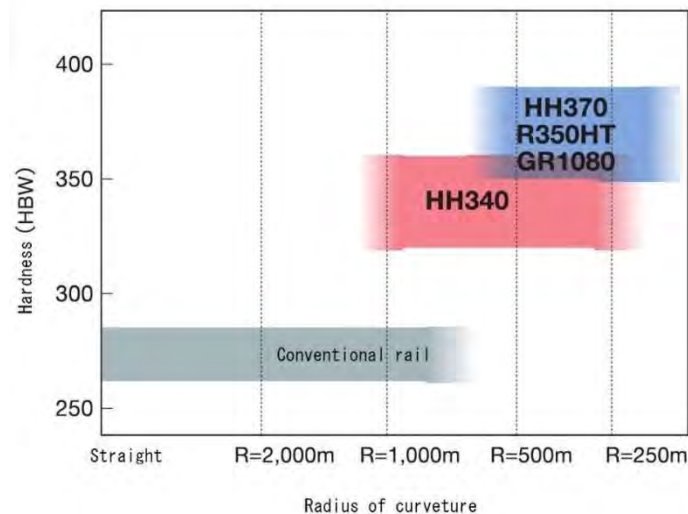
出典：調査団

[図 5.1.5] 脱線防止ガード付き 3 線軌条の軌道構造図

(3) 頭鍛レール

正式には「頭部熱処理レール」と称し、レールの耐摩耗性とじん性を向上させるために普通レールの炭素鋼レールの頭部に焼入れ・焼戻しの熱処理を施したレールで、別名 HH レールとも呼び²、熱処理の方法に先進技術がある。日本の普通レールは、炭素含有量が高く、圧延のままでも高い耐摩耗性を有しているが、さらに対摩耗性を高めたレールである。

頭鍛レールの導入当初は、鉄道の輸送量の増加、重量化、高速化に伴い、特に曲線区間におけるレール磨耗の軽減による取替え頻度の軽減が目的であったが、近年では、軌道保守負担の軽減や経済性の観点から一般区間でも頭鍛レールを導入するようになってきている。[図 5.1.6]は頭鍛レールと普通レールの硬さを比較したものである。



出典：新日鉄住金

[図 5.1.6] 頭鍛レールの性能

² 保線ウイキより。

日本ではレールの摩耗を遅らせ、欠損を防ぐため、[表 5.1.1]に示すとおり線路等級に応じて頭鍛レールを使用することを基準化している。

[表 5.1.1] 頭鍛レールの使用基準

線路等級	区間	直線	曲線	
			内軌	外軌
1 級線	100km/h 以上の 高速運転線区	端頭部頭鍛レール	R>800 定尺： 端頭部頭鍛レール 短：普通レール R≤800 定尺、短：普通レール	R>800：端頭部頭鍛レール
2 級線				R≤800：頭部頭鍛レール
3 級線				R>500：端頭部頭鍛レール R≤500：頭部頭鍛レール
4 級線	通トン 300 万ト ン以上の線区	普通レール	普通レール	R>500：普通レール R≤500：頭部頭鍛レール
	その他の線区			R>300：普通レール R≤300：頭部頭鍛レール
				普通レール

注：

- 1) ロングレール区間においても、原則として上表の使用区分による。ただし、端頭部頭鍛レールは使用せず普通レールを使用するものとする。
- 2) トンネル区間等は、原則として普通レールを使用する。ただし、トンネル区間において周期交換によらず摩耗等によりレール交換を施工する区間については情報の使用区分による。
- 3) 端頭部頭鍛レールは、短レールとしない。

出典：軌道施設に関する構造細目

日本における線路等級と通過トン数、速度、軸重の関係を[表 5.1.2]に示す。

[表 5.1.2] 線路等級毎の交通量

線路等級	標準通過トン数	最高速度				最大軸重
		高性能列車		一般列車		
		直線	曲線	直線	曲線	
1 級線	2000 万 t/年以上	120km/h	本則+5km/h	110km/h	本則	18t
2 級線	1000~2000 万 t/年	110~120km/h	//	100km/h	//	17t
3 級線	500~1000 万 t/年	105km/h	//	95km/h	//	15t
4 級線	200~500 万 t/年	95km/h	本則	85km/h	//	14t

注：本則とは、基本となる規則や原則の事を指す。ここに限って言えば、曲線の通過許容最高速度、つまり制限速度ということになる。

出典：日本国有鉄道線路管理規程

レールの欠損は、気温の変化によるレールの動きにより遊間が変化して、遊間が盲遊間、過大遊間（開口限界）に達し、レールの軸圧の増加や車輪の衝撃荷重により発生することが多い。レール欠損の事例を[図 5.1.7]に示す。



出典：調査団

[図 5.1.7] レール欠損事例

レール頭部の摩耗、欠損が進むとレール交換・補修周期が早まり、維持管理にかかる費用が増大する。レール欠損を防ぐためには、レール遊間の適正管理、継ぎ目ボルトの緊締管理、支え継ぎ目用のマクラギ適用、継目部のバラストのタンピングを十分行い、レール継ぎ目落を作らない、等の定期的な保守作業を行うと共にレール端部頭鍛を施すことが対策として挙げられる。特に、途上国では予算の都合、必要に応じた保守維持管理、補修費が割り当てられないケースが多いため、頭鍛レールを導入することで維持管理にかかる費用を抑えることが推奨される。

ADB-F/S の需要予測によると本事業が完了した後、同路線の貨物年間通過トン数は 1,000 万トンを超えること予測され、以降 30 年で約 3 倍の 3,000 万トンになると想定されている。本事業完了後の線路諸元を[表 5.1.3]に示す。

[表 5.1.3] ジャムナ鉄道専用橋線路諸元

標準通過トン数	最高速度			最大軸重	
	設計速度	広軌 (1,676mm)	1000 軌	広軌 (1,676mm)	1000 軌
1,000 万 t/年以上 (開通時)	120km/h	100km/h	80km/h	25t	15t

出典：ADB-F/S

日本の線路等級と照らし合わせれば、貨物だけで 2 級線の年間通過トン数に該当する。曲線半径の条件を踏まえると端部頭鍛レールの適用範疇となるが、日本では維持管理の手間の軽減を目的に、下級線を除いて、レール端部だけではなく全長に渡って熱処理する頭鍛レールの採用が[表 5-1-1]に関係なく広まってきている。また、本事業区間では日本で想定されているよりも大きい軸重 25t の貨物列車が通過することを考えると、通過トン数で表される以上の負荷がレールに作用するため、事業区間全線に渡って頭鍛レールを適用することが尚更好ましい。なお、前述した軸重を考えると、頭鍛レールよりも更に耐摩耗性及び耐表面損傷性を高めた重荷重鉄道用耐摩耗レールの適用も選択肢の一つとして考えることができる。

頭鍛レールも耐候性鋼材同様に長らく本邦企業が独占してきた技術であるが、近年、中国や韓国でも生産を始めたとのことである。しかし、使用実績が短いことから、新鉄道橋で使用するには品質の確認が必要である。

(4) 曲線鋼トラス橋

ジャムナ多目的橋の平面線形が半径 12,000m の曲線橋であることから、本調査では、3.4.1.で

説明した理由で、新鉄道橋も半径 12,300m の曲線橋とすることを提案している。また、本調査が提案する上部工の構造形式は鋼トラス桁であることから、鋼トラス桁を曲線に架設する必要がある。曲線の鋼トラス橋を計画する場合、上下弦材も曲線として橋全体を曲線とする方法（[図 5.1.8] 参照）と、橋脚間のトラス上下弦材は直線として、橋脚上の格点で折れ角を付ける方法（[図 5.1.9] 参照）とがあるが、新鉄道橋では、曲線半径が 12,300m と大きく直線に近いので、橋脚間（格点間）は与島橋で採用したものと同じく直線とし、格点でトラス橋に角折れを入れ、直線のトラス橋内でレールの線形のみを曲線とするのがよい。



出典： <http://works-k.cocolog-nifty.com/shared/image.html?photos/uncategorized/2009/03/30/amagasaki6.jpg>

[図 5.1.8] 尼崎付近福知山線分岐点



出典：調査団

[図 5.1.9] 瀬戸大橋与島橋

橋梁は、基本的には最短距離の長さを結ぶものであることから、通常は、曲線橋にすることは希であり、都市部や各種の制限のある状況で採用される形式である。例えば、福知山線の分岐地点では山陽本線を越えなければならないために、瀬戸大橋与島橋の場合は、与島橋の前後に南北備讃瀬戸大橋（吊橋）、櫃石・岩黒島橋（斜張橋）という、曲線とすることができない橋梁があるために与島橋に曲線を入れている。

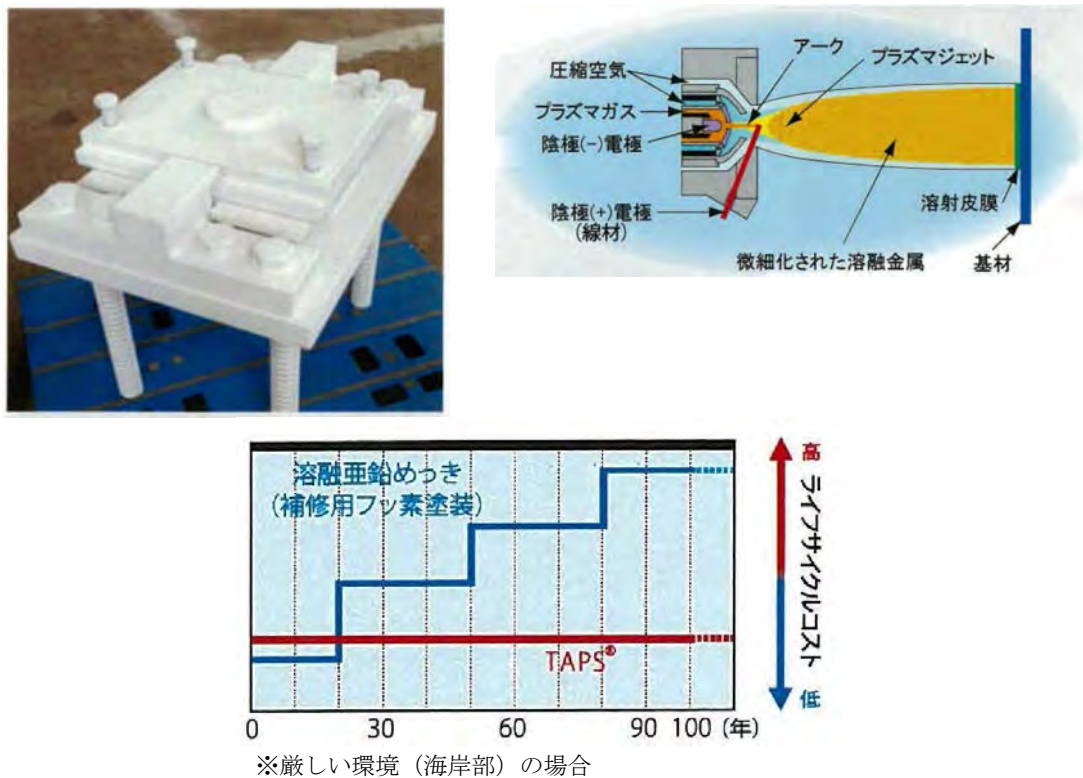
以上のように、トラス曲線橋は特殊な構造形式であり、角折れを入れるトラス格点の構造細部の設計・製作などには特別のノウハウが必要となる。従って、曲線鋼トラス橋の設計・製作の十分な施工実績が必要である。

5.1.3 その他の先進技術

(1) アルマグ溶射支承

鋼製支承やゴム支承などに使われる金属部分には、防錆処置としてフレイム溶射やプラズマ溶射などを行っている。アルマグ溶射支承は、アルマグ (Al-Mg) 合金によるプラズマアーク溶射 (TAPS) を施したもので、従来の塗装、熔融亜鉛メッキといった方法に比べて、より優れた防食性能を発揮する。このため、再塗装などが不要となるなど、支承の維持管理の手間が大幅に削減される技術である。

フレイム溶射は一般的な方法であるのに対して、プラズマ溶射は常温で行うことで施工が容易で、しかも付着力も大きいため耐久性に優れている ([図 5.1.10]参照)。日本ではプラズマ溶射後、塩水噴霧して暴露試験を 6,000 時間程度行っている。



出典：(株) 川金コアテック

[図 5.1.10] アルマグ溶射支承

アルマグ照射を新鉄道橋の支承に採用する場合には、長時間暴露試験による性能保証が必要である。

(2) 超高減衰ゴム支承

地震の発生の可能性のある国の橋梁では、支承構造が地震の揺れに適合している必要がある。

そのための方法の一つとして、ジャムナ多目的橋ではゴム支承の周囲に多数の縦方向の鋼棒を植え込み、さらに、支承の両側にダンパーを装備して、この塑性変形で横方向荷重を減衰している。また、桁が橋脚から脱落しないようにストッパーを装備している。

日本では通常、支承に高減衰ゴム支承(SHDR)を用いている。これは従来の免震ゴム支承(HDR)の持つ減衰性能をさらに向上させた高性能免震ゴム支承である³。これにより、地震時のエネルギーを更に大幅に低減するため、橋脚をスリム化するなど橋梁自体をコンパクトにでき、工事全体の工事費を低減する利点がある。

超高減衰ゴム支承を新鉄道橋の支承に採用する場合には、地震時の耐震性能を考慮して高減衰ゴム支承の性能規定を厳格に行う必要がある。その方法として以下を提案する。

- 性能の確認を行うために全数検査を行う。
- SHDR 支承などの高減衰ゴムを使った支承では、地震時の大変位に対応できるように 175% のせん断試験等を義務付ける。
- SHDR 支承の、性能規定、実績、性能試験の合格（全数を試験したり、伸びの数値を規定したり）を規定する。
- ゴム支承を使う場合に、ゴムの耐オゾン性を増し、ひび割れ防止のための塗装を行うことを規定する。

なお、メグナ橋でも SHDR 支承を使っている。

(3) レールのガス圧接法

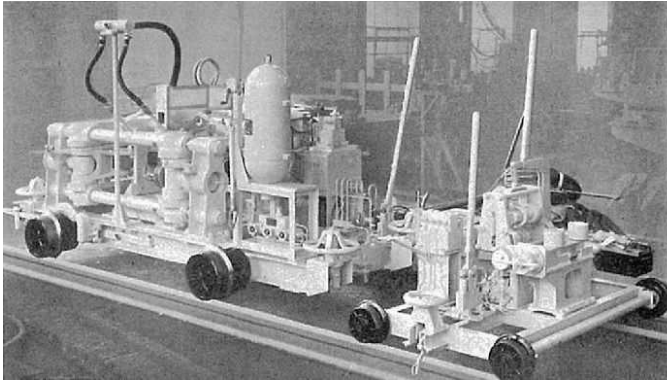
ADB-F/S ではロングレールの採用を提案しているが、120km/h という高速走行への対応、振動による軌道の破壊防止、年間を通して気温の差が日本ほど大きくない、などの点から適切な提案であるといえる。定尺レールを繋いでロングレールにする方法として、一般に、テルミット溶接法、フラッシュ溶接法、エンクローズドアーク溶接法、のように 2,000 度以上の熱を加える溶接が用いられるが、溶接はレール母材の材質を変化させ、特に疲労性能に劣るといふ欠点がある。これに対してガス圧接法は、溶接とは異なり、1,200 度程度の熱で母材の流動性を高めて、この状態で圧力をかけて母材どうしを固相状態のままに結合させる方法で、接合部の品質が母材とほとんど変わらないため耐久性に優れているという特長を持っている。

ガス圧接法は 1940 年頃に日本とアメリカで開発が開始され⁴、日本では 1955 年に実用化されたが、初期のレールガス圧接機は定置式で重量が 3 トンもあり現場使用には向かないばかりか、圧接で盛り上がった部分を取り除く作業が手間となった。その後改良が重ねられ、1986 年には小型ガス圧接機が開発され、本体重量は 95kg（加えて、押抜きせん断装置が 65kg）と現場作業に利用可能になった。

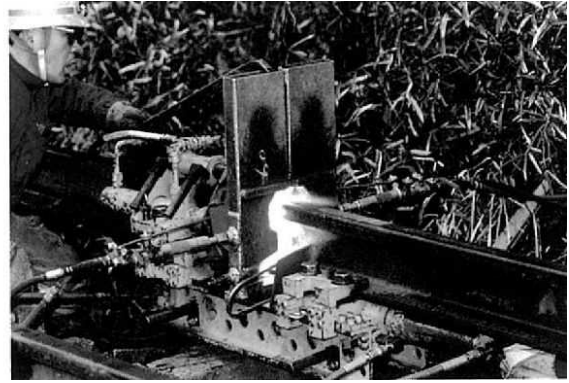
レールのガス圧接機は、現在では世界各地で使われ始めているが、使用方法については若干の技能が必要となることから、新鉄道橋に利用する場合には技術移転の対象となりうる技術である。

³ 横浜ゴムのウェブサイトより。

⁴ 出典：鉄道総研レビュー（2015 年 9 月号）



定置式レールガス圧接機



小型ガス圧接機による線路脇での施工

出典：鉄道総研レビュー（2015年9月号）

【図 5.1.11】 レール圧接機

5.2. 最適径間長の選定

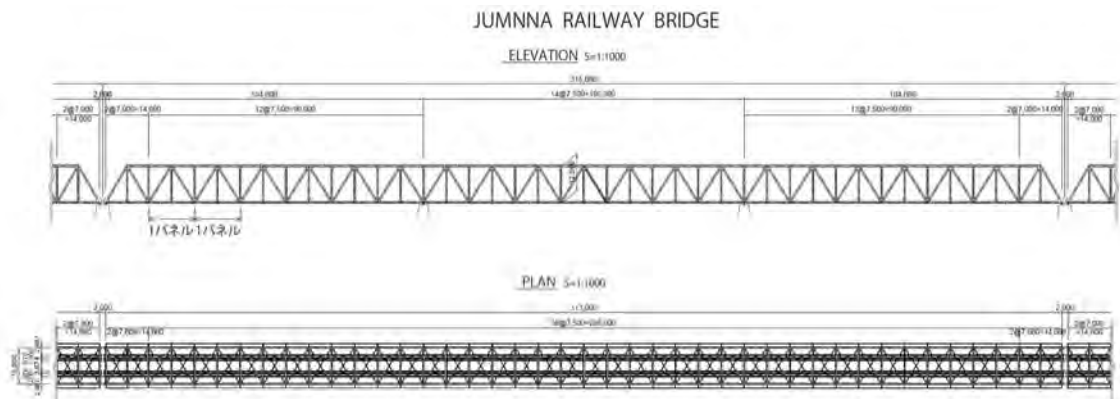
5.2.1 比較案の抽出

ここでは、上部工と下部工の工事費の合計が最も安価になるような構造形式を選定する。即ち、上部工のスパン長が長くなると、その分、橋の単位長さあたりの工事費は増加して上部工の総工事費は増加するが、他方、橋脚数が減るので下部工の総工事費は減少する。従って、上部工のスパン長と下部工の橋脚数の最適組み合わせについて検討するものである。

比較案の抽出にあたり、トラスの1パネル（[図 5.2.1]に示すように、トラスの格点間の構造単位）長を標準的な 15m（バングラデシュの列車建築限界を支承しない）とし、これを単位長さとして3種類のスパン長を比較した。即ち、

- ① 1 スパン長=15m×7 パネル=105m
- ② 1 スパン長=15m×8 パネル=120m
- ③ 1 スパン長=15m×9 パネル=135m

の3種類のスパン長である。

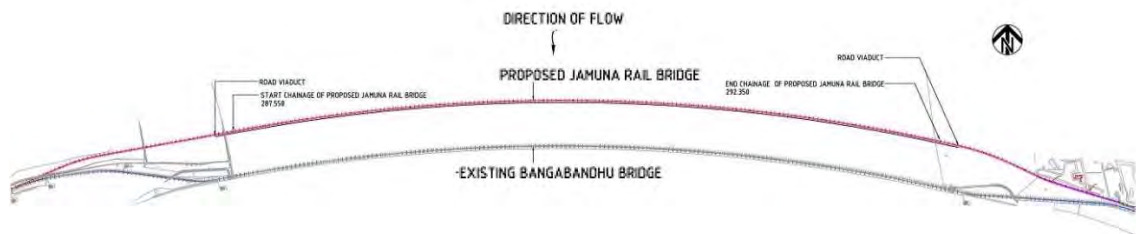


出典：調査団

【図 5.2.1】 鋼トラス桁橋の1ユニット（3スパン連続トラス桁）

橋長については、3.4.1.で提案したように、[図 5.2.2]に示す3ルートの中の第1案(図の(1))の曲線橋(半径 12,300m)を採用し、4,810mとする。この場合、上記の3種類のスパン長のどれでも割り切れずに端数が生じるが、ここでは総工事費の比較が目的であるために、3スパン連続橋の鋼重を算出した後、1m当たりの鋼重を算出し、それに4,810mを乗じて橋梁全長の鋼重を算出している。

橋梁単位については、3スパン構成とした。ADB-F/Sの鋼トラス橋では6スパン連続桁としているが、これは恐らく道路橋を念頭に設計したものと考えられる。即ち、道路橋では自動車の走行性を良くするためにスパン構成数をできるだけ大きくするが、鉄道橋では列車がレールの上を走行するためにこのような配慮は不要である。今回の工費算出においては、地震力のために固定支承位置の橋脚のサイズが大きくなることのないように3スパン構成とした。ただし、上部工鋼重は、連続スパン数が多くなっても、単位長さ当たりの鋼重には大きな変化は無い。



出典：ADB-F/S

[図 5.2.2] ジャムナ多目的橋と新鉄道橋の位置関係

5.2.2 最適径間長の選定

スパン長 105m、120m、135m の3案について、上下部工の合計工事費を計算したものを[表 5.2.1]に示す。この表では、合計工事費の実額ではなく、スパン 120m の合計工事費を 1.000とした場合の、他のスパン長の合計工事費の比率で示してある。

工事費を算出するにあたって、下部工の基礎構造については、4.2.2.で提案したとおり SPSP-Fを前提にしている。

[表 5.2.1] 鋼トラス橋と下部工との合計工事費の比率

スパン長(格点距離×パネル数)	7.5m×14=105m	7.5m×16=120m	7.5m×18=135m
1. 橋脚数(箇所)	47	41	37
2. 橋長(m)	4,810	4,810	4,810
3. 合計鋼重(トン)	38,177	40,817	44,070
4. 工費の比率(上部工+下部工)	1.016	1.000	1.011

出典：調査団

以上の比較から、スパン長が 120m の鋼トラス桁橋が最適案であることがわかった。ジャムナ多目的橋は新鉄道橋の 300m 下流に位置し、スパン長は 100m である。新鉄道橋のスパン長が 100m 以上であれば、日本の「河川管理施設等構造令」によれば、「橋脚間が当該河川の川幅以上、又は 200m 以上離れている場合は近接橋の特則は適用しない」となっていることから、上流の橋脚は下

流の橋脚に影響を与えず、従って洗掘の影響もないと考えられる（ただし、詳細設計時に精査は必要ではある）。また、ジャムナ多目的橋、新鉄道橋ともに航路限界の第Ⅱゾーンの要件である、幅 76m で高さ 12.2m を守っているため、船舶航行への影響もない。

第 6 章 F/S 案と代替案の比較 (Step 3)

6.1. F/S 提案の工事費再計算

6.1.1. 比較をする上での工事費単価の設定

ADB-F/S によれば、工事費としては、河川部橋梁の上下部工の合計額のみ記載があるだけで、工事費内訳や単価に関する情報が無いために、どのような現場や市場条件で工事費を積算したかが不明であり、ここに記載のある工事費と本調査で提案する鋼トラス橋の工事費とを比較しても公平な比較にはならない。従って、ADB-F/S 提案の PC 箱桁の工事費を再計算して、その値と本調査提案の鋼トラス橋の工事費を比較することとする。

そこで、ADB-F/S に掲載のある図面集から数量を拾い、これに本調査で得られた単価を用いて PC 箱桁の工事費を再計算する。ADB-F/S に掲載のある図面集には、PC 箱桁の上部工標準部 1 連（5 径間）と PC 箱桁の上部工端部 1 連（4 径間）のみが掲載されており、（代表断面が掲載されているだけで）全ての箱桁が掲載されているわけではない。次に、下部工と基礎工については、代表断面の図面は掲載されているが、橋脚高や杭長がわかる図面は掲載されていない。

以上のような情動的制約条件の下で、ADB-F/S 案の工事費の計算は、まず、数量の算出が概ね可能な上部工の工事費を算出し、下部工と基礎工の工事費については全体金額から差し引くことで算出することにする（理由は 6.1.2 を参照）。PC 箱桁の工事費を算出するのに用いた単価は、東南アジアにおける既存の類似工事の契約実績単価をもとに、バングラデシュがコンクリート用の骨材を輸入する必要があることを踏まえて[表 6.1.1]のとおり設定した。

[表 6.1.1] PC 箱型橋の工事費積算に用いた工事費単価

数量項目		単位	単価(千円)	適用
コンクリート	本体	m ³	100	40MPa
	地覆、検査路	m ³	200	30MPa
鉄筋		t	400	
PC 鋼材	12S15.2	t	1,500	
	1S21.8	t	1,300	

注：MPa はコンクリートの圧縮強度の単位で、MPa=Mega Pascal

出典：調査団

本調査が提案する鋼トラス橋と SPSP-F の工事費を算出するのに用いた工事費単価は、架橋地の物価水準（[表 3.5.1]参照）、施工条件や河川条件など（3.5.1 参照）も踏まえ、さらに本邦建設業者の見積りも参考に設定した。[表 6.1.2]に概要を示す。鋼重トン当たりの単価の根拠や前提は 6.2.1 を参照）。

[表 6.1.2] 鋼トラス桁案の工事費積算に用いた単価

(1) 鋼トラス橋			
数量項目	単位	単価(千円)	適用
鋼トラス本体	トン	600	6.2.1 参照
支承	式	1,174,560	橋梁全体(支間:120m)
(2) 橋脚とSPSP-F			
数量項目	単位	単価(千円)	適用
RC 橋脚	基	87,020	
鋼管矢板基礎	材料費、輸送	110,170	
	打込み費	500,390	

出典：調査団

6.1.2. F/S 案の工事費試算

ADB-F/S 案の工事費は、ADB-F/S で推奨されている PC 箱桁橋案の数量の内、下部工と基礎工の数量については掲載されている図面からは算定ができないことから、ADB-F/S に掲載されている全体工事費から、計算が可能な上部工の工事費を差し引いて推測することとする。従って、下部工と基礎工の工事費についてはかなり信頼性に劣るが、情報が無い中ではやむをえないと考える。また、実際の工事費は、ジャムナ多目的橋の施工記録や大口径で大深度の鋼管打ち込み斜杭という難工事を考慮すると、もっと大きい値となると予想されるので、本調査提案の下部工と基礎工の工事費との比較の目的には安全側の値といえる。

(1) 橋梁の全体工事費： 60,917 百万円

橋梁の全体工事費は ADB-F/S における橋梁関連工事部分の工事費を円換算した金額である。[表 6.1.3]の「総工事費」の欄は ADB-F/S にある工事費内訳を転記したものであり、橋梁本体、ボックスカルバート、護岸工事、雑工、予備費（40%）から構成されている。工事費の通貨単位はタカである。

表の「橋梁部分の工事費」の欄は、そのうち橋梁建設に関わる部分のみを抜粋したもので、橋梁本体、雑工、予備費（40%）である。従って、これら以外の工種の金額には 0 を記入してある。その右側の欄は通貨単位を円に換算したもので単位は百万円である。為替レートには 1.6 円／タカ（2015 年 7 月時点）を用いた。

[表 6.1.3] ADB-F/S による PC 箱桁橋案の工事費積算内訳

No.	工種	総工事費 (百万タカ)	橋梁部分の工事費 (百万タカ)	橋梁部分の工事費 (百万円)
1	主橋梁(PC 連続箱桁)	23,310	23,310	237,300
2	ボックスカルバート	39	0	0
3	現況護岸の部分補修	11,655	0	0
4	雑工(現護岸への杭施工) a) 現防護工の露頭 b) 大規模な浚渫 c) 損傷の補修 d) 杭施工後の補修 e) 杭施工後の埋め戻し f) 仮締切り	3,885	3,885	86,200
	小計	38,889	38,889	443,500
5	予備費(小計×40%)	15,556	15,556	17,400
1~5	合計	54,445	54,445	60,917

: 1 タカ=1.6 円として円換算した。

出典：ADB-F/S をもとに加工

(2) 上部工工事費：18,730 百万円

ADB-F/S に掲載されている図面から数量を推定し、これに[表 6.1.1]で想定した単価を乗じて工事費を計算したもので、これを ADB-F/S 案の上部工の工事費を再計算したものとした。内訳は[表 6.1.4]のとおり。

[表 6.1.4] ADB-F/S 推奨案における上部工工事費の計算

数量項目		単位	数量 (100m 当り)	単価 (千円)	工事費 (千円/100m)	適用
コンクリート	本体	m ³	1,202.900	100	120,200	40MPa
	地覆、検査路	m ³	360.800	200	72,160	30MPa
鉄筋		トン	344.009	400	137,600	
PC 鋼材	12S15.2	トン	33.955	1,500	5,930	
	1S21.8	トン	6.473	1,300	8,410	
PC 上部工 100m 当りの工事費					389,400	
PC 上部工全体の工事費					18,730,190	

注：MPa はコンクリートの圧縮強度の単位で、MPa=Mega Pascal

出典：調査団

(3) 下部工と基礎工の工事費：42,187 百万円

[表 6.1.4]において、[下部工と基礎工の工事費] = [全体工事費] - [上部工工事費] = 60,917 - 18,730 となる。繰り返しになるが、この値は、ADB-F/S における PC 箱桁橋案の数量の内、下部工と基礎工の数量については掲載されている図面からは算定ができないことから、信頼性に劣る値ではあるが、実際の工事費は、ジャムナ多目的橋の施工記録や大口径で大深度の鋼管打ち込み斜杭という難工事を考慮すると、もっと大きい値となると予想されるので、本調査提案の下部工と基礎工の工事費との比較の目的には安全側の値といえる。

6.2 本調査提案の工事費計算

6.2.1. 上部工の工事費計算

国外で製作した鋼トラス橋の鋼橋をバングラデシュに搬入し、新鉄道橋位置で架設する場合の鋼重トン当たり単価は、東南アジアにおける既存の類似工事の契約実績単価をもとに 600 千円／トンと推定した。この数字は、近隣国の類似工事の契約実績内訳、ならびにバングラデシュ国内で実施中の類似工事の入札金額の内訳を調査した結果得られたものである。

本調査の目的は構造形式の違いによる工事価格の違いを調査するものである。PC 箱桁の工事費計算には類似工事の実績を用いていることから、鋼トラス桁の工事費計算にも類似工事の実績を用いるべきであると考えるところ、鋼重トン当たり単価として上記の単価を想定した。

上部工に採用している鋼トラス桁の重量は、120m スパンの鋼トラス橋で 40,817 トンとなり、これに 600 千円／トンを乗じ、さらに支承の価格を加えて、上部工の工事費は 25,664,760 千円と計算された。[表 6.2.1]にその内訳を示す。

[表 6.2.1] 鋼トラス橋案の上部工の工事費の計算

数量項目	単位	数量	単価(千円)	工事費(千円)	適用
鋼トラス本体	トン	40,817	600	24,490,200	
支承	式	1	1,174,560	1,174,560	
上部工 計				25,664,760	

出典：調査団

6.2.2. 下部・基礎工の工事費計算

橋脚と SPSP-F のそれぞれ 1 基当たりの工事費を[表 6.1.2]の単価を用いて計算したものが[表 6.2.2]である。その結果、下部・基礎工の工事費は 28,600,780 千円と計算された。

[表 6.2.2] 鋼トラス橋案の下部・基礎工の工事費の計算

数量項目	単位	数量	単価(千円)	工事費(千円)	適用	
RC 橋脚	基	41	87,020	3,567,820		
SPSP-F	材料費、輸送	基	41	110,170	4,516,970	
	打込み費	基	41	500,390	20,515,990	
下部・基礎工 計				28,600,780		

出典：調査団

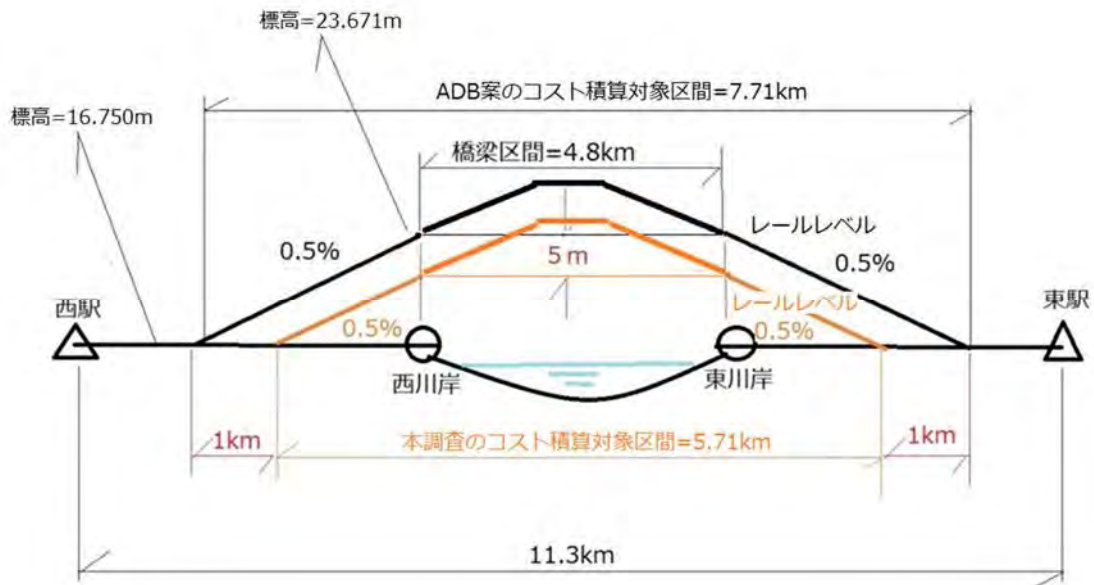
6.3 両案 LCC 費用の比較検討

6.3.1. 初期コストの比較

初期コストの比較項目は、上部工、下部高、軌道構造、橋梁アプローチの 4 項目である。上部工については、PC 箱桁と鋼トラスの違い、下部工については大口径斜打込杭と SPSP-F の違い、軌道構造については 4 線軌条と 3 線軌条（鋼直結軌道、頭鍛レール、脱線防止ガード付き）の違い、橋梁アプローチについてはレールレベルが低くなったことによるアプローチ区間（高架橋と盛土で構成）の長さの違いである。

軌道構造については近隣国の類似事業の工事単価を用いて計算した。PC 箱桁橋と鋼トラス橋のアプローチ区間の長さの違いによる工事費の違いを計算した。[図 6.3.1] に示すとおり鋼トラス橋の高架橋区間の長さは PC 箱桁橋に比べて片側 1,000m 短縮される。なお、両案のコスト算出のための単価は、構造形式の違いによるコストの違いを比較する目的のため、工事項目毎に同じものとした。そのため、ある工事項目には ADB-F/S の単価を使い、他の工事項目には近隣国の調達実績を使っており詳細を[表 6.3.1]に示す。

その他、施工に必要な構台や栈橋、河川両側のアプローチ橋、通信信号設備などについては、本調査で変更を提案していないので比較していない。



出典：調査団

[図 6.3.1] 橋梁アプローチ区間の略図

以上の計算をまとめたものが[表 6.3.1]である。表のとおり、初期費用だけの比較で単純比較しても本調査が提案する、上部工の鋼トラスと基礎工の SPSP-F に価格優位があることがわかった。

ただし、[表 6.3.1]の金額の取り扱いには以下の注意が必要である。

- 本調査の基礎工工事費算出において、ADB-F/S 案の概算工事費にも本調査提案の概算工事費にも砂州区間の浚渫工費の費用は含まれていない。これは浚渫が毎年必要となるのか、浚渫区間の長さ、等が不明であり、浚渫量が算定できないためである。
- ADB-F/S 案の下部工と基礎工の工事費計算は、数量に関する情報が無いため、全体工事費を正しいとして、上部工の価格を減ずることで計算したものであり、信頼度は落ちる（ただし、構造形式の違いによる費用の違いの比較のためには安全側の値）。
- 鋼トラス橋の鋼重トン当りの価格は、ADB-F/S 案の上部工の工事費計算に類似工事の契約実績単価を使っていたことを踏まえて、本調査でも同様に類似工事の契約実績単価を使用した。

[表 6.3.1] ADB-F/S 案と本調査案の初期コストの比較

(単位：百万円)

	ADB-F/S 案		本調査提案	
	形式	価格	形式	価格
上部工	PC 箱桁	18,730	鋼トラス桁	25,665
下部工+基礎工	大口径斜打込杭	42,187	SPSP-F	28,601
軌道 ・ ADB 案 7.71km ・ 調査案 5.71km	橋上：4 線スラブ軌道 アプローチ：3 線軌道	5,560	橋上：3 線鋼直結軌道 アプローチ：3 線軌道	4,316
	通常レール	0	HH レールによる増	39
	脱防ガードなし	0	脱防ガードあり	1,183
アプローチ (盛土+高架)	延長 2.91km (両岸の合計)	1,050	延長 0.91km (両岸の合計)	496
合計		67,527		60,300

出典：調査団

[表 6.3.2] コスト比較のために用いた単価の取得先

	項目	ADB-F/S		本調査	
		単価	数量	単価	数量
上部工	PC 箱桁	調査団見積り	4.8km	適用外	0km
	鋼トラス	適用外	0km	調査団見積り	4.8km
下部工基礎	鋼管打ち込み	調査団見積り	49 基	適用外	0 基
	SPSP-F	適用外	0 基	調査団見積り	41 基
下部工橋脚	RC 橋脚	調査団見積り	49 基	調査団見積り	41 基
軌道工事	通常レール	調査団見積り	(7.71-4.8)×6 本=17.46 4.8km×8 本=38.4km	調査団見積り	(5.71-4.8)×6 本=5.46km
	HH レール	適用外	0m	調査団見積り	4.8km×6 本=28.8km
	通常締結装置	ADB-F/S 単価	(7.71-4.8)×6 本=17.46 4.8km×8 本=38.4km	ADB-F/S 単価	(5.71-4.8)×6 本=5.46km
	直結締結装置	適用外	0km	調査団見積り	4.8km×6 本=28.8km
	マクラギ	ADB-F/S 単価	4.8km×2 軌道=9.6km	適用外	0km
	脱防レール	適用外	0km	調査団見積り	4.8km×6 本=28.8km
	路盤コンクリート	調査団見積り	4.8km	適用外	0km
アプローチ工事	高架橋	ADB-F/S 単価	ADB-F/S の高架橋長	ADB-F/S 単価	ADB-F/S の高架橋長
	盛土	ADB-F/S 単価	ADB-F/S の盛土長	ADB-F/S 単価	ADB-F/S の盛土長-2.0km

注：路盤コンクリートは本体工事費として計算済み。

出典：調査団

もう一つの選択肢として、上部工が PC 箱桁と基礎工が SPSP-F という組合せも考えられる。その場合、PC 箱桁の自重が鋼トラス桁の自重の 3 倍以上あるため SPSP-F の杭の数が増え、SPSP-F の施工費が鋼トラス桁の場合と比べて 1.3 倍以上になる。その結果、PC 箱桁と SPSP-F の組合せは、鋼トラス桁と SPSP-F の組合せより施工費が高くなる。

6.3.2. LCC を含めたコスト比較

(1) PC 箱桁橋と鋼トラス橋の維持管理費等

ADB-F/S では PC 箱桁橋の架設にバランスドカンチレバー工法が提案されている。1989 年のジャムナ多目的橋の F/S では、バングラデシュのような高温多湿の国で、高品質のコンクリートを現場打設するには細心の注意が必要であること、そのために F/S では現場打ちコンクリートを可能な限り避け、コンクリート床版の現場継ぎ手部だけを場所打ちコンクリートとすることを提案している。バランスドカンチレバー工法を採用する場合は、全てのコンクリートが場所打ちとなり、品質管理に困難が予想される。もし適切にコンクリートが打設され、品質の良いコンクリ

ートが得られれば、PC 箱桁橋も維持管理がそれほど必要では無くなる。しかし、品質の悪いコンクリートが施工された場合は、ジャムナ多目的橋が実例を示すように完成後に多大な維持管理作業が必要となることもある。

それに対して、鋼トラス橋の場合は、工場製作であり、確実な品質を確保することが容易な構造形式である。確実な品質の鋼橋を現場で架設するだけなので、完成後の品質もほぼ信頼できる。鋼橋の場合、通常は定期的な塗り替えのために維持管理費がコンクリート橋に比べて不利であるが、今回は耐候性鋼材の使用を提案しているため、維持管理費についても、費用は少なく済む。鋼トラス橋と PC 箱桁橋とを比較すると、維持管理の面からはどちらもほぼ同等と考えられるが、工事中の品質確保の面からは鋼トラス橋の方が優れている。また、PC 橋の場合は、工事中の品質確保の程度によっては、維持管理費が増大する懸念もある。

(2) LCC を含めたコスト比較

上部工本体について、PC 箱桁橋が適切に施工された場合には、完成後の維持管理費は鋼トラス橋と変わりがないことがわかったので、維持管理費に伴う LCC には差が出ない。しかし、事業の経済計算を行う場合には、維持管理費の他に設備の更新費用や事業の寿命が到来した時の施設の残存価値を推定することになっている。その観点から、鋼トラス橋は、橋梁架け替え時の取り壊し費用が安く、しかも鋼材は再利用が可能であることから転用が可能で残存価値も大きい。

また、本調査ではいくつかの先進技術の適用を提案している。鋼直結軌道や頭鍛レールは維持管理費の削減に貢献することがわかっているが、現在、JR 各社や私鉄は維持管理費を公開しておらず定量的な比較はできなかった。また、支承についても金属部分の錆発生やゴムの劣化を抑えることで LCC 削減に貢献するが、その規模は比較的小さいために定量的な分析はしていない。

その他、直接的な効果ではないが、SPSP-F の施工やレールの現場ガス圧接技術のように、技術移転が実現できれば、これまで外国人技術者に依存していた作業を現地技術者に置き換えることが可能であり、長期的観点から LCC の削減に貢献する。

6.4 結論

以上のように本調査提案は初期費用についても LCC 費用についても価格優位性があることが推測できるが、その他の面についてまとめたものが[表 6.4.1]である。表に示すとおり価格面以外でも本調査提案の鋼トラス橋と SPSP-F の組み合わせの構造形式が優れていることがわかった。なお、表中、カッコ書きの数字は評点であり、カッコ内の左側の数字が得点で、右側が満点である。点数による定量的評価の結果、70 点満点中、ADB-F/S 案が 48 点で、本調査提案が 67 点である。

[表 6.4.1] ADB-F/S 案と本調査案の比較まとめ

案	ADB-F/S 案 (PC 箱桁橋+大口径斜杭)	本調査提案 (鋼トラス橋+鋼管井筒矢板基礎)
図面		
工期	51 ヶ月 (8/10)	48 ヶ月 (10/10)
船舶衝突	● 河床から上の断面積が大きいため、船舶衝突の確率は案 2 より大きい。 ● (7/10)	● 河床から上の断面積は案 1 より小さく、船舶衝突の確率も案 1 より低い。また橋脚本数も少なく、船舶衝突の確率は更に小さくなる (9/10)
洗掘	● 断面積が大きいため、洗掘の可能性も大きくなる。しかし、多柱基礎の洗掘への影響と、単柱の影響とは異なるため、評価が難しい。 (7/10)	● 断面積が小さいため、洗掘効果は小さくなる可能性がある。 (8/10)
下部工の施工性	● パイルキャップは水上に建設するため、仮設備は簡単なものです。 ● 斜杭は正確な位置決めが困難である。 ● 大口径の鋼杭は現場製作する必要がある。またハンドリングのために巨大な機械設備が必要である。溶接や精度管理などの品質管理が難しい。 ● 大口径の斜杭であり、施工の確実性が課題であり、また杭先端の閉塞効果が課題であり、先端支持力の低減等配慮が必要である。 ● 重い上部工の重量に対して、大口径斜杭を採用している。このため杭本数が少なくて済んでいる。 (6/10)	● 鋼管井筒矢板基礎は、締め切り堤を兼用している。矢板の下部がそのまま永久基礎の一部となっており、合理的な構造である。 ● この工法については、大口径斜杭の施工に比べて、問題点がほとんどない。 ● この直径及び深度の杭の前例は多くある。またこの橋梁は新設橋であるため、建設上の制限もない。特別な機械も不要である (10/10)
上部工の施工性	● バランスドカンチレバー工法は確立された工法で安定している。しかしコンクリートの品質管理が重要である。 ● 上部工は既存ジャムナ多目的橋と同様な形式である。しかしレールはウェブ直上に設置されており、よりよい構造になっている。 ● 橋脚と上部工とが剛結構造になっており、耐震性が改善されている。 (9/10)	● レールの高さが低いため、アプローチ区間が短くできる。 ● 鋼トラス橋の単材架設は確立された工法である。 ● 鋼直結軌道を設置した鋼トラス橋の重量は PC 箱桁橋の重量の 1/3 程度である。 ● 工場製作された部材を現場で組み立てる鋼トラス橋は、案 1 よりも現場工期を短縮することが、より容易である。 ● 橋梁部材は工場製作であるため、品質管理は比較的容易である。 (10/10)
工費比率	1.04 (9/10)	1.00 (10/10)
技術移転	● 大口径斜杭は製作が困難で、打設も難しい。技術移転の技術としては、ふさわしくない。 (2/10)	● 新しい技術であり、技術移転にふさわしい。 (10/10)
評価	△ (48/70)	◎ (67/70)

注：各評価項目の中で、カッコ内の数字の左側は点数で右側が満点である。

出典：調査団

第 7 章 事業実施計画

調査団の日本における鉄道橋建設計画の知見をもとに、ADB-F/S による提案の検討、ならびに現地調査や実施機関との議論により得られた情報を考慮した結果、本調査で提案している実施スケジュールを含む施工計画、調達手続き、これらを効率よく公正に実施するためのコンサルタントの実施体制と TOR、第 6 章で計算した橋梁工事に関連工事を含めた事業費を以下の通り提案する。

7.1. 施工計画

ジャムナ鉄道専用橋の構造形式として、第 5 章にて行った ADB-F/S との比較検討の結果、最適案として、上部工には鋼下路トラス橋を、下部工には SPSP-F を提案しており、以下これらを前提として計画する。これらの構造形式に対する施工方法にはいくつかの選択肢があり、経済性や工程、維持管理、技術移転性、などを考慮して、詳細には、工事を受注したコントラクターが現地の自然条件を再確認の上で決定することになるものの、ここでは本調査段階において得られた情報に基づいて以下のとおり提案する。

7.1.1. 上部工の施工計画

上部工には鋼下路トラス橋を提案しているが、その施工方法としては主に以下の 3 種類が考えられる。

(1) トラベラークレーンを使った単材張出し架設

トラス材の上にトラベラークレーンを載せて単材（トラス組みをしない状態の部材）を架設していく方式で、河川の両側の橋台から中央に向かって施工するのが一般的である。兩岸の橋台から、既に架設した部分の上をトラス材の単材を運搬して架設していき、中央で閉合する。トラス材を 1 部材毎に架設していくので時間はかかるが、河川の流速などの影響を受けない利点があり最も確実な工法である。

(2) トラベラークレーンと台船を使ったパネル材張出し架設

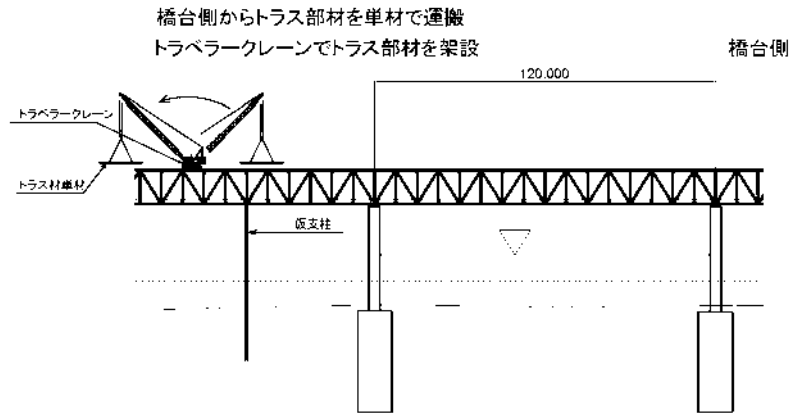
いくつかのトラス材を部分的にパネル材として地組（現場に搬入する前組み立てる）し、これを台船に載せて架設位置まで運搬し、パネル材をトラベラークレーンで架設する方式で、施工速度は(1)の単材架設よりは施工側後が速いが、河川の流速などの影響を受けるため、雨季に施工できるかどうか検討する必要がある、不確定要素の大きい工法である。

(3) フローティングクレーンによるブロック材張出し架設

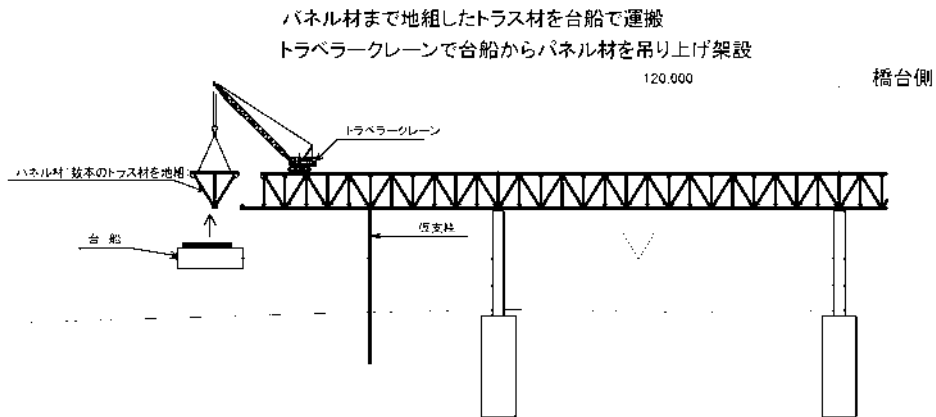
トラス材をフローティングクレーン（台船上に固定したクローラークレーン）で架設できる程度の大きさのブロックに地組し、台船で運搬し、架設する方式で、100～150 トン程度のクローラークレーンを台船に載せてフローチグクレーンとして使用すれば、(2)のトラベラークレーンによるパネル材架設よりもさらに施工速度を速くできるが、(2)と同様に、雨季に施工可能かどうか検討する必要がある、これも不確定要素の大きい工法である。

以上を簡単に図解したものを[図 7.1.1]に示す。

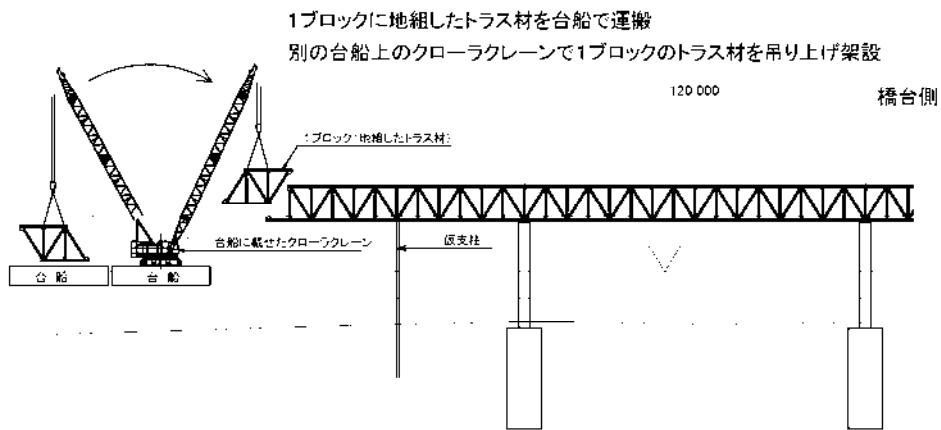
(1)トラベラークレーンによる単材張出し架設



(2)トラベラークレーンと台船によるパネル材張出し架設



(3)フローティングクレーンと台船によるブロック張出し架設



出典：調査団

〔図 7.1.1〕 鋼トラス桁の架設方法

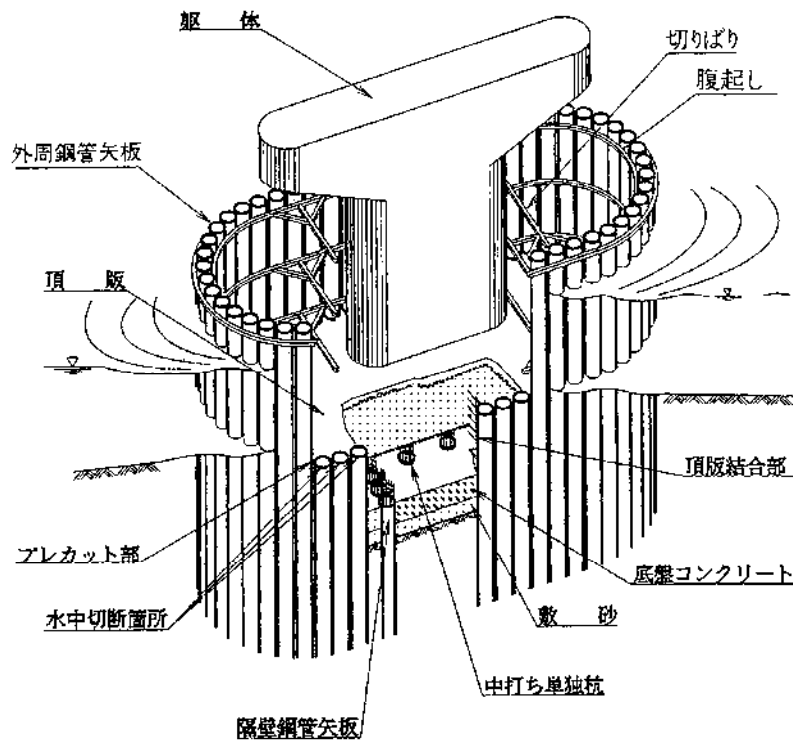
上記(1)～(3)のうちどの工法を採用するかは、受注したコントラクターが現地入りして現場条件を再確認した上で工事計画を立案して決めるべきであるが、ここでは、最も確実性の高い(1)を採用するものとして以下の検討を進めることとする。この場合の不確定要素としては主に以下のものがあるが、これらは現時点で精度の高い予見が難しい。

- 1) 上記の雨季に関する自然条件
- 2) 下部工の施工速度（下部工の施工速度が遅ければ上部工の施工速度が速くても意味が無い）
- 3) 鋼トラス桁部材の製造速度（大量の鋼部材を製造し現場に搬入できるか）
- 4) 採用工法に対して適切な能力の台船やクレーン設備が必要数を確保できるか

また、現時点では、桁の架設は河川の兩岸から開始するのが最も番合理的だと考えられるが、桁の製作や下部工の施工の進捗状況によっては、途中の橋脚からの架設が必要となる可能性も考えられる。しかし、本調査では最も可能性の高い、岸の両側から架設を開始することを前提に工事計画を立案する。

7.1.2. 下部工の施工計画

下部工には SPSP-F を基礎構造としたコンクリート橋脚を提案しており、その概略図を[図 7.1.2]に示す。



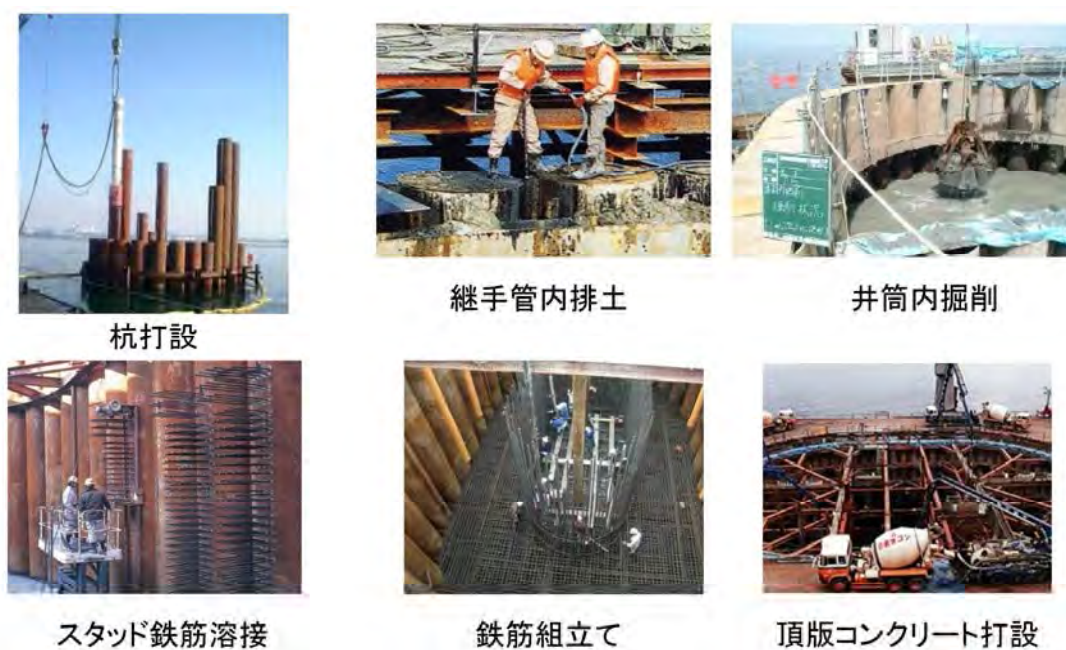
出典：鋼管矢板基礎—その設計と施工—（鋼管杭協会）

[図 7.1.2] SPSP-F の概略図

下部工には下記のような施工段階がある。

- (1) 準備工：測量台設置工、仮杭打設工
- (2) 鋼管矢板打設工：導材設置工、一次打設（油圧バイプロハンマ打設）、二次打設（油圧ハンマ打設）
- (3) 鋼管内掘削コンクリート工：継ぎ手内グラウト工、鋼管内掘削工、鋼管内コンクリート工

- (4) 底盤コンクリート工：一段目支保工設置、井筒内掘削工、底面均し（敷砂）工、底盤コンクリート打設工
- (5) 間詰めコンクリート工：井筒内排水・二段目以降の支保工設置・間詰めコンクリート工
- (6) 頂版構築工：スタッド工、頂版構築工
- (7) 橋脚躯体構築工：橋脚鉄筋工、型枠工、コンクリート打設工
- (8) 後始末・片付け工：鋼管矢板切断工、灯浮標撤去工、測量台撤去工 SPSP-F の概略施工手順を[図 7.1.3]に示す。



出典：新日鐵住金

[図 7.1.3] SPSP-F の概略施工手順

下部工についても不確定要素があり、上部工同様に雨季の施工可能性や砂州区間の浚渫工事実施期間に関する自然条件の他に、台船やクローラークレーンなどの施工機械の利用可能性、などがあり、これらは現時点で予見するのは難しい。従って、本調査では最も経済的と思われる施工速度（施工機械や労働者の利用可能状態）を採用し、砂州の浚渫については第 6 章で工事費の比較をした時と同様に、どの構造形式についても共通して発生する工事・費用であることから、未定のままで工事計画を立案する。

7.1.3. 工事工程

工事工程は、7.1.1.と 7.1.2.とで説明した施工計画を前提に立案した。前提条件を再掲すると以下の通りである。

(1) 上部工

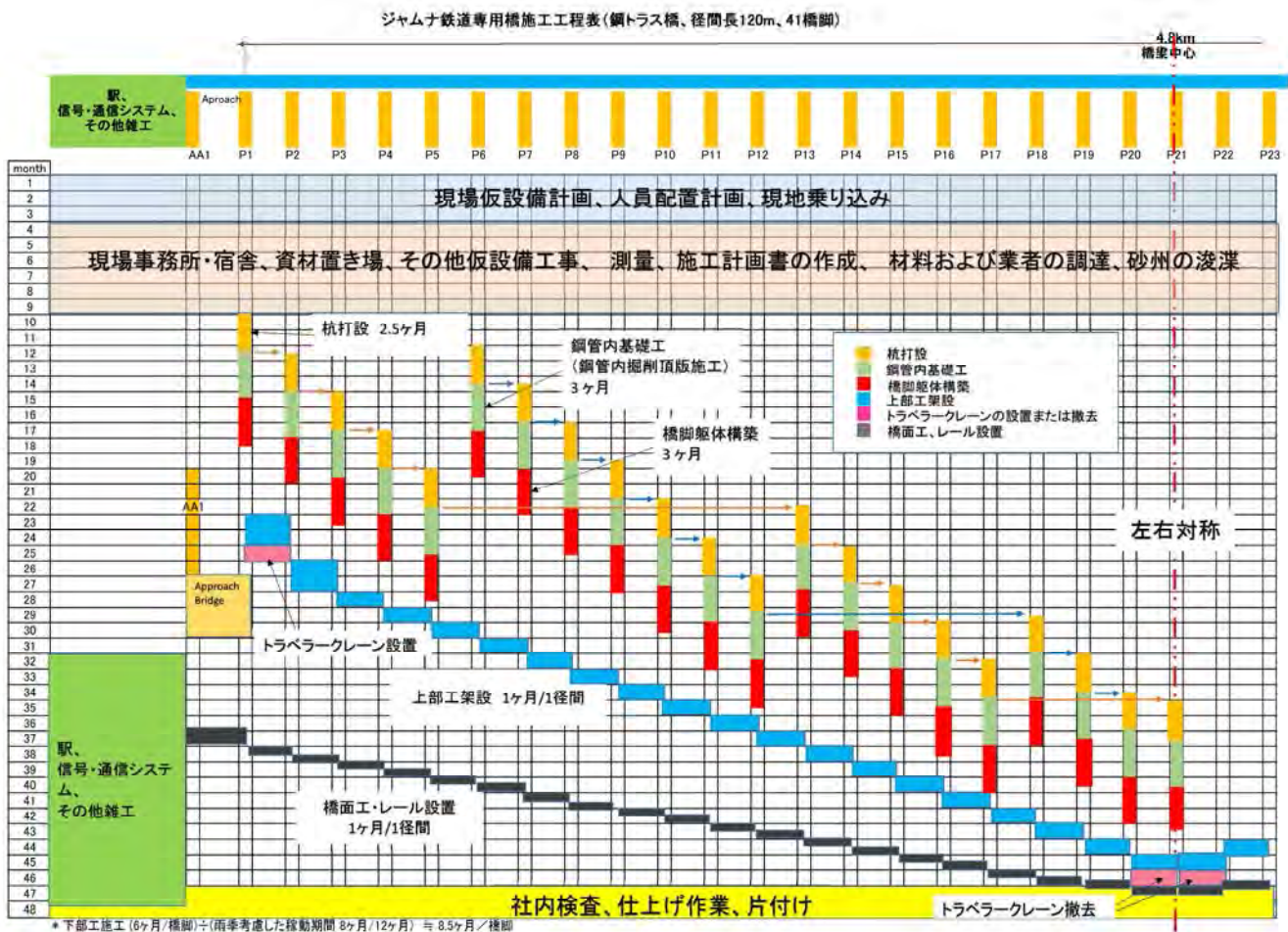
- 1) 鋼トラス桁を採用する。

- 2) 単材架設方式を採用する。
- 3) 最も可能性の高い鋼材調達条件(生産能力を考慮した上で近隣国の工場から輸入)とする。
- 4) 工程表に応じて、最も経済的な施工速度に対応したトラベラークレーン、トラス材運搬装置等を2セット投入することを想定した。

(2) 下部工

- 1) 基礎工に SPSP-F を採用する。
- 2) 一般的な仮締切り兼用水中掘削方式を採用する。
- 3) 使用する鋼材のサイズとスペックは調達のしやすさと施工性から選定した。
- 4) 工程表に応じて、最も経済的な施工速度に対応したクローラークレーン、杭打ち機、アースオーガ、台船等が投入できると仮定した。最大4箇所同時に杭打ちすることを想定した。
- 5) 河川の流の影響は平年の標準的なものであるとする。

以上の前提で作成した工事工程を[図 7.1.4]に示す。



[図 7.1.4] 工事工程図

図に示すとおり、下部工の工程は 8.5 ヶ月を見込んでおり、これは雨季の 4 ヶ月間は杭打ち作業が制約されると見込んだためである。杭打ち機は 4.8km の橋梁施工には 4 セットを準備し、川の両岸から施工を始めることを前提としている。

下部工の施工段階は 7.1.2. に記述したがように 8 段階あるが、作業班体制としては下記の 3 班を想定している。

- ① 杭打ち班：準備工および鋼管矢板打設工。
- ② 鋼管内部施工班：鋼管内掘削コンクリート工から頂版構築工まで。
- ③ 橋脚躯体施工班：橋脚躯体構築工から鋼管矢板切断工、測量台撤去工まで。

このうち、杭打ち班は、杭打ち機と大型クローラークレーン、さらにそれらを乗せる大型台船を保有する必要であることから、この杭打ち班を何班想定するかで下部工の施工速度が決まり、全体の工期が決まる。SPSP-F は、仮締め切りを行うため、正確な杭の打ち込み作業を伴う工法であり、この施工ができる業者は世界に数社しかない。杭打ち作業班および杭打ち機の保有台数は 4 セット程度までが経済的であると考えられる。

7.2. 調達手続き

本プロジェクトにおける調達手続きには、コンサルタントの選定と本体工事の調達の 2 種類ある。

7.2.1. コンサルタントの選定

コンサルタントの選定について、ジャムナ多目的橋ではデザインビルド方式による調達方法が採用され、ADB-F/S でもそれが踏襲されている。しかし、現地で現橋の状態をヒアリングした結果（別添 2.4.1 の現場視察参照）、設計能力の不十分が原因と推定される多くの問題が発見され、結果として品質や維持管理に問題が発生している。従って、本調査では、100 年以上の構造物の寿命と維持管理を考慮し、十分な知識と経験のある専門のコンサルタントが詳細設計を行うことを提案する。

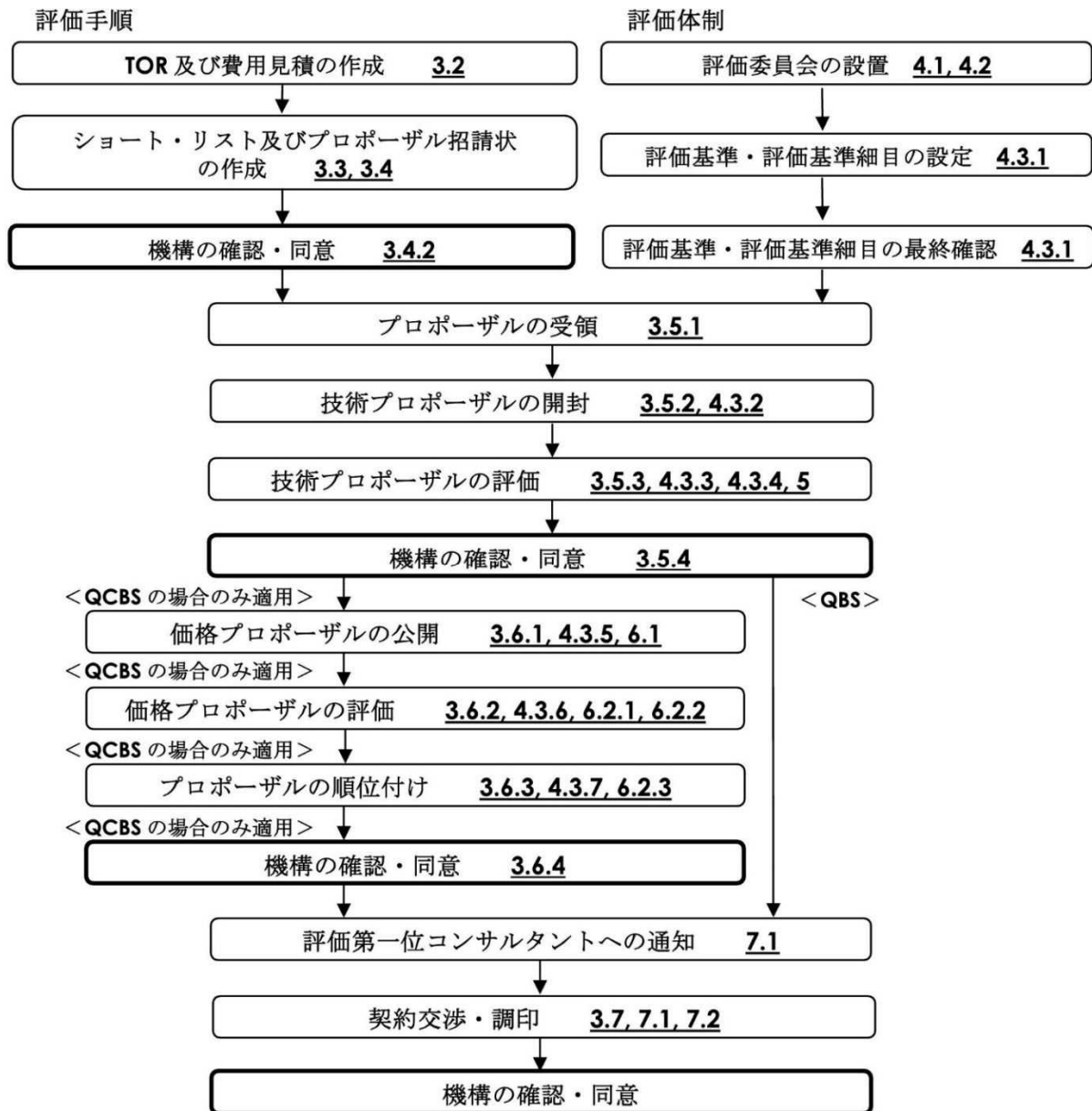
コンサルタントの選定方法については、本プロジェクトが大規模であることに加え、河川の複雑な流れをはじめとする自然条件に工事が左右されるためコンサルタントの行うべき作業範囲が流動的であること、先進技術を取り入れた専門性の高い業務であること、互いに関わりあう複数の異なった種類の作業を調整することが求められる複雑な業務であることから技術評価に基づく選定（QBS）を提案する。

ちなみに、JICA 調達ガイドラインにおいて、技術評価による選定方式（QBS）の採用が認められる以下の要件のうちの(a)、(b)、(d)が以上に該当すると考える。

- (a) 複雑かつ高度な専門性ゆえに、タームズ・オブ・レファレンスやコンサルタントが行うべき作業の定義が難しい業務。

- (b) 後続する作業への影響が大きいため、サービスの質自体がプロジェクトの成果のために最重要視される業務（大規模インフラの技術設計など）。
- (c) 大きく異なる方法で実施可能なため、価格プロポーザルの比較が困難となる可能性がある業務。
- (d) 安全対策上の配慮が特に重要な大規模かつ複雑な建設工事の施工監理を伴う業務。

[資料 7.2.1] コンサルタントの選定に関するJICA調達ガイドライン規定



注：QCBS（Quality and Cost Based Selection）＝価格を加味した技術評価、QBS（Quality Based Selection）＝技術評価。

出典：JICA

7.2.2. 調達方法の提案

(1) コンサルタントの選定

高度な技術的知見を求められる業務であることから、専門のコンサルタントを雇用し、設計・施工分離方式による選定を提案する。

(2) 本体の調達

本体調達について、関係者の間で最も議論になったのは、調達手続きにおいて、通常のプロジェクト同様に、P/Q 通貨者だけで入札を行って技術及び価格評価で落札者を決定するか、または P/Q 込み入札方式を採用して、技術評価の中で P/Q 要件を確認するかの点である。本プロジェクトのように規模が大きいと、入札参加者の数が限定される可能性があるため、P/Q の扱いについては詳細設計段階で検討する。

7.3. 事業費とスケジュール

7.3.1. 事業費

本補足調査における工事費積算の主要目的は、公平な構造形式選定のための比較検討材料として作成したものであり、本体円借款の金額決定のための金額の精度には至らない。典型的には、基礎形式の比較のために積算した工事費では、どの構造形式にも共通して発生する、施工中の砂州の浚渫費用は含まれておらず、これは自然条件に依存する不確定要素が大き過ぎて積算できない。

軌道構造については、ADB-F/S 案から変更している（鋼直結軌道、頭鍛レール、脱線防止ガード付き 3 線軌条）ので近隣国の類似事業の工事単価を用いて再計算した。また、橋梁へのアプローチ区間の盛土と高架橋の長さについては、鋼トラス橋の採用により短縮されるため ADB-F/S の単価を用いて再計算した。これらを 6 章の[表 6.3.1]に示す。

その他、施工に必要な構台や栈橋、河川両側のアプローチ橋、通信信号設備などについては、本調査で変更を提案しておらず、構造形式の変更が工事費に影響を与えないので計算せず、ADB-F/S の計算値をそのまま利用している。今後、詳細設計の段階で精度の高い本体工事費が計算されることになる。

これら ADB-F/S の積算値と本調査において新たに積算した値の両方を JICA のコスト積算キットに入力して積算したが、その結果については非公開とする。

そのうちコンサルタント費用は約 6%となる（2015 年 9 月時点の積算）。F/S 見直し、D/D、T/A、C/S を含むコンサルタントサービスの費用割合としては、通常のプロジェクトに比較して若干小さいが、本体工事費の精度が低いことと、巨大プロジェクトの場合はコンサルタント費用の割合は低くなる傾向があることから、ほぼ妥当なものと考えられる。

7.3.2. 実施スケジュール

実施スケジュールは、(1) プロジェクト認可、(2) 円借款申請、(3) 調達、(4) 工事实施の 4 工程からなっている。

(1) プロジェクト認可工程

この工程は、国により手続きやその所要時間が異なるため、過去の円借款案件を参考に想定した。バングラデシュにおけるプロジェクト認可に必要な手続きには以下の種類があり、6 ヶ月程度を見込んでいる。

- JICA の F/F 合意に基づく DPP を BR が MOR に提出。
- MOR による DPP の検討 (30 日)。
- 開発計画委員会 (Planning Commission) による DPP の検討。
- 事業評価委員会 (PEC : Project Evaluation Committee) の決定 (10 日)。
- JICA による DPP の検討。
- 計画省 (MOP) の ECNEC (Executive Committee of National Economic Council) による最終承認。

2) 本体工事の認可 (5 ヶ月程度) :

EIA 等、工事認可に必要な手続きの承認であり、本体工事の契約調整前までに必要とされ、本体調達手続き期間中に行われる予定。

(2) 円借款申請

本プロジェクトでは、エンジニアリングサービス (E/S) 借款と本体事業に対する借款との 2 回に分けて申請が行われる。どちらの借款についても、円借款供与までの手続きは以下の通り。

- バングラデシュ外務省より日本国外務省に円借款要請。
- JICA の F/F ミッション派遣。
- 日本政府ミッション派遣。
- JICA アプレイザルミッション派遣。
- 日本政府による承認。
- 日本政府によるプレッジ。
- 両国政府による E/N 調印。
- L/A 調印。

E/S 借款には、F/S レビュー、EIA レビュー、D/D、T/A などが含まれ、コンサルタントが雇用される。また、EIA レビューはコンサルタントサービスの中で行われ、成果品を助言委員会に付議した後、本体事業に対する円借款の L/A 調印前 120 日前までに承認・公開の手続きを経なければならない。

(3) 調達工程

この工程は、コンサルタントの雇用のための期間と、本体の調達期間の2工程からなり、前者はE/S借款、後者は本体事業に対する借款の対象となる。コンサルタント契約は1本とするとの前提で作成する。

本体工事の調達手続きについては、JICAの調達ガイドラインに則ることが基本である。ここでは以下の前提に立って作成した。

- 1) P/Q実施の後で入札を行う（P/Q込みの入札は行わない）。
- 2) デザインビルド方式の入札は行わない（設計・施工分離方式）。
- 3) 契約は橋を東西に分けて2パッケージとする。
- 4) 信号・通信コンポーネントについては橋梁工事とは別パッケージとする。

以上を前提に、過去のバングラデシュにおける調達の各段階での所要時間を参考に本体調達工程を作成した。従って、P/Q込み入札方式の入札を採用したり、デザインビルド工事入札を行ったり、パッケージ分けを全区間対象としたり、信号・通信部分を橋梁工事のパッケージに含めたりする場合には、この工程に修正が必要となる。

(4) 工事实施工程

この工程は、詳細設計の実施期間と工事本体の実施期間の2つから成る。工事本体については、7.1.で説明した施工計画を前提に工程計画を立案した。前提条件を再掲すると以下の通りである。

1) 上部工

- 鋼トラス桁を採用する。
- 単材架設方式を採用する。
- 最も可能性の高い鋼材調達条件（生産能力を考慮した上で近隣国の工場から輸入）とする。
- 工程表に応じて、最も経済的な施工速度に対応したトラベラークレーン、トラス材運搬装置等を2セット投入することを想定した。

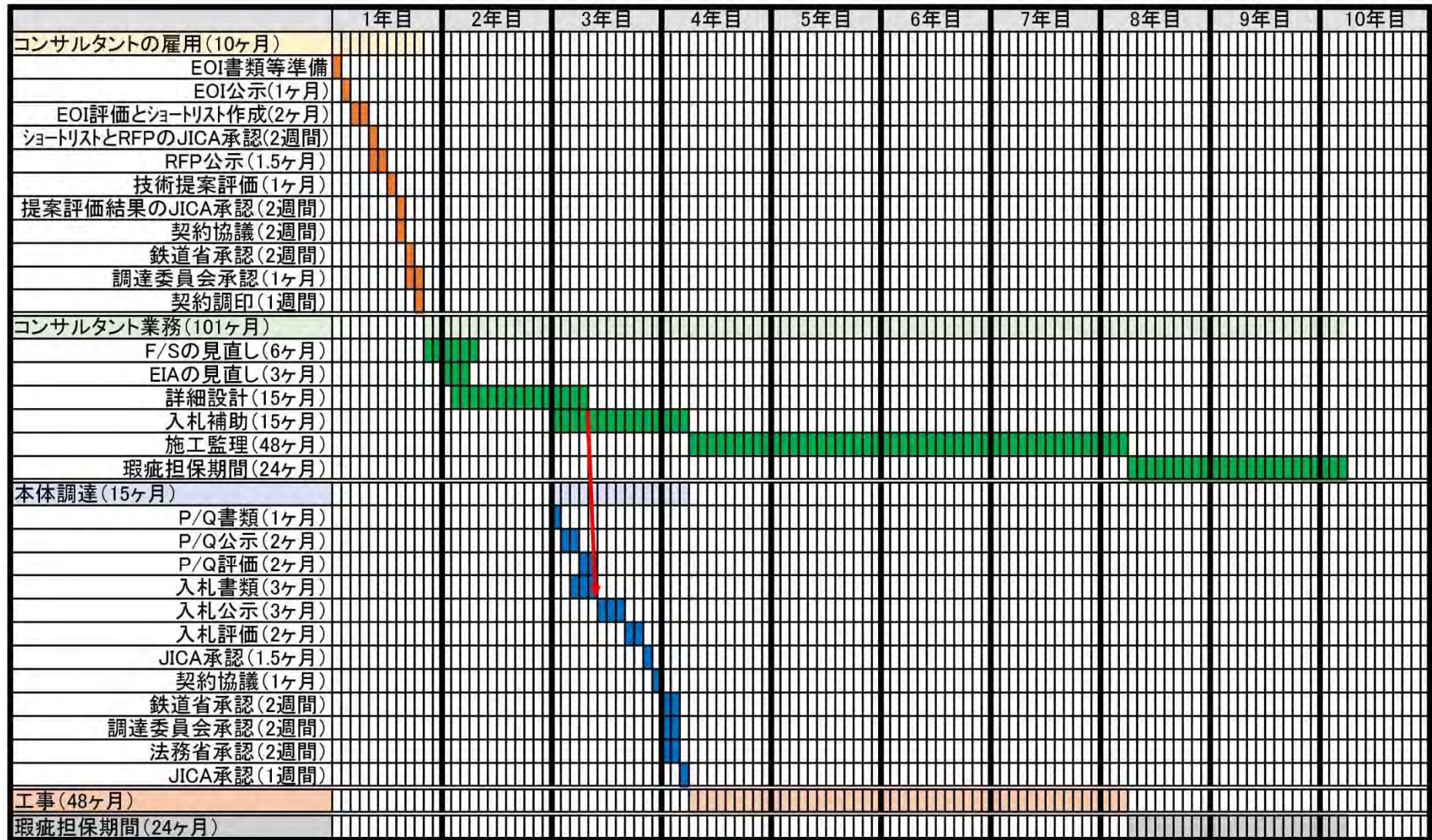
2) 下部工

- 基礎工にSPSP-Fを採用する。
- 一般的な仮締切り兼用水中掘削方式を採用する。
- 使用する鋼材のサイズとスペックは調達のしやすさと施工性から選定した。
- 工程表に応じて、最も経済的な施工速度に対応したクローラークレーン、杭打ち機、アースオーガ、台船等が投入できると仮定した。最大4箇所同時に杭打ちすることを想定した。
- 河川の流れの影響は平年の標準的なものであるとする。

(5) 全体工期

以上、プロジェクト認可手続き、コンサルタント選定手続き、コントラクター調達手続き、施

工計画を合わせて作成した工程表を[図 7.3.1]に示す。



出典：調査団

[図 7.3.1] 全体工程図

図に示すとおり、各工程は以下のとおりであり、コンサルタント雇用手続き開始から合計 111 ヶ月を見込んでいる。

- 1) コンサルタント雇用手続き期間……………10 ヶ月
- 2) F/S 見直しと D/D 実施期間……………18 ヶ月
- 3) 本体調達手続き期間……………15 ヶ月 (D/D 実施期間と 4 ヶ月間重複)
- 4) 工事实施期間……………48 ヶ月
- 5) 瑕疵担保期間……………24 ヶ月

ジャムナ多目的橋の工事实施期間については、完成報告書によれば契約工期が 43 ヶ月であったのに対して、実績は 44 ヶ月となっており、施工業者の施工能力は良好であったといえる。ただし、例えば、長さ 80m もある大口径の鋼管打ち込み杭を斜め方向に打ち込むのにウオータージェット工法を併用したとのことであるが、杭の支持力を確保するために必要な、手間と費用の伴う支持力管理作業を行っていないなど、施工不良の疑いが拭いきれず、現に、デザインビルド契約のためコントラクターが行った詳細設計に起因すると見られる桁のほぼ全面にわたるひび割れも確認されている。

また、コントラクターの現代(株)は、この工事による損失もあって、橋の完成直後に経営危機に陥り、同系列社の現代自動車に吸収されて存続しているとのことである。逆に、同社は桁のひび割れへの対応不足により、橋の完成後しばらくの間バングラデシュにおけるプロジェクトから除外されている。

かかる不幸を再発させず、高品質の工事を実現するためには、工期に余裕をもって確実に施工することが必要であり、本調査が提案する高品質と急速施工が期待できる構造形式、ならびにそれに基づく工期は妥当なもの判断される。

7.4. その他留意事項

今回、比較のための活荷重と建築限界とは ADB-F/S 案との比較のために ADB-F/S と同じものを使ったが、詳細設計段階では、BR と協議の上で、電化やインドのコンテナ貨物専用線 (DFC) 用列車の通過の可能性を検討する必要がある。さらに、遠い将来を見越した場合には、ADB-F/S 提案の設計速度 120km/h から、高速列車の走行が可能な 350km/h にする検討が必要となる。

添付資料

RATES OF MAN, MATERIAL AND MARK-UPS

SL	Items	Rate	Unit
1	Contractor's Profit	10.00%	
2	Contractor's Overhead Expenses	3.50%	
3	VAT	5.50%	
4	Additional Incidental Expenses for Gas Line Installation Works	10.00%	
SL	Items	Rate	Unit
C1			
1	Head mason / Head mosaic mistry	Tk. 493.00	Per day
2	Mason	Tk. 389.00	Per day
3	Skilled labour	Tk. 303.00	Per day
4	Ordinary labour	Tk. 245.00	Per day
5	Field Engineer (min BSc in Engg exp 3yrs OR Diploma in eng exp 8yrs)	Tk. 1,500.00	Per day
6	Skilled technician	Tk. 700.00	Per day
7	Semi skilled technician	Tk. 450.00	Per day
8	Foreman/Supervisor	Tk. 567.00	Per day
9	Electrician	Tk. 493.00	Per day
10	Asstt. Electrician	Tk. 356.00	Per day
11	Rod binder	Tk. 421.00	Per day
12	Mosaic mistry	Tk. 415.00	Per day
13	Plumber	Tk. 440.00	Per day
14	Painter	Tk. 423.00	Per day
15	Carpenter	Tk. 423.00	Per day
16	Welder	Tk. 423.00	Per day
17	Polish mistry	Tk. 544.00	Per day
18	Helper to carpenter/painter/plumber/rod binder/electrician/polish mistry/rig Operators	Tk. 304.00	Per day
19	Machine operator	Tk. 423.00	Per day
20	Pile rig operator	Tk. 499.00	Per day
21	Diesel hammer mounted rig operator	Tk. 732.00	Per day
22	Helper to diesel hammer mounted rig operator	Tk. 388.00	Per day
23	Rig operator in/c site allowances for soil exploration	Tk. 489.00	Per day
24	Asstt. laboratory technician	Tk. 450.00	Per day
25	Laboratory technician / diploma engg in relevant field, min 3yrs exp	Tk. 1,200.00	Per day
26	Laboratory engineer, min BSc in relevant field, min 3yrs exp.	Tk. 1,500.00	Per day
27	Ghorami	Tk. 397.00	Per day
28	Sweeper for Odd Job	Tk. 808.00	Per use

SL	Items	Rate	
29	Tube-well mistry	Tk. 389.00	Per day
30	Tube-well head mistry	Tk. 499.00	Per day
31	Surveyor 10yrs Exp / diploma Engineer trained in survey	Tk. 1,200.00	Per day
32	Helper to surveyor	Tk. 750.00	Per day
EQUIP/ENGINE/VEHICLE/SCAFFOLDING ETC			
33	Scaffolding	Tk. 7.20	Per sft.
34	Carrying charge of earth by 5-ton capacity truck in Dhaka city	Tk. 1,300.00	Per trip
35	do in Narayanganj / Chittagong / Sylhet	Tk. 1,000.00	Per trip
36	do in Rajshahi / Barishal / Khulna metropolitan area	Tk. 850.00	Per trip
37	do in all districts except Dhaka/ Ctg./ Rajshahi / Barishal / Khulna and N'ganj.	Tk. 700.00	Per trip
38	Carriage of earth by any means for site development in Dhaka city	Tk. 6.78	cft
39	Carriage of earth by any means for site development in Narayanganj / Chittagong / Sylhet city	Tk. 5.22	cft
40	Carriage of earth by any means for site development in Rajshahi / Barishal / Khulna city	Tk. 4.43	○
41	Carriage of earth by any means for site development in all districts except Dhaka, Ctg, and N'ganj.	Tk. 3.65	cft
42	5-ton capacity truck-fare in Dhaka city in/c loading, unloading	Tk. 1,300.00	Per trip
43	Concrete mixer machine	Tk. 1,000.00	Per day
44	Concrete vibrator	Tk. 500.00	Per day
45	Hire charge of water pump for concreting or similar purposes	Tk. 432.00	Per day
46	Hire charge of diesel operated 1/4 cusec water pump	Tk. 588.00	Per day
47	Hire charge of electricity operated 1 cusec water pump	Tk. 760.00	Per day
48	Hire charge of 1 cusec diesel operated water pump	Tk. 1,030.95	Per day
49	Fuel, lubricant for mixer machine, vibrator and pump etc.	Tk. 1,051.00	Per day
50	Mosaic cutting machine	Tk. 300.00	Per day
51	Marble cutting and shaping in/c cutting disc.	Tk. 300.00	Per day
52	Marble polishing machine in/c polishing stone	Tk. 400.00	Per day
53	Hire charge of marble cutting disk	Tk. 775.14	Per day
54	Hire charge of electric grinding machine	Tk. 206.00	Per day
55	Hire charge of cast in situ pile boring complete rig set in/c operational expenses	Tk. 8,820.00	Per day
56	Hire charge of pre-cast pile driving complete rig set in/c -do-do- etc.	Tk. 10,550.00	Per day
57	Hire charge of pre-cast micro pile driving complete rig set in/c -do-do- etc.	Tk. 5,500.00	Per day
58	Hire charge of load testing devices in/c hydraulic fluid: up to 125 ton capacity	Tk. 10,842.00	Per test
59	-do-do-: up to 275 ton capacity	Tk. 12,519.00	Per test
60	Hire charge of diesel hammer mounted completed rig set.	Tk. 23,707.00	Per day
61	Lifting and movement of crane for diesel mounted hammer up to site	Tk. 50,000.00	Per set
62	Truck fare for carrying diesel hammer mounted rig	Tk. 12,000.00	Per trip

SL	Items	Rate	Unit
63	Hire charge for 8 - 12 ton road roller	Tk. 5,063.00	Per day
64	Hire-charge of chain dozer	Tk. 12,774.45	Per day
65	Fuel & lubricants, spares, maintenance, driver etc. for 8-12 ton road roller.	Tk. 1,268.00	Per day
66	Hire charge of paint spray machine	Tk. 4.00	Per sft.
67	Small boat	Tk. 688.00	Per day
68	Drum (defects free)	Tk. 1,605.20	each
69	Hire charge of boring rig for soil exploration	Tk. 5,313.00	Per day
70	Machine charge for cutting terrazzo tiles	Tk. 406.00	Per % sft.
71	Chisel for heavy duty power hammer (100 sft. capacity)	Tk. 1,594.00	each
72	Hire charge of heavy duty chisel machine	Tk. 634.00	Per day
73	Shuttering in/c prop for partial dismantling of R.C.C.	Tk. 20.00	Per sft.
74	Hire charge of welding machine	Tk. 695.38	Per day
75	Hire charge of survey instrument (Level / Theodolite etc.)	Tk. 884.00	Per day
03			
76	Breaking 50 mm downgraded brick chips	Tk. 719.00	Per % cft.
77	Breaking 20 mm downgraded brick chips	Tk. 894.00	Per % cft.
78	Breaking 12 mm (1/2") downgraded brick chips	Tk. 1,091.88	Per % cft.
79	Breaking 20 mm downgraded stone chips	Tk. 1,531.07	Per % cft.
80	Breaking 12 mm downgraded stone chips	Tk. 2,025.14	Per % cft.
81	Placing and removing shutter for form-work	Tk. 12.00	Per sft.
82	Making steel shutter for form-work	Tk. 69.17	Per sft.
83	Making steel door-window frame and shutter	Tk. 58.00	Per sft.
84	Making fixed steel glazed frame	Tk. 46.91	Per sft.
85	Making steel grill	Tk. 45.71	Per sft.
86	Filling and stitching gunny bags	Tk. 8.64	Per bag
87	Load testing result sheet preparation	Tk. 6,250.00	Per test
88	Carrying cost of timber	Tk. 37.53	Per cft.
89	Seasoning timber in plant	Tk. 333.00	Per cft.
90	Carrying cost of steel door and window	Tk. 53.30	each
91	Fabrication and erection of mild steel truss	Tk. 1,891.23	Per cwt.
92	Fabrication of light section steel	Tk. 275.85	Per cwt.
93	Point welding	Tk. 3.25	Per point
94	Line welding at field	Tk. 5.00	Per inch
95	Bitumenous coating for damp proof course (D.P.C)	Tk. 822.00	Per % sft.
96	Coal-tar over timber surface	Tk. 6.00	Per sft.

SL	Items	Rate	Unit
97	Glass pan fitting in/c putty	Tk. 15.46	Per sft.
98	Making form work water-tight	Tk. 2.25	Per sft.
C5 BRICKS AND SCREEN BLOCKS			
99	1st class/Picked jhama standard bricks: BDS	Tk. 7,500.00	Per % 0 Nos.
100	Automatic Machine Made 1st class standard Bricks : BDS	Tk. 9,000.00	Per % 0 Nos.
101	1st class 10 holes machine made 9.5"x4.5"x2.75" ceramic bricks	Tk. 17,500.00	Per % 0 Nos.
102	9.5" x 4.5" x 2.75" size machine made solid klinker facing bricks	Tk. 13,125.00	Per % 0 Nos.
103	9.5" x 4.5" x 2.75" size 10 hole machine made Rock-face/textured klinker facing bricks	Tk. 13,067.83	Per % 0 Nos.
104	9.5" x 4.5" x 2.75" size 3 hole machine made reinforcing facing bricks	Tk. 20,000.00	Per % 0 Nos.
105	200 x 100 x 50 mm/8" x 4" x 2" machine made hard pressed klinker facing bricks	Tk. 18,500.00	Per % 0 Nos.
106	200 x 50 x 50 mm/8" x 2" x 2" machine made klinker facing RED or Maroon strips	Tk. 14,000.00	Per % 0 Nos.
107	200 x 62 x 16.51mm/8" x 2.5" x 0.65" machine made klinker red strips	Tk. 16,750.00	Per % 0 Nos.
108	4" x 4" x 4" fancy screen block	Tk. 28,000.00	Per % 0 Nos.
109	5.5" x 5.5" x 4" fancy screen block	Tk. 28,000.00	Per % 0 Nos.
110	6" x 6" x 4" fancy screen block	Tk. 32,000.00	Per % 0 Nos.
111	190 mm x 190 mm size glass bricks	Tk. 328.33	each
C6 CEMENT			
112	Ordinary Portland Cement, BDS-EN - 197-1- CEM1, 52.5N (52.5MPa)/ ASTM C-150 Type-I, 50 kg bag	Tk. 470.00	Per bag
113	Portland Composite Cement / CEM-III/A - M, 42.5N (42.5MPa) (8-20% constituents other than clinker): 50 kg bag	Tk. 440.00	Per bag
114	White Cement	Tk. 25.00	Per kg
C7 GRAVELS, STONES, CRUSHED STONE, CRUSHED BRICKS			
115	Uncrushed boulder	Tk. 12,500.00	Per % cft.
116	19 mm (3/4") downgraded crushed stone chips	Tk. 14,500.00	Per % cft.
117	12 mm (1/2") downgraded stone chips	Tk. 13,500.00	Per % cft.
118	Stone shingles	Tk. 8,100.00	Per % cft.
119	Pea-gravel	Tk. 5,500.00	Per % cft.
120	Slaked lime	Tk. 19.00	Per kg
121	Surki from 1st class brick	Tk. 58.00	Per cft.
122	Pakistan origin (onix) mosaic chips	Tk. 19.00	Per kg
123	Indian origin (deradun) mosaic chips	Tk. 17.00	Per kg
124	Pumice stone for finishing mosaic work	Tk. 60.00	each
125	Minar stone for finishing mosaic work	Tk. 400.00	each
126	Color pigment	Tk. 55.00	Per lbs
127	20 mm x 50 mm glass strip	Tk. 8.00	Per rft.
128	80/20 Bitumen for road work	Tk. 65,333.33	Per M. ton

Items	Rate	Unit
Water-proofing PVC membrane	Tk. 605.00	Per sqm.
Primer for laying PVC membrane on wall	Tk. 500.00	Per litre
Water reducing admixture in concrete: Type - A	Tk. 150.00	Per litre
Retarding admixture in concrete: Type - B	Tk. 155.00	Per litre
Accelerating admixture in concrete: Type - C	Tk. 160.00	Per litre
Water-reducing and retarding admixture in concrete: Type - D	Tk. 145.00	Per litre
Water-reducing and accelerating admixture in concrete: Type - E	Tk. 165.00	Per litre
Water-reducing high range admixture in concrete: Type - F	Tk. 180.00	Per litre
Water-reducing high range retarding admixture in concrete: Type - G	Tk. 147.00	Per litre
Micro Fibre for concrete	Tk. 725.00	Per kg
EARTH/		
Royalty of earth	Tk. 700.00	Per % 0 cft.
Royalty of sand	Tk. 6,875.00	Per % 0 cft.
Royalty of turf	Tk. 9.00	Per % sft.
Sand (F.M. 0.8)	Tk. 900.00	Per % cft.
Sand (F.M. 1.2)	Tk. 1,700.00	Per % cft.
Sand (F.M. 2.2)	Tk. 3,000.00	Per % cft.
TIMBER/		
Garjan/Jam/local Sal	Tk. 2,000.00	Per cft.
Mohgani	Tk. 1,900.00	Per cft.
Chikarai/Chikrashi	Tk. 2,800.00	Per cft.
Teak-Chambal	Tk. 3,100.00	Per cft.
Chittagong teak	Tk. 4,500.00	Per cft.
Kathal	Tk. 2,250.00	Per cft.
Gumari	Tk. 1,950.00	Per cft.
Chupalish	Tk. 2,100.00	Per cft.
Timber for form-work	Tk. 470.00	Per cft.
Bamboo	Tk. 12.00	Per rft.
Shal ballah (avg. dia 6") for driving	Tk. 120.00	Per rft.
Hurma teak veneered flush door shutter	Tk. 335.69	Per sft.
Champ veneered flush door shutter	Tk. 240.61	Per sft.
Chupalish veneered flush door shutter	Tk. 239.59	Per sft.
Garjan veneered flush door shutter	Tk. 216.42	Per sft.
12 mm thick Plain Particle board : 550kg/m3	Tk. 35.34	Per sft.
Mukamine board (12 mm thick): 8'-0" x 4'-0" size: 700kg/m3	Tk. 1,946.50	Per pc.
12 mm thick gypsum board	Tk. 25.98	Per sft.

SL	Items	Rate	Unit
163	9 mm thick perforated gypsum board	Tk. 30.57	Per sft.
164	12 mm thick laminated vinyl board : 550kg/m3	Tk. 46.88	Per sft.
165	12 mm thick Burma Teak veneered board : 550kg/m3	Tk. 110.42	Per sft.
166	Burma teak	Tk. 5,571.38	Per cft.
167	50 mm thick glass wool	Tk. 197.48	Per sft.
168	Rubber gum	Tk. 602.71	Per kg.
169	PVC water stopper	Tk. 206.12	Per ft.
C10 STEEL: Dignity/Class A rail (BIS) fy = 415			
170	Grade 300(300Mpa / 300N/mm2 ≈ 43500psi/40 Grade): BDS- 6935-2006 - B300 and Ratio fy to fu =>1.25, fy not exceeding 314 MPa	Tk. 59,000.00	Per M. ton
171	Grade 400(400Mpa / 400N/mm2 ≈ 60900psi/ 60 Grade), BDS-6935-2006, B400: and ratio fy to fu => 1.25, fy not exceeding 418 MPa	Tk. 61,500.00	Per M. ton
172	M.S sheet/plate	Tk. 85,000.00	Per M. ton
173	M.S. angle, T and Z-section, Channel etc.	Tk. 62,500.00	Per M. ton
174	M.S. plain bar and F.I. bar (non-structural use)	Tk. 56,000.00	Per M. ton
175	Solid square bar	Tk. 63,000.00	Per M. ton
176	0.45 mm thick C.I. sheet:	Tk. 90,500.00	Per M. ton
177	0.45 mm thick colored C.I. sheet:	Tk. 91,000.00	Per M. ton
178	0.27 mm thick 6'-0" x 18" ridging:	Tk. 315.00	Per pc.
179	0.27 mm thick 6'-0" x 18" colored ridging:	Tk. 364.96	Per pc.
C11 GLAZED MARBLE/TERRAZO TILES			
180	18 mm thick marbie stone, Black/white (Indian)	Tk. 395.00	Per sft.
181	16 mm thick marble stone, Black/white (Indian)	Tk. 350.00	Per sft.
182	12 mm thick marbie stone, Black/white (Indian)	Tk. 315.00	Per sft.
183	18 mm thick colored/ grey marble stone (Indian)	Tk. 410.00	Per sft.
184	16 mm thick colored/ grey marble stone (Indian)	Tk. 360.00	Per sft.
185	12 mm thick colored/ grey marble stone (Indian)	Tk. 345.00	Per sft.
186	18 mm thick colored/ grey marble stone (Italian)	Tk. 550.00	Per sft.
187	wall tiles less than , equal or equivalent to 250mmx330mm in sizes	Tk. 46.00	Per sft.
188	wall tiles more than 250 x 330 mm & less than 310 x510 mm in sizes or equivalent	Tk. 54.00	Per sft.
189	wall tiles more than 310 X 510 mm in sizes or equivalent	Tk. 75.00	Per sft.
190	GP (Gress Porcellanato) - Glazed Homogeneous 300 x 300 mm floor tiles	Tk. 64.00	Per sft.
191	GP (Glazed Homogeneous) 400 x 400 mm floor tiles	Tk. 74.00	Per sft.
192	GP (Mirror polished) 300 x 300 mm floor tiles	Tk. 78.00	Per sft.
193	GP (Mirror polished) 400 x 400 mm floor tiles	Tk. 88.00	Per sft.

Sl	Items	Rate	Unit
194	GP (Mirror polished) 600 x 600 mm floor tiles	Tk. 107.00	Per sft.
195	GP 300 x 300 mm stair tiles	Tk. 70.00	Per sft.
196	Unglazed Homogeneous Floor Tiles 300 x 300 mm	Tk. 68.00	Per sft.
197	Unglazed Homogeneous Floor Tiles 400 x 400 mm	Tk. 75.00	Per sft.
198	Pasting Tiles Adhesive	Tk. 16.00	Per kg.
199	Tiles grout / Joint filler	Tk. 75.00	Per kg.
200	Acid stone	Tk. 384.00	each
201	Water Proofing Paper (12 Size)	Tk. 17.00	each
202	Water Proofing Paper (320 Size)	Tk. 20.00	each
PROP AND BRACKETING BOX CHANNEL FOR BRACING			
203	Bamboo prop in/c top supports	Tk. 110.00	each
204	Saiballah prop in/c top supports	Tk. 933.00	each
205	50 mm/2" dia M.S. pipe	Tk. 135.00	Per rft.
206	38 mm/1.5" dia M.S. pipe	Tk. 110.00	Per rft.
207	50 mm/2" dia G.I. pipe	Tk. 175.00	Per rft.
208	38 mm/1.5" dia G.I. pipe	Tk. 140.00	Per rft.
209	19 mm/3/4" dia G.I. pipe	Tk. 70.00	Per rft.
210	13 mm/1/2" dia G.I. pipe	Tk. 50.00	Per rft.
211	Adjustable mechanism in/c top and bottom plate	Tk. 550.00	Per set
212	I-section joist to support inclined prop	Tk. 482.00	Per rft.
213	4" x 2" M.S. box channel with 1/8" thick M.S. sheet	Tk. 450.00	Per rft.
214	Steel prop with adjustable mechanism in/c top and bottom plate	Tk. 1,680.00	Per set
215	Turn-buckle in/c tie rod	Tk. 487.30	Per set
PAINT			
216	Cement paint/Cement Coating	Tk. 90.00	Per kg.
217	Weather coat / Acrylic based exterior emulsion	Tk. 318.40	Per liter
218	Weather coat sealer (Exterior)	Tk. 209.60	Per liter
219	Silicon based paint/coating	Tk. 322.22	Per liter
220	Ready-mix putty (Exterior-interior) water based	Tk. 76.00	Per liter
221	Sealer for ready-mix putty (Exterior-interior)	Tk. 228.00	Per liter
222	Synthetic Enamel paint (alkyd based)	Tk. 310.00	Per liter
223	Synthetic Enamel Under-coat	Tk. 149.00	Per liter

Handwritten signature

SL	Items	Rate	Unit
224	Thinner for oil-based paint (Turpentine) for general purpose	Tk. 140.00	Per liter
225	Synthetic Polyvinyl (S.P.) Distemper	Tk. 116.66	Per liter
226	Synthetic Polyvinyl (S.P.) Distemper Primer /sealer	Tk. 209.60	Per liter
227	Acrylic Plastic Emulsion Paint	Tk. 247.25	Per liter
228	Acrylic Plastic Emulsion Paint sealer	Tk. 205.00	Per liter
229	Acrylic Emulsion Paint	Tk. 228.70	Per liter
230	Acrylic Emulsion Paint Primer/under-coat	Tk. 226.60	Per liter
231	Chlorinated Rubber Paint	Tk. 700.00	Per liter
232	Chlorinated Rubber sealer	Tk. 545.00	Per liter
233	Chlorinated Rubber Paint Thinner	Tk. 212.00	Per liter
234	Textured Coating in/c sealer, top coat, gloss finish	Tk. 288.93	Per liter
235	Wood varnishing: Yacht (alkyd based)	Tk. 250.00	Per liter
236	Wood varnishing: Egg-shell (alkyd based)	Tk. 250.00	Per liter
237	Wood varnishing: Matt (alkyd based)	Tk. 250.00	Per liter
238	Thinner for alkyd based wood varnishing	Tk. 104.00	Per liter
239	Oxalic acid	Tk. 95.00	Per liter
240	Wax for polishing	Tk. 299.00	Per kg
241	Red/black oxide	Tk. 197.25	Per liter
242	De-salt s-04	Tk. _____	Per liter
243	Feam lub	Tk. _____	Per liter
244	French powder	Tk. 40.00	Per k
245	Spirit	Tk. 92.00	Per l
246	Gala	Tk. 1,600.00	Per k
247	Karpa	Tk. 500.00	Per l
248	Sand paper	Tk. 11.33	Per eac
249	Putty	Tk. 78.00	Per
250	Markin cloth	Tk. 15.00	Per y
251	Cotton	Tk. 75.00	Per

