

# スリランカ ケラニ高架橋

## スリランカ初となる都市連続高架橋の建設

海外事業委員会

井 上 武 也

### 1. はじめに

本工事の架設現場は、スリランカの経済的な中心都市であるコロンボの北部に位置し、コロンボ中心街と第二の都市キャンディーを結ぶ国道 A01 号線、コロンボ港アクセス道路およびバンダラナイケ国際空港に繋がる国道 A03 号線に接続する交通の要所にあり、道路インフラの整備が追いつかず、交通渋滞が問題となっていた。本工事はこれら交通渋滞の解決を目的とした日本政府 ODA 資金による STEP 事業である。



図 1-1 位置図



写真 1-1 施工箇所

### 2. 計画・設計

本橋はジャンクションを配置して三方向の道路を相互に連結する結節点となっている。都市内道路を高架橋で連結するスリランカで初めての道路事業であり、現道交通への影響を最小限にするように道路線形が選定され、ジャンクションおよび現道上を通過する区間については現地での施工期間を短縮できる鋼製ラーメン橋脚と鋼箱桁が採用された。

一帯には高電圧線、下水管、水道管、通信管が埋設されており、実施機関の方針により、それらを避けた位置に橋脚を配置することとなった。設計段階においては試掘により位置と深さの確認を行い、橋脚位置を決定した結果、橋脚位置（スパン割り）は多種多様なものとなった。その他、政府系建築物の移転や高圧線鉄塔の撤去・新設のほか、多くの住民移転が実施された。

門型橋脚の支間は最大 39m であり、SM 材に代えて降伏強度が高く予熱低減が可能な SBHS500 材 (3,700t) が海外工事で初めて採用された。床版には鋼コンクリート合成床版（以下、合成床版という）が採用され、箱桁は床版とは非合成として設計された。現場添接部にはトルシア形高力ボルトが用いられ、塗装系には C5 塗装系が採用された。

### 3. 工事概要

本工事は、JFE エンジニアリング、三井 E&S、戸田建設による 3 社 JV にて施工され、鋼構造物の製作と現地架設は JFE エンジニアリングと三井 E&S が担当した。本工事の工事概要を表 3-1 に示す。鋼構造物の施工数量（表 3-2）は、アンカーフレーム 33 基、鋼製橋脚は全部で 17 基あり総重量は 4,000t（高力ボルトを含む）である。鋼上部工箱桁は、本線橋が多主桁多径間連続箱桁橋で全 11 橋、ランプ橋が 1 主桁多径間連続箱桁橋で全 10 橋あり、その合計 21 橋の総重量は 14,200t（高

力ボルトを含む)である。さらにその21橋分の合成床版40,000m<sup>2</sup>、支承202基、伸縮装置24基が施工範囲であった。鋼構造物以外では場所打ちコンクリート基礎工、コンクリート橋脚24基、橋台4基、床版コンク

リート工、舗装工、照明および門型標識柱等の橋面工の他、アプローチ部土工、現道のオーバーレイ舗装、歩道の整備、植生工等も工事範囲に含まれる。

表3-1 工事概要

工事名	ケニア新橋建設工事 ハーフケージ 1 鋼製橋梁工区 略称)ケニア高架橋、ケニア新橋
発注者	スリランカ国 高速道路省 道路開発庁(RDA)
エンジニア	(株)オリエンタルコンサルタンツグローバル・ (株)片平エンジニアリング・インターナショナル等による共同事業体
施工者	JFEエンジニアリング・三井E&S・戸田建設共同企業体
契約時工期	2017年12月19日 ~ 2020年12月18日 (3年間)
開通時期	2021年11月
資金	日本政府ODA STEP事業

表3-2 鋼構造物の施工数量

アンカーフレーム	33基
鋼製橋脚(17基)	4,000 t (HTB含む) (門型16基、逆L字1基)
上部工箱桁(21橋梁)	14,200 t (HTB含む) (本線橋11橋、ランプ橋10橋)
合成床版(21橋梁)	40,000 m <sup>2</sup>
支承	202基
伸縮装置	24基

表3-3 上部工概要

	区間	橋梁名	橋長(m)	径間	支間割(m)	概算重量(t)	主桁本数	幅員(m)	橋面積(m <sup>2</sup> )
1	本線	メインライン	B-01-1L	95	2	44.5+49.5	510	3	19.9 ~ 15.4
2			B-01-2L	135	3	42+50+42	770	3	15.4 ~ 20.8
3			B-01-2R	135	3	42+50+42	750	3	21.6 ~ 15.4
4			B-02-1L	115	2	57+57	460	2	11.1 ~ 10.7
5			B-02-1R	115	2	57+57	720	3	15.4 ~ 19.3
6			B-02-2L	80	2	39.5+39.5	270	2	10.7
7			B-02-2R	80	2	39.5+39.5	270	2	10.7
8		ポートアクセス ライン	B-03L	306	5	50.5+75+78+52+49.5	1,600	2,3	11.4 ~ 20.7
9			B-03R	306	5	50.5+75+78+52+49.5	1,600	2,3	11.4 ~ 19.0
10			B-04L	191	3	64.5+75+50.5	1,030	2,3	16.3 ~ 11.4
11			B-04R	191	3	64.5+75+50.5	1,030	2,3	17.9 ~ 11.4
12	ランプ	オルゴダワタ IC	B-05	133	3	41.5+50+41.5	270	1	8.0 ~ 7.9
13			B-06	126	3	39.5+46+39.5	260	1	8.2 ~ 7.9
14		ケニアシタ JCT	B-07	134	2	74.5+59.5	530	1	8.2 ~ 7.9
15			B-08	160	3	41.1+68.9+48.9	430	1	7.9 ~ 8.0
16			B-09	288	6	42+4@51+40.5	810	1	8.3 ~ 10.4
17			B-10L	218	4	42.2+49+78+47.7	680	1	10.4 ~ 7.9
18			B-10R	218	4	42.2+49+78+47.7	680	1	10.1 ~ 7.9
19		イングラカデ IC	B-11	220	5	38.1+48.6+48.2+48.2+35.9	810	1	8.0 ~ 10.1
20			B-12	165	3	52+60+52	410	1	7.9 ~ 8.2
21			B-13	165	3	52+60+52	410	1	8.1 ~ 7.9
合計				3,576		14,300			39,950

赤字部は、本線・ランプそれぞれでの項目の最大値

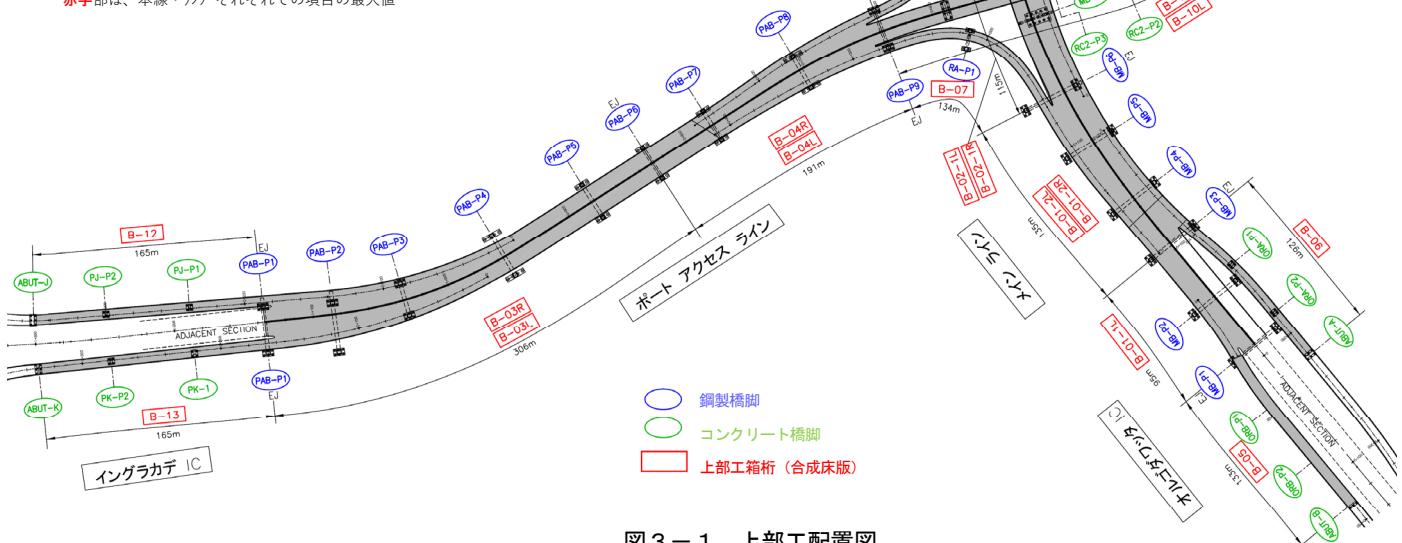


図3-1 上部工配置図

B-01 橋～B-04 橋 本線橋

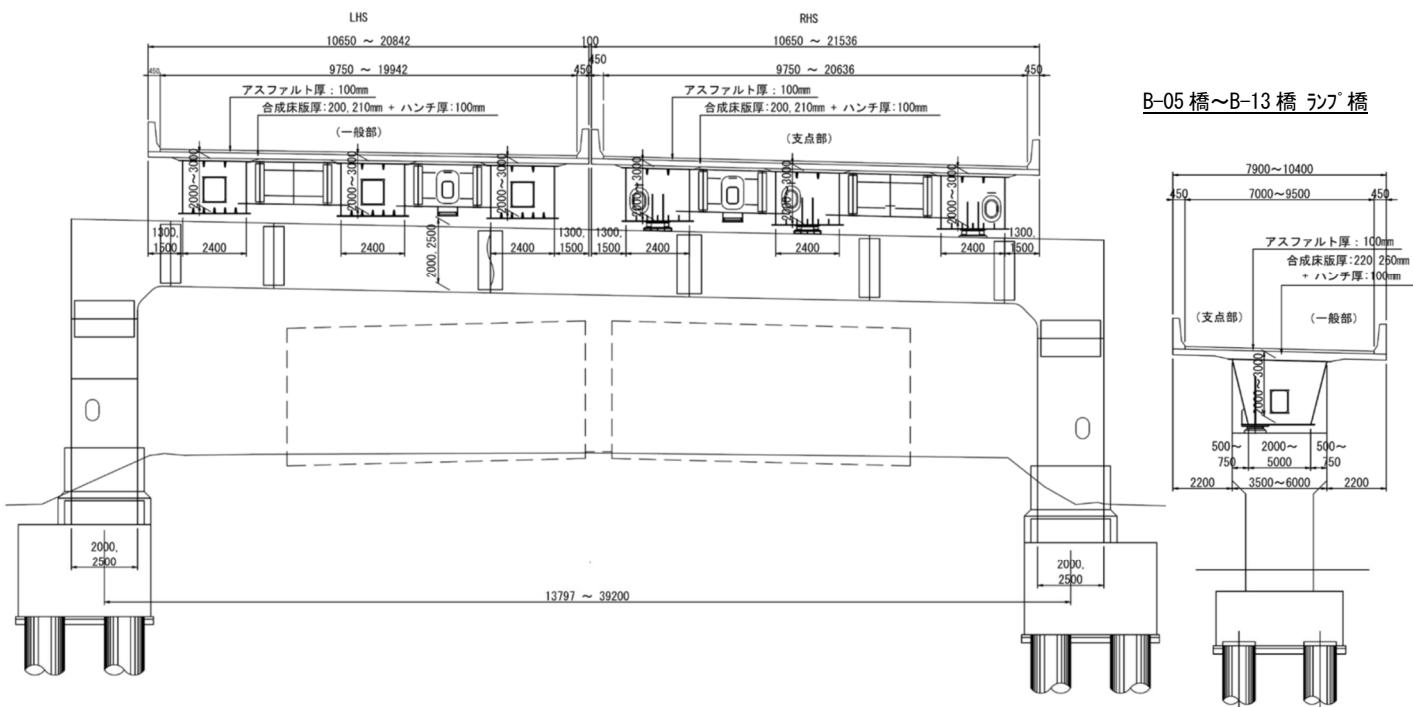


図3-2 標準断面図

#### 4. 製作

##### 4. 1 製作全般

鋼製橋脚、鋼上部箱桁および合成床版パネルの総加工重量は約21,200tで、これを約1年6ヶ月で製作完了させる必要があった。そのため、1つの工場では対応ができず複数の工場で分担して製作する計画とした。工場は、生産能力・輸送性等をトータルで評価して選定し、最終的には日本、ミャンマー、ベトナム、タイの4ヵ国5工場で分担することとした。SBHS材3,700tを含む鋼板は全て日本（JFEスチール製）で製鋼し各工場に輸出した。鋼板は毎月2,500tのペースで手配した。



図4-1 製作分担

##### 4. 2 鋼製橋脚の製作

過去の疲労損傷事例より、鋼製橋脚、特にその隅角部の溶接品質については、一般的な鋼上部工よりも厳しい管理が求められる。今回の工事においても同様に厳しい管理が求められたが、鋼製橋脚の一部を海外製作することを計画した。具体的には、約半数を日本製作、残り半数を海外製作と所掌を分担させ、先行発送分を日本製作とする事で、鋼材の海外への輸送期間と工程の余裕を確保させた。また先行製作した知見を海外の製作会社に展開させるようにした。

工程 (ヵ月)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
鋼工内国内本日	1ロット	●	●	●	●	●	●	●	▼ 出荷					
	2ロット		●	●	●	●	●	●	▼					
	3ロット			●	●	●	●	●	▼					
鋼工外海外	1ロット	●								●	▼			
	2ロット		●							●	▼			
	3ロット			●						●	▼			
	4ロット				●					●	▼			

図4-2 製作工程のイメージ

海外製作における要求品質を確保するための施策として、鋼製橋脚隅角ブロック3線交差部の実寸大モッ

クアップモデルを事前に製作し、海外製作工場の施工能力を確認した。また、そのモックアップを使用して、溶接姿勢・溶接条件・溶接順序等の検討を行った。最終的にはエンジニアによる立会検査を受検し、要求品質を満足できることを確認してから実製作にとりかかった。



写真4-1 3線交差部モックアップ



写真4-2 立会検査状況

製作時には、製作経験のある日本人技師とそれを補佐する外国人籍の技師がチームを組んで常駐し、工程および品質管理を実施した。具体的には各検査の立会、工程進捗の状況確認とプロジェクトチームへの報告、設計担当者への構造詳細の確認、現地架設担当者との輸送時期の調整、必要な技能指導者の人員計画等を行った。



写真4-3 日本人技師による立会検査状況

さらに技能指導者を日本より派遣し指導を行った。隅角部3線交差部を含む溶接施工要領については、製

作開始前の準備段階より常駐し指導にあたった。溶接指導以外にも、歪矯正指導、仮組立品質管理、塗装品質管理のため、技能指導者を適宜派遣した。



写真4-4 技能指導者による溶接指導状況



写真4-5 橋脚の仮組立状況

#### 4. 3 鋼上部工箱桁の製作

鋼上部工箱桁は、合計21橋の橋梁で構成されており加工重量は13,800tである。製作はミャンマーおよびベトナムにある、JV構成会社の各関連会社2工場にて行った。どちらの工場もODAの橋梁工事の実績を十分に有しており生産能力に問題はなかったが、物量が多く、ほぼ毎月の鋼材搬入・仮組検査・製品出荷を繰り返し実施していくために、設計・輸送・現場との緻密な調整が必要であった。



写真4-6 上部工の仮組状況

#### 4. 4 ケラニシッタ JCT 部 ランプ橋の製作

3 方向への結節点となるケラニシッタ JCT を構成する 6 橋 3,810t 分は、曲率の大きい線形（最小曲率半径 R=50m）の 1 主桁多径間連続箱桁橋梁である。箱桁断面もウェブが斜めになった逆台形形状で、縦横断勾配の変化、桁幅・桁高の変化もあり箱桁の形状も非常に複雑である。そのため箱桁部材の 2 次元展開については、汎用プログラムを使用しながら特に慎重に実施した。また死荷重変形によるねじれの影響を無視できないため、左右それぞれのウェブ位置で個別のキャンバ一値をあたえ、それを製作情報に反映させた。

ランプ橋の一部の支点では、アウトリガーを配置して支点間隔を拡げ負反力を解消させる対応がとられた。しかし、B-07 橋の 1 か所のみ負反力を解消しきれない支点があり、負反力対策支承が採用された。



写真 4-7 ランプ橋仮組立状況



写真 4-8 負反力対策支承 (B-07 橋)

#### 5. 合成床版の設計・製作

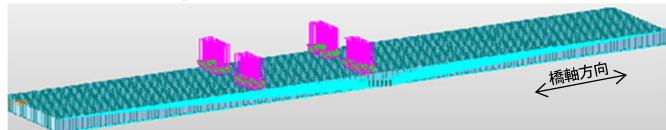
##### 5. 1 合成床版タイプの選択

合成床版には様々な形式があるが、施工者が形式を提案し設計を実施する工事仕様であった。そこで本工事では、突起付き T 型鋼を補強リブとするリバーデッキを採用した。

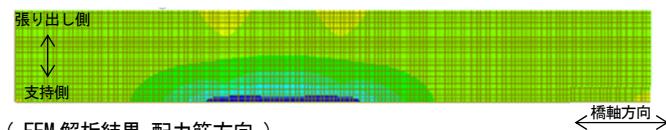
#### 5. 2 活荷重断面力

合成床版は、道路橋示方書に準じて開発されこれまでそれに従い設計を行ってきたが、今回工事の設計活荷重が BS5400 による HB 荷重 45Units (以下、BS 荷重という) であり、それをどのように適合させるかが課題であった。そこで床版支間をパラメータとして FEM 解析を行い BS 荷重での曲げモーメントを算出し、それを [H24 道示 II] 9.2.4, 9.3.4 で算出される設計曲げモーメント値 (以下、道示式といふ) と比較した。

( FEM 解析 荷重図 )



( FEM 解析結果 主鉄筋方向 )



( FEM 解析結果 配力筋方向 )

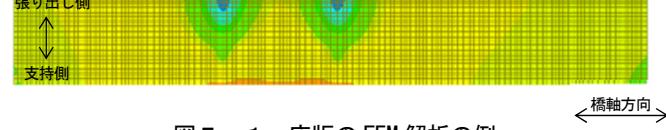


図 5-1 床版の FEM 解析の例

その結果、片持ち版で張り出し長が 1.5m 以上の主鉄筋方向の曲げモーメントにおいて、BS 荷重が道示式を大きく上回り、それ以外の条件では、BS 荷重は道示式と大きな差は生じなかった。これは、BS 荷重では 1 車輪あたり  $2.5\text{kN} \times 45 = 112.5\text{kN}$  で、道示 T 荷重の 1 車輪あたりの荷重と大きな差がない一方で、BS 荷重の橋軸直角方向の車輪のピッチが 1 m であるため、張り出し部に載る車輪の個数が違うためであった。この解析結果を元にして作用力を決定し床版の設計を実施した。

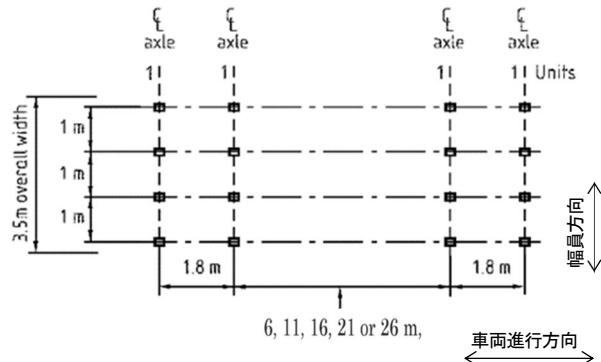


図 5-2 BS 荷重の載荷位置図

### 5. 3 合成床版のパネル割

日本国内の工事では、輸送に関する関係法令により車両荷台幅(=約 2.5m)以上では段積みができないため、合成床版のパネル幅は通常 2.4m 程度で計画される。しかし本工事では海外で製作するためこの制限を受けずパネル幅を 3m とした。これにより継手数を約 20% 削減でき、ボルト本数およびパネル枚数を削減できた。

### 5. 4 ワンサイド高力ボルトの採用

本線部およびランプ部とともに、張り出し部の合成床版のパネル継手には架設前に予めボルトを設置しておくワンサイドボルトを採用した。その結果、張り出し部では主桁のジョイント足場のみの設置で作業が可能となり、朝顔形状の全面足場と比較して足場を省力化でき、夜間の交通規制の回数を減らすことができた。



写真5-1 ワンサイドボルト設置状況



写真5-2 張り出し部の足場状況

### 5. 5 合成床版の製作

本工事を構成する橋梁は、路面線形が非常に複雑でそれをどのようにして原寸展開するかが課題であった。そこで 3 次元座標と 3D の骨組みモデルまでは日本で作成し、海外製作会社にそのデータを支給して原寸展開することとした。また原寸展開時の誤差割り振りの要領、現地での誤差吸収要領などを事前検討し製作情

報に反映させた。さらに製作した底鋼板は数パネルずつ仮組立を行い、寸法確認およびボルト孔の取合確認を行った。

ケラニシッタ JCT 部ランプ橋において、コンクリート壁高欄の鋼製型枠となる側面パネルには曲げ加工をして、継手位置で折れが生じないようにした。



写真5-3 仮組状況

## 6. 現地架設

### 6. 1 現地架設全般

本工事の現地架設は、全てトラッククレーンベント工法であり特筆すべき特殊な工法は採用していない。しかし、23,000t の上下部工を 18 カ月で架設する必要があり、エリアを分けてエリア毎同時に施工する計画をした。使用したクレーンは、現道上で 200t 吊クラスのオールテレーンを最大 3 台、ヤード上で 200t 吊クラスのクローラークレーン最大 2 台が同時期に稼働し、月あたりの架設重量は最大 1,930t であった。現地架設全般を通しての特徴を以下にあげる。

- ・ 架橋地点が主要幹線道路上であるため、完全通行止めが不可能であった。部分規制も、交通量の少ない夜間(21 時から翌朝 5 時)に限定された。
- ・ 仮設材、資機材、消耗品の多くがスリランカ市中の入手が困難であり、調達先の確保に苦労した。
- ・ 市街地のため工事用占有用地が狭く、作業エリアの確保に苦労した。
- ・ 鋼橋自体あまり普及していない国なので、熟練した作業者がおらず、鋼橋架設に関する指導が必須であった。

### 6. 2 橋脚の架設

鋼製橋脚 17 基(門型 16 基、逆 L 字型 1 基)は、全て現道上空での架設であったため、夜間に部分的な交通規制を行いながら順次架設した。クレーンは 200t 吊

クラスのオールテレーンを使用した。門型橋脚において、昼間は完全に交通開放しなくてはならないので、ベントを配置できるのは中央分離帯部の一か所のみであった。そのため、梁部架設時に張り出し量が過大にならないよう、地組ブロックや落とし込みブロックを計画した。

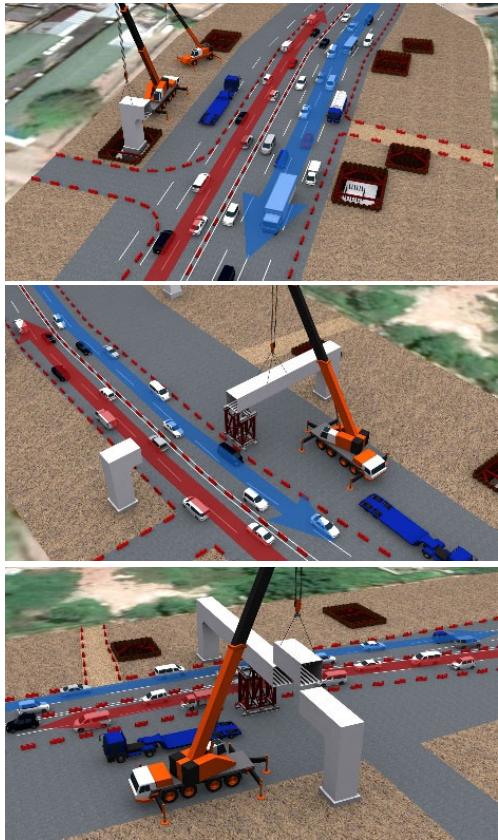


図 6-1 橋脚の架設ステップ

## 6. 2 キャンバー管理

上部工架設時に、上部工自重により門型鋼製橋脚がたわむため、上部工としては支点が沈下することになり、その影響を架設時の出来形管理に反映させる必要があった。さらに橋脚には複数の橋梁が搭載されるため、同じ橋脚上にある隣接する橋梁の自重によっても支点は沈下する。これらの影響を全て加味した施工高管理表を作成し、現地施工時の出来形管理値とした。

例えば、PAB-P6 から P9 橋脚の架かる 3 径間連続桁の B-04L 橋に注目した場合、橋脚を共有している橋梁は、B-04L 橋以外に 7 橋ある。それらがそれぞれの鋼重、床版重量、壁高欄重量、舗装重量により B-04L 橋の支点が沈下することになるので、B-04L 橋梁の支点沈下は  $(8 \text{ 橋分}) \times (4 \text{ ステップ}) = 32 \text{ ステップ}$  となり、それを施工高管理表に反映することとした。

ただし上部工の製作キャンバーには支点沈下量を反映はしていない。架設時(多点支持時)では、支点を仮受けし橋脚のキャンバーが影響しない状態で高力ボルトを締付け、締付け完了後に桁をジャッキダウンし橋脚に荷重をあずけた。

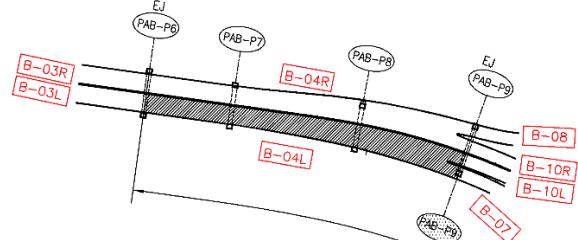


図 6-2 B-04L 橋 配置図

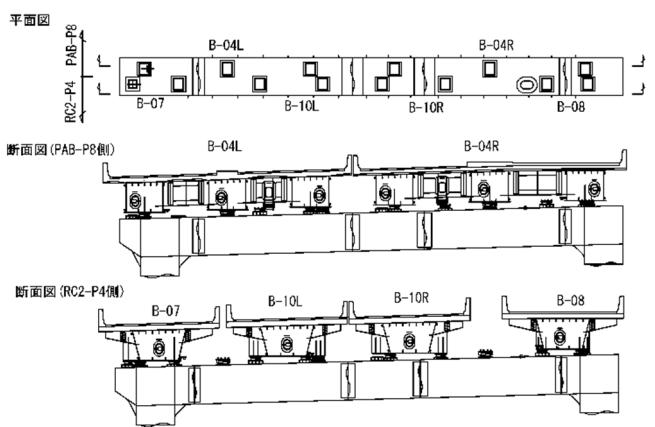
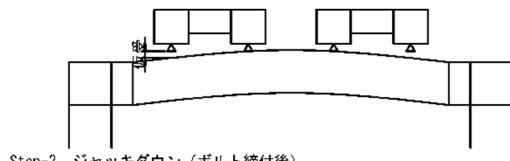
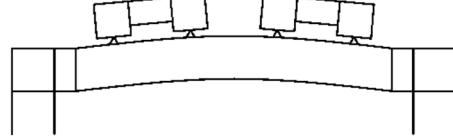


図 6-3 PAB-P9 橋脚 平面図および断面図

### Step-1 架設時（多点支持）



### Step-2 ジャッキダウン（ボルト締付後）



### Step-3 完成時（全死荷重載荷時）

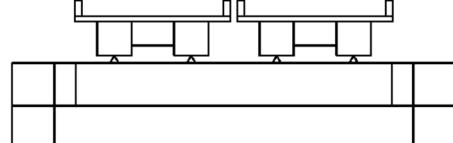


図 6-4 架設時支点部支持ステップ

## 6. 3 ベント設備

ベント設備は今回の工事用に全て新規製作した。ベント構造はなるべく簡易な構造となるよう H 鋼を組み

合わせた形状とした。現道上については、昼間の車道部を阻害することのないよう工事桁を設置して、門型のベント形状とした。



写真6-1 門型ベント設置状況



写真6-2 ベント設置状況

#### 6. 4 ケラニシッタ JCT (B-10 橋) の架設

3方向の結節点となるケラニシッタ JCT にある B-10 橋は、現道部（地上）、本線橋、ランプ橋の3層構造の最上層に架橋される橋梁で、施工ヤードが狭く配置できるベントも限定された。



図6-5 B-10 橋 位置図

また当初は曲線部側からの片押しでの架設を計画したが、橋脚の施工の遅れの工程回復のため、両側からの同時に架設し、交差点上で落とし込み架設する計画に変更した。落とし込み時には、セッティングビーム

を両側に設置し、モーメント連結が可能な仕口形状とするために、支持点でのジャッキ調整量を格子解析により算出した。



図6-6 B-10 橋 架設状況 (3DCG)

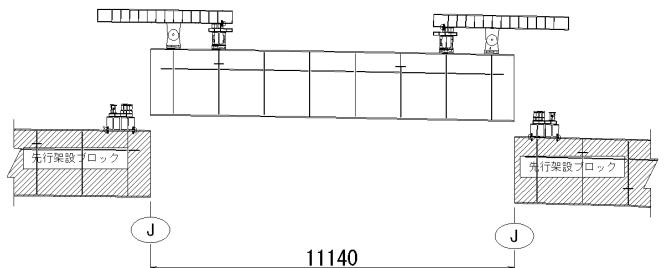


図6-7 セッティングビーム図

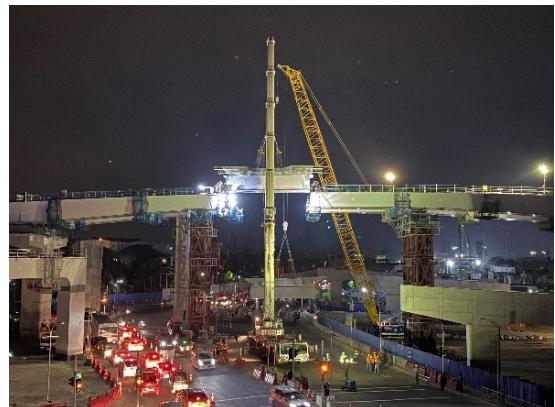


写真6-3 落とし込み状況

#### 6. 5 ポートアクセスライン (B-03, B-04 橋) の架設

ポートアクセスライン B-03 橋, B-04 橋は、コロンボ港に向かう東西方向の本線橋で、南北方向のメインラインと比較して現道の道路幅が狭く、隣に火力発電所や政府施設等の重要施設があり、隣接する場所に十分な作業ヤードを確保できなかった。

そのため当初は、横取り架設工法を計画した。しかし横取り架設工法では、必要となる資機材が膨大になりそれらが簡単にスリランカ国内で手に入らないこと、難易度の高い施工を実施するための熟練した作業者がおらず管理が難しいことから断念し、通常のトラック

クレーンベント工法に計画を変更した。



写真6-8 B-03橋 位置図

地組ヤードの確保については、架設箇所から離れた位置にあるヤード（ケラニシッタ JCT 部）で昼間に地組を完了させておき、地組したブロックを交通規制後にポールトレーラーにて架設地点に輸送し架設した。



写真6-4 ヤードでの地組状況



写真6-5 地組ブロックの輸送状況



写真6-6 架設状況

## 6. 6 合成床版の架設

合成床版の架設については、クレーンの配置計画が特に困難であった。他の桁を架設してしまうとクレーンブームの旋回エリアを確保できず床版パネルの架設が不可能となってしまう箇所が多くあった。そのため桁→床版→桁と施工エリアを確保できるようより緻密な計画をしながら施工した。

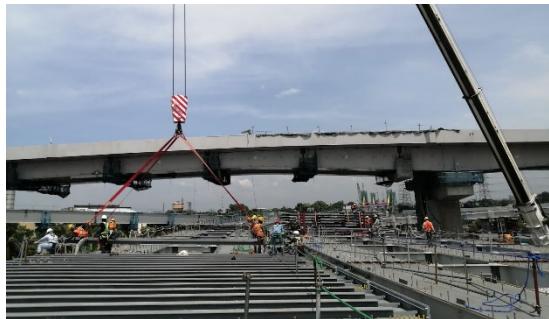


写真6-7 床版パネル施工状況

## 7. プロジェクト管理

### 7. 1 全体工程

本工事の契約工期は3年間で、その内で橋梁の基礎、上下部工、床版、橋面、土木工事までを完了させる必要があった。そのためには、設計、製作、架設相互が連携し、シームレスな工事の進捗管理が要求されそれを実行した。しかしながら本工事の現地施工中、スリランカ国内の連続爆破テロ事件とコロナ禍によるロックダウンという2度の大きな外的な要因により工事中止を余儀なくされた。工事中止時には早期に工事を再開できるよう様々な施策を実施した。

表7-1 計画工程および実施

		2018			2019			2020			2021		
		1	4	7	10	1	4	7	10	1	4	7	10
▼着工指示 (12/19)						▼爆破予定 (4/21~6/10)				▼コロナロックダウン			
設計	製作図作成	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
製作	鋼製橋脚	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	上部工 箱桁	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	合成床版 パネル	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
橋梁 工事	鋼製橋脚					●	●	●	●	●	●	●	●
	上部工 箱桁					●	●	●	●	●	●	●	●
	合成床版 パネル					●	●	●	●	●	●	●	●
	その他工事					●	●	●	●	●	●	●	●
	土木工事					●	●	●	●	●	●	●	●

青字：計画  
赤字：実施

### 7. 2 テロ対策

2019年4月21日コロンボを含む高級ホテルや教会

などスリランカ国内8か所で連続的に爆弾テロ事件が発生し、日本人を含む多くの市民が犠牲となった。この事件を受け非常事態宣言が発令され、工事中止を余儀なくされた。その際、早期の工事再開に向けて工事現場内のセキュリティ施策を計画し実施した。具体的な対応としては、以下のとおりである。

- 1) 危機管理コンサルタントから専門家を招聘し工事現場事務所での常駐
- 2) 武器所持警備員の配備
- 3) 昼夜巡視の徹底
- 4) 監視塔の設置

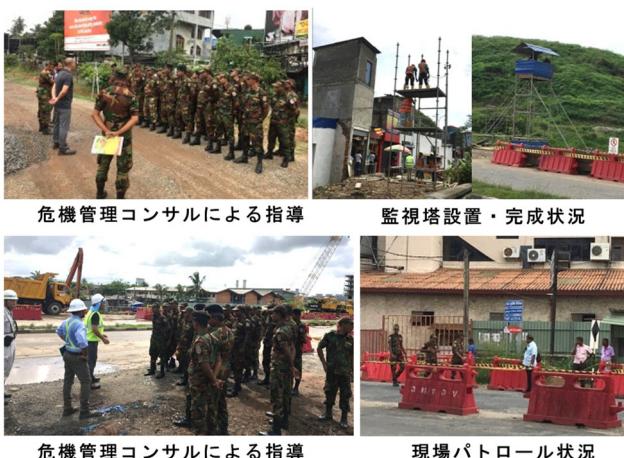


写真7-1 テロ対策

### 7. 3 新型コロナウイルス対策

2020年以降の新型コロナウイルスの世界的な大流行（パンデミック）により、スリランカ国内でも2020年3月以降感染者が増加し、政府より3/19に外出禁止令（ロックダウン）が発令され、工事中止を余儀なくされた。コロンボ市内の外出禁止令は5/26まで続いたが、その期間、第2波第3波にも備え蔓延防止対策を計画した。外出禁止令はこれ以降も何度も発令されたが、その対策によって特別な作業許可を政府機関から得て工事を継続することができた。具体的な対策は以下のとおりである。

- 1) 毎日、入退場時の検温・記録
- 2) 手洗い場を現場に設置
- 3) 車両移動時の感染防止のため、運転席との遮断
- 4) 現地警察・保険局との綿密な連携
- 5) 作業者宿舎の建設
- 6) コロナの疑い症状フローチャートの作成と遵守



写真7-2 新型コロナウイルス対策

### 8. おわりに

2017年12月に着工した本工事は、テロ事件やコロナ禍といった幾度の困難を乗り越えながらも、2021年11月には開通式が盛大に開催され、道路が開通しました。このような大規模の工事を大きな災害もなく完工させたことは、スリランカ政府やJICAからも高い評価を得ることができました。これも全ての関係者のご尽力の賜物であります。工事中はスリランカ道路開発庁、(株)オリエンタルコンサルタンツグローバルをはじめ多くの関係者の皆様にご指導・ご協力をいただきました。ここに深く敬意と感謝の意を表します。



写真8-1 完成写真



写真8-2 完成写真2

