

第8章 事業実施計画

8.1 エンジニアリングサービス

パナマメトロ庁は既に開業した1号線に加え、現在2号線事業に着手しており、都市鉄道事業には十分な経験を有する。しかしながら、都市鉄道とモノレールシステムとの間には軌道構造及び車両の部分において大きな差異がある。パナマメトロ庁はモノレールシステム建設の経験を持たないことから、システム設計、施工業者の選択、施工管理、運営及び維持管理において以下に整理するように、十分な経験を有するコンサルタントのサポートが必要である。

工事開始前	1) 入札書類の準備 2) 入札作業の補助 3) 入札評価の補助
工事中	1) 施工管理業務 2) 各種サブシステム及び機器の維持管理マニュアルの作成 3) 国内及び海外における要員訓練のスケジュール作成と訓練時の補助
工事完了後	1) 営業運転開始後の技術支援

8.2 用地取得

用地取得が必要な土地の一覧を下表に示す。

表 8.1 用地取得用地概要

項目	駅名	必要面積(m2)
パークアンドライド用地		
P&R1	ヌエボ・チョリーヨ	3,720
P&R2	ビスタ・アレグレ	4,200
車両基地用地		120,000
用地取得が必要な総面積		127,920

出典：調査団

8.3 事業費推計

8.3.1 積算条件

メトロ3号線の事業費は、建設費、コンサルタント費、用地費を内貨と外貨に分けて計上する。これらの価格に、物価上昇、予備費、事業管理費を考慮する。なお、メトロ1号線の事例に倣い消費税(ITBMS: Impuesto a las Transferencias de Bienes Corporales Muebles y la Prestacion de Servicios)と輸入税は免税とする。

為替レート、物価上昇率、予備費、コンサルタント費のレートはいずれも調査時点の値である。

表 8.2 積算条件

項目	摘要
積算基準年	2013年10月
為替レート	米ドル(USD)対日本円(JPY) USD 1.00 = JPY 99.7
物価上昇率	外貨(FC, Foreign Currency): 1.3% 内貨(LC, Local Currency): 3.1%
予備費	建設費: 5% コンサルタント費: 5%
管理費	5%

出典: 調査団

なお、第4運河橋区間の建設費用については、3号線の桁から上の部分の工事費を3号線の事業費として積算し、桁を敷設する橋の上部工から下の構造物に関わる建設費用は、第4運河橋の事業費として積算した（第15章）。

8.3.2 積算結果

(1) 初期投資

本プロジェクトの事業費を表8.3に示す。将来駅とされたアライハン・モール、カセレス、サン・ベルナルディーノの3駅の建設費を含まない。車両数は2030年までの需要量に対応する168両とする。

(2) 追加投資

将来駅（3駅）の開業に要する費用と、2030年以降に必要となる増備車両の費用は、それぞれ47億円と55億円、合計102億円と推計された。車両数は、Phase-1区間において2050年までに必要となる24両の増備を想定した。

(3) METI調査との比較

2012年11月に経済産業省（METI）の資金によるパナマメトロ3号線の円借款・民活インフラ案件形成等調査が実施されている。その際に積算された事業費に比較して本調査による事業費は大幅に増加している。この増加の主な理由は、メトロ庁の要望をベースとした事業スコープの見直し（ルートの変更、車両基地の位置変更等）とメトロ1号線における実績工事単価を反映させたことによる。

表 8.3 事業費

Annual Fund Requirement

Base Year for Cost Estimation: Oct, 2013
 Exchange Rates: PAB = Yen 99.7 FC & Total: million JPY
 Price Escalation: FC: 1.3% LC: 3.1% LC : million PAB
 Physical Contingency 5%
 Physical Contingency for Consultant 5%

Item	Total			2015			2016			2017			2018			2019			2020			2021			
	FC	LC	Total	FC	LC	Total	FC	LC	Total	FC	LC	Total	FC	LC	Total	FC	LC	Total	FC	LC	Total	FC	LC	Total	
A. ELIGIBLE PORTION																									
I) Procurement / Construction	90,852	994	190,001	0	0	0	0	0	0	7,335	202	27,471	25,544	228	48,325	24,579	245	48,969	24,969	225	47,403	8,426	94	17,834	
Mobilization	0	53	5,312	0	0	0	0	0	0	53	5,312	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Public Utility Relocation	0	20	1,994	0	0	0	0	0	0	20	1,994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Detailed Design	5,312	0	5,312	0	0	0	0	0	0	2,656	0	2,656	2,656	0	2,656	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Civil Works	5,964	395	45,338	0	0	0	0	0	0	1,032	68	7,847	1,376	91	10,463	1,376	91	10,463	1,376	91	10,463	803	53	6,103	
Switch Work	3,275	0	3,275	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,156	0	1,156	1,156	0	1,156	963	0	963	0	0	0	
Station Building	7,290	195	26,778	0	0	0	0	0	0	394	11	1,447	2,364	63	8,685	2,364	63	8,685	2,167	58	7,961	0	0	0	
Depot & Workshop Construction	224	60	6,246	0	0	0	0	0	0	61	16	1,688	73	20	2,026	73	20	2,026	18	5	506	0	0	0	
Depot Facilities	895	5	1,395	0	0	0	0	0	0	0	0	0	224	1	349	448	3	697	224	1	349	0	0	0	
Rolling Stock	37,031	3	37,367	0	0	0	0	0	0	1,852	0	1,868	11,109	1	11,210	11,109	1	11,210	11,109	1	11,210	1,852	0	1,868	
Power Supply System	10,237	15	11,737	0	0	0	0	0	0	640	1	734	2,559	4	2,934	2,559	4	2,934	2,559	4	2,934	1,919	3	2,201	
Signalling & Telecommunication System	8,378	39	12,223	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,289	6	1,881	2,578	12	3,761	2,578	12	3,761	1,933	9	2,821	
AFC System	1,459	1	1,519	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	729	0	759	729	0	759	
P&R Facility	0	4	431	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	431		
Environmental Mitigation and Monitoring	0	3	347	0	0	0	0	0	0	0	1	60	0	1	72	0	1	72	0	1	72	0	1	72	
Base cost for JICA financing	80,064	794	159,275	0	0	0	0	0	0	6,634	170	23,607	22,806	187	41,431	21,663	194	41,004	21,724	173	38,979	7,237	70	14,255	
Price escalation	6,462	153	21,679	0	0	0	0	0	0	352	22	2,556	1,521	31	4,593	1,746	39	5,634	2,056	41	6,167	788	19	2,729	
Physical contingency	4,326	47	9,048	0	0	0	0	0	0	349	10	1,308	1,216	11	2,301	1,170	12	2,332	1,189	11	2,257	401	4	849	
II) Consulting services	3,989	49	8,839	278	4	629	325	4	735	648	9	1,577	754	10	1,782	698	8	1,448	670	7	1,358	617	7	1,311	
Base cost	3,542	39	7,478	258	3	572	298	4	654	586	8	1,369	673	8	1,513	615	6	1,210	583	5	1,112	530	5	1,048	
Price escalation	257	7	940	7	0	27	12	0	46	31	1	133	45	1	183	50	1	169	55	1	181	58	1	201	
Physical contingency	190	2	421	13	0	30	15	0	35	31	0	75	36	0	85	33	0	69	32	0	65	29	0	62	
Total (I + II)	94,841	1,043	198,840	278	4	629	325	4	735	7,983	211	29,048	26,298	239	50,106	25,276	252	50,418	25,639	232	48,760	9,042	101	19,145	
B. NON ELIGIBLE PORTION																									
a Procurement / Construction	0	3	342	0	0	24	0	0	49	0	1	51	0	1	52	0	1	54	0	1	55	0	1	57	
Environmental Mitigation and Compensation	0	3	277	0	0	21	0	0	43	0	0	43	0	0	43	0	0	43	0	0	43	0	0	43	
Base cost for JICA financing	0	3	277	0	0	21	0	0	43	0	0	43	0	0	43	0	0	43	0	0	43	0	0	43	
Price escalation	0	0	49	0	0	1	0	0	4	0	0	6	0	0	7	0	0	9	0	0	10	0	0	12	
Physical contingency	0	0	16	0	0	1	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	3	0	0	3	0	0	3	
b Land Acquisition	0	27	2,693	0	0	0	0	21	2,141	0	6	552	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Base cost	0	23	2,326	0	0	0	0	19	1,861	0	5	465	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Price escalation	0	2	239	0	0	0	0	2	178	0	1	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Physical contingency	0	1	128	0	0	0	0	1	102	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
c Administration cost	0	101	10,094	0	0	33	0	1	146	0	15	1,483	0	25	2,508	0	25	2,524	0	24	2,441	0	10	960	
d VAT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
e Import Tax	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total (a+b+c+d+e)	0	132	13,129	0	1	56	0	23	2,336	0	21	2,085	0	26	2,560	0	26	2,577	0	25	2,496	0	10	1,017	
TOTAL (A+B)	94,841	1,175	211,969	278	4	685	325	28	3,071	7,983	232	31,133	26,298	264	52,666	25,276	278	52,995	25,639	257	51,257	9,042	112	20,162	
C. Interest during Construction																									
Interest during Construction (Const.)	7,930	0	7,930	0	0	0	0	0	0	369	0	369	1,018	0	1,018	1,676	0	1,676	2,313	0	2,313	2,553	0	2,553	
Interest during Construction (Consul.)	7,928	0	7,928	0	0	0	0	0	0	369	0	369	1,018	0	1,018	1,676	0	1,676	2,313	0	2,313	2,552	0	2,552	
Interest during Construction (Consul.)	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	
D. Front End Fee	398	0	398	398	0	398	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
GRAND TOTAL (A+B+C+D)	103,169	1,175	220,296	676	4	1,083	325	28	3,071	8,352	232	31,502	27,317	264	53,685	26,952	278	54,671	27,952	257	53,570	11,595	112	22,715	

注釈 : Interest during construction の計算にあたっては、円借款による借入の額を全事業費の70%、残りをパナマ自己資金と仮定した。

出典 : 調査団

8.4 建設計画

本線の軌道桁は、プレストレストコンクリート製軌道桁(PC 軌道桁)とする。PC 軌道桁は、工場で製作された後にトレーラで架設現場に搬入しクレーン等で架設される。また、モノレールの電車線は軌道桁の側面、通信・信号システム用ケーブルおよび電力ケーブルは、軌道桁下のケーブルラダーまたは避難通路の下のケーブルトレイに設置される。

なお、都市交通 3 号線の建設に影響する他の事業とは、次のとおり調整されているものとする。

- 1) MOP によるパンアメリカン道路の車線拡幅計画の実施工程は不明である。本事業では、工事の確実な実施のため、拡幅工事を待たず、現道からモノレールの ROW までの拡幅車線部分を含む土地の造成を行う。
- 2) 第 4 橋建設工事工程は、橋の完成の 6 ヶ月前までに、橋とアプローチ道路へのメトロ 3 号線の軌道桁の敷設を開始可能とすること。
- 3) 第 4 橋の伸縮量は、第 4 橋上に敷設するモノレールの軌道桁に、モノレールの走行に支障する影響を与えない大きさとする。

8.4.1 下部工

モノレールの下部工は、一般的な構造物の支持構造と同様であり、特別な形式や施工法は不要である。基礎は、振動や騒音の少ない場所打杭とする。施工中は、約 8.0m 幅を工事機械等が占有するため、施工場所に応じた交通処理を行う。

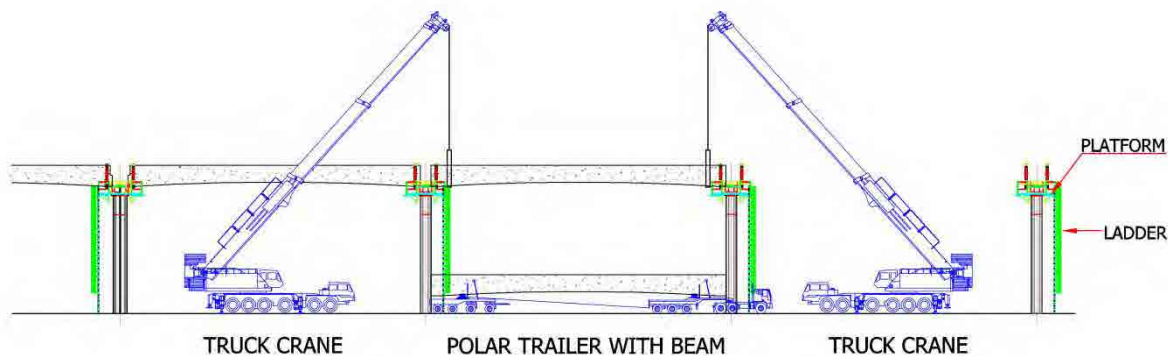
8.4.2 上部工

(1) PC 軌道桁の製作

均質かつ高い精度の軌道桁を製作するために、PC 軌道桁は、様々な形状の軌道桁に対応できる特殊な型枠であるモールド装置を有する専用のヤードで製作する。なお、PC 軌道桁製作ヤードには、軌道桁を製作する施設と製作した軌道桁を貯蔵する用地を配置し、3ha 以上の広さが必要である。また、PC 軌道桁製作ヤードは、大型トレーラによる桁の搬出に備えて幅員の広い道路沿いに設ける。

(2) PC 軌道桁架設工

一般部の PC 軌道桁は、PC 軌道桁製作ヤードから大型トレーラにより現場に搬入され、クレーンで橋脚上に据え付けられる。その後、桁間に間詰コンクリートを打設して軌道桁間および軌道桁と橋脚とを剛結し、さらに桁間に PC 鋼線を通し、緊張して連続桁とする。

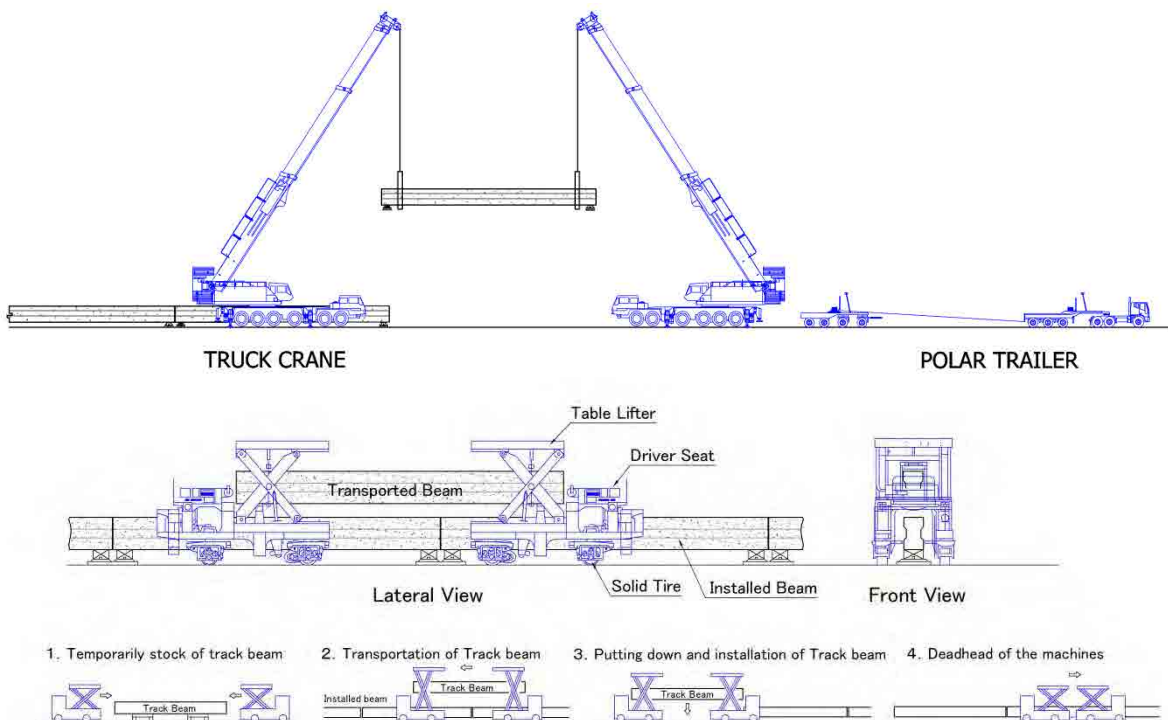


出典：調査団

図 8.1 PC 軌道桁架設工

(3) 第4橋上へのPC軌道桁の架設

メトロ3号線の建設は、第4橋以外の工区から着手し、第4橋の工区は橋への桁の架設が可能となる時期から橋が完成するまでの短期間で施工する。同工区を短期間で施工するため、軌道桁の架設は昼夜行う。軌道桁は夜間に搬入し、現場に仮置きする。架設方法は一般部と同様にクレーンを用いる。なお、クレーンの使用が困難な場合には、桁運搬架設機の利用が考えられる。



出典：調査団

図 8.2 クレーンによる架設と桁運搬架設機

(4) 車両基地内の桁の設置

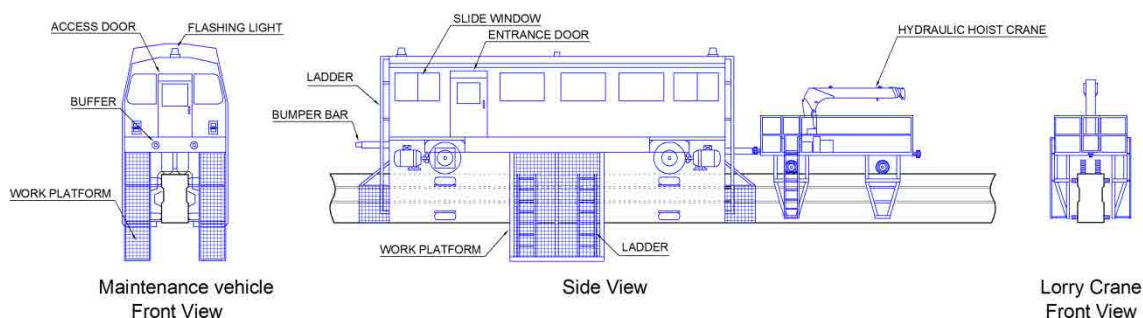
車両基地は平坦な地上に設けるため、基地内の軌道桁は地上に設置する。基地内では、PC軌道桁またはRC軌道桁を用いる。RC桁は、PC軌道桁で製作することが困難な小半径曲線を描く軌道桁を製作できる。

(5) その他土木工事

分岐部には、跨座型モノレール専用の分岐装置が設置される。分岐部の軌道桁は分岐装置に含まれる。高架駅の PC 軌道桁の設置は、桁の搬入を容易にするため駅舎の土木構造の建設を終え、外壁などの建築工事の着手前に行う。

8.4.3 電気・信号・通信システム設置工事

モノレールの電車線は軌道桁の両側に設置する。電力ケーブルと信号・通信システムの弱電ケーブルは、軌道桁横の避難通路下のケーブルトレイまたは軌道桁下のケーブルラダーに敷設する。軌道桁への電気、信号、通信システムの設置工事は高所作業となるため、地上から工事用足場を立ち上げる代わりに専用の自走式作業車を使用するものとする。



出典：調査団

図 8.3 作業車

8.4.4 建設期間中の交通管理計画および安全管理計画

下部工事にあたっては、車線規制を行い、工事帯を設ける。また、軌道桁の運搬では、軌道桁製作ヤードから架設現場間を大型トレーラが低速で走行し、桁の架設ではクレーン車の据え付けのために車線規制を行う。

本プロジェクトの交通処理対策としては、パンアメリカン道路利用者へのセンテナリオ橋への迂回の推奨、夜間工事を含む工事実施時間帯の調整が考えられる。

パンアメリカン道路の運河からアライハンの区間では、現道から車線拡幅部分を含めてモノレールの ROW までの土地を造成し、拡幅車線部分の空間を工事帯に使用することにより、交通への影響を緩和することができる。

8.4.5 資機材調達

(1) 建設資材

メトロ 1 号線の事例より、メトロ 3 号線の建設資材のうち、セメント、粗骨材、ポリ塩化ビニルパイプを国内財とし、その他の資材は輸入財とする。

(2) 建設機械

メトロ 1 号線の高架区間の建設には、掘削機やトラッククレーン、コンクリートポンプ車等の建設機械が使用されてきた。メトロ 3 号線の建設においても、これらの建設機材

の調達は容易と判断される。

(3) 土木工事の労働力

メトロ1号線建設の実績から、メトロ3号線工事においても、技術者、熟練工、普通作業員の確保は可能と考えられる。ただし、モノレールは中米においては新しい輸送システムであるため、精度の高いPC軌道桁製作の指導、自走式作業車を用いたシステム工事の指導、モノレールの走行試験を含めた総合試験には、その技術と経験を持つ海外の技術者の援助が必要である。

8.4.6 コンサルティングサービス

都市交通システムとして安全で信頼性の高いモノレールを建設するために、発注者側に専門知識と経験を持つコンサルタントを配置する。コンサルタントの主な業務を以下に示す。

表 8.4 コンサルティングサービス

準備段階	建設段階
1) 基本設計の作成	1) 請負者による詳細設計、仕様書の照査と承認
2) 施工計画、概略工程計画の作成	2) 請負者による施工計画書、工程計画書等の照査と承認
3) 建設費の積算	3) 工程管理
4) 入札、契約書類の作成	4) 品質管理
5) 入札手続き	5) 安全管理
6) 入札書の評価	6) 工事の出来高の測定、確認
7) 発注者への推薦	7) 現場条件の変更、または発注者の変更要請による工程と費用の変更の評価
	8) 現場試験、機能試験、走行試験の実施あるいは確認
	9) 工事進捗報告書の作成

出典：調査団

8.4.7 建設工程

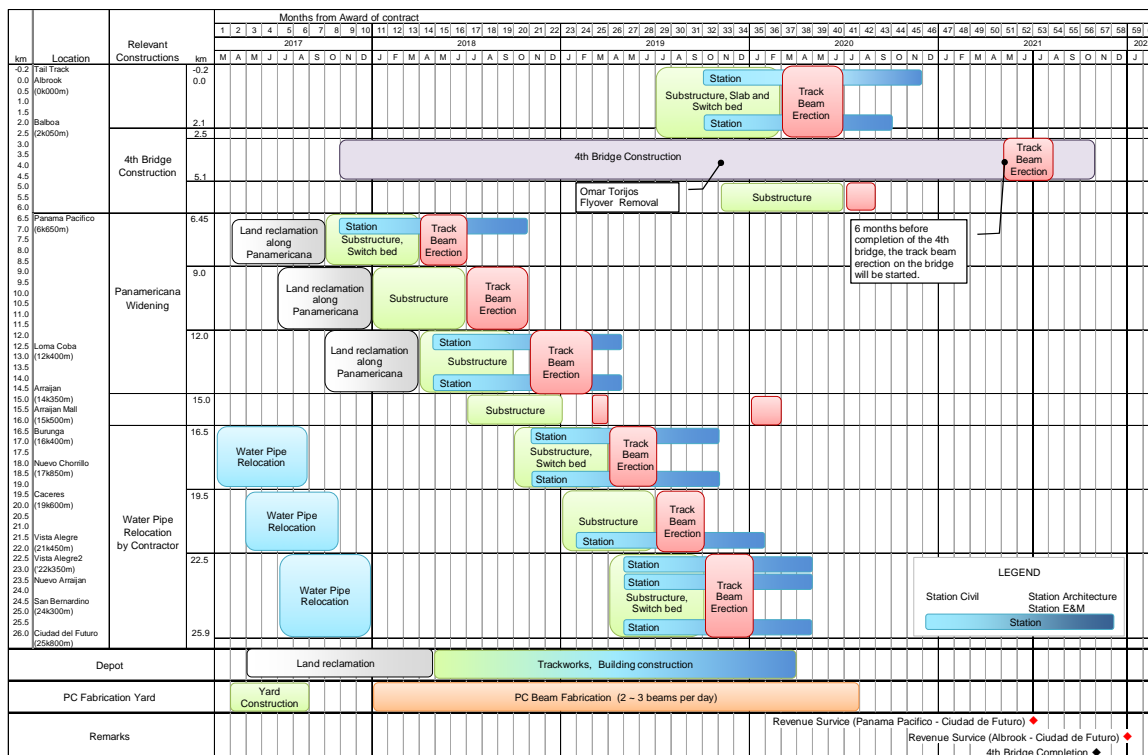
(1) 前提条件

メトロ庁の意向により、都市交通3号線と第4パナマ運河橋の開業を同時期とする。第4パナマ運河橋は2017年11月に着工、2021年10月の完成を予定している。メトロ3号線は、2017年3月に着工、橋の完成の6ヶ月前から橋への軌道桁の架設を開始し、コミッションングテストを経て2022年の1月に全線開業する。また、全線開業の6ヶ月前の2021年7月に、運河の西側のパナマ・パシフィコからシウダッド・デル・フトゥーロ間で部分開業を行う。

(2) 関連工事

パンアメリカン道路のブルンガからシウダッド・デル・フトゥーロ間では、モノレールの橋脚の建設を予定している道路の中央分離帯からの埋設水道管の移設が必要である。また、パナマ・パシフィコからアライハン間では、MOPによる車線拡幅工事が計画されている。さらに、第4橋では橋の工事の進捗を待ち軌道桁を敷設する。これら関連工事の条件を考慮した都市交通3号線の土木工事の工程案を下表に示す。

表 8.5 土木工事工程案



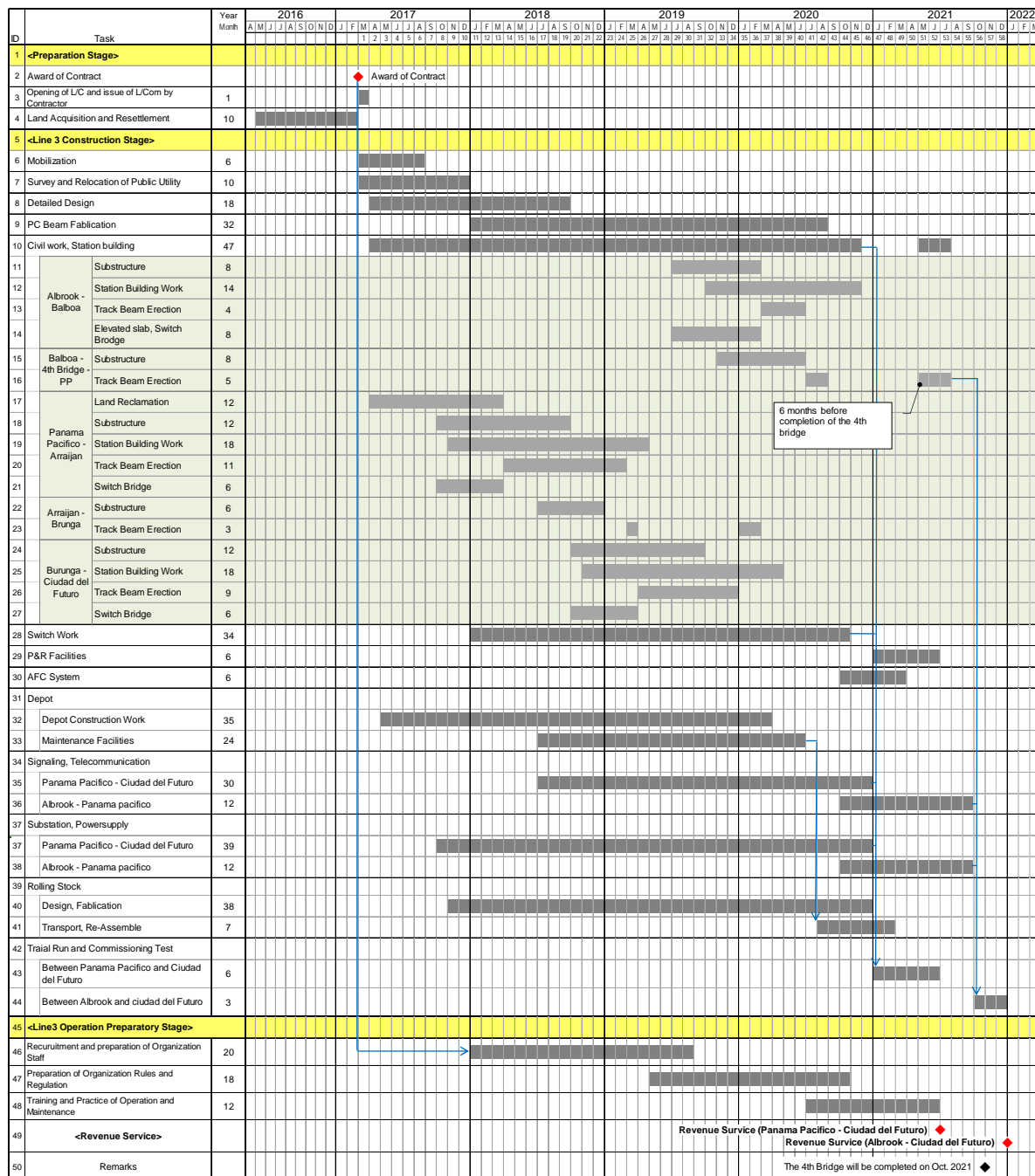
出典：調査団

(3) 建設工程

建設期間は2017年7月から2021年12月、開業は2022年1月となる。

請負業者との入札契約作業等を行う準備段階と、建設段階の前提条件を以下に示す。資金調達、請負業者の入札契約の取り決めなどのプロジェクトの開始手続きは、準備段階で実施される。

表 8.6 建設工程



出典：調査団

8.5 工事発注パッケージ

本事業の実施にあたり、その契約形態が事業のコスト、スケジュール、完成後の整備体制等に大きく影響することから、以下に各種の契約形態についてそれぞれの概要と長所短所について述べる。

	長所	短所
建設工事契約	発注者が材料や技術基準を詳細に指定する事が可能	モノレールの場合、詳細設計をした時点で特定の車両メーカーを有利にしてしまう
プラント及び設計施工契約	特定の車両メーカーを有利にする事なく、競争入札による請負者選定が可能である	左記の長所の裏返しとして、完成の詳細な仕様まで事前に特定させる事が難しい
EPC/ターンキー契約	請負者が完成品の状態で引き渡すため、発注者側の設計・施工管理に関する負担が軽い	様々なリスクが請負者に帰属するため、工事金額が高くなりがちである 土木工事やユーティリティー移設、第4橋建設で関係各機関との複雑な調整が予想され、請負者の負担が重い

本事業においては、上記のうちプラント及び設計施工契約を提案する。パッケージについては、土木と E&M を分割する場合には E&M の入札を先行して実施し、その設計が確定してからでないと土木の入札が出来ない。このため、土木と E&M を一体とするパッケージを提案する。

8.6 官民パートナーシップ（PPP）

現在のところ、パナマ国では PPP に特化した法制度は設けられていない。2011 年には包括的な PPP 法案（2011 年法案 349 号）が国会に提出されたが、公共部門の労働者の反対に晒され成立しなかった。これまで PPP はプロジェクト毎の立法、あるいは調達法など一般的な法制度の活用により、セクター毎に異なった枠組みの下に実施されてきている。

しかし最近では、行政コンセッション法（1998 年法律第 5 号、2010 年改正）に基いて、コンセッション事業方式により PPP 事業を実施することが実質的に可能となっている。

事業の特性及び海外での事例に鑑みて、3 号線事業で考えられる事業実施スキームは以下の通りである。

- 公共による事業投資・運営
- コンセッション方式（公共による初期投資）
- BOT/BTO スキーム（民間による初期投資）
- 上下分離方式（車両・機電部分の民間投資）
- 公共による事業運営（民間による初期投資）

上述の事業スキーム代替案について、表 8.8 に財務面、予備的なリスク分析、調達面などに係る比較を示す。PPP 方式を検討した結果、以下の点が指摘できる。

- 事業関係機関はいずれも、本事業に PPP を適用する意図はなく、円借款を活用した公共投資・運営が基本的な事業実施体制である。
- 本事業は財務的にフィージブルでなく、相当な政府補助が必要とされる。PPP 導入により事業運営の効率性がある程度向上したとしても、特に民間事業者が初期投資を行うスキームでは、公共実施のケースと比較して VFM が得られる蓋然性は高くない。
- PPP スキーム代替案の中では、公共側が初期投資コストを負担するコンセッション方式（Annuity-based）は民間に求める効率性があまり高くなく、VFM 実現の可能性が比較的高いオプションであると考えられる。
- 現在、政府にメトロ事業の運賃設定制度は無く、将来の運賃水準予測に不確実性が大きいいため、民間事業者が運営する際のリスクとなっており、特に民間事業者が運賃収入に依存する Fare-based のスキームは適さない。現状では Annuity-based のスキームが望ましい。事業の持続可能性を確保するためには、政府による適切な運賃設定・調整制度の確立が必要である。
- 政府が PPP 導入を決定する場合、官民の分担業務の技術的適合性や調達の効率性・実現可能性は更なる市場調査（サプライヤー・オペレーター候補企業に対するマーケットサウンディング）や技術的検討により分析される必要がある。政府が更なる調査を実施する場合、技術／トランザクションアドバイザーの雇用が不可欠である。
- PPP スキームでは、円借款返済に係るデットサービスの他に、民間事業者の収益性を確保するために事業運営期間中の補助金ないし Annuity 支払が予期される。こうした取り決めを行うことは、通常の政府借入によらない実質的な財政へのファイナンスと考えられる。

表 8.8 事業スキーム代替案の比較

事業スキーム代替案	代替案1 公共による事業投資・運営		代替案2 コンセッション方式		代替案3 BOT/BTO方式 (Fare-based)	代替案4 上下分離方式		代替案5 公共による運営・民間による投資 (民設公営)	
			2-1 Fare-based	2-2 Annuity-based		4-1 Fare-based	4-2 Annuity-based		
1. 官民の役割分担									
初期投資 ¹⁾	公共: 2,126百万ドル		公共: 2,126百万ドル		民間: 2,126百万ドル	公共: 1,297百万ドル (土木建設) 民間: 829百万ドル (車両等)		民間: 2,126百万ドル	
運営・維持管理	公共		民間		民間	民間		公共	
民間事業者の収入源	N/A		運賃収入	サービス基準に基づいたAnnuity	運賃収入	運賃収入	サービス基準に基づいたAnnuity	システムのオペラビリティに基づいたAnnuity	
2. 政府の財政負担									
初期投資	建設費		建設費		なし	建設費 (公共部分のみ)		なし	
ドナー資金の借入	円借款		円借款		なし	円借款 (公共部分のみ)		なし	
運営期間中の財政負担	O&M費 再投資費用		なし	Annuity支払い 78.6 百万ドル	年間補助金 218.3 百万ドル	年間補助金 77.3 百万ドル	Annuity支払い 165.4 百万ドル	Annuity支払い 240.0百万ドル O&M費	
運営期間中の収入	営業収入		コンセッション フィー 9.33 百万ドル	営業収入	なし	なし	営業収入	営業収入	
政府が負担するライフサイクルコスト ²⁾	1,380百万ドル		1,424百万ドル	1,409百万ドル	1,966百万ドル	1,638百万ドル	1,606百万ドル	1,951百万ドル	
VFM (代替案1との差)	N/A		-3.2% (-44百万ドル)	-2.1% (-29百万ドル)	-42.5% (-586百万ドル)	-18.7% (-259百万ドル)	-16.4% (-227百万ドル)	-41.4% (-571百万ドル)	
3. VFM達成のために必要な民間投資・運営効率の向上									
コスト削減	N/A		O&M費・再投資 -6.4%	O&M費・再投資 -4.0%	建設費・O&M費・再投資 -22.6%	建設費・O&M費・再投資 -18.4%	建設費・O&M費・再投資 -16.2%	建設費・再投資 -28.1%	
収入向上	N/A		収入向上 +5.7%	N/A	収入向上 +78.5%	収入向上 +34.7%	N/A	N/A	
コスト削減及び収入向上	N/A		(例) コスト削減: -4% 収入向上: +2%	N/A	(例) コスト削減: -15% 収入向上: +26%	(例) コスト削減: -10% 収入向上: +16%	N/A	N/A	
4. 施設建設と民間事業者の調達									
調達パッケージ	- 施設建設のみ		- 施設建設 - 運営コンセッション	- BOT/BTO事業者の選定			- 公共による土木建設 - BOT/BTO事業者選定 (車両等)	- 民間事業者選定 (施設建設)	
民間事業者選定の評価方法	N/A		コンセッション フィー金額	Annuity所要額	年間補助金所要額	年間補助金所要額	Annuity所要額	Annuity所要額	
5. 主なリスク分組									
完工リスク	公共: - 予算措置 (建設に係るドナー資金含む) - コントラクターの技術的・財務的能力 (建設工事入札時に審査する)			民間: - スポンサーの能力 - コントラクターの技術的・財務的能力			公共 (土木建設): - 予算措置 - コントラクターの技術的・財務的能力 民間 (車両等) - スポンサーの能力 - コントラクターの技術的・財務的能力		
操業・運営リスク	公共: - O&M費に係る予算措置 - メトロ公社 (または運営受託企業) の技術的能力		民間: - キャッシュ・フロー予測 (第18章参照) で、民間が負担するO&M費・再投資等に基づき補助金/Annuity所要額を推計。 - 3号線事業の事業計画・通用技術等に基づき、コンセッション・オペレーター候補企業の技術的能力や投資能力・関心を調査する必要がある。				公共: - O&M費に係る予算措置 - メトロ公社 (または運営受託企業) の技術的能力		
公共インフラ・ユーティリティリスク	公共: 3号線運転の電力は配電会社 Gas Fenosa により供給される。Gas Fenosa はブルガに発電所 (230V) 発電所を建設する計画を有しており、2016年までに建設完了予定である (第6章6.9.1項参照)。								
補助金/Annuity支払いに係るリスク	公共: 建設・運営補助金がメトロ公社に交付される。		N/A (民間よりコンセッションフィーを支払う)	公共: 運営期間中の公共から民間への年間補助金・Annuity支払額は約70~240百万ドル。国家予算が原資となるため、民間による運営維持管理に支障を来さないよう予算配賦状況のモニタリングを行う必要がある。					
需要リスク	公共		民間	公共	民間	民間	公共	公共	
運賃設定及び調整	公共側が運賃水準に係るリスクを負担するべく、補助金調整の仕組みを導入する必要がある。 旅客運賃制度は、メトロ公社の提案により政府が決定する。運賃設定方法・調整方法に係る制度は定められていないため、将来の運賃水準の予測は不確実であり、特にFare-basedのPPPスキームを導入する場合に影響が大きい。 - Fare-basedのスキームを導入する場合は、民間事業者の収入源を確保するために、政府が予め運賃設定に係る制度を確立するべきである。 - 運賃設定・調整制度が無い現状においては、Annuity-basedのスキーム導入が望ましい。Fare-basedのスキームを実施する場合は、運営補助金やコンセッションフィーに適切な調整が行われるような仕組みを導入すべきである。しかし、かかる運賃制度が無い状態では、運営期間中に補助金交付の政府負担が増加していくリスクがある。								
価格変動リスク	民間・公共が各々の取引で価格変動リスクを負担する。 キャッシュ・フロー予測 (第10章) では、各スキーム代替案について、プライスエスカレーション率 (内資: 3.1%) に基づく価格準備費を含めて政府の負担するデットサービスや事業のライフサイクルコスト、補助金・Annuity支払額を推計している。 費用の価格変動に見合った運賃収入を得るとともに民間事業者の運営維持管理を安定させるために、運賃設定及び民間事業者向け補助金・Annuity設定に適切な価格調整の仕組みを導入すべきである。								

¹⁾ 表中の初期投資額は建中金利などの金融・資本費用を含んでいない。

²⁾ Annuity・政府補助金・コンセッションフィーは第18章18.5項で示すキャッシュ・フロー予測に基づき推計したものである。

³⁾ 政府のデットサービス、建設・運営補助金、移転される営業収益、民間事業者からの税収等の正味現在価値。

出典：調査団

8.7 実施計画

運河第4橋の建設は3号線の建設とは別個のプロジェクトであるが、3号線が第4橋を通行する前提であることから、両プロジェクトは同時進行とする必要がある。

次図に示すように、両プロジェクトの建設期間は約4年である。もし財政的な手当てが順調に進めば、両プロジェクトは2017年の始め頃に開始し、2021年の暮れか2022年の初めに完成することになる。

第9章 組織制度(3号線)

9.1 事業実施体制

本事業のうち、都市交通3号線事業は、1号線と2号線同様、メトロ庁が実施機関となり実施される。また第4橋事業もメトロ庁が実施機関となるが、運河庁の協力が不可欠である。本事業全体の実施体制は第17章に記載し、ここでは3号線事業の実施について述べる。メトロ庁はメトロ公社への組織改編が予定されている。3号線事業にて留意すべき事項は以下の3点である。

- メトロ庁の組織再編後の、1号線プロジェクトとの関係
- 同じく、政府開発援助のパナマ側窓口
- モノレールシステム導入に関する現地受け入れ態勢

9.2 当該プロジェクトの実施機関

9.2.1 実施体制

都市鉄道3号線事業の実施機関は、メトロ庁（又はその後継組織）である。

9.2.2 財務・予算構造

メトロ庁は現在、大統領府に属する組織で、1号線と2号線の実施主体として国から必要な予算を手当てされている。メトロ庁は今後メトロ公社として組織改編される予定であるが、政府の方針は未だ明確にはなっていない。

9.2.3 技術水準

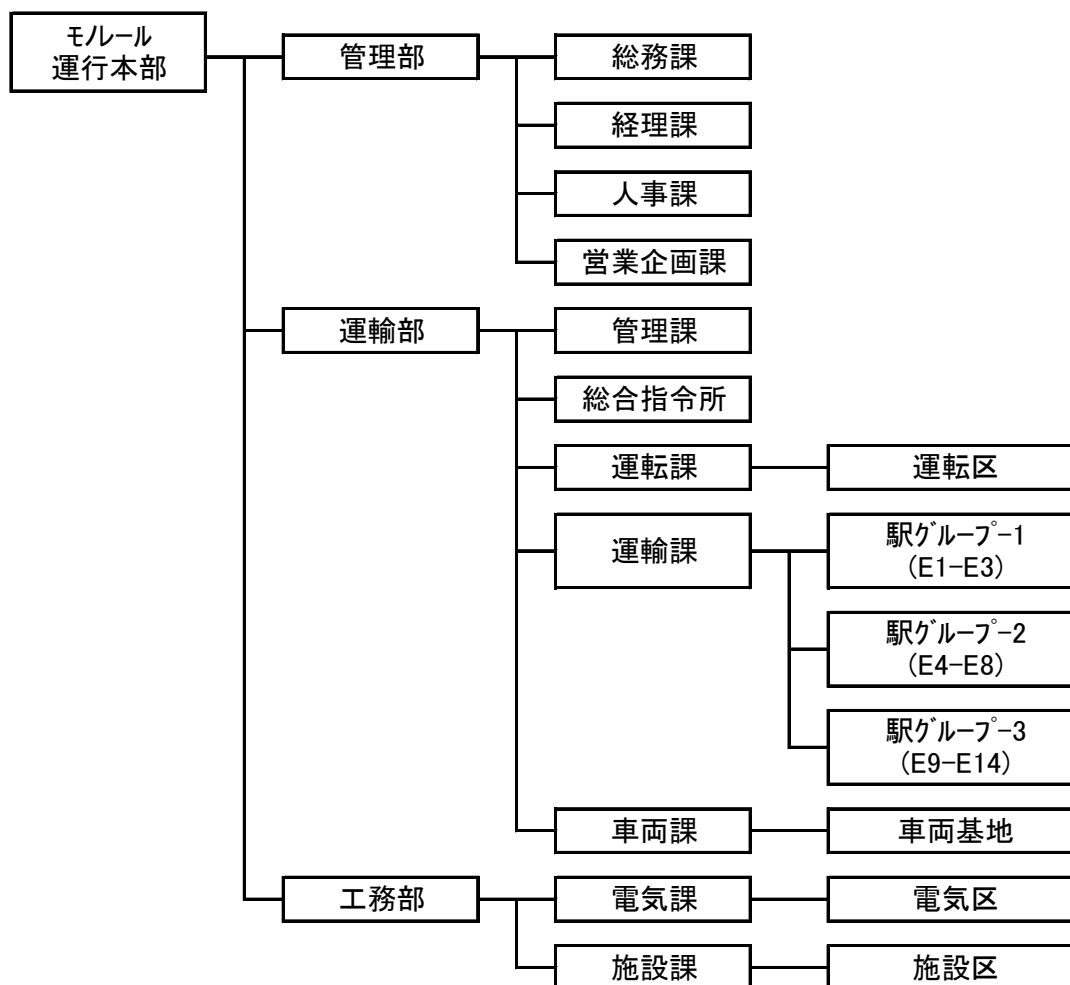
メトロ庁は1号線事業を実施させ、現在2号線の実施に着手しているところであり、本事業を実施するうえでの適切な技術水準を有していると言える。

9.3 当該プロジェクトの運営維持管理体制

都市交通3号線の運営維持管理については、メトロ庁を継承するメトロ公社が運営維持管理主体となる事を想定する。このうち、運営についてはメトロ公社の直轄運営とし、1号線、2号線と一体化する事が望ましい。維持管理については、民間会社への委託を想定する。

1号線の運営維持管理組織体制は、責任者のもとに運行部門と維持管理部門を置き、運行、維持管理部門とも一定のまとまりごとに担当部署を設置している。たとえば運行部門であれば運転、駅、総合指令（OCC）、車両等、維持管理部門であれば施設（土木）、電気、信号・通信といった区分である。ただし、1号線は維持管理は民間委託となっている。

これらの考え方を踏まえ、図9.1に3号線の運営維持管理組織体制の一例を提案する。これは、日本のモノレール等鉄軌道においても一般的なものである。



出典：調査団

図 9.1 モノレール運営維持管理組織体制図の一例（提案）

9.4 運営維持管理計画

9.4.1 運営維持管理計画の前提条件

(1) 運転方法

- モノレールの運行：ATO 方式による自動運転（ただし、手動運転も可能な資格を保有する運転士 1 名が乗車する）
- 運行管理：車両基地内に設置する OCC（運行管理室）において集中管理する。なお、1 号線の OCC において将来 2・3 号線も管理可能となるようスペースが確保されており、今後の運営主体の決定状況によっては 1 号線と統合することもありうる。
- 信号保安方式：CBTC による移動閉塞方式

(2) 第4橋区間の維持管理

第4橋区間の維持管理については、桁と3号線用の電路設備の維持管理を3号線運営主体の管轄とし、橋の上部工やその他の設備については、3号線の設置箇所においても第4橋管理主体の管轄とする。

9.4.2 要員計画

運営維持管理に必要な要員数は、表 9.1 のように推計された。開業時 2020 年の要員数は 356 人、その後列車本数と車両数の増加に伴い要員数も増加し、2050 年には 421 人と、2020 年に対し約 18% 増加する。

表 9.1 3号線要員数算出結果（第1期開業区間）

区分	職種/数量	単位	算定式	2020	2025	2030	2035	2040	2050
要員数 (職種別)	乗務員	人	$A=k/a$	90	90	95	95	95	102
	駅務員	人	$B=b \times m$	116	147	147	147	147	147
	その他運輸要員	人	$C=c \times n$	14	14	14	15	15	15
	線路保守要員	人	$D=d \times h$	19	19	19	19	19	19
	電路保守要員	人	$E=e \times h$	13	13	13	13	13	13
	車両保守要員	人	$F=f \times j$	42	47	49	50	50	52
	現業小計	人	$G=A \sim F$	294	330	337	339	339	348
	本社要員	人	$H=G \times g$	62	69	71	71	71	73
	合計	人	$Q=J+K$	356	399	408	410	410	421
	営業キロ当たり	人/km	$R=Q/k$	13.8	15.5	15.8	15.9	15.9	16.3
要員数 原単位	乗務員	平均乗務キロ/日	a	108.3	108.3	108.3	108.3	108.3	108.3
	駅務員	人/駅	b	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
	その他運輸要員	人/列車本数	c	0.0352	0.0352	0.0352	0.0352	0.0352	0.0352
	線路保守要員	人/営業キロ	d	0.714	0.714	0.714	0.714	0.714	0.714
	電路保守要員	人/営業キロ	e	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
	車両保守要員	人/車両数	f	0.267	0.267	0.267	0.267	0.267	0.267
	本社要員	対現業比率	g	20.8%	20.8%	20.8%	20.8%	20.8%	20.8%
要員数 関連数量	営業キロ	km	h	25.80	25.80	25.80	25.80	25.80	25.80
	車両数	両	j	156	174	180	186	186	192
	列車キロ/日平均	km/日	k	9,685	9,719	10,225	10,274	10,274	10,965
	駅数	駅	m	11	14	14	14	14	14
	列車本数/日平均	本/日	n	375.4	376.7	396.3	398.2	398.2	425.0

(注) E6, E9, E13の3駅は2025年開業

出典: 調査団

9.4.3 維持管理計画

モノレールの性質を考えたとき、駅間での旅客の避難は鉄道に比べ時間を要することから、予防保全の考え方を適用しトラブルが発生する前に対処されるべきである。この目的から、日本のモノレールにおける、列車検査、月検査、重要部検査、全般検査といった定期的な保守方法を参考にすることができる。表 9.2 及び表 9.3 に施設（線路設備、電気設備）関係の定期検査の概要を示す。

表 9.2 線路設備・構造物及び駅設備に係る維持管理（検査・修繕）の概要

検査種別	主要な検査内容	検査周期
本線路巡視	<input type="checkbox"/> 本線路巡視	毎日巡視 (電車線巡視を兼ねる)
軌道	<input type="checkbox"/> 軌道	1年
線路構造物	<input type="checkbox"/> 橋、トンネルその他の線路構造物	2年
昇降機	<input type="checkbox"/> エレベーター、エスカレーター等の昇降機	6ヶ月～1年
一般建築物	<input type="checkbox"/> 駅舎、プラットホーム <input type="checkbox"/> 可動安全柵(ホームドア)、PSD	適宜対応
駅旅客設備	<input type="checkbox"/> 自動券売機、自動改札機の動作確認及び清掃 <input type="checkbox"/> 同機器の磨耗分品交換、絶縁試験等	適宜対応
その他	<input type="checkbox"/> 新設、改築、修理、改築した場合の検査、試運転 <input type="checkbox"/> 検査の表記と記録	適宜対応

出典: 軌道運転規則等をもとに調査団作成

表 9.3 電気設備に係る維持管理（検査・修繕）の概要

検査種別	主要な検査内容	検査周期
電車線設備	<input type="checkbox"/> 電車線設備(本線関係)	毎日巡視 (本線路巡視を兼ねる)
	<input type="checkbox"/> 電車線路、開閉器、自動遮断機、避雷器及び発電所・変電所等の保護連動装置軌道	1年
	<input type="checkbox"/> 上記以外の電力設備の重要部分 <input type="checkbox"/> 上記以外の電気設備	1年 2年
信号保安設備	<input type="checkbox"/> 信号装置、連動装置、転てつ装置等の保安装置	1年
通信設備	<input type="checkbox"/> 通信設備	1年
各種計器	<input type="checkbox"/> 電力設備、通信設備及び保安装置に付属する計器	1年
防災設備	<input type="checkbox"/> 火災報知器、スプリンクラー、煙感知器、消火器等	6ヶ月(外観・機能点検) 1年(総合点検)
その他設備	<input type="checkbox"/> 駅監視設備、掲示標設備、証明設備等	適宜対応
自主検査	<input type="checkbox"/> 変電所フィルター清掃、屋外機器塗装等	適宜対応
その他	<input type="checkbox"/> 新設、改築、修理、改築した場合の検査、試運転 <input type="checkbox"/> 検査の表記と記録	適宜対応

出典: 軌道運転規則等をもとに調査団作成

9.4.4 維持管理経費の算出

ここまでの検討結果をまとめ、維持管理経費及び要員数を表 9.4 及び図 9.2 に示す。開業年度（2020 年）における維持管理経費（人件費と経費の合計、基準年度 2010 年価格）は約 3,700 万ドル（約 36 億円）、計算最終年度の 2050 年では約 4,300 万ドル（約 43 億円）となり、30 年間で 17%増加する。

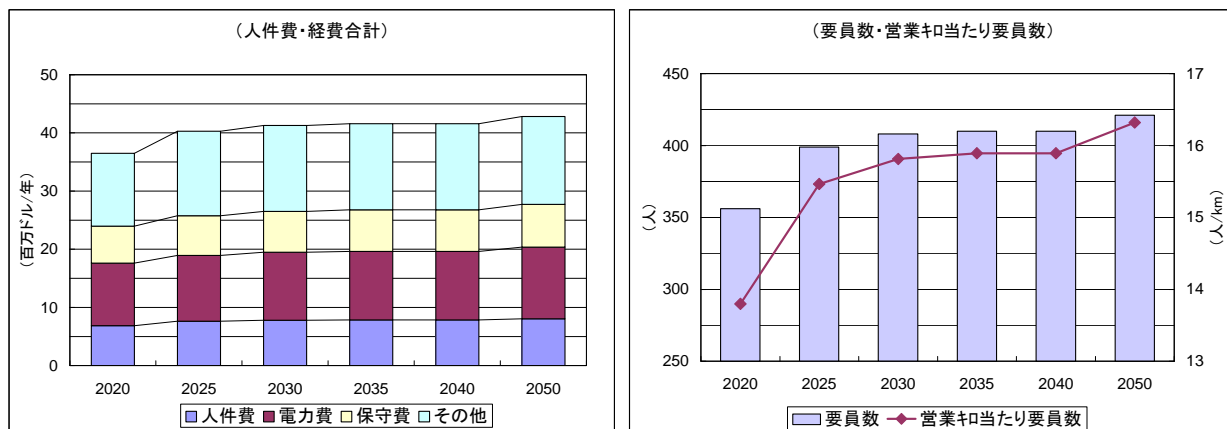
表 9.4 維持管理経費のまとめ

区分	費目	含まれる費目	2020	2025	2030	2035	2040	2050	
人件費・経費 (USD)	基準年価格 (千USD/年)	人件費	直轄人件費、外注人件費	6,865	7,621	7,786	7,849	7,849	8,043
		電力費	運転電力費、駅等用電力費	10,729	11,289	11,716	11,757	11,757	12,340
		保守費	線路保存費、電路保存費、車両保存費	6,357	6,833	6,992	7,151	7,151	7,309
		その他の経費	運転費、運輸費、管理経費、その他経費	12,558	14,537	14,776	14,834	14,834	15,129
		合計		36,509	40,279	41,270	41,590	41,590	42,822
	UP価格 (千USD/年)	人件費	直轄人件費、外注人件費	9,316	12,047	14,339	16,837	19,614	27,276
		電力費	運転電力費、駅等用電力費	14,559	17,845	21,575	25,222	29,381	41,847
		保守費	線路保存費、電路保存費、車両保存費	7,234	8,294	9,053	9,876	10,535	12,253
		その他の経費	運転費、運輸費、管理経費、その他経費	14,289	17,644	19,131	20,487	21,854	25,363
		合計		45,398	55,831	64,098	72,422	81,384	106,739
人件費・経費 (日本円)	基準年価格 (千円/年)	人件費	直轄人件費、外注人件費	684,420	759,780	776,294	782,519	782,519	801,905
		電力費	運転電力費、駅等用電力費	1,069,656	1,125,491	1,168,091	1,172,201	1,172,201	1,230,319
		保守費	線路保存費、電路保存費、車両保存費	633,839	681,283	697,098	712,913	712,913	728,728
		その他の経費	運転費、運輸費、管理経費、その他経費	1,252,038	1,449,311	1,473,145	1,478,924	1,478,924	1,508,401
		合計		3,639,953	4,015,865	4,114,628	4,146,557	4,146,557	4,269,352
	UP価格 (千円/年)	人件費	直轄人件費、外注人件費	928,772	1,201,069	1,429,551	1,678,656	1,955,487	2,719,377
		電力費	運転電力費、駅等用電力費	1,451,546	1,779,189	2,151,047	2,514,598	2,929,287	4,172,192
		保守費	線路保存費、電路保存費、車両保存費	721,229	826,931	902,574	984,629	1,050,315	1,221,639
		その他の経費	運転費、運輸費、管理経費、その他経費	1,424,662	1,759,151	1,907,368	2,042,593	2,178,859	2,528,685
		合計		4,526,210	5,566,341	6,390,540	7,220,477	8,113,949	10,641,892

基準年		2020	2025	2030	2035	2040	2050
インフレーション率	国内(人件費、電力費対象)	3.1%	3.1%	3.1%	3.1%	3.1%	3.1%
	輸入材(保守費、その他の経費対象)	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%
各年度インフレーション率 (対基準年度)	国内(人件費、電力費対象)	1.3570	1.5808	1.8415	2.1452	2.4990	3.3911
	輸入材(保守費、その他の経費対象)	1.1379	1.2138	1.2948	1.3811	1.4733	1.6764

(注)人件費・経費の基準年は、原単位の日本実績値の年次に合わせ2010年とした。

出典:調査団



(注)人件費・経費は基準年度2010年価格

出典:調査団

図 9.2 維持管理経費及び要員数の推移

第10章 橋梁計画に係る比較検討

10.1 第4パナマ運河橋主橋形式のスクリーニング

10.1.1 目的

現在、パナマ国運河庁は、第4パナマ運河橋整備事業のPre-F/Sを実施中であり、複合斜張橋案をベースに最終化を進めているものの、主橋形式の選定に際して、比較検討が実施されていない。従って、本調査では、Pre-F/Sと同じ計画条件に基づき、主橋形式のスクリーニングを実施した。なお、本スクリーニングでは、主橋形式候補を2案に絞込み、概略設計後に再度比較を行った上で、最適主橋形式を決定することとした。

10.1.2 前提条件

本スクリーニングは、基本的にPre-F/S（コンセプト・デザイン報告書（2013年1月））と同じ橋梁計画の前提条件に基づいて実施した。本スクリーニングは、2013年12月6日、国際協力機構とパナマ政府の間で署名された修正覚書に基づき、架設時に航路を利用できる場合・利用できない場合の両ケースについて実施した。

表10.1に本スクリーニングにおける橋梁計画の前提条件を示す。

表 10.1 本スクリーニングにおける橋梁計画の前提条件

No.	項目		前提条件	
			航路利用無	航路利用有
1	幅員条件	総幅員	49.3m	
2	航路条件	航路高	75m	
3		航路幅	300m	
4	道路線形		Pre-F/Sの道路線形に従う	
5	路面数		1層	
6	中央径間長		540m	
7	側径間長		110m又は160m（10.1.3（3）参照）	
8	架設条件		航路の一時利用なし	航路の一時利用あり

出典：調査団

10.1.3 代替案の設定

(1) 適用支間長

過去の実績を基に、中央径間長540mが成立する橋梁形式を抽出した。

表10.2に示す通り、対象支間540mが最適支間となる橋梁形式は吊橋に限定されるが、最大支間の実績が500mを超える橋梁形式については、代替案の候補として抽出した。また、混合構造（中央径間：鋼主桁、側径間：PC桁）についても、500mを超える実績があるため、代替案の候補として抽出した。

表10.2に代替案候補毎の適用支間長及び最大支間長を示す。

表 10.2 代替案候補毎の適用支間長及び最大支間長

材料	橋梁形式		支間長 (m)																実績最大支間長	代替案
			50	100	150	200	300	400	500	600	1,000	2,000								
鋼	トラス	ゲルバートラス	[適用支間長]																Quebec 橋 (カナダ, 549m)	
		連続トラス	[適用支間長]																東京ゲートブリッジ (日本, 440m)	○
	アーチ	ブレースアーチリブ	[適用支間長]																Chongqing Chaotianmen 橋 (中国, 552m)	
		ソリッドアーチリブ	[適用支間長]																Shanghai Lupu 橋 (中国, 550m)	○
	斜張橋	[適用支間長]																Sutong 橋 (中国, 1,088m)		
	吊橋	[適用支間長]																明石海峡大橋 (日本, 1,991m)	○	
PC	斜張橋	[適用支間長]																Skarnsund 橋 (ノルウェー, 530m)		
複合	斜張橋	[適用支間長]																多々羅大橋 (日本, 890m)	○	

★: 実績最大支間長 [適用支間長] : 適用支間長 [最適用支間長] : 最適用支間長

出典：デザインデータブック'11（2011，社団法人日本橋梁建設協会）

PC 道路橋計画マニュアル【改訂版】（2009，社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会）

(2) 代替案の選定

上記 10.1.3 (1) では、代替案の候補と成り得る橋梁形式として、8つの形式を抽出した。

使用材料、部材構成及び主要構造は異なるが、同じ橋梁形式の重複がみられるため、以下の方針に基づき、橋梁形式毎に1代替案となる様、絞り込みを実施した。

- 時代の進展が見てとれる
- 構造上の弱点が少ない
- コストメリットが高い

表 10.3 に、選定した代替案及び選定理由を示す。

表 10.3 選定した代替案及び選定理由

No.	橋梁形式	選定した代替案	選定理由
1	トラス橋	連続トラス	トラス橋は、ゲルバー桁形式と連続トラス形式がある。ゲルバー桁形式の実績最大支間長は 550m であり、第 4 パナマ運河橋と同程度となるが、ゲルバー桁形式は、中央支間にゲルバーヒンジを必要とし、構造上の弱点になる。一方、連続トラス形式の実績最大支間長は 440m と短い、高張力鋼を使用することにより支間長 540m の設計が可能となり、かつ、ゲルバー桁形式と異なり連続形式のため構造上の弱点がない。従って、代替案として連続トラス形式を選定する。
2	吊橋		吊橋は、適用支間内のため、代替案として選定する。
3	アーチ橋	ソリッド リブアーチ	アーチ橋は、アメリカ橋のようにアーチリブをトラス組とするブレースドリブ形式と充腹箱桁をアーチリブに用いるソリッドリブ形式がある。いずれの形式も実績最大支間長は 550m であり、第 4 パナマ運河橋と同規模となる。ブレースドリブ形式は、アメリカ橋の様に古い時代の橋梁形式という印象が強い。一方、ソリッドリブ形式は、ブレースドリブ形式よりもスレンダーな形状となり、「技術の進展」が印象づけられる。従って、代替案としてソリッドリブ形式を選定する。
4	斜張橋	複合	斜張橋は、全ての主桁を鋼桁とする鋼斜張橋、全ての主桁を PC 箱桁とする PC 斜張橋、中央径間を鋼主桁及び側径間を PC 桁とする複合斜張橋があり、いずれも実績最大支間長が 500m を超える。斜張橋が建設され始めた当初は、鋼斜張橋及び PC 斜張橋が主流であったが、近年は、コストメリットが高いことから複合斜張橋が採用される場合が多い。Pre-F/S においても複合斜張橋が選定されていることから、同形式を代替案として選定する。

出典：調査団

(3) 橋梁諸元

表 10.4 に本スクリーニングに適用した橋梁形式の諸元を示す。

過去の実績を参照し、適用支間長及び最大支間長を基に、以下の代替案を選定した。

- 連続トラス橋（橋長 760m（110m+540m+110m））
- 吊橋（橋長 860m（160m+540m+160m））
- ソリッドリブアーチ橋（橋長 760m（110m+540m+110m））
- 原案（Pre-F/S）：複合斜張橋（橋長 860m※（160m+540m+160m））

※Pre-F/S（コンセプト・デザイン報告書（2013年1月））では、橋長 1,040m（250m+540m+250m）となっているが、これは鋼斜張橋の支間割であり、複合斜張橋の最適な支間割ではない。複合斜張橋の側径間：中央径間の最適比率は 0.3：1.0 であることから、本スクリーニングでは側径間長を 160m とした。

表 10.4 本スクリーニングに適用した橋梁形式の諸元

No.	項目		代替案 1	代替案 2	代替案 3	原案
	事例		東京ゲートブリッジ (東京都)  出典：東京都港湾局	明石海峡大橋 (兵庫県)  出典：本州四国連絡高速道路	新木津川大橋 (大阪府)  出典：大阪市	第4パナマ運河橋 (Pre-F/S)  出典：パナマ運河庁
1	橋梁形式		トラス橋 (連続トラス)	吊橋	アーチ橋 (ソリッドリブ)	斜張橋 (複合)
2	総幅員		49.3m			
3	車線数		道路：6車線 (3車線/方向)、モノレール：2車線 (1車線/方向)			
4	橋長		760m	860m	760m	860m
5	支間割		110m+540m+110m	160m+540m+160m	110m+540m+110m	160m+540m+160m
6	床版		コンクリート床版			
7	上部工形式		連続トラス	吊橋 (ケーブル、桁、主塔)	ソリッドリブアーチ (アーチリブ、桁、ケーブル)	斜張橋 (斜材、桁、主塔)
8	下部工形式		橋脚	アンカレッジ	アーチ橋台、橋脚	橋脚
9	基礎工形式		オープンケーソン基礎			
10	主要材料	上部工	トラス：SBHS 床版：コンクリート	主ケーブル：PWS 桁：鋼 床版：コンクリート 主塔：コンクリート	アーチリブ：SBHS 桁：鋼 ケーブル：スチールワイヤ	桁：鋼、PC 斜材：PWS 主塔：コンクリート
11		下部工	コンクリート	コンクリート	アーチ橋台：コンクリート 橋脚：コンクリート	コンクリート
12		基礎工	コンクリート			
13	架設方法	航路利用無	カンチレバー架設 (トラベラークレーン)	主ケーブル：PWS 架設 桁：台船吊上スイング工法	ケーブルクレーン架設 (斜吊併用)	斜材：クレーン架設 桁：台船吊上引出架設 PC 桁：張り出し架設
		航路利用有	カンチレバー架設 (トラベラークレーン)	主ケーブル：PWS 架設 桁：台船吊上工法	側径間：クレーンベント架設 中央径間：台船吊上架設	斜材：クレーン架設 桁：台船吊上架設 PC 桁：張り出し架設

出典：調査団

10.1.4 スクリーニング方法

(1) 比較検討の条件

本スクリーニングでは、以下の条件の下、比較検討を実施した。

- 代替案毎に橋長（側径間長）が異なるが、コストの比較においては、橋長が最も長い代替案に合わせ、860m 当たりのコストを算出の上、比較を実施した。
- コストは絶対評価、その他項目は評価クライテリアに基づく相対評価とした。

(2) 評価項目及び重みづけ

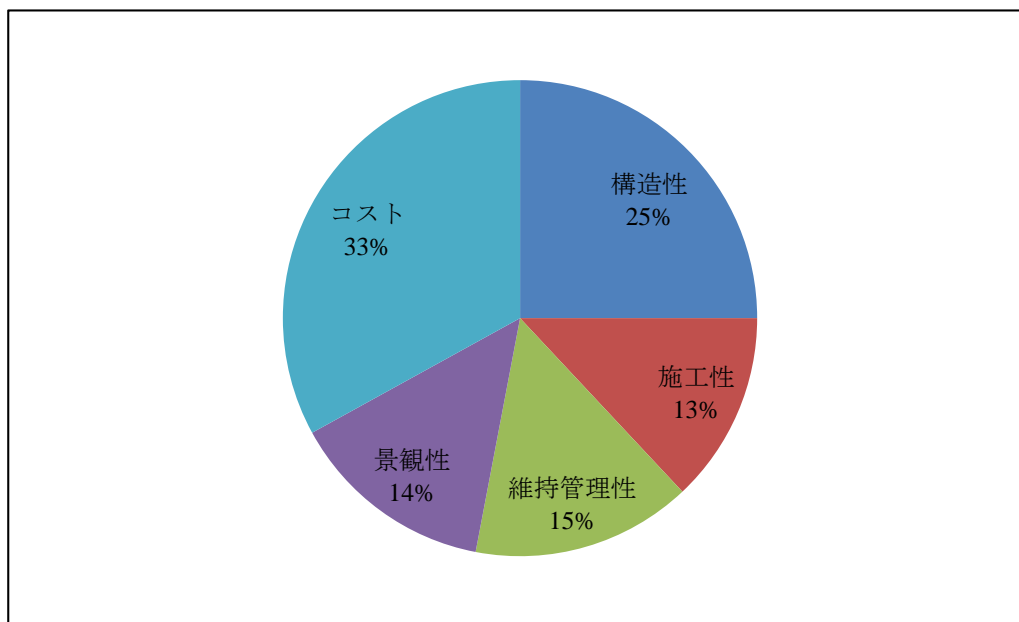
本スクリーニングでは、メトロ庁、運河庁及び JICA との協議により、評価項目及び重みづけを決定し、100 点満点の点数により、優劣をつけた。なお、各代替案の環境に対する影響には差異がないため、評価項目には含めなかった。

表 10.5 にスクリーニングの評価項目と重みづけ、図 10.1 に重みづけの円グラフを示す。

表 10.5 スクリーニングの評価項目と重みづけ

No.	評価項目	重みづけ	評価方法	評価内容
1	構造的性	25 点	相対評価	航路・空域に対する安全性、暴風時及び地震時における安定性
2	施工性	13 点		施工時におけるリスク、工期、現地での材料調達の難易、ヤードの大きさ
3	維持管理性	15 点		維持管理作業量、作業の容易性、維持管理作業の競争性
4	景観性	14 点		アメリカ橋および周辺環境への調和、ランドマーク性、オリジナリティの発揮の容易性、景観的な安定性、内部径間
5	コスト	33 点	絶対評価	初期費用及び耐用年数 100 年における維持管理費
	合計	100 点		

出典：調査団



出典：調査団

図 10.1 重みづけの円グラフ

(3) 評価クライテリア

表 10.6 にスクリーニングの評価クライテリアを示す。

表 10.6 本スクリーニングの評価クライテリア

評価項目		重みづけ	評価内容	評価クライテリア																
				★★★★★: x1.0	★★★★: x0.8	★★★: x0.6	★★: x0.4	★: x0.2												
評価項目	構造的	航路及び空域への安全性		10点	25点	船舶および航空機の衝突を受けた際、落橋につながる要素が少ない不静定次数の高い形式および空域への干渉が少ない形式を優位とする。	不静定次数が高い 空域の干渉がない				不静定次数が低い 空域への干渉が大きい									
		橋梁本体の構造	耐風性	5点								暴風時において横方向への変形が少ない形式および振動の起きにくい形式を優位とする。	変形および振動が起きにくい				横方向に大きく変形する。 振動が起きやすい			
			耐震性	5点								慣性力の作用位置が低い形式および地震時に共振ににくい長周期の形式を優位とする。	慣性力の作用位置が低い 固有周期が長い							慣性力の作用位置が高い 固有周期が短い
			上部工剛性	5点								上部工の剛性が高い形式を優位とする。	剛性が高い							
施工性	建設工事難易度(労務者及び仮設構造物等の安全性)		4点	13点	仮設構造物が高所にない。および施工中の構造安定性に優れる。および部材を落下した時の航路に与える影響が小さい形式を優位とする。	仮設構造物が高所にない 施工中も構造物が安定している 部材が小さく航路への影響が小さい	★5と★1の間であるが、 ★5寄り	★5と★1の間	★5と★1の間であるが、 ★1寄り	仮設構造物が高所にある 施工中も構造物が不安定となる 部材が大きく航路への影響が大きい										
	施工期間	4点	施工期間が短い形式を優位とする。								施工期間が短い		100%輸入	施工期間が長い						
	現地での材料入手の難易	3点	工費全体に占める割合の内、現地調達可能材料が多い形式を優位とする。								100%現地調達可能					100%輸入	施工ヤードが大きい プラント設備を必要とする。			
	必要な施工ヤードの広さ	2点	施工ヤードが小さい形式およびコンクリート用プラント設備を用意する必要のない形式を優位とする。								施工ヤードが小さい プラント設備が必要ない							点検対象部材数 多い 塗り替え面積 多い 点検頻度 多い	維持管理作業スペースが全箇所狭隘。 維持管理経路の総延長が長い	ローカルコントラクターでは維持管理が不可能
維持管理性	作業量(点検対象部材数、塗替面積、頻度)		5点	15点	点検対象部材数 少ない および塗り替え面積 少ない および点検頻度 少ない 形式を優位とする	点検対象部材数 少ない 塗り替え面積 少ない 点検頻度 少ない				維持管理作業スペースが全箇所狭隘。 維持管理経路の総延長が長い										
	作業の容易さ(維持管理作業スペースおよびアクセス性)		5点								維持管理作業スペースが充分ある。および維持管理経路の総延長が短い形式を優位とする。	維持管理作業スペースが十分にある。 維持管理経路の総延長が短い	100%ローカルコントラクターで維持管理が可能							
	維持管理業者調達の容易性、競争性		5点								ローカルコントラクターで維持管理が可能な割合が高い形式を優位とする。	100%ローカルコントラクターで維持管理が可能				対アメリカ橋: 類似要素がない 対周辺環境: 調和 悪い				
景観性	既存アメリカ橋及び周辺景観・環境との調和		5点	14点	既存アメリカ橋の形態と調和する形態、周辺景観の特性(自然景観の構成要素)に調和している形式を優位とする	対アメリカ橋: 形態が類似 対周辺景観: 調和 良い	対アメリカ橋: 一部形態が類似 対周辺景観: 調和 やや良い	対アメリカ橋: 一部要素のみ類似 対周辺環境: 調和 やや良い	対アメリカ橋: 一部要素のみ類似 対周辺環境: 調和 悪い	対アメリカ橋: 類似要素がない 対周辺環境: 調和 悪い										
	建築的特徴	ランドマーク性(場所性・象徴性・記号性)	2点								パナマ運河の他地域に架けられる橋梁形式(第二、第三橋)と異なる形式であり、かつこの場所固有の象徴となる景観を生み出す形式はランドマーク性が高いとして優位とする。	象徴性が高く、地域固有の優れた景観を構成する	象徴性はあるが、地域固有の景観としてはやや劣る	象徴性はあるが、地域固有の景観としては劣る	第二、第三橋梁に類似し、固有の景観となりにくい		第二、第三橋梁と同形式であり、地域固有の景観とならない			
		新奇性	3点								新技術・新材料等の利用により、世界的に見ても注目に値するオリジナリティを、構造合理性に基づくデザイン(姿・形)により表現できる形式を優位とする。	世界でも先端的な構造と形態を生み出すことが可能	構造部材の新奇性はあるが、形態での新しさを出す余地はやや少ない	構造部材の新奇性を出すことは可能であるが、トラスという全体形での新しさを出す余地が少ない	構造部材の新奇性は少なく、形態での新しさを出す余地も少ない	新技術を適用する余地が少なく、新奇性がない				
		構造的安定感	2点								水平力に対する視覚的な安定感(踏ん張り感のある構造形態および視覚的重心の低さ)がある形式を優位とする	裾広がりで安心感が強く、視覚的重心が低い	視覚的な重心は中程度	視覚的に重心がやや高い	視覚的な重心が高い	視覚的に重心が高く、側面景における重量感があり、安定感に欠ける				
	路面から外を見た時の景観		2点								橋の利用者(モノレール、通行車、通行者)から外を見た時に視覚的に阻害する部材の少ない形式を優位とする。	阻害する部材がなく極めて開放的である	モノレールの外に細いケーブルがあるが、道路外側には部材がない	モノレールの外にやや太いケーブルがあるが、道路外側には部材がない	モノレール、道路共に外側にケーブルがあり、やや閉塞感がある	モノレール、道路共に太い鋼材があり、閉塞感が強い				
コスト	初期建設費		25点	33点	=重みづけ-2×重みづけ×(Ratio-1.0)															
	維持管理費(100年)(割引率4%)		8点																	
合計			100点																	

出典：調査団

10.1.5 評価結果

(1) 評価結果

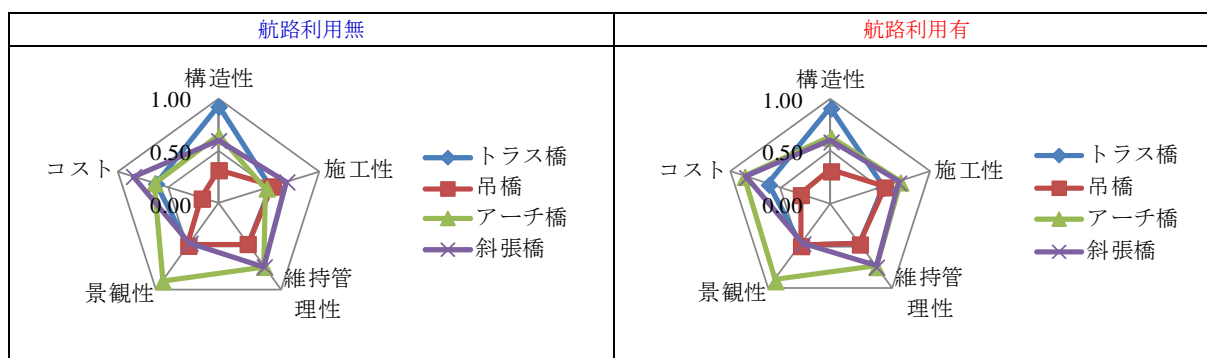
航路利用無しの場合、総合点は僅差で斜張橋（69.08点）がアーチ橋（66.80点）を上回る評価となった。斜張橋は、アーチ橋と比べて、構造的性（上部工剛性）及び景観性に劣るが、施工性及びコスト面で優位である。従って、航路利用無しの場合、斜張橋が最適橋梁形式と判断する。

航路利用有りの場合、アーチ橋の施工性及びコスト面が改善され、斜張橋を上回る評価となった。アーチ橋は、斜張橋と比べて、ライフサイクルコストは同等であるが、主塔を有さないため空域侵害の度合いが低く、上部工剛性が高いことから変位量が小さくなる等、構造的性に優れ、また、既存アメリカ橋と調和することから、景観性も良い。従って、航路利用有りの場合は、アーチ橋が最適橋梁形式となる。

表 10.7 評価結果

No.	評価項目	重みづけ	航路利用無				航路利用有			
			トラス橋	吊橋	アーチ橋	斜張橋	トラス橋	吊橋	アーチ橋	斜張橋
			連続トラス		ソリッドリブ	複合	連続トラス		ソリッドリブ	複合
1	構造的性	25点	23.00	8.00	16.00	15.00	23.00	8.00	16.00	15.00
2	施工性	13点	6.80	7.00	6.20	8.80	6.80	7.00	9.00	8.80
3	維持管理性	15点	7.00	7.00	11.00	11.00	7.00	7.00	11.00	11.00
4	景観性	14点	6.80	6.80	12.60	6.40	6.80	6.80	12.60	6.40
5	コスト	33点	20.50	5.50	21.00	27.88	20.50	10.00	28.50	27.88
合計		100点	64.10	34.30	66.80	69.08	64.10	38.80	77.10	69.08
順位			3位	4位	2位	1位	3位	4位	1位	2位

出典：調査団



出典：調査団

図 10.2 レーダーチャート（評価結果）

(2) まとめ

本スクリーニングの結果、主橋形式の候補は、アーチ橋と斜張橋に絞られた。両形式の概略設計結果を基に比較検討を行い、最適主橋形式を選定するが、斜張橋についてはPre-F/Sで概略設計が進められているため、本調査では、アーチ橋の概略設計を実施した。

10.2 第4パナマ運河橋主橋の路面数（層数）

10.2.1 目的

10.1章の第4パナマ運河橋主橋のスクリーニング結果に基づき、本調査では、アーチ橋の概略設計を実施することとしたが、第4パナマ運河橋主橋は、道路6車線及びメトロ3号線2車線を配置するため、50m超の橋梁幅員が必要になる。

従って、本調査では、最適な第4パナマ運河橋主橋の路面数の検討を実施した。

10.2.2 調査内容

本調査では、以下の取付区間の縦断勾配（11.4.2（1）2参照）の条件の下、第4パナマ運河橋主橋の路面数として、1層案及び2層案を設定した。また、2層案については、道路及びメトロ3号線の配置をパラメータとし、3案を設定した。

- 道路：縦断勾配4%
- メトロ3号線：最大縦断勾配6%

路面数の評価にあたっては、以下の評価項目を設定した。

- 道路機能（メトロ3号線、自動車、線形（取付区間）、道路機能）
- 構造的（補剛桁形状、主講間隔、耐風性）
- コスト（取付区間、主橋概算鋼重）
- 維持管理性

10.2.3 調査結果

表10.8に路面数検討結果概要表を示す。

評価の結果、最適案として道路機能及びコストに優れる1層案（D案）を選定した。

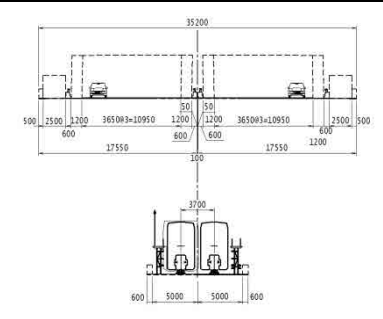
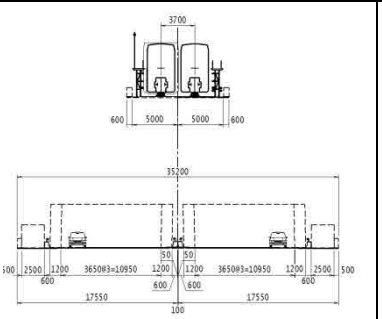
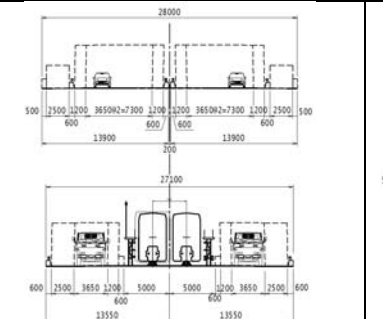
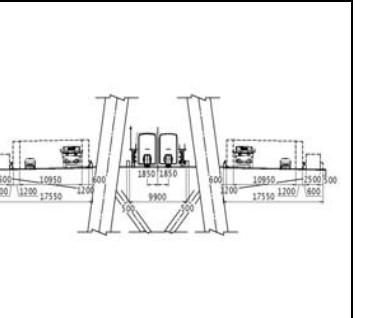
10.2.4 まとめ

本検討の結果、第4パナマ運河橋主橋の路面数として、1層案を選定した。

従って、本調査の中で実施したアーチ橋の概略設計は1層案を対象とした。

なお、本検討はメトロ3号線を中央に配置することを条件としたが、その後、メトロ3号線調査において、バルボア駅及びパナマ・パシフィコ駅の位置を本事業の南側（太平洋側）に変更したため、取付区間の平面線形を鑑み、概略設計では、メトロ3号線を南側（太平洋側）に配置することを条件としたが、本検討結果には影響がないため、メトロ3号線の配置を南側に変更した検討は実施していない。

表 10.8 路面数検討結果概要表

項目	2層案			1層案	
	A案	B案	C案	D案	
路面構成					
道路機能	メトロ3号線	★★★★★:最大縦断勾配 4%	★★★★★:最大縦断勾配 6%	★★★★★:最大縦断勾配 4%	
	自動車	★★:最大縦断勾配 5%以上	★★★★★:最大縦断勾配 4%	★★★★★:最大縦断勾配 4%	
	線形 (取付区間)	★★★: 線形は単純だが分離区間が長い	★★★: 線形は単純だが分離区間が長い	★★: 線形が複雑となり分離区間も長い	★★★★★: 線形が単純であり一体区間も長い
道路機能	★★★★★:全区間片側3車線	★★★★★:全区間片側3車線	★:途中片側2車線+1車線に分離	★★★★★:全区間片側3車線	
構造的	補剛桁形状	★★★★: 余剰幅がないため合理的(逆台形)	★★★: 上層の余剰幅が大きいため非合理的	★★★★★: 余剰幅がないため合理的	★★★: 余剰幅がないため合理的であるが、 張出長が長くなる(15m以上)
	主構間隔	★★★:約40m	★★★:約40m	★★★★★:約30m	★★★★★:約15m
	耐風性	動的耐風安定性 ★★★★★:優れる 静的耐風安定性 ★★★:劣る	動的耐風安定性 ★★★★★:優れる 静的耐風安定性 ★★★:劣る	動的耐風安定性 ★★★★★:優れる 静的耐風安定性 ★★★:劣る	動的耐風安定性 ★★★★★: 箱形状のためトラス構造より劣るが、 斜張橋案よりは優れる 静的耐風安定性 ★★★★★:優れる
主橋コスト ¹⁾	★★:450億円 (主橋概算鋼重:約47,000トン) (取付区間:800m)	★★:450億円 (主橋概算鋼重:約47,000トン) (取付区間:800m)	★★★:410億円 (主橋概算鋼重:約43,000トン) (取付区間:1,600m)	★★★★★:360億円 (主橋概算鋼重:約38,800トン) (取付区間:800m)	
維持管理性	★★★★: 塗替え面積が大きい(トラス構造)	★★★★★: 塗替え面積が大きい(トラス構造)	★★★★★: 塗替え面積が大きい(トラス構造)	★★★★★: 塗替え面積が小さい(箱形状)	
評価	----- 道路機能を満足しない (大型車最大縦断勾配5%以上)	2位 道路機能を満足するが、コスト及び取付区間の分離区間長でD案に劣る	3位 道路機能を満足するが、コスト、取付区間の線形及び分離区間長でB案に劣る	1位 道路機能及びコストが最も優れる	

1) 10.1 第4 パナマ運河橋主橋形式のスクリーニングのコストを元に主橋概算鋼重の比率で算出

出典：調査団

第11章 道路設計

11.1 目的

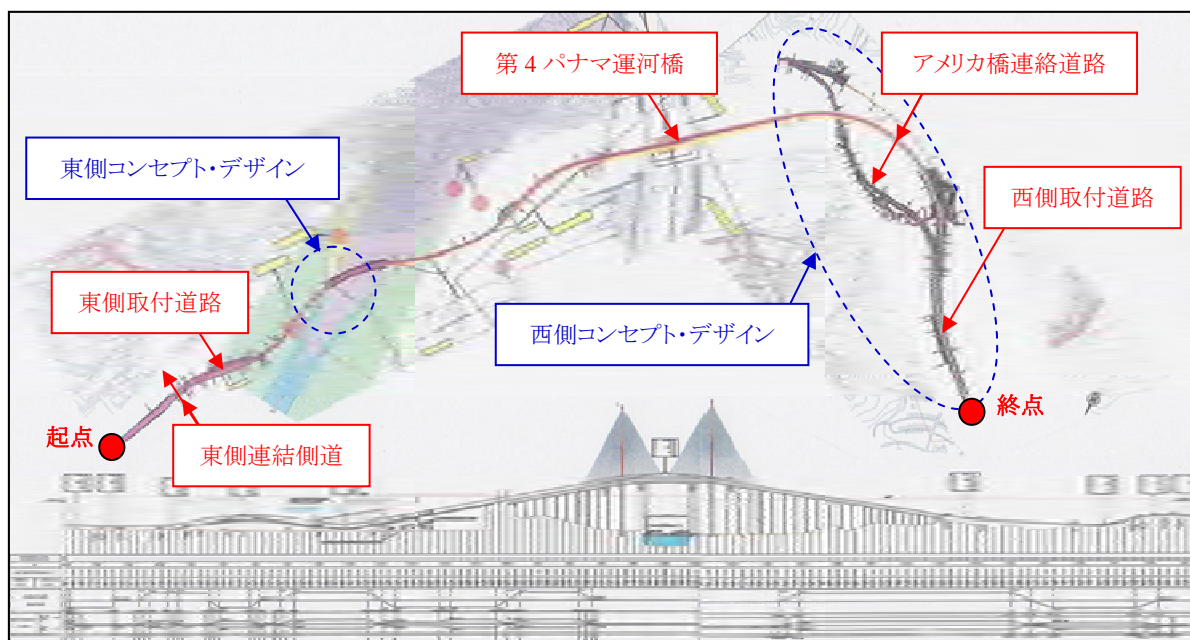
本調査では、事業スコープの決定及び概算事業費の算出を目的とし、道路の概略設計、概略設計図面の作成及び概算工事数量の算出を実施した。

また、本事業の効果発現のためには、既存道路との連結性を確保する必要があるため、東西取付道路と既存道路の接続についてコンセプト・デザインレベルの道路設計、図面の作成及び工事数量の算出を実施した。

11.2 調査の作業内容

道路設計について、以下の作業内容を実施した。

図 11.1 に本調査における道路設計対象の位置図を示す。



出典：調査団（Pre-F/S（コンセプト・デザイン・レポート（2013年1月）（運河庁）を元に作成）

図 11.1 本調査における道路設計対象の位置図

(1) 既存資料の収集・レビュー

- Pre-F/S 成果品及び関連資料の収集・レビュー

(2) 概略設計

- メトロ3号線事業との線形及び構造の調整
- 第4パナマ運河橋東西取付道路（新設）の概略設計
- 東側連結側道路（新設）の概略設計
- 西側のアメリカ橋連絡道路（改修）の概略設計

(3) コンセプト・デザイン

- 東西取付道路と既存道路を結ぶ追加ランプの検討
- マイクロシミュレーションによる東側コンセプト・デザインのサービスレベル評価

11.3 路線概況

11.3.1 路線概況

本取付道路は起点位置において Corredor Norte と接続し、Omar Torrijos 通りのラウンドアバウト（以下 Omar Torrijos ラウンドアバウト）上を通過後、Roosevelt 通りに沿って西に進み、パナマ運河を交差する。その後アメリカ橋へ繋がる Panamerican Highway に沿って西に進み、Panama Pacifico へのアクセス道路とのインターチェンジ手前を終点とする、延長 6.7km の幹線道路である。

11.3.2 現況交通

Omar Torrijos ラウンドアバウトには、Roosevelt 通りのアメリカ橋方向と Corredor Norte を結ぶ高架橋が設置されている。同ラウンドアバウトはパナマ市中心部、アメリカ橋、パナマ運河沿いの町からの道路の接続地点であるため交通量が多く、朝夕のラッシュ時には渋滞が日常化している。

なお、運河庁の調査では 2012 年のアメリカ橋の年平均日交通量（AADT : Annual Average Daily Traffic）は往復 49,834 台/日が測定されている。

11.3.3 支障物件

(1) 主な支障物件

主な支障物件に係わる対応方針を以下に示す。

表 11.1 支障物件への対応方針の区分

影響を回避すべき物件	対策・検討を必要とする物件
<ul style="list-style-type: none"> ・ Roosevelt 通り ・ Curundu 川下流のボックスカルバート ・ ソーサの丘 ・ ACP 変電所 ・ Chill Water Plant 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既存の高架橋 (老朽化が進み、また新規ランプ計画と干渉するため撤去する方針とする) ・ Omar Torrijos ラウンドアバウト (新規取付道路との接続を考慮して改良する必要がある) ・ 西側の湿地帯 (橋台・橋脚の計画において検討を要する)

出典：調査団

以下に主な支障物件周辺の現況写真を示す。



(1) 高架橋



(2) Roosevelt 通り

(2) 交差条件

パナマ運河の東側区間は、パナマ国運河庁の建物と近接し、また既存の道路や埋設物と数多く交差することから、線径計画及び橋脚の配置などの橋梁計画を実施する上で、これらの交差条件に十分留意する必要がある。

表 11.2 に交差条件、交差条件位置を示す。

表 11.2 交差条件（東側取付道路区間）

No.	交差条件	備考
	必ず避ける施設	ACP の変電所、ACP の Chill Water Plant
	可能なら避ける施設(上空占有可:橋脚設置は不可)	ACP の通信センター
	可能なら避ける範囲(青枠内)	Panama Port Company
	可能なら避ける埋設物	Chill Water Pipe
	付替可能な交差道路	

出典：調査団

(3) 航路条件

パナマ運河の航路条件は、パナマ国運河庁の将来拡幅計画に基づいて設定した。

表 11.3 に航路条件の要点を示す。

表 11.3 航路条件の要点

No.	項目		航路条件	参照
1	航路幅	航路幅(Prism Line 間)	300.5m ¹⁾	図 11.6
2		擦付勾配	1:3	-
3	航路高	航路高	75m	-
4		潮位(MLWS)	-2.321m	-
5		水深	17.62m	図 11.5

1) 本事業の道路線形が航路に対して若干斜角を有するため、航路幅は 300.5m より若干長くなる。

出典：運河庁

(4) 空域条件

本調査の対象地域は、アルブルック国際空港とハワード空港に近接し、空域制限区域内に位置するため、計画にあたっては、パナマ国航空庁と協議の上、空域条件を設定した。

表 11.4 に空域条件の要点を示す。

なお、本事業は第 4 パナマ運河橋主橋付近において、水平表面を満足しない箇所が一部発生するが、航空庁と協議の上、オペレーションに影響を及ぼさないことを確認した。

表 11.4 空域条件の要点

No.	空港	項目	空域制限
1	アルブルック国際空港	水平表面	54.5m(半径 4km)
2		水平上面	129.5m
3		転移表面	14.3%
4		進入表面	3.3%
5		PAPI システム	2.0%
6	ハワード空港	水平表面	60.8m(半径 4km)
7		水平上面	135.8m

出典：航空庁

11.4 既存資料の収集・レビュー

11.4.1 資料収集

表 11.5 に収集資料リストを示す。

表 11.5 収集資料リスト

No.	資料	出典	内容	
1	Pre-F/S 報告書 (コンセプト・デザイン・レポート /2013 年 1 月)	運河庁	本文	第 1 章:概要(道路設計、道路比較案の評価) 第 9 章:道路比較案
			図面	平面図、縦断図、標準横断図
	Pre-F/S 報告書 (ドラフト・ファイナル・レポート /2013 年 11 月)		本文	第 1 章:概要(道路設計) 第 9 章:道路設計
			図面	平面図、縦断図、標準横断図
2	アメリカ橋図面(設計図)	公共事業省	図面	横断図
3	パンアメリカン道路図面(設計図)	公共事業省	図面	平面図、縦断図、標準横断図

出典：調査団

11.4.2 取付道路設計の改良の提案

本調査では、Pre-F/S の妥当性の確認・評価に基づき、以下の提案を行った。

(1) 設計速度低減の提案

1) 起点周辺

起点部からラウンドアバウト通過後の合流地点まで、取付道路とランプの合分流が短区間で連続するため、設計速度を 80km/hr に低減することを提案した。

2) 第4パナマ運河橋前後

平面曲線半径は R=700m、縦断勾配は 4%、縦断曲線半径（凸型）は 9,500m が適用されており、設計速度 120km/hr の基準値を満足している。設計速度 120km/hr の最急縦断勾配は 5%（都市内幹線道路の平坦地）であるが、5%の場合トラック（最大積載時の出力重力比 10ps/t）の走行速度が約 34km/hr に低下する。なお、4%の場合のトラックの走行速度はおよそ 43km/hr であるため、40km/hr 以上を確保することを目的として最急縦断勾配 4.0%を妥当とした。

表 11.6 に比較結果の概要を示す。

表 11.6 縦断勾配と走行速度の比較検討結果概要

縦断勾配	方向	走行速度	評価
5.0%	起点→終点	34km/hr	△
	終点→起点	34km/hr	
4.0%	起点→終点	43km/hr	○
	終点→起点	43km/hr	

出典：調査団

(2) 設計採用値変更の提案

表 11.7 に Pre-F/S に対する変更対応表を示す。

表 11.7 Pre-F/S に対する変更提案値

項目	設計値(Pre-F/S)	変更設計値(本調査)
起点側の曲線部の片勾配 (設計速度 80km/hr)	R=435m 区間の片勾配:5.03% R=500m 区間の片勾配:5.38%	R=435m 区間の片勾配:6.4% R=500m 区間の片勾配:5.8%
第4パナマ運河橋前後の 曲線部の片勾配 (設計速度 100km/hr)	R=700m 区間の片勾配:6.11% 最小曲線半径に対する片勾配:8%	R=700m 区間の片勾配:6.4%
終点側の縦断曲線半径 (設計速度 100km/hr)	VCR(凸型):2,343m 及び 2,396m	VCR(凸型):5,200m 以上

出典：調査団

(3) 横断面幅員変更の提案

外側路肩幅員に関して、東側の擁壁区間では 3.0m 幅とされていたが、この区間延長が短いため、橋梁区間と同様に 1.2m とした。一方で西側の土工区間は延長が 1.2km と長く連続しているため、3.0m を確保することとした。

Pre-F/S では、第4パナマ運河橋区間に歩道が計画されており、本調査でも倣うものとするが、歩道敷設の主目的を歩行者の通過ではなく展望デッキとすることとし、設置区間は P30～P33 橋脚間の南側（太平洋側）に限定し、歩道幅員を 2.5m から 4m に変更した。主橋一体区間においてモノレールは道路の左側に置かれるため、歩道は更に外側の眺望のよい位置に配置する。

なお、歩道敷設については、安全管理及び経済性に着目し、詳細設計時に再度検討する。敷設無しの場合、削減される工事費は約 20 億円（含む昇降用エレベータ）と見積もる。

昇降用エレベータの計画については第 13 章で述べる。

11.5 概略設計

11.5.1 設計条件

(1) 幾何構造基準

11.4 既存資料の収集・レビューの結果に基づき、概略設計の幾何構造基準を設定した。道路規格は、当該路線は都市内の交通流を支え、地方部との接続として主要な役割を果たす道路となることから、都市部幹線道路（Urban Arterials）に位置づける。

表 11.8 に幾何構造基準（概略設計）を示す。

表 11.8 幾何構造基準（概略設計）

項目	基準値		
起終点 (km)	起点:メトロ3号線 Albrook 駅付近の Corredor Norte の接続部 (-KM0+020.975) 終点:パンアメリカン道路の Howard 地区交差点の手前 (KM6+699.237)		
適用基準	AASHTO, A Policy on the Geometric Design of Highway and Street 6 th Edition 2011		
道路規格	都市部幹線道路（完全立体交差の一般道路）		
設計速度	100km/hr(下記の区間を除く) 80km/hr(起点からラウンドアバウトの西の流出入ランプ接続部までの区間)		
停止視距	185m (V=100km/hr)、130m (V=80km/hr)		
車線数	6車線(下記を除く区間) 4車線(起点からラウンドアバウトの西の流出入ランプ接続部までの区間) 11.4.3 に標準横断構成を示す		
幾何構造基準値	設計速度	100km/hr	80km/hr
	平面線形		
	最小曲線半径	R=394m (e=8%)	R=229m (e=8%)
	クロノイドを伴う最小曲線半径	R=592m	R=379m
	片勾配を省略する曲線半径	R=3,630m	R=2,440m
	クロノイド最小長	L=56m	L=50m
	最大片勾配	e=8%	e=8%
	最小片勾配	e=2.5%	e=2.5%
	横断勾配	e=2.5%	e=2.5%
	縦断線形		
	最大縦断勾配	i=5%	i=6%
	最小縦断勾配	i=0.3%	i=0.3%
	最小縦断曲線半径(凸型)	VCR(凸型)=5,200m	VCR(凸型)=2,600m
	最小縦断曲線半径(凹型)	VCR(凹型)=4,500m	VCR(凹型)=3,000m

出典：調査団

(2) 舗装設計基準

舗装設計基準は、AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993 を適用した。

(3) 防護柵設計基準

中央分離帯及び路肩防護柵の設計基準は、AASHTO Roadside Design Guide 3rd Edition 2006 を適用した。

11.5.2 概略設計

(1) 線形設計

1) 第4パナマ橋東西取付道路

i. 平面線形設計

取付道路の平面線形は、Pre-F/Sを基本とし、レビュー結果に沿って修正した。なお、起点の測点はKM3+800の位置を固定したため、マイナス測点とした。

起点側の平面線形は、11.6.1(4)1)におけるOmar Torrijosラウンドアバウトのコンセプト・デザインの結果を見据えて平面線形を調整（東側へのシフト）した。

Roosevelt通りに並行する区間の平面線形は、ACP施設への影響を避け、モノレール設置幅を確保の上、ソーサの丘への影響を少なくするよう北側（港側）へシフトした。

第4パナマ運河橋区間については、メトロ3号線を南側に配置した中心線とし、主橋区間は構造的な鑑みて直線とした。

第4パナマ運河橋から終点までの平面線形はPre-F/Sと同様とした。

曲線部の片勾配および同擦付長は、設計速度に対応した値に変更した。

ii. 縦断線形設計

取付道路の縦断線形はPre-F/Sを基本とし、平面線形に合わせ、レビュー結果及び11.6コンセプト・デザインの結果に沿って修正した。

起点側の縦断線形は、起点側の平面線形は、11.6.1(4)1)におけるOmar Torrijosラウンドアバウトのコンセプト・デザインのランプとの交差形状を考慮して、縦断変化点（サグ）を終点側にシフトさせ、KM1+950とした。

第4パナマ運河橋区間の縦断線形は、主橋の設計に合わせて4%と-4%の交点をKM3+800とし、縦断曲線半径はPre F/Sの妥当性を確認した結果、同様の値を採用した。

起点側の縦断線形は、起点近くのAlbrook国際空港の空域制限に影響のない様にコントロールした。

終点付近の縦断線形は、設計速度100km/hrを満足する縦断曲線半径に変更した。

2) 東側連結側道

東側連結側道は、起点側で取付道路と接続するランプ（on及びoff）であり、平面線形はPre-F/Sの計画と同様とした。縦断線形は道路なりとする。

3) アメリカ橋連絡道路

アメリカ橋連絡道路は、アメリカ橋から終点のHoward交差点を結ぶ道路である。上り線（至Panama City）は、Howard交差点の起点側で西側へシフトし、湿地帯の上を通過後、アメリカ橋に至る道路である。下り線（至Arraijan）は、アメリカ橋の先で既存のPanamerican Highwayを利用し、途中から取付道路に接続する。

i. 平面線形

アメリカ橋連絡道路の平面線形は、Pre F/S と同様とし、変更していない。

ii. 縦断線形

アメリカ橋連絡道路の縦断線形は Pre-F/S の成果に含まれていないため、新設となる上り線について、地形図を基に縦断線形を計画した。なお、下り線は現地盤レベルでの改良が主となるため、縦断は道路なりとする。

(2) 標準横断構成

既存資料の収集・レビューの結果に基づき、概略設計の標準横断構成を設定した。

表 11.9 に横断面幅員の標準値（概略設計）を示す。

表 11.9 横断面幅員の標準値（概略設計）

項目	基準値	
横断面幅員	横断面幅員	
	車線幅	W=3.65m
	中央分離帯	W=1.2m
	外側路肩幅	W=1.2m(橋梁部と擁壁部)
	内側路肩幅	W=3.0m(土工部)
	歩道幅	W=2.5m(排水施設を含む)
	モノレール幅(検査路を含む)	W=9.0m
	道路の建築限界	h=5.5m
	パナマ運河航路限界	h=75m(MLWS から上)

出典：調査団

(3) 土工設計

のり面勾配については、現地の地質状況を勘察し、盛土は 1:2、切土については土砂 1:1、軟岩 1:0.5 とする。なお、東側の取付道路は既存道路との道路間隔が狭いため、当該国で広く適用されている補強土擁壁を採用し、用地的制約を回避した。

(4) 軟弱地盤改良設計

アメリカ橋連絡道路の上り線は湿地帯を通過する。軟弱地盤対策工の検討が必要となる可能性があるため、詳細設計時に対応することとした。なお、同上り線の多くは橋梁区間であり橋台背面位置は対策が必要となる可能性があるものの、極めて限定的であるため、本調査の概算工事費に大きな影響はない。

(5) 舗装設計

取付道路土工区間の舗装構造は、現道である Corredor Norte 及び Panamerican Highway と同様に、車道部にコンクリート舗装（JCP/Jointed Concrete Pavement：無筋で目地あり）、路肩部にアスファルト舗装とした。第 3 章需要予測の 3.4.4 交通量配分によって ESAL（18kip 等価単軸荷重）について推計した結果、ESAL は供用後 20 年間（2021 年～2040 年）で 7.64 百万回となるが、Pre-F/S の 10.96 百万回より小さい。このため、Pre-F/S に合わせ、コンクリート版 t=220mm、ベースコース t=250mm（CBR≧80%）とした。

(6) 道路付帯工設計

1) 排水施設

東側取付道路は主に補強土擁壁を採用しており、また、西側取付道路及びアメリカ橋連絡道路は既存道路と接近しており高低差が少ないことから、排水施設は側溝で対応する計画とした。側溝は用地制約及び地形が平坦で水路勾配が小さいことから、コンクリートU型側溝（0.5m x 0.5m）とした。なお、全線を通じて縁石を設けないため、縦溝は設置しない。

2) 交通管理・安全施設設計

防護柵

取付道路土工区間の中央分離帯は、コンクリートの剛性防護柵（ニュージャージー型：TL-3（FHWA 承認））を設置し、路肩にはガードレールを設置する計画とした。また、東側連結側道及びアメリカ橋連絡道路土工区間の路肩にはガードレールを設置する計画とした。

路面標示

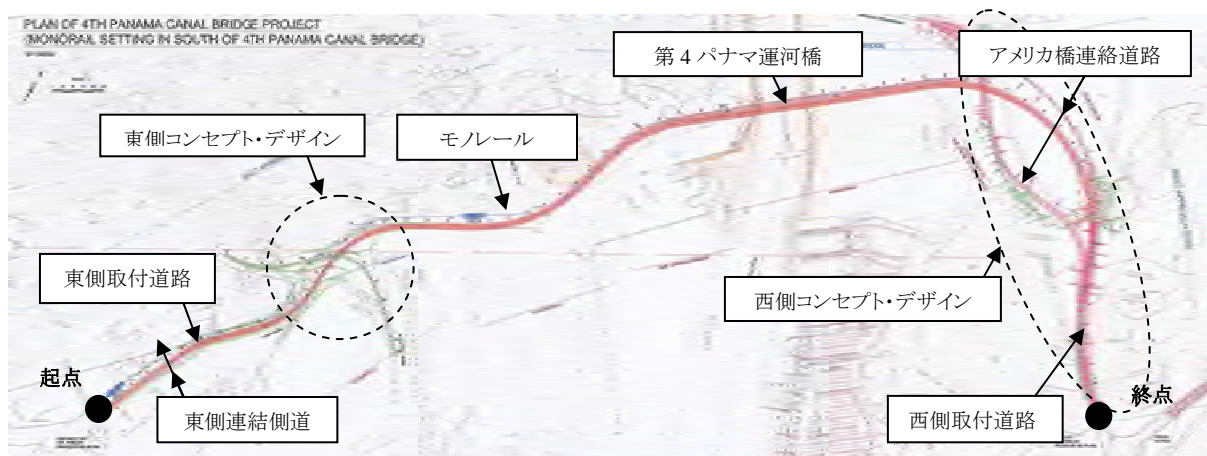
取付道路の路面標示は、全線に車線境界線及び車道外側線を設置する計画とした。また、インターチェンジのランプターミナルにはゼブラハッチ等の路面標示を設置する計画とした。また、東側連結側道及びアメリカ橋連絡道路については、全線に車線境界及び車道外側線を設置する計画とした。

道路標識

道路標識は、取付道路には設計速度に応じて速度規制標識、インターチェンジの出入り口等には案内標識を設置する計画とした。また、東側連結側道及びアメリカ橋連絡道路の必要箇所に速度規制標識を設置する計画とした。

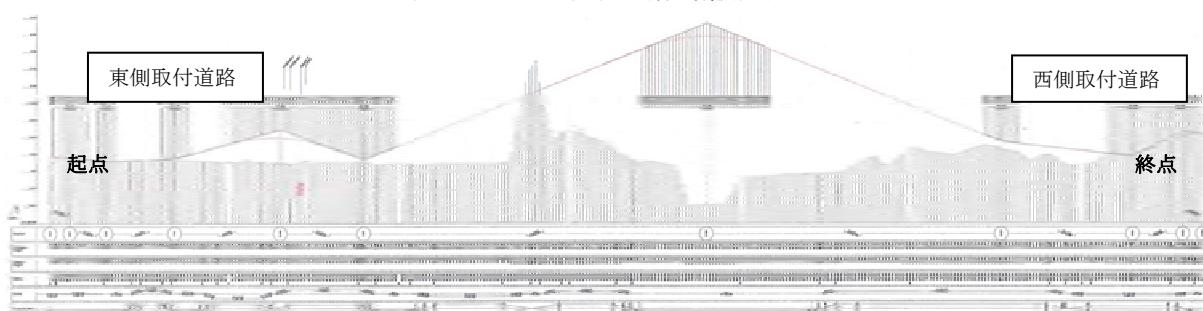
(7) 概略設計図面

図 11.2～図 11.5 に平面図、縦断図及び標準横断図を示す。



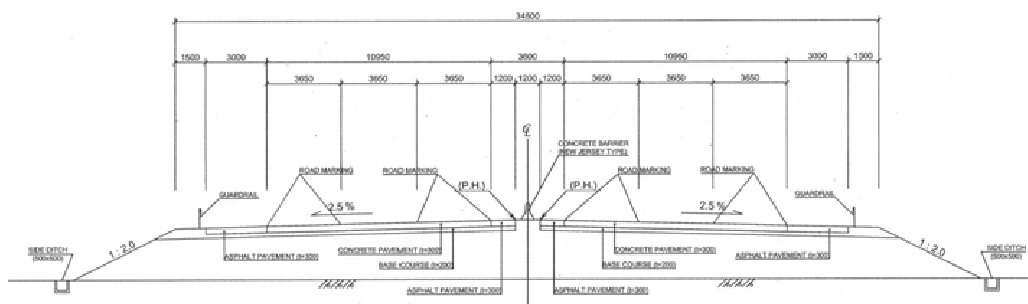
出典：調査団

図 11.2 平面図（概略設計）



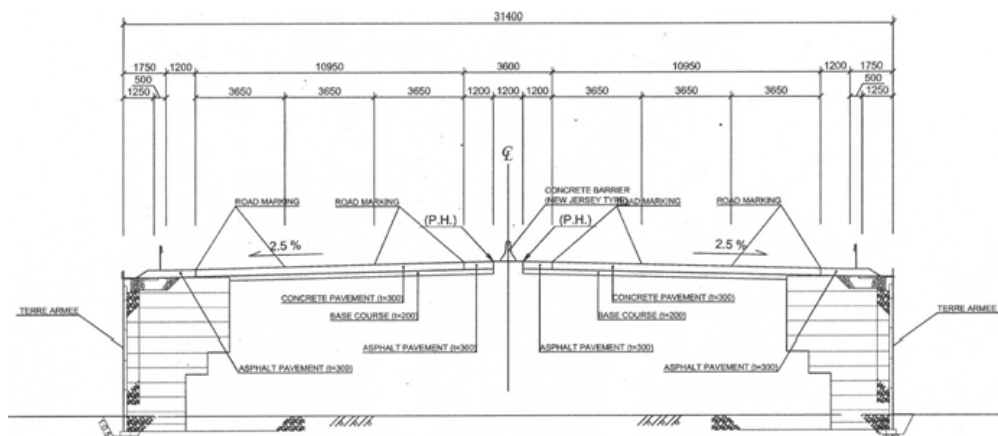
出典：調査団

図 11.3 縦断面図（概略設計）



出典：調査団

図 11.4 土工部（6車線）の標準横断面図（概略設計）



出典：調査団

図 11.5 擁壁部（4車線）の標準横断面図（概略設計）

11.5.3 変更及び追加提案

本調査の結果、Pre-F/S に対する変更及び追加提案した内容を以下に記述する。

取付道路の設計速度は、第4パナマ運河橋区間のトラックの走行速度の低下により、乗用車の走行速度との乖離が大きくなるため120km/hrを100km/hrに、また、Omar Torrijos ラウンドアバウトの西側流出入ランプから起点側は、流出入ランプが短区間で連続するため100km/hrから80km/hrに変更した。

また、Omar Torrijos 交差点から流出入ランプのノーズまでの土工区間は、Roosevelt 通りとの間の狭いスペースに建設されるため、盛土から補強土擁壁に変更した。

Pre-F/S のドラフト・ファイナル・レポートは当初提出を予定していた時期が遅れたため、本調査では、Pre-F/S のコンセプト・デザイン・レポート（2013年1月）に対してレビューを行い、道路の概略設計を実施した。なお、本概略設計作業後に入手したドラフト・ファイナル・レポート（2013年11月）では、取付道路の停止視距を確保するために設計速度が120km/hrから90km/hrに変更されているものの、平面線形及び縦断線形は変更されておらず、コンセプト・デザイン・レポートと同一であることを確認した。

取付道路の設計速度が100km/hrの場合においても、視距等を含む安全性は確保されるため、本調査では、取付道路の設計速度として100km/hrを適用した。

表 11.10 に概略設計結果の概要を示す。

表 11.10 概略設計結果の概要

項目	取付道路	東側連結側道	アメリカ橋連絡道路
起終点 (延長)	起点: Albrook 地区、 Corredor Norte との接続点、 終点: Howard 交差点手前 Panamerican Highway との接続点 (L=6,720.212m)	起点: Albrook 地区 終点: Omar Torrijos 交差点付近 (L=1,025.190m) (On ランプ: L=400.200m) (Off ランプ: L=624.990m)	起点: Howard 交差点 終点: アメリカ橋 (L=3,170.400m) (上線: L=1,582.400m) (下線: L=1,588.000m)
道路規格	幹線道路 (完全出入制限された一般道路)	ランプ (幹線道路と都市道路を接続)	地方道路
車線数	BP~Omar Torrijos 交差点西側流出入 ランプのノーズ: 2方向4車線 Omar Torrijos 交差点西側流出入ランプ のノーズ~EP: 2方向6車線	1方向2車線	1方向2車線
設計速度	BP~Omar Torrijos 交差点西側流出入 ランプのノーズ: 80km/hr Omar Torrijos 交差点西側流出入ランプ のノーズ~EP: 100km/hr	40km/hr	80km/hr
道路構造	土工(擁壁を含む)、橋梁	土工、橋梁	土工、橋梁

出典：調査団

11.6 コンセプト・デザイン

11.6.1 コンセプト・デザインの検討

(1) 目的

現況道路と第4パナマ運河橋との接続性を向上させることを目的として、主橋の東西双方それぞれの地域におけるコンセプト・デザインの検討を行った。特に東側地域では、Omar Torrijos ラウンドアバウト周辺の混雑が激しい上に将来交通量の増加が予想されている。このため、将来的な交通流の推定を行い評価するために、同ラウンドアバウトを中心にマイクロシミュレーションを行った。また、事業規模把握の参考として、コンセプト・デザインの概算工事費を算出した。

(2) 検討概要

取付道路と主要な既存道路はランプで接続することとし、既存道路の位置、周辺の地形条件及び地物位置を考慮の上、最適な接続方法を検討した。

既存のラウンドアバウトの形状は極力手を加えずにラウンドアバウト付近の道路リンクを追加して改良案とすることを基本方針とした。

現況のフライオーバーは老朽化が進み、また新規ランプ計画と干渉することから撤去する方針とした。

また、ラウンドアバウト地域はコントロール物件が数多く存在することから、本線事業とコンセプト・デザインの両事業が互いに成立し得ることを考慮し、コンセプト・デザインの検討結果を取付道路の線形計画にも反映した。

さらに、Omar Torrijos 交差点（東側コンセプト・デザイン）のマイクロシミュレーションを実施した。同解析結果を基に、サービスレベルの検証を実施した。同内容については、11.6.2 で記述する。

表 11.11 にコンセプト・デザイン結果の概要を示す。

表 11.11 コンセプト・デザイン結果の概要

項目	東側地域		西側地域
	アンダーパス	追加ランプ	追加ランプ
起/終点 (延長)	Omar Torrijos 通り (L=1,500m) F ランプ (On) (L=1,520m) G ランプ (Off) (L=1,500m)	A ランプ (L=500m) B ランプ (L=650m) C ランプ (L=350m) D ランプ (Off) (L=350m) E ランプ (L=350m) H ランプ (Off) (L=200m) I ランプ (On) (L=350m)	X ランプ (U ターン) (L=1,130m) 既存道路接続ランプ (ランプ Y 及び a~i)
道路規格	都市道路	ランプ	ランプ・地方道路
車線数	アンダーパス:2 方向 2 車線 On/Off ランプ:1 方向 2 車線	1 方向 1~2 車線	1 方向 1~2 車線
設計速度	60km/hr	40km/hr	40km/hr
道路構造	土工(擁壁を含む)、橋梁	土工(擁壁を含む)、橋梁	土工(擁壁を含む)、橋梁

出典：調査団

(3) 設計条件

ランプの設計速度は 40km/hr とし、車線数は利用交通量に応じて決定した。

表 11.12 にランプの設計条件（コンセプト・デザイン）を示す

表 11.12 ランプの設計条件（コンセプト・デザイン）

項目		東側地域		西側地域
取付道路の設計速度		80km/hr		100km/hr
ランプ	設計速度	40km/hr		40km/hr
	車線数	1方向2車線		1方向1車線
	最小曲線半径	40m		40m
	最急縦断勾配	8%		8%
アンダーパス	設計速度	60km/hr	40km (Ramp)	-----
	車線数	2方向4車線	1方向1車線	
	最小曲線半径	150m	40m	
	最急縦断勾配	6%	8%	

出典：調査団

(4) コンセプト・デザインの検討

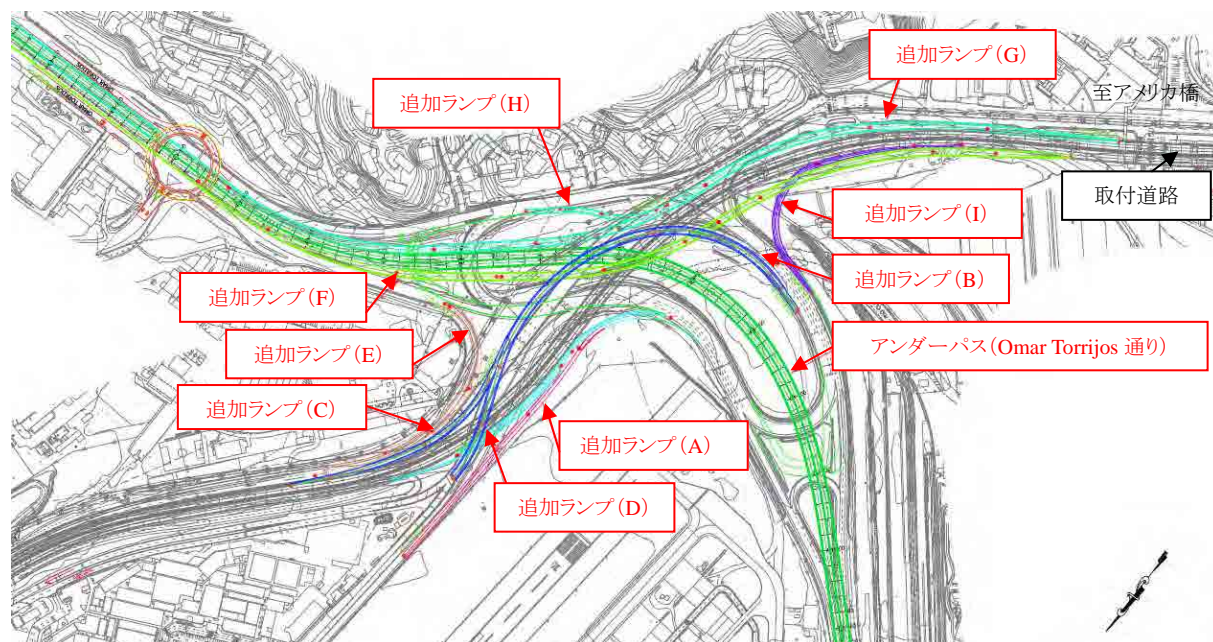
1) 東側地域

取付道路は Omar Torrijos ラウンドアバウトの上を高架橋で通過するため、同道路への接続の検討を実施した。Omar Torrijos ラウンドアバウトは、周辺にバスターミナル、大型ショッピングセンター、港湾、空港及び運河岸施設があり、アメリカ橋やパナマ運河沿いの道路に繋がる交通の要衝となっている。

メトロ庁との協議の結果、土地利用の制限から、現在の形状を大きく変更しないことを改良案検討の前提条件とした。従って、Omar Torrijos ラウンドアバウトを利用する交通量のうち特に交通量の多い南北方向の交通はラウンドアバウトを周回せず中央を地下で通過するアンダーパスとする計画に変更した。これにより、Omar Torrijos ラウンドアバウトを周回する交通量が減少し、混雑が緩和することが期待できる。

なお、アンダーパスは、Omar Torrijos ラウンドアバウトの下を横断している Curundu 川のボックスカルバート（6m*5m*2）の下を横断する必要がある。

取付道路に接続するランプ（on 及び off）の追加及びラウンドアバウトに接続するランプの付け替えを計画した。



出典：調査団

図 11.6 東側地域のレイアウト図（コンセプト・デザイン）

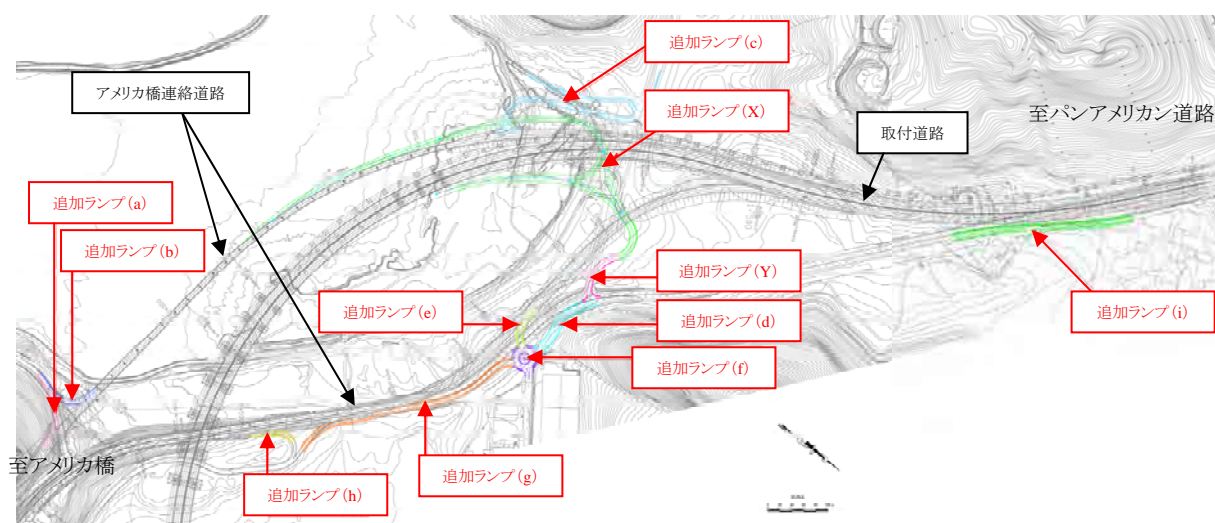
2) 西側地域

Pre-F/S では、アメリカ橋に繋がる Panamerican 道路の上下線を分離し、それぞれ 2 車線の一方通行路とすることで周辺道路との接続性を高めているが、取付道路と既存道路の接続性は低い。

従って、取付道路の第 4 パナマ運河橋からアメリカ橋連絡道路のアメリカ橋方向へのランプ（U ターン方式）、及びそこから Panamerican 道路のアライハン方向に接続する既存の交差点を結ぶランプを計画した。

追加ランプ（a）～（b）はアメリカ橋連絡橋とアメリカ橋の間に位置し、南側の道路へ接続する。追加ランプ（c）～（h）はアメリカ橋連絡橋や道路とそれぞれ現道を接続する。追加ランプ（X）と（Y）は西側取付道路からのオフランプである。追加ランプ（i）は西側取付道路が既存道路と干渉するために現道の付け替えを計画した道路である。

図 11.7 に西側地域のレイアウト図（コンセプト・デザイン）を示す。



出典：調査団

図 11.7 西側地域のレイアウト図（コンセプト・デザイン）

11.6.2 マイクロシミュレーション

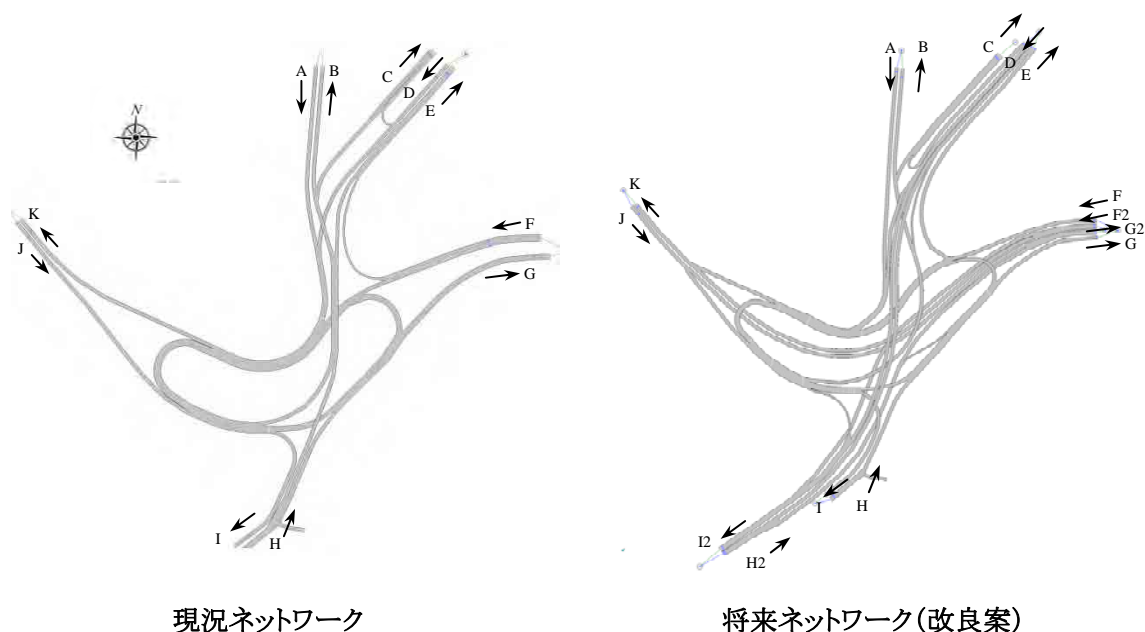
(1) 実施の目的

11.6.1 において提案した Omar Torrijos ラウンドアバウトの改良案における、渋滞発生の有無を確認するため、マイクロシミュレーションを実施した。

(2) 実施方法

本シミュレーションでは、ソフトウェア「Aimsun6」を利用して、下記の 2 ケースについて実施した。

ケース	使用ネットワーク	使用交通量データ
現況	現況ネットワーク (図 11.8 参照)	2013 年(現況)方向別交通量(7 時～8 時)、 断面交通量(7 時～8 時)
改良案	将来ネットワーク(改良案) (図 11.8 参照)	2050 年方向別交通量(7 時～8 時)



出典：調査団

図 11.8 マイクロシミュレーション使用ネットワーク（現況および将来）

(3) 結果の分析・評価

一般に、渋滞の明確な定義は路線または管理者によって異なるため、ここでは設定速度と実際の走行速度（シミュレーションによる結果）について、現況と改良案において比較することで分析・評価を行うこととした。

表 11.13 各ケースにおける平均走行速度比較

		取付道路	アンダーパス	既存道路	ランプ	ラウンドアバウト
現況ネットワーク (2013年交通量)	設定走行速度(km/h)	—	—	50	40	30
	シミュレーション結果 平均走行速度(km/h)	—	—	52.8	43.9	31.0
将来ネットワーク (2050年交通量)	設定走行速度(km/h)	80	60	50	40	30
	シミュレーション結果 平均走行速度(km/h)	84.1	64.3	51.9	42.5	30.6

出典：調査団

現況ネットワークおよび将来ネットワーク（改良案）において、各路線における走行速度が設定走行速度を満足しており、改良案においても渋滞が発生することが無く、交通が流れることがシミュレーションによって確認された。

第12章 橋梁設計

12.1 目的

本調査では、事業スコープの決定及び概算事業費の算出を目的とし、橋梁の概略設計、概略設計図面の作成及び概算工事数量の算出を実施した。

12.2 調査内容

橋梁の概略設計について、以下の作業を実施した。

- 計画・設計条件の設定
- 概略設計
- 橋梁付帯工の計画・設計
- 概略図面の作成、概算工事数量の算出

第4パナマ運河橋主橋については、”10.1章 第4パナマ運河橋主橋形式のスクリーニング”の結果に基づき、アーチ橋の航路利用有・無の2ケースについて概略設計を実施した。

なお、本調査では、オマール・トリホス交差点改良について、設計レベルをコンセプト・デザインに留めており（11.6章参照）、同交差点改良に係る橋梁計画は実施していない。

12.3 調査結果の概要

表 12.1 に橋梁概略設計結果概要を示す。

橋梁概略設計の結果、アーチ橋（第4パナマ運河橋主橋）については、航路利用有・無の両ケース共に完成系で断面寸法が決まったため、本章では、両ケースを区分せずに結果を記載した。

但し、航路利用有・無の両ケースは、仮設構造物、工期及び工事費が異なるため、これら内容については、第15章において、両ケースを区分して結果を記載した。

表 12.1 橋梁概略設計結果概要

No.	路線	橋梁名	測点(KM)	橋長	支間割	幅員	橋梁形式
1	本線	跨道橋 No.1	1+050~1+320	270m	2@40m+30m+4@40m	22.100m	PC-I 桁
			1+320~1+570	250m	50m+2@60m+45m+35m		鋼箱桁
2		跨道橋 No.2	2+000~2+260	260m	5@40m+2@30m	29.400m	PC-I 桁
			2+260~2+740	480m	60m+4@90m+60m		鋼箱桁
3	第4パナマ運河橋	東側取付橋	2+847~3+380	533m	43m+60m+50m+90m+2@100m+90m	38.400m~50.235m	鋼箱桁
主橋		3+380~4+220	840m	150m+540m+150m	48.742m~52.872m	鋼アーチ	
4		西側取付橋	4+220~5+030	810m	90m+3@100m+80m+5@60m+40m	38.400m~48.742m	鋼箱桁
5			5+030~5+390	360m	9@40m	29.400m	PC-I 桁
		アメリカ橋連絡道路	アメリカ橋連絡道路橋	0+520~1+280	760m	19@40m	10.900m

出典：調査団

12.4 計画・設計条件の設定

12.4.1 計画条件

本事業の対象地域は、以下の特性を有する。

- パナマ運河の渡河
- アルブルック国際空港及びハワード空港への近接
- 多くの支障・交差物件を有する都市内道路

本調査では、上記特性を踏まえ、橋梁計画に必要な計画条件を整理した。

(1) 地形条件

本調査では、Pre-F/S で作成された地形データを使用した。経済産業省と米国航空宇宙局は、共同で人工衛星搭載センサー「ASTER」を用いて ASTER 全球 3 次元地形データの整備を進めている。Pre-F/S で作成された地形データは、ASTER-DRM を基に、以下に示す仕様でデータ化したものである。

- 10m コンターCAD/世界測地系（WGS84）/UTM（ユニバーサル横メルカトル図法）

上記データを基に、地形図の精度を更に高めるために、PTS-GPS による細部測量を実施し、1m コンターに加工したものを設計用の地形データとして使用している。

(2) 地質条件

本事業の対象地域は、パナマ運河航路最深部付近となる標高-15m を境界とし、東側は玄武岩が、西側はシルト岩、砂岩層、凝灰岩が分布している。RQD の値によって示されるように、場所によっては亀裂の多い箇所もみられるが、いずれも支持層となる十分に固い岩盤である。

平地部においては、岩盤上に海岸堆積物の沈殿によって形成された軟弱な粘土が堆積している。また、東側のパナマ市街地域は、泥灰土と黒泥の互層上を埋め立てにより生じた盛土層が堆積している。

(3) 架設条件

第4パナマ運河橋主橋の計画・設計は、以下の2ケースについて実施した。

- 架設時に航路を利用する
- 架設時に航路を利用しない

その他橋梁計画・設計に係る架設条件は、15.1章に記述する。

(4) メトロ3号線の配置位置

本事業のパナマ運河渡河区間は、メトロ3号線を含めた道路・鉄道併用橋とすることが前提条件となる。メトロ3号線建設事業では、本事業の対象地域内にアルブルック駅、バルボア駅及びパナマ・パシフィコ駅の3駅が予定されており、全て本事業の対象路線の南側（太平洋側）に計画されている。

従って、本調査では、メトロ3号線の線形及び取付橋の経済性を鑑み、道路・鉄道併用橋区間におけるメトロ3号線の配置を南側（太平洋側）とすることを計画条件とした。

12.4.2 設計条件

(1) 設計基準

本調査の橋梁設計基準は、AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 6th Editions, 2012を基本とし、地域特性となる自然条件等の定数は、パナマ国基準及び既存の調査結果を参照した。

(2) Operational Category

AASHTO LRFD では、橋梁の重要度に応じて、Operational Category を3段階に分けており、同カテゴリー毎に設計荷重の割増係数及び設計水平震度の再現周期を定めている。

本調査では、路線の重要性を鑑み、最も重要度の高い”Critical Bridge”を適用した。

従って、設計水平震度及び加速度応答スペクトルの再現周期を2,500年とした。

(3) 設計耐用年数

本調査では、必要なメンテナンスを行うことを前提として設計耐用年数を100年とした。

(4) 設計活荷重

本調査では、AASHTO LRFD に基づき、設計活荷重としてHL-93を適用した。歩行者については、AASHTO LRFD (3.6×10^{-3} MPa) に準拠した。

モノレールについては、「モノレール設計車両検討報告書」（都市モノレール等設計車両検討委員会）に準拠し、軸重11kN（軌道桁33.0kN/m）を採用した。

(5) 加速度応答スペクトル

本調査の加速度応答スペクトルは、AASHTO LRFD の算出式を基本とし、地域特性に基づく諸係数については、センテナリオ橋（第2パナマ運河橋）建設事業時に実施された調査（Seismic Hazard Assessment of the Second Panama Canal Crossing）を参照した。

本事業の橋梁の主要モードの固有周期は1.5秒以上になると推定し、設計水平震度は0.2を適用した。

(6) 設計風荷重

対象地域における過去10年の最大風速は81.9km/hrであり（4.4.4参照）、この風速を100年確率に換算すると、以下の通りとなる。

$$V(100) = 81.9 / 0.874 = 93.7 \text{ km/hr}$$

一方、パナマ国基準（REP）では、最大風速を115km/hrと定めており、上記よりも大きな数値となることから、本調査の設計基準風速（3秒間平均風速）は、115km/hr（31.94m/s）を適用した。

上記設計風速を基に、ASCE7-10（Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures）に準拠して風荷重に換算した。

(7) 設計温度荷重

本調査の設計温度荷重は、パナマ国基準（REP）に基づき、以下の数値を適用した。

- 基準温度：27°C
- 温度変化の範囲：±15°C

12.5 概略設計

12.5.1 本線橋

(1) 第4パナマ運河橋

1) 主橋

i. 計画・設計方針

第4パナマ運河橋主橋の計画・設計方針の要点を以下に述べる。

床版

パナマ国においては、グースアスファルトが現地調達できないため、鋼床版上のグースアスファルト舗装は維持管理性に課題があると判断し、車道及び歩道の床版は鉄筋コンクリート構造とした。

部材の継手

既往の橋梁においてボルト継手部の塗装が劣化し、錆が見られる事例が多いため、将来的な維持管理性の向上を意図し、部材の連結は基本的に溶接継手とした。外部環境の影響を受けない、アーチリブおよび補剛桁内面のダイヤフラム継手はボルト継手とする。

鋼材

アーチリブ、特に補剛桁との隅角部付近には大きな応力度が発生し板厚が大きくなることから、溶接性に優れた高張力鋼材（SBHS500材相当）を想定した断面計算とした。

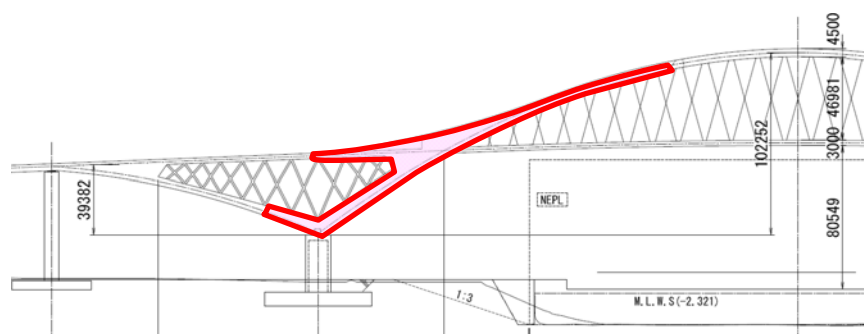
SBHS材の特徴は以下、及び20.3.1章の通りである。

- 従来鋼よりも降伏強度が向上（SBHS500：500N/mm²、SM570：450N/mm²）
- 加工性・溶接性が従来鋼よりも優れ、予熱省略、予熱温度低減が可能

通常、橋梁に用いる鋼材の板厚は100mm以下とされているが、板厚が厚くなるほど溶接性に劣り、かつ重量が増大することから、設計ではある程度の板厚になった時点で鋼材グレードを上げる。

今回、主構造部についてはSM490Y材相当を基本とするが、鋼重増大及び溶接性低下が顕著となる板厚40mmを超える場合において、溶接継手の際に予熱不要で製作性に優れたSBHS500材相当を適用する方針とした。

概略設計の結果、SBHS500材相当の適用箇所は以下の範囲である。



出典：調査団

図 12.1 SBHS500材相当の適用箇所

なお、材料としてはより高強度のSBHS700材があるが、疲労強度が従来鋼と同等であり薄肉化することの利点が発揮されにくいことなどより実橋実績がないため、本橋への適用は見送った。

主構の形式

アーチリブの形式としてはソリッドリブ形式とブレースドリブ形式があるが、以下の点でソリッドリブアーチが優れていると判断した。

部材数：ブレースドリブアーチ形式は部材数が多いことから製作工数が嵩み割高になる

接合部の多さ：ブレースドリブアーチ形式は部材接合部付近に水や埃が溜まりやすく、鏽発生の可能性があり維持管理性に劣る

主構の配置

モノレール、車道、歩道およびアーチ主構の横断面における配置は、南側より順に歩道、モノレール、アーチ主構、車道（片側）、アーチ主構、車道（片側）という順序とした。

モノレールの位置を南側とすることは、モノレール線形計画より決定される与条件である。これを踏まえ、荷重のバランス及び床組・横桁等の構造的合理性を考慮し、横断面全体を3つに分割したそれぞれの間アーチ主構を配置した。荷重の軽い歩道は張り出し部先端に配置した。

地震時および暴風時の全体構造の橋軸直角方向安定性を高めるため、アーチ主構は内側へ傾けた。アーチ支間中央部付近で両側のアーチリブが接合するため、アーチ面外方向の剛性が高まる。

補剛桁の床組構成

アーチ主構から外側の車道部分は張り出し構造となるため、張り出し部の剛性確保および橋軸直角方向の耐風安定性を考慮し、補剛桁全体を1つの箱桁で構成するものとした。耐風安定性が向上するよう、桁の最外ウェブ位置での桁高を下げ、風がスムーズに流れるよう配慮した。

アーチリブと補剛桁の連結材（アーチ支間部の引張材）

アーチ支間部は補剛桁がアーチリブから吊り下げられる構造である。引張材であるため、ケーブル構造を適用する。

ケーブル配置は、鉛直吊りよりも剛性が高くなるX字形に交差させた形状とする。

アーチリブと補剛桁の連結材（側径間部の圧縮材）

アーチリブ・補剛桁交差部より端支点側の側径間部は、アーチリブに立てた支持材が補剛桁を支持する構造である。この支持材は圧縮材となるため、鋼製柱構造とする。

この部分についても、アーチ支間部と同様、鉛直支持とするよりも剛性が高くなるX字形に交差させた形状とする。

支点条件

架設工法及び完成後の剛性確保の観点より、アーチ基部と橋脚の接合条件は「剛結」とした。

塗装（耐候性鋼材）

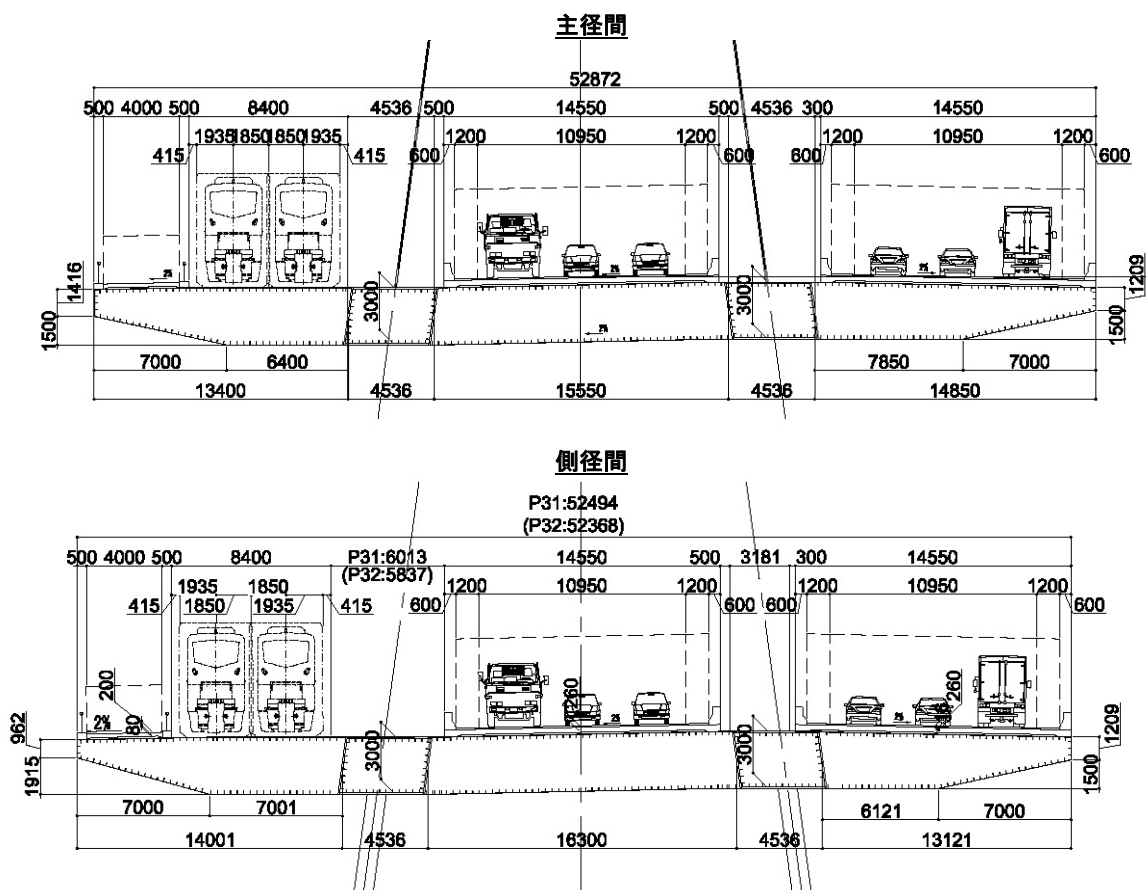
鋼材はニッケル系高耐候性鋼材（20.3.2 章参照）とし、塗装を併用することにより、景観性維持に加え、塗装が一部剥げた場合も耐候性鋼材が機能することにより、不定期な部分塗装が不要な計画とした。

飛来塩分の影響が大きい地域においては、一般の耐候性鋼材における安定錆の形成が難しいことから、こうした地域に適用できるニッケル系高耐候性鋼材が開発されている。本橋架橋位置は河口付近にあり飛来塩分の影響が大きいと考えられるため、ニッケル系高耐候性鋼材を使用することとした。

なお、架橋位置における耐候性鋼材の適応性については、現在、アメリカ橋位置でパッチテストおよび飛来塩分両調査を実施中であり、詳細設計時に再確認を行うことが必要である。

ii. 標準断面

図 12.2 に標準断面図（第 4 パナマ運河橋主橋）を示す。



出典：調査団

図 12.2 標準断面図（第 4 パナマ運河橋主橋）

iii. 橋長及び支間割

第4パナマ運河橋主橋の橋長及び支間割の要点を以下に述べる。

主径間長

Pre-F/Sでは、関係機関と協議を重ね、第4パナマ橋主橋の橋脚位置の合意を取得している。橋脚位置は、パナマ運河のPrism Lineから十分なセットバック量が確保されているため、本調査では、Pre-F/Sの橋脚位置に沿い、主径間長を540mとした。

表12.2に橋脚位置及び設定理由（第4パナマ運河橋主橋）を示す。

表 12.2 橋脚位置及び設定理由（第4パナマ運河橋主橋）

No.	橋脚 (座標)	設定理由	セットバック量 (Prism Line～橋脚)
1	東側橋脚 (X=657613.96 (Coordinate)) (Y=989297.18 (NAD27))	運河岸とバルボア港間の合意	119.0m
2	西側橋脚 (X=657205.83 (Coordinate)) (Y=988943.580 (NAD27))	船舶衝突に対するリスク分析結果	120.5m

出典：Pre-F/S（ドラフト・ファイナル・レポート（2013年11月））（運河岸）

側径間長

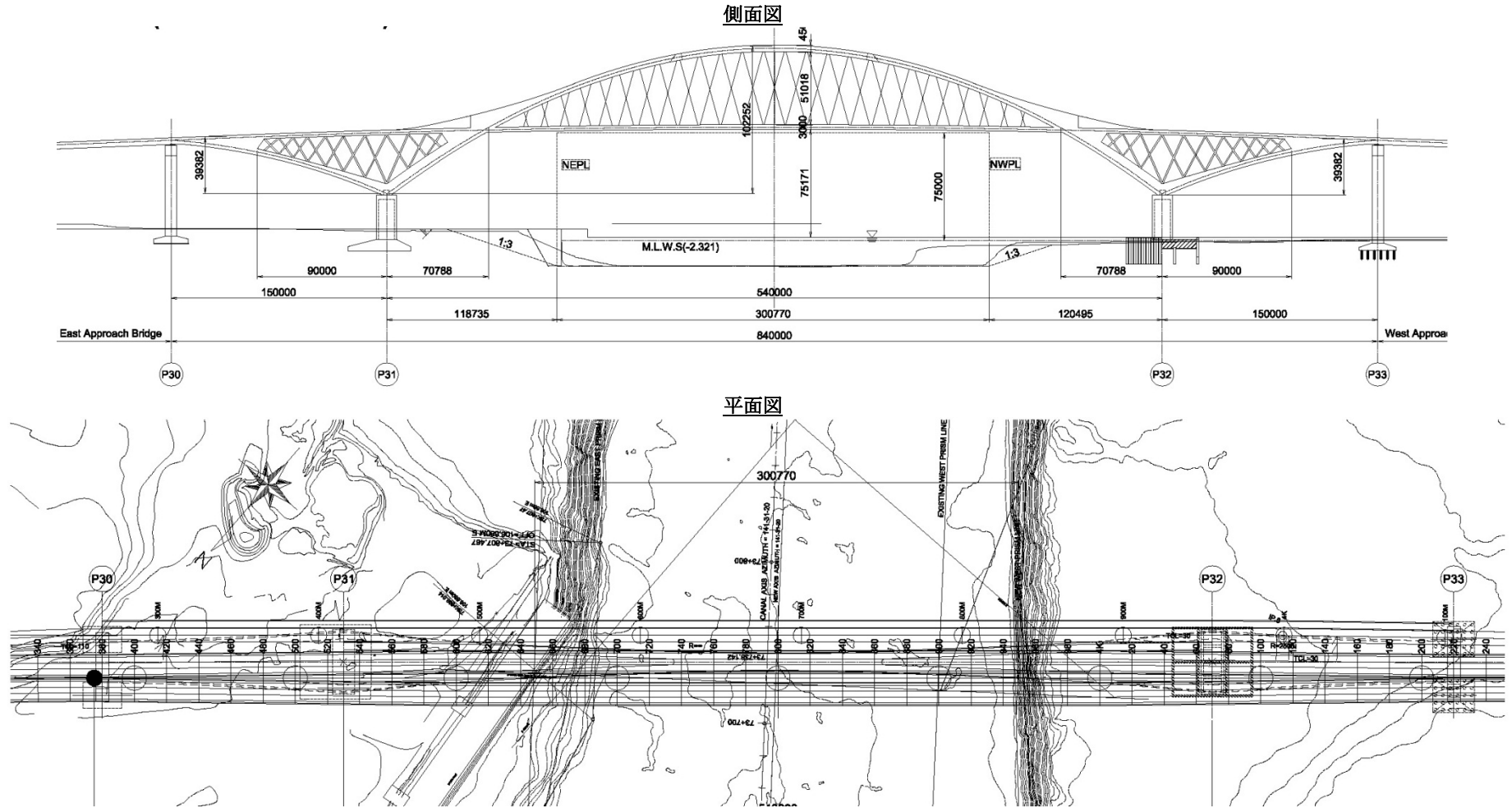
側径間長は、以下の着目点を踏まえ、コスト削減の観点から主橋の橋長が短くすることに配慮して検討を行い、150mとした。

- 端視点に負反力を生じさせない
- 道路線形のクロソイド曲線が主橋内に大きく入り込まない
- アーチ基部の水平反力をある程度低減できる

図12.3に支間割（第4パナマ運河橋主橋）を示す。

橋長及び支間割

第4パナマ運河橋主橋の橋長及び支間割は、150m+540m+150m=840mとした。



出典：調査団

図 12.3 支間割（第 4 パナマ運河橋主橋）

iv. 上部工解析・設計

第4パナマ運河橋主橋の上部工解析・設計の要点を以下に述べる。

荷重ケース

上部工解析の荷重ケースは、死荷重、活荷重及び地震時慣性力を考慮した。

解析モデル

上部工解析は、静的立体骨組弾性解析により実施した。

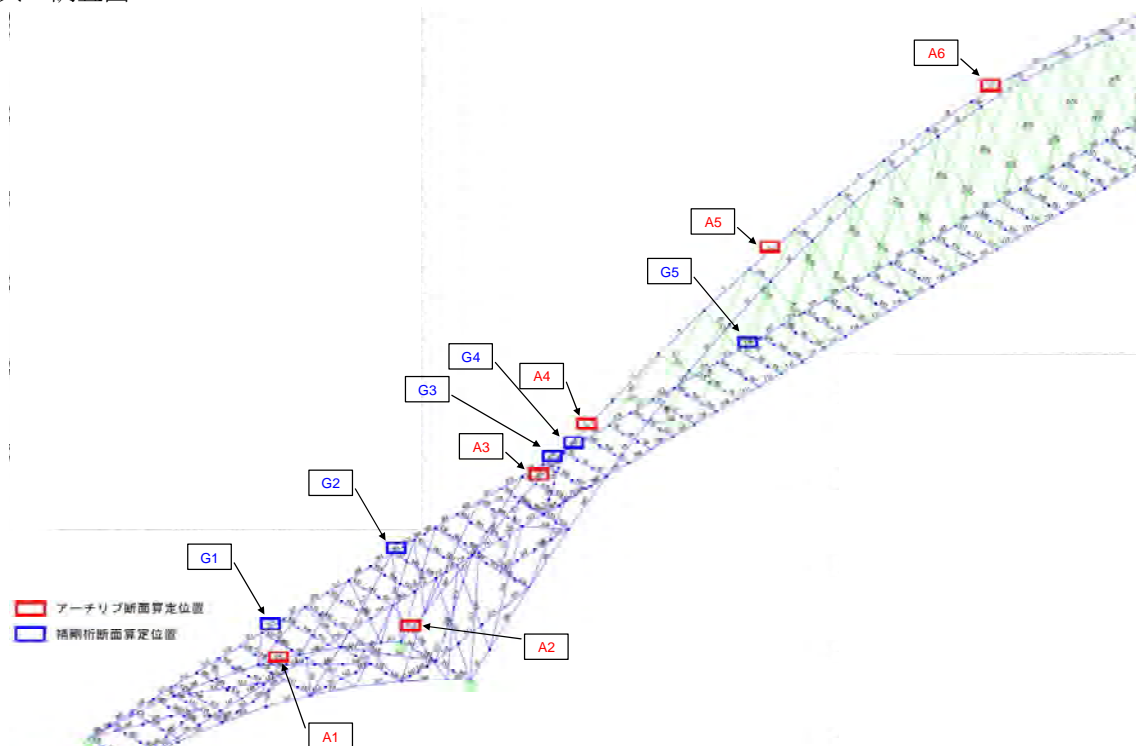
断面算定位置

表 12.3 に断面算定位置及び設定理由（第4パナマ運河橋主橋）、図 12.5 に断面算定位置図（第4パナマ運河橋主橋）、図 12.6 に断面図（第4パナマ運河橋主橋）を示す。

表 12.3 断面算定位置及び設定理由（第4パナマ運河橋主橋）

No.	部材	断面算定位置	設定理由
1	アーチリブ	A1	アーチ側径間の代表断面
2		A2	アーチ中央径間かつ基部-交差部間の代表断面
3		A3	交差部下側の局部断面
4		A4	交差部上側の局部断面
5		A5	アーチリブ中央径間4分の1点付近の代表断面
6		A6	アーチリブ頂部付近の代表断面
7	補剛桁	G1	A1に対応する補剛桁代表断面
8		G2	A2に対応する補剛桁代表断面
9		G3	A3に対応する補剛桁代表断面
10		G4	A4に対応する補剛桁代表断面
11		G5	交差部間では発生断面力がほぼ一様であるため、この区間全体の補剛桁代表断面として設定

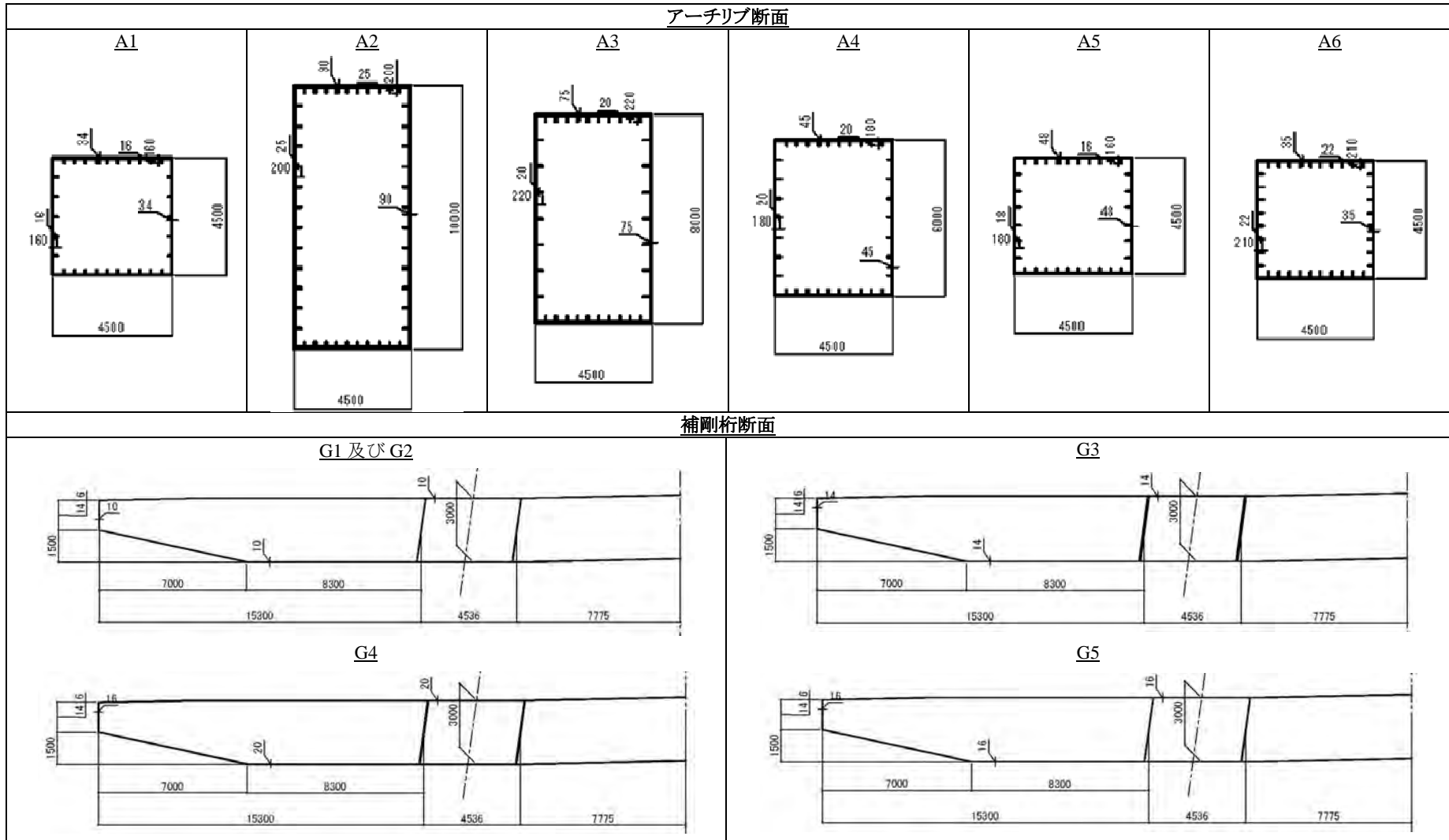
出典：調査団



出典：調査団

図 12.4 断面算定位置図（第4パナマ運河橋主橋）

-12-10-



出典：調査団

図 12.5 断面図（第 4 パナマ運河橋主橋）

v. 下部・基礎工設計

第4パナマ運河橋主橋の下部・基礎工設計の要点を以下に述べる。

計画方針

アーチリブ基部の橋脚

アーチリブ基部の橋脚は、鉛直反力のみでなく、アーチリブが剛結されていることにより生じるアーチリブからの水平力及び曲げモーメントに耐え得る中空鉄筋コンクリート構造とする。

端橋脚

端橋脚は、アーチ補剛桁の支点と隣接するアプローチ橋の支点双方の設置を考慮する。高橋脚であること及び橋軸直角方向の地震時の構造合理性確保の観点から、RC中空ラーメン橋脚とする。

地震時に柱基部に生じる曲げモーメントを低減するため、梁部材は軽量の鋼製梁とする。

アーチリブ基部および端橋脚の基礎構造（東側）

アーチリブ基部東側橋脚および東側端橋脚は陸上にあり、支持層（岩）は地表面より約14mと比較的浅いことから、最も安価となる直接基礎とする。

アーチリブ基部の基礎構造（西側）

アーチリブ基部西側橋脚基礎は水中への設置となり、支持層深度は河床より約15mとなる。アーチリブ基礎には大きな水平反力および曲げモーメントが作用するため、一般的な場所打ち杭基礎では大規模となりすぎ合理的でないことから、基礎形式としては高耐力・高剛性であるケーソン基礎または鋼管矢板井筒基礎（20.3.3章参照）が考えられる。

しかしケーソン基礎について検討した結果、平面規模が大きくなり現実的でないこと判断したことから、鋼管矢板井筒基礎を選定する。鋼管矢板井筒基礎は仮締切を兼用できるため、仮設構造の削減にも有効である。

端橋脚西側の基礎構造（西側）

端橋脚はアーチ基部に比べ作用する反力が小さいことから、パナマ国で一般的な場所打ち杭基礎とする。

設計条件

使用材料

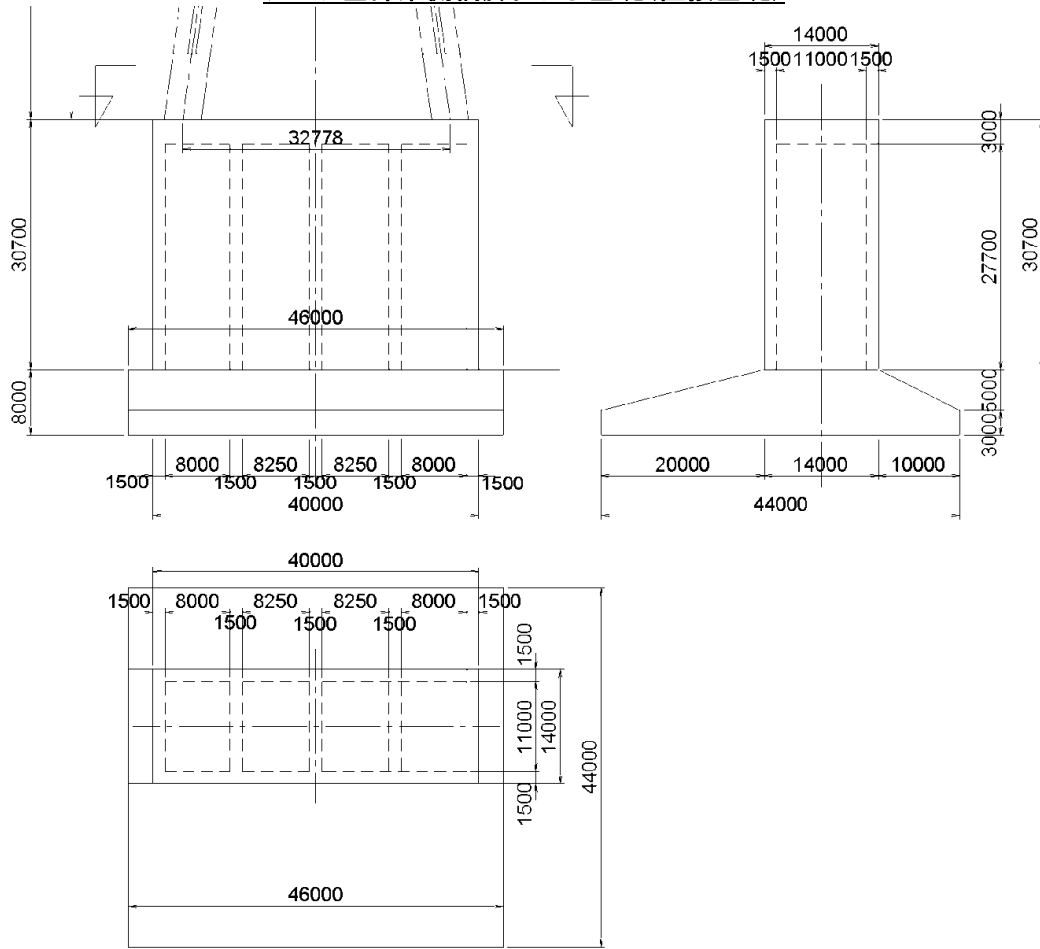
コンクリート設計基準強度：30MPa

鉄筋：SD345

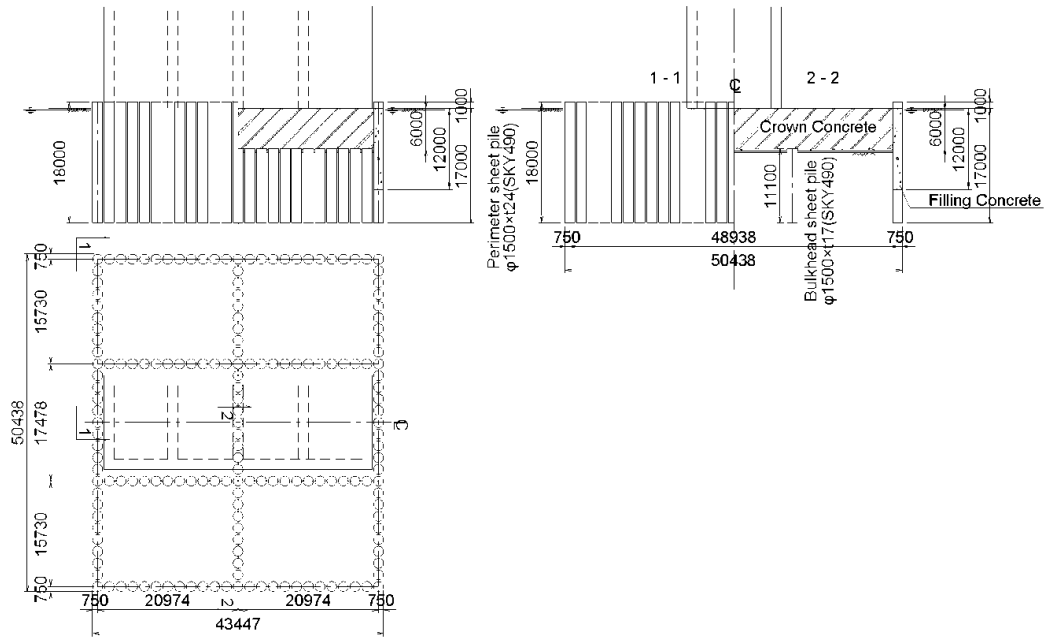
設計結果

図12.6に下部・基礎工設計結果（第4パナマ運河橋主橋）を示す。

アーチ基部東側橋脚および基礎（直接基礎）



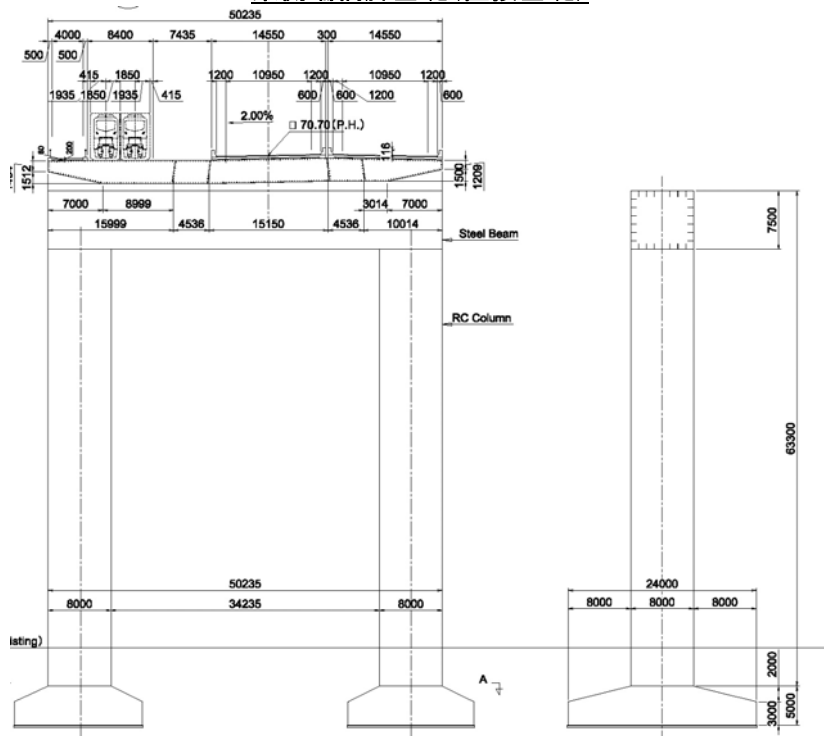
アーチ基部西側橋脚基礎（鋼管矢板井筒基礎）



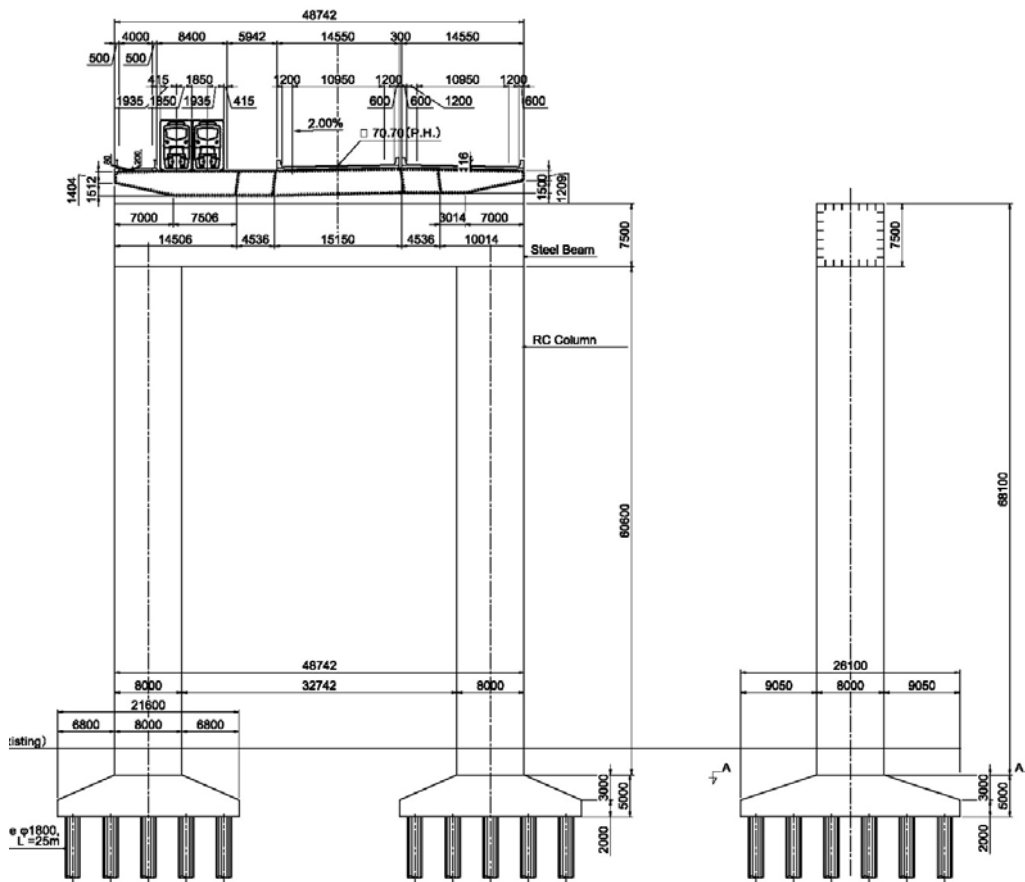
出典：調査団

図 12.6 下部・基礎工設計結果（第 4 パナマ運河橋主橋）（1/2）

東側端橋脚基礎(直接基礎)



西側端橋脚基礎(場所打ち杭基礎)



出典：調査団

図 12.6 下部・基礎工設計結果（第4パナマ運河橋主橋）(2/2)

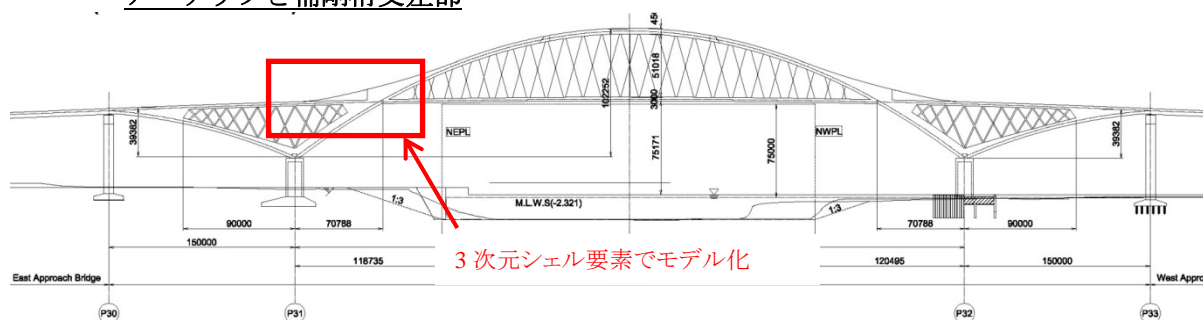
vi. 特殊構造部位解析

アーチリブと補剛桁交差部の FEM 解析を行った。

解析概要

本橋のアーチリブと補剛桁は剛接合のため、アーチリブの長期荷重時の軸力、地震荷重時の面外の曲げモーメントが補剛桁にも伝達し、交差部の応力伝達経路は複雑である。この交差部を対象とした3次元 FEM 解析を実施し、応力伝達の妥当性、応力集中箇所が降伏応力以下であるかについて検証した。

アーチリブと補剛桁交差部



出典：調査団

図 12.7 アーチリブと補剛桁交差部モデル化

解析条件

表 12.4 に解析条件を示す。

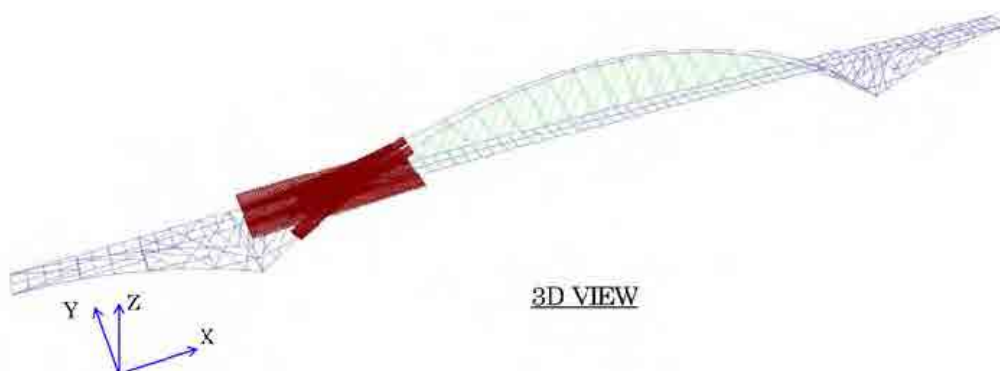
表 12.4 解析条件

項目	内容	
要素タイプ	3次元シェル要素、3次元線要素	
材料	弾性材料とし、ヤング係数 $2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 、ポアソン比 0.3 とする。	
モデル化範囲	全体（部分的に3次元シェル要素、P31 からスパン中央方向約 110m の範囲を3次元シェル要素でモデル化）	
作用荷重	全体解析モデル同様	
境界条件	3次元シェル要素と3次元線要素の境界に剛体をモデル化	
拘束条件	全体解析モデル同様、アーチリブ基部固定	
解析ケース	CASE 1	死荷重
	CASE 2	Y方向地震荷重
	CASE 3	死荷重+Y方向地震荷重

出典：調査団

解析モデル

図 12.8 に解析モデルを示す。



出典：調査団

図 12.8 解析モデル

解析結果

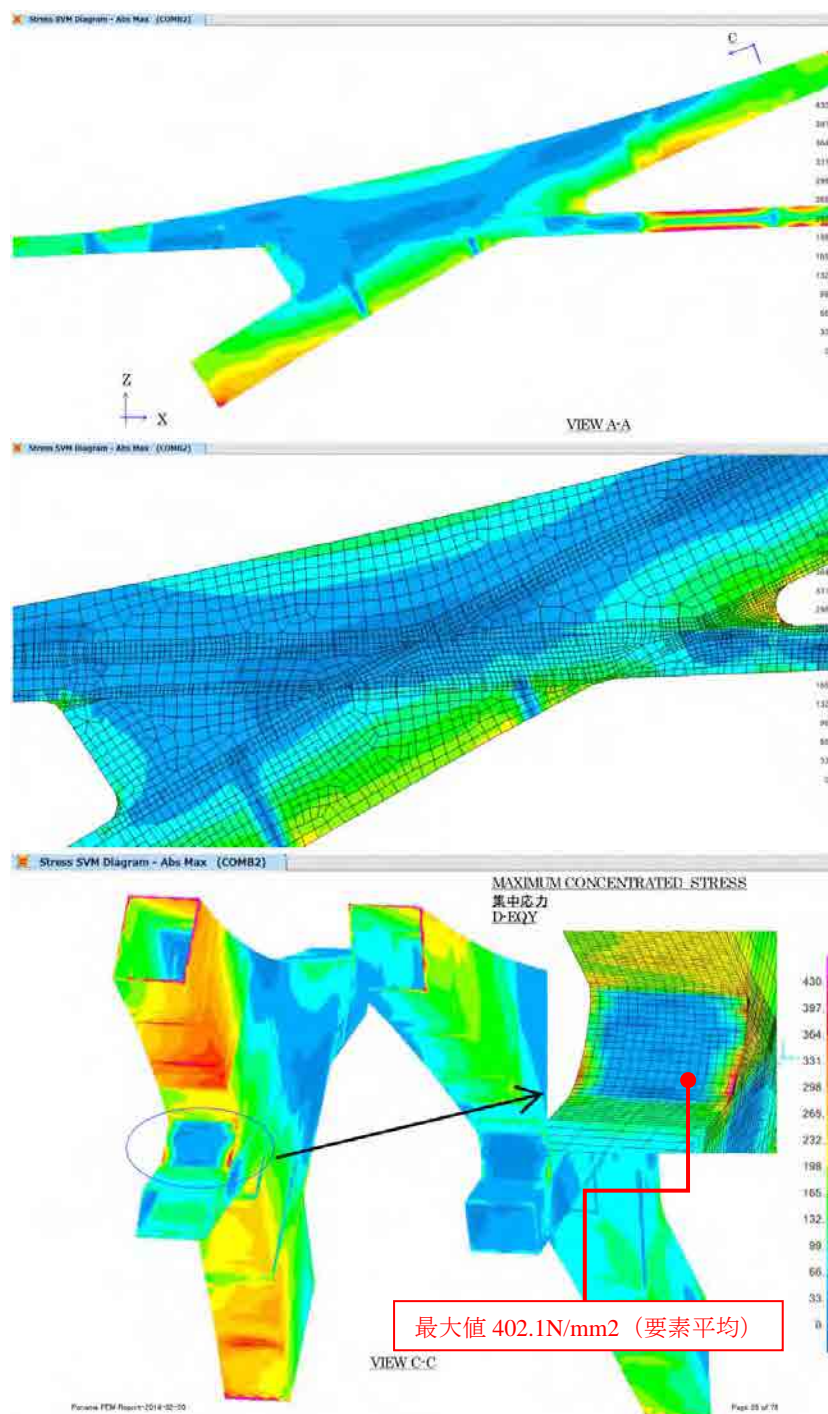
FEM 解析結果は、フォンミーゼス応力で判断する。

FEM 解析結果より、アーチリブと補剛桁交差部にあるフィレットに応力集中が見られる。

CASE 3（死荷重+Y 方向地震荷重）の場合、フィレットの応力集中箇所の最大値は、

402.1N/mm²（要素の平均値） < 500 N/mm²（SBHS500 の降伏点）

図 12.9 に FEM 解析結果（CASE 3：死荷重+Y 方向地震荷重）を示す。



出典：調査団
図 12.9 FEM 解析結果（CASE 3：死荷重+Y 方向地震荷重）

2) 取付橋

i. 計画・設計方針

第4パナマ運河橋取付橋の計画・設計方針の要点を以下に述べる。

上部工形式

上部工形式は、構造性及び経済性を鑑み、支間長毎に表12.5に示す形式を選定した。40m以下の橋梁形式については、パナマ国内で多く採用されているPC-I桁を採用する。40mを超える支間長については、鋼箱桁とPC箱桁で比較検討を行った。比較の結果、PC箱桁の工事費は鋼箱桁の1.34倍となり、経済的に劣るため、鋼箱桁を採用する。

表 12.5 支間長毎の橋梁形式（第4パナマ運河橋取付橋）

No.	支間長	上部工形式
1	40m 以下	PC-I 桁
2	40m 超	鋼箱桁

出典：調査団

下部工形式

橋台形式は、構造性と経済性を鑑み、標準的な形式として逆T式橋台を選定した。

橋脚形式は、メトロ3号線との一体・分離区間に分け、表12.6に示す形式を選定した。

表 12.6 支間長毎の橋梁形式（第4パナマ運河橋取付橋）

No.	メトロ3号線との一体・分離条件	橋脚形式
1	分離区間	張出橋脚
2	一体区間	ラーメン橋脚

出典：調査団

基礎工形式

基礎工形式は、地質調査結果より、起点側区間は、支持層が浅い区間（地盤から支持層までの距離7m以下）は直接基礎、支持層が深い区間パナマ国で一般的な場所打ち杭（φ1500）を選定した。終点側区間は、支持層が起点側区間に比べ深いため、場所打ち杭（φ1800）を選定した。

メトロ3号線の分岐・合流位置

メトロ3号線調査では、第4パナマ運河橋の前後にバルボア駅及びパナマ・パシフィコ駅を計画しており、両駅の駅舎高を基に、運転に支障を及ぼさない範囲で縦断線形を検討し、第4パナマ運河橋に計画高さが擦り付く位置を決めている。

表12.7に計画高さが擦り付く地点（メトロ3号線及び第4パナマ運河橋）を示す。

一方、本調査では、メトロ3号線の最大軌道桁長を50mに設定の上、同支間長を超えるアーチ橋及び鋼箱桁橋区間は一体区間、その他区間は分離区間とした。

表 12.7 計画高さが擦り付く地点（メトロ3号線及び第4パナマ運河橋）

No.	位置	測点(KM)
1	起点側	2+717
2	終点側	5+065

出典：調査団

ii. 橋長及び支間割

第4パナマ運河橋取付橋の橋長及び支間割の要点を以下に述べる。

橋台位置

橋台位置は、橋台高さが10m程度となる位置を選定した。

表12.8に橋台位置（第4パナマ運河橋取付橋）を示す。

表 12.8 橋台位置（第4パナマ運河橋取付橋）

No.	橋梁名	橋台名	測点
1	第4パナマ運河橋東側取付橋	A5 橋台	KM2+847
2	第4パナマ運河橋西側取付橋	A6 橋台	KM5+390

出典：調査団

橋長及び支間割

支間割は、以下の方針に従って決定した。

- 交差物件を避ける
- 経済性を踏まえ、橋脚高に応じて支間長を調整する

表12.9に橋脚高さ毎の最適支間長（第4パナマ運河橋取付橋）、表12.10に橋長及び支間割（第4パナマ運河橋取付橋）を示す。

表 12.9 橋脚高さ毎の最適支間長（第4パナマ運河橋取付橋）

No.	橋脚高さ	最適支間長(上部工形式)
1	30m 以下	40m(PC-I 桁)
2	30m 超～50m 以下	60m(鋼箱桁)
3	50m 超	100m(鋼箱桁)

出典：調査団

表 12.10 橋長及び支間割（第4パナマ運河橋取付橋）

No.	橋梁名	測点(KM)	橋長	支間割
1	第4パナマ運河橋東側取付橋	2+847～3+380	533m	43m+60m+50m+90m+2@100m+90m
2	第4パナマ運河橋西側取付橋	4+220～5+390	1,170m	90m+3@100m+80m+5@60m+40m+9@40m

出典：調査団

iii. 上部工設計

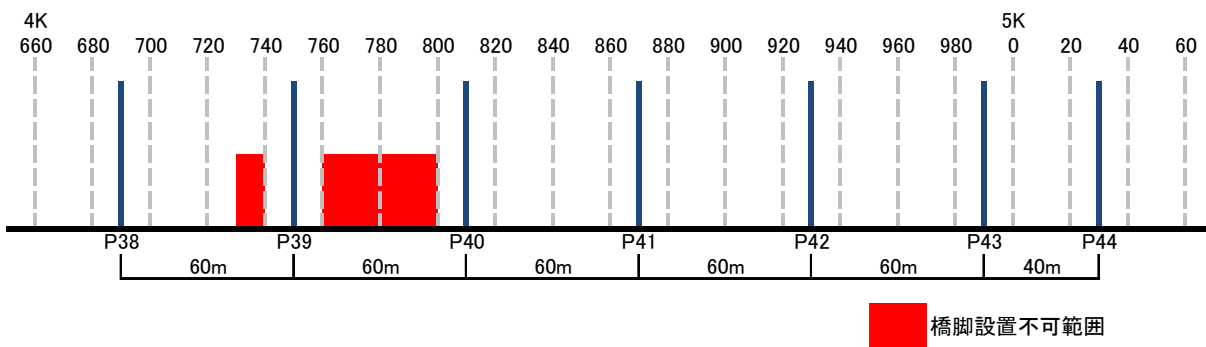
上部工は広幅員のため、経済的に優れる分離構造（車道（上下線）およびモノレール）とした。

図12.11に標準断面図（第4パナマ運河橋取付橋）を示す。

東側取付橋は、橋脚高さが30mまでは、最大支間長60mの鋼箱桁とし、30m以上となる区間は、最大支間長90mの鋼箱桁とした。また、下部工はモノレールと一体化する。

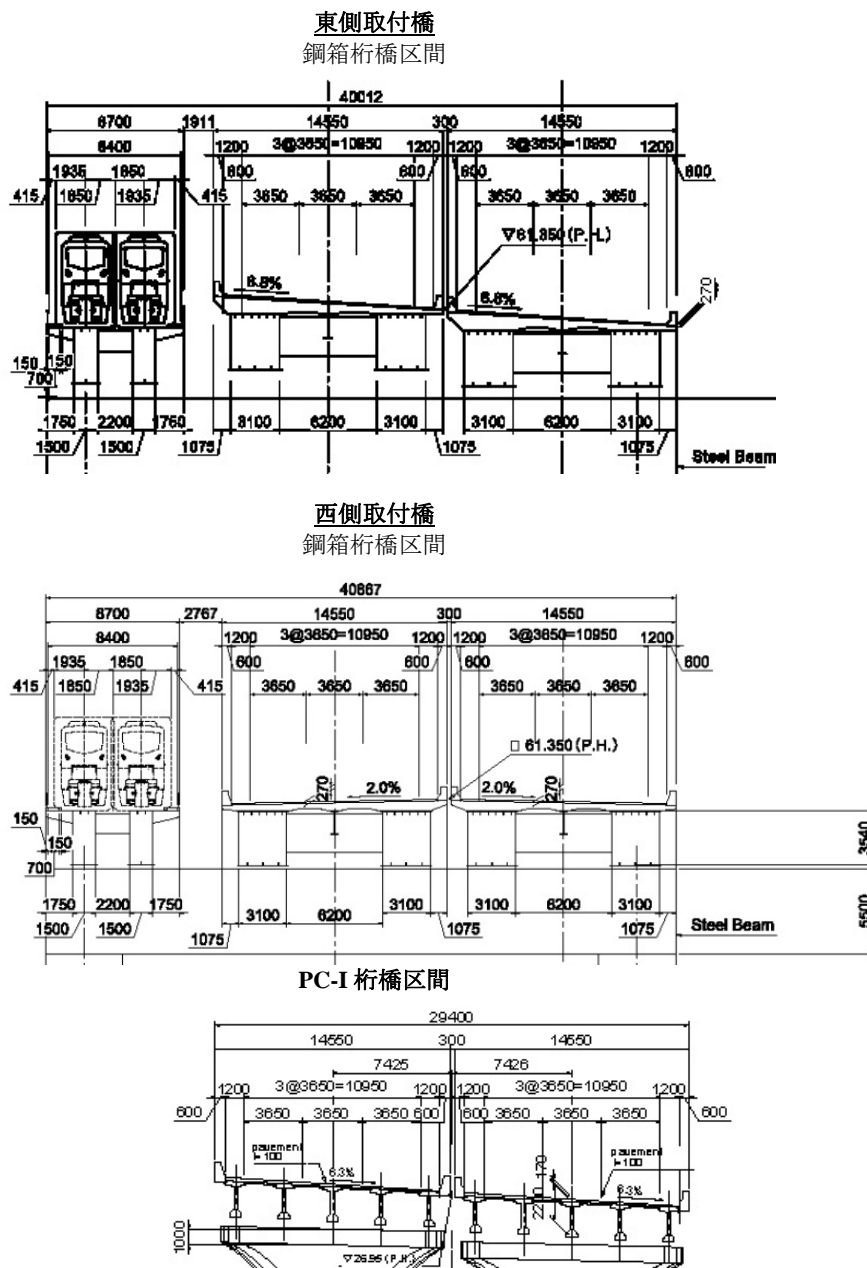
西側取付橋は、海上部区間（西側取付橋 No.1）の橋脚高さは、70m から 40m と高橋脚となるため、支間長 100m とする鋼箱桁とした。陸上部（西側取付橋 No.2）は、橋脚高さが 40m から 10m と変化するが、モノレールと一体化区間となる P44 橋脚までは、交差道路との関係より支間長 60m の鋼箱桁とする。それ以降となる分離（橋脚高さ 20m 以下）の区間（西側取付橋 No.3）は PC-I 桁を採用した。

西側取付橋 No.2 と交差物件との関係を図 12.10 に示す。



出典：調査団

図 12.10 西側取付橋 No.2 支間割計画



出典：調査団

図 12.11 標準断面図（第4パナマ運河橋取付橋）

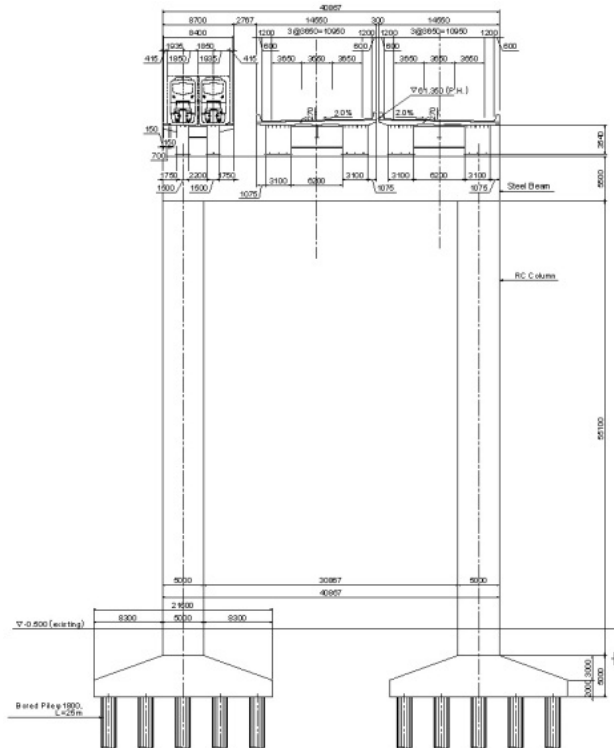
iv. 下部・基礎工設計

第4パナマ運河橋取付橋の下部・基礎工設計の要点を以下に述べる。

一体区間

メトロ3号線との一体区間は、下部工を一体構造とし、ラーメン式橋脚を選定した。

図12.12にラーメン式橋脚断面図（第4パナマ運河橋取付橋（一体区間））を示す。



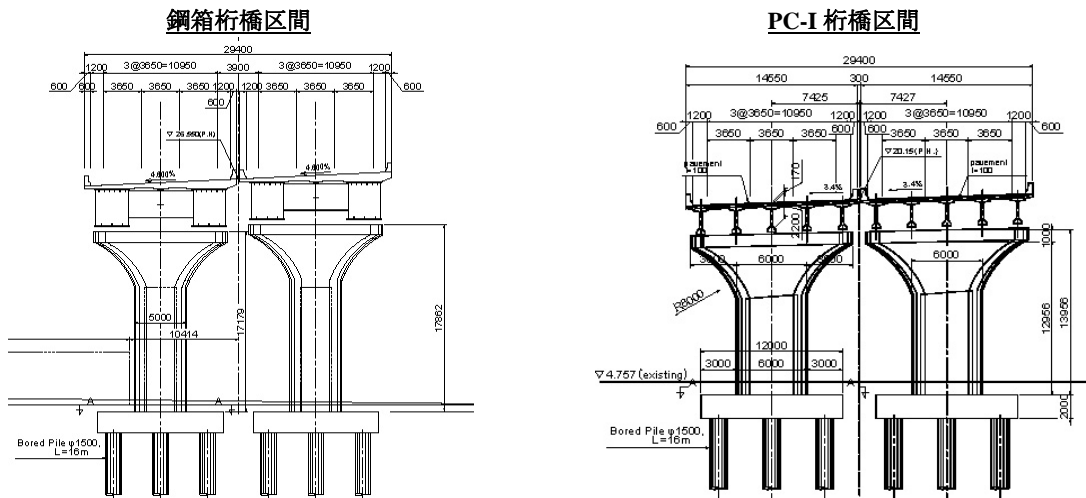
出典：調査団

図12.12 ラーメン式橋脚断面図（第4パナマ運河橋取付橋（一体区間））

分離区間

メトロ3号線との分離区間は、下部工を分離構造とし、張出式橋脚を選定した。

図12.13に張出式橋脚断面図（第4パナマ運河橋取付橋（分離区間））を示す。



出典：調査団

図12.13 張出式橋脚断面図（第4パナマ運河橋取付橋（分離区間））

(2) 跨道橋

1) 計画・設計方針

跨道橋の計画・設計方針は、第4パナマ運河橋取付橋と同様とした（12.5.1（1）2）i参照）。

2) 橋長及び支間割

跨道橋の橋長及び支間割の要点を以下に述べる。

橋台位置

橋台位置は、橋台高さが10m程度となる位置あるいは、交差物件を避ける位置に設定した。表12.11に橋台位置（跨道橋）を示す。

表 12.11 橋台位置（跨道橋）

No.	橋梁名	橋台名	測点
1	跨道橋 No.1	A1 橋台(上り線)	KM1+070
2		A1 橋台(下り線)	KM1+050
3		A2 橋台	KM1+570
4	跨道橋 No.2	A3 橋台	KM2+000
5		A4 橋台	KM2+740

出典：調査団

橋長及び支間割

支間割の方針は、第4パナマ運河橋取付橋と同様とした（12.5.1（1）2）ii参照）。

表12.12に橋長及び支間割（跨道橋）を示す。

表 12.12 橋長及び支間割（跨道橋）

No.	橋梁名	橋長	支間割
1	跨道橋 No.1(上り線)	500m	6@40m+2@50m+60m+2@50m
2	跨道橋 No.1(下り線)	520m	2@40m+30m+4@40m+50m+2@60m+45m+35m
3	跨道橋 No.2	740m	5@40m+2@30m+60m+4@90m+60m

出典：調査団

3) 上部工設計

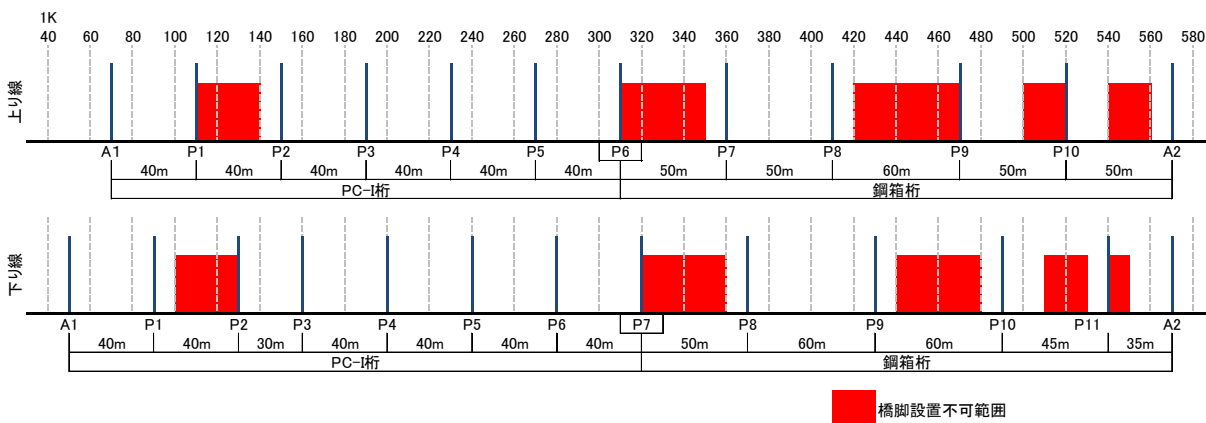
上部工は広幅員のため、経済的に優れる分離構造（車道（上下線））とした。

図12.17に標準断面図（跨道橋）を示す。

跨道橋 No.1 は、橋脚高さが低い、交差物件が多いため、下記の方針で橋梁形式を決定する。

- 上り線と下り線それぞれにおいて、支間割を決定する。
- 交差物件が少なく、橋脚設置不可範囲が狭い A1 橋台から KM1+320 付近までは、支間長 40m の PC-I 桁とし、交差物件が多く、橋脚設置不可範囲が広い 1K+320 付近から A2 橋台までは最大支間長 60m とする鋼箱桁とする。

跨道橋と交差物件との関係を図12.14に示す。

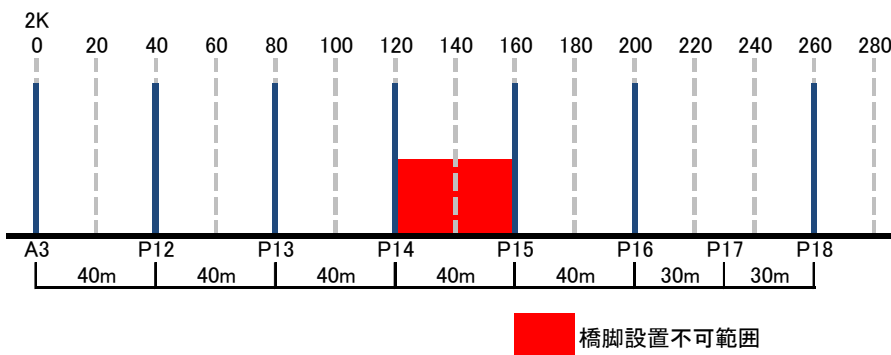


出典：調査団

図 12.14 跨道橋 No.1 支間割計画

跨道橋 No.2 は、2 種類に分け、交差物件の影響を比較的受けない区間を跨道橋 No.2-1 とし、PC-I 桁を採用した。交差物件の影響を受ける区間は、跨道橋 No.2-2 とし、鋼箱桁を採用した。

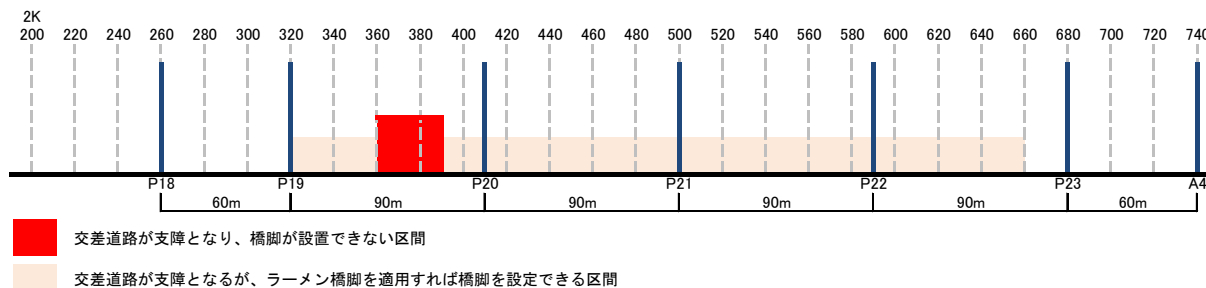
跨道橋 No.2-1 と交差物件との関係を図 12.15 に示す。交差物件としては、通信施設があるため、そこを避ける形で支間長 40m の PC-I 桁橋とした。



出典：調査団

図 12.15 跨道橋 No.2-1 支間割計画

跨道橋 No.2-2 と交差物件との関係を図 12.16 に示す。橋脚が設置できない範囲はわずかであるが、交差道路との交角が浅いため、この範囲に橋脚を設置する場合はラーメン橋脚となる。ラーメン橋脚となる延長は、320m となるため、この区間は支間長 90m の鋼箱桁とした。また、P20~P22 橋脚をラーメン橋脚とした。

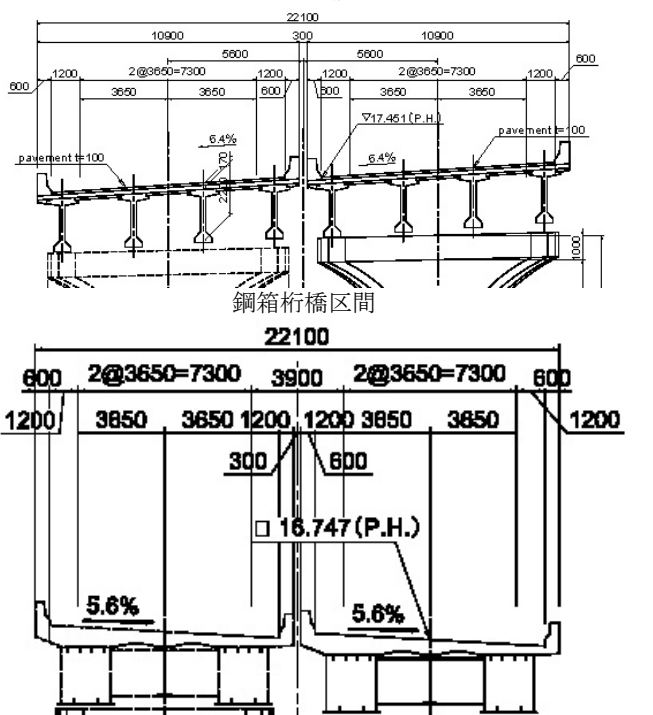


出典：調査団

図 12.16 跨道橋 No.2-2 支間割計画

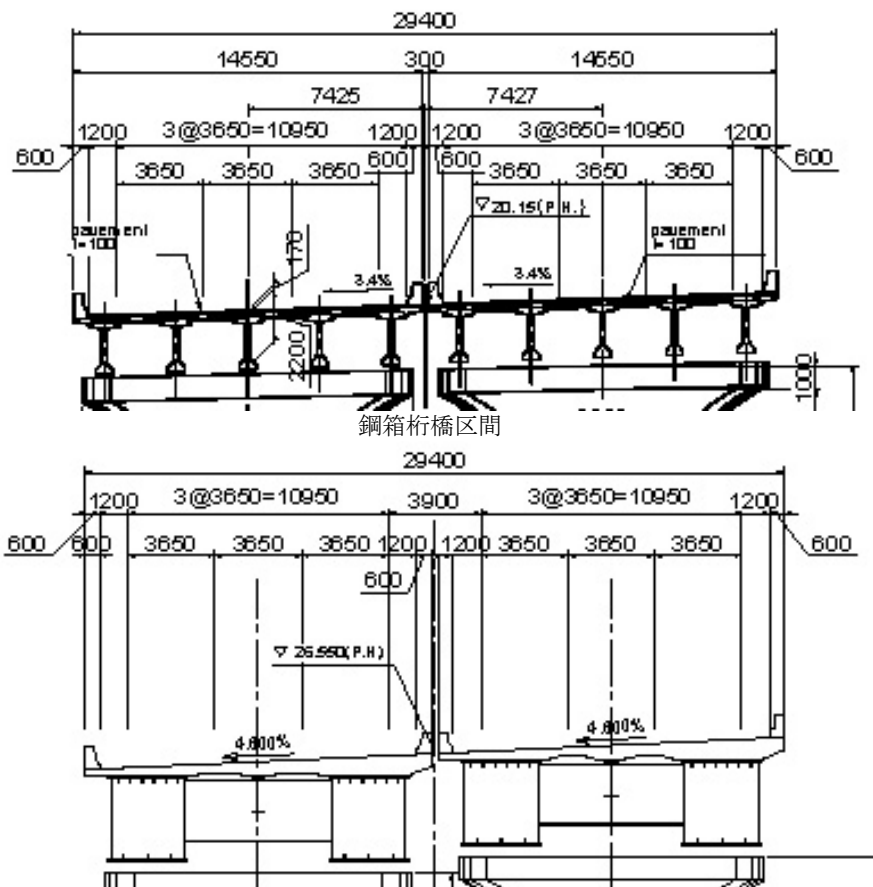
跨道橋 No.1

PC-I 桁橋



跨道橋 No.2

PC-I 桁橋区間



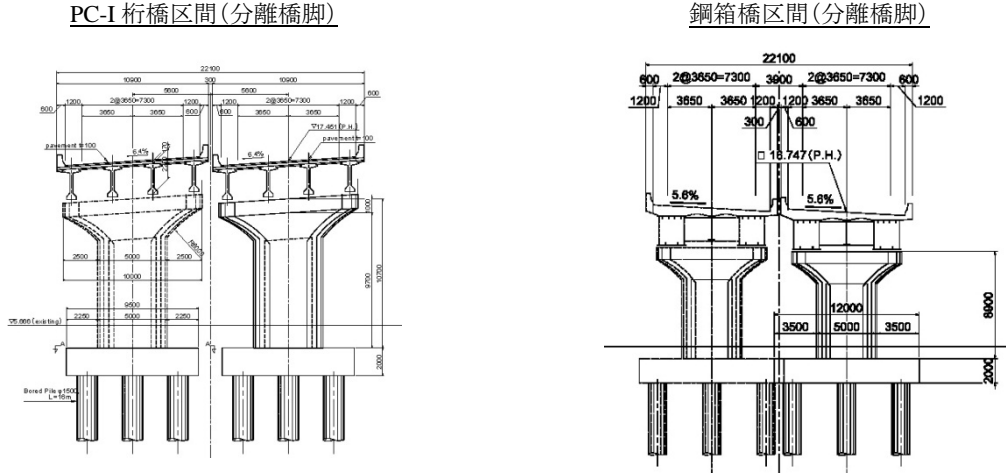
出典：調査団

図 12.17 標準断面図（跨道橋）

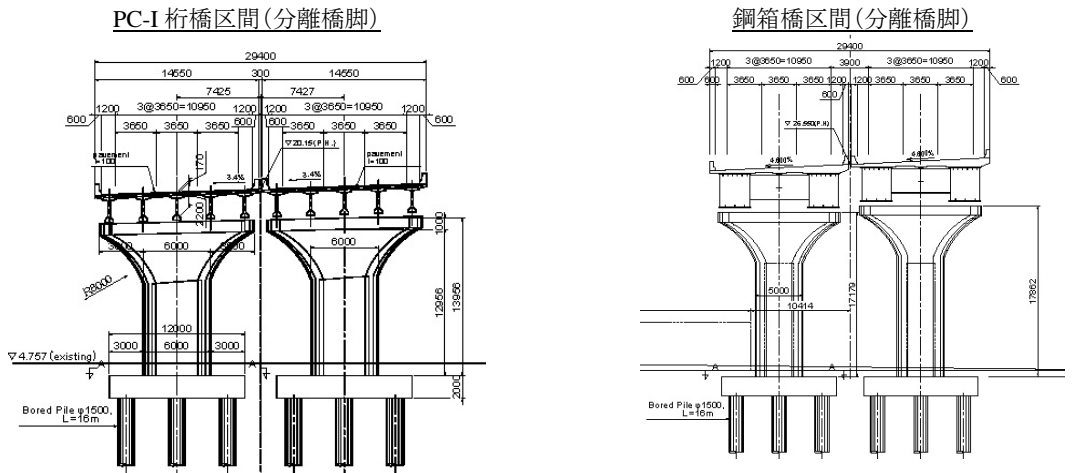
4) 下部・基礎工設計

跨道橋区間は、上下線をそれぞれの上部工を支えるため、下部工を分離構造とし、張出式橋脚を選定した。図 12.18 に張出式橋脚断面図（跨道橋）を示す。

跨道橋 No.1

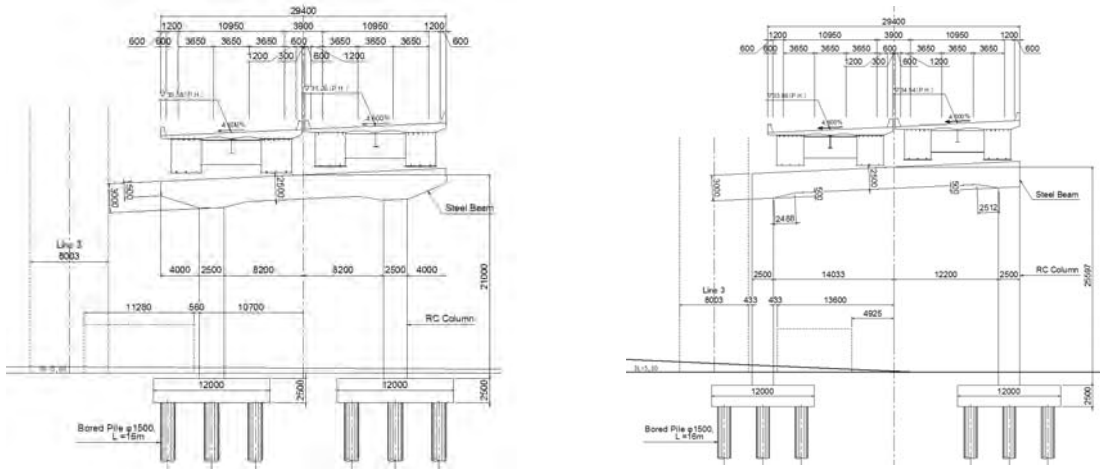


跨道橋 No.2



鋼箱橋区間（ラーメン橋脚その1 P20 橋脚）

鋼箱橋区間（ラーメン橋脚その2 P21,22 橋脚）



出典：調査団

図 12.18 張出式橋脚断面図（跨道橋）

12.5.2 アメリカ橋連絡道路橋

(1) 計画・設計方針

アメリカ橋連絡道路橋の計画・設計方針は、第4パナマ運河橋取付橋と同様とした(12.5.1 (1) 2) i 参照)。

(2) 支間割

アメリカ橋連絡道路橋の橋長及び支間割の要点を以下に述べる。

橋台位置

橋台位置は、橋台高さが10m程度となる位置を選定した。

表 12.13 に橋台位置（アメリカ橋連絡道路橋）を示す。

表 12.13 橋台位置（アメリカ橋連絡道路橋）

No.	橋梁名	橋台名	測点
1	アメリカ橋連絡道路橋	A1 橋台	KM0+520
2		A2 橋台	KM1+280

出典：調査団

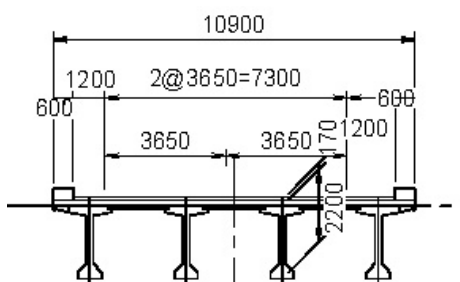
橋長及び支間割

支間割の方針は、第4パナマ運河橋取付橋と同様とし(12.5.1 (1) 2) ii 参照)、PC-I 桁橋を選定したが、径間数が19径間となるため、連続径間数を9径間+10径間に分けて計画した。従って、アメリカ橋連絡道路橋の橋長及び支間割は、9@40m+10@40m=760mとした。

(3) 上部工設計

アメリカ橋連絡道路橋の幅員（10.9m）は狭いため、上部工は1断面とした。

図 12.19 に標準断面図（アメリカ橋連絡道路橋）を示す。



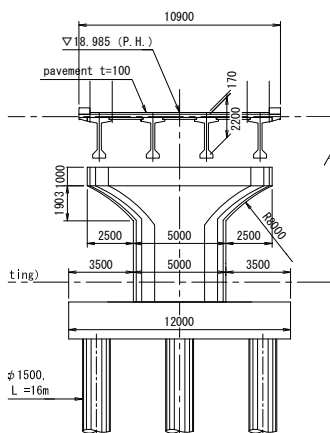
出典：調査団

図 12.19 標準断面図（アメリカ橋連絡道路橋）

(4) 下部・基礎工設計

アメリカ橋連絡道路橋の下部工は、一般的な形式として張出式橋脚を選定した。

図 12.20 に張出式橋脚断面図（アメリカ橋連絡道路橋）を示す。



出典：調査団

図 12.20 張出式橋脚断面図（アメリカ橋連絡道路橋）

12.6 付帯工計画・設計

橋梁に係る主な土木付帯工の計画・設計結果を以下に述べる。

機電に係る計画・設計については、第 13 章で述べる。

12.6.1 伸縮継手

伸縮継手は、移動量の大きさ及び橋梁形式により決定した。全ての橋梁において、移動量は 30mm 以上（最小 30mm、最大 380mm）となるため、荷重支持型を採用した。移動量が比較的大きいため、荷重支持型の内、鋼製フィンガージョイントを採用した。

表 12.14 に伸縮継手一覧表を示す。

表 12.14 伸縮継手一覧表

No.	路線	橋梁名		伸縮継手	位置(KM)	設計伸縮量(mm)
1	第 4 パナマ 運河橋	跨道橋 No.1	上り線	鋼製 フィンガージョイント	A1 橋台 : 1+070	-30~+84
					P6 橋脚 : 1+310	-30~+84
	下り線	A2 橋台 : 1+570	-30~+84			
		A1 橋台 : 1+050	-30~+84			
		P7 橋脚 : 1+320	-30~+84			
		A2 橋台 : 1+570	-30~+84			
2		跨道橋 No.2			A3 橋台 : 2+000	-16~+45
					P18 橋脚 : 2+260	-24~+67
					A4 橋台 : 2+740	-24~+67
3	第 4 パナマ 運河橋	跨道橋 No.1	東側取付橋		A5 橋台 : 2+847	-8~+22
			主橋		P26 橋脚 : 3+000	-8~+22
			西側取付橋		P30 橋脚 : 3+380	-189~+189
4					P33 橋脚 : 4+220	-189~+189
5					P38 橋脚 : 4+690	-67~+98
					A6 橋台 : 5+390	-18~+50
6	アメリカ橋 連絡道路	アメリカ橋 連絡道路橋			A1 橋台 : 0+520	-18~+50
					P9 橋脚 : 0+880	-38~+106
					A2 橋台 : 1+280	-20~+56

出典：調査団

12.6.2 支承

支承は、上部工形式及び施工方法により決定した。

表 12.15 に支承計画を示す。

表 12.15 支承計画

No.	上部工形式	支承	計画理由
1	PC-I 桁	ゴム支承 (パッドタイプ)	桁形式であり各桁端部に支承を設ける。 鉛直荷重規模より、パッドタイプのゴム支承を採用する。
2	鋼箱桁	ゴム支承 (地震時水平力分散型)	各橋脚に支承を設ける。 支承タイプはゴム支承を採用する。
3	アーチ	剛結/ゴム支承	アーチ基部は剛結とする。 端部支承はゴム支承を採用する。

出典：調査団

12.6.3 歩道

本調査では、P30～P33 橋脚間の南側（太平洋側）に展望デッキを目的とした歩道を敷設し、地上と歩道間の昇降は、P30 橋脚に設置するエレベータを使用する計画とした。

なお、歩道敷設については、安全管理及び経済性に着目し、詳細設計時に再度検討する。敷設無しの場合、削減される工事費は約 20 億円（含む昇降用エレベータ）と見積もる。

昇降用エレベータの計画については第 13 章で述べる。

12.6.4 検査路

- 縦断の低い橋梁区間は PC-I 桁のため、横桁を貫通させて検査路を設置できないが、高所作業車あるいは橋梁点検車にて検査が可能のため、検査路は設置しない。
- アーチ橋は、主要部材がすべて箱形状で形成されているため、箱内部を検査路とすることが可能である。
- 縦断が高く、1 断面あたり 3 箱桁となる鋼箱桁橋は、主桁は箱桁内部を通行することにより、点検は可能であるが、床版下面を点検することができない。したがって、床版下面の点検用の検査路を箱桁間に 1 条、横桁位置はマンホールを設置する。

12.6.5 塗装（耐候性鋼材）

鋼材はニッケル系高耐候性鋼材とし、塗装を併用することにより、景観性維持に加え、塗装が一部剥げた場合も耐候性鋼材が機能することにより、不定期な部分塗装が不要な計画である。

なお、架橋位置における耐候性鋼材の適応性については、現在、アメリカ橋位置でパッチテストおよび飛来塩分両調査を実施中であり、詳細設計時に再度検討する。

12.7 概略設計図面及び概算工事数量

橋梁設計に係る概略図面の作成及び概算工事数量の算出を行った。

上記資料は本編の付属資料 5 及び 7 に示す。

12.8 詳細設計への申し送り事項

詳細設計に向けて必要な調査、検討を以下に示す。

- 地質調査：橋脚位置直下での調査が必要。基礎幅が大きい場合は支持層の不陸調査のため1橋脚に複数箇所の調査が必要となる。
- 測量調査：深淺測量を含む。
- 風洞実験：補剛桁の2次元風洞実験および架設中最大張り出し時3次元風洞実験。
- 船舶衝突シミュレーション：航路外へ船舶が逸脱した場合のアーチ橋構造体に対する影響調査。
- 潮位・潮流調査：施工時の台船等航行計画のための調査。
- 道路線形：アプローチ橋部では、片勾配が急であり、支承高さやラーメン橋脚の梁の傾きが大きくなる箇所が生じるため、上下線それぞれにおいて道路線形を計画し、左右の高低差を少なくする検討が必要である。

第13章 設備設計

13.1 目的

本調査では、事業スコープの決定及び概算事業費の算出を目的とし、設備の概略設計、概略設計図面の作成及び概算工事数量の算出を実施した。

13.2 調査内容

設備概略設計では、以下の調査・計画、検討、設計を実施した。

- ・ 本事業に必要な設備の条件整理
- ・ メトロ3号線事業との調整
- ・ 設備計画の策定
- ・ 概略設計の実施（概算工事数量算出のために概略設計が必要な設備のみ実施）
- ・ 公共施設添架計画の策定（本事業対象外）
- ・ 既存設備移設計画の策定
- ・ 概略設計図面の作成
- ・ 概算工事数量の算出

なお、本調査では、オマール・トリホス交差点改良について、設計レベルをコンセプト・デザインに留めており（11.6章参照）、同交差点改良に係る設備設計は実施していない。

13.3 調査結果

13.3.1 本事業に必要な設備の条件整理

本調査では、パナマ国関係機関と協議を行い、本事業に必要な設備の条件を以下の通り整理した。

- ・ 一般道として道路・橋梁管理に必要な最低限の設備を設置する。
- ・ 道路とメトロ3号線が併用する構成であり、一部の設備で共用が可能であるが、運営管理・保守管理体制が異なるため、道路とメトロ3号線の設備の共用及び設置場所の共用は行わないこととする。
- ・ パナマの一般道における設備の管理及び保守は、ATTT（AUTORIDAD DEL TRASITO Y TRANSPORTE TERRESTRE）が担っている。本事業においても設備管理・保守はATTTが担うため、本事業固有の管理センターは設置しないものとする。ただし、ATTTが管理・保守を担う当該路線に設置される対象設備は、気象観測設備とCCTVとなるが、これらの設備の設置は本事業のスコープに含めるものとした。
- ・ 本事業固有の管理センターを設置しないため、ATTTが行っていない遠隔操作及び遠隔監視が必要な設備は設置しない。

13.3.2 メトロ3号線整備事業との調整

本事業では、運営管理・保守管理体制が異なること等の理由から、メトロ3号線と設備を共有しない計画とする。

ただし、道路用気象観測設備、情報板及びCCTVの配線・配管は、維持管理の容易性を加味し、メトロ3号線のケーブルラックを有効活用する計画とした。

表13.1にメトロ3号線との設備比較表、表13.2にメトロ3号線と設備を共有しない理由を示す。

表 13.1 メトロ3号線との設備比較表

No.	種別	設備機能	本事業	メトロ3号線	
1	照明設備	夜間での路面の明るさを確保	○	○	
2	電源設備	電源供給をする設備	○	○	
3	電気室	電源設備を設置	×	○	
4	信号機	利用者に危険を知らせる設備	×	○	
5	避雷設備	雷害防止の設備	○	○	
6	気象観測装置	気象状況を計測し、通行規制および通行止めの判断する設備	○	○	
7			雨量計	○	×
8			降水検知計	○	×
9			視程計	○	×
10			気温計	○	×
11			地震計	×	×
12	表示板	利用者に情報を提供する設備	○	×	
13	CCTV	事故や落下物を遠隔で監視する設備	○	○	
14	非常用連絡設備	停電時などにより一般電話が使用できないときに利用する無線設備	×	○	
15	エレベータ	地上部と橋梁部の移動設備	○	×	
16	遠方制御監視（管理センター）	遠隔地で操作や監視を行う場所	×	○	

出典：調査団

表 13.2 メトロ3号線と設備を共有しない理由

No.	設備	共用不可理由
1	照明設備	道路とメトロ3号線では必要照度が異なるため、共用できない。
2	電源設備	設備の共用は可能であるが、道路とメトロ3号線では保守・管理会社が異なるため、責任分界点や維持管理費・施設更新費用等のアロケーションの調整が難しい。
3	避雷設備	道路は各設備に避雷設備を設置し、メトロ3号線は線路全線に設置するため避雷設備の共用はできない。
4	気象観測装置	風向風速計のみ共用可能であるが、保守・管理会社が異なる。
5	CCTV	設備の共用は可能であるが、監視と操作をする管理者が異なるため共用しない

出典：調査団

13.3.3 設備計画

Pre-F/Sでは、管理者が駐在する管理センターから設備を管理する方法を前提としており、遠隔操作・監視に必要な設備が計画されている。本調査では、関連機関との調整結果から、管理者が駐在する管理センターは設置せず、一般道として必要な最低限の設備を整備するものとして設備計画を策定した。また、設備に必要な電力供給方法は、電気室を設置せず、屋外キュービクルで対応する計画とした。

表13.3に必要な設備一覧表を示す。

表 13.3 必要な設備一覧表

No.	種別	設備	設備機能	設置場所
1	電気設備	照明設備	道路照明	道路全線
2		障害灯	航空障害灯	橋梁の位置を航空機に示す設備
3			航路障害灯	船舶に橋脚の位置を示す設備
4		ライトアップ	景観用照明	第4パナマ運河橋
5		電源設備	電源を供給する設備	土工部（3地点）
6		落雷対策	避雷設備	雷害防止の設備
7	通信設備	気象観測装置	風向風速計	橋梁上の風速値を計測
8			雨量計	橋梁上の降水量を計測
9			降水検知器	橋梁上の降水の開始と終了を計測
10			視程計	橋梁上の霧を計測
11			気温計	橋梁上の気温を計測
12		CCTV	道路状況を監視	道路最頂部、 第4パナマ運河橋橋梁出入口
13	機械設備	エレベータ	地上部と橋梁部の移動設備	第4パナマ運河橋橋梁歩道出入口

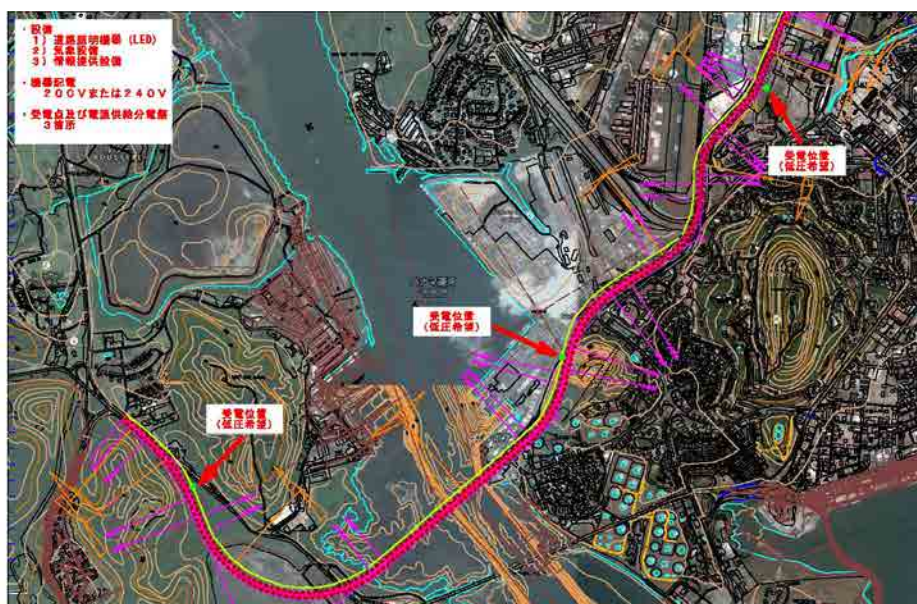
出典：調査団

13.3.4 概略設計

本調査では、概算工事数量算出のために、照明設備及び気象観測設備の概略設計を実施した。照明設備は道路及び橋梁を適切な明るさで確保する必要があるため、本調査で計画した土木施設の構造を踏まえ、適切な照明器具の配置を計画した。また、橋梁の気象状況を走行車両に注意喚起するために、パナマの気象状況を考慮の上、必要な気象観測装置を選定した。

(1) 照明設備

本調査では、対象路線全線を連続照明とする計画とした。照明設備については、CIE 132-1999:DESIGN METHODS FOR LIGHTING OF ROADS を設計基準として適用の上、照明計算により灯具数を算出した。照明光源には、消費電力および維持管理費の面で優位なLEDランプを採用するものとして計画とした。一方、照明設備に給電を行う電源設備には屋外型キュービクルを使用するものとし、本事業では図13.1に示す3箇所にて受電を行うものとした。

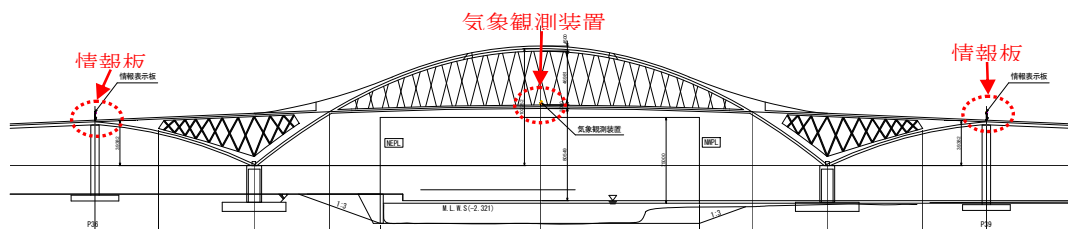


出典：調査団

図 13.1 受電設備の設置位置

(2) 気象観測設備

気象観測設備は、設置した箇所の気象状況を計測し災害の防止や今後の予測に利用される。本事業では、橋梁上の気象状況を計測し通行車両に大雨、強風などの危険情報を提供する設備である。関係機関との協議の結果、橋梁の気象状況を通行車両に注意喚起する気象観測設備と情報表示板を設置する計画とした。図 13.2 に気象観測装置の設置位置を示す。



出典：調査団

図 13.2 気象観測設備の設置位置

13.3.5 公共施設添架計画（本事業対象外）

本調査では、給水管、高圧線及び通信線の添架計画を策定した。ただし、これら公共設備の添架は各事業者が担うため、本事業のスコップは、配置スペースの確保及び架台の設置までとした。表 13.4 に公共設備添架物一覧を示す。

表 13.4 公共設備添架物一覧

No.	種類	用途	本数	総サイズ インチ（センチ）	配管種別
1	給水管	飲料水	1	18 (45.72)	PVC
2	高圧線	一般電力供給	24	6 (15.24)	HDPE
3	通信線	電話、インターネット	6	4 (10.16)	HDPE

出典：ACP

13.3.6 既存設備移設計画

本事業対象エリアに位置し、移設が必要となる可能性のある既存設備について、関連機関と確認協議を行い、その内容について把握を行った。表 13.5 に事業対象エリア内の既存設備の一覧を示す。

表 13.5 事業対象エリア内の既存設備一覧

No.	設備	事業用地内の設置の有無	管理企業
既存設備（地上施設）			
1	通信センター	有	ACP
2	冷却配水施設	無	ACP
3	変電所	無	ACP
4	高圧送電鉄塔	有	ACP
5	海上交通管制棟	無	ACP
6	機械保守工場	有	ACP
7	オイルタンク	無	ACP
既存設備（地下埋設物）			
8	電力線	有（ACP 所有）	ACP, Gas Natural fenosa,
9	水道管	有（ACP 所有）	ACP, IDAAN
10	排水管	有（ACP 所有）	ACP, IDAAN
11	通信線	有（ACP 所有）	ACP, Cable Onda, Cable and Wireless
12	冷却配水管	有（ACP 所有）	ACP
13	ガスライン	無	ACP
14	オイルライン	無	ACP

出典：各事業者

既存地上施設のうち、本事業が与える影響が最も大きい施設は、バルボア駅付近に敷設されている送電線及び送電線鉄塔であり、第4パナマ運河橋の施工時に移設が必要となる。当該施設については、電力会社と協議した結果、現在の架空敷設から埋設敷設へ変更する計画とした。また、この他の地上施設としては、機械保守工場が移設対象となる。既存地下埋設物については、Chill Water Plant に接続されている埋設配水管、水道管/排水管、電力線管および通信線管が道路・モノレールのピア基礎の支障となる。これらの地下埋設物については、支障となる最小区間のみ切り回し・移設を実施する計画とした。

なお、本調査では、オマール・トリホス交差点改良について、コンセプト・デザインレベルの設計に留めているため、同交差点改良に係る移設計画は策定していない。

13.3.7 概略設計図面および概算工事数量

設備設計に係る概略設計図面は、概算事業費を算出するために概略設計が必要な以下設備について作成を行った。

- ・ 照明設備
- ・ 気象観測設備

また、各種設備の整備に必要な概算工事数量の算定を実施した。概略設計図面および概算工事数量は報告書本編の付属資料に付した。

13.4 まとめ

本事業に必要な設備に係る計画・概略設計を実施した。

なお、以下の設備計画については、詳細設計段階において再度確認する必要がある。

- ・ 低位置照明の採用検討
- ・ CCTV および気象観測路側設備と ATTT 中央監視制御システムの接続方法
- ・ ライトアップ照明の採用検討
- ・ エレベータ設備の導入計画

また、本調査では、オマール・トリホス交差点改良について、コンセプト・デザインレベルの設計に留めているため、同交差点改良に係る移設計画は策定していない。従って、今後、パナマ側が同交差点の概略設計を実施する際に同交差点改良の移設計画を策定する必要がある。

第14章 概略運営維持管理計画

14.1 目的

概算運営維持管理費を算出するために、本事業開通後の概略運営維持管理計画を検討した。

14.2 調査内容

概略運営維持管理計画について、以下の検討を実施した。

- 概略運営維持管理計画の検討
- 概略運営維持管理体制の検討
- 概略維持管理計画の策定

なお、本事業には道路・鉄道併用橋が含まれているため、概略運営維持管理計画の策定に際しては、異なる事業者が効率的に運営維持管理を行える様、配慮した。

14.3 調査結果

14.3.1 概要

本事業の対象路線は一般道であるため、料金の徴収は行わないことを前提とした。また、本事業とメトロ3号線は、事業者が異なるため、運営維持管理は個別に行う計画とした。本事業の土木施設に係る維持管理主体はMOP（公共事業省）、交通管理はATTT（陸運局）、設備保守は関連機関が各々担う計画とした。

表 14.1 に関連事業者及び管理範囲、表 14.2 に本事業の設備運営維持管理者を示す。

表 14.1 関連事業者及び管理範囲

No.	事業種別	管理範囲	事業者
1	第4パナマ運河橋	橋梁施設管理	公共事業省（MOP）
2		メトロ3号線管理	メトロ庁（SMP）
3		道路交通管理	陸運局（ATTT）
4	その他道路 ¹⁾	道路交通管理	陸運局（ATTT）
5	パナマ運河	航路、港湾管理	パナマ運河庁（ACP）
6	アルブルック空港	空港管理	航空局（ACC）
7	施設全般	事故、災害対応	警察、消防、救急
8	エレベータ	緊急連絡対応	エレベータ保守業者

1) 東側連結側道、アメリカ橋取付道路、オマール・トリホス交差点、西側接続道路

出典：各事業者

表 14.2 設備運営維持管理者

No.	種別	設備名	管理者
1	電気設備	橋梁照明	民間電力会社（Gas Natural fenosa）
2		道路照明	民間電力会社（Gas Natural fenosa）
3		航空障害灯	公共事業省（MOP）
4		航路障害灯	運河庁（ACP）
5		ライトアップ	公共事業省（MOP）
6		電源設備（照明用）	民間電力会社（Gas Natural fenosa）
7	通信設備	風向風速計	陸運局（ATTT）
8		雨量計	
9		降水検知器	
10		視程計	
11		気温計	
12		CCTV	
13	機械設備	エレベータ	公共事業省（MOP）

出典：調査団

14.3.2 概略運営維持管理計画の検討

(1) 整備計画

本事業は、以下の道路から構成されている。

- 第4パナマ運河橋（東西取付道路を含む）
- 東側連結側道
- アメリカ橋取付道路（西側）
- オマール・トリホス交差点
- 西側接続道路（追加ランプ X（将来）を除く）

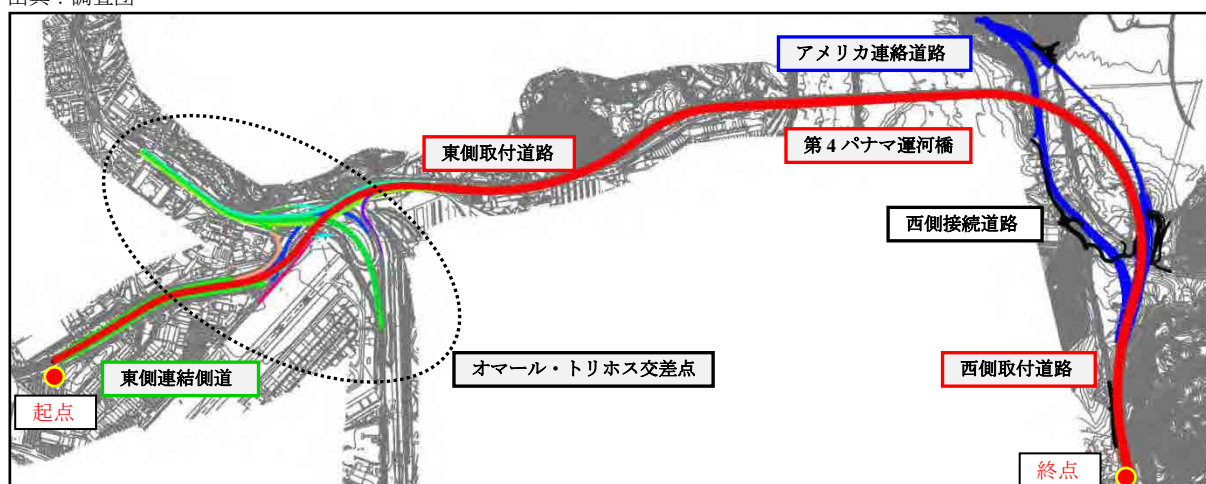
表 14.3 に本事業の概要（工事対象範囲）、図 14.1 に本事業の路線図を示す。

表 14.3 本事業の対象工事範囲

No.	路線	区分	区間	本事業の対象工事範囲	
1	第4パナマ運河橋 (新設工事)	全体		道路延長:6,720.212m 車線数:6車線(2×3車線) (起点~Omar Torrijos 交差点:4車線(2×2車線))	
		内訳	土木	東側取付道路	道路延長:2,867.975m
				第4パナマ運河橋	道路延長:2,543m
			設備	全線	電気、通信及び機械設備一式
2	東側連結側道 (新設工事)	全体		道路延長:1,025.19m、車線数:2車線	
		内訳	土木	追加ランプ	Onランプ, Offランプ
		設備	全線	電気設備(道路照明)	
3	アメリカ橋連絡道路 (改修工事)	全体		道路延長:3,170.4m、車線数:4車線(2×2車線)	
		内訳	土木	西側上下線	西側上下線改修
		設備	全線	電気設備(道路照明)	
4	オマール・トリホス交差点 (改良工事)	全体		道路延長:5,690m 車線数:ランプ1方向1車線または2車線 アンダーパス:4車線(2×2車線)	
		内訳	土木	追加ランプ	土工、跨道橋 ¹⁾ 、アンダーパス
				既存ランドアバウト	既存ランドアバウトの拡幅
			設備	全線	電気設備(道路照明)
			アンダーパス区間	機械設備(排水ポンプ)	
5	西側既存道路接続ランプ ²⁾ (改修工事)	全体		道路延長:1,130m、車線数:1方向2車線	
		内訳	土木	追加ランプ	追加ランプ Y 及び a~i
		設備	全線	電気設備(道路照明)	

1) 現時点の想定、2) 追加ランプ X（将来）を除く

出典：調査団



出典：調査団

図 14.1 本事業の路線図

(2) 運営維持管理区分

本事業の対象路線は、道路、メトロ3号線、一般公共物（水道、電力、通信）等、事業が多岐に渡るため、運営維持管理については事業者毎に担う計画とした。

(3) 運営維持管理主体

対象路線は一般道であり、運営維持管理の主体は公共事業省（Ministerio de Obras Publicas）となるが、他の一般道と同様、他の事業者及び外部委託による対応とする。

なお、長期的に運営を行っていくためには、本事業用の作業手順を示した基準などを作成することが望ましい。外部に委託・業務内容を理解させる上でも基準の存在は意義があると考えられる。

(4) 運営方法

1) 料金

道路種別が都市部幹線道路（一般道）であるため、料金徴収を行わない計画とした。

2) 交通管理

本事業の対象路線は、一般道として交通管理を実施する。運営維持管理主体は公共事業省（Ministerio de Obras Publicas）であるが、一般道の交通管理は全て陸運局（ATTT）が実施する。

交通管理において、パナマでは異常気象（風、雨、霧）時における通行規制は行っておらず、通行規制を行う種類、規制基準値を決める必要がある。

また、車両通行規制（高さ・幅・重量・搭載物）および工事規制についても、今後通行規制を実施するか否か、確認が必要である。

3) 施設管理

i. 土木施設・設備

施設の維持管理には、一般的に巡回、維持、点検、保守・修理、管理事務、相談窓口等の業務がある。本対象道路では全ての維持管理業務が必要となるが、特に点検・補修は専門の技術が必要となり、管理者である公共事業省には専門の技術部門がないため、全ての維持管理を外部委託する計画とする。

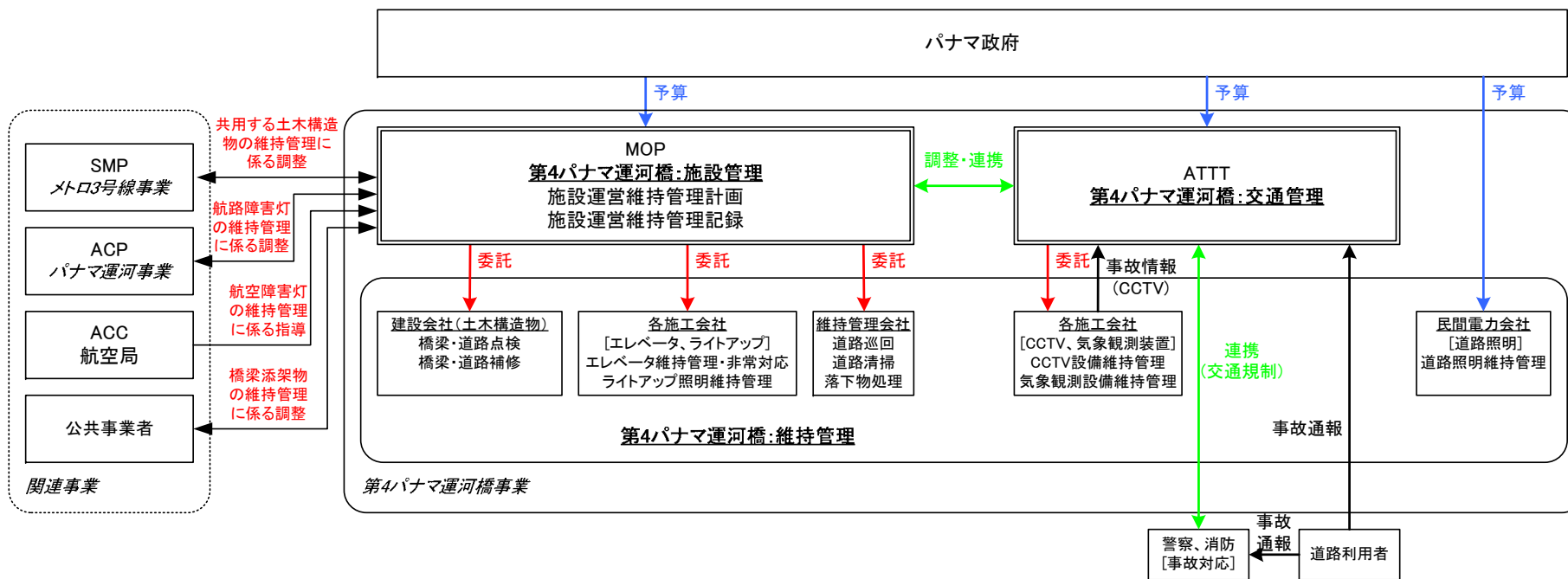
設備の維持管理においては、定期点検を行い、必要に応じて緊急修理、更新時期の時期を計画の上、一定以上の機能維持を保つ必要がある。

ii. 公共設備

本事業では、公共設備として給水管、高圧線及び通信線の添架が求められているが、運営維持管理は各事業者で行うこととする。

14.3.3 概略運営維持管理体制

図 14.2 に本事業の運営維持管理体制図を示す。



出典：調査団

図 14.2 本事業の運営維持管理体制図

14.3.4 概略維持管理計画

本調査における設計結果に基づき、本事業の概略維持管理計画を策定した。

(1) 土木施設

表 14.4 に本事業の概略維持管理計画（土木施設）を示す。

表 14.4 本事業の概略維持管理計画（土木施設）

No.	分類	対象施設	仕様	補修方法	頻度(年)		
1	共通	路面標示	白	再塗替	10		
2		標識	F型、単柱式	取替	10		
3	道路	舗装（車道）	コンクリート	打ち替え、オーバーレイ	30		
4		舗装（路肩）	表層、密粒度アスファルト	舗装削除、オーバーレイ	10		
5		補強土盛土	補強土擁壁	壁面材取替	50		
6		斜面保護	モルタル吹付	再施工	20		
7		盛土法面	植生	法面整形、種子散布	20		
8		側溝、排水枡	コンクリート	取替	15		
9		ガードレール	たわみ性防護柵	部分修復	10		
10		橋梁	共通	壁高欄	コンクリート	取替	100
11				舗装（表層）	密粒度アスファルト	舗装削除、オーバーレイ	10
12	舗装（基層・防水層）			密粒度アスファルト	舗装削除、オーバーレイ	30	
13	舗装（歩道）			アスファルト	舗装削除、オーバーレイ	30	
14	排水枡			鋼製	取替	50	
15	付属物（部分補修）			—	清掃、パッチング、断面修復	5	
16	アーチ橋			塗装	C-5相当	ケレン、塗替	40
17				塗装（部分塗装）	C-5、D-5相当	ケレン、塗替	15
18				塗装塗替足場	—	—	40
19			ケーブル	PWS	取替	100	
20			床版	RC床版	取替	100	
21			床版（部分補修）	RC床版	断面修復	15	
22			支承	ゴム支承	取替	100	
23			伸縮装置	鋼製	取替	40	
24			下部工（部分補修）	RC	断面修復	10	
25			鋼箱桁橋	塗装	C-5相当	ケレン、塗替	40
26				塗装（部分塗装）	C-5、D-5相当	ケレン、塗替	15
27				塗装塗替足場	—	—	40
28	床版			RC床版	取替	100	
29	床版（部分補修）			RC床版	断面修復	15	
30	支承			ゴム支承	取替	100	
31	伸縮装置			鋼製	取替	40	
32	下部工（部分補修）			RC	断面修復	10	
33	PC-I桁橋			主桁	PC	断面修復	15
34				支承	ゴム支承	取替	100
35				伸縮装置	鋼製	取替	40
36				下部工（部分補修）	RC	断面修復	10

出典：調査団

(2) 設備

表 14.5 に本事業の概略維持管理計画（設備）を示す。

表 14.5 本事業の概略維持管理計画（設備）

No.	項目	点検項目	点検頻度	更新頻度
1	照明設備	ポール照明	・照明ポールの劣化状況 ・消費電力の確認 ・清掃	2回/年 照明ポール：1回/30年 LEDランプ：1回/15年
2		アンダーパス照明	・照明器具劣化状況 ・消費電力の確認 ・配管・配線劣化状況 ・清掃	2回/年 1回/30年：照明器具 1回/15年：LEDランプ
3		航空障害灯	・制御部劣化状況 ・太陽電池劣化状況	2回/年 1回/10年：太陽電池 1回/15年：制御盤
4		航路障害灯	・制御部劣化状況 ・太陽電池劣化状況	2回/年 1回/10年：太陽電池 1回/15年：制御盤
5	電源設備	ライトアップ	・取付金具劣化状況 ※ランプ交換は故障時に対応	2回/年 1回/30年：取付金具 1回/15年：LEDランプ
6		屋外配電盤	・電圧測定 ・内部機器劣化状況 ・配管・配線劣化状況	1回/年 1回/30年
7	通信設備	気象観測設備	・計測部の機能確認 ・表示装置の劣化状況 ・配管・配線劣化状況	2回/年 1回/20年：気象観測設備 1回/30年：ポール 1回/15年：計測機器
8		情報表示板	・計測部の機能確認 ・表示装置の劣化状況 ・配管・配線劣化状況	2回/年 1回/15年：情報板 1回/30年：ポール
9		CCTV	・計測部の機能確認 ・表示装置の劣化状況 ・配管・配線劣化状況	2回/年 1回/10年：CCTVカメラ 1回/30年：ポール 1回/20年：光ケーブル
10	機械設備	エレベータ設備	・昇降器の機能確認 ・非常用発電機の確認 ・ワイヤー劣化状況 ・非常用連絡装置の確認 ・表示装置の点滅状況	2回/年 1回/20年：エレベータ装置 1回/50年：シャフト 1回/15年：駆動装置
11		排水ポンプ	・ポンプ設備の機能確認 ・ポンプ槽の確認 ・ポンプ制御装置の機能確認 ・清掃	1回/年 1回/30年：

出典：調査団

(3) 環境モニタリング

環境モニタリングについては、大気質、騒音、振動、水質、土質、排水に関するモニタリングを供与開始当初3年間実施する必要がある。具体的な環境モニタリング計画は第19章：環境社会配慮に記述する。

14.4 まとめ

本事業の概略運営維持管理計画を作成した。

本事業の設備運営維持管理は、その殆どを ATTT が担うことになる。今後、ATTT の他の一般道における運用方法を参考に、本事業の管理体制と管理方法をまとめる必要がある。

設備の運営維持管理費は、電気料金が占める割合が大きいですが、他の一般道では照明代を民間電力会社（Gas Natural fenosa）が負担している。本事業でも他の一般道と同様に照明代については電力会社が負担する計画とした。本調査では、電力会社から入手した電力約款の電気料金を参考に、本事業内の電気代を参考として計上した。

第15章 概略施工計画・概算事業費積算

15.1 概略施工計画

15.1.1 概要

概略施工計画では、工事工区、資材調達、施工方法、仮設備および施工工程について検討した。施工計画検討は設計された施工数量をもとに構造規模・特性と現場条件を考慮して実現可能な最適な手法を検討した。主橋の架設については、パナマ運河の航路を利用できる場合とできない場合について検討した。コンセプト・デザイン対象のオマール・トリホス交差点と西側追加ランプの概略施工計画は検討対象外である（11.2章参照）。

15.1.2 関連法規・基準

施工に関する法規・基準については体系的に整理されたものは有していない。安全管理に関するレギュレーションについては「15.1.8 建設期間中の交通管理及び安全管理」に示す。

15.1.3 工事工区分け

(1) 対象施設・概算施工数量

対象施設は第4パナマ運河橋の本線およびアメリカ橋への連絡道路である。主な工種は橋梁工と道路工で、工事に係る仮設施設と既設橋撤去を含む。

(2) 工事工区分け

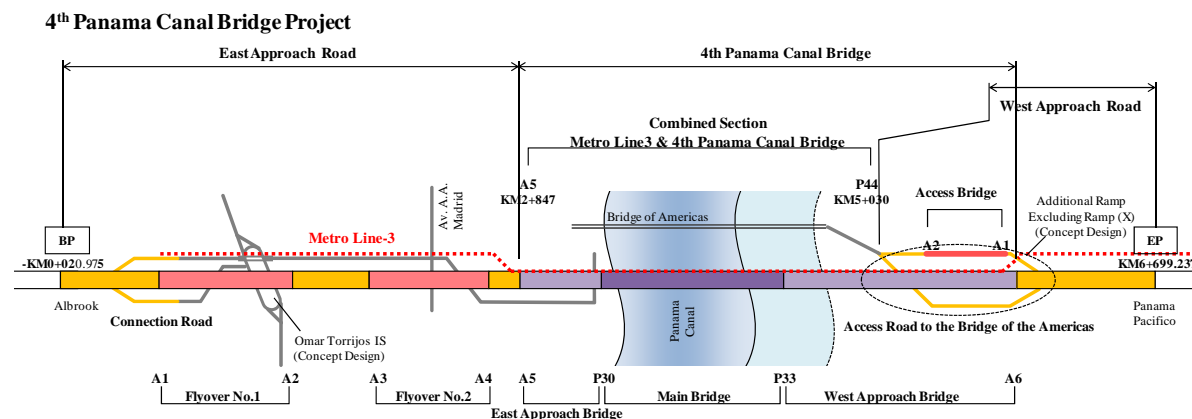
地形状況はパナマ運河を挟んで東西に分けられ、東側は交差点や既設道路を含む市街地である。陸上輸送網は東西を接続する路線として既設アメリカ橋のみであるため、主な工事搬入経路もそれぞれ別系統となる。

一方で工事は橋梁工及び道路工が主体で、工種は多岐に及ぶ構造形式が含まれている。これらの工事は限られた作業スペースのなかで並行作業により進めるため、ヤードや工程がお互いに干渉しないよう調整する必要がある。従って、工区分けについては相互間の工程管理面に優れ、かつ包括的な事業実施が可能な1パッケージを想定する。

なお、工事延長は6.7kmと長いため設計数量区分として図15.1に示すような3つの区間に分類した。

- 東側取付道路区間
- 第4パナマ運河橋区間
- 西側取付道路区間

なお、コンセプト・デザイン対象のオマール・トリホス交差点改良は別工事、西側のランプ工事（ランプX以外）は西側取付道路区間に含むものとする。



出典：調査団

図 15.1 工事区間

15.1.4 労務資機材調達

(1) 労務

メトロ 1 号線建設の実績から、第 4 パナマ運河橋工事においても、技術者、熟練工、普通作業員の確保は可能と考えられる。ただし、水上施工となる長大アーチ橋の架設と鋼管井筒矢板基礎の施工監理、長大アーチ橋の水上架設、高橋脚工事の指導は、パナマ国内に技能工がないため、その技術と経験を有する国外の技能工の援助が必要である。

(2) 建設資材

建設事例より、第 4 パナマ運河橋の建設資材のうち、盛土材、砕石、アスファルト、セメント、骨材等は供給量及び品質共に問題ないため、国内材とする。また、鋼桁の製作、高降伏点鋼材及びその他資材は輸入材とする。

(3) 建設機材

メトロ 1 号線の高架区間の建設には、掘削機やトラッククレーン、コンクリートポンプ車等の建設機械が使用された。第 4 パナマ運河橋において大型重機やガントリー、海上施工に必要な特殊機材は国内での調達ができないため国外から調達する。主橋アーチリブの地組立ては台船上で行うため、大規模な受け梁りを考慮したバージを国外から調達する。取付道路区間の機材調達は比較的容易と判断されるが、各工種を並行作業により短期間で施工する必要があることから、国外からの調達の可能性も想定される。

15.1.5 施工方法

(1) 第 4 パナマ運河橋主橋

1) 上部工架設

以下の条件の下、第 4 パナマ運河橋主橋の上部工架設方法を検討した。

- 主橋架設時に航路を利用できる場合
- 主橋架設時に航路を利用できない場合

表 15.1 に上部工架設方法（第 4 パナマ運河橋主橋）を示す。

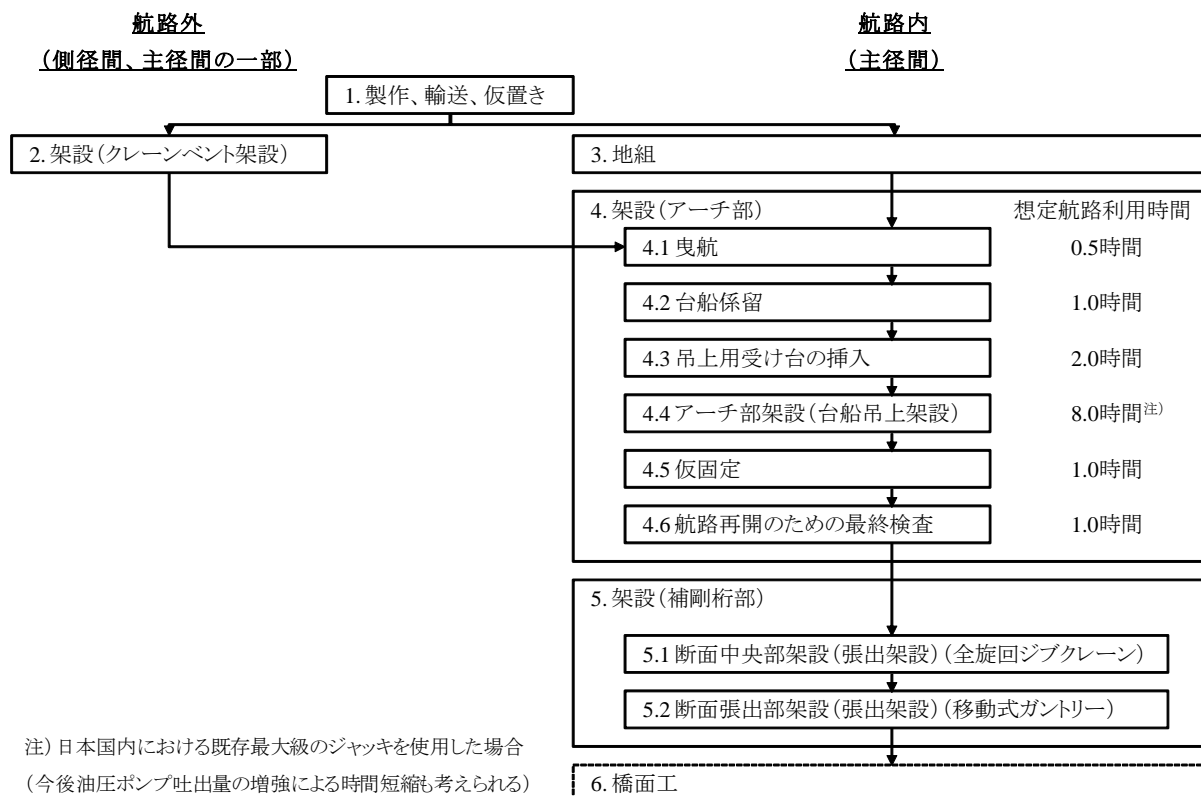
表 15.1 上部工架設工法（第4パナマ運河橋主橋）

No.	上部工架設区分		架設方法	
			航路利用有	航路利用無
1	航路外(側径間、主径間の一部)		クレーンベント架設	
2	航路内(主径間)	アーチ部	台船吊上架設	ケーブルクレーン架設(斜吊併用)
3		補剛桁部	断面中央部	張出架設(全旋回ジブクレーン)
4			断面張出部	張出架設(移動式ガントリー)

出典：調査団

i. 主橋架設時に航路を利用できる場合

図 15.2 に主橋の架設手順（航路利用有の場合）、以後に架設手順毎の要旨を説明する。



出典：調査団

図 15.2 主橋の架設手順（航路利用有の場合）

1. 製作、輸送、仮置き

アーチ及び補剛桁部材は、パナマ国外での製作（アーチリブ 4.5x10m、補剛桁 14.55x3m）及び海上輸送の上、架橋位置近傍、パナマ運河沿いの仮設ヤードへの仮置きを想定する。

2. 架設（クレーンベント架設）

航路外の側径間、主径間の一部は、クレーンベント工法により架設する。

パナマ運河西側の水上部（航路外）については、まき出しによる堤体盛土を構築する。

3. 地組

航路外の側径間、主径間の一部に係る架設（クレーン架設）の間に、航路内（主径間）のアーチ及び補剛桁の地組作業を以下の作業場所で進める。

- アーチ部： 台船上（仮置ヤード沿い）
- 補剛桁部： 仮置ヤード上

4. 架設（アーチ部）

4.1 曳航

航路外の架設及びアーチ部の地組終了後、航路を利用して台船により架橋位置に移動する。過去の実績より、曳航に係る所要時間は0.5時間を想定する。

4.2 台船係留

架橋位置に到着後、GPSによる定点観測を行い、アンカーによる台船の係留を行う。過去の実績より、台船係留に係る所要時間は1.0時間を想定する。

4.3 吊上用受け台の挿入

台船係留後、吊上用受け台（ワイヤストランド）をアーチ部に取付ける。過去の実績より、吊上用受け台の挿入に係る所要時間は2.0時間を想定する。

4.4 アーチ部架設（台船吊上架設）

吊上用受け台の挿入後、吊上架設を行う。

吊上時にアーチ部材がバランスを崩さない様、吊点に仮設横梁を配置する。

油圧ポンプの性能から、吊上時間は8.0時間を想定する。

図 15.3 にアーチ部架設計画図（台船吊上架設）（架設時に航路を利用できる場合）を示す。

4.5 仮固定

アーチ部材吊上後、仮設ピンによりアーチリブを仮固定する。

過去の工事の実績より、仮固定の所要時間は1.0時間を想定する。

4.6 航路再開のための最終検査

アーチリブの仮固定後、航路再開のための最終検査を行う。

本作業終了後、航路内における船舶通航の再開が可能となる。

過去の実績より、検査の所要時間は1.0時間を想定する。

5. 架設（補剛桁部）

5.1 断面中央部架設（張出架設）（全旋回ジブクレーン）

アーチリブの完成後、引き続き補剛桁の架設を行う。

橋脚位置の水平力を抑えるために、まずは断面中央部を全旋回ジブクレーンにより架設する。

補剛桁部材の移動は、橋脚位置からの吊上、橋面上による運搬とし、航路は利用しない。

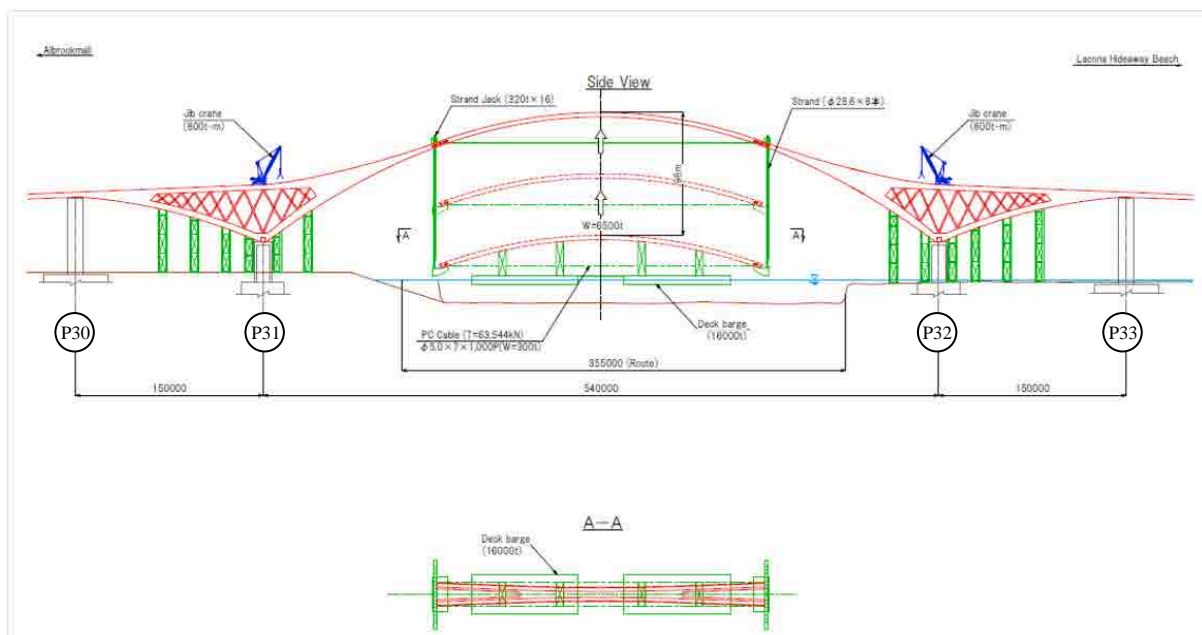
図 15.4 に補剛桁部断面中央部架設計画図（張出架設）を示す。

5.2 断面張出部架設（張出架設）（移動式ガントリー）

断面中央部の架設後、引き続き断面張出部を移動式ガントリーにより架設する。

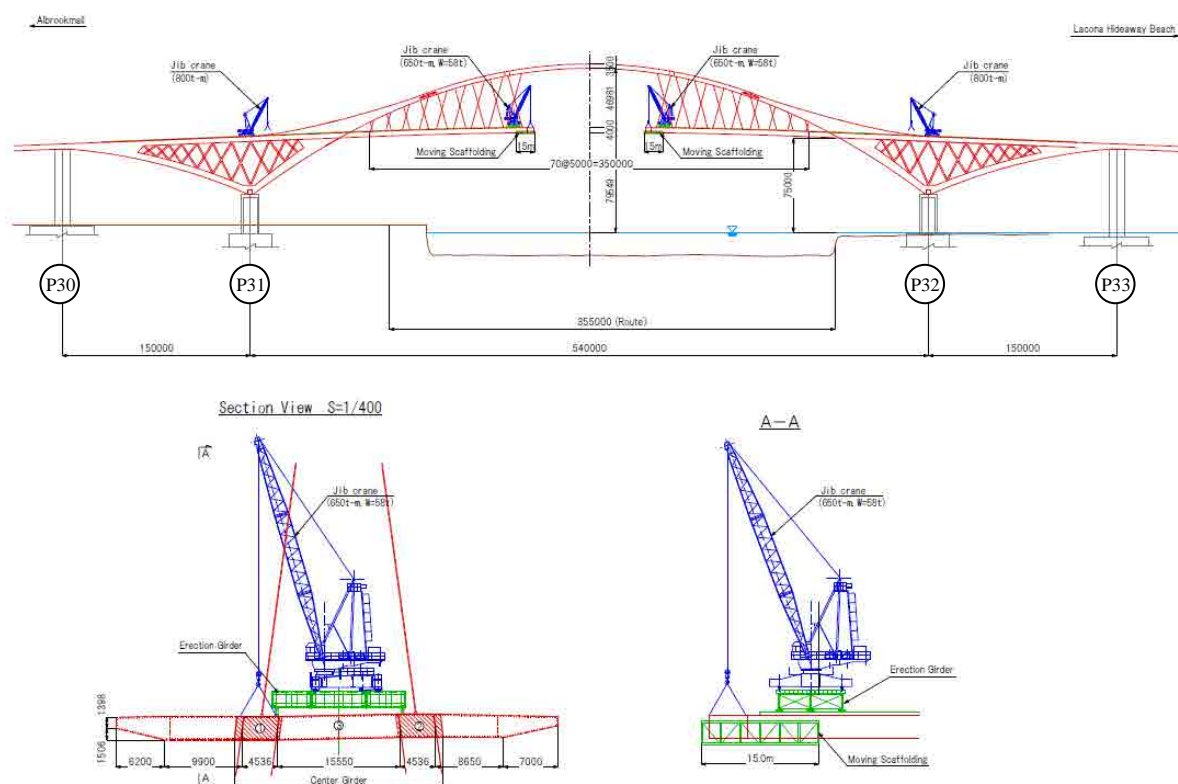
補剛桁部材の移動は、橋脚位置からの吊上、橋面上による運搬とし、航路は利用しない。

図 15.5 に補剛桁部断面張出部架設計画図（張出架設）を示す。



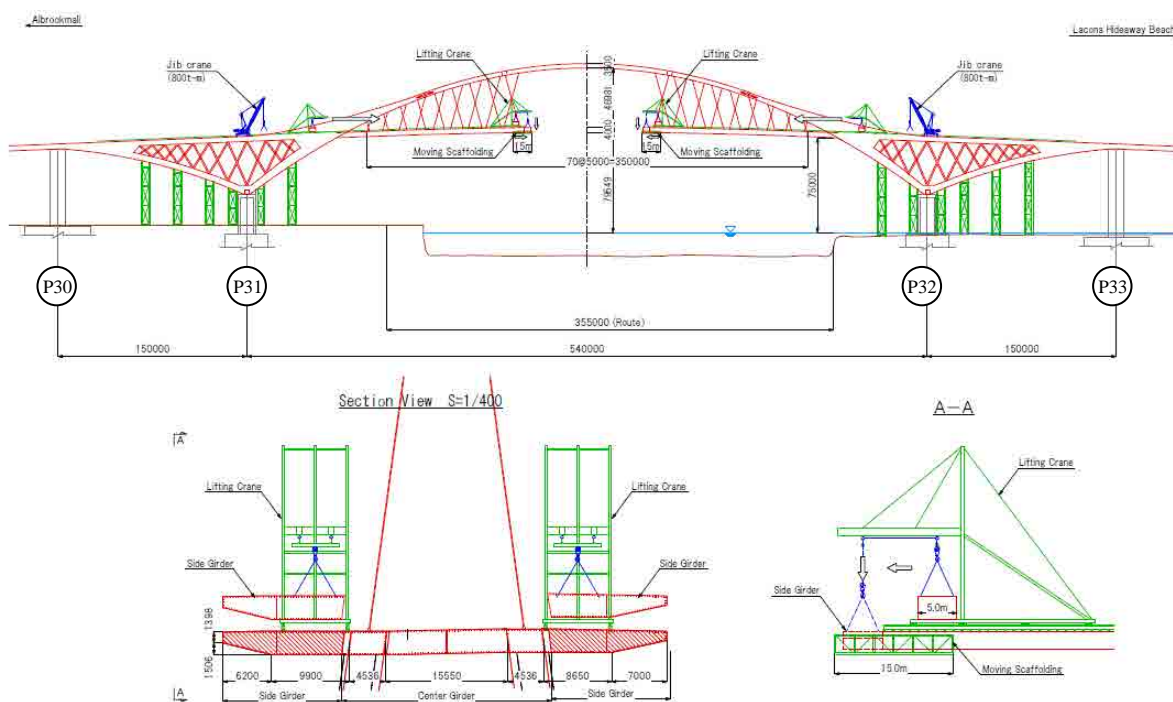
出典：調査団

図 15.3 アーチ部架設計画図（台船吊上架設）
（架設時に航路を利用できる場合）



出典：調査団

図 15.4 補剛桁部断面中央部架設計画図（張出架設）



出典：調査団

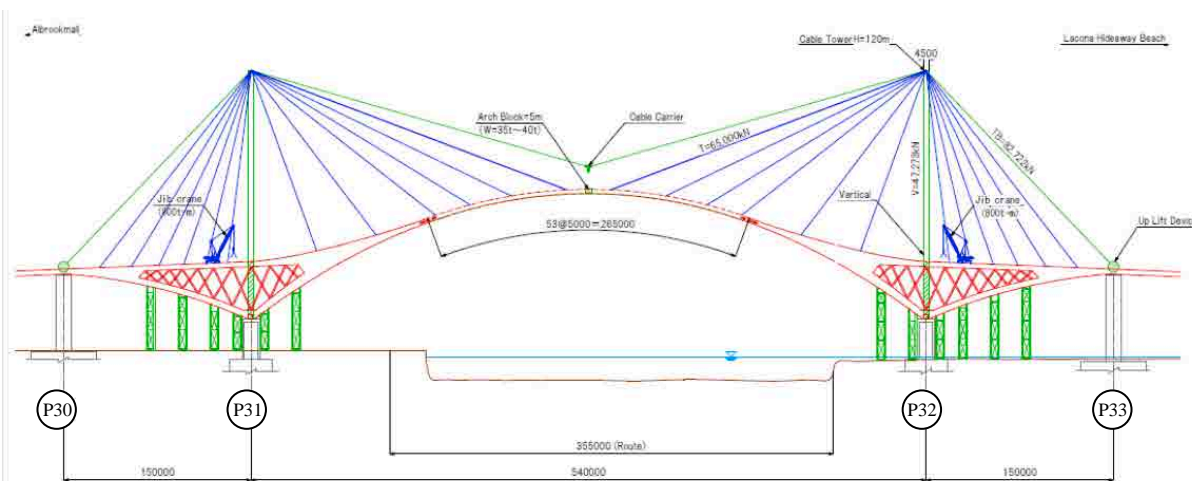
図 15.5 補剛桁部断面張出部架設計画図（張出架設）

ii. 主橋架設時に航路を利用できない場合

主橋架設時に航路を利用できない場合、図 15.2 の架設手順と以下が異なる。

- 2. 地組：アーチ部材も 5m 単位の地組となるため、仮設ヤード上で地組を行う
 - 4. アーチ部（架設）：航路を利用しないケーブルクレーン架設（斜吊併用）で行う
- その他架設手順及び方法は図 15.4 及び図 15.5 と同様である。

図 15.6 にアーチ部架設計画図（ケーブルクレーン架設（斜吊併用）（架設時に航路を利用できない場合）を示す。



出典：調査団

図 15.6 アーチ部架設計画図（ケーブルクレーン架設（斜吊併用）（架設時に航路を利用できない場合）

iii. 技術的リスクの分析

第4 パナマ運河橋主橋の上部工架設に係る技術的リスクは、アーチ部の架設に集約される。

表 15.2 に技術的リスクの分析（第4 パナマ運河橋主橋上部工架設（アーチ部））を示す。

表 15.2 技術的リスクの分析（第4 パナマ運河橋主橋上部工架設（アーチ部））

No.	架設条件	リスク項目	リスク及び対応策	残リスク
1	航路利用有	悪天候	作業の安全性の観点から、悪天候（強風、豪雨）の場合、吊上架設は実施できない。 作業開始後の天候変化に関しては、事前に気象予報を慎重に確認することにより回避できる。 一方、気象予報に基づき架設日を延期する場合、航路利用の調整に時間を要するため、工事遅延のリスクは依然として残る。	悪天候による 工期遅延のリスク
2		吊上ジャッキ (故障)	吊上ジャッキが故障した場合、容量不足により、アーチが吊上途中で止まった状態に陥る。 過去の実績から、ジャッキ故障例は殆どないが、吊上ジャッキ容量の安全係数を 2.0 程度確保し、吊上ジャッキが幾つか故障した場合においても、必要な吊上容量を確保することで回避できる。 また、不測の事態に備え、アーチリブの結合部に予め整備士を待機させ、故障時の修理に要する時間を最短に留める(所要時間:約 1 時間)。	殆どリスクはない
3		吊上ジャッキ (ワイヤストランドの抜落)	吊上ジャッキからワイヤストランドが抜落した場合、吊容量が不足し、破断する可能性がある。 吊上ジャッキ内に何重もの安全装置が施されたタイプを使用する事により、抜落は回避できる。	殆どリスクはない
4		吊上ワイヤストランド (破断)	吊上時にバランスが崩した場合、ワイヤストランドに不均等な荷重がかかり、破断する可能性がある。 確立されたコンピュータ管理システムを使用することにより、荷重の不均等は回避できる。 また、吊上ワイヤストランド容量の安全係数を 4.0 程度確保し、万が一不均等な荷重がかかった場合においても破断を回避する	殆どリスクはない
5	航路利用無	構造的不安定性	長期間斜吊状態が続くため、構造的に不安定な状態が長く続くことになる。 仮設構造物を大規模にすることにより、ある程度改善はできるが、コストがかかる上、依然として強風及び地震時の構造的不安定性は残る。 過去の実績においても、倒壊の事例が存在する。	強風及び地震時の 構造的不安定リスク/ 倒壊リスク
6		吊材 (張力管理、容量)	斜吊張力が大きく、また、多各点に及ぶ張力管理が必要となり、張力管理が非常に難しい。 吊材にかかる荷重の不均等を考慮した場合は、既存の吊材では容量的に対応できない。 既存の吊材で対応した場合、張力管理ミスによる倒壊のリスクは否定できない。	張力管理ミスによる 倒壊リスク

出典：調査団

iv. パナマ側によるリスク分析

本調査では、第4パナマ運河橋主橋の上部工架設計画（15.1.5（1）1）i.～iii.参照）の内、航路利用有りの場合について、パナマ側によりリスク分析が実施された。

リスク分析レポート（第4パナマ運河橋主橋）は本編の付属資料10に示す。

以下にリスク分析結果の要旨及び調査団による追加検討結果を概説する。

1. リスク分析の前提条件

a. 架設時期

調査団は、2019年6月にアーチリブの架設を実施する工事工程を計画した（15.1.7参照）。パナマ側はこの架設時期を基に、リスク分析を実施した。

b. 架設に係る想定航路利用時間

調査団は、アーチリブ架設に係る想定航路利用時間として、標準で約13.5時間を要すると見積もった（15.1.5（1）1）i.参照）。パナマ側はこの標準時間を基に、アーチリブ架設に係る最大航路利用時間を24時間と想定し、リスク分析を実施した。

2. リスク分析結果の要旨

a. 許容最大航路閉鎖日数

架設中にアーチリブの落下事故が発生した場合、アーチリブ架設時の最大航路利用時間（想定24時間）を超えた航路閉鎖が必要となる。運河岸によるシミュレーションの結果、通航料収入の減少及び航路の再開後に通常オペレーションに戻すまでの労力を踏まえ、待機船舶が100隻を超えない範囲となる3日間を許容最大航路閉鎖日数と結論付けた。

b. リスク項目及び対応策

表15.3にリスク項目及び対応策を示す。

表 15.3 リスク項目及び対応策

No.	項目		対応策
1	架設時の航路閉鎖、	周辺事業の収入減、オペレーション回復に係る補償	直接補償費の計上
2	事故防止策	スタンバイ機材、吊上げテスト（シミュレーション）に係る費用	建設費に計上
3	架設時期の延期	周辺事業の収入減、オペレーション回復に係る補償	リスク予備費の計上 ¹⁾
4	アーチリブ落下時	周辺事業の収入減、オペレーション回復に係る補償 ²⁾	総合賠償責任保険の付保
5	の撤去・補償	工期延長によるメトロ3号線事業の追加コスト、開業遅延に係る補償	開業遅延保険料の付保
6		アーチリブの撤去、第4パナマ運河橋事業の原状回復・工事遅延に係る追加費用	包括工事保険の付保

出典：調査団

赤字：パナマ側の要請により、調査団が検討した項目

1) 50%の確率で生じると想定し、予算は100%（リスク予備費）、主橋形式比較の際は50%を見込む

2) パナマ側が実施したリスク分析レポート（付属資料10参照）では、直接的な影響のみを対象とし、補償額の上限を約7億円と見積っている。今後、運河岸が間接的な影響を含めた詳細な検討を行い、補償額の上限を更新する。本調査では、ドラフトファイナルレポート協議の結果に基づき、第3パナマ運河橋の実績を参照し、補償額の上限を100億円に設定の上、総合賠償責任保険料を算出した。

3 架設に係る追加検討結果

パナマ側の要請に基づき、調査団は架設に係る以下の追加検討を実施した。

なお、リスクコストの算定に際しては、本検討結果を反映させている。

a. アーチリブ落下事故発生時の工期延長期間

アーチリブの落下事故が発生した場合、再製作・架設に必要な期間は約9か月と見積もるが、リスクコストの算出においては、余裕を見て1年の工期延長を見込んだ。

b. テスト（シミュレーション）計画

アーチリブ架設前のテスト（シミュレーション）として、以下の内容を計画した。

- 3次元構造解析プログラムによる構造解析及びイメージ・シミュレーション
- 地組ヤード位置における吊上げテスト

c. アーチリブ落下時の撤去方法

アーチリブ落下時は、リフトバッグを取付け、トウポート及びプッシャーポートにより航路端に撤去する。撤去は許容最大航路閉鎖日数（3日間）以内に完了する計画とした。

2) 下部・基礎工

第4パナマ運河橋主橋の下部・基礎工については、以下の施工方法を想定する。

東側（陸上部）：直接基礎（P30,P31）

陸上部における下部工の施工は、この地域で一般的な工法で、補助工法なしで岩層へ定着できる直接基礎構造とし、鋼矢板を用いて土留を行い、掘削及び構造物の構築を行う。

西側（水上部）：鋼管矢板井筒基礎（P32）、場所打ち杭基礎（P33）

水上部アーチ基部下部工は、海域での橋脚基礎としての採用実績が多く、仮締切構造が不要な鋼管矢板井筒形式とすることで安全性の高い施工が期待できる。

(2) 取付道路区間の施工方法

1) 下部工

取付道路区間における工事は既設道路から搬出入可能な陸上施工である。基礎は構造規模から騒音や振動の影響が少ない場所打ち杭とする。下部躯体工は、構造高の低い取付道路区間では一般的な鉄筋コンクリート構造であり、特別な形式や工法は不要である。主橋付近では高さ30mを超える高橋脚となるため、昇降式足場工法などが望まれる。東側については、空港に近接するため杭施工時や下部工の資材建て込み時には制限表面に留意する必要がある。また、Omar Torrijos 交差点改良工事と並行して進める必要があるため、交通の切廻しや施工手順など工程管理に留意する必要がある。

2) 上部工（PC-I 桁橋）

PC-I 桁の製作はプレキャストセグメント工法とする。あらかじめ運搬可能な大きさのセグメントに分割して製作したものを架設地点の組み立て台に運搬し、セグメントを引き寄せ接着したのちにプレストレスを与え一体の橋桁を製作する。

架設工法はクレーン架設工法とする。架設地点の桁下へトラッククレーンを据え付け、一体化された PC 桁を吊り上げて据え付ける。PC 桁の長さは 40m で重量が一本当たり約 100t であるためトラッククレーン 2 台による相吊り架設とする。

東側の跨道橋 No.1 と No.2 については、空港に近接するため桁や PC 版のクレーン作業時には制限表面等に留意する必要がある。PC-I 桁橋の施工手順は次のとおりである。

1. 架設地点へセグメントを運搬
2. 組み立て台にてセグメントを接合
3. トラッククレーンの相吊りにより主桁を架設
4. 足場を設置
5. 横桁、床版、橋面の施工
6. 次の径間へ移動

3) 上部工（鋼箱桁橋）

鋼箱桁橋は一般区間ではトラッククレーン架設とし、高橋脚区間では巻上装置による一括架設工法とする。一括架設は架設地点にブロック部材を搬入し、直下で 1 径間分を組み立てる。巻上機を橋脚頂部や架設された桁上に据え付け、一体化された 1 径間を相吊りにより架設する。床版はプレキャスト RC 床版とし、床版ブロックを桁上に据え付け結合する。

1. 昇降設備・巻上機の組み立て
2. 桁搬入・地組み
3. 桁架設
4. 昇降設備・巻上機の解体（次の径間へ移動）
5. プレキャスト床版の搬入・架設

15.1.6 仮設備

(1) 施工ヤード面積

施工を行う際には、桁等の製作、ストックヤード、コンクリート製造プラント、資材の加工ヤード、掘削土の仮置きヤード、工事を管理するための事務所および作業員宿舎が必要となる。東側は十分な空間がないため必要最小限の施工ヤードとし、西側に桁製作や仮置きの施工ヤードを配置する。必要面積は類似の工事実績に基づき推定を行った結果、約 270,000m² が必要となる。

表 15.4 に施工ヤード面積を示す。

表 15.4 施工ヤード面積

項目	東側	西側
桁・プレキャスト床版製作、仮置き	18,000m ²	22,000m ²
鉄筋加工・型枠製作、仮置き、資機材の仮置き	---	50,000m ²
建設機材の仮置き、オフィス・駐車場、作業員宿舎	13,000m ²	17,000m ²
主橋アーチ・アプローチ橋：鋼部材の仮置き・地組立て	---	134,000m ²
掘削土の仮置き	8,000m ²	8,000m ²
小計	39,000m ²	231,000m ²
合計	270,000m ²	

出典：調査団

(2) ヤード候補地

施工ヤード候補地は土地利用状況と聞き取り調査をもとに抽出された。具体的なヤードについては今後調整する必要がある。

(3) 工事中用道路・仮橋

大規模工事を短期間で施工するために複数の工事を並行で進める必要がある。各地点への資材搬入を円滑にアクセスさせるために、建設道路の両側に工事中用通路を確保する。

東西間の資材運搬はパンアメリカン道路の利用は工事効率と現道交通への影響に配慮して、バージ船による水上運搬とする。そのために西側の浅瀬では、下部工構築および桁架設のために盛土による築島を造成し、それより運河側については橋・栈橋を構築してバージの船着き場とする。

15.1.7 施工工程

施工工程は設計された施工数量をもとに、施工方法、手順、現地特性、適正な作業量および関連工事との整合を勘案のうえ計画した。工程計画は大きく3つの工事区間に区分し、主橋架設時に航路利用ができる場合とできない場合について検討を行った。建設の期間はそれぞれ48カ月と60カ月に推測された。

オマール・トリホス交差点改良工事は同時施工となるため、交差点の交通切廻しをしながら下部工工事を進める必要がある。また、3号線事業の軌道桁の架設時期については、第4パナマ運河橋の床版工事が完了した後に着手することになる。

15.1.8 建設期間中の交通管理及び安全管理

(1) 交通管理計画

第4パナマ運河橋と取付道路は既存道路を避けた位置に建設されるため、現道交通への影響は少ないが、一部で交差点と既存道路と交差している。これらに近接する箇所では、基礎杭やフーチング施工時に部分的な切廻しや車線規制を行う。桁架設時ではクレーン車の据え付けのために車線規制を行う。オマール・トリホス交差点の既設高架橋撤去時は、交差点改良工事と跨道橋工事の工程調整を行ったうえで切廻しと交通規制をする。

建設期間中の車線規制等の交通管理計画は、パナマの法律(Autoridad de Transito Ley 34)に従う。同法では、工事の規模に係らず交通に影響を与える場合には ATTT の承認を必要としている。本プロジェクトの交通処理対策としては、夜間・休日工事を含む工事実施時間の調整が考えられる。

(2) 安全管理計画

工事中の安全と健康と衛生は、MINTRAによる DECRETO EJECUTIVO No. 2 (de 15 de febrero de 2008) Por el cual se reglamenta la Seguridad, Salud e Higiene en la Industria de la Construcción に従う。路上安全のレギュレーションは、MOPによる MANUAL PARA EL CONTROL DE TRÁNSITO DURANTE LA EJECUCIÓN DE TRABAJOS DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO EN CALLES Y CARRETERAS が施行されている。また、メトロ庁では、メトロ1号線の工事において、米国労働省の一機関である労働安全衛生庁 OSHA (Occupation Safety & Health Administration) の基準である労働安全衛生法(OSG Act)を適用した。海上施工に関する安全管理は、関係機関を含めたワークショップにより協議が実施されており、今後も引き続き協議を進める必要がある。

15.1.9 まとめ

工事工区は規模、構造特性、地形状況から3つに区分された。工区分については相互間の工程管理面に優れ、かつ包括的な事業実施が可能な1パッケージを想定する。運河橋主橋の上部工架設方法は、架設時に航路を利用できる場合とできない場合について比較検討を行った結果、工期が短くなることから、航路を利用した一括架設工法が推奨された。その他の構造施設は規模、構造特性、現場条件を考慮して最適な施工方法が提案された。施工ヤードは桁・床版の製作、部材の仮置きなど広いヤードが必要になる。土地利用状況からヤード候補地が抽出されたが、具体的なヤードについては今後調整する必要がある。工事工程は主橋にかかる工事が最も長くかかり、約4年の建設となる。施工にあたってはオマール・トリホス交差点改良と3号線との工程調整を行う必要がある。

15.2 概算事業費積算

15.2.1 目的

第4パナマ運河橋整備の概算事業費を設計成果及び施工計画に基づき算定する。

15.2.2 調査内容

概算事業費積算においては、本事業は日本国の円借款事業で実施されることを前提として、積算条件、積算方法、積算単価を設定し、概算事業費をとりまとめる。なお、コンセプト・デザイン対象であるオマール・トリホス交差点改良及び西側接続ランプ（Xランプを除く）については類似工事に基づく想定金額を用いた。

15.2.3 関連法規・基準

パナマ国においては、事業費および建設費積算に関する体系的な法規や基準はなく、市場価格に基づいて建設費の積算が行われている。

15.2.4 積算条件

表 15.5 に積算条件を示す。

なお、為替レート、価格変動予備比率、物理的予備比率は調査時点の値であり、実際に円借款が行われる場合には、ローン審査時に JICA より改めて提示される。

表 15.5 積算条件

項目	摘要
資金調達	日本国の円借款事業
積算基準時期	2013年10月
建設工事発注	1パッケージ
積算通貨	外貨(FC): 日本円(JPY) 内貨(LC): 米ドル(USD)
為替レート	USD 1.00 = JPY 99.7
価格変動予備費率	FC: 1.3% LC: 3.1%
物理的予備費率	建設費: 5% コンサルタント費: 5%
建中金利	建設費: 1.80% コンサルタント費: 0.01%
フロントエンドフィー	0.2%
税金	0.0%
管理費	5.0%

出典：調査団

15.2.5 積算手順

(1) 積算費目構成

第4パナマ運河橋の事業費は、円借款事業対象部分として建設費（土木施設費、設備費、既設ユーティリティ補償費、環境対策費・環境モニタリング費、リスク対策費）、コンサルタント費、パナマ政府資金部分としての環境補償費、用地取得・補償費、管理費に区分した。また、事業費は内貨と外貨に分けて計上する。

(2) 積算方法

建設費は、概略設計に基づく概算数量と市場調査に基づく単価（間接経費含む）をもとに積算する。建設費積算においては施工計画に基づく仮設備費も考慮する。

コンサルタント費は、第17章で説明しているとおり、円借款事業として必要な詳細設計、業者入札補助、施工監理期間と投入する専門家人数等を考慮して算定する。

環境対策費は、建設工事期間中の環境影響対策費を計上する。

用地取得・補償費は市場単価を考慮して設定する。

コンセプト・デザイン対象であるオマール・トリホス交差点改良及び西側接続ランプ（Xランプを除く）建設費については類似工事に基づいた。

15.2.6 積算単価

建設費の積算単価は、パナマ国における市場単価および業者見積もりをもとに設定する。積算単価は本編の付属資料7に示す。なお、施工時の仮設ヤードの借地料は100USD/m²/年を用いた。

コンサルタント費用の技術報酬月額単価については、国際コンサルタントは275.3万円、国内コンサルタントは18,750USD、支援スタッフは3,000USDを用いた。

環境対策費および用地取得・補償費は本調査において収集した単価を用いた。

15.2.7 概算事業費

第4パナマ運河橋整備事業の概算事業費および年間支出計画は、主橋架設時に航路を利用できる場合と航路が利用できない場合について算定する。

概算事業費と年度支出計画は、第17章に記載している事業実施スケジュールに基づいて検討した。

本事業の規模は極めて大きいため、今後更なる調査・詳細設計を実施し、関連機関との調整を図った上で、事業費を詳細に検討する必要がある。

表15.6及び表15.7に主橋架設時に航路を利用できる場合、利用できない場合の概算事業費・年間支出計画を示す。

15.2.8 まとめ

表 15.8 に第 4 パナマ運河橋整備事業の概算事業費を示す。

概算事業費は、主橋架設時に航路を利用できる場合には約 1,910 億円（1,916 百万ドル）、航路を利用できない場合には 1,988 億円（1,994 百万ドル）と算定された。

本プロジェクトは事業規模が極めて大きいため、今後更なる調査・詳細設計を実施し、関連機関と十分に調整を行った上で、事業費を確定する必要がある。

表 15.8 概算事業費

主橋架設時の条件	概算事業費		
	FC	LC	Total
航路を利用できる場合（建設工期：4年）	83,259mil.JPY	1,081mil.USD	191,026mil.JPY
航路を利用できない場合（建設工期：5年）	87,238mil.JPY	1,119mil.USD	198,795mil.JPY

出典：調査団

15.3 概算運営維持管理費積算

15.3.1 目的

第 4 パナマ運河橋の供用後 100 年間の運営維持管理概算費を積算する。

15.3.2 概算運営管理維持費

表 15.9 に概算運営維持管理費（100 年）（2013 年価格）を示す。詳細は本編の付属資料 8 に示す。なお、コンセプト・デザイン区間は想定額を入れている。

表 15.9 概算運営維持管理費（100 年）（2013 年価格）

項目	概算運営維持管理(mil.JPY)
土木施設	33,451
設備	7,453
コンセプト・デザイン対象 (オマール・トリホス交差点改良及び西側接続ランプ)	11,663
合計	52,567

出典：調査団

15.3.3 環境モニタリング費

SMP は大気質、騒音、振動、水質、土質、排水に関するモニタリングを供与期間の始め 3 年間実施する必要がある。供与期間の環境モニタリングコストは EIA において 225,900 ドルと見積もられる。

15.3.4 まとめ

土木施設及び設備の 100 年間の概算運営維持管理費は約 526 億円（527 百万ドル）と算定された。

なお、施設供用開始後 3 年間は環境モニタリング費用が発生する。

第16章 本調査推奨案と Pre-F/S 案の比較（第4パナマ運河橋主橋）

16.1 目的

本調査では、10.1章の通り、調査の初期段階に第4パナマ運河橋主橋形式のスクリーニングを行い、アーチ橋と斜張橋の2案に絞り込んだ。同スクリーニングでは、両形式の概略設計結果を基に再度比較を行い、最適主橋形式を選定することとし、斜張橋案については Pre-F/S で概略設計が進められていたため、本調査ではアーチ橋案の概略設計を実施した。

本章の目的は、両主橋形式案の概略設計結果に基づき、再度比較を行い、第4パナマ運河橋主橋の最適形式を提案することである。

16.2 概略設計結果の要旨

16.2.1 本調査推奨案

本調査では、第4パナマ運河橋主橋形式案の内、アーチ橋案について、主径間架設時に航路を利用できる場合、利用できない場合の概略設計を実施した。

表 16.1 にアーチ橋概略設計結果の概要（本調査）を示す。

以下の理由より、本調査推奨案として、主径間架設時に航路を利用できる場合を提案する。

施工期間

航路を利用できる場合、アーチリブ架設時に1回（推定約13.5時間）だけ航路を利用するものの、航路を利用できない場合と比較した場合、施工期間が1年短縮できる。

初期建設費

航路を利用できる場合、施工期間が1年短縮でき、かつ、アーチリブ架設時の仮設構造物が省略できるため、航路を利用できない場合と比較した場合、初期建設費を約32億円抑えることができる。

架設リスク

航路を利用できる場合、アーチリブ架設時の安全性確保が焦点となるが、想定される事象に対して適切な技術的対策を講じることにより、架設リスクを最小限に抑えることができる（15.1.5 (1) 1) iii.参照）。

16.2.2 Pre-F/S 案の概要

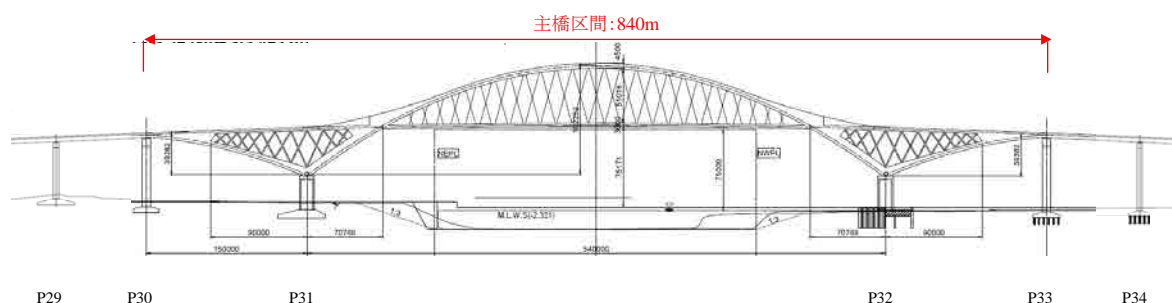
パナマ国運河庁が実施中の Pre-F/S では、斜張橋案の概略設計を進めており、その結果は2013年11月に提出されたドラフト・ファイナル・レポートに取りまとめられている。

表 16.2 に斜張橋概略設計結果の概要（Pre-F/S 案）を示す。

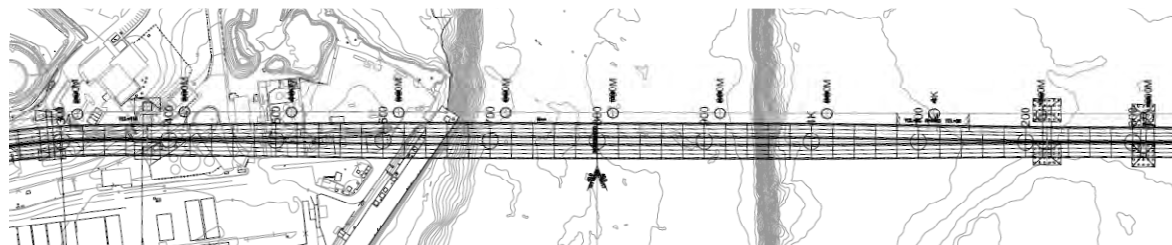
表 16.1 アーチ橋概略設計結果の概要（本調査）

No.	項目	概略設計結果		
		航路を利用できる場合 (本調査推奨案)	航路を利用できない場合	
1	橋長	840m		
2	支間割	150m+540m+150m		
3	総幅員	48.742m~52.872m		
4	メトロ3号線の条件	モノレール（幅員：8.4m）		
5	架設方法 （主径間）	架設方法（アーチリブ）	台船吊上架設	ケーブルクレーン架設（斜吊併用）
		架設方法（補剛桁）	張出架設（全旋回ジブクレーン及び移動式ガントリー）	
		航路利用	1回（推定約13.5時間）	利用なし
		架設リスク	15.1.5 (1) 1) iii参照	
6	施工期間	4年	5年	
7	初期建設費	362億円 (橋梁土木施設のみ)	394億円 (橋梁土木施設のみ)	
8	維持管理費（100年）	88億円（割引なし）		

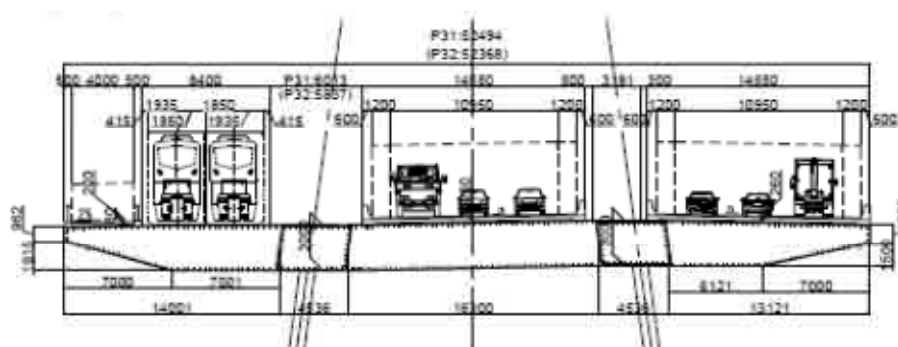
側面図



平面図



断面図（P31及びP32橋脚位置）

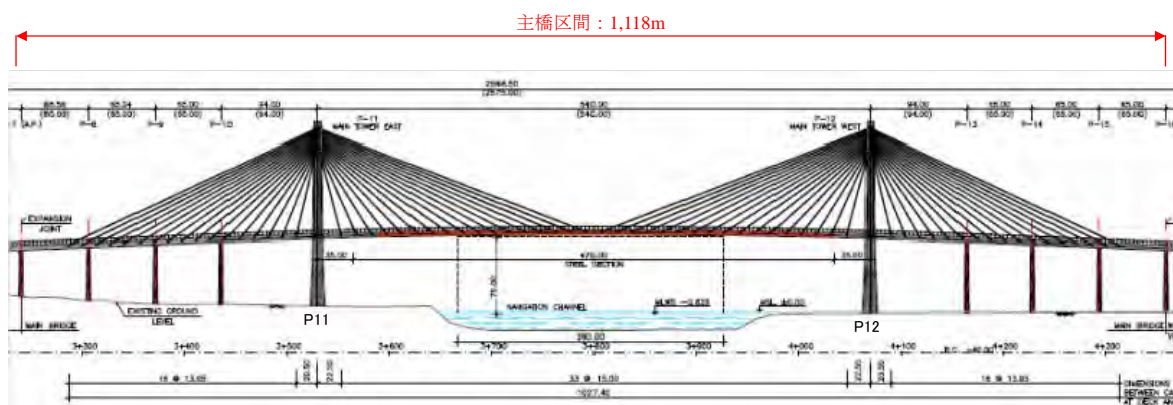


出典：調査団

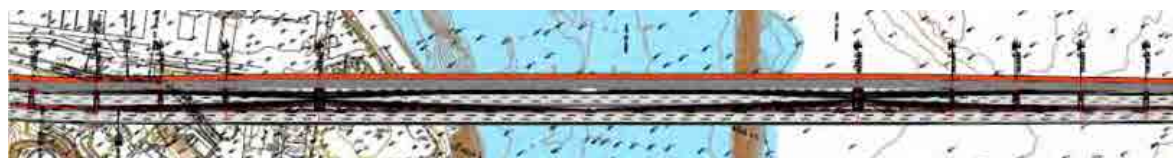
表 16.2 斜張橋概略設計結果の概要（Pre-F/S 案）

No.	項目	概略設計結果
1	橋長	1,118m
2	支間割	3@65m+94m+540m+94m+3@65m
3	総幅員	51.9m
4	メトロ3号線の条件	リニアメトロ（幅員：9m）
5	架設計画 （主径間）	片持架設
	航路利用	利用なし
6	施工期間	4年
7	初期建設費	426百万ドル （橋梁土木施設に加え、道路設備及びメトロ3号線の軌道・設備を含む）
8	維持管理費（100年）	146百万ドル（割引なし） （橋梁土木施設に加え、道路設備及びメトロ3号線の軌道・設備を含む）

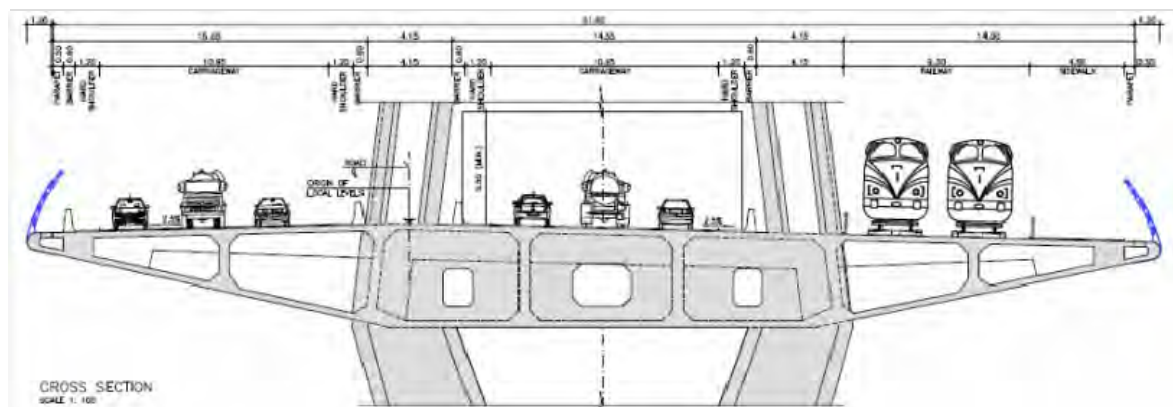
側面図



平面図



断面図（P11及びP12主塔位置）



出典：運河庁（Pre-F/S（ドラフト・ファイナル・レポート（2013年11月）））

16.3 本調査推奨案と Pre-F/S 案の比較

16.3.1 比較方法

10.1 章の第 4 パナマ運河橋主橋形式のスクリーニングの結果に基づき、以下の方法により本調査推奨案と Pre-F/S 案の比較を実施した。

- コスト以外の評価は変わらないため、コストのみ評価を更新する
- 両案の概略設計における積算結果に基づき、コストの評価を更新する
- コストには、リスク分析において算出したリスクコストを含める
- ライフサイクルコストを対象とし、現在価値（割引率 4%）で評価する

(1) 比較条件の調整

比較に先立ち、Pre-F/S のドラフト・ファイナル・レポート（2013 年 11 月）のレビューを行い、同じ比較条件となる様、両案の計画・設計内容の差異を確認した（付属資料 9 参照）。その結果、同じ条件となる様、両案の概略設計結果に対し、以下の調整を行った。

本調査推奨案：比較対象延長

両案の主橋延長が異なるため、より長い Pre-F/S 案の 1,118m を比較対象延長とし、本調査推奨案の初期建設費及び維持管理費は、主橋分（840m）に加え、取付橋分（278m）を加算した。

初期建設費：362 億円（主橋分）+43 億円（取付橋 278m 分）=405 億円

維持管理費：88 億円（主橋分）+18（取付橋 278m 分）=106 億円

Pre-F/S 案：初期建設費の費目

Pre-F/S 案の初期建設費（426 百万ドル）には、橋梁土木施設に加え、道路設備及びメトロ 3 号線の軌道・設備が含まれているが、両案の道路設備及びメトロ 3 号線の計画は異なるため、比較に際しては、橋梁土木施設費のみを対象とし、Pre-F/S 案の初期建設費について、以下の調整を行った。

426 百万ドル-20 百万ドル（道路設備及びメトロ 3 号線分）=406 百万ドル

Pre-F/S 案：幅員

両案の道路分の有効幅員は同じであるが、メトロ 3 号線分の幅員については、本調査推奨案は 8.4m（モノレールを想定）、Pre-F/S 案は 9m（リニアメトロを推定）と差異があるため、Pre-F/S 案の幅員を 0.6m 狭めることとし、同案の総幅員（51.9m）に対する比率を基に、以下の初期建設費の調整を行った。

406 百万ドル×（51.9m-0.6m）/51.9m=402 百万ドル

Pre-F/S 案：維持管理費

両案の維持管理費目及び頻度は、Pre-F/S 案の幾つかの費目が一括計上されているものの、基本的な計画内容はほぼ同じである。但し、Pre-F/S 案には橋梁土木に加え、道路設備及びメトロ 3 号線の軌道・設備が含まれているため、その分を減算した。また、Pre-F/S 案には、舗装の基層・防水層の改修が含まれていないため、本調査の維持管理頻度・単価をベースに、その分を加算した。

維持管理費：146 百万ドル-3 百万ドル（道路設備・メトロ 3 号線分）

+80 ドル/m²×33,100m²×3 回（基層・防水層改修分）=150 百万ドル

(2) リスクコスト

本調査では、調査団が策定した第4パナマ運河橋主橋の上部工架設計画（アーチ橋案）に基づき、パナマ側によりリスク分析が実施された（15.1.5（1）1）iv.参照）。

本比較のコストには、上記リスク分析において算出したコストを含めた。

表 16.3 にリスクコスト（第4パナマ運河橋主橋）を示す。

表 16.3 リスクコスト（第4パナマ運河橋主橋）

No.	項目		リスクコスト	
			Pre-F/S 案 (斜張橋)	本調査推奨案 (アーチ橋) (航路を利用できる場合)
1	架設時の航路閉鎖、	直接補償費		1.9 億円 (1.9 百万ドル)
2	事故防止策に係る費用	スタンバイ機材、テスト・シミュレーション費		3.6 億円 (3.6 百万ドル)
3	架設延期に係る予備費 ¹⁾			0.4 億円 (0.4 百万ドル)
4	アーチリブ落下時の 撤去・補償費用に係る	総合賠償責任保険料 ²⁾		0.5 億円 (0.5 百万ドル)
5		開業遅延保険料		0.4 億円 (0.4 百万ドル)
6	保険料		2.0 億円 (2.0 百万ドル)	2.1 億円 (2.1 百万ドル)
合計			2.0 億円 (2.0 百万ドル)	8.9 億円 (8.9 百万ドル)

出典：調査団

1) 50%の確率で生じると想定し、予算は100%（リスク予備費）、主橋形式比較の際は50%を見込む

2) パナマ側が実施したリスク分析レポート（付属資料10参照）では、直接的な影響のみを対象とし、補償額の上限を約7億円と見積っている。今後、運河庁が間接的な影響を含めた詳細な検討を行い、補償額の上限を更新する。本調査では、ドラフトファイナルレポート協議の結果に基づき、第3パナマ運河橋の実績を参照し、補償額の上限を100億円に設定の上、総合賠償責任保険料を算出した。

(3) 比較案（調整後）

表 16.4 に本調査推奨案と Pre-F/S 案の比較案（調整後）を示す。

表 16.4 本調査推奨案と Pre-F/S 案の比較案（調整後）

項目	本調査推奨案:アーチ橋(航路を利用できる場合)	Pre-F/S 案:斜張橋	
一般図	<p>側面図</p> <p>比較対象区間:1,118m 取付区間:139m 主橋区間:840m</p> <p>平面図</p> <p>断面図</p> <p>主橋区間(P31及びP32橋脚位置)</p> <p>取付橋部(P29、P30、P33及びP34橋脚位置)</p>	<p>側面図</p> <p>比較対象区間(主橋区間):1,118m</p> <p>平面図</p> <p>断面図</p> <p>P11及びP12主塔位置</p>	
橋長(比較延長)	1,118m	1,118m	
支間割	139m+150m+540m+150m+139m	3@65m+94m+540m+94m+3@65m	
総幅員	主橋部:48.742m~52.872m、取付橋部:29.400m (A6橋台) ~50.235m (P30橋脚)	51.3m	
メトロ3号線の条件	モノレール(幅員:8.4m)	リアメトロ(幅員:8.4m)	
架設方法	主橋(アーチリブ):台船吊上架設、主橋(補剛桁):張出架設(全旋回ジブクレーン及び移動式ガントリー)、取付橋:巻上一括架設	片持架設	
航路利用	アーチリブ架設時:1回(推定約13.5時間)	利用なし	
施工期間	4年	4年	
初期建設費	建設費	405億円(406百万ドル)	402百万ドル
	リスクコスト	8.9億円(8.9百万ドル)	2.0百万ドル
	合計	414億円(415百万ドル)	404百万ドル
維持管理費(100年)	割引なし	106億円(106百万ドル)	150百万ドル
	割引率4%	16億円(16百万ドル)	24百万ドル
ライフサイクルコスト	割引なし	520億円(521百万ドル)	554百万ドル
	割引率4%	430億円(431百万ドル)	428百万ドル

出典:調査団

為替レート:1バルボア=99.7円

16.3.2 比較結果

両案のコストはライフサイクルコスト（割引率4%）を比較の対象とし、以下の算出式で評価した。

$$\text{コスト評価} = \text{重みづけ} - 2 \times \text{重みづけ} \times (\text{比率} - 1.0)$$

※比率：ライフサイクルコストが安い案を 1.0 とした場合の当該案のライフサイクルコストの比率

表 16.5 に本調査推奨案と Pre-F/S 案の比較結果を示す。

表 16.5 本調査推奨案と Pre-F/S 案の比較結果

No.	評価項目	重みづけ	本調査推奨案	Pre-F/S 案
			アーチ橋 (航路利用有)	斜張橋 (航路利用無)
1	構造的性	25 点	16.00	15.00
2	施工性	13 点	9.00	8.80
3	維持管理性	15 点	11.00	11.00
4	景観性	14 点	12.60	6.40
5	コスト	33 点	32.54	33.00
合計		100 点	81.14	74.20

出典：調査団

16.4 まとめ

本調査では、第 4 パナマ運河橋主橋形式案の内、アーチ橋案について、主径間架設時に航路を利用できる場合、利用できない場合の概略設計を実施した。

航路を利用できる場合、航路を利用できない場合に対して施工期間及び初期建設費に優位性がある。一方、アーチリブ架設時の安全性確保が焦点となるが、想定される事象に対して適切な技術的対策を講じることにより、架設リスクを最小限に抑えることができると判断し、本調査の推奨案として航路を利用できる場合を選定した。

また、本調査推奨案と Pre-F/S 案の概略設計結果を踏まえ、10.1 章：第 4 パナマ運河橋主橋形式のスクリーニングの結果を基に、コストを再評価の上、両案の比較を実施した。比較の結果、本調査推奨案（81.14 点）が Pre-F/S 案（74.20 点）を上回る評価となった。

上記スクリーニング結果に加え、構造的性（上部工剛性）及び景観性に優れることから、本調査では、第 4 パナマ運河橋主橋の最適形式として、アーチ橋案（航路利用有）を提案する。

なお、現時点では、主径間架設時の航路利用について、パナマ国運河庁の合意を得ていないため、今後、本報告書を基に、パナマ国運河庁の合意を得る必要がある。

第17章 事業実施計画

17.1 事業内容

以下に本事業（第4パナマ運河橋整備事業）の内容を示す。

- コンサルタント調達
- 詳細設計・施工監理
- 土地取得・補償
- 既存設備移設
- 施工業者調達
- 建設工事（西側接続道路の追加ランプ X（将来）を除く）
- 瑕疵担保保証
- 運営維持管理

17.1.1 対象工事範囲

表 17.1 に本事業の対象工事範囲を示す。

表 17.1 本事業の対象工事範囲

No.	路線	区分	区間	本事業の対象工事範囲	
1	第4パナマ運河橋 (新設工事)	全体		道路延長:6,720.212m (-0+020.975~6+699.237) 車線数:6車線(2×3車線) (起点~Omar Torrijos 交差点:4車線(2×2車線)) A+3号線:南側配置 (一体区間:2,183m(2+847(A5)~5+030(P44)))	
		内訳	土木	東側取付道路 (-0+020.975~2+847)	道路延長:2,867.975m 跨道橋 No.1:PC-I 桁/鋼箱桁(L=520m) 跨道橋 No.2:PC-I 桁/鋼箱桁(L=740m)
				第4パナマ運河橋 (2+847~5+390)	道路延長:2,543m 東側取付橋:鋼箱桁(L=533m) 主橋:鋼アーチ(L=840m) 西側取付橋:鋼箱桁/PC-I 桁(1,170m)
				西側取付道路 (5+390~6+699.237)	道路延長:1,309.237m
			設備	全線	電気、通信及び機械設備一式
2	東側連結側道 (新設工事)	全体		道路延長:1,025.19m 車線数:1方向2車線	
		内訳	土木	追加ランプ	On ランプ:400.2m Off ランプ:624.99m
			設備	全線	電気設備(道路照明)
3	アメリカ橋 連絡道路 (改修工事)	全体		道路延長:3,170.4m 車線数:4車線(2×2車線)	
		内訳	土木	西側上線	道路延長:1,582.4m アメリカ橋連絡道路橋:PC-I 桁橋(L=760m)
				西側下線	道路延長:1,588m
			設備	全線	電気設備(道路照明)
4	オマール・トリホス 交差点 (改良工事)	全体		道路延長:5,690m 車線数(ランプ):1方向1車線又は2車線 車線数(アンダーパス):4車線(2×2車線)	
		内訳	土木	追加ランプ	追加ランプ:A~I、オマール・トリホス通り 跨道橋:追加ランプB、C(一部) ¹⁾ 跨道橋 No.2 の拡幅:追加ランプF・Gの一部 ¹⁾ アンダーパス:追加ランプF・G、オマール・トリホス通り
				既存ランドアバウト	既存ランドアバウトの拡幅
			設備	全線	電気設備(道路照明)
				追加ランプF・G、オマール・トリホス通り	機械設備(排水ポンプ)
5	西側既存道路 接続ランプ ²⁾ (改修工事)	全体		道路延長:1,130m 車線数:1方向2車線	
		内訳	土木	追加ランプ	追加ランプ:Y、a~i
			設備	全線	電気設備(道路照明)

1) 現時点の想定、2) 追加ランプ X（将来）を除く

出典：調査団

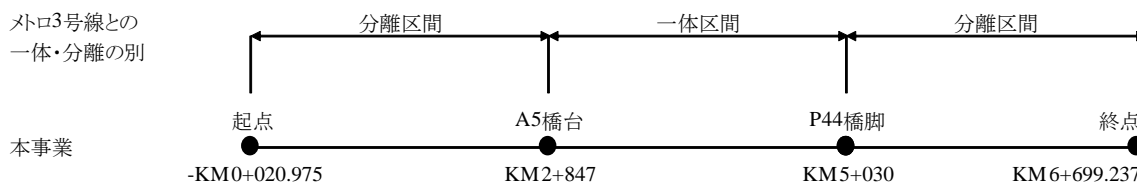
17.1.2 既存設備の移設工事

本事業路線は、様々な既存設備・地下埋設物が存在し、都市土木特有の環境と言える。特に、第4パナマ運河橋の東側取付道路区間では顕著である。従って、工事への影響を勘案し、工事着工前に既存設備・地下埋設物の移設工事を完了させる計画とした。

17.2 メトロ3号線整備事業との仕分け

本事業路線は、全線メトロ3号線と並走するため、橋梁が一体化している区間が存在するなど、事業エリアが重複しており、両事業の範囲を明確に仕分ける必要がある。

図 17.1 にメトロ3号線事業との仕分け（案）を示す。



土木工事	個別	第4パナマ運河橋 整備事業	個別
土木工事(軌道桁)	メトロ3号線整備事業		
設備工事	個別		
土地取得・補償	第4パナマ運河橋整備事業		
既存設備移設工事	第4パナマ運河橋整備事業		

A5 橋台及び P44 橋脚：第 4 パナマ運河橋整備事業に含む

出典：調査団

図 17.1 メトロ3号線整備事業との仕分け（案）

17.3 資金調達計画

本調査では、以下の資金調達計画を想定した。

- 円借款：全体事業費の 70%
- パナマ国政府資金：全体事業費の 30%

上記の資金調達計画では、円借款融資対象を、総事業費の 70% を上限として想定しているが、今後の事業審査過程において、パナマ国と JICA の間で調整が必要となる。

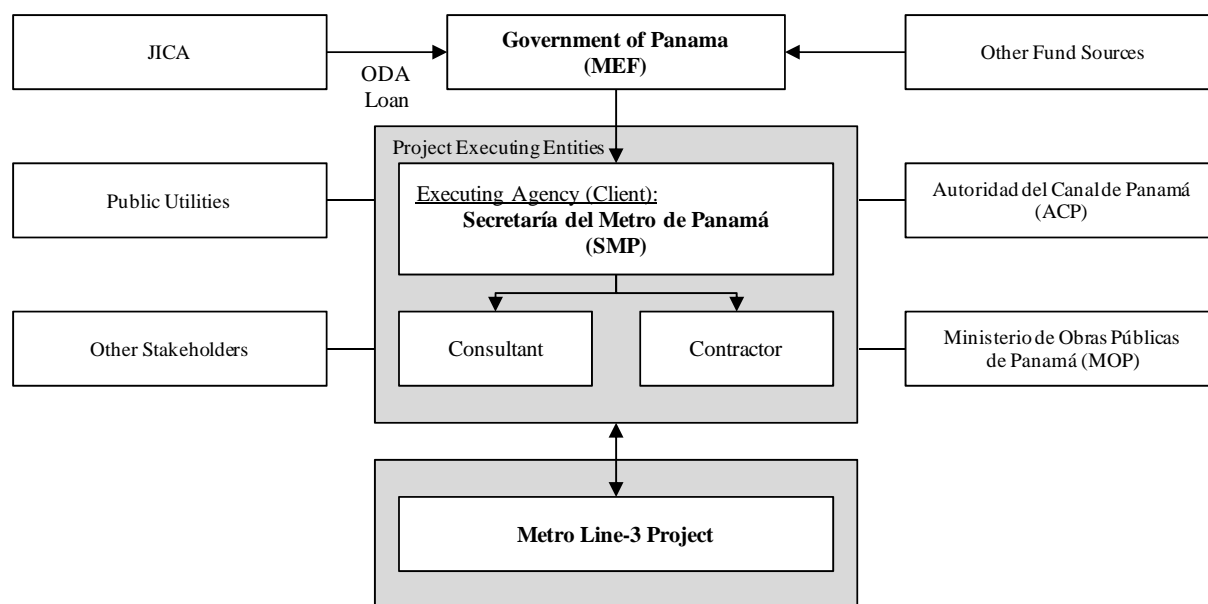
17.4 事業実施体制

17.4.1 事業実施体制

事業実施機関（施主）が詳細設計と施工監理のコンサルタントを調達、コンサルタントが作成する詳細設計に基づき施主が施工業者を調達する通常の契約方式で事業を実施することを想定した。前述の通り、橋梁建設に伴い、運河運用に対するインパクトやリスク分析が重要であることから、運河を管理する運河庁もメトロ庁に協力して事業を実施することになる。また、パナマ国において道路及び橋梁の計画、設計の基準を制定している公共事業省（MOP）もメトロ庁に対する事業実施協力機関となる。

事業実施中における関連組織としては、架空線、地下埋設物等の公共施設関連組織、その他のステークホルダー（港湾運営会社、運輸会社、等）がある。なお、当該事業はメトロ3号線と並行して事業が進行することから、両事業間の調整が重要となることを想定している。

図 17.2 に事業実施体制図を示す。



出典：調査団

図 17.2 事業実施体制図

17.4.2 事業実施機関の財務・予算構造・技術水準

(1) 組織体制

メトロ 3 号線の実施機関であるメトロ庁（SMP）が、第 4 パナマ運河橋建設の実施機関となり、施主としてコンサルタント及び請負業者とともに事業実施組織を形成する。尚、2013 年 12 月にパナマ国政府は、政府所有の新会社メトロデパナマ S.A に移行することを決定し、メトロ庁は 2014 年内に新会社になる予定である。

また、メトロ庁は、パナマ運河を管理するパナマ運河庁（ACP）と橋梁の設計及び施工に係る技術面に加え、橋梁建設時の運河に関わるインパクト及びリスク分析面について、意見の調整が必要となる。

(2) 財務・予算構造

メトロ庁は大統領府の下に組織されており、同じく大統領府の下に組織されている他の 2 つの組織と合わせ、会計単位を 1 つにまとめて管理されている。そのためメトロ庁単独のデータは入手できなかった。なお、2014 年内に新会社に移行することから、今後は年次報告書で公表されることになる。

(3) 技術水準

第 1 パナマ運河橋のアメリカ橋（形式：ブレースドリブアーチ橋）、第 2 パナマ運河橋のセンテナリオ橋（形式：PC 斜張橋）が既に供用し、ACP によって第 3 パナマ運河橋（形式：鋼・PC 複合斜張橋）の建設が予定されている。従って、長大橋に関する技術水準は高いものと考えられる。

17.4.3 運営維持管理機関の財務・予算構造・技術水準

(1) 組織体制

既に完成している第 1 パナマ運河橋（アメリカ橋）、第 2 パナマ運河橋（センテナリオ橋）の維持管理と同様に、公共事業省（Ministerio de Obras Públicas de Panamá）の維持管理部（Dirección de Mantenimiento）が第 4 パナマ運河橋の維持管理を管轄することになる。

(2) 財務・予算構造

都市内の街路及び都市間道路を良好な状態を維持するため、短期的に以下を予定している。

- 450億ドルを投資して、4,000kmの都市間道路網を完成させる
- 2,800万ドルを投入して既存の320kmの都市間道路を改善する
- 既存都市内街路の舗装パッチングの目的で2,500万ドルを計画している
- 維持管理作業として、側溝と排水施設の清掃、路面掃除、橋梁の維持補修とペイント、その他を予定している

(3) 技術水準

現在、MOPの維持管理部は2,000人のスタッフ及び1,340台の重機と小型機械を保有し、以下の維持管理を行っている。

- 7,000kmの都市内道路網（街路）
- 15,000kmの都市間道路（道路）
- 1,800箇所車両走行可能な橋梁、214箇所の歩道橋

MOPは、国内の上記の道路を対象に、新規建設工事並びに補修工事を行っている。これらの工事は、公開入札により民間業者に委託契約している。新設建設工事を行った業者が、建設後の2～3年間の維持管理に携わっている。このように新設建設工事の請負業者から、維持管理業者への技術移転が行われているため、維持管理を行っている業者の技術水準は高い。また、既存の長大橋である第1パナマ運河橋と第2パナマ運河橋の維持管理が良好に保たれている状況から判断して、維持管理業者の技術水準は高く、第4パナマ運河橋の維持管理作業についても十分な能力をもって実施されるものと想定される。

17.5 調達計画

17.5.1 コンサルタントの調達計画

(1) 調達方法

メトロ3号線事業ではデザイン・ビルド方式を採用するため（第8章参照）、両事業間の調整し易さを考えた場合、当該事業の詳細設計はコンサルタントが実施すべきである。

また、当該事業の建設工事はメトロ3号線と並行して事業を進めるが、当該事業の橋梁の床板工事完了後に作業が開始されるものがある。具体的には、メトロ3号線の工事の軌道敷設、信号設備等が該当する工事である。即ち、工事完了がメトロ3号線に先行しなければならない。

上記から、当該事業はメトロ3号線事業との調整事項が多いため、事業に精通したコンサルタントが継続して詳細設計と施工監理を行うことが望ましい。従って、詳細設計と施工監理のサービスを一回の調達で済ませることを想定し、コンサルタントの調達計画を行うこととする。

事業規模、技術水準に配慮して、JICAガイドラインに準拠したICB（国際競争入札）によるコンサルタント調達とする。

(2) コンサルタントサービスの範囲

- 詳細設計（構造解析、設計、図面作成、数量計算、技術仕様書作成、施工計画、積算）、事前資格審査（P/Q）図書作成、入札図書作成：18ヶ月
- 工事着手前の施主による施工業者調達の補助（P/Q 補助、入札補助、契約交渉及び契約書作成補助）：15ヶ月、うち5ヶ月は上記の詳細設計期間とオーバーラップ作業
- 施工監理（品質記録の立会・監理、進捗記録の立会・監理、出来形記録の立会・監理、出来高照査、安全管理確認）：48ヶ月（アーチリブ吊上げ工法の場合）、60ヶ月（ケーブル架設工法の場合）
- 瑕疵担保期間（1年間）の検査：12ヶ月

17.5.2 施工業者の調達計画

(1) 調達方法

施工業者の調達は、効率的な調達手続きを実行するために、事前資格審査なしの ICB を適用することを推奨する。入札者は、参加資格書類、技術提案そして価格提案を同時に提出することとする。

(2) 施工業者の業務の範囲

- 施主と合意した契約図書に基づき施設の建設、品質管理、進捗管理、出来形管理、出来高管理、安全管理：48ヶ月（アーチリブ吊上げ工法の場合）、60ヶ月（ケーブル架設工法の場合）
- 瑕疵担保期間（1年間）の補修：12ヶ月

17.6 事業実施スケジュール

上記を基に、本事業の実施スケジュールを作成した。

図 17.3 に事業実施スケジュール（航路利用有）、図 17.4 に事業実施スケジュール（航路利用無）を示す。

なお、本調査では航路利用有を最適案として提案しており（第 16 章参照）、その場合の事業実施スケジュールは図 17.3 に示す通りである。同事業実施スケジュールは、図 8.4 に示す通り、メトロ 3 号線事業の事業実施スケジュールと整合をとっている。

17.7 その他の留意事項

(1) 事業者間の費用負担

事業費の費用仕分けは、「17.1.1 事業内容」及び「17.2 メトロ 3 号線事業との仕分け」で記載した通りであるが、事業完成後の併用橋の所有・維持管理は公共事業省とし、メトロ 3 号線は第 4 パナマ運河橋を無償で利用できるものとする。

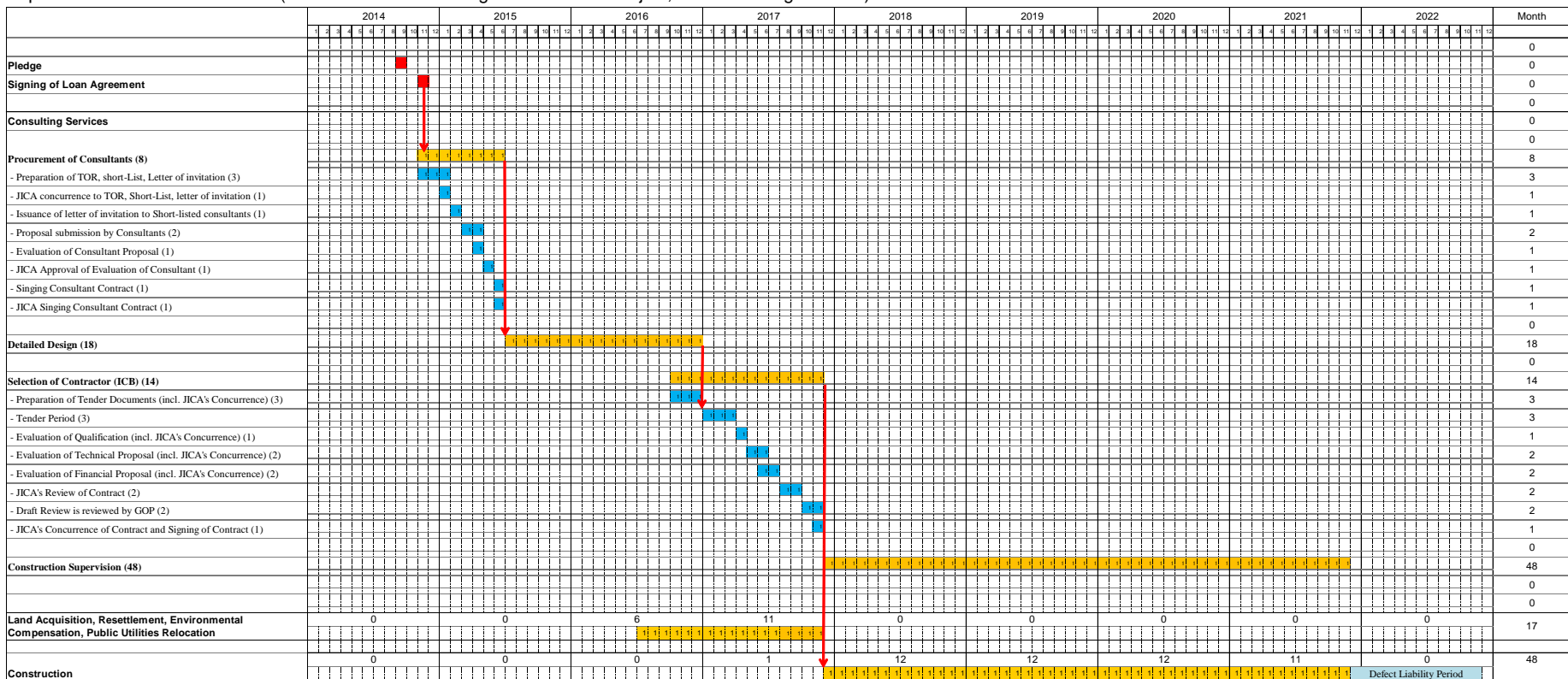
橋梁以外の施設の運営維持管理に関しては、「第 14 章概略運営維持管理計画」で記述した通りである。

(2) EIA 報告書の承認取得

本調査では、パナマ国の環境法及び JICA 環境社会配慮ガイドライン（2010 年 4 月公布）に基づき、本事業の EIA に係る必要な検討及び報告書案作成を支援した。

今後、ANAM により EIA 報告書案の審査が行われるが、ANAM から修正・追加作業を求められた場合は、パナマ側にて必要な作業を実施する予定である。

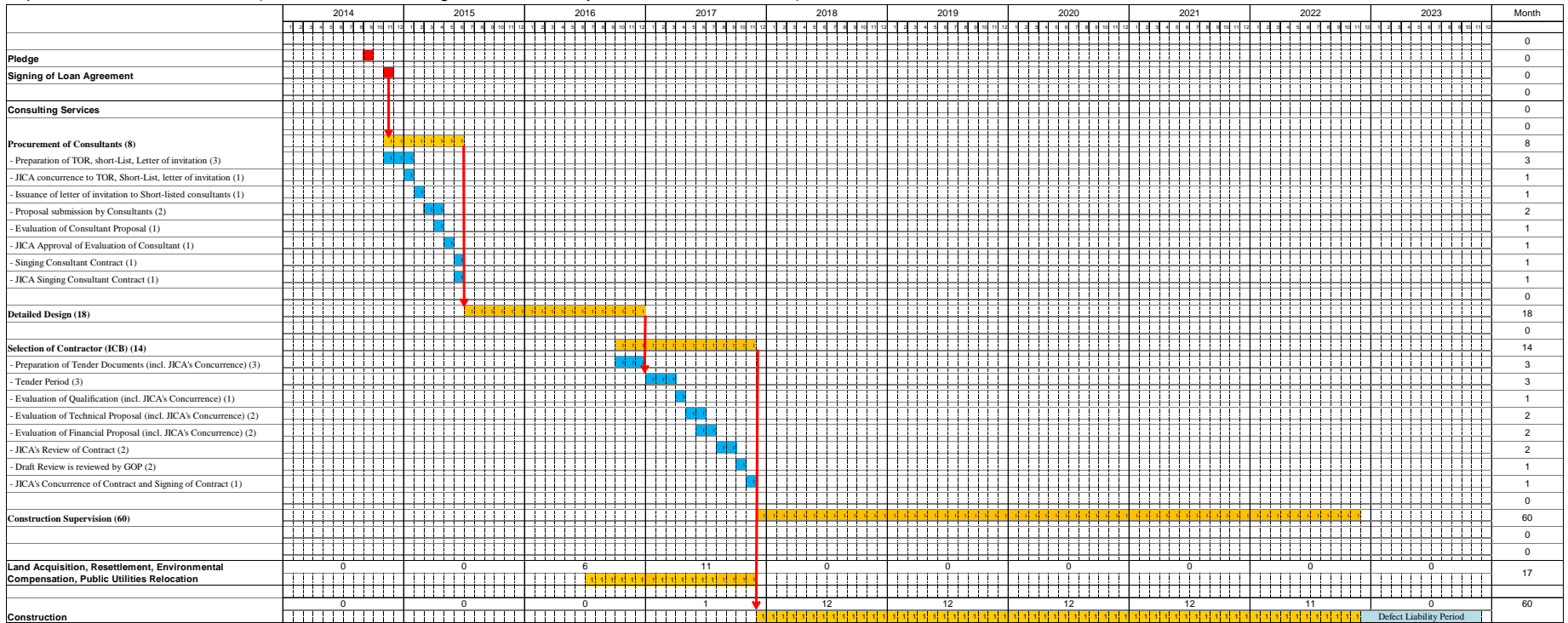
Implementation Schedule for ICB (4th Panama Canal Bridge Construction Project, Arch-rib Lifting Method)



出典：調査団

図 17.3 事業実施スケジュール（航路を利用できる場合）

Implementation Schedule for ICB (4th Panama Canal Bridge Construction Project, Cable Erection Method)



出典：調査団

図 17.4 事業実施スケジュール（航路を利用できない場合）

第18章 事業効果

18.1 温室効果ガス削減

3号線事業は、旅客輸送に使われる車両の数を減らす事によりCO₂の排出量を減らすとともに、3号線の運行に電気を利用する事により発電所からのCO₂排出量を増加させる。前者の削減量は後者より多いため、3号線事業は全体としてCO₂排出量を削減させる。

3号線事業によるCO₂削減量を推計するために、本調査では、気候変動対策支援ツール／緩和策（JICA-FIT）が利用された。

CO₂排出量の削減量は、表 18.1 に示す通り推計された。

表 18.1 事業によるCO₂排出の削減量

Year	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
t-CO ₂ /year	23,989	26,510	17,804	19,446	20,798	21,770	21,779

出典：調査団

18.2 運用効果指標

第4橋事業の運用指標は橋の一日交通量である。第4橋の計画では、車線数決定のためにピーク時の交通量を、舗装厚決定のために大型車の交通量を利用しているため、これらも運用指標として採用する。

3号線事業における基本的な運用指標は、旅客の輸送量と、列車の運行量であり、それぞれ一日平均利用者数と一日あたり列車キロを採用した。また、購入された車両が十分に活用されているかを見るため、車両の利用率も採用した。本事業では朝夕に集中する通勤・通学需要に対処する事が重要であるため、ピーク時の輸送力も運用指標として必要である。これにはピーク時平均運行本数を採用した。この他には運行密度として一日の列車本数も指標として考えられるが、これは列車キロを延長で割る事で計算されるため除外した。本調査で提案する運用指標は下表に示す通りである。

表 18.2 運用指標

事業	指標の目的	指標名	目標値（2025）
第4橋	自動車の交通量	一日あたり交通量	34,700
	ピーク時の交通量	ピーク時重方向交通量	1,800
	大型車の交通量	一日あたり大型車交通量	1,300
3号線	旅客の輸送量	一日あたり乗客数	172,200
	列車の運行量	一日あたり列車キロ	9,719
	ピーク時の輸送力	ピーク時平均運行本数	19
	車両の有効利用	車両利用率	90%

車両利用率=1両あたり稼働日数÷361（平均検査日数=4日/年）

出典：調査団

18.3 定性的効果

本事業においては、以下のような定性的効果が期待される。

- パナマ市のイメージ向上
- 観光開発
- 環境に優しい交通システム
- 効率的な移動が可能
- 都市開発・産業開発
- 教育施設への安全で全天候型のアクセス

18.4 経済分析

本調査では次の3通りの経済分析を実施した。すなわち、(a) 第4橋と3号線、(b) 第4橋、及び(c) 3号線である。これらの「事業あり」と「事業なし」のケースは以下の通りである。表中、①～③は第3章のネットワーク・シナリオ番号に該当する。

表 18.3 経済分析の対象

経済分析の対象	事業あり	事業なし
(a) 第4橋と3号線	③第4橋+3号線	①現況
(b) 第4橋	②第4橋	①現況
(c) 3号線	③第4橋+3号線	②第4橋

出典：調査団による設定

上記で、(c) 3号線の経済分析においては、第4橋は建設されるが3号線については建設されない場合を「事業なし」としており、第4橋と3号線が両方とも実現する場合を「事業あり」としている。これは、本調査では3号線が第4橋の上に建設される事を前提として実施されているためである。

「事業なし」のケースでは、2号線建設以外の公共交通改善事業は実施されないと仮定している。「事業あり」ケースは、「事業なし」ケースに3号線を追加する場合のケースである。しかしながら、第4橋における高速バスサービスは、「事業あり」と「事業なし」の両ケースで実施されると仮定する。

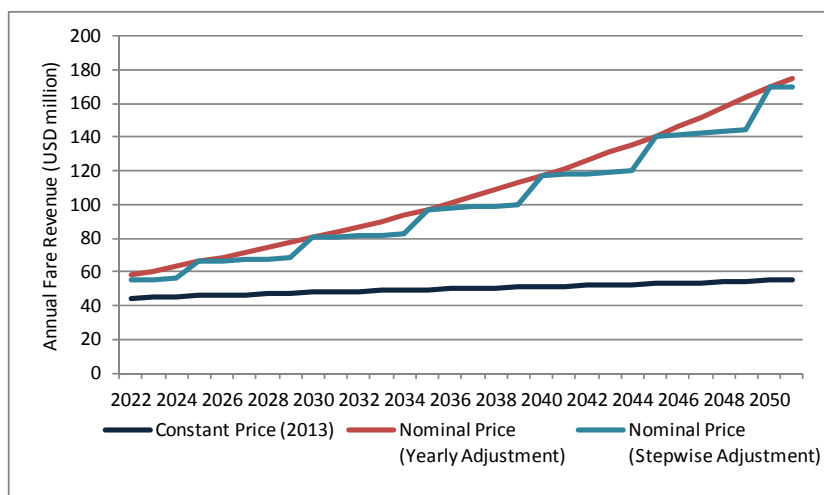
第4橋と3号線の両事業による経済便益は、移動時間の短縮と車両走行経費（VOC）の削減から成る。移動時間の短縮は、第4橋と3号線の利用者が実際に受ける直接便益である。

結果は下表に示す通りである。政府資本コストと比較すると、本事業はフィージブルと判断される。

分析対象	EIRR
(a) 第4橋と3号線	6.8%
(b) 第4橋	5.6%
(c) 3号線	8.2%

18.5 財務分析

運賃収入は以下の図に示すように推計された。



出典：調査団

図 18.1 運賃収入の予測

公共投資・運営スキームの加重平均資本コスト（WACC）は2.44%と計算された。一方、本事業の財務的内部収益率（FIRR）は、マイナス7.21%と計算された。

- ・ 主に高い建設費と抑制された運賃水準により、事業 FIRR はマイナス 7.20%と推計され、WACC（2.44%）と比較して事業は財務的にフィージブルでないと評価される。
- ・ 現在、政府はメトロ事業の運賃設定を予め定める制度を有しておらず、事業の長期的な財務的持続性が確保されていない。事業を健全に運営するためには政府補助金の投入が不可欠である。
- ・ 建設費・再投資費用に係るメトロ公社への補助金および円借款返済といった、政府が財政負担するライフサイクルコスト（LCC）の現在価値は、合計 13.80 億ドルと推計される。
- ・ PPP により民間事業者が事業参画する場合に、政府がバリューフォーマナー（VFM）を得るためには、政府より高い民間企業の資本コストを賄う以上の効率化（コスト・収入）が民間参画により実現される必要がある。VFM のために必要な効率性の推計結果からは、事業の建設費すべてを民間投資で調達するスキーム（BOT/BTO 方式及び民設公営スキーム）は極端に高度な効率性が民間に求められるために、実現可能性がないと考えられる。財務的なフィージビリティという観点で、VFM 達成のためには、政府が初期投資を負担するコンセッション方式が、より蓋然性の高いスキームである。

第19章 環境社会配慮

パナマ法令及び JICA ガイドラインに基づき、包括的な EIA 及び SRAP に関連する調査が両事業に対して実施された。これらの調査は、既存情報の収集及び分析、そして現地踏査及びインタビュー調査に基づく新規ベースラインデータの収集に注力した。パナマ法令に従い、ベースライン調査の一環として森林インベントリーも実施され、住民説明会やフォーカス・グループ・ディスカッションで収集された意見については、必要に応じて事業の設計やアプローチに反映された。

EIA 及び SRAP に関連する調査は、完全に参加型方式で、本調査のプロセスにおいて地元住民、市民社会、学術分野の意見が考慮に入れられることとなった。

影響評価は、環境及び社会における正負の潜在的な影響を正確に予測するために、体系的で量的な方法を使用して実施された。影響の確認に続き、包括的な環境管理計画 (EMP) が策定された。EMP には、潜在的な負の影響を受け入れられるレベルまで減少させ、正の影響を最大限にするための緩和策が含まれている。事業費積算及び入札図書作成において環境及び社会の緩和策について十分な資金が用意されるように、EMP 実施に必要なコストを概算した。

EIA 調査の主な結果と結論は以下のとおりである。

- 両事業の線形は、主に都市部、商業及び工業セクター、つまり交通量が多く、人間の活動により介入されているエリアを通過する。
- その結果、現況の騒音レベルは高く、事業対象地において水質及び大気質の結果も人間の活動を反映したものとなっている。同様に、第 4 パナマ運河橋の架設場所として提案されているパナマ運河の河口付近の環境は、パナマ運河の頻繁な船舶活動及びパナマ市に隣接しているという理由から、生物学的及び化学的に汚染されている。
- 本事業の線形は、いくつかの自然森林及びマングローブエリアを通過する。しかし、ベースライン調査の結果によると、喪失することになる生息地はすでに介入を受けており、動植物種の多様性や密度の高さは顕著ではなく、確認された絶滅危惧種のクリティカルな生息地ではなくことが確認された。
- 本事業は、交通渋滞の緩和、経済発展、移動時間の減少などの社会環境の様々な側面においてとても顕著な正の影響を与えることとなる。
- 本事業はまた、バスやその他の交通による排気や騒音の減少及びオフセットにより、局地的な正の影響ももたらすこととなる。より広いスケールについては、本事業により二酸化炭素排出量が年間 16,000～25,000 トン、オフセットされることが期待されている。
- 予測されている負の影響の大半は、建設期間に発生するもので、住民へ影響を与えるタイプのものである（これらの影響は可逆的で、短期間において発生するものである）。
- メトロ 3 号線事業及び第 4 パナマ運河橋事業の建設と運営において、陸上及び水中動植物への顕著な負の影響は予測されない。現地調査において、国際的貴重種が多数確認されたが、一次林は存在せず、喪失する予定のエリアにおいて一つもそれら

の貴重種にとってクリティカルな生息地は確認されなかった。建設期間に失われる小さなマングローブ林についても、早急な再生が予測されている。

- 約 13 ヘクタールの用地取得、5 家族の住民移転、41 の経済的移転が必要となる。調査を通じて、様々な代替案比較及び設計の変更が行われ、これらの負の影響を最小限にすることが試みられたが、いくつかのケースは避けることができない。実際、上記の数量は本事業の性質及び規模を考慮すると比較的少ないと考えられる。
- 世界銀行 OP4.12 及び JICA ガイドラインに基づき、戦略的住民移転計画（SRAP）が策定された。SMP は、入札図書準備期間において、本 SRAP を更新し、MINI RAP を策定することとなる。
- 全ての PAPs は、事業について十分に情報提供されてきており、適切に補償を受けることとなる。本事業に対する市民のサポートは、圧倒的にポジティブである。
- 建設期間におけるもっとも顕著な負の影響の程度は、「中程度」もしくは「低い」と判断されており、一般的な緩和方法を用いた EMP によって、容易に緩和することができる。
- 運営期間におけるほとんどの負の影響の程度は、低いと判断された。4 つの負の影響のみが、「中程度」と判断されており、それらは、騒音、振動、水の流出、局地的な微気候への影響である。これらの中程度の影響は、とても制限された局地的な部分において発生し、広い範囲に拡大しないことが見込まれていることを強調する。
- 影響の程度が「高い」もしくは「とても高い」と判断されたものに負の影響は一つも含まれず、全て正の影響である。
- 地元住民及び市民社会における事業に対する反応は、一般的にとってもポジティブである。

以下、調査団より JICA 及び事業実施主体に対する提言を示す。

1. 法令 123 号第 49 条によると、EIA 報告書はその承認から「事業の実施開始」まで 2 年間の有効期限を有するとなっている。本条項の文面は曖昧で、事業の「開始」とみなされる具体的な活動については述べられていない。調査団が調べた結果によると、EIA 報告書承認の条件として毎年 1 回 ANAM に報告書を提出することが定められており、ANAM に提出する第 1 回目の報告書において事業の進捗状況（例えば、設計や、入札図書作成）を記載して提出することにより、「事業の実施開始」とみなされることになる。したがって、SMP 及び JICA は将来 EIA を再度実施することを避けるために EIA の承認後 1 年以内に事業のフォローアップ調査を実施することを勧める。
2. パナマ国民に本事業は広く強く支持されているものの、PAPs、地元住民及び市民社会との対話は、計画、設計、建設期間を通じて維持される必要がある。
3. 同様に、環境及び社会の専門家を設計と建設の監督管理チームに含むことが重要である。
4. 環境及び社会への潜在的な影響を緩和するに当たり、選ばれたコントラクターが義務を履行することを確実にするため、BOQ に緩和策を含め、契約の支払いと関連付けることを強く提言する。

5. 本調査では、パナマ国の環境法及び JICA ガイドラインに基づき、本事業の EIA に係る必要な検討及び報告書案作成を支援した。今後、ANAM により EIA 報告書案の審査が行われるが、ANAM から修正・追加作業を求められた場合は、パナマ側にて必要な作業を実施する予定である。

第20章 本邦技術の紹介

20.1 概要

本プログラムに有用な、以下の要件に合う本邦技術を紹介する。

- 本調査の中で計画した技術
 - 本調査の中で計画していないが、詳細設計段階での検討・計画を薦める技術
- メトロ3号線及び第4パナマ運河橋の両事業について、以下の本邦技術を紹介する。

メトロ3号線事業（20.2章参照）

- 鉄道システム用地上蓄電設備（BPS）

第4パナマ運河橋事業（20.3章参照）

- 橋梁用高降伏点鋼材（SBHS）
- ニッケル系高耐候性鋼
- 鋼管矢板基礎
- 低位置照明

20.2 メトロ3号線事業

20.2.1 鉄道システム用地上蓄電設備（BPS）

調査団の提案しているモノレールシステムそのものが本邦企業の開発した技術を活用したものであるが、付帯設備にも本邦技術である大容量ニッケル水素電池「ギガセル（商品名）」を用いた鉄道システム用地上蓄電設備（バッテリーパワーシステム：BPS）の活用が可能である。

これは、停電して長時間車両を動かさない場合に、BPSを設置することにより、低速ではあるが路線上のすべての列車を最寄り駅まで移動させることができる。

BPSには停電時の非常走行の他に以下の効果を期待することが可能である。

- 自列車や他の列車が消費しきれなかった回生電力をBPSに充電することによって回生電力を最大限活用することができる。
- 列車本数の多いラッシュ時にBPSから放電することによって受電デマンドを抑制できる。
- BPSからの放電により列車力行をアシストすることで電圧降下を防ぎ、列車の最適な運転を実現できる。
- BPSからの放電で変電所機能を補完し、変電所の小型化を図れる。

BPSについては避難通路に関するSMPとの議論の中で出てきたもので、モノレールの場合、軌道に沿って避難通路を設置すると景観を損ねること、車両から通路への移動が難しいこと等の理由で設置しないケースも多いが、安全上の理由から設置を検討した。協議の結果、この設備を置くことで避難通路の設置は不要という結論に至ったものである。（車両火災時でも最寄り駅まで走行することが基本。）

国内においては既に東京モノレールや大阪市営地下鉄、東急電鉄等に導入実績がある。国外ではアメリカのワシントンD.C.地下鉄で実証実験を行っている。

20.3 第4パナマ運河橋事業

20.3.1 橋梁用高降伏点鋼材（SBHS）

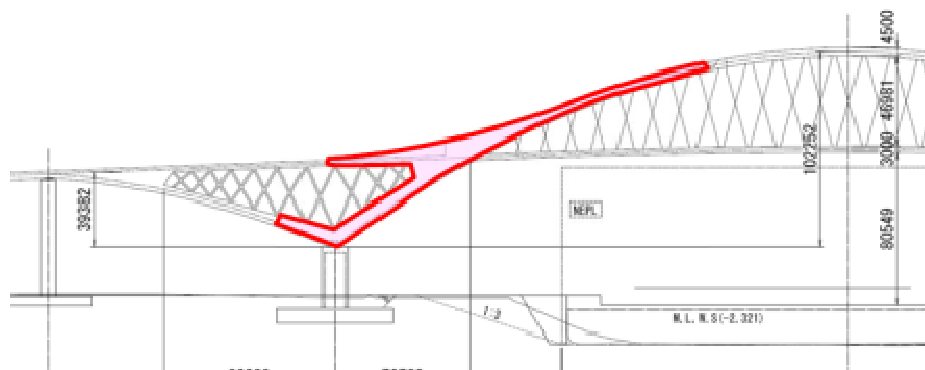
以下の理由により、第4パナマ運河橋主橋へのSBHSの適用を計画した。

- 第4パナマ運河橋主橋は、長支間（中央径間長：540m）を有し、鋼重が建設費に大きな影響を及ぼすため、SBHSを適用し、板厚の低減（鋼重の削減）を図った。
- 鋼橋の外部材は、維持管理性を高めるため、継手は現場溶接（ボルトレス化）とし、実現のために、SBHSを適用の上、板厚の低減及び溶接性を確保した。

第4パナマ運河橋主橋の主構造部は、SM490Y相当を基本とし、板厚が40mmを超える箇所については、SBHSを適用の上、板厚の低減及び溶接性を確保した。

SBHSのグレードは、板厚低減の効率、溶接性及び実績を踏まえ、SBHS500を採用し、発生断面力が大きくなるアーチリブの隅角部及び基部に適用した。

図20.1に本事業におけるSBHSの適用箇所（第4パナマ運河橋主橋）を示す。



出典：調査団

図 20.1 本事業における SBHS の適用箇所（第 4 パナマ運河橋主橋）

20.3.2 ニッケル系高耐候性鋼

第4パナマ運河橋主橋及び取付橋の一部区間に鋼橋を計画したため、アーチリブを箱型にする等、塗装面積の最小化に配慮したが、塗装の維持管理は依然として必要となる。

従って、塗装の維持管理に係る負荷を軽減するために、耐候性鋼の適用を検討した。

本事業が都市道路の一部である事を鑑み、鋼橋の防食に対しては塗装を施す計画とした。塗装タイプは、太平洋沿いの厳しい環境を踏まえ、耐久性の高いフッ素樹脂塗装とした。これにより、塗装の更新頻度は40年毎程度を想定した。

一方、鋼材は耐候性鋼仕様を適用し、塗装の更新前に部分的に塗装が剥げ落ちた場合も、保護性さびにより地鉄を保護し、部分塗装の頻繁な実施を回避できる計画とした。

なお、架橋位置が太平洋に近い為、耐候性鋼はニッケル系高耐候性鋼を計画したが、現在、適用の可否を検討するため、既存アメリカ橋位置において暴露試験及び飛来塩分量測定を実施中である。詳細設計段階において同試験結果の分析を行い、適用の可否について、最終的に判断することとする。

20.3.3 鋼管矢板基礎

第4パナマ運河橋主橋は、長支間（中央径間長：540m）を有するため水平反力が大きく、かつ、水上部に位置する事から、大規模な仮締切り及び基礎工が必要となる。

従って、仮締切工と基礎工を兼ね、かつ、曲げ剛性が大きい鋼管矢板基礎を適用の上、経済的・合理的な基礎工の計画を図った。

第4パナマ運河橋主橋の西側アーチ基部（P32橋脚）は、反力が大きく、水上に位置するため、鋼管矢板基礎を適用した。一方、西側取付橋水上部の橋脚は、反力が小さく、かつ、巻き出し工法による施工が合理的であるため、鋼管矢板基礎は適用していない。

20.3.4 LED 低位置照明

以下の理由により、第4パナマ運河橋への低位置照明の適用を検討した。

- ポール照明張出基礎が支障になる。
- 景観を考慮し、アーチ部とその他エリアにて照明手法を変える。
- 高架橋のため、メンテナンス時において高所作業車を使用しなくても作業が行える。

低位置照明は、通常のポール照明では、高さが10mや12mなどに対して、取付位置が1m程度のため施工性、保守性に優れた手法となっている。連続的な配置になることから、視認性・誘導性に優れた照明であり、均斉度も非常によい。

従って、本調査では低位置照明の適用を提案したが、パナマでの実績がないため、路面の輝度が確保できるか否か、詳細設計段階でシミュレーションにより確認し、採用の適否を決めることとした。

従って、本調査段階では、暫定的にポール式照明を計画した。

第21章 結論と提言

21.1 結論

- 1) 本事業（都市交通3号線と第4パナマ運河橋）はパナマ運河に架橋して都市交通システムを導入するもので、アメリカ橋の混雑解消とともに運河西側地域の発展に貢献する事が期待されている。本事業による費用と便益を比較した結果、本事業は経済的にフィージブルであるとの結論に至った。また本事業により年間17,000トンのCO₂が削減されると推計された（2035年）。
- 2) 都市交通3号線の候補として、鉄道、モノレール、AGT、LRT、BRTなどのシステムを比較検討した結果、急坂やカーブが多い地域に柔軟に対応できる跨座式モノレールが最適システムとして採用された。
- 3) 路線については、当初、建設が容易なオートピスタ沿いに計画されたが、パンアメリカン道路案との比較検討の結果、既成市街地が形成されているパンアメリカン道路案が選定された。車両基地はヌエボ・アライハン西方の高台に計画された。総延長はアルブルック駅～シウダッド・デル・フトゥーロ駅間の25.8km、駅数は15駅である（うち3駅は将来駅）。なお、シウダッド・デル・フトゥーロ駅から西方のラ・チョレラまでの区間は将来構想であり、本調査の対象外である。
- 4) 列車は6両編成跨座式モノレールとし、2035年に片道最大20,000人を輸送する。当初156両の車両を導入し、需要に応じて車両を増やしていくものとする。電化方式は直流1500Vで中間車4両を電動車とし、誘導電動機はVVVF制御により制御され、回生ブレーキの機能を備える。
- 5) 路線は第4パナマ運河橋区間以外全て高架とし、原則として道路の中央を通す。駅は道路上空に設置し、歩道から階段やエスカレーターでアクセスできる構造にし、コンコース階とプラットホーム階の2層構成とする。また乗客の安全のため、プラットホームスクリーンドアを設置する。なお、変電設備は全て駅に設置する。
- 6) 第4パナマ運河橋とその取付部分は、東岸側のアルブルック地区のCorridor Norteへの接続点を起点とし、バルボア港でパナマ運河を渡り西岸のアライハン地区に至る約6.72km、中央分離帯を有する片側3車線の一般道路である。総延長6.72kmのうち、第4パナマ運河橋及び前後の取付高架を含む延長2.183km部分は複線のメトロ3号線と片側3車線の一般道路の併用橋である。
- 7) 東岸には、空域制限のあるヘラベル国際空港、複雑なロータリー形式のOmar Torrijos交差点、ルーズベルト道路沿いの政府機関の重要建造物や地下埋設公共施設が多く存在する。そして、バルボア港の敷地から第4パナマ運河橋で運河を渡り西岸のアライハン地区に至る約6.72km、中央分離帯を有する片側3車線の事業である。また、アライハン側ではアメリカ橋への接続道路が予定されている。
- 8) 第4パナマ運河橋としては、ACPが実施したPre F/Sで提案した延長1,118mの斜張橋と本F/S調査の中で代替案として延長840mの鋼アーチ橋を検討し、概略設計を実施した。鋼アーチ橋の場合、運河を使用して組み立てたアーチリブを台船から吊上げて架設する方法を調査団が検討し、その工法に対してACPとSMPがリスク分析を行った。調査団は、この結果を鋼アーチ橋建設費に追加した。
- 9) 延長1,118mの斜張橋と延長840mの鋼アーチ橋の2つの橋梁形式案に対してマルチ・クライテリア分析を行った。その結果、高い剛性を有する構造的性、近傍のアメリカ橋と類似のアーチ形状による美観の優位性、初期投資コストと完成後の100年間にわたる維持管理費を含むライフサイクル・コストの項目において延長840mの鋼アーチ橋が優位となった。

- 10) また、調査団はパナマ市の南北交通のためのアンダーパス建設を含む将来のオマール・トリホス交差点改良のコンセプトデザインを実施した。コンセプトデザインに対してモーニングピーク時におけるマイクロシミュレーションを実施した。そして、第4パナマ運河橋から市内に至る主たる交通はオマール・トリホス交差点で Av. Omar Torrijos Herrera に向かうものであり、Pre-FS で提案された第4パナマ運河橋から Corridor Norte の料金所方面に向かう約 1.5km 区間を使用する車両は極端に少ないことが判明した。従って、オマール・トリホス交差点改良が第4パナマ運河橋への円滑な接続にとって重要であることが確認された。
- 11) 本 F/S を通じ、様々な住民参加の形をとりながら EIA の実施及び戦略的住民移転計画が策定された。EIA の結果、特記すべき顕著な負の影響は予見されず全ての負の影響を適切に対応するための環境管理計画が策定された。住民移転はなく、数件の経済的移転及び ACP の建物移転に対しては JICA ガイドラインに基づき必要な補償手続き等が取られる。
- 12) 第4パナマ運河橋建設工事に先立って、施主設計による詳細設計・入札図書作成が必要である。この詳細設計に 18 カ月を要する。この詳細設計において、耐風安定性に対する風洞実験によるモデルテストを実施し、橋梁断面の最適化作業が重要となる。また、鋼アーチ橋は、経験事例の無い大規模なアーチリブ吊上げ架設が予定されることから、架設時の数値解析シミュレーション（3D イメージ）を実施して安全な架設計画を詳細に検討することが重要となる。
- 13) 第4パナマ運河橋への接続性向上のために、オマール・トリホス交差点改良が必須である。この交差点改良の完成は、第4パナマ運河橋の完成と同時期が最も望ましい。
- 14) 第4パナマ運河橋その取付部分の工事は 48 カ月を要する。このうち最後の 6 カ月間は、橋梁仕上げ工事とメトロ 3 号線のインフラ敷設工事が並行して進められる。
- 15) 本事業の概算事業費は、表 21.1 に示す通りである。

表 21.1 本事業の概算事業費

Item		Metro Line-3		4th Panama Canal Bridge		Total	
		F/C (Equiv.)	L/C (Equiv.)	F/C (Equiv.)	L/C (Equiv.)	F/C (Equiv.)	L/C (Equiv.)
		(Mil.JPY)	(Mil.USD)	(Mil.JPY)	(Mil.USD)	(Mil.JPY)	(Mil.USD)
A. Eligible Portion							
I	Procurement / Construction	190,001	1,906	161,666	1,622	351,667	3,528
II	Consulting Services	8,839	89	11,651	117	20,490	206
Total (I+II)		198,840	1,994	173,318	1,738	372,158	3,732
B. Non Eligible Portion							
a	Procurement / Construction	342	3	1	0	343	3
b	Land Acquisition	2,693	27	620	6	3,313	33
c	Administration Cost	10,094	101	8,697	87	18,791	188
d	VAT	0	0	0	0	0	0
e	Import Tax	0	0	0	0	0	0
Total (a+b+c+d+e)		13,129	132	9,319	93	22,448	225
Total (A+B)		211,969	2,126	182,636	1,832	394,605	3,958
C	Interest during Construction	7,930	80	7,697	77	15,627	157
D	Front End Fee	398	4	693	7	1,091	11
Grand Total (A+B+C+D)		220,296	2,210	191,026	1,916	411,322	4,126

1 USD = 99.7 JPY

出典：調査団

21.2 事業実施及び整備主体・体制にかかる留意点及び提言

21.2.1 都市交通3号線

都市交通3号線の事業実施にあたっては、以下の点に留意する必要がある。

- 第4パナマ運河橋の設計及び建設との調整
- 車両基地用地の確保
- 十分な技術・実績を有する業者の選定
- メトロ庁新組織の確定

(1) 第4パナマ運河橋の設計及び建設との調整

モノレールは第4パナマ運河橋の上を走行するが、モノレール軌道と第4パナマ運河橋が合流する前後における設計には両者間の緻密な調整が要求される。また、第4パナマ運河橋上ではたわみや変位量も整合を図る他、地震時の変位も揃える必要がある。さらに、モノレールは第4パナマ運河橋が完成しなければ走行させる事が出来ないため、建設スケジュールの密接な調整が不可欠である。

このように、3号線の事業実施にあたっては第4パナマ運河橋の設計及び建設との調整が課題である。このため、両事業のエンジニアリングサービスを調整するプロジェクト・マネジメント・コンサルタントの活用、もしくは両事業のエンジニアリングサービスの一体化を検討する事が望ましい。

(2) 車両基地用地の確保

車両基地の予定地周辺では民間の都市開発が活発に行なわれており、事業着手までの期間が長びくと、車両基地予定地でも民間による都市開発が行なわれる可能性は否定できない。このため、メトロ庁が事業実施前に先行して車両基地の用地を確保する手続きに着手すべきである。

(3) 十分な技術・実績を有する業者の選定

3号線については、8.5節で記載の通り、FIDIC Yellow Bookに基づく設計施工契約により実施する方式が最適である。この場合、業者がモノレールの詳細設計を行なうため、国際競争入札においては、入札資格としてモノレール事業について十分な技術・実績を求める必要がある。具体的には下記の通りの要件が必要であろう。

- 本国内及び外国における十分な運用実績を有すること。
- 路線長10km以上で現在も営業運転している路線が3路線以上あること。
- 公共交通システムという性格上最低でも20年以上の実績を有すること。
- 実績とする路線の中にパナマメトロ3号線のように起伏に富んだルートを含むこと。
- 将来の車両更新に備えて跨座式モノレール車両及び分岐器の製造に30年以上の実績を有すること。
- 性能仕様書に示される輸送能力の証明。
- 本国／海外実績で採用している技術基準。
- モノレール運営・維持管理業務への直接的及び間接的な関与経験及びその期間。
- 実績とする路線における事故及び故障の実績、安全管理体制。
- 実績とする路線の建設期間。

等である。

(4) メトロ庁新組織の確定

本事業の実施には運河庁との調整が必要であるが、現在のメトロ庁にはその役割を果たすだけの能力がある。一方で、8.6.2 節に記載の通り、メトロ庁は 100% 政府出資のメトロ公社へと組織変更される予定である。事業実施にあたっては、メトロ公社が早期に設立される事が望ましいが、2014 年 7 月時点ではまだ具体的な動きはない。事業実施にあたっては、実施主体たるメトロ公社の設立について注視しておく必要がある。

本事業を早期に着手するためにも、新組織の形態を確定し、早期に設立させるべきである。

21.2.2 第 4 パナマ運河橋

事業実施にあたっては、以下の点に留意する必要がある。

- 主径間架設に係る航路利用許可の取得
- 橋梁及び取付部の詳細設計を実施主体が実施
- アーチ橋架設に対する詳細検討を実施
- 都市交通 3 号線の設計及び建設との調整
- 第 4 橋梁への接続性向上のために、オマール・トリホス交差点改良
- EIA 報告書の承認取得
- 工事工区分けの検討
- 十分な技術・実績を有する業者の選定

(1) 主径間架設に係る航路利用許可の取得

現時点では、主径間架設時の航路利用について、パナマ国運河庁の合意を得ていないため、今後、本報告書を基に、パナマ国運河庁の合意を得る必要がある。

(2) 橋梁及び取付部の詳細設計を実施主体が実施

第 4 パナマ運河橋建設工事に先立って、施主 SMP による詳細設計・入札図書作成が必要である。この詳細設計に 18 カ月を要する。この詳細設計において、耐風安定性に対する風洞実験によるモデルテストを実施し、橋梁断面の最適化作業が重要となる。

(3) アーチ橋架設に対する詳細検討の実施

第 4 パナマ運河橋主橋は、経験事例の無い大規模なアーチリブ吊上げ架設が予定されることから、架設時の数値解析シミュレーション（3D イメージ）を行い、安全な架設計画を詳細に検討することが重要となる。実際のアーチリブ吊り上げ架設工事前に架設工事に使用する機械の機能及び容量を確認するため、実寸のシミュレーション試験をサイト近傍で実施する。更に、アーチリブ吊り上げ架設工事中にパナマ運河の航路にアーチリブが落下した場合、本調査で検討したものより簡単なアーチリブ撤去方法の代替案を検討することを調査団は提言する。

(4) 都市交通 3 号線の設計及び建設との調整

第 4 橋梁とその取付部分は、東岸側のアルブロック地区の Corridor Norte への接続点を起点とし、バルボア港でパナマ運河を渡り西岸のアライハン地区に至る約 6.72km、中央分離帯を有する片側 3 車線の一般道路である。総延長 6.72km のうち、第 4 橋梁及び前後の取付高架を含む延長 2.183km 部分は複線のメトロ 3 号線と片側 3 車線の一般道路の併用橋である。

第4橋梁とその取付部分の工事は48カ月を要する。このうち最後の6カ月間は、橋梁仕上げ工事とメトロ3号線の軌道、電気通信施設等を含むインフラ敷設工事が並行して進められることになる。従って3号線との調整は設計及び建設期間を通じて必須となる。

(5) 第4橋梁への接続性向上のために、オマール・トリホス交差点改良

調査団はパナマ市の南北交通のためのアンダーパス建設を含む将来のオマール・トリホス交差点改良のコンセプトデザインを実施した。コンセプトデザインに対してモーニングピーク時におけるマイクロシミュレーションを実施した。そして、第4橋梁から市内に至る主たる交通はオマール・トリホス交差点で Av. Omar Torrijos Herrera に向かうものであり、第4橋梁から Corridor Norte の料金所方面に向かう約1.5km区間を使用する車両は極端に少ないことが判明した。従って、オマール・トリホス交差点改良が第4パナマ運河横断橋への円滑な接続にとって重要であることが確認された。

第4橋梁への接続性向上のために、オマール・トリホス交差点改良が必須である。この交差点改良の完成は、第4橋梁の完成と同時期が最も望ましい。

(6) EIA 報告書の承認取得

本調査では、パナマ国の環境法及び JICA 環境社会配慮ガイドライン（2010年4月公布）に基づき、本事業の EIA に係る必要な検討及び報告書案作成を支援した。

今後、ANAM により EIA 報告書案の審査が行われるが、ANAM から修正・追加作業を求められた場合は、パナマ側にて必要な作業を実施する予定である。

(7) 工事工区分けの検討

地形状況はパナマ運河を挟んで東西に分けられ、東側は交差点や既設道路を含む市街地である。陸上輸送網は東西を接続する路線として既設アメリカ橋のみであるため、主な工事搬入経路もそれぞれ別系統となる。

一方で工事は橋梁工及び道路工が主体で、工種は多岐に及ぶ構造形式が含まれている。これらの工事は限られた作業スペースのなかで並行作業により進めるため、ヤードや工程がお互いに干渉しないよう調整する必要がある。従って、工区分けについては相互間の工程管理面に優れ、かつ包括的な事業実施が可能な1パッケージを想定する。

但し、工事規模が大きくなるため、応札業者が少なくなる様、今後更なるヒアリングを経て最終決定することが望ましい。

(8) 十分な技術・実績を有する業者の選定

施主 SMP が第4パナマ運河橋と取付部の詳細設計を行ない、その詳細設計に基づいて工事の国際競争入札が行われる。国際競争入札においては、入札資格として第4橋梁及び取付部の事業について十分な技術・実績を求める必要がある。具体的には下記の通りの要件が必要であろう。

- 本国内及び外国における十分な運用実績を有すること。
- 鋼アーチ橋の制作、施工実績が十分あること。
- 台船を利用した水上の橋梁施工実績が十分あり、アーチリブ吊上げ架設の実績が3件以上あること。
- 所定の施工期間を遵守できる工場施設を有し、現場の体制及び施工重機が十分であること。

21.3 事業運営・維持管理体制にかかる留意点

21.3.1 都市交通3号線

本事業の運営主体は、メトロ1号線を運営しているメトロ庁（若しくはその後継組織）となる予定である。メトロ1号線の場合、車両の維持管理は1号線の車両を納入したメーカーに委託される。一方、3号線のシステムは1号線と異なるため新規の維持管理体制が必要となる。モノレール技術の特殊性を考慮して、維持管理作業及び技術移転を建設契約に含めることを提案する。

維持管理作業を建設契約に含めることが難しい場合は1号線と同様の方法で民間委託する必要がある。しかしながら、本邦企業は様々なリスクを考慮して海外プロジェクトへの参加に消極的であった。上記リスクを軽減してモノレールのO&Mの経験を有する本邦企業の参画を促すために近々設立が予定される海外交通・都市開発事業支援機構のサポートを利用することが考えられる。同機構の参加によって参加企業のリスクを軽減できるものと思われる。

1号線は延長約13.7kmと短く、混雑する都市内を走行するので鉄道に関連した施設を使ったビジネスを行う余地は少ない。それに対し、3号線は開業時に延長25.8km、将来的には30kmを超える予定である。しかも未開発地域や開発中の近郊地域を走行する区間がほとんどであるために鉄道関連ビジネスを実施する余地が多いと言える。現在メトロ庁は鉄道関連ビジネスに対する関心は薄いようであるが、会社組織への改編時に運賃収入以外の収入の比率を上げるようなビジネスを展開できる組織とすることを提案する。運賃外収入を得る業務としては以下のような事業が挙げられる；

- 駅構内及び電車内広告
- 駅構内売店
- P&R（パークアンドライド）設備
- 駅ビル開発

なお本邦においては、大手私鉄16社の運賃外収入の平均は総収入の10.5%に及んでいる。

21.3.2 第4パナマ運河橋

既存のアメリカ橋及びセンテナリオ橋と同様に、第4橋梁の橋梁及び取付部の土木施設の維持管理はパナマ公共事業省（MOP）が管轄し、交通管理システム及び機電の維持管理は陸運交通公団（ATTT）が管轄することになるため工事期間中からMOP及びATTTと十分な連携が必要となる。