

第12章 橋梁設計

12.1 概要

12.1.1 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。

12.1.2 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
- 標準横断の設定
- 橋梁の概略設計（橋梁計画及び断面算定）
- 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（11.5章参照）、同交差点改良に係る橋梁計画は実施していない。

12.1.3 調査結果

表 12.1 に橋梁概略設計結果概要、図 12.1 に橋梁位置図を示す。

なお、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 1+320~1+570	270m 250m	2@40m+30m+4@40m 50m+2@60m+45m+35m	22.100m	PC-I 桁 鋼箱桁
		跨道橋 No.2	2+000~2+260 2+260~2+740	260m 480m	5@40m+2@30m 60m+4@90m+60m	29.400m	PC-I 桁 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
4		主橋	3+380~4+220	840m	150m+540m+150m	48.742m~52.872m	鋼アーチ
5		西側取付橋	4+220~5+030 5+030~5+390	810m 360m	90m+3@100m+80m+5@60m+40m 9@40m	38.400m~48.742m 29.400m	鋼箱桁 PC-I 桁
6	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	PC-I 桁

出典：調査団



出典：調査団

図 12.1 橋梁位置図

12.2 計画・設計条件

12.2.1 計画条件

(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。

(2) 主な計画条件

1) 地形・地質条件

i. 地形条件

パナマ国は、北側はカリブ海、南側は太平洋に面し、東側はコロンビア、西側はコスタリカに隣接しており、国土面積は7万7082平方キロメートルを有する。

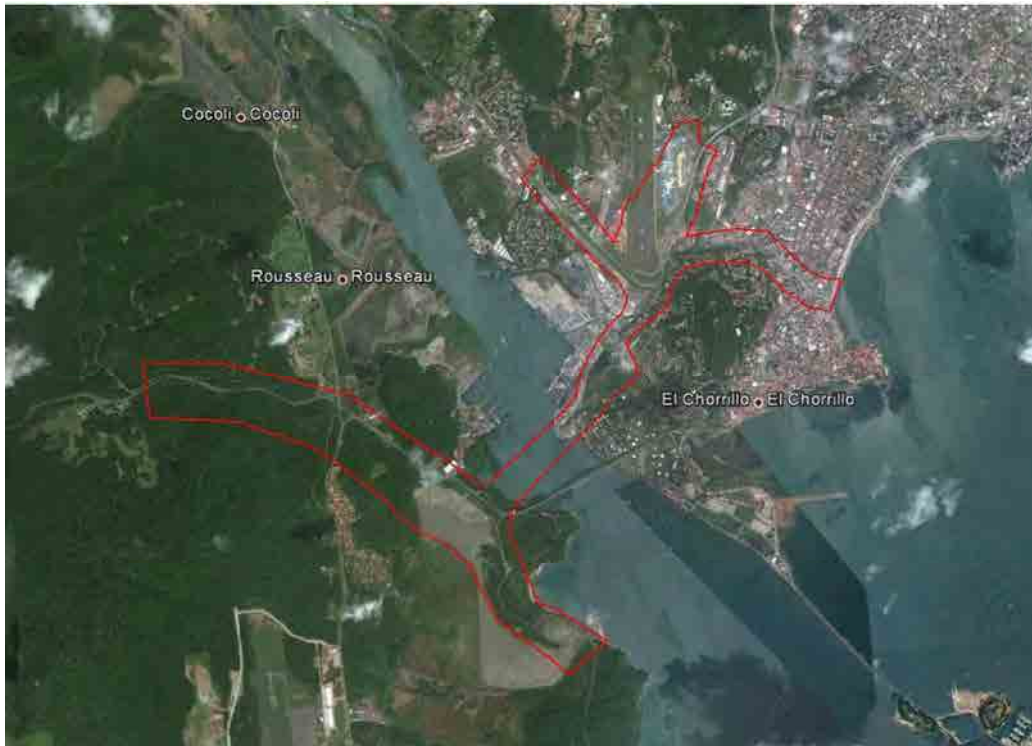
国土の中央部はパナマ運河が縦貫しており、南北アメリカ大陸が最も狭窄した地域となる。本事業の対象地域は、急激な地殻変動により形成されたパナマ盆地に位置し、パナマ運河の両岸は、比較的なだらかな山地が形成されている。

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。

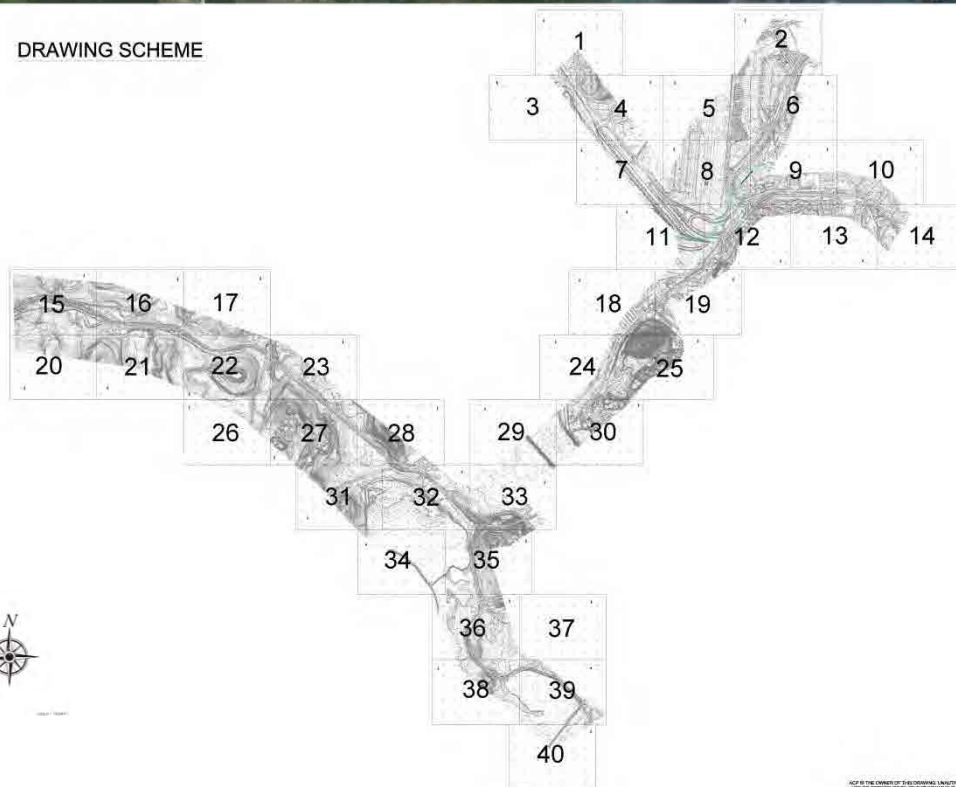
- 10m コンターCAD/世界測地系（WGS84）/UTM（ユニバーサル横メルカトル図法）

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。

図 12.2 に本調査で使用した地形データを示す。



DRAWING SCHEME



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

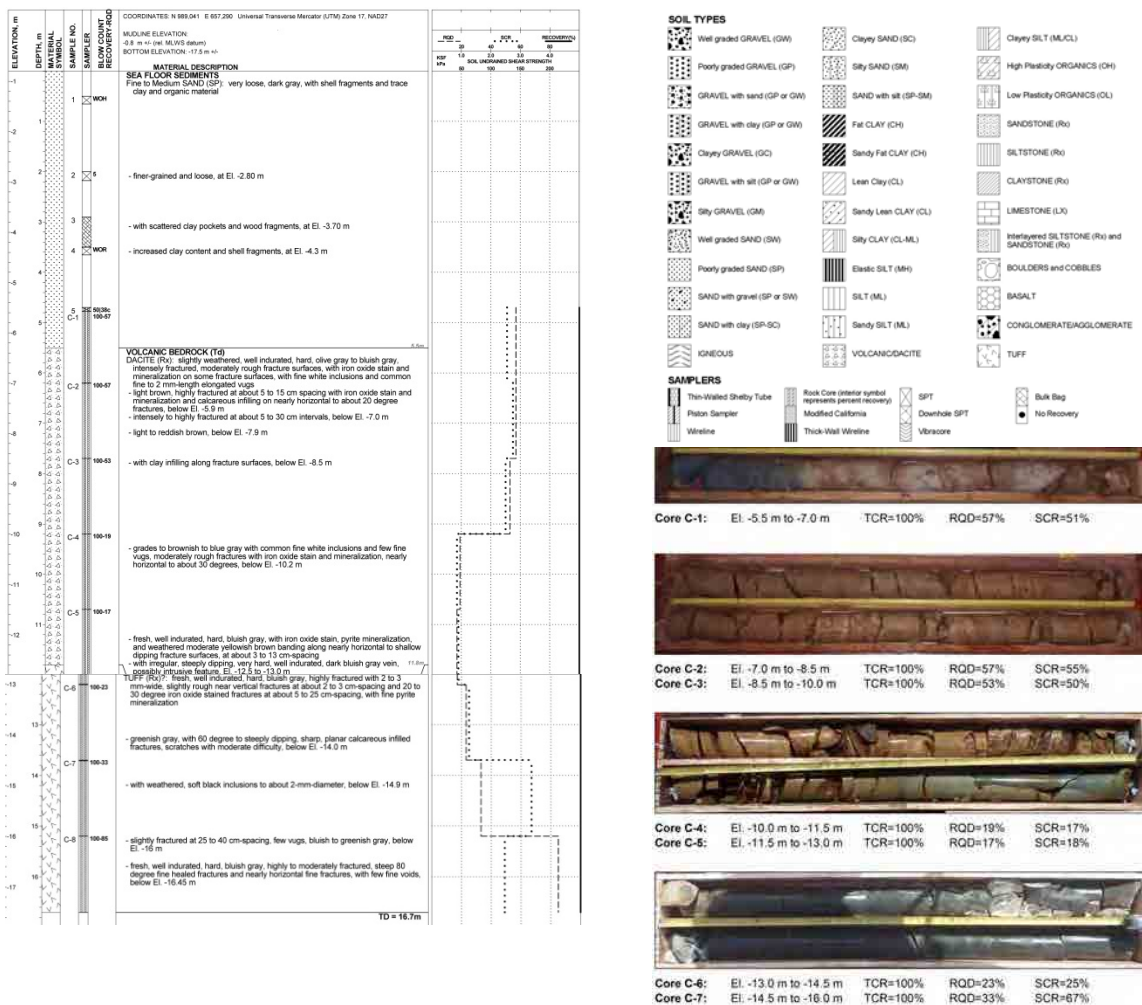
図 12.2 本調査で使用した地形データ

ii. 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。

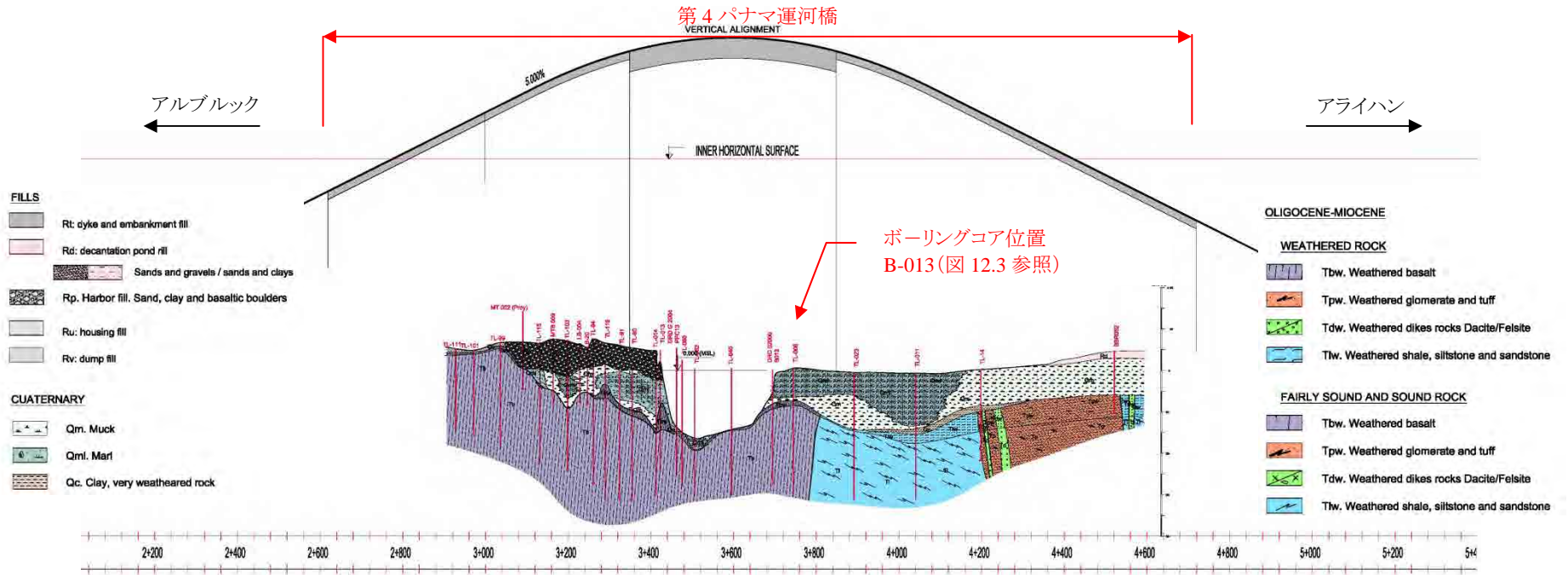
図12.3に示す通り、平地部においては、岩盤上に海岸堆積物の沈殿によって形成された軟弱な粘土が堆積している。また、東側のパナマ市街地域は、泥灰土と黒泥の互層上を埋め立てにより生じた盛土層が堆積している。

図12.3に代表的な地質状況（平地部）、図12.4に地質縦断面図（第4パナマ運河橋）を示す。

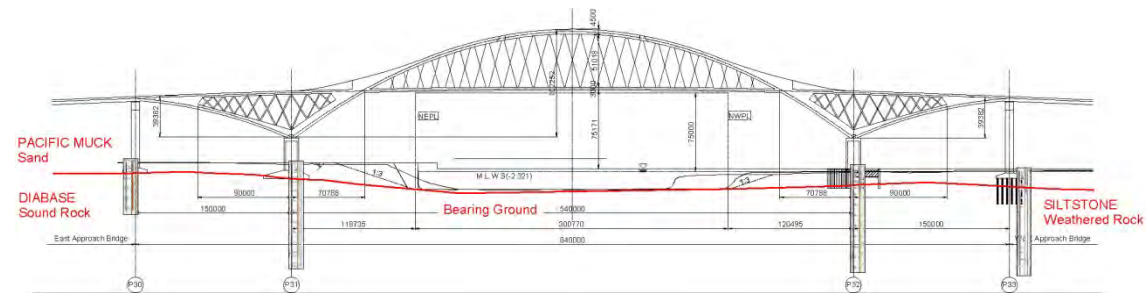


出典：Pre-F/S（ドラフト・ファイナル・レポート（2013年11月））（運河庁）

図12.3 代表的な地質状況（平地部）



出典： Pre-F/S（ドラフト・ファイナル・レポート（2013年11月））（運河庁）
図 12.4 地質縦断図（第4パナマ運河橋）



出典： Pre-F/S（ドラフト・ファイナル・レポート（2013年11月））（運河庁）
図 12.5 支持層線（第4パナマ運河橋）

2) 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

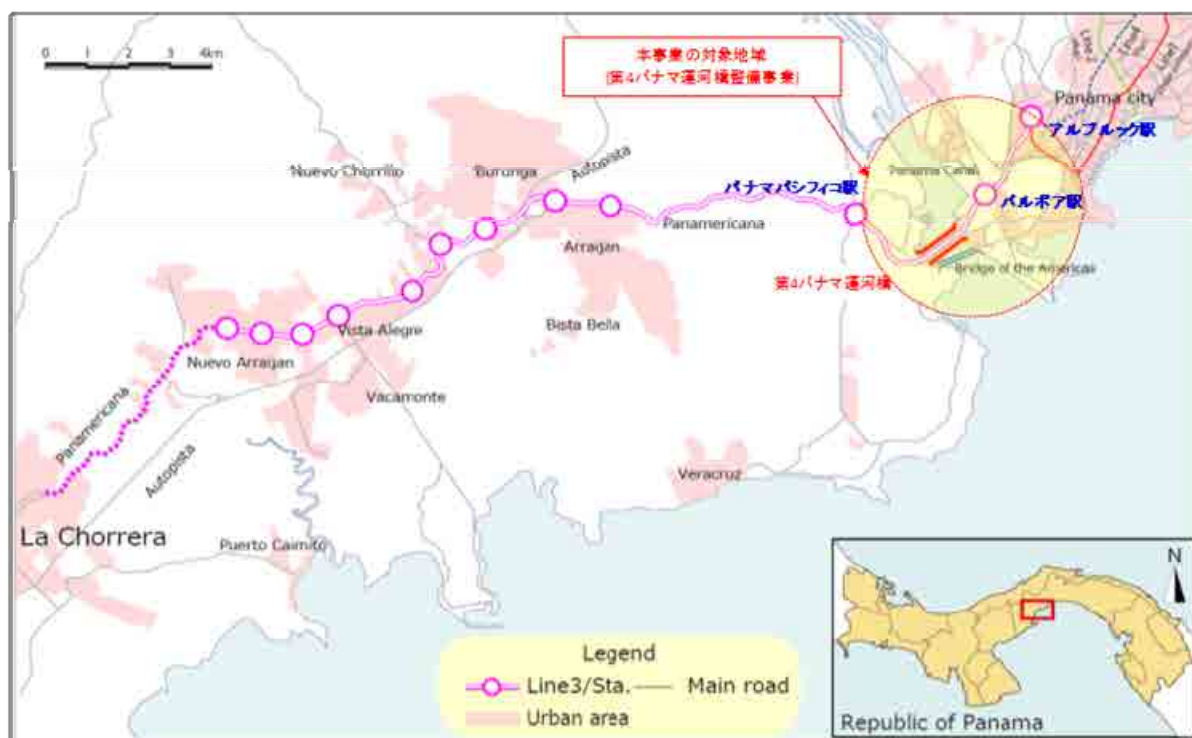
その他橋梁計画・設計に係る架設条件は、15.1章に記述する。

3) 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。

図12.6にメトロ3号線のルート及び駅配置図（本事業区間）を示す。



出典：調査団

図 12.6 メトロ3号線のルート及び駅配置図（本事業区間）

12.2.2 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) 主な設計条件

1) 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。

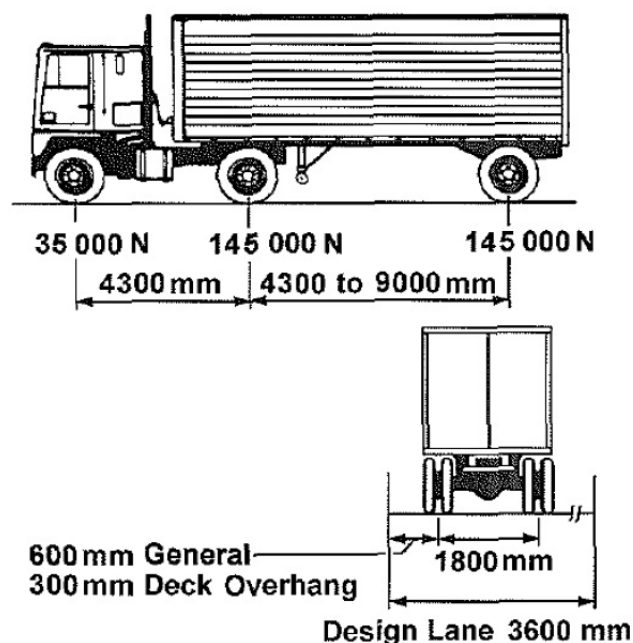
2) 設計耐用年数

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。

3) 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。

図 12.7 に設計活荷重の載荷条件 (HL-93) を示す。



出典：AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 6th Editions, 2012

図 12.7 設計活荷重の載荷条件 (HL-93)

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。

図 12.8 にモノレール荷重の載荷条件を示す。

3.2 Axle Loads, Axle Arrangement and Center of Gravity

1) Axle Loads of monorail cars is as follows.

6.5 ton: Tare weight condition

11 ton: Full passengers loaded condition

2) Axle Arrangement of monorail cars is shown in Figure 4-2-a.

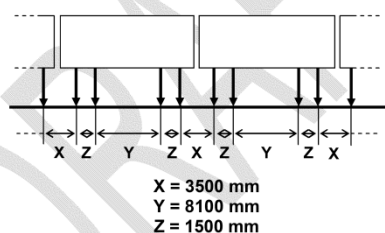


Figure 4-2-a Axle Arrangement

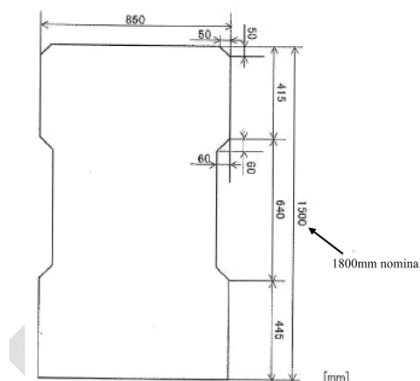


Figure 2-1 Cross-section of Track Beam

出典：モノレール設計車両検討報告書

図 12.8 モノレール荷重の載荷条件

4) 加速度応答スペクトル

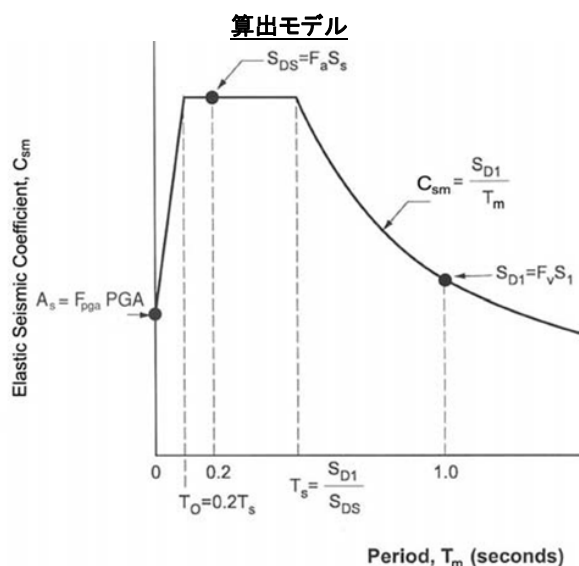
本調査の加速度応答スペクトルは、AASHTO LRFD の算出式を基本とし、地域特性に基づく諸係数については、センテナリオ橋（第 2 パナマ運河橋）建設事業時に実施された調査（Seismic Hazard Assessment of the Second Panama Canal Crossing）を参照した。

以下に、加速度応答スペクトルの算出方法及び結果を述べる。

i. 加速度応答スペクトルの算出式

本調査では、AASHTO LRFD の加速度応答スペクトルの算出式を適用した。

図 12.9 に加速度応答スペクトルの算出式を示す。



諸係数の算出式

$C_{sm} = A_s + (S_{DS} - A_s) (T_m / T_0) \quad (3.10.4.2-1)$ <p>in which:</p> $A_s = F_{pga} PGA \quad (3.10.4.2-2)$ $S_{DS} = F_a S_s \quad (3.10.4.2-3)$ <p>where:</p> <p>PGA = peak ground acceleration coefficient on rock (Site Class B)</p> <p>S_s = horizontal response spectral acceleration coefficient at 0.2-sec period on rock (Site Class B)</p> <p>T_m = period of vibration of mth mode (s)</p> <p>T_0 = reference period used to define spectral shape = $0.2 T_s$ (s)</p> <p>T_s = corner period at which spectrum changes from being independent of period to being inversely proportional to period = S_{D1} / S_{DS} (s)</p>	<p>For periods greater than or equal to T_0 and less than or equal to T_s, the elastic seismic response coefficient shall be taken as:</p> $C_{sm} = S_{DS} \quad (3.10.4.2-4)$ <p>For periods greater than T_s, the elastic seismic response coefficient shall be taken as:</p> $C_{sm} = S_{D1} / T_m \quad (3.10.4.2-5)$ <p>in which:</p> $S_{D1} = F_v S_1 \quad (3.10.4.2-6)$ <p>where:</p> <p>S_1 = horizontal response spectral acceleration coefficient at 1.0 sec period on rock (Site Class B)</p>
--	--

出典：AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 6th Editions, 2012

図 12.9 加速度応答スペクトルの算出式

ii. Site Class

本調査では、AASHTO LRFD に基づき、Site Class（耐震設計上の地盤種別）を設定した。

本事業の対象地域の支持層は玄武岩であり、非常に硬い岩から一部に亀裂が見られる軟岩で構成されている。西側橋脚の地表面付近には泥が堆積しているものの、その層厚は薄く、その下には支持層である岩が確認できる。また、応答スペクトル算出において Site Class B の方が Site Class A（硬岩）より安全側の値となる。また、同一の設計振動単位（ここでは主橋梁全体）においては同じ地震力を見込むことが望ましいという観点から、Site Class B（軟岩）を適用した。

Site Class	Soil Type and Profile
A	Hard rock with measured shear wave velocity, $\bar{v}_s > 5,000$ ft/s
B	Rock with $2,500$ ft/sec $< \bar{v}_s < 5,000$ ft/s
C	Very dense soil and soil rock with $1,200$ ft/sec $< \bar{v}_s < 2,500$ ft/s, or with either $\bar{N} > 50$ blows/ft, or $\bar{s}_u > 2.0$ ksf
D	Stiff soil with 600 ft/s $< \bar{v}_s < 1,200$ ft/s, or with either $15 < \bar{N} < 50$ blows/ft, or $1.0 < \bar{s}_u < 2.0$ ksf
E	Soil profile with $\bar{v}_s < 600$ ft/s or with either $\bar{N} < 15$ blows/ft or $\bar{s}_u < 1.0$ ksf, or any profile with more than 10 ft of soft clay defined as soil with $PI > 20$, $w > 40$ percent and $\bar{s}_u < 0.5$ ksf
F	Soils requiring site-specific evaluations, such as: <ul style="list-style-type: none"> • Peats or highly organic clays ($H > 10$ ft of peat or highly organic clay where H = thickness of soil) • Very high plasticity clays ($H > 25$ ft with $PI > 75$) • Very thick soft/medium stiff clays ($H > 120$ ft)

Exceptions: Where the soil properties are not known in sufficient detail to determine the site class, a site investigation shall be undertaken sufficient to determine the site class. Site classes E or F should not be assumed unless the authority having jurisdiction determines that site classes E or F could be present at the site or in the event that site classes E or F are established by geotechnical data.

where:

- \bar{v}_s = average shear wave velocity for the upper 100 ft of the soil profile
- \bar{N} = average Standard Penetration Test (SPT) blow count (blows/ft) (ASTM D1586) for the upper 100 ft of the soil profile
- \bar{s}_u = average undrained shear strength in ksf (ASTM D2166 or ASTM D2850) for the upper 100 ft of the soil profile
- PI = plasticity index (ASTM D4318)
- w = moisture content (ASTM D2216)

出典 : AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 6th Editions, 2012

図 12.10 Site Class の解説

Table 3.10.3.2-1—Values of Site Factor, F_{pga} , at Zero-Period on Acceleration Spectrum

Site Class	Peak Ground Acceleration Coefficient (PGA) ¹				
	$PGA < 0.10$	$PGA = 0.20$	$PGA = 0.30$	$PGA = 0.40$	$PGA > 0.50$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F ²	*	*	*	*	*

Table 3.10.3.2-2—Values of Site Factor, F_{gs} , for Short-Period Range of Acceleration Spectrum

Site Class	Spectral Acceleration Coefficient at Period 0.2 sec (S_s) ¹				
	$S_s < 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s > 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F ²	*	*	*	*	*

出典 : AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 6th Editions, 2012

図 12.11 Site Class 毎の係数値の例

iii. 諸係数の決定方法

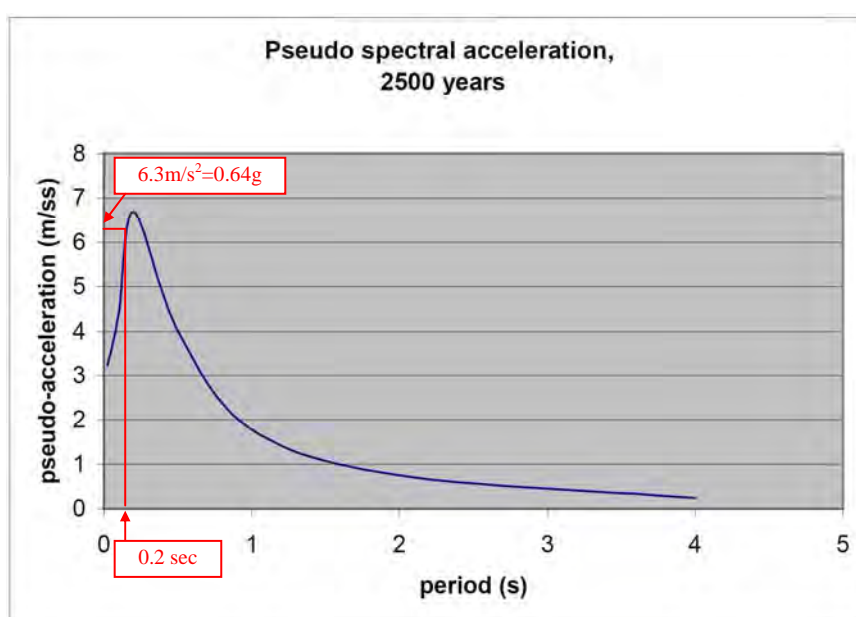
S₁：固有周期 1 秒の応答加速度（Site Class B）

本調査の S₁（Site Class B）は、センテナリオ橋（第2パナマ橋）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、0.3gを適用した。

S_s：固有周期 0.2 秒の応答加速度（Site Class B）

本調査の S_s（Site Class B）は、センテナリオ橋（第2パナマ橋）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、0.64gを適用した。

図 12.12 に参照したグラフ（固有周期 0.2 秒の応答加速度（Site Class B））を示す。



出典：Seismic Hazard Assessment of the Second Panama Canal Crossing（9頁）

図 12.12 参照グラフ（固有周期 0.2 秒の応答加速度（Site Class B））

PGA：地盤のピーク加速度係数（Site Class B）

本調査の PGA（Site Class B）は、センテナリオ橋（第2パナマ橋）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、0.33gを適用した。

F_{pga}、F_a 及び F_v（Site Class B）

本調査の F_{pga}、F_a 及び F_v は、AASHTO LRFD に基づき、以下の数値を適用した。

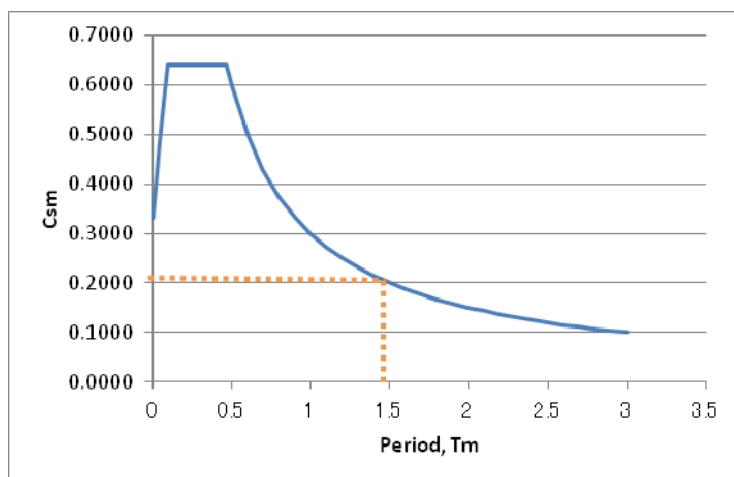
- F_{pga}：1.0（Site Class B、PGA=0.33 の場合）
- F_a：1.0（Site Class B、S_s=0.50 及び 0.75 の場合）
- F_v：1.0（Site Class B、S₁=0.3 の場合）

iv. 加速度応答スペクトル

上記 12.2.2 (2) 4) i.~iii.に基づき、本調査の加速度応答スペクトルを作成した。

図 12.13 に本調査で適用した加速度応答スペクトルを示す。

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。



出典：調査団

図 12.13 本調査で適用した加速度応答スペクトル

5) 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。

図 12.14 に設計風荷重を示す。

6) 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

12.3 標準横断

図 12.15 に標準横断図 (橋梁) を示す。

WIND LOAD

ASCE7 VELOCITY PRESSURE

風荷重 $q_z = 36.79 \text{ lb/ft}^2$ Velocity Pressure
 1760.33 N/m^2

$K_s = 1.73$ velocity pressure coefficient defined in Section 6.5.6.6
 $K_{zt} = 1.664$ topographic factor defined in Section 6.5.7.2, Figures 6-4
 $K_d = 0.85$ wind directionality factor defined in Section 6.5.4.4, Table 6-4
 $V = 71.46 \text{ mph}$ design velocity (設計風速)
 $V = 31.94 \text{ m/s}$
 $I = 1.15$ importance factor defined in Table 6-1
 $K_1 = 0.29$ Factor to account for shape of topographic feature and maximum H/L_h
 $K_2 = 1$ Factor to account for reduction in speed-up with distance upwind x/L_h
 $K_3 = 1$ Factor to account for reduction in speed-up with height above loc x/L_h
 $z = 300 \text{ ft}$
 $z = 91.44 \text{ m}$
 $K_h = 1.73$

Structure Type **Arched Roofs**
 region **Pacific**
 Category **IV**
 K_1 **0.2 2-D Ridge**
 K_2 **0 All Other Cases**
 K_3 **0 2-D Ridge**
 Exposure **D**

$$q_z = 0.00256 K_s K_{zt} K_d K_1 V^2 I$$

$$q_z = 0.613 K_s K_{zt} K_d K_1 V^2 I$$

Structure Type	K_d
Buildings	0.85
Main Wind Force Resisting System Components and Cladding	0.85
Arched Roofs	0.85
Square	0.90
Chimneys, Tanks, and Similar Structures	0.95
Hexagonal	0.95
Round	0.95
Solid Signs	0.85
Open Signs and Lattice Framework	0.85
Triangular, square, rectangular	0.85
Trussed Towers	0.95
All other cross sections	0.95

Figure 6-4 Topographic Factor, K_{zt}

H/L _h	Topographic Multipliers for Exposure C									
	K1 Multiplier			x/L _h	K2 Multiplier			x/L _h	K3 Multiplier	
2-D Ridge	2-D Escarp	3-D Axisym.	2-D Escarp		All Other Cases	2-D Ridge	2-D Escarp		3-D Axisym. Hill	
0.20	0.29	0.17	0.21	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00
0.25	0.36	0.21	0.26	0.50	0.88	0.67	0.10	0.74	0.78	0.67
0.30	0.43	0.26	0.32	1.00	0.75	0.33	0.20	0.55	0.61	0.45
0.35	0.51	0.30	0.37	1.50	0.63	0.00	0.30	0.41	0.47	0.30
0.40	0.58	0.34	0.42	2.00	0.50	0.00	0.40	0.30	0.37	0.20
0.45	0.65	0.38	0.47	2.50	0.38	0.00	0.60	0.22	0.29	0.14
0.50	0.72	0.43	0.53	3.00	0.25	0.00	0.80	0.17	0.22	0.09
				3.50	0.13	0.00	0.70	0.12	0.17	0.06
				4.00	0.00	0.00	0.80	0.09	0.14	0.04
							0.90	0.07	0.11	0.03
							1.00	0.05	0.08	0.02
							1.50	0.01	0.02	0.00
							2.00	0.00	0.00	0.00

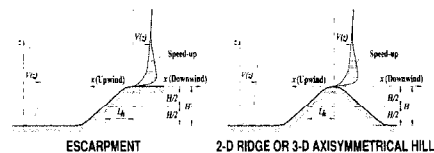


Table 6-3 Velocity Pressure Exposure Coefficients, K_h and K_z

Height above ground lev	Exposure			
	B1	B2	C	D
ft (m)	Case 1	Case 2	Case 1&2	Case 1&2
0-15 (0-4.6)	0.70	0.57	0.85	1.03
20 (6.1)	0.70	0.62	0.90	1.08
25 (7.6)	0.70	0.66	0.94	1.12
30 (9.1)	0.70	0.70	0.98	1.16
40 (12.2)	0.76	0.76	1.04	1.22
50 (15.2)	0.81	0.81	1.09	1.27
60 (18)	0.85	0.85	1.13	1.31
70 (21.3)	0.89	0.89	1.17	1.34
80 (24.4)	0.93	0.93	1.21	1.38
90 (27.4)	0.95	0.95	1.24	1.40
100 (30.5)	0.99	0.99	1.26	1.43
120 (36.6)	1.04	1.04	1.31	1.48
140 (42.7)	1.09	1.09	1.36	1.52
160 (48.8)	1.13	1.13	1.39	1.55
180 (54.9)	1.17	1.17	1.43	1.58
200 (61.0)	1.20	1.20	1.46	1.61
250 (76.2)	1.28	1.28	1.53	1.68
300 (91.4)	1.35	1.35	1.59	1.73
350 (106.7)	1.41	1.41	1.64	1.78
400 (121.9)	1.47	1.47	1.69	1.82
450 (137.2)	1.52	1.52	1.73	1.86
500 (152.4)	1.56	1.56	1.77	1.89

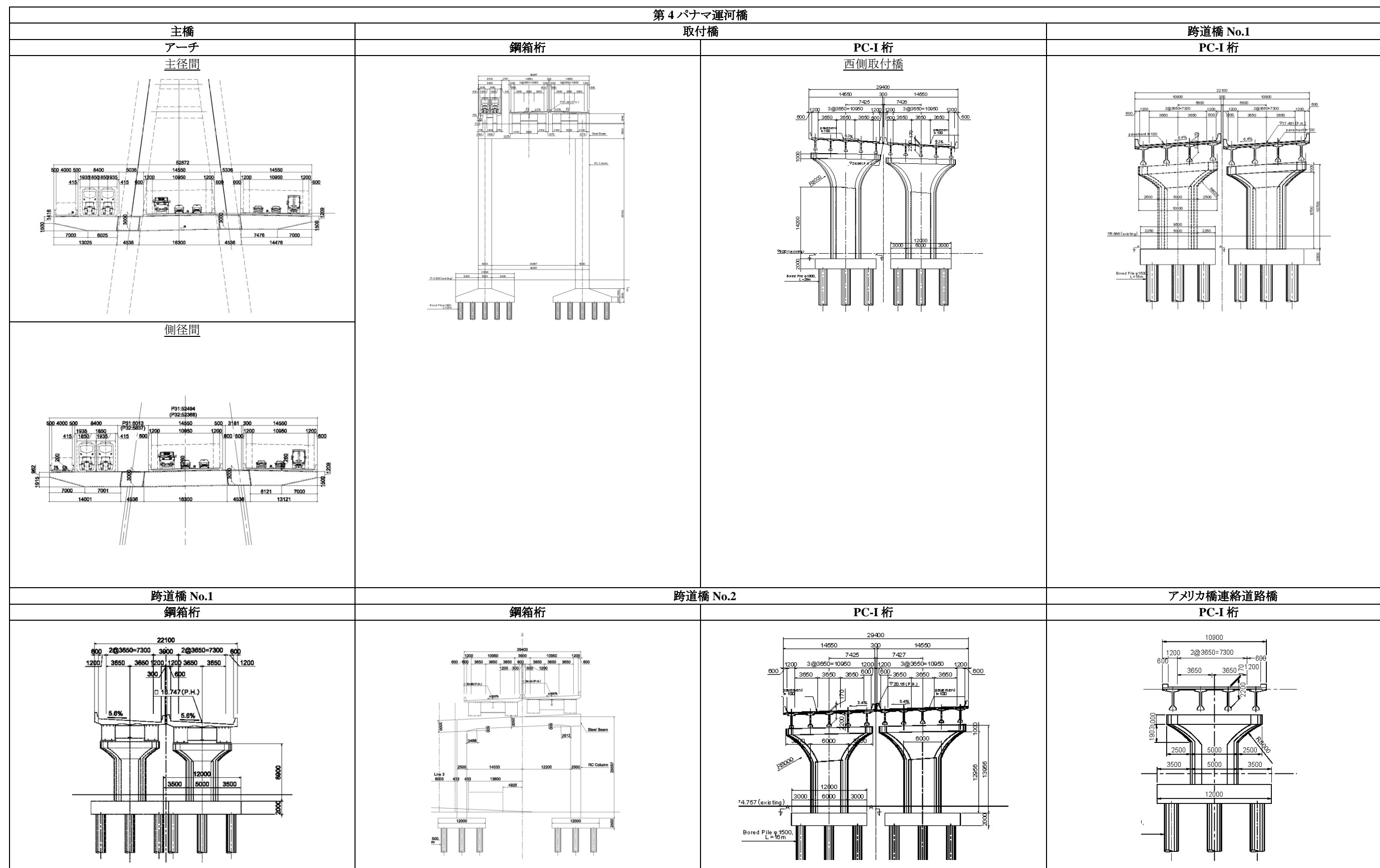
Table 6-1 Importance factor

Category	Non-Hurricane	Hurricane
I	0.87	0.77
II	1.00	1.00
III	1.15	1.15
IV	1.15	1.15

REGION	Panama design velocity VELOCITY IN 3 SECOND	
	km/h	m/s
Pacific	115	31.94
Atlantic	140	38.89

出典：調査団

図 12.14 設計風荷重



出典：調査団

図 12.15 標準横断面図（橋梁）

12.4 概略設計

12.4.1 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。

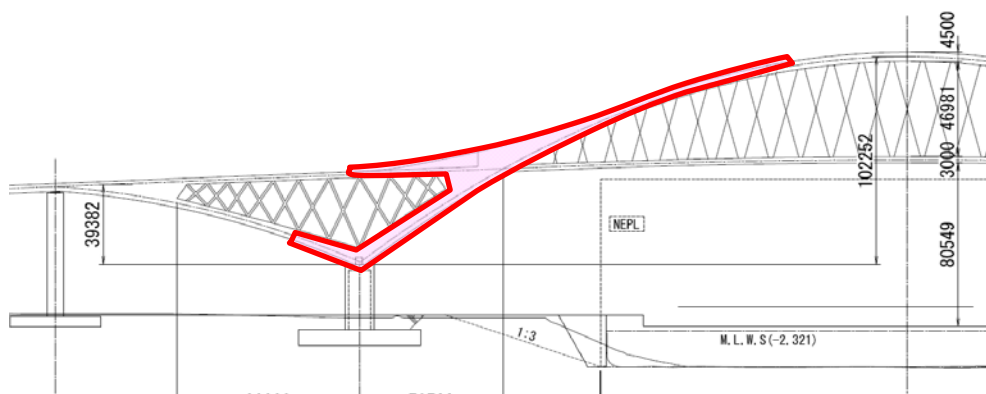
SBHS材の特徴は以下、及び20.3.1章の通りである。

- 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 12.16 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、錆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に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）

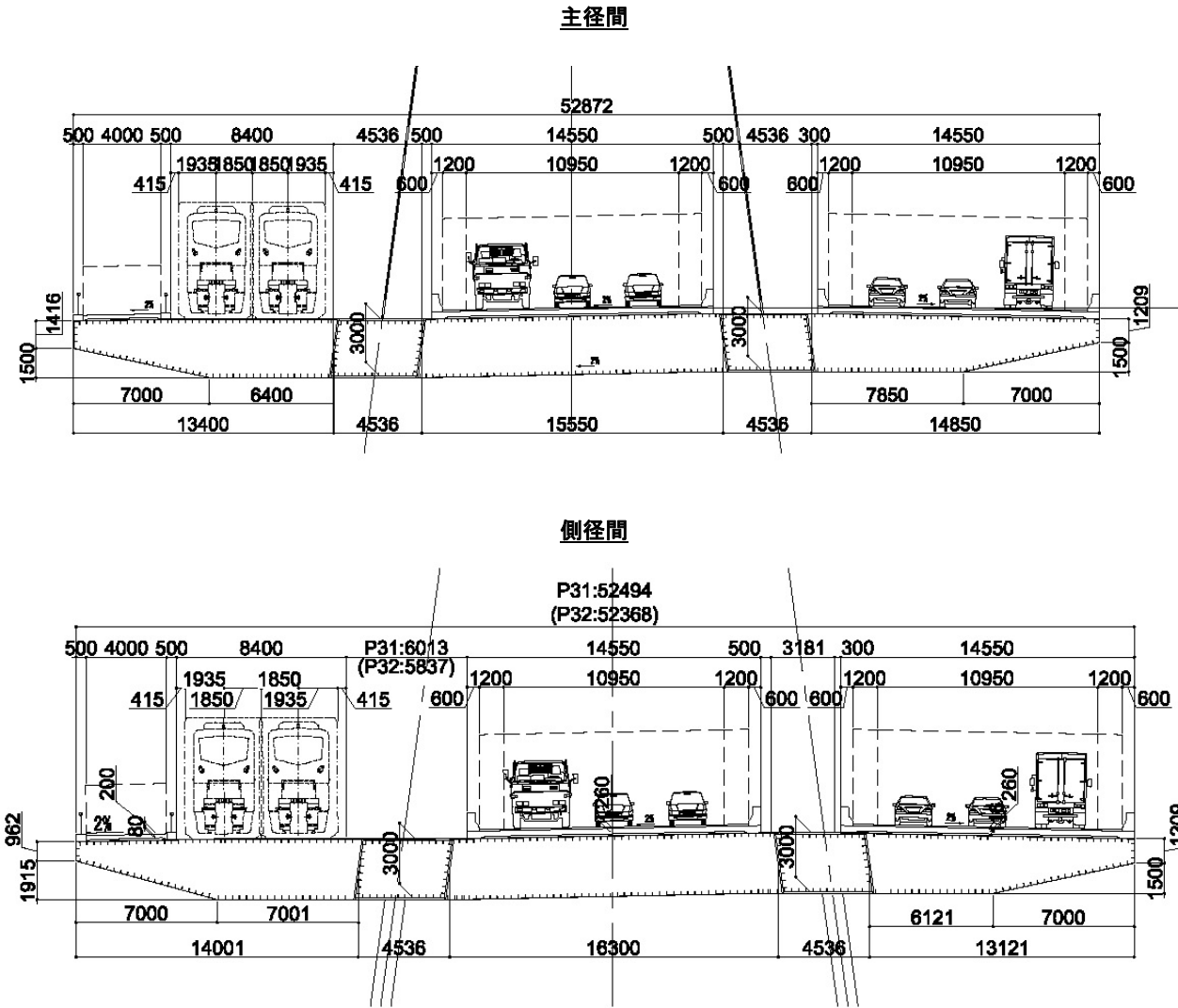
鋼材はニッケル系高耐候性鋼材（20.3.2 章参照）とし、塗装を併用することにより、景観性維持に加え、塗装が一部剥げた場合も耐候性鋼材が機能することにより、不定期な部分塗装が不要な計画とした。

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 12.17 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 12.17 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パナマ運河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。

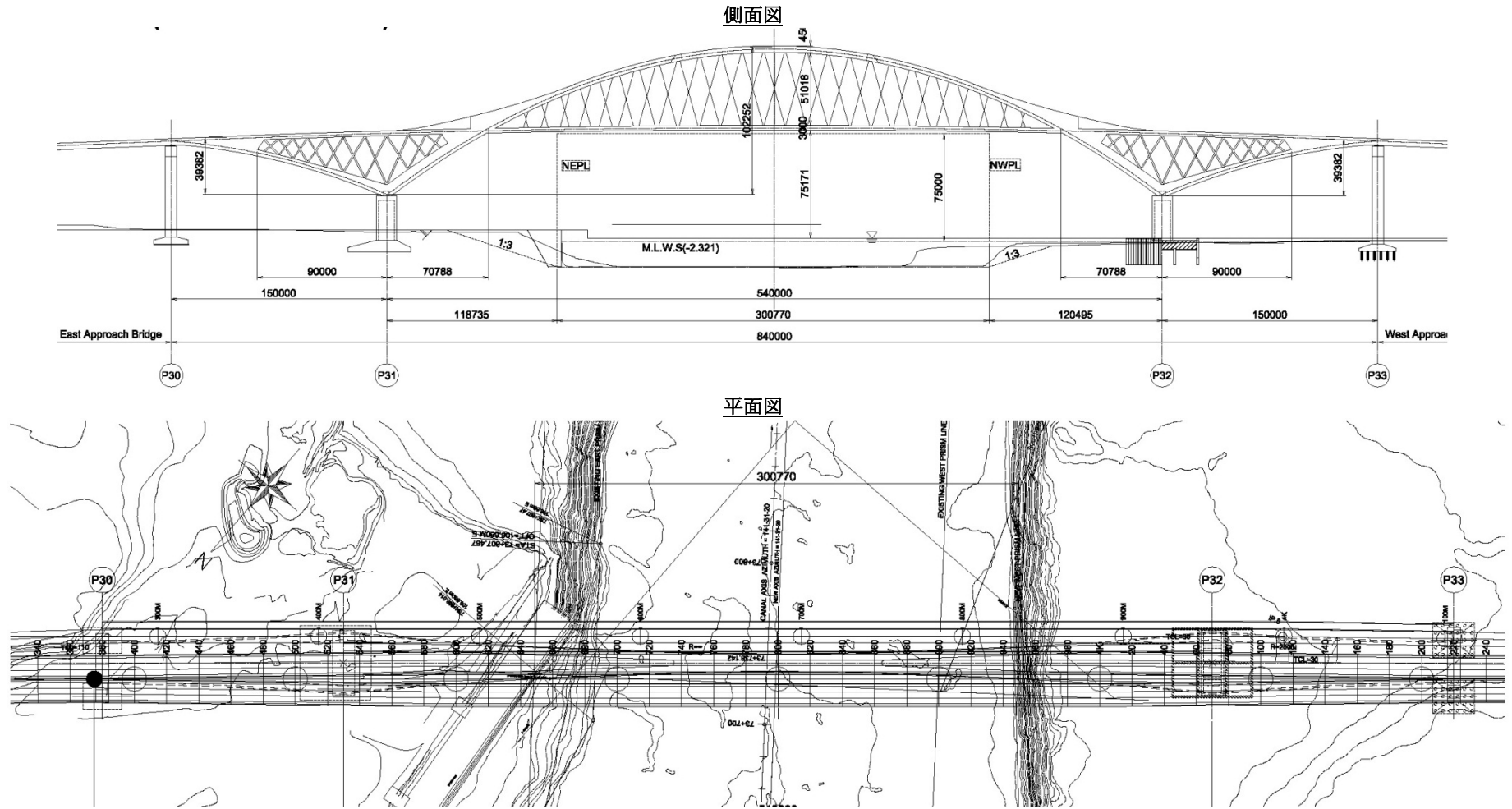
- 端視点に負反力を生じさせない
- 道路線形のクロソイド曲線が主橋内に大きく入り込まない
- アーチ基部の水平反力をある程度低減できる

図12.18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。

-12-21-



出典：調査団

図 12.18 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。

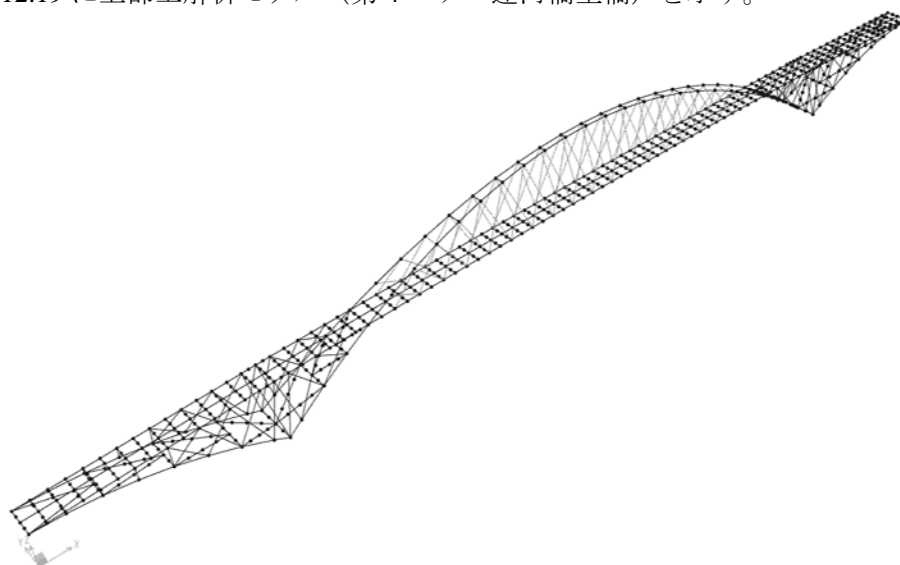
荷重ケース

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。

図 12.19 に上部工解析モデル（第4パナマ運河橋主橋）を示す。



出典：調査団

図 12.19 上部工解析モデル（第4パナマ運河橋主橋）

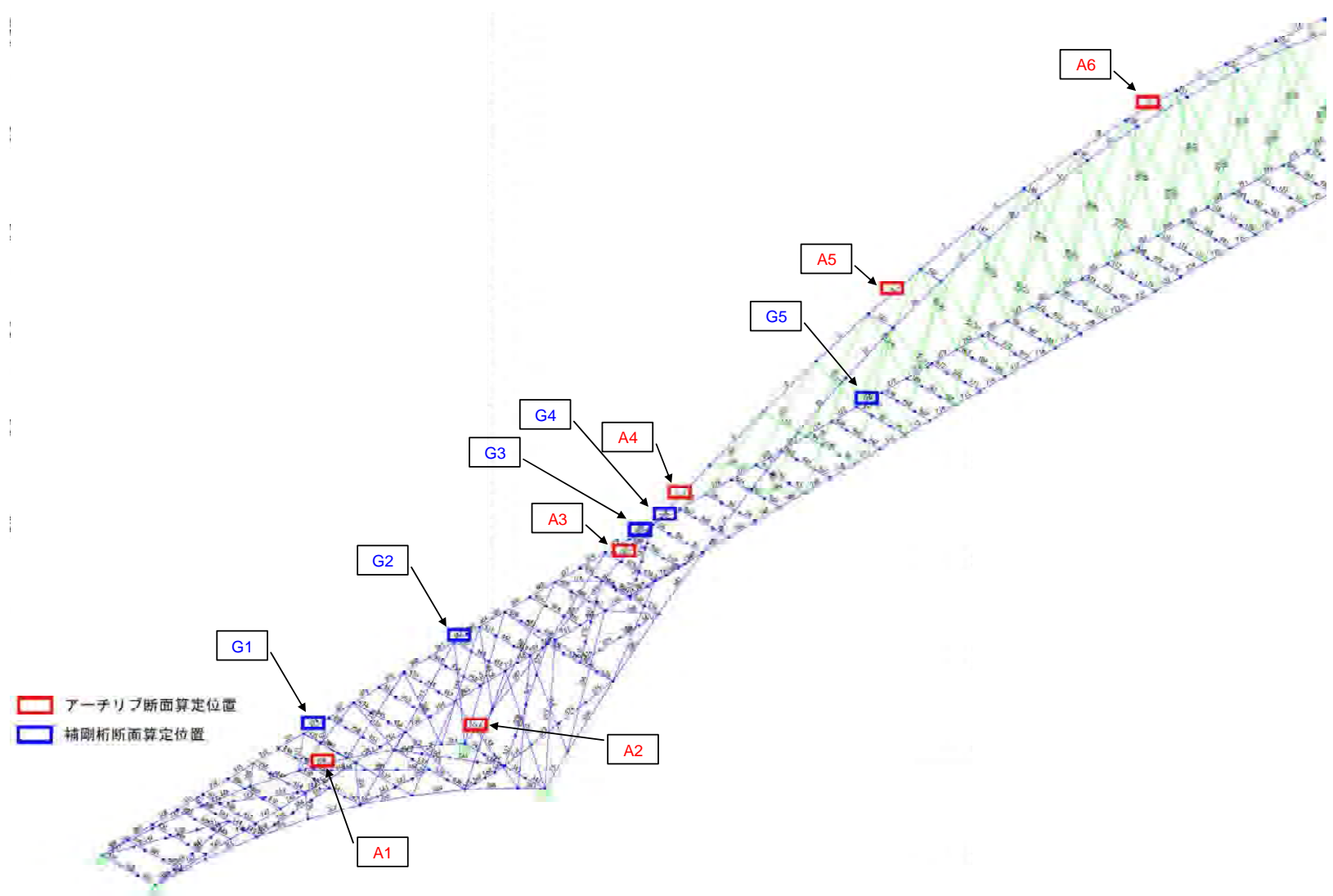
断面算定位置

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 12.20 に断面算定位置図（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 12.20 断面算定位置図（第4パナマ運河橋主橋）

断面算定結果

上部工解析結果に基づき、断面算定位置の各断面を算定した。

表 12.4 に断面算定結果（第4パナマ運河橋主橋）、図 12.21 に断面図（第4パナマ運河橋主橋）を示す。

表 12.4 断面算定結果（第4パナマ運河橋主橋）

アーチリブ 断面番号 A1,A2 A2=0.689m ²	Frame	Case	軸力	水平剪断	鉛直剪断	ねじり	鉛直曲げ	水平曲げ	最大応力度
			N kN	Sx kN	Sy kN	T kNm	Mx kNm	My kNm	σ N/mm ²
A3 A3=2.83m ²	350	D	-36788	-170	-3623	1185	-85111	-4099	148.3
		L	-4532	102	-223	1258	-5542	3141	
		W	1199	203	-6	609	-221	7497	
		EQx	-30048	132	348	79	-11379	1892	
		EQy	9680	1606	-97	7421	-1432	52556	
		T	11923	-123	-148	-150	2178	6694	
		D+L	-41320	-68	-3847	2443	-90653	-957	
		(D+EQx)/1.50	-44558	-25	-2183	843	-64327	-1471	
		(D+EQy)/1.50	-18072	957	-2481	5737	-57695	32305	
		(D+W)/1.25	-28471	26	-2904	1435	-68265	2719	
(D+T)/1.15	-21622	-255	-3280	901	-72115	2257			
A4 A4=2.025m ²	502	D	-197058	2188	20918	-6017	506369	40981	321.2
		L	-15422	805	4192	-13915	124061	25275	
		W	-24414	-2752	2940	749	94597	-123328	
		EQx	10364	-2877	-29425	-3731	-888002	-49126	
		EQy	-153711	-22288	21987	37820	749777	-1007982	
		T	-2244	15605	802	2731	6172	491930	
		D+L	-212480	2993	25109	-19932	630430	66256	
		(D+EQx)/1.50	-124462	-459	-5671	-6499	-254422	-5430	
		(D+EQy)/1.50	-233846	-13400	28603	21202	837430	-644667	
		(D+W)/1.25	-177177	-451	19086	-4214	480773	-65878	
(D+T)/1.15	-173306	15473	18887	-2857	445687	463401			
A5 A5=1.067m ²	2	D	-177809	-321	-1892	-5205	-326654	15049	292.3
		L	-14532	1034	793	-14575	-37159	38243	
		W	-19906	-2178	46	763	-19972	-66368	
		EQx	13191	-242	4760	-1009	134067	-5936	
		EQy	-119558	-19180	-2982	39808	-216634	-610414	
		T	-5553	-3078	381	1254	-5551	-59453	
		D+L	-192341	714	-1099	-19779	-363813	53292	
		(D+EQx)/1.50	-109745	-375	1912	-4142	-128392	6075	
		(D+EQy)/1.50	-198245	-13000	-3249	23068	-362192	-396910	
		(D+W)/1.25	-158172	-1999	-1477	-3553	-277301	-41055	
(D+T)/1.15	-159445	-2956	-1313	-3436	-288874	-38612			
A6 A6=0.954m ²	6	D	-142616	220	-5197	-12	-168298	4849	251.7
		L	-12222	192	-664	5606	-25040	11492	
		W	-14779	-885	336	5787	-6447	-25981	
		EQx	-2275	128	2019	919	108441	2021	
		EQy	-62957	-3066	-342	22803	-71987	38029	
		T	3257	-833	-40	-284	-622	-48624	
		D+L	-154838	413	-5860	5594	-193338	16341	
		(D+EQx)/1.50	-96594	232	-2119	605	-39905	4580	
		(D+EQy)/1.50	-137049	-1897	-3692	15194	-160190	28585	
		(D+W)/1.25	-125916	-532	-3889	4620	-139796	-16906	
(D+T)/1.15	-121182	-533	-4554	-257	-146887	-38066			
SEC20 A7=0.796m ²	11	D	-145341	167	1193	519	30868	2387	194.3
		L	-11696	-213	185	4943	8912	-4860	
		W	-7844	-655	371	-1047	7769	-6730	
		EQx	-1478	115	184	251	9194	1689	
		EQy	-33456	-2403	2479	-9842	51969	-24600	
		T	2614	-54	-51	-61	-847	-3136	
		D+L	-157037	-45	1378	5462	39780	-2473	
		(D+EQx)/1.50	-97879	188	918	513	26709	2717	
		(D+EQy)/1.50	-119198	-1490	2448	-6215	55225	-14809	
		(D+W)/1.25	-122548	-391	1251	-422	30910	-3475	
(D+T)/1.15	-124110	99	992	398	26105	-651			
SEC20 A7=0.796m ²	11	D	-140237	19	940	14	10784	-295	206.7
		L	-10982	70	171	4247	6403	-2274	
		W	4677	-163	-6	-414	206	7813	
		EQx	-340	-1	73	2	1324	-5	
		EQy	10860	-582	-25	-1709	837	18791	
		T	2093	-3	0	-1	4	-522	
		D+L	-151219	88	1112	4261	17187	-2568	
		(D+EQx)/1.50	-93718	12	676	11	8072	-200	
		(D+EQy)/1.50	-86251	-375	610	-1130	7747	12331	
		(D+W)/1.25	-108449	-116	747	-320	8792	6014	
(D+T)/1.15	-120125	14	818	11	9381	-710			

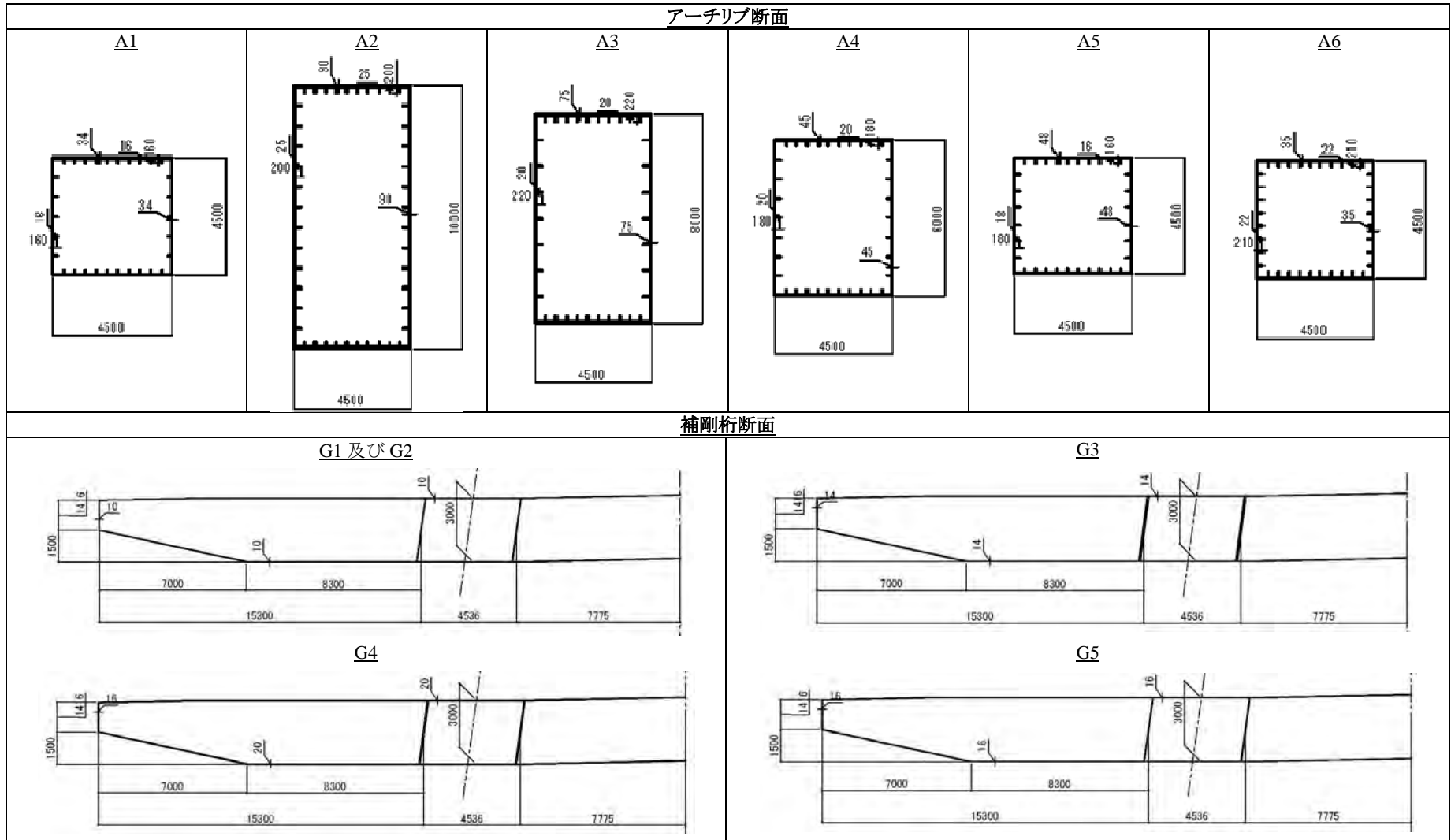
出典：調査団

表 12.4 断面算定結果（第4パナマ運河橋主橋）（2/2）

補剛桁	Frame	Case	軸力	水平剪断	鉛直剪断	ねじり	鉛直曲げ	水平曲げ	最大応力度
			N kN	Sx kN	Sy kN	T kNm	Mx kNm	My kNm	σ N/mm ²
G1,G2 G2=0.559m ²	324	D	34484	-558	-5309	833	-56726	-4500	179.3
		L	3810	345	-982	-7691	-4390	-6682	
		W	-595	319	36	2145	628	4485	
		EQx	14638	44	-162	23	-4936	396	
		EQy	-2605	3102	166	20201	3806	61379	
		T	-12383	153	-73	-87	-954	3816	
		D+L	38294	-213	-6290	-6858	-61116	-11182	
		(D+EQx)/1.50	32748	-343	-3647	571	-41108	-2736	
		(D+EQy)/1.50	21253	1696	-3428	14023	-35280	37919	
		(D+W)/1.25	27111	-191	-4218	2383	-44878	-12	
		(D+T)/1.15	19218	-353	-4679	649	-50156	-595	
G3 G3=0.771m ²	382	D	76918	115	-1198	-71	-22240	-1451	116.3
		L	6337	400	-780	7011	-3465	-13170	
		W	-719	617	21	1387	-787	-22227	
		EQx	4931	60	1016	227	13681	1236	
		EQy	-4416	6163	129	12710	-6067	-180378	
		T	-12662	-660	-42	-178	-772	-7386	
		D+L	83255	515	-1978	6940	-25705	-14621	
		(D+EQx)/1.50	54566	117	-121	104	-5706	-143	
		(D+EQy)/1.50	48335	4185	-712	8426	-18871	-121219	
		(D+W)/1.25	60959	585	-942	1053	-18422	-18942	
		(D+T)/1.15	55875	-475	-1078	-216	-20010	-7684	
G3 G3=0.771m ²	680	D	53205	1116	3509	-1282	-40687	-10394	203.1
		L	6486	-899	1166	13124	-7112	33402	
		W	-1101	744	411	-18423	1986	-90233	
		EQx	14182	-270	-963	1184	13255	2281	
		EQy	-4337	8496	4015	-135261	-24302	-863735	
		T	-20747	593	69	-593	377	-5452	
		D+L	59691	217	4675	11842	-47799	23008	
		(D+EQx)/1.50	44925	564	1698	-65	-18288	-5409	
		(D+EQy)/1.50	32578	6408	5016	-91029	-43326	-582753	
		(D+W)/1.25	41683	1488	3136	-15764	-30960	-80502	
		(D+T)/1.15	28225	1486	3112	-1630	-35052	-13780	
G4 G4=1.084m ²	268	D	20335	-1717	-13834	1697	-219278	-19963	209.9
		L	4849	-872	-1605	-20962	-22689	-24590	
		W	-3061	-1639	-1521	17494	-21283	10897	
		EQx	30365	490	848	-1347	42062	7018	
		EQy	-37732	-19884	-11311	160253	-156143	-336752	
		T	-31754	-297	-206	822	-3285	-17593	
		D+L	25184	-2589	-15439	-19265	-241967	-44553	
		(D+EQx)/1.50	33800	-818	-8657	233	-118144	-8630	
		(D+EQy)/1.50	-11598	-14401	-16764	107967	-250281	-237810	
		(D+W)/1.25	13820	-2685	-12284	15353	-192449	-7253	
		(D+T)/1.15	-9929	-1752	-12208	2191	-193533	-32657	
G5 G5=0.861m ²	276	D	34215	-275	-3354	1124	15678	-1617	111.5
		L	5508	-468	-827	-13434	8878	-13657	
		W	4370	-971	-51	-2099	350	46434	
		EQx	17010	2	126	-277	7163	114	
		EQy	32191	-11894	-161	9234	2387	420093	
		T	-30854	-55	0	168	-61	-2417	
		D+L	39723	-742	-4181	-12309	24556	-15274	
		(D+EQx)/1.50	34150	-182	-2152	565	15228	-1002	
		(D+EQy)/1.50	44271	-8113	-2343	6906	12044	278984	
		(D+W)/1.25	30868	-997	-2724	-779	12822	35853	
		(D+T)/1.15	2922	-287	-2916	1124	13580	-3508	

出典：調査団

-12-26-



出典：調査団

図 12.21 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

設計反力

表 12.5 に下部工設計反力（第 4 パナマ運河橋主橋・橋脚天端中心位置）、図 12.22 に各ステップのイメージを示す。

表 12.5 下部工設計反力（第 4 パナマ運河橋主橋・橋脚天端中心位置）

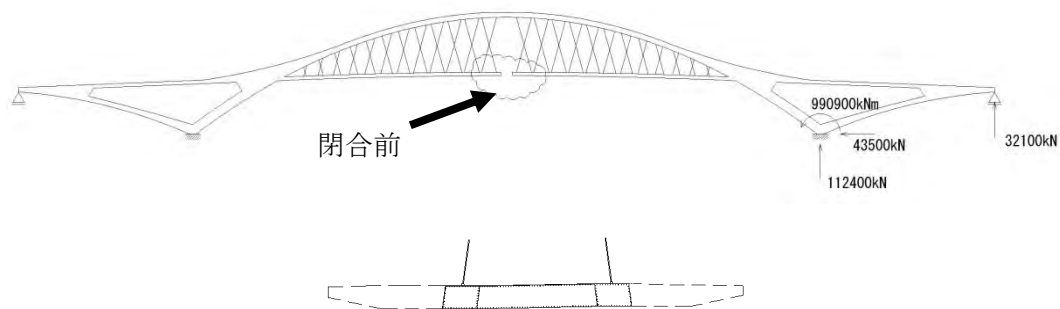
	Erection STEP	Longitudinal Lateral Reaction	Vertical Reaction	Rotational Moment
		[kN]	[kN]	[kNm]
End Pier	STEP1	0	32100	0
	STEP2	0	24900	0
	STEP3 (Dead)	0	23500	0
	Dead + Live	0	29850	0
Arch Bottom Pier	STEP1	43500	112400	990900
	STEP2	5	120100	233600
	STEP3 (Dead)	69600	171900	125000
	Dead + Live	94600	196350	384990

	Load Case	Longitudinal Lateral Reaction	Vertical Reaction	Rotational Moment
		[kN]	[kN]	[kNm]
End Pier	Longitudinal Earthquake Effect + Dead Load	4240	80200	0
Arch Bottom Pier	Longitudinal Earthquake Effect + Dead Load	207960	343800	1444000

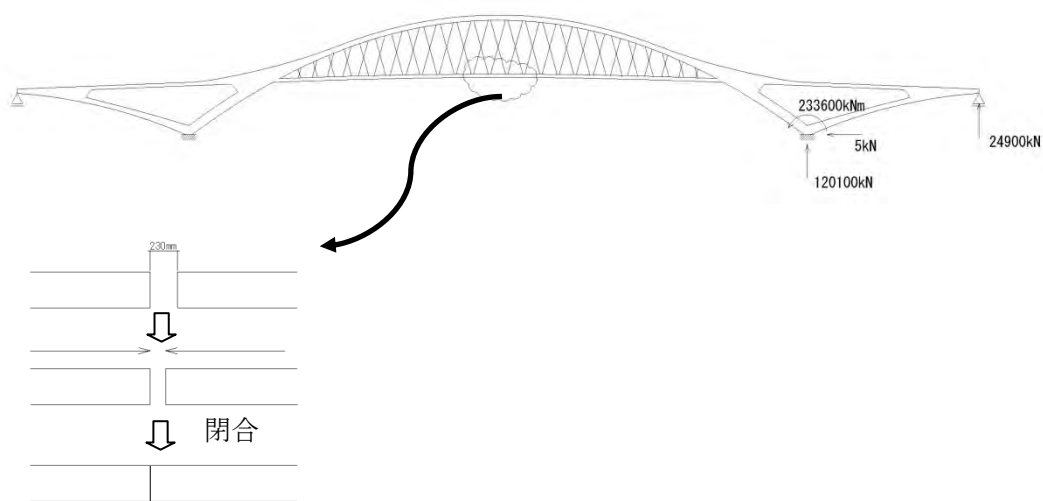
	Load Case	Transverse Lateral Reaction	Vertical Reaction	Rotational Moment
		[kN]	[kN]	[kNm]
End Pier	Transverse Earthquake Effect + Dead Load	4240	80200	65000
Arch Bottom Pier	Transverse Earthquake Effect + Dead Load	68760	343800	2892960

出典：調査団

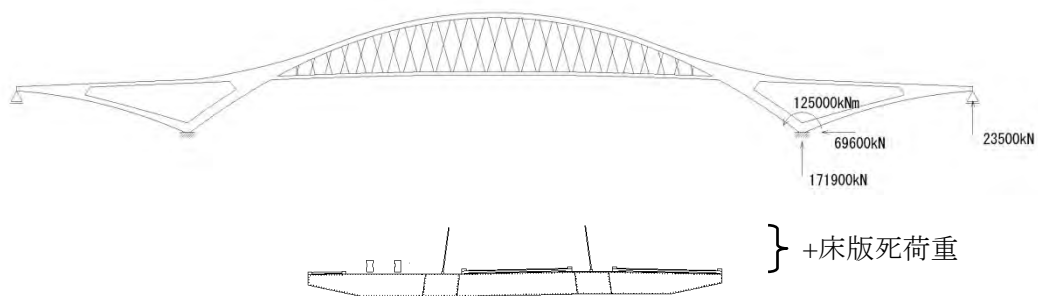
ステップ 1



ステップ 2



ステップ 3



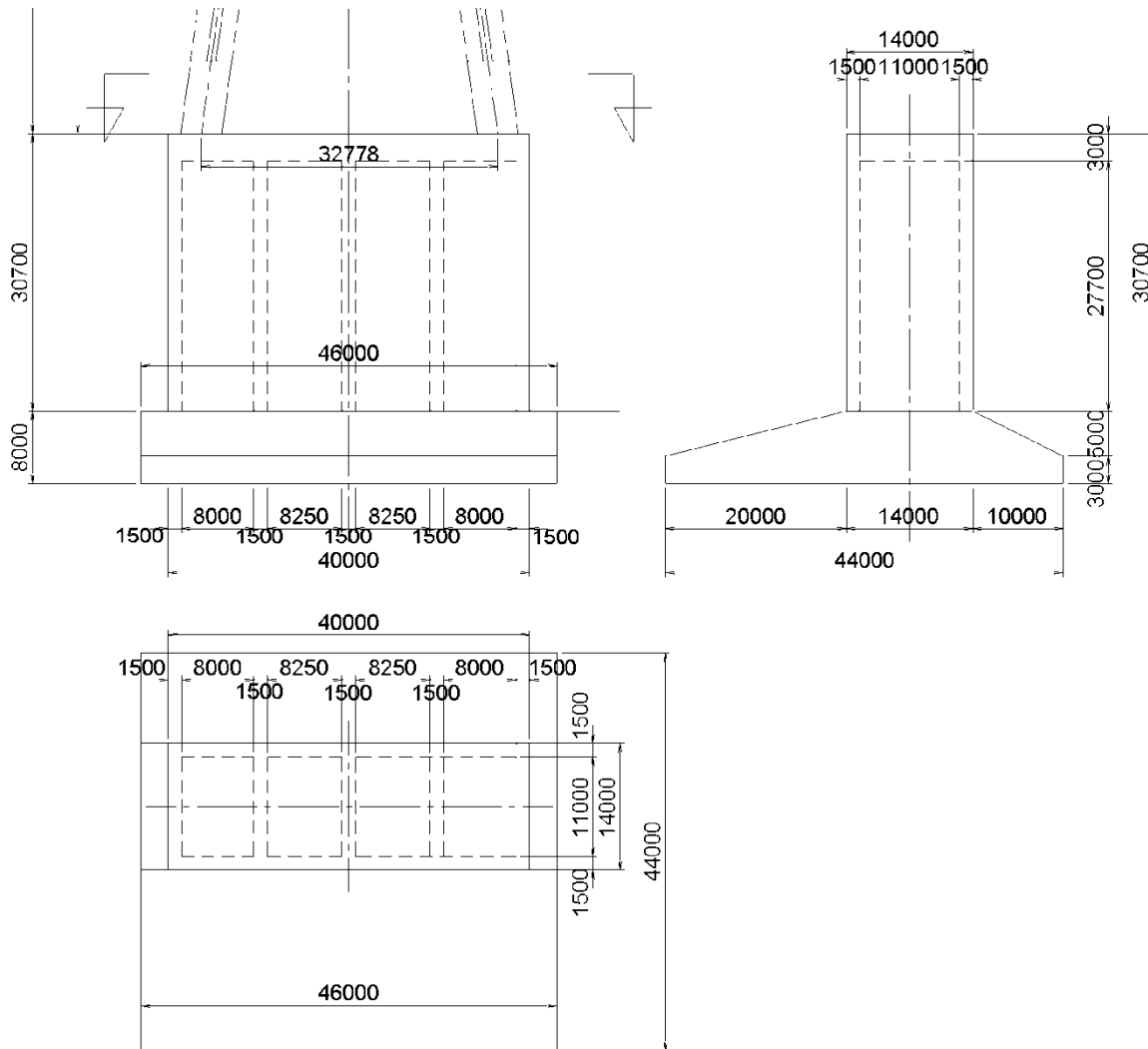
出典：調査団

図 12.22 ステップ毎の下部工設計反力（第 4 パナマ運河橋主橋）

設計結果

図 12.23 に下部・基礎工設計結果（第4パナマ運河橋主橋）を示す。

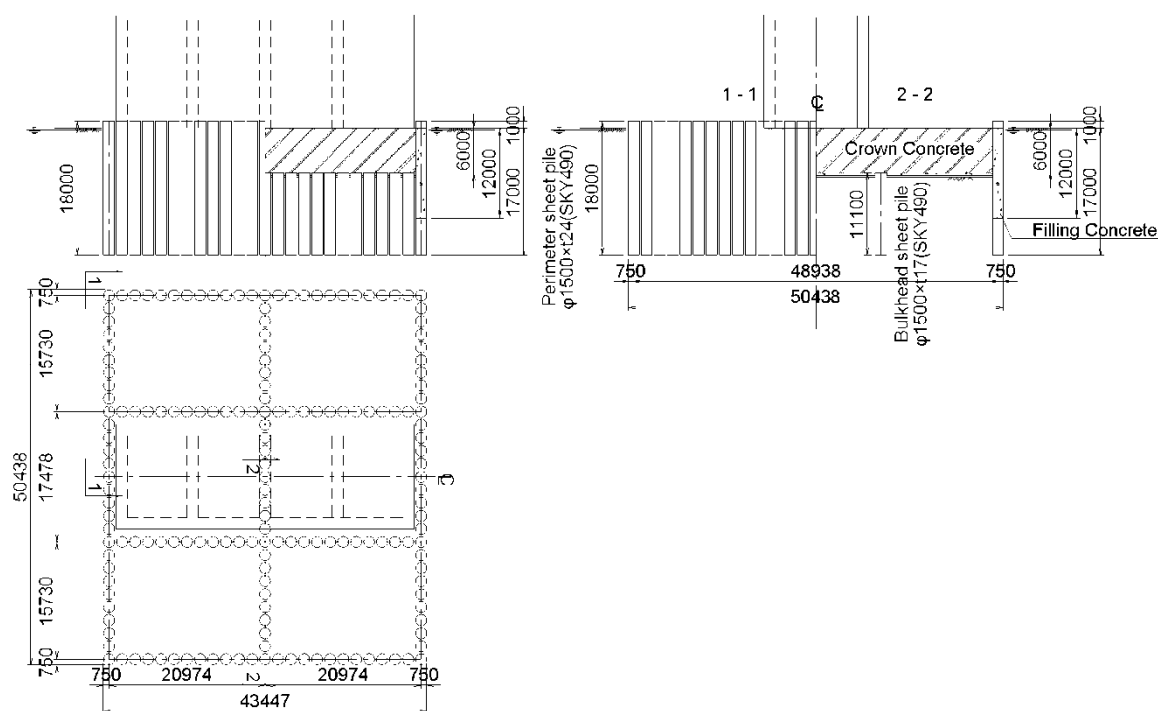
アーチ基部東側橋脚および基礎（直接基礎）



出典：調査団

図 12.23 下部・基礎工設計結果（第4パナマ運河橋主橋）（1）

アーチ基部西側橋脚基礎（鋼管矢板井筒基礎）



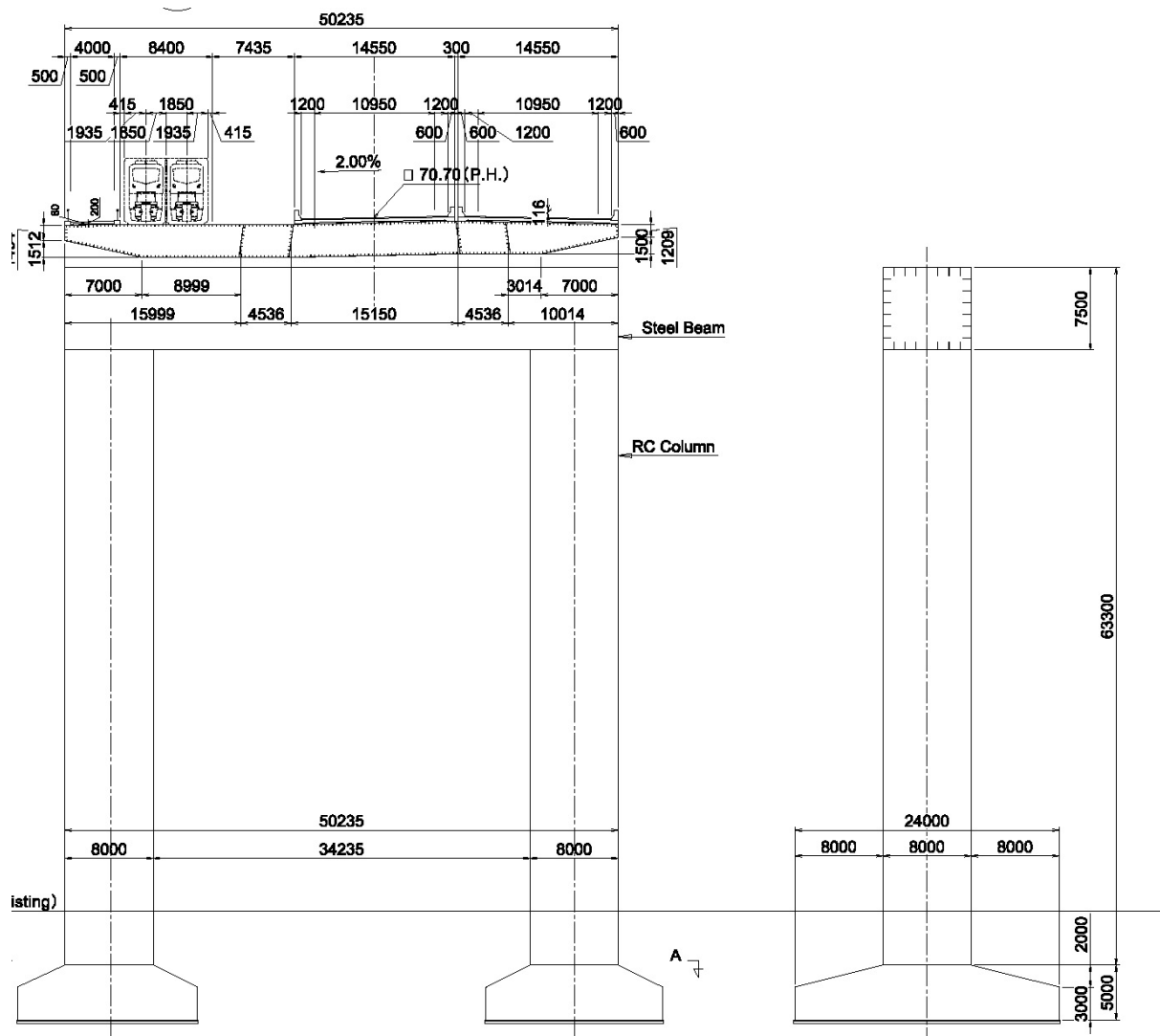
出典：調査団

図 12.24 下部・基礎工設計結果（第4パナマ運河橋主橋）（2）

鋼管矢板井筒基礎の下端は、支持力が取れる様、支持層への値入を 1D 以上確保する。

道路橋示方書 IV の打ち込み杭の極限支持力の項では、根入れ比（根入れ深さ／杭径）が 5 以下で支持力の低減を行っているが、同時に「十分な支持力が得られているにもかかわらず無理に杭を貫入させ、杭体を破損させないように注意しなければならない」とも記されている。本橋の支持地盤は岩であるため、根入れ比が杭径程度でも十分な支持力が得られるものと想定されるが、現場での打ち込み時に支持力試験を実施し確認することが必要である。

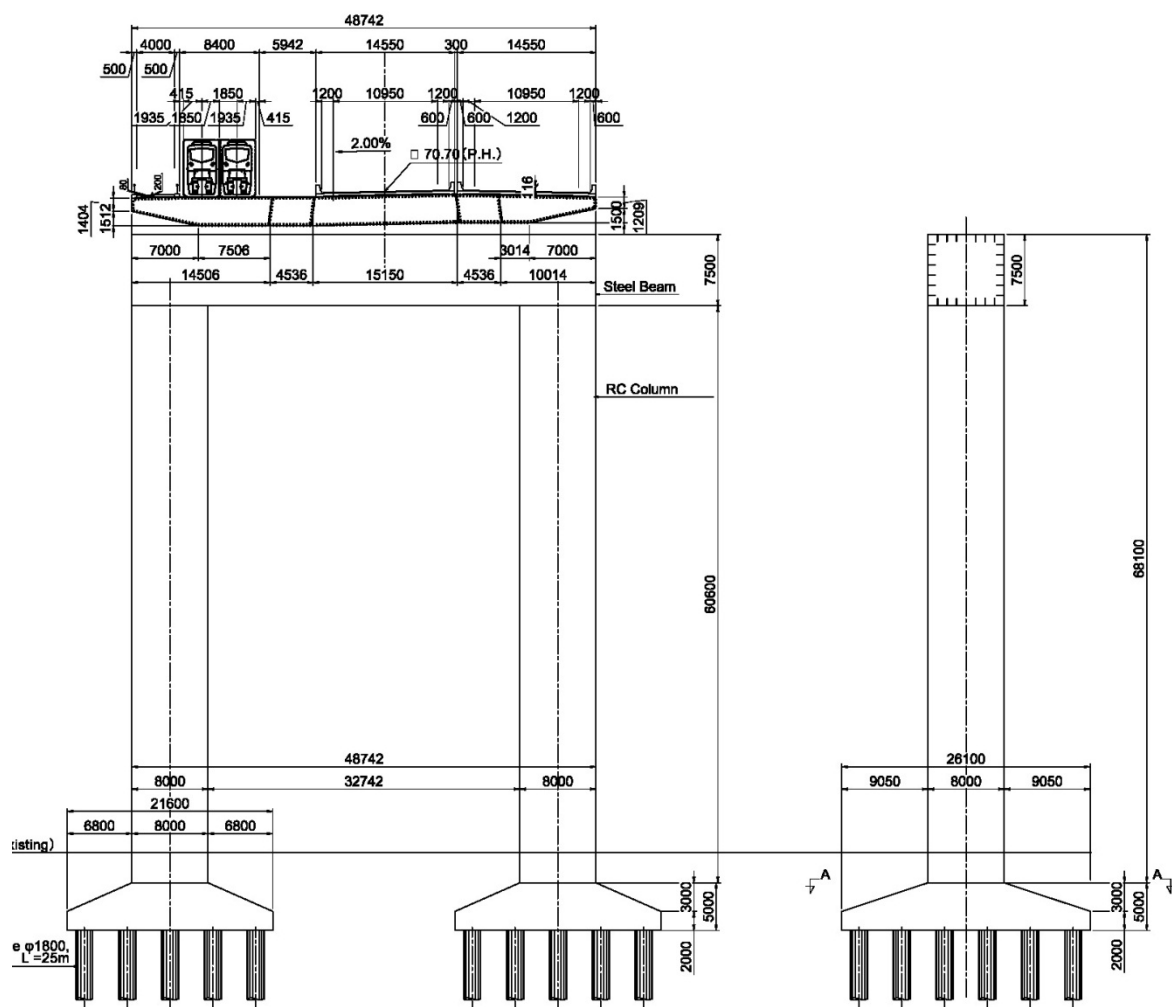
東側端橋脚基礎(直接基礎)



出典：調査団

図 12.25 下部・基礎工設計結果 (第 4 パナマ運河橋主橋) (3)

西側端橋脚基礎（場所打ち杭基礎）



出典：調査団

図 12.26 下部・基礎工設計結果（第4パナマ運河橋主橋）（4）

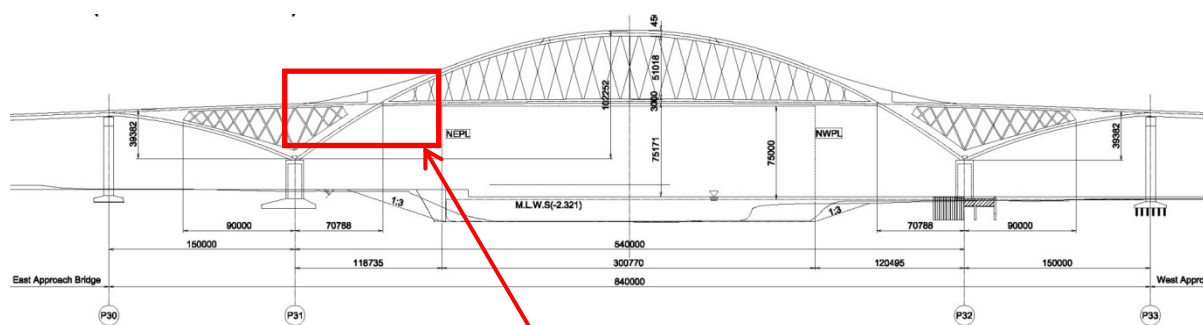
vi. 特殊構造部位解析

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

3次元シェル要素でモデル化

図 12.27 アーチリブと補剛桁交差部モデル化

解析条件

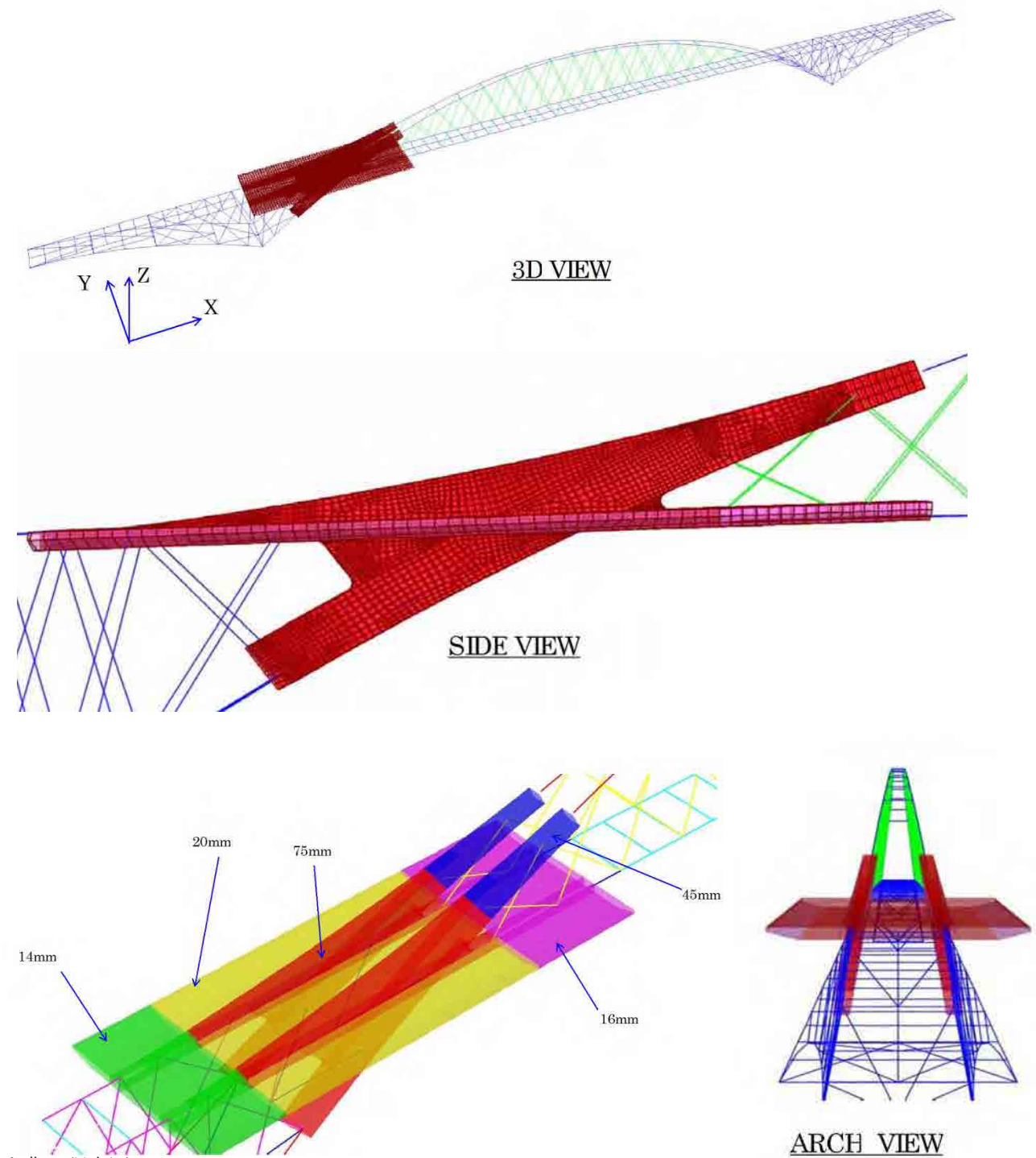
解析条件を表 12.6 に示す。

表 12.6 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	CASE1	死荷重
	CASE2	Y方向地震荷重
	CASE3	死荷重+Y方向地震荷重

出典：調査団

解析モデル



出典：調査団

図 12.28 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。

CASE3（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）

荷重ケースごとの FEM 解析結果は次頁以降に示す。

CASE1 死荷重

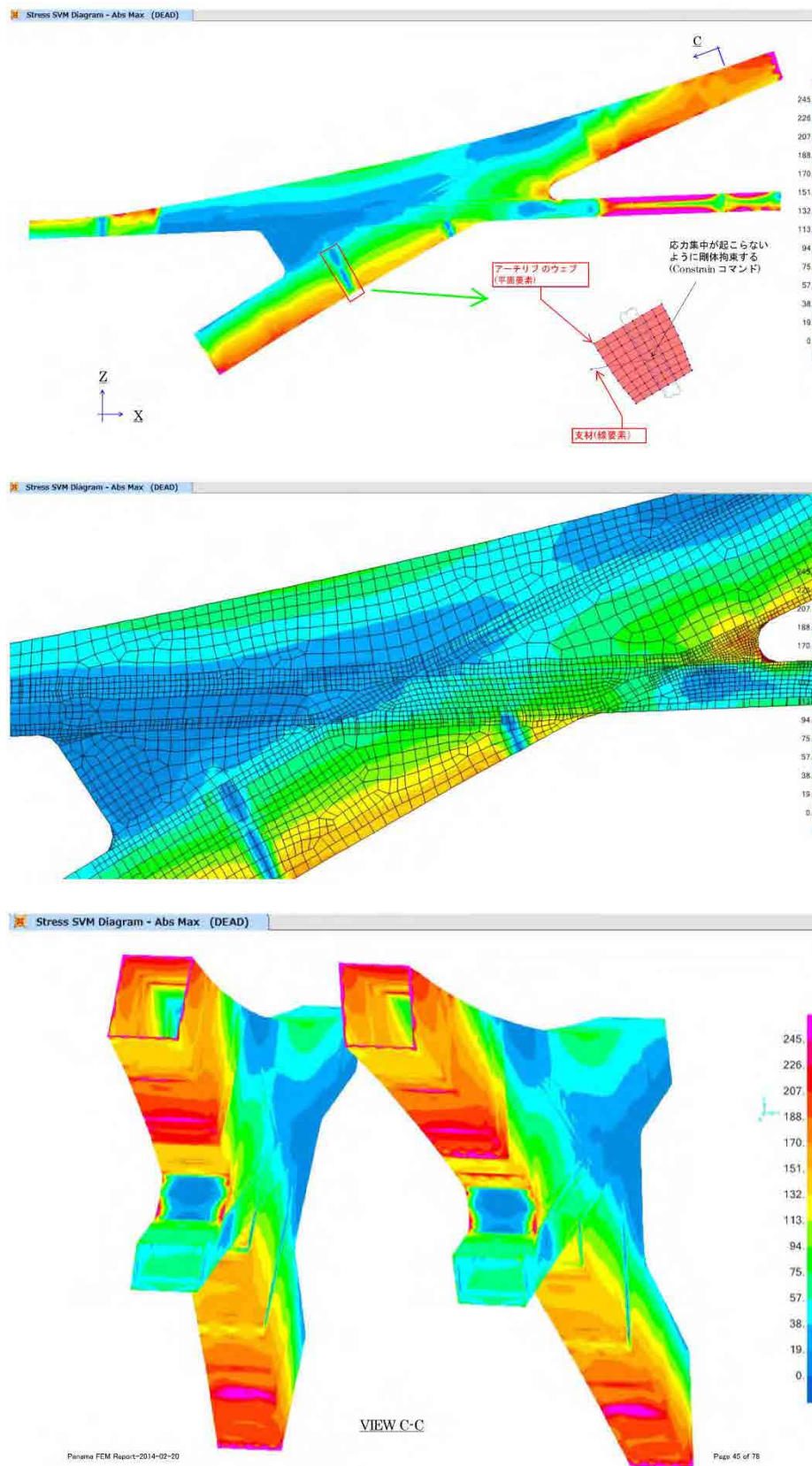
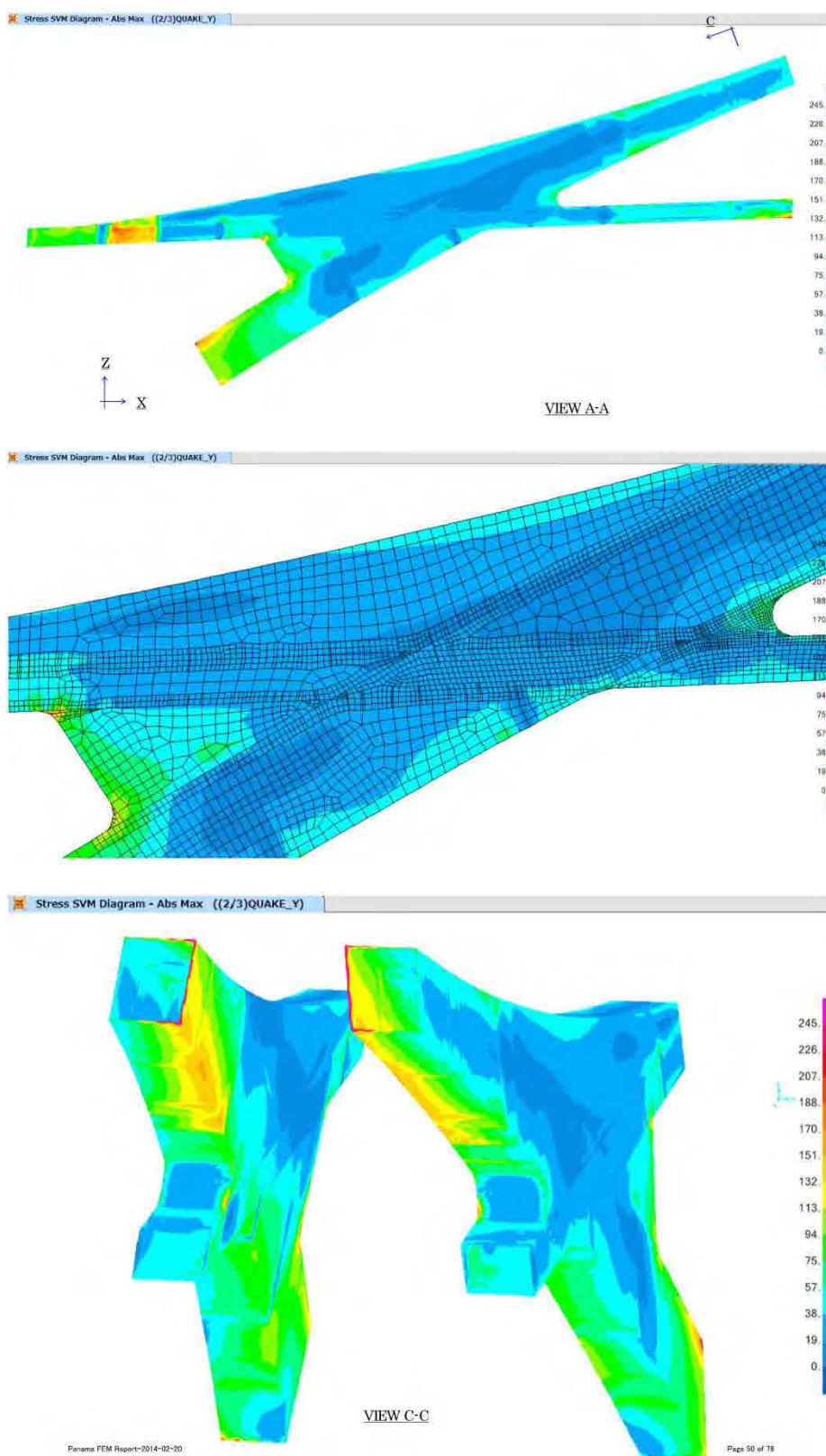


図 12.29 FEM 解析結果 CASE1

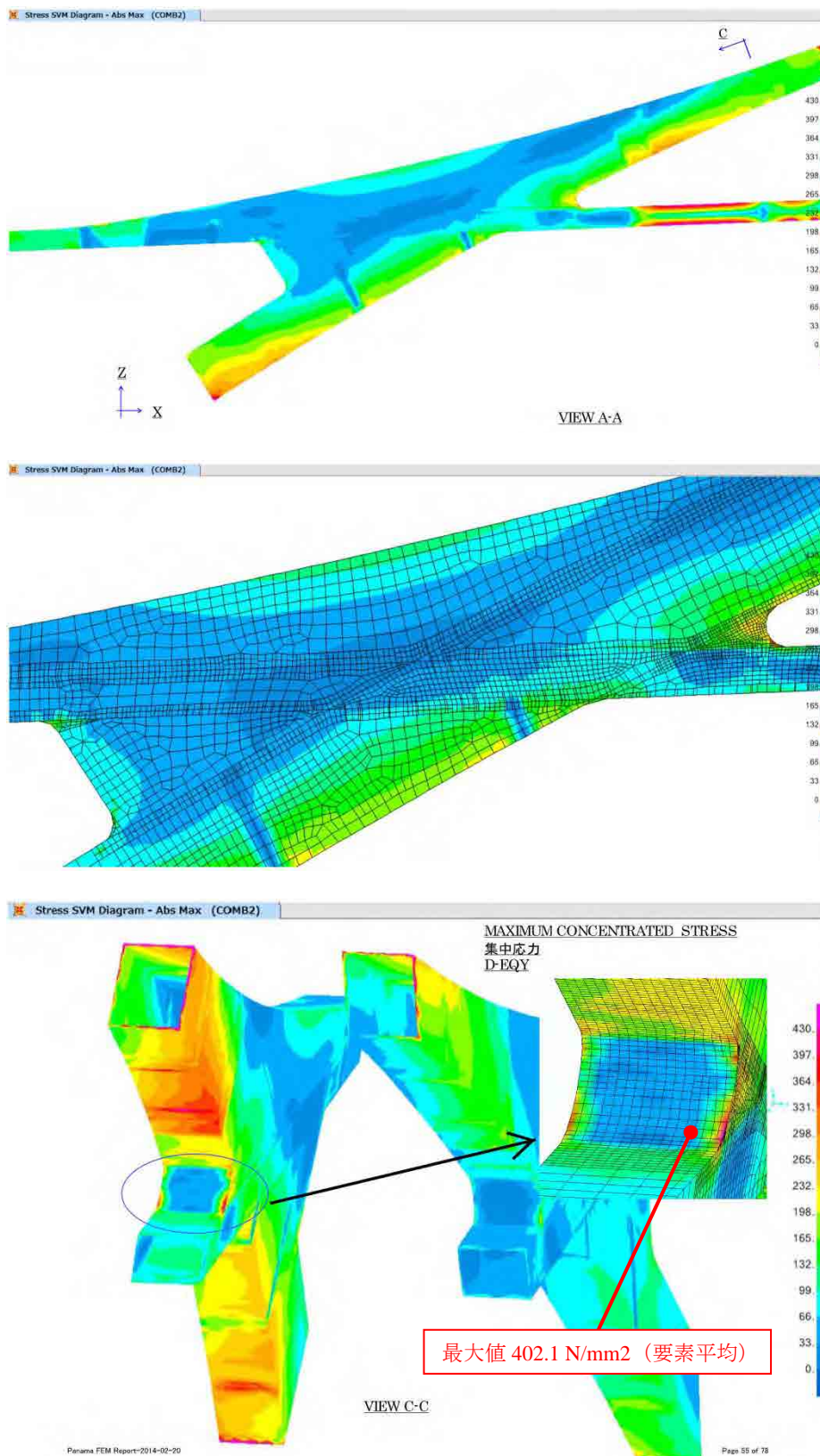
CASE2 Y 方向地震荷重



出典：調査団

図 12.30 FEM 解析結果 CASE2

CASE3 死荷重+Y 方向地震荷重



出典：調査団

図 12.31 FEM 解析結果 CASE3

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12.7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12.7 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12.8に示す形式を選定した。

表12.8 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12.9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 12.9 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 12.10 に橋台位置（第4パナマ運河橋取付橋）を示す。

表 12.10 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 12.11 に橋脚高さ毎の最適支間長（第4パナマ運河橋取付橋）、表 12.12 に橋長及び支間割（第4パナマ運河橋取付橋）を示す。

表 12.11 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 12.12 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

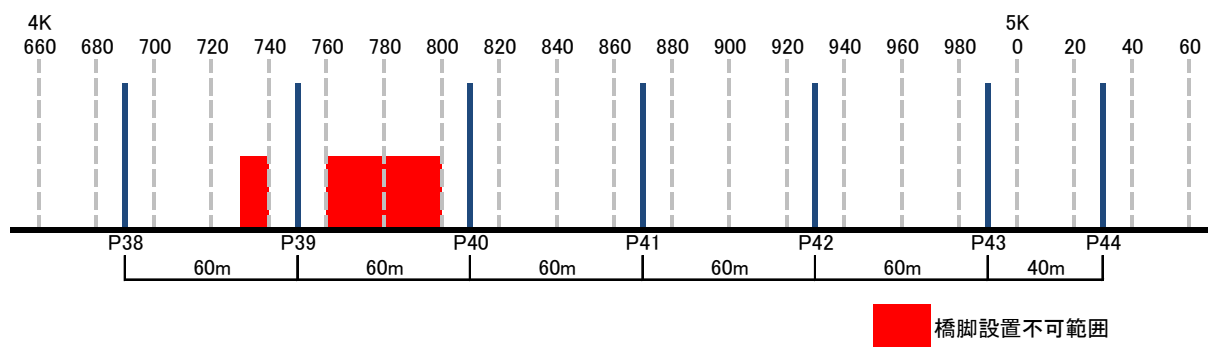
上部工は広幅員のため、経済的に優れる分離構造（車道（上下線）およびモノレール）とした。

図 12.33 に標準断面図（第4 パナマ運河橋東側取付橋）、図 12.34 に標準断面図（第4 パナマ運河橋西側取付橋）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 となる鋼箱桁とした。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。

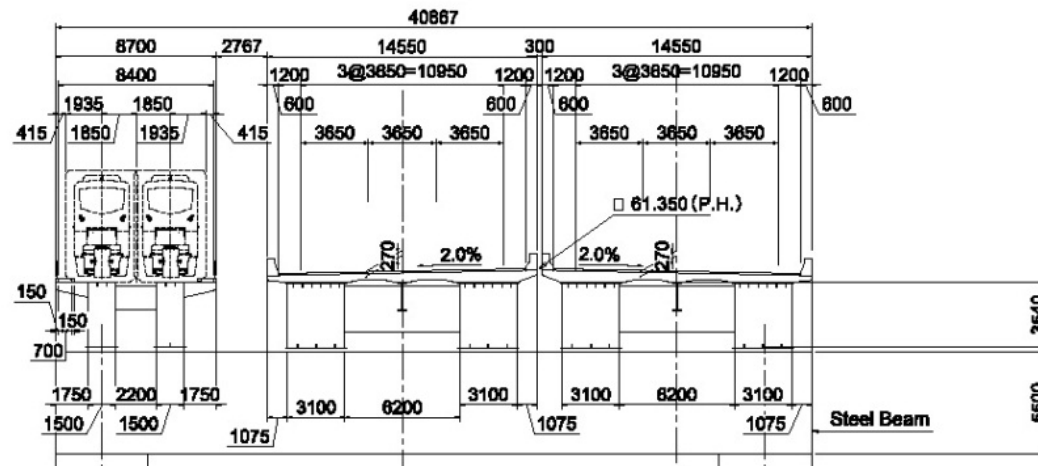
西側取付橋 No.2 と交差物件との関係を図 12.32 に示す。



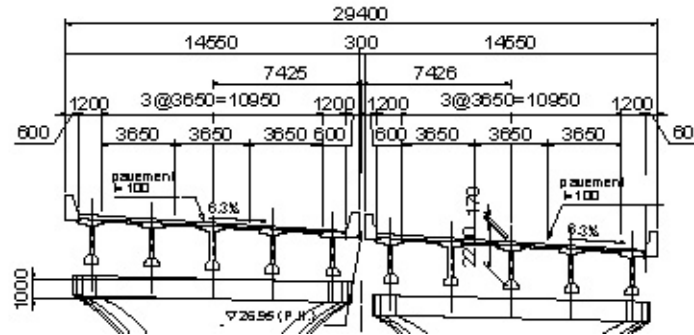
出典：調査団

図 12.32 西側取付橋 No.2 支間割計画

鋼箱桁橋区間



PC-I 桁橋区間



出典：調査団

図 12.34 標準断面図（第 4 パナマ運河橋西側取付橋）

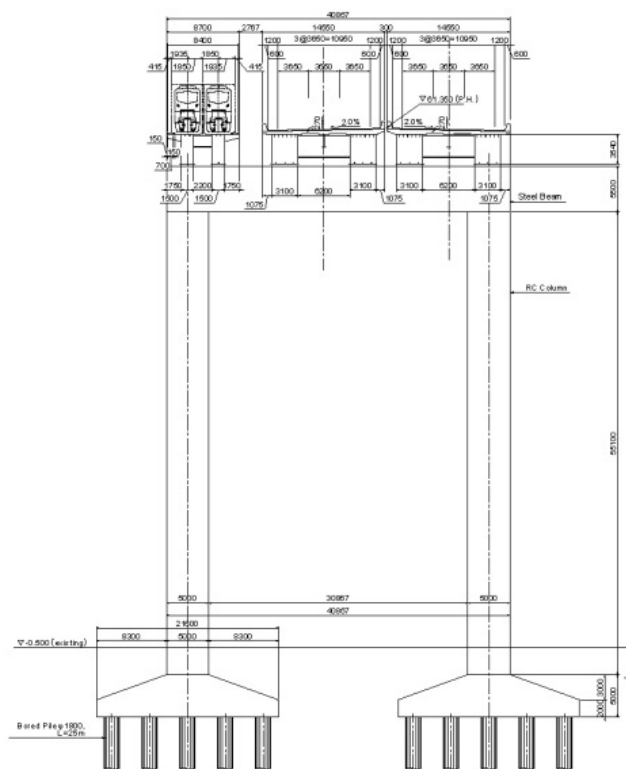
iv. 下部・基礎工設計

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12.35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。



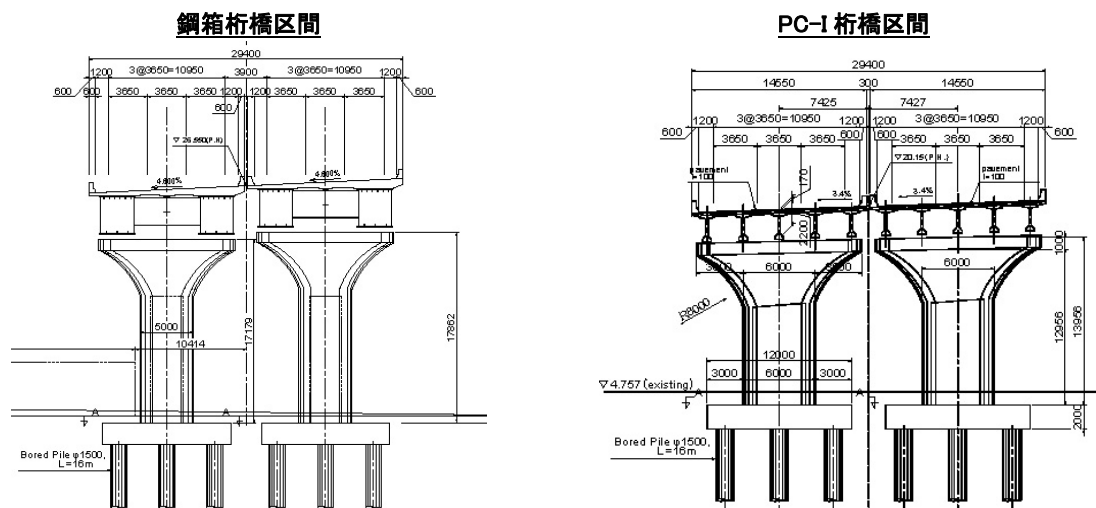
出典：調査団

図 12.35 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12.36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12.36 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（12.4.1 (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12.13に橋台位置（跨道橋）を示す。

表12.13 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（12.4.1（1）2）ii参照）。

表 12.14 に橋長及び支間割（跨道橋）を示す。

表 12.14 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

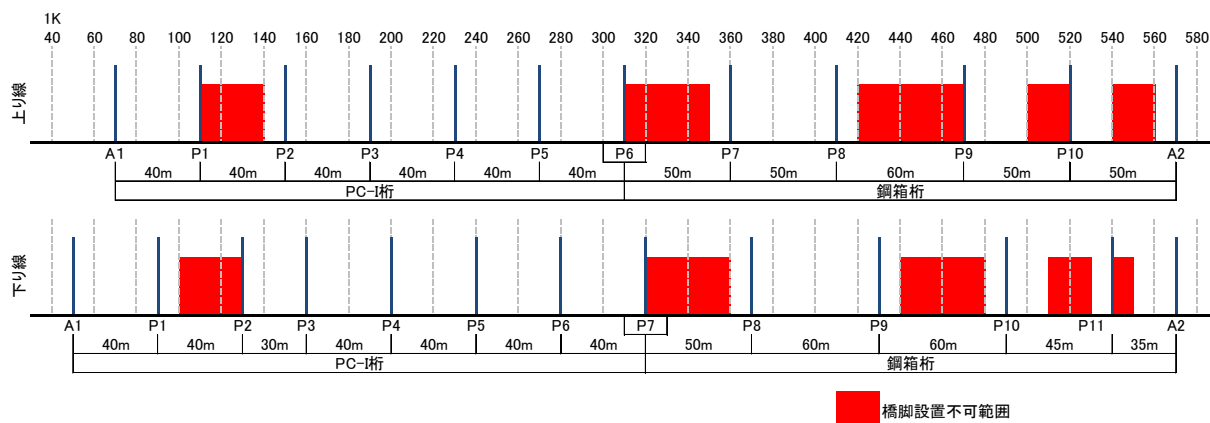
上部工は広幅員のため、経済的に優れる分離構造（車道（上下線））とした。

図 12.40 に標準断面図（跨道橋）を示す。

跨道橋 No.1 は、橋脚高さが低いのが、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 No.1 と交差物件との関係を図 12.37 に示す。

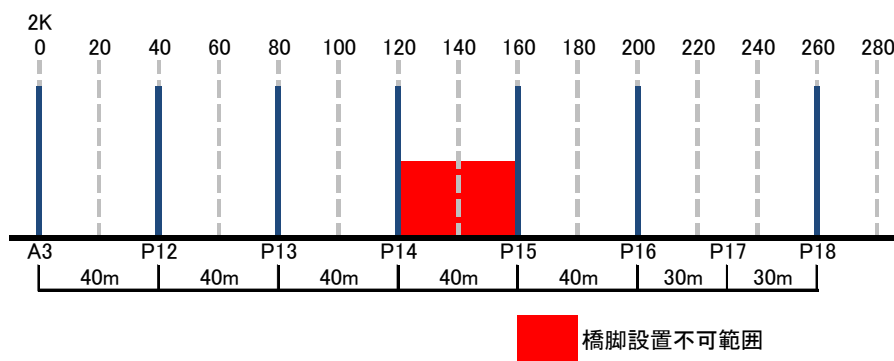


出典：調査団

図 12.37 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。

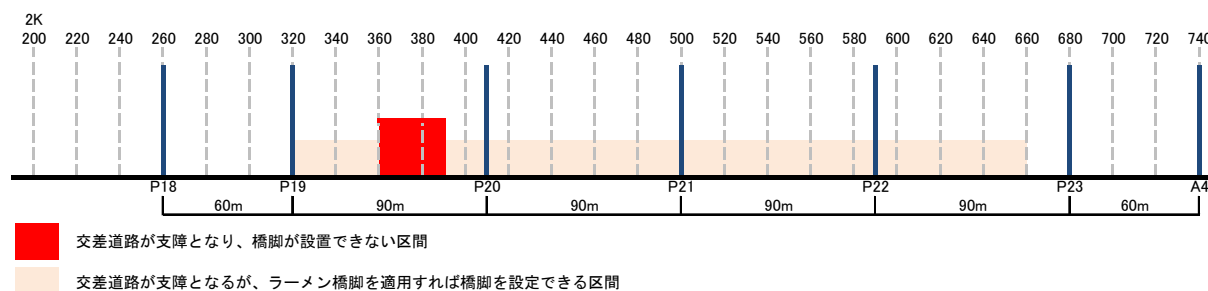
跨道橋 No.2-1 と交差物件との関係を図 12.38 に示す。交差物件としては、通信施設があるため、そこを避ける形で支間長 40m の PC-I 桁橋とした。



出典：調査団

図 12.38 跨道橋 No.2-1 支間割計画

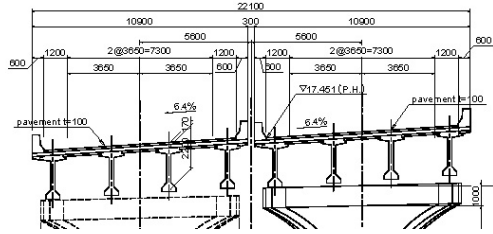
跨道橋 No.2-2 と交差物件との関係を図 12.39 に示す。橋脚が設置できない範囲はわずかであるが、交差道路との交角が浅いため、この範囲に橋脚を設置する場合はラーメン橋脚となる。ラーメン橋脚となる延長は、320m となるため、この区間は支間長 90m の鋼箱桁とした。また、P20~P22 橋脚をラーメン橋脚とした。



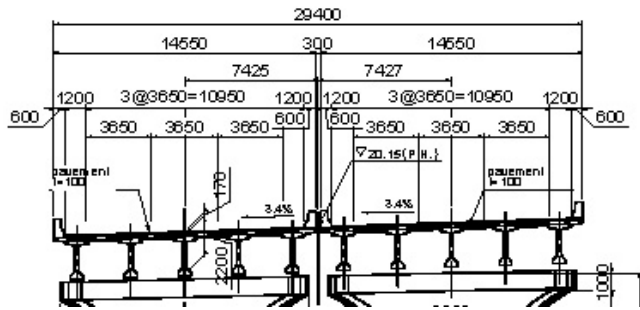
出典：調査団

図 12.39 跨道橋 No.2-2 支間割計画

PC-I 桁橋



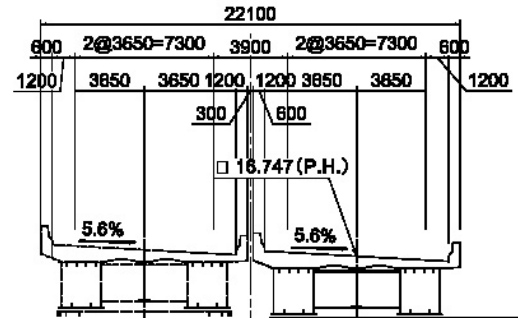
PC-I 桁橋区間



出典：調査団

跨道橋 No.1

鋼箱桁橋区間



跨道橋 No.2

鋼箱桁橋区間

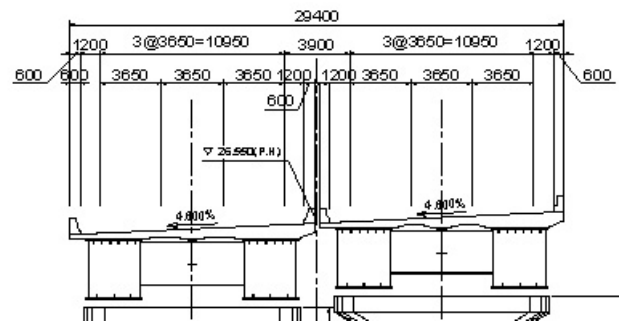
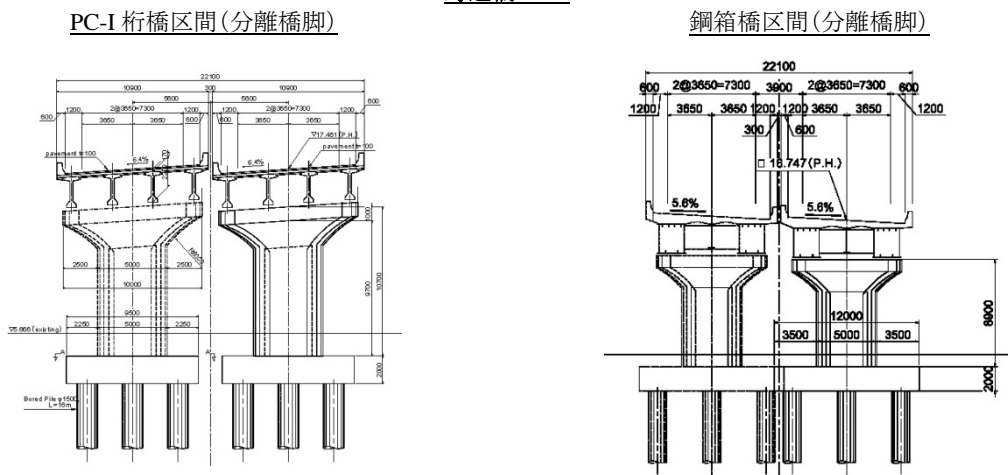


図 12.40 標準断面図 (跨道橋)

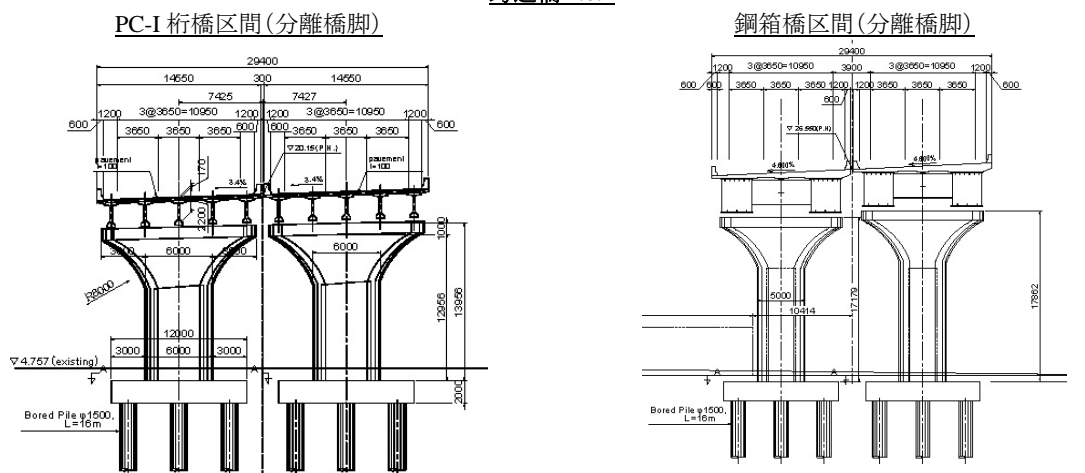
4) 下部・基礎工設計

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 12.41 に張出式橋脚断面図（跨道橋）を示す。

跨道橋 No.1

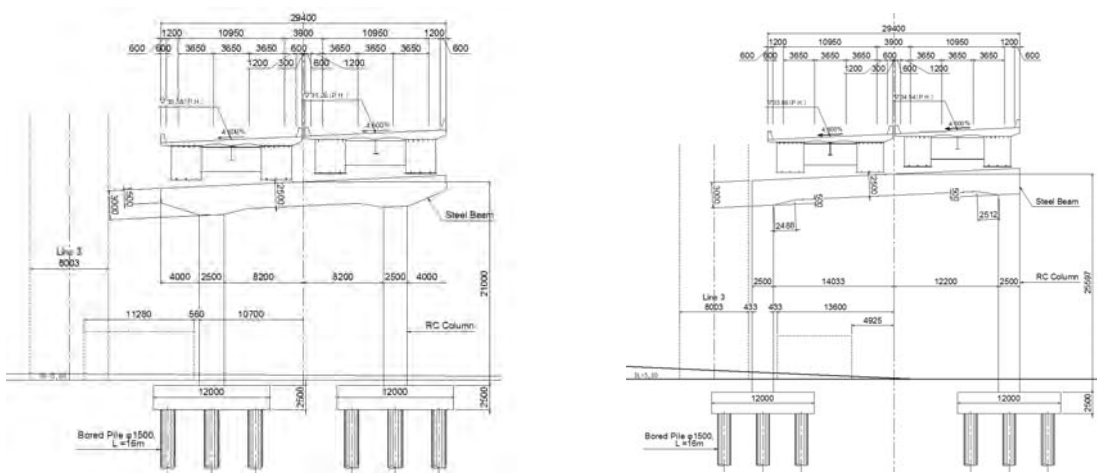


跨道橋 No.2



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 12.41 張出式橋脚断面図（跨道橋）

12.4.2 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(12.4.1 (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 12.15 に橋台位置（アメリカ橋連絡道路橋）を示す。

表 12.15 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

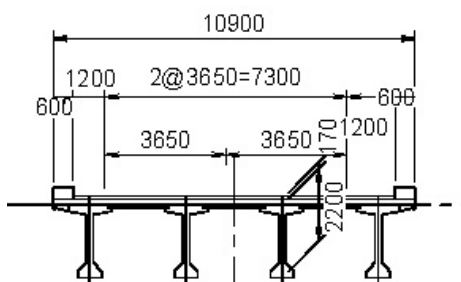
橋長及び支間割

支間割の方針は、第4パナマ運河橋取付橋と同様とし(12.4.1 (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 12.42 に標準断面図（アメリカ橋連絡道路橋）を示す。



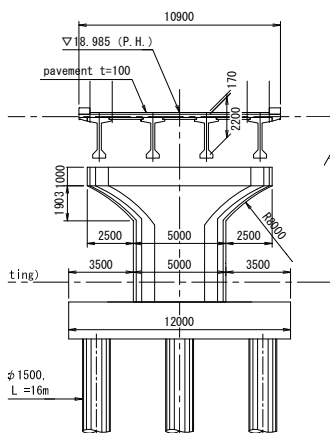
出典：調査団

図 12.42 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 12.43 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 12.43 張出式橋脚断面図（アメリカ橋連絡道路橋）

12.4.3 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。

(1) 伸縮継手

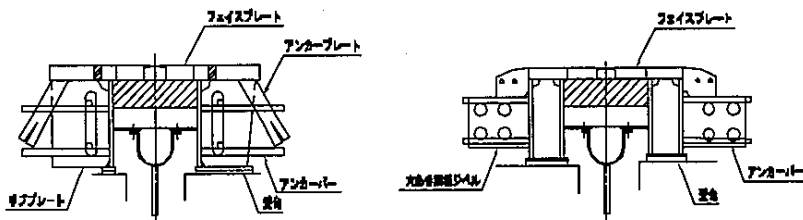
伸縮継手は、移動量の大きさ及び橋梁形式により決定した。全ての橋梁において、移動量は 30mm 以上（最小 30mm、最大 380mm）となるため、荷重支持型を採用した。移動量が比較的大きいため、荷重支持型の内、鋼製フィンガージョイントを採用した。

表 12.16 に伸縮継手一覧表、図 12.44 に伸縮継手（イメージ図）を示す。

表 12.16 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
			下り線		P6 橋脚 : 1+310	-30~+84
2		跨道橋 No.2			A2 橋台 : 1+570	-30~+84
					A3 橋台 : 2+000	-16~+45
3	第 4 パナマ運河橋	東側取付橋			P18 橋脚 : 2+260	-24~+67
4			主橋		A4 橋台 : 2+740	-24~+67
5			西側取付橋		A5 橋台 : 2+847	-8~+22
					P26 橋脚 : 3+000	-8~+22
6	アメリカ橋連絡道路	アメリカ橋連絡道路橋			P30 橋脚 : 3+380	-189~+189
					P33 橋脚 : 4+220	-189~+189
					P38 橋脚 : 4+690	-67~+98
					A6 橋台 : 5+390	-18~+50
					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



出典：鋼橋伸縮装置設計の手引き（平成17年4月）

図 12.44 伸縮継手（イメージ図）

(2) 支承

支承は、上部工形式及び施工方法により決定した。

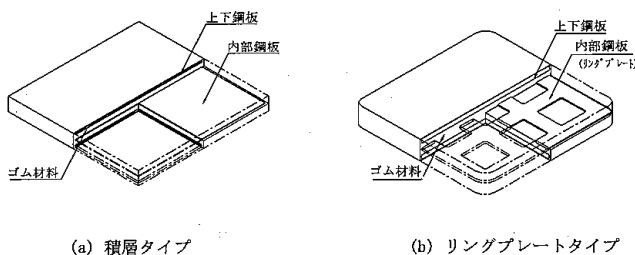
表 12.17 に支承計画、図 12.45 に支承（イメージ図）を示す。

表 12.17 支承計画

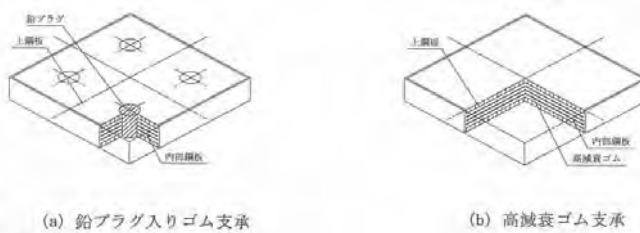
No.	上部工形式	支承	計画理由
1	PC-I 桁	ゴム支承 (パッドタイプ)	桁形式であり各桁端部に支承を設ける。 鉛直荷重規模より、パッドタイプのゴム支承を採用する。
2	鋼箱桁	ゴム支承 (地震時水平力分散型)	各橋脚に支承を設ける。 支承タイプはゴム支承を採用する。
3	アーチ	剛結/ゴム支承	アーチ基部は剛結とする。 端部支承はゴム支承を採用する。

出典：調査団

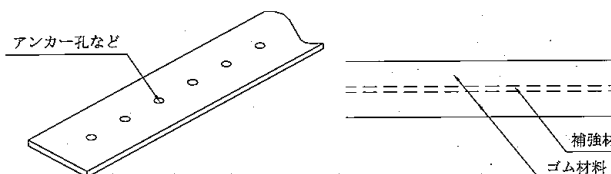
ゴム支承の構造



免震支承の構造



帯状ゴム支承の構造



出典：道路橋支承便覧（平成16年4月）

図 12.45 支承（イメージ図）

(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。

図 12.46 に歩道敷設範囲図を示す。

昇降用エレベータの計画については第 13 章で述べる。

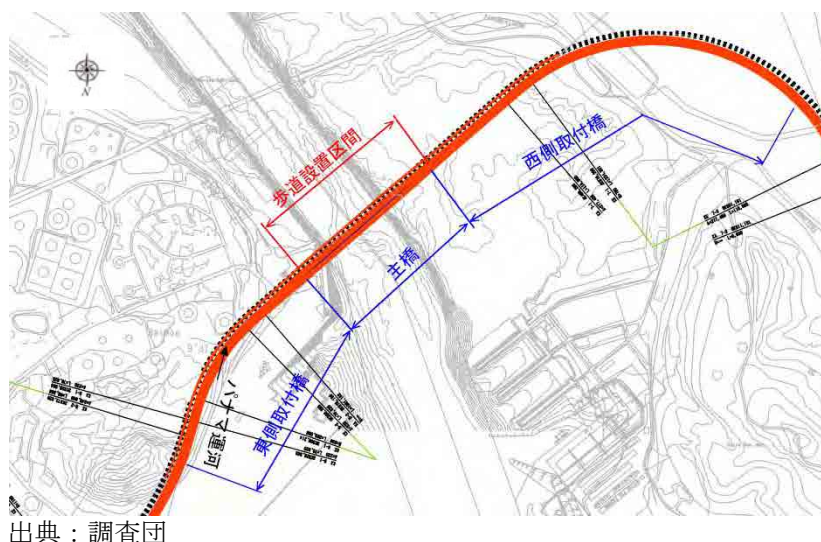
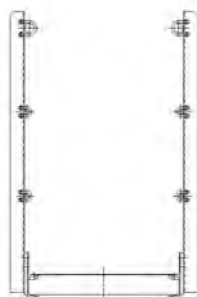


図 12.46 歩道敷設範囲図

(4) 検査路

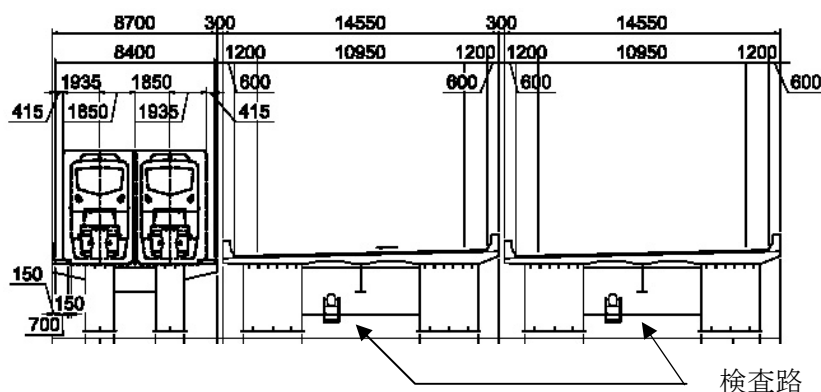
- 縦断の低い橋梁区間は PC-I 桁のため、横桁を貫通させて検査路を設置できないが、高所作業車あるいは橋梁点検車にて検査が可能のため、検査路は設置しない。
- アーチ橋は、主要部材がすべて箱形状で形成されているため、箱内部を検査路とすることが可能である。
- 縦断が高く、1 断面あたり 3 箱桁となる鋼箱桁橋は、主桁は箱桁内部を通行することにより、点検は可能であるが、床版下面を点検することができない。したがって、床版下面の点検用の検査路を箱桁間に 1 条、横桁位置はマンホールを設置する。

図 12.47 に検査路標準断面図、図 12.48 に検査路断面図を示す。



出典：調査団

図 12.47 検査路標準断面図



出典：調査団

図 12.48 検査路断面図

(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。

12.4.4 概略設計図面

橋梁設計に係る以下の概略図面を付属資料に示す。

- 付属資料 5.1.3：橋梁一般図

12.4.5 概算工事数量

橋梁設計に係る概略設計図面に基づき、概算工事数量を算出した。

概算工事数量は付属資料 7：概算工事費積算内訳表（第 4 パナマ運河橋）に示す。

12.5 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 概要

13.1.1 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。

13.1.2 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（11.5章参照）、同交差点改良に係る設備設計は実施していない。

13.1.3 調査結果

設備概略設計結果について、以下に要旨を述べる。

(1) 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 13.1 に必要な設備一覧表を示す。

表 13.1 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	夜間時での道路面の明るさの確保	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	第4パナマ運河橋最頂部
3			航路障害灯	船舶に橋脚の位置を示す設備	第4パナマ運河橋橋脚部
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	各設備設置箇所
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	第4パナマ運河橋橋梁中央部
8			雨量計	橋梁上の降水量を計測	第4パナマ運河橋橋梁中央部
9			降水検知器	橋梁上の降水の開始と終了を計測	第4パナマ運河橋橋梁中央部
10			視程計	橋梁上の霧を計測	第4パナマ運河橋橋梁中央部
11			気温計	橋梁上の気温を計測	第4パナマ運河橋橋梁中央部
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

(2) 設備設計

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。

(3) 公共設備添架計画

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、本事業のスクープは、配置スペースの確保及び架台の設置までとした。

(4) 既存設備移設計画

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。

13.1.4 まとめ

本調査では、事業に必要な設備の計画・概略設計を実施し、パナマ国関係機関と協議を行い、以下の設備についてはパナマ国基準に基づく設備設置計画を行った。

- ・ 航空障害灯
- ・ 航路障害灯
- ・ エレベータ

また、関係機関との調整結果を踏まえ、既存施設の移設計画を策定した。

13.2 設備計画

13.2.1 必要な設備の条件整理

(1) Pre-F/S の設備計画

表 13.2 に計画設備一覧表（Pre-F/S）を示す。

表 13.2 計画設備一覧表（Pre-F/S）

No.	種別	設備
1	電気設備	受変電設備
2		避雷設備
3		道路照明設備
4		航空障害灯
5		航路障害灯
6		SCADA システム
7		消火設備
8	通信設備	CCTV
9		非常用電話設備
10	機械設備	換気設備

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

(2) 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。

13.2.2 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 13.3 にメトロ3号線との設備比較表、表 13.4 にメトロ3号線と設備を共有しない理由を示す。

表 13.3 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	風向風速計	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 13.4 メトロ3号線と設備を共有しない理由

No.	設備	共有不可理由
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

13.2.3 電気設備

(1) 照明設備計画

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（表 13.12 参照）。

(2) 障害灯計画

1) 障害灯必要性の検討

本事業箇所は近隣に空港があり、橋梁の下を船舶が通過する。夜間と視界が悪い状況で橋梁の位置を知らせるため障害灯が必要となる。航空機に対しては航空障害灯を設置する。船舶に対しては航路障害灯を設置する。以下に障害灯の機能概要を示す。

i. 航空障害灯

航空障害灯は、夜間に飛行する航空機に対して超高層建築物や管制塔、発電所などの大型建築物、鉄塔などの構築物の存在を示すために設置される赤色または白色の電灯で、注意喚起のため、点灯・点滅を行う。

日本の基準では、航空法第 51 条により、地上から高さ 60 メートルを超える建造物などに航空障害灯の設置が義務付けられている。骨組構造の建造物や細長い煙突には赤白塗装が義務付けられているものがある。パナマ国においても同様な基準が定められており、一般道については、ACC（航空局）が航空障害灯を計画・設置する責務を負っている。本調査では航空障害灯の設置に係る概算金額のみ算出した。

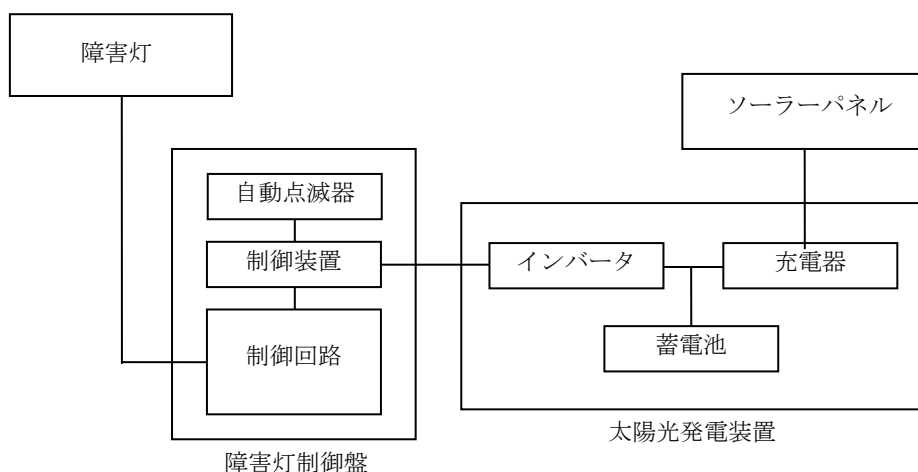
ii. 航路障害灯

航路障害灯は、船舶が自船の位置と構造物との位置関係を確認し、安全に航行するために設置される。灯台も航路障害灯の一種である。

航路灯の基準は国際航路標識協会（International Association of Lighthouse Authorities : IALA）が定めた国際基準がある。本事業では当該基準に基づき、ACP（運河庁）が計画・設置を担う。本調査では航路灯設置に係る概算金額のみ算出した。

2) 非常時の電源確保に係る検討

航空障害灯と航路障害灯は、重要な設備であり停電時の稼働が必要であり、必要とされる総電源容量も大きくないことから、常時および停電時共に太陽電池で電源供給を行う計画とする。



出典：調査団

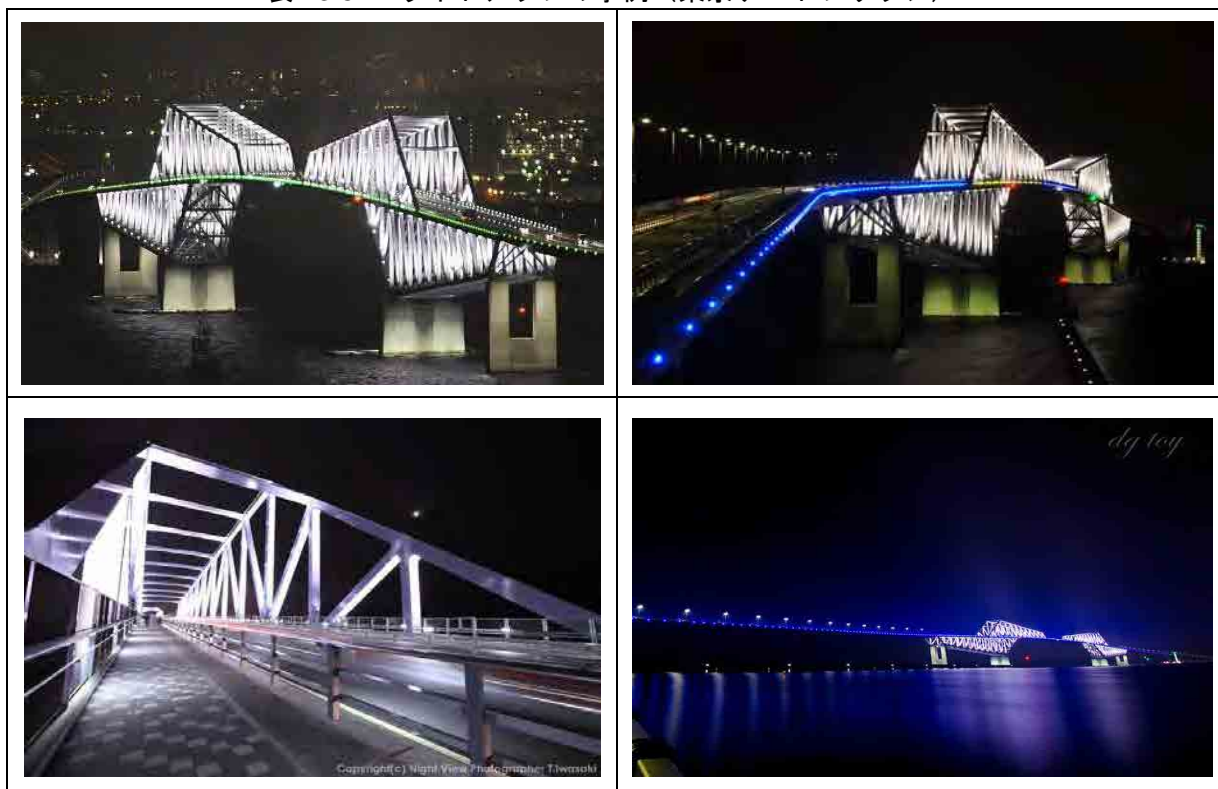
図 13.1 障害灯系統図

(3) ライトアップ計画

第 4 パナマ運河橋主橋は、地域のランドマーク的な存在と成り得るため、ライトアップの採用が見込まれるが、具体的な計画については、詳細設計段階で検討することとする。本調査ではライトアップ照明設備の設置に係る概算金額のみ算出を行った。

表 13.5 にライトアップの事例（東京ゲートブリッジ）を示す。

表 13.5 ライトアップの事例（東京ゲートブリッジ）



出典：東京都港湾局

(4) 電源設備計画

各設備への電力供給方法は、以下のとおり2種類ある。本事業では、設備数も最小限であり、停電発生も少ないことから電力会社からの受電供給とする。

表 13.6 に電力供給方法の比較を示す。

表 13.6 電力供給方法の比較

No.	項目	電力会社からの受電による供給	常用発電所の設置による供給
1	概要	電力会社から高圧または低圧を受電して各施設へ電力を供給する方式	常用発電所を設置して、各負荷に対して電力供給を行う
2	給電方式	事業範囲内に受電点を設けて、近隣の商用電源から電力供給を行う	常用のディーゼル発電機またはガスタービン発電機を設置して、電力供給を行う
3	電源系統の信頼性	停電発生時には電力供給が止まる。重要な設備には、非常用発電設備が必要。	常用発電により高い信頼性の電力供給が可能
4	維持管理	発電側は電力会社の責任範囲となるため、受電点以下の維持管理体制のみでよい	発電施設を含めた電力異常時の早期修復体制の確立、システムの強化が必要
5	経済性	初期費用：安価 維持費用：高価（電気料金）	初期費用：高価 維持費用：高価（燃料費、保守費）

出典：調査団

(5) 雷害対策計画

避雷設備の種類は、各機器に設置する避雷針と広範囲をカバーする電線を架空した架空地線がある。本事業で設置する設備は、設置数が少なく、各所にスポット的に整備されることから、避雷針で対応する。

13.2.4 通信設備

(1) 気象観測設備計画

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。

1) 通行規制計画

通行規制が発生する状況は以下の3種類である。異常気象により災害発生の恐れがある場合、降雨量・風速等の規制基準を定め、基準値に達した場合は区間を決めて通行規制を行う必要がある。

- ・ 異常気象による橋梁の走行が危険なとき
- ・ 交通事故により追突などの二次災害を防止するとき
- ・ 点検、修繕による車線規制をするとき

2) 通行規制が発生する事象の整理

表 13.7 に一般的な異常気象による通行規制の事象を示す。

表 13.7 一般的な異常気象による通行規制の事象

No.	項目	概要	本事業での必要性
1	降水量規制	連続雨量規制、時間雨量規制の2種類がある。連続雨量は降り始めからの連続降水量が基準値に達した時に通行規制となる。時間雨量はある一定時間の降水量が基準値に達した時に通行規制となる。	○
2	積雪規制	積雪により道路の凍結路面状況などから、速度制限やチェーン規制、タイヤ規制、通行止め、片側通行などを実施する。	×
3	超波規制	津波による道路への影響により通行規制を実施する。	×
4	風速規制	風の強さにより通行規制をする。台風時に多い。	○
5	視程規制	視認できる距離により通行規制を実施する。霧がでる箇所に多い。	○
6	凍結規制	異常気温による路面の凍結により通行規制をする。	×
7	地震規制	大地震発生時に通行規制をする。	×

出典：調査団

3) 規制基準の参考値

地域によって異なるが、日本での標準的な規制基準は以下の通りである。

- ・ 雨量：連続雨量が 150mm～300mm に達した場合
- ・ 風速：最大風速 15m/s 以上：進入制限・速度制限
- ・ 霧：視程計にて 50m 以下

4) 第4パナマ運河橋における通行規制方法

本事業での通行規制方法は、管理センターがないことを考慮し、気象観測装置が規制基準を超えたときに自動的に情報板に表示する方法とする。パナマでの気象状況より気象観測装置を設置する装置は以下の通りとする。

- ・ 雨量計
- ・ 降水検知器
- ・ 風向風速計
- ・ 視程計
- ・ 気温計

パナマに降雪はないため、降雪計は設置しない。地震計はシステムが複雑であり、保守維持管理が困難になるため、関連機関との協議結果に基づき、設置しないものとした。気温計は通行規制を必要としない設備であるが、平常時は気温を表示の上、周囲状況を提供する。本事業では ATTT（陸運局）が保守管理を行う。

(2) CCTV 計画

CCTV は橋梁上の事故、路面状況を遠隔で把握する設備であり、遠隔操作及び遠隔監視が必要となる。パナマ国内の全ての一般道を ATTT が遠隔操作と遠隔監視を行っている。本事業では ATTT のシステムに接続することとする。具体的な計画については、詳細設計段階で検討する事とする。

13.2.5 機械設備

(1) エレベータ設置計画

エレベータ設備は、展望デッキへのアクセスを目的として設置を計画するものである。

エレベータ設備の設置にあたっては、安全上、緊急時にエレベータ設備内部より外部に対して連絡がとれるようにする必要がある。本事業では、管理センターが設置されず、また、エレベータ設備は ATTT の保守管理対象外となるため、連絡体制の確立ができない場合はエレベータ設備を設置できないが、パナマ国内のエレベータ施工メーカと協議した結果、保守管理および緊急時対応の外注業務契約が可能であることを確認できた。このため、当該事業において、エレベータ設備を設置する計画とした。

なお、エレベータ設備の具体的な計画については、詳細設計段階で検討することとし、本調査ではエレベータ設備の設置に係る概算金額のみ算出を行った。

また、展望デッキは、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（含むエレベータ設備）と見積もる。

13.3 概略設計

13.3.1 設計範囲

設備の概略設計は、概算事業費を算出するために概略設計が必要な設備のみ実施した。

対象設備は以下の通りである。

- ・ 照明設備
- ・ 電源設備
- ・ 気象観測装置

13.3.2 照明設備

(1) 照明の光源選定

照明の光源には、一般的に利用されているナトリウムランプ及び消費電力が少ないLEDランプがある。表 13.8 に照明の光源比較を示す。

表 13.8 照明の光源比較

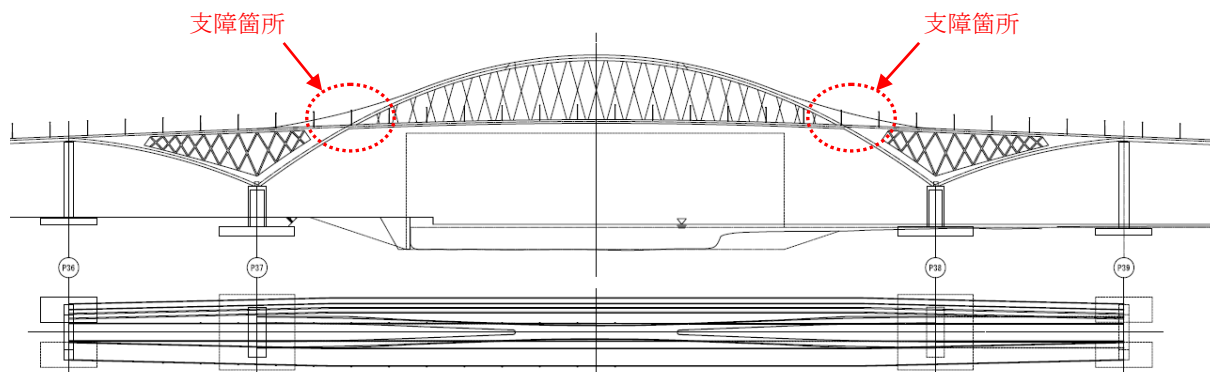
No.	項目	ナトリウムランプ	LED ランプ
1	ランプ寿命（時間）	18,000	60,000
2	ランプ交換年数（年）	15 年	20 年
3	設置費	100%	140%
4	維持費	100%	30%
5	消費電力	100%	40%
6	CO2 発生量	100%	40%

出典：調査団

LED ランプは近年に開発された技術であり、機器費が高価であるが、今後は製造メーカーが増え機器費の低減が予想されている。また、LED ランプは、消費電力と維持費の低減に優れていることから、今後の機器費低減を加味し、本事業ではLED ランプを採用する計画とした。

(2) 照明方式の選定

照明方式はパナマ国内で一般的なポール照明を採用することを基本とした。橋梁部分については、ポールが支障となる箇所があるが、表 13.9 の対策によりポールを低くして対応する。



出典：調査団

図 13.2 ポール照明設置図

表 13.9 支障箇所の対策

No.	項目	照明なし	低ポール照明	低位置照明	橋梁添架照明
1	特徴	照明を設置しない。	対策箇所のみ低ポール（6m）照明を設置する	対策箇所のみ低位置照明を設置する。	アーチリブに照明を共架する。
2	問題点	輝度及び均斉度が確保できない。	向き合わせで設置する必要があり、設置台数が多くなる。	向き合わせで設置する必要があり、設置台数が最も多くなる。パナマ国内で実績がない。	アーチ部に先行設置を行う必要がある。保守が困難。
3	判定	×	○	△	×

出典：調査団

照明方式は、ポールを用いた高い位置から道路に照射する方式が一般的である。一方で、ポールを設置しにくい箇所、維持管理が困難な箇所、土木施設の構造上設置できない箇所、近隣地域など道路外部への光漏れを抑える必要がある箇所など、安全性と走行性を確保しつつ光が外に漏れないような照明方式が求められる場合、ポールを利用しない照明器具（低位置照明（20.3.4章参照））が採用されるケースもある。表 13.10 に照明方式の比較を示す。

表 13.10 照明方式の比較

No.	項目	低位置照明	ポール照明
1	設置例		
2	建設費	高価	安価
3	光漏れ	光漏れはほとんどない。 近隣に空港、農場など光漏れが制限される地域に採用される	後方への光漏れが大きい。
4	保守点検	高所作業車は不要。	高所作業車が必要。
5	設置場所	高欄又はガードレールに設置。	専用の張出基礎が必要
6	路面の見え方	均斉度がよい。	器具配光によりが縞々になる。
7	信頼性	交通振動や強風に影響されないため、故障は少ない。	交通振動や強風により接点不良でランプが点灯しない可能性がある。強風が多い箇所は、落下防止対策をする必要がある。

出典：調査団

低位置照明は、パナマ国内の実績はないが、以下の特徴より橋梁照明において優れていることから、メトロ庁(SMP)と協議を行い、ポール式照明および低位置照明の採用の可否について、詳細設計段階でシミュレーションを実施の上、再度検討することとした。

- ・ 低位置照明は、保守点検に高所作業車が必要ないため通行止めをせず実施できる。
- ・ ポール照明は強風による振動で点灯しない可能性がある。
- ・ アーチリブ箇所の設置がポール照明と比べて容易である。

(3) 橋梁照明計算

1) 適用基準

CIE 132-1999:DESIGN METHODS FOR LIGHTING OF ROADS

2) 設計条件

表 13.11 に照明計算条件を示す。

表 13.11 照明計算条件

No.	項目	単位	必要条件
1	車道幅員	m	3車線：3.65m*3、2車線：3.65m*2
2	全幅員	m	3車線：10.95m、2車線：7.3m
3	交通方式	-	一方通行
4	平均路面輝度	cd/m ²	2.0 (cd/m ²)
5	輝度均斉度	総合的均斉度	0.4 以上
6		車道軸均斉度	0.7 以上

出典：調査団

3) 照明計算結果

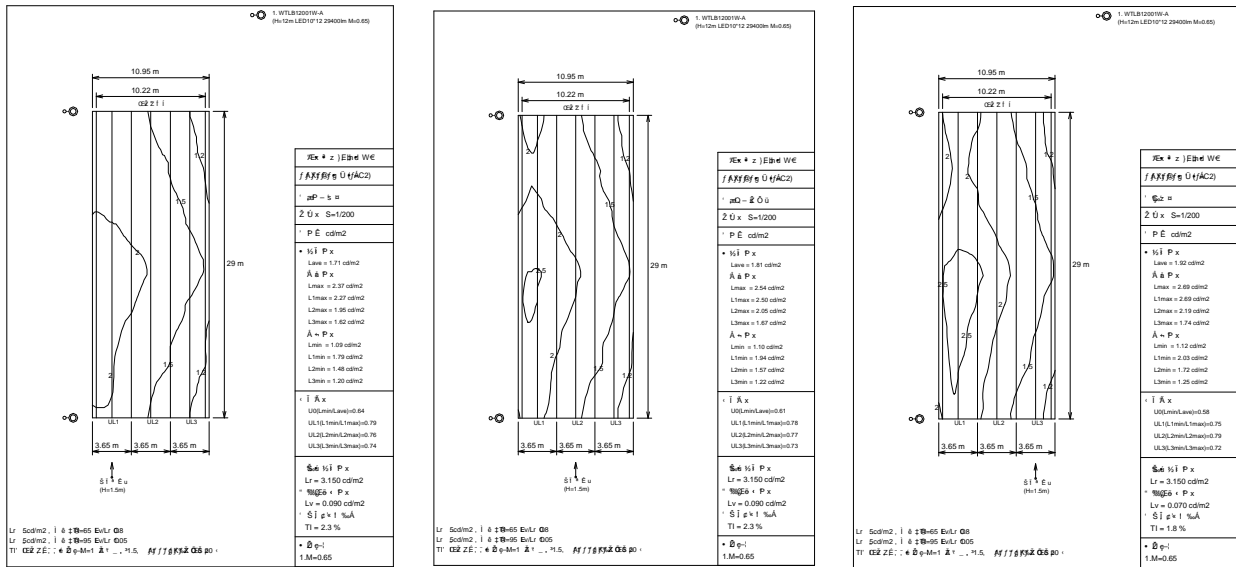
平均路面輝度が 2cd/m² となる最大の照明間隔を算出した。

表 13.12 に照明計算結果、図 13.3 に照明計算結果（3車線）、図 13.4 に照明計算結果（2車線）を示す。

表 13.12 照明計算結果

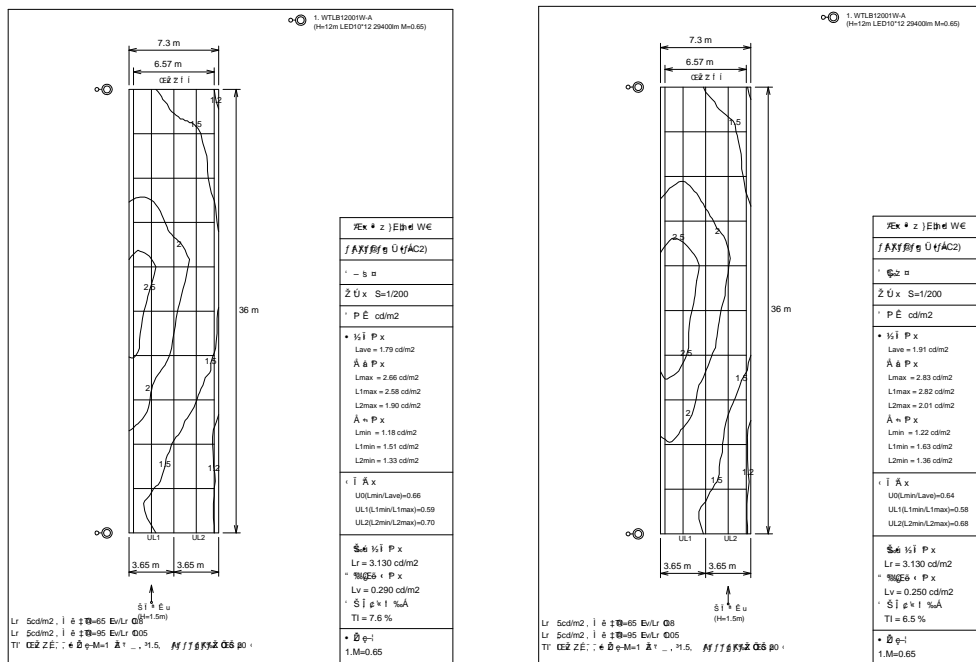
No.	計算種別	照明区間距離
1	道路照明計算結果（3車線）	29m（片側設置）
2	道路照明計算結果（2車線）	36m（片側設置）

出典：調査団



出典：調査団

図 13.3 照明計算結果（3車線）



出典：調査団

図 13.4 道路照明計算結果（2車線）

13.3.3 電源設備

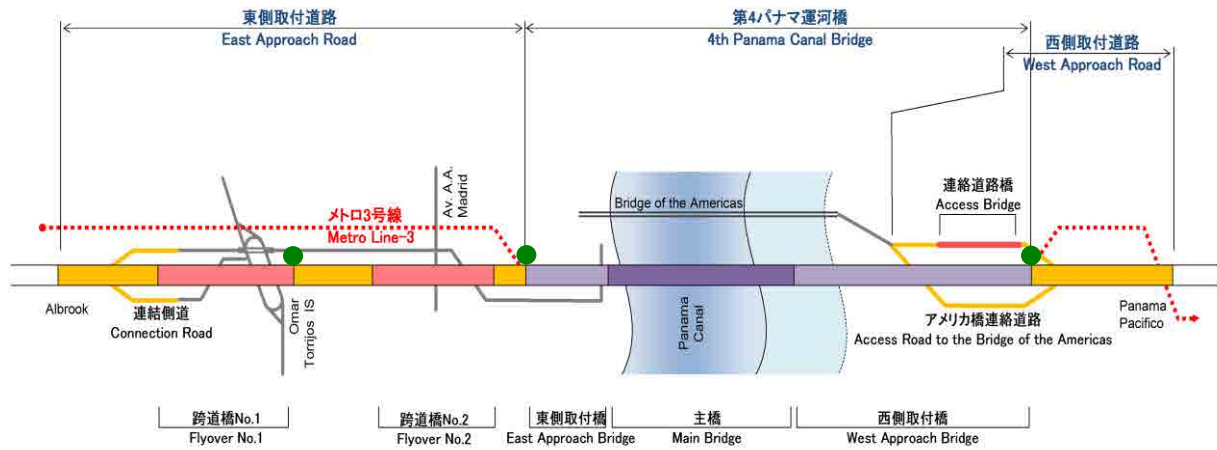
(1) 受電点

受電点には給電装置が必要となる。本事業では電気室は設置せず屋外型のキュービクルを設置して商用電源から給電する。受電点は3kmに1箇所必要となり本事業では、3箇所必要となる。受電点を設置するために以下の条件がある箇所を確認し選定した。

- ・ 近隣に住居などの施設があり低圧受電が可能な箇所
- ・ 既設道路が近隣にあり電柱がある箇所

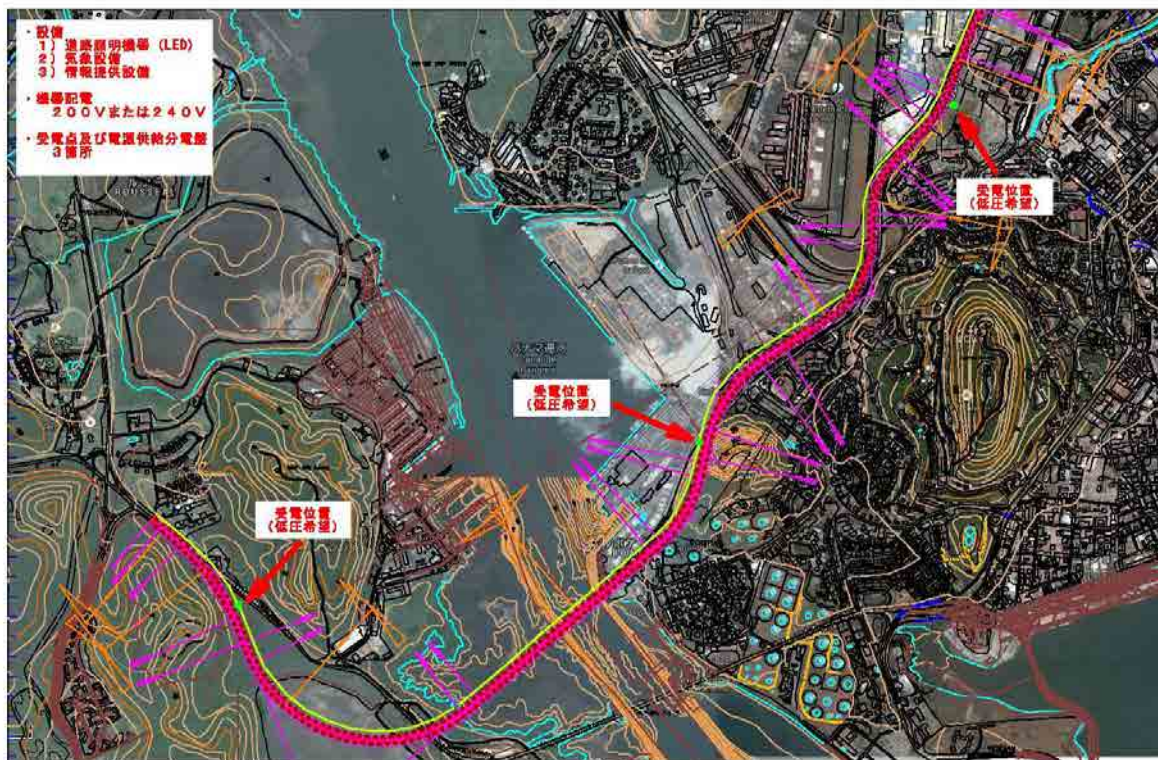
詳細な設置位置および設置方法については、詳細設計時に土木施設の構造を考慮して決定する。詳細設計時には電力会社と必要電力量、契約電力について協議をする。

図 13.5 に受電点概要図、図 13.6 に受電設備の設置位置を示す。



出典：調査団

図 13.5 受電点概要図



出典：調査団

図 13.6 受電設備の設置位置

(2) 受電方式

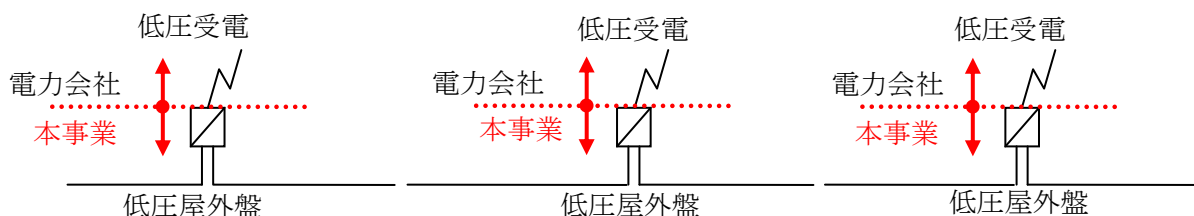
受電方式は、図 13.7～13.9 に示す 3 案が考えられる。

電力会社との協議の結果、初期工事費安価と維持管理の容易性から、第 1 案を選定した。

第 1 案：低圧引込案

メリット：初期工事費用、維持管理費用が安い。維持管理が容易である。

デメリット：停電時にすぐ復旧しない懸念がある。



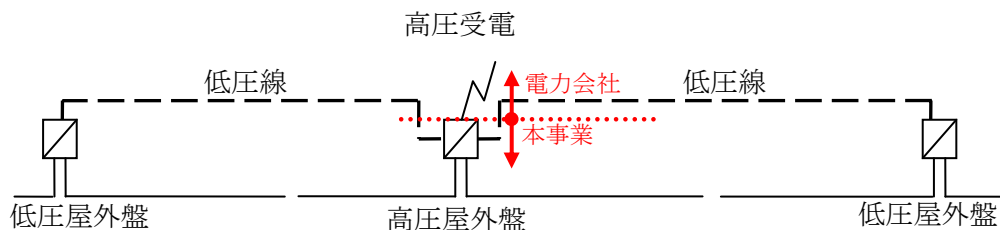
出典：調査団

図 13.7 受電方式（低圧引込案）

第 2 案：高圧引込（低圧配電）案

メリット：引込が 1 箇所なので停電時の復旧が早い。

デメリット：第 1 案に比べ初期工事費、維持管理が高い。維持管理の点検項目が多い。



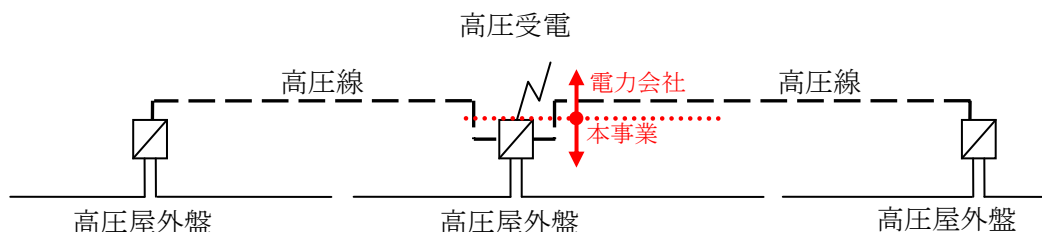
出典：調査団

図 13.8 受電方式（高圧と低圧引込案）

第 3 案：高圧引込（高圧配電）案

メリット：引込が 1 箇所であるため、停電時の復旧が早い。

デメリット：初期工事費用、維持管理費用が最も高い。



出典：調査団

図 13.9 受電方式（高圧引込案）

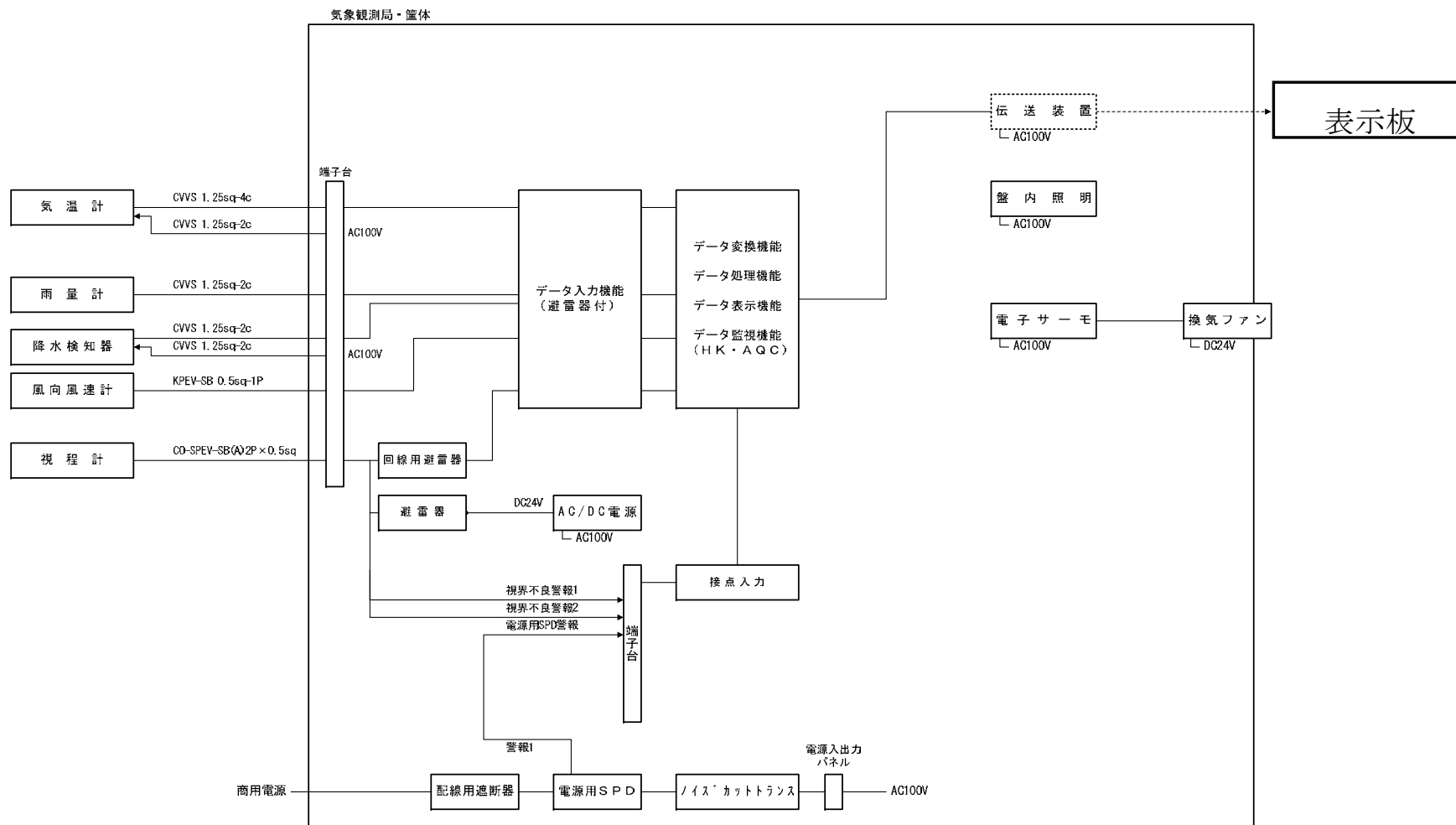
13.3.4 通信設備

(1) 気象観測設備の運用と構成

本事業では、異常気象(風、雨、霧)時に通行規制を行う。ただし、管理センターを設置しないため気象観測設備の運用は以下の方針とする。

- ・ 気象観測装置が異常気象の基準値を計測した場合、自動的に橋梁入口に設置した表示板に速度規制、雨や霧注意などの注意喚起を表示する。
- ・ 台風、事故によって通行ができない場合は、保守管理を行う ATTT が警察に協力を要請し通行止めの処理を依頼する（通行止め時は人が介在することを原則とする）。
- ・ システム・表示板を用いて自動的に通行止め規制を行うことは、システムエラーなどによって誤表示した場合の公共交通に対する影響が大きいことから、システムのみを用いた通行止め規制は行わない計画とした。

図 13.10 に気象観測設備の構成を示す。

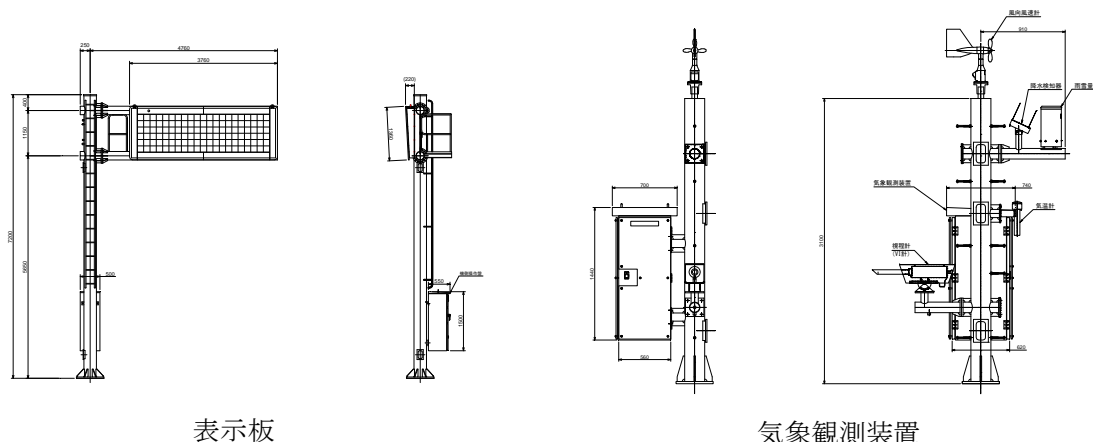


出典：調査団

図 13.10 気象観測設備の構成

(2) 気象観測設備の設置位置

図 13.11 に気象観測設備と表示板の姿図、図 13.12 に気象観測装置の設置位置を示す。

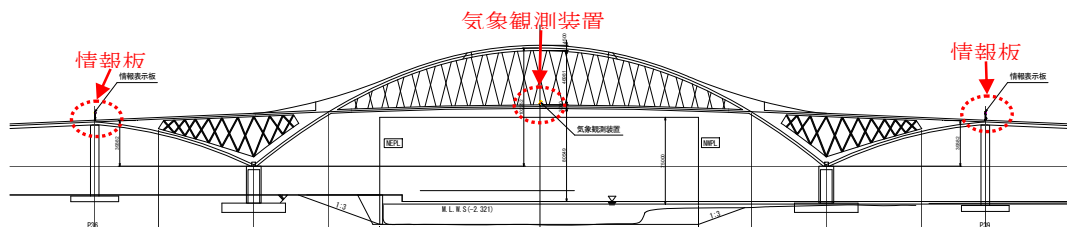


表示板

気象観測装置

出典：調査団

図 13.11 気象観測設備と表示板の姿図



出典：調査団

図 13.12 気象観測設備の設置位置

13.4 公共設備添架計画（本事業対象外）

13.4.1 添架物の整理

本事業では、給水管、高圧線及び通信線の添架空間の確保が求められているため、既存端部への接続性に配慮し、土工区間及び橋梁区間共に北側に埋設添架する計画とした。

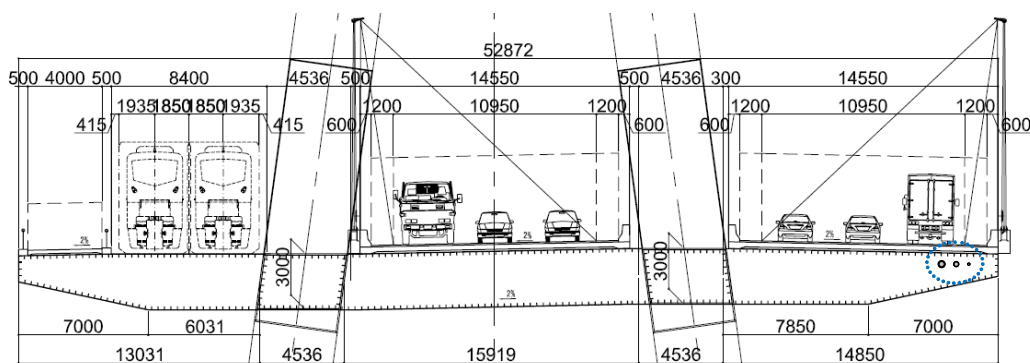
橋梁と土工部の接続については、伸縮性のある継手を設置し接続させる。また、PVC管は塩化ビニル管のため伸縮性がなく橋梁のたわみで切断するおそれがあるため、50mに1個の区間に伸縮継ぎ手を設置する。既存端部との接続については、T字管を利用して接続する。また、接続部は保守が容易となるよう、バルブを設置する。なお、添架（含む配管）は各事業者が担うため、本事業の範囲は、空間の確保及び架台設置のみとした。

表 13.13 に公共設備添架物一覧、図 13.13 に公共設備の配置位置（橋梁区間）を示す。

表 13.13 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



出典：調査団

図 13.13 公共事業設備の設置位置（橋梁区間）

13.5 概略設計図面および概略工事数量

13.5.1 概略設計図面

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

設備の概略設計図面を付属資料 5-1-4 に示す。

13.5.2 概略工事数量

概算工事数量は付属資料 7：概算工事費積算内訳表（第4 パナマ運河橋）に示す。

13.6 既存設備移設計画

13.6.1 既存設備の把握

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 13.14 に事業対象エリア内の既存設備の一覧を示す。

なお、表 13.14 の通り、既存設備の一部については、本事業対象エリアに設置されているものの、事業用地外に位置するため、これらの施設については移設を必要としない。

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。

表 13.14 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

13.6.2 既存設備移設計画

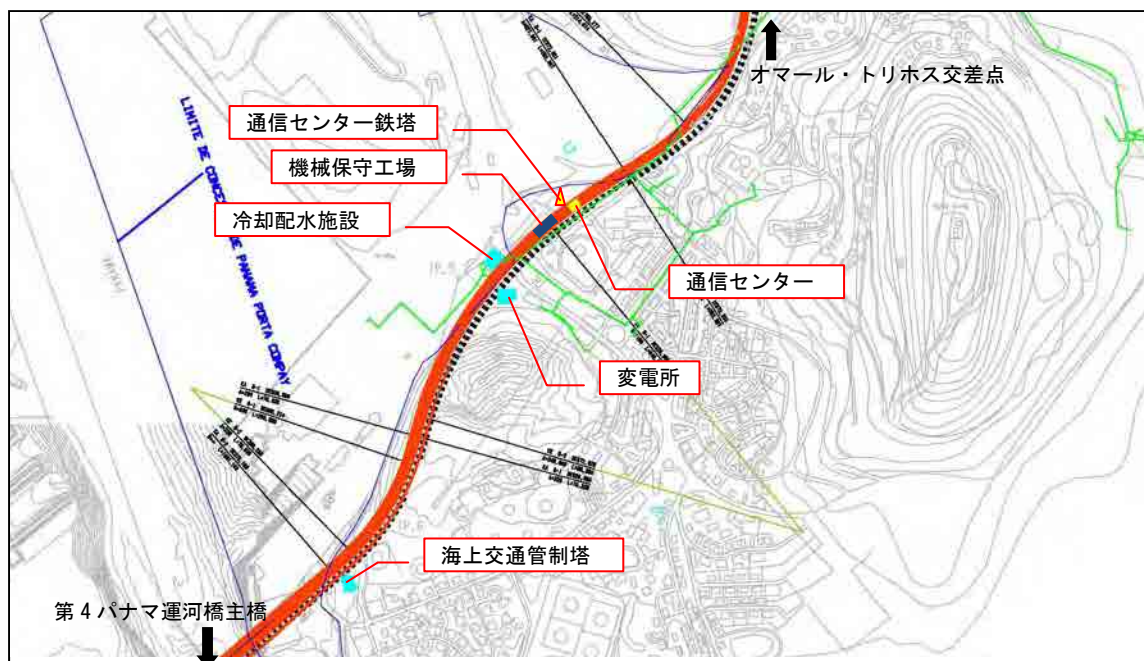
既存設備の移設の可否について関係機関と協議を行った結果を表 13.15 に一覧として示す。また、主要設備の位置図を図 13.14 に示す。

表 13.15 既存設備の移設可否

No.	設備	移設の可/不可	移設レベル
1	通信センター（通信鉄塔含む）	○	4
2	冷却配水施設	×	5
3	変電所	×	5
4	高圧送電鉄塔	○	3
5	海上交通管制棟	×	5
6	機械保守工場	○	3
7	オイルタンク	×	1
8	電力線	○	2
9	水道管	○	2
10	排水管	○	2
11	通信線	○	2
12	冷却配水管	○	3
13	ガスライン	×	1
14	オイルライン	×	1

※移設レベル：5 移設不可、4 できる限り移設しない、3 移設可能、2 移設容易、1 事業対象外

出典：各事業者



出典：各事業者

図 13.14 主要既存設備位置図

道路・モノレールの線形検討において、全ての設備を回避することは困難である。このため、移設が不可能な既存設備を回避し、既存設備に与える影響が最少となる線形計画を行った結果、以下の既存設備のみ移設対象となった。なお、通信センターについては、跨道橋 No.2 の桁下に立地するが、職員が常駐していないため、安全上問題ないと判断し、橋脚を避けて配置することにより、移設を回避した。但し、通信鉄塔については、跨道橋 No.2 により、見通しが遮られることから、嵩上げを計画した。

- ・ 機械保守工場
- ・ 高圧送電鉄塔
- ・ 地下埋設物

なお、これらの既存設備については、当該事業をスムーズに実施するために、関係機関と調整を行い、本事業の工事着手前までに移設を完了させる計画とした。

また、これらの既存設備は、各関連機関からの情報を基に抽出されたものであるが、全ての支障物件を関係機関が確実に把握しているとは限らない。このため、当該事業において、予期しない新たな支障物件が発見される可能性があるが、このような設備の移設の必要性についても、留意しておく必要がある。

(1) 機械保守工場の移設計画

冷却配水施設、変電所、海上交通管制棟は、重要な施設であり移設は不可能であることを関係機関と確認した。このため、機械保守工場を移設することにより、これらの重要施設の移設を回避するものとした。

機械保守工場は、ACP（運河庁）の施設であり、移設作業については ACP が実施する。本事業では当該移設費用を算出した。なお、建屋の具体的な移設計画ならびに移設必要コストについては、社会環境配慮の項に記載する。

(2) 高圧送電鉄塔の移設計画

本事業実施に際しては、特に、バルボア駅付近に設置されている変電所から送電されている高圧送電鉄塔が施工時に障害となる。

図 13.15 に送電線敷設図、以後に送電線移設対策の要旨を記述する。



出典：Gas Natural fenosa

図 13.15 送電線敷設図

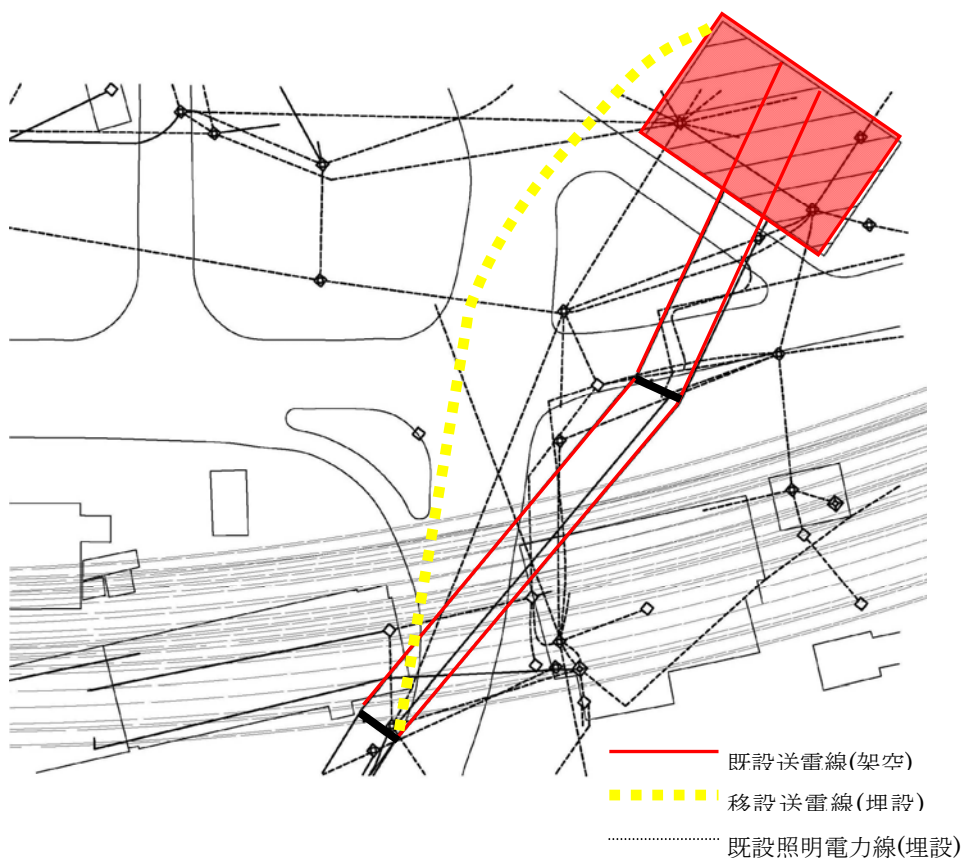
送電線の移設方法は、以下の2つの方法が考えられる。

- ・ 送電線を移設させ迂回するようルート変更する
- ・ 架空送電線を埋設してルートは変更しない。

本事業では送電線端部にあたる変電所と道路計画ルートが直近に位置しており、送電線を迂回させる方法の採用は極めて難しい。このため、管理者である ACP（運河庁）と協議を行い、架空送電線を埋設させる方法で移設する計画とした。

送電線を埋設するにあたり、埋設されている既設の照明電力線を考慮する必要がある。照明管理会社である Gas Natural fenosa に確認した結果、既設照明電力線は GL より 600mm に埋設されている。移設送電線は照明電力線の下に埋設する。埋設深さは、GL より 1200mm とする。敷設埋設管は $\phi 130$ の配管を 6 本敷設計画とする。

図 13.16 に送電線埋設概略計画図を示す。



出典：ACP

図 13.16 送電線埋設概略計画図

(3) 地下埋設物の移設計画

当該事業において移設の必要性がある地下埋設物には、次のようなものが挙げられる。

- ・ 電力線管
- ・ 水道管、排水管（冷却排水管含む）
- ・ 通信線管

これらの地下埋設物については、次の方針に基づき移設を行う計画とする。

- ・ 道路橋・鉄道橋ピア建設に伴い支障となる地下埋設物のみの最小範囲の移設とする。
- ・ 移設時における管内ケーブルの再接続・再布設等を加味して、移設対象となる電力線管および通信線管は、支障埋設物を含む埋設区間（マンホール間）を移設対象とする。
- ・ 地下埋設物は、移設対象物を管理する各機関が移設工事を実施するものとする。
- ・ 土工部（盛土区間）に埋設されている管路については、位置的な移設は発生しないが、土圧の影響を加味して、コンクリート巻きなどの対策工を施すものとする。

表 13.16 に移設対象地下埋設物の一覧を示す。また、地下埋設物の位置図を付属資料 6 に付した。なお、付属資料 6 には、事業用地内にある地下埋設物のみを示している。

表 13.16 移設対象地下埋設物の一覧

No.	設備	対策	管理機関	対象距離(m)	参照図面（付属資料）
1	電力線	移設	ACP,	63	Power line relocation (1 of 5)
2		移設	ACP	33	Power line relocation (1 of 5)
3		移設	ACP	25	Power line relocation (1 of 5)
4		移設	ACP,	22	Power line relocation (2 of 5)
5		移設	ACP	55	Power line relocation (2 of 5)
6		移設	ACP	26	Power line relocation (2 of 5)
7		移設	ACP,	50	Power line relocation (2 of 5)
8		移設	ACP	38	Power line relocation (2 of 5)
9		移設	ACP	84	Power line relocation (2 of 5)
10		移設	ACP,	51	Power line relocation (2 of 5)
11		移設	ACP	80	Power line relocation (2 of 5)
12		移設	ACP	20	Power line relocation (3 of 5)
13		移設	ACP	150	Power line relocation (3 of 5)
1	水道管、排水管	土工部	ACP	20	Water pipe relocation (2 of 5)
2		土工部	ACP	79	Water pipe relocation (2 of 5)
3		移設	ACP	160	Water pipe relocation (2 of 5)
4		移設	ACP,	175	Water pipe relocation (2 of 5)
5		フーチング	ACP	11	Water pipe relocation (2 of 5)
6		フーチング	ACP	15	Water pipe relocation (2 of 5)
7		フーチング	ACP,	12	Water pipe relocation (2 of 5)
8		移設	ACP	28	Water pipe relocation (3 of 5)
9		移設	ACP	103	Water pipe relocation (3 of 5)
10		土工部	ACP	40	Water pipe relocation (4 of 5)
11		土工部	ACP,	38	Water pipe relocation (4 of 5)
12		土工部	ACP	215	Water pipe relocation (4 of 5)
1	通信線	移設	ACP	72	Communication wire relocation (1 of 5)

出典：調査団

なお、水道管等の水圧がかかる設備は、今後、移設方法について詳細検討が必要である。

13.7 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 概要

14.1.1 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。

14.1.2 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。

14.1.3 調査結果

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（AUTORIDAD DEL TRASITO Y TRANSPORTE TERRESTRE）、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

14.1.4 まとめ

本事業は、土木施設の維持管理主体は MOP（公共事業省）、交通管理は ATTT、設備保守は各設備の関連機関が各々担うため、今後の管理体制や方法をまとめた運用マニュアルを作成する必要がある。具体的な計画は、詳細設計時に作成することとする。

14.2 概略運営維持管理計画の検討

14.2.1 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。

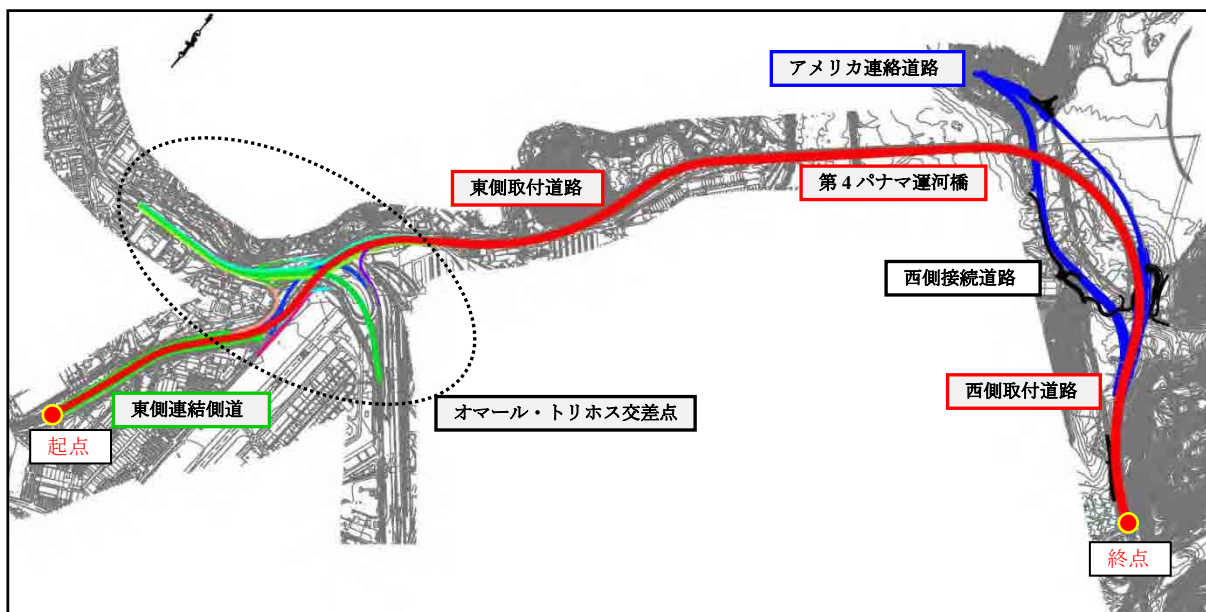
表 14.3 本事業の対象工事範囲

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
				西側取付道路	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: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)
				アンバーパス区間	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

14.2.2 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。

道路とメトロ3号線は、照明設備、電源設備、気象観測設備及びCCTVの共用は可能であるが、メトロ3号線では、自動料金システム及びCCTV監視システム等、複雑なシステムを計画しており、設備の設置目的及び使用方法等、運用形態が異なるため、導入機器及び設置場所を分けて計画した。

14.2.3 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。

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く、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。

基準に含むべき内容としては、以下が挙げられる。

- 管理対象に関する諸元の確認
- 設備類の操作方法、点検方法、的点検周期などの確認
- 清掃等の作業手順
- 非常時の対処方法
- 非常時の連絡体制

14.2.4 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）が実施している。

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。

関係機関と協議の上、本事業の交通管理に係る運用方針を以下の通り設定した。

- 気象観測装置が異常気象の基準値を計測した場合、自動的に橋梁入口に設置した表示板に速度規制、雨や霧注意などの注意喚起を表示する。
- 台風、事故によって通行できない場合は、保守管理を行う ATTT が警察に協力を要請し、通行止めの処理を依頼する。
- 表示板による通行止めは可能であるが、落下物及び機器故障による誤作動で通行止めした場合、事故・苦情対応が困難であるため、表示板による通行止めは行わない。
- メトロ3号線も異常気象（強風のみ）時には通行規制、通行止めを行うが運用形態が異なるため、共同運用は行わない。
- メトロ3号線の通行規制方法は、風速 20m/s：通行規制、風速 25m/s：通行止めとし、基準値を風速計が計測した場合、管理センターから運転手への電話連絡で対応する。また、雨及び霧はメトロ3号線の運転に影響がないため、特に規制はかけない。

通行規制には以下の2種類があり、今後通行規制を実施するか否か、確認が必要である。

車両通行規制

高さ規制

橋梁の安全を確保するために通行車両及び積荷の高さを規制する。

幅規制

狭隘道路などの安全を確保するために通行車両及び積荷の幅を規制する。

重量規制

橋の安全などを確保するために通行車両及び積荷の重さを規制する。

搭載物規制

長大トンネル、水底を通るトンネルは、危険物掲載車両の通行が制限されている。

（本事業では、Omar Torrijos 交差点のアンダーパスが該当する）

工事規制

道路工事や作業、道路周辺の工事に伴い規制する。

(3) 施設管理

1) 土木施設・設備

施設の維持管理には、一般的に以下の項目がある。

巡回

巡回は、パトロール車を使用して定期的（1日に1回程度）に行い、道路上の落下物等の障害物を発見・除去し必要に応じて軽微な維持作業を実施する。

維持

維持は、路面清掃、街路樹の剪定、除草など日常管理を実施する。

点検

点検は、設備については定期点検を実施し前回点検時との機能比較、道路についてはパトロール車による路面点検や路面状況把握、橋梁については5年に1回の頻度で点検を行い、ひび割れなどの損傷を目視で確認し、健全性を評価する。

補修・修理

補修・修理は、設備点検・道路点検・橋梁点検の結果に基づき、補修を行う。

管理事務

管理事務は、占用申請、特殊車両通行許可の許認可事務を行う。

相談窓口

一般からの行政相談・苦情に対応するため、管理事務に対応窓口を設置する。

本事業は上記全ての維持管理項目が必要となるが、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、本事業では全ての維持管理を外部委託することとする。

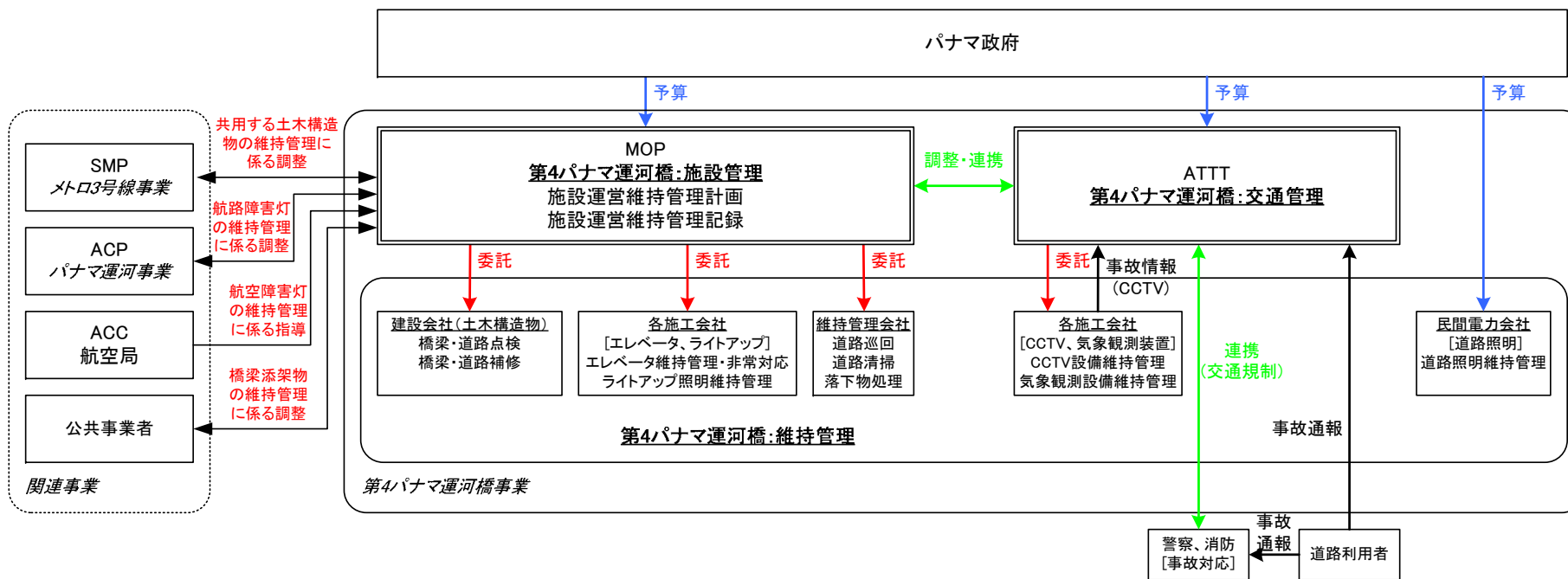
設備の点検は、定期点検を行い、必要に応じて緊急修理、更新時期の時期を計画の上、一定以上の機能維持を保つ必要がある。

2) 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 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

14.4 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。

14.4.1 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、排水柵	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	排水柵		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

14.4.2 設備

電気・機械設備は、同一設備においても目的、条件及び場所によって必要とされる機能・信頼性が異なるため、目的に応じた適切な設備の構築及び的確で必要な維持管理を行うことにより、初めて所要性能を確実に発揮することが可能となる。

電気・機械設備の維持管理は、設置・運用している各種設備の状態について、定期的な点検による設備状態の把握、分析による定常的な改善策を実施することにより、設備の長寿命化を図ることである。

従って、計画的に点検を行い、適切な設備の更新時期を算定の上、機能、性能及び信頼性を確保することにより、ライフサイクルコストの低減を図ることが可能となる。

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

14.4.3 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。

14.5 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。

表 14.6 に電力約款における電気料金を示す。

表 14.6 電力約款における電気料金

No.	項目	料金
1	1ヶ月の固定料金	10KWh-2.21 ドル
2	1日の超過電気料金	0.16572 ドル

出典：Gas Natural fenosa

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（11.1.2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。表15.1に主要施工数量を示す。

表 15.1 主要施工数量

Section	Construction Work	Item	Unit	Quantities	
East Approach Road	Bridge Work	Flyover No.1-1	PC I-girder	m	270
		Flyover No.1-2	Metal Box-girder	m	250
		FlyoverNo.2-1	PC I-girder	m	260
		FlyoverNo.2-2	Metal Box-girder	m	480
	Road Work	Earth Work	Embankment	m3	200,000
			Excavation	m3	50,000
		Pavement Work	Asphalt Pavement	m2	8,000
			Concrete Pavement	m2	36,000
		Road Structure Work	Retaining Wall	m2	14,000
			Removal Existing Flyover	unit	1
4th Panama Canal Bridge	Bridge Work	East Approach Bridge No.1	Metal Box-girder	m	533
		Main Bridge	Arch	m	840
		West Approach Bridge No.1	Metal Box-girder	m	470
		West Approach Bridge No.2	Metal Box-girder	m	340
		West Approach Bridge No.3	PC I-girder	m	360
West Approach Road	Road Work	Earth Work	Embankment	m3	270,000
		Pavement Work	Asphalt Pavement	m2	4,000
			Concrete Pavement	m2	24,000
Access Road to the Bridge of the Americas	Bridge	Access Bridge No.1	PC I-girder	m	360
		Access Bridge No.2	PC I-girder	m	400
	Road Work	Earth Work	Embankment	m3	220,000
		Pavement Work	Asphalt Pavement	m2	5,000
			Concrete Pavement	m2	15,000

出典：調査団

(2) 工事工区分け

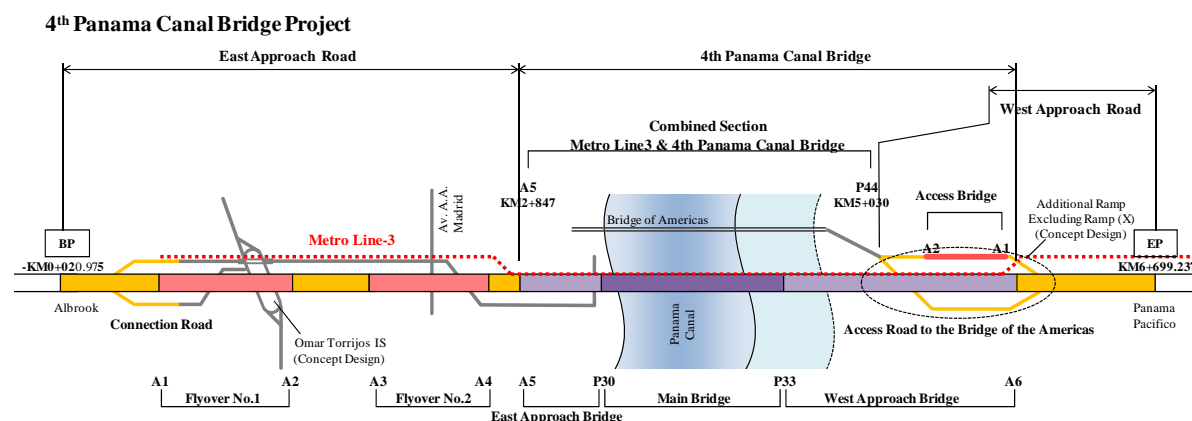
地形状況はパナマ運河を挟んで東西に分けられ、東側は交差点や既設道路を含む市街地である。陸上輸送網は東西を接続する路線として既設アメリカ橋のみであるため、主な工事搬入経路もそれぞれ別系統となる。

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。

表 15.2 に主要資材の調達区分を示す。

表 15.2 主要資材の調達区分

資材	調達区分		
	国内材	輸入材	備考
盛土材	✓		
路盤碎石	✓		
アスファルト	✓		
セメント	✓		
コンクリート用骨材	✓		
鉄筋		✓	
PC 鋼線		✓	
鋼桁部材		✓	
鋼管矢板		✓	
支承		✓	
伸縮装置		✓	
道路施設(防護柵、照明等)	✓		
排水管	✓		

出典：調査団

(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。

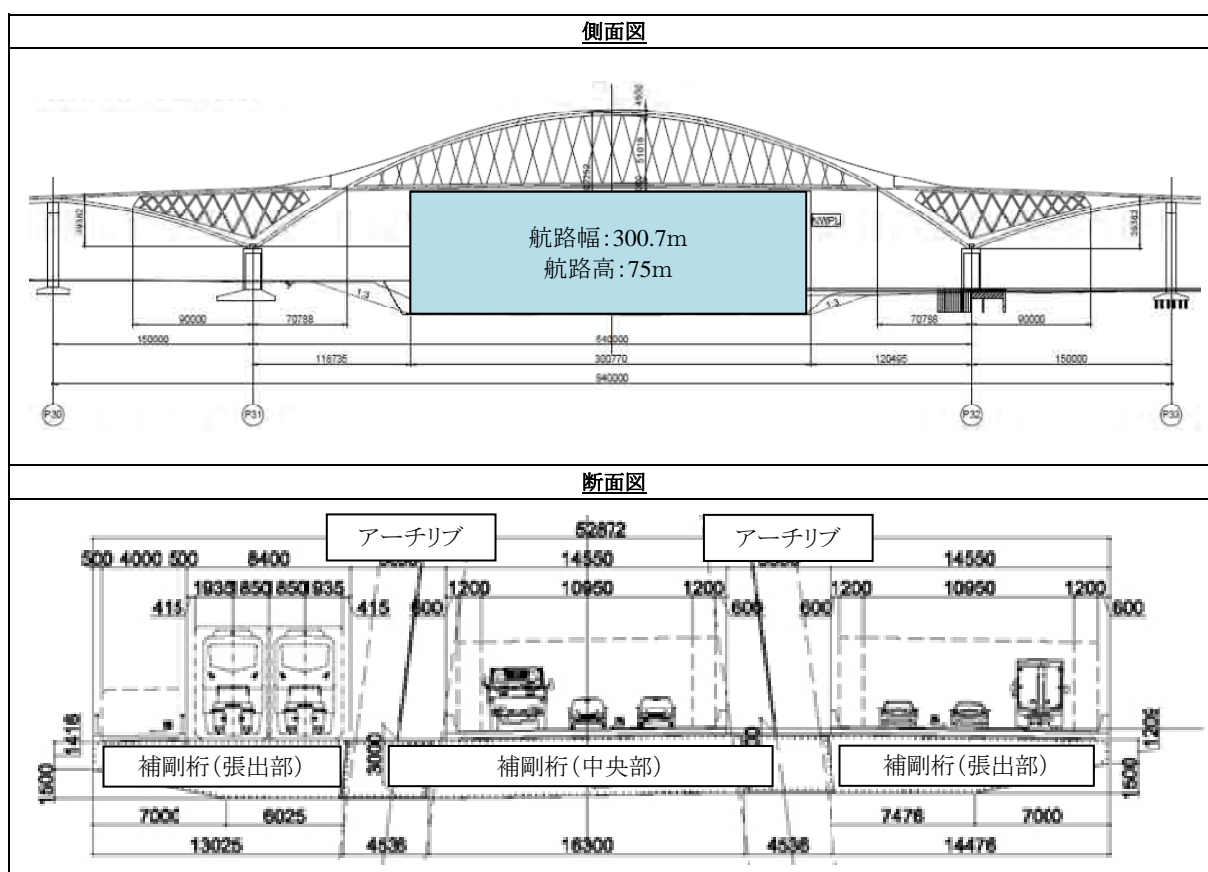
- 主橋架設時に航路を利用できる場合
- 主橋架設時に航路を利用できない場合

表 15.3 に上部工架設方法（第4パナマ運河橋主橋）、図 15.2 に上部工架設区分（第4パナマ運河橋主橋）を示す。

表 15.3 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

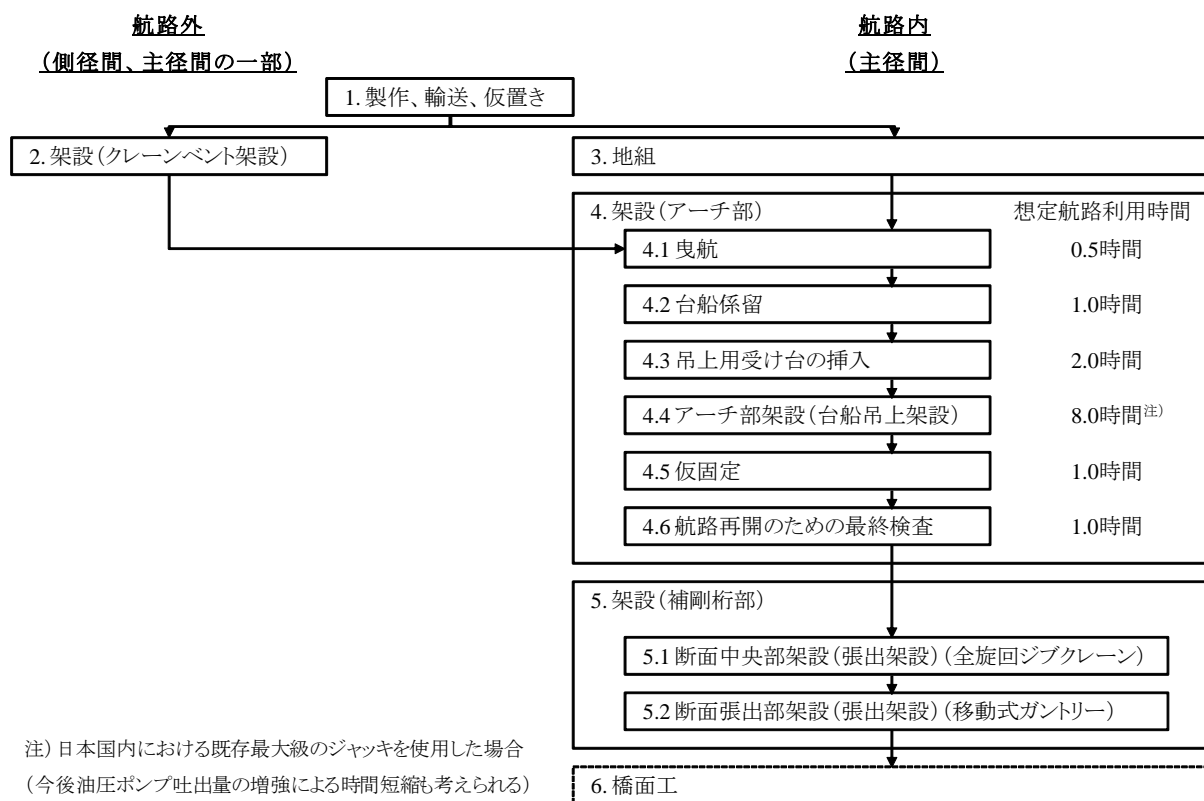


出典：調査団

図 15.2 上部工架設区分（第4パナマ運河橋主橋）

i. 主橋架設時に航路を利用できる場合

図 15.3 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。



注) 日本国内における既存最大級のジャッキを使用した場合 (今後油圧ポンプ吐出量の増強による時間短縮も考えられる)

出典：調査団

図 15.3 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。図 15.4 に仮置ヤード位置案（アーチ及び補剛桁部材）を示す。



出典：調査団

図 15.4 仮置ヤード位置案（アーチ及び補剛桁部材）

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。

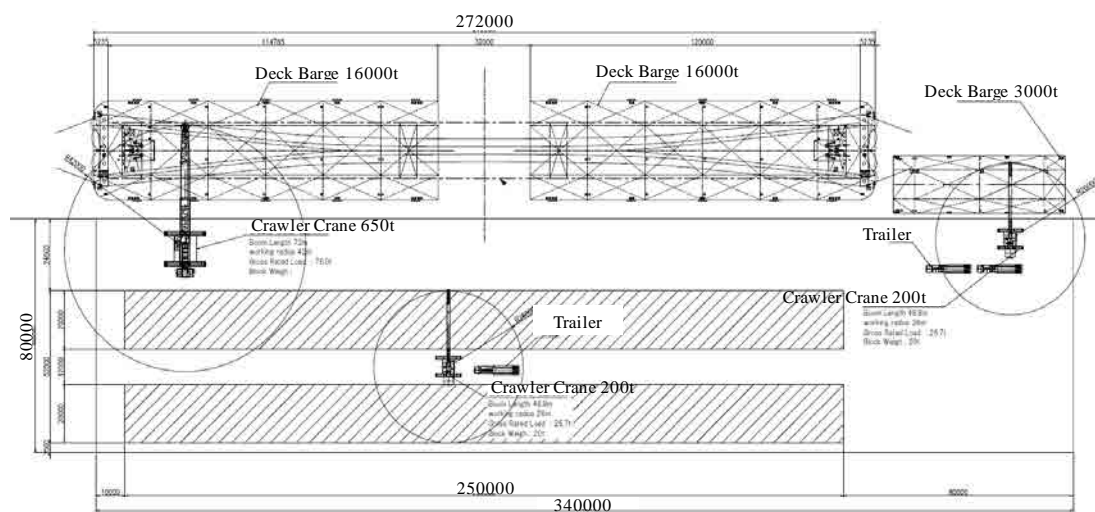
パナマ運河西側の水上部（航路外）については、まき出しによる堤体盛土を構築する。

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

図 15.5 に地組計画図（アーチ部：台船上）を示す。



出典：調査団

図 15.5 地組計画図（アーチ部：台船上）

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。

過去の工事の実績より、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）をアーチ部に取り付ける。

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。

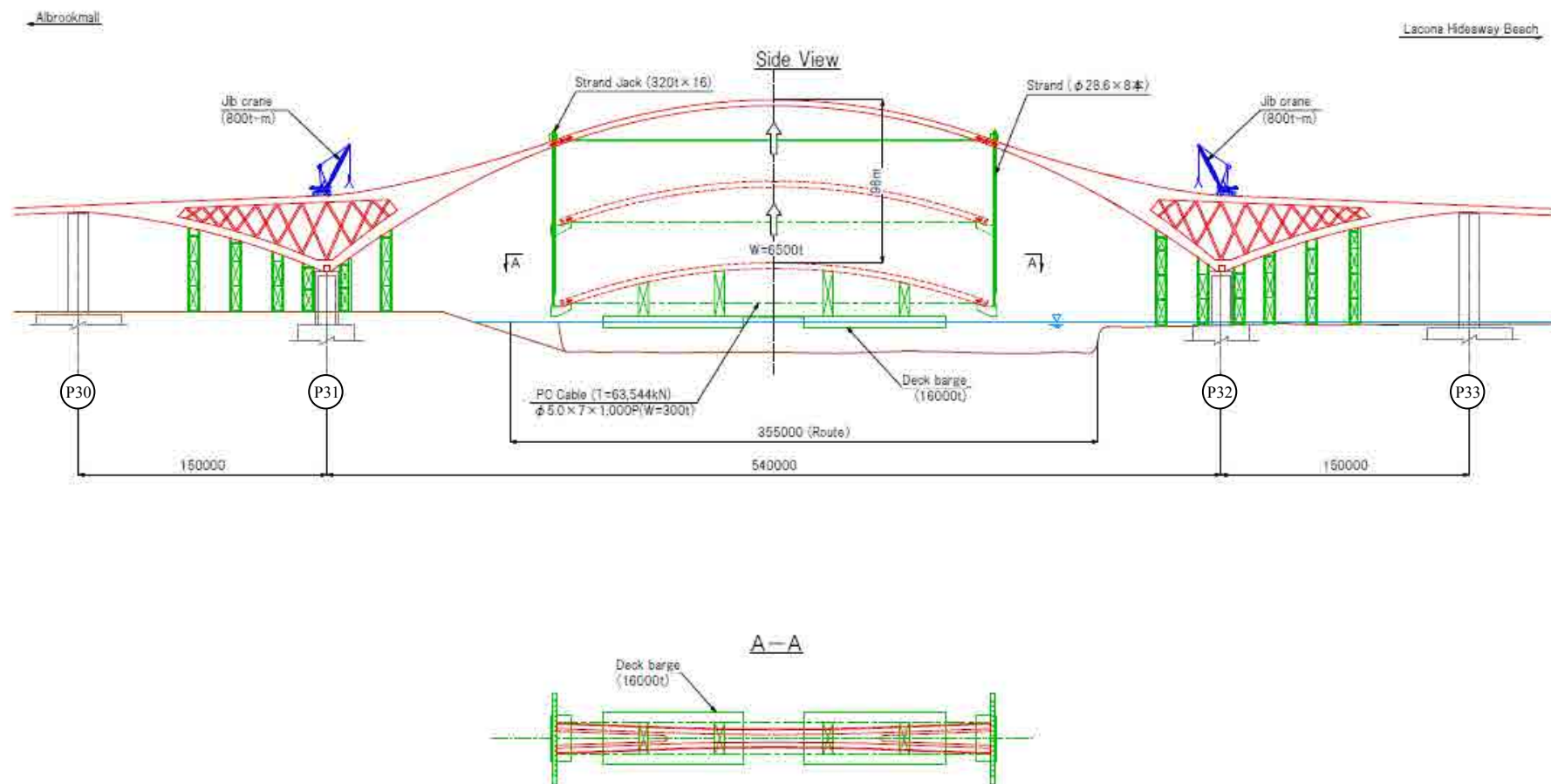
4.4 アーチ部架設（台船吊上架設）

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 15.6 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。



出典：調査団

図 15.6 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）

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、先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 15.7 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 15.8 に補剛桁部断面張出部架設計画図（張出架設）を示す。

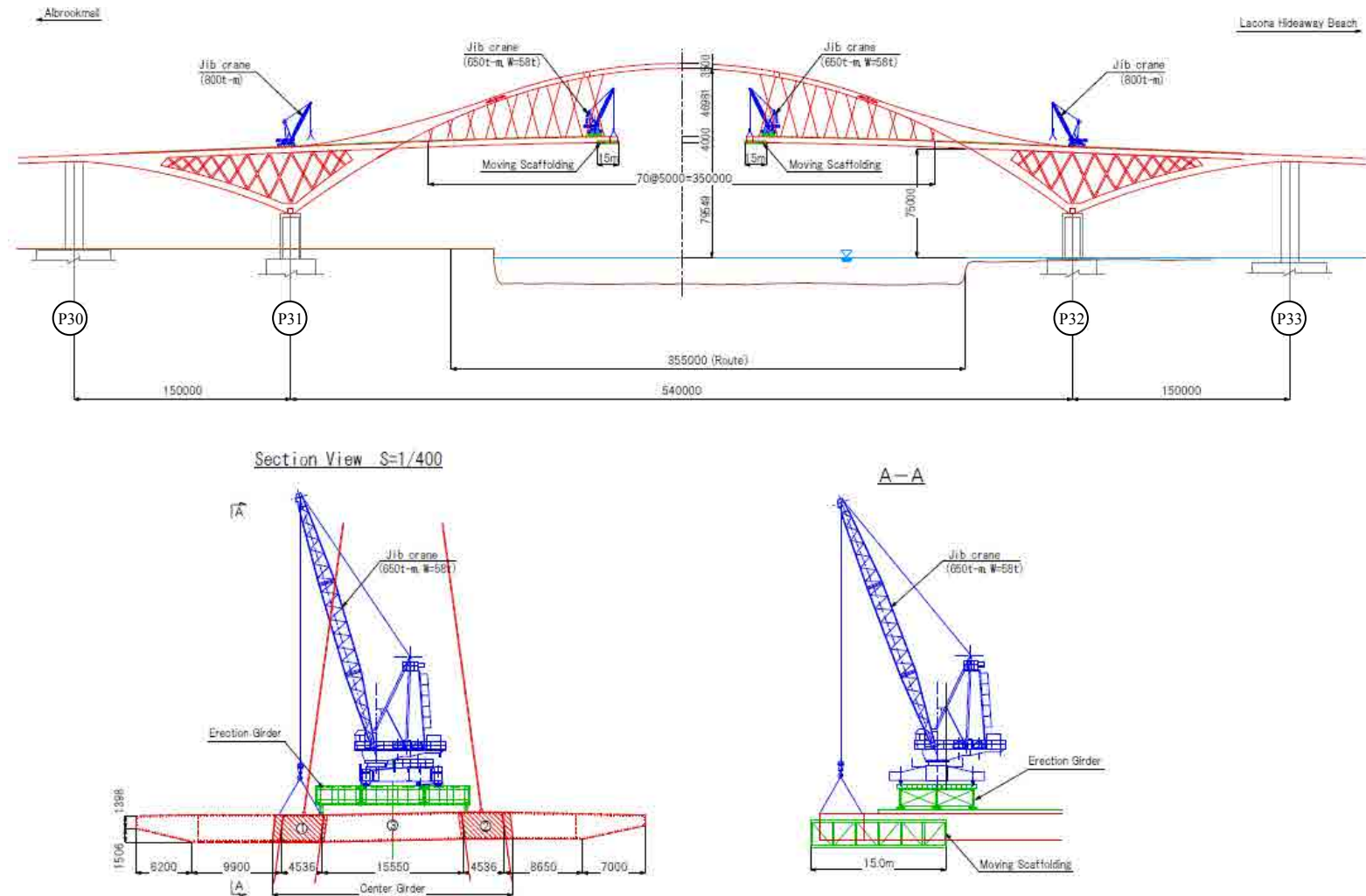
ii. 主橋架設時に航路を利用できない場合

主橋架設時に航路を利用できない場合、図 15.3 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 15.7 及び図 15.8 と同様である。

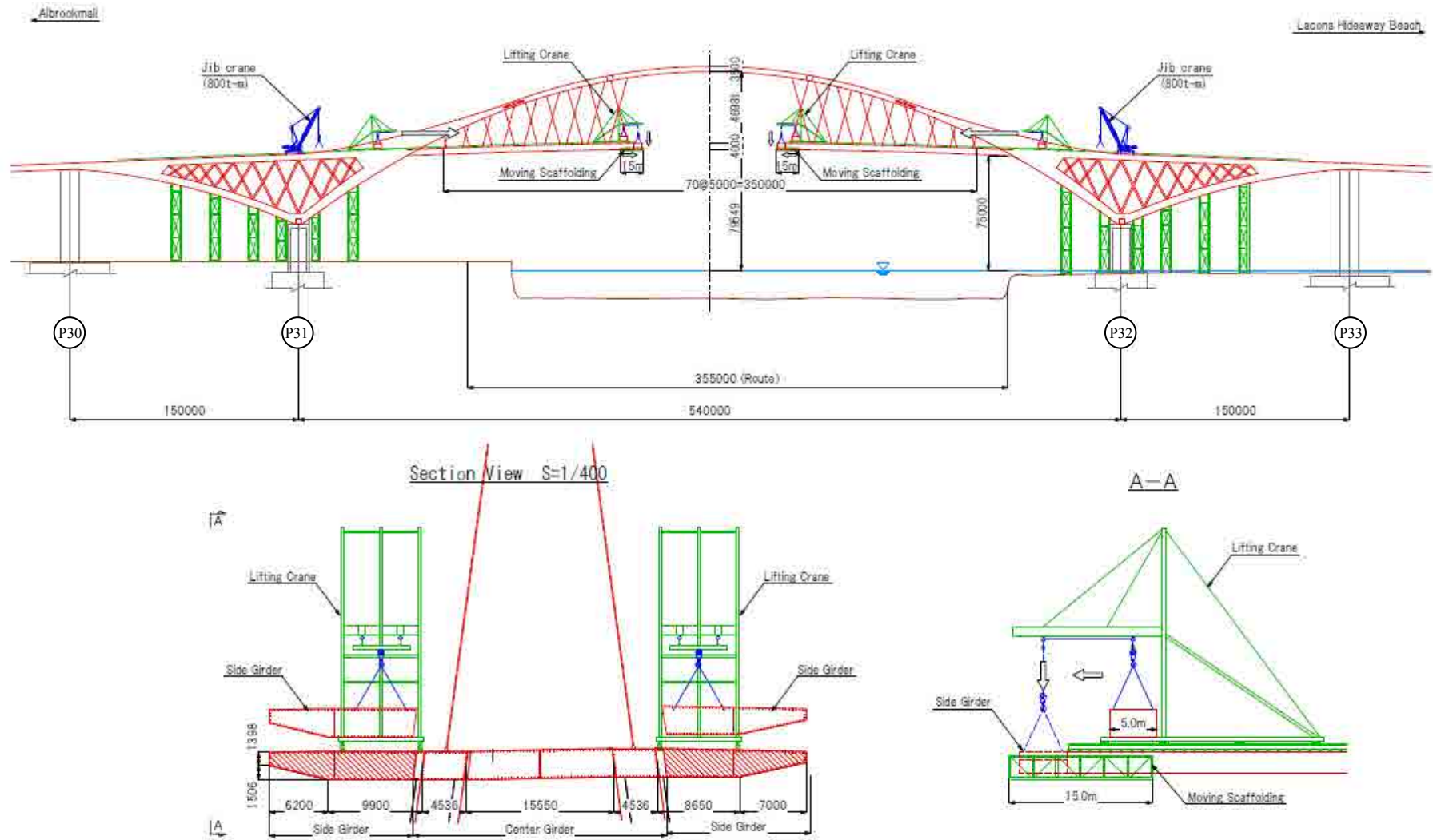
図 15.9 にアーチ部架設計画図（ケーブルクレーン架設（斜吊併用））（架設時に航路を利用できない場合）を示す。



出典：調査団

図 15.7 補剛桁部断面中央部架設計画図（張出架設）

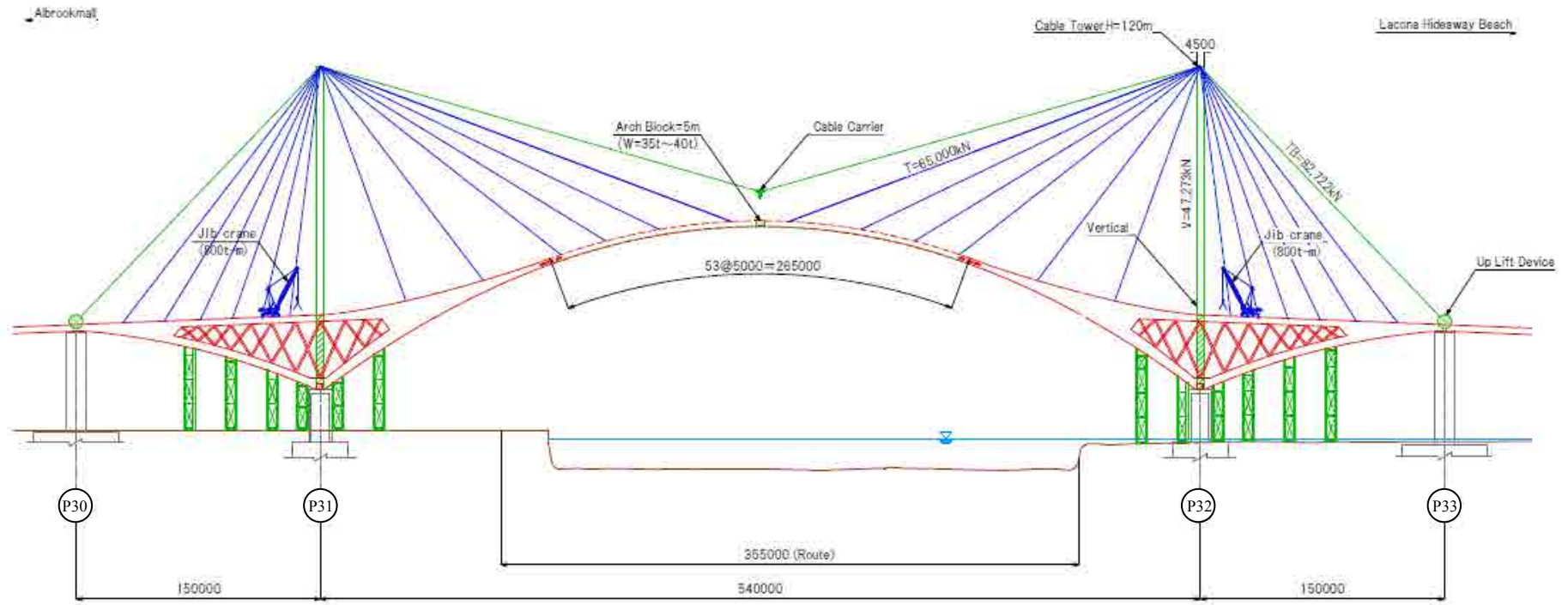
-15-10-



出典：調査団

図 15.8 補剛桁部断面張出部架設計画図（張出架設）

-15-11-



出典：調査団

図 15.9 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 15.4 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 15.4 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。

付属資料10にリスク分析レポート（第4パナマ運河橋主橋）を示す。

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15.5にリスク項目及び対応策を示す。

表 15.5 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。

表 15.6 にアーチリブ再製作・架設の工程を示す。

表 15.6 アーチリブ再製作・架設の工程

作業項目	1か月目	2か月目	3か月目	4か月目	5か月目	6か月目	7か月目	8か月目	9か月目	10か月目
アーチリブ撤去	■									
事故発生	▲									
アーチリブ撤去	■									
現場検証	■									
アーチリブ陸揚げ・廃棄		■								
アーチリブ再製作・架設		■								
材料調達		■								
工場製作					■					
輸送						■				
地組						■				
架設										▲
事故原因調査	■									

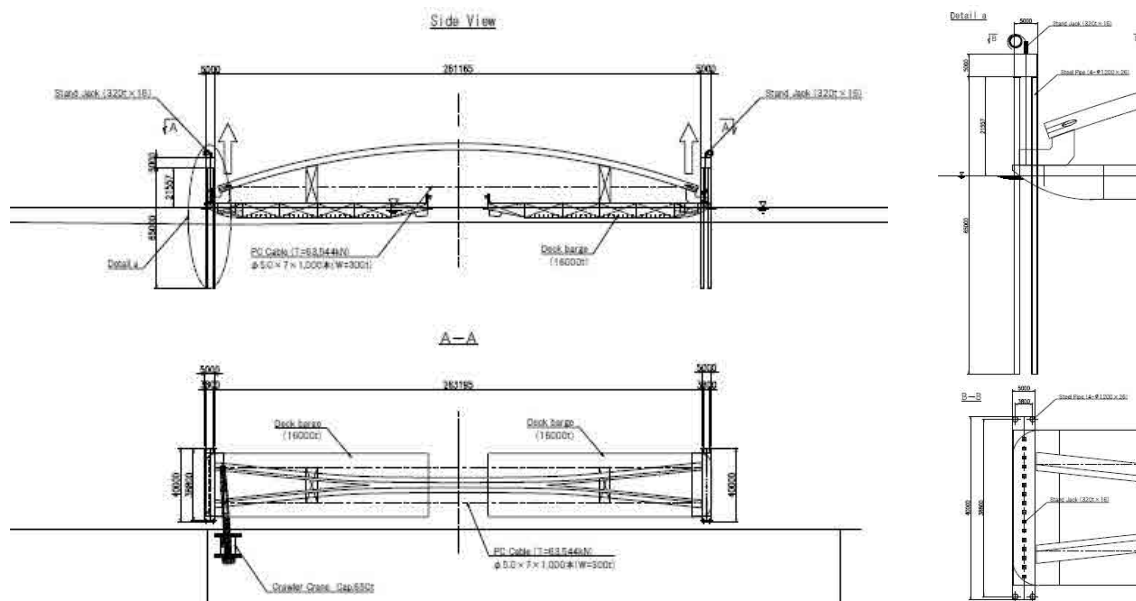
出典：調査団

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

図 15.10 に吊上げテスト計画図（アーチリブ）を示す。



出典：調査団

図 15.10 吊上げテスト計画図（アーチリブ）

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、トウボート及びプッシャーボ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。

表 15.7 に各作業の所要時間、表 15.8 に撤去に必要な労務資機材を示す。

表 15.7 各作業の所要時間

No.	作業項目	所要時間
1	現場調査	12 時間
2	潜水士によるリフトバッグ・ゴムチューブの取付け（1時間×3サイクル）	3 時間
3	エア・コンプレッサによる空気の注入（3時間×3サイクル）	9 時間
4	押船及び引船によるアーチリブの撤去	2 時間
合計		26 時間

出典：調査団

表 15.8 撤去に必要な労務資機材

No.	労務資機材	数量	備考
1	バージ	2 隻	500 ton
2	タグボート	4 隻	4,000 PS
3	リフトバッグ	74 セット	35 ton (77,000 lbs)
4	ゴムチューブ	800m	400m/サイド
5	エア・コンプレッサ	6 セット	3,700 liter/minutes
6	ジェネレータ	2 セット	800 kVA、ディーゼルタイプ
7	フローティング・クレーン	1 隻	Titan（運河庁所有）
8	トウボート	2 隻	2,000 ton（運河庁所有）
9	プッシャーボート	2 隻	
10	潜水士	72 人日	2 人/チーム×12 チーム×3 日

出典：調査団

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。概略施工計画とその順序は以下の通り。

1) 既設構造物撤去及び整地

作業基盤及び仮設道路建設目的のため、工事範囲内の既設構造物を撤去し、整地を行う。

2) 鋼矢板打設

フーチングの施工に先立ち、掘削箇所への地下水流入防止および作業基盤の安定確保を目的とし、フーチングを囲むように鋼矢板を打設する。

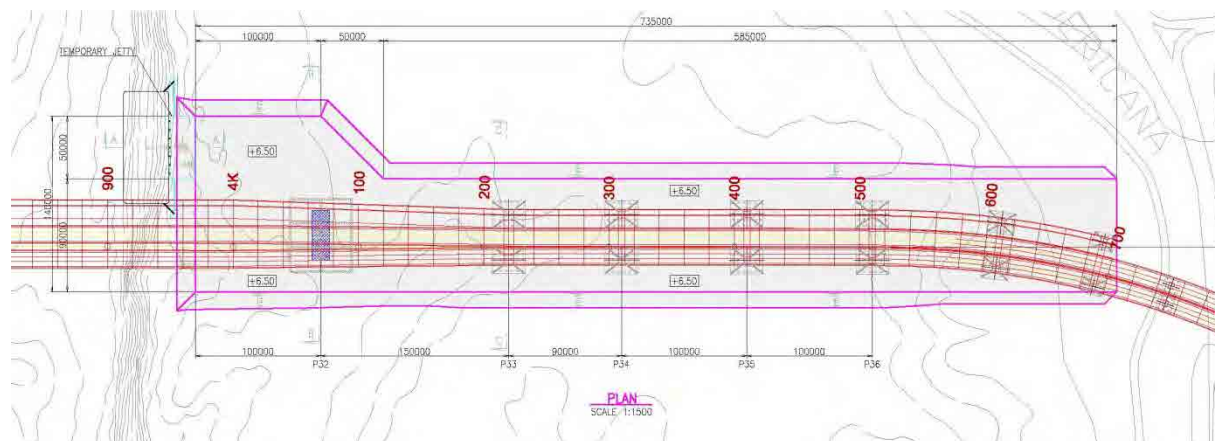
- 3) 仮締切内掘削
バックホウ、クラムシェル等により仮締切内を掘削する。その際、必要に応じて切梁・腹起しもしくはグラウンドアンカーなどにより土留を行う。
- 4) 橋脚フーチング鉄筋コンクリート打設
杭頭処理後、コンクリートポンプ車等を用いて橋脚フーチング鉄筋コンクリート打設を打設する。
- 5) 橋脚柱部鉄筋コンクリート打設
大組みした型枠により柱コンクリートを順次立ち上げると同時に、作業用エレベータを設置する。
- 6) 埋戻し・鋼矢板引抜き
ある程度の高さまで柱部を立ち上げたら、フーチング部分を埋戻し及び締固め、鋼矢板を引き抜く。
- 7) 橋脚梁部鉄筋コンクリート打設部
材断面が大きいことから、そのコンクリート荷重を受けられるような支保工を地上から組み上げて施工する。

西側(水上部): 鋼管矢板井筒基礎(P32), 場所打ち杭基礎(P33)

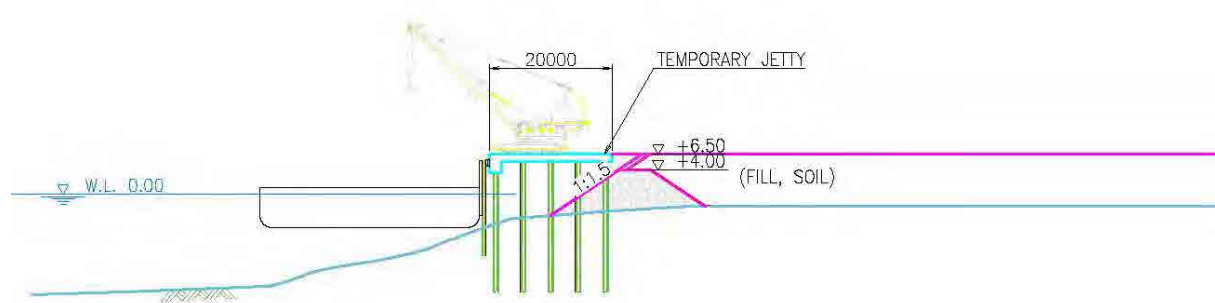
水上部アーチ基部下部工は、海域での橋脚基礎としての採用実績が多く、仮締切構造が不要な鋼管矢板井筒形式とすることで安全性の高い施工が期待できる。概略施工計画と順序は以下の通り。

- 1) 仮設道路撒き出し
建設位置の水深が浅いため陸側から土砂を撒き出して仮設道路を建設し、これを作業基盤として施工を実施する。
- 2) 鋼管矢板打設部岩掘削および砂置換
建設計画地点の支持層が岩盤であることから、鋼管矢板先端を岩盤層に定着するために岩掘削および砂置換を先行実施する。
- 3) 場所打ち杭打設
場所打ち杭専用機、掘削土砂処理機、クローラクレーン等を使用して場所打ち杭を打設する。
- 4) 鋼管矢板打設
クローラクレーン、バイブロハンマ、油圧ハンマ等を使用して鋼管矢板を打設する。
- 5) 井筒内掘削
鋼管矢板継手部の止水を行い、バックホウ、クラムシェル等により鋼管矢板井筒内を掘削する。
- 6) 底版コンクリート打設
コンクリートポンプ車等を用いて井筒内の底版コンクリートを打設する。
- 7) 橋脚柱部鉄筋コンクリート打設
大組みした型枠により柱コンクリートを順次立ち上げると同時に、作業用エレベータを設置する。
- 8) 橋脚梁部鉄筋コンクリート打設
部材断面が大きいことから、そのコンクリート荷重を受けられるような支保工を地上から組み上げて施工する。

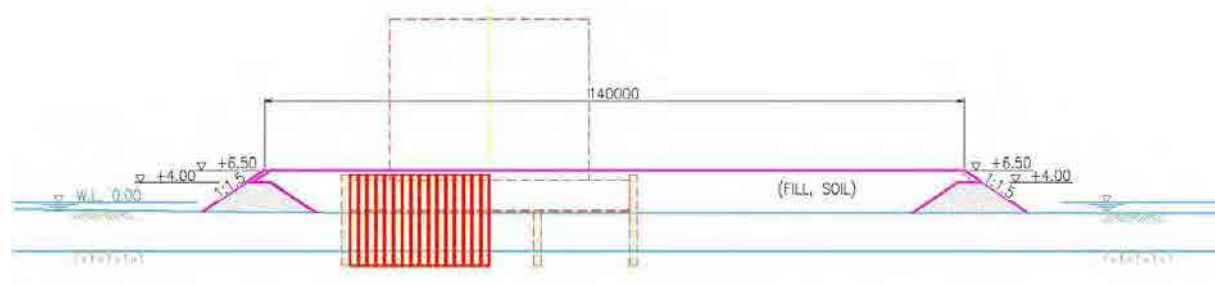
図 15.11~15.14 に下部・基礎工施工計画図(西側:水上部)を示す。



a) 西側:水上部 平面図



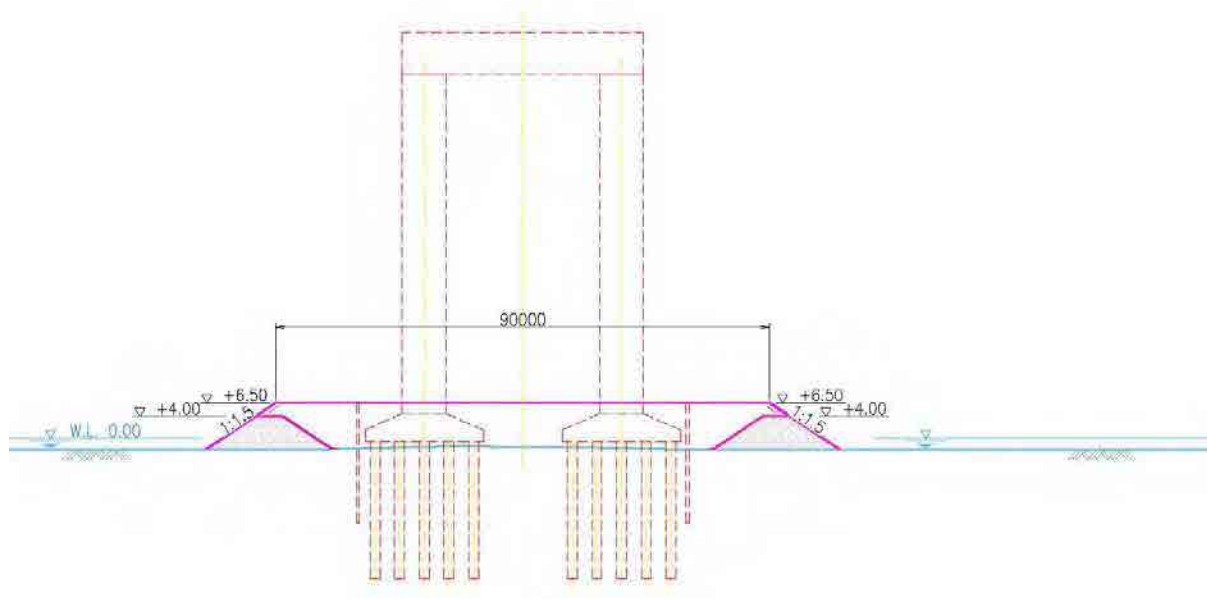
b) 仮設道路(A-A 断面)



c) 仮設道路(P32 橋脚 B-B 断面)

出典：調査団

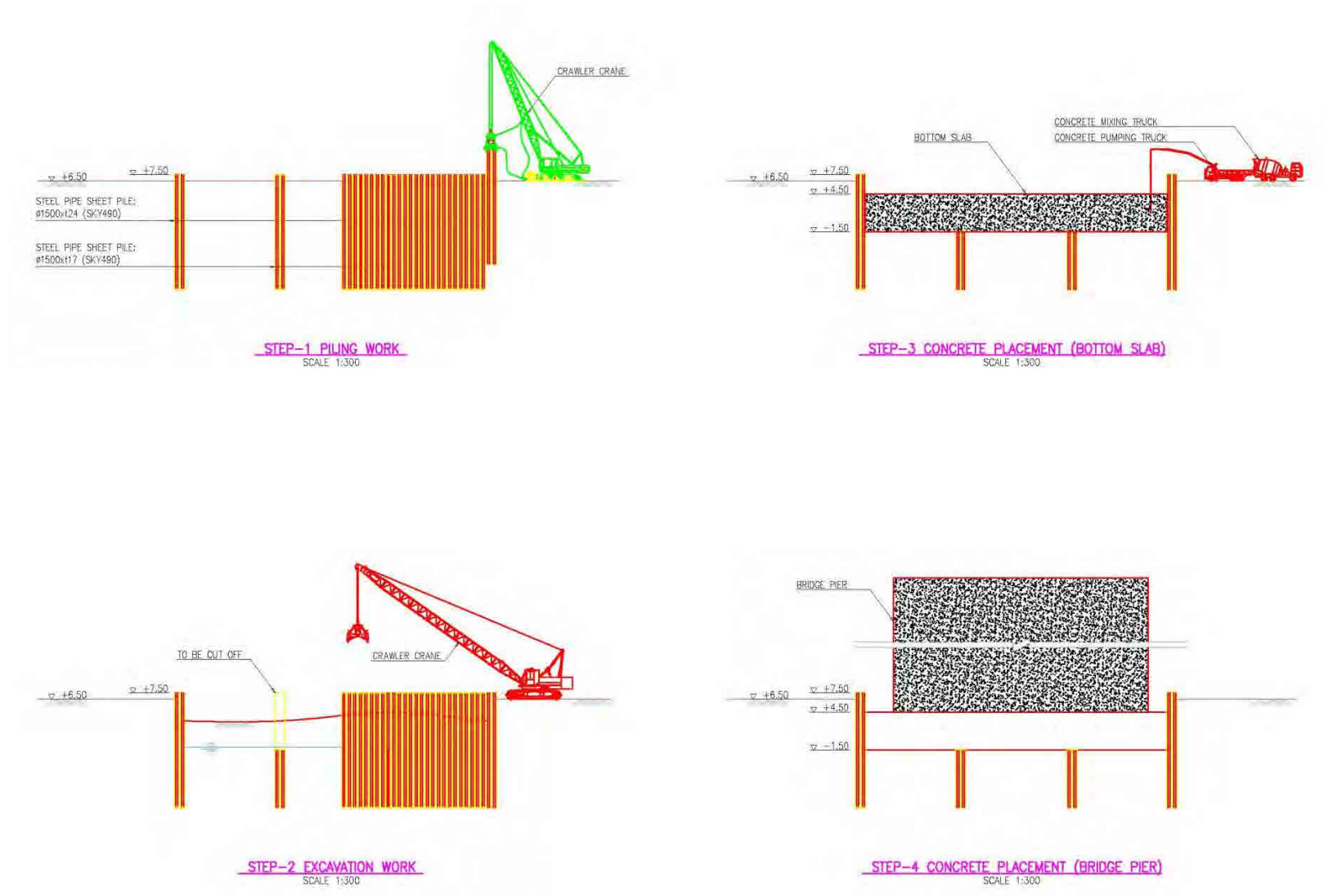
図 15.11 下部・基礎工施工計画図（西側：水上部）



d) 仮設道路 (P33 橋脚, C-C 断面)

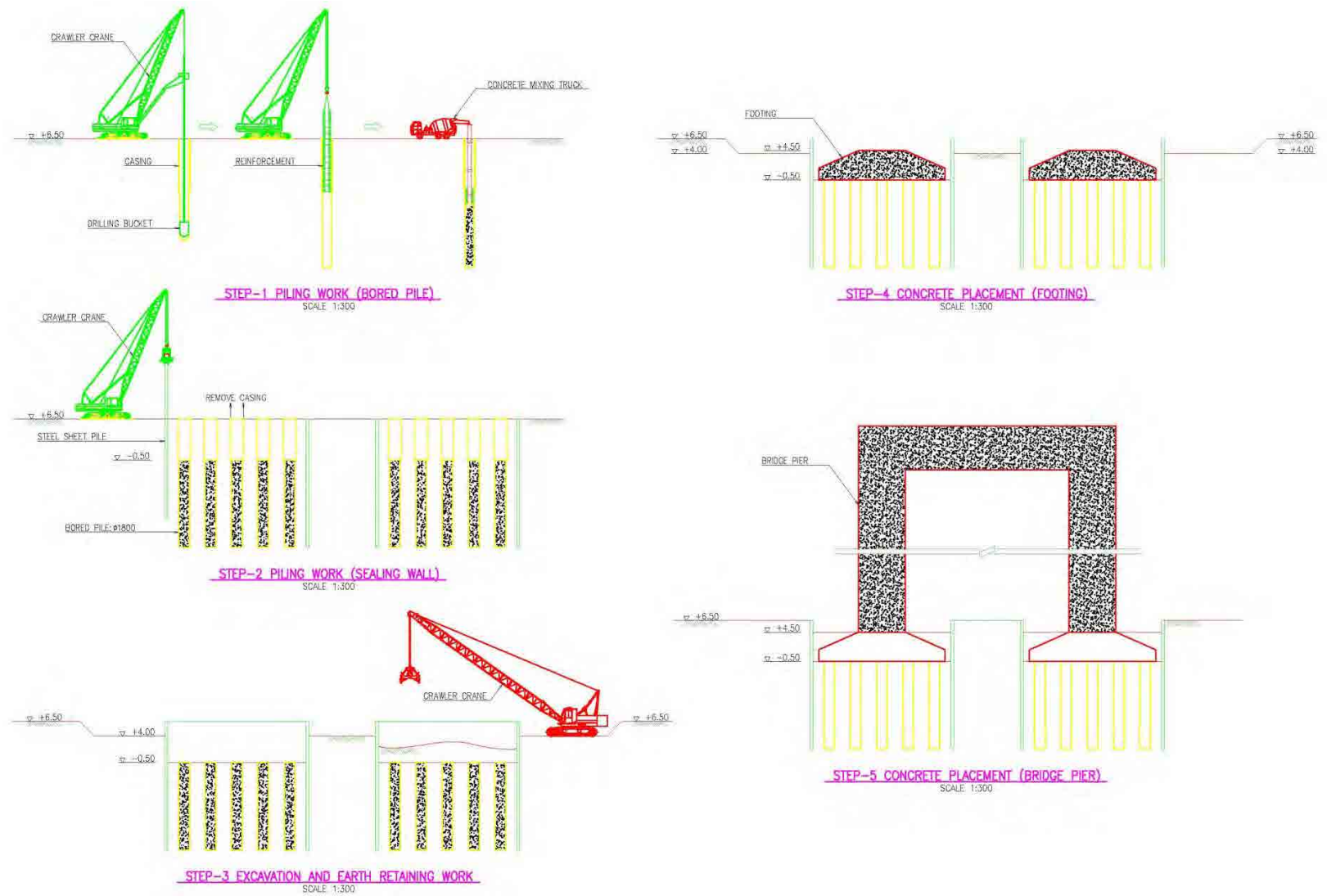
出典：調査団

図 15.12 下部・基礎工施工計画図（西側：水上部）(2/2)



出典：調査団

図 15.13 下部・基礎工施工計画図 (P32 橋脚、ステップ図)



出典：調査団

図 15.14 下部・基礎工施工計画図 (P33 橋脚、ステップ図)

(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。

表 15.9 に下部・基礎工事手順を以下に示す。

表 15.9 基礎・下部工事手順

基礎杭工	下部工(フーチング)	下部工(柱・梁)
1. ケーシング設置 2. 削孔 3. 鉄筋かごの建て込み 4. コンクリート打設 5. ケーシング引抜き	1. 床堀 2. 均しコンクリート 3. 鉄筋組立 4. 型枠設置 5. コンクリート打設 6. 養生 7. 型枠撤去 8. 埋戻し	1. 足場(支保)組立 2. 鉄筋組立 3. 型枠設置 4. コンクリート打設 5. 養生 6. 型枠・足場(支保)撤去

出典：調査団

2) 上部工 (PC-I 桁橋)

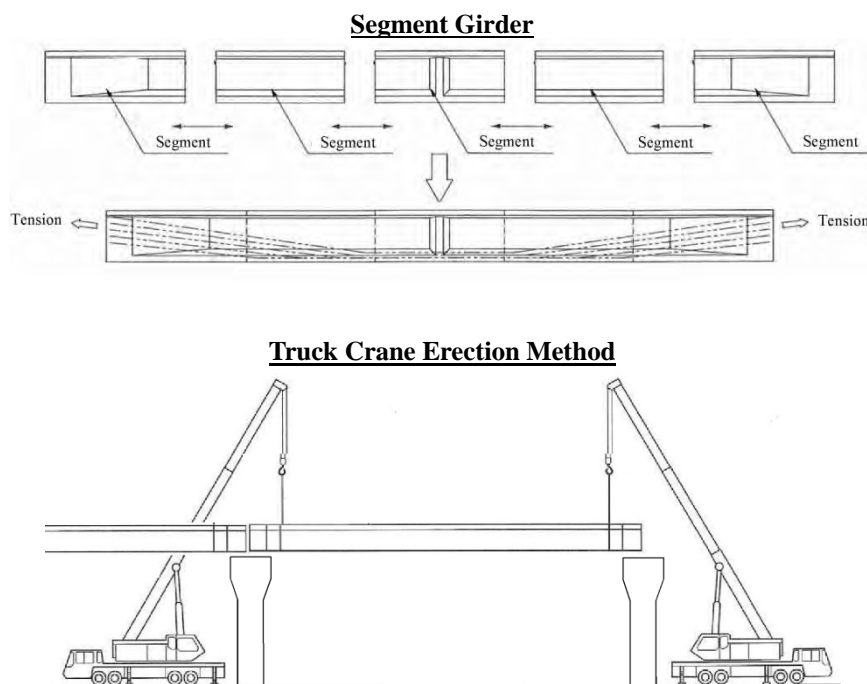
PC-I 桁の製作はプレキャストセグメント工法とする。あらかじめ運搬可能な大きさのセグメントに分割して製作したものを架設地点の組み立て台に運搬し、セグメントを引き寄せ接着したのちにプレストレスを与え一体の橋桁を製作する。

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

図 15.15 にプレキャストセグメント工法とクレーン架設工法を示す。



出典：調査団

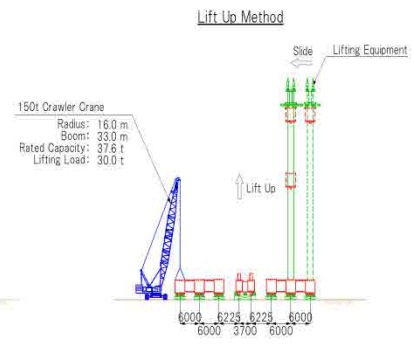
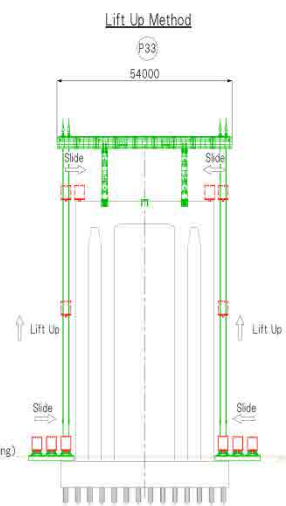
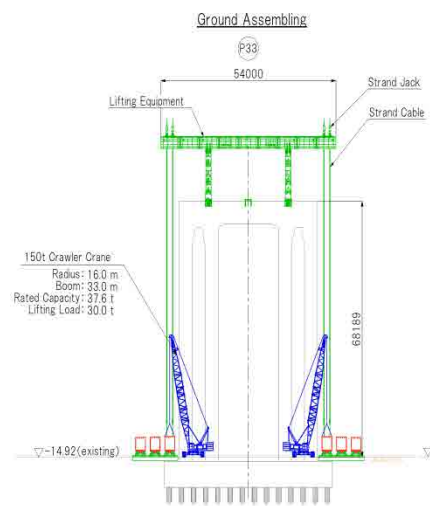
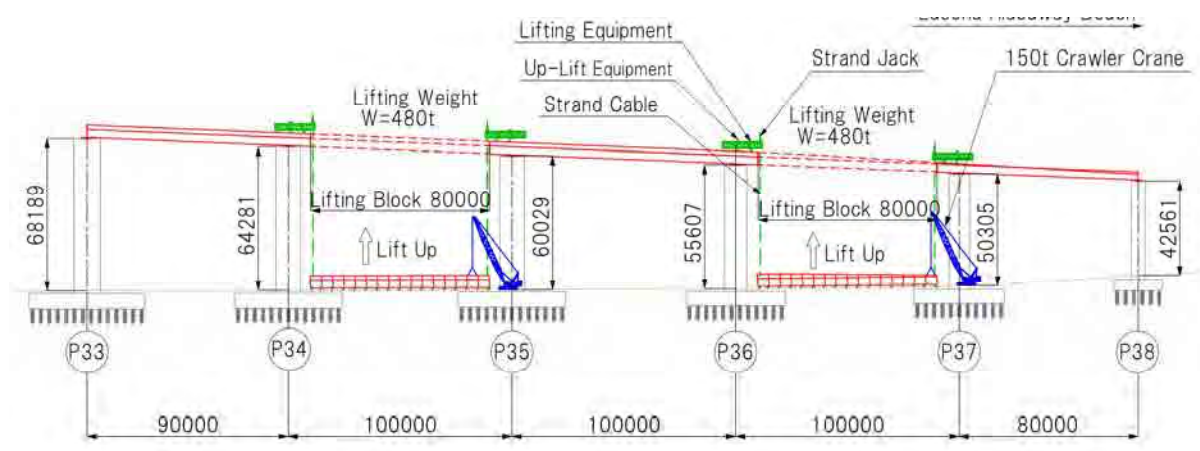
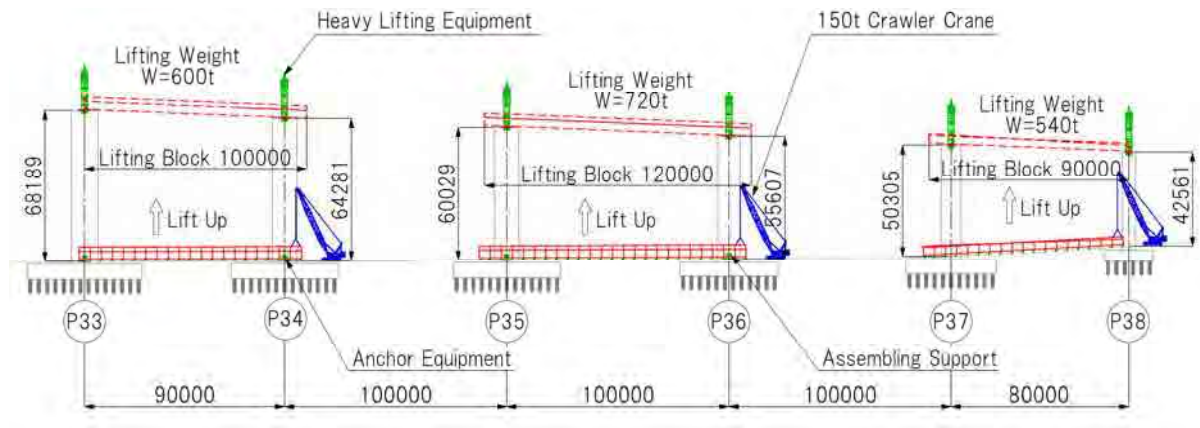
図 15.15 プレキャストセグメント工法とクレーン架設工法

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。

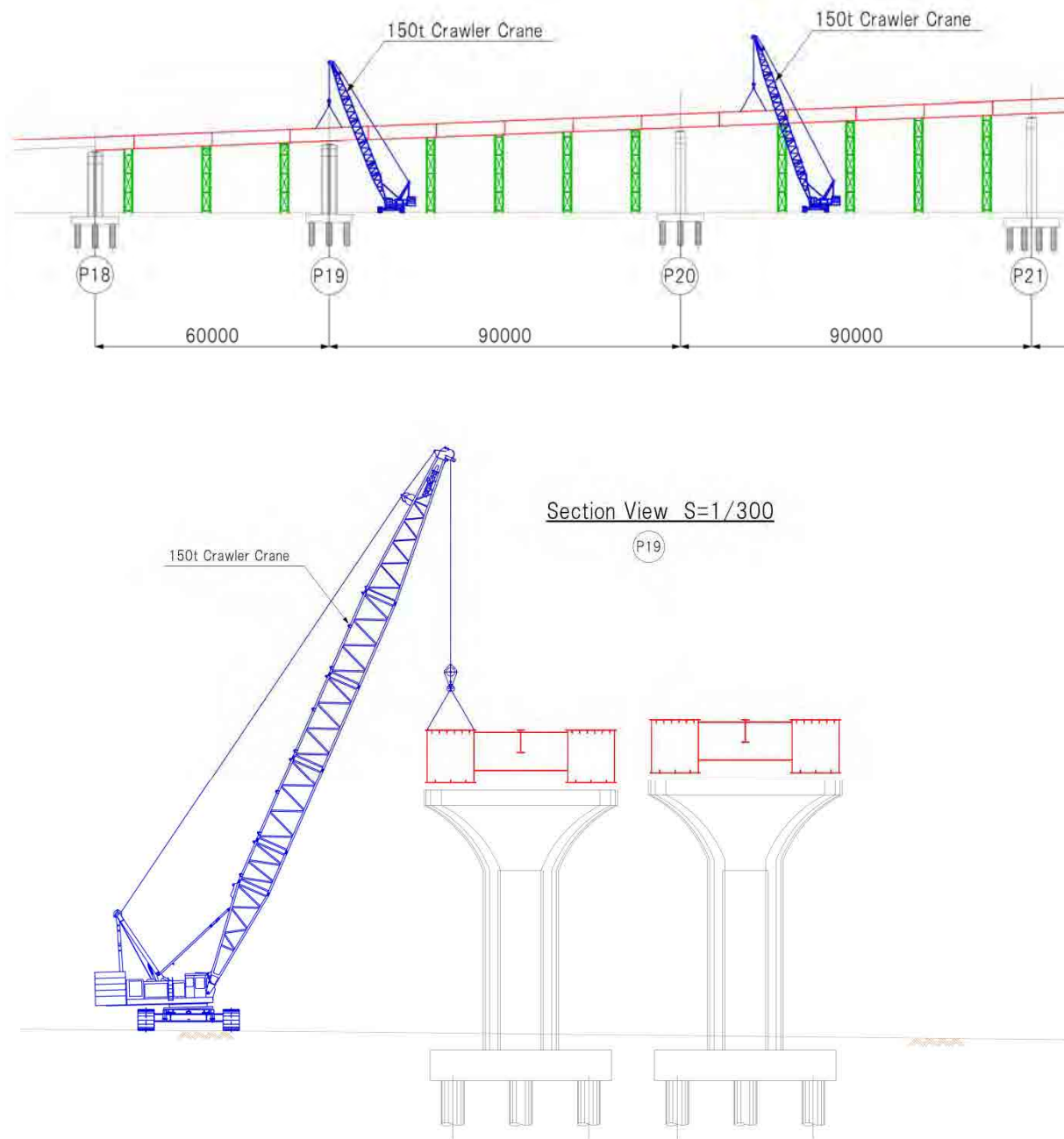
1. 昇降設備・巻上機の組み立て
2. 桁搬入・地組み
3. 桁架設
4. 昇降設備・巻上機の解体（次の径間へ移動）
5. プレキャスト床版の搬入・架設

図 15.16 に巻上装置による一括架設工法、図 15.17 にトラッククレーンによる架設工法を示す。



出典：調査団

図 15.16 巻上装置による一括架設工法



出典：調査団

図 15.17 トラッククレーンによる架設工法

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实績に基づき推定を行った結果、約 270,000m² が必要となる。

表 15.10 に施工ヤード面積を示す。

表 15.10 施工ヤード面積

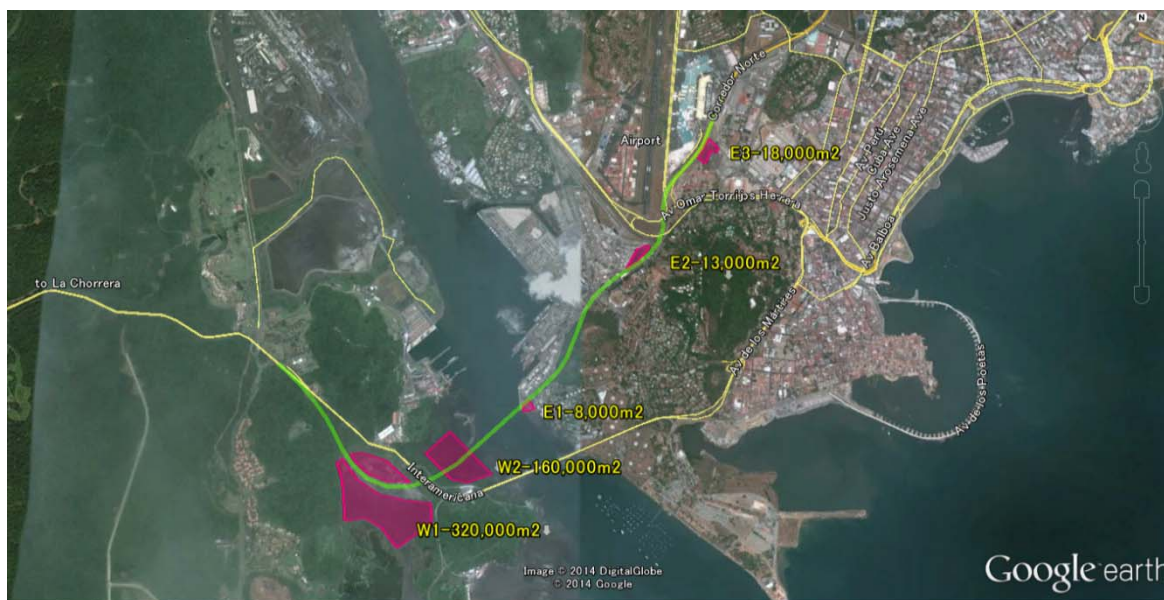
項目	東側	西側
桁・プレキャスト床版製作、仮置き	18,000m ²	22,000m ²
鉄筋加工・型枠製作、仮置き、資機材の仮置き	---	50,000m ²
建設機材の仮置き、オフィス・駐車場、作業員宿舎	13,000m ²	17,000m ²
主橋アーチ・アプローチ橋：鋼部材の仮置き・地組立て	---	134,000m ²
掘削土の仮置き	8,000m ²	8,000m ²
小計	39,000m ²	231,000m ²
合計	270,000m ²	

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。

図 15.18 に施工ヤード候補地を示す。



出典：調査団

図 15.18 ヤード候補地

(3) 工事用道路・仮栈橋

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栈橋・栈台を構築してバージの船着き場とする。

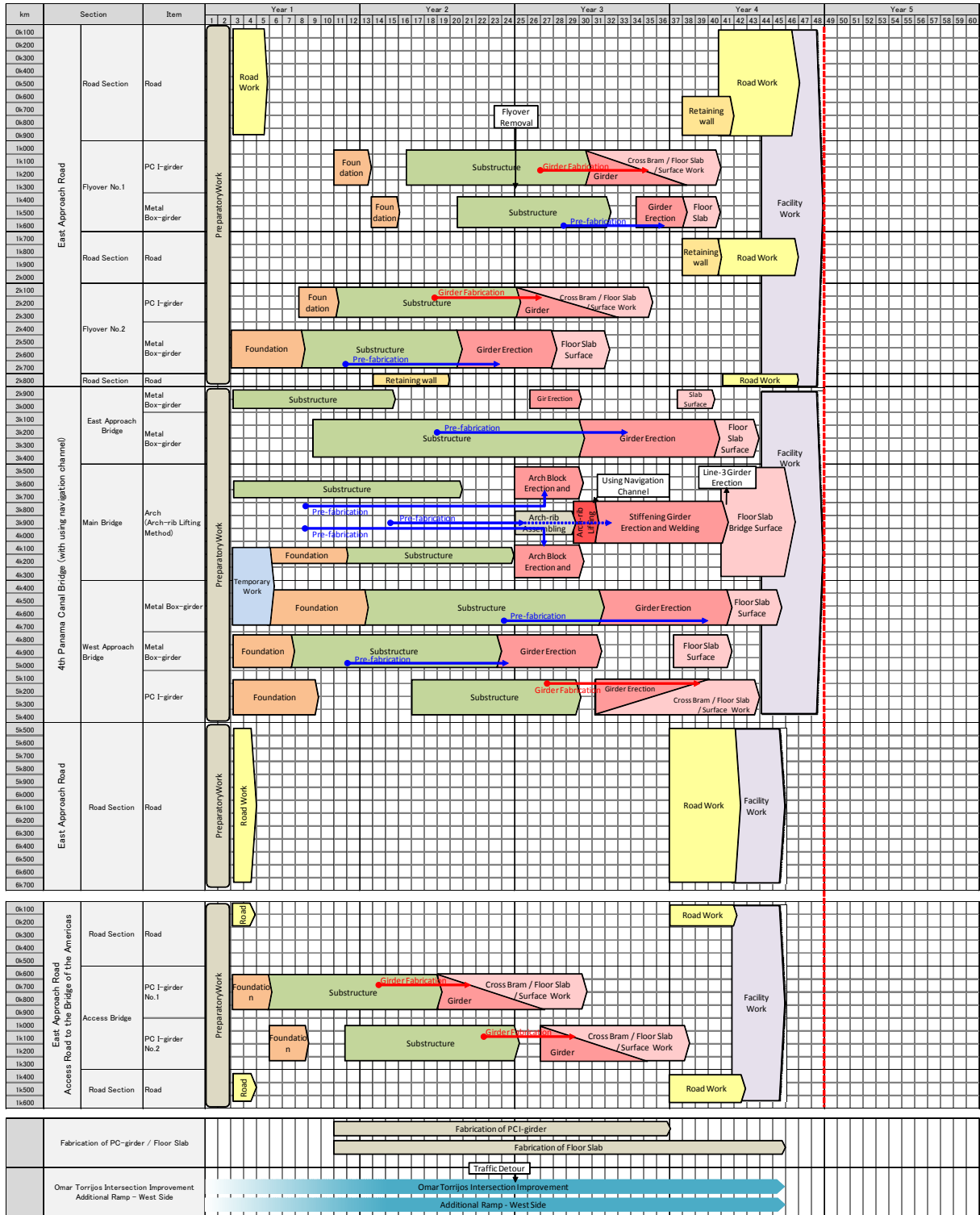
15.1.7 施工工程

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。

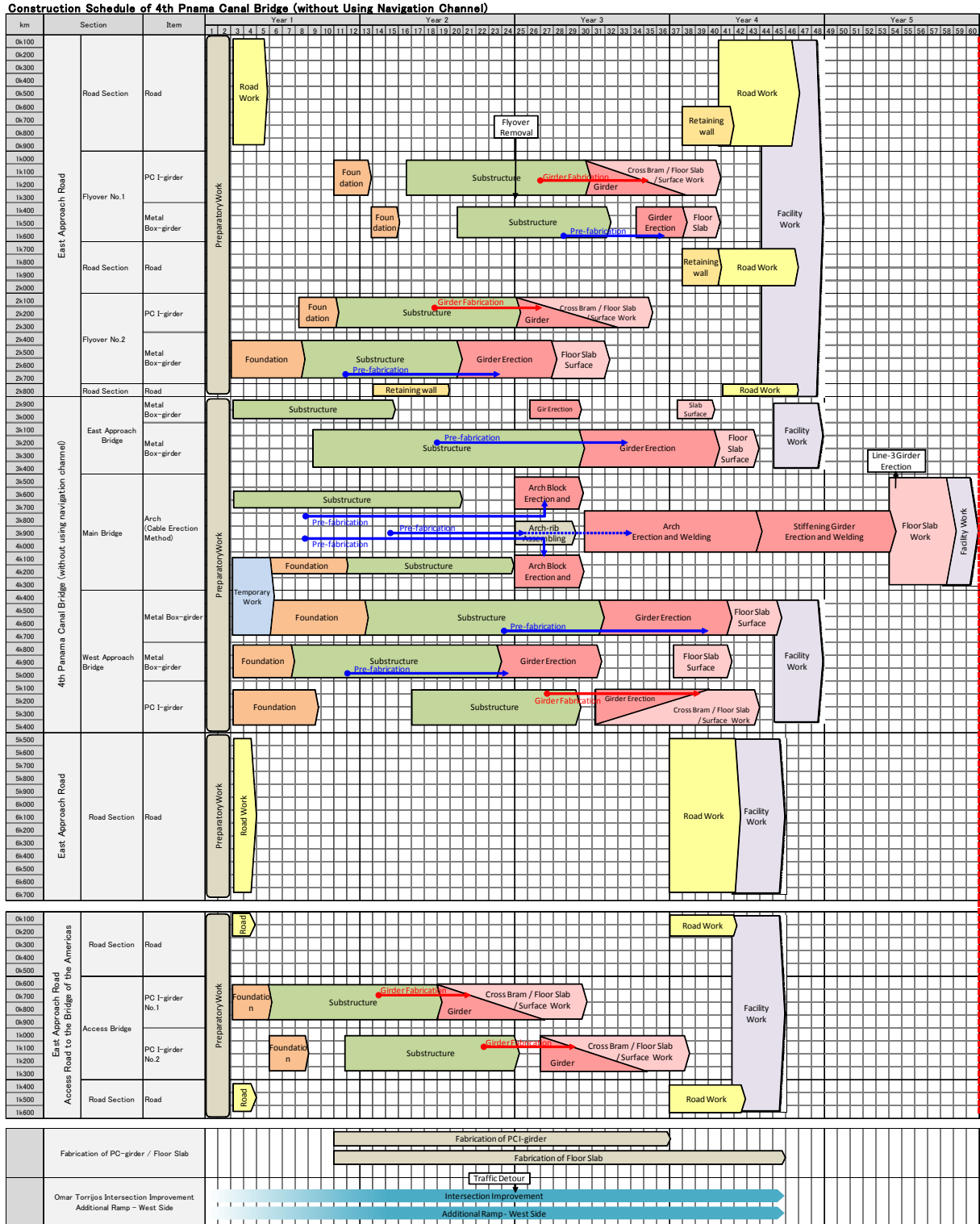
表 15.11 に航路利用ができる場合、表 15.12 に利用できない場合の工事工程を示す。

表 15.11 工事工程（航路利用ができる場合）



出典：調査団

表 15.12 工事工程（航路利用ができない場合）



出典：調査団

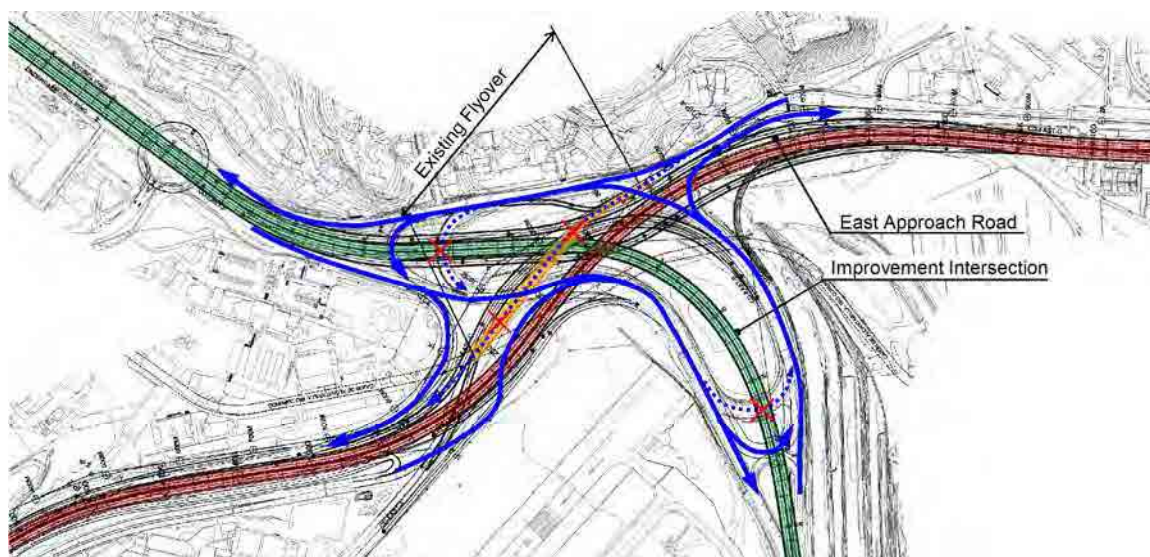
15.1.8 建設期間中の交通管理及び安全管理

(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。桁架設時に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。

図 15.19 に既設高架橋撤去時の交通切廻しを示す。



出典：調査団

図 15.19 既設橋撤去時の交通切廻し

(2) 安全管理計画

第4パナマ運河橋の工事では、次の安全管理に係るレギュレーションに準拠する。

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なり、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 概要

(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。

(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。

(3) 調査結果

表 15.13 に第4パナマ運河橋整備事業の概算事業費を示す。

表 15.13 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

(4) まとめ

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、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。

15.2.2 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。

15.2.3 積算条件

表 15.14 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 15.14 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

15.2.4 積算手順

(1) 積算費目構成

表 15.15 に積算費目構成を示す。

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。

表 15.15 積算費目構成

A. ELIGIBLE PORTION
I) Procurement / Construction
1)Temporary Works
2)East Approach Road
3)4th Panama Canal Bridge (A5 - A6 section)
4)West Approach Road (including Additional Ramp)
5)Omar Torrijos Intersection
6)Utilities
7)Public Utilities Relocation
8)Environmental Mitigation and Monitoring
9)Risk Cost
Base cost for JICA financing
Price escalation
Physical contingency
II) Consulting services
1)Consulting services A
2)Consulting services B for Concept Design Section
Base cost
Price escalation
Physical contingency
Total (I + II)
B. NON ELIGIBLE PORTION
a Procurement / Construction
1)Environmental Compensation
Base cost
Price escalation
Physical contingency
b Land Acquisition and Resettlement
Base cost
Price escalation
Physical contingency
c Administration cost
d VAT
e Import Tax
Total (a+b+c+d+e)
TOTAL (A+B)
C. Interest during Construction
Interest during Construction(Const.)
Interest during Construction (Consul.)
D. Front End Fee
GRAND TOTAL (A+B+C+D)

出典：JICA 資料を参考に調査団作成

(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。

15.2.5 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りをもとに設定する。積算単価は付属資料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。

15.2.6 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。

(1) 概算建設費

表15.16に円借款適格部分の概算建設費（2013年価格）を示す。詳細は付属資料7に示す。

仮設備費には施工計画で記述した施工ヤード借地料・整備費、仮設道路・栈橋整備費用を含むが、これらは現段階で想定される範囲で検討したものであり、今後詳細設計により更新される。

表 15.16 概算建設費（2013年価格）

主橋架設時の条件	項目	概算建設費		
		FC (mil.JPY)	LC (mil.USD)	Total (mil.JPY)
航路を利用できる場合	仮設備費	2,383	93	11,691
	東側アプローチ道路	7,715	102	17,876
	第4パナマ運河橋 ^{*1)}	39,480	318	71,153
	西側アプローチ道路 ^{*2)}	2,120	56	7,742
	オマール・トリホス交差点	5,889	138	19,631
	設備	1,014	8	1,850
	既設ユーティリティ補償	0	15	1,532
	環境対策・モニタリング費	0	2	202
	リスクコスト	1,384	0	1,384
	合計	59,985	733	133,061
航路を利用できない場合	仮設備費	2,571	101	12,628
	東側アプローチ道路	7,715	102	17,876
	第4パナマ運河橋 ^{*1)}	42,337	321	74,383
	西側アプローチ道路 ^{*2)}	2,120	56	7,742
	オマール・トリホス交差点	5,889	138	19,631
	設備	1,014	8	1,850
	既設ユーティリティ補償	0	15	1,532
	環境対策・モニタリング費	0	2	230
	リスクコスト	679	0	679
	合計	63,325	744	136,551

*1) 第4パナマ運河橋範囲は15.1.3に示すとおり主橋以外のアプローチ橋梁含む区間である。

*2) 西側接続部の追加ランプ（Xランプ以外）を含む。

出典：調査団

(2) 概算コンサルタント費

表 15.17 に概算コンサルタント費（2013 年価格）を示す。

第 4 パナマ運河橋整備に必要な専門家投入 MM は、主橋架設時に航路を利用できる場合には Pro-A は 1,035MM、Pro-B は 1,347MM、航路を利用できない場合には Pro-A は 1,215MM、Pro-B は 1,446MM を計画する。

コンセプト・デザイン対象（オマール・トリホス交差点改良および西側接続ランプ）の概算コンサルタント費用は工事費の 10%と想定した。

表 15.17 概算コンサルタント費（2013 年価格）

主橋架設時の条件	概算コンサルタント費		
	FC (mil.JPY)	LC (mil.USD)	Total (mil.JPY)
航路を利用できる場合	4,498	34	7,867
航路を利用できない場合	5,136	37	8,834
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)	1,214	8	2,024

出典：調査団

(3) 建設期間中の概算環境対策費

表 15.18 に建設期間中の概算環境補償費（2013 年価格）を示す。詳細は付属資料 7 に示す。

表 15.18 建設中の概算環境補償費（2013 年価格）

主橋架設時の条件	建設期間中の概算環境対策費		
	FC (mil.JPY)	LC (mil.USD)	Total (mil.JPY)
航路を利用できる場合	—	0.1	1.2
航路を利用できない場合	—	0.1	1.2

出典：調査団

(4) 概算用地取得・補償費

表 15.19 に概算用地取得・補償費（2013 年価格）を示す。詳細は付属資料 7 に示す。

表 15.19 概算用地取得・補償費（2013 年価格）

主橋架設時の条件	概算用地取得費・補償費		
	FC (mil.JPY)	LC (mil.USD)	Total (mil.JPY)
航路を利用できる場合	—	5.3	529
航路を利用できない場合	—	5.3	529

出典：調査団

(5) 概算事業費及び年度支出計画

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 15.20 及び表 15.21 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。

表 15.20 概算事業費・年間支出計画（主橋架設時に航路を利用できる場合）

Annual Fund Requirement (Main Bridge : Arch-rib Lifting Method)

Base Year for Cost Estimation: Oct. 2013
 Exchange Rates: USD = Yen 99.7
 Price Escalation: FC: 1.3% LC: 3.1%
 Physical Contingency for Consultant: 5.0%

FC & Total : million JPY
 LC : million USD

Item	Total			2015			2016			2017			2018			2019			2020			2021			2022						
	FC	LC	Total	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																															
1) Procurement / Construction	68,435	935	161,666	0	0	0	0	0	6	622	1,382	30	4,326	16,797	219	38,674	17,015	226	39,570	17,236	233	40,491	16,005	220	37,983	0	0	0	0		
1) Temporary Works	2,383	93	11,691	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	2	244	596	23	2,923	596	23	2,923	596	23	2,923	546	21	2,679	0	0	0	0
2) East Approach Road	7,715	102	17,876	0	0	0	0	0	0	0	0	0	161	2	372	1,929	25	4,469	1,929	25	4,469	1,929	25	4,469	1,768	23	4,097	0	0	0	0
3) 4th Panama Canal Bridge (A5 - A6 section)	39,480	319	71,153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	823	7	1,482	9,870	79	17,788	9,870	79	17,788	9,870	79	17,788	9,048	73	16,306	0	0	0	0
4) West Approach Road (including Additional Ramp)	2,120	56	7,742	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	1	161	530	14	1,936	530	14	1,936	530	14	1,936	486	13	1,774	0	0	0	0
5) Omar Torrijos Intersection	5,889	138	19,631	0	0	0	0	0	0	0	0	0	123	3	409	1,472	34	4,908	1,472	34	4,908	1,472	34	4,908	1,350	32	4,499	0	0	0	0
6) Utilities	1,014	8	1,850	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	39	253	2	462	253	2	462	253	2	462	232	2	424	0	0	0	0
7) Public Utilities Relocation	0	15	1,532	0	0	0	0	0	5	541	0	10	992	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8) Environmental Mitigation and Monitoring	0	2	202	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	50	0	1	50	0	1	50	0	0	0	46	0	0	0	0
9) Risk Cost	1,384	0	1,384	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	29	346	0	346	346	0	346	346	0	346	317	0	317	0	0	0	0
Base cost for JICA financing	59,985	733	133,061	0	0	0	0	0	5	541	1,250	25	3,732	14,996	179	32,882	14,996	179	32,882	14,996	179	32,882	13,747	164	30,142	0	0	0	0	0	0
Price escalation	5,191	158	20,907	0	0	0	0	0	1	52	66	3	389	1,000	30	3,950	1,208	36	4,804	1,419	43	5,680	1,496	45	6,032	0	0	0	0	0	0
Physical contingency	3,259	45	7,698	0	0	0	0	0	0	0	66	1	206	800	10	1,842	810	11	1,884	821	11	1,928	762	10	1,809	0	0	0	0	0	0
II) Consulting services	6,434	52	11,651	556	3	876	1,003	6	1,605	202	2	381	1,231	10	2,242	1,214	11	2,292	1,147	11	2,199	1,061	10	2,014	21	0	0	43	0	0	0
1) Consulting services A	4,498	34	7,867	406	2	638	723	4	1,145	144	1	265	866	7	1,532	842	7	1,532	786	7	1,438	717	6	1,291	14	0	0	27	0	0	0
2) Consulting services B for Concept Design Section	1,214	8	2,024	110	1	165	195	1	297	39	0	68	234	2	394	227	2	393	212	2	369	194	1	331	4	0	0	7	0	0	0
Base cost	5,713	42	9,891	516	3	803	919	5	1,442	183	2	333	1,099	8	1,925	1,070	9	1,925	998	8	1,807	911	7	1,622	18	0	0	34	0	0	0
Price escalation	415	8	1,205	13	0	32	36	1	86	10	0	29	73	1	210	86	2	258	94	2	287	99	2	296	2	0	0	7	0	0	0
Physical contingency	306	2	555	26	0	42	48	0	76	10	0	18	59	0	107	58	1	109	55	1	105	51	0	96	1	0	0	2	0	0	0
Total (I + II)	74,869	987	173,318	556	3	876	1,003	12	2,227	1,584	31	4,707	18,028	230	40,915	18,229	237	41,862	18,383	244	42,689	17,066	230	39,997	21	0	0	43	0	0	0
B. NON ELIGIBLE PORTION																															
a Procurement / Construction	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1) Environmental Compensation	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Base cost	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Price escalation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Physical contingency	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
b Land Acquisition and Resettlement	0	6	620	0	0	0	2	215	0	4	406	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Base cost	0	5	529	0	0	0	2	187	0	3	342	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Price escalation	0	1	62	0	0	0	0	18	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Physical contingency	0	0	30	0	0	0	0	10	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c Administration cost	0	87	8,697	0	0	44	0	1	122	0	3	256	0	21	2,046	0	21	2,093	0	21	2,134	0	20	2,000	0	0	0	2	0	0	0
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	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	0	0	0	0	0	0	0
Total (a+b+c+d+e)	0	93	9,319	0	0	44	0	3	337	0	7	662	0	21	2,046	0	21	2,093	0	21	2,134	0	20	2,000	0	0	0	2	0	0	0
TOTAL (A+B)	74,869	1,081	182,636	556	4	920	1,003	16	2,564	1,584	38	5,370	18,028	250	42,961	18,229	258	43,955	18,383	265	44,824	17,066	250	41,997	21	0	0	45	0	0	0
C. Interest during Construction	7,697	0	7,697	0	0	0	8	0	8	66	0	66	580	0	580	1,105	0	1,105	1,643	0	1,643	2,147	0	2,147	2,147	0	2,147	0	0	0	0
Interest during Construction (Const.)	7,693	0	7,693	0	0	0	8	0	8	65.7	0	65.7	579.2	0	579.2	1,104.6	0	1,104.6	1,642.2	0	1,642.2	2,146.5	0	2,146.5	2,147	0	2,147	0	0	0	0
Interest during Construction (Consul.)	4	0	4	0	0	0	0.18	0	0.18	0.21	0	0.21	0.38	0	0.38	0.55	0	0.55	0.71	0	0.71	0.86	0	0.86	1	0	1	0	0	0	0
D. Front End Fee	693	0	693	347	0	347	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GRAND TOTAL (A+B+C+D)	83,259	1,081	191,026	902	4	1,267	1,011	16	2,573	1,650	38	5,436	18,607	250	43,541	19,334	258	45,061	20,026	265	46,467	19,213	250	44,144	2,168	0	0	45	0	0	0

注) 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

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15.22に概算運営維持管理費（100年）（2013年価格）を示す。詳細は付属資料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 15.22 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。